

(科学研究費補助金「諏訪湖・天竜川水系の物質循環、水循環とマネーフローからの研究」最終報告)

諏訪湖—天竜川流域における天然物質の循環過程の解析—2005

鈴木啓助・戸田任重・佐藤利幸・樋上照男・朴 虎東・村越直美
信州大学理学部

Cyclic Process of Natural Substances in the Drainage Basin of the Tenryu River

Keisuke SUZUKI, Hideshige TODA, Toshiyuki SATO, Teruo HINOUE, PARK Ho-Dong
and Naomi MURAKOSHI
Faculty of Sciences, Shinshu University

キーワード: 森林源流域、河川水質、窒素安定同位体、アオコ毒素

Key words: forested watershed, river water quality, nitrogen stable isotope, microcystin

1. はじめに

流域系における自然起源物質の入力は、水としての降水および自然起源化学物質の大気からの沈着である。これに、人為起源物質の大気からの沈着および農業などの人間活動によりもたらされる物質が負荷される。また、流域系における入力と出力の間では、水の流下の過程での岩石土壌とのイオン交換や土壌微生物による窒素化合物の変質、生物体の腐食などがある。本グループでは、これらの流域内での物質循環過程を、自然起源物質を主な研究対象として研究する。

2. 研究の進捗状況と研究成果

2-1. 天竜川水系小黒川源流域における河川水質変動 (担当: 鈴木啓助、倉元隆之)

研究対象流域は、長野県伊那市にある信州大学農学部アルプス圏フィールド科学教育研究センター西駒ステーション内の森林源流域である。中央アルプスの東側斜面に位置し、天竜川水系小黒川の源流域となっている。流域面積は約 0.29 km² であり、植生はカラマツやシラビソといった針葉樹が卓越している。流域の標高は、1250m から 1800m となっており、北西から南東方向に流路を持つ流域である。また、流域の地質は古生代後期から中生代中期の領家変成岩類黒雲母粘板岩帯である。流域最下流部の標高 1250m 地点で観測された年間降水量は 2152mm

(2001年)、年平均気温は 7.1°C (2001年) であり、この流域は冷涼多雨な気候である。

調査対象流域では年間降水量が 2000mm を越えており、梅雨や秋雨の時期の 1 ヶ月間には 300mm 以上の降水量が観測されている。特に 2003 年 8 月には、599mm の月降水量を観測している。河川流出高は毎年 4 月、6 月、10 月から 11 月に増加が見られる。これらの時期に見られる流出高の増加は、4 月は融雪によるものと考えられ、降水量の変化から見て、6 月は梅雨、10 月から 11 月は秋雨によるものであると考えられる。2003 年 4 月の月流出高が 292.4mm/month と調査期間中最大となった。融雪期で流量の多い 4 月に、409mm/month の降水量がもたらされたためである。流出高の変化に伴って河川水質にも変化が見られた。電気伝導度の変化は、流出高が増加したときに低下し、逆に流出高が減少したときに上昇している。pH は、電気伝導度ほど流出高と対応した変化は見られない。しかし、流出高が増加した 4 月、6 月、10 月から 11 月には pH の低下がみられる。主要イオン濃度のうち、HCO₃⁻濃度と Ca²⁺濃度の変化は、流出高が増加したときに低下し、逆に流出高が減少したときに増加した。これは、前述の電気伝導度と同様の変化傾向となっている。一方、NO₃⁻濃度は、流出高が増加したときに NO₃⁻濃度が上昇し、逆に流出高が減少したときに NO₃⁻濃度は低下している。これらより、流出高が増加した際に、pH が低下することは NO₃⁻濃度の増加によって説明で

きる。また、電気伝導度の変化は、 NO_3^- を除く主要イオンでは、流出高が増加した際にイオン濃度が低下していることから説明できる。

『関連業績』

倉元隆之・鈴木啓助(2005)：山地森林流域における河川水質変動と化学物質循環. 日本水文科学会誌, 35, 181-189.

Suzuki, K., Anzai, K., Igarashi, M. and Motoyama, H. (2005): High temporal resolution chemical analysis of H72 ice core in east Dronning Maud Land, Antarctica. *Polar Meteorology and Glaciology*, 19, 28-41.

田中基樹・鈴木啓助(2005)：渓流水質に影響を与える流域特性について. 日本水文科学会誌, 35, 3-14.

Suzuki, K. (2005): Effect of winter warming on the stream water acidification. *Bulletin of Glaciological Research*, 22, 57-61.

