

現代社会における生物多様性および 進化を学ぶ意義 —人文・社会科学系学部の学生に対する 自然科学教育の一実践例—

星 野 啓 太

はじめに

現在、ほとんどの大学で一般教養のための共通教育科目が開講されている。当該科目には自然科学系の科目も含まれており、いわゆる理科系の科目ではあるが人文科学および社会科学系の学部においても配置されている。自然科学系科目のうち基礎生物学に含まれる領域に“生物多様性”ならびに“進化”がある。近年、生物多様性ならびに進化というワードはニュースをはじめ様々な場面で頻繁に目にするようになってきている。したがって、両領域は社会人として必要な幅広い教養として、また、現代社会における課題解決の基盤となる知識として修得する重要性が増していると考えられる。

生物多様性と進化の間には密接な関係性があるため、“生物進化と多様性”という1つにまとめられた科目が成城大学の共通教育科目にも割り当てられている。著者が本科目を担当した際、人文・社会科学系の学生における自然科学教育に関する貴重なデータを得ることができた。例えば、履修した学生は生き物自体を体感する機会が元々少なく、文字通りの意味である生物多様性を伝える難しさが浮かび上がった。一方、進化については、全員がその存在を受け入れており知識としては知っているものの、正しく理解できていない場面に多く直面した。このような事例を報告することは、今後の人文・社会科学系学部における自然科学教育の参考になるものと期待される。

本研究ノートでは、生物進化と多様性という科目の教育実践例について、現代

社会における意義と結びつけながら記述してみたい。最初に、教育上の問題点および工夫点についてテーマごとに報告する。次に、本科目の現代社会における意義、最後に、人文・社会科学系学部の学生に対する教育において有用であった手法について今後の課題も含めて考察する。

方法

本研究ノートは、2015年度および2020年度の“生物進化と多様性（副題）”の講義を参考とした。講義科目名は、2015年度は自然科学IV、2020年度は数理・自然科学演習である。前後期の各15回の内容は以下のとおりである（2021年度のシラバスを基にした）。

【前期】1：イントロダクション：生物多様性とは？進化とは？、2：種の多様性（種概念）、3：生物の分類（学名・和名、植物・動物・細菌・古細菌・ウイルス）、4：日本の生物多様性（自然遺産、レッドリスト、固有種、生物地理学）、5：生物多様性の現状（条約・法規、ホットスポット、絶滅危惧種）、6：身近な自然観察から探る生物多様性（自然観察会）、7：自然科学の思想史：生物多様性・進化の概念誕生の歴史的背景、8：形態学から見た進化（相同、個体発生・系統発生）、9：進化論、10：生命の起源：化学進化・生物進化、11：性と生殖：性の起源、死の意味、ミトコンドリア、12：動物の系統進化（化石、地質年代、古生物学）、13：遺伝的多様性（個性の進化、都市部の生物多様性）、14：現代社会における生物多様性の意義、15：まとめ

【後期】1：イントロダクション（種の多様性、遺伝的多様性、進化）、2：遺伝子とは？（DNA、RNA、遺伝子診断）、3：遺伝子進化：多様性を生み出す機構、4：生態系：生物同士のつながり（食物連鎖、共生）、5：生態系の多様性：特殊な生活様式、微生物の生態系、6：環世界：生物から見た環境、7：身近な自然観察から探る生態系（自然観察会）、8：社会性の進化と多様性、9：コミュニケーションの進化と多様性（ホルモン・フェロモン）、10：繁殖行動の進化と多様性、11：雌雄差の進化と多様性（自然選択・性選択）、12：擬態：自然界におけるデザイン（現代社会における生物多様性の実用例）、13：生態系サービス：

現代社会における生態系の現状（環境保全・環境変動）、14:生物多様性の今後（現代社会における課題・応用面）、15:まとめ

講義内に学生からコメントシートを提出してもらった。2015年度はB6サイズのコメントシートを配布して、2020年度は遠隔授業でウェブ上の授業ツールWebClassの記述式アンケート機能を用いてコメントシートを設置して行った。コメントは、講義に対する感想、要望、疑問など自由形式で記述を求めた。得られたコメントを基に教育上の工夫を行い、すべてのコメントに対する返答は資料として作成配布した。これらの講義データを基にして考察した。

