

平成 26 年 11 月 7 日

国立大学法人 筑波大学

国立大学法人 北海道大学

横須賀市自然・人文博物館

国立大学法人 愛媛大学

ゲノム情報で昆虫の高次系統関係と分岐年代を解明

研究成果のポイント

1. 100 種を超える昆虫の約 1500 の遺伝子に基づき、昆虫全体の信頼度の高い系統仮説を構築
2. 化石情報も利用することで、昆虫進化における画期的事象(飛翔の起源など)の年代を推定
3. 特に、昆虫の起源は約 5 億年前に遡り、昆虫が陸上植物とともに初期の陸上生態系を作り上げた生物であったことや、4 億年前にはすでに飛翔能力を獲得していたことなど、多くの新事実を解明

筑波大学生命環境系の町田龍一郎教授、北海道大学大学院農学研究院の吉澤和徳准教授、横須賀市自然・人文博物館の内船俊樹学芸員、愛媛大学大学院の福井眞生子助教ほか、世界13カ国・地域、43研究機関の研究者101名が参加する国際研究プロジェクト「1000種昆虫トランスクリプトーム⁽¹⁾進化」コンソーシアム(“1K Insect Transcriptome Evolution (1KITE)” Consortium:以下、1KITE コンソーシアム)は、昆虫の全分類群をカバーする103種の膨大なゲノムデータに基づき、昆虫の目(もく)間の頑健な系統関係の解明に成功しました。

昆虫は地球上で最も多様化した多細胞生物であり、これまでに記載されている全生物種の半数以上、動物種の約75%を占めています。昆虫がこのような多様化をとげた背景を解明することは、基礎研究としてのみならず、害虫防除や、昆虫の生物資源としての活用といった応用研究上も重要です。1KITE コンソーシアムによる今回の成果により、例えば昆虫は約5億年前に初期の陸上植物とともに陸上生態系を作り上げた最初期の生物であったことや、他の生物が飛翔するはるか前の約4億年前には飛翔能力を獲得していたことなど、多くの新事実が明らかとなりました。

本研究成果により、新たな観点からの形態学的・分子生物学的研究が促進され、昆虫の進化に関する研究がさらに進むことが期待されます。

本研究の成果は、2014年11月6日(日本時間11月7日16時)付で Science 誌で公開されました。

研究の背景

昆虫は現在の地球上の生態系を構成する動物のなかの大多数を占める巨大な生物グループです。生物多様性の最も重要な構成要員であるのみならず、農業や医療健康面でも人と強いつながりを持っています。昆虫の多様性を生み出した背景や生態的な重要性を理解するためには、信頼性の高い系統類縁関係に関する情報が不可欠です。しかし、きわめて古い時代に短期間で多様化をとげた昆虫の系統関係の解明は、形態に基づく解析や、従来の分子系統学的手法を用いただけでは困難で、未解明の問題を多く残していました。

研究内容と成果

昆虫は現在、約 30 の目(もく)とよばれる大きな分類単位から構成されています。本研究では、昆虫の全目から 103 種をサンプリングし、それらの約 1500 遺伝子の塩基配列情報を新たに決定しました。この膨大なデータに基づいて昆虫の高次系統関係の解析を行うと同時に、37 の化石情報をあわせて利用することで、昆虫が大きな多様化をとげた進化的事象の年代推定を行いました。研究チームは、昆虫分類学、形態学、発生学、古生物学、分子生物学、生物情報学などの専門家から構成されており、それぞれの専門知識に基づき、得られた系統樹をあらゆる観点から検証しました。

解析の結果、これまで提唱された系統仮説よりもはるかに信頼性の高い、昆虫の高次系統樹が構築されました。その結果、分岐年代の推定も含め、以下のような新事実が明らかとなりました。

