



理学・工学の

# 散歩道 IV

埼玉大学大学院理工学研究科・理学部・工学部広報委員会  
埼玉大学総合技術支援センター全学広報支援プロジェクト



# 「理学・工学の散歩道Ⅳ」発行にあたって

埼玉大学大学院理工学研究科長

坂井 貴文



埼玉大学大学院理工学研究科では、所属する教員の研究活動の紹介として、埼玉新聞社のご協力のもと、同紙面に週一回「サイ・テクこらむ 知と技の発信」を埼玉大学・理工学研究の現場を掲載してきています。この連載は2010年10月に始まり、この7月までに410コラムを掲載するに至っています。そのコラムを取りまとめ、広く本研究科教員の活動を紹介する収録誌「理学・工学の散歩道Ⅰ～Ⅲ」として発行してきました。このたびは2015年11月から2019年7月までの160コラムについて取りまとめ、「理学・工学の散歩道Ⅳ」として発行することになりました。

ここで改めて(第Ⅰ巻から見返してみますと、埼玉大学の理系・工系教員が行う研究分野の広さと深さを実感するとともに、「大学での研究」から想像される「難解」「先端」「高い専門性」を發揮した研究テーマとあわせて実は「身近」であったり「社会的」な問題に結びつくものも多いことにも気づきます。

基礎的な理学分野としてエレガントな数学、物理学、基礎研究の近くに応用先を見据えた化学・生物学、そしてそれらを基礎においてより社会生活に直結する応用研究を行う工学・情報分野での研究の中から多くの知見が埼玉大学で新たに生み出されていることを感じていただけたと思います。

そのような研究活動の中であまり表に出てこない「研究の現場」でみられる夢や苦悩や喜びなどもこのコラムの中で見ることもできます。研究が最先端になればなるほど、また、思う結果がなかなか得られない時などには、不安・葛藤などと戦いつつ研究を行ってきています。本冊子を通して、埼玉大学大学院理工学研究科で行われている研究の広がりや研究者の格闘の跡も感じて頂ければ、これに過ぎた喜びはありません。

埼玉県にある国立大学として、世界を相手にした先端研究、日本を支える理工系人材育成、地域との連携を基にその発展を担う、理工系分野を究める組織としてその存在を改めて身近に感じていただければと思います。科学に関心ある方はもとより、関心ない方にもぜひ本書をこー読いただき、多角的観点から「理工系研究」をお楽しみください。

# 目次

## 「理学・工学の散歩道Ⅳ」発行にあたって

大学院理工学研究科長 坂井 貴文

### 244 光エネルギー変換…線と環

生命科学部門 高橋 拓子

### 245 最先端のモノづくり技術

人間支援・生産科学部門 山田 洋平

### 246 プラズマの可能性実現へ

数理電子情報部門 稲田 優貴

### 247 音声と雑音は見て分かる

数理電子情報部門 杉浦 陽介

### 248 生命とは何か？

物質科学部門 乙須 拓洋

### 249 タンパク質分子の形と役割

生命科学部門 藤城 貴史

〓〓16年2月10日 埼玉新聞掲載〓〓

### 250 地下でのセメント利用

環境科学・社会基盤部門 浅本 晋吾

### 251 古くて新しい水質汚濁

環境科学・社会基盤部門 三小田 憲史

### 252 集積回路の微細化と課題

数理電子情報部門 西澤 真一

### 253 自動定理発見とは

数理電子情報部門 高 宏彪

### 254 生体膜に魅せられて

物質科学部門 野嶋 優妃

### 255 時系列解析と海面上昇

環境科学・社会基盤部門 李 漢洙

### 256 理工学的な表現の探求

数理電子情報部門 大久保 潤

### 257 異物の新パートナー

物質科学部門 松下 隆彦

〓〓16年4月6日 埼玉新聞掲載〓〓

- 258 計算機で物質を調べる  
物質科学部門 品岡 寛  
^^16年4月13日 埼玉新聞掲載^^
- 259 曲面の射影の特異点  
数理電子情報部門 福井 敏純  
^^16年4月20日 埼玉新聞掲載^^
- 260 複雑形状部品製造へ挑戦  
人間支援・生産科学部門 金子 順一  
^^16年4月27日 埼玉新聞掲載^^
- 261 超伝導による電子デバイス  
数理電子情報部門 明連 広昭  
^^16年5月11日 埼玉新聞掲載^^
- 262 複雑系フォトニクスとは？  
数理電子情報部門 内田 淳史  
^^16年5月18日 埼玉新聞掲載^^
- 263 宇宙線が拓く未知の世界  
物質科学部門 井上 直也  
^^16年5月25日 埼玉新聞掲載^^
- 264 アルミで夢の化学反応  
物質科学部門 木下 英典  
^^16年6月1日 埼玉新聞掲載^^
- 265 より高効率な光の利用を目指して  
物質科学部門 鎌田 憲彦  
^^16年6月8日 埼玉新聞掲載^^
- 266 忍ぶれど色に出でにけり  
物質科学部門 藤原 隆司  
^^16年6月15日 埼玉新聞掲載^^
- 267 生態系を基盤とした多重防御・減災システム  
環境科学・社会基盤部門 田中 規夫  
^^16年6月22日 埼玉新聞掲載^^
- 268 寝ぼけ眼の光合成  
生命科学部門 是枝 晋  
^^16年6月29日 埼玉新聞掲載^^
- 269 風景を生む景観の様相変異  
環境科学・社会基盤部門 窪田 陽一  
^^16年7月6日 埼玉新聞掲載^^
- 270 燃料電池自動車の安全性  
人間支援・生産科学部門 荒居 善雄  
^^16年7月13日 埼玉新聞掲載^^
- 271 脳の形作りと神経形成  
生命科学部門 弥益 恭  
^^16年7月20日 埼玉新聞掲載^^
- 272 高速大容量無線通信のために  
数理電子情報部門 馬 哲旺  
^^16年7月27日 埼玉新聞掲載^^
- 273 トポロジックと高分子  
数理電子情報部門 下川 航也  
^^16年8月3日 埼玉新聞掲載^^

274 認知症者の支援システム

数理電子情報部門

久野 義徳

〓16年8月10日 埼玉新聞掲載〓

275 二酸化炭素の制御いろいろ

物質科学部門

柳瀬 郁夫

〓16年8月24日 埼玉新聞掲載〓

276 研究者とアスリート

物質科学部門

白井 肇

〓16年9月7日 埼玉新聞掲載〓

277 第16族元素の研究

物質科学部門

石井 昭彦

〓16年9月14日 埼玉新聞掲載〓

278 橋のヘルスマニタリング

環境科学・社会基盤部門

松本 泰尚

〓16年9月21日 埼玉新聞掲載〓

279 日本の河川景観の変遷

環境科学・社会基盤部門

浅枝 隆

〓16年9月28日 埼玉新聞掲載〓

280 光合成のダイナミクス

生命科学部門

西山 佳孝

〓16年10月5日 埼玉新聞掲載〓

281 ロボット革命が進行中

人間支援・生産科学部門

琴坂 信哉

〓16年10月12日 埼玉新聞掲載〓

282 脳の性差、ヒトに可能性

生命科学部門

塚原 伸治

〓16年10月19日 埼玉新聞掲載〓

283 プラズマと特殊環境

数理電子情報部門

前山 光明

〓16年10月26日 埼玉新聞掲載〓

284 賢携帯電話作譜のすすめ

数理電子情報部門

大澤 裕

〓16年11月2日 埼玉新聞掲載〓

285 幾何学の研究とはⅡ

数理電子情報部門

長瀬 正義

〓16年11月9日 埼玉新聞掲載〓

286 小さな積み木とその隙間

物質科学部門

小玉 康一

〓16年11月16日 埼玉新聞掲載〓

287 磁性と非磁性の境

物質科学部門

小坂 昌史

〓16年11月23日 埼玉新聞掲載〓

288 インフルエンザ特效薬の開発

物質科学部門

松岡 浩司

〓16年11月30日 埼玉新聞掲載〓

289 橋の更新・改築の新技术

環境科学・社会基盤部門

牧 剛史

〓16年12月7日 埼玉新聞掲載〓

- 290 匂い作るのは有機分子  
物質科学部門 長谷川 登志夫  
〓16年12月14日 埼玉新聞掲載〓
- 291 物体を透視する新しい目  
環境科学・社会基盤部門 門野 博史  
〓16年12月21日 埼玉新聞掲載〓
- 292 生物から学ぶ柔軟ロボット  
人間支援・生産科学部門 程島 竜一  
〓17年1月18日 埼玉新聞掲載〓
- 293 低分子RNAの役割は？  
生命科学部門 日原 由香子  
〓17年1月25日 埼玉新聞掲載〓
- 294 SiC半導体応用の新展開  
数理電子情報部門 土方 泰斗  
〓17年2月1日 埼玉新聞掲載〓
- 295 「いるもの・いないもの」  
生命科学部門 畠山 晋  
〓17年2月8日 埼玉新聞掲載〓
- 296 石油をプラスチックに  
物質科学部門 黒川 秀樹  
〓17年2月15日 埼玉新聞掲載〓
- 297 科学研究室の変遷  
物質科学部門 本多 善太郎  
〓17年2月22日 埼玉新聞掲載〓
- 298 建物の振動を計測  
環境科学・社会基盤部門 茂木 秀則  
〓17年3月8日 埼玉新聞掲載〓
- 299 2次元状物質の単結晶成長  
物質科学部門 上野 啓司  
〓17年3月15日 埼玉新聞掲載〓
- 300 ドローンでPM2.5を測る！  
環境科学・社会基盤部門 王 青耀  
〓17年3月22日 埼玉新聞掲載〓
- 301 水が作る音のしくみ  
人間支援・生産科学部門 平原 裕行  
〓17年3月29日 埼玉新聞掲載〓
- 302 植物が支える豊かな社会  
生命科学部門 西田 生郎  
〓17年4月5日 埼玉新聞掲載〓
- 303 消化管と神経のはなし  
生命科学部門 坂井 貴文  
〓17年4月12日 埼玉新聞掲載〓
- 304 計算機による「SI」自動化  
数理電子情報部門 伊藤 和人  
〓17年4月19日 埼玉新聞掲載〓
- 305 人と協調するロボット技術  
数理電子情報部門 小林 貴訓  
〓17年4月26日 埼玉新聞掲載〓

- 306 変形によって図形を知る  
 数理電子情報部門 海老原 円  
 <<17年5月17日 埼玉新聞掲載>>
- 307 「二つの流れ」  
 物質科学部門 酒井 政道  
 <<17年5月24日 埼玉新聞掲載>>
- 308 留学生受け入れ交流  
 環境科学・社会基盤部門 睦好 宏史  
 <<17年5月31日 埼玉新聞掲載>>
- 309 結晶中の分子は少し動く  
 物質科学部門 斎藤 英樹  
 <<17年6月7日 埼玉新聞掲載>>
- 310 ロボットの溶接接合技術  
 環境科学・社会基盤部門 山根 敏  
 <<17年6月14日 埼玉新聞掲載>>
- 311 膜脂質の機能を探る  
 生命科学部門 松岡 聡  
 <<17年6月21日 埼玉新聞掲載>>
- 312 超音波で触れずに感じる  
 人間支援・生産科学部門 蔭山 健介  
 <<17年6月28日 埼玉新聞掲載>>
- 313 力の信号処理技術  
 数理電子情報部門 辻 俊明  
 <<17年7月5日 埼玉新聞掲載>>
- 314 オートファジーから植物老化へ  
 生命科学部門 森安 裕二  
 <<17年7月12日 埼玉新聞掲載>>
- 315 展開図は何種類？  
 数理電子情報部門 堀山 貴史  
 <<17年7月19日 埼玉新聞掲載>>
- 316 「安定」な形状とは？  
 数理電子情報部門 長澤 壯之  
 <<17年7月26日 埼玉新聞掲載>>
- 317 「IoT」の裏側  
 数理電子情報部門 吉田 紀彦  
 <<17年8月2日 埼玉新聞掲載>>
- 318 社会に役立つ「化学工学」  
 物質科学部門 本間 俊司  
 <<17年8月9日 埼玉新聞掲載>>
- 319 宇宙から来る「ニュートリノ」  
 物質科学部門 佐藤 丈  
 <<17年8月23日 埼玉新聞掲載>>
- 320 パラダイムシフト  
 物質科学部門 根本 直人  
 <<17年8月30日 埼玉新聞掲載>>
- 321 サンドイッチ化合物  
 物質科学部門 斎藤 雅一  
 <<17年9月6日 埼玉新聞掲載>>

322 社会資本としてのダム水質

環境科学・社会基盤部門

古里 栄一

〓17年9月13日 埼玉新聞掲載〓

323 鉄と硫黄とナノマシン

生命科学部門

高橋 康弘

〓17年9月20日 埼玉新聞掲載〓

324 正しい水質情報の普及へ

環境科学・社会基盤部門

藤野 毅

〓17年9月27日 埼玉新聞掲載〓

325 超音速で伝播する燃烧波

人間支援・生産科学部門

小原 哲郎

〓17年10月4日 埼玉新聞掲載〓

326 モチベーションの調節

生命科学部門

古館 宏之

〓17年10月11日 埼玉新聞掲載〓

327 ロボットが匂いを感じる日

数理電子情報部門

内田 秀和

〓17年10月18日 埼玉新聞掲載〓

328 サイバー犯罪と英語

数理電子情報部門

吉浦 紀晃

〓17年10月25日 埼玉新聞掲載〓

329 CO<sub>2</sub>を消費する反応の開発

物質科学部門

廣瀬 卓司

〓17年11月1日 埼玉新聞掲載〓

330 ナノ気泡で物質分離を操る

物質科学部門

洪川 雅美

〓17年11月8日 埼玉新聞掲載〓

331 分子カプセルを作る

物質科学部門

石丸 雄大

〓17年11月15日 埼玉新聞掲載〓

332 構造物の免震装置

人間支援・生産科学部門

渡邊 鉄也

〓17年11月22日 埼玉新聞掲載〓

333 途上国の建設廃棄物

環境科学・社会基盤部門

川本 健

〓17年11月29日 埼玉新聞掲載〓

334 青い有機物の特性

物質科学部門

佐藤 大

〓17年12月6日 埼玉新聞掲載〓

335 環境ストレスと植物細胞死

環境科学・社会基盤部門

川合 真紀

〓17年12月13日 埼玉新聞掲載〓

336 広がるワイヤレスの世界

数理電子情報部門

木村 雄一

〓18年1月10日 埼玉新聞掲載〓

337 次代を担う数理情報

数理電子情報部門

重原 孝臣

〓18年1月17日 埼玉新聞掲載〓

338 新しい液晶材料の展開

物質科学部門

安武 幹雄

〓18年1月24日 埼玉新聞掲載〓

339 生物の紫外線への対応

生命科学部門

田中 秀逸

〓18年1月31日 埼玉新聞掲載〓

340 RFIDでレジ待ち解消

物質科学部門

柿崎 浩一

〓18年2月7日 埼玉新聞掲載〓

341 局所から超局所へ

数理電子情報部門

櫻井 力

〓18年2月14日 埼玉新聞掲載〓

342 地震動解析と予測

環境科学・社会基盤部門

谷山 尚

〓18年2月21日 埼玉新聞掲載〓

343 計算機が化学する時代

物質科学部門

高柳 敏幸

〓18年2月28日 埼玉新聞掲載〓

344 スピードの宇宙

物質科学部門

田代 信

〓18年3月7日 埼玉新聞掲載〓

345 ダイヤモンドを磨く

人間支援・生産科学部門

堀尾 健一郎

〓18年3月14日 埼玉新聞掲載〓

346 見沼たんぼ保全へ

環境科学・社会基盤部門

深堀 清隆

〓18年3月21日 埼玉新聞掲載〓

347 異なる半導体の混合

数理電子情報部門

矢口 裕之

〓18年3月28日 埼玉新聞掲載〓

348 植物に神経はあるのか？

生命科学部門

豊田 正嗣

〓18年4月4日 埼玉新聞掲載〓

349 高速画像処理の必要性

数理電子情報部門

島村 徹也

〓18年4月11日 埼玉新聞掲載〓

350 概日リズムの分子制御

生命科学部門

足立 明人

〓18年4月18日 埼玉新聞掲載〓

351 きれいな形の先には

数理電子情報部門

小野 肇

〓18年4月25日 埼玉新聞掲載〓

352 コンピュータによる予測

物質科学部門

太刀川 達也

〓18年5月9日 埼玉新聞掲載〓

353 風に柳の免震設計

環境科学・社会基盤部門

奥井 義昭

〓18年5月23日 埼玉新聞掲載〓

354 弦理論の双対性

物質科学部門

谷井 義彰

〓18年5月30日 埼玉新聞掲載〓

355 大学教育って何だろう

環境科学・社会基盤部門

長谷川 靖洋

〓18年6月6日 埼玉新聞掲載〓

356 強磁性、強誘電性、そして強弾性

人間支援・生産科学部門

荒木 稚子

〓18年6月13日 埼玉新聞掲載〓

357 代替ジェット燃料に挑む

物質科学部門

中田 憲男

〓18年6月20日 埼玉新聞掲載〓

358 電気の無線伝送技術

数理電子情報部門

金子 裕良

〓18年6月27日 埼玉新聞掲載〓

359 光波情報のデジタル化

数理電子情報部門

吉川 宣一

〓18年7月11日 埼玉新聞掲載〓

360 光って知らせるナノカプセル

物質科学部門

鈴木 美穂

〓18年7月18日 埼玉新聞掲載〓

361 伊での共同研究に刺激

数理電子情報部門

渡邊 究

〓18年7月25日 埼玉新聞掲載〓

362 欧文で論文提出の鍵

物質科学部門

神島 謙二

〓18年8月1日 埼玉新聞掲載〓

363 有機反強磁性体のスピン

物質科学部門

谷口 弘三

〓18年8月8日 埼玉新聞掲載〓

364 災害に強い都市をつくる

環境科学・社会基盤部門

齊藤 正人

〓18年8月22日 埼玉新聞掲載〓

365 植物2次細胞壁の可能性

環境科学・社会基盤部門

山口 雅利

〓18年8月29日 埼玉新聞掲載〓

366 金属ナノ粒子の面白さ

物質科学部門

二又 政之

〓18年9月5日 埼玉新聞掲載〓

367 揺れを伝えにくくするには

人間支援・生産科学部門

山本 浩

〓18年9月12日 埼玉新聞掲載〓

368 脊椎動物の規則的な体作り

生命科学部門

川村 哲規

〓18年9月19日 埼玉新聞掲載〓

369 2階建て超伝導デバイス

数理電子情報部門

田井野 徹

〓18年9月26日 埼玉新聞掲載〓

370 確率を用いた推定と応用

数理電子情報部門

山田 敏規

^^18年10月3日 埼玉新聞掲載^^

371 地球の裏表の気温と気圧

数理電子情報部門

佐藤 洋平

^^18年10月10日 埼玉新聞掲載^^

372 白金触媒に魅せられて

物質科学部門

三浦 勝清

^^18年10月17日 埼玉新聞掲載^^

373 宇宙の探求、失敗こえて

物質科学部門

寺田 幸功

^^18年10月24日 埼玉新聞掲載^^

374 次は、「自分の名」で

物質科学部門

藤森 厚裕

^^18年10月31日 埼玉新聞掲載^^

375 通学路 Vision Zero

環境科学・社会基盤部門

久保田 尚

^^18年11月7日 埼玉新聞掲載^^

376 大気を知り、大気を制御する科学

環境科学・社会基盤部門

関口 和彦

^^18年11月21日 埼玉新聞掲載^^

377 植物のプロテオグリカン

生命科学部門

小竹 敬久

^^18年11月28日 埼玉新聞掲載^^

378 摩擦のお悩み 解決します

人間支援・生産科学部門

田所 千治

^^18年12月5日 埼玉新聞掲載^^

379 高校生向けに科学教室

数理電子情報部門

長谷川 有貴

^^18年12月12日 埼玉新聞掲載^^

380 マウスにできない研究をスinksで

生命科学部門

坂田 一郎

^^18年12月19日 埼玉新聞掲載^^

381 人工知能の「古い」テーマ

数理電子情報部門

後藤 祐一

^^18年12月26日 埼玉新聞掲載^^

382 高機能DNAの発見方法の開発

物質科学部門

齋藤 伸吾

^^19年1月9日 埼玉新聞掲載^^

383 ペロブスカイト太陽電池

物質科学部門

石川 良

^^19年1月16日 埼玉新聞掲載^^

384 笑顔の道づくり

環境科学・社会基盤部門

小嶋 文

^^19年1月23日 埼玉新聞掲載^^

385 電子的ノートの長所

数理電子情報部門

町原 秀二

^^19年1月30日 埼玉新聞掲載^^

386 植物の環境適応力の変更

環境科学・社会基盤部門

石川 寿樹

〓19年2月6日 埼玉新聞掲載〓

387 不思議なニュートリノ

物質科学部門

吉永 尚孝

〓19年2月13日 埼玉新聞掲載〓

388 実は身近な「制御」の技術

人間支援・生産科学部門

水野 毅

〓19年2月20日 埼玉新聞掲載〓

389 見えない電波を支える回路

数理電子情報部門

大平 昌敬

〓19年2月27日 埼玉新聞掲載〓

390 光の圧力研究の過去と未来

物質科学部門

吉川 洋史

〓19年3月6日 埼玉新聞掲載〓

391 スイミーの世界、自然の世界

数理電子情報部門

松本 倫子

〓19年3月13日 埼玉新聞掲載〓

392 タンパク質の形とシヤペロン

生命科学部門

仲本 準

〓19年3月20日 埼玉新聞掲載〓

393 氷の物理化学的研究

物質科学部門

山口 祥一

〓19年3月27日 埼玉新聞掲載〓

394 植物は老化を利用する

生命科学部門

井上 悠子

〓19年4月3日 埼玉新聞掲載〓

395 結束の力

物質科学部門

松下 隆彦

〓19年4月10日 埼玉新聞掲載〓

396 掛谷予想

数理電子情報部門

リチャード ニール ベズ

〓19年4月17日 埼玉新聞掲載〓

397 希土類化合物の物性と合成

物質科学部門

道村 真司

〓19年4月24日 埼玉新聞掲載〓

398 橋梁のための破壊的新機能

環境科学・社会基盤部門

党 紀

〓19年5月8日 埼玉新聞掲載〓

399 水環境汚染と自浄作用

環境科学・社会基盤部門

三小田 憲史

〓19年5月15日 埼玉新聞掲載〓

400 超音波を使って空気を送り込む

人間支援・生産科学部門

高崎 正也

〓19年5月22日 埼玉新聞掲載〓

401 量子の不思議な世界

物質科学部門

矢後 友暁

〓19年5月29日 埼玉新聞掲載〓

402 電気のオン、オフ 確実に

数理電子情報部門

山納 康

410 ITCとモビリティ

数理電子情報部門

長谷川 孝明

403 AIによる薬局業務支援

数理電子情報部門

小室 孝

〓19年6月5日 埼玉新聞掲載〓

〓19年7月31日 埼玉新聞掲載〓

404 植物病原細菌のしたたかさ

生命科学部門

吉原 亮平

〓19年6月12日 埼玉新聞掲載〓

405 細胞を取り囲む柔軟な壁

物質科学部門

乙須 拓洋

〓19年6月26日 埼玉新聞掲載〓

406 「研究哲学」

物質科学部門

山口 貴之

〓19年7月3日 埼玉新聞掲載〓

407 水をはじくコンクリート

環境科学・社会基盤部門

欒 堯

〓19年7月10日 埼玉新聞掲載〓

408 昆虫食への誘い

人間支援・生産科学部門

長嶺 拓夫

〓19年7月17日 埼玉新聞掲載〓

409 量子もつれと分らないこと

物質科学部門

前田 公憲

〓19年7月24日 埼玉新聞掲載〓



# 244 光エネルギー変換…線と環

生命科学部門 分子生物学コース 高橋拓子 助教

## ■電子伝達反応

植物は、光合成により大気中の二酸化炭素を動物が利用可能な有機炭素に変換する。光合成で得られた有機炭素は、糖や脂質に形を変え、植物自身の生存のみならず、我々の生存にも欠かせないものである。

光合成において、二酸化炭素を有機炭素に変換するために必要なエネルギー物質(NADPH, ATP)は、光エネルギーが電気化学エネルギーへと変換されることにより作り出される。その変換の起点は酸素の発生であり、光エネルギーを利用して水分子は酸素と水素イオンと電子へ分解される。ここで生じた電子は、駅伝のように中継点となる光合成装置を経由し、ゴールであるNADP<sup>+</sup>へたどり着きNADPHを作り出す。この反応を電子伝達反応と言う。ATPは、電

子伝達反応と連動するATP合成酵素により作り出されるため、NADPH, ATP双方のエネルギー物質の生成に電子伝達反応は必要である。

## ■制御は不明

私の研究対象の一つに、サイクリック電子伝達反応がある。メインの電子伝達が、NADP<sup>+</sup>というゴールに向かい直線状に電子を伝達するのに対し、サイクリック電子伝達は、ゴールを定めず電子を循環させるため、NADPHは作られずATPのみが作られる。光が強いときには、電子の受け取り手であるNADP<sup>+</sup>の量に対して電子が過剰に発生し、活性酸素を増加させるなど細胞の害となる。このような電子を野放しにせず、光合成装置間で循環させるのがサイクリック電子伝達である。これまでに我々は、細胞内に電子が溜まる状態では、サイクリック電子伝達が



大きく活性化することを示した。サイクリック電子伝達は、50年以上も前に発見され、効率的な光合成に重要であることがわかってきているが、その制御については未だ不明な点も多い。

### ■燃料生産へ応用期待

埼玉大学には日本で2台目となる、サイクリック電子伝達の測定が可能な「ジヨリオ型分光光度計」が導入された。私は本機を用いて、環境に応答したサイクリック電子伝達の制御と、その制御が光合成の最適化に果たす役割を解明するべく研究を行っている。

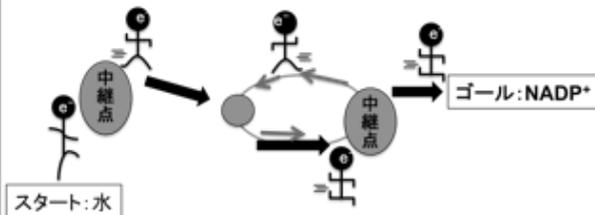
植物が光合成を行うのは当然であると思われるが、植物がうまく機能しないと、植物自身の生存、それらを利用する我々の生活にも支障をきたす。光合成の要である、線状と環状の電子伝達の環境に応じた制御を研究することは、最適な光合成を行うためのメカニズムを理解することにつながる。そしてこれら光合成の基礎研究は、環境変動に依存せずに高い収獲量を得られる農作物の作出や、藻類を用いた燃料生産などへの応用が期待できる。

### 略歴

1981年生まれ。2010年3月岡山大学自然科学研究科博士後期課程修了。博士(理学)。フランス国立科学研究センター博士研究員、京都大学特定研究員を経て、2015年3月より現職。専門は、植物生理学、光合成の環境応答。

### 目次へ

#### 光合成電子伝達：線と環



光エネルギーにより水から生じた電子(e-)は線状に伝達されてゴールを目指す、その一部はゴール手前で再循環される

245

## 最先端のモノづくり技術

人間支援・生産科学部門 機械工学コース 山田洋平 助教



## ■複雑な形はどうして？

みなさんの身の周りのものを観察してみてください。直線的であったり曲線的であったりと複雑な形をしています。細かい模様が彫つてあるものもありますね。材料は何からできているでしょうか。金属のように硬いものから、ゴムのような柔らかいものもあります。それでは質問です。どうやってこの形状に仕上げているのでしょうか。はさみで切つたり、彫刻刀で削つたりすればできませんでしょうか。その方法で皆に行き渡るように大量生産できるようにでしょうか。深く考えてみると意外と難しいということとが理解できると思います。普段何気なく使用しているものは、多くの技術者たちが何十年、何百年と積み上げてきた「ものづくり技術」の結晶なのです。実際は、工作機械と呼ばれる機械が、みなさんが想像するより遙かに複雑な動作で高速かつ精密に製品を作っています。設計者が考案した革新的で素晴らしいものを実際に形

作り、みなさんの元に安価かつ安全に流通させる。そして社会・地球を豊かにする。そのような最先端のものづくり技術を研究しています。

## ■「丸のこ」に着目

最先端ものづくり技術として一例を挙げましょう。炭素繊維強化プラスチック(CFRP)という材料があります。鉄の10倍強く、重量は1/7しかないという、鋼やアルミに替わる次世代材料です。最新のF1カーや飛行機、ロケットの大部分がこのCFRPでできています。しかし非常に加工が難しい材料です。現在は、エンドミルと呼ばれる非常に硬い金属でできた刃を高速回転させ削っています。1メートル位加工したら新しいものに付け替えるといったように効率悪く加工しています。そこで着目したのが「丸のこ」です。丸のこは円板の周りに刃がたくさん付いている原始的な工具ですが、CFRPに対して3倍〜10倍以上の速度で高精度に加工できること

を見出しました。また、丸のこを変形させることによって様々な曲線を自由に加工することができるようになっていきます。

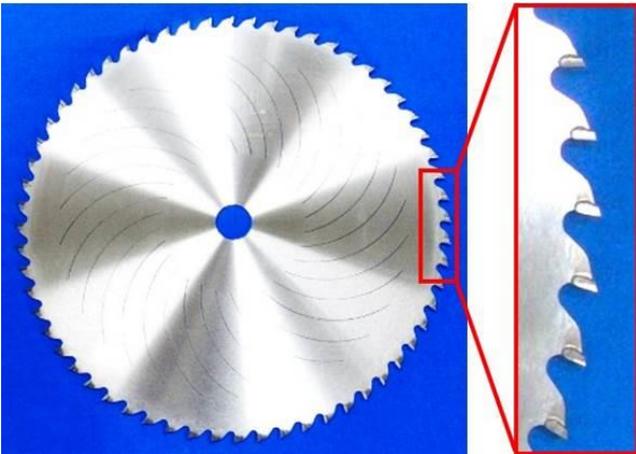
## ■微細レーザ加工

もう一例として微細レーザ加工技術について紹介しましょう。近年、パソコンを凌駕するほど、スマートフォン  
の性能が上ってきていますが、これは半導体製造技術の発展によるものです。現在では14ナノメートル（1ミリの10万分の1程度の配線）で数センチのICチップに数億個の素子が実装されています。これには精密微細加工技術というものが活躍しています。ICチップなどの半導体材料にはシリコン（Si）が使用されていますが、非常に脆く、硬い材料です。これに対しレーザを用いて微細加工に挑戦しています。レーザ加工は光でものを加工する技術であり、非常に細かい加工をすることができます。近年では原子レベルでの加工が行われています。

このように、ものづくり技術は、社会を変えることのできるインパクトを持っています。そのような夢のある分野で更なる最先端技術に挑戦していきます。

## 略歴

1988年生まれ。東京農工大学大学院修了。博士（工学）。15年4月より現職。専門は、CFRPの高速加工、レーザ加工による半導体製造。



# 246 プラズマの可能性実現へ

数理電子情報部門 電気電子システム工学コース 稲田優貴 助教



ほんの少しプラズマを当てただけで、近年の切迫した医療・環境エネルギー問題が一挙に解決される可能性があります。これまで全く思いもつかなかったものにプラズマを照射し画期的な性質を発現させること、すなわちプラズマ応用技術の可能性を開拓し実用化してゆくことが我々の現在の研究テーマです。

## ■社会問題の救世主

“プラズマ”という専門用語を身近に感じる人は案外多いかもしれませんが。これはプラズマを利用した空気清浄機が普及するなど、プラズマが我々の生活に浸透していることが原因かもしれません。プラズマは雷や蛍光灯に代表されるよう、光を発するという特徴があります。そしてこのプラズマは我々の生活のみならず、宇宙全体にも浸透しています。実は、宇宙全体の物質の99%はプラズマの状態で存在しているのです。我々の常識では、物質は通常、固体・液体・気体の状態で存在しますから、

そう言われると違和感を覚える人も多いはずですが。しかし、地球という天体がむしろ例外なのであつて、宇宙全体でみると物質はプラズマの状態で存在することが常識といえます。その証拠に、宇宙の構成要素である銀河や流星群、オーロラを見てみると、これらは全てまはゆ眩いまでの光を発しているはずですよ。

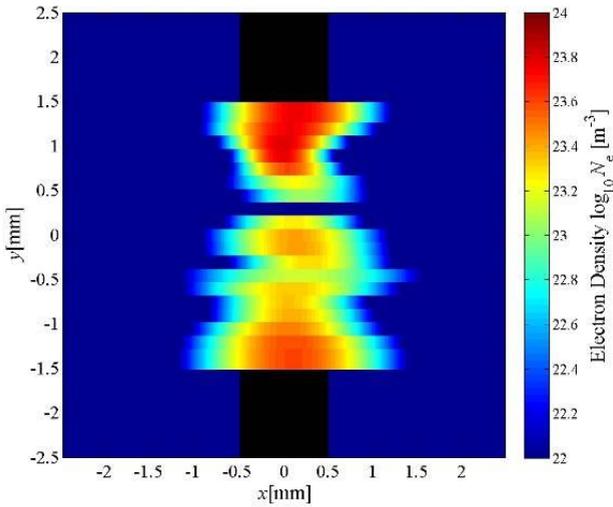
現代の生活はプラズマ無くしては成り立ちません。プラズマは、既にスマートフォンなどを含めた家電製品の製造工程で広く利用されています。こうした現状にとどまらず、プラズマは、日々深刻化する社会問題の救世主として、無限の可能性を秘めています。例えば現在では、がん細胞の治療やiPS細胞の量産技術、環境汚染物質の浄化技術、石油の燃費を飛躍的に向上させる燃焼技術など、画期的な応用例が数多く提案されています。

## ■“見える化”を実現

しかし、プラズマの新しい可能性を発掘したとしても、その可能性を実用化へと結びつけることは容易ではありません。実用化へと繋げるためにはプラズマを適切に完全に制御しながら扱うことが必須となりますが、現在のところそれは非常に困難です。そこで我々の研究室では、プラズマが思い通りに制御できていること、“見える化”する技術を世界で初めて開発しました。これにより、プラズマを自由自在に操ることができるようになり、プラズマの新たな可能性を引き出すことが出来るものと期待されています。またこの技術を発展させると、コンピュータ上でプラズマを完全に再現することができるようになります。どんな社会問題もコンピュータ上で即座に解決、そんな未来が近いうち実現するかもしれません。

## 略歴

1985年生まれ。2014年3月東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。博士(工学)。2015年4月より現職。専門は高電圧工学および大電力工学、放電プラズマ応用工学。



# 247 音声と雑音は見て分かる

数理電子情報部門 情報システム工学部門 杉浦陽介 助教



近年の音声処理技術は、スマートホンなど通信機器の高性能化と共に急速な発展を遂げています。特に最近ではVOIPや音声認識の普及に伴い、それらのフロントエンドで用いられる「雑音を除去する」ための技術に注目が集まっています。

## ■雑音は2種類

音声に混入する雑音には、大きく分けて2種類あります。1つは、乗用車のロードノイズを代表とする「定常雑音」です。定常雑音は音声とは異なり、時間によらず音の大きさがほぼ一定となります。この特徴を利用することで、雑音を含む音声から定常雑音のみを除去することができまます。実際のスマートホンでもこの仕組みが取り入れられています。

一方で、風切り音など短時間で音の大きさが変化する雑音も存在します。この雑音は「非定常雑音」と呼ばれます。非定常雑音は音声と特徴が似ているため、その

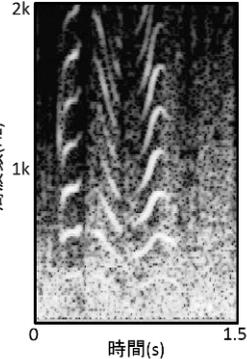
除去は難しいと言われていました。喫茶店や人混みの中で音声認識が失敗するのは、これが大きな原因です。私は現在、この非定常雑音を高精度に除去することを目的に研究しています。

非定常雑音も音声も、複数の周波数(音の高さ)で構成されています。一般に、音声に含まれる周波数の数は非定常雑音と比べ少ない傾向にあります。この事実はよく知られていますが、図に示すと全く違った捉え方ができます。それでは雑音を含む音声を解析し、周波数ごとの強さを色の濃淡で表現しましょう。すると音声の部分はきれいな縞模様で現れ、非定常雑音はのっぺりとした面で現れます。

## ■非定常雑音除去に成功

私はこの音声と非定常雑音の「形状的な違い」に着目することで、非定常雑音を除去する技術の開発に成功しました。この技術ではまず、音声に似た縞模様の構造

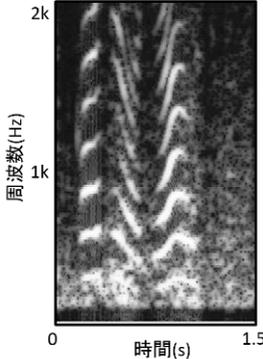
処理前の音声



縞構造



処理後の音声



を用意します。次にその構造を解析した図にあてがいます。縞構造と図の起伏形状がびつたりと合う部分は音声として取り出し、合わない部分は雑音として除去します。これを繰り返すことにより、最終的にきれいな音声のみを取り出すことができます。

この技術は定常雑音、非定常雑音のどちらに対しても高い除去性能を発揮します。また、計算も簡単でスマートフォンなど小型機器でも実装が容易です。

この技術により、通話音声の高品質化や音声認識の精度向上に貢献できると期待しています。また将来的には、電化製品への音声指示や音声に基づく体調管理

など、日常生活をより豊かにする技術として応用したいと考えています。しかし、実用化にはまだ多くの問題があります。例えば、話者が異なると雑音の除去性能が低下するという問題です。現在はこれらの問題解決を図り、研究を進めています。

略歴

1986年生まれ。2013年大阪大学大学院修了。博士(工学)。東京理科大学助教を経て2015年4月から現職。専門は音声の雑音除去や適応フィルタの設計。

# 248 生命とは何か？

物質科学部門 応用化学コース 乙須 拓洋 助教



## ■未解決の問題

「生命とは何か？」という本稿のタイトルは、量子論で有名なシュレーディンガーが書いた本のタイトルから引用しました。この、生命、生物とは何か？という命題はこれまで多くの研究者を悩ませ、いまだ未解決の問題です。

生物の構成単位は細胞ですが、その細胞は蛋白質、DNA、脂質などからできています。これらはさらに細かくすると炭素、窒素、酸素といったごくありふれた元素からなっていることがわかります。とすると、「生物とは？物質か！」という事も出来ませんが、その一方でDNAの複製、タンパク質の合成、酵素反応といった巧妙かつ複雑な機能は無機質な響きを持つ物質とはどこかかけ離れている気がします。私が専門とする生物物理学はそんな生物を物理的な視点、物理化学的アプローチによって解明しようとする学問領域です。

## ■鎖状のタンパク質

特に私が興味をもつて研究を行っているのは「タンパク質のフォールディング」です。タンパク質はアミノ酸と呼ばれる構成要素が鎖状に連なった高分子化合物です。タンパク質は生体内、溶液中ではほとんどのものが固有の三次構造を形成しています。つまり鎖がきれいにフォールディング（折れ畳み）されているというわけです。この三次構造は鎖を形成するアミノ酸によって決定されており、溶液条件を変えて構造を多少壊してやっても、条件を戻せば全く同じ構造に一秒程度の速さで復元します。しかしながら各アミノ酸の取りうる全空間配置から一つの特有の構造を選択していると考ええると、正しい構造を選択できる確率は宝くじの当選に匹敵するほど低く、なぜタンパク質が一秒程度で必ず同じ構造に復元するのかといった問題は、今もなお謎のままです。そこには折れ畳みの過程で正しい構造に行き着く確率

を自ら上げる何らかの仕掛けがあるはずですが。ここに生物の生物らしさがあると私は考えています。

### ■ 壮大な仕掛け

生体内で行われているあらゆる事象は、熱揺らぎの中で行われる確率的なイベントです。生物は長い年月の中で、そのような確率的事象を巧妙に利用することで驚異的な機能を獲得しています。生命誕生から40億年かけて作り上げられたこの壮大な仕掛けの一端に触れつつ、生命とは何か？「生物と無生物のあいだ」は何か？といった問いに答えられる日を夢見ながら、日々研究を行っています。（文中「」でくくった部分は私が影響を受けた本のタイトルです。興味のある方はご一読を）

### 略歴

1981年生。2009年九州大学大学院修了。博士（農学）。理化学研究所特別研究員、基礎科学特別研究員を経て、15年4月より現職。専門は生物物理化学、分光物理化学。

目次へ

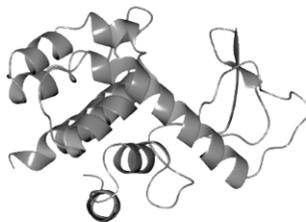
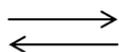
## 蛋白質のフォールディング(折れ畳み)



●: アミノ酸

(蛋白質あたりの平均数は数百個)

ミリ秒～秒



折れ畳み後の三次構造

249

# タンパク質分子の形と役割

生命科学部門 分子生物学コース 藤城 貴史 助教



## ■構造解析

タンパク質は生命現象を司る重要な成分です。分子・原子の視点からタンパク質を注意深く見ると、それぞれのタンパク質には特有の表面の凹凸やくぼみ、また空洞などを見つけることができます。これらのユニークな形は、それらタンパク質の役割、機能に重要となっていることが知られており、例えば、酵素化学反応の場所であったり、細胞分裂の信号を受け渡す場所だったりします。では、この形は実際、どのように実験的に調べられるのでしょうか？そのための有効な手法の1つが、タンパク質結晶を使ったX線結晶構造解析です。

## ■結晶から形の解明へ

X線結晶構造解析にはタンパク質の結晶を作る必要があります。結晶というのは、原子や分子、イオンが規則正しく並び、「固まった」状態です。しかしながら、通常、タンパク質は体の中で水や脂質膜と共存しており、

流動的な「動ける(分散した)」状態にあります。では、どのようにして、流動的な状態にあるタンパク質を結晶にするのでしょうか？タンパク質を結晶化する代表的な方法として、蒸気拡散法という方法があります。この方法では、タンパク質と種々の結晶化剤を混ぜた液滴を密閉空間に静置し、液滴内の水分をゆっくり蒸散させることでタンパク質が濃縮され、条件によってはタンパク質結晶が作られます。これは、塩水をお日様の下に置いておくと、水分が蒸発して、食塩が取れるのに近いイメージを持ってもらうといいかもしれません。もちろん、タンパク質は、食塩より複雑な形、組成をしていますので、その結晶化は単純ではなく、微妙な環境の違い(結晶化剤の種類や温度など)をコントロールする必要があります。得られたタンパク質結晶にX線を当てると、当てたX線が結晶内のタンパク質分子に影響を受けて、固有の回折像というものが得られます。この回折像に物理学

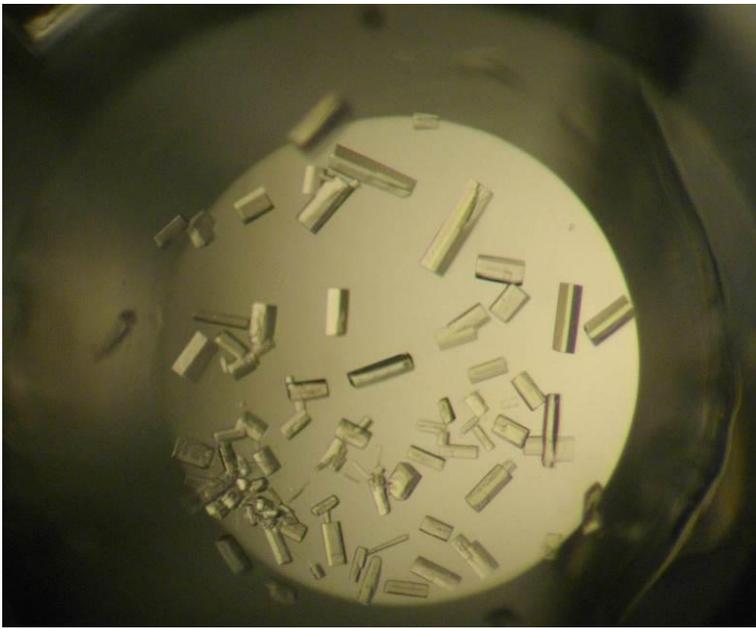
的な計算処理を行うことで、タンパク質の形を解いていきます。

### ■ツールとして期待

現在、私は、X線決勝構造解析と、ゲノム情報やタンパク質立体構造情報のデータベースを活用することで、タンパク質のユニークな「形」からそのタンパク質が持つ機能を「予測」し、化学的にその性質を「調べる」研究手法の開発をおこなっています。この手法が確立されれば、薬の開発や設計だけでなく、多様な微生物のもつ未知の生命現象や生体反応をしらべるためのツールとして幅広く利用されることが期待されます。

### 略歴

1984年生。2011年3月名古屋大学大学院理学研究科物質理学専攻(化学系)修了。博士(理学)。マックスプランク陸生微生物学研究所博士研究員を経て、2015年4月から現職。専門は金属イオンを利用するタンパク質の構造と機能の研究。



X線結晶口座王解析実験に用いる  
タンパク質の結晶

# 250 地下でのセメント利用

環境科学・社会基盤部門 環境社会基盤国際コース 浅本 晋吾 准教授



近年、シェールガスや重質原油といった従来型石油に代わる天然資源の採掘が、北米を中心に着目されています。特に、カナダでは、オイルサンドといわれる重質原油を含んだ砂岩が大量に埋蔵されており、政局が不安定な中東とは違って、先進国として安定した原油の供給が期待されます。しかしながら、重質原油は粘性が高く従来石油のように、地下の井戸（以下、坑井）によって容易に組み上げることができません。そこで、重質原油の採掘のための技術の一つとして、カナダで開発された、SAGD法（Steam Assisted gravity Drainage: スチーム補助重力排油法）というものがあります。これは、地下数百メートルのオイルサンド層に2本の水平坑井を掘削し、上部の水蒸気注入井より層内に約200℃の高温水蒸気を注入することで周辺重質油の粘性を低下させ、下部の生産井から回収する技術です（SAGD法の概念図を参照）。

## ■重質原油採掘における問題点

坑井は、一般にケーシングと呼ばれる鋼管と、鋼管と地盤の間を埋めるセメントペースト（セメントと水を混ぜたもの）から構成されています。SAGD法では、圧入される水蒸気が約200℃という高温であるため、坑井のセメントペーストに劣化を生じさせる可能性があります。もしセメントペーストにひび割れが入ったり、内部の空隙が荒くなると、劣化箇所を通じて、高温水蒸気や地下に存在する有害ガスが地上への漏洩することが懸念されます。

## ■地下坑井のセメントペーストの研究

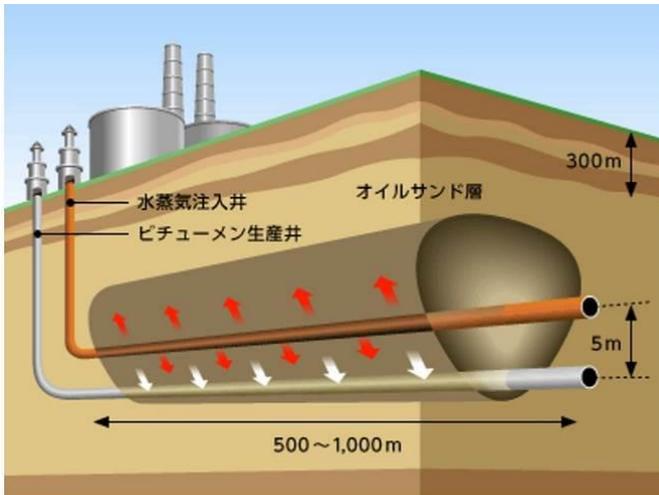
こうした地下坑井のセメント特性に関する検討は、石油・ガス分野とアメリカ石油協会の規格に従ったセメントを製造しているセメント会社を中心に、セメントを最も多く消費する建設分野での研究・検討は少ないのが実情です。特に、原油産出国ではない我が国では、セメ

ント分野でもほとんど研究がなされていません。したがって、私は、建設分野で培われた知見も活用しながら、SAGD法の坑井を想定した200℃水蒸気に曝露されたセメントペーストの劣化や特性について研究しております。こうしたSAGDの特殊環境での研究成果は、数千メートル地下で、地熱による高温が作用する地熱発電や二酸化炭素地下貯留(工場などから排出される二酸化炭素を地下深くに貯留する技術)の坑井にも活用できると期待され、学生とともに、建設分野にとらわれない多角的な研究に日々取り組んでおります。

#### 略歴

1977年生まれ。山口県出身。2006年3月東京大学大学院修了。博士(工学)。埼玉大学大学院助教を経て、2013年4月から現職。専門はコンクリート工学。

目次へ



SAGD法の概念図 (JAPEXのHPより抜粋)

<http://www.japex.co.jp/business/oversea/sadg.html>

# 251 古くて新しい水質汚濁

環境科学・社会基盤部門 環境制御システムコース 三小田 憲史 助教



## ■透明度や色の違い

「飲水思源」という故事成語がありますが、川を流れてきた水がこれまで辿ってきた歴史や、これからも続くであろう永い旅路に思いを馳せながら川辺を散歩すると、それだけでもロマンを感じます。とくに埼玉県は県土に対する河川面積が3.9%と非常に高く、この数字は日本一です。川や湖の水面を眺めていると、透明度や色も水域によってそれぞれであることに気がきます。その理由の一つは、水の中に含まれている有機物の「量と質の違い」にあります。

## ■有機性汚濁物質

水質汚濁という観点から有機物を捉える場合、有機性汚濁物質と呼ぶことがあります。川や湖に多くの有機性汚濁物質が含まれると、溶存酸素が低下して魚が生息しづらくなったり、悪臭が発生したりと、水域の環境が悪化します。こういった問題は既に解決済みという

印象をもたれるかもしれませんが、有機性汚濁物質の制御は、現在でも健全な水環境の保全には無視できない重要な課題です。そしてそのためには、「どんな有機物が存在しているのか？」を知ることが重要です。これが分かれば、発生源を特定し、負荷低減のための政策や技術の確立につながるからです。

## ■多岐にわたる物質

しかし、水中に存在する有機性汚濁物質を特定するのは、そう簡単ではありません。有機物と一括りにいっても、フエージ（曖昧）な存在で、植物体の分解に由来する天然の高分子化合物や道路の汚れ、下水放流水に含まれる有機物など起源や種類が多岐に渡る物質が都市の水環境には流れ込んでいるからです。有機性汚濁物質の多寡を評価する手法としては、TOC（全有機炭素）やBOD（生物化学酸素要求量）などが既に確立されているのですが、「有機物の質」となると、TOCやBO

Dではほとんど分かりません。

## ■蛍光で有機物を分析

そこで現在、蛍光によって有機物を分析する手法に、私たちのグループは着目しています。蛍光とは、ある波長の光を吸収した物質が、別の光を出しながら元の状態に戻る現象です。吸収・蛍光波長の位置などから、どんな有機性汚濁物質が含まれているか知ることが可能です。この手法は、とても簡単かつ迅速に測定を行うことが出来ることから、日常的な水質管理や水質事故発生時の原因解明に有用だと期待されています。また、薬品をほとんど使用しないのも特徴です。今後、この手法を使った水域のモニタリング方法を構築していきながら、都市型の水環境で有機物負荷を低減するための方策を考究していく予定です。

## 略歴

1985年生まれ。2013年3月 熊本県立大学大学院修了。博士(環境共生学)。日本学術振興会特別研究員を経て、15年3月から現職。専門は、環境化学・環境分析化学・水環境科学。

# 252 集積回路の微細化と課題

数理電子情報部門 電気電子システム工学コース 西澤 真一 助教



1940年後半にベル研究所でトランジスタが発明されて以降、トランジスタを多数集積した集積回路は急速に大規模化、高機能化し、近年の情報化社会を支えるキーデバイスの一つとなっています。集積回路の最初の応用先は大規模演算を行うためのコンピュータでしたが、現在はスマートフォンなどの通信情報機器、自動車のエンジンや車体制御、時刻の自動補正を行う電波/GPS時計など、身の回りの様々な用途に利用されています。集積回路がこれほど広く利用されるようになった理由は、その高性能化と共に、民生品として採用できるほど低価格化できたためです。

## ■製造プロセスの微細化

集積回路の高機能化、低電力化、低価格化を実現するために多くの研究が成されてきましたが、すべてを同時に解決する銀の弾丸は製造プロセスの微細化でした。トランジスタの縦横寸法と電源電圧を比例して縮小す

る事で、多くのトランジスタを同じ面積により多く集積し高機能化できるためです。同じトランジスタ数であればより小さい面積でよく、安価な集積回路を実現できます。トランジスタの微細化は回路の高速化および低電力化につながります。この法則をモチベーションとして、各社は集積回路の製造プロセスの微細化に注力しました。結果、集積回路の最小加工寸法は1974年では10マイクロメートルでしたが、2016年現在では14ナノメートルまで微細になりました。

## ■新たな問題も発生

製造プロセスの微細化によつて集積回路の適用先が増えた一方で、問題も発生してきました。トランジスタ特性のばらつきが増大により、回路設計時の設計マージン設定が集積回路の歩留まりおよび消費電力に大きく影響する様になりました。製造プロセスの微細化も物理的な限界に近づき、ならびに高価な製造装置の導入が

困難であるという経済的な壁に直面しています。大量のトランジスタを利用可能になった事で、回路の大規模化による設計期間および検証コストの増大といった問題も発生しています。

### ■性能向上で社会貢献

私は、集積回路設計の諸問題に対して設計支援技術の側面から問題解決に対して取り組んでいます。集積回路にテスト回路を組み込み、テスト回路の動作特性からトランジスタの特性を「観察」し、結果を適切にモデル化することで回路設計に反映します。集積回路は複数個のトランジスタから構成される複数の部品を組み合わせて設計しますが、これらの「部品」を設計対象ごとにカスタマイズする事で、動作速度や遅延を改善します。

微細化という銀の弾丸が高嶺の花になる一方で、集積回路は引き続きその性能向上を求められると思われまます。集積回路の性能向上を通じて社会に貢献できるように精進していききたいと思えます。

### 略歴

1986年生まれ。立命館大学理工学部卒。2015年3月京都大学大学院情報科学研究科博士課程修了。博士(情報学)。同年4月から現職。専門は集積回路の設

自動定理証明(英: automated theorem proving)とは、コンピュータプログラムによって数学的定理に対する証明を発見することである。一方、自動定理発見(英: automated theorem finding)とは、予め与えられた定理を自動的に証明することではなく、コンピュータプログラムによって新しい定理を自動的に発見することである。

### ■世界的な難問

自動定理発見問題は、自動定理発見の一般的な手法を求めるという問題であり、1988年ごろ自動推論の大家であるアメリカのWos博士により提示された世界的に知られている難問である。自動定理発見問題はまだ解決されていない。

自動定理発見は自動定理証明と異なり、証明の手法で行うことができず、推論の手法を用いるしかない。証明とは、あらかじめ与えられた証明対象に対して、

既知の事実や仮説からその証明対象へ至る論理的道筋を見つけ出す過程のことである。一方、推論とは、既知の事実や仮説に推論規則を適用して未知の新しい事実や仮説を導出する過程のことである。推論と証明の本質的な違いは、証明は証明しようとする対象があらかじめ既に定まっていることに対して、推論は推論すべき対象があらかじめ定まっていないことにある。発見とは、現在未知のものを導く過程もしくは、行為である。発見を行うことで得られる事柄や出来事、事実の発見を行う前にあらかじめ知ることとはできない。このため、発見を行うためには推論が必要であり、証明では発見を行うことができない。

### ■各分野で事例研究

この認識の下で、程博士が強相関論理に基づく前向き推論を用いた自動定理発見手法とその理論的基礎を提案した。この手法では、これまで自動定理証明にお



いて大いに役に立った古典数理論理ではなく、推論に適した強相関論理に基づいて、自動推論を行い数学の公理から定理の導出を行う。

現在、私は強相関論理に基づく前向き推論による自動定理発見の系統的な方法論を提案し、提案した方法論を使って、数学のさまざまな分野で自動定理発見の事例研究を行っている。

### ■強力な道具提供へ

数学の分野だけではなく、物理などの自然科学、そして経済学や法学などの社会科学の諸分野においても、観察された事実や確からしい仮説、そして現時点での諸制度から、論理的に導き出される新たな事実や仮説、判断を発見することは日々行われている。このことから私は、自動定理発見問題を解決できれば、数学の分野だけでなく、様々な応用領域において、科学者や専門家に計算論的な手法で学習、予測、発見を行う系統的な方法論と強力な道具を提供することができると考えている。

### 略歴

1986年生まれ。2015年3月埼玉大学大学院修了。博士(工学)。2015年4月から現職。専門は知識工学。特に自動定理発見に関する研究。

# 254 生体膜に魅せられて

物質科学部門

応用化学コース

野嶋 優妃 助教



## ■シャボン玉の膜

私はこれまで生体膜に興味をもって研究を進めてきた。生体膜によって、生命は外界から分け隔てられている。生体膜は細胞の内と外の境界であるだけでなく、物質輸送や光合成などの重要な生物学的現象が進行する場所でもある。生体膜に関する詳しい情報を得ることとは、生命現象がどのように起きるかを知ることにつながるため、これまで生体膜に関する数多くの研究が行われてきた。

生体膜と言われてもどのようなものか思い浮かばない方もいるだろう。例えばシャボン玉の膜のようなものだと思います。思えばまずはいよい。一分子中に親水部と疎水部の両方をもつ脂質分子が、高校化学で学習するミセルのように、水中で疎水部を内側、親水部を外側に向けた構造をとることで脂質二重膜が形成される。これが生体膜の主な構成要素である。

## ■生物らしさの象徴

ここでシャボン玉を例に挙げたのは、私がシャボン玉の膜をきっかけに脂質二重膜に興味を持ったからだ。大学の講義で、針金で作った三角錐や立方体などの複数の型を石鹼水につけると、型の表面にできるシャボン玉の膜は表面積が最小になるような形になると教わった。それを聞いた友人が自分で三角錐に似た形の型を作ったが、型が少し歪んでいたため、見本のような形の膜はできなかった。それを見た先生が「ものは騙されないよ」と言った。その時私は、ものは騙されないけれど、生体内の分子は騙されるのではないかと思った。

生化学反応の中には、分子の形がある程度似ていれば反応が進行することもある。そのことを知り、生体分子は「柔軟」であるという印象を持った。生体分子の「柔軟さ」に私は生物らしさを感じ興味を持った。脂質二重膜はその形を自由に変えられることから、私にとっては

生物らしさの象徴のように感じられた。

### ■薬の輸送に応用へ

幸運なことに、現在も私は脂質二重膜に関する研究を行っている。最近では、脂質膜と水の境界で水分子がどのように並んでいるかを和周波発生分光法という方法を用いて調べている。私たちの研究は基礎的で、すぐに産業的に役立つわけではない。しかし基礎研究を積み重ねていかないと、技術はどこかで完全に行き詰ってしまう。脂質二重膜のモデルとして用いられるリポソームは体内での薬の輸送にも用いられているため、脂質二重膜に関する基礎的な情報を得ることは、より効率よく機能するリポソーム薬剤の開発に役立つだろう。生命の「柔軟さ」の秘密の解明を夢見ながら、そして自分の研究が誰かの役に立つことを願いつつ、日々研究を行っている。

### 略歴

1988年生まれ。2015年学習院大学大学院修了。博士(理学)。2015年4月から現職。専門は分光物理化学。

# 255 時系列解析と海面上昇

環境科学・社会基盤部門 環境制御システムコース 李 漢洙 准教授

## ■地球温暖化

地球温暖化は海面上昇を伴います。しかし、海面上昇の原因は地球温暖化による海水の熱膨張と氷河・氷床の融解による海水量の増加だけではありません。氷河・氷床の融解による地殻の隆起や地盤沈下などによる海水位の相対的変位も考慮する必要があります。一方、海面上昇の影響は単なる海岸浸食などにとどまらず、水害・塩害による食料問題、領土問題、より強力な沿岸災害問題、インフラ維持管理問題などへつながり、国家レベルでの長期的な対策が求められています。しかし、対応策の基本となる従来の海面上昇シナリオ（いつまでどれくらい海面が上昇するのか？）は、海洋物理過程モデルによる海水の熱膨張と質量変化だけを考慮した予測結果であり、地盤沈下等による相対性海面上昇が深刻な太平洋の島国やアジア沿岸国では実用に耐えない状況です。

## ■数値モデル開発

海面上昇を予測するためには、まず、今までの長期潮位観測データ（時系列）から、海面変動に起因する物理過程とその寄与度、そして、今までの正確な海面上昇トレンドを求めるのが最も重要な課題です。海面変動観測データは潮位・波・季節変動などの複数の物理過程による構成された非線形性データであり、時間とともに性質が変化（トレンド）する非定常データです。このような、非線形・非定常データを分析する際には、どの時間でどのような特性が現れているかを把握することが重要です。ここで、データ解析のため非線形・非定常データの時間・周波数解析法である、経験的モード分解（EMD）を用います。EMDはデータそのものが持つ時間・周波数属性を生かし（データドリブン）、高周波成分から順に固有モード関数と残余信号を決めていきます。得られた固有モード関数は海面変動に起因する



物理過程であり、残余信号は求めていた相対性海面変動トレンドになります。さらに、EMDの問題点であるモードミッシング（異なる周期をもつ信号が混ざる現象）を改善するため、経験的モード分解の改良版を利用することで、固有モード関数が持つ統計的有意義性および物理的意味を高めることができます。

このような経験的モード分解を利用することで、従来の時系列解析では得られなかった（失われていた）真のトレンドを得ることができ、それが相対性海面変動トレンドになるのです。そこで、一見関係のないような「時系列解析」と「海面上昇」というキーワードで題目をつけました。このような経験的モード分解は信号処理やイメージ処理をはじめ、経済分野、宇宙工学、医療分野、構造物の診断など、時系列データ解析を必要とするさまざまな分野で利用されています。

私の研究室では、以上の研究のほか、沿岸域における高波、高潮、洪水、氾濫、津波など、多くの沿岸災害について、その原因と物理過程の解明および災害の再現・評価・予測のための数値モデルの開発を行っています。さらに、沿岸災害における地球温暖化の影響、防災・減災を通じた国際協力にも力を入れています。

## 略歴

1976年生まれ。韓国清州出身。2007年9月京都大学大学院修了。博士（工学）。広島大学大学院助教を経て、14年4月から現職。専門は沿岸域防災と減災を中心とする海岸工学。

# 256 理工学的な表現の探求

数理電子情報部門 情報システム工学コース 大久保 潤 准教授



## ■滑らかに振動する曲線と言葉

サイン、コサイン、タンジェント。韻を踏んだ感じが面白いと思う人などは少数で、最初に見たときの「何だ、これは？」という感じを思い出す人が多いかもしれません。

三角関数の「サイン」という単語は、三角の鋭く硬いイメージのほかに、滑らかに振動し続ける曲線の柔らかさにもつながっています。「サイン」を表す日本語である「正弦」という言葉に、私はこの柔らかさを強く感じます。

意味は同じでも、言葉を変えることで受ける印象が大きく変わる経験は私たちの日常に溢れています。人に与える印象も含め、適切な言葉や表現をその都度選びとることは難しいものです。

## ■複雑な曲線を成分で簡潔に表現する

印象深い、インパクトのある、といった人間にとつての

「良い」表現とは別に、理工学における「良い」表現というものがありません。例えば複雑怪奇な曲線(図左)は扱いづらそうです。しかし実はこの曲線は三つのサイン関数を足し合わせたもので、その成分(角周波数)を取り出すと、たった三つの縦棒で表現できます(図右)。

表現の仕方を変えること。それこそが複雑な曲線を扱いやすくするポイントであり、このような手法は、例えば雑音を分離することや情報を圧縮することに使われています。また、「スパースモデリング」と呼ばれる新しい研究分野では、「良い」表現を探して利用することにより、例えば医療画像の計測時間を短縮することが可能になっています。

## ■機械のための表現

最近では人工知能にとつて扱いやすい表現を探すことも重要になってきました。人間にとつての「良い」表現もはつきりとしないうちに、人工知能のことまで考えてあげ

なければならぬのかと、その困難さに目眩がしそうになります。ところが「深層学習」と呼ばれる手法が開発され、人工知能にとって扱いやすい表現を、人工知能自らが見つけ出すことが可能になります。この技術はすでに音声認識や画像認識などで大きな成果を挙げ、私達の生活にも深く関わっています。

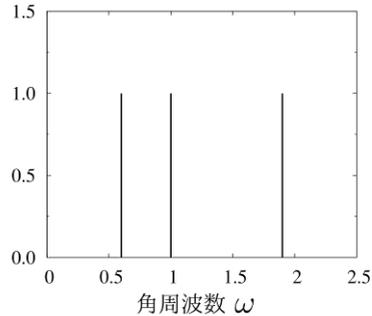
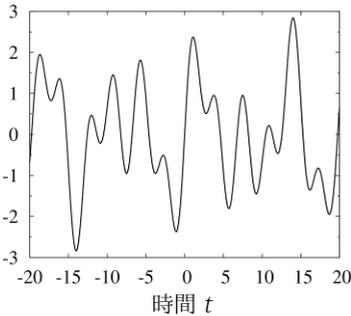
とは言え、人工知能が勝手にすべてをやってくれるわけではなく、「良い」表現を人間が探す必要がまだまだあります。私自身は、微小な粒子や為替相場のようなギザギザな変動を扱うための「良い」表現を探し、予測や推定に活かす研究を進めています。双対過程という考え方を使い、ようやく「ギザギザ」が「カクカク」となる程度にはなってきましたが、表現の模索はまだ続きます。

文学に限らず理工学の方野でも、「良い」表現を探すことは難しく、そして重要なことなのです。

### 略歴

1981年生まれ。2007年3月東北大学大学院修了。博士(情報科学)。東京大学物性研究所助教、京都大学大学院情報科学研究科講師を経て、15年5月から現職。専門は確率過程や統計力学の情報処理への応用。

## 目次へ



$\sin(0.6t) + \sin(t) + \sin(1.9t)$  の異なる表現

# 257 異物の新パートナー

物質科学部門 機能材料工学コース 松下 隆彦 助教



## ■婚活と抗体

最近新聞やテレビなどで婚活という言葉を見聞きするようになりました。結婚するために必要な行動のことを婚活というのだそうですが、自分に合ったパートナー探しがこれまで以上に大きな関心事になってきているようです。特定の相手を見つけて結びつく、ということであれば、私たちの体内でつくられる抗体という物質は、その道に長けた名人です。抗体は体内に侵入してきた細菌やウイルス、毒素などの異物に結合して目印になることで、これらを取り除くように免疫にはたらきかけます。抗体は異物の形にぴったり合うようにつくられますので、基本的に一種類の抗体は一種類の異物にしか適合しません。人間の生活環境は常に多種多様な異物に満ちていますが、新たな異物が体内に侵入してくるために適合する抗体が作り出される仕組みがあるため、私たちは健康状態を保つことができます。

## ■脅威を排除

もともと人間の体は、その設計図となる遺伝子の情報をもとにつくられています。顔かたちが遺伝子によってひとりひとりちがうように、抗体の形もまた遺伝子によってひとつひとつ異なっています。抗体がつけられる際に、遺伝子上の複数の領域が自在に組み合わされたり、塩基変異という現象が頻繁に起こったりします。このため、抗体上で異物とくっつく部分は「設計図どおりにつくられない」設計になっています。そのおかげで抗体には千億以上ともいわれる膨大な多様性が生みだされることとなります。それらの中から実際の異物に適合する抗体だけが選ばれて、そのコピーが大量生産されます。これらが体内をくまなく巡ることで、異物の脅威を排除するようにはたらきます。

## ■新規の人工分子

「学ぶ」の語源は「まねる(真似る)」と同じなのだそう

です。我々の研究グループはまさに生体内で抗体がつくられる仕組みに学ぶ(まねる)ことで、異物と特異的に結合するパートナー分子を試験管の中で創り出す技術を開発しました。この技術によって獲得することができ、新規の人工分子は、抗体に代わる次世代の異物認識剤として診断や治療への応用が期待されています。これらは通常の抗体に比べて約10分の1以下のサイズでありながら、抗体と同程度の異物に対する結合力をもっています。そのうえ抗体よりも安定で、品質のそろったものを安価に製造することができます。現在、この埼玉大学発の技術を核として、県内企業と共同で感染症やがんの検出薬・診断薬の事業化プロジェクトに取り組んでいます。

#### 略歴

1978年生まれ。北海道大学大学院理学研究科修士(理学)を修了。北海道大学大学院先端生命科学研究所 特任助教、米国ウエイン州立大学化学科リサーチスカラーなどを経て2015年10月から現職。専門は生物有機化学を基盤とした機能性分子の創製。

**■宇宙や物質の基本法則**

物理学では、簡単な原理から出発することで、宇宙から物質までの自然現象を理解しようとしています。例えば、ニュートンが見出した運動の3法則は、星々の公転や自転運動を記述できます。また、恒星同士は、互いに引き合って銀河系を構成します。このような集団運動も単純な3法則から説明できます。一方、私は、超伝導や磁石など、物質の性質を研究しています。このような分野は物性物理学(物性≠物質の性質)と呼ばれます。例えば1グラムの物質には、 $10^{23}$ の20乗個以上の原子が含まれています。そして、それよりも多くの電子が原子核の周りを運動しています。これらの「粒子」が相互に作用した結果の集団運動が超伝導などの物性現象なのです。

**■ミクロな領域での量子力学**

では、そのような粒子はどのような法則に従っている

のでしょうか？実は、このようなミクロな存在は、20世紀に確立された量子力学と呼ばれる法則に支配されています。奇妙な事に、電子など量子力学に従う「量子」は、粒子と波の性質を併せ持ちます。例えば、どんなに精密な測定をしても、ある電子の位置と速度を同時に決めることはできません。位置を精密に測ろうとすれば、速度が原理的に決定できなくなります。逆も然り。星々の運動と決定的に異なります。このような量子の性質こそが、超伝導などの物性現象に決定的な役割を果たしています。

**■計算物性物理学**

私の研究は、量子力学から物質の性質を定量的に予言しようとするものです。つまり、相互作用し合う電子の運動を計算機で追いかけ、その結果現れる集団現象を予言しようという試みです。星の計算と違って、この試みは極めて困難であることが知られています。その理

由は、量子性のために、扱う電子が一つ増える事に計算量が倍々に(急速に)増えていくためです。物質中には多くの電子が含まれているので、あつという間に現代のスーパーコンピュータをしても扱えなくなつてしまいます。そのために、如何に高速で正確な近似手法や計算アルゴリズムを開発するか、世界中の研究者が共同研究や競争をしています。私たちの分野に残されている大きな謎として、1980年代に発見された高温超伝導現象の解明が挙げられます。ある種の銅酸化物では、従来の超伝導物質よりもはるかに高温で超伝導現象を示すことが発見されました。産業応用がすでに進んでいます。計算物理物理学の進展から、このような物性の定量的な理解が求められています。

## 略歴

1982年生まれ。2009年東京大学大学院修了。博士(工学)。博士研究員として、東京大学物性研究所、産業技術総合研究所、スイス連邦工科大学チューリッヒ校で勤務した後、2016年から現職。専門は、計算機を使った物性物理学の研究。

# 259 曲面の射影の特異点

数理電子情報部門 数学コース 福井 敏純 教授



## ■局面は奥が深い

曲面は射影したらどのように見えるか？この問題は単純なようで奥が深い。上の図はある曲面を漸近方向と呼ばれる方向から射影して得られる図であるが、輪郭線と呼ばれる濃い太線は尖つて見える。これは、尖点と呼ばれる特異点を持ち、微分幾何学者は $\frac{3}{2}$ カスプとも呼んでいる。この曲面を少し違った方向から見た絵が下の図で、濃い太線は別に尖っている訳ではないことがわかる。薄い太線は、最初の射影で直線となってしまう平面に載っており、青い線と交わる点が変曲点となっている。薄い太線の曲がり具合を表す曲率という量と、青い線の尖点での曲率（正確には曲率は発散しているのでその漸近的振る舞いを記述する主要項）を使って、元の曲面の曲がり具合を表すガウス曲率と呼ばれる量を復元することができる。

