

マレーシア・サラワク州における 生態系修復の試み

—土壌特性から見た人為攪乱の影響—

服部大輔*1・田中憲蔵*2・入野(岡村)和朗*3・二宮生夫*4・櫻井克年*5

1. はじめに

東南アジアの熱帯雨林は、依然として、違法伐採、過度の焼畑、アブラヤシのプランテーションへの転換など様々な人為的要因のため劣化・消失している (Curran *et al.* 2004)。このような攪乱は、地域環境の劣化を招くばかりでなく、地球規模の問題を引き起こしている。土壌は、熱帯雨林における生態系の中で種の多様性や植生タイプの決定に重要な役割を果たしていると考えられる。例えば、Davies *et al.* (1998) はサラワク州ランビル国立公園での研究において、土壌粒径組成の勾配が樹木の棲み分けに大きな影響を与えていると報告している。では、熱帯雨林地域で起きている人為的な植生の改変や破壊は、土壌の性質にどのような影響を与えるのであろうか。熱帯雨林下における土壌特性と人為的な攪乱の影響に関する知見は、劣化した熱帯雨林への植林など、生態系の修復にとって必要不可欠であるが、未だ限られている (櫻井 1998, 太田 2002)。筆者らは、劣化した熱帯林の修復技術開発を目的に、マレーシア・サラワク州のバカム保護区に続き、2000年より同ニア保護区において生態系修復を目指した試験造林を行っている (櫻井ら, 2005)。ここでは、ニア保護区の土壌特性と人為攪乱が土壌特性に与える影響について解説する。

2. ニア保護区の概要

1999年11月のサラワク州森林局との協議によりバカムに引き続き、別の植

Daisuke Hattori, Tanaka Kenzo, Kazuo Okamura Irino, Ikuo Ninomiya, Katsutoshi Sakurai: Rehabilitation of the Tropical Rain Forest in Sarawak, Malaysia with Special Reference to Evaluation of Degradation from View Point of Soil Properties

*1 愛媛大学大学院連合農学研究科, *2 愛媛大学農学部 (現 森林総合研究所), *3 高知大学農学部 (現 高知県産業振興センター), *4 愛媛大学農学部, *5 高知大学農学部

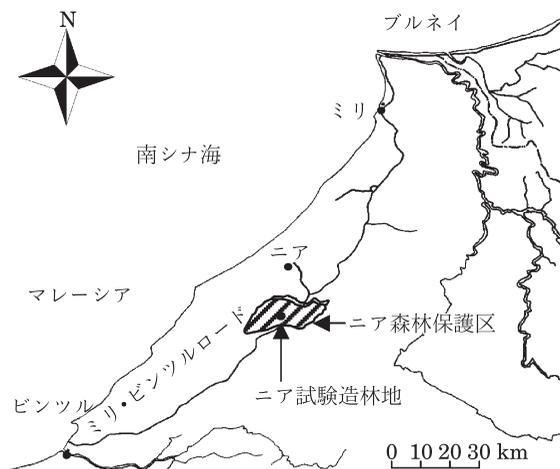


図1 マレーシア・サラワク州におけるニア森林保護区位置図

林に着手することが決定された。その実施のために、ニア保護区内の約70haの土地が植林地として選定された。2000年3月には、現地の住民も交え植林のセレモニーが盛大に行われ、ロゴの入ったシャツや帽子などが配布された。植林地に選ばれたニア保護区内の森は、サラワク州と日本の友好の意を込めてJapan-Sarawak Friendship Forestと命名された。

ニア保護区はサラワク州のミリ市より南西約100km(3°39'N, 113°42'E)に位置する(図1)。ニア保護区は熱帯雨林気候に属し、気温は20~35℃、年間降水量は2,000~4,000mmである。雨期、乾期といった明瞭な区分はないが、11~1月までは、降雨が多く、月間の降水量は300mmを越えることもある。また、3月と6~8月は、降雨が少ない(KTA Agriculture Consultancy 1993)。

