

## ショウジョウバエの記憶をまねて真の人工知能(AI)をつくる



**吉原 基二郎** (よしはら もとじろう)

未来ICT研究所  
フロンティア創造総合研究室  
総括研究員

大学院修了後、1992年米国 City of Hope 研究所にてヒューマンフロンティアサイエンスプログラム長期フェロー、2000年米国MIT研究員の後、2006年マサチューセッツ大学医学校にて研究室を主宰。2013年MIT客員教授を経て、2014年、NICTに入所。一貫して遺伝学を用いた神経生理学に従事。博士（理学）。

参考文献

- \*1 Yoshihara et al., (2005) *Science* 310, 858-863.
- \*2 Flood, Iguchi, Gorczyca, White, Ito, & Yoshihara (2013) *Nature*, 499:83-87.
- \*3 Yoshihara (2012) *JolVE* 62: e3625.
- \*4 吉原基二郎 (2013) ライフサイエンス新着論文レビュー (<http://first.lifesciencedb.jp/archives/7415#more-7415>)
- \*5 Sakurai, Littleton, Kojima, Yoshihara, 発表準備中

**現** 在大流行のディープラーニングなどを使った“人工知能”が、脳が生み出す本来の“知能”と同じく働いているかのように誤解されているのを頻りに目にしますが、実は、人間をはじめとする動物の脳内で“知能”がどのようにして働いているのかについて、人類はまだほとんど何も知らないのです。コンピュータの“メモリー”（最初にアクセントがないカタカナ語）が縦横無尽に利用されているにもかかわらず、本家本元である脳内の“記憶＝memory”の仕組みについては、まだ理解されてはいないからです。この“記憶”こそが知能の根幹であり、記憶がどのようにしてつづられ保存されるかを知ることが、知能の本質について理解することなのです。しかし、脳の素子である神経細胞が記憶をどのようにしてつくり出すかを知る方法がなかったため、記憶の仕組みについて理解することは今までずっと不可能でした。世界の誰もアプローチできなかった謎に挑戦するには、全く新しい独自の方法を創出するほかありません。本稿では、私がNICTに入所するまでアメリカで長年かけて築き上げてきた記憶研究の方法論と未来ICT研究所での発展、さらに、NICTの技術と相まってこそ芽を出した“真の人工知能”の構想について、そのゼロから始まって果てしなく広がる可能性についてご紹介します。

■新しい記憶の仮説

神経細胞（ニューロン）と神経細胞がつながるところ（シナプス）のつながりが変化することにより、記憶ができるのだと信じられています。そこで、まずは非常に単純な実験系を使ってそのシナプス可塑性の仕組みについて調べました。

その実験系というのは、ショウジョウバエの運動ニューロンと筋肉細胞がつながるシナプスの活動依存的な変化で、これについて詳細に調べ、全く新しい発想による記憶の仮説、“ローカルフィードバック仮説”を*Science*誌で提唱しました(図1)\*<sup>1</sup>。脳内でつながる2つの細胞がお互いに伝達物質の放出によって強め合うことにより正のフィードバックがかかり、それが単一シナプスでの記憶を保持し、さらにシナプス形態の変化を引き起こして永続する記憶に変わると考えたのです。分子ではなく“生理学的状態”が短期記憶を保持する。このような考え方はそれまでにない新しいもので、それまでの多くの報告された実験結果をうまく説明したので、これこそが記憶をつくる“マイクロ”の一般的メカニズムであることを期待しました。しかし、それをマクロの記憶と結びつけてテストする実験系が存在せず、本仮説は机上の空論でしかありませんでした。もしこれが脳の中で本当に起こっていたら脳機能の基本原則になるので、何としてもこれを試す実験系をと思い、マサチューセッツ大学、MITで主宰していた研究室の総力をあげてこの仮説を検証できる実験系をゼロからつくることを試みました。

■マイクロをマクロにつなげる独自の実験系—“食べる”コマンドニューロン

ローカルフィードバック仮説で仮定した細胞間のマイクロの仕組みを記憶と結びつけ

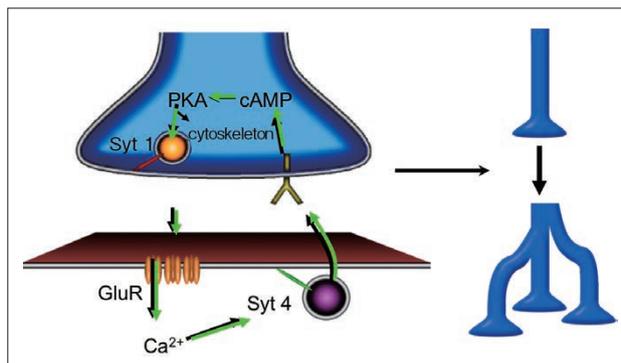


図1 “ローカルフィードバック 仮説” (*Science*, 2005)

