

# フクロムシの進化

Phylogeny and evolution of life history strategies of the parasitic barnacles  
(Crustacea, Cirripedia, Rhizocephala).

Glenner H & Hebsgaard MB, 2006.

*Molecular Phylogenetics and Evolution*. 41(3), 528–538.

生物学というのはとても広大な学問です。社会性アブラムシの爆死行動から松茸の人工栽培まで、日夜ありとあらゆる研究が行われています。

生物学を支える主要な柱のうちのひとつが、「進化」という現象(概念)です。ここでは、「フクロムシ」というヘンな生き物の進化についての論文を紹介します。

論文の内容を一文で表わすと「核 rRNA 遺伝子を用いたフクロムシの分子系統学的研究」ということになるのですが、専門の方以外には意味不明のはずなので、前提となる知識

1. 進化の研究／ふたつの「系統学」について
2. 分類学について
3. フクロムシについて

をご説明してから、論文紹介にうつりたいと思います。

最初に断っておきますが、この「フクロムシの進化」の文章はめちゃめちゃ長いです。どうしてこうなった！なんかホント……ごめんなさい。

## 進化の研究／ふたつの「系統学」

進化とは何か？と問われると、これはなかなか即答するのが難しいです。こういうときには他人の言っていることをパクるのが効果的。手元の旺文社生物辞典によると、「進化：地球の長い歴史の間に生物が次第に変化し、種類が増えてきた過程」と書いてあります。なーるほどねー。

進化について最初にまとめた考察を行なったのは、チャールズ・ダーウィンでした。だいたい 150 年前のことです。これ以来、「生物の種はどのように進化してきたのか？」もっと詳しく

く言うと、「ある生物とある生物は、どのような類縁関係にあるのか？」ということが丹念に研究されてきました。生物同士の類縁関係のことを**系統関係**と呼び、系統関係を明らかにする研究を**系統学**と呼びます。

系統関係を明らかにする手法としては、主に、

- ・ **解剖学的な比較**(比較解剖学:生物同士の形を較べてみる)
- ・ **個体発生**の比較(比較発生学:生物が受精卵から成体になる過程を較べてみる)
- ・ **化石の分析**(古生物学)

が用いられてきました。

ヒトはサル的一种であるとか、ネコもライオンもトラも全部ひっくるめてネコ科であるとか、両生類の祖先は魚類であるとか、そういう系統学的知見はこのような研究の成果として得られたものです。

このような系統学の地道な進歩とは別のところで、1950 年代頃より、生物を生物たらしめる要素**<遺伝子>**に関する研究が発展してきました。**DNA の機能の発見**です。DNA の研究成果は、1970 年代頃より、進化の研究にも導入され始めました。それまで生物の進化を論じるのに生物の形態を見るしかなかったのが、新たに**ゲノム DNA** という情報を利用できるようになったのです。

DNA、遺伝子、ゲノムというのは、どれも違う概念です。へによへによとまとめてみました。

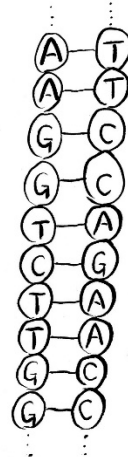
## ～DNAとは～

デオキシリボ核酸という高分子生体「物質」。

アデニン(A), チミン(T), グアニン(G), シトシン(C)という4種類の「塩基」を含む「ヌクレオチド」という物質が(めっちゃくちゃ)長くつながったものです。

このA, T, G, Cの並びが「読みとまれること」で、タンパク質などの「生物の部品」が作られます。

DNAは生物の「設計図」であり、また、それを複製して次の世代に伝える「遺伝情報」の担い手でもあります。



各ヌクレオチドは、横から出ている「手」で、もう1つのヌクレオチドとゆるく結合できます(しなやかに)。このとき、AはTと、GはCと結合します。  
んで、2本のDNAのくさりかく、ついたような形になります。これを「2本鎖DNA」といいます。  
ほくの描いた糸はへによへによですが、ほんまものの2本鎖DNAは「2重らせん構造」をしていて、こいいです。

