

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月15日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21405021

研究課題名（和文） マレーシア・サラワク州の熱帯雨林における流出・水質形成プロセスの研究

研究課題名（英文） Characteristics of stream water chemistry in tropical lowland rainforest in Malaysian Borneo

研究代表者

鈴木 雅一（SUZUKI MASAKAZU）

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授

研究者番号：10144346

研究成果の概要（和文）：ボルネオ島のマレーシア・サラワク州ランビル国立公園内の熱帯雨林において、樹冠上の気象観測、土壌水分、地下水位、溪流流出量の観測とともに、雨水、林内雨、土壌水、地下水、渓流水の水質を計測し、流出特性、物質循環を明らかにした。ランビル国立公園の流域の渓流水は、 SO_4^{2-} が高濃度である硫酸酸性の渓流水で、 SO_4^{2-} は、 6.5kg/ha/yr の入力に対して、流出が 64.6 kg/ha/yr と著しく大きく、降雨による入力のほぼ 10 倍の流出であり、土壌、基岩から溶け出している。減流域の土壌水などに計測によって、その形成機構を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Observation of stream water, soil water and groundwater chemistry have been conducted in tropical rain forest in Lambir Hills National Park, Sarawak, Malaysia together with measurement on meteorological factors, soil moisture and discharge rate. Based on these observations, the possible generation mechanism for high SO_4^{2-} concentration in stream water in Lambir forest was described.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2010年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2011年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
年度			
総計	13,700,000	4,110,000	17,810,000

研究分野：農学 A

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：森林水源涵養・水質、熱帯雨林、渓流水質、流出プロセス、物質収支、硫酸酸性土壌

1. 研究開始当初の背景

東南アジアの熱帯雨林流域における物質循環研究は、物質収支を求める研究も未だ数少ない上、近年に温帯林の流域で解明されてきた雨水が渓流水に至る過程での水質形成プロセスを明らかにする研究が、ほとんどな

されていなかった。熱帯雨林の物質循環を明らかにするためには、雨量、流出量、蒸発散量の水収支データと降水、渓流水の水質資料が不可欠であるが、東南アジア熱帯林で水量と水質を長期にわたって精度よく計測することに困難があったためである。ボルネオ島

のマレーシア・サラワク州ランビル国立公園の熱帯雨林において、水収支について 10 年にわたるデータ蓄積がなされたので、物質収支研究と水質形成研究着手の準備が整ったと考えられた。

また熱帯土壌は、農地開発などに伴い硫酸酸性となり植物の生育に不適となる場合があるが、ランビル国立公園は保全された熱帯雨林におおわれているが、渓流水の硫酸イオン濃度が高いことが事前調査でわかっており、硫酸イオンの形成過程が注目すべき課題としてあげられていた。

さらに、東南アジア潤熱帯に区分されるボルネオ島マレーシアでは季節変動の振幅が小さく、降雨が 100mm/month 以下となることは少ないため通常強い乾季は存在しないが、数年に一度、エルニーニョ・南方振動 (ENSO) の影響により強乾燥が生じる。土壌水分変化に伴う水質変化も検討の必要がある。

2. 研究の目的

本研究の特色は、世界に屈指のバイオマスを持ち、生態学的な研究蓄積と水循環に関する研究蓄積が豊富な、ボルネオ島の熱帯雨林を調査地とすることである。本研究では、ボルネオ島のマレーシア・サラワク州ランビル国立公園内の熱帯雨林において、土壌水分、地下水位、溪流流出量の観測とともに、雨水、林内雨、土壌水、地下水、渓流水の水質を計測し、熱帯林流域の流出機構とそれをふまえた水質形成プロセスを明らかにすることを目的とした。

