

半島マレーシア丘陵フタバガキ林の土壤炭素蓄積量について

佐藤 保 (森林総研)・森貞和仁 (森林総研九州)・新山 馨 (森林総研)・

Abd Rahman bin Kassim (マレーシア森林研究所)・Azizi Ripin (Green Forest Resources)

要旨 : 森林生態系内の炭素プール中で土壤中に蓄えられている炭素の割合は少なくない。本論文では、半島マレーシアを代表する熱帯雨林のひとつである丘陵フタバガキ林において、複数の土壤試料から土壤炭素量を求めた結果を報告する。調査はセランゴール州のセマンコック保護区内の丘陵フタバガキ林にて実施した。土壤断面は尾根から沢部を含む5つとし、各断面の層位ごとに土壤容積密度 (bulk density) を求め、土壤炭素量を算出した。100cm までの平均炭素蓄積量は約 110 Mg-C ha⁻¹であったが、30cm までに約 60 Mg-C ha⁻¹の炭素量が集中していた。土壤炭素量は尾根部で高く、沢部に向かって低くなる傾向を示していた。

キーワード : 熱帯降雨林, 土壤炭素量, 微地形

Abstract : Soil carbon stock is indispensable carbon pool in forest ecosystem. In this study, we measured soil carbon stocks from different topographic positions in unlogged hill dipterocarp forest, the Semangkok Forest Reserve, Peninsular Malaysia. We estimated carbon stock using data of soil bulk densities for five established soil pits in the Reserve. Average soil carbon stock was about 110 Mg-C ha⁻¹ in the 1-m depth and accumulated around 60% of their stock in the top 30 cm layer. Soil carbon stocks differed throughout the topographic positions in the plot. The ridge position had a higher soil carbon stock than that in other slope positions.

Keywords : Tropical rain forest, Soil carbon stock, micro topography

I はじめに

土壤中の炭素は森林生態系の炭素プールの重要な構成要素である (1)。REDD として知られる森林減少・劣化からの排出削減の取組では、森林炭素蓄積量を正確に把握することが求められている。土壤による炭素蓄積量は地上部現存量同様に地形により異なることから、より多くの情報を集めることによって土壤を含めた炭素蓄積量の推定精度の向上が期待できる。

丘陵フタバガキ林は、マレー半島の代表的な森林タイプの一つであるが (2), 炭素蓄積量に関しては地上部現存量の研究事例が中心であり (2, 5), 土壤炭素蓄積量を扱った事例は多くない (2)。森林総合研究所では、マレー半島内の丘陵フタバガキ林に 6 ha の大面積試験地を設定し、森林動態に関する長期モニタリング調査を実施している (3)。本論文では、丘陵フタバガキ林の異なる微地形間で土壤炭素蓄積量を比較した結果を報告する。

II 方法

1. 調査地の概要 調査は、半島マレーシアのセランゴール州のセマンコック森林保護区内の丘陵フタバガキ林にて行った (北緯 3° 40′, 東経 101° 40′)。本調査林

分は半島部森林局 (FDPM) が設定した Virgin Jungle Reserve (28ha) の一部であり、その周囲は 1980 年に択伐された二次林となっている (3)。

セマンコックには気象観測施設が無いため、近接のクラクバルの気象データから気温通減率 (0.6°C・100m⁻¹) を用いて求めた調査林分の気温年平均値は日最低気温で 21.9°C, 日最高気温で 33.0°C である。また、平均年降水量は 2,414mm となっている。調査林分は幅の狭い尾根を中央にそれを挟む東西の急斜面から構成されている。調査林分一帯の土壤は、花崗岩質岩を母材とする Acrisol (FAO-UNESCO の分類基準) が分布している (6)。

