

マレーシア丘陵フタバガキ林の林冠ギャップの動態について

佐藤 保 (森林総研)・新山 馨・八木橋勉 (森林総研東北)・野口麻穂子 (森林総研四国)・飯田滋生 (森林総研北海道)・木村勝彦 (福島大学)・Abd Rahman bin Kassim・Azizi Ripin (マレーシア森林研究所)

要旨：マレーシア・セランゴール州セマンコックの丘陵フタバガキ林に設定した長期大面積試験地 (6 ha) において、林冠ギャップの変動を2つの時期 (1994年と2011年) の測定結果により比較検討を行った。全方形区中 (n=2,400)、ギャップと判定された方形区の割合は1994年で15.6%、17年後の2011年では14.2%となり、若干減少していた。ほぼ同時期 (1993年~2011年) の試験地の立木の枯死率は1.75%年⁻¹であり、幹本数も減少傾向にあった。DBHサイズ別の動態をみると小径木の変動が大きい一方で、林冠層を構成する大径木では大きな変動は認められなかった。林冠ギャップの水平分布からは個々のギャップ面積の尾根沿いでの縮小と沢沿いでの拡大が見られた。

キーワード：熱帯林、林冠動態、ギャップ

Abstracts : In 1994 and 2011 we took a canopy gap censuses in a 6-ha plot of hill dipterocarp forest on Semangkok Forest Reserve, Peninsular Malaysia. The plot is gridded into 2,400 5 x 5 m subplots. A canopy gap was defined as subplot where canopy height was lower than 10 m. The observed percentages of the subplots in "gap" class were 15.6% in 1994 and 14.2% in 2011. The overall tree mortality rate between 1993 and 2011 was 1.75% yr⁻¹, and showed no clear variations among DBH class. Because no severe disturbance occurred within the plot, the most subplots showed no change canopy condition (gap or closed canopy) over the inter-census interval. Spatial pattern of canopy gaps were changed in 2011: some gaps around ridge crest decreased their areas, while some lower slope and hollow head parts showed expansion of canopy gap areas.

Keywords : Tropical forest, Gap dynamics, Canopy gaps

I はじめに

樹木の枯死や倒木により形成される林冠ギャップは、森林の更新に大きな影響を与えており(2, 8), 森林動態研究を考える上で無視できない構成要素である。

半島マレーシアの主要な森林タイプの一つである丘陵フタバガキ林は、高い材蓄積があること(8)から択伐が実施されており、択伐後の更新に関する研究も実施されている(9)。択伐後の更新や保全を考える上でも林冠ギャップ

の特性 (分布や大きさ) を把握することは重要である。

森林総合研究所はマレーシア森林研究所と共同で丘陵フタバガキ林の森林動態研究のために長期大面積試験地を設定し、継続調査を実施している(5)。今回、丘陵フタバガキ林内の長期大面積試験地にて林冠ギャップを異なる2つの時点において計測する機会を得た。ここでは林冠ギャップの分布状況やその変化の特徴を報告する。

Tamotsu SATO (For. and Forest Prod. Res. Inst., 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687), Koaru NIYAMA, Tsutomu YAGIHASHI (Tohoku Res. Ctr., For. and Forest Prod. Res. Inst., 92-25 Nabeyashiki, Shimo-Kuriyagawa, Morioka, Iwate 020-0123), Mahoko NOGUCHI (Shikoku Res. Ctr., For. and Forest Prod. Res. Inst., 2-915 Asakuranishimachi, Kochi, 780-8077), Shigeo IIDA (Hokkaido Res. Ctr., For. and Forest Prod. Res. Inst., Hitsujigaoka-7, Toyohira, Sapporo, Hokkaido 062-8516), Katsuhiko KIMURA (Fukushima Univ., 1 Kanayagawa, Fukushima 960-1296), Abd Rahman bin KASSIM, Azizi RIPIN (Forest Research Institute Malaysia, 52109 Kepong, Selangor Darul Ehsan, Malaysia) Canopy Gap dynamics in a hill dipterocarp forest at Semangkok Forest Reserve, Peninsular Malaysia

II 方法

1. 試験地の概要 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 $3^{\circ} 40'$, 東経 $101^{\circ} 40'$)。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年代に択伐された二次林となっている(5)。