Miyake, T., Nakazawa, F., Kohno, M., Uetake, K., Suzuki, K., Kameda, T., Fujii, Y., Nakawo, M. and Ohta, K. (2005): Concentrations, deposition rates and source variations of n-alkanes in Sofiyskiy Glacier, Russian Altai Mountains. *Bulletin of Glaciological Research*, 22, 81-87.

2-2. 天竜川隣接市町村における地下水の硝酸塩汚染 (担当：戸田任重・岸和央・斎藤あゆみ)

長野県内の果樹栽培地帯では、地下水の硝酸塩濃度が高い地域が多いと言われている。そこで、本研究では、リンゴなどの果樹栽培が盛んな天竜川沿いの集落において、家庭用井戸水を採水し、硝酸塩による水質汚染状況を調べた。

2005年8月から11月にかけて、天竜川に隣接する18市町村(岡谷市、辰野町、箕輪町、南箕輪町、伊那市、宮田村、駒ヶ根市、飯島町、中川村、松川村、豊丘村、高森町、喬木村、飯田市、下條村、泰阜村、阿南町、天龍村)において、家庭用井戸計69本から採水した。採水時には、その場で電気伝導度(EC)とpH、水温を測定した。試水は実験室に持ち帰り、硝酸態窒素濃度はイオンクロマトグラフで、アンモニア態窒素濃度はインドフェノール法で、リン酸態リン濃度はモリブデン青法で測定した。

硝酸態窒素濃度は0.02~12.9mgN/Lで平均2.7

(sd=2.9) mgN/L、アンモニア態窒素濃度は0.001~0.57mgN/Lで平均0.02 (sd=0.07) mgN/L、リン酸態リン濃度は0.4~147.2 $\mu\text{gP/L}$ で平均22.7 (sd=30.8) $\mu\text{gP/L}$ であった。豊丘村や飯田市で硝酸態窒素濃度が高く、水質基準値(10mg/L)を超えた井戸は3地点あった。硝酸態窒素濃度は、畑面積、果樹栽培面積の割合が大きい市町村で高い傾向を示した。一方、リン酸態リン濃度は、箕輪町や南箕輪町でやや高い値がみられた。リン酸態リン濃度は、人口密度、家畜飼養頭数が多い市町村で高い傾向を示した。

『関連業績』

小林浩士・戸田任重、2005.7、八ヶ岳白駒池におけるミズダニ(*Piona carnea*)の生活史、信州大学山地水環境教育研究センター研究報告第4号、11-15.

戸田任重・沖野外輝夫、2005年10月11日、3章 流入、流出河川とその影響、pp.44-70、信州大学山岳科学総合研究所 沖野外輝夫・花里孝幸編、山岳科学叢書3 アオコが消えた諏訪湖?人と生き物のドラマ、319pp、信濃毎日新聞社、長野。

2-3. 諏訪湖底泥柱状試料中における光合成色素の垂直分布からみた藻類組成変遷 (担当：朴虎東・渡辺琴文)

富栄養化が進んだ湖沼では藻類の大発生、いわゆるアオコ現象が起きている。諏訪湖では有機堆積物の大部分を植物プランクトンが占めることが知られている。湖沼堆積物中の藻類の存在を示すものとして光合成色素が挙げられる。光合成の主色素であるchlorophyll aは全ての植物プランクトンに存在するのに対して補助色素は藻類の種によって特徴的であり、補助色素の検出により、これらの藻類を綱レベルまで分類することができる。数種のcarotenoidは堆積物中で保存性がよいためにごく僅かしか分解せず、この数種のcarotenoidを藻類ごとの湖内での消失とその環境変動との関係を示す指標として利用することは、非常に有用である。堆積物中においては、特にchlorophylls, carotenoidsについて広く研究されており、堆積物中に保持されたそれら色素濃度から湖水中の植物プランクトン現存量の推定が試みられている。そこで、本研究では、諏訪湖柱状堆積物中の光合成色素定性定量分析によって、諏訪湖の過去

から現在までの藻類組成の変遷を解明することを目的とした。

諏訪湖の湖心付近(北緯 36 度 02 分 53.4 秒、東経 138 度 05 分 06.0 秒)でダイバーによる柱状採泥器の押し込みにより、湖底泥表層から 79cm の柱状試料を採取した。採取した柱状試料は実験室に持ち帰り、直ちに半裁した。半裁した柱状試料は切断面の特徴を記載した後、表層より 1cm 間隔で分割を行い、凍結乾燥を行った。凍結乾燥後の試料は、一部をそれぞれ chlorophylls 分析、phycocyanin 分析、高速液体クロマトグラフィー (High Performance Liquid Chromatography : HPLC) 分析に用いた。

