

〈一般研究課題〉 道路建設などによる生育場所の分断化が
生物に及ぼす影響

助成研究者 名古屋工業大学 増田 理子



道路建設などによる生育場所の分断化が 生物に及ぼす影響

増田 理子
(名古屋工業大学)

Mosaics and Patch Dynamics in the Fragmentation Habitat by Road Construction.

Michiko Masuda
(Nagoya Institute of Technology)

Abstract :

In terrestrial ecosystems, fragmentation typically begins with gap formation or perforation of the vegetative matrix as humans colonize a landscape or begin extracting resources there. Each piece is patterns composed of smaller elements. I simulated the distribution of the model plants in Tokai Elements at the condition that many national roads divided whole habitat of Tokai Element Plants. As a result, it was derived that it was a life cycle of the model plants that was very importance most. The life cycle of the plants is applied to a consecutive type in general in a current model, and it analyzes it. Therefore, there was little thing for which the increase and decrease of the plants depended on the environment. Moreover, the case where all living things are exterminated because the road construction caused the segmentalization was most, and when the road where the environment was considered was constructed, it was able to be confirmed to be able to prevent some extermination. However, the animals were most in being able the expectation of cost-effectiveness in the eco-road making that considered the environment, and it was shown that it was very difficult for the plant. The necessity for doing some consideration to the plant that mobility is less in the road making that considered the environment as a result was shown.

1. はじめに

近年、人間活動による、急激な温暖化が大きな問題となっている。国連のもと設置された「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」は第三次報告書で、21世紀中に全地球表面気温の、1.4～5.8℃上昇を予測している¹⁾。また、第四次報告書によると、地表温度の上昇の結果、降水量の空間及び時系列での分布パターンの変化、海面の水位の上昇、積雪の広範囲にわたる融解などが観測されており、気候システムの温暖化は、今後加速度的に進むものと考えられる。このほかには局所的な気候変動により、野生生物環境が影響を受けていることも大きな問題となりつつある。

地球温暖化の地球生態系への影響の一つは、生息適地の変動が生物の移動速度が追いつかないことである。生物は生育に適した環境のもとで生活をするために移動を繰り返してきた歴史的な過去がある。しかし、今日の地球温暖化のスピードは、過去1万年で最も早いペースで上昇している。生物は生息地が環境変動によって変化すると、個体のストレスが大きくなり有性生殖ができなくなる。生育環境が個体の生存可能な限度を超えると絶滅にいたる。多くの研究では、人間によって引き起こされる地球温暖化に多くの生物種は適応できないと予測をしている¹⁾。

地球温暖化の影響を受けやすい生物としては、移動速度が遅い植物があげられる。植物はいったん定着すると移動できない。このため主な移動手段は種子による散布、ストロンなどによる栄養繁殖体に依存する。種子による移動は風による風散布、機械的な散布、動物に運ばれる動物散布、落下のみの重力散布、水などを媒介とする水散布などがあげられる²⁾。しかしどれも効果的な移動手段ではない。

温暖化シミュレーションによると気候帯が最低1.5km/年で移動するのに対し、種子散布の速度は最高でも2km/年であり³⁾、繁殖までの到達年数のずれが、さらに移動速度を低下させることとなる。

また、生物種の移動に大きな障壁となるのが生息地の分断化の影響である。生息地の分断化は、現在、生物の絶滅を引き起こす原因の一つである。高速道路や道路・鉄道・河川・家屋などのインフラ及び同様の設備の整備が生息地の分断化の原因となっている。インフラ建設によって破壊される面積は大きくないが、生息地は分断化され、生物が自由に行き来することができなくなる⁴⁾。これは生物種の分散や定着を阻害させ、生活適地への移動を阻害し、生物の絶滅を引き起こす。その結果、生息地の分断化は、個体群の減少と絶滅速度を速めることにつながる。さらに、限られた地域のみで生育するような小さな局所個体群は、近交弱勢や遺伝的浮動といった小さな個体群に付随するさまざまな問題が生じ、絶滅する可能性が高くなる。

このような問題を回避するために、国土交通省が進める道路事業がある。国土交通省では環境の保全に配慮した「エコロード」事業に力をいれつつある。エコロードとは、地域の自然環境との共存・調和を図るよう配慮された道路のことである。道路整備には調査計画、設計、施工、維持管理の段階があるため、これら道路整備の各段階に応じて調査、対策を行う必要がある⁵⁾。この施策は、平成5年11月に公布・施行された環境基本法の理念を受け、平成6年1月に制定・公表された。エコロードは、建設行政における環境の取り組みを示した「環境政策大綱」において、環境リーディング事業として位置づけられており、道路のルートや構造の検討に当たって、動植物の分布状況等の自然環境等に関する調査を踏まえ、自然との調和を目指したルート選定等を行う。同時に、自然環境の豊かな地域では、必要に応じて橋梁・トンネル構造等地形・植生の大きな改変を避けるための構造形式の採用を図る。また、「動物が道路を横断するためのけもの道の確保、野鳥の飛行

