

C-052 酸性物質の負荷が東アジア集水域の生態系に与える影響の総合的評価に関する研究
 (3) タイ熱帯季節林集水域における物質収支解析に基づく酸性沈着の生態系影響評価

財団法人日本環境衛生センター

酸性雨研究センター 生態影響研究部

佐瀬裕之

〈研究協力者〉	京都大学大学院農学研究科	太田誠一・山下尚之
	酸性雨研究センター 生態影響研究部	上迫正人
	タイ国 王室林野局	Jesada Luangjame
	タイ国 環境研究研修センター	Hathairatana Garivait

平成17～19年度合計予算額	22,426千円
(うち、平成19年度予算額)	6,899千円)

※上記の合計予算額には、間接経費 5,176千円を含む

[要旨] 本サブテーマでは、これまで熱帯地域への適用例がほとんどなかった集水域単位の生物化学的物質循環を基礎とした酸性沈着の生態影響モニタリング地点を、タイ国東北部の丘陵地帯に分布する熱帯乾燥常緑林に設定し、継続観測を実施した。また、新潟県に設定された既存試験地の解析結果との比較から、異なる気候帯の集水域の特質を明らかにした。

熱帯乾燥常緑林に設定されたサケラートSRS試験地は、1000 mm以上の蒸発散量により、物質の流出が大きく制限された物質集積型の生態系であることが示唆された。本試験地のように乾季と雨季に明確に分かれている熱帯季節林帯においては、乾季の間に大気中に滞留した SO_4^{2-} 、 NO_3^- を多く含むガス状・粒子状の汚染物質が、雨季初期に降水によってウォッシュアウトされ、沈着量が著しく増大することが明らかとなった。また、本集水域内の土壌酸性は季節・空間変動を示すことが明らかとなり、特に、大気沈着の影響を広域的にモニタリングする場合、空間変動を考慮した反復サンプリングが必要なことが示唆された。さらに、土壌中のN動態の評価にも、季節・空間変動を十分に考慮する必要があることが示唆された。渓流水質は、乾季・雨季という気候的特性や、それによって変化する土壌化学性や内部循環の影響を受けながら、明確な季節性を示すことが明らかとなった。渓流水質へのN沈着の直接的影響は現時点では明らかではないが、大気沈着に由来すると考えられる SO_4^{2-} が流出することにより、一時的な渓流水の酸性化が生じていることが明らかとなった。

東アジア地域の森林集水域は、モンスーンの影響を強く受け、大気沈着について明確な季節性を示す一方で、渓流水質を含む物質循環過程は、各地域の気候的、土壌学的特質の影響を強く受け、大きく異なることが明らかとなった。本サブテーマで得られた各集水域の特質は、今後、各地域の影響を評価する上で重要な基礎情報となり、EANETモニタリングへの貢献も期待できる。

[キーワード] 酸性沈着、熱帯季節林、物質収支、東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (EANET)、集水域

1. はじめに

酸性雨モニタリングネットワーク（EANET）は、東アジアにおける酸性雨問題の状況に関する共通理解の形成や、酸性沈着による環境への悪影響を防ぐため政策決定に有益な情報を提供することなどを目的に、東アジア13カ国が参加している国際的枠組みであり、酸性物質の大気からの（湿性・乾性）沈着、および土壌、植生、陸水などの生態影響に関するモニタリングを実施している。EANETでは、将来的に陸域生態系評価に資する観測手法を開発するため、集水域（キャッチメント：流域）を単位とした、大気沈着から渓流水までを含めた包括的なモニタリング手法について検討している。雨や土壌、河川などを別々に見るのではなく、森林内部（林冠や土壌中）での物質の流れを考えながら、同じ集水域内で同時に監視していくことが、酸性沈着の陸域生態系への影響を定量的に評価するためには有効であると考えられている。EANETネットワークセンターである酸性雨研究センターでは、国内では日本海側の季節風の森林生態系への影響を明らかにすることを目的に、平成13年度（2001年度）から日本海側に面する新潟県加治川村（現新発田市）に小集水域試験地（加治川試験地）を設定し、継続調査を実施してきた。平成17年度（2005年度）からは、その解析結果や現地調査におけるノウハウも参考に東アジアに特有な季節性を考慮しながら、タイ国EANET関係機関と共同で熱帯季節林において集水域調査を開始した。

東アジア地域は、モンスーンの影響を強く受け、季節性が明確である。特に、熱帯地域は、欧米や日本などの先行研究が多い亜寒帯・温帯地域とは気象・土壌・植生等が著しく異なり、集水域研究の適用例はほとんどない。特に雨季・乾季が明確な熱帯季節林では、乾季には、ほとんど降雨がないため、ガス状・粒子状の酸性物質が多量に大気に滞留しているものと考えられる。また、仮に樹木や土壌表面に沈着（乾性沈着）しても、降水量が少ないため、物質移動が限定され、生態系外への流出がほとんど起こらず、酸性物質が大気中および森林生態系内に滞留・蓄積されていることが予測される。このように乾季に蓄積された酸性物質が、雨季の始まりとともに一気に洗浄・流出されることにより、沈着量や生態系からの流出量の急激な増大を引き起こし、生態系内での物質循環の攪乱などを生じさせる可能性もある。また、これらの地域には、高温・高湿環境下で強い風化作用を受けた酸緩衝能が低い土壌が広く分布することから、今後酸性物質排出量の増加が予測される東アジアにおいて、熱帯特有の気候条件下での生態系影響の評価は大きな課題である。

2. 研究目的

本サブテーマでは、タイ熱帯季節林に設定した集水域試験地における物質の循環・収支を基礎として、雨季と乾季の季節変化に伴う酸性物質の挙動の特性を明らかにすること、大気沈着による当該生態系への影響を解析すること、EANETで集水域・流域調査を行うための問題点を抽出し、マニュアル作成のための基礎的な情報を得ること、等を目的とした。

タイの集水域試験地においては、流入量（大気沈着量）および溪流からの流出量の季節変動を明らかにするとともに、当該森林生態系内における物質挙動について検討を行った。また、物質挙動に関わる機構として、集水域内における土壌酸性の季節的・空間的変動と窒素成分の土壌中でのフラックスを明らかにした。さらに、新潟の加治川試験地における結果を解析することにより、日本海沿岸域（温帯地域）における大気沈着の季節性とその物質循環への影響を明らかにし、熱帯地域との比較から、各地域の物質循環の特性をより明確化した。これらの情報を基に、EANET

における集水域モニタリングマニュアル作成のための基礎情報を集約した。

3. 研究方法

(1) タイ集水域試験地における物質循環

1) 調査地点の概要

タイ東北部、第3の都市であるナコン・ラチャシマ（コラート市）の郊外の丘陵地帯に位置する、熱帯季節林に関する研究が多く行われているサケラート試験研究林をサイトして選定した。王室林野局（RFD）が管理するサケラート林業研究ステーション（Sakaerat Silvicultural Research Station：サケラートSRS）の試験研究林内に小集水域試験地（約35ha）において、下記の現地調査を2005年10月より開始した。気候区は熱帯モンスーン気候（Am）、植生は熱帯乾燥常緑林（dry evergreen forest）、主な土壌種は陽イオン交換容量や塩基飽和度が低い強酸性の赤黄色土（Orthic Acrisols）である。過去10年間の気象データを基に、気候図プロットから解析した結果、サケラートSRS試験地において、乾季は11～3月、雨季は4～10月、また特に、4～6月および8～10月は過湿期であると推定された。サケラートSRSの構内には、EANETの湿性沈着・乾性沈着モニタリングのステーションもあり、ウェット・オンリー型の降水捕集装置およびフィルターパック法による大気濃度測定が行われている。流入量推計に関しては、これらのデータも活用することが可能である。

2) 大気沈着量及び溪流からの流出イオン量の通年観測

総沈着量推計のため、林内雨・樹幹流捕集装置を試験地内5地点に設置した。また、試験地近傍のオープンスペース（1地点）に林外雨捕集装置と大気濃度測定用のパッシブサンプラー（SO₂、NO₂、NO_x、NH₃、O₃の各項目）を設置した。試験地最下部の溪流に、ロガー内蔵型水位計を設置した。また、近傍で定期的な採水、水位、流速の実測を開始した。各プロットの設置イメージは、図1のとおり。降水、大気濃度測定など、沈着量に関わる調査は、10月初旬から月2回（毎月15日と末日に回収）の頻度で、試料捕集を開始した。同時に、渓流水についても、月2回の採水を実施した。流入水量は林外雨のサンプラーで得られた捕集水量を基に算出し、流出水量は、当該集水域の最下部に設置した水位ロガーのデータと採水時の実測流量から、水位・流量曲線を作成し、推計した。

