

自然科学研究機構 基礎生物学研究所 生物進化研究部門

長谷部 光 泰

植物生理学会が近年、従来の生理学、発生学などの枠組みを超え、進化学、多様性生物学など関係他分野と融合して、新知見や新概念が生み出しつつあることは、学問的にすばらしいだけでなく、学会としての高い活力を示しているように思います。ただ、進化学は植物生理学会にとってまだ新しい分野であることもあり、日頃ちょっと気になる進化の問題について意見を述べてみたいと思います。以下、多くの方にとっては常識的なことが多いかもしれませんが、学生諸君などにご参考いただき、今後、ますます植物生理学会の中で進化的観点を含んだ研究が増えていくことを願っています。なお、詳しい解説は植物細胞工学シリーズ23「植物の進化」(秀潤社)が参考になると思います。

(1) 植物の系統

この15年間の分子系統学の進展によって植物の系統関係の概略が明らかになり、系統分類は大きく変わりました。10年以上前に出版された教科書や論文の系統関係は現在では大きく修正されています。例えば、被子植物の祖先は双子葉類だったことがほぼ確実に、単子葉類は双子葉類の中の一系統であることがわかりました。従って、被子植物を双子葉類、単子葉類の2つに大別する分類は現在では採用されておらず、基部被子植物 basal angiosperms、単子葉類 monocots、真正双子葉類 eudicots の3つに分類することが一般的です。ただ、基部被子植物は爬虫類のように側系統群なのであまり使わない方が良いでしょう。参考書としては、Judd et al. 2008. *Plant Systematics*, 3rd. Sinauer, 大場秀章編「植物分類表」(アボック社)、邑田仁監修「高等植物分類表」(北隆館)が良いでしょう。

(2) 進化学

次の学習指導要領からは進化学の内容が十分に取り入れられますが、これまでの学習指導要領で十分進化についてとりあげられてこなかったためか、書籍や学会であやしげ

な進化理論が蔓延しています。突然変異を進化の源泉として、自然選択と遺伝的浮動を進化の原動力とする進化理論は十分確立され、多くの実験的検証もされています。進化の問題を研究に取り込む場合には、従来研究されてきた進化理論を十分検討してから、進化の議論をすることが妥当だと思います。「はじめての進化論」河田雅圭 (<http://meme.biology.tohoku.ac.jp/INTROEVOL/index.html>)、「進化とはなんだろうか」長谷川真理子(岩波ジュニア新書、1999年)が入門書として参考になります。

(3) 普遍性

この20年ほどの系統分類学の大きな変化の一つは、系統樹思考です。進化を考えるときは系統樹に基づいて考えると誤解が少なくなります。例えば、普遍性についてですが、しばしば、「大腸菌にも人間にも植物にも成り立つような普遍的な現象を研究することが大事です」というような意見を聞いたりしますがこれはちょっと疑問です。系統樹を考えるとわかると思いますが、これら3つの生物に共通に存在するような性質は、これらの共通の祖先、つまり、大腸菌のような原核生物の持っている性質に他なりません。

(4) 無理な一般化

シロイヌナズナやヒメツリガネゴケの論文で、discussion になるといつのまにか主語が被子植物やコケ植物になっていることが良くあります。シロイヌナズナは多様な被子植物の一系統ですし、ヒメツリガネゴケもコケ植物セン類の一系統にすぎません。両植物ともに被子植物、コケ植物全体を見渡したときに、決して全体を代表するような性質を持っているわけではありません。イネにいたっては、単子葉植物の中では極めて変わった形態を持っています。

(5) 高等と下等

系統樹の末端に位置するものを高等、基部で分岐したものを下等と呼ぶ習慣があります。これは、しばしば進化的考察を間違った方向に導いてしまいます。そもそも、高等と下等の区別はキリスト教において神に近いものを higher、遠いものを lower と呼んだことに起源しています。学術用語ではないので、明確な定義もありませんから、研究者によって higher の範疇も異なっています。系統樹を考えると higher と lower を区別することがおかしいことがすぐにわかります。系統樹の末端に位置するのは現生生物です。それらは共通の祖先（系統樹の根元）から同じだけ進化して現在に至っています。従って、現在生きている生物に higher と lower の区別を付けることはできません。被子植物は他の陸上植物より形態が複雑だから higher なのだという方もいますがこれも変です。そもそも、複雑 complex は高等 higher と同義ではありません。さらに言えば、孢子体（2倍体）の形態はたしかに他の陸上植物よりも複雑ですが、配偶体（1倍体）はもっとも単純化しています。共通の祖先から同じ時間をかけて進化しているので、ある部分では複雑化が進み、別な部分では単純化がすすむ、また、場合によってはあまり変化のおこらない部分もあるわけです。Higher plants は被子植物を指すことが多いようですので、flowering plants とか angiosperm と呼ぶのが妥当です。