1992 年に調査林分内の標高 400~510 m の範囲に 6 ha (200m×300m) の試験地をマレーシア森林研究所 (FRIM) と共同で設置した。1993 年より試験地内に生育している胸高直径 (DBH) 5 cm 以上の全木本個体 (つるを除く) の樹種名を記録し、DBH を測定する毎木調査を定期的に行っている。初回の毎木調査の結果、DBH 5 cm 以上の樹木種は 455 種が確認され、胸高断面積合計 (BA) は 42.9m²ha⁻¹であった (3)。また、試験地内に最も優占する種はフタバガキ科の *Shorea curtisii* であり、BA の 29% を占めていた (3)。

Tamotsu Sato (For. and Forest Prod. Res. Inst., 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687), Kazuhito Morisada (Kyushu Res. Ctr., For. and Forest Prod. Res. Inst.), Kaoru Niiyama (For. and Forest Prod. Res. Inst.), Abd Rahman bin Kassim (Forest Research Institute Malaysia, Malaysia), Azizi Ripin (Green Forest Resources, Malaysia) Soil carbon stock in a hill dipterocarp forest at Semangkok Forest Reserve, Peninsular Malaysia

2. 土壌調査の履歴 試験地内の土壌の物理性(堅密度)および化学性(pH, 全炭素濃度, 全窒素濃度, 塩基置換容量など)を把握するために, 1992~1995年にかけて土壌調査が実施されている。試験地内を20m間隔で表層(3cm厚)の土壌試料採取と貫入試験を実施するとともに, 尾根から沢にかけて5つの土壌断面を掘り(図-1), 層位ごとに分析試料の採取が行われている。これらの試料をもとに解析した結果はTange *et al.* (6)で報告されている。

3. 土壌炭素蓄積量の測定 試験地の土壌炭素に関して上述のTange *et al.* (6)による報告では, 炭素含有率が示されているが, 土壌容積密度(bulk density)が未計測であった。したがって, これらのデータから土壌炭素蓄積量の算出は未着手であった。

土壌容積密度を測定するために, 2011年1月にTange *et al.* (6)が調査した土壌断面の場所を特定し, 前回の記録に沿った層位ごとに土壌試料を採取した。試料の採取には200ccの採土円筒を用い, マレーシア森林研究所の実験室にて重量測定を行い, 土壌容積密度を求めた。各土壌断面の層位毎に土壌容積密度と, それらに対応するTange *et al.* (6)による炭素含有率を乗じることにより, 土壌断面ごとの土壌炭素蓄積量を算出した。

III 結果と考察

1. 土壌容積密度 Tange *et al.* (6)が調査した試験地内の5つの土壌断面では, 層位ごとに土性や構造などの記録がなされている(表-1)。尾根の断面1と谷底面の断面5では, 断面観察の記録が深さ1m未満であったが, それ以外の3つの断面では深さ1m以上まで層位が区分されている。

層位ごとに求めた土壌容積密度は, 深さにより変化していたが, その変化傾向は土壌断面により異なっていた(図-2)。断面1(尾根)と断面2(斜面中部)では表層付近の土壌容積密度が低く, 深さを増すごとに土壌容積密度も高くなる変化傾向を示した。一方で同じ斜面中部に位置する断面3では, 深い土層ほど土壌容積密度が低くなる傾向にあった。断面観察から得られた土壌構造からは, 粒状や角塊状構造を取る層位(主に表層部)で土壌容積密度が低い傾向にあった。なお, 各層位の土壌炭素濃度と土壌容積密度の間には, 明瞭な関係は認められなかった(図-2)。

2. 土壌炭素蓄積量 上述の土壌容積密度と土壌炭素濃度を用いて, 層位ごとに土壌炭素蓄積量を算出し, 土壌断面ごとに深さ30cmまでと深さ1mまでの二通りの集計を行った。その結果, 深さ30cmの土壌炭素蓄積量は, 尾根

