

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06105

研究課題名(和文)ニホンリスの移動と遺伝的多様性からみた都市のエコロジカルネットワークの機能評価

研究課題名(英文)Functional assessment of urban ecological networks based on movement and genetic diversity of Japanese squirrels (*Sciurus lis*)

研究代表者

原科 幸爾 (Harashina, Koji)

岩手大学・農学部・准教授

研究者番号：40396411

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：盛岡市のパッチ状に点在する都市緑地に生息するニホンリスの追跡調査と遺伝子解析によって樹林地間の移動実態と遺伝的多様性を明らかにした。計25頭のリスの追跡調査から204回の移動が確認され、街路樹がコリドーとして機能していたが、幹線道路を超えた移動は極めて少なかった。本種の交尾期にあたる樹冠開放期には移動頻度が低下し、移動道頻度の高いオスの成獣による移動よりも亜成獣による出生分散の方が遺伝子交流に寄与していることが示唆された。捕獲した36頭の遺伝子解析から対象地では遺伝子交流は比較的行われていることが分かったが、距離的に孤立した1つの樹林地群でのみ他の樹林地群との遺伝的な関係が認められなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

都市における生物多様性保全を目的としたエコロジカルネットワークの形成に関する議論は、主に都市緑地や生物相の空間分布に基づいて行われてきたが、動物個体の移動やその結果としての遺伝的多様性といった機能面からの評価はされてこなかった。本研究は、実証的なデータに基づいて動物の移動経路を明らかにした上で、生息地間の連結性がどの程度なら遺伝的多様性が保たれるかを明らかにした点において、エコロジカルネットワーク形成に資する学術的意義および社会的意義を有すると考える。

研究成果の概要(英文)：Japanese squirrels inhabiting patchy urban woodlands in Morioka City were tracked and genetically analyzed to clarify their actual movements between woodlands and their genetic diversity. We radio-tracked 25 squirrels and found 204 inter-woodland movements, with roadside trees functioning as corridors, but very few migrations beyond the arterial road. Inter-woodland movement frequency decreased during the open canopy period, which is the mating season for this species, suggesting that natal dispersal by sub-adults contributes more to genetic exchange than movement by adult males which has a higher frequency of the movement. Genetic analysis of the captured 36 individuals showed that genetic exchange was relatively high in the study area, but only one stand group, isolated by distance, was not genetically related to the other stands.

研究分野：緑地環境学, 地域生態管理学

キーワード：エコロジカルネットワーク 都市緑地 コリドー ニホンリス 遺伝的多様性

1. 研究開始当初の背景

生物多様性保全を目的とした都市におけるエコロジカルネットワークの形成に関する議論は主に都市緑地や生物相の空間分布に基づいて行われてきたが、動物個体の移動やその結果としての遺伝的多様性といった機能面からの評価はされてこなかった。

樹上性動物であるニホンリス (*Sciurus lis*, 以下, リス) は森林の分断化に対して特に脆弱であるとされてきた。都市住民を対象とした野生哺乳類に対する意識調査では, リスに対する嗜好性が最も高いことが報告されており, 保全対象としての合意が得られやすい種でもある。これらのことから, 生息地の連結性に着目した研究対象や都市におけるエコロジカルネットワーク形成の指標種として, リスは適切であると考えられる。

一般に, 市街地や道路等による森林の分断化が顕著な都市部はリスにとって過酷な生息環境であるが, 岩手県盛岡市では都市部においてもリスの生息が確認されている。申請代表者らの研究によって, 盛岡市の小規模樹林地を利用するリスが樹林地間を移動していることが分かってきたが, リスのコリドーとなる移動経路は明らかになっておらず, 樹林地間移動の定量的評価もされていない。

一方で, 種の保全を考える際には種内の遺伝的多様性を考慮する必要がある。特に都市緑地のような生息地面積が限定されている場所では, 種内の遺伝的多様性が低下しやすい。エコロジカルネットワークが適正に機能し, コリドーによって生息地間の連結性が保たれていれば近交弱性といった遺伝的多様性の低下による悪影響を回避することができる。しかし, 生息地間の連結性と遺伝的多様性の関係性を検証した事例は少なく, どの程度の連結性で遺伝的多様性が維持されるのかはわかっていない。そのため, これを解明することはエコロジカルネットワーク形成を議論する際の重要な情報となる。

2. 研究の目的

本研究では, ニホンリスを指標種として, 個体の移動と遺伝的多様性から都市のエコロジカルネットワークの機能評価を行い, 具体的かつより効果的なエコロジカルネットワーク像を提示することを目的とした。そのために, 以下の3点を具体的な個別目的とした。

