

## 17. 道路緑化による生態系回復効果

川原田 圭介<sup>1</sup>・元重 浩<sup>1</sup>・小澤 徹三<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>西日本高速道路株式会社 技術本部 環境部 (〒530-0003大阪市北区堂島1-6-20)

\* E-mail: t.kozawa.aa@w-nexco.co.jp

生態系の基本は光合成により有機物を生産する植物にあり、植物の安定的な生育を評価したのが環境省による植生自然度であるが、定性的な評価手法であるという特徴を有している。そこで、植物の種類や量から生態系回復度合いを定量的に評価する新しい方法を提案した。そして、生物多様性に配慮し、地域で安定的に生育可能な地域性植物を効率的に復元することができる生態系復元システムを開発した。

**Key Words :** road, planting, ecosystem, recovery, biodiversity

### 1. はじめに

道路緑化を行なう主要な目的は、高速道路を利用されるお客様や沿道住民の方々に対応する生活環境保全及び周辺地域における自然環境保全の二つに大別される。そのため、緑化の有する色々な効果を利用することになるが、これらの効果については明白に把握されているものもあれば、未だ定量的な把握が行われていないものもある<sup>1)</sup>。特に、生態系保全については科学的な知見に基づいた手法の確立が求められており、主要な生態系保全対策の一つである緑化については、定量的な効果の検証を必要としていた。

本論文は、生態系が、植物（生産者）、動物（消費者）及び微生物（分解者）から構成され、太陽エネルギーを固定し、生態系の維持のためのエネルギーを供給しているのは主に植物である（図-1）ことに注目し、生態系復元の程度を評価するための新しい評価手法を開発すると同時に、生態系復元手法も含め、生態系復元システムとして検討したものである。

### 2. 緑化と自然環境

緑化は周辺の自然環境に対して地形の改変や生育環境の変化を緩和するように働き、次のような主な役割がある。

- ①新規に伐採した林縁部分を保護し、微気象緩和機能等の道路が既存樹林に及ぼす影響を緩和する林縁

#### 保護機能

- ②新たに道路のり面等に創造した樹林が、周辺の生態系に良好な影響を与える生物生息空間創出機能  
③道路のり面等における表面浸食を防止し植生の回復を図る機能

#### (1)林縁保護

切土のり面等の新規林縁部は、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、植物種および動物層等が変化する場合がある。この影響範囲については、現在得られている知見によれば、暖温帯で20～30m、冷温帯で30～50mと考えられている<sup>2)</sup>。

