

「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

気候・気象学の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ための高精度の雨量計は、ラオス 3 地点、ヴェトナム 4 地点、ミャンマー 3 地点、カンボジア 3 地点に設置されたが、そのうち多くの観測点は北緯 18 度線に沿って展開され、インドシナ半島

を横断する東西断面での現象をより細かい時間スケール、例えば日変化の現象を明らかにしている。例えばミャンマーの海岸側とタイ国境近くでは、雨季降水量日変化が明瞭に異なることなどが、既に明らかにされた。また、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。また、このプロセスの傍証として、乾季後半に林内の下層木で根が未だ浅い個体では、上層の樹木より強い水ストレスを受けることが樹木生理学的な計測からも得られた。

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。そこでチーク人工林を対象に着葉期間と蒸散期間を求め、大きい年々変動があることを見出した。チーク林はプレモンスーンの降雨に対応した展葉時期と雨季の終了後の落葉時期を持つが、降雨の年々変動でこれらの時期が前後し、3年間の観測で着葉期間に 60 日以上の差異が生じた。落葉期間には蒸散が生じないので、水収支、エネルギー収支に大きい年々変動がもたらされる。降水の変動が植生の影響を含む地表面プロセスへの影響を通して、水循環に影響を与える典型的な事例の一つであるといえる。そして、さらに詳細な水循環、エネルギー循環の観測のために建設された微気象観測鉄塔における微気象観測が開始された。

3) 熱帯雨林における水循環・炭素循環

マレーシア・サラワク州ランビル国立公園の低地熱帯雨林は、樹高 50m を超える世界で有数のバイオマスを持つ森林で、林冠クレーンなどを用いたフラックス観測、微気象観測、土壤水分観測などが進められた。アマゾン川流域の熱帯林に比べて報告例がわずかであった東南アジア熱帯雨林の年蒸発散量、年樹冠遮断量、年蒸散量、炭素収支などが見積もられ、報告された。これらの結果は、国際的な関心をもたれ熱帯水文研究者に受け取られており、既に幾つかの論文に引用されている。降雨後に上層の林冠と下層植生の葉が乾く時間差の解析や、それを検証に用いる多層モデルの開発などにより、複雑な林冠の森林の水循環、炭素循環素過程が解明された。また、土壌中有機物の分解により放出される二酸化炭素量（土壌呼吸）の空間分布を把握する研究が進展した。

ランビル国立公園の低地熱帯雨林は、生物多様性の視点からの生態学研究も同時に進めら

れている熱帯林観測ステーションであり、水循環と微気象について得られた知見は森林生態系の動態の背景として多くの生態学者に提供されている。また、2005年11月には、サラワク州クチンにおいて現地研究者と国際ワークショップ ”International symposium on forest ecology, hydrometeorology and forest ecosystem rehabilitation in Sarawak” を開催した。

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) 気候モデルを用いた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」研究グループ

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) クレーンとタワーでの観測: エネルギー収支、顕熱・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(原著論文)発表

- 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
- Tanaka, N., Tantasirin, C., Kuraji, K., Suzuki, M., Tangtham, N., (2005) Inter-annual variation in rainfall interception at a hill evergreen forest in northern Thailand. *Bull. Tokyo Univ. For.*, 113: 11-44
- Kiguchi M, Matsumoto J (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
- Kumagai T, Saitoh M T, Suzuki M (2005) Characteristics of soil temperature and heat flux within a tropical rainforest, Lambir Hills National Park, Sarawak, Malaysia, *Bulletin of the Institute of Tropical Agriculture, Kyushu University*, 27: 5-63
- Ohba M, Ueda H (2005) Indian Ocean basin-wide warming associated with ENSO forcing, *SOLA (Scientific Online Letters on the Atmosphere)*, Vol.1: 89-92
- Ueda H (2005) Air-sea coupled process involved in stepwise seasonal evolution of the Asian summer monsoon, *Geographical Review of Japan*, 86: 825-841
- Ueda H, Iwai A, Kuwako K, Hori ME (2005) Impact of anthropogenic forcing on the Asian summer monsoon as revealed by simulated 8 GCMs, *Geographical Research Letter*, 33, L06703, doi:10.1029/2005GL025336
- Hori M E, Ueda H (2005) Impact of global warming on the East Asian winter monsoon as revealed by nine coupled atmosphere-ocean GCMs, *Geographical Research Letter*, 33, L03713, doi:10.1029/2005GL024961
- Kume T, Kuraji K, Yoshifuji N, Morooka T, Sawano S, Chong L, Suzuki M (2005) Estimation of canopy drying time after rainfall using sap flow measurements in an emergent tree in a lowland tropical rain forest, Sarawak, Malaysia, *Hydrological processes*, 20: 565-578
- Kawamura, R. Uemura K, Suppiah R (2005) On the recent change of the Indian summer monsoon-ENSO relationship, *SOLA: Scientific Online Letters on the Atmosphere*, Meteorological Society of Japan, Vol.1: 201-204
- Inoue T, Ueda H, Inoue T (2006) Cloud properties over the Bay of Bengal derived from NOAA-9 split window data and the TRMM PR product, *Science Online Letter of Atmosphere*, Vol.2:41-44
- 五名美江, 蔵治光一郎 (2006) マレーシア・サラワク州における降雨季節変動の空間

分布特性, 水文・水資源学会誌 19 卷 2 号(2006):pp128-138.

- Ishizaki N, Ueda H, (2006) Seasonal heating processes over the Indochina Peninsula and the Bay of Bengal prior to the monsoon onset, Journal of the Meteorological Society of Japan, 84(2)375-387
- Yokoi S, Satomura T, (2006) An observational study of intraseasonal variations over Southeast Asia during the 1998 rainy season. Monthly Weather Review, Vol. 133, No. 7.
- Yoshifuji N, Kumagai T, Tanaka K, Tanaka N, Komatsu H, Suzuki M, Tantasirin C, Inter-annual variation in growing season length of a tropical seasonal forest in northern Thailand, Forest Ecology and Management (in press)
- Manfroi O J, Kuraji K, Suzuki M, Tanaka N, Kume T, Nakagawa M, Kumagai T, Nakashizuka T, Comparison of 3-year observed rainfall interception loss in a 100-m² subplot with that observed-estimated for a 4-ha plot in a Bornean lowland tropical rainforest. Journal of Hydrology (in press)
- Yokoi S, Satomura T, Mechanisms of the northward movement of submonthly-scale vortices over the Bay of Bengal during the boreal summer. Monthly Weather Review, (in press)
- Kumagai T, Ichie T, Yoshimura M, Yamashita M, Kenzo T, Saitoh T M, Ohashi M, Suzuki M, Koike T, Komatsu H, Modeling CO₂ exchange over a Bornean tropical rainforest using measured vertical and horizontal variations in leaf-level physiological parameters and leaf area densities, Journal of Geophysical Research -Atmospheres (in press)