

海浜公園池における生態系エコサイクルに着目した 生態系修復技術の検討

ECOSYSTEM REMEDIATION WITH ECOCYCLE MANAGEMENT ON SEASIDE PARK POND

村上和仁¹・石井俊夫²・瀧 和夫³・松島 眸⁴

Kazuhito MURAKAMI, Toshio ISHII, Kazuo TAKI and Hitomi Matsushima

¹正会員 理博 千葉工業大学講師 工学部生命環境科学科 (〒275-8588 千葉県習志野市津田沼 2-17-1)

²非会員 工修 千葉工業大学助教授 工学部機械サイエンス学科 (〒275-8588 千葉県習志野市津田沼 2-17-1)

³正会員 工博 千葉工業大学教授 工学部生命環境科学科 (〒275-8588 千葉県習志野市津田沼 2-17-1)

⁴正会員 工博 日本大学教授 理工学部土木工学科 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14)

Experimental ecosystem remediation with ecocycle management on seaside park pond where water bloom occur in summer season as its eutrophication, was conducted using mesocosm system. MgO was supplied as chemical remediation materials (CRM) to control T-P concentration. Results were concluded as follows: 1) MgO sprinkling leads the smallization and the properization of ecocycle on seaside park pond, 2) the dominant species of phytoplankton was transited by MgO sprinkling from cyanophyceae to bacillariophyceae, 3) MgO sprinkling treatment was proved to be essential for on-site purification on enclosed and eutrophicated water bodies.

Key Words: seaside park, ecocycle management, eutrophication, MgO, phytoplankton

1. はじめに

海岸地帯, 特に人工海浜の有効利用のひとつとして海浜公園が挙げられる。親水を目的とした海浜公園は、都市域では都会のオアシスとして、リゾート地では集客施設としてきわめて有益であると考えられる。しかしながら、海水と地下水が集水して汽水となる公園池では、閉鎖性が高いことも相まって富栄養化が進行し、夏季に植物プランクトンが異常増殖してアオコを形成し、悪臭・景観の悪化などの利水障害を引き起こしている。本研究では、千葉県山武郡に位置する蓮沼海浜公園に隔離水塊(大型実験池)を設置し、特に直接浄化手法として酸化マグネシウム散布処理による栄養塩類濃度の変化と生態系エコサイクルの改善について検討を行った。

2. 生態系エコサイクルの概念

一般に、如何なる状態の湖沼でも、その場における栄養塩濃度に見合った湖沼生態系が形成・確立されて

いる¹⁾²⁾。すなわち、貧栄養状態の湖沼では生物の種と量の薄い生態系となり、富栄養状態の湖沼では生物の種と量の濃い生態系となることで、栄養塩濃度と生物相との間で平衡が保たれていると考えることができる。ここで、生態系エコサイクルとは、物質循環やエネルギーフローを含むある地域生態系における栄養塩類の循環を含有した生態系サイクルを意味し、水質が栄養塩濃度で評価されることを考慮すると、この生態系サイクルは T-N・T-P の散布図として図示することができる³⁾⁴⁾。

湖沼への過剰な栄養塩類の流入にともなう生物活動の活性化により、水中の溶存酸素が多く消費され、嫌気性状態となる。生物の枯死体が底層に沈殿、堆積さらに底泥から栄養塩が溶出すると、貧栄養の池水は徐々に富栄養化する。デトリタス等の堆積した栄養塩の底泥層からの溶出あるいは湖沼への栄養塩類の流入が繰り返されると、貧栄養の湖水は徐々に富栄養化し規模の大きな生態系サイクル(生態系エコサイクル)

