

## 1. 序論

現在、人間活動による急激な地球温暖化が問題となっている。「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」は第三次報告書で、1990年から2100年までの間に1.4~5.8°C上昇を予測している。そして、多くの研究は、この地球温暖化に多くの種は適応できないと指摘している。なかでも、温暖化の影響を受けやすいのは移動速度が小さい植物であり、移動速度が遅い種では、インフラ設備による分断化の影響を強く受けやすい。インフラ設備による分断化は、移動と分散の阻害、個体群の適応能力の低下を及ぼし、絶滅速度を速めることとなる。

この問題の1つの回避策として、国土交通省が進める道路事業における環境保全への取り組み「エコロード」に注目が集まっている。エコロードとは調査、計画段階から設計、施工、管理の段階まで、自然環境の保全にきめ細かく配慮された道路である。しかしながら、保護や調査の対象は、主に哺乳類、両生類、昆虫類、鳥類に多く、植物に関しての例はほとんどない。

植物は生態系において重要な役割を持っている。多種多様な生物が複雑に絡み合って形成されている生態系では、植物が生産者として底辺を支えているためある植物が消失してしまうと、その生態系全体に大きな影響がおよぶ。現在、温暖化により植物にどのような影響が生じるか研究が進められている。これまで従来の研究では地球、国のスケールでの予測が行われていた。しかしこの予測は最も絶滅の心配がある移動速度が小さい植物種には適していない。また、これまで道路、河川などの構造物の影響による絶滅についてはほとんど考慮されてこなかった。

そこで本研究では、メッシュをより細分化し、土木構造物である道路や河川などの影響に着目して移動速度が小さい植物での分布予測を行った。また、多く作られてきたエコロードだが、公共工事費が削減されている現在、通常の道路よりコストがかかるエコロードが影響をどの程度軽減できるのかを定量的に把握することは重要である。そこで本研究ではシミュレーションを行うことで、インフラ施設の通過率による分断化の影響についても検討を行った。

## 2. 調査方法

**2.1 調査対象** 本研究では、分布域が限られ生態学的に貴重、絶滅危惧Ⅱ類に分類されている、という理由から、2種の植物を材料として選択した。それぞれの種の特徴は以下の通りである。

シデコブシ (*Magnolia tomentosa* Thunb.)

- 1) 分布と個体数が調査されている<sup>7)</sup>。
- 2) 木本類で種子の散布範囲が狭く、成熟するまでの期間が長い。

ミカワバイケイソウ (*Veratrum stamineum* Maxim. Var. *micranthum* Satake)

- 1) 生育場所がシデコブシと同じ場所にある。
- 2) 草本類で、木本類のシデコブシより生活史が短く、成熟までの期間が短い。

**2.2 シデコブシの計算条件** シデコブシは以下の手順で計算を行った。

【Step1. 地形図の作成】

【Step2. 気温分布の再現と温暖化の予測】

【Step3. 成木個体群分布の作成】

【Step4. 種子分布の作成】

【Step5. 幼木個体群分布の作成】

シデコブシのシミュレーションは、Step3-5を1年として300年の予測を行った。シデコブシは性成熟におよそ10年必要とするため、成木と幼木にわけて予測を行った。死滅は温度による影響のみとした。温度上昇は最低の温度上昇ペース1.4°C/100year (条件Iとする)と最高の温度上昇ペース5.8°C/100year (条件IIとする)の2種類とした。また、インフラ設備の通過率は分断化により移動がない0%、分断化の影響がない100%、半分の通過を認める50%、1/10の通過を認める10%の4種類とし種子の移動を制限した。これら条件を組み合わせ6種類のシミュレーションを行った(表1)。

【Step1. 地形図の作成】 シデコブシの主な分布域である岐阜南部の地形図の作成を行った。(北端35°23'34"、南端35°7'4"、西端137°16'10"、東端137°39'33") (図1)。

インフラ設備 の通過率	温度上昇ペース	
	1.4°C/100year	5.8°C/100year
0%	I-0	II-0
10%	I-10	-
50%	I-50	-
100%	I-100	II-100

メッシュを 100m×100m とし、標高 (altitude) を 100m 単位で、メッシュの境界には河川、道路と高速道路の入力を行った。また、列方向に緯度 (latitude) の入力を行った。

