

2. 熱帯低湿地生態系を対象とした温室効果ガス吸収排出制御技術の開発と評価

(2 b) 東南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と地域社会エンパワメントに関する研究

(4) 低湿地の土地資源管理オプション、修復技術と社会活性化の統合

京都大学名誉教授 古川久雄
 京都大学大学院アジア・アフリカ地域研究研究科 竹田晋也

<研究協力者>

ボゴール農業大学	Suardi
	Basuki Sumawinata
	Gunawan Jayakirana
	Hermanu
	Darmawan
ジャンビ大学	Asmadi Saad

平成 15～19 年度合計予算額	17, 519 千円
(うち、平成 19 年度予算額	3, 038 千円)
上記の予算額には、間接経費	4, 043 千円を含む

[要旨]

調査地はスマトラ島ジャンビ州沿岸部の感潮帯に位置する東タンジュン・ジャブン県政府移民入植地である。水稻体中のFe、Al の分析において、酸性硫酸塩土壌で稲の阻害を起こす原因は鉄の過剰障害にあると考えられてきたが、稲の葉の分析を行うと、Fe濃度は障害レベルになく、むしろAl が300から500ppmと高く、Alによる生育障害が原因であると推定された。粘土鉱物の崩壊については粘土鉱物の種類は表層の泥炭から下層のマングローヴ土まで同じで、カオリン鉱物、雲母 - イライト鉱物、スメクタイト - ヴァーミキュライト鉱物からなるが、表層ではスメクタイト - ヴァーミキュライト鉱物が減少し、雲母 - イライト鉱物が増える。また、サイズや結晶度の低下が推察される。こうした変化は表層で強い酸による粘土の変成が生じていることを示す。

[キーワード] 温暖化対策、溶質のゲル化、アルミニウム、酸性硫酸塩土壌地帯、稲作改良

1. はじめに

インドネシア沿岸部に約 2,000 万ヘクタール分布する泥炭湿地林の内、約 650 万ヘクタールが 2000 年までに政府移民入植地として開発された。薄い泥炭層が分解後、下位の潜在的酸性硫酸塩土壌が地表に現れた。土地の乾燥とともに大量の硫酸が放出され、多くの農地は放棄されるか、極低収穫田となった。これら劣化水田の再生による農業改革は、現地農民の強い希望である。水田湛水は泥炭分解を抑え、炭酸ガス放出の抑制にとっても重要な意味がある。

2. 研究目的

劣化した移民入植水田地帯を再生し、その農業改革を行うことが第一の目的である。また、土地の乾燥を抑える上に重要な緑化をこれに組み合わせた。高付加価値を持つ沈香木を植林し、植栽適合立地と継続的な沈香林の確立法を見出すことが第二の目的である。後者の資金は16年、17年の2年間国土緑化推進機構から得た。ふたつの目的を置く理由は、発展途上国の劣化地域の修復は短期作物と高付加価値の植林を組み合わさなければ、事業の終わりとともに修復地は放棄され、植林地は伐採され、農地修復も緑化も継続しえないからである。

3. 研究方法

(1) 調査地と方法

1) 平成15年度-18年度

調査地はスマトラ島ジャンビ州沿岸部の感潮帯に位置する東タンジュン・ジャブン県政府移民入植地である。

- ① その主要部9500ヘクタールの土地利用実態調査を行ったところ、放棄地が37%、極低収穫田が12%を占め、目的とした潮汐灌漑田は15%に留まっている。
- ② 同地区幹線水路の年間水質変化を明らかにし、水文・水質の面で取水口からの距離によりどの幹線水路も3帯に区分されることを結論づけた。
- ③ 同地区の土壌調査を行い、放棄地や劣化地の発生を引き起こす土壌の特質を明らかにした。この特質は上記の幹線水路水の3帯区分とも密接に関係する。
- ④ 農民の劣化農地2箇所4ヘクタールでオンファームの水稻栽培試験を行った。
- ⑤ 17年度以降、前年度の成果を基に州政府に水稻栽培改善事業を申請、提供した改善デザインに基づいて州政府と共同でオンファーム・パイロット事業を行った。17年度は100ヘクタール、18年度、19年度は50ヘクタールだった。
- ⑥ 17年度、18年度に土壌、水の分析を進めた。
- ⑦ 16年度、17年度に沈香植栽試験をランタウ・ラサウII村など3村で行った。沈香苗木25,000本を約550戸の農民に配布、屋敷地での植栽試験を行っている。図にランタウ・ラサウ村の土地利用形態を示す。