## ■ケンドリンク氏の発見

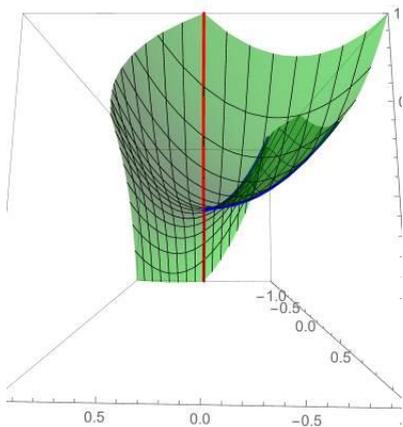
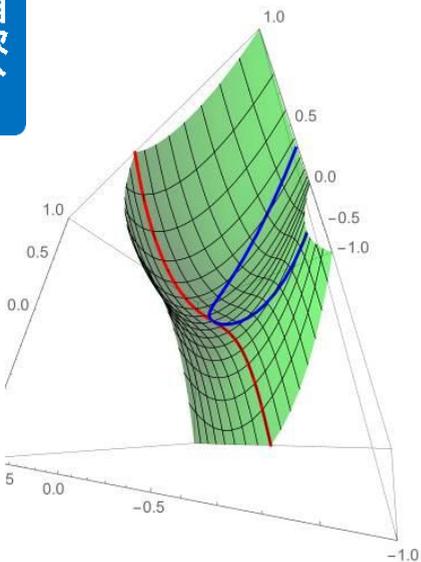
アメリカの数学者で心理学者でもある、ケンドリンク氏は曲面はどのように見えるかと言う事に興味を持ち、曲面のガウス曲率が漸近方向でない射影については、その輪郭の曲率と射影で直線に写る平面と曲面の切り口の曲線の曲率の積になることを発見した。1980年頃のことである。図で示した例は、ケンドリンク氏の発見した事実が漸近方向からの射影という退化した場合にも成り立つことを示している。より退化した場合に、ケンドリンク氏が発見した事実がどのように拡張されるかも問題となる。ホイットニーの傘と呼ばれる、摂動に対して安定な曲面の特異点に対しても同様の法則が成り立つかどうかを考察し決着をつけた。これは神戸大学の佐治健太郎氏と岩手医科大学の長谷川大氏との共同研究である。この研究が行われたのは長谷川氏が岩手医科大に就職が決まる前であるが、長谷川氏が医科大

に就職することになって改めて見直してみると、病変部分が疑われる臓器をレントゲンやCTで調べるとき、その形状を判定する事にこのような数学が役に立つかもしれないと思っただ。もしこういった応用が実現すれば面白いが、どうであろうか？我々は純粹に数学的興味で調べていたわけで、研究している時はいかなる意味でも応用と云うのは念頭にないが、応用されれば嬉しい。何か応用があるだろうと思って研究しているわけではなく、ただ面白いと思って研究しているのである。筆者は特異点をキーワードに研究してきた。紹介したのは最近行った射影の特異点の研究である。特異点は数学の間わる様々な場面に現れ、その応用は広いような気がしている。ただ繰り返し返しになるが応用を念頭に研究しているわけではない。

### 略歴

1988年3月東京都立大学理学研究科博士課程満期退学。1992年博士(理学)2002年より現職専門は特異点論。

## 目次へ



260

## 複雑形状部品製造へ挑戦

人間支援・生産科学部門 機械工学コース 金子 順一 准教授



### ■極薄単位の切削

金属部品の製造では、切削と呼ばれる工程がよく使われます。鋭利で剛性の高い金属製の工具で、金属材料の表面をごく薄く、厚さ数十マイクロメートルの単位で削りとって製品形状を作り出す加工です。みなさんの身近で使われる機械製品は、大半が量産性に優れた射出成型やプレス加工によって作られており、直接目に触れる切削加工部品は多くありません。近年では、アップル社のスマートフォンやコンピュータがアルミ材料の切削によって外装部品を製造しています。ほとんどの場合、医療機器や航空機部品、金型といった非常に高付加価値で製造規模が比較的小さな部品の製造に使用されています。

私の所属する大学院理工学研究科の機械工作研究室では、この切削加工をコンピュータ制御された数値制御加工機で実施する際の計算機支援に関する研究

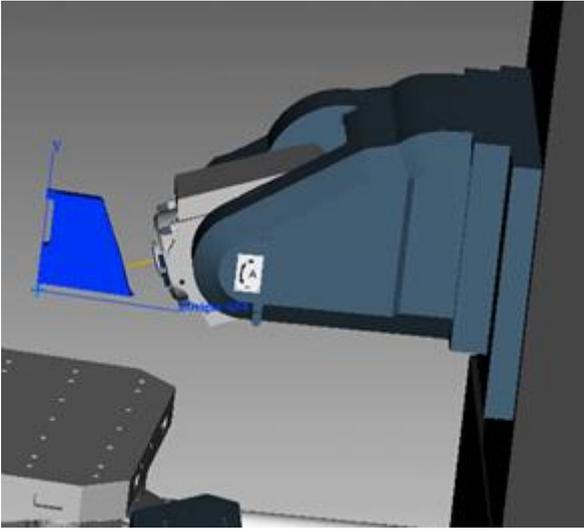
を行っています。主な対象はエンドミルと呼ばれる回転工具を用いて複雑な立体形状を削り出す際の工具の姿勢・経路計画です。

### ■企業との共同研究

図にありますように、近年の工作機械は工具先端の位置と工具そのものの姿勢を同時に変更することが可能となっていて、特定の方向からしか工具を接近させることができない形状の加工が可能です。これらの同時5軸加工機は、例えば航空機ジェットエンジンのインペラやブレード、航空機構造材、医療部品の内視鏡やヘースメーカー、光学機器といった高付加価値品の部品製造に用いられています。埼玉県下には、これらの精密機械の産業が多く集積しており、本研究室でも様々な企業との共同研究を行っています。

これらの高付加価値部品の製造では、工具と加工対象物との衝突防止や、工作機械動作の最適化による加

工時間の短縮、工具破損の防止といった課題の実現に際して、コンピュータシミュレーションによる事前検証と動作の最適化が必要となります。特に最近では、従来から実施されてきた工具干渉の回避に加えて、工作機械ごとの加減速特性や切削に伴う各種の物理現象を考慮することが高効率な加工の実現に必須となりつつあります。そのため、本研究室では一般の計画手法で行われている幾何的な形状処理に加えて、機械の加減速

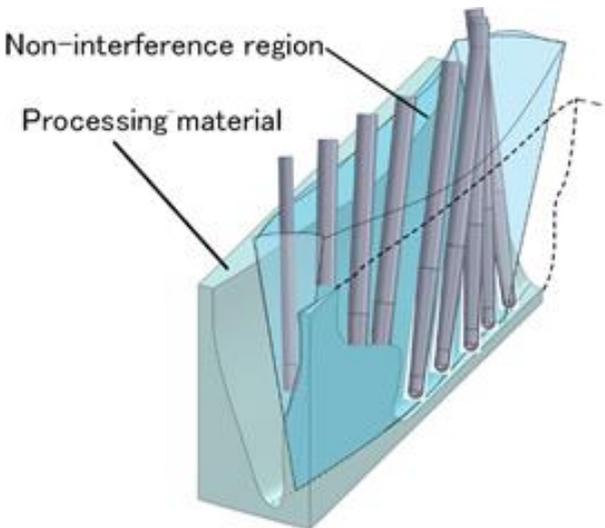


特性の考慮や工具に作用する切削の抵抗の影響を軽減等を実現する各種の計画アルゴリズムを考案し、計算機プロ

グラムの開発を行ったうえで手法の検証を進めています。

略歴

1973年生。2004年3月大阪大学大学院修了。



# 261 超伝導による電子デバイス

数理電子情報部門 電気電子システム工学コース 明連 広昭 教授



## ■超伝導とは

超伝導は超伝導転移温度以下の極低温下で実現され、直流電流を電気抵抗なしに流すことができたり、超伝導体の中から磁束が排除される完全反磁性を示したり、超伝導リングを貫く磁束が磁束量子という単位で飛び飛びの値を取ったりと様々な特異な性質を示す。超伝導のこれらの特徴は超伝導リニア新幹線の磁気浮上に用いられる超伝導マグネットや電波望遠鏡のSI-Sミキサ（サブミリ波の高感度検出器など）に利用されている。また、最近のトピックスは、カナダのD-wave社が開発した超伝導回路で実現した量子ビットを格子状に配列した量子アニーリング装置が市販され米国のGoogleやNASAが購入したこと、さらに特定の問題に対して半導体のコンピュータのおよそ1億倍も高速に計算結果が得られることが実証されたことである。このように、超伝導の応用範囲は多岐にわたり、話題に上

る機会が増えてきた。ここでは、研究室で取り組んでいる研究について紹介する。

## ■医療応用から安心・安全へ

超伝導リングにジョセフソン接合（半導体のp-h接合に相当する超伝導の基本素子）を2つ含む素子は超伝導量子干渉計（英語の略称はSQUIDでイカの意味）と呼ばれ、世の中で最も精密に磁場を測定できる磁束計の一つである。このSQUID磁束計を用いて、脳、脊髄の活動や心臓の動作に伴う極微小な生体磁場を測定し、医療に応用されている。我々の研究室では、このSQUIDの動作に必要な負帰還を単一磁束量子で行うことによりデジタルSQUIDを構成し、高速で大きな磁場変化にも追いつく高感度性を保持したデジタルSQUID磁束計の研究を行っている。この特徴により、ある程度の雑音環境下で高精度の磁場測定が可能となり、例えば駅や空港での手荷物中の液体の検査など安心・安

全を担保する検査装置への応用を期待される。

### ■量子暗号通信から生体計測へ

光ファイバー網を利用した量子暗号通信に、単一光子源と単一光子検出器を組み合わせた方法があり、世界中の研究者が研究を行っている。非常に薄くて細い超伝導ナノワイヤに単一の光子が入射するとその部分の超伝導性が一瞬破壊され電圧を発生する。これは高速で検出効率の高い単一光子検出器として研究されている。我々は複数の超伝導ナノワイヤ単一光子検出器と単一磁束量子回路を組み合わせて、同時に入射する光子数を高速に判別する光子数検出器の実現を目指した研究を行っている。光子数検出器ではデッドタイムの少ないカウンタ型の検出器が可能となり、例えば、中赤外領域での微量生体試料のワンショット蛍光発光計測への応用を期待している。

### ■これからの超伝導

超伝導リニア新幹線や超伝導ケーブル電力網など持続可能な地球環境や社会にとって超伝導は重要な役割を担っていくと考えられる。超伝導による電子デバイスは、より電子の波としての性質や磁束の量子化などの特長を積極的に利用し、これまでにない機能を持つことを期待されている。超伝導デバイスが産業として社会を支えている時代を目指して研究を行っている。

略歴

1963年生。87年3月広島大学大学院修了。博士(工学)。広島大学工学部助手、東北大学電気通信研究所助手を経て、98年3月から埼玉大学工学部助教授、08年10月より現職(大学院理工学研究科教授)。専門は超伝導エレクトロニクス、特に検出器とデジタル信号処理回路の融合による検出器の高機能化に関する研究。

# 262 複雑系フォトニクスとは？

数理電子情報部門 情報システム工学コース 内田 淳史 教授



## ■注目浴びる研究分野

近年、「複雑系フォトニクス」と呼ばれる研究分野がとも注目を浴びています。複雑系フォトニクスとは、複雑系とフォトニクスの研究分野が合わさった学問分野のことです。複雑系とは、カオスに関する研究分野であり、一方でフォトニクスとは、レーザーや光学に関する研究分野であります。

複雑系の代表例として、カオスが知られています。カオスとは、決定論的なルールにより支配されている不規則な振動現象のことです。身近な例では、天気や気温の変化が挙げられます。初めの状態がわずかに異なる、その後の振る舞いが全く異なるという性質をカオスは持つているため、カオスの長期的な予測は困難となります。日常生活においても、天気予報が当たらないということは実感できると思います。

一方で、フォトニクスとは光の学問であり、レーザーがそ

の代表例です。レーザーは、多くの科学技術分野における様々な応用を切り拓いてきた人工的な光です。レーザーは、光通信や光ディスク、精密な計測、材料の加工、医療などの新たな応用技術をもたらしています。レーザーを工学応用に用いるためには、光出力を一定にすることが従来の考え方でした。一方で、レーザーの前面に鏡を置いてレーザー自身に戻り光を加えると、レーザー出力が不安定に振動する現象が知られています。このようなレーザーにおけるカオス的な不安定現象は、複雑系フォトニクスという学問分野の代表例であり、この現象を用いた新たな工学応用が報告されています。

## ■情報通信分野への応用

複雑系フォトニクスの一つの応用例は、安全な光秘密通信です。レーザーカオスを用いた光秘密通信では、カオス的な時間波形を用いることで、光通信における安全性(セキュリティ)を増加させることができます。このよ

うなハードウェア依存型の光秘密通信方式は、商用の光ファイバネットワークにおける実証実験が達成されていきます。

また他の応用例として、高速に乱数を生成する方法が提案されています。乱数とは、サイコロを何度もふつて出た数字を並べたような、ランダムな数字の列のことです。カオス波形に対してある値を設定し、その値よりもカオス波形が大きければ1に変換し、小さければ0に変換することを繰り返します。すると、例えば01000111100011...のように、1と0のランダムな数字の列が生成されます。これが乱数であり、情報セキュリティ分野や数値シミュレーション分野へ応用できます。特にレーザーカオスを用いることで、高速でランダム性の高い乱数の生成が実現可能です。当研究室では、世界最速となる1秒間に1兆2000億個(1.2 Tb/s)の乱数の生成に成功しています。

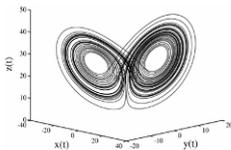
その他にも、複雑系フォトリクスを用いた新たな情報セキュリティ方式や、リザーバコンピュティングと呼ばれる新たな人工知能の方法が提案されています。興味のある方は、拙著「複雑系フォトリクス・レーザーカオスの同期と光情報通信への応用」(共立出版)をご一読されることをお勧めします。

略歴

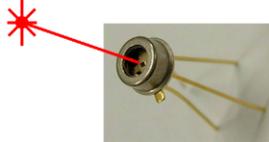
1991年 埼玉県立浦和高校卒業。2000年 慶應義塾大学 大学院理工学研究科 博士後期課程修了。博士(工学)。現在 埼玉大学 大学院理工学研究科 数理解電子情報部門 教授。

## 複雑系フォトリクス

複雑系  
カオス



フォトリクス  
レーザ, 光学



情報通信分野への  
新たな工学応用の創出

目次へ

# 263 宇宙線が拓く未知の世界

物質科学部門 物理学コース 井上直也 教授



## ■宇宙線

宇宙線とは宇宙からやってくる陽子を主な成分とする放射線粒子やγ線などの電磁波のことです。高いエネルギーの宇宙線が大気中に入射すると大気原子核と相互作用を起こし、多くの二次宇宙線粒子を生成し、「空気シャワー現象」を引き起こします。私たちの身体には、そこで作られた「ミュオン」と呼ばれる素粒子が、自然放射線の一分分として、毎秒300個ほどの頻度で降り注いできています。そのような多数の宇宙線は雲の生成に影響を及ぼし、また特に高エネルギー空気シャワーは雷発生の引き金の役割を果たす、と指摘する研究もあります。なじみ薄い自然現象の一つですが、図に示した二次粒子生成の様子を見ると、その中にミュオンと同時にニュートリノが作られていることがわかります。これこそ梶田先生のノーベル物理学賞に関わる観測対象であった「大気ニュートリノ」であることを再認識いただけ

れば、と思います。

## ■粒子到着時間分布

現在の研究対象は超高エネルギー（10<sup>19</sup>電子ボルト）約1ジュールを持つ宇宙線であり、それらは大気中で10億個にも及ぶ二次粒子を生成し、数百m四方にわたり、瞬間的に降り注ぐ巨大空気シャワー現象を引き起こします。その粒子群がどのような到着時間分布を持って地上に到達するかを実験的に観測・解析し、その特徴からわかる空気シャワーの大気中での発達度から、宇宙線の種別を解明し、起源である高エネルギー天体の性質とそこでの粒子加速機構を明らかにする研究を行っています。宇宙線分野の研究を続けて35年になりますが、思い起こせば大学院生時代に手がけた最初の研究テーマも粒子到着時間分布でした。当時、東工大の先輩がこの研究テーマに関わり「ノーベル賞につながる」新粒子の発見をしてくる、といつて南米ボリビア

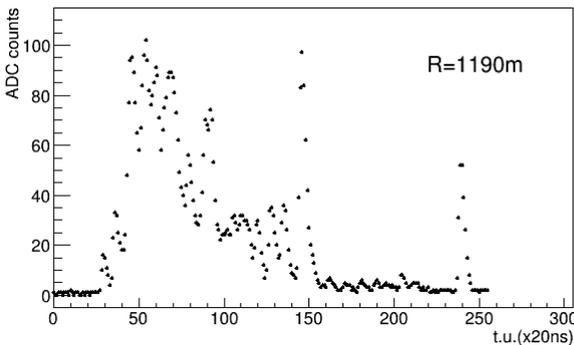
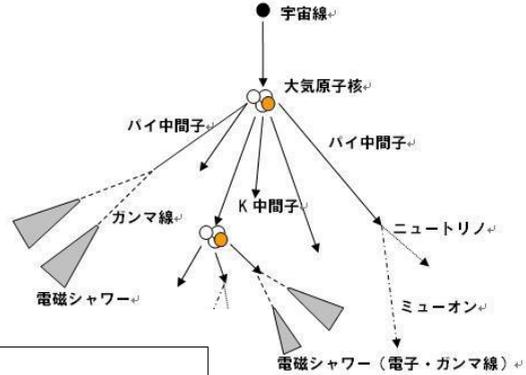
の宇宙線観測所に旅だったことを覚えていきます。それは残念にも？果たされず20年余り、今、あらためて最新の観測装置で新たな知見へ向けてのチャレンジをこのテーマで行うことには縁を感じているところです。

## ■実験と将来

実験は米国ユタ州でテレスコープアレイ(TA)(700平方キロメートルの面積に検出器を配置、東大宇宙線研究所他による共同研究)装置にて行われています。8年目を迎える先端研究もその先のブレークスルーを目指し、観測面積を4倍に拡張、より多くの事例観測を目指したTAx4計画が今年からスタートしています。高エネルギー天体を探る新たな「目」として超高エネルギー宇宙線TA実験を活用し、あわせて好感度な放射線測定装置開発を進めつつ、高エネルギー活動天体での粒子加速現場の謎に迫っていききたいと思っています。

## 略歴

55年生まれ。県立浦和高校・埼玉大学卒。84年東京工業大学大学院博士課程修了(理学博士)。神戸大学助手、埼玉大学理学部助手などを経て07年より現職。専門は宇宙線による高エネルギー天体の研究、放射線測定器の開発。



# 264 アルミで夢の化学反応

物質科学部門 応用化学コース 木下 英典 准教授



## ■カップリング反応

アルミニウムは地殻に多く存在する元素であり他の金属に比べて軽量であるため、金属材料として航空機の機体やアルミ缶、1円玉などに広く使われている。一方、有機合成にもアルミニウムが利用されている。有機アルミニウム種は、アルミニウムに炭素や水素あるいは酸素が結合したもので、無色透明の液体や白色の固体として存在し、古くからアルデヒド、ケトン、エステルなどのカルボニル化合物の還元反応に用いられてきた汎用試薬である。ところが、その豊富な存在量にも関わらず、有機アルミニウム試薬の有機合成への利用は、還元や反応の活性化などにほぼ限られている。

有機化合物の多くは、主に炭素と水素および酸素、窒素などから構成されている。このうち炭素は、有機化合物の骨組みを形作っているため、炭素と炭素をつなぎ合わせる反応は極めて重要で盛んに研究されている。現

在有力な方法として注目されているのは、カップリング反応と呼ばれるもので、パラジウムやニッケルといった希少な遷移金属を触媒量用いて炭素-炭素結合をつくる反応である。この分野での日本人研究者の活躍は目覚ましく、鈴木章先生や根岸英一先生がノーベル賞を受賞されたことは記憶に新しい。また遷移金属は、存在量が限られているため使用量の低減化や再利用といった効率化も進められている。

## ■遷移金属をしのごも

一方で、もしこれらの希少な遷移金属と同様のあるいは凌駕するような反応性を有し、かつ豊富に存在するようなものが見つかれば持続可能な合成法として非常に役立つ。この夢のような話を実現できないかと思いきや我々は研究を行っている。すなわち冒頭でも紹介した豊富に存在するアルミニウムを炭素-炭素結合をつくる反応に利用できるかという研究である。現在までに、有

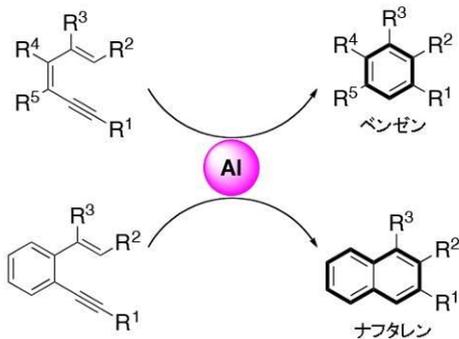
機アルミニウム反応剤を用いて実際に同一分子内の炭素と炭素をつなぎ合わせ、ベンゼン環やナフタレン環といった薬などの有用有機化合物によく見られる構造をつくる反応を見いだした。しかし、反応に用いる有機アルミニウム試薬の量や反応効率を考えるとまだまだ遷移金属には及ばない。遷移金属では、簡単に合成できるような分子でも、アルミニウム反応剤ではどうしても合成できないものが山ほどある。理由の一つは、特定の化学種に対する有機アルミニウムの高すぎる反応性である。様々な有用有機化合物を生み出すためにも乗り越えるべき課題は多い。新しい反応という夢をつかむために、困難な課題を解決すべく日々研究を続けている。

## 略歴

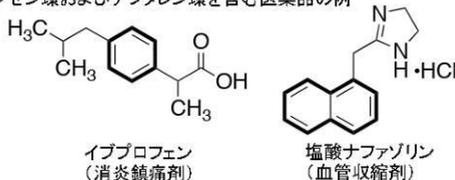
76年生まれ。京都大学卒、京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。ファイザー中央研究所研究員、米国ボストン大学博士研究員を経て、09年から現職。専門は有機化学、有機金属化学。

## 目次へ

有機アルミニウム試薬を利用したベンゼン環およびナフタレン環合成



ベンゼン環およびナフタレン環を含む医薬品の例



より高効率な光の利用を目指して

物質科学部門 機能材料工学コース 鎌田 憲彦 教授

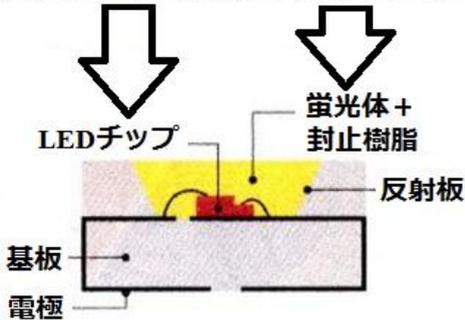


LED

LED照明が広まり、省エネルギーに貢献しつつある。同じLED照明でも、ランプによって色合いがバラエティに富むことにお気づきであろう。白色LEDランプの多くは青色LEDと蛍光体の組み合わせで白色光を生み出している。蛍光体の組み合わせによって、オフィス用のクリアな白色から団らん用の温かみのある色調まで、様々に対応可能である。ただし高効率・高信頼性が欠かせないため、技術課題はまだ多い。世界中で材料から最終製品工程に至るまで、改良の努力とコスト・パフォーマンス競争が続けられている。

LEDや蛍光体の発光効率を低下させる主な原因は、結晶のわずかな乱れ(結晶欠陥)が作る電子状態(欠陥準位)である。この犯人を高感度に検出し、その成因やふるまいを理解して、それらが混入しない作製条件を見出すことによって初めて高効率化が可能となる。当研

欠陥準位の検出・高効率化



研究所)と共同で深紫外域LEDの開発を進めており、殺菌、洗浄等の多くの用途で期待されている。

研究室では、波長の異なる2つのレーザー光を照射することをよつて、この欠陥準位を非接触・非破壊で検出・定量評価する独自手法(2波長励起フォトルミネッセンス法)を開発した。これらに AlGaAs や InGaN、AlGaN 等の発光半導体、BaSi<sub>6</sub>O<sub>12</sub>N<sub>2</sub>:Eu<sup>2+</sup> 蛍光体等の欠陥準位を検出、評価し、貴重な情報を明らかにしてきた。発光素子では平山秀樹研究室(理化学

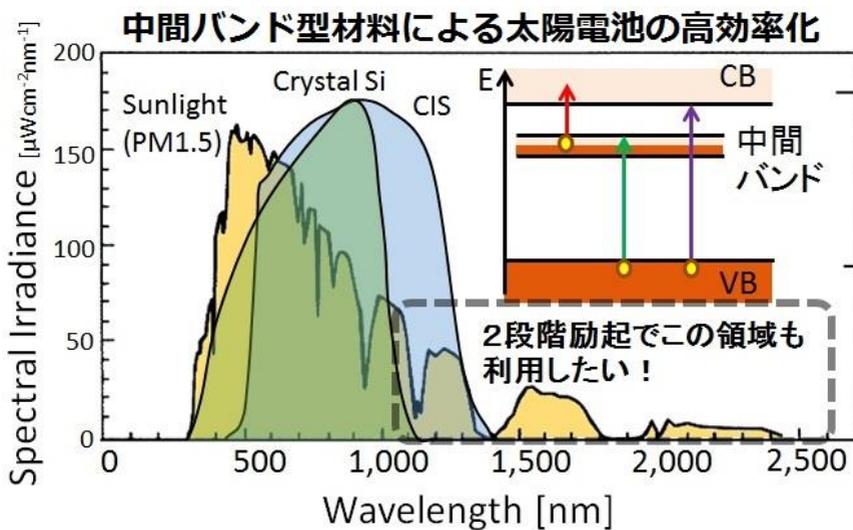
## ■太陽電池

太陽電池の高効率化のためには、材料限界でこれまで利用できなかった低エネルギーの光を、中間バンドを介した2段階励起プロセスによって利用する方法(中間バンド型太陽電池)が有望である。このための中間バンド型材料においても、やはり光吸収によって生じた電子、正孔が電流として取り出す前に無駄に失われてしまう過程の主要原因はやはり欠陥準位である。このため我々の独自手法がここでも有効となる。そこで GaPN の中間バンドに関連した欠陥準位の検出・評価を進めて成果を上げている。

さらに塗布プロセスによる有機薄膜太陽電池の開発を産学連携体制で進めており、晴天の多い埼玉県での産業活性化を意図している。今後も独創的な研究開発と人材育成を通して、地域との連携の下、光と物質の科学技術を磨いて世界への発信を進めていきたい。より高効率な光の利用をめざして。

## 略歴

1983年3月東京大学大学院博士課程修了。工学博士。NHK 技術研究所を経て88年より埼玉大学。専門は光物性工学、半導体・有機発光素子、蛍光体、有機受光素子。



物質科学部門 科学分析支援センター藤原 隆司 准教授



## ■外部刺激で色変化

「忍ぶれど色」に出でにけりわが恋は ものや思ふと人の問ふまで（平兼盛）は百人一首の有名な一首です。心の内に秘めた恋心が表に出してしまうという意味の歌ということは皆さんよくご存じかと思います。化学物質も周りの環境によって様々な色の変化を示し、さらに変化しても元に戻るものがあります（可逆と言います）。外部環境の変化（刺激）は様々で、色変化の原因も化合物によって様々です。

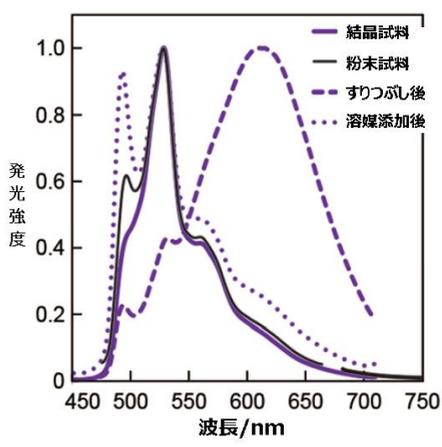
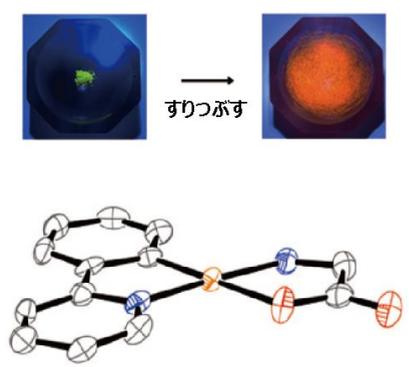
ここでは、私たちの研究室のテーマの一つである、様々な外部刺激で色が変化する金属錯体（金属と有機物が複合した化合物）の研究について簡単に紹介します。白金イオンとアミノ酸などを含む金属錯体を合成して、構造や光の吸収、発光する性質を調べました。この化合物の構造は板のような平面構造をしているため（図・左下）、結晶や粉末中では板状の化合物が規則正しく積

み重なって配列しています。ところが、すりつぶしたりして圧力を加えようと積み重なっている化合物の配列がずれて並び方が不規則になります。規則正しく積み重なった状態では白金イオンはお互い離れています。規則な並び方になると部分的に白金イオン同士が近づいた状態が生じます。これは白金イオン同士が引きつけ合う性質を持っているためです。この配列の変化が原因で見た目の色は黄緑から橙色に変化します。ブラックライトを照射すると光を放ち、その発光色は緑色から赤橙色に変化します（図・左上）。さらに色の変化した化合物を溶媒に溶解して、再度結晶にすると元の配列に戻り、色も元に戻ります（図のスペクトル変化）。この力学的な刺激によって色が変化する現象をメカノクロミズムと呼びます。クロミズムとは物質の色や発光色が外部からの刺激によって変化し、また元に戻る可逆な現象のことをいいます。

このように分子の変化はとても小さく目に見えませんが、その変化が原因で色(光吸収や発光色)が変化する現象を私たちは目にすることができます。分子は「忍ぶれど」、色に出でにけりと言ったところででしょうか。分子の形などが環境によって変化して、その結果色が変わることから、色の変化と外部からの刺激をうまく組み合わせると、センサーとして化合物を役立てることが出来ます。美しい色の変化はそれだけで心を惹かれますが、何か役に立つ化合物を作ることが出来れば化学者としてさらに喜びもひとしおです。

### 略歴

1966年生。94年9月大阪大学大学院理学研究科博士後期課程修了。博士(理学)。分子科学研究所非常勤研究員、埼玉大学理学部助手、助教授を経て、07年4月から現職。専門は無機化学・錯体化学。学生時代から金属化合物の織りなす多様な色彩に興味を持って研究している。



## 267 生態系を基盤とした多重防御・減災システム

環境科学・社会基盤部門 環境社会基盤国際コース 田中 規夫 教授



### ■津波対策

私は津波や河川の氾濫に対して環境と調和した防災減災対策にかかわる研究を行なっています。まず、私が注目している海岸林・砂丘等の津波被害軽減機能(バイオシールド)は、インド洋大津波以降、熱帯の開発途上国における有力な津波対策の一つとして注目され、国際連合食糧農業機関において学際的な取組みで機能の解明が必要とされました。一方、日本においては古くから「防潮林」という言葉はあるものの、中央防災会議における防災基本計画では津波対策としての海岸林の有効性は位置づけられてきませんでした。しかし、東日本大地震で発生した津波では海岸林の多くがなぎ倒されたものの、浮遊物の捕捉以外に家屋被害の低減効果が定量的に認められました。それを踏まえ、林野庁も海岸防災林の再生・整備を図っている最中であり、国土交通省も防潮堤と組み合わせる事業を開始しました。国

際連合は Eco-DRR(生態系を基盤とした災害リスク低減)、環境省は「生態系を基盤とした防災・減災」という施策を展開しています。私の研究でも、海岸林の減災機能だけではなく防潮堤等の土木構造物とのベストミックスが必要であると考え、海岸林の津波減災効果と機能の限界(破壊や流木化等)を防潮堤等の構造物との位置関係も含めて明らかにし、汎用的な耐津波設計論として高めるための研究を行っています。北海道白糠町の海岸防災林のモデル事業や岩手県大槌町の復興に対して、減災という視点で提案を行なっています。また、潟湖がもつ減災効果を解明するための研究を日本とスリランカで展開中です。

### ■河川の氾濫

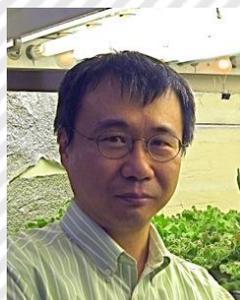
河川の氾濫に対しては、昨年の関東・東北豪雨による鬼怒川堤防の決壊が記憶に新しいところですが、そうした決壊が生じた場合に家屋が倒壊する危険域を精度

よく推定するための数値解析手法の研究を行っています。また、避難誘導支援という面で減災を推進できるよう、河川の出水規模と避難タイミングに関する研究も行っています。

河川環境の研究は上記と異なる分野に思えるかもしれませんが、しかし、河川の出水は水生生物や河道内の植物に大きな影響を及ぼすことから、人間にとつての減災との共通点も多く存在します。荒川上流部のダム下流河道における水生昆虫や付着藻類の動態に出水が与える影響、荒川中流部における河道内植生の動態、なども重要なテーマです。現象の解明と対策立案などを通して、防災・減災に必要な環境システムについて追求しています。

#### 略歴

1963年生まれ。1991年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。工学博士。民間企業を経て、2000年より埼玉大学。2007年埼玉大学教授。専門は水圏防災減災工学、河川環境工学。



### ■CAM植物の光合成

イネやソラマメなど、通常の光合成(図A、 $C_3$ 光合成)を行う $C_3$ 植物は、昼間に気孔を開き二酸化炭素( $CO_2$ )を葉に取り込み、 $C_3$ 回路でデンプンやショ糖にする。一方、砂漠のような乾燥地では、涼しい夜間に気孔を開き $CO_2$ を大気から取り込む植物がいる。 $CAM$ 植物だ。彼らが行う光合成は多肉植物型有機酸代謝(図B、Crassulacean acid metabolism: CAM)とよばれる。夜間取り込んだ $CO_2$ を、デンプンから作ったホスホエノールピルビン酸と結合させ、リンゴ酸として細胞の液胞へ大量にためる。昼間は気孔を閉じ、葉内でリンゴ酸から再び $CO_2$ を発生させ、 $C_3$ 回路でデンプンにする。残ったピルビン酸もデンプンとして蓄える。こうしてCAM植物は水を節約しながら光合成をする。CAM植物は夜間にせつせと $CO_2$ を集めるので、研究者仲間の間では「夜勤で光合成をしている」と、冗談交じりに言う

たものだ。

### ■ $C_3$ 回路は昼間に作動

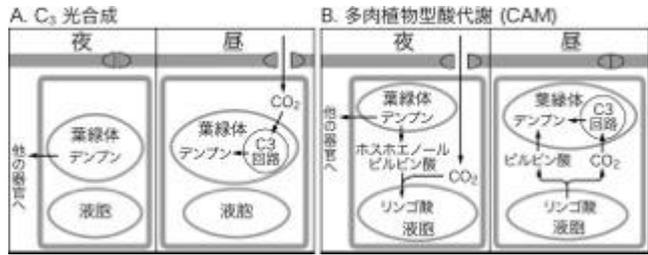
一方、 $C_3$ 植物でもCAM植物でも、光エネルギーを利用する $C_3$ 回路が昼間に作動する。 $C_3$ 植物の場合、夜間でも人工的に光を当てられれば数分でカルビン回路が動き出し、光合成が出来るようになる。ところがCAM植物は夜間に光を当てられても、うまく光合成が出来ないことが、我々の研究で分かってきた。どんな植物でも、多かれ少なかれ受けた光エネルギーの一部は、光合成に使わずに熱として捨てる。図Cの縦軸は捨てる程度を示す。つまり、値が低いほど効率的に光合成を行っていることになる。 $C_3$ 植物(ソラマメ)の場合、どの時刻に光を当てられても、熱として捨てる割合はわずかだが、CAM植物(セダム)は夜間急に光を当てられても、多くを熱として捨ててしまい効率よく光合成ができないのだ。

## ■寝ぼけて？流用

夜間、せつせと働いていると思っ  
ていたCAM植物で、光合成とし  
て最も重要な光エネルギー変換  
機能が深く眠りに付いているよ  
うだ。実は、光エネルギーの一部  
を使わずに熱として捨てるとい  
う機能は、光が強すぎたときに  
過剰なエネルギーを安全に捨てる  
「逃がし弁」として、現在C<sub>3</sub>  
植物で盛んに研究されている。  
CAM植物ではそれを、夜間急  
に起こされたため、寝ぼけて  
(?)流用しているだけのよう  
にもみえる。しかし、何か光合成  
の制御機構について、重要な意  
味が隠されているように思えて  
ならない。

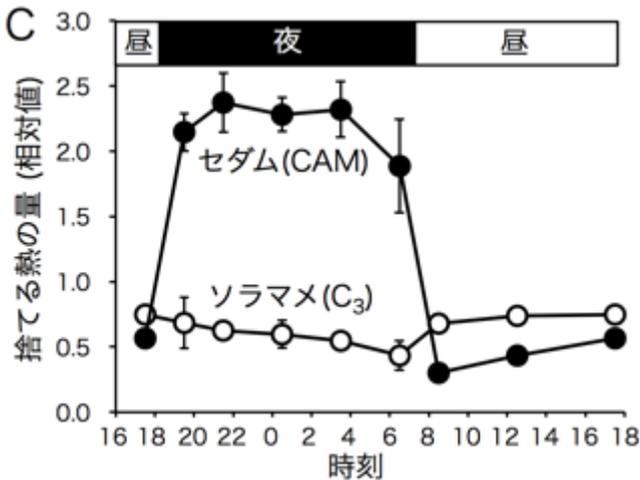
略歴

1962年生まれ。1991年東京大学大学院理学系研



究科博士課程修了。理学博士。埼玉大学理学部助手  
を経て、2005年より現職。専門は光合成調節機構の  
研究。

目次へ



f

環境科学・社会基盤部門 窪田 陽一 教授



### ■変容した土地の姿

昨年『昭和の刻印―変容する景観の記憶』という書籍を上梓して間もなく、埼玉大学連続市民講座「過去から見える、埼玉の未来」での講演を依頼された。現代日本の礎を築いた昭和の代表的な社会基盤施設を論評した同書に準じて、埼玉版の事例を盛り込み講演に臨んだ。同書には景観の変容が生んだ風景の解体を考察する箇所がある。連続市民講座で未熟な持論を披露したところ来場者から「景観と風景の関係がとても分かり易かった」とのお言葉を頂いた。

景観は明治期に植物社会学者の三好学が独語の *Landschaft* の訳語とした字句である。英語の *landscape* はオランダ語の「土地であること」を意味する *landschap* から派生したと言われる。景観は人間が関与し変容した土地の姿を意味する言葉なのだ。

一方、ルネサンス後期頃に風景画というジャンルが欧州

で誕生した。画家の眼差しが景観に向けられ情感豊かな風景を描いた絵画だが、紛らわしいことに *Landscape* と同じ語があてられた。この英単語がオックスフォード英語辞典に初めて収録されたのは一五九八年版だという。他方、中韓日等の東洋では西洋より早く山水画という風景画が生まれた。五世紀頃の書物『世説新語』には風景という言葉が収録されているという。

### ■人間が体験する現象

一足飛びに現代の観点から見れば、景観そして風景は共に人間が体験する現象であり脳の中で生起する。今世紀に入り、ある範囲の土地の景観が何らかの様相変化により趣を異にし、観る者の心に情緒的感興が生じる現象を「景観の風景化」と考える論考が世界各地で人文社会や理工の分野を問わず学術研究として公表された。風景は景観から生成されるという仮説の下、景観と風景を統合的に理解し説明する思考が登場し

たのだ。それらの論点を咀嚼しつつ試論を組み立てる過程でコロラリー (corollary) という言葉が浮かび上がった。人間が観察可能な事柄を現象として捉え、その成立条件や因果関係の変位で必然的に生起する随伴的な事象群を包含する概念と解釈したい。景観と風景は同位体のような現象で、景観無くして風景は生まれませんが、風景が生まれない景観は殺風景と言われる。

## ■景観の風景化

景観の風景化はどのような時に起こるか。景観現象の構成要素の様相に着目しモダリティ(modality)として捉えてみよう。モダリティは視覚、聴覚、嗅覚、味覚、触覚の五感に対応する変位のモードを持ち、更に下位のモダリティが分岐する。例えば視覚のモダリティは形状、陰影、色彩、テクスチャー等下位モダリティを随伴し、文化的コードに基き意味が解釈される。だが風景を生む景観の構成要素の様相変位は扱いが難しい研究対象で課題も多い。例えば街並みの秩序を目指す各地の景観条例に定める色彩の規制は、二色以上の複数の色彩の組合わせの制御には至っていない。景観構成要素の様相に関わる色彩は風景化に関わる重要なモダリティの一つだが、現実の景観は多様な色彩が溢れ、更に文化的な意味等の属性も加わり、一筋縄では行かない。だが氾濫する色彩の制御手法を求めて、大学院生諸君

と共に膨大なデータの収集・記述手法や分析指標の案出、仮想イメージの表現方法等、創発的に基礎研究を行う意義はある。景観と風景を科学的に思考し地域の景観を整える方法論の研究は、文理融合の学術領域を醸成する揺籃期にある。

## 略歴

1951年静岡県生まれ。東京大学大学院修了。工学博士。環境計画・景観設計を軸に研究・教育に従事。雷電甘木橋のデザインを監修し土木学会デザイン賞最優秀賞受賞。埼玉県環境審議会長等要職を歴任。東京ゲートブリッジや与野本町駅西口広場のデザイン監修等地域貢献多数。『昭和の刻印―変容する景観の記憶』柏書房刊他著書多数。

270

## 燃料電池自動車の安全性

人間支援・生産科学部門 機械工学コース 荒居 善雄 教授



### ■水素を積む圧力容器

燃料電池自動車は、燃料が水素と酸素で、水だけを排出する、クリーンな自動車です。燃料の内、酸素は大気中の酸素を使いますが、水素は自動車に載せて走る必要があります。現在の燃料電池の性能では、ガソリンで走る自動車と同じ航続距離を確保するために多くの水素を載せる必要があります。水素は常温では気体ですので、多くの水素を限られたスペースに積むために、水素を入れておく容器は、大変高い圧力になります。燃料電池自動車の安全性を確保するためには、軽量で十分な強さをもつ圧力容器を開発する必要があります。「もの」の強さを高めたり、十分な強さをもつことを保証するためには、どのような研究をするのでしょうか。色々な研究の仕方があると思いますが、私達の研究室では、その「もの」が実際に使われる状態で力をかけ、その力を大きくしていくって、壊してみる、と言うことを行う

ています。そして、その「もの」が、どこから壊れ始めたのか、を調べるのです。壊れ始めた箇所を調べるのは、何故、その箇所で壊れたのか、を研究し、そこで壊れないように改良出来れば、「もの」の強さを高めることが出来るからです。

### ■容器の壊れ方を調べる

写真は、燃料電池自動車で水素を入れる容器と同じタイプの圧力容器を、圧力を高めていって、破裂させた様子を示しています。写真を見ると、たくさんの繊維が裂けている様子が見られます。この圧力容器は、炭素繊維強化複合材料と言うもので作られており、これらの繊維の壊れ方や壊れた面の様子から、圧力容器の破裂が、どこで始まり、どの方向へ進んでいったのか、を調べます。少し詳しく、壊れ始めた箇所を調べる手順を見ていきましょう。まず、裂けている繊維の一本を取り、その付け根まで遡ります。そして、その付け根の位置を記録

して、付け根から壊れた繊維の先端までの長さを測ります。圧力容器の製造時に、炭素繊維をどのような向きに並べて置くか、は分かっていますので、裂けている繊維の付け根の位置と繊維の長さが分かれば、どこで繊維が壊れたか、が分かります。

### ■軽量化するための研究

この様にして、繊維が壊れた位置は分かりますが、繊維は多くの箇所でも壊れており、どこから壊れ始めたかは分かりません。私達の研究室では、圧力容器にセンサーを付けて圧力容器を壊して、破裂時にセンサーで測定される変化(ひずみの変化)を高速度で記録することにより、どこから壊れ始めたか、を調べる研究を行っています。その原理は、地震の震源地を推定する方法と同じです。複数のセンサーで破裂時の変化を測定し、その時間差から壊れ始めた位置を推定します。前述の繊維の壊れた位置の測定と、この時間差から推定した位置を比較して、最も確からしい壊れ始めの位置を推定します。私達の研究室では、このようにして、圧力容器のどこが弱いのか、を調べることによつて、この圧力容器を十分な強さを持ちながら軽量化するための研究を行っています。

### 略歴

1960年生。84年3月東京工業大学大学院修了。工学博士。埼玉大学工学部講師、助教授を経て、05年10月から現職。専門は機械材料の力学と強度。

破裂した圧力容器



# 271 脳の形作りと神経形成

生命科学部門 生体制御学コース 弥益 恭 教授



## ■脳の研究に魚

私たちの脳は、運動、感覚、認知、学習といった高次機能から、内分泌系や自律神経系などによる恒常性維持まで、多様で重要な役割を果たしている。こうした高度の情報処理機能が実現する上では、複雑かつ秩序だった脳構造、そして適切な神経細胞の形成が前提となる。脳神経系の発生に関する従来の研究は、脳の形作り（部域化と形態の形成）、神経細胞分化という二つの発生過程について別々に行われてきているが、私の研究室では、これらの発生過程を協調させる遺伝子機構の理解をめざし、小型熱帯魚であるゼブラフィッシュを用いた分子発生学、発生遺伝学的研究を進めている。

なぜここで魚を用いるのか？実は、ヒトも魚も脊椎動物であるため、脳の初期発生過程は両者で同じなのである。まず、胚体の背側表層が肥厚して生じる予定神経領域（神経板）は、その後、前方から前脳、中脳、後

脳という脳原基に部域化し、これらから大脳・間脳、中脳、そして小脳・延髄が発生する。並行して、部域ごとに適切な神経細胞が生じ、最終的に中枢神経系が完成する。

## ■中脳と後脳の境界に注目

脳部域化については、様々な発生制御遺伝子が同定されてきた。私の研究室では、中脳と後脳間の境界（中脳後脳境界、MHB）の形成に注目しており、転写因子である Pou2 と Gbx2 が MHB の形成において果たす役割、そして MHB 領域から分泌されて周辺脳領域の誘導を行う成長因子 Fgf8 の遺伝子発現機構を明らかにしている。

そして現在、私たちは、Pou2 及び Gbx2 が、脳部域化のみならず、神経分化も制御している可能性に着目している。一般に、神経分化はプロニューラルクラスターと呼ばれる斑点状の領域で進行する。この際、プロニュー

ラル遺伝子と総称される神経分化推進遺伝子に加え、細胞間相互作用を行う膜タンパク質とその制御下で働く転写抑制因子が関与する。私たちは、プロニューラルクラスターが、*Pou2*の発現とは重複し、*Gbx2*の発現には隣接することを示した。さらに、加温誘導型にした遺伝子を魚ゲノムに導入し、これらを発現誘導してその効果を検討することにより、*Gbx2*と*Pou2*が実際に神経分化を制御することも見いだした(図は*Gbx2*の場合の実験)。

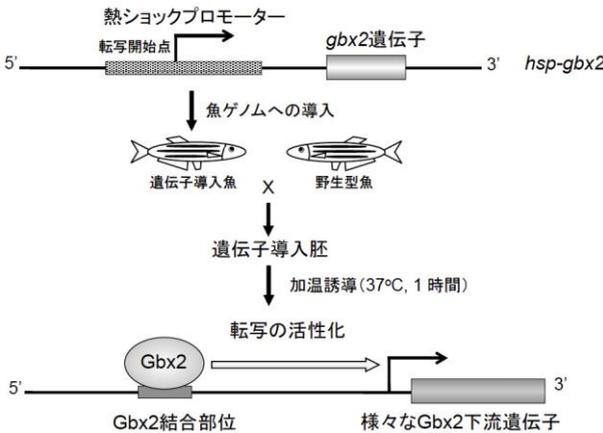
### ■iPS技術への貢献も

以上の成果から、神経分化と脳部域化が実は共通遺伝子で制御されており、両者は密接に関連していることが明らかになった。注目されるのは、*Pou2*が、細胞の多分化能に関わり、iPS細胞作成に必要な山中フアクターの一つでもある哺乳類*Oct4*の相同遺伝子であることだろう。今後、脳の部域化、神経形成、そして細胞の多分化能を制御する共通の遺伝子機構の解明を進めるが、これにより、発生異常に起因する先天性脳疾患の病因と治療法の開発、そしてiPS技術への貢献も可能と期待している。

略歴

1959年生まれ。1987年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。理学博士。新技術開発事業団(現科学技術振興事業団)・研究員、埼玉大学理学部・助手等を経て2006年4月より現職。専門は小型魚類を用いた分子発生生物学、発生遺伝学。特に脳形成の制御機構の研究。

## 目次へ



# 272 高速大容量無線通信のために

数理電子情報部門 電気電子システム工学コース 馬 哲旺 教授



## ■周波数帯が満杯

携帯電話やインターネットなどが世界的に普及され始め以降、通信量が急激に増加している一方、技術的に利用しやすい電波の周波数帯はほぼ満杯状態となり、既存の周波数資源をより効率的に使用することと未使用のより高い周波数資源の開拓が喫緊の課題となっている。こうした中、2002年に米国連邦通信委員会(FCC)は3.1~10.6 GHzおよび22~29 GHz(ギガヘルツ)の周波数帯の超広帯域(UWB)無線技術の民間利用を認可した。以来、UWB無線技術は高速データ通信、高精度位置検出、車載レーダーシステム等に利用可能な技術として世界的な注目を集め、関連の研究開発が盛んに行われている。

UWB通信は数GHzにおよぶ非常に広い帯域を利用するため、従来の無線システムや第4世代携帯電話及びWiFi等との帯域競合が予想され、他の通信方式

との干渉回避技術の搭載が義務付けられている。UWB帯域通過フィルタ(BPF)はこういった干渉回避を実現するための中核的なデバイスとして求められている。

## ■UWB BPF研究開発

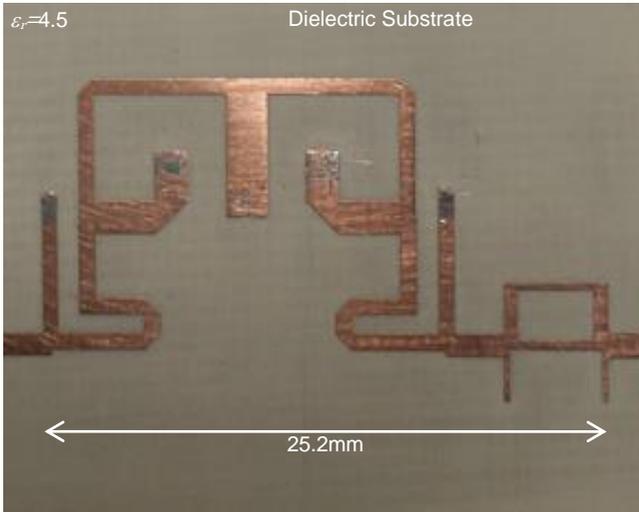
これまでにUWB BPFの研究開発に関して、世界各国から新しい提案や発想、素晴らしい成果が数多く報告されている。我々も当初からUWB BPFの研究開発に取り組み、これまでに多数の独創的な成果を挙げている。まず、汎用性のあるUWB BPFの合成理論を構築し、高精度で効率的な設計手法を確立した。この設計理論と方法に基づき、マイクロストリップパラレル結合伝送線路共振器を用いたUWB BPF、マイクロストリップ短絡スタブを用いたUWB BPFの新しい設計方法と特性を得た。設計試作した複数のUWB BPFは所望の広い通過域、急峻な減衰特性及び大きな阻止域減衰量を持ち、FCCのUWBスペクトルマスクを達成して

いる。また、マイクロストリップデュアルモード方形リング共振器、マイクロストリップ開放スタブを装荷したマルチモード共振器を利用したUWB BPFの構造提案と設計公式の導出を行い、日本のUWBスペクトルマスクを満たしたUWB BPFおよび準ミリ波帯(22~29 GHz)のUWB BPFを設計、実現した。さらに、UWB BPFの阻止域特性を改善するために、マイクロストリップ結合線路を用いた小形低域通過フィルタ(LPF)の構造提案と設計手法を開発し、UWB BPFとLPFを組み合わせることで、広い周波数帯域に渡り、FCCまたは日本のUWBスペクトルマスクを満たしたフィルタ特性を実現できている。開発したフィルタは小型軽量で、通常の安価な方法で製作されることができ、量産性にも優れている。

#### 略歴

1964年生まれ。95年9月電気通信大学大学院博士後期課程修了。博士(工学)。電気通信大学電気通信学部助手、助教授、埼玉大学工学部助教授を経て、09年3月から現職。専門はマイクロ波工学。

目次へ



超広帯域(UWB)帯域通過フィルタ

数理電子情報部門 数学コース 下川 航也 教授

**■ 紐状構造のDNA**

トポロジとは、ものの形を数学的に扱う幾何学の一分野です。その中でも私は、紐の形を扱う結び目理論の研究を行っています。図に挙げたものは結び目の例です。トポロジは「柔らかな幾何学」といわれ、形を少し動かして変えても変わらない性質を研究しています。

紐状の構造を持つものとして、DNAがあります。細胞内のDNAの様子は、非常に狭い領域にとっても長い紐が効率よく収納されていると考えることが出来ます。DNAは遺伝情報を読み取るときや細胞分裂の際には容易に取り出す必要があるため、収納方法には工夫がいりませんが、そのメカニズムはまだ分かっていません。またDNAの一部に結び目があるかどうか、それが遺伝子の発現と関係があるかどうかは大変興味深い問題で、色々と研究を行っています。

**■ DNAの組換え**

DNAの組換えは、DNAの繋がり方を変えますが、全体のトポロジも変える場合があります。組換えを行う酵素は小さく、それがどのように組換えを行っているかは観察することは出来ません。しかし、組換え前のDNAのトポロジと組換え後のDNAのトポロジを調べることにより、その働きの様子を解明することが出来ました。図に挙げた例は、DNA絡み目をDNAの組換えが解く様子です。そのメカニズムの解明では、トポロジが大きな武器として活躍しています。

図に挙げた結び目や絡み目とそれらの間の変化の様子は、自然界において色々な場所で現れるようです。流体力学において、渦を用いて結び目を作ったところ、同様な現象が観察されました。

**■ 複雑な形状の合成**

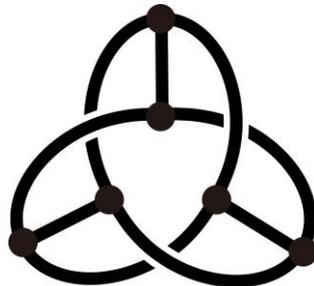
また、最近では、複雑な形状を持つ高分子化合物が

合成されています。図に挙げた $K3, 3$ という名前がついたグラフの形をもつ高分子が東京工業大学手塚研究室において合成されました。このような形を合成するのは、大変な努力が必要だったそうです。現在、その性質をトポロジーの観点から研究しています。 $K3, 3$ は作り方によって、不斉（鏡像がもとのものと異なるもの）の性質を持つ場合があります。これはトポジカル不斉というものです。が、どのように構成すればその性質を持つかを、数学的なモデルを用いて研究しています。数学的な研究により、それを実際に合成したときの化学的性質を予測することが出来ます。これまで考えられていなかった「形」を数学を用いて研究し、新しい高分子の提案を目指しています。

### 略歴

1998年3月東京大学大学院数理科学研究科博士課程修了。博士(数理科学)。東北大学大学院助手、埼玉大学大学院助教授、准教授を経て、2013年4月より現職。専門は、数学の結び目理論の研究とその諸科学への応用の研究。

目次へ



# 274 認知症者の支援システム

数理電子情報部門 情報システム工学コース 久野 義徳 教授



## ■ビデオ通話で見守り

認知症高齢者の増加が大きな問題になっています。医学や介護などの分野で対応が検討されていますが、工学からも貢献することができないかと研究を進めています。認知症の進行を抑えるには、コミュニケーションなどの社会的活動が有効であると言われています。特に、自分をよく知っている家族や親しい人との会話は効果があると考えられます。しかし、一人暮らしや、介護施設に入居されている場合には、そのような機会を多く持つことが難しくなります。そこで、高齢者が離れて暮らしている家族らと簡単にビデオ通話ができるシステムを開発しています。このシステムには、高齢者の様子を見守り、何か問題がありそうなら家族に通知し、そして家族の方が忙しい時には、会話の相手もできるロボットが接続されています。

このようなシステムの場合、使用者が使いたいと思っ

てして簡単に使えるようにするヒューマンインタフェースと呼ばれる部分の技術が重要になります。

## ■小型PCを利用

最近、家庭用のロボットが話題になっていますが、高齢者が一人で使えるかというと、問題が多いと思われる。また、最初に通常のPCを用いて実験機を製作し、認知症の方に試していただいたのですが、「見慣れないものが来た」という感じで受け入れてもらえないようでした。そこで、どなたもお持ちのテレビに小型のPCを接続して利用することになりました。そして、高齢者でも利用できるように、操作はボタン一つでできるようにしました。ボタンを押して人を呼ぶナースコールと同じ操作なら可能であろうということです。テレビの電源が切れているときでも、あるいは番組を視聴中でも、ボタンを押すだけで家族からの電話を受けたり、また家族に電話したりできます。

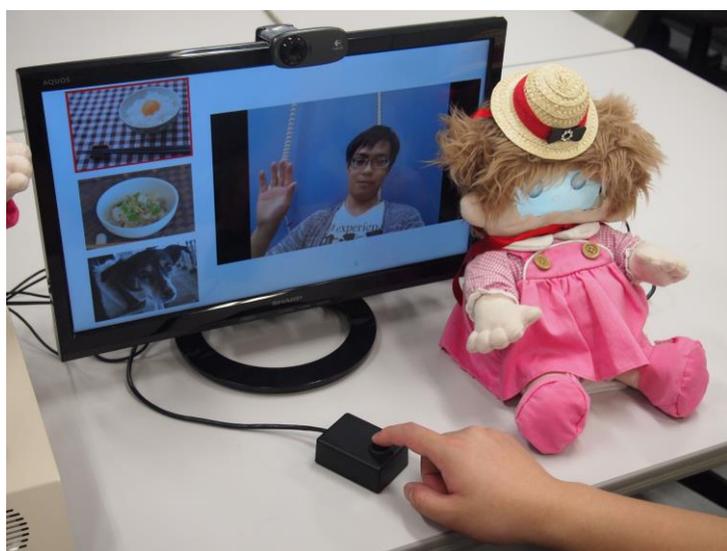
## ■ 親しまれるロボット

ロボットにはビデオカメラ、温度センサー、それに部屋のドアの開閉センサーなどのセンサーが接続されています。ロボットは朝、温度センサーにより高齢者がロボットに近づいてきたのを検知したら「おはよう」とあいさつしたり、ドアの開閉センサーで帰宅を検知したら「お帰りなさい」と言うなど、高齢者に親しまれる存在になるようにしています。そして、在室のはずなのに長時間、温度センサーが温かいもの（人間）の動きを感じないなどの異常を検知したら、家族のスマホ等に連絡するようになっていきます。また、自動で高齢者と対話できるようにすることも研究しています。

現在、以上のようなシステムの試作が完了したので、実際に独居の高齢者と家族の間で使っていたく実証実験を計画しています。実験の結果により改良を加え、実応用を目指していきたいと思っています。

## 略歴

1954年生まれ。82年東京大学大学院工学系研究科博士後期課程修了。工学博士。東芝研究開発センター主任研究員、大阪大学大学院工学研究科助教授を経て、00年4月から現職。専門はコンピュータビジョン、知能ロボット、ヒューマンインタフェース。



物質科学部門 応用化学コース 柳瀬 郁夫 准教授



### ■化学呼吸法

二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )は、15マイクロメートル付近の赤外線を吸収して大気圏外への熱線の放射を妨げるため温室効果ガスとされ、様々な視点から排出抑制技術の開発が盛んに進められている。化学吸収法は $\text{CO}_2$ 排出の抑制技術の一つであり、 $\text{CO}_2$ と吸収物質との化学反応を利用するため、 $\text{CO}_2$ 選択性に優れている方法である。

$\text{CO}_2$ 選択性が重要なのは、通常 $\text{CO}_2$ は気体中に単独で存在していないためである。ある工場内の燃焼工程を経て排出される気体の成分と濃度は、およそ窒素70%、二酸化炭素20%、酸素10%であり、これに酸性雨の要因になる微量の硫酸化物 $\text{SO}_x$ や窒素酸化物 $\text{NO}_x$ が含まれる。大気成分と濃度は、およそ窒素78.08%、酸素20.95%、アルゴン0.93%、二酸化炭素0.04%であるから、工場からの $\text{CO}_2$ の排出が

大気中の $\text{CO}_2$ 濃度の増大につながる。

排ガス混合気体から $\text{CO}_2$ を効率よく回収できる化学物質として、有機化合物の液体を用いた $\text{CO}_2$ 吸収物質の開発が盛んに進められてきたが、化学吸収法の欠点である再生エネルギー(kWh)の低減が課題となっている。例えば、火力発電等を用いている電力会社の $\text{CO}_2$ 排出係数が $0.450 \text{ kg-CO}_2 / \text{kWh}$ の場合、再生に $1000 \text{ kWh}$ のエネルギーを要すると、大気中に $\text{CO}_2$ が $450 \text{ kg}$ 排出されることになる。

### ■屋内の濃度は大きく変動

二酸化炭素の排出による地球温暖化は規模が大きく、実感のわかない課題になりかねない。しかし、身近な生活でも二酸化炭素を意識することができ、屋外の $\text{CO}_2$ 濃度は大気中とそれほど変わらないが、屋内では、その状況によって $\text{CO}_2$ 濃度は大きく変動する。 $\text{CO}_2$ 濃度が約 $700 \text{ ppm}$ ( $0.07\%$ )～ $1000 \text{ ppm}$ ( $0.1\%$ )

では不快感、約1000～2000ppm(0.2%)では眠くなる等の体調変化、約2000～3000ppm(0.3%)では肩こり、頭痛等の体調変化、約3000～5000ppm(0.5%)ではめまい、立ち眩み等の体調変化、5000ppm以上では、息苦しさ、吐き気等の健康被害が出るレベルになる。5000ppm程度のCO<sub>2</sub>濃度には、人が密集した閉め切られた空間では到達することがあるため、CO<sub>2</sub>濃度は日常生活でも無視できないことになる。

このように、CO<sub>2</sub>濃度を制御する技術開発は地球温暖化の抑制から人間の健康維持まで幅広い分野で求められており、著者は無機材料(セラミックス)を活用してこれらの課題の解決に取り組んでいる。今後のさらなるCO<sub>2</sub>排出制御技術の発展に期待したい。

## 略歴

1972年生まれ。1999年3月埼玉大学大学院理工学研究科修了。博士(学術)。1999年4月科学技術庁無機材質研究所研究員(現(独)物質材料研究機構)、2001年1月同大学工学部助手を経て、2007年4月から現職。専門は無機材料化学。研究テーマはCO<sub>2</sub>分離セラミックスの開発、熱応答セラミックスの開発など

**■共通点**

リオオリンピックも閉幕し、日本ではメダル数が過去最高の41個など話題の多い大会であった。4年後の東京オリンピックでは、アスリートの一層の活躍を期待すると同時に運営する立場として、日本のプライド、ポテンシャルを全世界に実証する絶好の機会となる。スポーツ競技では、単純で分かりやすいルールに従い、特に体操は課題演技と独自の新しい技を取り入れた演技で得点を争う。始めてオリンピックに参加する選手もいれば、3・4連覇が期待され、プレッシャーとの戦いで臨んだ選手も多く、メダルにつながった選手もいれば、一回戦で姿を消す選手など様々で、重圧の中で戦っている。練習環境、国民性、文化の相違も含まれる中で、スタープレイヤーの活躍、自国の選手の活躍、質の高い演技は視聴者に感動を得た。また今回のオリンピックでは難民選手団がはじめて参加し、メダルにこそ至らなかったが、政治

不安定で十分な環境でなくても、その活躍は多くの人に勇氣と希望を与えた。

一方科学技術に携わる研究者・技術者も上記と同様アスリートと共通する点が多々ある。体力・知力、技術、方法論は各研究者・技術者の生い立ち、環境を基盤に依存し、独自の関心から新規な分野の開拓を目指す点で共通している。スポーツ選手の場合には、中にはイチローのような天才もいるが、一般には10歳後半から30歳前半までに運動能力はピークを迎え、その後は衰える。一方研究者・技術者の活躍のピークは、スポーツ選手ほど明確ではない。若い時代に輝かしい成果を上げる人もいれば、定年退官後または死後に始めてその成果が世の中に受け入れられる人もいる。

**■研究者への要求**

しかし最近の研究者・技術者への要求は、理解されやすい成果(出口)、質の向上、スピードで、時間的余裕を

許さない風潮になっている。私が駆け出しの時代には、自分の関心のみで研究内容を深めることに集中できた。歳とともに研究活動を維持し、分野を発展させるための資金の獲得、強い信念と協力してもらえる環境造りが必須であることに気づく。定年までの8年の中で、どこまで感動を呼ぶ研究成果、何をメッセージとして伝えられるのか、自分の現役の時代に何かひとつ形にしたい、そう思うこのころである。

オリンピックではアスリートは金メダルを目標とする。研究者は、自分の発想・技術が何らかの形で科学技術の発展に貢献し、世の中に波及してはじめて評価を受けられる時間のかかる競技?である。自分の任期中にどれだけ小さな成果でも、分かりやすい形で世の中に貢献できる理念・技術の種を提唱することで、自分なりの金メダルを獲得したいと思う。

## 略歴

1958年10月生まれ。東京工業大学大学院総合理工学研究科博士後期課程材料科学専攻修了(工学博士)。東京工業大学大学院総合理工学研究科助手、埼玉大学工学部助教(准教授)を経て2008年4月より現職、専門は太陽電池を中心とした材料探索、機能材料工学。

# 277 第16族元素の研究

物質科学部門 基礎化学コース 石井 昭彦 教授



## ■少しの違いが重要

最近、理化学研究所の研究チームが合成に成功した113番元素の名前として「Nh（ニホニウム）が発表された大きな話題となりました。このニホニウムを含めて110余の元素を規則的に並べたものが元素周期表（以下、周期表）で、19世紀後半にロシアのメンデレーエフによって原形となるものが提案されました。その後、今回のような新元素の発見や改良が加えられ現在の形になっています。図1にその一部を示します。周期表の横の並びが「周期」、縦の列が「族」です。同じ周期の元素を横に見てみると性質が文字通り周期的に変化します。一方、同じ族にある元素は似たような性質を示します。「似たような」というのを言い換えると「少しは違う」ということで、実はこの少しの違いが化合物の中では重要な鍵を握ることがあり、私たちの研究対象となります。

## ■化合物の性質の比較

私たちの研究室では、図2に示すような硫黄（S）やセレン（Se）を含み強い蛍光を発する有機化合物を合成しました。これらの蛍光量子収率（物質に吸収された光と蛍光として放射された光の割合）はほぼ100%です。硫黄とセレンは酸素（O）と同じ16族元素で、上から、O、S、Se、テルル（Te）と続きます。テルルの下はポロニウム（Po）で、これは放射性元素です。

16族にある元素の性質の違いを調べるため、さらに酸素とテルルを含む化合物も合成して一連の化合物の性質を比較する研究を行いました。結果として、テルルの化合物は室温では蛍光をほとんど示しませんでした。これは先行研究から予想されていたことでしたが、この化合物の溶液を液体窒素温度（マイナス196℃）に冷却すると蛍光が観測され、中程度の蛍光量子収率をもつことがわかりました。酸素の化合物は最近合成に成功

しましたが、蛍光量子収率はわずかに低下したものの、硫黄やセレンの化合物とほぼ同じ性質を示しました。一方で、これら四つの化合物の性質や構造を詳細に見ていくと、酸素からテルルへと単調に変化するのではなく、酸素の化合物が、硫黄、セレン、テルルの化合物を結ぶラインからずれる場合もあることがわかりました。

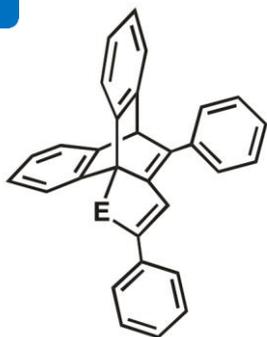
### ■第2周期とそれ以降の差

酸素は、生物にとって重要な炭素(C)や窒素(N)と同じ第2周期の元素です。他の族を見ても、第2周期の元素とそれ以降の元素では性質に結構な差があることがわかっており、周期表全体から見れば少数派の第2周期の元素の方が変わった性質をもっているといえます。そのような第2周期の元素が生物の体の大部分を構成し、生命活動を支えているわけです。ただし、第3周期以降のいくつかの元素も生物にとって必須の働きをしていることも付け加えておきます。

### 略歴

1959年生。87年3月東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。理学博士。埼玉大学理学部化学科助手、助教を経て、04年4月から現職。専門は有機典型元素化学。

## 目次へ



E = O, S, Se, Te

図2. 合成した蛍光化合物

族						18	}	周期
13	14	15	16	17	2He	1		
5B	6C	7N	8O	9F	10Ne	2		
13Al	14Si	15P	16S	17Cl	18Ar	3		
			34Se			4		
			52Te			5		
			84Po			6		

図1. 元素周期表の一部。元素記号の左下の数字は原子番号。

# 278 橋のヘルスマニタリング

環境科学・社会基盤部門 環境社会基盤国際コース 松本 泰尚 教授



## ■老朽化対策

橋は、ご存知の通り、道路、鉄道や水道などのネットワーク形成にあたって、川や湖、交通路などネットワーク形成の障害となるものをまたぐ必要がある際に造られる社会基盤（インフラ）構造物です。交通や物流の要となることが多く、例えば、川をまたぐ橋で交通集中による渋滞が起こるのは、橋が道路ネットワーク上重要な役割を果たしていることの現れとも言えます。

日本では、1950年代後半からの高度経済成長長期に、急速に道路ネットワークが整備され、数多くの道路橋が建設されました。その後も道路ネットワークの整備は続いており、国土交通省から最近発表された資料によれば、現在では、全国で約73万の道路橋ストックとなっているそうです。これまで一般に、道路橋の寿命は50年程度と考えられてきていました。これを目安とすれば、

建設後50年を経過して老朽化が問題となり得る橋の数が、今後急速に増えることとなります。

## ■点検技術者の不足

このような状況を踏まえ、橋を維持管理する国や地方公共団体では、橋の予防保全の観点から、点検による劣化や損傷の把握、それに基づく予防的な修繕を計画的に進めるための長寿命化修繕計画を立てるなど、老朽化対策を始めています。

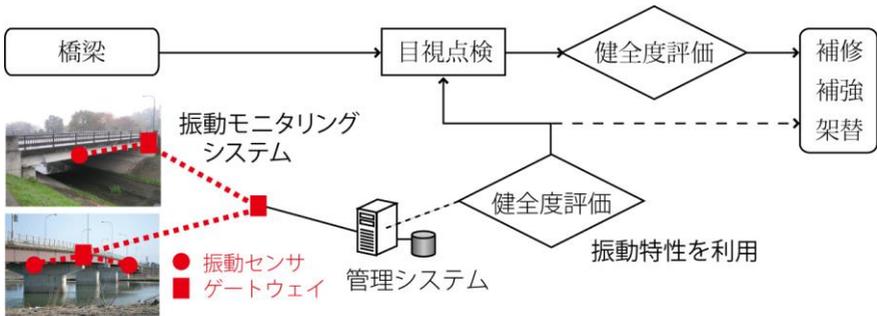
このような老朽化対策で重要な役割を果たす橋の点検では、現在、熟練した技術者が自身の目で見たり、手で触れたりすることによって診断する、目視点検が行われていますが、今後、橋の老朽化が急速に進む中で、課題も指摘されています。少子高齢化などにもなう点検技術者の不足、目視が困難な箇所(point)の点検、厳しい財政状況下での維持管理や架替のための費用の確保などです。

## ■目視点検を補う研究

そこで、目視点検を補うため、我々も含めた多くの研究者が、各種センサを利用した橋の状態に関する継続的な観測データから、劣化や損傷の位置や程度に関する情報を得る構造ヘルスマモニタリングの研究を行っています。我々のグループでは、日常的な利用時や地震時に発生する橋の振動を利用したモニタリングについて検討しています。橋の振動の特徴は劣化や損傷によって変化するので、逆に振動の特徴から劣化や損傷の状況を推定しようとするものです。劣化や損傷と振動の特徴の変化を数値を使って関連付けること、それによって振動の特徴の変化から劣化や損傷の位置や度合いを高い精度で推定することなど、まだ課題は多く残されていますが、模型を使った実験や、実際の橋での振動計測、コンピュータを使ったシミュレーションを行って、検討を続けています。

