

特集総括

生物多様性と生態系サービスとのかかわりについて —異分野の融合はどこまで進んでいるか

「環境情報科学」編集委員

杉村 乾・西田智子・中尾 豊・平野勇二郎

1. 生物多様性から社会へ

われわれが生態系から持続的に得ている資源やサービスの供与は、生物多様性保全の必要性を強調するための一つの根拠となっている。国連がまとめた「生態系と人間の福利」(Millennium Ecosystem Assessment, 2005)では生態系サービスの低下を喫緊の課題としており、生物多様性の低下がその一要因であるとの認識に立っている。そのため、生物多様性と生態系サービスはほとんど同じものとして捉えられることも多いが、生物多様性と生態系サービスはつねに連動しているわけではない。たとえば、森林からの水供給というサービスを想定するとき、落葉樹(夏緑樹)林は常緑樹林に比べて水流出量が多いことを考慮すべきであるという議論がある(蔵治, 2003)。水流出量は降水量から蒸発散量を差し引いた量で決まることが多いので、このとき考えられている要因は生物多様性と直接の関係はなく、落葉樹林では冬季に蒸発散量が小さいからというものである。他方、単一の樹種を植林した人工林に比べて、より多様な樹種からなる天然林の方がより大きな生態系サービスを供与している可能性がある。滝久智氏による「送粉サービス：農業に対する貢献」は示している。このように、生物多様性の高い生態系が低い生態系よりも、より大きな生態系サービスをもたらすことを明らかにしなければ、生物多様性が生態系サービスに貢献しているとは言えない。

本特集は、生物多様性と生態系サービスとのかかわりについて、またそれを持続的に維持するための手段について、各分野の専門家がこれまでの研究や手法を紹介している。生物多様性と生態系サービスの考え方については、松田裕之氏が「生物多様性と生態系サービス」の中で説明されているように、生物多様性は基

本的に生物学の世界に収まっているのに対して、生物多様性を介した生態系サービスは生態系の構成要素である多様な生物と社会とのつながりによって成り立っており、われわれの生活において大きな意味を持つ。研究者にとって、生物多様性と生態系サービスとのかかわりを明らかにすることは、生態系(あるいはより上位のスケールの景観またはランドスケープ)の構成要素として多様な生物が生息し、生態系サービスの供与という形で人間社会にとって大きな役割を担っていることを示すのにほかならない。

しかし、両者の関係を明らかにすることは容易でない。一つの要因は、図1に示すように両者の関係はいくつものステップでつながり、単純でないことであろう。さらに、これまでは自然科学、社会科学それぞれの分野で細かな解析が行われてきた一方、融合的な研究が生まれにくかったという背景もあるであろう。比較的大きなインパクトを与えた最初の書物としては、『沈める箱船』(Myers, 1979)が挙げられるが、なぜ生物多様性保全が重要なのか、その事由として著者が強調していたのは、潜在的な遺伝子資源としての役割(農業、薬用、工業用などの利用可能性)にほぼ限られていた。この点に関して Dobson *et al.* (2006) はユニークな視点で総括的な議論を試みた。この論文は、生物多様性の低下、すなわち種数の減少あるいは希少種の地域的な絶滅が起きると、とくに食物連鎖網の最上部に位置する種が欠ける場合が多いことに着目した。そのことによって連鎖が単純化し、絶滅した種の機能を他の種が個体数を増加させることによって補うというメカニズムが働かなくなると、生態系サービスの低下が起きるとしている。さらに、生態系を都市、農地、森林、島嶼、山岳などに分け、供給、調整、文化、基盤の4つのサービスをさらに細分化し、生物多様性

