

課題名	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		
課題代表者名	新藤純子（独立行政法人農業環境技術研究所物質循環研究領域）		
研究期間	平成17-19年度	合計予算額	90,983千円（うち19年度 27,608千円） ※上記の合計予算額には、間接経費20,996千円を含む
研究体制	<p>研究体制</p> <p>(1) 大気沈着量の簡易測定手法の開発と東アジアにおける沈着量の測定（信州大学、〈研究協力機関〉中国科学院東北地理与農業生態研究所、中国科学院華南植物研究所、中国科学院生態環境研究センター、インドネシアBogor Agricultural University、タイ国王室林野局）</p> <p>(2) 東アジアの異なる森林生態系における生態系構成要素の測定に基づく酸性物質循環の解析（東京農工大学、〈研究協力機関〉中国科学院東北地理与農業生態研究所、中国科学院華南植物研究所）</p> <p>(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、〈研究協力機関〉京都大学、タイ国王室林野局、タイ国環境研究研修センター）</p> <p>(4) 東アジア諸国の人口移動、エネルギー消費等の変化に基づく排出源変化の予測（東京大学）</p> <p>(5) 東アジア集水域の酸性物質による生態系影響総合評価モデルの開発（独立行政法人農業環境技術研究所）</p>		
研究概要	<p>研究概要</p> <p>1. 序（研究背景等）</p> <p>東アジアは、急激な経済発展や人口増加に伴う食料増産などにより、近年エネルギーや肥料の消費量の増加が著しい。東アジア9カ国（日本、中国、韓国、大陸部分の東南アジア6カ国）では、最近の25年間に人口が1.33倍、実質GDPが1.99倍、窒素肥料使用量が2.50倍、エネルギー消費量が2.78倍に増加した。このような人為活動の活発化は、酸性・酸化性物質の排出の増大を招き、環境への影響も顕在化している。酸性物質の中で、窒素は制御が困難で、生態系内での挙動が複雑であるため、反応性の高い窒素の増大の影響は世界的にも大きな関心を集めている。2001年に国際窒素イニシアティブ（INI）が設立され、窒素負荷の増大の影響評価と適正な対策の必要性が提唱された。INIにおいても、東アジアは地下水汚染や湖沼、沿岸域の富栄養化など様々な影響が既に深刻であり、今後も悪化が最も懸念される地域の一つと位置づけられている。</p> <p>増加した反応性の高い窒素は、大気を経由して自然生態系の物質循環にも影響を与える。欧米では、大気降下物としての慢性的な窒素負荷により、窒素が溪流などを通して系外へ流出する現象が窒素飽和現象として問題になり、大規模な共同研究が行われた。我が国でも上流に人為的な汚染源のない流域で高濃度の硝酸イオンが検出される事例が報告され、また、森林流域の全国調査に於いても渓流水中硝酸イオンの高濃度が大都市域周辺で集中的に見られるなど、人為的な原因を示唆する結果が得られている。</p> <p>窒素負荷の増大が著しい東アジアにおいても自然生態系における窒素循環の変化とそれに伴う酸性化などが懸念されている。このような状況に於いて、東アジアでは13カ国が参加した国際的枠組みとして酸性雨モニタリングネットワーク（EANET）が構築され、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が実施されている。データが集積されつつあるが、負荷や生態系影響の実態、またそれらの関係に関して十分に把握される段階には至っていない。また、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。しかし東アジアではこのようなデータの蓄積は少なく、EANETでも検討が開始されようとする段階である。</p> <p>東アジア、特に中国の社会は激しく変化しつつある。現在中国では6割を超える人口が農村に居住するが、1990年以降農村から都市へ大勢の農民が出稼ぎとして移動している。また改革開放政策の結果、都市と農村での大きな所得格差が生まれていると言われている。このような変化は、食料や消費財の消費や生産の変化、更に結果として窒素を含む酸性物質の発生の変化を引き起こすであろう。前述の自然生態系における窒素循環も、このような社会的な変化に大きく影響を受けると考えられる。</p>		

2. 研究目的

本研究では、東アジア9カ国を対象領域として、経済的、社会的な変化に関するシナリオの下で、酸性物質の負荷の実態と将来の動向、及びそれによる生態系影響(流域の物質循環の変化)を現地調査と物質循環モデルとに基づいて広域的に推定すること、および、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を目的とする。上記の達成のため、5つのサブテーマとして研究を行う(図1)。サブテーマ1~3では選定した調査地における測定に基づいて、大気からの窒素負荷と生態系の酸性化および窒素飽和の現状を明らかにする。1と2は協力して主として中国の調査を行い、3はタイにおいて流域での物質収支調査を実施する。サブテーマ4、5はモデルによる窒素の負荷と影響の広域的な予測を目的とし、4では特に影響の大きい中国を対象に、社会的、経済的変化の解析に基づいたモデルを用いて食料生産による窒素負荷発生シナリオを作成し、5では1~3の測定結果を検証データとして窒素の大気からの負荷と循環のモデルを作成し、4で得られたシナリオに基づいて予測を行う。

