

報道関係者各位

多足動物（ムカデ・ヤスデ・コムカデ・エダヒゲムシ）の系統関係を解明
～最初に分岐した多足動物はムカデではなく、コムカデだった～
～小さいコムカデの祖先が海で誕生し、自ら陸上進出を果たした～
～多足動物の祖先は半増節変態を行っていて、体節と足の数が少なかった～

JT 生命誌研究館（館長：中村桂子）の蘇智慧主任研究員らのグループは、複数の核遺伝子を用いて多足亜門（*1）の系統関係（*2）の解明を行い、多足亜門の 4 綱（ムカデ綱、ヤスデ綱、コムカデ綱とエダヒゲムシ綱）のうち、コムカデ綱が最初に分岐したことを解明した（図 1, 2）。また、得られた分子系統樹（*3）に化石情報に加え、多足動物（多足亜門に属する動物、以下同）の分岐年代の推定を行った。その結果、コムカデと他の多足動物との分岐はこれまで考えたより遙かに古く、カンブリア紀の初期に遡ることが分かった。さらに、得られた系統樹により、多足動物の祖先形態の推定を行った。その結果、多足動物の祖先は、「孵化してから死ぬまで脱皮し続けるが、体節を増やすのをある時点でやめる」という半増節変態（*4, 図 3）を行っていたことが分かり、体節数と脚の数が少なかったことが推定された。

本研究成果は、オンライン科学誌「Scientific Reports」（2月18日付）に、オープンアクセスで掲載される。

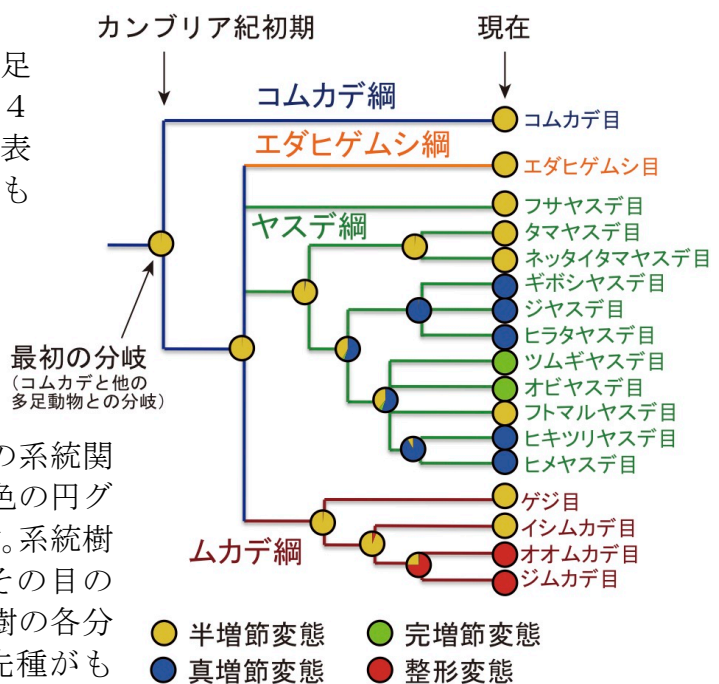
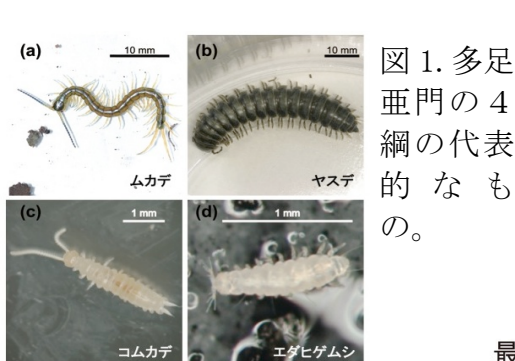


図 2 本研究で解明した多足動物の系統関係と変態様式の進化パターン。4 色の円グラフは 4 タイプの変態様式を示す。系統樹の各枝の末端にある円グラフはその目の現生のものの変態様式を示し、系統樹の各分岐点にあるものはその時点の祖先種もつ変態様式の確率を示す。

【ポイント】

- ・多足亜門の4綱の系統関係について、最初に分岐したのは、従来考えられていた「ムカデ綱」ではなく、「コムカデ綱」であることが判明した。
- ・分子系統樹と化石情報により、コムカデと他の多足動物との分岐はこれまで考えたより遙かに古く、カンブリア紀の初期に遡ることが判明し、コムカデの祖先が海で誕生し、自ら陸上進出を果たしたことが分かった。
- ・多足動物は名前の通り、足の多い動物である。しかし、本研究で得られた系統樹に基づく祖先形態の推定を行った結果、多足動物の祖先は半増節変態様式を有していたことが分かり、体節数と脚の数が少なかったことが判明した。