へと変化し、終いにはアオコやミドロ等の異常発生を招くような富栄養湖へと遷移する。このような湖沼を貧栄養化するためには、栄養塩類の流入抑制、流入水中の栄養塩除去、底泥層からの溶出抑制等の対策が必要である。これらの対策を施すことで、アオコやミドロのような単種多量の生物が優占化して肥大化した湖沼内の生態系エコサイクルが、図1のように縮小化かつ適正化され、多種適量の生物が共存する湖沼へと修復されるものと期待される^{3) 4) 5)}。図1中に湖沼の分類における各栄養段階の窒素とリンの濃度（山岸ら1974）を示しているが、生態系エコサイクルの縮小化はこのような栄養段階の区分がひとつの基準となる。本研究では、アオコの異常発生により肥大化した生態系エコサイクルを、図1のように次第に縮小（貧栄養化）させ、生物相が多種適量の中栄養池沼へと修復することを試みる。

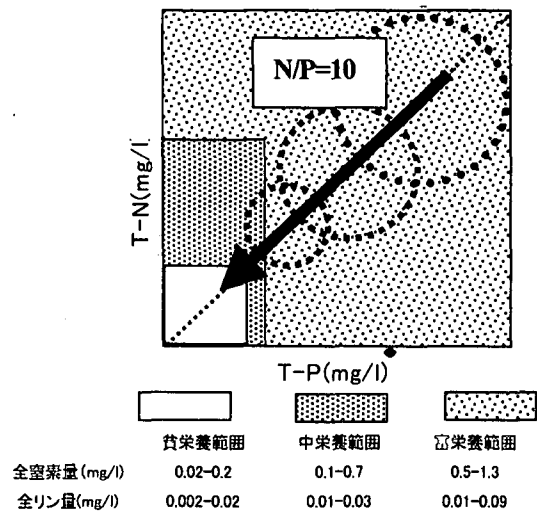


図1 エコサイクルの縮小化の概念

3. 蓮沼海浜公園の概要

蓮沼海浜公園（千葉県山武郡蓮沼村，池面積：約10,380m²，池容積：約7,000m³）の概要を図2に示す。この公園池は毎年夏季になるとアオコ（藍藻類 *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena spiroides*等）が大量発生し、近隣の住民からの苦情や貸しボートの営業に支障をきたす等、利水障害が生じている。蓮沼公園ボート池の池水は周囲からの集水とリン酸過多（1.0～1.5mg/l）の海水を含有する太平洋からの湧水が供給される汽水であり、エコバランスからみると、生物相が少種多量のいわゆる富栄養化した状態、すなわち、エコサイクルが適正から大きく外れた状態にある。これは湧水から過剰供給されるリンに起因するものであると考えられ、エコサイクルを適正化するためにはリンの供給を制御し、水中に存在するリンを除去する必要がある。

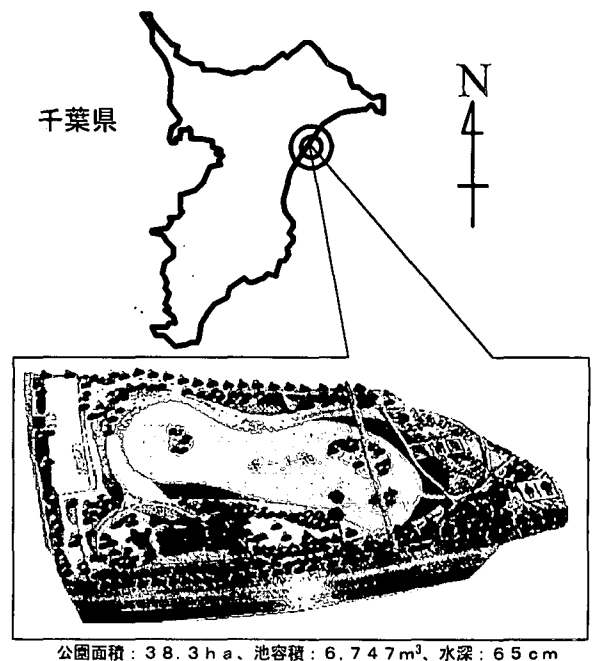


図2 蓮沼海浜公園の概要

4. 実験方法

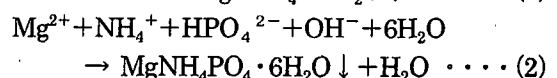
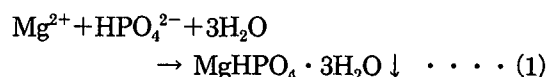
4.1 実験生態系のデザイン