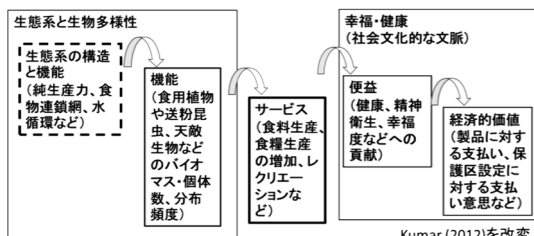


図1 生態系の構造・機能から社会への恩恵の流れ

と生態系サービスの関係性を定性的に評価している。その中から本特集と関連のある部分を抽出して、表1に例示した。

これらの中でとくに両者のかかわりが大きいとされるテーマとして、本特集では、農地での生物的防除や花粉媒介における生物多様性の重要性について、田中幸一氏による「害虫制御における生物多様性の機能」と、滝氏による「送粉サービス：農業に対する貢献」が紹介している。また、松浦俊也氏による「森林からの供給・文化サービスの評価」と市川昌広氏による「変貌する熱帯雨林と先住民の知」では、森林の生物多様性が文化的多様性および食料としてのサービスに貢献していることについて紹介している。一方、沿岸における多様性の低下については、前述の Dobson *et al.* (2006) が一次生産とはあまり関係ないとしているのに対し、本特集の堀正和氏による「海洋の生物多様性と生態系サービス」では多様性が高い方が生産力は高まると指摘している。ただし、海洋における食料資源としての生物多様性の重要度については Dobson らと堀氏の考えは一致している。

一方、生物多様性と社会との関係については、図1に示すように複数の段階があり、専門性を持った研究者や研究者集団は、たとえば生態学者であれば左側、経済学者であれば右側の枠内にとどまりがちである。そのため、図1の中間に位置するサービスが生物と社会の双方を同時に結びつける研究として生まれにくい。また、図中の「サービス」の一段階手前にある「機能」という項目が「生態系と生物多様性」の枠の中（自然科学の範疇）に収まっていることに注意していただきたい。日本では多面的機能あるいは公益的機能と表現する場合、機能とサービスの区別はあまり意識されず、サービスを含まずに機能のみが論じられてきたこ

表1 種の多様性の低下が生態系サービスに及ぼす影響の大きさ

サービスの タイプ	生態系のタイプ				
	農地	森林	沿岸	海洋	
供給	食料	○	●	○	●
	遺伝資源	●	●	●	●
	観賞・装飾用の 生物資源	○	●	●	●
調整	生物的防除	●	●	●	●
	文化の多様性・ 固有性	○	●	●	●
文化	レクリエーション エコツーリズム	○	●	●	●
	一次生産 ^a	○	○	○	○
基盤	花粉媒介	●	●	○	—

Dobson *et al.* (2006)にもとづく

丸印の濃淡はそれぞれタイプの生態系サービスに対して多様性の低下が及ぼす影響の大きさを示す

○ 最も影響が小さいサービス、● 比較的小さいサービス
● 比較的大きいサービス、● 最も大きいサービス

* 光合成による有機物生産

— 該当しない

とが多い（杉村，2009）が、本特集では図1に示すように機能はサービスを供与するためのポテンシャルであると説明できる。松浦氏の報告を例にとれば、多様な山菜種が広い地域に生息しているが、採取域は林道から比較的近いところに限られている。つまり、広い地域が供給・文化サービスを発揮させる機能を持っているが、現実にサービスが発揮されるのは限られた区域にとどまる。ほかに読者にとって生物多様性がもたらす機能とサービスの違いがわかりやすい例を挙げるなら、本特集では紹介されていないが、自然を対象としたレクリエーションであろうか。ハイキングでの楽しみは、ある人にとってはもっぱら「眺め」であり、別の人にとっては体を動かすこと、新鮮な空気、都会の雑踏からの逃避、または多様な動植物の観察を楽しむなど、さまざまであろう。行楽地という一定の機能（ポテンシャル）を持つ地域でも、人によって生物多様性が大きなサービスをもたらす場合もあれば、あまり享受されない場合もあり、受け手によってその違いは大きい。太田貴大氏による「生態系サービス保全のための生物多様性オフセット研究の動向」の中でも、機能とサービスという用語が使い分けられているが、このように理解していただきたい。

