



「乱数」

松本 眞 (数理学研究科 教授)

乱数列とは、サイコロを繰り返し振って得られるようなでたらめな数の列のことである。乱数の応用はさまざまである。ルーレット（それ自身が乱数発生器）や宝くじのような賭博には欠かせない。もうちょっと理系の例として、あらゆる分野の科学シミュレーションにおいて利用されている。たとえば、核分裂・核連鎖反応のシミュレーションは巨大なすぐろくのようなものである。「このウラン原子は、サイコロを続けて振って3回6が出たら分裂し、そうでないときはしない。分裂したときには、サイコロを7回振って、ランダムに決められた方向にガンマ線を出す。」こういった具合に、確率的な要素をもつ現象のシミュレーションには乱数が欠かせない。

乱数を高速に発生するのは意外に難しい。サイコロは最古の乱数発生器のひとつ

だが、何億個という乱数を使うコンピュータシミュレーションには遅すぎるし、偏りがあるかも知れない。サイコロ、熱雑音、ハードディスクへのアクセス時間の揺らぎといった、ランダムな物理現象を用いて生成する乱数を物理乱数というが、概して低速である。

それに対し、漸化式を用いるなどして、コンピュータにより確定的なアルゴリズムで乱数のように「見える」数列を生成して乱数列として用いる方法を、擬似乱数という（フォン・ノイマンの発案とされる）。たとえば、漸化式

$$x_{n+607} = x_{n+273} + x_n \pmod{2}$$

（ここで、 $\pmod{2}$ は2で割った余りを表す）によって得られる0,1の数列は、周期が $2^{607}-1$ となることが知られている。筆者は、このような生成法をベクトル化し、周期をメルセンヌ素数（ 2^p-1 の形

の素数のこと）にする工夫により、周期が $2^{19937}-1$ で623次元空間に均等分布するメルセンヌツイスター疑似乱数発生法を当時修士学生の西村拓士氏と共同で開発し、97年からダウンロード配布している。設計には有限体上の線形代数や、形式べき級数係数の格子の幾何などの近代数学を使った。この発生法は世界中で利用が進み、任天堂Wii Partyから数式・統計処理システムまで多くのソフトに組み込まれており、今年ISO規格にもなった。その後、CPUの並列化などに合わせ、広島大齋藤睦夫助教らと改良高速版を作り配布中である。疑似乱数発生には整数論・確率論・アルゴリズム・コンピュータアーキテクチャなど理学・工学にまたがる知識が使われており、興味深いと感じている。



「クラウドコンピューティング」

平木 敬 (情報理工学系研究科 教授)

雲のように広がった情報システムを自由に使うクラウドコンピューティングは、大域ネットワークの著しい高速化を背景としてインターネットにつなぐだけで必要な情報サービスが受けられ、仮想的に専用コンピュータが利用できる情報処理形態である。

理学研究者にとり、情報システムの利用はシミュレーションや実験データ処理など研究対象そのものだけでなく、関連文献の探索、文献処理、論文作成から学会の管理運営など、あらゆる面に及んでいる。

クラウドコンピューティングが大きく注目を集めている理由のひとつは、このように高度化し、複雑化したシステムを構築することが非専門の研究者などに困難となってきたこと、常時必要ではないけれど、ひじょうに高速なスーパーコンピュータによるシミュレーションなど、一時的に超高速コンピュータが必要にな

ることなどがあげられる。

クラウドコンピューティングのように、ネットワークに接続するだけで十分な情報サービスを得るための試みは、古くは1970年代からさまざまな形で試みられてきた。サーバ・クライアントシステム、シン・クライアント、GRIDコンピューティングなど各時代を代表するバズワードとして登場したが、理学の現場で広く使われるには至らなかった。クラウドコンピューティングという言葉は、1997年に米国のラムナト・チェラッパ (Ramnath Chellappa) 教授により提唱されたものであるが、それでは、クラウドコンピューティングでは何が新しく、どうして理学の道具としての有用性が高まったのか。