各テーマにおける教育上の問題点および工夫点

1. 自然科学思想史

自然科学の起源は古代ギリシアの哲学に求められることが多い。ただし、当時は生物多様性がただ存在するのみで、進化という概念との結びつきは皆無である。進化の概念が生まれたのは18～19世紀のヨーロッパでのことである。リンネは生き物の命名法を普及させたが、類似したグループを示す属名を設けたところには図らずも進化的な考え方が生じている。進化が想定されなかったのには、地中・水中から生き物が生まれるという自然発生説が広く信じられていたことに因る部分が多い。同時期、イギリス、フランス、イタリアなど国境を越えて検証された自然発生説の否定が進化概念の誕生に大きく影響している。また、ドイツのゲーテは形態学という新規分野を重要視して、サルが決定的特徴とされていた顎間骨が人間にも痕跡として在るとし（木村, 2009）、進化につながる相同の概念を生み出している。これらの流れが進化論の誕生につながったわけだが、同時に現代に通ずる自然科学の誕生でもある。したがって、進化論の起こりには自然科学それ自体（Nature of Science: NOS）の歴史を辿ることにもなる。

生物多様性を説明する理論として進化論が誕生していることを再認識するとともに、進化の教育には、思想史の順を追うことが適していた。この順序は人間が理解しやすい順序であるためだと考えられた。同時にNOSの理解にも貢献することになる。

2. 進化

進化とはごく簡潔には生物が変化することである。現在ではダーウィンの説がコンセンサスを得ているが、それ以前にも様々な説が提唱されておりラマルクの説が有名である。ラマルク論の特徴は高等な方向へと進化することであり、獲得形質の遺伝も含まれている。ところで、進化とは優れた高等な方向へと変化するものだというイメージではないだろうか。一般的にはその意味で使用されることに問題は無いが、生物学的な進化の概念としては間違いとなる。以下に詳しく説明する。

ダーウィン進化論の中心的な理論である“自然選択説（自然淘汰説）”は以下のしくみである。様々な個性のうち、そのときの状況に適応的な個体が多くの子孫を残すことになり、その個体の性質が集団中に広まることになる。つまり、変化が必要となった時点で存在している多様性の中から適応的なものが選択されることで方向性が生じることに注意しなければならない。適応的ではない系譜は絶えてしまうので、結果だけを見ればすべてが高等な方向へと進化したように錯覚してしまうものと考えられる。

次に、上述のダーウィンの説を正しく踏襲したうえで、選択された性質が遺伝しているのは間違い無い。したがって、獲得形質は遺伝していると思うのは当然である。ところが、獲得形質の遺伝というのは、例えば、ネズミが尻尾を切られると、その後に生まれる子孫は尻尾が短いといった類のことを言っているのである。つまり、獲得形質とは、後天的に得た性質のことを指している。この誤解については、完全に専門用語に原因があり、さらに突き詰めると翻訳に教育的な配慮がないことになる。

ラマルク論は人間の言語・文脈的に受け入れられやすく、一方、真実であるダーウィン論は一言で伝わりづらいうところにも誤解の原因がある。ダーウィン論に則っている前提で「ある形質を獲得した」と表現することは可能であるうえに、ラマルク論の方では「後天的に習得した形質の遺伝」とでも言い換えなければ誤解が生じて当然である。以上、進化を分かりづらくしている要因に用語の分かりづらさが挙げられ、生物多様性の教育でも指摘されるところである (Navarro-Perez & Tidball, 2012)。講義においては、コメントシートで誤解していないかチェック

すると同時に再度説明し、さらに、そのやり取りを履修者全員で共有することにより誤解を修正できる効果が強化された。

3. 遺伝子

地球上のすべての生命体は遺伝子を持っている。そして、遺伝子が働くときには DNA の配列情報が RNA を経て最終的にはタンパク質へと変換されるというしくみ（セントラル・ドグマ）まで共通している。これを理解することで地球上の生命体が起源を同じくすることが分かりやすくする。

