

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

**熱帯泥炭湿地林における生態系サービスの修復とREDD+の
セーフガード履行システムの構築**

(4-1506)

平成27年度～平成29年度

Rehabilitation of Degraded Peat Swamp Ecosystem Services and Construction of
Implementation System on REDD+ Safeguard

〈研究代表機関〉

国立大学法人京都大学

〈研究分担機関〉

国立大学法人北海道大学

国立大学法人長崎大学

〈研究協力機関〉

国立法人機構総合地球研究所

国立大学法人東京農業工業大学

四日市大学

神戸大学

東京大学病院

NPO法人北海道水文気候研究所

平成30年5月

目次

I. 成果の概要	・・・・・・・・・・	1
II. 成果の詳細		
II-1 地域社会エンパワーメントと最適泥炭資源管理オプション	・・・・・・・・・・	19
II-2 荒廃泥炭湿地林の生態系サービスの修復オプションの評価・開発	・・・・・・・・・・	37
II-3 自然資源と生態系サービスにおける経済評価	・・・・・・・・・・	56
II-4 REDD+セーフガード履行システムの構築	・・・・・・・・・・	76
III. 英文Abstract	・・・・・・・・・・	93

I. 成果の概要

課題名 4-1506 熱帯泥炭湿地林における生態系サービスの修復とREDD+のセーフガード履行システムの構築

課題代表者名 小林繁男：京都大学農学部卒業、農学博士、現在 京都大学東南アジア研究所連携教授・名誉教授

研究実施期間 平成27～29年度

累計予算額 81,629千円(うち平成29年度:24,052千円)
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 泥炭湿地林生態系、泥炭資源管理、生態系サービス、荒廃林の修復、経済評価、REDD+セーフガード、履行システム

研究体制

- (1) 地域社会エンパワーメントと最適泥炭資源管理オプション（京都大学）
- (2) 荒廃泥炭湿地林の生態系サービスの修復オプションの評価・開発（北海道大学）
- (3) 自然資源と生態系サービスにおける経済評価（長崎大学）
- (4) REDD+セーフガード履行システムの構築（京都大学）

研究協力機関

国立法人機構総合地球研究所
国立大学法人東京農業工業大学
四日市大学
神戸大学
東京大学病院
NP0法人北海道水文気候研究所
インドネシア科学院生物学研究センター
インドネシア気象気候地球物理庁
インドネシア・環境林業省（泥炭復興庁）
インドネシア・パランカラヤ大学
インドネシア・リアウ大学

1. はじめに(研究背景等)

熱帯泥炭湿地林生態系は縄文海進時代に堆積されたマングローブ木質泥炭を基盤とする特異な生態系を有し、世界で最も大量の有機物が貯留されている。開発すると脱水や有機物の分解が加速されて地盤沈下や二酸化炭素の放出が加速されるため、生態系サービスの劣化・荒廃化をもたらす。世界の熱帯低湿地は37百万haある中で、東南アジアの低湿地には28.3百万haと、面積は最も広い。中でもインドネシアには22.5百万haが分布する。近年、移住政策や開発により泥炭湿地林が伐採され、泥炭の内部にまで人々が居住し、オイルパーム、早生樹植林、農地やエビ・魚養殖地などの生業を営むようになってきた²⁾。しかも、これら人間活動に付随して泥炭地火災が頻発さらに泥炭の分解による二酸化炭素の発生量は膨大な量になり、インドネシアは世界でも有数の二酸化炭素排出国となってしまった。さらに、2015年のパリ合意では、開発途上国も排出量削減目標を作り、提出することが義務づけられ、その達成のための国内対策をとっていくことも義務づけられた。インドネシアにとって泥炭地からの炭素放出を低減

できる泥炭地利用オプションをREDD+のスキームのもとで早急に確立することが、求められている。特に排水路の設置により乾燥した泥炭地を、水路封鎖によって再湿地化し³⁾、そこで高水位でも栽培できる作物を導入してパルディカルチャーシステムを確立することが求められている。熱帯泥炭湿地林は、地域住民により多様な利用がなされている。これらは、木材や林産物に限らず、非林産物も含まれ、全てを包括した呼称として生態系サービスとしてまとめられる。生態系の破壊や劣化に伴い、生態系サービスの量と質が減少することが、様々な文脈で問題となっている。例えば、農地転換、焼き畑や違法伐採による、泥炭湿地林の炭素固定および地球温暖化緩和の調整サービスの劣化もその一つであり、地球規模での環境問題となっている。生態系サービスの経済的な価値を評価し認識することで、様々な環境政策において生態系サービスを主流化することが求められている。また、熱帯泥炭湿地林におけるREDD+のセーフガードを議論する際の一つの視点として、地域住民の代替生計の考慮の必要性がある。地域住民の森林資源への依存の形態にもよるが、生計の大部分を森林利用に頼っている場合、REDD実施者はそれらの住民に対して補償をおこなうか、何らかの代替となる生計手段を提供する必要がある。このような代替生計は、泥炭林と共生し、あるいは蓄積されている炭素に極力影響を与えず、ある程度の収入を期待できるものである必要がある。このような代替生計が、泥炭林保全や火災予防行為とリンクすることで、地域住民の森林管理・地域資源利用のインセンティブに繋がれば、より望ましい社会―生態システムの循環に至ることが期待できる。カンクン会議（2010年）において、REDD+を行う際の地域住民への負の影響への予防措置としてのセーフガードの提案などが議論されていることから、熱帯泥炭湿地における生態系サービスとREDD+のセーフガード履行システムの構築に関する研究は急務となっている。

2. 研究開発目的

地域社会エンパワーメントと最適泥炭資源管理オプションでは泥炭湿地に導入されている生態資源・バイオマス資源を探索し、持続的かつ炭素排出をとまわらないパルディカルチャーの導入について検討を行うとともに、新しい生業システムの導入による地域社会エンパワーメントの可能性について検討する。さらに、このような新たな生業システムに即した泥炭地の水位管理技術の開発を行う。これらの成果を統合して、地域社会のエンパワーメントにつながる最適泥炭湿地管理オプションを提案する。荒廃泥炭湿地林の生態系サービスの修復オプションの評価・開発では荒廃泥炭湿地での植生回復動態をモニタリングする。地下水変動や火災発生動態を計測する。また、衛星による流域スケールでの攪乱・再生の動態を解析する。泥炭保全REDDと植林CDM評価を行い、攪乱・荒廃地修復過程の予測モデルの開発研究を行う。自然資源と生態系サービスにおける経済評価は、泥炭林の生態系サービスへの支払による、住民参加型の森林管理モデルを提案する。このために、地域資源・泥炭林の生態系サービス利用の実態を社会調査により明らかにする。また、生態系サービスの利用実態を踏まえて、生態系サービスの経済評価を行う。これらの知見から、REDDプロジェクトの目標に反しない形で、持続的に生態系サービスを利用する生計手段を検討する。その生計手段を維持するために、地域住民が泥炭林の保全や火災の予防という森林管理の行動へ向かう仕組み作りが可能かどうかを検討する。住民がPESの仕組みに深く関わり、生態系サービスの供給と受益に責任やコミットメントを持つ仕組みの提案を目指す。REDD+セーフガード履行システムの構築ではインドネシアの荒廃泥炭湿地に土着種を混植する生態系サービスの修復を通じた生物多様性保全を図る。非木材林産物の新たなバイオマス利用を研究する。導水勾配による泥炭地地下水流図を基にした水管理システム構築し、炭素排出削減量の評価と炭素クレジットのビジネス化について研究する。泥炭湿地林生態系のPESの評価を行い、新たなバイオマス利用や温暖化ガス排出削減・PESの評価によるビジネス化を図り、雇用創出の研究を行う。熱帯泥炭湿地林における生態系サービスの修復とREDD+のセーフガード履行システムの構築を研究する。リアウ大学、パランカラヤ大学、リアウ州政府、中央カリマンタン州政府や地域住民へのインタビューによるセーフガードの評価の解明を行う。森林生態系サービスの修復とセーフガード履行可能性の解明を行う。各サブテーマの成果の統合による生態系サービスの修復を用いたセーフガード履行システムの構築を行う。

3. 研究開発の方法

(1) 地域社会エンパワーメントと最適泥炭資源管理オプション

地域社会へ導入すべき生態資源・バイオマス資源を利用した生システムの導入については、1. 地域住民によるさまざまな泥炭地利用の現状を調査検討して、生態的、社会経済的に導入可能なシステムについての検討を実施し、2. その結果、最適な資源植物として位置づけられたサゴヤシの小規模植林地の実態調査を実施して、その持続性、生産性についての検討を行った。泥炭水位の管理方法については、3. 人為的攪乱（伐採と泥炭地火災）を受ける前後の物質循環と排水路の設置ならびに閉鎖による水位変動についてのモニタリングやモデル解析を実施した。とくに地域住民の協力を得て排水路に設置する小規模簡易堰を設置して、再湿地化の効果を検証した。また、4. 泥炭地際管理を選択する際に必要な泥炭地環境の評価のために、植生学的な群集分類を応用、生物指標による迅速な泥炭地評価方法を開発した。5. また泥炭火災、雨量、風向などを観測するためのレーダーをブンカリス県林業局に設置して煙害（ヘイズ）に関する国際的研究チームと協力して、広域モニタリングの一翼を担う測定システムを構築した。6. 以上の成果をまとめて泥炭地管理の最適オプションの提案を行った。

(2) 荒廃泥炭湿地林の生態系サービスの修復オプションの評価・開発

本研究では、現地観測・衛星観測・予測モデル開発に基づいて、荒廃泥炭林の修復手法の多面的な提案を行った。中カリマンタン州の泥炭湿地林およびヒース林で長期観測プロットの継続観測を実施した。森林の個体数密度と現存量動態を解析するためのパラメータ観測手法を整理し、動態特性を明らかにした。2015年9～11月に発生したスーパーエルニーニョによる泥炭地火災被害状況について、現地調査を実施し、衛星画像解析により、広域の火災ホットスポットの経時変化を解析するとともに、ENSO指標による火災予測モデルを開発した。泥炭保全の評価を行い、攪乱・荒廃地修復過程の予測モデルを開発した。このモデルに基づき、インドネシア大統領府の泥炭地修復庁に対して、泥炭層を保全する高水位管理システムの事業化を提案した。地表面高と地下水位変動の自動観測システムを用いた長期観測による、泥炭層消失の予測モデルを開発した。

(3) 自然資源と生態系サービスにおける経済評価

本サブテーマでは、3段階で研究を行った。まず(3)-1として、地域住民の自然資源利用・生態系サービス利用の実態を明らかにするため、中央カリマンタン州の複数の村落にて、フォーカスグループ調査や個別面談調査の社会調査を実施した。(3)-2として、(3)-1の結果から、サブテーマの目指す文脈に沿ったアナツバメの巣の利用に焦点を当て、そのビジネスの実態調査・経済価値評価調査を、同州にて実施した。また、アナツバメの巣の生産の森林への依存度を把握するため、鳥類の生態学的調査も実施した。最後に、(3)-3として、複数のPESの仕組みを住民の意識調査から検討した。

(4) REDD+セーフガード履行システムの構築

泥炭地利用におけるビジネス化と雇用創出による地域社会エンパワーメントと最適泥炭資源管理オプションとの統合によるREDD+におけるPESの評価とセーフガードの具体的な履行システムを構築する。地域社会エンパワーメントと最適泥炭資源管理オプションにおけるガバナンス提言を行う。泥炭湿地林の生態系サービスの修復は地域住民にとってのインセンティブを考慮した修復システムを構築する。また、研究が遅れているREDD+セーフガード履行システムの構築と実行を行う。(1) 再湿地化した泥炭地での持続的な生業モデルの構築、(2) REDD+セーフガードは地域住民が生態系サービスからどのようなインセンティブを得られるかで、地方自治体と共同で履行される新たなバイオマス利用のための市場の調査を行う。地域社会の泥炭湿地林の土地所有と土地利用実態を調査する。地域社会の経済状態と生産物の流通を調査する。中央・地方政府の泥炭湿地林の政策を集約する。履行システムの遂行のモデル $S = P \times f(E, \dots)$: (i) $S(1, \dots)$: Safeguards (セーフガード)、(ii) $P(v, p)$: パラメータ、(iii) $E(1, \dots)$: Ecosystem Services (生態系サービス)、(iv) セーフガード履行による実行項目を検討する。(iv)はREDD+のためのセーフガード事例集により詳細な解析を行う。

4. 結果及び考察

(1) 地域社会エンパワーメントと最適泥炭資源管理オプション

最適オプションの条件：地域社会のエンパワーメントに結び付く泥炭地の持続的な利用の条件として、

以下のような基準が設定できる．住民の自発性とインセンティブ：住民による，あるいはマイクロクレジットの利用により実現できる程度の初期投資サイズが小さな生業であること．地域住民の技術と能力の範囲内で管理・経営・維持が可能であること．土地の所有権あるいは利用権が住民に設定されていることなどが必要である．ただし，リアウ州では村外に住む華人が所有する村内の土地で，村民がサゴヤシ栽培を行っている土地なども多い．華人とムラユとの関係は数世紀にわたって築かれてきたもので，華人との関係の中で地域住民の土地所有権や利用権を考えていく必要もある．

泥炭地火災の発生リスクが低いこと：排水路の遮断による再湿地化を実施しても十分な生産性が確保できるような管理オプションであること．大規模な皆伐や地拵えのような，泥炭が乾燥する状況を作らずに維持できるシステムであること．火災発生時の消火や防火の住民インセンティブ：住民による自発的な生業活動として泥炭地が利用でき，再湿地化によって生産性が増加するような生業が展開できること．住民における水路封鎖と再湿地化：住民の技術と資材によって排水路の閉鎖が可能で，再湿地化の維持管理も住民ベースで可能であること．本研究が再湿地化条件下での作物として注目したサゴヤシ植林によるデンプン生産は，次のような特徴をもち，上記の基準をほぼ満たしている．初年度に行ったリアウ州における泥炭地利用の実態と，泥炭地火災の被害地域からあきらかなのは，再湿地化を行い，森林被覆率が高い住民主体のサゴヤシ植林地は，火災リスクが低くまた住民による防火や消火活動がきわめて有効に働いていると推測された．また，住民主体のサゴヤシ植林では，大面積の皆伐や火入れを伴う地拵えを実施せず，既存植生のなかにサゴヤシの苗を移植していく方法を採用しており，成立する植林地も同齢林ではなく，多齢林構造を有している．収穫も個体ごとに花序形成の直前のタイミングを見計らって行うため，林業における択伐システムと同様，皆伐によって裸地が形成されることがなく，火災リスクも低減できる．このように多齢林構造を創り出し択伐を実施することにより，火災リスクの少ない，持続的植林地経営が可能であろう．デンプン抽出は，住民によって設置された小規模抽出工場において行われており，素材生産者と抽出工場の連携がきわめて強い．サゴヤシ栽培からデンプン抽出の過程すべてが，住民によって行われ，現在は外部からの資金の提供がほぼ無い状態で安定して実現できている．

水路閉鎖も小規模なダムにより実現可能で，サゴヤシの調査を行ったスングイトホール村では国の補助により，堰板の取り外しにより堰の高さを調節できる木製のダムが2015年以降に設置され，収穫したサゴの玉切りにした材の輸送にも活用できている．構造は単純で運搬水路としての機能も維持できているので，住民にスムーズに受容されている．また本研究の成果から明らかなように，堰の設置による効果は水路の側方200m以上に及び，再湿地化の効果はきわめて大きい．実際再湿地化によってサゴヤシの成長が改善したと住民も実感しており，堰の維持管理のインセンティブも極めて高かった．

しかし，現在の土地利用オプションにも問題がある．住民によって設置された小規模抽出工場においてデンプン抽出が行われているが，最終産物が濡れデンプンで，しかも泥炭地水をそのまま利用して抽出を行うため生産物の濡れデンプンが濁っており，売却価格は大規模工場で生産された乾燥デンプンに比べるとかなり低い．また，デンプン工場の処理能力がサゴヤシの収穫可能量より低いことがうかがわれるインタビュー結果もあり，収益性を上げるためには，工場の処理能力や浄化水を利用した生産システムの構築と処理能力の拡大が必要である．浄化水の獲得には泥炭地の黒色の水を浄化するための装置が必要だが，現在サゴヤシの樹皮を炭化させたものを生産しているために，炭を利用した浄化システムの構築できる可能性は高い．

また，サゴヤシ抽出後の廃棄されているものには上記の樹皮だけではなく，生産されるデンプンの2倍以上の重要な髄残渣がのこり，この中にはホロセルロース20%，ヘミセルロース20%，抽出しきれていないデンプン30%程度がふくまれるという．これらの物質は廃棄される場合が多く，環境負荷も引き起こすので，この残渣の有効利用が望まれ，家畜や魚の飼料，ナノファイバーやプラスチック利用などの可能性は大きい．また，抽出過程で排出されるデンプンを含んだ汚水も浄化設備の無い状況で垂れ流されており，汚水処理のための浄水池などの設置が不可欠であるが，この浄水池自体を養魚池して活用することも可能であろう．サゴヤシを基幹とするカスケード利用システムの構築を最新の技術を用いて確立し，それを地域社会で維持管理できるようなシステムに改変して実装することができるだろう．今

後の課題である。

再湿地化を実施する際の導入決定樹暫定案である。再湿地化実施には社会面と自然面の二つからプロジェクト導入の可否とその経路を選択する必要がある。社会面では土地所有と利用権の状況に応じて対応する必要がある。火災リスクの少ない持続的な生業の確立が土地所有者・利用者へのインセンティブとしてはたれば理想的だが、成功報酬の導入も考慮されなければならないかもしれない。REDD+のスキームからこのインセンティブが形成できることが望ましいだろう。また泥炭地では土地所有権があいまいで、泥炭が非常に荒廃乾燥し、国、企業、地域住民の合意形成による再湿地化シナリオの作成が必要な地域が広がっている。これが一番重要なステップである。一方ですでに火災リスクが低く、持続的な生業が確立しているところでは、持続性向上のためのニーズ調査とそれに対する対応を考えていく必要がある。廃棄物を利用した循環的なシステム、たとえば泥炭水の浄化や廃棄物デンプンやサゴヤシ髓や樹皮の利用システムの確立が求められる可能性が大きいと考えられる。

自然面では、草原化あるいは低木林化してしまった荒廃泥炭地での再湿地化ではまず樹林化が達成できないと、火災リスクの低減ができず、早期のサゴヤシ導入などはリスクが大きい。この部分の既存技術の適用を早期に実現する必要がある。非泥炭地で実用化されている種子を混ぜた粘土団子の空中散布技術などが早急に確立される必要がある。

（２）荒廃泥炭湿地林の生態系サービスの修復オプションの評価・開発

熱帯泥炭地では、水が高水位で存在することから、酸素の供給が第一の制限要因となり、また、無機栄養の供給がほとんど無く、泥炭（有機物）の特性として低pH条件下では無機栄養は脱着して流亡することから、栄養が第二の制限要因となる。つまりこのような条件下では、植物の生育が抑制されるのみならず、微生物の活性も抑制され、したがって、有機物が分解されにくく有機物の蓄積が起きる。このようなことから、熱帯泥炭地でオイルパームの栽培をするためには、一般的に、排水をし、膨大な量の化学肥料を投入する必要があると考えられて、熱帯泥炭の排水が急速に進んだ。水位を低下させると、酸素が供給され、さらに化学肥料の大量投与で、微生物の活性が著しく高まり、熱帯泥炭の急激な分解が起き（冷たい燃焼＝ゆっくりした酸化）、さらに乾燥化が進むために火災が頻発し（熱い燃焼＝急激な酸化）、熱帯泥炭の消失が加速されてきた。熱帯泥炭の自然林では、高水位下でも旺盛な生育をすることが明らかとなった。つまり、気根とマウンドを形成して、酸素と栄養を吸収している。さらに、驚くべき事であるが、熱帯泥炭は空気中窒素の固定能が極めて高い生態系である。こうした熱帯泥炭地では、生物生産生態系としては極めて貧弱なバイオマス生産能しかないように考えられるが、実際には極めて高いバイオマス生産能を示す。熱帯泥炭地の理想的回復・修復の技術として、１）高水位にした **AeroHydro Culture**（水気耕栽培）で表層より酸素と栄養を供給（気根形成植物の導入、マウンド形成植物の導入）、２）空中窒素固定系の強化（気根形成植物の導入と幼苗時に窒素固定菌の接種）を基盤とすると良い。具体的技術として、荒廃した泥炭地では、特に表層機能が失われているので、１）まず水位の回復、２）気根やマウンド形成植物の導入、３）マウンドの人工的形成、４）緩効性肥料やコンポストにより泥炭表層からの栄養供給（特にカリ）、５）窒素固定系の強化として微量要素の供給（火山灰が良い資材）、６）菌根菌の接種による、生育促進効果とリン吸収能の強化、等が推奨される。これらの技術は、泥炭地のオイルパームにも適応出来、高水位下でも表層より無機栄養（特にカリ）を供給することにより、効率的にカリを吸収させることにより、むしろ生産力を高める可能性すらある。熱帯泥炭地を自然資本で評価すると、最もその価値が高い生態系の一つとなる可能性が高い。熱帯泥炭地は、開発に伴う排水路の掘削で水位が低下し、微生物分解と火災により膨大な炭素が放出されている。これは、地球規模での危機的状況で、逆の言い方をすると、熱帯泥炭地の保全は地球規模での安全保障を達成する。特に、熱帯泥炭地でのサゴヤシ栽培は、１）多量のバイオマスのエネルギー変換でエネルギーの安全保障（**Energy security**）と２）多量のサゴデンプンの食糧と飼料への利用で食糧・飼料の安全保障（**Food/Feed security**）を同時に達成できる極めて有望な植物である。また、サゴヤシは同時に水位の高い状態（水貯留生態）が生育に適していることから、A）水の安全保障（**Aquatic /water security**）とB）炭素の安全保障（**carbon Security**）にも多大な貢献をする。これらの重要な安全保障は、SDGsの17の

目標でも鍵となる要因で、熱帯泥炭地の修復・回復・保全は、地球規模でSDGsに貢献する。また、SDGsは銀行や投資家が投資する際の指標となりつつ有り、ESG（Environment, Social, Governance）やSRI（socially Responsible Investment）を通して、例えば、熱帯泥炭でオイルパームを栽培して、熱帯泥炭のABCDEFGs Security（安全保障）を著しく低下させている企業への投資が著しく制限されるようになる。また、食糧とエネルギーの地方での自給は、これまで大都市中心のエネルギー効率を重視した食料の高度加工システムを変換し、地方にその拠点を移す可能性を秘めている。食糧とエネルギーのフットプリントが今後一層重要になるなってくるが、熱帯泥炭はその新しい、生産システムを構築しうる可能性を秘めていることを指摘する。

（３）自然資源と生態系サービスにおける経済評価

アナツバメが森林を利用していることから、泥炭林供給サービスを支える基盤サービス（アナツバメの生息場提供）の経済評価を、一つのPESフレームワークの検討と合わせて実施した。泥炭林のPESフレームワークを検討する際に、供給サービスとしてのアナツバメの巣の経済価値には明示的には含まれていないと考えられる、アナツバメの生息場を提供するという泥炭林の基盤サービスの経済価値を推定することが重要である。ここでは、インドネシア中央カリマンタン州の州都であるパラナカラヤ市のツバメビルオーナーおよび管理者を対象に聞き取り調査を実施して上記を明らかにした。結果は全員が税収使途の変更に賛成であった。この結果は、巣の安定生産にとって森林の保全や火災の予防が重要であると説明しているため、強いインセンティブが働くことが考えられ、妥当なものである。一方で、税率の増加については、8%への増額の意図を示したのは、2名のみで、他は全員が5%の支払維持で良いとした。これは既存の徴税の仕組みを活用したものであるため、制度導入の際の障壁は低い。一方で税制度の変更の実現性についても議論が必要である。パラナカラヤ市には、ツバメビルオーナーの組合が存在し、税制設立の際には、市政府との交渉を行った。このような組織が主体となって、市政府に対して、上記の制度変更を働きかけていくことが必要である。本サブテーマで想定するPESとしては、泥炭林の供給サービスとしてのアナツバメの巣、および、泥炭林の供給サービスを支える基盤サービスとしての生息場の提供という生態系サービスを対象に、受益者であるツバメビルオーナーから、供給地の生態系管理者となりうる泥炭林保全従事者または火災予防作業従事者に対する支払の形式となる。しかし、PESは、地域住民の参加型森林管理の点については、具体的に想定できていない。このPESでは、資金供給の部分さらに仲介者として政府が介入する部分のみ提示されているため、実際の生態系サービス供給地である泥炭林の管理を誰が責任を持って実施し、モニタリングするかについては、不透明である。この部分を住民が地域資源・コモンズとして管理することにコミットできれば、より想定している住民参加型森林管理モデルに近づくことができると考えられる。さらに、PESは、受益者を既存のツバメビルオーナーのみに限定している点に課題がある。これは、ツバメビルの建設に高額な初期投資が必要であり、仮に順調にアナツバメが繁殖し巣の生産が行われ投資の回収が4～5年間で達成されたとしても、初期の資金調達や借入に大きな負担が伴うためである。実際に、現地のツバメビルオーナーを対象としたヒアリング調査から、定職あるいは公職に就く者や自力で建物を建造できる大工などの建築関係従事者が、ビジネス参入者の多数を占めている実態が明らかとなっている。このような高い参入障壁があるため、地方の農業従事者や低収入の農村部では、アナツバメの巣ビジネスを実行可能な者は極めて限定的であり、その収益に依存したPESを実行できない可能性がある。アンケートの結果、1つのDesaの5名全て、および2つのDesaの各1名がこの共同出資の仕組みが実現できないと回答した。この理由としては、初期投資が高額すぎる点、コミュニティメンバー間での利益シェアが困難な点、メンバー間での価値観（共同出資に対する）が異なる点が挙げられた。障壁として、このビジネスの経験の少なさ、メンバー間での信頼の無さ、メンバーによっては極度に貧困で少額の出資も困難である点、ビルの管理やモニタリング等の労働や責任を等しくシェアすることの困難さ、巣の盗難の可能性が挙げられた。政府からのサポートとしては、盗難に対する保証、金銭的・物質的・技術的なサポート、ビジネス実施許可発行の迅速さや申請の簡便性、税の減額（プランピサウ郡でもツバメビルオーナーに税金を課している）が挙げられた。NPOからのサポートとしては、金銭的な支援が挙げられた。大学からのサポートとしては、巣の生産を増や

すため、また、より早期に巣を収穫するためのアナツバメの基礎的な生態の解明、環境影響評価の実施が挙げられた。最後に、各Desaの現状のビジネス実施の基礎要件の達成度合いを示した。利用可能な土地は全ての村で保有していた。平均的な1棟のサイズは、30～50m²であり、大面積ではない。資金については、初期投資額の大きさから、悲観的な回答が目立った。労働力は十分にある村が多いが、その均等なシェアには課題があると考えられる。村民からの抵抗については、メンバー間の信頼の無さから、共同出資に対する不安が先行する可能性があり、金銭が絡む共同行動の実施の困難さが明らかとなった。これは、ゴトンロヨンで実施されるような非金銭的な協働やシェアの仕組み、例えば、モスクや教会の修復の実施では、実現可能なことが、金銭的な利益が絡むと途端に難しくなることを表している。

このような多くの課題を解決するためには、投資を行い、PESが実現することで、火災予防を実施でき、村全体の利益につながることを理解してもらう点が重要と考える。また、可能な限り住民自体のビル管理や監視を避け、業務を外注することも選択肢として考えられる。さらに信頼のおけるリーダーなどが、多めの利益配分を得て、外注先のワーカーを監視することも抵抗を避けるための選択肢である。また、盗難やこのようなワーカーの監視の観点では、村の中心部などの人目が常にある場所に建築することも必要であるといえる。コミュニティビジネスをベースにした泥炭林PESのフレームワークを示した。

（４）REDD+セーフガード履行システムの構築

泥炭再湿地化と地域社会とパルディカルチュア（Paludiculture）による再湿地化した泥炭地での持続的な生業モデルの構築を検討した。地域に根ざしたパルディカルチュアモデル構築を目的とする。地元民・移民の村の相違と土地権の多様性を踏まえた地域に根ざしたパルディカルチュアモデル構築を検討する。地元民・移民の村の相違と土地権の多様性を踏まえたローカルな土地利用、農林水産業、マーケットなどアグロフォレストリー、非木材林産物利用の実態と再生や泥炭湿地で栽培可能なパイナップル・泥炭湿地在来種のアグロフォレストリー、泥炭湿地および河川や海での漁労の歴史と実態、ムラユ海域社会を事例とした農林水産物の交易、およびマーケットの歴史と実態調査、マラッカやシンガポールを含んだ越境マーケットの再活性化、法制度研究；泥炭湿地樹木販売の規制緩和（2015）が問題となる。泥炭復興庁のNazir長官との会見で、「荒廃した泥炭国家管理地の湿地化を企業の協力、村落資金を用いる、HTRを用いるなどあらゆる方法で実行し、のち住民に土地権を与えて植林などのパルディカルチャーを促す」という考えに賛成だということを得た。長官は、「国家管理地が実は住民に分配されていること、その住民を追い出すことなどできない、むしろ住民に土地所有権などの権利を与えて植林などの経営を促すべきだとする考えに賛成だ。」泥炭復興庁は今年、60万ヘクタールの湿地化や再植林を目指しており全国で4つの県を重点県にしていますが、京大がリアウ州の対象県であるメランティ県とブンカリス県を担当してきている。再湿地化とそこにおけるパルディカルチュアの発展をすすめる、当然発生する様々な問題に対する対処の方策を検討する。REDD+のスキームからこのインセンティブが形成できることが望ましいだろう。また泥炭地では土地所有権があいまいで、泥炭が非常に荒廃乾燥し、国、企業、地域住民の合意形成による再湿地化シナリオの作成が必要な地域が広がっている。これが一番重要なステップである。一方ですでに火災リスクが低く、持続的な生業が確立しているところでは、持続性向上のためのニーズ調査とそれに対する対応を考えていく必要がある。廃棄物を利用した循環的なシステム、たとえば泥炭水の浄化や廃棄物デンプンやサゴヤシ髄や樹皮の利用システムの確立が求められる可能性が大きいと考えられる。

次に履行システムの遂行モデル二次的検討を「REDD+のためのセーフガード事例集 2015」の二次データの解析で行った。事例集は15か国19のプロジェクトを総括している。主だった項目は19項目で、セーフガード関する配慮項目は7項目である。JICA等の関わりがあるプロジェクトが採りあげられているようで、この事例集には、事例と載せたプロジェクトに隔たりがある。この事例集はほとんど結果が示されていない。そのために、内容は計画段階の項目を多く含む。プロジェクトの大事な予算規模が示されていない。などの問題点があるものの多くの事例が、ある一定のレベルで述べられているので、解析を行った。事例集は数値データが極めて少なく、二次的データの解析結果には信ぴょう性が影響し

ている。終了下プロジェクト事例は7件あるが、本対象データは結果を記した事例集ではない。プロジェクトの大事な予算規模が示されていない。この事例集はほとんど結果が示されていない。そのために、内容は計画段階の項目を多く含んでいた。主成分分析による解析結果は以下の通りであった。固有値表から第5主成分が本解析に有効と認められた。第5主成分までの累積寄与率は79.7%であった。第1主成分と第2主成分を用いて本解析を行った。第2主成分までの累積寄与率は48.3%であった。解析の結果、固有ベクトルから、第1主成分軸のプラス次元には認証、非持続、リーケージが、マイナス次元には実施主体、資金タイプ、スケール、国家森林プログラムとの一貫性確保が反映される。

第2主成分はプラスには資金タイプ、ガバナンスの構築・強化、ステークホルダーの参加、生物多様性への配慮、リーケージへの対処、生業が、マイナスには国家森林プログラムとの一貫性確保やスケールなどが反映された。3グループに分類できた。行政指導型（一部民間指導：非営利）、民間主導（非営利）型（一部行政指導）、と民間主導（営利目的）型であった。行政指導型（一部民間指導：非営利）：ガバナンスの構築・強化や国家森林プログラムとの一貫性確保強く反映している。セーフガード項目に関しては貢献が弱かった。多くが、既にプロジェクトを終了している（ボツワナ：1989～？）民間主導（非営利）型（一部行政指導）：最も配慮項目（ガバナンスの構築・強化、ステークホルダーの参加、生物多様性への配慮、リーケージへの対処、生業）に寄与していた。このグループの詳細情報の解析が必要である。民間主導（営利目的）型：民間主導型（営利目的）は国家森林プログラムや認証の枠組みにより、プロジェクトの営利を得ている。しかし、配慮項目では非持続性のリスクやリーケージへの対処が最も強い。これにより、インセンティブを得ていると推察できる。先住民・地域の権利の尊重は19事例で全てが重要事項としてプロジェクトに組み入れていた。コスタリカの事例が、PESを基礎にプロジェクトの評価を行っていたが、情報が少ないために解析までに至らない。

結論は履行システムの遂行における試みについて、既にある一次データと外注のデータの解析を進めたが、地域固有な結果となった。事例集の解析から、行政主導型（一部民間主導非営利目的）はプロジェクトが終了するとREDD+セーフガードも終了すると推察した。配慮項目（セーフガード）もプロジェクトへの組み込み弱い。民間主導型（営利目的）は国家森林プログラムや認証の枠組みにより、プロジェクトの営利を得ている。しかし、配慮項目では非持続性のリスクやリーケージへの対処が最も強い。これにより、インセンティブを得ていると推察できる。民間主導型（非営利目的）（一部行政指導）は援助資金により緩いガバナンスのもと、最も配慮項目をプロジェクトに組み入れている。このグループの原データの解析から、セーフガード履行システムが考察される。ローカルマーケットでの調査から、泥炭湿地森林生態系からの非木材林産物の主は淡水魚類であった。泥炭湿地を修復する際には、Rewettingは重要であるが泥炭湿地河川系に注意を払う必要がある。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

小規模サゴヤシプランテーションでの生物生産力の推定値を、永久調査区での生態学的なモニタリングによって初めて報告した。これにより、パルディカルチャーのオプションとしてサゴヤシ導入をする上において科学的確証を明示することが可能となった。排水路封鎖による再湿地化の効果を解明、立地条件による温室効果ガスの発生量変動も解明することが可能となり、今後のREDD+における経済効果を推定することも可能にした。荒廃泥炭地の生物指標による立地環境判定法を確立することに成功し、迅速な立地判定手法の確立を可能にした。

中央カリマンタンの泥炭湿地林と熱帯ヒース林の現存量動態を混交フタバガキ林と比較し、現存量の回転率（大形材の生産速度と死亡速度）が際立って高いことを明らかにした。泥炭地の水位と地表面の季節動態の連続測定から、低水位化による泥炭有機物消失の定量化手法を開発した。エルニーニョ年の大規模な森林火災発生の予報に外向き長波放射量（OLR）による評価を加えることで、より正確な火災発生予報が出せるようになった事に加え、大規模な火災発生後に続く泥炭火災による深刻な大気汚染への警報も可能になった。泥炭層の炭素蓄積量の動態を見積もるために必要な、泥炭表層標高の時間変化を連続的に測定解析するシステムを開発した。衛星観測データと現地観測データを混じえ、エルニーニョ現

象下での泥炭火災発生予測と気象影響の定量化手法を提出した。泥炭地の高水位を維持する革新的な熱帯泥炭地の修復と持続的管理手法を提出した。

インドネシア中央カリマンタン州における、泥炭林の生態系サービスの多様な利用実態を明らかにした。地域住民には、定まった職業につかず、多様な生業を有していること、また近年森林の直接利用が減少していることが明らかとなった。泥炭林を利用するアナツバメの巣を人工的な建築物にて繁殖させ収穫するビジネスが興隆していることが明らかとなった。アナツバメは森林を利用しているため、その巣の生産には、森林を維持することが重要であることが明らかとなった。アナツバメの巣ビジネスの実施者は、巣を持続的に得るため、森林保全に対するインセンティブがあることが明らかとなった。アナツバメの巣の供給サービスおよびその生産を支える基盤サービスを対象とした生態系サービス支払制度として、既存の徴税体系を活用し、税収を目的的に森林保全に利用するものを提案した。参入障壁を克服するため、地域コミュニティの共同出資によるアナツバメビルの建築と、巣の販売益の森林保全への活用というPESフレームワークを提案した。宗教施設や道路の整備等公的な使途であれば可能な資金供給の仕組みだが、村民間の信頼や、リーダーへの信頼が高くなければ、巣の販売という直接的な金銭利益の共有は困難という認識があることが明らかとなった。作業の外注や全住民が監視可能なビルの建築場所、さらには、森林保全や火災予防の複合的な利益の提示により、PESへの理解を高めコミットメントを得る必要があることが示唆された。

セーフガードの履行のためのプロトタイプとしてのモデルを提示できた。パルディカルチュアの発展方向が示唆された。これまで荒廃泥炭地の土地権に関する研究はほとんど実施されておらず、もっぱら、炭素排出や水利、さらに植生などの自然科学的研究に限定されてきた。本研究は、荒廃した放棄泥炭地が、度重なる火災によって生み出されるが、そこには土地権ファクターが介在し、住民の土地権が明確であるほど、火災に遭ったからと言って放棄されるわけではなく、一方、住民が土地権を確保できない土地については放棄される傾向が明らかであることを実証した。放棄された土地はいわば毎年火災に会うことになり、火災と泥炭荒廃の間の相乗効果が生まれる。シンポジウム、セミナーを主催した。

（“International Symposium on Peatland Fire Prevention and Forest Rehabilitation” の共催（インドネシア諸機関・日本泥炭地学会などとの共催、2016年2月24-25日 パランカラヤ）。REDD+は理論的に有効・重要で費用対効果も良いとされるが、現地社会での適応は容易ではなく、実施費用が高く、かつ持続可能性が担保されていない。自然保護地区以外の成功例は少ない。森林破壊阻止、泥炭地火災阻止にもっとも有効な方法は開発を阻止するためのコンセッションに資金を拠出することと考えられる。その上で住民に持続可能な土地利用を許す方法である。例えばダヤックの伝統的なアグロフォレストリーによる森林内のゴム栽培やサゴ栽培、在来の湿地適応樹木の栽培等はその可能性がある。

(2) 環境政策への貢献

< 行政が既に活用した成果 >

成果を2018年2月にジャカルタにおいて開催されたインドネシア泥炭復興庁などが主催するシンポジウム「Joint Symposium on Tropical Peatland Restoration: Responsible Management of Tropical Peatland following up to the Jakarta Declaration, Menara Peninsula Hotel, Jakarta, Indonesia 2018. 2. 22」で発表、インドネシアの政策担当者へ周知させることができた。熱帯泥炭地からの温室効果ガス排出の制御を検討するうえで、温帯泥炭地における観測データを活用することで、温室効果ガス排出削減に向けた政策立案に貢献することが可能である。また、生物多様性の面からも熱帯泥炭地の物質循環機構の変化を把握し政策立案に役立てるうえでも、分解者の調査は重要な意味をもつ。気象条件に基づく泥炭地火災と煙害の予測による、国・地方・地元の早期対策策定に貢献する成果を挙げ、インドネシア国立機関との共同で報告を行った。住民へのセーフガードの履行が「補償金」だけに終わると、結局は別の地点に問題が移動する。住民が生態系サービスで生計を確保できることが大切であり、それは、アブラヤシよりも経済効率が良いものでないとインパクトないが適切な作物を植えて、生産性を上げ、火災を防止し、一方で、荒廃地や森林はコンセッションで守りつつ、できるところはrewettingするという土地利用計画の作成が重要である。“National Workshop on Conquering the Haze Crisis-to

Optimize the national Rewetting, Rehabilitation and Reforestation Program” 5th, November, 2015, Jakarta.”の会議で環境林業省、地方自治体と意見交換やコンタクトが取れた。また、泥炭復興庁長官 Mr. Nazir Foead、リアウ州知事 Mr. Arsyadjuliandi Rachman、環境林業大臣特別補佐官 Ms. Hanni Adiati、環境林業大臣広報担当大臣特別補佐官 Mr. Nova Harivan Paloh、泥炭復興庁研究開発担当次官 Dr. Haris Gunawan、泥炭復興庁事務局長 Mr. Ilarius Wibisono、国連開発計画（UNDP）プログラムマネージャー Ms. Hening Purwati、リアウ州環境林業局長 Ms. Yuliなどを招いて、泥炭保全研究に関するMOUを結んだ。重要な政策的インプリケーションが期待できる。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

再湿地化後の生業オプションとして、サゴヤシデンブンの生産システムが持続性、生産性に優れていること、並びに排水路封鎖による水位回復の効果を実証したことで、インドネシアの泥炭管理の政策立案に大きく貢献できるとともに、日本政府の泥炭地修復支援政策についても貢献が可能となった。気象条件に基づく泥炭地火災と煙害の予測による、インドネシア共和国政府・中カリマンタン州政府・地元住民の早期対策策定に貢献する成果を挙げ、インドネシア国立機関との共同で報告を行った。火災延焼阻止のために政府が実施した、泥炭掘起しによる防火帯の設置を検証し、防火帯が泥炭乾燥を促進して延焼拡大につながるため中止するよう、緊急提言を行った。REDD+プロジェクトを実施する際、地域住民の代替生計として、アナツバメの巣ビジネスは、一つの可能性として有用である。REDD+プロジェクト実施者が資金提供することで、初期投資の障壁が下がる。しかし、地域住民の継続的なビジネスへのコミットメントを得るためには、継続的に関与し、泥炭林保全と巣の生産の強いリンクを理解してもらい、かつ、ツバメビル管理の作業分担を明確にしてモニタリングも適切に実施することが求められる。広くの泥炭地は国家管理地で、政府指定の森林地域であるが、そこにおける湿地化とパルディカルチャーの発展ためには、できるだけ住民に私的土地権を付与し、住民自らの積極的な管理・利用を促すことが、荒廃乾燥泥炭地の再湿地化とパルディカルチャーの発展につながる。事例集の解析から、行政主導型（一部民間主導非営利目的）はプロジェクトが終了するとREDD+セーフガードも終了すると推察した。配慮項目（セーフガード）もプロジェクトへの組み込み弱い。民間主導型（営利目的）は国家森林プログラムや認証の枠組みにより、プロジェクトの営利を得ている。しかし、配慮項目では非持続性のリスクやリーケージへの対処が最も強い。これにより、インセンティブを得ていると推察できる。民間主導型（非営利目的）（一部行政指導）は援助資金により緩いガバナンスのもと、最も配慮項目をプロジェクトに組み入れている。このグループの原データの解析から、セーフガード履行システムが考察された。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

＜査読付き論文＞

- 1) Chen, J., Budisulistiorini, S. H., Itoh, M., Lee, W.-C., Miyakawa, T., Komazaki, Y., Yang, L., Kuwata, M.: *Atom. Chem. Phys.* 17, 11591-11604 (2017), doi:10.5194/acp-2017-136, Water uptake by fresh Indonesian peat burning particles is limited by water-soluble organic matter
- 2) Itoh, M., Okimoto, Y., Hirano, T., Kusin, K.: *Sci. Total Environ.* 609, 906-915 (2017), doi:10.1016/j.scitotenv.2017.07.132, Factors affecting oxidative peat decomposition due to land use in tropical peat swamp forests in Indonesia.
- 3) Budisulistiorini, S. H., Riva, M., Williams, M., Chen, J., Itoh, M., Surratt, J. D., Kuwata, M. *Environmental Science & Technology*, 51, 4415-4423 (2017), doi:10.1021/acs.est.7b00397, Light-absorbing brown carbon aerosol constituents from combustion of Indonesian peat and biomass.
- 4) Neoh, K.-B., Bong, L.-J., Muhammad, A., Itoh, M., Kozan, O., Takematsu, Y., Yoshimura, T.: *PLOS ONE*, 12(3) (2017), e0174388. doi:10.1371/journal.pone.0174388, The effect of remnant

forest on insect successional response in tropical fire-impacted peatland: A bi-taxa comparison.

