

論文内容の要旨

森林科学専攻
平成19年度博士課程 入学
氏名 五名美江
指導教員名 鈴木雅一

論文題目 Studies on water and nutrient balances and their mechanisms in tropical lowland and montane rainforests in Malaysian Borneo
(ボルネオ島低地・山地熱帯雨林における水・物質収支とそのメカニズムに関する研究)

熱帯雨林は、保護地域を除き、伐採され減少している。また、エルニーニョ等の気候変動の影響を受けた降雨減少に伴う山火事や、泥炭湿地林・マングローブ林の伐採後の再造林や農地開発を困難にする酸性硫酸塩土壌の問題が知られており、問題解決のための基礎的知見を得るため、熱帯雨林を対象とした水・物質循環の研究を行う必要がある。これまで、生態学・水文学などの学問分野の研究が個別に推進されてきたが、気候・気象・水文・土壌・地質・生態学などの分野を融合し総合的にアプローチしている事例は少ない。また、これまでの研究は、単一サイトのみ研究が多く、低地・山地熱帯雨林のように異なるタイプの熱帯雨林において水文・水質研究を同時に数年間、継続して行い、水・物質収支の特徴を比較した研究はほとんどない。

このような背景を踏まえ、本論文は、ボルネオ島マレーシアの全域の降雨データを収集するとともに、低地熱帯雨林と山地熱帯雨林の2サイトに試験流域を設定して水文・水質観測を実施し、降雨特性、水・物質収支とそのメカニズムを明らかにしたものである。

本論文は全7章により構成されている。

第1章では、研究の目的と意義について述べた。

第2章では、本論文の観測サイトの概要と試験流域の詳細を示した。主たる対象流域として、ボルネオ島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1流域 (LT; 23.25 ha、標高 90~250 m)、サバ州キナバル国立公園の山地熱帯雨林1流域 (KM; 1.78 ha、標高 1697~1766 m) を設定し、水文・水質観測を実施した。LT、KMにおける渓流水質の一般性を検討するために、LTに隣接した1流域 (LC; 21.97 ha、標高 180~250 m)、KMに隣接した1流域 (KB; 4.06 ha、標高 1867~2033 m) を設定し、LT、KM同様の観測を実施した。低地熱帯雨林については、渓流水質形成メカニズムを検討するために、小流域 (LM; 0.59 ha、標高 190~212 m) を設定した。対象流域の地質はすべて第三紀堆積岩であり、土壌は、USDAの区分によると、LT、LC、LMはアルティゾル、KMはスポドゾル、KBはインセプティゾルである。

第3章では、サラワク州、サバ州全域を対象に、降雨季節変動の地理的分布と、エルニーニョ南方振動 (ENSO) の影響について記述した。

降雨季節変動パターンとその空間分布を把握するため、サラワク州は17地点41年間 (1963~2003)、サバ州は25地点20年間 (1987~2006) の月降雨量データを使用し、地点別の長期平均季節変動パターンを基にクラスター解析を行った。その結果、サラワク州、サバ州は各々4クラスターに区分された。次に、ENSOと降雨季節変動の関係を明らかにするため、Niño3.4海域 ($5^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{N}$, $170^{\circ}-120^{\circ}\text{W}$) 月平均海面水温と、降雨季節変動の各パターンとのラグ相関解析を行い、その結果を基に12-2月の平均海面水温を指標としたエルニーニョ年のコンポジット解析を行った。その結果、エルニーニョの影響により、サラワク州では極めて限定された地点でのみ降雨減少が顕著となること、サバ州では全域にほぼ同じタイミングで降雨減少が発生するが、このタイミングにもともと少雨である限られた地点で降雨減少が顕著となることがわかった。

第4章では、低地・山地熱帯雨林の水・物質収支の特徴を記述した。

3年間 (2006~2008) LTとKMで降雨、流出の連続観測を行った結果、平均年降雨量は各々 2925.8、3216.7 mm、平均年流出量は各々 1271.8、2368.2 mm、平均年気温は各々 16.2、27.0 $^{\circ}\text{C}$ であった。この結果とマレーシアの他の熱帯雨林流域の結果を用いて、年損失量と年降雨量、流域面積、流域末端部の標高との関係を調べたところ、年損失量と標高の間に、最も高い有意な相関が見られ、LTとKMの損失量の差を決めている主たる要因は標高であると考えられた。

物質収支について、LTとKMを比較した結果、収支に最も顕著な差が見られたのは硫酸態硫黄 ($\text{SO}_4\text{-S}$) であった。LT、KMの単位面積あたり平均年 $\text{SO}_4\text{-S}$ 流入量は、降雨では各々 6.5、4.0 kg/ha/year、林内雨では、各々 6.1、6.5 kg/ha/year と大

差はなかった。一方、渓流水として流出する平均年 $\text{SO}_4\text{-S}$ 流出量を比較すると、LT (64.6 kg/ha/year) は KM (1.0 kg/ha/year) の約 65 倍もの流出量があり、LT では流入量より流出量が多く、KM では流入量より流出量が少ないことが明らかとなった。

