

氏名	あさのゆうこ 浅野友子
学位(専攻分野)	博士(農学)
学位記番号	農博第1176号
学位授与の日付	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	農学研究科地域環境科学専攻
学位論文題目	Hydrological study on acid neutralizing processes in headwater catchments (山地源流域における酸中和過程に関する水文学的研究)
論文調査委員	(主査) 教授 谷 誠 教授 武田博清 教授 小崎 隆

### 論文内容の要旨

1970年代から、北欧や北米においては酸性降水による陸水の酸性化が顕在化した。一方、日本では降水の酸性化が指摘されながらも現状では陸水の顕著な酸性化はみられない。この酸性降水に対する影響の地理的な違いは、湿潤な気候下で地質学的には変動帯に属する日本では、土壤構成物質が比較的新しく、主要な酸中和反応である鉱物の化学的風化速度が早いことに起因すると予想されている。すなわち、酸性降水に対する流域の脆弱性を評価するためには、化学的風化速度の時間変化に着目し、酸中和過程を明らかにすることが重要である。そこで、本研究では森林の成立や土壤生成に伴う酸中和過程の時間変化を水文・水質観測に基づいて明らかにすることを目的に、滋賀県南部田上山地に位置し、いずれも花崗岩からなるが植生及び土壤生成過程の異なる4つの近接する山地源流域で、長期間の降雨、土壤水、地下水、湧水、溪流水の水質等の観測データを取得した。これをもとに降雨流出過程における酸中和過程を検討した結果は以下に要約される。

1. 裸地流域と2つの植栽林流域の比較から、森林の成立が $H^+$ 生成過程に与える影響を検討した。その結果、まず森林の成立による生物活動の増大により表層土で $H^+$ の生成量が増大すること、次に $H^+$ 消費量に比べ $H^+$ 生成量が増加した結果として、消費しきれなかった $H^+$ は下層土で消費されることが示された。 $H^+$ 収支計算の結果、植栽林流域では裸地流域と比べ正味の $H^+$ 生成量が2倍以上大きくなること、またどの流域でも流域内外から供給された $H^+$ の96%以上は化学的風化や陽イオン交換によって流域内で消費されることが明らかになった。さらに、流出経路や滞留時間が流域の酸中和過程に重要な役割を果たすことが示された。

2. 植生および土層厚の異なる裸地流域と天然林流域で水の安定同位体比を用いて土壤水、地下水、湧水、溪流水の平均滞留時間を評価し、水文観測結果からこの平均滞留時間の空間分布に寄与する主要な流出経路を検討した。どちらの流域でも湧水点近傍(2m以内)では、恒常的に地下水帯が形成され、湧水点から6m以上上流の斜面部では降雨に対応して一時的に飽和地下水帯が形成された。土壤水、一時的飽和地下水の平均滞留時間は斜面部位によらず、主に土壤中の鉛直浸透過程で決まる一方、恒常的地下水帯より下流では、長い滞留時間を持つ基岩中の側方浸透過程の影響を大きくうけることが明らかとなった。このことから、対象流域では、斜面部の土壤中での鉛直浸透した水は基岩中に浸透し、流域末端の狭い範囲で流出する水文過程が卓越することが示された。

3. 既存の研究から土壤年代の推定される裸地流域(10~100年)と天然林流域(6400年以上)の比較から、土壤生成に伴う $H^+$ 消費過程の変化を検討した。流出経路と流域内での塩基性陽イオン濃度( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ )の空間分布に基づき、表層・下層を含む土壤と基岩における塩基性陽イオン生成量を物質収支から求めた。その結果、流域における正味の塩基性陽イオン生成量のうち、天然林流域では72~84%、裸地流域では34%が基岩に由来することが明らかになった。これは、特に天然林流域では多くの $H^+$ が基岩中で消費されることを示す。さらに、単位体積土壤あたりの年間塩基性陽イオン生成量は、裸地流域と比べ天然林流域で約1オーダー小さい値を示し、土壤生成に伴う土壤の $H^+$ 消費速度の低下が示唆された。この結果、生物活動により土壤中での $H^+$ 生成量が多い天然林流域では、土層厚が大きいにもかかわらず土壤中での消