- 5) Kuwata, M., Kai, F. M. Liudongqing, Y. Itoh, M., Gunawan, H., Harvey, C. F.: J. Geophys. Res. Atmos. 122, 1281–1292 (2017), doi:0.1002/2016JD025897, Temperature and Burning History Affect Emissions of Greenhouse Gases and Aerosol Particles from Tropical Peatland Fire.
- 6) Kuwata, M., Kai, F. M. Liudongqing, Y. Itoh, M. Gunawan, H., Harvey, C. F.: J. Geophys. Res. Atmos. 121 (2017), doi:10.1002/2016JD025897, Temperature and Burning History Affect Emissions of Greenhouse Gases and Aerosol Particles from Tropical Peatland Fire.
- 7) Neoh, K.-B., Bong, L.-J., Muhammad, A., Itoh, M., Kozan, O., Takematsu Y. and Yoshimura T.: Environmental Entomology, 45, 1170–117 (2016), The impact of tropical peat fire on termite assemblage in Sumatra, Indonesia: reduced complexity of community structure and survival strategies.
- 8) Sakabe, A., Kosugi, Y., Okumi, C., Itoh, M., Takahashi, K.: J. Geophys. Res. Biogeosciences 121, 1717–1732 (2016). DOI: 10.1002/2015JG003292 Riparian wetlands affect the seasonal variations of watershed-scale methane budget in a temperate monsoonal forest.
- 9) Motoko S. Fujita, Hiromitsu Samejima, Dendy Sukma Haryadi, Ahmad Muhammad, Mohammad Irham and Satomi Shiodera: Ecological Research 31: 275–285 (2016), Low Conservation Value of Converted Habitat for Avifauna in Tropical Peat Land on Sumatra, Indonesia
- 10) Kohyama, T.S., Kohyama, T.I. and Sheil, D. (2018) Definition and estimation of vital rates from repeated censuses: choices, comparisons and bias corrections focusing on trees. Methods in Ecology and Evolution. 9: 209–221.
- 11) Iijedasa, L.S., et al. (with Osaki, M., Takahashi, H., Kohyama, T.S.) (2016) Denial of long-term issues with agriculture on tropical peatlands will have devastating consequences. Global Change Biology, 23: 977–982.
- 12) F. Kilonzi, T. Ota, K. Moji and A. Usup: Journal of Agriculture and Environment Science, 5, 2, 8–14 (2016), Societal Role in Cultivating and Enhancing Peatland Ecosystem Services: A case study in Central Kalimantan Indonesia.
- 13) F. Kilonzi, T. Ota, K. Moji and A. Usup: Journal of Ecosystem & Ecography, 7, 2, (2017) Social Network Analysis of Aquaculture Projects on Provisioning Services Enhancement of Peatland Forest Ecosystem in Central Kalimantan, Indonesia
- 14) Mizuno, Kosuke, 2017, The East Asian Economy Post-rebalancing: Domestic Demand-led Growth, Social Security, and Inequality, The Indonesian Journal of Southeast Asian Studies, Vol.1 No.1 DOI: org/10.22146/ikat.v1i1.27468
- 15) Mizuno, Kosuke., 2017, Regenerating tropical peatland societies and transforming environmental vulnerable societies, Peatlands International. Issue 2, 2017. Pp30–33

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) Kozan O: “Rainfall and Groundwater Level Fluctuations in the Peat Swamps (Chapter10)”, Catastrophe and Regeneration in Indonesia’s Peatlands Ecology, Economy and Society, NUS Press, 296–311(2016)
- 2) Shigeo Kobayashi. 2018. Introduction: Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resources and their Domestication. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 1–4.

- 3) Masayuki Yanagisawa. 2018. Changes in Forest Use around the Sebangau National Park in Central Kalimantan, Indonesia. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 5-11.
- 4) Haruka Suzuki. 2018. Peatland development by local people and effects on local water use in Kepau Baru, Meranti, Riau, Indonesia. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 58-62.
- 5) Masayuki Itoh, Kok-Boon Neoh, Satomi Shiodera. 2018. Effects of frequent fires on ecological and biogeochemical conditions in peatlands in Riau, Sumatra. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 63-74.
- 6) Osamu Kozan. 2018. Restoration of Peatland Ecology and Livelihood Improvement through Rewetting and Revegetation toward the prevention of Peat Fires. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 75-79.
- 7) Hidenori Takahashi, Yukihiisa Shigenaga, Yohei Hamada, Mitsuru Osaki, Bambang Setiadi. 2018. Near-real time remote monitoring of ground-water/surface levels and warning to carbon loss from tropical peatlands in Indonesia. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 80-90.
- 8) Shuzo KUWAHARA, Yoritaka AOKI, Yukako MONDA, Takayuki KANEKO, Osamu KOZAN, Ahmad Muhammad, Ruliyana Susanti, Mamoru KANZAKI. 2018. Preliminary report on the population dynamics and productivity of sago palm (*Metroxylon sagu*) on small holder's plantations in Riau Province, Indonesia. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 99-106.
- 9) Takashi Kohyama, Tika D. Atikah, Kazuki Miyamoto, Satomi Shiodera, Herwint Simbolon, Joeni S. Rahajoe. 2018. High specific wood productivity in relation to quick canopy turnover in intact peat-swamp and heath forests in Central Kalimantan. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 107-115.
- 10) Joeni Setijo Rahajoe, Tika D. Atikah, Alhamd, L., Lestari, V. B., Royyani, M.F., Sundari, S., Pratama, B. A., Shiodera, S., T. Kohyama. 2018. Peat Swamp Forest, biodiversity status and the assessment of agriculture mapping based on the traditional knowledge. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 116-127.
- 11) Bumpei Tojo, Kazuhiko Moji, Takahiro Ota, Hiroshi Hayasaka. 2018. Current situation of environment and ecosystem services use in Kalimantan, Palangkaraya peatland - Geographical analysis -. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 128-136. Restoration of

Peatlands in Indonesia: Engagement Parties

- 12) Haris Gunawan. 2018. Restoration of Peatlands in Indonesia: Engagement Parties. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 137-142.
- 13) Shigeo Kobayashi. 2018. The Construction of Implication System on REDD+ Safeguard. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 143-152.
- 14) Kosuke Mizuno. 2018. Peatland restration and land title in Sumatra. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 153-180.
- 15) Takahiro Ota, Aswin Usup, Kazuhiko Moji, Bumpei Tojo, Hiroshi Hayasaka, Shigeo Kobayashi. 2018. Examining possibilities of PES of peat-land forest through swift-nest business: A case of Central Kalimantan, Indonesia. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 181-188.
- 16) Mitsuru OSAKI, Takashi KOHYAMA, Takashi HIRANO, Hidenori TAKAHASHI, Bambang SETIADI, Ayako OIDE, Kayo MATSUI, Rahmawati Ihsani Wetadewi, Hideyuki Kubo. 2018. Proposal of Responsible Management of Tropical Peatland focusing on Natural Capital and SDGs. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 189-204.
- 17) Shigeo Kobayashi. 2018. Conclusion: Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resources and their Domestication. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 205-207.

(2)主な口頭発表(学会等)

- 1) Kozan O. : e-asia Bio-energy Workshoip -Green and Renewable Energy Technology for Sustainable Environment- on 31 October -1 November 2016, Family Boutique Hotel, Vientiane Capital, Lao P.D.R. "Transboundary Air Pollution issue and Tropical Peatland Management in Indonesia"
- 2) Kozan O. : International Co-Design Workshop onEarth observation in Support of the Sustainable Development Goals -The Case of Urban Areas in Asia on 16th January 2017, Science Council of Japan "Peatland Fires and Mitigation Measures"
- 3) Itoh, M., Nishimura, H., Shiodera, S., Hirano, T., Osamu, K., Gunawan: Internatioal Peat Congress, Kuching, Malaysisa 2016.8.18. "2016, Change of water chemistry (Dissolved Organic Carbon) with frequent peat fires in Indonesian Peatland"
- 4) Itoh, M., Nishimura, H., Hirano, T., Gunawan, H., Kusin, K., Kozan, O., Yotaro, T., Katsuyama, Japan Geoscience Union Meeting 2016, Makuhari. "2016, M. Effects of rapid environmental changes on groundwater dissolved organic carbon dynamics in Tropical peat swamp"
- 5) 金子隆之、桑原修三、神崎護 : 第128回日本森林学会大会、鹿児島市、2017.3.28「再湿地化火災荒廃地におけるサゴヤシ生産性向上の試み」
- 6) 桑原修三、青木亮隆、鈴木遥、金子隆之、神崎護、Ahmad Muhammad : 第27回日本熱帯生態学会年次

大会、奄美市、2017.6.19「インドネシア泥炭地におけるサゴヤシ栽培の実態。」

- 7) Yukako Mmonda, Shuzo Kuwahara, Yoritaka Aoki, Haruka Suzuki, Takayuki Kaneko, Osamu Kozan, Ahmad Muhammad, Ruliyana Susanti, Haris Gunawan, Mamoru Kanzaki: Joint Symposium on Tropical Peatland Restoration: Responsible Management of Tropical Peatland following up to the Jakarta Declaration, Menara Peninsula Hotel, Jakarta, Indonesia 2018.2.22.
“Preliminary report on the population dynamics and productivity of sago palm (*Metroxylon sagu*) on smallholder plantations in a rewetting peatland, Riau Province, Indonesia”
- 8) Suzuki, H.: Joint Symposium on Tropical Peatland Restoration: Responsible Management of Tropical Peatland following up to the Jakarta Declaration, Menara Peninsula Hotel, Jakarta, Indonesia 2018.2.22.” Water in Local Infrastructure and Livelihood on Peatland: Case Study in Kepau Baru, Meranti, Riau”
- 9) Osamu Kozan: Joint Symposium on Tropical Peatland Restoration: Responsible Management of Tropical Peatland following up to the Jakarta Declaration, Menara Peninsula Hotel, Jakarta, Indonesia 2018.2.22. “Utilization of ENSO prediction data around Indonesia”
- 10) 高橋英紀、繁永幸久、濱田洋平、大崎 満、Bambang Setiadi (2017) インドネシア熱帯泥炭地の水文特性と地下水位予測について、第27回日本熱帯生態学会大会、奄美 (17 June, 2017)
- 11) 高橋英紀、繁永幸久、濱田洋平、大崎 満、バンバン セティアディ (2017) インドネシアの熱帯泥炭地における地下水位と地表面高の変動について、2017年度(第9回)日本湿地学会大会、府中 (17 Aug., 2017)
- 12) Takahashi, H. (2017) Realtime remote monitoring system of groundwater and ground surface levels in peatlands for prevention of peat/forest fire and peat decomposition, 1st Tropical Peatland Roundtable, Jakarta, 1st Nov., 2017.
- 13) Takahashi, H. (2017) Realtime remote monitoring system of groundwater and ground surface levels in peatlands for prevention of peat/forest fire and peat decomposition, COP23 Japan Pavilion, Bonn, 11th Nov. 2017
- 14) 甲山隆司, D. Sheil (2018) 観測間隔に影響されない材生産速度の推定方法. 第56回日本生態学会大会, 札幌. (16 March, 2018)
- 15) Hiroshi Hayasaka, Fire Protection and Peatland Restoration – Fire Forecast, Fire Extinction, Second International Workshop on Peatland Fire Prevention and Forest Rehabilitation, September 11 2017, Palangkaraya, Indonesia.
- 16) Kohyama, T.S., Atikah, T.D., Miyamoto, K., Shiodera, S., Rahajoe, J.S. (2016) Dynamic properties of peat-swamp and heath forests in Central Kalimantan. 第26回日本熱帯生態学会大会、筑波 (18 June, 2016)
- 17) Kohyama, T.S., Atikah, T.D., Rahajoe, J.S. (2016) Biomass production system adapted to peatland ecosystem: case study in Central Kalimantan. Joint Workshop on “Utilization of Sago Ecosystem for Peatland Restoration”. LIPI-Jakarta (11 August 2016)
- 18) Kohyama, T.S. (2016) Dynamic forest models based on tree demography and architecture. The Future of Tropical Forests in Asia: Experimental and Modelling Approaches. Nanyang Technological University, Singapore, 14–19 November 2016
- 19) Kohyama, T.S., Kohyama, T.I., Sheil, D. (2017) Biases of vital rate estimation in changing heterogeneous populations. 第54回日本生態学会大会、東京 (16 March 2017)
- 20) 早坂洋史、Sepriando, A. (2016) スーパーエルニーニョ期間中の中央カリマンタンでの森林と泥炭火災, 平成28年度日本火災学会研究発表会, 長岡 (17 May, 2016), 概要集 288–289.
- 21) Hayasaka, H. (2016) Peat Restoration and Peat Fires Prevention. Joint Symposium on Peatland Fire detection and prevention, Jakarta (30 May, 2016)
- 22) 早坂洋史 (2016) “インドネシアにおけるエルニーニョ現象と泥炭火災による大気汚染. 日本気象

- 学会北海道支部研究発表会，札幌（27 June, 2016）細氷62, 1-4.
- 23) Hayasaka, H. (2016) Fire Protection and Peatland Restoration. Joint Workshop on Utilization of Sago Ecosystem for Peatland Restoration. LIPI-Jakarta (11 August 2016)
 - 24) Hayasaka, H., Sepriando, A. (2016), 2015 SEVERE PEAT FIRES AND AIR POLLUTION NEAR THE FORMER MEGA RICE PROJECT AREA IN CENTRAL KALIMANTAN, INDONESIA. 15th INTERNATIONAL PEAT CONGRESS 2016. 323-326. Kuching (18 August, 2016) 15th IPC 2016-Proceedings, 323-326.
 - 25) 早坂洋史 (2016) インドネシアでの森林・泥炭火災の気象条件の把握, 日本設計工学会北海道支部研究発表会 (3 September, 2016), 論文集 No.1-2016, 1-4.
 - 26) Hayasaka, H. (2016) Major Air Pollution Event in Mega Rice Project (MRP) Area, Indonesia During the Super El Nino, 2015. International Meeting on Land Use and Emissions in South/Southeast Asia. Ho Chi Minh (18 October, 2016)
 - 27) Hayasaka, H. (2016) Haze, Peatland Fire, and River Water Management. National Synthesis Workshop on Promoting Ecological and Eco-hydrological Solutions for Sustainable Water Management in Indonesia (UNESCO). Bogor (14 November, 2016)
 - 28) 高橋英紀、繁永幸久、濱田洋平、大崎 満 (2016) 熱帯泥炭地における地下水位変動と地表高挙動について. 第26回日本熱帯生態学会大会、筑波 (18 June, 2016)
 - 29) Hiroshi Hayasaka, Major Air Pollution Event in Mega Rice Project (MRP) Area, Indonesia During the Super El Nino, 2015, Second International Workshop on Peatland Fire Prevention and Forest Rehabilitation, September 11 2017, Palangkaraya, Indonesia.
 - 30) Hiroshi Hayasaka, Peat fires in the tropical and boreal forest, International workshop on comparative studies of environmental impact of forest fire in boreal and tropical forests and peatlands, December 12, 2017, Khabarovsk, Russia.
 - 31) 太田貴大、門司和彦：環境共生学会地域シンポジウム(2017)「アナツバメ造巢用人工建造物の特徴と地域住民の新たな生計としての可能性—インドネシア中央カリマンタン州の事例—」
 - 32) T. Ota: Second International Workshop on Peatland Fire Prevention and Forest Rehabilitation, Palangkaraya, Indonesia, 2017 “Potential impact of environmental change of peat forests on swift nest business”
 - 33) Shigeo Kobayashi, F. Furukawa, S. Shiodera, H. Gunawan. 2017. Rehabilitation of degraded peat swamp forests using NTFP's as the local community incentives in Riau, Sumatra, Indonesia. 第27回日本熱帯生態学会年次大会、奄美文化センター

7. 研究者略歴

研究代表者：

小林繁男：京都大学農学部卒業、農学博士、現在 京都大学東南アジア研究所連携教授・名誉教授

研究分担者：

- 1) 神崎護：東京農工大学農学部卒業，理学博士，現在 京都大学 農学研究科 教授
- 2) 柳沢雅之：京都大学大学院農学研究科熱帯農学専攻博士課程修了、農学博士、現在、京都大学地域研究統合情報センター准教授
- 3) 甲山治：京都大学工学部卒業（2000）、博士（工学）（2005，京都大学）、現在 京都大学東南アジア研究所 准教授
- 4) 甲山隆司：東京都立大学理学部卒業、理学博士、現在、北海道大学大学院地球環境科学研究院教授
- 4) 大崎満：北海道大学農学部卒業、農学博士、現在、北海道大学大学院農学研究院 教授
- 5) 門司和彦：東京大学医学部卒業、保健学博士、現在、長崎大学大学院熱帯医学・グローバルヘルス研究科教授

6) 水野広祐：京都大学経済学部卒業、農学博士、現在 京都大学 東南アジア研究所 教

7) 古澤拓郎：東京大学大学院医学系研究科国際保健学専攻博士課程 修了、博士（保健学）、現在、京都大学アジア・アフリカ地域研究研究科 准教授

Ⅱ．成果の詳細

Ⅱ－１ 地域社会エンパワーメントと最適泥炭資源管理オプション

国立大学法人京都大学

農学研究科 神崎 護

東南アジア地域研究研究所 甲山 治

研究協力者

国立大学法人京都大学

工学研究科 城戸由能(平成27年度)

東南アジア研究所 伊藤雅之、鈴木遥

農学研究科 金子隆之、門田有佳子(平成29年度)

インドネシア泥炭復興庁 ハリス・グナワン、

インドネシアリアウ大学 アーマッド・ムハマッド(平成28年、29年度)

平成27～29年度累計予算額：22,294千円（うち平成29年度：6,100千円）

予算額は、間接経費を含む。

【要旨】

インドネシア泥炭湿地における泥炭地火災を低減し住民の持続的な生業活動を確立して地域社会のエンパワーメントを実現するための泥炭地資源管理手法を見出すために、泥炭地利用の現状と利用可能な資源を検討するとともに、再湿地化の実現可能性とその効果を検証した。その結果、泥炭地に建設された排水路の簡易ダムによる封鎖の再湿地化の効果は極めて大きく、火災リスクの大幅な低減とCO2発生抑制の効果が期待できることを明らかにした。サゴヤシ栽培によるデンプン生産を核とした生業システムが再湿地化後の生業として持続性が高く、デンプン生産力も高いこと、また地域社会の自律的な経営も可能であることから、選択すべきオプションとして高く評価できることを示した。以上の成果を統合して、サゴヤシ生業システムを導入するための諸条件を組み込んだ、オプション導入の決定樹を作成し、政策的導入の指針として利用できる成果として報告した。

【キーワード】

再湿地化、泥炭湿地、生業、泥炭火災、パルディカルチャー、サゴヤシ

1. はじめに

熱帯泥炭湿地林生態系は縄文海進時代に堆積されたマングローブ木質泥炭を基盤とする特異な生態系を有し、世界で最も大量の有機物が貯留されている。開発すると脱水や有機物の分解が加速されて地盤沈下や二酸化炭素の放出が加速されるため、生態系サービスの劣化・荒廃化をもたらす。世界の熱帯低湿地は37百万haある中で、東南アジアの低湿地には28.3百万haと、面積は最も広い¹⁾。中でもインドネシアには22.5百万haが分布する。近年、移住政策や開発により泥炭湿地林が伐採され、泥炭の内部にまで人々が居住し、オイルパーム、早生樹植林、農地やエビ・魚養殖地などの生業を営むようになってきた²⁾。しかも、これら人間活動に付随して泥炭地火災が頻発さらに泥炭の分解による二酸化炭素の発生量は膨大な量になり、インドネシアは世界でも有数の二酸化炭素排出国となってしまった¹⁾。さらに、2015年のパリ合意では、開発途上国も排出量削減目標を作り、提出することが義務づけられ、その達成のための国内対策をとっていくことも義務づけ

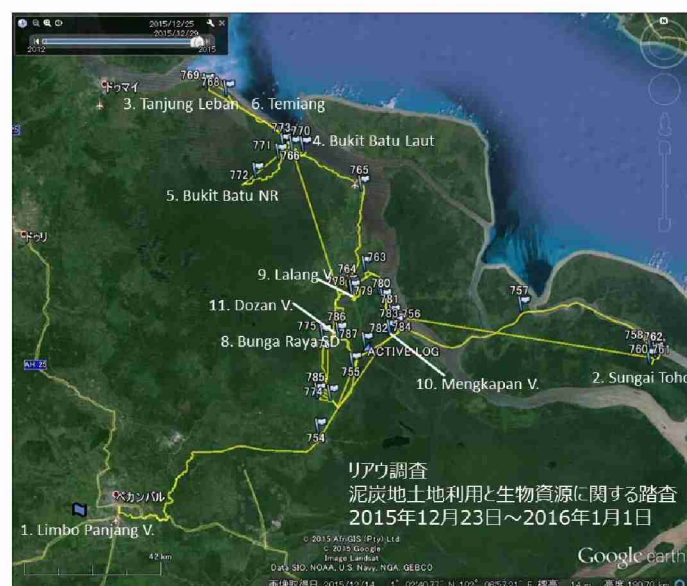
られた。インドネシアにとって泥炭地からの炭素放出を低減できる泥炭地利用オプションをREDD+のスキームのもとで早急に確立することが、求められている。特に排水路の設置により乾燥した泥炭地を、水路封鎖によって再湿地化し³⁾、そこで高水位でも栽培できる作物を導入してパルディカルチャーシステムを確立することが求められている⁴⁾⁵⁾⁶⁾。この泥炭地利用オプションの確立には、カンクン会議（2010年）において議論された、地域住民への負の影響への予防措置、すなわちセーフガード履行システムの構築が不可欠となっている。

2. 研究開発目的

このサブテーマでは、泥炭湿地に導入されている生態資源・バイオマス資源を探索し、持続的かつ炭素排出をとまなわないパルディカルチャーの導入について検討を行うとともに、新しい生業システムの導入による地域社会エンパワーメントの可能性について検討する。さらに、このような新たな生業システムに即した泥炭地の水位管理技術の開発を行う。これらの成果を統合して、地域社会のエンパワーメントにつながる最適泥炭湿地管理オプションを提案する。

3. 研究開発方法

地域社会へ導入すべき生態資源・バイオマス資源を利用した生システムの導入については、1. 地域住民によるさまざまな泥炭地利用の現状を調査検討して、生態的、社会経済的に導入可能なシステムについての検討を実施し、2. その結果、最適な資源植物として位置づけられたサゴヤシの小規模植林地の実態調査を実施して、その持続性、生産性についての検討を行った。泥炭水位の管理方法については、3. 人為的攪乱（伐採と泥炭地火災）を受ける前後の物質循環と排水路の設置ならびに閉鎖による水位変動についてのモニタリングやモデル解析を実施した。とくに地域住民の協力を得て排水路に設置する小規模簡易堰を設置して、再湿地化の効果を検証した。また、4. 泥炭地際管理を選択する際に必要な泥炭地環境の評価のために、植生学的な群集分類を応用、生物指標による迅速な泥炭地評価方法を開発した。5. また泥炭火災、雨量、風向などを観測するためのレーダーをブンカリス県林業局に設置して煙害（ヘイズ）に関する国際的研究チームと協力して、広域モニタリングの一翼を担う測定システムを構築した。6. 以上の成果をまとめて泥炭地管理の最適オプションの提案を行った。



図(1)-1 リアウ州の調査経路

4. 結果及び考察

(1)-1 リアウ泥炭地での土地利用の多様性

H27年度にインドネシアのリアウ州で、リアウ大学のチームとともに、10の集落を訪問し、地域住民によるさまざまな泥炭地利用の現状を調査記録するとともに、現地の住民へのインタビューを行い、泥炭地利用に関する社会経済的な問題点を調査した(図(1)-1)。また、リアウ州では生物圏保護地域のコアゾーンにあたる Bukit Batu野生生物保護区の現地踏査を実施した。中央カリマンタンにおいては、生態系修復のためのコンセプションRimba Raya生物多様性保全イニシアティブに関する文献調査を行い、生態系保全を通じた地域住民エンパワーメントの可能性について検討した。

・インドネシアの泥炭湿地での地域住民の生業多様性

リアウ州泥炭地には多様な立地条件に生業を異にするさまざまな集落が分布しており、300年ほどの歴史を持つような古い集落では、海岸の堆積土壌上を開墾し、泥炭地への依存は少なかった。しかし、排水による泥炭地開発が一般化してから、ゴムノキの植栽が増えて、さらにそれをアブラヤシに転換する農家が増えていた。また、アカシアの植林を共同体林業として実践した例も存在した。湿地性植物のひとつのサゴヤシの栽培を集落の基幹産業として1970年代から育成してきた集落も存在した。環境NGOやリアウ大学のサポートを受けながら泥炭地の持続的な利用の実践例として有名となり、2014年にはジョコ大統領がこの村を訪問している。泥炭地縁部を開拓して水田化に成功した村もある。1980年代にジャワ島から外島への移民政策により入植、当初は焼畑を行い後に水田化に成功、2期作、3期作も可能となっている。泥炭が薄い場合にはこのような持続的な水田開発も可能となっている。一方この村では、灌漑水路が泥炭地からの排水路を兼ねているため、近年ジョコ政権が進めている水路閉鎖による泥炭地の再湿地化は、これら水田農家にとって農業用水不足を招く恐れがある。さらに、アブラヤシに対する農民の期待は大きく、水田からアブラヤシへの転換も進んでいる。コメ生産量拡大策を進める政府のコメ奨励策も効果が薄いという。プカンバル市郊外の内陸部泥炭地の中には、近年分譲された泥炭地も存在し、富裕な都市住民が土地を購入、ゴムノキ、パイナップルなどの栽培に利用しているが、投機目的で購入する場合も多いようだ。このような場合農地管理人を雇い、現地に居住させて監視と管理を行っている。管理人へのインタビューからは、土地所有者は現時点での収益には興味はなく、泥炭火災に関しても関心は薄く、防火、消火に対してもほとんど積極的に関与していないと思われた。

・泥炭地火災に対する住民対応

2015年のエルニーニョによる泥炭地火災の規模はリアウ州では小さかった。しかし、排水した泥炭地上のゴムノキ、アブラヤシ、アカシアの植林地では火災による被害が2000年以降頻繁に起きている。小規模農家は防火、消火に対して積極的に対応しているようだが、投機目的の泥炭地所有者の中には、防火・消火にほとんど関心の無い場合もあることはすでに述べた。泥炭地でサゴヤシを栽培する集落では、天然林内部にサゴヤシを混植していること、排水路に堰をつくり湿潤状態を保つことにより、火災の被害を受けずにいる。

・リアウ州での地域住民エンパワーメントの可能性

今回の調査でアブラヤシ、ゴムノキ、アカシアといった泥炭湿地外を本来の生育地とする作物や造林樹種は、泥炭地からの排水を前提として管理されており、高い火災リスクを持っている。地域住民の多くはそのリスクを理解しているものの、収益性に対する期待、特に近年ではアブラヤシに対する期待が大きく、リスク回避をできずにいる。サゴヤシ、特に一部住民が行っているうっぺいした林内での栽培(図(1)-2)は現存する選択肢の中では最も生態的には持続的で、火災リスクが少ない。しかし、企業が造成したアブラヤシだけの単純なプランテーションでは、成長が悪く採算性が低いという報告があり、サゴヤシの大規模プランテーションの管理方法の改善が必要だと考えられる。また、サゴヤシの伐採のタイミングを幹中のデンプン濃度のモニタリングによりデンプン収量を高めることや、デンプン採取後の残渣の有効利用の方法が実現できれば、バイオマス資源としてのサゴヤシの有効性はきわめて高くなると考えられる。さらに、サゴヤシの導入に向

けて流通に関する研究を続けることも地域住民エンパワーメントにむけて重要である。

地域住民のアブラヤシに対する期待は大きく、泥炭地だけでなくさまざまな土地条件で導入されている。しかしインタビューを通じて、期待ほどの収益があがらないことに困惑を示す農民も増えており、泥炭地におけるアブラヤシ以外の収入オプションを提示することはきわめて重要だと考えられる。また、多くの集落では泥炭地以外の鉱物質土壌の農地を基盤として、外延的に泥炭地へと進出していった経緯がある。生態的基盤の異なる複数の農地をどのように組み合わせて、持続性を高めるのかといった集落ごとの戦略策定も地域住民エンパワーメントにとって重要である。

Giam Siak Kecil-Bukit Batu生物圏保護地域のコア地域となっているBukit Batu野生生物保護区の泥炭湿地林の保全状況は良好で、エコツアー利用の可能性も期待できる。地域住民を積極的に組み込むことでエンパワーメントにつながる可能性がきわめて高いと判断された。中央カリマンタンのRimba Raya生物多様性保全イニシアティブについては、日本企業もドナーとなっているが、その活動実態を示す文献はまだ少なく、現地調査の必要性が高いと判断した。

・そのほかの自生バイオマス資源の可能性についての検討

サゴヤシ植林地に混交する自生樹種には、*Shorea taysmanniana*、*Shorea platycarpa*、など建築用材としてこの地域で多用される樹種や、*Palaquium*属のような樹脂の採取可能な樹種が出現している。また、サゴヤシ植栽以前に植栽されたパラゴムも出現しており、これら資源利用の可能性の大きな樹木種をあわせて利用することで、収入源の多様化を図れることが判明した。サゴヤシ以外の多様な資源を組み合わせた泥炭地利用オプションとして有望なことが示唆された。

京都大学とリアウ大学が地主農家の協力のもと、排水路に堰を設けて泥炭地の再湿地化を行い、自生樹種の植栽試験を継続して実施している。ここでは、現地名Jelutung (学名*Dyera* spp.) Ramin (*Gonystylus* spp.)、Bintangor (*Calophyllum* spp.)、Suntai (*Palaquium leiocarpum*)、Balam (*Palaquium burckii*)、Geronggang (*Cratoxylum cochinchinense*)、Meranti Batu (*Shorea uriginosa*) などが実験的に植栽され、高い生存率を示している。植栽苗の生産も地元農家の協力で小規模だが実施している。ラテックスや木材として付加価値の高い樹種も多く、今後はこれらの樹種の導入に向けた管理と流通に関する研究を続けることも地域住民エンパワーメントにむけて重要である。



図(1)-2 地域住民によって植栽された二次林中のサゴヤシ。ここでは水位調整可能な堰を設置し、再湿地化を行っている。

(1)-2 バイオマス資源としてのサゴヤシを中核としたエンパワーメントの可能性

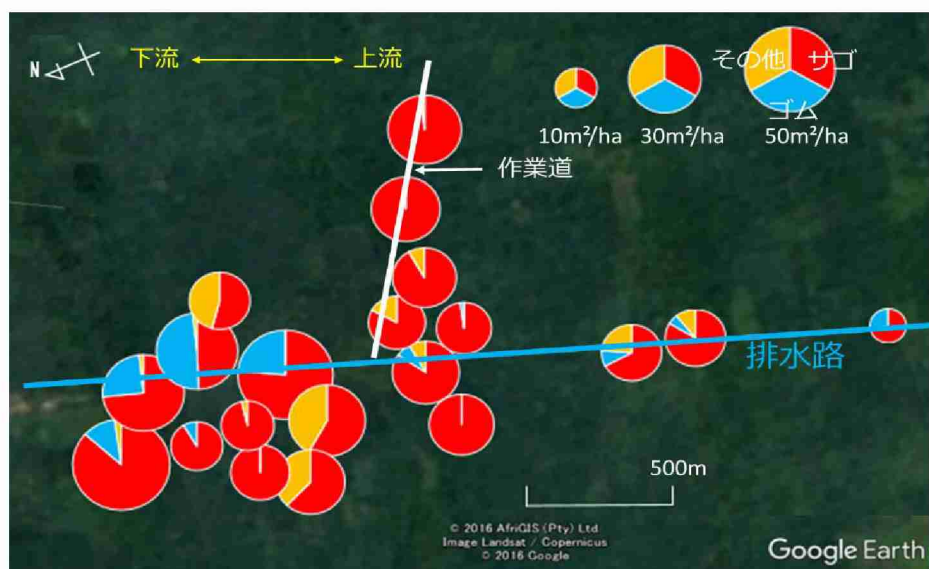
H27年度の調査で有望なバイオマス資源として評価したサゴヤシについて、リアウ州メランティ諸島県のスン

ガイトホール村において、リアウ大学やインドネシア科学院のチームとともにH28年度とH29年度に調査研究を実施した。この調査では、現地の住民が主体となって管理しているサゴヤシ植林地の管理方法や植林地の生態的特性の解明、ならびに生産量調査に必要な固定調査区の設置と1年間のモニタリングを実施した。また、このバイオマス資源の有効利用、高度利用のためにサゴヤシの主産物であるデンプン以外の残渣についての利用の可能性についても検討を行った。

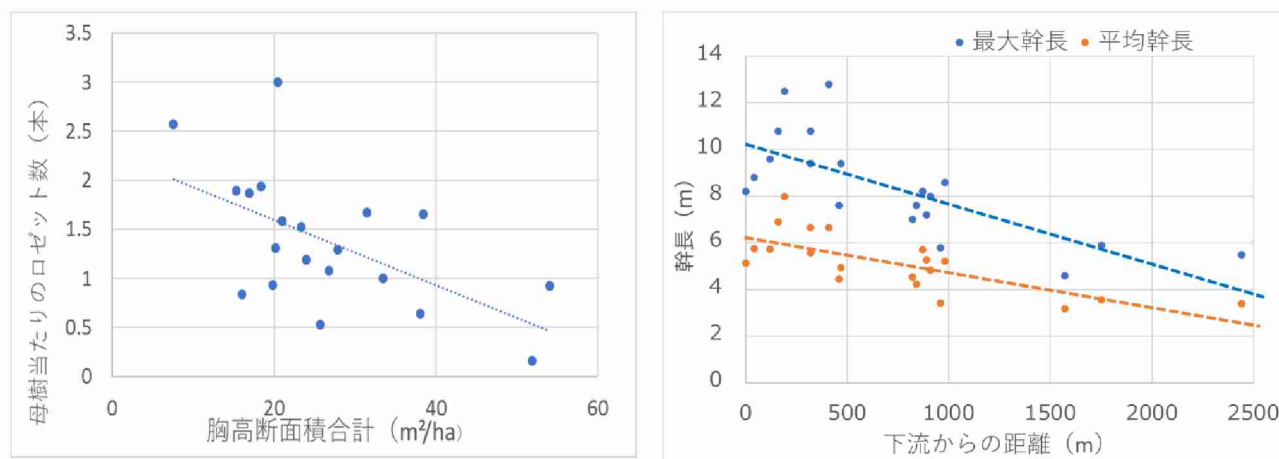
現地での聞き取り調査と参与観察により、植林地造成の過程が明らかとなった。スンガイトホール村のサゴヤシ植林地は、地域主体で1980年代から造成されてきた小規模オーナーがモザイク状に植林地を有しているのが特徴である。サゴヤシはリアウ州では古くから自家消費用のデンプン作物として利用されていた。1970年代から開始したパラゴムの栽培とラテックス採取が不調で、代替の作物としてサゴヤシは導入され、パラゴム林の内部に混植する形で植栽されてきた。住民は、既存のパラゴム林あるいは二次林の中に自生しているサゴヤシ成熟個体の根の不定芽に由来する吸枝と呼ばれる栄養繁殖個体を、親株から切り離しておよそ9m間隔で移植してきた。栽培に一切の肥料・除草剤などは使用していない。移植直後の除草を行う以外は積極的な管理は行っていない。サゴヤシの収穫は幹単位で行い、幹長が10m程度になり花序が形成される直前の個体を選んで個別に伐採し、幹中のデンプンを近隣の小規模工場で抽出している。伐採跡地の更新は吸枝による天然更新に任せている。

サゴヤシ植林地に20個の直径20mの円形調査区を設置し、幹を有するサゴヤシ（以下幹立ちサゴ）と直径10cm以上の樹木すべてを調査し、サゴヤシの大型吸枝も個体数を調査した（図(1)-3）。その結果サゴヤシと混交する樹木は以前植栽されたパラゴムが本数で60%を占め、そのほかに、*Macaranga*属、*Shorea*属などこの地域の自生樹木32種が出現した。20調査区のうち、7調査区では胸高断面積合計の75%以上をサゴヤシが占めており、ほぼ純林状態のプロットも6カ所存在した。追加的なサゴヤシ植栽や天然更新によって、きわめて高密度のサゴヤシ林が形成されつつあると考えられる。吸枝由来の更新はきわめて旺盛で、伐採後の天然更新は順調であるが、幹立ちサゴと樹木による林分のうっぺい度が高くなると幹立ちサゴ1個体あたりの吸枝の数は減少しており、密度逆依存の関係がみとめられた（図(1)-4）。

また、サゴヤシはヤシ科植物の特徴で、幹は二次肥大成長しない。このため、幹直径は成長によって増加しないが、遺伝的あるいは環境要因によって変動する。調査結果からは、高塩分の海水が過去に流入した部分や、泥炭の厚い部分でサゴヤシの直径が低下することが示唆された。また、泥炭の辺縁部から内陸部に向かって、サゴヤシの最大樹高は減少していく（図(1)-4）。これらの結果から、塩分濃度と泥炭厚さ、さらに地下水位などの要因がサゴヤシの成長速度や生産量に大きく影響することが予想され、設置した固定調査区での次年度の成長量、生産量調査がこれらの点を解明してくれると期待できる。



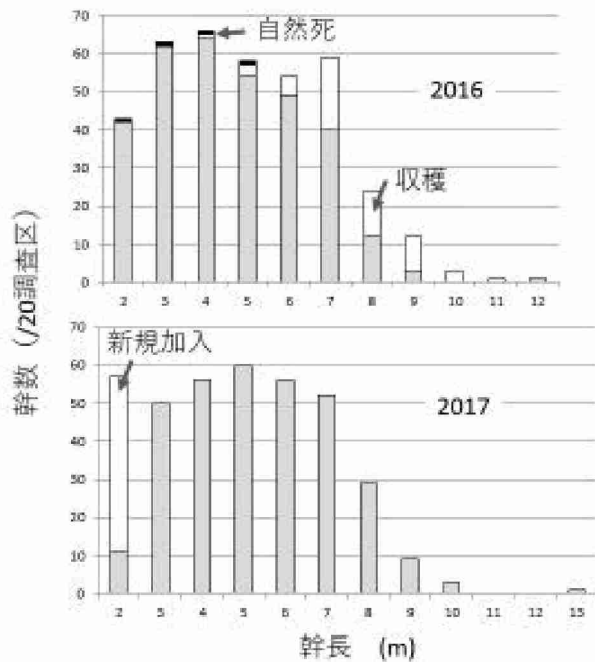
図(1)-3 スンガイトホール村のサゴヤシ植林地の種類組成と胸高断面積合計



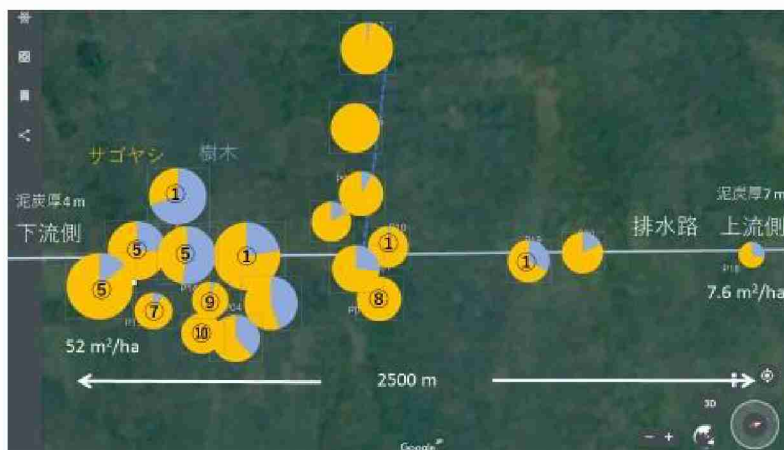
図(1)-4 左図：サゴヤシの母樹あたりのロゼット期の大型吸枝の個体数。ここでは、成熟個体と同程度の葉のサイズを持つ個体のみをカウントしている。右図：サゴヤシの最大幹長と平均幹長の泥炭土の位置による変化を示す。

・小規模サゴヤシ植林地の持続性と生産力

昨年度までの調査で、地域住民が経営する小規模植林地でのサゴヤシ栽培は、パラゴムノキの植林地に1980年代から徐々にサゴヤシを導入して、サゴヤシ林を造成していったもので、サゴヤシの地下茎由来の吸枝の移植と、吸枝による天然更新に頼っていることが判明している。このため、このサゴヤシ林の幹の樹齢やサイズはさまざまであるが、地下茎で連結したクローンや、地下茎が切れてはいるが遺伝的には同一のクローンで構成されていると考えられる。このため、本報告書ではサゴヤシの幹1本1本を1個体（ラメット）として扱う。また、この植林地では開花結実の開始する直前の、髓の内部のデンプン含有量が高くなったものを順次伐倒して、デンプン抽出のために収穫しており、いわゆる択伐システムが採用されている。また、施肥は実施されておらず、除草頻度もきわめて低い、粗放的な栽培方法である。今年度の調査から、調査地の泥炭は排水路下流側でも4 m以上あること、上流側では7 mに達することが明らかとなった。また2017年9月の地下水位測定値の平均値は、下流側で+25cm、中流部で-50cm、上流側で-88cmと大きな差がみられた。



