

B-16 石灰散布の富栄養化抑制効果に関する基礎的研究

福井工業大学建設工学科 ○高島正信

1. はじめに

石灰散布は、酸性化した湖沼の中和に欧米ではよく用いられるが、対処療法的な富栄養化改善策としても適用可能である。わが国における富栄養化水域への適用としては、三重県の英虞湾における実施例¹⁾や福井県広野ダム貯水池における実規模実験例²⁾などがある。

石灰散布は、内湾の老化漁場では底泥の腐敗防止や硫化水素の発生抑制（ひいては硫化水素による毒性からの貝類の保護）、湖沼ではリンの固定化や藻類の増殖抑制、養殖池では底質の消毒・殺菌などといった代表的効果を有すると報告されている^{1)・3)}。他方、pHの上昇、アンモニア性窒素の溶出、底生・水生生物への影響などといった懸念される面も併せもっている。

福井県広野ダム貯水池では、平成4年にUroglenaによる淡水赤潮が発生した。翌年、実験的に石灰が散布されたときには発生が見られなかったが、その一方で $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が上昇するなど水質悪化が観察され、石灰散布の機構や効果のほどについて明確でない状況にある。そこで本研究では、実験室で底泥および直上水から成る模擬実験系を構築し、広野ダム貯水池における調査結果とも照らし合わせながら石灰散布の効果をより明確に把握することを試みた。

2. 実験および分析方法

2. 1 実験方法

図-1に、実験に使用した密閉プラスチック製容器の模式図を示す。福井県内にある広野ダム貯水池から採取した底泥4Lと、その貯水池へ流入する岩谷川から採取した河川水（1 μm ろ紙でろ過）を9L入れ、各容器に消石灰（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）をそれぞれ0、50、100、200g/m³を散布した。そして水温15℃の水槽中（暗所）に静置して実験を開始した。その後、一日に一回各容器内の水0.3Lを引き抜き、代わりにろ過および脱 O_2 のために N_2 曝気（20分）した河川水0.3Lを投入することを繰り返し（HRT約30日）、およそ一週間ごとに直上水の水質分析を行った。

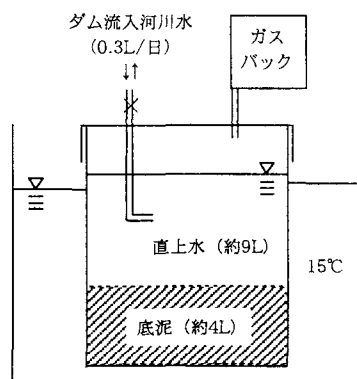


図-1 実験装置

2. 2 分析方法

分析方法は主として上水試験方法⁴⁾に従い、そのうちT-Caには硝酸煮沸による前処理後に高周波プラズマ発光分光装置（島津製作所製ICPS-1000II）、TOCには全有機態炭素計（島津製作所製TOC-500）を用いた。窒素とリンの各成分には、オートアナライザー（ブラン・ルーベ社製TRAACS-800）を用い、T-N、T-P分析のための前処理にはアルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解法⁵⁾を採用した。

3. 実験結果と考察

実験に用いたダム貯水池流入河川水の平均濃度を表-1に、実験結果を図-2に示す。なお、用いた底泥の濃度はTS28.3%で、そのうち強熱減量分は16.3%であった。

図-2より、石灰が散布され、その散布量が多くなるほど、直上水のpHやTOC、T-N、T-P、T-Caの濃度が高くなっている。ただし、pHとT-Caが高いのは実験初期の約20日間ほどであり、例えば散布量200g/m³の場合で、pHは約11、T-Caは約150mg/Lに到達したが、後半では他の条件と同様のpH7~8、

