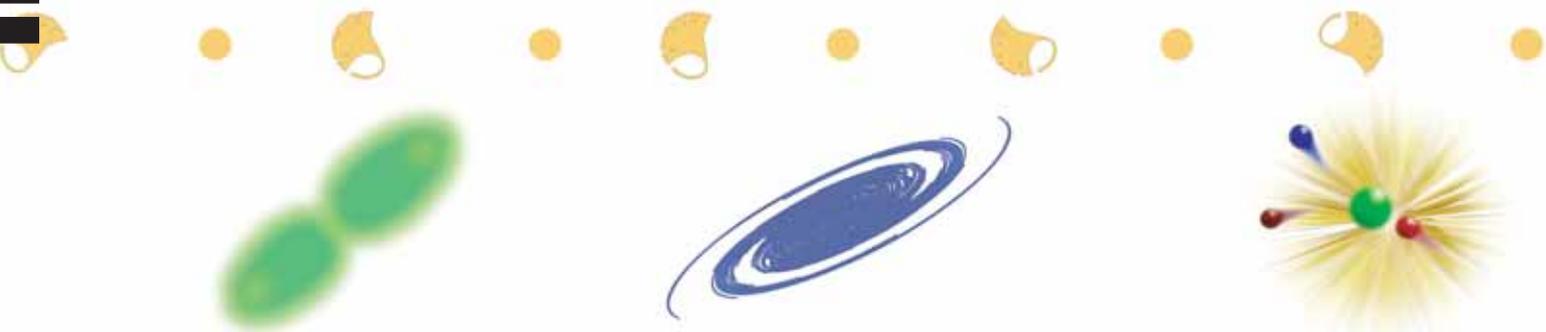


東京大学 理学系研究科・理学部ニュース

36巻6号 2005年3月20日発行

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

理学系研究科・理学部ホームページ
<http://www.s.u-tokyo.ac.jp>
と連携しています。



目次

トピックス

研究科長の挨拶	研究科長 岡村 定矩 (天文学専攻 教授).....	3
第4回理学系研究科諮問会が開催される	広報委員長 佐野 雅己 (物理学専攻 教授).....	4
21世紀COE合同シンポジウムの報告	シンポジウム組織委員長 岩澤 康裕 (化学専攻 教授).....	5

研究ニュース

遺伝暗号拡張の鍵となる酵素のX線構造解析	横山 茂之 (生物化学専攻 教授).....	6
国際共同研究により希少な火星隕石の分析が始まった	三河内 岳 (地球惑星科学専攻 助手).....	7
10億歳の宇宙で原始の銀河団を発見	嶋作 一大 (天文学専攻 助手).....	8

望遠鏡ものがたり

6. 進化する宇宙冷却赤外線望遠鏡	尾中 敬 (天文学専攻 教授).....	9
-------------------	----------------------	---

研究室探訪

第12回 原始太陽系の姿を追う～隕石からのアプローチ～ (杉浦 直治 教授 (地球惑星科学専攻))	三宅 亮介 (化学専攻 博士課程1年).....	12
---	--------------------------	----

化学の未来を考える

5. フォトクロミック現象を操るー視覚と人工系	西原 寛 (化学専攻 教授).....	20
-------------------------	---------------------	----

科学英語を考える「theってどういう意味？」

5. 冠詞と関係詞	トム・ガリー (翻訳家・辞書編纂家, 化学専攻・化学英語演習講師).....	21
-----------	---	----

お知らせ

平成18年度大学院理学系研究科・化学専攻修士課程入学試験について.....	22
人事異動報告.....	22
東京大学大学院理学系研究科・博士学位取得者一覧 (2005年1月～2月).....	22

あとがき

.....23

■ 表紙写真の説明

3月3日午後3時より小柴昌俊特別栄誉教授、佐々木毅総長、副学長、他部局長の列席のもと、約100名の参加があり、「小柴ホール」の落成記念式典と小柴先生による記念講演会が行われました。式典は、小柴先生、佐々木総長、岡村研究科長のテープカットで始まり(表紙写真)、続いて岡村研究科長の挨拶と佐々木総長の祝辞がありました。研究科長は、このホールが作られた経緯と全学・全国的に見ても他に例のない高度な設備を紹介し、学内外の広い利用を呼びかけました。佐々

木総長は、本学の建物の名前が「○○学部○号館」といった無味乾燥なものが多い中、小柴先生の名前を冠したホールができたことは、大変喜ばしいことであり、このホールからまた小柴先生のように優れた成果をあげる研究者が出ることを期待すると話されました。小柴ホールは、収容人員200人、リアルタイムでのインターネット配信機能、会議の電子媒体記録機能、高品位テレビ会議システムを備えた国立大学法人所有の会議施設としては、国内でも他に例のないIT設備を備えています。

研究科長の挨拶

研究科長 岡村 定矩（天文学専攻 教授）

国立大学としての最後の1年と国立大学法人としての最初の1年に研究科長を務めるという大変希有な経験をしました。押し寄せる変革の波の中でもがいているうちにあっという間に2年の任期が終わろうとしています。教員、職員、学生の皆さんには、数多くの苦渋の選択にご理解とご協力を頂き、心から感謝しています。

世の中とは無縁で研究一筋というのが理学系の先生方の鑑とされていましたが、もはやそれでは最低限の教育研究環境すら脅かされかねない時代になりました。理学系の中で自分の組織を守る、東大の中で理学系を守る、多数の大学の中で東大を守る、という組織防衛論だけでは、今日の社会情勢のなかで展望は開けません。基礎科学、あるいはもっと一般的には、教育研究とは何か、その社会的意義と重要性を広く一般の人々に訴え、日本社会の風潮を変えて行くことが必要だと私は考えています。

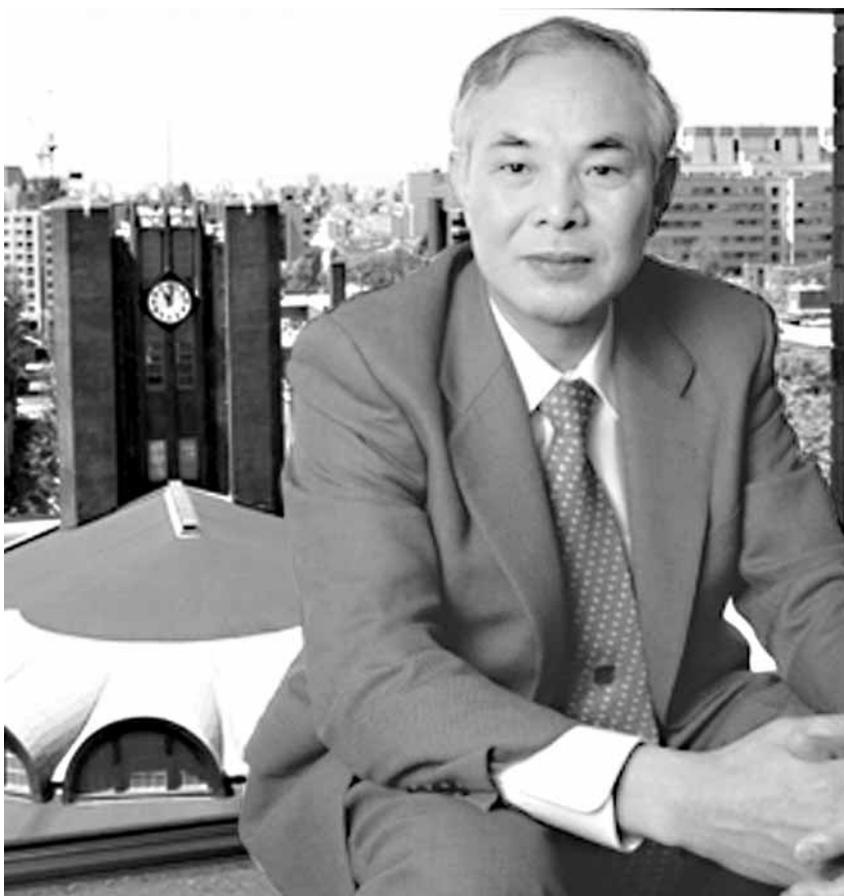
理学系でも、ホームページ、公開講演会などを通じて、社会に対してさまざまな情報発信を行っています。もともと自然や科学に関心のある人々にとってこのような情報発信が有効なことはすでに確かめられています。しかし残念ながらそのような人々は社会の少数派です。いわゆる「科学オンチ」ないしは「科学なんて関心ない」という多数派の人々に、科学が面白いとは思わなくても、せめて最

低限、科学の意義を理解してもらえるような工夫が必要です。

理学系研究科には、日本と世界の将来をになう優秀な学生がいます。しかもその数は決して少なくありません。学部に約280人、大学院修士課程には400人あまりが毎年入学し、一定の期間の後には社会に出て行きます。教職員と学生が基礎科学の重要性を広く社会に流布することを一生の使命の一つであるとする

ようになれば、少なからぬ影響を与えることが出来ると信じています。言うまでもありませんが、そのためには、理学系の教育と研究が世界のトップレベルであり続けることが必要条件です。

退任の挨拶にはあまりふさわしくない話になってしまいましたが、研究科長の間にも最も強く感じたことです。2年間いろいろとありがとうございました。



第4回理学系研究科諮問会が開催される

広報委員長 佐野 雅己（物理学専攻 教授）

去る2月21日（火）に、第4回理学系研究科諮問会が開催されました。理学系研究科では、平成13年度から諮問会を設け、様々な分野の有識者に研究科の運営に関する意見をうかがっています。

現在の委員会の構成は、茅幸二委員長（理研理事）、荒木浩委員（東京電力顧問）、尾関章委員（朝日新聞、東京本社科学医療部長）、久城育夫委員（元海洋研究開発機構、地球統合フロンティアシステム長）、浜本育子委員（ルンド大学（スウェーデン）名誉教授、コペンハーゲン大学併任教授）、郷通子委員（4月より御茶ノ水大学学長、今回は欠席）となっています。今回の諮問会には上記の委員に加え、理学系から岡村研究科長、和達副研究科長、山本副研究科長、榎森男女共同参画WG座長、佐野広報委員長、平賀事務長が出席したほか、岩澤次期研究科長、神山副

事務長が陪席しました。会議に先立って、13時30分より約1時間にわたって行われた施設見学では、生物情報教育プログラムの行われているプレハブ棟を見学し、南特任教授から教育プログラムの概要説明を受けた後、黒田助教授と高井講師により研究内容の紹介が行われました。その後、竣工して間もない理学部1号館新棟に設けられた小柴ホールを訪れ、玉造講師から小柴ホールの最新設備などについて説明を受けました。

14時30分から開始された諮問会議では、約3時間にわたり法人化になった理学部の研究教育の現状について説明が行われ、活発な意見が交わされました。岡村研究科長から、法人化前夜から法人化直後に起こったこととして、裁量労働制の導入や理学部に新たに課せられた定員管理（教授・助教授・助手合わせて11

