特集1・生物多様性に配慮した緑化計画

緑化の新しいパラダイムとしての生物多様性

高田 研一*

1. はじめに

近年、造成法面で行われてきた緑化が、牧草主体の急速緑化から、樹木を積極的に導入する樹林化に置き換えられるようになってきた。この変化の背景に、地球温暖化を契機とした環境に対する危機感の高まりが多少とも作用しているであろうという点に異を唱える向きはないものと思われる。

ここで、まず期待されているのが、CO₂吸収源としての樹林化の機能であり、これは明確に意識化されているが、次の課題として、生物多様性保全の機能を求めようというのが、樹林化の新しいパラダイムといえるであろう。この二つの機能を目的とする樹林化は、必ずしも統合された樹林化技術として実現しているわけではなく、現時点では、CO₂吸収源を目指すという観点からの樹林化が先行している。

そもそも生物多様性保全といった場合の「生物多様性」の実体について、その全体像が実施理論として整理されておらず、実施技術としての全体的な方向性もまだ見えてこないのが現状である。

英語表現でいうように「再森林化 reforestation」とは呼ばず、控え目に樹林化という語を用いるのは、既往の樹林化工が、森林のもつ複層性や種構成にまで、あえて射程に置いてこなかったためでもあろう。ところが、わが国の樹林化の歴史をみると、さまざまな技術や伝統がある。この樹林化の基盤は、何に焦点を当てるかという目的に応じて、大きくは緑化工、造園工、造林工という技術、職工の系譜に分かれていることは周知の事実である。なお、ここでいう緑化工とは、砂防技術の系譜につながるもので、法面緑化を主に行ってきた工種である。

こういった各工種のもつ技術に依拠して、新しい

パラダイムとしての生物多様化を目指す樹林化の達成を求めることは自然なことであり、必ずしも困難なことではない。ただし、従来技術だけに依存する先には、このパラダイムに応える成果をあまり期待できないかもしれない。そこでは、生物多様性につながるさまざまな視点からの樹林化の手法を同時に統合していく必要があると思われる。

本論では、緑化を価値づける新たな柱としての「生物多様性」を整理し、この観点から樹林化のあり方を展望してみたい。

2. 生物多様性

2.1 緑化が取り扱う生物多様性の範囲

生物多様性保全が意味するところは、1) 群落の多様性保全、2) 種、変異型の（遺伝的）固有性保存、3) 絶滅危惧種・稀少動植物保護、4) 原生的自然環境保全、5) 巨樹名木保護などに集約されるであろう。

緑化が主に取り扱うものは、この内、前の三者である。これらが緑化という面で考慮される場合には、その中身は次のようなものであろう。

- 1) 群落の多様性 → 多様な立地基盤にそれぞれ適応した緑地形成。生育基盤に安定な緑化植物の選択がされていて（適地適木）、かつ、地方（地域）的な特色のある緑地づくり。群落構造の質も、階層性、モザイク性のある緑地が求められる。
- 2) 種、変異型の固有性保存 → 地域自生種の種子、苗木を多用することによる地域的な遺伝子資源保全。前項の適地適木との関わりが深い。
- 3) 絶滅危惧種・稀少動植物保護 → 特定種保護のために設計された緑地形成。地域計画、管理計画も含んだ広範囲の緑地計画の必要性があって、緑化現場だけの狭い範囲でなかなかとらえきれない。

*高田森林緑地研究所
Kenichi TAKADA

本論では、1), 2) に該当する、樹林化による群落の多様性保全、地域性について主に議論し、3) については稿を改めたい。

2.2 生物多様性をのせる植生成立基盤

日本列島の特質である南北千kmに及ぶ島弧は、氷期・間氷期の寒暖の大きな差を、植生が列島を北上、南下して、難を逃れる場を提供してきた。そのため、例えばヨーロッパと比較して、植物相を構成する種数がきわめて多いことがよく知られている。また、中生層を基軸とする地質環境に、多くの火山が噴出し、断層や小規模な褶曲などの激しい地殻変動を加えて、多様な植生基盤が生み出されていることも、日本の自然環境にみる構成種の多様性の大きな要因である。

ただ、種数の多いことが、ただちに生物多様な緑地形成の目標とならない。例えば、種多様な（構成種が多い）群落は、生育可能領域の広い植生遷移の初期に出現する先駆種などによって人為的、機会的に生み出されることがあり得る。こういった初期の単相的な群落における構成種の多さはやがて競争排除の原理によって、その群落構造が失われることとなる。

