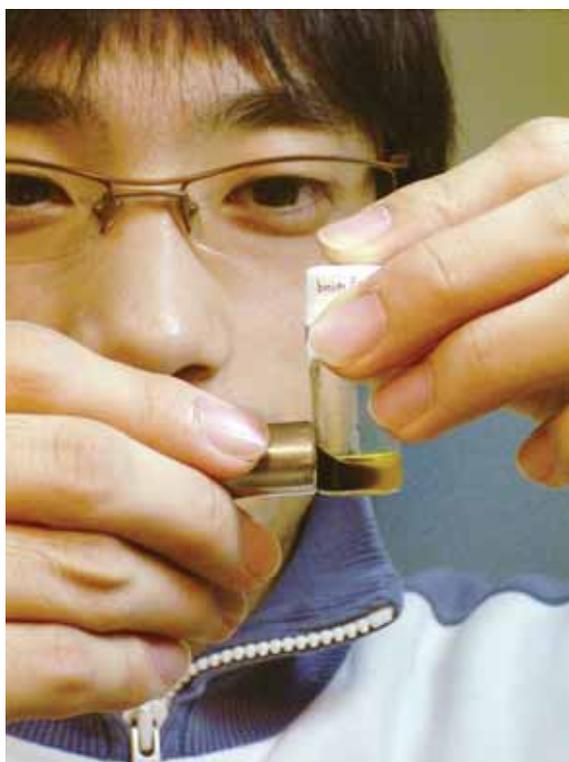


# 東京大学 理学系研究科・理学部ニュース

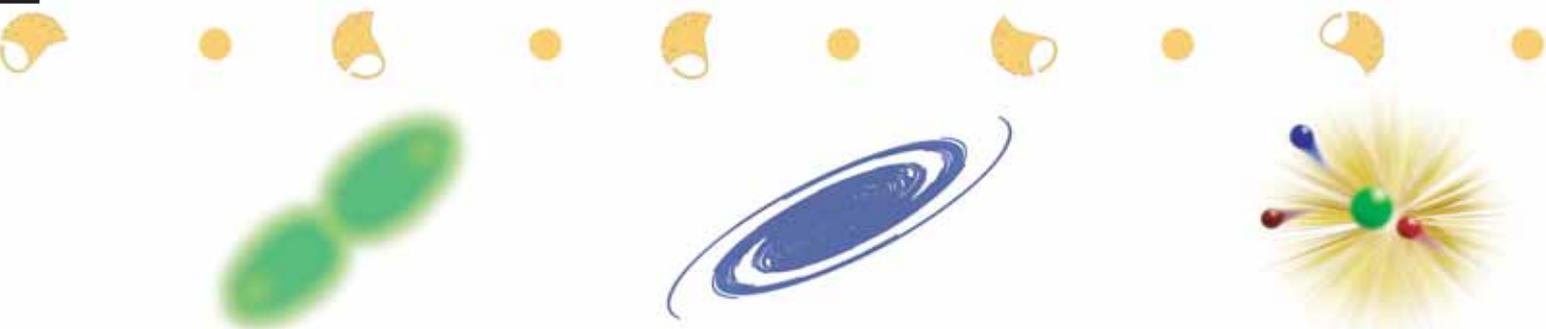
36巻4号 2004年11月20日発行

<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。



化学専攻の濱口宏夫教授と林賢大学院生は、磁石に強く反応する新しい種類の液体「磁性イオン液体」塩化鉄(III)酸1-ブチル-3-メチル-イミダゾリウムを発見した。この液体は、プラスの電荷を持つ陽イオンと、マイナスの電荷を持つ陰イオンのみからなるイオン液体の一種で、磁石を近づけると上図に示すように強く引き付けられる。この発見の報告は、日本化学会「Chemistry Letters」誌の12月号に掲載される(詳しくは本文 p.22 参照)。



# 目次

## トピックス

- 第21回技術シンポジウムを開催  
シンポジウム実行委員長 山崎 則夫 (原子核科学研究センター 技術専門職員)…………… 3  
活動を開始したサイエンス・ステーション  
NPO法人サイエンス・ステーション理事 岡島 礼奈 (天文学専攻 修士課程2年)…………… 3

## 博士号取得者

- 東京大学大学院理学系研究科・博士学位取得者一覧 (2004年5月～9月) …………… 5

## シリーズ：科学英語を考える「theってどういう意味？」

3. theは常識を表す  
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)…………… 6

## 人事異動報告

…………… 7

## 研究ニュース

- 望遠鏡ものがたり6 3つの赤外線望遠鏡 川良 公明 (天文学教育研究センター 助教授)…………… 8

## 研究室探訪

- 第10回 理論で「ひも」解く宇宙 江口 徹 (物理学専攻 教授)  
仲田 崇志 (生物科学専攻 修士課程2年)…………… 12

## プレスリリース

- 磁石にくっつく新しい液体「磁性イオン液体」の発見 理学部広報委員会 …………… 22

## あとがき

…………… 23

## 第6回公開講演会が開かれます

今回のテーマは『宇宙への情熱』です。皆様のご来場をお待ちしております。

- ▶ 日時 平成16年12月3日(金) 18:00-20:30
- ▶ 場所 東京大学安田講堂
- ▶ 講演者 牧島 一夫 (物理学専攻 教授)  
佐々木 晶 (国立天文台 教授)  
佐藤 勝彦 (物理学専攻 教授)

\* 予定しておりました土井隆雄宇宙飛行士の講演は、飛行訓練のスケジュールが緊急に変更されたため、残念ながらお願いできなくなりました。

## 第 21 回技術シンポジウムを開催

—— シンポジウム実行委員長 山崎 則夫 (原子核科学研究センター) ——

理学系研究科の技術系職員の成果発表の場である技術シンポジウムを、9月3日(金)午後1時から理学部1号館206室で実施しました。発表および講演は次の通りで、発表時間を超過するほど質疑、討論が活発に行われました。

- |                            |               |
|----------------------------|---------------|
| 1, 「銀河学校」と「星の教室」           | 木曾観測所 樽沢 賢一   |
| 2, 国際水準化された学生実験室           | 化学専攻 吉田 和行    |
| 3, 変異蛋白質の安定性とフォールディング反応    | 物理学専攻 佐伯 喜美子  |
| 4, ショクダイオオコンニャクの葉挿し増殖      | 植物園本園 水梨 桂子   |
| 5, 母性接合体メダカの作成             | 生物科学専攻 島田 敦子  |
| 特別講演 銀河形成期の宇宙に迫る           | 天文学専攻 岡村 定矩教授 |
| 招待講演 高エネルギー加速器研究機構の技術職について |               |

高エネルギー加速器研究機構主任技師 徳本 修一

高校生や理学系以外の方々も含め、参加者は54名にもなりました。終了後の情報交換会では、理学系の専攻に止まらず技術など幅広い話題が議論され、盛況のうちに終了しました。このシンポジウムを開くにあたって、事務部の方を始め多くの皆さんの協力で進めることができ、この場を借りてお礼を申し上げます。4月から国立大学も法人化となり環境も変わりましたが、これからも技術発展のためにも続けていきたいと考えています。



研究科長の挨拶



招待講演者の講演



発表者

## 活動を開始したサイエンス・ステーション

NPO法人サイエンス・ステーション理事  
理学系研究科天文学専攻修士課程2年  
岡島礼奈

### 「科学への好奇心を持ち続ける社会を作りたい」

最近の国立天文台の調査によると、小学生の4割が、「太陽が地球の周りを回っている」と答えたそうです。このことを由々しき問題であると捉えるか、そんなこと

など知らなくても困らないと捉えるかは各人いろいろでしょう。しかし、私たちにとっては、その4割の子供達が身近な「自然」への興味を持っていないことが惜しくてなりません。なにげない現象の向こうに、精密で深遠な仕組みがあり、その仕組みを知りたい、発

見したいと探求することは非常に面白いからです。その面白いと思う心こそ、科学への第一歩と考えるからです。

その第一歩を幸運にも持てた人と持てなかった人の違いは、自分の近くに科学に興味を持たせてくれる人がいたとか、たまたま家に

そういった本があったとか、些細なことのように思います。

科学への興味を持つことができきっかけを作り、多くの人に身近な「自然」への興味を持ってもらいたい。また、その仕組みを探る楽しさを知ってもらい、科学への好奇心を持ち続けていけるような魅力ある社会を作りたい。科学に携わる人なら誰しも持っている気持ちではないかと思います。

## 「研究成果をわかりやすく社会に伝えてこそ、本物の研究者」

ヨーロッパでは、カフェやサロンでお茶を飲みながら、第一線の研究者が市民を対象にして最先端の研究テーマをわかりやすく、ユーモアを交えながら話をする機会がたびたび設けられているそうです。その結果、市民が科学への理解と関心を深め、それが社会全体に及ぶようになっていくと聞きます。しかし、今の日本には、研究者が一般の人と研究内容を話し合うといった機会はほとんどありません。

私がアメリカを旅行したときに感じたことは、新聞の科学記事の扱いの大きさと、市民生活における科学への関心の高さです。これは、大学や研究所がそれぞれ広報室を持っていて、最先端の研究内容を広く社会に発信していること、社会貢献活動が実績として認められるシステムがあり、研究者が社

会に対して積極的に広報普及活動を行っていることなどが理由になっていると思われます。このようなシステムが日本にも広がれば、研究者が市民にももう少し身近な存在になり、今後の科学研究を進めるために大切な土台となっていくに違いありません。

