

## ボルネオの土壌と農業

### Soils and Agriculture in Borneo

櫻井克年 高知大学農学部 〒783-8502 南国市物部乙200

Katsutoshi SAKURAI Faculty of Agriculture, Kochi University, B-200, Monobe, Nankoku 783-8502, Japan

**ABSTRACT** Borneo is the third biggest island in the world. It is under the tropical rain forest climate and most of the land is covered with lowland dipterocarp forests, where soil properties are mainly determined by the parent materials (Tertiary sand stone and shale) and topography. The red yellow podzolic soils by the Malaysian soil taxonomy, Acrisols by the FAO-UNESCO classification, or Ultisols by the US soil taxonomy are widely distributed on the hilly land, while peat soils and alluvial soils are distributed in the lowland. Some arenaceous soils are found in between hills and lowlands, where white coarse silicious sands are accumulated (kerangas) and hold the kerangas or heath forests.

Soil nutrients in the forest soils were not always partialized on the surface soils as was often pointed out for the tropical forest soils. The rate of nutrient partition to the surface soils (5 cm / 70 cm) is almost equivalent to those found in the temperate forest soils of Japan. Land use capability is mostly determined by the slopes and subdivided by the soil acidity.

The shifting cultivation is one of the major agricultural practices in Borneo island. Compared with the oil palm plantation and pepper field, rice cultivation on the sloping land without any plowing causes less soil erosion. Thus, sustainability of shifting cultivation is more than that of oil palm and pepper cultivation. However, considering the cash crop cultivation of the local people, a well organized agroforestry system should be introduced to protect against the severe soil degradation on the sloping lands.

**Key Words:** Borneo / shifting cultivation / soil properties / soil erosion / sustainable management of sloping land

(ボルネオ / 焼畑 / 土壌の特徴 / 土壌侵食 / 傾斜地の持続的管理)

「ボルネオの自然と人間」というテーマにとって、「土壌と農業」は非常に重要な側面であることはいまさら繰り返すまでもない。熱帯諸国では「農業」はその場所に住む人々の生活そのものであり、その「農業」はその場に存在する土壌に依存して行われるからである。そういった意味で、自然環境をも反映する土壌環境は、人々の生活を律する最も大きな要因の1つであるといえよう。

ボルネオ島は原生林の伐採と焼畑農業が重要な産業である。ところが、近年では、オイルパームプランテーションが急速に拡大している。政府が生産林としてのプランテーションと保護林としての原生林を明確に区分するようになって、より一層プランテーションの拡大が進んだように見える。地域住民が営んできた焼畑農業と比較すると、オイルパームプランテーション開発が、大規模な自然破壊につながることは自明である。しかし、自然破壊そのものを批判するのではなく、自然と人間の共存の方向性を示すことのほうがより重要であろう。そのためには、農林業の基盤である土壌環境についてのより深い理解が必要である。残念ながら、現在までに得られている土壌科学的なデータはごくわずかである。外国人の手によって作成された大縮尺の土壌図が存

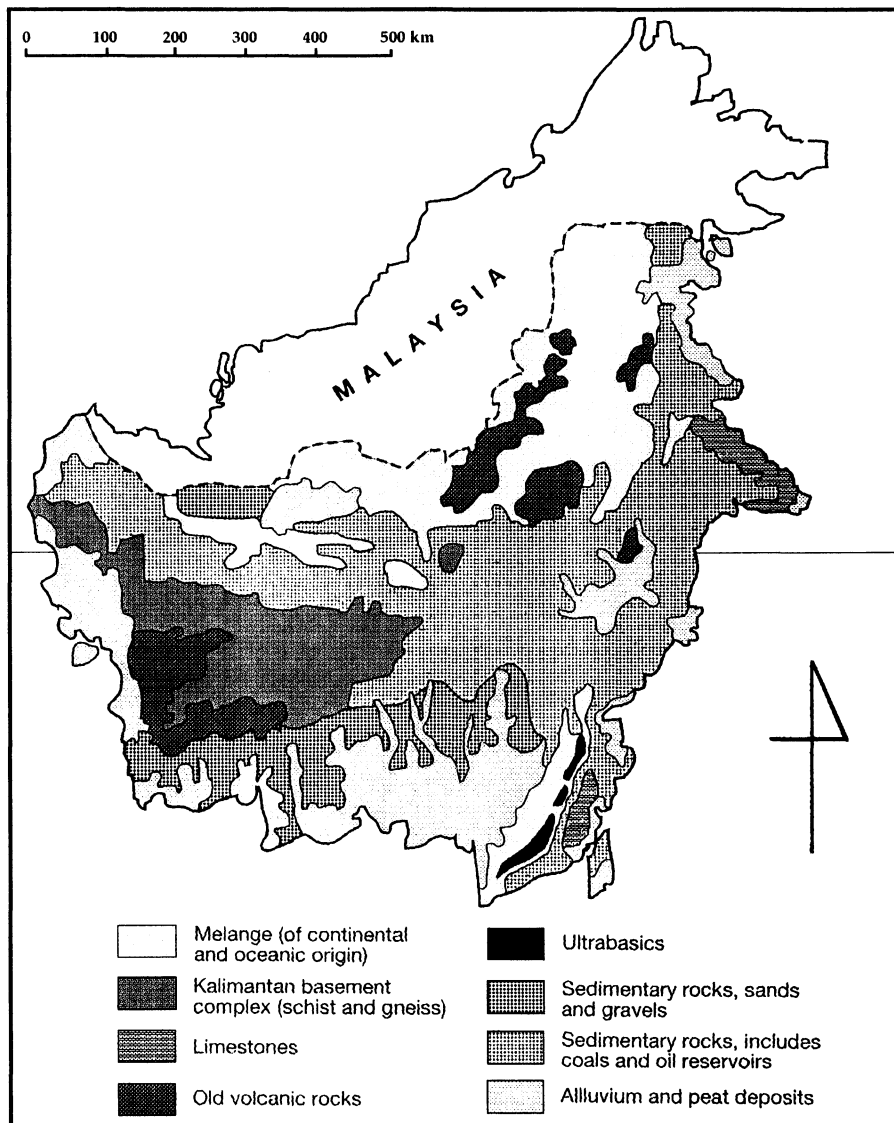


Fig. 1. Geology of Kalimantan. Source: RePPProT, 1990 (cited from MacKinnon *et al.*, 1996).

