

研究会・学会スケジュール

第223回アメリカ電気化学会「ナノカーボン・シンポジウム」
The 223rd ECS Meeting Nanocarbon Symposium
開催日：2013年5月12日(日)～16日(木)
開催場所：トロント(カナダ)
主催：アメリカ電気化学会
問い合わせ：篠原久典 理学研究科 教授
noris@nagoya-u.jp / 052-789-2482

東アジアSKAサイエンスワークショップ
An SKA Scientific Workshop in East Asia
開催日：2013年6月5日(水)～7日(金)
開催場所：名古屋大学理学南館坂田・平田ホール
主催：SKA-Japanコンソーシアム
問い合わせ：竹内 努 理学研究科 准教授
takeuchi.tutomu@g.mbox.nagoya-u.ac.jp / 052-788-6182

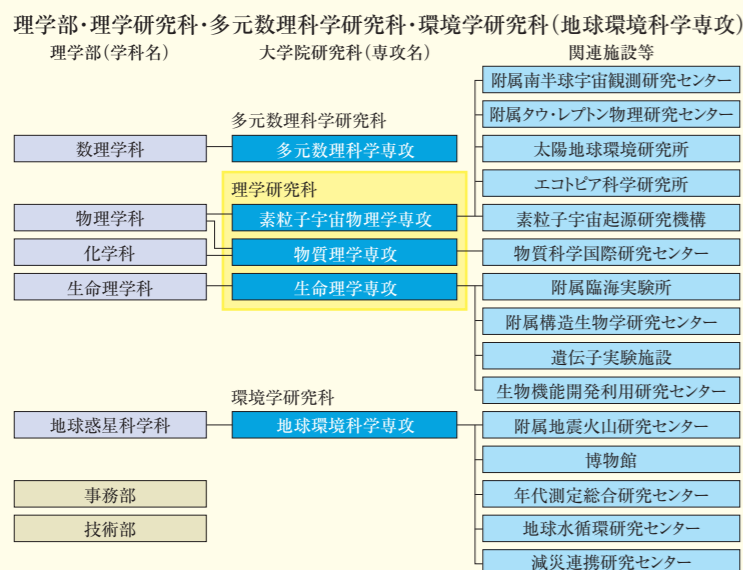
方向感度を持った暗黒物質検出ワークショップ
CYGNUS2013-4th Workshop on Directional Detection of Dark Matter-
開催日：2013年6月10日(月)～12日(水)
開催場所：オークスカナルパークホテル富山(富山市)
主催：CYGNUS2013 international organizing committee
問い合わせ：中 竜大 高等研究院 特任助教
naka@flab.phys.nagoya-u.ac.jp / 052-789-2444

2013年度日本数学会季期研究所 モジュライ理論の発展
The 6th MSJ-SI Development of Moduli Theory
開催日：2013年6月11日(火)～14日(金) / レクチャーシリーズ
2013年6月17日(月)～21日(金) / 研究集会
開催場所：京都大学数理解析研究所
主催：日本数学会
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33回溶液化学国際会議
33rd International Conference on Solution Chemistry
開催日：2013年7月7日(日)～12日(金)
開催場所：京都テルサ(京都市)
主催：溶液化学研究会
問い合わせ：高木秀夫 物質科学国際研究センター 准教授
h.d.takagi@nagoya-u.jp / 052-789-5473

国際地球生物学研究集会-初期生命の多様性と進化の謎に挑む
The International Biogeoscience Conference 2013 Nagoya, Japan
開催日：2013年11月1日(金)～4日(月)
開催場所：名古屋大学理学南館坂田・平田ホール
主催：IBC2013実行委員会
問い合わせ：杉谷健一郎 環境学研究科 教授
sugi@info.human.nagoya-u.ac.jp / 052-789-4865

組織図

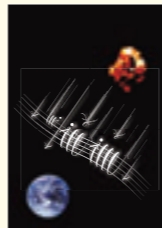


編集だより

今回は宇宙線の特集した。分野を問わず、研究の歴史を振り返ると異なる研究成果の間に思いがけないつながりが見えることがある。宇宙線研究でも、100年にわたる広がりの中で、人類の知的な基盤が着々と築かれていく様子が興味深い。手近にある理科年表を見ると、主な物理学上の発見が年代順にまとめられており、宇宙線にかかわる発見も少なくない。ヘスによる宇宙線の発見は、はじめはなかなか信用されなかったが、1920-30年代には確立され、その後の新たな素粒子の発見につながった。早川幸男先生は1950年代に、2つの大きな仕事をされた。宇宙線の起源が超新星にあるとの仮説と、ガンマ線天文学の可能性の指摘である。特集では、最新のガンマ線観測によって宇宙線陽子の超新星起源が支持されることを紹介した。早川教授の肝いりで、田中靖郎先生らが幼児期のX線天文学を牽引し、衛星計画に実を結んで宇宙線電子の観測を切り拓いた。60年近い年月を経て、早川先生の見聞が現実のものになったことは感慨深い。(福井康雄)

表紙説明

右上は、天文衛星「すざく」がとらえた超新星残骸RX J1713.7-3946のシンクロtron X線放射の画像(提供:佐野栄俊・田中孝明)。宇宙線発見から100年、X線やガンマ線の発生源を特定することで、新たな宇宙像があぶり出される。



理 philosophia

No.24
spring-summer 2013
2013年5月10日発行

広報委員 篠原久典(研究科長)
松本邦弘(副研究科長)
杉山 直(評議員)
南 和彦(数理学科)
福井康雄(物理学科)※委員長
中村光廣(物理学科)
寺崎一郎(物理学科)
山口潤一郎(化学科)
杉山 伸(生命理学科)
瀧口金吾(生命理学科)
ウォリス・サイモン(地球惑星科学科)
斉藤 肇(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 名古屋市中千種区不老町

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2013年10月頃発行の予定です。

制作 株式会社電通
編集協力 株式会社コトニキ
デザイン 株式会社ティ・エム・シー

・本誌記事、写真等の無断複写、転載を禁じます。 ISSN 1884-8486

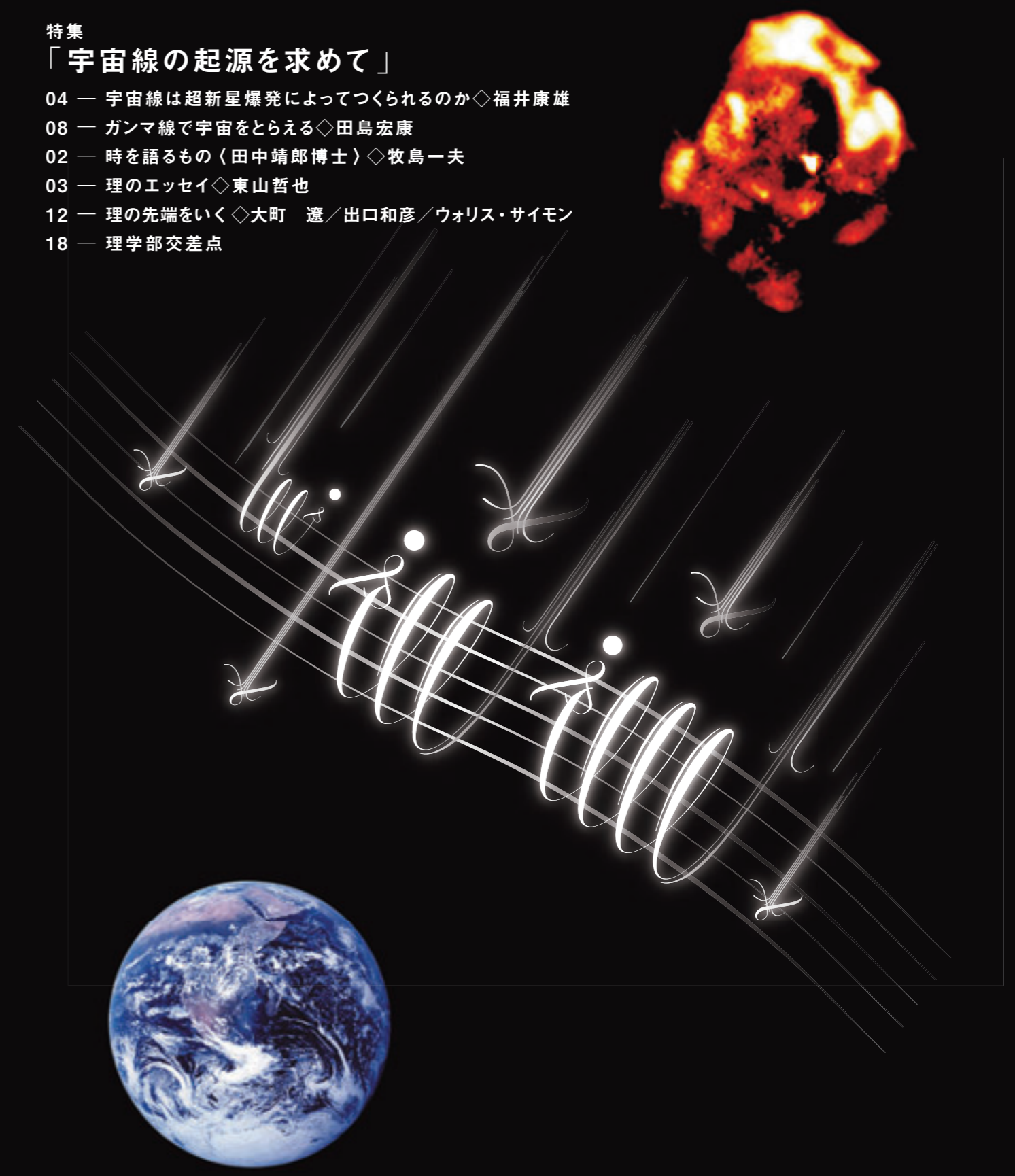
TEL 052-789-2394 FAX 052-789-2800 E-mail kouhou@sci.nagoya-u.ac.jp URL http://www.sci.nagoya-u.ac.jp/kouhou/