## 「サイエンス・ステーションはこんなことをやっています」

このような願いを持って、天文学教育研究センターの吉井譲教授を理事長としたNPO法人サイエンス・ステーションは2004年3月に誕生しました。コアとなるメンバーの多くは研究者の卵の大学生、大学院生です。

具体的な活動内容は多岐にわたりますが、なかでも中心となるのが「出前授業」です。これはサイエンス・ステーションのメンバーが各高校を訪問し、自身の研究や大学生活などについての授業を行うもので、今年は5校で実施します。現在研究修行中のメンバーが話をしますので、先生方の話とは一味違った、臨場感あふれる授業ができていると思います。実際、授業の後に熱心に質問してくる生徒も数多くいて、成果を肌で感じることができます。自分の研究を高校生に理解しやすいように話すことは決して楽ではありませんが、自分自身の研究を見つめなおす良い機会となっています。現在のと

ころ、出前先が首都圏に偏っていますが、首都圏以外の地域でも順次実施する予定です。

「出前授業」以外にも、天文センター木曾観測所などが行っているサイエンス・パートナーシップ企画に協力したり、独自教材の開発に取り組んだり、みな張り切って活動しています。

## 「仲間募集中」

先にも述べましたが、サイエンス・ステーションは大学生・大学院生が主体の若い団体です。もともとは天文センター木曾観測所が毎年行っている高校生向け科学セミナー「銀河学校」に参加した者が中心となって立ち上げた団体ですが、今では物理や化学を専攻する者もメンバーに加わっています。今後はさらに様々な分野の研究者や研究者の卵の参加を得て、やがては科学全分野を取り扱えるような層の厚みが持てればと思っています。

この記事をご覧になった大学生・大学院生・スタッフの方は、ぜひサイエンス・ステーションのホームページ

<http://www.sciencestation.jp>

にアクセスしてみてください。

私たちの活動のようすと、初めて出会った科学の面白さにワクワクしている高校生の姿が生き生きと映し出されています。興味を持たれた方はお気軽にご連絡ください。お待ちしております。

(裏表紙に写真があります)

## 東京大学大学院理学系研究科・博士学位取得者一覧

(2004年5月～9月)

\*印は論文博士

### 平成16年5月17日付学位授与者(1名)

地惑\* 森 厚 非回転系・回転系における非線形水平対流の力学

### 平成16年6月21日付学位授与者(5名)

化学\* 大塚 浩文 メタンを還元剤とする窒素酸化物選択還元用Pd系触媒の劣化に関する研究および同反応用新規触媒の開発

化学\* 佐藤 康博 薄膜SOI(Silicon On Insulator)のポテンシャルを制御する化学的・物理的手法の研究 - 完全空乏型電界効果MOSデバイス構造の基礎研究 -

生科\* Tiwawech Danai タイ国の上咽頭癌におけるEBウイルス及び宿主遺伝子の研究

物理 吉田 寛 多細胞生物の再帰的増殖と形態の多様性について

生科 藤井 由紀子 昆虫の細胞内共生細菌ボルバキアに感染する新規なバクテリオファージの同定と解析

### 平成16年6月30日付学位授与者(2名)

地惑 亀田 純 岩石の湿式粉碎による水素の生成機構と天然断層帯におけるその意義

化学 平林 幹啓 大気中粒子状物質の放射性炭素同位体比及びX線吸収微細構造に基づく発生源推定に関する研究

### 平成16年7月26日付学位授与者(2名)

物理\* 山田 将貴 磁場・圧力下における遍歴電子メタ磁性体MnSiの磁氣的・電氣的性質

地惑 佐々木 智之 広域精密海底地形データに基づいた北部日本海溝の沈み込みテクトニクスに関する研究

### 平成16年7月30日付学位授与者(1名)

物理 大栗 真宗 冷たい暗黒物質宇宙における強い重力レンズ現象

### 平成16年9月24日付学位授与者(2名)

生科\* 徳廣(澤田)美由紀 ミツバチの脳に発現する二つの新規非翻訳性核内RNA, Ks-1とAncR-1の同定と解析

生化 丸山 理香 体系的RNAiによる線虫の胚性致死表現型プロファイリングとクラスター解析

### 平成16年9月30日付学位授与者(13名)

物理 柴田 明徳 マイクロ波による異方的超伝導体の渦糸状態の研究

物理 西川 美幸 シュレーディンガー方程式の特異ポテンシャルと固有関数

天文 Budi Dermawan 微小メインベルト小惑星の自転特性

地惑 鈴木 健太郎 粒子成長に関わる雲微物理過程の数値モデリングに関する研究

地惑 木口 雅司 インドシナ半島における乾季から雨季への季節進行

地惑 纈 纈 慎也 黒潮統流における前線波動と塩分極小形成

地惑 小室 芳樹 大西洋子午面循環の強度に対する北半球極域海洋淡水輸送の役割

地惑 林 舟 高解像度DEMを用いた流域の縦・横断面形と水系構造の解析

地惑 Jose Alexis Palmero Rodriguez 東シルクム＝クリセ地域のカオス地塊・アウトフローチャンネルの形成と進化に関わる、火星の水文地質学過程の研究

生科 伊藤 康子 木部分化に関与する細胞外分子の研究

生科 種子田 春彦 茎の性質に基づいた被子植物と裸子植物におけるシュートの物質分配と地理的分布の決定要因に関する生理生態学的研究

生科 日比野 拓 棘皮動物の体軸関連遺伝子に関する研究

生科 筒井(石川)牧子 化石貝類群集における捕食・被食関係の古生態学的研究：沖縄本島の上部鮮新統、新里層を例に

## 連載シリーズ 「the ってどういう意味？」

### 3. the は常識を表す

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）

the を名詞の前に付けると、読者は具体的にどのものが指されているかを知っているという前提になる。言い換えれば、どれが指されているか読者が分からないときに、the を使うべきではない。そのため、英文を書くときには、読者の知識を常に考慮しなければならない。

前回で説明したように、読者の知識は、その読者が以前から知っていること、または同じ文章の前に書いてあること、文章に付いている図、表、写真などから由来することが多い。しかし、その他に、誰でも知っている常識、または常識ですぐ推測できることも「読者の知識」だから、その場合も the を付けなければならない。

例えば、論文で実験を説明するときに、次のような文章はよくある。

A marble was put into the solution. Ten minutes later, bubbles were observed on the surface of the marble.

溶液にビー玉が入れられた。10分後、ビー玉の表面に泡が認められた。

最後のところで、on the surface of the marble に the marble (marble = ビー玉) となっているのは、前の文脈からどのビー玉が指されているのか読者に分かるからだ。溶液に入れられたビー玉そのものなのだ。では、なぜ surface (表面) の前にも the があるのか。surface は前の文に出ていないし、図や写真にも見られないのではないか。理由は、文で読まなくても絵で見なくても、読者はどんなビー玉にも一つだけの表面があると分かるからだ。我々は「ビー玉」というものを子供のころから知っていて、常識でその表面の数を知っているのだ。厳密には、the surface of the marble は、「ビー玉の唯一の表面」とも言える。

この場合、the surface は「常識で知っている表面」、a surface は「常識で知っているはずがない表面」

の意味になる。もし、ビー玉のかわりにサイコロなど、複数の表面のあるものが実験で使われていたら、on a surface of the die など、a surface となる (die = サイコロ)。

対象のものの特徴が読者に知られていないときには、the の意味は少し変わる。その場合、the は読者に「あなたはそのものを知っているだろう」ではなく「そのものは一つしかないよ」と言っていることになる。

例えば、ethyl amyl ketone という、香料などに使われている化学物質がある。EAK と略して、日本語でエチルアミルケトンという。EAK の化学式は  $C_8H_{16}O$  だから、carbon (炭素) と hydrogen (水素) の原子は複数あるが、oxygen (酸素) の原子は一つしかない。もし EAK の分子から一つだけの原子を取り除く反応があったら、どの原子が取り除かれているかによって冠詞が次のように変わる。

(1) The reaction removes a

carbon atom from the EAK molecule.

反応は、EAK 分子から複数ある炭素原子の一つを取り除く。

(2) The reaction removes the oxygen atom from the EAK molecule.