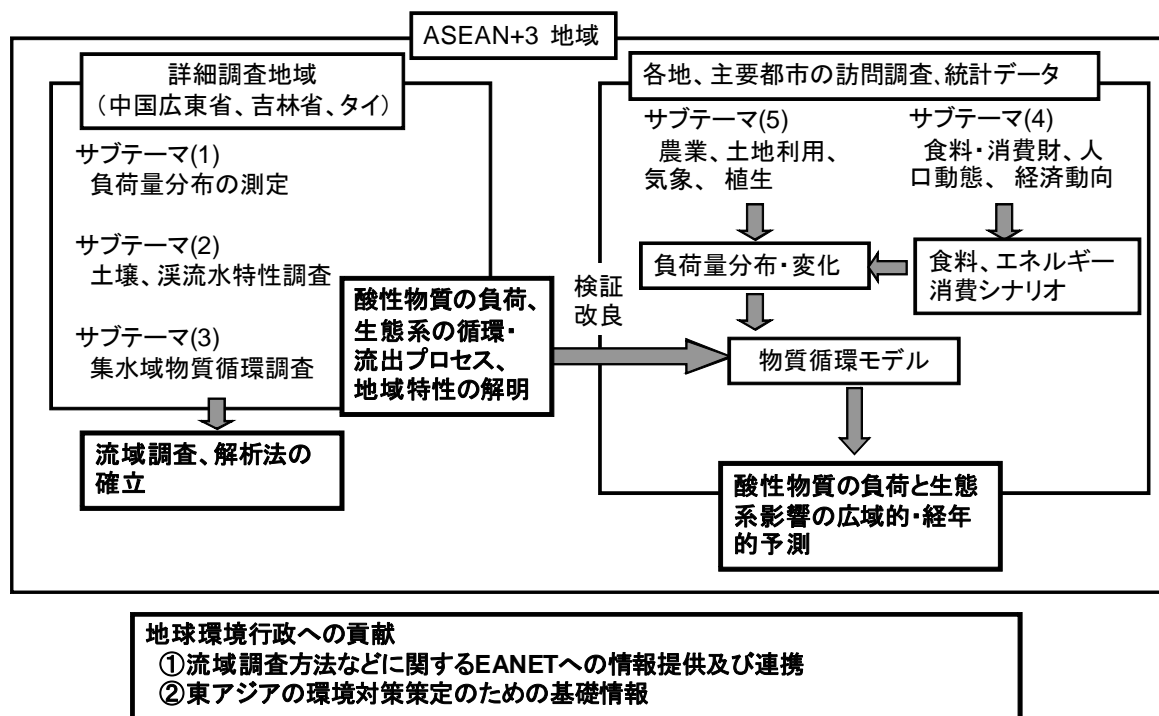


図1 研究の構成

3. 研究の方法及び結果

中国の調査地を、現地で協力を得られること、また気象条件や負荷量の違いを考慮して選定した。また、タイでは現地研究者の協力の下で、サケラートの林業研究ステーション内に流域物質循環調査地を選定した。表1に調査地を示す。ハイラルと北京は沈着量のみの測定地点である。浄月潭公園は長春近郊、鼎湖山、黒石頂、大瑤山は広州市内から75km、150kmおよび330km、東霊山は北京市内から100kmに位置する。

表1 中国とタイの詳細調査地

--

(1) 大気沈着量の簡易測定手法の開発と東アジアにおける沈着量の測定

東アジアの頻繁にアクセスできない地域で長期積算負荷量の空間的特性、季節による違いなどを明らかにすることを目的として、イオン交換樹脂（アンバーライトMB-1、オルガノ）を用いた樹脂カラムを作製した。捕集効率の確認、国内でバルクサンプラーとの比較試験を行った後、表1の中国とタイの調査地に設置し、3ヶ月～6ヶ月間隔で回収・交換して大気からの積算窒素負荷量を測定した。また、中国調査地で樹脂バッグを土壤に埋設し(40cm深)土壤からの窒素溶脱量を測定すると共に、鼎湖山自然公園内の小流域で水位と窒素濃度の測定を行い、河川からの流出量を見積もった。

硝酸イオンとアンモニウムイオンの吸着率は各々96%と97%、回収率は100%以上*)と92%であり、屋外でもバルクサンプラーを上回る捕集量であった。またタイにおける林外雨観測では、バルクサンプラーによる負荷量をかなり上回り、EANETサイトのウェットオンリー捕集装置による負荷量と同程度の値を得た。東アジアにおける年間窒素沈着量は地点により大きな変動があり(図2)、人口密度と有意な相関がみられ人間活動に伴う窒素放出量の増加を反映していた。特に広州郊外の鼎湖山の沈着量が高く、また中国、特に窒素沈着量の大きい地域では、アンモニウム態窒素が卓越していた。現在の中国では、肥料や畜産排泄物に由来する窒素が、自動車・工場等からのNO_xに由来する窒素よりも寄与が大きい。

窒素沈着量と土壤40cmからの溶脱量の間には有意な相関が存在し(図3)、人間活動の増大に伴う窒素沈着量の増加は、中国の森林域からの窒素流出の増加を引き起こしている可能性を示している。また、窒素溶脱量が沈着量を上回っており、鼎湖山では河川からの窒素流出も土壤からの溶脱量とほぼ一致していた。

