

Title	文系学生を対象とした新しい系統進化学実験
Sub Title	A new phylogenetical experiment for non-science major students
Author	三本, 博之(Mitsumoto, Hiroyuki) 八畑, 謙介(Yahata, Kensuke) 長谷川, 由利子(Hasegawa, Yuriko)
Publisher	慶應義塾大学日吉紀要刊行委員会
Publication year	2013
Jtitle	慶應義塾大学日吉紀要. 自然科学 (The Hiyoshi review of the natural science). No.54 (2013. 9) ,p.57- 70
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	研究ノート
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN10079809-20130930-0057

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

文系学生を対象とした新しい系統進化学実験

三本博之*・八畑謙介**・長谷川由利子*

A new phylogenetical experiment for non-science major students

Hiroyuki MITSUMOTO, Kensuke YAHATA and Yuriko HASEGAWA

1. はじめに

近年の環境問題への意識の高まりにより、「生物多様性」という用語も一般に浸透してきた。多くの人が、この生物多様性が過去数億年にわたる系統進化の結果としてもたらされたものであることは理解しており、系統進化の様子を示した系統樹を目にする機会も少なくない。しかしながら、その系統樹がどのように作成されているかはほとんど知られていない。人間の歴史を学ぶ歴史学が人間の将来の発展に資する学問分野であるのと同じく、生物の過去を探る進化学は、われわれ人間を含む生物の将来を占ううえで重要な学問であるものの、専門以外の教育現場で進化学が扱われる機会は乏しい。

そこで私たちは、節足動物の系統解析を通じて文系学生に対して系統進化学への理解を深めることを目的とするプログラムを開発し、2010年度から2012年度にかけて慶應義塾大学商学部開講「生物学Ⅱ」の実習において実施した。この中で2012年度に実施した実習は、2010年および2011年の成果を踏まえて改良したプログラムに従ったものである。本稿では、2012年の実習に使用したプログラムおよびそのプログラムを用いた実習の結果を中心に報告する。

限られた時間の中で効果的な実習を行うためには、対象とする試料の選定が重要となる。節足動物は特徴的な形態を数多く有し、観察が比較的容易であることに加え、各構造物の形態と機能の関連がわかりやすく、さまざまな考察を行うことが可能である。そこで私たちは、カニムシ、サソリ、ザリガニ^{*}、ヒメフナムシ、アリ、コオロギ、ムカデ、ヤスデ^{**}の8種の節足

* 慶應義塾大学日吉生物学教室 (〒 223-8521 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1) : Department of Biology, Keio University, Hiyoshi 4-1-1, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa 223-8521, Japan.

** 筑波大学生命環境系 (〒 305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1) : Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan. [Received Mar. 28, 2013]

動物（※はデータのみ）を対象とし、それらの形態データを取得し、取得したデータをもとに系統樹を作成し、得られた系統樹を評価し、最後に実習全体について考察する、という構成の実習プログラムを開発した。なお、このプログラムは、系統解析の基本的な考え方を理解させ、過去を推定するための手法とその限界などを考察させることを目的としており、節足動物に対する理解を深めることを必ずしも目的としていない。

2. 本プログラムの特色

多くの文系学生にとって、生物学実習は生物に触れることのできる数少ない機会であり、本来であれば生きている生物を扱わせるのが望ましい。しかしながら、本プログラムで用いる節足動物試料の中には安定した調達が困難なものもあり、生きている状態での提供は事実上不可能であった。たとえ固定標本として提供するとしても、数に限りがあることから、なるべく破損しないように扱わせる必要があるが、それは不慣れた学生にとって非常に困難であることが予想された。さらに、節足動物の外見をグロテスクであると感じる学生も多く、十分な観察が行えないことも予想された。また、系統進化学には理解すべき概念が非常に多く、系統樹作成方法も多数存在するため、1回の実習中にすべてを理解させることはとうてい不可能である。

本プログラムでは、専用に作成された、扱いやすく不快感の少ない節足動物プレパラートを使用し、大幅に簡略化した系統樹作成法を用いることで上記の問題に対処し、授業時間内に系統分類学の大まかな流れを把握させることが可能になった。

3. プログラムの概要

3-1. 形態データの取得（資料1・実習プリント：方法1）

3人もしくは4人を1組とし、1人あたり2つ以上の標本の観察を担当させる。系統解析の対象となる節足動物8種は、鋏角類（カニムシ、サソリ）、甲殻類（ザリガニ、ヒメフナムシ）、昆虫類（アリ、コオロギ）、多足類（ムカデ、ヤスデ）の4グループに分類でき、観察が正確に行われればグループ内での形質データは一致する。