在するものの、詳細な土壌関連情報（肥沃度など）を入手することは容易ではない。

本稿では、気象、地形、地質、植生、人口、人口扶養力などの自然・社会環境を考慮に入れてボルネオの土壌環境を概説する。次に、ボルネオ島にみられる土壌の特徴を整理し、土壌環境の評価方法、土地利用可能性について述べる。丘陵地・山地における農業では、土壌侵食が最も大きな土壌問題である。古くから行われている焼畑農業と商品作物として栽培面積が増えつつあるコショウ栽培農業における土壌荒廃の比較を主に土壌侵食の観点から行い、今後の持続的土壌資源利用について考察を加える。

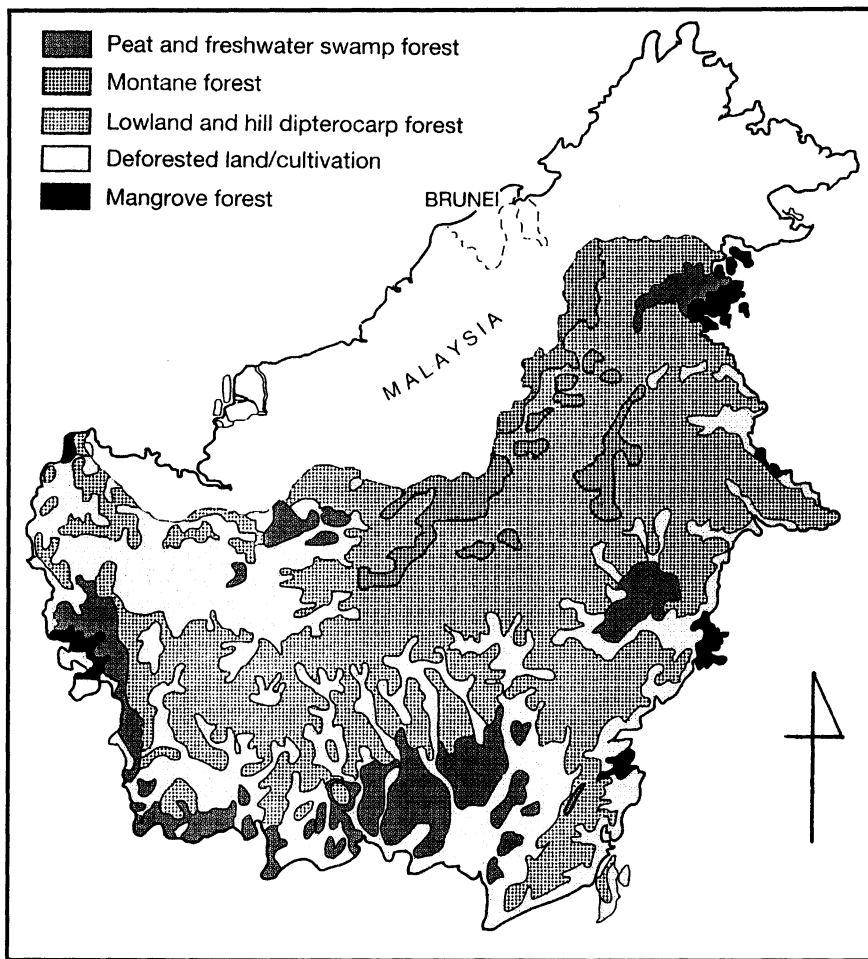


Fig. 2. Forest resources in Kalimantan. Source: RePPPOT, 1990 (cited from MacKinnon *et al.*, 1996).

## 土 壌 環 境

ボルネオ島は北緯7度から南緯4度、東経109度から119度にまたがる、世界で3番目に大きな島(746,305 km<sup>2</sup>)で、日本の約2倍の面積である。そのうち、インドネシア領は72.5%、マレーシア領は26.6%、ブルネイ領は0.8%の面積を占める。ボルネオ島の中央には赤道が走っており、ほぼ全土が熱帯雨林気候下にあるが、マレーシアとインドネシアの国境付近の一部に高山気候がある。低地の平均気温は25-35℃と年中高温である。5月から10月の降雨は南西モンスーン(dry monsoon)、11月から4月の降雨は北西モンスーン(soor)によってもたらされる。そのため、降雨ピークが1年に2度現れるが、月間降雨量が200 mm以下になる月はおくわずかであり、60 mm以下になることはまれである。年間降水量は2000-4000 mmで、北西(wet)モンスーンの影響を直接受ける西部および中央部のほうが東部より降水量が高い。西カリマンタンでは、11月と4月に降雨ピークを迎える。比較的乾燥する時期は6月から8月である。中部・

**Table 1.** The provinces and states of Borneo, and their populations in 1990.

|                    | Area<br>km <sup>2</sup> | Inhabitants<br>×10 <sup>3</sup> | Population<br>density km <sup>-2</sup> | Capital             |
|--------------------|-------------------------|---------------------------------|--|---------------------|
| West Kalimantan    | 146,760                 | 3,228                           | 22                                     | Pontianak           |
| Central Kalimantan | 152,600                 | 1,396                           | 9                                      | Palangkaraya        |
| South Kalimantan   | 37,660                  | 2,597                           | 69                                     | Banjarmasin         |
| East Kalimantan    | 202,440                 | 1,875                           | 9                                      | Samarinda           |
| Whole Kalimantan   | 539,460                 | 9,096                           | 17                                     |                     |
| Sarawak            | 124,449                 | 1,600                           | 13                                     | Kuching             |
| Sabah              | 73,700                  | 1,400                           | 19                                     | Kota Kinabalu       |
| Brunei             | 5,765                   | 300                             | 52                                     | Bandar Seri Begawan |
| Total              | 743,374                 | 12,396                          | 17                                     |                     |

Source: Buku Statistik, 1991 (cited from MacKinnon *et al.*, 1996)

**Table 2.** Comparison of some characteristics of different types of food procurement systems (numerical estimates are rough approximation).

| Characteristics                                       | Foraging               | Shifting<br>Cultivation | Intensive<br>Agriculture |
|---|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| <b>Human population</b>                               |                        |                         |                          |
| Density (km <sup>2</sup> )                            | less than 10           | 25-50                   | 200-500                  |
| Probable food limitation                              | energy                 | protein                 | protein, energy or not   |
| <b>Production system</b>                              |                        |                         |                          |
| Food production (kJ m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> ) | inapplicable           | 250-500                 | 100-5,000                |
| Energy balance (output/input)                         | less than 5:1          | 10:1 - 30:1             | 5:1 - 1:5                |
| Fossil energy subsidy                                 | none                   | negligible              | great                    |
| Nutrient cycles                                       | undisturbed            | medium-term balance     | highly disrupted         |
| <b>Effect on ecosystems</b>                           |                        |                         |                          |
| Local species diversity                               | unaffected             | maintained              | greatly reduced          |
| Successional changes                                  | unaffected or utilized | utilized                | opposed                  |
| Environmental manipulation                            | little to none         | great, temporary        | great, permanent         |

Source: Deshmukh, 1986 (cited and reformed from MacKinnon *et al.*, 1996).

南部カリマンタンでは海岸部から内陸（北）へ向かうほど降水量が高くなり、7月から9月に比較的乾燥する時期がある。東カリマンタンの海岸部およびマレーシアのサバ州はボルネオ島の他の地域より平均的に降水量が少ない。

エルニーニョ現象によって、1972-73年、1982-83年、1987年、1991年、1996年に記録的な厳しい干ばつが訪れた。なかでも、1982-83年の干ばつおよび森林火災は、東カリマンタンで3,600,000 haに被害を与えた。うちわけは、primary lowland rainforestが800,000 ha, peat swamp forestが550,000 ha, selectively felled forestが1,200,000 ha, 焼畑圃場が750,000 haである (Lennertz & Panzer, 1983)。また、1997-98年の干ばつは過去5年間の中で最も厳しく、マレーシア・サラワク州にあるランビル国立公園内のフタバガキ科の高木が多数枯死し、林床が明るくなるほどであった。筆者らの観測では、ほとんど降雨のない日が1998年1月上旬から4月中旬まで続き、土壌水分が永久しおれ点以下になる月が深さ10 cmでは2カ月、40 cmでは1カ月続いた。現在、生態系修復のための植林実験をサラワク州において行っているが、この異常乾燥に耐える樹木（幼木）についての情報も得られた。生態系に与える影響としては、異常乾

