

「地球変動のメカニズム」

平成 10 年度採択研究代表者

浅野 透

(京都大学総合地球環境学研究所 教授)

「熱帯林の林冠における生態圏－気圏相互作用のメカニズムの解明」

1. 研究実施の概要

熱帯林は、高い生物多様性と生物生産性に支えられ、大気との間に複雑で活性の高い相互作用をもっている。近年、エルニーニョ南方振動と熱帯樹木の一斉開花・結実、あるいは異常乾燥による樹木の一斉枯死とその後の更新などのように、地球規模の環境変動が熱帯林生態系の維持に大きな影響を持つ可能性が指摘されている。一方では、環境変動を原因とする攪乱によって、熱帯林の炭素・水収支が大きく時間的・空間的に変動し、その結果が大気へフィードバックされる。

このような生態圏と気圏の相互作用の多くは、両者の境界層としての林冠における生態プロセスに支配されている。しかし、これまで有効な林冠アクセスシステムや広域の生態プロセスを把握する手法が開発されなかったため、因果関係やメカニズムの解明が進まず、地球科学と生態学のギャップとして残されてきた。この研究では、林冠クレーンシステムによる 3 次元的なプロセス解明と、メソスケールでの気象と生物現象の解析を結合することにより、とくに 1) エルニーニョ南方振動が熱帯樹木の一斉開花および生態系に及ぼす影響、および 2) 地球規模の環境変動と熱帯林の炭素・水収支の時間的・空間的変動の解明をめざす。

観測態勢は平成 13 年度始めでほぼ整い、観測は順調に進んでいる。2001 年 6 月に低温が起り、8 月ころより樹木の開花が始まった。かなりの樹種で開花が見られたが、種子生産量は 1996 年の開花より少なく、1998 年と同程度かそれよりやや多い程度であった。現在、この結果を解析中である。また、炭素収支の大まかな計算が可能となり、群落レベルでの推定値とフラックス観測の値とを比較できるようになった。

2. 研究実施内容

(1) 環境変動と一斉開花

環境変動と一斉開花

現地での気象データの収集を他のグループと共同で行うとともに、これまでの一斉開花に関連した低温、乾燥イベントなどの気象変動の実態について解析を行い、これらのイベントを引き起こした広域の大気循環場を明らかにした。特に、1996 年の大きな一斉開花と、過去 20 年における開花年の気候の状況を詳しい解析を行った。1996 年の一斉開花を引き起こした低温現象を詳しく調べた結果、これまで言われていたようなエルニーニョに伴う乾燥下の放射冷却による低温ではなく、東

アジアからの北東モンスーンに伴う寒気移流(コールドサージ)による低温が原因であることが明らかになった。また、96年以前の一斉開花のトリガーとなった低温も、大部分が高緯度から南シナ海方面への寒気移流に伴う現象であることが明らかになった。

一斉開花と栄養塩ダイナミクス

林冠クレーン・システムの周辺原生林において、合計80点から土壌を採取し、土壌現存量(15 cm 深)、細根量、有機態炭素量、可溶性リン濃度、無機態窒素濃度、土壌窒素純無機化速度の定量を行った。また、土壌の一部を実験室で培養し、土壌呼吸速度の測定を行った。可溶性リン濃度は、ほとんどの採取点において低い値を示した(0.1-1.2 $\mu\text{g/g}$)。一方、無機態窒素濃度については、硝酸態窒素が 2.6-24.0 $\mu\text{g/g}$ 、アンモニウム態窒素が 2.8-21.0 $\mu\text{g/g}$ の値を示した。林冠クレーン・システム周辺の原生林は、東南アジアの他の低地熱帯降雨林に比べて、無機態窒素に対するリンの比率が低いシステムであることがわかった。

