

世界の森林環境の保全・再生をめざして

海外における森林研究の成果



平成18年12月
独立行政法人 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

編集委員会

編集委員長 研究コーディネータ 沢田 治雄

編集委員 国際連携推進拠点長 田淵 隆一
国際森林情報推進室長 佐野 真琴
国際研究推進室長 藤間 剛

編集協力 高橋 絵美
盛岡 香緒里

はじめに

世界の森林減少を続け、ここ約5年間は年平均で日本の国土面積の2割に相当する730万haの林が失われています。森林は多くの地域住民にとって様々な環境的、経済的な価値を持つ生活基盤であり、その荒廃、消失は暮らしを脅かし、人々が育んできた文化的な価値の喪失をも招きかねません。さらに、その影響は地球規模での環境問題とも切り離せません。

森林総合研究所では、このような背景のもとで、平成13年度から17年度までの第1期中期目標期間において、重点研究分野として設定した「地球環境変動下における森林の保全・再生に関する研究」をはじめ、複数の研究分野で海外の森林に係わる研究を行ってきました。

世界の森林環境の保全・再生のためには、まず森林の特徴を明らかにすることが必要ですが、森林情報の不足している地域がアジア東部地域には見られます。そこで、カンボジアやシベリアの森林、マングローブ林などの生態系の特徴を明らかにするとともに、水循環変動にかかわる水文学的な特徴を現地観測ではじめて明らかにしました。

森林減少・劣化の大きな要因である森林火災問題に取り組み、森林火災の早期発見システムの開発や、大規模森林火災が植生、森林生物へ与える影響を明らかにしました。

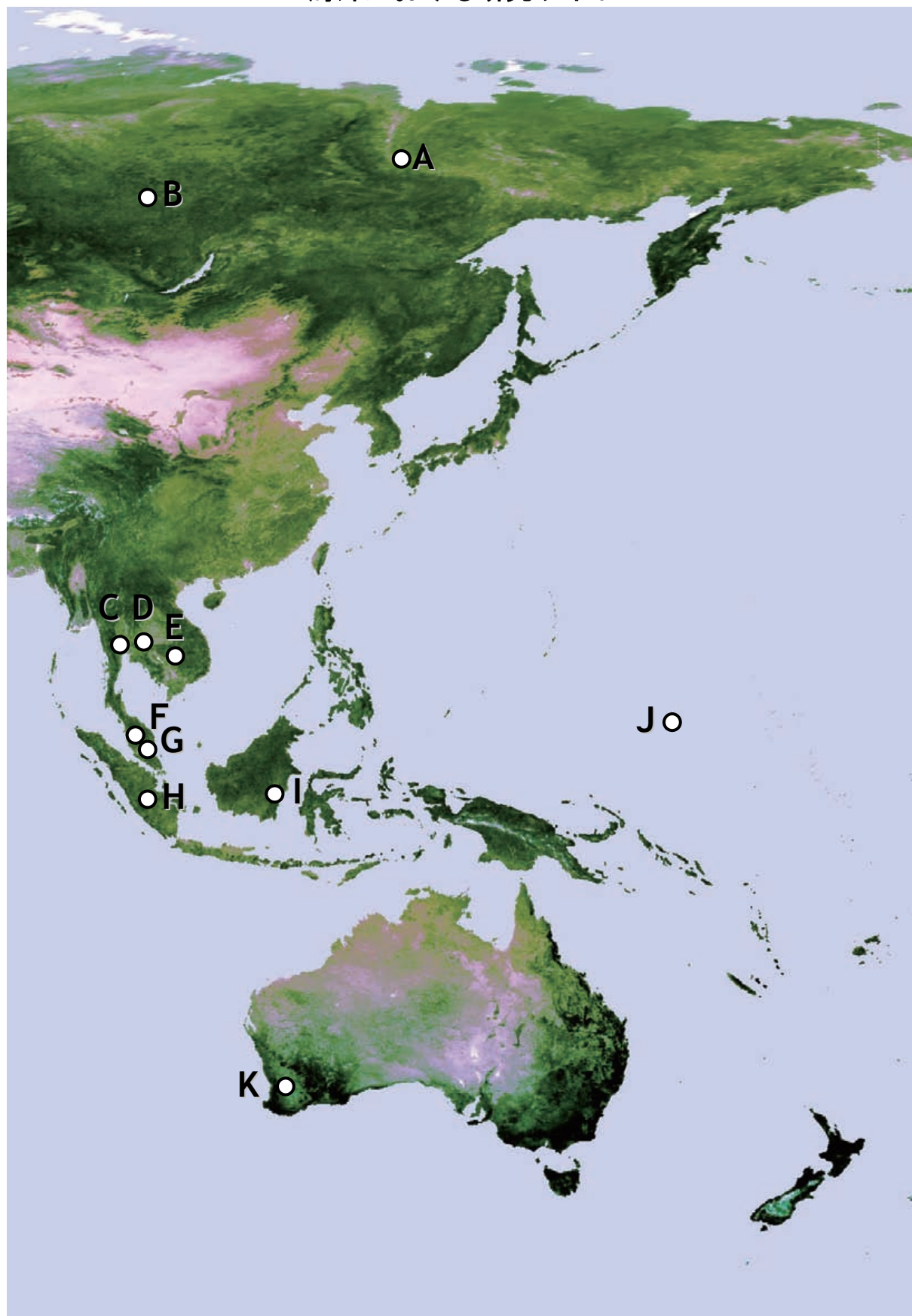
国際協力が求められている劣化した熱帯林の回復や荒廃地の回復問題に取り組み、回復メカニズムの解明や個体密度管理の重要性、人為的な補助作業の必要性の判定法を示しました。また、荒廃地回復のための樹種特性の把握・選定法を明らかにするとともに、地域住民の参加の重要性を示しました。

さらに、貴重な森林資源の有効利用問題に取り組み、違法伐採木材の輸入問題に対処するため、DNAなどを利用した樹種判定と産地判定技術を開発しました。また、オイルパームの廃棄物を利用した高純度セルロースパルプの開発など、資源利用の拡大を推進しました。

本冊子では、5年間の研究で得られたこのような研究成果をとりまとめました。本成果集が世界の森林問題の解決のために、多くの皆様に利活用されることを心から期待しています。

平成18年12月
独立行政法人 森林総合研究所
国際研究コーディネータ 沢田治雄

海外における研究サイト



- A. ロシア、東シベリア、ヤクーツク
- B. ロシア、中央シベリア、トゥラ
- C. タイ、メクロン
- D. タイ、サケラート
- E. カンボジア、コンポントム州
- F. マレーシア、セマンゴック
- G. マレーシア、パソー
- H. インドネシア、ジャンビ州
- I. インドネシア、東カリマンタン州
- J. ミクロネシア、ポンペイ島
- K. オーストラリア、西オーストラリア州

海外共同研究機関

インドネシア、科学研究院生物学研究センター：p 20
 インドネシア、ボゴール農科大学：p 20
 インドネシア科学院生物研究所：p 22
 カンボジア、森林野生生物科学研究所（FWRSI）p 8, 14
 タイ、カセサート大学林学部：p 26
 タイ、チュラロンコン大学：p 12
 タイ、国立公園・野生生物保護管理局：p 26
 中国林業科学研究院 木材工業研究所：p 38, 40
 米国山林局太平洋諸島林業研究所：p 12
 マレーシア水産研究所：p 12
 マレーシア森林研究所：p 24、28
 マレーシア理科大学：p 42
 マレーシア、サバ森林研究センター：p 36
 マレーシア、サラワク州木材研究所：p 36
 マレーシア、パームオイル管理委員会：p 42
 ミクロネシア連邦、ポンペイ州林業課：p 12
 ロシア科学アカデミー V. N. スカチェフ森林研究所：p 10

世界の森林環境の保全・再生をめざして 海外における森林研究の成果

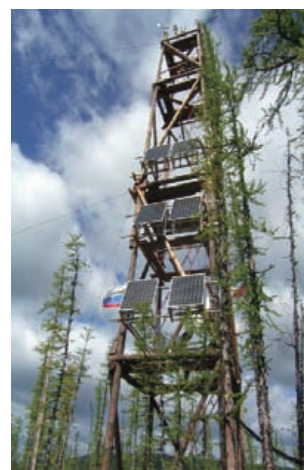
森林総合研究所 第1期中期計画成果集 2 1

目次

はじめに	1
海外における研究サイト・海外共同研究機関	2

1) アジア東部の森林の特徴

一言にアジア東部の森林といっても、様々なタイプのものがあります。北から南へみると、北方針葉樹林、夏緑広葉樹林、常緑広葉樹林、熱帯林、などの分類が可能で、これらは構成される樹木の種類などによってさらに細かく分けることができます。本章では、アジア東部の森林タイプの中から、熱帯季節林、亜寒帯林、マングローブ林を取り上げ、土壌や植生の特徴を明らかにするとともに、森林地帯における水循環のモニタリング、最近話題になっている温室効果ガスの観測結果について紹介します。



【熱帯季節林】 失われた森林立地情報の回復:カンボジアの森林調査	8
アジアモンスーン地帯で森林情報の空白域となっていたカンボジアで、土壌、植生等の情報を整備しました。理化学的特性や土壌水分によって季節林の森林型が規定されています。	
【亜寒帯林】 凍土の上のカラマツ林は地下部できびしい生存競争	10
東シベリアと中央シベリアの永久凍土地帯に成立しているカラマツ林では、土壌中の有機炭素が生態系全体の約8割を占めています。	
【マングローブ林】 マングローブ林はどのくらい炭素を貯められる？	12
海面上昇の影響を受けやすいマングローブ林の炭素集積様式を解明しました。地下部の泥炭は陸上の熱帯林に比べて数倍以上の高い炭素貯留機能を持っています。	
【水資源】 データ空白域を埋める森林水循環モニタリング	14
カンボジア、メコン川流域で降水量、水流出量、水分損失量などについて森林タワーを含む対象森林流域の水収支特性を明らかにしました。蒸発散量は 1200mm でした。	
【温室効果ガス】 熱帯アジアの土壌からの亜酸化窒素の放出は想定外に低い	16
東南アジアの森林土壌を調べた結果、熱帯林からの温室効果ガスである N_2O 放出速度は過大評価されている可能性があるようです。	

2) 森林火災とその影響

アジアでは、シベリアからモンゴル、中国、タイ、インドネシアにかけて大規模森林火災がたびたび発生しています。火災による被害はこの地域の木材資源や森林環境の維持・増進に大きな障害となっています。本章では、森林火災による被害を最小に押さえるための火災監視システム、森林火災による被害にあった地域での植生・森林生物への影響について紹介します。



【火災監視】 東南アジアの森林火災を衛星で早期発見・通報 18

東南アジアで夜間にも燃えている火災箇所を2種類の人工衛星データで発見し、消火活動を開始する早朝までに、関係機関に情報を配信する自動処理システムを開発・運用しています。

【植生への影響】 衛星データで評価するボルネオ島における森林火災の影響 20

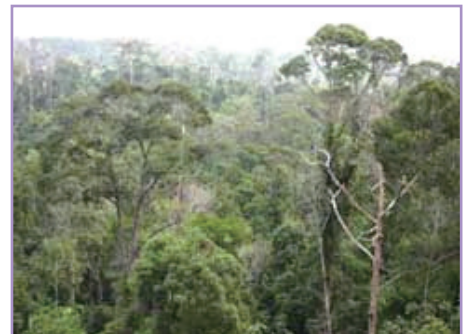
人工衛星の観測データから雲の影響を軽減する方法を開発し、大規模火災が熱帯林に与える影響を植生指数(NDVI)を用いて可視化して評価することを可能にしました。

【森林生物への影響】 昆虫や菌類にも大きな影響を与えたインドネシア森林火災 22

インドネシアで発生した大規模森林火災が腐生菌類、菌根、カミキリムシ類に与えた影響を明らかにしました。それらの生物は環境変化の指標として森林回復の判定にも利用できます。

3) 熱帯林の回復と更新

熱帯地域の森林は、木材の伐採や森林の農地などへの転換などにより大きく減少しています。このことは、その地域の住民や環境に様々な影響を与え問題となっています。本章では、自然の回復力を活用して熱帯林の減少を増加へと転じるため、遺伝的多様性からみた健全性の維持のための管理方法、植生の自然回復のための条件、また、森林を修復するための方法について紹介します。



【健全性の維持】 個体密度維持が重要な遺伝的多様性の保全 24

択伐などによる森林の攪乱が自殖種子を多くし、将来の森林の遺伝的多様性を減少させています。遺伝的多様性の維持には適正な個体密度の管理が重要です。

【植生の自然回復】 山火事と乾燥に適応して形成されるタイ熱帯季節林 26

タイの熱帯季節林における山火事後の森林の回復にとって、タケの一斉開花枯死と林冠ギャップ形成など林床の光環境の好転が重要な要因となっています。

【回復の補助作業】 皆伐後樹種が入れ替わるマレーシア熱帯低地林 28

劣化した森林の回復には、種組成を確認し、攪乱に弱い種の回復具合を見極めて、攪乱に対する樹種の特性を考慮した補助作業や補植などを行うことが大切です。

4) 荒廃地の修復

荒廃地は、主として降水量や気温などの自然条件と過度の焼き畑や土地利用転換などの人間活動を原因として生じ、その影響が多面かつ長期間にわたることが問題となります。本章では、そのような荒廃地を修復するため、樹木を造林を確実にする際に必要な造林樹種の特性、造林樹種の選定に関する研究と、修復を成功させるために必要な社会的な条件について紹介します。



【造林樹種の特性】 熱帯の先駆性樹種は光環境変化に速応する 30

生理特性や形態特性を素早く大きく変えられることが、回復の初期に活躍する先駆性樹種の適応機構のひとつです。

【造林樹種の選定】 地球温暖化対策にも貢献する乾燥地造林技術 32

オーストラリア乾燥地で、炭素固定量増大を目的にした植栽には、ユーカリとモクマオウが好適であることを、光合成、葉水分ポテンシャルなどの生理特性とリター分解速度などから示しました。

【地域社会の参加】 熱帯林の修復：成功の鍵 34

熱帯林修復の成功には、地域住民組織の強化と参加、社会・経済的ニーズに配慮した修復手法の選択、明瞭で適切な制度による支援を保証すること、などが重要です。

5) 森林資源の有効利用

私たちは化石資源や鉱物資源を消費し、ものの豊かさに恵まれた生活をするのが可能となりました。しかし、現在、これと引き替えにさまざまな環境問題に直面しています。今後、このような問題を回避するため、持続かつ安定的供給や循環的利用が可能な資源への転換が迫られています。本章ではこのような資源の一つである森林資源について、適切な森林資源の管理を阻害する違法伐採への対策技術、木材利用促進のため必要な強度評価・耐久性評価技術、森林資源の多目的利用技術について紹介します。



【違法伐採対策】 熱帯材の樹種を DNA で識別 36

合板輸入の多いフタバガキ科 *Shorea* 属を対象として、木材の解剖学的特徴や化学成分による識別技術を開発するとともに、輸入木材からの DNA 抽出法や遺伝子単離法を開発しました。

【外材の強度評価】 樹林の強度を非破壊的に推定できる技術の普及 38

国際協力の一環で、中国の主要な造林樹種であるコウヨウザンを対象として、丸太及び非破壊的手法によって求めたヤング係数を用いて、製材品の曲げ強度を推定する手法を開発しました。

【外材の耐久性評価】 中国の主要植林木の耐久性を解明 40

今後輸入増加が予想される中国植林木の耐久性(耐朽性、耐蟻性)を確認し、I-214 ポプラの耐久性がスギ材と比べて非常に弱いことを明らかにしました。

【森林資源の多目的利用】 オイルパーム・バイオマスの利用技術開発 42

東南アジアで増加しているパーム栽培や油生産に関わる炭素循環を明らかにするとともに、廃棄されている空果房の有効利用法として、高純度セルロースパルプの調製法を開発しました。