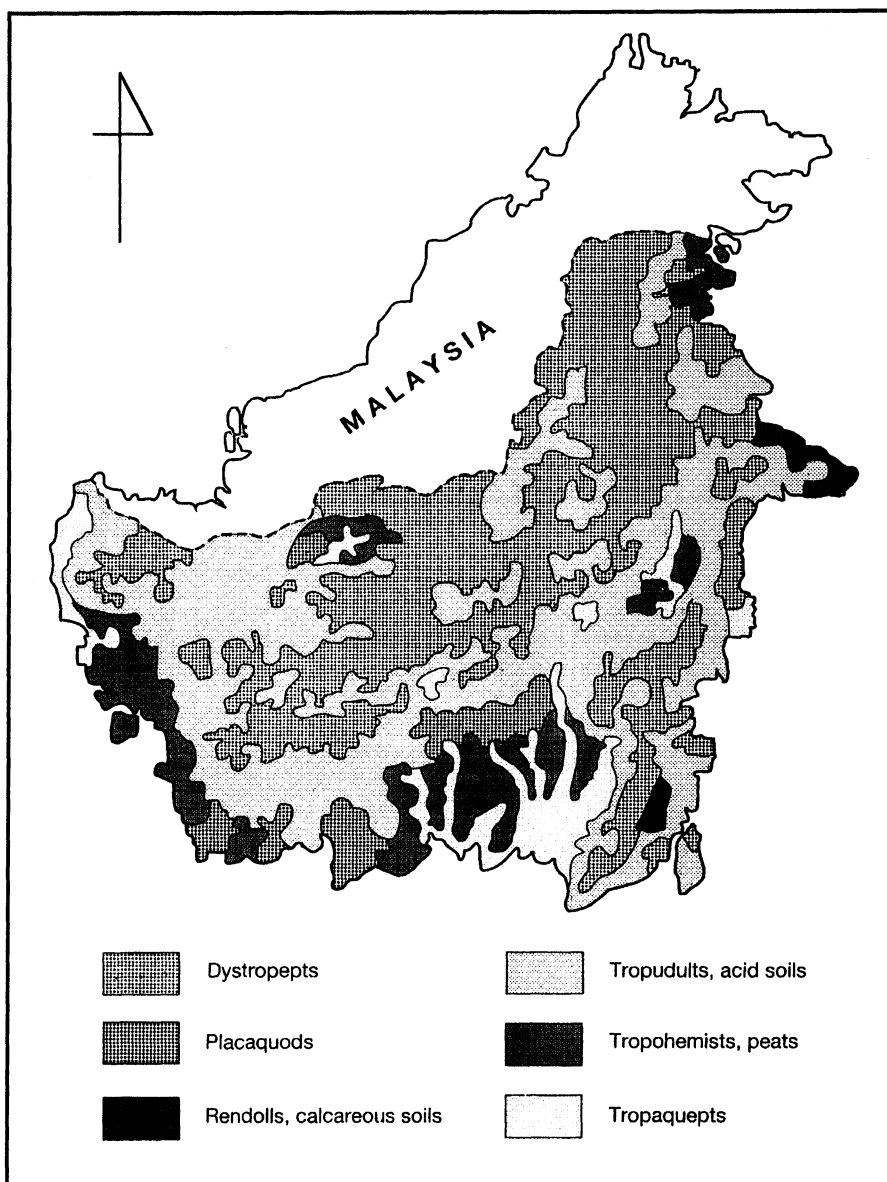


Fig. 3. Major soil types of Kalimantan. Source: RePPProT, 1990 (cited from MacKinnon *et al.*, 1996).

燥がフタバガキ科植物の一斉開花・結実を引き起こす要因となることも指摘されている (Ashton, 1988)。

土壌母材としての表層地質は、最も古いカリマンタン基盤岩類 (片岩, 片麻岩からなり, 数億から数十億年前) は西カリマンタンに, メランジェ (1億年前) は脊梁山脈部分に (部分的に火山岩が貫入), 石灰岩, 超塩基性岩 (1万年程度前) は東海岸付近, 最も広い分布を示す石炭・石油を含む堆積岩 (数千年前) は丘陵地一帯に, 砂・レキを多量に含む堆積岩 (数千年前) は低地と段丘, 丘陵地の入り組む地域に, 沖積物・ピート (数千年以降) は低地に分布する (Fig. 1)。

植生は最も広大な地域を占める丘陵・段丘は低地林、低地では湿地林とマングローブ林、高山地帯の山地林に分かれる (Fig. 2)。

Table 1 に行政区分ごとの面積、人口、人口密度、首都を示す。人口密度は、南カリマンタンが最も高く (69人/ km<sup>2</sup>)、ブルネイがそれに次いで高い。中央および東カリマンタンが最も低く (9人/ km<sup>2</sup>)、マレーシアのサラワク州がそれに次いで低い (13人/ km<sup>2</sup>)。この低い人口密度が、ボルネオ島での焼畑農業の継続を可能にしてきた。放牧、焼畑農業、集約農業の特徴についてまとめられた表を示す (Table 2)。1 km<sup>2</sup> あたりの人口扶養力は、放牧では 10 人未満、焼畑農業が 25-50 人、集約農業が 200-500 人と大きく異なる。焼畑農業についてみると、生態系への影響は少なく、自然植生の遷移もほぼそのままの形で利用されるシステムである。

## 土 壌 と 土 地 利 用

Fig. 3 はカリマンタンの土壌図である。山地・丘陵地は土壌の発達程度が弱く養分に乏しい Dystropepts か、断面形態の発達は見られるが酸性の強い Tropudults や Pareudults、有機物の多い低地には、鉄-有機物複合体の固結した薄いパンのみられる熱帯性ポドソルの Placaquods、いわゆるピートの分布域には Tropohemists、河川の氾濫源には水の影響を強く受けている未発達土壌 Tropaquepts や Troporthents 等が分布する。石灰岩の分布する一部の地域には表層に厚い腐食層をもつ Rendolls がみられる。肥沃な土壌とよべるものはほとんどなく、生産性は全般に低いと考えてよいだろう。

ボルネオ島は丘陵地の分布が最も広く、農業上も重要な位置を占めるが、丘陵地に分布する土壌の大部分は Ultisols である。太田 (1994) は、Ultisols は東南アジアの土壌の 64% を占め、低地常緑雨林の分布とほぼ重なるとしている。Ultisols は粘土含量の違いによって、細粒質土と粗粒質土に分けられる。細粒質土の特徴は、断面内の粘土含量が 50% を越えており、B 層の赤みが強く、Bt 層には粘土被膜の発達もみられるなど土壌構造も発達している。下層の通気性が悪く、物理的に貫入が難しいか Al 飽和度が高く酸性が強いため、植物根は表層に遍在する。有効態の窒素、リンは全炭素含量に規定されている。一方、粗粒質土は断面内の粘土含量が 35% を越えないものであり、湿潤環境下において内部排水の悪いものが多いため、酸化還元斑がみられるものもある。Hirai *et al.* (1997) では、マレーシア・サラワク州・ランビル国立公園内において、地形と土壌 (土性) を基にフタバガキ科の類縁種である *Dryobalanops aromatica* と *D. lanceolata* の分布が説明できることを明らかにした。また、Ishizuka *et al.* (1998) では、ランビル国立公園内の地形・土性・土壌硬度の分布から、根群の発達が制約を受ける微地形を明らかにしている。このような特徴をふまえると、土壌環境について考える際には地形と土性を最重要視するのが適当である。

