

人間に代わって、コンピュータが答えを導き出す。

情報学をベースとして、人工知能の研究がNIIでも盛んに行われている。

研究の向かう先にあるのは、さまざまな学問との融合やWebサービスの進化。

豊かな社会づくりに不可欠な「知」として、人工知能研究は今、大きな注目を集めている。

NII Interview

推論で生命活動の謎解きに挑む

人工知能が仮説を立て、
実験し、確かめる

吉田 コンピュータというと、決められた規則に沿って計算するのは得意だけれど、規則外のことはお手上げ、という印象があります。井上教授が研究されているのは、それを超えた仕組み、つまり結論に到達するために必要な規則をコンピュータが推測し「仮説」として考え出すものです。それを現在はシステム生物学という分野に応用されていますが、まずは推論による仮説の発見とはどういうことか、聞かせてください。

井上 有名な三段論法の例としてA「人間は死ぬ」B「ソクラテスは人間である」C「ソクラテスも死ぬ」を考えてみましょう。Aは大前提あるいは規則、Bは小前提、Cは結論です。まず一般的な原理としてAがあり、Bはその条件を満たす個別事実であることから、個別の結論であるCもまた正しいことを導くのが三段論法の論理です。この時、Aの「人間は死ぬ」とCの「ソクラテスは死ぬ」の二つしかない時、これを成り立たせるにはどのような前提を付け加えればいいでしょうか？

吉田 「ソクラテスは人間である」という小前提ですか？

井上 そうです。「ソクラテスは人間である」という「仮説」を推論で立て、それが正しいか確かめればよいのです。これを、アブダクション(※1)と呼んでいます。逆に、B「ソクラテスは人間である」とC「ソクラテスは死ぬ」からAの「人間は死ぬ」という大前提を見つけるものはインダクション(※2)、帰納と呼ばれています。

吉田 何かを発見するのは人間ならではの創造的な思考だと思うのですが、この場合コンピュータがそれまでなかった新たな仮説を創り出すということですか？

井上 論理的に可能であるような、隠された関係を推測するものですが、それが人間にとっては新しい仮説を創造することに相当することも、原理的にはあり得ます。

吉田 そのような推論による仮説発見の分野は新しいのですか？

井上 いえ、計算機分野では20年以上も前から研究されています。しかし、私の研究の新しい点は、知識が欠けている場合にも、うまく働くことです。

海外の研究者に見いだされ、
システム生物学の世界へ

吉田 井上教授ご自身は、推論の世界にどのような経緯で入られたのですか？

井上 学生時代の専門は、アルゴリズムでした。問題を速く効率的に解くために、使う計算の種類や組み合わせ、手順などを考えるものです。一方、ゲームの探索についても興味がありました。こちらは、相手に勝つという最終目的を達成するために、刻々と変わる状況の中でどのような手を展開していけばよいか、膨大な選択肢から選ぶ作業です。このお手本は人間の知能です。

吉田 どちらかという機械的な計算手法の分野ですが、これらが論理の世界へと入るバックグラウンドになっているのですね。

井上 その後、将来には何が起るのか、あるいは過去に何が起こったのかなど、より広く知的な活動に対応できる手段として、知識が不完全な下での推論方式のための理論に興味を持ちました。

吉田 現在につながる研究の流れが生まれたのはいつごろですか？

井上 2001年ごろです。以前発表した仮説発見手法が、英国のポストゲノム研究グループの目に留まり、問い合わせが来しました。ロボットを使って、遺伝子の機能推定に関する仮説生成、その仮説に基づいた実験の計画、実験実施、その結果からのフィードバックまでを自動的に行うという野心的な研究で、その仮説生成の理論背景に私の手法が使えるのだとのことでした。その後、フランスの研究者からも同様の問い合わせがあって共同研究したこともあり、われわれが開発した「SOLAR(※3)」という手法の本格的な応用を始めました。この時に選んだテーマは、代謝経路における酵素の反応に関して、何が反応を促進し、何が阻害要因になっているかを発見することでした。

吉田 計算機を使った学習や仮説発見の手法がさまざまなある中で、SOLARの特長は何ですか？

井上 かなり広い問題のクラスにおいて論理的に可能な仮説を列挙できることです。とくに、これまでに既存の理論やデータに欠けている部分を仮説として補完できる機能を実現している仕組みは他にはありません。これを実現するためには、無駄を省き、効率的



