

道路法面における生態系保全手法と評価

Actions and Improving Evaluations for the Ecological Recovery in Slopes

大 窪 克 巳 (おおくぼ かつみ)

㈩高速道路総合技術研究所
道路研究部 土工研究室長

小 澤 徹 三 (こざわ てつぞう)

㈩高速道路総合技術研究所
交通環境研究部 環境・緑化研究担当部長役

柴 田 知 己 (しばた ともき)

㈩高速道路総合技術研究所 交通環境研究部緑化技術センター 技術調査課長

1. はじめに

近年、成長結果としての気候変動の主要因である地球温暖化を抑制するための国際的枠組み（IPCC）が整備され、二酸化炭素（以下、「CO₂」という。）排出抑制を中心とする環境対応は国際的な重要課題となっている。一方、国内では、環境政策大綱等の国の基本方針に従い地球温暖化対策推進法等が矢継ぎ早に制定され、環境問題を内部目的化する動きが強く押し出されている。また、民間企業においても、2000年代以降では、CSR（Corporate Social Responsibility）活動を通じた環境適応型企業しか生き残れないとの認識が広まっている。すなわち、地球温暖化対策の目標である人類とその生存域である環境の持続性を確保することが求められ、それらを総合的に評価する外的基準としての「生態系」が注目されている。実際に、国際条約である「生物の多様性に関する条約」が批准され、地球温暖化対策等の結果としての生態系の多様性保全により、生物生存の持続可能性が高まることになるものと期待されている。

高速道路会社（以下、「NEXCO」という。）では、1958年に法面の表面侵食防止のため急速緑化工法を開発し、植生工として実施している。併せて、従来から各種環境への対応を行っており、1976年の設計要領改訂時において盛土法面樹林化を明文化し、20年以上にわたり実施してきている。追跡調査によればほぼ順調に生育し、法面草刈りの軽減、周辺環境との調和や環境保全等への貢献が確認されている¹⁾。また、切土法面においては、法面自体の安定性等を考慮の上、植生工（草本）により初期の侵食を防止し、後は自然の遷移に委ねるという基本方針のもとで実施してきており、実際に名神高速道路において30年以上経過した切土法面に侵入した木本類（自生種）の生育が確認されている²⁾。しかし、地球温暖化対策の外的基準としての生態系を早期に復元し、総合的な環境保全への対応を求められている状況にあっては、身近で対応可能な事項からの対策の着手が望まれているものと言える。

本報告では、生態系保全という立場からの、NEXCOによって開発された自然環境復元手法に関する工法について述べると共に、復元または保全された生態系の評価

手法について提案するものである。

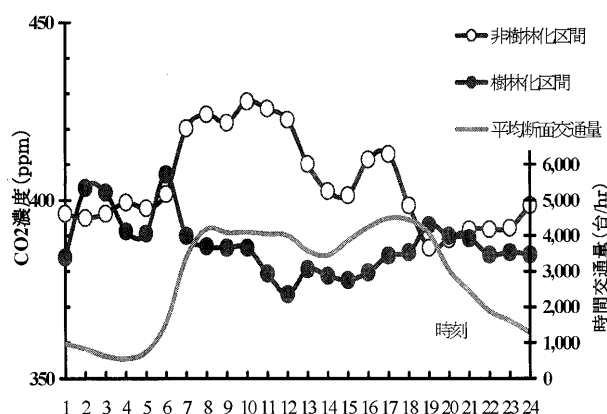
2. 緑化による生態系保全効果

生態系は3種類の要素から構成されており、最も基本となるのは、光合成により太陽エネルギーを化学エネルギー（糖類）に変換する唯一の生産者である植物であり、地球上の生命活動の根本となっている。また、植物は自らの生育環境を整えるため、周辺環境の変化を緩和するように働き、これを利用して緑化により周辺の既存樹木に対して、生物生息空間創出機能、微気象緩和機能や林縁保護機能等を発揮することになる。また、近年重要視されるのは地球環境保全対策に直結し、唯一「発生量抑制」ではなく、「純減」となるCO₂固定機能である³⁾。

2.1 生物生息空間創出機能

緑化された法面等には、分解者（土壌中微生物等）と生産者（植物）が有り消費者（動物）も集まるため、生態系の3要素が揃い、自然復元・創出機能を有することになる。これらは、成長に伴い周辺の自然環境と一体となった生態系を形成するようになる。