特集

「宇宙線の起源を求めて」

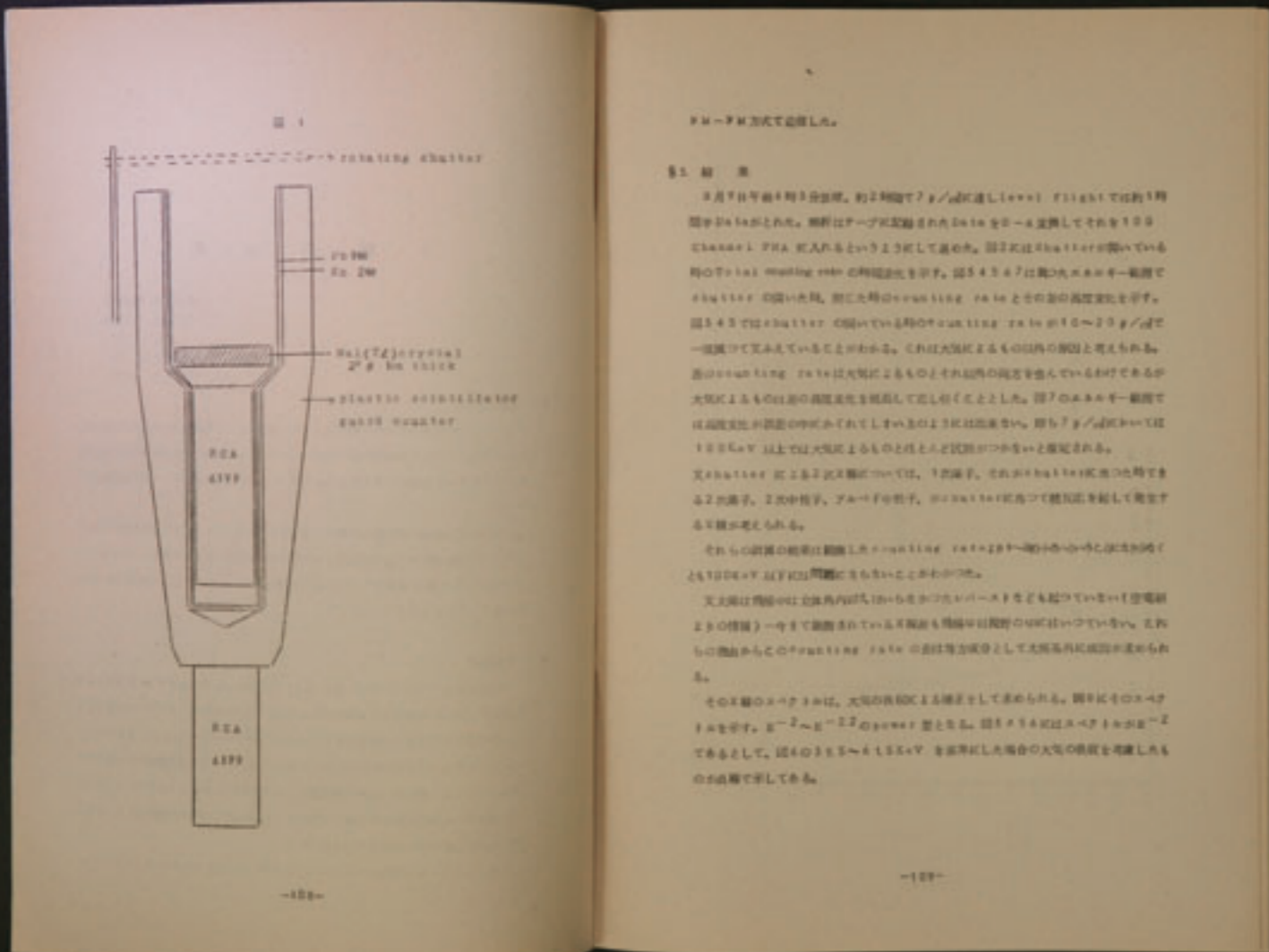
- 04 — 宇宙線は超新星爆発によってつくられるのか◇福井康雄
- 08 — ガンマ線で宇宙をとらえる◇田島宏康
- 02 — 時を語るもの(田中靖郎博士)◇牧島一夫
- 03 — 理のエッセイ◇東山哲也
- 12 — 理の先端をいく◇大町 遼 / 出口和彦 / ウォリス・サイモン
- 18 — 理学部交差点



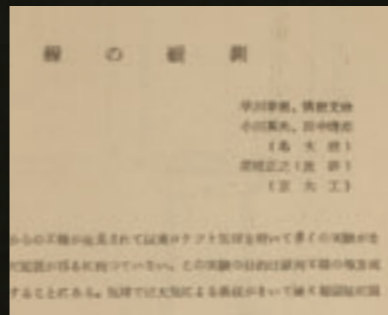
田中靖郎博士 — 日本X線天文学の育ての親

ロケットの発達に伴い、50年前に誕生したX線天文学。その研究の日本における「生みの親」が早川幸男*1博士と小田稔*2博士であるなら、田中靖郎博士はその「育ての親」であろう。田中博士は宇宙線の研究を出発点に、卓抜な物理実験家としての手腕と、豊かな国際感覚により、名古屋大学に強力な宇宙実験グループを築き、オランダと協力して超軟X線の観測などを主導した。1974年に宇宙科学研究所に移られてからは、多くの科学衛星プロジェクトを牽引し、日本のX線天文学を世界の三極の一つとして育て

あげた。ガス蛍光比例計数管の開発、それを搭載した「てんま」衛星による鉄輝線分光の开拓、「ぎんが」による超新星SN1987Aからの硬X線の検出、不朽の名機「あすか」によるブラックホールからの相対論的効果の検証など、つねに宇宙物理学の最前線を开拓され、多くの賞を受賞されている。ご定年後は、日本学術振興会ボン研究連絡センター長として日独交流に貢献され、2010年度には文化功労者にも選ばれた。(東京大学理学系研究科物理学専攻教授 牧島一夫)



田中靖郎 (1931-) 元名古屋大学理学部助教授 (1962-1974) 東京大学名誉教授 (1991-) 宇宙科学研究所名誉教授 (1994-) 名古屋大学特別教授 (2010-) 文化功労者 (2010) マックス・プランク宇宙物理学研究所特別所員



◇写真の説明 左の写真は田中博士が名古屋大学在籍中に発表された論文。1966年8月9日に名古屋大学で実施したロケット気球を用いて銀河X線の等方成分スペクトルを観測した結果について論考されている。周期的に開閉するシャッターがX線観測装置の特長となっていることがわかる。上の写真は論文の書き出し、執筆者には早川幸男博士の名前もある。下は2012年10月20日に開催された名古屋大学ホームカミングデーにおける田中博士の講演会風景。



*1 早川幸男 (1923-1992) 元名古屋大学理学部教授 (本誌3号P.2参照) *2 小田稔 (1923-2001) 元宇宙科学研究所教授

トランスフォーマティブ生命分子研究所にかける夢

東山哲也 トランスフォーマティブ生命分子研究所教授



Illustration: Lisa Tezuka

例えば、新しい世界の扉を自らの手で開くときのワクワクする気持ちは、科学や大学にとって、最も根っここの部分かもしれない。科学者には、心からワクワクする研究に全力で取り組める幸せをかみしめ、若者が夢をもって集まる魅力的な活動を展開する責務がある。

昨年の12月に、理学部も深く関わることで、名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所 (Institute of Transformative Bio-Molecules; ITbM) が発足した (本号P.19参照)。親和性が高いように見える化学と生物学も、最先端同士で真の融合を実現する研究所は、実は世界的にも例がない。ITbMは、この最先端同士での融合を実現し、数多くの革新的な生命分子を生み出す。それと同時に、大学のシステム改革や国際化を推進する使命も担う。さまざまな新しい試みに多くの期待が集まる一方で、我々ITbMメンバーには自然と重圧がかかる。

いかに大変かを覚悟する我々の背中を押すのが、新しい研究にワクワクする気持ちである。異分野のメンバーが最先端の研究を語り合い、話がどんどん盛り上がり、想像もしなかった大きな可能性を垣間見る瞬間、心からの興奮とワクワクに包まれる。そんな瞬間を、すでに何度も味わってきた。申請や立ち上げに際して、どんなに悩み、苦心しても、メンバーはこのワクワクの瞬間に接して、いつも決意を新たにする。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) は現在9拠点が採択されている。ITbMは、研究所ではなく学部をベースとして設立された初めての拠点である。近い将来、化学や生物学といった枠組みに囚われない新しい若手リーダーたちが、ここから誕生することだろう。最近、スタッフとして他大学から招集した30代の若手から、期せずして「ワクワクします」といわれた。目を輝かせ、才能あふれる次世代が、つねに新しい扉を見つけ出す、そんな拠点であり続けたい。

Tetsuya Higashiyama

1971年山形県鶴岡市生まれ。東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。同研究科助手を経て、2007年より現職。2010年よりERATO東山ライブホロニクス研究総括、2013年よりITbM副拠点長。専門は植物分子生物学。

宇宙線は、銀河を飛び交うエネルギーの高い粒子である。

地球にも大量の宇宙線が降り注いでいる。

1912年に宇宙線が発見されて以来、宇宙線がどこで加速されているのかは大きな謎であった。

1950年代、早川幸男とギンツブルグは超新星残骸における宇宙線加速を提案した。

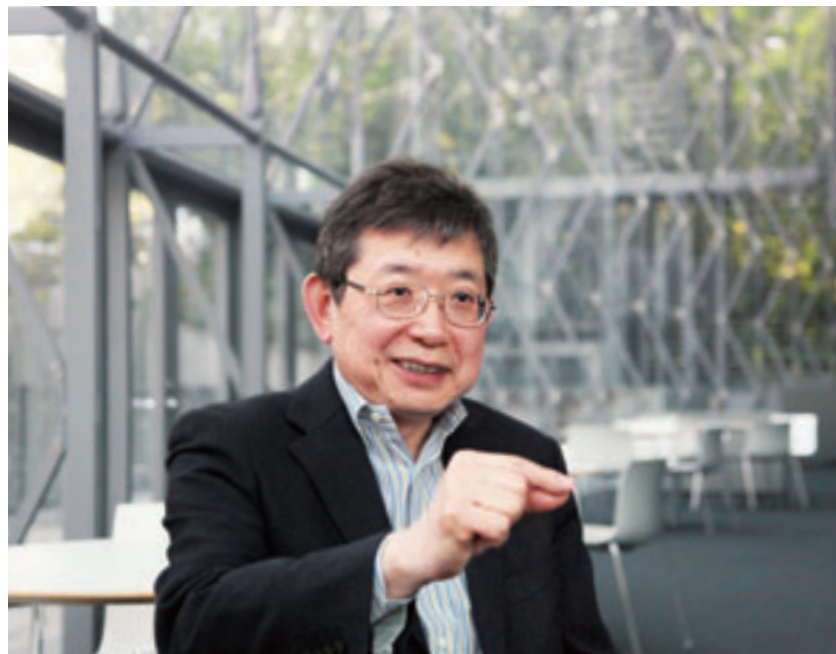
発見後100年を経てようやく、宇宙線の超新星爆発起源の立証が進んできた。

そしてこの立証を可能にしたのはガンマ線の衛星観測と、

地上ガンマ線観測と星間物質研究の意外な出会いによるものであった。

宇宙線は超新星爆発によってつくられるのか

福井康雄 附属南半球宇宙観測研究センター長



Yasuo Fukui

1951年大阪市生まれ。東京大学理学部卒業（1974）、同大学院理学系研究科天文学専攻修了（1979）。専門は電波天文学。チリ共和国に電波望遠鏡「なんてん」を設置し、星の生まれるガス雲の観測を行っている。

宇宙線とは

宇宙線は高エネルギーの粒子であり、銀河を満たしている。太陽系に飛んできた宇宙線は、地球周辺でも観測される。宇宙線のエネルギーは大きい。これまでに見つかった最高エネルギーの宇宙線のエネルギーは 10^{20} 電子ボルトである。空気中の分子のエネルギーは30分の1電子ボルトくらいだから、

実に22桁の開きがある。太陽などの星表面の粒子のエネルギーも、空気中の粒子のたかだか10～100倍にすぎない。1個の宇宙線粒子のもつエネルギーは実に膨大である。

1912年、ドイツのポツダム近郊で気球に乗って上空に向かう物理学者がいた。ヘス^{*1}である。熱気球にのり、上空5000mまで到達してその場の電離度を測った。驚いたことに、

上空にいくほど電離度は上昇した。その当時、電離を引き起こす放射線は地面から出ると考えられていた。上空ほど電離度が上昇することは予想外だった。ヘスは、地球外から電離を起こすエネルギーの高い粒子が来ていると考えた。この発見はすぐには物理学者に受け入れられなかったが、その後のさまざまな実験がこの発見を支持し、宇宙線の存在は確実にされた。1936年、ヘスは宇宙線の発見でノーベル物理学賞を授与された。20世紀前半、宇宙線は物質の成り立ちを示す多くの発見をもたらした。1929年には、陽電子が宇宙線中に発見され、反物質の存在を証拠づけている。

宇宙線加速の仕組み

宇宙線はどのように加速されているのか、長年の大きな謎であった。1947年フェルミ^{*2}は、星間雲によって加速が起きているのではないかと考えた。磁場をもつ星間雲に電荷をもつ粒子があたると、鏡のように粒子を跳ね返す作用がある。星間雲と粒子が近づくとき、はねかえされた粒子のエネルギーは増える。近づく場合の方が遠ざかる場合よりも、割合が多い。星間雲の速度は毎秒10キロメートル程度と遅いが、数百万年以上をかければ加速された粒子のエネルギーは宇宙線を説明できる、とフェルミは考えた。