ニア保護区の本来の植生は混交フタバガキ林であるが、現在は様々な人為改変を受け、草地、二次林、残存林などに劣化していることが多い(図2)。草地は焼畑放棄後1~2年が経過しており、草本やシダ、先駆種の稚樹が生い茂っている。二次林は10~15年ほど前に焼畑が行われていた場所であり、トウダイグサ科のオオバギ属(*Macaranga*)が優占している(写真1)。オオバギの成長は極めて速く、東南アジアの熱帯地方では典型的な先駆樹種の一つとして知られている(Whitmore 1998)。保護区では特に*M. gigantea*と*M. hosei*の2種が優占しており、樹高18~22mの群落を形成している。他にもイチジク属、カンコノキ属、パンコノキ属などが存在する。残存林は、1970年代に一次林であるフ

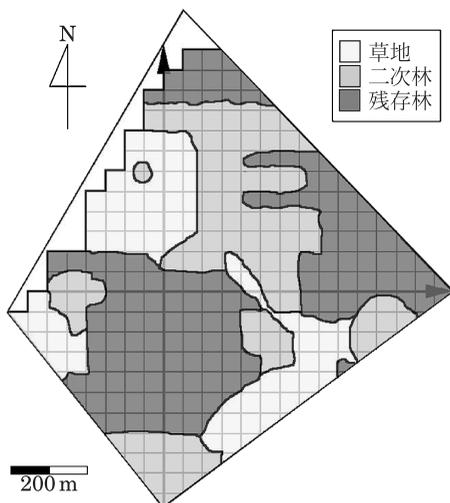


図 2 ニア試験造林地における植生の分布



写真 1 ニア森林保護区の様子

タバガキ林から、木材価値のある樹木のみが商業目的のため伐採された森林である。残存林では *Dipterocarpus* 属、*Dryobalanops* 属、*Shorea* 属などのフタバガキ科樹木が多数見られる。

サラワク州の土壤は、地質学的には新生代第三紀新第三紀の中新世及び中新世～鮮新世の堆積物よりなっており、北から西に続くボルネオ地向斜によって特徴付けられている。ボルネオ地向斜は、連続した分厚い頁岩から構成されており、砂岩や石灰岩などを随伴する。ニア付近の母材は、やや柔らかい頁岩や泥岩から構成される (Baillie 1972)。

3. ニア保護区の全体的な土壌特性

はじめにニア保護区の基本的な土壌特性を述べ、そのあと3植生間での違いを解説する。土壌特性は、土壌断面記載と採取土壌の一般理化学性、鉍物性などといった項目を調べた (Hattori *et al.* 2005

a)。土壌断面形態の特徴としては、まず落葉落枝などからなるリター層が、1～3cm 程度であり、有機物の極端な堆積は見られなかった。根はルートマットと呼べるほどには発達していなかったが、基本的に表層で多く見られた。表層0～10cmの土色はやや黒みがかかった黄色で、有機物の影響を強く受けていた。深さ20cm付近から、土色はやや赤みがかかった黄色となり、深くなるにつれて赤みが増加する傾向にあった。このことより、土壌が深くなるにつれ、FeやAlの酸化物が増加していることが推察された。深さ80cm付近から強風化の

頁岩質の礫が多く認められた。

土壌粒径組成は、粘土、シルト、砂の割合が表層付近ではほぼ同じであり、適度なバランスが保たれていることが分かった（表1）。しかし、下層になるほど粘土含量が増加し、砂含量は減少した。このような粒径組成の垂直的な勾配は、長い歳月をかけて様々な要因によって形成されたものと考えられる。その最も大きな要因の一つとして考えられるのが「選択的侵食」である（Soil Survey Staff 1999）。雨滴や連続的な土壌侵食は小さな土壌粒子を大きな粒子よりも下層へと移動させる。結局は、土壌の細粒質画分は表層から消し去られ、粗粒質の表層土壌があとに残される。この過程の進行速度は多くの因子に依存しており、より激しい降雨のある気候下や植被の乏しい土壌ほど速いと考えられる。下層に向かって粘土含量が増加するにともない、CEC（陽イオン交換容量）も増加した（表1）。これは粘土の占める割合が増えることにより、土壌全体で保持できる陽イオンの量が増えたことを示している。