反応は、EAK 分子から唯一の酸素原子を取り除く。

読者は EAK の分子構造を知らなくても、(1) からは炭素の原子が二つ以上、(2) からは酸素の原子が一つだけだと分かる。逆に、(1) に the carbon atom, または (2) に an oxygen atom と書いた

ら、読者は EAK の分子構造を誤解することになる。

冒頭で述べたように、英文を書くときに、常に読者が何を知っているか、何を知らないかを考えなければならない。そうしないと、the などの冠詞の使用が間違ってしまうと、せっかく伝えたい情報が通じなくなる。

言うまでもないが、人間の知識を想定できるのは、人間に限る。現在は和英翻訳のソフトがいろいろ市販されているから、「冠詞使用など、ややこしい英文法を学ばなくても翻訳ソフトを使えば英語が書ける」と思う人が多いようだが、とんでもない間違いだ。どの

最先端の翻訳ソフトにも「ビー玉には表面が一つしかないことは、誰でも知っている」や「エチルアミルケトンの分子構造は  $C_8H_{16}O$  だから、炭素の原子は複数あるが、それを知っている人は多くないでしょう」のような知識は、全く組み込まれていない。機械翻訳は機械同士のコミュニケーションに使えるかも知れないが、人間と人間のコミュニケーションには役に立たない。

the などがややこしいと承知しながら、次回は、冠詞がいつ必要か、いつ不必要かについて検討したい。

## 人事異動報告

ビッグバン	教授	川崎雅裕	H16.5.1	配置換	宇宙線研究所教授へ
物理	助手	藤 貴夫	H16.5.7	辞職	休職中
物理	助手	平澤正勝	H16.5.15	辞職	
生化	助教授	渡邊嘉典	H16.5.16	昇任	分子細胞生物学研究所教授
物理	助手	藪下篤史	H16.5.16	採用	
原子核セ	教授	片山武司	H16.6.30	辞職	
生化	講師	関根俊一	H16.7.1	採用	
化学	助手	北村 充	H16.7.31	辞職	
物理	助手	渡邊紳一	H16.8.1	採用	
物理	助手	齊藤圭司	H16.9.1	配置換	工学系研究科助手から
化学	助手	唯美津木	H16.9.1	採用	
生化	助手	小島大輔	H16.9.1	採用	
地惑	助教授	佐々木晶	H16.9.30	辞職	
生科	助教授	西田生郎	H16.9.30	辞職	
化学	助手	生井勝康	H16.9.30	辞職	
物理	助手	佐々木勝一	H16.10.1	出向	~ H18.9.30
物理	助手	有田亮太郎	H16.10.1	休職	~ H17.3.31
物理	助手	向山信治	H16.10.1	採用	
生科	助手	阿部秀樹	H16.10.1	採用	
化学	特任講師	北村 充	H16.8.1	採用	

## 連載シリーズ「望遠鏡ものがたり」

望遠鏡ものがたり 6

## 3つの赤外線望遠鏡

————— 川良 公明 (天文学教育研究センター 助教授)



電波天文学，X線天文学の登場に伴う，電波銀河，X線星，3度K宇宙背景放射などの華々しい発見が続いた1960年代は，赤外線天文学の勃興期でもあった。これは，ミサイルの熱線追跡用に開発された赤外線センサー（PbS）の科学利用が認められたことや，波長1ミクロンからサブミリ波まで感度を持つ高感度検出器（ボロメーター）が開発されたことによる。上空ではロケット，気球，ジェット機を使った宇宙背景放射や銀河中心領域からの遠赤外線の観測が，地上からは赤外線で透明な波長帯（大気の窓と呼ばれ，波長2ミクロンや10ミクロンなどの測光帯が有名）で低温度星などの観測がなされた。

カリフォルニア工科大学のレイトンやノイゲバウアー達は，「2ミクロンで空を見たら何があるだろうか」という単純すぎるほどの理由で，サーベイ専用望遠鏡を作ることにした。エポキシ樹脂を溶

かした容器の回転速度を調整して口径62インチの回転放物面を形成し，F比（口径に対する主鏡の焦点距離）が1のアルミ蒸着面を製作した。これを図1に示す。大気からの強い背景赤外線を打ち消すために，望遠鏡を20Hzで振動させることにした。2ミクロンスカイサーベイと呼ばれる観測

は，ウイルソン山天文台で1965年から1968年にかけて行われ，5000個の赤外線源を含むカタログが出版された。このサーベイにより，冷たいダストに囲まれた進化の最終段階にある星や発光星雲に埋もれた若い星など，新しい種類の天体が見つかり，大口径望遠鏡による詳細な観測への道が開か



図1：カリフォルニア工科大学2.2ミクロン赤外線望遠鏡（スミソニアン博物館所蔵）。

れた。

日本における赤外線天文学の立ち上げは、1960年末から本格化した。東大の附置研であった東京天文台の岡山天体物理観測所において初期の観測が行われたが、共同利用望遠鏡の宿命とも言える割り当て時間の少なさ、持ち込み装置への対応性のなさなどから、赤外線専用望遠鏡の必要性が痛感された。1968年の名古屋グループ（早川、松本、水野、西村、奥田、杉本）がイカルスに発表した「Infrared Observations of the Moon」という論文が、日本人による最初の本格的な論文であろう。今では宇宙の最深部までを観測対象とする赤外線天文学にも、月しか受からなかった時代があったのである。

奥田は京大物理第二教室に移り、舞原、佐藤と共に、科学研究費一般研究（A）（1971-72年度1900万円：物理学一般分野：代表者奥田治之）によって、木曾山中に口径1mの赤外線望遠鏡を建設することになる。主鏡はアルミ切削鏡を研磨したものに金蒸着をした。駆動は、早回し、粗動、微動を電磁クラッチで切り替え、7セグメントで表示された位置やファインダーを見ながら手動で望遠鏡を制御した。背景赤外線を打

ち消すために副鏡を振動させるようになっていたが、振り幅を大きく取ると、けたたましい音を立てて、近くでは声が聞こえないくらいであった。データは、ペンレコーダに書かせ目で読み取る。運用開始は1973年七夕、筆者が院生として関りを持つようになる前年である。図2に、この望遠鏡の当時の姿を示す。

この望遠鏡には「10ミクロンの空には何があるか」という漠然とした夢があった。望遠鏡にドリルで穴を開け（無許可でこんなことをしたのは後にも先にもこの時だけ）、ボロメータ冷却用ヘリウムを回収するためのパイプを取り付け、10ミクロンの観測にこぎつけた。祝福するかのように、1975年には東の空からサーチライトのように上がってきたウエスト彗星、白鳥座の形を変えてしまった白鳥座新星、1976年にダスト形成を見せてくれた子狐座新星が相次いで出現し、10ミクロン観測から太陽系内ダストの性質やダスト形成に関する重要なデータが得られた。残念だったのは、鏡面精度のために望遠鏡の分解能が1分角に制限されており、背景赤外線が強く、感度が悪かったことである。「そんなことは望遠鏡の設計段階で評価すべきでしょう」

とお叱りを受けそうだが、それは後知恵というものであろう。単一素子の検出器しかない時代のこと、サーベイをやるからには大きい視野を取らざるを得なかったのである。それに予算の制限もきつかった。やがてケンブリッジ空軍研究所のロケットによる10ミクロン全天サーベイがAFCRLカタログとして発表されるに至り、赤外線天文学の勃興期は確実に終わった。日本における10ミクロン観測も行われなくなった。

一方、近赤外線の観測は順調に展開し、この木曾山中の1m望遠鏡は、日本における赤外線天文学の中心的な地位を占め、博士11名を輩出し、2003年10月に使命を終えて解体された。ここにおける生活は楽しくも過酷なものであった。牧場の管理人小屋を借り受けたものを宿舍とし、水は近くの水源からパイプで引き、食事は自炊、風呂は2週間に1回程度銭湯に行った。気の利いた暖房はなく、観測から帰ると外より寒いぐらいで瓶ビールを抜くとシャワーベットのなった。寒波が来るとパイプが凍り、もらい水をした。近くに東大（東京天文台）木曾観測所（現在は天文学教育研究センター木曾観測所）があり、生活に関して親切的な申し出があったが、

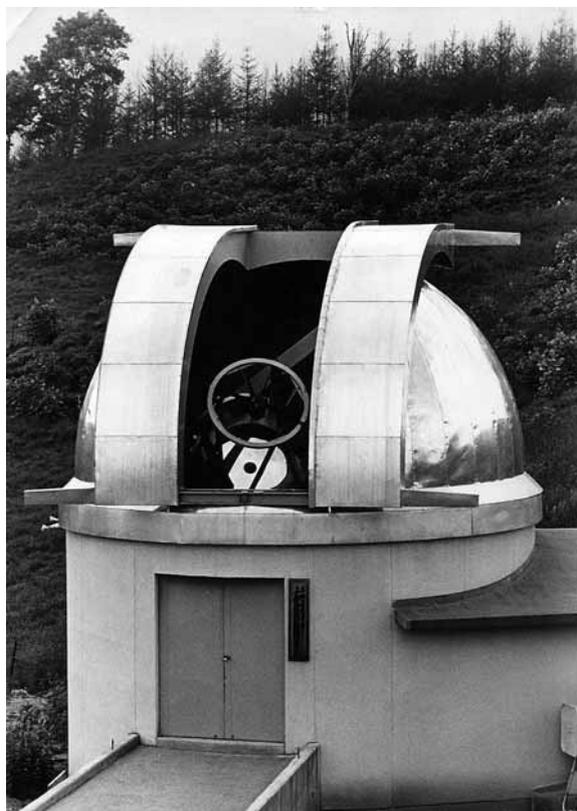


図2：在りし日の京大  
1 m 赤外線望遠鏡（天  
文学教育研究センター  
木曾観測所に解体保管）  
（朝日新聞社提供）。

人の好意に甘えるものではないという方針もあり、頼ることはなかった。

ISO（赤外線宇宙天文台）は、ESA（欧州宇宙機関）が1000億円近い巨費を投資して1995年11月に打ち上げた、口径60cm極低温冷却の軌道望遠鏡である。観測可能波長は2.4から240ミクロンで、近地点1000km、遠地点70500kmの軌道を24時間で周回し、バンアレン帯の外側にある17時間が観測可能である。しかし、ESAの受信局だけでは