諏訪湖は 1950 年 6 月 11 日、1961 年 6 月 28 日、1983 年 9 月 28 日に大きな洪水が起こっており、この洪水による影響が堆積物にも記録されている(公文・池中, 2004)。この洪水堆積物による記録からの算出年代を参考にした結果、本研究では深度 20-30cm は 1983 年 9 月 28 日の洪水に、深度 40-50cm は 1961 年 6 月 28 日の洪水に、深度 55-65cm は 1950 年 6 月 11 日の洪水に対応していることが示唆された。洪水が起こった年を深度分布に対応させて柱状試料の年代を予測すると、諏訪湖が最も富栄養化していた 1960-70 年代は深度 30-40cm 付近であると考えられ、深度分布においても色素濃度が急激に増加しており、この堆積年代時の湖水中で植物プランクトン現存量が急激に増加していたことが示された。Fucoxanthin の深度分布は、全体的に珪藻が優占していたことを示唆した。また、表層から深度 15cm までは zeaxanthin が比較的多く分布していることから過去に藍藻類が存在していたことが読み取れた。湖水中の植物プランクトン種組成は 1948 年から大きくその組成が変化していることが報告されており、諏訪湖の夏期表層にみられる植物プランクトン群集は 1911 年では珪藻類 *Aulacoseira* 属が優占していたが、1948 年以降藍藻類 *Microcystis* 属に変化したと報告されている。

HPLC 分析結果から、Carotenoids は chlorophylls と比較して存在量は少ないが安定性が高く、より顕著に過去の諏訪湖内の植物プランクトン現存量を示す指標として適していることが示された。

底泥柱状試料の色素分布により、諏訪湖における過去の植物プランクトン現存量変化と組成変化が明らかとなった。本実験と分析で得られた結果と過去の諏訪湖における植物プランクトン現存量データ、

組成データとを比較しても同様の藻類変動を示したことから、HPLC を用いた色素分析は藻類組成の変遷を示す有用な方法であるといえる。

『関連業績』

Kazuhiko Ozawa, Hiroki Fujioka, Minoru Muranaka, Atsushi Yokoyama, Yukimi Katagami, Takamitsu Honma, Kanako Ishikawa, Shigeo Tsujimura, Michio Kumagai, Mariyo F. Watanabe and Park Ho-Dong (2005): Spatial distribution and temporal variation of *Microcystis* species composition and microcystin concentration in Lake Biwa. *Environ. Toxicol.* 20 : 270-276.

Liqiang Xie, Ping Xie, Longgen Guo, Li Li, Miyabara Yuichi and Park Ho-Dong (2005): Organ distribution and bioaccumulation of microcystins in freshwater fishes with different trophic levels from the eutrophic Lake Chaohu, China. *Environ. Toxicol.* 20 : 293-300.

本間隆満・朴虎東 (2005) 諏訪湖における *Microcystis* 種組成および藍藻毒素 microcystin 濃度に及ぼす硝酸態窒素・リン酸態リン濃度の影響. 水環境学会誌 28 (6) : 373-378.

朴虎東 (2005) 環境水中のミクロシスチンの動態と生物蓄積. 月刊 海洋 37 (5) : 325-334.

斎藤猛・板山朋聡・稲森悠平・朴虎東 (2005) ミクロシスチンを分解する微生物-系統分類、分解酵素およびその遺伝子-. 月刊 海洋 37 (5) : 351-357.

本間隆満・朴虎東 (2005) 諏訪湖に窒素・リン濃度が *Microcystis* 種組成と細胞あたりの microcystin 含有量への影響. 日本陸水学会誌 66 (3) : 191-195.

2-4. 遠州灘海岸の海浜砂の粒度変化と漂砂系 (担当: 村越直美)

遠州灘海岸の海浜砂の特徴や動態を把握するため、2003 年度および 2004 年度に現地調査した際に採取した海浜砂(前浜、後浜、砂丘)の粒度分析結果の解析を進めている。

遠州灘海岸沿いに、天竜川河口兩岸を含む試料採取地点を設定し(2003 年度は 13 地点、2004 年度は 23 地点)を設定し、前浜表層の海浜砂を秋(10 月)に採取した。前浜は常に波浪の影響下にあるので、

表層砂は試料採取直前の波浪によって堆積したものである。なお、2004年の試料採取直前には大型台風が連続してこの地域を通過しており、2003年度調査時の海浜写真との比較から、海浜砂が大規模に流出したことが判る。明瞭な地形が発達している場合には、後浜および砂丘の表層砂からも試料採取した。各試料採取地点では目視による波の高さと周期の計測も行った。

