

参加申込時に寄せられた質問・コメント

青字は話題提供者(嶋田正和氏)の回答

*指導要領と解説を見たとき、「生物」の学習全体に「進化の視点を常において」という導入と位置づける、と言いながら、結構、ココで全部やってしまうぞ的な、盛りだくさんの單元にもなっていて、いったん頭の中をリセットして、整理して臨む必要があると感じました。変な言い方ですが、一生懸命この單元の内容に（例えば、入試問題が解けるように！と）取り組んでしまう方向に行くと、あまりいい「導入」にはならないかもしれない、そんな、最初に湧いたちょっと残念な気持ちが、でき上がった教科書を見たときに上塗りされるのか、逆に解消されるのか、と、思いつつ待っている状況です。進化が何かの目的を持って進むものではないこと、全ての生物が進化の産物であること、そして、淘汰圧が何にかかるのか、そういったことを理解しながらその先の「生物」の学習を進めていけるようにするためには、現場の授業で私たち教員がどんなことに気をつけてこの單元に臨めばいいのか、参加者のみなさんの声や嶋田先生のお考えを聞いてみたいと思います。

私も冒頭に進化の單元を置く今回の学習指導要領改訂は、あまり賛成しない面があります。学習指導要領作成委員会のメンバーたちは、T. ドブジャンスキーの「進化に照らして考えないと、生物学の各分野は意味をなさない」の言葉を文字通りに受け止め過ぎたのかも知れません。生物進化は、遺伝や発生、形態形成、生理などを学んだうえで、総合的にまとめると進化の全貌が見えてくると思いますが、教科書の冒頭で進化を出すと、それに釣られてそのページに書いてある内容をうのみにして、進化現象の全貌を理解せずに、教科書の後ろの單元をざっと眺めては前に戻るといった行ったり来たりを生徒に強いるので、教科書の構成としては使いにくいですね。

上記の先生の質問ですが、私が高校で今回の検定教科書で教えるならば、あらかじめ遺伝や発生、生理、形態で生物進化の現象にかかわる事例を別途に参考資料(資料集など)で、遺伝、発生、形態形成、生理の典型的な事例をいくつかまとめて見せて(1 か月ほど授業時間が必要でしょう)、それから冒頭の進化の單元に入るとよいと考えます。

*進化で特に高校生に押さえておいてほしい概念等があれば知りたいです。

まず、自然選択による進化の作用のロジックを学びましょう。①集団中の個体間に変異があり、②その変異は遺伝するもので、③その変異に応じて繁殖や生存に有利・不利が生じる、というものです。そして、この自然選択の作用を抑えたうえで、総合説による適応進化の考え方を、そして分子進化の中立説で遺伝子やタンパク質の変異や進化を学ぶことが大切だと思います。生物学史としての19世紀の古い進化学説(天変地異説、用不用説、純系説 etc)を学ぶ必要はありません。ましてや、日本特有の変な考え方である「種族の維持」や「種の保存のために〜が進化する」は間違いなので(その意味では、河田雅圭氏が主張するように福岡伸一氏や小林武彦氏は誤っています)、そう考える生徒さんがいたら、その都度正して下さい。種は人間の認知の産物であり、種を単位としてそれには自然選択はかかりません。

* 新学習指導要領では、進化を最初に扱うことになっています。内容がずいぶん盛りだくさんで、この章の学習だけでも多くの時間を要する気がして心配です。進化のキーワードとしては「突然変異」「自然選択」「遺伝子浮動」を認識していればよいでしょうか？

一つ前で説明したように、総合説も分子進化の中立説も、基本は①突然変異、②遺伝的継承、③適応度差(個体間の有利・不利)の上に成り立っていますので、その基本的原理は大事です。

ただ、原理だけでなく適切な事例をいくつか出して説明してあげて下さい。原理だけを学んでも応用が利かないのでは困りますので、事例に即して説明するのが大事です。その事例として私は以下を重点的に取り上げています。遺伝的変異までを取り上げるとよいでしょう。