道路緑地は、草地（草地性動物）から樹林（樹林性動物）に変化し、周辺と調和する多様な動物相が含まれた樹林を形成するようになる。このような帯状の創造復元された自然が、既存の塊状の自然を線的に結びつけ、バイオトープ・ネットワーク（生態系のネットワーク）としての機能を果たすことになる。実際に、日光宇都宮道路では、このような樹林の形成に加え、盛土法面の衣土として表土が利用されており、施工後の追跡調査によると、表土中に含まれていた周辺植物の種子が発芽、生育し、植栽木と併せて樹林を形成するに至っている。その結果、多様な生物の生息利用空間として機能していることが確認されている^{1),4),5)}。また、中央自動車道三鷹バリア付近の環境施設帯では、植物で145種、鳥類では樹木性のコゲラ、シジュウカラや樹林内の藪に生息するウグイス等11種、昆虫類では75種を確認し、周辺地域より生息種が多く、良好な樹林環境の形成が報告され、部分的ではあるが、効果の定量的評価が行われている事例もある⁶⁾。すなわち、周辺植生に対応した緑化を進めることにより、道路周辺における動物や植物の生息・成育する



図一 二酸化炭素濃度の日変化

ための環境の保全を図ると共に、道路路面等の道路敷地内においても、昆虫を初めとする多様な生物が生息できるような環境の整備を図る。これにより、道路の緑地と道路周辺が一体となった新たな自然環境の復元が可能となり道路建設による影響を最小限に止めることができる。

2.2 微気象緩和機能⁷⁾

葉による蒸散機能により、樹冠の日射による温度上昇が抑制されると共に、日陰という相乗の効果のため、気温較差は約5~6℃認められた。また、地温が2~6℃程度低くなり、同じ深さでは樹冠内の方が温度変化が小さく地温が低く安定していることが分かった。地温は土壤水の温度にほぼ等しく、水分の吸収根が浅く樹冠による被陰の程度の低い樹木は夏期における高温の影響を受けやすくなる。樹冠の被陰等により地表面温度や土壤水温度が低下するため、低温の樹液が樹木の温度を下げるので、樹冠の被陰の程度が強くて日射の影響による蒸散作用が活発な樹木ほど全体的に周辺温度が下がることになる。

2.3 林縁保護機能

新規林縁部では、地下水の低下や日光の直射、通風等の変化した環境の影響を受け、森林後退、植物種および動物相等が変化する場合があり、その影響範囲は、本州南部で20~30 m、本州北部で30~50 mと考えられている⁴⁾。林縁植栽には、成長の早い亜高木種を利用して林縁部を覆い隠すような植栽により、樹林内部環境への影響を緩和する自然環境保全効果が認められている^{1), 5)}。

2.4 CO₂ 固定機能⁸⁾

植物は光合成により、空気中のCO₂と土壌中の水分から糖類合成・酸素放出を行い、自らの成長と生命維持のために使用し、その結果として非同化器官(幹・枝・根)が肥大する。すなわち、成長そのものがCO₂固定そのものになる。そこで、樹林化区間と非樹林化区間のCO₂濃度を実測したところ、樹林化区間において昼間における活発な光合成によるCO₂吸収効果が認められた(図一1参照)。ただし、非樹林化区間として、発生源濃度に近く横断方向の拡散が無い掘割区間のデータを使用して、植物が無い盛土区間における拡散状況を、正規型ブルーム式により推定した値を用いた。測定は、関越自動車道の樹林化区間と東京外環自動車道の掘割区間

において、光合成活動の活発な1998年7月の夏期に行った。両区間とも、日交通量は60 000~70 000台、平均風速は1.6~1.7 m/sであった。測定方法は、NDIR法を用いた赤外線分析計VIA510-CO₂(姉堀場製作所)を用いて、JIS K 0151により、90秒間隔で自動サンプリング装置により連続自動分析を行った。

3. 生態系復元工法

3.1 生態系復元工法の経緯

高速道路緑化においては、広い意味での生態系復元に対応した自然環境保全対策が実施されている。事象として述べる段階に至るまでにはいろいろな調査研究等の努力が払われており、主な事項を次に示すものとする。

① 緑化技術センター：1958~(昭和33年~)

NEXCOでは、高速道路本線工事が全く始まっていなかった2年後の1958年に、名神高速道路の緑化用に滋賀県に18 haの農地を確保し、樹木の生産を行ってきた。現在は、当初の石部苗圃から緑化技術センターへと名称が変更され、NEXCO 3社共有の、道路緑化に関する中心施設として、緑化資材の生産や環境緑化等に関する研究開発業務等を実施している。畑や山地等を改変して高速道路を建設するための代償措置として、緑地に戻す努力を50年間実施してきており、現在でも、自然環境保全や社会貢献等に努めているところである