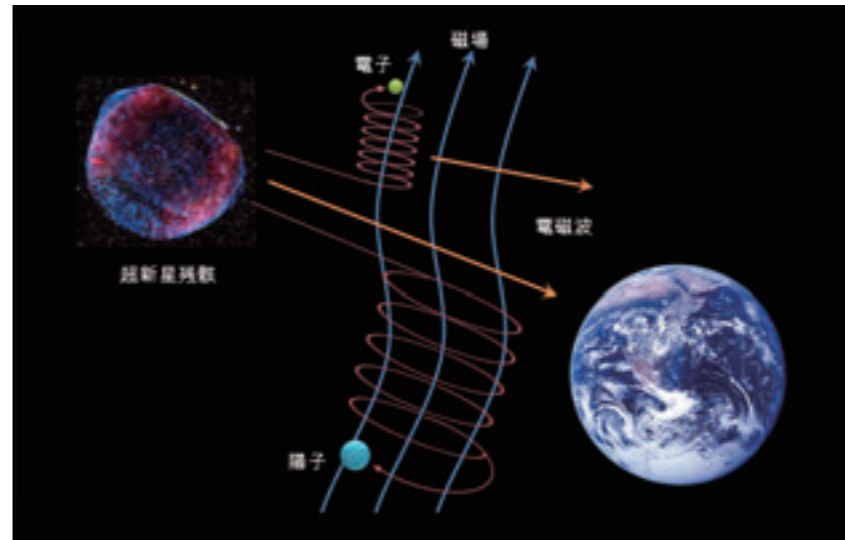


図1 宇宙線と電磁波の違い
電荷をもつ宇宙線の陽子や電子は、磁場によって曲げられるために発生源がわからない。ガンマ線やX線などの電磁波は磁場の影響を受けずに源から直進する。

その後、フェルミの説は、そのままでは宇宙線加速に必要な効率を説明できないことがわかった。1950年代、早川幸男^{*3}とギンツブルク^{*4}は宇宙線の超新星起源説を独立に提案した。1970年代、超新星爆発で生まれた衝撃波による加速が理論的に検討され、宇宙線加速を説明できることがわかった。衝撃波加速は現在、最も有力な宇宙線加速の仕組みである。超新星の衝撃波は毎秒3000～1万キロメートルで星間空間を伝わる。銀河系全体では100年に2、3個の超新星爆発が起きており、衝撃波面は数百光年の銀河系円盤の厚みを満たしている。陽子や電子は衝撃波面を何度も横切って数千キロメートルの速度差で反射を繰り返すため、

10～100年のうちに高い効率で宇宙線が加速される。超新星爆発で生じる運動の全エネルギーは 10^{51} エルグとほぼ一定の値を取る。このエネルギーの10%ぐらいが宇宙線加速に使われると予想される。

宇宙線はどこで生まれるのか

X線の観測によって、宇宙線の電子が放つシンクロトン放射が観測された。小山勝二^{*5}らによって、超新星残骸SN1006のX線がシンクロトン放射であることから、 10^{12} 電子ボルト程度の宇宙線電子が超新星残骸で加速されていることがはっきりした。しかし、宇宙線の陽子は電子よりも100倍多い。宇宙線陽子をとらえなければ、宇宙線の起源の解明とは

いえないが、宇宙線陽子を観測することは難しい。陽子は電子よりも放射を出す効率が高はるかに低く、電波では見えない（図1）。

早川幸男は、1950年代に宇宙線陽子が星間陽子と衝突し、中性パイ中間子^{*6}を生じる反応に注目した。中性パイ中間子はすぐに2つのガンマ線にこわれる。このガンマ線をとらえれば、宇宙線陽子を検出できる可能性がある（図2）。宇宙線陽子をとらえるためにはガンマ線観測が有効である。ガンマ線が超新星残骸から来ていることを明らかにし、しかも陽子衝突の原因がガンマ線であることを立証する必要がある。ただし、ガンマ線は宇宙線電子と光子との反応でも生まれるので、その2つを区別することが不可欠である（図2）。

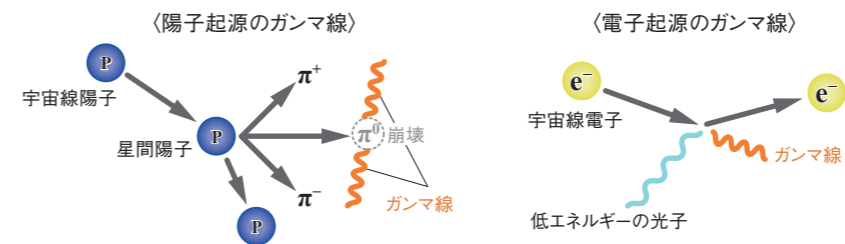


図2 ガンマ線発生仕組み2説
（左）陽子起源のガンマ線は、宇宙線陽子と星間陽子が反応して中性パイ中間子をつくり、それが崩壊して発生する。（右）電子起源のガンマ線は、宇宙線電子と低エネルギーの電磁波が反応して生じる。

*1 V.ヘス（1883-1964）
オーストリアの物理学者。ノーベル物理学賞（1936年）を受賞。

*2 E.フェルミ（1901-1954）
イタリアの物理学者。ノーベル物理学賞（1938年）を受賞。

*3 早川幸男（1923-1992）
元名古屋大学理学部教授（本誌3号P.2参照）。

*4 V.ギンツブルク（1916-2009）
ロシアの物理学者。ノーベル物理学賞（2003年）を受賞。

*5 小山勝二（1945-）
京都大学名誉教授。

*6 中性パイ中間子
素粒子の1つ。電氣的に中性なパイ中間子の他、正と負の電荷をもつパイ中間子もある。

地上からのガンマ線観測が前進する

ガンマ線は地球大気に吸収されるために、普通は地上で観測できない。そこで、1980年前後から衛星によるガンマ線観測が行われたが、角度分解能は低く超新星残骸をとらえるのは難しかった。2008年のフェルミ衛星によって、 10^9 電子ボルト帯の観測に大きな飛躍がもたらされ、超新星残骸も検出されるようになった(本誌P.8参照)。

もう1つのガンマ線観測の流れが地上観測で実現した。大気に突入するガンマ線が生む空気シャワー*7の光を検出し、もとのガンマ線を間接的にとらえる手法である。この原理を用いたガンマ線望遠鏡がいくつかつくられ、2005年前後になってガンマ線観測の角度分解能と感度が飛躍的に向上した。これらの観測は、 10^{12} 電子ボルトという、フェルミ衛星よりも3桁以上高いガンマ線をとらえる。

南アフリカのナミビアにつくられたガンマ線望遠鏡H.E.S.S.*8によって、2005年に、超新

星残骸の1つで初めて、シェル状のガンマ線分布が明らかになった(図3)。シェルは爆発を示す典型的な性質である。このガンマ線超新星残骸RX J1713*9は 10^{12} 電子ボルト領域のガンマ線で最も明るく輝いており、太陽系にも近く詳しく観測できる。中国の歴史書にこの超新星爆発の記録が残っており、約1600年前の西暦396年に爆発したことがわかる。この超新星残骸で検出されたガンマ線の最高エネルギーは 10^{13} 電子ボルトを超える。もし、ガンマ線が陽子起源のものだとすると、宇宙線陽子の最高エネルギーは 10^{15} 電子ボルト近くにもなる。これは銀河系内の最高エネルギー宇宙線のエネルギーに匹敵する。宇宙線陽子起源のガンマ線が立証できれば、宇宙線陽子の加速の証明になる。多くの研究が理論と観測の両面で行われ、「ガンマ線は電子起源か、それとも陽子起源か」について論争されてきたが、2011年時点では決着はついていなかった。

陽子起源説を裏付ける

筆者らは、2003年、南米チリの電波望遠鏡「なんてん」の観測から、この超新星残骸が星間分子雲と衝突していることを見いだした。この分子雲はガンマ線のシェルのちょうどピーク方向にある。宇宙線陽子が分子雲中の陽子と反応していれば、陽子起源でガンマ線が生まれている可能性が高い。2005年、早速H.E.S.S.望遠鏡のガンマ線分布と比べると、「なんてん」の分子雲地図はガンマ線とよく似た分布を示すことがわかった。しかし、ガンマ線の強い部分であるにもかかわらず、まったく分子雲のない場所があることが問題として残った。「なにか見えていないもの(陽子)がある」と予想された。

2009年10月、解決の糸口が見つかった。分子雲より密度は低い、ある程度濃いガスが原子雲として存在することが、この超新星残骸で見つかったのである。標的になる陽子は星間ガス中に存在し、水素分子、または

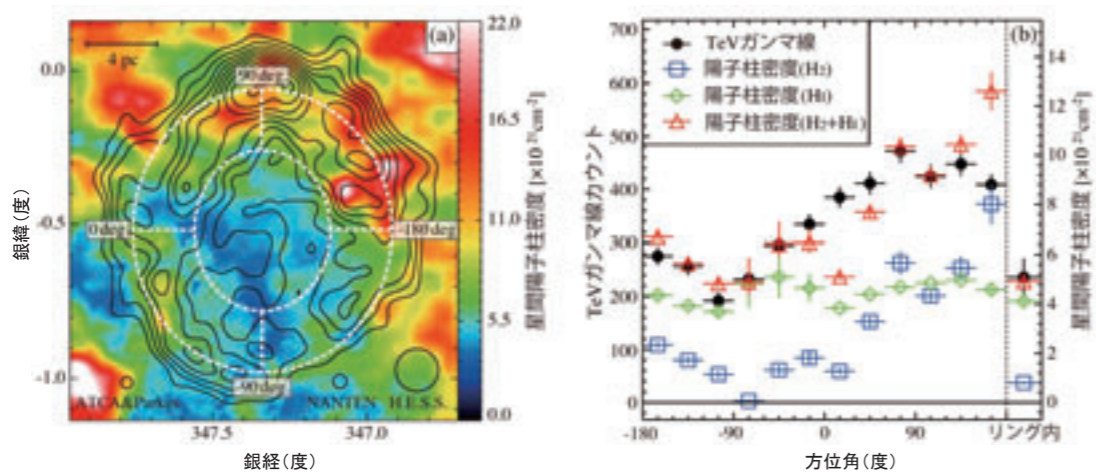


図3 RXJ1713の標的陽子
超新星残骸RXJ1713における星間陽子の分布(左)と、左図のシェルにそった陽子およびガンマ線の角度分布の比較(右)。星間陽子の総和(原子と分子の和)がガンマ線とよく対応し、ガンマ線の陽子起源を支持する。(Y. Fukui et al. 2012, Astrophysical Journal 746, 82)

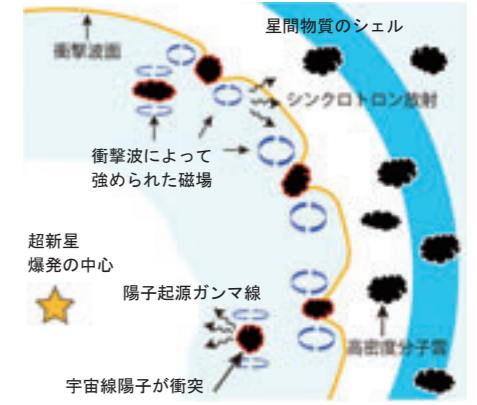


図4 超新星残骸と星間雲との相互作用のモデル図
濃い星間雲は粒状に分布するため、衝撃波はその間をすり抜け高温ガスを生み出さない。同時に加速された宇宙線陽子が星間雲中の陽子と反応してガンマ線を生じる。(T. Inoue, R. Yamazaki, S. Inutsuka and Y. Fukui 2012, Astrophysical Journal 744, 71)

水素原子として存在するはずである。分子雲はその中に含まれる一酸化炭素COなどの分子の電波で観測できる。一方、水素原子は波長21cmのスペクトルで観測できる。筆者らは、別の天体で原子と分子とを比較する研究をしており、この超新星残骸でも濃い原子雲があることに気がついたのである。調べてみると、分子のない場所に濃い原子雲は存在する。両者を分析して標的となる全陽子の総量を精密にカウントすると、星間陽子はガンマ線によく対応した分布を示すことがわかった(図3)。これはガンマ線が陽子起源*10であることを強く示す結果である。2005年の研究では、原子状の陽子をカウントすることを見落としていたのである。

