

## インドネシアにおける移住民の生態適応に関する研究

### Ecological adaptation of transmigrants in Indonesia

○舟川晋也<sup>1</sup>, 平井英明<sup>2</sup>, 田中壮太<sup>3</sup>, 立川茂美<sup>1</sup>, Heru Bagus Pulunggono<sup>4</sup>, Syaiful Anwar<sup>4</sup>, Makhrawie<sup>5</sup>  
Shinya FUNAKAWA<sup>1</sup>, Hideaki HIRAI<sup>2</sup>, Sota TANAKA<sup>3</sup>, Shigemi TACHIKAWA<sup>1</sup>, Heru Bagus PULUNGGONO<sup>4</sup>,  
Syaiful ANWAR<sup>4</sup>, MAKHRAWIE<sup>5</sup>

<sup>1</sup>京都大学農学研究科, <sup>2</sup>宇都宮大学農学部, <sup>3</sup>高知大学農学部, <sup>4</sup>ボゴール農科大学, <sup>5</sup>ムラワルマン大学農学部  
<sup>1</sup>Kyoto University, <sup>2</sup>Utsunomiya University, <sup>3</sup>Kochi University, <sup>4</sup>Bogor Agricultural University, and <sup>5</sup>Mulawarman University

We investigated ecological conditions of East Kalimantan in comparison with those of Java Island, with special reference to dynamics of soil organic matter, in order to find out sustainable ways for using land resources. The rates of decomposition and turnover of soil organic matter are vary rapid in East Kalimantan due to its climatic and geological conditions. Transmigrants from Java seem to face difficult situation in terms of soil and land managements. Agroforestry systems consisting of more perennial stands than Java could be recommended to maintain the soil fertility and to rehabilitate degraded land once intensively cultivated.

#### 1. 研究目的

インドネシア共和国において独立以来、政府主導の移住政策—トランスミグレーション—(主として人口過密地であるジャワ島からスマトラ、カリマンタンへの集団移住)が積極的に行われてきたことは広く知られている。国外においては、その負の側面、すなわち移住先における森林破壊や先住民との摩擦などが批判されているが、インドネシア政府は、ジャワ島社会の安定やバランスのとれた開発の必要性を主張しこの政策を継続している。しかしながら、実際に移住したジャワ島民が移住先の生態環境にうまく適応しているか、またこの移住が周辺先住民の生業にどのような影響を与えているか、自然科学・生態学の視点から追跡調査した例は少なく、移住政策に関する実証的な解析・評価が困難なものとなっているのが現状である。

申請者らは東カリマンタン州において予備調査を行い、傾斜地に農業生産の主力をおかざるを得ないような立地条件では、移住者の農業活動がたやすく森林破壊に結びつくことを確認している。これはカリマンタン島の生態環境が一年生知作物の耕作には不向きであること、また水稲耕作民であるジャワ島移民が生産性の低い傾斜地主体の環境に適応しきれていないことなどに原因があると思われる。

本研究では、ジャワ・カリマンタン両地域の耕地生態系における物質循環の違いについて、特に農業生産および環境保全の両面から重要である土壌有機物の動態に着目して検討した。

#### 2. 研究経過

##### 2.1 地域の概要

インドネシアは広大な国土を持ち、その生産生態環境は多様である。本研究で対象としたジャワ島、カリマンタン島はいずれも赤道近くに位置しているが、カリマンタン島全域およびジャワ島西部の内陸部が年中湿潤な、ケッペン気候区分のAfに属するのに対し、ジャワ島東部および沿岸部は明瞭な乾季を持つAwに属する。またジャワ島中央部には標高2,000 mを越える火山が連なるが、標高1,000 m付近を境として上部は温帯気候に属する。地質的には、カ

リマンタン島低標高地帯の大部分が第三紀および第四紀の堆積岩・堆積物に覆われるのに対して、ジャワ島は火山島であり、内陸部は安山岩～玄武岩系の火成岩および火山性降下物に、また沿岸部は石灰岩に覆われる。後に詳述するが、この土壌母材の違いは、両地域の土壌特性の違いに大きく影響を与えている。