失われた森林立地情報の回復:カンボジアの森林調査

背景と目的

森林の立地環境に関する土壌や植生などの情報は、適正な森林管理に必要です。また水循環などの森林環境機能を解明するためにも、とても重要な情報となります。インドシナ半島のカンボジアでは、長年続いた内戦などの歴史的な事情によって、大切な情報が消失してしまいました。このため、カンボジアの森林で土壌、植生等の調査、観測を継続的に行って森林情報を整備しています。

成果

調査、観測を行っているのは、カンボジアの中央部に広く分布する森林地帯です。(図1)。ここには、インドシナ半島において、たいへん貴重な森林生態系が残されています。この森林は樹高が高く、直径の大きなフタバガキ科の常緑樹(*Dipterocarpus costatus* など)が生育している常緑林地帯ですが、詳しく植生を調査することによって、その森林の中には、落葉樹(*Dipterocarpus obtusifolius* など)が生育する森林(落葉林)、落葉樹と常緑樹が混在する森林(混交林)、さらに雨季には完全に水没してしまう森林(湿地林:ほぼ *Melaleuca cajuputi* の純林)などが混在していることが明らかになりました(図2)。そして、これらの森林タイプ毎に固定試験地を設定して、樹種構成、樹高や直径、そして直径ごとの生育本数などを詳しく調査、

測定することによって、それぞれの林分構造を解明しました。

また、それぞれの森林の土壌断面調査を行い、土壌の断面形状や理化学的特徴から土壌を分類しました。これらの結果から、森林タイプによって土壌タイプが異なり、土壌の理化学的特性や土壌水分によって森林タイプが規定されていることが明らかになりました。

さらに、固定試験地では、森林の蒸発散や遮断を支配する要因である樹冠状態を示す葉面積指数(LAI)を定期的に測定し、その季節変化パターンを明らかにしました。また、土壌水分含有率も経時的に観測して、森林タイプ毎の土壌水分状態の季節変動も明らかにしました(図3)。

成果の特徴と利活用

森林植生や森林土壌に関する調査研究によって、少しずつではありますが、失われてしまった森林立地情報が整備されつつあります。これらは、適切な森林管理を進める上で、不可欠な情報です。また、その結果を基に区分した森林タイプ別の森林土壌水分や樹冠状態の経年変化の継続的観測は、アジアモンスーン地域における森林の水循環の解明に活用されます。

プロジェクト情報

アジアモンスーン地域における人工・自然改変に伴う水資源変化予測モデルの開発(平成 14~18年)文部科学省委託

主な発表文献

荒木誠ら, Proceedings of the International Conference on "Advances in Integrated Mekong River Management", 182-188, 2004

荒木誠ら, Proceedings of International Conference on Forest Environment in Continental River Basins; with a Focus on the Mekong River, 75-76, 2005

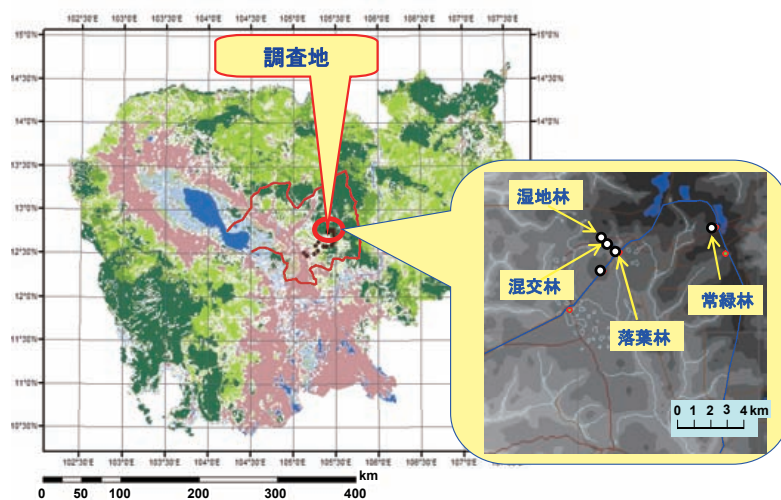


図1 調査地の位置

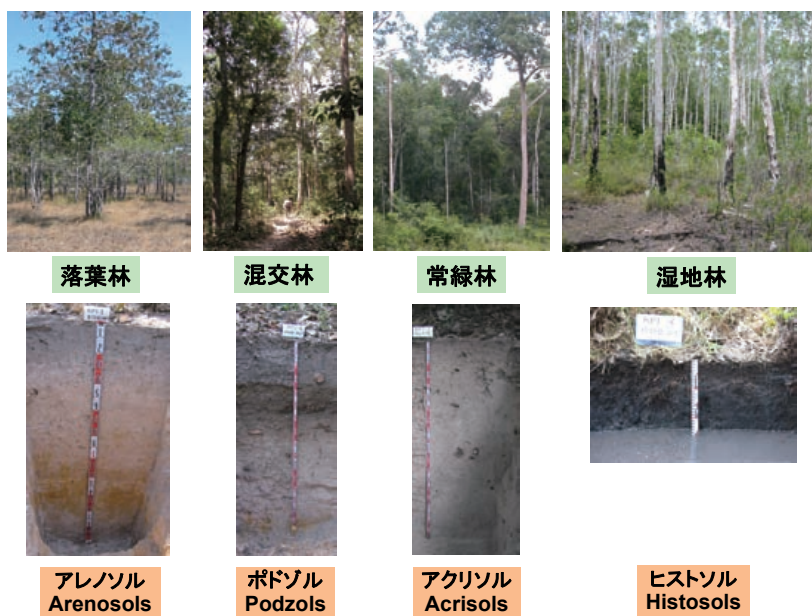


図2 調査地の森林と土壌

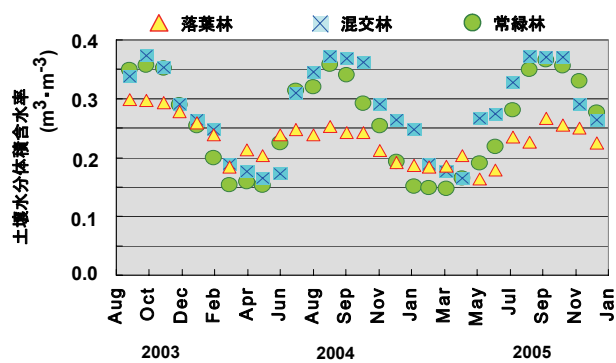


図3 試験地の土壌水分状態

凍土の上のカラマツ林は地下部できびしい生存競争

背景と目的

私たちが習った「地理」では、永久凍土地帯には「ツンドラ」が広がっていると答えるのがテストでは正解ですが、実際は東西 3000km に及ぶカラマツだけの大森林地帯が北東ユーラシア地域の永久凍土の上に成立しています。しかもそこに蓄積した有機物としての炭素量などについては、ほとんど情報がありませんでした。そこで、その実態を明らかにする調査を行いました。

成果

私たちが集中的に観測を行った中央シベリア(トゥラ:北緯 64 度ー東経 100 度付近)のカラマツ林では、生態系全体の炭素蓄積量がおおよそ 1 ヘクタールに 123 トンですが、そのうちの約 8 割が土壌に、1 割が林床の堆積有機物層に集積しており、植物体には 1 割程度が集積するだけであることがわかりました。しかも他の気候帯に成立している森林に比べて、地上部と地下部現存量の重量比が著しく小さいのです。中央シベリアのカラマツ林では、地上部と地下部に集積している炭素量の比率がおおよそ 2:1 でした(図 1)。また、同じ永久凍土地帯のカラマツ

林でも東シベリア(ヤクーツク:北緯 62 度ー東経 129 度付近)では、地上部と地下部の炭素集積量比率がほぼ 1:1 となっていました。永久凍土地帯のカラマツ林の地上部を見る限り、隣接する木々の枝葉は重ならず、マッチ棒のような樹型の木々がまばらに分布しているだけに見えますが、地下部では根系が、時には幹の中心から 10m も離れたところまで張り巡らされているのを見ることがあります。寒冷な土壌条件では、いかに養分獲得をおこなうかが植物の生存にとって大きな要因になっていることをうかがわせます。

成果の特徴と利活用

凍土地帯の地上部対地下部の比は、これまで非凍土地帯で測定された値と大きく違っています。温暖化で最も影響を受け易いと予測される、凍土地帯の広大な面積のカラマツ林における炭素集積量推定には、この研究で得られた知見を用いる推定が最も精度が良いことになります。

プロジェクト情報

21 世紀の炭素管理に向けたアジア陸域生態系の統合的炭素収支研究(平成 14ー18 年)環境省受託

主な発表文献

梶本卓也ら, Forest Ecology and Management, 222:314-325, 2006

松浦陽次郎ら, PHYTON, 45:51-54, 2005

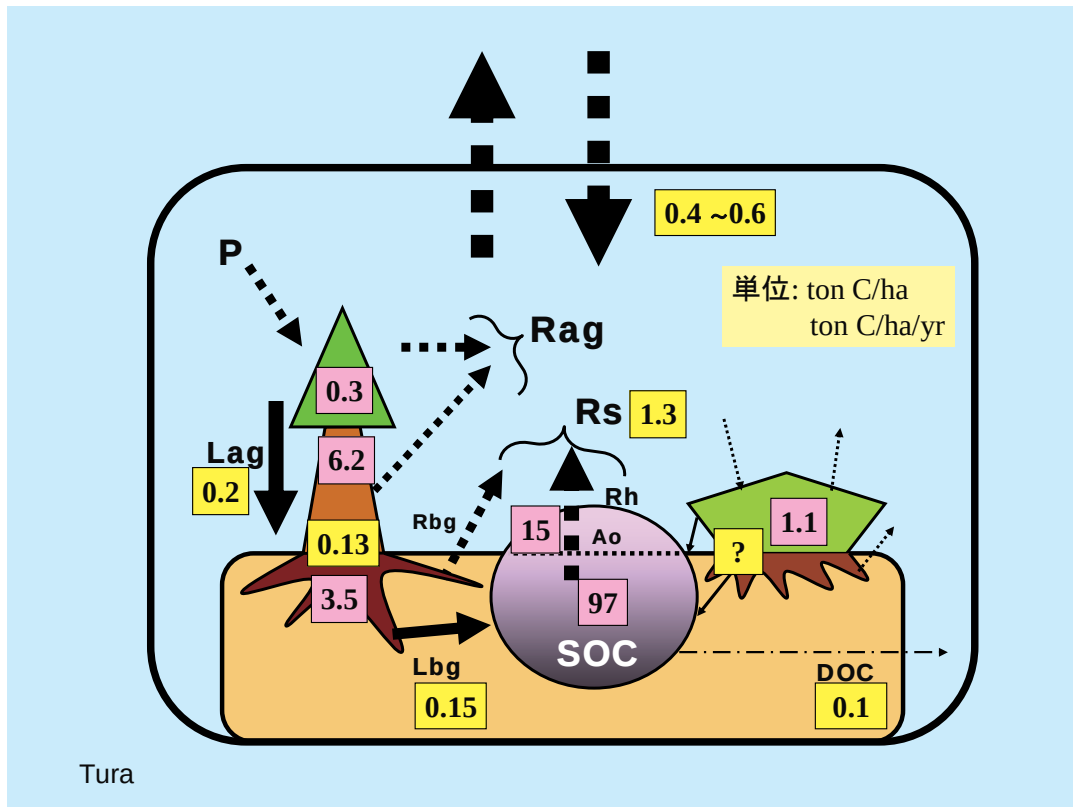


図1 永久凍土地帯のカラマツ林における炭素収支の測定結果

薄桃色ボックスの数値は蓄積量を示し、黄色ボックスの数値は移動量を示す。生態系全体としては炭素に換算して年間ヘクタールあたり 0.4～0.6 トンの「吸収」になっていることを表している。



秋のカラマツ林(中央シベリア・トゥラ)の様子

凍土の中に広がる根系の様子

マングローブ林はどれくらい炭素を貯められる？

背景と目的

熱帯地域で海岸や低地の環境を支えている湿地林は、地球温暖化による海面上昇等の影響を受けやすく、その対策が喫緊の課題として求められています。しかし、その機能の実態は明らかになっていないことが多い。本研究では、海岸等の湿地林による温室効果ガス固定効果を評価する一環として、ミクロネシア・ポンペイ島およびマレー半島のマングローブ林の炭素集積様式を解明し、炭素固定機能を面的に評価しました。

成果

異なるタイプのマングローブ林の炭素蓄積量を明らかにするため、ポンペイ島の3タイプ(ヤエヤマヒルギ群落、マヤプシキ群落及びフタバナヒルギ・オヒルギ群落)に大別されるマングローブ林で、地上部現存量分布を高精度に推定しました。またマングローブ林地上部の炭素蓄積量は同島で160~300トン/ha、マレー半島の50年生未満の林で40~290トン/ha程度でした。

炭素の蓄積速度はポンペイ島で年間0~3、マレー半島で年間0~9トン/ha程度でした。成熟したマングローブ林では泥炭として地下に貯める炭素量も多く、ポンペイ島では2000トン/haにも達する林が

ありました。陸上熱帯林では炭素蓄積量は最大500トン/ha程度とされるのに比べ、マングローブにはきわめて多くの炭素が蓄積されていることがわかりました。現時点ではポンペイ島のマングローブ林では大型の攪乱はなく安定していますが、現在海面上昇の影響を受けて基質(地盤)そのものが侵食されつつある箇所も観察されています。このような現象によりマングローブ林が炭素放出源と化すのかどうかについて、今後も長期的な観測が必要です。

成果の特徴と利活用

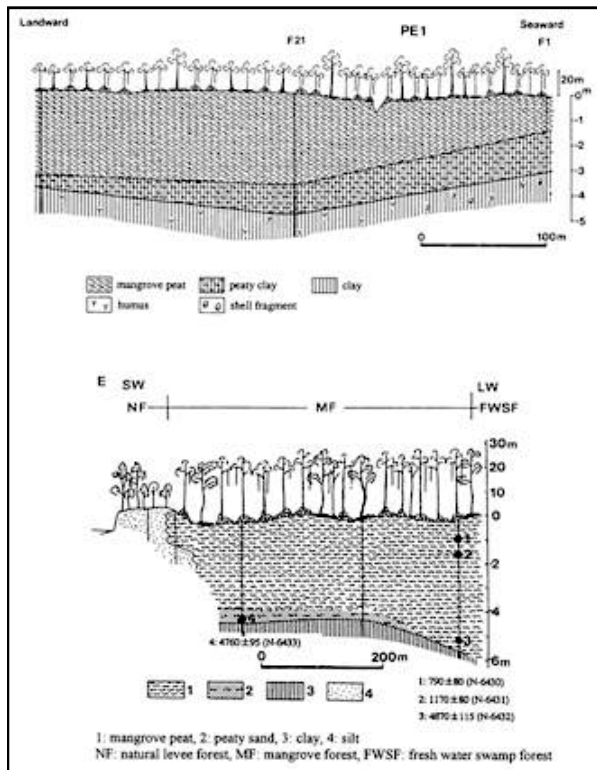
開発した島嶼型マングローブ林の炭素固定の量的評価手法によりミクロネシアでの炭素固定機能の面的評価を可能としました。ミクロネシアのポンペイ州行政機関による流域森林管理・保全のための基本データとしても活用されています。

プロジェクト情報

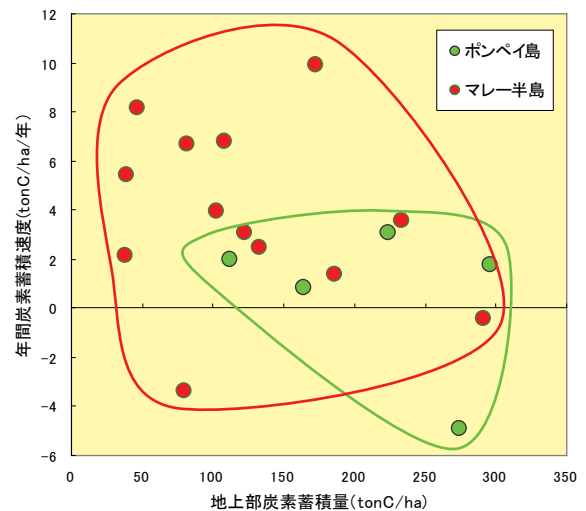
マングローブ天然林の炭素固定機能および有機物分解機能の評価、平成14~17、科研費:淡水湿地林・泥炭湿地林・マングローブ林の維持機構と炭素固定機能の解明、平成15~19、環境省受託費:スマトラ島沖大地震及びインド洋津波被害に関する緊急調査研究、平成16、科振調費緊急研究

主な発表文献

小野、田淵ら、Tropics15(1), 75-84, 2006.