- (1) リスの樹林地間の移動経路・移動実態の解明とコリドーの機能評価
- (2) 複数の樹林地におけるリスの遺伝的多様性の評価
- (3) 移動と遺伝的多様性からみた生息地連結性の評価

3. 研究の方法

(1) 追跡調査によるリスの樹林地間移動実態の把握

リスに追跡用の VHF 発信機および GPS 首輪を装着するために, リスの捕獲を行った。捕獲場所は過去の調査でリスによる樹林地間移動が確認されている都市部の小規模樹林地とその周辺の比較的大きな樹林地とした(図1の樹林地群1)。首輪型に加工した VHF 発信機を装着した個体は悪天候等を除くほぼ毎日追跡し, 位置を特定した。この際の位置の変化によって追跡個体が樹林地間移動を行ったかどうか判別し, リスの長期的な樹林地間移動実態を把握した。この際, 移動は各個体の測位点を捕獲地点から時系列順に結んだ線分を1回の移動と判断し, 各線分の端点が異なる樹林地に含まれていた場合に樹林地間移動をしたと判断した。GPS 首輪は, 測位間隔を30分に設定し, 概ね1ヶ月程度稼働するように設定してリスに装着した。本種に GPS 首輪を装着した事例はないため, 首輪型に加工して首に装着する方法と生体用接着剤を用いて背中部分に接着する方法の2種類を試みた。得られた位置情報からリスの詳細な移動経路が取得できたかどうか検討した。

樹林地間移動の季節変化を明らかにするために, 一般化線形混合モデル (GLMM) を用いて解析した。本研究における季節は, リスの主な生息空間である樹冠部の変化と本調査地のリスの主要食物資源であるクルミ類の結実期(7月)を考慮して以下の4つに区分した。すなわち, 樹木が展葉し, クルミ類が結実する前の4~6月を「展葉期」, 樹冠が閉鎖し, 結実したクルミ類をリスが利用し始める7~8月を「樹冠閉鎖期」, 樹木の落葉が始まり, リスによるクルミ類の貯食が多く確認される9~10月を「落葉期」, 樹木の落葉が完了する11~3月を「樹冠開放期」とした。目的変数は各季節における各個体の樹林地間移動頻度(樹林地間移動回数/全移動回数), 説明変数は季節, 変量効果は各個体 ID とした。なお, 説明変数はカテゴリカル変数として与えた。

(2) 個体間の血縁関係に基づく遺伝的多様性の評価

まず, 遺伝子解析に使用する試料を得るために, 追跡調査の調査地(樹林地群1)とその周辺に位置する樹林地(図1)でリスを捕獲し, 麻酔薬を用いて不動化した後, 耳介の一部を切除して DNA 抽出を行った。なお, 耳介片の採取に際し, 個体に過剰なストレスを与えないように配慮し, 切除後は速やかに止血を行った。この作業によって死亡あるいは野外放逐できないような重大な損傷があった個体はいなかった。得られたゲノム DNA は, 次世代シーケンサ (NGS) を

用いた ddRAD-seq 法によって一塩基多型（以下，SNP）を検出し，ゲノム解析ソフトである Stacks および PLINK によって各個体の血縁関係を解析した。

4. 研究成果

(1) リスの樹林地間移動の実態

GPS 首輪による樹上性齧歯類の追跡にあたっての課題

本研究期間中の 2021 年に 4 頭のリスに GPS 首輪を装着し，3 頭でデータが回収できた。また，このうち 1 頭では生体用接着剤による装着を行ったが，装着してから 1 日で測位点に変化しておらず，脱落していたと判断された。回収した位置データについて，測位成功率は平均 32.6% と低く，連続した時間での測位点はほとんど得られなかった。また，GPS の測位精度の指標である HDOP (horizontal dilution of precision) は全個体で平均 6 以上と高い値を示していた。このことから，リスの移動を把握するのに十分な測位精度は得られておらず，測位誤差が大きいことが示唆された。この理由として，周囲の建造物やリスの主な生息空間である樹冠部が閉鎖されていたことによる測位精度の低下が考えられた。そのため，本種の GPS 首輪による測位には技術的な課題が残っていると考えられた。

リスの樹林地間移動実態

オス 14 頭，メス 11 頭に発信機を装着し，追跡調査を行った。このうち，オス 6 頭（うち亜成獣 2 頭），メス 1 頭は成獣期間の追跡期間が 1 ヶ月未満あるいは測位回数が 30 回未満だった。また，6 頭（オス 3 頭，メス 3 頭）は発信機装着時には亜成獣だった。その結果，合計で 204 回の成獣による樹林地間移動を確認した。移動頭数はオスの方が有意に多く（Fisher の正確確率検定， $P = 0.004$ ），移動個体の樹林地間移動頻度もオスが有意に高かった（Wilcoxon の順位和検定， $W = 22$ ， $P = 0.048$ ）。このことから，メスは樹林地間移動をほとんど行わないが，オスは樹林地間移動を行うことが明らかになった。樹林地間移動頻度の性差は行動圏面積の違いや生息地利用によってもたらされていると考えられた。すなわち，オスは食物資源や配偶相手などの数多くの資源を含む広い行動圏を維持するために，樹林地間に存在する利用不適地を含んで行動圏を確立したと考えられた。一方，メスは利用適地を優先してエネルギー効率の良い質の高いエリアを多く含むよう行動圏を確立することで樹林地間の生息不適地が行動圏に含まれていないと考えられた。