捕集した試料は、速やかにバンコクに輸送し、研究協力機関である環境研究研修センター（ERTC）において、pH、EC、アルカリ度（渓流水のみ）を測定した後、イオンクロマトグラフにより、SO₄²⁻、NO₃⁻、Cl⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺、NH₄⁺等の主要なイオンの分析を行った。

また、サブテーマ1との連携として、信州大学のグループによって、林外雨調査地点（1地点3反復）、林内雨・樹幹流プロット（5地点）、土壌プロット内の斜面上（上・中・下、各5反復）に、イオン交換樹脂を用いたサンプラーが設置された。これらのデータは、林内雨および林内雨・樹幹流法の検証・評価にも用いた。

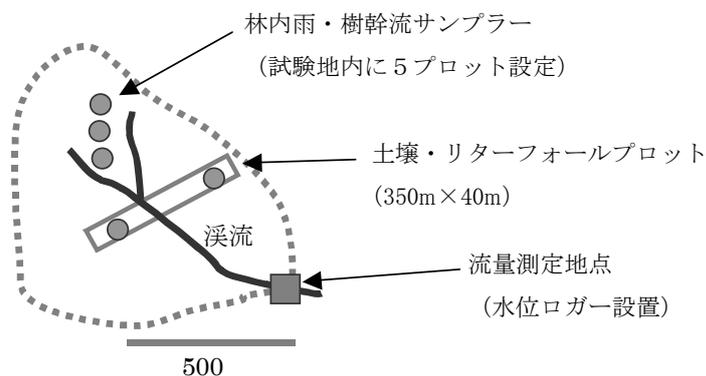


図1. サケラート集水域試験地における各プロットの設置イメージ
試験地近傍のオープンスペースに林外雨捕集装置、パッシブサンプラーを設置

また、タイ東部におけるサケラート試験地の位置づけ、特徴を明らかにするために、ナコン・ラチャシマ州内の2つの国立公園（Thap Lan国立公園、Khao Yai国立公園：世界遺産登録地域）において、渓流水を採取し、同時期のサケラート試験地内の渓流水質との比較を行った。採水は、Thap Lan国立公園2ヶ所、Khao Yai国立公園内4ヶ所で行った。

3) 土壌酸性の季節・空間変動

主溪流を挟む両側の斜面に350m×40mの長方形プロットを設置した。2005年11月の雨季と2006年3月の乾季に土壌を採取した。長方形プロットを10m×10mの格子に区分し、各格子点においてオガーを用いて0-5cm、5-15cm、25-35cm、45-55cmの各深度から土壌を採取した。さらに、プロットの長辺に平行な中心線上で各10m格子点の間で1mもしくは2m間隔で5地点から0-5cm土壌を採取した。得られた試料を用いてpH(H₂O、KCl)、交換性Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺(pH7.0の酢酸アンモニウムによる抽出)と交換酸度(Al³⁺、H⁺:1MKClによる抽出)を測定した。交換性Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺と交換酸度の総量をECECとし、交換性Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺の和をECECで除したものを塩基飽和度とした。また、ジオスタティスティクス(地球統計学)を用いて各土壌特性値のセミバリオグラムを求めた。

4) 土壌・植生系における窒素(N)フラックスの季節・空間変動

長方形プロットの片側斜面において東側斜面の上部・中部・下部に深度20cm～60cmの土壌断面を作成し、0-5cm、5-20cm、20～40cm、40～60cmの各深度において土壌サンプルの採取、無機化・硝化速度の測定のためのベリードバッグ(現地培養法)と鉛直方向フラックス測定のためのイオン交換樹脂の設置・回収をおこなった。斜面上部は鉍質土壌層が30cm～50cmと浅かったため、0-5cmと5-20cmの2深度のみを対象とした。サンプリングは2006年6月より開始し、雨季中期(6月～8月)、雨季後期(9月～11月)、乾季(12月～2月)、雨季初期(3月～5月)の4期間1年間にわたり実施した。ベリードバッグは各期間の培養後に現地でKCl抽出をおこない、培養前後の無機態N濃度を測定して純無機化・硝化フラックスを算出した。イオン交換樹脂は0、5、20、40、60cmに設置し、各期間後に回収してKCl抽出をおこない、無機態N濃度を測定して各深度における流入と溶脱を算

出した。無機態N濃度 (NO_3^- 、 NH_4^+) の測定にはフローインジェクション(アクアラボ製)を用いた。

(2) 既存試験地(新潟加治川試験地)のデータ解析

新潟県日本海沿岸に位置する加治川試験地では、スギ人工林、褐色森林土に覆われた小集水域(面積: 3.84 ha)において、2002年から通年観測が実施されている¹⁾。流入量は、林内雨・樹幹流(各3斜面・2反復、計6地点)、林外雨(1地点)、標準雨量計(1地点)等により大気沈着量を推計、流出量は、三角堰とパーシャルフリュームにより渓流水流出量の連続測定を行った²⁾。林外雨・林内雨・樹幹流は4週間毎に回収、渓流水は2週間毎に採水し、化学分析に供した(2007年からは林外雨等も2週間毎に回収)。分析項目は、タイの試験地と同様である。本サブテーマにおいては、温帯、特に日本海沿岸域の特徴を明確にし、熱帯季節林との相違点を検討するため、上記試験地で得られた過去5年間のデータを基に、大気沈着とその影響について、季節性と物質流入・流出収支に着目した解析を行った。

(3) EANETにおける集水域モニタリングマニュアル作成のための基礎情報の集約

上記、タイ・サケラートSRS試験地、新潟・加治川試験地における、調査経験、解析結果を基に、EANETにおける集水域モニタリングマニュアル作成のための基礎情報の集約について、タイ王室林野局(RFD)のJesada博士、環境研究研修センター(ERTC)のHathairatana博士らと議論を開始した。

4. 結果・考察

(1) タイ集水域試験地における物質循環

1) 水の循環・収支の検討

集水域試験地内への流入水量(林外雨降水量)及び流出水量(渓流水量)を、図2に示した。目安として、雨季に相当する期間を網掛けで示した。過去の気象データの解析から、本地域では、4月に雨季が始まり、5月頃に月降水量が100 mmを超える過湿期になるが、7-8月は降水量が低下し(湿潤期)、その後、再び9-10月にさらに降水量が多い過湿期を迎えることが明らかになっている。2006年、2007年については、雨季が3月中旬に早めに始まったものの、その後は、5-6月に前半の過湿期、7月に一度降水量が低下した後、9-10月に後半の過湿期を迎えており、ほぼこれまでの年と同じようなパターンで降水イベントが見られた(図2(a))。

一方で流出水量を見ると、雨季後半においては、降水量に従った増大が見られるが、雨季前半5-6月の過湿期においては、流量はほとんど増えず、2006年の場合は6月後半、2007年の場合は5月に何度かほとんど枯れた状態になった(図2(b))。本集水域試験地内ではないが、同じサケラート試験林構内の乾燥常緑林における蒸発散量の観測データによると、雨季6月の蒸発散(3.3 mm d^{-1})は、乾季1月の観測値(0.6 mm d^{-1})を大きく上回ることが指摘されている³⁾。雨季前半の過湿期においては、植物活動が活発になり、降水は土壌・植生系で主に使われ、蒸散量が増大するため、溪流にまで水が流れないと考えられた。

乾季から翌年の乾季までを水の循環の一年(水年)とすると、本試験地においては、暦年を水年とほぼ等しく扱うことが可能であると考えられた。1月から12月の流入水量を積算すると約1350 mmであるにも関わらず、流出水量は約58 mmであり、5%未満であった。熱帯地域の水収支において

は、蒸発散量の寄与が大きいと考えられるが、上述したサケラート試験林の雨季と乾季の蒸発散量から年間蒸発散量を推計した場合は約960 mm、蒸発散量の簡易的な推計法として用いられるソーンスウェイト法（月平均気温を基礎として算出）で推計した場合は約1500 mmとなり、1000 mm単位の蒸発散が生じている可能性が示唆された。ここで推計された流出量が過小評価されている可能性はあるが、本報告書においては、上記の水収支を基に物質収支を算出した。