名の定員削減）、環境安全管理室の立ち上げなどが行われたこと、運営方針に関しては、2名の副研究科長や企画室、学術運営委員会などの組織改変、財政に関しては、新棟への引越しもあり、当初配分15%減という大変苦しい財政のなかでスタートしたことなどが説明されました。また、新たに学生支援室の立ち上げや実習に参加する学部生への援助が可能になったことなども説明されました。引き続き行われた委員からの意見開示では、法人化によりむしろ制約が増え、財政や定員のほか、研究環境が厳しくなった印象が強いとの意見が相次ぎました。特に在室時間管理表の提出義務付けに関しては、否定的な見解が多く述べられました。また、複数の委員から、科長の強いリーダーシップを期待する意見や、東大の理学系として、もっと誇らしく、ファンダメンタルで、長期的な研究課題にも取り組み、基礎科学研究の拠点となるべきだとする意見が述べられました。

広報活動の説明も行われ、活発な活動が評価された一方、新聞発表などの断片的な広報だけではなく、研究分野の潮流を紹介するような広報活動や広報室が記者と研究者の仲介の役割を果たすことを期待する意見もありました。男女共同参画ワーキンググループからは、アンケート結果や活動内容を通して明らかになった大学院生や教官の意識変化や今後の課題について説明され、委員からは本当に女性教員を増やす方針ならば、ポジティブアクションを取ることも必要との意見も出されました。



21 世紀 COE 合同シンポジウムの報告

シンポジウム実行委員長 岩澤 康裕（化学専攻 教授）

平成 17 年 3 月 7 日と 8 日の両日、小柴ホール落成を記念して、理学系研究科主催の理学系 21 世紀 COE 合同シンポジウムが開催されました。シンポジウムには、小柴特別栄誉教授、小宮山副学長、および矢野 COE 推進室長がおいで下さり、この種のシンポジウムの意義と賛意、および理学系 COE プログラムに対する期待と激励を頂きました。また、理学系研究科を代表して岡村研究科長にご挨拶頂きました。この場を借りて先生方に深く感謝申し上げます。

本シンポジウムは、小柴ホールの本格的使用の最初のイベントとして企画されました。参加者は 2 日間で延べ 486 名で大盛況でした。また、マスコミを含め多くの学外からの参加もあり、専攻間の初の合同企画として成功裏に終わりました。

ご存じのように、理学系研究科では、

平成 14 年度には「動的分子論に立脚したフロンティア基礎化学」（化学専攻）、「『個』を理解するための基盤生命学の推進」（生物化学専攻、生物科学専攻）が 21 世紀 COE プログラムに採択され、平成 15 年度には「極限量子系とその対称性」（物理学専攻、天文学専攻）、「多圏地球システムの進化と変動の予測可能性」（地球惑星科学専攻）が採択され、6 つの全ての専攻が 21 世紀 COE プログラムに採択されています。また、数理学専攻と情報学環も採択されていることから、理学系研究科の全専攻と理学部の全学科が COE プログラムに関係していることとなります。そのような意味で、小柴ホール落成記念のイベントとして最もふさわしいとして企画されたわけです。

本シンポジウムには二つの特色を持たせました。一つは、21 世紀 COE プログ

ラムが若手研究者の人材育成を柱の一つに謳っていることから、若手研究者に研究成果の講演をお願いしました。他は、各 COE 相互乗り入れ方式を取り、各専攻の COE セッション（計 4 セッション）の講演構成は、その専攻から 5 名、他専攻から 1 名ずつ計 3 名が加わり、8 名の講演で全専攻インタラクティブ構成としました。また、各 COE セッションの導入部には各 COE 拠点リーダーに拠点プログラムの概要を紹介して頂きました。拠点リーダーおよび講演者各位には講演についていろいろ注文を出ささせて頂きましたが、趣旨を理解して協力下さいました。改めて感謝申し上げます。

最後に実行委員会委員の皆様、特に具体的計画・当日の運営を担当して下さいました常行、中島、市川、矢部の先生方に深く謝意を表します。



研究ニュース

遺伝暗号拡張の鍵となる酵素のX線構造解析

横山 茂之（生物化学専攻 教授）

2005年1月25日プレスリリース

遺伝情報は、あらゆる生物に共通する遺伝暗号表に従って、規則正しくアミノ酸配列をもつタンパク質へと翻訳されることで生命現象に反映される。近年、ゲノム解析やタンパク質の立体構造解析がすすみ、タンパク質を望みの機能を持つよう設計する研究の土壌が固まってきた。しかし、既存の遺伝暗号に従う限りでは、タンパク質を構成するアミノ酸は20種類しかないため、タンパク質の構造、機能、および化学的性質を設計する上で大きな制約があった。最近、この制約を取り除くべく、遺伝暗号を人為的に拡張する研究が進展している。

我々は2002年に真核生物内で、非天然型アミノ酸のひとつである3-ヨ

ドチロシン (3-IY) を終止コドンに対応させることで、3-IY をタンパク質に導入することに初めて成功した。その鍵となるのが、チロシル tRNA 合成酵素 (TyrRS) である。基質認識に関わる2残基を置換した変異 TyrRS は、3-IY を選択的に認識して終止コドンに対応する tRNA に結合させる。

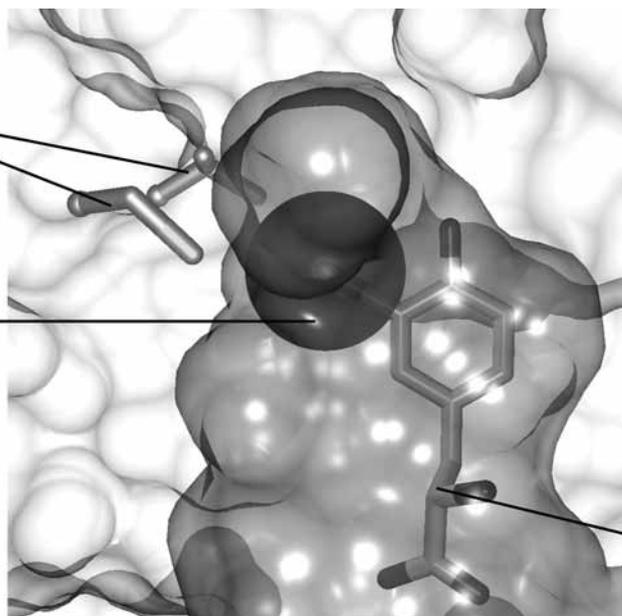
この変異 TyrRS がどのようにヨウ素という大きな置換基をもつ3-IYを認識するかを明らかにすべく、酵素とアミノ酸との複合体のX線結晶構造解析を行い、高分解能構造を決定した。変異 TyrRS は、3-IY に対してちょうどの大きさの深いポケットを形成し、ファンデルワールス力でヨウ素原子を認識してい

た。さらに、ヨウ素の電子求引性が、基質側鎖と変異 TyrRS との間の水素結合を強めて認識を強化すると考えられた。一方、チロシンに対しては、ポケットは広すぎ、しかも本来側鎖を認識していた残基が置換されているために認識が弱いことが明らかとなった。

変異 TyrRS の構造情報は、3-IY 誘導体を認識する変異酵素を設計する上で役立つ。3-IY 自体は、重原子の性質を利用したタンパク質立体構造解析やヨウ素を標的にしたタンパク質の化学修飾などに用いられるが、さらなる変異体の作成により、様々な用途に合った非天然型アミノ酸をタンパク質に導入することができると期待される。

置換した残基

ヨウ素原子



3-ヨードチロシン (3-IY)

変異 TyrRS の基質結合ポケットに結合した3-ヨードチロシン。ヨウ素原子は、そのファンデルワールス半径に基づいた大きさの球で示した。

研究ニュース

国際共同研究により希少な火星隕石の分析が始まった

三河内 岳（地球惑星科学専攻 助手）

2005年1月28日プレスリリース

ほとんどの隕石は小惑星から来ていると考えられているが、中には月や火星から来ているものも最近では知られている。ただし、これらの割合は、隕石全体のわずか0.1%ほどである。火星隕石は、これまでに30個ほどが見つかっており、火星について直接的に分析することのできる貴重な試料になっている。火星隕石はいずれも火成岩であるが、いくつかのグループに分けられており、火星の異なった場所を起源とし、異なった時代にマグマから結晶化したと考えられている。

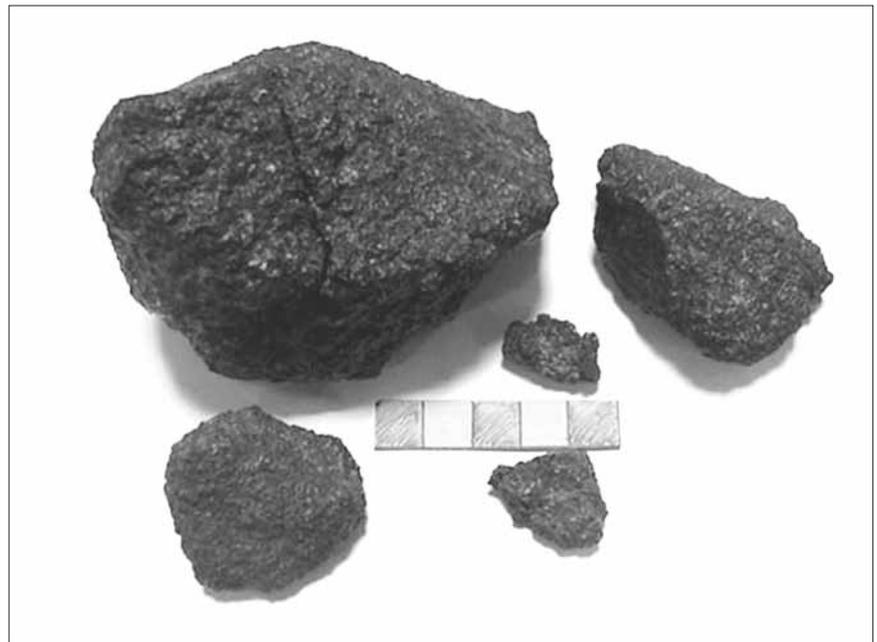
これらのグループの一つに「シャシナイト」と呼ばれるものがある。1815年にフランスに落下した「シャシニー」という名前の隕石から名付けられたものである。しかし、残念ながら、このグループに属する隕石は、このシャシニー一つしか見つかっていなかった。シャシニーは、90%以上がカンラン石という鉱物でできているダンカンラン岩に分類される。地球では、マントルを構成していると考えられている岩石である。隕石研究者の中にも、シャシニーは火星のマントル起源ではないかと唱える人もいる。この火星隕石が結晶化したのは、約13億年前と見積もられており、火星の過去の歴史を知る上で貴重な試料になっている。しかし、これまでにたった一つしか見つかっていなかったために、成因については明らかになっていない点の多い隕石であった。