観察の対象とする6種の節足動物は、脱色したのちに不飽和ポリエステル樹脂に包埋し、生物顕微鏡（OLYMPUS CX21FS2）のステージに載せられるサイズ（幅×奥行×厚さ≒85×30×10 mm）に成型したプレパラートとして提供する。このプレパラート中の標本は褐色透明であるため、解剖することなく細部を観察することができる（図1）。観察には実体顕微鏡（OLYMPUS SZ61）を、細かい観察が必要な場合のみ生物顕微鏡を使用するように指示する。各標本とも、次の3カ所を観察して形質データを取得し、スケッチとして記録させる。

- ・形質2：触角（有／無）
- ・形質3：摂食に用いる頭部付属肢（顎／鋏角）
- ・形質4：体節の特殊化の様子（特殊化している／特殊化していない）

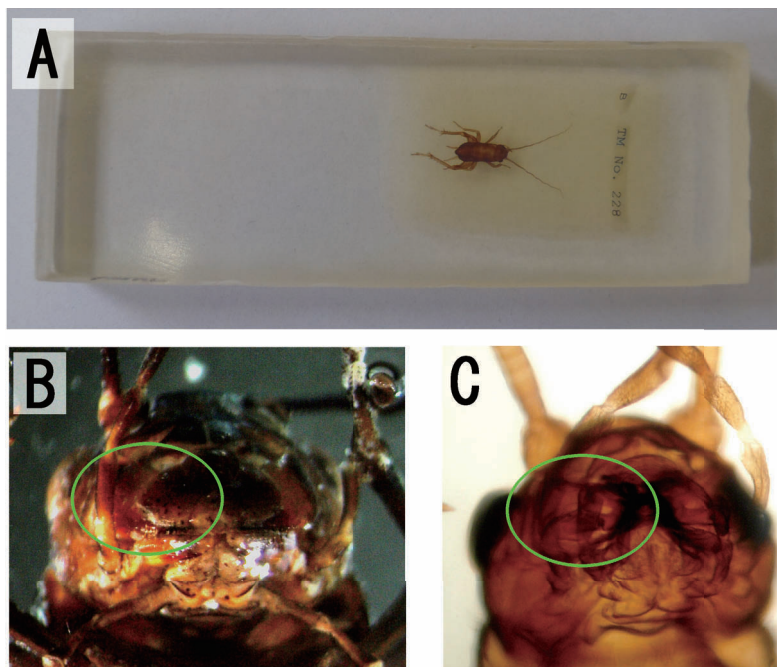


図1. プレパラートおよび透明化前後の標本

A: プレパラート (コオロギ)。B: 透明化前のコオロギの頭部。丸で囲んだ部分に顎があるが、上唇に隠れて観察できない。C: 透明化後のコオロギの頭部。丸で囲んだ部分が顎で、容易に観察できる。

以上の観察の終了後、スタッフがデータを確認し、誤りを正して次の手順に進ませる。この手順には、およそ30分程度の作業時間を想定している。

3-2. 系統樹の作成 (資料1・実習プリント:方法2)

以降の作業は個人で行うものとする。上記手順で取得した3種類の形質データに、あらかじめ提供してある以下のデータ

- ・形質1:呼吸様式 (鰓/気管)

のデータを加えた合計4種類の形質データを用いて、仮想的な節足動物の祖先から現生の節足動物の4グループ (鋏角類, 甲殻類, 昆虫類, 多足類) が最節約的に分岐する系統樹を描かせる。このうち、鋏角類は他の3グループから最初に分岐したものとし、残る甲殻類, 昆虫類, 多足類の分岐パターン (合計3つ, 図2参照) をあらかじめ与えたうえで、どの枝でどのような変化が生じたのかを推定させる (図3参照)。鋏角類も含めた4グループの分岐パターンすべてについて検討させるほうが合理的であるが、実用上の困難により上記の形となっている (6-2項参照)。また、仮想的な祖先型節足動物については、すべての形質データを提示する。このように作成された系統樹を実験の結果とし、次に結果を評価させる。この手順には、およそ30分程度の作業時間を想定している。