*)樹脂からの溶出、測定誤差などが考えられるが、原因は不明である。

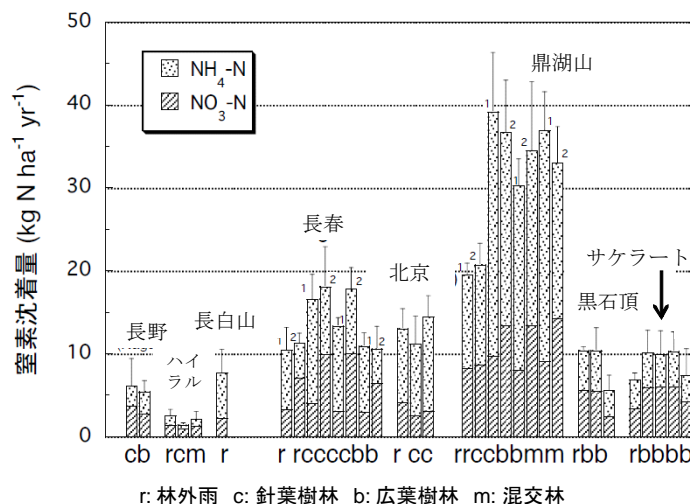


図2 アンモニア態窒素と硝酸態窒素の年間負荷量

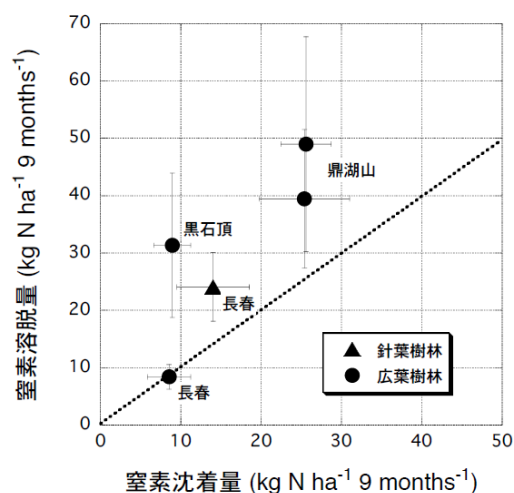


図3 窒素溶脱量と沈着量との関係

(2) 東アジアの異なる森林生態系における生態系構成要素の測定に基づく酸性物質循環の解析

気候帯の異なる生態系の酸性物質に対する感受性を解明するために、亜寒帯域の長春、長白山、亜熱帯域の鼎湖山、黒石頂、大瑤山および対照地として温帯の東京八王子(東京農工大学FM多摩丘陵)の森林集水域を対象に土壤、渓流水の調査を行った。森林土壤は基盤層まで深度別に採取してpH、水抽出およびKCl抽出等の操作の後、土壤塩基成分、溶存Al、溶存Mn等の化学分析を行い、渓流水試料については溶存イオン成分を測定した。

土壤の塩基成分含量および酸性度には亜寒帯、温帯、亜熱帯の系列に沿って系統的な変化が認められた。亜熱帯域の塩基成分含量は温帯、亜寒帯の1-6%でしかなく、特に鼎湖山では土壤深部までpHが3.9-4.1、渓流水もpH 3.9と極めて酸性で、いずれも高濃度の溶存Alが含まれていた。鼎湖山、黒石頂、大瑤山は同じ土壤タイプ(アクリソル)、類似の植生で広州市からの距離が異なる。これら3地点では広州に近いほど渓流水中の硝酸イオン、硫酸イオン、硫酸イオン、アルミニウム濃度が高く(図4)、土壤pHは鼎湖山に比べて他の地点が高い。酸性化が気候や土壤の要因だけではなく人為影響にもよることが示された。

(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

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を目的として、

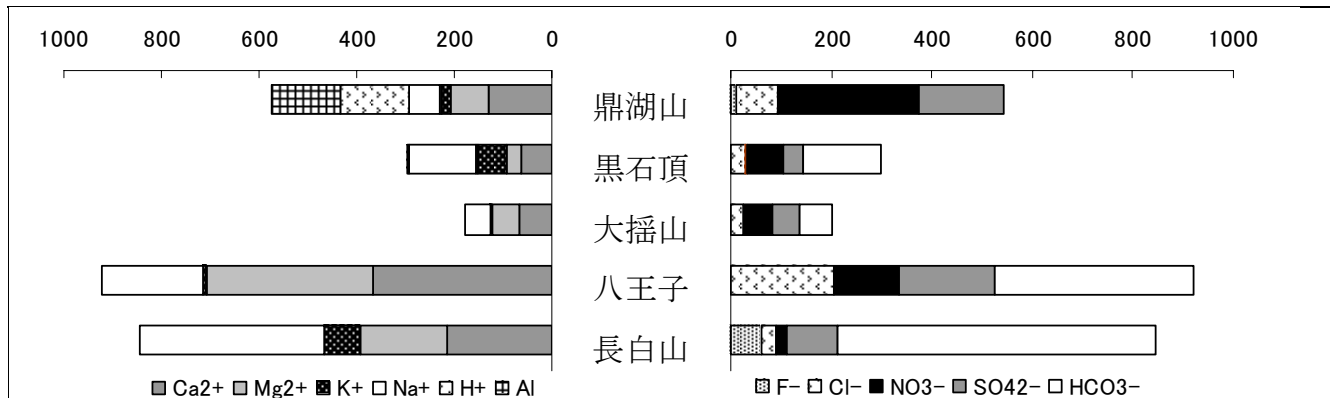


図4 中国の調査地における渓流水化学組成 ($\mu\text{mol/L}$)