また森林荒廃や山火事の後に、硫酸酸性土壌が生じて再造林が困難になっている地域がボルネオ島に多くあるが、ランビル国立公園内の渓流水は硫酸酸性の特徴があり、森林が劣化する前の状態で硫酸酸性の渓流水が形成されるプロセスを明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、ランビル国立公園内の熱帯雨林 (4° 20'N, 113° 50'E) において、降水量観測を継続するとともに、21.97ha と 23.25ha の流域面積を持つ 2 つの試験流域を設け、流出量と水質の計測を行った。また、熱帯雨林内の源頭部に 0.59ha の小流域を設定し、土壌水、地下水、渓流水の水質を測定した。これらの観測結果をもとに、

- (1) 流域の土壌水分、地下水の時間的、空間的な変化の把握と水収支の正確な評価。
- (2) 出水時の濃度変化を考慮した物質収支表の作成。
- (3) 雨水—林内雨—土壌水—地下水—渓流水と流れる過程での水質変化の把握。
- (4) 流域内の斜面、0 次谷末端にある湧水点

における溶存物質濃度の空間分布把握。

(5) 上記の各測定結果を総合して、水質形成過程に与える要因を、地質 (第三紀層に含まれるパイライト)、森林の影響、水移動メカニズムの 3 つの視点から解明する。

4. 研究成果

(1) ランビル熱帯雨林の水収支

ランビル国立公園においては、2000 年より 90m 高の林冠調査用クレーンの上部において、気象観測を継続している。2000 年から 2009 年の 10 年間観測記録より、年平均気温は 25.8°C で、年雨量 2600mm (S. D. 272mm) である。樹冠上の気象記録、フラックス観測、樹液流観測、樹冠遮断量観測のデータに基づき、年蒸散量 1114mm (S. D. 74mm)、年樹冠遮断蒸発量 209mm (S. D. 15mm) が求められた (Kume et al., 2011)。地下深部などへの浸透がないとき、年流出量は 1277mm となる。

(2) ランビルの流出量と土壌水分変化

隣接する 2 流域 (TL 流域、CL 流域) のハ

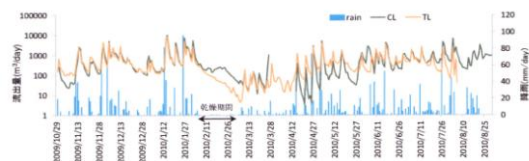


図 1 2 流域のハイドログラフ

CL 流域:21.97ha、TL 流域:23.25ha

期間: 2009 年 10 月—2010 年 9 月)

(若原ら、2011)

イドログラフを図 1 に示す。

2 流域ともに基底流出は比較的少なく、流出量の変動が大きい。(若原ら、2011)

2009 年 8 月および 2010 年 3 月に、30 日間積算降雨量が 10mm を下回る降雨が観測され、溪流の流出量も低下した。しかし、渓流水の水質は、他の基底流出時に比べて大きい変化はなかった。本研究の観測期間中に 1997 年などに生じた強いエルニーニョ現象は発生しておらず、更に強度の乾燥時について今後の検討が必要である。

(3) ランビル流域の物質収支

熱帯雨林におおわれた 23.25ha の流域の物質収支が求められた。溪流からの物質流出量の算定は、物質濃度と流量の積を積算してなされるが、採水が行われなかった洪水時の濃度推定によりその値が変動する。このため、流量と物質濃度の関係式を求めることが必要であり、各イオンについてその関係式が求

めた。また、流域への物質流入量は、降水量と降水濃度の積で与える方法があるが、実質的には林内到達雨量と林内雨、樹幹流下量を用いて計算するのが妥当である。

このようにして物質収支が、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 K 、 Mg 、 Ca 、 Na 、 Cl 、 $\text{SO}_4\text{-S}$ について求められた。 Cl について、林内雨による入力 21.4kg/ha/yr 、流出 10.6kg/ha/yr であった。各種溶存イオンについて、物質収支が求められたが、特徴的なのは $\text{SO}_4\text{-S}$ で、 6.5kg/ha/yr の入力に対して、流出 64.6kg/ha/yr と著しく大きく、降雨による入力のほぼ10倍の流出であり、土壌、基岩から溶け出している。(Gomyo et al., 2012)