2本鎖DNAは、DNAの複製や、こわれた部分の修復に便利なかたちをしているので、ほとんどの生物が2本鎖DNAを遺伝情報として使っています。

## ～遺伝子とは～

生物の「遺伝情報」を担う因子。ほとんどの場合、その実体はDNAです。

なか～いDNAの配列の中で、ちゃんと機能している(生物にとって役立っている)部分が「遺伝子」と呼ばれます。

機能していない「ように見える」部分は、ジャンクDNAと呼ばれます。ガラクワ。

## ～ゲノムとは～

古賀亮一先生による、ゆるカワ下品系描ク漫画。

じつは、「ある生物のもつDNA全配列」のことです。

遺伝子として働くDNAと、働かない(とされる)ジャンクDNA

から構成されます。

ホントは染色体の倍数体かどーのとかあるのですが、めんどうなのでココマテ。



「ゲノム」の主人公  
エルフのエルエル

お一つ。余計な絵を描いたせいで説明し忘れとりましたが、以下の文章に頻出する「ゲノム DNA」という単語は、上の「ゲノム」とほぼ同じ意味です。

ゲノム DNA は、生物の体を構築・運用し、さらにその子供を作るための設計図です。ゲノム DNA は親から子へと受け継がれます。しかしながら、さまざまな要因により、子孫へ受け継がれるゲノム DNA は少しずつ祖先のものから変わっていきます(突然変異の蓄積)。この特性から、以下のようなごくシンプルな発想が生まれました。

- ・ 近い系統関係にある生物同士では、ゲノム DNA の配列が似る
- ・ 系統関係が遠くなればなるほど、ゲノム DNA の配列が異なる

これを基本にして、ゲノムの情報をもとにした進化の研究分野である「分子系統学」が生まれました。それまでの形態をもとにした系統学(ここでは「伝統的な系統学」と呼びます)と「分子系統学」は、目指すものは同じですがアプローチの仕方が大きく異なります。分子系統学は情報量や客観性といった点で「伝統的な系統学」よりも優位であり、いまや分子系統学なくしては生物の進化は語れないほどになっています。たとえば、植物、菌類、動物、細菌は、形態学的にはほぼ比較不可能なほどかけ離れた分類群ですが、これらも全てウン十億年前の共通祖先から分かれてきた生き物なので、ゲノム DNA を調べることで系統関係を調べることができるようになりました。

|     | 呼吸           | 体温 | うまれかた   | 心臓             | 赤血球 | 出現時期   | その他(骨のかたち、<br>筋肉のつき方など) |
|-----|--------------|----|---------|----------------|-----|--------|-------------------------|
| 魚類  | えら           | 変温 | 卵       | 一心房一心室         | 核あり | 5.2億年前 | ...                     |
| 両生類 | えら<br>→ 肺・皮膚 | 変温 | 卵       | 二心房一心室         | 核あり | 3.6億年前 | ...                     |
| は虫類 | 肺            | 変温 | 卵(からつき) | 不完全な<br>二心房二心室 | 核あり | 3.4億年前 | ...                     |
| 鳥類  | 肺            | 恒温 | 卵(からつき) | 二心房二心室         | 核あり | 1.4億年前 | ...                     |
| ほ乳類 | 肺            | 恒温 | あかんぼ    | 二心房二心室         | 核なし | 2.3億年前 | ...                     |

上:5種類の脊椎動物の形態・個体発生の特徴、出現時期

## 「伝統的な系統学」 研究材料＝形態・個体発生・化石記録など

### いいところ

- ・「見えるもの」を扱うので直感的に理解しやすい
- ・古生物(化石記録)も使える

### よくないところ

- ・重視する特徴によって結果が変わってくる(研究者の主観が入りやすい＝客観性に欠ける)
- ・扱う生物のことを熟知しなければならない(いい研究をするには長い経験とセンスが要る)
- ・対象とする生物同士が遠いすぎたり似すぎていたりすると、いい結果が得られない

生物間の特徴の類似性を  
統計学的に解析  
(ふつう、「最大節約法」を用いる)

もしくは研究者の完全な主観で考察

生物間の遺伝情報の類似性を  
統計学的に解析  
(「近隣結合法」「最大節約法」  
「最尤法」などを用いる)

生物の進化的関係(系統関係)  
を「系統樹」として表わす

※ 同じ生物を扱った場合でも、「伝統的な系統学」  
による系統樹と、「分子系統学」による系統樹で、  
系統樹の形(樹形)が異なることがよくあります  
(いつも同じ樹形の系統樹が得られるのなら、  
系統学はふたつとも要りませんよね)  
こういう場合、どっちが正解に近いのよ?という  
のは、よく考えて検討しなければなりません。  
研究者のセンスの見せ所です。