また，成獣オスの樹林地間移動頻度の季節変化について GLMM を用いて解析したところ，展葉期には樹林地間移動頻度が増加し，樹冠開放期には低下することが分かった（図 2）。展葉期は，主要な食物資源であるクルミ類が不足することから，クルミ類以外の食物資源を求めて樹林地間移動していると考えられた。樹冠開放期は，オオタカやトビ等の猛禽類からの捕食リスクを回避するために，樹林地間移動を行わなかったと考えられた。また，樹冠開放期はリスの交尾期にあたるため，成獣の樹林地間移動は遺伝子交流を促進する結果になっていない可能性が高いと考えられた。

確認された樹林地間移動は，その多く（196 回，96%）が街路樹によって樹冠の分断距離が短い樹林地間で確認された。また，追跡調査中の直接観察から移動経路として街路樹と地上あるいは電線を利用していた。一方で，幹線道路で分断されている樹林地間（分断距離は約 19 m）および住宅地で分断されている樹林地間（分断距離は約 13 m）では，それぞれメス 1 頭が 4 回の樹林地間移動を行ったのみだった。よって，樹林地間の分断距離と樹林地間の土地利用が本種の樹林地間移動を制限している可能性が示唆された。

亜成獣について，発信機装着時に亜成獣だった 6 頭のうち，成獣期間まで追跡できたのは 5 頭だった。亜成獣期間には全ての個体が樹林地間移動を行い，成獣期間まで追跡できた 5 頭のうち 4 頭は捕獲地点と異なる樹林地を成獣期間に主に利用していた。このことから，亜成獣による出生分散が，都市樹林地に生息する本種の遺伝的多様性向上に寄与していると考えられた。

(2) 都市樹林地に生息するリスの血縁関係

2019 年および 2020 年に 8 か所の樹林地でオス 19 頭，メス 17 頭の計 36 頭捕獲し，全個体から耳介片を採取した。このうち一部の樹林地間では成獣個体の移動が過去の研究から明らかになっていたため，5 か所の樹林地群に再分類した。DNA 抽出段階およびリード取得後のクオリティチェックでは，全サンプルで異常と判断されるサンプルはなかったが，PLINK での同個体間での IBD 推定を行った結果，3 頭は解析可能な遺伝子座数が不足していると判断されたため，解析から除外した。よって，個体間の同祖性および近縁性の解析に使用した個体数は 33 頭となった。得られた SNP 数は 70,126 箇所だったが，ジェノタイピング率，HWE，アレル頻度によるフィルタリングを行った結果，34,690 箇所の SNP が IBD 推定およびクラスター解析に使用された。また，ジェノタイピング率が 50% 以上の SNP はなかった。

66 サンプル（33 個体 × 2 ライブラリ）間のペアワイズ IBS 距離に基づいてクラスター解析を行った結果，13 個のクラスターが形成され，同一個体から作成したサンプルは全て同一のクラスターに属した。また，直接観察で親子関係が認められていた個体間は同じクラスターに属した。各樹林地群で確認されたクラスター数は，樹林地群 1 で 7 個，樹林地群 2 で 2 個，樹林地群 3 で 4 個，樹林地群 4 で 3 個，樹林地群 5 で 1 個のクラスターに分類された。

樹林地群 1 を構成する 7 個のクラスターは多くがこの樹林地群由来の個体だが，樹林地群 3，

樹林地群 4 で捕獲された個体が 1 頭ずつクラスターに含まれていた。樹林地群 3 では 4 頭が全て別のクラスターに属し、新庄と愛宕山由来の個体とクラスターを形成した。樹林地群 4 では、3 つのクラスターに分類されたが、上記のように他の樹林地由来の個体とクラスターを形成していた。樹林地群 2 では 2 個のクラスターに分類されたが、1 頭が樹林地群 3 由来の個体とのみクラスターを形成した。樹林地群 5 では、この樹林地で捕獲した個体のみでクラスターを形成し、他樹林地群の個体とクラスターを形成しなかった。

