

# 新井仁之氏の受賞によせて

俣野 博（東京大学大学院数理科学研究科）

このたび、新井仁之氏が平成 20 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞（研究部門）を受賞されたことは、まことに喜ばしいニュースでした。本賞は、「我が国の科学技術の発展等に寄与する可能性の高い独創的な研究または発明を行った個人またはグループ」に対して授与される賞で、数学の研究分野での受賞は今回が初めてです。それだけに、新井氏の受賞は各界から注目されています。

今回の受賞の対象となった新井氏の業績は、「視覚と錯視の数学的新理論の研究」です。新井氏は、これまでよくわかっていなかった視覚の情報処理の仕組みを数学的に表現する非線形数理モデルを開発し、これを用いてさまざまな錯視発生のメカニズムを統一的な視点から解明することに成功しました。同氏の仕事は、錯視の研究に大きく寄与したにとどまらず、視覚科学の世界に新しい数理的アプローチを導入した点で画期的といえます。

新井氏が視覚と錯視の研究を始めたのは 2001 年頃のことです。それまで同氏は抽象的な実解析の専門家として知られていました。強擬凸領域上の調和解析などの研究でめざましい成果をあげ、1997 年に日本数学会賞春季賞を受賞しています。しかしその後、同氏は偶然的な経緯から錯視の魅力のとりこになり、この方面の研究をリードする存在となりました。研究分野の思い切った大転換ではありましたが、独自の世界を切り開く気概とそれを支える力量は、新井氏の研究に一貫しています。

## 業績の概要

新井氏の研究は、すでに新聞記事や本で紹介されており、ご存じの方も多いと思いますが、概要を述べておきます。

人が物を見るとき、網膜に達した光の刺激は視神経を介して大脳内の視覚皮質に伝えられ、そこで種々の情報処理が施されます。視覚皮質は幾つかの部分に分かれていて、さまざまな機能分担を行っていると考えられています。網膜からの情報はまず V1 野（一次視覚皮質）と呼ばれる部分で処理され、そこから他の領野に送られます。したがって V1 野は視覚の情報処理の基本となる重要な部分であり、新井氏が今回の研究で着目したのもこの V1 野の働きです。

視覚の情報処理が行われる脳内の場所は特定されているのに対し、どのようなアルゴリズムで情報処理が行われるかについては、これまでほとんど未解明でした。新井氏は、V1 野で行われる情報処理がウェーブレット解析であるという確信のもとに研究を続け、さまざま苦労を重ねた末、ついに視覚処理に適したタイプのウェーブレットを見つけ、これを用いて視覚の非線形数理モデルを構築することに成功しました。

ウェーブレット解析はフーリエ解析の類縁ですが、両者の違いは、与えられた関数を展開する際に、通常のフーリエ解析では台が無限に広がる正弦波を用いるのに対し、ウェーブレット解析では局在した波形をもつ関数要素を用いる点です。このため、元の関数が激し

く変化する部分の位置情報をフーリエ解析よりも再現しやすいという特徴があります。こうした考え方自体は古くからありましたが、ウェーブレット解析という名前で数学の世界に登場するのは1980年代のことです。

ここで注意しておきたいことは、ウェーブレットの理論は画像処理の分野では盛んに用いられていますが、視覚研究の分野で成功を収めた例はこれまでなかったという事実です。視覚研究で有名なエドワード・アデルソンも、この新しい数学理論を視覚研究に生かそうと努力したにも関わらず果たせなかったことを嘆いています。新井氏自身、視覚研究に適したウェーブレットを見つけるまでに長い時間がかかりました。新井氏の成功の鍵は、以下の点に要約されます。

- 画像処理などのウェーブレット解析で通常用いられる最大間引き法ではなく、時系列解析で用いられていた最大重複法を採用した。
- 単に既存のウェーブレット理論を応用するのではなく、脳に関する神経科学を詳細に検討し、視覚に適した新しいウェーブレットフレームを開発した。

上述の「ウェーブレットフレーム」とは、ウェーブレットの拡張概念で、後者が互いに1次独立な関数要素の集まりを用いるのに対し、前者では必ずしも1次独立でない関数要素の集まりを用います。新井氏は、ウェーブレットフレームが持つこの「冗長さ」が、現実の人間が物を見る際の情報処理の仕組みをより忠実に表していることに気づきました。