2. 生物多様性と生態系サービスにかかわる研究がカバーする範囲

本特集では執筆者それぞれがどの段階をカバーしつ

つ論じているのか概観してみたい。まず、一つめは生物学の立場から生物多様性と生態系機能の関係についての研究を紹介しているグループ（田中氏・滝氏・堀氏）が上げられる。田中氏は多様な天敵種だけでなくほかの種の多様性が高いことも害虫制御効果があることについて多くの研究事例を挙げている。農業被害の軽減というサービスについては事例もあるが、非農地を含む景観レベル（農地と非農地という異なる生態系の集合）での研究では天敵が増えても被害軽減までは効果が及ばないケースも多く、生物多様性と生態系サービスとの関係はまだ十分整理されていないようである。滝氏は、景観レベルで送粉昆虫の多様性とソバの結実の関係を示す日本の研究を中心に紹介している。多くの種がソバの生産に貢献していることを示しているが、森林と農地の景観、昆虫、ソバからなる系における生物間の相互作用や、種の多様性と収量の増加との関係を解析するまでには至っていないと指摘する。堀氏も生態系サービスや生物多様性保全の制度について言及しているが、両者の関係を示す研究は進んでいないと指摘し、生物多様性と一次生産、水質浄化、食料資源など、生態系機能との関係を示す研究を紹介している。

二つめは、生態系機能とサービスとの関係を中心に置いているグループ（松浦氏・市川氏）である。松浦氏は多様な環境に多様な山菜やきのこの種が分布生息し、それらが採取されることによってサービスが供与されることを紹介している。市川氏は、熱帯雨林で多様な動植物が利用されており、それが伝統的知識にもとづいていること、森林開発が生物多様性を低下させていること、先住民の都市への移住により生態系サービスが喪失していることなどについて紹介している。両執筆者とも、種の多様性が失われたら、サービスが低下するであろうことを明確に示しているが、どの程度の多様性の低下が、どの程度のサービスの低下につながるのだろうか。両者の関係性を明らかにすることは今後の課題となる。

3つめのグループの、石濱史子氏による「生物多様性と生態系サービスの保全を両立する保護区選択のために」、太田氏による「生態系サービス保全のための

生物多様性オフセット研究の動向」、吉田謙太郎氏による「生物多様性保全と主流化の課題」で紹介されている範囲は、生態系サービスを持続的に発揮させるための生物多様性保全にかかわる制度（図1の右枠）を中心に、図の中核部分（サービス）から機能にまで及んでいる。しかし、現実には生物多様性保全の制度において生態系サービスを考慮した研究はまだ数少ないと、石濱氏と太田氏は指摘している。一方、楠本良延氏と稲垣栄洋氏による「草原の維持による特異な生物多様性の保全」の中では、茶草場での研究を事例として生物多様性と茶生産という生態系サービスとの関係や両者の関係性を保つための社会制度に至るまで、幅広いレベルが紹介されている。

このように本特集では、非常に幅広い、特異な研究事例が数多く紹介されているが、それでも図1に示す生物多様性から社会に至るまでのレベルをカバーする研究がいかに少ないか、理解できるであろう。

3. 関心の高まりと融合の難しさ

生態系サービスという用語は、Ehrlich and Ehrlich (1981) によって造られ、1997年、生態学者と環境経済学者が共同でまとめた『自然のサービス』(Daily, 1997) という書物で科学的にある程度体系づけられた。人類はつねに生態系から恩恵を受けてきたはずであるが、歴史や文明の長さに比べて、その重要性が世界規模で認識され始めたのは Millennium Ecosystem Assessment (2005) の発刊以降であり、つい最近のことであると言える。国内では2010年に名古屋で開かれた生物多様性条約 COP10 が関心の高まりに拍車をかけたことは多くの読者にとって記憶に新しいであろう。しかし、関心の高まりに応じるためには、生態学と社会科学の組み合わせが必要な研究であり、その歴史も短いことから、異分野を融合し、生物多様性と生態系サービスのかかわりを明らかにした研究がまだ少ないことは自然なことである。

『自然のサービス』は先駆的かつ影響力のある著作であるので、背景や特徴について少し紹介してみたい。まず、研究が進まない社会的な背景として以下の認識がある。一つには、生態系サービスの多くの部分が市