### 略歴

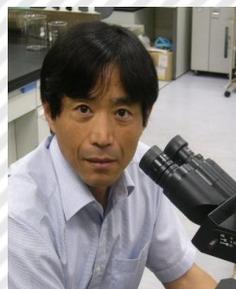
1970年生まれ。サウサンプトン大学大学院修了。PhD。同大学助手を経て99年埼玉大学。2013年より現職。専門は環境振動、建設構造物の振動。



橋のヘルスマモニタリングシステムのイメージ

# 279 日本の河川景観の変遷

環境科学・社会基盤部門 環境制御システムコース 浅枝 隆 教授



## ■本来の姿

日本の河川の風景は、有史以来変化を続けている。戦後から高度成長期を生きてきた人には、大きな川の両岸には河原が広がり、石がごろごろしていたという記憶がある。しかし、20代以下の人の感覚では、川の周りには河川敷はあるものの、そこには草や木が生えている。実はそのために、河原を生活の場にしてきた動植物が姿を消し、また、洪水時には樹木が障害になって洪水流が流れにくくなるといった問題が生じている。それでは、一体どちらが本来の姿かという点、実は、あまりよくわかっていない。まず、なぜ、近年、河原に植物が生えだしたのかという理由を考えてみよう。写真は、荒川で記録的な洪水があった2007年の3年後の風景である。手前には上流から流れてきた礫が堆積、向こう側は地面の表面が洗掘した。3年が経過し、礫の堆積した場所にはほとんど植物は生えておらず、洗掘が生じた場所は

大量の植物で覆われている。河原では、洪水によって、礫が流下、堆積することで植物の繁茂が抑えられる。

洪水時に表層が洗掘



新しく土砂の堆積した場所

2007年9月洪水の3年後

## ■礫の減少

さて、次の二つの写真は、荒川中流部の戦後すぐと最近の写真である。以前は、河道の中には大量の礫で覆われているのに対し、最近はそうした様子はみられない。ここ70年の間に河道の中の礫が減少し、洪水があつても、礫が堆積することがなくなり、植物が減らなくなった。これが河原に植物が増えた原因である。それでは、なぜ、礫が減少したのか。高度成長期の砂利採取とダムや堰の建設による礫の捕捉、さらには、山の樹木が増加し山から土砂の流出が減ったことが大きい。砂利採取やダムや堰の影響は、いずれも負の遺産として考えられるものの、山の緑化は、むしろ、正の効果을期待してのものだけに面白い。最後に、それでは、いつから山に木がなくなつたかといえば、江戸時代には既にほとんどなくなつていた。江戸時代に描かれた浮世絵をみると、山は草原、川には河原が描かれている。樹木が燃料に利用されたためである。昔あつた河原の風景も、実は人工的なものであつたということである。

## 略歴

1953年生まれ。78年東京大学大学院修士課程修了。工学博士。東京大学助教授等を経て2000年より現職。専門は、河川、湖沼の生態環境。著書 図説生態系

の環境など。



2015年



# 280 光合成のダイナミクス

生命科学部門 西山 佳孝 教授



植物の葉を見ていても、短い時間なら特に変化は見られない。緑の葉っぱは緑のままだ。しかし、直射日光が当たっていると、葉っぱの中では大きな変化が起こっている。光合成装置が絶え間なく壊され復元されているのだ。損傷と修復という営みの中に生命のダイナミクスが垣間見られる。

## ■生命を支える光合成

光合成は、太陽の光エネルギーを使って、二酸化炭素と水から有機物(糖)と酸素を生成する反応である。植物など光合成生物の生育・生存を支える最も根幹的な機能と言つてよい。生じる酸素は私たち人類を含め、好気生物の呼吸を支えているし、糖はありとあらゆる生物の炭素源となっている。そういう意味で、光合成は地球上の生命を支える営みと言つて過言ではない。

## ■光合成の損傷と修復

太陽の光エネルギーは、まず光化学系Ⅱという色素・

タンパク質複合体で化学エネルギーへと変換される。この反応に伴つて水から電子が奪われ、酸素が放出される。この複合体は植物では葉緑体のチラコイド膜に存在する。光化学系Ⅱは、その役割とは裏腹に光に対して非常に弱い。真夏の太陽光の下では30分で半分ぐらいが壊れる。しかし光合成生物は、損傷を受けた光化学系Ⅱを速やかに修復して復元する能力をもっている。光合成機能を維持するためだ。

## ■修復の舞台裏

光化学系Ⅱの修復は、損傷を部分的に補修するのではなく、損傷を受けたタンパク質を丸ごと入れ替えるという大胆な戦略をとっている。損傷を受けるのは、この複合体で中心的な働きを担うD1タンパク質だが、このタンパク質を粉々に壊して取り除き、新たなD1タンパク質を遺伝子の転写・翻訳を経て一から作り直し、複合体に挿入している。たくさんのエネルギーを費やして壊

れた光化学系IIを修復している。

## ■新たな発見

筆者たちは、この修復プロセスが様々な環境ストレスによつて阻害されることを発見した。例えば、強光の下で光合成が働けば活性酸素が大量に発生するが、活性酸素は修復のプロセスを阻害することがわかった。これは光合成の強光阻害に関する定説を覆す発見であった。さらに修復の阻害機構を生化学・分子生物学の手法を使つて追求すると、タンパク質を合成する過程が活性酸素によつて阻害されることがわかった。現在までに、活性酸素の標的として、EF-GやEF-Tuというタンパク質合成系の構成因子を同定している。

## ■生命流転と展望

絶え間なく壊しては還元する……。これが生物の有り様なのだろう。私たちのからでも一年も経てばすべての原子が置き換わる。活性酸素や低温など環境ストレスは、修復（還元）の方を抑える働きがある。このストレス作用が光合成に特異的なのかどうか今後の課題だ。また、修復能力を強化して光合成のストレス耐性を向上させるのも目標の一つである。

## 略歴

1964年生まれ。94年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。博士（工学）。愛媛大学准教授、埼玉大学准教授を経て、13年より現職。専門は光合成の分子生物学。

# 281 ロボット革命が進行中

人間支援・生産科学部門 メカノロボットコース 琴坂 信哉 准教授

## ■ロボット新戦略

ただいま、ロボット革命が進行中です。といつても、政府転覆の計画ではなく、安倍首相が2014年のOECD閣僚理事会において表明した日本の産業振興戦略です。それに基づき、2015年の2月にはロボット新戦略が決定され、少子高齢化、経済のグローバル化の現状において世界一のロボット利活用社会の実現、ロボットイノベーション拠点の構築等を目標に、様々な規制改革や研究開発への投資が始まっています。その目標のひとつには、産業分野へのロボット導入を加速することによって、産業のロボット化を進め、生産性の向上や人手不足への対策を行うことが計画されています。

## ■ミドルウェア技術の必要性

これまで産業用ロボットは、主として自動車産業を対象に設計開発されてきました。そのため、求められる作業性能は、同じ作業を長時間繰り返し返すことでした。し



かし、ロボット新戦略が目指すような産業分野への高いロボット普及率を実現するためには、より少ない製品数を対象にした組立や塗装等の作業のロボット化を行う必要があると考えています。その際、問題となる点が、産業用ロボットの使い勝手です。設置や作業の段取り替えに時間や手間がかかるようでは、コスト的に見合いません。そこで、素早くロボット用ソフトウェアを開発できるミドルウェア技術の開発が行われています。ミドルウェアとは、頻繁に使うソフトウェアを再利用がしやすいうようにパッケージ化したソフトウェア群です。私の研究室では、産業用ロボット向けのミドルウェアパッケージを開発し、普及促進のため無償で公開を行っています。

## ■社会実装を目指して

現代では、優れた新規技術を開発するだけでは普及しません。研究者ではなくても使いやすいうように完成度を上げることや、利用のためのマニュアルを整備する等の

普及活動が不可欠です。これは、社会実装と呼ばれ、過去の普及しなかった技術開発成果への反省から国家の科学技術戦略の目標として取り上げられている項目の一つです。私の研究室では、社会実装の一つとして、上記の産業用ロボット向けのパッケージを使える人材を増やすための人材育成活動も行っています。近隣の企業の方々をお招きして、ミドルウェア技術の講習会の実施や産業用ロボット向けの新規技術の講演等を行っています。ロボット新戦略が目指す産業のロボット化には、新規技術を使いこなすことのできる技術者が多数必要になります。学会や業界団体にも働きかけて、次世代のロボット普及を担える人材を育成していきたいと考えています。

2020年には、ロボット国際競技大会(仮称)の開催も予定されています。その一つの競技種目は、ものづくり分野になる予定です。企業、大学、研究機関がタッグを組んで参加して頂けることを念頭に競技内容を検討しています。是非、埼玉県からも参加企業が出ることを期待しています。

## 略歴

1963年東京生まれ。95年埼玉大学大学院修了。博士(工学)。特殊法人理化学研究所、科学技術振興事業団ERATOプロジェクト研究員を経て、2001年よ

り埼玉大学。専門は、ロボット工学。これまで分散型ロボット、人間の運動学習、ロボットの適応的運動軌道生成、ロボット安全等の研究に従事。



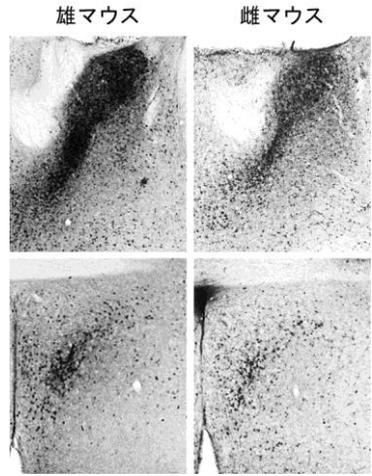
### ■性別分化の潜在能力

ほ乳動物には、雄と雌(男と女)という二つの性別があり、生殖によって子孫を残す。雄(男性)のからだの中にある精巣は精子を作ったり、男性ホルモン(アンドロゲン)を分泌する。雌(女性)の卵巣からは卵子が排出(排卵)され、女性ホルモン(エストロゲン)が分泌される。どちらも機能も全く異なる精巣と卵巣をコントロールするのは脳なので、脳にも性差がある。発達途中の未熟な個体の脳は、遺伝子による性別(雄・男性:XY型、雌・女性:XX型)に関係なく、どちらの性別にも分化する潜在能力があると考えられている。つまり、遺伝的にはXY型の雄であっても脳が雌化する可能性があり、XX型の雌の脳が雄化することもあり得る。脳の性別を決定する因子は生殖腺(精巣と卵巣)から分泌されるホルモンである。ホルモンとは、内分泌器官で産生されて、血液によつて標的器官まで運ばれる微量な生理活性物質の

ことである。脳の性決定に重要なホルモンは、発達期の精巣から分泌されるアンドロゲンであり、アンドロゲンに曝された脳は雄化(男性化)する。一方、卵巣を持つ個体や精巣を持っていても発達期にアンドロゲンが働かない個体では、脳は雌化(女性化)する。最近では、思春期の生殖腺から分泌されるホルモンも脳の性差の形成に重要な役割を果たすことが明らかになってきた。

### ■性差が生じる仕組み

脳の内部構造には性差があり、構造の性差は脳の働きの性差を生み出す。実験動物として用いられるマウスの分界条床核(脳の部分の名称)には、カルビンディンと呼ばれるタンパク質を豊富に含んだ神経細胞が集まっている部分があり、カルビンディン神経細胞の数は雄において雌よりも多い(図の上段写真にある黒い部分)。このような脳構造の性差が生じる仕組みを明らかにするため、アンドロゲンの作用に関係する遺伝子をノックアウト



(遺伝子操作により特定の遺伝子を欠損させること)したマウスを調べてみた。その結果、アンドロゲン受容体、芳香化酵素(アンドロゲンをエストロゲンに変換する働きがある)、エストロゲン受容体アルファ(エストロゲン受容体は2種類あり、アルファ型とベータ型という)の遺伝子を欠損した雄マウスの脳の雄化が阻害された。このことから、精巣から分泌されたアンドロゲンは、アンドロゲン受容体に直接結合して作用する場合と、芳香化酵素によってエストロゲンに変わった後でエストロゲン受容体アルファに結合して作用する場合があることが分かった。マウスの視索前野(脳の部分の名称)にも、カルビンディン神経細胞の数に性差が見られる部分がある(図の下段写真にみる黒い部分)。マーモセット(小型のサル)の脳を調べてみ

ると、マーモセットの分界条床核と視索前野にもカルビンディン神経細胞の性差がみられる部分があった。ヒトと同じ霊長類に属するマーモセットとげっ歯類に属するマウスに共通する性差領域は、ヒトの脳にもある可能性が高い。実験動物の研究成果が、男女の脳の違い、こころの性の多様性の理解に役立つだろう。

#### 略歴

1972年生まれ。99年3月名古屋大学大学院生命農学研究科博士後期課程修了。博士(農学)。早稲田大学人間総合研究センター助手、神戸大学大学院自然科学研究科助手、独立行政法人国立環境研究所主任研究員を経て、09年4月から現職。専門は神経内分泌学。

# 283 プラズマと特殊環境

f 数理電子情報部門 電気電子システム工学コース 前山 光明 教授



## ■プラズマとは

気体の温度が非常に高くなり(5000℃以上)、気体の分子同士が激しく衝突し、分子から電子が飛び出し、動きやすい電子と正に帯電した粒子などで構成された状態をいう。日常生活では、ろうそくの炎、蛍光灯、雷、オーロラ、太陽などもプラズマの状態であり、発光がプラズマの第一の特徴である。電流が流れやすくなるため外部から制御しやすく、さらに、物理的および化学的にも様々な反応を活発に引き起こすという性質を持つ。

特に産業技術の分野では、キートクノロジーとしてプラズマが利用されている。エネルギー問題を解決すると期待されている制御熱核融合発電、次世代の高集積半導体を作成できる極端紫外光(EUV)を用いた露光装置も、プラズマが利用されており、現在日本も含め活発な開発が進められている。また、高温および化学的に活

性であるという特徴を利用して、自動車エンジンからの排ガス、血液など付着した医療廃棄物、ゴミ処理場でゴミを処理した後に残る焼却灰の処理にもプラズマが利用されようとしている。

## ■利用拡大の課題

このようなプラズマの持つ多くの魅力的な特性を利用した技術を更に拡大するために(1)通常、1/500気圧という低圧力中で生成されるプラズマを大気圧中で、大きな領域に連続的に生成する、(2)熱などへのエネルギー損失を減らし、エネルギー効率をさらに高めることが必要である。

## ■大容積大気圧プラズマ源

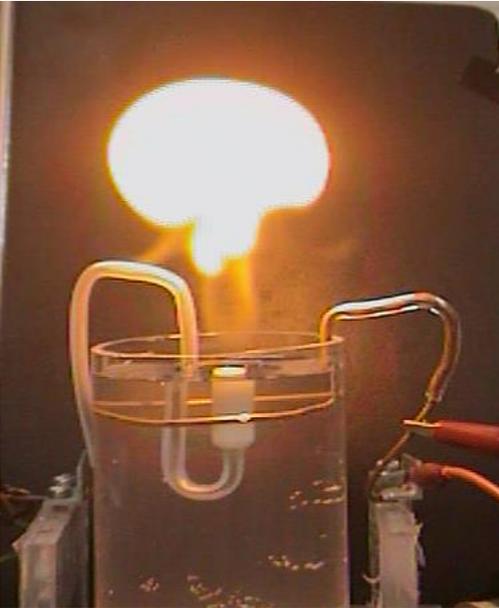
我々の研究室では、新しい大気圧プラズマを発生させる方式の開発と、それを駆動する特殊な電源の研究を行っている。その一つの研究課題が「球雷を用いた化学的活性場の発生」である。「球雷」は古くから落雷の後に発

生する浮遊する発光球体で、構造物を破壊するなどと言いつたに伝えられている謎深い現象である。21世紀に入り人工的に擬似的に生成する方法が発案され、通常の放電現象比べて継続時間、発生領域が極端に大きく、また、放電とともに水蒸気を放電空間に取り込み、放電で発生する電子により化学的に非常に活性化物質を生成するという特徴を持つ。我々は、この放電現象を水処理への適用を目的として、その生成機構の解明、水処理能力の実証の研究を進めている。添付の写真は、直径10 cm程度の球雷が発生し、浮上している様子である。

#### 略歴

1959年生。87年3月東京工業大学大学院終了。博士(工学)。東京工業大学工学部助手、埼玉大学工学部講師を経て2013年4月から現職。専門は、プラズマおよび高電圧電源の開発研究。

球雷放電発生装置と球雷の様子



数理電子情報部門 大澤 裕 教授



## ■自分で作成

標題は「スマートフォンプログラミングのすすめ」としたかったのですが、字数制限から漢字にしてみました。正しい表現かは疑問です。

さて、スマートフォン(スマホ)の普及が進んでいます。スマホはもちろん電話ですが、実はしっかりしたコンピュータでもあります。コンピュータであれば、自分で好きなプログラムを作成し、そのプログラムをスマホ上で動かすことができます。特に最近、スマホのプログラミングが簡単にできるようになってきています。

ご存じのように、スマホ用の様々なプログラムが作られて公開されています。標準ではスマホに入っていないプログラムを使いたければ、公開されているプログラムをダウンロードして使えます。有料のものと無料のものがありますが、有料のものでも価格は安価に設定されています。

しかし、公開されているプログラムを実際に使おうとすると、「このような機能があったらよいのに」、「ここを変えてほしい」などと思うことがあります。例えば、仕事や作業予定を管理するToDoリストを利用されている方は多いと思います。このプログラムは、商品や無料ソフトを含めて多数ネット上で提供されています。ToDoの基本は、作業項目、締め切り、進捗状況を管理するだけの簡単なものですが、商品や他人が作ったソフトでは、いくつかの使いにくさを感じます。その時、スマホ・プログラミングの出番です。スマホ・プログラミングのために、パソコンと開発用のソフトが必要になります。開発用ソフトは、無料でダウンロードして使えます。

## ■GPSロガー

図は、GPSロガーと呼ばれるソフトです。スマホには多数のセンサーが入っていますが、GPSセンサーを使うことにより、現在居る位置がかなり正確にわかります。

GPSロガーを使えば、旅行に出かけたときに歩いたり、電車やバスで移動した移動軌跡を記録することができます。その軌跡を表示するのがこの図です。

スマホで写真も撮れますが、その写真にはGPSで得られた位置情報を埋め込むことができます。つまり、移動軌跡の上に写真も配置できます。そうなると心配なのは個人情報セキュリティです。見知らぬサイトからダウンロードして使ったとき、それが悪意のあるソフトであれば、利用者がいつ、どこにいたかの情報がネットを通じて漏れ出てしまうかもしれません。しかし、自分で作ったソフトであれば安心できます。

プログラミング経験のあるかたは、ぜひ賢携帯電話作譜に挑戦してみてください。

## 略歴

1953年生まれ。78年信州大学大学院修了。工学博士。東京大学助手等を経て、98年から現職。専門は、時間データベース、特に位置情報サービス。



# 285 幾何学の研究とは Ⅱ

数理電子情報部門 数学コース 長瀬 正義 教授



## ■自分の背中が見える

中学生の頃、テニスコートの傍らで友人が不意にこんなことを言った。「このまま天体望遠鏡の精度を高めていったら遂には自分の背中が見えるんだってさ。」何処にでもいる素朴な田舎の少年は「そうなのか」と思っただけで、衝撃を受けたわけでも何か閃いたわけでもありません。が、何故か還暦を過ぎた今でもこのことは記憶にあります。それは真実なのか否か私には分かりません。この雑文を目にした理系大好き高校生……私はあなただけに向かつて話しているつもりです……が、いつの日か解明するのを待ちましょうか。しかし、兎に角、光は宇宙空間を素直に真っ直ぐ進むものでもないようです。強力な重力の近くでは光は曲げられて……らしいですね。

ただ、これには釈然としない点があります。光が直線に沿って真っ直ぐ進むわけではないこと？ いや、数学者の私には、直線とは何ものなのか釈然としないのです。

納得行く直線の説明があつて、それから、光は直線に沿つては進まないと話を展開して欲しいのです。

## ■直線は存在するのか

直線は幻なのでしょうか？ 光は廻り廻つて自分のところへ戻ってくるらしいと友人は言うし。直線は光の届かない無限の彼方まで真っ直ぐと伸びているのか？ 無限の彼方？ 真っ直ぐ？ 小学生の頃から厳然と存在していた筈のあの直線は、本当に存在するのでしょうか。

私達の心の中に存在する直線、そうとでも考えるのでしょうか。ということは、心の中に存在する平面、心の中に存在する3次元空間、4次元、5次元、……。あの直線やあの円周が厳然と心の中に存在するならば、様々な次元の空間も又、厳然と心の中に存在する。断言していいでしょうか？ 実際にそこに存在する物以外は存在しないと考えるのは人間の傲慢でしょう。究極のところ私達には殆んど何も見えていないに違いないのです。

様々な次元の物体、それがどのように曲がり捻じれていても構わず多様体と呼んで、私達数学者はそれらを研究対象としています。あなたの心にも多様体が現れているでしょう。それは球面に似ていますか？ 浮き輪に似ていますか？ 良く観察して下さい。触れてみましょう。たいていみましょう。熱してみましょう。今あなたの目に実際に映っているもの、花や犬や青空や、それらを観察し調べる手段と数学者の用いる手段とはそうは違いません。数学も自然科学なのです。ただ、興味の対象が心の中にあるのです。

## ■数学語で語る

依頼は、私の現在の研究を簡潔に述べることでした。私の心の中に今ある多様体を説明するべきでしょうか。実は一週間ほど前から心に浮かぶものが替わって、どう調べるか思案中です。しかし、止めておきましょう。数学を語るには矢張り数学語に少々習熟する必要があります。あつて、ちよつとした修業の後でないと、結局は実物とかなり異なるもの、2次元3次元画像として実感できるものを例に挙げて、数学のお話に終始する他ないようです。高次元には数学語でこそ語れる独特な形や性質があるのです。「数学に新しく研究するものなどあるのか？」と疑っている高校生諸君！ 私は今日も楽しく数学しています。あなたは、朝一番にスマホを覗いたり連続テレビ

ドラマを観たりするのでしょうか。私には朝あれが浮かんできません。数学は私の趣味です。あなたも私達、趣味仲間に加わりませんか？

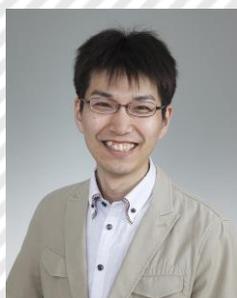
## 略歴

1954年生まれ。東京工業大学理学部助手、プリンストン高等学術研究所研究員、埼玉大学理学部助教授、を経て平成8年より現職。理学博士。専門は数学、特に幾何学。

286

## 小さな積み木とその隙間

物質科学部門 応用化学コース 小玉 康一 准教授



### ■今年のノーベル化学賞は

今年のノーベル賞は大隅先生の生理学・医学賞の話題で持ち切りであったが、化学賞は「分子機械の開発」という功績に対して与えられた。伸縮や回転などの機械的な動きを1億分の1メートルの世界、ナノサイズの分子で実現したのである。これはすぐに実用化という研究ではないが、将来の新物質の開発につながる重要な基礎研究である。このように近年では複雑な形の有機分子を自在に作るができるようになってきた。

炭素と水素を主な構成成分とする有機分子は様々な形状をしている。例えば、防虫剤のナフタレンは板状、青魚に含まれるDHAはひも状であり、医薬品成分であるシロウノウは丸っこい形をしている。ナフタレンの粉の中には無数の板状分子がびっしりと、密に並んでいる。このとき、固体の中で分子がどのような向きに並ぶかを予測することは、実は分子を作る以上に難しい。

### ■狙った分子を取り出す

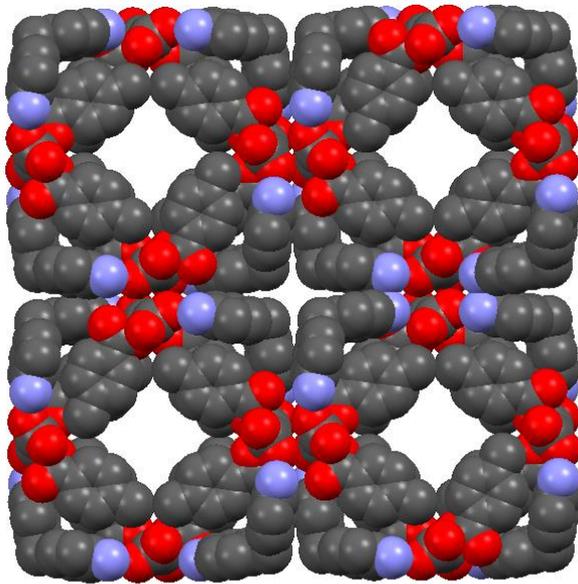
私の取り組んでいる研究は、分子の並び方をうまくコントロールし、内部に「隙間」を持った固体をつくることである。この隙間が何の役に立つかというところ、例えば狙った分子だけを隙間に閉じ込めて取り出すことができる。このような技術は、医薬品の純度を高めたり、水素などの気体の貯蔵、悪臭物質だけを捕まえる脱臭剤などへの応用が考えられる。使用する分子によって、生じる隙間の形を変えることができるので、狙った分子と似たような形の隙間を作れば、その分子だけを捕まえることができる。一方で、形の合わない分子は取り込まれないので、分子のわずかな形の違いを見分けて、特定の分子を取り出すことができる。

分子は集まって固体になるときに、なるべく密に並びうとするので、通常は隙間をつくることはできない。しかし、いびつな形の分子が集まって固体になれば、隙間

ができやすいのではないかと考えた。そこで我々はねじれた形状の分子に注目し、小さな「隙間」を持った固体をつくる研究を行っている(図)。様々な分子を作って、その並び方を解析すると、全く隙間が見られず、期待外れの結果に落胆することもあるが、想定外の結果が新たな分子のアイデアにつながることもある。これはナノサイズの積み木遊びと言えるかもしれない。目に見えない小さな積み木を組み合わせて、毎日頭の中で新しい作品を考えている。

#### 略歴

1980年生まれ。東京大学工学部卒業。2007年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。博士(工学)。横浜国立大学博士研究員、埼玉大学大学院助教を経て、2015年より現職。専門は有機化学、超分子化学、結晶工学。



中央部に「隙間」をもつ結晶

# 287 磁性と非磁性の境

物質科学部門 物理学コース 小坂 昌史 准教授



## ■磁気モーメントの有無

私達が生活の中で使用する様々な機器には磁性材料が使われています。その原料には鉄・コバルト・ニッケルに代表される遷移金属元素やレア・アースと呼ばれる希土類元素が含まれています。両者ともに、原子それ自体（正確には原子を構成している電子の性質ですが）が磁石のような性質を持っていることが特徴です。そのような性質のことを磁気モーメントと呼び、その有無で磁性物質か非磁性物質かが区別されます。興味深いことに、元素の中には周りからの影響によって、磁気モーメントを持ったり失ったりするものが存在し、私達のグループではそのような元素を含んだ化合物の磁性を調べています。

## ■イッテルビウムの場合

それでは、原子番号70番の希土類元素イッテルビウム(Yb)を例にとつて説明しましょう。一般的に希土類

元素は化合物中で3価の陽イオン状態を取ります。ここで鍵となるのは、イッテルビウムはこれに加えて2価の陽イオン状態も取り得ることです。このように2種類以上のイオン価数状態が存在することを価数不安定性と呼んでいます。イッテルビウムの場合、3価の陽イオン状態(Yb<sup>3+</sup>)では磁気モーメントを持ち、2価の陽イオン状態(Yb<sup>2+</sup>)では磁気モーメントを持たなくなる特徴があります。つまり、磁性⇄非磁性状態を行き来することができ、それはイッテルビウム原子周りの環境、つまりどれだけの距離のところに、どのような原子が存在するかによって左右されます。

## ■境界が最も面白い

よつて、物質設計の段階で予想したり、物質に圧力をかけて原子同士の距離を縮める事によってイオン価数の制御が可能となります。物理現象としては2価と3価が拮抗するところ、すなわち磁性と非磁性の境界が最

も面白く、価数状態の揺らぎが超伝導の起源と考えられる物質もまだ数は少ないですが見つかっています。我々のグループでも  $\text{Yb}_3\text{+}$  と  $\text{Yb}_2\text{+}$  がある配列を持って規則正しく並んでいる物質を最近発見し、着実にこの分野の研究は進展していると言えます。

このような物質の電子状態の研究では、試料として質の良い結晶を作ることが大切となります。写真に示したのは立方晶系に属する  $\text{YbAl}_3$  の単結晶試料です。ピラミッドを上下に接着した様な形は目に見える大きさまで原子が規則正しく並んでいる証です。私達は詳細な電子状態を観測できる良質な結晶を得るために、様々な合成手法を駆使して日々試行錯誤を重ねています。

#### 略歴

1968年生まれ。96年東北大学大学院理学研究科博士後期課程修了。博士(理学)。東北大学金属材料研究所COE研究員、埼玉大学理学部助手を経て、02年より現職。専門は物性物理学実験。主に希土類金属間化合物の磁性の研究を行っている。



物質科学部門 機能材料工学コース 松岡 浩司 教授



## ■感染に糖類が関係

「インフルエンザ」は御存知の事であろう。

例年11月ごろから、冬場に流行するインフルエンザウイルスに感染したことによる疾患である。インフルエンザウイルスの型は色々であり、我々がしばしば感染するのは、主にA型のウイルスである。さらに、このA型ウイルスは、我々の細胞に接着するためのタンパク質（ヘマグルチニン；H）と細胞で増殖したのちに離脱するためのタンパク質（ノイラミニダーゼ；N）をウイルス表面に持っている。これらHとNはそれぞれ16種類、9種類知られている。この組み合わせがH1N1等と呼ばれる所以である。最近の研究では、コウモリから、H17と18およびN10と11が発見されている。さて、インフルエンザウイルスによる感染に糖鎖が関係していることは御存知であろうか？我々の上気道（鼻やのどの粘膜）に存在しているシアル酸と呼ばれる糖を含む糖鎖にHが接着することに

より感染が始まる。細胞に接着したウイルスは、その細胞（宿主細胞と呼ばれる。）の中に取り込まれ、そこで増殖する。その後、細胞から離脱し、次の細胞へ感染を拡大させる。

## ■天然由来のシアル酸

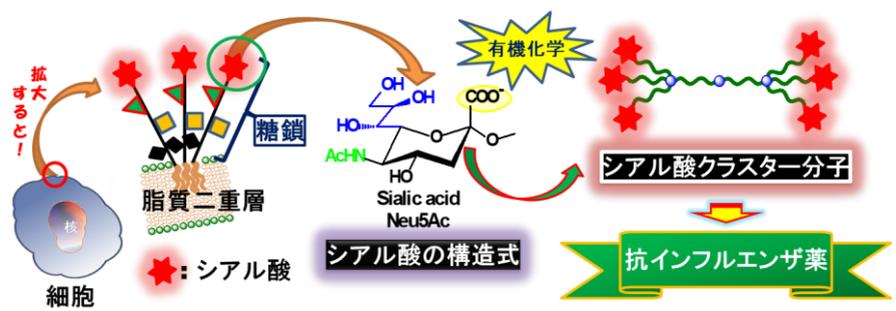
先に細胞表面にシアル酸が存在することを記述したが、ウイルスが離脱する際にはそのシアル酸が邪魔になる。そこで、Nが働く。Nはシアル酸を切断する酵素である。Hが結合するシアル酸を切断するので、ウイルスの離脱が可能となる。このNをブロックするのが、特効薬として知られているタミフルやリレンザである。これら特効薬は、ウイルスの増殖を強力に抑える！しかし、耐性ウイルスの存在が確認され、現在、新しい治療薬の開発が進められている。我々は、糖鎖を基盤とする合成研究をおして、インフルエンザウイルスの阻害剤の開発を進めている。タミフルやリレンザはシアル酸を模倣した人工物

であり、天然の構造とは異なっている。そこで、我々は、天然由来のシアル酸を利用することにしていく。しかしながら、糖に起因する、「特異性は高いが活性が不十分」である欠点を打開するため、シアル酸を多数提示させたクラスター型化合物の開発に着手している。これまでにHのブロッカーとNの阻害剤の化学合成を達成し、知財の創出と研究論文発表に至っている。より活性の高い化合物の発見を夢見て合成研究を継続している。

略歴

1967年生まれ。95年3月北海道大学大学院理学研究科修了。博士(理学)。理化学研究所奨励研究員、埼玉大学助手、助教、准教授、デューク大学客員准教授を経て11年4月から現職。16年4月から研究機構オーブンイノベーションセンター長を兼任。専門は有機合成と糖鎖工学。

目次へ



環境科学・社会基盤部門 牧 剛史 准教授

## ■進む老朽化

近年、一般道や高速道路の橋りようを始めとするインフラの老朽化が進み、補修や更新などの対策の必要性が叫ばれています。また、交通量の増加に伴い、車線数を増やすために橋りようの幅を広げる拡幅工事が行われることも多くなってきました。これらの対策は、限られた予算の中でどのように優先順位をつけて対策を施すか、さらには通行止めなどを極力行わずに供用しながらの対策を行うか、といった点で非常に難しい問題であるのが実状です。

## ■注目の工法

道路橋は、橋げたの上に床版を設置し、その上に舗装を施して車両が通行する構造になっていますが、万が一の交通事故などの際に車両が落下しないために、壁高欄（こうらん）と呼ばれるコンクリート製あるいは鋼製の側壁が、床版の両端に設置されています。車両重量が

直接積載される舗装や床版は一般に痛みが激しいため、補修や更新・改築の主たる対象となるケースが多いですが、仮に床版を取り換えた場合には、その上に設置される壁高欄も取り換えの必要が生じます。コンクリート製の床版や壁高欄は、新設橋りようの場合は現場打ちコンクリート（施工現場で型枠を組み立ててコンクリートを流し込む）で施工されることが多いですが、既設構造物の取り換えの場合は、車両交通を止めずに工事を行う必要性から、なるべく短時間で施工する必要が生じます。そのため、型枠組み立ておよびコンクリート施工・硬化に至るまで工場にて作製したコンクリート（これをプレキャストコンクリートと言います）を施工現場へ輸送し、現地で短時間に組み立てる工法が注目されています。

## ■共同研究

埼玉大学は、平成28年2月に首都高速道路株式会社

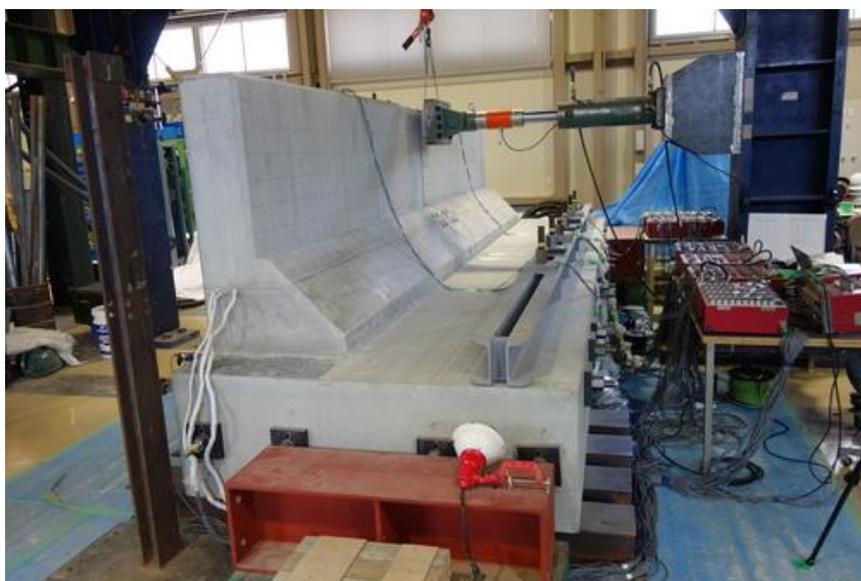


社と包括協定を締結し、その一環として様々な共同研究を進めています。首都高速道路では、都心と埼玉を結ぶ5号線の板橋JCT〜熊野町JCT間で、渋滞解消のための拡幅工事を行っており、施工の合理化と工期短縮のため、プレキャストコンクリート製の壁高欄を本格的に採用することになりました。採用にあたり、車両の衝突に対する安全性を確認するために、実物大のプレキャストコンクリート製壁高欄を作製して、埼玉大学の実験棟にて載荷実験を行いました(写真)。今後の交通インフラの大規模更新に向けて、より合理的な構造を開発すべく、現在も継続して共同研究を行っています。

## 略歴

1972年生まれ。97年3月東京大学大学院修士課程修了。博士(工学)。埼玉大学助手を経て、06年より現職。専門は鉄筋コンクリート構造、複合構造、耐震構造。

## プレキャストコンクリート製壁高欄の載荷実験の様子



# 290 匂い作るのは有機分子

物質科学部門 基礎化学コース 長谷川 登志夫 准教授



## ■匂い分子

皆さんが匂いを感じているとき、そこに匂いもとである分子の存在を意識したことはありませんか？人が匂いを感じるには、匂いを有する有機分子が必要です。つまり、匂いについて知るためには、匂いのもとである有機分子についてよく知っている必要があります。

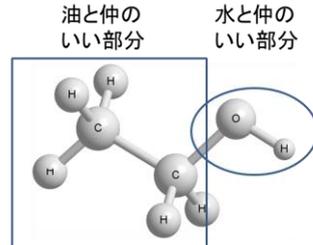
有機分子とはどんな分子でしょうか。炭素原子と水素原子によつてその骨組みが作られ、そこに、酸素原子や窒素原子がくつついたりして作られています。最も身近なものは、エタノールという有機分子です。お酒の成分であり、料理や消毒などにも使われています。図に示したように炭素原子2個と水素原子6個、そして酸素原子1個から作られている有機分子で、水と仲のいい部分と油と仲のいい部分を持っています。この他のよく知られている匂い分子を図に示しました。αーピネン、βーピネンそしてリモネンは、森林の香りや柑橘類の香

りを作っている有機分子です。炭素原子10個からなり、油と仲のいい部分だけからできています。また、花の香りやハッカの香りを作っている有機分子は同じように炭素原子10個からなりますが、酸素原子を1つだけ持っています。いずれにして、油と仲のいい部分がほとんどです。このように、匂い分子は油と仲がよく、水とは仲が悪いので水にはよく溶けません。一般に、匂いのもととなる分子は、油と仲が良い。このため、化粧水などに含まれている匂い分子は、仲の良い水から逃れて自ら飛び出していく、つまり香りを発することになります。また、人の肌や髪の毛は油と仲がいいことから、匂い分子とも仲が良く、匂いがくつきやすい。したがって、体や髪の毛についた匂いには、水洗いでは落ちない。

## ■分子同士の相互作用

ここで、また図に示した匂い分子を見てください。におい分子は様々な形をしています。しかし、よく見ると

## 匂いを発する有機化合物、エタノールの形



形が大きく違う分子と似ている分子とがあるのがわかります。最近の研究によつて、似た形の匂い分子が混ざると個々の分子の匂いとは異なった別の匂いを示すようになることが分かってきています。匂い分子同士の相互作用ともいえる現象です。たとえば、 $\alpha$ -ピネンと $\beta$ -ピネンは形がよく似ていて、一緒に匂いを嗅ぐと、 $\alpha$ -ピネンや $\beta$ -ピネンとは異なつた匂いが感じられます。一方、柑橘類に多く含まれているリモネンは、 $\alpha$ -ピネンとは形が異なるため、まぜてもそれぞれの匂いを感じます。身の回りの様々な素材の匂いは、たくさん匂い分子から作られています。形の類似したものや違うものが混ざりあい、匂い分子同士が複雑に影響しあつている。この複雑なお互いの相互作用を巧みに操つて、調香師は新たな匂いを奏でる香水を作り出しているのです。未だに、匂いの世界はわからないことだらけです。研究者にとつて魅力ある世界で

す。

略歴

1957年生まれ。83年東京大学大学院理学系研究科有機化学専攻修了。理学博士。埼玉大学教養部教務職員、埼玉大学理学部基礎化学科助手を経て、07年4月から現職。専門は香料化学、天然物化学。香気分子のようにして様々な匂いを作り出しているのは、その仕組みの解明に挑んでいます。

## 目次へ

### 実際の匂いのもととなる有機化合物

森林の香り

$\alpha$ -ピネン

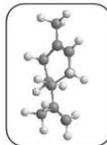


$\beta$ -ピネン



柑橘類の香り

リモネン

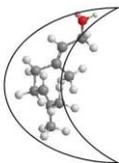


花の香り

リナロール



ゲラニオール



ハッカの香り

メントール



# 291 物体を透視する新しい目

環境科学・社会基盤部門 環境制御システムコース 門野 博史 教授



## ■光断層画像法の発展

我々の身の回りには様々な機構部品や機能材料が溢れています。こうしたものの内部欠陥の検出や品質の確保、安全性を保つためには内部を観察する必要があります。同じことが生体・医療分野についても言えます。体内の組織の異常や病変は早期に確実に発見することが重要です。このような目的では、対象物を非破壊・無侵襲で検査する必要があります。こうした方法にはX線CT、MRI、超音波エコーなどがあり医療現場で広く使用されていますが、工業製品の検査にも利用されています。これらの方法はそれぞれ異なる物質の物理的性質を利用した断層画像法であるため全く異なる情報が得られます。

そうした技術の一つとして近年OCT(光断層画像法)と呼ばれる技術が発展しています。OCT法は光干渉法の一つです。干渉とは2つの波を重ね合わせた際に

波の山と山が重なり合うと強め合い、波がずれることにより谷と山が重なると弱め合う現象です。光波の波長は1ミクロンより小さいため物体の極僅かな変化により干渉の強弱が大きく変化します。したがって、光干渉法では一般的に極めて感度の高い計測が可能となります。通常、干渉法では光源として干渉性の良いレーザー光を用いるのですが、OCTでは逆にLED光のように干渉性の悪い光源を用いるのが特徴です。このような光を用いるとある狭い特定の位置だけで干渉を起こさせることができます。これにより物体中の特定の深さからの情報を取り出すことが可能となり断層像を得ることができます。OCT法は現在では特に眼科では普及しており網膜の異常などの早期診断に利用されています。

## ■試料内部の活動を可視化

従来のOCT法では物体の解剖学的な構造を観測するのに対して、我々の研究室では試料内部の活動や物

性を可視化する新しいOCT（機能的OCT）の開発をおこなっています。その一つが、生物試料に特徴的に現れるバイオスペckル信号を利用した断層画像法です。生物試料は散乱性でありその結果、光がランダムに干渉しますが、生物内部の物質の移送や細胞内器官の運動によつてその信号は時間的に不規則に変動します。これをバイオスペckルと呼びます。図（上）はイネの葉の通常の断層画像です。図（下）はバイオスペckルOCTによる画像です。表皮下部に周期的に構造が現れますが、これは葉脈に対応しています。葉脈では、光合成により同化した物質や根から吸い上げた栄養物の通り道となっているため、他の部分と異なつて可視化されています。本研究ではオゾンなど環境汚染物質による植物のストレス状態のモニタや環境評価を目指しています。

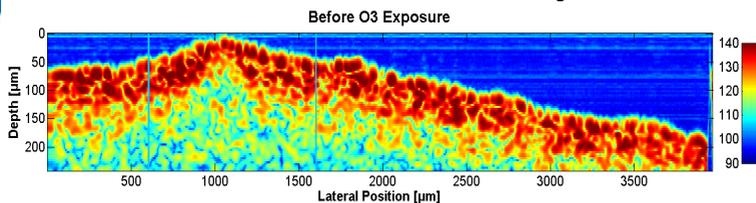
この他、液体の粘性といった物性の違いを可視化することができます。例えば、車の塗装は多層膜になっていますが、各層を区別して塗装や乾燥過程を精密に制御するといったことを可能にします。

## 略歴

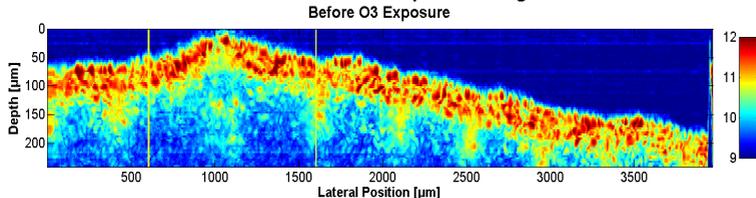
1960年生まれ。97年3月北海道大学大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。工学博士。埼玉県環境科学国際センター研究所長を経て、11年4月

より現職。専門は統計光学、スペckル干渉およびその環境計測への応用。

Conventional OCT cross-sectional Image



Functional OCT Biospeckle image



292

## 生物から学ぶ柔軟ロボット

人間支援・生産科学部門 機械工学コース 程島 竜一 助教授



## ■プラナリアやヒラムシ

手足のような明確な運動器官が備わっていないにも関わらず、高い移動性能を有し環境に適応した動作が可能な生物が自然界には多数存在します。本研究ではその数ある生物の中でもプラナリアやヒラムシといった扁形生物に着目しました。彼ら扁形生物は扁形動物門に属する無脊椎動物の一種で、扁平で不定形な板状の外見を有しています。扁形生物はその柔軟な体を活かして平らな体を変形させ波状に動かすことで、路面を這い回ったり（這行）、水中を泳いだり（遊泳）と環境に適応した幅広い移動能力を発揮します。この移動メカニズムを具現化できれば新しい移動形態が獲得できるのではないかと考え、板状機能体と名付けた平たく柔軟なシート構造のロボットを提案し、実験機の開発を行っています。この板状機能体は物体を包み込む、ベルトコンベアのように物体を搬送するといった能力も期待できるた

め作業ロボットとしての可能性も視野に入れていきます。

## ■試作機の開発

研究の初期段階においては、動力学シミュレーションにより基本的な推進運動を検討してきました。扁形生物のように身体全体を波打って移動する運動、身体を丸めてでんぐり返しのように転がって移動する運動、ウミウシやカタツムリのような腹足類が移動に用いる運動などを実現可能であることがシミュレーションにより確認できました。そして、これらのシミュレーションで得られた知見を基に試作機の開発に着手しました。開発した試作1号機は核となるセルユニットを球関節で縦横に多数連結した構造となっています。関節はRCサーボモータで駆動することとし、セルユニットには制御用マイコンやバッテリー、駆動用RCサーボモータが内蔵されています。現在は縦3ユニット横3ユニットの正方形構成（寸法：432×432×68 mm、重量：5.0 kg）、縦5ユニット横2ユニッ

トの長方形構成(寸法:778×259×68 mm,重量:5.4 kg)のロボットを実現しています(写真は長方形構成)。

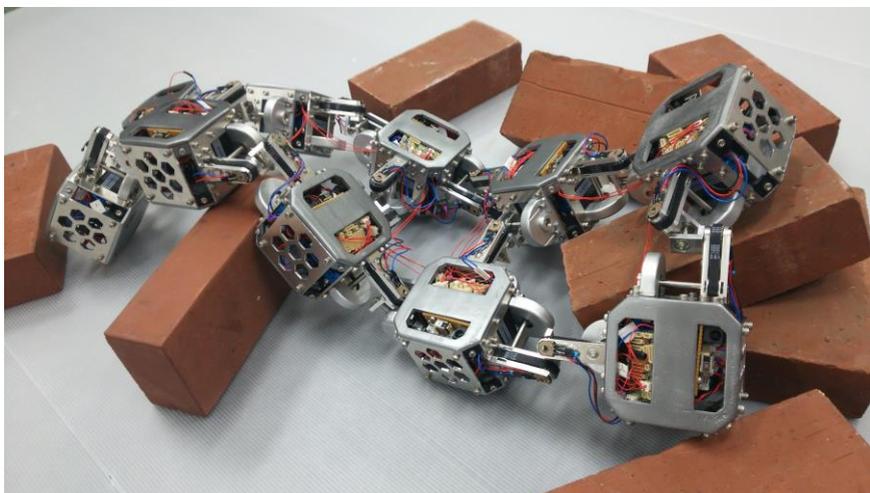
### ■生物の動きを具現化

今後は扁平生物の移動メカニズムを解明し、環境に適応する柔軟動作や身体変形を伴う移動運動、環境とのインタラクションを利用した環境適応型移動、柔軟な身体の弾性的な性質を利用した把持と繰り返し動作などに関する研究を進めていき、環境の力学的特性に忠じた生物の振る舞いを具現化していきたいと考えています。

生物の形態や機能から学んだロボットの開発を通じて、生物の運動に関する知能や感性を追求するだけでなく、現在は製造現場など一部に限られているロボット技術を一般社会に普及できる水準まで昇華することを目標に研究に取り組んでいます。

### 略歴

1976年生まれ。2006年東京工業大学大学院修了。博士(工学)。総務省消防庁消防研究センター研究官を経て、2010年04月から現職。専門は移動ロボットの機構設計や運動制御。



**■3種類**

生物の体の中で働くRNA分子にはどんな種類があるでしょう？比較的良く知られているのは、高校の生物の教科書に載っているmRNA（伝令RNA）、tRNA（転移RNA）、rRNA（リボソームRNA）の3種類ではないでしょうか。ゲノムDNA上に存在する遺伝子（設計図）には、特定のタンパク質を作るためにどういう順番でアミノ酸をつなげれば良いかの情報が塩基配列として書き込まれています。この塩基配列がmRNA（設計図のコピー）として写し取られて（転写）、タンパク質合成の場であるリボソームに運ばれ、その配列情報に従ってタンパク質が合成されます（翻訳）。この際に特定のアミノ酸をリボソームに運搬する役割を果たすのがtRNAであり、リボソームの構成成分として働いているのがrRNAです。

**■分子種の存在**

近年、塩基配列の解読技術が進歩して、細胞の中に存在しているRNA分子種の塩基配列をかたっぱしから調べることも可能になりました。その結果、細菌からヒトまでの様々な生物種の細胞に、mRNAでもtRNAでもrRNAでもないRNA分子種がたくさん存在することが分かってきました。これらのRNA分子種の機能を明らかにすることは、現在、生物学で最もホットな分野の一つです。たとえば、光合成を行う細菌であるシアノバクテリア（ラン藻）の一種、シネコスチス sp. PCC 6803の場合、その細胞内から検出されたRNA分子種3527種類のうち、mRNAは1165種に過ぎず、残りの大半は、タンパク質の設計図としての機能を持たない、低分子RNAと総称されるRNA分子種であったそうです。これらの低分子RNAは一体どんな役割を果たしているのでしょうか？これまで個別に解析された

結果から、mRNAと相互作用することによってその安定性を高めたり、mRNAとリボソームの接触を妨げること  
で翻訳を阻害したり、様々な働きを持つことが分かつて  
きました。遺伝子が転写・翻訳されてタンパク質が合成  
されるまでの様々な段階で、調節的な役割を担っている  
と考えられます。

## ■低分子RNAの転写

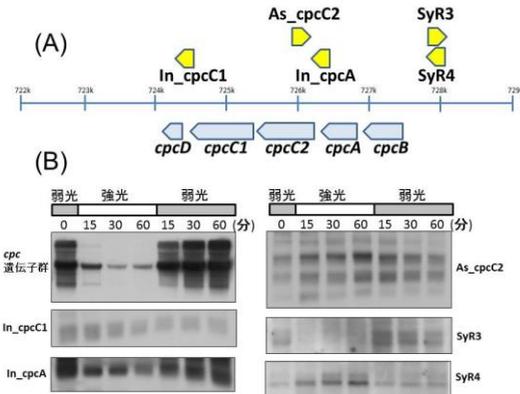
私は、シネコシステイスP. PCC 6803が光環境  
の変化に対して、どのように光合成を調節しているかに  
着目して研究を行っています。その過程で、光を集め  
るために働くアンテナタンパク質の設計図であるcpc遺  
伝子群の近傍から、複数の低分子RNAが転写されてい  
ることを見出しました(図A)。アンテナタンパク質の量は  
弱光下で増加し、強光下では減少すること、光合成  
に必要なだけの光を集めるように調節されています。そ  
れを反映し、cpc遺伝子群から転写されるmRNAの量  
も同様に弱光下で増加、強光下で減少しますが、cpc  
遺伝子群近傍から転写される低分子RNAは、光強度  
の変化に対して、cpc遺伝子群とは異なる様々な増減  
パターンを示すことが分かりました(図B)。これらの低  
分子RNAが、アンテナタンパク質の合成量の調節に関わ  
っているのかどうか明らかにするために、低分子RNAを  
細胞内に高蓄積する変異株を作製し、現在その解析を

行っているところです。

## 略歴

1970年生まれ。98年東京大学大学院修了。博士  
(理学)。日本学術振興会特別研究員、埼玉大学理学  
部助手を経て、09年より現職。専門は光合成の環境応  
答に関する分子生物学。

図の説明：(A) cpc遺  
伝子群(cpcB、A、C  
2、C1、D)の近傍か  
ら、複数の低分子RN  
A(In\_cpcC1、In\_cpcA  
As\_cpcC2、SyR3、  
SyR4)が転写されて  
いることが明らかにな  
った。(B) シネコステ  
イスP. PCC 680  
3を弱光から強光下に  
移し、また弱光下に戻  
した際に転写された、  
cpc遺伝子mRNA、お  
よび低分子RNAの量  
増えたり減ったり、  
様々なパターンを示し  
ている。



# 294 SiC 半導体応用の新展開

数理電子情報部門 電気電子システム工学コース 土方 泰斗 准教授



## ■ポストSi半導体材料

炭化ケイ素(SiC)半導体は、ハイパワー・低消費電力のパワーデバイスを実現するポストSi半導体材料として現在注目を集めており、ショットキーバリアダイオード(SBD)や金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ(MOSFET)、これらを組み合わせ構成したパワーモジュールが既に市場に出回っています。ところが、実はSiC半導体の応用分野は、パワーデバイスに留まりません。SiCはそもそもSi(シリコン)とC(ダイヤモンド)の化合物半導体であるため、これら二つの半導体材料の性質を兼ね備えています。

例えば、熱酸化によって良質な絶縁膜である二酸化ケイ素膜が表面に成長できる性質はSiと共通しています。また、材料の性質ではありませんが、近年の結晶成長技術の進展によって大口径(6インチ)ウエハが量産化され、ほぼ全てのデバイス作製プロセスも確立されてお

り、デバイス化が容易な点もまたSi半導体と共通しています。

## ■「いいとち取り」

一方、ダイヤモンドと共通する性質としては材料自体の「堅牢さ」が挙げられます。SiC結晶はSiとCの結合力がダイヤモンド並みに強いため、地球上3番目の硬度を有し、放射線照射による損傷が少なく、化学的に極めて安定した材料です。従い、研磨材、ロケットや放射性管理区域内に置かれた精密機器を保護するセラミック材等にも使用されています。さらに、ワイドバンドギャップという物性的な共通点もあります。一般的に、ワイドギャップ半導体は真性半導体温度(半導体の性質を保てる温度の上限)が高く、高温下でも動作が可能です。また、可視光線は半導体にしてみれば大きなエネルギーを持っていますが、可視光を発するにはそれ以上のエネルギーを潜在的にもつ半導体が必要であ

り、すなわちワイドギャップであることが発光材料の必須条件となります。実は、SiC半導体はちょうど90年前の1927年、人類史上初の発光ダイオード(LED)を実現させた材料でもあります。よってSiC半導体は、Siよりも強くダイヤモンドよりもデバイスフレンドリーな、まさにSiとCの「いいとこ取り」をした材料と言えます。

### ■百倍以上の限界放射線量

平成23年の東電福島第一原発事故を受け、人間に代わって廃炉処理を行うロボットの開発が急務となっています。このようなロボットが強い放射線環境下で長時間の作業を可能にするためには、高い耐放射線性を有する半導体デバイスの開発が不可欠です。加えて、航空宇宙分野からは、地表に比べて放射線量が高く、真空中中であるが故に素子冷却が困難のため、耐放射線性と耐熱性を両立した頑丈なデバイスが求められています。SiC半導体はこのような要求を満たす材料として期待されてきましたが、最近の我々の研究成果により、従来のSiデバイスよりも百倍以上もの限界放射線量を有するパワーMOSFETの開発に成功しました。今後は、このような耐放射線性の強化されたパワーデバイスをインバータ等のパワー回路に導入していく予定です。一方、SiC半導体を用いてこのような極限環境にも耐え得る

撮像素子の開発にも現在挑戦中です。

### ■量子効果デバイスの実現

最後に、近年急激に技術革新を遂げているSiC半導体を用いた量子効果デバイスについて紹介します。SiC半導体にはダイヤモンド、窒素・空孔中心とよく似た単一欠陥が存在し、これを単一光子源やスピンとして利用できることが最近の研究成果からわかつて来ました。このような量子効果デバイスが実現すると、絶対傍受できない量子暗号通信に必要な単一光子発生器、超高速な量子コンピュータに搭載される量子ビット演算素子、先進医療等の分野で有用なバイオマーカー(ナノ温度計)への応用に道が開かれます。SiC半導体のデバイス親和性や、LEDで実証された室温電流注入発光等の特色を活かし、SiC量子デバイスの早期実現を目指しています。

### 略歴

1971年生。99年東京工業大学大学院修了。博士(工学)。埼玉大学工学部助手を経て、05～06年イタリア国立研究所客員研究員、06年から現職。専門は炭化ケイ素半導体の表面・素子接合界面の物性評価、素子作製技術の開発研究等。



特に何もすることもなく、テレビを観ながらゴロゴロ。空腹をおぼえ、コンビニ弁当をチンし、『ああ、○澤○美（美人女優）が奥さんで、おいしい飯を作ってくれたらなあ〜』と、ありもしない妄想をする中年男。缶ビールを片手にダラダラと弁当を食う。テレビでは、駅伝の学生ランナーが、仲間の汗の浸み込んだタスキを掛け、懸命の走りを見せている。この若人が数時間前に摂った食事のほとんどは、走るためのエネルギーと美しい汗へ変換されているのであろう。かたや、中年オヤジの無駄メシは、ゴロゴロし、くだらない妄想すること、そして“ただ生きているため”のエネルギーに変換され、不使用分は、豊かな腹部の形成に寄与するのである。

### ■ミトコンドリアの役割

あえて健全さについては云々しないが、ここで言いたいのは、エネルギーは常に作り出されているということである。その大部分は、細胞の中のミトコンドリアという小器

官で行なわれている。ミトコンドリアで作られたエネルギーは、活発に動いたり、考えたり、体温を維持したり、様々な生命活動に費やされる。眠っているときでさえも、絶え間なくエネルギーを供給するために、ミトコンドリアは昼夜を問わず働き続けるのであるが、十分に働いたミトコンドリアは、いずれ、部分的に、擦り切れた雑巾のように、使い物にならなくなる。それを補うために、ピチピチの新しいミトコンドリアが生まれ、既存のミトコンドリアに融合する。お役ご免となったミトコンドリア（機能が悪くなった部分）は、速やかに分解を受ける。

### ■健全な維持が大切

仮に、その分解の作用が悪くなるとどうなるのであるか？細胞のなかには使用済みミトコンドリアのゴミだらけとなり、「汚部屋」の様相を呈する。写真は、ミトコンドリアの淘汰に関わる遺伝子の異常によって、悪いミトコンドリアが淘汰されず、良いミトコンドリアと混在した

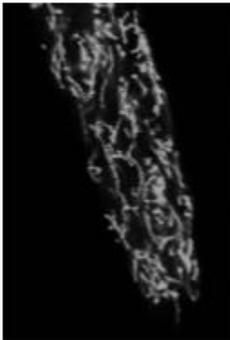
状態である。この細胞が、エネルギーをうまく作り出すことができるか否か、想像に難くなく、実際にこの細胞の寿命はかなり短くなる。ヒトの病気、パーキンソン病患者の神経もこの状態にある。原因は、不具合が生じたミトコンドリアを淘汰するための遺伝子に異常が生じたためである。

ミトコンドリアは生きてゆく上では「いるもの」であるが、「いらぬもの」になったら、速やかに淘汰されなければならぬ。長距離を駆け抜けるにも、ゴロゴロしながら妄想するにも、ミトコンドリアが健全に維持されることが大切なのである。

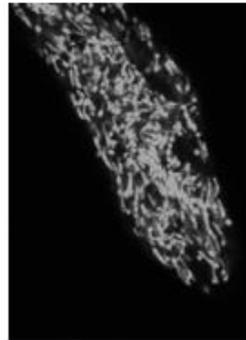
#### 略歴

1965年、秋田県に生まれる。1990年3月東京理科大学理学部第二部化学科卒業、食品会社勤務、研究所勤務を経て、1992年4月より埼玉大学大学院に在籍、1998年同理工学研究科博士後期課程修了（博士（理学））。ベンチャー企業勤務、医学系大学ポスドク、農学系大学研究員を経て、2004年10月から現職。専門はアカパンカビの寿命、遺伝子導入機構、DNA修復機構の解明。

目次へ



正常



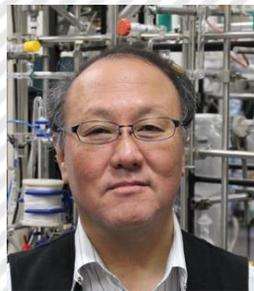
異常

ミトコンドリアの淘汰異常（アカパンカビ）

296

## 石油をプラスチックに

物質科学部門 応用化学コース 黒川秀樹 教授



我々の生活を豊かにしているプラスチック製品は石油から造られています。プラスチックは、軽くて、強度が高く、色々な形状に容易に加工できるため、日用品から家電、自動車部品などの様々な製品を造るためになくてはならない材料です。石油からプラスチックを造るには、まず、石油の中でも比較的小さい物質（ナフサ・ガソリンと殆ど同じ成分）を高温で反応させて、エチレン、プロピレン、ブタジエン、キシレンといったプラスチックの原料となる物質を造ります。これらを“触媒”という物質をつかつて反応させてプラスチックにします。例えば、エチレンからポリエチレン、プロピレンからポリプロピレン、ブタジエンから合成ゴムが作られます。また、キシレンは複数回の反応を経て、PET樹脂になります。これら一連の物質変換には高性能な“触媒”が不可欠です。優れた“触媒”を使うことで、エネルギー効率が高く、廃棄物の

少ない製造プロセスを組むことが出来ます。

我々の研究室では、貴重な資源である石油から身の回りのプラスチック製品を効率よく造るための高性能な“触媒”の開発を行っています。特に近年は、化学反応しづらく、これまでプラスチック原料として利用できていなかった未利用炭素資源（プロパン、ブタンなど）をプラスチック原料とするための“触媒”の研究を行っています。研究室で試験的に造る触媒は、量が少ないために同じ性能のものが安定して造れないなど、毎日が苦労の連続ですが、学生達と共に楽しみながら研究しています。

最後に、写真は、秋田県八橋油田の石油採掘設備です。日本にも油田があるんですよ！

略歴

1959年生。89年3月東京工業大学大学院修了。博士(工学)。三菱化学(株)四日市事業所勤務を経て、1997年9月より埼玉大学工学部助手、2015年4月から現職。専門は、触媒化学、石油化学。



# 297 科学研究室の変遷

物質科学部門 機能材料工学コース 本多善太郎 准教授



## ■閉鎖的だった研究

皆さんは大学の科学研究室にどのようにイメージをお持ちでしょうか。扉が固く閉ざされ、博士が助手と共に引きこもって科学実験を行っている、閉鎖的なイメージをお持ちの方もいらっしゃるかもしれません。事実、そのような研究スタイルは18世紀ごろまで珍しくありませんでした。例えば万有引力定数を測定するなど多くの業績を残した、イギリスの実験物理学者キャベンディッシュは自邸に閉じこもって研究を行い（彼は大金持ちでした）、生前に研究成果をほとんど公表しませんでした。その結果、彼の発見を知らずに同じ研究が行われる事態になりました。

## ■開かれた研究

一方、近代の科学研究室は研究者や社会に開かれていること、組織立っていることが特徴になっています。20

世紀初頭にヘリウムガスの液化に成功して低温物理学の礎を築いた、オランダの実験物理学者カマリン・オネスは、近代的な科学研究室を作り上げたことで知られています。彼の研究室では訪問者を歓迎するだけでなく、いつでも研究について話し合い、互いに協力する用意ができていました。当時、物質の中で最も沸点の低いヘリウムガスの液化は国際的な競争になっていましたが、オネスは同時代のライバルたちとも積極的に意見交換し、研究室の運営に関してオランダ・ライデン市と交渉もしました。オネスはまた、彼の研究を進める上で熟練したガラス吹き工（液化ガスの容器を作りました）や、精巧な実験設備を構築・維持できる一流の技術者が必要であることを本心に理解した人でもありました。彼は実験計器の専門技術者を養成するための協会を設立し、研究者と専門技術者が一丸となって研究を推進する研究

チームを組織して実験にあたり、競争相手に先んじてヘリウムガスの液化を達成しました。このようにオネスは、ばらばらに動きまわる変わり者で構成されていた科学研究室にプロフェッションナリズムと組織化をもたらし、「開かれた扉」は近代科学研究室の基本方針になりました。

### ■社会との関わり大切に

現代ではどの大学の科学研究室も外部の研究者と積極的に交流し、一般公開や出張実験などを通して社会とかかわりを持つ姿勢を大切にしています(埼玉大学も学園祭などで科学研究室の公開を行っています)。また、最近まで大学の多くの科学研究室には様々な実験機器に関する高度な技術を持った専門技術員が配置されていました。残念ながら日本の大学では運営費の削減が最近進んでおり、このような組織が維持できなくなりつつあります。競争的研究費は増える傾向にありますが、喫緊の研究成果が求められることが多くなりました。ちなみにオネスが一見応用とは結びつかないヘリウムガスの液化のために近代的な研究室を作り上げたことを紹介しましたが、彼は液化したヘリウムを使って様々な物質を冷やす実験を行い、物質の電気抵抗がゼロになる超伝導現象を後に発見しました。現代では超伝導体は医療用画像診断装置に使用され、多くの人の病気の発

見・治療に役立っています。

### 略歴

埼玉大学大学院 博士後期課程修了。博士(理学)。埼玉大学工学部助手を経て、2007年から現職。専門は磁性学。主に金属錯体、有機磁性体の研究を行っている。

# 298 建物の振動を計測

環境科学・社会基盤部門 環境社会基盤国際コース 茂木秀則 准教授



## ■常時微動って？

地震でも起きない限り地面は動かないものと思われている方が多いと思いますが、実際には自動車が発生させる衝撃や風などの力によって常に揺れています。また、この揺れは地面に建つ建物などの構造物にも伝わります。このような、振幅の小さい、いつも振動している揺れを常時微動と呼び、高感度の振動計を用いて計測することが出来ます。常時微動は振幅が小さいとは言え、それが計測された地面や構造物の振動の特徴を反映しているため、地震時の動きを推し量る上で有用な情報となります。

## ■校舎の常時微動計測

本年度の大学院の講義では振動計測と解析の実習として校舎の常時微動計測を行いました。計測は埼玉大学の高層の校舎（鉄骨鉄筋コンクリート造11階建）の屋

上の東西の端2カ所と1階の中央1カ所に3方向の振動の計測が可能な振動計を3セット設置して行いました。屋上の東西2カ所に設置した理由は建物の並進振動（屋上のコンクリート版が向きを変えずに動く振動）とねじれ振動の両方を検出するためです。また、1階に設置した理由は建物の比較的ゆっくりした振動は交通振動などが主な原因であるため、建物の振動の入力と考えることが出来るためです。写真は受講した学生さんが3箇所の振動をリアルタイムでモニターしているところです。

## ■計測結果

計測結果の一例として、波形とスペクトル／位相差の図を示します。波形は黒線が1階、青線が屋上の西端、赤線が東端のものです。振動の方向は南北方向で、北へ動いているときに+の値になっています。波形をみると

屋上の波形は揺れの周期は同じで1秒間に2回くらい振動していることがわかります。また、屋上での振幅は、1階の振動と比べてかなり大きいことがわかります。この結果から、地面の振幅が建物に伝わり、それに応答して建物が振動しますが、その際により大きく増幅されるのがわかります。このような応答の様子を詳しく調べるときにはスペクトル解析が威力を発揮します。スペクトル解析とは、たとえば図のような不規則な波形を様々な振動数のサイン波に分解するもので、スペクトルは分解されたそれぞれの振動数のサイン波の振幅を、振動数を横軸にとつて図にしたものです。また、それぞれの振動数ごとのサイン波の位相(角度)の差も生じている振動を考察する上で重要な情報になります。上図は建物の屋上と1階のスペクトルを示しています。この結果から、1階の振動は振動数に対する変化が小さく平坦な形を示すのに対して、屋上では1.6 Hzや2.1 Hzのサイン波の振幅が特に大きくなっていますので、この振動数でこの建物が揺れやすいことがわかります。下図の西端と東端の位相差を見ると、屋上西端と東端の1.6 Hzの成分(分解された1つ1つのサイン波のこと)の位相の差はほぼ0度です。西端と東端がいつも同じ方向に振動していることがわかります。一方、2.1 Hzの成分では位相の差がほぼ180度になっていますので、西端と東端がいつも

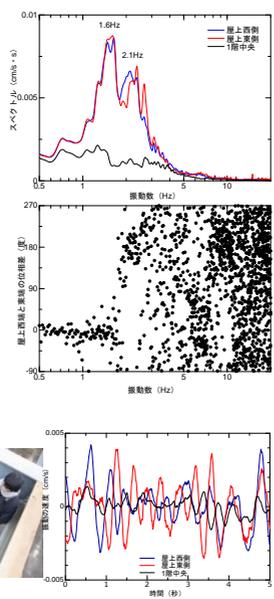
逆方向に動いている、すなわち建物がねじれるような振動が生じていることがわかります。

**■ 結語**

このように建物の揺れ方を簡単に調べることができる常時微動計測ですが、地震の前後で比べると建物の損傷の有無や箇所がわかるなどいろいろな応用が考えられています。これからも測定機器や設置方法の工夫をしつつ、新しい活用方法を考えていきたいと思っています。

**略歴**

1965年生まれ、東京工業大学大学院修了、博士(工学)・埼玉県応急危険度判定士、専門は地震工学。



**目次へ**

# 299 2次元状物質の単結晶成長

物質科学部門 基礎化学コース 上野啓司 教授



遷移金属ダイカルコゲナイド(Transition metal dichalcogenide: TMD C)は組成式が  $MX_2$  (遷移金属 M = Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W, Re, Pt など、カルコゲン X = S, Se, Te) で表される化合物群で、その多くは、鉛筆の芯に用いられる黒鉛(グラファイト)と同様に、2次元平面状に拡がった層が弱い力によつて積み重なった構造を持っています。その中で二硫化モリブデン(MoS<sub>2</sub>)は、グラファイト(単層のものはグラフェンと呼ばれます)とは異なり、コンピュータのトランジスタや太陽電池などに使われるケイ素と同じような性質(半導体性)を持っており、大型の天然単結晶鉱物が産出することから、様々な研究が活発に行われています。

原子が規則的に並んでいる固体を結晶と呼びますが、

その中で最も美しいのが単結晶です。単結晶とは、端から端まで連続した一つの結晶でできている固体です。現実の多くの固体は、非常に小さな単結晶の粒が不規則に集まった多結晶です。また原子の並び方に規則性がないガラスのような固体は、非晶質(アモルファス)と呼ばれます。単結晶はその物質の純粋な性質を示すため、高品質な単結晶を得ることは、基礎研究から工業応用に至る多くの分野で重要な課題です。しかし天然の単結晶鉱物試料は、様々な不純物を既に含んでいるため、不純物の種類と量を人為的に調節して固体の性質を制御することが困難です。そこで私の研究室では、高品質な TMD C 単結晶を、純度の高い原料を用いて人工的に成長することを試んでいます。

TMD C 単結晶の成長は、化学蒸気輸送法と呼ばれる手法で行います。まず、石英ガラス製の管内に T

MDC原料と臭素、ヨウ素などのハロゲンを入れ、内部の圧力を下げて真空の状態にしてから封じます。このガラス管を横型の管状電気炉に入れ、図に示すように原料側が高温、結晶成長側が低温となるような温度差を保ちつつ、800～1000℃程度まで加熱します。すると、高温側で金属Mがハロゲン化物となって気化しカルコゲンXと一緒に低温側に輸送され、そこでダイカルコゲンナイドMX<sub>2</sub>となつて徐々に析出し、単結晶が成長します。図の下部に、成長したTMD C単結晶(MoS<sub>2</sub>、WSe<sub>2</sub>)の写真を示します。

