

氏 名 鮎 川 恵 理

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第720号

学位授与の日付 平成15年9月30日

学位授与の要件 数物科学研究科 極域科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 南極におけるコケ植物の繁殖特性と群落の成立過程

論 文 審 査 委 員 主 査 教授 福地 光男  
教授 神田 啓史  
教授 内藤 靖彦  
助教授 中坪 孝之（広島大学）  
助教授 伊村 智（国立極地研究所）  
主任研究 樋口 正信（国立科学博物館）  
官

## 論文内容の要旨

本研究は南極大陸に広く分布し、栄養繁殖のみを行うことが知られているコケ植物 2 種、*Bryum pseudotriquetrum* (オオハリガネゴケ) と *Ceratodon purpureus* (ヤノウエノアカゴケ) における栄養散布体の散布と移入、土壌中での蓄積、発芽、集団の遺伝的構造を明かにし、南極に優占する群落の成立過程と動態について考察することを目的とした。

はじめに栄養散布体の移入について明らかにするため、散布体トラップを夏期の 38 日間、裸地に設置し、回収後、散布体の計数、種の同定を行なった。*C. purpureus* の優占する植生にも関わらず、*C. purpureus* の散布体の移入は認められず、*B. pseudotriquetrum* のみの移入が認められた。その数は  $1\text{m}^2$  当たり換算すると、38 日間で 41.5 個と推定された。この結果から、短い夏期間に、シュート断片などの散布体が地表に実際に移入してきていることが明らかになった。

次に、土壌中に蓄積した散布体の観察と培養から、裸地上の散布体バンク内の散布体の形状、種、数について明らかにした。散布体バンクに含まれる散布体の 90% 以上は長さ約 1–15mm のシュート断片であり、その他は仮根や葉の断片であった。*C. purpureus* が優占する調査区において調査された散布体バンク内の散布体数は、*B. pseudotriquetrum* では  $2500\text{個}/\text{m}^2$ 、*C. purpureus* では  $114\text{個}/\text{m}^2$  であり、南極の土壌中には膨大な量の散布体が蓄積されている事実が明らかになった。

次に散布体バンクからの散布体の発芽について解析した結果、両種ともに、散布体から新しいシュートが発芽しているものが見られた。その発芽率は *B. pseudotriquetrum* で 9.5%、*C. purpureus* で 3.7% であったことから、発芽していた散布体数は *B. pseudotriquetrum* で  $237.5\text{個}/\text{m}^2$ 、*C. purpureus* で  $4.2\text{個}/\text{m}^2$  と推定された。また、 $15^\circ\text{C}$  での培養実験において *C. purpureus* の発芽は *B. pseudotriquetrum* よりも 3 週間程度長くかかったことから、*C. purpureus* は南極の短い夏での発芽は難しいと考えられた。

このように *B. pseudotriquetrum* は移入数、散布体バンクでの蓄積数、発芽数のすべてが *C. purpureus* に比べて多く、発芽に要する期間は *C. purpureus* に比べて短いという特性をもっており、*C. purpureus* はその反対の繁殖特性を持ち合わせていた。ここまでの結果から、両種の繁殖特性は顕著に異なるものであることが明らかになった。

次に散布体の発芽から定着に至る過程を知るために、二種の群落の遺伝的構造について明らかにした。遺伝的構造の解析には、クローン推定まで可能な高い分解能をもち、再現性も高い AFLP 法 (増幅断片長多型) を使用し、遺伝的分化の程度を知るために AMOVA 解析を行なった。解析の結果、露岩域間の集団 (20km から 300km 程度のスケール) の固定指数  $F_{st}$  は *B. pseudotriquetrum* では 0.079、*C. purpureus* では -0.06 であり、0 からの有意なずれは認められなかった (*B. pseudotriquetrum* では  $p=0.11$ 、*C. purpureus* では  $p=0.86$ )。この値は両種とも、それぞれの露岩域間での集団の遺伝的分化がないことを示していた。また、どちらの種においても約 300km 離れた所から採取された 2 サンプル間でも、遺伝的類似度が非常に高い場合が

見られたことから、調査地の散布体の遠距離散布の可能性も示唆された。一方、両種において群落内の数 cm や 10m 程度しか離れていない 2 サンプル間でも遺伝的類似度が低い場合もみられ、それらは遺伝的に同一の個体には由来しないことが示唆された。このことより両種は、露岩域間スケールでの散布に加え、群落内スケール（数 cm から 10m 程度）での散布も行なっている可能性が考えられた。

以上の遺伝的構造の解析の結果から、両種の集団の遺伝的構造には類似性が認められた。両種には移入から発芽までの異なった繁殖特性があるにも関わらず、集団の遺伝的構造に類似性が認められたことは、発芽後の群落形成過程も両種で違っていたためにもたらされた結果であると考えられた。これまでの知見から、*B.*

*pseudotriquetrum* は *C. purpureus* に比べ、より湿潤な立地に生育することが知られていることから、*B. pseudotriquetrum* は散布数、散布体バンクへの蓄積数を多くして、比較的水分供給のよい立地でいち早い定着の機会を得ようとする、攪乱依存的、パイオニア的な繁殖戦略をもつことにより、南極大陸で優占することが可能となったのではないかと考えられる。一方、*C. purpureus* は水分供給に恵まれない立地でも生育可能であること、*B. pseudotriquetrum* のような攪乱依存的、パイオニア的な繁殖戦略をもたないことなどから推測される、ストレス耐性的、極相種的な生活史戦略をもつことにより、南極大陸で優占することが可能となったのではないかと考えられる。両者は繁殖戦略や生活史戦略を異とすることで、空間的、時間的なニッチを分け合い、南極大陸での優占種となり得た可能性がある。

