

## 学 位 論 文 要 旨

氏 名	エリアス チャーム
題 目	攪乱地における有効的森林管理に関する生態学的研究：林分構造と再生力を中心とした解析 (Ecological study on effective forest management in a disturbed area: special reference to stand structure and regeneration ability)

林分構造の時空的・局地的動態と生活史を通じた種の更新戦略を解明した。研究地は湿潤熱帯（スマトラ島）、乾燥熱帯（南東部セネガル）そして暖温帯（南日本）の3地域である。多様な攪乱（自然・人為攪乱、実験的処理）と気候下での更新メカニズムの解明を研究目的とした。研究は4つのテーマで構成される。

最初のテーマは、西スマトラ州での里山林の構造と近年の森林破壊プロセスの解明である。過去16年間にわたる長期モニタリング調査により人為攪乱を主要因として森林後退が急速に進行していることを解明した。最近の8年間で得られた林木の死亡率と現存する林木密度、基底面積さらに村落からの距離との関係から、標高500m以下の森林は今後16年間（2026年）に大きく衰退し、さらに標高1050mの森林帯までも今後32年間（2042年）に原生の森林構造が消失する可能性が高いことを予測した。

二つ目のテーマは、スマトラの丘陵性熱帯雨林を対象とし、皆伐後の更新過程の解明である。伐採により成熟林の主要極相種は再生することなくほぼ消滅し、一方 *Villebrunea rubescens* のような繁殖力旺盛な二次林構成種が優占する林分に変化した。再生種は萌芽能力を持つ種が優占度の79%を占めた。種の萌芽力は内的成長率と負の相関を示した。一方で材の物理的強度を示す幹材硬度とは正の相関を示し、また強風攪乱に対し高い耐性を示した。これらの観測結果に基づき、二次林構成種の生存戦略を考察し、萌芽更新力が再生にはたす役割を評価した。

三つ目のテーマは、熱帯サバナ林の栄養繁殖過程とその生理生態特性の解明である。野火や乾燥ストレスが高まるほど萌芽率が高くなり、*Combretum glutinosum* のような耐性を持つ種の出現率が高くなった。本種は、ストレスの増大にともない、個体サイズに比例して萌芽シュート数を増加させた。このようなシュートの小型化は水や養分利用効率を高めるのに有効と考察した。多様なサバナ林構成種の生存戦略を萌芽力と形態的特性に基づき考察した。

四つ目のテーマは、照葉樹種であるリグカガシ (*Lithocarpus glabra*) の更新メカニズムを塊根からの資源の配分に基づき解明することである。2～3の他樹種との比較実験を通じ、堅果と実生・稚樹段階におけるストレス耐性が高いことを明らかにした。本種の資源不足地での高い生存能力は、1) 種子段階での高い乾燥耐性と昆虫・菌類に対する強い抵抗力、さらに2) 実生・稚樹段階の塊根を利用した有効的な資源配分特性によると考察した。

本研究により、西スマトラの里山において急速な森林破壊が近年進行していること、さらに多様な攪乱に対し樹木の萌芽更新能力が植生再生に大きく貢献していることを明らかにすることができた。攪乱への高い適応能力を持つ種による森林再生が人為的攪乱圧を緩和するに有効であると判断した。

(学位第3号様式)

## 学 位 論 文 要 旨

氏 名 Elias Thiam

題 目

Ecological study on effective forest management in a disturbed area: special reference to stand structure and regeneration ability  
(攪乱地における有効的森林管理に関する生態学的研究：林分構造と再生力を中心とした解析)

Spatio-temporal and localized dynamics of stand structures and species living strategies for recovery were evaluated. Study sites were located in tropical mesic (Sumatra), tropical xeric (southeastern Senegal) and warm-temperate (southern Japan) sites. The objective is to assess the effective regeneration process in an area under diverse types of natural and anthropogenic disturbances and climatic conditions. This study consisted of four themes.

First, forest structure and its recent dynamics in a tropical rural area in West Sumatra were evaluated. Long-term observations during the last 16 years showed a deforestation process mainly being induced by human disturbance. Based on the mortality of trees with parameters of tree density, basal area and distance from a village, this study could simulate that secondary rural forests below 500 m in altitude would be greatly retrogressed within the next 16 years (2026), and the original floristic features of a forest below 1050 m in altitude will gradually change and disappear within next 32 years (2042).