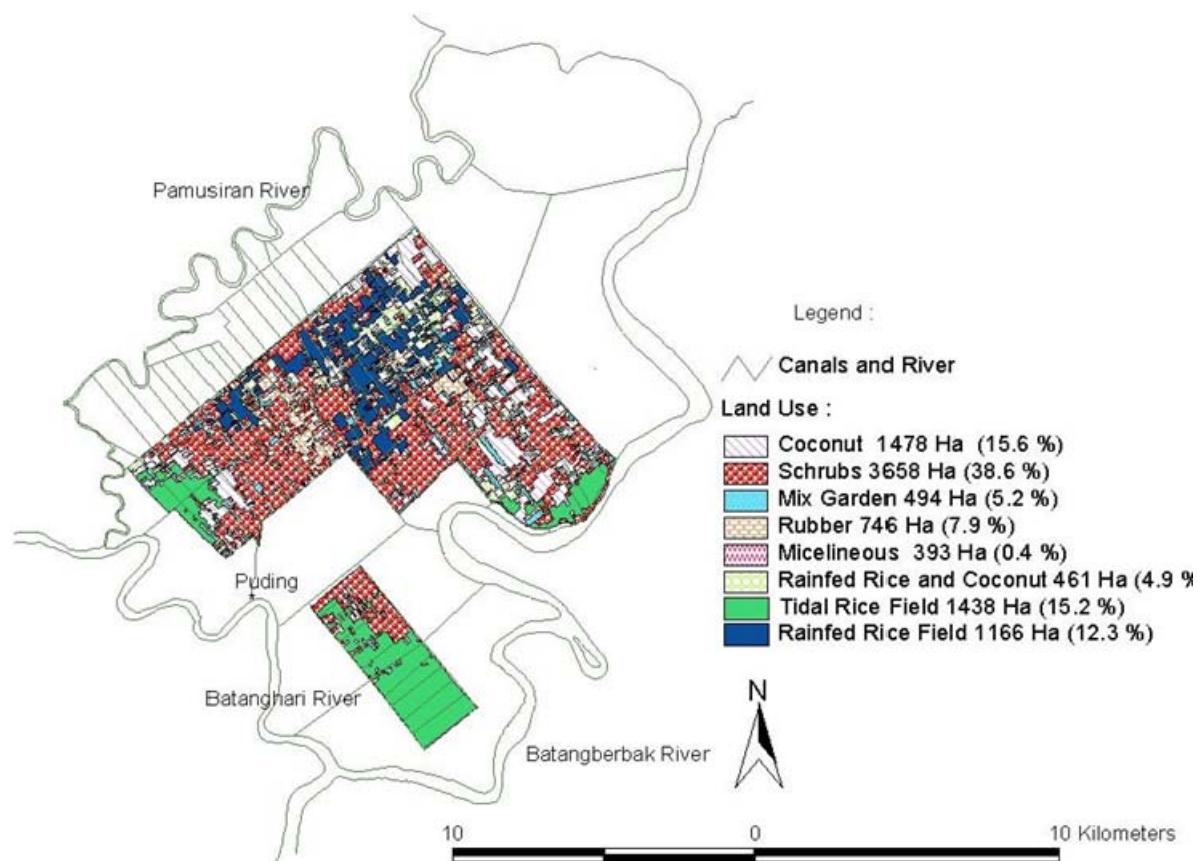


Figure 1. Land use of Rantau Rasau

図 ランタウ・ラサウ村の土地利用形態

2) 平成 19 年度

① 植物体の化学組成 (Fe、Al) 分析、圃場の土壌および灌漑水の Fe、Al の季節変化について細かく分析を行った。土壌の粘土鉱物組成を検討した。

② 上記パイロット事業を 50 ヘクタール、参加農家 25 戸で継続した。

4. 結果・考察

(1) 結果

1) 政府移民入植地の実態評価

土地利用調査から、開発目的だった潮汐灌漑水田の創設は河川沿いおよび一部幹線水路沿いに限られ、全体の 15 パーセントに留まる。河川や水路から遠い土地は、放棄荒草が 37 パーセント、極低収穫の天水田が 12 パーセントを占めること、その他は捨て作りのココヤシやゴムの園地であることが明らかとなった。この成果は沿岸泥炭湿地に開かれた政府移民入植地の実態をインドネシアで初めて確認したものだ。