陽子起源説の「困難」

標的陽子の発見によって、陽子起源説は強い支持を得たが、いくつかの問題が残された。陽子起源だとすると、ガンマ線の強度は、標的になる陽子の総量と宇宙線陽子の総量に比例する。RX J1713の強いガンマ線を陽子起源で説明するには、大量の標的陽子が必要である。宇宙線の密度が同じであれば、標的陽子が濃いほどガンマ線は強くなる。観測されたガンマ線強度から、もっともらしい標的陽子の総量を計算すると、 1cm^3 あたり少なくとも10個となる。これよりも標的陽子が少ないと、宇宙線陽子の総エネルギーとして、超新星爆発の全エネルギーを超える量が必要になり、矛盾である。

ここで、陽子起源説への有力な反論は、

次のようである。「 1cm^3 あたり少なくとも10個の様な星間ガスに衝撃波を入れると、ガスは加熱されて高温になる。しかし、そのような高温ガスはまったく観測されていない。従ってガンマ線は陽子起源ではなく、電子起源である」。つまり「陽子起源でガンマ線を出そうとすると多くの陽子が必要になるが、その場合、衝撃波加熱による高温ガスが大量に発生して、観測と食い違う」という論理である。ここで問題となるのは、標的が「一様密度で分布する」という仮定である。

粒状の分布が「困難」を解決する

ポイントは、現実の星間物質の分布が極度に粒状であることである。観測の示すように、星間雲は粒状に分布する(図3, 4)。密度の低い真空中に 1cm^3 あたり100個以上の密度の高いガス塊が浮かんでいるのが現実である。衝撃波がここに突入すると、真空中は自由に通過して高温ガスは生じない。一方、ガス塊は濃すぎて、衝撃波は中に侵入できない。そのために、密度が高いガス塊は、衝撃波によって加熱されないで生き残る。このように、現実に関測された粒状の星間物質の分布を考えると、一様密度の場合のような高温ガスは生まれません。陽子は分子雲と濃い原子雲中に集中してガンマ線放射の標的として働き、強いガンマ線放射と、高温ガスのないことが同時に説明できる。この特徴は、磁気流体力学の数値計算*11によって実証された。

ガンマ線の起源を解く上で、標的となる星間ガスの分布とガンマ線を比較することは、本

質的に重要である。RX J1713で行った解析は、他のガンマ線で観測される超新星残骸にも適用され、同種のガンマ線超新星残骸RX J0852*12でも星間陽子とガンマ線の分布がよく対応することがわかった。一方、フェルミ衛星は、年齢数万年のより進化した超新星残骸でガンマ線陽子起源の証拠をつかんだ。これらの超新星残骸のガンマ線が陽子起源であることは、ますます確かになった。ただし、他の超新星残骸では、星間ガスの量が少なくなると、次第に電子起源ガンマ線が優勢になる傾向も見えている。

まもなく、次世代のガンマ線望遠鏡であるチェレンコ望遠鏡アレイによって、感度と空間分解能がともに大きく向上する時代が来る。より多くの超新星残骸について理論を検証し、宇宙線加速の詳細をつぶさに見る時代が目前に近づいている。

*7 空気シャワー
宇宙線、または、宇宙からのガンマ線が大気に入射して形成する大量の2次粒子群。

*8 H.E.S.S.
High Energy Spectroscopic System (高エネルギー分光システム)の略。宇宙からのガンマ線は大気に入射して空気シャワーをつくる。この空気シャワーが生み出すチェレンコ光を観測するガンマ線望遠鏡の一種。

*9 RX J1713
ガンマ線やX線を発する若い超新星残骸の1つ。正式名称はRX J1713.7-3946。

*10 陽子起源
宇宙線陽子と星間陽子の反応に起源をもつ現象。

*11 磁気流体力学の数値計算
磁場を考慮して流体のふるまいを数値的に計算すること。

*12 RX J0852
ガンマ線やX線を発する若い超新星残骸の1つ。年齢は約2000年。正式名称はRX J0852.0-4622。

ガンマ線で宇宙線をとらえる

田島宏康 太陽地球環境研究所教授

フェルミ衛星の登場

2008年にNASAによって打ち上げられたガンマ線宇宙望遠鏡フェルミ衛星は、ガンマ線観測を大きく発展させた。フェルミ衛星は、 10^9 電子ボルト(1GeV)周辺のガンマ線を観測することを目的とする。フェルミ衛星は、高エネルギー物理実験でなじみのあるシリコン半導体検出器などの先進的な技術を採用したこと特徴がある。開発の舞台は、米国のSLAC国立加速器研究所などが中心であり、筆者も2010年までそこに属して衛星の開発と運用に携わった。

フェルミ衛星以前は、コンプトン衛星^{*1}によって300個近いガンマ線源が検出されて

いたが、その中に超新星残骸と同定されたものはなかった。宇宙線研究の焦点は「宇宙線陽子の加速」の証拠をつかむことである。そのためには、最も有望な加速源である超新星残骸の放つガンマ線を検出しないといけない。フェルミ衛星は、コンプトン衛星と比較して30倍の統計と2倍以上良い角度分解能により、2年間の観測で1800以上のガンマ線源を検出し、そのうち1300のガンマ線源に関して対応天体を同定した。名古屋大学・広島大学をはじめとする日本のグループは、シリコン検出器の開発と運用に中心的な役割を果たし、これらの観測をリードしてきた。



Hiroyasu Tajima

1963年愛知県生まれ。名古屋大学理学部卒業(1986)、同大学院理学研究科物理学専攻満了(1991)。理学博士。専門は宇宙線物理学。メガ電子ボルトからテラ電子ボルトを超える広帯域のガンマ線観測機器の開発に取り組みとともに、ガンマ線観測によって宇宙線起源や暗黒物質を探究している。

フェルミ衛星による超新星残骸観測

フェルミ衛星は、期待通り超新星残骸のガンマ線を検出した。これらの超新星残骸は数万年前に起きた超新星爆発の跡であり、W44、W51CやIC443などの名前によばれる電波を放つ超新星残骸である。これらの超新星残骸は、爆発によってつくられた衝撃波がまわりの星間ガスと衝突している兆候が見られたため、宇宙線陽子起源のガンマ線を観測することが期待された。

フェルミ衛星の観測によって、W44ではガンマ線が超新星残骸の衝撃波領域から放射されていることが明らかになり、宇宙線陽子起源を裏付ける期待が高まった(Science誌327号2010年掲載)。とくに期待されたのは、ガンマ線スペクトルの特徴である。ガンマ線には、電子起源のものと陽子起源のものがある。W44、W51CやIC443の超新星残骸のエネルギースペクトルを解析したところ、 10^9 電子ボルト周辺のエネルギー領域で最もガンマ線強度が高いという特徴をもち、 10^{10} 電子ボルト以上でスペクトルが急激に低下していることがわかった。図1にフェルミ衛星の検出した代表的な超新星残骸のスペクトルを示す。W44、W51CやIC443の超新星残骸のスペクトルは、 10^9 電子ボルトでのガンマ線強度が高く、それよりも高エネルギー側で急激な落ち込みを示す。より年齢の若い超新星残骸RX J1713にはなかった特徴であり、超新星残骸の進化に伴って中程度のエネルギーの宇宙線の加速が主になったためと考えられる(本誌P.6参照)。

W44のガンマ線放射の分布を調べてみると、ガンマ線がW44からしみ出すように周囲に

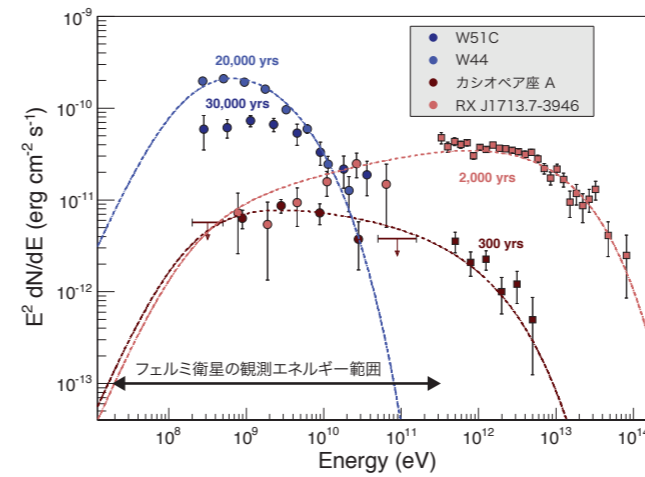


図1 フェルミ衛星が観測した代表的な超新星残骸のスペクトル
比較的新しい超新星残骸であるカシオペア座AやRX J1713と比較して、古いW44やW51Cでは低いエネルギーのガンマ線が卓越しており、超新星残骸の進化に伴うスペクトルの変化が明らかになった。

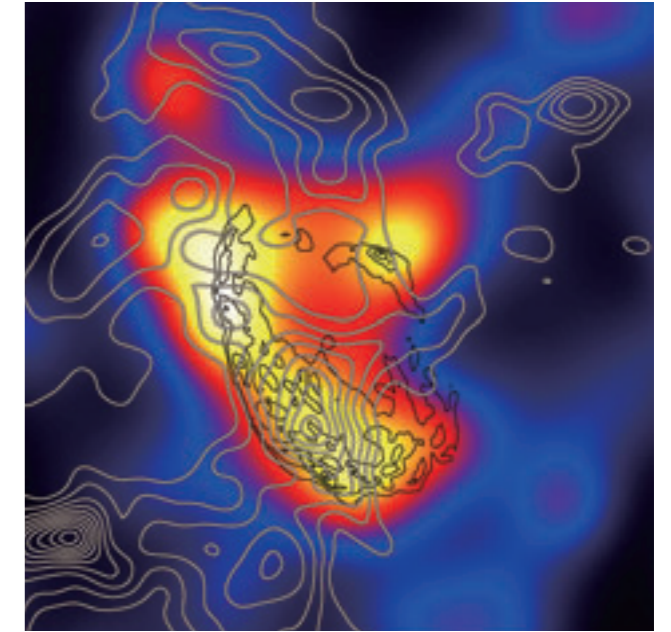


図2 フェルミ衛星が観測したW44のガンマ線分布
青・赤・黄の順にガンマ線の強度が強くなる。分子雲(白線)と電波シェル(黒線)の強度分布を重ねた。分子雲の濃い部分(下部)でガンマ線が強くなっていることがわかる。

広がっていることがわかった。これは、W44から「逃げ出し」た高エネルギーの宇宙線がまわりに拡散していく過程で、星間ガスと相互作用して放射したガンマ線と解釈できる。超新星残骸が宇宙線を加速する期間の中で、高エネルギーまで加速できる「新鮮な」期間は短く、やがて高エネルギー宇宙線が「逃げ出す」様子をとらえられたと考えられる。

さらに若い超新星残骸の宇宙線加速はどうなっているのだろう。図1に示す超新星残骸のスペクトルの中で、カシオペア座Aのスペクトルは注目に値する。カシオペア座Aは、300年ほど前の極若い超新星のなごりである。RX J1713と比較して、ガンマ線強度も弱く、高エネルギー領域へも伸びていない。宇宙線加速がまだ十分に進んでいないことを思わせる。このガンマ線放射の起源については、まだ結論は出ていない。2015年に日本

が打ち上げるX線衛星ASTRO-Hに搭載されるガンマ線検出器の観測によって、決着がつけられると期待されている。ちなみに、ASTRO-Hの軟ガンマ線検出器の開発においても、名古屋大学が主要な役割を果たしている。

陽子加速の立証

年齢数万年の超新星残骸において陽子が加速されている動かし難い証拠が、W44とIC443において確認された。図2、3に示す通り、フェルミ衛星が観測したW44とIC443のエネルギースペクトルを詳細に解析したところ、 10^8 電子ボルト以下の領域でエネルギースペクトルが急激に減少していることをつきとめたのである(Science誌339号2013年掲載)。これは、宇宙線陽子と星間物質の相互作用で生成された中性パイ中間子の

