



「P2P」

稲葉 真理 (情報理工学系研究科 准教授)

P2Pとは"Peer to Peer"の略で、「同等のもの」を意味する「ピア」同士がサーバを介さずに通信を行うネットワークアーキテクチャ^{注)}である。端末数が増えても破綻を起こしにくく、また攻撃に対し強いという特長をもつ。ウィルス感染による情報流出や違法コピーによる著作権侵害といった社会問題のため「悪しき技術」という誤解も少なくない。本稿ではP2Pの情報科学的な面白さの一端を紹介したい。

インターネットは、その誕生時、対一通信を網の目状に構成することで「外部からの攻撃に強い通信網」の確立をめざした。いっぽうインターネット上のサービス、たとえばftp, mail, webなどは、ユーザ端末から特定のサーバに対し要求を出し、サーバがサービスを提供することが多い。この場合、対多のスター型のサービス網を構成するため、要

求の集中、データ量の増大、サーバへの攻撃などにより、システムが不安定となることも珍しくない。このため、端末の余剰資源を活用、各端末がサービスの一部を分担するP2Pが考案された。

P2Pでは、ピアとよばれる端末が、インターネットと同様な網の目状のサービス網を構成、各ピアが自律的かつ冗長にサービスを分担し、相互にサービス提供を行う。しかしながら、分散する各ピアが独立に動作し、その結果サービス網全体が上手く機能するようなシステムの実現は容易ではない。いかにサービス網に参加し、いかに要求を届け、いかにサービスを受領し再構成するか、そしてセキュリティ、認証、匿名性、頑健性など、さまざまな課題に幾多の人々がチャレンジし、目的に応じたさまざまな解法が考えられてきた。「言論の自由」を目的とし、匿名性に重きを置くソフトも、ごく初期

にリリースされた。

現在、P2P技術は、不特定多数の端末の制御管理問題から逃れ、当初とは少し異なる形で利用されることが多い。ネットワークに接続した膨大な数のコンピュータが膨大かつ増大しつつあるデータを保持しながら協調動作する「クラウド」の背後で、また、多数のセンサーが自律的に通信する「センサーネット」の背後で、P2Pの技術はひっそりと働いている。たとえばGoogleやAmazonは巨大なクライアントサーバシステムであるが、その内部ではP2P技術が応用されていることを忘れるべきではないだろう。

注) アーキテクチャ：おおもととなる構造およびその設計思想のこと



「ニュートリノ」

横山 将志 (物理学専攻 准教授)

現在の素粒子物理学では、陽子や中性子などを作る「クォーク」と、電子の仲間の「レプトン」が物質を形作る基本的な素粒子だと考えられている。レプトンのうち電荷を持たない粒子がニュートリノであり、電子型、ミュー型、タウ型の3種があることが知られている。

ニュートリノは物質との反応率がひじょうに小さく、ほとんどの物質を突き抜けてしまう。この性質を利用すれば、他の手段では到達不可能な対象を直接研究することができる。たとえば太陽から地球上に降り注いでくるニュートリノを観測すれば、光では見られない太陽の内部に関する情報を得ることができる。超新星1987Aからのニュートリノを検出したことでニュートリノ天文学という分野を開拓し、小柴昌俊特別栄誉教

授が2002年のノーベル物理学賞を受賞されたことは記憶に新しい。最近では反ニュートリノを用いて原子炉の内部を監視するという「応用」研究も蓑輪真教授(物理学専攻)らにより行われている。

いっぽうで、他の物質と反応しないということは、検出が難しいということでもある。ニュートリノの存在が予言されたから実験的に検出されるまでには四半世紀かかった。それからさらに半世紀以上経つ現在も、ニュートリノの性質の研究は素粒子物理の主な課題のひとつである。最近の大きな進展に、1998年に宇宙線研究所のスーパーカミオカンデによる観測で、「ニュートリノ振動」という現象が発見されたことがある。ある種類のニュートリノが、時間の経過とともに他の種類のニュートリノに変わったり元

に戻ったりする、一見不思議な現象だが、ニュートリノが微小な質量をもつことの初めての証拠である。物理学専攻の相原博昭教授と筆者のグループでは、宇宙線研究所などとともに関東圏東海村のJ-PARC加速器施設で作った世界最高強度の人工ニュートリノビームをスーパーカミオカンデまで295 km飛ばし、ニュートリノ振動を精密に調べる実験を行っている。将来は、この実験をさらに発展させてニュートリノに粒子・反粒子の性質の違い(CP対称性の破れ)があるかどうかを調べ、宇宙になぜ反物質が存在しないのか理解するための手がかりを求めようとする計画である。星や宇宙の進化とニュートリノの関わりについては、物理学専攻の素粒子理論・宇宙理論の研究室などで研究されている。



「銀河団」

中澤 知洋 (物理学専攻 講師)