2) 幹線水路の機能不全

水質調査は常識的な予測を覆した。常識的には乾季に硫酸濃度が高まると予測されていたが、実態は雨季に強い硫酸放出が生じていることを明確にした。この成果はパイライトが乾季に酸化され、

雨季に水路への硫酸が放出されていることを明らかにした。また、河川水取水口からの距離にしたがって、幹線水路の水質は、約 3 キロメートルまでの河川水侵入部、それ以遠の中間停滞部他端の塩水侵入部と、3 個の地区に区分されることを明らかにした。

3) 農地の立地分類

潮汐灌漑可能地区は河成堆積物を主とする土壌からなり、内陸部は汽水堆積物を主とし、表層に分解の進んだサブリック泥炭が残存する。土壌の劣化と幹線水路の機能不全から、内陸部は劣化天水田、放棄荒草地が生じていることが明らかとなった。比較的良好なココヤシ園は完新世の古砂丘や浜堤上に、ゴム園は 30 センチメートル程度の泥炭が残存する地帯に集中することも明らかとなった。これは土地利用図と微地形・土壌変異図の対比で明らかである。

4) 水稻栽培の改革法

オンファームの水稻栽培試験は画期的成果を収めた。放棄水田で収量平均 4.1 トン/ヘクタール、最大 5.4 トン、これまで 1 トン程度に留まっていた極低収田で平均 4.3 トン、最大 5.8 トンと、目覚ましい躍進を遂げた。成功の鍵は、①植え付け前に酸の洗浄を十分行い、生育期間中できる限り湛水を保つこと、②石灰で土壌酸性を pH 4.5 程度に矯正すること、③通常施肥以外に微量要素の施与とくに鉄を含む液肥を葉面撒布することである。鉄の施与はこの地帯の土が生成過程で鉄を失い、極端な鉄欠になっており、鉄欠のため稲は生長過程で頻繁にクロロシス症状を呈し、そのたびに成長遅延が生じ、著しい生育ムラと低収の大きな原因となっていると考えたからだ。

5) 泥炭 - 酸性硫酸塩土壌地帯の生育阻害の原因

上記鉄を含む液肥の葉面撒布による飛躍的増収は、酸性硫酸塩土壌の水稻生育障害を鉄過剰によるとする常識を覆した。18 年度、19 年度に土壌、水、植物体中の Fe と Al の分析を進めて、その方法の合理性を確かめた。表層に泥炭を持つ酸性硫酸塩土壌では根圏の鉄濃度が極端に低い。全鉄 (Fe_2O_3) が 0.7 から 1.5% (絶乾土) と鉄欠乏土壌の特徴を示す。遊離態も KCl 抽出による水溶態 + 置換態は Fe が 500 から 1500ppm (乾土) 程度、Al は変動が大きい、10cm までが 30 から 150、10-20cm では 500ppm を越える。水稻体中の Fe と Al を見ると、Fe はほぼ 100 から 200ppm の範囲に収まるが、Al は分蘖最盛期に多くが 300ppm を越え、穂孕み期にもその傾向が残る。生育阻害は Fe 過剰ではなく、酸性水と Al の過剰、相対的な Fe 欠乏に由来すると結論付けるのが妥当だ。

6) 粘土の崩壊

RM 地点の粘土鉱物組成を分析すると、根圏ではスメクタイト - ヴァーミキュライトが減少し、雲母 - イライトが増加する。これは強い酸性のため、表層で前者が崩壊減少し、後者が増加したものと考えるのが妥当だ。この崩壊に伴って Al の活性酸化物が放出されると推察される。