図(1)-5 サゴヤシ個体群の1年間の
サイズ構成の変化



図(1)-6 プロットの配置と、2017
年時点の胸高断面積合計で示し
た木本種（水色）とサゴヤシ（オ
レンジ）の優占度。円グラフ中央
の数字は収穫されたサゴヤシ個
体数を示す。サゴヤシの収穫され
たプロットが限定されていて、さ
らに収穫個体数のばらつきも大
きいことがわかる。

H28年度にスンガイトホール村に設置した永久調査区20カ所における再測定調査と、バイオマス推定のための伐倒調査を実施した。幹長が2 m以上のサゴヤシ個体群の年間自然死亡率は1.0%，収穫による死亡率は13.1%，個体群の新規加入率は11.4%で，収穫による消失がきわめて大きい，ほぼこれに相当する新規加入が確認された。また，サゴヤシの幹長の年間成長速度は平均で1 m，最大で2.3 mに達しており，きわめて成長速度が速く，個体群のサイズ構造もほぼ安定しており（図(1)-5），生態学的にはきわめて持続的な生産システムだと評価できた。

20カ所の調査区のうち，サゴヤシの収穫が行われたプロットは11プロットで，1プロットあたりの収穫個体数は1個体から10個体と大きくばらついていた（図(1)-6）。サゴヤシの収穫は，農民が開花結実の兆候を示す個体を見つけて行うことが分かっているが，実際にはデンプン抽出工場の処理能力などによって収穫が調整される場合もあり，かならずしもサゴヤシの生育段階だけで決まっているのではないとのインタビュー結

果も得られている。サゴヤシのデンプン抽出工場は、メランティ諸島県全体でみれば、そのほとんどは華人が経営する大規模な工場である。これらの工場の多くでは、地元民ムラユからサゴ丸太を買い取り、濡れデンプンに加工したのち、オープンなどをつかって乾燥デンプンを生産している。村民からの聞き取りから、スнгаイトホール村においても、村民はかつて、県庁所在地であるスラット・パンジャンにある華人経営の工場にサゴ丸太を売っていたことが明らかになった。しかし、サゴ丸太の販売だけでは収益が十分にあがらないことから、村民は村内に小規模工場をつくり、濡れサゴデンプンの生産を行うようになったことも明らかになった。工場を建設した当初はパトロンの華人から資金を前借りし、十数年をかけて村内で濡れサゴデンプンを生産する体制を整えていった。村内で生産された濡れサゴデンプンは現在でもかつてサゴ丸太を売っていた華人の工場へと販売されており、華人との社会関係のもとに濡れサゴデンプンが生産され、販売されている状態には変わりがないことが明らかとなった。

また収穫されたサゴヤシからのデンプン抽出量についての推定を、今回のサゴヤシ収穫個体の伐倒調査と既存文献のデンプン含量などをもとに推定した。その結果、20調査区のデータを基にした単位面積あたりの樹幹（髓部）の乾物生産量は $4.4 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、乾燥デンプン生産量は $2.86 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ と推定された。ただし、調査を行っている20調査区には、植林地としてはまだ収穫時期に達していない調査区もふくまれているため、収穫が実際に行われた11調査区のみを使って推定すると、樹幹乾物生産量は $8.00 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、乾燥デンプン生産量は $5.20 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ となった。この後者の数値は、インドネシアにおけるキャッサバの平均デンプン生産能力とほぼ同等の値で、サゴヤシが泥炭湿地のデンプン作物としてきわめて有望であることを示している。

しかし、さきほど述べたように、今回の生産力の調査結果は、デンプン抽出工場の処理能力が低いために、収穫調整をうけた状態の生産力だと考えられ、生態学的に可能な生産力を示しているのではない。本来の潜在的な生産能力はさらに高い可能性があり、今後のデンプン抽出工場の処理能力を含めた、生産システム全体の評価が今後不可欠である。

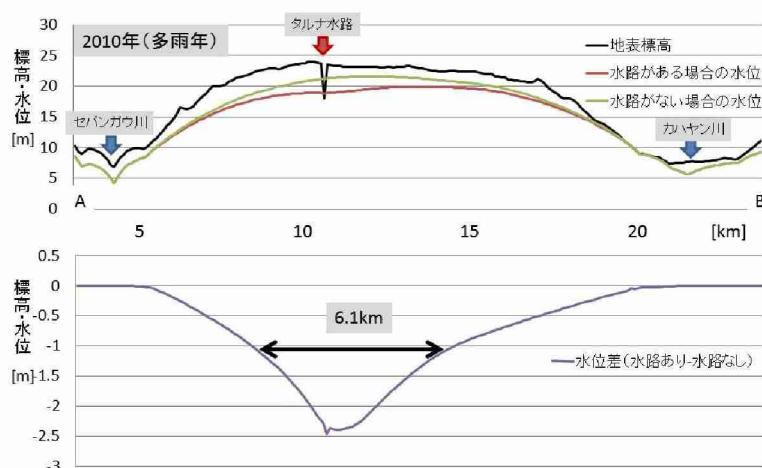
・サゴヤシのデンプン抽出後の残渣の有効利用

サゴヤシ収穫後のデンプン抽出過程では、大量の廃棄物が生まれる。デンプンを含まない樹皮、デンプンを水で分離した後の繊維分、沈殿槽で沈殿しきれなかった排水とともに廃棄されるデンプンである。これらの総量は、収穫物のおよそ半分程度にのぼるとの試算もある。これら残渣の有効利用と、林地への還元が可能になれば、サゴヤシ栽培システムの持続性向上につながる。これら残渣の利用方法を現地での観察と文献調査などにより検討したところ、樹皮の炭化による土壌改良剤としての利用や、水の浄化用の吸着物質としての利用の可能性が考えられた。また、残渣中には細胞壁構成成分としてセルロース、ヘミセルロースがそれぞれ約20%、リグニンが約5%という報告があり、セルロース画分の分離が容易であれば、ナノファイバーへの利用などの可能性も大きい。

(1)-3 最適泥炭地管理オプションのための泥炭地モニタリング

・排水路による泥炭地地下水位変動のモデリング

中央カリマンタンでの地下水と泥炭構造のデータをもとに、排水路の影響を評価可能な地下水位変動モデルを作成した。このモデルにより、実際の測定データと整合性の高いモデルが完成し、それにより排水路建設によって地下水位が最大2.4 m低下し地下水位が1 m低下する範囲が排水路の両側あわせて6 km以上に及ぶことが推定された(図(1)-7)。

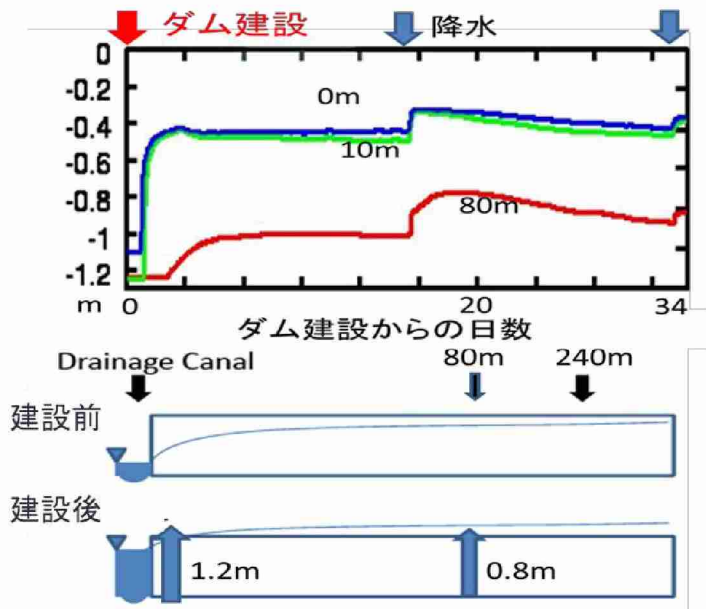


図(1)-7 2010年の多雨年の降水量データなどをもとに、排水路が存在する場合と存在しない場合の地下水位(上图)をモデルにより再現、両者の差を、泥炭ドームの断面図に表示した(下图)。

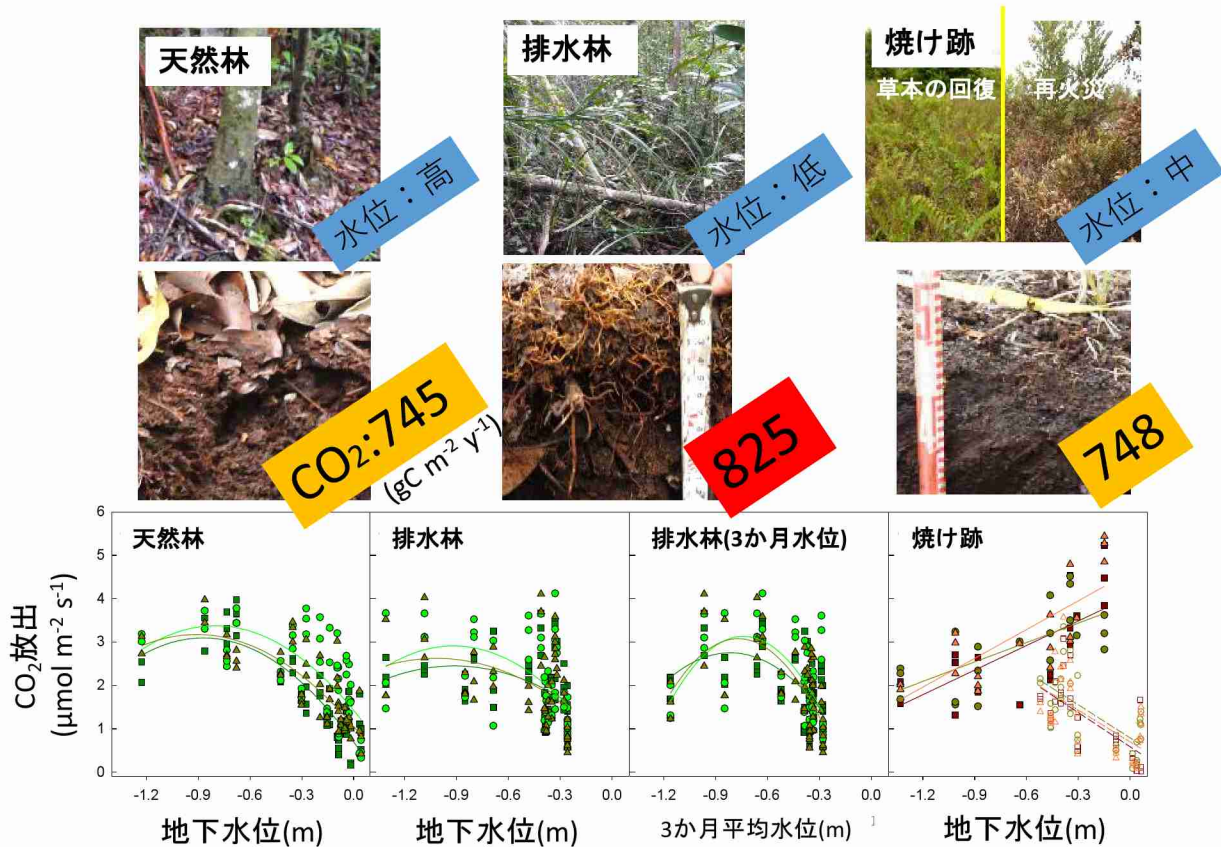
・排水路のダム封鎖による大きな貯水効果と湿潤化

ダム建設による地下水位上昇の効果とその空間的範囲を明らかにするため、リアウ州において調査を行った。2014年、2015年度の火災を受けてスマトラリアウ州タンジュンルバン村内に5カ所のダムを建設し、村人と共同での管理を実施した。地下水位計を設置してモニタリングを行った結果、水位上昇は排水路直近で1.2 m、排水路から側方へ80 mの距離で0.8 m程度上昇し、ダム建設の効果は広範囲に及ぶことが明らかとなった(図(1)-8)。この水位上昇により側方240 m以上にわたって泥炭は冠水して、再湿地化の効果が非常に高いことが判明した。

また、ダム建設に伴う水位の上昇が、泥炭の分解による二酸化炭素放出に及ぼす影響について、インドネシア共和国中央カリマンタン州・パランカラヤ近郊においてパランカラヤ大学とともに調査した。排水路による水位低下の影響がほぼない天然泥炭湿地林、排水路建設により水位が低下した排水林泥炭林、排水及び植生伐採後の火災により荒廃地化した焼け跡の3サイトで、閉鎖型チャンバー法により地表面からの二酸化炭素放出量を測定した。観測はエルニーニョによる強乾燥が顕著であった2014年、2015年の両年において行ったが、その結果、年間推定二酸化炭素放出量は天然林に比べて水位の低下した排水林で最も高く $825 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ 、水位の高かった天然林と焼け跡ではほぼ同等でそれより低い、それぞれ 745 、 $748 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ であった(図(1)-9)。このことから、泥炭湿地林の排水による地下水位の低下が泥炭表層での酸化的環境の拡大につながりが泥炭分解を促進することが示された。また焼け跡では、燃焼による泥炭の収縮や、易分解性の有機物の減少などにより、泥炭分解が排水林に比べて低下することが示された。この結果は、排水路をダムにより封鎖することで、泥炭の分解とその結果起こる二酸化炭素の放出を抑制することが可能になることを示すものである。



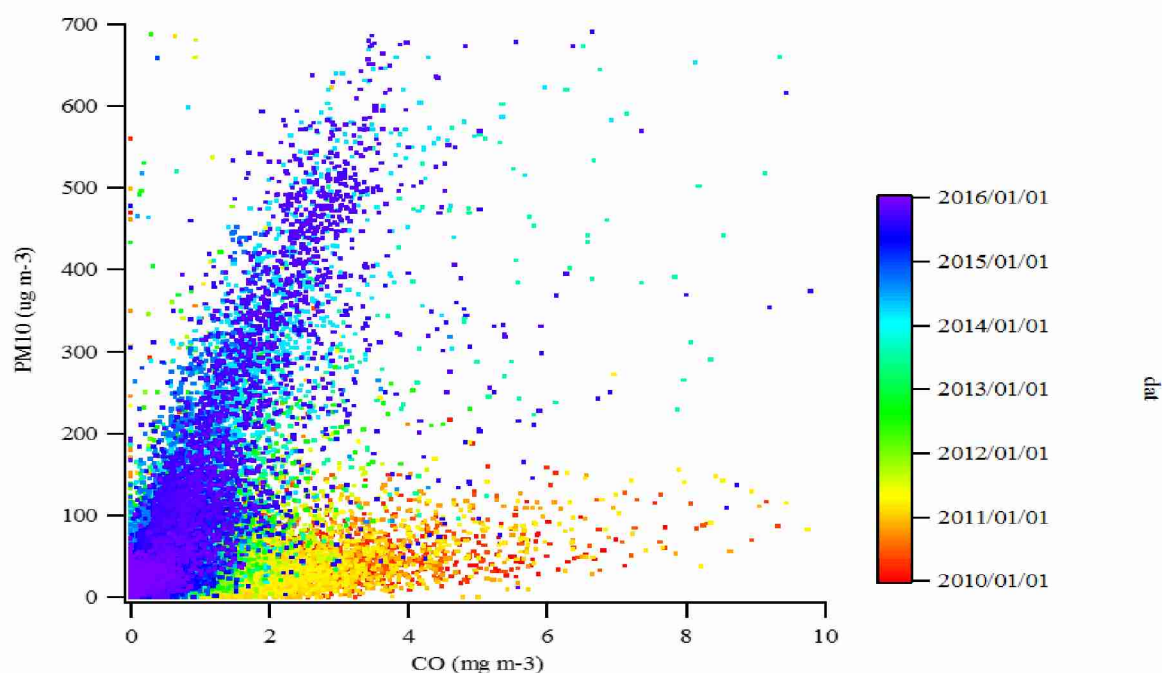
図(1)-8. 水路封鎖の効果の例。
ダム建設による水路封鎖により、地下水位は著しく上昇、その効果は、水路の側方200 m 以上にも及ぶことが実測から明らかとなった。



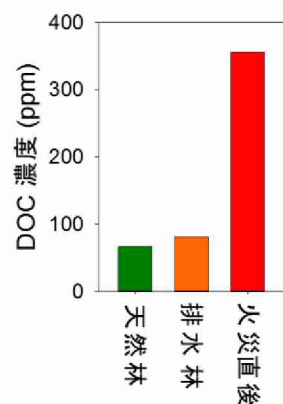
図(1)-9. 水位の違い(土地利用)間の泥炭分解 (CO_2 放出) 年間推定量の違い (Itoh et al., 2017; Science of the Total Environment)

ペカンバル市環境局と協力して、一酸化炭素計測とPM10計測データの解析を行った。2010年と2011年の火災発生時には一酸化炭素の排出量が多く、2014年と2015年はより多くの粒子状物質（PM10）が計測された。一般的に地上部で火災が起こった場合はPM10が多く、泥炭地特有の地中で発生する火災ではCOが多い傾向が見られる。さらにはCOは相対的に拡散しやすく、PM10は拡散しにくく、移流しやすいという特徴がある。すなわち近くで火災が発生した場合はCOが多い一方で、遠方で発生した火災による煙霧が風によって輸送された場合はPM10が多い傾向が分かった。

例えば2015年6月から11月においてはインドネシア各地で火災が起こり、リアウ州もヘイズの被害を受けたが、リアウ州の発火災発生件数は例年並みであった。図(1)-10の結果からも2015年（図中では青点）のPM10の計測値は高い傾向を示したが、相対的に一酸化炭素濃度は低いことが分かる。つまりPM10濃度の解釈には、ヘイズ発生時の風上であるスマトラ南部から移流してきた可能性を考慮する必要がある。また今回の調査では、火災前後で地下水質が大きく変化することが示唆された(図(1)-11)。



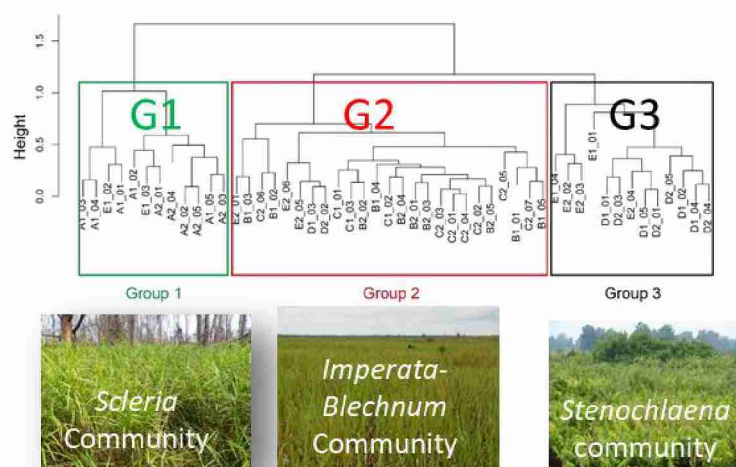
図(1)-10 2010年から2016年までの毎時間の大気中一酸化炭素とPM10濃度の比較



図(1)-11 カリマンタン島パラカラヤの泥炭地における天然林・排水林・火災直後の裸地における(左)溶存態有機炭素(DOC)濃度の比較。(右)天然林地下水と火災直後の裸地の試料。火災直後は非常に高濃度になることが明らかになった。

泥炭地においては、近年、泥炭火災が深刻な問題となっている。泥炭火災が起こった場所は裸地となり、その後には焼け跡に特有の草原が発達する。この草原はシダ植物や一年草および多年草といった植物が混成した草原であり、乾季には一部が枯れるため非常に燃えやすくなり、繰り返される泥炭火災のひとつの原因となっている。このため、このような焼け跡草原とその立地条件を迅速に判別し、その後の管理や土地利用に生かせるような手法の開発が非常に重要である。そこで、本研究では、リアウ州タンジュンレバン村周辺の焼け跡草原において、植生調査、および土壌・水分環境の測定、解析を行い、植生とその立地条件との関係性を明らかにすることを目的とした。

約40プロットにおける調査の結果、これらの焼け跡草原はおもに3つのグループに分類されることが明らかとなった(図(1)-12)。Group 1とした*Sceleria*コミュニティは、栄養塩が比較的高い立地条件に見られるが、地下水位との関連性は薄く、どのような環境においても見られることが示された。Group 2の*Imperata-Blechnum*コミュニティは、栄養塩が低く地下水位が高い場所に見られ、Group 3の*Stenochlaena*コミュニティは地下水位の低い場所に見られることが明らかとなった。これにより、植生の状態から地下水の水位や栄養塩の状態を推定することが可能となり、今後の泥炭地管理への利用が期待される。



図(1)-12 荒廃泥炭草原の種類組成に基づく植生分類を行い、3つのコミュニティタイプを識別した。(塩寺 未発表データ)

(1)-6 地域社会のエンパワーメントを伴う最適泥炭湿地管理オプション

最適オプションの条件：地域社会のエンパワーメントに結び付く泥炭地の持続的な利用の条件として、以下のような基準が設定できる。

- 住民の自発性とインセンティブ：住民による、あるいはマイクロクレジットの利用により実現できる程度の初期投資サイズが小さな生業であること。地域住民の技術と能力の範囲内で管理・経営・維持が可能であること。土地の所有権あるいは利用権が住民に設定されていることなどが必要である。ただし、リアウ州では村外に住む華人が所有する村内の土地で、村民がサゴヤシ栽培を行っている土地なども多い。華人とムラユとの関係は数世紀にわたって築かれてきたもので、華人との関係の中で地域住民の土地所有権や利用権を考えていく必要もある。
- 泥炭地火災の発生リスクが低いこと：排水路の遮断による再湿地化を実施しても十分な生産性が確保できるような管理オプションであること。大規模な皆伐や地拵えのような、泥炭が乾燥する状況を作らずに維持できるシステムであること。
- 火災発生時の消火や防火の住民インセンティブ：住民による自発的な生業活動として泥炭地が利用でき、再湿地化によって生産性が増加するような生業が展開できること。
- 住民における水路封鎖と再湿地化：住民の技術と資材によって排水路の閉鎖が可能で、再湿地化の維持管

理も住民ベースで可能であること。

本研究が再湿地化条件下での作物として注目したサゴヤシ植林によるデンプン生産は、次のような特徴をもち、上記の基準をほぼ満たしている。

初年度に行ったリアウ州における泥炭地利用の実態と、泥炭地火災の被害地域からあきらかなのは、再湿地化を行い、森林被覆率が高い住民主体のサゴヤシ植林地は、火災リスクが低くまた住民による防火や消火活動がきわめて有効に働いていると推測された。また、住民主体のサゴヤシ植林では、大面積の皆伐や火入れを伴う地拵えを実施せず、既存植生のなかにサゴヤシの苗を移植していく方法を採用しており、成立する植林地も同齢林ではなく、多齢林構造を有している。収穫も個体ごとに花序形成の直前のタイミングを見計らって行うため、林業における択伐システムと同様、皆伐によって裸地が形成されることがなく、火災リスクも低減できる。このように多齢林構造を創り出し択伐を実施することにより、火災リスクの少ない、持続的植林地経営が可能であろう。デンプン抽出は、住民によって設置された小規模抽出工場において行われており、素材生産者と抽出工場の連携がきわめて強い。サゴヤシ栽培からデンプン抽出の過程すべてが、住民によって行われ、現在は外部からの資金の提供がほぼ無い状態で安定して実現できている。

水路閉鎖も小規模なダムにより実現可能で、サゴヤシの調査を行ったスンガイトホール村では国の補助により、堰板の取り外しにより堰の高さを調節できる木製のダムが2015年以降に設置され、収穫したサゴの玉切りにした材の輸送にも活用できている。構造は単純で運搬水路としての機能も維持できているので、住民にスムーズに受容されている。また本研究の成果から明らかなように、堰の設置による効果は水路の側方200m以上に及び、再湿地化の効果はきわめて大きい。実際再湿地化によってサゴヤシの成長が改善したと住民も実感しており、堰の維持管理のインセンティブも極めて高かった。

しかし、現在の土地利用オプションにも問題がある。住民によって設置された小規模抽出工場においてデンプン抽出が行われているが、最終産物が濡れデンプンで、しかも泥炭地水をそのまま利用して抽出を行うため生産物の濡れデンプンが濁っており、売却価格は大規模工場で生産された乾燥デンプンに比べるとかなり低い。また、デンプン工場の処理能力がサゴヤシの収穫可能量より低いことがうかがわれるインタビュー結果もあり、収益性を上げるためには、工場の処理能力や浄化水を利用した生産システムの構築と処理能力の拡大が必要である。浄化水の獲得には泥炭地の黒色の水を浄化するための装置が必要だが、現在サゴヤシの樹皮を炭化させたものを生産しているために、炭を利用した浄化システムの構築できる可能性は高い。

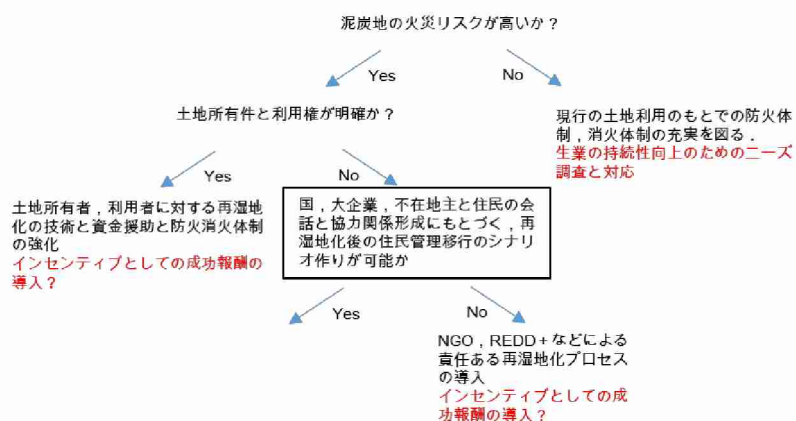
また、サゴヤシ抽出後の廃棄されているものには上記の樹皮だけではなく、生産されるデンプンの2倍以上の重要な髄残渣がのこり、この中にはホロセルロース20%、ヘミセルロース20%、抽出しきれていないデンプン30%程度がふくまれるという。これらの物質は廃棄される場合が多く、環境負荷も引き起こすので、この残渣の有効利用が望まれ、家畜や魚の飼料、ナノファイバーやプラスチック利用などの可能性は大きい。また、抽出過程で排出されるデンプンを含んだ污水も浄化設備の無い状況で垂れ流されており、污水处理のための浄水池などの設置が不可欠であるが、この浄水池自体を養魚池して活用することも可能であろう。サゴヤシを基幹とするカスケード利用システムの構築を最新の技術を用いて確立し、それを地域社会で維持管理できるようなシステムに改変して実装することができるだろう。今後の課題である。

図(1)-13は、再湿地化を実施する際の導入決定樹暫定案である。再湿地化実施には社会面と自然面の二つからプロジェクト導入の可否とその経路を選択する必要がある。社会面(図(1)-13a)では土地所有と利用権の状況に応じて対応する必要がある。火災リスクの少ない持続的な生業の確立が土地所有者・利用者へのインセンティブとしてはたれば理想的だが、成功報酬の導入も考慮されなければならないかもしれない。REDD+のスキームからこのインセンティブが形成できることが望ましいだろう。また泥炭地では土地所有権があまりないで、泥炭が非常に荒廃乾燥し、国、企業、地域住民の合意形成による再湿地化シナリオの作成が必要な地域が広がっている(図(1)-14)。これが一番重要なステップである。一方ですでに火災リスクが低く、持続的な生業が確立しているところでは、持続性向上のためのニーズ調査とそれに対する対応を考えていく必

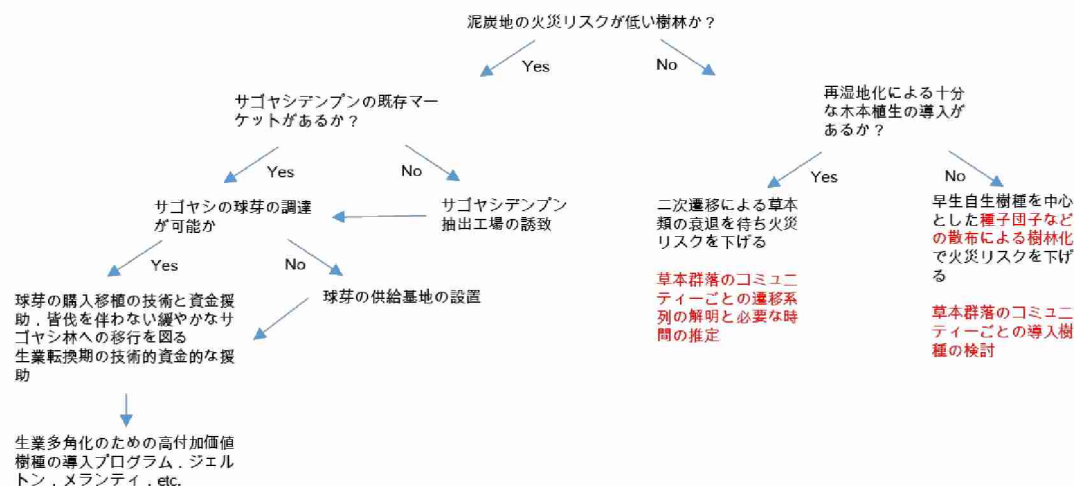
要がある。廃棄物を利用した循環的なシステム，たとえば泥炭水の浄化や廃棄物デンプンやサゴヤシ髄や樹皮の利用システムの確立が求められる可能性が大きいと考えられる。

自然面（図(1)-13b）では，草原化あるいは低木林化してしまった荒廃泥炭地での再湿地化ではまず樹林化が達成できないと，火災リスクの低減ができず，早期のサゴヤシ導入などはリスクが大きい。この部分の既存技術の適用を早期に実現する必要がある。非泥炭地で実用化されている種子を混ぜた粘土団子の空中散布技術などが早急に確立される必要がある。

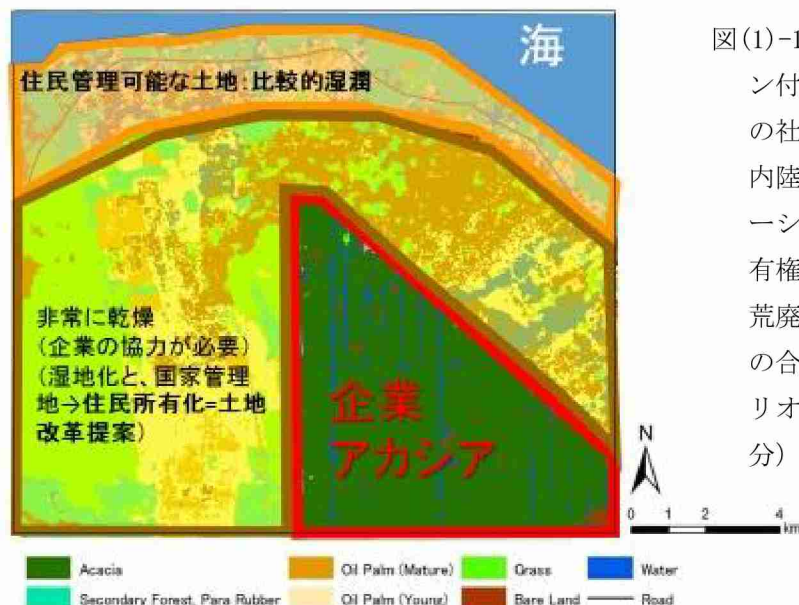
a) 再湿地化のプロジェクト導入決定樹 社会面



b) 再湿地化のプロジェクト導入決定樹 自然面



図(1)-13 再湿地化プロジェクト導入における (a) 社会面と (b) 自然面の決定樹試案。



図(1)-14 リアウ州タンジュンレバン付近の土地被覆図と，再湿地化の社会条件によって区分した図。内陸部の企業アカシアプランテーションを除いた部分は，土地所有権があいまいで，泥炭が非常に荒廃乾燥し，国，企業，地域住民の合意形成による再湿地化シナリオの作成（図(1)-13aの黒枠部分）が不可欠。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- ①小規模サゴヤシプランテーションでの生物生産力の推定値を、永久調査区での生態学的なモニタリングによって初めて報告した。これにより、パルディカルチャーのオプションとしてサゴヤシ導入をする上において科学的確証を明示することが可能となった。
- ②排水路封鎖による再湿地化の効果を解明、立地条件による温室効果ガスの発生量変動も解明することが可能となり、今後のREDD+における経済効果を推定することも可能にした。
- ③荒廃泥炭地の生物指標による立地環境判定法を確立することに成功し、迅速な立地判定手法の確立を可能にした。

(2) 環境政策への貢献

再湿地化後の生業オプションとして、サゴヤシデンブンの生産システムが持続性、生産性に優れていること、並びに排水路封鎖による水位回復の効果を実証したことで、インドネシアの泥炭管理の政策立案に大きく貢献できるとともに、日本政府の泥炭地修復支援政策についても貢献が可能となった。また、再湿地化のプロジェクト導入決定樹を作成し、プロジェクト導入に伴う社会面、自然面で留意する部分を明確化し、社会実装にむけての課題を明確化することで、プロジェクトの適用範囲の明確化した。これらの成果を2018年2月にジャカルタにおいて開催されたインドネシア泥炭復興庁などが主催するシンポジウム「Joint Symposium on Tropical Peatland Restoration: Responsible Management of Tropical Peatland following up to the Jakarta Declaration, Menara Peninsula Hotel, Jakarta, Indonesia 2018. 2. 22」で発表、インドネシアの政策担当者へ周知させることができた。

また、本研究の成果は来年5月京都開催のIPCC総会において、日本の研究成果に基づく成果として活用することが見込める。

6. 国際共同研究等の状況

インドネシア科学院生物学研究センター (Joeni Setijoe Rahajoe, Tika Dewi Atikah)

インドネシア気象気候地球物理庁 (Alpon Sepriando)

インドネシア・環境林業省 (ハンニ・アジアティ)

インドネシア・パランカラヤ大学 (Aswin Usup)

インドネシア・リアウ大学 (ハリス・グナワン)

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) Chen, J., Budisulistiorini, S. H., Itoh, M., Lee, W.-C., Miyakawa, T., Komazaki, Y., Yang, L., Kuwata, M.: *Atom. Chem. Phys.* 17, 11591–11604 (2017), doi:10.5194/acp-2017-136, Water uptake by fresh Indonesian peat burning particles is limited by water-soluble organic matter
- 2) Itoh, M., Okimoto, Y., Hirano, T., Kusin, K.: *Sci. Total Environ.* 609, 906–915 (2017), doi:10.1016/j.scitotenv.2017.07.132, Factors affecting oxidative peat decomposition due to land use in tropical peat swamp forests in Indonesia.

- 3) Budisulistiorini, S. H., Riva, M., Williams, M., Chen, J., Itoh, M., Surratt, J. D., Kuwata, M. Environmental Science & Technology, 51, 4415–4423 (2017), doi:10.1021/acs.est.7b00397, Light-absorbing brown carbon aerosol constituents from combustion of Indonesian peat and biomass.
- 4) Neoh, K.-B., Bong, L.-J., Muhammad, A., Itoh, M., Kozan, O., Takematsu, Y., Yoshimura, T.: PLOS ONE, 12(3) (2017), e0174388. doi:10.1371/journal.pone.0174388, The effect of remnant forest on insect successional response in tropical fire-impacted peatland: A bi-taxa comparison.
- 5) Kuwata, M., Kai, F. M. Liudongqing, Y. Itoh, M., Gunawan, H., Harvey, C. F.: J. Geophys. Res. Atmos. 122, 1281–1292 (2017), doi:10.1002/2016JD025897, Temperature and Burning History Affect Emissions of Greenhouse Gases and Aerosol Particles from Tropical Peatland Fire.
- 6) Kuwata, M., Kai, F. M. Liudongqing, Y. Itoh, M. Gunawan, H., Harvey, C. F.: J. Geophys. Res. Atmos. 121 (2017), doi:10.1002/2016JD025897, Temperature and Burning History Affect Emissions of Greenhouse Gases and Aerosol Particles from Tropical Peatland Fire.
- 7) Neoh, K.-B., Bong, L.-J., Muhammad, A., Itoh, M., Kozan, O., Takematsu Y. and Yoshimura T.: Environmental Entomology, 45, 1170–117 (2016), The impact of tropical peat fire on termite assemblage in Sumatra, Indonesia: reduced complexity of community structure and survival strategies.
- 8) Sakabe, A., Kosugi, Y., Okumi, C., Itoh, M., Takahashi, K.: J. Geophys. Res. Biogeosciences 121, 1717–1732 (2016). DOI: 10.1002/2015JG003292 Riparian wetlands affect the seasonal variations of watershed-scale methane budget in a temperate monsoonal forest.
- 9) Motoko S. Fujita, Hiromitsu Samejima, Dendy Sukma Haryadi, Ahmad Muhammad, Mohammad Irham and Satomi Shiodera: Ecological Research 31: 275–285 (2016), Low Conservation Value of Converted Habitat for Avifauna in Tropical Peat Land on Sumatra, Indonesia

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) Kozan O: “Rainfall and Groundwater Level Fluctuations in the Peat Swamps (Chapter10)”, Catastrophe and Regeneration in Indonesia’s Peatlands Ecology, Economy and Society, NUS Press, 296–311(2016)
- 2) Mitsuru Osaki and Noriyuki Tsuji Eds., “Tropical Peatland Ecosystems”, Springer Japan, pp. 639–651, (2016) Impact of peat-fire disturbance to forest structure and species composition in tropical peat forests in Central Kalimantan, Indonesia (Satomi Shiodera, Tika Dewi Atikah, Ismail Apandi, Tatsuyuki Seino, Akira Haraguchi, Joeni Setijo Rahajoe and Takashi S. Kohyama)
- 3) Mitsuru Osaki and Noriyuki Tsuji Eds., “Tropical Peatland Ecosystems”, Springer Japan, pp. 639–651, (2016) Floristic diversity in the peatland ecosystem in Central Kalimantan, (Joeni Setijo Rahajoe, Laode Alhamd, Tika Dewi Atikah, Bayu A Pratama, Satomi Shiodera and Takashi S. Kohyama)
- 4) Mitsuru Osaki and Noriyuki Tsuji Eds., “Tropical Peatland Ecosystems”, Springer Japan, pp. 639–651, (2016) Sustainability education and capacity building in the Central Kalimantan, Indonesia, (Noriyuki Tanaka, Hidenori Takahashi, Satomi Shiodera, Nobuyuki Tsuji)

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) Kozan O.: e-asia Bio-energy Workshoip –Green and Renewable Energy Technology for Sustainable Environment– on 31 October –1 November 2016, Family Boutique Hotel, Vientiane Capital, Lao P. D. R.