コースに配慮した樹林、小動物がはい出せる側溝、産卵池の移設等、生態系全般との強制を図るための構造・工法の採用を推進する。」として、全国的にその設備が図られている⁶⁾。また、エコロードでは自然環境・生態系への影響を最小限にするため、自然の改変をする際には「ミティゲーション」を行う。ミティゲーションとは、開発に伴う環境の被害を極力減少させ(reduce)、損なった環境を復元し(repair)、それらが不十分な場合にはその場所を他の場所に新しい環境を再生・創造し(replace)、トータルとして見た環境への影響をゼロにしていこうとする考え方と定義されている。

現在、温暖化で移動速度の遅い植物にどのような影響が生じるのか研究が進められている⁷⁾⁸⁾⁹⁾。しかし、従来の研究では地球、国のスケールでの予測が行われており、最も絶滅の心配がある移動速度が遅い植物種の予測には適していない。また、種子散布が重力散布や動物散布の種では道路や河川の影響を強く受けることから、移動速度の遅い種の予測を行う場合には、それらの影響を考慮する必要がある。また、これらを考慮する上で、県道や国道、高速道路といった道路幅の違うものも考慮する必要もある。しかし、従来のモデリングでは、道路、河川などの構造物やインフラ設備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、インフラ設備である道路や河川、またマンションや家屋といったものの影響に着目して移動速度の遅い植物での分布予測を行うことを目的としている。

また、これまでに作られてきたエコロードについては、多くの調査報告書では動植物の移動を確認しているものの、建設前後の比較を行い、分断化の影響をどの程度軽減できているのかといった報告は少ない。公共工事が削減され、通常の道路よりもコストのかかるエコロードが影響をどの程度軽減できているのかを定量的に評価することが重要である。本研究では、シミュレーションを行う際にはインフラ設備、特に道路を動物が通る率、すなわち透過率を導入してどのように植物が動物を介して移動していくのかを検討した。

今回は特に、一般的植物を対象にするのではなく、ある特定地域に依存的に残存している植物群を対象とすることで、そのような種の保全に生かすことができると考えた。また東海地方には、ハナノキ、ヒトツバタゴ、ヒメミミカキグサ、ヤチヤナギといった特異な植物が分布しているのに加え、この地方には固有・準固有分類群や著しい隔離分布種が存在することが知られている。シデコブシ、ミカワシオガマ、シラタマホシクサ、ミカワバイケイソウ、ウンヌケ、ナガバノイシモチソウ、カンサイガタモウセンゴケ、ミズナラ類似植物等の分布型、地質、生育環境が解析されている。これらの植物は一般に東海丘陵要素と呼ばれている¹⁰⁾。これらの植物を利用して、生態系の理解を深め、土木構造物に対するミティゲーションの効果を把握することを目的としている。

2. 材料・方法

本研究では東海丘陵要素の一つであるシデコブシを用いてシミュレーションを行うことにした。その理由は、分布域が明確であること、個体のサイズによって年齢がわかること、長寿であり、シミュレーションに用いる際、生活史を変化させて他の植物のシミュレーションにも用いることができる可能性があること、果実が大きく、動物散布などの可能性があることである。対象植物は以下のような特性を持っている。

シデコブシ (*Magnolia stellata Maximovich*)

シデコブシの属するモクレン科 (Magnoliaceae) は常緑または落葉性の低木から高木で、約12

表1. シデコブシの自生地

地域	分布が報告されている市町
岐阜県	東濃地域 恵那市 城下町 福岡町 蛭川町 岩村町 山岡町 中津川市 瑞浪市 土岐市 多治見市
	中濃地域 可児市 可児郡御嵩町 加茂郡坂祝町 関市 武儀郡富加町 各務原市 岐阜市
愛知県	尾張地域 犬山市 春日井市 名古屋守山区 瀬戸市
	三河地域 豊田市 西加茂郡藤岡町
	渥美地域 渥美郡田原町 渥美町
三重県	北伊勢地域 四日市市 三重郡菰野町

