



東京大学

理学系研究科・理学部ニュース

2014年11月号 46巻4号

<http://www.s.u-tokyo.ac.jp/>



STAMP カメラによる超高速動画撮影

～学部生に伝える研究最前線「1兆分の1秒以下の世界をとらえる超高速カメラ」より～

本号の記事から

トピックス

学部生に伝える研究最前線

理学の現場

遠方見聞録

伝アインシュタイン・エレベーター ほか

頭部はどうして頭部なのか？ ほか

私たちの生き別れの生みの母：暗黒物質

高分解能核磁気共鳴装置の進歩と研究の現場

ロマンを追いかけて－人類学的旅のススメー

トピックス

第29回技術部シンポジウムを開催	出野 貴仁(植物園 技術職員) ……………	3
祝2014年度秋季学位授与式・卒業式	広報誌編集委員会 ……………	3
東京大学理学部ホームカミングデイ2014報告	横山 広美(科学コミュニケーション 准教授) ……………	4
伝アインシュタイン・エレベーター	広報誌編集委員会 ……………	4

理学エッセイ 第14回

北歐の地で星になる	白井 文彦(天文学専攻 特任研究員) ……………	5
-----------	--------------------------	---

学部生に伝える研究最前線

1兆分の1秒以下の世界をとらえる超高速カメラ	中川 桂一(化学専攻 日本学術振興会特別研究員 PD)	
学習や認知症に関わる遺伝子の機能を線虫で解明	合田 圭介(化学専攻 教授) ……………	6
頭部はどうして頭部なのか?	大野 速雄(生物科学専攻 特任助教)	
	富岡 征大(遺伝子実験施設 助教)	
	飯野 雄一(生物科学専攻 教授) ……………	7
	平良 真規(生物科学専攻 准教授)	
	安岡 有理(沖縄科学技術大学院大学 日本学術振興会特別研究員 PD)	8

遠方見聞録 第4回

ロマンを追いかけてー人類学的旅のススメー	澤藤りかい(生物科学専攻 博士課程2年) ……………	9
----------------------	----------------------------	---

理学の現場 第10回

私たちの生き別れの生みの母:暗黒物質	村山 齊(カリフォルニア大学 教授) ……………	10
高分解能核磁気共鳴装置の進歩と研究の現場	山野井慶徳(化学専攻 准教授) ……………	11

温故知新 第6回

モーアの法則と恐竜進化	對比地孝亘(地球惑星科学専攻 講師) ……………	12
-------------	--------------------------	----

お知らせ

博士学位取得者一覧	……………	12
人事異動報告	……………	13

第29回技術部シンポジウムを開催

シンポジウム実行委員長 出野 貴仁
(生命科学系/植物園 技術専門職員)

第29回理学系研究科・理学部技術部シンポジウムが、2014年11月6日(木)、本研究科附属天文学教育研究センターで開催された。当シンポジウムは、技術部職員の活動状況および成果の発表を通じて、学内外の技術職員と相互に業務内容の理解を深めるとともに、意見交換のできる貴重な場である。今回は、本研究科のみならず、他部局の技術職員による口頭・ポスター発表の他、国立天文台技術職員による交流発表も行った。参加者は山内薫技術部長をはじめ、本研究科技術職員・教員・事務職員・学生(計23名)はもとより他学部(17名)、他大学・機関(8名)、一般参加者(1名)の合計49名を数え盛会であった。



天文学教育研究センターにて

シンポジウムは山内薫技術部長の挨拶に続いて、附属天文学教育研究センター長吉井讓教授による特別講演「技術職員と共に前進する天文学教育研究センターと最先端プロジェクト」が行われ、研究と技術の最先端の貴重な話に一同深く聞き入った。続いて国立天文台先端技術センター岡田則夫主任研究技師による交流発表「国立天文台技術系職員の紹介」、昼休憩をはさみ口頭発表4題、ポスター

発表10題(うち交流発表1題)が行われ、各発表で活発な質疑応答がなされた。

シンポジウム終了後は情報交換会が催され、山内薫技術部長、附属天文学教育研究センター木曾観測所長土居守教授、並びに他部局、他大学・機関の方々が参加され、有意義な意見交換の場となった。

最後に、シンポジウム開催にあたり、多くの関係者の方々にご協力いただいたことを、この場を借りて御礼申し上げる。

祝2014年度秋季学位記授与式・卒業式

2014年度の学位記授与式・卒業式が2014年9月26日(金)に伊藤国際学術



NGUYEN Vu Quang Thanh さん(左)と IRVINE Tristan James さん(右)

研究センター伊藤謝恩ホールで実施された。理学系研究科・理学部からは五神真研究科長・学部長と、理学系研究科総代として NGUYEN Vu Quang Thanh (グエン ウー クワン タイン) さん(化学専攻修士)・ IRVINE Tristan James (アーヴィン トリスタン ジェームズ) さん(物理学専攻博士)が

壇上に立った。

また、理学部1号館205会議室にて博士課程および修士課程の学位記授与式が行われた。

卒業・修了されたみなさんに心からお祝いを申し上げます。みなさんが今後、世界の学術研究の進展に一層貢献することを期待いたします。



東京大学理学部ホームカミングデー 2014 報告

■ 横山 広美 (科学コミュニケーション 准教授)

2014年10月18日(土)に理学部ホームカミングデーが開催され、小学生とその家族で小柴ホールがいっぱいになった。理学部のホームカミングデーが「ファミリーデー」となり、楽しい短い講演とゲー・チョキ・パーで答えるクイズ大会が開かれるようになって3年目になる。今年は物理学専攻の牧島一夫教授から、ロケットと宇宙についての講演があった。迫力あるロケット

打ち上げ映像に小学生たちは食い入るように画面を見ていた。続けて行われたクイズ大会では、生物学専攻の榎本和生教授による進化についての話題であり、大変に盛り上がった。頭がよいと思われる人の脳は必ずしも重いわけではなく、「しむ」が重要であるらしいということや、クジラとカバはゲノムがとても似ているなどの説明に、小学生たちも大変興味をもったようである。最後に池田