② 既存林保全等：1963~(昭和38年~)

名神高速道路で、初めて既存樹林・樹木を可能な限り残存させるような工事が行われた。これ以降、可能な限り残すように努められており、各地で実績がある。

③ けもの道：1972~(昭和47年~)

東北自動車道において、生息域を通過することから、コルゲートパイプの設置やボックスカルバートの大型化等により、動物のための横断路を確保したのが最初である。以降、日光宇都宮道路(栃木県に移管)を始め、各地の道路でその考え方が採用されている¹⁾。

④ 総合的自然環境保全対策：1981~(昭和56年~)

日光宇都宮道路で、初めて総合的な自然環境保全対策が実施された。路線選定から始まり、各種動物対応策や表土保全等である。また、これらの対策のモニタリング調査を実施し、追跡調査を行いその有効性を定量的に確認できたことにより、その後の各種工事における環境影響評価等での有効な対応策として生かされており、その点でも十分な社会貢献を行ってきたものと言える⁶⁾。

⑤ 根株移植：1993~(平成5年~)

東名高速道路で開始され、樹種がある程度限定されるが、既存樹木を有効利用する一環として、既存樹木の地上部を除去し根株のみを移植する工法である。発想の転換により経済的に既存樹木の保存が可能となったものと言える⁹⁾。

⑥ 刈草堆肥化リサイクル：1994~(平成6年~)⁹⁾

中央自動車道で初めて実施されたものであり、道路の管理段階で廃棄していた草刈に伴う植物性発生材である刈草を、焼却処理や有料処理に替わって堆肥化し、従来

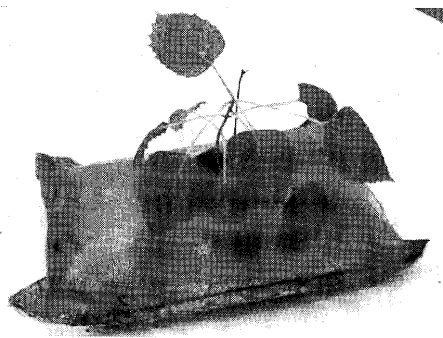


写真1 地域性ユニット苗木

購入していた土壌改良材として使用しているものである。処理費用や改良材の購入費用等を考慮し、トータルで考えると経済性や社会性が確保できるものである。また、地産地消を行っていることになる。

⑦ 地域性苗木：1996～（平成8年～）¹⁰⁾

圏央道で初めて実施されたものである。緑化技術センターで実際の繁殖作業を集中的に効率よく行っており、改変箇所周辺の植生調査結果より、地域に根付いた植物の種子を採取し、最適条件を探りながら確実に発芽させ、後述する開発したユニット袋に移し、移植を簡易化したものである。これらは、正しく地産地消に向かった技術開発の成果であると言える。

以上、主な対応策について述べてきたが、生物多様性対応に最適・最新の工法である地域性ユニット苗木について示すものとする。なお、ユニット苗とは、座布団状の袋に用土を詰め、その中に苗木を育成したものである（写真1参照）。館山自動車道で、1995年7月と1996年3月にその優位性を確認しており、ユニット苗は一般的なコンテナ苗に比べ施工性が高いことが判明している。

3.2 地域性ユニット苗木工法¹¹⁾

国立公園等の自然環境が保護されているような地域では、遺伝子レベルの保全が求められる。従来の木本種子吹付けは、一般的に、種子の入手困難、低発芽率、外国産類似樹種の混入、および樹種限定による多様性への障害等が想定される。そこで、次の条件を満足する地域性ユニット苗木工法を開発した。

- ① 多様性のある樹種を、時期を選ばず確実に活着可能
- ② 法面では改変を最小にし、安全性確保・簡易・経済性のある施工
- ③ 対象地域の採取種子であるトレーサビリティの確保

地域性ユニット苗木工法は、地域性苗木・客土・肥料およびマルチングを一体化し、地面に直接貼り付ける工法であり、植栽作業時間を従来工法より約7割削減している。施工6ヵ月後のユニット苗とポット苗の根系を比較したところ、ユニット苗は根系発達面積・根量等において優位であることが判明している。地域性ユニット苗木の効果を整理すると、次のようになる。

