



## 「有限体積法」

齊藤 宣一 (数理科学研究科 准教授)

有限体積法は、局所的な流束の保存則に基づいて近似を構成する偏微分方程式の数値解法であり、流体力学などに現れる拡散や移流を含む方程式のコンピュータシミュレーションで良く利用される。プログラミングが手軽であるという実務上の理由もさることながら、区分的定数関数という最低次の近似関数を利用するため、高い近似精度は期待できないにもかかわらず、質の良い近似解が得られるという経験則が、広く支持される理由であろう。有限体積法の歴史は1950年代にまで遡ることができるが、理論的な研究が本格的に進化したのは、たかだか10年前からで、現実的な非線形偏微分方程式に対する研究は今まさに進行中である。

偏微分方程式の汎用的な数値解法とし

て有名なものに、有限要素法がある。有限要素法も1950年代に考案され利用され続けてきた。また、1960年代後半には理論的な研究がスタートし、現在に至るまで、膨大な結果が生み出されている。有限要素法に対する数学理論が大いに発展したひとつの理由として、これがガレルキン法の一つであることが挙げられる。すなわち、現在の解析学では、偏微分方程式を無限次元関数空間上の作用素(演算子)の方程式として定式化し、関数解析学の抽象理論を援用して解析を進めるのが普通である。ガレルキン法とは、関数空間を有限次元の部分空間で置き換え、近似を得る方法である。作用素方程式が線形なら、そのガレルキン近似は連立一次方程式となる。結果として、関数解析学の抽象理論はそのまま適用でき、

数学解析が容易に展開できるのである。

残念ながら、有限体積法を、ガレルキン法の一つとして定式化することはできないので、有限要素法のような数学理論を展開するには、まったく別の手法が必要になる。数理科学研究科において筆者の属する数値解析の研究グループでは、最近、有限体積法を直接に有限次元関数空間の作用素方程式として定式化し、さまざまな解析を可能にした。それによれば、有限体積法は、方程式の局所保存則だけでなく、順序保存性などの多くの性質をかなり正確に近似していることが証明された。すなわち、質の良い近似解が得られるという経験則が数学的に正当化されたわけである。



## 「原子核の魔法数」

大塚 孝治 (物理学専攻 教授)

魔法数という思い浮かぶのは原子のものである。原子番号が2(ヘリウム)、10(ネオン)、18(アルゴン)など不活性ガスはきわめて安定であり、それは原子に束縛されている電子のさまざまな軌道のエネルギーにギャップがあるためである。あるギャップより下の全軌道に詰められる電子の数が魔法数である。ギャップのためにそれらの電子は励起されにくく安定性を生じる。原子核にも似たことが起きる。陽子と中性子を総称して核子とよび、原子核は数~数百個の核子から構成される。それらの核子は互いに核力を及ぼし塊となっている。ある核子に着目し、まわりの多数の核子からの核力効果を足し合わせると、その核子はあたかもすり鉢状のポテンシャル(平均ポテンシャル)の中で運動しているようになる。

原子と同様に、この運動は量子論による飛び飛びのエネルギーの軌道を生

じ、それらのエネルギーにはギャップが現れ、魔法数が生じる。陽子と中性子それぞれに魔法数があるが、陽子と中性子は良く似た粒子なので、同じ魔法数をもつ。平均ポテンシャルは調和振動子ポテンシャルで近似でき、それにスピン軌道分岐を加えて2, 8, 20, 28, 50, 82, 126という魔法数が得られる。メイヤー(Maria Goeppert-Mayer)とイェンゼン(J. Hans D. Jensen)は1949年にこのような理論を提案し、それは実験的に確かめられ、後にノーベル物理学賞を授与された。魔法数から陽子数や中性子数がどれだけずれているかで、原子核の表面の形が球から楕円体が変わる。

1990年頃からは、短寿命で天然には存在せず、陽子数と中性子数の比がアンバランスなエキゾチック原子核が研究され始めた。炭素の例では年代測定で使われる $^{14}\text{C}$ までは安定とされ、それより中性

子の多いアイソトープがエキゾチック原子核になり、限界は $^{22}\text{C}$ である。魔法数は普遍的なものでそれらでも当然成り立つと考えられていた。本研究科物理学専攻の大塚研究室を中心にしたグループにより、核力中のテンソル力や3体力などのため、エキゾチック原子核ではギャップがさまざまに増減し、メイヤー・イェンゼンの魔法数の消滅、14, 16, 32のような新しい魔法数の出現が起こることが理論的に示された。実際、 $^{22}\text{C}$ は新しい中性子魔法数16の原子核である。このパラダイムシフトは、世界各地で現在も進んでいる種々の実験により確立されつつある。超新星爆発のRプロセスではさまざまなエキゾチック原子核が作られては別のものになり、最終的には鉄より重い元素を生成する。このプロセスにおいても魔法数は重要な役割を果たす。