7) 泥炭 - 酸性硫酸塩土壌地帯の開拓地で起こる溶脱の地球化学的機構

この地域の開拓地は二つの営力によって溶脱が進行する。潮汐河川と潮汐運河だ。物質をくみ出す強力な二つのポンプがあると比喩的にいえる。潮汐河川ポンプは開拓地全体と河川の間であり、その営力は大きい。潮汐運河ポンプは幹線水路と各農地の間であり、潮汐河川ポンプに比べ力は小さいが、

広域に働く。二つのポンプは有害物質の除去とともに、必要養分の溶脱にも働く。

根圏の物質のうち、この地域の作物生育上問題となるのは Fe と Al である。土壌が還元的環境にあり、かつ強い硫酸酸性のため、根圏の遊離 Fe は大部分が可動態にあり、元来少ない含有量が溶脱によりさらに減少する。他方、強い酸性のため粘土が崩壊し、活性 Al が恒常的に土壌中で形成される。Fe 欠乏と Al 過剰で作物は強い生育ストレスを受ける。

遊離 Fe と Al は農地から潮汐運河ポンプで幹線水路へ汲み出され、水路で顕著な凝集・溶解現象を呈する。凝集体の一部は乾季の水路壁に固結し、また一部は潮汐河川ポンプで外の系へ放出されて、失われる。凝集体の主成分は Fe であり、次成分は Al だ。

かくて、この地帯の開拓地では遊離 Fe の溶脱が著しく進行する。Al は土壌中の賦存量が大きい上に活性体が絶えず粘土から供給されるので、溶脱がその欠乏を導くことはない。遊離 Fe の欠乏、活性 Al の過剰が作物生育に大きなストレスを加えることになる。

営農改革には、活性 Al の不活性化を計り、Fe を増加させる方法が必要である。肥鉄資材、磷酸肥料の施与、鉄鋼スラグの施与などによる土壌改良が可能と考えられる。

8) 州政府との共同パイロット事業

成果に基づいて 17 年度から始まったが、毎年開始が 11 月、12 月にずれ込み、実施上様々な問題に遭遇した結果、作柄は最初の画期的成果から大きく後退した。4 ヘクタールの試験圃場も事業地区に含まれていたため同様の結果となり、籾収量は放棄水田の完全処理区で 2.4 トン/ヘクタール、極低収田の完全処理区で 3.9 トン/ヘクタール程度だ。葉面撒布すべき微量要素液肥が政府事業では認定外とされる。したがって完全処理区とはいえ、葉面撒布が行われていない。パイロット事業区全体の収量平均は 2.8 トン/ヘクタール程度で、この結果は州政府の人為的ミスに原因がある。

9) 植栽沈香

活着率は 7 割程度で、40 センチメートルほどの苗が 3 年後には 3.5 メートル程度に成長している。腐朽泥炭残存地区や、古砂丘地区で成長が良い。

沈香植栽について、内陸丘陵部ムランギン郡の沈香植栽農民組合と提携している。その方法は従来の方法と異なり、皆伐せず、6、7 年後以降数十年にわたって沈香ブロックを継続的に採取する。緑化の点では格段に優れた方法と考えている。

(2) 考察

1) 水稻栽培改善

- ① 我々のデザインは大きな収量向上をもたらさう。しかし普及実施面で州政府との共同作業は多くの問題を抱えている。平成 19 年度、「稲作再生による村民主導の農業改革」を日本大使館の草の根無償援助に申請したが、受け付けられなかった。農業案件に対して JICA が前向きの姿勢をとって欲しいものだ。
- ② 酸性硫酸塩土壌地帯の水稻栽培はメコンデルタが圧倒的に進んでおり、直播で 8 トン/ヘクタールの経営を実現している。そこで 19 年度はメコンデルタの農民を招き、直播技術、スクリュウ型ポンプの導入と普及を計画したが、草の根無償援助の申請が不成功に終わり、実現できなかった。