ジャワ島の代表的な農業景観は、山間盆地あるいは低地に広がる水田である。火山性母材に由来する堆積物に覆われる低地は肥沃であり、ここで養われる現在のジャワ島人口は現在1億5千万人に達する。一方カリマンタン島では、沿岸部および河川沿いの低地に泥炭地が分布し、後背丘陵地や山間地には堆積岩が分布する。前者では古くからイスラム系国家が成立していたのに対し、後者では粗放な焼畑農業が今でも主流である。また河川近くの丘陵地には、近年ヤシやゴムのプランテーションが進出している。

##### 2.2 移民村の現状把握のための広域調査

移民村の社会経済的概況と土壌資源の分布状況を把握するために、1999年7月にジャワ島全域の農村、東カリマンタン州サマリダ近郊の移民村、およびカリマンタン島最奥地アボカヤン地区の焼畑民居住村において、広域調査を行った。特に移民村において、村の成立および開拓の歴史を調べると共に、生産活動の現状および問題点を調査した。またブ克蘭ガン(屋敷畑)と呼ばれる家屋周辺の耕地および焼畑耕地において表層土壌を採取し、日本へ輸入後、一般理化学性、インキュベーション法による易分解性有機物の定量、微生物バイオマスの定量など、土壌有機物分解の指標項目に関する分析を行った。

##### 2.3 データロガーによる土壌環境モニタリング

地質・気候条件の違いを考慮して、ジャワ島・カリマンタン島農村のブ克蘭ガンにおいて、4村9地点の調査地を設定した。内訳は、西部ジャワのボゴール近郊農村(以下BG-)、熱帯多雨林気候、安山岩質母材)、西ジャワ内陸部の高標高地レンバン近郊農村(以下LB-、標高1,200 m、弱度モンスーン性気候、安山岩質火山性降下物が母材)、

東部ジャワの都市パचेット近郊農村(以下PC-, 熱帯モンスーン気候, 安山岩質母材), 東カリマンタン州都サマリダ近郊農村(以下SM-, 熱帯多雨林気候, 第三紀砂岩および第四紀堆積物母材)である。これら調査村において、データロガーを用いて、降水量, 気温, 相対湿度, 土壌温度, 土壌水分量を10分間隔で一年間にわたり測定, 記録した。またこれら4村において各2地点(SMでは3地点), それぞれ森林主体のプカランガン(以下-F, SMでは中間的なSM-Mとより森林的なSM-F)と畑作物主体のプカランガン(以下-U)を選定し, 調査期間を通して全15~18回, 赤外線ガス分析装置を用いて土壌呼吸速度(土壌表面からの炭酸ガス放出量, 土壌有機物分解量の目安となる)を測定した。土壌呼吸速度( $SR$ ;  $\text{mmol C/m}^2/\text{hr}$ )については, 土壌温度( $T$ ), 土壌の体積含水率( $\theta$ )を説明変数として段階的重回帰分析を行い, 各係数を求めた上で( $SR = aT + b\theta + c$ ), データロガーで記録した $T$ ,  $\theta$ を代入して年間の土壌呼吸量を推定した。

図1に実測した1年間(2000年6月より2002年3月のうち1年間)の降雨分布を示す。LB, PCでは6~8月の乾季が明瞭である。各地の年間降水量は, それぞれ3,670 mm (BG-F), 1,390 mm (LB-F), 2,220 mm (PC-F), 2,470 mm (SM-U)であり, いずれもほぼ半年並みであった。

### 3. 研究成果

#### 3.1 開拓の略史と現在の問題点

移民事業そのものはオランダ植民地時代から行われていたが, 本調査を行った東カリマンタン州サマリダ近郊では, 1960年代以降開拓村というものが多かった。古い移住村では水稲耕作の可能な土地が多く, 移住民は灌漑設備の整備など自力で行いながら水田を開墾していった。条件が整うまでの最初の数年間, 周辺の傾斜地でキャッサバやトウモロコシなどの一年生作物を連作したため, その間に土地が疲弊し *Imperata* 属の草原と化したところが多かったようである。なおカリマンタン島の焼畑民は, 原則として連続耕作を行わないので, 当該地域で見られる草原などの荒廃地は, ほぼ外部からのインパクトが原因で生まれたものとみてよいと思われる。