一方、地形地質など土地的条件の複相（ヘテロ）性に特化適応した植物群による群落は、小面積的には種多様性に劣ることがあっても、複相性のある立地基盤に固有の群落が形成されることとなり、全体としてはいくつものモザイクな群落によって、多くの構成種を従えることとなる。しかも、構成種それぞれが場を住み分け、群落としても高い安定性をもつことがふつうである。

つまり、立地基盤が多様であって、この土地の極相に適応した植物種の種子供給源がストックされておれば、遷移が収れんするにしたがって、構成種数が増加することが期待される。

こういった視点からみて、生物多様性とは、単純に狭い範囲内での種数だけをとらえるよりも、ある空間、時間の中で許容される生き方のバラエティーであり、かつその場が担ってきた地域性という歴史であると定義することが可能である。

したがって、生物多様であることの表現は、群落内でいかに構成種が多いかという種多様性の概念より、むしろ、生き方のバラエティーをとらえるニッチ多様性という概念を用いることが有効であろう。

2.3 ニッチ多様性

ニッチは、本来、生態的地位を意味し、生物にとっての職業であるという表現が用いられる。いま、A種が、そこで生き続けることが可能なだけの資源と空間が準備されている状態があるとすれば、A種にとってのニッチが存在するという理解である。

ニッチは、時間軸と空間軸の中で、常に変化する立体的構造を占める。この構造は、場のもつ固定的な初期条件から、ニッチの利用者たる生物自体の働きを加えながら、環境収容力という言葉で表現される一定の上限値に向かって、どんどんと発展していくものである。絶えず攪乱を受け、発展がとぎれる場にも生物が生活の場を確保しているとすれば、豊かではないにしてもニッチがある。

植生遷移系列のごく初期では、主に土壤条件の制約によって、単相的な群落になりがちである。初期に占める植物は、やがて枯死し、それに引き続く植物へと交代していくが、このとき、より後期に出現する植物種は種数が多く、サイズや寿命、花の花粉の受け渡しのシステムに至るまで、さまざまなバラエティーがみられるようになるのが通例である。この多様性を引き起こすものが新たなニッチの発生であると考えるてもよいし、多種多様な生き方がみられるから、そこに多様なニッチが分化したと逆に考えてもよい。

水とミネラル、光と大気が存在すれば、微生物は発生し、やがて、捕食者、分解者たる微生物が付け加わる。その微生物社会の発展に合わすようにして、共生者たる植物、動物社会が現れ、一般的にみて多様化するのが時系列上での必然である。このニッチの多様化は森林において、高木層、低木層といった階層の複層化をもたせるとともに、同一階層間内の生存戦略の違いによるすみ分けによる共存を引き出すことになると理解ができる。

ところが、ニッチの分化は常に保証されているわけではない。ナナミノキとコジイを比較すれば、同じ常緑高木ながら、コジイは強い光も、弱い光も光合成に利用するのに対して、ナナミノキは、強い光だけでは利用できない。この性質は、群落内の葉の分布、枝の分布に影響を与え、壮齢のコジイ林では林内が暗く、下層植生に乏しくなる。一方、ナナミノキの林床には下層植生が多く、やがて、ナナミノキは懐深く入り込まれた、弱光利用型の常緑樹に入れ替わることとなる。コジイが比較的早い段階で、

一斉林を作り上げてしまうと、林内下層の弱光利用型の低木類のニッチは生み出されることはない。西日本全域に拡大を続けるモウソウチクの場合は、密な稈密度で、他種の存在を許容せず、多くの薪炭林を壊滅に追い込んでいる。これも、ニッチという観点からは、生物多様化とは逆向きの流れと位置づけられる。つまり、独占性のつよい優占種群落では、ニッチの多様性を欠く場合がある。

2.4 地域性と生物多様性

例えば、霧のかかる北向きの明るいコケの生えた岩盤があるとすると、この岩盤には大きな節理、亀裂が走っていると、当然、そこには樹木の生育できるニッチが存在する。一定の時間経過の内に、種子が供給され、そこで、例えばツツジ類の群落が成立する。このツツジ類の種子は微小で、湿った岩盤のコケの上にならば発芽できないため、このツツジの生活は、特殊な条件をもつ岩盤ということになる。