タイ国東北部の丘陵地帯に分布する熱帯乾燥常緑林(サケラート試験研究林)内の小流域を調査地に設定し、林内雨・樹幹流法、パッシブサンプラー法を組み合わせた大気沈着測定、渓流水質の測定、水位ロガーによる流量測定を2週間に一度の頻度で継続的に実施した。また土壌化学性空間分布の測定、樹脂バッグ埋設による土壌層からの窒素溶脱量の測定および土壌の現地培養による無機化速度の測定を行った。

酸性物質の沈着、流出は、明瞭な雨季と乾季を持つ亜熱帯気候と、塩基の少ない酸性土壌に影響を受けた変動を示した(図5)。即ち、乾季：大気中に汚染物質の滞留、土壌表層への塩類集積。雨季前半：ウォッシュアウトによる沈着量増大、塩基の流出。雨季中期：無機化・硝化の促進、陰イオンの流出。

鉍質土壌下部からの硝酸イオンフラックスは10-20kgN/ha/yであったが、溪流からの流出窒素量は0.09kgN/ha/yと極わずかであった。これは降水量1350mmに対して観測された溪流からの流出高が58mmときわめて少ないことにより、インプットされた物質の内相当の割合が系内に蓄積していると考えられた。一方水素イオンは約15%が流出し、系の緩衝能は小さい。

本調査地における調査の結果を基に、集水域モニタリングのマニュアル作成のための基礎情報をまとめEANETへ提案する予定である。

(4) 東アジア諸国の人口移動、エネルギー消費等の変化に基づく排出源変化の予測

東アジアにおける窒素の主たる排出源である中国の農業、畜産に注目し、FAOや世界銀行による各種データや中国統計年鑑などの中国政府作成のデータから中国における食料需給の過去の動向を明らかにし、穀物消費量、畜産品消費量の2030年までの変化を予測した。また畜産品生産のための飼料の供給を世界の食料貿易の観点から考察し、これらに基づいて、アンモニア発生源となる窒素負荷量の変化を予測した。

畜産品の生産量・供給量データと家計調査に基づいた消費量の乖離、生産量に見合う量の飼料が統計上供給されていないこと等に関する矛盾が明らかとなり、生産量の補正值(2005年の場合統計値

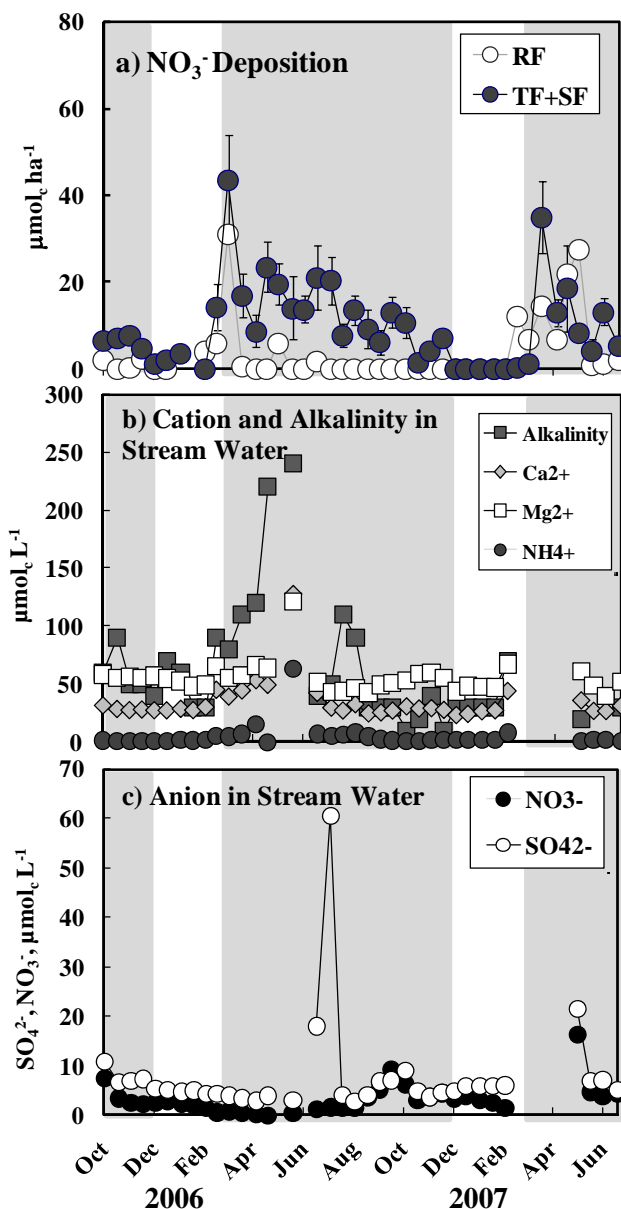


図5 サケラート調査地の沈着量溪流イオン濃度の変化 (陰付きの期間は雨季を表す。)