時代が下るにつれて水田適地は少なくなったようであ

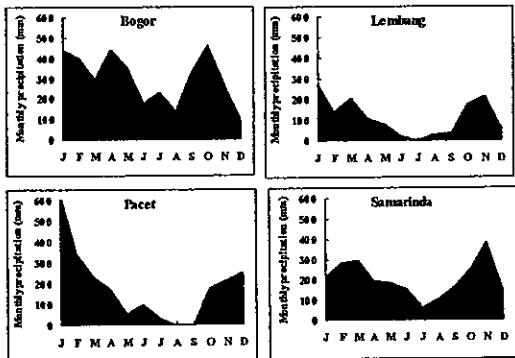


図1. 調査地点の年間降雨パターン

る。90年代に成立した移民村の中には, 傾斜地しか保有していない村もあった。このような村ではいまだに安定した生業は成立していない。カリマンタンでは都市人口が少なくマーケットに限りがあり, 商品作物の需要の少ないことが問題, という声が多かった。果樹等を植栽しているのも, サマリダ, バリクパパンの都市からほぼ20~30 km圏内に限られるようである。高付加価値の作物の栽培が困難な場合, キャッサバやトウモロコシとバナナという組み合わせが多くなり, 周辺耕地や耕作跡地が荒廃していることも多い。このような村では, 現金収入を得るため近くにプランテーションを誘致したい, という希望が開かれた。なおプランテーションと抱き合わせにした雇用労働型の移民村建設というのも, 特に奥地では多いようである。

以上簡単な調査の結果ではあるが, 東カリマンタン州傾斜畑作跡地の荒廃は, 村落の立地条件と関係する場合が多いとみられる。もっとも問題が深刻なのは, おそらく農業移民村として構想されながら, 水田適地が少なく, しかも都市から離れマーケットに遠いような移民村であろう。一年生畑作が主体の村では, まず安定した生業の確保が切実な課題となっている。このような地域では, 村人が望むように, 大規模なプランテーションくらいしか選択肢がないのではなからうか。一方水田耕作が軌道に乗った村, あるいは都市近郊農業が成立する村では, 周辺荒廃地の修復に, 小規模なアグロフォレストリーの適用が可能ではないかと思われる。後で論ずるように, 高温多雨で土壌肥沃度の低いカリマンタンの傾斜地では, 木本類の植栽にウエイトをおいた生産システムの確立が望ましいと考えられる。

#### 3.2 土壌資源の特徴

図2に, ジャワ島(JV)農村, 東カリマンタン(EK)移民村, 東カリマンタン焼畑村の表層土壌理化学性の代表的なものを示す。一般に東カリマンタン土壌は, ジャワ島土壌に比べ酸性が強い。ほとんどの場合pHが5.5以下であり, 作物の生育には不利な条件である。これは, カリマンタン土壌の多くが砂岩など堆積岩を母材とし, かつ湿潤多雨の洗脱条件下で生成していることに原因が求められる。一方ジャワ島土壌の多くは, 中性~塩基性火成岩あるいは石灰岩を母材としており, 酸性の程度は小さい。このことは, 両地域の農業生産を考える上でまず留意しておくべき点であり, カリマンタン島での, 特に畑作物の生産は不利な状況にある。また土壌有機物含量は焼畑耕地/休耕地で大きく, 連続耕作を行った移民村では非常に小さくなる。さら

