

タコのゲノムを解読する

骨が無く、3つの心臓をもち、約5億個の神経細胞のほとんどが8本の長い腕(触腕)に局在している生き物を想像してみてください。ギリシャ神話に登場する怪物ヒドラのように腕を再生することができ、それぞれの腕は独立して動きます。また腕の筋肉を硬直させると、一時的に肘や肩に変化させることもできます。さらにこの生き物は、変幻自在な擬態(カモフラージュ)能力と自分の巣を獲物の残骸で装飾する習性を持っています。

これらの奇妙な特徴をもつ生き物—それがタコです。ヒトが脊椎動物の進化の頂点だとすれば、無脊椎動物の中でその対極にあたるのが、最も高い知能を持つとされているタコです。タコはイカなどとともに頭足類^{*1}に分類され、その祖先は巻貝に似た動きが遅い体の軟らかい生き物ですが、現在は活発で巧みな捕食動物として知られます。現代の巻貝やカキ、その他の軟体動物も同じ祖先を持つ動物ですが、どうやらタコだけが並外れた能力を持つ生き物に進化したようです。その秘密はタコのゲノムに隠されています。

この度、沖縄科学技術大学院大学(OIST)と米シカゴ大学、カリフォルニア大学バークレー校の共同研究チームがタコの全ゲノム解読に成功しました。世界で初めての頭足類のゲノム解読となる本研究成果は、2015年8月13日付けの英科学誌ネイチャーに掲載され、その表紙を飾りました。今回のゲノム規模の解析は主にOIST分子遺伝学ユニットの研究者たちによって行われました。

タコのゲノムは多くの点で他の海洋無脊椎動物のゲノムと似通っていますが、そのユニークな神経系についてその起源と機能を理解する鍵となる、思いがけない特徴も明らかになりました。頭足類の脳は無脊椎動物の基本的な脳を精巧にしたもので、ヒトや他の脊椎動物の脳とは全く異なる組織を有しています。頭足類は、3億年以上前、古代の海の捕食動物として出現しました。「頭足類は、地球上で最初の知的な生物だったのです」と、ノーベル賞受賞者で、OISTの前身である独立行政法人沖縄科学技術研究基盤整備機構理事長のシドニー・ブレナー教授は語っています。ブレナー教授は、頭足類のきわめて高度な神経系に魅了され、OISTの特徴となったいくつかの重要なゲノム・プロジェクトの最初の研究として、タコのゲノム解析プロジェクトを開始しました。複雑なタコのゲノムの解析は、大きなチャレンジでした。

タコのゲノムは、幾つかの大きな遺伝子群が存在しており、動物がいかに複雑な神経のネットワークをめぐらせているのかを知る鍵となる可能性があります。この遺伝子群は、他の動物においても脳の発達制御に関わっていますが、タコにおいては非常に大きな広がりを見せています。しかし、詳細な役割は依然として不明なままです。頭足類では一般的に見られても、他の動物ではまだ知られていない遺伝子も大量に発見されています。一部の遺伝子は、頭足類の見事なカモフラージュ能力を可能にする皮膚の動きに関与しています。本研究成果の一部は、進化の過程でゲノムがどのように再編成されるのかに関するこれまでの知見に疑問を投げかけるものでした。

タコのゲノムは大きく、それは、ヒトを含む脊椎動物にみられるゲノム重複によるものだとこれまで考えられていました。ゲノムの重複が起きると新しい遺伝物質が多数生み出され、これが脊椎動物の進化に繋がったとされています。しかし今回の研究で、タコでゲノム重複が起きたという証拠は見つかりませんでした。

この他にも、タコにはゲノムの広範囲にわたって細胞の遺伝子発現を制御している遺伝子制御ネットワークが存在します。タコのゲノムの半分近くはトランスポゾン^{*2}と呼ばれる可動遺伝因子で占められており、動物界において含有量が最も多いケースと言えます。トランスポゾンは複製しながら独立して動き回ることができ、遺伝子発現を活性化あるいは制御し、遺伝子順序の入れ替えを促進します。研究者らは、多くの可動遺伝因子がとりわけタコの神経系で活発に動いていることを発見しました。

他の動物においてある同じ染色体上に存在する遺伝子が、タコのゲノム上では分散しており、これはトランスポゾン活動の結果と考えられます。全ての動物の胚発生に関わっている Hox 遺伝子^{*3}はとりわけ劇的な例です。この遺伝子は、軟体動物をはじめとする大部分の動物ではクラスターをなしていますが、タコでは断片として散らばっており、おそらくこれが頭足類の多彩な体制の進化を可能にしたのだと考えられます。

解析されたタコのゲノム情報の分析はまだ始まったばかりですが、本研究成果はタコ以外の頭足類を研究する上で有益な情報を提供します。頭足類の遺伝子と、神経系の発達と機能に関する制御機構も今後の研究対象となるでしょう。これら遺伝子の一部は既に胚の段階で活性化しており、その遺伝子発現を生化学的に変更することが可能です。これにより、成体でどのような変化が起るか見極めることができるようになります。

「これらの研究を行うためには、研究室の中で動物を飼育し、正常な行動をより深く理解する必要があります。そうすれば、ある遺伝子機能を壊したり、あるいは抑制された場合に生じる変化を確認す

ることができます。このように大規模なプロジェクトは OIST のような学際的環境でしか遂行することができません」と、OIST 分子遺伝学ユニットを率いるダニエル・ロクサー教授は言います。