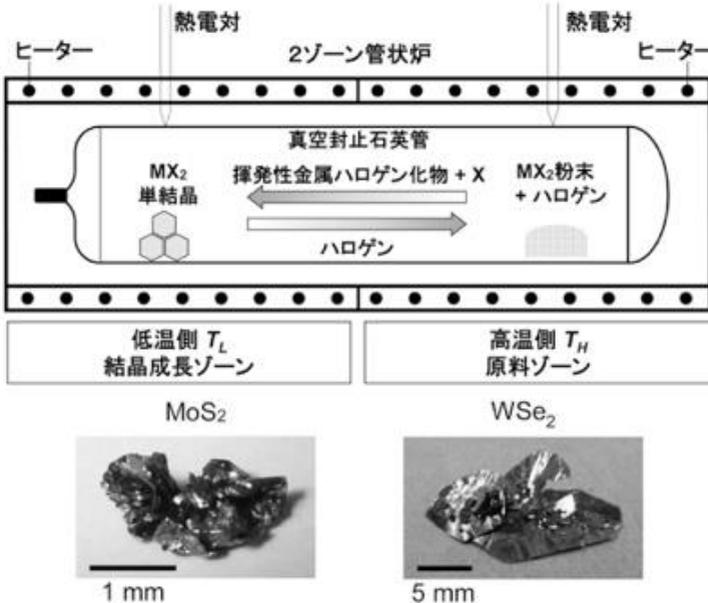
現在、さらに大きな単結晶の成長に挑戦すると共に、得られた結晶が示す様々な物性の解明や、光・電子デバイス材料としての応用について研究を進めています。またTMD Cの非常に薄い膜を、原子層堆積法と呼ばれる手法で作製することにも挑戦しています。

### 略歴

1964年生。1990年3月東京大学大学院理学系研究科博士課程中退。博士(理学)。東京大学大学院理学系研究科助手、埼玉大学大学院理工学研究科准教授を経て、2019年4月から現職。専門は固体化学、表面科学。層状物質や有機半導体物質のような、ファンデルワールス力を介して結晶を形成する物質に興味

を持ち、素子応用の研究を進めている。

### 目次へ



# 300 ヶドローンでPM 2.5を測る！

環境科学・社会基盤部門 環境制御システムコース 王青耀 教授



## ■環境計測へのドローン活用について

近年、ドローン(Drone)またはマルチコプター(Multicopter)などと呼ばれている小型無人飛行機(Unmanned aerial vehicle 略称UAV)の話題が、テレビや新聞で多くなってきた。気象観測、テレビ中継、軍事、農業、野外スポーツ撮影、生態観測、地震や火山などの災害現場空撮、建造物点検、配送サービスなど、様々な分野での応用が期待されている。当研究室では、2015年3月19日に世界で初のドローンを用いたPM<sub>2.5</sub>などの大気観測を行った以来、数回のフライトを実施し、新たな知見が得られている。

## ■PM<sub>2.5</sub>とは？

大気中総浮遊粒子状物質のうち、粒径2.5マイクロメートル以上の粒子を粒径 $2.5 \mu\text{m}$ マイクロメートルで50%カットした粒子状物質のことをPM<sub>2.5</sub>という。人は呼吸により酸素を吸

入する際に、PM<sub>2.5</sub>が含まれていると、様々な沈着機構により、鼻腔、気管支、肺などの呼吸気道の各部位にその粒径に依存して沈着することになる。したがって、大気汚染は私達の生活に密接した環境問題であり、人間の経済的・社会的活動が主な要因であるため、具体的な環境対策を施すことが不可欠である。

## ■上空のPM<sub>2.5</sub>はどうなっているか？

上空の微小粒子PM<sub>2.5</sub>中の化学成分を計測したところ、硫酸、硫酸水素アンモニウムと硝酸アンモニウムなどが多く観測された。上空の方が地上より、新鮮な二次生成粒子が形成していることが分かった。すなわち、中和されていない酸性粒子の割合が地上よりも上空の方が高かった現象を把握することができた。また地上では、粗大粒子や微小粒子中のカルシウムイオンの濃度が高かったことから、車走行による道路粉じんの局地的

な発生、つまりカルシウムイオン(炭酸カルシウム)を多く含まれている局地的な道路粉じんが酸性粒子を中和する作用があり、地上の粒子状物質がエアロゾルに伴い、硫酸カルシウムや硝酸カルシウムに転換されて、二次粒子の形成可能性が推測できる。

## ■ドローンの環境分野での展開

現在、国内外の様々な分野でドローンが活用され始めているが、上空の大気観測を目的としたドローンの設計・開発・実証・実用化例が無い。また、国内外においてドローンに搭載する上空大気サンプリング及び気象情報同時観測装置の設計・開発・実証・実用化例が無い。さらに、国内外において、上空随意地点の大気汚染物質の観測データが存在しない。そのため、当研究室、株式会社日本環境調査研究所、株式会社エンルート、柴田科学株式会社などから構成されたプロジェクトチームによつて、平成28と29年度の埼玉県産学連携研究開発プロジェクト(ロボット分野)補助金事業として、「ドローンを用いた低層大気観測用ロボットの開発」を実施してきている。ドローンを用いた低層大気観測用ドローンロボット及び、同ロボットをシステム化して搭載した可搬型大気観測ステーションは、上空のPM<sub>2.5</sub>や気象データをリアルタイムに計測伝送し、安全で且つ自動でモニタリングなど、独創的な環計測技術の確立を目指している。

## 略歴

1959年生まれ。埼玉大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。工学博士。1995年(社)国際善隣協会環境推進センター首席研究員兼副センター長。2002年埼玉大学助教授、2005年より現職。2008(2012年文科省科研費新学術領域研究(黄砂、花粉)課題代表者、2016～2017年県産学連携研究開発プロジェクト(ロボット分野、ドローン)課題代表者など。専門は生物環境科学、有機資源化学、大気環境化学。



# 301 水が作る音のしくみ

人間支援・生産科学部門 機械工学コース 平原裕行 教授



我々の研究室では、流体力学に関連した様々な研究をやっていますが、その一つとして、音の研究をやっていますのでそれについてここでご紹介しましょう。音は我々にとって、とても重要な情報源であることは言うまでもないことですが、一方で、騒音となる厄介なものであったり、ヒーリングとなる心に響くものであったりしますね。今回は、水が作る音のはなしを、ご紹介します。簡単な実験を試してみましょう。台所に行き、水道の蛇口の下にお椀を置いて水をはってください。そうしたら、次にその水面に一滴ずつ、水滴を垂らしてください。蛇口にぐつと近づけていると音はしませんね。お椀の水面を離していくとあるところから音が発生し始めます。さて、この時、よく見ると気泡が残っているのが分かると思いますが、実は音の発生にはこの気泡が関係しています。で

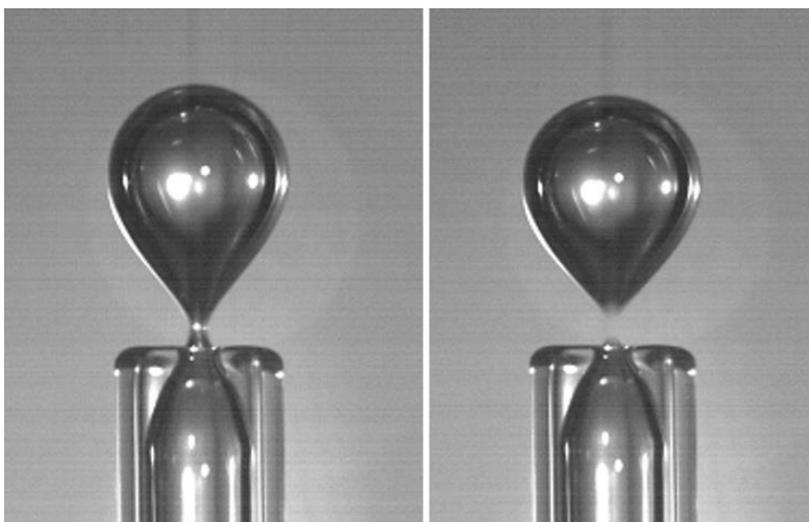
も気泡が音を発生しているわけではありません。気泡を形成している周りの水が音を発生しているのです。ここで写真を見てください。写真は、水中においたガラス管から空気を徐々に出していき空気の泡を作り、その泡がガラス管から（正確にはガラス管の中の空気から）離れる瞬間を高速度カメラで撮影した時の写真です。同時に水中においた水中マイクで音を計測しています。そうすると離れた直後に音が発生しているのがわかります。さて、先ほどの水滴の音は、落下する水滴が音を作るのではなく、落下する水滴が周りの空気を水中に引き込んで泡を作るときに、今示した写真とさかさまの状態で空気泡が音を作り出します。話がややこしくなりましたが、このように音の発生メカニズムはとても複雑で、その直接の音の生成過程をまだ正確に捉えられてはいません。この水面の動きは、通常のカメラでとらえ

るにはあまりにも変位が小さいのです。我々の研究室では、この通常では捉えられない変動を実験的に捉え、そしてそこから数値計算によってそれを再現する試みを行っています。この話の最後に水琴窟についてご紹介しておきます。落下する水滴の音を使った日本古来の愉しみの一つに水琴窟という風流があります。水滴の音を瓶をつかつて響かせるものです。日本全国に分布していますが、関東には栃木のお寺などに多く見られます。残念ながら埼玉県にはわずかにみられるようです。ご興味の方は、「日本水琴窟フォーラム」とネット検索してください。楽しい記事が読めると思います。

#### 略歴

1958年生。1986年3月九州大学大学院修了。博士(工学)。埼玉大学大学院准教授を経て、2008年4月から現職。専門は流体力学

目次へ



302

## 植物が支える豊かな社会

生命科学部門 分子生物学コース 西田生郎 教授



さまざまな資源の枯渇が危惧される中、植物が生産する再生可能な炭素資源に依存する社会を構築することは極めて重要である。ダイエットファイバーとして注目されるグルコマンナンは、コンニャクを除き、われわれが通常食する作物には微量にしか含まれないが、グルコマンナン含量を高める技術を開発できれば、お米やパンからの摂取が可能になると考えられる。体脂肪の過剰蓄積による健康障害や疾患に関心の高い欧米では、魚肉に含まれるDHAやEPAなどの有用脂肪酸をサラダとして摂取できるような植物の作出も試みられている。さらには、油脂やセルロースなどの資源は、それぞれバイオディーゼルの原料として期待される。薬用植物の生産するアルカロイドなどの生理活性物質は、植物の二次代謝産物とよばれ、特定の植物以外では容易に生産できず、

糖質などの一次代謝産物に較べて生産量に限界がある。しかし、有用物質の生産性を高めるためには、個別の代謝経路の理解を深めるだけでは不十分で、植物個体としての光合成能力を高めながら、その資源をより有用性の高い物質に配分するしくみを構築する必要がある。緑葉は光を受けると、光合成により炭酸ガスをデンプンに固定する。光合成は、光のエネルギーをデンプンという化学物質のエネルギーに変換して蓄える過程であるが、そのエネルギー変換装置は、過剰に強い光(例えば、真夏の太陽光ぐらいの強い光)にあたると速やかに分解してしまいう性質がある。一方、強い光を受けながらも、その一部を熱エネルギーとして逃がしたり、分解した部分を修復したりして光合成装置を維持するしくみがある。

緑葉にとつて、環境の炭酸ガス濃度が高まることは、

光合成の生産を高める効果が期待される。しかし、緑葉にデンプンや糖質が過剰に蓄積すると、光合成の働きは逆に抑制されてしまう。このような負の効果を避けながら、植物個体としての生産量(バイオマス)の増大を期するためには、「転流」というしくみを利用して、過剰の糖質を、それを必要とする別の器官(若い葉や根、花)に輸送して、そちらの成長を促すようにできると都合がよい。

埼玉大学では、以上のような研究を、複数の研究グループが国際共同研究として個別に進めながら、その成果をグループ間で共有し、相互の連携を深めながら、より優れた成果を生み出す国際共同研究ネットワークの構築を開始している。詳細は、「頭脳循環を加速する戦略的国際研究ネットワーク推進プログラム」(日本学術振興会)の平成28年度採択課題に関する本学HP ([www.saitama-u.ac.jp/topics\\_archives/2016-10-20-112009.pdf](http://www.saitama-u.ac.jp/topics_archives/2016-10-20-112009.pdf))を「[閲覧](#)」してください。

## 略歴

大学院理工学研究科教授。1955年生。1985年3月東京大学大学院理学系研究科相関理化学専攻修了。理学博士。基礎生物学研究所助手、東京大学大学院理学系研究科助教を経て、2006年10月から現職。

2011年から2016年まで植物脂質科学研究会会長。  
2013年3月から2017年2月まで日本植物学会刊行国際誌JPR編集長。専門は植物分子生理学、植物脂質生化学。

目次へ

# 303 消化管と神経のはなし

生命科学部門 生体制御学コース 坂井貴文 教授



読者の中に、「胃の調子が悪くて胃もたれや胃の不快感がある」、または「大腸の調子が悪くて一日に何度もトイレに行かなければならないことが続いている」、「心配なので病院へ行って検査をしてもらったが悪いところが見つからなくて困っているという方がいませんか。それはひよつとすると機能性胃腸症という病気かもしれません。

消化管は普段ほとんど意識されないだけでなく、うねうねとしてなんだか得体が知れないというイメージさえ持たれているちよつとかわいそうな臓器です。でも、消化管はその全域が神経細胞と神経繊維で網目状に取りまかれています。粘膜に多くのホルモン細胞を持つなど、他の臓器には見られない多くの特徴を持っています。実は、消化管には脊髄とほぼ同数の神経細胞が

あつて、脳がなくとも自分だけで栄養の吸収、酵素等の分泌や運動を行えるようになっています。下等な動物、例えばヒドドラなどは脳を持っておらず、多くの神経細胞が消化管を取り囲んでいます。このことは、進化の過程で脳が出現する前から消化管は自前の神経によつて消化、吸収、運動を行なっていたことを意味します。そうすると消化管は、いわば脳の先輩格にあたるので、**primitive brain** (原始的な脳)と呼ばれたりもします。後に出現した脳は、ホルモンや自律神経を介して、消化管と緊密に連絡を取ることになります。しかし、脳が消化管に対して横から色々と口を出しすぎると、かえつて調子が悪くなり、胃が痛くなつたり下痢を起こしたりします。胃や大腸からしたら、「自分で何でもできるので、脳は黙っていてほしい」というところです。逆に消化管から送られるさまざまな情報や指令によつて、脳の生理

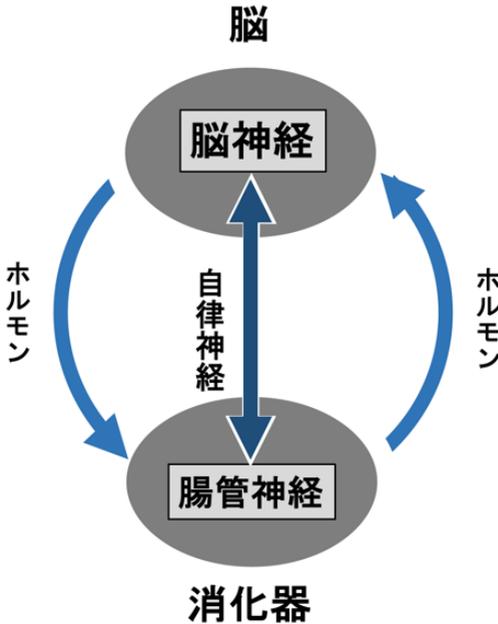
機能だけでなく感情や気分も変化すると考えられています。このように、脳と消化管は持ちつ持たれつの関係になつていて、腸管神経自身や消化管と脳との神経連絡が不調をきたすと、最初に述べたような機能的胃腸症を起すわけです。

先進国では機能的胃腸症の患者さんが増えていて薬の開発も進められていますが、なかなか良い薬が出ていません。これは消化管の働きの基礎的な研究が進んでいないことが原因のひとつとしてあげられます。我々の研究室では、まだ未解明な部分が多い消化管運動のメカニズムを、ヒトの消化管運動モデル動物であるスナクス（和名、トガリネズミ）という小型動物を使って調べています。今までに、空腹期に見られる強い「ぜんどう運動」や食事後に起こる消化管運動が、ホルモンや腸管神経によつてどのように調節されているかを明らかにしてきました。このような基礎研究により消化管ホルモンと腸管神経の関係を明らかにすることが将来良い薬を作ることにつながるかと信じて、我々は研究を進めています。

## 略歴

1954年生まれ。群馬大学教育学部卒業、博士（医学）。埼玉県公立高等学校教諭、群馬大学内分泌研究所助手、埼玉大学理学部講師、同大学助教、米回国

立衛生研究所客員研究員を経て03年から現職。専門は内分泌学、消化管生理学。



# 304 計算機による「SI自動化

数理電子情報部門 電気電子システム工学コース 伊藤和人 教授



100個の街が互いに道路で結ばれています。街Aから街Bに自動車で最短時間で行くにはどの道路を選べばよいでしょう。街の配置と道路の曲がり具合によっては街Bに直接行くよりは途中に別の街をいくつか経由する方が早いかもしれません。最も早く目的地に着ける道路を選ぶ問題は最短経路問題と呼ばれており、簡単に答えを求める方法が分かっています。ここで「簡単」とは、計算機を使って短時間で最良の答えが得られるという意味です。街が100個ならば一瞬で答えが求まります。街の数が千、1万と増えても最近の計算機は速いのでさほど時間はかかりません。カーナビやスマホのルート検索で最短経路問題が応用されています。

街Aから出発してすべての街を1回ずつ通って街Aに最短時間で戻るにはどの道路を選べばよいでしょう。街の順番は問いません。巡回セールスマン問題(TSP)

などと呼ばれる問題です。最短経路問題と比べて「すべての街を1回ずつ通る」という条件があるため、正しい答えを得るのが難しくなっています。実はTSPの答えを求める簡単な方法は見つかっていません。街を順に通るすべての組み合わせについてそれぞれ所要時間を求めて、その中から最短時間のものを選ぶという素朴な方法しかありません。街が100個のとき、超高速な「京コンピュータ」を使って1秒あたり100兆通りの組み合わせを調べられたとしても、すべて調べ終わるまで10の137乗(10を137回かける)年くらいかかります。宇宙の年齢が10の10乗年くらいですから途方もない数の組み合わせです。

全ての組み合わせを調べた最良の答えには劣るかもしれないけれども、最良に近い答えを実用的な短時間で求めることが有益な場合があります。それには、一部の

有望な組み合わせだけを調べる発見的方法を利用します。発見的方法には、生物の進化を模倣した遺伝的アルゴリズムや温度変化による物質内部エネルギー低下を模倣した焼きなまし法などがあります。街数が1002個のTSPの例題について普通のPCで焼きなまし法を実行すると最良な答えより2.4%だけ劣る答えが1時間得られます。

私の研究室では計算機を用いた大規模集積回路(LSI)の設計自動化を研究しています。小型で高性能、消費電力の小さいLSIを自動設計するには、TSPを直接用いる訳ではありませんが、TSPと同程度に難しい問題の答えを計算機で求める必要があります。必ずしも最良でなくても短時間で最良に近い設計を行い、LSIを製造して早く製品を市場に出すことが求められます。発見的方法をLSI設計自動化に適用し、短時間でより優れた設計を得る方法の開発を行っています。

## 略歴

1964年生。1992年東京工業大学大学院修了。博士(工学)。東京工業大学工学部助手、埼玉大学理工学研究科准教授を経て2015年から現職。専門は集積回路設計および設計自動化手法の開発。

# 305 人と協調するロボット技術

数理電子情報部門 情報システム工学コース 小林貴訓 准教授



セグウェイや電動車いす、電動台車など、電動移動体の普及が始まっています。これらの電動移動体の自動化や歩行者との混在を考えると、交通ルールが定められた道路での車の自動運転技術とは異なり、周囲の人の動きと調和して安全に移動できることが求められます。私たちの研究室では、人物行動計測技術と移動ロボット技術を用いた人の動きに調和した移動ロボットシステムの研究開発を行っています。

人物行動計測技術では、カメラやレーザ距離センサ、スマートフォンに内蔵された各種センサを用いて人の動きを計測する技術を開発しています。特に、人が「どこにいるか」だけでなく、「どちらを向いているか」といった注目方向や「誰と誰が一緒に行動しているか」といったグループの認識をできるようにすることで、移動ロボットは、より人と調和した動きをすることができます。移

動ロボット技術では、事前に作成した地図を参照することで自分の位置を知り、目的地に向かって障害物を避けながら移動する技術を開発しています。これらを基礎技術として、人と共存する移動ロボットの提案や動き方のデザインを考えています。

ここでは、高齢化と介護士不足により負担が高まっている介護を支援する移動ロボットの例として、ロボット買い物カートについてご紹介します。買い物は、同じ歩く練習でも苦しく感じにくく、何を買うべきかを覚えていたり、思い出したりすることで認知機能への働きかけができることから、高齢者のリハビリとしても注目されています。このロボット買い物カートは、目的の商品までの誘導や、自動的に返却することができます。また、店舗内での自分の位置を常に認識しながら自動走行するので、特売などの商品情報を商品の目の前で表示したり、移

動した経路をマーケティングに利用したりすることも可能です。また、歩行が困難な方のための歩行補助の機能も兼ね備えており、移動中は特設された商品棚や他の買い物を避けながら走行することができます。従来の買い物ハビリでは介護士が高齢者に1対1で付き添いますが、このロボット買い物カートの利用により、1人の介護士が複数の高齢者に対応することができるようになれば、介護士の負担軽減と共に高齢者が買い物を楽しむ機会を増やすことができます。このロボット買い物カートは、実際のスーパーマーケットで、お店に併設されている介護施設の皆様に使って頂き、好評を得ました。将来的には、店舗が持つユーザの買い物履歴データと連携することで、買い忘れ防止を支援する情報提示などにも取り組みたいと考えています。

## 略歴

埼玉大学大学院理工学研究科准教授。1973年生。2007年東京大学大学院修了。博士(情報理工学)。2000年、2004年三菱電機株式会社、2007年埼玉大学理工学研究科助教を経て2014年から現職。専門はコンピュータビジョン、ヒューマンロボットインタラクション。

# 306 変形によって図形を知る

数理電子情報部門 数学コース 海老原円 准教授



## ■多項式の幾何学

私は「代数幾何学」という数学の一分野を研究している。ひと言でいえば、「代数」は「式」を扱い、「幾何」は「図形」を究め、「代数幾何学」は「式と図形」を調べる学問である。たとえば、2変数の1次式は平面内の直線を定め、2次式は円や放物線を定める。1次式や2次式は、一般に「多項式」とよばれる。代数幾何学は、このような多項式の定める図形を調べる学問、すなわち、多項式の幾何学である。

## ■変形して仲間を調べる

ところが、多項式の定める図形は存外に複雑である。そのような複雑な対象を調べるには、「同じようなものをまとめて考える」という手法がしばしば有効である。図形の方程式を変化させると、図形も変化する。こうしてたくさん図形ができるが、それらを「仲間」として

取り扱うのである。一般に、代数幾何学では「代数多様体」とよばれる図形を扱うが、それらを変形することによって、仲間(数学用語で「変形族」という)ができる。

## ■一般的なメンバーを知る

変形族を考えると、着眼点は3つある。第1の着眼点は、「一般的なメンバーを知る」ということである。ものの集まりには、とかく例外が生ずるが、そのような例外はひとまずおいて、まず一般的なメンバーを研究することが大事である。森を見るには、その中の一般的な木を見よ、というわけである。

## ■例外を知る

第2の着眼点は、それとは反対に、「例外を知る」ということである。変形族の中の例外的なメンバーには、しばしば、その変形族全体の性質が凝縮された形で表れる。平面幾何の問題を考える際に「補助線」が有効であ

るが、変形族の中の例外的なメンバーは、変形族全体を  
読み解く補助線のような役割を果たす。

### ■部分から全体を知る

第3の着眼点は、「部分から全体を知る」ということ  
である。ある図形Xに図形Yが含まれているとき、YのX  
内での変形族を調べることによつて、Xの性質がわかる。  
Xを水に、Yを魚にたとえてみよう。魚と水とは相性が  
ある。魚Yの動き方を知れば、水Xの性質もわかる、と  
いうわけである。

### ■多様な顔を持つ代数幾何学

代数幾何学は、仏像にたとえるなら、十一面千手観  
音のようなもので、実に多様な顔を持つ。ここで述べたこ  
とは、代数幾何学の一つの側面に過ぎない。あらゆる方  
向を向き、あらゆる手を用いて「式と図形」の関係に迫  
る…。これが代数幾何学の醍醐味である。

### 略歴

1962年生。東京大学大学院理学系研究科数学専攻  
修士課程修了。博士(理学)。学習院大学理学部助手、  
埼玉大学理学部講師を経て、2012年7月より現職。  
専門は代数幾何学。著書に「線形代数」(数学書房)、  
「14日間わかる代数幾何学事始」(日本評論社)  
「例題から展開する線形代数」(サイエンス社)など。



中学校の理科で、導体中の電流と電圧とが比例関係にあるというオームの法則を習います。このときの電圧は、電流の向きに沿った値です。さて、電流の向きに正確に垂直方向には、電圧は発生するでしょうか？この実験をはじめて行ったのは、19世紀の物理学者E. ホールでした。鉄などの導電性の磁石を使って実験したところ、なんと垂直方向に電圧が発生したのです。一方、非磁石である金などの導体では垂直方向には電圧は予想通り発生しませんでした。

E. ホールの発見(1881年)から、約125年後にようやく、この垂直電圧の発生メカニズムが理解できるようになりました。導体中に電流を流すと、それに垂直方向に、電子の自転運動(スピン)を運ぶ流れ「スピン流」が発生すると云うもので、今世紀に入って、その存在

が実証されました。導体が磁石の場合、スピン流には電流が伴うが(図1)、磁石でない場合では電流は伴わない(図2)という風に、一連の現象の統一的な理解が可能になります。

このスピン流を従来のオームの法則に取り込んで、電子回路などを設計・製造する分野をスピントロクスと云います。スピン流には電流が伴わない場合があることを上に述べました。電流がないのですから、熱が発生しません。情報端末やパソコンなどの電子機器にスピン流を利用できれば、発熱が減るので、その分消費電力が下がります。産業界がスピントロクスに期待する理由です。魅力的なスピン流ですが、それを作り出すのに余計な電力が必要ならば本末転倒です。エネルギーの初期投資後、スピン流が持続するにはどうすればよいかが、目下、筆者のテーマです。分かってきたことがあります。電

子は負電荷を持ちますが、結晶性導体中では、原理上、正電荷を有する粒子（正孔）が存在できません。最近、筆者は、電子と正孔とが共存して、さらに、電荷以外の性質が電子と正孔とでほぼ同等な場合には、スピンの流が自律的に発生できることを理論的に予測すると共に、それに対応すると思われる現象を水素化イットリウムと云う金属性物質を使って見出しました。

水素化イットリウムに代表される希土類－水素化合物については、ちょうど10年前のこのコラムで紹介しました。これらの物質におけるスピンの流に拘わる現象を追い求めてきた5年間でした。今後は、理論の検証を進めつつ、理論どおりにスピンの流が自律発生するならば、その活用事例を確立したいと思えます。

#### 略歴

大学院理工学研究科教授。1960年生。東北大学大学院博士課程修了（応用物理学専攻）。工学博士。東北大学助手（金属材料研究所）、埼玉大学助教授を経て、2012年より現職。専門は、応用物性・結晶工学。

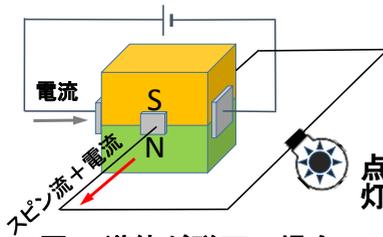


図1：導体が磁石の場合

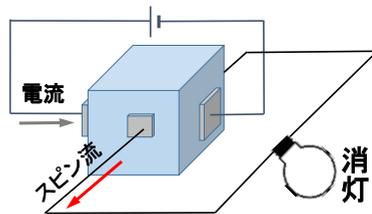


図2：導体が非磁石の場合

# 308 留学生受け入れ交流

環境科学・社会基盤部門 環境社会基盤国際コース 陸好宏史 教授



## ■国際プログラムとは？

埼玉大学大学院理工学研究科では、5分野（環境社会基盤、機械、数理電子情報、生命科学、物質科学）から成る「環境科学・社会基盤国際プログラム」が、に設置されており、主にアジア地域から多くの留学生を受け入れて教育・研究を行っています。ここでは、歴史が最も古く、多くの留学生を受け入れてきた環境社会基盤国際コースの国際プログラムを紹介します。

海外から留学生が日本で勉強する場合、2つの大きな問題があります。一つは言葉の問題です。日本語の会話から読み書きを修得するには長い年月を必要とします。二つ目は、日本は物価が高いため、奨学金などの援助が必要です。本国際プログラムでは、教育・研究はすべて英語で行うことにしています。また、日本政府（8名）、アジア開発銀行（12名）、世界銀行（約2名）による

奨学金を毎年留学生に授与するとともに、J I C A（日本国際協力機構）などによる奨学生（ミャンマー、ベトナム、アフリカ）を受け入れています。このことから、世界各国から毎年多くの優秀な留学生が本国際プログラムを志願しています。

## ■教育・研究分野

発展途上国が目指してきた社会基盤の整備は、国土の開発と発展を主眼にした学問・技術の習得に重点が置かれていましたが、今後は国土の開発と環境保全あるいは環境負荷低減を如何に考えていくかが重要な課題です。また近年、地震、ハリケーン、火山の噴火、河川の洪水などの自然災害が頻発し、甚大な人的・経済的損失をもたらしており、自然災害の減災あるいは早期の復旧（レジリエンス）が求められています。本国際プログラムは、上記の問題を抱えている、主にアジアにおける

発展途上国から優秀な留学生を受け入れて、教育・研究指導を英語により行っています。

### ■日本人学生の国際化

日本人大学院生も留学生と一緒に英語の講義を受けています。また、本プログラムと繋がりの強い大学（タイ・タマサート大学、スリランカ・モラトウワ、ペラデニヤ、ルフナ各大学、ベトナム・国立建設大学、バングラデシュ・バングラデシュ工科大学、ミャンマー・ヤンゴン工科大学、アメリカ・ハワイ大学）と提携して教員と学生の交流を盛んに行っています。毎年、海外インターシッピングと称して、日本人学生を上記の大学あるいは建設現場などに派遣しています。

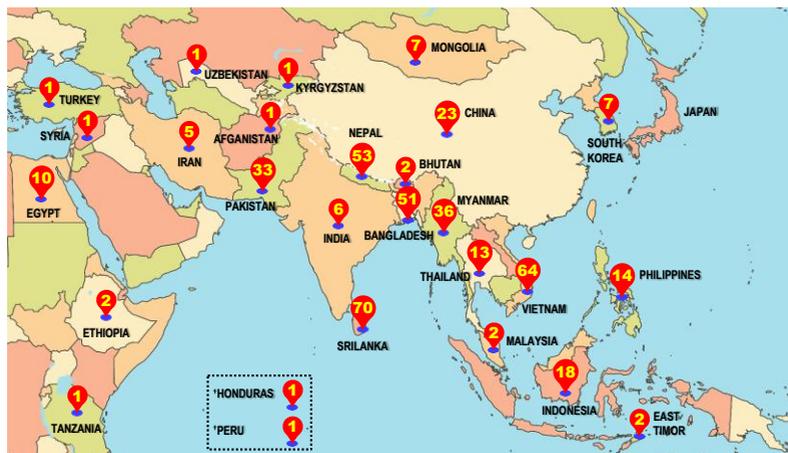
本国際プログラムは1992年に設置され、これまでに約450名の留学生が修士、博士の学位を取得し、母国はもちろんアメリカやオーストラリアの大学教授になる者もあり、全世界で活躍しています。

### 略歴

1953年生まれ。1978年東京大学大学院修了。工学博士、技術士、土木学会特別上級技術者。1996年埼玉大学工学部教授、2012・2014年埼玉大学副学長。大学院理工学研究科国際プログラム主査。専門は、建設材料、鉄筋コンクリート工学、橋梁工学、耐

震工学等。

目次へ



# 309 結晶中の分子は少し動く

物質科学部門 基礎化学コース 斎藤英樹 講師



有機分子の純物質固体は、ほとんどの場合、結晶になります。結晶は、原子(分子)が三次元(縦、横、奥行き)に規則正しく繰り返して(周期的といいます)並んだ構造です。その構造の最小単位を単位格子といい、その中で原子はきちんと決まった場所に位置しています。この単位構造を結晶構造といいます。結晶によるX線回折現象を用いたX線結晶構造解析という実験法で、物質の未知の結晶構造を調べることができます。

結晶中で分子はじつと固まって位置しているわけではありません。分子の原子間は絶えずわずかに伸びたり縮んだり振動運動しており、また分子同士の間隔も振動しています。これは物質が内部に蓄えている熱エネルギーが要因です。したがって、温度が高いと振動の幅は大きく、低いと小さくなります。しかし、振動の中心位

置(各原子の平衡位置)はあまり変わりません。個々の分子とその並びは絶えず変形していますが、時間的な平均および空間的な平均(多数の単位構造の平均)をとると一つの構造ということになります。X線結晶構造解析ではこの平均構造を決定できます。各原子の平衡位置と共に熱振動の程度も分かれます。図(左上)では、各原子(H原子を除く)の熱振動の様子(大きさと方向)を楕円体で表しています。

ある分子結晶では、結晶中の分子の並びを保ったまま、分子(またはその一部)が2つの向きをとる場合があります。図は、ジアザビシクロオクタン(Dabco)という分子(図右上)とある別の分子が水素結合(O—H…N)で結びついた物質の結晶構造(一部)です。62℃の実験では Dabco は向きが2つあります(図左下)。これは、向きが2つのどちらか単位構造ごとにバラバラで揃っ

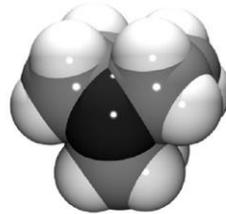
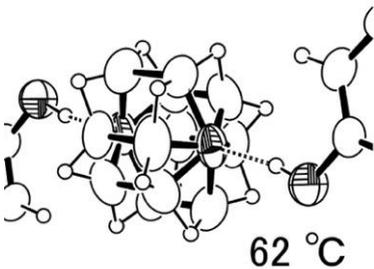
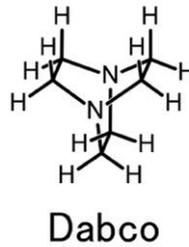
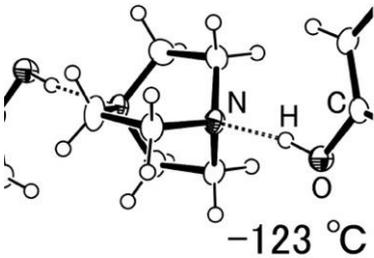
ていないということです。2つの向きどちらの構造でもエネルギー的安定性にあまり差がない場合に起こります。その平均構造は2つの向きの重ね合わせ(存在確率は2つ合わせて1分子)として見えます。この乱れた状態の構造を無秩序構造といいます。分子の向きが回転するときに必要な分子自身と周りの変形が小さい(変形に必要な余計なエネルギーが少ない)場合は、ある温度以上で2つの向きの構造を行き来することができます。**Dabco** は球に近い形(図右下)で回転しやすいと思われず。温度を下げていくと熱運動が小さくなり、2つの向きの間のエネルギー的差が効いて、その結果、分子の向きが1つ(片方)に配列し直します(図左上、マイナス123°Cの実験)。こちらを秩序構造といいます。この結晶は、2つの状態で分子(2種)の並び方は変わりませんが、並びの周期が変わって単位格子が変化します。2つの状態は異なる結晶相(ミクロの構造が異なる)であり、このような状態変化を構造相転移(の一種)といい、結晶が示す興味深い現象です。

このように物質の結晶構造を調べることで、珍しい構造や変化に出会うことができます。

略歴

1964年生。1994年3月東京都立大学大学院理学

研究科博士課程修了。博士(理学)。埼玉大学理学部助手、同大学科学分析支援センター講師を経て、2007年4月より現職。専門は分子結晶の構造の研究。



# 310 ロボットの溶接接合技術

環境科学・社会基盤部門 環境制御システムコース 山根敏 准教授



人が生活する上で、自動車、バスなどの輸送機関や建物などのインフラが重要な役割を果たしています。これらは鉄の構造物により構成されており、造るためには鉄などの金属を接合する技術が必要になります。金属接合の代表的なものとして、ボルト・ナットを用いた機械的な方法、互いの金属を溶かして接合する方法および接着剤などの化学的方法などがあります。このうち、接合部を溶かして、接合する方法が溶接接合技術になります。溶かすエネルギーとして電気エネルギーを使います。アーク溶接を対象に研究を進めております。溶接時のアークプラズマの温度は約15000度と高温になり、金属蒸気が発生します。このため、アーク溶接時には、アークプラズマからの強い光と金属蒸気となるヒュームが発生します。生産性向上と溶接作業者の安全を図るために、溶接ロボットが工場内に多数導入されています。

主なロボットは溶接前に溶接個所を教示(ティーチング)し、この結果に従って、溶接を行います(プレイバック)。このために、予め、教示した位置に溶接対象物がないと正常な溶接を行うことが困難になります。そこで、ロボットによる自動溶接が行えるように、研究を進めています。具体的には、溶接作業者が目で見て溶接を行っているので、ロボットに人間の目の機能を付加させるために、CMOSカメラやCCDカメラを用いて溶接部の撮影を試みております。カメラを用いる場合、どのようにアーク光の強い光の影響を軽減するかが問題です。溶接作業者は濃い色のフィルタガラスを用いて、光をかなり減光して溶融部を視ています。フィルタを用いてカメラで撮影すると、撮影画像のコントラストが弱くなり、溶けている部分と溶けていない部分の境界の差がわかりにくくなります。また、アークも映るため、最も観察し

たい溶融池（溶融部）が見えにくくなります。研究では、溶接ロボットを用いているので、溶接電源も同時に制御できます。この特徴を利用し、カメラのシャッター期間（1ms）を溶接電流の低いときに同期させることによって、溶融池が明瞭に撮影できるようになりました。この撮影画像にパターンマッチングなどを用いた画像処理を適用し、溶接状況をパソコンで判断しています。その結果に従って、電流やロボット手先軌道を自動調整することが可能になりました。このように、人間にとつて過酷な作業である溶接接合の自動化を進めております。

## 略歴

1961年生まれ。徳島大学工学研究科電子工学専攻修士課程修了。博士(工学)。舞鶴工業高等専門学校を経て。1992年埼玉大学理工学研究科助教。現在に至る。専門は、ロボット溶接システムの構築と電磁環境の計測。

# 311 膜脂質の機能を探る

生命科学部門 分子生物学コース 松岡聡 講師



脂質は核酸(DNA、RNA)、タンパク質、糖質と共に生体を構成する主要な成分です。脂質(油)と聞くと、「カロリーが高いからダイエットの時は摂らないようにする」などと気にする人がいるかと思いますが、エネルギーとしてだけではなく、ビタミンやホルモン合成にも必要で、生物が生きていくためにはなくてはならないものです。この中で生体膜の構成成分である膜脂質がどのように働いているのかに興味を持っています。

生体膜は外界と細胞を隔てていて、エネルギー生産やストレス応答など細胞が生きていく上で必須の構造です(生物としての定義のひとつとして外界から明確に隔てられていることが挙げられます)。私は膜脂質の機能を明らかにするために、細菌(枯草菌や大腸菌)を使って研究しています。枯草菌・大腸菌は既にゲノム情報が明

らかになっていて、簡単に目的の遺伝子変異を導入できる、すぐに育つなどの利点があります。実際に枯草菌で、膜脂質の一種である糖脂質を合成できないように改変したところ、細胞の形が異常になったりストレスに感受性になったりと様々な影響が見られました。これらは、通常細胞膜に埋め込まれている膜タンパク質がうまく働けなくなったためであると考えられます。この因果関係を明らかにするために、膜タンパク質と脂質分子の関係を生化学的に解析しようとしています。現在の技術では、膜タンパク質を細胞に(沢山)作らせることは可能ですが、機能を維持したまま取り出すのは困難です。なぜなら膜タンパク質は正常に機能するために生体膜に埋め込まれた状態でなければなりません。細胞から目的の膜タンパク質を取り出す過程で、膜から分離されて天然状態と異なる形になって活性も失います。

そこで現在は、膜タンパク脂質に対する脂質分子の影響を直接的に調べるために、試験管内で人工的に再構成した細胞膜膜（リポソーム、バイセル、ナノディスク）の存在下で小麦などの細胞抽出液を使って膜タンパク質の合成を試みています。このシステムでは、合成された膜タンパク質がきちんと膜に埋め込まれること、タンパク質の鑄型（設計図）となるDNAさえあればどんな生物由来のタンパク質も合成可能という利点があります。膜タンパク質の機能や膜脂質分子種の働きなどについては、まだ未解明のことがたくさんあります。これらの機能を明らかにすることで、生命現象に対する理解を深め、また、新たな有用機能をもった膜タンパク質の発見・その応用などが期待されます。

## 略歴

1976年生。2005年3月埼玉大学大学院理工学研究所博士後期課程修了。博士（理学）。米国カリフォルニア大学博士研究員を経て、2008年1月から現職。専門は微生物分子遺伝学。

# 312 超音波で触れずに感じる

人間支援・生産科学部門 機械工学コース 蔭山健介 教授



空気中には様々な音が伝わっていますが、人間が聞かないほど高い周波数の音を超音波といいます。超音波は、電波を使った無線通信や赤外線を使った温度計のように非接触で情報を伝えたり、周囲の状況を計測するのに適しています。私の研究では、数センチメートル程度の近距離での物体検出や空気の状態の計測に適した超音波センサーの開発を行っています。

例えば、スマートフォンに非接触で指を用いて操作する機能を加えることを考えてみましょう。この場合、数センチメートル程度の距離にある指先の動きを検出することが必要です。超音波センサーは、超音波を発生させて指先から反射してきた超音波を捉えることで、指先の位置を検出します。しかし、従来の超音波センサーでは、近距離にある指先からの反射波は他の波と重なっ

てしまい、検出することが難しくなります。私が研究しているエレクトレットセンサーは、非常に鋭い超音波波形の送受信が可能です。そのため、近距離でも指先からの反射波が他の波の影響を受けずに明瞭に検出することができます。

エレクトレットとは、静電気を帯びた物質のことで、これを用いることで超音波のような機械的な振動を電気信号に変換したり、その逆を行うことができるのがエレクトレットセンサーです。このセンサーは厚さ1ミリメートル以下の薄いフィルム状の素子を製造可能で、フレキシブルに変形することもできます。一方で、他の超音波センサーと比較して超音波の送信出力が劣るのが欠点です。そのため、私の研究では、エレクトレットに用いる材料や、素子の製造方法を改良することで、エレクトレットセンサーの性能向上を試みています。

その結果、5V程度の低電圧で動作して、2センチメートルまでの近距離にある指先を検出することが可能なエレクトレットセンサーの開発に成功しています。さらに、このセンサーを用いて、風速や水素ガス濃度の計測、生体などの軟質材料の硬さ測定などへの応用も検討しているところです。エレクトレットセンサーは、圧電素子などの他の超音波センサーと比較すると、空中や生体のような柔らかい物質中を伝わる20～200キロHzの周波数での超音波計測に最も適していると考えています。このような周波数で、空中や軟質材料中を伝わる超音波はこれまでほとんど利用されてきていませんでした。しかし、特に空中の超音波を自在に操ることができれば、非接触で物体の位置を検出するだけでなく、物体を動かしたり、空気の流れをコントロールすることも可能になると考え、研究を進めています。

#### 略歴

1965年生。1995年3月東京大学大学院修了。博士(工学)。埼玉大学助手、講師、助教授を経て2014年4月から現職。専門は材料工学と非破壊評価



# 313 力の信号処理技術

数理電子情報部門 電気電子システム工学コース 辻俊明 准教授



スマートフォンを持ち歩く人が増え、音声だけでなく写真やビデオを気軽に撮れるようになりました。写真に手で文字を書き込んでブログで公開したり、スマートフォンに話しかけて行き先までのルートを検索したり、といった便利なアプリは画像や音声の利用が新たなサービスを創出していることを示しています。画像や音声をうまく活用するためには、これらの情報を何らかの形で加工する必要があります。そこで必要になるのが信号処理技術です。視覚・聴覚に関する信号処理が日常生活の身近なところまで普及しているのに対して、力を感じる触覚についての信号処理技術はまだ発展途上です。力の検知が必要な最もよい例としてロボットが挙げられます。力の検知機能を持たないロボットは人につかってもどの程度の力だったかを把握できません。また、

人と触れても相手が親しみを持っているか、どこかに連れて行きたいのか、といった意図を読み取ることができません。つまり「人の痛みや気持ちがり理解できない」ロボットになってしまい、人との共存が困難になります。ロボット革命を起そうとの声も多い中、日常生活の身近なところで働くロボットがまだ少ない理由の一つは高度な触覚技術がないことにあると言えるでしょう。

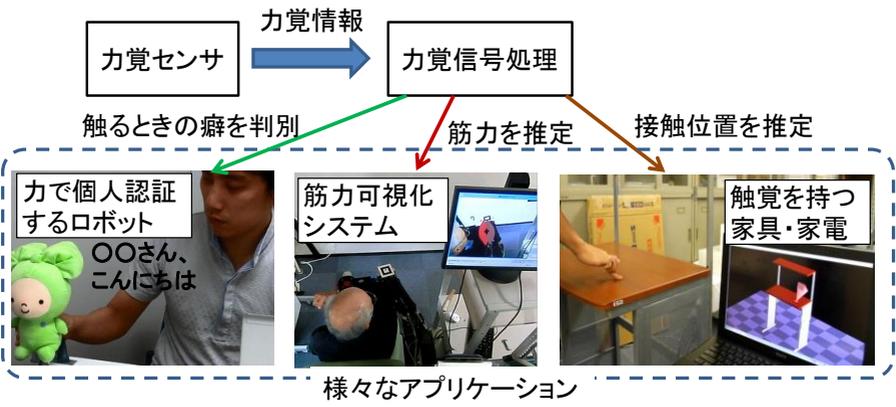
そこで本研究室では、力の信号処理技術を高度化する試みを進めています。力覚センサから検出された値に様々な信号処理を実装します。例えば動的計画法と呼ばれる音声認識の信号処理技術を力覚センサに転用すると、力で人を区別する個人認証が可能になります。離れていると力は計測できないので、指紋や虹彩・音声と違い第三者が記録できない安全性の高い認証技術です。また、回帰分析と呼ばれる処理を実装することで

リハビリ中の力情報から各筋肉がそれぞれの程度力を発揮しているかを推定する手法を開発しています。ピンポイントで特定の筋肉の働きを確認しながらトレーニングする、ということが可能になります。力のかかっている位置を信号処理で推定する技術を応用すれば、既製の机の脚にセンサを取り付けて触覚を持つ机に作り替えることが可能です。そのほかにも故障を検知・補償してくれるセンサの開発や小さい力から大きい力まで広いレンジで計測してくれるセンサを開発し、力覚検知の性能を高めています。ロボットをはじめ、人と接する機械が今まで以上に身近なものになるよう、引き続き力覚信号処理技術の開発を進めていく予定です。

### 経歴

1978年生。2006年3月慶應義塾大学大学院修了。博士(工学)。東京理科大学工学部助手、埼玉大学助教を経て、2012年3月から現職。専門は環境親和型ロボットの研究開発。

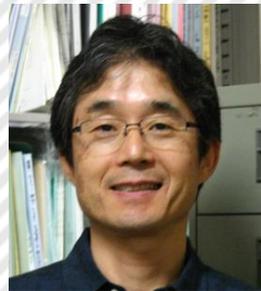
## 目次へ



314

## オートファジーから植物老化へ

生命科学部門 生体制御学コース 森安裕二 教授



動物や植物の体は細胞からできています。細胞は細胞膜という膜で囲まれています。細胞の中にも細胞膜に似た膜で囲まれた構造がたくさんあります。すなわち、私たちや植物の体は、細胞という部屋に仕切られているわけですが、1つの細胞の中もいくつかの小部屋に仕切られています。これらの細胞内の小部屋のことを細胞内小器官(オルガネラ)とよびます。以前、紹介した「液胞」もオルガネラの1つです。以前は、この液胞がオートファジーというプロセスでつくられる可能性を紹介しました。「オートファジー」は、酵母を用いた解析の結果からノーベル賞が出たことにより、その名が知られることになったかと思えます。ここでは、オートファジーとはなにかを説明し、私たちが行っている植物のオートファジーに関連した研究を紹介させていただきます。

細胞は、自分ももっている細胞内構造を常時、分解しながら生きています。細胞の中には細胞内構造の分解を担当するリソソームというオルガネラが存在します。植物細胞ではリソソームの代わりに液胞が細胞内構造の分解を担っています。このように、「細胞内構造が液胞やリソソームで分解されること」を「オートファジー」と呼びます。「オート」は「自分」、「ファジー」は「食べる」で、「細胞が自分を食べる」という意味です。

オートファジーのプロセスを電子顕微鏡で観察して、マクロオートファジーと呼ばれる主要なプロセスが見つかりました。マクロオートファジーでは、細胞内構造がいったん、オートファゴソームというオルガネラに包み込まれ、その後、オートファゴソームがリソソームや液胞と融合することにより、包み込まれた細胞内構造がリソソームや液胞に運ばれます(図)。結果として、リソソームや液

胞に存在している分解酵素と混ざりあつた細胞内構造は分解され、アミノ酸がつくられます。大隅さんは、酵母におけるマクロオートファジーのプロセスを調べて、このプロセスに必須の十数種類の新しいタンパク質を発見しました。これらのタンパク質は、ほとんどすべてが新奇な活性をもつタンパク質でした。大発見です。

植物細胞も酵母と同じようなタンパク質をつかつてマクロオートファジーを実行しています。よつて、これらのタンパク質をひとつでも欠落した植物体は、マクロオートファジーを実行できないと考えられます。このようにして私たちは、マクロオートファジーを実行できないコケ植物をつくりました。このコケ植物は、一見すると普通のコケ植物と区別がつきませんが、環境変化に応答していち早く老化することがわかりました。オートファジーの一次的な生理作用は、細胞内構造を分解して栄養素をつくり出すことと、不良化した細胞内構造を細胞から消去することであると考えられます。この一次的生理作用がどのように植物の早期老化につながるのかを明らかにすることが、これからの課題です。

## 略歴

1958年生まれ。1981年東京大学理学部生物学科卒。理学博士。静岡県立大学国際関係学部助手、食品

栄養科学部助教、埼玉大学理学部准教授を経て2012年1月より現職。専門は自己分解や老化に関係する植物生理学。

# 315 展開図は何種類？

数理電子情報部門 情報システム工学コース 堀山貴史 准教授



## ■展開図のメカニズム

展開図というと、小学校の算数の時間に、立方体や直方体の箱を切り開いたのを思い出される方が多いと思います。展開図は、単に頭の体操というだけでなく、私達の身の回りの様々な場面に現れます。

ケーキやお菓子の箱は、その一例です。たとえば、森永製菓株のチョコボールの箱は、「くちばし」の部分を開けたり閉じたり動かせるのですが、箱を切り開いてみると、1枚の紙をうまく折り畳んでできているのが分かります。最近では、さらに複雑なシカケがされた箱もあり、箱も中身も楽しめます。

もう少し視野を広げて、モノを折り曲げたり、逆に切り開いたりといった「折り」と「展開」のメカニズムに着目してみましよう。たとえば携帯電話などの箱は、ボール紙を器用に折ることで、付属品も含めてピッタリ入る

形に作ってあります。板金加工で機械部品を作るのも、展開図から立体に折る作業といえます。

また、宇宙に目を向けると、人工衛星の太陽電池パネルがあります。打ち上げ時にはミウラ折りと呼ばれる折り方で小さく折り畳まれているのですが、宇宙に行ってから端と端を引く張ると、引っかかりなく縦横にパネルが開きます。車のエアバッグは、普段は折り畳まれているのですが、イザという時に膨らんで私達の身を守ってくれます。

## ■展開図の列挙

さて、展開図に話を戻します。立方体の展開図は、全部で何種類あるでしょうか？答を見る前に、紙面から目を離して、思いつく展開図をすべて挙げてみてください。

挙げられましたか？クルッと回して同じ形になるもの

や、裏表をひっくり返すと同じ形になるものがあれば、重複していますので、そういうものは省いてください。二種類の展開図が得られていれば、成功です!!

ここで気になるのは、この図に挙げたもの以外に立方体の展開図は無いのかという点です。できるだけ頑張ったら11種類だったから、これで全部、という理屈だと、将来もつと頑張ったら12種類目が見つかるかもしれないね。

この疑問に答えるには、系統的な方法が必要です。どのように辺を切ると、展開図が得られるのでしょうか。1つ目の条件は、すべての頂点が切る辺を必ず持つことです。そうでない頂点があると、その頂点はとんがったままで、平面に開けませんから。また、切る辺をたどって輪ができる2つのパーツに分かれますので、そんな輪を含まないことが2つ目の条件です。3つ目の条件は、全部の切る辺がどこかでお互いにつながっていることです。

これら3つの条件すべてを満たすものを、「全域木」と呼びます。つまり、全域木になるような切る辺の選び方を、漏れなく重複なくすべて列挙することで、展開図のカタログが得られます。

## ■展開図の個数

少し前に、研究室の学生さんと一緒に、展開図を1つ1つ列挙することなく、でも展開図が何種類あるかだけ

を数えるアルゴリズムを作りました。手品みたいな印象を受けますが、「ポリアの定理」と呼ばれる定理を応用することで、どんな多面体が与えられても、展開図が何種類あるかを数え上げることができます。

たとえば、5角形と6角形の面を持つサッカーボールに適用すると、312京(けい)7432兆(てい)2209億(い)3947万3920種類の展開図を持つと分かります。また、切頂二十・十二面体と呼ばれる多面体には、181潤(じゆん)5771溝(こう)8919穰(じやう)7376※(じよ)459垓(がい)2899京4520兆2399億4216万4480種類の展開図があると分かります。普段は使わない数の単位が出てきて楽しいですね。

※の部分には、数の単位の「じよ」が入ります。

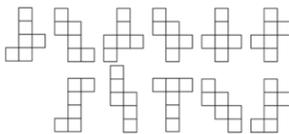
漢字は、「禾(のぎへん)に「予」です。

略歴

1972年生まれ。京都大学大学院修了。博士(情報学)。奈良先端

科学技術大学院大学助手、京都

大学助手を経て、2007年から現職。専門は、アルゴリズム設計論、計算幾何学、組合せ最適化。



# 316 「安定」な形状とは？

数理電子情報部門 数学コース 長澤壯之 教授



幾何学的最適化問題とは、曲面や曲線の形状がどうやって決まるのかという素朴な問題です。物は、それが一番「安定」である形に収まると考えられます。定常状態では、シャボン玉は丸いですが、ヒトの赤血球は真中が潰れたような形をしています。球面は、シャボン玉にとっては安定、赤血球にとっては安定ではないと考えられます。「安定」の意味が異なるのです。

数学では、考察の対象物に不安定度を測る量を考え、それが最小（あるいは極小）となるものを求めるという問題があり、対象が、図形であるとき、「幾何学的変分問題」とか、「幾何学的最適化問題」と呼ばれます。

不安定度を測る物差しを「エネルギー」と呼びます。エネルギーが低いほど安定であるという意味になります。シャボン玉と赤血球の安定な形が異なるのは、エネルギーが異なるためです。以前(2011年)にこのコラムで研

究内容を紹介した頃は、赤血球膜の形状を決定するヘルフリッヒのエネルギー最小化問題を扱っていました。近年は、結び目のエネルギー最小化問題を扱っています。

結び目とは、紐の両端をつないで輪の形にしたものです。数学では、輪がどう絡まっているかを調べ、2つの結び目の絡み方が同じものか異なるのかを調べたりします。これを「結び目理論」といいます。

私の研究は、簡単に言えば同じ絡まり方をした結び目のなかで、もっとも見た目が良いもの（私たちはこれを「安定」な形状と呼んでいます。）を探すというものです。図の2つの結び目は三葉結び目と呼ばれるもので、絡み方は同じです。何を以って見た目がよいと思うかを定義しなくても、左の方が見た目がよいと思う事でしょう。

私たちは、何故左側の方が見た目がよいと感じるので

しうか？私たちの見た目の良さの感覚に合うように形状の良し悪しを数値化できないでしょうか？

このような試みは1990年頃から行われています。

そのなかで、千葉大学の今井淳先生が複数の数値化を提唱されました。その中の一つがメビウス・エネルギーと呼ばれています。メビウス変換という図形の変換で数値が変わらない事からそう呼ばれています。エネルギーが小さいほど安定(見た目がよい)とされます。

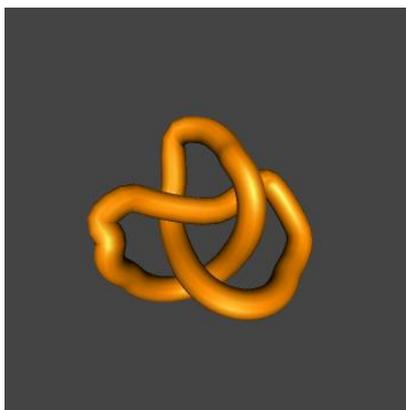
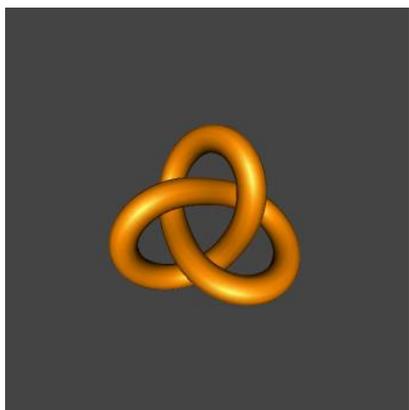
メビウス・エネルギーは特異性を持った二重積分で定義されます。私の研究室では、このメビウス・エネルギーを、結び目の曲がり具合を測る部分と振じれ具合を測る部分にメビウス不変性を壊すことなく分解できる事を発見しました。この分解を用いて、メビウス・エネルギー最小化問題に取り組んでいます。

結び目の研究は、DNAやイルカのバブル・リングなどの研究に応用され、他分野の研究者からも注目されています。

## 略歴

1961年生まれ。慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程修了。東北大学助手・講師・助教授を経て、2003年より現職。理学博士。専門は非線型解析。特に最近は、幾何学的最適化問題とその時間発展問題。

目次へ



# 317 「IoT」の裏側

数理電子情報部門 情報システム工学コース 吉田 紀彦 教授



「IoT」という略語をニュースや新聞などでも見かけることが増えてきました。「IoT」とは「インターネット・オブ・シングス」、日本語でいうと「物のインターネット」という意味です。

インターネットは元々、電子メールやウェブも含めて、人と人の間で情報をやり取りするのを基本としてきました。そこから発展して、インターネットでセンサやデバイスや各種機器などを互いに結び合わせ、つまり人と人でなく、物と物の間でデータや情報をやり取りしようというのが「IoT」です。この言葉は約10年前から広く使われ始めました。

このような展開は、実はコンピュータそのものの発展とも深く結びついています。コンピュータも元々は、人が使つて例えば科学技術計算やデータベース管理などを行

うものでした。それが、マイクロコンピュータが登場してからは、人の目に触れないところで、家電製品、カメラなどの精密機械、自動車、工業プラントなどに組み込まれて、それらを制御するためにも使われるようになってきたのです。そのようなコンピュータを、組み込みシステムといいます。例えば自動車の内部には、大衆車で100弱、高級車で200弱のコンピュータが搭載されて、特殊なネットワークで互いに結び合わされています。

IoTに先立つ似たような試みとして、例えば、家庭内の家電製品を相互接続するホーム・ネットワーク、一方では、コンピュータや情報端末がいつでもどこでも利用可能なユビキタス・コンピューティングなどがありました。IoTがそれらや、組み込みシステムのネットワーク化などから飛躍しているのは、クラウドでのビッグデータ解析やAIなどによる高度情報処理と、密接に結びついてい

ることです。そして、地球規模の視野で種々の応用を、例えば次のような形で提案しています。

① 全ての自動車から走行状況データを収集してビッグデータ解析を行い、次期モデル開発、交通管制、地域社会の改善などに役立てる。

② 病院が患者の状態をウェアラブル・デバイスで常時モニタし、緊急事態への即応、ヘルスケア、医薬品管理などに役立てる。

③ 農地・森林・漁場など広域に多数のセンサを散在させて各種データを収集し、収穫量の向上、環境改善、国土利用計画の策定などに役立てる。

これらの実現に向けて、IT技術の側からは、膨大な量のデータを送受するネットワークをどのように構成するか、クラウドに押し寄せるデータをどのように効率的に処理するか、結果をデバイスや人間ユーザにどのようにフィードバックするか、などを解決していく必要があります。そして、例えば「フオグ」や「エッジ」と呼ばれる新しい方式も2〜3年前に提案されて、注目を集めています。IT技術の進歩発展は極めて急速ですが、その中で私たちは計算機ネットワーク、組込みシステムの両面から取り組んでいます。

略歴

1957年生まれ。東京大学大学院修士課程修了。工学博士。三菱総合研究所、九州大学助教授、長崎大学教授などを経て、2002年から埼玉大学教授、2008〜2014年情報メディア基盤センター長、2014〜2016年副学長。専門は計算機ネットワーク、組込みシステムなど。

目次へ

# 318 社会に役立つ「化学工学」

物質科学部門 応用化学コース 本間俊司 准教授



## ■化学工学とは？

私は工学部の応用化学科に属しています。応用化学科では社会に役立つ化学製品の開発を目的として有機化学や無機化学を学びます。関連して必要な物理化学や分析化学も学びます。さらに、高分子化学、生化学、環境化学のような応用分野の講義もあります。私が担当する講義は「プロセス工学」です。これは化学工学という学問分野の講義です。多くの人にとって馴染みのない分野ですが、一言でいえば、応用化学が「何をつくるか？」を学ぶのに対し、「どうやってつくるか？」を学ぶのが化学工学となります。これまでの歴史を振り返りながら化学工学の考え方、化学工学が社会に果たす役割について紹介したいと思います。

## ■化学工学の発想はマニユアル化

化学製品は多岐にわたります。洗剤、肥料、ゴム、ガ

ス、医薬品など用途も多彩、提供される形態も固体、液体、気体などさまざまです。製品ごとに工場をゼロから設計することは極めて非効率です。そのため、製造プロセスを共通する単位操作に分解して、それぞれの設計方法を体系化したものが化学工学です。単位操作には、理科の実験で習う、蒸留、ろ過、再結晶などが含まれます。扱う物質が何であろうと操作は共通なので、各操作の設計マニユアルを準備すれば効率よく工場の設計が可能になります。

## ■アメリカの発展に貢献した化学工学

19世紀末、米国MITに化学工学コースが設立され単位操作という概念が導入されました。1914年に第一次世界大戦が勃発すると、当時化学の先進国であったドイツからの化学製品の輸入がストップし、それらの自国生産の必要に迫られます。しかし当時のアメリカ

産業の技術力は欧州に比べて劣っており、優秀な技術者は少ない状況でした。そこで活躍したのが化学工学です。設計マニュアルによってどんな技術者であっても比較的容易に工場が設計できるようになったのです。第二次世界大戦で米國を勝利に導いたキーテクノロジーは合成ゴム、高オクタン価燃料、原子爆弾です。これら製造プロセスの設計に化学工学が大いに貢献しました。

### ■戦後日本を支えた化学工学

戦前、旧帝大を中心に化学工学科(当時は化学機械科)が設立され、その卒業生は戦後の化学産業界で大活躍します。特に、石油化学産業の発展に貢献しました。また、化学工学の知見は、社会の様々な問題の解決に利用されてきました。四日市ぜんそくに代表される大気汚染問題は、燃焼ガス中の硫黄分を取り除く排煙脱硫装置を開発することでほとんど解決しました。省エネルギー問題には、工場廃熱を極限まで有効利用するプロセスへの改善で対応しました。さらに、半導体産業で利用されるクリーンルームの開発にも化学工学の知見が大いに利用されています。

### ■化学工学の役割

化学の研究として新しい有用な物質や材料の創成は極めて重要なテーマです。一方、創成された新しい物質は市場に出て初めて価値のある製品となります。化学

工学はその橋渡しの役割を担っています。すなわち、化学製品が市場にある限り必要とされる学問分野です。微力ではありますが化学工学の研究・教育を通じて社会に貢献していきたいと考えています。

### 略歴

1964年生。1989年3月埼玉大学大学院修了。博士(工学)。埼玉大学地域共同研究センター助教授を経て、2007年4月から現職。専門は化学工学、数値流体力学。



# 319 宇宙から来るニュートリノ

物質科学部門 物理学コース 佐藤文 准教授



素粒子物理学というのはこの世の根源的な存在が何かを追求する学問です。こう言うと難しく聞こえるかもしれませんが、要はものを細かく見ていったときに根本的な存在として何があるのかを知ろうと言うことです。我々の体を細かく見ていくと、分子原子が現れ、さらにそれらを構成する要素として原子核や電子が存在していることが見て取れます。

さて、現代物理学の教えによると細かいものを見るためにはエネルギーの高い粒子を与えるのが良いことが分かっています。そのために加速器を作り実験をするのですが、それ以外に宇宙から来る粒子を使うこともあります。いろいろな粒子がありますが、ここではニュートリノを使ってどのようなことを考えるかを説明しましょう。

IceCube (<http://icecube.wisc.edu/>)などで非常に高い

エネルギー（可視光線の1千兆倍）のニュートリノを観測しています。正確にどこから飛んでくるかは分かっています。明らかに銀河系の外から来ています。このニュートリノのスペクトル（エネルギー分布）は図のように与えられていて、エネルギーが高くなるほどだんだん減るのが分かります。この振る舞い自体はこれまで知られているニュートリノや宇宙についての性質から理解できるのですが、一カ所飛びがあるように見えます。現状では単なる観測誤差の可能性が高いのですが、そうでないとするとこれまで知られていない物理現象を意味していることになりそうです。そこで多くの研究者は、これをニュートリノの知られざる性質によるものとしたらどういう解釈ができるかを考えました。

具体的な理論の詳細は省きますが、我々（だけではありません）は高エネルギーのニュートリノが遙か彼方

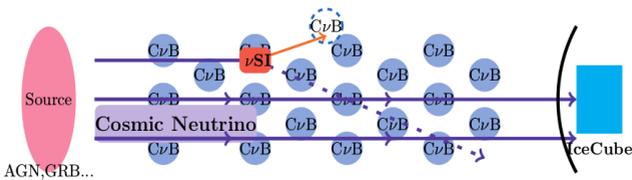
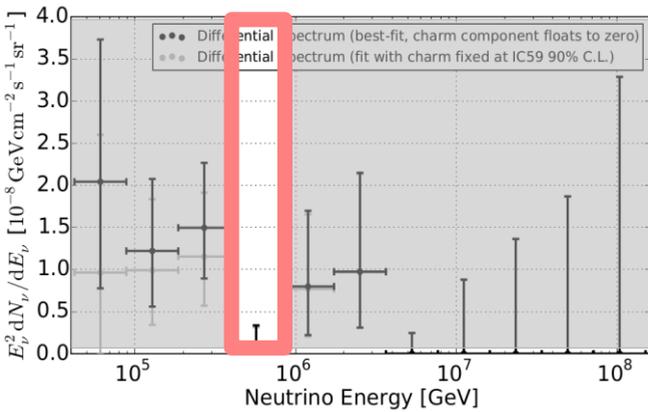
から飛んでくる間に、図にあるようにそのあたりを漂っているニュートリノに当たってしまうことでスペクトルがゆがむと考えました。宇宙の歴史を考えるとこの宇宙にはほとんど制止したニュートリノが漂っていることが分かります。これに今のところ発見されていない力 (secret interaction)、秘密の相互作用、と言いますが存在すると仮定すると特定のエネルギーのニュートリノだけ当たってしまうことが示せます。

もしこの新しい理論が正しいとすれば、地上での実験でその検証ができる可能性があります。我々はその可能性も調べていて、Belle II というつくばにある加速器実験で近い将来その新しい力の影響が観測できるかもしれないことも突き止めています。

もし将来「検証できた」というニュースをご覧になることがあったとしたら・・・この記事を思い出してもらえるかと幸いです。

### 略歴

1969年生。1996年3月京都大学大学院修了。博士(理学)。九州大学助手を経て2002年9月より現職。専門は素粒子論。



# 320 パラダイムシフト

物質科学部門 機械材料工学コース 根本直人 教授



科学哲学者トマス・クーンは、その著『科学革命の構造』

で、科学の歴史がつねに累積的なものではなく、断続的に革命的变化すなわち「パラダイムシフト」が生じると指摘した。確かに、相対性理論や量子力学などは典型的な例であるが、従来の法則に合わない実験的事実が次々と突きつけられることにより、科学的見方や法則の変更を余儀なくされ新しい理論や法則が発見されるのが科学の辿ってきた道だ。実験事実という自然に対する問いかけに対する客観的事実に謙虚に向き合うところが科学の態度であり、そこに進歩が生まれる。科学の真理を決めるのは王様や地位の高い人ではなく、実験結果という客観的な事実のみである。元国立教育研究所物理室長の板倉聖宜氏はなぜ生徒全員が理科を学ぶ必要があるかという問いに対し、「科学は民主主義を

守り育てる」と答えられた。事実の前にすべての人は平等であり、それを教員も学生も平等な立場で議論することが科学の発展に大切だ。板倉氏はこれを授業として具現化するために「仮説実験授業」というすばらしい授業法も開発され全国に拡げている。さて最近、事実を大切とするはずのメディアがこれを蔑ろにする事例を目の当たりにして衝撃を受けた。

加計学園問題である。すでに1か月前になるがご記憶の方も多いと思う。7月10日に衆参両院で、加計学園問題に関して閉会中審査が開かれた。事実を知るために中継録画を見たが、参考人の加戸前愛媛県知事の説明で本件の全貌が白日の下に明確に示された。不明瞭な点など一つもない。正常な判断力を持つ大人が見れば10年前から愛媛県が必死の思いで進めてきたプロジェクトであり、この2、3年で決まったことではないこと

が明らかである。しかし、大方のメディアはこの事実を報道せず前川氏の曖昧な説明のみを取り上げ、謎は深まるばかりなどと報じている。この状況をどう考えたらよいだろうか。日本のマスメディアはまず事実をしっかりと国民に報道するのが基本ではなからうか。判断するのは国民であり、その国民に良質な情報を提供するのが良識あるメディアの務めであろう。事実を公平に伝えられないメディアを前に、今後、国民はインターネットを利用して自ら事実を確かめ、自分自身で考える姿勢を強く求められるということであろうか。新聞は社会の公器という常識が、今後数年で大きなパラダイムシフトを迎えるかもしれない。特に新聞・テレビを含む一部の偏向メディアは真摯にこの問題に向き合うべきかと思う。

## 略歴

1958年生。96年3月埼玉大学大学院修了。博士（学術）。三菱化学生命科学研究所特別研究員、産業技術総合研究所、埼玉バイオプロジェクト関連で起業したバイオベンチャー企業を経て、2008年4月より現職。専門は進化分子工学、分子生物物理学。進化的なタンパク質の機能変化や生命の起源を研究。

# 321 サンドイッチ化合物

物質科学部門 基礎化学コース 斎藤雅一 教授



## ■サンドイッチ化合物とは

サンドイッチ化合物という、耳慣れない言葉を説明する前に、ごく簡単に化学結合とは何か、を説明したい。一般の読者が思いつく化学結合とは、1つの原子と1つの原子が2つの電子を共有して作る共有結合であろう。また、1つの原子がもつ2つの電子をもう一方の原子に与えるという化学結合もあり、これを配位結合とよぶ。いずれの結合も1つの結合に関与する原子は2つである。一方、一般にサンドイッチ化合物とよばれる化合物の最初の例は1951年に合成されたフェロセンである(図1)。合成された当時、その重要性は明らかではなかったが、翌年にその構造が推定され、その後実験的に明らかとされてから、この化合物の新しい結合状態が注目されるようになった。この化合物の構造は、5つの炭素から成る骨格2つが1つの鉄原子を挟み込んだ構造である。つ

まり、上下の炭素骨格をパンと捉え、挟まれている鉄原子をハム(肉?)などと捉えると、まさにサンドイッチの構造そのものである。このサンドイッチ型の構造そのものも魅力的ではあるが、この構造の最大の特徴は上下合わせて10個の炭素原子がそれぞれ鉄原子と同じ結合を有している、という点である。今日、このようなそれまでに知られていなかった構造から生まれた化学は有機金属化学という大きな分野に発展している。そして、この構造様式の発見とその後の化学の発展に貢献した研究者に対し、1973年にノーベル化学賞が授与されている。