そして、最近、待望の2個目のシャシナイトが見つかった。フランスの隕石

業者がモロッコの砂漠で見つけた600グラムほどの隕石である。最初に、フランス人の隕石研究者によって記載され、国際隕石学会の命名委員会から「NWA 2737」という公式名称が与えられた。その後、ヨーロッパ（イギリス・フランス）、アメリカ、日本（東京大学）による国際的な共同研究が組織された。まだ分析が始まってから日が浅いが、我々のグループによる分析結果では、鉱物組成や岩石組織はシャシニーと非常によく似ていることが明らかになった。また、この隕石がマグマから結晶化した際の冷却速度は、カンラン石中の元素濃度の分

布から約30度/年と見積もられた。これは、火星表面からせいぜい15メートルほどの深さの場所にすぎない。シャシナイトは、火星のマントルではなく、火星表面の溶岩流の底にカンラン石が降り積もってできた可能性があることが分かったのである。

今後、世界各国のグループから、微量元素組成、同位体組成、そして結晶化年代などのデータが次々と出てくるはずである。これらのすべてのデータを元に、シャシナイトがどのようにできたか、そして火星の地質に対してどのような意味を持つかが明らかになっていくと期待される。



今回見つかった総重量611グラムのNWA2737隕石。黒白のパターンは全長5センチ。

研究ニュース

10 億歳の宇宙で原始の銀河団を発見

嶋作 一大 (天文学専攻 助手)

2005 年 2 月 18 日プレスリリース

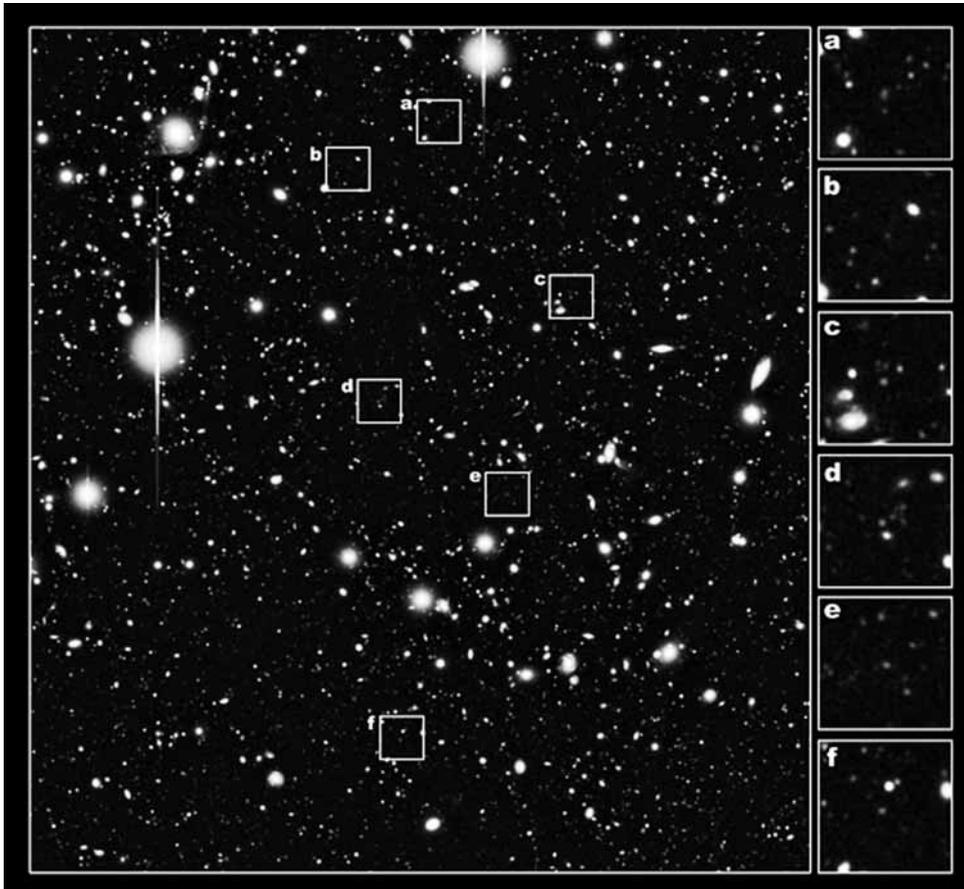
銀河団とは数十個程度以上の銀河が狭い範囲に集まってできた集団で、宇宙で最も大きな天体である。現在見られる銀河団は大きいものでは直径が数メガパーセク (1 メガパーセクは約 300 万光年)、質量は一千兆太陽質量ぐらいある。

銀河団の誕生と進化の解明は銀河物理と宇宙論の重要な課題である。しかし、銀河団は希な天体なので、遠方宇宙 (昔の宇宙) での探査は難しい。大口径と広視野を兼ね備えた「すばる望遠鏡」を用いて、我々は、これまでで最遠方、すな

わち 10 億歳 (赤方偏移 5.7) の宇宙で銀河団の探査を行なった。これは現在の宇宙年齢のわずか 7% 程度である。1 平方度という広い天域を探査して、我々は 515 個の銀河を検出した。それらの空間分布には、現在の宇宙と同様の大規模構造が既に存在する。

銀河分布を詳細に調べた結果、我々は 2 つの原始銀河団を見つけた。確認された銀河はそれぞれ 6 個と 4 個しかないが、検出限界以下の暗い銀河は存在するだろう。しかし、これらの銀河団の重力

質量は現在の銀河団よりずっと軽そうである。これらの原始銀河団の中では、周囲の平均的な場所より 1 桁も高い効率で銀河が生まれているらしい。その原因はまだ謎である。銀河団のタネである暗黒物質の密度揺らぎは、当時の宇宙ではまだ小さかったはずだが、見つかった原始銀河団は不釣合に立派に見える。我々の発見は銀河団の誕生の過程を解明する突破口になるかもしれない。本研究は Ouchi *et al.* (2005, *Astrophysical Journal*, 620, L1) に掲載されている。



発見された原始銀河団
(国立天文台提供)。

四角い枠以外はすべて手前の
無関係な天体である。

連載シリーズ「望遠鏡ものがたり」

6. 進化する宇宙冷却赤外線望遠鏡

尾中 敬 (天文学専攻 教授)



宇宙空間に浮遊する小さな固体の粒子（ダスト）による吸収は、赤外線（ここでは波長数ミクロンから数百ミクロンの光を考えます）では非常に少なくなる一方、遠くの銀河は宇宙膨張のため赤方偏移するため、遠方で光る昔の天体を研究するには赤外線が重要になってきます。一方、我々の地球も赤外線でもっとも輝いているように、隣の惑星を探すにも赤外線は有効な波長帯です。この他にも様々な理由があり、赤外線による天体観測は面白い対象がいっぱいあるのですが、現実には、地球の大気に邪魔されて、地上から観測できる波長は非常に限られています。

地球の大気から逃れるために、大気圏外に出て観測を行なうこととなりますが、衛星観測ではさらに望遠鏡全体を極低温まで冷却することで、赤外線観測感度を何桁もあげることができます。これは、望遠鏡からの赤外線放射を最小にすることと同時に、極低温（数 K）まで冷却することにより検出器の感度を大幅に向上することができるためです。したがって、衛星に搭載された冷却望遠鏡は、もっとも感度のよい赤外線観測を提供することができます。

冷却にはこれまで液体ヘリウムが主

に冷媒として用いられてきました。宇宙では周囲がほぼ真空になるため、液体ヘリウムは超流動状態となり 2K 以下の温度が実現します。しかし、このような極低温状態で期待される性能を発揮する衛星搭載用の望遠鏡を作るためには、何重もの困難があります。衛星打ち上げの激しい振動に耐えるような強固でしかも軽い構造が求められる一方、光学性能を達成するためには鏡を強く固定し強いストレスをかけることを極力避ける必要があります。さらに極低温で使用するわけですから、冷却による変形はできるだけ小さなものが求められます。すなわち、できるだけ軽量で強く、熱変形の少ない鏡が理想のものです。例えば、最初の冷却赤外線軌道望遠鏡 IRAS や現在稼働中の Spitzer 宇宙望遠鏡では、ベリリウムという非常に堅くて比重の軽い金属の鏡が用いられてきました。しかし、ベリリウムは毒性が高く取り扱いに注意が必要で、また金属であるため熱変形も大きい材料です。高精度の冷却望遠鏡を作るには、多くの技術的課題を克服する必要があります。

我々はこれまで、宇宙科学研究所（現・宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部、以下宇宙科学研究本部）のグループと共

同して、衛星搭載用の赤外線冷却望遠鏡の開発を進めてきました。1995 年に打ち上げた日本で初めての冷却赤外線衛星望遠鏡 IRTS では、15cm のアルミの鏡を用いました。図 1 に IRTS 望遠鏡の写真を示します。アルミは、機械切削が容易で熱伝導もよく、取り扱いが容易とい

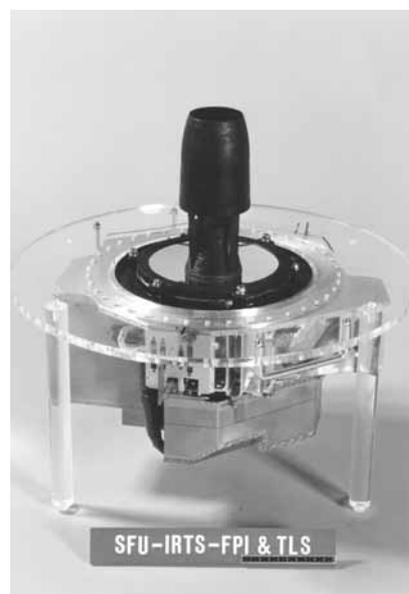


図 1. 日本初の衛星搭載冷却望遠鏡 IRTS。15cm のアルミ鏡の望遠鏡（写真提供・宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部）

う利点があります。比重も小さいのですが、残念ながら強度はそんなに大きくないため、重量的にはあまり利点がありません。また金属であるため熱変形も小さくありません。IRTSは小口径の利点を活かして、個々の天体というよりは星間物質や遠方からの背景光の観測に重点をおき、結像性能は1分角程度を目標としたアルミの鏡を採用しました。IRTS望遠鏡は、要求された光学性能を極低温で実現し、近赤外線からサブミリ波の領域にかけて、宇宙背景放射や銀河光の観測に成功し、これらの研究に多くの貴重なデータをもたらしました。