## 「サブミリ波銀河」

河野 孝太郎 (天文学教育研究センター 教授)

サブミリ波 (波長 1 mm ~ 0.1 mm 付近の電磁波) の掃天観測 (空のある領域全体を、くまなく観測すること) により検出される銀河のことをサブミリ波銀河とよぶ。その距離は、まだよく解明されていないが、ほとんどは宇宙年齢が約 60 億年より以前という時代の初期宇宙にあると考えられている。初期宇宙に存在する銀河は、可視光・赤外線観測でも多種多様なものが発見されているが、これらの銀河種族と比較して、サブミリ波銀河は、いくつかの際立った特徴がある。第一に、きわめて爆発的に星を生成していること。その典型的な星生成率 (単位時間あたりに生成する星の質量) は、数 100 ~ 数 1000 太陽質量 / 年に及ぶ。宇宙の歴史を通し、もっとも激しく星を生み出す怪物銀河である。第二に、可視光・赤外線ではひじょうに暗く、すばる望遠

鏡など 8 m 級の装置でも見えないものが少なくないこと。そしてもうひとつは、サブミリ波での「みかけの明るさ」が、(宇宙年齢が約 60 億年 ~ 5 億年という範囲の初期宇宙にある限り) その距離によらずほとんど一定であること。この不思議かつ有益な性質は、サブミリ波銀河が、星生成によって数 10K 程度に暖められたダストの熱放射で輝いており、その放射 (波長約 0.1 mm 付近にピークをもつ) が、宇宙膨張の効果で引き延ばされ、長波長側へシフトしたところで観測されている、という事情に起因する。

サブミリ波銀河は、初期の宇宙にどれだけ存在したのだろうか。標準的な銀河形成理論によれば、軽く小さい銀河から先に誕生する。きわめて高い星生成率を示すサブミリ波銀河は、質量が特に大きい暗黒物質の塊の中で誕生すると予想

されるため、最初はひじょうに少ないはずである。ところが、ここ 1 ~ 2 年、急激なサブミリ波観測技術の進歩と観測の進展に伴い、宇宙年齢が 10 数億年という時代に存在するサブミリ波銀河が相次いで報告され、話題となっている。現在知られているもっとも遠いサブミリ波銀河は宇宙年齢約 11 億年の宇宙にある。まもなく稼働を開始する ALMA などにより、今後、さらに初期の宇宙に、より多数のサブミリ波銀河が発見され、理論家を悩ませることになるかもしれない。

理学系研究科では、天文学教育研究センターの河野研究室・本原研究室、天文学専攻の岡村・嶋作研究室などのグループが、サブミリ波望遠鏡 ASTE や、すばる・あかりなどの光学赤外線望遠鏡などを駆使して、この怪物たちと格闘中である。



## 「小惑星イトカワ」

加藤 學 (宇宙航空研究開発機構 教授, 地球惑星科学専攻 兼任)

JAXA 宇宙航空研究開発機構が小惑星「イトカワ」から帰還した「はやぶさ」探査機のサンプルカプセルを公開し、2 日間で 4 万人の人々が相模原を訪れた。相模原市博物館を取り巻いて順番待ちをしていた人々の中には 40 年前に「月の石」を見るために上野の博物館でならんだのを思い出した人も多くいた。人類が地球外の天体から岩石を持ち帰ったのはアポロ計画、スターダスト計画があるのみで、小惑星からは世界で初めてのことであった。隕石の起源を調べるわが国初めての探査機「はやぶさ」が向かった小惑星「イトカワ」とは、どういうものか。「イトカワ」は日本の宇宙科学研究の創始者糸川英夫博士にちなんだ命名である。「はやぶさ」(当初 MUSES-C) 計画では探査候補として「4660NEREUS」, 「1989ML」が提案されていた。ともに地球接近型で太陽光反射スペクトルは

「S」タイプ、落下が記録されている隕石の 85% を占める普通コンドライト隕石のスペクトルに類似、に分類される直径 1 km 程度の小惑星である。当初打ち上げ予定は 2002 年であったが、打ち上げが 2003 年以降になることが予想されたため新たに探査候補にあがったものが、1998SF36 と仮ナンバーが付されていた 24153Itokawa であった。地球の重力を利用した探査機の加速とイオンエンジンを使って「イトカワ」に到達、約 2 カ月のリモートセンシングを行った。詳細な形状 (大きさ 500 m 程度の 2 つの不規則形状の岩塊が衝突合体、あたかもラッコが寝そべっているように見える) と探査機の軌道解析を使って求めた「イトカワ」の質量から「イトカワ」の密度が  $1900 \text{ kg/m}^3$  であり、ラブルパイルというルーズに岩石片が堆積した構造をしていることがわかった。可視・近