次に粘土鉱物の組成について述べる。ニアでは、熱帯地域に典型的に見られる1:1型のカオリン鉱物が優占していた（表1）。カオリン鉱物は脱ケイ酸化がすすみ、風化の最終段階に至った粘土鉱物の一つである。比表面積（物質1gあたりの表面積）が増えると一般的に物質の活性（可塑性、凝集性、膨潤性、吸着力など）が増加すると言われている。カオリン鉱物はこの比表面積が小さく、代表的な低活性粘土として知られている。一方、ニアの土壌には2:1型の

表1 ニア試験造林地における土壌特性

深さ (cm)	CEC (cmolc kg ⁻¹)	粘土 シルト 砂			粘土鉱物*							
		(%)			Ch	HIV	It	Kt	Lp	Gb	Gt	Qz
0-5	13.3	31	35	34	+	+	+	++	-	+	-	+
5-10	12.1	33	35	32	+	+	+	++	-	+	-	+
10-15	13.1	34	34	32	+	+	+	++	-	+	-	+
20-25	13.3	38	34	28	+	+	+	++	-	+	-	+
40-45	18.4	48	31	21	+	+	+	++	-	+	-	+
60-65	19.0	54	31	15	+	+	+	++	-	+	-	+
80-85	19.7	53	25	22	+	+	+	++	-	+	-	+
100-105	20.6	52	32	16	+	+	+	++	-	+	-	+

*Ch., クロライト; HIV., 中間種粘土鉱物; It., イライト; Kt., カオリン鉱物; Lp., レピドクロサイト; Gb., ギブサイト; Gt., ゲータイト; Qz., クオーツ。 -, 0-5%; +, 5-20%; ++, 20-40%。

イライトなども存在していた。この粘土鉱物は、風化の初期段階から観察され、比表面積が大きく粘土の活性が高いことが知られている。つまり、ニアの土壤は熱帯で見られる風化土壤であるものの、強風化土壤には至っていないものと推察された。以上のことから、ニア保護区の土壤は、比較的養分保持能が高く、表層では水はけも適度に良好であるため植林に適した特性を持つものと考えられた。

4. 人為的な植生の改変による土壤特性の変化

熱帯では、一度植生が破壊されると表層土壤は激しい降雨により侵食を受け、急激に劣化すると言われているが本当に全ての熱帯地域に当てはまるのであろうか。この問いに答えるため、ニア保護区で、熱帯雨林が人為的な影響を受け劣化して形成された、草地、二次林、残存林の3植生間で表層土壤の一般理化学性と土壤硬度を比較した (Hattori *et al.* 2005 b)。

草地では交換性塩基と pH が高く、交換性 Al が低い傾向にあった (表 2)。つまり、草地は植生バイオマスが貧弱で、見た目に劣化しているように思われるが、土壤に含まれる養分量は高いことが分かった。これは、焼畑によって森林が燃やされた後、添加された灰から供給される塩基類が、焼畑後 1~2 年経過しても降雨などによって流出せず土壤中に残留していることを示している。Ohta *et al.* (2000) も、カリマンタンの森林消失後のチガヤ草原では比較的土壤の養分量が高いことを報告しており、降雨量の多い熱帯雨林地域といえども、土壤養分がすぐに流出し貧栄養化するわけではないと考えられる。しかし、草原では根の伸張などに影響を与える表層の土壤硬度は高い傾向にあった。土壤が硬くなったのは、草原では被陰がほとんど無く、強い日射や土壤温度が高いため土壤が乾燥しやすく硬化したためと考えられた。一方、二次林における交

表 2 植生間での土壤理化学性及び土壤硬度の比較

	草地	二次林	残存林	N
pH	5.53	5.07	5.03	7
交換性塩基含量 (cmol _c kg ⁻¹)	7.35	3.55	6.25	7
交換性 Al (cmol _c kg ⁻¹)	0.59	1.83	1.62	7
CEC (cmol _c kg ⁻¹)	16.44	15.25	17.37	7
土壤硬度*	3.5	2.5	2.3	56