Table 3 (1)-(4) にランビル国立公園内の丘陵フタバガキ林の緩傾斜尾根 (L1) と谷部 (L2) にみられる土壌の理化学性、鉍物性を示す (Ishizuka *et al.*, 1998)。尾根部ではこの断面内で明確な粘土集積層は認められなかったが、B 層が厚く、構造の発達がみられた。マレーシアの土壌分類 (Theng, 1993a) では Red yellow podzolic soils、FAO/UNESCO の土壌分類 (FAO/UNESCO, 1974) では Acrisols、アメリカ農務省の土壌分類 (Soil Survey Staff, 1992) では Ultisols になる。一方谷部の土壌は断面の形態発達が弱く、層位の乱れがある。マレーシアの土壌分類では Alluvial soils、FAO/UNESCO の分類では Fluvisols、アメリカ農務省の分類では Inceptisols になる (Table 3 (1))。L1 土壌は表層の孔隙率が 60% をこえており、尾根部の表層土壌はルートマットの発達に伴って水の動きが速いことがわかる。L2 土壌は孔隙率が 50% 以下で、谷部では

**Table 3.** Soil properties in Lambir Hills National Park, Sarawak, Malaysia.  
(Source: Ishizuka *et al.*, 1998)

**(1) Morphological properties**

| Soil <sup>*1</sup> | Horizon | Depth (cm)  | Soil color (moisture <sup>*2</sup> ) | Texture | Structure <sup>*3</sup> | Roots/stone | Boundary <sup>*4</sup> |
|--------------------|---------|-------------|--------------------------------------|---------|-------------------------|-------------|------------------------|
| L1                 | A       | 0-5         | 7.5YR3/4 (m)                         | CL      | 1vfg                    | many/no     | cs                     |
|                    | BA1     | 5-50        | 10YR5/8 (dm)                         | CL      | 2msbk                   | common/no   | gs                     |
|                    | BA2     | 50-75       | 10YR6/8 (dm)                         | LiC     | 2csbk                   | few/no      | gs                     |
|                    | BA3     | 75-100      | 10YR6/8 (dm)                         | LiC     | 2csbk                   | few/no      | gs                     |
|                    | Bw1     | 100-150     | 7.5YR6/8 (dm)                        | LiC     | 2cabk                   | common/no   | gs                     |
|                    | Bw2     | 150-200+    | 7.5YR6/8 (dm)                        | CL      | 2cabk                   | no/no       |                        |
| L2                 | A       | 0-8/10      | 10YR4/4 (dm)                         | SL      | 1msbk                   | many/no     | cw                     |
|                    | Bw      | 8/10-27/30  | 10YR5/6 (dm)                         | SCL     | 1msbk                   | common/no   | cw                     |
|                    | CB      | 27/30-45/60 | 10YR6/4<br>10YR5/4<br>7.5YR5/8 (dm)  | SL      | no                      | common/no   | gi                     |
|                    | C1      | 45/60-77/85 | 10YR6/3,7/3 (dm)                     | SL      | no                      | no/few      | gi                     |
|                    | C2      | 77/85-150+  | 10YR7/2,3,4 (dm)                     | SL      | no                      | no/few      |                        |

\*1) L1 is located on the ridge with a gentle slope, while L2 is located on the valley bottom.

\*2) m, moist; dm, dry moist.

\*3) Grade: 1, weak; 2, moderate.

Class: vf, very fine; f, fine; m, medium; c, coarse.

Type: g, granular; sbk, subangular blocky; abk, angular blocky.

\*4) cs, clear smooth; cw, clear wavy; gs, gradual smooth; gi, gradual irregular.

**(2) Physical properties.**

| Soil | Depth (cm) | Three phase distribution |       |       | Total Porosity (%) | Particle size distribution |      |      |
|------|------------|--------------------------|-------|-------|--------------------|----------------------------|------|------|
|      |            | Air                      | Water | Solid |                    | Clay                       | Silt | Sand |
| L1   | 0-10       | 50.2                     | 17.8  | 32.0  | 68.0               | 21.6                       | 15.9 | 62.4 |
|      | 10-30      | 37.3                     | 24.2  | 38.5  | 61.5               | 13.9                       | 12.7 | 73.4 |
|      | 30-50      | 20.7                     | 33.3  | 46.0  | 54.0               | 15.9                       | 12.2 | 71.9 |
|      | 80-100     | 16.4                     | 28.8  | 54.9  | 45.2               | 18.2                       | 11.0 | 70.8 |
|      | 100-120    | 11.3                     | 30.0  | 58.7  | 41.3               | 18.8                       | 12.2 | 69.0 |
| L2   | 0-10       | 30.6                     | 19.2  | 50.2  | 49.8               | 7.7                        | 5.2  | 87.1 |
|      | 10-30      | 21.9                     | 28.1  | 50.1  | 50.0               | 9.5                        | 8.1  | 82.4 |
|      | 30-50      | 18.7                     | 28.3  | 53.0  | 47.0               | 10.5                       | 6.4  | 83.1 |
|      | 60-80      | 20.0                     | 23.9  | 56.2  | 43.8               | 10.1                       | 7.1  | 82.8 |
|      | 80-100     | 21.2                     | 20.0  | 58.8  | 41.2               | 7.5                        | 5.6  | 86.8 |

粘土も少なく砂によって密な状態になっている (Table 3 (2))。尾根部では表層のみ有機物含量が高く CEC の値も 15 cmol(+) kg<sup>-1</sup> を越えているが、それ以深では低い。また、交換性塩基含量は表層から下層まで全てにおいて低い。この断面ではあまり酸性が強いとはいえないが、一般的には Red yellow podzolic soils では下層土の酸性が強く交換性Al含量が高いのが普通である。谷部は常に水の影響を受けており交換性塩基、CEC、有機物、有効態リン酸などの分析値が低い値を示している (Table 3 (3))。L1, L2 土壌ともに遊離酸化物の量も高いとはいえないが、L1 土壌では下層土の Fed の値がやや高く、鉄の活性化度 (Feo/Fed) が極めて低いことから、残積性土壌であり、現在の気候条件では風化が十分進行していることがわかる。荷電ゼロ点 (PZSE) は 4.0 前後と低いが、op の値が小さいこと、粘土鉱物のなかでは中間種鉱物である Hydroxy-