エネルギーが 2×10^8 電子ボルト以上になる傾向があることに起因している。

さまざまな角度から入念に分析した結果、フェルミ衛星のとらえたガンマ線のスペクトルは、陽子起源の動かし難い証拠であることが結論された。このエネルギー領域は、系統誤差が大きく解析が困難な領域であったが、超新星残骸で宇宙線陽子が加速されていることがついに決定的となった。さらに、これらの超新星残骸で観測されたガンマ線強度から陽子の全エネルギーを推定すると、 10^{49} から 10^{50} エルグ程度と計算できるが、これらの超新星爆発の全エネルギーの数パーセントに相当する。早川幸男とギンツブルクが宇宙線源として超新星残骸を独立に提唱したことが

*1 コンプトン衛星
NASAが1991年4月に打ち上げたガンマ線観測衛星。

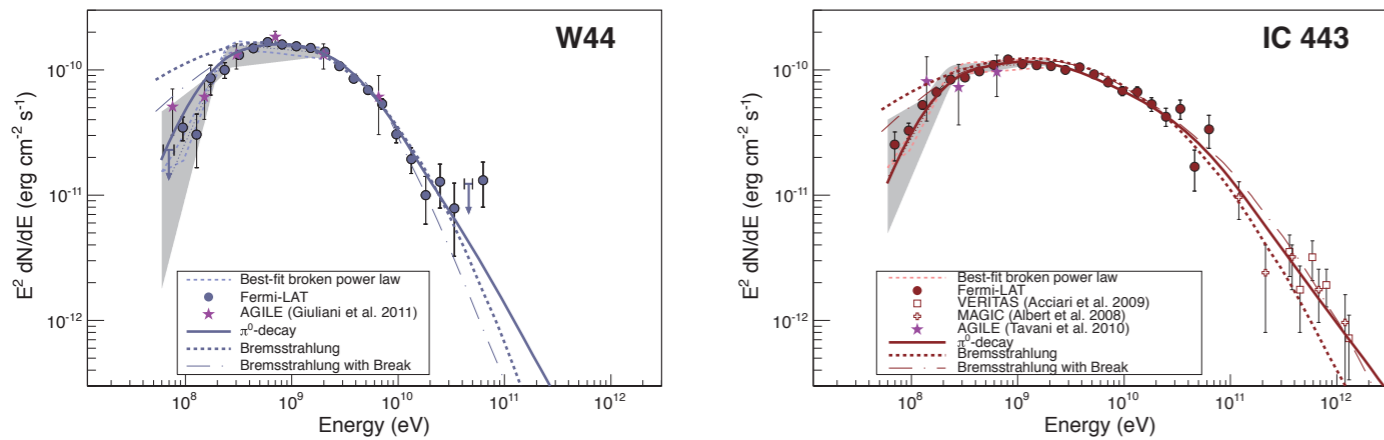


図3 2つの超新星残骸W44とIC443のガンマ線スペクトル
 フェルミ衛星他観測点と、いくつかのガンマ線放射のモデルを曲線で示した。それぞれの天体で、陽子起源モデル(太い実線 "π⁰-decay")は観測とよく一致するが、電子起源モデル(太い破線 "Bremsstrahlung")は一致しないことがわかる。

半世紀以上を経て立証されたのである。また、早川が宇宙線研究の手段としてガンマ線観測を提唱したことも、的を射た提案であったことも明白である。

ガンマ線観測の将来

フェルミ衛星は1800個のガンマ線源を検出した。その中で1000個以上は活動銀河核であり、その圧倒的な数により、その活動性や時間発展の理解が大きく進んでいる。また、パルサーもこれまで120個以上を検出し、そのうちの半分近くがフェルミ衛星による初検出であるなど、パルサーの研究に大きな進展をもたらした。とくに、フェルミ衛星の観測によってこれまで考えられていたより多くのミリ秒パルサーとよばれるパルサーが検出され話題となっている。さらに、フェルミ衛星は暗黒物質

探査においても重要な貢献をしている。最近の宇宙線気球実験の測定によると宇宙線電子のスペクトルに暗黒物質起源とも考えられる盛り上がりが見られたが、フェルミ衛星による精密なスペクトル測定によってこれは否定された。また、暗黒物質の対消滅の結果生成されるガンマ線の信号を探査し、 3×10^{10} 電子ボルト以下では存在しないことを示し、暗黒物質の研究にも貢献している。今後のガンマ線観測の課題は山のようにある。

これまでの観測では、 $10^{14} \sim 10^{15}$ 電子ボルト程度までの宇宙線しかその起源が明らかになっていない。宇宙線のスペクトルが $10^{15} \sim 10^{16}$ 電子ボルト付近で変化することから、少なくともそのエネルギー領域までは、超新星残骸で宇宙線が加速されていると考えられている。さらに高エネルギーの宇宙線相互作用

によるガンマ線を観測するためには、これまでより高エネルギーの領域で十分な感度をもつ観測機器の開発が必要不可欠となってきている。現在、計画中の次世代の大気チェレンコフ望遠鏡であるチェレンコフ望遠鏡アレイ(CTA)は、図4に示すように大中小3種類の望遠鏡を100台近く設置して、観測エネルギーの下限と上限をそれぞれこれまでより1桁上げ、ガンマ線の検出感度も10倍向上する。大口径望遠鏡は、光の集光能力が高くこれまでのチェレンコフ望遠鏡より低いエネルギーのガンマ線を検出することを可能にする。一方、小口径の望遠鏡は、高エネルギーのガンマ線しか検出できないが、1台あたりの経費が安く数十台の望遠鏡が設置可能である。このように広いガンマ線のエネルギー領域に合わせた最適な望遠鏡を混合する

ことで、CTAでは銀河系内のすべてのガンマ線天体を観測できるようになる。

こうして、より多くの超新星残骸の観測が可能となり、宇宙線加速の研究がさらに進むであろう。角度分解能も3倍程度向上するため、RX J1713などのガンマ線強度分布をさらに細かく観測でき、ガンマ線と星間陽子の比較をはじめ、ガンマ線放射機構の解明に役立つと考えられている。CTA開発において最も期待されている新技術が半導体光検出器である。チェレンコフ望遠鏡では、 1m^2 あたり数10個のチェレンコフ光子を効率よくとらえるために光電子増倍管が用いられてきた。最近開発されたガイガーモードのアバランシェフォトダイオードを用いた半導体光検出器は、光電子増倍管と同程度の光電子増幅率をもちながら、光検出効率が2倍程度であるため、大きな期待がよせられている。その採用にむけて開発が精力的に進められており、名古屋大学のグループはここでも主要な役割を果たしている。

銀河系外の宇宙線の起源

銀河系外の宇宙線については、まだまだ謎が多い。ここまでは、銀河系内の宇宙線源について記述してきたが、銀河系内の星間磁場の強さを考慮すると、 10^{17} 電子ボルト以上のエネルギーをもった宇宙線は、銀河系内にとどまることができない。そのため、 10^{17} 電子ボルト以上のエネルギー領域の宇宙線の大部分は、銀河系外から到来すると考えられている。銀河系外の宇宙線起源に関して

は、ガンマ線バーストを引き起こす極超新星爆発や太陽の100万倍から10億倍の質量をもつ超巨大ブラックホール、銀河団の衝突とそれに続く合体などの説があるものの、どれも有力とはいえない状況である。

CTAを用いた観測によって銀河系外の宇宙線の源が明らかになることが期待される。たとえば、これまでのフェルミ衛星の観測により、ガンマ線バーストでは高エネルギーのガンマ線が10秒以上遅れて放射されているが、感度が不十分であるためその放射機構が十分には理解されていない。このような単発で短時間の現象に関しては、CTAはフェルミ衛星の1万倍の感度をもつため、ガンマ線バーストにおけるガンマ線放射機構を明らかにできると期待されている。また、赤方

偏移が0.1以上の遠方の超巨大ブラックホールから到来するガンマ線は、背景赤外光と相互作用して減衰すると考えられているが、観測による検証はこれからである。CTAでさらに高エネルギーのガンマ線を観測することで決着をつけることができる。

フェルミ衛星の観測で年齢数万年の超新星残骸W44、IC443での宇宙線陽子の加速が立証された。年齢数千年の若い超新星残骸RX J1713でも、より高いエネルギーの宇宙線陽子加速が証拠づけられた。このように、1950年代に早川幸男が提唱したガンマ線観測は、21世紀に入って一層の発展を続けており、宇宙研究の重要な柱の1つを形成しつつある。

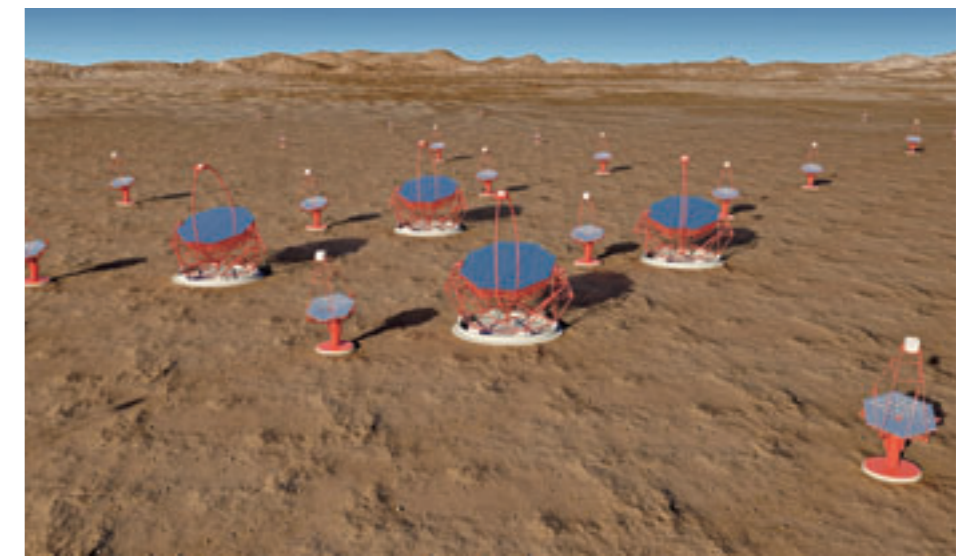
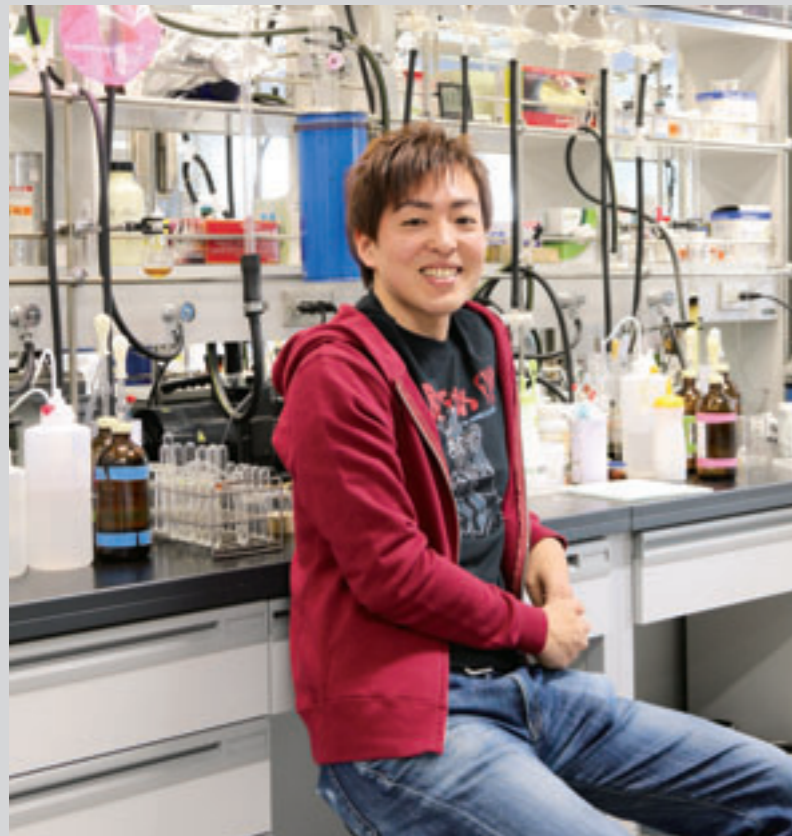