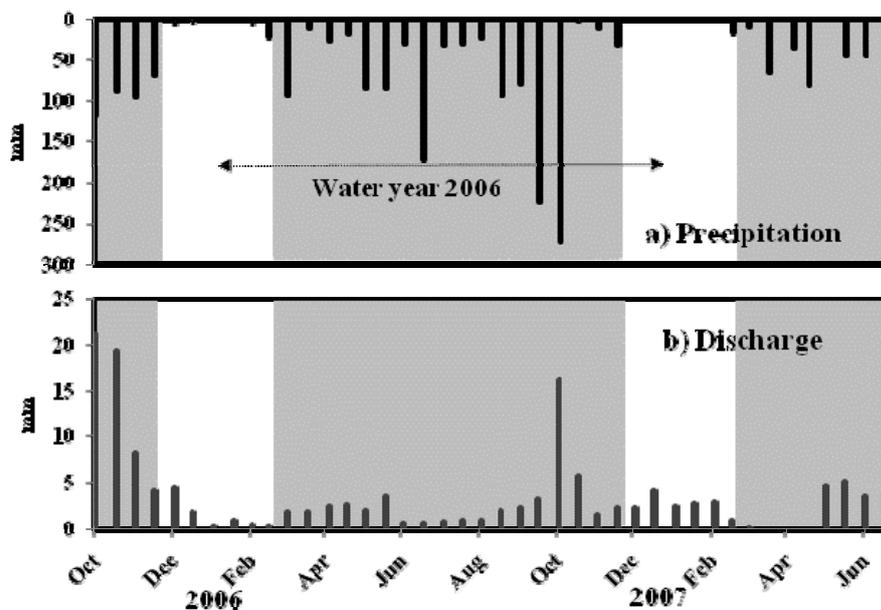


図2. 流入(降水量：a)・流出(溪流水量：b)水量の季節変化

流入・流出量とも、各捕集期間の水量を15日単位に規格化した値を示した。流出量については、集水域面積を35haとしてmm単位で算出した。図中の網掛けの期間は雨季の、白抜き期間は乾季の目安を示す。

2) 雨季から乾季の大気沈着量の変化

主要なイオンと降水量について、林内雨・樹幹流法及び林外雨（バルクサンプラー）による大気沈着量の季節変化を図3に示した。

林内への総沈着量（湿性沈着+乾性沈着）と考えられる林内雨・樹幹流法による沈着量は、2006年の3月中旬、雨季の始まりとともに、全てのイオンで急激な増大が見られた（図3(a)-(e)）。特に、 SO_4^{2-} や、 NO_3^- は、この時期に最大値を示した。その後は、5月から6月にかけて、降水量とともに、再び沈着量が増大し、 Cl^- 、 NH_4^+ が最大値を示した。 K^+ は、雨季終盤の最も降水量の多い時期に再び沈着量が増大し、10月に最大値を示した。2007年は、雨季前半までのデータであるが、少し傾向は2006年とは異なるものの、やはり雨季の始まりとともに沈着量の増大が見られた。 SO_4^{2-} や NO_3^- が最大沈着量を示した雨季の始まりには、降水量はそれほど多くなく、濃度が高いことにより沈着量が増大したことが示唆される。 SO_4^{2-} や NO_3^- では林外雨との差は比較的小さく、乾性沈着の影響よりも、乾季の間、大気中に滞留していた SO_4^{2-} 、 NO_3^- を多く含むガス状・粒子状の汚染物質が、降水によって、ウォッシュアウトされたと考えられた。林内雨量は、林外とほぼ同じ傾向を示したが、林冠遮断によって、林外雨量よりも低い値を示す時期が多かった（図3(f)）。2006年の年

間積算値を比較すると、林冠遮断は約40%であり、通常、日本のスギ林などで報告される値(20-30%)よりは、高い値を示していた²⁾。

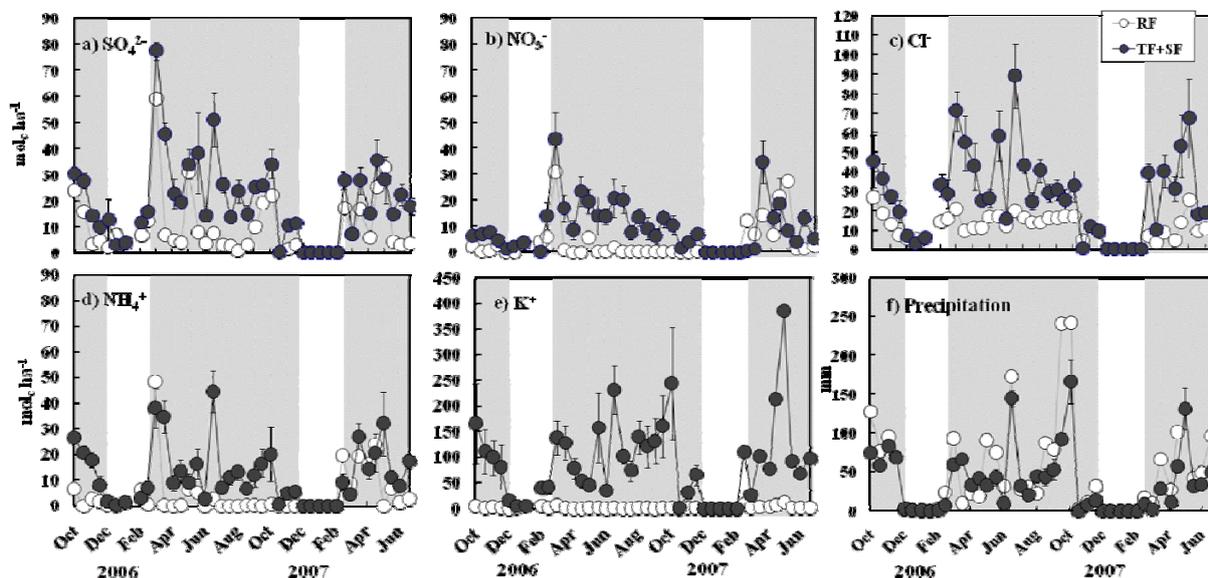


図3. 林内雨・樹幹流法 (TF+SF) 及び林外雨 (RF) による大気沈着量の季節変化

各捕集期間の沈着量を15日間単位に規格化した値を示した。林内雨・樹幹流法については、5地点の平均値と標準誤差を示した。網掛けは雨季に相当する期間。

林内雨・樹幹流法による沈着量と林外雨の沈着量の差は、乾性沈着や林冠反応(溶出・吸収)を評価するために用いられ、林冠反応の寄与が小さいと考えられる SO_4^{2-} や Cl^- ではほぼ乾性沈着量に等しいと考えられており、2006年の年間値では、それぞれ林内雨・樹幹流法の61%、60%であった。一方で、N化合物(NO_3^- 、 NH_4^+)は林冠反応(吸収)の影響を強く受け、多くの場合、林外雨と林内雨・樹幹流法の差が比較的小さく、特に NH_4^+ では林外雨による沈着量の方が多く見積られる場合もあるが¹⁾、今回は林外雨によるN化合物の沈着量が雨季に入って林内雨・樹幹流に較べ著しく低い結果となった。例えば、2006年の年間沈着量を、 NO_3^- 、 NH_4^+ の和である溶存無機N (DIN) として算出すると、林内雨・樹幹流法では 7.8 kg ha^{-1} であるのに対し、林外雨では 1.7 kg ha^{-1} であった。特に林外雨において、捕集期間中に微生物による消費が生じているものと考えられたため、バイオサイド(チモール)を添加し比較試験を行ったところ、N化合物の沈着量の回復が見られる場合があり、微生物の影響が確認された。しかしながら、森林地域でのバイオサイド添加は、周辺土壌を汚染する可能性があることから、本地域では、N化合物の沈着量については、EANETステーションのウェット・オンリー捕集装置や、サブテマ(1)で用いたイオン交換樹脂を用いたサンプラーで得られたデータを参考とすることとした。すでにデータが公表されている2006年のEANETデータによると、DIN沈着量は 6.0 kg ha^{-1} であった。一方で、他のイオンについては、 Cl^- ではEANETデータの方が少ないなどの差が見られるものの、 SO_4^{2-} を含む多くのイオンについて、林外雨とEANETデータの年間値はほぼ同等であった。林外雨調査地点に設置されたサブテマ(1)によるイオン交換樹脂サンプラーのデータでは、2007年の年間値は約 7 kg ha^{-1} であり、直接比較はできな

いものの、上記のEANETデータとほぼ同等であり、DIN沈着量については、EANETデータおよびイオン交換樹脂法を用いるのが適当であると考えられた。林内に設置されたイオン交換樹脂サンプラーによる2007年のDIN沈着量は、約8 kg ha⁻¹であり、林内雨・樹幹流法では、捕集期間中のNの消費は、比較的小さいと考えられた。

3) 土壌酸性の空間・季節変動

①空間変動とその規定要因

雨季後期・乾季ともに両斜面の土壌pH(H₂O)は約4.5-6.5の範囲で空間的に大きく変動していた。プロット中心線上の50m~120mや250m~340mの範囲のpHは130~240mの距離にあるpHより低い傾向がみられ、さらに多くの地点で約10~20mの範囲内でpH変動が認められた(図4b)。すなわち、pHの空間変動には大小2つの異なるスケールをもつ空間構造が存在していると考えられた。pHのセミバリオグラムにおいても20mの短レンジと110mの長レンジが認められ、2つの空間構造の存在を支持していた。110mの長レンジは、斜面位置等の地形を反映しているものと考えられた。一方、pHの空間変動は深度方向に減少し、45cm以深ではほとんど空間変動がみられなかった。