クラウドコンピューティングの第一のポイントは、システム全体が仮想化していることである。処理を行うコンピュータはVirtual Machineによる仮想化によ

り、任意の場所にある実際のコンピュータを一時的に割りつけて処理ができ、壊れたり負荷が高くなりすぎると、世界のどこかほかの場所に容易に引っ越すことができる技術である。世界中に分散した要素をつなぐ大域ネットワークの超高速化により、日米間にわたるファイルのコピー速度が、隣のコンピュータへのコピー速度と変わらなくなり、真に分散し、仮想化したシステムを作ることが可能になったからである。なお、私たちの研究チームは過去6年間長距離インターネット通信の世界記録を保持し、クラウドコンピューティング実現に貢献している。

数年後の理学研究現場では、GoogleやYahoo!を使う感じで、計算自身もどこか見えないところにあるスーパーコンピュータを使い、使っているという意識なしにクラウドコンピュータが入っていくものと期待している。



「銀河の形成と進化」

嶋作 一大 (天文学専攻 准教授)

銀河系をはじめとして、宇宙には姿形もさまざまなたくさんの銀河が輝いている。しかし銀河は永遠の昔から存在したわけではない。宇宙自身に始まり(約140億年前のビッグバン)があるからである。永遠に輝き続けることもなさそうである。星に寿命があるからである。銀河はいつどのように生まれ、どう成長して現在の姿になったのか。今後はどう変わっていくのか。銀河の形成と進化とは、未来を含む銀河の一生のことである。

ガンマ線から電波までのいろいろな波長の望遠鏡の活躍で、銀河の進化の様子は次第に明らかになってきている。宇宙を130億年以上さかのぼっても銀河は既に存在している。銀河は古い歴史をもつのである。さらにさかのぼって銀河の形成の瞬間を目撃するのは、次世代の望遠鏡になるだろう。銀河が最も激しく進化したのは今から100億年も前のことである。当時の銀河は現在の10倍以上活発に星を作っていた。その後は銀

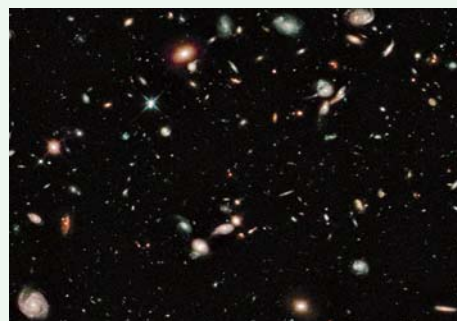
河の活動は時間を追って低下した。個性によるばらつきはあるが、現在多くの銀河は晩年を迎えようとしている。原理的に過去しか観測できないわれわれにとって、これは幸運である。銀河の一生の主要な出来事が(その気になれば)全部見えるからである。

銀河の形成と進化には暗黒物質が大きな役割を担っている。銀河の質量の大部分は暗黒物質だからである。銀河は暗黒物質の系の中でガスが冷えて星が生まれることで形成進化したと考えられている。最初にひじょうに軽い銀河がたくさん生まれ、それらが合体を繰り返して重い銀河になったらいい。超新星の爆発や銀河中心核の超大質量ブラックホールの活動なども、銀河の進化を左右した可能性がある。

エドウィン・ハッブル(Edwin Hubble)が銀河を観測して宇宙の膨張を発見して以来、銀河は宇宙論の研究に欠かせない天体である。銀河

を理解することで、現代宇宙論の謎である暗黒エネルギーや暗黒物質に迫れるかもしれない。

銀河の形成と進化は大きな研究分野である。本研究科では、天文学専攻と天文学教育研究センターの多数の研究室のほか、物理学専攻とビッグバン宇宙国際研究センターでも活発に研究が行われている。