IRTSの次に、我々は、波長数マイクロンで回折限界による光学性能（数秒角）を満たすような70cmの鏡を用いたASTRO-Fという衛星の望遠鏡を開発してきました。この光学性能を満たすにはアルミの鏡では困難であり、我々は、炭化珪素（SiC）という新しい素材の鏡の開発を行いました。SiCは、研磨性が高く、強度も強く、熱伝導もよいため、従来からベリリウムに替わる宇宙用の光学材料として、注目を集めていた素材です。しかし、ASTRO-Fの鏡の開発を始めた1990年では、まだ60cmを超える大きさのSiCの素材は安定に製造されておらず、また極低温における性能もよくわかっていませんでした。我々は、軽量化するために、内部は多孔質で、その外側に洞密なSiCをつけるというサンドイッチ構造の素材を採用することにし、まず16cmの試作鏡を液体ヘリウムで冷却し、その光学性能を測定しました。試作鏡の試験により、この種のSiC鏡は常温と定温でほとんど変形しない、冷却望遠鏡には非常に向いた素材であることが確認されました。しかし、やはり、70cmの大きさのSiCの製造はそう容易ではなく、

5回以上の試作を繰り返し、また振動試験中に割れるなどの苦労の末、製造メーカーの大変な努力・協力のもと、初めてこの大きさの軽量（11kg）のSiC鏡の製造に成功することにこぎつけました。

ところが、ASTRO-F望遠鏡の実際の困難点はSiCの製造ではなく、鏡の支持構造にありました。当然ながら、鏡は観測装置を乗せた光学用の構造の上に固定されます。ASTRO-Fの場合、この構造はアルミで構成されており、SiCとの熱膨張率の差は非常に大きいものになります。この差を逃れるため、ASTRO-F望遠鏡では、板バネにより支える構造をとっています。また鏡にストレスをかけることなく固定することが必要ですが、SiCはセラミックなので、ねじ止めはできません。このため、接着剤で固定する方法が用いられました。この接着部分が事前の地上試験で剥離するという事故が起こり、打ち上げの延期という衛星全体のスケジュールに影響を与え、多くの方にご迷惑をかけることになってしまいました。

その後、宇宙科学研究本部の工学の方々の協力のもと、設計の大幅な見直しを行い、現在では、打ち上げ環境に十分に耐えるSiC望遠鏡が準備でき、一昨年アメリカで打ち上げられたSpitzer宇宙望遠鏡を追って打ち上げを待つまでになっています。図2にASTRO-F望遠鏡の写真を示します。支持構造は、光学性能にも大きな影響を与え、SiC素材自身の熱変形は少なかったものの、結局、この支持部に起因する熱変形が低温の光学性能に支配的になっています。これらの経験から、支持構造を工夫することが将来の冷却望遠鏡では重要になると考えています。

さて、その将来計画ですが、皆さんは、これまでの赤外線望遠鏡の口径が1mに

満たないことにすでにお気づきでしょうか。これまでで最大のSpitzer宇宙望遠鏡でも口径は85cmです。このように、これまで鏡の大きさが限られていたのは、液体ヘリウムを搭載するため、どうしても大きな魔法瓶が必要になっていたためです。我々は現在、液体ヘリウムのための魔法瓶をなくして、冷凍機と放射で冷却する3.5mクラスの軌道冷却赤外線望遠鏡SPICAの計画を始めています。赤外線では、回折により空間分解能が決まってしまうため、口径を大きくすることは、感度を上げると同時に細かい空間構造を観測するためには非常に大きな利得があります。口径1m以下の赤外線望遠鏡では、可視域や電波に比べて1桁以上も悪い分解能の観測が精一杯ですので、少しでも可視域の空間分解能に近づ



図2. 赤外線衛星ASTRO-F冷却望遠鏡の写真。70cmの炭化珪素（SiC）の鏡が用いられている（写真提供・宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部）

けることが強く切望されています。

Spitzer 宇宙望遠鏡や ASTRO-F は、これまでの衛星観測に比べて革新的なデータをもたらすことが期待されていますが、本当に遠くのできたての銀河や、できたての星、あるいは太陽系外の惑星系を観測するには、赤外線衛星望遠鏡をもっと進化させ、大きな口径のものを実現することがどうしても必要です。SPICA と同時期に打ち上げを目指しているアメリカの James Webb 宇宙望遠鏡 (JWST) は複数のベリリウム鏡を用いた展開型の 6.5m の放射冷却による望遠鏡を計画していますが、SPICA ではさらに冷凍機で冷却を行うため、展開による複雑な機構を排除して、一枚の鏡で 3.5m を実現することを考えています。SPICA は JWST よりはるかに低い温度に達しますので、20 ミクロン以上の波長の観測では、多少口径が小さくとも JWST より高い感度が達成でき、より赤方偏移した遠くの銀河の観測や、太陽系の外の惑星系の検出に有利であると期待されます。

このような SPICA 望遠鏡の実現ためには、低温で性能のよい軽量の大型鏡が必須です。現在のところ、SiC は融着により大型化ができるようになっていますが、融着部の低温変形への影響についての十分な検討が必要です。われわれは、この SiC の大型化とともに、新しい鏡の素材として、SiC に炭素繊維を混ぜて強度を上げた C/SiC という複合材料の開発を、宇宙科学本部との共同で始めています。C/SiC は繊維強化材料であり、大型化が容易なこと、複雑な支持構造をとることができるなど、いくつかの利点がある一方、複合材料であるため、低温で非一様な変形を生じる可能性があります。これまでの開発で、すでに、C/SiC の製造過程の改良から、材料の一様性を大幅

に改善した素材の開発に成功しています。

この他にも、構造材としてよく使われている炭素繊維強化プラスチック、通常 CFRP と呼ばれる素材による鏡の開発も行っています。図 3 に CFRP による試作鏡の写真を示します。CFRP は、直接に研磨ができない材料のため、レプリカ法といって、型をとる方法を用いて鏡を製作しています。これは、同じ形の鏡を大量に生産するには非常に有効な方法です。現状の CFRP 鏡は、炭素繊維の塊りの影響が大きく、まだ波長の短い赤外線での観測に耐えるものにはなっていません。しかし、CFRP は比重が小さく、強度も高い構造用の材料のため、軽量鏡としては非常に有利な材料であり、さらに熱膨張率を限りなく 0 に近づけるよう

なオートクチュールも可能なため、将来の大型の赤外線望遠鏡には、非常に魅力的な素材と考えています。ASTRO-F の経験から、支持機構の設計が低温の性能には非常に重要であることがわかりました。C/SiC や CFRP の鏡は、支持構造を十分に工夫する余地を与えてくれます。これらのこれまでの苦い経験を十分に活かして、大型の冷却望遠鏡の実現を目指していきたいと考えています。

以上の研究は、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部との共同研究であり、また多くのメーカーの方にご協力頂き、進めてきたものです。大型の冷却望遠鏡の実現には、まだまだ解決すべき課題が多く残されており、皆様方からのコメントやアドバイスをお待ちしております。



図 3. レプリカ法により制作した炭素繊維強化プラスチック材 (CFRP) の 15cm 試作鏡

研究室探訪 — 第 12 回 —

原始太陽系の姿を追う～隕石からのアプローチ～

杉浦 直治 教授 (地球惑星科学専攻)

聞き手：三宅 亮介 (化学専攻 博士課程 1 年)



隕石 = 太陽系の謎解き!?

- 研究のきっかけ -

三宅 太陽系の起源を探るのに、他にいろいろと方法がある中で、どうして隕石を研究対象にされたのですか？

杉浦 もともと惑星とか宇宙のことに興味があって、その辺のテーマに手をつけたいなと思っていたんですけど、どこから手をつけていかわからなかったんです。大学院に入るときに、なんかある程度これがやりたいというテーマを指導教官に言わなければならなくて、何にしようかなと思っていろいろ悩んでいた時に、本を見てると隕石から宇宙の起源がわかるってことがちらっと書いてあって、それを見て、これにしようかと。

三宅 大学院の頃からずっと太陽系を探る研究を続けられているんですか？

杉浦 ある意味そうですね。まあ大学院の頃のテーマは、直接に太陽系の起源ではなくて隕石の残留磁化についてだったんですが、興味としてはそういうところにあったわけですね。

隕石からみなさんは何を連想するでしょうか？ 宇宙、流れ星、クレーターなどといったところでしょうか。数年に一度、隕石の落下がニュースになりますが、知っているようで知らない隕石。地球上に隕石が約 25,000 個もあること知ってましたか？ 実は隕石、原始太陽系や宇宙の誕生に関してとても大切な情報を持っています。

とは言っても、もちろん原始太陽系の姿を探るという壮大なテーマが、1つの研究から一朝一夕に明らかになるわけではありません。いろんな角度から、地道に少しずつ可能性を探っていくことが大切になってきます (これはどこの分野でも共通ですよ)。さて、原始太陽系の姿を解き明かす中で、隕石からは、どのような情報が、どの程度、どういう解析法によって得られるのでしょうか？

第 12 回目の研究室探訪は、隕石から太陽系の起源について研究されている地球惑星科学専攻の杉浦先生を訪ね、隕石にまつわるお話をお聞かせいただきました。

隕石から太陽系の起源を探る

三宅 なぜ隕石から宇宙や太陽系の起源がわかるのですか？

杉浦 例えば地球の岩石を調べても、太陽系のできたときの姿はわかりませんよね。それは地球の中にはたくさんの熱源があって、地球を溶かしたりいろんなことをしてしまうから、当時の様子を覚えてないわけです。隕石みたいな小さな天体は多少熱源を持っていても表面からどんどん熱が逃げてしまい、すぐに冷えてしまう。すると45億年前にはすでに冷えて、その後は何の変化もしていない。つまり昔の状態を維持しているから隕石から昔のことがよくわかるのです。熱源の量は体積に比例するので半径の3乗に比例しますよね。熱が逃げていくのは表面からなので半径の2乗に比例する。冷え方は半径の2乗、熱源は半径の3乗で効いてくるでしょ。だから小さな天体ほど昔のことを覚えてるわけです。

三宅 そもそも太陽系の起源を探るのにどのようなアプローチの仕方がありますか？ その中で隕石を用いるメリットはなんですか？

杉浦 原始太陽系の研究には、大体3つのアプローチがあって、まず隕石を見



図1. 太陽系の形成についての概観（これまでに分かっていることのまとめ）。

先生のお気に入り

先生のお気に入りの写真を見せて頂きました。

隕石のコンドリュールの（電子線を照射した際の発光である）カソードルミネッセンスを見た図で、含まれる元素により、発光が異なるので、電子顕微鏡では見にくいコンドリュール内の微小結晶構造の成長の様子なども観測できます。