【Step2. 気温分布の再現と温暖化の予測】 温度分布の再現には作成した地形図の各メッシュの標高と緯度を使用した。標高については 0.65°C/100m、緯度については 0.5°C/1° の温度低減率を設定した。さらに、温暖化の影響を加えることで将来の温度分布の予測を行った。温暖化の影響は温度上昇率 (The rate of a rise in heat) に予想年 (year) を乗じることで表現した。式は以下に記述する。

$$t_y = -0.65a - 0.5l + 34 + r_i y \quad \dots (1)$$

ただし、

$t_y$  :  $y$  年後の温度(°C),  $a$  : 標高(m),  $l$  : 緯度 (° N),  
 $r_i$  : 温度上昇率(°C/年),  $y$  : 予測年(年)

【Step3. 成木個体群分布の作成】 個体群の初期分布は「シデコブシの自生地」<sup>7)</sup>を参考に作成した。2年目以降は種子の発芽から10年以上経過した個体を成木個体群分布に加えた。成木の分布を制限する最も大きな要素は温度である。そこで、本研究では平均気温 13°C が温度耐性の最低値、18°C を最高値に設定した。

【Step4. 種子分布の作成】 種子の生成個数は以下の式で表現した。

$$N_{seed} = N_{adult} \times i \times s \quad \dots (2)$$

ただし、 $N_{seed}$  : 各メッシュが作る種子数 (個),  $N_{adult}$  : 各メッシュの成木数 (本),

$i$  : 成木 1 本がつける花序の数 (個/本),  $s$  : 袋果 1 つがつける種子の数 (個/個)

種子の分布を周囲 100m と設定した。種子の移動先は現位置、北方向、南方向、西方向、東方向、の 5ヶ所に等方移動とし、標高の高低による移動割合の変化はないものとした。また、分断化の影響を考えるためにインフラ設備に接している場合は、それぞれのインフラ施設の通過率で種子の移動を制限した。

【Step5. 幼木個体群分布の作成】 安定している個体群の密度と成木・幼木の比の関係に着目し、発芽率を定めた。シデコブシの環境収容力 (K) は本研究では 300 と設定した。発芽率を用いて出芽本数を算出し幼木個体群分布の作成を行った。

$$N = rN_{seed} \quad \dots (3)$$

ただし、

$N$  : 出芽本数 (本)       $r$  : 発芽率 (本/個)

$$\left( \begin{array}{ll} N_{adult}/K & r = 6 \cdot 10^{-6} \\ N_{adult}/K & r = 1 \cdot 10^{-6} \\ N_{adult}/K & r = 5 \cdot 10^{-8} \end{array} \right) N_{seed} : \text{種子数 (個)}$$

### 2.3 ミカワバイケイソウの計算方法

ミカワバイケイソウは以下の手順で計算を行った。

- 【Step1. 地形図の作成】
- 【Step2. 気温分布の再現と温暖化の予測】
- 【Step3. 成木個体群分布の作成】
- 【Step4. 種子分布の作成】

Step 3-4 を 1 年として、300 年シミュレーションを行った。シデコブシと異なる点は、ミカワバイケイソウは移動距離が小さいため 1 メッシュの移動に 2 年かかる点、ミカワバイケイソウの寿命はおよそ 10 年であることから 10 歳となった個体は枯死する点である。

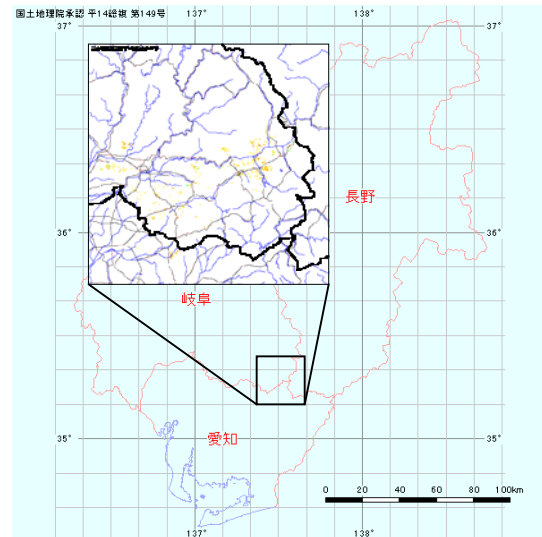


図 1 シミュレーション領域

### 3. 結果

**【温暖化予測】** 2004年現在，調査地域の60%が生育可能な温度帯であった。温度上昇ペースIでは，生育可能な温度帯は170年まで増加を続け全体の85%となるが，その後減少し始め300年後には全体の45%となった。温度上昇ペースIIでは，生育可能な温度帯は30年まで増加を続け全体の80%となるが，その後減少し始め270年後には全体で生育不可能となった(図2)。