夜空から銀河系内の星々を取り去ると、そこには幾億の銀河が輝き、あちこちに寄り集まって集団を構成していることに気付くだろう。これが銀河団である。大きなものでは1000を越える銀河をもち、太陽の1000兆倍の質量と1000万光年のスケールをもつ宇宙最大の天体である。

名前にそぐわず、銀河団の質量のうち銀河が占めるのはたった1割弱にすぎない。7割がたは暗黒物質で構成され、2割強はその重力ポテンシャルに捕われた数千万度のプラズマである。暗黒物質(ダークマター)は、本年1月号の本欄で紹介されたように、宇宙の質量の多くを占める謎の物質であり、その存在は可視光による銀河の速度分布から示唆されていた。いっぽうで、高温プラズマの発見は宇宙X線観測による。1980年ご

ろの研究により、銀河団が最も明るいX線源のひとつであり、空間的に広がった熱的放射をもつことが確認された。これはまた、宇宙のバリオン(陽子などの普通の物質のこと)の大半が、星ではない高温プラズマとして存在することも意味し、人類の宇宙像が大きく転換する契機のひとつとなった。近年では、衛星「あすか」などの成果として、銀河団の中心付近に存在する、強力な加熱機構がクロズアップされている。明るいX線を放つ広大な銀河間空間で、プラズマの放射冷却を止めるだけの大規模なエネルギー放出は一体何なのか、研究が続いている。

21世紀に入って、可視光で得られる無数の遠方銀河の形状の歪みを統計的に処理することで、銀河団の重力場による空間の歪み(重力レンズ効果)を定量化

し、質量分布を得る手法が確立した。暗黒物質の空間分布を直接測定できる時代になったのである。可視光や、電波、X線観測との比較により、銀河団の成長など、色々な側面が観測できるようになってきた。銀河団は宇宙大規模構造の「節」に当たり、質量分布とその時間変化は宇宙の進化モデルに強く依存するため、観測的宇宙論の研究においても重要な天体である。重力レンズとX線などの観測の組み合わせは、構造進化のシミュレーションとあわせて、宇宙論研究に欠かせない要素となっている。

理学系研究科では、X線観測、重力レンズ観測、それを用いた観測的宇宙論の研究が、物理学専攻、天文学専攻、および数物連携宇宙研究機構(IPMU)の複数のグループで進められている。



「海洋酸性化」

羽角 博康 (大気海洋研究所 准教授, 地球惑星科学専攻 兼任)

海洋酸性化とは文字通り海水のpHが下がって酸性側に変化することであり、一部の海洋生物にとってはこれが生存を脅かすものになると危惧されている。海水の平均的なpHは約8で弱アルカリ性を示すが、産業革命以降に化石燃料の燃焼などによって大気中に過剰に放出された二酸化炭素を海洋が吸収してきた結果、これまでにpHは約0.1低下し、今後21世紀中にはさらに0.3程度低下するものと予測されている。

水に溶けた二酸化炭素は水と反応し、海水中では二酸化炭素と炭酸水素イオンと炭酸イオンがおおよそ1:100:10の割合で存在する平衡状態が成り立っている。この炭酸系溶液としての海水にはpH緩衝作用があり、たとえば二酸化炭素をさらに溶かした場合には、上記の存在比率

が炭酸イオンを減らす方向に変わることによって、pHの変動が抑制される。これは逆に言えば、わずかなpH変化が炭酸系物質の存在状態の大幅な変動を伴うことを意味する。

海洋生物には炭酸カルシウムの殻をもつものが多く存在するが、生物が殻を形成するためには海水が炭酸カルシウムについて過飽和であることが条件となる。炭酸カルシウムの溶解度は温度・圧力や海水組成に依存し、現在の海洋では上層は過飽和、深層は未飽和になっている。また、この過飽和と未飽和を分ける境界深度は海域によって異なり、南大洋(南極海)と北太平洋で特に浅い。海水の酸性化とともに生じる炭酸イオンの減少はこの境界深度を浅くする。産業活動による過剰な二酸化炭素排出が現状のペース

で続けば、21世紀末までに、まずは南大洋、続いて北太平洋亜寒帯域において、海面までが炭酸カルシウムについて未飽和になると予測されている。

21世紀末に相当する海水環境のもとで炭酸カルシウムの殻をもつ生物を飼育すると殻が溶けるという実験結果が存在する。いっぽう、これが即座に海洋生態系における大量絶滅を意味するかというと、生物の生理機能や優占種の変化については未知の部分が大きく、それほど単純な話でもない。理学系研究科では、地球惑星科学専攻の茅根創教授がサンゴに関連した研究を、大気海洋研究所に所属する複数の教員が観測・実験・シミュレーションを通じたさまざまな関連研究を行っている。



「有機太陽電池」

岡本 敏宏 (化学専攻 特任助教)