人間は鳥の持つ機能を模倣して飛行機を発明しました。将来、タコの多様な能力を真似たロボットが開発され、人間が海底まで簡単に到達できる日もそう遠くはないかもしれません。また、人間は、自らを進化上最も特別な存在であると考えますが、その考えはタコの存在によって打ち消されてしまうといっても過言ではありません。タコが科学者を魅了してやまない理由の一つは、脊椎動物の脳の組織的なプロセスを必要とせずとも驚異的かつ複雑なタスクを実行できるようタコの脳が組織化されたことです。タコの神経系を構成する基本的要素が、陸上生活者である私たち人間のような脊椎動物のものとは根本的に異なるかどうかについても、今後の研究によって明らかになることが期待されます。そして、実は、その可能性は大いにあり得るのです。たとえタコが脊椎動物とは全く異なる生態系で進化したとしても、進化は一つの問題に対して驚くほど多くの答えを提示します。仮に類似性が見つかったとすれば、それは宇宙のどこかに存在する生命体に対する私たちの見解を大きく変えることになるかもしれません。

「タコは他の動物と、それが例え近縁種であっても全く異なっているように見えます。英国の動物学者、マーティン・ウェルズはタコをエイリアンと呼んでいました。そういった意味では、私たちの論文はエイリアンのゲノムが初めて解読された研究について書かれたものだと言えるかもしれません」と、論文共著者であるシカゴ大学のクリフトン・ラグズデール准教授は述べています。

本研究は、沖縄科学技術大学院大学、米国国立科学財団、米国国立衛生研究所の研究助成を受けて実施されました。

<用語解説>

1. 頭足類: イカ類、タコ類、オウムガイ類から構成される一群で、分類学的には貝の仲間である軟体動物に属すが、目や神経系、筋肉が発達しており、運動能力にすぐれるなど、他の軟体動物とは異なる多くの特徴をもつ。
2. トランスポゾン: 原核生物の細胞内で染色体上のある位置から別の任意の位置へ自由に移動する DNA 単位。動く遺伝子のこと。
3. Hox 遺伝子 (ホメオティック遺伝子群): 動物の胚発生の初期において、前後軸にそった構造の形成を制御する遺伝子群のこと。例えばショウジョウバエでは体節にかかわる構造、脚、触角、目などがそれにあたる。Hox 遺伝子に変異が起こると、通常の塩基配列の変異では考えられないような、大規模な形態の変化が現れる。

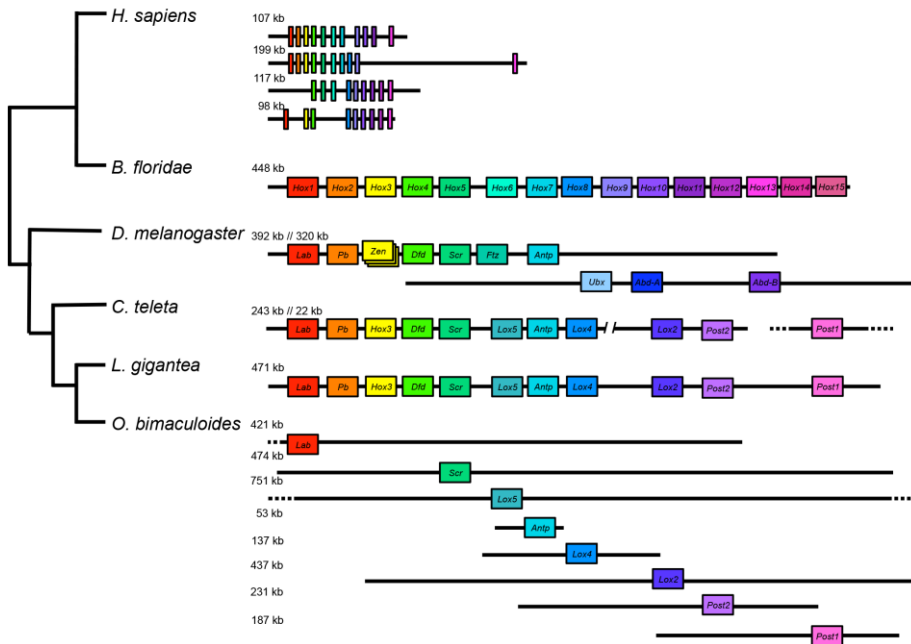


図1. 脊椎動物及びさまざまな無脊椎動物の染色体上における Hox 遺伝子の分布図
 Hox 遺伝子は、胚発生の段階から動物の体作りに役割を果たしています。クラスターをなして存在するヒトや他の動物の Hox 遺伝子と比較して、タコの Hox 遺伝子は全くクラスターをなしていません。図の一番下、今回全ゲノムが解読された *Octopus bimaculoides* (別名カリフォルニア・ツースポットタコ)



写真1. 全ゲノムが解読された *Octopus bimaculoides* (別名カリフォルニア・ツースポットタコ)
 カリフォルニア・ツースポットタコは、ツースポット(二つ目)という名の通り、頭部両側にある青い斑点ですぐに見分けることができる。斑点は輝きを発する一対の義眼で、獲物と自分より大きな捕食動物とを騙して、本当の目であると思込ませるのに用いられる。この種の寿命は、1~2年である。
 撮影: Judit Pungor



写真2. 全ゲノムが解読された *Octopus bimaculoides* (別名カリフォルニア・ツースポットタコ)
カリフォルニア・ツースポットタコは、本写真ではやや恐ろしい雰囲気醸しだしているが、愛くるしい
ペットとして飼育もできる。寿命は1～2年。

撮影: Judit Pungor



写真3. 論文共同著者の OIST 分子遺伝学ユニットのメンバーたち
(左から) エリック・エドシンガー博士、OIST 分子遺伝学ユニットを率いるダニエル・ロクサー教授、論
文筆頭共著者のオレグ・シマコフ博士

写真提供: OIST