中心線におけるpHとCa²⁺、Mg²⁺、K⁺濃度の分布を大小2つの異なる空間構造に注目して詳細に観察すると、約20mの小スケールでは両者の分布に対応関係が観察された(図4b、4c)。交換性塩基濃度はAo層の堆積量との対応関係もみられたことから、小スケールにおいてはAo層の堆積量やそれに影響する植生等が交換性塩基濃度とpHを規定していたと考えられた。しかし、約110mの大スケールでは各値の分布は一致しておらず、例えば130~240m付近のpHが他地点より高い傾向を示したのに対して交換性塩基濃度にはそうした傾向が見られなかった(図4b、4c)。

一方、交換酸度は130~240m付近で明らかに他地点より低い、すなわち高いpHをもたらす傾向を示しており、大スケールにおいてpHと調和的に変動していると考えられた(図4b、4d)。交換酸度の大部分を占める交換性Al³⁺は粘土鉱物表面に多く存在することから、地形による粘土含量の変化が潜在的な可溶性Al³⁺の量と交換酸度の濃度に影響している可能性が考えられた。

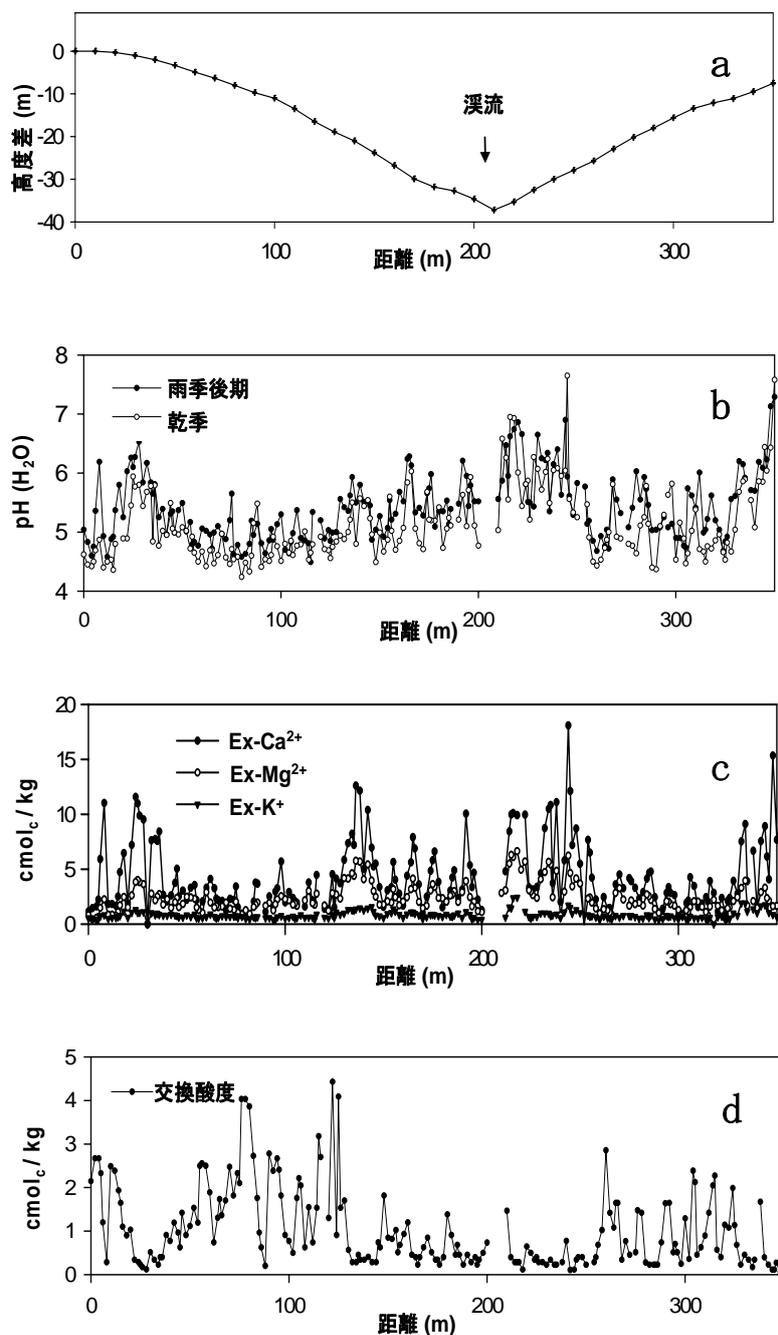


図4. プロット中心線における地形と表層 (0-5cm) における各土壌特性値の空間分布 (a, 中心線上の地形 b, 雨季後期と乾季におけるpH(H₂O)の空間分布 c, 雨季後期における交換性Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺の空間分布 d, 雨季後期における交換酸度の空間分布)

②季節変動

0-5cmにおける雨季後期の土壌pH(H₂O)はほぼすべての地点で乾季より高く、0-5 cmの全地点の平均値は雨季後期の方が乾季よりも有意に0.3高かった。中心線上において、両者の空間変動のパターンがほぼ同一でありながら、雨季のpHが一様に乾季より高いことが明らかであった (図4b)。

一方、5cm以深のpH (H₂O)、全深度におけるpH(KCl)、交換性塩基濃度や交換酸度に有意な季節間差はみられず、交換性塩基や交換酸度では、土壌pHの季節変動を説明することは困難であると考えられた。

4) 土壌・植生系における無機態Nフラックスの空間・季節変動

①無機態Nフラックスの空間変動

無機態NのAo層から鉍質土壌表層への流入と鉍質土壌から基岩層への溶脱に斜面位置間の大きな差はみられなかった。斜面中部・下部のNO₃⁻の鉛直方向フラックスは、0cmから40cmの鉍質土壌内で深度方向に減少、40cmから60cmで増加し(図5)、NH₄⁺もほぼ同様の傾向を示した。斜面上部ではNO₃⁻は0cmから5cmにかけて深度方向に増加、5cmから20cmで減少し(図5)、NH₄⁺は一様に深度方向に減少していた。斜面下部の鉍質土壌におけるNの純無機化・硝化速度は斜面中部・上部より大きい傾向にあった。斜面中部・下部では無機化・硝化の大部分が深度0-20cmの範囲で生じていた(図6)。

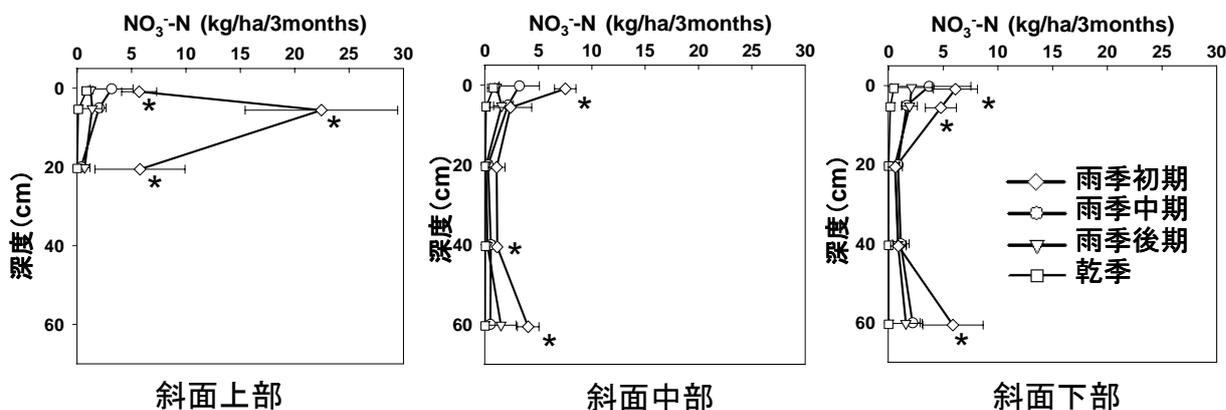


図5. 斜面上部・中部・下部におけるNO₃⁻の鉛直方向フラックスの季節間比較

(*は各深度において、t検定によって雨季初期と乾季に有意差(p<0.05)があったことを示す)

