

氏名	まつ い なお ひろ 松 井 直 弘
学位(専攻分野)	博 士 (地球環境学)
学位記番号	地 環 博 第 19 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	地 球 環 境 学 舎 地 球 環 境 学 専 攻
学位論文題目	Development of Mangrove Rehabilitation Techniques as a Counter- measure of Global Warming and a Measure of Recovering Degraded Coastal Ecosystem (地球温暖化対策および、攪乱した生態系修復のためのマングローブ植林技術の開発)
論文調査委員	(主 査) 教 授 小 崎 隆 教 授 中 原 紘 之 教 授 森 本 幸 裕

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、タイなどの東南アジア熱帯沿岸地域において、エビ養殖池の造成をはじめとする開発によって荒廃したマングローブ林を復元するための方法論について、マングローブ生態系の持つ地球温暖化対策、生物多様性の再生、水産資源の涵養などの役割を視野に入れながら、明らかにするとともに、現地における植林試験によりその方法を実際面から評価した一連の研究をとりまとめたものであり、以下の10章から構成されている。

第1章は序論であり、本論文を実施するに至った社会的な背景および現在の荒廃に至った歴史的な背景について明らかにするとともに、本論文の構成について述べている。

第2章は、タイのマングローブ林が荒廃した最大の要因であるエビ養殖池の開発について、その歴史的な背景を明らかにし、エビ養殖池の開発に伴う農業や水産業の衰退がマングローブ林の破壊につながったことを述べている。さらに沿岸域でのエビ池等の開発が、現在、タイで深刻な海岸線侵食の問題を引き起こしており、海岸線の保護のみならず津波などの防災面においてマングローブ林の保護・育成が緊急な課題であることを述べている。

第3章では、マングローブ生態系によって形成された泥炭層が大量の有機炭素を保持しており、従来、マングローブ林は地球温暖化問題の上でシンクとして重要な役割を果たすとされていたにもかかわらず、マングローブ泥炭層の有機物は腐植化があまり進行しておらず、乾燥化などによって容易に分解が進行しうる特性を持っており、ソースに転換しうる危険性を有することを明らかにした。これらの知見は有機物の消失を防ぐような適正な土地利用計画がマングローブ生態系において必要なことを提示している。

第4章では、*Rhizophora apiculata* BL. (フタバナヒルギ)を植林した25haのエビ養殖池放棄地において、マングローブの樹高と地形、土壌要因との関係を検討している。マングローブの生長は地盤が低い場所で良好であり、さらに樹高はこれまで重要と考えられていた比高に土壌特性を加味したほうが、より良い精度で推定できることを示している。空間統計学と多変量統計解析を組み合わせた考察の結果から、樹高の総変動のうち72%がランダムではなく、空間に依存したものであることを示し、有機物施用などの局所的な肥沃度管理がマングローブ植林において有効である可能性を提示した。

第5章では、樹高と土壌特性の時間的な変動とマングローブ生長の空間的変動について検討し、マングローブの樹高は植林後の時間経過とともに空間依存性を発達させること、さらに、樹高の空間依存性の程度はクリークからの方向によって異なり、マングローブの生長が方向に依存して変動する地形や土壌条件によって規定されていることを示した。また、重回帰分析を用いて植林7年後の樹高予測式(樹高=732.9-6.68×比高+6.39×EC ( $r^2=0.38$ ))を導き出すことに成功した。

第6章では、第4章で示されたマングローブの生長に関与する環境要因のうち、水条件を現地で改良することが実際の植林で有効であるかどうかを植林試験から検討している。エビ養殖池放棄地において、水の自由な流入を阻害していた堰を壊すことで水利条件を改良する基盤改良を行った。この基盤改良によって、従来、植林が困難であった場所で、*Bruguiera*

*cylindrica* (BC), *Rhizophora apiculata* (RA) や *Rhizophora mucronata* (RM) の植林に成功した。さらに基盤改良が土壌全炭素量, 交換性塩基量などの土壌特性を変化させ, 植林樹種以外のマングローブ10種が植林地に侵入し, 生物多様性を向上させるなど, 水利条件の改良が荒廃地の環境の質を向上させる上で有効であることを示した。

第7章では, 養殖池の放棄後に近隣の池からの土砂流出により地盤高が高くなった箇所を掘り下げる改良の効果を検討している。掘り下げ改良をしていない対照区でのバイオマス増加量が軽微であったのと対照的に, 掘り下げ改良実施区ではバイオマス量が4年間で *Rhizophora mucronata* (RM) の場合9.5~10ton/ha, *Bruguiera cylindrica* (BC) の場合5.5~7.5ton/ha 増加した。また表層土壌 (0~5cm) の有機炭素量は対照区では0.48kgC/m<sup>2</sup>であったのに対し, 掘り下げ改良実施区では0.56kgC/m<sup>2</sup>となり, 土壌中の有機物量を増加させる上でも有効であることを示し, 水利条件の改良がマングローブの生長のみならず土壌中の炭素蓄積量をも効果的に増加させることを明らかにした。

