

CASE 1

## 不要な神経突起の区画化と除去を誘導する膜構造の変化が

ヒトの脳神経回路の大まかなネットワークは胎児期に形成されるが、この発生初期の幼弱な回路は、まだいわゆる「混線状態」にある。混線回路を解消する際には、既存の回路に含まれる1000個以上のニューロン同士の接続の中から、不要な回路のみを除くことが必須だ。今回私たちはショウジョウバエのニューロンを用いた研究から、不要回路を区画化して取り除く基本メカニズムを明らかにした。



私たちの脳では、軸索と樹状突起という機能的、構造的に異なる2種類の神経突起を介して、1,000億個ものニューロンがネットワークを形成している。ヒトの脳神経回路の大まかなネットワークは胎児期に形成されるが、この発生初期の幼弱な回路は、いわゆる「混線状態」にあり、その後の発達段階において、不要な回路の切断や除去を含むネットワークの再編が起こることにより、機能的な情報処理回路へと成熟する。この不要な回路の除去過程では、不要な突起のみが変性、あるいは除去される一方で、必要な回路は維持されることが重要である。しかし、ニューロンが自らの突起群の中から「要」「不要」を選択する機構は長らく謎のままであった。その理由として、従来のネコやマウスなど哺乳動物を用いた研究では、不要な回路の除去過程をリアルタイムで追跡することが技術的に不可能であり、また分子生物学的手法

により分子基盤を同定することも困難であったことがあげられる。

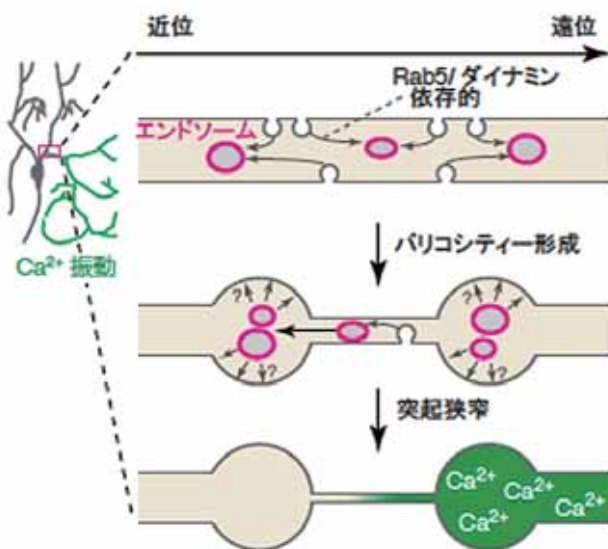
これまでに私たちは、ショウジョウバエ変態期における神経突起の選択的除去機構に着目して研究を行い、不要な突起が除去に先駆けて区画化<sup>\*</sup>を受け、自発的に低頻度カルシウム振動を発生することが、その突起の除去を誘導する初発因子であることを発見していた(Kanamori *et al. Science* 2013)。しかし、不要な突起が区画化される仕組みは不明のままであった。

今回、私たちが独自に開発し確立した高解像度ライブイメージング観察法を駆使して、神経突起の構造変化を詳細に解析したところ、将来的に除去されるべき神経突起の根元が急激に細くなり、細胞内成分の往来が抑制されることを発見した。この構造変化は、Rab5とダイナミンという2つのGTPアーゼの活性により引き起こされる細胞内物質の取り込み作用が原因であり、いずれかの酵素の活性のみを一過的に阻害すると、神経突起の区画化が阻害され、同時に低頻度カルシウム振動の発生および神経突起の除去も停止した。以上の結果から、神経突起において一過かつ局所的に誘導されるエンドサイトーシスが不要突起の区画化と除去を引き起こすことを示した。

最近の研究から、脳の神経回路の機能が成熟する過程で生じる異常は、自閉症や統合失調症などの一因となる可能性が示されており、本研究成果は、これらの脳疾患の発症機構の解明、さらに、診断法や治療法の開発に貢献することが期待される。

本研究はKanamori *et al. Nat. Commun.* 6, 6515 (2015)に掲載された。

(2015年3月12日プレスリリース)