天竜川から流出した砂の多くは三角州として一旦は河口付近に堆積し貯留される。ここから波浪や沿岸流によって運搬され、さらに岬部では背後の台地の侵食によって供給された砂礫を含んで海浜を形成する。平均粒径や中央粒径などの粒度変化の比較から、営力変化に応じた漂砂循環系の拡大縮小が認識できた。すなわち、2003年度には天竜川河口から離れるほど全体に平均粒径が小さくなる傾向と、伊良湖や御前崎などの岬部では後背地の影響を強く受け、平均粒径が特に粗くなるという二つの傾向とが重なり合っていた。このことは、台風などの大きな地形変化を生み出す営力が働いていない静穏時には、海側に突出する岬から岬の間の比較的小規模なセルで砂移動が起こっており、このセル内で流下方向に細粒化することを示している。これに対して、台風の影響が強かった2004年度にはこのような小規模運搬セルの存在が示唆されるような結果は得られず、遠州灘海岸全体で天竜川河口から離れるにしたがって、前浜砂は単調に細粒化する傾向を示した。後浜砂・砂丘砂も天竜川河口左岸の海浜で細粒化した。このように遠州灘海岸では、静穏時と暴浪時とでの漂砂系の規模の違いが海浜砂の粒度に反映されている。

【関連業績】

村越直美・新井崇 (2005) 水位低下時における高遠湖湖底からのガス湧出。環境科学年報-信州大学-, No.27, 13-16

鈴木啓助・戸田任重・佐藤利幸・樋上照男・朴虎東・村越直美 (2005) 諏訪湖?天竜川流域における天然物質の循環過程の解析-2004。科研費補助金「諏訪湖・天竜川水系の物質循環、水循環とマネーフローからの研究」中間報告、環境科学年報-信州大学-, No.27, 99-104

2-5. 固体 ^{29}Si -NMR による底泥中の生物態シリカ (BSi) の定量法の開発 (担当: 樋上照男)

「シリカ欠損」仮説に関連して、湖やダムなどの底泥中における BSi の分析法の見直しが必要となった。従来、BSi はアルカリ溶出法 (De Master 法) により分析されているが、この方法では分析に長時間を要することや溶出に用いるアルカリ水溶液の種類により分析値が異なることなどの問題がある。更に、BSi に対する定義が単にアルカリ溶出において速く溶出する成分となっているために化学的にも曖昧であった。そこで、近年発展の著しい ^{29}Si を対象核とした固体核磁気共鳴法 (NMR) を用いて BSi の定量及び状態分析を試みた。試料としては琵琶湖の底泥を用い、NMR スペクトルは日本電子製 JNM-LA300 にクロスポーラリゼーション-マジックアングルスピン装置 (NM-LSH30WB) を取り付けて測定した。図1に底泥の NMR スペクトルを示す。シリカは SiO_4 を単位として、架橋酸素の数に対応して Q^0 から Q^4 までの5つの状態が考えられ、その化学シフトが異なる。スペクトルをデコンボリューションした結果、底泥には Q^2 、 Q^3 及び Q^4 の化学状態のシリカが存在することが分かった。一方、アルカリ溶出法において、所定の時間だけ溶出した底泥試料の残渣のスペクトルを測定し、同様にデコンボリューションして各成分を溶出時間に対してプロットしたところ、図2に示すようなグラフが得られた。 Q^2 は時間と共に増加したが、 Q^3 と Q^4 は時間と共に減少した。ただし両者とも約20分の溶出後には一定の値に達し、これは▲で示したアルカリ溶出法の溶出溶液のシリカ濃度とよく対応した。これらのことから、 Q^2 はアルカリには溶出しない成分であり、 Q^3 と Q^4 が溶出する成分であると言える。言い換えれば、BSi は Q^3 と Q^4 の化学状態のシリカを含むと考えられる。しかし、 Q^3 と Q^4 は十分なアルカリ溶出後には一定の値にはなるがゼロとはならず、 Q^3 と Q^4 にも鉱物態シリカ (LSi) が存在することが推測される。実際に Q^3 は黒雲母、 Q^4 は石英に由来する。アルカリ溶出前後の Q^3 と Q^4 の分率の差とフッ酸による底泥試料の全シリカの分析からこの試料の BSi 濃度は SiO_2 として 8.4% であると分析でき、この値は従来のアルカリ溶出法で求めた 7.33% と良い一致を得ることができた。 ^{29}Si -NMR にはまだスペクトル測定に時間を要するなどの欠点はあるが、自動測定であり手間がかからないことやシリカの化学的状態が明らか