ミクロネシアのマングローブ林下の泥炭堆積構造
( で示しました) 深い箇所では 5m 以上もの
厚さで泥炭が堆積しています



マングローブ地上部の面積当りの炭素蓄積量と炭素蓄積速度との関係を、ミクロネシアのポンペイ島と、マレー半島の林業が行われている林について示しました。

ミクロネシアには炭素で 300 トン以上の大きな古い林が残っていますが、若い林が多く蓄積量の小さい東南アジアよりも毎年の蓄積速度は低いようです。大きな木が倒れると減少が蓄積より高まり、収支はマイナスとして現れることもあります

ミクロネシアで観察された海面上昇によるマングローブ立地の喪失

かつてオヒルギの根元まで 1m 以上の厚さで堆積していたマングローブ泥炭が潮汐や波浪に浸食され、炭素放出源と化してしまいました

データ空白域を埋める森林水循環モニタリング

背景と目的

カンボジア国は国際河川であるメコン川下流の中央部分にあり(図 1)、流域周辺国を含む広域の水環境に大きな影響を持っています。しかしながら、1970 年代後半から 1990 年代の内戦終結時まで森林に関する調査はほとんど行われず、特に、森林流域における水循環に関してはまったくデータの無い空白域となっていました。そこで、連続データを取得・蓄積するために水循環モニタリングシステムを構築することにしました。

成果

カンボジアのほぼ中央に位置するコンポントム州に4つの森林流域(オートム1号、オートム2号、チニット、オーテックロー)を設置して降水量、流出量ほか各種水文要素の観測を行いました(図2、図3)。流出量の測定には水位観測とともに流路断面の測量、流速分布の測定を行い(写真1)、対象4流域すべての水位ー流量曲線を作成しました。また、雨量観測は観測タワーサイトを含む5地点としました(写真2)。森林総研が建設した蒸発散観測タワーは高さ60mであり、上・下2方向の短波放射量、純放射量、風向、6高度の風速及び2高度の温・湿度の測定を行い、熱収支ボーエン比法を用いて蒸発

散量の推定を進めました。さらにタワー近傍に25m×25m区画の樹冠遮断プロットを設定し、樹冠通過雨量、樹幹流下雨量の計測も行いました。また、河川水・雨水について貯留ボトルを設置し、質量分析器を用いて資料の酸素、水素安定同位体比を測定しました。流出量・降水量データは2003年から取得をはじめ、蒸発散量については2004年にほぼ年間のデータが得られました(図4)。暫定的な水収支解析とタワーによる熱収支解析を比較すると本地域での水損失量はほぼ1100-1300mmの範囲にあることもわかりました。

成果の特徴と利活用

2002年末から研究を始め、2003年11月頃に基本的な観測体制がほぼ出来上がりました。その後、落雷などによって途切れることもありましたが、全体的には順調に連続データを取得し、地域の水環境モニタリングデータとして活用されています。

プロジェクト情報

アジアモンスーン地域における人工・自然改変に伴う水資源変化予測モデルの開発(平成14～18年度) 文科省受託
地球規模水循環変動が食料生産に及ぼす影響の評価と対策シナリオの策定(平成15～19年度) 農水省受託

主な発表文献

清水晃ら, Proceedings of the International Conference on "Advances in Integrated Mekong River Management", 130-135, 2004
清水晃ら, Conference Proceedings, International conference on Headwater control VI: Hydrology, Ecology and Water Resources in Headwaters, 109-116, 2005

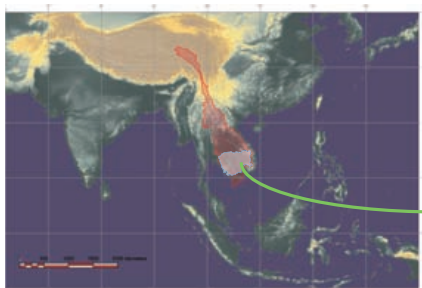


図1 メコン川流域

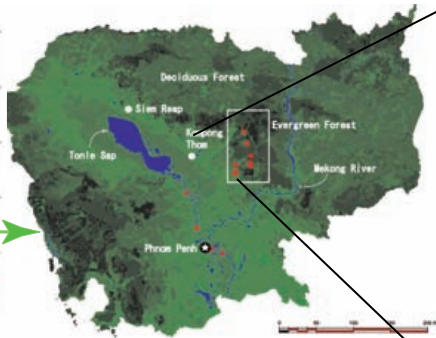


図2 カンボジア



図3 チニット川流域



写真1 流速測定



写真2 降水量観測

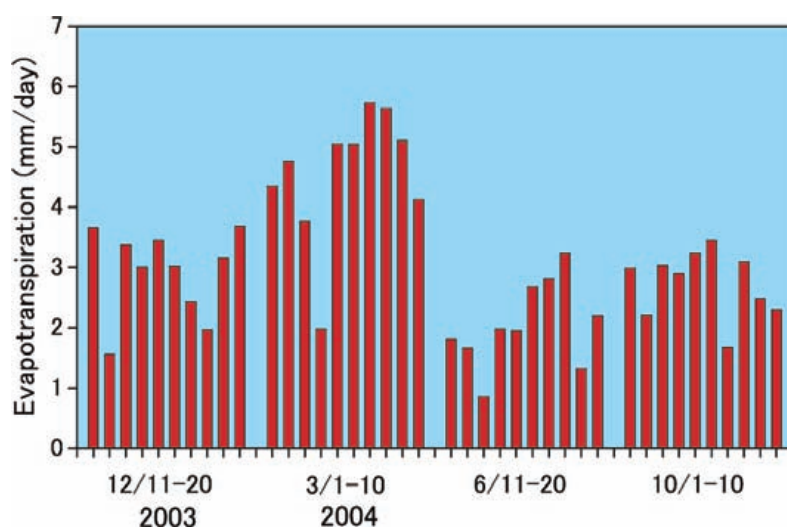


図4 蒸発散の季節変動(2003 年-2004 年)

熱帯アジアの土壌からの亜酸化窒素の放出は想定外に低い

背景と目的

東南アジアの森林土壌から放出される温室効果ガス(CO₂、メタン、亜酸化窒素(N₂O))の量に関する観測データはこれまでにほとんどなく、中南米の研究データで地球規模での温室効果ガス収支の推定が行われるなど信頼精度に問題がありました。そこで、本研究では東南アジアにおける温室効果ガスの観測データセットを構築し、より精度の高い温室効果ガス収支の推定に貢献するとともに、森林伐採の影響を明確化することを目的としました。

成果

東南アジア地域でも最も森林伐採が進んだインドネシア・スマトラ島中央部において3つのスケールで観測を行いました。最も狭いスケールでは、一次林内の27m×21mのプロットに80ヶ所の観測点を設置し、ガス発生速度の空間構造を解析しました。その結果、空間的ばらつきがCO₂では少なく、メタンとN₂Oでは大きいことがわかりました。中間のスケールでは、3.7km×7.5kmの範囲内に一次林、択伐林、ゴム林、裸地の観測地を設け、4年間月1回の継続観測を行いました。このうち択伐林では観測期間中に皆伐と残材の焼却が行われ、伐採・焼却によるガス発生速度の変化を観測できました。その結果、森林の伐採・焼却によってCO₂放出とメタン吸収の減少、N₂O放出の

増加が観測されました。特にN₂O放出は伐採・焼却によって3倍にもなりましたが、その増加は長続きせず、1年程度で元の放出速度に戻りました。この結果は長期間N₂Oの増加が続いた南米の結果と異なり、森林伐採がN₂O放出に与える影響に大きな地域性があることが明らかになりました。最も広いスケールでは、125km×240kmの範囲内の27ヶ所において観測を行いました。その結果、この地域のN₂O放出が中南米の湿润熱帯林よりも小さいことが明らかになり、地球上の熱帯林からのN₂O放出速度は過大評価されている可能性があることを示しました。また、この地域の熱帯林でN₂O放出速度が低いのは、硝酸生成速度が低いためと結論されました。

成果の特徴と利活用

熱帯アジアの森林土壌からの温室効果ガス発生速度を数十メートルから数百キロメートルのスケールで統合的に観測することにより、信頼度の高い観測値を世界に発信しました。これにより、熱帯林の地球温暖化に対する役割の評価の高精度化に貢献しました。

プロジェクト情報

熱帯アジアの土地利用変化が陸域生態系からの温室効果ガスの発生・吸収量に及ぼす影響の評価に関する研究(平成11～13年)環境省受託

主要な発表文献

石塚成宏ら, Global Biogeochemical Cycles, 16 (3), 1049, 2002.

石塚成宏ら, Nutrient Cycling in Agroecosystems, 71, 17-32 & 55-62., 2005

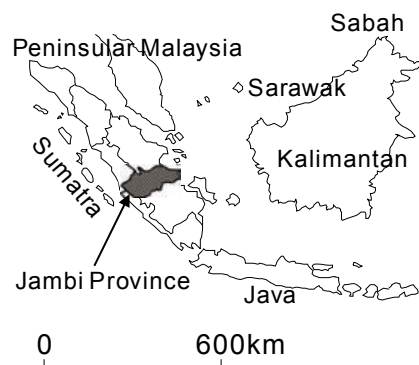


図1 インドネシアの対象地(Jambi 州)

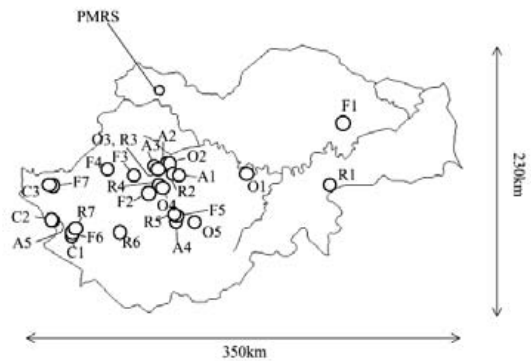


図2 Jambi 州に設定した広域調査地

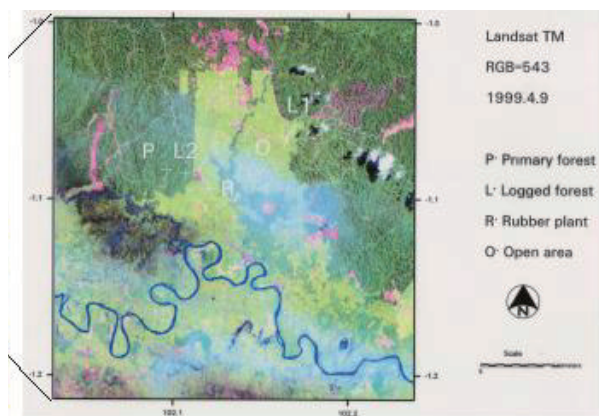


図3 典型的な土地被覆の衛星画像



写真1 温室効果ガスの計測

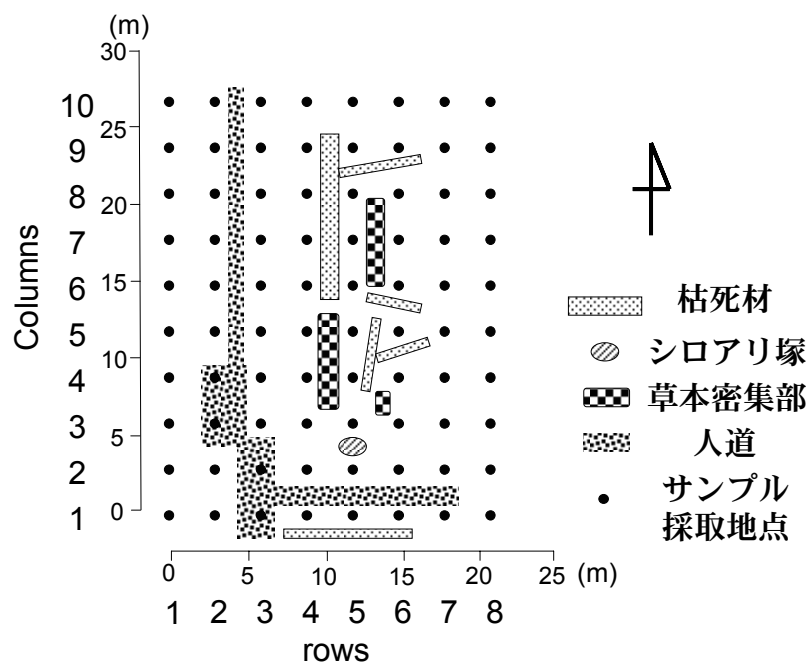


図4 最も狭いスケールでの観測点(3m 間隔の交点で観測)

東南アジアの森林火災を衛星で早期発見・通報

背景と目的

東南アジアでは火災によって、数百万 ha の森林が焼失した年もあります。森林火災は森林資源の枯渇をもたらすだけでなく、近隣諸国に煙害をもたらすため、国際的な問題となっています。森林管理に火を使うことを法的には制限している国もありますが、現場での実際の取り締まりや消火活動には適切な情報が必要です。そこで、衛星データを利用して森林火災を早期に発見し、通報する自動処理システムを開発しました。

成果

人工衛星 NOAA は地球上全ての地点を毎日昼と夜に観測でき、地表の温度観測が可能です。また、米国気象衛星 DMSP は夜間の光を捕らえることができます。これらの衛星データを、アジア太平洋高度ネットワーク (APAN) の協力を得て、準リアルタイムで入手するシステムを構築しました。

衛星データは、衛星の航路、観測時の姿勢、地球の自転などによって地理的に歪んだ画像データになっています。そのような補正処理も含めて衛星データから森林火災を発見する一連の処理を行うため、農林水産省研究計算センターの「衛星情報データベース (SIDaB)」も利用して、完全に自動的に処理するシステムとして開発しました。

東南アジアでは農地の火入れも日常的に行われているため、それらは火災とは言えません。そこで、夜間にも燃えている箇所 (温度の著しく高い場所や新たに出現した明るい光) を火災地点 (ホットスポット) として発見することにしました。

そこで、夜に観測された NOAA と DMSP 衛星データを処理し、消火活動を開始する早朝までに関係機関にそれらの情報を配信できるようにしました。

関係国のインターネットの整備状況は十分ではなかったため、関係機関には火災発生地点の場所 (緯度経度) などを記載した電子メールだけを送るようにしました。一方、ネットワーク回線が十分なところでは画像データも確認できるように、ウェブページ上で同時に処理画像も公開するようにしました。

完全自動化されたこの処理システムを毎日継続的に運用し、東南アジア森林火災の監視に役立ててきました。

また、しばしば同時に多数の火災が発生するため、消火活動の優先度の判断材料として、火災が付近に燃え広がりやすいかどうかを示す延焼危険度図も衛星データから作成する手法を開発し、提供しました。

成果の特徴と利活用

タイ及びインドネシアと共同で実用的なシステムとして開発し、メールやウェブページ上での情報配信を行ってきました。特に、JICA のインドネシア森林火災予防計画に成果が反映されました。また、FAO の世界の森林火災情報の情報源として登録され、活用されてきました。

