

「水の循環系モデリングと利用システム」

平成15年度採択研究代表者

鈴木 雅一

(東京大学大学院農学生命科学研究科 教授)

「熱帯モンスーンアジアにおける降水変動が
熱帯林の水循環・生態系に与える影響」

1. 研究実施の概要

熱帯モンスーンアジアでは、1990年代後半にGEWEX/GAMEプロジェクトなどの実施に伴い水循環の理解が急速に深まり、以前考えられた以上に、水環境に関わる様々な要因の変動が大きい場所であることが判明した。降水量の年々変動には、ENSOなど地球規模の気候システムの影響が大きいものの、大規模な森林伐採／土地利用変化との関連も指摘されており、自然や人為による気候変動の実態の解明が急務である。また、降水量変動に伴って生じる水循環の変動と深く結びついた陸上生態系の動態や水資源賦存量の変動の実態が、熱帯アジア域においては未だ明らかではなく、降水変動がもたらす影響を総合的に解明する必要がある。本研究は、気候・気象学的視点から降水の様々な時間スケールでの変動を明らかにするとともに、降水変動が土壌水分を媒介として陸域水循環や陸上生態系の物質循環に与える影響をタイ、マレーシアにおける現地観測により把握し、これを予測する水循環、物質循環モデルの構築を目指している。

本研究は、Ⅰ) 降水現象の季節性、年々変動機構の解明、Ⅱ) 森林流域での水循環、物質循環研究、の2つの研究グループによりなり、両者の知見を合わせ、Ⅲ) 「降水変動の影響」を解明する。このうち、森林流域での水循環、物質循環研究は、マレーシアの平地熱帯雨林、タイの平地モンスーン林(落葉林)、山地モンスーン林(常緑林)の調査地で、気象・水文・フラックスについて林冠クレーン、微気象観測タワー、流量観測施設などの研究基盤を用いて長期観測資料を取得し、これに基づいた現象の理解と将来予測モデル化を図るものである。

2. 研究実施内容

1) 降水現象の季節性と年々変動

観測所の少ないミャンマー、ベトナムに各3ヶ所雨量計を新規設置し、インドシナ半島とボルネオ島の降雨記録、ゾンデ観測、GPSによる可降水量データの解析を進めた。また、領域気象モデルによる解析により、モンスーン開始時期、山岳性降水の高度依存性などの年々変動を広域気候システムとのかかわりの中で明らかにする研究を進めた。

その中で、明瞭な雨季・乾季があるタイ北部の流域面積約3853Km²の山地流域に14箇所の雨量観測点（標高380m～2535m）を設けた観測より、明瞭な降雨量の高度分布が得られ、降雨量高度依存性の季節変化、年々変動の実態が明らかとなった。

2) 熱帯季節林の降水変動と水循環・炭素循環

タイ北部の丘陵性常緑林（Kog-Ma試験地）では、乾季後半に年間で最も大きい蒸発散が生じていた。従来、他の植生や土地利用ではこの時期は土壤の乾燥により蒸発散が低下すると報告されている。熱帯常緑林の蒸散が乾季後半でも活発に維持されることについて、4m以上の厚さの土壤に貯留された水分によっていることが、数値モデルによって説明された。なお同試験地の土壤呼吸は、土壤乾燥の影響を受け、乾季に低下することも報告された。

一方同じタイ北部で、落葉樹であるチーク林（Mae Moh試験地）では乾季は落葉により蒸散が生じない。熱帯季節林では常緑林と落葉林で、植生によって蒸発散の季節変化が顕著に異なる。また、炭素循環は水分条件によって強く支配されている。さらに詳細な水循環、エネルギー循環の観測のため、Mae Moh試験地には新規に微気象観測鉄塔が建設されている。

3) 熱帯雨林における水循環・炭素循環

ボルネオ島北部マレーシア・サラワク州ランビル国立公園の低地フタバガキ林で、微気象観測、フラックス観測をはじめとする各種調査が継続されている。1999年に降水量連続観測が開始されて以降、1997/98年のエルニーニョ期間に生じたような著しい少雨は生じていないが、風向、風速、飽差など幾つかの気象要素について、明瞭な季節性が見出されている。詳細な樹幹流下量、樹幹通過雨量計測による樹冠遮断量推定がなされ、また潜熱フラックス、炭素収支が見積もられている。これらの結果は、幾つかの国際誌に公表された。