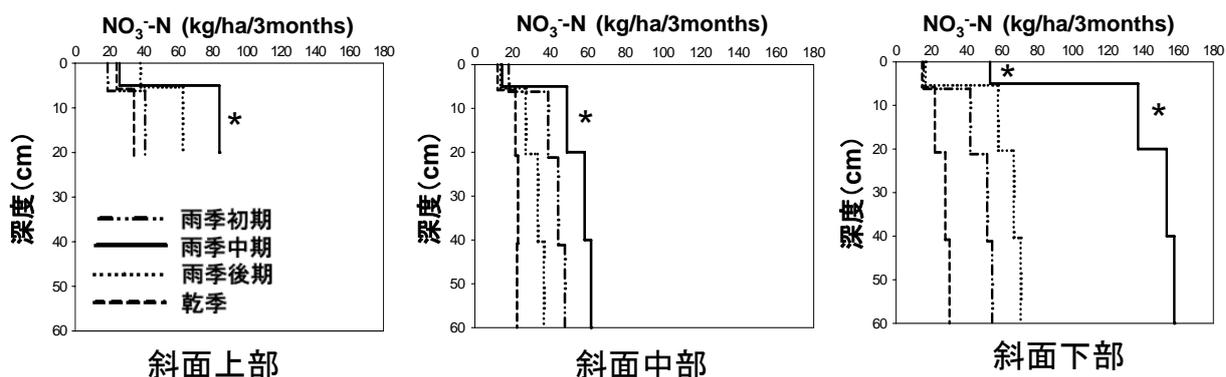


図6. 斜面上部・中部・下部における純硝化速度の積算値の季節間比較

(*は積算値でなく深度ごとの比較においてt検定によって雨季中期と乾季に有意差(p<0.05)があったことを示す)

鉛直方向フラックスの深度間差の主な要因は植物の根の吸収による減少、あるいは無機化・硝

化による増加であると考えられる。斜面中部・下部では NO_3^- の鉛直方向フラックスは深度方向に減少していたが、これはAo層から流出した NO_3^- の大部分が植物によって吸収されたことを示唆していた。一方、斜面上部0-5cmにおいて鉛直方向フラックスが増加したのは、Ao層からの流入速度と硝化に伴う NO_3^- の生成が吸収速度を上回ったためと考えられた。斜面中部・下部の40-60cmにおいて無機態Nの鉛直方向フラックスが増加（図5）したのは、土壤下層部においても年間を通じて少量の無機化・硝化が進行した（図6）ものの、植物による吸収がほとんどおこなわれずにその一部が溶脱したためと考えられた。

②無機態Nフラックスの季節変動

斜面位置にかかわらず、無機態NのAo層から表層土壤への流入は雨季初期において乾季より有意に高く、5-20cmでの無機化・硝化フラックスは雨季中期において乾季より有意に高かった（図5、6）。Ao層からの流入が雨季初期に最大になったのは、降雨の開始によって乾季にAo層内で蓄積した $\text{NO}_3^- \cdot \text{NH}_4^+$ が一度に流入したためと考えられた。雨季中期に純無機化・硝化速度が最大になったのは、雨季初期に NH_4^+ や粒状有機物（POM）、溶存有機物（DOM）が十分に鉍質土壤内に浸透して微生物活動が活発化したためと推察される。斜面中部・下部において、40cmからの NO_3^- の溶脱は年間を通じて少なかったことから、雨季初期における流入と生成、雨季中期・後期における主に生成による NO_3^- の増分はほとんど植物によって吸収されたと考えられた。

5) 土壤緩衝能と無機態Nフラックスの季節・空間変動とその評価

タイ熱帯季節林の土壤酸性は大小2つのスケールを伴う大きな空間変動をもつことが明らかとなった。本集水域では、斜面位置などの地形に対応して約110mの大スケールでの変動が見られた。また、Ao層が厚い箇所では交換性塩基濃度が高くpHを上昇させる傾向にあり、これは約20mの小スケールで変動していた。このことは、熱帯乾燥常緑林における土壤酸性を広域的にモニタリングするにあたっては、地形やAo層に影響する植生等を考慮した反復サンプリングが有効であることを示していた。一方、交換性塩基濃度には季節変化がみられないことから、必ずしも季節性を考慮した土壤緩衝能の評価を行う必要はないものと考えられた。

Ao層から鉍質土壤表層への無機態Nの流入は $30 \sim 50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 、無機化・硝化に伴う無機態Nの生成は $150 \sim 300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ であり、内部循環系におけるNフラックスはすでに述べた林外雨による流入や後に述べる溪流からの流出に対して著しく大きいことが明らかになった。鉍質土壤下層部からの流出は $10 \sim 20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ であることから、流入や生成による無機態Nの増加分はほとんど溶脱せずに植物によって吸収されていると推察された。生成には空間変動がみられ、斜面下部で特に大きい傾向にあった。同時に季節変動もみられ、乾季には流入・生成ともに低調であるものの、雨季初期にAo層からの流入が増大し、雨季中期には鉍質土壤内での生成が増大するといった特徴が明らかになった。一方、年間を通じて土壤下層部でも少量の生成がみられ、その一部は吸収されずに雨季初期に溶脱する可能性があった。森林施業やN沈着による土壤中のN動態への影響評価をおこなうにあたっては、以上のようなNフラックスの季節・空間変動を十分に考慮する必要がある。

6) 渓流水質の季節変化

サケラートSRS試験地から流出する渓流水の水位と水質について、図7に示した。渓流水位は、2005-2006年の乾季では、完全に渇水することはなかったが、流れもほとんどない5cm未満の時期がしばらく続いた(図7(a))。雨季が始まると少し水位は上がるが、上述した湿潤期に入ると再び低下し、ごく短期間ではあるが、渇水する時期もあった。雨季後半、再び降水量が増え過湿期に入ると、水位は9-10月にかけて急激に上昇し、最高で53cmにも達した。2006-2007年の乾季には、後半に完全に渇水し、雨季に入ってからしばらく水の流れはなかったが、5月以降の降水により、急激に水位が上昇した。本試験地では、このように、ほとんど渇水してしまう時期があるにもかかわらず、ある時期には急激な水位上昇が起こっているなど、季節による流出量が大きく変動することが明らかになった。

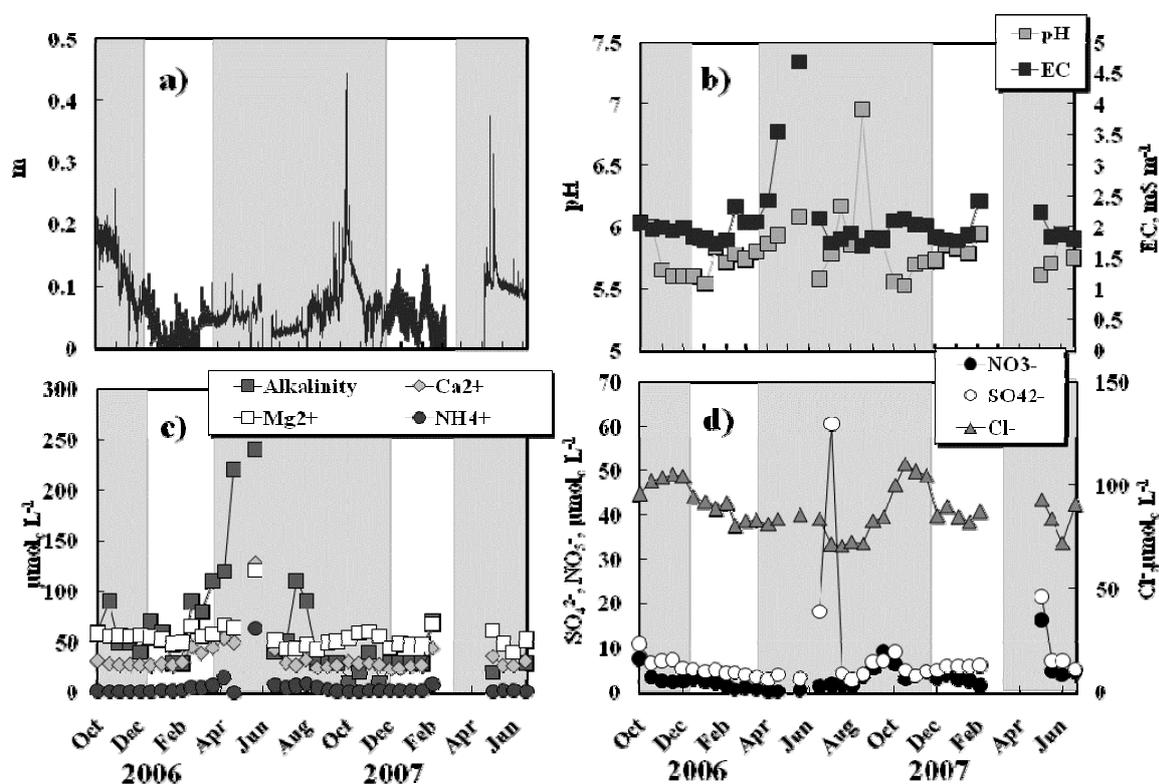


図7. 渓流水位(a)とpHおよびEC(b)、アルカリ度及び陽イオン(c)、陰イオン(d)の季節変化
網掛けは雨季に相当する期間。

渓流水質について、2006年を中心に見ていくと、2005年の雨季の終わりから乾季にかけてpHが5.6以下まで下がり、その間、NO₃⁻濃度がわずかに上昇した。雨季に入ると水質はさらに特徴的な変化を示した。過湿期の5月に入るとECが急激に上昇し、pHも同時に上昇傾向を示した(図7(b))。これは、アルカリ度、Ca²⁺、Mg²⁺、NH₄⁺の濃度上昇によって裏付けられていた(図7(c))。この時期、NO₃⁻は最低値を示した(図7(d))。7月に入ると、pH、ECは低下し、同時に急激なSO₄²⁻濃度の上昇が見られた。SO₄²⁻の流出が収まると、pH、アルカリ度の一時的な上昇が見られ、その後、最高水位が記録された雨季後半の過湿期にSO₄²⁻、NO₃⁻と同時にCl⁻濃度の上昇が見られ、同時にEC上昇とpH低下が見られた。2007年の雨季においては、渇水時期が長く、2006年の雨季初期に見られたアル