(4) 高濃度硫酸酸性の渓流水形成機構

熱帯雨林内の源頭部に 0.59ha の小流域を設定し、斜面上部地点から斜面下部にLM1からLM5の測定点を設け、土壌水、地下水、渓流水の水質分析結果は以下のである。1) 渓流水S042 - 濃度の空間分布の範囲は、時系列分布の範囲よりも大きかった。

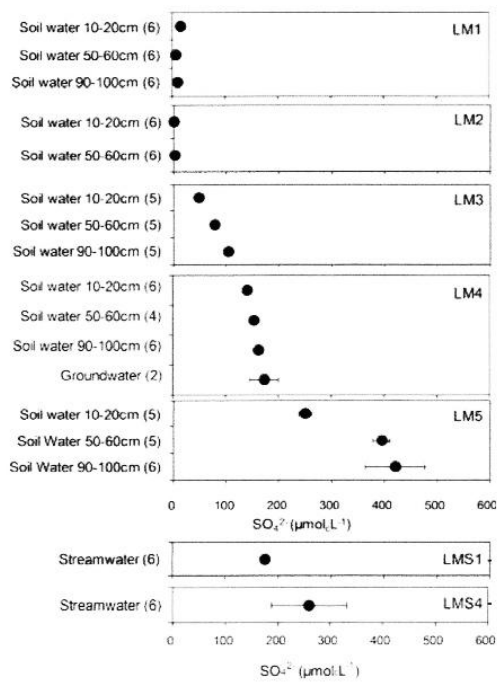


図2 減流域の土壌水、地下水、渓流水の SO_4^{2-} 濃度分布 (五名ら,2012)

2) LM1 から LM5 の土壌水濃度は、斜面下部ほど SO_4^{2-} 濃度が高く、その値の範囲は $0\sim 500\mu\text{molL}^{-1}$ であった。

3) 支流の尾根および上流域に分布する砂質土壌の土壌水 SO_4^{2-} 濃度は、下流域の斜面下部に分布する粘土質土壌の土壌水 SO_4^{2-} 濃度よ

り2オーダー大きかった。

4) 流域内に SO_4^{2-} が高濃度である場所が局部的に存在すること。また硫酸酸性の起源は土壌及び基岩にある FeS_2 酸化の可能性が高いことが想定された。そして過剰な SO_4^{2-} を緩衝する塩基性カチオンが少ないことが、土壌水の SO_4^{2-} の高濃度を維持させていると考えられた。

また土壌水のpHが4.8以下、 Ca^{2+} 濃度が約 $20\mu\text{molcL}^{-1}$ 以下になるとAlの溶出が始まり、さらに、 SO_4^{2-} 濃度が約 $400\mu\text{molcL}^{-1}$ に達するとFeの溶出が始まること明らかになった(五名ら,2012)。

これらより、仮にランビル国立公園の低地フタバガキ林を農地開発しようとした場合には、酸性硫酸塩土壌の問題を引き起こす可能性があることが指摘された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

① Gomyo M, Wakahara T, Shiraki K, Kuraji K, Kitayama K, Suzuki M: Comparison of nutrient balance between a tropical lowland forest and a tropical montane forest in Malaysian Borneo. Journal of Tropical Biology & Conservation, 9(1), 15-25, 2012

② Kume T, Tanaka N, Kuraji K, Komatsu H, Yoshifuji N, Saitoh TM, Suzuki M, Kumagai T: Ten-year evapotranspiration estimates in a Bornean tropical rainforest. Agricultural and Forest Meteorology, 151, 1183-1192, 2011

③ 五名美江, 若原妙子, 白木克繁, 蔵治光一郎, 鈴木雅一: マレーシア・ランビル国立公園小流域における土壌水、地下水、渓流水の高濃度硫酸の起源と生成, 第123回日本森林学会大会学術講演集, 123, Pa032, 2012, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jfsc/123/0/123_0_Pa032/_pdf