の70%)を推定した。また都市から農村への人口移動、年齢構成の変化、都市と農村の収入の格差、収入と穀物および畜産品の一人当たり消費量の関係(図6)等についての解析に基づいて、2030年の穀物と畜産品の人の食料としての消費量は各々2005年の0.71倍と1.65倍と推定された。中国では1990年代以降畜産品生産の拡大を大豆ミール(油の絞りかす)でまかなってきており、大豆の輸入量が急増している。今後も飼料需要の増大を大豆の輸入でまかなう可能性が高いと考えられ、そのようなシナリオの下では2030年に農作物生産、畜産および人間生活から排出される窒素負荷量は2005年の1.2倍、1.6倍、1.1倍で、従来考えられているほど大きな増加とはならないと推計された。

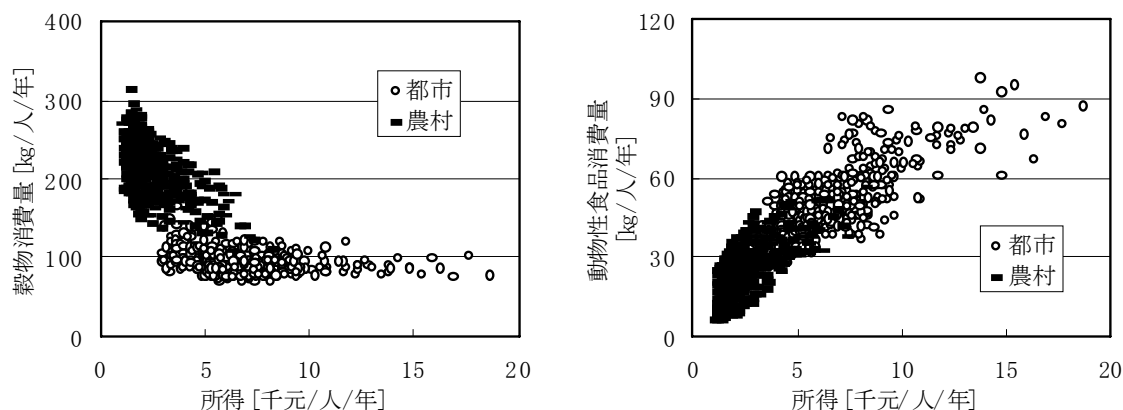


図6 全省市自治区における一人当たり実質所得と食料消費量の関係 (1992-2005年)

(5) 東アジア集水域の酸性物質による生態系影響総合評価モデルの開発

東アジア9カ国を対象に、FAO統計や中国統計年鑑などのデータ、将来の食料需給予測(中国に関しては一部サブテーマ4の結果)および肥料や家畜ふん尿からのアンモニア発生係数に基づいて、1980年から2030年までの農業起源のアンモニア発生量の経年変化を推定した。土地利用などに基づいて発生量の空間分布を求め、更に簡易な手法で沈着量分布を推定した。また、大気からの窒素負荷の森林生態系内での循環を広域的に推定するモデルを作成し、アンモニアと窒素酸化物の沈着量分布に基づいて、我が国および東アジアの森林流域からの窒素流出濃度の変化を推定した。

東アジアにおける2000年のアンモニア発生量は畜産から283万tN、肥料から385万tNと肥料の寄与が大きく、これらの合計は同年の窒素酸化物の発生量の1.5倍であった。農業由来のアンモニア発生量は特に中国とベトナムでの増加が顕著であり、2030年の発生量は2000年の約2.0倍となると予測された。これは、食料・飼料の需要に対する輸入比率が現在と変化しないとした場合であり、サブテーマ4のシナリオの場合の2030年の発生量は2000年の1.7倍となった。2000年のアンモニア沈着量分布は、サブテーマ1~3の測定結果やEANETサイトの湿性沈着量とある程度対応した。窒素循環モデルにより我が国の渓流水濃度の全国的な傾向が概ね推定できることを確認し、東アジアに適用した。大気からの窒素負荷の上昇は、最近の20年間に主として中国の東岸諸省、長江下流域、また東南アジアではベトナムにおいて、森林流域からの窒素濃度の上昇を招き、今後もこれらの地域で上昇が続く可能性が示された(図7)。