“Transboundary Air Pollution issue and Tropical Peatland Management in Indonesia”

- 2) Kozan O.: International Co-Design Workshop on Earth observation in Support of the Sustainable Development Goals -The Case of Urban Areas in Asia on 16th January 2017, Science Council of Japan “Peatland Fires and Mitigation Measures”
- 3) Itoh, M., Nishimura, H., Shiodera, S., Hirano, T., Osamu, K., Gunawan: Internatioal Peat Congress, Kuching, Malaysisa 2016. 8. 18. “2016, Change of water chemistry (Dissolved Organic Carbon) with frequent peat fires in Indonesian Peatland”
- 4) Itoh, M., Nishimura, H., Hirano, T., Gunawan, H., Kusin, K., Kozan, O., Yotaro, T., Katsuyama, Japan Geoscience Union Meeting 2016, Makuhari. “2016, M. Effects of rapid environmental changes on groundwater dissolved organic carbon dynamics in Tropical peat swamp”
- 5) 金子隆之、桑原修三、神崎護：第128回日本森林学会大会、鹿児島市、2017. 3. 28 「再湿地化火災荒廃地におけるサゴヤシ生産性向上の試み」
- 6) 桑原修三、青木亮隆、鈴木遥、金子隆之、神崎護、Ahmad Muhammad：第27回日本熱帯生態学会年次大会、奄美市、2017. 6. 19 「インドネシア泥炭地におけるサゴヤシ栽培の実態。」
- 7) Yukako Mmonda, Shuzo Kuwahara, Yoritaka Aoki, Haruka Suzuki, Takayuki Kaneko, Osamu Kozan, Ahmad Muhammad, Ruliyana Susanti, Haris Gunawan, Mamoru Kanzaki：Joint Symposium on Tropical Peatland Restoration: Responsible Management of Tropical Peatland following up to the Jakarta Declaration, Menara Peninsula Hotel, Jakarta, Indonesia 2018. 2. 22. “Preliminary report on the population dynamics and productivity of sago palm (Metroxylon sagu) on smallholder plantations in a rewetting peatland, Riau Province, Indonesia”
- 8) Suzuki, H.: Joint Symposium on Tropical Peatland Restoration: Responsible Management of Tropical Peatland following up to the Jakarta Declaration, Menara Peninsula Hotel, Jakarta, Indonesia 2018. 2. 22. ” Water in Local Infrastructure and Livelihood on Peatland: Case Study in Kepau Baru, Meranti, Riau”
- 9) Osamu Kozan: Joint Symposium on Tropical Peatland Restoration: Responsible Management of Tropical Peatland following up to the Jakarta Declaration, Menara Peninsula Hotel, Jakarta, Indonesia 2018. 2. 22. “Utilization of ENSO prediction data around Indonesia”

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 泥炭火災適応策としての再湿地化と在来種植林による泥炭生態系の回復と住民の生計向上(平成 29 年 10 月 26 日 在大阪インドネシア領事館主催インドネシア投資セミナー 観客約 50 名)にて講演

Science and Technology Lecture (平成 29 年 9 月 29 日 在シンガポール日本大使館主催 Japan Creative Center 観客約 50 名)にて講演

- 2) 生物多様性と絶滅危惧動物を学ぶ(平成29年10月29日 天王寺動物園主催, 天王寺動物園 観客約30名)にて講演
- 3) 大阪明星学園高等学校

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) Page SE, Rieley J, Topher C, Banks J. 2011. Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Glob. Chang. Biol.* 17, 798–818.
- 2) Mizuno K., Fujita M. S., Kawai S. eds. 2016. *Catastrophe & Regeneration in Indonesian's Peatlands: Ecology, Economy & society*. 466. Kyoto University Press.
- 3) Gewin V. 2018. Rewetting the swamp: Indonesia's bold plan. *Scientific American*
<https://www.scientificamerican.com/article/rewetting-the-swamp-indonesia-s-bold-plan/>
- 4) Biancalani R. and A. Avagyan (Edt.) 2014. Towards climate-responsible peatlands management. FAO
- 5) Karyant O. 2015. Smallholder sago farming on largely undrained peatland. *FAO Document card*.
<http://www.fao.org/documents/card/en/c/b872c167-7ecf-4ed7-9007-4464db946ef5/>
- 6) Hergoualc'h K., R. Carmenta, S. Atmadja, C. Martius, D. Murdiyarso and Herry Purnomo 2018. Managing peatlands in Indonesia. Challenges and opportunities for local and global communities. CIFOR infobriefs No.205. DOI: 10.17528/cifor/006449

Ⅱ－２ 荒廃泥炭湿地林の生態系サービスの修復オプションの評価・開発

＜研究分担者＞

北海道大学大学院地球環境科学研究院

甲山隆司

北海道大学大学院農学研究院

大崎 満

＜研究協力者＞

NPO法人・北海道水文気候研究所

高橋英紀・早坂洋史

平成27～29年度累計予算額：11,200千円（うち平成29年度：3,400千円） ※間接経費を含む。

〔要旨〕

インドネシアの低地に分布する泥炭湿地林の修復手法を確立するために、森林樹木群集と泥炭層地下水位の長期観測と予測モデル開発を行ない、泥炭層の高水位維持が必要であることを明らかにした。高水位に適応したサゴヤシを含む在来種を用いた持続的土地管理システムを提案するとともに、REDD+およびPES（生態系サービスの支払いメカニズム）に重要な森林生態系動態値の推定手法を開発した。衛星観測データを用いた荒廃泥炭地の火災の早期予測モデルを開発し、警戒システムを提案した。

〔キーワード〕

泥炭湿地林、熱帯ヒース林、泥炭地火災予測、水位変動予測モデル

1. はじめに

東南アジアの低地泥炭湿地は、巨大な炭素プールであり、泥炭湿地林の伐採と灌漑による乾燥化が、エルニーニョ現象と人為による火災と相まって、泥炭層の消失と炭素放出を招いている。また泥炭地火災はPM10程度のヘイズによる健康影響も及ぼすため周辺国を含めた課題となっている。泥炭地林生態系の生産特性と泥炭層の維持プロセスを森林と泥炭層水位の観測により解明し、火災対策のための広域予測システムを構築し、総合的な泥炭地の修復・持続的利用のシナリオを提案することが、地球規模でも重要な課題となっている。本研究は、インドネシア・中カリマンタン州の泥炭湿地を対象に、これら課題をと総合的に解明した。

2. 研究開発目的

荒廃泥炭湿地での植生回復動態をモニタリングする。地下水変動や火災発生動態を計測する。また、衛星による流域スケールでの攪乱・再生の動態を解析する。泥炭保全REDDと植林CDM評価を行い、攪乱・荒廃地修復過程の予測モデルの開発研究を行う。

3. 研究開発方法

本研究では、現地観測・衛星観測・予測モデル開発に基づいて、荒廃泥炭林の修復手法の多面的な提案を行った。中カリマンタン州の泥炭湿地林およびヒース林で長期観測プロットの継続観測を実施した。森林の個体数密度と現存量動態を解析するためのパラメータ観測手法を整理し、動態特性を明らかにした。2015年9～11月に発生したスーパーエルニーニョによる泥炭地火災被害状況について、現地調査を実施し、衛星画像解析により、広域の火災ホットスポットの経時変化を解析するとともに、ENSO指標による火災予測モデルを開発した。泥炭保全の評価を行い、攪乱・荒廃地修復過程の予測モデルを開発した。このモデルに基づき、インドネシア大統領府の泥炭地修復庁に対して、泥炭層を保全する高水位管理システムの事業化を提案した。地表面高と地下水位変動の自動観測システムを用いた長期観測による、泥炭層消失の予測モデルを開発した。

4. 結果及び考察

(2)-1 自然森林生態系の動態特性の解析

REDD+および生態系サービスへの支払いメカニズム(PES)に、プロットの継続観測による森林生態系の動態パラメータの推定は不可欠である。今までの推定手法には一貫性がなく、課題となっていた。本研究では、まず個体数動態の推定手法に整理を加え、国際誌に総説をまとめた(Kohyama, Kohyama & Sheil, 2018)。樹木個体の成長による現存量生産速度の推定には、観測間隔に依存して過小推定になる問題が指摘されながら、理論的な根拠のない経験的補正が行われる程度だった。この問題にも理論的な解決方法を見出した。

表(2)-1-1に個体数当たりの死亡率と加入率(per-capita mortality and recruitment rate)をまとめた。特に年加入率は、今までに4つの独立した計算方法が用いられており、このうち2つは不適切であることを示した。本研究では瞬間加入率と瞬間死亡率を用いている。

表(2)-1-1. 個体数当たり変化率の定義と計算式 (Kohyama, Kohyama & Sheil, 2018)

個体数当たり変化率 (year ⁻¹)	定義*	相互変換	計算式**	
g 内的自然増加率	$dN/dt = gN$	$g = \ln \lambda$	$g = \ln(N_T/N_0)/T$	eqn 1
m 瞬間死亡率	$dNs/dt = -mNs$	$m = -\ln(1 - m_a)$	$m = \ln(N_0/Ns_T)/T$	eqn 2
r 瞬間加入率	$dN/dt = (r - m)N$	$r = \ln[1 + r_a/(1 - m_a)] = -\ln(1 - r_{af}) = \ln(1 + r_{as})$	$r = \ln(N_T/Ns_T)/T$	eqn 3
λ 年増加率	$N_{t+1} = \lambda N_t$	$\lambda = e^g$	$\lambda = (N_T/N_0)^{1/T}$	eqn 4
m_a 年死亡率	$Ns_{t+1} = (1 - m_a)Ns_t$	$m_a = 1 - e^{-m}$	$m_a = 1 - (Ns_T/N_0)^{1/T}$	eqn 5
r_a 年加入率：年初密度当たり	$N_{t+1} = (1 - m_a + r_a)N_t$	$r_a = (e^r - 1)e^{-m}$	$r_a = [(N_T/Ns_T)^{1/T} - 1](Ns_T/N_0)^{1/T}$	eqn 6
r_{af} 年加入率：年末密度当たり	$(1 - r_{af})N_{t+1} = (1 - m_a)N_t$	$r_{af} = 1 - e^{-r} = r_a/(1 - m_a + r_a)$	$r_{af} = 1 - (Ns_T/N_T)^{1/T}$	eqn 7
r_{as} 年加入率：生存密度当たり	$N_{t+1} = (1 - m_a)(1 + r_{as})N_t$	$r_{as} = e^r - 1 = r_a/(1 - m_a) = r_{af}/(1 - r_{af})$	$r_{as} = (N_T/Ns_T)^{1/T} - 1$	eqn 8
r_{az} 年加入率：ゼロ死亡仮定	$N_0 + n_{t+1} = (1 + r_{az})(N_0 + n_t)$	$r_{az} = [1 + (1 - m_a + r_a)^T - (1 - m_a)^T]^{1/T} - 1$	$r_{az} = (1 + N_T/N_0 - Ns_T/N_0)^{1/T} - 1$	eqn 9

* t 時刻, $N = N(t)$ 連続時間での個体数, N_t 離散時間での個体数, $Ns = Ns(t)$, Ns_t 時刻0から t までの生存個体数, $n_t = N_t - Ns_t$ 時刻 t までの総加入個体数。

** T , 2 観測間の期間 (years); N_0 , 当初観測の個体数; Ns_T , 期間で生存した個体数; N_T , 最終観測の個体数。

加入率に関しては、調査面積をベースにした速度(per-area recruitment rate)が用いられることも多い。森林の一部を区切って設定した調査区についての観測データからは、加入は調査区の中で閉じたプロセスと考えることは不適切であり、単位面積あたりの加入速度として定義することが適当であることが多い。面積当たりの加入率も多くの手法が用いられてきたため、相互の関係を整理した(表(2)-1-2)。

樹木個体の成長と枯死による現存量の回転率は、純一次生産速度NPP(個体成長量に、個体より寿命の短い葉・小枝の成長量を加えた値)および枯死脱落速度(個体枯死量に、葉の脱落量や部分被食量を加えた値)の主要部分である(森林生態系のNPPの約40%程度が、個体成長による生産速度)。観測間隔が長い調査データでは、その間に枯死した個体や、加入して枯死した未観測個体による生産をゼロと仮定した単純推定値が用いられてきた。この問題を解決するために、個体数動態の解析手法を適用した瞬間生産および瞬間枯死速度、年生産および年枯死速度を定義し、従来の単純生産・枯死速度推定値との関係を明らかにした。これを表(2)-1-3にまとめる。

表(2)-1-2. 面積当たり変化率の定義と計算式 (Kohyama, Kohyama & Sheil, 2018)

面積当たり変化率 (year ⁻¹ m ⁻²)		定義*	相互変換	計算式**	
<i>M</i>	瞬間死亡率	$MA = mN_0$	$M = -\ln(1 - M_a)$	$M = (N_0/A) \ln(N_0/N_{S_T})/T$	cf. eqn 2
<i>R</i>	瞬間加入率	$dN/dt = RA - mN$	$R = R_a [-\ln(1 - m_a)]/m_a$	$R = (m/A)(N_T - N_{S_T})/(1 - e^{-mT})$ $= M(N_T - N_{S_T})/(N_0 - N_{S_T})$	eqn 10
<i>M_a</i>	年死亡率	$M_a A = m_a N_0$	$M_a = 1 - e^{-M}$	$M_a = (N_0/A)[1 - (N_{S_T}/N_0)^{1/T}]$	cf. eqn 5
<i>R_a</i>	年加入率：初年死亡除外	$N_{t+1} = R_a A + (1 - m_a)N_t$	$R_a = R(1 - e^{-m})/m$	$R_a = (m_a/A)(N_T - N_{S_T})/[1 - (1 - m_a)^T]$ $= M_a(N_T - N_{S_T})/(N_0 - N_{S_T})$	eqn 11
<i>R_{as}</i>	年加入率：初年死亡込み	$N_{t+1} = (1 - m_a)(R_{as}A + N_t)$	$R_{as} = R_a/(1 - m_a) = R(e^m - 1)/m$	$R_{as} = (m_a/A)(N_T - N_{S_T})/[1 - m_a(1 - m_a)^{T+1}]$ $= M_a(N_T - N_{S_T})(N_0/N_{S_T})^{1/T}/(N_0 - N_{S_T})$	eqn 12
<i>R_{Gf}</i>	Gf 推定瞬間加入率	$\partial N/\partial t = -\partial(GN)/\partial x - mN$		$R_{Gf} = G(x_{\min})N(x_{\min})/A$	eqn 13

* *t* は時刻 (year), $N = N(t)$ は連続時間での個体数, N_t は離散時間での個体数, A (m²) は調査面積, m は個体数当たり瞬間死亡率, m_a は個体数当たり年死亡率 (表2-1参照), サイズ動態偏微分モデルにおいて, x は個体サイズ (cm), $N = N(t, x)$ (cm⁻¹) はサイズ頻度分布, $G = G(t, x)$ (cm year⁻¹) は個体サイズ成長速度, $m = m(t, x)$ (year⁻¹) はサイズ x での瞬間死亡率, $x_{\min}$ は最小サイズ (cm).

** T (years) は2回のセンサス間隔, N_0, N_T, N_{S_T} はそれぞれ当初個体数, 最終個体数, および期間生存個体数.

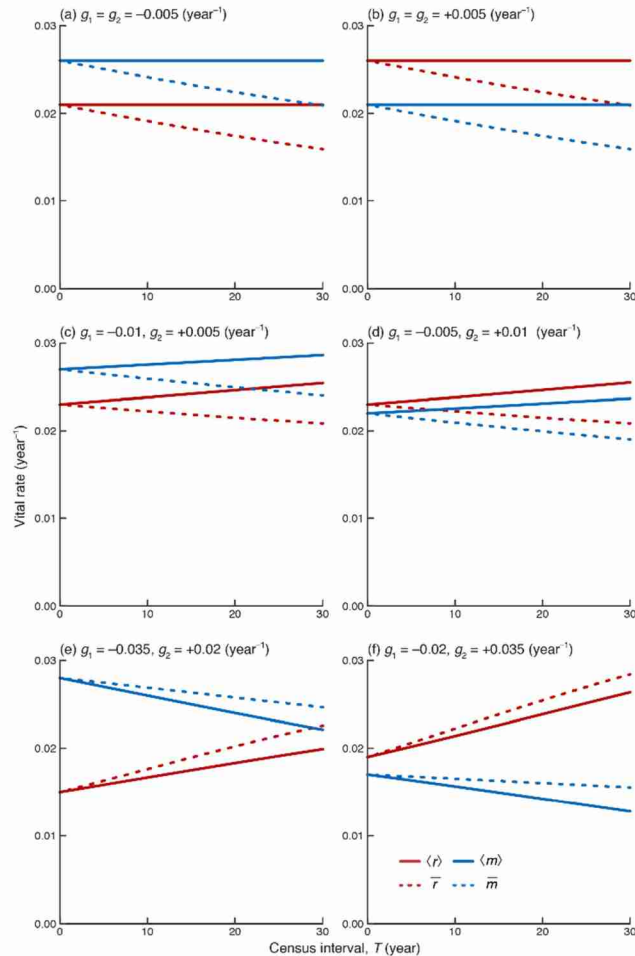
表(2)-1-3. 樹木の追跡観測による現存量回転率の算出方法

現存量回転率 (Mg ha ⁻¹ year ⁻¹)		定義*	計算式*	
<i>P</i>	瞬間生産速度	$pB_m = \frac{B_t p(1 - e^{-rT})}{rT}$	$\frac{\ln(B_t/S_0)(B_t - B_0)}{\ln(B_t/B_0)T}$	eqn 14
<i>L</i>	瞬間枯死速度	$lB_m = \frac{B_0 l(e^{rT} - 1)}{rT}$	$\frac{\ln(B_0/S_0)(B_t - B_0)}{\ln(B_t/B_0)T}$	eqn 15
<i>P_{ann}</i>	年生産速度	$(1 - e^{-p})e^r B_{m_ann} = \frac{B_t(1 - e^{-p})(1 - e^{-rT})}{(1 - e^{-r})T}$	$\frac{[1 - (S_0/B_t)^{1/T}](B_t - B_0)}{[1 - (B_0/B_t)^{1/T}]T}$	eqn 16
<i>L_{naive}</i>	年枯死速度	$(1 - e^{-l})B_{m_ann} = \frac{B_0(1 - e^{-l})(e^{rT} - 1)}{(e^r - 1)T}$	$\frac{[1 - (S_0/B_0)^{1/T}](B_t - B_0)}{[(B_t/B_0)^{1/T} - 1]T}$	eqn 17
<i>P_{naive}</i>	単純生産速度	$\frac{B_t(1 - e^{-pT})}{T}$	$\frac{B_t - S_0}{T}$	eqn 18
<i>L_{naive}</i>	単純枯死速度	$\frac{B_0(1 - e^{-lT})}{T}$	$\frac{B_0 - S_0}{T}$	eqn 19

* T (year) は観測間隔; B_0 は時刻 $t = 0$ での現存量 (Mg ha⁻¹); B_t は時刻 $t = T$ での現存量, S_0 は $t = 0$ における T まで生残った現存量; p は瞬間相対生産率 (year⁻¹); l は瞬間相対枯死率 (year⁻¹); r は現存量内的自然増加率 (year⁻¹); B_m は連続時間 ($t = 0$ to T) での期間平均現存量, B_{m_ann} は離散時間 ($t = 0, 1, 2, \dots, T-1$) での期間平均現存

本研究では、さらにこれら個体数と現存量の動態を、構成樹種組成を無視して均質個体群として推定することの問題点を整理し、解決法を示した。森林は回転率の速い種と遅い種が混在し、それが共存メカニズムとして作用していることも示唆されている (Kohyama & Takada, 2012, J. Ecol.)。また、種間で純増加率 (g) に違いがある場合にも誤差が生じる。こうした「混交林誤差」を理論的に解明した。図(2)-1-1にその例を示す。図(2)-1-1(a), (b)では、種間で純増加率が等しいが回転率が違う場合に、観測期間が長いほど、遅い回転率の種が生き残るために生じる生存率バイアスを示す。図(2)-1-1(c)-(f)は、種間で純増加率が異なる場合で、特にその種差が大きい場合、種を無視した推定が過大評価となるバイアスが生じる。

図2-1-1. 非平衡状態にある2種からなる混合集団における瞬間加入率と瞬間死亡率の観測間隔 T に依存した変化。実線が期間平均加入率 $\langle r \rangle$ と期間平均死亡率 $\langle m \rangle$ ；破線が種組成を無視した均一集団仮定による平均加入率 $\bar{r}$ と平均死亡率 $\bar{m}$ 。全混成集団の個体数は、左側の(a), (c)と(e)では減少、右側の(b), (d), と(f)では増加している。(a)と(b), 2種間($j = 1, 2$)で内的自然増加率は一致する($g_1 = g_2$)が種1で回転率が低い。(c)-(f), 種1が減少し、種2が増加する($g_1 < 0 < g_2$)。(c)と(d)では種交代の速度が遅く($g_2 - g_1 = 0.015 \text{ year}^{-1}$)；(e)と(f)では種交代速度が速い($g_2 - g_1 = 0.055 \text{ year}^{-1}$)。種1と種2の加入・死亡速



度, r_1, m_1, r_2, m_2 (year^{-1}), はそれぞれ: (a) 0.005, 0.01, 0.045, 0.05; (b) 0.01, 0.005, 0.05, 0.045; (c) 0.005, 0.015, 0.05, 0.045; (d) 0.005, 0.01, 0.05, 0.04; (e) 0.005, 0.04, 0.03, 0.01; and (f) 0.005, 0.025, 0.04, 0.005. 種1の $T = 0$ での頻度はすべて60%. (Kohyama, Kohyama & Sheil, 2018)

以上のように整理した手法を用いて、森林観測データの解析を行った。中カリマンタン州の大規模火災終焉後の12月下旬に既設調査プロットの森林調査を行った。対象プロットは直接2015年の火災被害は受けなかったが、LaheiとKalanmanganの各プロットは伐採・生産林転換等の人為影響を受けていた。

Bawanプロット： 地元で水源林として保護されている泥炭湿地林（調査プロットの5 km範囲）で、違法伐採やゴム植林への変換を認めた。2013-14年に発生した強風による倒木ギャップの発生を記録した。2008年から毎木調査を行っている1-haプロットにおいて、再測定と新規加入個体の測定を実施した。幹直径5 cm以上の樹木個体の瞬間死亡率は、2011-2012年で0.074, 2011-2015年で0.068, 2012-2015年で0.072 year^{-1} 、同期間の年死亡率はそれぞれ0.071, 0.066, 0.069 year^{-1} だった。これらの死亡率は、熱帯多雨林で観測される死亡率（0.02 year^{-1} 程度）の3倍に及ぶ速度であり、泥炭湿地林の速い樹木個体の回転率を示していた。林冠木で高い幹直径成長速度を観測した（*Palaquium ridleyi* 1.75, *Palaquium leicocapum* 1.16, *Shorea teysmaniana* 0.89 cm/year ）。一方、泥炭湿地林優占種である*Dactylocladus stenostachys*の乾燥害による多

くの枯死を記録した。Laheiプロット：2007年に設定・観測された泥炭湿地林とヒース林の3つの1-haプロットの現況観測を行った。ヒース林はゴム林およびアブラヤシ園に、泥炭湿地林は伐採のため、コシダが密生した二次疎林化していた。Karanpanganプロット：伐採と排水路の影響を強く受けていた。

中カリマンタン州の泥炭湿地林とヒース林各二箇所ずつに設けた1ヘクタール調査区の構造・動態特性を、西カリマンタン州の低地混交フタバガキ林調査区二箇所（Kohyama et al. 2001 Ecol. Res., 2003 J. Ecol.）と比較解析した。この3森林タイプは、カリマンタン低地を代表する森林タイプで、以下のように特徴づけられる。

表(2)-1-4. 低地カリマンタンの主要森林タイプと1-haプロットの略号と立地特性

略号	森林タイプ	立地・土壌特性
PF1, PF2	泥炭湿地林	高水位（滞水期あり）、強酸性、低栄養塩加給性
HF1, HF2	熱帯ヒース林	石英砂基質、貧栄養酸性ポドゾル土壌、腐植層存在
MDF1, MDF2	混交フタバガキ林	丘陵地形、赤黄色粘土質土壌、腐植層なし

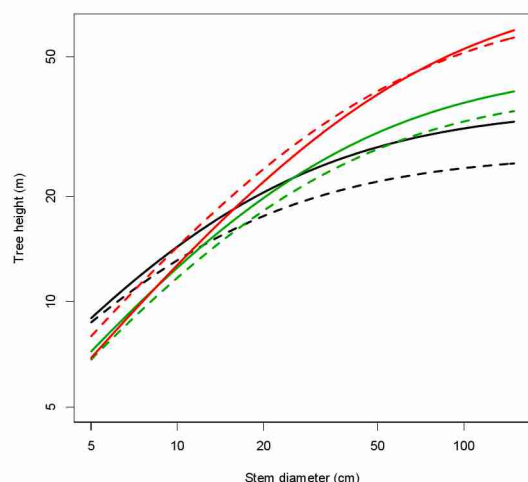
泥炭湿地林とヒース林は混交フタバガキ林と比較して、樹木種数・最大樹高・地上部現存量が小さいことが知られているが、今回の解析によって、これら低湿地森林タイプが、速い現存量回転率を示すことを明らかにした。低湿地では、貧栄養な立地が林冠木の高死亡率をもたらす一方、疎開した林冠が、更新個体への光・栄養供給をもたらし、結果として高い現存量生産速度をもたらすと考えられる。

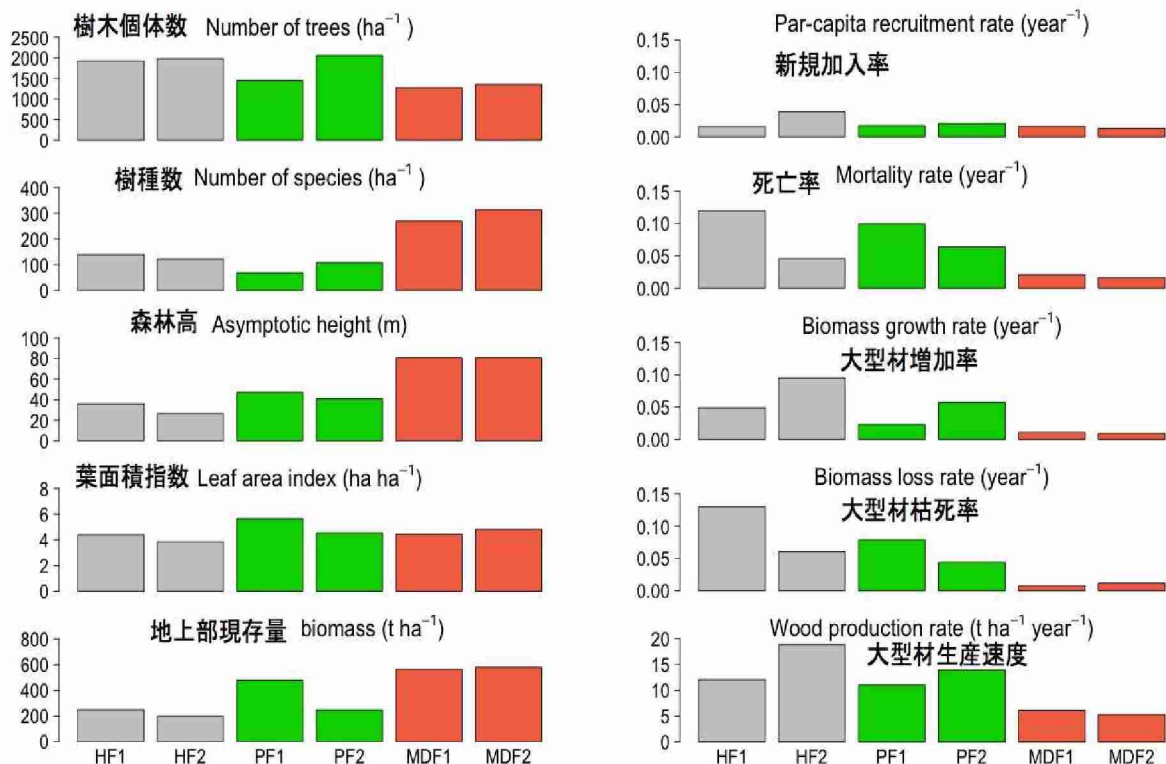
以下に、解析結果を示していく。各森林タイプで上表P1, H1, H2 は中カリマンタンのLaheiに、PF2はBawang村に、MDF1, PDF2は西カリマンタンのSerimbuに設置している。図(2)-1-2に、各プロットにおいて推定した樹木の幹直径-樹高アロメトリー関係を示す。

図(2)-1-2. 全6プロットの幹直径 D -樹高 H 関係： $1/H = 1/AD + 1/H_{\max}$ ，単位は H , $H_{\max}$ (m), D (cm), A (m/cm). 推定係数は以下のとおり。

plot	A	$H_{\max}$	source
HF1	2.39	35.9	Miyamoto et al. 2006
HF2	2.63	26.5	Miyamoto et al. 2006
PF1	1.70	47.2	Miyamoto et al. 2016
PF2	1.64	40.8	This study
MDF1	1.51	80.8	Kohyama et al. 2001

MDF2 1.79 72.0 Kohyama et al. 2001





図(2)-1-3. 全6プロットの構造(左)および動態特性値(右)の比較。

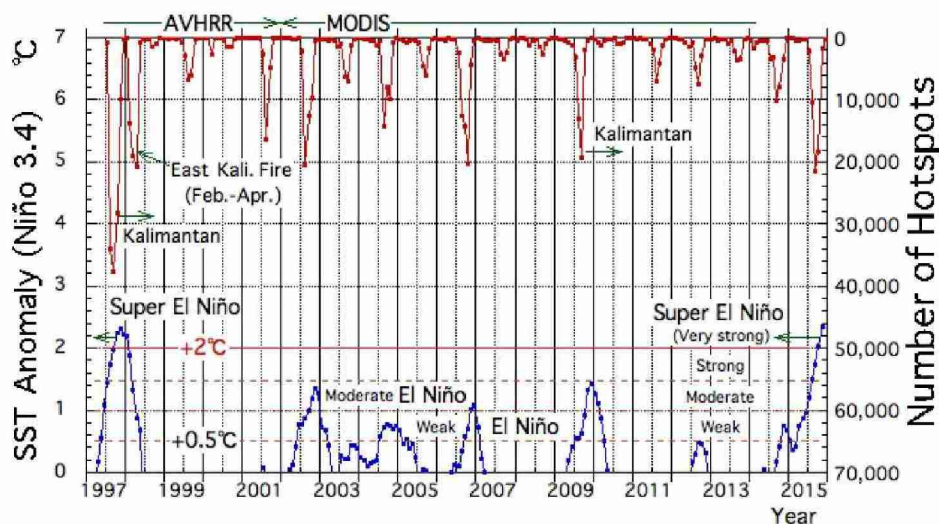
泥炭湿地林とヒース林は混交フタバガキ林と比較して、樹木種数・最大樹高・地上部現存量が小さいことが知られており、私たちの調査区データでも明らかだった(図(2)-1-3)。追跡調査のデータから、地上部現存量の樹木個体成長・加入による生産速度と、死亡による枯死速度を計算した(図2 c, d)。樹木個体成長による生産速度は、個体より短命の葉などの生産速度を併せた地上部純一次生産速度のおよそ4割程度であることが知られている(Malhi et al. 2004; Takyu et al. 2005)。その結果、低湿地のふたつの森林タイプが、混交フタバガキ林の1.5~2倍の現存量回転率を示すことが明らかになった。個体数の回転率も、混交フタバガキ林よりも高かった。低湿地では、貧栄養な立地が林冠木の高枯死率をもたらす一方、更新個体への光と栄養資源の供給をもたらし、結果として高い現存量生産速度が実現されると考察した。

各調査プロットにおいて推定した樹木の幹直径-樹高アロメトリー関係から、小径木ではヒース林が細長い樹形を、林冠木では混交フタバガキ林が細長い樹幹形を示すことが判る(Miyamoto et al. 2016)。泥炭湿地林とヒース林では地上部現存量が200~300 t/haと、混交フタバガキ林の半分~1/3であるのに対して、樹木成長による生産速度が10~15 t/ha/年と混交フタバガキ林のそれを上回り、現存量当たり3倍以上の回転速度を示していた。林冠での速い枯死率が速やかな小径個体の更新を促すという熱帯低湿地生態系の潜在的な生産特性が明らかとなった。速い林冠個体の枯死速度は、泥炭湿地林では木質泥炭の素材供給速度が高いことを意味する。

人為的に灌漑され、森林火災による攪乱を受けた泥炭地のフラックス観測(Hirano et al. 2012)では、純生態系炭素交換速度(NEE)で5 t/ha/年の炭素放出であった。この値は、攪乱・灌漑泥炭地の地表沈降速度1 cm/年に相当する、6 t/ha/年の炭素放出(Takahashi et al., 2018)と概ね一致する。こうした放出は、樹木の成長と枯死による乾燥重量ベースの現存量回転速度とも合致する。高水位で攪乱を受けない湿地林では、速い木質炭素の生産と地表への供給により、地表の表層有機物が保持されていることが明らかになった。熱帯泥炭の修復と管理には、高地表水位の維持とともに、地表への大型の木質炭素供給のために森林性植被の維持が必要である。

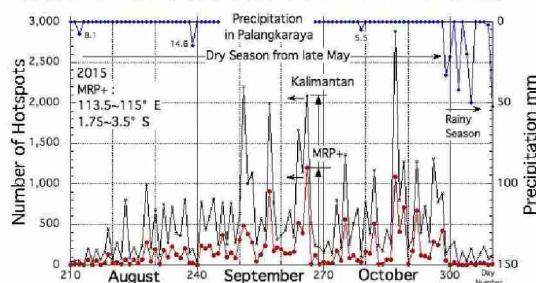
(2)-2 中カリマンタンの2015年森林火災の解析

2015年の森林火災は、スーパーエルニーニョ（海水温度偏差(SST)が2度以上となる）現象下で、森林火災と泥炭火災が活発化し、深刻な大気汚染が生じた。森林火災は、MODISとAVHRRのホットスポット(以後略してHS)データで分析した。カリマンタン島とセバンガワ(Sebangau)国立公園を含む中カリマンタン(範囲：1.75-3.5°S, 113.5-115°E、MRP+と表記)の研究対象地域でのHS数の月と日の発生傾向を把握し、森林と泥炭火災の発生傾向を図(2)-2-1に示した。

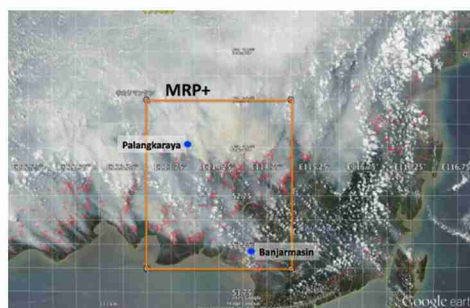


図(2)-2-1. 海水温偏差と火災（ホットスポット）発生傾向

図(2)-2-1より、2015年は前回のスーパーエルニーニョ年の1997年と同様に激しい森林火災が生じたことがわかる。次に、2015年8～10月のカリマンタン島と中カリマンタンの日HS発生とパランカラヤ(中カリマンタンの首都)での降水傾向を図(2)-2-2に示した。

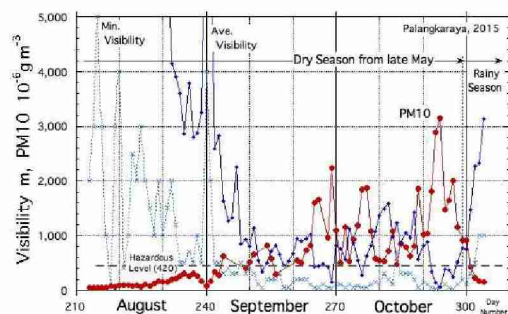


図(2)-2-2. 日HS発生と降水傾向(2015年8～10月)

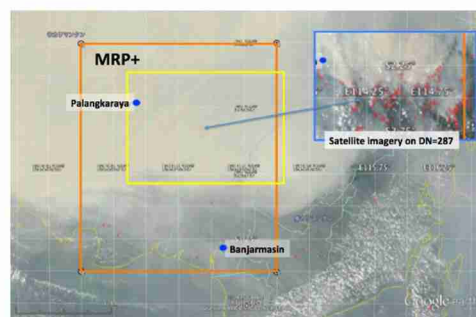


図(2)-2-3. 火災の発生傾向(2015年10月14日)

図(2)-2-2より、8月中旬頃から火災が活発化し、ほとんど降水が無い状態で、9～10月に周期的に火災が活発化していることがわかる。特に、雨期の始まる直前の2015年10月14日には、最大級の火災が発生した。図(2)-2-3の衛星画像から、南東風により南カリマンタンと中カリマンタン(MRP+)で火災が活発化していることが把握できる。また、火災からの煙（ヘイズ）がカリマンタン島中央部に流されていることなどもわかる。このヘイズによる大気汚染の悪化は、図(2)-2-4に示したように7日後にピークを迎えた。



図(2)-2-4. 日PM10と視程傾向(2015年8～10月)

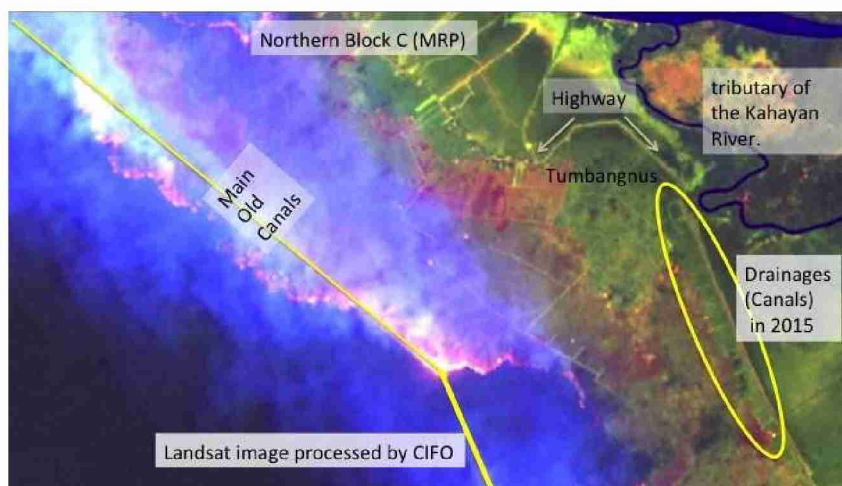


図(2)-2-5. ヘイズ状況(2015年10月21日)

図(2)-2-4は、パランカラヤでのPM10と視程(平均と最小視程)である。PM10は、9月下旬より高濃度となっており、このことは泥炭火災が活発化したためと推測される。PM10のピークは、10月14日の最大級の火災発生7日後の21日で、この時の衛星画像を図(2)-2-5に示した。パランカラヤ周辺は、完全にヘイズに覆われていることがわかる。また、ヘイズのためパランカラヤ周辺にHSは観測されておらず、このような状況下での森林と泥炭の火災評価が難しいことが示唆している。

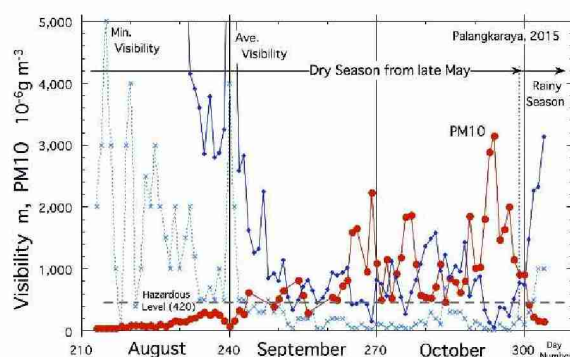
2015年9月下旬にインドネシア大統領が泥炭火災の現状視察にパランカラヤ郊外のTumbangnusを訪問した。Joko大統領は、火災の現状を見て、国家災害管理局(BNPB)に緊急行動として、運河群を大規模に作ることを命じた。このTumbangnusの大規模運河群の現地予備調査を2016年2月22と25日に行った。この結果、大規模運河群は、ピートドームに向かって十数本作られたため、ピートドームの排水促進し、図4の10月14日のホットスポットピークを作った。つまり泥炭地の火災が激しくなった。

図(2)-2-6に、10月14日にLandsatで撮影された衛星画像を示した。大規模運河群は、パランカラヤとバンジャルマシンを繋ぐTumbangnus付近の氾濫原の橋にはほぼ直角に十数本、確認できる(図(2)-1-6 右端)。運河の長さ100m程度でしかなかったが、MRPの主運河周辺の泥炭湿地林に沿った火災を活発化した(図(2)-2-6の中心部から左側)。



図(2)-2-6 ホットスポットピーク日(10月14日)のLandsat画像

図(2)-2-7に、PM10と視程(最低、日平均)の日変化を示した。8月頃からの火災の活発化で、視程が急激に下がる一方で、PM10は9月中旬より急激に上昇し、大気汚染指標の危険域(API > 300)となり、PM10 > 420 × 10⁻⁶ g m⁻³が10月下旬の雨期の直前まで継続する。このPM10の傾向は、泥炭火災の活発化を示唆している。PM10の最高値は、10月21日に3,245 × 10⁻⁶ g m⁻³が観測された。最大HS数出現日の10月14日から一週間後であった。この時間差は、地表の植生の火災が活発化し、その後、泥炭火災が地下で活発化したためである。



図(2)-2-7 PM10, 最低と平均視程の日変化

(2)-3 泥炭湿地における地下水位予測法の開発

熱帯泥炭湿地林において乾季に頻発する泥炭・森林火災の発生は泥炭地の地下水位と大きく関連する (Usup A. et al, 2004, Takahashi H. et al, 2002, Takahashi h., et al, 2013)。エルニーニョ年など、乾季が長く続くと泥炭地の地下水位が低下するとともに泥炭表層も乾燥し、何らかの原因で地上部の草や樹木に火災が発生すると表層泥炭に燃え移り、いわゆる泥炭森林火災となって鎮火が非常に難しくなり、被害が拡大する。

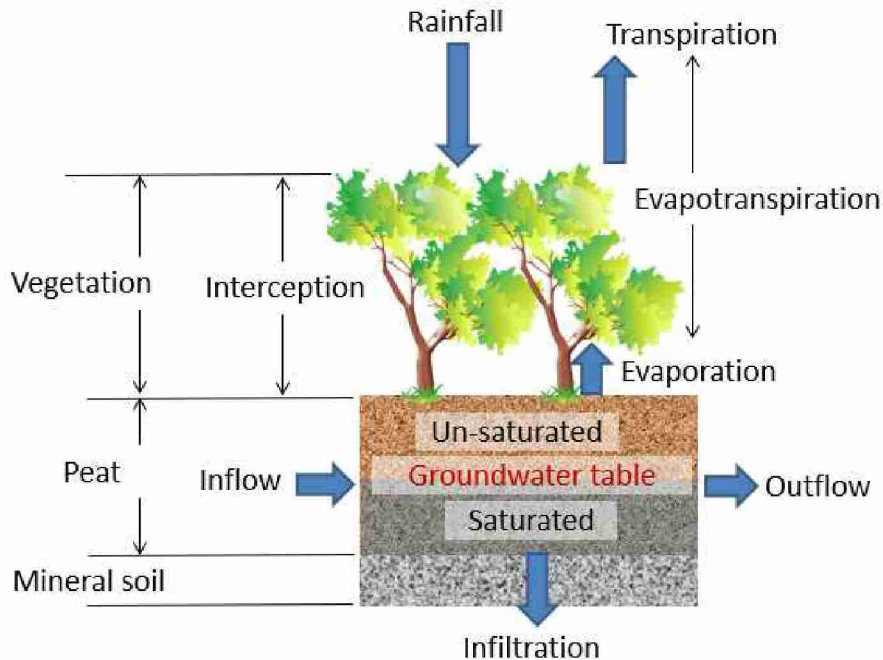


図 (2)-3-1. 熱帯泥炭湿地林における水の挙動

泥炭火災の抑止には泥炭地下水の情報が重要であり、乾季の規模（降雨量と乾季の継続期間）を予測値として用い、泥炭地の地下水位の低下を予測できれば火災の危険度を事前に知ることが可能となる。