太陽電池という言葉は、最近、テレビ、新聞やインターネットなどのマスメディアでよく耳にする。現在、実用化されている太陽電池は、無機化合物（主にシリコン）からなる太陽電池である。これに対して、有機太陽電池とは、一般的に太陽光などを吸収、変換する層（光電変換層）に有機化合物を用いた太陽電池のことをよぶ。有機太陽電池の特徴は、無機太陽電池と比べて、簡便な製法、低生産コスト、柔軟性、軽量、そして構造の多様性などの点であり、世界中の研究者が躍起になって研究を行っている。

有機太陽電池は大きく2つに分類される。ひとつは色素増感太陽電池（以後、色素増感SC）、他方は有機薄膜太陽電池（以後、有機薄膜SC）である。色素増感SCは、スイス連邦工科大学ローザンヌ

校のミヒャエル・グレッツェル (Michael Grätzel) 教授らにより1991年に提案され、現在では太陽光エネルギーを電力に変換するエネルギー変換効率（以後、変換効率）が10%前半（シリコン太陽電池で20%後半程度）で将来の低コスト太陽電池として有望視されている。しかしながら、光電変換層に希少金属であるルテニウムや電解液を用いるため、地下資源、液体封止技術、寿命などの問題点がある。これに対して、有機薄膜SCは21世紀に入ってから、活発に研究がなされ、色素増感SCとは異なり、希少金属や電解液を用いることなく、有機合成により得られるさまざまな低分子から高分子までの材料を用いることができるといふ構造多様性に優れている。また、実用性という観点から、有機薄膜SCは、

色素増感SCよりも、さらに製法の簡便さが魅力的である。課題は、1桁後半の変換効率であるが、有機合成による新規材料開発や材料の集合体構造制御などによって、10%を越える変換効率を有する有機薄膜SC開発はそう遠くないだろう。

有機薄膜SCの研究に関して、本研究科では筆者が所属する光電変換化学講座（松尾豊特任教授）と化学専攻物理有機化学研究室（中村栄一教授）と共同で研究が行われており、世界最高レベルの性能をもつ有機薄膜SCに成功している。現在は、より実用化に向けた研究に取り組んでいる。有機化合物特有の性質である軽量かつ柔軟性を最大限に生かした有機太陽電池が、近い将来、日常生活の身近な部分で使われるようになることに大いに期待したい。



「中心子」

廣野 雅文 (生物科学専攻 准教授)

細胞の中では微小管というタンパク質繊維が形成と消失を繰り返し、細胞の分裂、形態変化、運動などに大きな役割を果たしている。動物細胞中で微小管形成の核として働く細胞小器官を中心体といい、その中心に存在する構造を中心子という。別名、中心小体、中心粒ともよばれる。中心体は中心子とそれを取りまく周辺物質 (Pericentriolar Material, PCM) から構成される。

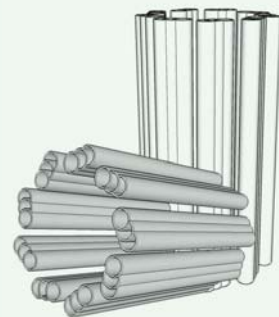
顕微鏡の改良が進んで細胞の内部が観察できるようになった19世紀末頃から、中心子は細胞の変化を誘導するかのようには振る舞う不思議な顆粒として注目されていた。細胞分裂の時期が迫るとそれを知っているかのように数を倍加させて紡錘体の形成に働き、精子になる細胞では細胞表層に移動して鞭毛形成の基部になる。倍加のさいには、新しい中心子が既存中心子の側面から出芽す

るように形成される、つまりそれ自体が生き物のように自己複製する点も謎めいていた。

電子顕微鏡で中心子を観察すると、9本の短い特殊な構造の微小管が円筒状に配置した、きわめて特徴的な構造をもつことがわかる (図)。特筆すべきは、この9回の回転対称形の構造パターンが原生動物からヒトに至るまで共通する普遍的なものだということである。酵母や植物の多くにはこの構造は存在しないが、それは進化の過程で失われたからだと考えられている。

この特徴的な構造が自己複製という過程を経てどのように構築されるのかは、いまだに解明されていない大きな謎である。しかし数年前からようやく形成機構とその制御機構に関わる分子が明らかになってきた。筆者のグループは、モデル生物クラミドモナスの中心子微小管が8

～11本に揺らぐ突然変異体を単離し、その解析から9回対称性の確立機構の一端を明らかにした。また、中心子の複製は細胞周期によって厳密に制御されているが、その機構にDNA複製や染色体分離を制御するのと同じ分子が働いていることなども明らかになりつつある。



中心子の微小管骨格構造。多くの生物の中心子は、中心子だけに見られる特殊な構造の微小管 (トリプレット微小管) が円筒状に9本並んだ構造をもつ。円筒の直径は約200 nm。図のような直交する2つの中心子の周りにPCMが付加したものが中心体。