ダーウィン論の説明で、進化が高等な方向へと進むとは限らないという部分に違和感を覚えた方もおられるに違いない。遺伝子の観点では、地球誕生から時間の経過とともに複雑かつ高等なしくみが誕生している。当然、細菌など単純で原始的なグループはあまり変化せずに現在に至ることを忘れてはならない。動物に絞って説明すると、各グループ（動物の分類階級でいう門）が誕生してから、そのグループ内で進化が起り、現在の生物多様性がある。したがって、大きく眺めると複雑・高等への進化も起こっているが、自然選択説はその過程ではなく各グループ内における進化を説明することを前提とする必要がある。

普段使用される遺伝子という言葉には、遺伝子座・ゲノム・遺伝子 (gene) など複数の意味が含まれている。したがって、進化と同じ言葉の意味を明示しながら順を追って説明することになる。そのため、遺伝子の起源となる核酸の化学反応（いわゆる化学進化）まで遡って説明することになる。これによって、単純な原核生物から真核生物となり多細胞化する際に、性や死が誕生したことを説明できる点に意味があった。何故ならば、自然選択説で選択される対象となる遺伝的多様性は有性生殖（両性生殖）によって高められており、また、細胞死のおかげで多様な形態形成が可能となり生物多様性が顕著になっているからである。

2020 年度は新型コロナウイルス感染症の流行のためウイルスにも関心が寄せられた。ウイルスは生物なのか否かという言を日本ではよく耳にする。世界的には non-cellular life（細胞を持たない生命体）と扱われることが多いことを説明するとともに、例えば、RNA (positive-sense) を遺伝子とするウイルスはセントラル・ドグマ的に 1 段階スキップするように進化していることになり、遺伝子の理解に

一役買うことになった。自然科学教育における社会的な話題によるアプローチの一例となるだろう。

4. 生態系

生物多様性は生物に様々な種類のあることを表していたが、これは“種の多様性”に類型され、“遺伝的多様性”と“生態系の多様性”を加えて3つのレベルの多様性として扱われるのが一般的となっている (Wilson, 1988)。これら3者は密接に関係しており、種、遺伝的、そして生態系の多様性の順序で講義を進めるのがもっとも理解しやすいようだ。また、進化の説明を適宜織り交ぜて構成することで (方法を参照)、3つのレベルの生物多様性と進化の関係をより明確にできた。この流れは進化学および進化生態学の専門書で扱われるテーマ範囲・順序とほぼ一致している (柴谷 et al., 1991-1992; 石川 et al., 2004-2005; Mayhew, 2009)。

生態系という用語は温暖化や外来種に関する問題において注目されている。いわゆる環境問題について正しく理解するためには生態系について学ぶ意味は大きいと考えて間違いない。その教育には、生物同士のつながりを観察して体感的に学ぶことが効果的であった。春季に黄色い花を咲かせるキンランは見た目にはコナラ林に咲く花だが、実際はコナラと共生する菌類と共生関係にある。キンランは成城大学構内にも見られ、貴重な生態系が持続している好例となる。これに加えて、話題となっている環境問題を例として解説・議論する社会的・実用的なアプローチによる教育が受け入れられやすかったのも特筆すべき点である。日本の食文化・伝統文化と絶滅危惧種の問題は、生物多様性条約に関わる締約国会議 (CBD/COP) の議題となっており、その決定事項は日本の社会・経済活動にも大きな影響を与えるので関心を持って取り組みやすかったものと推察される。

現代社会における“生物多様性”および“進化”を学ぶ意義

中等・高等教育の理科 (生物) で学んだことが具体的にどのように役立つのかという点に触れられる機会は多くはないだろう。大学教育は、社会人となる直前

であるからこそ、その部分を明確にさせる必要性が高まるに違いない。本講義科目の内容には、ウイルスやガン細胞から生態系まで現代社会に必要な情報を正しく認識できるようになるところに1つの意義が見出される。次に、身近な自然に関心を持つようになり、日本の文化・風習の継承につながることを期待される。これら文化・風習に自然体験が含まれるとすれば、自然観察が有効とされる自然科学教育にとって正のフィードバック効果が生まれる可能性もある。