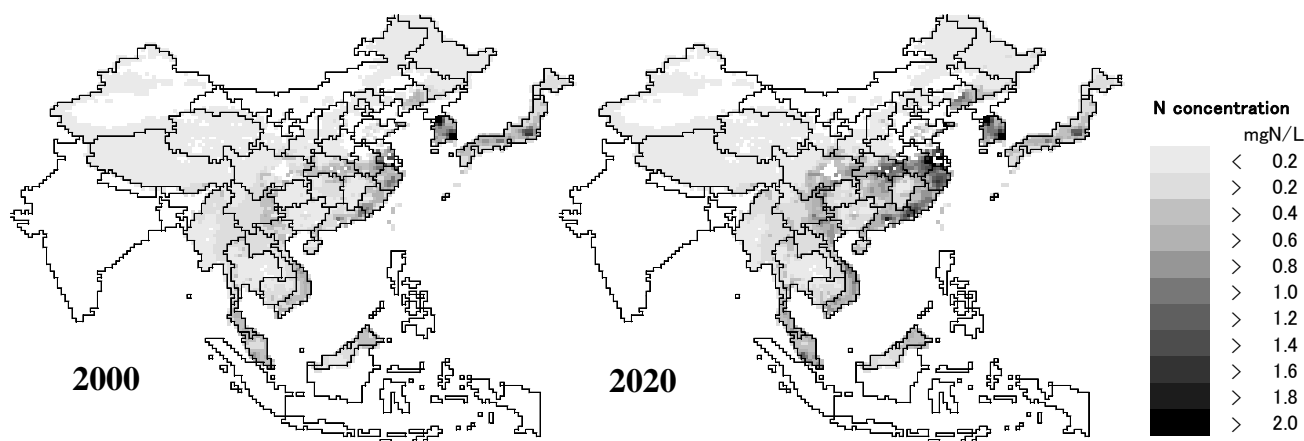


図7 森林流域からの流出窒素濃度の推定分布 (インドなど白い部分は対象外の地域)

4. 考察

本研究では、大気沈着量の測定を中国とタイの7地点で、土壌・溪流の化学組成は6地点で測定した。広大な領域の中の数地点であるが、まずそれらの地点の地域代表性を土壌の観点から検討した。各地の土壌は長白山がLithosols、長春はPhaeozems、広州近傍の3地点およびタイのサケラートはAcrisolsに分類される。FAOの土壌図等に基づく、東アジア地域の陸地の約31%、600万km²を占める森林の内、Acrisolsが39.8% (235万km²)と最大面積を占め、続いてLithosols (26.9%、159万km²)であり、長春を除く調査地は東アジアの最も典型的な土壌であるといえる。長春のPhaeozemsは11万km²で東アジア森林域の1.8%であるが、吉林省、遼寧省では比較的典型的な土壌タイプである。

これらの地点で3つのサブテーマにおいて観測を行った。土壌の酸性度や塩基含有量、渓流水の化学組成などは、気候帯や土壌の性質によって大きく支配されていた。中国の吉林省の2地点は土壌が塩基に富み、緩衝能が大きいのにに対して、広東省・広西省の3地点では塩基の溶脱の進んだ土壌で、きわめて酸性であり、溪流への硝酸イオン、硫酸イオンの流出も顕著であった。また、広東省・広西省の3地点を比較すると広州市に最も近い鼎湖山と他の2地点とでは酸性度にかかなりの違いがあり、溪流からのイオンの溶出量も距離に依存して減衰していた。本来酸性であるこの地域においても人為的な影響により更に酸性化が進んでいる。タイ・サケラートの土壌も同じ土壌種で、やはりかなりの酸性を示す。地形や雨季乾季の季節により時間的空間的に変動が大きく、雨季乾季の明瞭な亜熱帯地域においては、観測のタイミングや頻度、地形を考慮した観測地点の選定などに留意する必要性が示唆された。

図8はそれぞれの気象要因や土壌の違いにより酸性物質の挙動が特異的である各調査地に関して、生態系要素の窒素濃度を林外雨窒素沈着量に対してプロットしたものである。この図にはこれまで著者らが地球環境研究総合推進費のプロジェクトで共同観測した我が国の他の地点のデータも併せてプロットしてある。八王子や筑波は我が国では負荷量の大きな地点であるが、鼎湖山の沈着量はこれを上回る。またタイのサケラートや長白山も日本と比べて負荷量が小さいわけではないことがわかる。渓流水pHは鼎湖山が極端に低く、他は土壌種がacrisolsであるサケラートと黒石頂が低い負荷量との関係はみられない。一方、負荷量の増大とともに渓流水窒素濃度が上昇し、土壌およびリターの窒素含有量も上昇する傾向が見える。植生、土壌、気象条件などが様々であるにもかかわらず、慢性的な窒素負荷がこれらの要素の性質に長期的に影響を及ぼしていると考えられる。

