

## 研究会・学会スケジュール

### 日本質量分析学会同位体比部会

開催日：2008年11月5日(水)～7日(金)  
開催場所：愛知県民の森(新城市)  
主催：地球惑星科学科地球化学講座  
問い合わせ：浅原良浩 環境学研究科 助教  
asahara@eps.nagoya-u.ac.jp / 052-789-3030  
http://chibake.com/hi-bukai/

### 正標数における代数幾何学と関連する話題

Algebraic Geometry in positive characteristics and related topics

開催日：2008年11月5日(水)～7日(金)  
開催場所：名古屋大学理学部1号館552号室  
主催：日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(A)  
「格子、保型形式とモジュライ空間の研究」  
問い合わせ：金銅誠之 多元数理科学研究科 教授  
kondo@math.nagoya-u.ac.jp / 052-789-2815

### 第5回韓日カーボンナノチューブ会議

The 5th Korea-Japan Conference on Carbon Nanotubes

開催日：2008年11月9日(日)～12日(水)  
開催場所：プサン(韓国)  
主催：フラーレン・ナノチューブ学会および韓国科学技術院  
問い合わせ：篠原久典 理学研究科 教授  
noris@nagoya-u.jp / 052-789-2482

### 第16回名古屋大学理学懇話会「機械仕掛けの生きものたち」

開催日：2008年11月15日(土)  
開催場所：名古屋大学野依記念学術交流館カンファレンスホール  
主催：名古屋大学理学部・大学院理学研究科広報委員会  
講演者：本間道夫 理学研究科 教授  
近藤孝男 理学研究科 教授  
問い合わせ：理学部庶務掛  
kouhou@sci.nagoya-u.ac.jp / 052-789-2394  
http://www.sci.nagoya-u.ac.jp/kouhou/  
※懇話会終了後、「高校生のためのサイエンスカフェ in 名大」を開催。

### 第1回分子機能の解明と創造に関するグローバルCOE国際シンポジウム

The 1st Global COE International Symposium on Elucidation and Design of Materials and Molecular Functions

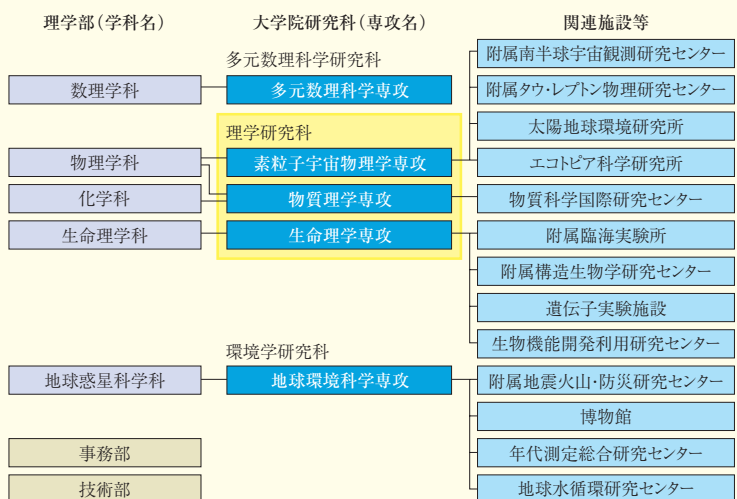
開催日：2009年1月12日(月)～14日(水)  
開催場所：名古屋大学シンポジオン  
主催：グローバルCOEプログラム  
「分子性機能物質科学の国際教育研究拠点形成」  
問い合わせ：渡辺芳人 理学研究科 教授  
yoshi@nucc.cc.nagoya-u.ac.jp / 052-789-3049

### グローバルCOE「宇宙基礎原理の探求」拠点国際会議

開催日：2009年2月16日(月)・17日(火)  
開催場所：名古屋大学IB電子情報館大講義室  
主催：グローバルCOE「宇宙基礎原理の探求」  
問い合わせ：杉山 直 理学研究科 教授  
naoshi@a.phys.nagoya-u.ac.jp

## 組織図

理学部・理学研究科・多元数理科学研究科・環境学研究科(地球環境科学専攻)



## 編集だより

編集に携わるのは今回が初めてである。編集委員として加わった当初は楽観的に考えていた。名古屋大学理学部には最先端の研究を行っている先生が多いので「理の先端をいく」のネタには事欠かないからである。しかしながら、編集の難しさはそういう点ではなかった。書き手は自分の研究で得られた感動をできるだけ多くの人に、正確に伝えたいと考えている。当然、たくさんの情報が詰まった言葉(専門用語とよばれる)を選んで書きたくなる。しかしながら、専門家ならいざ知らず読み手には高校生も多いので、わかりにくいのではないかと危惧してしまう。編集者は、書き手の感動が多くの読み手にも共感できるように、書き手にお願いしなければいけないこともある。それでも多分難しいこともある。『読書百篇義自らあらわる』。筆者の好きな言葉である。何度も読み返せばきっと何かが見えてくるはずである。

本号では「地球温暖化」を特集している。この問題には「環境問題」、「エネルギー問題」それから「食料問題」なども関わってくるであろう。懇話会でバイオエネルギーの話がされていた高野先生が、高校生から「エネルギーに食糧を使ってしまったら、食糧問題が起こるのではないですか」ときつく質問されたときに、思わず微笑んで「こんな議論をしたいですね」とおっしゃっていたのがとても印象的だった。どんな問題もいろいろな視点から見ることは大事である。科学には時として批判的な目を向けることも重要である。(吉田健一)

## 表紙説明

地球温暖化の影響が顕著に表れている場所が北極圏である。温暖化により氷が張り出す時期が遅くなり、解け出す時期が早くなる。シロクマは、氷の張る冬場に狩りをして栄養を貯え、夏場は栄養をとらない。温暖化は彼らにとって種の保存を左右する。遠い極北からシロクマの悲しい咆哮が聞こえてくる。



## 理 *philosophia* — No.15 October 2008

2008年10月25日発行

広報委員 近藤孝男(研究科長)  
國枝秀世(副研究科長)  
大島隆義(評議員)  
吉田健一(数理学科)  
杉山 直(物理学科)※委員長  
福井康雄(物理学科)  
飯嶋 徹(物理学科)  
岡本祐幸(物理学科)  
吉久 徹(化学科)  
杉山 伸(生命理学科)  
舛本 寛(生命理学科)  
鷲谷 威(地球惑星科学科)  
森本正廣(事務長)

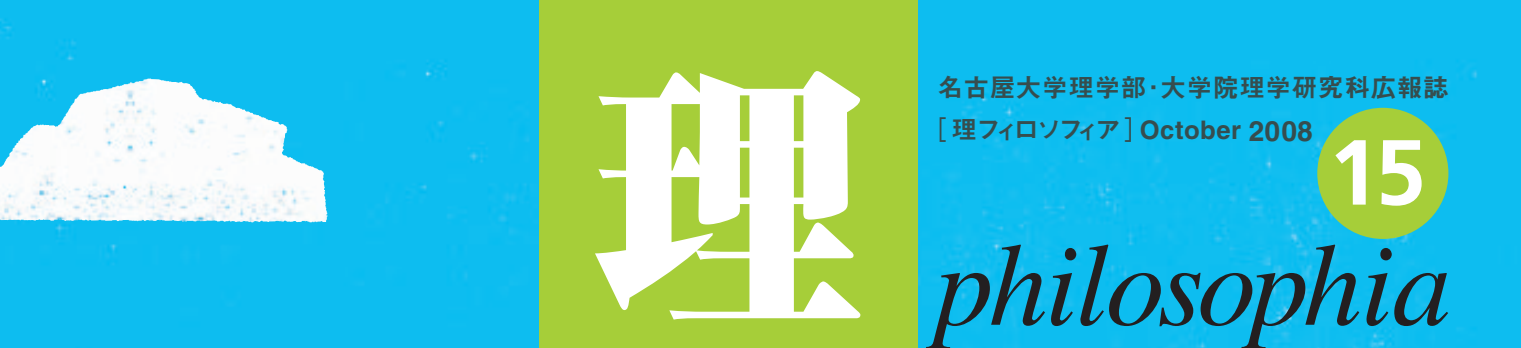
編集発行 名古屋大学理学部・大学院理学研究科広報委員会  
〒464-8602 名古屋市千種区不老町

ご意見、ご感想をお待ちしています。  
本誌の原稿執筆や取材などにご協力いただける方を求めています。  
広報委員会までご連絡ください。  
なお、ご投稿などの採否については当委員会にお任せください。  
次号は2009年4月頃発行の予定です。

制作 株式会社電通

・本誌記事、写真等の無断複写、転載を禁じます。

TEL 052-789-2394 FAX 052-789-2800 E-mail kouhou@sci.nagoya-u.ac.jp URL http://www.sci.nagoya-u.ac.jp/kouhou/

