

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23710278

研究課題名（和文）地球環境変化に対する湿原植物群集の脆弱性評価に関する研究

研究課題名（英文）Vulnerability assessments of moorland plant communities to global environmental changes

研究代表者

佐々木 雄大（SASAKI TAKEHIRO）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教

研究者番号：60550077

研究成果の概要（和文）：

湿原植物群集における種多様性を保全する上で重要な空間スケールを特定し、湿原植物群集における種の消失プロセスとその要因を解明した。最終的に、これらの成果をベースとして、保全および管理の主体にとっての意思決定の基礎となる、高層湿原の脆弱性地図を作成した。これによって、将来的な環境変化に対して高層湿原を保全し、観光資源としての持続的利用、環境教育としての効果を確保することができるものと考えられる。このような成果は、地球温暖化に対して脆弱な生態系での生物多様性保全への科学的基盤になりうる。

研究成果の概要（英文）：

I demonstrated the nested subset pattern of moorland plant communities in the study area. Selective environmental tolerances imposed by environmental harshness and selective extinction caused by declines in the carrying capacities of sites probably accounted for the nested pattern. The nested rank of species in the nestedness matrix can therefore be translated into a potential scenario of species loss under future environmental changes. Finally, I provided the fine-scale assessments of vulnerability of moorland plant communities to species loss which is likely to occur under future environmental changes by simulating the consequences of realistic species loss for functional diversity. The knowledge from this study is precautionary but urgently needed information supporting prioritization and decision-making when we act to conserve ecosystems in the face of global biodiversity loss.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：生態系管理学・生態学

科研費の分科・細目：複合新領域・資源保全学

キーワード：生物多様性保全、脆弱性評価、地球環境変化、希少種、生態系サービス

1. 研究開始当初の背景

高山・亜高山帯に分布する湿原生態系は、我が国における重要な景観・観光資源であり、固有の生物種も多く見受けられる。高山・亜高山帯域の湿原生態系における植物群集は、温暖化による環境変化に対し最も脆弱な生物相の一つであると懸念されているが、その多様性の保全のための科学的基盤は極めて

不足している。

近年、保全生物学での分野では、ある地域において特定の生息地に生息する特定の種の保全だけではなく、温暖化などの不確実な環境変化に対して地域全体で生物群集を保全することの重要性が認識され始めている。地域全体で生物群集における多様性を効果的に保全するためには、保全上重要な空間ス

ケールを把握し、そのスケールでの多様性の消失の実態とその要因を解明することが必要不可欠である。

2. 研究の目的

湿原のような空間的に孤立した生息地パッチに生息する植物群集における種多様性は、パッチの面積および孤立度に関連すると考えられ、多様性パターンとそのメカニズムの理解に島嶼生物地理学の理論を応用できる。つまり、湿原を“島”、周囲の森林を湿原植物の生息に適さない“海”と見立てることができる。

本研究では、青森県八甲田山系に点在する多数の湿原群を調査対象とし、各湿原において、種組成、出現植物種の特異性（葉面積や葉重等）、および環境要因（pH、気温、湿原の面積や孤立度等）を調査した。具体的には、以下の3つのテーマに関する研究を行った。

- a) 湿原植物群集における種多様性を保全する上で重要な空間スケールの特定
- b) 湿原植物群集における種の消失プロセスとその要因の解明
- c) 種の消失プロセスのシミュレーションによる湿原植物群集の脆弱性評価

3. 研究の方法

調査の概要

八甲田山系に広がる標高傾度に沿った大小28の湿原サイトにおいて植生調査を行った。植生調査は、各湿原内で均一な空間的配置となるように20mのトランセクトを6本設定した。各トランセクト上に5m間隔で1m四方のコドラートを設置し（つまり、トランセクトごとに5つのコドラート）、各コドラート内で出現種およびその被度の記録を行った。また、設置したコドラートのすぐ近くで、pH（pHメーターHORIBA B-212による）およびEC（電気伝導度）（ECメーターHORIBA B-173による）の測定を行った。各湿原に温度ロガーを設置し、植物生育期間の平均気温データを得た。また、各トランセクト上で出現種の葉の形質（葉のサイズ、葉面積あたりの葉重、葉の高さ）を合わせて計測した。