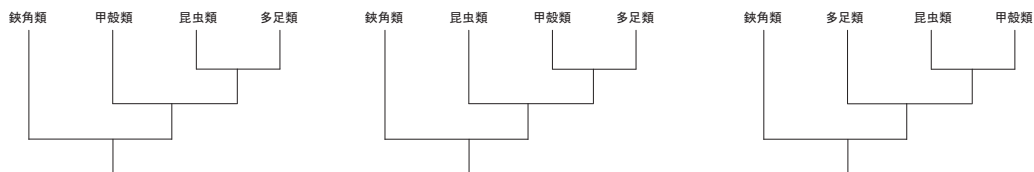


図2. 鉄角類を外群としたときの甲殻類・昆虫類・多足類の分岐パターン

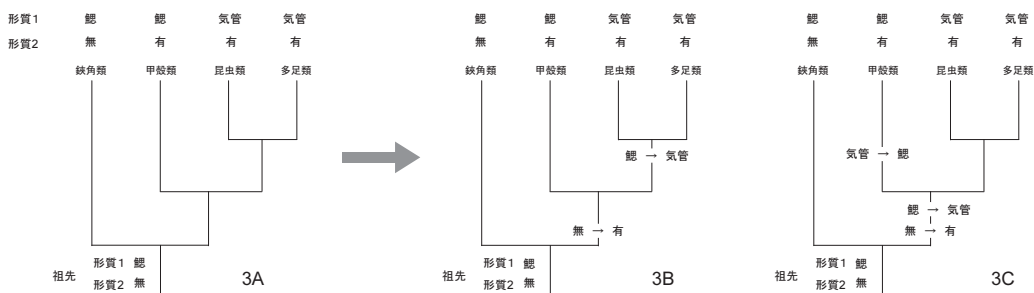


図3. 最節約系統樹の作成方法の例

祖先から現生種に至るまでのどの枝で、どのような変化が生じたのかを記入する。組み合わせは無数に存在するが、変化の回数が最も少ないものを最節約系統樹とする。図3Bは最節約系統樹であり、これ以上変化の回数を少なくして説明できない。図3Cは図3Bより変化の回数が多く、最節約系統樹ではない。

3-3. 系統樹の評価 (資料1・実習プリント：課題)

作成した複数の最節約系統樹のうち、節足動物の4グループの系統関係を最もよく再現していると考えられる系統樹を選定させ、その理由を述べさせる。この際、以下の追加データを自由に使うよう指示する。追加データを使用しない場合、その理由を述べさせる。

- ・形質5：翅 (有／無)
- ・形質6：繁殖様式 (卵生／卵胎生／胎生)
- ・形質7：食性 (肉食／草食／雑食)

最良と考えられる系統樹は1つに絞れなくてもかまわないが、その場合も理由を述べさせる。学生に追加データの使用・不使用を判断させる、すなわちデータを主観により選別させることの目的は、科学のプロセスにおいて主観が介在することの意義を考えさせることにある。形質1～7すべての中から選別させるほうが合理的であるが、実用上の困難により上記の形となっている (6-3項参照)。

3-4. 考察 (資料1・実習プリント：考察)

本実習の目的である節足動物の系統進化過程の推定が達成されたかどうかを考察させる。考

察において特に制限は設けないが、手法（最大節約法）やデータ（外部形態データおよび追加データ）が適切であったか、よりよい系統樹作成に必要なデータの種類の何か、などの考察のヒントを提示する。最後に、DNAを用いた分子系統樹（Hwang *et al.*, 2001より改変）を提示し、これを含め本実習中に得られたすべての情報を自由に用い、節足動物の系統進化をもっともよく再現している系統樹を1つ選定させ、その理由を述べさせる。この際、最節約法にとらわれず、自由な発想のもとに作成した系統樹を最良の系統樹としてもかまわないと伝える。過去の推定という、正解のない問題を扱っていることを意識させ、課題および全体の考察の採点においては、斬新な発想とそれを簡潔な文章で適切に表現できることを重視すると伝える。上述の系統樹の評価（3-3項）とあわせ、60分程度を要することを想定している。

4. 実習の実際

実習は、2012年12月に、5クラス（合計約200人）を対象に行われた。クラスにより多少の変更はあったものの、おおむね先述のプログラム通りに行われた。実習に先立ち、種分化と系統樹の関係、系統推定の手法の概要、実習の進め方などを、およそ50分かけて概説した。

4-1. 形態データの取得の実際

実施時期が秋学期後半だったこともあり、すでに数回の顕微鏡操作を経験しており、観察の作業に戸惑う学生はほとんどおらず、目立った問題は発生しなかった。また多くの場合、仲のよい学生どうしで組を作ることができていたため、共同作業も円滑に進んでいた。ただ、状態が悪いプレパラートが割り当てられた一部の班では、観察に若干の支障が生じていた。この過程の完了には30分程度を要した。

4-2. 系統樹の作成の実際

この手順以降は個人作業となるが、共同作業を禁じてはいないので、近隣の学生どうしで話し合いながら進める様子が多く見られた。そのためか、系統樹作成法がわからずに作業が停滞している学生はほとんど見当たらなかった。明らかに間違っている系統樹を描いた学生も少なく、作業はおおむね順調に完了した。この過程の完了には30~60分程度を要した。

4-3. 系統樹の評価の実際

個人で黙々と考える学生と、活発に議論しながら進める学生の両極端に分かれていた。どの系統樹を最良とするかはまちまちであった。一度失った形質が再度獲得された系統樹を候補から除外する学生も少なからず見られたが、単純に追加データを最節約法により処理して系統樹を作成しただけのケースが多かった。追加データの使用に関し、科学のプロセスにどこまで主観の介在が許されるか、という点を考えてほしかったが、巡回して様子を見るかぎり、そのような考えを巡らせている学生は少数であった。また、追加データを使用しないにもかかわらず、