樹林地群 1~4 では異なる樹林地で捕獲された個体が同一クラスターに分類されたことから、遺伝的に近い関係であることが明らかになった。本種の出生分散距離は未だ明らかになっていないが、都市部のキタリス (*Sciurus vulgaris*) の出生分散距離は約 400 m と報告されている。この樹林地群間の分断距離は樹林地群 4 を除き 400 m 以下であった。しかし、樹林地群 3 と樹林地群 4 の東側に広がっている山塊部との分断距離は 400 m 未満であった。本種もキタリスと同程度の出生分散が可能と考えられるため、樹林地群 4 では山塊部を介して他樹林地群との遺伝的交流が行われていると考えられる。一方で、樹林地群 5 では他樹林地群との遺伝的な関係は認められなかった。また、他樹林地群との分断距離も最短で約 620 m と他樹林地群と比較して長かった。そのため、他樹林地群から成獣の移動だけでなく、亜成獣の出生分散による個体の移入も困難であったと考えられる。その結果として、他樹林地群との遺伝的な関係が認められなかったと考えられた。本種の成獣による樹林地間移動が繁殖行動に寄与していない可能性が高いことも踏まえると、都市樹林地における遺伝的交流は亜成獣の出生分散が重要であると考えられた。

(3) まとめと今後の課題

本研究では、リスの樹林地間の移動実態に関する新たな生態学的知見を得ることが出来た。成獣による生息地間移動が繁殖行動ではなく、食物資源の獲得に向けた行動であることが示唆され、動物個体の移動と遺伝的交流の関係を統合的に考察することが出来た。遺伝子交流の視点から都市におけるリスを指標種としたエコロジカルネットワークを提示するには、とくに亜成獣に着目した研究が求められると考える。

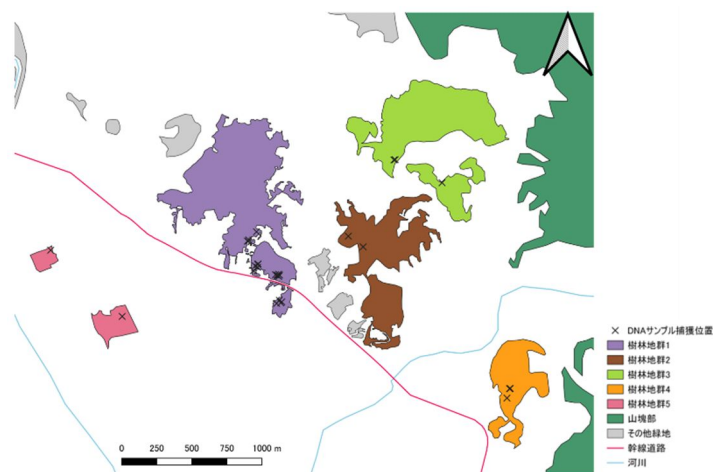


図 1 調査地

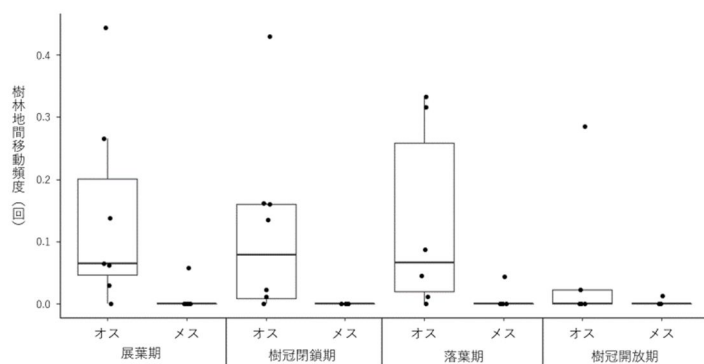


図 2 ニホンリスの雌雄別・季節別樹林地間移動頻度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 大竹崇寛・西 千秋・原科幸爾・出口善隆	4. 巻 62(2)
2. 論文標題 都市部に生息するニホンリスの緑地間移動の性差と季節変化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 哺乳類科学	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11238/mammalianscience.62.2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中願寺加奈
2. 発表標題 岩手県盛岡市の都市近郊林に生息するニホンリスの行動
3. 学会等名 岩手大学大学院総合科学研究科ポスター発表会プログラム .pp.4.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大竹崇寛・瀬川祥恵・原科幸爾・西 千秋・出口善隆
2. 発表標題 都市部の小規模樹林地に生息するニホンリスの日内行動時間の季節変化
3. 学会等名 日本哺乳類学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	出口 善隆 (Deguchi Yoshitaka) (40344626)	岩手大学・農学部・准教授 (11201)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	大竹 崇寛 (Otake Takahiro)	岩手大学・大学院連合農学研究科・大学院生（博士課程） (11201)	
研究協力者	西 千秋 (Nishi Chiaki)	合同会社岩手野生動物研究所・代表	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関