

VII-174 小野川湖における栄養塩の底泥からの鉛直拡散の検討

日本大学工学部 学生員 若狭 司

日本大学工学部 正 員 長林 久夫

日本大学工学部 正 員 木村喜代治

1. はじめに

夏期における湖沼などの閉鎖性水域では、水温成層より下層（以下、微流動層）での水質悪化が著しい場合が多く認められる。こういった微流動層での負荷と水質特性および栄養塩などの拡散過程を把握することは水質保全の上で重要と考えられる。本研究では福島県裏磐梯地区に位置する小野川湖を対象とし、微流動層における鉛直方向の水質分布に着目し、その経時的な変化特性を検討し、またフィックの拡散法則により微流動層における栄養塩の鉛直一次元の拡散過程の検討を行った。

2. 現地観測および計算方法

小野川湖は水面積 1.4km²、全貯水量 1364 万 m³、最大水深 22m の湖である。主な流入は、自然河川である小野川・不動川と上流の桧原湖の水門によって流量が調整された剣ヶ峰用水路・桧原川の 4 河川がある。

観測データは 1995 年のものを使用した。最深部における定点観測を 5～10 月の間におよそ 2 回の割合で行った。水深 4、7、8、10、11、13、16m において採水をし、アンモニア性窒素(NH₄-N)、硝酸性窒素(NO₃-N)、りん酸態磷(PO₄-P)、全窒素(T-N)について水質分析を行った。

拡散過程についてはフィックの拡散方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -K_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$$

を用いて差分法により計算を行った。ここで、C：物質濃度、z：水深、t：時間、K_z：拡散係数である。本研究は微流動層を対象としており、横からの移流項は無視し、鉛直方向の拡散のみを検討し、成層より上部の移流拡散は対象としていない。初期及び境界条件は t=0(最初の観測日 5 月 31 日)での水深方向の濃度分布を初期値、水深の一番深い位置(16m)での経日濃度変化を境界値とした。

3. 栄養塩特性の検討

3.1 負荷特性の検討

小野川湖における無機態窒素の負荷特性を図-1に示す。流域負荷は自然河川の流入負荷、総流入負荷は 4 河川の流入負荷、内部負荷は微流動層における負荷量を示している。河川においては小野川

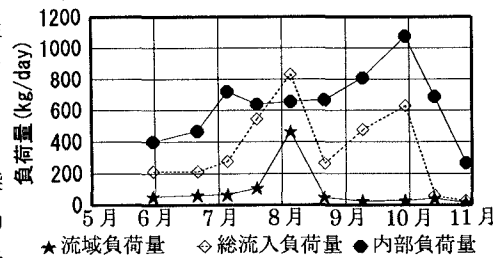


図-1 無機態窒素負荷量の経時変化

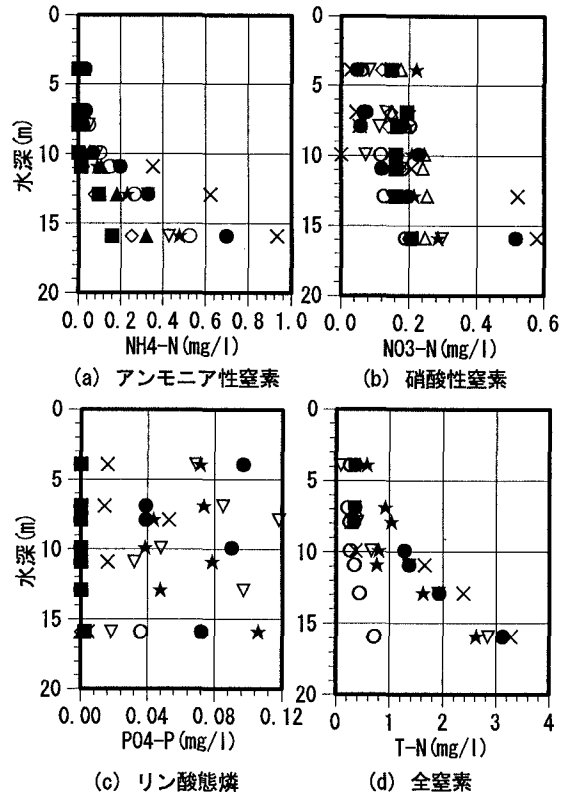


図-2 最深部鉛直分布特性

しか測定を行っていないため、他の3河川については小野川と同じ水質と仮定し、負荷量を求めた。8月上旬の出水時と9月下旬の桧原湖からの流入量の増加により流入負荷は600~800kg/day、流域負荷が400kg/dayと増加した。5~10月の総流入負荷量は約13,500kgとなった。内部負荷は栄養塩の経日の増加により9月上旬には800~1000kg/dayとなった。このことから小野川湖において内部負荷はかなり大きく流入負荷と同程度もしくはそれ以上となることから、微流動層での水質特性と拡散過程を検討する必要があると思われる。