るのが一つだよ。二つ目は、太陽があつてその周りに原始太陽系星雲というのが取り巻いていて、そういうものが時間とともにどう進化するのかということ。これを古典力学的に解くっていう理論的なアプローチがある。最後は天文学的なアプローチで、実際に星がいま作られている星間星雲を観察して、星とその周りの惑星系が構築される様子を探るんです。例えば、星雲から発せられる赤外線などから惑星ができてつあることを示すシグナルを観測すればいいですよ。このような3つのアプローチを総合して、どうやって太陽系ができるのかっていうことを研究しているわけです。でもやっぱり隕石でなければわからないことは結構あるんです。例えば隕石の主成分はコンドルールと言って、知らないかな？隕石の中には丸い形状をしたケイ酸塩がいったん溶けてから急冷したものがいっぱいあるんだけど、こういうものをコンドルールと言います。コンドルールのようなものは物理的描像では作りだせないんです。それにコンドルールは短時間（1時間ぐらい）で作られてしまうので、天文学的観測で直接見るのは難しいのです。だからやっぱり実際にちゃんと物的証拠を見るといところが大事だろうと考えているんですよ。

三宅 原始太陽系の姿を探る上で、そのコンドルールはどういった情報を持っているんですか？

杉浦 隕石の主要構成成分であるコンドルールは急な加熱の後で、急に冷えてできたと考えられます。どのようなプロセスでできたかはわかっていないのですが、このプロセスは隕石が形成されたときに起こったと考えられます。この点でコンドルールは太陽系で天体がどのようにできたのかについての重要な情報を持って

いると言えます。

原始太陽系は不均一だった？

三宅 そこで、隕石を選ばれたわけですね。先生は隕石の同位体（元素の原子核を形成する陽子の数が同じで、中性子の数が異なるもの）に注目されて、研究されておられるようですが、同位体から、太陽系や宇宙に関するどのようなことが、どのようにわかるのか教えていただきたいと思います。例えば、先生は窒素の同位体比から原始の太陽系が不均一であるということを示されていますよね。まずこの研究についてご説明いただけますか？

杉浦 わかりました。例えば隕石にはいろんな種類のものがありますが、同じ種類の隕石でも、安定同位体比が違うことがあるんですよ。同位体比が異なる理由を探ろうと、隕石内および隕石間で窒素の同位体比を比較したところ、原始太陽

系星雲の中では太陽系の原料となった結晶やその集合体がいまはしっかり混ざっていなかった可能性が示されたんですよ。

三宅 それはどのようにして、わかったことなんですか？

杉浦 測定としては、隕石を細かく見ていくんですね。図2は隕石をカットしてその表面を研磨してから電子顕微鏡で見た図です。図の中に円形に近い構造（太陽系の原料となった結晶等の集まりと考えられる）があるのは見えるでしょ？反射電子顕微鏡では、質量数が重い元素の方が白く見え、逆に軽い元素は黒く見えます。この場合、黒い部分は有機物が含まれることを示しています。この数十ミクロンの円形構造の中身を二次イオン質量分析計で分析したんです。すると、窒素の同位体比が標準的な窒素の同位体比に比べ違いがあったのです。我々の業界ではパーミル〔permil：千分率（100%の一つ下）〕という単位で測りますが、地球大気中の窒素の同位体比に比べて、窒素15 (^{15}N) の増加分 ($\Delta^{15}\text{N}$) が2500パーミルという値が出たので、

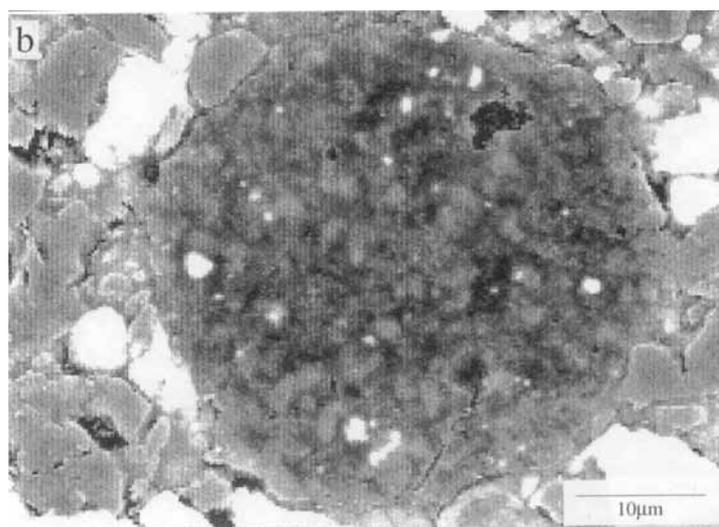


図2. 隕石の表面の電子顕微鏡写真（表面をカットして研磨してある）今回は太陽系初期のままの粒子が残っていることが多い石質隕石を調べている。

窒素の 15 が 3.5 倍もあるということですね。

三宅 隕石の種類によって、窒素 15 の存在比にそんな大きな差が出るんですね。ということはおそらく太陽系ができた時点ですでに同位体分布に偏りがあったということになるんですか？

杉浦 その辺は微妙ですね。この隕石の中に見られる大きな円形のものについて形成されたかはわかってないけれど、僕の考えとしてはこのようなものが、太陽系が形成するときに、同位体比の異常のある状態で太陽系に入り込んだと思っています。太陽系が形成されたときに、小さな 1 ミクロン以下の微少結晶は均一に混ざっていたと考えられるのですが、数十ミクロン (1 ミクロン = 10^{-6} m, 図では 30 ミクロン) の大きさのものは混ざっていなかったのではと考えています。

そもそも 2500 パーミルというような大きな同位体比異常のある物が生じた理由としては、暗黒星雲などの温度の低い星間空間では、同位体が気相と固相との間でやりとりされて同位体比が変化するという反応が起きるせいだと思われています。

三宅 先生は隕石から原始太陽系の形成について一つの重要な可能性を示されたわけですね。実はここにインタビューにくるまで、太陽系の起源がかなり明らかになっているというイメージを持っていたのですが、いろんな要素を検証しなければならないので、まだまだ原始太陽系の姿ははっきりしないことが多いですね。

杉浦 そうですね、ある種の隕石にはこういうが入っているんだけど、別の隕石には見られないとか、まだまだいろんな不思議なことがあるので。

原始太陽系のイベントの年代を探る

三宅 窒素のような安定同位体とは異なり、不安定な同位体 (放射性元素と呼ばれ時間とともに他の元素へと変化していく) を使って、よく原始太陽系で起こったいろんな出来事の年代について研究なされていますよね。この研究についてもご説明いただけますか？

杉浦 まずは、この研究で使う年代測定法の一般的な説明からしましょうか。

代表的なウランと鉛を利用したもので説明します。ウラン (U) と鉛 (Pb) の存在比を比べてやると、ずっと昔からあるものは、ウランが鉛に壊変してしまうので、鉛がいっぱいになる。元の親核種 (崩壊前の放射性同位体) になっているウランと娘核種 (崩壊後の放射性同位体) となる鉛の量を比べてやると、親核種が多いほど (図 3 で $Na > Nb$ と同意) 新しい ($Ta < Tb$) と、そういう原理です。

三宅 そうすると何年前のものがわかるってことですね。

杉浦 そうですね、ただし今は太陽系がどのようにできたかが知りたいわけです。太陽系が形成され始めてから、現在の姿になるまでのいろんなイベントが起こったのは、だいたいできてから数百万年の間なんです。45 億年前のわずかな時間差 (例えば 45 億 100 万年か 45 億年前か) を正確に決めようと思うと、そんなに昔のことは正確に決めにくいですね。半分に減るまでの時間を半減期と言うのだけれども、年代測定法では、この半減期と同じくらいの時間の間隔が一番測定しやすいのです。ウラン 238 が鉛 206 に崩壊する半減期は 45 億年、ウラン 235 が鉛 207 になるのは 7 億年なので、ウラン・鉛系を用いたのでは、うーんと昔のわずかな時間差を測定することは難しい。そこで、ウラン・鉛系でなくて、半減期がちょうど数百万年のタイムスケールのいわゆる消滅核種っていうものを使うんです。その消滅核種って名

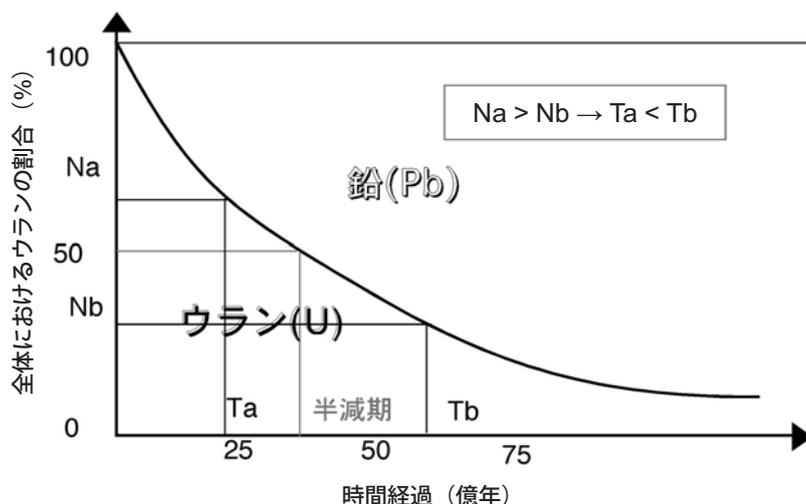


図 3. 放射性同位体の壊変を用いた年代測定の概念図。

前からわかるように、現在ではもう全部なくなっちゃっていて親核種がどれだけあったかっていうことはわからないので、絶対年代（現在から計った年代）はわからない欠点があります。けれども、この消滅核種を使うと非常に短い時間間隔をちゃんと計ることができます。

消滅各種を使う年代測定法

三宅 イベントが起こった当時の親核種と娘核種の割合がわからないと、年代はわからないですよね？ 既になくなっていて消滅核種を用いた場合、その点はどうするのですか？

杉浦 最も一般的な方法がアイソクロン法です。少し難しいので詳しく説明しませんが（詳しく知りたい方はインタビュー記事の一番後ろを読んでください）、天体が形成されるなどのイベントが起こった後（同位体の行き来がなくなり閉鎖系になるので）、天体の中でそれまで一定だった安定同位体と放射壊変によってできる同位体の比が変化することを利用して、その他にも親核種と娘核種の性質の違いを利用した方法などもあります。

三宅 では、消滅核種を用いた年代測定からある時点からの時間経過がわかるとして、どうやって太陽系初期のイベントを見ていることを確認するのですか？

杉浦 それはウラン・鉛法等で年代のはっきりした隕石との比較から年代を判断するんです。たとえばウラン・鉛法で45億年とわかっている隕石と比べて、消滅核種から300万年新しいとわかったとします。この場合、調べた隕石は45億300万年前にできたものと判断で