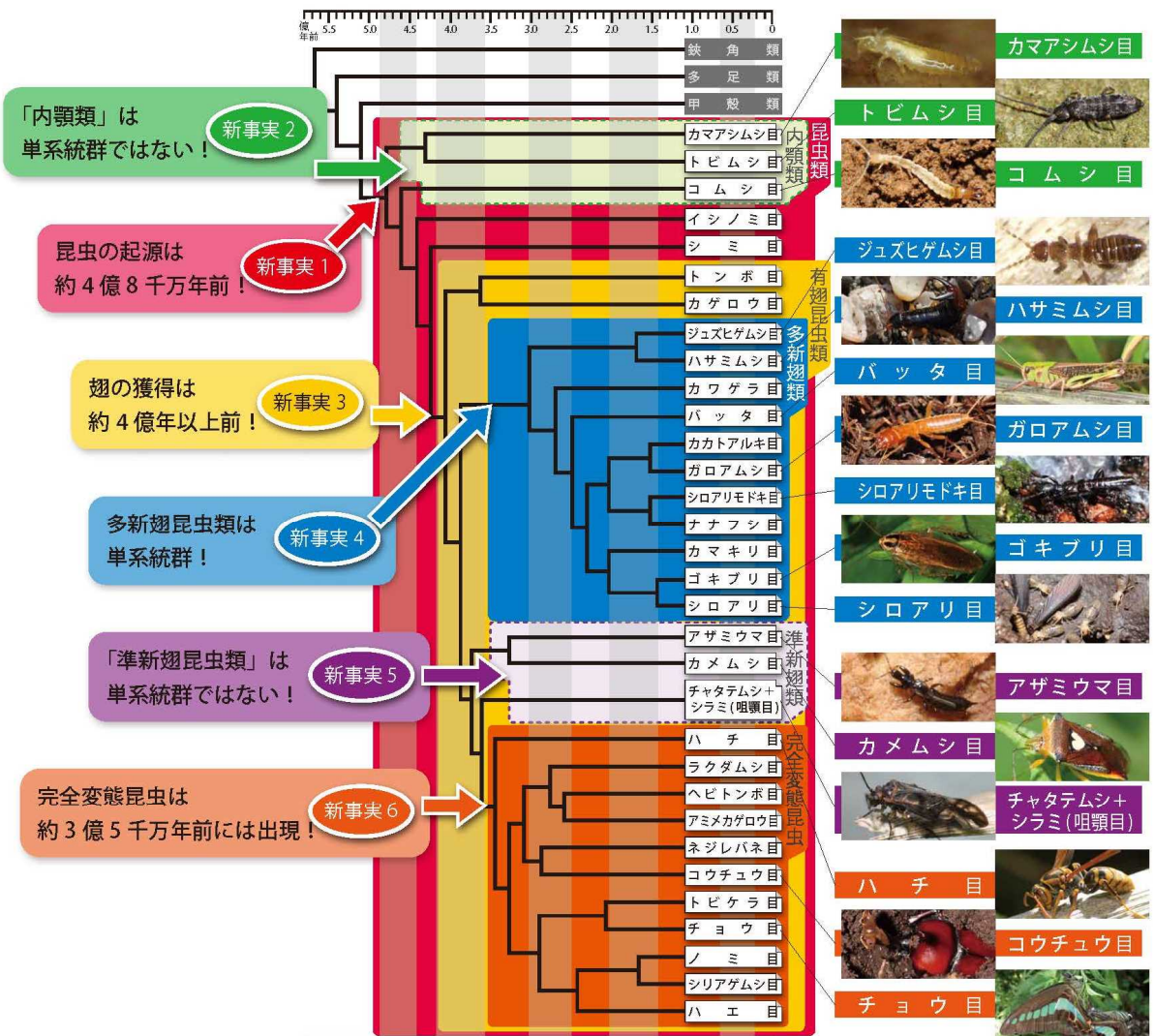
- 昆虫の起源:これまで約 4 億年前とされていた昆虫の起源は約 4 億 8 千万年前に遡る。これは、陸上植物の起源(約 5 億 1 千万年前)ときわめて近いことから、昆虫は陸上生態系を作り出した最初の生物群の一つであったことがわかる。
- 有翅昆虫類⁽²⁾の起源:これまで約 3 億 5 千万年前とされていた昆虫の翅の獲得は、4 億年以上前に遡る。これは他の生物が飛翔能力を獲得するはるか以前にあたる。
- 内顎類⁽³⁾の非単系統性:これまで内顎綱として一群にまとめられていた原始的な昆虫類(トビムシ、カマアシムシ、コムシ)は、共通祖先に由来する単系統群⁽⁴⁾ではなかった。
- 多新翅類⁽⁵⁾(直翅系昆虫)の単系統性:単系統性が議論されてきたバッタ、カマキリ、ゴキブリ、シロアリ、ナナフシ、ハサミムシ、カワゲラなどからなる多新翅類の単系統性が支持された。さらには、系統的位置がこれまで不明だったジュズヒゲムシが、新たに多新翅類に位置づけられた。
- 準新翅類⁽⁶⁾(半翅系昆虫)の非単系統性:これまで長らく共通祖先に由来する単系統群であると考えられてきたチャタテムシ、シラミ、アザミウマ、カメムシ(半翅類)からなる一群が、実は単系統群ではなかった。すなわち、チャタテムシ+シラミの系統(咀嚼目)は、むしろ完全変態昆虫(蛹をつくる昆虫)に近縁なグループだった。
- 完全変態昆虫⁽⁷⁾の起源:昆虫の中でも最も多様化をとげた完全変態昆虫の起源は、これまでは約 3 億年前とされていたが、3 億 5 千万年前に遡る。