菊苗先生の15分間DVDを流した。理学部の研究が、基礎から応用、実社会まで広がりを持っているという内容であった



■ ホームカミングデー 2014 当日の様子

伝アインシュタイン・エレベーター

■ 広報誌編集委員会

理学部1号館第3期工事にともない、旧1号館に設置されていたアインシュタイン (Albert Einstein) が乗ったとされるエレベーターを、総合研究博物館が保存することとなった。現在は、JPタワー学術文化総合ミュージアム「インターメディアテク」内の展示室「GREY CUBE」に常設展示されている。展示解説にあるエレベーターの伝承の中から、アインシュタインに関する興味深い話をご紹介します。

「アインシュタインは、1922 (大正 11) 年の 11 月 17 日から 12 月 29 日までの一ヶ月半、改造社の招聘により日本に滞在した。来日直前に「光子仮説」によりノーベル物理学賞受賞が決まったアインシュタインは、日本各地で熱狂的な歓迎を受け、数多くの講演を行った。東京帝国大学では 11 月 25 日から 12 月 1 日にかけて、計 6 回の特別講義が開催され、東大滞在中は物理学の田中館愛橘名誉教授 (1856-1952) の元研究室が控え室として使われていたという。物理学教室の中央講堂や田中館の研究室があった理科大学本館は、1923 (大正 12) 年 9 月の関東大震災により崩壊し、アインシュタインゆかりの場所はすべて消え失せてしまった。その後、岸田日出刀が設計した理学部旧 1 号館は、1924 (大正 13) 年

6 月に着工・1926 (大正 15) 年 3 月に竣工した建物であり、アインシュタインがこのエレベーターに乗ることはなかったはずである。この昇降機が「アインシュタイン・エレベーター」と伝えられてきた理由は定かでない。アインシュタインの一般相対性理論の基本となる等価原理は、エレベーターの思考実験から着想された。彼自身が「人生最高の思いつき」というこの大発見が、理学部最古の建築遺産の一つである旧 1 号館のエレベーターに結びつけられ、アインシュタイン来日の歴史的記憶を伝える象徴として伝説化されたものかもしれない。」(引用元：インターメディアテクの展示解説)

JPタワー学術文化総合ミュージアム「インターメディアテク」(HP: www.intermediatheque.jp) 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号JPタワー/KITTE 2・3階



「伝アインシュタイン・エレベーター」展示の様子。この昇降機はエレベーター・カンパニー日本支社(現・日本オーチス・エレベーター)によって製作された。

© Intermediatheque
空間・展示デザイン © UMUT works 2013-

北欧の地で星になる

白井 文彦（天文学専攻 特任研究員）

「さむいー！」2014年6月末、私はフィンランドの首都ヘルシンキに降り立った。フィンランドの夏は過ごしやすはずなのに、鉛色の雲が垂れ込め、日中でも気温は10℃前後、厚手のコートが欲しくなる。事前情報で北極からの風で天候が荒れていると聞いてはいたが、それにしても寒すぎる。

この寒いヘルシンキにやってきたのは、国際会議「小惑星・彗星・流星2014」(Asteroids, Comets, Meteors 2014)に参加するためである。これは、その名の通り太陽系小天体を研究対象とした国際会議で、2012年の新潟に続き今回で12回目、44カ国から500名が参加する世界最大規模のものだ。太陽系の起源や進化、そして生命の誕生にもつながる分野で、どんよりとした空とは裏腹に、会議は連日刺激的で白熱していた。

会期中日の晩餐会でのこと。前衛的すぎる長大なピアノ演奏の余興にうんざりしつつワイングラスを傾けていたところ（あのワインはカリフォルニア産だったような…）、小惑星への命名式が始まった。国際会議開催に合わせて、関連分野の研究者や貢献のある人物などの名前を命名する恒例のイベントなのだが、今回、なんと、その中に私の名前も含まれていたのである！（脚注、図1）

2014年9月現在、命名されている小惑星は18836個にのぼる。それでも、今までに発見された数の3%にも満たない…それほど小惑星は数が多いのだ。命名には、国際天文学連合のルールに従って、人名、地名、団体名、専門用語、神話・物語・映画にまつわるものなど、さまざまな名前がつけられている。初めて日本人の

名前がつけられた小惑星は、東京大学東京天文台（当時）台長の広瀬秀雄先生にちなんで1956年に命名された(1612) Hiroseである（天体の発見は1950年ドイツ人天文学者による）。また、歴代の理学部長では、小平邦彦先生、佐藤勝彦先生、岡村定矩先生のお名前が、それぞれ(6964) Kunihiko、(7965) Katsuhiko、(7205) Sadanoriとして命名されている。今では日本人の名前の小惑星は1200個にもなり、歴史上の人物や現役の研究者も多く含まれる。今回、私はその仲間入りをして「星になった」ということになる。偉人たちに混ざって若輩者の自分の名前が並ぶのは、こそばゆいものではあるが、とても光栄に思う。

さて、5日間におよんだ国際会議は、次回2017年の開催地が南米・ウルグアイであることが宣言されて閉幕した。寒く曇りがちだったヘルシンキの天気はようやく回復し、気温は20℃を越えて快適な夏がやってきた（図2）。この街は美しく、すっかり気に入ったが、それ以上に思い出の地になった。小惑星の名前を胸に、再訪を誓った北欧の旅であった。

その後、この夏のヘルシンキは一転して連日の猛暑に見舞われたとのことである…。

注：命名の経緯は2014年7月25日理学部プレスリリース「東京大学大学院理学系研究科特任研究員の名が小惑星に命名されました」(<http://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2014/38.html>)を参照のこと。



図1：命名式で渡された「星になった」ことを伝える用紙。命名式とはいえ、件数は100名以上なので、矢継ぎ早に名前がよばれて、この赤い紙片がばらまかれる状態だった。この時点では正式な承認手続きが済んでなくて、具体的にどの小惑星に命名されたのかはわからなかったが、後日、(24984) 1998KQ42という番号の小惑星に私の名前「Usui(白井)」がつけられた（なお、この天体は肉眼で見えるほど明るくはない）。



図2：国際会議終了後にヘルシンキの繁華街に繰り出した。ヘルシンキのメインストリートの1つ、ボボヨイスエスプラナーディ通りで見上げると、すばらしい青空、そして目を開けられないほどのまばゆい太陽。時刻は18時を過ぎているが、夜はまだ来ないのであった。