その根拠を述べていない学生が多数見られた。追加データの形質5は、系統樹作成にあたりなら影響を与えるものではないが、この点に気づいた学生は半数にも満たなかった。

4-4. 考察の実際

これまでに、“どこかにある（教員が設定している）正解”を探すスタイルの実習に慣れている学生にとって、本実習の考察はかなり異質なものであったようで、まったく筆が進まない学生もおり、彼らの考察の多くは実習前の説明で述べた内容を繰り返すにとどまり、考察の体を成していなかった。しかしながら、少数ではあるが、データの取得方法に問題があることを指摘した学生もおり、彼らは形質4を例にあげ、実習では胴部の体節が“特殊化している”もしくは“特殊化していない”の形でデータを取るようになっていたが、実際の標本を観察すると特殊化の様相は多様であったため、単純な2択は不適切である、と指摘していた。最後に、すべての情報を自由に使い、節足動物の系統進化をもっとも正確に再現していると考えられる系統樹を1つ選定せよ、という指示に対しては、客観性が高いことなどを根拠にDNAを用いた系統樹を最良とする学生が大半であった。また少数ではあるが、形態データを用いた系統樹のうち、DNAを用いた系統樹と一部共通しているもの（甲殻類と昆虫類が姉妹群を形成している系統樹）を最良のものとして選定する学生もおり、彼らは選定の根拠として、異質のデータから導き出されているにもかかわらず同じ結果が出たということは確度が高いと述べていた。

系統樹の評価と考察の完了までに要した時間には、早々に考察を諦めて10分程度で終わらせる者から、60分以上かかっても終わらずに後日の提出となった者まで大きな幅があったが、ほとんどの学生は実習時間内に作業を終えていた。

5. アンケート

実習終了後、本実習についてのアンケート調査を行い、177人から以下の回答を得た。

Q1. 実習前の説明は理解できましたか？

A1. 理解できた：96人（54%）／普通：70人（40%）／理解できなかった11人（6%）

Q2. 標本の観察は難しかったですか？

A2. 簡単だった：22人（12%）／普通：92人（52%）／難しかった：63人（36%）

Q3. 節足動物を気持ち悪いと感じますか？

A3. 気持ち悪くない：31人（18%）／ふつう：74人（42%）／気持ち悪い：72人（41%）

Q4. Q3で「気持ち悪い」と回答した方に質問します。今回用いた標本は気持ち悪かったですか？

A4. 気持ち悪くない：16人（22%）／許容範囲内：43人（60%）／気持ち悪い13人（18%）

Q5. 今回の実習で系統推定の概念を理解できましたか？

A5. 理解できた：64人（36%）／まあまあ：108人（61%）／理解できなかった：5人（3%）

以下、自由回答欄より一部を抜粋した。

- ・もう少し説明時間を短くしてほしい。(他にも同様のコメント複数あり)
- ・大変でした。
- ・いつもと違う脳を使いました。
- ・難しかったです。
- ・気持ち悪い。今日のすべてが。
- ・自分で判断するのはとても難しいです。
- ・みんなでたのしくできて良かったです。
- ・これまで暗記するしかなかった生物の進化を理論的に考えることができました。(他にも同様のコメント複数あり)
- ・今回も気持ち悪かったです、ショウジョウバエの実験のほうが辛かったです。
- ・思ったより気持ち悪くなかった。
- ・普段とは内容がけっこう違ったので新鮮で楽しかったです！ ありがとうございます。
- ・すごく興味をもてて楽しかった。高校とかでは、細胞の器官の名前とかホルモンとかばかりやって正直面白くなかったが、今回の実習は考えるのも楽しかった。小さいころ、生き物の研究をしたいと思ってた頃の気持ちを思い出した。

実習前の説明が十分であったかを問うたQ1に対して、半数以上の学生が理解できたと回答している。このことから、予備知識のない学生に対して、限られた時間内で系統進化の概要を理解させることができたと考えられる。これに関連し、自由回答欄には、実習前の説明が長すぎるというコメントが複数あった。しかしながら、本実習における事前説明の時間は、他の実習と同様の50分前後であり、際立って長いものではない。学生が事前説明を負担と感じてしまったのは、通常の講義で学んだことのない内容を詰め込まれたことによる可能性がある。

本プログラムの作成時において、節足動物の外見のグロテスクさにより、観察を行えない学生がいることが懸念されていた。実際に、節足動物を気持ち悪いと感じるかを問うたQ3への回答では、気持ち悪いと回答した学生は4割以上に達した。しかし、気持ち悪いと回答した学生を対象に、本実習で観察した標本は気持ち悪かったかを問うたQ4に対して、気持ち悪いと回答した学生は2割に達していなかった。このことから、全体の約93%の学生は、樹脂封入標本を用いた観察に支障は生じなかったといえる。