一斉開花の生理生態的メカニズム

引き続き、樹体内の貯蔵物質のモニタリングを続けているほか、2001年8月からの開花についても、開花の前後での貯蔵物質の動きを測定した。この結果は現在解析中である。また、1998年の開花の時に採取したサンプルで窒素の動きを解析したところ、糖分やデンプンと異なり、板根部分に蓄積された窒素が結実時に使われることが新たに判明した。

一斉開花と植物食昆虫の多様性

ランビル・ヒルズ国立公園にあるフタバガキ林の林冠部において、林冠木であるフタバガキ科4種の葉に対する葉食者による食害状況、林冠部に生息する昆虫を中心とする節足動物相、展葉スケジュールを林冠クレーンを用いて毎月調べた。灯火採集、種子採集、マレーゼトラップを定期的におこない、林内に生息する昆虫の種類構成の時間的変動を明らかにした。また、林冠ギャップに生息するオオバギ属のアリ植物種を利用する食植性昆虫相と各種個体数の時間的変動を調査した。フタバガキ科4種に対する葉食者による食害は、いずれの樹種の場合でも、10%を超えることはきわめて少なく、何らかの機構により、食害が抑制されていることが示唆された。林冠で得られた節足動物のうち、個体数の約30%をクモ類が占め、これらの捕食効果が食害抑制に強くはたっていることが推定された。しかし、樹種間では食害度に大きな差が見られ、植物間の防衛戦略の違いが食害程度や食植性昆虫相の違いに何らかの影響を果たしていることが示された。

(2) 林冠構造と炭素・水収支

熱帯林の攪乱と更新モザイク

クレーンを中心とする4haの地域に固定調査地で同定を完了し、調査を効率化するため、GISソフトウエアに載せ、各樹木個体のデータや葉の画像が簡単に取り出せるシステムを構築中である。ウォークウェイ周辺の8haとあわせて再測定を行い、バイオマス、成長量、炭素収支とそれらの空間的変異を明らかにした。その結果、8haでは1998年のエルニーニョで強い乾燥がはやり、その時に大径木がたくさん死亡した(通常4-6倍)。そのため、1998-2001年の地上部現存量収支は

-4.5tha⁻¹yr⁻¹と減少していた。クレーン周辺の4haの2000-2001年の地上部収支は+6.4tha⁻¹yr⁻¹と推定された。1998年の枯死木は、すぐに炭素放出源にはならず、現存量収支よりも炭素収支はマイナス側で遅れる傾向にある。また、リターは平均3.3tha⁻¹yr⁻¹で、6-9月にやや多い傾向を示した。

林冠と大気のカス交換

ツリータワー(高さ50m)における連続的な気象観測(1999年1月より開始、2000年1月に土壤水分などの項目を追加)、大型クレーンにおける乱流変動法(渦相関法)を用いた二酸化炭素と水蒸気の鉛直方向の流れ計測、風に与えるクレーン自体の影響評価、乱流変動法(渦相関法)を用いた二酸化炭素フラックス、顕熱・潜熱フラックスの連続計測、樹冠遮断量測定、樹液流速測定などの予備的測定が終了したので、今後樹種を決めて定期的な測定を行う予定である。ツリータワー(高さ50m)における観測より、降雨の季節性、日周変化の特徴、気温と湿度、風速の鉛直分布の特徴が整理され、樹高が50mを越えるサラワクの熱帯雨林の気象環境が把握された。この観測データは、フタバガキ科の開花結実の周期性と気象条件(特に低温)の関係を解析する上での重要な資料としても参照されている。大型クレーンにおける乱流変動法の実施におけるクレーン自体の影響評価では、風速にクレーンの影響が生ずる風向の範囲が特定され、風速は影響をうけるものの、二酸化炭素と水蒸気の鉛直方向の流れの計測結果にはその影響は少ないという結果が得られている。二酸化炭素フラックス、顕熱、潜熱フラックス、土壤水分、樹冠遮断量、樹液流速については、データセットが構築され、それぞれ解析がすすんでいるところである。