1兆分の1秒以下の世界をとらえる超高速カメラ

中川 桂一（化学専攻 日本学術振興会特別研究員 PD），合田 圭介（化学専攻 教授）

高速撮影は動的現象を研究するきわめて有用な手法である。しかしながら、既存の高速度カメラでは機械的・電氣的動作の限界から撮影速度がナノ秒（10億分の1秒）で頭打ちの状態であった。今回われわれは、Sequentially Timed All-optical Mapping Photography (STAMP) とよぶ新しい撮影方法を開発し、ピコ秒（1兆分の1秒）やフェムト秒（1000兆分の1秒）といった超高速領域で起こる現象を動画として連続撮影することに成功した。

「馬は駆けるとき、4本すべての足を地面から離す瞬間があるか？」19世紀後半にマイブリッジが当時の高速撮影技術を駆使しこの議論に決着をつけてから百年以上経つが、現在も高速撮影技術の進歩は目覚ましく、多くの未解明現象を明らかにしてきた。しかしながらこれまでの高速度カメラでは、ピコ秒やフェムト秒という超高速領域のダイナミクスを動画撮影でとらえることはできなかった。

そこでわれわれは、光の波長を媒介し、時間領域のダイナミクスを空間領域に射影することで動画を撮影するという、既存の高速度カメラとは異なる動作原理に基づく超高速撮影法を提案した。この手法はSTAMPとよばれ、ナノ秒以下の動的現象を、連続画としてシングルショットでとらえることができる。

STAMPは電氣的・機械的な動作による制限を排除することで、従来の高速度カメラで取得できないナノ秒以下の複雑なダイナミクスをとらえることに成功した。撮影原理を簡単に説明する（図1）。高速で動く観察対象に赤、オレンジ、黄色、……と異なる波長の連続パルス照明光を異なるタイミングで当てる。すると、それぞれの光パルスは対象に当たった瞬間の情報を取得する。次に、それらの光パルスを波長に応じて空間的に分離し、イメージセンサーの異なる場所で検出する。それぞれの光パルスがあるタイミングで動的現象に当たったという事実は変化しないため、それぞれの場所で検出された像はある時間での観察対象の像に対応す

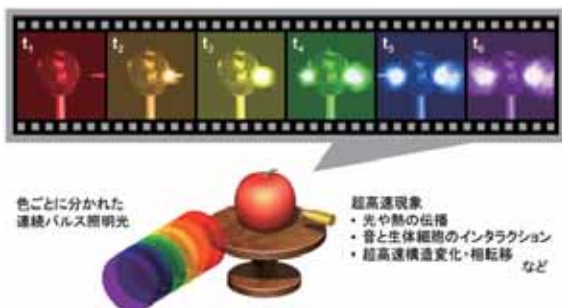


図1：STAMPの原理。波長の異なる光パルスを時間的に分けて観察対象に照射し、像情報を保存したまま空間的に分ける。光を巧みに操作することにより、既存のカメラではできなかったピコ秒やフェムト秒といった超高速複雑ダイナミクスをとらえることができる。

る。よって時間と波長、空間と波長の関係のもと、取得画像から動画を再構成することができる。

われわれは超短パルスレーザーという、さまざまな波長の光が全く同じタイミングに合わさった白色光を実験で用いた。この光をガラスなどに通すと、それぞれの色がわずかに分散し、1兆分の1秒以下のパルス列を容易に得ることができる。実証実験では、フェムト秒の時間領域にて結晶中のフォノン（結晶の格子振動の波）のダイナミクスをとらえた（図2）。このような超高速ダイナミクスをシングルショットで連続的にとらえたのは世界初である。

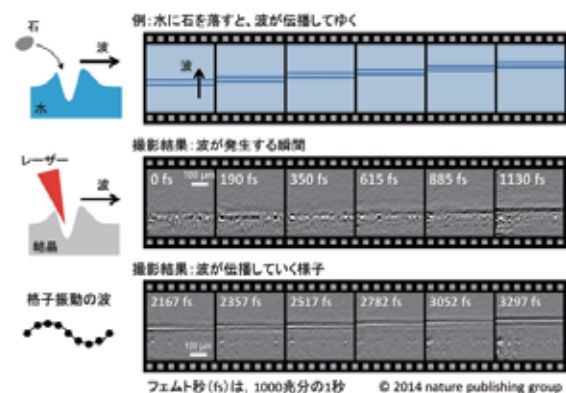


図2：1兆分の1秒以下の世界。池に石を投げ込んだ際に水面に波ができて伝わるように、結晶中にひじょうに短い時間で強い光エネルギーを加えると、結晶の格子が振動し、揃った波（フォノンパルス）として伝播する。今回われわれが開発した世界最高速度カメラ「STAMP」を用いて、波が発生する瞬間および波が光速の約6分の1という速度で伝播してゆく様子をフェムト秒の時間分解能でとらえた。

今回、高速撮影の長い歴史において、機械的カメラから電氣的カメラを経て、先端的光学技術を駆使した全光学的カメラSTAMPが新しい超高速領域に足を踏み入れたことになる。たとえば、化学反応、核融合反応、生体組織・細胞での衝撃波伝播過程、確率的に生じる量子現象、極限状態での物質の複雑非平衡ダイナミクスなど、従来技術では観察できなかった未開拓の領域の観察や新たな発見が期待される。

本研究成果は K. Nakagawa *et al.*, *Nature Photonics* 8, 695-700 (2014) に掲載された。

(2014年8月11日プレスリリース)

学習や認知症に関わる遺伝子の機能を線虫で解明

大野 速雄 (生物科学専攻 特任助教), 富岡 征大 (遺伝子実験施設 助教), 飯野 雄一 (生物科学専攻 教授)

◇◇◇ インスリンは体内の血糖値を下げる機能をもつホルモンとして知られているが、脳内での働きが記憶・学習に関わることが最近になってわかってきた。しかし、インスリンが学習をどのように制御するのか、その具体的な機構は不明であった。今回、線虫 *C. エレガンス* を用いた実験により、インスリンを受け取るタンパク質（インスリン受容体）がカルシテニンとよばれるタンパク質によってシナプス領域へと輸送されることで学習に関わる神経機能の調節が可能になることが明らかになった。