|                 | 1570  | 1580                                                | 1590 | 1600 |
|-----------------|-------|-----------------------------------------------------|------|------|
| 魚類 (メダカ)        | ..... | CTGCGCCGAGAGGCGTGGGTAACCCGCTGAACCCCACTCGTGAT.....   |      |      |
| 両生類 (アフリカツメガエル) | ..... | CTGCGCCGACAGGTGCGGGTAACCCGCTGAACCCCGTTTCGTGAT.....  |      |      |
| は虫類 (トウブシバナヘビ)  | ..... | CTACGCCGCGCAGGCGCGGGTAACCCGTTGAACCCCACTTCGTGAT..... |      |      |
| 鳥類 (ニワトリ)       | ..... | CTACGCCGACAGGTGCGGGTNACCTGTTGAACCCCACTTCGTGAT.....  |      |      |
| ほ乳類 (ウマ)        | ..... | CTACGCCGCGCAGGCGCGGGTAACCCGTTGAACCCCACTTCGTGAT..... |      |      |

上:5種類の脊椎動物の核18SリボソームRNA遺伝子の塩基配列(の一部)

## 分子系統学 研究材料＝遺伝情報(ゲノム)

### いいところ

- ・データ量がものすごく大きいので、結果に研究者の主観が入りにくい＝客観性が高い
- ・扱う生物のことをよく分かっていなくても、適切な手法を用いれば「とりあえず何か」の結果は出せる
- ・対象とする生物同士が遠いすぎても似すぎていても、適切な手法を用いればいい結果を出せる

### よくないところ

- ・分子レベルの「見えないもの」を扱うので、直感的に理解しにくい
- ・ふつう、古生物は使えない
- ・いい結果を出すには、適切なゲノム領域と解析手法を選択する必要がある
- ・分子生物学的な技術と知識が必要
- ・「結果」を出しても「考察」がショボくなるのがけっこうある(結局、形態や個体発生のことを知らないとい研究はできない)

## 系統学の研究(「伝統的な系統学」と「分子系統学」のちがいがい)

それではつづいて、**分類学**の話をしなければなりません。

ネタバレとなりますが、フクロムシ(より正確にはフクロムシ類)は「甲殻類」に含まれる1グループの総称」です。それと同時に、「甲殻亜門 顎脚綱 鞘甲亜綱 蔓脚下綱 根頭超目に属する生物の総称」でもあります。

なに? 「甲殻類」と「甲殻亜門」でどちらがうの? てゆーかナントカ綱とかナントカ目とか超カンベンなんすけどー? このような混乱を避けるため、退屈で重要な**分類学**の話をします。

## 分類学のお話

分類学というのは、生物の種を分類する学問分野です。18 世紀にリンネという人が「いろんなものを分類してやるんだー! 」と息まいて始めた学問で、リンネさんは生物だけでなく鉱物(黒曜石とか水晶とか)までも分類しまくりましたが、現在では生物の分類学だけが継続しています。

分類学では、全ての生物の種を「分類学的単位」によって表記します。

ヒトという種は、

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| 真核生物 [ドメイン] | [Domain] Eukaryota       |
| 動物 [界]      | [Kingdom] Animalia       |
| 脊索動物 [門]    | [Phylum] Chordata        |
| 脊椎動物 [亜門]   | [Subphylum] Vertebrata   |
| 哺乳 [綱]      | [Class] Mammalia         |
| 霊長 [目]      | [Order] Primate          |
| ヒト [科]      | [Family] Hominidae       |
| ヒト [属]      | [Genus] <i>Homo</i>      |
| ヒト [種]      | [Species] <i>sapiens</i> |

というぐあいに表記されます。なんというか、**生物の住所みたいなもの**です。

ヒトのことをホモサピエンスというのは、分類学に基づく**学名**です。学名は「属名＋種名」で表記すると決められています(二名法)。だから *Homo sapiens* です。イタリアックで書くのはルールです。論文のなかでヒトについて言及するとき、いちいち「Eukaryota Animalia なんとかかんとか～ *Homo sapiens*」と書くのはダルイので、ふつうは学名で *Homo sapiens* と書きます。学名には他にも細かいルールがあります。

- ・ 厳密には、「種の特徴を定義して命名した論文」の著者・発表年をつけます。ヒトの場合、*Homo sapiens* Linnaeus, 1758 となります。「リンネさんが 1758 年に書いた論文で *sapiens* という種が定義され、命名されましたよ」ということを示すわけです。なお、この「種の特徴

を定義し、命名する」という作業を「種を記載する<sup>きさい</sup>」と言います。

- ・ リンネさんは分類学の生みの親なので特別扱いで、L.と略しても OK です。*Homo sapiens* L., 1758 となります。
- ・ ダルかったら属名を省略して *H. sapiens* と書いても OK です。  
などなど。