Second, small-scale regeneration processes after clear cutting of a mature rainforest stand in Sumatra were evaluated. Logging strongly affected major climax species, few of which survived. The stand shifted to a young regenerating stand dominated by vigorous pioneer secondary forest species such as *Villebrunea rubescens*. Sprouter species made up 79% of total importance values of the stand. Sprouting abilities were negatively correlated with potential growth rates, as were shoot mortalities after storm damage. However, sprouting ability was positively correlated with the mechanical strength of trees (stem hardness). Using this information, this study explored regeneration capacity by sprouting of tropical forests across environmental gradients of resources and disturbance.

Third, patterns and eco-physiological features of vegetative regeneration in a savanna forest were assessed. Sprouting ability of a species showed a positive correlation with abundance of stress-tolerant species like *Combretum glutinosum*. This species showed an increase in the number of shoots from larger trees in response to increased stress. By reducing sizes of shoots rather than increasing the size of a single stem, these trees may enhance their utilization efficiency of water and nutrients. Living strategies of woody savanna species were discussed based on sprouting ability and morphological parameters.

Fourth, regeneration mechanisms of an evergreen oak species (*Lithocarpus glabra*) were evaluated basing on resource allocation patterns through root-tube. Under comparative experiments about seeds (acorn) and seedlings of some oak species, this species revealed high germination rates, survival and sprouting abilities. Its high persistence capability in poor resource environments could be promoted by (1) relative high seed resistance to drought stress, insect or fungi attack and (2) effective resource allocation from root-tubes to sprouted shoots.

In conclusion, this study clearly revealed recent rapid deforestation process of a tropical rural forest in West Sumatra and contribution of sprout regeneration to withstand disturbances (fire, logging, lack of nutrient, and desiccation). Activities of reforestation using species with high adaptation capabilities would help to mitigate anthropogenic pressure.

学位論文審査結果の要旨	
学位申請者 氏 名	エリアス チャーム
審査委員	主査 鹿児島大学 教授 米田 健
	副査 鹿児島大学 教授 曾根晃一
	副査 琉球大学 教授 馬場繁幸
	副査 鹿児島大学 准教授 畑 邦彦
	副査 琉球大学 教授 谷口真吾
審査協力者	
題 目	Ecological study on effective forest management in a disturbed area: special reference to stand structure and regeneration ability (攪乱地における有効的森林管理に関する生態学的研究：林分構造 と再生力を中心とした解析)
<p>申請論文は、強度の伐採や乾燥・貧栄養ストレスが高い立地での有効的森林管理に関する生態学的研究である。研究はこれら攪乱地に生育する森林を対象として、林分構造と再生力に関する資料を現地で収集し、個体・種・個体群さらに群集レベルでの生存特性を攪乱・ストレスの強度をパラメータに解明し、住民による森林利用の現状を踏まえた上での有効的森林管理へ貢献することをめざした。研究は大きくは3つの課題からなる。すなわち、</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 森林減少が進行している熱帯雨林の後退原因の解明と、伐採地における更新樹種の生育特性と再森林化に寄与する萌芽更新力の評価。</li> <li>2. 乾燥熱帯下でのサバナ林の人為攪乱が森林構造に及ぼす影響評価と萌芽更新力の評価。</li> <li>3. 乾燥・貧栄養地で優占するブナ科樹種シリブカガシの堅果におけるストレス耐性と塊根の個体維持における機能特性の評価。</li> </ol> <p>である。</p>	

1の課題は、インドネシア国スマトラ島西部の丘陵帯に分布する熱帯雨林を対象として、2つのサブテーマから構成されている。サブテーマ1では、里山林に分布する熱帯二次林の森林後退現象を、村民の土地利用との関係から解析している。現地調査と最近16年間の林分構造に関するモニタリング資料を活用して、林木の死亡率を林木密度との関係から定式化し、当該地域では今後も森林後退が加速していくことを予想した。その成果は、森林資源の保全のみならず、森林の水土保持機能からみた地域環境保全の観点からも意義深いと評価できる。サブテーマ2では、森林伐採が種構成にどのような影響を及ぼすかを評価した研究で、地形により形成される環境勾配と再生樹種との関係を樹種の成長・繁殖特性を踏まえて明らかにしている。この成果は、適地適木の施業を基本とする森林管理の指針設計において有益な基礎情報であると評価できる。