湖沼生態系の示す生物的現象の発現過程とそれに關わる要因を知るための方法として、現場における調査、試験管やフラスコを用いた培養実験、計算機を用いたシミュレーション実験などが通常用いられている。これらの方法はそれぞれの有効性と同時に限界性をも持ち合わせている。個々の方法の限界性を克服するために、これらの方法を効率よく相補的に用いる努力が従来からなされてきたが、なかでも閉鎖系隔離水塊、すなわち実験生態系は、現場現象をエコシステムレベルで再現可能なことから、有力な解析方法として着目することができる。この実験系としての閉鎖系隔離水塊は一般にマイクロコズムとよばれる、マイクロコズムとは、小さい (micro), 宇宙 (cosm) を語源とし、制御環境条件下で個体群または生物群集をある容器内で

培養した系である。本研究で用いた隔離水塊は、規模では現場設置型、群集構成では Naturally-derived 型のメソコズムに分類される⁶⁾。

4.2 酸化マグネシウム散布による直接浄化

酸化マグネシウム (MgO) は、水中の PO₄-P または NH₄-N・PO₄-P と化学反応し、(1)式および(2)式に示したようにリン酸マグネシウム (MgHPO₄)、リン酸マグネシウムアンモニウム (MgNH₄PO₄; MAP) の形成により水中の栄養塩類を制御するものである。



この反応はそれぞれ pH11, pH 7 以上で進行する

ため、場の pH が重要な環境因子となる⁷⁾。MgO は酸化カルシウム (CaO) 散布とは異なり、散布しても水中の急激な pH 上昇や底泥からの NH₄⁺ の洗い出し⁸⁾ がなく、生態系に与えるインパクトも少ないことが特徴である。また、一度散布してしまえば、長期間に亘る効果の持続が期待でき、維持管理についてもメンテナンスフリー的であり、極めて容易である。すなわち、MgO は水域に存在する溶存態の窒素・リンを生物が利用できない状態に固定化することでエコサイクルを縮小化することが可能であると期待される。なお、MgO 散布は、水産養殖業等における底泥改善剤として既に実用化されており、水生生物に対する毒性は認められない。

本研究では、写真 1 に示したような粒径 3mm 程度の粒状 MgO を用いた。MgO の散布量については、室内培養規模マイクロコズムにおける検討の結果、培養実験で明確な結果を導出する上では 400g/m² が適正量であることが明らかとなっている⁹⁾¹⁰⁾が、本研究では気象条件等の自然環境因子の影響を考慮して、散布量を 1,000g/m² とした。しかしながら、実用化を図る上ではコスト面等、さらなる検討を行う必要がある。

4.3 実験条件

実験生態系としての隔離水塊として、水質変動に対する壁面効果や水流に対する耐久性、作業の操作性等を考慮して、公園池内に、写真 2 に示したようにアクリルパイプとビニールシートによる直方体型メソコズム (2.0m 縦×2.0m 横×0.45m 高, 2.0m³ 容) を 4 基設置した。隔離水塊に池水 1.4m³ と底泥 0.4t を投入し、種アオコとして、ボート池に発生していた藍藻類 *Microcystis aeruginosa* が優占化した池水を 40L 添加した。各実験系は表 1 に示したように、Run1: 湖水系、Run2: 湖水+MgO 散布系、Run3: 湖水+底泥系、Run4: 湖水+底泥+MgO 散布系とした。また、底質改善材として酸化マグネシウム (MgO) を 1,000g/m² となるように均一に散布した。実験開始後、2 回/月の頻度で水質分析し、隔離水塊内の水質変化を比較した。