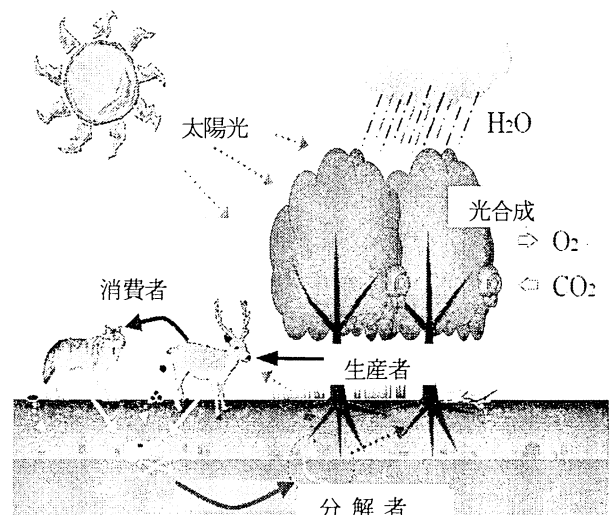


図-1 生態系の概念図

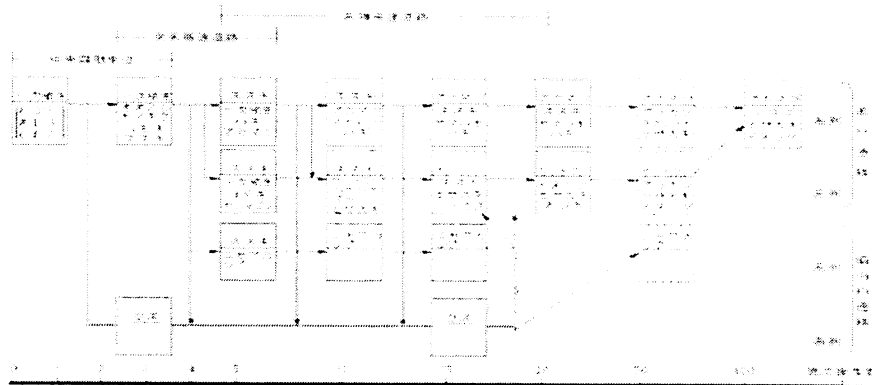


図-2 高速道路における（自然回復状況）植生遷移

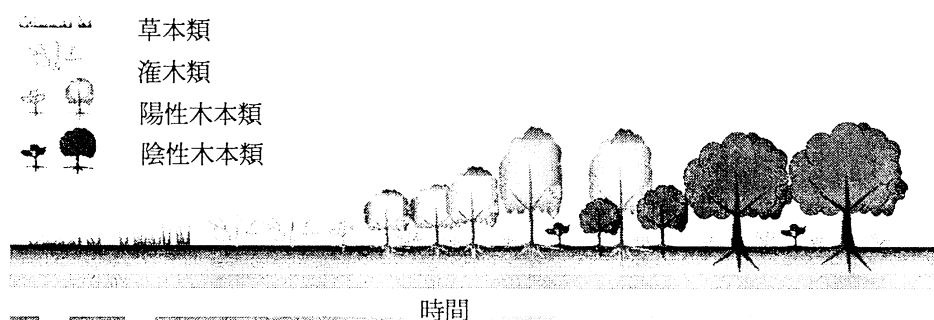


図-3 植生遷移と生態系復元

林縁植栽は、そのような影響を緩和するため、切土の路肩付近に、周辺構成種のうち成長の早い亜高木・低木種を植栽し、事前にソデ・マント群落を形成させるものである。実際に現施工され、周辺環境保全効果が大方認められている<sup>3) 4)</sup>。

## (2)生物生息空間創出

道路緑地は、草地（草地性動物）から樹林（樹林性動物）へと変化し、次第に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、生物生息空間ネットワーク（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、盛土のり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<sup>4)</sup>。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。また、都市域の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ている<sup>5)</sup>。このように、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。

すなわち、周辺植生に対応した適切な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・生育するための環境の保全を図るだけでなく、道路のり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生態系の復元が可能となり、道路建設による自然環境への影響を最小限に止めることができる。

## (3)土壌浸食防止

のり面工の最大の目的は、表面侵食（雨滴侵食）の防止であり、最も安価な方法が植生のり面工である。数十年のオーダーで基本的に自然回復することが確認されている（図-2）<sup>6)</sup>。

## 3. 生態系評価手法

生態系復元の程度を客観的に評価するための適切な手法は確立されていない。自然環境は多様であり、立地環

表-1 植生自然度

| 植生自然度 | 区 分 規 準                                          |
|-------|--------------------------------------------------|
| 1     | 植生のほとんど残っていない地区                                  |
| 2     | 水田等の耕作地、緑被率60%以上の宅地                              |
| 3     | 果樹園、苗圃等の樹園地                                      |
| 4     | シラ・群落等の背丈の低い草原                                   |
| 5     | ササ・ススキ等の背丈の高い草原                                  |
| 6     | 常緑・落葉針葉樹、常緑広葉樹等の植林地                              |
| 7     | クヌギ・コナラ群落等の二次林(代償植生)                             |
| 8     | ブナ再生林、シイ・カシ・萌芽林等の自然植生に近い二次林                      |
| 9~10  | ブナ群集等多層の植物社会を形成する自然植生<br>高山・ハイデ等単層の植物社会を形成する自然植生 |

(注)日本の自然環境(環境庁自然保護局、1982)

境に応じて回復度合いの考えも多岐に渡るが、生態系の中の一員から全体を推定するのが理想的であると言える。生態系では、緑色植物を生産者、植物を食べる草食動物や草食動物を食べる肉食動物を消費者、生産者や消費者の死骸や排泄物を分解して土に戻す土壤動物や菌類・微生物などを分解者と呼んでいる。これらと大気・水・土壌・光などが密接に関係して物質の循環が行われており、生態系としては生物同士の関係及び生物と無機質の環境との関係が、全体として一つのまとまったシステムを構成(図-1)している。そこで、第一次生産者である植物の植生遷移(図-3)に合わせて消費者や分解者が一様に回復してくることに着目し、生態系を復元するということは、消費者や分解者の餌となる第一次生産者を確保するという最も基本的且つ重要なことであると言える。