図4 チェレンコフ望遠鏡アレイの想像図
 4台の大口径望遠鏡(口径23m程度)、二十数台の中口径望遠鏡(口径12m程度)、数十台の小口径望遠鏡(口径4~6m程度)からなる。

最短のカーボンナノチューブをつくる

大町 遼 物質理学専攻博士後期課程3年



Haruka Omachi

1985年愛知県生まれ。2008年名古屋大学理学部化学科卒業。同年名古屋大学大学院理学研究科博士前期課程入学。2010年名古屋大学大学院理学研究科博士後期課程進学。同年日本学術振興会特別研究員(DC1)。

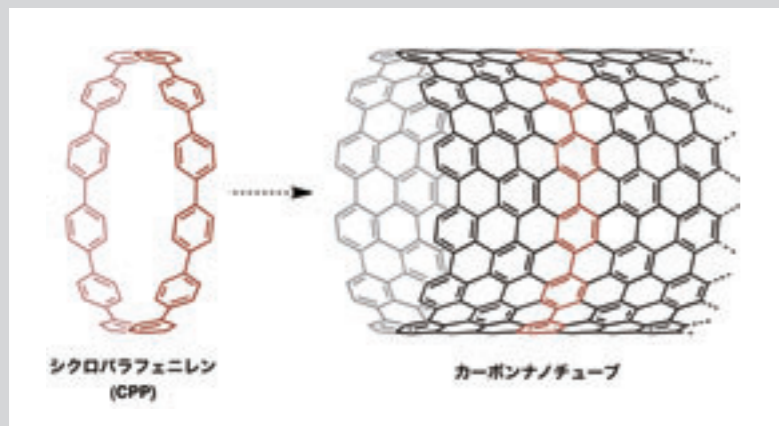


図1 シクロパラフェニレンとカーボンナノチューブの構造式
カーボンナノチューブのベンゼン構造1周(赤色の部分)を抜き出すと、シクロパラフェニレン(CPP)の構造となる。

前人未踏の分子

カーボンナノチューブは炭素のみからなる直径数ナノメートルの筒状の物質である。優れた強度と弾性力という機械的特性、熱伝導性や電気的特性、さらには非常に軽いという性質から、きわめて広範囲の応用・実用化の研究が急速に進んでおり、間違いなく次世代マテリアルサイエンスの主演となる物質である。しかし従来の合成法では、さまざまな側面構造・太さ・長さの混合物というかたちでしか供給されないという問題を抱えている。

そこで私はカーボンナノチューブの精密化学合成を究極の目標とし、その第一歩として最短のカーボンナノチューブであるシクロパラフェニレン(CPP)の合成研究に着手した(図1)。CPPはベンゼンを環状につなげただけのシンプルな分子だが、1世紀近く化学者の挑戦をことごとく退けてきた歴史的な分子である。「クラム・ハモンド有機化学」という教科書にも夢の化合物として取り上げられていたほどであった。

では、なぜこれまで誰もCPPの合成を達成できなかったのか。その大きな要因として、ベンゼンが剛直な平面分子であることが挙げられる。ベンゼンが曲がりにくく、単純につなげるだけでは環状にするのは極めて困難である。いかにしてひずんだリングをつくるのが最大の鍵といえる。

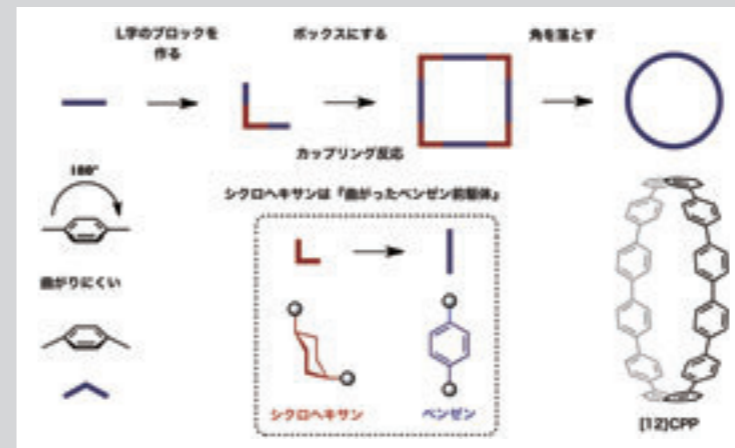


図2 シクロパラフェニレンの合成手法

ベンゼンは非常に剛直な平面分子であるために曲げることができず、単純につなげるのではリング状のCPPは合成することができない。そこで、あらかじめベンゼンに変換可能な「シクロヘキササン」とよばれる構造を4つの角に組み込んでおくことで、ひずみの少ない四角形の化合物をつくる。最後に、シクロヘキササンをベンゼンに変換することで角を落とし、CPPを合成することができる。

ブロックのようにつなぎ合わせる

この問題に対して、シクロヘキササンを「曲がったベンゼン前駆体」として用いることで解決した(図2)。シクロヘキササンはベンゼンと同じく6つの炭素なる骨格を有し、また直角に近い角度をもつことから環ひずみ解消ユニットになりうる。そこで、直線状のベンゼンとL字状のシクロヘキササンを組み合わせた「L字型ブロック」を合成し、それをパラジウム触媒による鈴木-宮浦クロスカップリング反応によって連結することで、ひずみのかかっていない環状化合物を構築した。最終段階でシクロヘキササン部分をベンゼンへと変換する芳香族化反応によって、ベンゼン12個からなる[12]CPPの合成を達成した。

この合成法の大きなメリットは、環状中間体を得る際に用いるベンゼンとシクロヘキササンの数を変えて「ブロックのように」つなぎ合わせる点である。さらにベンゼン以外の芳香環を用いることで、さまざまなリング状分子が同じ戦略で合成できるという利点もある。[12]CPPについては2011年9月より市販されるに至った。

シクロパラフェニレンの性質

合成に引き続いて物性解明にも取り組んでおり、その一部を紹介する。CPPはカーボンナ

ノチューブとは異なり、溶媒によく溶けることから通常の有機化合物と同様に扱うことができる。またX線結晶構造解析を行ったところ、CPPは内部に分子を取り込む性質があることが明らかになった(図3a)。CPPのサイズをかえることでその直径にぴったり合うものを選択的に捕まえる、といった利用への可能性も示唆される。

光物性測定の結果からは、CPPのベンゼン環の個数が違うだけで発光色が変わるという特異な性質を明らかにした。たとえば[12]CPPは青色に光るのに対して、9個のベンゼンで構成される[9]CPPは緑色の発光を示す(図3b)。非常に効率よく光ることからも、有機EL発光材料などに代表される有機エレクトロニクス材料への応用が期待される。

さらに、ごく最近CPPをテンプレートにすること

でカーボンナノチューブが成長することを見出しつつある(図3c)。

これまでの研究でCPPの選択的な合成方法論の確立と性質解明に取り組んできた。次の目標は、構造を完全に制御したカーボンナノチューブの精密化学合成である。これが達成できれば、有機合成化学における金字塔として大きなインパクトを与えるばかりではなく、CNTの分子科学的な研究の発展・深化に大きく寄与するものであると考えられる。近い将来に世界中のだれも成しえていない純正カーボンナノチューブを合成できると信じて、これからも研究に邁進していきたい。

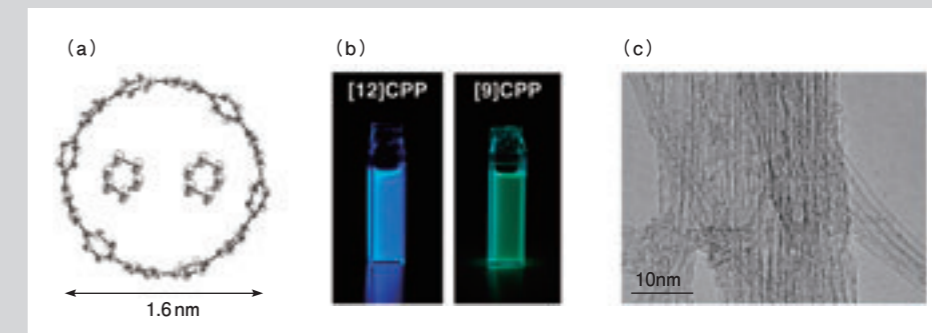
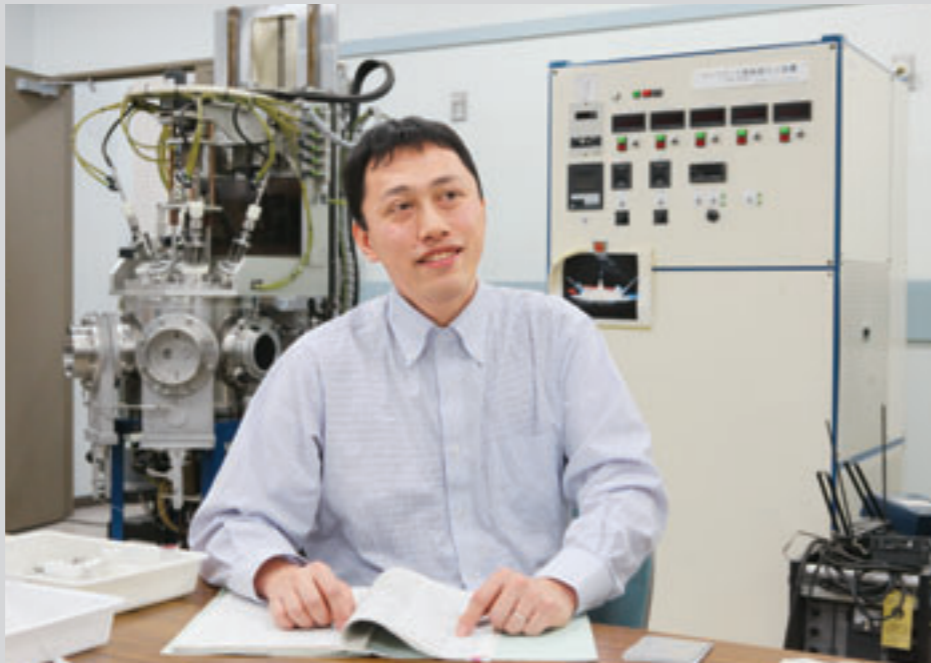


図3 シクロパラフェニレンの性質

(a) CPPのX線結晶構造。ここでは環の内部に結晶化時の溶媒分子が取り込まれている。
(b) [12]CPPおよび[9]CPPの溶液状態における発光。
(c) CPPをテンプレートとして合成したカーボンナノチューブの透過型電子顕微鏡(TEM)の像。多数のチューブが束状に集まっている。

有機化学研究室ウェブサイト <http://synth.chem.nagoya-u.ac.jp/>



Kazubiko Deguchi

1976年生まれ。2004年京都大学大学院理学研究科博士後期課程修了。同年京都大学理学研究科COE研究員。同年12月から現職。専門は低温物理学・超伝導・磁性。

電子の小宇宙に潜むブラックホール

出口和彦 物質理学専攻助教

発見された第3の固体

私たちの周囲にある物質の多くは「結晶*1」とよばれるもので、その中の原子やイオンは規則正しく整列している(図1)。その例は数限りなく存在し、私たちの体に不可欠な塩、

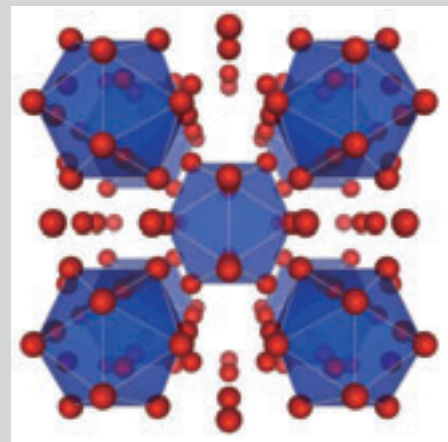


図1 Ybの原子配置のみ示したAu-Al-Yb結晶の構造

Ybの正20面体が周期的な格子点上に整列している。結晶では、ある原子配列のパターンが繰り返される。たとえば、図1のパターンを上下左右に積み重ねると、結晶ができ上がる。このような性質を「周期性をもつ」という。結晶ではその回転対称性が2、3、4、6回対称性だけに制限される。