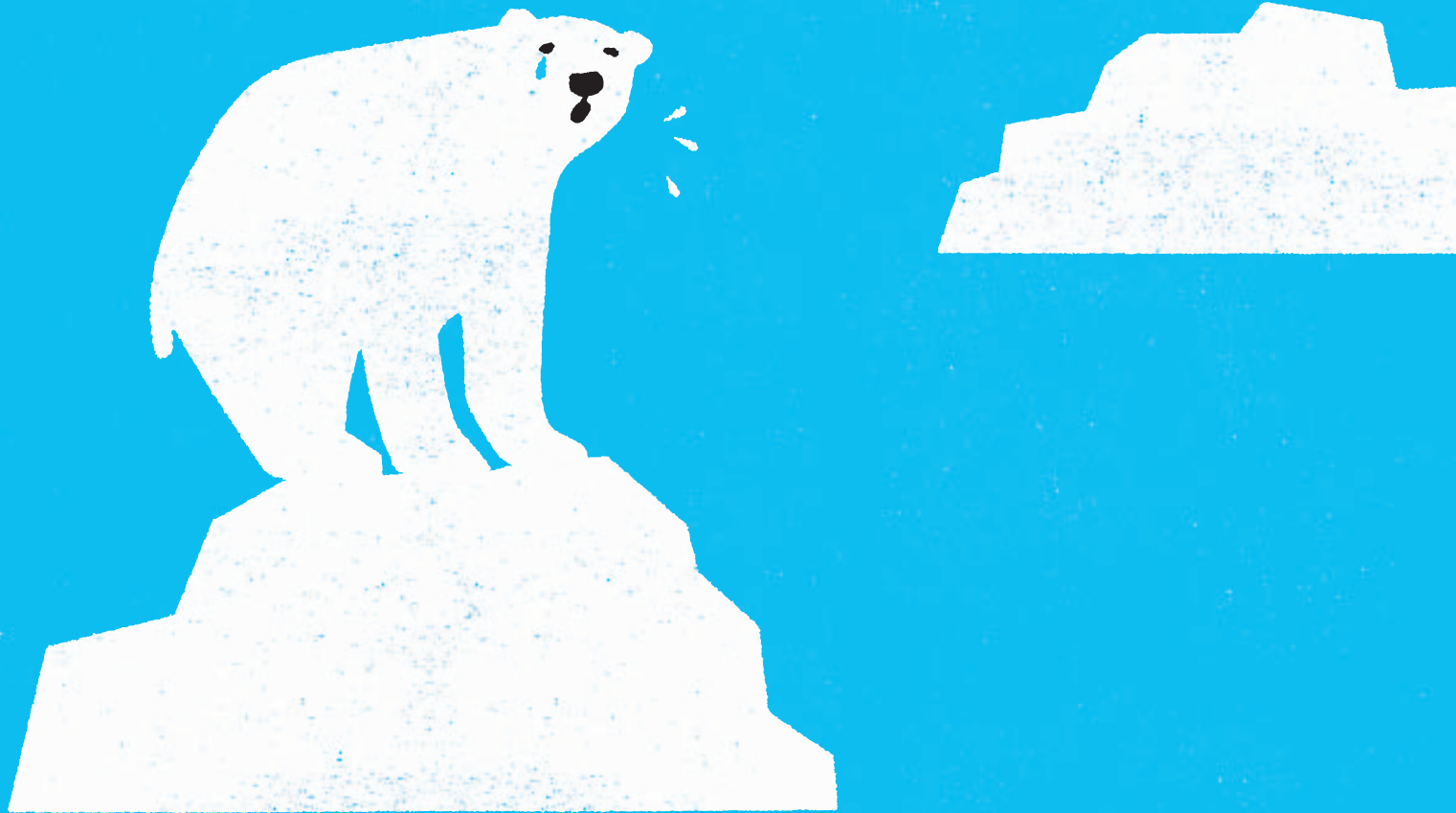


名古屋大学理学部・大学院理学研究科広報誌

[理フィロソフィア] October 2008

15

philosophia



## 特集

### 「地球温暖化に挑む」

- 04 — 「地球温暖化」でアジアの雨と雪はどう変わるか?◇安成哲三
- 08 — 地球温暖化問題をどうとらえるべきか?◇高野雅夫
- 02 — 時を語るもの〈柴田雄次博士〉◇藤原鎮男
- 03 — 理のエッセイ◇山脇幸一
- 12 — 理の先端をいく◇倭 剛久／澤田 均
- 16 — 講義探検◇物理化学／数学演習
- 18 — 理学部交差点
- 19 — 特報 小林誠・益川敏英両博士、ノーベル物理学賞、下村脩博士、ノーベル化学賞、受賞

# 柴田雄次博士 — 日本の無機化学建設者



柴田雄次博士は東京大学教授として無機化学を担当された。博士の講義を聴講した卒業生は、今でも「先生の講義は端正で要を尽くした稀有の名講義だった」と言う。著書の「無機化学攬要」は、わが国の無機化学の教科書として先導的役割を果たし、日本の無機化学の骨格を定めた名著である。博士が欧州留学から帰国されたとき輸入されたアダムヒルガーE2型分光器は、当時世界の最先端の精密研究装置として働き、化学だけでなく地球科学、植物学、地質鉱物学、考古学、美学などに新分野を開拓した。この開拓のどれにも博士の直接のご指導があった。

柴田博士を中心として創設された名古屋大学理学部<sup>\*1</sup>は、学外から見ると、山崎一雄<sup>\*2</sup>（錯塩）、小穴進也<sup>\*3</sup>（同位体）、菅原健<sup>\*4</sup>（水地球科学）、上田良二<sup>\*5</sup>（電子回折）、森野米三<sup>\*6</sup>（電子回折・構造化学）、久保昌二<sup>\*7</sup>（電子スピン共鳴・磁気化学）博士らが並び、「精緻な近代科学の発足」を印象づけ、戦中、戦後の荒廃した日本で、ひときわまばゆい存在であった。

（藤原鎮男 東京大学名誉教授）



柴田雄次（1882-1980）  
元名古屋大学理学部教授。  
日本学士院会員（1962-1970は学士院院長）、  
文化功労者（1962）

### ◆写真の説明

東京大学では当時「E2輸入」の経費を工面できなかった。化学教室主任の桜井鏡二<sup>\*8</sup>教授は東北大学の本多光太郎<sup>\*9</sup>教授に相談され、東北大学が経費を捻出し、東京大学に移管することで輸入が実現されたと聞く。名古屋大学名誉教授の山崎一雄博士は国の内外で著名な錯塩化学の泰斗であるが、同時に博士はまた考古学の先導者でもあった。その業績の背後には、E2型分光器の大きな活躍があった。

- \*1 柴田博士は、昭和16年4月に名古屋大学に赴任し、創設委員会の中心として理学部の設立に尽力、翌年理学部発足時に初代理学部長に就任した。
- \*2 山崎一雄（1911-）  
名古屋大学名誉教授（本誌11号P.2参照）
- \*3 小穴進也（1914-2007）  
元名古屋大学理学部教授
- \*4 菅原健（1899-1982）  
元名古屋大学理学部教授（本誌9号P.2参照）
- \*5 上田良二（1911-1997）  
元名古屋大学理学部・工学部教授（本誌6号P.2参照）
- \*6 森野米三（1908-1995）  
元名古屋大学理学部教授（本誌13号P.2参照）
- \*7 久保昌二（1911-1994）  
元名古屋大学理学部教授
- \*8 桜井鏡二（1858-1939）  
元東京大学理科大学長
- \*9 本多光太郎（1870-1954）  
元東北大学総長

## たまねぎの 皮むくたびの 涙かな

山脇 幸一 素粒子宇宙物理学専攻教授



「たまねぎの皮むきはもうやめろ!」、わが敬愛する益川さん<sup>\*1</sup>にこういわれたのは1988年の晩秋のことだった。筆者が提唱した「トップクォーク凝縮模型」<sup>\*2</sup>とよばれる世の主流とは異なる素粒子理論の発表に先立ってその内容を話したときのことである。

古代の原子論以来、人類はたまねぎの皮を1枚1枚はがすように、ひたすら物質の最小単位（始原物質）を追い求めてきた。その前衛である素粒子論は湯川の中間子論に始まり、坂田模型を経て、より基本的な粒子であるクォークの存在に到達した。このクォークがレプトン（電子やニュートリノの仲間）とともに物質の構成要素としての現代の始原物質「素粒子」であり、大多数の研究者はこれ以上の最小単位はないものと考えている。冒頭の益川さんの言もしかり。「たまねぎの皮むき」を尖鋭的に唱道した坂田昌一先生直系の弟子にしてからがこうである。

実際、小林・益川理論が柱となっている「標準模型」は、これらを「素」粒子として扱って驚くべき成功を取めている。しかしながら標準模型にも泣きどころはある。「質量の起源」を担うはずのヒッグス粒子がまだ発見されていないのである。標準模型ではすべての素粒子は原初的には質量がない。質量は動きにくさの度合いである。ヒッグス粒子がなければ自由に動き回っていたはずの素粒子が、ヒッグス粒子が凝縮して全世界に充満するとそれに邪魔されて動きにくくなり、質量をもった粒子としてふるまうのである。だがこのヒッグス粒子は理論的に大変厄介な代物であり、より基本的な理論の存在を示唆している。そこで、筆者はヒッグス粒子を複合粒子と考える理論を提唱した。ところが、益川さんをはじめ大多数の研究者は、ヒッグス粒子を「素」粒子として標準模型を拡張した「超対称性理論」を本物だと考えており、筆者のように複合粒子と考えるのは少数派である。しかし、歴史の面白さは多数派が必ずしも勝利するとは限らないことだ。

まもなくジュネーブ郊外のCERN研究所で本格稼働する超大型衝突型加速器LHC（Large Hadron Collider）の最大の目標は、このヒッグス粒子を発見することである。ヒッグス粒子は「素」粒子か、いよいよ始まるLHC実験を人は固唾をのんで見守っている。

たまねぎの 皮むくたびの 涙かな  
ヒッグス粒子の 皮むける日は

幸一

\*1 益川敏英（1940-）  
京都産業大学教授、名古屋大学特別招へい教授。小林・益川理論の提唱者。坂田昌一門下（今号P.19参照）。

\*2 トップクォーク凝縮模型  
ヒッグス粒子をトップクォークとその反粒子の複合粒子と考える模型。V.ミランスキーと棚橋誠治との共著。南部陽一郎によっても独立に提唱された。

Koichi Yamawaki

1946年高知県生まれ。京都大学理学部卒業、同大学院修了。理学博士（京都大学）。ロチェスター大学研究員、カールスルーエ大学研究員、名古屋大学助手を経て1995年より現職。専門は素粒子論、とくに素粒子の複合理論の研究。現在は質量の起源についての複合理論の研究を進めている。

## 地球温暖化に挑む

地球温暖化問題は、人類が直面する緊急的な課題の1つである。

地球の温暖化が進むことによって私たちの社会はどのような影響を受けるのか。

私たちはそれにどう対応すべきなのか。

地球温暖化について研究する2人の研究者がグローバルな視点、ローカルな視点から私たちの道を指し示す。

(2008年6月21日、第15回理学懇話会より)

# 「地球温暖化」でアジアの雨と雪はどう変わるか?

安成 哲三 地球水環境研究センター教授



Tetsuzo Yasunari

1971年京都大学理学部卒業、1977年同大学院理学研究科博士課程修了。京都大学東南アジア研究センター助手、筑波大学地球科学系講師、同助教授、教授を経て、現在、名古屋大学地球水環境研究センター教授、筑波大学名誉教授。21世紀COE「太陽・地球・生命圏相互作用系の変動学」拠点リーダーを兼任(2003年～2008年)。

### 水循環の重要性

今、地球温暖化が大きな問題になっており、いろいろな議論がなされています。二酸化炭素に代表される温室効果ガスの増加が、地球温暖化に大きな影響を与えつつあるのは事実でしょう。しかし私は温暖化とともに重要な問題がもう1つあると考えています。

私は、名古屋大学の地球水循環研究センターにおり、地球の水循環の研究をしています。「地上に降った雨は、川から海に流れ、海から蒸発して、地上に降る」という水循環は我々の生活を保障している大事な現象です。また、地球は「水惑星」といわれ、地球の気候は水なしでは考えられません。地球温暖化とともに私が気になっているのは、この水循環の変化です。今日は温室効果ガスの増加によって水循環がどう変わるかについて、アジアを中心に話したいと思います。

日本を含むアジアモンスーン気候の特徴は雨季があることです。日本でいえば梅雨です。梅雨の雨をもたらしている水蒸気は基本的にインド洋や太平洋で蒸発して、湿った風として日本付近まで来ます。梅雨のこの時期は毎年大雨が降り、あちこちで洪水をおこしています。その一方で、全然、雨が降らないこともあります。木曾三川が流れる名古屋は水に恵まれている場所ですが、1994年は渇水に見舞われピンチでした。名古屋の水がめである飛騨川の岩屋ダムがほとんど完全に干上がってしまいました。地球温暖化により、洪水が増加するか、あるいは干ばつが増加するのか、ということは大きな問題です。

もちろん降水量そのものも問題になります。北海道を除いて、日本の年間降水量はどこでも1000mm～2000mmぐらいです。ところが、これを1人当たりが使える水の量に換算すると、人口の集中している関東や近畿では非常に少なくなります。同じように人口が集中していても東海は木曾三川が流れているため、関東、近畿に比べれば、やや恵まれています。世界的にみて水に恵まれているはずのアジアモンスーン地域も水不足が心配されています。とくに中国やインドは、人口が増加し、経済活動が増大しているため、水需要が切迫している状況があります。こうしたことから水循環が私たちの生活に与える影響の大きさがわかります。