## ■サンドイッチ化合物を活かした物質化学

サンドイッチされる原子としては、主に、鉄に代表される遷移金属元素や希土類元素が挙げられるが、典型元素の場合もある。特に遷移金属原子がサンドイッチ

された化合物は、今日、高分子合成反応のような有用な合成反応の触媒(図2)として用いられたり、フェロセンの骨格を組み込んだ高分子化合物(図3)に応用されている。薬理活性のある化合物も知られている。このような化合物の性質は挟む原子の種類によって多様に変化する。つまり、サンドイッチ化合物は広汎な物質化学を生み出す金の卵なので、常に注目されている。本記事では、このサンドイッチ化合物の注目の仕方の一例を紹介したい。

## ■多層サンドイッチ化合物の創製と新しい物質化学の可能性

サンドイッチ化合物は、2枚のパンに1つのハムが挟まれた構造をもつ。このようなサンドイッチ構造を多層にすることができないだろうか?そのような構造は無邪気に言って魅力的な構造であるし、その新しい構造が新しい物性を生み出す、と期待される。その方法として、筆者らはパンの部分に着目した。5つの炭素原子のうち、1つを第5周期の元素であるスズに置き換え、鉄原子の代わりに周期表において右隣りに位置するルテチウムを用い、サンドイッチ構造を多層にすることに成功した(図4)。また、この化合物には従来のサンドイッチ化合物には見られない性質があることがわかった。このような新しい現象は、(軽い)炭素を高周期元素である(重い)スズ

に換えたことによる。周期表において、同族の元素は似た性質をもつと習うが、高周期元素には軽い元素には見られない特別な性質があり、これを利用すると、これまでの化学には見られない構造や性質を生み出すことができるのである。現在、この化合物を応用した電池などの機能性物質の創製に向け、日夜努力している。

図1 フェロセン。上下の五角

形の頂点には炭素原子が存在する。

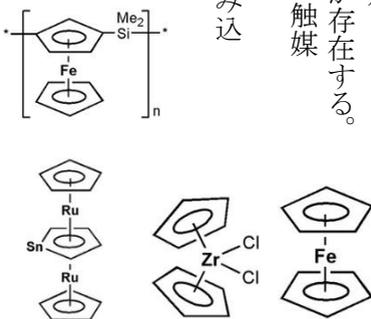
図2 高分子合成に有用な触媒の一例

図3 フェロセンの骨格を組み込んだ高分子化合物

んだ高分子化合物

図4 スズを利用した

多層サンドイッチ構造をもつ化合物



略歴

1967年東京都生まれ。1991年3月東京大学理学部化学科卒業。1996年3月同大学院理学系研究科博士課程化学専攻修了。博士(理学)2009年4月より現職。専門は有機典型元素化学、錯体化学

322

## 社会資本としてのダム水質

環境科学・社会基盤部門 環境社会基盤国際コース 古里栄一 准教授



日本の風土特性に基づいて考えれば、『ダム』は極めて有用で大切な国民の共有資産（「社会資本施設」と一般的には呼ばれます）であるのは自明である。にも関わらず、自然環境や地域社会を破壊する「悪者」として一方的に挙げられることが多いのは、世界的にはめずらしいと言える。

わが国では、社会的な目的や土木工学的な型式などの面から様々なダムが存在する。目的から分類すると、洪水被害の低減効果、水力発電と原子力発電の昼夜出力調整、山間地での土砂災害の軽減、飲料、工業、農業等の諸用水開発、河川における様々な機能（河口閉塞や雨が少ない時期でも河川生物環境を良好な状態に維持する等）維持などである。近年は、『縦割り行政』の弊害を超えて、ダムを現在の諸法律を改正して発電

できるようにすれば、原子力発電所は発電量の面では不要だとの意見もある。また、環境破壊の指摘も古くから存在するが、実は新しい湖沼として、それまで川しか存在しなかつた地域に新しい湖沼生態系が形成されることもある。

この様に、ダムは様々な効能があるのは自明であるが、どうしても発生を回避できない問題がある。本来、川を流れ下るものである、土砂と水をせき止めてしまうことに起因する諸問題である。土砂については、5年前の本コラム【95】（2012年11月14日）に「川のかたち 体のかたち」として寄稿させて頂いた。もう一点の、水の堰き止めによる水の品質すなわち水質への悪影響発生も回避できない。こうしたダム貯水池における水質問題は世界各国で経済発展に伴い数10年以上前から顕著となつてきている。近年は発展途上国での経済発展に伴い

世界中に拡大している。水温変化や、濁りの長期化、毒性プランクトンによる様々な障害などからなる。これらの対策は社会資本管理において極めて重要であることも自明である。

これを私の研究室では、新しい用語として、「インフラのストックマネジメントの一つとしての貯留水」という社会資本の品質管理」という観点から捉えなおして、「次世代貯水池水質保全としての戦略的貯留水品質管理方策の研究」を提唱し、実施している。これは、従前は環境問題」として捉えられていた水質問題を、「社会資本の一つであるダム貯留水の品質劣化」と捉えることにより、学術的基礎に裏付けられ、社会実装における費用対効果を効率化させた対策技術を開発するものである。特に従前は「環境だから良く分からずに経験的に対策していた技術」、かつ、物理、化学、生物(生態学)からなる複合過程で生じる問題や対策技術効果について、こうした学術的枠組みを超えた包括的なアプローチにより、工学的な確実性を可能とする学術基礎を獲得するものである。

私の研究室では、こうした観点から現地調査・実験、理論解析および数値解析モデルの開発など、多様なアプローチにより土木工学に求められる実用的な技術としての貯留水品質管理手法の開発に関する研究を行う

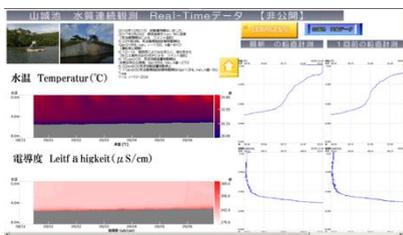
ている。更に学術的高度さと技術面における社会実装を考慮して、多様な国内外学術組織との連携(ドイツのブランデンブルグ工科大学、ベルリン工科大学、ベルリン環境保護局、ライプニッツ陸水漁業研究所、鹿児島大学、島根大学、琉球大学や岐阜大学)に加え、ダム管理者(水資源機構、沖縄県、久米島町等)や諸民間企業との連携により研究開発を実施している。これらにより研究成果の速やかな社会実装と国際展開を進捗中である。

現在開発中の次世代型貯留水品質管理システムの基幹モジュールの管理画面プロトタイプ

略歴

1967年生。2008年3月埼玉大学大学院理工学研究科環境制御工学専攻 博士後期課程修了。博士(工学)。建設省

土木研究所、建設コンサルタントを経て、2011年4月から現職。専門は河川や湖沼・沿岸潟湖における環境・生態水工学および水資源環境工学



# 323 鉄と硫黄とナノマシーン

生命科学部門 分子生物学コース 高橋康弘 教授



## ■鉄硫黄クラスター

タンパク質のなかには、補欠分子族またはコファクターと呼ばれる有機化合物や金属を含むものが多数存在します。例えばヘモグロビンは、コファクターとして鉄原子を結合したヘムを含んでいます。このヘムがなければ酸素を結合して運搬するという芸当はできません。このようにコファクターは、アミノ酸だけではできない反応を進めるのに重要な役割を担っています。コファクターとして鉄硫黄クラスター(図)を持つタンパク質は、総じて鉄硫黄タンパク質と呼ばれています。ヒトでは50種類以上、大腸菌では130種類以上の多種多様な鉄硫黄タンパク質が知られており、それらは呼吸鎖電子伝達系やクエン酸サイクルなどのエネルギー代謝、アミノ酸やヌクレオチドの合成／分解、さらにはDNAの複製や遺伝子の発現制御など、さまざまな機能を担っています。

## ■鉄硫黄ワールド

鉄硫黄クラスターは不安定な錯体化合物です。特に酸素や活性酸素に不安定で、壊れるとタンパク質からはずれてしまいます。このようなものをコファクターとして用いている理由は、生命がたどってきた歴史にあります。今から40億年ほど前の地球には酸素がほとんどなく、海底の熱水孔周辺で鉄イオンと硫化物イオンから硫化鉄( $FeS$ )さらに黄鉄鉱( $FeS_2$ )という鉱物が生成していました。このとき生じる自由エネルギーを利用して、また鉱物の表面を触媒・鑄型としてさまざまな化学反応がおこり、これを発端として最初の生命(独立栄養細菌)が誕生したというのが“鉄硫黄ワールド”説です。このような環境では、鉄硫黄クラスターの形成など、いとも容易いことだったでしょう。その後、酸素が出現するようになると、不安定な鉄硫黄クラスターを作るため

に、大がかりな装置を必要とするようになりました。

### ■生合成装置は巧妙なナノマシン

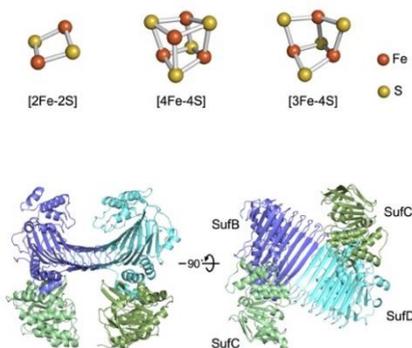
鉄硫黄タンパク質の機能を支えているのが、鉄硫黄クラスターの生合成系です。私たちは、世界に先駆けて2種類の生合成系を見出しました。どちらも、多くのタンパク質が関与する大がかりな多成分酵素系です。これらの生合成系で、鉄硫黄クラスターがどのようにして組み立てられるのか？ そのメカニズムを明らかにするために、それぞれのタンパク質成分の構造や性質、相互作用の解析を進めています。なかでも重要なのは、中心となるタンパク質複合体(図)です。この複合体は大変ユニークな構造ですが、最近、その意義が明らかになってきました。すなわちこの複合体は、硫黄原子を受け取って分子内部のトンネルに蓄え、さらに鉄原子を受け取った後、構造を大きく変化させて鉄硫黄クラスターの形に組み立てて、それを多種多様なアポタンパク質へ引き渡す、という実に巧妙なナノマシン(分子機械)として働いています。メカニズムには未だ不明な点も残されていますが、その解明は、鉄硫黄タンパク質を利用した物質生産や、遺伝病の治療に役立つと期待されます。昨今の経済状況により、産業に繋がる目的指向型の応用研究が奨励されていますが、なんといつても、はじまりは基礎研究です。

### 略歴

1957年生。大阪大学大学院修了。理学博士。大阪大学理学部准教授を経て、2008年より現職。専門は鉄硫黄クラスターの生合成に関する、広い意味での分子生物学。

### 図の説明

鉄硫黄クラスターの構造(上)とその生合成装置 SufB-SufC-SufD タンパク質複合体の結晶構造(下)。



## 環境科学・社会基盤部門 環境制御システムコース 藤野毅 准教授



## ■犠牲はいつも弱者

ミャンマーの最近の話題として、現政権軍とラカイン州の一部に定住したロヒンギャ族とのいさかいが大変深刻になった。これは同国にとつて非常に根が深く歴史に関わる問題であるが、ほとんどの日本人にとつてその背景を知る機会を得ることは少ない。また、ミャンマーはお坊さんの国というイメージが強いが、同国では孤児が非常に多く発生し、善良なお坊さんは孤児を拾い、寺で育て、国語や算数も教える。もし孤児院に拾われなければ反政府の軍人として育てられると聞く。民主化から六年半が経つが、犠牲を被るのは女性や子どもも達であることに今も変わりはない。

## ■水質の科学的情報は正しいか？

同国の基盤は農業であり、住民の生活は多くの湖沼や河川と密着している。しかし近年は社会・経済活動が

盛んで周辺部の森林伐採も加わり、良質な水の確保が難しくなっている。そのような中、同国は外国からの寄贈によって、ようやく自らの手で機器による水質分析が行えるようになった。しかし、これを扱う技術者の養成はなされない。結果は出てくるものの、それが正しい分析値であるかの評価がなされない。水質の評価項目は多くあるが、理論的に矛盾した結果が生じても再検討されることがないのが現状だ。

## ■地元の地方大学やNPOとの連携

今年、西部アラカン山脈に位置し、自然が豊かで焼き畑農業が今もなお続くチン州、中央部の古都マンダレー、東部シアン高原に位置し、英国植民地時代に開発が進んだインレー湖を訪れ、それぞれ地方大学やNPOと連携して湖沼と河川水質調査を行い、基礎知識を授けている。また、平地部の孤児院では地下水が利用され、

その状態を報告している。基本的に地下水と未開発地域の河川水質は良好である。重要なことは、地元の人たちに科学的な情報を正確に伝えて保全の意識を高めることである。他方、観光地化が進んだインレー湖では大規模な浮き畑が展開され、トマトを大量生産している。驚くことにミャンマー産ではなく品種改良された中国産が使われ、気候が異なるミャンマーでの生産のため、同じく中国産の化学肥料や農薬が大量に撒かれる。その収益の大部分が中国に行きわたるシステムが出来上がり、湖の水質は悪化する。こうした悪循環を断つため、先ず地元の人に正しい水質情報と科学的知見を授ける。これまで地元の問題に貢献できなかった地方大学も協力する。

### ■同国の大手銀行にも支援を要請

活動は Facebook で周知され、賛同者が増えている。同国最大のカンボウザ銀行は社会活動支援のために助成金を持っているが、その使途が不明である場合が多く十分に機能しない。今回、自国による問題の解決のため、正しい水質情報の普及のために、活動支援を銀行の最高顧問に直談判をする。採用されれば同国で初めての事例である。

略歴

1967年生。1996年3月埼玉大学院修了。博士(学術)。2004年4月から現職。専門は水環境学。NPO日本ーミャンマー交流協会評議員。

森林レンジャーへの河川水質情報の提示



目次へ

325

## 超音速で伝播する燃焼波

人間支援・生産科学部門 機械工学コース 小原哲郎 教授



「燃料電池」という言葉を聞いたことがあるでしょう。これまでの自動車は、ガソリンなどの燃料をエンジン内で燃やすことによって動力を得ています。燃料電池車では水素を用いていますが、水素を燃やすわけではありません。燃料電池の中で起こる化学反応によって電気を発生させ、モーターを回転させているのです。

水素は化学反応速度が高く、周りにある空気と混ぜて着火すると、爆発的に燃える性質があります。燃料と酸化剤が混ざった気体のことを予混合気体と言いますが、予混合気体が燃焼した場合には、火炎が燃え広がります（「伝播」と言います）。火炎の燃え広がりに方は2つの形態があり、低速で伝播するデフラグレーション波と音速を超えて伝播するデトネーション波になります。デトネーション波は大きな事故を起こす可能性があります。例えば、水素と空気を1:2・38の比で

混ぜ、大気圧状態にあつたとします。その中をデトネーション波が伝播した場合、圧力は大気圧の約16倍、温度は2670℃にもなり、1秒間あたりに約1970メートルの速さで伝播します。音は、空气中であれば1秒間当たり約346メートルの速さで伝播しますので、その約5.7倍の速さになります。このようなデトネーション波が発生すると、大きな被害をもたらすということは容易に想像できます。

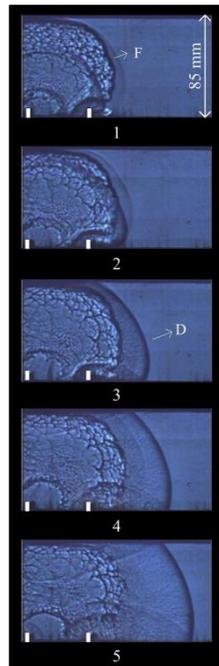
埼玉大学工学部機械工学科熱工学研究室では、水素のような予混合気体が燃えた場合、どのようにデトネーション波が発生するのか？どうすればデトネーション波を弱めることができるのか？といった課題に取り組んでいます。図に示した写真は、デフラグレーション波がデトネーション波に変化する過程を撮影した結果になります。金属製の管内を水素と酸素の予混合気体で満

たして左側で着火しており、火炎が燃え広がる様子をコマ間隔50万分の1秒の超高速ビデオカメラで撮影しました。管の下面には、デトネーション波をわざと引き起こすための突起物が敷いてあります。1〜2コマ目では、火炎(F)が右方向に低速で伝播しています。火炎が下の突起物によって乱され、3〜5コマ目では高速で伝播するデトネーション波(D)に変化する様子が分かりました。

燃料電池では、水素を燃やしているわけではないので、デトネーション波が発生することはありませんが、デトネーション波がどのように発生するのかを理解し、デトネーション波の発生を未然に防ぐ対策を考えることが重要になります。

#### 略歴

1963年生。1992年3月東北大学大学院修了。博士(工学)。埼玉大学大学院准教授を経て、2012年4月から現職。専門は燃焼工学。



# 326 モチベーションの調節

生命科学部門 生体制御学コース 古舘宏之 准教授



動物は厳しい自然環境の中で餌を獲得しなくてはなりません。もし餌の場所が決まっていたなら、その場所を学習し効率的に短時間で餌を獲得することは非常に重要です。

私たちの研究グループでは、ネズミを用いて餌に対するモチベーションを調節する仕組みについて研究を行っています。そのために八方迷路とよばれる装置を用いて、ネズミの行動を解析しています。八方迷路は8本のアームを持ち、その先端にエサとして小さな砂糖を置いています。全てのエサを獲得するとゴールです。私たちは餌を獲得する行動だけでなく、ゴール後の行動も注目して研究を行っています。このトレーニングを繰り返すと、餌を取るための行動が速やかになり、全てのエサを取るまでに要する時間も短縮されます。一方で、エサを全て

取り終えた直後に行動量低下します。その後数分間かけてゆっくりとさらに行動量が低下していきます。要約すると、餌を獲得している間はモチベーションが高く、獲得直後にモチベーションを下げ、その後時間をかけてさらにモチベーションを下げることが推測されます。

側坐核と呼ばれるモチベーションをコントロールする脳領域が知られています。側坐核はコアとシェル領域から構成されています。ネズミの側坐核コア、またはシェル領域に薬品を注入することで該当の脳領域を破壊し、行動への影響を観察しました。側坐核のどちらの領域を破壊しても、餌の獲得する行動には影響がありませんでした。しかし、餌を獲得後の行動に注目すると、側坐核コアの破壊では、餌の獲得直後の行動の低下が阻害される一方で、その後の行動の低下には影響ありませんでした。側坐核シェルの破壊では、餌の獲得直後の行動の低

下には影響ありませんでしたが、その一方でその後の行動の低下が阻害されました。このことは、側坐核は餌の獲得ではなく、餌の獲得後のモチベーションの抑制に重要ですが、コアとシエルでは情報処理の仕組みが異なっていることを示しています。

ネズミの行動を観察していると、よく学習した動物でも餌の獲得後の探索行動がなくなることはありません。もし行動の効率化を優先するのであれば、餌の獲得後は行動しないことが重要であると考えられます。もし餌の獲得後に探索行動がなければ、餌場のルールが変わったとしても、ルールの変化に気づかない可能性があります。自然界ではルールは一定ではなく変化することの方が多くと考えられます。生きていく上での長期的な利益のために、様々な可能性に対応できるように行動の選択が行われているのかもしれない。

#### 略歴

1966年生。山形大学理学部生物学卒業、岡山大学大学院自然科学研究科博士課程修了。博士(理学)。  
1995年から現職。専門は神経科学。

# 327 ロボットが匂いを感じる日

数理電子情報部門 内田秀和 教授



映画の中のロボットは千差万別で、まさに機械の塊のものから、まるで人と区別のつかないものまで登場し、私たちの夢を形あるものとして見せてくれます。一方、現実の世界で人を補助している機械はまだまだ十分ではないものの、確実に人の能力に近づいています。近年の情報処理技術の発展のおかげでカメラの視覚、マイクの聴覚、人工皮膚の触覚を獲得して、機械は認知する世界を広げてきました。残る五感は味覚と嗅覚です。どちらも限定された範囲ではありますが、味覚については人間を超える鋭敏な味覚を実現できるようになりました。大手の食品会社では味覚センサを導入して安定した味の製品作りに取り組み動きもあります。嗅覚については人の感覚を再現できる匂いセンサが開発されており、匂いを記憶して別の場所で同じ匂いを再生することも

可能になっていきます。近い将来、ロボットに調理させるには味と匂いを感じる能力は必須かもしれません。人の感覚に近づくとということは人が快適に生活できる手助けができると言えるでしょう。

味覚センサや嗅覚センサは人にとって快適さだけでなく安全と安心を守る命を守る場面での活躍も期待できます。人間の感覚を超えた味覚の能力は食品などの安全性を確保する切り札になるかもしれません。また、嗅覚は広い範囲から風に乗って匂いが届くため、周囲の状況を知るには重要な情報になります。近所の火事などはもちろん、台所の料理のいい香りにリラックスしていたとしても、鍋が焦げる匂いには飛んで行って火を止めるなど、嗅覚でなければ対応が難しい場面があります。しかし、様々な匂いが満ちている日常生活の中で人の行動を左右する特定の匂いを嗅ぎ分けるのは思った以上

に難しいと言えます。タバコやお香などの匂いは除外して、寝具やカーペットが焦げる匂いには敏感に反応しなければなりません。匂いで日常生活を補助する「嗅導犬」のような存在と言えます。一般家庭で使えるような嗅覚センサはまだ実現できていませんが、今ここにきてIoT (Internet of Things) がそれを可能にするかもしれないません。古くからセンサとネットワークの組み合わせは試みられて来ましたが、莫大な情報処理能力との組み合わせが可能となった現在、IoTが味覚や嗅覚のデータを適切に認識して有益な情報を人に伝える手段となりうるかも知れません。

私たちはこんな身近な未来を考えながら、地域で活躍する企業の人々と協力し、開発した技術が世の中で役立つものになるよう研究を進めています。

## 略歴

1965年生。1997年3月学位取得(埼玉大学)。博士(工学)。埼玉大学助手に着任し、2014年2月から現職。専門は有機材料を利用したセンサシステムの研究開発。

## 目次へ



技術は人を守るもの。やっぱり人が主体の世界かも。

# 328 サイバー犯罪と英語

数理電子情報部門 吉浦紀晃 准教授



(一)数年の間にIT(情報技術)関連の記事が、新聞やニュースなどの話題になることが多くなっています。特に、ビットコインなどの Fintech 関連の話題が新聞の紙面に掲載されるものが多くなっています。Fintech とは、Finance(金融)と Technology(技術)を合わせた言葉で、金融にIT技術を導入することを指します。ビットコインなどは、IT技術によって作り出された新しい通貨と言えるでしょう。

コンピュータに外部からウイルスを仕込まれてコンピュータの挙動がおかしくなるといった問題、つまり、サイバーセキュリティの問題は、昔からありましたが、ITの問題と見なされてきました。しかし、サイバー空間上で、金銭のやり取りが行われるようになるにつれ、徐々にサイバー犯罪、つまり、警察が介入する問題が増えてきました。インターネット上でのオンラインショッピング、

オンラインバンキング、そして、ビットコインなどの通貨などが出現するにつれ、サイバー犯罪が増加してきています。サイバーセキュリティとサイバー犯罪は違うものなのです。

当然ですが、サイバー犯罪の話題は、Web により情報提供されています。実は、日本語によるサイバー犯罪の情報量と、英語による情報量には、大きな違いがあります。まず、日本での、サイバー犯罪の情報提供 Web サイトは非常に少ないですが、海外では、サイバーセキュリティとサイバー犯罪は区別され、多くの Web サイトで提供されています。サイバー犯罪に関する情報を提供する英語版の Web サイトの日本語訳を提供する Web サイトもありますが、数日から数ヶ月遅れで提供されます。また、全てが提供されるというわけではないため、英語を理解できる人と理解できない人との間の情報

格差は広がっていきます。

また、海外のサイバー犯罪捜査は活発です。FBIのサイバー犯罪に関する情報提供は平均すると1日1回行われています。サイバー犯罪者の逮捕や裁判の判決などの情報提供が行われています。アメリカのサイバー犯罪の捜査が活発であることがわかります。

今では、Googleなどが翻訳サービスを提供していますが、翻訳された日本語がちゃんとした日本語であるかは保証の限りではありません。実は、英語から中国語やハングルなどの他の言語への翻訳結果は、日本語への翻訳結果よりもよい場合が多いのです。日本語は、他の言語に比べると特殊であるため、翻訳性能が劣ります。このことは、英語が分からなければ、他国の人々に比べ、サイバー犯罪に関する情報量で差をつけられることを意味しています。サイバー犯罪対策には英語が必要なのです。

## 略歴

1968年生。1997年3月東京工業大学大学院博士課程単位取得退学修了。博士(学術)。東京工業大学助手、群馬大学助教授を経て、2006年6月から現職。専門はソフトウェア工学、コンピュータネットワークとその運用技術。

# 329 CO<sub>2</sub>を消費する反応の開発

物質科学部門 応用化学コース 廣瀬卓司 教授



最近、天気の変動が激しくありませんか。地球の平均気温が100年間で約0.7℃上昇し、大気中の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)濃度が最近50年間で20%も増加しているというデータから、地球温暖化の最大原因はCO<sub>2</sub>と言われています。しかし、二つの事実と温暖化の関係は推測なので、どこかの大統領のように否定する人もいます。その関係を科学的に確かめるためにも、CO<sub>2</sub>の濃度を減らすことは意味のあることだと思います。

科学の力でCO<sub>2</sub>濃度を減らすことは、こうした意義があるため、多く分野の科学者が取り組んでいます。化学者としては、CO<sub>2</sub>から別の物質を作ることが課題なのですが、CO<sub>2</sub>は最も安定な炭素の化合物なので、簡単にはいきません。

私たちは、CO<sub>2</sub>を環状カーボネート(式1参照)と呼

ばれる化合物に変換する方法を研究しています。「環状カーボネートって何？」という人が多いと思いますが、リチウムイオン電池の中の液体成分として使われています。リチウムイオン電池は携帯電話などモバイル機器に使われていますし、電気自動車、ハイブリッド車にも使われている最先端の電池です。そんな用途がある環状カーボネートを、エポキシドと呼ばれる三角形の化合物とCO<sub>2</sub>から作る研究を行っています(式1)。

研究のポイントは、簡単かつ省エネ的に反応を起こすための「触媒」を探すことです。触媒とは、少量で反応を進みやすくする物質のことです。これまでに多く化学者によって様々な触媒が開発されてきましたが、私たちは「1気圧のCO<sub>2</sub>を効率よく使って、かつ金属を含まない有機化合物」を触媒として探しています。私たちが最初に見つけた触媒では、反応を十分に行うため

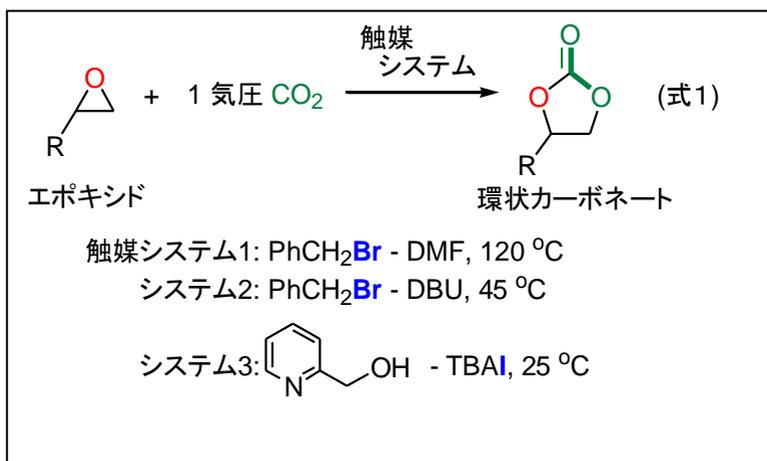
に120℃の温度が必要でした(図のシステム1)。そこから改良して、反応温度を45℃(システム2)、さらに25℃(システム3)と低くすることで熱エネルギーを節約することに成功しました。

しかし、どのシステムも金属を使わないで反応を起こしやすくするために、ハロゲン原子を使ってきました。「ハロゲン原子」というのは、塩素(元素記号Cl)、臭素(Br)、ヨウ素(I)などで、上の図の触媒システムに太字で書きました。ハロゲン原子や金属原子が含まれていると、設備や製品をさびやすくするために敬遠されます。ハロゲン原子を使わずに、CO<sub>2</sub>をもっと早く消費できる触媒を見つけよう、と研究を続けています。

目には見えない化学反応ですが、想像力をたくましくして、「CO<sub>2</sub>濃度を100年前に戻すぞ」くらいの心意気で研究に取り組んでくれる学生の参加を期待しています。

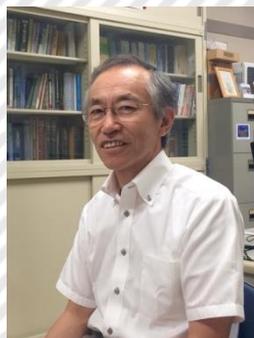
## 略歴

1956年生。1982年3月東京大学大学院修士課程修了。工学博士。通産省工業技術院の主任研究官を経て、1996年4月埼玉大学工学部に異動(助教授)。2002年4月より現職。専門は有機化学、高分子化学。



# 330 ナノ気泡で物質分離を操る

物質科学部門 応用化学コース 渋川雅美 教授



## ■クロマトグラフィーとは

クロマトグラフィーは混合物から成分物質を分離し、その物質が何であるか、そしてその量や濃度はいくらであるのかを分析する方法の一つです。医療、食品、環境などすべての分野における化学分析の約60%がクロマトグラフィーによって行われているとされており、現代社会において不可欠の分析技術であるといえます。そのしくみは様々ですが、固体粒子(固定相)が充填されたカラムと呼ばれる円筒管に液体や気体(移動相)を流し、このカラムに混合物を一定量注入すると、固定相および移動相と混合物中の各成分がそれぞれ異なる相互作用をして分離されるといのが基本原理です。

## ■気体をカラム内に固定化した高速液体クロマトグラフィー

固定相として働くのはカラム内の固体粒子またはそ

れに吸着や化学結合によって固定された液体であり、目的の分離を達成するために市販されている多種多様なカラムの中から最適なものを選択します。では気体を固定相として用いることは可能でしょうか。気体分子を固体に吸着や化学結合で固定すると、それはもはや気体ではなくなります。したがって、このような方法では気体を固定化できないので、気体を固定相とするクロマトグラフィーは実現していません。一方、凹凸な表面をもつ水に濡れない疎水性材料を水に入れると、表面の孔に空気が入ったまま水に浸かることはよく知られています。圧力をかけると孔に水が浸入していきますが、孔の直径を数ナノメートルにすると、1 MPa以上の高圧で液体(移動相)を流して高速分析を行う高速液体クロマトグラフィー(HPLC)の条件でも孔に気体が入ったまま保つことができます。我々の研究グループは、この

現象に基づいてナノメートルサイズの孔に入れたナノ気泡を固定相とするHPLCを実現し、表面気泡変動液体クロマトグラフィー(SBMLC)と名づけました。

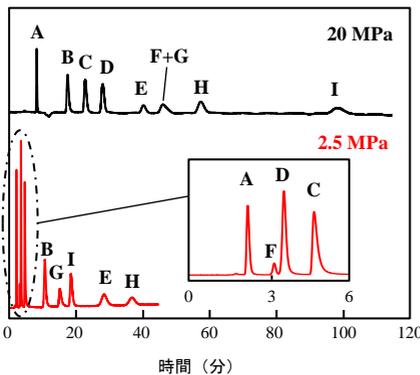
### ■圧力による物質分離制御

疎水性材料を詰めたカラムと水を主体とする移動相を用いるHPLCは逆相HPLCと呼ばれ、HPLC分析の多くはこれによって行われています。分子はこのカラム内を、水(移動相)、水と疎水性材料との界面(固定相)、そして疎水性材料内部(固定相)に分布しながら水の流れにともなってカラム内を移動します。SBMLCはこれにもう一つの固定相として気体を加えますが、多孔質材料の表面積の大部分は孔内の表面積なので、ナノ気泡ができると水/材料界面の面積が減少することになります。これに対して材料自身の体積は変化しません。材料自身と水/材料界面とは分子に対する親和性(相性)が異なるので、圧力を制御するという簡単な操作だけでナノ気泡の体積とともに界面の面積を変化させ、分離を自在に操ることができることになります。図はその一例を示したのですが、圧力が変化するとA~Iの化合物がカラムから出てくる順番が大きく変わることがわかります。このように身近な現象を利用して、多様な分離ができる全く新しい分析法を生み出すことができました。

より複雑な混合物の分離を可能にする新しいクロマトグラフィー技術の開発が常に求められています。SBMLCはその期待に応える一つになると考え、その実用化に向けての研究を進めています。

### 略歴

1953年生。1976年3月東北大学理学部化学科卒業。1981年3月東京都立大学大学院理学研究科博士課程化学専攻修了。理学博士。千葉大学工学部助教、日本大学生産工学部教授を経て、2007年4月から現職。専門は水を媒体とする分離場の機能計測と新分離選択性創出に関する研究。



# 331 分子カプセルを作る

物質科学部門 機械材料工学コース 石丸雄大 准教授



シクロデキストリンといわれる分子が最近注目を集めています。この分子は、ブドウ糖と呼ばれるD-グルコースが、分子間で $\alpha$ -1,4-グリコシド結合という化学的な結合によつて結つながり、ある数になると輪を作つて環状構造を取る化合物です。(図参照)一般的には、バケツの底が抜けたような構造をしていると説明されていますが、その環の内部にいろいろな分子を取り込むことができます。最近報告された例では、複数のシクロデキストリンが共同することで高分子まで取り込むことも報告されています。

この様な分子を取り込む性質を利用して、現在身の回りの様々な製品に利用されています。例えば、シクロデキストリンを加えることで、チューブ入りの練ワサビでは辛味成分を長期間安定させることができたり、ペット

ボトルのお茶ではお茶の成分を安定させることができたり、医薬品や化粧品成分の安定化が可能になるなど広範な分野で用いられています。

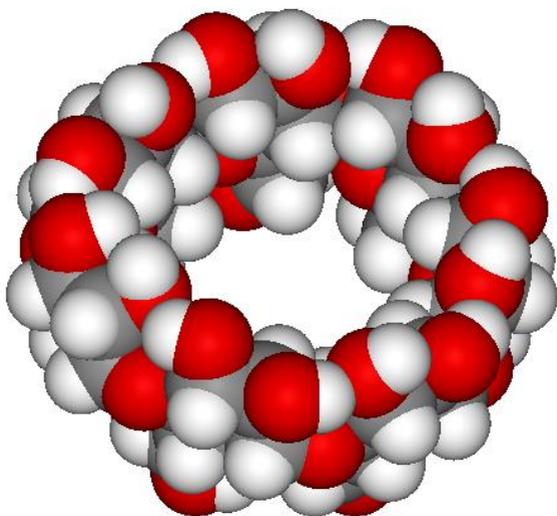
現在私の行っている研究は、シクロデキストリンの空孔の大きさや形を目的とする様々な分子に合うように有機合成化学的手法を利用して広げること、新しい分子カプセルを作り出すことです。ある特定の分子だけその空孔の中に取り込める新しい分子カプセルを作れば、取り込まれた分子の有効な機能を今まで以上に維持することが可能になります。有機合成的手法をもとに新しい分子カプセルを合成して、目的とする分子との組み合わせでもっと有効な分子システムを作り出すことは、近年では超分子化学といわれる大きな分野に発展し、世界中で精力的に研究が行われています。記憶に新しいところでは、2016年のノーベル化学賞の受賞分野で

す。

では、実際どんなデザインで分子カプセルを作るかというところ、シクロデキストリンを二つ繋げることで合成します。どのように分子を組み合わせて設計し、実際に合成するかが研究の醍醐味でもあり実際に思ったような化合物が合成できるときもあればできないときもあり、日々何でだろう？と考えながら研究を行っています。また、実際思った分子ではない分子ができたときのほうが驚くような発見ができる時もあります。

## 略歴

1964年生。1994年3月、神戸大学大学院自然科学研究科修了。(理学(博士))。同年4月、埼玉大学工学部機能材料工学科助手。2002年4月、埼玉大学工学部機能材料工学科助教授。2006年4月、埼玉大学大学院理工学研究科助教授(組織改編による)。2007年4月より現職。2004年米国テキサス大学オースチン校 化学科(Sessler 教授の研究室に短期留学)。専門有機合成化学、機能性色素の開発、分子デバイスの開発。



# 332 建造物の免震装置

人間支援・生産科学部門 メカノロボットコース 渡邊鉄也 教授



私は静粛工学、耐震・免震工学、音工学、スポーツ工学、生体工学の5つの分野を扱っておりますが、ここでは、建造物の免震装置について紹介したいと思います。

近年、兵庫県南部地震(1995年)や東北地方太平洋沖地震(2011年)、熊本地震(2016年)などをはじめとする大規模な地震が多発しており、一般家屋もさることながら産業施設内建造物の被害も多く報告されています。発電所や化学プラントなどの産業施設内建造物は2次的な災害が懸念されるため、一般家屋とは異なる耐震設計基準が定められています。近年、産業施設内建造物の耐震設計において、免震構造が注目されてきております。免震構造としては、積層ゴム、転がり支承、摩擦支承、ベアリング機構を利用したものなどがあり、建造物と基礎の間を柔らかくする、あるいは、動きやすくすることにより固有周期を長くし、地

震動の伝達を低減させています。究極の免震は空中に浮かすことですが、現実には不可能です。

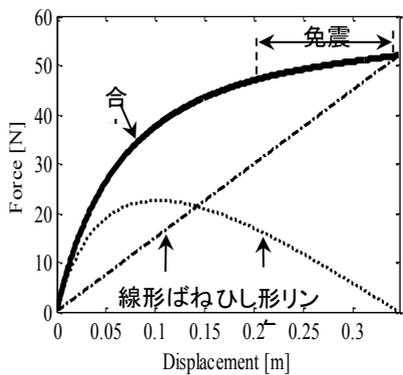
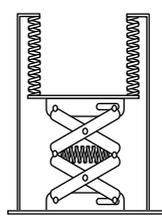
転がり支承、摩擦支承などでは、建造物と基礎の間に摩擦が存在するため、その特性によつて免震効果が左右されます。したがって、摩擦力の調整は非常に重要な要素となっています。これまでの研究から、地震波の入力レベル(加速度の大きさ)を変化させたときの1自由度摩擦系の応答計算において、ある入力レベルで応答低減効果(振動が小さくなる効果)が高くなる場合があることがわかりました。すなわち、免震建造物に適切な摩擦力を設定することで、応答低減効果が高くなります。しかし、摩擦系の応答計算は、停止としゅう動を繰り返す(ステイック-スリップ)運動であるため、摩擦力を変化させて応答計算するのは時間がかかります。そこで、長周期摩擦系における応答低減マップを提案し

ました。これは、固有周期が1秒以上の長周期において、応答倍率（応答加速度/地震波の加速度）が1未満の範囲を示したものであり、複雑な応答計算をせずに適切な摩擦力を推定することが可能になります。系を免震構造にした場合、長周期地震動により共振現象が生じる恐れがありますが、摩擦支持部の摩擦力を適切に設定する、あるいは通常用いられているダンパに付加的に摩擦支持部を設けることで、応答低減効果を向上することが可能となります。

次に、文化財や精密機器を保護するために、水平方向の免震装置として、スラスト軸受けを用いた装置を製作しました。この装置は、スラスト軸受けの回転軸をずらして重ねることにより免震を実現しています。また、上下方向の免震装置として、ひし形リンクを用いた免震装置を製作しました。基礎と構造物の間に抵剛性（柔らかい）のバネを用いて免震を実現する場合、構造物の重さを支えるにはバネのたわみが大きくなります。そこで、ひし形リンクを用いることにより、たわみを小さくした上で免震を実現することができました。今後も様々な免震機構を考案していこうと思います。

略歴  
1966年生。1991年3月東京都立大学大学院修了。

1991年4月東京都立大学助手。博士(工学)。2007年4月埼玉大学大学院准教授。2014年4月から現職。専門はダイナミクス・デザイン、振動学、耐震工学、感性工学、スポーツ工学



# 333 途上国の建設廃棄物

環境科学・社会基盤部門 環境社会基盤国際コース 川本健 教授



開発途上国の多くの都市では、人口増加や経済成長に伴い、急ピッチで開発が進められています。特に、都市のインフラ整備や再開発では新規の建設工事や解体工事に伴い、多くの建設廃棄物が発生します。建設廃棄物の大半はコンクリート・レンガ・土砂です。我が国は、建設リサイクル法に基づいて適正に建設廃棄物が管理・処理されており、アスファルト・コンクリートは99%以上がリサイクルされて、再利用されています。しかし、開発途上国では我が国のような建設廃棄物の適正管理やリサイクルはあまり普及しておらず、発生した建設廃棄物は空き地や池などにそのまま捨てられています。

建設資材として用いられる良質な粘土や砂利、セメントの原料となる石灰石は限りある天然資源です。さらに、これらの採取のために、どんどん山を削っていくと

多くの豊かな自然が失われていってしまいます。天然資源の持続可能な利用や自然・環境保護の観点からも、建設廃棄物のリサイクルを進めて再利用し、少しでも新規建設資材の使用量を減らすことが今後益々重要となつていきます。

このような途上国における建設廃棄物の適正管理やリサイクル推進のためには、対象とする相手国の社会的・経済的・技術的制約条件を十分に明らかにした上で、持続性や現地での定着性が担保される形での技術支援が不可欠となります。そして、現地のニーズを踏まえた低コスト・低メンテナンス・低環境負荷なリサイクル材有効利用技術の開発も、リサイクル材のイメージ向上や付加価値を高めるために重要な要素となります。

私は、現在SATREPSの研究課題「ベトナムにおける建設廃棄物の適正管理と建廃リサイクル資材

を活用した環境浄化およびびインフラ整備技術の開発」(H29・H34年度)の日本側研究代表を務めています。SATREPSとは、独立行政法人科学技術振興機構(JST)と独立行政法人国際協力機構(JICA)が共同で実施している地球規模課題対応国際科学技術協力事業です。日本からは本学の他に、埼玉県環境科学国際センター、国立環境研究所が参加し、相手国であるベトナムからは国立建設大学・ハノイ理工大学とともに建設廃棄物管理に係る建設省・天然資源環境省、自治体となるハノイ市・ハイフォン市などがSATREPSに参加しています。

本SATREPSでは、建設廃棄物の適正管理に必要なガイドラインやリサイクル材の基準・規格の整備を進めるとともに、現地のニーズを踏まえたリサイクル材有効利用技術として、リサイクル資材を用いた重金属汚染水処理技術の開発、洪水対策やヒートアイランド現象の軽減を目的とした保水性強化型の透水性路盤材の研究開発を行っています。これらの研究・開発を通して確立された技術が、近い将来に途上国の建設廃棄物の適正管理やリサイクルの普及に貢献することを期待しています。

1971年生。1996年3月東京大学大学院修了。博士(農学)。1997年4月に埼玉大学工学部建設工学科に助教として着任し、2013年4月から現職。専門は地盤環境工学。特に、地盤内の物質移動・環境リスク評価、開発途上国における廃棄物管理と地域特性を活かした最終処分技術。

【写真】ベトナム建設廃棄物投棄場。どんどん池が埋め立てられている。



# 334 青い有機物の特性

物質科学部門 基礎化学コース 佐藤大 講師



同一の分子式でありながら異なる形の関係にある化合物を異性体とよびます。異性体の形の違いをイメージするには、結合を表す線と元素記号を組み合わせて描かれる構造式を利用すると便利です。例えば炭素原子(C)が10個、水素原子(H)が8個からなる有機化合物(分子式:  $C_{10}H_8$ )を考えてみましょう。真つ先に頭に浮かぶのはベンゼン環(6角形)が2つ縮合した形のナフタレンでしょうか。ここで、ナフタレンの一方の6角形を7角形に、もう一方を5角形に組み替えてみます。アズレンとよばれるこの化合物も分子式は  $C_{10}H_8$  です。ナフタレンとは異性体の関係にあります。ベンゼン環とは異なる骨格をもつアズレンは代表的な非ベンゼン系芳香族化合物(非ベンゼノイド)の一つです。

それぞれの異性体の性質には物理的、化学的、生物

学的に違いが見られます。アズレンとナフタレンを比較すると、最もわかりやすく顕著な違いはその色にあります。後者が白色(無色)であるのとは対照的に、アズレンは深青色物質であり、その溶液は非常に鮮やかな青色を示します。青色の有機化合物は珍しいこともあつて、青を意味する *azul* がアズレン(*azulene*)の名称の語源となつています。生理活性に目を向けると、ナフタレンには防虫効果が、アズレンには消炎作用があります。実際、アズレンの誘導体が市販の目薬やうがい薬の成分として使われています。

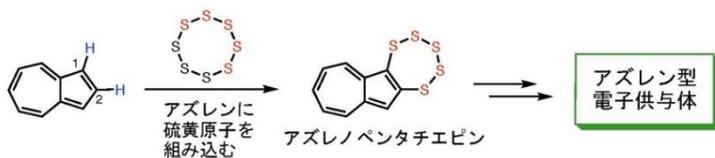
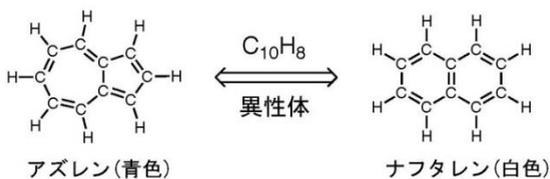
両者の化学的性質(反応性)も異なっています。電荷のかたよがりがないナフタレンに対して、アズレンは7角形部が正の、5角形部が負の電荷を帯びる性質をもつています。このことからアズレンは5角形部で電子の不足した試薬(求電子試薬)と反応します。この反応性を利用

して、私たちの研究室ではアズレンに硫黄原子を組み込む研究を行ってきました。アズレンに単体硫黄を反応させると、アズレンの1位と2位の水素原子が硫黄原子に置き換わるのを見出しました。面白いことに、組み込まれた硫黄原子の数は2〜4個でも6〜8個でもなくただ1種類、5個であり、7角形を新たに形作っていることもわかりました。この青緑色の化合物をアズレノペンタチエピンと名付け、様々な含硫黄アズレン類を合成するための鍵中間体として活用しています。これまでにアズレンの特性と電子を与える機能をあわせもつ化合物(アズレン型電子供与体)の構築に成功しました。

## 略歴

1967年生まれ。1994年3月東北大学大学院理学研究科博士後期課程修了。博士(理学)。埼玉大学理学部助手を経て、2007年4月より現職。専門は有機化学、アズレンをはじめとする非ベンゼノイドの合成・反応性質。

## 目次へ



環境科学・社会基盤部門 環境制御システムコース 川合真紀 教授



生物には、個体の命を守るため、自分の体の細胞を自ら死に至らしめる「プログラム細胞死」というシステムがあります。動物では、「アポトーシス」と呼ばれ、オタマジャクシの尾がカエルになる際に消失する現象や、動物の指の間の細胞が胎児の発生過程で消失する現象が知られています。また、近年では、病気との関係も指摘されており、アルツハイマー病では、神経細胞に過剰なアポトーシスが引き起こされます。また、アポトーシスがうまく働かないことが「がん」に結びつくことも知られています。

実は、「アポトーシス」という単語は、ギリシャ語の「落葉」を表す単語が語源とされています。秋になると、多くの植物は落葉します。もし気温が下がる冬季にそのまま葉をつけていたとしても光合成能力は低下し、成長に十分な物質生産量を維持することができません。む

しろ、葉を維持するためのエネルギーが余計に必要なつてしまいます。そのため、秋になると葉を落とし、生育に適した気温になるまで待つのです。また、落葉の際には、葉の付け根に「離層」という特殊な細胞層が作られ、葉が切り離された後、樹木本体にダメージが生じないように組織を守ります。つまり、「落葉」という現象は、植物が個体としての生命を保つために、葉を自ら捨てる「プログラム細胞死」の一種なのです。

生育環境が悪化すれば、動物はそれを避ける行動をとることができません。しかし、動くことができない植物は様々な手段を使って環境変化に耐えようとします。稲は水環境に適応する能力を獲得した植物です。水で土壌が覆われた水田では、一般の植物の根は呼吸することができません。しかし、稲の根はプログラム細胞死によつて通気組織と呼ばれる空洞を作り、シユノーケルの

ように空気を地上部から運ぶことができます。また、植物の耐病性のメカニズムにもプログラム細胞死が関係していることが知られています。ある特定の遺伝子を持つ病原菌が植物に感染しようとすると、その遺伝子の存在を感知した植物は、その部位にプログラム細胞死を引き起こし、病原菌を封じ込めて感染が広がるのを防ぎます。また、人気の観葉植物であるモンステラは葉に独特の切れ込みが入った形をしています。これは、大きな葉が風や雨を受けてちぎれてしまうことを避けるために、葉の形作りの間にプログラム細胞死を起こして合理的な形を作るのだと考えられています。植物にとつて生育環境に適応することは、自分の体の一部を犠牲にしても重要なことなのです。こうしたプログラム細胞死の分子メカニズムが研究により明らかになると、様々な環境条件に順応できる作物を作り出すことが可能になるかもしれません。

## 略歴

1967年生まれ。1995年3月東京大学大学院修了（博士(理学)）。東京大学分子細胞生物学研究所助手、埼玉大学大学院准教授を経て2014年4月から現職。専門は植物の環境応答機構の解明と代謝工学。



数理電子情報部門 電気電子システム工学コース 木村雄一 准教授



現在では多くの人がスマートフォンを持つようになりました。スマートフォンは通話やメールなどに加えて、高画質な写真や動画を楽しんだり、通信機能を用いて他人と対戦型のゲームができたりになりなりました。スマートフォンによって高品質・高機能なサービスが提供されると、電波によって送受信されるデータ量が爆発的に増加します。現在の携帯電話の仕組みでも大量のデータをやり取りすることを想定していますが、多くの人が同時に動画を見ると、動画が途中で止まったりする問題が起きます。そこで、次世代の移動通信規格として第5世代移動通信システム(5Gシステム、GはGenerationの頭文字)が検討されています。

5Gシステムでは、より高速なデータ通信が可能となるように様々な新しい技術が導入されようとしています。電波やアンテナの分野では、Massive MIMOと6

G Hz以上の高周波帯の利用が注目されます。MIMO(“マイモ”と呼ばれます)は Multiple Input Multiple Outputの頭文字をとったものです。MIMOはデータのやり取りをするのに、送受信のアンテナ間を直線的に伝搬する直接波に加えて、建物の壁などによる反射波を同時に利用することで高速な通信を実現します。MIMOは無線LANのアクセスポイントで実用化されていますが、Massive MIMOでは多数のアンテナを用いることで、さらに高速な通信ができます。小型なスマートフォンには多数のアンテナを設置することは困難ですが、基地局側には多数のアンテナを設置することができ

ます。

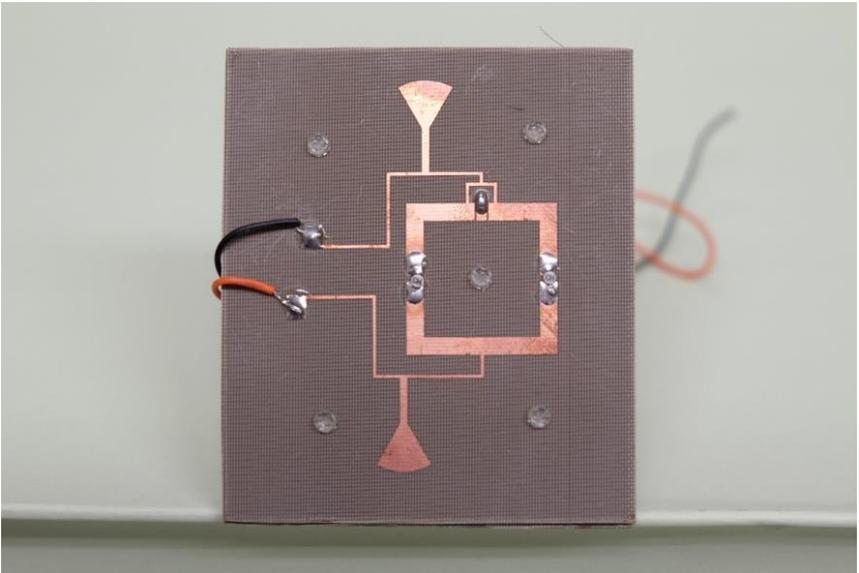
6G Hz以上の高周波帯の利用について、これまでの移動通信では800 MHz、1.5~2 GHz、3.5 GHzなどの低周波帯が用いられますが、28 GHzや40 GHzなどの

高周波帯を新たに利用することが検討されています。高周波帯では利用できる周波数の幅が広いため、高速な通信が可能となります。また、30 GHz以上の電波はミリ波と呼ばれる、移動通信以外の用途でも注目されています。例えば、77 GHzを用いた自動車のミリ波レーダーは普及してきました。

当研究室ではこれまで平面アンテナの研究を行っています。写真は半導体の一種であるバラクラダイオードと平面アンテナを組み合わせた新しい周波数可変アンテナです。電波を用いたワイヤレスの世界は広がる一方であり、用途に応じて様々なアンテナが求められていくことでしょう。

#### 略歴

1973年久喜市生。28年県立春日部高卒、1996年東京工大卒、2001年同大大学院修了。博士(工学)。同年埼玉大助手、2006年助教教授を経て、2007年から現職。専門は電磁波工学。特に平面アンテナに関する開発研究。



# 337 次代を担う数理情報

数理電子情報部門 情報システム工学コース 重原孝臣 教授



「ソサエティ5.0」という言葉を聞いたことがあるでしょうか？「5.0」は、狩猟社会（1.0）、農耕社会（2.0）、工業社会（3.0）、情報社会（4.0）に続く新たな社会を指すもので、第5期（2016・2020年度）科学技術基本計画でキヤッチフレーズとして登場しました。「5.0」では、「仮想空間と現実空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会」の構築を目指しています。

これまでの情報社会（4.0）では人間が情報を解析することで価値が生まれていましたが、「5.0」では膨大なビッグデータを人間の能力を超えたAIが解析し、その結果をロボットなどを通して人間にフィードバックすることで、これまでにはなかった新たな価値が産業や社会にもたらされることが期待されています。ここで重要な鍵になるのが「数理情報」です。

私はここ20年余の間、「大規模な数学の問題」をスーパーコンピュータなどの高性能計算機を使って解くためのアルゴリズム（計算手順）の設計・開発に関する研究に取り組んできました。日常はもっぱら紙と鉛筆を使った計算とか、計算機の端末と睨めつこの生活。ここ3年半余の間、工学部長などという身に余る大役を仰せつかってしまい、立场上、学部の先生方には、産業や社会への応用を念頭において研究を進めていただいて産官金の方々の絆を強くするように努めてください、などとお願ひしつつも、自身の普段の研究生活を振り返るに、何か後ろめたい思いも少なからずありました。

そんな私ではありますが、最近、研究室の助教とともに埼玉県の一世代住宅産業プロジェクトに関わらせていただきました。これまで無縁な分野でしたが、埼玉県産業振興公社からお声がけいただいて、「一定の条件を

満たしつつ、コストをできるだけ抑えて消費エネルギーや二酸化炭素排出量をできるだけ少なくするための住宅の外皮や設備の組み合わせを半自動で算出する最適化システム」の設計・開発に携わりました。県内を中心とする建設業者、住宅メーカー、建築CADソフト開発業者をはじめとする多くの方々にご指導いただき、「お話し版」をほぼ完成させるところまで何とかこぎつけることができました。

普段は「ああでもない、こうでもない」とウンウン唸りつつ、独り研究室にこもって修行僧のような生活を送ってばかりいた私にとっては、専門や立場が異なる方々とチームを組んで一つの目的に向かつて突き進むプロセスはとても新鮮で、得難い経験をさせていただいたと深く感謝しているところです。

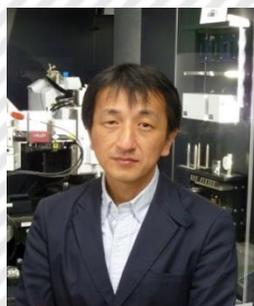
「ソサエティ5.0」などと大上段に構えるまでもなく、今後、種々のシステム開発や意思決定のプロセスで数理情報の果たす役割は益々大きくなることでしよう。私自身はもうシニア世代に近づきつつあって、直接にはどれほどお役に立てるか、心もとないところもありますが、次代を担う数理情報系人材の育成や、そのための環境作りに少しでもお役に立てれば、と考えているところです。

## 略歴

1960年生。1988年3月東京大学大学院修了。理学博士。1988年4月東京大学大型計算機センター助手、1997年4月埼玉大学工学部講師、その後、同助教授、2004年4月埼玉大学情報メディア基盤センター教授を経て、2008年4月から現職。現在の専門は数値線形代数、ハイパフォーマンスコンピューティング。

# 338 新しい液晶材料の展開

物質科学部門 応用化学コース 安武幹雄 講師



## ■伝導性材料とエレクトロミズム材料への応用

以前にも紹介したと思いますが、液晶は液体の流動性と結晶の規則性を合わせ持つ中間相として知られています。しかしながら、この状態は、どの物質にも備わっているわけではありません。

ディスプレイ材として知られている液晶は、みなさんもご存知のように電圧をかけた時のみ、光を遮断するいわばスイッチングとして機能しています。これは、液晶が柔軟であり、かつ、電圧の影響により分子の向きをかえられるからなのです。近年では、液晶材料の分子同士が並びやすい性質を利用し、新しい機能性材料の研究が多く行なわれています。

我々の研究でも、有機電子材料に液晶性を持たせた機能性材料の開発を目指し次の研究を進めています。

## ■半導体材料への応用

前節で述べましたように液晶は、流動性と結晶の規則性を合わせ持つ中間相として知られています。当研究室では、これまでの液晶の研究を基に、電荷(電子や正孔)輸送する液晶材料の研究、詳しくは、P型半導体(正孔を輸送する材料)とN型半導体材料(電子を輸送する材料)に液晶性を付与した材料の開発を行っています。

以前にも紹介したとおりP型半導体とN型半導体といえは、多くの方は無機材料を連想しますが、最近では、軽量さやフレキシブルと言った特徴を持つ有機材料を用いた半導体の開発が多く行われています。そのほとんどは、単分子構造を持つ結晶性の良いものや高分子構造を持つ加工性に富むものであり、どれも一長一短です。そこで我々は液晶の性質を利用し、液晶性有機半導体の開発を目的に研究を行っています。これら有

機半導体開発は有機化合物の特性ゆえにP型半導体が主として開発されており、N型半導体は設計等が難しいとされています。我々の研究室では、N型半導体の開発とそれに液晶性を付与した材料開発を行っています。

## ■エレクトロミズム材料への応用

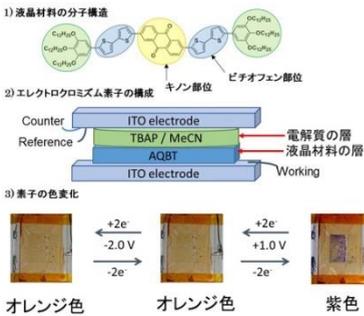
一般的にエレクトロクロミズムとは、電気化学的な酸化還元により材料の色調が変化する現象をいいます。この現象は、これまで金属イオンなどの酸化還元活性な部位をもつ物質でよく観られてきました。エレクトロクロミズム材料を用いた素子では電気化学的な酸化還元により素子の色調が変化するため、カラーフィルターを必要なくともカラー表示が可能です。この応用として電子ペーパーなどの表示デバイスなどが期待されています。しかし、これまでエレクトロクロミズム特性は電解質に浸したポリマーやエレクトロクロミズムを示す物質を電解質溶液に溶かしたもので観られることが多く、これを実際に表示デバイスとして用いることは、素子形成における加工性やスイッチングの応答速度の点から困難といえます。そこで、当研究室では、薄膜加工性や柔軟性の良い液晶化合物に着目し、それに酸化還元活性な部位を持たせたものの合成を行っています。また、一般的にエレクトロクロミズムを示すものは黄色から青色のように単純

な色調変化を示すものがほとんどですが、当研究室では図に示すように電気化学的酸化および還元によりクロミズムを示すキノン類とチオフェン類に着目し、1つの化合物中にそれを導入することで、1つの化合物が電圧変化によつて数種の色調変化を示す液晶性エレクトロクロミック材料の開発を行っています。

## 略歴

1973年生。2001年九州大学大学院理学研究科博士後期課程修了。2001年～2003年6月近畿大学 分子工学研究所 研究員。埼玉大学大学院 理工学研究科 助教を経て、2008年4月から現職。専門は新しい液晶材料の研究開発。

図…電気化学的な酸化(および還元)により色を変える素子



# 339 生物の紫外線への対応

生命科学部門 生体制御学コース 田中秀逸 教授



## ■「進化の途中で役割を変えたあるDNA修復関連遺伝子」

DNAの修復機構は、複製や転写機構のように生物の生命活動の基本となるので、当然、生物間で非常に良く保存されています。私たちの身の回りの最も身近な変異原は紫外線(UV)でしょう。UVの傷の修復系に異常を持つ生物はUVに弱くなります(写真はアカパンカビでの例)。このUVによるDNAの傷を治す仕組みの1つに“光回復”があります。この修復は「光回復酵素」という酵素が青色光を受容することで活性化して行います。この酵素をコードする遺伝子は、大腸菌からヒトや植物にまで見つかります。ところがそれらの仲間には、「クリプトクロム」と呼ばれ、修復活性を捨て光センサーとして働くもの(ショウジョウバエやシロイヌナズナ)、さらに光受容もなくしたもの(ほ乳類。それでも

概日リズムに関わる)も存在します。生物の進化における太陽との駆け引きの結果なのでしょうか？

## ■「カビにも概日リズム」

概日リズムの話題でつなげて。私の実験生物は「アカパンカビ」です。このカビも前段落に書いた「光回復酵素」の遺伝子を持っていますが、概日リズムを持つ事も判っています。発見された時計遺伝子(突然変異株が見つかった)としては、1971年のショウジョウバエ *period* に続く2番目が、1973年のアカパンカビ *freq* (frequency: 頻度)からの命名でした。アカパンカビも、皆さんが嫌いな“胞子”を造り、それをばらまいて繁殖します。胞子も生物体ですからその中に「細胞核」を持っています。昼日中に胞子をばらまくとUVでDNAが傷つけられてしまうので、アカパンカビは夜に胞子を造りばらまく戦略を身につけたようです。30センチメートル長程の

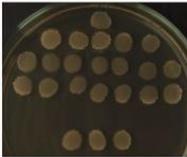
チューブ状の培養容器内に寒天培地を入れ、カビを端から反対端に向かって伸長させる<sup>2)</sup>、*bd* (band : 帯)からの命名)変異株のように胞子形成の周期性についてはっきりした形質を持つ株で毎日の周期的な胞子形成が判ります。この周期はアカパンカビでは暗黒下では22時間になる事も判っています。さらに、*fig* 遺伝子に変異が入るとその周期の長さが変わったり、無くなったりします。アカパンカビの菌糸の伸長速度はカビの中で最速と言われ0.5ミリメートル/時間にもなります。その特徴もこの研究に貢献したと言えます。

#### 略歴

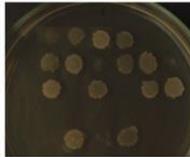
1963年、栃木県生まれ。1988年埼玉大学大学院理学研究科修士課程修了。博士(理学)。佐賀医科大学(現佐賀大学)一般教育 教務員、北海道大学大学院理学研究科 助手を経て、2004年より助教授として埼玉大学理学部に戻る。2012年より現職。専門は、DNA損傷応答としてのアポトーシス、DNA修復や生存維持機構の研究。

目次へ

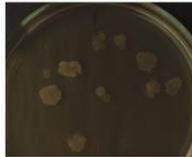
無処理



+ 1 min UV



+ 2 min UV



# 340 RFIDでレジ待ち解消

物質科学部門 機械材料工学コース 柿崎浩一 准教授



皆さんはRFIDをご存じでしょうか？Radio Frequency Identificationの頭文字をとったもので、日本語では電波方式認識などと呼ばれています。日本工業規格によれば、誘導電磁界または電波によって、非接触で半導体メモリーのデータを読み出し、書き込みのために近距離通信を行うものの総称と定義されています。現在、私たちが普段利用しているSuicaなどの非接触ICカードが代表的なものとなります。近い将来、このRFIDを小さくかつ薄くして、シールのような形態にしたRFタグをコンビニなどの商品一つ一つに取り付けて、会計処理を効率化することが考えられています。現在はそれぞれの商品毎にバーコードが付いており、それを一つずつバーコードリーダーで読み取って会計処理をしています。これに対してRFタグを用いると、数十

ミリ秒でひとつの商品情報を読み取ることができます。また、多くのタグが密集していたり、多少重なっていたりしても、読み取ることが可能です。つまり、カゴに無造作に入れた商品をRFIDリーダーのそばに置くだけで、瞬時に会計が完了してしまうのです。

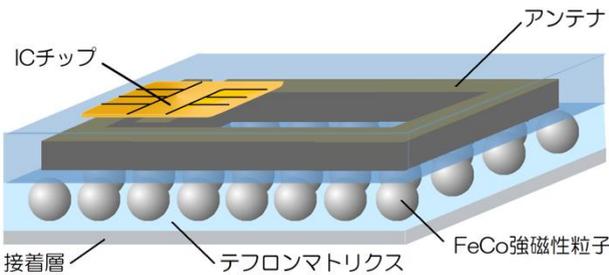
このように私たちの生活を飛躍的に便利にする可能性をもつRFIDですが、課題は無いのでしょうか？実際にRFIDをこのような用途に用いる場合、RFタグの近傍に金属があると読み書き率が低下してしまう問題があります。コンビニで扱っている商品の中には、金属製の缶に入った飲料やお菓子の袋の中には遮光性を持たせるためにアルミを挟み込んだものが多くあります。RFタグ側にあるICチップを動作させ、データの読み書きをするためには、リーダー側からラジオ周波数(13.56 MHz)の高周波磁界をタグのアンテナに送信

することで、アンテナにICチップの動作に必要な誘導起電力(電圧)を生じさせなければなりません。しかし、RFタグの近くに金属があると、その金属にも誘導起電力が生じてしまい、磁力線を取り囲むように渦電流が流れてしまいます。困ったことにこの渦電流はリーダーから送られてくる磁力線とは反対向きの磁界を作りまです。すなわちリーダーからの磁界を打ち消してしまうのです。そうするとICチップの動作に必要な電圧が得られず、タグとリーダーの通信はできないことになってしまいます。RFタグと金属が1センチメートル程度の距離にあるときに読み書き率が40%まで低下するとの測定データもあります。

この問題を解決する方法としては、RFタグの裏側に磁力線を良く通す薄い膜を作ること、リーダーから送られてきた磁界をアンテナに引き寄せるとともに、そばにある金属には磁力線が届かないようにシールドする手法が挙げられます。しかし、磁力線を良く通す材料は金属であることが多く、そのままでは使うことができません。そこで私たちの研究室では、磁力線を良く通す鉄コバルト合金を数十ナノメートルの微粒子にして、非常に高い電気抵抗を示すテフロン樹脂に埋め込んだグラニュラー構造薄膜を利用できないかと考え、研究を進めています。

## 略歴

1969年生。1994年3月 埼玉大学大学院修了。2001年9月 博士(学術)。埼玉大学工学部助手を経て、2006年4月より現職。専門は磁性材料工学。金属および酸化物磁性薄膜を用いた電子デバイス材料の研究・開発。



# 341 局所から超局所へ

数理電子情報部門 数学コース 櫻井力 准教授



私の専門は「超局所解析」と呼ばれる分野で、フーリエ解析を含む調和解析を駆使して偏微分方程式の解の持つ性質（滑らかさや特異点の構造）を調べることで、フーリエ解析は物理学・工学でも基本的な道具として利用されていますので、ご存知の方も多いと思います。関数を単純な平面波に分解し、それぞれの波長成分に対して解析を行い、その重ね合わせとして元の関数の特徴を抽出するものです。

超局所解析の舞台は「相空間」と呼ばれるもので、位置と運動量の2つを独立変数として持つ空間です。通常の関数がそれぞれの位置におけるある物理量を表ならば、そのフーリエ変換は同じ対象を運動量座標を用いて表現したものであるという解釈が成り立ちますが、超局所解析では関数の特異性に注目することにより、双空間上の密度分布として表現することになります。そ

して、偏微分作用素はこのような相空間上の分布に作用する積分作用素として表され、これを用いて、偏微分方程式の解の性質を調べることができます。すなわち、超局所解析とは「相空間上の作用素解析」であるということができるとしよう。

偏微分方程式論の重要なテーマの1つに「局所可解性」があります。これが注目されたのは1957年に発表されたハンス・レヴィの論文からです。それまで、偏微分方程式は境界条件や初期条件といった付加条件を課した上で解を探すというのが一般的であり、なんらの付加条件もない偏微分方程式がどんな小さな領域でも解を持ちえないなどということはありえないことと考えられていました。いかなる点の近傍においても解が存在しない偏微分方程式が発見されたことは、当時の偏微分方程式論の研究者に大きな衝撃を与えました。レヴィの

反例はその後の超局所解析の発展において大きな寄与をもたらしました。

超局所解析のもう1つの重要な話題として、「解の特異性の伝播」があります。たとえば光はマックスウェルの方程式によつて記述される波動現象ですが、実際の光の伝搬はあたかも光が粒子であるかのように直進し、くつきりとした影を形成するという現象があります。これは超局所解析においては、関数の特異性をもたらす高周波成分は相空間上の常微分方程式によつて支配されるといふ事実の現れであると理解することができます。

近年、新たな調和解析の道具として、ウエーブレット解析の研究が進んでいます。特に、ウエーブレット基底はこれまでの直交関数系とはまったく異なる基底で、一つの関数の相似変換と $2$ 進有限小数点の平行移動により、すべての直交基底が得られるというものです。現在、このような直交ウエーブレット展開を用いて、様々な物理現象を支配する偏微分方程式の解の挙動の研究を進めています。

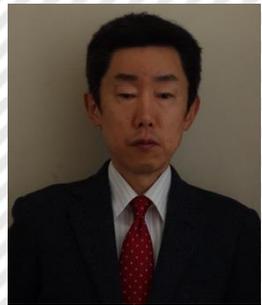
## 略歴

埼玉大学大学院理工学研究科 准教授。1956年生まれ。1985年東京大学大学院理学系研究科 博士課程修了。理学博士。埼玉大学助手を経て、1990年

より現職。専門は偏微分方程式の超局所解析

# 342 地震動解析と予測

環境科学・社会基盤部門 環境社会基盤国際コース 谷山尚 准教授



平昌オリンピックが始まりました。私を含めて、手に汗を握りながら観ている方も多いことと思います。中には、あそこではこうすべきであったと議論を白熱させている方もおられるのではないのでしょうか。北米では、Monday morning quarterback という語もあるようです。週末のアメフトの試合で何が起きたか全部知ることができる月曜日になれば、名司令塔になれるということなのでしょう。

地震工学の話に移しますと、現在、地震が起きた後であれば、地震観測網の充実や解析技術の発展によって、地震がどこで始まりどのように広がっていったか、どこで特に強い地震波が発生し、その結果どこで激しく揺れたかといった、その地震に関する詳細な情報を得ることができます。一方、今の地震学・地震工学では、地震が起る前に、このような詳細な情報を手にすることは

できません。現在、被害予測や安全性審査のために地震動の予測がされていて、日々の研究で予測技術や恐らく予測精度も向上しているはずですが、断層の位置や広がりなどの限られた情報と、過去に起きた地震が共通して持っている特徴などに基づいて、粗い予測をしているのが現状です。そのため、揺れが大きくなる条件で何パターンか計算して安全性を検討するのが一般的です。

先日、日本地震学会会長や原子力規制委員会委員長代理も務められた島崎邦彦先生(私の学生時代の指導教官でもあります)の話を聞く機会がありました。先生の検討結果によると、地震後の詳細な解析に基づいて導かれた関係式を、限られた情報しかない事前の予測に用いると、地震による揺れを過小評価する場合がありますとのことでした。事前の予測の際に、地震後に得ら

れた結果との整合性を取ることの重要性を先生は訴えられていましたが、事後の検討結果を事前に活かすことの難しさがここにもあらわれているように思います。

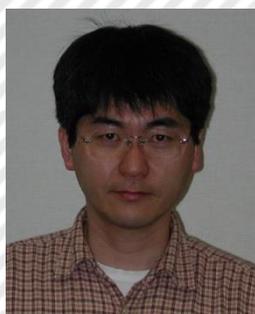
私が所属する地震防災研究グループでは、地震動の研究以外に地震被害を軽減する研究も行っていますが、平昌での悲喜入り混じった結果を目にするにつけ、地震工学に携わる者として、地震が起きた後になつて必要であつた対策を指摘する *Monday morning quarterback* にとどまらず、その時時手にすることができる情報の中で、起こり得る地震被害を予見し、適切に備えていくことの重要性和、同時に、その難しさを改めて認識させられるオリンピックと なつて います。