- (1) 工業暗化・・・オオシモフリエダシャクの白い標準型と黒化型の頻度の移り変わり。体色は CC と Cc が黒化型、cc は広い標準型。(C:顕性のカーボナリア、c:潜性のティピカ)
- (2) 殺虫剤抵抗性の増進・・・アカイエカ類(*Culex pipiens*)で解明された遺伝子 b1。有機リン剤への抵抗性は、カルボキシエステラーゼ遺伝子 B1 の増幅(調節領域の遺伝的変異)でもたらされる。
- (3) 西アフリカのマラリア蔓延地域にみられる鎌形赤血球ヘテロ型・・・ヘモグロビンのサブユニットであるβグロビンの6番目のアミノ酸 Glu →Val に置換(塩基が1文字だけ A→T)して赤血球が鎌状になると、ヘテロ接合体はマラリアに抵抗性を持つ。

* ともすれば、進化の説明は目的論的になる気がします。間違いに陥らないようにするための方策はありますか？

自然選択による原理(①集団中の個体間に変異、②その変異が遺伝する、③その変異に応じて適応度に差が生じる)の3原則をきちんと教えれば、自然選択による進化はメカニスティックであることが分かります。目的論は人間の解釈でしかないと悟るでしょう。

* 学習指導要領では「自然選択」という用語が使われています。「自然淘汰」もよく聞く言葉ですが、高校生物では「自然選択」を使うのがよいのでしょうか？

自然淘汰は常用漢字ではないので、生徒さんや一般読者を対象とした教科書では淘汰は使うのを憚れます。しかし、「選択」は select of (有利な突然変異を選抜する)、「淘汰」は select against (有害変異を排除する)で、本来は意味が異なります。そして、分子進化の中立説は自然選択のうちでも純化淘汰(purifying selection:有害突然変異を排除する)を理論モデルにしており、有利な変異は無視する(select of)理論です。

* 現在の進化理論によって、十分には説明できないことはありますでしょうか。

突然変異と自然選択をベースにした総合説と分子進化の中立説はだいたい定説となりました。あとは、異なる生物群の合体による「内部共生の進化」、つまり消化管共生や細胞内共生などはまだどのグループも解明していません。私が雇用している科学技術振興機構の大型プロジェクト ERATO 深

津共生進化機構は、その進化生物学の大きな問題に迫るプロジェクトです。

*種の定義が20以上あり増える傾向にあるということに驚きました。なぜそんなに多くの種の定義があるのですか？

種の定義がたくさんあるのは困りものですが、要するに、分類学者の飯のタネになるには論争があった方がよいので、そうなるのかも…。

高校で教えるには、E. マイヤの「生物学的種概念」と「分子系統樹」を2つ教えて下さい。前者は交配によって稔性可能なF1が生じることで判別できますし、2分裂で増える原生生物や細菌は分子系統樹で末端のOUT(操作的分類単位)で系統群を括ることができます。

*『「絶滅を回避する性質」が進化したのは種という集団が絶滅しないことが原因で進化したわけではない、』と(河田氏の本に)書かれていましたが、よく理解できませんでした。「種という集団が絶滅しないことが原因(になる)」が解り難いです。

絶滅を回避する性質は種としての集団が絶滅しないように進化したものではありません。大きな大変動をもたらす北方のレミングなどは、①まず北大西洋振動(NOA)の気候的周期(寒暖のサイクル)によって北欧でもカナダでも多くの動物群が同じ周期(あるいはその周期に埋め込まれる)になる傾向があり、②さらにローカルな地方ごとに時間遅れの密度依存的効果が極端に作用することで集団が増えては減る動態をもたらします。この①と②が絡んで、3種以上の系では多くの動物群はカオスの動態を示し、時系列解析を研究する物理学者も巻き込んだの21世紀のホットな話題です。

*タイトルにもあるように、海外では進化がどのような扱われ方をしているのかについて。また、日本における進化の教育の特徴などがありましたら知りたいです。大変楽しみにしております。

種族の維持とか「種の保存のために～～が進化した」というフレーズは、日本特有でしょう。福岡伸一氏や小林武彦氏のような国際標準の進化学の教育を受けているわけではない大腸菌や酵母の分子生物学の研究者たちは、持説に固執しがちです。米国では、キリスト教福音派の人々が力を持っており、ダーウィンや総合説の進化学を学校で教えるのなら並列して聖書による創世記も教えるべきだと主張し、自然科学の進化生物学がゆがめられています。

*タイトルに「国際標準」とあります。過去には、アメリカ南部の州ではキリスト教の教えに反するという理由で、進化を教えることが許容されていない国があると聞いたことがあります。現在の状況は？