プロジェクト情報

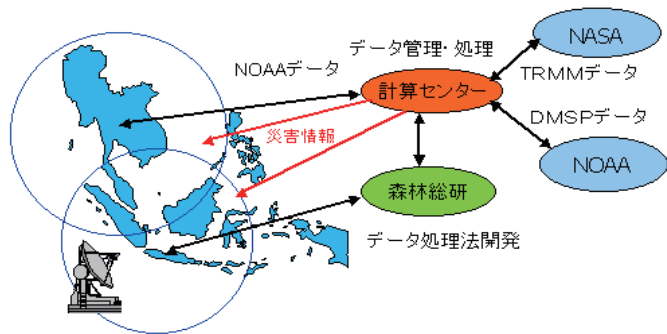
リアルタイム地球観測衛星データ高速通信・高速演算配信によるアジア太平洋防災ネットワークの開発 (平成 10～13 年) 科学技術振興事業団受託

主な発表文献

沢田治雄監修, 地球観測衛星を利用したアジア太平洋地域の農林災害情報ネットワーク、森林総合研究所、2002

図1 衛星データの受信と火災情報の配信ネットワーク

TRMM: 熱帯降雨観測衛星
 DMSP: 米国気象衛星
 NOAA: 米国海洋大気庁
 NASA: 米国航空宇宙局



Detecting fire in Sumatra (Mar 07 2003)

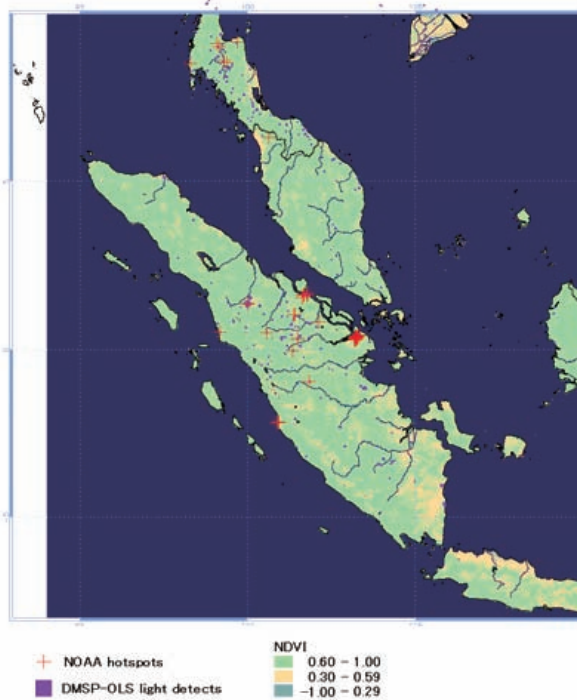


図2 森林火災発生箇所を示すウェブページの上の図面

(インドネシア・スマトラ島:
 赤いマークの付いたところが火災地点)

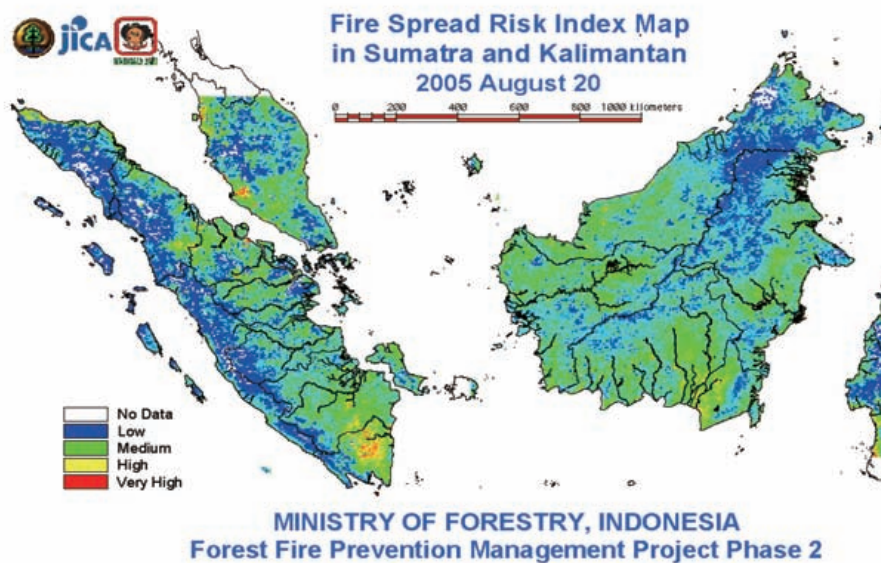


図3 JICA インドネシア森林火災予防計画に採用された火災危険度図
 (赤いところほど火災発生の際に延焼する危険度が高い)

衛星データで評価するボルネオ島における森林火災の影響

背景と目的

1997 年から 1998 年にかけての非常に強いエルニーニョ南方振動現象の影響による異常乾燥は、住民による焼き畑や産業造林のための火入れ等からの延焼によりボルネオ島やスマトラ島で大規模な森林火災を引き起こし、森林の物質生産性や生物多様性に対して多大な影響を及ぼしました。そこで、ボルネオ島東部を対象として、この大規模火災が森林に与えた影響について衛星データを用いて評価しました。

成果

ボルネオ島東部では、人為的要因による火が森林域に入り込み大規模な森林火災を起こしています。そこでまず森林域周辺の土地被覆状態を把握するため、1998 年 1 月および 2 月の衛星データを用い、雲の部分の補完しあって雲の影響を軽減し、土地被覆分類を行いました(図1)。

森林火災後の森林の回復過程を明らかにするため、火災の被害の程度に応じて対象地域に 52 カ所の円形プロットを設定し、現地調査を行いました。調査では、葉面積指数(LAI)を算出するために全天写真の撮影を行い、林分構造を把握するために断面積

合計の推定、枯死木のカウントおよび最大樹高の測定を行いました(図2)。次に、火災後の森林植生の回復を評価するため、火災前に天然林であった地域について、火災後のデータから正規化植生指数(NDVI)を算出しました。この値と LAI の値との関係进行分析したところ、上層の林木が被害を受け下層植生が増加するに従って、NDVI が増加する傾向が見られました(図3)。この結果をもとに、NDVI を 5 クラスに分けて天然林全体の火災の影響の評価図を作成することができました(図4)。

成果の特徴と利活用

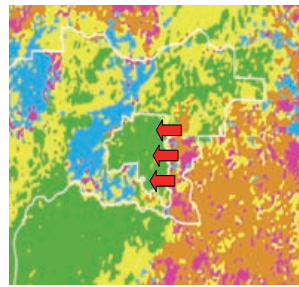
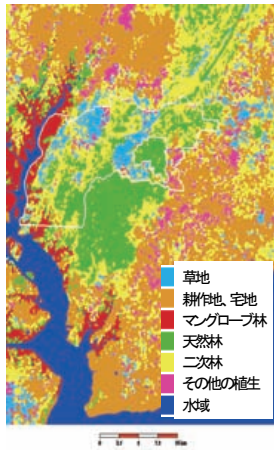
1年を通して雲量の多い熱帯域において衛星データから雲の影響を軽減する方法を示し、大規模火災の森林に対する影響を NDVI を用いて可視化することを可能にしました。

プロジェクト情報

森林火災による自然資源への影響とその回復の評価に関する研究(平成 12～14 年)環境省受託

主要な発表文献

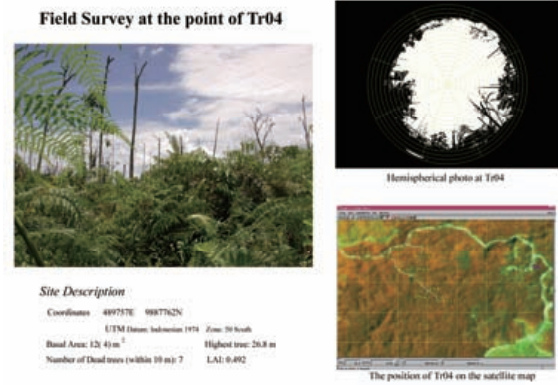
平田泰雅ら, 日本リモートセンシング学会学術講演論文集、32、7-8, 2001



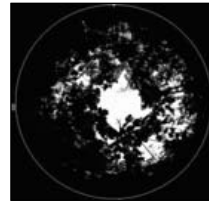
- 1998年2月11日の衛星データ
- 現地でのヒアリングにより確認
- 人間の活動エリアからコントロールできなくなった火の侵入
- 複数回、火が侵入し、一度被災した地域は火が入りやすく燃えやすい

図1. 土地被覆分類図と火災の天然林への侵入経路

図2. 調査プロットに関するデータベースの作成



Tr 7
沢沿いでほとんど火災の被害を受けていない



Tr3
尾根沿いでかなり強度の火災の被害を受けている
パイオニア樹種が火災後侵入して繁茂している

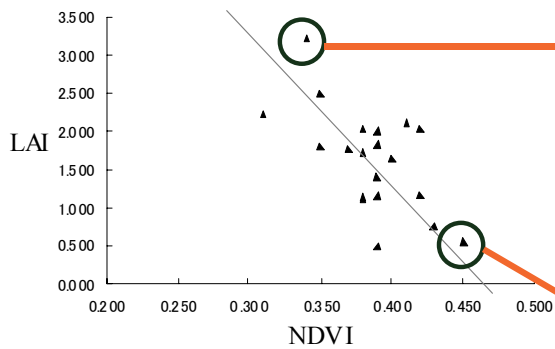


図3. 火災後の森林の回復過程の解明

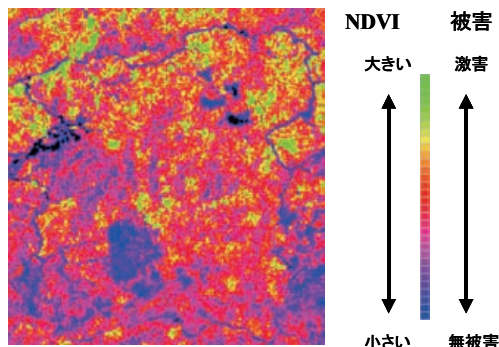


図4. 天然林における NDVI を用いた被災程度の評価

昆虫や菌類にも大きな影響を与えたインドネシア森林火災

背景と目的

インドネシアでは 1997～98 年にエルニーニョの影響により過去最大規模の森林火災が発生し、特にカリマンタン島とスマトラ島では大きな被害が発生しました。そこで、森林火災が生物相、特に昆虫相、菌類相に与えた影響と火災後の回復状態を明らかにするため、火災被害の大きかった東カリマンタン州のブキットバンキライを調査地に選定し、腐生菌類、菌根、昆虫群集の調査を行いました。

成果

無被害林で 71 種、軽度被害林で 69 種、重度被害林で 68 種の腐生菌類が確認され、種数には差がほとんどありませんでしたが、種構成に違いがみられました。重度被害林の谷筋では早生樹の倒木の発生により多くの菌類種が確認されましたが、尾根筋では少数の特異な菌類のみが確認されました。また、被害林には 40℃ 以上でも生育が可能な高温性菌類や乾燥耐性の高い菌類が多くみられることを明らかにしました。

菌根の多くは地表近くのごく薄い腐植層内に分布するため、一般的には火災によってダメージを受けやすいと言えます。しかし、被災 3 年後に軽度被害林の宿主樹木の近くで無被害林と同等の菌根形成が局所的に見られることがあり、極相的

な種も出現したことから被災前の菌根菌の生存が示唆されました。一方、菌根が検出されなかった重度被害林でも 4 年後には先駆的な種が出現し、再定着が起こっていることが分かりました。

カミキリムシ類の捕獲調査を *Artocarpus* 属樹木の枝を用いたトラップ等を設置して行った結果、被災 3 年後では捕獲した種数と個体数には大きな差は認められませんでした。しかし、種構成は異なり、無被害林や重度被害林で多く捕獲される特定の種が見いだされ、これらは被害の指標種になると考えられました。4 年後、重度被害林ではカミキリムシ相に回復の兆しはありませんでしたが、軽度被害林では天然林に近いカミキリムシ相に多少変化していました。

成果の特徴と利活用

森林火災が腐生菌類、菌根、カミキリムシ類に与えた影響が明らかになり、森林環境変化の指標となりうることが分かりました。これらの生物指標は火災後の森林の回復度の判定等に利用できます。

プロジェクト情報

森林火災による自然資源への影響とその回復の評価に関する研究（平成 12～14 年）環境省受託



図 1: 森林火災重度被害林



図2: 軽度被害林の土壌と菌根. 黒い炭化した層の上に新しい有機物層が蓄積されている

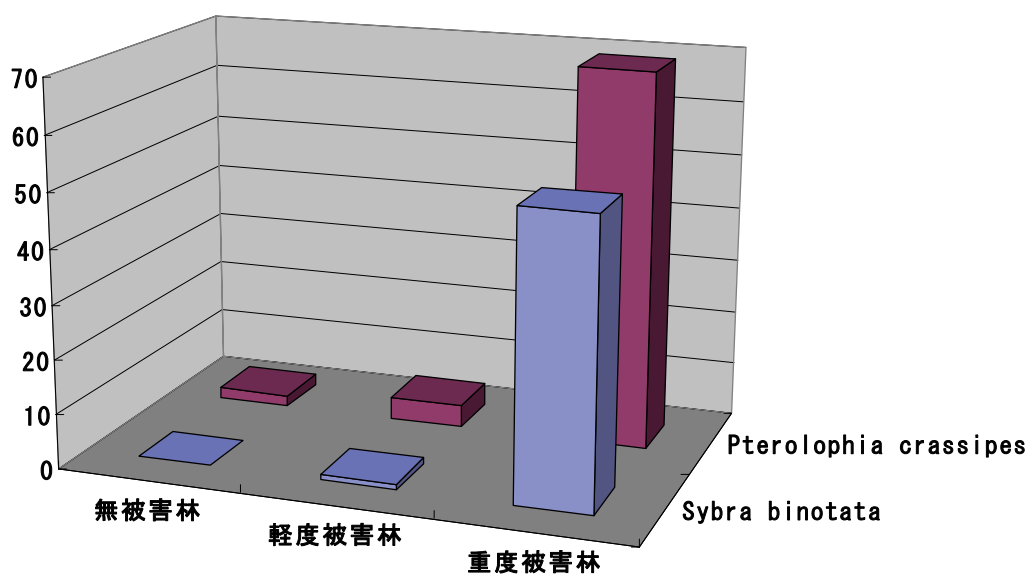


図 3: 代表的な重度被害林の指標カミキリムシ種
(重度被害林に多い特定の種が見い出された)

個体密度維持が重要な遺伝的多様性の保全

背景と目的

東南アジアの熱帯林はこれまで減少の一途をたどり、現在では持続的な森林の保全をどのように行うかが重要な問題となっています。そのために、DNAマーカーを用いて、東南アジア熱帯林の主要構成樹種であるフタバギ科樹木の交配様式及び遺伝子流動状況を把握し、保全のための遺伝的ガイドラインの基礎資料を充実させることを目的に本研究を実行しました。

成果

マレー半島のセマンゴック丘陵林に設定してある4haの択伐林と6haの天然林で、マイクロサテライトマーカー*を用いて丘陵フタバギ科樹種であるセラヤ(*Shorea curtisii*)の交配様式を調べました。その結果、天然林では他のフタバギ科樹木と同様90%以上の高い他殖を維持していましたが、セラヤが対象となった択伐林では約50%が自殖によって種子が生産されている状態でした。また天然林と択伐林で種子世代の遺伝的多様性を比較したところ、択伐林では花粉親から受け取る対立遺伝子の種類が明らかに少ないことがわかりました。これらの結果は伐採によって母樹の個体密度が低下することにより送粉者が花粉を他の母樹へ運ぶことができないためであると考えられました(図1)。この結果