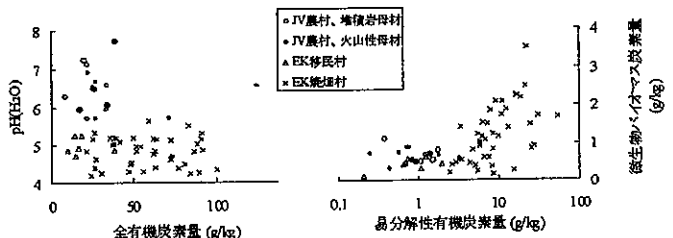


図2. 調査地表層土壌の性質

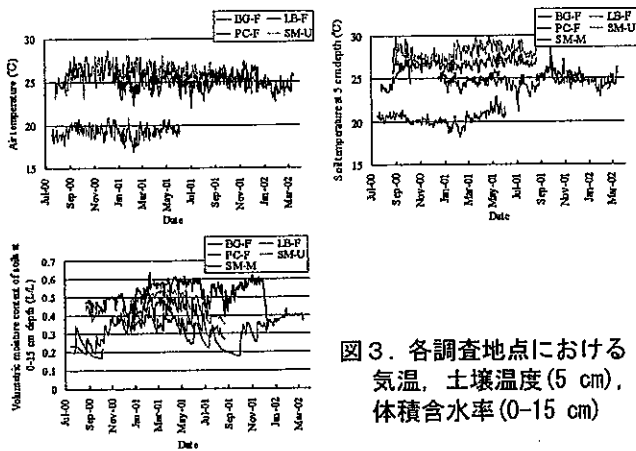


図3. 各調査地点における  
気温、土壌温度(5 cm)、  
体積含水率(0-15 cm)

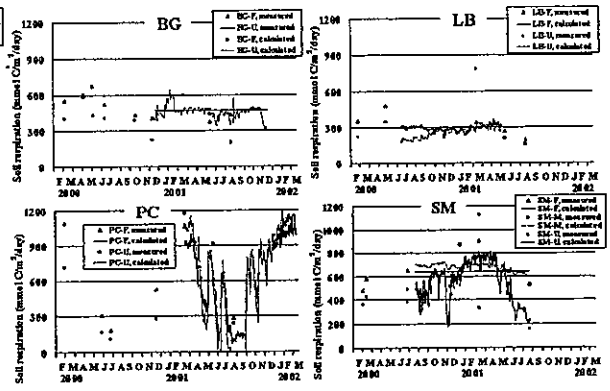


図4. 土壌呼吸速度の実測値と計算値の年間変動

に土壌有機物のうち比較的回転の速い画分である易分解性有機物および微生物バイオマス量も、同様の傾向を示す。カリマンタン島の高温多湿な条件下で森林を耕地化した場合、土壌有機物関連の資源、たとえば土壌の保水性・易耕性などの物理性や窒素栄養などの化学性は速やかに減耗することになる。またそれに伴い土壌中の有機物の回転や微生物量なども減少する。これは土壌/母岩から生物圏への養分獲得という観点からも不利であろう。このような条件下では、農業生産システムとしても、森林生態系を模倣したアグロフォレストリーなどを採用する方が望ましい。

### 3.3 代表地点における土壌環境および土壌有機物分解速度のモニタリング

図3に各調査地点における気温、地温(5 cm深)、土壌の体積含水率(0-15 cm深)のモニタリング結果を示す。調査対象4地域のうち、PCは標高1,200 mの高地のため、気温・地温いずれも他に比べて低い。一方SMでは、特に耕地(SM-U)で地温が高い。またこれら4地点の中では、乾季の存在を反映して、PC、ついでLBで7月から9月にかけて土壌が乾燥する。

調査期間中に測定した土壌呼吸速度(SR; mmol C/m<sup>2</sup>/hr)について、土壌温度(T)、土壌の体積含水率(θ)を説明変数として段階的重回帰分析を行った結果(SR = aT + bθ + c)、表1に示したような各係数が得られた。この重回帰分析の結果は、各調査地点の特徴をよく表している。すなわち、年中湿潤かつ高温の熱帯多雨林気候下で森

林的土地利用を行っているBG-F、SM-Fでは、年間を通して土壌温度・水分ともにはほぼ一定のため、重回帰分析では有意な係数が得られない。熱帯多雨林気候下の森林あるいは焼畑休閑地では、このような状況が一般的であると考えられる。一方同じ多雨林気候下でも畑作的土地利用が行われているBG-U、SM-M(これは中間的)、SM-Uでは、耕起に伴う乾燥のため、土壌呼吸速度に対して水分項の係数bが影響を及ぼしてくる。一方熱帯モンスーン気候下のPCでは、土壌水分変動の影響がきわめて大きい。