本実習で系統推定概念を理解できたかを問うたQ5に対しては、3割以上が理解できた、約6割がまあまあ理解できた、と回答している。漠然とした設問であったため、どのような内容をどの程度理解できたかを細かく解析することはできないが、多くの学生に系統推定の概要だけでも理解させることはできたと考えられる。

6. 本プログラムの問題点と改善策

6-1. 形質データの取得に関する問題点と改善策

アンケート結果および実際の状況から判断するかぎりにおいて、節足動物の外見のグロテスクさからくる拒否反応は想定より小さく、試料の取り扱いにも問題は生じなかったため、透明化した樹脂封入標本を用いるという試みは一定の成果をあげたと評価できる。しかし、プレパラートの状態が悪くて観察しづらく、観察に支障が生じたケースがあった。この原因には、表面についた傷、樹脂の経年劣化による変色、試料封入時の角度が不適切である、などが挙げられる。このうち、表面に付く傷は、現在使用中のプレパラートに追加のコーティングを施すことで、ある程度の改善が見込まれる。樹脂の変色と封入時の角度が不適切であるものは、現在使用中のプレパラートに修正を加えることでの改善はできないため、今後新たにプレパラートを作る際に、樹脂の種類を変更したり、試料封入の角度の調整を検討する必要がある。また、ヒメフナムシとムカデにおける形質2（摂食に用いる頭部付属肢、どちらも顎）は非常に小さい構造であり、試料の状態いかんにかかわらず観察が難しいため、この2種については、より観察が容易な試料への変更を検討すべきである。

6-2. 系統樹の作成に関する問題点と改善策

近隣の親しい学生と協力していたこともあり、作業は順調に進み、想定時間内を大幅に超えることなく作業が終了していた。またアンケート結果からも、実習開始前の解説で十分な理解が得られたと考えられ、特に改善すべき問題は見当たらない。ただし、本プログラムは、あらかじめ鋏角類を外群とし、甲殻類、昆虫類、多足類の3グループだけを系統推定の対象としたが、本来であれば鋏角類を含めた4グループの系統関係を考えさせるべきと考えている。本プログラムのように3つのグループを対象とした場合、枝分かれパターンは3個であるが、4グループを対象とした場合、枝分かれのパターンは15個と大幅に増加し、学生への負担が過大なものになってしまう。2011年度実習では4グループを対象とし、4人1組で分担してすべてのパターンについて検討させた（付記1-2項参照）が、組内での協力体制の問題が生じてしまった。今後、対象グループの数については、実際の様子を考慮に入れ、さらに検討を重ねることが望まれる。

6-3. 系統樹の評価に関する問題点と改善策

この課題の目的は、追加データの扱い（学生自身の主観によるデータの取舍選択）を通して、科学的手法と主観の関係について考えさせることであった。しかしながら、学生の反応を見るかぎり、なぜ最初から形質1～7すべてを使わずに形質1～4だけを使ったのか意味がわからなかった様子であり、明らかに出題ミスであったと考えられる。この問題に対し、形質1～7から用いる形質を各自に自由に選択させるように変更することで、学生に過大な負担を強いる

ことなく、こちらの意図が伝わると期待される。ただしこの場合、学生によりどの形質を選択するかが違い、それぞれまったく違う系統樹ができるため、採点時のチェックに膨大な時間がかかってしまうという、実用上の問題が生じる。課題の設定の目的、学生の負担、そして採点時の教員の負担などを勘案し、適切に変更していく必要がある。

6-4. 考察に関する問題点と改善策

考察における意図は、データの扱いの難しさや、過去を推定することの限界等の問題に踏み込むことであったが、多くの学生の考察が、単に提示した考察のヒントに対する一問一答にとどまっていた。DNA データについても、どのように扱ってよいのかわからなかったためか、DNA データは先進的かつ客観的で信頼できるが、形態などの外見データは主観が混じり、かつ古い手法なので信頼できない、と述べる程度であった。今後は多くの学生が考察を深められるように、実習前の説明や設問による誘導などによって適切に指導することで改善が見込まれるが、学生の自由な発想を制限することのないよう十分に注意を払う必要がある。

7. まとめ

本プログラムは、系統解析の基本的な考え方を理解させ、過去を推定するための手法とその限界などを考察させることを目的に掲げて開発された。これらのうち、系統解析の基本的な考え方については、およそ理解させることができたと考えているが、過去の推定に対する問題への考察を深めさせることは不十分であったといわざるをえない。限られた時間内にさまざまな要素を盛り込みすぎ、学生の負担を軽減するために単純化しすぎたゆえの失敗と総括できであろう。