から伐採林ではセラヤの花粉による遺伝子流動は著しく減少することが明らかとなりました。

近交弱勢の程度を調査するため、マレーシア・パソの40haプロットに生育しているフタバギ科のチェンガル(*Neobalanocarpus heimii*)から母樹別に種子を収集し、マイクロサテライトマーカーで自殖と他殖種子を判別しました。自殖種子は他殖種子に比べ平均重量が軽く、発芽試験でも自殖由来の種子の発芽率が低いなど、近交弱勢が種子の発育から発芽、生育段階のどのステージでも発現していることが明らかになりました。これらの結果から、フタバギ科植物の保全のためには、自殖を多くしないための適切な個体密度の維持が重要であることがわかりました。

成果の特徴と利活用

択伐などによる森林の攪乱が自殖種子を多くし将来の森林の遺伝的多様性を減少させるため、遺伝的多様性の維持には適正な個体密度が重要であることが明らかになりました。マレーシアのフタバギ林の保全のために、これらの成果を適正な個体密度算出に利用します。

プロジェクト情報

熱帯雨林の遺伝的多様性の指標化に関する研究(平成14～18年)環境省受託、
東南アジア熱帯林の断片化による遺伝的多様性への影響評価(平成15～17年)科研費

主な発表文献

津村義彦ら, Pasoh -Ecology of a Lowland Rain Forest in Southeast Asia, Springer-Verlag Tokyo, 285-292, 2003

注: マイクロサテライトマーカー : DNA数個を単位とする短い配列の縦列的な繰り返しのこと

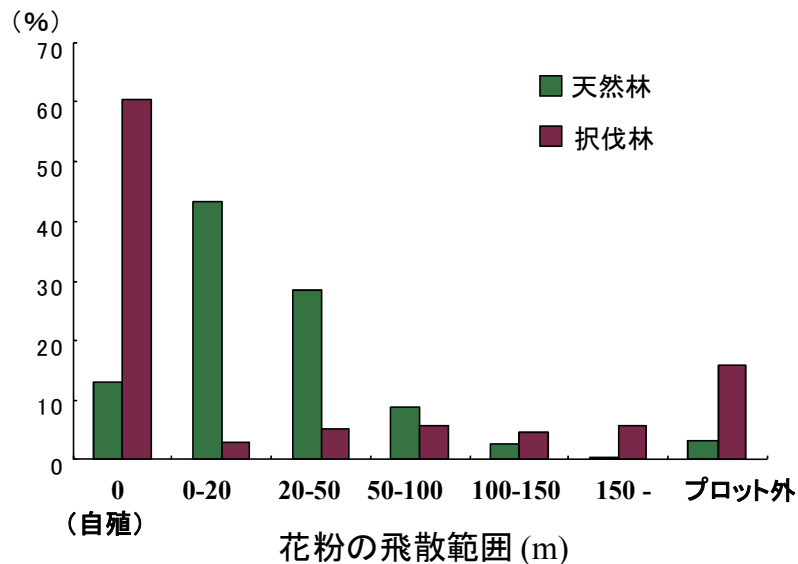


図-1 フタバガキ科樹種のセヤラ (*Shorea curtisii*) の天然林と択伐林で推定された花粉の飛散範囲

セヤラの遺伝子流動の結果、天然林では他殖率が高く、母樹から 100m の範囲から受粉しているが、択伐林は自殖が 50%以上になっている。これは択伐林で伐採の結果、個体密度が低くなったため、他の個体からの花粉の供給が十分でなかったため。(自殖とは自分自身の花粉で受粉し種子を作ること、他殖とは自分以外の花粉で受粉し種子を作ること)

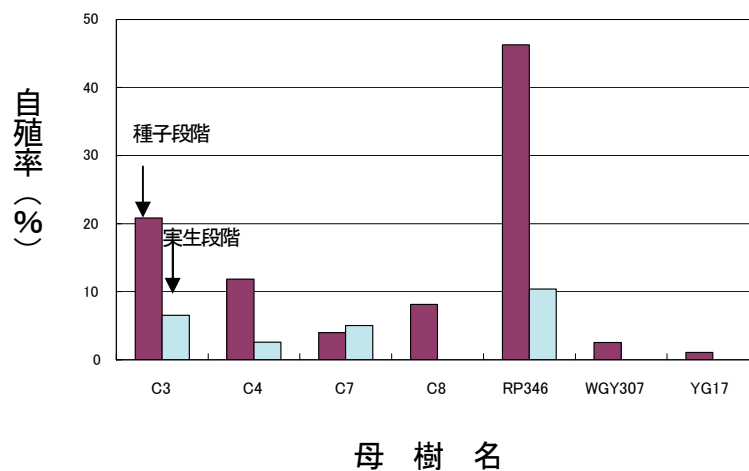


図-2 フタバガキ科樹木のチェンガル (*Neobalanocarpus heimii*) の7母樹由来の種子と実生での自殖率の違い。

母樹別に集めた種子とそれらの実生における自殖または他殖の個体の割合を示す。ほぼ全ての母樹で種子段階に比べ実生段階で自殖個体が減少し、近交弱勢が発芽段階で強く発現している。(近交弱勢とは近縁関係がある個体同士で交配した場合に有害遺伝子がホモ接合になり弱勢を示す現象)

山火事と乾燥に適応して形成されるタイの熱帯季節林

背景と目的

乾季と雨季の交代が明瞭な熱帯モンスーン地帯には、乾季に落葉する樹種が見られる熱帯季節林が広く存在しています。落葉混交林(MDF)は、タイに広く見られる熱帯季節林の1つですが、過去の伐採に加えて、乾燥化や山火事の頻発などの人為的攪乱による森林の劣化が大きな問題となっています。この森林の更新には、林床に優占するタケの一斉開花枯死という生活史と乾季における山火事が大きく関わっていると考えられ、劣化した落葉混交林の回復には、その関わりの実態を理解することが欠かせません。そこで、この研究では樹木実生のタケによる庇陰効果と山火事による攪乱への落葉混交林の主要樹種の反応を、野外実験によって解き明かしました。

成果

落葉混交林(MDF)を構成する常緑と落葉樹木6種を対象にタケの庇陰との関係を調べた結果、実生の成長速度と生残率は、タケの存在しないギャップ内で、タケの生育する閉鎖林冠下に比べ、高いことが確認できました。しかし、斜面下部に分布するほぼ常緑の *Dipterocarpus alatus* と *D. turbinatus* の2種は、閉鎖林冠下でも比較的高い生残率を維持していました。また、乾季における実生への給水は生残率を有意に高めたことから、水分条件の良い立地への要求が強いこと、実生は地表火の後すべて死亡したことから、耐火性が弱いことが分かりました。対照的に、落葉性の4種(*Shorea siamensis*, *Pterocarpus macrocarpus*,

Xylia xylocarpa var. *kerii*, *Sterculia macrophylla*)は、タケによって庇陰された閉鎖林冠下では生残率が著しく低下しましたが、地表火の後でも萌芽によって多くが再生しました。また、光条件の良いギャップ内の実生は、乾季の生残率と地表火を受けた後の生残率が、閉鎖林冠下の実生に比べて高くなりました。ギャップ内の実生は、閉鎖林冠下の実生よりも地下部が発達し、火事後の萌芽能力を支えていると考えられました。これらの結果から、タケの一斉開花枯死と林冠ギャップ形成による林床の光環境の好転は、これら4種のような落葉樹の更新にとって重要であることが分かりました。

成果の特徴と利活用

これまでの研究成果は、タイ側共同研究者を通じて、カセサート大学林学部、王室林野局、研究評議会などに提供し、荒廃した落葉混交林の回復技術の開発にあたって活用されることを期待しています。

プロジェクト情報

タイ熱帯季節林の更新・維持に及ぼす山火事・タケの一斉開花の影響の解明(平成14~17年)科研費

主な発表文献

Marod,D.ら, Journal of Vegetation Science, 15: 691-700, 2004

Marod,D.ら, Plant Ecology, 161: 41-57, 2002



図1. 高木性の樹木の下層をタケが優占するタイ落葉混交林の林相。中央左の白い花が咲いている樹木は、サルスベリの仲間 (*Lagerstroemia* 属)。



図2. タケが一斉開花枯死して明るくなった落葉混交林の林床。樹木密度が低いので、大部分の林床はタケの枯死後、林冠ギャップの状態になる。

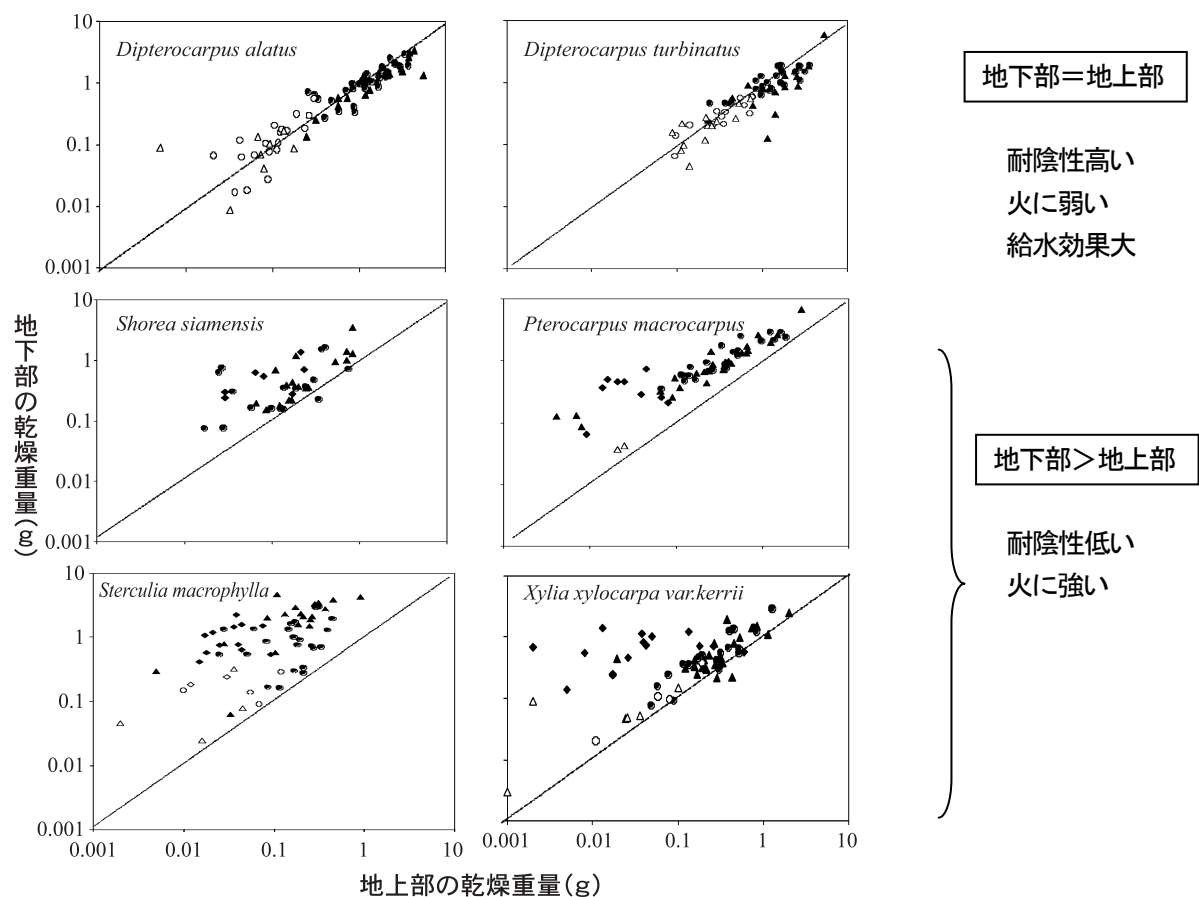


図3. 落葉混交林を構成する6種の樹木実生の地上部の乾重と地下部の乾燥重量の関係。○、△、◇は、それぞれ乾季に給水、無処理、乾季に地表火の三処理。黒いシンボルはギャップ内、白抜きシンボルは閉鎖林冠下。

皆伐後樹種が入れ替わるマレーシア熱帯低地林

背景と目的

東南アジアの熱帯低地林は、世界的にも樹種がきわめて多く、伐採後に元の樹種組成に回復するかが危ぶまれています。伐採された森林を元の種多様性の高い森林に回復させるには、伐採に対する各樹種の反応を明らかにし、伐採という攪乱を更新にうまく利用できる樹種と、利用できない樹種を区別して、伐採が熱帯低地林に与える影響を明らかにしなければいけません。

成果

1970年代にマレーシアで行われた国際生物学計画(IBP)で、マレーシア半島のパソー保護林の一部が1973年に伐採され、現存量が測定されました。この皆伐跡地(20 m×100 m)を調査地として1996年に再度、同じ場所で調査を行いました。伐採前と後では樹種組成は劇的に変化し、1971年と1996年の出現種の中で共通する樹種は、胸高直径10cm以上ではたった4種、胸高直径5cm以上では23種でした(図1)。1971年に82種が確認されていたので、その多くは未だに回復していないことになります。皆伐前に優占していた *Koompassia malaccensis*, *Dipterocarpus comutus* や *Shorea macroptera* などのマメ科やフタバガキ科の樹冠に突出した大径木はなくなり、*Endospermum*

diadenum, *Macaranga hosei*, *Macaranga conifera*, *Melicope glabra*, *Pternandra echinata* などのトウダイグサ科の樹木に入れ替わってしまいました。

これらの樹種は伐採後の空間をうまく利用して更新しましたが(図2)、元々の優占種はこの空間を利用できていなかったようです(図3)。同じフタバガキの樹種でも *Shorea leprosula* は更新しており、同じ科や属でも、伐採に対する反応は違うことがわかりました。このように伐採に対する反応は樹種ごとの違いが大きく、特に低地フタバガキ林を代表するような大木となる樹種は、自然の遷移に任せっていると、回復するには長い時間がかかることが予想されます。

成果の特徴と利活用

この成果は劣化した熱帯林の復元のために重要な情報としてマレーシア森林管理者に提供しました。劣化した森林の回復には、まず種組成を確認し、攪乱に弱い種の回復具合を見極め、攪乱に対する樹種の特徴を考慮した補助作業や補植などの追加的な手法を取ることが大切であることを示しました。

プロジェクト情報

熱帯域におけるエコシステムマネジメントに関する研究(平成14～18年)環境省受託

21世紀の炭素管理に向けたアジア陸域生態系の統合的炭素収支研究(平成14～18年)環境省受託

主要な発表文献

新山馨ら, *Pasoh Ecology of a lowland Rain Forest in Southeast Asia*, 559–568, Springer-Verlag Tokyo, 2003