図 (2)-3-1は熱帯泥炭湿地林における水の挙動を示した模式図である。熱帯泥炭湿地では気温および日射量の年変動が冷温帯に比べると少なく、蒸発散量の季節変化はあまり大きくはない (Takahashi, H., 1999)。また、泥炭層下にある鉱物質土壌層の透水性は小さく、地下浸透による流出も少ないとみられる。そこで、降雨と流出による地下水位の変動を (2)-3-1式で示すこととする。

$$dW = dW_{rain} - dW_{loss} \quad (2)-3-1$$

ただし、 dW : 1日当たりの地下水位変化

dW_{rain} : 降雨による地下水位変化

dW_{loss} : 蒸発散と水平流出にともなう地下水位変化

熱帯泥炭地では水平流出量は地下水位の関数で表すことができることから (Takahashi et al, 2000)、蒸発散による流出を含めた地下水位変化を地下水の関数 ((2)-3-2式) としてあらわすことにする。

$$dW_{loss} = f_1(W) \quad (2)-3-2$$

ただし、 W : 地表から地下水面までの距離である。

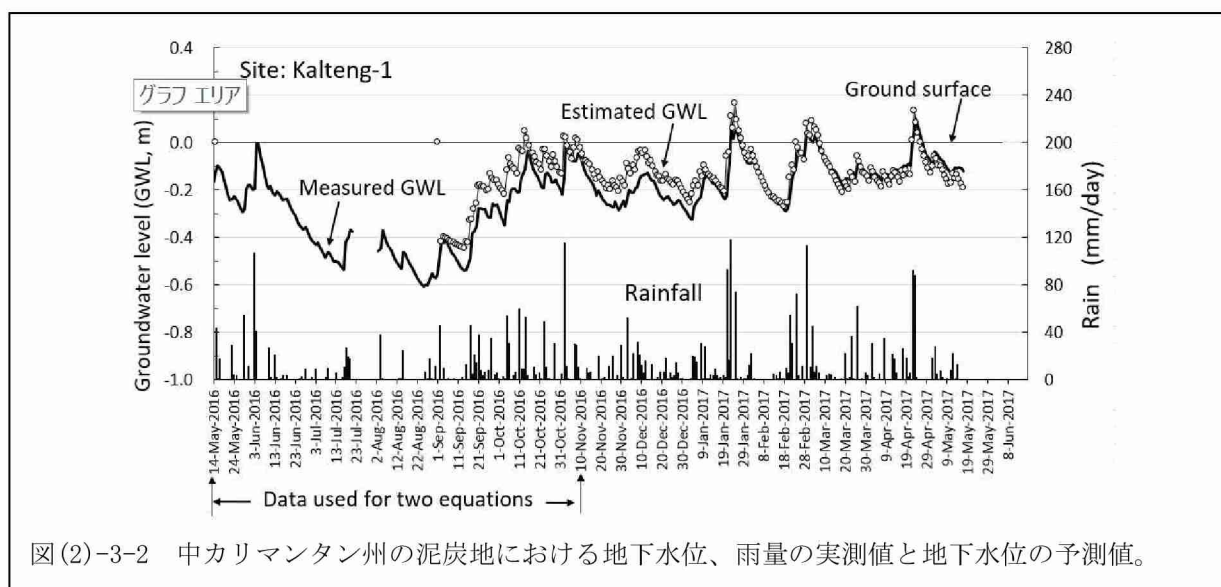
一方、降雨による地下水位上昇 dW_{rain} は (2)-3-1式から

$$dW_{rain} = dW + dW_{loss} \quad (2)-3-2'$$

で求めることができる。そこで得られた dW_{rain} と降雨量 R の関係は次式で示される。

$$dW_{rain} = f_2(R) \quad (2)-3-3$$

(2)-3-2式と(2)-3-3式の関数形は図(2)-3-2に示したインドネシア、中カリマンタン州の泥炭地で観測した地下水位と雨量の2016年5月14日から11月10日までの約半年のデータを用いて決定した。



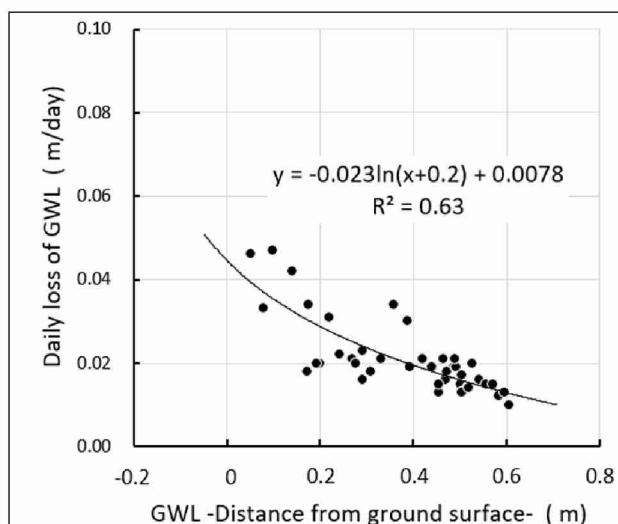
図(2)-3-2 中カリマンタン州の泥炭地における地下水位、雨量の実測値と地下水位の予測値。

蒸発散と水平流出による地下水の変化量と地下水位の関係(2)-3-2式)を、約6ヶ月間の実測値をもとに示すと図(2)-3-3のごとくなり、 $f_1(W)$ の関数形は次式で表された。

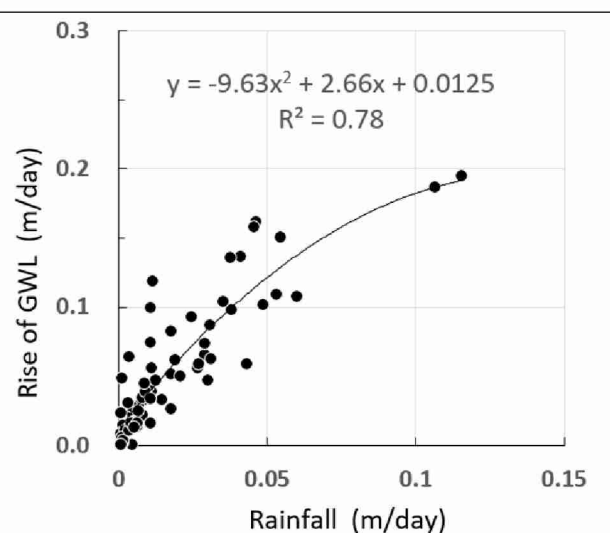
$$y = -0.023 \ln(x + 0.2) + 0.0078 \quad R^2 = 0.63 \quad (2)-3-4$$

ただし、 $y: dW_{loss} \text{ [m day}^{-1}\text{]}$

$x: \text{地表と地下水面までの距離 [m]}$



図(2)-3-3 地下水位と流出による1日当たりの地下水低下量との関係。



図(2)-3-4 降雨量とそれによなう地下水上昇量との関係。

一方、降雨量とそれによる地下水位の上昇量との関係(2)-3-3式)は、約6ヶ月間の実測値をもとに示すと図(2)-3-4のごとくなり、 $dW_{rain}(R)$ の関数形は次式で表された。

$$y = -9.63x^2 + 2.66x + 0.0125 \quad R^2 = 0.78 \quad (2)-3-5$$

ただし $y: dW_{rain} \text{ [m day}^{-1}\text{]}$

$x: \text{日雨量 [m day}^{-1}\text{]}$

実測値から得られた流出によなう地下水変化(2)-3-4式)と降雨によなう地下水位の上昇(2)-3-5

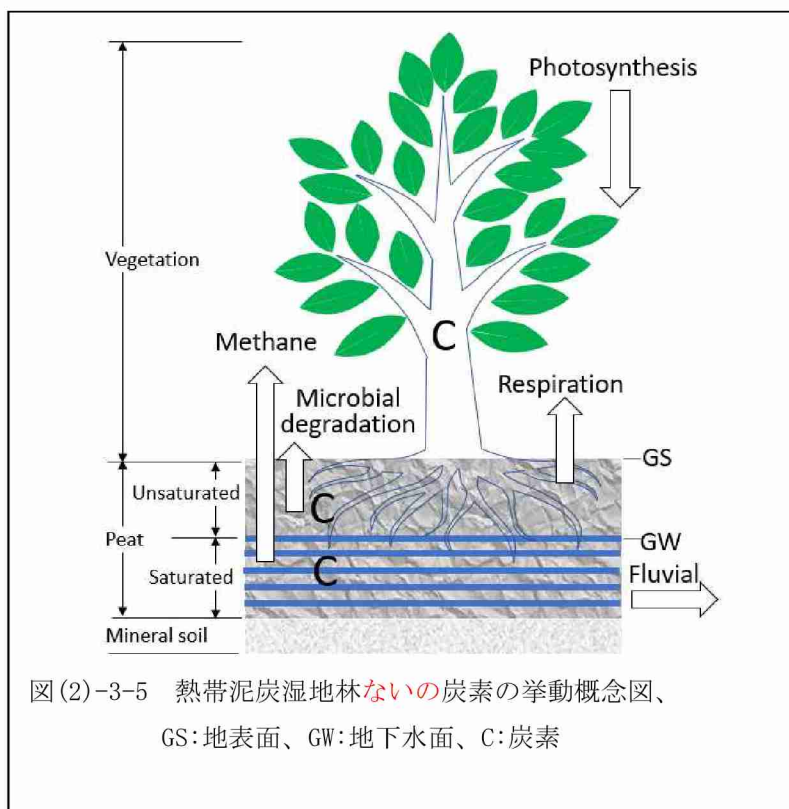
式)の関係式を用いて、2016年9月1日の地下水位を初期値とし、観測された日雨量を用いて毎日の地下水位を求めると図(2)-3-2に示したように約9カ月間の地下水位がかなりの精度で予測することができた。

(2)-4地表面高(泥炭層厚)測定による泥炭層からの炭素放出量の推定

泥炭層の厚み(地表面の標高)を測定するために航空機に搭載したレーザプロファイラーが広く使われている。しかし泥炭地表面の高さは地下水位により変動するため航空機で測定する場合には時期によりかなりの誤差を生じることになる。その誤差は泥炭層中の炭素量の見積もりにも影響することから、地下水位変動と泥炭地表面高の変動をインドネシア、中部カリマンタン州の森林伐採後の熱帯泥炭地(木質泥炭)で精密に測定した。地下水位は感圧式水位計センサー、地表面の変位はレーザ距離計を用い携帯電話通信網を利用したフィールドデータ伝送システム(SESAME)により10分間隔で測定し、データは地元の携帯電話データ通信システムを通じて1時間間隔に日本のサーバーに送り使用した。地表面計測センサー先端は泥炭表層から約3cmの深さに埋め込んだ。

熱帯泥炭湿地林では樹木および林床植物の光合成により大気中から取り込まれた炭素は植物体内に蓄えられるとともに、一部は根の呼吸作用により大気中に還元される。植物体内の炭素は植物が枯死することにより泥炭として地中に蓄えられる。泥炭として蓄えられた炭素は地下水面より上の不飽和層では空気に触れることにより好気性微生物により分解され主に二酸化炭素となって大気中に還元される。

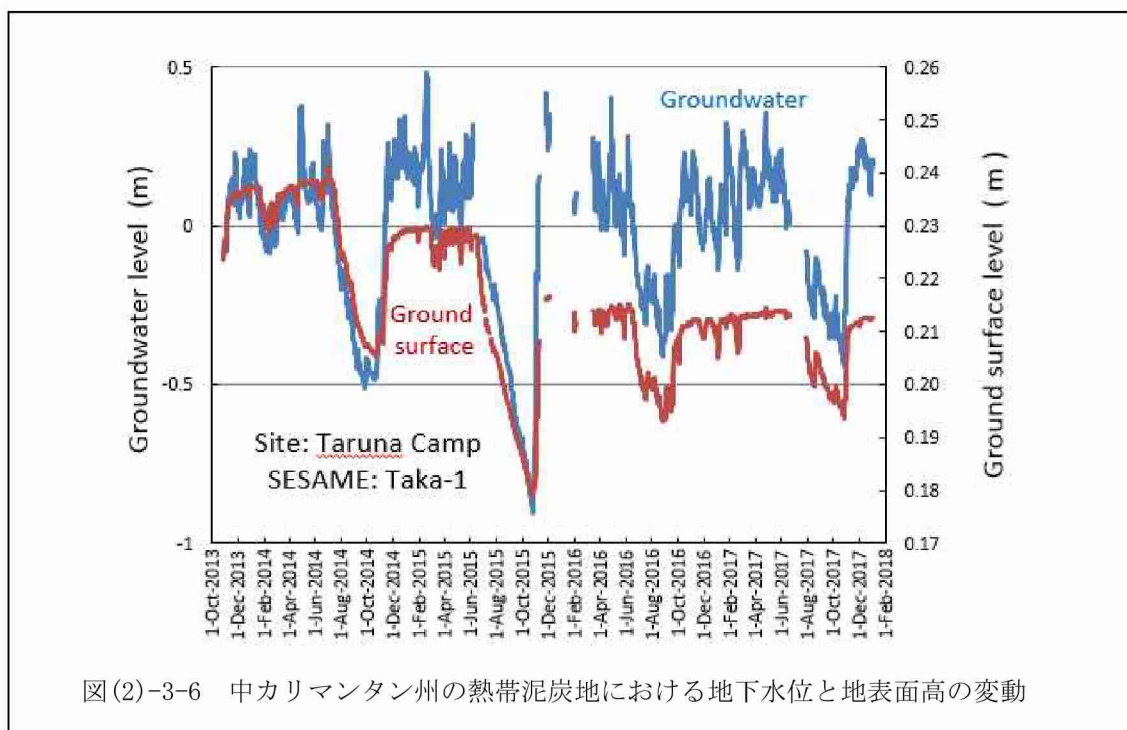
一方、地下水面以下の飽和層内では嫌気性微生物により主にメタンとして大気中に還元されるが、有機酸として地下水中に溶存し、流出する。



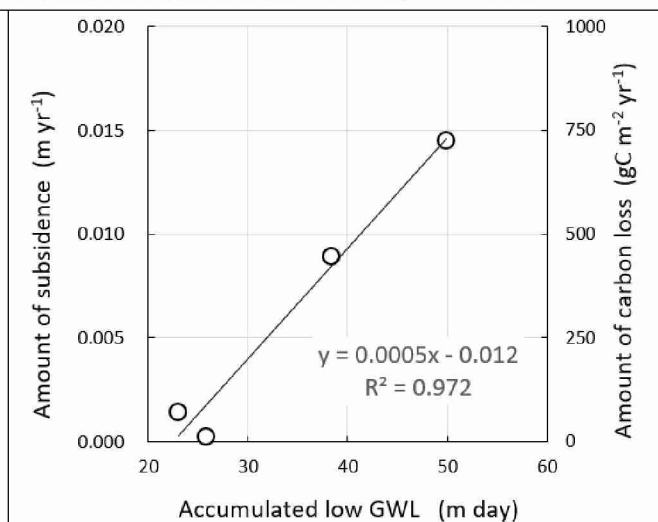
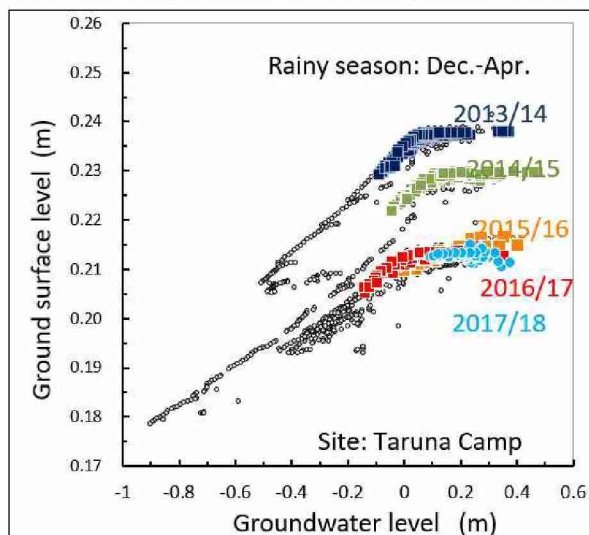
図(2)-3-5 熱帯泥炭湿地林ないの炭素の挙動概念図、
GS:地表面、GW:地下水面、C:炭素

2013年10月から2018年1月までの熱帯泥炭地の地表面高と地下水位の変動を図(2)-3-6に示す。それぞれの値は1時から24時までの毎時観測値の平均値である。この図からは①地表面高は乾季に地下水位が低下するとそれに追従する形で低下する。②雨期に地下水位が地表面より高い場合には地表面高は比較的安定している。

③その安定した地表面高は年々低下している。④雨期の地表面高の低下量は年によって異なっていることなどが見て取れる。



この地下水位と地表面高との関係は図(2)-3-7に示したごとく地下水位が地表面以下の場合には直線的な比例関係があるが、地下水位が地表を上回ると地表面高の上昇割合は減少し地下水位が地表より10cm以上となると、地表面高は一定であり、その一定値も年々低くなる傾向が明らかに認められる。この地表



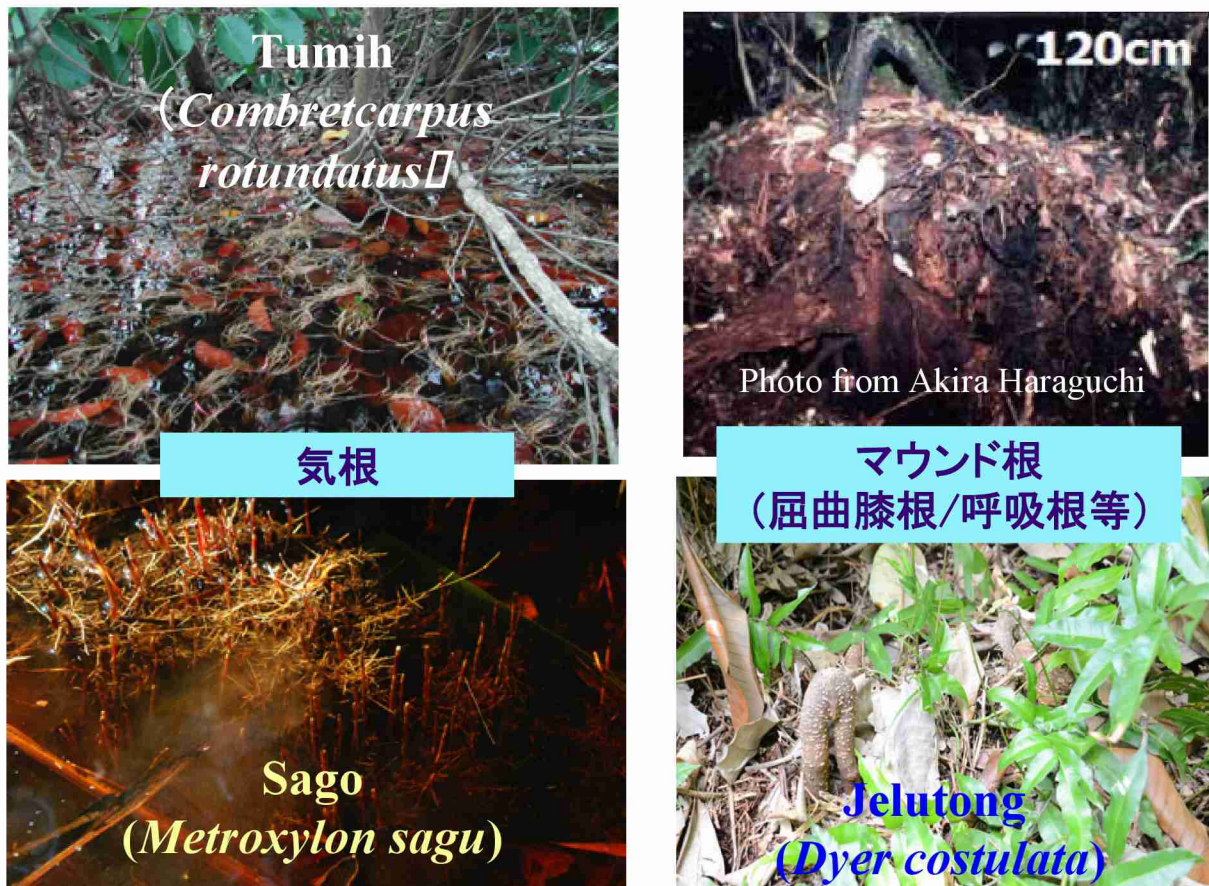
面の年々低下と前年の乾季の規模との関係を見るために、前年の乾季（6月—10月）の毎日の地下水面と地表面を積算した値、積算地下水低下量をもとめた。雨期の地表面高の値としては地下水位が地上10cm以上ある場合の地表面高の平均値を使い、前年の値との差を地表面高低下量として両者の関係を図(2)-3-8に示した。両者は決定係数0.97と言う高い相関で関係していることが明らかである。

この地域の熱帯泥炭の容積密度は約50 kg m⁻³ である (Shimada S., 2001, 2016)。この値を用いて、泥炭表層高の低下に伴う炭素放出量を示したものが図(2)-3-8の右軸である。0.01 mの地表面高の低下は500 gC m⁻² yr⁻¹に相当し、この値はHirano et al (2012)が火災跡地の泥炭地で計測した純生態系炭素交換量 (NNE) の値

と調和的である。したがって、地表面高を正確に時系列的に把握することが泥炭地からの炭素放出量を把握する手法として有効であると言える。

(2)-4 総合提案：熱帯泥炭修復手法

熱帯泥炭地では、水が高水位で存在することから、酸素の供給が第一の制限要因となり、また、無機栄養の供給がほとんど無く、泥炭（有機物）の特性として低pH条件下では無機栄養は脱着して流亡することから、栄養が第二の制限要因となる（図(2)-4-1）。つまりこのような条件下では、植物の生育が抑制されるのみならず、微生物の活性も抑制され、したがって、有機物が分解されにくく有機物の蓄積が起きる。このようなことから、熱帯泥炭地でオイルパームの栽培をするためには、一般的に、排水をし、膨大な量の化学肥料を投入する必要があると考えられて、熱帯泥炭の排水が急速に進んだ。水位を低下させると、酸素が供給され、さらに化学肥料の大量投与で、微生物の活性が著しく高まり、熱帯泥炭の急激な分解が起き（冷たい燃焼＝ゆっくりした酸化）、さらに乾燥化が進むために火災が頻発し（熱い燃焼＝急激な酸化）、熱帯泥炭の消失が加速されてきた。



図(2)-4-1. 泥炭地への水と無機栄養の供給と泥炭集積の模式図

熱帯泥炭の自然林では、高水位下でも旺盛な生育をすることが明らかとなった。つまり、気根とマウンドを形成して、酸素と栄養を吸収している。さらに、驚くべき事であるが、熱帯泥炭は空气中窒素の固定能が極めて高い生態系である。タイ南部のナラチワット県のト・デンの熱帯泥炭地における、 $\delta^{15}\text{N}$ を調査した (Yanbuaban et al., 2007)。土壌の $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ は3.0以上で、各種植物の葉の $\delta^{15}\text{N}$ は3.0以下であった。このことは、植物は軽い ^{14}N を優先的に使っていることから、気体の代謝が盛んで、空气中窒素が主要な窒素供給源であるこ

とを示している。また、窒素固定した窒素化合物が、地上にリターとして供給され、分解されて脱窒等が起きますと、軽い ^{14}N が優先的に消失し、長年の間に土壌の $\delta^{15}\text{N}$ の値は大きくなると解釈される。いずれにしても、熱帯泥炭地では土壌由来の窒素吸収はすくなく、空気中窒素の固定が盛んな生態系と推定される。同様の傾向は、インドネシアの中部カリマンタンの熱帯泥炭地でも確認されている。(Matsubara et al., 2002)。ここでは、土壌の $\delta^{15}\text{N}$ は1.0以上であり、各種植物の $\delta^{15}\text{N}$ は1.0以下であり、タイの熱帯泥炭地と同様に空気中窒素を固定して、窒素栄養を獲得している生態系である。

空気中窒素の固定はマメ科等、根粒菌を形成する植物が主要であるが、熱帯泥炭林にはマメ科植物は少なく、また根粒菌は水（酸素欠乏）に極めて敏感で在り、高水位の熱帯泥炭地では窒素固定は困難である（ただ、マウンドでは根粒を形成して窒素固定をおこなう可能性があるが）。 $\delta^{15}\text{N}$ の低い植物（窒素固定植物）では、1）根粒菌を形成せず、2）内生菌はほとんど認められず、3）気根を形成することが多く、その先端にはゲル状の物質が分泌されて多数の窒素固定微生物が単離できることから、熱帯泥炭における窒素固定は、気根において活発と推定される。

こうした熱帯泥炭地では、生物生産生態系としては極めて貧弱なバイオマス生産能しかないように考えられるが、実際には極めて高いバイオマス生産能を示す（図(2)-1-3）。実際、自然の熱帯泥炭林では、高水位下でも、気根とマウンドにより、泥炭地表層より酸素と栄養を吸収している生態系である。このように、熱帯泥炭地では、表層の機能維持が極めて重要で、この表層機能が維持されると、乾期でも水の供給が十分で光合成能の低下が少なく、鉍質土壌のように低pHで溶解するアルミニウムの毒性害（ Al^{3+} 自体の毒性と Al-P 化合物の生成によるリンの不可給化）もなく、理想的なバイオマス生産系となる。

また、 $\delta^{15}\text{N}$ の値の土壌と植物葉の解析から、熱帯泥炭地では空気中の窒素を固定している系である。マメ科植物は少なく、根粒・茎粒も見当たらず、一方、気根の先端は根分泌物のムシゲルで覆われ、多数の窒素固定細菌が棲息していることから、気根が酸素のみならず窒素固定も行っていると推察される。

以上のことから、熱帯泥炭地は極めて特徴的な生産生態系であり、一種の水耕栽培系とも言える。そこで、高水位の熱帯泥炭地は、表層から酸素と栄養を供給するAeroHydro Culture（水気耕栽培）系であり、植物栄養で最も多量に必要な窒素は、空中窒素固定により供給する空中窒素固定系と定義できる。この系では、リン栄養は植物の要求量も少なく溶脱しにくいので表層のリサイクル系で回り、カリの溶脱が大きいのでカリが長期的には制限要因と成り、窒素固定に必要な微量元素はもともと泥炭で少ないので制限要因となっている可能性がある。

これらを考慮して、熱帯泥炭地の理想的回復・修復の技術として、1）高水位にしたAeroHydro Culture（水気耕栽培）で表層より酸素と栄養を供給（気根形成植物の導入、マウンド形成植物の導入）、2）空中窒素固定系の強化（気根形成植物の導入と幼苗時に窒素固定菌の接種）を基盤とすると良い。具体的技術として、荒廃した泥炭地では、特に表層機能が失われているので、1）まず水位の回復、2）気根やマウンド形成植物の導入、3）マウンドの人工的形成、4）緩効性肥料やコンポストにより泥炭表層からの栄養供給（特にカリ）、5）窒素固定系の強化として微量元素の供給（火山灰が良い資材）、6）菌根菌の接種による、生育促進効果とリン吸収能の強化、等が推奨される。これらの技術は、泥炭地のオイルパームにも適応出来、高水位下でも表層より無機栄養（特にカリ）を供給することにより、効率的にカリを吸収させることにより、むしろ生産力を高める可能性すらある。

熱帯泥炭地を自然資本で評価すると、最もその価値が高い生態系の一つとなる可能性が高い。熱帯泥炭地は、開発に伴う排水路の掘削で水位が低下し、微生物分解と火災により膨大な炭素が放出されている。これは、地球規模での危機的状況で、逆の言い方をすると、熱帯泥炭地の保全は地球規模での安全保障を達成する。特に、熱帯泥炭地でのサゴヤシ栽培は、1）多量のバイオマスのエネルギー変換でエネルギーの安全保障（Energy security）と2）多量のサゴデンプンの食糧と飼料への利用で食糧・飼料の安全保障（Food/Feed security）を同時に達成できる極めて有望な植物である。また、サゴヤシは同時に水位の高い状態（水貯留生

態)が生育に適していることから、A)水の安全保障(Aquatic/water security)とB)炭素の安全保障(carbon Security)にも多大な貢献をする。これらの重要な安全保障は、SDGsの17の目標でも鍵となる要因で、熱帯泥炭地の修復・回復・保全は、地球規模でSDGsに貢献する。

また、SDGsは銀行や投資家が投資する際の指標となりつつ有り、ESG (Environment, Social, Governance)やSRI (socially Responsible Investment)を通して、例えば、熱帯泥炭でオイルパームを栽培して、熱帯泥炭のABCDEFGs Security (安全保障)を著しく低下させている企業への投資が著しく制限されるようになる。

また、食糧とエネルギーの地方での自給は、これまで大都市中心のエネルギー効率を重視した食料の高度加工システムを変換し、地方にその拠点を移す可能性を秘めている。食糧とエネルギーのフットプリントが今後一層重要になるようになってくるが、熱帯泥炭はその新しい、生産システムを構築しうる可能性を秘めていることを指摘する。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

中央カリマンタンの泥炭湿地林と熱帯ヒース林の現存量動態を混交フタバガキ林と比較し、現存量の回転率(大形材の生産速度と死亡速度)が際立って高いことを明らかにした。泥炭地の水位と地表面の季節動態の連続測定から、低水位化による泥炭有機物消失の定量化手法を開発した。エルニーニョ年の大規模な森林火災発生の子報に外向き長波放射量(OLR)による評価を加えることで、より正確な火災発生予報が出せるようになった事に加え、大規模な火災発生後に続く泥炭火災による深刻な大気汚染への警報も可能になった。泥炭層の炭素蓄積量の動態を見積もるために必要な、泥炭表層標高の時間変化を連続的に測定解析するシステムを開発した。衛星観測データと現地観測データを混じえ、エルニーニョ現象下での泥炭火災発生予測と気象影響の定量化手法を提出した。泥炭地の高水位を維持する革新的な熱帯泥炭地の修復と持続的管理手法を提出した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が活用することが見込まれる成果>

気象条件に基づく泥炭地火災と煙害の予測による、インドネシア共和国政府・中カリマンタン州政府・地元住民の早期対策策定に貢献する成果を挙げ、インドネシア国立機関との共同で報告を行った。火災延焼阻止のために政府が実施した、泥炭掘起しによる防火帯の設置を検証し、防火帯が泥炭乾燥を促進して延焼拡大につながるため中止するよう、緊急提言を行った。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項は無い。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) Kohyama, T.S., Kohyama, T.I. and Sheil, D. (2018) Definition and estimation of vital rates from repeated censuses: choices, comparisons and bias corrections focusing on trees. *Methods in Ecology and Evolution*. 9: 209–221.
- 2) Wijedasa, L.S., et al. (with Osaki, M., Takahashi, H., Kohyama, T.S.) (2016) Denial of long-term issues with agriculture on tropical peatlands will have devastating consequences. *Global Change Biology*, 23: 977–982.

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) Hayasaka H., Sepriando A. (2018) Severe Air Pollution Due to Peat Fires During 2015 Super El Niño in Central Kalimantan, Indonesia. In: Vadrevu K., Ohara T., Justice C. (eds) Land-Atmospheric Research Applications in South and Southeast Asia. Springer Remote Sensing/Photogrammetry. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-67474-2_7
- 2) Ota, T., Usup, A., Moji, K., Tojo, B., Hayasaka, H., Kobayashi, S. (2018) Examining possibilities of PES of peat-land forest through swift-nest business: A case of Central Kalimantan, Indonesia, p.181-188, The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University.
- 3) Takahashi, H., Shigenaga, Y., Hamada, Y., Osaki, M., & Setiadi, B. (2018). Near-real time remote monitoring of ground-water/surface levels and warning to carbon loss from tropical peatlands in Indonesia. n: The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resources and their Domestication (eds. Shiodera, S., Fujita, M., & Kobayashi, S., pp. 80-90. Center for Southeast Asian Studies. Research Center, Kyoto University.

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 高橋英紀、繁永幸久、濱田洋平、大崎 満、Bambang Setiadi (2017) インドネシア熱帯泥炭地の水文特性と地下水位予測について、第27回日本熱帯生態学会大会、奄美（17 June, 2017）
- 2) 高橋英紀、繁永幸久、濱田洋平、大崎 満、バンバン セティアディ (2017) インドネシアの熱帯泥炭地における地下水位と地表面高の変動について、2017年度(第9回)日本湿地学会大会、府中(17 Aug., 2017)
- 3) Takahashi, H. (2017) Realtime remote monitoring system of groundwater and ground surface levels in peatlands for prevention of peat/forest fire and peat decomposition, 1st Tropical Peatland Roundtable, Jakarta, 1st Nov., 2017.
- 4) Takahashi, H. (2017) Realtime remote monitoring system of groundwater and ground surface levels in peatlands for prevention of peat/forest fire and peat decomposition, COP23 Japan Pavilion, Bonn, 11th Nov. 2017
- 5) 甲山隆司, D. Sheil (2018) 観測間隔に影響されない材生産速度の推定方法. 第56回日本生態学会大会, 札幌. (16 March, 2018)
- 6) Hiroshi Hayasaka, Fire Protection and Peatland Restoration – Fire Forecast, Fire Extinction, Second International Workshop on Peatland Fire Prevention and Forest Rehabilitation, September 11 2017, Palangkaraya, Indonesia.
- 7) Kohyama, T.S., Atikah, T.D., Miyamoto, K., Shiodera, S., Rahajoe, J.S. (2016) Dynamic properties of peat-swamp and heath forests in Central Kalimantan. 第26回日本熱帯生態学会大会、筑波（18 June, 2016）
- 8) Kohyama, T.S., Atikah, T.D., Rahajoe, J.S. (2016) Biomass production system adapted to peatland ecosystem: case study in Central Kalimantan. Joint Workshop on “Utilization of Sago Ecosystem for Peatland Restoration”. LIPI-Jakarta (11 August 2016)
- 9) Kohyama, T.S. (2016) Dynamic forest models based on tree demography and architecture. The Future of Tropical Forests in Asia: Experimental and Modelling Approaches. Nanyang Technological University, Singapore, 14-19 November 2016
- 10) Kohyama, T.S., Kohyama, T.I., Sheil, D. (2017) Biases of vital rate estimation in changing heterogeneous populations. 第54回日本生態学会大会、東京（16 March 2017）
- 11) 早坂洋史、Sepriando, A. (2016) スーパーエルニーニョ期間中の中央カリマンタンでの森林と泥炭火災、平成28年度日本火災学会研究発表会、長岡(17 May, 2016), 概要集 288-289.
- 12) Hayasaka, H. (2016) Peat Restoration and Peat Fires Prevention. Joint Symposium on Peatland Fire detection and prevention, Jakarta (30 May, 2016)

- 13) 早坂洋史 (2016)“インドネシアにおけるエルニーニョ現象と泥炭火災による大気汚染. 日本気象学会北海道支部研究発表会, 札幌 (27 June, 2016) 細氷62, 1-4.
- 14) Hayasaka, H. (2016) Fire Protection and Peatland Restoration. Joint Workshop on Utilization of Sago Ecosystem for Peatland Restoration. LIPI-Jakarta (11 August 2016)
- 15) Hayasaka, H., Sepriando, A. (2016), 2015 SEVERE PEAT FIRES AND AIR POLLUTION NEAR THE FORMER MEGA RICE PROJECT AREA IN CENTRAL KALIMANTAN, INDONESIA. 15th INTERNATIONAL PEAT CONGRESS 2016. 323-326. Kuching (18 August, 2016) 15th IPC 2016-Proceedings, 323-326.
- 16) 早坂洋史 (2016) インドネシアでの森林・泥炭火災の気象条件の把握, 日本設計工学会北海道支部研究発表会 (3 September, 2016), 論文集 No.1-2016, 1-4.
- 17) Hayasaka, H. (2016) Major Air Pollution Event in Mega Rice Project (MRP) Area, Indonesia During the Super El Nino, 2015. International Meeting on Land Use and Emissions in South/Southeast Asia. Ho Chi Minh (18 October, 2016)
- 18) Hayasaka, H. (2016) Haze, Peatland Fire, and River Water Management. National Synthesis Workshop on Promoting Ecological and Eco-hydrological Solutions for Sustainable Water Management in Indonesia (UNESCO). Bogor (14 November, 2016)
- 19) 高橋英紀、繁永幸久、濱田洋平、大崎 満 (2016) 熱帯泥炭地における地下水位変動と地表高挙動について. 第26回日本熱帯生態学会大会、筑波 (18 June, 2016)
- 20) Hiroshi Hayasaka, Major Air Pollution Event in Mega Rice Project (MRP) Area, Indonesia During the Super El Nino, 2015, Second International Workshop on Peatland Fire Prevention and Forest Rehabilitation, September 11 2017, Palangkaraya, Indonesia.
- 21) Hiroshi Hayasaka, Peat fires in the tropical and boreal forest, International workshop on comparative studies of environmental impact of forest fire in boreal and tropical forests and peatlands, December 12, 2017, Khabarovsk, Russia.

(3) 出願特許

特に記載すべき事項は無い。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項は無い。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項は無い。

(6) その他

特に記載すべき事項は無い。

8. 引用文献

- Atikah, T. D., Rahajoe, J. S., & Kohyama, T. S. (2014). Differentiation in architectural properties and functional traits of forest-floor saplings among heath, peat swamp, and mixed dipterocarp forests. *Tropics*, 22(4), 157-167.
- Hirano, T., Segah, H., Kusin, K., Limin, S., Takahashi, H., & Osaki, M. (2012). Effects of disturbances on the carbon balance of tropical peat swamp forests. *Global Change Biology*, 18(11), 3410-3422.
- Kohyama, T., Suzuki, E., Partomihardjo, T., & Yamada, T. (2001). Dynamic steady state of patch-mosaic tree size structure of a mixed dipterocarp forest regulated by local crowding. *Ecological research*, 16(1), 85-98.
- Kohyama, T., Suzuki, E., Partomihardjo, T., Yamada, T., & Kubo, T. (2003). Tree species differentiation in growth, recruitment and allometry in relation to maximum height in a Bornean mixed dipterocarp forest.

Journal of Ecology, 91(5), 797-806.

