

1. はじめに

近年、生態系の復元が各地で行われるようになり、自然再生型公共事業としても注目を浴びている。しかし、所与の復元用サイトにどのような生態系を復元するか、という目標設定の方法については、一般的合意が得られるまで成熟した考え方が示されているとは言えない。そのため、現状のままでは、科学的合理性のない目標が立てられて無駄な事業が行われたり、目標が決まるまでに多大な労力と時間を費やしたりといった社会的損失が生じる恐れがある。また、復元目標が明確でなければ、事業の具体策や事後の達成度評価が的外れになりかねない¹⁾。今後、生態系の復元事業が、より多く行われることが予想される状況のもとで、目標設定の考え方を整理しておくことは、有用と考えられる。そのため、本論では、生態系復元における目標設定の考え方について、既往の理論や実例を引きながら考察することとする。

2. 生態系の復元とは？

議論を進める上で、「生態系の復元」の定義を整理しておく必要がある。復元生態学会は、ecological restoration に対して、「生態的復元とは、特色をもった従来の歴史的な生態系を確立するために、特定の場所を意図的に変えるプロセスと定義される。その目標は、特定の生態系のもつ構造、機能、多様性、動態をまねることにある」としている²⁾。この定義では、過去に存在した生態系をできるだけそのまま復元することが重視されている。完全な復元ができない場合、すなわちある程度劣化した状態にとどまるような復元は、とくに修復 (rehabilitation) と呼ばれる³⁾。

生態系の創出 (creation) は、与えられたサイトに過去に存在した生態系とは一応無関係に、任意の生態系をつくり出すことを指すと解することができる。例えば、海岸の埋立地に森林を造成する行為は創出にあたる。

広域的に見て、どこかで消失した森林を別の場所で代償することも生態系の復元の1種と見なすことができなくはない。しかし、本論では、混乱を避けるため元と同じサイトでの復元に限定して論ずることとする。

上記の定義にもあるように、生態系の復元の際に目標とされるのは、その構造、機能、多様性、動態などである。これらは、互いに密接に関連しており、例えば、河川生態系では、水流による砂礫の運搬、堆積といった動態により、河辺植生が攪乱を受け、植物群落の成立と消失が繰り返され、それが生息地や種の多様性を維持する役割を果たしている。復元事業では、これらのうち、あるものだけが目標とされることもある。しかし、そうした部分的修復でできた生態系は、一般に不安定で恒久的な存続は難しい。そのため、河川流量の増減といった物理的環境の動態を織り込んだ、複雑なシステム全体の復元が、生態系復元の究極的な目標とされる⁴⁾。

3. 復元モデルの設定

ここでは、生態系復元の目標設定方法について、これまで論じられたものを整理する。既存の考え方は、目標として、ある「モデル」を立てるものが主流である⁵⁾。モデルとは、「復元の模範であり、忠実にそれを模倣すべき対象」と解することができる。モデルの設定方法には、復元モデルを「現存する良好な生態系」に求めるものと、「過去に復元サイトに存在した良好な生態系」に求めるものの、2タイプが認められる。

(1) 空間型モデル設定

鷲谷 (1999)⁶⁾ は、「生物多様性の保全に役立つ復元を実施するためには適切な『モデル』がなくてはならない。モデルとは、その地域あるいは生育場所に特有な良好な残存植生のことである。そのような現存のモデルがあれば、それにならって復元の目標を決めることができる」と述べ、モデルの重要性を指摘してい

る。復元サイトの近隣で、生態系が良好に保たれている場所を調査し、これをモデルとする方法を、ここでは空間型モデル設定と呼ぶこととする。

空間型モデル設定の利点は、モデルを詳細に調査、分析できる点にある。モデルとなる生態系の成立機構、構造、機能、種と生息場所の関係、生物間相互作用などが明らかにできれば、同様な生態系を復元する上で、数多くの有用な知見が得られる。また、復元用の生物材料の供給場所としても、モデルが有用であることが指摘されている⁶⁾。

他方、この考え方には、モデルとするに足る生態系が実在するかどうかという問題がある。多くの地域では良好な生態系⁷⁾の全部あるいは大部分がすでに消失しており、また、残存する生態系も質的に劣化している場合が多い。このことは、とりわけ日本の平野部では深刻である。また、大規模な生態系ほど全体が良好な状態で残存するものは少ない。例えば、海跡湖のような生態系で原型をとどめたまま残存するものは極めて少ない⁸⁾。また、たとえ類似した生態系が現存したとしても、生物地理学的に異なる場所に位置している場合は、模倣すべきモデルとはできない。この場合、遺伝的攪乱を避ける上から、生物材料の供給源としても用いることはできない。

