一般市民の力を活かす新しい科学

People power

ERIC HAND 2010年8月5日号 Vol. 466 (685-687)

タンパク質、宇宙線、天文学、人類考古学などの領域で、一般市民の頭脳を活かすネットワークが実際に機能するようになり、新しい科学の進め方として飛躍のときを迎えている。

タンパク質の折りたたみ問題

ワシントン大学（米国シアトル）の生化学者 David Baker によれば、すべては偶然から始まった。それは 2005 年のことで、彼は同僚と共に Rosetta@home という分散コンピューティングプロジェクトを公開したばかりだった。このプロジェクトでは、ボランティアが小さいソフトウェアをダウンロードし、パソコンの空き時間にプロジェクトの計算を行わせる。Rosetta@home でダウンロードされるプログラムは、タンパク質の折りたたみ（フォールディング）という、難しいことで悪名高い問題を解くためのものである。アミノ酸が連なった長い鎖をさまざまな方法で折りたたみ、内部の応力や変形が最小になるような三次元構造を決定すると、おそらくそれがタンパク質の天然構造となる。ユーザーが希望するなら、コンピューターが定められた規則に従ってタンパク質を引っ張ったりねじったりして好ましい三次元構造を見つけ出そうとするようすを、スクリーンセーバー上で眺めることもできる。

Baker によると、当時 Rosetta@home に参加していたボランティアは数千人であったという。彼はこのことをありがたく思っていたが、意外だとは思ってなかった。この種のデジタル市民科学は、既に珍しいものではなくなっていたからだ。これを初めて広めたのは、カリフォルニア大学バークレー校（UCB；米国）の SETI@home プロジェクトだった。1999 年に公開されたこのプロジェクトは、ボランティアのコンピューター

を利用して、電波望遠鏡のデータの中から地球外知的生命体が発した信号を探し出す、というものだった。2002 年には、UCB のエンジニアたちが、このソフトウェアの汎用版である BOINC (Berkeley Open Infrastructure for Network Computing) をリリースした。その結果、2005 年には Rosetta@home をはじめとする数十の BOINC プロジェクトが稼働していて、全世界に数十万人のユーザーがいたのである。

Baker を驚かせたのは、Rosetta@home のスクリーンセーバーを眺めていたボランティアたちが、短期間のうちに、コンピューターが地道に作業を進めるようすをじれったく感じるようになったことだった。「彼らは、『こういうふうに折りたためば、もっとうまくいくじゃないか』と、書き込みを始めたのです」。

今にして思えば、これは自明のことだった。タンパク質は小さいものでも数百個のアミノ酸からできているため、コンピューターが最適なエネルギー状態を見いだすためには、数千種類の自由度をひとつひとつ検討していかなければならない。しかし、空間操作能力が高度に発達している人間は、しばしば直感的に答えを見いだすことができるのだ。

予想外の好機をつかんだことを悟った Baker は、同僚のコンピューター科学者の協力を仰いで、Rosetta@home の新しいインターフェースを製作した。彼らは 2008 年の中ごろまでに、コンピューターによる計算にユーザーが手を貸せるようにするとともに、この作業を「Foldit」

というオンラインゲームにして、ユーザーのやる気を刺激できるようにした。Foldit では、タンパク質を折りたたむプレイヤーたちは、互いに競争し、協力し合い、戦略を立て、ゲームポイントを貯めて、次のレベルに進むことができる。

この作戦はうまくいった。Baker らは Nature 2010 年 8 月 5 日号で、Foldit のトップクラスのプレイヤーたちが、コンピューターよりもうまくタンパク質を折りたためることを裏付ける証拠を発表した。トップクラスのプレイヤーたちは、互いに協力し合うことで、しばしば全く新しい折りたたみ方法を考え出す。Baker は、「人間の計算能力は途方もない量になります。私たちは、それを利用しようとしているのです」といい、Rosetta のアルゴリズムに人間の巧妙な戦術を取り入れている。

分散思考プロジェクト

Foldit は、問題解決に人間の頭脳を利用することにより、BOINC の分散コンピューティングの概念を全く新しいレベルに引き上げた。そうしたプロジェクトは Foldit のほかにもいくつか登場しており、「分散思考プロジェクト」とよばれることもある。現在、このアプローチに基づく研究発表の件数が増えてきている。