(6) 原始的

系統樹の基部でわかれている分類群を原始的と呼ぶ傾向があるようです。これも高等と下等と同じように間違った習慣です。ヒトの系統を考えるとおかしいことが良くわかります。ヒトの系統では、アフリカンが最初に分岐し、その後でコーカソイド（白人）とオセアニアンやモンゴロイドが分岐しました。先の定義によればアフリカンは白人に比べて原始的なことになってしまいます。現在生きている生物は全て、共通の祖先から同じ時間をかけて進化してきたものです。現在生きているチンパンジーからヒトは進化しません。現生のチンパンジーとヒトは昔生きていた両者の共通の祖先（現生チンパンジーに形態が似ていたが同じではない）からともに進化してきたものです。シダ植物から種子植物が進化してきたというような書き方があることもありますが、正確にはシダ植物と種子植物の共通の祖先（現在生きているシダ植物、種子植物のどちらも形態が大きくことなる植物）からそれぞれ進化してきたのです。

ですから、コケ植物やシダ植物は決して原始的形態を維持しているわけではありません。もちろん特定の形質が共通祖先からあまり変化していない場合はいろいろな群で見られます。その場合には、原始的なのではなく、「祖先形質 ancestral (または plesiomorphic) character を維持している」というのが妥当な表現です。なお、シダ植物は単系統群ではなく、コケ植物も単系統群でない可能性があり、ひとまとめに表現するのは科学的には妥当ではありません。細かい分類については先述の「植物の進化」を参照ください。

(7) 相同性

いくつかの遺伝子の塩基配列を比較するとき、「相同性が87%です」というような表現を普通に耳にします。これは間違いです。相同 homologous とは、共通の祖先が持っていた形質を子孫が維持しているとき、子孫の持っている形質が互いに相同であると定義します。人の腕と鳥の翼は、人と鳥の共通祖先である絶滅した爬虫類の前脚からそれぞれ進化しました。従って、人の腕と鳥の翼は相同です。一方、昆虫の翅と鳥の翼は共通祖先は両者に対応するような器官を持っていませんでしたので、相同ではなく相似です。このように、相同というのは、相同であるか、相同でないか、all or nothing で決まる問題です。人の腕と鳥の翼が何パーセント相同か、というのはあり得ない質問です。

シロイヌナズナとイネに似た配列の遺伝子（遺伝子 A' と遺伝子 A''）があった場合、シロイヌナズナとイネの共通祖先の持っていた遺伝子（遺伝子 A）をそれぞれが受け継いでいる可能性が高いので、遺伝子 A' と遺伝子 A'' は互いに相同であると言えます（この場合、オルソログかパラログかの区別をすることが必要です）。この場合、塩基配列が87%同一だったならば、相同性ではなく、同一性 identity が87%であると表現するのが妥当です（厳密には両者が同じ塩基配列を持っていても、一度突然変異で変化したあと、もう一回突然変異がおこって同じ配列に見える場合もあるので本当に identical であるという保証はありません）。また、日本では、分子進化学者と形態進化学者の交流が無かったために、初期の分子進化学者の作ったホモロジーサーチという表現が定着してしまい（例えば DDBJ）、日本発で世界に広がってしまいました。しかし、DDBJ 以外の国外のサイト（たとえば NCBI）では homology search という表現ではなく similarity search という言葉が使われており、もちろん、こちらが妥当です。Plant Cell の Instructions for Authors には、percent sequence similarity を使って、percent homology を使わないように注意

書きがあるとともに、他の進化用語についても的確に説明してありますので、是非ご参照ください。

(8) 統計的検定

系統樹は統計的な推定です。従って、統計的検定をしていない系統樹を議論することは、絶対さけるべきです。統

計的検定ですから、天気予報と同じで、90%確かだと言っても、10%は間違っている可能性があるわけです。経験的には Bootstrap 法などの統計的検定で80%以下の場合、アラインメント法を変えたり、系統推定に用いる分類群を変えることによって、系統関係が変わってしまう（推定が間違っている可能性がある）場合がほとんどです。