属230種ほどが現生している。分布はアジアと北米の温帯・亜熱帯地域である。化石としては白亜紀以降に北半球から主に採集されている。

シデコブシは落葉性の高木で、高さが10m以上、胸高直径が20cm以上にまで及ぶ。幹は単生、または数本～数十本の株立となる。樹皮は平滑で灰白色、若枝は褐色で短い軟毛に覆われている。冬芽は膜質の鱗片に包まれ、短い軟毛が密生している。葉は互生し、長さ最大12cm、幅最大4cmほどで、倒披針形～広倒披針形である。葉の質はやや硬い革質で、表面は濃緑色で無毛または脈にそって縮毛がある。側脈は8～15対で細脈も明らかである。花は4月頃、開葉に先立って咲き、花弁は9～25枚で長さ8cm以下、幅は3cm以下の倒披針形で先端部は円形である。外面は白色～濃桃紫色、内面は白色である。

果実は螺旋状に配列する多くの袋果からなる集合果で、長さは8cm以下、直径1.5～2.5cmで、凹凸がある。緑色で9月頃熟し、それぞれの袋果は背中で裂け褐色に変わる。袋果には1～2個の黒褐色～黒色の種子が含まれ、光沢のあるオレンジ色～オレンジ赤色の仮種皮におおわれ、糸状のひもによって垂れ下がる。この仲間の“コブシ”の名は果実の拳状の形に由来するといわれている。分布域は表1のとおりである¹¹⁾¹²⁾。シデコブシの一般的な生育地は、貧栄養で日当たりの良い湿地や谷であるが、強い乾燥の影響を受けなければ、必ずしも流水や地下水の存在しない立地でも生存は可能である。

シデコブシは9月初旬から中旬にかけて、赤く色づいた袋果からなる集合果を形成する。その果実は鳥に食べられ、種子散布は動物散布の一部である鳥散布型を示す。しかし、実際に鳥がどのようにシデコブシの種子を散布するのかについてはまったくわかっていない¹³⁾。種子の数は多いが、野外では実生個体をみることは少ない。その理由はそれほど大きな樹木ではないため、周りの木が育つと、やがて追い越され、日が当たらなくなり、枯れてしまうためであると考えられている。また、倒れた幹や地に垂れた枝から根が出て新しい株となることもあるが、集団の構造を調査してみるとほとんどの個体は遺伝的に異なっており無性的に増えることはない。恵那市のシデコブシは、高い遺伝的多様性が保たれているため、近交弱勢や遺伝的分布などの集団遺伝学的要因を考慮する必要が無い。そこで今回のシミュレーションでは岐阜県恵那市大井町付近の生息地を選択することにした。

シミュレーション条件

以下の手順で、シデコブシのシミュレーションを行った。

1. シミュレーションを行う地域の地形図のデータ補完。
2. 気温分布の再現と温暖化の予測モデルの作成。
3. 恵那市のシデコブシの分布域のデータ保管。
4. シデコブシの重力散布と散布者(動物)による種子散布のモデル構築。
5. シミュレーション。
6. 300年後のシデコブシの総個体数の換算。

地形図の作成については、具体的な植物を取り扱うことから5m×5mのメッシュで細分化し、インフラ、河川、その他の構造物の3種類を要素として取り入れた。地図作成については恵那市から提供いただいた1/2500の地図を用いた。地図の作成領域は恵那市大井町付近を対象とした。

シデコブシと散布者のモデルについては以下のように決定した。パラメータは表2に示すように決定し、種子分散者の個体数を変化なしとして300年間常駐させることとした。また、種子散布者は4つのレベルの移動距離を持つもの年、方向、距離ともに乱数を発生させ、モンテカルロ法によって移動を決定した。このとき、構造物にぶつかる際に透過率を設定し、構造物の影響を考慮し

表2 シミュレーションに用いたパラメータ

パラメータ	定義
基本パラメータ	
live-tree	植物の生長期間
dead-tree	植物の寿命
dead-temp	植物が死亡する温度
total-risu	シミュレーション系内の散布者の数
seed-number1	散布される種子数
seed number2	散布者に見つかっても運ばれない種子数
seed number3	散布者が運ぶ種子数
tree number1	Seed number1によって成長する植物の個体数
tree number2	Seed number2によって成長する植物の個体数
tree number3	Seed number3によって成長する植物の個体数
付加的パラメータ	
ma	種子と散布者が出会う種子数
mi	種子の死亡数
toda	系の中の成木の個体数
total-risu	系の中のdispersarの個体数
risu-move	散布者が一年間に移動する回数
disp-num	種子散布回数
flying-seed	種子の散布距離
oxwalk-seed	種子の移動回数
breeding	増殖率
dething	減少率

た。シデコブシの種子生産と重力散布については成木が種子を現在存在するメッシュから隣のメッシュに等確率に散布する。種子は数年かけて成木へと成長する。成木になると種子を生産し分布域を拡大する。成木の寿命も設定する。種子は構造物に衝突したり、川に入ると無くなると仮定する。ただし、透過率によっては隣のメッシュへ飛び越えることができると仮定する。散布者と種子のメッシュが重なると散布者は種子を運ぶ。種子はある確率で食べられ、ある確率で種子を遠くに運ぶ。