Table 3. Continued

## (3) Chemical and physical properties.

| Soil Horizon | Depth (cm)  | EC*1 (dS m <sup>-1</sup> ) | pH <sub>H2O</sub> | pH <sub>KCl</sub> | Exchangeable cations |      |      |      |      |      | CEC*2  |                          | Available |      | Total C (g kg <sup>-1</sup> ) |
|--------------|-------------|----------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|------|------|------|------|------|--|--------------------------|-----------|------|-------------------------------|
|              |             |                            |                   |                   | Ca                   | Mg   | K    | Na   | Al   | H    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> ) | N (mg kg <sup>-1</sup> ) |           |      |                               |
| L1 A         | 0-5         | 0.172                      | 4.03              | 3.03              | 0.26                 | 0.09 | 0.19 | 0.25 | 0.74 | 1.23 | 15.6   | 18.8                     | 4.19      | 115  |                               |
| BA1          | 5-50        | 0.069                      | 4.25              | 4.09              | 0.00                 | 0.14 | 0.03 | 0.07 | 0.27 | 0.47 | 5.42   | 0.58                     | 0.62      | 11.2 |                               |
| BA2          | 50-75       | 0.015                      | 4.87              | 4.17              | 0.00                 | 0.08 | 0.01 | 0.07 | 0.22 | 0.44 | 3.61   | 0.89                     | 0.33      | 5.70 |                               |
| BA3          | 75-100      | 0.013                      | 5.12              | 4.03              | 0.05                 | 0.11 | 0.03 | 0.12 | 0.31 | 0.46 | 3.61   | 0.29                     | 0.21      | 3.18 |                               |
| Bw1          | 100-150     | 0.007                      | 5.13              | 3.95              | 0.65                 | 0.05 | 0.01 | 0.04 | 0.33 | 0.50 | 4.21   | 0.32                     | 0.19      | 1.88 |                               |
| Bw2          | 150-200+    | 0.008                      | 5.16              | 3.92              | 0.01                 | 0.03 | 0.01 | 0.05 | 0.31 | 0.44 | 2.61   | 0.36                     | 0.19      | 1.56 |                               |
| L2 A         | 0-8/10      | 0.087                      | 4.50              | 3.50              | 0.06                 | 0.56 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.21 | 4.61   | 7.99                     | 1.75      | 17.3 |                               |
| Bw           | 8/10-27/30  | 0.091                      | 4.10              | 3.95              | 0.01                 | 0.19 | 0.04 | 0.05 | 0.17 | 0.28 | 3.81   | 2.43                     | 1.06      | 4.93 |                               |
| CB           | 27/30-45/60 | 0.053                      | 4.50              | 4.11              | 0.60                 | 0.11 | 0.05 | 0.43 | 0.12 | 0.20 | 3.01   | 0.88                     | 0.37      | 4.23 |                               |
| C1           | 45/60-77/85 | 0.025                      | 4.68              | 4.18              | 0.00                 | 0.06 | 0.02 | 0.05 | 0.12 | 0.18 | 2.41   | 0.81                     | 0.21      | 2.18 |                               |
| C2           | 77/85-150+  | 0.024                      | 4.76              | 4.18              | 0.01                 | 0.03 | 0.01 | 0.11 | 0.05 | 0.09 | 2.61   | 1.63                     | 0.06      | 0.58 |                               |

\*1) Electric conductivity.

\*2) Cation exchange capacity.

## (4) Charge characteristics, sesquioxide properties and clay mineral composition.

| Soil Horizon | Depth (cm)  | Sesquioxides*1 (%) |      |      |      |      |      | Alo /Ald /Fed | Feo /Ald /Fed | PZSE <sup>2</sup> | sp <sup>2</sup> | Clay mineral composition*3 |     |     |    |    |    |
|--------------|-------------|--------------------|------|------|------|------|------|---------------|---------------|-------------------|-----------------|----------------------------|-----|-----|----|----|----|
|              |             | Alo                | Sio  | Feo  | Ald  | Sid  | Fed  |               |               |                   |                 | HIV                        | It  | Kt  | Gb | Gt | Qz |
| L1 A         | 0-5         | 0.14               | 0.00 | 0.17 | 0.13 | 0.20 | 0.62 | 1.06          | 0.27          | 2.97              | 2.15            | ++                         | +++ | +   | +  | +  |    |
| BA1          | 5-50        | 0.19               | 0.01 | 0.24 | 0.20 | 0.04 | 0.89 | 0.92          | 0.27          | 4.14              | 0.68            | +++                        | ++  | +   | -  | +  |    |
| BA2          | 50-75       | 0.19               | 0.01 | 0.18 | 0.26 | 0.32 | 1.18 | 0.73          | 0.15          | 4.19              | 0.39            | +++                        | ++  | +   | +  | +  |    |
| BA3          | 75-100      | 0.11               | 0.01 | 0.07 | 0.32 | 0.03 | 1.47 | 0.33          | 0.05          | 4.06              | 0.52            | +++                        | ++  | +   | -  | +  |    |
| Bw1          | 100-150     | 0.07               | 0.01 | 0.03 | 0.29 | 0.01 | 1.45 | 0.25          | 0.02          | 4.14              | 0.32            | +++                        | -   | ++  | +  | +  |    |
| Bw2          | 150-200+    | 0.07               | 0.01 | 0.03 | 0.30 | 0.24 | 1.70 | 0.24          | 0.02          | 4.02              | 0.39            | +++                        | -   | +   | -  | +  |    |
| L2 A         | 0-8/10      | 0.02               | 0.00 | 0.08 | 0.04 | 0.08 | 0.28 | 0.36          | 0.29          | 2.87              | 2.07            | -                          | ++  | +++ | -  | ++ |    |
| Bw           | 8/10-27/30  | 0.07               | 0.00 | 0.22 | 0.03 | 0.19 | 0.20 | 2.44          | 1.08          | 3.88              | 0.23            | -                          | +   | +++ | -  | ++ |    |
| CB           | 27/30-45/60 | 0.06               | 0.00 | 0.19 | 0.03 | 0.01 | 0.16 | 2.16          | 1.19          | 4.02              | 0.27            | +                          | ++  | +++ | -  | ++ |    |
| C1           | 45/60-77/85 | 0.05               | 0.00 | 0.13 | 0.06 | 0.02 | 0.33 | 0.92          | 0.38          | 4.06              | 0.28            | +                          | ++  | +++ | -  | ++ |    |
| C2           | 77/85-150+  | 0.02               | 0.00 | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.11 | 0.55          | 0.38          | 4.00              | 0.17            | -                          | +   | +++ | +  | ++ |    |

\*1) Sesquioxides extracted with acid oxalate (pH 3.0) denoted as Alo, Sio, and Feo, while those extracted with dithionite-citrate-bicarbonate (pH 7.3) denoted as Ald, Sid, and Fed.

\*2) PZSE, Point of Zero Salt Effect; sp, remaining charge at PZSE (Sakurai et al. 1988).

\*3) -, 0-5(%); +, 5-20; ++, 20-40; +++, 40-60.

HIV, Hidroxy-interlayered vermiculite; It, Illite; Kt, Kaolinite; Gb, Gibbsite; Gt, Goethite; Qz, Quartz

interlayered vermiculite (HIV) の割合が Kaolinite より高いことから、強い負荷電を示す永久荷電画分が中和された状態であり、現在も風化が進行中で、温帯土壤に類似した特徴をもつことから、強風化土壤とは呼べない。谷部の土壤は遊離酸化物含量が低く、粘土鉱物組成も中間種鉱物の HIV の割合が少なく、ほとんどが Kaolinite と Quartz である。荷電ゼロ点 (PZSE) が 4.0 よりやや低く、sp の値が低いことから、常に新しい材料が水とともに堆積を繰り返しており、上流から土壤が運ばれる際に交換性塩基が水とともに流出し、水の影響で遊離酸化物が還元溶出してしまっているため、熱帯における強風化土壤の 1 つということができるだろう (Table 3 (4))。L2 の地点は谷筋に位置するため水が豊富で植生の発達も弱いとはいえないが、過去にこのよう