植物の生育場所とはこういった特殊な立地と結びつくものもあれば、比較的普遍性の高い土質の山腹斜面を生育場所とするものもある。

もし、あるツツジの生育地の分布が広い範囲に及び、遺伝子交流的な意味で連続的なものであれば、このツツジの変異もまた連続的で固有の地理的変異型を形成しない。

サイコクミツバツツジは西日本、九州の山地、島嶼部の岩盤で、形態的な不連続が明らかな多くの地理的変異を有する。一方、このツツジが後氷期以降に分布域を拡大したと考えられる鳥取県以北秋田県南部に至るまでの日本海側では、多雪により、土質斜面の二次林にも広く分布しており、個体は、変異幅が小さく、その変異も連続的である（図－1）。

つまり、地域の固有性とは、十分に隔離を受けることによって歴史的に形成されるものであって、植生の破壊につながる攪乱をたびたび受けたり、攪乱後の時間経過が短かったり、あるいは攪乱後の生物多様化につながる種子供給源を欠いているところでは、一般的にみて地域性に乏しい群落ができあがっているとみてよい。

先駆性の高い植物が用いられることの多い材料植物による緑化で形成される群落は、この意味で、少なくとも短期的には地域性に乏しくなってしまうのである。

3. 生物多様な樹林化群落

3.1 ニッチ多様な樹林化の基本的な考え方

生物多様性の高い樹林化群落をつくらうとすると、種組成だけが問題になるのではなく、どのような種のどのような生き方のバラエティーがあって、それが相互的な影響の下で変化しあっているのか、つまり群落の構造と動態の表現であるニッチ多様性の高さが問題となる。

いま、原点に戻って考えてみると、資源があって、その利用者（種）が存在する。その利用者の生活と繁殖を支える場（場である空間も資源の一部であるがここでは、資源の語義から空間を外しておく）があることを、ニッチがあると称している。

ニッチ多様であるということは、1) 場のもつ最大限度量の資源が活用されていること、2) 特定の生物によって資源が独占されないこと、3) 生物の存在自体が資源の多様化を導き、二次的、三次的、ないしはより高次の派生的な資源分割がその分割資源の利用者によって行われていることの3点を意味しており、ニッチの多様化が進むということは、分割資源利用者間での循環的な安定構造に向かうことを意味している。

もう少し議論を進める。樹林化当初に特定の植物群を導入したとき、その植物群がもつ固有の能力に

図－1 サイコクミツバツツジの地理分布と果実の地理的変異

したがって、無機的資源量は限界値まで利用される。このとき、気候条件などの厳しい制約がなければ、死亡、脱落、排泄等と微生物的分解によって、有機資源量は一定の水準に向かい増大していく。この状態で、少数者が独占的に安定であることはまずない。資源形態の多様化が進み、その利用能力の差によって、多様化に応じた複数、多数の利用者が出現することとなる。安定的に独占者が資源を占有する場合は、独占者が幅広い資源領域に対する利用能力が高く、かつ競争者の出現にも打ち勝てるだけのアドバンテージを有する場合のみである。

ただ、植物の場合は、動物よりも独占者が生まれやすい傾向をもっている。これは、資源の利用能力ばかりではなく、空間の占有能力が高いものが植物には存在し、この能力が圧倒的に高ければ、資源利用能力のより高い競争者が参入できる機会が生まれないからである。

最近まで緑化に多用されてきたハギ類や、育成されてきたモウソウチクは、きわめて長期間、場を独占する傾向があるが、このとき、その場が有する群落としての最大ポテンシャルとしての群落が形成されるわけではない。このことは、例えば、ハギ類を抜き取った後、複数の高木種を用いた樹林化を行えば、短期間で群落高、現存量、構成種数とも上回る群落を形成することができることから分かる。

植物群落は時間経過の中で進む有機的資源量の増大、資源形態の多様化の中で、先駆性の高い植物群落から、植生遷移中期ないしは後期（極相）の群落へと変化していくプロセスを次のように整理することができる。

[第一段階]

無機資源の限界量へと利用が進む段階。この限界量は、資源量の制約と、初期利用者の個体サイズ、密度によって決まる空間占有＝資源利用限界量によって決まる。当初、導入された緑化植物は、この限界量に向かって生長を続ける。

[第二段階]