第8章では, 海岸線侵食が進行する養殖池放棄地における植林で, 施肥がマングローブの活着を促進させる可能性について検討している。対照区に比べ, 施肥区では樹高が1.5倍高くなること, また施肥効果は波浪の強い海側でなく, 陸に近いところほど顕著であること, その結果, 海岸線保全のために植林を行う際には陸上に近い箇所から施肥を実施することが効果的であることを示した。一方, 水質および堆積物の化学性の分析に基づき, 近隣からの排水によって植林地のBOD, 窒素, リンが高くなり水質悪化が進行していることも示した。

第9章では, マングローブ林破壊の主原因であるエビ養殖がマングローブ植林と共存し得るかについて検討している。タイ南部で平均寿命5年と言われる養殖池の中で27年間, 養殖と林業を組み合わせた養殖池 (シルポフィッシュアリー) で調査を行い, この池が通常必要とされる餌の10%しか使用しておらず, 水質が良好に保たれていることを明らかにした。すなわち調査池の総アンモニア態窒素がタイにおけるエビ池の基準値とされる1.0mg/lを下回る0.84mg/lとなっており, 一般の集約的エビ養殖池の8分の1であることを1年間にわたる水質分析の結果から示すことができた。さらに池の中で生育しているマングローブが0.13kg/dayの有機炭素を固定しており, それが食物連鎖の中で一定の役割を果たしている可能性を示唆した。これらのことからマングローブを残すことにより持続的な操業を可能とする養殖システムを提案した。

第10章は結論であり, 各章で示された主要な成果をまとめ, 総合的に考察を加え, 本論文の地球環境学における意義を述べている。

## 論文審査の結果の要旨

タイ国沿岸域では, 1970年代から始まる開発によって, 2000km<sup>2</sup>におよぶマングローブ林が消失した。それに伴い, 沿岸域の環境も急激に悪化し, 水産資源の減少が顕著になってきた。そのため, 現在残っているマングローブ林を保全するとともに, マングローブ林の荒廃によって放棄された場所で新規に植林を行うことにより, 沿岸におけるマングローブ生態系を維持・回復し, 地域振興につなげることが社会的に望まれている。

本論文は, マングローブが荒廃地で生育可能な条件を抽出し, それらの条件を実際に植林に適用することで, マングローブ林を復元する手法を客観的に評価し, 今後のマングローブ管理計画の具体的提案を行ったもので, 評価される点は以下のとおりである。

1. マングローブ生態系は地球温暖化の面においてシンク機能が高いことが知られていたが, 8mまでのボーリングによる地質調査, 堆積物の年代測定, 堆積物中炭素の腐植酸分析を用いて, マングローブ生態系に蓄積された炭素が, 乾燥によって構造が破壊されやすい脂肪族性腐植酸に富んでいること, その結果, マングローブ生態系は開発によりソースとして機能する可能性があることを明らかにした。

2. これまで植物学的な調査しか実施されてこなかったエビ養殖池放棄地でのマングローブ植林について, 主成分分析および重回帰分析を用いて, マングローブを復元するための客観的な立地条件を, 土壌の物理化学的特性により説明することに成功した。これにより, 荒廃地をマングローブで植林していくための管理目標を客観的に設定することが可能となった。

3. マングローブ林の復元を制限している要因を除外する改良を, 異なった二つのタイプのエビ養殖池放棄地 (エビ池堰堤による水利条件の悪化, 近隣エビ池からの土砂流出による地盤高の変化) で行い, マングローブ林の復元に成功した。また, 改良によって, 土壌の肥沃度が改善され, 植林樹種以外の侵入を促進し, 自然に近い森林環境を復元できることを実証

した。

4. マングローブ林荒廃の最大要因であるエビ養殖池の持続的利用の可能性を検討し、投餌量の低減とそれによる水質悪化を防止することが重要であることを明らかにした。池の中にマングローブを残すことで、養殖で必要とされる投餌量を通常の10分の1にまで減らし得ることが示され、今後の熱帯沿岸域におけるマングローブ林保全と養殖等による地域開発を両立させる道筋を提示した。

以上のように、本論文は、エビ養殖池放棄地などのマングローブ林荒廃地におけるマングローブ植生の保全・復元に関して、詳細な現地調査から、客観的な植林評価手法を確立し、現地の持続可能な沿岸域管理に適用するという、基礎ならびに応用両面において意義深い結果を得ており、地球環境学、沿岸域生態系保全学、陸域生態系管理学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（地球環境学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成19年1月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。