恵那市の気温については気象庁のデータを参照した。1976年から2008年までの日平均気温、および最高気温と最低気温の平均を用いて恵那市の気温とした。世界の平均気温は今後最悪で100年間で、5.8度上昇することからこの値を用い、標高差を考慮した

$$\text{temp}[m] = -0.06 \times \text{alt}[m] + \text{rt} \times i + 30$$

temp[m]: 気温 (°C)

alt[m]: 標高 (m)

rt: 温度上昇率 (°C/year= 0.058)

i: 年度 (year)

この式を気温とした。

構造物の透過率については、「散布者がインフラ設備を超えることができる割合」と一般的に定義される。本研究における透過率は、「1~4の数字を10回等確率に発生させて、4が何回でるのか。」とした。散布者は鳥やリスといった小動物を想定している。鳥は、高速道路や鉄道といったインフラ設備を超えることができる。リスは、インフラ設備をわたることはできない。そこで、本研究では、高速や鉄道や国道を幅の広い道路(幅3~5m)とし、一般的な県道を幅の狭い道路(幅1~3m)とすることで、この幅を超えられるのかどうか、検討するために県道を確実に越えることができる4(year(-1))を指標とした。そして、本研究を考察するにあたっては、透過率を変えてその変動をみる以外は、10個の数字を

$$a[10] = 1, 2, 3, 4, 1, 2, 3, 4, 0, 0$$

と定義し、透過率は20(%) 定義した。

このシミュレーション全体のパラメータは表2に示した。

3. 結果

シミュレーション1

図1に表3のパラメータ値を用いたシミュレーションの区分図を示した。また、温暖化の度合いは図2の値を用いた。シデコブシは年平均気温3~14度に発達する落葉広葉樹林に分布する。よって、地球温暖化によって、気温が上昇すればマダケ、モウソウチクなどによって自生地が浸食されていることが確認されている。そこで20度を境界平均気温として自生地がなくなること想定した。しかし、恵那市の気温についても温暖化シミュレーションの気温についても回帰直線との間の分散が大きいため、回帰直線そのものを利用することについても今後の検討が必要である。シデコブシの個体数の経年変化を図3に示した。また、比較するため表3のパラメータで示した一年草の経年変化を図4に示した。シデコブシは170年までは増加したが、その後温暖化の影響で生息地を失い始め230年目には絶滅することが予測された。同様に一年草についてもシ

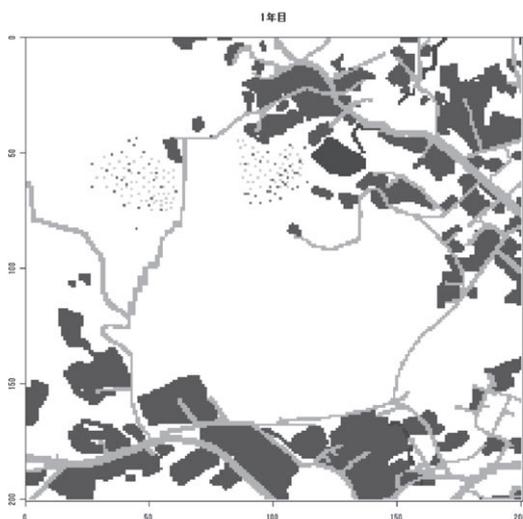
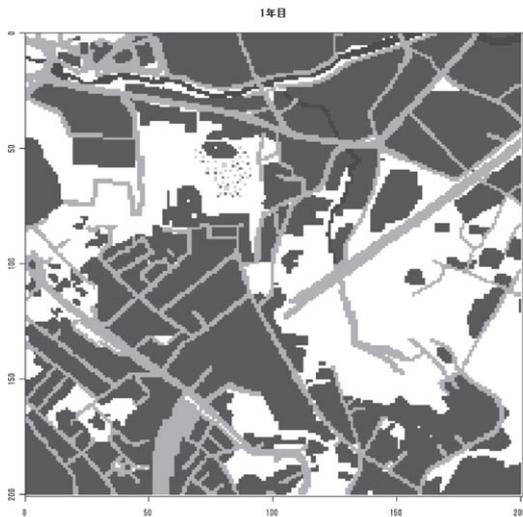


図1. シミュレーションを行った区画地図。黒は建設構造物を表し、灰色のラインは道路、鉄道、黒ラインは河川、白い部分は植生帯を示している。中央左上の灰色の点がシデコブシ群落を表現している。上部は市街地、下部は自然度が高い。