になるなどの特徴をもつ分析法である。今後も多くの試料に適用が可能である。

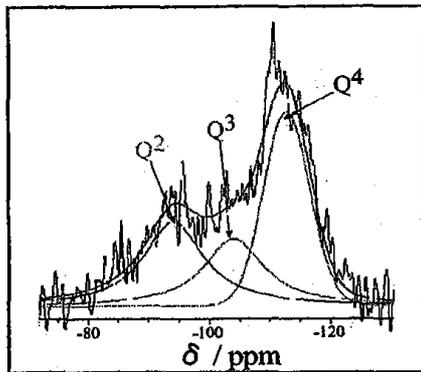


図1 琵琶湖の底泥のNMRスペクトル

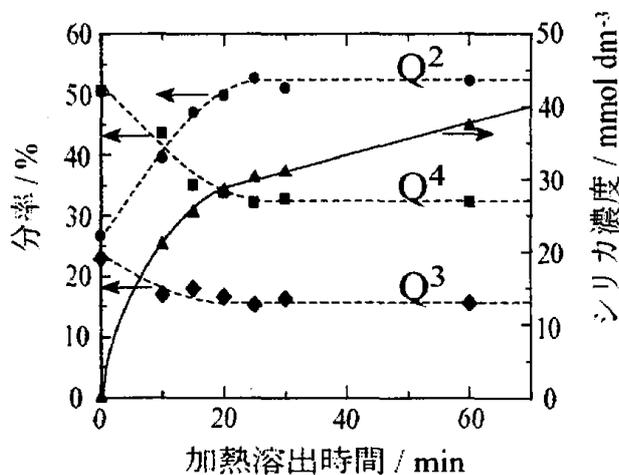


図2 De Master 法とNMR法の比較

【関連業績】

Watariguchi, S., Ikeda, E. and Hinoue, T. (2005): Ultraviolet Laser Photo-Modulation Voltammetry of Tetrphenylborate at a Liquid/Liquid Interface. *Anal. Sci.*, 21, 1233-1236.
 Mizuno, C., Bao, S., Hinoue, T. and Nomura, T. (2005): Adsorption Behavior of Metal Ions onto a Bovine Serum Albumin (BSA) Membrane Monitored by Means of an Electrode-Separated Piezoelectric Quartz Crystal. *Anal. Sci.*, 21, 281-286.

2-6. 天竜川水系のシダ植物の種密度分布と長野県における新発見のシダ (担当: 佐藤利幸)

2001年以來、このプロジェクトのもとで長野県全域における山間地のシダ植物相を調査させて頂い

た。とりわけ2003年~2005年度は1500地点もの調査を追加することができた。これまで記録できたシダ植物は約180種弱であり、長野県における既存記録の約60%にあたる。長野県南部の天竜川下流のシダ植物種密度は1ヘクタール約15種(10-30種)である。北部の多雪地域よりもやや高く、木曾谷につづく値となる(平均17種)。中央山地や東西山岳地域では約10種である。この5年間の調査において、これまで長野県に記録のなかった種類として、ミヤコイヌワラビ (*Athyrium frangulum* Tagawa)・ナガバノイタチシダ (*Dryopteris sparsa* O.Ktze.)・ホウライシダ (*Adiantum capillus-veneris* L.)・ワタナベシダ (*Dryopteris carthusiana* H.P.Huchs) をあげることができる。地球温暖化や都市気候の影響が暖地性シダ植物の北進や内陸への侵入を促進しているようである。ホウライシダは松本市中央部の湧き水流水沿いであり、園芸種が定着した可能性もある。ワタナベシダはもともと欧米の種で帰化シダと推定される。他の2種は暖帯に生育する種群ゆえ、生育地の北進と考えやすい。

【関連業績】

佐藤利幸 (2005) シダ植物が魅せる知床半島 「知床自然ライブラリー6: 知床の植物I」 斜里町・北海道新聞社、札幌 p.102-141.
 佐藤利幸・遠藤 準・鈴木啓助・戸田任重・島野光司・鈴木和次郎・金指あや子 (2005) 信州ハナノキ自生地から周辺域へのシダ植物組成・頻度類似性の軌跡—稀少樹種更新への自然再生授業スケールを予測する—。信州大学環境科学 27: 61-73.
 宋 立軍・佐藤利幸 (2005) サラシナショウマの葉・節間の個体内分化の定量形態学—信州の標高に応じたサイズと形の動態— 長野県植物研究会誌 38: 43-47.
 松田裕之ら (多数) (2005) 解説: 自然再生事業指針 (日本生態学会生態系管理委員会: 佐藤は20番目) 保全生態学研究 10: 63-75.