各生物地理区にさまざまなタイプの良好な生態系が実在する状態にはないため、空間型モデルを実際に適用できるのは、幸運な場合に限定されよう。

(2) 時間型モデル設定

時間型モデル設定とは、同じ地域の過去の生態系を情報的に復元し、これを生態系の復元のモデルとする方法である。だが、過去の何時の時点をもってモデルとするかは難しい問題である。目標とする年代の設定について、例えば島谷(1999)⁹⁾は、欧州の河川復元について「1950年代よりも前の状態を基準とするのが实际的だとされている」としている。生態系は常に変動する存在であり、過去のある時点で、その生態系が恒常的に「良好な状態」だった、とするような単純な見方はできない。それでも、明らかに人為的な影響を強く受けて劣化した現状と比較して、「より良好な状態」であった1時点をモデルとすることには合理性があると考えられる。

時間型モデル設定を採用している事例として、コウノトリの生息環境の復元が計画されている兵庫県立コウノトリの郷公園をあげることができる。同公園では、コウノトリが野生繁殖していた明治時代後半の地形図や昭和30年代の空中写真をもとに、生態系が良好であった時代の状況を景観レベルで把握し、生息環境復元のモデルにしようという試みが成されている¹⁰⁾。

時間型モデル設定の長所は、復元サイトと同じ場所であるため、もし、モデルを情報的に構築できるなら、生物地理学的には問題がない点である。他方、短所は、多くの場合、過去の生態系の状態を復元するに足る情報が得られないことであり、生態系の構成種のような基本的な情報さえ、復元できるのは限られた場合¹¹⁾だけである。また、人為的攪乱によって生態系の成立条件そのものが変化している場合も多く、たとえ情報的復元ができて、それをモデルにするには立地条件の復元を合わせて行う必要がある。さらに、かつて生育・生息していた種のいくつかは、すでに地域的に絶滅していることが多く、最悪の場合には、完全に絶滅していることもある。生態系の構成要素の一部が欠けていると、過去の状態に完全に復元することは不可能である。

(3) 空間・時間併用型

空間型と時間型の両方を併用したモデルの設定もあり得るし、実際にも用いられている。例えば、東京港野鳥公園では、復元サイトとその近隣に現存していた7タイプ生態系と、かつて東京湾に存在した3タイプ生態系の両方が参考にされて、公園計画が策定された¹²⁾。

(4) 復元モデル設定のまとめ

以上をまとめると、モデルによる復元目標の設定には、①空間型モデル設定にせよ時間型モデル設定にせよモデルを求めるのが容易ではない、②モデルが明らかになったとしても、それをそのまま目標とできる場

合は少ない、という2つの問題点を指摘することができる。

結局、モデルは、復元で目指すべき方向を示すために求めるのだと考えるのが妥当であろう。このことは、ときに到底復元とは言えないような目標が立てられている現状を踏まえると、たいへん重要である。モデルは、復元目標を設定する上で必要だが、それだけで十分なわけではない。

4. 環境ポテンシャルとその評価

(1) 環境ポテンシャルの概念

ポテンシャル (potential) は、潜在力と訳される。潜在力とは、顕在化していないが、発現する可能性のある力、あるいはもの、である。環境ポテンシャルは、ある場所における、種の生息や生態系成立の潜在的な可能性を表わす概念である。

環境ポテンシャルは、つぎのような内容から構成される。第1は、立地ポテンシャルであり、気候、地形、土壌、水環境などの土地的条件が、ある生態系の成立に適しているかどうかを表わす。第2は、種の供給ポテンシャルであり、植物の種子や動物の個体などが他の場所から供給される可能性である。第3は、種の生育・生息に関わる種間関係のポテンシャルであり、食う―食われるの捕食関係、資源をめぐる競争関係、生物間相互作用を形成する種などに関わる種の存在の有無が、種間関係を大きく左右し、生態系の存立に影響を与える。第4は、遷移のポテンシャルであり、生態系の時間的変化がどのような道筋をたどり、どの程度の速さで進み、最終的にどんな姿になるかの可能性である。遷移のポテンシャルは、上記の立地、種の供給、種間関係の3つのポテンシャルによって決定される。

環境ポテンシャルと類似した概念として、「生態系の復帰性」が提唱されている。復帰性とは、外部からインパクトを受けた場合に、生態系がもとに戻る性質のことで、生態系の安定性を表わすとされる¹³⁾。生態系の復帰性に関わる要因には、植生の成立基盤の残存状態や種の供給の可能性があげられており、環境ポテンシャルの概念と類似している。ただし、環境ポテンシャルの概念は、もともと存在していたのは異なる種類の生態系の成立可能性も含んでいる点が、復帰性と異なる。