4.4 分析項目

分析項目は、水温、気温、pH、DO、COD、Chl.a、栄養塩類、植物プランクトン相とし、採水後、直ちに分析を行った。なお、COD は JIS-K0102、Chl.a は海洋観測指針、栄養塩類は多項目水質分析計 (HACH DR4000U)、植物プランクトン相は生物顕微鏡にて分析・観察した。

5. 結果および考察

5.1 栄養塩類の挙動

図 3 にリン (T-P) の経日変化を示す。実験開始時にはいずれの系においても 1.5mg/l 程度であったが、20 日目を過ぎた頃から各系で差が認められるようになり、

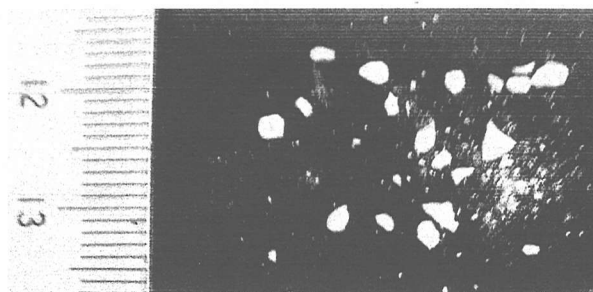


写真 1 粒状酸化マグネシウム (MgO)

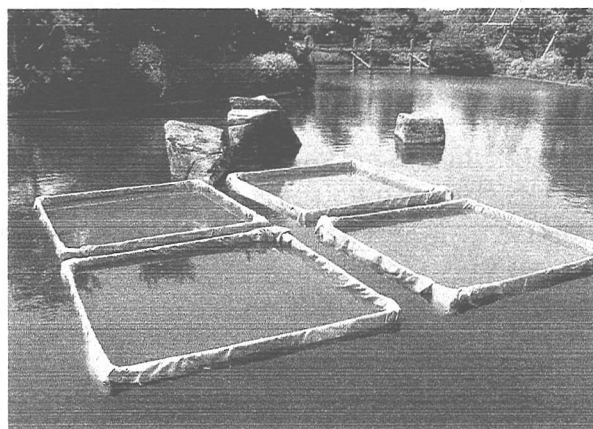


写真 2 実験生態系としての隔離水塊(メソコズム)

表 1 実験条件

Run No.	設定条件
Run 1	池水
Run 2	池水+MgO
Run 3	池水+底泥
Run 4	池水+底泥+MgO

100 日目以降は MgO 散布処理の有無により完全に 2 群に分かれた。未処理系である Run1 および Run3 では上層・下層にかかわらず、リン濃度は 1.2mg/l 程度であるのに対して、MgO 散布処理を施した Run2 および Run4 では 0.5mg/l 程度にまで減少した。また、底泥の有無に着目すると、系内に底泥を含有する Run3 および Run4 において、底泥を含有しない Run1 および Run2 よりもリン濃度が高かった。

5.2 植物プランクトン相の変化

検鏡の結果、優占種は珪藻類であった。出現した主な植物プランクトンは、珪藻類 *Melosira varians*, *M.granulata*, *Auracoseira italica*, *Cyclotella meneghiniana*, *C.comta*, *Stephanodiscus sp.*, *Synedra sp.*, *Nitzschia sp.*, *Diatom sp.*, *Fragilaria crotonensis*, 藍藻類 *Microcystis aeruginosa*, *M.wesenberghii*, *M.ictyoblabe*, *Anabaena spiroides*, *Oscillatoria sp.*, *Planktothrix sp.*, *Phormidium sp.*, 緑藻類 *Asterionella formosa*, *Chlorella sp.*, *Scenedesmus quadricauda*, *Dictyosphaerium sp.*,

Oocystis sp., *Eudrina* sp., *Euglena* sp., *Phacus* sp., *Ankistrodesmus* sp., *Chlamydomonas* sp.であった。