セマンコックには気象観測施設が無いため、近接のクアラクブバルの気象データから気温逓減率($0.6^{\circ}\text{C} \cdot 100\text{m}^{-1}$)を用いて求めた調査林分の年平均気温は最低 21.9°C 、最高 33.0°C である。また、年平均降水量は $2,414\text{mm}$ となっている。調査林分は幅の狭い尾根を中央にそれ挟む東西の斜面から構成されている。調査林分一帯の土壌は、花崗岩質の火山岩を母材とする Acrisol (FAO-UNESCO の分類基準)が分布している(7)。

1992年に調査林分内の標高 $400\sim 510\text{m}$ の範囲に 6ha ($200\text{m} \times 300\text{m}$)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) 5cm 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 5cm 以上の樹木種は455種が確認され、胸高断面積合計(BA)は $42.9\text{m}^2\text{ha}^{-1}$ であった(5)。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(5)。

2. 林分構造の変化 試験地における期間内の枯死率(M , %年 $^{-1}$)は、以下の式(1)を用いて計算した。

$$M = \ln [N_0 / (N_t - N_d)] / t \times 100$$

ここで、 N_0 は初回の幹本数、 N_t は測定期間 t 年の間に枯死した幹本数をそれぞれ示す。計算には1993年と2011年の毎木調査のデータを使用した。また、林冠層を構成している個体の枯死率を見るためにDBHのサイズを基準に5つのクラス分け($5\sim 15\text{cm}$, $15\sim 30\text{cm}$, $30\sim 50\text{cm}$, $50\sim 100\text{cm}$, 100cm 以上)を行い、それぞれのクラスで枯死率を計算した。

3. 林冠ギャップの測定 試験地内を2400個の $5\text{m} \times 5\text{m}$ の方形区に細分し、各方形区で閉鎖林冠か林冠ギャップで

あるかの判定を行った。各方形区の中央で林分高が 10m に達していない場合、その方形区はギャップ下にあると判定した。本試験地の樹高 $30\sim 40\text{m}$ の高木層を形成しているが、稚幼樹の分布や生残過程の解析のために 10m を林冠ギャップの基準とした。これらの判定調査は、1994年1~2月と2011年8~9月の2回行った。なお、初回の1994年の測定結果の一部はNiiyama *et al.* (5)にて発表されている。

III 結果と考察

1. 林分構造の変化 期間中(1993年~2011年)の試験地の立木の枯死率は 1.75% 年 $^{-1}$ であり、全体の幹本数も減少していた(表-1)。DBHサイズ別の動態をみると枯死率に大きな差は認められなかった。また、幹本数の変化を比較すると小径木の減少が大きい一方で、林冠層を構成する大径木(DBH 50cm 以上の個体)では大きな変動は認められなかった。唯一、 $30\sim 50\text{cm}$ のクラスの幹本数だけが増加していた。

これまでに台風やハリケーンなどの強風攪乱のため樹木個体群の枯死率が増加することが知られており、攪乱後の枯死率が壊滅的(catastrophic)と見なされるレベルは5%とされている(4)。今回の枯死率は2%未満の比較的低い値となっている。試験地周辺では温帯域の台風に類する攪乱要因は見当たらず、スコールや落雷が主たる攪乱要因と想定される。測定対象とした期間中は大きな攪乱を受けることがなかったため、枯死率も高い値を示さなかったと考えられる。

2. 林冠ギャップと判定された方形区数 全方形区中($n=2,400$)、ギャップと判定された方形区の割合は1994年で15.6%、17年後の2011年では14.2%となり、若干減少しているものの大きな変化は見られなかった(表-2)。75.9%の方形区が両年共に閉鎖林冠と判定され、最も大きな割合を示した。林冠ギャップから閉鎖と変化した方形区の割合は約10%であり、逆の変化(閉鎖から林冠ギャップ)を示した方形区の割合を若干上回った(表-3)。

本調査と同様に林分高 10m を基準に取っているパナマの熱帯林の場合、林冠ギャップの割合は9.6%であった(2)。また、同じ半島マレーシアにある低地フタバガキ林(パン)では4.5%から16%の値を取っていた(6)。林冠ギャップの研究は測定手法が多様であることから比較は一概に出来ないが(3)、今回の値は上述の事例よりやや大きめの値