(2) 環境ポテンシャルの評価

環境ポテンシャルの評価とは、種の生息や生態系の成立の可能性を診断して予測することである。環境ポテンシャルでは、まず、上記の各々のポテンシャルが調査データに基づいて検討され、評価される。その上で、各ポテンシャルの評価結果が総合され、生態系の成立可能性が評価される。

立地ポテンシャルは、気候、地形、土壌、水環境などの調査、分析に基づき、種の生息や植生の成立可能性が評価される¹⁴⁾。

種の供給ポテンシャルは、植物の場合は、シードトラップや埋土種子の調査によって、動物の場合は、実験的に新しい生息地をつくり出して、そこに出現する種の組成を調べるといった方法¹⁵⁾で評価される。

種間関係のポテンシャルの評価は、種間関係の数自体が膨大であり、かつ複雑に入り組んでいるため、もともと難しく、これまでのところ評価方法は未確立である。評価によって「移入種の肉食性魚類が多数生息しているために、在来種の小形魚類が生息できる可能性が少ない」といった予測が立てられることが望まれる。

遷移ポテンシャルの正確な評価は、上記の3つの環境ポテンシャルが評価できて、はじめて可能となる。現状では、立地ポテンシャルと種の供給ポテンシャルから、遷移のポテンシャルが評価されることが多い。

精度にばらつきはあるにせよ、環境ポテンシャルを評価すると、生息地や生態系を復元する際に、予めその可能性を知ることができる。しかし上述のように、環境ポテンシャルの評価は、必ずしも方法的に確立されたものばかりとは言えず、またあるサイトで総合的な評価が行われた例もほとんどない。しかし、環境ポテンシャルの評価に関する研究は最近に盛んになってきており、評価技術は向上しつつある。

(3) 環境ポテンシャルの評価と復元目標の設定

環境ポテンシャルの評価は、復元用サイトに成立する可能性のある生態系の種類を示すのに有効である。

環境ポテンシャルは、恒常的なものではなく、時間とともに変化する。変化要因には自然的なものと人為的なものがあるが、生態系の復元でとくに問題なのは人為的な環境ポテンシャルの低下であり、その例として、地形の改変、地下水位の低下、植生破壊に伴う土壌浸食などがあげられる。また、その場所自体が直接改変を受けなくても、広範囲にわたる著しい地形や植生の改変が、環境ポテンシャルを低下させる場合もある¹⁰⁾。環境ポテンシャルの変化のメカニズムを把握することは、人為的に環境ポテンシャルを改善することを通して、生態系の復元を行うための基礎として重要である。

環境ポテンシャルの評価だけでは、目標設定の自由度は大きく、一義的に復元目標が決まるわけではない。その役割は、所与のサイトに成立を許容する生態系を、目標の選択肢として示すことにあると考えるべきである。

5. 統合型の目標設定

ここでは、モデルの設定と環境ポテンシャルの評価を組み合わせ、両者の長所を生かし、短所を補い合うような目標設定の方法を考えてみることにする。

組み合わせによって次のようなことが期待できる。

第1は、両者の組み合わせによって目標の方向と限界が明らかになることである。ベクトルに例えると、モデルはベクトルの方向を示し、環境ポテンシャルはベクトルの長さの最大値を示すものと言える。モデルとする生態系の詳細が明らかな場合には、ベクトルの方向も明確に定まるし、そうでない場合には、方向に巾が生じる。同様に、環境ポテンシャルの評価の精度によってベクトルの長さにも巾が生じ得る。しかし、ある程度の巾はあっても、およその方向と長さが示されることは、復元目標の設定にとって有用であると考えられる。

上述の石神井公園の事例では、1930～40年代に存在していた生物相とそれを支えていたランドスケープの構造が明らかにされており、これが生態系を復元する際のモデルだと言える。それに対して、現時点における劣化した環境ポテンシャルを前提に、種ごとに復元の難易度が定性的にはあるが示された¹⁶⁾。

第2は、環境ポテンシャルの評価そのものの精緻化である。良好な生態系は、環境ポテンシャルの各項目が理想的に高い状態で成立するものであり、現実の環境ポテンシャルは多かれ少なかれそれより低い状態にある。そのため、モデルと比較することによって、環境ポテンシャルを、より正確に評価することができるようになると考えられる。

茨城県ひたちなか市の沢田湧水湿地では、定期的な測定によって地下水位とオゼイトンボの個体群サイズの変化がモニタリングされている。1996年から1999年まで4年間に、地下水位が20cm～40cm低下し、湿地の池が干上がることによって、オゼイトンボの個体数が10分の1に激減した¹⁷⁾。この例では、立地ポテンシャルの変化とそれに対する生物の応答が詳細に把握されているため、変化前後の比較から、環境ポテンシャルの低下の程度とその影響を正確に評価することができる。