林冠における生態プロセス

導入した携帯型光合成蒸散測定装置と蛍光の測定機器を利用して、光合成の日中低下の原因を、光阻害の視点から測定した。また、水分利用に関連して蒸散能力、水ポテンシャルの変化も追跡した。さらに一斉開花期間中に、フタバガキ科9種の種子および羽根の光合成・呼吸速度を測定した。特に陽樹冠であるが、*Dryobaranops aromatica*では、強光阻害のパラメータである酸素発生に係わる系IIの量子収率が日中大きく低下していた。しかし、この低下は1夜で回復し、決定的な機能低下には至らなかった。一方、水ストレスに関しては、同じく陽樹冠であっても高い位置に着生する葉での機能が低下する日中低下が見られ、水分生理が熱帯雨林でも制限になっていることが示唆された。また、フタバガキ科種子に特徴的な羽根には、窒素やクロロフィルが葉と比べるとほとんど含まれておらず、羽根の光合成は羽根自体の日中の呼吸消費を補う程度であることがわかった。

(3) 林冠状態の広域把握

過去2年間にわたって開発し、その観測方法について検討してきたクレーン搭載型レーザプロファイラを用い、クレーンサイト約4Haの熱帯林の林冠3次元構造計測を実施した。また、同サイト地上において地形測量を実施し、地形3次元構造計測も実施した。植生分光放射多点計測システムについては、新たに校正用分光放射計を導入し、林冠面のより再現性のある二方向性反射を実現し、この定期的計測を継続して実施した。さらに、研究活動の空間展開を目的とし、周辺地域を構成する代表的な土地利用からオイルパーム園と二次林の2地域を選び、これら領域において、千葉大学本多チームとの合同観測によってラジコンヘリコプターによるステレオ画像撮影および二方

向性反射計測を試みた。これまで部分的にとどまっていた林冠面3次元構造について、クレーンサイト全域に広げることができた、また、地形3次元データと林冠3次元データを組み合わせ、樹高推定や樹幹ボリュームの推定など、今後の研究の展開を可能とするデータが揃った。取得した時系列二方向性反射データについては、季節の異なるデータが蓄積することで、結果、太陽入射角の異なる二方向性反射特性として中間成果が得られた。

3. 研究実施体制

(1) 一斉開花と生物相互作用グループ

① 研究者名

氏名	所属	役職
二宮生夫	愛媛大学・農学部	助教授
戎 信宏	愛媛大学・農学部	助教授
安成哲三	筑波大学・地球科学系	教授
北山兼弘	京都大学・生態学研究センター	教授
市岡孝朗	名古屋大学・生命農学研究科	助手
箕口秀夫	新潟大学農学部	助教授

② 研究項目

環境変動と一斉開花

一斉開花と栄養塩ダイナミクス

一斉開花の生理生態

一斉開花と植物食昆虫の多様性

(2) 林冠動態と炭素水収支グループ

① 研究者名

氏名	所属	役職
浅野 透	総合地球環境学研究所	教授
鈴木雅一	東京大学農学生命科学研究科	教授
蔵治光一郎	東京大学農学生命科学研究科	講師
田中延亮	東京大学農学生命科学研究科	助手
熊谷 朝臣	九州大学農学部	助手
小林 元	九州大学農学部	助手
小池孝良	北海道大学農学部	教授
Lee Hua Seng	Forest Department Sarawak	次長
Lucy Choung	Forest Research Center, Sarawak	センター長

② 研究項目

攪乱と更新モザイク

更新過程と林冠構造

林冠と大気的气体交換

林冠における生態プロセス

(3) 林冠状態の広域把握

① 研究者名

氏名	所属	役職
吉村充則	総合地球環境学研究所	助教授
木村 宏	岐阜大学・工学部	助教授
中北 理	森林総合研究所・遠隔探査研究室	室長

② 研究項目

林冠の三次元構造の把握

林冠の反射特性解析

林冠観測パラメータのスケールアップ

4. 研究成果の発表

(1) 論文発表

学術誌(レビューあり)