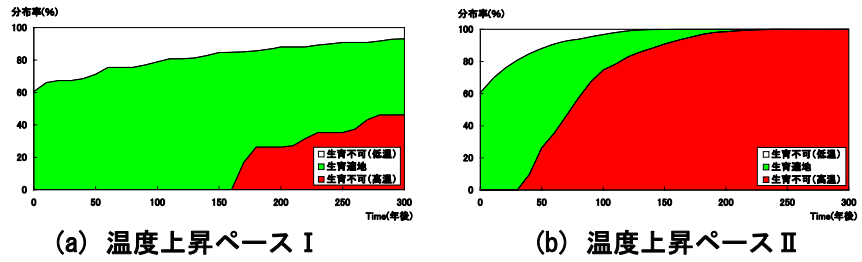


図2 各温度帯の割合

**【移動予測】** シデコブシの，温度上昇ペースIでは，絶滅が生じる前の160年に最も分布域が広く，条件I-100では40000メッシュ，最小の条件I-0では35000メッシュとなり，5000メッシュの差が生じた。温度上昇ペースIIでは，絶滅が生じた40年に最も分布域が広く，条件II-100では8700メッシュ，最小の条件II-0では8500メッシュとなり，200メッシュの差が生じた(図3(a))。

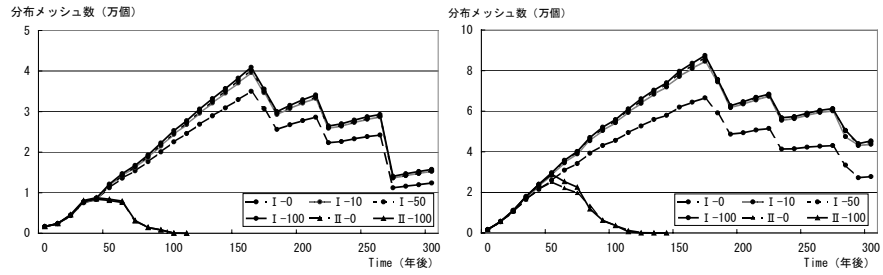


図3 それぞれの条件における分布メッシュ数の推移

ミカワバイケイソウの，温度上昇ペースIでは，絶滅が生じる前の170年に最も分布域が広く，条件I-100では87000メッシュ，最小のI-0では66000メッシュとなり，21000メッシュの差が生じた。温度上昇ペース5.8℃/100yearでは，絶滅が生じた50年に最も分布域が広く，条件I-100では29000メッシュ，最小のI-0では25000メッシュとなり，4000メッシュの差が生じた(図3(b))。

シデコブシは温度致死，移動の障害のない状態で，300年後の分布は初期分布から18メッシュ広がった。このことからシデコブシの移動速度は1800m/300year=6m/yearとなった。同様の方法で速度を計測すると，インフラ設備通過率10%の移動障害物が1ヶ所，2ヶ所，3ヶ所ある場合，移動速度はそれぞれ5.6m/year，5m/year，4.5m/yearとなった。インフラ設備通過率50%の移動障害物が1ヶ所，2ヶ所，3ヶ所ある場合，移動速度はそれぞれ5.6m/year，5.5m/yearとなった。ミカワバイケイソウは温度致死，移動の障害のない状態で，14m/yearとなった。インフラ設備通過率10%の移動障害物が1ヶ所，2ヶ所，3ヶ所ある場合，移動速度はそれぞれ12.5m/year，11.25m/year，11km/yearとなった。インフラ設備通過率50%の移動障害物が1ヶ所，2ヶ所，3ヶ所ある場合，移動速度はそれぞれ12m/year，11.25m/year，11km/yearとなった(図4)。また，インフラ設備の影響がないI-100を1とした時の平均速度比の計算を行った。2植物ともインフラ設備の通過率50%では，速度比は0.9程度で大きな変化はなかった。シデコブシはインフラ設備の通過率10%では，速度比がインフラ設備の通過数が増えるごとに0.93，0.83，0.75と大きく減少した。ミカワバイケイソウでは0.86，0.80，0.79と減少は少しにとどまった(図5)。

