

有機物の分解が促進される、いわゆる乾土効果による NO_3^- 生成も寄与していたと考えられた¹。この時期を境に、河川中の NO_3^- 濃度の季節性が失われ、植物による N の吸収が盛んな夏季においても、 NO_3^- 濃度が高くなる現象がみられるようになった。このように、N の循環過程が、 NO_3^- が河川に流出しやすい状態へと大きく変わり、それに伴って H^+ が生成し、流出したことにより、河川 pH の低下をもたらしたと考えられた。

また、 SO_4^{2-} の流出過程については詳細はまだ検討中であるが、同様に干ばつの影響により有機態 S の分解が促進された可能性があった²。有機態 S の分解過程でも H^+ は生成されることから、この過程も河川 pH の低下に寄与した可能性が考えられた。イオン流出がみられた時期以降は、通常は関連性がみられない NO_3^- 濃度と SO_4^{2-} 濃度の間に相関関係がみられ、同時に流出したことを示していた。

(4) 集水域酸性化プロセスの仮説のまとめ

上述した集水域酸性化とイオン流出プロセスに関する仮説を図 3-3-1-3 にまとめた。酸性沈着の多大な負荷がかかった本集水域の生態系では、気象イベントが引き金になり、物質の循環過程、特に N の循環過程が N を保持できる状態から N を流出する状態へと大きく変化し、集水域の酸性化が進行したと考えられた²。そのプロセスは以下のように理解することが可能である。

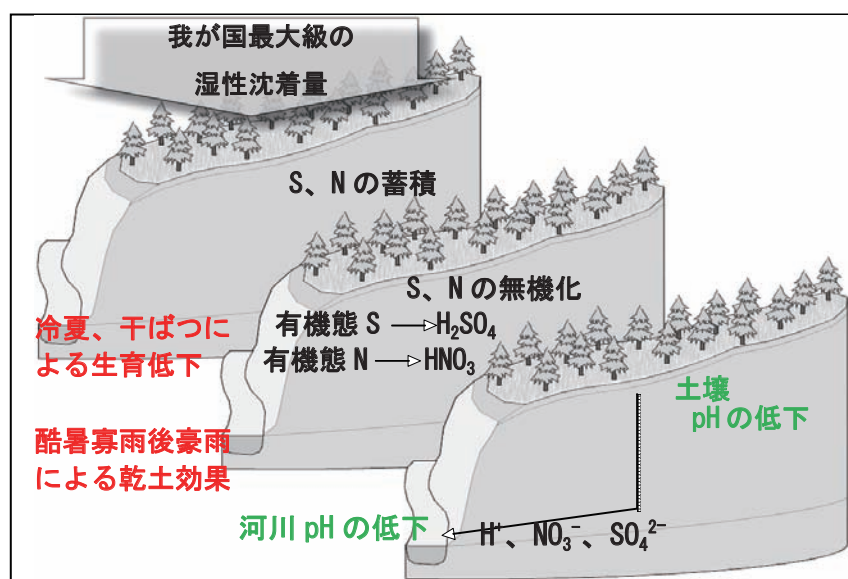


図 3-3-1-3 伊自良湖集水域酸性化とイオン流出プロセスの仮説

- ① 伊自良湖集水域の湿性沈着量は全国最大級である。
- ② 土壌 pH は低下しており、樹木への影響等が懸念される。

¹ 有機態 N は一般式では R-NH_2 で表され、その無機化過程は次式のように H^+ の生成を伴う。
 $\text{R-NH}_2 + 2\text{O}_2 = \text{R-OH} + \text{NO}_3^- + \text{H}^+$

² 有機態 S は一般式では R-SH で表され、その無機化過程は次式のように H^+ の生成を伴う。
 $\text{R-SH} + 3/2\text{H}_2\text{O} + 7/4\text{O}_2 = \text{R-OH} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$

- ③ 釜ヶ谷川は地質・土壌条件を反映した低いアルカリ度を示す、酸感受性の高い集水域である。
- ④ SO_4^{2-} の流出量はその流入量を上回っていると推定され、土壌に蓄積していた S の流出が生じている。
- ⑤ N 負荷量は、渓流水への NO_3^- 流出を引き起こすレベルにあり、実際釜ヶ谷川の NO_3^- 濃度は現在も上昇を続けている。
- ⑥ N の主要な吸収源である樹木の成長が、90 年代半ばの冷夏、干ばつ等の気象イベントにより低下した。樹木による N の吸収低下と乾土効果により、蓄積していた有機態 N が急激に分解し、 NO_3^- の高濃度流出を引き起こし、それに伴い集水域内で H^+ が多く生成、河川に流出し、河川 pH も低下に転じた。
- ⑦ 樹木成長期である夏季でも河川には NO_3^- が高濃度で流出するようになった。
- ⑧ 干ばつの影響により、蓄積していた有機態 S の分解が促進されて SO_4^{2-} の高濃度流出を引き起こした可能性もあった。