### 温室効果ガス増加は気候をどう変えるのか?

ここで大気中の二酸化炭素濃度の変化について確認をしておきましょう。地球は100万年ぐらい前に気温の大変化があって、その後は寒冷な氷河期と温暖な間氷期を繰り返し、今は間氷期に位置します。氷河期と間氷期を繰り返すあいだは、気温の上がり下がりに対応して、二酸化炭素の濃度も大きく変化してきました。2万年前は現在よりも10度ぐらい気温が低かったわけですが、そのときの二酸化炭素濃度は180ppmぐらいでした。その後、間氷期に入り1万年以降は280ppmのレベルになっていました。すなわち、二酸化炭素は地球の気候システムにおいて寒冷(温暖)な時期には大気中の濃度を下(上)げて温室効果を弱め(強め)、より寒冷(温暖)化を維持促進するという、一種の正のフィードバック機構として働いていることが示唆されます。ただし過去100万年間、大体10万年ぐらいの周期で180ppmと280ppmの間を行ったり来たりしていて、数回の暖かい間氷期でも280ppmは超えていませんでした(図1)。ところが現在の二酸化炭素濃度は380ppmに達しており、これは間違いなく産業革命以後の人間活動による増加だと考えられます。さらに、IPCC(International Governmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル)が2007年に発表した第4次報告書では、今後の二酸化炭素濃度について、二酸化炭素排出のコントロールの仕方にもよりますが、図1に示すように、2100年には少なくとも見積もって600ppmか700ppmぐらい、多く見積もれば1100ppmぐらいになると予測しています。

実際に人間活動によって増加しているのは温室効果ガスだけではなく、二酸化炭素を排出する工場や自動車は、二酸化炭素以外に硫酸化物や炭化水素などの微粒子を吐き出しています。大気中に排出された小さな粒子を「エアロゾル」とよびます。二酸化炭素やエアロゾルがあった場合と、なかった場合とを比較して、地上への放射エネルギーがどれだけ増加(減少)するかを示す量を「放射強制力」といいます。二酸化炭素は、地球から宇宙に放出する放射エネルギーを遮断するため、大気を加熱する方向に働きます。エアロゾルの大部分は太陽エネルギーを反射したり、太陽光を跳ね返す雲をつくる核になるため、冷やす方向に働きます。

ここで重要なのが水蒸気の働きです。水蒸気は強力な温室効果ガスであり、二酸化炭素よりも強い放射強制力をもっています。一方で水蒸気が凝結して形成される白い雲は、太陽から地球に届くはずのエネルギーを反射してしまいます。つまり、水蒸気は放射強制力を増やす可能性、減らす可能性の両方をもっています。水蒸気が2つの可能性をもっていることは、温室効果ガス増加による水循環の変化と、その気候に与える影響を予測することをさらに難しくしています。どちらにしても、水は地球の気候に対して大きな役割をもっていることは確かです。気温が上がると、大気中に含まれる水蒸気の量は右肩上がりに急速に増加します(図2)。この関係があるからこそ、地球温暖化は、水循環にとって大きな問題になるわけです。

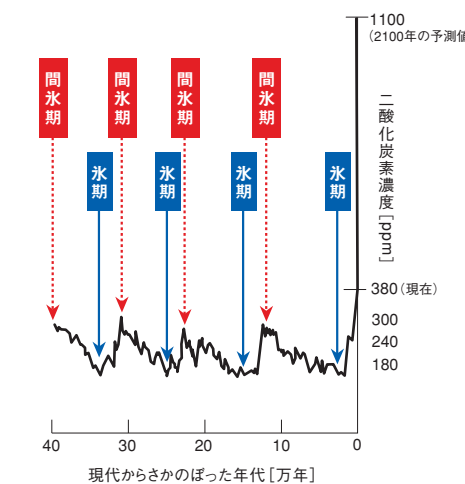


図1 温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>(二酸化炭素)の大気中濃度の過去4万年における変化  
CO<sub>2</sub>濃度は氷期-間氷期で180～280ppmの範囲で増減していたが、現在のCO<sub>2</sub>濃度は、過去数十万年での変動範囲をはるかに超えた値を示している。さらに、IPCCによる2100年での予測値は、現在の2～4倍前後を示している。(IPCC, 2007)

IPCCで出された報告書では、二酸化炭素の排出量コントロールの有無によってさまざまなモデルが考えられていますが、どのモデルも全般的に大体100年で平均1.5～2.5度ぐらいの平均気温の上昇を予測しています。とりわけ北半球の温暖化傾向は顕著です。なぜ北半球で温暖化が進むかというと、北極圏の水の減少が大きな要因になっています。雲と同じで、雪原は太陽光の熱を反射する効果が大きいのですが、積雪面積の減少によって、ますます気温が上がります。逆に南極があまり変わらないのは、温暖化してもマイナス数十度がプラスになることはなく、むしろ図2の関係からもわかるように水蒸気が増加することにより、降水(降雪)量は増加する可能性があるため、南極の厚さ3000mの水はこの温暖化で当面は解けないと考えられているためです。

すでに温室効果ガス増加の影響が現れていると考えられる過去20～30年の気候要素の変化を見ると、気温は確実に上がっています。とくに近年の全球的な平均気温の上昇は顕著で、積雪面積も減少しています。積雪面積の減少が北半球の高緯度地域の平均気温をさらに上昇させている可能性は先ほど述べた通りです。積雪面積の減少は雪が海水に解けていることを意味し、これにより海水面が上昇しています。気温が上昇することによって、海水面近くの水が膨張することや、山岳氷河の融解などにより、水位が上がるという現象もおきています。南極やグリーンランドの水が解けることによる海の水位上昇は、現在のところは現れていないようです。

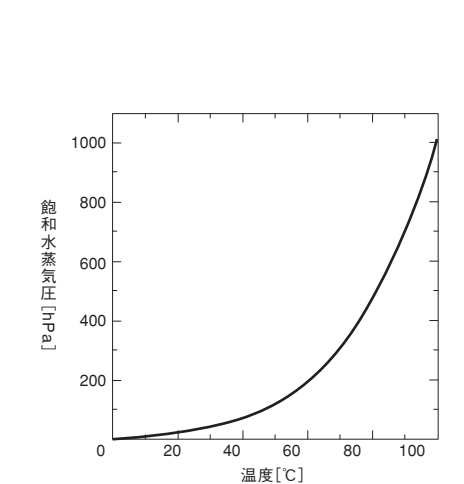


図2 温度と飽和水蒸気圧の関係  
大気中に含まれる水蒸気量は気温の上昇とともに指数関数的に増大する(クラウジウス-クラペイロンの式)。

温室効果ガス増加に伴う降水量変化は?

さて、問題は温室効果ガス増加が降水量変化に与える影響です。IPCCの報告では、降水量について以下のような予測がなされています。図2のように右肩上がりで水蒸気が増えると、雲ができやすくなり、熱帯では台風などの熱帯低気圧活動が活発になり、中高緯度では温帯低気圧による雨と雪が増える可能性があります。全般的にいえることは、水蒸気が増えると水循環が活発化する可能性があることです。一方で、もし雲の活動がより強くなれば、日射を遮る効果により温暖化を抑制する方向に進む可能性もありますが、これについてはまだ答えが出ていません。IPCCの報告書では、世界の降水量は、右肩

上がりになっており、世界的に雨が増えるという予測をだしています。しかし、気温変化の予測との大きな違いは、モデル間のばらつきが非常に大きいということです。たとえば「ほとんど何も変わらない」といっているモデルもあれば、「極端に雨が増える」といっているモデルもあります。水の循環、水が絡むと不確定な要素が大きくなるということです。全部平均すると「何となく増加している」ことは確かですが、個々の地域別に見たときには大きな問題が発生することが予想されます。このような問題を含みであることを前提に、IPCCによる100年後の全球的な夏と冬の降水量変化の予測を見てみましょう(図3)。アジアモンスーン

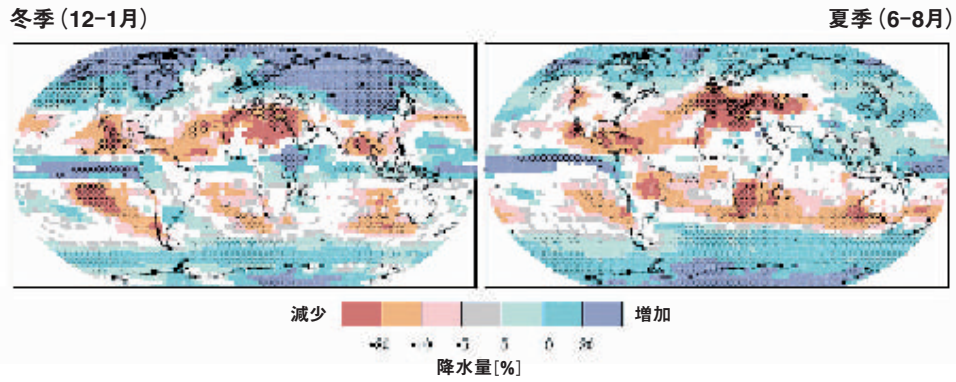


図3 温室効果ガスが増加した場合の降水量変化の予測  
あるシナリオで温室効果ガスが増加した場合の21世紀末(2090-2099)における全球的な降水量変化の平均的なパターン。約20の気候モデルによる予測結果を平均した値を、20世紀末(1980-1999)の値との差で示す。網かけ部分は90%以上のモデルが同じ傾向を示した地域であり、白抜き部分は、同じ傾向を示したモデルは66%以下であった地域を示す。(IPCC, 2007)

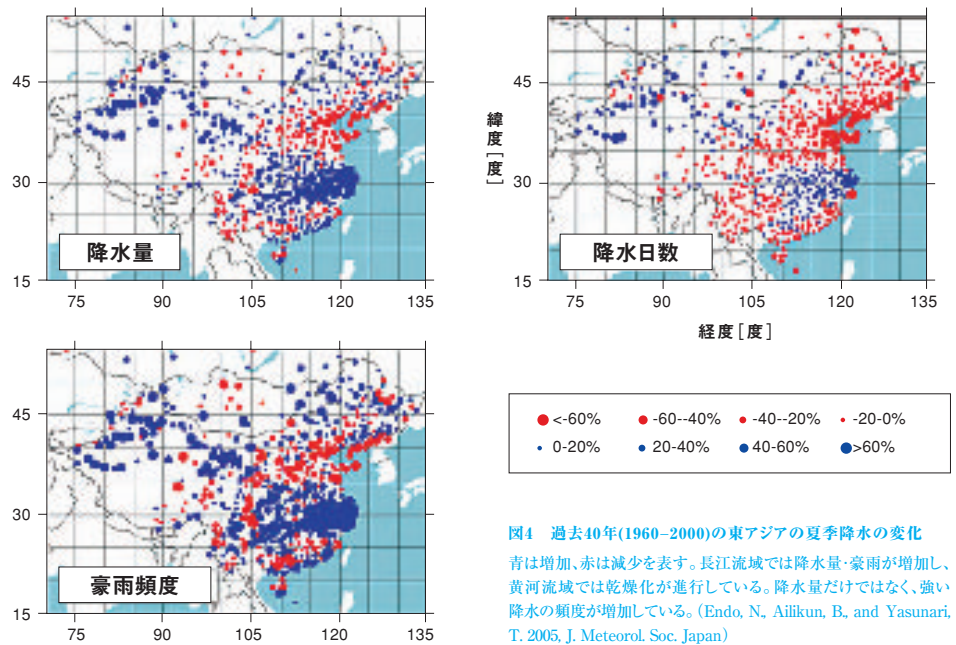


図4 過去40年(1960-2000)の東アジアの夏季降水の変化  
青は増加、赤は減少を表す。長江流域では降水量・豪雨が増加し、黄河流域では乾燥化が進行している。降水量だけではなく、強い降水の頻度が増加している。(Endo, N., Aikun, B., and Yasunari, T. 2005, J. Meteorol. Soc. Japan)

地域は、夏の降水量が少々増加する傾向が見えます。その一方で地中海は、干ばつ傾向になる可能性があります。地中海は現在、すでに干ばつ傾向が広がっています。全体として「雨が多いところは全般的には増え、雨が少ない乾燥地域ではますます乾く」というのが大きな傾向です。

現実の過去の降水量変化はどうでしょうか。全球的な降水量分布に相当するデータは、この20年でやっと人工衛星によって観測できるようになってきましたが、この20年間長期的な変化傾向は現れていません。年々の変動はありますが、決して増えているとか減っているということはないのです。つまり二酸化炭素濃度の上昇によって降水量が上昇している確固たる証拠は、現在のところありません。

ただし、1つ気になることがあります。それは豪雨の頻度が増加していることです。強い雨の発生頻度が増加傾向にあるようです。さらに水蒸気の量も増加傾向にあることがわかってきました。以上からこんなことが予想されます。水蒸気は大気の下層に増える傾向があります。大気の下層つまり地上付近に水蒸気が増えると大気が不安定になり、積乱雲が発達しやすくなります。この発達した積乱雲が豪雨を引き起こす大きな要因になっているのかもしれない。

アジアの降水量はどう変わるのか?