このように問題点は山積しているが、それに対する改善策は提示されているため、今後適切な改良が施されれば、文型学生に対して十分な教育効果のある、類例のない実習に発展すると、私たちは確信している。

参考文献

- 1) 石川良輔編集 (2008) 「節足動物の多様性と系統」裳華房
- 2) 岩槻邦男・馬渡峻輔編集 (1996) 「生物の種多様性」裳華房

付記

付記1：2010年および2011年に行われた系統解析実習について

2010年および2011年の実習とも全体の構成は、透明化処理を施した節足動物の樹脂封入標本を観察して形質データを取得し、系統解析を行なったのち、作成された系統樹を評価し考察を行うというものであり、2012年度のプログラムと同様である。以下に、主に相違点を中心に概

略のみを述べる。

付記1-1：2010年度に行われた実習

付記1-1-1：標本の観察と形質データの取得

標本は、カニムシとサソリ（鋏角類）、ヒメフナムシとオキアミ（甲殻類）、アリとコロギ（昆虫類）、ムカデとヤスデ（多足類）を用いた。これらの標本から以下の形質データを取得させた。

- ・形質1：胴部の特殊化はあるか（有り／無し）
- ・形質2：触角は何対あるか（1対／2対／無し）
- ・形質3：大顎があるか（有り／無し）
- ・形質4：鋏角があるか（有り／無し）

これらのうち、オキアミとヤスデの形質3の観察は非常に難しかったため、次年度以降、この2種は観察対象から除外した。

付記1-1-2：系統解析

取得した形質データを用いて、平均距離法により系統樹を作成させた。

付記1-1-3：系統樹の評価と考察

作成された系統樹とDNAデータを用いた系統樹を比較し、節足動物の系統進化の様子を最も良く再現していると考えられるものを選定し、理由とともに述べさせた。

付記1-1-4：総評

平均距離法による系統解析は明快で単純であるが作業量が非常に多く、学生の負担が明らかに過大であり、その後の考察を行う気力も時間も失われていた。この反省をもとに、2011年は大幅にプログラムを改定することになった。

付記1-2：2011年度に行われた実習

付記1-2-1：標本の観察と形質データの取得

使用した標本については、2012年度のプログラムとの相違点はない。取得させた形質を以下に示す。

- ・形質1：触角（有り／無し）
- ・形質2：顎か鋏角か（顎／鋏角）
- ・形質3：胴部体節の特殊化（特殊化有り／特殊化無し）

付記1-2-2：系統解析

上記の形質1～3に加え、形質4：付属肢の分岐（有り／無し）のデータを用いて、最大節約法による系統解析を行わせた。2012年度実習プログラムでは、あらかじめ鋏角類、甲殻類、昆虫類、多足類の4グループを提示してあったが、2011年度は、8種の標本の形質データを比較して共通する特徴の多いものをひとつにまとめ、上記の4グループをつくらせた。また、2012年度プログラムでは鋏角類を最初から外群として扱ったが、2011年度実習では鋏角類も含めた4グループすべての系統関係を考えさせた。4グループの枝分かれパターンは全部で15となり、個人ですべて作成させるには負担が大きすぎると判断し、

3～4人を1組として分担して作業をさせた。

付記1-2-3：系統樹の評価と考察

提供される追加データが以下に示すものであった以外に、2012年度のプログラムとの違いはなかった。

- ・形質5：翅（有り／無し）
- ・形質6：繁殖方法（卵生／卵胎生／胎生）
- ・形質7：外見（かわいい／かっこいい／かわいくない／ふつう）
- ・形質8：食性（草食／肉食／雑食）
- ・形質9：呼吸方法（鰓／気管）

付記1-2-4：総評

大きな問題は生じなかったが、仲のよい者どうしの組とそうでない組で、系統樹作成に要する時間に大きく差がついてしまい（最長で1時間以上）、その後の評価や考察に影響が出てしまった。この反省をもとに、基本的に個人作業で済む作業量になるように2012年のプログラムを作成した。

付記2：節足動物試料について

本実習で用いた試料となる節足動物の詳細を以下に記す。

本報告および実習プリント中の表記（標準和名）、採集情報

- ・カニムシ（イソカニムシ）、2010年5月 静岡県下田市
- ・サソリ（ヤエヤマサソリ）、2010年7月 沖縄県八重山郡西表島
- ・オキアミ（ナンキョクオキアミ）、2010年6月 神奈川県横浜市内釣具店にて購入
- ・ヒメフナムシ（ヒメフナムシ）、2010年6～9月 神奈川県横浜市港北区
- ・アリ（クロオオアリなど）、2010年6～9月 神奈川県横浜市港北区
- ・コオロギ（フタホシコオロギ）、2010年6月 神奈川県横浜市内熱帯魚店にて購入
- ・ムカデ（ジムカデ類、オオムカデ類、イシムカデ類）、2010年6～9月 神奈川県横浜市港北区
- ・ヤスデ（マクラギヤスデ）、2010年6～9月 神奈川県横浜市港北区

