

1. はじめに

酸性雨による湖沼の酸性化は、湖沼への酸性物質の供給量と集水域や湖沼内における中和量によるバランスに左右されることから、湖沼の酸性化を予測するためにはそれらを定量的に評価することが必要である。また、例えば硝酸イオンは降雨の pH を低下させる成分であるが、湖沼内では同化や脱窒により消費されるため必ずしも湖沼の pH を低下させるとは限らないことなどから、降雨に含まれるイオン成分が湖沼に流入した後の時間的な変化を調べるのが重要となる。そこで本研究では酸性雨に対して感受性が強いと考えられる山岳地の貧栄養湖である乗鞍岳の鶴ヶ池を対象として、降雨により硝酸イオンが湖沼に供給された後の時間的な変化を明らかにするために、湖沼内における脱窒速度を測定した。

2. 鶴ヶ池の概況と水質

鶴ヶ池は、乗鞍岳の標高 2,700m の地点に存在する、流入河川も流出河川も無い貧栄養湖である。夏季における鶴ヶ池の平均水質を表 1 に示す。pH は酸性側に偏っており、溶存イオン濃度が極めて低く、アルカリ度も低いため、酸性雨に対しては感受性が強いものと考えられる。硝酸イオン濃度は 4.5~6.9 $\mu\text{eq/l}$ であり、必ずしも高いとはいえないが、鶴ヶ池においてはアルカリ度が硝酸イオン濃度と同程度であり、また、1994 年における pH=5.5 に相当する水素イオン濃度は 3.2 $\mu\text{eq/l}$ であるのでこの程度の硝酸イオン濃度であっても湖水の pH に与える影響は少ない。

表 1 夏季における鶴ヶ池の平均水質

年度	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	NO_3^- ($\mu\text{eq/l}$)	アルカリ度 ($\mu\text{eq/l}$)
1994	5.5	5.6	6.5	4
1995	5.7	5.0	5.5	5
1996	5.9	5.8	6.9	6
1997	5.7	4.9	4.5	4

3. 実験の概要

これまでの microcosms を用いた実験から、鶴ヶ池における脱窒速度を水温 20℃において 270 $\mu\text{eq/m}^2/\text{day}$ と見積もっていたが¹⁾、鶴ヶ池への硝酸イオンの沈着速度は 1995 年夏季の平均で 90 $\mu\text{eq/m}^2/\text{day}$ であり、脱窒速度が沈着速度を上回る結果となった。しかしながら脱窒速度が沈着速度より大きい場合には、実際の湖水中に残存している硝酸イオンを説明できないことから、microcosms による実験では、脱窒速度を過剰に評価しているものと考えられる。その原因としては、鶴ヶ池では水位の変動が大きく、湖水の湖底への浸透流出が大きい、その結果、底泥中で脱窒反応が起きて、浸透流出による下向きの流れによって、湖水中への脱窒の効果が現れないということが考えられる。従って、本研究ではそのような下向きの流れのある場においても脱窒速度を推算できる手法として、底泥間隙水中の深度方向の硝酸イオンの濃度勾配から拡散による脱窒速度を求める手法を用いた。

底泥間隙水中の深度方向の硝酸イオンの濃度勾配 dc/dx を知ることができれば、脱窒速度 Dn は、底泥中の内部拡散係数 D_i を用いて、

$$Dn = D_i \cdot dc/dx$$

で求めることができる。硝酸イオンの濃度勾配は、Hesslein ら²⁾の提唱した底泥の間隙水サンプラーに類似のものをを用い、鶴ヶ池において実測した。間隙水サンプラーの構造を図 1 に示す。内部は 10 個の部屋に分割されており、その各部屋の側面には 3mm ϕ の穴をあけたプレート 2 枚を重ねて取付け、その間にメンブランフィルターを挟みこんだ構造になっている。あらかじめ各部屋には、底泥中の嫌気状態に影響を与えないように高純度窒素ガスを用いて脱気したイオン交換水を満たしたうえで、これを湖沼の底泥中に挿入すると、メンブランフィルターを通じて外部のイオン成分がサンプラー内部のイオン交換水中に拡散し、一定の時間

キーワード：酸性雨、脱窒速度、山岳地の貧栄養湖、底泥間隙水、拡散

連絡先：〒939-0398 富山県射水郡小杉町 富山県立大学 短期大学部 環境工学科 TEL. 0766-56-7500

が経過した後はサンプラー内外のイオン成分濃度が平衡に達する。その後、サンプラーの回収を行い、各部屋のイオン成分を分析することによって底泥中の間隙水のイオン成分濃度を深度別に得ることができる。大きさは60mm(W)*200mm(L)*10mm(H)であり、深度方向に2cm刻みでサンプルが得られるようになっている。このサンプラーを、1994年9月12日に鶴ヶ池の底泥に挿入し、8日後に回収して硝酸イオンの分析を行った。この間の水温は14℃~15℃であった。