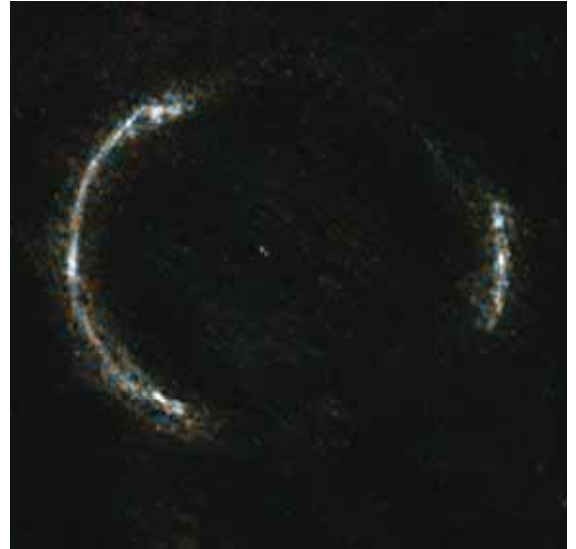
「局所性エンドサイトーシスが樹状突起の区画化を誘導する」神経突起の刈り込みが起きるときには、不要な突起の近くでエンドサイトーシスが誘導されることにより突起の根元が急激に細くなる(狭窄)。この突起構造の急激かつ局所的な変化が、ニューロンの細胞体とは反対側(遠位側)の神経突起と細胞体との物質の往来を遮断することにより、カルシウム振動が遠位側の神経突起において発生し、最終的にカルシウム依存的分解酵素カルパインを介して突起が分解されると説明できる。

\*区画化: 一見連続的に見える細胞構造物において、ある場所を境に細胞内物質の往来に制限が加わることがあり、そのような場合、「区画化されている」と表現する。

## CASE 2

太古の銀河のすがた  
超高解像度でせまる

より遠くの宇宙を克明に見たい。  
これは、いつの時代にも人類がいだいてきた夢だろう。  
こうした夢を実現する手段は、ふたつある。  
ひとつは世界屈指の高解像度望遠鏡を手にすること、  
もうひとつは重力レンズ効果と呼ばれる  
天然の「望遠鏡」を巧みに利用することだ。  
それでは、この両方を組み合わせると  
何が見えるのだろうか。  
私たちはこの両方をつかって、太古の宇宙、  
はるか117億光年彼方の銀河に分布する  
ガス星雲をとらえた。



重力レンズ効果とは、アインシュタインの一般相対性理論によって予言される、質量が時空の歪みを介して光路を曲げる現象だ。重力レンズ効果は、非常に重い天体の周囲で必ず生じ、その向こう側の天体の見かけの姿を拡大・増光する性質がある。なかでも、距離の異なるふたつの銀河が視線方向にほぼ完全に重なるときにだけ生じる「アインシュタイン・リング」は、天文学における強力なツールになる。というのも、より遠いほう(背景)の銀河の詳細な構造を拡大して観察したり、手前(前景)の銀河がもつ恒星やブラックホールなどの質量を測定したりできるからだ。

そのような中、2015年2月、アルマ望遠鏡が撮像した遠方銀河SDP81のアインシュタイン・リングの高解像度画像が公開された(図)。アルマ望遠鏡は、日米欧の国際協力のもとで南米チリのアタカマ高地に建設された最新鋭の電波望遠鏡だ。現在もその性能の向上が図られ、2014年末に20ミリ秒角(20万分の1度角)という超高解像度を達成した。アルマが撮像したその画像は、またたく間に研究者の注目を集め、さながら国際的な研究レースに発展しつつあった。しかし、あまりに複雑なアインシュタイン・リングの解釈は困難をきわめた。

そこで私たちは、このアインシュタイン・リングをもっとも精緻に再現できる重力レンズ効果モデルを、世界に先がけて提案した。このモデルでは、前景銀河周辺の重力場の歪みを高精度で補正する、いわば重力レンズの乱視矯正を徹底的に行った。

これは、牛乳瓶の底を通してながめた風景を手がかりに、瓶の底のガラスの厚みとその向こうに広がる風景を同時に推定することに似ている。

この作業には骨を折ったが、興味深い結果が得られた。背景銀河の内部に、大きさが「わずか」数百光年のガス星雲が、少なくとも30個程度分布していることがわかった。117億光年も距離に位置する銀河の内部構造がこれほど鮮明に解像されたのは、今回が初めてである。これらの星雲は、巨大分子雲とよばれる恒星や惑星が生まれる母体だと考えられる。また、私たちのモデルは、思わぬ副産物も生んだ。重力レンズ効果モデルを構築する過程で、前景銀河の中心に太陽の質量の3億倍以上におよぶコンパクトな重力源が必要なことに気づいた。これは前景銀河の中心にひそむ超巨大ブラックホールだと、私たちは考えている。

最新鋭の望遠鏡と重力レンズ効果もたらす解像度は、人間の視力に換算して13000に達する。このふたつの「望遠鏡」の組み合わせは、銀河の誕生と進化を解き明かすための鍵になるだろう。

本研究は、Tamura et al. *Publ. Astron. Soc. J.* **67**, 72 (2015)に掲載された。

(2015年6月9日プレスリリース)

アルマ望遠鏡によって撮像された117億光年彼方の銀河の「アインシュタイン・リング」。  
Credit: ALMA (NRAO/ESO/NAOJ), Y. Tamura (The University of Tokyo)