道路のり面のように遷移の初期段階における比較的短期間の自然復元の度合いを評価するには、一般的な手法では、評価尺度が粗過ぎるという問題や、自然復元を目的とした樹林化のり面の評価が困難といった問題等があり適用できない。そこで、樹林化等の自然回復の促進が行われておらず、種子吹付後周辺植生の侵入により復元される場合が多い切土のり面を道路のり面における最も時間の必要な自然復元タイプと位置付け、それらが周辺自然植生に近似していく過程を通じて、定量・総合的な生態系評価手法の検討を行った。すなわち、種子吹付工事が行なわれ、自然侵入した植物により生態系が復元している法面を道路における標準的な生態系復元タイプと位置付け、植生遷移の進行により生態系が復元するものと仮定した(図-2、3)。

## (1) 従来手法

### (a) 植生自然度

生態系評価手法としては、環境省(1976)による植生自然度がある<sup>7)</sup>。植生自然度は、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方法である(表-1)。この方法は、植生遷移段階を「市街地・造成地」の自然度1から「自然草原」の自然度10までの10段階に

表-2 調査概要

| 項 目             | 調 査 手 法                                                                           |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 調査箇所<br>(経過年数等) | 名神高速道路(4箇所、33年)、関越自動車道(2箇所、22年)、中央自動車道(2箇所、20年)、東関東自動車道(4箇所、10・12年)、館山自動車道(箇所、2年) |
| 植生調査            | コドラート設置による植物社会学による分類                                                              |
| 土壌調査            | 土壌貫入計(土壌硬度)、大型検土杖(土色、土性、水湿、構造、三相分布、全炭素、pH(H <sub>2</sub> O))                      |
| 土壌動物調査          | ツルグレン法(大型土壌動物)、クロロホルム薫蒸抽出法(バイオマス炭素)                                               |

(注)調査箇所は本線内切土と本線外自然地とのペアで2の倍数

区分する。しかし、この方法により施工後約40年の道路法面を評価すると、自然度4～自然度7の4段階にしか区分できない。植栽された法面では多様な植物が侵入して、明らかに生態系復元が促進されていると認められる。

しかし、その植生自然度の評価は自然度6のままである。その結果、早期の生態系復元を目的に植栽された法面の評価が低くなるという矛盾が生じる。環境省の手法は、数百年単位という長い時間における自然度を評価するからである。この方法は約40年しか経過していない道路法面には適さない。また、自然度6はスギやヒノキの植林地を対象としており、植栽された法面のように、生態系復元や景観形成を目的とする多種多様な広葉樹による植栽法面の評価には適さない<sup>8)</sup>。

### (b) 沼田(1961)による植生遷移度

遷移の進行に伴い、植物群落の構成種や生活型組成が変化し、植物群落の現存量や多様性が増加する。この生活型組成を用いて、植生遷移の程度を定量的に表したのが沼田(1961)による植生遷移度(DS: Degree of Succession)である<sup>9)</sup>。これは、植生遷移の進行に伴い生存期間の長い種が多くなるという事実に基づいている。

DSは、L(種の生存年限)、d(優占度)、n(全種数)およびv(植被率)を用いて、式(1a)により算出される。優占度とは種の群落内での優占状態を示す指標である。優占度の算定には、多くの計算式がある。

この「 $1/n \sum dL$ 」は、ある群落における種数による単純平均生存年数を示す。これに植被率を乗したものが植生遷移度である。優占度算出方法が多いため、Dsによる相互比較は困難となっている。

$$DS = \frac{v}{n} \sum dL \quad (1a)$$

### (2) 新生態系評価手法(新遷移度)

植生遷移が進むに伴い生態系回復の程度が大きくなる傾向があることに着目し、生態系復元の程度の評価が可能であると推定された。さらに、優占度で重み付けを行った平均生存年数「 $\sum dL \div \sum d$ 」により、優占度算出方法に左右されない次式(新遷移度式: DS')を考案した。