*0-10 cm の貫入計の打ち込み回数を示す

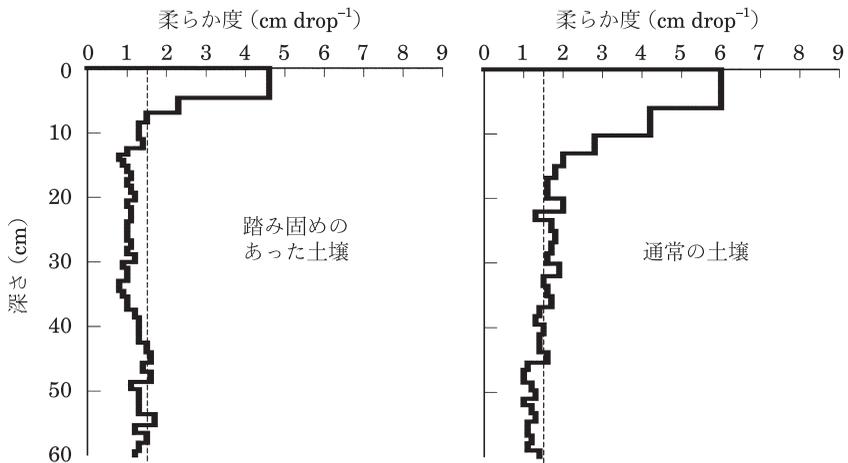


図3 森林内における柔らか度の比較

注)「柔らか度」の値が高いほど土壤が柔らかいことを示す。また、点線より値が低いと根の伸張に何らかの阻害を起こす。

交換性塩基含量及び pH は 3 植生中で最も低く、交換性 Al は高い傾向を示した。つまり、二次林の土壤は 3 植生の中で最も貧栄養であることが分かった。これは、成長が非常に早いオオバギなどに代表される先駆樹が、土壤中の塩基類などの養分を急速に吸収した結果、土壤が貧栄養化・酸性化したものと考えられた。残存林では、交換性塩基や pH は中間的な値を示した。二次林と残存林では、土壤の硬度が草地よりやや柔らかい傾向にあった。しかしながら、過去の択伐作業でつくられた伐出道や土場跡の土壤硬度は極めて高く、一部では根の伸張が不可能なほど土壤硬度が高い地点も見られた(図3)。このことは、択伐作業が行われた後 20 年以上が経過しても、土壤物理性への影響が残っていることを示している。

以上のことから、土壤養分の観点からは、草地のような荒廃植生下でも必ずしも貧栄養ではないということが分かった。この原因として、ニア保護区の土壤は粘土含量が比較的高く、活性の高い粘土鉱物が存在し、土壤に交換性塩基などの養分がしっかり保持されていたことが考えられた。さらに傾斜が緩やかなため過度の土壤侵食が起こることなく、養分を保持している土壤粒子の短期的な流出が防がれたものと考えられた。

5. 終わりに

人為攪乱後の土壌の状態は、必ずしも見た目の植生の荒廃具合とは一致しなかった。この結果は、土壌環境の劣化が、人為攪乱の種類・程度だけでなく、粘土含量、鉍物性、傾斜などの土壌特性や劣化後に再生した植生タイプなどにも深く関与していることを示している。負電荷を帯びた粘土はその表面に陽イオンなどの塩基性養分を保持することができるため、その含量は肥沃度の一つの指標になる。熱帯でよく観察される土壌粒径組成に垂直的な勾配のある土壌では、粘土含量に着目することにより他の土壌性質についてもより理解しやすくなるものと考えられる。また、重機によって踏み固められた土壌の硬度は20年以上経過しても他の地点より高く、土壌物理性の劣化が長期に渡り継続することを示している。高い土壌硬度は、植栽苗の根がポット土壌から伸張する際の阻害要因になる可能性があるため注意する必要があると考えられる。荒廃した熱帯雨林生態系の修復をより効果的に行うには、元々の植生や土壌の特性、攪乱の規模や種類、残存植生と土壌の相互関係などを把握することが必要であると考える。