図4に示したように、実験開始直後にはRun1 およびRun3で *Microcystis aeruginosa* を優占種とするアオコが出現したが、数日後には消滅し、それ以降アオコは形成されなかった。また、Chl.a も大きく減少し、いずれの系においても $10 \mu\text{g/l}$ 以下となった。

5.3 生態系エコサイクルの改善効果

図5に各系における生態系エコサイクルを示す。図より、MgO 散布により T-P が減少し、エコサイクルが適正化かつ縮小化したことがわかる。すなわち、MgO が未散布の状態では、いずれの系においても T-N, T-P ともに高濃度であり、T-N は $13\sim 14\text{mg/l}$ 程度、T-P が $1.1\sim 1.3\text{mg/l}$ 程度であったが、MgO 散布処理を施したRun2 およびRun4 は $N/P=10$ 付近に集中したまま、T-N, T-P ともに濃度が減少している。一方、MgO 処理を施していないRun1 およびRun3 では T-N は減少したものの、T-P はほとんど変化せず、リン過多の状態である $N/P < 10$ 付近に点在している。した

がって、リン供給過多の閉鎖性湖沼における環境改善・修復を図る場合、底質改善材である MgO 散布は有効な手段であるといえる。

また、生態系エコサイクルは図5に示したように、MgO 散布効果により縮小化かつ適正化 (N/P 比= 10 付近) することができた。このときの植物プランクトンの優占種は実験開始時の藍藻類 *Microcystis aeruginosa* から珪藻類 *Auracoseira italica* に遷移していた。

T-P の減少は、MgO が水中に存在する $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ と反応して MAP (リン酸マグネシウムアンモニウム) あるいはリン酸マグネシウムを形成したことによるものと考えられ、直接浄化法として MgO 散布処理が的確に作用したことを示している。底泥の有無については、実験初期に底泥なしの系で栄養塩類が低下しており、底泥から水中への栄養塩類の供給が示唆される結果となった。したがって、本研究で対象とした海浜公園の池のように毎年アオコの発生による利水障害を抱えているところでは、自然浄化作用機能とトレ