表3 図1に用いたパラメータ

パラメータ	シデコブシ	一年草
live-tree	20	1
dead-tree	21	2
dead-temp	20	20
total-risu	20	20
seed-number1	25	499
seed number2	15	450
seed number3	10	50
tree number1	4	498
tree number2	3	449
tree number3	2	5

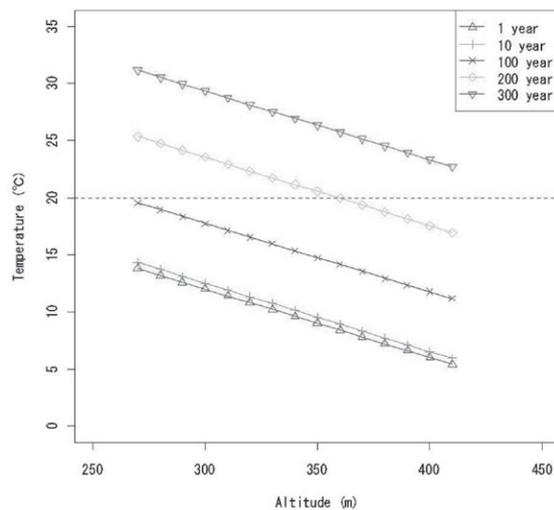


図2. 横軸に標高、縦軸に平均気温を取り、1年目、10年目、100年目、200年目、300年目における気温。年平均気温20度をシデコブシが温暖化によって絶滅する温度と仮定している。

シミュレーションした結果、一年生草本は単調減少を示し、温暖化の影響を顕著に受けることが示された。

それぞれのモデル植物では環境収容力を持つロジスティック式によって個体数の収束が予測されたが、解析的な連続式ではなく、ロジスティック式を離散かすることによって、振幅が生じたものと考えられる。そこでこの振幅について検討を行った。図5は、シデコブシの個体数の100回試行を一つの図に示したものである。それぞれの試行において振幅が観察された。モンテカルロシミュレーションでは乱数の発生によって生じる振幅がある。これらは回数を重ね平均化することによって曲線化される。図3では1000回反復によって小さな振幅は平滑化されたことから、乱数由来であることが確認された。もう一つの振幅要因としては空間をメッシュとして扱うことで利用制限が仮定される。このとき種子散布は親個体のある場所に散布されても発芽することができない。また、前年以前に散布された種子からの稚樹があれば、成長できない。このような制限要因があるため振幅が生じることが予測される。そこで、種子が散布されたとき個体が重なる