C. エレガンス とよばれる線虫（以降、単に線虫とよぶ）は体長 1mm ほどの小さな生き物で、身体が透明で遺伝子操作が容易なために分子生物学・細胞生物学における優れたモデル生物として広く用いられている。線虫は簡単な記憶学習を行う能力を有し、たとえば外界の塩濃度と餌の有無を関連づけて記憶し、過去に飢餓を経験した塩濃度の場所を避けるように移動する習性をもつ。このような線虫の学習には、インスリンやカルシテニンとよばれるタンパク質が必要である。

いっぽう、私たち人間でもインスリンやカルシテニンが記憶学習を始めとした認知機能に関与する可能性が指摘されている。たとえばこれまでに、インスリンの鼻腔投与が記憶力を上昇させること、カルシテニン遺伝子内の塩基配列の個人差と記憶力との間に相関があることが知られている。他にも、アルツハイマー型認知症の原因とされるアミロイドベータの産生にカルシテニンが関与することや、レビー小体型認知症やパーキンソン病の患者の脳脊髄液でカルシテニンの量が変化することが報告されている。しかしながら、インスリンやカルシテニンが神経系でどのように働いているのかについてはよく分かっていなかった。

われわれはまずインスリンを受け取るタンパク質（インスリン受容体）について詳細に調べ、線虫のインスリン受容体は、大きさが異なる 2 種類のタイプが選択的スプライシングとよばれる機構で合成されることを明らかにした（私たちヒトのインスリン受容体も、同様の機構で大小 2 つのタイプが作られる）。このうち大きいタイプのインスリン受容体は、小さいタイプのものにくらべて 82 アミノ酸分だけ大きく、飢餓を経験すると神経細胞のシナプス領域へと移動する性質をもっていることがわかった。

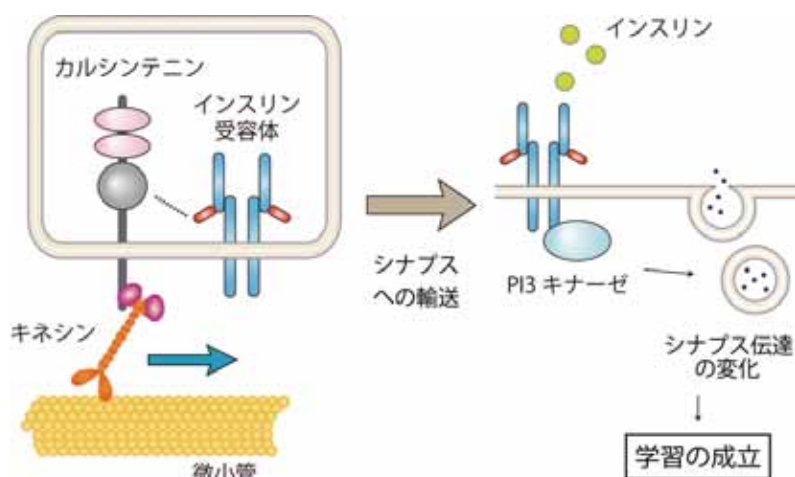
大きなタイプのインスリン受容体をシナプス領域へと運ぶ際に鍵となるタンパク質がカルシテ

ニンである。カルシテニンはキネシンとよばれるモータータンパク質とインスリン受容体を橋渡しする役割をもち、この働きが、大きなタイプのインスリン受容体を微小管とよばれる細胞内のレールに沿って遠く離れたシナプス領域へと輸送するために必要である。さらに、この輸送は MAP キナーゼシグナル伝達経路とよばれる一連のタンパク質群によって調節され、学習に必要なシナプス領域のインスリン受容体の量を餌の有無に応じて変化させていることも明らかとなった。

以上の結果により、インスリン受容体が神経系を含まさまざまな組織で多彩な機能を発揮するメカニズムの一端が解明されるとともに、ともに学習能力への関与が示唆されてきたカルシテニンとインスリン経路の密接な関係性が示された。

この研究成果はサイエンス誌 2014 年 7 月 18 日号 (H. Ohno *et al.*, *Science* 345, 313-317) に掲載されている。

(2014 年 7 月 18 日プレスリリース)



カルシテニンがキネシンタンパク質と大きいタイプのインスリン受容体を結びつける。キネシンタンパク質は神経細胞内の微小管とよばれるレールに沿って移動して、大きいタイプのインスリン受容体をシナプス領域へと輸送する。この輸送が線虫の学習を成立させるのに重要である。

頭部はどうして頭部なのか？

平良 眞規 (生物科学専攻 准教授), 安岡 有理 (沖縄科学技術大学院大学/日本学術振興会特別研究員 PD)

さまざまな動物の「頭部」を思い浮かべてみよう。たとえばヒトとハエの頭部はずいぶん形が違うが、頭部であることには変わらない。形は全く異なるので、その形成に関わる遺伝子も全く違ったものと思うかもしれないが、発生の初期にはいずれも *otx* という遺伝子の指令によって頭部形成が始まる、という点で共通である。つまり *otx* は「頭部をつくれ」と指令するが、どのような形の頭をつくるかは指示していない。では *otx* の役割は具体的に何であろうか。その答えがカエルを用いた研究から分かってきた。

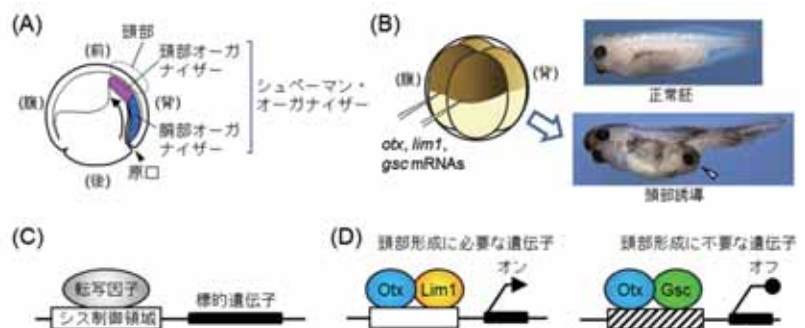
地球上にはさまざまな動物がいるが、その多くは「頭部」をもち、背と腹と、左と右の区別がある。それらを総称して「左右相称動物」と言い、ヒトやカエルなどの脊椎動物を含む後口動物と、ハエを含む前口動物とに大別される。発生に関わる遺伝子として最初に見つかったのがハエのホメオボックス遺伝子である。それと良く似た遺伝子がカエルでも見つかったことに端を発し、発生に関わる多くの遺伝子が、構造・役割共にハエと脊椎動物で共通であることが分かってきた。ある遺伝子が後口動物と前口動物の両者に存在し、同じ役割を担うのならば、その役割は左右相称動物全体に当てはまると考えられる。まさにホメオボックス遺伝子 *otx* による頭部形成が該当する。