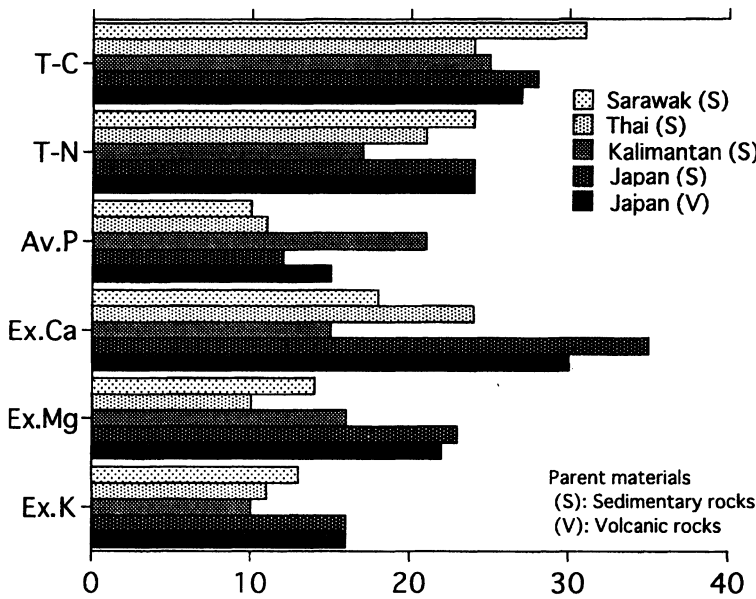


Fig. 4. Partition rate (%) of the elements in forest soils (5 cm / 70 cm).

な土壌材料が広範囲に堆積した場所では、いわゆるケランガス林しか成立しない。この場合、土壌分類名はマレーシアの土壌分類では Arenaceous soils, FAO/UNESCO の分類では Arenosols, アメリカ農務省の分類では Entisols などとなることが多い。

ボルネオの土壌を含め、熱帯林土壌のいまひとつの特徴として、土壌養分の表層への遍在が指摘されてきた。Ohta and Effendi (1992b) では東カリマンタンのフタバガキ科天然生林の Ultisols における元素の表層分布割合を、表層 30 cm 中の含量の土壌 150 cm 中の含量に対する割合として算出している。全炭素、有効態窒素、有効態リン酸については 40%以上が表層に存在するのに対し、全窒素、全リン酸、交換性 Ca, Mg, K は 30%以下であった。櫻井 (未発表) は、ランビル国立公園内の土壌では表土がごく薄いことに注目し、上述の元素表層分布割合を、表層 5 cm の土壌の 70 cm の土壌に対する割合として算出した。比較のために、インドネシア東カリマンタン (Ohta & Effendi, 1992 a, b; Ohta *et al.*, 1993), タイ (Sakurai *et al.*, 1996; Sakurai *et al.*, 1998) と、日本の亜寒帯から温帯 (Hirai *et al.*, 1991a, b, c; Miura *et al.*, 1988; 河津・櫻井, 1998) の森林土壌を解析に用いた (Fig. 4)。その結果、全炭素は 24-31%, 全窒素は 18-24%, 有効態リン酸は 11-21%とやや高いが、熱帯林土壌と温帯林土壌に差はなかった。一方、交換性 Ca, Mg, K はそれぞれ、15-24 %, 10-17%, 10-13%と表層 5 cm 中の含量が高いとはいえなかった。また、温帯林土壌より 3~4割低いレベルであった。これらの結果から、熱帯林土壌中の元素は、温帯林土壌と比べて表層に遍在しているとはいえないことが明らかである。

また、Sanchez (1989) が指摘したように、「熱帯雨林では養分 (塩基類) の大部分がバイオマス中に存在し、これを表層土壌との間で速やかに循環させることで養分の損失を抑えている」という現象が、特に窒素とリン酸にはあてはまらず、太田 (1994) は「表層土壌に蓄えられた有機物をプールとして有効態のリン酸や窒素が存在し、植生の役割が絶対的な重要性をもっている」

**Table 4.** Land suitability for agriculture in Kalimantan.

| Unit No.  | Soil characteristics                      | Cultivable Land (%) |
|---|---|---------------------|
| Low-level plains < 100 m elevation, non- to slightly dissected, slopes predominantly 0-8 %        |   |                     |
| 1   | Wet strongly acid peat                    | 40                  |
| 2   | Wet neutral peat                          | 40                  |
| 3   | Wet acid humid clays                      | 50                  |
| 4   | Wet extremely acid sandy alluvial soils   | 20                  |
| 6   | Wet acid alluvial soils                   | 95                  |
| 8   | Slightly acid wet alluvial soils          | 95                  |
| 9   | Extremely acid wet alluvial soils         | 30                  |
| 10  | Neutral alluvial soils, poorly drained    | 95                  |
| 13  | Slightly acid clays                       |                     |
| Low-level plains < 100 m elevation, slightly to moderately dissected, slopes predominantly 0-15 % |   |                     |
| 16  | Strongly acid sandy clays, poorly drained | 90                  |
| 17  | Strongly acid sandy clays                 | 90                  |
| 19  | Strongly acid sands                       | 75                  |
| 21  | Slightly acid clays                       | 90                  |
| Hills < 500 m elevation, moderately dissected with slopes > 15%                                   |   |                     |
| 36  | Strongly acid clays                       |                     |
| Hills < 500 m elevation, moderately dissected with slopes > 30 %                                  |   |                     |
| 45  | Strongly acid humic sandy clays           | 15                  |
| 46  | Strongly acid sandy clays                 | 15                  |
| 49  | Strongly acid sands                       | 15                  |
| Low and high mountains above 500 m, moderately incised, with slopes > 30 %                        |   |                     |
| 51  | Strongly acid sandy clays                 | 25                  |
| Low and high mountains above 500 m, strongly incised, with slopes > 30 %                          |   |                     |
| 55  | Strongly acid humic clays                 | 5                   |
| 57  | Slightly acid clays                       | 5                   |

Source: Soil Research Institute 1973 (cited from MacKinnon *et al.*, 1996).

と述べている。これらの議論のみから養分貯留に関する結論を引き出すわけにはいかないが、バイオマスと土壤中の養分の蓄積比率に関して、さらなる検討が必要であろう。

Table 4 に土地利用可能性分級を示した。大区分のための基準は地形と傾斜であり、化学的な性質によって細分されている。海拔 100 m 以下、やや開析を受けており、傾斜が 15% 未満の土地で、耕作可能な土地の割合が最も高い。それに対して、500 m 以下の土地でも、中程度の開析を受け、傾斜が 30% を越えると耕作可能性は激減する。この表のような土地利用可能性分級が成り立つのは、土壤の肥沃度が全般に低いため、主に地形と傾斜によって生産力が決められるためである。

## 土 壌 管 理 と 農 業

ボルネオ島の多くは低地フタバガキ林で覆われており、農業の主要な形態は焼畑である。焼畑では、陸稲（自給用・換金用）と、果樹、コショウを中心に栽培している。砂岩・頁岩などの堆積岩が土壤母材であるため、低肥沃度で酸性の強い土壤が多く、生産力は高くない。焼畑農業の作業の流れは、圃場の選択→森林伐採→2カ月間乾燥→火付け→播種→除草→収穫である。圃場の大きさと収量の関係は、土壤条件と関係する（Table 5）（Colfer, 1997）。また、湿潤な条件にあ

**Table 5.** Yield, area, soil condition, fallow period, and precipitation of some villages in Kalimantan.

| Village name | Yield<br>kg ha <sup>-1</sup> | Area<br>ha family <sup>-1</sup> | Soil condition     | Fallow<br>period | Precipitation<br>mm y <sup>-1</sup> |
|--------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------|------------------|-------------------------------------|
| Long Ampung  | 783                          | 1.02                            | Poor               | 8 - 12 y         | 4,000                               |
| Long Segar   | 1,170                        | 2.7                             | Moderately fertile | 12-15 y          | 2,500                               |
| Tanah Merah  | 1,392                        | 1.45                            | Fertile            | 10 y             | 2,000                               |

Source: cited and summarized from Colfer, 1997.