2) 沈香植栽による緑化

劣化地帯の沈香植栽による緑化は、ムランギン郡の沈香植栽農民組合の持つ技術が興味深い。この技術はさらにベトナムの沈香栽培地域への技術移転を計画した。19年10月から1月にかけてベトナムのトゥアティエンフエ省アルオイ郡ドンソン社で25,000本の沈香苗を植林した。資金は国際緑化機構から援助を受けた。この技術のユニークな点は植栽沈香木を一斉皆伐するのではなく、6、7年後以降、数十年にわたって継続的に沈香ブロックを採取することで、継続的な緑化に寄与する農民技術として有用だ。ベトナムの荒廃地帯緑化を計画する官僚、研究者が強い関心を寄せている。

3) 複合経営と持続的緑化

熱帯の発展途上国に広がる劣化地帯は、緑化を進めるうえで大きな潜在的可能性を持っている。しかし、それを現実的可能性にするためには、二つの要件を満たす必要がある。

① 農民の生計維持

農民が生活に必要な食料、野菜、家畜などの生計基本材を確保することが第一の要件である。この要件を満たす土地利用が前提となる。フィリピン、ラオス、ベトナムで90年代以後に展開した土地分与による植林事業は、この欠如のため多くが失敗に終わっている。生計基本材の確保が植林計画の中で十分な位置を与えられていないため、事業が終わると農民が植林地を伐採するからである。インドネシアの産業造林も同様の問題を抱えている。

この問題には植林樹種の選定も深く関係する。政府機関が推奨する樹種は多くがフタバガキ科の高木であり、農民の生活需要から著しく離れている。生育は100年近い年月を要し、その間、農民はそこからなんら収入を得ることがない。アカシアやユーカリなど産業造林の早生樹種の場合も、集材や製材など産業セクターの取り分に比して、農民の取り分はバランスを失っており、生計維持への貢献はきわめて小さい。農民の不満感は大きく、盗伐や火入れが頻繁に起こる。

継続的な緑化を目指すなら、短期的農作物栽培と長期的植林を組み合わせ、農民の生計維持を十分考慮することが必須である。長期的植林自体も短期から長期までのスペクトラムを考えて、樹種を適切に選定する必要がある。

② 村民組織による主導

農業開発、植林どちらも、現在の発展途上国の実施体制には基本的な欠陥がある。政府機関は事業計画を提出するが、実施は個々の農民である。中間に立って機関と農民の意思を調整して実施する組織がない。したがって機関から来る事業計画は農民の知識を活かすことができず、農民の希望に沿うこともない。資金は機関が手許に確保し、一切の費用配分と支出を支配する。その結果、事業は機関の事業となり、農民もまさしくそう認識する。農民にとってそれは外部的な干渉もしくは一時的なもうけ仕事に過ぎず、事業期間が終わると実施は終わる。開発地や植林地は劣化、荒廃、伐採に任される。世銀、アジア開発銀行、各国のODA、各国政府の事業など、殆どすべての事業はこのケースを辿る。

投入された資金はどうなったのかというと、政府機関と国際機関の役人、内外のコンサルタント、産業セクターに入る。農林業セクターの資源やインフラ、農村の富と技術の積み上げは殆ど進歩、改革がない。その裏側で自然環境の劣化のみが著しく進む。

この状況を変える必須条件は、現地に農民組織が生まれる、あるいは作ることである。現地の状況

を最もよく知る点で現地に暮らす農民に勝るものはない。農林業と環境の状況を変えていく現実的行動者の面でも、現地に暮らす農民の寄与はプラス、マイナス両面で大きな影響力を持つ。したがって、農民組織の創出こそ、現時点で最大の要件である。彼らの持つ豊富な知識と経験をまとめ、その希望と意思を束ね、官庁の事業計画と農民の改革意欲を調整しうる組織が必要である。村民主導の事業実施でなければ、農林業での開発と環境保全の両立は難しい。どうすればこのような組織を生むことができるか、本当はこれが農林業セクターでの地球環境研究が目指すべき最大の眼目だろう。その意識があつてこそ技術開発は生きてくる。現実から遊離して技術を研究しても無駄に近い。現地州政府の機構と、JICAの農業協力への消極姿勢という現実の前に敗れ去った現時点ではひとしお身にしみる結論だ。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