ペンシルベニア大学（米国フィラデルフィア）のコンピューター科学者

Michael Kearns は、「人間の計算とコンピューターの計算を組み合わせる、新しい時代が始まろうとしているのです」という。彼は、2008年に米国国防高等研究計画局（DARPA）の資金提供を受けて行われた未発表の研究の一環として、分散思考の概念の評価を行った。Kearnsによると、このアプローチが最も有望視されているのは、視覚、言語、複雑な論理パズルの領域であるという。これらの領域では、今後もしばらくは人間がコンピューターよりも優位に立ち続けるだろうと考えられているからだ。

UCBのコンピューター科学者であり、BOINCの創設者であるDavid Andersonは、このアプローチが主流になるのはまだまだ先のことになるだろうと認めている。彼によると、多くの懐疑的な科学者が、「何らかの理由でこれらが制御できなくなり、重要性が減じるだろうと考えている」という。

しかし、分散思考の主唱者である欧州原子核研究機構（CERN；ジュネーヴ郊外）の物理学者François Greyらは、その将来性をほとんど疑っていない。2010年7月、Greyの協力により、分散思考プロジェクトの促進を目的とする市民サイバーサイエンスセンターがジュネーヴに設立された。センターが特に重視しているのは発展途上国である。Greyは現在、中国で分散コンピューティ

ングプロジェクトの準備に当たっており、9月にロンドンで開催された、科学者によるこの新しいアプローチの利用を促進するためのワークショップの準備も手伝った。

「分散コンピューティングプロジェクトには往々にして、娯楽目的や宣伝目的といった、怪しげなイメージが付きまといまう」とGreyはいう。「私たちは、そうした偏見を打ち破ることから始めなければならないのです」。

宇宙・天文学でも実績

UCBの物理学者であるAndrew Westphalの分散思考プロジェクトへの道のりは、20年近く前に、TREKという宇宙線実験の主任研究者であったときから始まっていたといつてよい。

TREKの実験装置は、1991年にロシアの宇宙ステーション「ミール」の外側に取り付けた特注のガラス板からなっていた。宇宙線粒子がこのガラス板に衝突すると、顕微鏡サイズの飛跡が残る。宇宙空間にさらされたガラス板が1995年に地上に持ち帰られると、Westphalらは化学エッチング処理により飛跡が現れるようにした。この飛跡を確認するため、彼らはガラス板を顕微鏡で自動的に走査し、画像を記録していった。しかし、画像認識ソフトには飛跡を識別できるほどの性能はなかったため、人間がすべての画像を見て、飛跡を数えなければならなかった。それは耐えがたい作業だったとWestphalはいう。「どんなにがんばっても、気が散ってしまうのです。今日の昼食はどうしようとか、そんなことを考え始めてしまうのです」。

Westphalが後にNASAの「スターダスト」ミッションに参加したときにも、この作業のつらさが頭にあった。1999年に打ち上げられたスターダスト探査機は、ヴィルト2彗星のサンプルを収集して地球に送り返すことになっていた。探査機は、2004年に彗星に到達するまでの間に星間塵^{せいがんじん}の収集も行うことになっていて、Westphalがかかわったのは、

こちらのミッションのほうだった。宇宙空間にさらされるサンプル収集装置は低密度のエアロゲルからできていて、猛スピードでぶつかってくる星間塵を破壊することなく減速して捕獲することができた。Westphalらは、収集装置は100個ほどの顕微鏡サイズの星間塵を捕獲できるだろうと確信していた。ここで再び、エアロゲルがとらえた星間塵を見つけるという作業をすることになる。

残念なことに、その作業は非常に困難で、これに比べればTREKの作業など何でもないと思われるほどだった。探査機のサンプルリターンカプセルが2006年1月に地球に帰還すると、WestphalはTREKで活躍した自動イメージング顕微鏡を再度使って、エアロゲルの画像を160万点作製した。これは、1人ですべて確認していたら1世紀かかるほどの量である。そこで、Westphalとそのチームは8月にStardust@homeを立ち上げた。これは、「ダスター」とよばれる数千人のボランティアのパターン認識能力の助けを借りるプロジェクトで、現在も続いている。

このプロジェクトの名称に@homeという文字が入っているのは、BOINCボランティア計算プログラムに敬意を表しているからだ。Stardust@homeは先駆的な分散思考プロジェクトの1つである。当然、運用を開始した当初は、多

Bruce Hudsonは科学者ではないが、NASAの「スターダスト」ミッションでエアロゲルにとらえられた星間塵粒子を最初に発見し、これにオリオン（挿入図）とシリウスと名付けた。

くの問題を解決しなければならなかった。例えば、もろいエアロゲルのひび割れや元からエアロゲルに混入していた地球上の微粒子を星間塵の飛跡と勘違いしないように、ダスターたちを訓練しなければならなかった。また、熱心に作業をしてくれるのは一部のボランティアだけで、ほかの人々はすぐにやる気を失ってしまった。不正をするボランティアもいた。ボランティアのやる気を起こさせるためにスコアカードを設定したところ、1位になるために多くの画像をいい加減に見る者が現れてしまったのだ。