## CASE 3

有機薄膜太陽電池  
カーボンナノチューブ

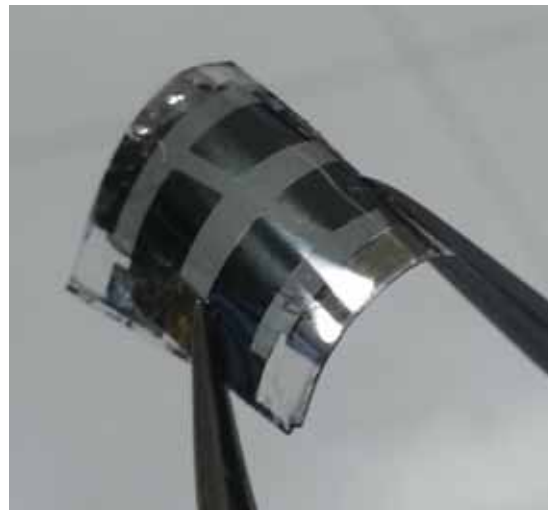
太陽光のエネルギーを

電気のエネルギーに変換する太陽電池の研究が、  
世界中で活発に進められている。

半導体の性質をもつ有機化合物によりつくられる有機薄膜太陽電池は、  
プラスチック上にも作製でき、軽量で曲げられ、  
カラフルで意匠性が高いという特徴をもつ。

太陽光を透過する透明電極に、  
新しい炭素材料であるカーボンナノチューブを用いる  
有機薄膜太陽電池を開発した。

炭素材料を主体とする新たな太陽電池の開発により、  
太陽光エネルギーの利用がさらに進むと期待される。



有機薄膜太陽電池は、半導体の性質をもつ有機化合物（有機半導体）を電極に塗って作られる。太陽光を受けて電子を発生させる有機半導体が、2枚の電極にサンドイッチのように挟まれている。太陽光を有機半導体に透過させるために、2枚の電極の少なくとも1枚は透明な電極である必要がある。通常、透明な電極を作るために、インジウムという希少金属が使われてきた。私たちは、透明電極に、炭素でできた太さ1~2ナノメートルの筒状の物質、カーボンナノチューブを用いる方法を確立し、インジウムを用いない新しい有機薄膜太陽電池を開発した。

カーボンナノチューブ薄膜そのものの電気を流す性質は、透明電極に適用できるほど高くない。そこで、カーボンナノチューブ薄膜に酸化モリブデンという酸化剤を作用させ、カーボンナノチューブ薄膜中の電子を抜き取った。このことで、カーボンナノチューブにプラスの電荷が注入され、カーボンナノチューブ薄膜が電気を流せるようになる。しかも、カーボンナノチューブ薄膜は、プラスの電荷とマイナスの電荷のうち、プラスの電荷のみを捕集する特性をもつようになる。

有機薄膜太陽電池では、電子を与える有機半導体と、電子を受け取る有機半導体が混ぜ合わされて用いられる。電子を受け取る有機半導体として、フラレン誘導体が用いられる。有機発電層が太陽光を吸収すると、電子を与える有機半導体にプラスの電荷が、電子を受け取る有機半導体に

マイナスの電荷が生じる。酸化モリブデンでプラスの電荷を注入したカーボンナノチューブ透明電極は、プラスの電荷のみを選択的に捕集し、マイナスの電荷はアルミニウムの裏面電極へ流れる。このように電荷の流れる向きを制御した結果、6%以上のエネルギー変換効率を得ることができ、従来のカーボンナノチューブを電極とした有機薄膜太陽電池の変換効率を3倍に向上させることに成功した。また、PETフィルムの上にカーボンナノチューブ薄膜を転写して用いることで、フレキシブルなカーボンナノチューブ有機薄膜太陽電池を作製することにも成功した。

カーボンナノチューブは安価な塩化鉄などの鉄触媒とアルコールや一酸化炭素などの炭素源を用いて合成され、原理的には安価に製造することが可能といえる。カーボンナノチューブを活用することにより、有機薄膜太陽電池の実用化へ向けた研究が加速されるものと期待される。また、フラレンも炭素を主体とする材料であり、フラレンとカーボンナノチューブを構成材料とする新たな炭素太陽電池の創出にもつながるものと期待される。

本研究は、I. Jeon *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.*, **137**, 7982 (2015)に掲載された。

(2015年6月16日プレスリリース)

PET基板に作製したフレキシブルなカーボンナノチューブ有機薄膜太陽電池。透明電極はプラスの電荷を注入されたカーボンナノチューブ薄膜、裏面電極はアルミニウム。両電極間に発電を行う有機半導体が挟まれている。