17時間をカバーすることが出来ず、宇宙科学研究所の受信局を使いたいとの申し出があった。オランダが中心となって英米が協力し赤外線衛星IRAS計画が実現した（1983年）という経緯から考えると、今回もNASAに提案するのが筋と思われるのだがそうではなかった。IRAS計画では、米国はデータ解析センターを新たに創設し、誰よりも早くデータ解析を済ませ、カリフォルニア工科大学の望遠鏡群を潤沢に使って誰よりも早く追求観測を行った。結果とし

て重要な論文は米国勢に独占され、多くの人がIRASはNASA中心の計画と錯覚するに至った。IRASの苦い経験から、ESAは日本との提携を選んだのであろう。

紆余曲折の結果、宇宙科学研究所はNASAと共に参加することになった。NASAは受信局を提供し、宇宙研は受信局の運営費の一部を払うことに落ち着いたのである。それと引き換えに日本（宇宙科学研究所）はISOの観測時間を貰うことになった。筆者は、ISOと日本の連絡役として、スペインマドリッドの郊外にあるISO科学センターに駐在することとなり、ISOの観測スケジュールの作成に関することとなった。

日本が重点を置いた観測に遠赤外線ディープサーベイというものがあり、ISOの打ち上げから数ヶ月経った頃、観測を実行した。生に近いデータを見ると遠赤外線源らしきものが数個見えるので成功を確信した。ちょうどその頃、「遠赤外線装置PHTでとったデータは信用できない、雑音が公称値よりかなり高い、再現性がない」などの苦情がユーザから来るようになった。事態を重く見たESAは、PHTのシャットダウンの可能性も含めてレビューをする会議を招集することになった。この会議において我々のデータは、以下の理

由で、PHT の運用を継続することの根拠として使用されたのである。問題の観測は、標的天体のある場所と天体のない場所を交互に観測し、その差分を天体からの信号として取り出す sky chopping という技術を使ったものや、標的天体を中心とした小さい領域をマッピングしたものであった。しかし、我々のサーベイマップ（図3）によれば、ISO の分解能で見た空は遠赤外線ですっかり埋め尽くされており、天体のない場所は存在しない。従って、sky chopping や小さいマップでは sky のレベルが決まらず標的天体が見えな

くても当然である。空に対する望遠鏡の軸（sky chopping の方向）が動くので、時間と共に差分信号も変動し（基準点の信号が動くから）再現性がないように見えるのも当然である。つまり、遠赤外線源の数が、予想より圧倒的に多かったことが原因だったのである。

これが判ると、それまで二の足を踏んでいたフランスのグループが俄然やる気を起こし、観測手法の詳細を筆者から聞きだし、それまでに編成された ISO の観測スケジュールに割り込む形で、大規模なサーベイ観測を実施することになった。ISO の観測スケジュール

はある規則に基づいて作成されているので、その変更は余程のことがない限りできないことになっていた。その余程の理由とは「日本に重要な観測を独占されては、納税者に説明のしようがない」ということであった。結局、彼等は我々の3倍の領域を我々の手法でサーベイすることになった。日本のデータが PHT を救ったことも日本の手法を借用したことも論文の謝辞にすら書いてなく、ましてや正式な記録として残っていない。しかし、教訓は残った。「競ったときに勝つのは所有者である」と。

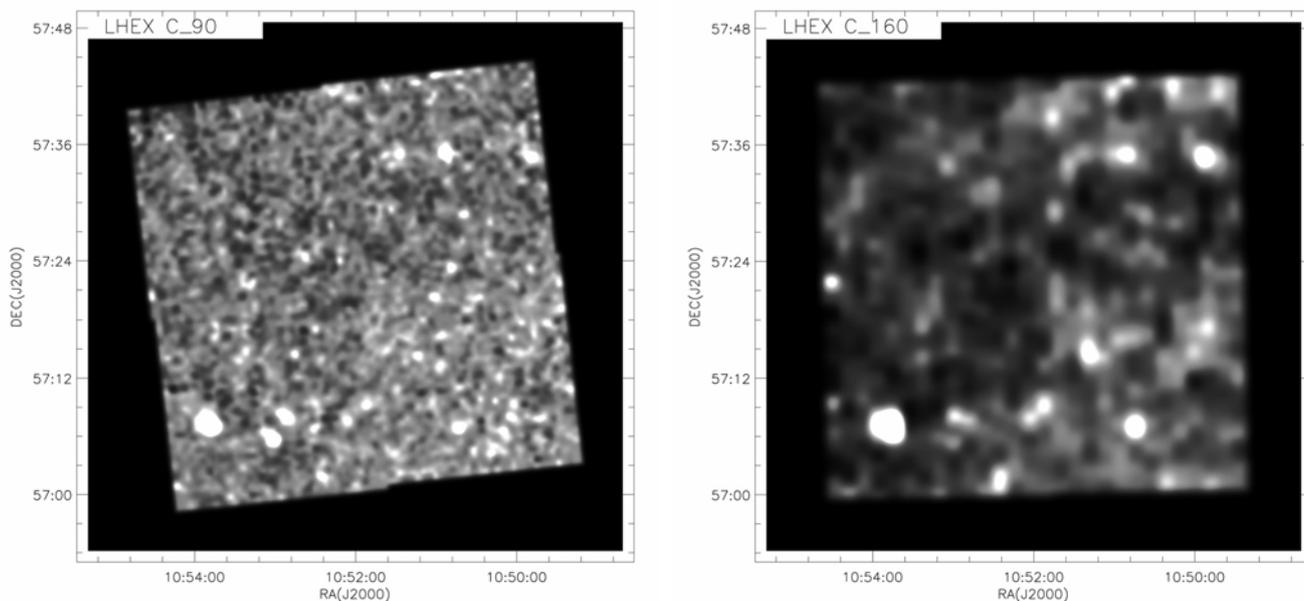


図3：ISO 遠赤外線ディープサーベイのマップ（左は波長 90 ミクロン、右は波長 170 ミクロン）。



研究室探訪 — 第 10 回 —

## 理論で「ひも」解く宇宙

江口 徹 教授 (理学系研究科物理学専攻)

聞き手：仲田 崇志 (生物科学専攻 修士課程 2 年)

今回の先生は素粒子理論の研究をなさっている江口徹教授です。いわゆる「超ひも理論」がご専門との事。というわけで、不可思議な響きを持つ「超ひも理論」とはどのようなものなのか？ それを研究するとはどういう作業なのか？ 興味に駆られてお話を伺ってきました。



## 素粒子は「ひも」！？

**仲田** 今日はよろしくお願ひいたします。先生のご専門は超弦理論（いわゆる超ひも理論）や量子重力理論とのことですが、それはわかりやすく言うとどういう考え方でしょうか。

**江口** 目標は素粒子の基礎理論、統一理論です。素粒子とは自然界の基本粒子ですが、普通は空間を動いている「点」だと思っています。それを一次的に広がった「ひも」で置き換えようという考え方が超弦理論です。そのひもは $10^{-33}\text{cm}$  くらいのすごく小さなひもで、通常は点粒子に見えます。ところが、マイクロな世界に行くと素粒子がひもに見えてきて、ここでは色々な法則が知られている形からずれてくるんです。それが素粒子の理論の持っている幾つかの困難を解決してくれると思っています。

特にマイクロな世界での重力の理論には、今ほうまい理論がないんです。アインシュタインの一般相対性理論は、星の運動や銀河系の構造などマクロな世界の重力の理論なんです。しかし宇宙の歴史を遡ると、宇宙がどんどん潰れて行って最後は非常に小さな空間に宇宙の全質量が押し込められたような状況になります。そういうマイクロな世界に物凄い重力があるよう

な状況を物理の理論で調べられるようになりたいという希望があります。

マイクロな世界を扱うには、量子化<sup>\*1</sup>した理論を作らないといけません。ところが一般相対論は、量子化してみると矛盾がいっぱい出てきます。不確定性原理というのがありますが、一般相対論に適用すると時間や空間がふらふらとして確定しなくなります。これがマイクロの世界では酷くなり、最後はふらふらが無限大になって手に負えなくなります。

**仲田** 電磁気力であるとか、他の力については問題ないんですか？

**江口** はい。素粒子の力には、重力以外に電磁気力と原子核を作っている核力＝「強い力」、そして日常生活ではあまりでてこない「弱い力」があります。これらはマイクロな世界で矛盾が出ない理論がほぼ確立されています。これらの力はゲージ理論と言うものを使って理解されていて、強い力に関しては今年ノーベル物理学賞が出ました。

そこで、重力についてマイクロの世界の理論を作るのが長期的な目標です。これは素粒子が点粒子だという描像ではできません。超弦理論では思い切って素粒子は点ではなくて、伸びたひものようなも

のだと考えています。

ひもが振動すると、いわばバイオリンから色々な音色が出るように、振動が激しい状態や緩い状態などたくさんの状態が出てきます。これを弦理論では、いろいろな粒子が一度に記述できると考えます。例えばバイオリンを弾くと色々な音色が出てきますよね？

**仲田** 一個のバイオリンからですか。

**江口** そう。それを遠くから見て、バイオリンが点に見えたとします。遠くから見てみると、色々なエネルギーを持った状態が見えて、止まったエネルギーは質量に見えるんです。

**仲田** 止まっているというのは振動も？

**江口** いや、よく見ると振動はしていますが、全体として止まっている状態です。遠くから見てみると、そこに質量を持った粒子があるように見えて、ひもの振動状態によって色々な素粒子に化けて見えるんです。

エネルギーが低い場合にはひもがほとんど点に潰れちゃっているから、素粒子を点と考える普通の理論に戻ります。しかしひも同士が高いエネルギーでぶつかったりすると、あるいはマイクロな世界の現象では普通の理論からずれがで

\*1 量子化：

量子力学では、古典力学では連続的な値をとる物理量、たとえばエネルギーや角運動量などが、不連続な値しか許されないようになる。これをエネルギーや角運動量の量子化という。

近くで見ると...