4) ボルネオ島における降水の年々変動とその森林への影響

ボルネオ島における降雨量の年々変動にENSOの影響が大きいことは知られていたが、エルニーニョに対応した少雨は、地域により異なる季節に出現することが明らかとなった。ボルネオ島の北部では1～3月、南部は8～10月に少雨となる。ボルネオ島ではエルニーニョ期間に大規模森林火災が発生するが、NOAA/AVHRRの衛星データ（1982～1999年）より1～3月の火災は北部と中部で、8～10月の火災は南部で主に発生しており、降水量変動に対応した大規模火災発生地域性がある。火災発生による植生変化がない地域でも、3ヶ月平均の月雨量が80mm以下になると衛星データのNDVIが低下する結果が得られている。平年値において他地域に比べ最も降雨の季節性が少ないといわれるボルネオ熱帯林においても、このような乾燥期には植物活性の低下が生じていることが推定される。これらの点は今後の現地観測による検証が必要などところである。熱帯季節林（常緑樹林、落葉樹林）、熱帯雨林の水循環、炭素循環は、それぞれ特徴ある降雨の年々変動の影響を受けていることが明らかとなってきた。

3. 研究実施体制

「降水現象の季節性と年々変動」グループ

- ① 研究分担グループ長：里村雄彦（京都大学大学院 理学研究科、助教授）
- ② 研究項目：降水現象の季節性、年々変動機構の解明
 - 1) 東南アジアモンスーンのオンセット前後の降水分布、降雨特性、鉛直循環
 - 2) GPSによる水蒸気観測データの取得・解析
 - 3) 気候モデルを用いてモンスーンの季節推移のシミュレーション

「森林生態系の水循環、物質循環」グループ

- ① 研究分担グループ長：鈴木雅一（東京大学大学院 農学生命科学研究科、教授）
- ② 研究項目：森林生態系の水循環、物質循環の観測とそのモデル化
マレーシアの平地熱帯雨林、タイの平地モンスーン林（落葉林）、山地モンスーン林（常緑林）、水田などにおける、
 - 1) 水文プロセスの観測（雨量、土壌水分、流出量、地下水位）
 - 2) 水質調査，水質分析
 - 3) クレーン、タワーによる観測：エネルギー収支、顕熱と水蒸気フラックス、二酸化炭素フラックス
 - 4) 土壌中有機物分解の観測：土壌中二酸化炭素濃度、土壌呼吸調査
 - 5) 上記観測結果を用いた、水、物質循環の特性を比較可能な物質循環モデル作成。

「モンスーンアジアの熱帯における水循環変動の影響予測」研究グループ

上記2グループの研究者が、共同して解析に当たる。

4. 主な研究成果の発表

(1) 論文発表

- Okumura, K, Satomura, T, Oki, T, W. Khantiyanan, Bureau of the Royal Rainmaking and Agricultural Aviation (2003) Diurnal variation of precipitation by moving mesoscale systems: Radar observations in northern Thailand. Geophysical Research Letters, 30(20), 2073, doi:10.1029/2003GL018302,
- Yasunaga .K, Kida, H, Satomura, T, Nish, N (2004) A numerical study on the detrainment of tracers by cumulus convection in TOGA COARE. J. Meteor. Soc. Japan・日本気象学会82 (3) : 861-878
- 斎藤琢・熊谷朝臣・佐藤嘉展・鈴木雅一（2004）樹冠内CO2濃度プロファイル自動計測装置について. 水文・水資源学会誌, 17(6):648-653.
- Manfroi, O. J., Kuraji, K., Tanaka, N., Suzuki, M., Nakagawa, M., Nakashizuka, T. and Chong, L. (2004) The stemflow of trees in a Borneak lowland tropical forest. Hydrological Process , 18(3):2455-2474. DOI: 10.1002/hyp.1474