**Table 6.** Indicator plants used by the Uma<sup>1</sup> Tukung to assess agricultural potential of forested sites, Long Sungai Baran, 1983.

| 現地名  | 学名   |
|--|--|
| Indicators of moist, fertile soil                |  |
| Duan lebem                                       | <i>Musa acuminata</i>                              |
| Kayu belebu                                      | <i>Vernonia arborea</i>                            |
| Kayu kata mudung jekau                           | <i>Anadendrum havilandii</i>                       |
| Lame   | <i>Hornstedtia</i> sp.                             |
| Namam buang                                      | <i>Dicranopteris linearis</i> var. <i>linearis</i> |
| Nyanding   | <i>Etlingera elatior</i>                           |
| Siilik kamat                                     | <i>Scleria purpurascens</i>                        |
| Udu penganen                                     | <i>Selaginella kittyae</i>                         |
| Indicators of well-aerated swamp                 |  |
| Paku danum                                       | <i>Diplazium</i> sp.                               |
| Indicators of hot, dry, soil unsuitable for rice |  |
| Aka kelarak                                      | <i>Kadsura scandens</i>                            |
| Aka paya <sup>1</sup>                            | <i>Stenochlaena palustris</i>                      |
| Kayu but buan                                    | <i>Derris</i> sp.                                  |
| Kayu iyem  | <i>Symplocos fasciculata</i>                       |
| Paku sanit                                       | <i>Sphaerostephanos unitus</i>                     |
| Udu peliun                                       | <i>Hedyotis herbacea</i>                           |
| Plants too difficult to eradicate if abundant    |  |
| Namam lan  | <i>Gleichenia truncata</i>                         |
| Paku buk   | <i>Pteridium aquilinum</i>                         |

Source: Mackie, 1986 cited from Colfer (1997).

るため、人力による除草の可能な範囲でしか耕作できない。焼畑農業を行う上で、最も大切なのは圃場の選択である。圃場の選択は土壌が肥沃であるかどうかをもとに行われ、Table 6 に示すように指標となる植物が現地の人に確実に認識されている (Colfer, 1997)。また、土壌の種類によって、耕作放棄後焼畑農地として再生するまでの年月が異なるという調査結果 (Table 7) もある (井上, 1995)。

サラワク州における焼畑農業に関する 10 年間 (1978/79-1987/88) の統計資料を基にした推計 (Theng, 1993b) によると、従事者数は 50,000 世帯、農業人口のうち 38.5%にあたる。1 年間に陸稲が耕作される面積は 101,174 ha であることから休閑期間はおおよそ 25-30 年と推定されている。また、休閑期間を 10-20 年としたときの推計から、作付け面積は 75,000-150,000 ha y<sup>-1</sup>、焼畑使用歴のある面積は 2,674,544 ha、国土面積の 22%とされている。米の年平均収量は 707 - 784 kg ha<sup>-1</sup> の範囲で、10 年間の平均は 738 kg ha<sup>-1</sup> である。土壌肥沃度等から計算した潜在収量は 1,000 kg ha<sup>-1</sup> である。生産した米の 70%が自家消費用である。

Table 7. Recovery of vegetation of abandoned shifting cultivation field at a village in East Kalimantan.

| Secondary vegetation            | Black soils | Fertile Red Soils | Dry Yellow soils |
|---------------------------------|-------------|-------------------|------------------|
| Vegetation after abandoned bush | 2 y         | 3 y               | 4 y              |
| Secondary forests               | 4 y         | 6 y               | 12 y             |
| Bigger secondary forests        | 8 y         | 18y               | 30 y             |
| pseudo-original forest          | 18 y        | 33 y              | 50 y             |

Source: Inoue, 1995.

土壤荒廃の原因は主に土壤侵食にある。表土の侵食は蓄積された有機物の損失（化学的・物理的劣化）につながる。また、土壤構造が順次破壊されてゆくと、土壤根圏での排水性の劣化につながる。土壤侵食量のサラワクでの測定例 (Frederick, 1987) を示すと、斜面にそのまま定植する伝統的コショウ圃場では  $94.4 \text{ ton ha}^{-1}$ 、テラス式のコショウ圃場では  $2.16 \text{ ha}^{-1}$ 、陸稲栽培圃場では  $0.96 \text{ ha}^{-1}$ 、一時林、二次林はそれぞれ、 $0.24, 0.10 \text{ ha}^{-1}$  である。裸地では  $24.88 \text{ ha}^{-1}$  であることから、伝統的コショウ圃場の土壤侵食量がいかに高いかは一目瞭然である。伝統的コショウ圃場の侵食量が異常に高いのは、頻繁に除草を行うため、土壤がむき出しの状態になることが多いためである。コショウの作付け期間はおよそ 15 年であることから、15 年間にわたって土壤侵食が続くことになる。また、近年盛んに造成が進んでいるアブラヤシの場合、植物が大きくなるまでの 3～5 年間の間は、年 2 回の除草剤による除草のため土壤侵食がおこる。データはないが、伝統的コショウ圃場と同程度の侵食量であろう。その後は侵食量が減少するが、15～20 年後のアブラヤシ圃場再造成時に、再び侵食が起こることになる。

焼畑による陸稲栽培では、無耕起で作付けを行うので土壤侵食は無視できる程度である。収量が低いので人口扶養力も低いが、現在のボルネオ島に居住する人口を養うことは可能である。これを常畑として利用するために耕起した場合には、土壤侵食が急速に進み、表土の流出によって土壤肥沃度は一気に低下する。十分な施肥や石灰投与による酸性矯正が必要となると放棄される。こうして不毛化した土地はチガヤ草地になり、頻繁に火が入るため二次林の再生は難しい。一方、“焼畑は悪である” という前提のもとに定められた土地法が足かせとなり、新たに森を拓くことが不可能になりつつある。また、現金収入の確保も時代の要請である。土壤の大規模な改良や集約的な農業の推進は現実的とはいえない。したがって、一度拓いた農地を継続的に使用することが望ましい。それには周到な計画に裏付けられた土壤管理方法（現状ではアグロフォレストリーしかない）と筆者は考えている）の策定が不可欠である。

アグロフォレストリーの導入は政策的に推奨されているが、現状では、伝統的な焼畑に変わる営農形態にはなれそうにない。その理由としていくつか考えられる。第 1 に、アグロフォレストリーの実施には農業局と森林局の密接な連携が必要である。しかし、いずれの国でも同じことで、それぞれが独立性を保っていて、なかなか連携できない。第 2 に、普及にあたる人員の確保および普及員への教育が欠かせない。これには年月を要する。第 3 に、農民が自ら参加したくなるような魅力のあるシステムを構築する必要がある。持続的なアグロフォレストリーを営むために、土壤保全を中心に考えるあまり、面倒なだけで経済的に魅力のないシステムになりやすいからである。第 4 に、土壤保全というのは現状を保ちつつ営農を続けるという側面が強いが、さらに 1 歩進んで、環境（生態系）の修復という側面に注目するべきである。土壤・植生・社会・経済のバランスを十分考慮に入れた環境（生態系）修復型アグロフォレストリー技術の確立が必要である。