カリ度上昇などは明確ではなかったが、急激な水位上昇とともに、比較的高い濃度の SO_4^{2-} 、 NO_3^- が見られ、その時、pHは比較的低く、ECは高い値を示していた。

上記の渓流水の特徴的な現象においては、特に、7月の SO_4^{2-} の流出までの水質変化は、比較的水位が低い期間に、水位変化とは関わりなく起こったものであったため、渓流水の濃縮や希釈などではなく、土壌・植物系における生物地球化学的な物質循環を反映したものであると考えられる。一方で、その後の過湿期の高水位時に見られた SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- の濃度上昇は、地下水位上昇により流出量が増加したと考えられることから、何らかの形態で表層に分布しているこれらのイオンが流出した可能性を示唆していた。またこれらのイオン濃度とECが上昇する一方で、pHは低下していたことから、これらのイオンの流出が H^+ の流出を伴うものであることが示唆された。

サケラートSRS試験地の渓流水を、ナコン・ラチャシマ州内にある2つの国立公園における渓流水と比較したところ、本試験地の溪流は、同じナコン・ラチャシマ州の多くの溪流に比べ、pH、EC、アルカリ度が低く、酸性沈着に対する感受性がより高いことが示唆された(表1)。また、Khao Yai国立公園の最上流部(Lumthaklong)など、本試験地と同等かより低い地点も見つかった。表1に示したのは、平成18年8月の採水結果であるが、同年11月の採水でもほぼ同様の結果が得られている。タイには、石灰岩の影響も広く見られるが、丘陵・山岳地域においては、本試験地のように酸性沈着に対する感受性が高い集水域も分布している可能性が示唆された。

表1. ナコン・ラチャシマ州の国立公園等の渓流水質(平成18年8月)

Site name		pH	EC mS m^{-1}	Alkalinity $\mu\text{mol}_e\text{L}^{-1}$	SO_4^{2-} $\mu\text{mol}_e\text{L}^{-1}$	NO_3^- $\mu\text{mol}_e\text{L}^{-1}$
Salient station	Stream C	5.80	1.88	60	4.9	3.9
Thap Lan NP	Changpa	6.69	6.32	300	32.9	9.4
	Wangkata	7.00	4.48	200	25.2	2.7
Khao Yai NP	Kronghasaw	6.47	2.85	181	19.6	3.7
	Lumthaklong	5.65	1.15	13	10.9	3.2
	Haeurouat	6.53	2.92	221	13	2
	Haeurouak	6.66	4.35	383	9.2	3.7

7) サケラートSRS試験地における物質動態

①物質収支

本試験地における2006年の年間物質収支を図8に示した。多くのイオンが、大気沈着による流入量に対し、わずか1~数%しか溪流に流出していないと、推定された。最も多く流出しているのが、 H^+ であり、約15%も流出している計算となった。通常、多くの渓流水においては、流入した酸は十分に中和されるが、本試験地においては、渓流水のpHが6未満であることが多く、大気から流入、あるいは生態系内で生成された酸は、強風化された酸性土壌(Acrisols)では十分に中和されず、流出しているものと考えられた。

著しく低い、他のイオンの流出割合は、これらのイオンが生態系内(土壌あるいは植物体)に蓄積される傾向にあることを示唆しており、上述した Cl^- や SO_4^{2-} などの流出パターンを裏付けていた。仮に、流出量の算出根拠となる流出水量(58mm)を過小評価しているとしても、本試験地の降水量(1350mm)と1000mm以上の蒸発散量を考慮すると、流出割合がこの10倍以上になることは

ありえず、相当の割合が何らかの形態で蓄積していると考えられた。

一方で、土壌のNフラックスの結果から示された土壌最下層からの流出 ($10\sim 20 \text{ N kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) との差も大きく、土壌から溪流に流出する間の河畔帯における脱窒による大気への放出等も、さらに検討すべきであると考えられた。

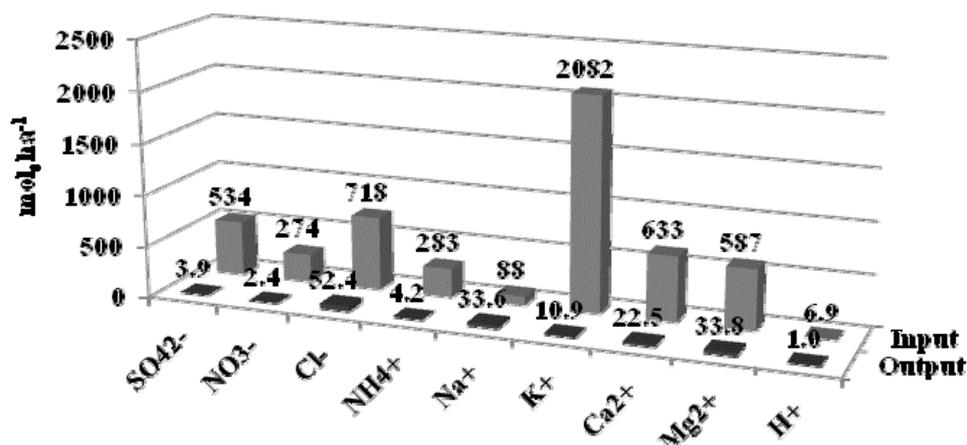


図8. サケラートSRS試験地における2006年の年間物質収支
流入量 (Input) は林内雨・樹幹流法の値を用い、流出量 (Output) は渓流水流出量から算出した。

② 乾季から雨季への移行に伴う物質挙動の変化

熱帯酸性土壌は変異荷電性を有し、pHの変化により有効陽イオン交換容量 (ECEC) や陰イオン交換容量 (AEC) が変化することが知られている。上述したように、本試験地では、土壌pHが雨季より乾季の方が低いことが明らかになっており、交換性塩基濃度には有意な季節間差は見られなかったものの、土壌pHの変化が、乾季から雨季への季節変化において、イオンの吸脱着過程に作用し、最終的に渓流水質に影響した可能性はあると考えられる。

また、物質収支で示唆された蓄積傾向については、本集水域を含むタイ東北部における比較的大きな蒸発散量を考えると、ある程度説明が可能である。タイ東北部は塩害が起こりやすい地域として知られており、森林伐採などで生態環境が悪化すると、塩を含む地下水が、地表からの水分蒸発により吸い上げられ、地表面で塩が析出・集積することが報告されている⁴⁾。サケラートSRSは、塩害地域の中ではないが、その周縁部に位置しており、気候条件としては同等であり、乾季はもちろん、雨季の初期においても植物が蒸散とともに根から水を吸収することから、土壌中における物質の流れは上部方向に向いており、物質は表層に集積されやすい条件であると考えられる。

さらにCl⁻の流出とともにH⁺の流出が見られている点については、土壌中のイオン交換反応の寄与が考えられる。海塩の影響を強く受ける地域においては、土壌中のイオン交換基に吸着されていたH⁺が、海塩中に含まれるNa⁺によって交換され、土壌水や渓流水の酸緩衝能 (ANC) を下げることが報告されている⁵⁾。表層に集積した塩類が、過湿期において、多量の降水によって流された時に、土壌中の交換性H⁺を抽出し、渓流水のpHを下げた可能性が考えられる。降水中の濃度変化を直接受けた可能性も考えられたが、この時期大きな季節変化は見られていない。