第3は、環境ポテンシャルが低い場合に、モデルがその改良の方向を指し示すことである。低いままの環境ポテンシャルを前提とすると、復元目標も低いものにとどまる。しかし、モデルがあれば、それと比較することにより、段階的に環境ポテンシャルそのものを改善するような復元計画を立案することが可能となる。

上述のコウノトリの郷公園においては、かつて多数生育していたマツの大径木が、マツ枯れなどで減少し、コウノトリの営巣木となり得る樹木がほとんど存在しない状態となっている。そのため、当面は人工巣塔を導入し、長期的に営巣木を育成するという段階的な復元プロセスが提案されている¹⁰⁾。

以上のように、復元のモデル設定と環境ポテンシャルの評価は、相補的な関係にあり、両者を組み合わせることで復元目標を明確に設定することが可能になると考えることができる。

本論で述べた考え方は、あくまでも復元目標の設定方法の大枠を示すものであり、詳細な目標は、例えば、特定の種の生息環境の復元といった個別のサイトにおける課題が勘案されて立てられるべきである。また、とくに環境ポテンシャルの評価に多くの技術的課題を残しており、今後、事例を積み重ねながらより正確な評価方法を確立していく必要がある。

引用文献・注

- 1)竹門康弘 (2001): 河川の健全性－目標河川の概念と評価手法の開発のために－: 応用生態工学 4(1),1-2
- 2)Society for Ecological restoration(1991): Program and abstract,3rd annual Conference, Orlando, FL.18-23
- 3)Bradshaw,A.D.(1997): What do we mean by restoration?: Restoration Ecology and Sustainable Development (edited by Krystyna M.Urbanska et al.), 8-14,Cambridge University Press
- 4)White,P.S and Walker,J.I. (1997): Approximating Nature's Variation: Selecting and Using Information in Restoration Ecology: Restoration Ecology Vol.5 No.4,pp338-349
- 5)浅野孝・大垣眞一郎・渡辺義公監訳 (1999): 水環境と生態系の復元 (National Research Council 1992:Restoration of Aquatic Ecosystems): 技報堂出版, 東京. 222pp
- 6)鷺谷いづみ (1999): 生物保全の生態学: 共立出版, 東京. 165pp
- 7)注:「良好な生態系」と類似した概念に「健全な生態系」がある。鷺谷 (2001) は、健全な生態系を「多様な動植物や微生物の連携プレーによって、有機物の生産、栄養塩類の再生・保持・循環、特有の攪乱作用とそれに対する植生の応答などの多様な生態系のプロセスが円滑にすすみ、エネルギーや物質のダイナミックな受け渡しと循環が保障されている。そして、それらの担い手である動植物や微生物が、絶滅の心配なく存続できるような条件が整えられている」状態であると表現している。
- 8)小泉武栄・青木賢人編 (1994): 日本の地形レッドデータブック第 1 集: 日本の地形レッドデータブック作成委員会, 東京. 218pp
- 9)島谷幸宏 (1999): 河川管理における自然環境保全についての基本的考え方: 応用生態工学 2(1),47-50
- 10)内藤和明・池田啓 (2001): コウノトリの郷をつくる－野生復帰のための環境整備－: ランドスケープ研究 64(4),318-321
- 11)日置佳之・須田真一・百瀬浩・田中隆・松林健一・裏戸秀幸・中野隆雄・宮畑貴之・大澤浩一 (2000): ランドスケープの変化が種多様性に及ぼす影響に関する研究－東京都立石神井公園周辺を事例として－: 保全生態学研究 Vol.5,43-89
- 12)小河原孝生 (1992): 東京港野鳥公園－総合的な自然復元計画: 大規模空間開発における環境創造・維持管理・復元技術集成 1, 47-74, 総合ユニコム. 東京
- 13)鷺谷いづみ (2001): 生態系を蘇らせる: 日本放送協会出版、東京. 227pp
- 14)日置佳之 (印刷中): 環境ポテンシャルの評価: 亀山章編, 生態工学, 朝倉書店、東京.
- 15)守山弘 (1991): 東京近郊の原風景と生物相保全機能: 環境情報科学, 20(2),27-31
- 16)日置佳之 (2000): 都市公園における生物相復元の可能性: 都市緑化技術 No.38,24-29
- 17)国営常陸海浜公園工事事務所・(財)都市緑化技術開発機構 (2001): 沢田湿地の自然と保全: 国営常陸海浜公園工事事務所, 茨城. 21pp

本稿は、「ランドスケープ研究 vol.65 (4) (2002) pp. 278-281」に掲載された論文を再掲したものである。