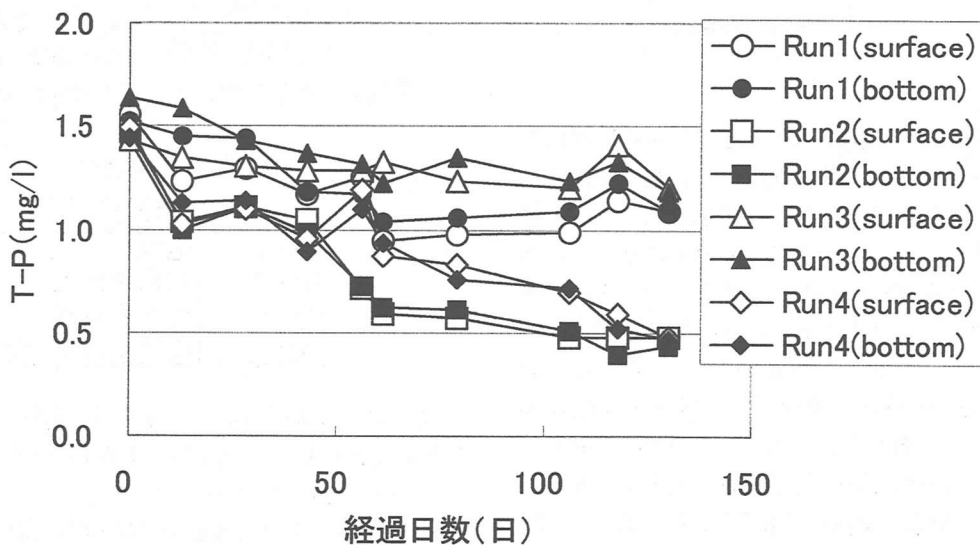


図3 リンの経日変化

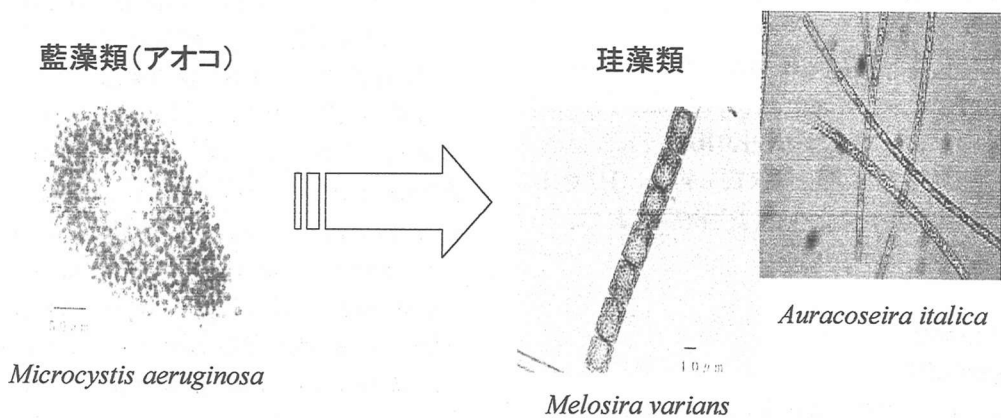


図4 実験生態系における植物プランクトン優占種の変化

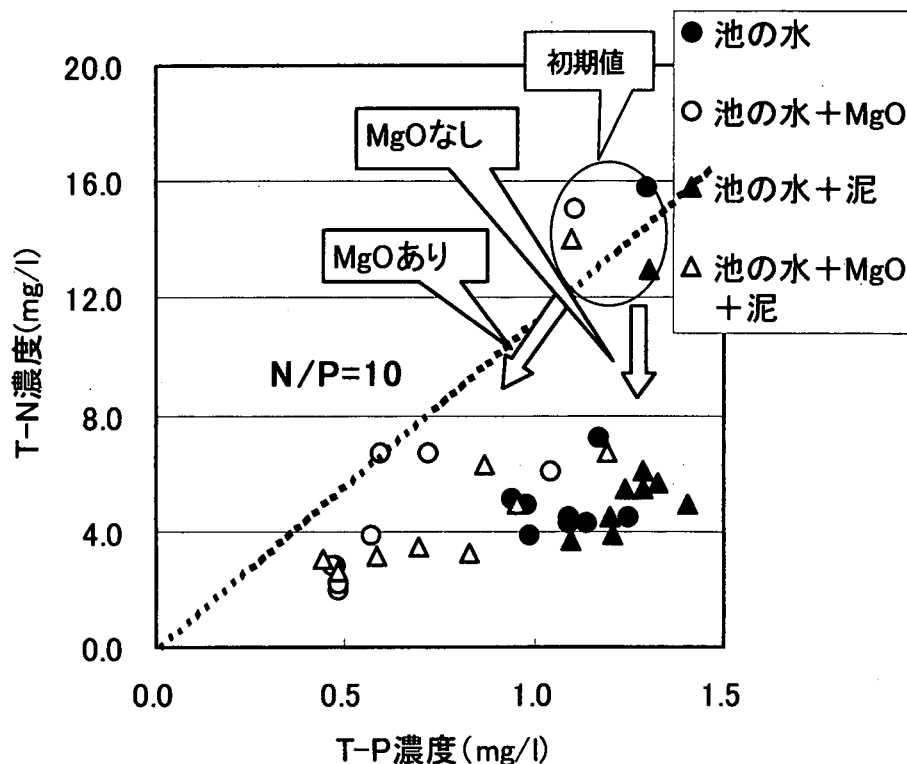


図5 実験池における生態系エコサイクルの変化

ードオフすることになるものの、維持管理が適切に行われるならば、リンの供給源である底泥を完全に除去してコンクリートで覆土しプール化するような対策も可能性の一つとして有効ではないかと考えられる。また、MgO 散布処理により生態系エコサイクルの縮小化および適正化に成功したと考えられるが、依然として栄養塩類は高濃度であり、中栄養範囲まで修復することできなかった。しかし、N/P 比が 10 付近であることは、夏季にアオコが発生しにくい状態であり、生態系が適正なバランスを保っている状態ともいえる。