空間パラメーターの抽出

1996年10月と2003年9月に撮影された空中写真（オルソ補正済み）を用いて、湿原範囲を写真判読により特定した。Arc GIS 9.3（ESRI Inc.）を用いて、各湿原サイトの面積（ m^2 ）、各湿原の周囲で湿原が空間的に凝集している度合いを表す指標、各湿原間（調査した湿原間に限る）の距離（m）を基に算出した孤立度指数などの各種空間パラメーターを抽出した。

解析1：湿原群集における多様性の空間スケ

ーリング

地域の生物多様性（ガンマ多様性）を生み出す生態的プロセスは様々なスケールで働いているため、地域の生物多様性を効果的に保全するには、まず複数のスケールで多様性を定量化し、保全上重要な空間スケールを特定することが重要なステップとなると考えられる。植生調査から得られたデータに対し、加法分割という手法を用いて、地域全体の湿原群集の種多様性（ガンマ多様性）を湿原内トランセクト内スケールの多様性（アルファ多様性）と湿原内トランセクト間および湿原間スケールの多様性（ベータ多様性）に分解し、どのスケールでの多様性がガンマ多様性に貢献しているのかを統計的に解析することにより、多様性を保全する上で重要な空間スケールを特定した。解析では、種多様性の変数として種数を用いた。データ解析には、PARTITION3.0が提供するアルゴリズムを用い、群集における多様性の空間分布がランダムに決まると仮定した場合の予測値と実際の観測値を比較した。

解析2：入れ子構造の理論をベースとした種の消失プロセスの推定

湿原のような空間的に分断化されたパッチに生育する生物群集では、その構造にしばしば入れ子構造（種数のより小さい群集組成が種数のより大きな群集組成の部分集合となるような構造）が認められることがある。島嶼生態系をモデルとした入れ子構造の理論によれば、群集の入れ子構造は群集への種の移入と絶滅のプロセスの帰結であると考えられている。島嶼の場合、より大きなサイズの島はより多くの種を含むことができる一方より小さなサイズの島は局所絶滅により種を多く含むことができず、また陸により近い島は陸からの生物の移入の確率が高まるため、より多く種を含むことができ、これによって入れ子構造が形成されることとなる。また、一般的に大きなサイズの島は、より多様な生息地環境を含むことができるため、ニッチの異なる生物種をより多く含むことができると予測できる。

湿原植物群集がランダムに構成される群集組成とは有意に異なる入れ子構造を持つかどうか検証した。湿原サイトごとに、全30のコドラート（6トランセクト×5コドラート）を一まとめとし、植物種の存在の二値データを作成し、湿原サイト×出現種の存在の群集組成マトリクスを作成した。入れ子構造の解析には、より大容量のマトリクスの入れ子構造判定のために開発されたANINHADOアルゴリズムを用いた。有意な入れ子構造が確認できた後、入れ子構造の配列（入れ子構造においてより上位となる湿原サイトから下位の湿原サイトまでの順番）と、

環境要因や空間変数との関係を解析することで入れ子構造が種の消失プロセスを反映しているかどうかを検証した。

解析3：種の消失プロセスシミュレーションによる機能的多様性の変化とそれに基づく脆弱性評価地図の作成

解析2より推定された種の消失プロセスをシミュレーションし、各湿原サイトでの種の消失が湿原植物群集の機能的多様性（群集における種の形質および機能の多次元性を定量化したもので、生態系の機能性や存続性を規定する重要な要因の一つと考えられている）に与える影響を予測した。機能的多様性の定量化手法には Rao の指数を用いた。種の形質には、現場で実測した葉の形質と、図鑑情報から得られる形質（種子重、開花期など）のデータを用いた。