- Kohyama, T. S., Kohyama, T. I., & Sheil, D. (2017; Online First). Definition and estimation of vital rates from repeated censuses: choices, comparisons and bias corrections focusing on trees. *Methods in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12929>
- Malhi, Y., & Wright, J. (2004). Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 359(1443), 311-329.
- Miyamoto, K., Suzuki, E., Kohyama, T., Seino, T., Mirmanto, E., & Simbolon, H. (2003). Habitat differentiation among tree species with small-scale variation of humus depth and topography in a tropical heath forest of Central Kalimantan, Indonesia. *Journal of Tropical Ecology*, 19(1), 43-54.
- Miyamoto, K., Rahajoe, J. S., Kohyama, T., & Mirmanto, E. (2007). Forest structure and primary productivity in a Bornean heath forest. *Biotropica*, 39(1), 35-42.
- Miyamoto, K., Kohyama, T. S., Rahajoe, J. S., Mirmanto, E., & Simbolon, H. (2016). Forest Structure and Productivity of Tropical Heath and Peatland Forests. In *Tropical Peatland Ecosystems* (pp. 151-166). Springer, Tokyo.
- Nishimura, T. B., Suzuki, E., Kohyama, T., & Tsuyuzaki, S. (2007). Mortality and growth of trees in peat-swamp and heath forests in Central Kalimantan after severe drought. *Plant Ecology*, 188(2), 165-177.
- Rahajoe, J. S., & Kohyama, T. (2003). The relationship between N, P returned via litter production and nutrient use efficiency of heath and peat swamp forests in central Kalimantan. *Tropics*, 13(1), 1-8.
- Takahashi, H., Shigenaga, Y., Hamada, Y., Osaki, M., & Setiadi, B. (2018). Near-real time remote monitoring of ground-water/surface levels and warning to carbon loss from tropical peatlands in Indonesia. n: *The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resources and their Domestication* (eds. Shiodera, S., Fujita, M., & Kobayashi, S., pp. 80-90. Center for Southeast Asian Studies. Research Center, Kyoto University, Kyoto.
- Matsubara, Tuah, S.J., Limin, S.H. & Osaki, M. (2002) Nitrogen source for common tree species in peat swamp forests, Central Kalimantan inferred from $\delta^{15}\text{N}$ analysis, In *Proceedings of the International Symposium on LAND MANAGEMENT AND BIODIVERSITY IN SOUTHEAST ASIA*, Eds. by Mitsuru OSAKI et al., p.59-64, Bali, Indonesia, 17-20 September
- Takyu, M., Kubota, Y., Aiba, S. I., Seino, T., & Nishimura, T. (2005). Pattern of changes in species diversity, structure and dynamics of forest ecosystems along latitudinal gradients in East Asia. *Ecological Research*, 20(3), 287-296.
- Yamakura, T., Hagihara, A., Sukardjo, S., & Ogawa, H. (1986). Aboveground biomass of tropical rain forest stands in Indonesian Borneo. *Vegetatio*, 68(2), 71-82.
- Yanbuaban, M., Nuyim, T., Matsubara, T., Watanabe, T. and Osaki, M. (2007) Nutritional ecology of plants grown in a tropical peat swamp. *TROPICS*, 16, 31-39

Ⅱ－３ 自然資源と生態系サービスにおける経済評価

長崎大学

熱帯医学・グローバルヘルス研究科

門司和彦

〈研究協力者〉

長崎大学 水産・環境科学総合研究科 太田貴大

長崎大学 東京オフィス 東城文柄

北海道大学 早坂洋史

インドネシア・パランカラヤ大学農学部 Aswin Usup

長崎大学 水産・環境科学総合研究科 Francisca Kilonzi (H27-28年度)

長崎大学・熱帯医学・グローバルヘルス研究科 西本太 (H27-28年度)

長崎大学・国際連携研究戦略本部 藤野忠敬 (H27-28年度)

総合地球環境学研究所 蔣宏偉 (H27-28年度)

長崎大学 水産・環境科学総合研究科 山本裕基 (H28年度)

インドネシア・パランカラヤ大学CIMTROP Kitso Kushin (H29年度)

平成27～29年度累計予算額：5,460千円（うち平成29年度：1,600千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕

本サブテーマは、中央カリマンタン州を対象に、地域住民の自然資源・泥炭林の生態系サービスの利用実態を明らかにしたうえで、アナツバメの巣という供給サービスおよびその鳥種の生息場の提供という基盤サービスに注目した。アナツバメの巣ビジネスの実態を明らかにし、その経済価値を推定した。また、基盤サービスの経済価値も推定した。アナツバメの巣ビジネス参入障壁として、とりわけ初期のビル建築コストの高さが明らかとなったため、その課題を克服しながら、住民が仕組みを理解しコミットしやすい生態系サービスへの支払の仕組みを提案した。

〔キーワード〕

代替生計、インセンティブ、アナツバメの巣、生態系サービスへの支払、コミュニティビジネス

1. はじめに

熱帯泥炭湿地林は、地域住民により多様な利用がなされている。これらは、木材や林産物に限らず、非林産物も含まれ、全てを包括した呼称として生態系サービスとしてまとめられる。生態系の破壊や劣化に伴い、生態系サービスの量と質が減少することが、様々な文脈で問題となっている。例えば、農地転換、焼き畑や違法伐採による、泥炭湿地林の炭素固定および地球温暖化緩和の調整サービスの劣化もその一つであり、地球規模での環境問題となっている。生態系サービスの経済的な価値を評価し認識することで、様々な環境政策において生態系サービスを主流化することが求められている。

熱帯泥炭湿地林におけるREDD+のセーフガードを議論する際の一つの視点として、地域住民の代替生計の考慮の必要性がある。REDD+における多様な手法の中でも、森林を保全あるいは修復し、炭素固定量や吸収

量を増加させる手法を用いる場合、火入れや伐採などによる人為的な森林破壊を防ぐ必要が生じるため、地域住民の森林へのアクセスを制限することがある。地域住民の森林資源への依存の形態にもよるが、生計の大部分を森林利用に頼っている場合、REDD実施者はそれらの住民に対して補償をおこなうか、何らかの代替となる生計手段を提供する必要が生じる。このような代替生計は、泥炭林と共生し、あるいは蓄積されている炭素に極力影響を与えず、ある程度の収入を期待できるものである必要がある。さらに、このような代替生計が、泥炭林保全や火災予防行為とリンクすることで、地域住民の森林管理・地域資源利用のインセンティブに繋がれば、より望ましい社会—生態システムの循環に至ることが期待できる。

このサブテーマが対象とする中央カリマンタン州では、泥炭林の農地転換、過度な伐採、火入れなどによる炭素放出が問題となっており、REDDを初めとする効果的な介入政策が求められている。この州においても、地域住民が多様な形で泥炭林の生態系サービスを利用していると考えられるが、その詳細な実態は明らかとなっていない。このため、地域住民の生態系サービスの利用実態から、泥炭林を維持することにより持続的に享受できる生態系サービスの種類を特定する必要がある。さらに、地域住民が泥炭林の生態系サービスを享受し、その生態系サービスの持続的な受益のために泥炭林保全や火災予防の活動が必要となり、そのための活動資金を自らの生態系サービスの受益分から拠出するような仕組み、いわゆる、生態系サービスの支払（Payment for Ecosystem Services: PES）を検討することが必要である。PESは、多くの途上国で実践されているが、地域住民が生態系サービスの供給者あるいは管理者であり、かつ、受益者あるいは支払者でもある仕組みは、管見の限り存在しない。本課題のREDDの文脈においても、多くの途上国が実施しているような、支払者が外部の国際機関やNPONGOになる形で、つまり、REDD実施者が支払者となるPESは可能と考えられる。しかし、そのようなPESは、地域住民の責任やコミットメントを弱くし、ステークホルダーである地域住民がシステム全体を把握することを困難にする可能性が高まる。地域住民が自らの生態系サービスによる収入でその生態系サービスの質や量を維持するための支払を実施することは、参加型モデルのコアとなるコンセプトを補強し、より持続的な仕組みになる期待が生まれる。

2. 研究開発目的

本サブテーマは、泥炭林の生態系サービスへの支払による、住民参加型の森林管理モデルを提案する。

このために、地域資源・泥炭林の生態系サービス利用の実態を社会調査により明らかにする。また、生態系サービスの利用実態を踏まえて、生態系サービスの経済評価を行う。これらの知見から、REDDプロジェクトの目標に反しない形で、持続的に生態系サービスを利用する生計手段を検討する。その生計手段を維持するために、地域住民が泥炭林の保全や火災の予防という森林管理の行動へ向かう仕組み作りが可能かどうかを検討する。住民がPESの仕組みに深く関わり、生態系サービスの供給と受益に責任やコミットメントを持つ仕組みの提案を目指す。

3. 研究開発方法

本サブテーマでは、3段階で研究を行った。まず(3)-1として、地域住民の自然資源利用・生態系サービス利用の実態を明らかにするため、中央カリマンタン州の複数の村落にて、フォーカスグループ調査や個別面談調査の社会調査を実施した。(3)-2として、(3)-1の結果から、サブテーマの目指す文脈に沿ったアナツバメの巣の利用に焦点を当て、そのビジネスの実態調査・経済価値評価調査を、同州にて実施した。また、アナツバメの巣の生産の森林への依存度を把握するため、鳥類の生態学的調査も実施した。最後に、(3)-3として、複数のPESの仕組みを住民の意識調査から検討した。

4. 結果及び考察

(3)-1 地域住民の自然資源・生態系サービスの利用実態

中央カリマンタン州・パランカラヤ大学の研究協力者Aswin Usup博士らの協力を得て、2015年12月に12村の予備調査を実施した。調査地は中央カリマンタン州のPulang Pisau県の6村とKapas 県の6村とした。Pulang Pisau県の6村は大きく2群に分けられ、20世紀初頭から1940年ごろまでにできた4村と、1985年ごろの政府移民政策transmigrasi によって設立された2村である。それぞれ、援助の入り方が違っていたり、近くに伐採地があり、その労働者として古くからの村に住み着いたりした住民もいる。Kapas県では2村がMega Rice Project (MRP) の1990年代の村であり、3村は19世紀からのダヤクの村であり、1村はバンジャール人の村であった。

下表に村落タイプ別の木材および燃料木利用実態を示す。燃料木については小規模ながらもいまだに利用されていた。木材については、法的に伐採禁止となっているため、利用は限定的であった。すべての村で稲作が主要生業であり、第2生業は、漁業が3村、パームヤシ栽培（労働）が2村、以下、ゴム栽培、金鉱、パルプ材栽培、家禽飼育、商業、籐細工が各1村であった。稲作水田の村民保有率は20-100%に分布し、不在地主の影響の村落差が大きいことが判明した。泥炭地林の回復については、火災予防、煙霧健康被害防止、土地の肥沃化の観点から賛成意見が多く聞かれた。アグロフォレストリー推進などの意見が出された。パームオイル栽培に関しては、病害と土壌劣化の観点から反対する意見と、雇用創出の観点から歓迎する意見にわかれた。今回、過去の様子については収集されたデータは少なかったが、全体的に健康が悪化している、特に呼吸器系疾患が悪化していると回答した村落が多く、非泥炭地の結果とは異なっていた。

表 3-1 村落タイプ別の木材および燃料木の現状						
	都市近郊		伝統村落		移民村落	
	木材	燃料木	木材	燃料木	木材	燃料木
プランピサウ	なし	あり	中間	あり	なし	あり
カパス	中間	あり	中間	中間	中間	あり

表 3-2 村落タイプ別の泥炭湿地林に期待するもの			
	都市近郊村落	伝統村落	移民村落
プランピサウ	林産物 一般的な良好環境	火災・洪水の緩和 林産物	林産物 (ラタン、ゴム、ハチミツ) 洪水緩和 大気浄化 健康上昇
カパス	林産物・農産物 (木材、ランブータン、オレンジ、 キノコ、ラタン、ハチミツ) 火災緩和	農産物 一般的な良好環境	農産物 (米、コーン、チリ、野菜)

さらに、2016年2月に現地踏査を行った。その結果、植物性資源・作物（木本・草本）としては、泥炭林固有樹木、外来樹、パルプ材、ゴムの木、竹、サゴヤシ、ニッパヤシ、ココヤシ、アブラヤシ、果樹（ランブータン、マンゴー、パパイヤ、ジャックフルーツ、オレンジ等）、キャッサバ、パイナップル、稲、とうもろこし、ラタン（籐）など、小規模で多様な栽培が見られた。昨年に泥炭地火災があり、雨期になって冠水している地域は、シダ類（現地名：パキス）に覆われていた。動物資源としては、魚、アナツバメ類（コンクリートあるいは、木製のビルを作り、巣を中国系商人に売る）、ミツバチ、家禽等（その他の家畜はあまり見なかった）、鉱物資源としては観察できなかったが、金採取が行われており、森林破壊や泥炭湿地乾燥化、水質汚染の原因となっているとのことであった。また、負の生態系サービスとして、泥炭地バイオマスの火災による二酸化炭素排出、煙霧（haze）発生による生活への影響が考えられた。

また、上記の調査と異なる視点で、限定した小数の村落を対象に、可能な限り多くの世帯を対象とした自然資源利用実態調査を行う必要があったため、2016年7月に実施した。中央カリマンタン州カッティンガン区のHampangen教育林（HEF）近隣に位置する3つの村落（Hampangen、Luwuk Kanan、Bukit Batu）を対象とした。各村は、さらに小さい行政単位であるRungkun Tetangga（RT）に分けられ、HEFに最も近い4つのRTを対象とした（図3-1）。表3-3のように母数となる家計数に対して73 %をカバーした。

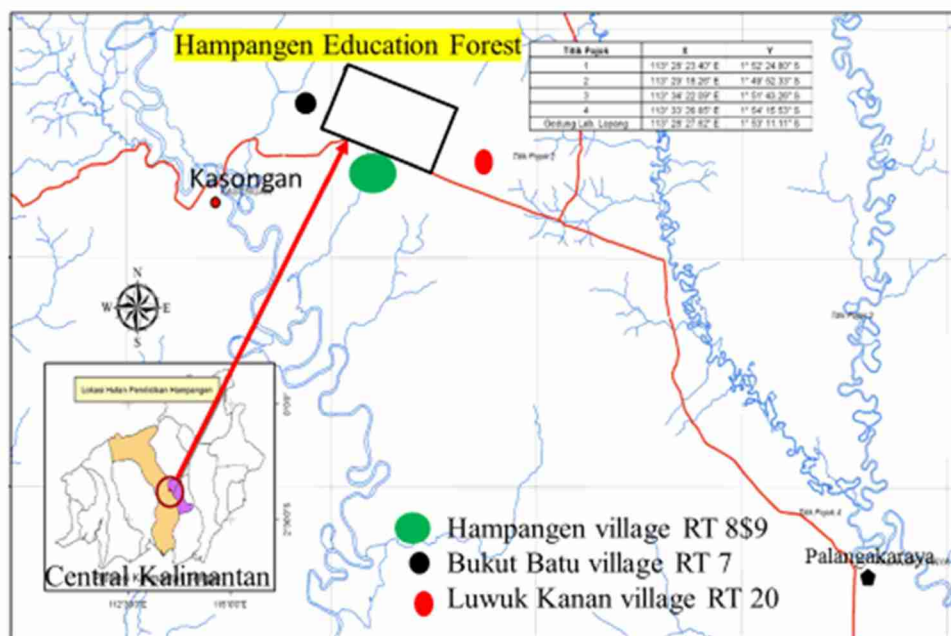


図3-1 対象村落の位置図

表3-3 対象村落の家計数とサンプル数

村名	RT 名	サンプル数（家計）	母数（家計）
Hampangen	8 & 9	80	112
Bukit Batu	7	22	31
Luwuk Kanan	20	43	56
合計	4 RTs	145 (73%)	199

現
地
で
は、
商
業
的
な
森
林

伐採が禁止されているため、日常生活において森林生態系から得られている供給サービスを対象に、その種類と利用頻度を明らかにした。HEFは、泥炭湿地が比較的良好に残っており、カッティンガン区とパラナカラヤ大学によって管理されている。現地の代表的な民族はDayakであり、85%がムスリムであった。一方で、移民は、Java, BanjarmasinそしてSumatraから来ているものがいた。家計主は定職につくことなく、農業や日雇いの形での職業についていることが多かった。表3-4は、調査対象家計の社会的属性である。

表3-4 調査対象家計の社会属性（家計あたりの平均値）

人数	家計主の受教 育期間	平均子供人数	家計主の平均 年齢	平均月収	平均バイク保 有台数
4.58 人	9.49 年	2.54 人	42.74 歳	200USD	1.34 台

調査の結果、表3-5のような供給サービスの利用実態が明らかとなった。特に注目すべきものは、魚類で、森林内の河川環境から釣りや罟で捕獲していた。魚類資源の状態は良いようで、個体数の変化についても減少傾向などはないといった回答が多かった。また、少量ながら捕りすぎた場合は、近隣の市場に出荷することもあるとの回答があった。さらに、泥炭湿地に在来種の樹種を火災跡地の再生植林用に育てて販売している家計が複数あり、儲けが良いという回答も多かった。挿し木で増やしているため、直接の伐採ではなく、持続的と考えられる。観賞用の鳥類は、以前と比べて投資する労力に対して捕獲率が下がったこと、また他の儲けの良い業種（例えば実生栽培）が存在するため、そちらにシフトするといった回答が見られた。

表3-5 主要な供給サービスの利用実態		
供給サービスの種類		概要
1.	魚類	泥炭湿地内や小川や河川で捕獲する。主に家庭消費用。週に5～6回捕獲。3～5kg/日の捕獲。
2.	燃料材	料理用に平均6kgの枯損木を毎日採取。
3.	樹脂や樹液	8～10年生のゴムの木から取る。1haで約100kg。現在の買取り価格は、5000ルピア/kg。
4.	パームオイル	泥炭地でも二次林としてパームを植えている。
5.	木材	家の建築、ボートの作成、家具の作成のため。3.8メートル程度のものを使用する。
6.	ハーブ薬用物	薬用として森林内で採取する。喘息、下痢、骨折、関節痛、蚊刺。
7.	鳥（観賞用）	森林内で捕獲。Plain Throated Sunbird (<i>Anthreptes malacensis</i>) が主な対象種。家庭での鑑賞用。
8.	ラタンの芽	森林内にて採取。野菜として食べる。
9.	木の実生	火災の再生のために、実生を挿し木で増やしている。

このような一連の自然資源利用実態調査から、多様な生計手段が、多様な地域資源を利用していることが明らかとなった。この生計手段は、市場の流行にも強く影響し、定まったものを長期間にわたり選択するという傾向が薄いことも明らかとなった。これは反対に、一つの生計に依存せずリスクを分散していると捉えることも可能である。泥炭地の乾燥化による畑作の実施も多く存在した。対象地域地方部では、土地が行政から地域住民に割り振られ、農地転換という非持続的な泥炭地サービスの利用が増加している傾向も見られた。一方で、利用されている資源には、森林から直接採取しない資源（例えば魚類や木の実生など）、森林で再生産可能な資源（例えばアナツバメの巣）も存在した。また、森林近くに居住している住民でも、日常的に森林を訪れて資源を採取することは減少している傾向が強かった。このように今後も森林に直接依存しない生活形態が増えていくと、森林管理の必要性をうったえることは、困難になると予想される。

また、森林で再生産可能な資源のさいたる例は、近年、対象地域で急激にそのシェアを広げているアナツバメの巣を人工的なビルの中で生産させ中国へと販売するビジネスである。しかし、このアナツバメの巣ビジネスは、初期投資としてビル建築の費用が高く、多くの住民が参入可能なビジネスではないことも明らかとなった。また、アナツバメが森林を利用している可能性は非常に高いが、どの程度依存しているかの基礎的なデータがなく、また、森林火災によって巣の生産量や質に影響が出るかどうか不明であった。

(3)-2 泥炭林の供給サービスであるアナツバメの巣の利用実態と経済価値、および基礎生態

(3)-1の調査結果より、アナツバメの巣ビジネスは、泥炭林への影響も小さい地域自然資源の利用（泥炭湿地林の生態系サービス）であることが予想された。地域住民にとっては、アナツバメの巣の採取販売は経済的なインセンティブにもなり、同時に、巣の生産を持続的に行うために森林生態系が必要であれば、保全や火災予防という行動へのインセンティブにもなると考えられる。このため、アナツバメの巣ビジネスの実態

を把握すると同時に、アナツバメの基礎的な生態として、森林利用があるかについて調査を実施した。

アナツバメの巣は中華料理の高級食材として、主に中国へ輸出されている。人工的に建造したビルに、アナツバメが繁殖に訪れ、その際に作成する巣を採取する。このビジネスの実態調査を、中央カリマンタン州のPulang PisauのSebangau Kualaの5村（Paduran Mulia、Sebangau Mulia、Sebangau Jaya、Mekar Jaya、Sebangau Permai）の41のツバメビル、そして2村（Bantanan、Muara Paduran）の9のツバメビルを対象として実施した（合計50ビル）（図3-2）。オーナーへの聞き取り調査は、5村を2016年12月8日から18日に、2村を2017年1月19日から27日に実施した。この地域は、Sebangau国立公園の南西側に位置しており、この数年で多くのツバメビルが建設されている。調査では、ビルのオーナーに様々な質問を行った。

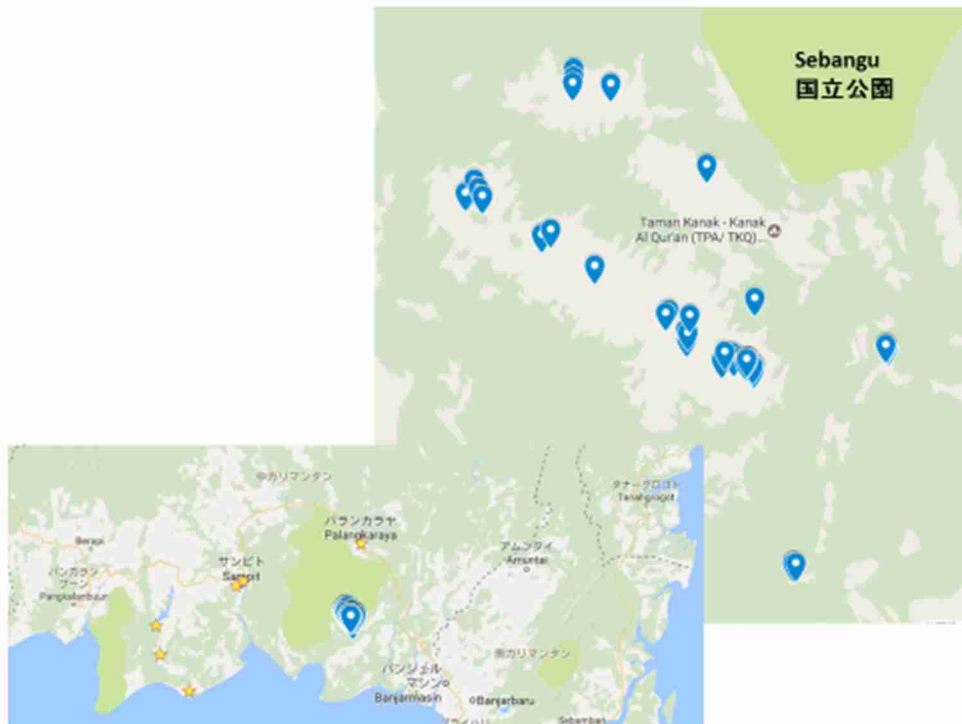


図3-2 中央カリマンタン州および詳細地区内における対象ツバメビルの位置図

実態調査からこの地域のアナツバメの巣ビジネスは先行きが明るいことが示唆された。この地域で焼き畑が禁止されたため、ここ数年で多くの参入があった。ただ、需要は中国という海外にあるため、価格の安定性には疑問がある。また、直近の2年間ほどは、火災のため陸上の村へのアクセスが制限されていたため、巣の生産が減少し、輸送のコストを高く押し上げたため、ビジネスとしての利益があまり大きくなかった。

表3-6に、50のツバメビルの平均値を各項目で示した。平均建設年が2011年3月であることから、この5～6年に多くのビルが建設されたことが分かり、最近のビジネスの興隆を表している。ビルのタイプは、高価なコンクリート製と木造性が半数ずつとなっている。火災が多い地域の場合は、木造では燃えてしまうリスクがある。建造のコストはおおよそ100万円程度で、維持に関わる人件費は年に2万円程度である。オーナーがビルの近くに居住している場合は、管理者を別途雇う必要がなく、コストが低くなる。

表3-6 対象のツバメビルの全体平均値		
項目	単位	平均値
建設年	年. 月	2011.3
ビルタイプ	木造	26
	コンクリ	24

建造コスト	百万ルピア	104.4
最初の収穫年	年. 月	2013.1
過去12ヶ月での維持コスト	ルピア	1,971,200
維持に必要な人数	人	0.1
過去12ヶ月の維持の人件費	ルピア	2,282,000
1キログラムあたりの販売価格	ルピア/kg	7,794,000
ツバメビルの高さ	m	9
ビル直下での騒音	dB	51
最も近い家での騒音	dB	42
過去12ヶ月の販売量	kg	13.9
オーナーは村在住か？	Yes	35
	No	15
借り入れがあるか？	Yes	33
	No	17
借り入れ先	銀行	17
	家族	17
過去12ヶ月のコメの生産量	kg	1,196
過去12ヶ月のコメの販売額	ルピア/kg	5,500
過去12ヶ月のゴムの生産量	kg	1,378
過去12ヶ月のゴムの販売額	ルピア/kg	5,500

過去12ヶ月の販売量が約14kgで、1kgあたりの価格が7.8万円程度のため、1年間で109万円程度の売り上げがあったこととなる。米やゴムの生産量、販売価格からしても、極めて大きいものである。定期的な収穫があれば、借入金を数年で返済できるものと考えられる。

次に、詳細な建物の特徴を図示した（図3-3）。木造とコンクリート造ともに、2012年が建設のピークであった。素材別には、ビルのサイズに大きな違いはなかったが、若干コンクリート造の方が、背が高かった。ツバメの鳴き声や、誘因のための音声プレイバックによる騒音問題があるが、実際は、さほど大きな音でないことが分かった。アナツバメ誘致の方法としては、糞や卵などを混ぜて作る誘因スプレアの散布と音声のプレイバックは、ほとんどのビルで実施されていた。

アナツバメビジネスに要する費用について図にまとめた（図3-4）。建設コストは、木造の方がコンクリート造に比べて40万円ほど安かった。しかし、双方ともに、大きな額の初期投資が必要となった。また、ビルの維持として、湿度を一定に保つための機械の購入や補修、音声プレイバックのための機械の購入や補修などがあった。村内に居住していないオーナーも、全体の2～3割存在し、ビルの直近で居住し管理のみを依頼されている住民も存在した。初期投資の高額さゆえに、半数以上、特にコンクリート造では、8割近くが借り入れを行っていた。木造の方は、家族親族間での借り入れが半数であったが、より高額となるコンクリート造では、銀行等の金融機関からの借り入れが半数以上にのぼった。また、建設コストの大きな部分を占める、建設業者（大工）の雇用料については、オーナー自体が建設業に関わっているケースも散見されたため、その大部分は借り入れを行わずに建設していた。

アナツバメビジネスからのベネフィットについて図にまとめた（図3-5）。木造とコンクリート造を比較すると、建設から収穫までの期間はほぼ等しく、質によって異なる販売単価もほぼ同一であった。収穫量とそれに伴う、販売重量、販売総額は、コンクリート造の方が高かった。これは平均的なビルサイズ、特に高さの影響と考えられる。

結果:建造物の特徴

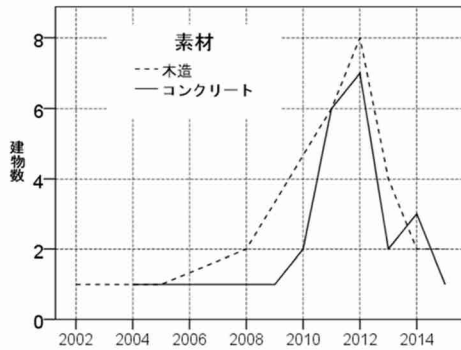


図 建造年度と建物数(素材別)

表 その他特徴(素材別)

素材(平均)	木造	コンクリート
建造物数比	52.0%	48.0%
直下での騒音	56.7dB	45.0dB
最近隣住宅での騒音	49.8dB	33.1dB
推定番数	97.5ペア	147.0ペア
オーナーが村外に在住	34.6%	25.0%

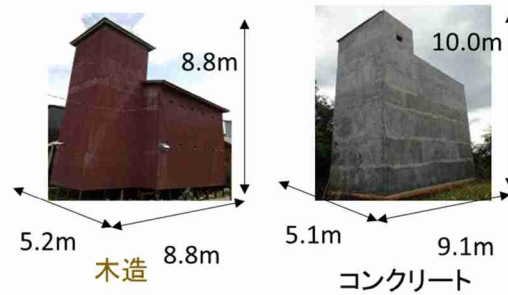


図 建造物の平均サイズ

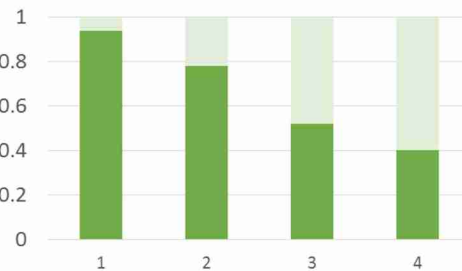


図 管理方法の実施率

1. 誘引スプレー散布
2. 鳴き声テープ放送
3. 害虫・獣用薬剤散布
4. 池の設置

図3-3 アナツバメビルの特徴

結果:コスト関連

表 人工建造物に必要なコスト

(平均)	建造物数	建設コスト	直近1年間の建造物維持コスト	雇用している管理人の数	直近1年間の管理人の給料
木造	26件	84.81 million rupiah	1.80 million rupiah	1.3人 (n=3)	34 million rupiah (n=3)
コンクリート	24件	125.63 million rupiah	2.16 million rupiah	1.0人 (n=2)	1 million rupiah (n=2)

1 million rupiah ≒ 1万円 (8,300円: 2017.6時点)

表 建造物建築のための借り入れ率

	建造物数	借り入れ率
木造	26件	53.8%
コンクリート	24件	79.2%

表 建築資金の借り入れ先

(%)	木造	コンクリート
銀行	7.7	62.5
家族	46.2	12.5
親戚	3.8	0.0
その他	42.3	25.0

コンクリート(2件のみ): 第二借り入れ先として家族があった

図3-4 アナツバメビジネスにかかる費用のまとめ

結果:ベネフィット関連

表 巣販売によるベネフィットに関する情報

(平均)	木造	コンクリート
建設から収穫 までの期間	1.76年	1.83年
巣買取り (販売)単価	7.77 million rupiah/kg	7.83 million rupiah/kg
直近1年間の 販売重量	11.2kg	16.9kg
直近1年間の 販売金額	87 million rupiah	132 million rupiah
オーナーの 取り分	90.9%	93.3%
主な分配者	親族、管理人、 共同オーナー等	
直近1年間の 米生産量	558kg (n=6)	1833kg (n=6)
米販売額/kg	5,000 rupiah	6,000 rupiah
直近1年間の ゴム生産量	633kg (n=3)	1750kg (n=6)
ゴム販売額/kg	5,167 rupiah	5,667 rupiah

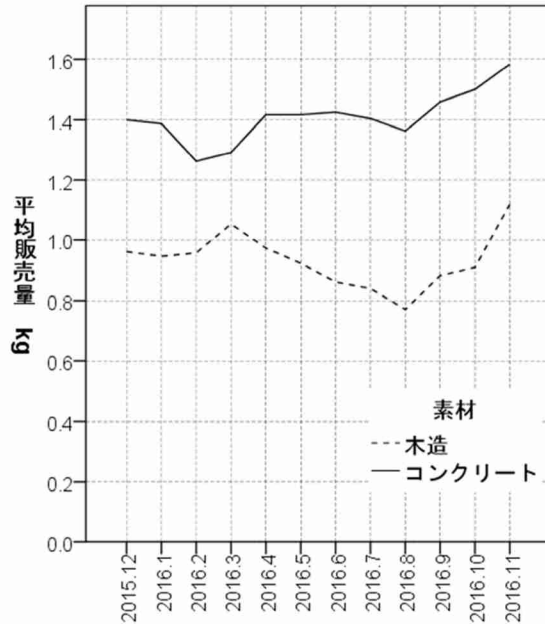


図4 直近1年間の月毎平均販売量

図3-5 アナツバメビジネスのベネフィットのまとめ

収穫量の季節的な変化を見ると、乾季において減少し、雨季において増加する傾向が見られた。コンクリート造の方は、木造に比べて安定した生産量を示した。

次に、純利益の割引現在価値を推定した(表3-7)。ここでは、収益として、建設後3年目より、(1年間の販売金額×オーナーの取り分)が継続して入ると仮定した。また、費用として、1年目の建設コスト、2年目より、(1年間の建造物維持コスト+管理人給料)が継続してかかると仮定した。ただし、借入金の返済利子は考慮していない。割引率10%と20%と高めの設定で計算したところ、木造で割引率20%の設定でも、4年目には純利益の価値がプラスになると推定された。

表3-7 アナツバメビジネスの純利益の割引現在価値

素材(割引率) million rupiah	1年目	2年目	3年目	4年目	合計
木造(10%)	-84.81	-2.55	63.12	57.38	33.14
コンクリート(10%)	-125.63	-2.87	98.84	89.86	60.20
木造(20%)	-84.81	-2.33	52.43	43.69	8.98
コンクリート(20%)	-125.63	-2.63	83.06	69.21	24.00

さらに、生産量(kg/年)の決定要因を明らかにするため、ステップワイズ法を用いた重回帰分析を実施した。説明変数として、一連の建造物の特徴、一連の建設・維持コスト、管理方法、資金繰りを入れた。その結果、床面積(m²)と建設年度が有意な変数として選択されたモデルが得られた(調整済みR二乗値=0.247、F値9.020、自由度2、有意確率<0.05)(表3-8)。これより、床面積が大きく、建設年度が古いビルほど生産

量が大きいことが示唆された。これらの要因は、野生下の繁殖場所である洞窟環境から推定可能なものと考えられ、一定の信頼性がある。

表3-8 生産量の決定要因を求める重回帰分析の結果

変数名	偏回帰係数	標準化係数	有意確率
定数	2820.273		0.028
床面積(m ²)	0.241	0.405	0.002
建設年度	-1.401	-0.283	0.028

以上から得られた示唆をまとめる。設年度の集中、建造物の特徴や管理方法の類似の原因として、小数のビジネス先行者の情報が急速に拡大したことが考えられる。聞き取り調査でも、情報源として、近隣の居住者が挙げられることが多かった。一部には、コンサルタントと契約し、巣の販売額の数十パーセントを提供している場合もあった。コンクリートは高価なため、初期投資は大きい、火災消失リスクが低いため、魅力のあるものといえる。バイヤーへの卸価格は、中国での小売価格の数分の一程度であり、価格の持続性は疑問がある。これは供給量増加でさらに安価になる可能性もある。しかし、アナツバメの巣は米やゴムに比べ、10倍程度大きい収入で、農業と違い頻繁な管理も不要なため一つの生計手段として有望である。返済利子を考慮しても、4年ほどで初期投資分を回収可能と考えられる。これには、中国の市場での需要が一定であり、かつ供給量が過剰にならないという条件が必要である。

以上の全ての現地調査から、アナツバメの巣ビジネスには2つの大きな課題があることが示唆された。1点目は、参入のために大きな初期投資が必要な点である。コンクリート製の4階建て相当のビルを建てるために、150百万～400百万ルピアが必要で、銀行などから借入れするケースが多い。一方で親戚の大工を通じて建築し、木などの簡易なもので建造する場合は、コストが半分程度に抑えられることも明らかとなった。2点目は、政府の課税制度の有効性である。ビルの建造にはライセンスが必要で、大きさに合わせて課税が行われている。課税額は、ビルの大きさ次第では、毎月10百万ルピア程度にも相当する。しかし、制度の実行率は悪く、多くのビルのオーナーは、支払をしていない現状であった。

次に、アナツバメが森林を利用して巣の生産を行っているかどうか不明であるため、基礎的な生態学的データを収集した。これにより、アナツバメが森林を積極的に利用していることが明らかになれば、ビル建築の泥炭林改変面積は少なく、かつ、巣の利用に森林が必要なことが確認できるため、ビジネス参加者の資源保全（泥炭林保全）のインセンティブも期待できる。

アナツバメが主に採餌のために利用する土地被覆タイプの把握のため、小型GPSロガー（Loteck社：Pinpoint10）を鳥体に装着し、位置データを収集した。現地での調査は、パランカラヤ大学と共同で実施した。調査は、2017年11月に実施した。現地は雨季に入った時期であり、繁殖が本格化する頃である。プランピサウ郡のパンクー村のビル1棟を対象とした。11月21日から23日に連続して調査した結果、21日放鳥22日回収の1個体（No. 1657）、21日放鳥23日回収の1個体（No. 1661）、および22日放鳥23日回収の1個体（No. 1659）の、合計3個体分の位置データが得られた。GPSの位置データ取得は、アナツバメがツバメビルを離れる日の出前4:00から、帰巢する後の日の入19:00までの間で、10分間隔で行った。No. 1661については、22日午前中のみしかデータが得られなかったが、他2個体については終日のデータが得られた。

得られた位置データと土地被覆タイプとの関係性を分析するため、MODIS EVIデータを用いて、土地被覆のタイプ分けを行った。ここでは、2015年の大規模火災に注目してタイプ分けを行った。まず2カ月ごとにMODISEVIを統合し、この期間の最もEVI値の高いものをピクセルに代表させた。次にk平均法によって、上記

の季節的变化を踏まえて、16にパターン分けし、さらに類似したパターンを統合し、最終的に9つの土地被覆タイプを得た。これらは、Burned1～3、Grassland/Cropland、Paddy、Tree1～3、Wild/Bareである。Burned1は火災前が森林被覆、Burned2は火災前が草地・高知、Burned3は火災後の植生回復が特に早いものである。Tree1～3は年間平均EVIレベルの差で定義され、Tree1>2>3の順で立木密度が高いと推定される。住宅地や道路（アスファルト）そして、河川などの水面は、Wild/Bareに入る。プランテーション型の森林については、林齢や植栽方法によりEVIレベルが異なるため、どの土地被覆タイプに入るかは断定できないが、衛星写真からの推定では、主にTree3の立木密度が低いタイプ分けされると考えられる。

これらの土地被覆タイプのデータをもとに2種類の分析を実施した。まず、ツバメビルを中心とした半径20km以内の土地被覆構成を求めた（1pixelが231×231m）。そして、各アナツバメの行動圏として、1GPS地点での滞在時間を10分とみなし、「各土地被覆と重なっている地点数×10分」の値を用いた。この値から、各土地被覆タイプに各アナツバメ個体がどの程度の時間滞在していたかが推定でき、選好されるタイプが明らかとなる。

アナツバメ3個体分の行動圏データと土地被覆タイプ（2015年ベース）との関係性の分析を実施した。まず、ツバメビルを中心とした半径20km以内の土地被覆構成は、Burned1～3が約25%、Tree1～3が約65%であった（図3-6）。

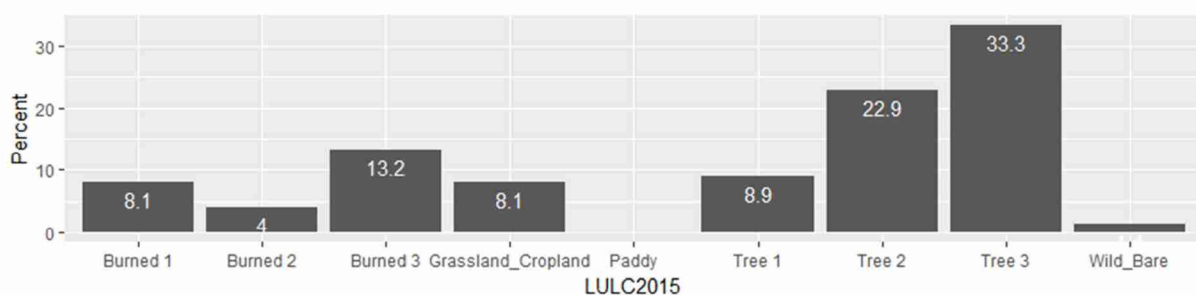


図3-6. ツバメビルから半径20km円内の土地被覆構成（2015年MODISEVIベース）

次に、各土地被覆タイプへのアナツバメの選好度の分析結果が図3-7から3-9である。

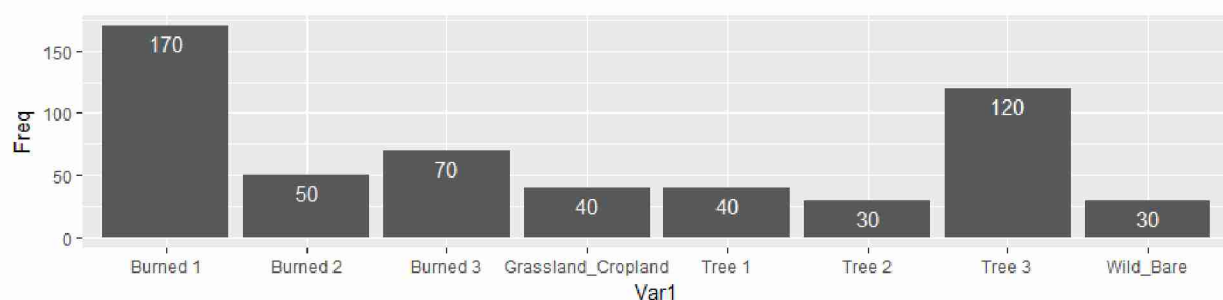


図3-7. No. 1661の土地被覆総滞在時間（単位：分）

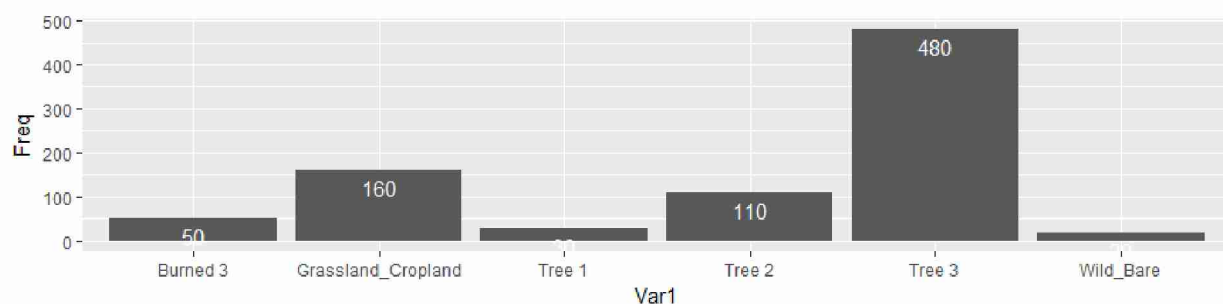


図3-8. No. 1659の土地被覆総滞在時間（単位：分）

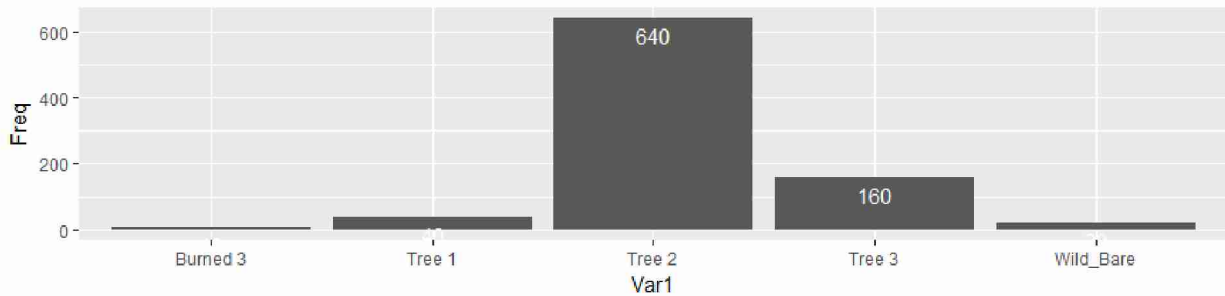


図3-9. No. 1657の土地被覆総滞在時間（単位：分）

これらの分析から、①裸地や水面に比べて森林を利用していること、②火災後の森林も頻繁に使用していること、そして、③比較的立木密度の低い疎な森林(Tree1に比べてTree2やTree3)を使用していることが明らかとなった。これらから、泥炭林という森林の土地被覆タイプを維持することは、アナツバメの行動圏維持のために有効な保全策といえる可能性が高い。ただし、森林にはプランテーションも含まれているため、どのような森林タイプが最も選好されるのか、また、本来の生態に合致しているのか、さらに、巣の生産量を持続的に維持することにつながるのかについては、更なる調査が必要である。衛星写真からは、No1657はプランテーションを利用しておらず(Tree2を選好) No1659はプランテーションを積極的に利用していると推定された。今回の個体は繁殖ステージがどちらも抱卵であり差異はなかったが、繁殖行動の性差や個体差が反映している可能性を今後検討する必要がある。また、この2個体は、データ取得の日にちが異なるため、日ごとの気象によっても餌の発生や行動パターンの変化があることが予想される。今後より詳細な分析が必要である。

(3)-3 PESと住民参加型森林管理モデルの提案

(3)-2において、ツバメの巣ビジネスの費用対効果の点での期待の高さと、ビル建設自体の泥炭林への影響の少なさ、また巣生産のためにアナツバメの森林利用が部分的には必要であるという実態から、この生態系サービスの受益を持続的に維持するためには森林の保全が重要であることが明らかとなった。これらを踏まえて(3)-3では、具体的な泥炭林のPESとして、アナツバメの巣を受益している人々が支払者となり、巣の販売益等から受益ベースで支払を行い、巣の生産を維持するために、泥炭林の保全や火災予防の活動を行うための資金とするフレームワークを提案する。

まず、アナツバメが森林を利用していることから、泥炭林供給サービスを支える基盤サービス（アナツバメの生息場提供）の経済評価を、一つのPESフレームワークの検討と合わせて実施した。泥炭林のPESフレームワークを検討する際に、供給サービスとしてのアナツバメの巣の経済価値には明示的には含まれていないと考えられる、アナツバメの生息場を提供するという泥炭林の基盤サービスの経済価値を推定することが重要である。ここでは、インドネシア中央カリマンタン州の州都であるパラカラヤ市のツバメビルオーナーおよび管理者を対象に聞き取り調査を実施して上記を明らかにした。

調査内容と項目は、パラカラヤ市が実施しているツバメの巣に関する納税の仕組みに基づいて決定した。この税制度は、ツバメビルのオーナーが、巣の販売額の5%を市に納税し、税収が市の一般財政に組み入れられるというものである。アンケートでは、まず、アナツバメが森林を利用するため、巣の生産にとって重要な生態系であること、火災が巣の生産に影響することを説明し、次に下記のようなシナリオ設定で、この税収を一般財政に組み入れずに、アナツバメの巣の生産に影響する森林火災の予防や森林保全に限定して、目的的に用いる場合の賛否と税率（5%の変更）を尋ねた。

アンケートのシナリオ設定

“One of the aim of this tax system is to make income equal among people. This tax revenue is used for general and public purpose, now. You pay tax based on your nest harvest sales.

If the government uses this tax revenue “only for” forest fire prevention around this city, do you agree with such usage? (For example, rewetting, canal blocking, planting trees, restoration etc.)

If the government uses the tax only for forest fire prevention, you can expect decreasing probability of forest fire occurring and smaller impacts on nests. But if the government does not uses it, the current probability of occurring fire does not change and the same impact on nests. Hypothetically, if such usage of tax revenue (forest fire prevention) is realized, how much of higher percentage do you agree with paying for this tax?