場経済価値に反映されず、とくに経済のグローバル化によって、国や地域の政策の中で無視される場合が多いことである。次に、人間生活を支える生態系の働きの重要性については膨大な情報が蓄積されているにもかかわらず、それらが的確に整理統合されておらず、政策決定者や一般市民に効果的に伝えられていないことである。

一方で、関心の高まりについては、地球規模での温室効果ガスによる気候変動、地域レベルでは土地利用の転換、異なる職業や地域住民の間での富や資源の移動、経済成長を上回る貧富の差などが急速に拡大することによって、生態系が著しく変化しているという背景がある。そのため、これらの地球規模および地域レベルの社会的変化によって生態系機能に与える影響が非可逆的になっているのではないかという危機感がある。そして、さまざまなバックグラウンドを持つ自然・社会学者が共通の感覚を持ち、緊急に訴えかけなければならないと認識したことである。共通の感覚とは、一つは文明の行く末に対する危機感であり、二つ目は社会が環境問題に直面したとき、さまざまな選択肢を前にして、理にかなう選択肢を取る術を持たないことが多いことである。

生態系サービスの持続的な発揮を前提に、いかに生物多様性を保全していくかについては、本特集では石濱氏は最も広く用いられている保護区の設定という手段について紹介する中で、「生物多様性と生態系サービスが相関しない場合もあり、生態系サービスを考慮しているケースはまだ少ない」と指摘している。太田氏は、オフセット制度について、海外では1970年代から実施されており、「生物多様性と生態系サービスの関係性についての研究は最近ずいぶん進んできたが、オフセットにおいて生態系サービスを考慮している例は少ない」と指摘している。吉田氏は生態系サービスへの支払い(PES)という経済学的な観点から論じているが、受益者負担として支払われた金銭が真に生物多様性の保全に貢献できる形で使用されれば、この制度は有効であろう。しかし、観光客らから徴収した入域料が登山道の整備に使われ、それが道の崩れを防ぐことに役だったとしても、生物多様性の保全にプ

ラスになるとは限らない。別の例として紹介されている企業のCSR(社会的責任を全うしようとする)活動は、企業がその利益の一部を生物多様性保全に回すという意味合いで一種のPESであるとも解釈できる。石濱氏と太田氏が、制度の中で生態系サービスを考慮している例は少ないと指摘しているのに対し、見方を変えて経済的なツールを用いれば評価がそれほど難しくないかもしれないと推察されることは興味深い。ただし、吉田氏が紹介している観点は、社会科学の範囲内であり、経済的な評価が生物多様性という実体とどのような関係性を持っているかについての研究はまだ進んでいないであろう。

生物多様性の保全にあたっての一つの難しさは、本特集全体を通して多くの事例で紹介されているように、人間社会が、水、大気、土壌などとともに、生態系の構成要素である多様な生物と、生態系機能・サービスを通して、きわめてさまざまな形で関係していることにある。その関係を少しずつ明らかにしていくためには、生態学と経済学を中心とする融合的な研究が行われなければならない。本特集ではそれらの研究がまだ十分進んでいないことが指摘され、図1はそれが難しいことを暗に示唆しているが、関心の確実な高まりを背景に今後の研究が着実に進展することを期待したい。

参考文献

- Daily, G. C. ed. (1997) *Nature's Services*. Island Press, 412pp.
- Dobson, A., Lodge, D., Alder, J., Cumming, G., Keymer, J., Mcglade, J., Mooney, H., Rusak, J. A., Sala, O., Wolters, V., Wall, D., Winfree, R. and Xenopoulos, M. A. (2006) Habitat loss, trophic collapse, and the decline of ecosystem services. *Ecology*, **87**, 1915-1924.
- Ehrlich, P. and Ehrlich, A. (1981) *Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. Random House, 305pp.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*. Island Press, 948pp.
- Myers, N. (1979) *The Sinking Ark*. Pergamon Press, 307pp.
- Kumar, P. (2012) *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Routledge, 456pp.
- 蔵治光一郎 (2003) 森林の緑のダム機能(水源涵養機能)とその強化に向けて. 日本治山治水協会, 東京, 76pp.
- 杉村 乾 (2009) 森林の生態系サービス—高まる関心の背景と課題. 山林, No.1507, 2~9.