私たちの研究室では脊椎動物の初期発生の分子メカニズムについてツメガエル (*Xenopus*) を用いて研究している。脊椎動物の初期発生で重要な役割を担うのがシュベーマン・オーガナイザーとよばれる背側中胚葉領域である。オーガナイザーはさらに頭部を誘導する頭部オーガナイザーと、胴部を誘導する胴部オーガナイザーに分かれる (図 A)。これらの組織からはさまざまなシグナル分子が出て、胚のかたちづくりが行われる。頭部形成に関わる *otx* は、この頭部オーガナイザーに発現している。この領域には *lim1* と *gooseoid* (*gsc*) という別のホメオボックス遺伝子も発現して頭部形成に関わっている (図 B)。そこで私たちは、これら3つの遺伝子に着目して、頭部形成の分子メカニズムを解析した。これらの遺伝子からは「転写因子」*Otx*, *Lim1*, *Gsc* が合成される。転写因子とは、「シス制御領域」とよばれる DNA 領域に塩基配列特異的に結合して、近傍の「標的遺伝子」をオンにしたりオフにしたりするタンパク質である (図 C)。転写因子の機能と役割を解析するには、それらの標的遺伝子をすべて明らかにする必要がある。それを可能にしたのがクロマチン免疫沈降・シーケンス (ChIP-seq) 解析である。断片化したクロマチンと転写因子の抗体を混合し、抗体に結合したクロマチン断片のみを集め、そこに含まれる DNA 断片を解析すると、目的の転写因子がどの DNA 領

域に結合するのかが分かり、近傍の標的遺伝子が同定される。

Otx, *Lim1*, *Gsc* を ChIP-seq 解析で調べた結果は、たいへん興味深いものであった。*Otx* は *Lim1* と特定のシス制御領域と一緒に結合し、かつその近傍の標的遺伝子は頭部オーガナイザーに発現する遺伝子だった。いっぽう *Otx* は *Gsc* と一緒に結合したが、それは別のタイプのシス制御領域であり、かつそれらの標的遺伝子は頭部オーガナイザーに発現しないものであった (図 D)。この結果は次のように解釈される。*Otx* が発現している細胞は、「自分が頭部オーガナイザーにいる」と認識して、頭部オーガナイザーに発現すべきもの (頭部形成に必要なもの) を *Otx* と *Lim1* で発現させるいっぽう、発現すべきでないもの (頭部形成を妨げるもの) を *Otx* と *Gsc* で抑えていると考えられる。つまり *Otx* は「頭部」という目印を与えるだけで、どの遺伝子をオン・オフにするかは、シス制御領域のタイプとそれに結合する別の転写因子が決めている、ということになる。このメカニズムにより、同じ *Otx* を使いながらヒト (後口動物) とハエ (前口動物) はそれぞれに必要な異なる遺伝子を発現させることで、異なる頭部を形成することができるようになったのである。本研究は, Yasuoka, Y *et al.*, *Nat. Commun.* 5, 4322. (2014) に掲載された。

(2014年7月9日プレスリリース)



(A) ツメガエルの原腸胚の縦断面図。オーガナイザーは前方へと移動し (矢印)、頭部オーガナイザーからの指令により頭部が形成される。(B) *otx*, *lim1*, *gsc* の合成 mRNA の顕微注入実験。それぞれ単独では頭部を誘導できないが、3つ一緒になると頭部が誘導される (矢印)。このような実験から、*otx*, *lim1*, *gsc* が頭部形成に関わることが示された。(C) シス制御領域。(D) *Otx* による頭部形成の分子メカニズム。

ロマンを追いかけて—人類学的旅のススメ—

澤藤 りかい (生物科学専攻 博士課程2年)

人類学とはロマンの学問であると思う。人の役には立たなくても、ヒトの謎を解明するというロマンに魅せられて、人類学者は突き進んでいく。

私が研究している古代DNA解析という分野は、特にその傾向が強い。遺跡から発掘された骨や歯などの遺骸から、DNAを抽出して過去の人々の遺伝情報を読み解く。そこには様々な情報が眠っている。例えば、ネアンデルタール人と私たちホモ・サピエンスが混血していたことは、2010年に古代DNA分析によって明らかになり、人類学界に衝撃が走るほどの大きなニュースとなった。

修士課程で古代DNAのデータを解析していた私は、博士課程に進学する時に「古代の骨のタンパク質を網羅的に調べたらどうなるのだろう？」という疑問が湧いた。例えば発達段階で発現パターンが変化するタンパク質、あるいは胎児が持っているヘモグロビンなどが見つければ、ある程度の年齢が推定できるかもしれない。論文を探してみると、まさにその研究を始めていたのがコペンハーゲン大学の地理遺伝学センター (Centre for Geogenetics) にいる研究者だった。幸い理学系研究科の「卓越した大学院拠点形成支援補助金」を頂くことができたので、冬のデンマークへと旅立ち、そこで解析手法を教わっていくつかの実験をした。

着いてすぐのカルチャーショックは、研究室のシステムの違いだった。最初に実験室の使い方について分厚いマニュアルが配られ、レクチャーを受けるまでは実験させてもらえない。更に実験室が用途ごとにそれぞれ離れた別の建物にあり、扉には全て鍵がかかっている。ゲームの中のダンジョン (迷宮) に迷い込んだような気持ちになる。しばらく経って慣れてくると、実験だけでなくグループミーティングやセミナーにも参加した。新たな視点を得ることが多くとても刺激的だったが、同時に一番大変でもあった。1対1での話ではできても、グループでの話し合いになると、とたんについていくのが難しくなる。集中力を総動員して聞き入り、毎회가リスニングテストのように真剣であった。