さらに、より専門的な意義について考えてみたい。現代の人間社会は生態系と切り離された状態に見えるが、生態系サービスと呼ばれる恩恵を受けていることを知っておく必要がある (Fischer et al., 2007)。生態系サービスの恩恵を今後も得るためには生態系へのリターンが必要不可欠であるとされる。リターンの無いままでは幸福 (well-being) の低下は免れないと予想されており、具体的には資源の枯渇から文化の喪失、さらには、人間関係の悪化、新興感染症の流行まで想定されている (鷲谷 et al., 2010)。この関係性については環境省のウェブサイト等で分かりやすく説明されている。しかし、学生の反応を見る限りでは広く普及しているとは言い難い。学会声明および研究論文においては、生態系サービスに関する報告は少なくない。例えば、気候変動による影響が昆虫に対するものであっても、生態系を通して人間への影響へと変換・増幅されることが想定されている (Entomological Society of America, 2019)。また、微生物・ウイルスは、生態系の中で接触のある生物間で変化して、最終的に哺乳動物に順化したものが人間に対する病原体になるというシナリオが提示されている (French & Holmes, 2020)。したがって、現代社会における本講義科目を学ぶ意義の核心には、人間社会と自然 (生態系・生物多様性) の関係性の理解が挙げられる。これらの現代社会における意義を明確に伝達することにより、人文・社会科学系の学生たちにとって社会人となる際に役立つ思考のオプションとなりうるものと期待される。

有効な教育手法に関する考察および今後の展望

自然科学の発展してきた道筋に従うことが学ぶ順序としても受け入れられやすいことは上述の通りだが、その他の好成果が得られた教育手法についてまとめて

おきたい。

最初に、自然観察という体験型の教育手法が挙げられる。現代社会では生物に触れる機会自体が少なく、自然科学をたのしく学ぶ体験型授業を増やしていく必要がある。自然観察には生物多様性および進化を想起させる面が含まれているという報告は多く (Navarro-Perez & Tidball, 2012; 星野, 2015; 星野, 2020)、自然科学において最重要の教育手法の1つと位置付けられる。この自然観察の重要性は、自然に触れるという当たり前のこと無くして人間社会と生態系の良い関係は持続できないという示唆 (Soga & Guston, 2015) と通ずるところがある。

次に、ニュースや論文を解説しながら理解を深める教育手法が挙げられる。おそらく、実用的な面の含まれるところに興味関心を起こさせる効果があったものと推察している。科学には学術および実用の両面があり、お互いが他方を支える関係でもあるので、教育においても両面からアプローチする意味があると考えられた。NOS の教育に社会的なアプローチが有効とする研究結果 (鈴木, 2015) と類似する結果でもある。また、著者は研究に携わっており、研究のおもしろさや苦労話などを交えたリラックスした教育環境も好成果につながった可能性を挙げておきたい。海外では進化が受け入れられない理由の一つとして科学あるいは科学者との信頼関係の欠如が挙げられており (Nadelson & Hardy, 2015)、日本においても教員と学生、専門家と一般の方々という関係においてお互いが尊重できる環境が成立してこそその教育であることが示唆された。

最後に、コメントシートによる学生と教員の対話は、チェック機能に優れており正しい理解を強化する効果が顕著であった。一見、マンツーマンによる指導と同じだと思われるかもしれないが、コメントと返答は履修者全員で共有しており、これによる相乗的な教育効果が大きいことを強調しておきたい。今後、取り入れる価値のある手法と期待される。

まとめ

生物多様性と進化を学ぶことの現代社会における意義として、需要の高まっている科学系の情報を正しく理解する際に役立つことが挙げられる。同時に、より

専門的には、生態系サービスの文脈における人間の幸福の持続性にプラスに影響することが挙げられる（図1）。したがって、人文科学および社会科学系の学生において、今後必要性の増してくる学問領域であることを再認識して、さらなる教育の向上に努めていかなければならないと結論付けられた。その際、自然科学は分野を異にするため、教育をスムーズに行うためには、様々な工夫を凝らした教育の環境づくりが重要であることが示唆された。自然科学教育には、未だ難しい面が多く残されていることが認識される場所であり（Dunk et al., 2019）、本研究ノートを含めた成功例ならびに問題点についてのデータを蓄積していくことにより、今後、同教育の進歩につながることを期待される。