〔引用文献〕 Baillie, I.C. (1972) Report on a detailed examination of soils of silvicultural research plot 53, Niah F.R. Rept. F6, Soil Survey Research Section, Forest Department Sarawak, Kuching. Curran, L.M. *et al.* (2004) Lowland forest loss in protected areas of Indonesian Borneo. *Science*, 303, 1000-1003. Davies, S.J. *et al.* (1998) Comparative ecology of 11 sympatric species of *Macaranga* in Borneo: tree distribution in relation to horizontal and vertical resource heterogeneity. *Journal of Ecology*, 86, 662-673. Hattori, D. *et al.* (2005 a) Soil characteristics under three vegetation types associated with shifting cultivation in a mixed dipterocarp forest in Sarawak, Malaysia. *Soil Science & Plant Nutrition*, 51 (2), 231-241. Hattori, D. *et al.* (2005 b) Experimental Planting of Dipterocarp Seedlings for Restoration of the Degraded Mixed Dipterocarp Forest in Sarawak, Malaysia with Special Reference to Effects of Soil Properties and Light Condition on Survival of Seedling. (Submitted) KTA Agriculture Consultancy (1993) Semi-detailed Soil Survey of Niah Agroforestry Area. p. 1-10, KTA Agriculture Consultancy Sdn. Bhd., Kuching. Ohta, S. *et al.* (2000) Are soils in degraded dipterocarp forest ecosystems deteriorated? A comparison of *Imperata* grasslands, degraded secondary forests, and primary forests. *In* Rainforest Ecosystems of East Kalimantan: El Niño, Drought, Fire and Human Impacts, p. 49-58, Springer-Verlag, Tokyo. 太田誠一 (2002) 東南アジア湿潤熱帯林の土壌—その特性と森林荒廃に伴う変化—. *熱帯林業*, 53, 2-11. 櫻井克年 (1998) マレーシア・サラワク州・バカムにおける生態系修復を目指した試験造林, *地球環境*, 3, 45-53. 櫻井克年・二宮生夫・原田 光 (2005) マレーシ

ア・サラワク州における生態系修復の試み. 熱帯林業, 62, 20-28. Soil Survey Staff (1999) Soil taxonomy : a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA-NRCS Agric. Handbook., vol. 436, U.S. Govt. Print. Office, Washington, DC. Whitmore, T.C. (1998) Pioneer and climax tree species. *In* An Introduction to Tropical Rain Forests, p. 113-120, Oxford University Press, New York.

熱帯林業関係テキスト

国際緑化推進センター刊行

- 1: 熱帯の造林技術 浅川澄彦著 1999年改訂 117 p.
- 2: 実践的アグロフォレストリ・システム 内村悦三著 2000年改訂 116 p.
- 3: 熱帯地域における育苗の実務 山手廣太著 1994年補訂 130 p.
- 4: 熱帯の土壌—その保全と再生を目的として— 八木久義著 1994 160 p.
- 5: 熱帯の非木材産物 渡辺弘之著 1994 109 p.
- 6: 熱帯の森林病害 小林亨夫著 1994 166 p.
- 7: 熱帯の森林害虫 野淵輝著 1995 263 p.
- 8: 熱帯樹種の造林特性 1~3巻 森徳典ほか編 1996/97 255~300 p.
- 9: マングローブ植林のための基礎知識 馬場繁幸・北村昌三著 1999 139 p.
- 10: 社会林業—理論と実践— 野田直人著 2001 126 p.
- 11: みんなに知ってほしい 地球環境と森林 浅川澄彦・森徳典著 2002 29 p.
- 12: **Handbook for Reafforestation in the Tropics.** by Sumihiko Asakawa (テキスト1の英語版) 1998. 119 p.
- 13: **Diagnostic Manual for Tree Diseases in the Tropics.** by Takao Kobayashi 2001. 178 p. Color photographs of symptoms : 426 plates
- 14: 地球温暖化問題と国際緑化活動 CD版(邦文/英文) 国際緑化推進センター編