であった。

3. 林冠ギャップの水平分布 図-1はそれぞれの測定時の林冠ギャップの水平分布を示したものである。1994年時点で尾根付近に分布していた林冠ギャップが2011年時点では縮小する一方で(図-1b中のA, B およびC点), 谷頭や斜面下部で林冠ギャップが拡大(図-1b中のD およびE点)するなどの水平分布の変化が見られた。Numata *et al.* (6) は低地フタバガキ林で林冠ギャップの水平分布の年々変動を測定しており, 大径木の多い成熟林では林冠ギャップができる機会が多いことと, 小規模の林冠ギャップは数年の内に閉鎖することが多いことを指摘している。すなわち水平分布の変動は林冠層を構成する個体の枯死が影響していると考えられる。そこで林冠層を構成すると想定される個体(DBH50cm以上)の中で期間中に枯死した個体位置と1994年以降に拡大した林冠ギャップの位置関係を見た(図-2)。その結果, 1994年時点で存在していた林冠ギャップの縁に枯死木が存在し, そこから林冠ギャップが拡大したと想定される位置関係が少なからず見られた。その一方で閉鎖した林冠下にも枯死木が多数存在しており, これは小規模なギャップであれば数年内に回復してしまうことや本測定法では把握できない小規模なギャップである可能性がある。

4. 林冠ギャップの個数とその面積 林冠ギャップと判定された方形区で連結しているものは一つのギャップとみなし, その面積を計算した。1方形区が25m²となるので4方形区であればそのギャップ面積は100m²とした。1994年には61個のギャップが存在し, 平均面積は154m²(範囲は25~2,650m²)であった。2011年にはギャップの個数は72個に増加したが, 平均面積は118m²(範囲は25~2,550m²)に減少していた(表-4)。このような変化傾向は, 尾根周辺の大規模なギャップの面積が縮小した一方で, 単木的な枯死による小面積のギャップ形成によるものと考えられた。

IV おわりに

今回, 17年後の林冠ギャップの分布状況を比較した結果, 個々のギャップの広がりや若干の変化は見られたものの, 全体に占めるギャップの割合に大きな変化は見られなかった。これは期間中に大きな攪乱が発生しなかったことが

大きな要因と考えられる。一方で小面積の林冠ギャップは閉鎖速度が早いと, 測定間隔が長いと把握できない可能性が高い。したがって, より正確な動態を把握するために今後は短い間隔(たとえば3~5年間隔)で林冠ギャップの調査をする必要がある。

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。現地調査では五十嵐哲也, 宮本和樹, 八木貴信, 田中憲蔵, 大谷達也の各氏にご協力をいただいた。以上の方に心よりお礼を申し上げます。

V 引用文献

- (1) HALL, P., ASHTON, P.S., CONDIT, R., MANOKARAN, N. and HUBBELL, S.P. (1998) Signal and noise sampling tropical forest structure and dynamics. *In* Forest Biodiversity Research, Monitoring and Modeling. DALLMEIER, F. and COMISKEY, J.A. (eds.), 671 pp, Parthenon Publisher, New York. 63-77.
- (2) HUBBELL, S. P. and FOSTER, R. B. (1986) Canopy gaps and the dynamics of a neotropical forest. *In* Plant Ecology. CRAWLEY, M.J. (ed.), 496 pp, Blackwell, Oxford. 77-96.
- (3) LIMA, R. A. F. D. (2005) Gap size measurement: The proposal of a new field method. *Forest Ecology and Management* 214: 413-419.
- (4) LUGO, A.E. and SCATENA, F.N. (1996) Background and catastrophic tree mortality in tropical moist, wet, and rain forests. *Biotropica* 28: 585-599.
- (5) NIYAMA, K., RAHMAN, K. A., IIDA, S., KIMURA, K., AZIZI, R. and APPANAH, S. (1999) Spatial patterns of common tree species relating to topography, canopy gaps and understory vegetation in a hill diptocarp forest at Semangkok Forest Reserve, Peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Forest Science* 11: 731-745.
- (6) NUMATA, S., YASUDA, M., OKUDA, T., KACHI, N. and SUPARDI, M. N. N. (2006) Canopy gap dynamics of two different forest stands in a Malaysian lowland rain forest. *Journal of Tropical*

Forest Science 18: 109-116.