いまは、ローマ法王でも生物進化を認めていますので、現在は米国でも各州で並列されて教える体制になっており、生徒の家庭はどちらを学ぶかを選択すると聞いています。英会話スクールに行っていたとき、若いインストラクター(豪州出身)が敬虔な家庭に育ち幼少のころから聖書の教えを大事にしていたら、大学に入って生物の進化の講義を受けてものすごく混乱した、とっていました。

*自家受精植物と自家不和合性の植物について

植物の自家不和合性について、「有性生殖を考えると、自家受精を避け、遺伝子の多様性を保

つしくみである」と考えることができますが、一方では、エンドウのように自家受精する植物もあります。自家受精が繰り返されると遺伝的に同型接合体の割合が高くなってしまおうと思うのですが、進化的にはどちらが有利ということがあるのでしょうか。単に「戦略の違い」と考えて良いのでしょうか。

ただ増えるだけなら、無性生殖の方が有性生殖よりも2倍有利です(配偶子の性比を1:1と仮定)。しかし、20世紀の数理生物学者 Maynard-Smith(1978)は、しかし生物界では有性生殖が蔓延している、単細胞の生き物ですら形質転換で遺伝子の相同組換えを示し、これが有性生殖の原点となると Maynard Smith は考えました。

彼によると、有性生殖が有利となる学説は4つあります。(1)有利な突然変異を同一ゲノムに取り込む作用(Fisher-Muller 効果)、(2)有害な突然変異をゲノムから排除しゲノム修復する(Muller のラチェットを介した Kondrashov 効果)、(3)変動環境で多様な子を産してどれかが生き残る(宝くじ仮説、G.C. Williams 仮説)、(4)変動環境で多様な子を産して、病原体に対抗して少数者有利の頻度依存選択で有利となる(赤の女王仮説、W.D. Hamilton 学説)。。。。なお、(3)の宝くじ仮説は、Maynard Smith に言わせると、どの本にもまことしやかに書いてあるが、自分がシミュレーション解析した限りでは、このままでは有性生殖の多様な子孫を産する有利さは少ない、と一蹴しています。

私の東大や早稲田での講義では、(2)と(4)が重要だと教えています。

さて、ご質問のエンドウの自家受粉ですが、自家受粉ですら配偶子をつくる減数分裂の第1分裂でキアズマが形成されて乗り換えが生じるので子に遺伝的な変異は意外に多様になります。さらに、(2)で有害突然変異を排除しきった栽培品種(エンドウなど)は、自家受粉した方がよけいな変異遺伝子が混じらない分だけ有利となります。しかし、畑で農薬などで手厚く育成された植物に対して、野生で生息する植物は害虫や病原体に晒されますので、有性生殖の有利さを介して遺伝的に多様な子を産することが必要です。帰化植物などは、公園や道路端など開放的な空き地で増加率に物を言わせて増えます。自家受粉に加えて、生育速度が高い、根にアレロパシー(他感作用)で周囲の植物を抑制するなどの性質を発揮しています。

* 最近の今西錦司氏の評価について

今西錦司氏が「主体性の進化論」などの著作を残されていますが、学生の時に読んだときには、あまりスッキリ理解できませんでした。現在の進化学研究者から見ると、今西氏はどのように評価されているのでしょうか。

国内外でまったく評価されていません。1978年に今西錦司が文化勲章を授与されたときに(大学院生になったばかりでしたが)、私は大興安嶺山脈への海外学術調査の組織化の礎を造った点は評価するけれど、彼の進化論についてはまったく誤りだと思いました。「東洋独自の哲学」と謳っているのは、要するに、今西進化論は第二次大戦後に日本の生物教育界では国際的な教育研究の土俵で自然選択を受けなかったから生き残り、京都学派が声高に主張し、文部省に取り入って、授与まで漕ぎつけたと思っています。

追加のコメント

* 生物の教科で、最初に進化を教える意義は何ですか。

* ご紹介のあった URL 先「[「種の保存のための進化」はどこが誤りなのか](#)」につきまして、系統選択の節にあった「絶滅リスクを低減する性質」というものに疑問をもちました。そのような性質は本当に存在するのでしょうか？個人的には、「絶滅リスクを上昇させる性質をもたないこと」に尽きる気がして、それを性質と言ってしまうことに少々違和感があります。また、絶滅するかどうかは周りの環境によるところもあるので、「絶滅リスクを低減する性質」が常に有利な1つの形質であるかのように仮定し、集団で獲得されるかどうかを議論していいのかも気になります。