費しきれない  $H^+$  の量が増加し、基岩中の  $H^+$  消費の寄与が増加したと考えられる。

4. 以上のような森林の成立と土壤生成に伴う流域の酸中和過程の空間分布の変化を表す概念モデルを提示した。裸地流域では、 $H^+$  生成と消費はどちらも概ね土壤中で起こる。一方、森林が成立し、さらに土壤生成が進むと土壤中で消費しきれない  $H^+$  の量は増加するが、流域内の主要な  $H^+$  シンクが土壤から基岩へ移行することにより、流出水の pH は中性付近に保たれるようになる。このことから、山地源流域の酸性降水物に対する脆弱性を評価するためには、土壤構成鉱物の化学的風化速度のみでなく、基岩の化学的風化についても考慮する必要があることが示された。

### 論文審査の結果の要旨

酸性化された降水が常にもたらされている現在、陸水の酸性化を予測することが重要であり、流域における酸中和過程の解明が強く望まれている。その解明のためには、流出水の水質が生物化学的要因および地球化学的要因の影響を受けて形成されるため、生態系の物質循環過程や基岩の風化過程を雨水の流出経路に沿って詳しく理解しなければならない。本研究は、森林の成立や土壤生成によって山地源流域の酸中和過程がどのように変化するかを、流出経路の空間分布やそこでの滞留時間を推定することに基づいて明らかにしようとしたものであり、評価すべき点は以下のとおりである。

1. 酸中和過程を定量的に評価するため、水素イオン ( $H^+$ ) 収支を流域内の流出過程に適用した。植栽流域では、森林の成立による生物活動の増大により、表層土では、裸地流域に比べて  $H^+$  生成量が約2倍になること、しかしながら、植栽流域でも下層土における化学的風化や陽イオン交換のために  $H^+$  のほとんどは消費されることを明らかにした。

2. 水の安定同位体比を用いて、土壤年代の全く異なる裸地流域と天然林流域の、土壤水、地下水、湧水、渓流水の平均滞留時間を推定した。いずれの流域においても、降雨時に一時的に地下水帯の形成される斜面部と恒常的地下水帯のある湧水点近傍緩傾斜部とが存在するが、両者で水の滞留時間が大きく異なっていた。これにより、前者では、滞留時間の短い鉛直浸透過程のみが地下水形成にかかわっていること、後者では、滞留時間の長い基岩中のゆっくりした側方浸透流が存在し、これに基づいて恒常的地下水帯が成立していることを明らかにした。

3. 土壤と基岩の流出経路推定の結果を基にして、土壤生成にともなう  $H^+$  消費過程の変化を、裸地流域と天然林流域の比較によって検討した。単位体積あたりの塩基性陽イオン生成量は、天然林流域では裸地流域に比べて約1オーダー小さくなり、土壤生成によって表層・下層を含む土壤における  $H^+$  消費速度が低下することが明らかにされた。しかしながら、天然林流域においては、基岩中における滞留時間の長い側方浸透で  $H^+$  が消費されることを示し、土壤生成に伴って、酸中和過程に寄与する場が土壤から基岩へ移行してゆくことを明らかにした。

4. 湿潤変動帯に位置する日本では土壤が比較的新しく、主要な酸中和反応である鉱物の化学的風化速度が早いいため、降水が酸性化しているにもかかわらず、陸水の酸性化が進まないとされている。しかし、森林成立や土壤生成において相異なる流域での酸中和過程は、互いに特徴的な差異があることが本研究によって初めて明らかにされ、概念モデルにまとめられた。

このように、本論文は、森林成立や土壤生成に伴う酸中和過程の変化を初めて明らかにしたものであり、森林水文学、生物地球化学の研究発展に貢献するのみならず、酸性雨問題への対応研究に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。なお、平成13年2月13日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。