#### 略歴

1965年生。1991年3月東京大学大学院修了。博士(工学)。埼玉大学大学院助教を経て、2016年4月から現職。専門は地震工学。

# 343 計算機が化学する時代

物質科学部門 基礎化学コース 高柳敏幸 教授



コンピュータが我々の社会に浸透してからかなりの時間が経った。コンピュータは実際には常に何らかの計算をしているのだが、それを意識する人はほとんどいないだろう。それくらいコンピュータは人々の生活を変えてしまったと言える。

私の専門である化学分野でコンピュータが使われるようになったのは1960年代後半くらいであろう。原子や分子の性質を決めているのは電子の運動であり、それは量子力学の方程式で書くことができる。しかしそれを紙と鉛筆で解くのは不可能に近い。この方程式を解くのにコンピュータが使われ始めたのがそのころである。水素分子に始まり、その後のコンピュータの急速な発展のおかげで、今ではかなり大きな分子についても計算が可能になっている。もちろん、様々な物質が複雑に絡み合う化学の諸現象を理解するにはまだまだ時間がかかるであ

ろうが、数個の原子からなる分子であれば、通常のパソコンを使って、実験よりも正確な答えを出すことができる。

私はコンピュータを使って化学反応の研究をしている。コンピュータの良いところは、原子レベルでの可視化ができることである。したがって、反応がどのようなメカニズムで起こるのかをきちんと理解することができるのである。実は我々の体の中で起こる反応には、たいていの場合水素が関わっている。人体がほとんど水でできていることから容易に想像できるだろう。水素は元素の中で最も軽いので、量子力学的な性質が表れやすい。図は反応が起こる様子を模式的に示している。熱を加えると反応が進むのは、エネルギーの山を登ることができるようになるためである。古典力学で考えるジェットコースターのよくなものである。しかし、水素はとても軽いので、波のよ

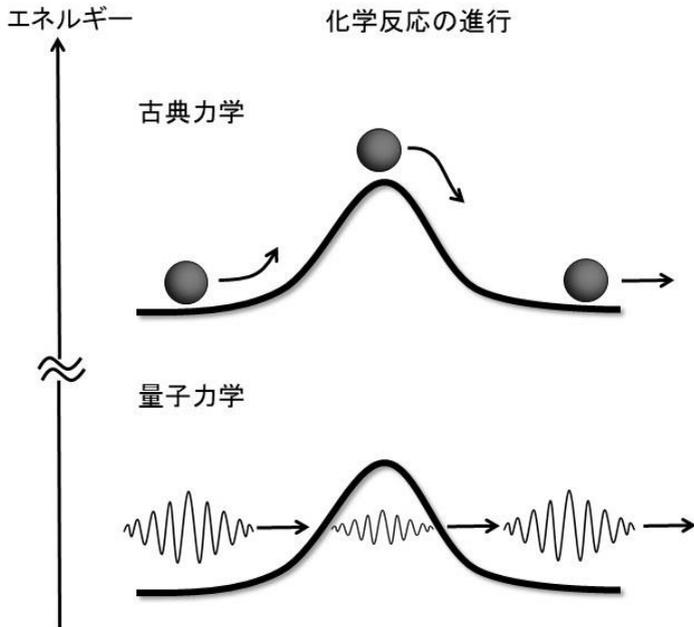
うに振る舞い、エネルギーの山を越えなくても反応が起こる。これをトンネル効果と呼んでいる。冷たい宇宙に存在する分子は、ほとんどトンネル効果で生成している。

水素を同位体である重水素に変えると、トンネル効果が起こりにくくなり、結果として反応の起こりやすさに大きな影響を与えることになる。少し前に見た「チーム・バチスタの栄光」という映画では、重水(重い水素同位体)できている水のこと(毒薬として使われていた)が「ご覧になった方もいると思う。私は講義の雑談でよくこの映画の話をする。「重水が毒薬としてはたらくのは、量子力学的なトンネル効果の違いによるのかも知らない。」

### 略歴

1990年理学博士。日本原子力研究所(現、日本原子力研究開発機構)を経て、2004年より埼玉大。専門は理論化学、計算化学。

## 目次へ



# 344 スピードの宇宙

物質科学部門 物理学コース 田代信 教授



我々が使うX線天文衛星は、ロケットで打ち上げます。ロケットは、大気圏を脱するだけでなく、なにより軌道速度（スピード）を得るための乗り物です。スピードは、宇宙の入場料であり、その最低料金は地球周回に必要な秒速約8キロメートルです。もし地球の衛星軌道を離れ、惑星間空間に漕ぎ出したいなら、さらにスピードが必要になります。たとえば、地球を離れ太陽系の外側に向かいたいなら、地球が太陽を周回する速度（秒速約30キロメートル）より高いスピードが必要になります。スピードを上げることで、重力に逆らいより大きな階層へと上昇することができます。

太陽は惑星を引き連れながら、銀河系の中を秒速200キロメートル程度で飛んでいます。そして銀河系は、ほかの銀河と群れをなしながら、秒速千キロメートルにいたる速度で運動しています。最初の人工衛星の速度が

ジョギング程度なら、これはジェット機に相当する速度です。この速度でようやく、暗黒物質とよばれる巨大な重力源からの力（重力）に対抗して、銀河間空間を飛び続けることができます。この暗黒物質は、電磁波を出さないで直に観測することはできません。しかし、その重力に支配される銀河や銀河の間にある高温ガスの運動を調べることで、影で操っているその存在を間接的に知ることができます。

銀河などの遠方の天体の動きは、天体からの電磁波の波長のずれをつかって測定します。救急車のサイレンの音の高さ（波長）がずれるドップラー効果をご存じでしょうか。電磁波の場合は、音と少し異なる物理によるのですが、やはり波長のずれを使って発生源の速度を測ります。そして、電磁波で行う場合は音速ではなく、光速が基準になります。たとえば恒星の運動程度の速

度を知るには、電磁波の波長が千分の一ほどずれる測定が必要になります。音階でいえば、半音の60分の一以下という微細な違いの聞き分けに相当します。このために先端の技術が投入されます。筆者がたずさわるX線マイクロリメータという装置では、ほぼ絶対零度の線マイクロリメータという装置では、ほぼ絶対零度の50ミリケルビンに冷やした検知部にX線が吸収され、わずかに千分の一度ほど温度が上昇するのを百万分の一度の精度で測定してX線光子の波長を求めます。この測定方法は、低温であればあるほど精度が向上します。断熱消磁冷凍機、ジュールトムソン冷凍機、二段スターリング冷凍機を組み合わせた極低温への冷却技術が使われます。また、その温度でX線を検知し人工衛星上の限られたリソースで測定する電子回路および信号処理技術も、JAXAや日本のメーカーと米国防空宇宙局が1990年代から開発してきました。なかなかしつぽをつかめない、影に隠れた重力の主役をあぶり出すために、日米の理工の研究者が築き上げた20年にわたる技術開発の精華が使われているのです。

## 略歴

1963年生。1993年3月東京大学大学院理学系研究科博士後期課程修了。博士(理学)。東京大学理学部助手、埼玉大学理学部助教授を経て、2007年4

月から現職。2017年4月からはJAXA宇宙科学研究所との併任。専門は、天体からのX線観測を中心とした高エネルギー宇宙物理学。人工衛星搭載の観測装置の開発とそれを用いた観測を手がける。

345

## ダイヤモンドを磨く

人間支援・生産科学部門 機械工学コース 堀尾健一郎 教授



ダイヤモンドは炭素原子からできています。シャープペンシルや鉛筆の芯の材料であるグラファイトも炭素からできていますが、結晶構造すなわち原子の並び方が異なり、グラファイトは柔らかですがダイヤモンドは極めて固い物質です。

ダイヤモンドは他にも優れた性質があり、光の屈折率が最も高い物質であることで光輝性に優れており、宝石としての価値を生んでいます。他の優れた性質には熱伝導率が高いことがあります。一般に金属のように電気を良く通す材料ほど良く熱を伝えるわけですが、ダイヤモンドは電気を通さないのに熱伝導率が極めて大きな材料です。

宝石用のダイヤモンドはカットと呼ばれる多面体に加工されています。代表的なブリリアントカットでは57

面体です。それぞれの面は小さいですが平面です。各平面間のなす角は入射した光が多数回屈折してなるべく多くの光が表面から出てくるように設計されています。従って、ダイヤモンドのカットの加工では多数の面を平らにかつそれぞれのなす角度が正確になるように加工する必要があります。ダイヤモンドの粉を表面に撒いた平らな鑄鉄の円盤を回転させ、それに宝石用ダイヤモンドを押し付けて磨きます。ダイヤモンドでダイヤモンドを磨いているわけです。加工に時間がかかるので、鑄鉄の板は高速で回転させますので、ダイヤモンドの粉が飛び散らないようにオイルでペースト状にして歯磨き粉のようにして鑄鉄の板に塗り付けます。磨き加工を繰り返して鑄鉄の板が摩耗して平らでなくなると、小さい面とはいえ宝石の平面も崩れてくるので時々修正が必要になります。筆者の研究室では鑄鉄より硬くて摩耗し

にくいと考えられる鋼(スチール)を用いてダイヤモンドを磨くことを試み、表面の細かい凹凸を工夫することにより鑄鉄並みに磨ける条件を見出しました。

ダイヤモンドは固い物質なので摩擦する部材に使うと理想的ですが、極めた高価な材料なのでそのまま使うわけにはなかなかいきません。そこで部品の表面にダイヤモンドの薄い膜をくっつける技術が開発されました。ダイヤモンドの薄い膜は多結晶材料で表面に凹凸があり、くすんだ色になるのが普通です。用途によっては表面をピカピカにしたいので、磨くことが必要になります。先に述べた高速の鉄板上でダイヤモンドの粉で磨く方法では、ダメージが強すぎて、折角くっつけたダイヤモンド薄膜が剥離する問題があります。筆者の研究室ではガラスの板に押し付けて磨く方法を開発しました。ガラスとダイヤモンドが化学反応して加工が進行することが分かりました。

## 略歴

1953年生。1981年3月東京大学大学院修了。工学博士。株式会社日立製作所生産技術研究所を経て1987年より埼玉大学に勤務。専門は、超精密切削加工、鏡面研磨加工、加工変質層の評価、放電加工、電子ビーム加工など。

## 見沼たんぼ地域の景観保全に向けて

環境科学・社会基盤部門 環境計画コース 深堀 清隆 准教授



平成26年から、さいたま市の見沼たんぼ地域で活動している市民団体と地域の景観保全について議論を重ねてきました。成果は「見沼たんぼ地域、景観・未来へのビジョン報告書」として最近公表されています。この地域は市街地近郊の広大な緑地で、縄文期の遺跡、江戸時代の見沼代用水などで知られる文化的景観の地です。高度経済成長の開発圧力に対し、広い谷戸低地の遊水機能保持、農地保全のため開発が規制されました。しかし最近、農業の衰退により土地利用の転換が進み、再び景観の変貌が目立っています。この地域は県内でも特に市民活動が盛んで、その活動は日本ユネスコ協会連盟のプロジェクト未来遺産にも登録されています。行政や農家と連携した水田の保全や斜面林の環境管理、地域固有の伝統の復活などその実績は見事なものです。それでも広大な地域ですから、彼らの手の届かぬ所で都市的土地利用は進んでいます。先導的な農家や団体

の活動スポットだけでなく、保全を周辺地域までどう広げるかが研究会の課題でした。私はこの地域の景観の要は斜面林だと考え、百か所以上の緑地を1つの大きな森として捉える必要性を感じていました。そこで都市化が進んだ地域も含め、大宮台地縁の斜面林グリーンベルトと保全対象を捉え直し、地域全体で緑地を育てる考え方を提案しました。団体の方々は参加者の少なさ、担い手の高齢化に苦慮していますが、農作業や森の管理作業への都市住民の貢献を期待しています。そのため見沼の近郊農地と都市部が連携するという考え方が不可欠です。そこでさいたま市の安全な住環境は、大宮台地の地形や周辺の自然の恩恵を受けて発展してきたことを都市住民が再認識することが大切と思ったわけです。「大宮台地」という言葉を使うことで、斜面林保全の意義を単なる労働奉仕ではなく、さいたま市の文化的源泉を守るための貢献として市民に共有してほしい

と思います。

私の関係する学科ではまちづくりの講義、見学会等により大学生に本地域を紹介しています。農業支援活動の意義を積極的に認識する学生も多い一方、実利の見えにくい生物多様性や景観の保全、文化の継承など倫理的な要求には抵抗感を感じる人もいます。今後、都心部の高密度な土地利用と郊外部の農地、緑地の保全活用など土地利用の区分をより明確にする中で、郊外部のコミュニティや環境の保全を都市部が支援する相互扶助の考え方が必要です。見沼たんぼ地域では、地産地消の農業を支援するなど理解を得やすいですが、斜面緑地保全の多面的な効用、公益性は十分理解されていません。研究会の成果をもとに団体は埼玉県、さいたま、川口の2市に斜面林公有地化の要望を行い理解を得ました。しかし見沼の環境資産を次世代に継承しようとしても、生物多様性や文化だけでは、やっかいなものを押し付けたと思われる時代です。現世代が目に見えない地域文化の価値を伝える意思も説得力も持たないなら、次世代が魅力と感ずるような、より目に見える斜面林の利活用の方法を示さなければ、何の魅力もない荒れた公有地が量産されるだけです。

略歴

1968年生、97年3月埼玉大学院修了。博士(学術)。現在同大学院理工学研究科准教授。専門は景観工学。

目次へ

# 347 異なる半導体の混合

数理電子情報部門 電気電子システム 矢口 裕之 教授



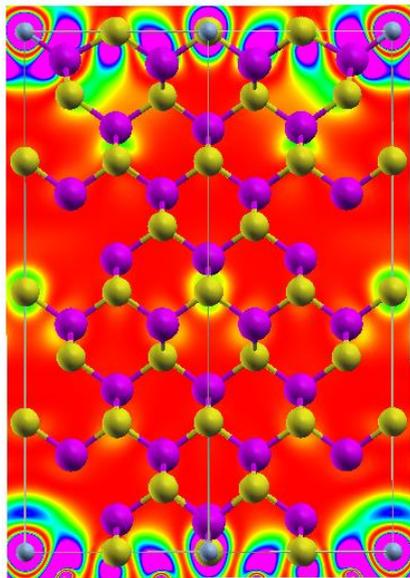
熱いお湯に水を加えると温度は低くなり、元のお湯と水の間の温度になります。また、ウイスキーを水で割ると琥珀色は薄まり、味や香りも弱まっています。これらの例から類推されるように、2つの異なる物を混合することによって得られる性質の多くは、元の2つの中間的な性質を示します。発光ダイオードや半導体レーザーなど、様々な半導体光デバイスでは、多くの場合、用途に合わせた性質を得るために2種類以上の半導体を混合した半導体を利用されます。これは複数の半導体を混合することによってそれらの中間的な性質が得られるからです。ところが GaN(正しくは窒化ガリウムですが俗称でガリウム窒素と呼ばれます。ちなみにこの半導体は2014年に赤崎先生、天野先生、中村先生がノーベル物理学賞を受賞した理由となった青色発光ダイオードに用いられています。)と GaAs(俗称でガリウム砒素と呼ばれますが正しくはヒ化ガリウム)あるい

は GaP(俗称でガリウムリンと呼ばれますが正しくはリン化ガリウム)を混合した半導体の性質は2つの半導体の中間的な性質にはなりません。具体的には混合した半導体のバンドギャップが、元の2つの半導体のバンドギャップのどちらよりも狭くなります。中間的な性質にならないという意味では鉛と錫を混合した金属であるほんだの融点が、2つの金属の融点のどちらよりも低くなることと似ています。ほんだは融点が低いことが利点となつて電子工作で電子部品や配線を接合するのに用いられます。GaNとGaAsあるいはGaNとGaPを混合した半導体においても中間的な性質を示さなことが、応用上大変役に立ちます。この半導体材料を用いることによって、例えば高性能半導体レーザーや高効率太陽電池の実現が期待されることから、世界中の多くの研究者が研究開発に取り組んでいます。また、前回のサイ・テクこらむで話題にした単一光子発生技術に応用

できる半導体材料でもあります。私がこれらの半導体について研究を始めたのは今から25年ほど前で、当時、この材料に注目している研究者はほんの一握りでしたが、その後も付かず離れず長い間付き合いつづけている材料の一つであり、評価技術の進歩も相俟つて今でも新たな実験的発見のある興味深い半導体材料です。ちなみに先に話題にしたGaNの研究が始まってから実用化に到るまでには30年ほどかかっていますから、もうしばらくすると私の研究している半導体材料も実用化されるかもしれません。

#### 略歴

1963年生。91年3月東京大大学院単位取得退学。博士(工学)。東京大学助手、埼玉大学助教授を経て、09年4月から現職。専門はフォトニクスデバイス応用に向けた半導体エピタキシャル成長および物性評価。著書に『初歩から学ぶ固体物理学』など。



図面の説明

2つの半導体を混合したとき、なぜ中間的な性質を示さないのかを検討するために行った理論計算によって得られた電荷密度分布。窒素原子と窒素原子を中心とする特定の方向に多くの電荷が分布していることがわかる。

# 348 植物に神経はあるのか？

生命科学部門 分子生物学コース 豊田 正嗣 准教授



「植物に神経はあるのか？」なんて言い始めると、ひよっとすると多くの方は「この人は怪しい研究者だ」と思うかもしれません。しかし、安心してください。皆さんがご存じの通り、植物に神経や脳はありません。では、植物は外界からの刺激を何も感じないのでしょいか。実は、中枢神経系をもたない植物にも五感に近いような感覚機能があり、鋭敏に環境変化を感受することができます。例えば、ヒマワリは太陽光を感じて花の向きを変化させますし、オジギソウは手で触れると瞬時に葉を閉じます。2016年に発足した細胞情報研究室（豊田研究室）では、植物がどのようにして接触や重力や傷害といった機械刺激を感受して、その情報を全身へ伝え、環境に適応しているかを研究しています。

グルタミン酸という言葉をご存じかと思えます。私たちの体で作られるアミノ酸であり、うまみ成分

の1つとして有名ですが、脳内では神経伝達物質として働いています。このグルタミン酸が神経細胞のシナプス前末端から放出され、別の神経細胞のグルタミン酸受容体に結合し、イオン（電気）性シグナルを発生させることで、神経伝達をおこなっています。この興奮性シナプス伝達は、私たちの記憶や学習において重要な役割を果たしていると考えられています。

実は、植物にもグルタミン酸を合成する酵素や受容体が存在することが知られています。なぜ、神経を持たない植物にグルタミン酸受容体が必要なのでしょう。植物にも記憶や学習能力があるのでしょいか。私たちの研究室では、新しい蛍光顕微鏡（イメージング）法を開発し、植物が害虫に捕食された時に起こる長距離・高速シグナルの可視化に成功しました。このシグナルは1秒間に1mm程度の速度で、

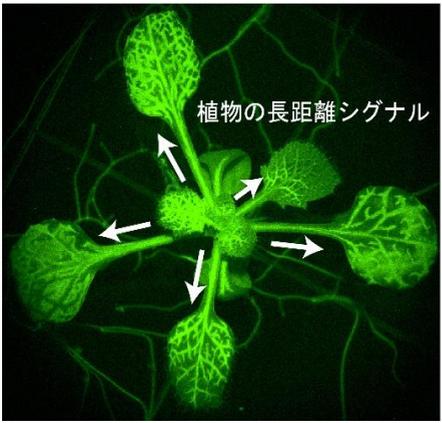
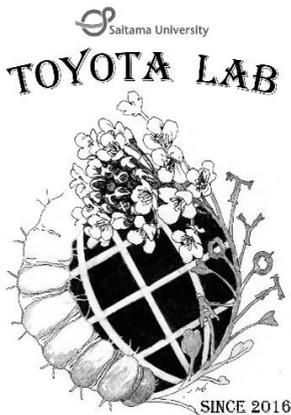
植物の血管とでも言うべき養分を輸送する葉脈（維管束）を伝搬していました。非常に興味深いことに、植物のグルタミン酸受容体は維管束に発現しており、この受容体を欠失した植物では長距離シグナルを発生させることができないこともわかりました。グルタミン酸は、維管束内で最も高濃度に蓄積されているアミノ酸であり、害虫に傷つけられた時に細胞や組織からグルタミン酸が漏れ出すことで受容体が活性化し、長距離シグナルを発生させるのかもしれない。

数えるほどの組織や器官しか持たない植物は、維管束に血管と神経という2つの機能を持たせることで、神経活動のような長距離情報伝達を実現しているのでしょうか。今後、何十種類も存在するグルタミン酸受容体を解析することで、植物の記憶や学習といった未知の能力が解き明かされるかもしれません。

### 略歴

79年生まれ。2008年3月名古屋大学大学院医学系研究科。博士課程。博士(医学)。日本学術振興会・特別研究員(DC1, PD)・海外特別研究員、日本科学技術振興機構・さきがけ研究者、ウイスコンシン大学(マディソン校)植物学部 Research Associate

(兼任) などを経て、2016年10月より現職(ウイスコンシン大学(マディソン校)植物学部・Honorary Fellow)。専門は生物物理学、植物生理学。



# 349 高速画像処理の必要性

数理電子情報部門 情報システムコース 島村 徹也 教授



アナログ信号をデジタル信号に変換し、デジタル信号処理を施してから、またデジタル信号をアナログ信号に変換します。これが、いわゆるデジタル信号処理と呼ばれる技術です。スマートフォンをはじめとする電子機器は、この技術がいろいろな場面で利用されています。例えば、カメラです。撮りたい対象にスマートフォンを向け、ボタンを押せば、きれいなデジタル画像が得られます。このきれいなデジタル画像を得るために、デジタル信号処理が大きな役割を果たしています。

今のデジタルカメラの技術は、かなり進んできました。得られたデジタル画像に、図1(a)にあるような、画面全体にのる、違和感のあるノイズは、除去できるようになってきたからです。結果として、我々はその場合、図1(b)のようなきれいな画像を獲得

できます。しかしながら、これをかなり高速に得ようとする、まだまだ良い結果は得られません。図1(c)のように、ノイズが残ったような感じになってしまいます。あるいは、画像全体がぼけてしまったりします。動画は、デジタル画像が1秒間に30枚、連続的に利用されてきています。これを、時間で考えれば、1枚の画像を30分の1秒より速く処理しないと、動画の処理は間に合わなくなってしまうから、動画の処理をする場合には、かなり速い計算が必要とされるのがわかります。しかしながら、このような速い計算を要求すると、前述したように、まだまだ良い結果は得られないわけです。したがって、今後は、より少ない計算量で、良好なノイズ除去を達成する技術が必要とされてくるでしょう。我々の研究室では、このような社会的ニーズに鑑みて、高速ノイズ除去アルゴリズムの研究に取り

組んでいます。

デジタル画像では、ノイズの他に、よくぼけも含まれてしまっています。図2の左側に並んでいるのが、いくつかのぼけの例です。これらのぼけ画像から、ぼけを修復すると、それぞれ図2の右側にあるような画像に変換できます。このような処理は、ぼけ修復とか、画像復元とか呼ばれています。今のデジタルカメラは、このような画像復元技術が組み込まれているため、カメラマンは、あたかも自分のカメラ技術が優れているかのような錯覚を起こすわけです。しかし、こちらも多くの場合、計算量が問題になり、動画までうまく適用できておりません。したがって、今後の画像処理の進展は、高速計算アルゴリズムの開発にかかっていると考えるでしょう。



図1(c)

(b)

(a)

略歴  
慶應義塾大学院理工学研究科修了。工学博士。  
ラフバラ大学(英国)客員研究員、ベルファースト・クイーンズ大学(英国)客員研究員を経て、  
2007年より現職。専門はデジタル信号処理とその音声、画像、通信システムへの応用。

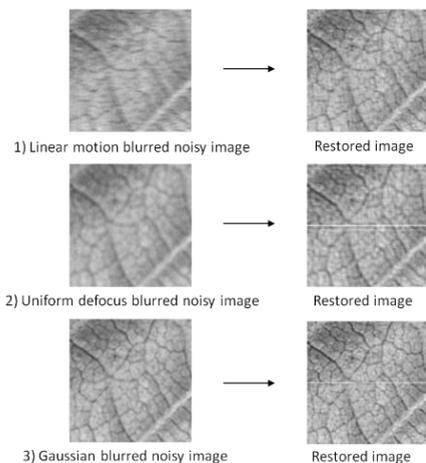
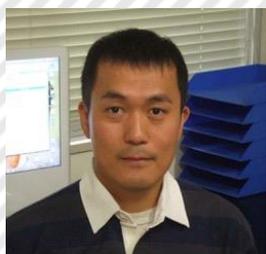


図2

# 350 概日リズムの分子制御

生命科学部門 足立 明人 准教授



2017年のノーベル生理学・医学賞に「概日リズムを制御する分子メカニズムの発見」で Jeffrey C. Hall、Michael Rosbash、Michael W. Young の3人が選ばれました。今回は概日リズムの分子メカニズムが明らかとなった経緯などを紹介したいと思います。

フランスの科学者、de Mairan が生物時計の存在を示して以来、様々な生物で概日リズムの存在が明らかとなり、環境への同期もほとんど全ての生物で共通の特徴を示すことが明らかとなりました。

初期の生物時計分子機構の解明は主にショウジョウバエを用いて行われました。Konopka と Benzer は人為的に遺伝子を変異させたショウジ

ョウバエの中から、概日リズムに異常を示す個体を明らかにしました。その後、上述した Hall と Rosbash がその原因遺伝子となる時計遺伝子 *period (per)* を単離しました。さらに、Young は恒常条件下で概日リズムが消失する個体群から原因遺伝子を明らかとし、*timeless (tim)* と名付けました。これら2つの時計遺伝子は夜に高い発現リズムを示すだけでなく、両者はタンパク翻訳後結合し、自身の転写を抑制するネガティブフィードバックを形成することが明らかとなりました。これらの業績で3人の研究者にノーベル賞が与えられましたが、先駆的な仕事で受賞が期待された Benzer は二〇〇七年に亡くなり、残念ながらノーベル賞を受賞することはできませんでした。

哺乳類概日リズムの分子システムの解明は、ショウジョウバエの *per* のクローニングから十年後、Takahashiらによる *Clock* のクローニングからスタートしました。さらに、ショウジョウバエ時計遺伝子の *per* の相同遺伝子の発見により哺乳類での研究が飛躍的に進みました。この発見には埼玉大学の卒業生である程肇先生が多大な貢献をしました。その後、哺乳類時計遺伝子の相同遺伝子がショウジョウバエで明らかにするなどして、分子システムの中心となる機構の全容が明らかになってきました。

現在、すべての生物が概日リズムを示すと考えられ、生物の進化のかなり初期の段階で生物時計を獲得したと考えられています。さらに、今回のノーベル賞の受賞となった業績から発展し、今では節足動物と脊椎動物の間に相同遺伝子が関与する共通のシステムにより制御されています。これらのことから生物時計は生物にとって必須の機構であると考えられます。

## 略歴

68年生まれ

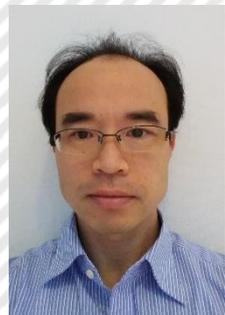
名古屋大学大学院 生命農学研究科博士後期課程

修了。博士（農学）

テキサスA&M大学研究員、日本学術振興会特別研究員、近畿大学医学部助手を経て、06年10月より現職。専門は時間生物学。

# 351 きれいな形の先には

数理電子情報部門 数学コース 小野 肇 准教授



大学に入学するほとんどの学生は、受験するかなり前から「文系」「理系」のどちらかに分かれてしましますが、数学が嫌い・苦手だという理由で「文系」を選ぶ学生は少なくないでしょう。一方、その数学も便宜上「代数学」「解析学」「幾何学」の3つの分野に分けられます。大学4年次の研究室配属の際にも、〇〇が嫌い・苦手だという理由で分野を選んでいる学生が毎年何人かいます。どちらの選択の場合も、嫌い・苦手が高く分厚い壁を作ってしまったわけです。

私は現在数学を研究していますが、かく言う私も、学生時代は理科が苦手だという理由で数学科を選び、代数と解析が苦手だったので幾何学を学び始めました。ところで、一般に幾何学というと、三角形や円などの平面図形を想像するかもしれませんが、我々

数学者は曲線や曲面をより高い次元に一般化した多様体と呼ばれる図形について調べます。この多様体には様々な種類のものがありますが、それ自身には「形」の情報は含まれていません。リーマン計量と呼ばれるものを与えることで多様体の形が定まります。すると、「最もきれいな形」を与えることができます。か？という問題を考えることができます。言葉で書くと「幾何学」という枠組みにすっぽりおさまる問題のように見えますが、実はこの問題は偏微分方程式の解の存在問題として定式化される、つまり「解析学」の範疇に入ります。また、ケーラー・アインシュタイン計量と呼ばれる特別なケースでは、この偏微分方程式に解があるかどうかは、ある代数的な条件と全く等価であるという大きな予想が最近証明されました。つまり、少なくともこのような問題については、我々が勝手に「代数学」「解析学」「幾何

「学」という分野の壁をこしらえていただけで、そんな壁は幻だったということになります。

さて、そのような問題の周辺を何年も研究してきたおかげで、私の苦手の壁は完全になくなった、とまではいきませんが、徐々に薄く、低くなってきた気がします。最近ではあれほど苦手だった代数、解析、理論物理学（弦理論、相対論）、宇宙論 e t c. もちよっぴり楽しめるようになってきました。それほどばかりか量子情報理論など今まで何の接点もないと思っていた新しい分野と幾何学との関連にも興味が出てきました。ここまで来るのに大変な回り道をして、かなり多くの時間が無駄にかかってしまいました。最初から苦手の壁なんか作らなければ・・・、などと後悔してもはじまりませんが、これからの若い方々にはぜひそんな幻の壁には惑わされることなく活躍されることを願っています。

## 略歴

1971年生まれ。東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了。博士(理学)。日本学術振興会特別研究員、東京理科大学理工学部講師を経て、13年から現職。専門は微分幾何学。

# 352 コンピュータによる予測

物質科学部門 応用化学コース 太刀川達也 講師



近年、コンピュータの飛躍的な進歩に伴い、多くのパラメータを扱う大規模で複雑な計算が、より速く行えるようになってきました。では、大きな速いコンピュータを使えば、何でも正確に予測できるものなのでしょうか？

化学の分野でよく知られていることですが、1つしか水素をもたない水素類似原子でのみ、その電子の軌道を正確に計算することができます。水素類似原子以外の大多数の原子や分子、それらの集合体である「物質」に対しては、より正解に近い答えを得るために近似を行う必要があります。タンパク質のような大きな分子や「物質」で起こる複雑な現象も、コンピュータの進歩によりシミュレーションできるようになりました。5年前のノーベル化学賞は、量子化学の計算と分子動力学法という別の方法による計算を併せて行うことで、巨大な分子であるタンパク質の構造計算が行えるようになったこ

とが受賞しています。実験系の研究者でもパソコンで手軽に分子軌道計算が行えるようになり、実験で得られた結果を説明するために計算化学を利用する論文も数多く見られます。ここでは、実験結果に基づいて得られた考察や説明が確からしいことを保証するために計算を用いることが主であり、計算だけで、有用な分子や物質を設計するのは、まだまだ難しいように思います。

化学以外の分野でも、計算でした予測が確からしいもの、そうでないものがあるように思います。天気予報や天体の運行に関する研究では、コンピュータが、より多くのパラメータを扱えるようになれば、より正確にこれからの天気を予測でき、遠く離れた恒星に惑星があったり、地球から遠く離れた位置や過去に大きな質量があったりすることは、かなり信じることができます。一方で、地震や噴火に関しては、全く当てにならないことは経験的にわかります。地震予知の根拠として、この地

域では過去何百年おきに地震が起きているのに最近ばかり起きていないからという経験的な説明を聞くと、いくら観測点を増やしても地震予知は無理そうに思います。噴火においても予測できずに大きな被害がもたらされました。果たして、観測点を増設し、地下何kmの地層の状態を随時解析できるようにすることで、地震や噴火を予測できるようになるものなのか、いやいや、地殻のひずみの大きさやその方向が完璧にわかったとしても、その力がいつ解放されるのかは、神のみぞ知るもので、予測は不可能なのか、それを研究者は判定する必要があります。と思います。

#### 略歴

1965年生。93年3月東京大学大学院修了。博士(理学)。埼玉大学大学院助手を経て、06年1月から現職。専門は機能性有機色素材料の開発研究。



橋の免震設計の研究をしています。最近、マンションの広告でも免震構造と書かれているものがありますが、橋でも免震構造が使われています。橋の場合、免震構造では橋桁を支える部分を水平方向には柔らかくすることで、地震力を低減します。この橋桁を支える装置を支承（ししょう）と呼びます。

図1は支承の模式図を表したものです。2枚の厚い鉄板の間にゴムと比較的薄い鉄板が交互に積み重なるように接着されています。上部の厚い鉄板は橋桁に取り付けられていて、下の厚い鋼板は橋台に取り付けられています。このような構造にすると、支承は上下方向には硬く、水平方向には柔らかくなります。

橋を通過する車両の重さによって上下方向に変形しては良くないので、上下方向には硬くなければなりません。一方、水平方向には地震による振動を受け流すために柔らかくしなければなりません。ゴムと鉄板を交

互に積み重ねる積層構造は、まさにこの要求に合致した構造なのです。

免震構造では確かに地震による力（慣性力）は小さくなるのですが、地震時に水平方向の移動量が大きくなる問題があります。そこで免震支承では水平方向の柔らかさは維持したまま、減衰効果を高めることで移動量を小さくしています。減衰を高める方法としてゴムに混ぜ物を入れて減衰性能を高める方法があり、このようにゴムを高減衰ゴムと呼びます。

高減衰ゴムは、最近の20年ぐらいで急激に技術革新が進み、初期の高減衰ゴムから較べて減衰性能がアップした高減衰ゴムが開発されています。減衰性能がアップすると小さな支承で高い耐震性が得られるため、橋全体として経済的になるためです。

ただ、困った問題も出てきています。減衰性を高めると、どうしても高減衰ゴムの性質が温度によって敏感に

変化してしまいます。特に低温時に高減衰ゴムは硬くなり、柔らかく支えるという免震の考え方と逆行し、免震性能が落ちてしまいます。さらに、減衰性を高めると、減衰で消費したエネルギーは熱になるため、支承の温度が上昇し、それによって免震性能が変化するという効果もあります。

ある1つの性能に関して技術開発を進めると、確かにそれに関しては性能アップするのですが、今まで問題にはならなかった他の問題が発生するということがよくあります。高減衰ゴム支承もまさにこの典型例で、「多面的に物事を考えてバランスの取れた解決策を見いだす」というのが工学の面白いところでもあります。

#### 略歴

1960年生まれ、1985年3月埼玉大学大学院修士課程修了、1985年4月川崎重工業(株)入社、1989年4月埼玉大学助手、1993年博士(工学)取得(東京大学)、同年埼玉大学助教授、2009年4月より現職。専門は構造工学、橋梁工学、応用力学。

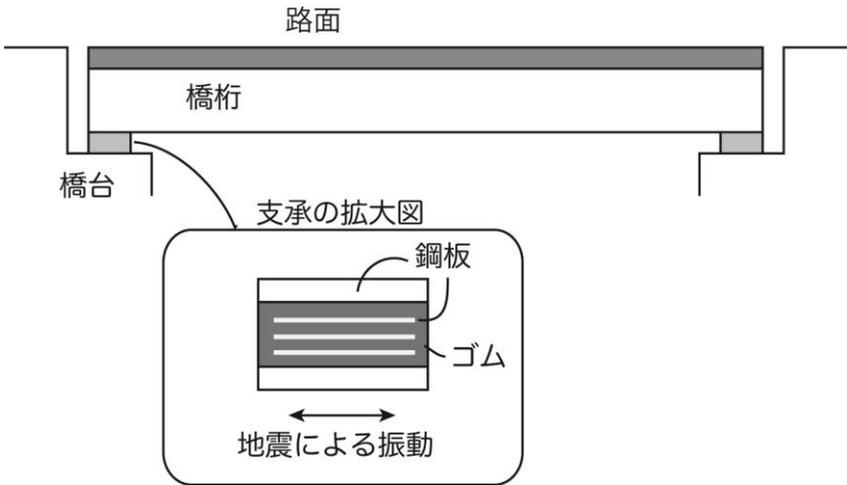


図1 橋の免震支承とゴム支承の概要図

# 354 弦理論の双対性

物質科学部門 物理学コース 谷井 義彰 教授



重力を含めた素粒子の基礎理論の候補として、弦理論とよばれる1次元的な広がりをもつ弦(ひも)に基づいた理論が多くの研究者によって研究されています。弦理論は未完成な理論で、その基本的な定式化がどのようなものであるかが、いまだわかっていません。そのため、弦の間に働く力が弱い場合(弱結合)の性質は比較的よく理解されているものの、力が強い場合(強結合)の性質は十分には理解されていません。しかし、強結合の性質も少しずつ理解できるようになってきました。これは、以下で述べるとおり、一九九〇年代に発見された弦理論の双対性のおかげです。

弦理論の中には、超対称性という性質をもつ超弦理論とよばれる理論があります。超弦理論は特によい性質をもつ理論で、その内容がくわしく研究されています。超弦理論には、I型、II A型、II B型、

Eヘテロ型、Oヘテロ型という5種類があります。空間全体を動く弦としては、I型理論は閉弦(円周のような輪形の弦)と開弦(両端のある弦)を両方含み、それ以外の4つの理論は閉弦だけを含みます。また、弦理論そのものではありませんが、弦理論に密接に関係したM理論という6つ目の理論があることもわかりました。

これらの6種類の理論は、初め別々の理論であると考えられていましたが、その後の研究によって、同じ1つの理論を表す等価な理論であることがわかってきました。たとえば、強結合の場合のI型理論は弱結合の場合のOヘテロ型理論と等価になっています。I型理論は閉弦と開弦の両方を含み、Oヘテロ型理論は閉弦だけを含むことを考えると、2つの理論が等価であることは不思議なことですが、くわしい解析を行うと2つの理論の間に関係があること

がわかります。このように一見異なる理論が実は同じ理論であることを双対性といいます。超弦理論の双対性は、完全に証明されているわけではなく、仮説の段階である部分もあります。しかし、その正しさを支持するたくさん状況証拠があり、現在では双対性が成り立っていると信じられています。

双対性の重要な点は、強結合の理論と弱結合の理論を結びつけていることです。強結合の理論を直接調べるのがむずかしいとき、双対性によってそれと等価な弱結合の理論を考え、それを調べることによって元の強結合の理論の性質を知ることができます。このように、双対性を利用することによって、それまでは解析のむずかしかった弦理論の強結合の性質が理解できるようになってきました。

## 略歴

1959年生。86年9月東京工業大学大学院理工学  
研究科博士後期課程修了。

理学博士。06年4月から現職。専門は素粒子論。

# 355 大学教育って何だろう

環境科学・社会基盤部門

環境制御システムコース 長谷川 靖洋 准教授



1980年代を高校生として過ごすと、「勉強して良い大学に行きなさい」と言われていた気がします。そんなことを言われる高校生って息苦しいなあと感じていたことは事実です。じゃあ、大学に行って何をやるんだと言われると、とりあえずは勉強と答えるけど、18歳の私、勉強好きではありませんでした。タイムマシンがあつて、今の私が昔の私に直接話をしても両者の意見は平行線のままだと思います。

かなり煩いりましたが二十歳を超えた頃に不治の病と言われている今で言う「中二病」が完治し、学問の面白さに気づき、大学教員になりました。一般的な大学教員は、大学は自らの研究を進める場所であると認識している一方、大学生からすると教育を受ける場であり、両者の方向性が一致していないと最近感じています。昔も今も、同じです。300ページくらいある教科書を90分×15回の講義（大学の授

業）だけで理解することはほぼ不可能です。私の場合、中学生から英語を勉強しても、大学生になっても少しも英語を喋れるようになりませんでした。どこかがズレているなあと感じていました。

最近になって分かってきたことは、高校生と同じように教育を与えてもらえると思い込んでいたのが、大きな間違いであつたと気づきました。大学は、あくまで学問を提供する環境（入れ物？）であつて、そこで学ぶか学ばないかすら自由です。大学をうまく利用すると、高校生の時に感じていた息苦しさから開放され、自分の熱量と実力が伴えば、その可能性は無限に広がります。学生自身が信念に基づいていろいろ動き回り、成功すれば共に喜び、失敗しても許されるのが大学教育の醍醐味です。残念ながら自分の実力の無さに涙する日もありますが（少なくとも私はそうでした）、それは若さ故の特権です。

また明日から始めれば良いのです。可能性の枠は、大学キャンパスに留まる必要はありません。私は理工系教員の一人で、海外の大学と共同研究を進めていることもあり、学生の実力が見合えば海外の大学の研究室へ送り込み、世界中から集まってきた同世代の仲間達と一緒に学問を議論する場所も提供できます。大学教員として自分の研究も大事なのですが、学生の長所を見いだし、寄り添い、可能性を信じて、その肩を押すことが今の私の役目だと感じ始めています。

教育×研究の経過として、研究室に所属する大学院学生が、2017年12月にストックホルムで開催されたノーベル賞授賞式に参加するなど、これまで埼玉大学学生が為し得なかった $\pm\alpha$ の結果が出始めています。スマホの画面を通してではなく、自身で目の前に広がっている世界を見てみましょう。可能性は散らばっていますよ、それを可能性と認識さえすれば。

#### 略歴

1971年生まれ。1999年3月総合研究大学院大学修了。博士(工学)。埼玉大学大学院助手を経て、2007年4月より同校准教授。専門は、エネルギー変換、熱電気物性、ナノ加工。

# 強磁性、強誘電性、そして強弾性

人間支援・生産科学部門 機械工学コース 荒木稚子 准教授



小さい頃、磁石を使って砂場で砂鉄を集めたり、方位磁針を作ったりして遊んだことはありませんか。身の回りの電化製品にも、モーターやセンサーとして、数多くの磁石が使用されています。磁石は、専門的な用語では「強磁性」という特性を持つ材料です。強磁性とは、磁場をかけたときに材料が磁化し、磁場を取り除いても磁化が残るような性質のことを言います。

強磁性と似たような用語で「強誘電性」という特性があります。下敷きでこすると髪の毛が吸いつくのは誘電現象の一種ですが、強誘電性とは、電圧をかけたときに材料が分極し、電圧を除いても分極が残るような性質のことを言います。強磁性の磁石と

同じく、強誘電性を持つ材料も幅広い工業分野で使用されています。

強磁性・強誘電性の「強」という接頭語は、英語では *ferro*、すなわち元々は鉄を含む材料を指していたようです。これら二つは全く異なる特性ですが、それぞれの磁場－磁化、電圧－分極の関係など、多くの類似性を持つため、同じ「強」的な性質として扱われています。

一方、私たちの研究室では、強磁性でも強誘電性でもなく、「強弾性」という材料を研究しています。強磁性材料は磁場をかけると磁化し、強誘電性材料は電圧をかけると分極しますが、強弾性材料は力かけると大きな変形を生じます。私たちは特に、強弾性を示すセラミックスを扱っています。強弾性セラミ

ツクは、室温では普通のセラミックよりも非常に大きく変形し、温度を下げるとゴムのような挙動を示したり、温度を上げるとなぜか固くなったり、ときには突然粉々に自己粉碎したりと、とても不思議な特性を持っており、これらの挙動の解明や制御のため、研究を行っています。

強磁性・強誘電性という特性が、現在の産業において不可欠な存在となっているのに対し、残念ながら強弾性は産業的に利用された例がこれまでにありません。例えば、強弾性をうまく利用すれば、力のエネルギーを貯蔵したり、力や他のエネルギーの形で利用することができるともいえます。将来的な目標は、このような不思議な性質を持つ強弾性セラミックを産業分野で利用できるような応用を見つけて出すことです。

略歴

1976年生。東京工業大学大学院終了。博士（工学）。東京工業大学大学院理工学研究科助教（助手）を経て、08年04月より現職。専門は、材料力学、破壊力学。現在は、イオン伝導性セラミックの機械的  
特性に関する研究などに従事。

目次へ

# 357 代替ジェット燃料に挑む

物質科学部門 基礎化学コース 中田 憲男 助教



皆さんは、「ジェット燃料」をご存知だろうか。その名の通り、航空機の動力に使用される石油系燃料のことで、原油中から灯油と同時に精製されます。ジェット燃料の主成分は、炭素数が9から15の炭化水素によって構成されています。ジェット燃料にはその安全性を保持するため、厳密な品質規格が設けられており、特に、成層圏の極限状況で使用されるため、低温下での効率的な燃焼や凍結しにくい性質が必須であり、非常に厳しく管理されています。

近年、観光やビジネスで航空機を使用する機会が世界中で増えており、これに応じるように路線の拡大や格安航空会社の参入によって、航空輸送量が年々約5%ずつ増加しています。そのため、航空分野によるCO<sub>2</sub>排出量も輸送量の増加に伴い右肩上がりで増えており、航空業界全体でのCO<sub>2</sub>排出削減が

急務となっています。このCO<sub>2</sub>排出削減の対策として、植物などから作る代替ジェット燃料（バイオジェット燃料）への期待が世界的に高まっています。バイオジェット燃料は、微細藻類、木材ならびに都市ごみなどを原料として作られますが、生産の大規模化や効率化、原材料の安定供給の困難さのために、実用化を視野に入れた安定的な生産体制が確立されていません。

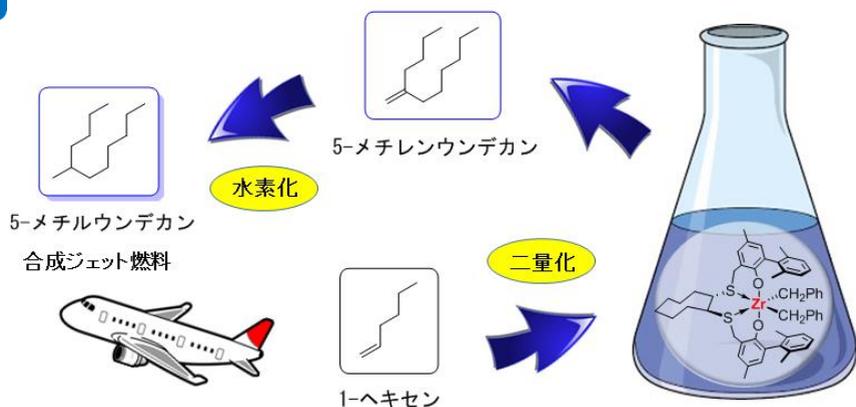
私たちの研究室では、オレフィン類の精密重合を達成する均一系触媒の開発について研究しており、最近、独自に開発したジルコニウム錯体が1ーヘキセンの位置選択的二量化反応の有用な触媒として働くことを見出しました。この二量化反応は極めて少ない触媒量（わずか0.002から0.006 mol%）で進行し、触媒活性も従来の均一系触媒における最高値（1つの触媒サイトにおいて、1時間あたり11000分子

以上を変換できる)に達しました。通常、1-ヘキセンの二量化反応では、ビニリデンとビニレンといった二重結合の位置が異なる2種類の異性体が生成しますが、この反応ではほぼ完璧にビニリデン型二量体が得られました。興味深いことに、1-ヘキセンのビニリデン型二量体は、代替ジェット燃料として有望視される5-メチルウンデカンの前駆体であり、本成果は均一系触媒による合成ジェット燃料の効率的な生産法として期待できます。

私事で恐縮ですが、今夏第2子が誕生予定です。将来、彼らが私たちと同じような暮らしを営むためにも、現在の環境・エネルギー問題に立ち向かわないといけないと思います。今回紹介した自身の研究を通して、微力ながらこの問題の解決に挑んで行く所存です。

**略歴**  
 75年生。03年京都大学大学院理学研究科博士後期課程修了。博士(理学)。筑波大学大学院数理物質科学研究科准研究員を経て、07年から現職。11年から13年仏国ポール・サバチエ大学博士研究員。専門は有機金属化学、有機元素化学

目次へ



# 358 電気の無線伝送技術

数理電子情報部門 電気電子システム工学 金子裕良 教授



電気自動車(EV)の導入など自動車のエコ化が進む中、都市部における交通渋滞の緩和を目指して、自転車などのパーソナルモビリティを活用する街づくりが進められている。特に、日本のように起伏の多い地形を有し、かつ高齢化が進む社会において、電動アシスト自転車は身近なパーソナルモビリティとして、近年急速にその市場が拡大している。レンタサイクルとしても電動アシスト自転車を活用されつつあるが、バッテリーへの充電などのメンテナンスが必要で人手がかかる。レンタサイクル事業の収益性を上げるには無人化が必須で、野外での漏電の危険性がなく自動充電が可能な非接触給電技術は有効な手段である。

非接触給電は電気エネルギーを無線で離れた場所に安全に伝送する方法である。EV用駐車中非接触給電装置に採用される電磁誘導方式の原理は、磁束

が通る経路にギャップ(隙間)がある変圧器と同じで、周波数数十kHz以上の交流の電気エネルギーを送電コイルで磁気エネルギーに変換して、ギャップを空間伝送した後、再び受電コイルで電気エネルギーに逆変換する仕組みである。さらに、共振コンデンサを接続してコイルの漏れインダクタンスを補償すると力率が改善され大きな電力を送ることが可能となる。

電動アシスト自転車など電動二輪車はEVに比べて平面部分が少なく、受電コイルを取付ける位置やその面積に制限がある。前カゴ前面など広い面積が確保できる場所に受電コイルを設置する例もあるが、受電コイルを小型軽量化できれば、駐輪スタンドのロック機構部や車輪など車体との距離が最短となる場所に設置でき、高効率で安全な給電が可能となる。我々は、既存の円形の送受電コイルとは異なり、小

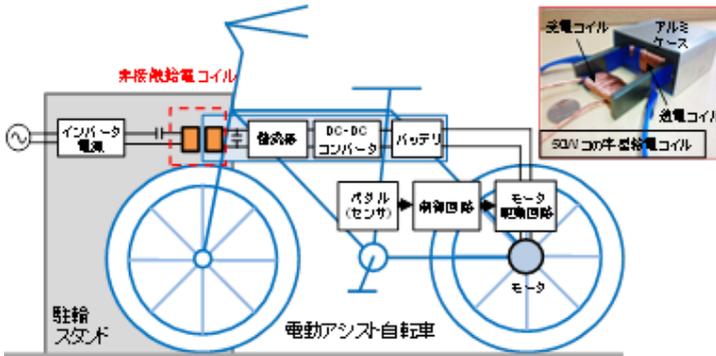
型化可能で位置ずれしても高い給電効率が維持できる平板ソレノイド型やコの字型の送受電コイルを開発した。これらは武蔵浦和駅や浦和美園駅前などさいたま市内で商業運用している電動アシストレンタサイクルシステムにも応用されている。

また、用途に合わせた非接触給電システムが簡単に設計できるように、共振コンデンサの接続位置や決定方法が異なる場合や、送受電コイルを複数接続した場合、中継コイルがある場合など、様々な非接触給電システムについて理論的な解析を行うとともに、人体や周りの電子機器に影響を与える漏洩電磁界を低減する給電コイルや電源機器などを研究開発している。今後、停車中や移動中に関わらずEVやパーソナルモビリティに同一コイルで給電可能な非接触給電システムや、自律駆動ロボット用の給電ステーション、家庭内の非接触コンセントなど、あらゆる実用的なシーンで安全に活用できる非接触給電技術を世の中に発信するため、日々学生と一緒に研究に取り組んでいる。

## 略歴

1965年生。90年3月埼玉大学大学院工学研究科修士課程修了。博士(工学)。新日本製鐵(株)、埼玉大

学工学部助手、講師、准教授を経て、2014年4月から現職。専門は電気機器とパワーエレクトロニクス、ロボット、制御。



# 359 光波の情報のデジタル化

数理電子情報部門 情報システム工学コース 吉川 宣一 准教授



ホログラフイについて多くの人は立体表示を実現する方法のようなイメージを持つているようです。奥行き感のある立体像やきれいな色をつくることができるため目で見ることができるようになることがありますが、それらはホログラフイの一部にすぎません。ホログラフイは精密計測、イメージング技術、顕微鏡技術、光デバイス、光記録、セキュリティ応用など広く利用されています。さらにデジタル技術と融合したデジタルホログラフイとして新しい発展を見せています。

ホログラフイは光の干渉の原理を利用して波動としての光（光波）を干渉縞の形で記録します。干渉縞を記録した媒体をホログラムと呼びます。光波は振幅情報と位相情報で表されることが知られています。ホログラフイでは光波の振幅情報と位相情報の両方を記録することができます。ホログラム記録時

に用いた参照光を照射すると記録した光波が復元されます。復元された光波は再生像と呼ばれ人間がこれを見ると物体そのものがあるように見えます。

ホログラムをインターネットなどで調べると「レーザー光を使って写真乾板に記録して作られたもの」という説明が多く出てきます。この説明は正しいのですが現在の状況とは合っていない。写真乾板の入手が困難になったという背景もありデジタルカメラを用いる方式が盛んに研究されています。これがデジタルホログラフイです。すなわちホログラムはデジタル情報として存在することになります。またコンピュータを用いた数値計算で光波を復元します。光波はデジタル情報で得られるため振幅情報と位相情報を定量的に扱うことができます。さらに計算を工夫することにより多彩な情報処理が可能となります。

ホログラフィはレーザーを用いて実験しなければならぬと思うかもしれませんが、LEDなどの干渉性の低いインコヒーレント光源を用いてもホログラフィ実験を行うことができます。インコヒーレント光源を用いる方式はインコヒーレントデジタルホログラフィと呼ばれることがあります。現在では自己干渉の原理を用いる方式が研究されています。この方式では、特定の波長のみを通過させるバンドパスフィルタで光源の波長幅を狭くして、物体から発した光を2つに分けて一方はそのまま、もう一方には球面位相を付加し、再度重ね合わせて干渉縞をつくりまします。球面位相は空間光変調器（電子制御で光波の位相を変化させることができる機器）や凹面ミラーを用いて作ることができます。位相シフト法と呼ばれるアルゴリズムを用いて物体光を復元します。インコヒーレントデジタルホログラフィを用いると通常の光学イメージング方式よりも2倍の分解能をもつなどの優れた性質が明らかになりました。また一般のカメラのように自然光の記録が可能でありフォーカス位置を変えて数値再生して明瞭な画像を得るなどの応用が示されました。インコヒーレント光源の利用とデジタル再生によりホログラフィ技術の応用範囲が拡大しています。

#### 略歴

1967年生、95年3月筑波大学大学院修了。博士（工学）。武蔵工業大学講師を経て、2004年から現職。専門はデジタルホログラフィ、構造化パターン投影三次元計測、画像計測、計算機合成ホログラム。

# 360 光って知らせるナノカプセル

物質科学部門 機能材料工学コース 鈴木美穂 准教授



薬を飲むとき、どうやって患部に届くのだろうと考えた事がありますか？薬には、飲む、吸入する、塗る、貼る、点すなど様々なタイプが有ります。塗る、貼る、点すなどは自分が患部を分かっている直接薬を付けることが多いかもしれませんが。風邪の様に患部がどこ、と特定し辛い場合もありますが、解熱、鎮痛剤だったらどうでしょう？薬の専門家ではないので難しいですね。でも、薬の副作用(目的の効能以外の作用)はできれば避けたいですね。副作用の原因は様々ありますが1つには治療する目的と違う場所で働いてしまう場合があります。また、指示された薬の飲む時間や量を間違えてしまうことでも起こると言われています。さらに、体調が思わしくない場合でもある様です。こんな原因で起こってしまう薬の副作用を軽減するために研究者が取り組んでいるテーマがあり、ドラッグデリバリーシステム開発、と言います。薬そのものの開発ではないので色々な分野

の研究者が挑戦しています。薬(ドラッグ)を患部に届け(デリバリー)、疾病の状況に応じて薬を放出するカプセル(システム)開発が主流です。体内を循環するのでカプセルのサイズはナノメートル(10億分の1メートル)オーダーです。カプセルの素材は薬を必要量内包でき、拒絶反応がなく、直ちに体内から排出されたり、分解されたりしない生体適合性が良い事が求められ、様々なアプローチがなされています。私は運べる薬の種類に着目しました。これまでは化学合成された薬が多かったのですが、生体の成分(タンパク質、核酸、糖など)を利用し加工したバイオ医薬品が、難しかった疾病の治療薬、次世代医薬品として注目され研究が進む一方それらのドラッグデリバリーシステム開発はそれほど進んでいないからです。生体の成分は水に馴染み易いものが多く化学合成薬品とは性質が異なりますのでカプセルの素材を選ぶ必要があります。そこでカプセルもタンパク質を加工

して作製してみたところバイオ医薬品を品質を保持した状態で内包出来そうだとわかりました。また、カプセルが生体内で溶け込んでしまうことを避け形を保てる様油に馴染む部分も含ませたところ化学合成薬品も運べる可能性が示されました。さらにカプセルを構成する油に馴染む部分と水に馴染む部分が光のエネルギー共鳴を起しカプセルのいる場所の環境（酸性、アルカリ性）、カプセルの状態（分解されずにいるか、分解されたか）を色の変化でキャッチできる様な加工を施すこともできました。医薬品を内包したカプセルが生体内でドラッグデリバリー機能を発揮できる様色の変化をキャッチしながら改良を進める研究に取り組んでいます。

## 略歴

1963年生れ。東京大学大学院理学系研究科博士課程中退。博士（理学）、日本学術振興会特別研究員、理化学研究所客員研究員、パリ第7大学ジャックモノー研究所訪問研究員などを兼任。埼玉大学工学部機能材料工学科助手を経て2015年4月から現職。

「専門」バイオオプティクス（生体の構造と機能の相関を探索する光工学）とそれを応用した生物化学。

# 361 伊での共同研究に刺激

数理電子情報部門 数学コース 渡邊 究 助教



埼玉大学に赴任してから6年が経ちました。この6年の間に、研究発表や共同研究のため、様々な国を訪れる機会に恵まれました。とりわけイタリアのトレント大学には共同研究者がいるため、毎年トレントを訪れています。トレントはイタリア北部に位置するトレンティーノ・アルト・アディジェ州の州都であり、16世紀にカトリック協会がトレント公会議を開催した場所として有名です。山々に囲まれ、13世紀から三百年かけて建設されたドウオーモ（大聖堂）や司教が住んでいたブオンコンシエーリオ城など歴史を感じる建物が数多く残っており、美しい街並みです。数学科の建物は町の中心部ではなく、山の中腹にあります。大学の周辺にはブドウ畑がたくさんあり、とても長閑な環境です。

私は「代数幾何学」と呼ばれる数学の一分野を専門としています。大雑把に言うと、中学や高校で学ぶ直線、

円、放物線のように、（多項式） $=0$ の形で表される図形を代数多様体と呼び、その性質を研究しています。日本人のフィールズ賞受賞者（数学のノーベル賞と呼ばれる賞）は全員代数幾何学の研究者であり、現在も盛んに研究されている分野です。近年では暗号理論や符号理論への応用も研究されており、私達の生活に関わってきています。

埼玉大学に赴任する直前から、「等質多様体」と呼ばれる対称性の高い図形の特徴付けに関する研究を行っています。特に、カンパナ・ペターネル予想（CP予想）と呼ばれる未解決問題に興味があります。考え始めてから7年の歳月が経ちました。この問題を考え始めた頃に、現在トレント大学に所属している共同研究者達と出会い、数年前からCP予想に関連する共同研究を行っていています。数学の勉強や研究は一人で机に向かって行うイメージがあるかもしれませんが、必ずしもそうとは限ら

ず、共同研究を行うことにより、違った研究の仕方があることに気付かされます。自分にはないアイデアを共有したり助け合ったりできることは大きなメリットです。

我々のプロジェクトチームのメンバーは年齢も国籍も異なりますが、1つの問題に皆で取り組む時間はとても刺激的です。単著も含めると、この7年間でCP予想に関連する論文を十一編書きました。特に、完全旗多様体と呼ばれる図形の特徴付けに成功し、それを用いて今まで証明することができなかった種々の結果を得ることができました。完全解決までの道のりは長いですが、一步一步進んでいきたいと思っています。

#### 略歴

1984年生まれ。2010年3月早稲田大学基幹理工学研究科博士課程数学応用数理専攻修了。博士(理学)。学術振興会特別研究員(東京大学)を経て、2012年4月より現職。専門は代数幾何学。

362

## 欧文で論文提出の鍵

物質科学部門 機能材料工学コース 神島 謙二 准教授



本研究室では、ありふれた元素から機能性材料を作製する研究を行っている。研究結果のアウトプットは、学会発表・特許・論文などがある。どこに、どういうやり方で発表するか、というところに研究者の個性が出る。

本研究室では、博士前期課程(修士課程)の学生「本人に」「欧文で」執筆してもらうことを目指している。理学・工学の対象に地域性はない。そのため、得られた知見を世界に向け欧文で示す必要がある。

## ■「頭脳労働者」への願い

学生本人に欧文で書いてもらうのは、「頭脳労働者」として大学院を修了してもらいたいからである。指示どおり実験(作業)をやったので、あとは先生(上司)が考えて下さい、というような受動的な行動とは一線を画してもらいたいと願っている。

幸い、これまでのところ、本研究室を修了してきた学

生達は、第一著者として欧文論文を自力で執筆し、論文出版まで至ってきた。これを受け、研究と教育に関わる話を本稿で述べさせて頂きたい。

## ■言語の壁

日本では初等教育から大学・大学院に至るまで、母語である日本語で教育を受けることが出来る。古くは、漢文であつてもレ点などを付けて日本語文にしてきた。明治以降も、海外発祥の概念を日本語として訳してきた。訳しづらい場合もカタカナでそのまま用いるという柔軟な対応をしてきた。何でも日本語にして、取り込んでしまうのである。我々日本人の知的活動の多くは日本語で行っているとみても良いだろう。

しかし、理学・工学で得られた知見は欧文、特に英語でアウトプットしなければならない。中学以来、英語を習っているにも関わらず、それが使えないところに問題がある。昨今の英語教育改革の動機もここにあるのであ

ろう。改革の方法が正しいかどうか、私は非専門家であり、語るべき立場にない。だが、本研究室では、少々異なる処方箋を用いている。

## ■処方箋

英語に接する機会がないのが根本的な問題である。週1〜2回の講義を受講するだけでは、習得できないのである。そのため、本研究室では、毎朝、洋書を約1〜2ページずつ5回音読している。

1 回目では分からない単語を抽出する。その後、教員が英英辞典で調べ、その原義との繋がりの説明する。

2 回目は文法を意識し、修飾関係を押さえる。何が主文の主語・動詞かをハッキリさせる。

3 回目はタイムトライアルでとにかく早く音読する。ネイティブの「普通」は早いのでそれに合わせる。

4 回目は大声で音読する。大きく口を動かすことにより、誤魔化しが効かなくなる。

5 回目は区切って丁寧に一文ずつ音読する。内容確認のため一文ごとに教員が意訳する。

以上のように、毎日欠かさずに、教員・学生一緒に朝の音読を実施している。どちらかというと「教員自身の練習」に付き合ってもらっているという図式かも知れない。その結果、学生も英語に触れる機会ができ、欧文論文を書くことに少しは繋がっていると思う。

英語に関しても、それ以外に関しても、教員自身、一学習者に過ぎない。今後も学生たちと練習を続け、精進していきたいと考えている。

## 略歴

72年生まれ。99年3月東京大学大学院理学系研究所、物理学専攻 博士課程修了。博士(理学)。理化学研究所、エディンバラ大学(英国)、東京都立大学(現・首都大学東京)での博士研究員を経て、03年埼玉大学工学部助手。12年より現職。専門は材料物性科学。主に鉄族遷移金属酸化物／金属間化合物の物性を研究している。

最近の我々の研究の中で、長らくよくある現象であると思われるものが、実は、全く新しい現象であったという比較的珍しい出来事がありました。見た目は、あまりに普通の現象であったため、その現象の本当の意味を理解できたときには、大変な驚きがありました。

代表的な磁性体は強磁性体ですが、これをミクロに見てみると、原子が持っている「スピン」というミクロな磁石が同じ方向にそろった状態にあります。この構造によって、外から磁場をかけなくても自らが磁場を発生させるという磁石の性質を持ちます。一方、これと似たような状態に、反強磁性というものがあり、ミクロに見てみると、スピンどうしが互い違いにそろった状態になっています(図A)。反強磁性体は漏れ磁場を発生させないことから、この状態のスピンを制御することにより、次世代のメモ

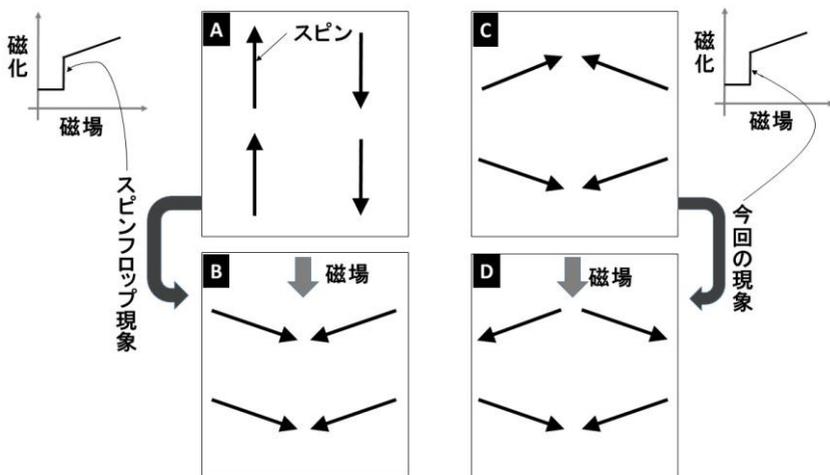
リーデバイスになるのではないかと注目されています。この反強磁性体では、スピンの方向を調べる有力な方法があります。それは、スピンと平行に磁場をかけて磁化を測るというものです。磁場を増やしていくと、あるところで、スピンが磁場の方向を向いていられなくなり、約90度傾いて、すこしだけ磁場の方向を向くことによって、スピン全体の磁化の方向を磁場の方向へそろえようとなります(図B)。このとき物質の磁化が、図に示したように不連続に上昇しますが、これは、スピンフロップ現象と呼ばれるごくありふれた現象です。したがって、このスピンフロップが観測されれば、そのときの磁場の方向がスピンの方向ということになります。我々が研究を行っている物質は、少し変わっていて、有機物の反強磁性体 ( $\kappa$ -BEDT-TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$ Cl] という物質)なのですが、この物質がまさにこのような磁



化の振る舞いを示します。この物質は、磁性以外の面でも非常に多くの興味深い現象（圧力誘起の超伝導など）を示すことから、20年間絶え間なく研究され続けてきましたが、最も基本的な情報であるこのスピンの方向が誤解されてきたと言えます。今回我々が解明した現象は、磁化の振る舞いはスピントロップと同じですが、実は、スピンは最初から少し傾いていて(図C)、磁場を増やしていくと、半分のスピンの180度回転する(図D)という特異な現象でありました。この現象は、我々の知る限り、これまでにない新しい現象であり、そのため多くの注目を浴びています。今回の発見は、常識を疑うということがいかに大切であるかという科学研究の教訓を最認識させてくれました。

### 略歴

1997年3月総合研究大学院大学博士後期課程修了、博士(理学)。2000年4月埼玉大学理学部助手を経て2004年4月から現職。専門は、有機導体における超伝導と磁性の研究。





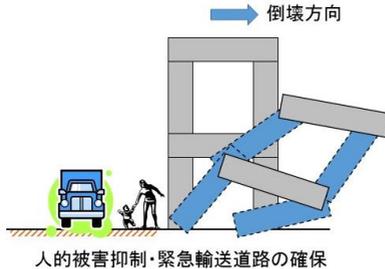
法で建てた構造物であっても、予想もしなかった地震動によつて倒壊する可能性は否定できません。仮に倒壊するのであれば、人の多い場所や災害復旧で用いる緊急輸送道路の方向に倒壊させることは避けたいものです。この装置は、柱と梁の間に硬いブロックを取り付けるだけの簡単なものです。埼玉大学と鉄道総合技術研究所との共同研究において、その有効性が大型振動実験で確認されました。

今後は、AIやIoTを活用し、これらの仕組みの動作状況から被害を早く正確に把握し、更には被災箇所へのフィードバックを行うシステム開発にチャレンジしていきます。

## 略歴

1996年3月埼玉大学大学院修了。博士(工学)。鉄道総合技術研究所研究員、埼玉大学助手、埼玉大学助教授、准教授を経て、2014年10月から現職。専門は地震工学で、構造物の非線形動的相互作用問題、免震システムならびにレジリエント社会構築に向けたデータベース研究開発。

目次へ



365

## 植物2次細胞壁の可能性

戦略的研究部門 グリーン・環境領域コース 山口 雅利 准教授



近年、化石燃料に代わるエネルギー源の一つとして、植物バイオマスが注目されている。特に細胞壁は、稲わらや廃材など植物細胞で構成されるあらゆるものが利用可能となり、持続可能な資源として期待されている。ところで、植物細胞の細胞壁には、大きく分けて二つのタイプに分けることができることをご存知だろうか。すべての植物細胞に形成される細胞壁は一次細胞壁と呼ばれ、ある程度柔軟性を有する構造をとっている。一方、維管束木部を構成する道管細胞や繊維細胞など一部の細胞には、細胞膜と一次細胞壁との間に二次細胞壁を形成する。この二次細胞壁は一次細胞壁よりも厚く、また頑強な構造をとることで、植物体に物理的強度を付与する。樹木の幹は、その大部分が維管束木部であることから、地上で最大量を誇る樹木バイオマスの実体は、

二次細胞壁であると言えることができる。

私は、この二次細胞壁形成のしくみを遺伝子レベルで解明することを目指している。私が以前所属していた理化学研究所出村拓チームリーダー（現在奈良先端科学技術大学院大学教授）の研究室において、シロイヌナズナという植物より VND7 遺伝子を単離した。この VND7 遺伝子を本来機能していない細胞で働かせると、二次細胞壁が形成される（写真）ことから、VND7 遺伝子は二次細胞壁形成に関与する多くの遺伝子の働きを支配するマスター因子として機能することが明らかとなった。さらにこの VND7 の分子機能を解析する過程で、VND7 の働きを抑制する VND9 遺伝子を同定した。

細胞壁の主要な構成要素は、バイオエタノールなどの原料として注目されるセルロースである。ただし、二次細胞壁の他の構成要素であるリグニンが複

雑に絡みあうことで、細胞壁中のセルロースを分解するために多くのエネルギーが必要である。現在私は、VND7とVNI2などの機能を改変することで、二次細胞壁の量的、および質的形質が変化した植物の作出を試みている。また、二次細胞壁形成に関与することは分かっているものの、機能が不明な遺伝子が多数存在する。そもそも、植物はどのようなタ イミングで特定の細胞に二次細胞壁を形成させるか についても、未だ明らかになっていない。私はこの ような二次細胞壁形成に関する様々な研究課題につ いても取り組んでいる。将来的には、有用な形質を付 与した樹木の創出を目指しており、樹木バイオマス の利活用が促進できれば、大気中の二酸化炭素濃度 削減にも貢献できると期待している。

## 略歴

1974年生まれ。2001年3月東京大学大学院理学系研究科卒業。博士（理学）。日本学術振興会特別研究員、理化学研究所基礎科学特別研究員、奈良先端科学技術大学院大学助教、埼玉大学環境科学研究センター准教授、科学技術振興機構さきがけ研究員等を経て2014年4月から現職。2015年4月から2016年3月まで、カナダブリテッシュコ

ロンビア大学の客員教員を兼務。



シロイヌナズナの通常の植物体(左)、および VND7 機能亢進植物体(右)の根。

通常の根では中心にのみ、らせん状、および網目状の二次細胞壁を持つ細胞が形成されるのに対し、VND7 機能亢進植物体では、殆どの細胞にらせん状の二次細胞壁が形成されている。スケールバーは 100  $\mu\text{m}$ 。

366

## 金属ナノ粒子の面白さ

物質科学部門 基礎化学コース 二又 政之 教授



金や銀のナノ粒子（1ミクロンより小さな粒子）に可視光を照射すると、鮮やかな赤色や黄色に見えることは、ローマ時代から知られており、退色しない色材として教会のステンドグラスなどに利用されてきた。この赤色や黄色は、金属ナノ粒子固有の集団的電子励起状態表面プラズモン—それぞれ波長520 nm及び400 nm付近の光吸収の補色—によるものである。最近では、球・ロッド・立方体・米形・星形など種々の形やサイズの金属ナノ粒子が形成され、吸収波長の制御が可能となった。このため、可視領域から近赤外領域まで、さまざまな色を持つナノ粒子を入手できるようになった。これらの光吸収波長のレーザ光を照射すると、金属ナノ粒子の表面に、入射光に比べて約100倍強い電場が形成される。そのため、金属ナノ粒子表面に吸着した分子のみが、バルク溶液中よりも大きく増強された吸収や散乱光を発生する。この吸収や散乱光を分光測定することで、分子の