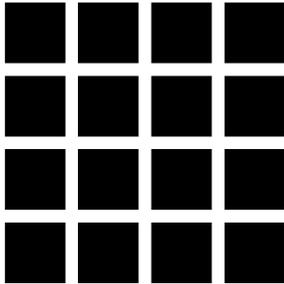
新井氏が構成したウェーブレットフレームは、V1野で実際に観察されている単純細胞が多様な方位選択性をもつという事実を正確に反映しているだけでなく、数学的にもきわめて精緻に練り上げられています。というのも、新井氏が構成したウェーブレットフレームは、「完全再構成性」をもち、しかも分解フィルターと再構成フィルターは同一であること、また、これを1次元ウェーブレットのテンソル積の簡単な有限和として表すことにより、計算時間の大幅な短縮を可能としているからです。また、これは非常に重要な点ですが、新井氏のモデルでは、脳内のニューロンの水平結合による大域的な非線形情報処理の効果も組み込まれています。

### 新井氏のモデルと錯視

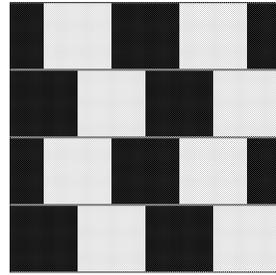
新井氏は、この数理モデルが人間の視覚に本当に近いものかどうかを検証するため、錯視に着目しました。もし考案したアルゴリズムが実際の視覚に近ければ、コンピュータも人間と同様に錯覚を起こすはずだからです。そして実際に多くの錯視をコンピュータ上で発生させることに成功しました。新井氏の数理モデルの登場により、V1野に起因するさまざまな錯視、とりわけ明暗の錯視、色の錯視、傾きの錯視が同じアルゴリズムを用いて計算機上で精密にシミュレーションできるようになり、さらにどのような計算によりこれらの錯視が生じるのかが数学的に明確になりました。

ここで錯視の例を挙げておきましょう。明暗の錯視としてよく知られているのがヘルマン格子錯視です。下の左図を見ると、白い路の十字路の部分に薄暗い斑点が見えます。し

かしそのような斑点は実際には印刷されておらず，これは脳の中で作り出された視覚の虚像，すなわち錯視です．かつて，この錯視は網膜レベルで生じるという説が有力でしたが，その後，格子を斜めにしたり格子の数を減らすと錯視が弱まることがわかり，網膜説はゆらぎました．新井氏の非線形数理モデルでは，こうした問題点は完全に克服されており，錯視量が格子の角度や数に左右される現象を見事にコンピュータ上で再現しています．



(a) ヘルマン格子錯視



(b) カフェウォール錯視

また，右図はカフェウォール錯視として有名で，平行な水平線が傾いて見える錯視です．新井氏は，この図の水平ウェーブレット成分に「錯視の成分」が含まれていることを示し，さらにそれが視覚の非線形情報処理により強調されることを初めて証明しました．このことから，錯視には非線形処理が重要な役割を演じていることがわかります．

### 錯視から学ぶもの

これまでの錯視に関する研究は，それぞれの錯視ごとにアドホックな手法で行われることが多く，新井氏のようにコンピュータに視覚を模したプログラムを実装して研究するという方法が本格的に行われることはありませんでした．その理由は，こうしたモデルを作ることが非常に困難だったからです．新井氏は，さまざまな錯視をコンピュータ上に発生させることに成功した後，今度は風景写真などの普通の画像に自分の非線形処理アルゴリズムを適用してみました．すると，もやのかかった遠くの山が鮮明に見やすくなるなど，きわめて自然な画像の鮮鋭化ができることが明らかになりました．つまり，錯視を引き起こしたのと同じアルゴリズムが，物を見やすくするのに役立っていたわけです．

これまで錯視は視覚の欠陥であるという見方をされることが多かったのですが，新井氏の研究により，錯視は外界から生存に必要な情報をできるだけ効率よく引き出すためにできあがった情報処理システムの副産物であることがわかってきました．この考え方は新たな画像処理の方法への端緒を開く可能性もあり，注目されます．

なお，新井氏の業績とさまざまな錯視については，同氏がインターネット上で公開している「視覚数学 e 研究室」<http://www4.ocn.ne.jp/~arai/mvel/mvel.html> に詳しい説明がありますので，そちらをご覧ください．