

学 位 論 文 題 名

Demographic and genetic consequences  
of forest fragmentation in populations  
of the understory herb *Trillium camschatcense* (Trilliaceae)

(林床植物オオバナノエンレイソウ [エンレイソウ科] 個体群に及ぼす  
森林分断化の個体群統計学的・遺伝学的影響)

学位論文内容の要旨

北海道十勝平野では 1880 年代から急速に農地開拓が進み、現在では大小様々な孤立林が点在する景観が一般的である。オオバナノエンレイソウは、北海道の低地林を代表する林床性の多年生草本で、孤立林の林床にも多く見られる。本学位論文では、オオバナノエンレイソウ個体群を対象として、森林分断化の個体群統計学的・遺伝学的影響について調査し、本種の保全方法について議論した。

1. 種子生産量の低下

オオバナノエンレイソウは種子に繁殖を依存するため、種子生産量の減少は個体群の存続を脅かす主要因となり得る。この研究では 2 年間にわたって、14 個体群の種子生産量と開花個体数(個体群サイズ)・周囲の景観条件(景観タイプ)との関係について調査を行った。個体群は、周囲の森林面積に着目して 2 つの景観タイプ(孤立型と連続型)に分類した。調査個体群は自家不和合性を示し、昆虫による花粉媒介によって種子を生産する。したがって、個体群サイズの減少は送粉昆虫への魅力を低下させ、景観条件は送粉昆虫相やその生息数に影響を与えることによって種子生産量の低下を招く可能性がある。

小さな個体群では、大きな個体群に比べて花あたりの種子生産数が少ない傾向が 2 年間にわたって認められた。花あたり種子数と個体群サイズとの相関関係は 1999 年においてのみ統計学的に有意だったが、開花個体数が 50 を下回る小さな個体群では両年共に種子生産数が少なかった。景観タイプの効果は有意ではなかったが、周囲を多くの森林で囲まれた「連続型」個体群は、小さな孤立林に生育する「孤立型」個体群よりも多くの種子を生産する傾向が見られた。他家花粉の受粉量は、種子生産量と正の相関関係を示したことから、種子生産量の減少は主に花粉制限によるものと考えられる。

しかしながら個体群の生育段階構造は、種子生産数よりも個体群サイズとの間に強い相関関係を示したため、種子生産数の減少はその後の個体群統計学的プロセスにそれほど強い影響を及ぼしていないと考えられた。

2. 訪花昆虫

小さな個体群では、種子繁殖および送粉成功が低下していることが前章で示された。これ

は、送粉昆虫の訪花頻度の低下に起因する可能性が考えられる。本章では、5 個体群において訪花昆虫の種構成とその訪花頻度とを観察した。その結果、オオバナノエンレイソウの訪花昆虫が主に甲虫目と双翅目であること、ケシキスイ科の昆虫種が特に有効な送粉昆虫であることが明らかになった。訪花頻度は個体群間で異なったが、各個体群の他家花粉受粉量との間に相関関係は見られなかった。

### 3. 小さな孤立林におけるエッジ効果

森林の林縁部(エッジ)では、森林外部の環境の影響を強く受けるため、様々な物理的・生物的条件が森林内部とは異なる(エッジ効果)。森林の分断化は林縁部を増加させるため、大きなエッジ効果が生じると考えられる。本章では、面積約 0.8 ha の孤立林において、オオバナノエンレイソウに対するエッジ効果を評価するため、空間構造と生育段階構造について調査を行った。

空間分布と生育段階構造は、林縁からの距離とその方角によって変化した。幼植物段階の密度や相対頻度は、林縁部で小さい傾向にあり、その効果は特に林の南側で顕著だった。一方、開花個体の密度でも同様の傾向が見られたが、エッジ効果の大きさは幼植物段階に対するものよりもはるかに小さかった。気温などの物理環境条件は、幼植物段階の密度と有意な相関関係を示した。一方、種子生産量ではエッジ効果の影響が観察されなかった。このことから、物理環境条件によって種子の発芽やその後の生存が影響を受け、(特に南側の)林縁部で実生の加入が強く制限されていると考えられる。

また、林縁部とこれまで幾つかの小さな個体群で観察された生育段階構造は良く対応していた。したがって、小さな分断された個体群で実生の加入を制限する要因として、エッジ効果は高い重要性を持つものと考えられた。

### 4. 遺伝的劣化

分断化による遺伝的多様性の減少や近交弱勢は、個体群の存続に短期的・長期的影響を及ぼす可能性がある。本章では 12 個体群の遺伝的多様性と集団遺伝構造についてアロザイム遺伝子を用いた解析を行った。

多型遺伝子座の割合と遺伝子座あたりの対立遺伝子数は、個体群サイズと正の相関関係を示したが、これは小さな個体群で出現頻度の低い稀な対立遺伝子( $< 0.1$ )が確率的に失われたことによるものと推測された。ヘテロ接合度や近交係数は個体群サイズとの相関関係を示さなかったが、一部の小さな個体群では比較的高い近交係数を示した。個体群間の遺伝的分化の程度は概して小さかったが、地理的に隔離された 2 つのグループ間では比較的大きな遺伝的分化が見られた。これら 2 つのグループは、実際の保全においては個別の異なる管理ユニットとして配慮されるべきものである。

### 5. 残存個体群の個体群統計学的特性

個体群動態のモデル化は、個体群の存続可能性を検討するだけでなく、個体群が減少する要因の把握においても有効である。本章では、4 個体群における 2 年間にわたる個体の追跡調査から行列モデルを作成した。