- Kitayama, K. and S. Aiba. 2002. Ecosystem structure and productivity of tropical rain forests along altitudinal gradients with contrasting soil P pools on Mount Kinabalu, Borneo. *Journal of Ecology* 90: 37-52.
- Kitayama, K. and S. Aiba (in press) Control of organic carbon density in vegetation and soils of tropical rain forest ecosystems on Mount Kinabalu. *Sabah Parks Nature Journal*.
- Itioka, T., Inoue, T., Kaling, H., Kato, M., Nagamitsu, T., Momose, K., Sakai, S., Yumoto, T., Mohamad, S. U., Hamid, A. A. and Yamane, Sk. (2001) Six-year population fluctuation of the giant honey bee *Apis dorsata* F. (Hymenoptera: Apidae) in a tropical lowland dipterocarp forest in Sarawak. *Annals of Entomological Society of America* 94(4): 545-549.
- Itino, T. and Itioka, T. 2001. Interspecific variation and ontogenetic change in anti-herbivore defense in myrmecophytic *Macaranga* species. *Ecological Research* 16(4): 765-774.
- Itino, T., Itioka, T., Hatada, A. and Hamid, A. A. 2001. Effects of food rewards offered by ant-plant *Macaranga* on the colony size of ants. *Ecological Research* 16(4): 775-786.
- Inui, Y., Itioka, T., Murase, K., Yamaoka, R. and Itino, T. 2001. Chemical recognition of partner plant species by foundress ant queens in *Macaranga*-*Crematogaster* myrmecophytism. *Journal of Chemical Ecology* 27(10): 2029-2040.
- Itino, T., Davies, S. J., Tada, H., Hieda, Y., Inoguchi, M., Itioka, T., Yamane, S. and Inoue, T. 2001. Cospeciation of ants and plants. *Ecological Research*, 16(4): 787-793.
- Nomura, M., Itioka, T. and Murase, K. 2001. Non-ant anti-herbivore defenses before plant-ant colonization in *Macaranga* myrmecophytes. *Population Ecology*, 43(3): 207-212.
- Kumagai, T., Kuraji, K., Noguchi, H., Tanaka, Y., Tanaka, K. and Suzuki, M. 2001. Vertical profiles of environmental factors within tropical rainforest, Lambir Hills National Park, Sarawak, Malaysia. *Journal of Forest Research*, 6 (4), pp.257-264.

- Koike, T., Kitao, M., Maruyama, Y., Mori, S., and Lei, T. T. 2001. Leaf morphology and photosynthetic adjustments among deciduous broad-leaved trees within the vertical canopy profile. *Tree Physiol.*, 21: 951–958.
- Ichie, T., Ninomiya, I., and Ogino, K. 2001. Utilization of seed reserves during germination and early seedling growth by *Dryobalanops lanceolata* (Dipterocarpaceae). *J. Trop. Ecol.*, 17: 371–378
- Sakai, S. 2002. General flowering in lowland mixed dipterocarp forests of Southeast Asia. *Biological Journal of Linnean Society* 75: 233–248.
- Sakai, S. 2002. A review of brood-site pollination mutualism: plants providing breeding site for their pollinators. *Journal of Plant Research* 23: in press.
- Wall, D., Mooney, H., Adam, G., Boxshall, G., Dobson, A., Nakashizuka, T., Seyani, J., Samper, C. & Sarukhan, J. 2001. An International Biodiversity Observation Year. *Trends in Ecology and Evolution*, 16: 52–54.
- Nakashizuka, T. 2001. Species coexistence research in temperate, mixed deciduous forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 16: 205–210.
- Kenta, T., Shimizu, K. K., Nakagawa, M., Okada, K., Hamid, A. A., & Nakashizuka, T. 2002. Multiple factors contribute to outcrossing in a tropical emergent *Dipterocarpus tempehes*, including a new pollen-tube guidance mechanism for self-incompatibility. *American Journal of Botany*, in press.
- Isagi, Y., Kenta, T. & Nakashizuka, T. 2002. Microsatellite loci for a tropical emergent tree, *Dipterocarpus tempehes* V. SI. (Dipterocarpaceae). *Molecular Ecology Note*, in press.
- Kurokawa, H., Yoshida, T., Nakamura, T., Lai, J., & Nakashizuka, T. 2002. The age of a tropical rain forest canopy tree, Borneo Ironwood (*Eusideroxylon zwagerii* Teijim. & Binnend), determined by ¹⁴C dating. *Journal of Tropical Ecology*, in press.
- 酒井 章子. 2002. 花の上で繁殖する送粉者. *日本生態学会誌* 52: in press.
- 山下恵・吉村充則・土田聡・本多嘉明・梶原康司. 2001. 簡易白色板作成の検討およびその性能評価・校正, 写真測量とリモートセンシング vol. 40, No. 2, pp26–32.