生物の分類の**最小基本単位**は「種」です。ヒトもイヌもネコもアゴヒゲアザラシもミズクラゲもアフリカハゲコウも「種」です。

「種」とは何かというと、いろいろな人がいろいろなことを言っているのですが、まあだいたい、「自然界で自由に交配し、しかも健全な子孫が代々にわたって生存しうる関係をもつグループ」という感じに定義されています(旺文社生物辞典)。

そういうわけで、イヌなどはいろんな形態をしています、「基本的には」全て交配可能なので、ひとつの「イヌ」という種にまとめられます。

ウマとロバは交配可能ですが、その子供であるラバやケッティは生殖能力がないので、別々の種となります。

ただ、この定義にもいろいろと問題があります。

- ・ イヌ同士でも、雄セントバーナードと雌チワワでは子供を作れない。どうしてくれんの？
  - ・ 「自然界で自由に交配し、健全な子孫が代々にわたって生存している」ことをちゃんと証明するのはとても大変。
  - ・ 別種かと思いきや、元気な雑種を作っちゃう生物もけっこういる(植物などに多い)。どうしてくれんの？
  - ・ 大腸菌みたいに交配せずに分裂で増えていく生物はどうしてくれんの？
  - ・ 古生物はどうしてくれんの？交配がどうかなんて絶対に分からないのに。
- などなど。

というわけで、現実的には、種の記載は形態の特徴によってなされます。ただし最近では、分子系統学の発展により、「グループ内外での交配の有無」をある程度調べることが可能になっています。

種より上の階級にある分類単位(ドメイン・界・門・綱・目・科・属)は、基本的には形態の特徴によって記載されます(この「基本的には」というのがまたメンドクサイところなのですが……)

例を挙げると、「脊索動物門」の定義は、

- ・ 背中側に中枢神経がある
- ・ 発生の過程で脊索という軟骨組織が生じる
- ・ 血液には、ヘモグロビンをもつ赤血球が含まれる
- ・ 体は左右対称である

などなど です。

ちなみに例外はたくさんあります…… たとえば、南極の海に住むある種の魚は、間違い



なく脊索動物ですが、ヘモグロビンをもっていません。

もう1コ例をあげると、霊長目の定義は、

- ・ 前肢の親指が他の指と対向していて、物をつかめる
  - ・ 両目が顔の正面にある
  - ・ 色覚がある
  - ・ 顔面に毛が生えていないことが多い
- などなど。

また、「ドメイン・界・門・綱・目・科・属」だけじゃ足りないんですけどー（というか、ふつう足りません）」という場合のために、「上・亜・下」などの接頭辞が用意されています。

なお、ある生物グループにどの分類単位を与えるかについては、「過去の研究の影響」「研究者のセンス」が大きく関係しており、**科学的な実体はありません**。ですから、「海綿動物門、刺胞動物門、軟体動物門、節足動物門……どれも「門」だから、だいたい同じくらいのレベル(?)なんだな」と思っははいけません。

そういうわけで分類学というのは、実のところ、「属以上の分類単位に科学的な実体がなく」「種の定義にしてもなんだか微妙な」ちょっと困った学問です。**「こんなの科学じゃねえよ！」**と言う人もいるくらいです。それでも分類学が続いているのは、「使いやすい」からです。

こんな分類学ですから、研究者の間で意見が食い違うのはしょっちゅうです。ヒトの分類にしても、

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| 真核生物 [ドメイン] | [Domain] Eukaryota       |
| 動物 [界]      | [Kingdom] Animalia       |
| 脊索動物 [門]    | [Phylum] Chordata        |
| 脊椎動物 [亜門]   | [Subphylum] Vertebrata   |
| 哺乳 [綱]      | [Class] Mammalia         |
| 霊長 [目]      | [Order] Primate          |
| 真猿 [亜目]     | [Suborder] Haplorhini    |
| 狭鼻 [下目]     | [Infraorder] Catarrhini  |
| ヒト [上科]     | [Superfamily] Hominoidea |

|        |                          |
|--------|--------------------------|
| ヒト [科] | [Family] Hominidae       |
| ヒト [属] | [Genus] <i>Homo</i>      |
| ヒト [種] | [Species] <i>sapiens</i> |

このくらい細かくしてもいいんじゃないですか？という意見があります。ほんと、いろいろです。

生物の分類というのは、不変のものではなく、研究が進むことによりどんどん更新されていくものです。特に最近では、分子系統学の成果を反映させることで、これまで考えられてきた生物分類が大きく塗り替えられています。