上記の考察を基に、大気沈着量と渓流水質の季節変化、土壌化学性の乾季と雨季との差異は、土壌特性を考慮すると、以下のような仮説である程度説明が可能である。

i. 乾季（12月-3月）

大気：汚染物質が大気中に拡散・滞留

土壌：植物吸収低下で余剰の NO_3^- により土壌pH低下、変異荷電によりECECは低下、AECは上昇、
土壌表面での蒸発散増大により塩類が表層に集積

植物：水分・養分吸収の低下

溪流： NO_3^- の流出

ii. 乾季から雨季前半（3-5月）

大気：滞留していた汚染物質のウォッシュアウトにより沈着量増大（S、Nとも）

土壌：降水により土壌微生物活性化、有機物分解を促進（硝化・無機化：乾土効果） SO_4^{2-} 、 NO_3^- は高いAECによって速やかに土壌に吸着、ECECが低いいため余剰の陽イオンが流出、
降水による溶脱作用もあり土壌pHはさらに低下

植物：水の吸収、Nの選択的吸収

溪流：陽イオンの流出、アルカリ度、EC、pHの上昇

iii. 雨季中期（6-8月）

大気：7月に入ると降水量・沈着量が一時的に低下（湿潤期）

土壌：硝化・無機化が最大、余剰の陽イオンの増加、溶脱作用は低下、土壌pHが上昇、ECEC
上昇、AEC低下により、吸着されていた SO_4^{2-} の放出

溪流： SO_4^{2-} 流出とともに、一時的な渓流水pH、アルカリ度の低下

iv. 雨季後期（9-11月）

大気：降水量・沈着量が再び増大（過湿期）

土壌：集積していた塩類の流出により、土壌中の交換性 H^+ を抽出

溪流：高水位時に Cl^- 等の流出とともに、pHが低下

乾季に大気中に滞留していた酸性物質が、雨季の始まりとともに大量に沈着し、土壌化学特性とも関連しながら、雨季中期に渓流水質の一時的な酸性化を生じさせる可能性が示唆された。現時点では、渓流水質の季節変化には、気候的特性や生態系の内部循環の寄与も大きいと、今後、増大すると考えられる大気沈着の影響を考える上では、これらの自然環境要因を十分考慮した評価が重要であると考えられた。

（2）既存試験地（新潟加治川試験地）のデータ解析

加治川試験地のデータ解析から、サケラートSRS試験地における観測やデータ評価をする上で、また、今後のEANETにおける集水域モニタリングを考える上で、重要な科学的知見が明らかになった。

1) 季節性

日本海沿岸域に位置する本試験地は、冬季季節風の影響を強く受け、秋季後半から冬季にかけて、著しく大気沈着量が増大することが明らかとなった。非海塩性 SO_4^{2-} なども、海塩成分とともに増大しており、大陸方面からの人為起源の汚染物質の移流が示唆された^{1),2)}。一方で、渓流水質は、サケラートSRS試験地のような明確な季節性を示さず²⁾、熱帯季節林集水域の特徴がより明確

になった。

2) 林冠におけるN吸収

本試験地のDIN沈着量は、林外雨でも5水年の平均で18 kg N ha⁻¹ y⁻¹以上にあり、全国的にも多いことが明らかとなった²⁾。一方で、林内雨・樹幹流で得られたDIN沈着量との差から、林冠におけるN吸収が明らかとなり、森林地域でのDIN沈着量の正確な推計には、乾性沈着量を個別に見積もる必要性が示唆された¹⁾。また、林冠におけるNの吸収には、葉面の濡れ性の変化が関係していることが明らかにされた¹⁾。

3) 渓流水質への植物成長の影響

溪流中のNO₃⁻濃度と同時期の平均気温には有意な負の相関があり、植物成長期におけるN吸収が、NO₃⁻濃度の規定要因の一つであることが明らかとなった²⁾。その一方で、NO₃⁻濃度の年間平均は45 μmol_c L⁻¹、最も低い時期でも30 μmol_c L⁻¹と、比較的高く、N飽和が進みつつある可能性が示唆された²⁾。

4) 増水時の渓流水質の変化

増水時の集中観測から、流量増大に伴い、希釈的な効果により多くのイオン濃度とECが下がる一方で、NO₃⁻濃度の増大とともにpHが著しく低下することが明らかになった²⁾。サケラートSRS試験地では、増水時の集中観測は行われていないが、上述したように、高水位時に、EC上昇と同時にpH低下が見られるなど、特徴的な現象が見られており、熱帯季節林集水域との差がより明確となった。

5) 物質収支

上記のような一時的な酸性化は見られるものの、渓流水質は7前後で比較的安定しており、流入した酸性物質は、生態系内で十分に中和されているものと考えられた²⁾。一方で、物質収支によると流入量の2~4倍のCaやMgが流出していることから、土壌のANCは減少しつつあることが示唆された。

(3) EANETにおける集水域モニタリングマニュアル作成のための基礎情報の集約

サケラートSRS試験地、加治川試験地における観測経験を基に、今後、EANETにおける集水域モニタリングのマニュアルを作成するための基礎情報を、タイ王室林野局(RFD)のJesada博士が中心となり、集約することとなった。集約された基礎情報は、2008年7月に開催が予定されているEANET土壌・植生モニタリングタスクフォース会合で紹介され、今後、具体的にEANETの機構の中での議論が始まる予定である。

集約される基礎情報の中には、本プロジェクトで指摘された以下の事項が盛り込まれる予定である。

1) 熱帯地域の森林における大気沈着量推計における留意点

捕集期間中のN成分の微生物作用による消失割合が大きい可能性があること、それを補うためのイオン交換樹脂サンプラーが有効であること、森林地域におけるバイオサイド使用の問題点など。

2) 乾性沈着量の推計の必要性

特にNに関しては林冠吸収の寄与が大きく、林内雨・樹幹流法では十分に総沈着量を推計することができないこと、乾性沈着量の推計により、より正確な総N沈着量を推計することが可能となること、など。

3) 水収支の重要性

物質収支の基礎となる水収支をなるべく正確に推計すること、それが可能な地域を選定するのが重要であること、など。

4) 増水時観測の重要性

増水時には地下水位の上昇とともに、常時観測では把握できない物質の流出過程があること、渓流水の酸性化について検討する上で重要であること、など。

5) 土壌分析

空間変動を考慮した土壌分析が必要であること、タイのような雨季・乾季を持つ地域ではpHが季節変化を持つ可能性があること、交換性塩基等の項目については年1回の調査でも大きな支障はないこと、など。

上記だけでなく、観測から得られる評価をする上での、今後の集水域モデルの活用などについても、記載される予定である。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

1) タイ集水域試験地における物質循環の特性

熱帯乾燥常緑林に設定されたサケラートSRS試験地は、1000 mm以上の蒸発散量により、溪流への流出量が非常に限られていることから、物質の流出も大きく制限されている、物質集積型の生態系であることが示唆された。また、本試験地のように乾季と雨季に明確に分かれている熱帯季節林帯においては、乾季の間に SO_4^{2-} 、 NO_3^- を多く含むガス状・粒子状の汚染物質が大気中に滞留しており、雨季初期にはそれらの汚染物質が降水によってウォッシュアウトされ、沈着量が著しく増大することが明らかとなり、森林生態系における物質循環に何らかの変化をもたらす可能性が示された。さらに、熱帯地域におけるN沈着量の推計においては、捕集期間中の微生物による消費・変質の影響が大きく、ウェット・オンリー型サンプラーやイオン交換樹脂サンプラーなどの、複数の手法を組み合わせながら、データを検証し、推計していくことが重要であることが示唆された。

また、土壌酸性は大小2つのスケールを伴う大きな空間変動をもっていることが明らかになった。地形や植生等がこの空間変動に大きく影響する可能性もあることから、酸性沈着に対する熱帯季節林生態系への影響を、土壌pHを指標として広域的にモニタリングする場合、地形や植生等を考慮した反復サンプリングが有効であることが示唆された。さらに、内部循環系のNフラックスは林外雨による流入や溪流からの流出と比べて著しく大きかったことから、現時点では人為起源のN沈着による本生態系への影響は軽微であると推察された。むしろ森林を適切に管理することで、流入、生成、吸収の各フラックスのバランスを維持する必要があると考えられた。熱帯湿潤林の例で指摘されてきたように、Nが樹木成長の制限要因でない系では森林の過度の伐採やかく乱がNの吸収を妨げることで急速な NO_3^- の流出とそれに伴う酸性化をもたらす可能性がある。タイの熱帯

乾燥常緑林もそうした系をもつ可能性があることが本研究によって明らかになった。また、雨季初期における鉛直方向フラックスの増加や斜面下部における高いN無機化速度などが明らかになり、熱帯季節林における土壌中のN動態の評価には季節・空間変動を十分に考慮する必要があることが示唆された。