以上のように、酸性雨対策調査総合とりまとめ報告書及びその後の議論によって、伊自良湖集水域における酸性化徴候に関するプロセスは明らかになりつつある。一方で、上記のプロセスを論ずる上では、湿性・乾性を含む総沈着量や集水域単位での生育・吸収量、流入量・流出量の収支の高い精度での推定が不可欠である。酸性雨対策調査においては、乾性沈着が十分に考慮されていなかったこと、河川濃度・流量測定が年4回であったこと、生育調査までできなかったことなど、定量的議論をする上で、必ずしも十分なデータが取得されていなかった点もあった。この問題点も踏まえて、上述した酸性化徴候や提唱された酸性化プロセスを、生物地球化学的な物質循環を基礎として、より定量的に明らかにするために、「集水域の酸性化メカニズム解明調査」が平成 17～19 年度の3年間行われた。

3.3.2 重点調査の内容

大気からの流入量（総沈着量）及び河川からの流出量の把握を主要課題として、同集水域内において流入量・流出量調査（現地調査）を行った。また、降雨に伴う増水時の流出特性について集中観測を行い、より詳細な酸性化プロセスについての検討も行った。また、伊自良湖集水域以外でも、山岳湖沼や花崗岩地帯に位置する溪流において、pH の低下やアルカリ度の低下の傾向を示す事例が報告されており、これらの現象についても、長期的な流入量（沈着量）が集水域生態系の許容限度を超えたことによって溪流に酸性化の影響が現れ始めたと考えられることから、全国の降水量・大気沈着量分布や中部日本における河川 pH の長期トレンドなど、既存データの解析を基に、より広域的に大気沈着による集水域酸性化の可能性を検討した。

調査項目は以下のとおりである。

- (1) 流入量・流出量調査（図 3-3-2-1 を参照）

集水域への流入量（総沈着量）及び河川からの流出量を推定することを目的に以下の調査を実施した。

- 林外雨・林内雨・樹幹流³・降水量・パッシブサンプラー⁴による二酸化窒素 (NO₂)
- 河川流出量・水質・水質連続測定（釜ヶ谷川 2 地点、孝洞川 1 地点）

2 週間ごとに捕集・採水し、陽イオン、陰イオンの分析を実施した。また、河川試料については、イオン分析に加え、アルカリ度、全溶解性アルミニウム、SiO₂ 及び全有機態炭素 (TOC)⁵の分析を実施した。なお、流入量については、伊自良湖酸性雨測定所の湿性沈着及び乾性沈着（フィルターパック）モニタリングデータ、並びにパッシブサンプラーによる NO₂ のデータを用いた。

（２）増水時河川集中観測（平成 18 年 7 月 18 日～20 日、19 年 7 月 13 日～16 日）

降雨に伴う河川増水時における物質流出特性の変化について確認することを目的に、自動採水器を用いて、それぞれ 2 日間の連続水質測定を実施した（1 時間に 1 度採水するよう設定：48 検体）。陽イオン、陰イオン、アルカリ度、全溶解性アルミニウム、SiO₂ 及び TOC の分析を実施した。

（３）全国の沈着量解析

伊自良湖の湿性沈着量が全国最大レベルなのは、濃度レベルが比較的高いことに加え、降水量が 3000mm にも達することによることが指摘されている。今後の集水域酸性化を論ずる上で、沈着量の面から着目すべき地点を抽出することを目的に、全国アメダスデータ、環境省による酸性雨調査（1998 年度（平成 10 年度）～2004 年度（16 年度））及び全国環境研協議会による全国調査（1999 年度（11 年度）～2004 年度（16 年度））を総合的に解析し、岐阜県伊自良湖の全国的な位置づけや、伊自良湖以外の湿性沈着量の多い地点を抽出した。

（４）新潟県・岐阜県内の溪流・河川データの解析及び現地調査

長野県では花崗岩等の酸性岩が分布する地域における河川の酸性化傾向が報告されている³⁾。それを参考に、より広範囲な中部日本について集水域酸性化の可能性を検討するため、新潟県、岐阜県の協力を得て、公共用水域における公表水質データを用いて、広域的な河川の長期トレンドについて解析を進めた。