これらの重回帰式にデータロガーでモニタリングした土壌温度T、土壌体積含水率θを代入して土壌呼吸速度の季節変動および年間土壌呼吸量を推定した。なお有意な係数が得られなかったBG-F、SM-Fについては全測定値の平均値を用いた。その結果を図4および表1に示す。ここで求められた年間土壌呼吸量は、LBを除く熱帯気候下では20~30 ton C/ha/yrとなり、他の気候区でおおむね10 ton C/ha/yrとなるのと比べればきわめて大きい[1]。またこの年間土壌呼吸量を、実験的に求められる易分解性土壌有機物量(C<sub>0</sub>)と比べてみれば、その値は前者ではるかに大きく、これらの調査地では土壌有機物の回転速度が非常に大きいことが示唆される(表1)。また乾湿の差が激しい条件(モンスーン気候あるいは畑作的土地利用)で、呼吸量の大きくなる傾向が見られた(図5)。

次に、ここで推定された年間土壌呼吸量が、年平均地温、年平均土壌体積含水率などの土壌環境条件、および実験的に求められる易分解性土壌有機物量(C<sub>0</sub>)とどのような関

表1. 単純平均および段階的重回帰による年間土壌呼吸量の推定

測定回数	平均値 土壌呼吸速度 (SR) (mmol C/m <sup>2</sup> /hr)	土壌温度 (T) (°C)	土壌の体積 含水率(θ) (L/L)	段階的重回帰で求めた係数 ただしSR = aT + bθ + c				R <sup>2</sup>	平均 土壌呼吸速度 (mmol C/m <sup>2</sup> /hr)	年間 土壌呼吸量 (ton C/ha/yr)	土壌の易分解性 有機物量 (C <sub>0</sub> ) (ton/ha/10 cm深)
				a	b	c					
BG-F	17	19.72	25.42	0.436	n.d.				n.d.	20.73	2.59
BG-U	18	15.83	25.86	0.289		61.81	-2.06	0.38	19.03	20.00	0.92
LB-F	17	12.19	19.76	0.244	1.48		-17.13	0.34	12.29	12.92	0.80
LB-U	18	10.13	21.05	0.299	1.63	32.68	-33.94	0.34	10.76	11.31	1.46
PC-F	15	21.11	24.72	0.236	2.93	139.58	-84.21	0.64	26.34	27.69	1.50
PC-U	15	15.24	27.49	0.195	1.58	177.09	-62.76	0.87	25.86	27.19	2.06
SM-F	17	26.75	26.42	0.373		34.83	13.77	0.08	23.24	28.12	4.15
SM-M	17	20.13	27.66	0.298		91.22	-7.01	0.45	28.14	29.58	3.18
SM-U	17	19.46	29.69	0.297	1.48	97.54	-53.30	0.60	23.24	24.43	1.10

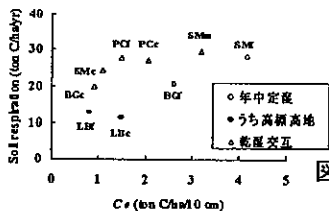


図5. 表層土壌の易分解性炭素量と年間土壌呼吸量の関係

係を持つのか検討した結果、以下の式を得た。

$$SR_{Yr} = (-17.0 + 1.33 ST_{av} + 10.7 \theta_{cv}) * C_0^{0.19}$$

$$r^2 = 0.68, n = 9$$

ただし  $SR_{Yr}$  は年間土壌呼吸量 (ton C/ha/yr),  $ST_{av}$  は年平均地温 (5 cm 深),  $\theta_{cv}$  は月別土壌体積含水率の変動係数,  $C_0$  は表層 10 cm 深土壌の易分解性有機炭素量 (ton C/ha/10 cm 深) である。なお  $\theta_{cv}$  は、

$$\theta_{cv} = 0.153 * e^{1.08 R_{Fcv}}$$

の関係式によって、月別降水量の変動係数  $R_{Fcv}$  より推定可能である。

以上のように、年間土壌呼吸量は、年平均地温および月別降水量と、分析データである表層土壌の易分解性有機炭素量より推定できる。土壌温度が高いほど、また本調査地群のように適度に湿潤であれば乾湿の差が激しいほど、年間土壌呼吸量は増加する。土壌の易分解性有機物量の寄与についてはその指数項が 0.19 と小さかったが、これは先述したような土壌有機物の回転速度が非常に速いという熱帯地域特有の事情によるものと思われる。