実際に町を見て人と触れ合うことで、人類学的な視野も広がった。北欧はノルマン人 (ヴァイキング) の系譜が強く、世界で1、2位を争うほどの高身長である。ところがラップランド地方に住む先住民のサーミ人の影響があつてか、北の町に行くほど人々の身長が低くなっていく。「寒冷な地域に生息するものほど大型になる」というベルグマンの法則に反するこの現象も、町を歩きながら感じられて面白かった。

風習にもその土地の人々の気質が感じられる。デンマークのクリスマスパーティーにはヴァイキングのような豪快さが感じられて面白かったので、ここでご紹介したい。まず参加するのに必要なものは、300円程度のプレゼント。これを3つほど買っていき、会場の中にあるクリスマスツリーの下に置いておく。座る席はくじ引きで決まり、ヴァイキング形式で料理を皿に盛って行く。ここでの料理は伝統的なクリスマス料理で、特にリスアラマンという、刻んだアーモン



研究棟の奥には植物園が広がっている

PROFILE

澤藤 りかい (さわふじ りかい)

2011年 東京大学理学部生物学科 卒業

2013年 東京大学大学院理学系研究科生物科学専攻修士課程 修了

現在 同研究科博士課程在籍

ドが入った甘いお粥に、サクランボのソースをかけたデザートが美味しかった。ひと通り食べ終わるとテーブルにサイコロが配られ、ゲームが始まる。順番にサイコロを振って行き、6の目が出たらプレゼントを1つ取りに行き、急いで戻ってきてまたサイコロを振る。全てのプレゼントが人の手に渡ってもまだ終わりではなく、今度は6の目が出たら他の人のプレゼントを奪っていく。そうしてサイコロを振り続け、人のものを奪い続け、終了の合図が鳴る時に持っていたプレゼントは自分のものとなる。仁義なき戦いが終わった後は、音楽に合わせて踊り、お酒を飲み、深夜まで騒がしいパーティーは続いていく。

郷に入れば郷に従った結果、約3ヶ月と短い間であったがそれなりに順応した。一番の効果はグループでのディスカッションで、誰かの言ったジョークに笑いながら話せるようになり、それはとても楽しく嬉しい瞬間であった。日本に留まっていたら生まれなかったであろう、興味・疑問も多く、「ヒトの謎」にますます魅了された旅であった。



博物館の中でのクリスマスパーティの様子



私たちの生き別れの生みの母：暗黒物質

村山 斉（カリフォルニア大学バークレイ校（Univ. California, Berkeley）教授
カブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU） 機構長・特任教授兼任，物理学専攻兼務）

私たちはどこから来たのか。こんな素朴な問いは、実は宇宙の始まりに深くつながっている。柏キャンパスにあるカブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU）では、観測・実験・理論というさまざまな手段と場所でこの謎を解き明かそうとしている。

私たちは100億年以上昔の星のかけらである。実は宇宙が始まった3分後には、水素とヘリウム以外の元素はなかった。いっぽう私たちの体は炭素、酸素、ナトリウム、カルシウム、リン、鉄などの元素がないと生きていられない。こうした元素は星の中で作られたのだ。太陽を含め、光る星の中では小さな元素をくっつけ大きな元素をつくる、核融合という反応でエネルギーを生み出している。しかし星の中心でできた元素も、取り出すことができなければ役に立たない。

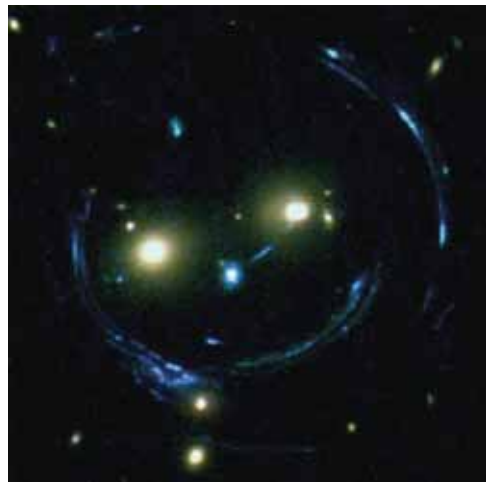
星はいずれ燃料を使い尽くし、死を迎える。太陽の場合は、約45億年後に中心がしゅうっと縮み、外側がプワッと膨らんで地球を呑み込んでしまう。しかしもっと重い星の場合は、中心が潰れる反動で外側が大爆発を起こし、近ければ昼間でも見えるとてつもなく明るい星、「超新星」になる。たとえば藤原定家の『明月記』に記録がある。宇宙の最初に水素とヘリウム

だけでできた「一番星」は太陽の40倍から100倍も重く、爆発して元素を宇宙空間にばらまいた。それをかき集めて第二世代の星が生まれ、それも爆発して死を迎える。太陽は第三世代の星だと考えられており、その「くず」でできた地球には私たちに必要な元素がふんだんにあったのだ。

こうした「一番星」がどういう星だったのか、理学部と併任の吉田直紀教授がコンピュータを駆使して調べ、その観測的証拠をハワイにあるすばる望遠鏡やチリのアルマ電波望遠鏡で宇宙線研究所と併任の大内正己准教授が探索している。

次に疑問になるのは、どうやって最初の星ができたのか。学校では「万物は原子でできている」と習うが、これは大ウソであることが2003年はっきりした。もし宇宙の物質がすべて原子でできているとすると、ビッグバン後の熱い宇宙では光の圧力に邪魔されて、原子が集まって星をつくるのは無理だった。熱い光の圧力に逆らって原子を集めるには、光と反応しない「暗黒物質」の重力が必要だった。しかも暗黒物質は原子の5倍以上もあり、宇宙では原子はマイノリティーなのだ。

つまり暗黒物質は私たちの「生き別れの生みの母」であり、私たちの存在の鍵なのに、誰も「会った」ことがない。しかしその重力の効果が何十億光年先の銀河から来る光を曲げるいたずらをする。高田昌広教授やA. レオトー（Alexie Leauthaud）、S. モレ（Surhud More）助教らはこのいたずらっ子がどこにどれだけいるのかを割り出している。筆者も含め、すばる望遠鏡を使って今後何億という銀河を観測し、



47億年先の銀河が暗黒物質のいたずらで、不思議の国のアリスの「チェシャ猫」の様に見える。こうしたいたずらのおかげで、暗黒物質の「隠れ家」が見つかる。（写真提供：Claude Cornen）