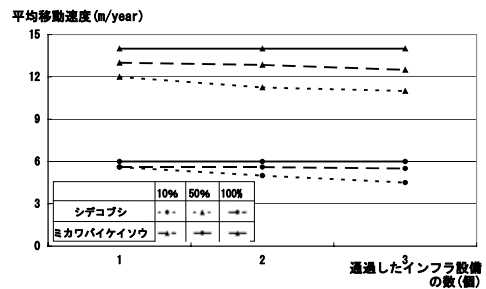


図4 インフラ設備の通過率と通過数  
が及ぼす平均移動速度の変化

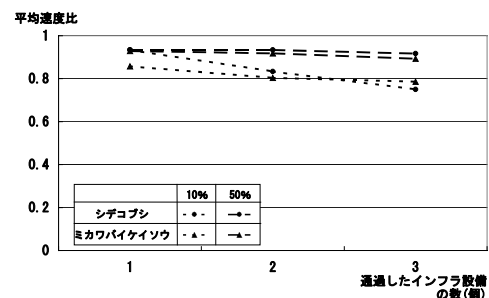


図5 インフラ設備の通過率と通過数  
が及ぼす平均速度比の変化

**【復元率】** ある通過率で分断化の影響がある状況と分断化のない状況での分布域の比を復元率とした。シデコブシ、ミカワバイケイソウともに I-10 と I-50 では I-50 の方が復元率は高く、収束する値もわずかだが高かった。シデコブシで復元率 80% に至るまで、I-10 では 170 年、I-50 では 80 年を要した。ミカワバイケイソウで復元率 80% に至るまで、I-10 では 70 年、I-50 では 10 年を要した。また、2 種の復元率を比較すると、シデコブシがより低い値をとった。(図 6)

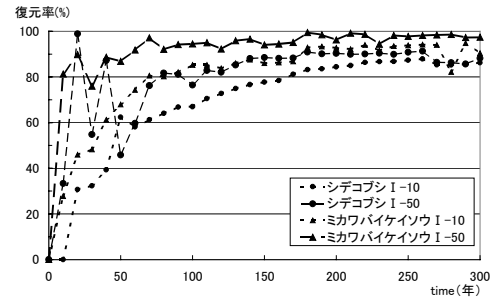


図 6 復元率の推移

	現在	100 年後	200 年後	300 年後
気温上昇ペース I の気温分布				
シデコブシ 条件 I-0				
シデコブシ 条件 I-50				
シデコブシ 条件 I-100				

図 7 シデコブシのシミュレーション結果

#### 4. 考察

温度上昇ペース I では地平線方向で北に 1.7km/year の移動が必要となる。しかし、シミュレーションした結果、平均移動速度はシデコブシで 6m/year であった。さらに本研究で考慮したインフラ設備による速度低減効果を考慮すると、絶滅に至る可能性は十分高い。しかしシミュレーションの結果、シデコブシは絶滅には至らなかった。標高 400m 以下では生育地域は見られないが、400m 以上の地域では生育地域が見られた。すなわち、平地において温暖化の影響から逃れられない種も、標高の高いところへ移動することで絶滅から逃れることが出来ることが本研究により示唆された。

ミカワバイケイソウでは I-10, I-50 でも速度低下が見られ影響を受けていることが認められた。しかし、シデコブシの I-50 においては速度の減少は小さく、一方で I-10 では減少の傾向が大きい結果となった。これら結果から移動速度が中程度の植物では影響を受けやすいが影響は限定的である。一方でシデコブシのような移動速度が遅い植物は影響を受けにくい影響を受けるときは大きな影響を受ける可能性があること示された。しかし、本研究では影響の度合いと通過率の関係を解明するには至らなかった。実際の解明には、単純化したモデルでより多くのデータを比較検討していかねばならない。

本研究では動物のインフラ設備の通過率を設定してシミュレーションを行ったが、インフラを整備したことで動植物が整備前と同様に、工事箇所近づいてくるとは限らない。そこで、インフラ設備の通過率を上げる研究と平行して、捕食者に狙われにくく、動物が警戒しないような環境を作る為の研究が必要となる。

指導教官 喜岡 渉 教授