第 5 章では、低地・山地熱帯雨林の渓流水の溶存物質濃度の特性を明らかにし、世界の他の熱帯雨林の研究結果と比較して考察した。

渓流水の LT、KM の電気伝導度 (EC) は、平水時には各々 40~50、1~2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ と 1 オーダー以上異なり、降雨よりも LT では低く、KM では高い特徴があった。降雨時の渓流水の EC は、LT は低下、KM は上昇し、降雨時の渓流水の水質は降雨の寄与を大きく受けることがわかった。そこで、LT と KM それぞれについて、流況曲線を基準として流量区分を行い、加重平均濃度を算出した。出水時を除いた渓流水の Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 OH^- 濃度の合計 (TA) は、LT、LC (各々 485.6、197.2 $\mu\text{mol}_\text{c}\text{L}^{-1}$) で、KM、KB (各々 14.3、15.1 $\mu\text{mol}_\text{c}\text{L}^{-1}$) の最大 34 倍、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 H^+ 濃度の合計 (TC) は、LT、LC (各々 402.5、216.9 $\mu\text{mol}_\text{c}\text{L}^{-1}$) で、KM、KB (各々 97.3、172.4 $\mu\text{mol}_\text{c}\text{L}^{-1}$) の最大 3.1 倍であり、pH は、LT、LC で各々 4.2、4.7、KM、KB で各々 5.7、6.3 であった。低地と山地では、 SO_4^{2-} 濃度の絶対値と、TA に占める SO_4^{2-} 濃度の割合、pH に特に明瞭な差があった。TA、TC、pH の関係を世界の他の熱帯雨林 24 流域で調べたところ、地質による違いが明瞭で、堆積岩の流域では、流域による TA、TC および pH のばらつきが花崗岩の流域に比べて 2~3 オーダー大きいことが明らかとなった。ばらつきの要因について、本論文の 4 流域を追加して検討した結果、 SO_4^{2-} 濃度、TA に占める SO_4^{2-} 濃度の割合が TA、TC を決める主たる要因であり、 SO_4^{2-} を緩衝するカチオンが十分にあるかどうか pH を決める主たる要因であることが明らかとなった。

第 6 章では、低地と山地熱帯雨林の違いが明瞭である渓流水の SO_4^{2-} 濃度について、なぜ低地熱帯雨林で高濃度 SO_4^{2-} が形成されるのか、そのメカニズムを観測により検討した。LM 流域を対象とし、土壌水・地下水・渓流水の SO_4^{2-} 濃度の鉛直分布、 SO_4^{2-} と Fe 濃度の関係、イオンバランス、土壌の pH を調べた。その結果、土壌水の SO_4^{2-} 濃度は均一ではなく、下流域では最小 0.5 $\mu\text{mol}_\text{c}\text{L}^{-1}$ 、上流域では最大 420.5 $\mu\text{mol}_\text{c}\text{L}^{-1}$ で 3 オーダー大きいこと、渓流水の SO_4^{2-} 濃度は上流の湧水点付近の土壌水、地下水、湧水の SO_4^{2-} 濃度に近いことが明らかとなった。 SO_4^{2-} 濃度が 200 $\mu\text{mol}_\text{c}\text{L}^{-1}$ 以上の濃い地点では、(TC-TA) が負でカチオンが不足しており、重金属イオンの寄与があると推察された。 SO_4^{2-} と Fe がすべて黄鉄鉱 (FeS_2) の酸化で生じており、他にない場合を仮定すると、Fe と S のモル比は 1 : 2 となる。この仮説が満たされ、さらに Fe がすべて Fe^{3+} の形で存在していると仮定すれば、

Fe の持っている電荷と S の持っている電荷の比は 3 : 4 となる。本論文より、 SO_4^{2-} 濃度が $200 \mu\text{mol}_e\text{L}^{-1}$ 以上の流域上部の土壤水と湧水点の溪流水で、 SO_4^{2-} と Fe 濃度が $\text{Fe} : \text{S} = 1 : 2$ の線上にほぼのっていることがわかり、高濃度 SO_4^{2-} の原因は FeS_2 の酸化と推察された。一方、 SO_4^{2-} 濃度が $200 \mu\text{mol}_e\text{L}^{-1}$ より低い地点では、(TC-TA) が正で、 SO_4^{2-} 濃度と Fe の関係は明瞭ではなかった。pH は 5.3 以下で、 HCO_3^- の寄与はないと考えられることから、(TC-TA) が正である要因は有機酸イオンと推察された。LM 流域内 3 地点で土壤を採取し、強制酸化 pH 測定を行った結果、いずれも 3 以下となり、酸性硫酸塩土壤と判定された。泥炭湿地林では、酸性硫酸塩土壤が存在することが知られているが、ランピル国立公園のようなフタバガキ林が成立する低地熱帯雨林において、酸性で高 SO_4^{2-} 濃度の溪流水が存在し、その起源が上流域の土壤に存在する FeS_2 の化学的風化であることが明らかになった。

第 7 章は、本論文結果の総括とした。

本論文により、ボルネオ島マレーシア全域の降雨特性、低地・山地熱帯雨林流域の水・物質収支の特徴やメカニズムについて、これまでになく新たな知見を提示することができ、その共通点と違いについて明らかにすることができた。