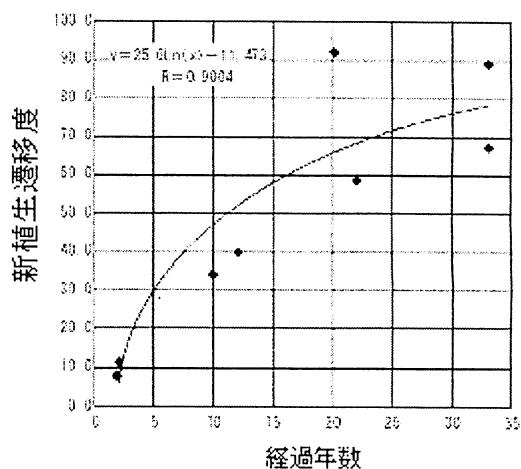
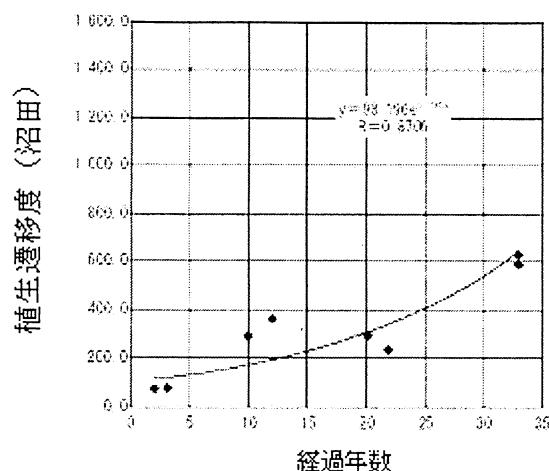


図-4 遷移度算出方法による相違（生態系評

表-3 DS及びDS'

| 調査箇所 | 経過年<br>(年) | 遷移度   | 新遷移度(%) |
|------|------------|-------|---------|
| 名神   | 33         | 585.7 | 67.9    |
|      | 33         | 629.7 | 92.8    |
| 関越   | 22         | 233.6 | 58.7    |
| 中央   | 20         | 294.4 | 92.1    |
| 東関東  | 10         | 294.4 | 34.3    |
|      | 12         | 369.3 | 39.7    |
| 館山   | 2          | 81.4  | 8.1     |
|      | 2          | 67.8  | 11.0    |

次式における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。そこで、表-2で示す調査箇所及び調査手法によるデータを用いて試算したのが図-4である。

$$DS' = v \frac{\sum dL}{\sum d} \quad (1b)$$

DS及びDS' を算出し（表-3）、経過年数との相関を計算したところ、式(1a)（ $r = 0.8706$ ）より式(1b)（ $r = 0.9006$ ）を用いた方が、相関係数が高くなった。また、DS' と微生物活性( $r = 0.632$ )、全炭素( $r = 0.664$ )、肉食性昆虫( $r = 0.763$ )および土壌動物( $r = 0.564$ )との間に比較的相関が認められた。すなわち、生態系は、生産者、消費者および分解者から構成されており、植生遷移度と生態系の上位に位置する肉食性昆虫（消費者）及びほとんど移動しない植物（生産者）や土壌動物（分解者）との関連から、植生遷移と生態系との間には正の相関が認められたため、植生遷移度を用いて、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。

### (3) 遷移度到達率 (DN)

生態系評価にあたっては、植生遷移が進むほど自然度が高く、生態系が豊かになる傾向があることに着目し、

本来あるべき究極の状況（潜在自然植生等）又は周辺の自然植生状況を基本として現況を評価し、目標への到達度（率）で自然度を評価することが可能になる。すなわち、目標とする新遷移度（ $DS_o$ ）に対し、現在の新遷移度（ $DS_p$ ）がどこに位置しているかを示すことが可能となる。

$$DN = \frac{DS_p}{DS_o} \times 100 \quad (2)$$

## 4. 生態系復元手法

生態系の復元のためには、生物の「衣食住」を整備し、生活できる、すなわち、生息可能なように空間の整備を行っていくことが最も根本的なことである。一次生産者である植物は、生物にとって生命維持装置そのものである。また、近年の生物多様性保持のためには、遺伝子レベルでの保全が重要となるのは言うまでもないことである。しかし、全く市場性の無い植物を発芽増殖させるには、高度の専門知識や組織培養等のバイオ関連技術が必要となり、普及の障害となっている。西日本高速道路株式会社（以下、「W-NEXCO」という。）では、環境アセスメント対応等も含め、既に、市場性の無い自生種（地域性苗木）の発芽増殖を行い、自然復元事業として実際に運用のためのシステムや施設の整備を行うと共に、技術的蓄積を重ね、各種技術開発も実施している。

### (1) 地域性ユニット苗木工法<sup>10)</sup>

国立公園に代表されるような自然環境が保護されている地域では、遺伝子レベルの保全が求められる。従来の木本種子吹付工法では、種子の入手困難や低発芽率の課題があり、さらに裸地状態の期間が長くなると外国産強