1. 研究の背景

多足亜門（ムカデ・ヤスデなど）は、六脚亜門（講義の昆虫類）、甲殻亜門（エビ・カニなど）と鋏角亜門（クモ・カブトガニなど）とともに節足動物門を構成している。多足動物（多足亜門に属する動物、以下同）の多くが土壌性で目立たないが、節足動物の系統進化を探る上で極めて重要な一群である。

生物の進化を理解するには、生物の系統関係がもっとも重要で不可欠な情報である。誤った系統関係に基づいて進化を考えると、言うまでもなく間違った結論に導く。多足亜門は、4つの綱（ムカデ綱、ヤスデ綱、コムカデ綱とエダヒゲムシ綱）を含み、またムカデ綱は5目、ヤスデ綱は15目、コムカデ綱は1目、エダヒゲムシ綱は2目にそれぞれ分類されている。これらの綱間と目間の系統関係は、これまでに多くの研究が行われてきたが、信頼性の高い系統関係が得られず、解明に至っていない。特に4綱の関係について、従来ムカデ綱が最初に分岐し、次いでコムカデ綱、最後にヤスデ綱とエダヒゲムシ綱が分かれると考えられていたが、近年の分子系統の研究では、これと異なる様々な仮説が提唱された。しかし、信頼性の高い系統関係は得られていない。

一方、多足動物は孵化してから、脱皮と増節（体節数を増やす）を繰り返すという、非常に興味深い変態を行う。その変態の様式は整形変態、真増節変態、完増節変態と半増節変態という4つのタイプに分類される（図3）。これらの変態様式はどのように進化してきたのか？ つまり、同じ変態様式をもつものは同一起源に由来したのか？それとも同一変態様式は異なる分類群で独立的に進化してきたのか？ 多足動物の祖先はどのような変態様式を持っていたのか？ 多くの興味深い問題の解明が待たれる。これらの問題を明らかにするためには、多足動物の系統関係を解明しなければならない。

2. 今回の研究の内容

研究グループは六脚亜門を始め節足動物の系統関係の解明を行ってきた。一連の研究の中で、3つの核遺伝子が節足動物の高次分類群間の系統関係の解明に非常に有効であることが判明した。今回はこれらの遺伝子を用いて多足亜門の系統関係の解明に挑んだ。その結果、信頼度の高い系統樹の構築に成功し、長く論争されてい

た多足亜門の綱間の系統関係に大きな一石を投じた。さらにこの系統関係に基づき、多足動物の分岐年代を推定し、祖先形態の推定も行った。

① 多足亜門の綱間と目間の系統関係について、多くの研究が行われ、様々な仮説を提唱されてきたが、信頼度の高い系統関係は得られていない。本研究で構築した多足亜門の系統樹は高い信頼度を持って、コムカデ綱が最初に分岐したことを示した(図2)。また、ヤスデ目とムカデ目の内部の目間の系統関係は形態から提唱されたものを支持した。

② 本研究で得られた系統樹に、化石データを加えて多足動物の分岐年代の推定を行った。その結果、コムカデと他の多足動物との分岐はこれまで考えたより遙かに古く、カンブリア紀の初期にまで遡ることが判明した。この結果は、コムカデの祖先は海の中で誕生し、独立的に陸上進出を果たしたことを意味する。

③ 本研究で構築した系統樹に基づいて、多足動物の変態様式の進化パターンを推定した。その結果、多足動物の祖先は半増節変態をしていたことが示された(図2)。半増節変態のものは基本的に脚の数が少ないことから、多足動物の祖先は体節数と脚の数が少なかったことを示唆した。多足動物は名前の通り、脚が多いのが特徴で、数百本の足を有するものもいる。しかし、本研究の結果によると、多足動物は進化の過程で体節数と足の数を増やしたことになる。