本研究では、南極でのコケ植物の繁殖の大部分を占めていながら、これまで研究がほとんど行なわれていなかった栄養繁殖に焦点を当てた。その結果、南極では栄養繁殖のみに依存した繁殖様式をもつ二種、*B. pseudotriquetrum*、*C. purpureus* は、異なる繁殖戦略をもっており、それらの繁殖戦略は生育の厳しい南極の環境下における、空間的、時間的なニッチの使い分けと深く関わるものであることが考えられた。

## 論文の審査結果の要旨

博士論文の審査申請のあった鮎川恵理君の論文は、「南極におけるコケ植物の繁殖特性と群落の成立過程」と題して、5章から構成されている。本研究の内容は大きく分けて二つにまとめられる。一つは南極大陸に広く分布し、かつ優占するコケ植物2種、オオハリガネゴケ (*Bryum pseudotriquetrum*) とヤノウエノアカゴケ (*Ceratodon purpureus*) の栄養繁殖における散布体の移入、散布体の蓄積、発芽、および発芽に関する繁殖特性を明らかにしたことと、二つ目は繁殖を通して植物が如何にして群落の定着、発達、成立に至ったかを知るために群落の遺伝子構造を解析したことである。それらのほとんどは新発見であり、独創的な発想にもとづいて得られた結果であり、評価できるものである。

序章および第2章では南極が地球上で最も過酷な極限環境にあるためにより単純な生態系をなしていることに注目し、無性繁殖のみで生育しているコケ植物の繁殖特性と群落の成立を研究する研究の意義、目的を記述している。第3章では散布体の移入に関するトラップ実験から、 $1\text{m}^2$  当たり換算すると、夏期間の38日間で移入した数が41.5個と推定された。このことにより植物断片が確実に地表面で移入していることが初めて実証された。また、土壌中に蓄積されている散布体バンクでの散布体の数、形状、種、種数について観察した結果、散布体数はオオハリガネゴケで  $2500\text{個}/\text{m}^2$ 、ヤノウエノアカゴケで  $114\text{個}/\text{m}^2$  であった。南極では土壌中の植物体がほとんど腐食しないという特徴を生かした独創的な手法を用いて、土壌中には膨大な散布体が蓄積されていた事実が初めて明らかにされた。さらに、散布体バンクからの散布体の発芽についての観察では、オオハリガネゴケでは発芽率、及び発芽していた散布体数がそれぞれ、9.5%、 $237.5\text{個}/\text{m}^2$ 、一方、ヤノウエノアカゴケでは3.7%、 $4.2\text{個}/\text{m}^2$  であった。また培養実験ではヤノウエノアカゴケの発芽はオオハリガネゴケに比べて3週間程度長くかかった。このように第3章の結果では移入数、散布体バンクにおける蓄積数、発芽数のすべてにおいてオオハリガネゴケが優勢となり、両種の繁殖特性は顕著に異なるものであった。第4章では両種の異なった繁殖特性がどのように群落の定着、発達、成立の上で関わりを持つのかを知るために両種の群落の遺伝的構造について解析した。遺伝的解析にはクローン推定まで可能な高い分解能と高い再現性を持つ AFLP 法 (増補断片長多型) を使用し、遺伝的分化の程度を知るために AMOVA 解析を行った。解析の結果、露岩域間集団の固定指数  $F_{st}$  はオオハリガネゴケでは 0.079、ヤノウエノアカゴケでは 0.06 であり、両種とも遺伝的な分化は見られなかった。すなわち、300km 離れた遠距離の露岩域間でも高い遺伝的類似度が見られる一方、群落内レベルの近距離でさえも低い類似度が見られたことである。AFLP 法を初めてコケ植物の遺伝的構造の解析に応用し、精度の高い解析を行うことに成功したことは評価される。その結果、300km の範囲を持つ昭和基地周辺のコケ植物群落は広く散布体が行き来しているという画期的な結論を得るに至った。さらにこの結論は両種が異なる繁殖特性を持っておりながら、集団の遺伝的構造に類似性が認められなかったことを意味し、このことは発芽後の群落の成立過程が両種で異なっていたことを示唆するものである。そこで、第5章では繁殖特性の違いと現場での生育環境の違いに注目し、両種の生活史戦略を考察した。すなわち、より湿潤な立地を好むオオハリガネゴケは散布体数、散布体バンクの蓄積数、発芽数を多くして、攪乱された立地にいち早く定着するという「パイオニア植物」的な性質を持ち、

一方、ヤノウエノアカゴケは散布する機会は少ないものの、水分供給が満たされない立地でも生育可能となるような乾燥にも強い、「ストレス耐性植物」的な性質を持つと考えた。申請者の論文は、なぜ両種が南極に広く分布し、かつ優占できるのかという長く未解決であった課題を解明するものであり、その研究内容は十分に評価される。また、南極の過酷なフィールドでのデータ収集、測定、観察、解析を綿密に行い、かつ室内培養実験及び DNA 解析のデータを加えて検証した点も評価され、鮎川恵理君の申請した論文は博士（理学）論文に値すると判断された。

本論文に関わる公開口頭発表、その後の論文の研究内容、またこの研究の背景となる分野の一般知識に関する質疑応答を行った。いずれの質問に対しても、適切な受け答えがなされ、出願者がこの研究について自ら計画を立て、測定、実験を重ね、論文について十分に理解していることが伺えた。南極の過酷な環境でのデータ収集は研究方法の開発など難しい課題であるが、今日ある技術を駆使してまとめあげた点は十分に評価できた。また、副論文として提出された英文論文から英語の書く能力も備わっていると判定された。従って、これらの試験により出願者の論文は学位論文のレベルに達しているとして全委員の意見が一致した。