



「ゲーム木検索」

美添 一樹 (情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻 助教)

人間と同様にゲームをプレイする機械を作るということは、人類のひとつの夢であるだけでなく、コンピュータの進歩の観点からも興味深い題材であり、多くの研究者の興味を引きつけてきた。

1997年にIBMのDeepBlueがチェスの世界チャンピオンを破った例が最も有名である。また、昨年情報処理学会50周年記念イベントとして行われた清水市代女流王将対コンピュータ将棋「あから2010」の対局では、コンピュータが勝利を収め、コンピュータ囲碁も近年急速に棋力を伸ばしている。

ゲーム木とはゲームの可能な手順を木によって表現したものである。将棋や囲碁のゲーム木のサイズは巨大であり、すべてをしらみつぶしに探索することは半永久的に不可能である。しかしゲームをプレイする場合には、制限時間以内に着

手を選択する必要がある。ゲーム木探索は、広大な探索空間に対してある程度のリアルタイム性を要求する、難しい問題である。

ゲームをプレイする場合には先読みと形勢判断が必要である。相手よりも深く先読みができて、正確に形勢判断ができれば負けることはない。

将棋ではalpha-beta探索を用いた先読みにより、通常の計算機でも1秒間で数十万から百万局面以上の先読みを行う。これに評価関数を用いた形勢判断を組み合わせることで、現在ではトッププロに迫る棋力を獲得している。評価関数とは局面の形勢を数値化するものである。近年は機械学習の理論に基づいて自動的に評価関数を作成する手法が主流になっており、開発者自身は将棋が強くなくとも、強い将棋プログラムを作

成することが可能となった。

囲碁は評価関数の作成が困難なゲームであるために、コンピュータにとって非常に難しいゲームとして知られていたが、2006年にモンテカルロ木探索が発明されたことによって急速に棋力が向上し、現在ではアマ五段近くに到達している。現在の筆者の研究テーマはモンテカルロ木探索の並列化である。alpha-beta探索は並列化が難しくスパコンの利用が難しいが、モンテカルロ木探索はスパコンを活用することにより大幅な性能向上が期待できる。コンピュータ囲碁がプロ棋士に迫るという予測も現実味を帯びてきた。

ゲーム木探索の進歩は、ハードウェアの進歩とそれを活用するアルゴリズムの進歩を象徴的に示す成果である。



「スピントロニクス」

藤森 淳 (物理学専攻 教授)

エレクトロニクスは電流や電圧を信号・情報として利用する技術で、電流、電圧は電子のもつ「電荷」から生じるものであるが、電子は電荷のほかに内部自由度である「スピン」をもっている。スピンは微小な磁気モーメントとして振る舞うため、スピンの向きも信号・情報として利用できるはずである。電荷だけでなくスピンの利用したエレクトロニクスをスピン・エレクトロニクス、あるいはスピントロニクスとよぶ。近年、実際にスピンを利用した電子デバイスが多く提案、試作され、スピントロニクスは次世代エレクトロニクスの候補として注目を集めている。

現在のスピントロニクス研究の源流のひとつは、磁性金属超格子における巨大磁気抵抗効果の発見である。超格子の電気抵抗が磁場で大きく変化することがグリュンベルグ(P. Gruenberg)とフェー

ル(A. Fert)により発見され、この2人に1995年のノーベル賞が与えられた。現在、磁気ディスクの読み取りヘッドは、巨大磁気抵抗効果を利用して、磁化として記録された情報を電氣的に読み出している。

半導体を用いたスピントロニクスは、非磁性の半導体に磁性をもつ遷移金属イオンを希薄にドーブした「希薄磁性半導体」の研究に端を発する。80年代末から90年代初頭にかけて、ガリウムヒ素などの半導体にマンガンをドーブした希薄磁性半導体が強磁性を示すことが日本の研究者によって発見され、半導体スピントロニクスが新しい学問分野として一気に開花した。

最近の新しい展開として、非磁性物質におけるスピンの振る舞いが興味を集めている。磁性イオンも、強磁性体も、磁場もなくとも、電子は運動すればスピン-軌道相互作用により「有効磁場」を感

じ、上向きスピンの電子と下向きスピンの電子は逆方向の力を受ける。このため、電流を流すと電流とは垂直方向に、電荷の流れを伴わない「スピン流」が生じ、これはスピンホール効果とよばれている。スピン流やスピン-軌道相互作用に起因する物理の研究はここ数年、トポロジカル絶縁体の研究、スピン熱電効果の研究なども含めて急速に発展しており、理解がどんどん深まるとともに、スピントロニクスへの応用が検討されている。