一種類のひもから...

遠くから見ると...



別々の種類の粒子が  
一緒にいるように見える

## 超弦理論の変遷

**仲田** 超弦理論の話では多次元宇宙、10次元時空や11次元時空といった話がでてきますが、それはどういう根拠なのでしょう。

**江口** 根拠は、数学的な理論の整合性から来るんです。最初に弦理論、弦模型というのが出てきたのは、強い相互作用の問題に対する模型としてなんです。強い相互作用というのはクォーク（注：物質を構成する基本粒子）に働く力なんです。クォークが基本粒子だといわれたときに一番不思議だったのが、クォークの閉じ込め<sup>\*2</sup>という現象です。それで、その説明に弦模型というのが出てきたんです。クォークと反クォークがあるとき、間をつないでいるゴムひものようなものを考えます。クォークをぼーんとはじくと、ひもが伸びていくんだけど、あんまり伸ばすと真ん中が二つにちぎれて、切り口にクォークと反クォークが出来てしまう、それで二個の中間子ができてしまい、決してクォークだけがちぎれて出てくることはない、そういう模型を考えたんです。

てくるという仕掛けです。

それで、ひもには自分で閉じているのと端があるのと二種類あるんですが、閉じた弦の方から見ると、一番エネルギーが低い状態が重力子になります。

**仲田** 重力子になるように定式化が出来ている、ということですか。

**江口** 最初から一般相対論をうまく取り込んでいるんですよ。

もう一方の、末端のある開いたひもの一番エネルギーの低い状態はゲージ粒子になるんですね。これは先ほどのゲージ理論を再現するようになっています。

**仲田** ゲージ粒子というのは具体的にどういう力に関係しているんでしょうか？

**江口** 光子の類です。電磁気力、それから強い力や弱い力も全部ゲージ粒子が担っているんですね。

**仲田** つまり、重力以外の力は全部ゲージ粒子が担っているということですか。

**江口** はい。例えば電荷があると、それから光子が吐き出されて、もう一個の電荷に吸われて、その間に力が働くのが電磁気力です。同

じように、電荷の代わりに「色」というものがある、グルーオンが担っています。こうして強い力が生じるんです。それから弱い力だと「香り」というのがあります。この三種類の力の源になるものがある、それから粒子が交換されて力が生じるというパターンを、ゲージ理論で理解できると思っています。

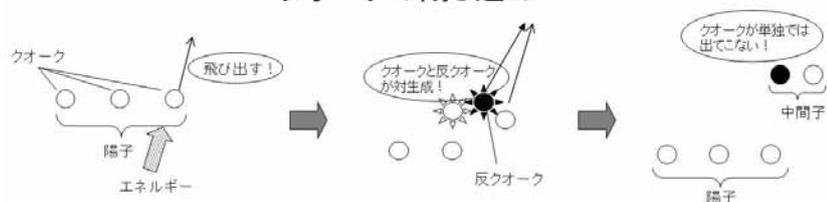
ひも理論の立場では、一番低いエネルギー状態で、開いたひもの理論からゲージ理論が、閉じたひもの理論から重力が出てくるような、全体をうまく取り込んだものを作ろうとします。

末端のある弦(ゲージ粒子)	輪状の弦
電磁気力 光子	重力 重力子
強い力 グルーオン	
弱い力 W, Zボソン	

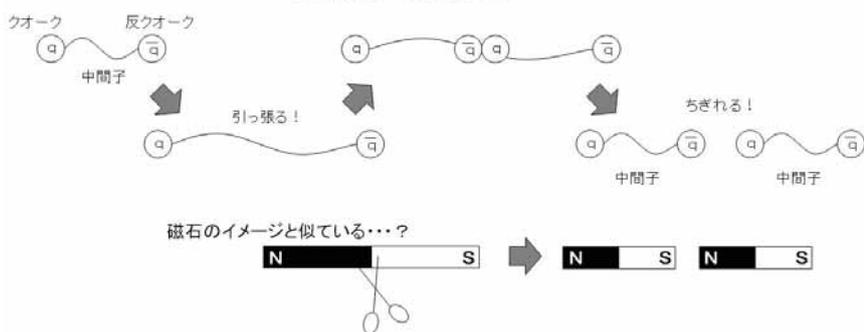
<sup>\*2</sup> クォークの閉じ込め：

クォークは加速器のエネルギーで出てくるはずの軽さにもかかわらず、核子をたたいても単独のクォークが出てこないという問題。例えばクォーク三個から成る陽子からクォーク一個をはじくと、二個のクォークが取り残される。すると付近にクォークと反クォークが対生成する（粒子と反粒子は、量子数を互いに打ち消すので真空から作れる）。生成した反クォークは飛び出したクォークに、クォークは残された二個のクォークに寄り添い、それぞれ中間子と陽子として観測される。

## クォークの閉じ込め



## 最初期の弦模型



それで次元の話ですね。今述べたように、強い力の模型として弦模型は出てきたんですが、このシステムを詳しく調べてやると、最初は26次元、後のモデルでは10次元といった変な次元でないと、ある励起状態が出てくる確率を調べたときに負の確率が出てしまうんです。

それからこのシステムが一番低いエネルギー状態は質量がゼロなんです。今ではこれを光子のような質量のないゲージ粒子だと思っているんですが、当時は質量を持った中間子とか陽子を考えていたので、変だと思われてこの模型は廃れちゃうわけです。で、強い相互作用の問題は、ひもではなくゲージ理論で解決されて行くんです。

で、この最初のバージョンはうまく行かなくなるんですが、70年代頃を通じて再解釈がなされた

んです。大きさも全然桁が変わり、核力の問題ではなくてゲージ理論とか重力理論を拡張した理論だと思直したんです。ただそれでも劇的なうまい話が出てこないで、当時はあまり研究者の関心を引かなかったんです。

ところが80年代の半ばくらいから大きな発見があって、それ以降、弦理論が素粒子論の中心的な研究課題になってきたんです。

**仲田** 大きな発見といいますと。

**江口** 80年代の半ばくらいと90年代の半ばくらいに二つあるんです。最初の方を第一次弦理論の革命、90年代半ばが第二革命と言います。

第一革命の方を説明すると、素粒子の力には重力とゲージ場の力の、大きく分けて二種類があります。ところが普通は、重力とゲージ場の力は、どうしてお互いにそ

ういうものがなければいけないかという理解がなかったんです。

**仲田** あるということはわかっているけれども、理由がわからなかったと。

**江口** ええ、説明がなかったわけです。ところが80年代に、実は両方があって初めて弦理論に整合性が出てくる、ということが見付かったんです。弦理論から重力のところだけ抜き出して、ゲージ理論の方を捨ててしまうと、あるいは逆にゲージ理論の方だけをとると、数学的に矛盾した理論になってしまうんです。

特に、弦理論を使うとゲージ群とよばれるものが決まるんです。ゲージ理論ではゲージ群というものを選ぶんですが、普通は経験的にゲージ群を決めているんです。しかし弦理論では、実は理論の整合性からゲージ群もある特定の二つに決まってしまうんです。それが流れを変えました。それまでは細々と一部の研究者がやっていたんですが、それから研究者がどっと増えて、我々もその頃から弦理論を中心に研究を始めることになったんです。

**仲田** 今まで、関連付けも理由付けもされていなかったものが、超弦理論でまとめて説明できるとなると、すごく面白そうに聞こえますね。

**江口** ええ。皆ショックを受けて、急に関心を持って研究するようになったんです。それが第一次弦理

論革命と呼ばれるものです。それから10年くらい経って、今から10年くらい前に第二次弦理論革命というのが起こったんです。

弦理論は複雑な理論なので解くのが難しい。そのため予言を引き出すことが出来なかったんですが、第二次弦理論革命で弦理論を調べる技術が非常に進歩して結構強い証拠が出てきたんです。一つはブラックホール<sup>\*3</sup>のエントロピー<sup>\*4</sup>の問題なんですけど、それは聞かれたことは？

**仲田** ホーキング博士がそういう研究をしていたように記憶していますが。

**江口** ええ。それにも関係しています。ブラックホールというのは色んなミステリーを持っているんです。

ブラックホールの周りには、それより内側に入ると外部に脱出できないような、そういう殻、事象の地平線、があるんです。そういう変なものがあると、色々パズルが起こるんです。例えば殻の外側で星屑の状態などを調べると、原理的にはどういう電荷、質量、スピンを持っているかなど色んな情報を引き出すことが出来ますね？ところが星屑がいったん地平線のかなたに落ち込んでしまうと、それが中でどうなっているかは外か

らは知りえないんですよ。

**仲田** 光でも出てこれないわけですからね。

**江口** そうすると、我々の知っていた情報が失われて、ブラックホールが溜め込んでいると言えます。ブラックホールは、全体の質量と電荷、それとスピンしかパラメータを持っていないんですが、ブラックホールに落ち込んだ無数の原子とか分子などのミクロな状態はたくさんあるはずなんです。その状態の数の対数、 $\log$ をとったものがエントロピーなんです。