図1 最近のパソ保護林。左：林床、右：地上30mのフォレストタワーから

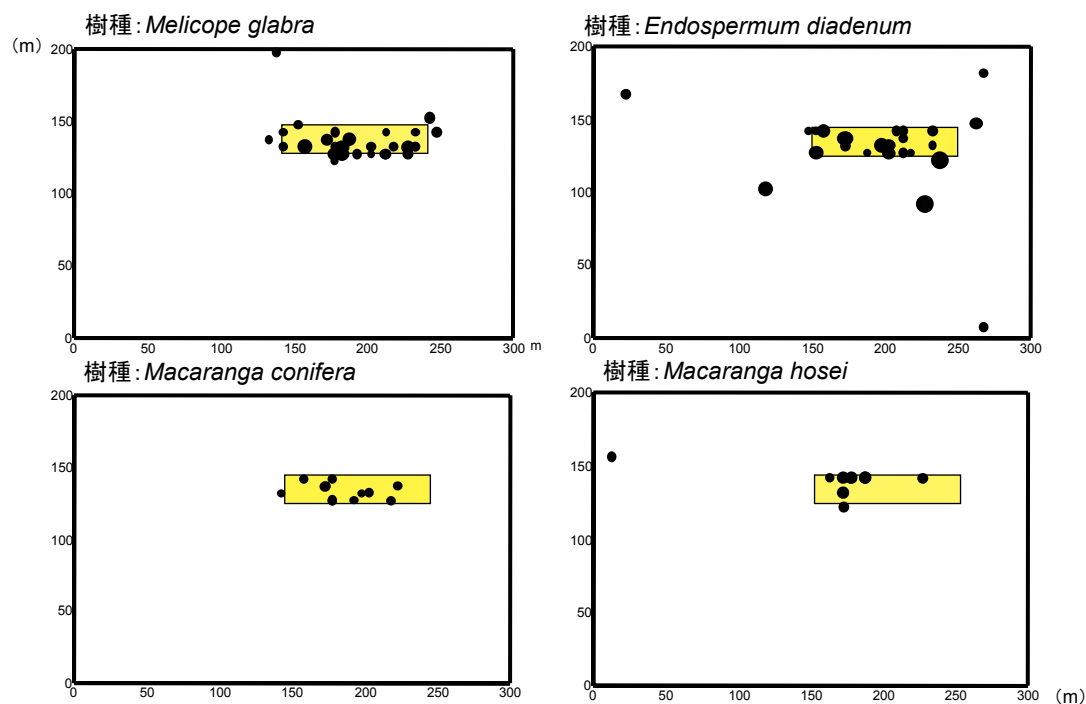


図2 皆伐跡地を更新によく利用できた樹種（黒丸）は黄色で示した伐採箇所によくの生育が見られ、白で示した森林内部には少ない。

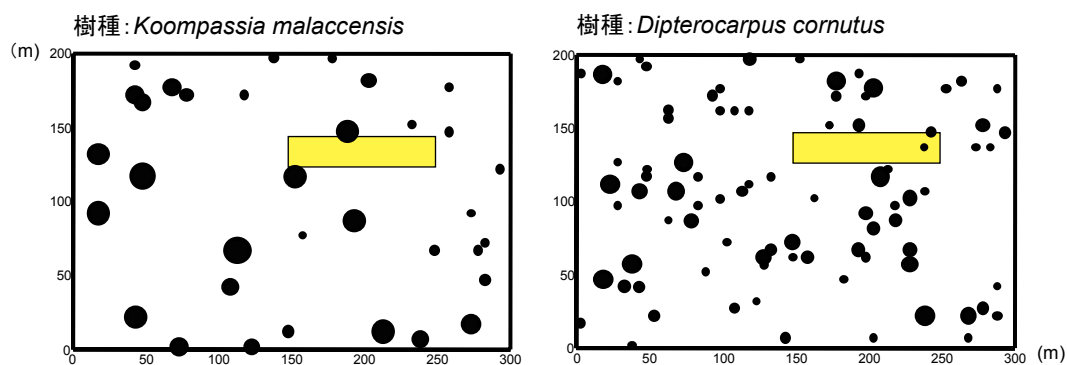


図3 皆伐跡地を更新にうまく利用できなかった樹種（黒丸）は黄色で示した伐採箇所での生育が少なく、白で示した森林内部に多い。

熱帯の先駆性樹種は光環境変化に速応する

背景と目的

熱帯は世界の重要な木材供給源の一つです。しかし伐採後に火入れされたりして、更新がうまくいかない、荒廃した熱帯林が広がりつつあります。荒廃地植林を行う場合、一般的には乾燥しないよう被陰ネット下で苗木を育てた後に、明るく乾燥した場所に植栽します。その際稚樹は、急激に強い光をあびることによる障害や、乾燥に対するストレスを受け、枯死する場合も多くあります。そこで稚樹を弱光下から明るい場所に移した際の、強光や乾燥ストレスに対する適応機能を明らかにし、荒廃熱帯林を再生する技術を高めていく必要があります。

成果

熱帯性の稚樹を弱光から強光に移した際に起きる、ストレスの受けやすさの違いやその適応機構を調べるため、強い光環境に適応した先駆性樹種2種(*Trema* 属、*Macaranga* 属)と、強い光をあまり好まない遷移後期樹種フタバガキ科(*Shorea* 属)の4種の稚樹を用いて、比較実験を行いました。特に乾燥ストレスにかかわる、生理特性(根の通水性、葉の浸透調節能)と形態特性(葉重/葉面積比、細根面積/葉面積比)を比較しました。根の通水性に関しては、細胞膜の水の透過ゲートとなるタンパク質(アクアポリン)の寄与も同時に測定しました。

その結果、弱光条件から強光条件に移動した後、蒸散が大きくなるにも関わらず、どの樹種で

も根の通水性は低下しました(図1)。弱光条件での高い根の通水性は、根のアクアポリン活性が高いためと考えられました。どの樹種も葉の浸透ポテンシャルは低下し、葉の吸水機能を上げ、細根面積/葉面積比も増加し吸水効率も上げていました。また根の通水性が低い個体ほど、葉の浸透ポテンシャルは低く、細根面積/葉面積比は大きくなっていました(図2)。これらの強光環境への移動後の、根の通水性や生理・形態特性の変化率は、先駆性樹種で大きく、遷移後期樹種で小さくなりました(図3)。生理特性や形態特性を素早く大きく変えられることが、先駆性樹種がより明るく大きなギャップ地に適応できる機構であることがわかりました。

成果の特徴と利活用

細胞膜の水の透過ゲートとなるタンパク質(アクアポリン)は1992年に発見され、2003年発見者にノーベル化学賞が授与されているものです。アクアポリンは人を含む動物、植物、菌類といったすべての生物が持っているものですが、今まで造林や生態的な場面で、アクアポリンがどのように機能しているかはまったく調べられていませんでした。今後のアクアポリンの機能の解明やその利活用は乾燥地での生産向上に期待されています。

プロジェクト情報

荒廃熱帯林のランドスケープレベルでのリハビリテーションに関する研究(平14~16年)環境省受託

主な発表文献

清水美智留ら, *Oecologia*, 143: 189–197, 2005

石田厚ら, *Tree Physiology*, 25: 513–522, 2005

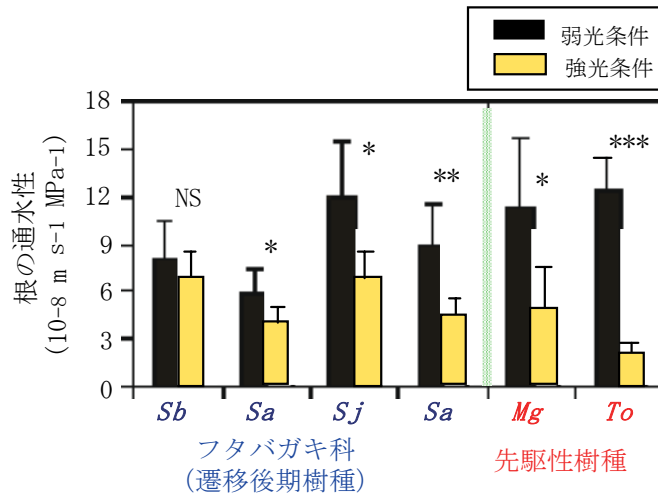


図1 根の通水性(単位根面積当たり、単位圧力当たり、単位時間当たりの水の通りやすさ)。弱光条件の稚樹(黒色)と、弱光から強光条件に移して数か月後の稚樹(黄色)の値。

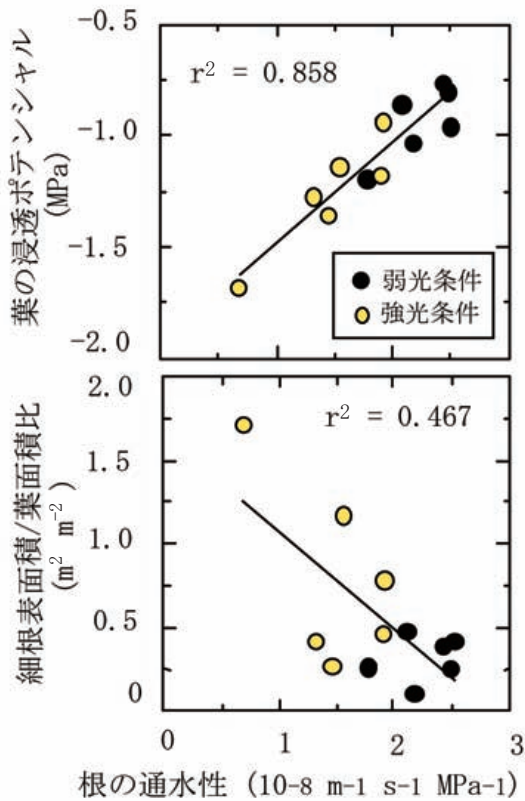


図2 根の通水性と、飽和水時の葉の浸透ポテンシャル(上段)、個体当たりの細根表面積/葉面積比(下段)。

弱光条件の稚樹(黒丸)と、弱光から強光条件に移して数か月後の稚樹(黄丸)の、それぞれの樹種の平均値。

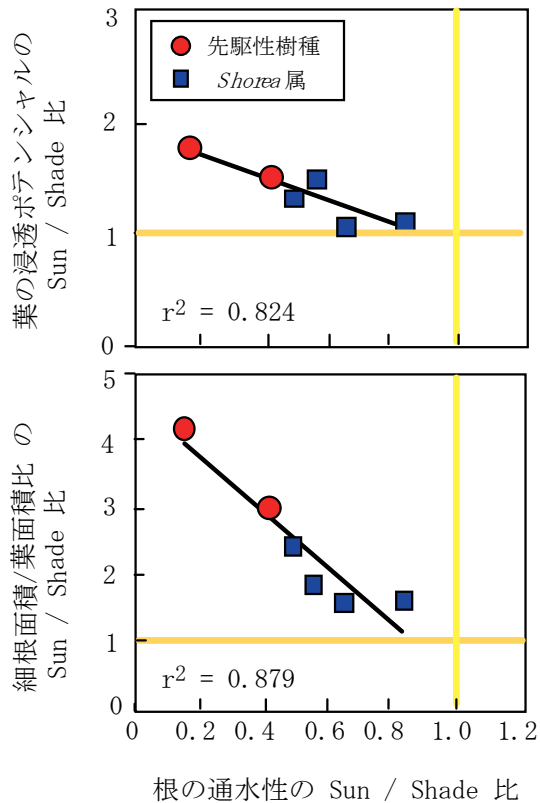


図3 根の通水性と、飽和水時の葉の浸透ポテンシャル(上段)、個体当たりの細根表面積/葉面積比(下段)の、強光条件稚樹(Sun)/弱光条件稚樹(Shade)の比。比の値が1より大きくずれるほど、強光変化下に大きく変化したことを示す。

先駆性樹種の稚樹(赤丸)と、遷移後期樹種のフタバガキ科稚樹(青四角)の、それぞれの樹種の平均値。

地球温暖化対策にも貢献する乾燥地造林技術

背景と目的

熱帯林の減少が地球環境問題として取り上げられるようになって久しいですが、熱帯林生態系の荒廃はむしろその速度を増しています。このような荒廃地を自然資源の持続的利用が可能な土地として修復することは緊急かつ必須の課題です。そのため、熱帯荒廃林地回復のための樹種の諸特性の解明と既存技術の総合化および造林技術の開発を行いました。

成果

西オーストラリア州レオノラ近郊の乾燥地（Sturt Meadows、平均年間降水量 200mm 前後）で、塩湖を中心とした流域内およそ 50km 四方を調査実験地としました。地形、植生を考慮して 12 の調査サイトを設け（図1）、毎木調査と伐倒調査を行い、現存植生量、成長速度を推定しました。主な樹種は *Eucalyptus camaldulensis*（ユーカリ）、*Acacia aneura*（アカシア）、*Casuarina obesa*（モクマオウ）です。優占種の樹液流量と肥大成長を連続測定し（図2）、光合成、蒸散、幹呼吸、葉水分ポテンシャルなどの生理特性およびリターの落下量と分解速度を明らかにしました。その結果、炭素固定増大を目的にした植栽樹種には、ユーカリとモクマオウが好適であることがわかりました。この2種間には、水分に対する成長特性の違いがあることから、植栽場所の立地（特に土層の厚さ）に応じて効果的な育成法をとる必要があります。

ユーカリは、地下水が得られる深さまで早期に根を伸長させることが肝要で、不透水硬質土層（ハードパン）破碎後に植栽し、活着まで灌水することが基本となります。モクマオウはより浅根性であるため、地下水の位置が深い場合は、育成管理が難しく成長量も劣ります。しかし、同量の水分供給が得られる場合はユーカリよりも成長量が勝ることから、表土層の厚さが十分かつ 2m 以内で、根域に水分を連続供給できる場合は、モクマオウ植栽の方が水利用効率の面で有利です。水分管理が成長にもっとも大きな影響を与えることがわかり、樹種ごとの植栽方法や活着・成長を始めるまでの初期育成方法をほぼ確立できました（図3）。また、コスト計算を行い、ユーカリでは 1 トン C/ha の炭素固定を 1 万円程度のコストででき、広域に植林が行われれば、よりコストダウンができることがわかりました。

成果の特徴と利活用

ハードパン破壊による土壌の物理性改善や灌水法の改良で水利用効率を向上させ、1 トン C/ha の炭素固定を 1 万円のコストでできる事を示し、炭素固定取引におけるこの技術の実用性を示しました。

プロジェクト情報

植生システム研究（平成 10～15 年）文科省受託：陸域生態系の活用・保全による温室効果ガスシンク・ソース制御技術の開発（平成 15～19 年）環境省受託：荒漠地における持続可能型バイオマスエネルギー資源創出技術の研究開発（平成 17～18 年）（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）受託

主な発表文献

- 別途 菅沼秀樹ら, Forest Ecology and Management, 222: 75–87, 2006
- 田内裕之ら, Journal of Arid Land Studies, 15: 267–270, 2006
- 宇都木玄ら, Journal of Arid Land Studies, 15: 271–274, 2006

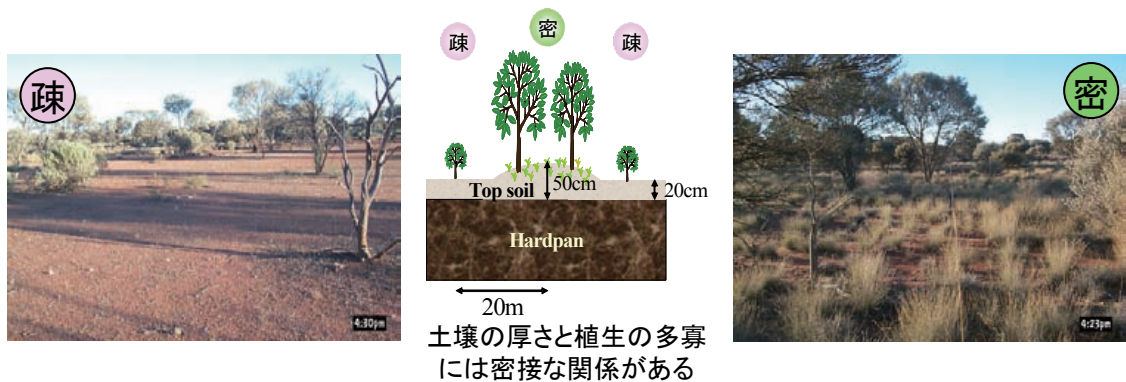


図1. 調査地域の概況(西オーストラリア州の*Acacia aneura*林)