さらに、どの程度の種の消失によって元々の群集の機能的多様性が半減するのかわ、機能的多様性の半減期（FD half-life）として定量化した。このパラメータは、機能的多様性が半減する種の消失数を消失シミュレーションの対象となる各湿原の全種数で割った値であり、1 に近づくほど機能的多様性の半減期が長く、0 に近づくほど半減期が短くなる。前者は、種の消失に対して機能的多様性の減少が遅いため脆弱性が相対的に低く、後者は逆に脆弱性が相対的に高いと考えることができる。このパラメータと GIS 解析によって得られる空間要因・環境要因との関係をモデル化した後、対象地域全域の湿原（358 湿原を同定したが、一部は空間属性の情報に欠損があったため、内挿できたのは全部で 315 湿原）に対して FD half-life の予測を行い、脆弱性評価地図を作成した。

4. 研究成果

湿原群集における多様性の空間スケーリング

調査した全 840 コドラートに出現した種は 98 種であった。加法分割の結果、ベータ多様性の要素（湿原内トランセクト間および湿原間スケールの多様性）の観測値は予測値よりも大きくなった。一方、アルファ多様性（湿原内トランセクト内スケールの多様性）の観測値は予測値よりも小さくなった。各々の多様性の空間要素のガンマ多様性に対する貢献度を見ると、湿原間スケールのベータ多様性が全体種数の 72% を占めることがわかった。

以上により、八甲田山系の湿原植物群集においては、湿原間スケールのベータ多様性が最も重要な多様性の空間要素であることがわかった。湿原間スケールのベータ多様性は観測値の方が予測値よりも高かったことから、このスケールで働くノンランダムな生態的過程が多様性や群集組成を決定する

上で重要であることが示唆された。以上より、地域の生物多様性保全においては、湿原間スケールでの種多様性を効果的に保全していく必要があることがいえる。ただし、全ての湿原を保全することで湿原間スケールの種多様性を保全することは現実的ではないため、保全的価値や脆弱性評価の基準を追加し、保全対象を優先順位付けすることが必要となることが考えられた。

湿原群集における種の消失プロセスの推定

解析の結果、八甲田の植物群集はランダムに構成される群集組成とは有意に異なる入れ子構造を示した。この結果は、いくつかの種はどのような湿原にも出現するのに対し、それ以外の多くの種はより入れ子構造の上位にある湿原にしか出現しないことを表していると考えられた。

入れ子構造の解析により得られた湿原サイトの配列と、環境要因や空間変数との関係を解析したところ、湿原サイトの配列の順番は pH および各湿原サイトの周囲にある湿原の空間的凝集度によって説明されることがわかった。

この結果は、pH が低いほど環境条件が厳しいために種を多く含むことができず、さらに対象とする湿原の周りに湿原が固まって存在しないほど個体群の存続性が低くなるため種を多く含むことができない、ということを示唆している。つまり、湿原植物群集の入れ子構造は種の消失プロセスを反映している解釈することができる。

種の消失シミュレーションによる機能的多様性の変化とそれに基づく脆弱性評価地図の作成

湿原群集における入れ子構造の種の配列は種の消失の順番を表しているという仮定をおくことができる。そこで、各湿原ごとに、この順番通りに種が消失した場合と、ランダムに種が消失した場合で、それぞれどのように機能的多様性が変化するかをシミュレーションを行った。シミュレーションの結果、種の消失による機能的多様性の変化のパターンは 2 種類に大別された。多くの湿原サイトでは、種が推定された順番通り消失した場合も、ランダムに消失した場合も、ある程度の種数の減少まで機能的多様性が減少しなかった。一方、その他の湿原サイトでは、種が推定された順番通り消失した場合と、ランダムに消失した場合で、機能的多様性の変化のパターンが異なった。推定された順番通りに消失した場合、種の消失に伴って機能的多様性が減少した。前者のようなパターンでは将来的な環境変化に対する湿原の脆弱性が相対的に低く、一方、後者のようなパターンでは湿原の脆弱性が相対的に高いことが、機