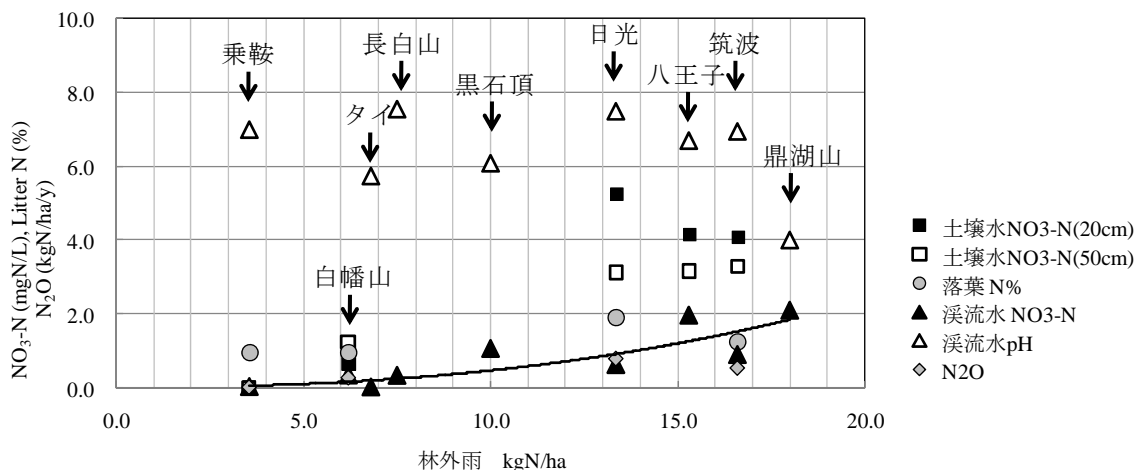


図8 調査地の窒素負荷量（林外雨）と生態系要素の窒素濃度との関係

土壌-植物系では大気からの負荷と比べて大量の窒素が内部循環しており、通常の生態系ではその内のごく一部が土壌層を通過して溪流へと流出している。中国の各調査地では、土壌深40cmを通過する窒素の量は大気からのインプットを上回っており、サケラートでもインプットの数倍の量の土壌層中のフラックスが測定された。サケラートの場合、窒素は更に内部循環により再利用されるいは脱窒されて溪流への窒素流出はわずかであったが、鼎湖山はほぼ同量の窒素が流出したと見積もられた。両地点の間の蒸発散量の違いも流出量の違いに関係している。

東アジアの森林流域への人為影響として農業由来のアンモニアの寄与が大きいことが明らかとなった。特に中国は東アジア最大の国であり、人口、農業生産量など本研究の対象地域の80%近くを占め、中国の今後の変化が東アジアの窒素循環に与える影響は大きく、食料需給・生産の今後の動向の予測が重要である。予測の基礎となる中国の統計データに関しては、信頼性の問題がしばし

ば指摘されるが、本研究においても畜産品生産量の統計が過大であることを、中国の様々なデータを比較することによって示し、各々のデータの不確定性を生じる社会的な原因の考察や物質収支に基づく総合的な評価を行うことにより、およそ妥当と考えられる推定値を得た。このような手法は試行錯誤的部分も多いが、信頼性に欠ける発展途上国のデータを用いた解析においては同様の検討、修正を必要とする場合も多いと思われる。

アンモニア発生量の推定には大きな誤差が存在する。本研究で行った、畜産品生産量に基づいて推定した家畜からの発生量は、従来の家畜一頭当たりの発生量に基づいた方法と比較して、中国、カンボジアなどの発展途上国で違いが大きく、前者は過小評価、後者は過大評価である可能性が高いと考えられた。即ち、畜産品生産量に基づく方法は市場を通らない生産の把握が不十分であること、役畜からの発生が考慮されないこと等の問題があり、一方、原単位法は、欧米など先進国の研究に基づいた原単位が、家畜の生体重が先進国と比較して小さくまた飼料の窒素含有量もおそらく低い発展途上国には過大であること等が問題である。今後東アジアの発展途上国に利用可能な原単位の算定が望まれる。

また、アンモニア発生量の将来予測において、東アジアの食料需給の予測が必要となるが、その際、貿易量の変化シナリオが大きな影響を与える。サブテーマ4では、中国で今後新たに必要となる飼料はほとんど輸入されるというシナリオの下で推計を行った。この場合、アンモニア発生量は、サブテーマ5の輸入割合が現在と同じと仮定した場合の84%となった。世界の社会、経済動向の解析に基づいたシナリオの作成が重要である。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- 1) これまでほとんどデータのなかった東アジアの森林流域における大気からの窒素負荷量、溪流からの流出、土壌化学性などに関する情報が得られた。
- 2) これまで熱帯および亜熱帯の森林生態系における窒素負荷の影響はほとんど未解明であったが、中国南部やタイの酸性土壌について、緩衝能の低いことから生ずる酸性化や窒素流出のプロセスに関する新たな知見が得られた。また、東アジアという広域で多様な地域でも、大気からの窒素負荷が長期的に土壌や渓流水の窒素濃度の上昇の原因となっていることが示唆された。
- 3) 東アジアの畜産品生産とそれによる環境への窒素負荷に関して、不確定で相互に矛盾する統計データに基づいて、経済データをも含め多方面から突き合わせ修正する手法を示した。
- 4) アンモニア発生の原単位は主として欧米の研究に基づいており、その妥当性に関してこれまでも多くの議論があったが、本研究により中国や東南アジアの畜産に於いては原単位が過大である可能性が示され、適切な原単位の算定の必要性が提起された。
- 5) リターや土壌有機物の分解に伴う窒素の無機化・有機化はこれまで複雑なプロセスを考慮したモデルが用いられていたが、最新の実験結果に基づいて広域推定可能な簡易なモデルを提案し、東アジアスケールの推定を行った。