存在状態（分子の構造や、配向性、金属との静電的及び化学的相互作用など）を高感度で分析できる。我々は、種々の分子やイオンとナノ粒子表面の相互作用を制御することで、金属ナノ粒子同士を近接させたり（フロキュレーション）、金属ナノ粒子と金属基板を近接させること（ギャップモード）で、金属表面間のナノギャップに $10^4$ - $10^5$ 倍増強された電場を形成し、吸着分子の単一分子感度状態分析に成功した。

特にギャップモード配置では、従来の高感度分光法が貨幣金属にしか使えないという壁を越えて、①汎用高感度分光・幅広い遷移金属の基板やナノ粒子に使えるだけでなく、シリコンや酸化チタンなどの非金属材料でも高感度分析できることを明らかにした。近い将来、この方法を走査型プローブ顕微鏡と複合した汎用分析装置により、触媒や機能性材料の表面で起きる化学反応を1分子レベルで解析できるように考えると考えられる。また、ギャップモードの持つユニークな性質がいくつか明

らかになつてきた。例えば、②非可逆的光捕捉現象：溶液中に孤立分散した銀ナノ粒子が、ギャップモード条件での光照射により銀基板に非可逆的に捕捉できることが判明した。これは、光照射により銀ナノ粒子と銀基板の内部に誘起される双極子間の引力相互作用により起きる。この非可逆的光捕捉をうまく使えるようになれば、触媒活性のあるナノ粒子を基板上に2次元に配列させたり、基板に垂直に積み重ねたりできる（「ナノ積み木」）。また、③光触媒反応：ギャップモードのエネルギーを利用して、銀基板表面に吸着した分子のアルキル基やアルコール基がカルボン酸に酸化されたり、カルボキシ基が脱離したり、結合サイトを交差させる転移反応を示すことを見出した。通常の化学触媒では、立体障害等のために起きない酸化反応も、ギャップモードにより容易に起きることが明らかになった。

将来的には、ギャップモードの持つユニークな特性に基づいて、②の光捕捉を用いてナノ構造触媒配列を形成し、①の1分子ごとの状態分析法で、ナノ構造触媒・溶液界面の異なる場所に吸着した化学種1個の反応過程を直接観察したり、③光触媒反応を利用して分子を操作・転換できるようにすると期待される。

## 略歴

1956年広島県生まれ。1985年東北大学大学院理学研究科博士後期課程(化学)修了。1985年通産省工技院大阪工業技術試験所(現在の産総研関西センター)入所。1993年通産省工技院産業技術融合領域研究所(融合研)に配置換え(主任研究員)。2001年組織改編に伴い独立行政法人産業技術総合研究所(産総研)―界面ナノセンター主任研究員。2008年より現職。専門は、表面プラズモンを利用した1分子ごとの吸着状態・反応解析。

367

## 揺れを伝えにくくするには

人間支援・生産科学部門 機械工学コース 山本 浩 教授



電車でも自動車でも、昔に比べると走行中の揺れは小さくなり乗り心地は良くなっているのですが、人間の欲求は留まるところを知らず、少しでも揺れを小さくすることが望まれています。この揺れには色々な原因があるので、その一つに小さいとは言えゼロでは無い、凸凹のあるレールや道路の上を走っていることが挙げられます。つまり走行するにつれ車輪が上下に揺すられるから結果として車体が揺れるというわけです。地面が揺れば建物が揺れることに結びつけると当たり前のことだと思われてしまいそうですが、どれくらい、どのように揺れるかは、当たり前のことというわけではありません。さて、そもそも色々なものには揺れやすさでも言える性質があります。無理に揺らし続けなくても、少し刺激を与えれば自然に揺れ続けるのです。ぶら下がっている鐘を打つとしばらくはゴ

ンと音を出し続けるのも、目には見えませんがかなりの速さで鐘そのものが細かく揺れ続けているからなのです。時間がたつにつれて鐘の音は小さくはなりますが、音色が徐々に高くなったり低くなったりすることはありませんし、誰が打っても音色は変わらないことから、鐘の音色に対応する揺れの周期はそれぞれの鐘に固有の性質であろうことが想像できます。質量があり、力がかかると変形する性質があるものには、このような揺れやすい周期、すなわち固有周期があるのです。私たち機械屋は、多くの場合、この性質を単位時間あたりの揺れの回数である固有振動数、つまり固有周期の逆数で表します。大雑把にいうと、この固有振動数はばねのこわさなど変形のしにくさと質量で決まり、変形しにくく質量の小さいほど固有振動数は高くなります。最初にあるきつかけを与えるだけでしばらく揺れ続け

るわけですから、その固有振動数と同じ振動数で継続して揺らすと非常に大きく揺れてしまいます。そこでこの固有振動数をいかにして意図通りに設定するかが鍵になります。またこの固有振動数を低くするほど高い振動数の揺れが伝わりにくくなるという性質を使って、色々な分野において揺れを伝えにくくする工夫がなされています。電車や自動車の車体と比較的柔らかいばねで支えられているのもその一つです。

私の研究対象の一つである防振機構（支えているものの振動を防ぐ機構）では、いかにして大きな質量を支えながら固有振動数を低くして揺れを伝わりにくくできるかが目標の一つになるのですが、図面上ではただの数本の線で表される構造上のわずかな工夫で揺れを抑えるべく、日々研究を進めています。

## 略歴

1961年生まれ。東京工業大学理工学研究科機械工学専攻修了。博士（工学）。株式会社東芝、東京工業大学を経て、2009年より現職。専門は機械要素、機械力学、トライボロジー（流体潤滑・摩擦・摩耗）

368

## 脊椎動物の規則的な体作り

生命科学部門 生体制御学コース 川村 哲規 准教授



ヒトを含む脊椎動物のからだには、さまざまな繰り返し構造がみられる。例えば、脊椎動物が共通にもつ背骨は、椎骨という骨がほぼ一定の間隔で連なった構造からなっている。さらに、外見からは見えにくいのが、筋肉、神経や血管などの並びにも規則的な繰り返しのパターンが見られる。たった一つの細胞である受精卵から生じる個体発生の過程で、どのようにしてこのような繰り返し構造が生じるのだろうか。それは、個体発生のごく初期に体幹部の元となる中胚葉が括れ切れ、分節化されることに由来している。この分節構造は「体節」と呼ばれ、中胚葉組織が一つずつ連なった構造をしており、発生のからだを区画化し、それに沿って、さまざまなものが規則的に配置される基盤となるものだ。仮に体節が生じない突然変異が生じると、それこそ骨などからだのさまざまな箇所異常を生じる。故に、このような秩序だった体節の繰り返し構造がどのようにして出来

上がるかを理解することは重要であり、具体的にどのような遺伝子が働き、どう作用するのかについて、小型熱帯魚のゼブラフィッシュの卵を利用して、その仕組みを明らかにしたいと考えている。

体節が形作られるうえでの最大の特徴は、体節が「一定の間隔」で形成されることだ。ひとつの体節が形成されると、ほぼ同じ大きさの体節が次に括れ切れる。これが繰り返し返されることで、体節の繰り返し構造が出来上がる。この体節が切れる位置がどのようにして決定されるのか、これが体節形成を理解する上で最も重要であると考えられるが、Tbx6 というタンパク質の発現領域が決定していることが分かってきた。体節形成時には、この Tbx6 タンパク質の前方境界が除去され、後方へ順々にシフトしていく。この過程を制御する役割を担っているのが、私が2005年に世界に先駆けて同定した Ripply という遺伝子だ。Ripply 遺伝子は、脊椎動物に共通し

て存在し、突然変異が生じると体節境界が形成されな  
い異常を生じてしまう、脊椎動物の形作りにとって、な  
くてはならない遺伝子のひとつだ。最近の研究から、ゼ  
ブラフィッシュの体節形成では、30分という短時間で  
Tbx6の境界が後方へシフトするが、RipplyがTbx6の  
境界を効率的にシフトすることでできる巧妙な仕組みが  
備わっていることも明らかになってきた。さらに、Ripply  
遺伝子を人工的に誘導できる系を確立し、体節の境界  
を任意の形に変化させることができるかという研究課  
題にも現在、チャレンジしている。

## 略歴

1973年生。早稲田大学理工学部応用物理学科卒業、  
同大学大学院理工学研究科博士課程修了。博士（理  
学）。基礎生物学研究所 博士研究員、日本学術振興  
会特別研究員、埼玉大学大学院理工学研究科助教、  
講師を経て、2016年8月から現職。専門は脊椎動物  
の発生生物学。

# 369 2階建て超伝導デバイス

数理電子情報部門 電気電子システム工学コース 田井野 徹 准教授



「もの」が増えてその置き場に困る、そんな経験をしたことはありませんか？仮に広大な面積があったとしても、「もの」を床に隙間なくおいてしまえば、そのうち置くところはなくなってしまうですね。そんなときどうすればよいでしょうか？そうです、縦方向にものを積んでいけばよいのです。

皆さんが普段何気なく使っているスマートフォンやパソコンには、主に半導体材料で作られたデバイスが使用されています。様々な機能を持ち、なおかつ高い性能が求められるデバイスは、小さなチップの中に配置され、つまり限られた空間しか与えられていないので、配置できる数も制限されます。しかしデバイス自身を極限まで小さくすれば、たくさんデバイスを配置できるようになります。これを微細化といいます。デバイスはいくらでも小さくできるわけではなく、微細化にも限度があり、数ナノ

メートル（10億分の1メートル）が一つの限界点にあたります。人の髪の毛の太さは100マイクロメートル程度（1万分の1メートル）ですから、限界はまだまだ先の話では？と思うかもしれませんが、しかし現状の技術は、もう限界点に近づきつつあります（数十ナノメートル）。では今後デバイスを発展させるためにはどうすればよいのでしょうか？そうです、縦方向に積んでいけばよいのです。

筆者は、性能に秀でたセンサとして超伝導デバイスに着目し、研究を行っています。その実用にはまだ課題を抱えるものの、次の世界を担うデバイスの一つとして多くの魅力を持っています。その次世代デバイスである超伝導デバイスも、やはり半導体デバイスと同様、いずれは空間的配置に伴う問題に突き当たるはず。と自分を信じて、超伝導デバイスのための3次元実装技術（縦方向に積み重ねてい

く技術)にも着手しています。具体的には、超伝導デバイスが配置されたチップとそれを接続するための超伝導配線が配置されたチップとを接続する、そのための要素技術開発が、現段階での研究内容になります。

言葉で書くと簡単そうですが、要素技術の全ては超伝導デバイスに特化した3次元実装技術にあたり、半導体デバイスのための技術を単純に転用できません。やればやるほどでてくる課題の一つ一つを解決するため、研究室の学生とともに試行錯誤しています。いずれは2階建てではなく、タワーマンシヨンのように高層化できれば良いな、などと妄想しながら研究を行っています。

## 略歴

1973年生。2002年3月九州大学大学院工学研究科修了。博士(工学)。理化学研究所情報基盤研究部協力研究員、埼玉大学工学部電気電子システム工学科助手を経て2009年4月から現職。専門は超伝導エレクトロニクス。

# 370 確率を用いた推定と応用

数理電子情報部門 情報システム工学コース 山田 敏規 准教授



私が埼玉大学で担当している人工知能の講義の中から、今日はちよつとした確率の計算が世の中の役に立っている例を挙げてみたいと思います。なお、事象Aが成り立つときの事象Bが起こる条件つき確率を、一般的な高校の教科書で使われている  $P(A|B)$ ではなく、 $P(B|A)$ で表すことをご了承ください。まずは以下の計算問題を考えてみましょう。

袋の中にコインXが8枚、コインYが2枚入っています。これらのコインは見た目には区別が付きませんが、表裏の出る確率は異なり、コインXの表が出る確率は0.3、コインYの表が出る確率は0.8です。では、袋の中から無作為にコインを1枚取り出し、そのコインを2回振ったとき、1回目に表、2回目に裏が出る確率はいくつでしょう？

コインXを取り出す事象をA、コインYを取り出す事

象を $A'$ 、i回目( $i=1,2$ )にコインの表が出る事象を $B_i$ 、裏が出る事象を $B_i'$ と書くことにします。このとき、

● コインXを取り出す確率は  $P(A)=0.8$ 、コインYを取り出す確率は  $P(A')=0.2$ 、

● コインXを取り出したときの1回目に表が出る条件つき確率は  $P(B_1|A)=0.3$ 、2回目に裏が出る条件つき確率は  $P(B_2|A)=1-0.3=0.7$ 、

● コインYを取り出したときの1回目に表が出る条件つき確率は  $P(B_1|A')=0.8$ 、2回目に裏が出る条件つき確率は  $P(B_2|A')=1-0.8=0.2$ である。

1回目に表、2回目に裏が出る確率は  $P(B_1 \cap B_2')$

$=P(B_1|A) \times P(B_2'|A) + P(B_1|A') \times P(B_2'|A')$

$$P(\bar{A})=0.3 \times 0.7 \times 0.8+0.8 \times 0.2 \times 0.2=0.168+0.032=0.2 \text{ と計算できません。}$$

1)までは典型的な計算問題ですが、もう少し掘り下げて次の問題を考えてみます。今回のコイン投げの結果、コインXとYのどちらを取り出した可能性が高いでしょうか。

実はこれも、1回目に表、2回目に裏が出たときのコインがXである条件つき確率  $P(A|B_1 \cap B_2)$  を計算すればよへ、 $P(B_1|A) \times P(B_2|A) \times P(A) = P(A \cap B_2 \cap B_1) = P(A|B_1 \cap B_2) \times P(B_1 \cap B_2)$  から  $P(A|B_1 \cap B_2) = 0.168 \div 0.2 = 0.84$  が求まります。したがって、コインがYである条件つき確率は  $1 - 0.84 = 0.16$  であるので、コインはXである可能性が高いことが分かります。

コインを推定するこの一見単純な方法は、例えば届いたEメールが迷惑メールであるか否かを計算機上で推定するためにも使うことができます。この場合、Aは届いたEメールが迷惑メールである事象を、 $B_i$  ( $i=1, 2, \dots$ ) は届いたEメールの中に単語  $W_i$  が含まれている事象を表します。ただし、単語のリスト  $W_1, W_2, \dots$  は予め作成しておきます。したがって、指定された単語の有無から簡単な計算によって、届いたEメールが迷惑メールで

あるか否かを推定できます。

この推定方法で鍵となるのは、箇条書きの中で出てくる  $P(A)$  などの値の正確さです。紙面の都合で詳しくは書けませんが、これは大量のEメールを予め解析することで求められ、ここにも人工知能、特に機械学習の知識が使われています。

## 略歴

1969年生。98年東京工業大学大学院修了。博士(工学)。東京工業大学大学院助手、埼玉大学工学部講師を経て、05年4月から現職。専門はグラフ・アルゴリズムを用いたネットワークの効率的運用方法の開発。

# 371 地球の裏表の気温と気圧

数理電子情報部門 数学コース 佐藤 洋平 准教授



今、私がこの原稿を書いている埼玉大学がある埼玉県さいたま市の現在の気温は26度、気圧は998ヘクトパスカルである。さいたま市の地球の裏側に当たる地点は南アメリカ大陸のウルグアイの東の大西洋だが、その地点の現在の気温と気圧を調べると、気温は14度、気圧は1015ヘクトパスカルだった。残念ながらさいたま市とその地球の裏側の気温と気圧は一致していなかった。

## ■ボルスク・ウラムの定理

それでは今この瞬間に、地球のある地点の気温と気圧とその裏側（対蹠点）の気温と気圧が一致している、そんな場所があるだろうか？地球は広いのだからそのような場所はいつでもどこかに必ずある気もする。一方、地球上のすべての地点で、その地点における気温と気圧と、その対蹠点の気温と気圧が

異なることがあっても良い気もする。答えはどちらだろうか？この問の答えは直観的には分からないが、実は答えは前者である。つまり地球の裏と表で気温と気圧が一致するような場所はいつでも必ず存在する。これは数学のボルスク・ウラムの定理とよばれる定理からわかる。これはN次元球面からN次元平面への連続写像を考えると、どんな連続写像でも必ずN次元球面上のある点とその対蹠点の2点が同じ点に写る、そのような2点が存在するという定理である。

## ■ハムサンドイッチの定理

ボルスク・ウラムの定理を使って証明できる定理に、ハムサンドイッチの定理と呼ばれる定理がある。ここに2枚のパンでハムを挟んだサンドイッチがあるとす。上のパンにはバターが均等に塗っており、下のパンにはマスタードが均等に塗ってある。この

サンドイッチをナイフで切って私とあなたの2人で均等に分けたい。しかもハムの体積もバターを塗ったパンの体積もマスタードを塗ったパンの体積も同じになるよう分けたい。ナイフで切ってよいのは一回だけである。そのような切り方はあるだろうか？この問題を数学的に言うと次のようになる。空間内に3つの任意の形の立体があるとき、その3つの立体の体積を同時に2等分する平面はどんなときでもあるだろうか？この問の答えも直観的には分からないが、答えはイエスである。それがハムサンドイッチの定理である。

### ■数学の繋がり

私の研究の専門は偏微分方程式である。偏微分方程式は物体の運動や熱の拡散、生物の個体数の増減など様々な現象を数学の言葉で記述したものであり、特にその記述の中に微分が含まれるものであるが、数学の分野としては解析学に含まれる。今回紹介したボルスク・ウラムの定理とハムサンドイッチの定理は幾何学の定理である。私の研究分野の中でひと際目を引く定理に、ある種の偏微分方程式は無限個の解をもつという驚愕の定理がある。実はこの種の定理の証明にはボルスク・ウラムの定理が本質的に用いられている。全く無関係に見える幾何学の定理

が解析学の定理と裏で繋がっているのである。

### 略歴

1979年生。2007年3月早稲田大学大学院理工学研究科博士課程修了。博士(理学)。早稲田大学助手、大阪市立大学数学研究所などを経て、現在、埼玉大学准教授。専門は楕円型偏微分方程式の変分問題。

372

## 白金触媒に魅せられて

物質科学部門 応用化学コース 三浦 勝清 教授



白金Ptはプラチナとも呼ばれ、単体の白金(Pt<sup>0</sup>)は美しい輝きを放つため、指輪などの装飾品によく利用されています。融点が高く耐食性にも優れていることから、ろつばや電極などの材料としても有用です。また、化学反応を促進する触媒としても重要で、排ガス浄化装置、燃料電池、硝酸の合成などには必要不可欠なものになっています。このように白金は様々な用途を持ちますが、年間供給量は金Auの20分の1程度に過ぎず、非常に希少な貴金属と言えます。

有機合成には、様々な金属触媒反応が利用されます。その代表例が、2010年にノーベル化学賞の栄誉を勝ち取った「クロスカップリング反応」(鈴木・根岸・Heck氏が受賞)です。この反応では、白金と同族の元素で、白金と同じく貴金属に分類されるパラジウムが触媒となります。パラジウム触媒を利用した有機合成反応は

非常に多く開発され、現在でも活発に研究されています。パラジウム触媒ほどではありませんが、白金触媒を利用した反応も多く知られています。近年では、単体の白金ばかりでなく、二価白金Pt(II)や四価白金Pt(IV)を含む化合物も特異で多様な触媒作用を示すことがわかっていきます。私たちはこの点に注目し、新奇な有機合成反応を開発するべく研究を行っています。

炭素-炭素多重結合を有する有機化合物(アルケンやアルキン)にハロゲン化水素HX(X:塩素Cl、臭素Br、ヨウ素I)を作用させると、多重結合の部分的切断と炭素-水素および炭素-ハロゲン結合の生成により有機ハロゲン化物を合成できます。多重結合が末端にある場合、通常、内部炭素がハロゲンと結合するため(図中の従来反応)、この付加反応では末端にハロゲンを持つ有機化合物を合成できません。末端ハロゲン化物は界面活性剤や医薬品、有機電子材料などの合成や新規開発に役

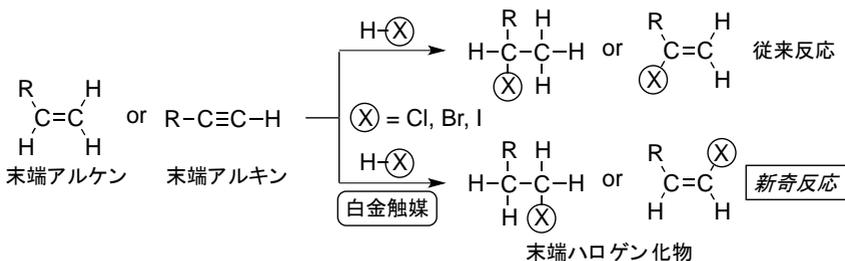
立ちますが、現在では、末端アルケンやアルキンから複数の段階を経て合成されています。私たちは、二価や四価の白金化合物を触媒として用いることで、HXの付加反応における反応位置を逆転させ、末端ハロゲン化物を一段階で合成することを目指しています(図中の新奇反応)。

他の分野と同様に、有機合成の分野でも「持続可能なものづくり」を目標とした研究開発が進められています。上述のように白金はとても希少で高価な金属であり、白金触媒の利用は「持続可能なものづくり」にそぐわないのかもしれませんが、目標とする白金触媒反応が達成できたら、触媒量の低減、触媒のリサイクル、代替金属触媒の開発といった次の課題に取り組む必要があります。しかし今は、白金の特異な触媒作用に魅せられて、実用性よりも新奇性を重視して、これまでにない非常識な反応の開発に熱をあげています。

### 略歴

65年生まれ。京都大学大学院工学研究科工業化学専攻修了。博士(工学)。筑波大学化学系助手、講師、准教授を経て、08年10月から現職。専門は有機ケイ素化合物や金属触媒を利用した有機合成法の研究開発。

## 目次へ



# 373 宇宙の探求、失敗もこえて

物質科学部門 物理学コース 寺田幸功 准教授



筆者は宇宙物理学を専門に人工衛星を用いた天体観測を行っている。小さい頃から宇宙への憧れが強く、親から与えられた望遠鏡で星を見るのが好きだった。遠くの宇宙の姿に興味を抱いたというよりは、単に、裸眼に写らない星が、望遠鏡を通せば見えてくるのが不思議でたまらなかつた。宇宙物理よりは宇宙工学の方が好きなのかも知れない。

物理学をはじめ自然科学は、知的好奇心を原動力に、自然との対話を通じて系統的に自然界を理解する学問で、ある程度の専門性が要求される。研究者は、国民の税金を使い、国民の代理で自然科学を探索する。ゆえに筆者は、娘の保育園のパパさん飲み会でも、理髪店のおじさん相手でも、なるべく宇宙の不思議を伝えるように心がけている。

我々の研究生生活は、常に「わくわく・どきどき」しているわけでなく、むしろ、「面倒、たいへん、きつい」時間が

大半を占める。一瞬の「やったー」を感じるために何年も努力し積み上げる。これはどの職業でも同じだろう。2014年の記事(151)の通り、人工衛星の開発は極めて長く、10年以上の努力の末に打ち上げられる。科学成果を手にするのはさらに先である。

筆者が関わった人工衛星は失敗の連続であつた。学生時代に没頭した観測装置は2000年の打ち上げ時にロケットの不具合で消失した。再挑戦である。「すざく」衛星は2005年に無事に打ち上がり、我々の装置はうまく稼働したものの、目玉の装置は軌道上ですぐに機能を停止した。大幅に性能を向上させた「ひとみ」衛星は2016年に打ち上げ、順調に性能を發揮しはじめたが、今度は衛星本体の不具合で運用を断念した。

ではなぜ研究を続けるのか？

立ち上げ中に「ひとみ」が見た天体のデータは目を見張るものであつた。100以上の銀河が集まる「銀河団」

のガスの運動を精密に測定したところ、飛躍的に向上した分光能力のおかげで、ブラックホールがかき混ぜたはずのガスは、予想に反して静穏であることを発見し、衝撃を受けた。「自然は人間よりはるかに想像力に富んでいる」というエックス線宇宙物理学の創始者 Bruno Rossiの言葉そのままである。

我々は新しい世界を見てしまった。また感動を味わいたい。「ひとみ」で喪った科学観測を早期に実現すべく、新たな再挑戦計画、XRISM 衛星の開発を始めている。また、我々が10年近く貢献しているガンマ線天体望遠鏡 GJAも、つい先日、試験観測が始まった。技術革新は新しい宇宙物理学を拓く。今後もしっかり支援をいただきたい。

## 略歴

74年生。02年3月東京大学大学院理学系研究科博士後期課程修了。理学博士。理化学研究所 常勤研究員を経て、07年10月から現職。専門は高エネルギー宇宙物理学。エックス線やガンマ線での天体観測を行いながら、人工衛星搭載機器や地上観測装置の開発も行う。

# 374 次は、「自分の名」で

物質科学部門 藤森 厚裕 准教授



## ■すべての始まりは八四年前

時は、一九三四年に遡る。この年、二年前にノーベル化学賞を受賞した米国の物理化学者アーヴィング・ラングミュアは、世界旅行がてら、東京大学理学部の鮫島實三郎教授のもとを訪れる。この一九三四年は、その初頭に、ラングミュアの直弟子である、ジェネラル・エレクトリック社のキャサリン・プロジェクト博士が、アメリカ化学会誌に『水面上にできた分子一層の膜状の組織体を、固体基板上に写し取る手法』として、ラングミュア・プロジェクト法（通称・LB法、この手法によって作られる薄膜状の分子組織体を、LB膜と称する）を発表した年だった。一九三四年時点では、この報告はまだ「予告報」の段階であり、世界がその詳細を知るのは、翌一九三五年のことになるはずだった。

## ■米国から東大、そして埼玉に

膠質化学（こうしつかかく・現在のコロイド化学）を専門としていた鮫島は、勿論、そのとき既に、世界最高峰の化学系学術雑誌である、アメリカ化学会誌の記事を目にしていた。彼は、目の前のノーベル賞受賞者に尋ねた。「貴方の弟子の言う、"LB法"とは、一体何だ？」。

二〇〇〇年、米国のISI社（現トムソン・ロイター社）から、各学問分野に於ける学術論文の被引用件数最上位の研究者達が発表された。ここに名を連ねた日本人研究者はわずか一三〇数名。一説には、世界最上層トップ〇・五%ともいわれたこのランキング中に、選出の榮譽を受けた日本人の多くが旧帝国大学系に所属していた中で、埼玉大からたった一名、Kiyoshige Fukudaという名前が確認された。

福田 清成 教授。東大を退官後三年間、埼玉大で教鞭をとり続けた鮫島の、「直弟子」。彼が、鮫島と、そしてラングミュアから伝授されたLB膜の技術が、如何に

世界の研究者に貢献したかを示すエピソードである。

## ■地方大学の「勝ち方」

二八歳の福田が、講師の肩書で着任した当初、埼玉大には大学院がなかった。福田が五二歳になってはじめて、修士課程が設置された。博士課程の設置は彼の退官二年前のことである。福田の業績は、その殆どがたった一年間の卒業研究の後に巢立つてしまふ、大学四年生と共に成し遂げられたものだった。

福田の直系である、中原 弘雄 教授は、筆者の直接の師である。師からは鮫島・福田らのエピソードをよく聞かされてきた。名誉教授となつた福田の自宅に、筆者は度々通い、その肩を揉みながら、老師の話に何時間も聞き入つた。福田名誉教授、そして中原名誉教授ももう、この世の人ではないが、彼らの存在なくしては、今の研究者としての自分は、在り得ない。

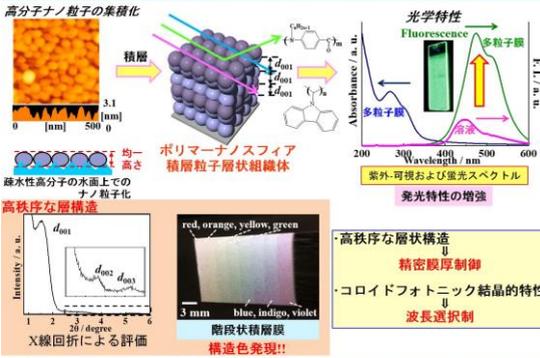
世界中どこに行つても、『お前は、フクダ・ナカハラの弟子だな。では、LB膜は本家本元だ。』と、認識される。帝大系の出身ではない著者でも、「名門の出」と認識されるのは、ありがたい。研究の知名度は、その規模でも人数でも資金力で決まるものでもない、という実例であろう。しかし「L」も「B」も福田も中原も、「私の名前ではない」。先人達の築いた『地方大の勝ち方』を示し続けるには、次は私自身が自分の名で、(例えば図に示

すような)新しい概念発信の使命を担っているのだと自己に言い聞かせる毎日である。

## 略歴

74年生まれ。02年3月埼玉大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。博士(理学)。山形大学大学院助教を経て、11年4月より現職。専門は超薄分子組織膜の化学、高分子物性。

## Langmuir-Blodgett法の最新の展開・・・高分子ナノ微粒子の均一積層化に成功!!



“ポリマーナノスフィア積層粒子層状組織体”の創出⇒無機ナノ粒子への適用へ

# 375 通学路 Vision Zero

環境科学・社会基盤部門 環境社会基盤国際コース 久保田 尚 教授



通学路で交通事故に遭い、亡くなる子供をZeroにしなければならぬ。そのためのVisionを策定し、実現手法の体系化を進めている。スウェーデンでは、1997年に国家単位でVision Zeroを掲げ、非常に多くの成果を挙げた。わが国では残念ながらまだ年間4000名近くの方がなくなり続けており、全体をZeroにするまでの道りはまだ遠いと言わざるを得ない。そこでまず、通学路からZeroにしてGo!というのである。

日本の交通事故の特徴は、市街地での歩行者・自転車利用者の死亡事故が際立って多いこと、また、生活道路と言われる細街路での事故が多いことである。そこで、各種の生活道路対策などを体系化し、「通学路総合交通安全マネジメント」という枠組みで取り組みを進めることを提唱している。

生活道路対策には様々なものがある。  
これまで、私自身、ハンプの研究を30年以上行ってきた。

速度抑制効果が抜群に高い一方で、騒音や振動の問題があると言われてきたハンプであるが、勾配部の形を工夫することにより、その問題をクリアすることができた。幸い、平成28年には国の技術基準として定められたことにより、世界的にみれば当たり前のハンプがようやくわが国でも普及するめどが立った。また、ライジングボラードという、自動昇降式の車止めもわが国での利用が始まっている。これらの手法メニューを見ながら、学校周辺のどこにどの手法を導入すればよいか、ワークショップと言われる話し合い方式で議論していくことを想定している。

「子どもの命を守る」という目標を掲げて、まずは通学路周辺からZeroを達成し、ハンプ等の認知度を高めつつ市街地全体への普及に努めていくことが戦略的に重要と考えられる。それにより、現在大きな問題となっている高齢歩行者等の安全性も飛躍的に高まることが期

待てきよう。

なお、この取り組みを紹介する「通学路 Vision Zero シンポジウム」を、2019年2月1日(金)の13時から大宮ソニックシティ・小ホールで開催予定である。関心のある方はぜひお越しください。

共催：公益財団法人国際交通安全学会・国土交通省  
関東地方整備局大宮国道事務所

お問い合わせ・お申込み：(公財)国際交通安全学会  
電話：03-3273-7884

## 略歴

1958年生まれ 東京大学大学院工学系研究科(都市工学)修了。工学博士。埼玉大学助手、助教授を経て2005年4月から現職。専門は都市交通計画、交通工学



時間やリモコンによって自動で上下するライジンググボラード(自動車止め 新潟市)



速度抑制のためのハンブ実験(さいたま市)

## 大気を知り、大気を制御する科学

環境科学・社会基盤部門 環境制御システムコース 関口 和彦 准教授



大気汚染と聞いて何を思い浮かべるだろうか。煙突の煙、よごんだ空、自動車排ガスなど、人それぞれ思い浮かべるものは違うと思います。しかし、これら大気汚染も化学的に見れば、どれもガス状または粒子（固体または液体）状の物質ということになります。これら物質の化学組成は何か、どんな反応により生成するのかなど、これを科学的に説明しようとするのが「大気を知る科学」です。PM<sub>2.5</sub>に代表される粒子状汚染物質は、大気身近な大気環境問題です。これら粒子状物質は直接放出されるものもありますが、多くは大気中で光化学反応により生成します。大気中に放出された揮発性有機化合物ガスや燃料に含まれる硫黄分などが大気中で酸化され、揮発性の低い反応中間体物質となり、一部は中和されながら粒子へと変換していきます。

大気中の粒子状物質を超微小粒子から粗大粒子ま

で粒径別に分級しながら観測することで、これまでに分からなかった粒子の生成、成長機構を確認することができます。例えば、雨には粒子状物質を大気から除く洗浄効果がありますが、高濃度の汚染地域などではむしろ、小雨が降ると超微小粒子がその湿度でPM<sub>2.5</sub>の主粒径まで成長することが分かってきました。また、最近の研究では、紫外線の弱い屋内環境中でも、屋外での反応と同じように水分を介して、芳香剤や防虫剤などのガス成分から粒子状物質が生成することも確認されています。

現代人は一生の8割以上を何かしらの空間内で過ごすと言われています。そのため、屋内空気質を快適に保つことは健康維持の観点からも重要です。屋内には上述した二次生成粒子以外にも、たばこ煙、微生物、アレルゲン、悪臭など、身近な汚染物質が多数存在します。これら汚染対策としてはまず換気が挙げられますが、

積極的に除きたい場合には空気清浄機を使用することになります。しかし、吸着剤やフィルターで物理的に捕捉するだけでは、吸着飽和や再飛散の問題が残ります。そこで、上述した大気光化学反応と同じ酸化反応を人工的に起こし、さらにこれを積極的に高めることで、粒子生成を起こすような反応中間体を作ることなく、汚染物質を完全に分解、無害化することができます。これが大気を知った上で、「大気を制御する科学」です。

これまで、関東広域、高層ビル屋上、東南アジア地域、屋内外など、様々な環境下で大気観測を実施してきました。そして、高効率な空気浄化手法として、短波長紫外光、プラズマ、光触媒、超音波などを複合的に利用した技術開発を手掛けてきました。今後、これらの技術をバイオ燃料合成などの環境技術にも応用していきたいと考えています。しかし、バイオ燃料の利用は自動車排ガスの組成を変化させ、大気汚染を深刻化させるのではとの指摘もあります。そこでまた、新たに大気を知る研究が始まることとなります。これからも大気の循環と人間生活を念頭に、学生諸君とともに研究を進めていければと思っています。

## 略歴

1971年生。1999年3月埼玉大学大学院修了。博士(工学)。埼玉大学大学院助教、ブランデンブルク工科大学在外研究員を経て、2014年7月から現職。専門は、環境化学(環境浄化技術、バイオマス利用)、大気環境化学(粒子汚染評価)など。



# 377 植物のプロテオグリカン

生命科学部門 分子生物学コース 小竹敬久 教授

最近、「プロテオグリカン」という言葉をよく耳にするようになりましたが、どんなものかご存知でしょうか？プロテオグリカンの「プロテオ」はタンパク質を、「グリコ」は糖鎖(多糖類)を意味します。似た言葉に「グリコプロテイン(糖タンパク質)」がありますが、違いはどちらがメインかということで、プロテオグリカンは糖鎖がメインです。

コンドロイチン硫酸やヘパリン硫酸は、動物のプロテオグリカンの糖鎖部分です。実は植物にもプロテオグリカンがあります。植物のプロテオグリカンは、アラビノガラクトサンプロテイン(AGP)と呼ばれるもので、糖鎖が大きい点、細胞の外側に存在している点、糖鎖を構成する糖残基にウロン酸と呼ばれる酸性の糖が多い点などの共通点がありますが、タンパク質部分も糖鎖部分も動物のプロテオグリカンとは大きく異なり、まったく別物の分

子です。動物のプロテオグリカンは私たちの体の中で重要な働きを担っていますが、AGPは植物の生体内で成長や分化、生殖、ストレス耐性などの様々な現象に関わっています。

AGPは「古くて新しい」研究対象です。古代エジプトでは、アカシアという樹木からとれるAGPをミイラの包帯の固着剤に使っていたそうです。また、このAGPはガムアラビックと呼ばれ、つい最近までは水糊の主原料でした。この名前から水糊の商品名を連想される方もいらっしゃるのではないでしょうか。一部の漢方薬にはAGPが豊富に含まれ、AGPが薬効の一部を担っていることも報告されています。しかしながら、私たちの興味はAGPの有効利用ではなく、植物におけるAGPの働き、です。AGPにはいくつかの「謎」があります。謎の一つ目は、AGPはコケ植物から被子植物まで高度に保存された植物の細胞壁成分ですが、その働きが未知であることです。AGP

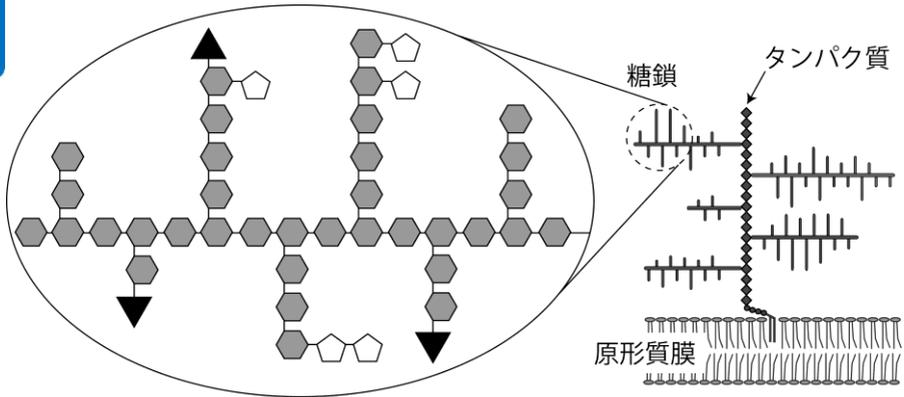


Pは細胞壁の微量成分なので、セルロースのような体を支える働きではなく、情報を伝える働きをしているかもしれません。二つ目は、その複雑な糖鎖構造です(図)。一つ目の謎とも関連しますが、複雑な糖鎖構造のうち、どの構造が「未知の働き」に重要なかがわかっていません。私たちは、微生物から発見した強力なAGP糖鎖の分解酵素を利用して、これらの謎に取り組んでいます。すぐには役に立たない研究ですが、「謎解き」をするような楽しさを感じられる研究です。「謎」が解けると植物の生育や病害耐性を改善できるかもしれません。

## 略歴

72年生まれ。2000年3月広島大学大学院生物圏科学研究科博士後期課程修了。博士(学術)。岡山県生物科学総合研究所流動研究員、科学技術振興事業団特別研究員を経て、2001年1月埼玉大学理学部助手、2017年4月より現職。専門は植物糖鎖生物学。

## 目次へ



# 378 摩擦のお悩み 解決します

人間支援・生産科学部門 メカノロボット工学コース 田所 千治 助教



近年、地球環境問題を背景に機械製品は高性能化だけでなく、エネルギー効率の向上が強く求められています。例えば自動車の場合、摩擦によるエネルギー損失は燃料消費の35%をも占めています。そのため、摩擦低減の取組みが積極的におこなわれています。また、他の問題として、摩擦により生じる振動があります。振動が機械の性能を劣化させることや振動が音としてユーザーに伝わることで品質を低下させることがあります。

ここで、問題解決のセオリーを紹介します。潤滑剤により潤滑されている場合の摩擦係数は図のような傾向を示します。図はストライベック曲線と呼ばれ、速度に応じて3種類の潤滑領域に分けられます。(1) 流体潤滑・潤滑剤により2面間が隔てられ支持されている状態、(2) 境界潤滑・潤滑剤による支持能力がなく固体面同士が接触・支持している状態、(3) 混合潤滑・(1)と(2)の

混合状態。摩擦低減の方法は潤滑領域によって異なり、流体潤滑では潤滑剤の粘度を下げるのが有効、境界潤滑では固体表面に潤滑膜を形成する添加剤を潤滑剤に加えることが有効です。また、摩擦により生じる振動や音を抑制するためには、境界潤滑→流体潤滑の摩擦係数を一定もしくは単調増加にすることが有効です。

私の研究では、新しい材料や技術を取り入れて機械に求められる『なめらかな動き』の実現を目指しています。例えば、境界潤滑の摩擦係数は潤滑剤を用いても大抵0.1程度ですが、京都大学化学研究所の辻井敬亘先生が開発された濃厚ポリマーブラシを用いると摩擦係数が0.0001となります。この新素材を社会実装するために科学技術振興機構のACCELプロジェクトが進んでおり、本学も参画して機械要素への応用に取り組んで

います。また、摩擦により生じる振動や音の問題に対しては、摩擦力の『向き』の変化を利用した新しい制振技術を実際の機械要素へ応用する取り組みをしています。

### 産業への展開

機械のなめらかな運動を実現させるために必要な計測技術と設計技術の提供。

### 略歴

2005年 横浜国立大学大学院修了。株式会社東芝などを経て、2016年埼玉大学大学院理工学研究科助教、2018年より現職。専門は機械力学、トライボロジー（摩擦、摩耗、潤滑）。

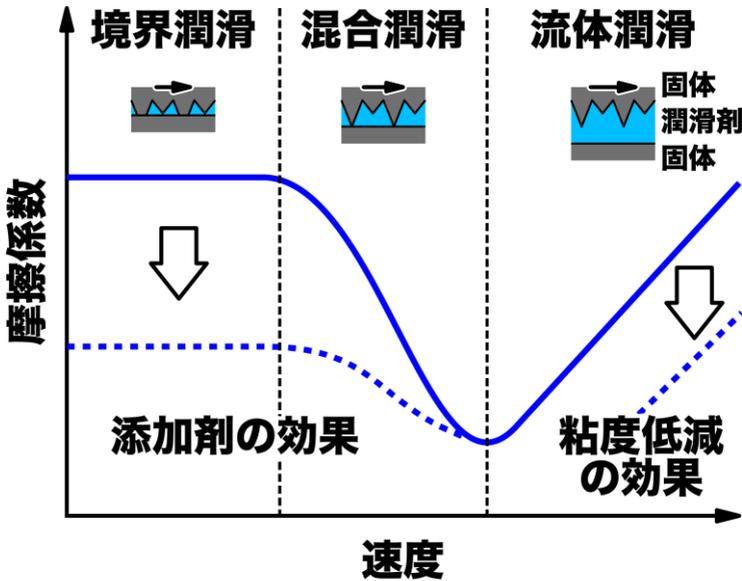


図 ストライベック曲線

379

## 高校生向けに科学教室

数理電子情報部門 電気電子システム工学コース 長谷川 有貴 准教授



埼玉大学工学部では、毎年秋口に、主に埼玉県内の高校生を対象とした「サイエンススクール」を実施しています。小学生向けの工作教室や理科教室は世の中にくさんありますが、中学生、高校生と学年が上がるに従って、イベント内容の濃さが充実する一方、イベントそのものは減っていき、理工系関連の現象を体験的に学ぶ機会がほとんどないのが現状で、そのことを、身をもって感じている高校生の皆さんもたくさんいると思います。

工学部で企画しているサイエンススクールは、そのような機会を工学に興味のある高校生の皆さんに提供することを目的としたもので、私は、電気電子物理工学科（通称・でんでん）の教員として、太陽光発電と非接触給電から、電池の代わりコンデンサに充電可能な「ハイブリッド・ミニカー」の製作教室を実施しています。

街中では、いろいろな電気自動車が普通に走行していますし、地球温暖化ガスの一つである二酸化炭素削減

のための再生可能エネルギーの一つである太陽光発電の利用、普及が進められています。また、非接触給電によって電気自動車を充電する技術についても開発が進められていて、将来的には駐車場に駐車するだけで、あるいは、走行中にも充電できるようにすることが期待されています。

この教室では、日本あるいは世界の電気とエネルギーの現状を講義形式で学んでもらい、さらに未来の電気自動車に思いを馳せつつ、贅沢に各種の充電方式を搭載した、埼玉大学でんでん特製「ハイブリッドミニ四駆」を自ら作製し、光あるいは非接触で充電したときの充電速度、走行性能の違いなどを実感してもらっています。

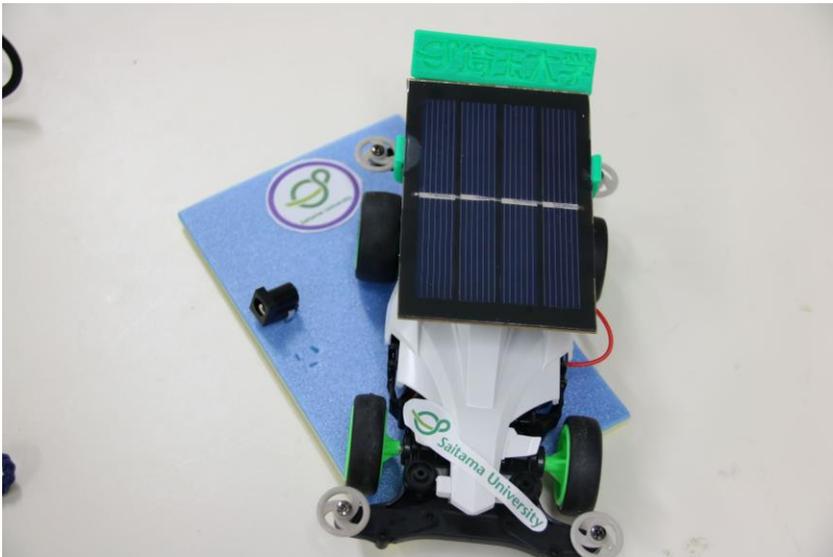
受講した皆さんからは毎年、電気に関する体験イベントは受けたくてもほとんどないので受講できてよかった、ハイブリッドカーが勢いよく走ったときには気持ちよかったです、などなど、電気自動車の作製と走行実験を通

して体験的に電気のおもしろさや仕組みを学んでもらうことができます。

この教室の受講者から、未来の自動車や蓄電池などを開発する技術者や科学者が生まれることを大いに期待しています。

## 略歴

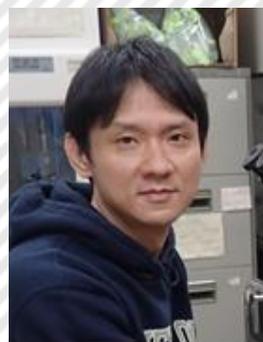
2001年埼玉大学大学院教育学研究科(技術専修)修了。博士(工学)。埼玉大学情報システム工学科、電気電子システム工学科助手を経て、2016年より現職。専門は、植物生体電位を用いた環境センサの開発および、化学センサを用いた味覚、嗅覚センサの開発。



380

## マウスにできない研究をスンクスで

生命科学部門 生体制御学コース 坂田 一郎 准教授



生命科学の研究には、動物を使った実験が必要となります。マウスは小型の哺乳類で、飼育が容易であるだけでなく、ゲノム編集によって遺伝子改変マウスが多く作製されて研究に使われています。そのため、マウスは今日世界的に広く用いられている実験動物となつています。マウスを用いた実験によつて、多くの生命科学分野の研究が進展してきました。その一方で、一般的に使用されるマウスでは研究が難しい分野もあります。例えば、胃の収縮を刺激するホルモンのモチリンはマウスでは産生されないことがわかつています。

スンクスは、食虫目トガリネズミ科ジネズミ亜科ジャコウネズミ属に分類される50〜100g程度の小型哺乳動物です。和名はジャコウネズミで、外見はネズミのように見えますが、齧歯目ではありません。実験動物として齧歯目と区別するために、研究室ではジャコウネズミではなくスンクスと呼ばれています。主に昆虫類を食べ、熱

帯や亜熱帯の温暖な地域に住んでいます。日本では長崎などに生息していることが知られています。トガリネズミの名前にあるように、鼻先は伸びてとがった三角形の形状をしており、胴体の両脇にじゃ香腺が存在し、独特のムスク臭を発します。

スンクスにはマウスにはない面白い生物学的特徴がいくつかあります。マウスには嘔吐反応が見られませんが、スンクスは嘔吐反応を示すことから嘔吐の基礎的な研究にとつて有用な実験動物であり、制吐剤の開発に用いられています。その他にも、仔が親や他の仔の尾をくわえて一列になつて移動するキャラバン行動をする動物として注目され、愛情ホルモンであるオキシトシンとの関連性などが考えられています。また、交尾排卵、低温不耐性及び脊椎中心管の消失などの特徴も有しています。スンクスは系統発生的には、ほぼすべての胎盤を有する哺乳類の始祖とされています。交尾排卵は多くの哺乳動

物において潜在的に保存されており、小さなシンクスを排卵制御のモデル動物として研究することで、多くの哺乳類に保存される生殖制御メカニズムの解明が進むことが期待されています。

私たちの研究室では、シンクスを実験動物として、モチリンなどの消化管ホルモンの生理作用や分泌調節の研究を行っています。最近では、ゲノム編集技術を用いてシンクスの遺伝子改変にも取り組んでおり、シンクスの持つ特徴的な生物学的性質を遺伝子レベルから解き明かすことを目的に日々研究を行っています。

## 略歴

76年生まれ。埼玉大学大学院理工学研究科修了。博士(理学)。米国テキサス大学サウスウェスタンメディカルセンター博士研究員、埼玉大学大学院理工学研究科助教、講師を経て、14年より現職。専門は内分泌学。

# 381 人工知能の「古い」テーマ

数理電子情報部門 情報システム工学コース 後藤 祐一 准教授



「暑いと冷たいコーラがうまい」という経験則と「今日は暑い」という事実から「今日は冷たいコーラがうまい」という新たな事実や経験則を導出する行為を推論と言います。どのような推論が良い推論なのかを研究している分野が論理学です。私は論理学に基づき、計算機に推論を自動的に行わせる自動推論とその応用を研究しています。

現在の機械学習や深層学習を中心とした人工知能の盛り上がりは第3次ブームと言われています。第1次ブームは「人工知能」という言葉が生まれたときに到来しました。「人工知能」という言葉が生まれたのは1956年に行われたダートマス会議です。この当時の研究テーマは探索、証明、推論でした。当時の計算機の性能がまだまだ低かったこともあり、簡単な問題しか解くことができなかったことから期待がしばみ、研究費が削減され、人工知能冬の時代が到来しました。

第2次ブームは1980年代に到来しました。第2次ブームでは、解こうとする問題に依存した経験則（専門知識）を多く集め、それを利用して問題を解くというシステム（知識に基づくシステム）が研究されました。しかし、まだまだ計算機の性能が低かったこと、また、経験則をどのように得ればよいのかわからなかったことから、限定的な利用に限られていました。この結果、研究費が削減され再び人工知能冬の時代が到来しました。

第2次ブームまでは数学の定理の証明やパズルを解くなどの「大人の知能」をある程度実現しました。しかし、物を認識したり、音を聞き分けたり、変化を見つけたりするような「子供の知能」を実現できませんでした。機械学習や深層学習はこの「子供の知能」を実現する方法として成果を出し、これからの応用が期待されています。

私が研究している論理に基づく自動推論は、第1次ブームの「古い」人工知能のテーマです。そんな「古い」人工知能の研究者である私も機械学習や深層学習に期待しています。なぜならば、機械学習や深層学習を利用して実現される「子供の知能」により、集めたデータからパターンやルール、すなわち経験則を抽出できるようになります。たくさんの経験則を得られるようになれば、得られた経験則を取り扱う方法が必要となります。得られた経験則を取り扱う方法の一つは私の研究テーマである論理に基づく自動推論です。私は「古い」人工知能のテーマが機械学習や深層学習の次の「新しい」人工知能のテーマになると考えて、日々研究しています。

## 略歴

1978年生。2005年3月埼玉大学大学院修了。博士(工学)。2005年4月から埼玉大学助教、2015年4月より現職。専門は知識工学。特に論理に基づく自動推論とその応用。

382

## 高機能DNAの発見方法の開発

物質科学部門

応用化学コース 齋藤 伸吾 教授



様々な性能や機能を持った分子を自由自在に発見したり創り出したりできるようになることは化学者の夢のひとつです。私は「DNAアプタマー」でそれが達成できると考えています。DNAは一般的には二重らせん型（二本鎖）のものがよく知られています。一方、一本鎖のDNAは4種類の塩基（アデニン、グアニン、シトシン、チミン）が1列に並んだ生体高分子ですが、その組み合わせ（配列）によって様々な立体構造をとることが知られています。例えば25塩基の配列では千兆以上の組み合わせが存在しますが、そのような多様な組み合わせの中にはあるターゲット分子と強く結合する特定の配列が存在します。このようにある分子を認識することのできる一本鎖DNAをDNAアプタマーといいます。DNAアプタマーは1990年代に発見され、進化工学という手法で得られます。

私たちはキヤピラリー電気泳動法（CE）という分離

分析法を使って、高機能な（強く結合したり、薬理作用を持つていたり、ターゲット分子と結合すると信号を出す）DNAアプタマーを多種多様な配列の組み合わせの中から自在に見つけ出す（選抜）方法の開発に取り組んでいます。先ほど述べた多様な組み合わせのDNA分子群（ランダムライブラリーといいます）は、現在、人工合成で簡単に得ることができます。このランダムライブラリーとターゲット（タンパク質や細胞など）を混ぜてからCEで分離して、ターゲットと結合したDNA（複合体）だけを回収します。進工学的な方法ではこの複合体を回収することに非常に手間がかかり、数か月かかることも普通でした。私たちはCE法を改良することで、たった一度の分離だけで簡単に複合体を得る方法の開発に成功しました（一週間程度）。この新しい方法では、強く結合する多種類のDNAアプタマーを回収できま

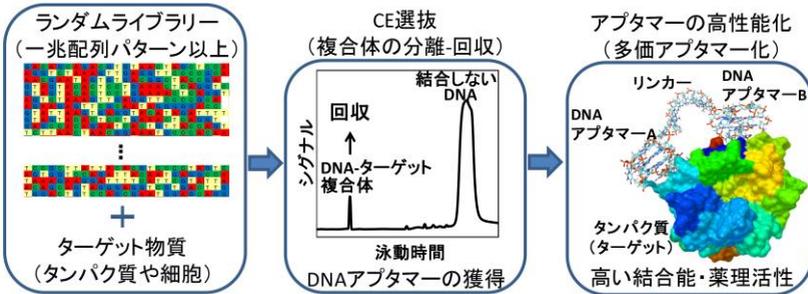
さらに、より高機能なDNAアプタマーも開発できます。ターゲットがタンパク質の場合、タンパク質中のDNAアプタマーが結合する場所(結合サイト)がどこかを判定できるCE法も開発しました。異なる結合サイトに結合すると判定した二つのDNAアプタマー同士を繋ぎ合わせたDNAアプタマー分子が強い薬理作用を示すことが分かりました。

最近では、分子認識するときには信号を出してセンサーに使えるDNAの選抜法や、配列情報をデータベース化して情報科学的に新しいアプタマーを見つける方法を開発しています。このようにこれまでになく高機能を持った新しい分子を分析化学的アプローチから発見することを目指しています。

## 略歴

1972年生。01年9月東北大学大学院修了。博士(工学)。北見工業大学助教、埼玉大学准教授を経て、17年4月から現職。専門は電気泳動法を用いる新規分析手法の開発研究。

## 目次へ



383

## ペロブスカイト太陽電池

物質科学部門 機能材料工学コース 石川 良 助教



ペロブスカイトとは図1に示す結晶構造の1種で、灰チタン石、チタン酸バリウムが代表例であり、銅酸化物高温超伝導体などもペロブスカイト構造を基礎としている。なかでもチタン酸バリウムはセラミックコンデンサに使用されていて、スマートフォン内で大量に使われている身近な構造でもあり、また地球の下部マンテルの主要な構成要素であるケイ酸マグネシウムもペロブスカイト構造をしている。同じ構造でも構成する元素が変わると大きく特性が変わるが、無機物の鉛やスズ、ヨウ素や臭素などのハロゲン元素、有機物であるアルキルアンモニウムイオンから構成される有機・無機ハイブリッドペロブスカイト結晶を光を吸収する層として用いたものがペロブスカイト太陽電池である。

ペロブスカイト太陽電池の典型的な断面の電子顕微鏡像を図2に示す。ガラスの上に透明導電膜(フッ素添加酸化スズ)、酸化チタン、ペロブスカイト層、有機半導

体、銀電極が積層されているが、ガラスを除くとその厚さは1 m程度であり、光を吸収するペロブスカイト層は0.3 mと太陽電池の9割以上を占めている単・多結晶シリコン太陽電池の厚さ150~200 mと比べるとわずか約500分の1の厚さである。これは有機・無機ハイブリッドペロブスカイトはシリコンに比べて光を非常に強く吸収するので薄くとも十分に光を吸収することが可能であるためである。

ペロブスカイト太陽電池は2008年に桐蔭横浜大学の宮坂教授らによって初めて報告され、当初は太陽光を電気に変換する効率(光電変換効率)は38%であったが、省資源で希少元素も使わず、更に真空装置など大掛かりな装置を用いることなく溶液法かつ150℃程度の低温で成膜可能であるため近年非常に大きな注目を集めており、学術データベースの Web of Science で「perovskite solar cells」で検索すると10932件の論

文がヒットし、2018年だけでも3671件の論文が出版されている。多数の研究者が取り組んだ結果、ここ数年で光電変換効率は急速に向上し、現在では小面積のものでは最高で23.7%と多結晶シリコン太陽電池の22.3%、セレン化銅インジウムガリウム太陽電池の23.3%と同等以上の光電変換効率が報告されており、我々のグループでも20%程度の光電変換効率が得られている。さらに有機・無機ハイブリッドペロブスカイト薄膜を用いた光・X線検出器や発光ダイオードへの応用も期待されている。

1 mm $\parallel$ 0.001 mm $\parallel$ 髪の毛の1本の太さが50 $\sim$ 150  $\mu$ m  
 電子顕微鏡 $\parallel$ 光ではなく電子線を当てて拡大する顕微鏡

略歴  
 1985年生。2013年3月 埼玉大学大学院理工学研究科博士後期課程修了 博士(理学)。2013年4月より現職。専門は太陽電池

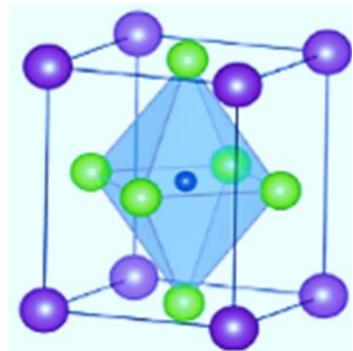


図 1 ペロブスカイト結晶構造

図 2 ペロブスカイト太陽電池断面の電子顕微鏡像



# 384 笑顔の道づくり

環境科学・社会基盤部門 環境社会基盤国際コース 小嶋 文 准教授



近年、自動車に代わり歩行者に優しいまちづくりが推進されています。人口減少時代の持続的な都市の形として、駅やバス停から徒歩で行ける範囲に公共施設や商業施設など生活に必要な様々な機能を集める「コンパクトシティ」を実現するための取り組みが世界各地で進んでいます。そのような街を「歩きたい」と思ってもらうために、道路も大きな役目を果たすものでしょう。歩行者にとって魅力的な道を目指した取り組みとして、

日本でも、車線を縮小して歩道を拡幅する大胆な改造や、道路上にオープンカフェや遊べる場所をつくって賑わいを創出するなど、様々な活動が行われています。

さて、このように歩行者に優しい道路づくりをするにも、限られた空間を分け合う中で歩行者を優先すると、他の交通手段を不便にせざるを得ない場合もあります。道路の改良や新たな施設の設置には費用も発生するでしょう。施策の実施に理解を得るためには、どのような

効果が得られるのか説明することが重要です。道路事業の効果を評価する場合、自動車に関しては、時間短縮・経費減少・交通事故削減という便益が指標として主に用いられています。しかし、歩行者に優しい道の便益には、もともと他のことが考えられそうです。

私たちの研究室では、歩行者に優しい道の評価にあたって、そこを歩く人の「幸せな気持ち」を向上させる効果を考えました。安全で快適に楽しく歩き、おしゃべりしたり立ち止まって景色やお店を見たりする、そんな道路が歩行者の幸福感を高める可能性に着目したのです。歩行者の気持ちを計測する方法としては、アンケート調査が代表的です。ただ、楽しく歩いている人にアンケート調査への回答を依頼することは、楽しい気持ちを邪魔することになりかねず、「早く名物のうなぎを食べに行きたいのに」と思っていれば回答にも影響してしまうかもしれません。そこで私たちは、歩行者を撮影した

画像から「笑顔」の度合いを調査することで、道路を歩く人々の幸せな気持ちを計測できないか検討することになりました。笑顔を認識してシャッターを切るカメラにも利用されている表情を数値化するセンサーを利用したところ、被験者実験から数値化した笑顔の度合いと対象者の気分には相関関係が見られました。そこで、色々な道路で観測調査を実施すると、歩行者天国にした場所では歩行者の平均笑顔度が上昇していることや、歩道での自転車とのすれ違い時、狭い歩道、歩道がない場合には自動車の交通量が多い場所で歩行者の笑顔度が低くなっている、といった可能性が見られたのです。表情を読み取るセンサーには笑顔以外で感情を計測するものも出てきており、観測結果は表情を数値化したデータとなるのでプライバシーへの配慮も可能です。このような新たな技術も利用しながら、歩く人にとって優しい道づくりに貢献できる研究を進めて行きたいと考えています。

## 略歴

1983年生。10年9月埼玉大学大学院修了。博士(学術)。国土交通省国土技術政策総合研究所研究官、埼玉大学非常勤研究員、助教を経て、16年4月から現職。

# 385 電子的ノートの長所

数理電子情報部門 数学コース 町原 秀二 教授



埼玉大学の教員として数学の科目の講義を担当できることはとても嬉しいことである。基本的に毎週1回90分間、15週に渡り講義は行われ、学生達は最後に期末テストを受けて単位を取得している。最近2年間は自分にとって新規の講義科目を非常に多く担当した。他大学での非常勤講師のものも合わせて記すが、集合論(1年生)、位相論(1年生)、常微分方程式論(2年生)、フリーエ解析(2年生)、複素関数論(2年生)、ルベーク積分論(3年生)、測度論(3年生)、偏微分方程式論(4年生と大学院生)となる。新規の講義と書いたが、それは新しく講義ノートを作成するという意味である。私の講義ノートはほぼそのまま黒板に板書する内容を記したものであるので板書ノートと呼んでもいいかもしれない。私の場合その講義ノートは必ずパソコンで電子的に作成していて、それを講義当日に印刷したものを片

手に持ちながら板書を行っている。このノートを見ながら講義する方法は偉い先生方からは余り褒められたものではないらしいが、いまここでは講義中の話をしたいのではなく、講義ノート・板書ノートの作成時における話をしたい。パソコンで作成するノートはもう少し細かい話をするのとテフと呼ばれる数式専門の組版ソフトを用いて作成している。この組版ソフトは非常に使い勝手の良いもので、定理の番号を付けたリ、式番号を後に引用出来るたりと数学の文章を作成するのに非常に助けになる。もちろんそこが有効な箇所であればコピー&ペーストも編集作業の強力な武器である。理想的には15週間の講義の第一週目を迎える前に講義ノートが完成しているといふ。それはやはり論理を組み立てていく過程での説明する順番というものがあるからである。しかしどうしても間に合わなく講義当日の朝に完成するという自転車操業になつてしまった科目もあり、受講生には迷惑を

掛けた。この論理の組み立ての作業が非常に楽しい時間となる。とても心が安らぐ時間である。例えるならば編み物をしている感じか。上記の通り学部生の初歩的な数学であるが、その中にはキラキラと眩い論理的構造が幾つもちりばめられていた。またノート作成するまでは深く考え、苦しみ悩んでいた問題も、解決後ノートに記した瞬間に手元を離れ、忘れることができるという達成感も嬉しかった。最後にこの電子的ノートの職業的長所を述べよう。それは数年間再利用できることである。なんとも夢の無い話だが、私は次は埼玉大学の研究者としての仕事がある。

## 略歴

昭和48年生まれ。平成14年3月北海道大学大学院理学研究科博士後期課程修了。学位(理学)取得。島根大学総合理工学部助手、助教、埼玉大学教育学部准教授、埼玉大学大学院理工学研究科准教授を経て平成30年より現職。専門は双曲型、分散型の非線形偏微分方程式

386

## 植物の環境適応力の変更

環境科学・社会基盤部門 環境制御システムコース

石川 寿樹 助教



大地に根をはって生きる植物は、動物の様に好ましくない環境から動いて逃げる事ができず、脅威が過ぎ去るのをじつと待っているようにみえます。しかし実際には、植物も環境の変化を敏感に感じ取っており、様々な手段でそれに対抗しようとしています。植物は動いて逃げることができないのではなく、むしろ動かずともその場で環境に適応できる能力を発達させた生物なのです。ただし、その能力は全ての植物が一律に備えているとは限らず、それぞれの生育する環境に応じて多彩な進化を遂げています。秋を彩る木々の紅葉は寒冷地に生きる植物の低温適応能力のひとつであり、中には耐凍性の物質を体内に貯め込むことで氷点下でも生存できるものもあります。海辺には塩害に強い植物が自生し、乾燥地帯の植物はわずかな水資源を最大限に生かす術を発達させています。こうした植物独自の環境適応力を理解することは、例えば作物として有用だけれども環境

変化に弱い植物種に適応力をもたせるなど、気候変動をはじめとする環境の悪化が懸念されるなかで、植物資源の生産性を維持・拡大していくための鍵を握っています。

私は様々な環境適応の土台となる細胞膜のはたらきをカスタマイズし、植物機能を強化することをテーマに研究を行っています。植物に限らず、全ての生物の細胞は脂質でできた細胞膜に包まれています。この膜上には外界からの様々な刺激を感じ取る仕組みが存在し、単に細胞を包み守るだけではなく、環境の変化を感知して情報を細胞内に伝達し、適切な適応反応を開始させる、いわば環境センサーとしての役割を担っています。最近の研究から、植物の環境適応力に重要な細胞膜構成分子が明らかになってきており、それらを利用した植物の適応力向上技術の開発が期待されています。例えば、低温やある種の金属は細胞膜の脂質成分を凝固させ、

物理損傷や機能の低下を引き起こします。これは動物性油脂が低い温度で固化するのと似た現象です。これに対して、細胞膜成分をより柔らかい性質をもった分子に変化させると、低温下での機能低下を防ぎ、植物の低温適応力を強化することができます。このような環境適応の土台となる細胞膜のはたらきを、どのようにカスタマイズすればより適応力を高めることができるのか、試行錯誤しながら研究を進めています。

増え続ける地球人口を支える食糧・バイオエネルギー資源としての植物の生産力向上は、21世紀の人類が達成しなくてはならない課題の1つです。細胞膜機能の改変を通じて植物の環境適応力を高め、気候変動に負けない安定した植物生産力の実現に貢献したいと考えています。

## 略歴

1980年生。08年3月新潟大学大学院修了。博士（農学）。日本学術振興会特別研究員を経て、14年4月から現職。専門は植物膜脂質の代謝機構と環境適応における機能に関する研究。

# 387 不思議なニュートリノ

物質科学部門 物理学コース 吉永 尚孝 教授



## ■ニュートリノの質量

1981年に埼玉大学物理学科を卒業された梶田隆章博士が、ニュートリノ振動の発見により2015年にノーベル物理学賞を受賞されたことはまだ記憶に新しい。この受賞によって、ニュートリノという素粒子の存在が多くの人に知られることとなった。ニュートリノは、他の粒子とほとんど相互作用しない幽霊のような粒子である。そのため、我々研究者にも未知なことが多い。梶田博士の発見により、ニュートリノはごくわずかながら質量(重さといってもよい)を持つことが明らかになった。現代物理では、すべての粒子にそれと同じ質量を持つ反粒子が存在することが知られている。例えば、電子の反粒子である陽電子は、電子と同じ質量を持ち電荷(電気)の符号だけが異なる。一方、ニュートリノは電荷を持たないため、ニュートリノと反ニュートリノは実は同じ粒子であ

る可能性がある。

## ■単一ベータ崩壊と二重ベータ崩壊

ニュートリノはベータ崩壊により生成される。これは原子核を構成する中性子が陽子に変わり、電子とニュートリノに変化する反応である。通常はこの崩壊は1回のみ起こり、これを単一ベータ崩壊という。ところがまれにベータ崩壊が続けて2回同時に起こることがある。これを二重ベータ崩壊という。もしニュートリノと反ニュートリノが同じであり、しかも質量を持っていれば、出てきたニュートリノが原子核に吸収され、結果的にニュートリノがまったく出てこない反応が起こる可能性がある(図参照)。これをニュートリノが出ない二重ベータ崩壊と呼ぶ。

## ■反粒子のない世界

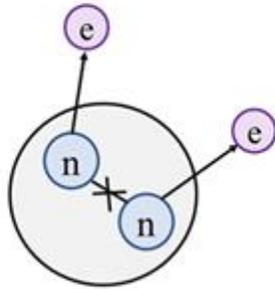
宇宙のはじまりであるビッグバンでは粒子と反粒子が同じ数だけ作られ、宇宙の進化の過程で対消滅したと考えられる。同じだけ作られて同じだけ消滅したはずの粒子と反粒子が、現在の宇宙では粒子だけが生き残っている。この粒子と反粒子の非対称性が宇宙における大きな謎のひとつである。ところが、ニュートリノに粒子と反粒子の区別がないなら、粒子と反粒子の間で入れ替わることができ、この非対称性の謎を解くことができるかもしれない。

## ■原子核構造研究

我々の研究室ではかねてより、原子核の構造研究を行ってきた。原子核は陽子と中性子が1〜250個程度集まった量子系であるが、その単純な構成要素からは予想もできない複雑な構造をなす。現在、我々はキセノン136という原子核で起こる二重ベータ崩壊の崩壊率を理論計算している。日本では神岡で、キセノン136の二重ベータ崩壊の実験が行われている。未だ実験では崩壊例は見つかっていないが、見つければこの分野における大きなブレイクスルーとなることが期待される。

略歴

57年生まれ。85年東京大学理学研究科大学院修了。博士(理学)。理研特別研究員、東大計算機センター助手を経て90年10月より現職。専門は原子核理論。



ニュートリノ自身が反粒子の場合の、ニュートリノの伴わない二重ベータ崩壊

388

## 実は身近な「制御」の技術

人間支援・生産科学部門

メカノロボット工学コース 水野 毅 教授



「制御」という言葉から何を想像しますか？もちろん、人によって様々でしょう。中には、大学に入って初めて勉強する、数式が沢山出てくる難しそうな学問で、自分とは縁のないものと思っている方もいるかもしれません。しかし、実は身の回りにある様々なものが制御の働きによって動き、さらに、我々人間も、無意識のうち日常生活の中で「制御」を行っています。例えば、コップに水道から水を入れる場面を想像してみます。水道の蛇口を開ければコップに水が注がれ、水面が次第に上がってきます。必要などころまで水を溜めるには、水面を見ながら、適当なところで蛇口を閉めることが必要となります。これを制御技術の言葉で言うと、蛇口によってコップに入る水の量を調整しながら、コップの水位を制御するということになります。また、視覚フィードバックを利用した人による制御と捉えることもできます。もう一つの例として、エアコンを考えてみます。一旦希望

の温度を設定すれば、放っておいても室内機や室外機が作動して、部屋の温度が設定温度と一致するようにしてくれます。これは、自動制御と呼ばれる技術によるものです。

私の研究室では、この制御を利用することによって初めて可能となる、ユニークなシステムを数多く開発しています。その一つに、磁気浮上システムがあります。通常（常電導）の電磁石が鉄（強磁性体）を吸引する力を利用した磁気浮上システムでは、電磁石の電流を一定としたのでは不安定な系となるので、浮上体を空中に維持することはできません。浮上体の位置に応じて電磁石の励磁電流の大きさを調整するというフィードバック制御によって、安定な磁気浮上を実現することができます。このような磁気浮上システムの最大の利点は、普通の機械では避けられない、接触に起因する摩擦・摩耗の問題から完全に免れることができることです。この特徴を活

かして、宇宙空間、高真空、超清浄空間、生体内など、特殊環境での利用が進められています。

また、制御技術を利用すると、伸ばそうとして力を加えると却って縮んでしまう(負の剛性を持つ)ようなばねが実現できます。これと通常の(正の剛性を持つ)ばねとを直列につなぐと、「伸びないばね」が実現できます。