携帯電話や太陽電池に使われているシリコン、ハイブリッド車や電気自動車のモーターに使われている磁石、ダイヤモンドなどの宝石、金・銀・銅などの金属などがすぐに思いつくであろう。

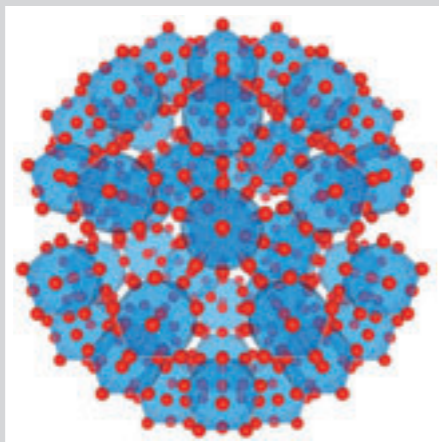


図2 Ybの原子配置のみ示したAu-Al-Yb準結晶の構造

Ybの正20面体が準周期的な格子点上に整列している。結晶、準結晶、アモルファスを区別するのは、それらを構成する原子の配列である。結晶中の原子は規則正しく周期的に配列し、ガラスなどのアモルファス中の原子はランダムな配置をとる。準結晶中の原子は、特殊な規則性(準周期性)をもつ。この図では結晶では許されない5回対称性を反映した正五角形が見られる。

窓に使われるガラスも身近な存在であるが、その中の原子はでたらめに配列し、「アモルファス*2」とよばれている。結晶とアモルファスの存在は古くから知られているが、「準結晶*3」が発見されたのは1980年代に入ってからのものである。図2に示すように準結晶は原子配置が特殊ではあるが規則性をもつため、回折実験では結晶と似たような性質を示すが、その回転対称性は結晶では許されないものであったため、どちらにも分類できなかった。

この「第3の固体」を発見したシェヒトマン*4博士は、2011年のノーベル化学賞を単独で受賞することになった。シェヒトマン博士の発見以来、原子がどのように並んでいるかという準結晶の構造については研究が大きく進み、いろいろなことが理解されるようになった。

面白いことに、その「原子のモザイク構造」は、中世イスラムの抽象美術(たとえばアルハンブラ宮殿の壁面装飾)や、数学の問題

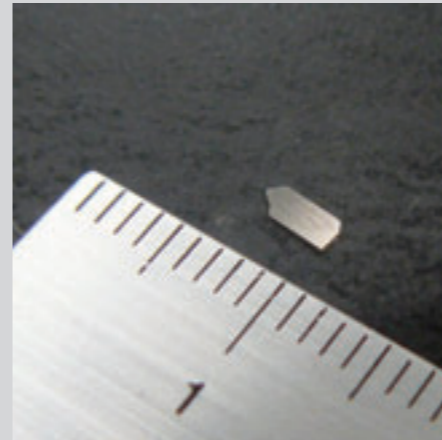


図3 実験に使用したAu-Al-Yb準結晶の多結晶試料
スケールの1目盛りは1mm。この物質の小宇宙の中にブラックホールと相通じる量子臨界現象が現れる。

(たとえば「五角形を用いて平面を埋め尽くすことはできるか」というヒルベルトの第18問題やペンローズ・タイル)と深いつながりをもつことがわかってきた。

現在では、100種類以上の準結晶が合成され、天然鉱石の中にも発見されている。しかし、準結晶の電子状態に起因する特有の物性について現在も謎のままであった。

量子臨界現象現れる

今回の研究では、まず、金(Au)とアルミニウム(Al)とレアメタルの1つであるイッテルビウム(Yb)の3つの元素を組み合わせ、図2のようなAu-Al-Yb準結晶を作成した(図3)。イッテルビウムを含む化合物は「重い電子*5」系とよばれる特殊な金属をつくりやすい。固体の中では電子の質量は、真空中の静止質量より大きくなったり、小さくなったりする。これを有効質量という。軽い有効質量の電子の代表物質が携帯電話などに使われる半導体である。「重い電子」系の物質の中には、

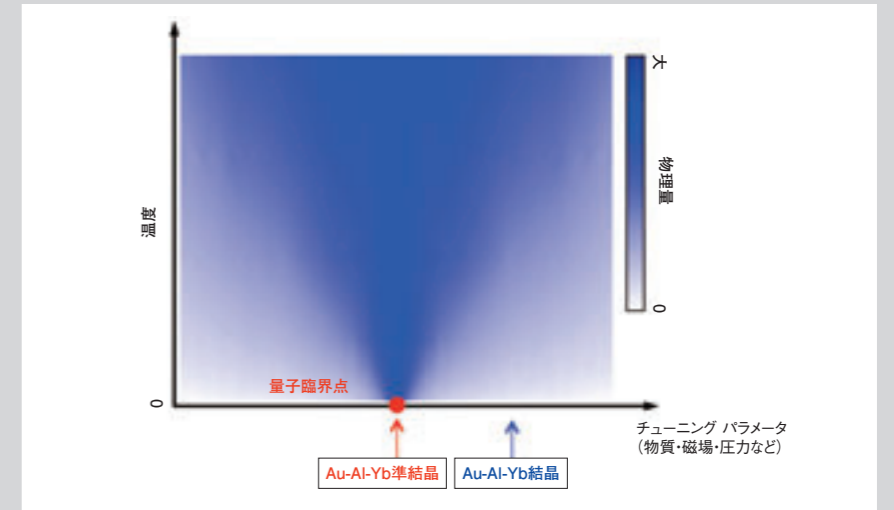


図4 物質の相図の中に現れる量子臨界点と物理量に現れる量子臨界現象

絶対零度の量子臨界点に向かって、さまざまな物理量が発散し、ユニバーサリティをもった特異性が現れる現象が量子臨界現象である。この点においてブラックホールの物理と深い共通点がある。ここでは電子の状態が量子臨界点に位置し量子臨界現象が顕著に現れる状態を量子臨界状態としている。通常は電子の状態をピンポイントに微調整しないと量子臨界状態は現れず、不安定な状態と考えられている。Au-Al-Yb結晶と異なり、Au-Al-Yb準結晶は安定に量子臨界点に位置している。

電子の有効質量が低温で対数発散し、温度を冷やせば冷やすほど無限に重くなり続けるものがある。この現象を量子臨界現象とよび、電子が量子臨界点という特異点に位置するときに現れる(図4)。

物性物理における特異点である量子臨界点は、宇宙物理における特異点であるブラックホールにも深く関係しており、そこではさまざまな物理量に異常が生じる。

結晶では、量子臨界状態は簡単には実現せず、最適な磁場や圧力を加えて、電子の状態をピンポイントに微調整する必要があるが、Au-Al-Yb準結晶は極低温に冷やすだけでそのまま量子臨界状態が現れた。その上、圧力を加えてもその量子臨界状態は安定に存在し続け、微調整する必要がないように見えた。

次に、この状態が準結晶という第3の固体の特徴と関係しているのか調べてみた。同じような組成をもつ図1のような結晶をつくってみたところ、その結晶の中では量子臨界状

態は実現しなかった。

これは、準結晶特有の性質により、通常は安定に存在させることが困難な量子臨界状態が安定に発現していることを意味する。いいかえれば、第3の固体の性質を利用して、物質の中にブラックホールを「創造する」ことに成功したのかもしれない。そして宇宙ではアプローチ不可能なブラックホールを、物質という小宇宙では観測しコントロールできる点が物性物理の魅力の1つといえるだろう。

*1 結晶
原子配列の並進対称性が周期的(等間隔)な固体。
*2 アモルファス
原子配列が並進対称性をもたない固体。
*3 準結晶
原子配列の並進対称性が準周期的(黄金比の等比数列で表される間隔)な固体。(本誌20号P.4参照)
*4 D.シェヒトマン(1941-)
イスラエルの物理学者。ノーベル化学賞(2011年)を受賞。
*5 重い電子
物質中では周囲の影響を受け、強い電子相関のため電子は動きにくくなり、動いている電子の実効的な質量が1000倍にも大きくなっているように見える状態。

科学の力が広げた日本の海の権利

ウォリス・サイモン 地球環境科学専攻教授

海における国の主権とは

海底にはメタンハイドレートやレアアースなどの貴重な未開発資源が豊富に眠っていることが近年の調査で明らかになってきた。そこで問題になるのは、海底資源の探査・開発に関して国の主権が及ぶ海域はどこまでかということである。そのような海域を「国連海洋法条約」では「大陸棚」と呼び、原則、海岸から200海里（約370 km）までの海底と海底

下と定義した（つまり、その国の「排他的経済水域」の範囲と同じ）。さらに条約は、海底の地形や地質が一定要件を満たすことを証明すれば、大陸棚を200海里を超えて延長できるとしている（図1）。日本もこれに従って大陸棚延長の申請を行い、審査結果が2012年4月に発表された。

申請の結果、日本の国土面積の約8割に相当する海域が新たに日本の主権が及ぶ大

陸棚として組み込まれることとなった。申請の根拠となるのは日本の研究者が調査・収集してきた海底地形、岩石、重力、磁気などに関する膨大な科学的データである。一見すると地味に見える地球科学が国益につながった例である。

海に関する主権についての議論は15世紀のローマ法王が大西洋をスペインとポルトガルだけに分けたことにさかのぼる。17世紀になると、オランダ人によって提唱された「自由海論」、つまり、海はどの国にも属しないという考え方が発表された。さらに18世紀になると、海に向かって発射された大砲の弾丸が届く距離が国の主権の及ぶ範囲である、とされた。当時の技術では、弾丸が届く距離は約3海里だったが、この基準は近代技術を想定しておらず、近年新しい基準をつくる必要が浮上してきた。世界共通の規定を設けることを目標として1950年代から法的枠組みの確立に向けた動きが始まり、紆余曲折を経て、海の憲法とも言われる国連海洋法条約が1982年にでき上がったのである。

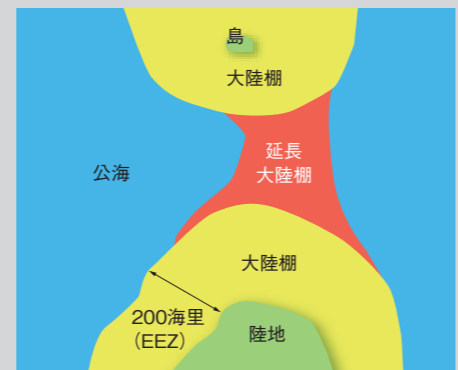


図1 排他的経済水域 (EEZ)、その岩盤となる大陸棚と大陸棚延長の関係

広い大陸棚を獲得するために本土から離れた島の存在は極めて重要となる。今回の申請においても、大東諸島、南鳥島、硫黄島、沖ノ鳥島などの島の存在は大きかった（図3参照）。

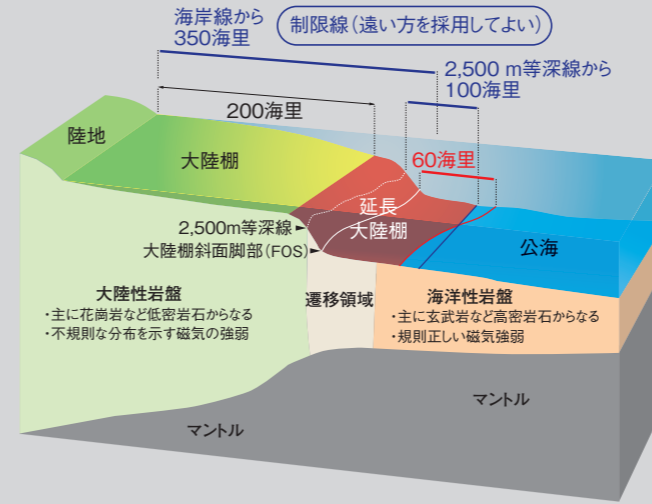


図2 日本の延長大陸申請に用いられた

主要な国連海洋法条約で定められた大陸棚の限界

海底の地形、岩盤岩石の組成、磁性などから大陸斜面の範囲 (=大陸斜面脚部) を決定し、その点から60海里の範囲が延長大陸棚となる。ただし、海岸線から350海里または2500mの等深線から100海里沖合の線のいずれか遠い方を超えてはならない。堆積物の層厚を用いて延長大陸の延長幅を決定する条件もあるが、日本申請では利用されなかった。