付記3：系統解析に使用する形質の妥当性について

本プログラムの目的は系統推定のプロセスを理解させることであり、節足動物に関する正確な知識を伝えることではない。そのため、本プログラムで用いた各種の形質はわかりやすさを最優先に考えて選定されており、節足動物の系統進化を考えるうえで必ずしも適切なものではない。

- ・頭部付属肢（触角、顎、鋏角）

節足動物の頭部付属肢は、甲殻類を基本として考えると、前から第一触角、第二触角、顎の順になっている。このうち、第二触角を持たないのが昆虫類と多足類で、第一触角と顎を

持たず第二触角と相同の付属肢が鉗角に変化しているのが鉗角類である。系統進化を論じるためには、相同形質どうしを比較することが必要となり、そのためには顎と鉗角を比較するのは不適切である。しかし本プログラムでは、わかりやすさに重点を置き、餌を食べるための付属肢として顎と鉗角の比較を行わせた。

・付属肢の分岐

祖先的な節足動物の付属肢は二又に分かれており、この特徴を有している現生の節足動物は甲殻類のみである。この形質は、甲殻類を共通のものとしてまとめるためには有用であるが、系統関係を論じるための役には立たない。また、形状と機能を対応させて考えるのも難しいため、2012年度プログラムでは用いなかった。

・胴部の特殊化

節足動物は体節と呼ばれる構造が前後に多数連結して形成されている。このうち前方の6節が融合して頭部を形成し、残りは胴部となる。胴部の体節は分類群によって融合や付属肢の特殊化の程度がさまざまであり、細かくグループ分けされるべきである。しかし本プログラムでは、学生への負担軽減のため、特殊化の様子を、特殊化している／特殊化していないの2択とした。

・翅

翅は昆虫類にのみ見られる形質である。上述の付属肢の分岐と同様、昆虫類をまとめる特徴としては有用であるが、節足動物の4グループの系統関係を論じるための役には立たない。

・繁殖方法

繁殖方法は、節足動物4グループの同一グループ内でもさまざまなバリエーションがあり、本プログラムにおいても、鉗角類のカニムシは卵生、同じく鉗角類のサソリ（ヤエヤマサソリ）は胎生となっている。繁殖方法の情報を提示した理由は、グループ内でさまざまなタイプがあるような形質が、系統分類においてどの程度信頼できるのかを考えさせるためであった。

・食性

本プログラムでは、節足動物の食性を肉食、草食、雑食の3種類に区分したが、節足動物の4グループそれぞれの中で、これらの特徴がすべて一致するものはなく、この区分は系統推定においてほとんど意味を持たない。この形質も上記の繁殖方法と同じく、グループ内でのばらつきに気づいてもらうために用いた。

・外形

科学的なプロセスには主観を排することが求められる。この項目は明らかに主観に基づくものであり、排除されなければならないことを理解させるための例として用いた。2012年度のプログラムでは簡略化のために用いなかった。

資料1. 実習プリント

節足動物の系統分類

節足動物は、現生種だけでも100万種以上が存在し、生物の中で最も多様化の進んだグループのひとつとされる。この著しい多様性も、ただ1種類の祖先的節足動物が数億年の間に進化を繰り返した結果もたらされたものである。

本実習は、8種類の節足動物を対象に最節約系統樹を作成し、彼らが辿ってきた進化の道筋を推定することを目的とする。

材料

触角類2種類(カニ、サザリ)、多足類1種類(ムカデ)、甲殻類1種類(ヒメマダムシ)、昆虫類2種類(アリ、ゴコロキ) 計6種類の樹脂封入標本

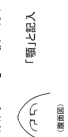
方法

- 1) 3~4人で1組を作り、各標本について以下の3つの形質を観察し、形質表(レポート用紙)に記入する。自分で観察した標本の形質については、その形状をスケッチして記録する。
- 観察には主に実体顕微鏡を使用し、細かい観察が必要なときは生物顕微鏡を用いる。

形質2:「触角があるか?」触角があれば「有」、無ければ「無」と記入



形質3:「顎が触角か?」顎であれば「顎」、触角であれば「触角」と記入



形質4:「開節体節は特殊化しているか?」特殊化していれば「している」、していないければ「していない」と記入



- 2) 作成した形質表のうち、形質1~4を用いて最大節約法により系統樹を作成する。

課題

全ての形質(形質1~7)を考慮に入れ、最も優れていると考えられる系統樹を1つ選定し、その理由とともに述べなさい。1つに絞れない場合、その理由とともに、候補全てを挙げなさい。