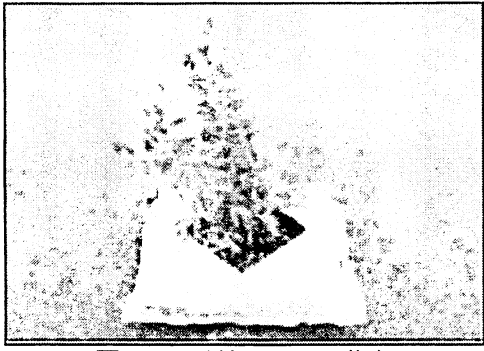


図-5 地域性ユニット苗木

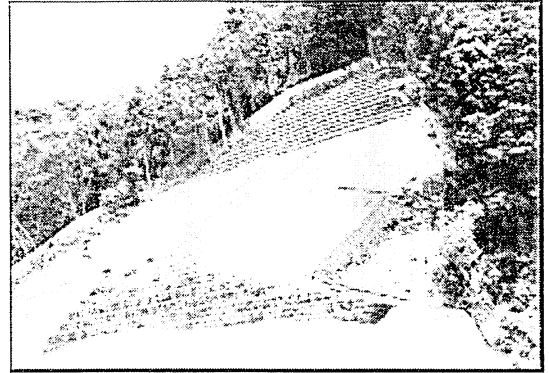


図-7 地域性ユニット苗木工法施工直後 (H12)



図-6 地域性ユニット苗木設置状況  
(法面の表面に釘打ちで固定)



図-8 地域性ユニット苗木生育状況 (H16)

雑草の繁茂が生じ易いこともあり、生物多様性保全への障害が想定される。そこで、次の条件を満足するような緑化工法の開発を行った。

- ①多くの樹種が、時期を選ばず確実に活着できる。
- ②法面の改変が最小になり、安全性、簡易及び経済性を有する施工方法である。
- ③採取種子を用いてトレーサビリティを確保する。

これらの条件を満足させるため、現地植物の種子を採取し、耐乾性や耐雑草性を備え、活着が良好となるようなコンテナ苗の一種として、地域性ユニット苗木工の開発を行った。

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、すなわち、地域性苗木、客土、肥料及びマルチングを一体化して、地面に直接貼り付ける工法であり、作業時間を従来より約7割削減するため、特殊なコンテナ化を行なったものである(図-5、6)。実際に、全国各地で、この苗を用いて植栽を行なっており、その性能を確認しており、ユニット苗はポット苗に比べ施工性が高く、約5倍の効率化が図れると共に、トータルコストは、従来方式に比べ経済的であることが判明している(図-7、8)。地域性ユニット苗木工法の効果を次に示す。

- ①二酸化炭素が固定され、地球環境保全に貢献する<sup>13)</sup>。

- ②生態系レベル、種間レベル及び種内(遺伝子)レベルにおいて生態系を保全する。
  - ③地域個体群レベルにおいて遺伝的攪乱を防止する。
- すなわち、次のような段階を経て、調査から評価までの生態系復元システムが成立する。

- ①現地調査により樹種を確定する。
- ②種子を採取し、選別する。
- ③選別種子を育成し、地域性植物として工事に用いる。
- ④生態系復元の程度を植生遷移度により評価する。

地域性植物は、1996年以来、約50万本の生産実績があり、現在約200種類で総数40万本の植物を育成している。地域性やトレーサビリティ等の付加価値をプラスアルファした植物の育成を行なっている<sup>14)</sup>。

## (2)表土

生態系の根本は植物にあるが、その植物の生育を左右するのが土壌である。最も望ましいのは、植物と一体となった表土を乱さない表土移植工法であるが、経済性や施工性等の課題もあり、表土を乱した状態で利用する表土利用が主流となっている。各地で小規模には行なわれてきているが、大規模に行なわれたのが日光宇都宮道路と東富士五湖道路である<sup>3)</sup>。今回は日光宇都宮道路の事例を示すものとする。