もう少し詳しく、アジア地域の過去の降水変動を見ていくことにしましょう。まずはインドですが、長期的な変化傾向は顕著には現れていません。ただ、1日の降水量が100mmを超えるような強い雨が増えています。その反対に普通の雨、弱い雨は相対的に減ってきています。中国は長江流域では降水量が増えてきているのに対し、黄河流域では、降水量も降水日数も減ってきています。私たちの研究では長江流域ではインドと同じように強い雨が多くなり、弱い雨が少なくなっています(図4)。

日本はどうでしょうか、平均気温は上昇しています。とくに80年代後半からの温暖化傾向は顕著です。一方、日本列島全体の降水量は1970年代ごろから減少傾向にあり、同時に干ばつ傾向と洪水傾向がどちらもが頻繁に起こるようになってきました。降水量が減少している一方で、豪雨の発生頻度は過去100年で増えています

(図5)。日本でもインドや中国の長江流域と同じ傾向がうかがえるということです。

降雨は非常に局地的な現象としておこる傾向があり、予測は大変難しい問題です。二酸化炭素濃度や平均気温が全球的あるいは広域に同じように上昇していても雨の降り方には地域によって大きな違いが出てきます。ただ、水蒸気の増加により、熱帯の雨のように降らないときは降らない、降るときは激しく降るという傾向が強まるのではないかと考えられています。

日本の雪はどう変わるのか?

最後に日本の冬の雪の話をしたと思います。シベリアから寒気が吹き出し暖かい日本海で水蒸気をもらい日本列島にぶつかって日本海側は大雪になり、太平洋側は乾燥が続くというのが日本の冬の気候です。新潟や東北の日本海側では2mとか、多いときには3m近い雪が積雪します。山に積もった雪は春になって解けて川に流れ込みます。その川は日本海側だけでなく太平洋側にも流れます。つまり日本海側に降った雪は日本全体の水がめとなるので、雪に縁のない太平洋側に住む人間にとっても雪は大切な水資源なのです。

平均気温の上昇はこの雪の積雪量に大きな影響を与えています。1960年からの最深積雪を見ると1980年代後半から大きく減少していることがわかります。

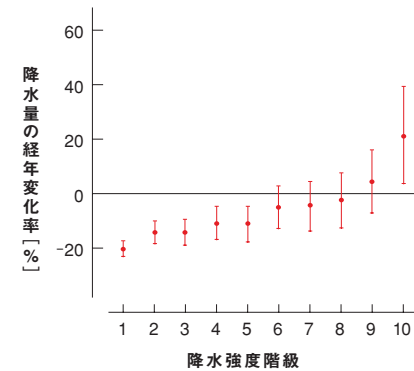


図5 過去約100年(1898-2003)における日本全国降水強度の階級別の降水量の経年変化率(直線トレンド)  
過去約100年(1898-2003)における日本全国の4時間降水量でみた降水強度の階級(1-10:10がもっとも降水量強度が大きい)別の(年間)降水量の経年変化率(直線トレンド)を示す。強い降水強度(8-10)の降水量は増加傾向を、弱い降水強度(1-6)は減少傾向を示している。(Fujibe, F., Yamazaki, N., Katsuyama, M., and Kobayashi, K. 2005, SOLA)



図6に示すように、世界的にみると、雪は気温が低くて水蒸気が少ない地域に降ることが多いため、換算降水量としては少なく、月で100mm程度以下がふつうです。しかし、日本、とくに日本海側では、気温が相対的に高く、降雪量が非常に多くなっています。このような暖地降雪地域は世界でも珍しく、北海道を除く日本列島の雪国で、ぎりぎりの気温条件のもとに、多降水量の降雪を保ってきたわけです。しかし、そのために、ちょっとした気温の上昇が積雪量に大きな影響を与えることになります。日本にとっては夏場の

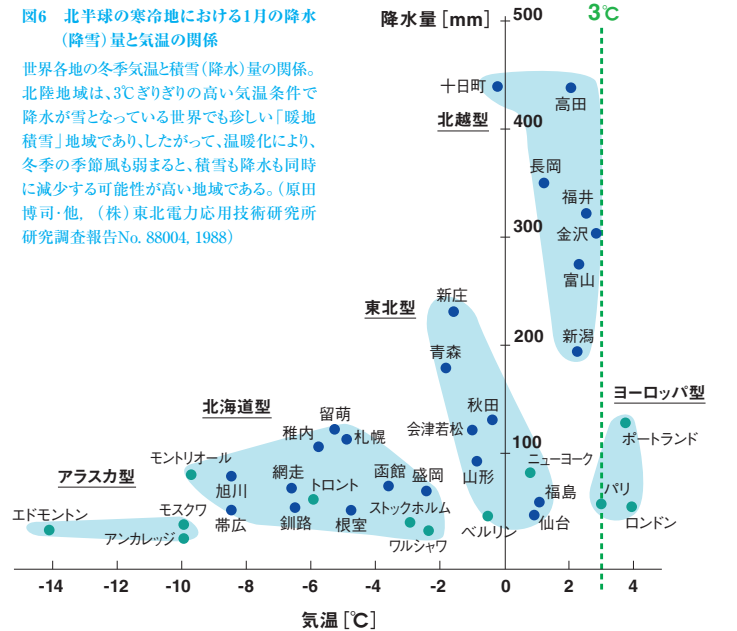


図6 北半球の寒冷地における1月の降水量(降雪)量と気温の関係  
世界各地の冬季気温と積雪(降水)量との関係。北陸地域は、3℃ぎりぎりの高い気温条件で降水が雪となっている世界でも珍しい「暖地積雪」地域であり、したがって、温暖化により、冬季の季節風も弱まると、積雪も降水も同時に減少する可能性が高い地域である。(原田博司・他。(株)東北電力応用技術研究所 研究調査報告No. 88004, 1988)

豪雨の増加もさることながら、冬の積雪量の減少も大きな問題になってくると考えられます。とくに冬の積雪量は、日本列島の水資源として非常に重要であり、「地球温暖化」は深刻な影響を与える可能性があります。温暖化による降水量の変動予測はまだ始まったばかりで未解明な問題も多く、正確な予測ができるようになるのには時間が必要です。しかし人間活動に与える影響は気温変動よりも大きいと考えられるため、一層研究に励んでいきたいと思えます。本日はありがとうございました。

# 地球温暖化問題をどうとらえるべきか？ —2050年の担い手たちへ—

高野雅夫 地球環境科学専攻准教授



Masao Takano

1962年山口県に生まれる。1981年名古屋大学理学部に入学、地球科学で博士号(理学)取得。1993年に名古屋大学理学部助手。1996年理学研究科助教授。2001年4月発足の名古屋大学大学院環境学研究科設立に参加、現在同准教授。さまざまな分野の専門家と協働して、地下資源が枯渇した1000年後も地球と社会のシステムを維持できる「千年持続学」を構想中。また市民の1人として行政やNPOと協働して「千年持続型社会」を実現するための活動に参加。

## 大きな影響を受ける北極圏

今日は「地球温暖化をどうとらえるべきか」という話をしたいと思います。サブタイトルにある「2050年の担い手たちへ」とは、現在よりもさらに温暖化が進んだ2050年に社会の中心になっている現在の高校生たちの皆さんたちへのメッセージという意味が込められています。

まずは温暖化についての今後の予測について話します。予測にあたっては、経済活動を重視した場合と、環境を重視した場合、2つのシナリオを用意しましたが、双方とも温暖化が進むという大きな流れには変化はありません。海洋に比べて陸地の温暖化が進むという傾向も変わりはありません。南極は、氷床が解けることはなく、むしろ降雪量が増えることによって質量は増すと考えられています。

一方、北極圏の温暖化は顕著で北にいくほど温暖化するという予測がなされています。北極圏での気温上昇が顕著になったのは、1970年以降のことです。以後、積雪が消滅する時期が6月から5月に年々早まっています。また海水の面積が狭くなってきています。とくに7月から9月までの夏の時期の減少は顕著です。氷河の体積も減少しています。グリーンランドでは氷床の夏の融解の範囲が広がっています。こうした温暖化の進捗により夏の海水の面積は今後ますます小さくなることが予想されます。

北極圏に暮らす生物たちの生態系は大きな影響を受けることになります。また人間の暮らしにもインパクトを受けています。これまでエスキモー

は海水を巧みに使ってアザラシやセイウチ、クジラの猟をしていましたが、夏の海水が小さくなることでこうした猟は難しくなっています。夏の氷が沿岸部から消えたことにより、アラスカのシシュマレフ島では海岸侵食と嵐による高波で住宅被害が出て全島移住を迫られる事態になっています。それから永久凍土の上にある建物や道路が解凍によって使えなくなっています。

その一方で、夏の海水がなくなったことで船が通航できる時期が長くなり本格的な北極海航路が確立しつつあります。それから農業が可能な土地が北に向かって広がる現象もおこっています。さらには北極海の海底に埋蔵されている石油や天然ガスの所有権は誰のものかという議論も始まっています。