赤外反射スペクトル、蛍光 X 線の軌道観測から普通コンドライト隕石のうち 90% を占める H 型ではなく、鉄成分の少ない LL 型であることもわかった。「はやぶさ」探査機が小惑星物質を地球に持ち帰るためにサンプル採取を試みた時、探査機の姿勢制御系に不具合が生じ科学観測は終了した。以後「はやぶさ」は奇跡的な回復により地球帰還を果たした。カプセル中には「イトカワ」表面のダストが回収されている可能性があるため、ダストの分析を進めている。ついで、地球の前駆物質とも考えられている炭素質コンドライト隕石と同等の反射スペクトルをもつ「C」型小惑星を探査する「はやぶさ」後継機計画が開始されようとしている。

このような月惑星の科学探査が地球惑星科学専攻の研究室と JAXA 宇宙科学研究所が協力して実行されている。



## 「ナノ粒子」

山野井 慶徳（化学専攻 准教授）

「ナノ粒子」という言葉は数年前までなじみ薄い言葉だったのではないだろうか？防水スプレー、歯磨き粉、サプリメントなどナノ粒子を用いた応用製品が市場に出回ると同時に、メディアにも登場する機会が多くなり、現在ちょっとしたブームになっている。

ナノ粒子とは1～100 nm（ナノメートル； $10^{-9}$  m）程度の大きさを有する粒子であり、最先端の研究では粒径1～20 nm程度の合成と特性がターゲットとなっている。（厳密な定義はないが、学会ではだまかに100～1000 nm程度のものを微粒子、1 nm以下のものをクラスターと分類している。）対象となる粒子の種類は有機高分子、金属、無機化合物と多岐にわたっている。

同一物質でもナノレベルまで小さく

すると、比表面積や表面エネルギーが増大するため、物性が顕著に変化する。この現象は古くから利用されており、たとえば、中世ヨーロッパの教会にあるステンドグラスの赤い色彩は、ガラスの中に金のナノ粒子が入っていることに由来する。この物性変化を利用し、触媒、センサー、発光素子、薬剤輸送などのナノ材料への応用が期待でき、産・官・学ともにその技術開発にしのぎを削っている。

ナノ粒子の合成法は、原子・分子レベルから粒子を成長させる手法が一般的である。このようにしてナノ粒子を合成すると、幅広い分布をもつ粒子が生成するが、新しい特性をもった機能材料として使用するには、粒子の粒径・粒度分布など精密構造制御が必要とされる。

理学系研究科化学専攻でもいくつかの

研究室で、新規物性を発現するナノ粒子に関する研究が行われている。たとえば、無機化学研究室では、均一粒径（ $1.7 \pm 0.1$  nm）をもつ金ナノ粒子の単電子移動物性を利用したバイオ光センサーの開発研究を行っている。ほかに物性化学研究室ではラムダ型酸化チタン粒子（粒径：約20 nm）が、照射により金属状態と半導体状態を室温で可逆に変化することを報告している。これらは安価に調製でき、環境負荷も低いことから、次世代の超高感度・高密度光材料として利用できる。詳細に関しては本号の研究ニュース「生体分子とナノ粒子を接続した高感度光センサー」、「光で金属-半導体転移をする金属酸化物を発見！」をそれぞれ参考にされたい。

## 「東大式現代科学用語ナビ」出版から1年

広報誌編集委員会

昨年9月号でご案内したように、理学部ニュースに掲載中の「理学のキーワード」を集めた単行本が、(株)化学同人より出版され、1年が経つ。「東大式現代科学用語ナビ」と題したこの単行本（税抜き1500円）は、2006～2008年度の3年間に、理学部・理学系研究科の皆様にご執筆いただいた95の「キーワード」を、物理、化学、生物、地惑・天文、数学、情報の6つの分野に分類し収録したもの。文章が主体だった記事に、図や写真が追加され、分野ごとの「俯瞰的説明」も加わった結果、改めて読み返すとたいへん面白く、本の装丁も立派で、編集委員会としても喜ばしい限りである。執筆いただいた方々に、この場をお借りして、改めてお礼を申し上げたい。

東大生協の本郷書籍部では、この単行本は理工系書籍ベストセラーの座にいます。世の中でも認知度のアップを期待したいところ。編集委員会では、2009年度以降のテーマを集めた続編が上梓されることを願っている。それに向け、皆様の周囲に、この単行本のより広い宣伝をお願いしたい。



「理学のキーワード」単行本の表紙