(断面1)で最も高い値を示し, 斜面中部を経て谷底面に向かうに従って低下する傾向にあった(図-3)。5つの断面の平均は68.69 Mg-C ha⁻¹であった。深さ1mまでの層位で計算すると, 斜面中部の断面2で最も大きな値を示した。断面1と断面5では試料の採取が1m未満であるため, 地形による変化傾向が1mの方では不明瞭となっている。1mと30cmの土壌炭素蓄積量を比較すると, 深さ1mまでで求められる土壌炭素蓄積量の約60%が表層30cmに集中していた。

断面3(斜面中部)および断面5(谷底面)の土壌炭素蓄積量は, 相対的に低い数値を示しているが, これは主に各層位の土壌容積密度が低いことに起因すると考えられる。断面5のある谷底面は土壌の移動などがある不安定な立地と考えられるが, 一方で断面3のある斜面中部でどのような理由で土壌容積密度が低い値で推移しているかの理由については不明であり, 今後の検討課題である。

3. 他のフタバガキ林との比較 試験地内の5つの土壌断面から求めた深さ1mまでの土壌炭素蓄積量は, 最大182.74 Mg-C ha⁻¹, 最小57.35 Mg-C ha⁻¹(ただし60cmまでの計算値)であり, 平均は115.45 Mg-C ha⁻¹となっていた。この値を既往のフタバガキ林の土壌炭素蓄積量に関する研究事例と比較すると, これらの値の範囲の中で最も高い数値に分類された(表-2)。低地フタバガキ林(4, 8, 9)と丘陵フタバガキ林(2)を比較すると, 丘陵フタバガキ林の方が高い値を示す傾向にあった(表-2)。試験地の地上部現存量と地下部現存量の総和は400 Mg ha⁻¹を越す高い値を示しており(佐藤 未発表), 土壌への細根などによる有機物の供給量も相対的に大きく, 結果的に土壌炭素蓄積量も大きくなったと考えられた。今後は有機物の分解速度などを把握し, 土壌への炭素の流れを解析する必要がある。

IV おわりに

今回, 異なる微地形間で土壌炭素蓄積量を比較した結果, 尾根部で最も高い値を示し, 斜面に沿って土壌炭素蓄積量も低下していた。また, 試験地を含む丘陵フタバガキ林の土壌炭素蓄積量は, 低地フタバガキ林に比べて大きい値を示したが, この傾向が一般的なものであるか検証する必要がある。

本研究は環境省地球環境保全試験研究費(地球一括計上)の研究費支援を受けて実施したものである。

引用文献

(1) DIXON, RK. SOLOMON, AM, BROWN, S, HOUGHTON,

RA, TREXLER, MC, WISNIEWSKI, J (1994) Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* :**263**, pp.185-190

(2) NGO, KM, TURNER, BL, MULLER-LANDAU, HC, DAVIES, SJ, LARJAVAARA, M, HASSAN, NFBN, LUMD, S (2013) Carbon stocks in primary and secondary tropical forests in Singapore. *Forest Ecology and Management* :**296**, pp.81-89

(3) NIIYAMA, K, RAHMAN, KA, IIDA, S, KIMURA, K, AZIZI, R, APPANAH, S (1999) Spatial patterns of common tree species relating to topography, canopy gaps and understory vegetation in a hill dipterocarp forest at Semangkok Forest Reserve, Peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Forest Science*: **11**, pp.731-745

(4) SANER, P, LOH, YY, ONG, RC, HECTO, A (2012) Carbon stocks and fluxes in tropical lowland dipterocarp rainforests in Sabah, Malaysian Borneo. *PLoS one*: **7**, e29642

(5) SOEPADMO, E (1987) Structure, aboveground biomass and floristic composition at Gunung Janin Barat, Ulu Endau,

Johore, Malaysia. *Malayan Nature Journal*: **41**, pp.275-290

(6) TANGE, T, YAGI, H, SASAKI, S, NIIYAMA, K, KASSIM, AR (1998) Relationship between topography and soil properties in a hill Dipterocarp forest dominated by *Shorea curtisii* at Semangkok Forest Reserve, Peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Forest Science* :**10**, pp.398-409