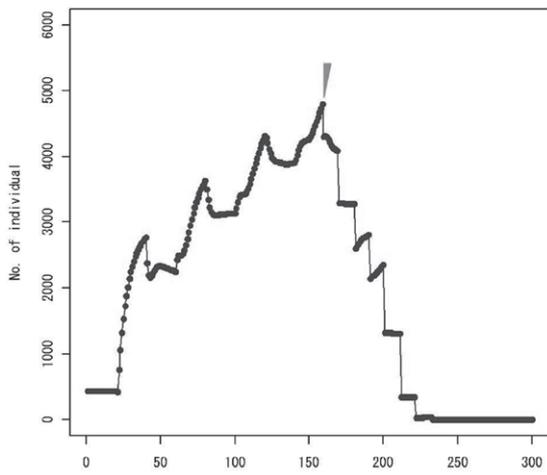


図3. シミュレーション1の1000回反復を平均化したシデコブシの個体数の経年変化。▼は170年目を示している。

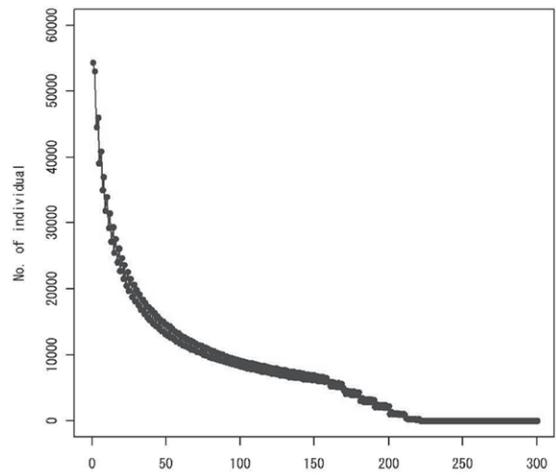


図4. シミュレーション1のステップを1000回反復して平均化した一年草の個体数の経年変化。

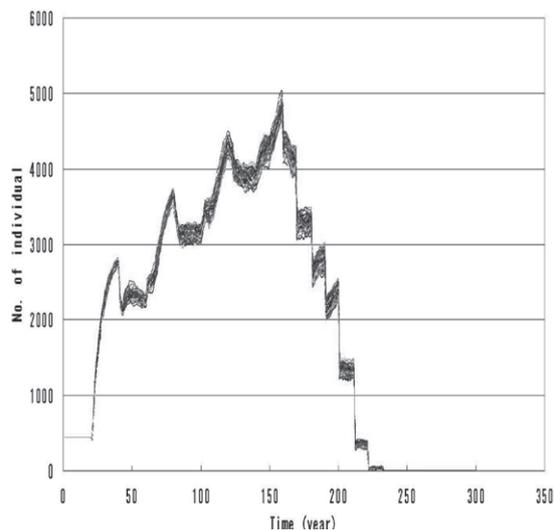


図5. シデコブシについてシミュレーション1を100回反復したそれぞれの個体数の変化。

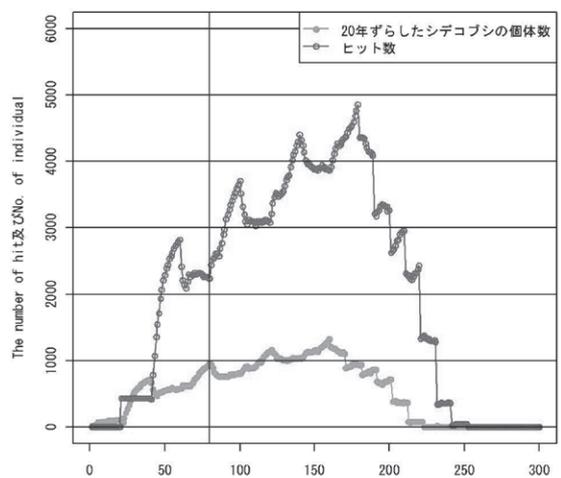


図6. シデコブシの個体数の経時変化とヒット数の経時変化。シデコブシの個体数は20年ずらして表示した。ヒット数は構造物や河川などのメッシュに種子が散布され一失した場合の個体数を表している。

ことによって種子が発芽できなくなってしまう数を ma (ヒット数)として計算した。その結果、 ma (ヒット数)はモデル植物の個体数と同じ挙動を示し、高い相関性があった。図6では種子が成木になるまで20年と仮定したため20年遅れて個体数が一時的に最小値をとることからも空間の利用制限が大きな幅の振幅の要因となっていることが示された。

このほかにシデコブシの寿命を変化させることによってどのような変化が見られるか検討したところ、メッシュの一部で個体数の増減の振幅が認められた(図7)。分布状態によっては、寿命も個体数の増減に大きな影響を及ぼすことが示された。

エコロードの検討を行うための透過率の変化をさせた場合の検討を行ったところ、透過率の変化は個体数にそれほど影響を及ぼさなかった(図8)。これは、植物体にとって道路などの透過をするためには動物による散布に依存しなければならない。しかし、今回、植物体は1000個体に対し、散布者は20個体と個体数が少なかったことが要因の一つとして考えられる。また、種子

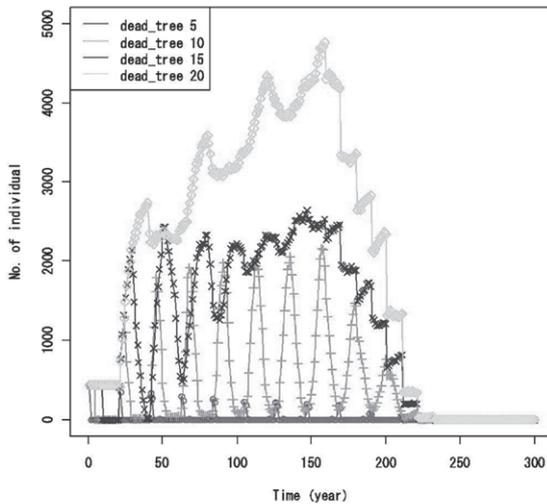


図7. シデコブシの寿命を5年、10年、15年、20年と変化させた時の個体数の経時変化。寿命を変化させると大きな震動が現れることが示された。

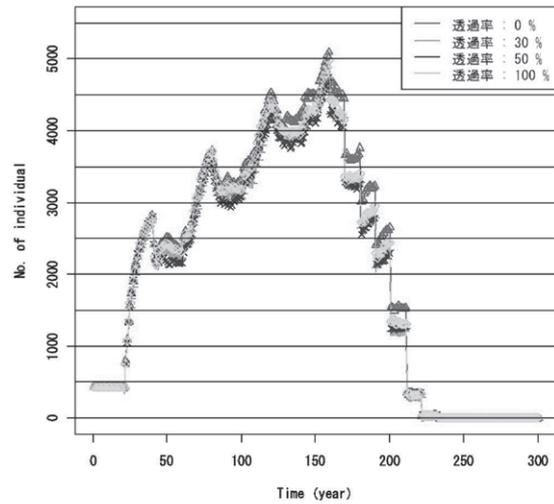


図8. シミュレーション1において透過率を変化させた場合のシデコブシの個体数の経時変化。

と散布者が会合することはごくまれな現象となり、種子が運搬されることが無かったことが要因である。実際の野外においても、散布者の個体数はそれほど大きくないと考えられ、さらに、種子の被害も大きいことから運搬確率は非常に低いため、現状とかけ離れたシミュレーションではないと考えられる。