³ 林外雨：樹木の影響を受けていない林の外の降雨。林内雨：樹木の枝や葉に触れて降下する林の中の雨。樹幹流：樹木や枝に触れた後、枝や幹を伝って降下する雨水。林内雨や樹幹流は、無降雨期間に枝や葉に乾性沈着したガス状・粒子状物質の成分を含んでいると考えられるため、総沈着量を簡易的に見積もる方法として利用されている。

⁴ 大気拡散によるフィルター上への沈着過程を利用した大気汚染物質の簡易測定装置。電源を用いないため、遠隔地での一定期間の平均濃度の把握に有効とされている。

⁵ 地下水位上昇や表層流による有機態炭素の河川水への流入の指標となる。

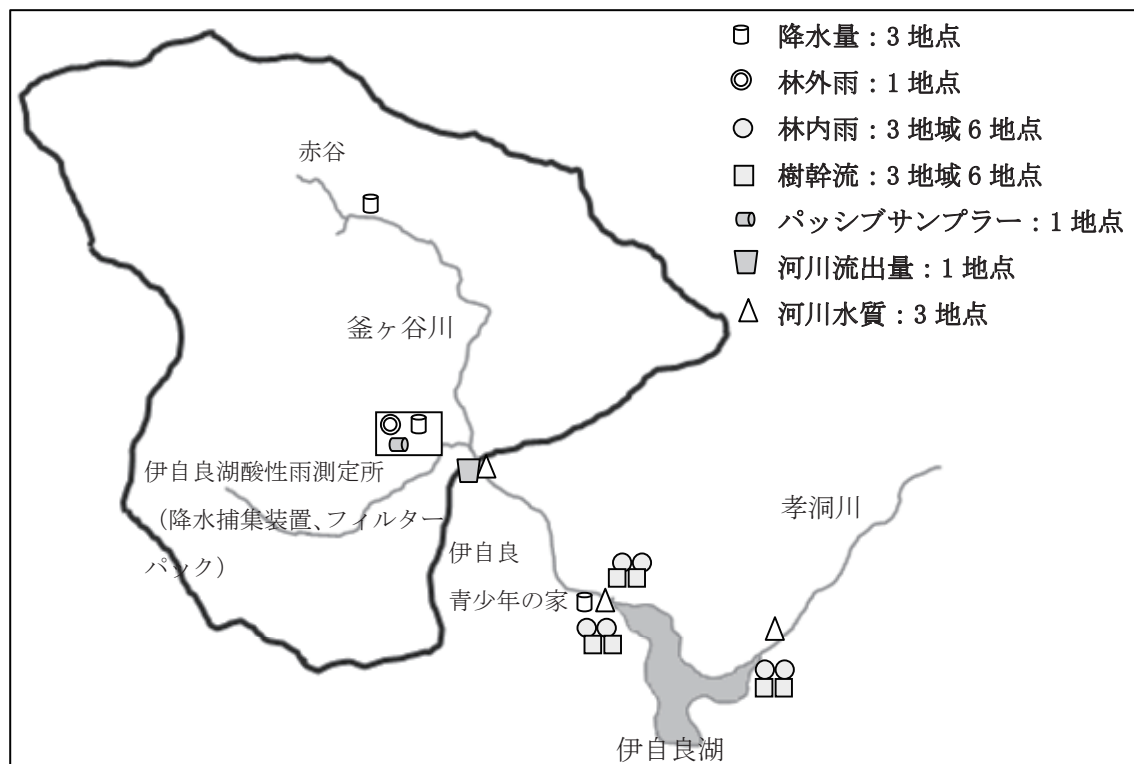


図 3-3-2-1 伊自良湖集水域内における測定機器の設置概略図

実線で囲まれた地域は、本調査において物質収支解析を行った集水域の範囲(約 298 ha)を示す。

3.3.3 調査結果の概要

以下には、調査結果のうちから主要な結果について記し概評を示すこととする。

(1) 伊自良湖集水域における酸の負荷量とその河川水質への影響評価

① 流入量・流出量調査

伊自良湖集水域内における月間降水量と釜ヶ谷川における水位変化(2005年(平成17年)8月~2007年(19年)11月)を図3-3-3-1に示した。ここで示した降水量には、冬季の積雪による降水も一部含んでいる。雨量計は赤谷(上流部)・伊自良湖酸性雨測定所(測定局舎:中流部)・伊自良青少年の家(青少年の家:下流部)と集水域内の異なる標高に設置され、月間降水量の季節変化は3地点で良好な一致を示した。釜ヶ谷川における水位変化は降水量のパターンを反映していた。降水量及び流量(水位)の季節変化に基づいて、両者の少ない11月初旬を水年⁶の区切りとした。