今後5年間で見えないはずの暗黒物質の世界最大の地図を作ろうとしている。

光を出さない暗黒物質は恐らく小さな粒粒「素粒子」で、私たちの体を毎秒何千万個も突き抜けているが、私たちは気がつかないのだ。だとすると、周りの雑音に邪魔されない地下奥深くの静かな環境に高感度の装置を置けば、一年に数回は暗黒物質が「こつん」とぶつかる音が聞こえるかもしれない。岐阜県神岡鉱山の地下1000mのXMASS実験でKavli IPMUの鈴木洋一郎教授、カイ・マルテンス（Kai Martens）准教授らが雑音と戦いながら、この瞬間を待っている。

また、柳田勉教授・松本重貴准教授・筆者らの理論家は黒板で議論しながら、暗黒物質の理論を編み出し、その実験・観測にかかる性質を予言している。その正体が解れば、暗黒物質が生まれたと考えられる、ビッグバン直後わずか 10^{-10} 秒の宇宙の姿が見えて来る。そして初めて生き別れの生みの母に感謝できるのだ。

私たちはどこから来たのか。Kavli IPMUの研究はこんな人類何千年来の疑問に迫っている。



東大柏キャンパスにあるKavli IPMU研究棟で毎日三時に行われるティータイム。世界20ヶ国から来た研究者と東大の大学院生、約120名が集まり、コーヒーやクッキーを片手に物理・天文・数学の議論をする。（写真提供：Kavli IPMU）



高分解能核磁気共鳴装置の進歩と研究の現場

山野井 慶徳（化学専攻 准教授）

試料を一様な磁場中に置き、ある周波数の電磁波を照射すると、特定の原子核との間で共鳴現象が起こる。これを核磁気共鳴（Nuclear Magnetic Resonance（以下 NMR と略す））と呼び、磁気モーメントを有する核種を測定することができる。分子を構成する原子では同じ核種でも化学結合の違いによって、それぞれの原子核の感じる磁場が ppm（100 万分の 1）単位で異なる。この微小な磁場の差から分子構造に関する情報を得ることができる。測定対象となる代表的な核種は ^1H （プロトン）や ^{13}C （炭素 13）であり、有機化合物、金属錯体、そしてナノ粒子の構造解析に広く用いられる。NMR 装置の性能はテスラ（T）という磁場の強さを表す単位のかわりに、プロトン核の共鳴周波数であるメガヘルツ（MHz）で表記する。たとえば、磁場強度 2.75T の装置

は 100MHz の装置とよぶ。

NMR では、試料に印加される磁場強度が高いほど装置の分解能と感度が向上する。そのため今では、NMR 装置は 400MHz（磁場強度：9.4 T）以上のプロトン核共鳴周波数をもつ高分解能超伝導磁石型装置で測定するのが一般的である。NMR では測定中の磁場強度の変動を最低限に抑える必要がある。このため、電気抵抗ゼロで電流が減衰せず、磁場が変動しない超伝導磁石が利用される。超伝導磁石では、超伝導線材の接続箇所が発生する抵抗を抑えるため、通常のエレクトロニクスより高度な技術が活用されている。現在、もっとも分解能の高い装置は 920MHz（磁場強度：21.6 T）であり、これまで困難とされてきたタンパク質や生体高分子の構造解析において、強い威力を発揮しつつある。

写真は化学専攻の共通 NMR 装置として 2014 年 5 月に導入した超伝導磁石型 NMR 装置である。図の Ultra Shield は、500 MHz（磁場強度：11.7 T）の強力磁石でありながら外部への磁場漏れが殆どないことを意味する。この装置を使用すれば 2～3 mg 程度の微量試料で十分な測定結果を得ることができ、装置に試料をセットすると自動で磁場補正と分解能調整をし、数分以内に測定が終了する。筆者が大学院生だった 20 年前では、60MHz や 100MHz の NMR 装置が学科共通装置であった。また、上級者用として使用していた 270MHz の NMR 装置は磁場漏れが著しく、不用意に装置に近づいて磁気カード情報が消失してしまったこともあった。使用に際し熟練した技術も必要で、満足いく測定結果を得るのに 30 分程度かかることもあった。今では、検出感度、操作性、安全性が格段に向上し、またその性能を活かすような新しい測定手法も開発され、NMR の利用範囲は広がった。

化学専攻無機化学研究室では、周期表の金属元素と非金属元素の境目に当たるケイ素を含む化合物群の合成と光物性を研究ターゲットの 1 つとしている。ケイ素は ^{29}Si の核スピンを有しているため、 ^{29}Si NMR を分解能良く測定することにより、研究室で見出した新規合成反応のメカニズムや光機能ケイ素材料の構造を解明することができた。紙面の都合上、NMR の長所のすべてを説明できないが、化学研究の現場では高分解能 NMR 装置が強力な武器であることが伝えることができれば幸いである。



■ 超伝導磁石型 500 MHz NMR 装置

モースの法則と恐竜進化

対比地 孝亘 (地球惑星科学専攻 講師)

大森貝塚の研究で有名なエドワード S. モース (Edward Sylvester Morse) は理学部の初代動物学教授である。私も学生時代に、モースの肖像が飾られた2号館の講義室で授業を受けていたが、近年意外なところでモースの名に遭遇した。「モースの法則」がそれで、これは四肢動物の手足の指の中で、個体発生上一番最後の方に形成される第一指と第五指は、系統進化上真っ先に失われやすいという傾向を指したものである。モースは1872年にこの「法則」を発見したが、これに一目従わないのが、獣脚類恐竜の手である。もともと恐竜の手には5本の指があったものが、進化の過程で第五、四指が消失し、第一、二、三指の3本が残った。いっぽうで獣脚類恐竜の子孫で

ある現生鳥類は、その発生過程で5本の指原基のうち二、三、四番目が残るというパターンを示す。とすると、獣脚類恐竜と鳥類で手の指の番号が異なり、これらの間の祖先—子孫関係と矛盾してしまう。近年、鳥類の3本指は、第二、三、四指の位置にある原基から発生が始まるの