考察

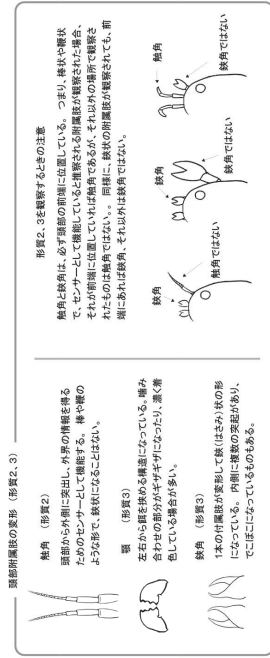
- 実験の結果、目的が十分に達成できたかどうかを考察する。
- 今回の手法で、進化の歴史を正しく反映した系統樹を作成することができるだろうか?
- より良い系統樹を作成するためには、どのような情報が必要か?
- DNA塩基配列を用いた系統樹(レポート用紙参照)および上記の課題で作成した系統樹のうち、最も優れていると考えられる系統樹を1つ選定し、その理由とともに述べなさい。
- * 最節約法にとらわれず、自由な発想のもとに作成した系統樹を候補としても良い。

原始的な節足動物 (= 節足動物の基本体制) * 下図参照

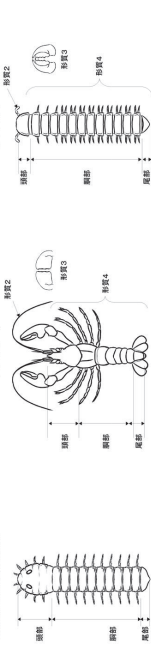
体は頭部、胸部、腹部の3つに区別され、頭部と胸部には左右対称な足(付属肢)が付いている。頭部には口、触角、複眼、複眼の間に3対の複眼がある。胸部には脚、翅、生殖器がある。腹部には排泄器官、生殖器官、呼吸器官がある。腹部には消化管、排泄管、生殖管、呼吸管がある。

現生の節足動物

様々な生活環境に適応し、体幹や付属肢の形は著しく多様化している。節足動物の形態は多岐にわたり、祖先ではあまり特殊化していなかった頭部付属肢は、触角、顎、触角に特化し、より効率良く機能を果たせるようになった。



(原始的な節足動物)



呼吸方法には大きく分けて陸上呼吸の2種類がある。肺は表皮の一部が外向きに伸長してひだ状になったもので、高気圧の空気が管状に流入して内側に伸びるものである。肺は血液の水分を介してガス交換を行うため、生息環境に水分が豊富に存在している必要がある。気管は気体を通じた呼吸を行うが、乾燥した場所でも生きていくことができるが、水中生活には向かない。

形質1: 呼吸方法



形質5: 翅

翅は上肢を延長して用いられる構造で、胸部体節の腹側にあり、翼の基部は伸長したものが起源である。とせ、付属肢が変形したものでないとするのが一般的で要解となっている。

形質6: 繁殖方法

交配をする動物が産卵する際には、卵を産む(卵生)ほ多生(卵生)体内で卵を孵化させて仔になってから体外に放出する(卵生)のいずれの方法をとる。卵は産卵の水分を介してガス交換を行うため、生息環境に水分が豊富に存在している必要がある。気管は気体を通じた呼吸を行うが、乾燥した場所でも生きていくことができるが、水中生活には向かない。

形質7: 食性

動物の食性は、彼らの生活環境に合わせた非常に多様化しており、また、様々な物質もそれらの食性の良いものになっている。一般例に挙げられている肉食性・草食性・腐食性の区分は、あまり実感を反映していない(たとえば菌類のみを捕食する場合は、この区分に当てはめることはできない)。

資料2. 提出用レポート用紙

(レポート用紙)
 提出日 / . 限 学部 学科 年 組 学籍番号 氏名
 班 共同研究者 氏名

節足動物の系統分類

目的
 8種類の節足動物を対象に系統樹を作成し、彼らが迎ってきた進化の道筋を推定すること
 材料と方法
 プリントに依った

結果 : 形質表

* 自分が担当した形質の欄に○をつける

	触角類		甲殻類		昆虫類		多足類	
	カニムシ	サソリ	ザリガニ	ヒメナムシ	アリ	コオロギ	ムカデ	ヤスデ
形質1 呼吸系	腸	腸	腸	腸	気管	気管	気管	気管
形質2 節内								有
形質3 顎/触角								触覚でものを咀嚼してはいない
形質4 脚の関節の構造								
形質5 翅	無	無	無	無	有	有	無	無
形質6 繁殖方法	卵生	胎生	卵生	卵生	卵胎生	卵生	卵生	卵生(?)
形質7 食性	肉食	肉食	雑食	雑食	雑食	雑食	肉食	雑食(?)

スケッチ

課題

考察