理学系研究科においては、希薄磁性半導体の開発を化学専攻の長谷川研究室が、その放射光分光を物理学専攻の藤森研究室が行っており、室温で強磁性を示す新しい物質の合成とキャラクターゼーションが進行している。



「金星のスーパーローテーション」 今村 剛 (宇宙航空研究開発機構 准教授, 地球惑星科学専攻 兼任)

赤道地方を含む広い範囲で惑星の自転と同じ方向の風が吹くことをスーパーローテーションという。地球のとなりの惑星、金星がよく知られている例である。地球の中緯度地域の上空にも自転と同じ方向に風が吹いているが、これは赤道地方の大気が角運動量を保持したまま高緯度側に移動し、自転軸までの距離が縮まるために回転が速くなると考えればよい。しかし金星のスーパーローテーションはそうはいかない。

金星の自転は地球とは逆向きで、周期 243 地球日というゆっくりとしたものである。この金星で、赤道から高緯度まであまねく自転方向の風が吹き、硫酸の雲が浮かぶ高度 60 km あたりでは時速 400 km に達する。これは自転速度の

60 倍に相当し、角運動量の保存では説明できない。土星の衛星タイタンでも似たような風が吹いていることが判明しつつある。どうやらスーパーローテーションは、地球の中緯度地域の風と並ぶ、惑星の風の基本型のひとつであるらしい。スーパーローテーションの問題は、地球ではなぜスーパーローテーションではなく今われわれが見るようなパターンが選択されているのかという、地球気象学の問題でもある。

このしくみを解き明かすことは気象学者の 50 年来の夢であり、数多の仮説が提案されてきた。ハドレー循環という、赤道域で上昇し中高緯度で下降する大規模な流れに注目する理論が長らく有力視されてきたが、最近は旗色が悪い。代わっ

て期待大なのが、雲層が太陽光で周期的に加熱されることで励起される波動に注目する理論で、本研究科地球惑星科学専攻の高木征弘助教が研究をリードしている。いっぽう、新たな観測で謎に迫ろうとするのが金星気象衛星「あかつき」であり、この衛星計画には高木助教とともに同専攻の岩上直幹准教授と筆者が参加している。

「あかつき」は 2010 年 12 月に予定されていた金星周回軌道への投入に失敗し、数年後に再び金星に会合することを目指して太陽の周りを公転している。「あかつき」のつまずきによりスーパーローテーションの解明は少し先延ばしになったかもしれない。



「グラフェン」 田中 秀幸 (化学専攻 特任助教)

グラフェンとは sp^2 混成炭素原子が六角形のハニカム格子を形成し、原子 1 個分の厚みをもつ 2 次元シート材料のことである。グラフェン単層シート内では自由電子が質量を持たないかのように振る舞うため、シリコン半導体の 100 倍以上に相当する数十万倍 cm^2/Vs 以上のキャリア移動度を示すといわれる。単層シートが金属的な性質を示すのに対して、2 層シートでは有効質量をもち半導体的な性質を示すようになる。新奇な電気特性に加え、大きな熱伝導率、機械的強度も高いことから幅広い分野への応用が期待され、急速な研究開発が行われている。

2004 年に英国マンチェスター大学の物理学者がグラフェンの単離に成功するまで、このような 2 次元材料を作製す

ること、存在することは不可能であると考えられてきた。最初に示された手法はスコッチテープでグラファイトからはがしとるだけの物理的で簡便な手法であったが、最近では、化学修飾した酸化グラフェンによる単離手法、さらには化学気相成長による大面積グラフェン膜の作製が可能となっている。

グラフェンは本質的に 2 次元のシートだが、実際の単層シートは平坦ではなく、わずかにしわが寄ったさざ波状の構造(リップル)をとる。このリップルは 2 層シートではそれほど目立たず、多層シートでは完全に消失することから、極薄炭素膜の安定性に影響を及ぼしていると考えられている。マイカ表面上にグラフェンを堆積させると超平坦グラフェンが得られることから、リップル形成は高

品質グラフェンの本質的な特徴ではないと考えられ、リップルが及ぼす物理特性や電気的特性への影響が明らかになりつつある。

また最近では、グラフェンを化学修飾してさまざまな構造や特性をもつ誘導体が合成されている。グラフェンを水素プラズマに曝したグラフェンでは、水素化による sp^3 炭素-水素結合の形成によって半金属な性質から絶縁性に変化する。この水素化反応は可逆的で、熱アニールによって導電性を回復することができることから水素貯蔵への利用も期待されている。