(7) WHITMORE, TC (1984) *Tropical Rain Forest of the Far East* (2nd edition). Oxford University Press, Oxford, 352pp

(8) YODA, K, KIRA, T (1982). Accumulation of organic matter, carbon, nitrogen and other nutrient elements in the soils of a lowland rainforest at Pasoh, Peninsular Malaysia. *Japanese Journal of Ecology*: **32**, pp.275-291

(9) YONEKURA, Y, OHTA, S, KIYONO, Y, AKSA, D, MORISADA, K, TANAKA, N, KANZAKI, M (2010) Changes in soil carbon stock after deforestation and subsequent establishment of “*Imperata*” grassland in the Asian humid tropics. *Plant and Soil*: **329**, pp.495-507

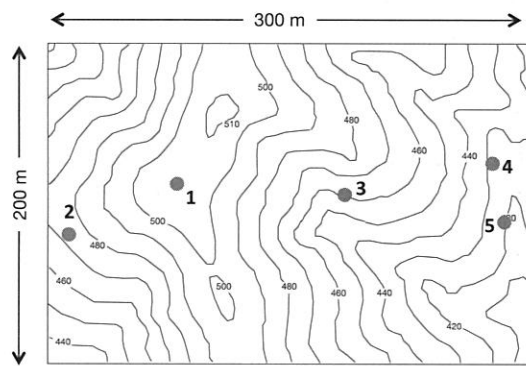


図-1 . 土壌断面の位置図
Fig. 1 Location map of soil pits in the plot

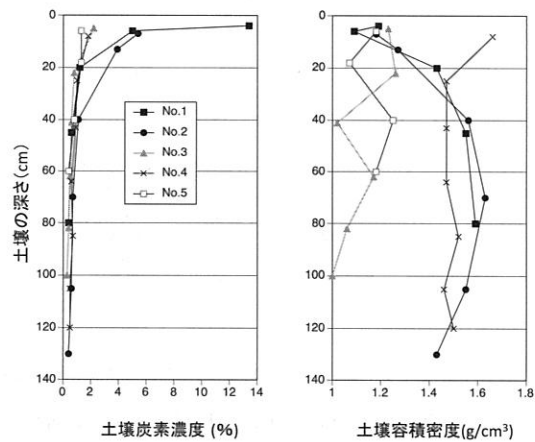


図-2 . 土壌断面ごとの炭素含有率 (左) と土壌容積密度 (右) の変化

炭素含有率のデータは Tange *et al.* (6)より引用
Fig. 2 Changes in total carbon contents (left) and soil bulk densities (right) along soil profile

Data of total carbon contents are from Tange *et al.* (6)

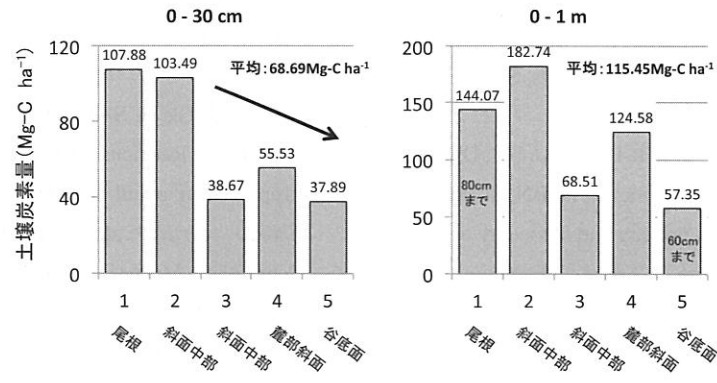


図-3. 試験地の土壤炭素蓄積量
Fig. 3 Soil carbon stocks in the plot

表-1. 土壤断面の形態に関する記載。すべてのデータはTange *et al.* (6)より引用

Table 1 Morphological properties of soils. Data are from Tange *et al.* (6)