シミュレーション2

シミュレーション1の結果をもとに5つのパラメータを変更しさらにシミュレーションを行った。

1. 透過率の定義の変更 シミュレーション1では、散布者の透過率によってシデコブシや一年草の総個体数に大きな違いが見られなかった。これは散布者が4メッシュ移動したとき、3メッシュ以内に、道路を透過の不可を1(透過できる)と0(透過できない)の乱数で判断した。

パラメータは

$$a[10] = e_0, e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8, e_9$$

$$e_i = 0 \text{ or } 1$$

2. 散布者の数の変更 total risuを20から増加させ、散布者の個体数がどのような影響を及ぼすかについて検討した。
3. 散布者の年間移動回数の変更 risu moveを1回/1年を増加させ、種子を運搬する機会を増加させた。
4. 種子の散布飛距離の変更 flying seedの値である、種子の移動距離を増加させ、空間制限要因の影響を除去した。

このシミュレーションでは透過率の定義を変更した。その結果、個体群が絶滅してしまうことに変更は見られなかったが、個体群の存続年数については20年の延長が認められた(図9)。道路などのインフラ設備の透過性は生物の存続に影響を与えることが示された。

散布者の数を変更した結果が図10である。本シミュレーションでは散布者による絶滅確率の低減はほとんど認められなかった。散布者によって道路などの閉鎖物から透過させる確率はきわめ低く、ほとんど効果がないことが示された。

種子の移動距離を変更した結果では、シデコブシの適応度が増加し、絶滅までの時間も長くなった。これは、道路などの透過率よりも、植物からの直接的散布がダイレクトに個体の生存率に効果があるためだと考えられる(図11)。

4. 考察

本研究で取り上げたシデコブシの分布域は仮想的な場所を取り上げているため、定量的な数値はあまり意味が無い。しかし、これらのシミュレーションによって、定性的な傾向を知ることができたと考えられる。このようなシミュレーションを行うことによって、エコロードなどの環境に配慮した建設工事の妥当性やさらに工夫の必要な点について考慮し、保全活動に役立てることができるのではないだろうか。

まず、生息地の違いであるが、元々の生息空間が個体数の制限要因となっていることが示された。生息地の空間が十分に広ければ個体数はかなりの値まで増加することができる。生物の絶滅を防ぐためには地域のポテンシャルが非常に重要である可能性が示された。

透過率については、植物体のような能動的に移動できない固着性生物は透過率をあげても生存率上昇に関してあまり効果が認められなかった。これは散布者移動と散布者が植物体と出会う確率が二重の障壁となるためである。本来エコロードの指標としては小動物を用い、これらのロードキルを少なくすることを目的としている。小動物はあくまで種子を運搬する散布者として考えた場合、植物の個体数にはエコロードの透過率はほとんど影響が無いことが示された。しかし、エコロードは全く意味が無い訳ではなく、種子の散布距離を変化させた場合には大きな変化が認められたため、種子が散布される道筋を多く確保することが重要であることが示された。