きますよね。

三宅 どうやって年代決定に必要な当時の消滅核種の存在比を見積もっているのか具体的な例を挙げていただけますか？

杉浦 そうですね、年代の決定について最近の話題で地球のコアがいつできたかっていう問題を例にして説明しましょう（図4）。これは親核種と娘核種の性質の違いによって、地球のコア形成というイベントの痕跡が残っているいい例です。ここではハフニウム（Hf）の182という消滅核種（親核種）が、タングステン（W）の182（娘核種）に壊変することを使うのですが、タングステンは金属と仲のいい元素なので、地球の場合だと地球のコアに入ってしまう。ハフニウムの場合はコアに入らないで、マントルに残るという性質がある。だから、いつコアができたかによってマントルに残るタングステン182の量が変わってきますよね。そこで、実際に地球のマントルと隕石とで、タングステン182の量を比較して、地球のコアがいつできたかが決定できる。こうして、一番古い

隕石ができてから3000万年くらいたったときには、もう地球のコアができていたということがわかります。

三宅 要は、コアが形成された後に残っていたハフニウム182の量がマントル層に存在しているタングステン182の量から見積もれるってわけですか？

杉浦 そういうことです。実際にはタングステンの含有量が試料によって違って、ハフニウム182の量は見積もられないため、基準となる隕石とタングステン182とそれ以外の同位体との比を比較して年代決定を行っています。

原始太陽系のこれから

三宅 今日お話しいただいた研究結果の積み重ねによって原始太陽系の姿は現在どれくらい明らかになっているんですか？

杉浦 原始太陽系の研究全体を通して一言で言うのは難しいので、今回お話しした太陽系がどのようにできたかという形

比較する隕石

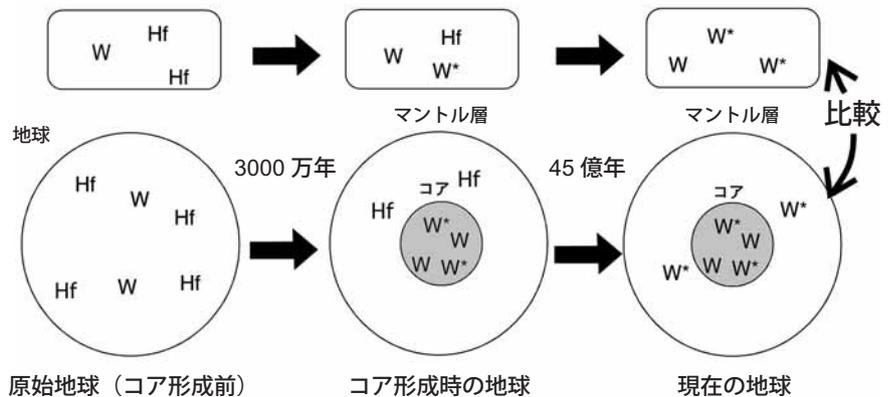


図4. Hf → Wの崩壊を利用した地球のコア形成年代の決定法（概念図）。
Hf: ハフニウムの放射性同位体。W: タングステンの安定同位体。
W*: Hfから壊変したタングステン同位体。

成プロセスの研究と太陽系で起こったイベントの年代を探る年代学を例にお話します。年代学については、コンドロールの形成年代なども明らかになりつつあり、あと数年でかなりはっきりすると思います。しかし太陽系の形成プロセスについてはまだまだわかっていません。いろいろな議論がなされていますが、みんなどこに突破口があるかわからなくて迷っている状態だと思います。個人的には、コンドロールにならなかった太陽系のもととなる物質を発見することで、解決の糸口になればと思っています。

三宅 隕石には、まだ知られていない情報がいっぱい詰まってるからですね。ところで、太陽系の起源を探ること以外に隕石からわかることはあるんですか？

杉浦 隕石には太陽系のもととなった物質が紛れ込んでいます。超新星や赤色巨星でできた、太陽系ができる前から存在していた小さな結晶のことで、例えばダイヤモンド、シリコンカーバイド、グラファイトなどがその代表です。これを分析すると、どういう星でできたものであるかとか、その星でどのような核合成反応が起こっていたかわかる。こういうデータをたくさん積み重ねていくと、宇宙全体がどのように進化してきたかということまでわかるだろうと…。

三宅 いつまでもわからないところが尽きなさそうですね。

杉浦 最後までわからないところが残ると困るんだけど、おもしろいことはたくさんできるでしょうね(笑)。

研究に使う隕石は どうやって探すのか？

三宅 隕石ってどういうものを使っているんですか？地球上に落ちているものでも、昔からある隕石を使っているのか、それとも落ちてくるのを待っているのか？そういうところはどうなんでしょう？

杉浦 なかなか落ちてこないでしょうね(笑)。日本でも回収されるのは10年に2、3個でしょうね。なかなか待っていても取ってこれないんで、どこかで拾ってくるようになります。隕石はどこにでも平等に降ってきてるんですが、日本みたいな雨の多いところは、あつという間に風化しちゃうんですよ。100年もするともうぼろぼろですね。研究には使えません。だけど乾いている場所、例えば砂漠とか南極とかでは、隕石がいつまでたっても風化しないから、そういうところで集める。隕石を研究するときは、収集された隕石が保管されている博物館にリクエストを出してもらってくるというのが一般的なスタイルなのですが、最近の日本の場合は、南極の観測隊が探しに行っているだけ取って帰って来たものがあるので、そこからもらうことができます。日本の国立極地研究所がやっているんだけど、これまでに収集された隕石がおそらく一万個以上あるんですよ。

三宅 えっ、そんなにあるんですか？隕石って！

杉浦 確か日本は世界で一番たくさん隕石を持っているんですよ。

三宅 それは驚きですね。南極では長い間の隕石の蓄積があって、かつ状態がいい隕石を見つけやすいということですね。

杉浦 はい、長年の蓄積があるというの

と、見つけやすいっていうことですね。その他にも最近ではサハラ砂漠などの砂漠地帯に行くと、隕石を買ってくる人がいます。

隕石は月や火星からも 飛んでくる！？

三宅 収集する際、ぱっと見て隕石だとすぐにわかるものなんですか？

杉浦 ええ、ある程度の経験があればすぐにわかります。普通の隕石は大気圏を通過したときに表面が溶けて、ペロッと黒いガラス状になっているのですぐにわかる。いくつか特殊な種類の隕石は素人には比較的判断が難しい。その中でも月の隕石であれば、月のアポロ計画で持って帰ってきた月の石と比較することで判断がつかます。一番わからないのが火星の隕石なんです。これは地球の石と似ているし、大気圏で溶けたときにも、そんなに顕著な溶けたガラス状のものが見えないことがあって、けっこう難しいですね。それでも、専門家が見ればなんとかわかりますね。

それで落ちている場所が南極の場合は、氷の上であれば間違いなく隕石だし、砂漠の場合でも、普通の岩石とは違っているのがかなり顕著だから、見つかればかなりの確率で隕石ってことになるらしいですね。

三宅 えっ、火星や月からの隕石って飛んでくるのですか？

杉浦 飛んでくるんですよ(笑)。

三宅 隕石はなぜ飛んでくるんですか？火星の場合は火山の噴火だったりするんですか？

杉浦 火星の場合も火山の爆発で飛んでくるわけではないですよ。僕はよく知ら

ないんですが、火山ではちょっと力が足らなくて、やっぱり隕石の衝突などのインパクトでもって、こうドカーンとやらないと無理ですね。それに実際にあれだけの大きさの天体から飛び出すのに、単にぶつけるだけでいいのかわからない。今のところ、火星の場合は地表の下に水があって、宇宙から飛んできた隕石などで地表が衝撃を受けると、この水が加熱されて水蒸気になり隕石として飛び出す助けになっているって考えられているんじゃないかな。

実は歴史的にいうと、火星からの隕石があるってことが月の隕石より先にわかったんですよ。先にわかったって言っても、実際にちゃんと確認されたのは、1970年代の終わり頃の火星のバイキング計画の頃です。これを機に、火星の大気の組成がやっぱり地球と違うことがわかった。たとえば、窒素の同位体の比が地球と全然違う。しかもその同位体比は、隕石の中でも特殊で、ある種の隕石にも同じ特徴があった。それで火星からの隕石だってわかったんですよ。その頃はまだ月から飛んでくるという事実は確認されていなかったのですが、火星から飛んでくるならば、当然月からも飛んでくる、ということで探したら見つかったわけです。もっとも、歴史的には隕石学が始まった最初の頃に、隕石がどこから飛んでくるかは当然非常に疑問で、一番近い月から来るに違いないという論争があったんですよ。

三宅 そうなんですか？おもしろいですね。

杉浦 その論争の決着がどうついたのかは、よく知らないんですけども、最初は実はそう思ってたわけですね。

三宅 そういえば、小惑星帯からなぜ隕石となって飛んでくるのかということは、

素人からすると不思議ですからね。

杉浦 それはね、専門家にとってもずっと不思議なことだったんです。今のところ、小惑星帯の間に軌道が不安定になる所があるため、そこに近づいた天体は軌道を逸れて、地球に落ちてくると考えられています。

隕石の分類が重要？ - 同位体組成比の違い -

三宅 収集された隕石はその後どうなるんですか？すぐに研究室で研究されることになるわけですか？

杉浦 いいえ。同じ隕石でも、由来（どの小惑星からやってきたか）によって同位体などの組成が全然違うので、まずどこ由来の隕石かをしっかりと分類しないとイケません。この作業は私たちがやってもいいことなんですけど、時間もかかるので極地研などの収集した機関がやるというのが通常です。この分類にも同位体が役立ちます。

三宅 隕石の種類を同位体の組成比で決めているのですね。そもそも地球と火星の隕石を分類する際の基準になっている同位体比の違いは何に起因するのですか？

杉浦 さっき話したのは、窒素なんだけれども、窒素の主な部分は、地球でも火星でも大気にあるわけです。大気を構成している分子は安定に存在しているかという、必ずしもそうではなくて、宇宙空間に逃げていくんですよ。窒素の場合14と15の同位体があるんだけど、逃げるときには軽いものから順に逃げていく。14の方が15より中性子1個分だけ軽いので、14の方が先に逃げていく。どんどん逃がしてやると、大気には15

がたくさん残る。火星の場合、15の方が60%たくさん残っているのかな。

三宅 火星と地球の重力の差によっているんですね。

杉浦 火星に強い磁場がないことも効いているはずですよ。窒素に限らず、水素も確か火星は3倍くらい同位体比が高くなっているのかな。火星隕石はそれが火星から放出されるときに衝撃で火星の大気を取り込むので、窒素や水素の同位体が有力な判断材料になるのです。

三宅 それで、ある隕石が火星から飛んできたか否かは同位体組成だけである程度確認できるんですね？同位体組成をそこまで信用してもよいものなんですか？

杉浦 隕石にいろんな種類があるんだけど、大体のものは月と火星を除けば小惑星帯から飛んできていると考えられて、それで主に同位体比と化学組成で何十種類に分類されています。それぞれ違う小惑星帯の小惑星から飛んできていると考えられている。その分類の根拠の一番信用のできるのが同位体比です。実際には酸素の同位体比が使えて、これが違えば、まず間違いなく違う所から飛んできている。