- Kumagai, T., Katul, G. G., Saitoh, T. M., Sato, Y., Manfroi, O. J., Morooka, T., Ichie, T., Kuraji, K., Suzuki, M. and Porporato, A. (2004) Water cycling in a Bornean tropical rainforest under current and projected precipitation scenarios. *Water Resources Research*, 40(1):W01104, doi:10.1029/2003WR002226.
- Kumagai, T., Saitoh, T. M., Sato, Y., Morooka, T., Manfroi, O. J., Kuraji, K. and Suzuki, M. (2004) Transpiration, canopy conductance and the decoupling coefficient of a lowland mixed dipterocarp forest in Sarawak, Borneo: dry spell effects. *Journal of Hydrology*, 287(1-4):237-251.
- Kumagai, T., Katul, G. G., Porporato, A., Saitoh, T. M., Ohashi, M., Ichie, T. and Suzuki, M. (2004) Carbon and water cycling in a Bornean tropical rainforest under current and future climate scenarios. *Advances in Water Resources*, 27(12):1135-1150.
- Kawamura, R., R. Suppiah, M. A. Collier, and H. B. Gordon (2004) Lagged relationships between ENSO and the Asian Summer Monsoon in the CSIRO coupled model. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L23205, doi:10.1029/2004GL021411.
- Kawamura, R., H. Aruga, T. Matsuura, and S. Iizuka (2004) Two different regimes of anomalous Walker circulation over the Indian and Pacific Oceans before and after the late 1970s. *Earth's Climate: The Ocean-Atmosphere interaction*, C. Wang et al., Eds., *Geophys. Monogr.*, 147, 365-377.
- Tanaka, K., Jianqing Xu, Takizawa, H., Chatchai T, Kume, T, Suzuki, M (2004) The impact of rooting depth and soil hydraulic properties on the transpiration peak of an evergreen forest in northern Thailand in the late dry season. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*. 109, D23107, doi : 10.1029/2004JD004865.
- Wakabayashi, S, Kawamura, R (2004) Extraction of major teleconnection patterns possibly associated with anomalous summer climate in Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, 82, 1577-1588.
- 堀川真由美・里村幹夫・島田誠一・Sununtha Kingpaiboon・仲江川敏之・加藤照之・沖大幹 (2004) タイ・Khon KaenにおけるGPS可降水量について. *静岡大学地球科学研究報告* 31 : 33-39
- Ueda, H, Kawamura, R (2004) Summertime Anomalous Warming over the Midlatitude Western North Pacific and its Relationships to the Modulation of the Asian Monsoon. *International Journal of Climatology*. 24 : 1109 - 1120.
- Inoue, T, Matsumoto, J (2004) A comparison of summer sea level pressure over East Eurasia between NCEP-NCAR Reanalysis and ERA-40 for the period 1960-99, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 82(3) : 951-958.

- Hashimoto, S, Tanaka, N, Suzuki, M, Inoue, A, Takizawa, H, Kosaka, I, Tanaka, K, Chatchai, T, Nipon, T (2004) Soil respiration and soil CO₂ concentration in a tropical forest, Thailand. *Journal of Forest Research*, 9(1), 75-79
- Komatsu H, Hotta N, Kuraji K, Suzuki M, Oki T (2005) Classification of vertical wind speed profiles observed above a sloping forest at nighttime using the bulk Richardson number. *Boundary-Layer Meteorology*, 115 : 205-221
- Idris, M.H., Kuraji, K., Suzuki, M. (2005) Evaluating Vegetation Recovery Following Large-Scale Forest Fires in Borneo and Northeastern China using Multi-Temporal NOAA/AVHRR Images. *Journal of Forest Research*, 10 (2) :101-111
- 斎藤琢・熊谷朝臣・大橋瑞江・諸岡利幸・鈴木雅一 (2005) ボルネオ熱帯雨林における夜間CO₂フラックス. *水文・水資源学会誌*, 18(1):64-72.
- Kumagai, T., Saitoh, T. M., Sato, Y., Takahashi, H., Manfroi, O. J., Morooka, T., Kuraji, K., Suzuki, M., Yasunari, T. and Komatsu, H. (2005) Annual water balance and seasonality of evapotranspiration in a Bornean tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 128(1-2):81-92.
- 木口 雅司・松本 淳 (2005) The Rainfall Phenomena during the Pre-monsoon Period over the Indochina Peninsula in the GAME-IOP Year, 1998. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 83 (1) : 89-106
- Sato, Y., Kumagai, T., Saitoh, T. M. Suzuki, M. (2005) Characteristics of soil temperature and soil heat flux within tropical rainforest, Lambir Hills National Park, Sarawak, Malaysia. *Bulletin of the Institute of Tropical Agriculture, Kyushu University*, 27:5-63