- ① 従来の緑化と同じ効果である樹林による二酸化炭

素固定等による地球環境保全への貢献

- ② 生物多様性国家戦略で定義されている『生態系』・『種間』・『種内（遺伝子）』の全レベルで保全に合致
- ③ 新生物多様性国家戦略・外来生物法等における地域個体群の遺伝的攪乱対策

3.3 地域性ユニット苗木生産システム

(1) 生産システム

① 現地調査等

各種植生図等の既存資料、現地での各種環境調査、土壌調査、および植生調査等での、現存植生の確認・目標植生の決定等により、樹種選定および選定樹種の特性等を整理する。

② 種子採取・選別

選定樹種については、樹種特性等を勘案して、最適な採取時期・採取量等を決定し、これらの事項や採取者・採取時期等を明確に確認可能にするための措置を講じる。採取した種子は、その特性に応じて種子を取り出し、不良種子を除去するための選別を行う。また、樹種特性や必要に応じて、最適な方法で種子保存する。

③ 発芽・植付け・出荷等

出荷時期や樹種特性等を勘案して発芽処理を行い、播種後は温度や湿度管理等により発芽をさせる。発芽後、生育状況に応じて、ユニット等に植付ける。育成中の苗木には、樹種・産地・播種日等を記載して各々の地域別も勘案して分別育成し、トレーサビリティの確保を行う。数年育成し樹種特性に応じて、0.5～1.0 m以上のものを自然条件下で順化させ、出荷する。

(2) 受注・生産体制等

1996年の中央道を皮切りに、圏央道・北関東道・東関東道・第二東名・第二名神等の現場で使用し、ユニット苗等で約50万本の出荷実績があるとともに、現在も約200種、約40万本の受託生産を実施している。都立高尾陣場自然公園内の明治の森国定公園に隣接している中央道の切土法面（コンクリート吹付け法面を再緑化）では、地域における遺伝子レベルまでの保全に配慮したものとして地元の自然研究家等にも高く評価されている。

株式会社化したことにより、NEXCO 3社以外からの受注が可能となっているが、地域性ユニット苗については、トレーサビリティ確保のため、オーダーメード方式の注文生産が最適である。コンサルティングから生産・出荷等まで含めたフルターンキー方式も検討し、苗木の出荷形態や樹種特性にもよるが、約100万本の生産体制を整えていくことが可能である。また、単価についても、工事費等までも含めた総合的単価で同等程度の段階であり、生産効率を上げ、バリエーションを増やすことにより市場単価と同等程度の水準を目指し、「地域性」・「トレーサビリティ」等の付加価値をプラスアルファした製品の生産を行っていきたいと考えている。

4. 生態系評価¹²⁾

従来手法としては、植生自然度による評価（ランク評価）および植生遷移度による評価手法があった。植生自

然度とは、市街地・水田・果樹園等の改変地（1～3），草本・二次林（4～8），自然植生（9～）となっており，植生群落の種類によって人間による自然改変の程度を把握する手法である。植生自然度を見ると，ほぼ植生遷移の順番にあることが分かる。植生遷移度は，植物が遷移の進行という年数の経過に伴い，植物の種類等（植物群落の構成種および生活型の組成）が変化する様を面積や種数等を用いて，数量的に表したのが沼田（1961）¹³⁾による遷移度（DS: Degree of Succession）である。 L （種の生存年限：種毎の植物の寿命）， d （優占度：種毎の植物体地上部を地表面に垂直投影した時の調査区域に対する面積割合）， n （全種数：植物の種類数），および v （植被率：植物が地表面を覆っている割合）とした時に，次式により算出される。

$$DS = \{\Sigma(L \times d)\} \div n \times v \dots\dots\dots (1)$$

「 $\{\Sigma(L \times d)\} \div n$ 」は，植物1種類当りの平均生存年限を示す。これに植被率を乗したものを遷移度としている。しかし，優先度算出方法が多くあり，調査者の個人差を含む値なため， DS の値による相互比較が困難となっている。

生態系評価にあたり，植生遷移が進むほど自然回復度が高くなる傾向があることに着目し，目標とする植生を基本として現況を評価し，目的への到達度（率）で自然度を評価することが可能であると推定された。さらに，単位面積当りの植物の平均生育年限「 $\Sigma(L \times d) \div \Sigma d$ 」により，優占度算出方法に左右されない基準化された次式（新遷移度式： DS' ）も考案した。

$$DS' = \Sigma(L \times d) \div \Sigma d \times v \dots\dots\dots (2)$$

上記式における DS' の最大値は100であり，従来困難であった相互比較が可能となる。目標とする自然植生にどの程度復元しているかを調べるに当たっては，(1)式および(2)式とも同じである。