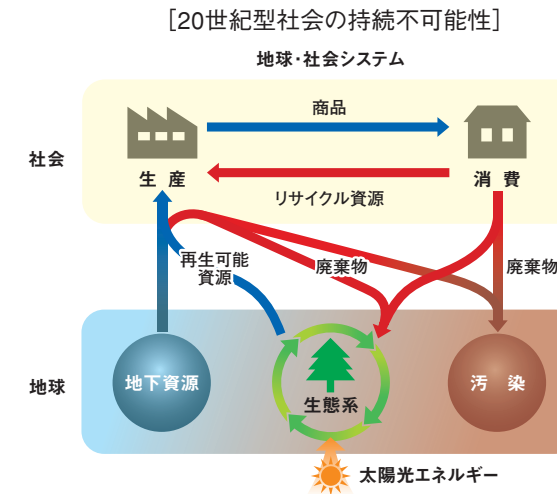


図1 地球と社会の間での物質の流れ  
地下資源を採取した物は最終的には廃棄物として地球に蓄積される。このような物の流れは持続不可能である。

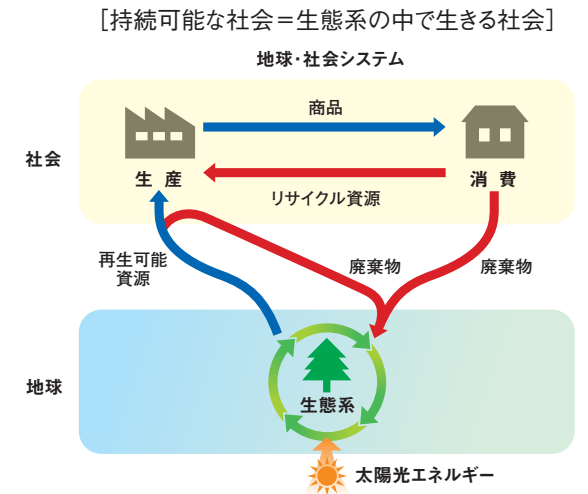


図2 持続可能な社会における物質の流れ  
生態系からいただいた資源は再生可能であり、廃棄物も生態系に戻すことができる。人間社会が生態系の一部になることをめざす。

## 持続可能な社会への転換

ここまでの話で温暖化問題をどうとらえるべきか、私なりに考えてみました。北半球の気温は1000年のタイムスケールではゆっくりと下降する傾向が見えていました。これは現在が間氷期から氷河期に向かう時期に当たるからです。ところが産業革命以後の化石燃料の利用によって北半球の平均気温は急上昇していきます。その結果、北極圏に住む先住民の人たちが困っているというのが現状です。先進国の人たちが化石燃料を燃やして二酸化炭素を出し、その結果化石燃料を使っていない人が困っているという構図がここにはあります。温暖化の原因となる二酸化炭素を出した人と被害を受ける人が違う。温暖化は環境問題というよりも社会的不公正の問題、南北問題である、というのが、地球温暖化問題の核心ではないでしょうか。

では地球温暖化問題に対して私たちはどのように対応できるのか考えてみましょう。

現在の生活はお店でものを買って、家で消費し、廃棄物がでるとどこからともなくやってきたゴミ収集車に集められています。集められたゴミは私たちの目の前からはなくなりますが、地球上からなくなってしまうことはありません。

世の中は、社会の箱と地球の箱という2つの箱からなりたっているとしたら、地球の箱には

「地下資源」というタンクがあり、そこから地下資源を取り出し、社会の箱にもってきて工場でものをつくり、それを消費すると、地球の箱に戻す、というのが大きな流れです(図1)。

原油を加工してガソリンにして、車を走らせると、ガソリンはなくなりますが、ものとしては消えてなくなるわけではなく、排気ガスとなった二酸化炭素は地球の大気にとまらされます。

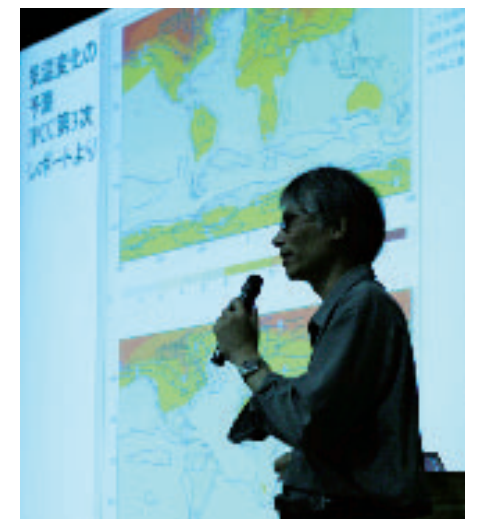
しかし、この社会システムは、地下資源がなくなれば終わります。コンビニのお弁当の容器は食べ終わった瞬間にゴミになります。今は市町村のゴミ回収車が運んでくれますが、最終処分場がいっぱいになってしまえば、この流れは止まってしまう。こういう状態を「持続不可能」といいます。

地球温暖化を語るときに必ず出てくる「京都議定書」では、二酸化炭素の排出をいかに削減するのかという、消費の面しか論じられていません。しかし、消費を減らすためには、生産も減らす必要がありますが、そういうことはまったく議論されていません。ここに大きな問題があります。

話を戻しましょう。持続不可能な20世紀社会から脱却するためにはどうすればよいのでしょうか。それは地下資源に頼る生活を見直すことから始まります。具体的には、現在の地下資源に頼る生活から生態系の力を利用する生活に

転換することです(図2)。

紙にしたり火を焚いたりするために木を伐採しても、森林を良い状態に保っておけば何十年後にはまた伐採が可能。生態系から得たものが廃棄物になっても、それはうまくすれば生態系に戻すことができます。こういう話をすると、多くの人から「こんなことはできない」といわれます。私もすぐにできるとは思っていません。10年、20年では無理でしょう。しかし100年、200年ならできるかもしれません。ならばどうすればいいのかという議論をすべきだと考えています。





### 化石燃料はどうなるのか

ここで化石燃料の現況と今後の見通しについて考えてみましょう。石油の生産量は現在ピークを迎えています。私が子どものころは、自家用車はまだ少なく車といえばトラックかバスかタクシーでした。今は皆さん必ず免許をとって1人1台自家用車をもっています。しかし、これから先はそんなことはありません。世界各地の油田が掘りつくされることによって石油の供給量はだんだんと減少してくるからです。

石油の値段はどうでしょうか。現在、需要と供給の関係が逆転しつつあり、そのせいで値段は上昇し続けています。必要な人はたくさん

いるのに、すべての人に供給できない時代に入っています。

では石油以外の石炭、天然ガスといったほかの化石燃料はどんな状況なのでしょうか。天然ガスは石油と同じように21世紀中には枯渇します。石炭はたくさん残っています。現在の埋蔵量から算出すると23世紀まで使えるほど残っています。しかし石炭をすべて使えば大気中の二酸化炭素濃度は相当に上昇すると考えられます。

地球温暖化にストップをかけるためには、石油資源が枯渇したあとに石炭の使用をいかに抑えるかが大切なポイントになります。

### バイオマスエネルギーの可能性

では、持続可能な社会を実現するための具体的な方策にはどんなものがあるのでしょうか。有力な候補が「バイオマスエネルギー」です。

デンマークでは、農業によって発生する麦わらを燃やして熱電併給を行っています。スウェーデンのストックホルムでは、植物からつくったバイオエタノールを燃料とする市バスが200台市内を走っています。スウェーデンではエタノール85%、ガソリン15%の燃料E85が定着していて、ガソリンスタンドの半分くらいはガソリンではなくE85を売っています。また、フィンランドやスウェーデンでは、バイオマスエネルギーの中でも木を使ったエネルギー利用が盛んに行われています。たとえば地域暖房も木を使ったバイオマスエネルギーを利用しています。

こうした木を使ったバイオマスエネルギーを日本でも普及させることはできないのでしょうか。日本の林野率、つまり総土地面積に占める林野面積の割合はフィンランドやスウェーデンと同じレベルの67%に達しています。フィンランドやスウェーデンにできるなら日本にもできるはずですが。

木をエネルギーとして利用した場合、どれくらいのエネルギーがまかなえるかが問題になります。1年間に使える量は、「木が1年間に成長した分だけ」を上限とします。この木材の年間生長量とここから可能な発電量、さらに自然林には手をつけずに人工林の木だけを対象とすることを前提に計算し、これらをすべて火力発電所で



図3 木質ペレット燃料  
製材所から出るおがくずなどの木くずを粉にして固めたもの。ストーブやボイラーの燃料になる。

電気をつくる燃料とすると日本の電力供給量の41%をまかなうことができます。41%ならば真面目に研究する価値があると思いませんか。

もう少し小さな規模でバイオマスエネルギーの可能性を考えてみましょう。愛知県の奥三河、長野県と県境を接する豊根村は森林に恵まれた村です。ずっと林業をやって暮らしをたててきましたが、近年は木材価格が下がり、林業はふるわなくなってきました。また、過疎化がすすみ、集落がなくなってしまう段階にあります。森林資源が豊富なのに、それを管理したり活用したりする人がいなくなるという困った事態になっています。私たちは、このような山間地をもちたてて、森林や水の資源を活用しながら若い人が暮らしをいけるようにするにはどうすればよいかを研究しています。

豊根村では伐採された木を製材する際に発生する木の皮やおがくずを砕いて、乾燥させ、型に入れて圧をかけて小さな円筒状のものをつくります。つなぎは何も使っていません。長さは10mm~20mm、直径6mmくらいです。これが木質ペレット燃料です(図3)。

ペレットストーブは冬の暖房に使えます。ボイラーに使えばお風呂やお湯を沸かすのに使えます。



図4 マイクロ水力発電の試作機  
農業用水路に設置したらせん水車による発電機。らせん水車は大正時代に富山平野で農業機械用動力として広く普及していた。これを発電機としてリバイバルする研究をすすめている。

この木質ペレット燃料は、含水率が低く、製材くず、木の皮などすべての木質資源を利用でき、燃焼時に有害なガスを発生しない、などの特徴があります。

豊根村は山間地にありますから、交通は自動車が主体になります。この自動車の燃料も木からつくったバイオエタノールを利用します。エタノールというのは、お酒と同じ成分です。これまでは燃料用のエタノールはさとうきびとかとうもろこしとかの糖やでんぷんからつくられていましたが、最近では木の成分を分解して糖にし、それから微生物を使ってエタノールをつくりだす技術が開発されています。日本でも大阪に建物の廃材からエタノールをつくる大規模な工場がつけられています。

私たちの研究によれば、豊根村では製材の際に発生するおがくずなどの半分くらいを使えば熱や交通に使う分をまかなえることがわかってきました。

電力は農業用水にらせん水車をつけてマイクロ水力発電をします。私たちが試作した実験機は30ワットの出力です(図4)。

ふだんキロワット単位で生活していますから30ワットではいかにも心もとないような気がしますが、

照明を発光ダイオードのランプにすれば、1つ2ワットですから30ワットあれば10個とか15個つけることができ、一軒分の照明がまかなえます。こうこうと明るいというわけにはいきませんが、それはそれでもいいのではないかと最近感じています。

最後にまとめをします。温暖化は化石燃料の燃焼が大きな原因です。最終的な温暖化の程度は石炭の利用の仕方によって決まります。温暖化対策の中心は、まず省エネです。今までよりずっと少ないエネルギーで幸せに暮らせる方法を見つけよう、ということです。省エネに続く次の手段は自然エネルギーの利用です。日本では、太陽光、太陽熱、地中熱、木質エネルギー、マイクロ水力発電が有望だと、私は考えています。私の研究室では、あまり研究の進んでいない地中熱、木質エネルギー、マイクロ水力発電の技術開発や社会への導入シナリオの研究をやっています。

これからどうすべきかは、温暖化が進み、石油資源が枯渇しようとする2050年に生きている人たちが直面する問題であり、今の若い人たちに今後の暮らしや社会をどうするかを決める権利と責任があります。私たちおじさんおばさんの役割は彼らが判断する力をつけるを手伝うことだと思っています。本日はどうもありがとうございました。