(Current 5% of nest sales? -> You can allow for %)”

上記のアンケートを、2017年11月から12月に実施した。サンプリングサイトは、パランカラヤ市（行政区）内でも比較的都心に近く、かつ、地理的分布が広くなるように50のツバメビルを選定した（図3-10）。また、アンケートでは、巣の販売額および収入も尋ね、ツバメビルオーナーあたりの納税額と収入に占める割合も算出した。

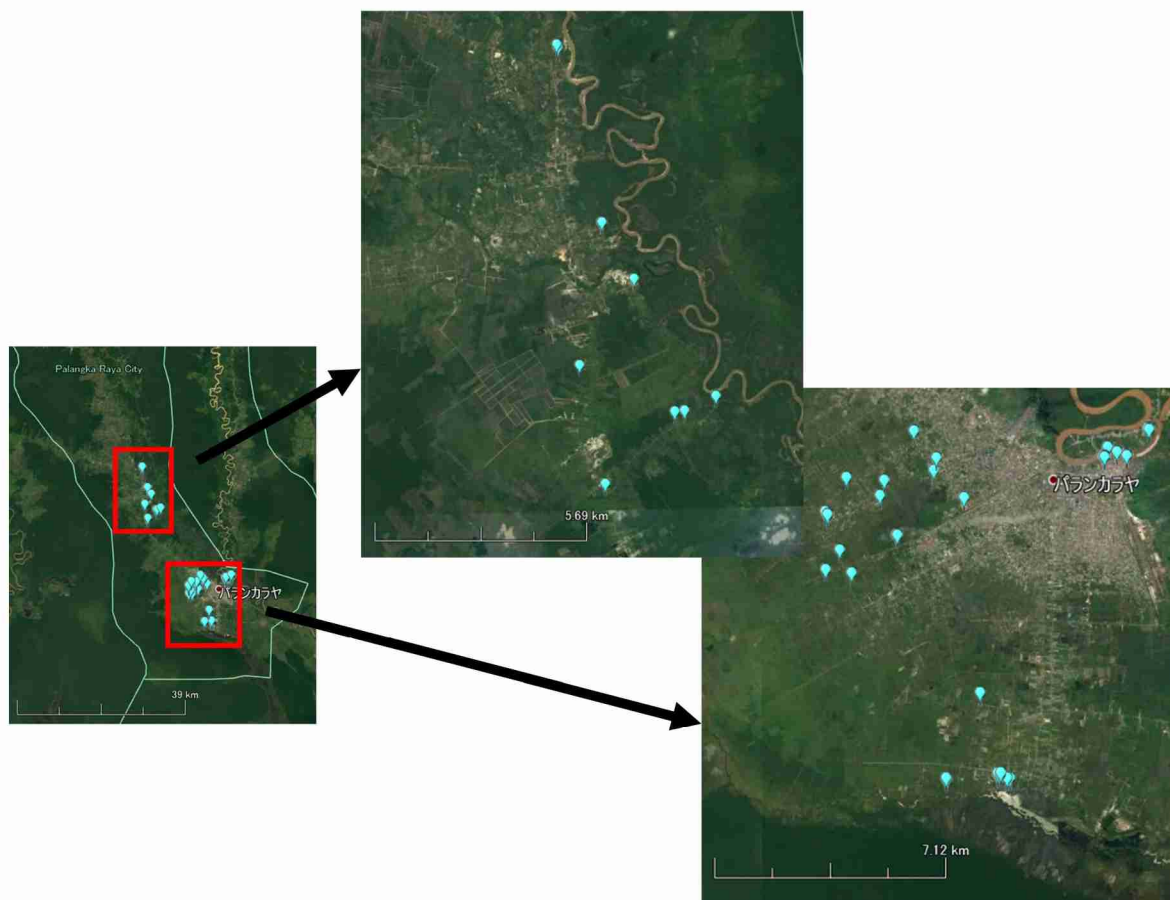


図3-10. 調査対象のツバメビルの位置

アンケートの結果、全員が税収使途の変更に賛成であった。この結果は、巣の安定生産にとって森林の保全や火災の予防が重要であると説明しているため、強いインセンティブが働くことが考えられ、妥当なもの

である。一方で、税率の増加については、8%への増額の意図を示したのは、2名のみで、他は全員が5%の支払維持で良いとした。

この結果から、ツバメビルオーナーあたりの支払意思額は、平均値ベースでIDR 15,462,000、中央値ベースでIDR 5,025,000となった。支払意思額の範囲は、IDR 750,000から225,000,000であった。年収に対する巣販売額の割合は、平均値ベースで73%、中央値ベースで75%であった。この割合の範囲は、4%から98%であった。

政策提案に対する賛成は示すものの、現状の5%という納税額からの増額は否定しているため、納税という強制的な支払の仕組みをシナリオに用いた特徴が出ていると考えられる。一方で調査設定として、5%からの税額の減少という選択肢を提示して尋ねていないため、今後はアンケート設定の改良を行い再度の調査が必要である。

ここで、検討したPESフレームワークは、図3-11となる。これは既存の徴税の仕組みを活用したものであるため、制度導入の際の障壁は低い。一方で税制度の変更の実現性についても議論が必要である。パランカラヤ市には、ツバメビルオーナーの組合が存在し、税制設立の際には、市政府との交渉を行った。このような組織が主体となって、市政府に対して、上記の制度変更を働きかけていくことが必要である。

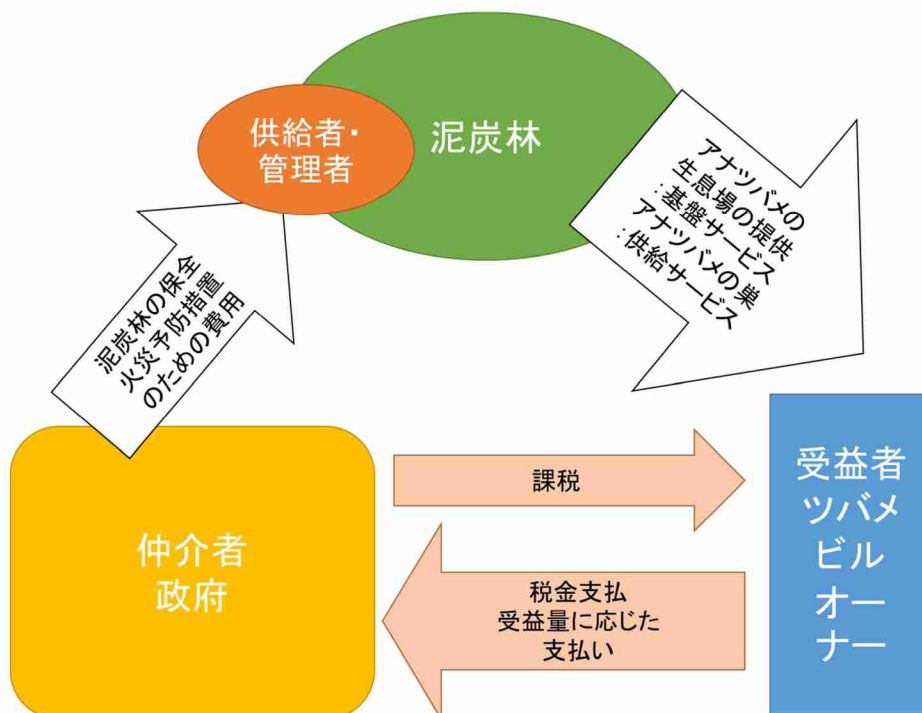


図3-11 納税システムをベースにした泥炭林PESの概念図

本サブテーマで想定するPESとしては、泥炭林の供給サービスとしてのアナツバメの巣、および、泥炭林の供給サービスを支える基盤サービスとしての生息場の提供という生態系サービスを対象に、受益者であるツバメビルオーナーから、供給地の生態系管理者となりうる泥炭林保全従事者または火災予防作業従事者に対する支払の形式となる。しかし、図3-11のPESは、地域住民の参加型森林管理の点については、具体的に想定できていない。このPESでは、資金供給の部分さらに仲介者として政府が介入する部分のみ提示されているため、実際の生態系サービス供給地である泥炭林の管理を誰が責任を持って実施し、モニタリングするかについては、不透明である。この部分を住民が地域資源・コモンズとして管理することにコミットできれば、より想定している住民参加型森林管理モデルに近づくことができると考えられる。さらに、図3-11のPESは、受益者を既存のツバメビルオーナーのみに限定している点に課題がある。これは、ツバメビルの建設に高額な初期投資が必要であり、仮に順調にアナツバメが繁殖し巣の生産が行われ投資の回収が4～5年間で達成されたとしても、初期の資金調達や借入に大きな負担が伴うためである。実際に、現地のツバメビルオーナー

を対象としたヒアリング調査から、定職あるいは公職に就く者や自力で建物を建造できる大工などの建築関係従事者が、ビジネス参入者の多数を占めている実態が明らかとなっている。このような高い参入障壁があるため、地方の農業従事者や低収入の農村部では、アナツバメの巣ビジネスを実行可能な者は極めて限定的であり、その収益に依存したPESを実行できない可能性がある。

そこで、この調査では、既存の地域コミュニティの協働やコストシェアの仕組み（ゴトンロヨンやアリサン）を参考にして、地域のコモンズとして共同出資によりツバメビルを建築し、得られた巣の販売益を、地域コミュニティの住民が実施する泥炭林保全や再生、火災予防（地域コモンズの管理）に用いるPESの可能性を検討する。

上記のような地域コミュニティがビジネス実施主体（生態系サービスの受益者）かつ、生態系サービスの供給者・管理者となるPESの仕組みの実現可能性を検証するため、中央カリマンタン州プランピサウ郡の農村で面談形式のアンケート調査を実施した。対象の村落（Desaレベル）は、パランカラヤから比較的近郊にある9つとした（図3-12）。一般に、これらのDesaは都市部のDesaに比べて協働やワークシェアの仕組みがよく残っている。各Desaにおけるアンケート調査は5名の代表者に対して実施した。これら5名は、村長、秘書、開発スタッフ、および2名の代表的村民とした。これら5名に対して、別々に面談形式で構造的アンケートを実施した。

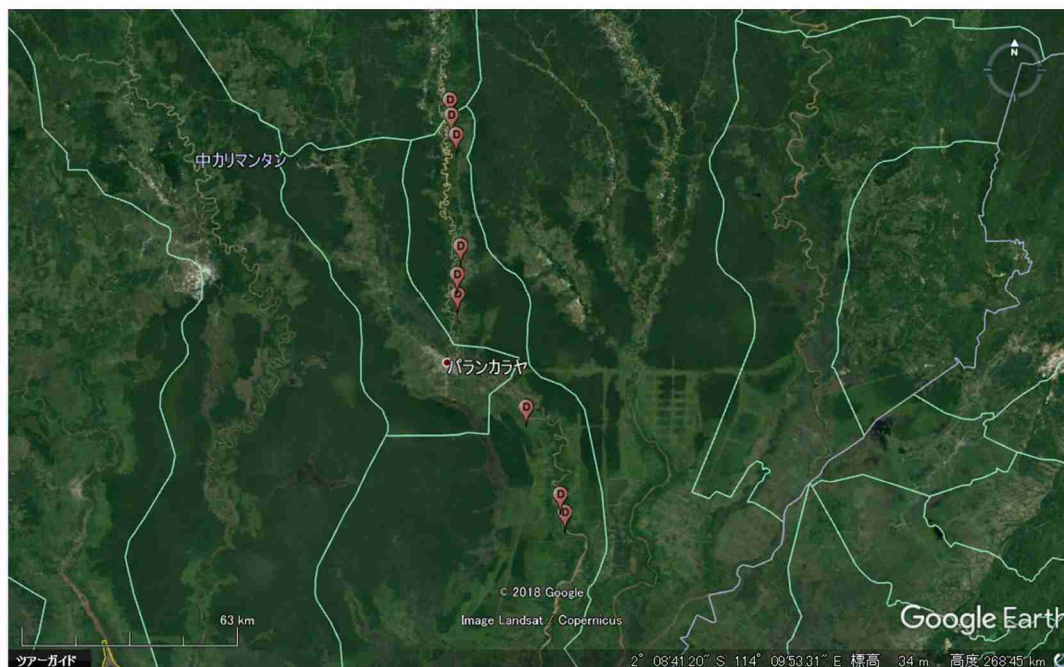


図3-12 調査対象の9つの村落位置図

以下はコミュニティでのビジネスについての提案型の説明である。

“We suggest community business. There may be “ARISAN” system to invest swallow nest business, but our suggestion is more community based one. This business has following condition:

1. All community members pay some money to pool to build and pay some cost to start business (mainly cost of building and some equipment to attract birds). The amount money might be different according to income and socio-economic

condition of each member.

2. Profit from sales of the nests must be shared with all members or spend public purpose of the whole community.
3. Maintenance and monitoring workload are given by community members in turn.
4. Other condition about harvest timing, selling nests, repairing buildings, and other investment matter are discussed with all members or elected leaders. That decision must be based on community whole will.

This business has some risks. The largest impact is that swallows don't use buildings and never harvest their nest. This is because nest sales can only be income and profit of this business. Also now almost all nests are exported to China, which means if China does not buy it, there is no sales route."

上記の説明の後、このコミュニティビジネスの実現可能性について尋ね、その賛否の理由も尋ねた。また、実現可能性が内あるいは低いと回答した場合は、どのような障壁があるか具体的に回答を求めた。さらに、各村がこのコミュニティビジネスを実現するための基本的な6つの要件をどの程度達成しているか評価するよう求めた。この6つは、建物を建てるために利用可能な土地、資金、労働力、抵抗する人々、ツバメの巣ビジネスの経験、自然環境条件である。

アンケートの結果、1つのDesaの5名全て、および2つのDesaの各1名がこの共同出資の仕組みが実現できないと回答した。この理由としては、初期投資が高額すぎる点、コミュニティメンバー間での利益シェアが困難な点、メンバー間での価値観（共同出資に対する）が異なる点が挙げられた。障壁として、このビジネスの経験の少なさ、メンバー間での信頼の無さ、メンバーによっては極度に貧困で少額の出資も困難である点、ビルの管理やモニタリング等の労働や責任を等しくシェアすることの困難さ、巣の盗難の可能性が挙げられた。政府からのサポートとしては、盗難に対する保証、金銭的・物質的・技術的なサポート、ビジネス実施許可発行の迅速さや申請の簡便性、税の減額（プランピサウ郡でもツバメビルオーナーに税金を課している）が挙げられた。NPOからのサポートとしては、金銭的な支援が挙げられた。大学からのサポートとしては、巣の生産を増やすため、また、より早期に巣を収穫するためのアナツバメの基礎的な生態の解明、環境影響評価の実施が挙げられた。

最後に、各Desaの現状のビジネス実施の基礎要件の達成度合いを表3-9に示した。利用可能な土地は全ての村で保有していた。平均的な1棟のサイズは、30～50m²であり、大面積ではない。資金については、初期投資額の大きさから、悲観的な回答が目立った。労働力は十分にある村が多いが、その均等なシェアには課題があると考えられる。村民からの抵抗については、メンバー間の信頼の無さから、共同出資に対する不安が先行する可能性があり、金銭が絡む共同行動の実施の困難さが明らかとなった。これは、ゴトンロヨンで実施されるような非金銭的な協働やシェアの仕組み、例えば、モスクや教会の修復の実施では、実現可能なことが、金銭的な利益が絡むと途端に難しくなることを表している。

表3-9 調査村落のツバメの巣ビジネスにおける基礎的要件の達成度合い

ID	Land	Money	Workload	Resistance	Experience	Env.
1	Available	Unpredictable	Enough	Potential	Enough	Potential
2	Available	Unpredictable	Enough	Potential	Enough	Potential
3	Available	Unpredictable	Enough	Potential	Enough	Potential
4	Available	n.a.	Enough	No or	Some or	Potential (forest)

				potential	enough	
5	Available	n.a.	In turn	No	No need	Potential
6	Available	n.a.	In turn	No or potential	No to some	Potential
7	Available	Many interests but?	Enough	Depend on benefit	n.a.	Potential (forest)
8	Available	n.a.	Enough	Potential	One family	Potential
9	Available	Many interests but?	Enough	Depend on benefit	Some	Potential

このような多くの課題を解決するためには、投資を行い、PESが実現することで、火災予防を実施でき、村全体の利益につながることを理解してもらう点が重要と考える。また、可能な限り住民自体のビル管理や監視を避け、業務を外注することも選択肢として考えられる。さらに信頼のおけるリーダーなどが、多めの利益配分を得て、外注先のワーカーを監視することも抵抗を避けるための選択肢である。また、盗難やこのようなワーカーの監視の観点では、村の中心部などの人目が常にある場所に建築することも必要であるといえる。

図3-13がコミュニティビジネスをベースにした泥炭林PESのフレームワークである。

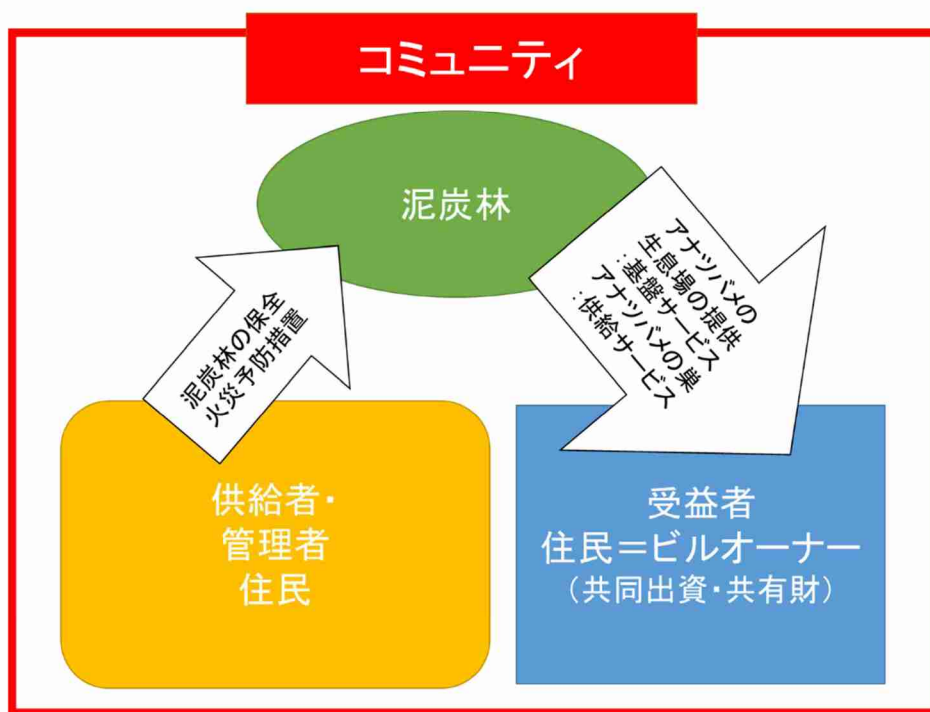


図3-13 コミュニティビジネスをベースにした泥炭林PESの概念図

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

インドネシア中央カリマンタン州における、泥炭林の生態系サービスの多様な利用実態を明らかにした。地域住民には、定まった職業につかず、多様な生業を有していること、また近年森林の直接利用が減少していることが明らかとなった。泥炭林を利用するアナツバメの巣を人工的な建築物にて繁殖させ収穫するビジ

ネスが興隆していることが明らかとなった。

アナツバメは森林を利用しているため、その巣の生産には、森林を維持することが重要であることが明らかとなった。アナツバメの巣ビジネスの実施者は、巣を持続的に得るため、森林保全に対するインセンティブがあることが明らかとなった。一方で、アナツバメの繁殖を行わせるためのビルは、初期投資として約100万円が必要であり、一部の富裕層で、かつ、銀行などから借入を行わないと参入できないことも明らかとなった。

アナツバメの巣の供給サービスおよびその生産を支える基盤サービスを対象とした生態系サービス支払制度として、既存の徴税体系を活用し、税収を目的的に森林保全に利用するものを提案した。ビジネス実施者の賛同は得られるが、税制度の変更を伴うため、ビジネス実施者の組合組織等が政府に対して交渉することが求められる。

参入障壁を克服するため、地域コミュニティの共同出資によるアナツバメビルの建築と、巣の販売益の森林保全への活用というPESフレームワークを提案した。宗教施設や道路の整備等公的な使途であれば可能な資金供給の仕組みだが、村民間の信頼や、リーダーへの信頼が高くなければ、巣の販売という直接的な金銭利益の共有は困難という認識があることが明らかとなった。作業の外注や全住民が監視可能なビルの建築場所、さらには、森林保全や火災予防の複合的な利益の提示により、PESへの理解を高めコミットメントを得る必要があることが示唆された。

（２）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

特に記載すべき事項はない。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

REDD+プロジェクトを実施する際、地域住民の代替生計として、アナツバメの巣ビジネスは、一つの可能性として有用である。REDD+プロジェクト実施者が資金提供することで、初期投資の障壁が下がる。しかし、地域住民の継続的なビジネスへのコミットメントを得るためには、継続的に関与し、泥炭林保全と巣の生産の強いリンクを理解してもらい、かつ、ツバメビル管理の作業分担を明確にしてモニタリングも適切に実施することが求められる。

6. 国際共同研究等の状況

パランカラヤ大学との共同研究、Aswin Usup・パランカラヤ大学農学部・インドネシア、現地調査で協力・長崎大学水産・環境科学総合研究科とMOU締結

7. 研究成果の発表状況

（１）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

- 1) F. Kilonzi, T. Ota, K. Moji and A. Usup: Journal of Agriculture and Environment Science, 5, 2, 8-14 (2016), Societal Role in Cultivating and Enhancing Peatland Ecosystem Services: A case study in Central Kalimantan Indonesia.
- 2) F. Kilonzi, T. Ota, K. Moji and A. Usup: Journal of Ecosystem & Ecography, 7, 2, (2017) Social Network Analysis of Aquaculture Projects on Provisioning Services Enhancement of Peatland Forest Ecosystem in Central Kalimantan, Indonesia.

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) B. Tojo, K. Moji, T. Ota and H. Hayasaka: The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation, 128-136 (2018), Current situation of environment and ecosystem services use in Kalimantan, Palangkaraya peatland - Geographical analysis-
- 2) T. Ota, A. Usup, K. Moji, B. Tojo, H. Hayasaka and S. Kobayashi: The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation, 181-188 (2018), Examining possibilities of PES of peat-land forest through swift-nest business: A case of Central Kalimantan, Indonesia.

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 太田貴大、門司和彦：環境共生学会地域シンポジウム(2017)「アナツバメ造巢用人工建造物の特徴と地域住民の新たな生計としての可能性—インドネシア中央カリマンタン州の事例—」
- 2) T. Ota: Second International Workshop on Peatland Fire Prevention and Forest Rehabilitation, Palangkaraya, Indonesia, 2017 “Potential impact of environmental change of peat forests on swift nest business”

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

Ⅱ－４ REDD+セーフガード履行システムの構築

国立大学法人京都大学 東南アジア研究所 小林繁男・古澤拓郎・水野広祐・伊藤義明・鈴木遥

その他の研究協力機関等

国立法人機構総合地球研究所（阿部健一、嶋田菜穂子）

国立大学法人東京農業工業大学（及川洋征）

神戸大学（古川文美子）

インドネシア・環境林業省（ハンニ・アジアティ）

インドネシア・リアウ大学（ハリス・グナワン）

平成27～29年度累計予算額：42,675千円（うち平成29年度：12,952千円）

予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕

リアウ大学、パランカラヤ大学、リアウ州政府、中央カリマンタン州政府や地域住民へのインタビューによるセーフガードの評価の解明を行う。森林生態系サービスの修復とセーフガード履行可能性の解明を行う。各サブテーマの成果の統合による生態系サービスの修復を用いたセーフガード履行システムの構築を行う。各サブテーマの成果（最適泥炭資源の管理オプション、生態系サービスの修復オプション、自然資源と生態系サービスの経済評価結果）の統合による生態系サービスの修復を用いたセーフガード履行システムの構築を行う。事例集の解析から、行政主導型（一部民間主導非営利目的）はプロジェクトが終了するとREDD+セーフガードも終了すると推察した。配慮項目（セーフガード）もプロジェクトへの組み込み弱い。民間主導型（営利目的）は国家森林プログラムや認証の枠組みにより、プロジェクトの営利を得ている。しかし、配慮項目では非持続性のリスクやリーケージへの対処が最も強い。これにより、インセンティブを得ていると推察できる。民間主導型（非営利目的）（一部行政指導）は援助資金により緩いガバナンスのもと、最も配慮項目をプロジェクトに組み入れている。このグループの原データの解析から、セーフガード履行システムが考察された。

〔キーワード〕

森林生態系サービス、REDD+セーフガード、民間主導型、非営利目的、一部行政指導

1. はじめに

熱帯泥炭湿地林生態系は縄文海進時代に堆積されたマングローブ木質泥炭を基盤とする特異な生態系を有し、世界で最も大量の有機物が貯留されている。開発すると脱水や有機物の分解が加速されて地盤沈下や二酸化炭素の放出が加速されるため、生態系サービスの劣化・荒廃化をもたらす。世界の熱帯低湿地は37百万haある中で、東南アジアの低湿地には28.3百万haと、面積は最も広い（Page et al. 2010）。中でもインドネシアは22.5百万haが分布する。近年、移住政策や開発により泥炭湿地林の内部まで、人々が居住し、オイルパーム園、早生樹植林地、農地やエビ・魚養殖地に転換して、生業を営むようになってきた。しかも、泥炭が分解することで発生するCO₂の量は、年間の自動車排気ガスによる二酸化炭素量以上の量に匹敵する（ユドヨノ前大統領発言）。カンクン会議（2010年）において、REDD+を行う際の地域住民への負の影響への予防措置としてのセーフガードの提案などが議論されていることから、熱帯泥炭湿地における生態系サービスとREDD+のセーフガード履行システムの構築に関する研究は急務となっている。

2. 研究開発目的

インドネシアの荒廃泥炭湿地に土着種を混植する生態系サービスの修復を通じた生物多様性保全を図る。非木材林産物の新たなバイオマス利用を研究する。導水勾配による泥炭地地下水流図を基にした水管理システム構築し、炭素排出削減量の評価と炭素クレジットのビジネス化について研究する。泥炭湿地林生態系のPESの評価を行い、新たなバイオマス利用や温暖化ガス排出削減・PESの評価によるビジネス化を図り、雇用創出の研究を行う。熱帯泥炭湿地林における生態系サービスの修復とREDD+のセーフガード履行システムの構築を研究する。リアウ大学、パランカラヤ大学、リアウ州政府、中央カリマンタン州政府や地域住民へのインタビューによるセーフガードの評価の解明を行う。森林生態系サービスの修復とセーフガード履行可能性の解明を行う。各サブテーマの成果の統合による生態系サービスの修復を用いたセーフガード履行システムの構築を行う。

3. 研究開発方法

泥炭地利用におけるビジネス化と雇用創出による地域社会エンパワーメントと最適泥炭資源管理オプションとの統合によるREDD+におけるPESの評価とセーフガードの具体的な履行システムを構築する。地域社会エンパワーメントと最適泥炭資源管理オプションにおけるガバナンス提言を行う。泥炭湿地林の生態系サービスの修復は地域住民にとってのインセンティブを考慮した修復システムを構築する。また、研究が遅れているREDD+セーフガード履行システムの構築と実行を行う。(1) 再湿地化した泥炭地での持続的な生業モデルの構築、(2) REDD+セーフガードは地域住民が生態系サービスからどのようなインセンティブを得られるかで、地方自治体と共同で履行される新たなバイオマス利用のための市場の調査を行う。地域社会の泥炭湿地林の土地所有と土地利用実態を調査する。地域社会の経済状態と生産物の流通を調査する。中央・地方政府の泥炭湿地林の政策を集約する。履行システムの遂行のモデル $S = P \times f(E, \dots)$: (i) $S(1, \dots)$: Safeguards (セーフガード)、(ii) $P(v, p)$: パラメータ、(iii) $E(1, \dots)$: Ecosystem Services (生態系サービス)、(iv) セーフガード履行による実行項目を検討する。(iv)はREDD+のためのセーフガード事例集により詳細な解析を行う。

4. 結果及び考察

(1) 泥炭湿地に位置する伝統的村落と移住者を主体とした村落の生業と泥炭湿地林に対するインセンティブの相違

調査は2015年から2017年に掛けて行った。地域の市場で売られているのは、シダ(パキス)が主であり、他ではパンダナスの葉や根などでいずれも泥炭湿地林伐採後、火事による荒廃地であった。

泥炭湿地林が度重なる火災の被害にあうと、森林は最終的に焼け跡草原が広がる荒廃地となる。東南アジア地域では、焼け跡はアランアラン(*Imperata cylindrica*)と呼ばれるイネ科植物が繁茂する草原となるが、泥炭荒廃地の場合には異なる植物相(シダを含む)の分布が見られた。そこで、中央カリマンタン、およびリアウを対象として、泥炭火災直後に発達する焼け跡草原の植物相とその環境要因との関係性を明らかにした。結果、これらの草原の種類は地下水位とその水質によって明確に決定されることが示唆され、またその種組成も中央カリマンタン〜リアウといった広範囲に渡り類似のものとなることが明らかになった(表(4)-1)。ただし、泥炭地を流れる河川から様々な淡水魚類が売られていた。そこで、リアウの泥炭域における「伝統的あるいは小規模漁業で行われているバイオマス資源の探索」や「新たなバイオマス利用」に関して、特に水産資源に注目して調査した。

漁業は本来、特定地域の海域特性と社会関係の上に築かれたものであるため、水産資源に注目することで

本調査地域の特性がみられると考えた。水産資源利用の現状を把握するためにリアウ州プカンバル・シアックにおける水産資源の市場インタビュー調査を行った。実施調査地は、リアウ州の州都であるプカンバル市内の市場 (Pasar kodem/Pasar kaget (2か所)) ・シアック県の市場 (Pasar siak) ・ブンカリス県の市場 (Pasar Terubuk) ・ドゥマイ市の市場 (Pasar Selatbaru) である。リアウ州ブンカリス県は、マラッカ海峡がもっとも狭くなる海域であり、潮汐の干満差が大きく、潮流が速い漁業環境である。そのため、ジェルマル (Germal) 、ブブ・ティアン (Bubu Tiang) 、アンバイ (Ambai) 、プグリー (Pengri) などの張網漁業が発展してきた。さらに、この地域はマレーシア、シンガポール経済圏に組み込まれ、漁船の動力化が国内で最も早くから進んだといわれている。しかし、市場調査の結果、プカンバルの地域市場で販売されていた水産資源の多くは、表(4)-2のようにほぼ淡水魚のみであり、販売されている個体数の多かったikan nilaやleleは養殖が多いのが大きな特徴であった。本報告書では、各市場別の市場調査結果は省略したが、内陸部・沿岸部に関係なく販売されていた水産資源は淡水魚のみであった。また販売されていた海水魚・淡水魚の乾物の多くは、バガンシアピアピの仲買人から購入されていた。淡水魚の場合、鮮魚より乾物の価格の方が高くなっていた。このバガンシアピアピは、福建省出身の華人移民がつくった漁村であり、ムラユから張網漁業を学び、その漁獲物をジャワやシンガポールへ出荷し、20世紀初頭には域内最大の漁業生産地となった地域である。漁業従事者を専業・兼業のカテゴリーに分類した結果 (表(4)-2) から見ても分かるように、各村の漁業従事者のほとんどが兼業漁撈従事者であった。もともとムラユの生業は多様であり、この漁撈活動も多様な生業の一環として社会経済に応じて変動した結果であると考えられる。今後は、海面漁業と養殖漁業の各動向に加え、特に天然資源から養殖業に転換している泥炭域における水産業に注目していきたい。また、各村落における漁撈活動への新規参入者における生業選択の背景に注目することで、泥炭地社会における地場産業の活性化による地域社会のエンパワーメントに関して考察した。

LCIをLocal Community Incentive 地域住民のインセンティブとすると、木材は LCI: 違法伐採以外、収入は無し、 REDD+: 炭素放出、泥炭火災、泥炭分解である。薬用植物他は LCI: 森林を破壊することなく高い動機・インセンティブ、しかし、現在では低い需要で、 REDD+: 温暖化に対して高い機能を持っていた。山菜 (シダ) は LCI: 地域住民にとって最も収入に対する動機が高い、しかし、マーケットにでているパキス、バク、ラミンディンなどのシダの生息地は、荒廃泥炭湿地林や泥炭火災跡地であるが、 REDD+: 温暖化抑制に対しては弱い、逆にこれらの土地利用から温室効果ガスが多量の放出が勘案されなければならない。淡水魚類は LCI: 最も高いインセンティブがあり、荒廃泥炭地の修復に水系に注意が必要で、 REDD+: 温暖化抑制や泥炭火災に対して、最も有効な指標産物であった。荒廃泥炭湿地の修復にはRewettingが有効であるが、Rewetting は泥炭湿地水系に注意を払う必要がある。

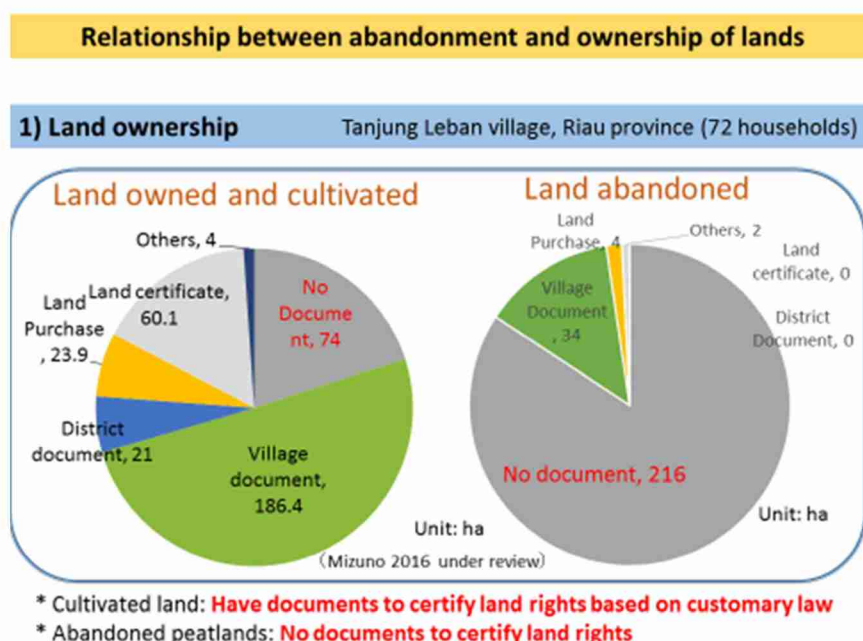
(2) 泥炭再湿地化と地域社会とパルディカルチュア (Paludiculture) による再湿地化した泥炭地での持続的な生業モデルの構築

地域に根ざしたパルディカルチュアモデル構築を目的とする。地元民・移民の村の相違と土地権の多様性を踏まえた地域に根ざしたパルディカルチュアモデル構築を検討する。地元民・移民の村の相違と土地権の多様性を踏まえたローカルな土地利用、農林水産業、マーケットなどアグロフォレストリー、非木材林産物利用の実態と再生や泥炭湿地で栽培可能なパイナップル・泥炭湿地在来種のアグロフォレストリー、泥炭湿地および河川や海での漁労の歴史と実態、ムラユ海域社会を事例とした農林水産物の交易、およびマーケットの歴史と実態調査、マラッカやシンガポールを含んだ越境マーケットの再活性化、法制度研究；泥炭湿地樹木販売の規制緩和 (2015) が問題となる (図(4)-1)。

泥炭復興庁のNazir長官との会見で、「荒廃した泥炭国家管理地の湿地化を企業の協力、村落資金を用いる、HTRを用いるなどあらゆる方法で実行し、のち住民に土地権を与えて植林などのパルディカルチュアを促す」

という考えに賛成だということを得た。長官は、「国家管理地が実は住民に分配されてしまっていること、その住民を追い出すことなどできない、むしろ住民に土地所有権などの

権利を与えて植林などの経営を促すべきだとする考えに賛成だ。」泥炭復興庁は今年、60万ヘクタールの湿地化や再植林を目指しており全国で4つの県を重点県にしていますが、京大がリアウ州の対象県であるメランティ県とブンカリス県を担当してきている。再湿地化とそこにおけるパルディカルチュアの発展をすすめる、当然発生する様々な問題に対する対処の方策を検討する。REDD+のスキームからこのインセンティブが形成できることが望ましいだろう。また泥炭地では土地所有権があいまいで、泥炭が非常に荒廃乾燥し、国、企業、地域住民の合意形成による再湿地化シナリオの作成が必要な地域が広がっている。これが一番重要なステップである。一方ですでに火災リスクが低く、持続的な生業が確立しているところでは、持続性向上のためのニーズ調査とそれに対する対応を考えていく必要がある。廃棄物を利用した循環的なシステム、たとえば泥炭水の浄化や廃棄物デンプンやサゴヤシ髓や樹皮の利用システムの確立が求められる可能性が大きいと考えられる。



図(4)-1土地の所有形態の相違

森林生態系サービスの修復（地域住民へのインセンティブ）とREDD+セーフガード（地域住民への負荷の予防措置）を基軸にして、伝統的村落と移住者村落の生業と泥炭湿地林に対するインセンティブを考察した。

（3）泥炭地での持続的な生業モデルのためのREDD+セーフガードの履行システムの構築

（3）－1 履行システムの遂行モデル一次検討

各サブテーマの成果（最適泥炭資源の管理オプション、生態系サービスの修復オプション、自然資源と生態系サービスの経済評価結果）の統合による生態系サービスの修復を用いたセーフガード履行システムの構築を行う。そこで、次のようなセーフガードフォーメーション式を提示した。

$$S = P \times f(E, \dots) \quad \dots \dots \dots (1)$$

(i) S(1...): Safeguards (セーフガード) : S1: 森林ガバナンス透明性、効果的ガバナンスの促進、S2: 先住民、地域住民の伝統的、慣習的利権の尊重、S3: 利害関係者の参加支援 (プログラムへの住民参加)、S4: 天然林の保全 (土地保有)、S5: 生物多様性の保全 (住民におけるインセンティブ)、S6: 森林生態系サービスの強化、S7: REDD+の反転、移転を抑制・促進・支援

(ii) P(v, p): パラメーター、Pv: 伝統的な村落、トランスイミグラシ村落、産業造林村落、Pp: プロダクティビティー、サステナビリティ

(iii) E(1....): Ecosystem Services (生態系サービス)、E1: 供給サービス: 食料・原材料の供給など、E2: 調整サービス: 水源涵養、気候調整、廃棄物調整、アメニティーなど、E3: 文化的サービス: 文化的、知的、精神的事項、レクリエーション、エコツーリズム、歴史的生態系への畏怖など、E4: 基盤サービス: 土壌形成、地力保持、動植物の繁殖支持、空気浄化など、E5: 保全サービス: 資源の確保、自然災害の保全など (表 4-1)。

(iv) セーフガード履行による実行項目: S5 (生物多様性保全と住民のインセンティブ) = P(v, p) (村落の歴史、生産性、持続性) × f (E1, E4, E5) (供給サービス、基盤サービス、保全サービス)

(4)-2泥炭湿地に位置する伝統的村落と移住者を主体とした村落の生業と泥炭湿地林に対するインセンティブの相違: ①生態系サービス: S2: 先住民、地域住民の伝統的、S3: 慣習的利権の尊重、S4: 天然林の保全 (土地保有)、S5: 生物多様性の保全 (住民におけるインセンティブ)、S6: 森林生態系サービスの強化、②セーフガード: E1: 供給サービス: 食料・原材料の供給など、E4: 基盤サービス: 土壌形成、地力保持、動植物の繁殖支持、空気浄化など、E5: 保全サービス: 資源の確保、自然災害の保全など、③今までの成果: A: 移動焼き畑 (農地の拡大が出来ない)、違法伐採、自然資源依存: 減、財政・技術の支援が必要、B: オイルパーム (NESシステム: 会社の支援) とした。

そこで、REDD+プロジェクトKFCPの成功した村落と失敗した村落において検討を行った。生態系サービスはS1: 森林ガバナンス透明性、効果的ガバナンスの促進、S2: 先住民、地域住民の伝統的、慣習的利権の尊重、S3: 利害関係者の参加支援 (プログラムへの住民参加)、S7: REDD+の反転、移転とした。セーフガードはE1: 供給サービス: 食料・原材料の供給など、E2: 調整サービス: 水源涵養、気候調整、廃棄物調整、アメニティーなど、E3: 文化的サービス: 文化的、知的、精神的事項、レクリエーション、エコツーリズム、歴史的生態系への畏怖など、E5: 保全サービス: 資源の確保、自然災害の保全などとした。結果はREDD+は地域社会のニーズでは無い、*KFCP: REDD+実施における住民参加型資源管理でなく、トップダウン型のプロジェクトは、住民や各地方自治体が設計や導入に関して議論することはない、*金銭のみのインセンティブでは、住民間の対立を促し、生業の支援となりえない、プロジェクトが終了した後の金銭的支援の問題も明らかになった。結論は、余りにも地域固有で、汎用に欠いていた。次に事例では泥炭の分解を採りあげた。生態系サービスはS4: 天然林の保全 (土地保有)、S5: 生物多様性の保全 (住民におけるインセンティブ)、S6: 森林生態系サービスの強化、S5 (生物多様性保全と住民のインセンティブ) = P(v, p) (村落の歴史、生産性、持続性) × f (E1, E4, E5) (供給サービス、基盤サービス、保全サービス) が提示された。セーフガードはE2: 調整サービス: 水源涵養、気候調整、廃棄物調整、アメニティーなど、E4: 基盤サービス: 土壌形成、地力保持、動植物の繁殖支持、空気浄化など、E5: 保全サービス: 資源の確保、自然災害の保全などであった。個の事例は、自然現象を対象にしているので、今後検討する価値があると推察された。

表4-1 プカンバル周辺の市場における泥炭湿地林から樹木関係を除く非木材生産物（小林、ハリス 2015）

Date	Market Name	Location	Local Name of NTFPs	Utilization	Price(Rp)/kg
11/Nov./2015	Pasar Bawah	Pekanbaru	Asam Keping	Wild vegetable	100,000
			Kuaci Mahoni	Medicine	100,000
			Benalu Kopi		100,000
			Gambir		
			Daun Gambir		
			Jeruk Perut		
			Pinang		
			Sirih		
			Kunyit		
			Kayu Manis		
			Jariangau		20,000
			Kayu Cencang		50,000
11/Nov./2015	Teraktak Buluh	Pekanbaru	(nothing)		
	Danau Bingkuang	Pekanbaru	Kambas		20,000
			Rebung Bambu		10,000
			Sayur Paku-Pakuan		
8/Nov./2015	Pasar Gu Puan	Pekanbaru	Daun Ubi		
			Labu		
			Sula Merah		
			Asam Kundis		
			Binans	Medicine	
			Bueh pala	Spice (wild vegetable)	
			Kipas Rotan		
			Ubi		
			Nenas		
			Kayu Manis	Wild vegetable	
			Keluwal	Wild vegetable	
			Censueh		
			Kapulaga		
			Bunga Pula		
			Sesami		

Date	Market Name	Location	Local Name of NTFPs	Utilization	Price(Rp)/kg
8/Nov./2015	Pasar Pagi Arengke	Pekanbaru	bunrg Puguh		
			Bunga Pepaya		
			Fresh Water Bivalva	Wild vegetable	
			Fresh Water Crostace	Wild vegetable	

8/Nov./2015	Pasar Ban Panam	Pekanbaru	Cemangka Kuning		
			Jengkol Petai	Wild vegetable, medicine	
			Temu Nonci	Medicine	
			Jeringo	Medicine	
8/Nov./2015	Pasar Uampar	Pekanbaru	Bawang Dayau	Drink, medicine	
			tembakau	Wild vegetable	
9/Nov./2015	Pasar Belantik	Siak	Sayur Paku		
			Kangkung		
			Bayam Merah		
			Encong		
			Pinang Muda		
10/Nov./2015	Pasar Baru Sungai Pakning	Siak	Tempayak/Asam Paiya		
			Tekek Burung		2000/ikat
			Cendawan		10000/1ons
10/Nov./2015	Pasar Bunga Raya	Siak	(nothing)		
10/Nov./2015	Pasar Jayapura	Siak	Biji Pinang		
			Biji Kakao		
10/Nov./2015	Pasar Belantik	Siak	Ikan Baung Sungai Siak	Fish	20,000
			Udang	Food(shrimp)	150,000
			Ikan Gelang	Fish	
			Genjer	Fish	2500/ikat

以下のようなパラメーターの選択のデータ全て一次データとして、保管している。

(伝統的村落と移住者村落の生業と泥炭湿地林に対するインセンティブ)

(1) R.Kusumaningtyas, S.Kobayashi, S.Takeda. 2006. Mixed species gardens in Java and the transmigration areas of Sumatra, Indonesia: a comparison. Journal of Tropical Agriculture, 44, 15-22.