浮き彫りになった大陸棚の姿

大陸棚延長として認められるには、科学的な根拠に基づき、その海域の海底は大陸の自然延長である、つまり、海の底であるにも関わらず陸地と同様の岩盤などの特徴がある、ということを示す必要がある（図2）。

一般に、海洋底を構成する岩盤は、大陸を構成する岩盤より薄くて密度の高い岩石で構成されているおり、また、形成された当時の地球磁場を反映し、規則正しい縞状の磁気強弱を示す。大陸棚延長申請の準備のために、日本は近海の海底の地形、磁性、重力、地震波速度構造、岩石学的特徴などのデータを集めて分析をした。

国連に提出した申請書の作成を担当したのは海上保安庁、産業技術総合研究所、JAMSTEC*1、JOGMEC*2などのグループだった。私を含めた作業チームは2004年から5年弱をかけて、インターネットから切り

離され、嚴重な警備がしかれた特別室で申請書の作成準備をした。25年間蓄積されてきた詳細な海底調査の結果に加え、世界最深の海底調査が可能な有人潜水調査船「SHINKAI 6500」をはじめとする多くの国内機関が所有する調査船を用いるなど、年間約100億円の予算を投入する大規模なプロジェクトだった。その結果、日本近海の地形、物性、過去のテクトニクスおよび大陸棚の分布が今までにない精度で浮き彫りとなった。

認められた大陸棚延長

日本の申請は2008年11月に国連に提出され、専門家からなる委員会において検討された。申請した7海域のうち、4つの海域については、その一部または大部分の延長申請が認められた。しかし、南鳥島および茂木海山海域に関しては認められなかった。また、沖ノ鳥島は（条約上大陸棚をもてない）岩である

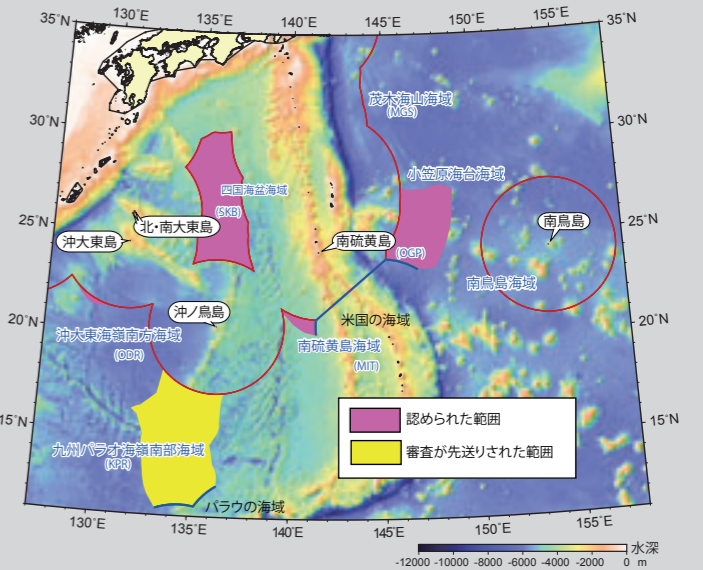


図3 申請によって認められた日本の大陸棚延長

大陸棚延長の申請をした海域は、沖大東海嶺南方海域、九州パラオ海嶺南方海域、四国海盆海域、南硫黄島海域、茂木海山海域、小笠原海台海域、南鳥島海域の7つ。ピンクが日本の大陸棚延長として認められた水域。黄色が審査保留となった水域。赤い線は排他的経済水域境界、青い線は他国との境界。図は首相官邸ホームページ掲載図を改変。

という抗議が隣国からあり、九州パラオ海嶺南方海域の審査は保留となった（図3）。日本は勧告を受け入れるのか、それとも再申請するのか、まだ対応を明らかにしていないが、その動向が注目される。

15世紀から「海の権利」に関する考え方は政治的な判断に影響されてきた。しかし、今回は科学的な判断によって日本の海の権利が認められた。そして、国益を考える上で、基礎科学や最先端の技術を必要とするプロジェクトの一員として参加できたことは、非常に新鮮で感慨深い経験であった。

*1 JAMSTEC
独立行政法人海洋研究開発機構。
Japanese Agency for Marine Science and Technology

*2 JOGMEC
独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構。
Japan Oil, Gas and Metals National Corporation



Simon Wallis

1962年イギリス生まれ。1988年、オクスフォード大学博士号取得。1988年～1992年、日本学術振興会・EUの特別研究員として京都大学大学院理学研究科に所属。1992年～1994年フランス商業銀行金利アドバイザー。1994年、京都大学大学院理学研究科助手。2001年、名古屋大学理学研究科助教授、同年環境学研究科助教授（のち准教授）。2011年より現職。専門は岩石・構造地質学。

同窓生から

「マンガ学」と地球科学

マンガ評論家

伊藤 剛 (Go Ito)

私は現在、大学のマンガ学科の教員としてマンガ家志望の学生の指導を行っている。と同時に、マンガという視覚表現の内在的なメカニズムの解析が自分の仕事だと思っている。それは同時に、マンガ実作の基礎教育メソッドの探究でもある。

「マンガ学」は新興の分野である。マンガを理解するための言葉や論理の達成は、マンガという表現や市場の豊かさに比べて、圧倒的に小さなものである。同時にマンガ研究とは「学」とは何かという問いを常に突きつけられる場でもある。そこでマンガを分析するためのモデルが必要だと考え、『テヅカ・イズ・デッド ひらかれたマンガ表現論』という本を書いた。私は、マンガ家のアシスタントなどを経験しており、マンガの技術はひととおりがわかっているが、人文系の学問はすべて独学である。それでも、自分の仕事を「ヤクザのチャンバラ」と自嘲的にいうのが冗談になる程度には、人文系の「知」の世界では迎え入れていただいているようである。

ここで私が知的な規範として持ちえたのが地球科学であったことは、僥倖といって良かったのかもしれない。プレートテクトニクスのような、大きなモデルを使って思考する方法は、とりわけ1960年代以降の人文系学問とは相性が良いものようだからである。

マンガのようなサブカルチャー批評・研究は、とかく個別の作品・作家の細かい検討と記述に終始がちである。そのなかにあつて、私が「大きなモデル」を導入し得たのは、ひとえに学部生にも課せられた野外調査の現場で、大きなモデルがあつてこそ、具体的な個別の事象がよく解釈されよくなりつきりと見えてくるという体験をしたことが大きかったのではないかと考えている(1989年地球惑星科学科卒業)。

キャンパス通信

理学部創設70周年
記念講演会を開催

事務部庶務掛長

成田吉伸 (Yoshinobu Narita)

2013年1月18日、理学南館の坂田・平田ホールにて、理学部創設70周年記念講演会が開催された。理学部の歴史に名を刻んだ先人から、将来を担う若手研究者・学生に対してメッセージを送るべく、現理学部執行部により、学内記念講演会としての開催を発意されたものである。

ちなみに70周年のカウントは、昭和14年に設置された名古屋大学帝国大学理工学部が、工学部と理学部に分離した昭和17年を起点としている。

講演会は、篠原久典理学研究科長のあいさつに始まり、濱口道成名古屋大学総長の祝辞が述べられた後、大沢文夫名誉教授による「昔話と今の想いー生きものらしさ」、益川敏英特別教授(素粒子宇宙起源研究機構長)による「現代社会と科学」、野依良治特別教授による「『科学立国』日本を担う学生諸君へ」と続いた。各講演者は、スライドなどを交え、自身が研究者を志すきっかけとなった幼少期や学生時代の話、心に残る恩師の教え、さらには研究設備が決して恵まれていない状況下での研究の思い出など、苦労話も含めた各々の足跡を懐かしみつつ語り、時に「いいですか、若い諸君!」と会場内に熱い言葉を投げかける場面も幾度となく見られた。

講演者それぞれのもつ、独特の語り口から発せられる言葉は、確固たるメッセージとなって、聴講者を魅了し鼓舞していたことがわかり、未来に向けて夢の広がる講演会となった。



大沢文夫名誉教授による講演

書籍紹介

『宇宙に外側はあるか』

多元数理学専攻准教授

南 和彦 (Kazuhiko Minami)

世界はいかにできているのかという疑問を、人間は抱き続けてきた。海の上を進み続けると、そこには何があるのか。初期ギリシア人は世界は円盤であると考へ、その端をオケアノス(地の果て)と呼んだ。地球が球形であることを人類が確認したのは、16世紀のことである。

古代の人間にとって地球の果てが謎であったように、現代の我々にとって宇宙の果ては謎である。宇宙を進み続けると、いったい何があるのか、あるいは何が起きるのか。この本は、宇宙に果てはあるのか、また終わりはあるのかという誰もが抱く疑問を手掛かりにしながら、宇宙論の現状を丁寧に解説したものである。

量子論、大統一理論、ひも理論などの理論的背景、そして宇宙の始まりのビッグバン、インフレーションについて説明する。現時点で観測されている銀河、銀河団、宇宙の泡構造までを順に紹介し、宇宙の果て、ダークマター、ブラックホールと宇宙の終わりなど、内容は盛りだくさんである。数式を使わず専門的な言いまわしを避けているが、できる限り正確に説明しようとしていることがわかる。

そして理論的に可能な、しかし初期ギリシア人も仰天する奇怪な宇宙モデルが次々と紹介される。どれが正しいのか観測によって決定される可能性について、著者は決して悲観的ではないように思える。



『宇宙に外側はあるか』

松原隆彦 (Takahiko Matsubara) 著
光文社/2012年2月発行
780円(税別)

世界トップレベル研究拠点プログラム

分子で世界を変える

トランスフォーマティブ生命分子研究所拠点長

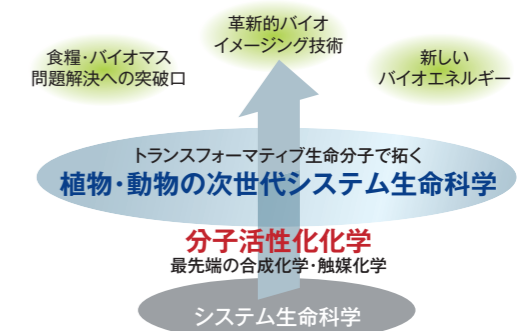
伊丹健一郎 (Kenichiro Itami)

昨年11月文部科学省がフラッグシッププログラムとして位置づけている「世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)」に本学の「トランスフォーマティブ生命分子研究所(ITbM)」が採択された。これまで本プログラムでは国内で6拠点が採択され、山中伸弥教授(京都大学)のノーベル賞受賞に代表されるように、すでに一定の世界的評価を得ている。

分子には科学・技術のあり方を変え、ひいては社会をも変容させる力がある。ペニシリン、タミフル、緑色蛍光タンパク質GFPなど、革新的な生命機能分子(トランスフォーマティブ生命分子)が世界を変えた例は多い。ITbMでは、最先端の合成化学とシステム生命科学の融合を通じて、狙った機能をもつトランスフォーマティブ生命分子を生み出すことをミッションとしている。究極的には、食糧問題、バイオマス問題、次世代イメージング技術など、社会にインパクトを与える科学・技術の重要課題を解決することがゴールである。

3名の海外主任研究者を含めた10名の主任研究者を始動メンバーとして、合成化学者と生命科学者がフルスケールのコラボレーションを行う国際研究拠点を構築する。また、国内外のさまざまな研究機関や企業との連携を通じて、グローバルなバーチャル研究所の核となり、世界を先導することを目指す。

「分子をつなげ、価値を生み、世界を変える」。これが我々の思いである。



名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所概要