Takahisa Yamato

1965年三重県生まれ。1993年京都大学大学院理学研究科博士課程退学。同年、東京農工大学工学部助手。1994年京都大学博士(理学)。1997年名古屋大学大学院理学研究科助手を経て2001年より現職。その間、統合バイオサイエンスセンター客員助教などを歴任。専門は生物物理学。「物理の言葉で生命を語る」がモットー。

## DNAを修理する酵素で100%保存されているアミノ酸を発見

倭 剛久 物質物理学専攻准教授

### 毒をもって毒を制す

太古の昔、地球はオゾン層の衣を身にまといなかった。地球は過酷な紫外線にさらされていたのだ。紫外線はDNAにダメージをあたえ、生物にとって深刻な影響を及ぼす。そんな環境下でもたくましく生き延びてきた生物種には傷ついたDNAを修理する能力が備わっている。たとえば、ある種のラン藻が持っている蛋白質フォトリアーゼ(図1)は、紫外線の影響で傷ついたDNAを元通りに修復することができる。この蛋白質にはフラビンという補助分子が含まれている。降り注ぐ紫外線のエネルギーを吸収したフラビンは電子を放出する。フラビンから飛び出した電子は傷ついたDNAに流れ込んで化学反応を起こし、めでたく修理が完了するという仕組みだ。紫外線で傷ついたDNAを紫外線のエネルギーで修復する。すなわち毒をもって毒を制すということだろう。それでは、フォトリアーゼは一体どのようにして電子が移動する反応をああつつているのだろうか。

そこで、私たちはDNA修復のメカニズムを調べるため、フォトリアーゼとDNAの間の電子の通り道を調べた。電子の流れを実験で直接測定するのはとても困難で、理論計算やコンピュータシミュレーションが大きな威力を発揮する。まず、分子動力学という方法でフォトリアーゼの運動を再現した。次に分子軌道法という方法を使ってDNAとフォトリアーゼの結合部位の電子状態を計算した。従来の定説ではDNA修復の際、フォトリアーゼ中のアミノ酸部分はまったく経由せずにフラビンからDNAに電子が流れると思われていた。ところが、今回の計算の結果、意外な結果が得られたのだ。1番目のアミノ酸から数えて353番目に位置するアミノ酸であるメチオニン(Met-353)を電子トンネル電流\*1が非常に多く流れていることが判明したのである(図2)。従来説は電子移動反応の権威が提案した説であり、この説に修正を加えることになるとは当初まったく予期していなかった。

### 解決の鍵はMet-353にあり

この結果に興奮して、さっそくDNAを修理する酵素の遺伝子解析の専門家である、原子力研究所の研究仲間(由良敬、現お茶の水女子大学教授)にコンタクトした。原子力研究所では生物に対する放射線の影響を評価するのが重要なミッションの1つになっているのだ。彼にいろんな生物種が持っているフォトリアーゼのアミノ酸配列を調べてもらった。蛋白質は20種類の異なるアミノ酸が紐のようにつながってできるのだが、そのアミノ酸配列を調べるとどんなことがわかるのだろうか。生物種が異なれば、アミノ酸配列も異なったものになる。しかし、DNA修復や酵素運搬といった、基本的に重要な役割を果たす部分だけは、共通であると考えられるのだ。フォトリアーゼのアミノ酸配列はどうであったか。やがて彼からビックニュースが飛び込んできた。彼は遺伝子配列の全データベースを調べて、201種類の異なるアミノ酸配列のフォトリアーゼを見つけた。なんと驚くべきことに、見つかった201種のフォトリアーゼのすべてで、Met-353が

保存されていることがわかったのだ。生物種が違うのに、同じ場所に同じアミノ酸が100%保存されているという事実は、Met-353の位置のメチオニンこそが、フォトリアーゼの働きに必須なアミノ酸であることを示している。

### 間違っていたデータベース

フォトリアーゼは青色光受容蛋白質ファミリーの一員である。同じ仲間にはクリプトクローム\*2など、フォトリアーゼとは違う動きをする蛋白質も含まれている。今回、フォトリアーゼ以外の170種類の青色光受容蛋白質のアミノ酸配列を調べてみた。すると、170種類の蛋白質すべてで、Met-353の位置のアミノ酸がメチオニンではなかったのだ。フォトリアーゼでなければ、Met-353はメチオニンではないのである。今回の発見には面白いこぼれ話がある。研究成果を論文にまとめ始めた当初、170種類の蛋白質のうちの1つは「フォトリアーゼ活性をもつ」とデータベースに記述されていた。メチオニンがないのに、フォ

トリアーゼとして働く。このことは、メチオニンこそが、フォトリアーゼの働きに必須なアミノ酸である、という私たちの仮説に反する。困っていたところ、通常は論文を批判する立場にある論文の審査員が、データベースの記述の方が誤りであり、その蛋白質は実際には「フォトリアーゼ活性をもたない」ということを、なんと教えてくれたのだ。やはり、Met-353の位置のメチオニンこそが、DNA修復にとって必要不可欠なアミノ酸だったのである。

\*1 電子トンネル電流  
蛋白質中の電子移動反応で電子を供与する部分をドナーとよぶ。一方、電子を受容する部分をアクセプターとよぶ。ドナーとアクセプターの間にアミノ酸の原子が充填されていて、両者の間をトンネル効果で電子が流れる。

\*2 クリプトクローム  
フォトリアーゼと同様にフラビンをもつが、DNAの光による修復活性はなく、生物の体内時計や種子の発芽などに関与する光受容蛋白質。

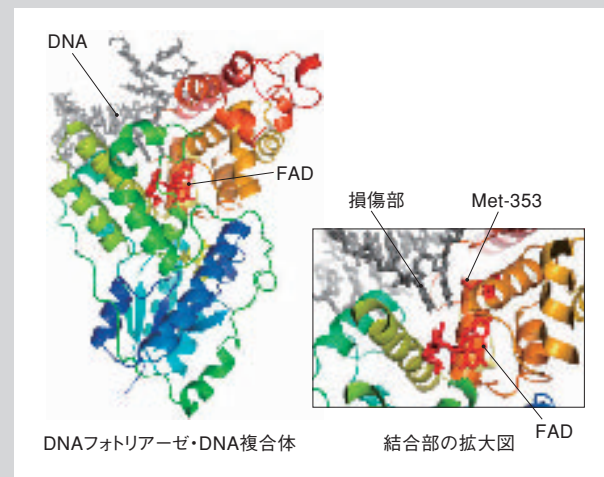


図1 DNAフォトリアーゼの立体構造  
紫外線損傷したDNAを結合したフォトリアーゼの立体構造(図左)。中央赤色はフラビン(FAD)。図の上の方には結合したDNA(灰色)が見える。結合部を拡大したのが右図。DNAの損傷部分とフラビンは近い位置にある。

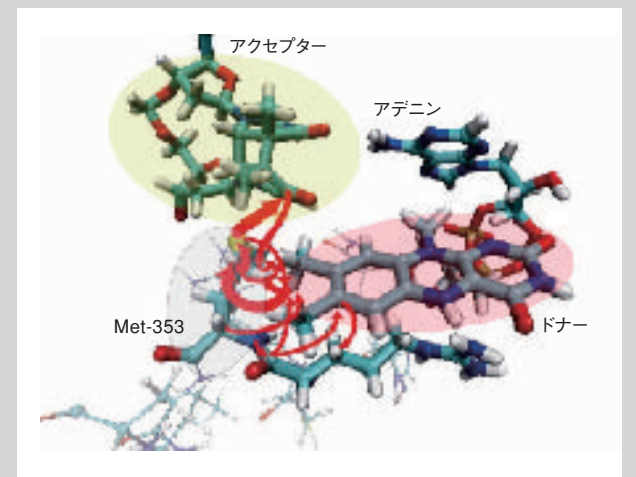


図2 DNAフォトリアーゼ内の電子の流れ路  
フォトリアーゼとDNAの複合構造を使って、フラビン(ドナー)からDNA(アクセプター)までの電子の流れ路(赤い矢印)を調べた。矢印の太さが電子の流れる量を示している。多くのトンネル電流がメチオニン(Met-353)を経由していることがわかる。(Miyazawa, Y., Nishioka, H., Yura, K., and Yamato, T. 2008, Biophysical Journal 94, 2194-2203より改図)

# 動物学100年来の謎を解く： 雌雄同体のホヤが自家受精を防ぐ分子機構

澤田 均 附属臨海実験所所長・教授

## 自家不稔に関わる遺伝子

有性生殖は、雄と雌の細胞が互いを認識して融合する現象であり、これにより子孫に遺伝子の多様性がもたらされる。それでは、適応戦略上、重要な遺伝子の多様性を確保するため、雌雄同体の生物はいかにして自家受精を回避(自家不稔)しているのだろうか。

高等植物においては、花粉がめしべに受粉し、そこで識別が行われて、自己の花粉と認識され

ると配偶子の合体に至らないしくみになっている。この自家不稔に関わる雄側と雌側の遺伝子は染色体上で近接しており、その遺伝子産物は個体間で非常に異なること、またその違いが自己認識の鍵となっていることが知られている。このように研究が進んでいる高等植物に対し、雌雄同体の動物における自家不稔機構については、ほとんど研究が進んでいない。

我々は、進化上は脊椎動物に近いのに雌雄同体であるホヤ類の中でゲノムが解読されているカタウレイボヤに着目し、その自家不稔に関わる遺伝子を、交配実験とゲノム情報により特定することに成功した。この研究は、著名な遺伝学者モルガン<sup>\*1</sup>が20世紀初頭にホヤの自家不稔の研究を行っていたころからの謎を分子レベルで解く糸口になるのではないかと考えている。



Hitoshi Sawada

1982年北海道大学大学院薬学研究科博士課程修了。北海道大学薬学部助手、東京工業大学理学部助教授、米国ハーバード大学博士研究員等を経て2002年より現職。現在のテーマは原索動物の受精と同種異個体認識の分子機構。

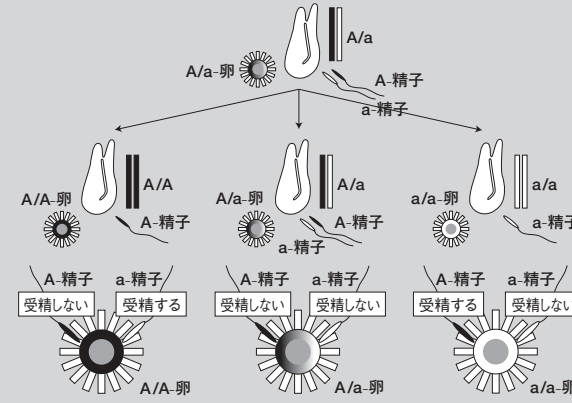


図1 カタウレイボヤの交配実験における一方不稔

卵を酸性海水(pH 2.3)で1分処理すると、自家受精可能になる。このようにして自家受精させて得られる個体同士で交配実験を行った。これにより自己とみなして受精しないか、非自己とみなして受精するかを判定した。そうすると、ある個体の精子は別の個体の卵を受精させるが、精子と卵の組み合わせを逆にすると受精しないという現象(一方不稔現象)が見られた。これを説明するために、モルガンは、次のように考えた。すなわち、親個体の、自家不稔遺伝子における遺伝子構成をA/aと仮定し、精子は片親の遺伝子を、卵は両親の遺伝子を発現すると仮定する。この場合、自家受精で得られる個体同士で交配実験をすると、A/a個体の精子は、A/A個体やa/a個体の卵を受精させるが(A-精子とa-精子の両方があるので、どちらかが受精可能)、逆にA/A個体やa/a個体の精子はA/a個体の卵を受精させることができなくなるので、受精の成立に方向性がみられるのではないかと考えた。実際に実験を行うと、この解釈が正しいことが証明され、また2つの遺伝子領域がこの現象に関わることがわかった。(Harada, Y., Takagaki, Y., Sunagawa, M., Saito, T., Yamada, L., Taniguchi, H., Shoguchi, E., and Sawada, H. (2008). Science 320, 548-550より改訂)