もしブラックホールをきちんと量子論的に取り扱うことが出来れば、エントロピーがエネルギーの関数として計算できるはずなんです。それについては熱力学的な考察から出てきた、ベッケンシュタインとホーキングの予想というのがあります。これは一般相対論では計算できないんですが、弦理論でそれが出来れば、一般相対論より弦理論の方がちょっとは良いだろう、と言えます。

**仲田** なるほど。

**江口** これが八年前くらい前にある種のブラックホールについて出来るようになって、予想したことがぴったりだったんです。それで弦理論が、正しい方向に向かっていっているのではないかと、しかも一般相

対論よりも進んだ取り扱いができる、ということが言えるようになりました。ある意味で最初の成功ですね。

**仲田** 弦理論の証拠の一つになるわけですね。

**江口** そう。弦理論はこれで全部行けると大風呂敷を広げているので、どっかでつまずくとアウトなんですけど、これで一つのチェックポイントをクリアした感じになったわけです。それから他にも色々な証拠があって、みな前よりも納得するようになりました。我々が変な次元に住んでいるというのも昔は笑い話のように受け取られていたと思うんですね。専門以外の人には（笑）。

**仲田** はい（笑）。

**江口** けれどもそういう余分な次元が本当にあって、どうしたらそれを実験的に見れるかという研究も、今は活発です。

それから宇宙の初期についても超弦理論の新しい理解から、色々なモデルが出てきています。普通はビッグバンと言って、点から爆発して宇宙が広がったと考えますが、時間がゼロに戻っても、その反対側に時間のマイナスがある可能性もあるんですね。その辺は全体が流動状態で、定説は全くありません。

**仲田** ちょうど今、超弦理論を検証している時期ということですか。

**江口** まだまだ足りないと思えますけど、理論の予言を引き出すこ

\*3 ブラックホール：

中心に重力が無限大となる特異点を持ち、回転のないブラックホールで球形の、事象の地平線と呼ばれる殻を持つ。この殻より内側では脱出速度が光速を超えるため、一切の物質は外側に脱出できない。

\*4 エントロピー：

熱力学から出てきた概念。簡単に言うと、「乱雑さ」を表す指標で、情報量とも関係している。

とが出来ようになってきました。今は国際的にも若くて元気の良い研究者がたくさん参加して、オリンピック状態ですね。世界中でいろんな人たちが互いに競って研究しています。

## 弦理論への関わり

**仲田** ではそんな中で、先生はどのような研究をしていらっしゃるのでしょうか？

**江口** 僕が弦理論の研究をするようになったのは第一次革命からなんです。その前にやっていた研究が今の弦理論の中で重要な役割を果たしていて、それに関連したことに特に興味があるんです。

一つは、弦理論が活発になるよりずっと前、70年代の後半くらいにアメリカで、アメリカ人の研究者（Hansonさん）と一緒に一般相対論に出てくるアインシュタイン方程式の一つの解を研究していました。普通はアインシュタイン方程式を解くときには、例えばブラックホールの解とかは、平坦なミンコフスキー空間（時空）から考えます。

**仲田** ミンコフスキー空間と申しますと？

**江口** 時間と空間が区別される空間で曲がっていないものがミンコフスキー空間（時空）です。一方、ユークリッド空間では時間と空間

が全く同じ役割になります（注：時間の次元がないと見ることも出来る）。それで、ユークリッド空間が曲がったような空間、それを記述するようなアインシュタイン方程式の厳密解を見つけたことがあるんです。

ところで、弦理論では10次元空間から出発して、四次元空間に我々が住んでいて、余りが六次元あるわけです。それがいわば素粒子の内部空間なんです。それが我々が見えないほど小さな空間になっていて、そこから素粒子のそんな性質が出てくると考えるんです。で、その内部空間のところに我々が昔作った空間を使うことが出来るんです。

**仲田** 相対論から考えていた空間のモデルが弦理論に転用できたんですね。

**江口** 弦理論の余分な六次元の部

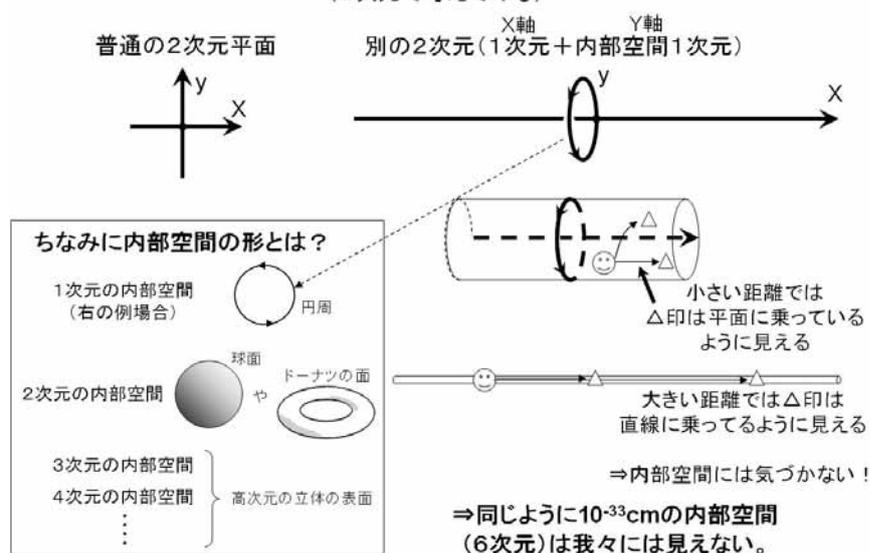
分には時間の次元がないので、ユークリッド空間が曲がったような状況になって、うまくはまるんです。我々が見つけた空間の中ではゲージ対称性が自然に生成されるため重要な役割を果たします。

それから、これも違う流れの仕事だったんですが、さっきゲージ理論ではゲージ群というものを選ぶと言いました。ゲージ理論は解析的には未だ解けないわけですが、解こうと思うと、このゲージ群を非常に大きくした極限で、実はゲージ理論が簡単になるんです。それでそこで起こることを詳しく調べたことがあったんです。

調べてみると、場の量子論の問題が行列の積分のような、ある意味で桁違いに簡単な問題になるということを発見したんです。これは川合さんという人とやった仕事なんですが、このメカニズムがや

## 小さな内部空間の考え方

(2次元で考えてみる)



はり弦理論でも色んな違ったコンテキストの中で使われるんですね。

**仲田** 解を出すことが非常に難しい弦理論の中であって、ある種の解を出しやすくできるわけですか。

**江口** 必ずしも解ききれるとは限らないんですけども、単純化が色んなところで起こるんです。この仕事が弦理論に使えるとは全然思っていなかったんですが、最近になって繰り返しそういう例がでてきます。

あと、弦理論に数学の問題がでてくるので、仕事の二割か三割くらいは数学なんですよ。物理として何か新しい理論が出てくると、物理の内容を書くための道具が変わるんです。最初、ニュートンが運動方程式を書こうと思ったときには微分や積分などの数学の道具が必要だったわけです。同じように、量子力学からはヒルベルト空間だとか作用素だとか、一般相対論からはリーマン幾何がどかんとでてきたんです。

それで弦理論にも新しい数学が色々出ています。弦理論は物理の理論として成功するかどうかはまだわからないんですが、数学の方面にはずいぶん点数を上げているわけです。

**仲田** 超弦理論を解こうとして、ついでに数学の方にも貢献してきたということですか。

**江口** ええ。だから結構、数学の人との付き合いがありますね。教えてもらうこともすごく多いんで

す。例えばさっき言った弦理論の内部空間の幾何学などは、かなり数学の問題に近いですから。

**仲田** 数学と、持ちつ持たれつなんですね。

## 理論研究者の日常

**仲田** では、具体的な研究というのは、どういう作業になるんでしょうか？ 例えば机の上でひたすら計算をしているんじゃないかというイメージがあるんですが(笑)。

**江口** それに近いですね。あと、毎日論文がウェブに出るんです。国際的なデータベース(注: arXiv. <http://arxiv.org/>)があって、論文を書いた人はそこに投稿するんです。そうすると翌日には掲示板に張り出される。それを眺めて面白そうなやつを読んでみるわけです。