本研究科では、化学専攻の物理有機化学研究室(中村栄一教授)、物理学専攻の青木秀夫教授の研究室でグラフェンに関連する研究が行われている。



「獲得免疫と自然免疫」

野中 勝 (生物科学専攻 教授)

ヒトを含む哺乳類の免疫機構は、獲得免疫と自然免疫に分けられる。

獲得免疫は、後天的に外来異物の刺激に応じて形成される免疫であり、高度な特異性と免疫記憶を特徴とする。異物を認識するのは、リンパ球がつくる抗体やT細胞受容体で、それらの遺伝子はリンパ球の分化過程で、細胞毎に異なる遺伝子再編を行うことにより、全体としては驚異的な認識多様性を実現している。個体の発生過程では自己成分と反応するB細胞やT細胞も出現するが、このような細胞は淘汰され、自己成分を除くあらゆるものを認識できるレパートリーが形成される。そこへ外来異物が侵入し、反応するリンパ球だけが特異的に増殖するのが獲得免疫反応である。

いっぽう、自然免疫は、先天的に備わっ

た免疫であり、異物認識は微生物などに固有の分子パターンを標的に行われており、認識分子である補体成分の一部・レクチン・Toll様受容体などは、ゲノムにコードされたままの形で使われている。従来、獲得免疫の補助的な役割を果たすにすぎないと考えられていたが、近年、微生物などの感染にさいし初期の自然免疫の発動がなくては獲得免疫も始動しないことや、獲得免疫は脊椎動物に固有で、大部分の動物は自然免疫のみに頼っていることが明らかになってから注目されている。獲得免疫と比較して特異性では劣り、免疫記憶も存在しないが、病原体の侵入に対して即時に対応でき、また自己にない分子パターンを直接認識する方法は素朴であるが破綻しにくい。獲得免疫は高度な異物認識レパートリー形成方法

をとるが、破綻して自己免疫疾患にいたる危険性を有するのと対照的である。

進化的に見た場合、獲得免疫はひとつのシステムとしてまとまりがよく、その主要な遺伝子のほとんどは有顎脊椎動物の共通祖先の段階で一斉に出現したと考えられている。それに対して、自然免疫に関わる遺伝子の進化的起源はまちまちで、脊椎動物の出現するはるか以前から存在していたものも多い。

本研究科では、最近脊椎動物のヤツメウナギで見つかった第二の獲得免疫系で中心的な役割を果たすVLR遺伝子の、多様性創出の分子機構の解析が坂野研究室で行なわれている。また、筆者の研究室では自然免疫機構のひとつである補体系の進化的起源に関する研究が行なわれている。

あとがき

今年度のはじめから、横山央明さんのピンチヒッターとして、広報誌編集委員になりました。広い知識を要する仕事が出来ない私でしたが、記事の執筆者と他の委員のご支援によりなんとかピンチヒッターの役目を満了することができ

ました。研究の上では接点のほとんどない方々と出会い、他の分野の研究の最前線の分かりやすい記事を読んだことができて本当に有意義な時間を過ごせました。しかし、楽しかったことと同じくらい、苦い経験もありました。いつか私が

広報誌の記事を書くときがきたら、委員の皆様の気苦労を感じながら書くことができそうです。短い間でしたが、ありがとうございました

吉川 一郎 (地球惑星科学専攻 准教授)

第42巻6号

発行日：2011年3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

編集：理学系研究科広報委員会所属 広報誌編集委員会 (e-mail: rigaku-news@adm.s.u-tokyo.ac.jp)

牧島 一夫 (物理学専攻) maxima@phys.s.u-tokyo.ac.jp

吉川 一郎 (地球惑星科学専攻) yoshikawa@eps.s.u-tokyo.ac.jp

野崎 久義 (生物科学専攻) nozaki@biol.s.u-tokyo.ac.jp

加納 英明 (化学専攻) hkano@chem.s.u-tokyo.ac.jp

斉藤 直樹 (総務チーム) saito.naoki@mail.u-tokyo.ac.jp

小野寺正明 (広報室) onodera.masaaki@mail.u-tokyo.ac.jp

広報・科学コミュニケーション：

横山 広美 yokoyama@sp.s.u-tokyo.ac.jp

HP担当：柴田 有 (情報システムチーム)

shibata.yuu@mail.u-tokyo.ac.jp

HP & ページデザイン：宇根 真 (情報システムチーム)

une.makoto@mail.u-tokyo.ac.jp

印刷：三鈴印刷株式会社