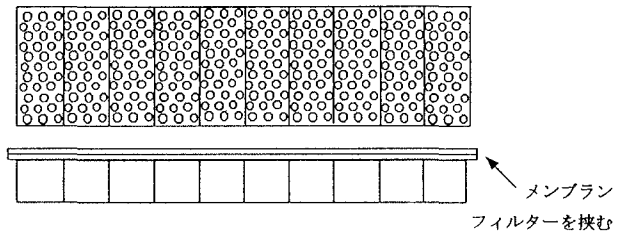


図1 底泥間隙水サンプラーの構造

次に、底泥中における硝酸イオンの内部拡散係数を得るために以下の実験を行った。鶴ヶ池から採取した底泥と湖水にクロロホルムを加えて脱窒を抑制する処理を行い、その底泥と湖水を底泥の厚みが6cmとなるように直径38mmφのアクリル製の2本の円筒につめた。上部の湖水部分に硝酸イオンを添加した後15℃に保ち、各深度の間隙水への拡散の状況を調べるために、22時間後と42時間後にそれぞれの円筒から、底泥を1cm刻みにスライスしてとりだし、遠心分離機によって間隙水を分離採取し、硝酸イオン濃度を測定した。

4. 結果および考察

鶴ヶ池の底泥中の深度方向の硝酸イオン濃度分布を図2に示す。湖底面の深度を0とし、負の値は底泥中を示している。+1cmから-3cmの深度で硝酸イオン濃度がほぼ0になり、底泥表面付近で脱窒が起きていることを示している。ここで、湖底面における硝酸イオン濃度が+1cmの位置における濃度に等しいとすると、湖底面から-1cmに至るまでに約4.8μeq/lの硝酸イオン濃度が減少している。硝酸イオン濃度がこの間、直線的に減少したものとすると、

$$dc/dx = 4.8\mu\text{eq/l/cm}$$

となる。一方、内部拡散係数に関する実験結果に関して、22時間後と42時間後における円筒内の深度方向の濃度分布を図3に示す。内部拡散係数 D_i を $3 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{sec}$ とすると実測値と計算値がよく一致した。そこで $D_i = 3 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{sec}$ を用いると、脱窒速度 D_n は $12\mu\text{eq/m}^2/\text{day}$ という値が得られる。水温が20℃の値に換算するために、水温10℃の上昇につき反応速度が2倍に上昇するものとする $D_n = 18\mu\text{eq/m}^2/\text{day}$ となり、microcosmsの結果から得られた $270\mu\text{eq/m}^2/\text{day}$ のわずか7%の速度であった。すなわち、底泥中で起きた脱窒による硝酸イオンの減少のうち湖水に反映されるのはわずか7%で、残りの大部分は浸透流出による下向きの流れによって流出してしまい、湖水の中和には寄与していなかった。

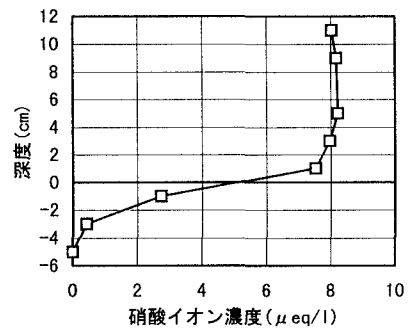


図2 底泥中の硝酸イオン濃度分布

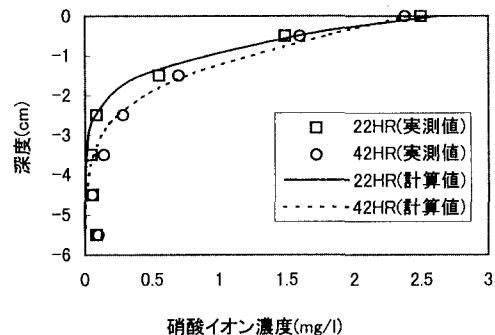


図3 底泥中の拡散 ($D_i = 3 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{sec}$)

参考文献

- 1) 川上智規, 山下久美子, 黒川ひさ子, 前口久美子: microcosmsを用いた湖沼内の酸性物質の中和作用に関する研究, 土木学会環境工学研究論文集, 第32巻, pp.191-199, 1995
- 2) Hesslein, R. H.: An in situ sampler for close interval pore water studies, Limnology and oceanography, 21, pp.912-914, 1976