(2) 地球環境政策への貢献

- 1) 本課題で確立したイオン交換樹脂を用いた積算負荷量測定方法は、バルクサンプラー法より捕集効率が高く、特に気温の高い熱帯・亜熱帯で有効である。また広域観測に適しており、今後EANETなどにおいても通常の方法による測定を補完する測定としての利用が期待できる。なお、本課題からの情報提供に基づき、他のプロジェクトや中国長春市に於いて同方法を用いた測定が行われる予定である。
- 2) タイで実施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。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・報告されており、今後のEANETにおけるモニタリング活動や影響評価に関する議論に、大きく貢献するものと考えられる。平成18年度においては、第8回上級技術者会合（STM7）、第6回科学諮問委員会（SAC6）で報告し、特にSAC6において、今後、熱帯地域で、本研究のようなアプローチを展開すべきであるとの勧告が、会合レポートにも盛り込まれた。
- 3) サケラート試験地など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集約し、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。

6. 研究者略歴

課題代表者：新藤純子

1951年生まれ、東京教育大学理学部卒業、工学博士、現在、農業環境技術研究所物質循環研究領域上席研究員

主要参画研究者

(1)：戸田任重

1954年生まれ、東京教育大学理学部卒業、理学博士、現在、信州大学理学部教授

(2)：楊宗興

1957年生まれ、東京農工大学農学部卒業、理学博士、現在、東京農工大学農学部准教授

(3)：佐瀬裕之

1965年生まれ、千葉大学大学院自然科学研究科修了、博士（学術）、現在、酸性雨研究センター生態影響研究部主任研究員

(4)：川島博之

1953年生まれ、東京水産大学水産学部海洋環境工学科卒業、工学博士、東京大学工学部助手、現在、東京大学農学生命科学研究科准教授

(5)：新藤純子（同上）

7. 成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況。）

(1)査読付き論文

- 1) J. Shindo, K. Okamoto, and H. Kawashima : Ecological Modelling, 193, 703-720 (2006)
“Prediction of the environmental effects of excess nitrogen caused by increasing food demand with rapid economic growth in eastern Asian countries, 1961- 2020”
- 2) 鈴木啓助・倉元隆之・田中基樹・村本美智子・南波雅治：日本水文科学会誌、36：105-116 (2006)
「山岳地の源流域における水循環と物質循環」
- 3) 戸田任重・椎名未季枝・山崎未月・菅野万理子・今井響子：日本水文科学会誌、36：117-122 (2006)
「長野県における渓流水・河川水の窒素濃度に及ぼす人間活動の影響」
- 4) M. Honda, J. Shindo, K. Okamoto and H. Kawashima:Poster paper at the International Association of Agricultural Economists Conference, <http://agecon.lib.umn.edu/>, 1-16 (2006)
“Increase of Residential Electricity Consumption in Urban and Rural China by province”
- 5) 川島博之：日本水文科学会誌、36(3)、123-135 (2006)
「窒素循環から持続可能な社会を考える」
- 6) 新藤純子・岡本勝男・川島博之：日本水文科学会誌、36(3)、95-104 (2006)
「東アジアにおける大気経路の窒素負荷への農業起源アンモニアの寄与の推定」
- 7) 岡本勝男・新藤純子・川島博之：日本水文科学会誌、36(3)、137-144 (2006)
「物質循環モデル解析におけるリモート・センシングとGISの役割」
- 8) 村本美智子・奈良麻衣子・浅利朋子・鈴木啓助：日本水文科学会誌、37 (3)：73-83 (2007)
「乗鞍高原の森林生態系における物質循環－1. 林内降水の化学特性と季節変化－」
- 9) 村本美智子・大浦典子・奈良麻衣子・鈴木啓助：日本水文科学会誌、37 (3)：85-92 (2007)
「乗鞍高原の森林生態系における物質循環－2. 針葉樹林内と広葉樹林内における水循環と化学物質循環」
- 10) 田中基樹・鈴木啓助：日本水文科学会誌、37 (3)：115-121 (2007)
「山岳地の渓流水質形成に及ぼす流域平均傾斜の影響」
- 11) M. K. Koshikawa, T. Takamatsu, S. Nohara, H. Shibata, X. Xu, M. Yoh, M. Watanabe and K. Satake : Applied Geochemistry 22, 1209-1216 (2007)
“Speciation of aluminum in circumneutral Japanese stream waters”
- 12) 川島博之、新藤純子、堀雅文：環境科学会誌、20、4、279-289(2007)
「東南アジアにおける余剰水田を利用したエネルギー作物生産」
- 13) Wuyunna, K.Okamoto and H.Kawashima : International Journal of Ecodynamics, 2, 2, 97-107(2007)
“Analysis of vegetative biomass changes in steppes of Inner Mongolia, China, using multitemporal Landsat, climatic and socioeconomic data”

- 14) 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”
- 15) 浜口航、新藤純子、岡本勝男、川島博之：環境科学会誌、21、2、143-152(2008)
「アジア型経済発展による環境汚染の長期化（中国雲南省・滇池）」
- 16) 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)
- 17) 本田学、新藤純子、岡本勝男、川島博之：システム農学
「2030年までの中国31省市自治区の食料需要予測」印刷中

(2) 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）

なし