能的多様性の観点から評価できる。

最後に、機能的多様性が半減する種の消失数を、消失シミュレーションの対象となる各湿原の全種数で割ることで、機能的多様性の半減期 (FD half-life) を定量化した (1 に近づくほど機能的多様性の半減期が長く、0 に近づくほど半減期が短くなる)。FD half-life と GIS から得られる各湿原の空間要因・環境要因 (湿原面積、平均標高、平均傾斜、湿原の空間的凝集度、孤立度) との関係の統計モデルを構築した。得られた統計モデルを基に、対象地域全域の湿原 (358 湿原を同定したが、一部は空間属性の情報に欠損があったため、内挿できたのは全部で 315 湿原) に対して FD half-life の予測を行い、脆弱性評価地図を作成した。

以上のように、群集生態学および生物地理学をベースとした湿原生態系における生物多様性の一連の解析によって、最終的に湿原生態系の脆弱性評価地図を作成することができた。保全および管理の主体にとっての意思決定の基礎となる脆弱性地図によって、将来的な環境変化に対して高層湿原を保全し、観光資源としての持続的利用、環境教育としての効果を確保することができるものと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

1. Sasaki, T., Katabuchi, M., Kamiyama, C., Shimazaki, M., Nakashizuka, T. & Hikosaka, K. (2013) Variations in species composition of moorland plant communities along environmental gradients within a subalpine zone in northern Japan. *Wetlands*, 33, 269-277. (査読有)
2. Sasaki, T., Katabuchi, M., Kamiyama, C., Shimazaki, M., Nakashizuka, T. & Hikosaka, K. (2012) Nestedness and niche-based species loss in moorland plant communities. *Oikos*, 121, 1783-1790. (査読有)
3. Sasaki, T., Katabuchi, M., Kamiyama, C., Shimazaki, M., Nakashizuka, T. & Hikosaka, K. (2012) Diversity partitioning of moorland plant communities across hierarchical spatial scales. *Biodiversity and Conservation*, 21, 1577-1588. (査読有)
4. Shimazaki, M., Sasaki, T., Hikosaka, K. & Nakashizuka, T. (2011) Environmental dependence of population dynamics and height growth

of a subalpine conifer across its vertical distribution: an approach using high-resolution aerial photographs. *Global Change Biology*, 17, 3431-3438. (査読有)

[学会発表] (計 2 件)

1. 山口紘史・佐々木雄大・彦坂幸毅・中静透 (2013) 湿原の縮小を決める局所的な要因とそのメカニズム. 第 60 回日本生態学会大会 (2013 年 3 月 6 日、静岡、グランシップ静岡)
2. 片渕正紀・佐々木雄大・神山千穂・嶋崎仁哉・中静透・彦坂幸毅 (2012) 環境傾度に沿った機能的多様性と群集集合の変化: 湿原草本群集を例に. 第 59 回日本生態学会大会 (2012 年 3 月 18 日、大津、龍谷大学)

[図書] (計 2 件)

1. 黒川 紘子・佐々木 雄大・牧野 能士・加藤 広海 (2013) 生態系の適応力. In: 東北大生態適応グローバル COE 『生態適応科学: 自然のしくみを活かし、持続可能な未来を拓く』, 日経 BP 社, pp. 16-54.
2. 佐々木雄大 (2012) 生態系の非線形な変化—生態学的閾値の概念に基づくマネジメント—. 森章 (編) 『エコシステムマネジメント—包括的な生態系の保全と管理へ—』, 共立出版, pp.126-146.

[その他]

研究会の主催・企画運営

第 59 回日本生態学会大会 (大津) 企画集会
「気候変動に対する高山・亜高山生態系の応答の将来予測: 遺伝子から景観レベルまで」企画責任者 (2012 年 3 月)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐々木 雄大 (SASAKI TAKEHIRO)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教

研究者番号: 60550077