経過年数と植生状況から DS および DS' を算出し，経過年数との相関を試算したところ，(1)式（ $r^2=0.7533$ ）より(2)式（ $r^2=0.8067$ ）を用いた方が，相関係数も高く， DS' の値も100以内であり，扱いやすいものとなった。また， DS' と土壤動物等との関連を見ると，微生物活性（ $r=0.632$ ），全炭素（ $r=0.664$ ），肉食性昆虫（ $r=0.763$ ）および土壤動物（ $r=0.564$ ）との相関が比較的見られた。生態系は，生産者・消費者・分解者からなり，生態系の比較的上位に位置する肉食性昆虫（消費者），移動することがほとんど無い植物（生産者）・土壤動物（分解者）の関連でみると，今回調査の範囲内ではあるが，植生遷移と生態系との間には正の相関が認められ，植生遷移状況の把握により，生態系の変化状況を把握することが可能であることが判明した。

5. おわりに

生態系，自然環境および地球環境保全等の生命活動の基本であるエネルギー源となっているのは，太陽エネルギー

であり，それを固定しているのが緑化である。そこで，生態系の根本である緑化を中心とした生態系の評価および生態系の復元手法についての，NEXCOにおける開発成果および状況を示し，極端な言い方をすれば，遺伝子レベルまでの自然復元手法を開発したものとえよう。今後は，一つ一つは小さいかもしれないが多くの機能を兼ね備えている緑化の機能の数量的把握，特に社会的価値の換算手法の検討が必要である。また，生態系評価では，今回の DS' のような生存可能年数という量的把握に加えて，植物種類毎の特徴をさらに付加するような質的な評価要素の重み付けの検討，そして，ユニット苗では一層の生産効率化の追求と工法の普及のための各種検討等を行っていく必要があるものと言える。

地球環境保全が至上命題になる中，手段である各種対策と対策した結果である外的評価基準としての生態系評価を高める生態系保全手法の両面からの対応が必要と考えられる。また，これまでの事業評価の中心であった経済性に加えて，「環境性」も各種判断の評価基準として整備していくためのツールの整備や評価基準等を確立すると共に，現場での作業等が直接地球環境保全につながるようなシステム開発，すなわち，「効果の見える化」についても検討する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 森 康男・小澤徹三：道路における自然環境保全対策の効果と評価，高速道路と自動車，Vol. 31, No. 6, pp. 28～36, 1988.
- 2) 日本道路公団：試験所技術資料，第705号 道路のり面の侵入植物，pp. 1～66, 1981.
- 3) 半田真理子・小澤徹三：道路緑化樹木の二酸化炭素固定，高速道路と自動車，Vol. 36, No. 1, pp. 37～44, 1993.
- 4) 半田真理子・石坂健彦・松本 茂：生物学的観点からみた沿道緑地に関する一考察，道路と自然，Vol. 22, No. 4, pp. 34～38, 1995.
- 5) 日本道路公団：緑による環境改善効果に関する検討，pp. 1～50, 2000.
- 6) 小澤徹三：道路緑化による環境の保全と創造，IATSS Review, Vol. 28, No. 3, pp. 63～70, 2003.
- 7) 小澤徹三・生原喜久雄・桃井信行・清宮 浩・森崎耕一：マルチチャンネル・データロガー及び新温度センサーによる樹木周辺温熱環境の把握，土木学会論文集，No. 580/VII-5, pp. 65～70, 1997.
- 8) 小澤徹三・川原田圭介：緑化による総合的環境保全効果，道路と自然，Vol. 33, No. 4, pp. 14～19, 2006.
- 9) 小澤徹三：JH 日本道路公団における緑のリサイクル技術，基礎工，Vol. 27, No. 5, pp. 37～39, 1999.
- 10) 小澤徹三：エコロード整備のための生態系評価および回復手法の検討，地質と調査，No. 1, pp. 7～11, 1999.
- 11) 小澤徹三・久住幹人：地域性ユニット苗木システムの開発—生物多様性への対応—，緑の読本，Vol. 12, No. 14, pp. 83～87, 2006.
- 12) 小澤徹三・吉田祐介：生態系評価・復元手法の検討—生物多様性の保持に向けて—，道路と自然，Vol. 33, No. 4, pp. 20～23, 2006.
- 13) 沼田 真：生態遷移における問題点，生物科学，Vol. 13, No. 4, pp. 146～152, 1961.

（原稿受理 2007.4.16）