その他の出版物

- Tomo'omi Kumagai, Kuraji Koichiro and Masakazu Suzuki. 2001. The monitoring of CO₂ and H₂O exchange over a tropical rainforest canopy using a 80m crane. *Proceedings of the International Symposium on Canopy Processes and Ecological Roles of Tropical Rain Forest*, 78–84
- Kuraji Koichiro, Yuri Tanaka, Tomo'omi Kumagai and Masakazu Suzuki. 2001. Long-term monitoring of physical environment in and above the canopy and underground in Lambir. *Proceedings of the International Symposium on Canopy Processes and Ecological Roles of Tropical Rain Forest*, 72–77
- Kitaoka, S., Kitahashi, Y., Shimizu, K., Hiura, T. and Koike, T. 2001. Canopy photosynthesis and transpiration in deciduous trees with special references stomatal and non-stomatal

regulation. Proceedings of the International Symposium, Canopy Processes and Ecological Roles of Tropical Rain Forests. 108-114

- Koike, T., Kitahashi, Y., Nakagawa, M. and Nakashizuka, T. 2001. Mid-day depression of photosynthetic rate in canopy trees native to Tropical Rain Forest in the Lambir Hills National Park, Sarawak, Malaysia. Proceedings of the International Symposium, Canopy Processes and Ecological Roles of Tropical Rain Forests. 51-56.
- Ichie, T., Kenta, T., Sato, K., Nishimura, K., and Ninomiya, I. 2001. Dynamics of the storage resource for reproduction of the tropical canopy tree, *Dipterocarpus tempehes*. Proceedings of the International Symposium, Canopy Processes and Ecological Roles of Tropical Rain Forest. Sarawak, Malaysia, 57-61.
- Sakai, S. 2001. Pollination guilds and the evolution of floral characters in Bornean Zingiberaceae and Costaceae pp.342-346. in: Tropical Ecosystems: Structure, diversity and human welfare (eds.) K.N. Ganeshaiyah, R. Uma Shaanker & K.S. Bawa. Oxford & IBH Publishing CO. Pvt. Ltd.
- Sakai, S. 2001. Flowering phenology and plant-pollinator interactions in tropical forests of SE Asia and Neotropics pp.359-362. in: Tropical Ecosystems: Structure, diversity and human welfare (eds.) K.N. Ganeshaiyah, R. Uma Shaanker & K.S. Bawa. Oxford & IBH Publishing CO. Pvt. Ltd.
- Nakashizuka, T., Lee, H. S. & Chong, L. 2001. Studies on canopy processes of a tropical forest in Lambir Hills National Park. Proceedings of the International Symposium, "Canopy Processes and Ecological Roles of Tropical Rain forest", pp. 2-7.
- Kenta, T., Isagi, Y., Nakashizuka, T. & Hamid, A. A. 2001. Is pollen promoted at the general flowering period and is it advantageous to avoid inbreeding depression in *Dipterocarpus tempehes* (Dipterocarpaceae)? Proceedings of the International Symposium, "Canopy Processes and Ecological Roles of Tropical Rain forest", pp. 240-43.
- Kurokawa, H., Nakashizuka, T., Yoshida, T., Nakamura, T. & Lai, J. 2001. Strategy of defensive allocation in borneo ironwood. Proceedings of the International Symposium, "Canopy Processes and Ecological Roles of Tropical Rain forest", pp. 115-119.
- Nakashizuka, T. & Stork, N. (eds.) 2002. Protocols for Biodiversity Research. Kyoto University Press, Kyoto, and Trans Pacific Press, Melbourne. pp. 209.
- 安成哲三、2001: 東南アジアの熱帯雨林にはシベリアからの寒気が必要? 科学、71, 1193-1197.
- 市岡隆朗、蔵治光一郎、中静 透、安成哲三、米本昌平、2001: 熱帯雨林から見る地球の未来(座談会). 科学 71, 1172-1185.
- 吉村充則・山下恵・中静透. 2001. 熱帯林・林冠観測クレーン搭載レーザプロファイラによる林冠構造三次元計測, 日本写真測量学会平成13年度年次学術講演会発表論文集,