無機資源をめぐる競争と有機資源量の増大が進む段階。

地上部での光資源、地下部での水資源の奪い合い、微生物社会が関与する無機養分の奪い合いが起こる一方、枯死個体を含む代謝産物による有機資源の増大が進む。

地中での有機資源の増大は、微生物環境の変化、

発達を促し、地上部空間では、利用者の生長と現存量増大によって、光の空間分布構造が変化を生じる。つまり、全体としての無機資源を含む資源の分布及び形態の複相性をもたらす。

[第三段階]

複相化した資源に適応したスペシャリストの登場（ニッチの多様化）と、スペシャリスト間の住み分け、全体としての統合作用の結果としての循環システムの形成。

ニッチ多様性の高い群落として、土地的極相群落へと進んでいくが、スペシャリスト（＝複相化した資源への適応者）の地域的なストックがなければ、その参入まできわめて長期を要する。樹林化プロセスにおいて、この地域的ストックを補充、緑化植物としての導入を図ることができれば、きわめて早い時期にニッチ多様性の高い群落が形成し得る。

3.2 ニッチ多様な樹林化群落の設計

ニッチ多様な群落をいきなり造成しようとすることは、これまでの議論から分かる通り、大きな困難点がある。この困難点は、資源の利用形態の異なる専門化した樹木を資源の形態、分布についての複相性が未分化な場所に投入することによって生じる活着不良や植物間の競争による敗北に由来する場合が多い。

そこで、生物多様性の復元を目的とした樹林化を計画するとき、この困難をクリアする方向として、次の方針、手法を選択することが理に適用と思われる。

3.2.1 設計の基本方針

最終的にみて、樹林化群落は、資源の形態、分布についての複相性に応じて、ニッチ多様な群落へと収れんしていく可能性が高い。そこで、樹林化設計に際しては土地的条件と生物的条件がもたらす複相性をベースにして設計することを基本としたい。

3.2.2 複相的な生育基盤造成とこれに見合った樹種選択

将来の群落の姿をデザインするには、生育基盤としての地形評価、表層地質評価をまず実施する必要がある。岩質はもちろんのこと、地山に根系が展開、貫入することができる表層地質かどうか、受け盤か流れ盤か、集水的地形か排水的地形か、などは基本的な評価要素である。盛土法面の場合には、盛土材と水みちをみることとなる。造成基盤の設計が緑化側から提案可能であれば、現場の表層地質、土壌の

図-2 異質な生育基盤配置の模式図

複相性を強調した基盤を考えるべきである。これには、原地形のもつ集・排水性に考慮しながら、平坦面から急勾配まで傾斜の異なる地形を再現すること、礫・砂・シルト質の土壤粒径組成に偏りをもたせることなどの点でタイプの異なる生育基盤を計画する。これらの基盤に適応する植物が安定的に世代交代ができる一定規模以上の面積をもたせ、モザイクに配置(図-2)することが理想である。しかし、現実には、現場条件の中で求められる最大限度の異質な生育基盤を造成する方針の下で、最小で200～300㎡だけしかない生育基盤にとどまっても、設計における樹種の選択肢が大きく広がる。

土地条件に適した樹種を選択するのは基本であるが、先駆種の場合は土地条件の制約を受けにくい傾向がある。選択する緑化植物が短期的に消滅していく先駆種か、あるいはスペシャリストとして安定な遷移後期種かは、期待される緑地機能の全体像の中で判断する。ただし、樹種選択、配植、密度などが、土木施工開始後の現場調査によって修正できるだけのフレキシビリティを確保しておくようにしたい。

3.2.3 導入緑化樹種の生長速度、到達樹高サイズの複相性

地域の自然環境を構成する樹種ストックの中から、植生遷移の出現段階、生長速度、到達樹高、繁殖特性、根系展開特性、光利用特性などをタイプ化し、異なる生存戦略をもつ樹種の導入を図る。ただし、周辺自然環境からの侵入が容易に期待される樹種や、他種排除性がつよく、大規模な優占種群落を構成するおそれがある樹種については外してもよ

い。基本的には、地域の樹種から多い目の種を選択し、群落の種構成は、緑化後の自然選択に委ねる。土地条件に適さない樹種は脱落するが、配植による工夫によって、より多くのニッチ空間を生み出せるように配慮したい。