- (7) TANGE, T., YAGI, H., SASAKI, S., NIYAMA, K. and RAHMAN, K. A. (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: 398-409.
- (8) WHITMORE, T.C. (1984) *Tropical Rain Forest of the Far East* (2nd edition). 352 pp, Oxford University Press, Oxford.
- (9) YAGIHASHI, T., OTANI, T., TANI, N., NAKAYA, T., RAHMAN, K. A., MATSUI, T., and TANOUCHI, H. (2010) Habitats suitable for the establishment of *Shorea curtisii* seedlings in a hill forest in Peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Ecology* 26: 551-554.

表-1. 試験地の林分構造の変化

Table-1. Changes in stand structure in the 6-ha plot.

DBH class (cm)	幹本数 (n/6 ha)		枯死率 (%/年)
	1993	2011	
5-15	3,767	3,421	1.85
15-30	1,173	1,137	1.55
30-50	475	495	1.60
50-100	222	219	1.52
over 100	46	42	1.68
Total	5,683	5,314	1.75

表-2. 調査地の林冠分類の変化

Table-2. Changes in canopy categories from 1994-2011 in the 6-ha plot.

分類	1994年	相対%	2011年	相対%
閉鎖	2,025	84.4	2,059	85.8
ギャップ	375	15.6	341	14.2

表-3. 調査地における林冠の分類間の移動

Table-3. Transitions between canopy gaps and closed canopy categories from 1994-2011 in the 6-ha plot.

1994年の分類	2011年の分類	5m方形区の数	相対%
閉鎖 → 閉鎖	1,822	75.9	
閉鎖 → ギャップ	203	8.5	
ギャップ → 閉鎖	237	9.9	
ギャップ → ギャップ	138	5.7	

表-4. 調査地の林冠分類の変化

Table-4. Changes in canopy gap number and averaged gap area from 1994-2011 in the 6-ha plot.

	1994年	2011年
ギャップの個数	61	72
平均面積	154m ²	118m ²

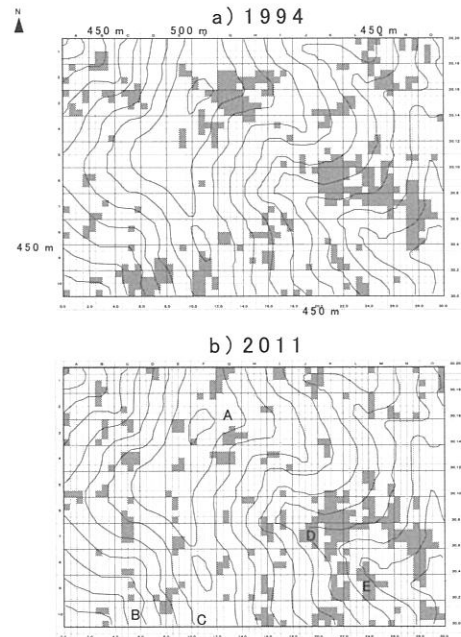


図-1. 林冠ギャップの水平分布。灰色の部分は林冠ギャップを示す。等高線の間隔は10m。アルファベットとの対応は本文を参照。

Fig-1. Spatial pattern of canopy gaps in (a) 1994 and (b) 2011 in the 6-ha plot. Subplot under canopy gap shows grey colors. Contour interval is 10m. Meaning of capital letters can be found in the text.

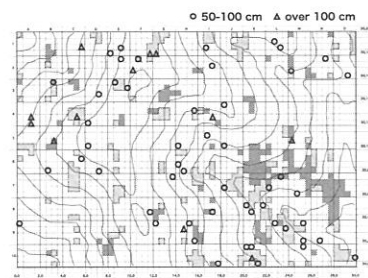


図-2. 1993年から2011年の間に枯死した林冠木と拡大した林冠ギャップの関係。明灰色の部分は1994年以降に拡大した林冠ギャップを示す。

Fig-2. Relationships between dead canopy trees and expanded canopy gaps after 1993 in the 6-ha plot. Expanded gaps after 1994 show light grey colors.