今後の展開

かつてドブジャンスキーが「進化を考慮しない生物学は意味をなさない」と述べたように、生物の進化的背景は、基礎・応用を問わず、全ての生物学分野にとって最も重要な情報となります。現在の地球上で最大の多様化をとげた動物グループである昆虫の進化的背景を解明することは、生物多様性の理解のみならず、昆虫が害虫化する背景の研究や昆虫の生物資源としての活用などにも貢献します。今回得られた結果の中には、形態に基づくこれまでの仮説とは大きく対立する部分もあります(半翅系昆虫が非単系統群であることなど)。本研究成果により、新たな観点からの形態学的・分子生物学的研究が促進され、形態進化に関する新事実が明らかになることが期待されます。1KITE コンソーシアムは、さらに 1000 種のゲノムの解析とそれに基づく系

統関係の解明を進めています。

参考図



用語解説

注1) トランスクリプトーム:

細胞内の全 DNA の塩基配列情報を指す「ゲノム」に対して、細胞内の全転写産物(すべての RNA)を「トランスクリプトーム」と呼びます。実際に発現する配列情報が得られるため、トランスクリプトームを解析することで、発現量に差がある遺伝子群を網羅的にしらべることができます。全ゲノム解析に比べ、トランスクリプトームの解析は数分の一のコストです。

注2) 有翅昆虫類:

翅をもつ昆虫類で、昆虫類の約 99%を含みます。アリやノミなどの二次的に翅を退化させた昆虫も含まれます。昆虫類には、原始的でまだ翅を獲得していないグループ、カマアシムシ目、トビムシ目、コムシ目、イシノミ目、シミ目の 5 目があり、無翅昆虫類と総称されます。

注3) 内顎類:

口器を頭蓋の中に収めている内顎口をもつ昆虫類で、3つの目(カマアシムシ類、トビムシ類、コムシ類)からなる。大部分の昆虫類の口器は頭蓋に収められることない、剥き出しの口器、すなわち外顎口をもち、外顎類と呼ばれます。

注4) 単系統群:

単一の祖先に由来するすべての種群を含んだ系統群

注5) 多新翅類:

バッタおよびバッタに似たカマキリ、ゴキブリ、シロアリ、ナナフシ、ハサミムシ、カワゲラなどの11目からなる、不完全変態を行う昆虫群です。

注6) 準新翅類:

カメムシ、シラミ+チャタテムシ(咀嚼目)、アザミウマなどからなる不完全変態を行う3目からなる昆虫類の一群です。

注7) 完全変態昆虫:

蛹のステージがある変態、すなわち完全変態を行う昆虫群です。コウチュウ目、ハエ目、ハチ目、チョウ目などの9目からなり、昆虫類の80%以上を占める、非常に繁栄している昆虫群です。

掲載論文

【題名】 英文タイトル Phylogenomics Resolves the Timing and Pattern of Insect Evolution

(和文タイトル) ゲノムデータによって明らかとなった昆虫の進化パターンと分岐時期

【著者名】 Bernhard Misof(ボン大学)他100名(日本の著者は計10名)

【掲載誌】 Science 2014年11月6日(日本時間11月7日16時)

問い合わせ先

氏名 町田 龍一郎(まちだ りゅういちろう)

筑波大学生命環境系/菅平高原実験センター昆虫比較発生学研究室(教授)

〒386-2204 長野県上田市菅平高原1278-294 筑波大学菅平高原実験センター

E-mail: machida@sugadaira.tsukubaa.ac.jp

Tel: 0268-74-2002 携帯:090-1990-1646

HP: <http://www.sugadaira.tsukuba.ac.jp/machida/mushi.html>

氏名 吉澤 和徳(よしざわ かずのり)

北海道大学大学院農学研究院昆虫体系学教室(准教授)

〒060-8589 北海道札幌市北区北9条西9丁目

E-mail: psocid@res.agr.hokudai.ac.jp

Tel: 011-706-2424

HP: <http://kazu.psocodea.org>

氏名 内船 俊樹(うちふね としき)
横須賀市自然・人文博物館(学芸員)
〒238-0016 神奈川県横須賀市深田台 95
E-mail: toshiki-uchifune@city.yokosuka.kanagawa.jp
Tel: 046-824-3688
HP: <http://www.museum.yokosuka.kanagawa.jp/>

氏名 福井 眞生子(ふくい まきこ)
愛媛大学大学院理工学研究科進化形態学研究室(助教)
〒790-0826 愛媛県松山市文京町 2-5
Tel: 089-927-9629
E-mail: fukui.makiko.me@ehime-u.ac.jp

1KITE Project のホームページ:<http://www.1kite.org>