Westphal は、Anderson との協力の中で、すべての実験装置と同じく、ボランティアも校正してから利用しなければならないことを理解した。彼らは、ボランティアひとりひとりの技術レベルを決定する方法を見つけ出し、そのレベルが時間とともにどのように変化するかを評価し、1つの画像につき何人のボランティアが同じ結論に達したらその結果を信用してよいかを決めなければならなかった。

参加する市民、進化するソフト

カナダのオンタリオ州ミッドランドに住む Bruce Hudson にとって、Stardust@home は理想的な暇つぶしだった。彼は、2003 年の脳卒中により右半身のほとんどが麻痺していた。コンピューターゲームでさえあまりおもしろいと思えなかった彼が、なぜか、延々と続くエアロゲルの顕微鏡写真の観察に夢中になった。以前はカトリックの聖堂の管理人として働いていた Hudson は、「私は昔から、星とか惑星とか、そうしたものの全般が好きだったのです」という。彼は当時、このプロジェクトのために 1 日 15 時間も費やしていたという。

Hudson の勤勉さは確かな実を結んだ。2010 年 3 月に米国テキサス州ヒューストンで開催された月惑星科学会議で、Westphal により、「最初の星間塵と思われる粒子は Hudson が発見した」と発表されたのだ。実際には、それは 1 つの飛

跡の中にある一対の粒子だった (*Nature* doi:10.1038/news.2010.106;2010 参照)。この粒子にオリオンとシリウスと名付けた Hudson は、「いまだに信じられません」という。Westphal は既に、Stardust@home の新しい世代のボランティアたちの見込みを校正するために、オリオンとシリウスのユニークな特徴を利用している。

一方、Anderson は BOINC のときと同様に、Stardust@home ソフトウェアの汎用版を製作して、科学者たちがほかの分散思考プロジェクトに利用できるようにしようとしている。彼はその成果を Bossa とよんでいるが、これは頭字語でも何でもないという。彼はその理由を、「何でもかんでも頭字語にするのにうんざりしてしまったからです」と説明している。

Anderson は、Bossa をオープンソースのフリーソフトウェアにして、どの科学者でも、自分が頼みたい作業に合わせて利用できるようにしたいと考えている。BOINC については、現在稼働中のプロジェクトが 68 もあり、全世界に 200 万人近いユーザーがいるが、彼は Bossa もこれに匹敵する多様な用途があると考えている。

UCB の古生物学者 Tim White は、早速 Bossa に興味を示した。彼は、アメリカ東部のグレートリフトバレーで初期のヒト科動物の化石を探す研究などを行っている。彼のチームは数十年前から同じスタイルで化石探しをしてきた。すなわち、表面温度が 50 度にもなる乾燥した砂漠にはいつくばって、精神を集中させて、ゆっくりと探すのだ。しかし、彼らが計画している Bossa を利用したプロジェクトでは（彼らはそれを Hominids@home とよぶことにしている）、作業の多くは、画像の中で白く輝く骨を探すボランティアによって引き継がれる予定である。「モニターの前にいる子どもには、コロブス（オナガザル科の旧世界ザル）の歯とヒヒの歯の違いはわからないでしょう」と White はいう。

「けれども、それが歯であることはわかるはずです」。

参加者のスキルと関心度を上げる方策

2007 年にオックスフォード大学（英国）で始まったオンライン天文学プロジェクト「Galaxy Zoo」は、かなり異質な方針を採用している。共同創設者の Chris Lintott によると、このプロジェクトは Stardust@home の影響をじかに受けているという。「星間塵でさえ見てくれる人がいるのだから、私たちの美しい銀河の画像は絶対に見てもらえると思ったのです。彼らが見てもらいたがっているのは、スローン・デジタル・スカイサーベイ国際コンソーシアムが収集した数百万点の画像である。

彼らがボランティアに求めているのは、画像に写っている銀河の形が渦巻であるか楕円であるかを目で見決めてもらうことである。コンピューターは、このような作業にはほとんど役に立たないからだ。Galaxy Zoo プロジェクトは既に 125 万の銀河を分類し、17 本の論文