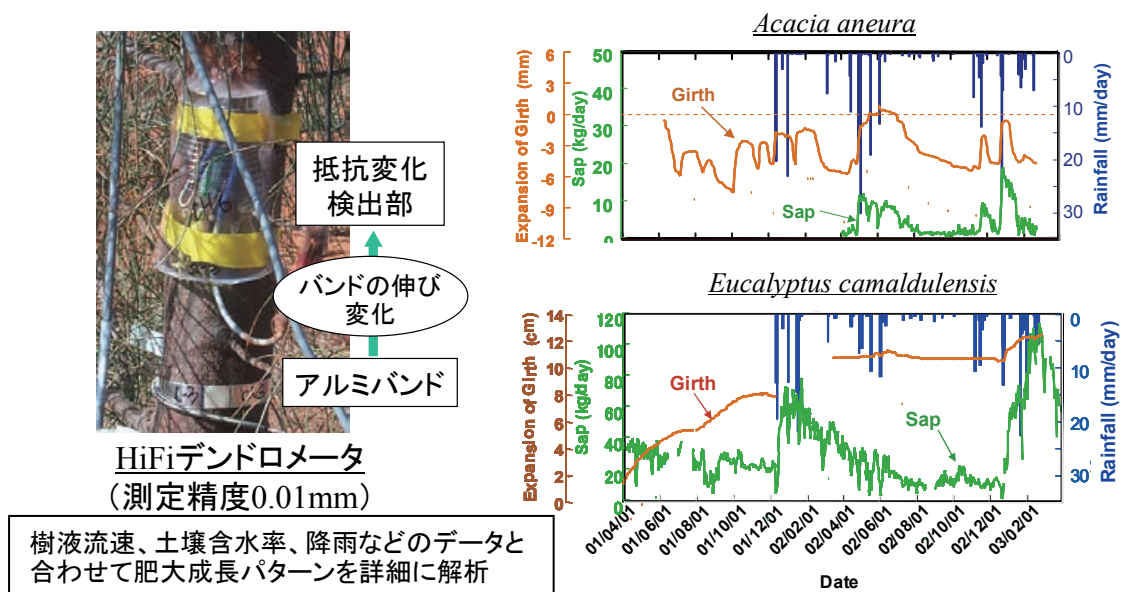


図2. 自記式デンドロメータによる肥大成長の連続測定

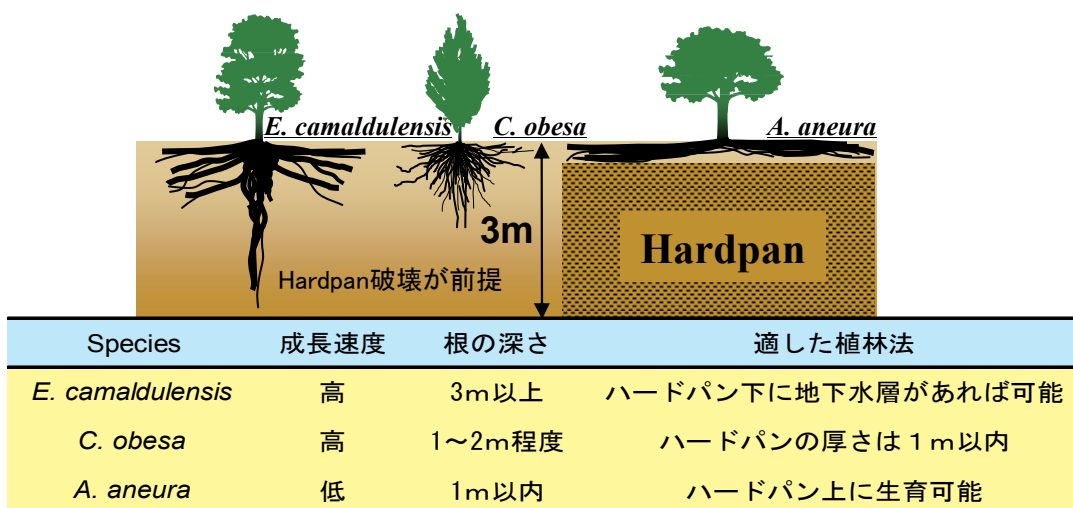


図3. 乾燥地における植林候補樹種の根の特性と植林法

熱帯林の修復: 成功の鍵

背景と目的

熱帯諸国では、森林産物や環境サービスへの需要を満たすため、政府機関、国際機関、民間団体等による荒廃した森林を修復する取り組みが増加しています。規模、目的、背景となる社会経済および環境条件、実施戦略等が異なるさまざまな森林修復の取り組みがあり、その結果もさまざまです。森林修復の成功と修復された森林の持続的利用のためには、これまでに実施されてきたこれらの森林修復の取り組みの経験に学ぶ必要があります。国際林業研究センター(CIFOR)に研究員を派遣し、ブラジル、ペルー、中国、インドネシア、フィリピン、ベトナムの6カ国の政府機関、研究機関、住民組織、NGO等と協力して、森林修復の成否の鍵となる要因、今後の課題に関する研究を実施しました。

成果

中国、インドネシア、フィリピン、ベトナムでは、数十年にわたり森林修復に取り組んでいます。1970年代半ばまでは政府が事業の実施に主な役割を果たしていました。1980年代には、国際的な援助による森林修復事業が実施されるようになり、近年は民間企業、地方政府の役割が増えています。また地域住民の参加が重要視されるようになっていきます。

ブラジルとペルーでは、アジア諸国に比べると森林修復の歴史は短く、1990年代に始まりました。農家による小規模な森林修復事業が多く、アジア諸国に比べると政府の役割は大きくありません。また、その多くは、農業、養蜂、魚の養殖などと組み合わせ、地域の人々の生計を

向上するためのプログラムとして実施されています。

6カ国での研究から、熱帯林の修復を成功させるための3つの鍵を見いだす事ができました。その3つとは、1) 地域の組織、機関の強化とプロジェクトへの参加、2) 地域の社会・経済的なニーズに配慮した修復手法の選択、3) 明瞭で適切な制度による支援を保証すること、です。これらの鍵は、それぞれに関連深いもので、さまざまな森林修復事業に共通する成功の鍵なのです。荒廃した熱帯林を修復するためには、関係者全員の参加によってしっかりと計画することが、木を植えるよりも大切なのです。

成果の特徴と利活用

この研究は、現地での調査やワークショップを通じて、森林修復事業に関わってきた人々と共に学ぶかたちで行われました。そのため、研究の過程を通じて森林修復事業を見直し、修正していく機会となってきました。研究成果は、学会や研究集会だけでなく、アジア森林パートナーシップ会合(AFP)のように実務者が参加する会議で発表されました。またCIFORのウェブサイトで公開されていて、今後のさらなる利用が期待されています。

プロジェクト情報

CIFOR/Japan プロジェクト「荒廃熱帯森林生態系の修復」(平成12~16年) ODA

主な発表文献

Chokkalingam ら, One century of forest rehabilitation in the Philippines, 132pp., CIFOR, 2006

De Jong ら, Forest rehabilitation in Vietnam, 76pp., CIFOR, 2006

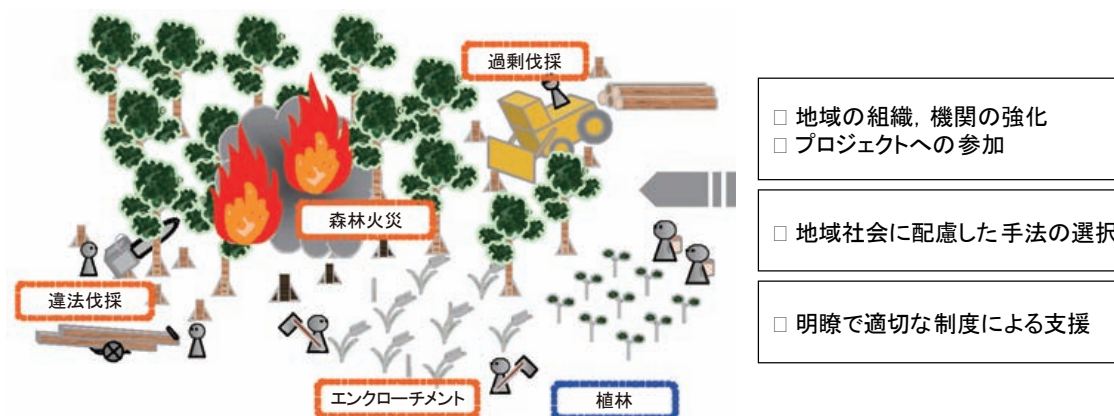


図 1 熱帯林を巡るさまざまな問題と修復へ向けた支援



リーダー
計画



行政
住民
実施
評価

(森林修復事業に関わる人々との対話を重視しながら行われた)

図 2 相互対話による実施プロセス

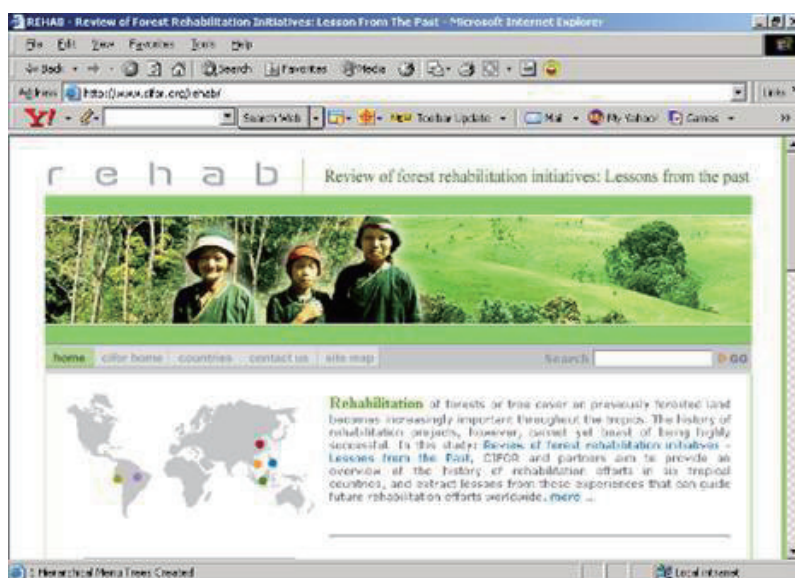


図 3 CIFOR のウェブサイト(<http://www.cifor.cgiar.org/rehab>)

熱帯材の樹種を DNA で識別

背景と目的

違法伐採による熱帯林の荒廃が大きな国際問題となっており、熱帯材を大量に輸入する我が国には、違法伐採及び違法商取引を抑止するための技術開発が求められています。そこで、東南アジアで違法伐採の対象となり、合板として多く輸入されている *Shorea* 属を対象として、木材の解剖学的特徴や化学成分による識別技術を開発するとともに、実際の木材からの DNA の抽出や遺伝子の単離法を開発しました。

成果

Shorea 属はフタバガキ科の中で最も重要なグループで、4つの節に分類され、それぞれがホワイトメランチなどの一般名で使用されています(図1)。

森林総合研究所、マレーシア・サバ森林研究センター、同サラワク州木材研究所が所蔵するレッドメランチの木材標本の結晶を観察しました。放射柔細胞における結晶の有無は樹種ごとに特徴があり(図2)、結晶を拠点として *Rubroshorea* 節以下の識別が可能であることがわかりました。

化学成分について検討した結果、*balanocarpol* や *shorealactone* などのレスベラトロールオリゴマー類が *Shorea* 属に広く分布することが明らか

となりました(図3)。一方、*gallic acid* はレッドメランチからは多量に単離されましたが、その他のグループにはほとんど存在しないことから節の識別指標として有効であることが示されました(図4)。

DNA による識別手法を確立するため、実際の木材からの DNA の抽出や遺伝子の単離を試みました。市販の DNA 抽出キットをもとに、操作方法を改変することで、ラワン材から DNA を単離し(図5)、ミトコンドリア遺伝子を検出しました(図6)。熱処理を受けた木材からも DNA が抽出されることから、合板などの木材製品においても DNA 識別が可能であることが示されました。

成果の特徴と利活用

Shorea 属の組織的特徴や化学的特徴に関する知見は樹種鑑定に活用しています。特にレッドメランチを用いた合板は輸入関税率が他と異なるため、これを識別する技術が求められており、通関の現場への技術移転を図っています。

プロジェクト情報

南洋材の樹種識別及び産地特定の技術開発(平成 15~19 年)交付金プロ

主な発表文献

柴田正志ら, 関税中央分析所報、43:43-49, 2003

伊東聡美ら, 木材工業、59:217-219, 2004

Dipterocarpaceae (フタバガキ科)

Shorea spp. (メランチグループ)

Anthoshorea sect. - ホワイトメランチ - 30種

Richetioides sect. - イエロウメランチ - 40種

Rubroshorea sect. - レッドメランチ - 75種

Shorea sect. - バラウ、セランガンバツ - 45種

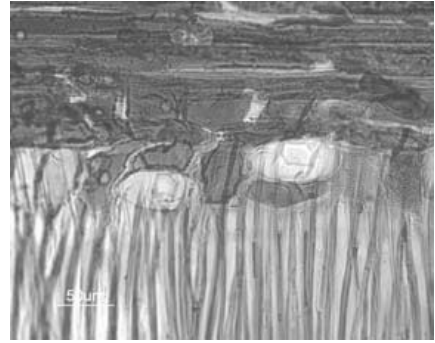


図1 *Shorea* 属の分類と分布

図2 *Shorea johorensis*に特徴的な放射組織における異形細胞中の結晶

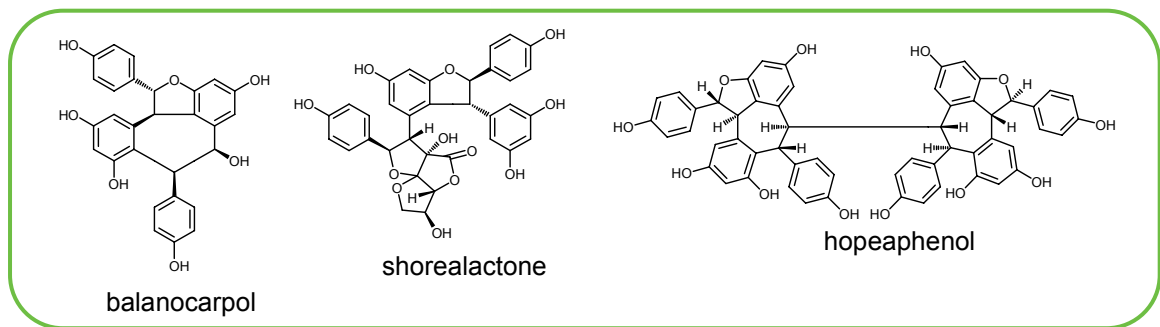


図3 *Shorea*属に広く分布する心材成分

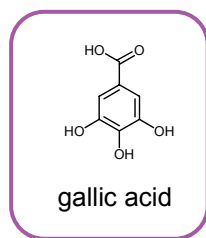


図4 レッドメランチに特徴的な心材成分

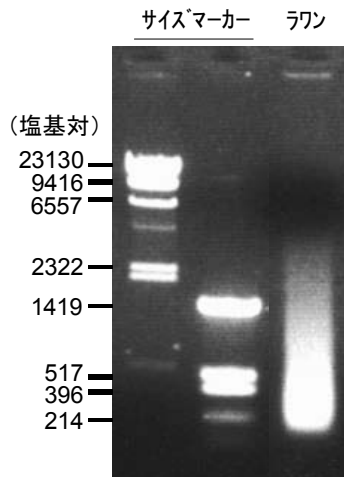


図5 ラワン材から抽出したDNAの電気泳動解析

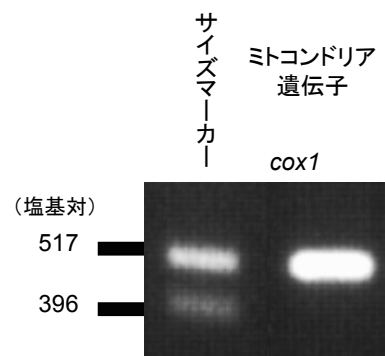


図6 ラワン材DNAからの遺伝子の単離

木材の強度を非破壊的に推定できる技術の普及

背景と目的

中国では、1998 年に森林法が改正され、木材生産についても天然林伐採から段階的に人工林木材の利用へ転換していく方針が示されました。そこで、今後、人工林から得られる木材を構造材料として利用していくことを目指し、主要な造林樹種であるコウヨウザンを対象として、丸太及び製材時に非破壊的手法によって求めたヤング係数を用いて、製材品の曲げ強度を推定する手法の開発に取り組みました。