このほかには生物の寿命も非常に重要なファクターとなることが示された。つまり、植物の生活

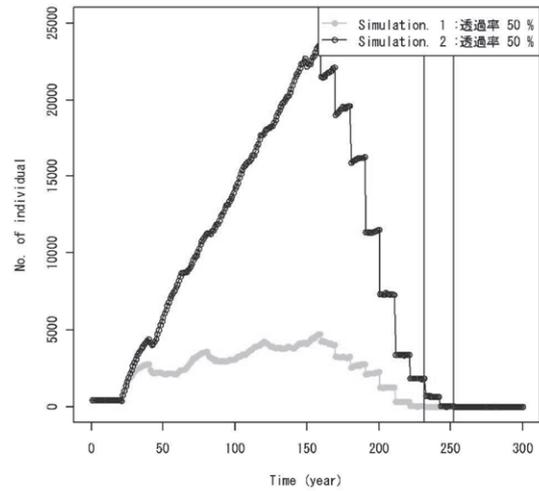


図9. シミュレーション1とシミュレーション2において透過率の定義を変更した場合、シデコブシの個体数の経時変化。

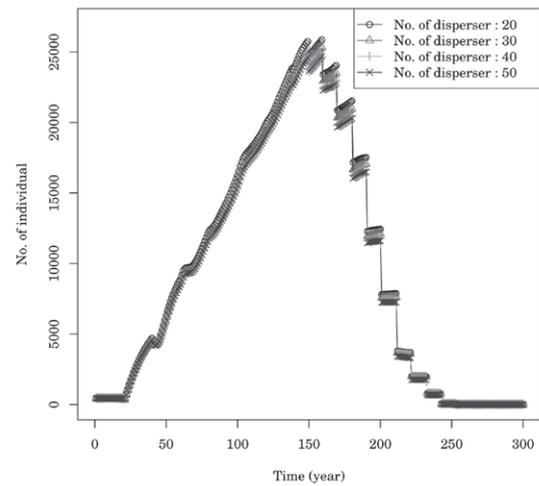


図10. 散布者の個体数を変更した場合のシデコブシの個体数の経時変化。

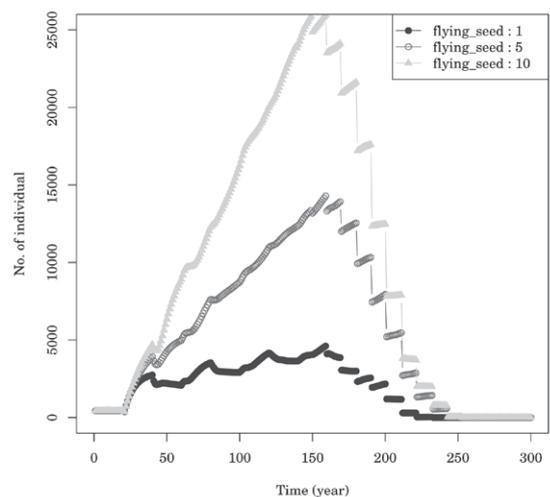


図11. 種子の悲惨距離を1, 5, 10メッシュ分とした場合のシデコブシの個体数の経時変化。

史が個体群動態には重要な影響を持ち、保護のためには生物の生活型ごとに異なる保護政策をとる必要性についても示唆された。

5. 今後の課題

具体的な保護，エコロードの建設のためには対象とする生物の正確なデータが必要である。今後はこれら保護すべき生物の正確な個体群動態，生活史，遺伝的ファクターの研究が必要である。今回のシミュレーションでは，エコロードを建設するにあたって，シデコブシの価値を考慮し，その価値を利益としていかに取り入れるかが重要である。エコロードの建設には一般の道路の30から50%増の費用が必要とされる。費用の増加とシデコブシの価値を比較し，判断材料にすることが必要とされる。しかし植物を対象とする評価方法ではエコロードの効果をみることはできなかった。植物においては別の形でエコロードの価値を判断するシミュレーションを試みる必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたり，平成22年度日比科学技術研究助成金を賜った財団法人日比科学技術振興財団に深くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) Stop the 温暖化 2008. ICPC.
- 2) 上田恵介. 1999. 種子散布—助け合いの進化論 < 1 > 鳥が運ぶ種子. 築地書館. P1.
- 3) 森崎耕一 1998. ミティゲーション—取組みとその成果, 道路と自然 99 p.9-11
- 4) Primack, R. 1997. 保全生態学のすすめ. 生物多様性保全のためのニューサイエンス. 文一総合出版.
- 5) 廣瀬利雄監修. 1999. 応用生態工学序説—生態学と土木工学の融合を目指して—, 信山社サイテック. P65.
- 6) 竹林征三編. 実務者のための建設環境技術. 山海堂. P65.
- 7) Habiba Gitay, Avelino Suarez et al. 2002. Climate change and biodiversity. IPCC Technical Paper V.
- 8) Houghton, D. Y. et al. 2001. Climate change 2001: The Scientific basis. IPCC Third Assessment Report.
- 9) Malcolm, J. R. and A. Markham. 2000. Global warming and terrestrial biodiversity decline. WWF report.
- 10) 植田邦彦. 1989. 東海丘陵要素の植物地理定義. 植物分類地理 40巻. P190-202.
- 11) シデコブシを守る会. 1996. シデコブシの自生地 Wild Stand of Shidekobushi (Star magnolia) in Japan. P2.
- 12) 愛知みどりの会. 2002. 自然からの Save Our Species—レッドデータブック愛知・植物編解説. 愛知みどりの会. p108.
- 13) 甲斐啓子 et al. 2000. 地球温暖化が植物に及ぼす影響の解明に関する研究. 地地球環境研究成果報告書. p326-345.