(2) Retno Kusumaningtyas. 2008. Natural Resource Management by Local Communities living Adjacent to National Parks in Lampung and Riau Provinces, Sumatra, Indonesia. Doctor Thesis of Area Studies, ASAFAS, Kyoto University, pp.185.

(3) Retno Kusumaningtyas, Shigeo Kobayashi, Shinya Takeda. 2009. The impact of local community agricultural practices on livelihood security and forest degradation around the Tesso Nilo national park in Riau Province, Sumatra, Indonesia. TROPICS, 18, 45-55.

(4) 水野広祐, R. クスマニンチャス. 2012. 第1章 東南アジアの土地政策と林業政策. 川井秀一・水野広祐・藤田素子(編著)『講座 生存基盤論 第4巻 熱帯バイオマス社会の再生—インドネシアの泥炭湿地から—』 京都大学学術出版会, 17-48.

(5) 増田和也, R. クスマニンチャス, 水野広祐. 2012. 第6章 泥炭地域の住民社会—人口構成と土地利用—. 川井秀一・水野広祐・藤田素子(編著)『講座 生存基盤論 第4巻 熱帯バイオマス社会の再生—インドネシアの泥炭湿地から—』 京都大学学術出版会, 167-192. (1) - 2

(REDD+プロジェクトKF C Pの成功した村落と失敗した村落)

(1) 山中潤. 2015. REDD+対象地域社会と実施制度ーインドネシア中央カリマンタンにおけるKF C Pの事例ー. 博士予備

論文、京都大学大学院アジア・アフリカ地域研究研究科、PP100.

(2) 山中潤、竹田晋也、小林繁男、Yusurum Jagau. 2015. インドネシア中央カリマンタン州カプアス川流域で

実施されたKF C Pから見えてきたREDD+の実践的課題. 第25回日本熱帯生態学会年次大会講演要旨集、p 41.

(3) Yun Yamanaka, Shinya Takeda, Shigeo Kobayashi, Yusurum Jagau. 2016. The importance of nested governance in the local implementation of REDD+: A case study of KF C P in Central Kalimantan, Indonesia. Environment and Economy, 1-20.

(泥炭の分解)

(1) Kobayashi, S. (1988) Maintenance and Effective Use of Forest Resources in Negara Brunei Darussalam. Forest Research Note No. 11, Brunei Darussalam.

(2) Kobayashi, S. 2000. Initial phase of secondary succession in the exploited peat swamp forest (*Shorea albida*) at Sungai Damit, Belat in Brunei Darussalam. Proceedings of the International Symposium on Tropical Peat lands, Hokkaido University, 205-214.

(3) Tetsuya Shimamura. 2004. Plant Species Coexistence Controlled by Organic Matter Dynamics in the Tropical Peat Swamp Forest in Riau, East Sumatra, Indonesia. Doctor Thesis of Area Studies, ASAFAS, Kyoto University, pp.107.

(4) Tetsuya Shimamura, Kuniyasu Momose, Shigeo Kobayashi. 2006. A comparison of sites suitable for the seedling establishment of two co-occurring species, *Swintonia glauca* and *Stemonurus scorpioides*, in a tropical peat swamp forest. Ecological Research, 21, 759-767.

(5) Kobayashi, S. 2007. Study on the option of land resources management and the empowerment for local community in the lowland swamp forest in Southeast Asia. Summary Report of Research Results under the GERF, Ministry of Environment, Japan, 60-72.

(6) 小林繁男、松本陽介、田淵隆一、藤本潔、阿部健一、田中耕司、古川久雄、竹田晋也 2008. 2 b トウナンアジア低湿地における温暖化抑制のための土地資源管理オプション地域社会エンパワーメントに関する研究「陸域生態系の活用・保全による温室効果ガスシク・ソース制御技術の開発」環境省地球環境研究総合推進費終了研究成果報告書、環境省地球環境局総務課研究調査室、223-324.

(7) Shigeo Kobayashi, Tetsuya Shimamura. 2010. And resource management option and local society empowerment for mitigation of global warming prevention in SoutheastAsian peatland. Workshop Proceedings of Ecology and Management of Peat Swamp Forest in Central Kalimantan. Ninomiya, I., Takase, K., Limin, S. eds. Matsuyama, 114.

(3) - 2 履行システムの遂行モデル二次的検討：「REDD+のためのセーフガード事例集 2015」の二次データの解析

事例集は15か国19のプロジェクトを総括している。主だった項目は19項目で、セーフガードに関する配慮項目は7項目である。JICA等の関わりがあるプロジェクトが採りあげられているようで、この事例集には、事例と載せたプロジェクトに隔たりがある。この事例集はほとんど結果が示されていない。そのために、内容は計画段階の項目を多く含む。プロジェクトの大事な予算規模が示されていない(表4-1、)。などの問題点があるものの多くの事例が、ある一定のレベルで述べられているので、解析を行った。

表（４）－１ 本試みで扱う１９の事例

事例集の総括表																		
地域	実施主体	国	地方	面積 [ha]	人口 [人]	期間	活動タイプ (注1)	資金タイプ	スケール (注2)	認証 (注3)	配慮項目との関係性(注4)							事例集 番号
											国家森林プログラム等との一貫性確保	ガバナンスの構築・強化	先住民・地域の権利尊重	ステークホルダーへの参加	生物多様性への配慮	非持続性リスクへの対応	リークageへの対応	
アジア	行政主導型	カンボジア	モンドルキリ州	180,510	12,900	2010～2009年	森林減少・劣化の抑制	援助資金	プロジェクト	CCBS/VCS	●	●	●	●	●	●	①	
			オウダミアンチエ州	64,320	24,400	2008～2007年	森林減少・劣化の抑制	援助資金	プロジェクト	CCBS/VCS	●	●	●	●	●	●	②	
		ラオス	ルアンプラバン県	30,000	3,610	2009～2014年	森林減少・劣化の抑制	援助資金	プロジェクト	-	●	●	●	●	●	●	③	
			ベトナム	ディエンビエン省	958,000	480,000	2012～2014年	森林減少・劣化の抑制	援助資金	準国	-	●	●	●	●	●	●	④
		民間主導型 (非営利目的)	ネパール	テライーク地域	16,900	8,250	2010～2015年	森林減少・劣化の抑制	援助資金	準国	-	●	●	●	●	●	●	⑤
	ベトナム		ラムドン省	2300000 (注5)	7,000,000	2000年～	森林減少・劣化の抑制／持続可能な森林経営	援助資金	準国	-	●	●	●	●	●	●	⑥	
	インドネシア		中部カリマンタン州	978,480	1,234,560	2010～2016年	森林減少・劣化の抑制	援助資金	準国	-	●	●	●	●	●	●	⑦	
			フィリピン	中部的カリマンタン州	147,600	3,000	1978～2008年	持続可能な森林経営	投資資金	プロジェクト	FSC	●	●	●	●	●	●	⑧
	中南米		行政主導型	コスタリカ	カリタゴ州、リモン州	12,000	150,000	2009～2019年	森林減少・劣化の抑制／持続可能な森林経営	援助資金	プロジェクト	CCBS/FSC	●	●	●	●	●	●
		ガイアナ			アッパー・エセキボ州	81,000	- (注6)	2002～2012年	森林減少・劣化の抑制	援助資金	プロジェクト	-	●	●	●	●	●	●
民間主導型 (非営利目的)		メキシコ		チアパス州	4,340	1,310	2009～2013年	森林減少・劣化の抑制	援助資金	プロジェクト	Plan Vivo	●	●	●	●	●	●	⑬
		ペルー		マドリデディオス県	308,760	7,100	2010～2040年	森林減少・劣化の抑制	投資資金	プロジェクト	CCBS/VCS	●	●	●	●	●	●	⑭
行政主導型		ボツワナ		ンガミランド県、チヨベ県等	6,675,000	135,000	1989年～	持続可能な森林経営	援助資金	国	-	●	●	●	●	●	●	⑮
アフリカ		民間主導型 (非営利目的)	タンザニア	リンディ州	31,000	18,000	2014～2024年	森林減少・劣化の抑制／持続可能な森林経営	援助資金	プロジェクト	CCBS/VCS	●	●	●	●	●	●	⑯
			ザンビア	ルサカ州	40,130	8,300	2009～2039年	森林減少・劣化の抑制	援助資金	プロジェクト	CCBS/VCS	●	●	●	●	●	●	⑰
		民間主導型 (営利目的)	ケニア	海岸州、タイタ・タベタ県	170,000	100,000	2010～2039年	森林減少・劣化の抑制	投資資金	プロジェクト	CCBS/VCS	●	●	●	●	●	●	⑱
			モザンビーク	マツァンタダ県等	511,400	150,000	2002年～	炭素蓄積の増大	投資資金	プロジェクト	CCBS/Plan Vivo	●	●	●	●	●	●	⑲

注1)「活動タイプ」は、各事例のREDD+活動の目的を「森林減少・劣化の抑制」、「持続可能な森林経営」、「炭素蓄積の増大」の3種類に大別。

注2)「スケール」は、調査時点の情報に基づき独自に分類。プロジェクト対象地域の将来的な面積や拡大が発生する可能性があることに留意。

注3)「認証」は、プロジェクト開発時に利用された民間認証制度。必ずしも認証済とは限らず、申請中、計画、新設等、様々な状態を含む。あくまでも調査時点の情報に基づいており、以降認証取得状況が変化している可能性に留意。

注4)「配慮項目との関係性」については、●印が表記されているも実質として成果が上っていないケースがある点に留意。

注5)ネパールの面積を230万haとしているが、実際の活動対象地はこの一部である。

注6)ガイアナ事例の人口は不明。

注1)「活動タイプ」は、各事例のREDD+活動の目的を「森林減少・劣化の抑制」、「持続可能な森林経営」、「炭素蓄積の増大」の3種類に大別。

注2)「スケール」は、調査時点の情報に基づき独自に分類。プロジェクト対象地域の将来的な変更や拡大が発生する可能性があることに留意。

注3)「認証」は、プロジェクト開発時に利用された民間認証制度。必ずしも認証済みとは限らず、申請中、計画中、断念等、様々な状態を含む。あくまでも調査時点の情報に基づいており、以降認証取得状況が変化している可能性に留意。

注4)「配慮項目との関係性」については、●印が表記されている事例として成果が上がっていないケースがある点に留意。

注5) ネパールの面積を230万haとしているが、実際の活動対象地はこれの一部である。

注6) ガイアナ事例の人口は不明。

１９事例と１３のパラメータによる主成分分析の結果は以下の用であった。配慮項目では先住民・地域の権利尊重が全て行われていたために外した、生業の項目を追加した。

分析対象行列	実施主体	期間	活動	資金	スケール	認証	プログラム	ガバナンス	ステーク	生物多様	非持続性	リークage
実施主体	1.000	-0.503	0.007	0.790	0.307	-0.525	-0.486	0.423	-0.073	-0.218	-0.307	-0.256
期間	-0.503	1.000	0.018	-0.418	-0.391	0.587	0.167	-0.367	0.263	0.498	0.391	0.565
活動	0.007	0.018	1.000	0.136	-0.184	0.094	-0.149	0.325	0.136	0.244	0.184	0.353
資金	0.790	-0.418	0.136	1.000	0.406	-0.519	-0.294	0.645	0.026	-0.091	-0.406	-0.334
スケール	0.307	-0.391	-0.184	0.406	1.000	-0.782	0.259	0.391	-0.108	-0.021	-0.457	-0.304
認証	-0.525	0.587	0.094	-0.519	-0.782	1.000	0.268	-0.368	0.185	0.360	0.535	0.502
プログラム	-0.486	0.167	-0.149	-0.294	0.259	0.268	1.000	0.122	0.016	0.309	0.069	0.069
ガバナンス	0.423	-0.367	0.325	0.645	0.391	-0.368	0.122	1.000	-0.263	0.038	-0.151	-0.427
ステーク	-0.073	0.263	0.136	0.026	-0.108	0.185	0.016	-0.263	1.000	0.101	0.108	0.404
生物多様	-0.218	0.498	0.244	-0.091	-0.021	0.360	0.309	0.038	0.101	1.000	-0.181	0.196
非持続性	-0.307	0.391	0.184	-0.406	-0.457	0.535	0.069	-0.151	0.108	-0.181	1.000	0.616
リークage	-0.256	0.565	0.353	-0.334	-0.304	0.502	0.069	-0.427	0.404	0.196	0.616	1.000
生業	0.098	0.045	0.055	0.109	-0.217	0.233	-0.077	0.169	0.338	0.247	-0.025	-0.095

固有値表			
主成分	固有値	寄与率	累積寄与率
1	4.391	33.78%	33.78%
2	1.891	14.55%	48.33%
3	1.676	12.89%	61.22%
4	1.274	9.80%	71.02%

固有ベクトル		
変 数	主成分1	主成分2
実施主体	-0.3478	0.2995
期間	0.3651	0.0695
活動	0.0510	0.4771
資金	-0.3605	0.3554
スケール	-0.3158	-0.1843
認証	0.4103	0.1115
プログラム	0.1218	-0.2674
ガバナンス	-0.2868	0.2597
ステーク	0.1474	0.3252
生物多様	0.1526	0.2057
非持続性	0.2992	0.0872
リーケージ	0.3355	0.2032
生業	0.0295	0.4114

主成分負荷量		
変 数	主成分1	主成分2
実施主体	-0.7289	0.4119
期間	0.7652	0.0956
活動	0.1070	0.6561
資金	-0.7555	0.4888
スケール	-0.6617	-0.2535
認証	0.8598	0.1534
プログラム	0.2552	-0.3677
ガバナンス	-0.6010	0.3572
ステーク	0.3088	0.4473
生物多様	0.3198	0.2829
非持続性	0.6270	0.1200
リーケージ	0.7030	0.2794
生業	0.0617	0.5658

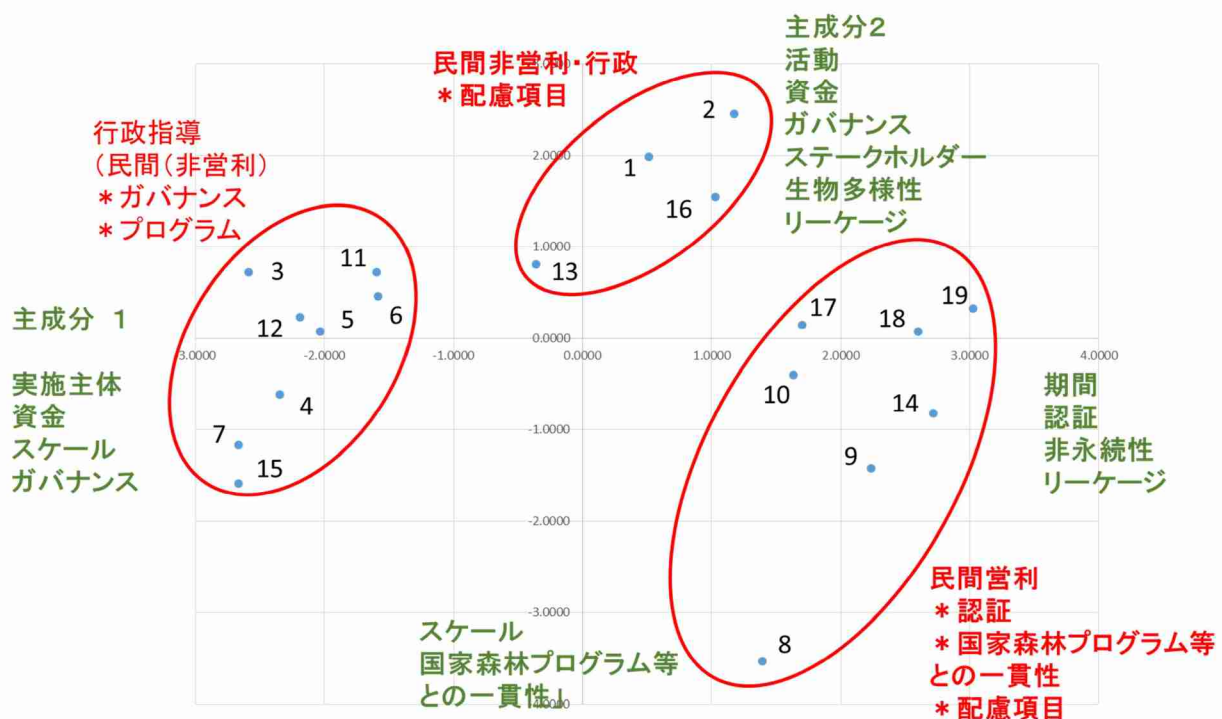


図4-2 事例集を主成分分析により解析

3-4 二次・三次データを用いて解析した結果は？

1. 「REDD+のためのセーフガード事例集2015」を対象に解析を行った。

- (1) 数値データが極めて少なく、二次的データの解析結果には信ぴょう性が影響している。
- (2) 終了下プロジェクト事例は7件あるが、本対象データは結果を記した事例集ではない。
- (3) プロジェクトの大事な予算規模が示されていない。
- (4) この事例集はほとんど結果が示されていない。そのために、内容は計画段階の項目を多く含む。

2. 主成分分析による解析結果

- (1) 固有値表から第5主成分が本解析に有効と認められた。第5主成分までの累積寄与率は79.7%であった。第1主成分と第2主成分を用いて本解析を行った。第2主成分までの累積寄与率は48.3%であった。
- (2) 解析の結果、固有ベクトルから、第1主成分軸のプラス次元には認証、非永続、リーケージが、マイナス次元には実施主体、資金タイプ、スケール、国家森林プログラムとの一貫性確保が反映される。
- (3) 第2主成分はプラスには資金タイプ、ガバナンスの構築・強化、ステークホルダーの参加、生物多様性への配慮、リーケージへの対処、生業が、マイナスには国家森林プログラムとの一貫性確保やスケールなどが反映された。
- (4) 3グループに分類できた。行政指導型（一部民間指導：非営利）、民間主導（非営利）型（一部行政指導）、と民間主導（営利目的）型であった。
- (5) 行政指導型（一部民間指導：非営利）：ガバナンスの構築・強化や国家森林プログラムとの一貫性確保強く反映している。セーフガード項目に関しては貢献が弱かった。多くが、既にプロジェクトを終了している（ボツワナ：1989～？）
- (6) 民間主導（非営利）型（一部行政指導）：最も配慮項目（ガバナンスの構築・強化、ステークホルダーの参加、生物多様性への配慮、リーケージへの対処、生業）に寄与していた。このグループの詳細情報の解析が必要である。
- (7) 民間主導（営利目的）型：民間主導型（営利目的）は国家森林プログラムや認証の枠組みにより、プロジェクトの営利目的を得ている。しかし、配慮項目では非永続性のリスクやリーケージへの対処が最も強い。これにより、インセンティブを得ていると推察できる。
- (8) 先住民・地域の権利の尊重は19事例で全てが重要事項としてプロジェクトに組み入れていた。
- (9) コスタリカの事例が、PESを基礎にプロジェクトの評価を行っていたが、情報が少ないために解析までに至らない。

「熱帯泥炭湿地林における生態系サービスの修復とREDD+のセーフガード履行システムの構築」

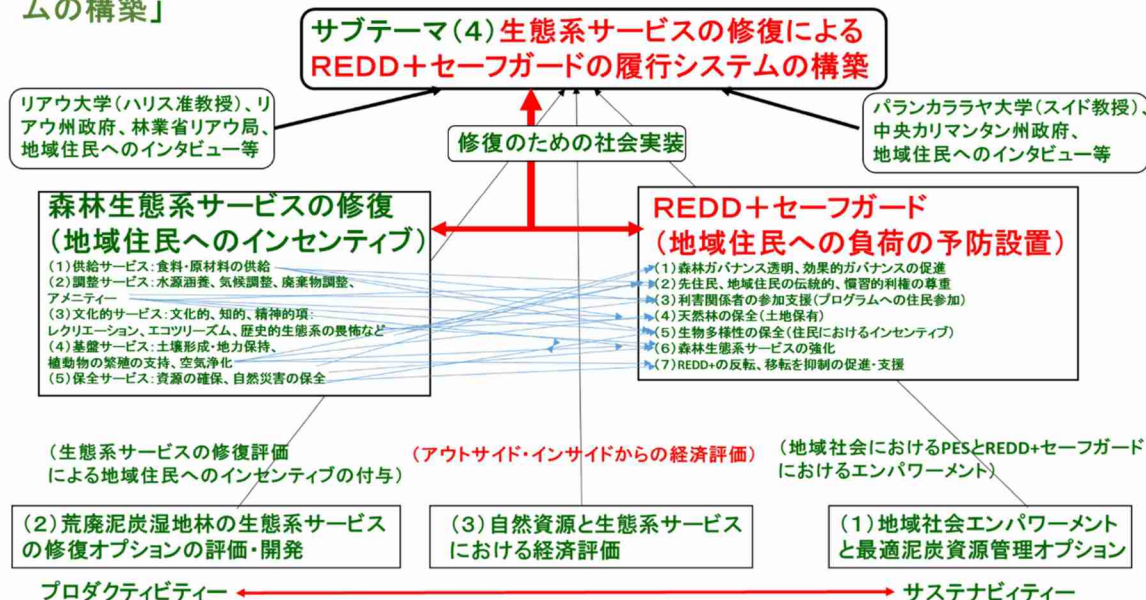


図4-3 生態系サービスとREDD+セーフガードとの関係

(1) 履行システムの遂行における試みについて、既にある一次データと外注のデータの解析を進める。

(2) 事例集の解析から、行政主導型（一部民間主導非営利目的）はプロジェクトが終了するとREDD+セーフガードも終了すると推察した。配慮項目（セーフガード）もプロジェクトへの組み込み弱い。

民間主導型（営利目的）は国家森林プログラムや認証の枠組みにより、プロジェクトの営利を得ている。しかし、配慮項目では非永続性のリスクやリーケージへの対処が最も強い。これにより、インセンティブを得ていると推察できる。

民間主導型（非営利目的）（一部行政指導）は援助資金により緩いガバナンスのもと、最も配慮項目をプロジェクトに組み入れている。このグループの原データの解析から、セーフガード履行システムが考察される。

(3) ローカルマーケットでの調査から、泥炭湿地森林生態系からの非木材林産物の主は淡水魚類であった。泥炭湿地を修復する際には、Rewettingは重要であるが泥炭湿地河川系に注意を払う必要がある。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

セーフガードの履行のためのプロトタイプとしてのモデルを提示できた。パルディカルチュアの発展方向が示唆された。これまで荒廃泥炭地の土地権に関する研究はほとんど実施されておらず、もっぱら、炭素排出や水利、さらに植生などの自然科学的研究に限定されてきた。本研究は、荒廃した放棄泥炭地が、度重なる火災によって生み出されるが、そこには土地権ファクターが介在し、住民の土地権が明確であるほど、火災に遭ったからと言って放棄されるわけではなく、一方、住民が土地権を確保できない土地については放棄される傾向が明らかであることを実証した。放棄された土地はいわば毎年火災にあうことになり、火災と泥炭荒廃の間の相乗効果が生まれる。シンポジウム、セミナーを主催した。①（“International Symposium on Peatland Fire Prevention and Forest Rehabilitation” の共催（インドネシア諸機関・日本泥炭地学会などとの共催、2016年2月24-25日 パランカラヤ）。REDD+は理論的に有効・重要で費用対効果も良いとされるが、現地社会での適応は容易ではなく、実施費用が高く、かつ持続可能性が担保されていない。自然保護

地区以外の成功例は少ない。森林破壊阻止、泥炭地火災阻止にもっとも有効な方法は開発を阻止するためのコンセッションに資金を拠出することと考えられる。その上で住民に持続可能な土地利用を許す方法である。例えばダヤックの伝統的なアグロフォレストリーによる森林内のゴム栽培やサゴ栽培、在来の湿地適応樹木の栽培等はその可能性がある。

（２）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

熱帯泥炭地からの温室効果ガス排出の制御を検討するうえで、温帯泥炭地における観測データを活用することで、温室効果ガス排出削減に向けた政策立案に貢献することが可能である。また、生物多様性の面からも熱帯泥炭地の物質循環機構の変化を把握し政策立案に役立てるうえでも、分解者の調査は重要な意味をもつ。気象条件に基づく泥炭地火災と煙害の予測による、国・地方・地元の早期対策策定に貢献する成果を挙げ、インドネシア国立機関との共同で報告を行った。住民へのセーフガードの履行が「補償金」だけに終わると、結局は別の地点に問題が移動する。住民が生態系サービスで生計を確保できることが大切であり、それは、アブラヤシよりも経済効率が良いものでないインパクトないが適切な作物を植えて、生産性を上げ、火災を防止し、一方で、荒廃地や森林はコンセッションで守りつつ、できるところはrewetting するという土地利用計画の作成が重要である。“National Workshop on Conquering the Haze Crisis-to Optimize the national Rewetting, Rehabilitation and Reforestation Program” 5th, November, 2015, Jakarta.”の会議で環境林業省、地方自治体と意見交換やコンタクトが取れた。また、泥炭復興庁長官 Mr. Nazir Foead、リアウ州知事 Mr. Arsyadjuliandi Rachman、環境林業大臣特別補佐官 Ms. Hanni Adiati、環境林業大臣広報担当大臣特別補佐官 Mr. Nova Harivan Paloh、泥炭復興庁研究開発担当次官 Dr. Haris Gunawan、泥炭復興庁事務局長 Mr. Ilarius Wibisono、国連開発計画（UNDP）プログラムマネージャー Ms. Hening Purwati リアウ州環境林業局長 Ms. Yuliなどを招いて、泥炭保全研究に関するMOUを結んだ。重要な政策的インプリケーションが期待できる。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

広くの泥炭地は国家管理地で、政府指定の森林地域であるが、そこにおける湿地化とパルディカルチャーの発展ためには、できるだけ住民に私的土地権を付与し、住民自らの積極的な管理・利用を促すことが、荒廃乾燥泥炭地の再湿地化とパルディカルチャーの発展につながる。事例集の解析から、行政主導型（一部民間主導非営利目的）はプロジェクトが終了するとREDD+セーフガードも終了すると推察した。配慮項目（セーフガード）もプロジェクトへの組み込み弱い。民間主導型（営利目的）は国家森林プログラムや認証の枠組みにより、プロジェクトの営利目的を得ている。しかし、配慮項目では非持続性のリスクやリーケージへの対処が最も強い。これにより、インセンティブを得ていると推察できる。民間主導型（非営利目的）（一部行政指導）は援助資金により緩いガバナンスのもと、最も配慮項目をプロジェクトに組み入れている。このグループの原データの解析から、セーフガード履行システムが考察された。

6. 国際共同研究等の状況

インドネシア科学院生物学研究センター（Joeni Setijoe Rahajoe, Tika Dewi Atikah）

インドネシア気象気候地球物理庁（Alpon Sepriando）

インドネシア・環境林業省（ハンニ・アジアティ）

インドネシア・パランカラヤ大学（Aswin Usup）

インドネシア・リアウ大学（ハリス・グナワン）

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（審査あり）>

- 1) Mizuno, Kosuke, 2017, The East Asian Economy Post-rebalancing: Domestic Demand-led Growth, Social Security, and Inequality, The Indonesian Journal of Southeast Asian Studies, Vo.1 No.1 DOI: org/10.22146/ikat.v1i1.27468
- 2) Mizuno, Kosuke., 2017, Regenerating tropical peatland societies and transforming environmental vulnerable societies, Peatlands International. Issue 2, 2017. Pp30-33

<その他の紙上発表（査読なし）>

- 1) Shigeo Kobayashi. 2018. Introduction: Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resources and their Domestication. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 1-4.
- 2) Masayuki Yanagisawa. 2018. Changes in Forest Use around the Sebangau National Parkin Central Kalimantan, Indonesia. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 5-11.
- 3) Haruka Suzuki. 2018. Peatland development by local people and effects on local water use in Kepau Baru, Meranti, Riau, Indonesia. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 58 -62.
- 4) Masayuki Itoh, Kok-Boon Neoh, Satomi Shiodera. 2018. Effects of frequent fires on ecological and biogeochemical conditions in peatlands in Riau, Sumatra. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 63-74.
- 5) Osamu Kozan. 2018. Restoration of Peatland Ecology and Livelihood Improvement through Rewetting and Revegetation toward the prevention of Peat Fires. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 75-79.
- 6) Hidenori Takahashi, Yukihiisa Shigenaga, Yohei Hamada, Mitsuru Osaki, Bambang Setiadi. 2018. Near-real time remote monitoring of ground-water/surface levels and warning to carbon loss from tropical peatlands in Indonesia. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 80-90.
- 7) Shuzo KUWAHARA, Yoritaka AOKI, Yukako MONDA, Takayuki KANEKO, Osamu KOZAN, Ahmad Muhammad, Ruliyana Susanti, Mamoru KANZAKI. 2018. Preliminary report on the population dynamics and productivity of sago palm (*Metroxylon sago*) on small holder's plantations in Riau Province, Indonesia. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 99-106.

- 8) Takashi Kohyama, Tika D. Atikah, Kazuki Miyamoto, Satomi Shiodera, Herwint Simbolon, Joeni S. Rahajoe. 2018. High specific wood productivity in relation to quick canopy turnover in intact peat-swamp and heath forests in Central Kalimantan. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 107-115.
- 9) Joeni Setijo Rahajoe, Tika D. Atikah, Alhamd, L., Lestari, V. B., Royyani, M.F., Sundari, S., Pratama, B. A., Shiodera, S., T. Kohyama. 2018. Peat Swamp Forest, biodiversity status and the assessment of agriculture mapping based on the traditional knowledge. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 116-127.
- 10) Bumpei Tojo, Kazuhiko Moji, Takahiro Ota, Hiroshi Hayasaka. 2018. Current situation of environment and ecosystem services use in Kalimantan, Palangkaraya peatland - Geographical analysis -. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 128-136.
- 11) Haris Gunawan. 2018. Restoration of Peatlands in Indonesia: Engagement Parties. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 137-142.
- 12) Shigeo Kobayashi. 2018. The Construction of Implication System on REDD+ Safeguard. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 143-152.
- 13) Kosuke Mizuno. 2018. Peatland restration and land title in Sumatra. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 153-180.
- 14) Takahiro Ota, Aswin Usup, Kazuhiko Moji, Bumpei Tojo, Hiroshi Hayasaka, Shigeo Kobayashi. 2018. Examining possibilities of PES of peat-land forest through swift-nest business: A case of Central Kalimantan, Indonesia. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 181-188.
- 15) Mitsuru OSAKI, Takashi KOHYAMA, Takashi HIRANO, Hidenori TAKAHASHI, Bambang SETIADI, Ayako OIDE, Kayo MATSUI, Rahmawati Ihsani Wetadewi, Hideyuki Kubo. 2018. Proposal of Responsible Management of Tropical Peatland focusing on Natural Capital and SDGs. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 189-204.
- 16) Shigeo Kobayashi. 2018. Conclusion: Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resources and their Domestication. The Proceedings of the International Workshop on Forest Ecological Resources Security for Next Generation: Development and Routine Utilization of Forest Ecological Resource and their Domestication. pp. 205-207.

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) Shigeo Kobayashi, F. Furukawa, S. Shiodera, H. Gunawan. 2017. Rehabilitation of degraded peat swamp forests using NTFP's as the local community incentives in Riau, Sumatra, Indonesia. 第27回日本熱帯生態学会年次大会、奄美文化センター

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) “National Workshop on Conquering the Haze Crisis-to Optimize the national Rewetting, Rehabilitation and Reforestation Program” 5th, November, 2015, Jakarta. (出席者：インドネシア・55名、日本・13名)
- 2) 「泥炭地火災防止と森林再生」に関する国際シンポジウム (International Symposium on Peatland Fire Prevention and Forest Rehabilitation) の共催 (インドネシア諸機関・日本泥炭地学会などとの共催) 2016年2月24-25日 パランカラヤ。
- 3) 企画：International Workshop: Evaluating Market-Driven Natural Resource Management in the Tropics – Case studies of Forest Certification Schemes, REDD+, and PES in Southeast Asia、2015年6月22日、総合地球環境学研究所 講演室

(5) マスコミ等への公表・報道等

Nwspapers

<https://www.youtube.com/watch?v=ZySq3NAQlMI&feature=youtu.be>

<http://www.thejakartapost.com/news/2016/04/26/kyoto-university-help-ri-s-peat-restoration.html>

<http://mainichi.jp/articles/20160811/k00/00m/030/041000c>

http://www.nikkei.com/article/DGKKASGM23H5I_R30C16A8EAF000/

Media interview

<https://www.youtube.com/watch?v=ZySq3NAQlMI&feature=youtu.be>

<http://www.thejakartapost.com/news/2016/04/26/kyoto-university-help-ri-s-peat-restoration.html>

<http://mainichi.jp/articles/20160811/k00/00m/030/041000c>

http://www.nikkei.com/article/DGKKASGM23H5I_R30C16A8EAF000/

(6) その他

特に記載すべき事項はない

8. 引用文献

- 1) R. Kusumaningtyas, S. Kobayashi, S. Takeda. 2006. Mixed species gardens in Java and the transmigration areas of Sumatra, Indonesia: a comparison. Journal of Tropical Agriculture, 44, 15-22.
- 2) Retno Kusumaningtyas. 2008. Natural Resource Management by Local Communities living Adjacent to National Parks in Lampung and Riau Provinces, Sumatra, Indonesia. Doctor Thesis of Area Studies, ASAFAS, Kyoto University, pp.185.
- 3) Retno Kusumaningtyas, Shigeo Kobayashi, Shinya Takeda. 2009. The impact of

local community agricultural practices on livelihood security and forest degradation around the Tesso Nilo national park in Riau Province, Sumatra, Indonesia.

TROPICS, 18, 45-55.

- 4) 水野広祐、R. クスマニンチャス. 2012. 第1章 東南アジアの土地政策と林業政策. 川井秀一・水野広祐・藤田素子(編著)『講座 生存基盤論 第4巻 熱帯バイオマス社会の再生—インドネシアの泥炭湿地から—』 京都大学学術出版会, 17-48.
- 5) 増田和也、R. クスマニンチャス、水野広祐. 2012. 第6章 泥炭地域の住民社会—人口構成と土地利用—. 川井秀一・水野広祐・藤田素子(編著)『講座 生存基盤論 第4巻 熱帯バイオマス社会の再生—インドネシアの泥炭湿地から—』 京都大学学術出版会, 167-192. (1) - 2
- 6) 山中潤. 2015. REDD+対象地域社会と実施制度—インドネシア中央カリマンタンにおけるKFCPの事例—. 博士予備論文、京都大学大学院アジア・アフリカ地域研究研究科、PP100.
- 7) 山中潤、竹田晋也、小林繁男、Yusurum Jagau. 2015. インドネシア中央カリマンタン州カプアス川流域で実施されたKFCPから見てきたREDD+の実践的課題. 第25回日本熱帯生態学会年次大会講演要旨集、p 41.
- 8) Yun Yamanaka, Shinya Takeda, Shigeo Kobayashi, Yusurum Jagau. 2016. The importance of nested governance in the local implementation of REDD+: A case study of KFCP in Central Kalimantan, Indonesia. Environment and Economy, 1-20.
- 9) Kobayashi, S. (1988) Maintenance and Effective Use of Forest Resources in Negara Brunei Darussalam. Forest Research Note No. 11, Brunei Darussalam.
- 10) Kobayashi, S. 2000. Initial phase of secondary succession in the exploited peat swamp forest (*Shorea albida*) at Sungai Damit, Belat in Brunei Darussalam. Proceedings of the International Symposium on Tropical Peat lands, Hokkaido University, 205-214.
- 11) Tetsuya Shimamura. 2004. Plant Species Coexistence Controlled by Organic Matter Dynamics in the Tropical Peat Swamp Forest in Riau, East Sumatra, Indonesia. Doctor Thesis of Area Studies, ASAFAS, Kyoto University, pp.107.
- 12) Tetsuya Shimamura, Kuniyasu Momose, Shigeo Kobayashi. 2006. A comparison of sites suitable for the seedling establishment of two co-occurring species, *Swintonia glauca* and *Stemonurus scorpioides*, in a tropical peat swamp forest. Ecological Research, 21, 759-767.
- 13) Kobayashi, S. 2007. Study on the option of land resources management and the empowerment for local community in the lowland swamp forest in Southeast Asia. Summary Report of Research Results under the GERP, Ministry of Environment, Japan, 60-72.
- 14) 小林繁男、松本陽介、田淵隆一、藤本潔、阿部健一、田中耕司、古川久雄、竹田晋也 2008. 2 b トウナンアジア低湿地における温暖化抑制のための土地資源管理オプション地域社会エンパワーメントに関する研究「陸域生態系の活用・保全による温室効果ガスシク・ソース制御技術の開発」環境省地球環境研究総合推進費終了研究成果報告書、環境省地球環境局総務課研究調査室、223-324.
- 15) Shigeo Kobayashi, Tetsuya Shimamura. 2010. And resource management option and local society empowerment for mitigation of global warming prevention in SoutheastAsian peatland. Workshop Proceedings of Ecology and Management of Peat Swamp Forest in Central Kalimantan. Ninomiya, I., Takase, K., Limin, S. eds. Matsuyama, 114.

III. 英文Abstract

Rehabilitation of Ecosystem Services on Degraded Tropical Peat Swamp Forest and Construction of the Implementation System of REDD+ Safeguard

Principal Investigator: Shigeo KOBAYASHI

Institution: Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University 46 Shimoadachimachi,
Yoshida, Sakyo-ku, Kyoto City, Kyoto 606-8501 JAPAN
Tel: +81-75-753-9196/Fax: +81-75-753-7361 E-mail:
skobayashi@asafas.kyoto-u.ac.jp

Cooperated by: Hokkaido University, Nagasaki University

[Abstract]

Key Words: Peat swamp forest ecosystem, Management of peat resources, Ecosystem services, Rehabilitation of degraded swamp forest, Economic evaluation, REDD+ safeguard, Implication system

The study of subgroup 1 aims to clarify the optimal peatland management to reduce the fire risk and establish the sustainable livelihood system for the empowerment of the local society. We examined the current peatland utilization, bioresources utilized in the peatland, and effect of rewetting of the dried peatland. We clarified that the small scale dams set in drainage canals can effectively increase the groundwater level and contributed to re-wetting of the peatland, which will contribute to the reduction of fire risk and of carbon emission. We also clarified that the sago palm cultivation for the starch production is highly sustainable and starch productivity was equivalent to cassava. As the system does not need high investment and autonomous development by local society is possible, the sago-palm is recommended as the livelihood system in the rewetted peatland.

Based on these studies, we prepared decision trees for the implementation of the sago-palm system to the peatland. The results are expected to be suggestive for the policy makers. Based on continuous monitoring of tree community and water table of peat-swamp and heath forest in central Kalimantan, prediction models were developed for better management and restoration of peatland ecosystem. Carbon emission due to forest degradation and irrigation amounted around 5 ton per year per ha. This amount was balanced with the supply of dead wood debris by intact forest. High water table level and maintenance of forest canopy prevent degradation and carbon emission. Sustainable land management applying native plant species such as Sago palm is proposed. Peat fire detection and prevention are essential for reducing carbon emission from peat land. Remote census data based prediction system of peat fire was developed for establishing early-alert system.

The sub theme 3 revealed current usage pattern of natural resources and ecosystem services of peat land forest by local people in Central Kalimantan and focused on a provisioning service of swiftlet nests and a supporting service of habitat of the species. This study revealed current situation of swiftlet nest business and evaluated its economic value. The study also estimated economic value of the supporting service. We identified barrier of new comer to this business. Especially we revealed high initial cost to build swiftlets building. We suggested payment for ecosystem services, which can overcome the barrier and which is easy

to understand its system and make commitment to the system by local people.

The local community incentives for the utilization of the forest ecological resources are essential for REDD+ and Safeguard. Therefore, we will clarify these local community incentives to REDD+ by understanding the present utilization of forest ecological resources. I will try to clarify these incentives for rehabilitation of degraded peat swamp forests and lands where are focal points on REDD+ and Safeguard in Indonesia. The local community receives incentives from the rehabilitation of forest ecological resources that will allow REDD+ to function effectively and contribute to global environmental policy. Therefore I will try to clarify the NTFP's (Non-Timber Forest Products) from peat swamp forest ecosystems which are using by local community. In this study, I have carried out the local market survey on NTFP's from peat swamp forest ecosystems. Therefore, I have carried out to clarify the present projects using "REDD+ Safeguard Case Studies in 2015". There are several kinds of difficult items such as no indicated results of these case studies, No indication of budgets and etc. At the present situation, I have got this data and analyzed. In this time, I have applied the analysis method of Principal Component Analysis. I have concluded by the analysis into three group. They are (1) Government Leading type (cooperated with local community, non-profitable), (2) Private Leading type (cooperated with Government, non-profitable), and (3) Private Leading type (profitable). Overall, 19 study cases were included the most important parameter of the right of indigenous people and region.