三宅 小惑星帯だと酸素の同位体比はいろんな隕石で共通なんですか？

杉浦 微妙に違うんですよ。どうして違うかはあんまりわかっていない。これは大問題なんです。いま皆さん一生懸命研究しているところです。一つの仮説としては水が星間空間でできたときにガスと氷の間で酸素の同位体の分別が起きる。そして、同位体比が違うままの氷が、岩石成分と混ざることによって、隕石間で酸素の同位体比に微妙な違いができるという仮説が有力ですが、実はよくわからないんですよ。とにかく酸素の同位体比を手がかりにしているような分類ができて、

今のところはそれでうまくいっているの
で、同位体比は信用できると思いますよ。

三宅 そうですね。そして、組成で分類
された隕石が研究室にきて研究対象にな
るわけですね。では最後に先生にとって、
隕石の面白さとは？

杉浦 やっぱり、それを分析するとか観
察するところで、他人が見たことのない
ようなものが見えてくる。それが一番白
い気がします。研究って点では、隕石
の場合どこでどういう風にできたかっ
てことがほとんどわからないもんだから、
研究者一人一人が違うイメージを持って
いて、難しいとかおもしろいとい
うかそんなところがありますね。

三宅 今日はどうもありがとうございます。

■ アイソクロン法について

アイソクロン法とは、放射性同位体（親核種）から崩壊してできた安定同位体（娘核種）の量から、年代を導きだすための解析法のことです。解析原理の説明の前に、3つの基本的な仮定があります。

- 1) ある元素における安定同位体と放射性同位体の比率は、同じ年代では等しいということ。
- 2) しかし、(隕石内・隕石間において) 元素間の存在比の違いが存在するということ。
- 3) (高温) イベントが起こった後は、岩石は閉鎖系になり、放射壊変によって娘核種の量が増えるので、同じ隕石中でも放射性同位体（親核種）を多く含む部位ほど娘核種である元素の同位体比異常が大きくなる。

ということです。Mn-Cr系による年代測定研究を例にとって説明します。Mn（図中○）には ^{53}Mn （安定同位体：○）と ^{55}Mn （放射性同位体（消滅核種）：●）があり、この測定系では、 ^{53}Mn （●）が ^{53}Cr （★）に壊変することを利用して年代測定をします。太陽系全体での ^{53}Mn と ^{55}Mn の比及びCrの同位体間の比は、それぞれの年代で一定だったと考えられます。現在では ^{53}Mn が ^{53}Cr に壊変しているため、Crの同位体比率は当時とは異なっています。しかし ^{55}Mn （ ^{53}Mn の量に比例）の含有率とCrの同位体比増加分には比例関係が成り立ちます。次に、この比例関係の傾きは、できた年代が古いほど、多くの ^{53}Mn が存在しているため大きくなります。つまり、親核種の同位体である元素の含有率の異なる部位の同位体比増加量をいくつも測定して、 ^{55}Mn （ ^{53}Mn の量に比例）の含有率とCrの同位体比増加分の比例定数を求めれば、年代を決定していくことができます（図5参照）。

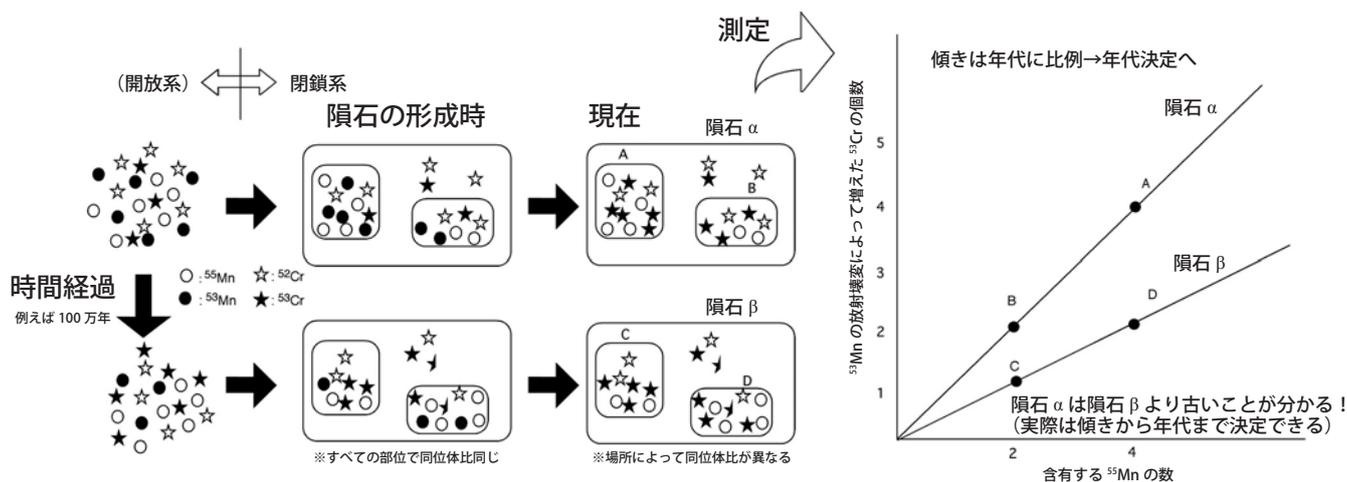


図5. アイソクロン法の概念図（左）とそれをグラフ化したもの（右）。
同位対比の異常は、Mnを含まない部分を基準に考えている。

連載シリーズ「化学の未来を考える」

5. フォトクロミック現象を操る — 視覚と人工系

西原 寛 (化学専攻 教授)

光を当てると色が変わる「フォトクロミック分子」は、光メモリや光スイッチ用の材料として脚光を浴びている。視覚はこの「フォトクロミック分子」を用いて光信号を取り出している自然界のシステムである。

目の中の網膜には、明暗を感受する桿体細胞と、色を認識する錐体細胞が存在する。桿体細胞は分子量約4万のロドプシンを含むが、ロドプシンはオプシンというタンパク質とレチナールの複合体である。レチナールは共役二重結合を有し、500 nm 付近に吸収極大をもつフォトクロミック分子であり、幾何異性体の一つであるシス体が光を受けて全トランス体に変化することによってオプシンから離れる。そこからいくつも連鎖的な化学過程を経て、桿体内の cGMP 濃度が減少し、形質膜にある cGMP 依存性ナトリウムチャンネルが閉鎖して、ナトリウムイオンの細胞内への流入が止まる。その結果、桿体に過分極性の電位変化が発生し、そのシグナルがシナプスを介して視神経經由で脳に伝わり、視覚となる。すなわち視覚とは光信号をフォトクロミック分子が受信し、いくつかの化学過程を経て電気信号に変換している系である。一方、錐体細胞には3種のヨドプシンが存在する。ヨドプシンもレチナールとオプシンの複合体であるが、オプシンのアミノ酸配列が異なることによって感知する光の波長が437 nm (青), 533 nm (緑), 564 nm (赤) と異なっており、色彩を感じ取ることができる。

最近、われわれの研究グループでは、

フォトクロミック分子と金属錯体が融合したフォトクロミック錯体の研究を進めている。金属錯体の物性や化学的性質とフォトクロミック現象が連動することによって、新しい性質が発現する。その研究の中で、上記の視覚のモデルになる、光信号入力から化学的過程を経て電気信号へ変換する系の構築に成功した (S. Kume *et al. J. Am. Chem. Soc.* 2005, 127, 490)。具体的には図1aに示すように、フォトクロミック分子であるアゾベンゼンを組み込んだ配位子 oAB の銅錯体を用いる。oAB の光異性化による構造変化が銅イオンへの結合力を大きく変え、迅速な配位子交換反応を引き起こすことによって、銅錯体の構造が変わる。その結果、銅イオンの酸化還元電位変化が誘起される。この連鎖系を用いると、紫外光と青色光の交互照射によって、電圧信号、電流信号を繰り返し取り出すことが

できる。さらに高分子固体電解質を用いると全固体型の光電変換素子が作製できる。

一方、アゾベンゼンに金属錯体を結合することで、アゾベンゼンが異性化する光の波長を変えることができ、通常の紫外光以外に、青色や緑色の光で異性化する分子を作ることにもできるようになってきた (M. Kurihara *et al. J. Am. Chem. Soc.* 2002, 124, 8800) ; M. Nihei *et al. J. Am. Chem. Soc.* 2003, 125, 2964)。色彩の識別ができるヨドプシンのような。また、それらの感知する色が異なる分子ユニットを一分子中に組み入れることによって、異なる波長の光で三状態間を可逆に往来する分子も構築できた (図1b) (R. Sakamoto *et al. Chem. Commun.* 2005, 1215)。これらの分子は、視覚モデルとして興味深いのみならず、分子素子の材料としても有用であると考えている。

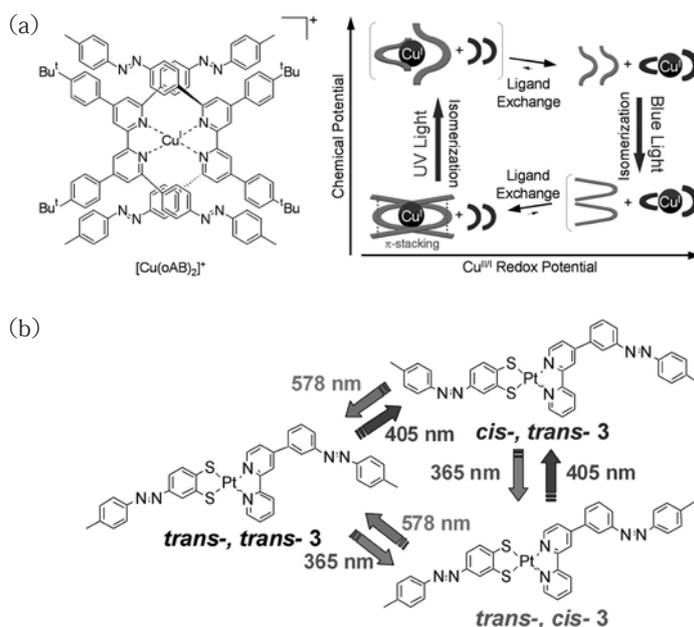


図1. 新しいフォトクロミック錯体。
(a) 光信号—電気信号変換系。(b) 光により三状態間を変換する系。

連載シリーズ「the ってどういう意味？」

5. 冠詞と関係節

トム・ガリー（翻訳家・辞書編纂家、化学専攻・化学英語演習講師）

日本の英語教育では、関係節の制限用法と非制限用法の違いが必ずと言ってもいいほど取り上げられる。にもかかわらず、日本人が書いた英語論文などでは関係節の間違いがよく目につく。それはなぜだろう。