インドネシア沿岸地帯に開かれて酸性化した荒廃地について、その現状と荒廃の原因について土壌、水質の環境変化を科学的に明らかにし、また水稻栽培の改良法を科学的根拠に基づいて提案した。これらの知見は学会報告として公開できる段階に達した。

(2) 地球環境政策への貢献

提案された改良水稻栽培法は常時湛水、多量要素および微量元素の施肥を根幹としている。その結果、水稻収量の著しい向上を実現し、泥炭地帯への移住農民の営農意欲を高めることに成功した。常時湛水することは農業改良のみならず、泥炭の分解による温室化ガス発生抑制に大きな効果を発揮する。沿岸泥炭地帯の劣化荒廃地域の面積がインドネシアだけでも少なくとも300万ヘクタールを超えることを考えると、この改良水稻栽培の普及による温室化ガス発生抑制の効果は大きな意義がある。広域の農民が農業基盤の改良を通して地球の温暖化抑制に寄与できる枠組みが作られたと考える。水稻栽培改良のためのコストは100ヘクタール規模ではヘクタール当たり10万円以下と想定できる。10000ヘクタール規模では大型ポンプの導入が必要で、そのコストは未検討だが、効果/費用比は十分現実的なもので、かつ農業革新にもつながる点で検討に十分値すると考える。

6. 引用文献

- (1) Driessen, P.M. 1978, "Peat soils", *Soils and Rice* edited by IRRI, pp.763-779.
- (2) 古川久雄 1992、インドネシアの低湿地、頸草書房
- (3) Furukawa Hisao 2004, "The ecological destruction of coastal peat wetlands in Insular Southeast Asia", In Furukawa H., Nishibuti M., Kono Y. and Kaida Y. (eds.) *Ecological Destruction, Health, and Development*, Kyoto-Melbourne: Kyoto Univ. Press-Trans Pacific Press, pp.31-72.
- (4) Ministry of Public Works, Indonesia 1992, *Pengembangan Daerah Rawa*.

7. 国際共同研究等の状況

ボゴール農科大学およびジャンビ大学との共同研究である。共同研究者は Suwardi (Bogor Agricultural Univ.), Basuki Sumawinata (Bogor Agricultural Univ.), Gunawan Jayakirana (Bogor Agricultural Univ.), Hermanu (Bogor Agricultural Univ.), Darmawan (Bogor Agricultural Univ.)

Asmadi Saad (Jambi Univ.)の方々である。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文 (査読あり)>

なし

<査読付き論文に準ずる成果発表>

なし

<その他誌上発表 (査読なし)>

なし

<書籍>

- 1) Furukawa Hisao, Furukawa H., Nishibuti M., Kono Y. and Kaida Y. (eds.) *Ecological Destruction, Health, and Development*, Kyoto-Melbourne: Kyoto Univ. Press-Trans Pacific Press, pp.31-72. (2004). "The ecological destruction of coastal peat wetlands in Insular Southeast Asia".
- 2) 古川久雄 (訳・解説)、京都大学学術出版会. P. 850. (2007). 中国農業史.

(2) 口頭発表

- 1) Hermanu, Basuki Sumawinata and Hisao Furukawa: 日本熱帯生態学会年次大会 16. B2 (2006)
Agricultural Renovation of Degraded Acid Sulfate Soil Areas in Sumatra
- 2) Suwardi, Basuki Sumawinata, Hermanu and Hisao Furukawa: 日本熱帯生態学会年次大会 16. B3 (2006) Pilot Project of Rice Culture Collaborated with Provincial Government of Jambi Province, Indonesia

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

(6) その他

次の投稿論文が完成段階にある。

Renovation Studies of Degraded Peat-Acid Sulfate Soil Environment in Rantau Rasau Transmigration Area of Sumatra.

- I. Present Land Use and Soil Conditions.
- II. Seasonal Change of Water Acidity in Primary Canals.
- III. Fate of Iron and Aluminum Sesquioxides in Reclamation Process.
- IV. On-Farm Experiments for Rice Cultivation.

I, II は Hermanu Widjaja, Gunawan Djajakirana and Furukawa Hisao,

III, IV は Basuki Sumawinata, Hermanu Widjaja, Gunawan Djajakirana and Furukawa Hisao.