## 一方不稔の仕組み

カタウレイボヤは、通常自家受精しないが、卵を酸性海水で処理すると自家受精可能となる。こうして得られた子供同士で交配(受精実験)を行うと、互いを自己とみなして受精しないのか、あるいは非自己とみなして受精するのだろうか。こういった実験を行うと、奇妙なことに、「一方不稔」という現象(ある個体の精子を別の個体の卵に加えると受精するが、逆の組み合わせでは不稔になる現象)が見られる。これを説明するのにモルガンは以下のような仮説をたてた。

すなわち、個々の卵は父方と母方の両方の遺伝子を発現しているのに対し、個々の精子は父方か母方の一方の遺伝子のみを発現しているという解釈である。今、自家不稔性に関わる遺伝子の親個体における遺伝子型をA/aで表すと、酸処理により自家受精させて得られる子の遺伝子型は、A/A、A/a、a/aの3パターンである(図1)。この場合、A/A個体ではA-精子のみが、a/a個体ではa-精子のみが産生される一方でA/a個体はA-精子とa-精子を産生する。卵は両親の遺伝子を発現するのでA/A個体はA-卵、a/a個体はa-卵、A/a個体はA/a-卵を産生する。卵と精子の双方に同型遺伝子の発現があると受精しないと仮定すると、A/a個体の精子は

A/A個体とa/a個体のいずれの卵も受精させることができる(A/a個体のA-精子はa/a個体の卵を受精させ、a-精子はA/A個体の卵を受精できる)が、A/A個体やa/a個体の精子は、A/a個体の卵を受精させることができない(いずれの場合もAまたはaの同型遺伝子産物があるため)ことになる。「これが、一方不稔現象を引き起こす理由である」とモルガンは考えたのである。

## 女神テミスが指し示すもの

モルガンの仮説が正しいか否かを確認するために、酸処理卵を用いて自家受精させ、得られた23個体の子供同士で実際に受精実験を行うと、モルガンの言うとおりの一方不稔という現象が見られた。この現象が見られる場合には、その卵提供個体は自家不稔に関わる遺伝子領域がA/aとなっていて、精子提供個体はA/Aまたはa/aとなっていてと考えられる(図1)。

そこで、そのような遺伝子構成をもつ染色体領域を網羅的に探したところ、2カ所あることがわかり、第2染色体と第7染色体のある領域が候補として浮かび上がってきた(図2)。

両染色体領域においては、おのおの2つのタンパク質<sup>\*2</sup>の遺伝子が共通して存在し、しかも

一方が他方の中に逆向きに入れ子で入る構造を持つこと、両タンパク質とも個体間で非常に異なっていることが判明した。両遺伝子が同一遺伝子領域に存在することは、両者が強固なパートナー関係にあることを示唆している。植物においては自家不稔タンパク質が個体間で非常に異なっており、染色体上で近接していることがわかっていたが、それが動物でも酷似していることが今回初めて明らかとなった。

今回発見した自家不稔に関わる卵側の因子を、正義と公正を司り近親相姦の禁止を唱えたとされるギリシャ神話の女神「Themis(テミス)」の名前にちなんでv-テミス、精子側の因子をs-テミスと命名した。今回の発見を機に、動物学100年来の謎の全容を解明したいものである。

本研究は、当研究室の助教の原田淑人博士が中心となって行われたものである。今後のさらなる発展を見守っていただきたい。

\*1 T.モルガン(1866-1945) アメリカの遺伝学者。ショウジョウバエの遺伝学で有名で、遺伝子間距離の単位(センチモルガン、cM)にもその名を残す。1933年ノーベル医学・生理学賞受賞。

\*2 2つのタンパク質 卵黄膜での存在が確認されているフィブリノーゲン様タンパク質と、精巣で高発現しているポリシステン1様タンパク質。

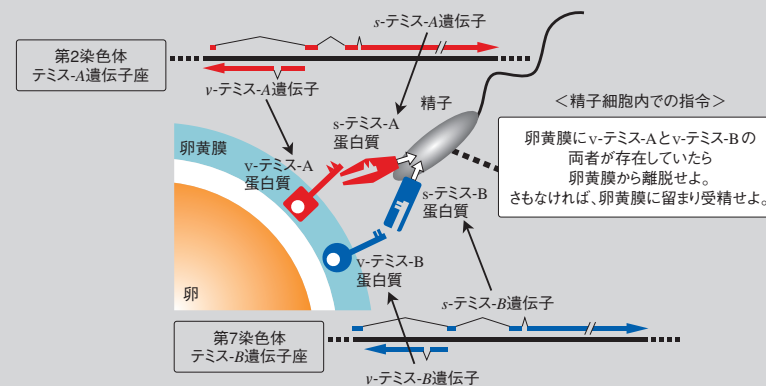


図2 カタウレイボヤにおける自家不稔機構のモデル 第2染色体にはv-テミス-A/s-テミス-Aの遺伝子が、また第7染色体にはv-テミス-B/s-テミス-Bの遺伝子が局在する。v-テミスはいずれも卵黄膜上に局在し、s-テミスは精子細胞膜上にあって、相互認識すると考えられる。両遺伝子ペアで自己と識別されると、精子が卵黄膜から離脱し、自家受精できなくなる仕組みになっていると考えられる。



## 理論を読み解き、自然を語る講義

【物理化学／2年前期】——— 篠原久典 物質理学専攻教授

「おはようございます、もう一度いきましょう。おはようございます」。雨の朝、満席の教室に篠原教授の快活な声が響く。

物理化学は、化学を学ぶ上で不可欠となる熱力学が主題の講義である。今日の題材は、熱力学第一法則。その主張を振り返った後、理想気体の可逆操作における仕事の表式へと講義は進んでいく。近似の要点を押さえながら導出が続く。あたかも数学の講義のように、ロジックは精密だ。

ふと講義の流れが止まる。演習問題の時間である。問題文を英語で読み始めた。耳慣れない物質名を学生が英語でレポートしている。机上には、皆、電話帳のようなアトキンス著の『Physical Chemistry』を開いている。

やがて講義に戻る。一見脱線に思える、こんな身近な説明も。篠原教授はランニングが趣味とのことである。一体、30分間のランニングはどれだけカロリーを消費するだろうか。答えは350kcal程度である。案外少ない。ちょうどカレーパン1個程度である。では一体カレーパンのカロリーはどうやって計るのか。そのためには、熱力学第一法則を原理としたボンベ熱量計を使うのである。

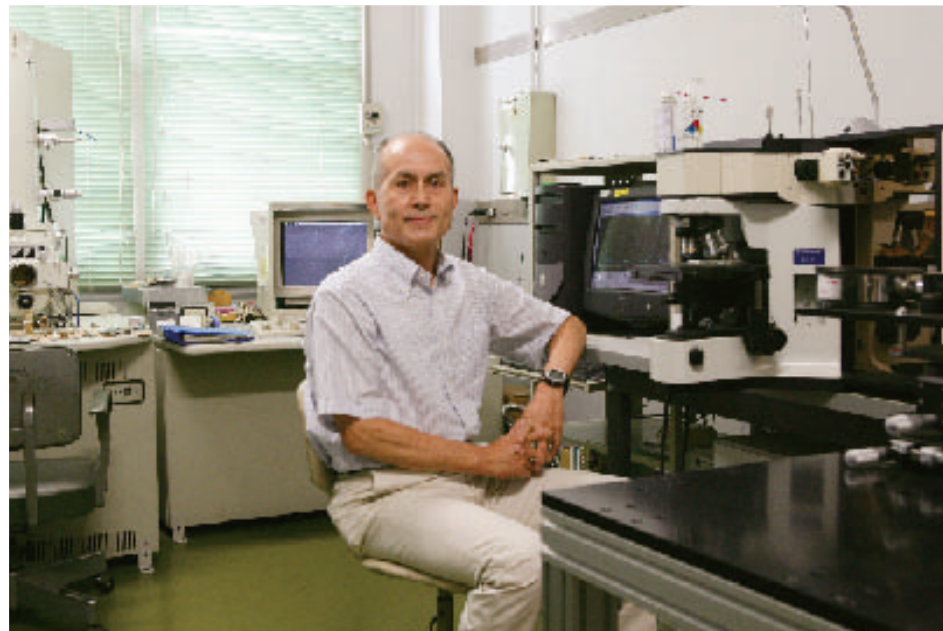
2回目の演習は、水素の燃焼反応を扱った。計算の解説の後、「この反応はこれからの我々にとって大切な反応です」。21世紀中に石油の枯渇が予測されている今、代替燃料として水素が注目されている。反応時に二酸化炭素を出さない利点の一方で、安全性に問題がある。この点を技術的に解決できる水素吸蔵合金の開発がホットである。興味のある学生も多いと見え、教室のあちこちから声もあがる。良い雰囲気だ。

最後にエンタルピーに触れ、今日の講義はここまで。濃い1時間半であった。

どの学科でも2年生は完成された基礎理論を学ぶ。先駆者の仕事を訪ねることは喜びであるが、体系化されているため理解するには苦勞が伴う。「(物理化学を受ける前は物理に拒否反応があったが、時間をかけて学んで)私にでも理解できるのだという自信ができました」。これは過去の受講生の感想だが、この講義ならばうなずける。理論内部のていねいな解説に加え、身近な自然や現代の問題を通して、理論の本来もつ内容をよく考えさせてくれる。鮮やかな講義に、僕も久々に理論化学の面白さを味わわせてもらった。



◎取材・文  
足立真訓 Masanori Adachi  
(多元数理科学専攻博士前期課程1年)



Hisanori Shinohara

1953年埼玉県生まれ。1979年京都大学大学院理学研究科博士後期課程中退。専攻は物質科学、とくにフラーレン、カーボン・ナノチューブなどのナノ炭素物質の創製と探索。ナノ炭素物質の基礎研究から実用化研究まで幅広く研究・開発を進めている。

物理化学研究室ホームページ <http://nano.chem.nagoya-u.ac.jp>

## 理解を深める演習

【数学演習／2年前期】——— 小森 靖 多元数理科学専攻助教  
川平友規 多元数理科学専攻助教

私は、生命理学に在籍しているが、もともと数学には興味があった。今回、数理学科への講義探検の話をいただき、数理学科の学生がどのような授業を受けているのか、また、それが自分が理解できるのかどうか、楽しみであった。

私が今回受けたのは、小森先生と川平先生の数学演習だ。数理学科ではお昼休みにCafe Davidというオフィスパワーがあり、そこでは学生と先生との間で熱い議論が交わされている。小森先生と川平先生はCafe Davidでも学生たちの質問に熱心に答えていた。Cafe Davidが終わると先生、学生ともに3限の教室へと向かっていった。小森先生の演習では、授業のはじめに小テストを行うことで前回行った内容を復習し今回の講義のメインである $\varepsilon$ -N論法に入っていた。 $\varepsilon$ -N論法とは、数列の極限の存在を示す方法であるが、高校の数学Ⅲまでの知識では機械的に式変形を施して求めていた極限を、証明によって導くというのは驚きであった。小森先生はこの論証という抽象的な内容を、図を書きながらわかりやすく説明して下さった。