土壤断面番号	層位	深さ (cm)	土色	土性	構造	土壤硬度 (MPa)
1 尾根	0	3 ~ 0				
	A1	0 ~ 4	7.5YR3/4	砂質埴土	(粒状)	0.04
	A2	4 ~ 6	10YR3/4	砂質埴土	角塊状	0.18
	B1	6 ~ 20	10YR7/5	砂質埴土	角塊状	0.39
	B2	20 ~ 45	10YR7/6	砂質埴土	壁状	1.69
B3	45 ~ 80+	10YR6/6	砂質埴土	壁状	1.85	
2 斜面中部	0	3 ~ 0				
	A1	0 ~ 7	7.5YR4/3	砂質埴土	(粒状)	0.02
	A2	7 ~ 13	7.5YR5/4	砂質埴土	亜角塊状	0.18
	B1	13 ~ 40	10YR7/6	砂質埴土	(亜角塊状)	0.3
	B2	40 ~ 70	10YR6/6	砂質埴土	壁状	1.15
B3	70 ~ 105	10YR6/6	砂質埴土	壁状	1.69	
B4	105 ~ 130+	7.5YR6/6	砂質埴土	壁状	1.87	
3 斜面中部	0	2 ~ 0				
	A	0 ~ 5	10YR5/3	砂質埴土	(亜角塊状)	0.31
	B1	5 ~ 22	10YR6/4	砂質埴土	(亜角塊状)	0.59
	B2	22 ~ 41	10YR6/6	砂質埴土	壁状	0.74
	B3	41 ~ 62	7.5YR6/6	砂質埴土	壁状	0.83
B4	62 ~ 82	7.5YR6/6	砂質埴土	壁状	0.83	
B5	82 ~ 100+	7.5YR6/7	砂質埴土	壁状	1.72	
4 麓部斜面	0	5 ~ 0				
	A	0 ~ 8	10YR4/4	砂質埴土	(亜角塊状)	0.12
	B1	8 ~ 25	10YR5/4	砂質埴土	(亜角塊状)	0.15
	B2	25 ~ 43	10YR6/4	砂質埴土	(亜角塊状)	0.22
	B3	43 ~ 64	10YR6/4	砂質埴土	壁状	0.36
	B4	64 ~ 85	10YR6/4	砂質埴土	壁状	0.33
B5	85 ~ 105	10YR6/4	砂質埴土	壁状	0.43	
B6	105 ~ 120+	10YR6/4	砂質埴土	壁状	0.42	
5 谷底面	0	5 ~ 0				
	A	0 ~ 6	7.5YR4.5/3	砂質埴土	壁状	0.35
	ABg	6 ~ 18	7.5YR5/3	砂質埴土	壁状	0.57
	Bg	18 ~ 40	7.5YR6/4	砂質埴土	壁状	0.61
	BC	40 ~ 60	10YR6/4	砂質埴土	壁状	0.56
R	60 ~ 80+	10YR8/3				

表-2. 東南アジアのフタバガキ林の土壤炭素蓄積量の比較

Table 2 Comparison of soil carbon stocks in dipterocarp forests in South East Asia

森林タイプ	場所	森林の状態	土壤炭素蓄積量 (Mg-C ha ⁻¹)	深さ (m)	文献
低地林	Malua Forest Reserve, Sabah, Malaysia	Primary forest	39.6	1m	Sanaer <i>et al.</i> (4)
	Pasoh, Negri Sembilan, Malaysia	Primary forest	68.8	0.8m	Yoda and Kira (8)
	Bukit Soeharto, East Kalimantan, Indonesia	Primary forest	55.0	1m	Yonekura <i>et al.</i> (9)
丘陵林	Bukit Timah, Singapore	Primary forest	77.5	1m	Ngo <i>et al.</i> (2)
	Semangkok, Selangor, Malaysia	Primary forest	115.5	1m	This study