だが、それらが他の動物では第一、二、三指を発達させるような領域において発生が進むことにより、最終的にこの三指の属性をもつようになるという仮説が提唱された。つまり獣脚類の手の進化は、第一、五指の原基が消失する点ではモースの法則に合致しているいっぽうで、残った3本指の属性は第一、二、三指として指

定されるという、ちょっと複雑なメカニズムで起こったらしい。これは獣脚類において、第一指のものを掴むという機能が重要なため、その形態を失わせないようにする淘汰圧と、第一指を失わせるようなモースの法則の進化傾向との相互作用の結果であるかもしれない。理学部と縁の深いモースが、現在の私の専門である恐竜の進化を考える上で重要な現象を発見していたことを知り、まさに温故知新という感慨をもった次第である。



獣脚類恐竜ディノニクス (A) と現生ニワトリ (B) の3本指の手の骨格

東京大学大学院理学系研究科・博士学位取得者一覧

(※) は原著が英文 (和訳した題名を掲載)

種別	専攻	申請者名	論文題目
2014年9月16日付学位授与者 (4名)			
論文	物理	木下 基	アトミックキャンドルによるセシウム原子のラビ周波数測定に基づくマイクロ波絶対電力の計量標準
課程	地惑	盧 孟燮	メソ対流システムを対象とした人工衛星シミュレータを利用したシングルバルク雲微物理スキームの改良(※)
課程	生科	小寺 千絵	出芽酵母における Sec23 ホモログ Nel1 の機能解析(※)
課程	生科	前廣 清香	メダカの脳において発現に性差を示す遺伝子の探索と発現制御解析(※)
2014年9月26日付学位授与者 (9名)			
課程	物理	有木 健人	非一様乱流に対する平均ラグランジュ的繰り込み理論(※)
課程	物理	加藤 康作	原子および分子から発生する高次高調波のイオン化限界近傍における位相差の観測(※)
課程	物理	吉原 圭亮	$WW^* \rightarrow \ell \nu \ell \nu$ 終状態を用いたヒッグスポソン結合定数の測定(※)
課程	物理	CHARRON Bruno Andre	格子 QCD における二粒子チャンネル(※)
課程	物理	IRVINE Tristan James	スーパーカミオカンデにおける中性子検出手法の開発と大気ニュートリノ振動解析への適用(※)
課程	物理	TRAN THI THU HANH	白金表面への水素吸着の第一原理計算(※)
課程	地惑	小川 史明	対流圏東西風の環状モード変動とその成層圏変動との結合に対する中緯度海洋前線帯の潜在的重要性(※)
課程	地惑	橋本真喜子	多波長マルチピクセル法による大気エアロゾルのリモートセンシングアルゴリズムの開発(※)
課程	生科	宮田 一範	光化学系 II 光障害の研究: 修復過程の精査(※)
2014年10月27日付学位授与者 (1名)			
課程	物理	門脇 正尚	大気大循環モデルを用いた火星ダストストームの発生環境と時間発展に関する研究(※)

人事異動報告

異動年月日	所属	職名	氏名	異動事項	備考
2014.10.1	地惑	教授	杉田 精司	配置換	大学院新領域創成科学研究科・教授から
2014.10.1	フォトン	教授	湯本 潤司	採用	
2014.10.1	地惑	准教授	関根 康人	昇任	大学院新領域創成科学研究所・講師から
2014.10.1	生科	准教授	大橋 順	採用	筑波大学医学医療系・准教授から
2014.10.1	物理	講師	WIMMER KATHRIN	採用	
2014.10.1	化学	特任助教	CHIU LIANG DA	採用	
2014.10.1	情報	特任専門職員	丸山 美紀	採用	
2014.11.1	化学	助教	廣井 卓思	採用	
2014.11.1	生科	助教	島 知弘	採用	
2014.11.1	生科	特任助教	小口 祐伴	採用	
2014.11.1	生科	特任助教	小森 智貴	採用	
2014.11.1	生科	特任助教	白崎 善隆	採用	

あとがき

それぞれの方にとって「印象に残る作品」があると思う。私の場合、その1つが三谷幸喜氏原作・脚本の舞台「笑の大学」である。娯楽に対する規制が厳しい戦時中、お笑いを追求する喜劇作家と、その台本の内容に難癖をつける検閲官のやり取りを描いた喜劇である。検閲官が出す無茶な要求を、喜劇作家はすべて台本に反映させた上、知恵を働かせてより面白い作品に仕上げている、といったス

トーリーである。相手の要求を突っぱねて自分を貫き通すことではなく、それに応えた上で、さらに笑いを盛り込むという喜劇作家のプライドが、面白くもあり感銘も受ける。自分の投稿論文に対してレフェリーからコメントが返ってきた際など、この作品を思い出して気合いを入れ直したりする。

2014年度から本冊子の編集委員会に加えて頂き、内容を確認する「検

閲官」的な立場になる機会も出てきた。ご多忙な中で時間を割いて仕上げてくださいました原稿に対して修正を依頼することは勇気がある。しかし、多くの場合、執筆者の方は単なる修正だけでなく、より良い原稿に仕上げてください。感謝するとともに、より充実した冊子にしたいと当方も身が引き締まる次第である。

安東 正樹（物理学専攻 准教授）

東京大学理学系研究科・理学部ニュース 第46巻4号 ISSN 2187-3070

発行日：2014年11月20日

発行：東京大学大学院理学系研究科・理学部

〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1

編集：理学系研究科広報委員会所属 広報誌編集委員会

rigaku-news@adm.s.u-tokyo.ac.jp

横山 央明（地球惑星科学専攻、編集委員長）

安東 正樹（物理学専攻）

石田 貴文（生物科学専攻）

對比地孝亘（地球惑星科学専攻）

福村 知昭（化学専攻）

横山 広美（広報室）

國定 聡子（総務チーム）

武田加奈子（広報室）

印刷：三鈴印刷株式会社

本ニュースはインターネットでもご覧いただけます。

東京大学 理学部ニュース

検索



理学部ニュース発行のお知らせメール配信中。
くわしくは理学部HPでご確認ください。



「氷の海へ」

2012年12月～2013年2月まで南極で隕石探査を行いました。過酷な環境の下、スノーモービルで氷の海のような氷原をひたすら走ります。第54次南極地域観測隊三河内岳隊員撮影。

撮影：2012年12月 三河内 岳（地球惑星科学専攻 准教授）