成果

林齢 36 年生、平均樹高 18.8m、平均胸高直径 24.1cm のコウヨウザン人工林から 15 本の供試木を選択し、各供試木から 4 本ずつの丸太、合計 60 本の丸太を採取しました。丸太の段階で応力波伝播法、超音波伝播法、および縦振動法によるヤング係数 (E_{sw-log} , E_{us-log} , E_{fr-log}) を測定した(図 1、写真 1)後、2×4 製材品(仕上げ断面寸法: 40×90mm)115 本を採材しました。すべての製材品は人工乾燥した後、超音波伝播法と縦振動法によるヤング係数 (E_{us} , E_{fr}) を測定(図 2、写真 2)し、曲げ試験によって曲げ

強度(MOR)を求めました(図 3、写真 3)。

製材品のヤング係数と曲げ強度との間には 0.52～0.68 の相関係数が得られ、縦振動法によるヤング係数 (E_{fr}) との間で特に高い相関係数が得られました(図 4)。また、丸太時のヤング係数と製材品の曲げ強度の間では 0.24～0.48 の相関係数が得られ、非破壊的に測定されるヤング係数の種類によって相関係数が異なる結果となりました。これらのヤング係数の中で最も高い相関係数が得られたのは、製材品と同様に E_{fr} でした(図 5)。

成果の特徴と利活用

コウヨウザン製材品について、ヤング係数をパラメータとして強度的に仕分ける「機械等級区分法」を効果的に採用できることがわかりました。また、丸太時のヤング係数が原木丸太の用途判別に利用できることを示しました。

プロジェクト情報

中国人工林木材研究計画(平成 12～16 年)JICA

主な発表文献

Yafang YIN ら, Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering, 681-684, 2004

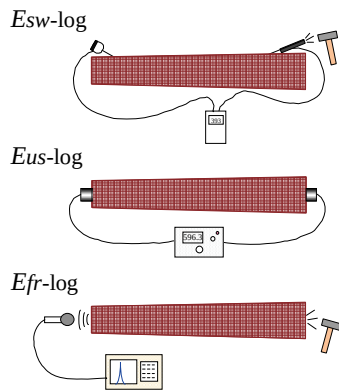


図 1 丸太の非破壊試験法

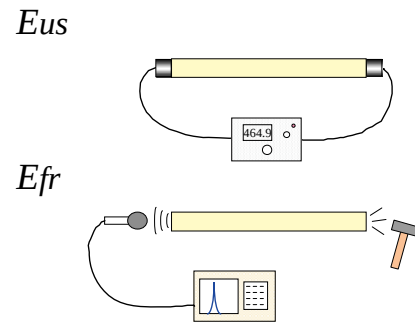


図 2 製材品の非破壊試験法



図 3 製材品の曲げ試験方法



写真 1 丸太の縦振動法による測定

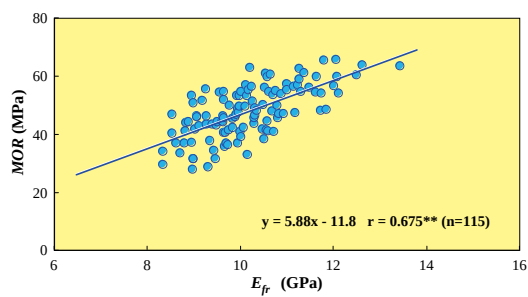


写真 2 製材品の縦振動法による測定

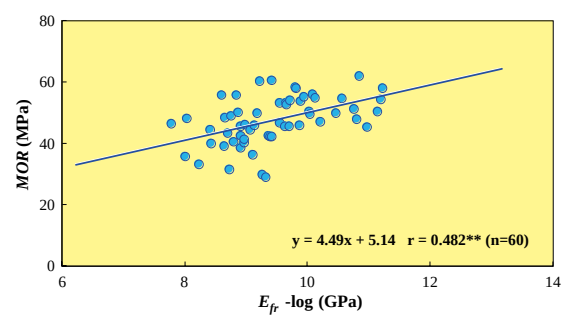


写真 3 製材品の曲げ試験

中国の主要植林木の耐久性を解明

背景と目的

中国での大規模な植林の結果、そこから生産された木材が今後大量に供給されることが予想されます。しかし、耐久性を始めとするこれら植林木の性質についてはこれまであまり知られていませんでした。そこで、中国を代表する植林木であるコウヨウザン (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook) 及び I-214 ポプラ (*Populus x canadensis* cv.) の木材腐朽菌やシロアリに対する抵抗性を調べました。

成果

植林木の腐朽菌に対する抵抗性（耐朽性）とシロアリに対する抵抗性（耐蟻性）とをいくつかの試験法で調べました。ここでは、強制腐朽試験、ファンガスセラー試験、強制耐蟻性試験の結果を示します。

強制腐朽試験は特定の菌に対する抵抗性を調べるために、純粋培養した木材腐朽菌上に試験体を置いて行う試験です（写真1）。白色腐朽菌カワラタケ及び褐色腐朽菌 *Postia placenta* という2種の菌を用いた実験の結果を図1に示します。その結果、植林したポプラは心材であってもカワラタケで容易に腐ってしまうことが分かりました。

ファンガスセラー試験は室温を一定に保った部屋に腐朽槽を持ち込み、その中で行う試験です。腐朽槽の中には土壌

を入れ、腐朽に適した条件となるよう水分状態等を管理しています（写真2）。ファンガスセラー試験の結果はポプラ心材がスギ辺材よりも早く腐っていくこと被害度が早く大きくなることを示しました（図2）。

イエシロアリを用いた強制耐蟻性試験をイエシロアリの職蟻（働き蟻）150頭と兵蟻（兵隊蟻）15頭を入れた容器に試験体を入れて行い、シロアリに食べられた重さの大小で耐蟻性を評価しました（写真3）。その結果、植林されたポプラは、スギ辺材よりもシロアリに食べられやすいことが明らかとなりました（図3）。

成果の特徴と利活用

今後輸入増加が予想される中国植林木の耐久性の確認をいち早く行い、I-214 ポプラの耐久性が非常に弱いことを明らかにしました。中国産ポプラを使用した木材製品が輸入されつつありますが、今回の研究結果はポプラを使用する場合、腐朽・蟻害の恐れがある場所での使用には厳重な注意が必要であることを示しました。

プロジェクト情報

中国人工林木材研究計画（平成12～16年）JICA

主な発表文献

Xing Jiaqi ら, Forestry Studies in China, 7(1): 36-39, 2005



写真1 室内腐朽試験の様子
腐朽菌が試験体を覆っているところ
(出っ張っている部分が試験体)

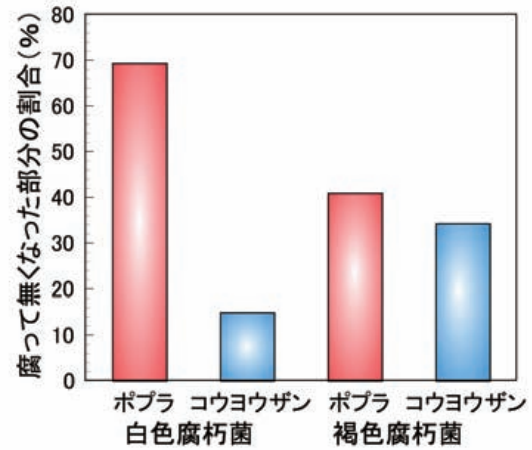


図1 植林木の耐朽性(1)
強制耐蟻試験の結果



写真2 ファンガスセラー試験の様子
菌の活性が高い土壤に試験体を埋め
腐り方の早さを調べているところ

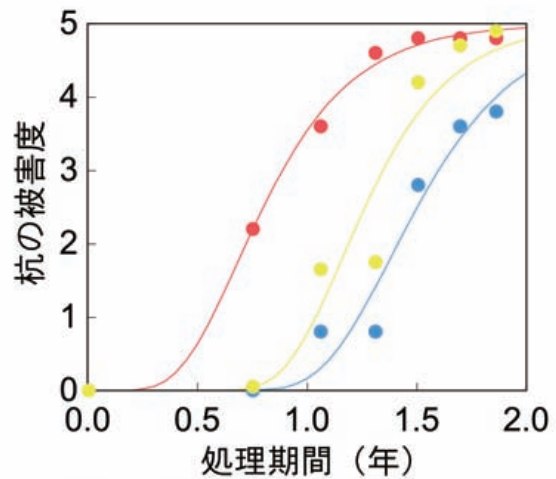


図2 植林木の耐朽性(2)
ファンガスセラー試験

●ポプラ心材 ●スギ辺材 ●コウヨウザン心材



写真3 強制耐蟻性試験の様子
中央に置いた試験体にシロアリが
群がっているところ

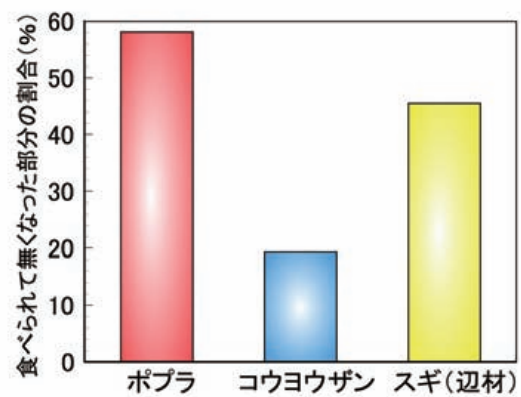


図3 植林木心材の耐蟻性
強制耐蟻試験の結果

オイルパーム・バイオマスの利用技術開発

背景と目的

マレーシアやインドネシアでは、広大なプランテーションにオイルパームが栽培されています。そこから毎日、果房が収穫されパーム油工場で搾油されます。同時に、残った部分は大量の木質バイオマスとして工場から排出されます。そこで、本研究では、パーム栽培や油生産に関わる炭素循環を資料調査から明らかにし、その炭素をできるだけ地上に留めるための手段として、木質バイオマスの有効利用技術を開発しました。

成果

オイルパームプランテーション(9~10 年生)の炭素循環について、マレーシアパームオイル管理委員会での聞き取りと資料調査を基に熱帯天然林との比較を行いました。

図1に示すように、樹幹の成長などによる年間バイオマス蓄積量は、CO₂換算で 8 t / ha と天然林(6 t / ha)を上回るほどですが、ヘクタール当たりの現存量は 1/10 程度にすぎません。実際には廃ゴム林などをオイルパームプランテーションに変換しているのもこれほど極端ではありませんが、一般的な樹林からオイルパームプランテーションに変換することによって、炭素貯留量は大きく変化することが明らかになりました。この差は植生密度の違いに因るところが大きいと考えられます。

一方、年間 CO₂換算 17 t / ha のバイオマスが、オイル採取のためにプランテーションの外に運び出されます。そのうちの約半分

はオイルですが、残りは油を搾る果実を外した後に残る空果房(EFB)に代表される木質部分です。現在、こうした木質部分はほとんど利用されず、焼却または廃棄されています。そこで、未利用木質素材の有効利用に向けて、空果房から工業原料となる高純度セルロースパルプ(溶解パルプ)の調製を試みました。

空果房に対して、酸加水分解前処理とソーダ蒸解、さらにはオゾン漂白とアルカリ抽出を組み合わせるにより、セルロース純度が高く市販品並みの性質を持つ溶解パルプが得られました(表1)。また、空果房からのパルプ化ではアルカリ活性 26%で 160℃、100 分蒸解することで、最もセルロース純度が高く、不純物の少ないパルプが得られることが分かりました。

成果の特徴と利活用

溶解パルプはフィルムや再生セルロース繊維、食品添加物などの工業用原料となるため、こうしたセルロース産業の分野でオイルパーム木質材料を活用する場合、溶解パルプを調製する技術的知見を提供することができます。

主な発表文献

Wan Rosli, W.D.ら, *Holzforschung*, **57**: 106-114, 2003

田中良平ら, *JIRCAS Working Report*, **39**: 24-27, 2005

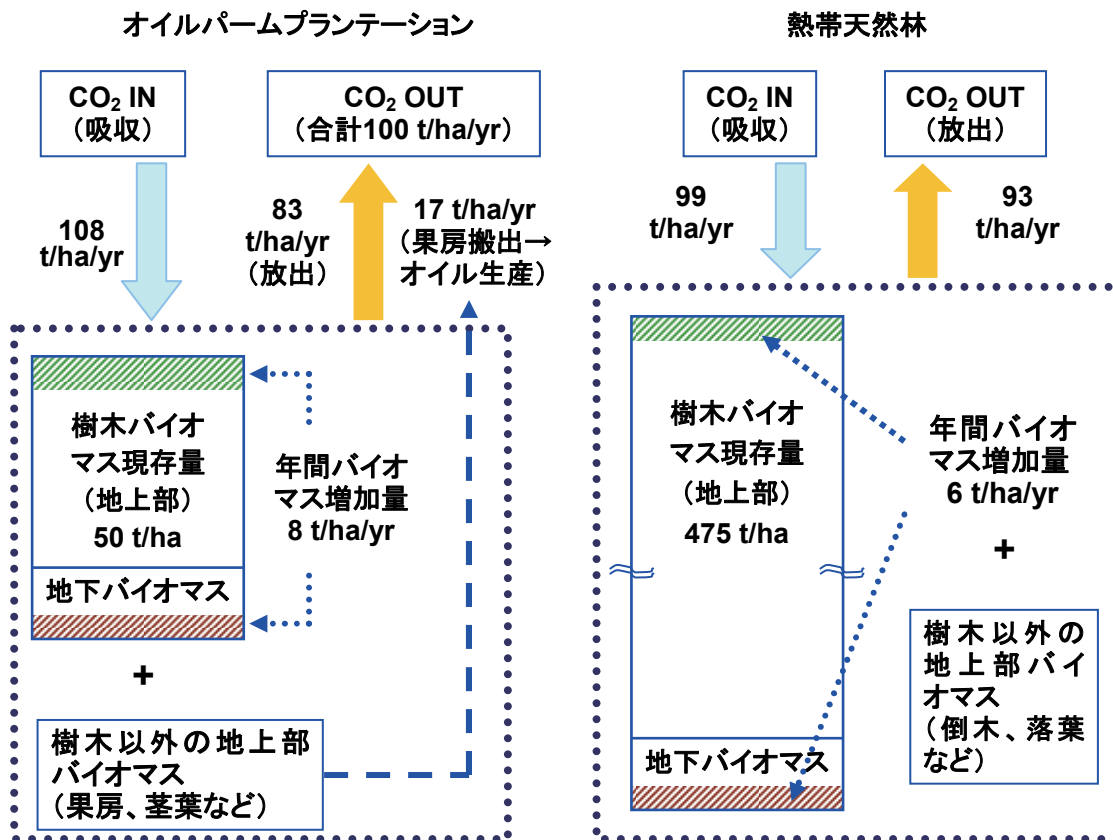


図1. CO₂ 収支に関わるエコシステムの比較

表1. 空果房(EFB)溶解パルプの化学成分

	セルロース (%)	灰分 (%)	ペントザン 含有量(%)
EFB 溶解パルプ	95.1	0.09	1.8
EFB 漂白パルプ (製紙用)	77.9	0.12	24.2
市販 溶解パルプ	92.3	0.14	2.5

セルロース含有量はセルロース純度の指標となり、JIS 規格では溶解パルプの場合、90%以上と規定されている。灰分、ペントザン含有量は無機物、ヘミセルロース除去の指標であり、より低い数値が望ましい。

ISBN 978-4-902606-28-7

[森林総合研究所 第Ⅰ期中期計画成果集 21]

世界の森林環境の保全・再生をめざして 海外における森林研究の成果

発行日 平成18年12月

編集・発行 独立行政法人 森林総合研究所

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地

電話 029-851-7819 (代表)

お問い合わせ 企画調整部研究情報科

メールアドレス kanko@ffpri.affrc.go.jp

ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp>

印刷所 朝日印刷株式会社つくば支社

本書から転載・複製する場合は、森林総合研究所の許可を得て下さい。