pp53-56.

- 山下恵・吉村充則・中静透. 2001. 熱帯林林冠観測クレーンを用いた二方向性反射計測の試み, 日本写真測量学会平成13年度年次学術講演会発表論文集, pp57-60.
 - 吉村充則. 2001. 林冠プロセスと空間スケール ～クレーン観測から衛星リモートセンシングまで～, 科学 71, 1210-1216.
 - 市野隆雄・市岡孝朗. 2001. 生物間相互作用の歴史的過程 -アリ植物をめぐる生物群集の共進化. 「群集生態学の現在」(佐藤宏明・山本智子・安田弘法 編), pp. 353-370, 京都大学学術出版会, 京都.
 - 市岡孝朗. 2001. 林冠における動物と植物の相互作用. 科学, 71(9): 1198-1203.
 - 鈴木雅一 (2001) 熱帯林の水循環と炭素循環-気候変動と森林, 科学 71, 1221-1225
 - 蔵治光一郎 (2001) 国立公園とアブラヤシ農園のはざままで, 科学 71, 1226
 - 香山雅純、秋林幸男、アリ・クオレシ、小池孝良. 2001. 樹木の生育に果たす外生菌根菌の役割. 北方林業、53:197-200.
 - 小池孝良、笹 賀一郎、松浦陽次郎. 2001. タケ、ササ類群落の CO2 固定機能の評価に関する考察. Bamboo J. 1-14.
 - 小池孝良. 2001. 熱帯樹木の生理生態的特性と炭素収支. 科学 71:1205-1209.
 - 中静 透. 2001. 生態科学と時間スケール. 科学, 71: 37-42.
 - 中静 透. 2001. サラワク熱帯林のクレーンプロジェクト. 科学, 71: 1188-1192.
 - 中静 透. 2001. 総論:なぜ、いま林冠か. 科学, 71: 1170-1171.
 - 中静 透. 2001. 景観レベルでの林冠動態研究の応用可能性と方向. 国際景観生態学会日本支部会報, 6: 5-8.
 - 中静 透. 2002. 生物多様性に関する維持管理システム. 「人工衛星による地球環境保全及び地球資源調査システムの調査研究」成果報告書, 社団法人資源協会, 175-178.
 - 中静 透. 2001. 生物多様性とその研究をめぐる世界の動き. 「命のにぎわいを目指して-生物多様性の保全-」, 地球環境関西フォーラム, 水環境とくらしの調和分科会編, 8-13.
- (2) 特許出願等
なし