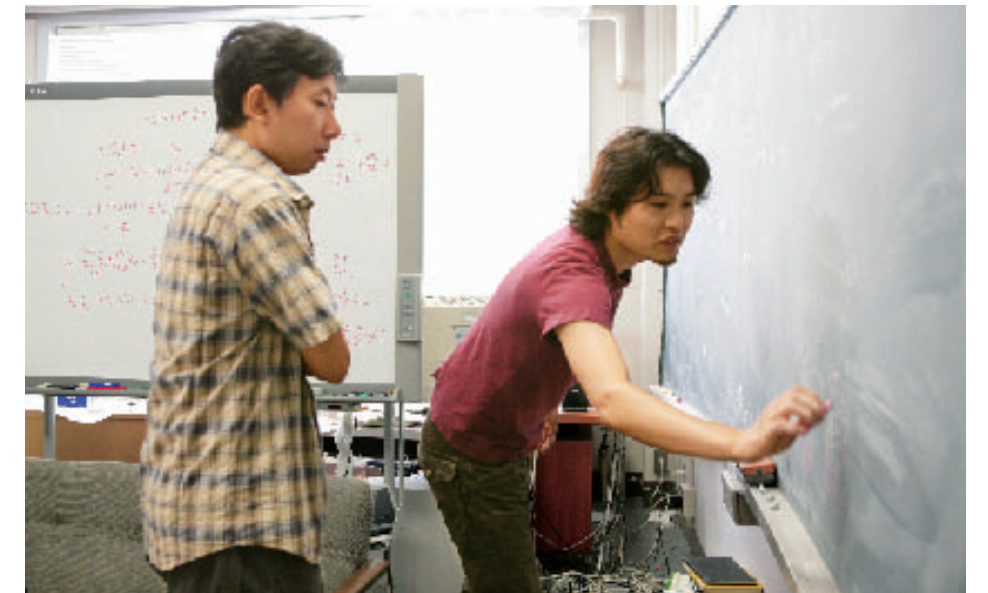
川平先生の授業では級数を扱っていた。今回は

複素数列の級数を考えていたが複素数にも極限を与えることができるというのは自分の中には存在しない考え方だったのでとてもおもしろかった。川平先生はフランクな話し方で授業を進めながら、級数の考え方を図に示し、今回の講義のポイントを説明して下さった。2人の先生ともに図を使いながらとてもわかりやすく講義のポイントを示して下さった。

数学演習には必ず単元をまとめたプリントを配布するが、一昔前と比べるとかなり変化してきたようである。昔の演習の資料を見せていただいたが、問題のみを載せたものであった。これらの問題はレベル別に分かれていないために、「どの問題を選んで解くかが鍵となる」そうだ。現在ではプリントには単元の概要および問題という構成になっている。問題はレベルがわかりやすいように色分けして示してあり、さらにはプリント全体をカラーにすることで視覚にも訴えている。この教材づくりには数理学科の多くの先生方が関わっているそうで、学科全体で学生のための授業作りに取り組んでいるという印象を強く受けた。



◎取材・文  
アレクザンダー・ピーターセン  
Alexander Petersen  
(生命理学専攻博士前期課程1年)



Yasushi Komori

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了。日本学術振興会特別研究員を経て、2001年より現職。専門は可積分系。(写真左)

Tomoki Kawahira

東京大学大学院数理学研究科博士課程修了。日本学術振興会特別研究員を経て、2004年より現職。専門は複素力学系理論。(写真右)

川平友規ホームページ <http://www.math.nagoya-u.ac.jp/~kawahira/index.htm>

キャンパス通信

ゾウムシを通してみえてくる  
キャンパスの自然

生命科学専攻助手  
杉山 伸 (Shin Sugiyama)

海外の研究機関を訪れると環境の豊かさに感銘することがあり、頭脳労働は自然に囲まれて行いたいものだと思ったりする。しかし、考えてみれば名古屋大学の東山キャンパスは日本の都市部としては珍しいほどの自然に恵まれており、そのことは生息する生物の多様性からもわかる。

春まで金属工作室の技術職員として低温や真空中で使う実験装置を開発してきた井上晶次さんは、1981年から甲虫の一種であるゾウムシを学内で採集記録している。日本で知られている800種余りの1/10の種類数、名古屋市内で記録されている種類のほとんどを、我々のいるこの東山の森だけで確認している。中には東海地方では珍しいヒレアミメキイゾウムシの記録もある。

ゾウムシの生息場所は、枯れ木、腐葉土、樹木、草花などとさまざまであり、種類数の多さは構内の自然環境の豊かさを物語っている。また、ゾウムシは14の亜科に分類されるが、それぞれの亜科の種数の割合が東山キャンパスと愛知県では良く似ており、このキャンパスがこの地方の自然の性質をよく反映していると解釈できる。

学内では建物の工事が急速に進んでいるものの、井上さんの話ではゾウムシの種類の減少はまだ感じられず、生物多様性が温存できているようで、意外な驚きを感じる。たまには理学部とその東側に広がる雑木林を散策し、「里山」ならぬ、「キャンパス・ジャングル」の自然を満喫してみるのはいかがだろうか。その時に道端の植物にいる小さな虫に目を止めれば、それはゾウムシかもしれない。



井上晶次さんが東山キャンパスで採集したヒレアミメキイゾウムシの標本

キャンパス通信

坂田・早川記念レクチャー  
講演録、出版

附属南半球宇宙観測研究センター長  
福井康雄 (Yasuo Fukui)

坂田・早川記念レクチャーは、坂田昌一、早川幸男両教授の業績をたたえつつ、21世紀を担う研究者の発掘・育成を目的として2002年に設立された。この趣旨に沿って、同年より名古屋大学大学院理学研究科と名古屋市科学館の共催で講演会を開催している。

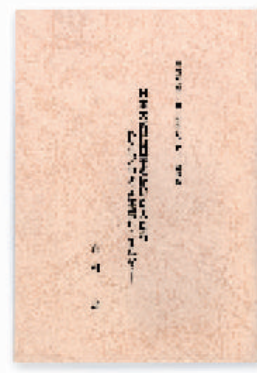
2007年12月15日には、第6回坂田・早川記念レクチャーが、東京大学名誉教授であり、宇宙科学研究所名誉教授である西村純博士を招いて、「日本の近代科学を拓いた人たち—科学はどのように発展してきたか?—」を演題に名古屋市科学館サイエンスホールで開催された。

西村博士は、東北大学理学部卒業後、終戦直後の科学研究所、つまり戦前の理化学研究所に入所し、ここで仁科芳雄博士の薫陶を受けている。

講演では、仁科芳雄、湯川秀樹、坂田昌一、朝永振一郎、早川幸男など、日本を代表する科学者の足跡やひととなりや交えながら、わが国の近代科学の歩みを紹介したほか、研究を成功に導くためのポイントについて具体的な例を引きながら話をしていた。

また、西村博士の専門分野である宇宙観測については、霧箱を使った黎明期の時代から宇宙探査機による最新の観測データまで、これまでの宇宙観測の歴史を概観していただいた。

今年3月、この講演が講演録としてまとめられた。講演録は、当日の講演を話し言葉ならではのわかりやすい文章でまとめたもので、日本の科学の歴史や研究の楽しさ、科学者の横顔など、科学の魅力に気軽にふれることができる小冊子となっている。



※この冊子に関する問い合わせは、名古屋大学理学部庶務掛(電話052-789-2394、FAX052-789-2800)まで。

特報

小林誠・益川敏英両博士、ノーベル物理学賞、  
下村脩博士、ノーベル化学賞、受賞

素粒子物理学の礎を築いた  
小林・益川理論

今年のノーベル物理学賞が本学出身の小林誠、益川敏英両博士の「クォークが少なくとも3世代(6種類)存在することを示す(CP)対称性の破れの起源の発見」に対して授与されることとなった。本学関係者一同慶賀に堪えない。両博士の研究対象の素粒子は、極微の世界を支配するにとどまらず、宇宙の起源の解明に決定的な役割を果たしている。とくに反粒子のないこの宇宙が形成されるには、粒子と反粒子の対称性である「C対称性」と鏡に映した世界同士の対称性である「P対称性」を組み合わせた「CP対称性」が破れていなければならない。実際CP対称性の破れは実験的に見つかった。両博士はこの破れの起源はクォークが少なくとも6種類あることで説明できることを発見した。当時世界の主流では、3種類のクォークですら信用しない風潮が強く、ましてや第4のクォーク(チャームクォーク)などは論外の有様であったのに対し、両博士の育った坂田学派では4種類のクォークは当然と考えていた。小林・益川理論の誕生にはこの極めて独特な雰囲気が決定的であった。その後チャームクォークの存在が確立し、さらに理論の予言するボトムクォーク、トップクォークが発見されて、この理論は定性的に立証された。さらには三田一郎本学名誉教授の提案に基づき、B中間子による検証が本学の実験グループの参加するKEKのBファクトリーとアメリカで行われ、理論の最終的確定をみたのである。(山脇幸一 素粒子宇宙物理学専攻教授)



2006年12月12日から16日まで名古屋大学野依記念学術交流館で開かれた「第4回キャピボ・小林・益川ユニタリティ三角形の測定に関する国際研究会(CKM2006)」での小林誠博士



2008年9月18日に名古屋大学理学部B5講義室で行われたGCOE支援セミナーでの益川敏英博士

蛍光タンパク質発見で  
生命科学の発展に寄与

今年のノーベル化学賞が蛍光タンパク質発見の業績に対して、理学部元助教授の下村脩博士に授与されることとなった。ご受賞をお祝い申し上げるとともに、この偉業に対し心より敬意を表したい。1955年、下村先生は故平田義正教授が主宰された理学部有機化学研究室の門をたたき、客員研究員としてウミホタルの生物発光を司るルシフェリンの研究に携わった。下村先生は、酸素との接触を断つために、水素中でルシフェリンの抽出、精製を行うという工夫をなされ、約5kgの乾燥ウミホタルから約70mgの純粋なルシフェリンを結晶化することに成功し、1960年、「海ホタルルシフェリンの構造」という題目で理学博士の学位を取得された。1963年から1965年までの間、本理学部助教授(理学部附属水質科学研究施設)を勤められた後、渡米し、オワンクラゲの生物発光の解明に取り組みされた。先生はさまざまな試みを繰り返し、このクラゲの発光器中から緑色蛍光タンパク質(GFP)を発見した。その後、遺伝子組換えの技術が進展し、GFPの遺伝子が単離されると、GFPが生命科学の研究に非常に有用な道具となることが明らかになった。すなわち、GFPを別のタンパク質につないだ「融合タンパク質」を、動物や植物の細胞の中でつくらせると、GFPの緑色の蛍光が目印となって、そのタンパク質がどの細胞にいるか、さらには細胞の中のどこにいるかを観察することができる。今や、GFPは生命科学の研究には不可欠の道具となっている。下村先生の発見が、新たな研究分野を拓き、現在の生命科学研究のスタイルを大きく変えたといってもよい。(近藤孝男 理学研究科長・理学部長)



2007年2月6日に名古屋大学野依記念物質科学国際研究館で開かれた第3回平田義正メモリアルレクチャーにて特別講演者として招待講演を行う下村脩博士