3.2 鉛直方向特性の検討

$\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 T-N の鉛直分布図を図-2(a)~(d)に示す。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 T-N は表層から8mまで経日の変化は見られないが、微流動層では水深方向及び経日に増加している。また $\text{NO}_3\text{-N}$ も経日に増加傾向にあり、特に9月での13m以深において急激に増加しているのが認められた。小野川湖の湖底付近においては8~9月に無酸素状態となることが認められている¹⁾。通常は無酸素では $\text{NO}_3\text{-N}$ は生成されないはずであるが、小野川湖においては増加する何らかの要因があると思われる。表層においては8月3日の降雨により表層での $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 T-N の増加、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の若干の増加がみてとられる。また小野川湖における $\text{PO}_4\text{-P}$ はかなり低く、無機のN/P比でみると年間を通じての平均が約50:1と窒素が大きく、リンが制限因子になると思われる。小野川湖の湖底は枯木や枯草の流入や固形分の堆積物が多く、微流動層における $\text{NH}_4\text{-N}$ と T-N の濃度変化が他の水質指標に比べて顕著である。無機態窒素における $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合が0.6と多く、 T-N への割合も他の無機態窒素に比べて大きいことが認められた。

4. 拡散過程の検討

4.1 拡散係数の検討

ここでは $\text{NH}_4\text{-N}$ における拡散過程について検討する。まず拡散係数 K_z の目安をつけるために $\partial C/\partial t$ および $\partial^2 C/\partial z^2$ を実測値（図-2(a)）より求めた。 $\partial C/\partial t$ はある水深位置での単位時間における輸送量(g/m²/day)、 $\partial^2 C/\partial z^2$ は同じ観測日の水深方向での濃度勾配より求めた。これらより拡散係数 $K_z(\text{m}^2/\text{day})$ の計算を行った。その結果を図-3に示す。図よりデータのばらつきがあるものの0.2~0.4(m²/day)程度の係数となることがわかった。

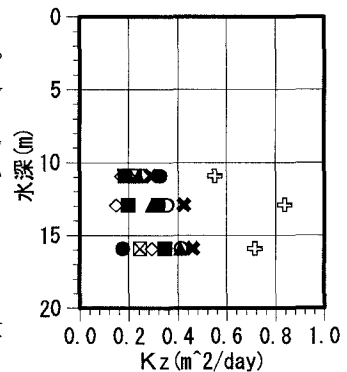


図-3 拡散係数 K_z

4.2 微流動層における $\text{NH}_4\text{-N}$ 鉛直拡散の検討

差分格子間隔として水深 $h=0.5\text{m}$ 、時間 $k=3\text{day}$ と分割し、係数は $K_z=0.2(\text{m}^2/\text{day})$ を用いて計算を行った。その結果を図-4に示す。図より妥当に再現されていると思われるが、6月、7月の実測値は下に凸であるのに対し、計算値は上に凸となっていることがわかる。これは微流動層においても横からの移流による影響があるためと考えられる。

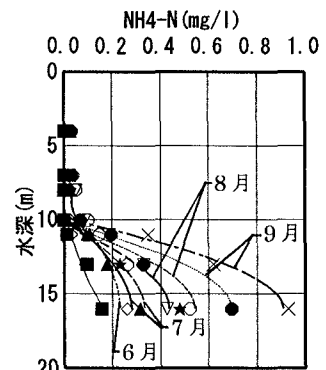


図-4 $\text{NH}_4\text{-N}$ 鉛直拡散

5. おわりに

小野川湖における微流動層での水質特性と $\text{NH}_4\text{-N}$ の拡散過程について検討を行った。

- (1)無機窒素と無機リンの比が約50:1と窒素の負荷が多いことが認められた。
- (2)微流動層では $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 T-N の内部負荷が大きく、富栄養の水質状態となっている。
- (3)現地データから拡散係数が0.2~0.4(m²/day)程度となり、計算結果は妥当なものとなったが、今後は移流を考慮にいれ、更に計算をしていきたいと思う。

<参考文献>

- 1)若狭・長林・木村：水工学論文集、第40巻、1996年2月 pp39-44