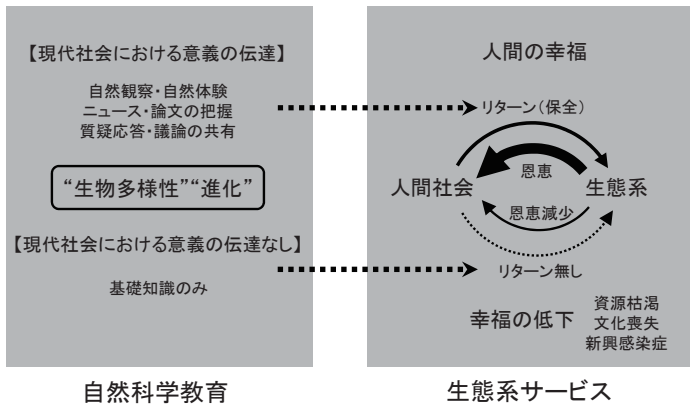


図1. 自然科学教育と生態系サービスとの関係性

謝辞

投稿の機会をいただき、また、編集でお世話になった成城大学共通教育論集の編集委員の皆さまに深謝いたします。

参考文献

Dunk RDP, Barnes ME, Reiss MJ, Alters B, Asghar A, Carter BE, Cotner S, Glaze AL, Hawley PH, Jensen JL, Mead LS, Nadelson LS, Nelson CE, Pobiner B, Scott EC, Shtulman A,

- Sinatra GM, Southerland SA, Walter EM, Brownell SE, Wiles JR. 2019. Evolution education is a complex landscape. *Nature Ecology & Evolution*. 3:327-329.
- Entomological Society of America. 2019. ESA position statement on climate change. pp1-5.
- Fischer J, Manning AD, Steffen W, Rose DB, Daniell K, Felton A, Garnett S, Gilna B, Heinsohn R, Lindenmayer DB, Macdonald B, Mills F, Newell B, Reid J, Robin L, Sherren K, Wade A. 2007. Mind the sustainability gap. *Trends in Ecology & Evolution*. 22:621-624.
- French RK, Holmes EC. 2020. An Ecosystems Perspective on Virus Evolution and Emergence. *Trends in Microbiology*. 28:165-175.
- 星野啓太. 2015. 長翅目昆虫の斑紋解析と多様性—フィールドにおける自然科学教育の実践例—. 成城大学共通教育論集. 8:133-142.
- 星野啓太. 2020. 対馬産キリシマミドリシジミの尾状突起における多様性. 成城大学共通教育論集. 13:149-158.
- 石川統, 斎藤成也, 佐藤矩行, 長谷川真理子 (編集). 2004-2005. 「進化学」(1～7巻). 岩波書店.
- 木村直司 (編集・翻訳). 2009. 「ゲテ形態学論集・動物篇」. 筑摩書房.
- Mayhew P. (江副日出夫, 高倉耕一, 巖圭介, 石原道博 翻訳). 2009. 「これからの進化生態学—生態学と進化学の融合—」. 共立出版.
- Nadelson LS, Hardy KK. 2015. Trust in science and scientists and the acceptance of evolution. *Evolution: Education and Outreach*. 8:9.
- Navarro-Perez M, Tidball KG. 2012. Challenges of biodiversity education: A review of education strategies for biodiversity education. *International Electronic Journal of Environmental Education*. 2:13-30.
- Soga M, Gaston KJ. 2016. Extinction of experience: the loss of human–nature interactions. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 14:94-101.
- 柴谷篤弘, 養老孟司, 長野敬 (編集). 1991-1992. 「講座 進化」(1～7巻). 東京大学出版会.
- 鈴木宏昭. 2015. 理科教育の”Nature of Science” 教授における社会的アプローチの特質—英国の SATIS16-19 を事例として—. *教材学研究*. 26:41-48.
- 鷺谷いづみ, 夏原由博, 松田裕之, 椿宣高. 2010. 「地球環境と保全生物学」(現代生物学入門 第6巻). 岩波書店.
- Wilson EO (ed.). 1988. “Biodiversity”. The National Academy Press.