## 引用文献

- Ashton, P. S., Givnish, T. J., & Appanah, S. 1988. Staggered flowering in the dipterocarpaceae: new insights into floral induction and the evolution of mast fruiting in the aseasonal tropics. *Am. Nat.* **132** (1): 44-66.
- Colfer, C. J. P. 1997. 2. The Uma' jalan system: from an agricultural perspective., 3. The Uma' jalan system: from a forestry perspective. *In* Beyond slash and burn: building on indigenous management of Borneo's tropical rain forests, pp. 45-48, 117. The New York Botanical Garden, Bronx, NY, USA.
- FAO-UNESCO. 1974. *Soil Map of the World*. Vol. 1. Legend. UNESCO, Paris. 59 pp.
- Frederick, H. T. 1987. A review on soil conservation and results of soil conservation in Sarawak. Department of Agriculture, Sarawak. (Cited from Theng, C. S. 1993.)
- Hirai, H., Sakurai, K., & Kyuma, K. 1991a. Characteristics of brown forest soils developed under beech forest in the Kinki and the Tohoku districts with special reference to their pedogenetic processes. *Soil Sci. Plant Nutr.* **37** (3): 497-507.
- , Yoshikawa, K., Sakurai, K., & Kyuma, K. 1991b. Characteristics of brown forest soils developed under broadleaved evergreen forest in Okinawa prefecture and the Kinki district with special reference to their pedogenetic processes. *Soil Sci. Plant Nutr.* **37** (3): 509-519.
- , Yoshikawa, K., Funakawa, S., & Kyuma, K. 1991c. Characteristics of brown forest soils developed under different bio-climatic conditions in the Kinki district with special reference to their pedogenetic processes. *Soil Sci. Plant Nutr.* **37** (4): 639-649.
- , Matsumura, H., Hirotsu, H., Sakurai, K., Ogino, K., & Lee, H. S. 1997. Soils and the distribution of *dryobalanops aromatica* and *D. lanceolata* in mixed dipterocarp forest. - A case study at Lambir Hills National Park, Sarawak, Malaysia. *Tropics* **7** (1/2): 21-33.
- 井上真, 1995. 焼畑と熱帯林—カリマンタンの伝統的焼畑システムの変容 (第三節 焼畑農業とその変容), p. 77. 弘文堂, 東京.
- Ishizuka, S., Tanaka, S., Sakurai, K., Hirai, H., Hirotsu, H., Ogino, K., Lee, H. S., & Kendawang, J. J. 1998. Characterization and distribution of soils at Lambir Hills National Park in Sarawak, Malaysia, with special reference to soil hardness and soil texture. *Tropics* **8** (1/2): 31-44.
- 河津日和佐・櫻井克年, 1998. 理化学性, 鉱物性および荷電ゼロ点からみた高知県下の農耕地土壌の特性. *日本土壌肥料学会誌* **69** (5): 488-497.
- Lennertz, R. & Panzer, K. F. 1983. Preliminary assessment of the drought and forest fire damage in Kalimantan Timur. Transmigration areas development project (TAD), German Agency for International Cooperation (GTZ). (Cited from MacKinnon *et al.*, 1996).
- MacKinnon, K., Hatta, G., Halim, H., & Mangalick, A. 1996. *The Ecology of Indonesia Series*, vol. **III**. *The Ecology of Kalimantan*, pp. 24, 26, 36, 63, 374, 397, 533. Periplus Editions, Hong Kong.
- Miura, K., Araki, S., & Kyuma, K. 1988. Genesis of soils derived from various types of parent rock in southwestern Japan. I. Morphological and general characteristics. *Soil Sci. Plant Nutr.* **34** (1): 17-29.
- Ohta, S. & Effendi, S. 1992a. Ultisols of "lowland dipterocarp forest" in east Kalimantan, Indonesia. I.

- Morphology and physical properties. *Soil Sci. Plant Nutr.* **38** (2): 197-206.
- & ——, 1992b. Ultisols of "lowland dipterocarp forest" in east Kalimantan, Indonesia. II. Status of carbon, nitrogen, and phosphorous. *Soil Sci. Plant Nutr.* **38** (2): 207-216.
- , ——, Tanaka, N., & Miura, S. 1993. Ultisols of "lowland dipterocarp forest" in east Kalimantan, Indonesia. III. Clay minerals, free oxides and exchangeable cations. *Soil Sci. Plant Nutr.* **39** (1): 1-12.
- 太田誠一, 1994. 東南アジア熱帯雨林の土壌 —そのより良き理解を目指して—. *森林立地* **36** (1): 1-12.
- Sakurai, K., Kozasa, S., Yuasa, T., Puriyakorn, B., Preechanya, P., Tanpibal, V., Muangnil, K., & Prachaiyo, B. 1996. Changes in soil properties after land degradation associated with various human activities in Thailand. *Soil Sci. Plant Nutr.* **42** (1): 81-92.
- , Tanaka, S., Ishizuka, S., & Kanzaki, M. 1998. Differences in soil properties of dry evergreen and dry deciduous forests in the Sakaerat Environmental Research Station. *Tropics* **8** (1/2): 61-80.
- Sanchez, P. A. 1989. Soils. In: H. Leith & M. J. A. Werger (eds.), *Tropical Rain Forest Ecosystems*. pp. 84-85. Elsevier, Amsterdam.
- Soil Survey Staff. 1992. Keys to Soil Taxonomy, 5th edition. SMSS technical monograph No. 19. Blacksburg, Virginia: Pocahontas Press, Inc. 556 pp.
- Theng, C. S. 1993a. *Keys to Soil Classification in Sarawak*. Technical Paper 10, Soils Division, Department of Agriculture, Sarawak, 47 pp.
- , 1993b. *Shifting Cultivation of Hill Padi - A Traditional Method of Utilizing and Managing Natural Soil Fertility for Rice Production in Sarawak*. Technical Paper 9, Soils division, Department of Agriculture, Sarawak. 20p.

## 櫻井克年 ボルネオの土壌と農業

ボルネオ島は世界で3番目に大きな島である。ボルネオ島は熱帯雨林機構下にあり、その大部分は低地フタバガキ林で覆われている。土壌の性質は主に母材（第3紀の砂岩・頁岩）と地形で決まっている。丘陵地の土壌はその大部分がマレーシアの土壌分類では赤黄色ポドソル性土である（FAO/UNESCOの分類では Acrisols, アメリカ農務省の分類では Ultisols に相当）。一方、低地には泥炭土壌や沖積土壌が分布する。丘陵地と低地の境界には、石英に富む粗砂を主体としたケランガス（ヒース林しか成立しない）が分布する。熱帯土壌の特徴としてしばしば取り上げられる、表層での養分の遍在は、ボルネオ島の森林土壌には必ずしも当てはまらない。地表から5 cm までと70 cm までに存在する交換性陽イオンの比は、温帯である日本の森林土壌の比と変わらない。土地利用可能性指標は、主に傾斜によって分級され、土壌酸性の強さによって細分化されている。焼畑は、ボルネオ島の伝統的な農業形態である。油ヤシ園やコショウ畑と比較すると、傾斜地において無耕起で行う陸稲栽培は、土壌侵食が小さく、持続的な農法といえる。しかし、地域住民にとっては換金作物の栽培も重要な側面であることから、土壌侵食対策を十分に考慮に入れたアグロフォレストリーシステムの構築が不可欠であろう。