ハッブル宇宙望遠鏡による空のある方向の画像。130億年以上昔から現在までのあらゆる時代の銀河が写っている。
©NASA, ESA, G. Illingworth (UCO/Lick Observatory and the University of California, Santa Cruz), and the HUDF09 Team



「温室効果ガス」

小池 真 (地球惑星科学専攻 准教授)

温室効果ガスとは、可視波長域を中心とする太陽放射は透過するが、地表や大気から射出された赤外放射を吸収し、地表に向かって再放射する(地表が受け取る正味の放射エネルギーを増加させる)ことにより地表付近の温度を高くする作用(いわゆる温室効果)をもつ気体成分の総称である。ごく簡単な仮定で計算してみると、大気中に温室効果気体が無かった場合の地球の表面温度(放射平衡温度)は、 -18°C 程度になると見積もられる。このように温室効果ガスは地球の放射収支と気候に対し決定的な役割を果たしているが、その濃度は水蒸気を除けば決して高いものではなく、体積混合比にして二酸化炭素で0.04%程度である。

温室効果ガスのうち人為的に排出されている成分は一般に大気中の寿命が長く(10年程度以上)、これらの成分は特に、長寿命温室効果ガスとよばれている。産業革命以降、排出され続けている長寿

命温室効果ガスの大気中濃度の上昇は、気候システムに対し正の放射強制力として働き、地球温暖化の原動力となっている。京都議定書や気候変動枠組条約では、人為的に排出されている長寿命温室効果ガスである、二酸化炭素(CO_2)、メタン(CH_4)、一酸化二窒素(N_2O)、ハイドロフルオロカーボン(HFC)、パーフルオロカーボン(PFC)、六フッ化硫黄(SF_6)の6種類の気体の排出削減目標が定められている。特に二酸化炭素は、地表が射出する赤外放射のスペクトルの最大値付近(波長 $15\ \mu\text{m}$ 付近)に吸収帯をもち、また次に述べる水蒸気の吸収帯との波長の重なりが少ないため、大きな温室効果をもっている。

いっぽう、最も強い温室効果をもつのは水蒸気(H_2O)である。水蒸気は人為的に排出されているのではないが、温暖化した時には大気中の存在量が増加するため、さまざまなフィードバックを通じ

て気候に影響を与える。水蒸気は、二酸化炭素などの増加により放射強制力が働いた場合、気温がどのくらい上昇するかというレスポンス(気候感度)を支配する鍵となる物質のひとつである。

対流圏のオゾン(O_3)も人間活動により大気中に直接排出されているわけではないが、人為的に排出された窒素酸化物などから大気中で生成する重要な(かつ短寿命の)温室効果気体である。また地球の放射バランスや放射強制力という観点からは、温室効果ガス以外に、太陽放射を散乱あるいは吸収して地球を冷却/加熱する効果をもつ、大気中の微粒子(エアロゾル)の存在も重要である。

温室効果ガスやエアロゾルについては、理学系研究科のほか、大気海洋研究所や先端科学技術研究センターにおいて、観測や数値モデル計算などによりさまざまな研究が実施されている。



「光誘起相転移」

縫田 知宏 (化学専攻 助教)

化学的組成および物理的状态が均一な系を「相」とよぶ。物質の気体・液体・固体はそれぞれ異なった相である。固体においても構造や性質の異なった複数の相をもつ物質がある。例えば酸化鉄(Fe_2O_3)では、赤褐色で常磁性体の α 相や、褐色で強磁性体の γ 相などが知られている。物質がどの相をとるかは、熱力学関数であるギブス (Josiah Willard Gibbs) の自由エネルギーによって決定される。

物質に電磁波、例えば可視光を照射した場合、その波長に対応する電子遷移が誘起され、励起状態となる。この状態から緩和が起きるさいに、照射前の状態と異なる状態で自由エネルギーに極小値をもつような物質では、その準安定状態にトラップされることがある。これが光誘起相転移である。この準安定状態は、