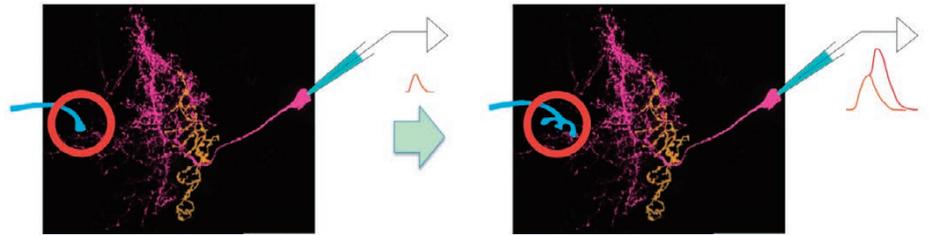


図2 ショウジョウバエの脳内のフィーディング・ニューロン (Nature, 2013) 上で記憶のできる様子をリアルタイムで目撃する

るには、ミクロの細胞変化をマクロの行動として現れる記憶に対応させる必要があります。そのために考えた新しいストラテジーは、著者の恩師池田和夫博士が1960年代に行動を司令するニューロンとして確立した、“コマンドニューロン”というコンセプトを利用することでした。このニューロン上のミクロのシナプスの変化によって記憶が形成されたら、それがマクロの行動変化として現れるはずで、それによってミクロとマクロを対応づけることができます。そこで、まずはコマンドニューロンを見つける方法を開発するところから始め、記憶研究に最適な（次項参照）食べる行動を指令する“フィーディング・ニューロン”（図2）を発見し、Nature誌に報告しました\*2。また、脳内のミクロの細胞の営みを観察しながら同時にマクロの食べる行動を観察できる実験システムも独自に開発しました\*3。これらの技術開発により、ミクロの細胞現象をマクロの行動に対応させる準備が整いました。

## ■パブロフのハエ

フィーディング・ニューロン上に記憶をつくるため、記憶のモデルとしてよく知られるパブロフの条件反射と同様の実験を行うことを考えました。イヌの脳の中では、この“条件付け”によって、ベルの音がフィーディング・ニューロンに相当する神経回路を活動させるように変化したのだろうと予測されます。ですから、「パブロフの犬」の実験と同様な実験をハエで行えば、フィーディング・ニューロン上につくられた“単一細胞レベルの”記憶を追跡できることを期待し\*4（図3）、アメリカの筆者の研究室にポスドクとして留学して来ていた櫻井晃博士（現NICT主任研究員）と共に、パブロフの実験に倣ったハエの条件反射の実験法を開発。NICT未来ICT研

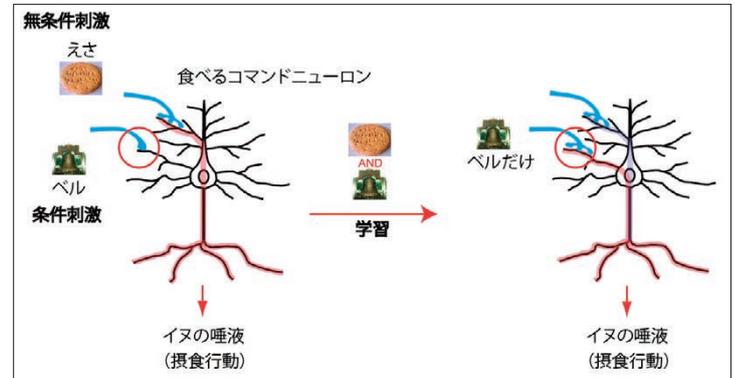


図3 パブロフの条件反射

究所フロンティア創造総合研究室の記憶神経生物学プロジェクトにおいて、条件付けによってフィーディング・ニューロンの反応性が変化すること、すなわち神経回路に新しいつながりができることを確認しました\*5。

現在、条件反射でハエが記憶したときのフィーディング・ニューロン上のつながりの変化を、深部を見ることのできる二光子顕微鏡でとらえようとしています。私たちが独自に積み重ねてきた方法論によって、まだ人類が見たことのない景色、“記憶ができるその瞬間”をリアルタイムで観察できます。長い回り道をしましたが、“百聞は一見に如かず”のとおり、この一連の技術開発の果てによりややく独自の仮説（図1）を検証することが可能になり、記憶の原理にいよいよ到達できると胸躍らせているところです。

## ■今後の展望—記憶時の単一細胞の変化をデバイスに実装して、真の人工知能をつくる

この研究は記憶の原理に関する基礎研究にとどまらず、記憶時の単一細胞レベルの解析によって、脳の素子一つひとつが記

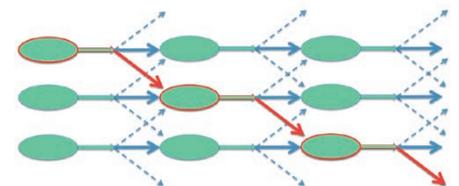


図4 フィーディング・ニューロンの入出力変化様式をまねたデバイスを多数つなぎ、記憶を保持する神経回路を人工的に再現。青矢印:それぞれのデバイス(楕円)の入出力;赤:記憶を保持する回路。

憶を蓄える仕組み、すなわち、脳内“メモリ”の働きが歴史上初めてわかります。この獲得知見は、そのまま直接神経細胞の機能を模倣したデバイス開発を可能にするので、当プロジェクトでは、高性能な半導体デバイス開発を行っている未来ICT研究所の竇迫所長らのグループと共同でこれを行うことを既に計画しています。それを多数つなげてネットワークをつくることによって（図4）、本当に脳の機能を模倣した“真の人工知能”が初めてつくられるのです。これは、脳のようにエネルギー効率が桁外れに高いコンピュータの開発につながる可能性があるだけでなく、神経回路を模したシリコン回路をつくるのが逆に、脳の情報処理様式や、さらには意識などの脳の未解決問題に洞察を与える新しい方法論となることまで期待できます。ここからまた更に、新しい情報通信技術/新しい脳の生物学へと夢は広がります。