### 3.4 有機物動態から見た各地域の生産生態環境の特徴

3.3 で得られた年間土壌呼吸量の推定式と気象データを用いて、3.2 の広域調査の試料群における土壌有機物蓄積量と年間の土壌有機物分解量の関係をプロットしたものが図6である。なお一般には土壌呼吸量は、微生物による土壌有機物の分解に加えて植物根の呼吸を含むため、ここでは補正係数 0.6 (土壌呼吸量の 40% は植物根の呼吸に由来する [2]) を用いて計算した。高温湿潤なカリマンタン島では、焼畑耕地/休耕地の試料群に見られるように、高い土壌有機物蓄積量と高い年間分解量、そしておそらく高い一次生産量による有機物回転の速い熱帯多雨林型の生態系が構成されているものと考えられる。これを連続耕作を伴う一年生畑作地として利用し続けた場合、土壌有機物蓄積量の小さな、かつ年間分解量の比較的大きな、劣化速度の速い状況が現れる (図5, EK 移民村の例)。東カリマンタン移民村と比べて、ジャワ島農村で土壌有機物蓄積量が大きく分解量の比較的小さな試料が散見されるのは、有機物を安定に保持しやすい非晶質遊離酸化物の給源となる火山性降下物の影響が大きいためであろう。

このように東カリマンタンには、気候、土壌母材の点から、本来的に一年生畑作には不向きな状況が存在する。ジャワ島からの移民は、土壌有機物関連資源の速やかな減耗に直面せざるを得ない。農既存耕地の維持、荒廃地の再生に向けて、これまでジャワ島農民が実践してきたプラ

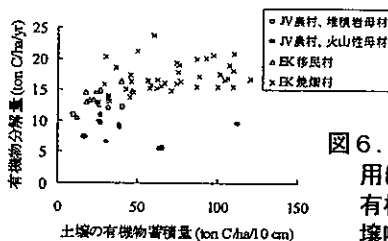


図6. 異なる地域、土地利用における表層土壌の有機物蓄積量と年間土壌呼吸量の関係

ンガンなどのアグロフォレストリーのうち、より森林生態系に近いシステムの適用が試みられるべきであろう。

### 4. 今後の課題と発展

一般に湿潤熱帯での持続的な畑作を困難にしている原因として、土壌酸性の問題、有機物関連資源の速やかな減耗に関する問題、土壌侵食に関する問題が挙げられる。本研究では、これらの課題のうち主として二番目の有機物動態に関わるものを取り上げた上で、ジャワ島に比べ移住先のカリマンタンではこの問題が深刻化しやすいことを、土壌有機物分解の実測値及び気候条件を加味した広域推定を通して論証した。侵食に関する問題についても、本研究で用いたデータロガーシステムを傾斜地で用いれば、降雨/土壌水分の増減/表面流去水の発生過程を詳細に解析することによって検討可能である。ただ実際には、傾斜地がブカランガンとして利用されている例は少なく、本研究でもテラス化されたブカランガンで調査を行うこととなった。この課題については周辺畑作地で再度検討したい。また土壌酸性の問題は、むしろ詳細な化学実験によって理論的に明らかにされる点が大いと考えられる。本研究で用いた土壌試料群について、さらに検討したい。本稿では詳細に触れる余裕がなかったが、酸性化に対する土壌コロイドの応答を反応速度論的に解析する研究を現在継続中である [3]。

### 参考文献

- [1] Raich, J.W. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, 44B, 81-99.
- [2] 吉良竜夫 1976. 「陸上生態系」, 共立出版, p. 142-148
- [3] 渡辺哲弘, 舟川晋也, 小崎隆 2002. 湿潤洗脱条件下における膨張性 2:1 型土壌粘土鉱物生成条件の検討, 日本土壌肥科学会講演要旨集第 48 集, p. 93

### 5. 発表論文リスト

- 角野貴信, 舟川晋也, 小崎隆 2002. 異なる生態環境下における易分解性土壌有機物量規定要因の解析, 日本土壌肥科学会講演要旨集第 48 集, p. 166
- Funakawa, S., Kaewkhongkha, T., and Pulunggono, H.B. 2002. Dynamics of labile organic matter under shifting cultivation in different bioclimatic conditions in humid Asia. *In* Summaries of 17<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Bangkok, Thailand, *in press*.