昭和56年に開通した日光宇都宮道路は、日光国立公園の特別地域を通過するため、自然環境保全に留意した工法が採用され、表土保全工事が実施された。表土張り付け後、数ヶ月から1年程度で、のり面には数百種類の植物が認められ、多様な植物群が復元されていた<sup>3) 15)</sup>。これは、従来の林地から環境条件が大きく変わり、裸地となったため、土に日光が当たること、地温上昇や周辺・土壌中等に外来雑草等がないこと等の発芽条件が整ったためではないのかと考えられた。また、木本性樹種についてもカンバ・ヤナギ類等の生育が認められ、早期の植生復元が可能であるが、外来雑草が繁茂する場合もあり、十分な事前調査や植生のり面工本来の目的を優先して検討する必要がある。

#### 4. おわりに

国土の均衡ある発展の中で、地方分権の時代と言われ、地域性（ローカリティー）が重視されるようになってきている。地域においても、地産地消として、地域で生産したものを地域で消費しようという運動が全国で展開されており、生物多様性保全という観点でも地域性の重視という点では類似したものであると言える。しかし、これらの事業を継続的にやっていくためには、すなわち、「環境性(ecology)」を向上させていくためには、どうしても「経済性(economy)」という視点を加える必要がある。もともと、「エコ(eco)」はギリシア語の「家(Oikos)」が語源であり、家の理論(logos)的説明がエコロジー、家を治める・管理する(nomos)というのがエコノミーと変化していったと考えられており、エコロジーとは家(地域等)の住人が家(地域等)の中でどのように生活するか、エコノミーとは家をどのように治め管理するかを検討することである。従って、エコロジーとエコノミーは対立するものではなく、協調できるものであり、両者を統合した言い方をすれば、一種の「環境ビジネス」として考慮できるものであると言える。道路事業においても、土砂の盛土材への利用から舗装材のリサイクル等まで、ある意味で「地産地消」を行っており、道路緑化においても、表土の有効利用、地域性苗木生産出荷事業や刈草堆肥化リサイクル事業等まで、従来からの自然環境保全対策として、さらに地産地消の見地からも生物多様性への対応を実施している。

これらの対策の評価検証を行なうため、今回、新しい生態系評価手法を提案したが、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、生態系評価では、例えば樹種別に植生遷移上に占める位置づけを明確にして重み付けを行う

等の質的要素の加味等を行っていく必要がある。また、自生種生産システムの確立や事業化を実施していく中で、それらを最大限に生かすためのユニット苗工法の一層の効率化により、環境修復・復元事業のコンサルティングを含め、自生種苗（ポットタイプ、ユニットタイプ）の生産出荷要望に応える事が可能である<sup>14)</sup>。さらに、生態系復元による生物多様性保持が可能となり、生物多様性国家戦略の精神にも合致して、社会に大きく貢献することができると思われる。

#### 参考文献

- 1) 小澤徹三：エコロード整備のための生態系評価及び回復手法の検討，地質と調査 Vol.79, No.1, pp7-11, 1999
- 2) 半田真理子、石坂健彦、松本茂：生態学的観点から見た沿道緑地に関する一考察，道路と自然 88号, 1995
- 3) 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ー日光宇都宮道路のケーススタディー，高速道路と自動車, Vol.31, No.6, pp28-36, 1988
- 4) 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.
- 5) (財)道路環境研究所：平成5年度 沿道生態環境復元手法調査報告書，pp.5・1-5・76, 1994
- 6) 日本道路公団試験所植栽試験室：試験所技術資料第705号 道路のり面の侵入植物，pp.31-34, 1981
- 7) 環境省：日本の自然，pp.29-35, 大蔵省印刷局, 1982
- 8) 小澤徹三、吉田祐介：生態系評価・復元手法の検討，道路と自然，Vol.33, No.4, pp.20-23, 2006.
- 9) 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
- 10) 小澤徹三、亀山章、木村尚史他：自然度評価の基礎的検討，第53回土木学会年次学術講演会講演概要集第7部，pp.356-357, 1998
- 11) 大窪克己、小澤徹三、柴田知己：道路法面における生態系保全手法と評価，地盤工学会誌，Vol.55, No.7, pp.4-7, 2007
- 12) 小澤徹三、久住幹人：地域性ユニット苗木システムの開発，緑の読本，Vol.42, No.14, pp.83-87, 2006
- 13) 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, 1993
- 14) 内山拓也・藤森澄夫：生物多様性に配慮した地域性苗木生産の取り組み、平成18年度日本造園学会全国大会分科会講演集，pp.101, 2006
- 15) 小澤徹三、表土利用に関する調査，道路と自然 Vol.9, No.2, pp.28-36, 1981