渓流水質は、乾季・雨季という気候的特性や、それによって変化する土壌化学性や内部循環の影響を受けながら、明確な季節性を示すことが明らかとなった。渓流水質へのN沈着の直接的影響は現時点では明らかではないが、大気沈着に由来すると考えられる SO_4^{2-} が流出することにより、一時的な渓流水の酸性化が生じていることが明らかとなり、そのメカニズムには、熱帯地域に特徴的な土壌の変異荷電性が関連している可能性が示唆された。熱帯乾燥常緑林においては、大気から、土壌・植物、溪流に至るまでの生物化学的循環の中で、乾季・雨季という季節性が大きな因子となり、土壌酸性や大気沈着による渓流水の一時的な酸性化に関係している可能性が示唆された。

2) 日本海沿岸域における物質循環の特性

スギ人工林に設定された加治川試験地は、冬季季節風により、秋季後半から冬季にかけて大陸由来と考えられる人為汚染物質を含む大気沈着の影響を受けていることが明らかとなった。また、林内へのNやKの沈着には、林冠反応（吸収・溶出）が大きく寄与しており、それを規定する要因の一つとして葉面の濡れ性が関わっていることが明らかになった。さらに、本地域のN沈着量は全国的にも最高レベルにあり、現時点では渓流水中の NO_3^- 濃度の季節性は、樹木の成長によって規定されているが、その濃度は夏季でも高く、N飽和に近付いていることも示唆された。

3) 東アジア集水域の普遍性と特異性について

上記、2つの試験地の観測結果から、東アジア地域の森林集水域は、モンスーンの影響を強く受け、大気沈着について明確な季節性を示す一方で、渓流水質を含む物質循環過程は、各地域の気候的、土壌学的特質の影響を強く受け、大きく異なることが明らかとなった。今後、増大すると考えられる東アジア地域の大気沈着量に対して、ここで示されたような物質循環的特質がプラスに働くのかマイナスに働くのかは大きな課題であり、各地域の影響を評価する上で、本サブテーマで得られた各集水域の特質は、重要な基礎情報となり、今後、モデル化も期待できる。

(2) 地球環境政策への貢献

本サブテーマが課題としている、集水域を基礎とした物質収支解析は、EANETにおいて、総合的モニタリング手法並びに、酸性沈着による生態系影響評価のための定量的手法として、期待されている。サブテーマ担当機関である酸性雨研究センターは、EANETネットワークセンターに指定されており、タイ国のEANET関係機関と推進している本サブテーマの研究進捗状況は、定期的にEANET関連の国際会合（科学諮問委員会、上級技術者会合等）でも紹介・報告している。また、上述したように、本サブテーマで集約された基礎情報は、2008年7月に開催が予定されているEANET土壌・植生モニタリングタスクフォース会合で紹介され、今後、具体的にEANETの機構の中での議論が始まる予定である。本サブテーマの成果は、今後の東アジアにおけるモニタリング活動や影響評価に、大きく貢献するものと考えられる。

6. 引用文献

- 1) Sase, H, Takahashi, A, Sato, M, Kobayashi, H, Nakata, M, and Totsuka, T. 2008. Seasonal variation in the atmospheric deposition of inorganic constituents and canopy interactions in a Japanese cedar forest. *Environmental Pollution* 152: 1-10.
- 2) Kamisako, M, Sase, H, Matsui, T, Suzuki, H, Takahashi, A, Oida, T, Nakata, M, Totsuka, T, and Ueda, H. 2008. Seasonal and annual fluxes of inorganic constituents in a small catchment of a Japanese cedar forest near the Sea of Japan. *Water, Air, & Soil Pollution* (in press)
- 3) 鈴木雅一、2006. 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、科学技術振興機構「水の循環系モデリングと利用システム」第3回領域シンポジウム要旨集：37-47.
- 4) Thirapong, P., 飯塚敦、河井克之. 2007. タイ東北部の塩害調査と「ジグソーピース作戦」. 地盤工学会誌「土と基礎」Vol.55 No.3 22-24.
- 5) Chapman, PJ, Clark, JM, Reynolds, B, and Adamson, JK. 2008. The influence of organic acids in relation to acid deposition in controlling the acidity of soil and stream waters on a seasonal basis. *Environmental Pollution*, 151: 110-120.

7. 国際共同研究等の状況

本サブテーマを基礎として、タイ国学術会議 (National Research Council of Thailand: NRCT) の承認を得て、タイ国内のEANET関係機関と国際共同研究を実施した。

(1) 共同研究プロジェクト名：Joint Research Project on Catchment Analysis in Thailand

(2) タイ国カウンターパート：

王室林野局 (Royal Forest Department: RFD)、Jesada Luangjame 林業研究部長
環境研究研修センター (Environmental Research and Training Center: ERTC)、Hathairatana Garivait.

本研究は、EANETの将来的なモニタリング手法や生態系影響評価に資するものであることから、上記関係機関だけでなく、タイ国EANETナショナルフォーカルポイントである公害規制局 (Pollution Control Department: PCD) と密接に情報交換・連携を取りながら進めた。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文 (査読あり)>

- 1) H. Sase, A. Takahashi, M. Sato, H. Kobayashi, M. Nakata, and T. Totsuka: *Environmental Pollution* 152, 1-10 (2008)
“Seasonal variation in the atmospheric deposition of inorganic constituents and canopy interactions in a Japanese cedar forest”
- 2) M. Kamisako, H. Sase, T. Matsui, H. Suzuki, A. Takahashi, T. Oida, M. Nakata, T. Totsuka, and H. Ueda: *Water, Air, & Soil Pollution* (2008)

“Seasonal and annual fluxes of inorganic constituents in a small catchment of a Japanese cedar forest near the Sea of Japan” (in press)

〈査読付論文に準ずる成果発表〉（社会科学系の課題のみ記載可）

特に記載すべき事項はない。

〈その他誌上発表（査読なし）〉

1) H. Sase, S. Nakayama, C.P. Leong, and H. Ueda: *iForest - Biogeosciences and Forestry* (2008)

“QA/QC activities and ecological monitoring in the Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET)” (in press)

(2) 口頭発表（学会）

1) H. Sase, T. Oida, M. Kamisako, T. Bulgan, T. Batchuluun, H. Shimizu, J. Luangjame, H. Garivait, N. Yamashita, S. Ohta, J. Shindo, and T. Totsuka: The 6th Conference of East Asia and Pacific Regional Network of International Long-Term Ecological Research (EAP-ILTER), Kyoto, Japan (2006)

“EANET ecological monitoring and related research projects”

2) M. Kamisako, H. Sase, A. Takahashi, T. Matsui, H. Suzuki, M. Nakata, T. Oida, and T. Totsuka: The 6th Conference of East Asia and Pacific Regional Network of International Long-Term Ecological Research (EAP-ILTER), Kyoto, Japan (2006)

“Seasonal trends of elemental flux in a forested catchment near the Sea of Japan”

3) 山下尚之、太田誠一、佐瀬裕之、ジェサダ・ルアンジェム、ティティ・ウィサラタナ、ポピット・キフティノン：第117回日本森林学会（2006）

「タイ熱帯乾燥常緑林キャッチメントにおける土壌酸性の三次元分布」講演番号PG25

4) 上迫正人、佐瀬裕之、中田誠、戸塚績：第47回大気環境学会年会（2006）

「日本海側のスギ林集水域における大気沈着量と渓流水質の季節変動」P45.

5) 佐瀬裕之、上迫正人、ジェサダ・ルアンジャメ、ハタイラタナ・ガリヴァイト、新藤純子：第47回大気環境学会年会（2006）

「タイ熱帯季節林集水域における大気沈着と渓流水質の特性」P46.

6) 山下尚之、太田誠一、佐瀬裕之、ジェサダ・ルアンジェム、ティティ・ウィサラタナ、ポピット・キフティノン：第118回日本森林学会（2007）

「タイ熱帯乾燥常緑林キャッチメントにおける土壌酸性空間分布の季節変動」講演番号P1d11

7) 上迫正人、佐瀬裕之、中田誠、戸塚績：第48回大気環境学会年会（2007）

「日本海からの季節風の影響を受けるスギ林集水域における溶存無機物質の年間収支」1G0954.

8) 佐瀬裕之、上迫正人、ジェサダ・ルアンジャメ、ハタイラタナ・ガリヴァイト、ティティ・ウィサラタナ、ポピット・キエトヴッティノン、新藤純子：第48回大気環境学会年会（2007）

「タイ熱帯季節林集水域における乾季から雨季への移行期の大気沈着と渓流水質」1G0930

9) 山下尚之、太田誠一、佐瀬裕之、ジェサダ・ルアンジェム、ティティ・ウィサラタナ、ポ

ピット・キフティノン：第119回日本森林学会（2008）
「タイ熱帯乾燥常緑林土壌における窒素動態の季節間比較」講演番号P3b11

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。