照射前とは異なる結晶構造をもち、電気伝導度や磁気特性などの物性が変化していることがある。

光誘起相転移では、構成原子が互いに強い相互作用を及ぼし合っているため、光化学反応とは異なった挙動が見られる。例えば、ある一定数以下の光強度(光子数)では、光変化が起きた領域は周囲の未変化の領域の影響によって元の状態に戻ってしまい、相転移は起こらない。しかし光強度を増加させていったら光変化が起きた領域が十分生成されると、光変化した領域は周囲の未変化の領域に対して変化を誘起させ、系全体に変化が波及するため、相転移へと発展していく。

光誘起相転移は、電荷移動型錯体やペロブスカイト型マンガン酸化物などを対象として盛んに研究が行われている。本研究科では、例えば化学専攻物性化学研

究室において、異なる波長の光で可逆的に相転移する磁性体(光でON-OFFする磁石)を発表している。また、物理学専攻宮下研究室と共同で、理論計算と実験結果を組み合わせた光誘起相転移の機構の解明を行っている。さらに今年、世界初の室温で可逆的に光誘起金属-半導体相転移を起こす五酸化三チタンを発表した。これは、物質をナノ粒子化することによって自由エネルギーに対する表面エネルギーの寄与を大きくし、相転移を制御したことが発見の鍵となっている。希少金属を用いなくとも、ありふれた元素と、理学の知識と技術を駆使することによって、光誘起相転移物質のような機能性物質を創成することが可能であることを示している。



「オーミクス」

伊藤 隆司 (生物化学専攻 教授)

90年代に始まったゲノム計画によって、さまざまな生物のゲノム配列が決定された。しかし、長い研究の歴史を誇る大腸菌や酵母でも、配列から機能推定が可能な遺伝子は約半数に留まった。この事実は、個々の生命機能に関わる遺伝子をひとつずつ探し出して解析する従来の戦略だけでは、全体像の把握が困難なことを物語っていた。そこで対照的な戦略として、遺伝子(DNA)の総体であるゲノムに加えて、転写物(RNA)・タンパク質・代謝物の総体であるトランスクリプトーム・プロテオーム・メタボロームも網羅的に解析する研究への期待が高まり、全体を意味する接尾語「オーム」にちなんで「オーミクス」とよばれるようになった。その対象は、生体分子という「モノ」のみならず、タンパク質間相

互作用(インタラクトーム解析)や遺伝子破壊が惹起する表現型(フェノーム解析)などの「コト」にも及んでいる。

オーミクスでは、例えば全遺伝子の発現をDNAチップなどの新技術を駆使してさまざまな条件下で計測し、発現パターンが類似した遺伝子のグループ(クラスター)を同定する。発現パターンの共有は機能の共有の反映と考え、同一クラスター中の既知遺伝子に関する知識に基づいて、未知遺伝子の機能を推定する。この仮説はその遺伝子の個別解析による検証を経て新知識となるので、上記の2戦略は相補的な関係にある。さらにオーミクスは全体像の俯瞰によるシステムの特性的理解を目指す。個別要素の理解は全体の中に位置づけられてこそ進むので、この2つの方向性は表裏一体といっても

よい。網羅的計測データの情報科学的解析と生物学知識の統合による仮説提示を基本とするオーミクスのスタイルは、データ駆動型とか仮説生成型とよばれ、バイオインフォマティクスとは不可分の関係にある。

生物情報科学科では、オーミクスに不可欠な生物・情報・計測の知識を兼ね備えた人材の育成を目指している。当学科の伊藤研究室はインタラクトーム解析のパイオニアであり、程研究室はRNA干渉による遺伝子機能破壊法の高度化でフェノーム解析を支え、有田研究室はメタボロームデータ解析の中心である。このほかにも研究科内の多くの研究室に、オーミクスのアプローチが取り入れられつつある。