表-1 ダム流入河川水の平均水質
(ろ過および N_2 曝気後。pHを除き単位mg/L)

pH	TOC	T-N	$NO_{3,-}N$	NH_4-N	T-P	PO_4-P	T-Ca
7.6	1.7	0.35	0.25	0.03	0.020	0.012	7.4

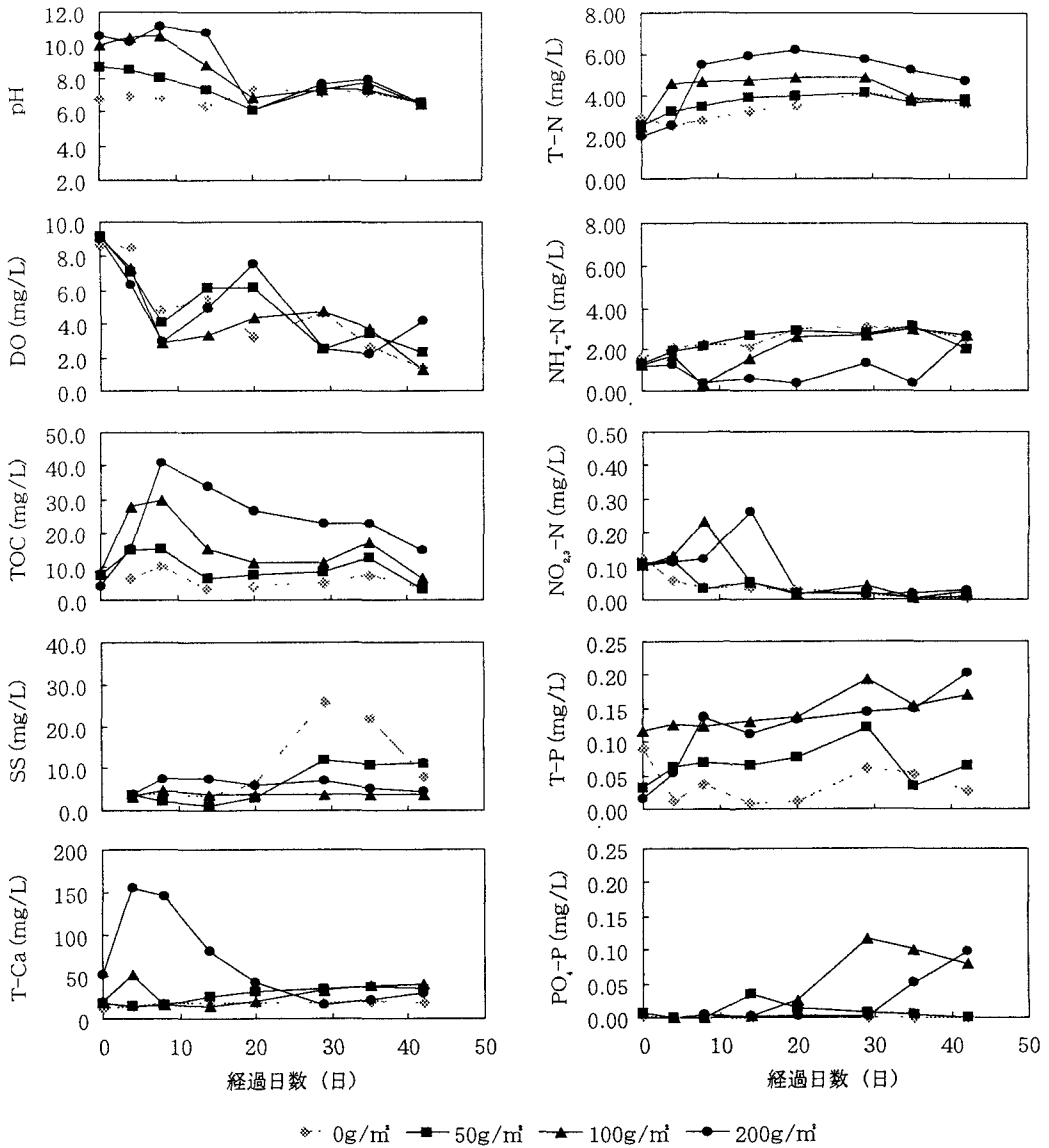


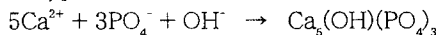
図-2 実験結果

T-Ca20~30mg/Lに戻っている。一方、石灰散布されたときのTOC、T-N、T-Pの濃度は、実験期間中は終始高い。これは、石灰が底泥をアルカリ分解し、その分解生成物が直上水中へ放出されたためであると考えられる。それらはほとんどが溶解性で存在していた。