6. まとめ

海浜公園をはじめとする閉鎖性水域で生じ得る問題、すなわち富栄養化現象の抑制と生態系の適正状態への修復の一助として、蓮沼海浜公園池に実験生態系を設置して現場規模での検討を行い、以下の知見を得た。

- (1) 酸化マグネシウムの散布効果により、海浜公園池の生態系エコサイクルを縮小化および適正化、すなわち生態系が適正なバランスを保っている状態に修復することができた。
- (2) 生態系エコサイクルの縮小化・適正化にともなって、植物プランクトンの優占種をアオコ形成藍藻類 *Microcystis aeruginosa* から珪藻類 *Melosira varians*, *Auracoseira italica* に遷移させた。
- (3) 酸化マグネシウム散布処理は、処理の簡便性、効

果の持続性からみて閉鎖性の強い公園池等の直接浄化手法として有効である。

- (4) 自然浄化作用機能とトレードオフすることになるものの、維持管理が適切に行われるならば、リンの供給源である底泥を完全に除去してコンクリートで覆土しプール化するような対策も可能性の一つとして有効と考えられる。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、千葉県山武郡土木事務所蓮沼支所の関係各位に多大なるご協力を賜った。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Odum, E.P. : Fundamentals of Ecology, Holt Rinehart & Winston, Inc., 224pp., 1965
- 2) Horne, A.J., C.R.Goldman : Limnology (2nd ed.), McGraw-Hill, Inc., New York, 639pp., 1983.
- 3) K.Murakami, S.Narawa, T.Ishii, K.Taki, H.Matsushima : Ecocycle Management for On-Site Purification of Eutrophicated Lakes, *Proceedings of 3rd IWA World Water Congress of the International Water Association* (Melbourne 2002), CD-ROM, 2002.
- 4) 村上和仁, 天野佳正, 瀧 和夫, 松島 眸 : 生態系エコサイクルの適正化に基づく富栄養化湖沼の

直接浄化, 環境情報科学論文集, 第 15 卷, pp.285-290, 2001.

- 5) 松井琢磨, 村上和仁, 瀧 和夫: エコサイクルからみた閉鎖性水域の環境評価および直接浄化手法の検討, 第 52 回全国水道研究発表会講演集, 2000.
- 6) 川端善一郎: 微生物の生態 15 各種モデルとその利用, 日本微生物学会編, 学会出版センター, pp.37-52, 1987.
- 7) 中村和雄, 栗原 淳, 三井進午: 磷酸マグネシウムアンモニウムの肥効に関する研究, 日本土壌肥料学会誌, 35 卷, 11 号, pp.103-108, 1964.
- 8) Muto, T., T.Saito, H.Matsushima, K.Tanaka, K.Murakami, K.Taki: NO₂-N Accumulation

through Denitrification Reaction with Lake Sediment, *IWA 2nd International Symposium on Batch Reactor Technology*, pp.161-194, 2000.

- 9) 天野佳正, 村上和仁, 石井俊夫, 松島 晔, 胡 翔: 物理化学的ハイブリッド処理による富栄養化湖沼の直接浄化に関する基礎的研究, 第 37 回環境工学研究フォーラム講演集, pp.67-69, 2000.
- 10) Murakami, K., H.Matsushima, K.Tanaka, T.Ishii, K.Taki: Inspection of Magnesium Treatment Effect on Nutrient Elution from Eutrophicated Lake Sediment, *1st IWA World Water Congress* (Paris 2000), CD-ROM, 2000.