④ 若原妙子, 白木克繁, 鈴木雅一: ボルネオ熱帯雨林での強乾燥が流出・土壌水分に与える影響, 日本森林学会大会発表データベース, 122, 212, 2011, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jfsc/122/0/122_0_212/_pdf

⑤ 江草智弘, 大手信人, 小原章裕, 小田智基, 鈴木雅一: 森林溪流における深部地下水の湧出量推定. 日本森林学会大会発表データベース, 122, 645, 2011, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jfsc/122/0/122_0_645/_pdf

〔学会発表〕(計9件)

- ① 若原妙子, 白木克繁, 鈴木雅一: ボルネオ島熱帯雨林における降雨・乾燥イベント中の土壌水分動態および流出特性, 第123回日本森林学会大会, 2012年3月28日, 宇都宮
- ② 五名美江, 蔵治光一郎, 鈴木雅一, 若原妙子, 白木克繁: マレーシア・ランピル国立公園小流域における土壌水、地下水、渓流水の高濃度硫酸の起源と生成機構, 第123回日本森林学会大会, 2012年3月28日, 宇都宮
- ③ Kuraji K, Gomyo M: Inter-annual, seasonal and diurnal variation in rainfall over Malaysian Borneo. SARAWAK BIOLOGICAL RESOURCES FORUM 2010, 2010年3月29-31日, Kuching, Malaysia
- ④ Gomyo M, Wakahara T, Shiraki K, Kuraji K, Kitayama K, Suzuki M: Studies on water and nutrient balances and their mechanisms in tropical lowland and montane rain forests in Malaysian Borneo. SARAWAK BIOLOGICAL RESOURCES FORUM 2010, 2010年3月29-31日, Kuching, Malaysia
- ⑤ Wakahara T, Shiraki K, Suzuki M: Comparison of runoff characteristics of two adjacent catchments in a tropical rainforest in Sarawak Malaysia by using a modified hydrologic cycle model with outflow. SARAWAK BIOLOGICAL RESOURCES FORUM 2010, 2010年3月29-31日, Kuching, Malaysia
- ⑥ Horikawa M, Yasunari T, Kanamori H, Kurita N, Kuraji K: Stable isotope variations in rainwater in Sarawak associated with large-scale tropical disturbances. SARAWAK BIOLOGICAL RESOURCES FORUM 2010, 2010年3月29-31日, Kuching, Malaysia
- ⑦ Gomyo M, Wakahara T, Shiraki K, Kuraji K, Kitayama K, Suzuki M: Characteristics of streamwater concentration of inorganic ions in a montane forest and a tropical lowland forest in Malaysian Borneo. Second International Conference on Forests and Water in a Changing Environment, 2009年9月14-16日, Raleigh, NC, USA
- ⑧ 五名美江・蔵治光一郎・鈴木雅一・若原妙子・白木克繁・北山兼弘: ボルネオ熱帯山地林と低地林における降雨と渓流水の溶存物質濃度の特性. 水文・水資源学会2009年度研究発表会, 2009年8月20日, 石川県文教会館(金沢市)
- ⑨ 蔵治光一郎・五名美江・Phua Mui How, John Tay, Mahmud Sudin and Yap Siew Fah: 東南アジア湿潤熱帯の降雨季節変動とエル

ニーニョに伴う少雨との空間的相互関係, 2009年8月20日, 石川県文教会館(金沢市)

〔図書〕(計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 雅一 (SUZUKI MASAKAZU)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授
研究者番号: 10144346

(2) 研究分担者

白木 克繁 (SHIRAKI KATSUSHIGE)
東京農工大学・共生科学技術研究院・講師
研究者番号: 30313290
蔵治 光一郎 (KURAJI KOUICHIROU)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授
研究者番号: 90282566
大手 信人 (OHTA NOBUHITO)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授
研究者番号: 10233199