それで、そっちの方が面白ければ調べてみようとか、つまらないから自分がやっていることを最後までやってみようとか、そんなことの繰り返しですね。

**仲田** では論文を通じてディスカッションをずっと続けているという感じですか。

**江口** そういう感じですね。論文をそこに出すと翌日には世界中の人が見る可能性がある。だから面白い仕事が出ると、ぱっと広がっていきますね。

研究室では、面白そうな仕事があったら、それを誰かにあてて、その人が皆に紹介する、ということをしています。自分で全部読むことは量が多くてとても出来ないのです。

**仲田** まさに情報化時代ですね。

**江口** 情報過多です(笑)。全部が重要な論文ではないので、適当にピックアップして、皆で議論をする。それで本当に面白かったら自分でもちょっとやってみます。

**仲田** 我々実験系の人間とは、全く違った研究スタイルなので、とても斬新に聞こえます(笑)。

**江口** そういう生活様式ですね。この研究室で良いところは、優秀な学生の人がたくさんいるので、当てるとちゃんとやってくれるところです(笑)。

**仲田** ああ、それはすばらしい(笑)。

**江口** 議論をすることで、何が新しいのかを皆が吸収できるんです。それで全体の研究室の水準を保っていくことができる。そういうことも大変です。国際競争で、情報のアクセスも同じわけですから。

## 実験の先を行く理論研究

**仲田** そういう中で、実験系の物理学との接点についてお話を聞かせていただけますか？

**江口** 最近は超対称性という考え

方が有力になって来ています。弦理論は超対称性をもろに使っていて、実験的には多分それが一番大事です。どうしてかという、零点振動って聞いたことがありますか？

**仲田** ええと、絶対零度でも振動が止まらないという現象ですか？

**江口** そうです。完全に止まって位置も確定するというのは不確定性原理と矛盾してしまうので、粒子のエネルギーはゼロにならない。何かふらふらして、有限のエネルギーを持っていることになるんです。このエネルギーを真空のエネルギーといいます。

ところがそれを場の理論に適用すると、時空の各点に場があって、その点が無数にあるような量子力学系になるんです。するとどの点も零点振動を持っているので、一番低いエネルギーがゼロではなくて無限大になるわけです。点が無限個あるので。

**仲田** それは困りそうですね。

**江口** でもゲージ理論をやっている限りはこの問題は無視することが出来る。エネルギーの一番低い状態からの差だけを見ればいいからです。ところがこれは重力が絡んでくると深刻な問題になるんですよ。真空のエネルギーを遠くから見ると質量に見えるんです。すると一般相対論に従って、場の周りの空間が曲がってしまいます。質量が無限大に発散しているので無限に小さな丸まった空間になって、

理論がだめになっちゃうんです。

今のところこの問題を避けるには、真空のエネルギーをキャンセルしてゼロにするしかないんです。そのためには零点振動が負にできるような、ちょうど消し合うものを持って来ます。これが超対称性です。

粒子にはボーズ粒子とフェルミ粒子というものがあるんですが、ここでそれぞれのボーズ粒子に全く同じ量子数を持つフェルミ粒子の相棒があるすると、互いの真空のエネルギーが打ち消しあっては完全にゼロになり問題を避けることが出来るんです。これが超対称性です。

**仲田** すると今まで通りのゲージ理論が使えるんですね。

**江口** そう。重力を持ち込んでも良いわけです。だからこれが、唯一ゲージ理論と重力理論を統一していく可能性だと思ってるんです。それで超対称性が本当に自然界にあるかっていうのが当面が一番大事です。これから数年後くらいに、ヨーロッパにある非常に大きな加速器で調べる段階です。

**仲田** ということは実験の方が遅れているんでしょうか。

**江口** それはもう全然遅れています。理論は勝手なことを考えることが出来るので、どんどん想像が膨らんじやうわけですが、実験の方はすごい大変なので。

**仲田** すると実験的な証明がでないところで理論研究をやっていく場合、どうかたちで理論の良し悪しを評価をしているんでしょうか。

**江口** それは一番つらいところなんですね。よく弦理論に対して批判があるんですが、理論倒れじゃないかと。

理論の中で何か決まらないことがあると、普通は実験に合うように何かを選ぶわけです。ただ、本当の基礎理論であれば、理論の数学的な仕組みだけで全部が一意に決まってしまう、というのが良いんです。

**仲田** なるほど。

**江口** 一般相対論のきれいなところは、ほとんどが一意に決まっちゃうところなんですよ。出発点に等価原理<sup>\*5</sup>というのがあって、重力質量と慣性質量が等しいと考えます。するとそこから大体ざあっと、アインシュタイン方程式が出ちゃうんです。途中で仮定を付け加える必要のないところが、良い理論のお手本みたいなものですよ。

もし本当に弦理論が良い理論だったら、何も仮定を付け加えないで、きちんとした出発点からずらずらと全部出ちゃうと思うんですが、そこまで良い理論かどうかまでわからないんです。

今のところ、時空の次元やゲー

\*5 等価原理：

ニュートンの運動方程式は、「慣性質量」×加速度＝力、と書ける。一方、重力は受け手の「重力質量」に比例する。二つの質量が等しいものだとすると、重力のもとでの物体の運動は、質量などによらない、時間空間の性質に応じた運動とみなせる。

ジ群が決まってしまうというのはすごくいいんです。あと、六次元の部分の空間の格好については、今のところ色んな可能性があって、まだ難しいところですね。

**仲田** 調べていって、例えば余次元の形が一意に決まるようなものが見付かれれば、それは良い理論と言えるわけですか。

**江口** そう。理論から決まってしまうえばね。ここで実験が手助けをしてくれて、ヒントを与えてくれるとすごくありがたい。特に超対称性の手掛かりが今一番欲しいです。ここ数年くらいで出ますかね。

**仲田** 楽しみです。

**江口** う～ん。どうなのかな(笑)。超弦理論はオール・オア・ナッシングみたいなところがあるので。ひとつでも合わない、苦しくなってしまうですね。きちんと決まってくれる理論がいい理論なんだけれども、それが生き残るのは非常に難しいわけですね。

それからさっき真空のエネルギーがゼロになると言ったんですが、超対称性が厳密にあると本当にゼロなんです。ところが最近の宇宙の観測によると、真空のエネルギーにちょっと正のエネルギーが残っていて、宇宙の膨張が加速されているんです。今のところこれは全くのミステリーで、物凄く難しい問題です。説明できるアイデアが見当たらない。

## 基礎研究の役割

**仲田** では、少し話題を変えさせていただきます。理論物理のような基礎研究は、中々社会の利益や有用性に結びつかないと思うんですが、それでも基礎研究を行う意義、あるいはモチベーションについてはいかがお考えですか。

**江口** 何か自然界の基礎的なものを知りたい、未知のものに惹かれるということはあると思います。それから基礎的な研究でどれだけ成果を出すかということが、今では国際競争の一つのテーマです。応用方面で良い成果を出すということも物凄く大事だと思うんですが、基礎的な方面で良い研究をすることも、日本のサイエンスをアピールする上で大事だと思います。

**仲田** 国のステータスを上げるという意味でしょうか。

**江口** そうそう。お前ら応用しかやってないじゃないか、と言われたいように。そういう風に頑張ることが社会への責任を果たすことだと考えています。それと本当の基礎的なところで人類の知恵を前に進めるという、文化のようなものに貢献することはあると思います。

アメリカの大学などでも、超弦理論が最近盛り上がったので、弦理論の優秀な研究者をとってくるのが大学のステータスになるんで

すよ。だから日本でも東大などから国際的な競争力のある仕事をコンスタントに出していかなければいけないと思っています。

我々の研究室の一つの機能として、院生で入って来た若い人たちに、高いレベルの研究やトレーニングをしてもらい、外国の優秀な研究所や大学でさらに頑張る仕事をしてもらおうということがあります。大リーグへ行って活躍するということに近いですよ(笑)。実際に、この研究室からそういう優秀な、外国で活躍している人がいっぱい出ています。

そのためにはやはり日本も良い水準に行っていないといけないと思うんですが、これには研究室でよい仕事をしているということが大事ですね。

**仲田** 大リーグにいけるような選手を育てるためには国内リーグもしっかりしている必要があるんですね(笑)。

**江口** Jリーグもレベルが高くないと、セリエAにはいけない、と(笑)。

ただ、全く同じレベルにはなかなか行かないですね。アメリカの一流大学の研究者の層の厚さまでは、日本はまだ行かないと思います。メジャーリーグと日本の野球が試合をすると、日本はやはり劣勢だと思うんだけど。野球よりは頑張ってるかな？(笑)。

## 物理学の今

**仲田** では、最後になりますが、物理学、特に理論物理学を学ぼうとしている学生に、何かメッセージのようなものがあれば。

**江口** 素粒子論は、自然界の基本原則を追い求めている世界です。例えば本当の宇宙の始まりをきちんと理解する理論をつくれないうということをやっています。今のところ出来かかっているけれども、まだやるのがたくさんあると思います。

他の分野にもたくさん面白い問題があります。物性理論みたいなもの、例えば固体物理では素粒子論とは全然違う系を対象にしますが、そこで見付かった現象が実は素粒子の世界にも使えるんです。例えば現在ゲージ理論で使われているヒッグス機構というものは、固体物理で発見された超電導の理論を素粒子に使ったようなものです。

**仲田** 理論物理のなかで色々な話がつながってくる、と。

**江口** 何回もそういうことが起こりますね。不思議なことですが。

ところで、物理学は僕らが学生だった時代に比べてずいぶん成熟したと思います。僕が学生の頃にはゲージ理論のようなものはなかったんですよ。その頃は重力理論、アインシュタイン方程式とかをい

じるのは老人のやることだから、若者がやっちゃいけない、仙人みたいになっちゃって、現実の世界から離れてしまう、何て言ってたんですが、今は全然そういう時代じゃないんです。

それで知識も増えたんだけど、手間もかかるようになりましたね。勉強するのも時間が掛かりますし、実験するにも巨大な装置で長い年月をかけないと新しいものが見付からない。物理は各論に相当分化して、それぞれに蓄積があるので、それを一歩進めるには結構頑張らないといけない。

**仲田** 喜ばないといけない反面、これから始める人には大変ですね。

**江口** 今の若い人たちは、ある意味ではちょっとかわいそうだな、と思うこともあります。

ただ物理の中でいうと、宇宙論などはもう少し学問が若いんですね。フロンティアまでわりと早く行って仕事が出来ます。素粒子論が一番大変ですかね。分野によって違うと思います。生物もまだ若い学問じゃないですか？