David Baker のオンラインゲーム「Foldit」は、ボランティアの基本的な問題解決能力を利用してタンパク質の三次元構造を解いている。

を発表しており、つい最近、ハッブル宇宙望遠鏡からのデータによる銀河の分類という、新しい段階に入った。

Lintott はプロジェクトを拡大して、銀河の分類だけでなく、銀河の融合、超新星、太陽嵐、月のクレーターの特定など複数のプロジェクトからなる「Zooniverse」を創設したが、それと同時に、ボランティアを強く選り好みするようになった。これは、Bossa を開発した Anderson が、誰でも何でも試せるようにしたいと考えているのとは大きく異なる姿勢である。Lintott は、Bossa のプロジェクトの拙速さが、結局、市民科学者の好意を無にってしまうのではないかと懸念している。「私たちは、誰でもボランティアになれる場所ではなく、参加者が一定のレベルでかわりをもてる場所を作りたいのです」。

当然ながら、Anderson はそうは考えない。彼は、Galaxy Zoo が分散思考を利用することは歓迎しているが、その「閉鎖的」なアプローチには首をかしげる。「Galaxy Zoo は、個人科学者が柔軟に

対応することを許していないのです」と彼はいう。

Baker によると、Foldit も Stardust@home がヒントになっているという。しかし、Stardust@home や Galaxy Zoo との類似点はそれだけだ。第一に、Foldit のプレイヤーが請け負っているのは基本的な画像認識や分類作業ではない。彼らは、非常に難しい最適化問題を、直感的に解いている。Baker によると、このプログラムは人間に特有の3つの能力を利用しているという。それは、優れた空間認識能力と、長期的な利益のために短期的な危険を冒す能力と、早い段階で行き詰まりを認識し、やめ時を知る能力である。

Foldit のデザイナーがゲームの要素をより真剣にとらえていることも、重要な違いである。チャットルームがあり、wiki があり、徐々にレベルが上がってプレーが難しくなっていく Foldit には人々を夢中にさせるところがあり、この点で Galaxy Zoo とも Stardust@home とも異なっている。Baker に協力しているワシントン大学のコンピューター科学者の Zoran Popović は、本当の意味でプロジェクトに貢献するために必要なスキルをボランティアに速やかに身に付けさせるには、その興味を引きつけて離さないようにしなければならないと指摘する。「それは刺激的で魅力的な経験でなければならない、常に同じであってはならないのです」と Popović はいう。

ゲームにも限界はある。Kearns がいちばん心配しているのは、人間の能力を利用した計算が至るところで行われるようになるにつれ、「人々がこうしたネットワークに参加することをすばらしい経験とは感じなくなり、自分は搾取されていると感じるようになってしまうこと」であるという。科学者は将来、ボランティアを確保するために、多くの人が忌み嫌っていることをせざるをえなくなるかもしれない。それは、報酬を支払うことだ。「この分野に関して、1つの経済学が生まれるかもしれません」と Kearns はいう。

高いレベルの貢献も現れた

今のところ、献身的なボランティアがまだ大勢いる。Scott 'Boots' Zaccanelli は、そのうちの1人である。テキサス州マッキニー（米国）に住む彼は、本業はバルブ工場の仕入れ係だが、ロデオ大会や農産物共進会やフリーマーケットにマッサージチェアをもって出かけていく、「Good For You Massage Therapy」という個人事業も営んでいる。そのうえ、2008 年からは Foldit に熱中している。「ほとんど毎晩やっています」と彼はいう。生物学の学士である彼は、その知識を活用して Foldit の世界ランキング6位に入っている。「間違った折りたたみは、見ただけでわかります」。

Zaccanelli のようなプレイヤーの技術は、Baker に強い印象を与えた。Baker は今、タンパク質の折りたたみから一歩進んで、全く新しいタンパク質を設計する機会を彼らに提供している。具体的には、光合成のための新しい触媒の検索、HIV や H1N1 インフルエンザウイルスなどの病原体と結合できるタンパク質の検索などがそれに当たる。

その一環として、既存のものより安定なフィブロンネクチン（抗体様化合物の作製に役立つ足場タンパク質）の変異体を作製せよというクイズが出題されている。2009 年の10月、Baker は Zaccanelli が設計したものが有望そうだと考えて、研究室で合成してみた。プレイヤーのレシピが試されたのは、これが最初だった。こうして合成された Zaccanelli のフィブロンネクチンは、既存のものと比べて特に安定しているということはなかったが、Baker は、プレイヤーが要望どおりのタンパク質を設計するのは時間の問題だと考えている。

Baker の期待は、Zaccanelli のモチベーションを高めるのに役立っている。「この私が、がんやエイズや風邪の治療法の開発に貢献できるかもしれないのです」。

（翻訳：三枝小夜子）

Eric Hand はワシントン D.C. 在住の Nature の特派員。