3. 今回の研究の特徴

節足動物は地球上でもっとも多様化した動物群である一方、その系統関係、特に各亜門の高次分類群の関係の解明が極めて困難の状態にある。多足亜門の綱間と目間の系統関係は形態と分子を含め、多くの研究が行われてきたが、信頼度の高い系統樹の構築に至っていない。本研究に用いた遺伝子によって、多足亜門の綱間(コムカデ綱が最初に分岐)と目間(特にムカデ綱の目間)の系統関係が始めて高い信頼度を持って示されたことが注目に値する。最近、なるべく多くの遺伝子を使用して生物の系統解析を行う傾向にはあるが、少数の遺伝子でも、系統解析に適した性質を持っていれば難しい系統関係の解明も可能であることを示した点にも大きな意味がある。また、多足動物の分岐年代がこれまでに考えたよりも古いことを示した点は、多足動物の進化・多様化を考える上、極めて重要な知見になる。半増節変態様式は多足亜門以外の節足動物にも見られることから、恐らく節足動物の祖先的形質ではないかと考えられているが、本研究の結果はこの考えを裏づける確かな証拠を示すことができたことも注目すべきである。

4. 研究成果の意義

生物は祖先から枝分かれして多様化する。その枝分かれの様子、つまり系統関係は、冒頭にも述べたように、生物の進化・多様化を考えるうえ、極めて重要で不可欠な情報である。本研究で明らかにした多足亜門の系統関係の知見は多足動物の進化・多様化の理解に大きく寄与する。例えば、本研究の年代推定の結果によると、コムカデ綱がカンブリア紀の初期に分岐したことになるが、それはコムカデ綱の祖先がほかの多足動物の祖先と海の中で分岐し、別々に上陸したことを意味する。また、本研究の結果から変態様式がどの系統(時点)で進化したのかが分かり、多足動物の変態様式の進化の分子メカニズムの解明にも道を開く。さらに多足動物の変

態の基本である増節（体節数を増やす）は胚発生の継続であるとも考えられ、本研究の結果によって多足動物が Evo-Devo（進化—発生）研究のモデルケースの1つになることも期待できる。

【お問い合わせ先】

・ 本研究内容に関するお問い合わせ

JT 生命誌研究館 研究セクター 系統進化研究室

主任研究員 蘇 智慧（そ ちけい）

E-mail: su.zhahui@brh.co.jp

Tel: 072-681-9798 Fax: 072-681-9757

・ 取材対応窓口、資料請求

JT 生命誌研究館

事務セクター 宮脇 匠

Tel: 072-681-9750 Fax: 072-681-9743

【用語解説】

*1 多足亜門：生物は形態の類似性から、界、門、綱、目、科、属、種という階層的に分類される。より細かく分類するために、各ランクの間に、さらに階層を設ける場合もある。例えば、門の下に「亜目」、綱の上下に「上綱」と「亜綱」などである。多足亜門は節足動物の下に設けた亜門の1つで、そのほかに鋏角亜門、甲殻亜門と六脚亜門がある。多足亜門に属する動物はヤスデ・ムカデなどが代表的なもので、全て土壌動物である。

*2 系統関係：生物は共通祖先から枝分かれして様々な種に進化してきた。系統関係は生物のそれぞれの分類群の類縁関係のことである。

*3 分子系統樹：生物の系統関係を表すものは系統樹である。分子データ（DNA やタンパク質の配列）によって構築した系統樹は分子系統樹である。

*4 半増節変態：多足動物の大きな特徴の1つは、孵化してから脱皮と増節（体節数を増やす）を行うことである。これは多足動物の変態という。その変態は4つのタイプに分類されている。整形変態、真増節変態、半増節変態と完増節変態である（図3を参照）。

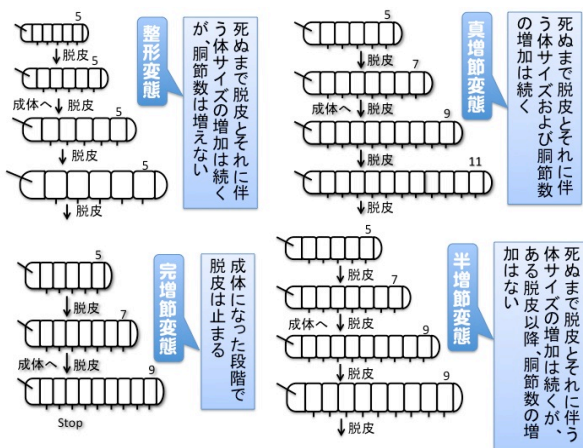


図3 多足動物の4タイプの変態様式。多足動物は孵化してから脱皮し続ける。また、ほとんどのものは脱皮とともに体節を増やす（増節）。この脱皮と増節は多足類の変態という。図のように4タイプの変態様式が認められている。