**仲田** そうですね。分野によりまずけど、まだ今までの常識を覆して新しいジャンルを作るような発見はあると思います。

**江口** まだ大きな転換があるという感じですか。物理ももちろんまだ転換はあるんだろうけど、それには相当頑張らないと。それでも最近弦理論で大きな進展があったから、若い人たちが惹かれる人も

多いと思います。国際的にもたくさんさんの、名前も知らない人たちが次々と登場してきています。今は非常に元気のいい時期です。

**仲田** これから実を結ぶ時期になるんでしょうか。

**江口** 最終的に良い理論が出来るかどうかはわかりません。ただ、今の弦理論が全部間違いということはないと思います。最終的に良い理論があったとすれば、その中に残って行けるようなものは何かあるんじゃないかと。弦理論にもかなり誤解もあるかも知れませんが、先ほどの真空のエネルギーがゼロにならないという問題は本当に難しいです。

**仲田** そういふところの発展というのは、何か一つ革命的なアイデアがあると動くという性質のものなんでしょうか？

**江口** うん。革命がないとダメでしょうね。あといくつ必要かはわからないんですが。

**仲田** では先生の研究室からそういう革命がでてくるといいですね。

**江口** そうなると良いんですけどね。

この大学にいて幸せだったのは、優秀な人が来てくれて、国際的に一流のところで研究をしてくれていることですね。これからもそういう風にやって欲しいですね。

**仲田** 私も生物学の中では基礎研究をやっているのですが、本日はとても興味深いお話でした。どうもありがとうございました。

## 磁石にくっつく新しい液体「磁性イオン液体」の発見

理学部広報委員会

化学専攻の瀧口宏夫教授と林賢大学院生は、磁石に強く反応する新しい種類の液体「磁性イオン液体」塩化鉄(III)酸1-ブチル-3-メチル-イミダゾリウムを発見した。この液体は、プラスの電荷を持つ陽イオンと、マイナスの電荷を持つ陰イオンのみからなるイオン液体(\*1)の一種で、磁石を近づけると上図に示すように強く引き付けられる。この発見の報告は、日本化学会「Chemistry Letters」誌の12月号に掲載される。

磁石に反応する流体としては、磁性金属塩(\*2)の濃厚水溶液や、粉末磁石を懸濁させた油(磁性流体,\*3)などが知られている。しかし、これらの流体は相として不安定であり、固体と液体に分離してしまうという難点があった。今回発見された「磁性イオン液体」は、これらとは異なり極めて安定で、全く揮発しない、燃えない、凍りにくいなど、イオン液体に特徴的な数多くの優れた性質を持っている。今回の発見は、「磁石は固体である」という従来の常識を大きく覆す「液体磁石」の創製など、従来考えも及ばなかった画期的な応用につながって行くも

のと期待される。現在、民間の試薬メーカーがこの「磁性イオン液体」の生産に着手しており、今後活発な研究開発競争が展開されるものと見られる。

瀧口教授らは、イオン液体がイオンのみから構成されているにも拘らず何故常温で液体であるのかという基本的な問題の解明に取り組んでいるが、その過程で、イオン液体が従来の分子液体とは異なり、局所的な部分構造(\*4)を持つという仮説にたどりついた。この仮説に従えば、磁性陰イオンを用いてイオン液体を合成すれば、特異な磁性が発現する可能性がある。そこで、イオン液体を構成する典型的な陽イオンである1-ブチル-3-メチル-イミダゾリウムイオン(bmim<sup>+</sup>, \*5)と典型的な磁性陰イオンである塩化鉄(III)酸イオン(FeCl<sub>4</sub><sup>-</sup>, \*6)を組み合わせ、イオン液体を合成したところ、磁石に強く反応する塩化鉄(III)酸1-ブチル-3-メチル-イミダゾリウム, bmim[FeCl<sub>4</sub>], を得ることができた。

(表紙に写真があります)

### \*1 イオン液体

陽イオンと陰イオンのみから構成される塩であるにも拘らず常温で液体である一連の化合物をイオン液体(ionic liquid)と呼ぶ。常温溶融塩とも呼ばれる。通常の塩、例えば塩化ナトリウム(食塩)は、801度という極めて高い融点を持つが、イオン液体は常温で液体である。何故イオン液体の融点が異常に低いのか、その理由はまだ解明されていない。イオン液体は、高温安定性、不揮発性、高い酸化・還元耐性など通常の分子液体にはない数多くのユニークな特性を持っているため、環境調和型溶媒(グリーンソルベント)や新しい電気化学材料として強い興味を持たれている新素材である。我が国でも過去数年、研究が爆発的に進展し研究者数が急増している。今年の6月には「イオン液体研究会」(代表世話人:瀧口宏夫東京大学大学院教授)が発足している。

### \*2 磁性金属塩

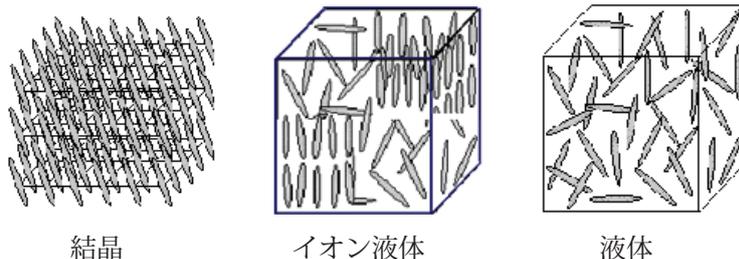
塩化鉄など、磁石になる金属のイオンを含んだ塩。

### \*3 磁性流体

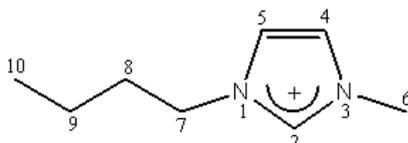
磁石の極微粒子(10 nm程度)を界面活性処理することによって油などの媒質に分散させた複合磁性材料。もともと宇宙服のシール材としてアメリカで開発されたが、現在では未来の機能性ナノ材料として、医療(人工臓器、造影剤、ドラッグデリバリー)、エネルギー(電気エネルギー貯蔵)、機械(マイクロアクチュエーター、モーター軸受け)、情報(磁気表示素子)などの分野での応用の可能性が盛んに研究されている。

\*4 部分構造

通常の分子液体では、分子同士の相対的位置は完全に乱雑であると考えられている。これに対して、イオン液体中では、分子に比較して大きな空間領域（おそらく数十ナノメートル）で構成イオンが配列している（部分構造を形成している）可能性が指摘されている。



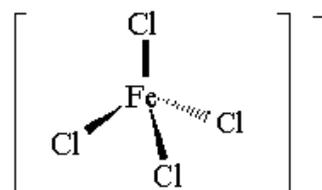
\*5 1-ブチル-3-メチル-イミダゾリウムイオン (bmim<sup>+</sup>) 右図1



▲ 図1

\*6 塩化鉄(III)酸イオン (FeCl<sub>4</sub><sup>-</sup>) 右図2

▼ 図2



## あとかき

法人化の激動期に理学部ニュースの編集委員長を勤められた佐々木晶先生（世間ではラーメン博士として名高い）が、10月より国立天文台の教授として栄転されました。佐々木さん、長らくご苦労様でした。10月からは、受け取ったバトンをとさず走らねばと思っています。

話は変わり、さる10月24日、本研究科名誉教授の今井功（いまい・いさお）先生が、90歳にて他界されました。先生は流体力学の第一人者として名高く、私も学部時代に、ご退官まぢかだった先生の流体力学の講義を拝聴することができました。他の先生がたの難しい講義がひしめく中で、今井先生の講義はあくまで丁寧でわかりやすく、しかも奥深く、「学ぶ喜び」の原点を感じたものです。最近でも、物理学科の忘年会（ニュートン祭）では、学問への好奇心を失わない先生の温顔を毎年のように拝見することができました。今年のニュートン祭ではお会いできないと思うと、たいへんに残念です。御冥福を心からお祈りするとともに、理学部ニュースでも今後、こうした訃報を掲載する体制を整えるべきかと考えています。

牧島一夫（物理学専攻 教授）

\*\*\*\*\*

第36巻4号

発行日 2004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

email 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

\*\*\*\*\*

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



## NPO サイエンス・ステーションの活動

(詳しくは本文 p.3 参照)



▲ 都立立川高校で7月1日に実施した出前授業の様子。この日は比較的小人数を対象にアットホームな雰囲気で行われた。写真は大学での化学科4年の大谷陽祐くん。



▲ 天文センター木曾観測所が主催する銀河学校をサイエンスステーションが共催。3月26日から3泊4日のスケジュールで始まった銀河学校2003で、シュミット望遠鏡を用いた観測実習に参加し、実習指導と講演を行った。



▲ 文教大学で8月2日に行われた小中理科教員研修にサイエンスステーションから講師を派遣。最新の天文学成果を講演した他、オリジナル教材を使った実習などを行った。写真は実習指導中の天文センター助手でサイエンスステーション副理事長の宮田隆志。



▲ 都立青山高校で6月23日に実施した出前授業の様子。写真は宇宙X線の観測的研究について講演する物理学専攻修士課程2年の二河久子さん。当日はこの他にナノテクノロジーについての講演もあり約280名の生徒が出席した。