⁶ 水の循環を基礎とした1年。

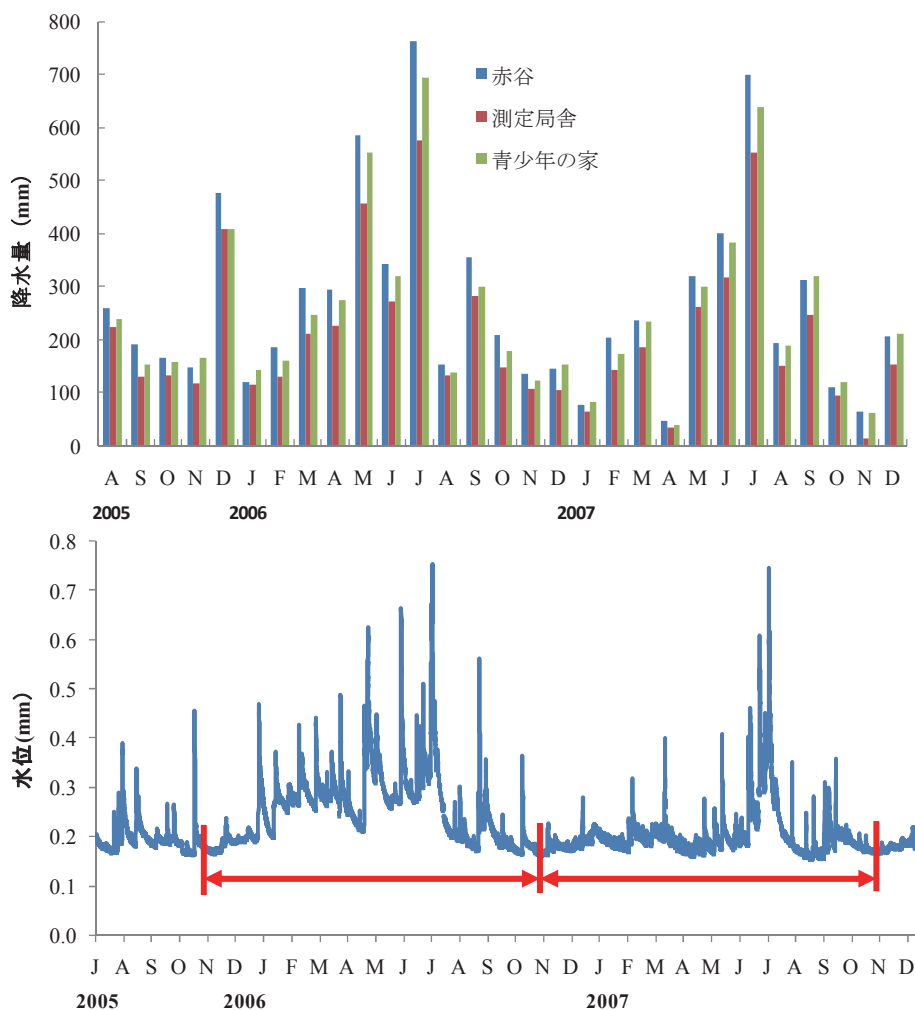


図 3-3-3-1 降水パターンと水位変化（2005年8月～2007年11月）
 図中の矢印は、水年の区切りを示す。

図 3-3-2-1 で示した伊自良湖流入河川である釜ヶ谷川上流域の集水域（以下釜ヶ谷集水域という。）における上記2水年の水収支を図 3-3-3-2 に示した。3地点の年間降水量には差がみられ、両水年とも最も標高が高い「赤谷」が一番多く、次いで最下流部の「青少年の家」、中流部の「測定局舎」の順であった。測定局舎は、釜ヶ谷川支流の谷間に設置されているため、捕集効率が低く降水量が過小評価されていると考えられた。降水量は2006-2007水年の方が2005-2006水年よりも、平均で約800mmも少なかった。河川からの流出率は1水年目が約77%、2水年目が約49%であった。1水年目は蒸発散量を考慮すると、本集水域における水収支は妥当な値であると考えられたが、2水年目については流出量が少なめであった。集水域における水収支は、降水量と蒸発散量のバランスによって水年毎に変動もあるため、さらに引き続き検討する必要があるが、1水年目については物質収支を解析する上で十分な水収支が得られていると考えられた。