SSと窒素、リンの各溶解性成分 ($\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_{2,3}\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$) は、TOC、T-N、T-Pとはむしろ逆に近い挙動を示している。SS濃度は、石灰散布量は少ないほど一時的な上昇が見られた。これは、石灰が被膜形成による底泥の封じ込め、または水相SS成分を凝集沈殿させる効果を有するためであると思われる。

$\text{NH}_4\text{-N}$ は、散布量が増えるにつれ濃度の低い時間が長くなっている。これは、散布によりpHが高まることから、分解生成または溶出した $\text{NH}_4\text{-N}$ がガス相へ揮散したためと思われる。実際の湖沼のように水量が多ければ、pHがこれほど上昇しないので水相に留まり、報告されている石灰散布による $\text{NH}_4\text{-N}$ の溶出となって現れると思われる。また $\text{NH}_4\text{-N}$ の一部は、 $\text{NO}_{2,3}\text{-N}$ の一時的増加で見られるように $\text{NO}_{2,3}\text{-N}$ への酸化や、リン酸マグネシウムアンモニウムの沈殿形成に使われた可能性がある。 $\text{NO}_{2,3}\text{-N}$ 濃度は一時期を除いて流入水より十分に低いので、石灰散布されても微生物学的な脱窒反応が進行していたらしい。

液中のリン酸は、アルカリ側pHでCaが共存すると、下式のようにヒドロキシアパタイト ($\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$) を主体とするリン酸カルシウムの沈殿物を容易に形成する。



この沈殿形成反応により、石灰散布によるリン酸固定は疑いないように思われた。しかし、この実験では底泥内のリン酸が直上水中へ放出され、散布量が多いほどその放出量が多く、またその時期が遅い傾向があることが観察された。底泥の分解に伴ってリン酸が生成され、それが石灰と接触せずに水相へ逃れたり、あるいは石灰が炭酸との沈殿形成などに奪われリン酸固定に必ずしも十分に回されなかったりしたことが考えられる。DOの変動は、全ての条件でほぼ同じで最終的に微好気状態であり、嫌気状態に起因するリンの溶出には至っていないと思われる。

以上より、炭素、窒素だけでなくリンについても、散布後の一時的な濃度上昇がありうるということがわかった。したがって、石灰散布を富栄養化防止策としてみれば、高pHと高Caによる藻類の増殖抑制の効果が最も期待できると推測され、ダム貯水池のように、水深が深く、しかも堆砂量が多く底泥の影響が少なくがちな水域ではその傾向は強まるとと思われる。広野ダム貯水池では石灰散布された年には $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度が高まったが、石灰散布によるこれら成分の放出および（または）抑制された藻類によるこれらの消費量の減少がその原因であったと思われる。

4. まとめ

石灰散布は、水が存在するまま湖底を天日干しするような方法であるといえる。その直接的な効果は、底泥を酸化状態に保ち、アルカリ分解によって物質の循環サイクルを早めることである。結果をまとめると、

- 1) 石灰散布は、底泥の分解により、しばらくの間溶解性の有機物、窒素のみならずリンも溶出させる。リンの場合は大半は有機性であるが、一時的にリン酸も溶出する。
- 2) 底泥表面における被膜形成、または水相SS成分に対する凝集沈殿の効果により、石灰散布は底泥の舞い上がりを防止できる。
- 3) ダム貯水池のように水深が深い水域では、特に短期的には、水相における高pHと高Caによる藻類の増殖抑制が最も顕著な効果であると推測される。

参考文献

- 1) 西村昭史、関 政夫：養殖漁場改良における石灰の作用、日本水産学会誌、Vol.49、pp.353-358 (1983)
- 2) 高島正信、高木弘康：石灰添加によるダム湖の富栄養化制御、環境技術、Vol.23、No.6、pp.35-39 (1994)
- 3) 日本石灰工業組合：石灰による淡水域の環境改善 (1993)
- 4) 日本水道協会：上水試験方法 (1985)
- 5) M. Hosomi and R. Sudo : *Intern. J. Environmental Studies*, 27, p. 267-275, 1986.