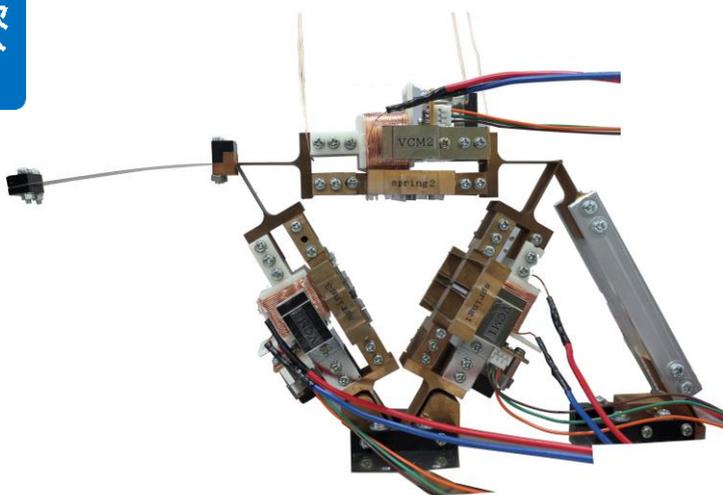
このユニークな性質を備えた機構(ゼロコンプライアンス機構)を利用した除振装置や力測定装置(図参照)の開発を進めています。図に示す装置では、力を検出するのにカンチレバーと呼ばれる機構を利用しているので、高感度な検出が可能です。一方で、高感度でありながら、力の作用するカンチレバー先端の位置及び姿勢が全く変化しないという特徴も備えています。このような特徴を活かして、従来の測定装置ではできなかったような領域の微小力測定を実現することが期待されています。

#### 略歴

1978年 東京大学工学部計数工学卒業。1980年 東京大学大学院工学系研究科計数工学専門課程修士課程修了。同年 東京大学 生産技術研究所 助手。1985年 職業訓練大学校 機械科 講師。1988年 埼玉大学 工学部機械工学科 助教授。2000年 同教授、現在に至る。

#### 図の説明

ゼロコンプライアンス機構を利用したカンチレバー



389

## 見えない電波を支える回路

数理電子情報部門 電気電子システム工学コース 大平 昌敬 准教授



Wi-Fiやスマートフォンに代表されるように、ワイヤレス通信を使わない人はもういないと言っても過言ではないでしょう。それを可能にしているのが「見えないインフラ」である「電波」です。電波の世界は、ジェームズ・クラーク・マクスウェル(英)が1864年に導き出したマクスウェルの方程式を基にしていますが、彼自身もこのような世界は想像すらしていなかったはずですが、メディアではアプリなどのソフトウェアが取り上げられがちですが、見えないインフラを支えているのは間違いなくハードウェアです。ワイヤレス通信で使われる電波の周波数は「マイクロ波帯」と呼ばれ、「マイクロ波回路」というハードウェアがワイヤレス通信の黒子的役割を担っています。

私は、そのなかで最も重要なコンポーネントである「マイクロ波フィルタ」を中心に研究を行っています。実は、

最近のマイクロ波部回路の研究開発や製品開発は市販の電磁界シミュレータに大きく頼っているのが現状です。それに対して私の研究室では、物理現象の理解を通して、マイクロ波の「理論」と「技術」の側面から新たなマイクロ波回路の創出や設計開発に取り組んでいます。つまり、大学が担うべき基礎理論・基礎技術の研究をベースに、その先にある回路設計開発や実験的検証までを行っています。その例として、最先端のフィルタ理論から生み出した新しい高性能フィルタ(図1)があります。また、フィルタにアンテナの電波放射機能を付け加えたフィルタリングアンテナや、フィルタに可変容量素子を追加して、与える電圧を変えるだけで周波数特性をダイナミックに変えることができるチューナブルフィルタなど、フィルタの高機能化に関する研究も行っています。また最近では、ニューラルネットワークを活用したマイクロ波フィ

ルタの自動設計技術の研究にも着手し、常に次の時代や技術を見据えた研究に邁進しています。

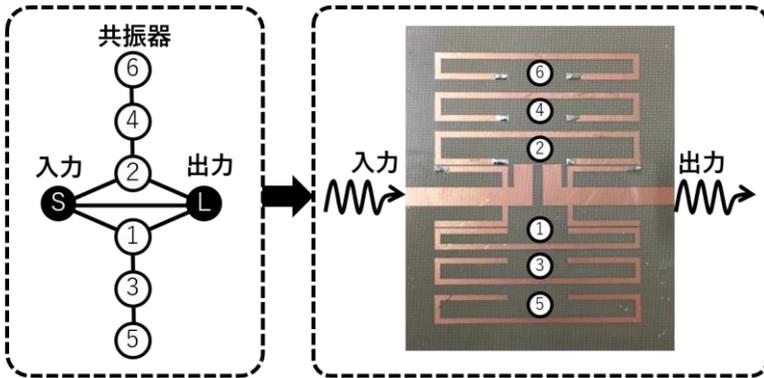
このマイクロ波回路の学術分野は、理論・解析・実験の三位一体で成り立っています。これは学生の研究教育には好適です。私の研究室では、学生自身で自ら考案したマイクロ波回路を設計・試作したり、新しい理論・設計技術を開発したりしているのが大きな特徴です。こういった研究に日々学生とともに取り組みながら、私自身はマイクロ波三大国際会議の一つである APMC (Asia-Pacific Microwave Conference: 4年ご一度日本で開催、他3年はアジア・太平洋地域の各国で開催) や、国内最大級のマイクロ波展示会 MWE (Microwave Workshops & Exhibition: 毎年11月末頃開催) の実行委員の一人として、産学一体によるマイクロ波業界の発展にも微力ながら貢献しています。

もうワイヤレスの波は止まることはありません。ぜひ皆さんも「マクスウェルの知らないマイクロ波回路の世界」に触れてみませんか。

## 略歴

1978年生。2006年3月同志社大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。ATR波動工学研究所研究員、埼玉大学大学院理工学研究科助教を

を経て2014年4月から現職。専門はマイクロ波工学、アンテナ工学。



フィルタ理論から生まれた回路トポロジー

フィルタ理論の回路トポロジーを平面基板上に物理的に実現・設計

# 390 光の圧力研究の過去と未来

物質科学部門 基礎化学コース 吉川 洋史 准教授



みなさんは夏目漱石の「三四郎」という小説を御存じでしょうか？「三四郎」は1908年に出版された小説です。その中で、主人公である小川三四郎は、野々宮宗八の実験室を訪問し、光の圧力を測る実験を目にします。その実験を見た三四郎の様子が次のように記されています。「三四郎は大いに驚いた。驚くとともに光線にどんな圧力があつて、その圧力がどんな役に立つんだか、まったく要領を得るに苦しんだ。」

100年余り前には何の役に立つかわからなかった光の圧力、実はこれが「光ピンセット」として、2018年のノーベル物理学賞に繋がりました。実は、野々宮さんが測っていたように光には圧力があるので、ピンセットのように物体を捕まえて動かすことができます。「じゃあ私の体も太陽や街灯の光に押されているの？」と思う方もいるかもしれませんが、正解です。ただこれらの光の圧力はとても小さいので、私たちが光に押されていること

を感じることはありません。一方、光ピンセットでは、レーザーというとても強い光を使って圧力を増強しています。それでも、捕まえられるのは10マイクロメートル（1ミリメートルの100分の1）ぐらいまでですが、逆に人の手では動かすことが難しいような細胞やタンパク質などの微小物体の操作には適しています。実際、光ピンセットはこのような生物学への応用が高く評価され今回のノーベル賞受賞となりました。また最近では、太陽光の圧力により推進する宇宙帆（ソーラーセイル）の開発も進んでいるようです。微小重力・高真空の宇宙空間では、太陽光のわずかな圧力でも大きな物体を動かすことができます。将来的には、燃料を消費しなくても宇宙空間を移動できるような乗り物が実現するかもしれません。

三四郎が見た光の圧力を測る実験は、当時実際に行われていたもので、おそらくピニアな基礎研究として進

められたものと思われれます。このような基礎研究を進めていると、当事者でさえも予測していなかった結果やその後の展開を見せることはよくあります(全てを見通していた研究者もいたかもしれませんが)。特に光ピンセットに必要なレーザーは、自然界には存在しない特殊な光であり、物質に当てることで不思議な現象がよくおこります。私自身もレーザーを物質に当てるたびに、何か未知の現象に遭遇するのではないかといつもワクワクしながら研究を進めています。

## 略歴

1978年生。06年3月大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。大阪大学特任研究員、ハイデルベルグ大学博士研究員、埼玉大学助教を経て、14年4月から現職。専門は光工学、生物物理化学。

# 391 スイミーの世界、自然の世界

数理電子情報部門 情報システム工学コース 松本 倫子 助教



レオ・レオ二作の「スイミー」という絵本があります。谷川俊太郎が訳したこの物語は、小学生の国語の教科書にも採用されているので、ご存知の方も多いのではないのでしょうか。赤い兄弟姉妹を皆マグロに飲み込まれてしまい、悲しみと恐怖を抱えた黒く小さな魚スイミーが、新たな出会いの中で成長し、自分とそっくりな赤く小さな魚たちと協力して群れを作り大魚のふりをする物語です。この物語では、スイミーが赤く小さな魚たちに「一緒に泳ぐこと」と「持ち場を離れないこと」を教えています。スイミーは強く賢いリーダーでした。

海の中には実際に「群れ」を作って泳ぐ魚たちがいます。イワシなどが見せる球形の群れは、水族館でも鑑賞できます。「群れ」という視点で広く自然界を見渡すと、私たちの身近にもたくさん群れ行動があることに気が

付きます。蜂の巣や蟻の行列、鳩やムクドリ飛びの飛ぶ様子等々、枚挙に暇がありません。このような「群れ」は、社会的で複雑な行動のように見えるので、高度な知能が必要そうです。スイミーのようなリーダーがいるのでしょうか？その答えに近づくヒントは、意外な研究からもたらされました。

1987年、米国のコンピュータ・グラフィックス(CG)の研究者クレイグ・レイノルズがボイド・モデルという群れの表現方法を発表しました。映画等に登場するCGの鳥をもっと本物らしく動かしたい、という思いから考案されたもので、実際にプログラムとして組んでみると、本当に本物そっくりの群れの動きを再現できました(例えば映画「バットマン・リターンズ」のユウモリの群れのシーン等が有名です)。このモデルでは、全体を見渡すようなリーダーはおらず、一匹一匹は複雑なことはしません。

ただ、傍にいる仲間たちと「離れすぎない」「近づきすぎない」「進行方向を揃える」という、たった三つの規則にだけ従い動きます。つまり、群れ行動は、リーダーや高度な知能は不要で、少ない簡単な規則に従うだけで再現できるのです。このことだけから、自然界の全ての群れ行動がそうだと断定することはできません。また、なぜ群れるのかという問いの答えも得られません。しかし、それらしい動きの再現から自然界を逆算的に理解しようとするアプローチが、重要な気付きをもたらしたことは確かです。

ボイド・モデル以降も盛んに進められている自然現象を模倣するアプローチの研究成果は、コンピュータ・グラフィックスや人工知能(主に群知能)、ロボット工学(主に群ロボット)、交通工学といった工学分野だけでなく、生物学や経済学等、広い学問領域に刺激を与え続けています。私自身は、インターネットのような膨大な端末が同時接続する計算機ネットワークにおいて、自然がもつ普遍性や柔軟性をもつようなネットワーク構築法について研究を進めています。

#### 略歴

1980年生まれ。2006年9月埼玉大学大学院修了。博士(工学)。同年10月から現職。専門は計算機ネットワークなど。

392

## タンパク質の形とシヤペロン

生命科学部門 分子生物学コース 仲本 準 准教授



前回のこの欄で述べたように、蛋白質は変性し、変性蛋白質分子が多数集まって凝集することがあります。このように蛋白質の形(立体構造)が変化すると機能が失われます。蛋白質は、それぞれに決まった形をとり機能するのです。

蛋白質は、そのアミノ酸の配列によって決められた、エネルギー的に最も安定な形をしています。その安定性は「ギリギリの安定性」であると報告されています。細胞の中で、最も大量に存在し、生物の営みに欠かせない蛋白質ですから、なぜ不安定なのだ、弱いのだと不思議に思う人がいるかもしれません。実は、蛋白質がはたらくためには、その構造的な柔軟性が必要とされるので、ほんの少しだけ安定であるように進化的に最適化されていると考えられています。我々もじつと石のように動かないでいると仕事にならないように、蛋白質もはたらくときには動き、形を変える

と言えます。

蛋白質はその形をとれない、あるいは形をとると都合が生じる場合がありますが、安定な形をとっていない蛋白質は凝集する危険に晒されます。私たちが研究している分子シヤペロンは、他の蛋白質の形の変化をみながら、不安定な蛋白質を守ります。例えば、細胞の蛋白質合成装置であるリボソームで合成途中や合成直後の、まだ特有の形をとれない、あるいはとっていない蛋白質に付き添い、変性や凝集することなく正しい形をとれるように助けます。ミトコンドリアや葉緑体の蛋白質のほとんどは、これらの外にあるリボソームで合成されて輸送・搬入されます。これらの細胞小器官は膜で包まれていて、形を保ったままでは蛋白質はその膜を通り抜けることができませんが、分子シヤペロンはこの(蛋白質の形の変化を伴う)膜透過を助けます。高温などで変性した蛋白質は、分子シヤペロンに助けられて、元に戻ります。

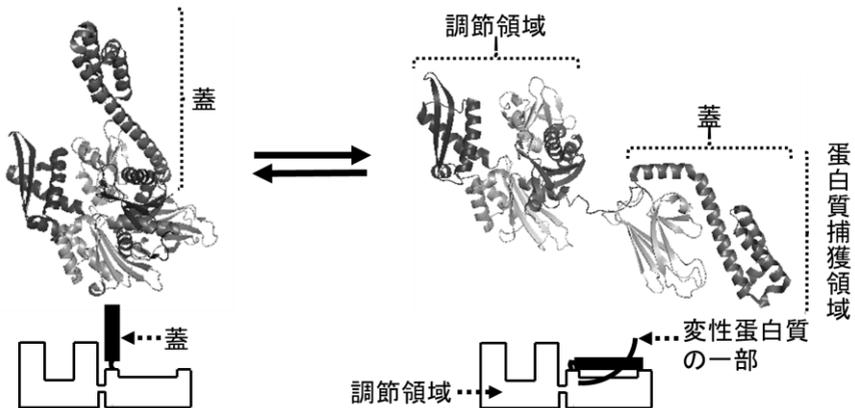
もちろん、分子シャペロン自身も形を変えながら、このような多様なはたらきをします(図参照)。

分子シャペロンは、ほとんどの生物に存在する、たいへん起源の古いタンパク質です。全生物の共通の祖先に存在していたのではないかという報告もあります。異なる生物種に普遍的にみられるように、細胞の中でも、核、ミトコンドリア、葉緑体などのほとんどすべての細胞小器官と、それらを取り巻く細胞質基質に存在し、細胞の外にも存在します。どこでも蛋白質に寄り添い、それらはたらきを支える分子シャペロンへの興味は尽きることはありません。

### 略歴

1984年米国ワシントン州立大学大学院を修了しPh.D.を取得。欧米での研究生生活後、東京大学アイソトープ総合センター助手、埼玉大学理学部講師・助教を経て、2007年より現職。専門は、分子シャペロンの発現調節と機能に関する分子生物学・生化学。コロナ社より「分子シャペロン」出版予定。

図. 分子シャペロンの一つである Hsp70 の構造。左図に示す形で、(変性)蛋白質を受容する。引き続き、(調節領域の指令を受けて)蓋が下降し、蛋白質を「蛋白質捕獲領域」に固定する。各図の下に概略を示す。PDBID:4B9Qと2KHO。



# 393 氷の物理化学的研究

物質科学部門 応用化学コース 山口 祥一 教授



埼玉県下有数の観光地である長瀨町は、おいしいかき氷で知られています。氷は水が固まって結晶になったものであることは誰でも知っていますが、結晶には多結晶と単結晶の2種類があることをご存知でしょうか？氷の結晶は水の分子( $\text{H}_2\text{O}$ )が規則正しく配列した固体ですが、その規則正しさが最長でも数ミリメートル程度しか続かない小さな領域が寄せ集まったものが多結晶です。家庭の冷凍庫で作られる氷は多結晶です。単結晶の水では、数十センチメートル、場合によっては数メートル以上にわたって水分子の規則正しい配列が続いています。アラスカの氷河には巨大な単結晶の水があり実際に採集されていることは、例えば雪氷の研究で有名な中谷宇吉郎の随筆にも記されています。長瀨町の山間で切り出されている氷は、その美しい透明性から恐らく単結晶に近いものであろうと思われます。

驚くべきことに、氷のような非常にありふれた物質に

も科学的に未知な性質がまだまだ多く残されています。その解明のために、我が国を含む世界中の研究者が様々な方法で氷を研究しています。いま、学術的に特に注目されているのは氷の表面の性質です。氷の表面付近の分子の配列はどれくらい乱れているのか(あるいは規則正しいのか)、また、表面から氷がとけるときの、配列していた分子はどのような順番で液体の水になるのか、といったことが、先端的な物理化学的方法によって明らかにされつつあります。さらに、ここまでに述べた氷は、雪の形の六角形で特徴付けられる結晶(氷Iと呼ばれています)ですが、実は、それとは異なる構造の氷が現在までに約20種類も発見されていて、氷II、氷IIIなどと命名されています。 $\text{H}_2\text{O}$ という単純な形の分子から、多様な構造と性質を有する固体が生成しうることは、古今東西の多くの科学者の興味の的となっています。

埼玉大学大学院理工学研究科応用化学コースの私た

ちの研究室でも、(15センチメートル程度ではありませんが)単結晶の水Iを作り、その表面に特殊なレーザービームを照射して、独自の実験を行っています。それによって、水Iの表面の分子構造を解明するべく日夜研究に励んでいます。また、I以外の水についての共同研究も始めており、水の固体すべての表面を網羅する物理化学の構築を目指しています。私たちの実験の方法論は、水に限らず、固体や液体の表面の構造を研究するために利用することができます。企業の方々との共同研究の可能性も模索しております。どうぞよろしくお願います。

## 略歴

1968年2月生。92年3月東京大学大学院理学系研究科修士課程修了。博士(理学)。神奈川県科学技術アカデミー(研究員)、東京大学大学院総合文化研究科(助手)、三菱化学横浜総合研究所、理化学研究所(専任研究員)を経て、2014年4月から埼玉大学大学院理工学研究科教授。専門はレーザー分光による物理化学。

# 394 植物は老化を利用する

生命科学部門 生体制御学コース 井上 悠子 助教



冬が終わり、陽射しの明るい春がやってきました。一年のうちで、大学のキャンパスがもつとも賑わう季節です。今年も大勢の卒業生が立派に社会に巣立ってゆき、彼らと入れ替わりに新生活にたくさんの期待を抱えた新入生がやってきます。卒業、そして入学のシーズンといえば満開の桜をイメージする方も多いかと思えます。

ところで、満開の桜の枝には「葉っぱ」がつかないことにお気付きでしょうか。私たち人間が食事からエネルギーを得ているのに対して、植物は光合成によって生体内でエネルギーを作り出すことが知られています。そしてその光合成の主な場として働くのが「葉っぱ」です。葉のない桜の木はどのようにして花を咲かせるためのエネルギーを獲得しているのでしょうか。それではちよつと昨年の春から

今年の開花までの桜の生活を考えてみましょう。昨年の春、満開の桜が散り始めたと同時に緑色の新芽が芽吹いて、花が散り終わる新緑の頃にはたくさん葉が展開しました。これらの葉は光合成の場として機能しますから、桜の木は昨年の夏の間にとくさんのエネルギーを蓄えることができました。実は、この時すでに今年の春に開花する予定の花芽の形成が行われているのです。さて、光合成でエネルギーをたくさん蓄えて花芽を作り終え、秋になりました。桜の木の葉が落ちはじめ、冬になる頃には枝には葉がすっかりなくなってしまうました。この現象は植物の「老化」と呼ばれています。実は、老化もまた植物の栄養獲得にメリットをもたらしています。桜の葉が老化すると、葉の色は明るい緑色から黄色くまたは所々赤くなり、最終的には茶色のカサカサした葉へと変貌し、落ち葉となります。葉を構成する

細胞の中で、構成成分であるタンパク質や脂質、そして葉を緑色に見せていた色素であるクロロフィルを自らのメカニズムで積極的に分解しているのです。いわゆる紅葉と呼ばれる現象ですが、老化による葉の成分の分解が、外から見ると葉の色の変化として現れているのです。老化によって得られた葉の分解産物は、桜の木に回収されます。こうして栄養をすっきり回収したのち、葉を自ら切り離して落とします。あとは蓄えられたエネルギーを使いつつ、春がやって来たというシグナルに応答していつせいに開花を行います。こうして今年の春も満開の桜になったというわけです。

人間にとつてはいいイメージのない老化ですが、植物は老化を自らの生存戦略としてうまく利用しているのです。

## 略歴

1976年生まれ。2007年3月静岡県立大学大学院修了。博士（食品栄養）。ミシガン大学博士研究員を経て、2012年から現職。専門は環境応答や自己分解に関わる植物生理学。

# 395 結末の力

物質科学部門 機能材料工学コース 松下 隆彦 助教



「三本の矢」「三人寄れば文殊の知恵」など、協力することの大切さを説く故事・ことわざが幾つもあります。これらに共通するコンセプトは「結束」です。大学の研究室でも学生と教員のチームワークが欠かせません。お互いが一丸となり日々研究を積み重ねることではじめて科学の深い学びにつながります。結束が重要なのは人間の世界に限ったことではありません。我々よりもずっと小さな化学物質の世界においても同様です。この世界での結束の力は「多価効果」という言葉で表現されます。私の研究対象である糖鎖は多価効果が発生しやすい物質として知られています。

糖鎖は核酸、タンパク質に次ぐ第三の生命鎖です。人の体には数十兆個もの細胞があるといわれていますが、ほとんどの細胞の表面は糖鎖で覆われています。核酸の情報をもとにつくられる多種多様なタンパク質が糖鎖に結合することで、さまざまな生命現象が引き起こさ

れます。一方、外から侵入してくる病原体にとっては糖鎖が感染のための格好の足場になります。

ひとつ例をご紹介します。腸管出血性大腸菌 O157 による食中毒がときどきニュースになりますが、この菌はペロ毒素というタンパク質を分泌することで下痢などの症状を引き起こします。毒素は細胞表面の糖鎖に結合して細胞内に侵入します。毒素は二種類のタンパク質からなり、1個の毒素本体タンパクを5個の糖鎖結合性タンパクが下から取り囲むように支えています。糖鎖結合性タンパクはグロボ三糖という糖鎖を好んで認識します。グロボ三糖単体の結合力は非常に弱いのですが、それが細胞膜上に密集している場合の結合力は100万倍にもなります。これが多価効果です。ペロ毒素は多価効果を効率的に細胞表面に結合することで、毒素本体を細胞内へと送り込みます。

私の研究室ではペロ毒素の中和剤として、32個のグロ

ポ三糖をボール状に束ねた人工分子をつくりました。結合力は糖鎖単体の1万倍です。オリジナルの毒素に及んではいませんが、マウスをつかった実験では大腸菌感染による症状が効果的に緩和されました。人工分子の形状をボール状以外にもいろいろ変えてみると、中和剤の効果さがさらに大きく向上する形があることもわかってきました。今後糖鎖がもつ結束の力を使って感染症や病気の治療に役に立つ糖鎖分子をつくっていきたいと思います。

## 略歴

78年生まれ。北海道大学大学院理学研究科修了。博士(理学)。北海道大学大学院先端生命科学研究院特任助教、米国ウエイン州立大学化学科リサーチスカラーなどを経て15年10月から現職。専門は生物有機化学を基盤とした機能性分子の創製。

# 396 掛谷予想

数理電子情報部門 数学コースリチャード ニール ベズ 准教授



1916年に日本の数学者掛谷宗一が次の幾何的な問題を考えた。「長さ1の線分(以下、針とする)を領域内で1回転させてできる平面図形のうち、最小の図形の面積は何か？」

最初に思い浮かぶのは、円だろう。針の中心で回すことにより、直径が1の円の中で針が1回転できることが分かる。直径が1未満だと針が1回転できないので、円のみ考えれば最小の面積は  $\pi/4 \approx 0.78\dots$  である。これよりも面積が小さい平面図形があるのか？ 針がギリギリ入る高さが  $1 \cdot \sin 60^\circ = 0.58\dots$  の正三角形ABCを考えてみよう。(Fig. 1 参照) その正三角形の中で、針を1回転させることができるか試してみよう。最初に、正三角形の頂点Bとその頂点の対辺の中心Dに針の先端を置こう。次に、頂点Bで右回り回転させることにより、針をBDからBEへ移動させて、針の先端を

Eから頂点Aへスライドさせる。Aで右回り60度回転させ、そして頂点Cへスライドさせる過程をもう一度繰り返すことにより、針がBFに移動した。最後に、Bで30度回転させると三角形ABCの中で針を1回転させることができた。

面積が  $0.58\dots$  よりも小さい平面図形の中で、針は1回転できそうだが、どのくらい小さくできるだろうか？ 1928年にロシアの数学者ベシコヴィッチが掛谷の問題を解決し、「任意に小さくできる」という非常に驚くべき定理を証明した。そのような図形はベシコヴィッチ集合と呼ばれる。ベシコヴィッチ集合の構成は多少難しいが、面積に適した非常に先端のところがった図形で構成できる。(Fig. 2 参照)

掛谷の問題が完全に解けたようだが、このように現代の掛谷予想は、「平面図形」と「面積」の代わりに、「高次元における図形」と「フラクタル次元」というものについての予想であり、現代の幾何解析における有名な未解決な問題である。実は、これは面白い話の初めなのである。また、プリンストン大学のイライス・ステインは1960年代後半に別の分野においてフリーエ変換を研究中、「フリーエ制限問題」という予想を定式化し、掛谷予想には深い関係があることが知られている。その驚くべき関係のお蔭で、掛谷予想とフリーエ制限問題は現在非常に活動的な研究分野であり、最近私はそのテーマについて研究を行っている。

### 略歴

Osaka 大学で修士号を修得後、Edinburgh 大学で調和解析の博士論文の作成を始める。その後も調和解析が主な研究分野だが様々な研究分野に興味があり、特に微分方程式と幾何解析の研究も行っている。2014年度、日本数学会・秋季総合分科会で建部賢弘特別賞を受賞する。

## 目次へ

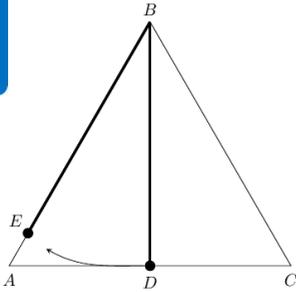


Fig1

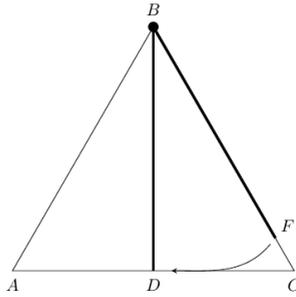
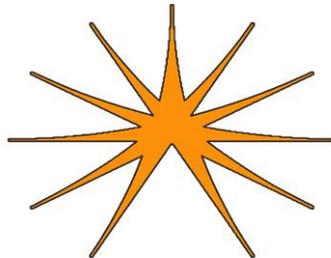


Fig2



397

## 希土類化合物の物性と合成

物質科学部門 道村 真司 助教



## ■身の回りの金属

一般生活の身の回りには多くの金属が存在します。自動車に使われる金属や窓のアルミサッシなどは直接目にする身近なものです。これら建築材料などはその強度や延性(引き延ばされる性質)が主に重要視されてきます。一方、送電線や磁石、太陽電池、PCの電子部品なども金属です。これらもロスのない送電や強い磁石、効率の良い発電のために、その金属の電気伝導性や磁性、発電効率などの金属のもつ物理的な性質が重要となってきます。金属の強度や延性も物理的な性質の一つですが、電気抵抗や磁性などは人間の五感で体感することは難しく、イメージしにくい性質です。我々は大学においてこれら金属の電気伝導性や磁性を調べ

ています。

## ■物質の性質(物性)を調べる

特に注目しているのが希土類元素を含む金属です。希土類元素とは、周期表の元素番号 21・39・57・71 の Sc (スカンジウム)・Y (イットリウム)・La (ランタン)・Lu (ルテチウム) の 18 元素を指します。希土類元素を含む金属には、レントゲンフィルムやレーザーの発光源があります。特に有名なものは磁石です。日本での磁石の研究開発は進んでおり、現在実用化されている最強の磁石 (ネオジウム磁石:  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ) は日本の住友特殊金属(現、日立金属)の佐川真人らによって開発された磁石です。他にも Sm (サマリウム)を利

用した磁石 ( $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ ) も有名です。

では、なぜ希土類を使った磁石が強いのか？磁石の磁力の大きさは、元素の電子がもつ磁石の部分「スピリン」と電子の回りの部分「軌道」に分けられます。Fe (鉄) や Co (コバルト) はスピリンを揃える力は強いのですが、小さな集まりを作ってしまう、その集まりはバラバラの方向を向いてしまいます。そこに、軌道の相関が強い希土類を加えると、小さなスピリンの集まりが周りの軌道に影響されて効率よく揃うようになります。

### ■「物性の微視的な理解」と「新しい希土類金属の合成」

非常に重要な働きをもつスピリンや軌道ですが、目に見ることは出来ません。しかし、最近ではSpringerやPhotonFactoryといった大型放射光施設や中性子実験施設を利用することにより、軌道の観測を含めた様々な物質のスピリンや軌道の状態の微視的な状態を観測することが可能となりました。さらに、研究では、任意の元素を組み合わせた新しい金属を創り出し、スピリン

と軌道が生み出す多彩な物性を探索しています。

最近では、Smを含む金属の単結晶化に成功し、結晶の歪みと軌道の関係性が金属の電気伝導性や磁性にどのような影響を及ぼすかを調べています。

### 略歴

81年生。09年3月広島大学大学院先端物質科学研究科博士後期課程修了。博士(理学)。独立行政法人 日本原子力研究開発機構 博士研究員を経て、12年4月から現職。専門は物性物理学実験。テーマは希土類化合物の物質開発と物性研究。

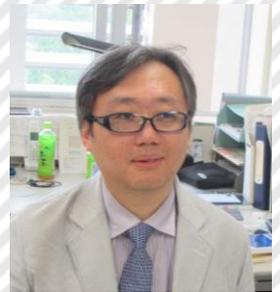
目次へ

398

## 橋梁のための破壊的新機能

環境科学・社会基盤部門

環境社会基盤国際コース 党 紀 助教



最近では、平成30年間を振り返って見る新聞記事がよく目にすることになる。そのうち、とても時代が変化

したことを感じたのは、昔世界的市場価値ランキングの上位企業は、日経銀行ばかりだったのに対し、最近ではアマゾンやフェイスブックなどのアメリカのイノベーション企業となつていることである。ハーバードビジネススクール教授のクレイトン・クリステンセン先生は、これらの企業は、従来の産業を支配していた技術に対して、破壊的イノベーションを行ったためだという破壊的イノベーションモデルを説明している。

この破壊的イノベーションとは、最初に性能が低くても、ローエンドユーザーのニーズを満足するだけで新しい価値を創出するものである。業界を支配している企業は、利益を最大化するため、既存の性能指標を最大化することを目的とした持続的イノベーションに非常に努

力しているが、破壊的イノベーションが行われた場合、その支配的地位が奪われる。

橋梁などの土木構造物分野でも、今までいくつかの行き詰まった課題がこの破壊的イノベーションで解決されるかもしれません。その一例として、地域から広い範囲までにおいて、地震などの災害に見舞われる場合、被害領域において橋梁やトンネルなどの交通ネットワークが安全に使えるかどうかを一刻も早く確認する問題である。例えば、地震が発生してから、橋梁の技術者を集まり、現地に派遣して被害評価復旧計画をする方法が一般的であるが、東北地震や熊本地震などの大地震では、人員が集まるがけでかなり時間がかかるものである。

この問題に対して、従来では、高価なセンサーなどで構成しているヘルスマモニタリングシステムの配置が最も重要な研究方向とされており、持続的に何十年も行われていたという研究者も多くいる。しかし、これらのセンサ

ーや高価のため、構造物に実用することは非常にコストがかかるものであり、いくつか重要な大橋しか実装できない。しかも、少数の専門家しか計測したデータに損傷があるかどうかを判断することができない、多く実用することが難しく、今まで実際には橋梁の地震被害をセンサーの計測結果からわかったことが非常に稀である。

一方、近年ではスマートホンに内蔵したセンサーを利用して、橋梁の振動を観測したり、スマホカメラで撮られた映像で構造の変形を分析したりする技術が開発された。太陽光パネルやバッテリーをつけて、4Gや将来では5Gの通信を利用するだけで、簡易なモニタリングシステムが低価格で実現できる。さらに、深層学習などの人工知能的な手法を用いて、これらのセンシングデータから構造の被害を発見する手法も検討されている。将来的にこれらの技術によって、橋梁防災において、破壊的イノベーションによって、災害につよいスマート橋梁が普及していくかもしれません。

## 略歴

1980年北京生。2006年東南大学(南京)土木工学修士、2010年愛知工業大学博士(工学)。2011年

京都大学工学科社会基盤工学特定研究員を経て、2013年4月から現職。専門は構造工学。

399

## 水環境汚染と自浄作用

環境科学・社会基盤部門 環境制御システムコース 三小田 憲史 助教



「三尺流れれば水清し」という言葉があります。汚れた水でも自然界を流れる間に綺麗になるという意味です。学術的な用語では自浄作用と呼ばれています。自然と深く関わっていた先人が自浄作用についても鋭い洞察眼をもっていたことを窺わせる言葉です。一方で自浄作用よりも大きな負荷が続けば汚染を引き起こすこととなります。最近では低濃度でも生態系に悪影響を与え得る化学物質による汚染も問題視されており、良好な水質を維持するには自浄作用をきちんと評価することが重要です。自浄作用の大きさは一定ではなく、水域や河川によって異なります。地形や植生など様々な環境要因に影響されるためです。また、水質自体も自浄作用に影響する要因となります。例えば水中の硝酸イオンに太陽光が当たると酸化力の強いヒドロキシル

ラジカルが生成し、有機汚染物質の分解を促進することが知られています。硝酸イオンは富栄養化を招く原因とされますが、自浄作用は意外な条件によって左右されます。自浄作用のプロセスに関する研究が今後より進めば、低コストな浄化技術の開発にもつながります。

しかし、自浄作用による浄化が期待できない場合もあります。その一つが世界的な問題となっている環境中のプラスチックごみの存在です。小さくなって目で見えにくくなくても環境中に長時間残るためです。特に5㎍以下の微小なプラスチックごみは「マイクロプラスチック」と呼ばれています。マイクロプラスチックの危険性や影響については現在も世界中で研究が続いています。一部は汚染物質はマイクロプラスチックに強い親和力をもつため、水中で汚染物質の「運び屋」となり、生き物が飲み込んだ際に汚染を引き起こすことが懸念されています。実

実際にマイクロプラスチックについて調べてみると分かること  
があります。それは、海だけでなく川の水からもマイクロ  
プラスチックが発見されているということです。マイクロ  
プラスチックはこれまで「海に流れ出た大きな(マクロな)  
ごみが波や紫外線で微細化して発生する」と多く解説  
されてきましたが、一部は微細化した状態で川から海  
に流れている可能性があるようです。埼玉県は河川の  
占める面積が日本で一番多い「川の国」であるため、こ  
うした問題は私たちの生活とも関わってきます。今後  
も陸域や河川に存在するマイクロプラスチックの発生原  
因とその環境への影響を明らかにし、効果的な対策を  
進めていく必要があります。

## 略歴

1985年生まれ。2013年3月 熊本県立大学大学  
院修了。博士(環境共生学)。日本学術振興会特別研  
究員を経て、15年3月から現職。専門は水環境科学・  
環境化学・環境分析化学。

# 400 超音波を使って空気を送り込む

人間支援・生産科学部門 メカノロボット工学コース 高崎 正也 教授



私たちの身の回りでは、空気を「送り込む」ことが多々あります。魚を飼っている水槽に空気を送り込むとき、血圧を測るとき、タイヤに空気を入れるときなど数えきれません。空気を送り込む機能を持ったポンプには、様々な電動タイプがあります。中でも、往復運動するものと弁を組み合わせたもの、羽根車が回転しているものなどが広く用いられています。弁は四六時中開閉を繰り返しますし、回転する部分を支える部分では常にこすれています。これらは騒音の発生源になると同時に、故障のリスクを持っています。そこで、開閉動作も回転も無いポンプを超音波を使って実現することに挑戦しました。

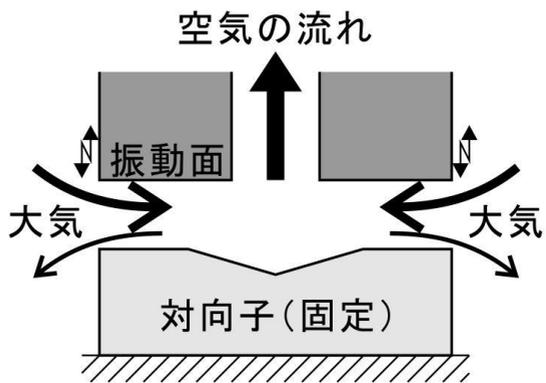
人の耳には2万ヘルツの周波数の音まで聞こえると言われています。これよりも周波数が高くて聞こえない音波を超音波と呼んでいます。音波は空気中を伝わる振

動です。振動は空気中だけでなく、液体中や固体中も伝搬します。この振動を積極的に利用すると、たとえば水中を伝わる超音波を利用して魚の群れを探すことができたり、駆動力を発生するモーターを実現できたりします。超音波を励起する場合の多くは、圧電材料という特殊な材料が利用され、電気的に振動を励起・制御しています。強力な超音波振動を得るために、この圧電材料を二つの金属ブロックで挟み込んで全体が伸び縮みするようにしたものが用いられます。

今回の挑戦のポンプで空気を送り込む部分の簡略的な断面図を示します。前述のように金属ブロックを使った超音波振動子の一端が上下方向に振幅6ミクロンで毎秒2万8000回振動します。ブロックには空気を送り出すための穴が設けられており、この先が出力となっています。振動する面は「対向子」と呼ばれる金属ブロックと向かい合っており、両者の間には数十ミクロ

ンというわずかな隙間になっています。接触がありませんので、こすれたりすることが原因となって壊れる心配はありません。隙間の外側は大気です。対向子の表面には図のようにわずかな傾斜(約3度)が設けられています。実際には、両者の金属ブロックは直径30ミリの円柱となつていますので、全体の構造は軸対象になっています。振動に伴い、隙間の中の空気は出入りを繰り返しますが、傾斜の影響で、大気から隙間へ入ってくる空気のほうが多くなり、全体として隙間の中の圧力が上昇してポンプとしての機能を発現します。圧力によって押された空気が振動しているブロックの中を押し上げられるようにして送り込まれていきます。

60 ml/min が得られることがわかっています。この性能ではまだまだ使ってもらえませんので、圧力をより高くできるように、流量を増やせるように研究を続けています。また、超音波を発生する部分の小型化にも取り組んでいます。ゴム製の部品を一切使っておりませんので、ゴム製の部品が使えない低温環境・高温環境でも使うことができます。このような特殊な環境でも利用できるポンプとして期待されています。



写真説明：超音波を利用して空気を送り込む原理

略歴

1971年生。2001年3月東京大学大学院修了。博士(工学)。埼玉大学助手、同大学院准教授を経て、12年4月から現職。専門は超音波とそのメカトロニクスへの応用。

# 401 量子の不思議な世界

物質科学部門 基礎化学コース 矢後 友暁 助教



## ■量子の発見

「私たちが自分の感覚で捉えられる」物が落ちる」、「風で木の葉が揺れる」などの運動は17世紀にニュートンによって導入された古典力学の法則で表わすことができます。17世紀以後に、科学はさらに発展し、物質が電子や原子核などの小さな粒子がたくさん集まってできているということがわかってきました。しかし、この粒子の運動を調べてみると古典力学では説明できない（私たちの感覚では捉えられない）現象がおおく発見されました。これらの現象を説明するために、20世紀はじめに量子力学という新たな概念が提唱されました。この量子力学により小さな粒子がどのようにふるまうかを適切に表せるようになりました。また、量子力学で取り扱う電子、原子核などの粒子は量子と呼ばれます。

## ■量子の世界では

量子力学の世界では、量子は粒子の性質と波の性質の両方を同時に持ちます。これを古典力学の世界で無理に説明すると、粒子は野球のボールのようでありながら、海の波の様な性質を持つという非常に奇妙なことになります。このような量子性を示す代表的な実験として、二重スリットの実験があります。（ここでは、紙面の制限により説明できませんので興味のある方は検索してみてください。）量子力学は自然科学の解明において重要な役割を果たしてきました。最近では、量子の不思議な性質を利用したコンピュータが注目を集めています。

## ■量子コンピュータとは

現代社会において、コンピュータは生活になくてはならないものとなっています。現在のコンピュータでは、ビット

呼ばれる形でデータを取り扱います。ビットは、0または1のどちらかの状態を取ります。このビットをたくさん使って、複雑なデータや計算を取り扱います。最近、量子の不思議な性質を利用した、全く新しいコンピュータ(量子コンピュータ)の開発研究が活発となつています。量子の世界でのビット(量子ビット)は、これまでのビットとは異なり、0と1の状態が共存し重なり合った状態を1つのビットで表すことができます。これまで、1つの状態しか表わせなかったビットが、量子の世界では2つの状態を表すことができるわけです。このような量子の性質を利用すると、これまでのコンピュータを超える新たなコンピュータが生まれるのではないかと期待されています。IBM, Google などの世界的に有名な会社が、すでに量子コンピュータの開発に取り組んでいます。また、非常に高額ですが、量子コンピュータはすでに市販されています。しかし、今のところこれまでのコンピュータの性能を大きく超えた量子コンピュータは発表されていません。さて、未来のコンピュータはどうなるでしょうか？

## 略歴

1975年生まれ。東北大学大学院理学研究科博士課程修了。博士(理学)。ドイツフライブルグ大学物理化

学科博士研究員、産業技術総合研究所特別研究員を経て07年4月から現職。専門は物理化学、光化学。

# 402 電気のオンとオフを確実に

数理電子情報部門 電気電子システム工学コース 山納 康 准教授



日常生活で当たり前のように使われる電気。私たちは毎日電気を入り（オン）切り（オフ）しています。電気の基本はこのオン・オフが確実にできることです。電気を使いたいときにはスイッチを入れて電気を流し、使わないときは電気を切る。これが確実にできることが大事です。

大都市では、利用する電気の量（電力）も膨大になります。このような膨大な電力を利用できるのも発電から送電・配電と電気が確実に届けられているからです。電気を安定的に利用するには、使いたいだけの電気を作って、それを使いたいところに直ぐ様に届ける必要があります。電気は光速に近い速さで電線の中を通過することができますので、遠くの発電所で作られた電気は、基本的には電線さえあれば使いたいところで利用できます。

たくさんの電力を一度に送るには工夫が必要です。「電力」は電圧と電流を掛け合わせたものなので、大きな電力を送るには電圧か電流を大きくすればよくなります。電流を大きくすると電線の抵抗で損失が発生するので、一般的には電圧を高くして送電されます。しかし、電圧を高くすると電気が漏れやすくなったり、スイッチのオン・オフが難しくなります。

私たちの研究室では、高電圧でも電気を漏らさないようにすること（電気絶縁技術）や、電気を切りたいたときに確実に切ること（電気保護技術）の研究を行っています。最近の多くの装置では小型化や大電力化、そして高密度化される傾向にあり、電気絶縁や電気保護の技術は益々重要になっています。一見地味な研究ではありますが、電気を使う装置においては大変重要です。

「真空」を利用した電気絶縁はたいへん性能が良いことが特長です。本来何もない空間である真空ですから、電気も流れることはできず電気絶縁は優れた性能を発揮します。粒子加速器や分析機器などの先端科学機器にも真空を利用した絶縁が用いられており、これらの機器の基盤的な技術になっています。私たちの研究室では真空中の電気絶縁に関する基礎過程の研究や、真空が持つ優れた絶縁性能を最大限引き出すための工学的な応用研究を行っています。

そして、もう一つの研究テーマは電力系統や電気製品が故障した時に周囲や製品自身を守るための遮断器やヒューズなどの電気保護機器の研究です。電気絶縁が破れると、大電流の放電が発生することになります。このような放電は直ぐに切らないと大事故につながります。装置の安全性を確保するには、高性能な電流遮断デバイスを開発が重要であり、私たちは真空遮断器やヒューズの研究開発を行っています。

## 略歴

2000年3月名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士（工学）。埼玉大学工学部助手、助教を経て、2009年4月から現職。専門は高電圧

工学、真空中の電気絶縁技術と放電制御技術の研究、高性能ヒューズの研究開発。2019年4月よりクローズドポイントメントにより筑波大学数理物質系物理工学域教授にも就任。



大電流発生装置

403

## 人工知能による薬局業務支援

数理電子情報部門 情報システム工学コース 小室 孝 教授



最近人工知能(AI)に関する話題が社会を賑わすようになり、大きなブームを迎えている。人工知能の技術が今後も進歩し続けることにより、これまで人間が担っていた仕事人工知能に取って代わられるといった議論や、人工知能が人間の知性を超越する段階(シンギュラリティ)に到達するといったSFのような話も出てきている。

一方で、現在の人工知能ブームを一過性のものとして冷やかな目で見える人たちもいる。これまでも人工知能ブームはたびたび起こっており、その都度期待外れに終わった過去の教訓から、今回のブームもそのうち冷めていくであろうといった意見だ。

私自身は、専門である画像処理の研究を通じて、現在の人工知能技術の飛躍的な発展を目の当たりにし、その威力にたびたび驚かされている。その反面、人間の

代わりになるような人工知能の実現にはまだ遠いのではないかと、いう実感もある。人工知能がわれわれにとつて便利な道具であることは間違いない、この技術をうまく使っていくことが大事なのではないかと思っている。

現在私は埼玉県内の企業と共同で、人工知能技術を用いて薬局業務を支援するシステムの研究開発に携わっている。調剤薬局において薬剤師が行う業務は多岐にわたっており、薬剤師に大きな負担がかかっている現状がある。そのうちの一部を人工知能が肩代わりすることで薬剤師の負担を減らし、患者との対面業務などに専念できるようにするのがねらいだ。

このようなシステムが作られると、薬剤師の仕事は人工知能がすべて奪ってしまうのではないかと思うかもしれない。しかし実際のところ、そのような未来は当面は来ないと考えている。現在の人工知能の技術は、正解が明確な問題に対しては人間以上の性能を発揮するが、

答えがない問題に対しては必ずしも有効ではない。薬剤師の業務の中心は患者とのコミュニケーションであり、そこには正解がない場合が多い。このような業務に対しては経験豊かな薬剤師にまざるものはないと考える。

人工知能が行うのは、あくまでそのサポートである。たとえば、服薬指導のレコメンデーション(いわゆる「おすすすめ」)により薬剤師に「気づき」を与え見落としを防止したり、副作用等の潜在的风险を管理したりといったものである。これらにより薬剤師の仕事の質を向上し、患者とのコミュニケーションがより促進されるようになればと考えている。

#### 略歴

1972年生。2001年3月東京大学大学院修了。博士(工学)。東京大学大学院助手、講師を経て、2011年4月埼玉大学大学院准教授、2019年4月から教授。専門は画像処理、ユーザインターフェースなど。

404

## 植物病原細菌のしたたかさ

生命科学部門 生体制御学コース 吉原 亮平 助教



これを読まれている方の中には、植物を育てる機会が多い方もいらっしゃるのではないのでしょうか。趣味で園芸を楽しむ、または農家として農作物を育てるなど、その理由は様々かと思えます。私は植物の研究を行っている関係で、ほぼ毎日植物と接しています（シロイヌナズナだけです）。プライベートでは、自分が食べた果物の種を植木鉢に植えて育ててみたりと、比較的ライトな園芸ライフを楽しんでいます。さて、植物を育てる上で最も厄介なもの、それはやはり病害虫による被害ではないでしょうか。その被害には、昆虫による物理的な傷害からウイルス感染による細胞死まで様々なものがあり、せっかく育てたお気に入りの花が枯れてしまうこともあるでしょう。

植物の研究を行う中で、最も身近な植物病原細菌

は何であるかと考えた時、私自身はアグロバクテリウムと呼ばれる細菌を挙げます。アグロバクテリウムは、根頭癌腫病の原因となる細菌で、クラウンゴールとよばれるコブ状の塊を植物に形成します。このクラウンゴールは、アグロバクテリウムが自身の持つ遺伝子を植物に導入することにより形成されます。その導入される遺伝子には、細胞を癌化させる遺伝子やアグロバクテリウムのエサを生産する遺伝子が含まれており、根頭癌腫病になった植物は、アグロバクテリウムに日々の糧を与え続けることとなります。

この遺伝子導入ですが、実は簡単なことではありません。植物のDNAは核と呼ばれる構造物の内部に保存されており、細胞の内部に遺伝子を打ち込んだとしても、遺伝子を機能させるためには核の内部に遺伝子を輸送しなければなりません。さらに、核

の中に遺伝子を送り込んだとしても、植物のDNAに組込んで一体化させないと、異物として分解されてしまいます。そこでアグロバクテリウムは、導入したい遺伝子に核へ輸送するための目印をつけることで、植物の核輸送システムに勘違いをさせて、こっそりと核内へ遺伝子を送り込みます。そして、もう一つの壁である植物DNAへの組込みには、植物DNAが切断された際にそれを修復するシステムを利用していきます。ここでもアグロバクテリウムは、核内に送り込んだDNAを植物DNAであると修復システムに勘違いさせます。これにより植物の修復システムは、植物DNAの切断部位とアグロバクテリウムの遺伝子の端を結合して一体化させてしまいます。このように、アグロバクテリウムは、利用できるものは何でも利用する非常に強かな生き物であると言えるでしょう。

さて、私がこの細菌を選んだ理由は、アグロバクテリウムが私たちの研究や生活に密接に関わっているからです。実は遺伝子組換え植物の多くは、このアグロバクテリウムのシステムを利用して作出されています。そう考えると、人間もかなり強かな生き物と言えるかもしれません。

## 略歴

1978年生。06年9月鳥取大学大学院連合農学研究科博士後期課程修了。博士（農学）。山口大学農学部非常勤研究員、（独）日本原子力研究開発機構博士研究員、（独）日本原子力研究開発機構特定課題推進員、神戸大学自然科学系先端融合研究環遺伝子実験センター学術研究員を経て14年4月から現職。専門はDNA修復と変異誘発機構に関する研究。

# 405 細胞を取り囲む柔軟な壁

物質科学部門 応用化学コース 乙須 拓洋 助教



皆さんは最近アニメ化された“働く細胞”という漫画をご存じだろうか？この漫画で描かれているように、我々の体は細胞から構成されており、その総数は体重(kg)×約1兆個にも上る。このような莫大な数の細胞がそれぞれ特有の機能を発揮することにより、我々は呼吸し、考え、運動し、生命活動を行っている。ではそれぞれの細胞はどのようにして個々の機能を発揮し、そしてどのようにに協調することで生命活動を維持しているのだろうか？そこには個々の細胞を取り囲む細胞膜とよばれる柔軟な壁の類まれなる機能が隠されている。

細胞膜の基本構造は脂質分子によって形成される平面脂質二重膜である。脂質は油のように水になじまない部分と水になじむ部分を併せ持っており、水になじまない部分をお互い向けあうことにより二重

膜構造を形成している。このように水になじまない部分を内包することにより、脂質二重膜は水になじむ様々な分子、イオンを通過させない壁となり、細胞の外から隔離された独自環境を細胞内に構築することができる。ではどのようにして他の細胞と連携を取っているか、という事になるが、この連携は脂質二重膜に埋め込まれた膜蛋白質がその多くを担っている。これら膜蛋白質の多くは脂質二重膜を貫通しており、かつ自身の構造内に内腔を有しているため、許されたもののみが許されたタイミングでこの内腔を通過する、つまりは関所のような機能を果たす。このように細胞は堅牢な壁と優秀な関所番の機能を併せ持つ細胞膜に取り囲まれることで、非常に巧妙な生理機能を達成しているのである。

ここまで話を進めてくると、細胞膜は非常に硬い、万里の長城のような構造体であるかのように感じら

れるが、実は細胞膜は非常に流動性に富んでいることがすでに分かっている。具体的には膜蛋白質を含む細胞膜中分子は膜上を動き回りながら機能している。では膜上での動き、ダイナミクスは機能においてどのような意味を持つのだろうか？関所が動くこととどのような利点があるのだろうか？実はこの点については誰もはっきりとした答えを持っておらず、私を含め世界中の研究者がその答えを求め日々研究を進めている。近い将来この答えを見つけ出し、多くの研究者とともに生命の巧妙さに感嘆する日を見ている。

#### 略歴

1981年生。2009年九州大学大学院修了。博士（農学）。理化学研究所特別研究員、基礎科学特別研究員を経て、15年4月より現職。専門は生物物理化学、分光物理化学。

# 406 「研究哲学」

物質科学部門 物理学コース 山口 貴之 准教授

大学院を巣立って昨年ちょうど20年を迎えました。光陰矢の如し。博士号を頂いた当時、哲学を持ちなさいとよく説教されました。

私は原子核の実験研究を専門としています。原子の中心に存在し、原子より5桁も小さい極微の世界の法則に従う粒子が原子核です。この20年余りで国内外様々な実験に参加してきましたが、一番印象深いのはやはりニホニウムです。理化学研究所で発見された日本初の元素113番です。私が新元素合成実験に参加したのは2000年頃です。それ以来多くの実験シフトに参加してきました。元素の命名は何より感慨深いです。

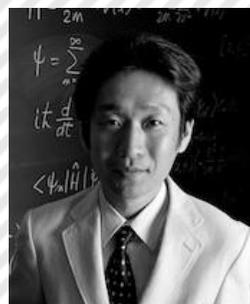
ニホニウムの合成実験は10年続きました。標的であるビスマス金属(Bi-209)の薄膜に、加速器から提供される大強度の亜鉛ビーム(Zn-70)を照射し続けるのです。実験は昼も夜もなく、チームを

組んで交代制を敷きます。真夜中に、装置から送られてくるデータをパソコン画面でひとり確認するたびに、つい来たかと心はずませたのは数え切れません。10年越しの実験でたった3つのニホニウムが発見されました。気が遠くなるほど小さい確率ですね。ですから私のシフト時にニホニウムが現れてくれたことはありませんでした。

結果的に3例ですが、合成されたニホニウムから連続して放出されるアルファ粒子が見事に観測されました。実験データはじつに美しく、ニホニウムの存在を疑う余地はありません。

理化学研究所の研究チームに新元素の命名権が与えられた時のことはよく記憶しています。チーム全員で話し合っただけで名前を決めました。このような歴史に残るイベントに参加できたことは誠に幸運です。

実験はまだまだ続きます。現在、理化学研究所で



は次なる新元素119番を目指しています。いつものようにパソコン画面を確認する度に、ひよつとしたらとつい期待してしまいます。このドキドキ感、一進一退。

科学における成果主義は昨今の日本の問題でしょう。時間をかけて取り組む難題に挑戦するより、すぐに成果がでる研究に傾倒してしまいます。私はニホニウムの経験以来、成果を要求されるプレッシャーから解放された気がします。今後新元素の探索は人類未踏の領域へ突入します。失敗もあるかもしれませんが。しかしこれからの若い人が研究を満喫できる現場ではないでしょうか。すこし先に生きる者として、若者には結果を恐れず研究に没頭できる環境を作りたい。何故かまた哲学という言葉が脳裏をよぎります。

埼玉大学は新元素に関わる研究で2名の博士号を輩出しました。

## 略歴

1970年生。98年3月大阪大学大学院理学研究科博士後期課程修了。博士(理学)。埼玉大学理学部助手を経て2007年から現職。専門は原子核物理学の実験。

**■コンクリート構造物の劣化**

橋梁、道路、鉄道、トンネルなどの構造物は、私たちが暮らしている現代社会を支える不可欠な基盤です。構造物で主として用いられる材料の一つは、コンクリートというものです。コンクリートは自然素材ではなく、実際はセメント、水、石、砂などが混ざり合った複合材料であり、その強さ、製造の便利さ、安さから構造物に広く使用されています。コンクリートは一般的に耐久性が優れる材料であると思われます。しかしながら、自然環境におけるコンクリート構造物は、外力と様々な環境作用より、長い使用期間のうちに劣化という現象が起き、所要性能が低下しつつあります。日本では、現在、建設後数十年以上経過したコンクリート構造物の劣化が問題視されています。

コンクリートの劣化現象は、塩害、アルカリシリ

カ反応、凍害、硫酸塩侵食などが挙げられます。多くの劣化は外部からの水分浸透と密接に関連しています。例えば、塩害とは、鉄筋コンクリートにおいて、外部環境の塩分が水とともに内部に浸透して鉄筋の腐食を発生させ、コンクリートにひび割れ、剥離を引き起こし、構造物に損傷を与える現象です。従って、コンクリートの劣化対策として、水分浸透を抑制することが重要であると考えられます。

**■水をはじくコンクリート**

コンクリートの水分浸透の抑制を目的として、撥水材を用いた表面含浸工法が多く用いられています。撥水とは、固体の表面が水をはじくことを指します。コンクリートは本来水に濡れやすい性質を持ちます。この表面含浸工法では、シラン系などの撥水材をコンクリート表面に含浸させることで、表層のコンクリートに水をはじく特性（撥水性といえます）を付

与するものです。撥水性の付与によってコンクリート表層が水に濡れにくくなり、水分浸透を抑制することができます。この工法は、施工が容易であり、外観を損ねることがないなどの利点があります。しかしながら、コンクリートはひび割れが発生しやすい材料であるため、ひび割れが撥水層より深く進行した場合、水分がひび割れを通じてコンクリート内部に浸透し、水分浸透の抑制が十分に発揮できない可能性が指摘されています。

筆者が所属する研究グループでは、内部撥水性を有するコンクリートの研究と開発を進めています。本研究では、撥水材を混和材としてコンクリートに混入し、表層のみならずコンクリートの内部にも撥水性を付与します。こういった内部撥水性により、ひび割れが発生してもコンクリートの水分浸透を抑制する効果が低下せず、構造物の長期耐久性の向上に期待が寄せられています。

## 略歴

1982年中国徐州生まれ。2010年9月東京大学大学院修了。博士（工学）。東京大学社会基盤学専攻特任研究員を経て、2013年10月から現職。専門はコンクリート工学。

# 408 昆虫食への誘い

人間支援・生産科学部門 メカノロボット工学コース 長嶺 拓夫 教授



## ■森の王

百獣の王といえば、ライオンですね。では森の王は何でしょう。熊でしょうか。ヒグマですと2mを超える大きさのものもいますので王の貫禄が十分にありますね。昆虫ではなんでしょう。カブトムシですね。大きくて格好いいので子供達にも人気があります。カブトムシの幼虫は腐葉土を食べて成長するため、丸々と太っていておいしそうに見えますが、お腹に腐葉土が沢山あって不味いそうです。

## ■草原の王

草原の王と言えば馬でしょうか。颯爽と草原を走るイメージは王の風格を感じさせるものがありますね。昆虫では、やはりトノサマバッタでしょうか。草原の中から飛び出して数十mも飛んでいく大きなバッタです。捕まえたことがある人も多いのではない

でしょうか。ところで、イナゴや蜂の子を食べたことがある人は意外に多いと思いますが、トノサマバッタはどんな味がするのでしょうか。そもそもトノサマバッタを食べるということをイメージできませぬよね。実際に素焼きや素揚げして食べるとビールが飲みたくなるようなエビ風味がします。さらに、野菜の甘味、例えばブロッコリーの様な甘味が感じられます。これは、一度体験しないと分からない味です。挑戦してみてください。昆虫養殖はコオロギが盛んです。コオロギのプロテインバーやコオロギラーメンなどが作られています。これからは、色々な昆虫養殖が盛んになってくるのではないかと感じています。私自身は、トノサマバッタの養殖を試みており、トノサマバッタの特徴を利用した食料生産システムとなるように頑張っています。

## ■水生昆虫の王

農薬や除草剤が大変便利なものであり、それによって社会が恩恵を受けています。このようなことは否定できませんが、かつての里山や農村のような自然と共存できる社会を目指す人々が増えてきてても良いように思っています。水生昆虫の王はタガメです。日本では、ほとんど野外ではみることがなくなっています。タガメは農薬に対する感度が高く、少量でも死んでしまいます。私達は体も大きく生物の中ではおそろく猛獣の部類にはいると思います。私達にあまり影響がない程度の農薬ですら耐えることのできないタガメ、水中のギヤングであり自分より大きな魚やカエルなどを捕獲してしまう虫です。このような虫にも優しい環境づくりをしていくことは今後ますます大切になると思います。一方、東南アジアでは多くのタイワンタガメがいるようで、食材として流通しています。あのいかつい姿からどのような味や香りがするか、想像がつきませんよね。雌は雌にアピールする時に魅惑的な匂いをだします。食材として塩漬のタイワンタガメ手に入ります。その匂いを嗅いでみましょう。その驚きの体験は価値ありです。ようこそ、未体験の昆虫食の世界へ。

略歴

64年生まれ。89年埼玉大学大学院工学研究科修了。  
05年学位取得博士（工学）。NKK（プラント設計）  
などを経て00年埼玉大学工学部助手。15年より現職。  
専門は機械力学。

目次へ

409

## 量子もつれとわからない事

物質科学部門 基礎化学コース 前田公憲 准教授



## ■理解できない事

何かを勉強していて、「あーさっぱり理解できない！」と壁に当たたる事がありませんでしたか？そんな時に、(一) 理解できるまで徹底して、調べたり考えつづけたりする人。(二) 理解できないが、とりあえずその事を受け入れてその先を読んでいく人。その両方があるかと思えます。学時代の恩師は、「一つの数式に引っかかって先に行けないんだよね」と(一)のタイプを自認していました。いかにも学者という感じで、素敵な事です。一方で私は(二)の性格が強くて後で理解するタイプだと思います。一番良くないのは、受け入れただけなのに、理解していると勘違いする人です。

## ■量子もつれ

このような理解不可能な事は物理学の世界でも存在します。量子力学の誕生期における量子もつれ論

争は多くの本で語られています。例えば図に示すもつれあつた電子のペアでは、それぞれは自転(スピン)していて、反対の自転方向を持っています(図中央)。この二つの電子が遠くに離れても、スピンのトータルはゼロとなるはずですが、そのうち一つが右回りか左回りか(図上段か下段か)は、実は測定してみるまで決定せず(図左)、測定した瞬間に反対側も決まる(図右)と量子力学では考えられているのです。これは理解できません。なぜなら二つのスピンは離れているのに、瞬時に片方の観測結果が相手方に伝わる事になるからです。これは不気味な遠隔作用と言われ、アインシュタインらは量子力学の不完全さを表すとして、批判しました。しかし、量子もつれはその後の実験で実証され、現在では宇宙レベルの距離での存在も確認されています。しかし奇妙な遠隔作用は、今でも完全には理解されていないと

思われます。この様に、実証されても理解できないという事はある訳です。

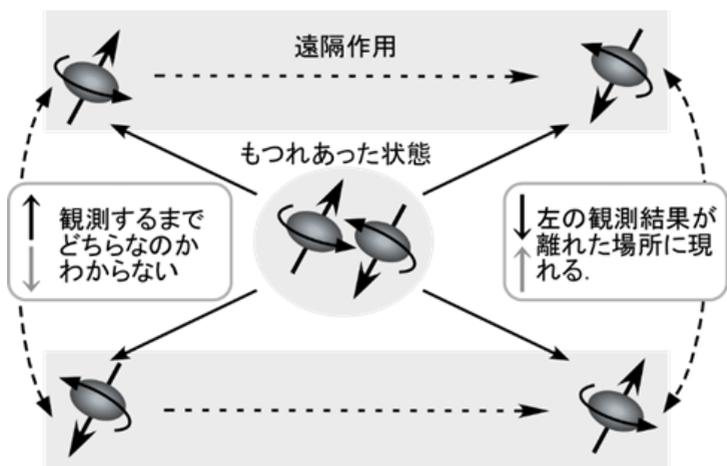
■わからないけど使える、でもわからない！

たしかに理解できない訳ですが、そこで止まっていれば、現在の量子力学の応用、発展は存在しなかったでしょう。当時の言葉として、Shut up and Calculate (黙って計算しろ) というものがあつたそうです。現在では量子もつれを利用し、通信、レーダー、量子コンピュータが現実になつてつあります。また、太陽電池や光合成系などの化学反応の初期段階において、電子スピンの量子もつれなしでは説明不可能な磁場効果が観測され、量子もつれは特殊な存在ではなく、そこら中に生成している可能性があります。知らないどころか、未だ解明されていない謎が、身の回りには沢山ある事、それを意識できる事が現代でも求められていると思います。という訳で、日ごろから「知らない、わからない」と学生のの前でもはつきり言えるよう、心がけています。

略歴

1965年生まれ、埼玉県川口市出身。東北大学卒。博士課程前期修了後、東北大学助手、筑波大学講師、オックスフォード大学研究員を経て2014年4月より現

職。専門はスピン物理化学、電子スピン共鳴、生体分子科学。総称して量子生物物理化学と呼んでいる。



# 410 ICTとモビリティ

数理電子情報部門 電気電子システム工学コース 長谷川 孝明 教授



人と物の移動の世界（モビリティ）とICT（情報通信技術）の分野には多くの共通点がある。モビリティは人と物の移動であり、ICTはビットの移動である。「トラフィック(Traffic)」「信号(Signal)」「容量(Capacity)」「プラットフォーム(Platform)」など共通の用語はどちらの分野でも使われるが、例えば「容量」は、片や道路や交差点で1時間に通すことのできる車の数であったり、片や光ファイバの中心を1秒間に通せるビット数だったりする。「交通インフラ」と「情報通信インフラ」はどちらも今や生活・仕事に欠かせない社会基盤となっている。

一般に社会インフラの設備コストはピーク需要で決まる。例えば通勤通学に使われる電車は、ラッシュアワーの人々の需要に合わせて、列車の本数やホームや改札の設備が用意される。携帯電話基地局やバックボーンの通信設備も、想定されるピーク需要

に対応すべく設備が用意される。その意味で需要の平準化はインフラの効率的利用と言えるが、交通インフラも情報通信インフラも、非常時に想定外の需要が発生すると途端に、必要とする人々がその機能を楽しむことができなくなる。非常時は、情報通信においては利用者が送る情報を画像や音声からメールのような小さなデータで遅延も許される情報に切り替えることで需要低減をはかることが効果的であるし、交通系では需要低減を呼びかけるほか、正確な状況をセンサ等から情報通信で集めて最適な対応を目指すという意味で、両者は少々質的に異なる非常時の意味を持つ。ここが同じインフラでもサイバー系とリアルワールド（実世界）系で異なる点である。

20世紀のICTは机の上に置いたPCのネットワークを中心とした世界、すなわちサイバーの空間でビットの処理と移動が中心であった。21世紀に入

ると、移動端末は固定のPCを凌ぐ勢いとなる。動き回る携帯電話や社会の隅々に設置された各種センサがネットワークの端末となり、ICTは実世界との繋がりが強くなる。2002年以降は多くの携帯電話が全世界位置特定システム(GPS)を始めとした位置特定機能を標準的に持つようになり、位置依存サービス(LBS)が急発展した。2010年には多くの人がインターネットに常時接続されるスマートフォンを持つようになり、そのスマートフォンは加速度センサや光度センサを始めとした多数のセンサを標準装備し、生活空間を動き回るプローブ(観測端子)としていろいろな分野で利用されるようになった。しかも、情報通信のために標準的に加わった無線LANやBluetoothなどは、位置特定機能にも大きく貢献している。

プローブからの情報を集めて処理すれば、人の流れや道路の込み具合も推定できる。従来の設置された固定型のセンサではとても捉えきれないような人や車の流れが把握できる環境ができています。これをプローブ情報システムなどと呼ぶ。プローブ情報システムのの中では情報を提供した人々自身が、サブパで集約・処理された情報を利用して、すいている道を選ぶなど利益を享受することができるよう、第三

者が営利・非営利の各種事業にデータを利用することも可能となっている。もちろん匿名化しても個人情報に関する取り扱いが重要な問題であるが、その議論は別の機会にしたい。

ICTとモビリティの共通点の話から入りながら、ICTの急激な発展の話をさせていただくうちに、ICTをモビリティ分野へ応用することによるモビリティの高度化に関する話になってきた。デジタル・トランスフォーメーションと言われて5年。もつと顕著なモビリティ分野へのICT応用の話しよう。

カーシェアリングとライドシェアリングの話である。まずはカーシェアリングから。

事業者が車とカーシェアションを用意し、利用者はカーシェアションにある車を利用して移動し、利用後、カーシェアションに戻す。その後、異なるカーシェアションに戻すことも可能なシステムも生まれました。しかしここまでは、レンタカーに近いと感じる方も少なくなくろう。そこで、フィンランドの首都ヘルシンキの例を紹介したい。ヘルシンキは、ヘルシンキ中央駅のごく近くの場所を除いて、かなり狭い道も路上駐車が可能となっている。ヘルシンキのカーシェアリング利用者は「移動したい」と思うと、

スマートフォンアプリを起動する。地図上には、本人の位置と現在利用可能な車の位置が示されている。歩いて3分、5分、6分など、近くの車を一つ決めてそこまで歩いてゆき、電子的に開錠する。利用者のPIN（個人識別番号）を入れて、エンジンと課金がスタート。目的地の建物の前まで利用者が運転して、そこで路上に車を停めて、車を開放し課金終了。これならレンタカー的というよりタクシー的な使い方に近い。もちろんタクシーにおいて利用者は職業運転手に運んで行ってもらっただけという点で大きく異なることは言うまでもないが、近くの車を見つけて目的地のすぐそばまで移動できるという点は、運転に支障がなければタクシード的な感覚になる。もちろん路上駐車に厳しい日本ではこのような使い方は困難なように思えるかもしれないが、多くの大中小規模の駐車場が至る所にできてきた日本では、それぞれの駐車場の一部をカーシェアリング用駐車スペースとして使えば、機能的に近いシステムは実現できると筆者は考えている。

このようなシステムが可能なのは、ユーザの場所と現在ユーザが使える車の場所がリアルタイムにスマートフォンで把握できる位置特定・情報通信インフラが整ったからである。

ライドシェアリングもその代表例である。ここではシェアリング・ビジネスを「個人の空いているモノや能力を必要とする個人に提供する仕組み」として、話を進める。シェアリング・ビジネスはP2P（対等関係）を基本とし、提供者も利用者も対等である。マッチングと決済を担当するオペレータのみが事業者と位置付けられる。シェアリング・ビジネスを実現するには、「きめ細かな時空間ネットマッチング」「事業者決済の仕組み」「相互（提供者／利用者）評価」の三要素が必要になるが、これはまさに人々の持つスマートフォンと事業者のサーバを情報通信インフラとして実現される。ある地点からある地点に向かう車が、たまたま同じ時間に同じ方向に向かう人を同乗者として安全に移動できれば、*with in*である。ちなみに、この時の「安全」は従来のB2Cビジネスが許認可によって担保されるのに対して、シェアリング・ビジネスのシステムでは「相互評価」が本質的な原動力となる。その相互評価もまたICTによってのみ実現可能となる。

そんな訳で、ICTとモビリティは切っても切り離せず、ほんのその一端を本稿でご紹介したが、実世界（リアルワールド）に作用するICTの研究開発はまだまだ長い道のりである。

## 略歴

1957年生。86年慶應義塾大学大学院工学研究科博士課程修了。工学博士。埼玉大学助手、助教授を経て、06年4月から現職。専門はICT（情報通信技術）によるモビリティの高度化とシステム創成論。

目次へ

## 電子書籍版

本冊子は埼玉新聞経済面に掲載されている「サイ・テクこらむ 理工学の散歩道」の電子書籍版Ⅳ(2016年1月6日から2019年7月31日掲載分)です。電子書籍版Ⅰ～Ⅲと併せてご覧いただき、埼玉大学理工系の研究活動に触れていただくと幸いです。

(おことわり) 掲載期間の途中・以降に退職・異動された教員の方がいらっしゃいますが、本誌では掲載時の原稿をそのまま掲載しています。



## 編集・発行担当／協力

(2019年9月1日)

埼玉大学大学院理工学研究科／理学部／工学部・広報委員会  
埼玉大学理学部教育企画委員会・理学部 HiSEP 実行委員会  
埼玉大学総合技術支援センター・全学広報支援プロジェクト  
埼玉新聞社

編集協力：理学部：門馬楽美 須田亮介 渡辺咲季 佐々木 都

## 問い合わせ

埼玉大学 理学部係 住所：〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

電話：048-858-3345

(表紙デザイン：デザイン色は埼玉大学と70周年のロゴに合わせ、また三角形でコラム一つ一つが一冊に集結したことをイメージしています。)