井上 克巳
Katsumi Inoue

国立情報学研究所
情報学プリンシプル研究系 教授

に有力な仮説の候補を見つけ出す必要があります。不十分な前提から結論を導き出す時、補完すべき候補は多く考えられます。しかしそれを一つずつ確認していたら膨大な時間がかかります。場合によっては候補は爆発的に増え、実用的な時間では解けないこともあります。それを回避するため、候補の有望性を確率的に評価してランキングし、上位から実験で確かめたりするような仕組みを取り入れたりしています。

吉田 アルゴリズムやゲーム探索といった、計算機科学の技術が総合的に生かされているということです。こうして生まれたSOLARがシステム生物学にも応用されているとのことですが、システム生物学とはどのような学問なのでしょう。

生物の働きの ミッシングリンクを探す

井上 生命活動を、さまざまな要素が絡み合って構成している一つのシステムとしてとらえ、全体的に理解する学問です。

吉田 これまでの生物学は、ミトコンドリアは細胞の呼吸に関係していたり、リボソームはDNAをコピーして新しいたんぱく質を作り出したりといった機能解明が主というイメージがありますが。

井上 個々の組織や部品を切り分けてその働きを解明する研究はこれまでの生物学の中心であり、今も主要な営みです。一方システム生物学は、細分化したものを再び一つにまとめ上げていく統合を目指しています。

吉田 生物を構成する、臓器や、その中の細胞、神経、DNA、酵素、分泌物質など大小さまざまなレベルのものをまとめて相手にするのですか？

井上 そうですが、全部をまとめることはすぐには実現できません。まずはある機能に限定したとしても、構成要素そのものがどのように働いているかということに加えて、構成要素間の関係がどうなっていて、それらの関係が全体としてどのような機能を実現しているかを探ることが重要です。例えば細胞内では、呼吸などの代謝や変化を起こすため、あるいは反応を抑えるためにシグナルが伝達され、遺伝子の発現や抑制の制御が行われています。これらは、多数の要素が複雑に絡み合ったネットワークとして機能しています。また、一つの要素は他のネットワークにも属して

いたり、ネットワーク同士で影響を与え合ったりするなど複雑な重層構造になっています。生物という一つのシステムの中で各要素が互いにどのように関連して働いているか、モデルを作り、計算機でシミュレーションを行って検証するのがシステム生物学です。

吉田 システム生物学において、計算機はどのように有効に使われるのですか？

井上 現在では、遺伝子の働きなどがどんどん解明されており、膨大なデータが蓄積されています。このようなデータを扱うために計算機は必要不可欠ですが、一方で全体を統合的に把握するためには、まだまだ分かっていない「ミッシングリンク」も多いのです。

吉田 だから計算機による推測と仮説発見が大切なのですね。取り組みの具体例にはどのようなものがありますか？

井上 例えば紫外線による皮膚がんの発生メカニズムがあります。紫外線を浴びると、皮膚のDNAが傷つきます。異常な皮膚細胞が増えようとがんにつながり、p53というがん抑制遺伝子が存在します。主役はp53ですが、実際には数多くの反応が連鎖して働いていて、p53が他のたんぱく質と結合して変異すると逆にがん化を促進することもあります。こうした仕組みは複雑で、制御ネットワークを補完することで新しいがん抑制遺伝子を発見することが期待できます。

吉田 最後に将来の目標についてお聞かせください。

井上 こうした研究の究極の目的である、人類にとって未知で有用な仮説の発見につながればと思っています。そのためには、システムを広く使ってもらうことも必要です。生物学の研究者と話していると、大量の情報処理の必要は感じていても、システム生物学についてはまだ十分に知られていない感じがします。膨大なデータを扱うシステム生物学で、仮説発見システムが隠れたメカニズムを見いだす有用な道具として貢献できると思いますし、応用の機会が増えれば、そこから成果が生まれていくと思います。

※1 アブダクション(abduction): 論理学では仮説的推論という意味で用いられる。

※2 インダクション(induction): 帰納。アブダクションとともに、不完全な知識からの推論形式。

※3 SOLAR: 与えられた知識(論理式)の集合から、結論を効率的に導き出すシステム。これを変形すると、足りない知識(仮説)を導き出すことができる。



吉田 典之
Noriyuki Yoshida

読売新聞東京本社
編集局科学部記者

インタビュアーの一言

推論や仮説の発見は人間の専売特許と思っていた。計算機はそれをさらに高速、緻密にこなすようになってきた。このままでは人間の出る幕はなくなっていくのではないか。そんな疑問を井上教授は明確に打ち消した。「もっと上から見たり、違うところからヒントを得たり、人間の出番はずっとある」。それは、生命と機械両方の本質にかかわる部分で研究する立場から生まれた言葉だろう。生命活動とよばれるシステムを解明するなかで、その奥深さや素晴らしさがさらに明らかになっていくのではないか。そんな予感がした。