2の課題は、セネガルの乾燥地サバナ林を対象とし、住民の森林利用が林分構造に与える影響について、森林再生を樹木の萌芽更新力から評価したものである。雨量と人為攪乱度合が異なる3カ所のサバナ林の構造比較から、ストレスの増大によってバイオマスと構成種の多様性は大きく減少するが、林分の萌芽率が高まること明らかにした。またストレスの増大に伴い、樹木が小型化し、幹材硬度が増大する現象を、個体維持コストの資源配分の観点から生理的に明らかにしている点は興味深い。これらの成果は、乾燥地における住民の森林利用に基づいた今後の森林管理に有益なものと評価できる。

3の課題では、シリブカガシの堅果が林内において健全な状態で長期間維持され高い発芽能力を持つことが堅果の構造が関連していることを明らかにした。さらに塊根の資源を利用して高い再生力を持つことを明らかにした。その結果をもとにストレスの高い環境下でも、優占度が高い本種の個体群維持のメカニズムを解明した点は高く評価できる。

これら様々なタイプの攪乱に対する樹木の形態、森林の変化に関する知見をもとに、現地住民の民族学的背景や経済的側面を考慮した熱帯における森林の取り扱いについて提言を行っている。

以上のことから学位申請論文は、博士（学術）を受けるのに十分な内容であると審査員全員が判断した。

最終試験結果の要旨	
学位申請者 氏名	エリアス チャーム
審査委員	主査 鹿児島大学 教授 米田 健
	副査 鹿児島大学 教授 曾根晃一
	副査 琉球大学 教授 馬場繁幸
	副査 鹿児島大学 准教授 畑 邦彦
	副査 琉球大学 教授 谷口真吾
審査協力者	
実施年月日	平成 25年 1月 28日
試験方法 (該当のものを○で囲むこと。) <span style="float: right;">(口答)・筆答</span>	
<p>主査および副査は、平成 25年 1月 28日の公開審査会において学位申請者に対して、学位申請論文の内容について説明を求め、関連事項についての試問を行った。具体的には別紙のような質疑がなされ、いずれも満足できる回答を得ることができた。以上の結果から、審査委員会は申請者が博士(学術)の学位を受けるのに必要な十分の学力ならびに見識を有することを認めた。当該論文の内容を慎重に検討した結果、下記の理由から当該研究は学際領域の分野に該当し、博士(学術)の学位の授与が適当と判断した。</p> <p>1) 耕地拡大と燃材需要増大を背景とした過剰伐採地、とくに乾燥・貧栄養な立地における萌芽更新法の有効性を立証する基礎資料を提供したことは農学分野での成果として評価できる。</p> <p>2) ブナ科樹種シリブカガシの生活史において、堅果の物理化学特性、稚樹・実生段階における塊根資源を活用した高い萌芽力が、乾燥・貧栄養地における個体群の維持メカニズムに貢献していることを明らかにした点は生態学分野での成果として評価できる。</p> <p>3) 熱帯雨林の後退現象を、村落からの距離をパラメータとし村民の土地利用の現状と意識調査を踏まえて評価したこと、サバナ林の森林構造の変化を住民の森林利用実態面を加えて解析し社会との関連性を解明したことは地理学分野の成果として評価できる。</p>	

学位申請者

氏名 エリアス チャーム

[質問 1] 論文 5 章におけるシリブカガシ堅果への菌の感染の有無をどのようにして判定したのか？

[回答 1] 堅果を切断し、子葉部分の変色状態で判断しました。

[質問 2] 第 5 章でシリブカガシの枝条切断処理個体が無処理個体より生存率が高い理由はどうしてか？

[回答 2] それは、枝条部分の維持コストが削減できたことが主な理由です。結果として、塊根に集積されているエネルギーが生存に利用され、無処理個体より生存率が高くなったと判断しています。