まず、制限用法と非制限用法を簡単に見てみよう。次の例で太字で示されている関係節は、制限用法だ。

We weighed several samples, and we analyzed the sample **that had the highest density**. (いくつかのサンプルを計量して、密度の最も高いサンプルを分析した。)

複数のサンプルの中から、一つだけが分析された。そのサンプルは、**that had the highest density** という関係節で「制限」されているわけだ。

次の例は、非制限用法だ。

We took a sample of the substance. Later, we analyzed the sample, **which had a reddish color**. (物質のサンプルを採った。その後、赤みを帯びていたそのサンプルを分析した。)

ここでは、サンプルが一つしかないから、**which had a reddish color** という関係節はその意味を制限しているのではない。そのサンプルについての情報を付け加えているだけなのだ。

一方、制限用法では名詞と関係節の間にカンマを使わないで、関係詞は **that** または **which** にする。非制限用法では、**that** が不可で、カンマと **which** を使う（関係節の文法はもっと複雑だが、ここでは詳細を省略する）。

さて、ここで興味深いのは、関係節で

修飾されている名詞は読者に知られているかどうかという問題だ。最初の例では、読者が制限的な **the sample that had the highest density** を読むときに、「密度の最も高いサンプル」の存在を初めて知る。そのサンプルのことは新しい情報で、今まで読者に知られていなかったのだ。一方、非制限的な **the sample, which had a reddish color** では、そのサンプルが前のセンテンスでも言及されているから既に読者に知られている古い情報なわけだ。

このように、「制限用法＝相手に知られていない」と「非制限用法＝相手に知られている」という傾向が強い。このシリーズを読んできた人はもう気がついていると思うが、この関係節の用法は冠詞の用法とかなり近い。というのは、**the sample that had the highest density** は不定冠詞の **a sample** と同じように、読者がどのサンプルなのかかわからないことを指している。一方、**the sample, which had a reddish color** は定冠詞の **the sample** のように、読者に既に知られている、という意味だ。

「相手に知られているか」、「相手に知られていないか」という違いは、冠詞だけでなく関係節にも深い関わりがあるわけだ。それだけではない。「相手に知られている」という分類には、**my book** などの所有格も、**Japan, Ms. Suzuki** などの固有名詞も入っている。これらは、定冠詞が付いている **the book** や **the country, the woman** と同じように機能する。例えば、次の例のように、**Japan** が関係節で修飾されているときには、非制限用法を用いるのが普通である。

I visited Japan, **which is an Asian**

country. (私はアジアの国である日本を訪れた。)

これを限定用法にすると、次のようになる。

I visited the Japan **that is an Asian country**. (私は、(複数の日本の中から)アジアの国である日本を訪れた。)

このように、「相手に知られている」固有名詞を制限的關係節で修飾すると、妙な意味になってしまうことが多いので、用心しなければならない。

英語を母国語とする人は小さいときから「相手に知られているか」、「相手に知られていないか」の文法的な違いを無意識的に習得する。**the** と **a** の違いは、英米の学校ではまったく教えられていないし、大人になってもその違いを説明できないネイティブも多いと思う。でも、説明できなくても冠詞などの間違いをしない。一方、「相手に知られているか」、「相手に知られていないか」の違いは日本語の文法には重要ではないから、日本人にとっては冠詞や関係節の使用が難しい。そのため、冠詞用法の説明や練習がもっと積極的に日本の英語教育に導入されることが望ましい。(私のような、大人になってから日本語を習い始めた人にとっては、日本語の「は」と「が」の違いがとて難しい。このシリーズを日本語で書いているが、「は」を使うべきか「が」を使うべきかいつも悩んでいる。)

上で「古い情報」と「新しい情報」という概念にちょっと触れたが、これも英文の執筆に大切な区別だ。次回、詳しく説明したい。

平成 18 年度大学院理学系研究科・化学専攻修士課程入学試験について 化学専攻修士課程入学者選抜方法が大幅に変わります！！

選抜試験は専門試験のみとなり、以下のように 14 題の中から 5 題を選択します。英語の選抜試験を廃止し、替わって出願時に TOEFL のスコアの提出を求めます。化学を専門とする学生だけでなく、物理系・生物系からの受験を大いに歓迎します！

－専門試験－

化学 6 題・数学 2 題・物理学 2 題・地球科学 2 題・生物学 2 題、計 14 題のうち 5 題選択。

また、英語の選抜試験を廃止し、替わって出願時に TOEFL のスコアの提出を求めます。

－TOEFL スコアについて－

● Examinee's Score Record のコピー（願書と一緒に提出すること）

● Official Score Report（ETS から東京大学大学院理学系研究科に直接郵送されます）

* 東京大学大学院理学系研究科の TOEFL コード番号は 8002-01 です。Official Score Report は ETS から東京大学大学院理学系研究科に直接郵送されますので、TOEFL 受験の際には解答用紙にこのコード番号を記入して下さい。これまでに受験した TOEFL のスコアレポートが必要な場合は Score Report Request Form にコード番号を記入して下さい。

注) 東京大学 9259 では請求しないこと。

● スコアの有効期限は 2 年間ですので、2003 年 9 月 1 日以降に受験したものに限り、大学院入試までの間に開催される TOEFL の試験は回数が限られています。スコアが送られてくる時期を考慮の上、受験してください。

○ TOEFL-CBT（コンピュータ試験）については、<http://www.cieej.or.jp/toefl/cbt/index.html>

○ TOEFL-PBT（ペーパー試験）については、<http://www.cieej.or.jp/toefl/pbt/index.html>

－問い合わせ先－

理学系研究科化学専攻事務室 TEL：03-5841-4321 FAX：03-5841-8324 E-mail：kagaku@chem.s.u-tokyo.ac.jp

URL：http://www.chem.s.u-tokyo.ac.jp/graduate/index.html（トップページ <http://www.chem.s.u-tokyo.ac.jp>）

人事異動報告

物理	助手	江尻 信司	H17.2.1	採用	
ビッグバン	助手	向山 信治	H17.2.1	配置換	物理学専攻助手から
事務	施設係主任	新井 寛	H17.2.2	休職更新	～ H17.4.30

東京大学大学院理学系研究科・博士学位取得者一覧

(2005 年 1 月～ 2 月)

平成 17 年 1 月 16 日付学位授与者 (4 名)

物理	福田 直樹	一中性子ハロー核 ^{11}Be の分解反応
物理	土屋 兼一	CANGAROO- II 望遠鏡による銀河中心の超高エネルギーガンマ線観測
生科	鮫島 真哉	ツヤオオズアリ翅原基のカースト特異的形成メカニズムに関する分子社会生物学的研究
生科	木村 正子	アジア太平洋地域における卵形赤血球症の分子・民族疫学

■ 裏表紙の説明

3月3日午後3時半より「小柴ホール」の落成記念式典に引き続き、小柴特別栄誉教授による記念講演が、学部学生、教職員百数十人の聴衆を集めて行われました（裏表紙写真左上）。小柴先生は、ニュートリノ研究のこれまでの成果と今後の展望について、専門外の人にも大変わかりやすく話されました。この講演会を出発点として、小柴ホールが理学系研究科の教育・研究の発展の舞台となることが期待されます。ホール下一階の展示スペース（サイエンスギャラリー：左下）には、カミオカンデで用いられた直径50センチの巨大光電子倍增管（中下）やニュートリノ実験の研究成果とともに、小柴先生のノー

ベル賞受賞メダルなど（右列）が展示されています。右上は、2002年12月10日にストックホルムにおいてスウェーデン国王より小柴特別栄誉教授に授与されたノーベル物理学賞のメダルです。右中段は、MASATOSHI KOSHIBAと書かれているメダルを収める赤い箱。右下は、ノーベル賞の賞状とカエルのメダルで、賞状には、カミオカンデによる太陽からのニュートリノの検出が図案化されています。カエルのメダル（注：単なる首飾りに見えますが、一応「勲章」のつもりらしい）は、ストックホルムの学生連盟主催のディナーで授与されたもので、ノーベル賞受賞者の更なる躍進の意味が込められています。

あとがき

この3月で東京大学が法人化されてから、最初の一年が終わります。岡村研究科長の退任の挨拶にもあるように、個人的には、大学と社会とのかかわりをこれまで以上に強く意識した一年でした。理学系研究科・理学部ニュースが、研究成果などをより広く社会へ発信する上で果たす役割は、今後ますます重要となると思います。そのような一年の最終号となる理学系研究科・理学部ニュースの3月号をここにお届けします。本号は、3月3日にあった小柴ホールの落成記念式典と小柴先生の記念講演会、また3月7日～8日に行われた小柴ホール落成記念理学系21世紀COEの合同シンポジウム「萌芽の森へ」をタイムリーにお伝えしたいという編集委員会の方針から、予定通りとはいえ、全ての原稿がそろったのは、第二校入稿直前でし

た。このために編集スタッフの皆さんには、かなり労苦を強いたのではないかと思います。心より感謝いたします。この号では、研究成果のプレスリリースが4件あたり（実際の掲載は3編）、大きな行事が続いたり、記事には事欠かず、前号からポイント数を下げるなどして20ページでおさめる当初の予定をオーバーし、24ページになりました。プレスリリースは研究ニュースとしてまとめ、表紙の説明を表紙の裏ページ、目次の下にすべて持っていき、人事異動、博士号取得者などをお知らせとしてまとめ最後に持ってくるなど、いくつかの改善を進め、より良い紙面にすべく努力しております。また、感想や意見などありましたら、どうぞお寄せください。

小澤 一仁（地球惑星科学専攻 教授）

第36巻6号

発行日 2005年3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
e-mail kouhou@adm.s.u-tokyo.ac.jp

編集：理学系研究科広報委員会

牧島 一夫（物理学専攻）maxima@phys.s.u-tokyo.ac.jp
小澤 一仁（地球惑星科学専攻）ozawa@eps.s.u-tokyo.ac.jp
真行寺千佳子（生物科学専攻）chikako@biol.s.u-tokyo.ac.jp
米澤 徹（化学専攻）yonezawa@chem.s.u-tokyo.ac.jp
鈴木 和美（庶務係）ksuzuki@adm.s.u-tokyo.ac.jp
加藤 千恵（庶務係）c-kato@adm.s.u-tokyo.ac.jp

HP担当：

名取 伸（ネットワーク）natori@adm.s.u-tokyo.ac.jp

HP & ページデザイン：

田中 一敏（ネットワーク）kazutoshi@adm.s.u-tokyo.ac.jp

印刷・・・・・・・・・・・・・・・・三鈴印刷株式会社



小柴ホール落成記念式典

(詳しくは本文 P.23 参照)