3.2.4 緑化樹種の複相的配置としてのランダム集中配植

受光量、土壌からの蒸散抑制、菌根菌の発達による養分吸収などの樹木の活着、生長にとって重要な点を苗木植栽位置や局所的播種など、配植上の工夫によって一定

のコントロールが可能である。

当初から植生遷移の中、後期性樹種を緑化植物として導入する場合、特に、受光量の制限と有効態窒素の補給が重要である。これには、幼苗を高密度に植栽するエコロジー緑化の手法、播種工でも試みられている先駆性樹種との組み合わせなどが参考になる。実際には、将来の林冠配置を予測した上で、部分的に高密度に集中して苗木の成立を図りながら、一部で先駆性樹種を遮光位置に配置する、ランダムかつ集中的な配植を適用することによって、樹高、生存戦略の異なる多数種の共存空間を構成させていくことが可能となるであろう(図-3)。

図-3 ランダム集中配植の模式図

4. 複合的機能の高い樹林化群落

4.1 生物多様性の高い樹林化群落のつかいみち

里山と呼ばれる長く放置されてきた薪炭林やアカマツ林では、管理されていた時代に制約を受け続ける条件の下で構成されていた植生が、この制約を外され、衰退する樹種、優占度を増す樹種が現れ、全体としては、退行遷移と位置づけられるところが増加している。こういった植生を周辺域にもつ緑地の造成に当たっては、周辺部の里山全体に及ぶ自然回復拠点としての働きをもつ生物多様性の高い樹林化が適している。

また、ビオトープとしての自然環境整備を図ろうとする場所においても、その基本的な緑化方針として、この樹林化手法が用いられてもよい。

4.2 生物多様性に複合させたい緑化機能

緑地の重視されるべき機能として、表層崩壊圧力に対抗する土壌緊縛力の高い群落を育成しようとする防災的機能や、収穫、休息、学習などの人と自然とのかかわりの場としてのアメニティー機能も重要である。

生物多様性の高い樹林化は、これらの機能との大きな親和性をもっている。

斜面防災的には、樹林がもつ働きはきわめて有効であることが知られており、しかも自然林的な構造を目指すために、根系深度が地中で揃わず、ここを滑り面とする表層崩壊は比較的発生しにくいことが期待される。

また、アメニティー機能の面からも、自然林に近い構造は、さまざまな森林のもつ有益性を提供できるし、ランダム集中配植による樹林化を実施することによって、樹林の見通しを確保できるとともに、低木性の花木や、野鳥を呼び寄せる液果木の生育の場を与える。さらに、当初より高木植栽によって景

観的に完成された緑地を目指すのではなく、苗木植栽や部分播種を主体とする樹林化はO₂吸収能の高さが期待でき、コスト縮減の余地がある。

5. おわりに

本論は、樹林化のパラダイムとして、生物多様性を明確に意識化することを提案している。この生物多様性を目指す緑化は、結果として地域固有の自然を志向するものであり、ニッチ多様として表現できるさまざまな生存戦略を有する植物群を併存共生させる生態学的デザインを志向するものである。

この手法による先行的な樹林化は、旧建設省高山国道工事事務所が所轄した安房峠道路緑化である。これに引き続く事業も実施、ないしは計画中であるが、これらの緑地に対するモニタリング調査が進んでおらず、今後の実証性評価に待ちたいと考える。

なお、この緑化の考え方では、生態学に限らない多岐にわたる専門的知識が必要となるとともに、現場の経験の蓄積が伝えられてこそ、技術が深まっていくことが期待される。今後は、多くの研究者、専門家の批判、助言を受けながら、多くの人々とともに、将来の日本の自然のあり方を考えていきたい。

参考文献

- 1) 上田恵介他：種子散布，築地書館（1999）
- 2) 鷲谷いづみ，矢原徹一：保全生態学入門，文一総合出版（1996）
- 3) Elton, C.S.: Principles of Animal Ecology, W.S.Saunders Co., London (1949)
- 4) 高田研一：ミツバツツジ類の生態と地理分布，種生物学研究V，種生物学会（1981）
- 5) 高田研一：森の生態と花修景，角川書店（1998）
- 6) 高田研一：大規模一様から小規模多様な法面緑化へ，環境技術Vol.29, 866-871（2000）
- 7) 高田研一：自然配植技能者養成講座資料第1回～第23回，自然配植技術協会（2000）