[質問 3] それでは、枝条部分と塊根の双方を切断した場合の生存率が無処理個体と大差ないのはどのように説明できるのか？

[回答 3] 地上部と地下部との間のエネルギー配分におけるトレードオフ関係が関係していると考えています。

[質問 4] 第 4 章で、サバナ林周辺の住民による野生有用樹種の保全的利用についての質問ですが、具体的な利用内容を聞きたい。

[回答 4] *Cordyla pinnata* はドラム（楽器）の材料で、また果実は地域住民の有用な食料です。*Pterocarpus erinaceu* は乾季における重要な飼料となっています。*Sterculia setigera* の樹液は、地域住民の貴重な現金収入源となっています。

[質問 5] 第 4 章についての質問だが、比較検討した 3 つの森林の土壌条件に違いがあるのか？土壌と種構成との関連性はどうであるか？

[回答 5] 当研究地域の土壌は、地形的には同一の堆積盆地に位置しています。Maka 地区の土壌は粘土成分を含んだ砂質土で、Koussanar 地区の土壌は、河岸に立地し湿潤土です。Malsin の土壌は、3 地点の中で最も乾燥していました。したがって、植生の違いは、雨量との関連が大きいと判断しています。

[質問 6] 4 章の論文についての質問だが、サバナ林での有用樹の優占度は理解できたが、地域住民により有用樹以外の樹種を排除する何らかの働きによるのか？

[回答 6] 地元住民は、実に多様な樹種と多様な目的に使っていますが、とくに保全を意識しているわけではなく、また不要な種群を排除するような活動もしていません。3 ヶ所の調査区共通に優占している有用な薪炭材樹種である *Combretum*

*glutinosum* は、更新力が高く保全的に利用されていません。表現を変えれば、現存する樹種は、そのような住民の利用で生き残ってきた種群といえると思います。

[質問 7] 3章で使っている図についての質問です。伐採前と伐採後について構成種が持つ優占度の変化を、ベクトルの角度とベクトル長で表しているが、ベクトルでなく X 軸と Y 軸にそれぞれの時点での優占度を直接に割りあてた方が分かりやすいのではないかと？また図中に表わしている曲線は何を示すのか？

[回答 7] ベクトルの特性である 2 つのパラメータでその変化を表現することにより、変化幅を直接に 0-90 度の角度で読み取れ、また現在の優占度が読み取りやすいという利点を持っています。図中の曲線は、優占度の等値線です。ベクトル長の正接（タンジェント）が  $t_1$  時の優占度を示し、正弦（サイン）が  $t_2$  時の優占度を示しています。

[質問 8] シリブカガシの更新力の高さがよく理解できた。私たちはインドネシアで森林の修復プログラムを実施しているのですが、これらを再植林や新規造林に使えるでしょうか？

[回答 8] この樹種は様々な光条件で生育し、繰り返しの伐採に対しての高い抵抗力を持っていることが今回の研究から明らかになりました。これらの結果は、森林の修復事業に有効であることを示していますが、在来種との関係等それぞれの地域の条件を十分考慮する必要があると考えています。

[質問 9] 萌芽再生林の森林管理面からの質問ですが、種の多様性や生産性の観点から、どのような管理が有効ですか？

[回答 9] 種の成長特性は多様ですので、その違いを考慮した管理が大切だと思います。たとえばジェネラリスト的特性を持つ種の管理法は、その特性から判断してスペシャリスト的特性を持つ種より容易であろうと考えています。

[質問 10] 今回の研究で、とくに萌芽力が種間で異なり、森林更新に大きな影響があることが理解できた。この研究結果をふまえて、森林の種多様性を保全しつつ森林資源を有効に利用する方法についての考えを聞きたい。

[回答 10] 森林政策、土地利用計画さらに環境教育の改善と推進が森林の保全活動に大切と考えています。しかしながら、現実には森林の経済的価値を高めることと生物多様性の保全が対峙し問題解決を困難にしています。環境に適応した種の導入による効率的な森林管理が重要であり、そのための研究活動の一層の推進が大切と考えています。