全個体群レベルで作成した行列により、この植物の一般的な個体群統計学的特性が明らかになった。また、行列を個体群間で作成し比較した結果、小さな個体群は大きな個体群よりも低い個体群増加率を示した。小さな個体群において、個体群増加率の低下に最も寄与しているプロセスは実生の新規加入であった。したがって、主にエッジ効果に起因する実生加入量の著しい低下が、残存個体群の衰退を招いている可能性が示唆された。

以上の結果から、森林の分断化は、林床植物の生育に多大な影響を及ぼし、特に残存個体群の存続に影響を与える要因としては、エッジ効果の相対的重要性が高いことが示された。分断化による遺伝的劣化も観察されたが、遺伝的要因が個体群の存続に影響を与えるプロセスについては今後も検討が必要である。更なる長期的な調査を通じて、残存個体群の存続を脅かす要因とその相対的重要性がより明らかになると考えられる。

# 学位論文審査の要旨

主 査 助 教 授 大 原 雅  
副 査 教 授 木 村 正 人  
副 査 教 授 原 登 志 彦  
副 査 助 教 授 露 崎 史 朗

学 位 論 文 題 名

## Demographic and genetic consequences of forest fragmentation in populations of the understory herb *Trillium camschatcense* (Trilliaceae)

(林床植物オオバナノエンレイソウ [エンレイソウ科] 個体群に及ぼす  
森林分断化の個体群統計学的・遺伝学的影響)

北海道十勝平野では1880年代から急速に農地開拓が進み、現在では大小様々な孤立林が点在する景観が一般的である。オオバナノエンレイソウは、北海道の低地林を代表する林床性の多年生草本で、孤立林の林床にも多く見られる。本学位論文では、オオバナノエンレイソウ個体群を対象として、森林分断化の個体群統計学的・遺伝学的影響について調査し、本種の保全方法を明らかにした。

オオバナノエンレイソウは種子に繁殖を依存するため、種子生産量の減少は個体群の存続を脅かす主要因となり得る。この研究では2年間にわたって、14個体群の種子生産量と開花個体数（個体群サイズ）・周囲の景観条件（景観タイプ）との関係について調査を行った。個体群は、周囲の森林面積に着目して2つの景観タイプ（孤立型と連続型）に分類した。調査個体群は自家不和合性を示し、昆虫による花粉媒介によって種子を生産する。したがって、個体群サイズの減少は送粉昆虫への魅力を低下させ、景観条件は送粉昆虫相やその生息数に影響を与えることによって種子生産量の低下を招く可能性がある。また、小さな個体群では、大きな個体群に比べて花あたりの種子生産数が少ない傾向が2年間にわたって認められた。花あたり種子数と個体群サイズとの相関関係は1999年においてのみ統計学的に有意だったが、開花個体数が50を下回る小さな個体群では両年共に種子生産数が少なかった。景観タイプの効果は有意ではなかったが、周囲を多くの森林で囲まれた「連続型」個体群は、小さな孤立林に生育する「孤立型」個体群よりも多くの種子を生産する傾向が見られた。他家花粉の受粉量は、種子生産量と正の相関関係を示したことから、種子生産量の減少は主に花粉制限によるものと考えられた。

さらに、森林の林縁部（エッジ）では、森林外部の環境の影響を強く受けるため、様々な物理的・生物的条件が森林内部とは異なる（エッジ効果）。森林の分断化は林縁部を増

加させるため、大きなエッジ効果が生じると考えられる。本論文では、面積約0.8 haの孤立林において、オオバナノエンレイソウに対するエッジ効果を評価するため、空間構造と生育段階構造について調査を行った。空間分布と生育段階構造は、林縁からの距離とその方角によって変化した。幼植物段階の密度や相対頻度は、林縁部で小さい傾向にあり、その効果は特に林の南側で顕著だった。一方、開花個体の密度でも同様の傾向が見られたが、エッジ効果の大きさは幼植物段階に対するものよりもはるかに小さかった。気温などの物理環境条件は、幼植物段階の密度と有意な相関関係を示した。一方、種子生産量ではエッジ効果の影響が観察されなかった。このことから、物理環境条件によって種子の発芽やその後の生存が影響を受け、（特に南側の）林縁部で実生の加入が強く制限されていると考えられた。

分断化による遺伝的多様性の減少や近交弱勢は、個体群の存続に短期的・長期的影響を及ぼす可能性がある。本論文では12 個体群の遺伝的多様性と集団遺伝構造についてアロザイム遺伝子を用いた解析を行った。多型遺伝子座の割合と遺伝子座あたりの対立遺伝子数は、個体群サイズと正の相関関係を示したが、これは小さな個体群で出現頻度の低い稀な対立遺伝子 (< 0.1) が確率的に失われたことによるものと推測された。ヘテロ接合度や近交係数は個体群サイズとの相関関係を示さなかったが、一部の小さな個体群では比較的高い近交係数を示した。個体群間の遺伝的分化の程度は概して小さかったが、地理的に隔離された2つのグループ間では比較的大きな遺伝的分化が見られた。したがって、これら2つのグループは、実際の保全においては個別の異なる管理ユニットとして配慮されるべきものと考えられた。

以上の結果は、森林の分断化が、林床植物の生育に多大な影響を及ぼし、特に残存個体群の存続に影響を与える要因として、エッジ効果の相対的重要性が高いという新たな知見を提供し、また、身近な森林生態系の環境保全の具体的視点を提示したものとして評価できる。審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院過程における研鑽や取得単位なども併せ申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。