たとえば、哺乳類の中の<sup>しんじゅう</sup>真獣類(あ、「類」を使っちゃった)の分類は、伝統的には「げっ歯目」「偶蹄目」「奇蹄目」「霊長目」「食肉目」「翼手目」……という感じで動物園の表記などでもおなじみだったのですが、最近では分子系統学の成果により「**アフリカ獣上目**」「**異節上目**」「**真主げつ上目**」「**ローレシア獣上目**」というぐあいになってきています。なんだか全然イメージできないけどしょうがない。

このあたり、**分類学の「使いやすさ」と系統学の「科学的な正確さ」**がガチンコでぶつかりあっています。「なんとか科学的な正確さとリンネ分類を両立させたい……」あるいは「もう分類学なんか捨てちゃおうよ！」みたいな研究者達の思惑がドロドロにうずまいて、それはそれで面白いのですが、そういうことを解説していると永遠にフクロムシまでたどり着けないので、このへんで終わりにします。

ここまでの話で、「門」だの「綱」だのという分類単位は理解していただけたでしょうか。繰り返になりますが、これらの分類単位には科学的実体がありません。生物を体系的に理解するのに「使いやすいから」使われているだけで、実際には多くの矛盾をはらんでいます。また、ある綱が上綱に格上げになったり、あるいは消えたりすることも普通にあります。

そこで便利なのが、「**ナントカ類**」という表現です。「ナントカ類」という言い方は、**分類単位に関係ない**のです。たとえば分類学的には「脊椎動物亜門 哺乳綱 霊長目 ~」となっても、それぞれを「脊椎動物類」「哺乳類」「霊長類」と言っているのです。研究者がイメージしやすいように言えるのがいいところ。

しかしながら、分類単位という便利なツールを捨て、全部「ナントカ類」にしてしまっただけは、うまく話ができないのです。やだねえー。

というわけで、フクロムシについてのお話では、分類単位と「ナントカ類」が入り混じった文

章になります。ご容赦ください。混乱しそうになったら、この項目を読み返してみてください…。

それでは、論文の主人公「フクロムシ」という動物についてご説明します。

## フクロムシってどんな生き物？

フクロムシは、**甲殻類**の仲間です。他の生物に取りついて栄養を奪う**寄生性甲殻類**です。

### <甲殻類>

まずは甲殻類についてご紹介を。カニ、エビ、ザリガニ、ヤドカリ、シャコ、その他いろいろありますが～。

甲殻類というのは、昆虫類などと並ぶ**節足動物**の1大グループです。甲殻類は節足動物のなかでも特に水中(多くは海)に特化したグループであり、立ち位置的には「昆虫の海版」という感じです。昆虫と同様、とても多くの種類と個体数があり、海洋の生態系において欠かすことのできない存在です。

Wikipedia によると甲殻類の分類学的位置は「甲殻亜門」です。しかしながら節足動物のデカイ分類は現在めまぐるしく流動しているので、「甲殻類」と言ったほうが便利かと思います。

# 節足動物

ろ、まぐ 六脚類(昆虫) 

甲殻類 (カニ、エビ、ミジンコ etc...) 

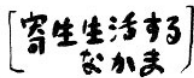
た、まぐ 多足類 (ムカデ、ヤスデ、ヘビ、ジゲジ etc...) 

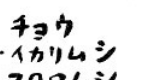
まよう、かく 鋏角類 (クモ、ダニ、サソリ、カブトガニ etc...) 

[三葉虫類(三葉虫 etc...)]   
\*すでに絶滅

[その他よくあかりんモノ(アノマロカリス etc...)]   
\*すでに絶滅

# 甲殻亜門

なん、こ、こ 軟甲綱 (カニ、エビ、ヤドカリ、ダンゴムシ)  [寄生生活するなかま]  
ヨコエビ、ワレカウ etc... ウオノエ、ヤドリムシ etc.

か、まぐ 頭脚綱 (ケンミジンコ、ウミホタル、フジツボ)  チョウ、ヒメヤドリエビ etc... チョウ、イカリムシ、フクロムシ etc.

さい、まぐ 魚脚綱 (ミジンコ、カイエビ、カブトエビ)  
シーモンキー etc

ムカデエビ綱 (ムカデエビ)

カシラエビ綱 (カシラエビ)

## 甲殻類の超大ざっぱな分類

甲殻類にはさまざまな種類があり、それぞれ異なった生活をしています。比較的大型で海底を這うカニやヤドカリ、俊敏に泳いだりもできるエビ、穴を掘って暮らすシャコ、陸上で生活するダンゴムシ、岩にくっついて暮らすフジツボ、それから動物プランクトンとして(多少は泳