

韓国始華湖における排水門開門後の水質・底質変化の現地観測

吳 海鍾* ・磯部雅彦** ・佐藤慎司*** ・鯉渕幸生****
 安 熙道***** ・鄭 甲植***** ・趙 珍亨*****

近年、韓国・始華湖では、水質環境が悪化しており、大きな社会問題に発展した。また、その原因の究明と有効な対策が求められている。そこで本研究では、水温、塩分、溶存酸素等の水質観測とともに、底質の柱状コア試料を 3 地点で採取し、粒度分布や、窒素・炭素含有率、C/N 比などの底質分析、ならびに放射線強度の測定を行った。その結果、秋季においても河口付近および工団前では、塩分成層による溶存酸素濃度の低下が下層で観測された。さらに底質のコア試料分析により、閉切り堤防完工後の有機汚濁層と工事期間中および建設前の干潟堆積層における堆積過程の変化が明らかとなった。また、完工後の明確な有機汚濁層は汚染史として記録されているといえる。

1. はじめに

始華湖は韓国ソウル市から約40 km 西南に位置する流域面積476.5 km²、湖面積61 km²規模の広大な人工湖である。

始華湖は水資源確保のための淡水湖や農地・工業用地の造成を目的として計画され、1994年12.7 km の閉め切り堤防竣工により完成した。しかし、始華湖周辺の工場排水による水質悪化やそれに伴う魚介類の死滅・岩のりの不漁など漁業被害が深刻化し、完成から 3 年後の1997年には水門を開放、2000年12月には韓国政府が始華湖の淡水化を正式に断念し、海水湖として維持することを決めた。

また、始華湖の排水門は、常時の開門ではなく、始華湖内の水位を外海よりもマイナス 1 m に維持するようコントロールするために開閉を繰り返している。このような水門開放と並行して水質改善策が実施されている。今後、始華湖及び周辺流域の環境問題（水質・底質）を解決するためには、現行の水質改善策の有効性を確認する必要があるが、始華湖における水質と底質の関連については現地観測のデータが不足していることもあって明らかにされていない。そこで本研究においては、水温、塩分、溶存酸素等の水質観測とともに、底質コアを採取して、種々の方法によって分析を行うことにより、始華湖の水質の現況および底質環境の変化を把握することを目的とした。

* 学生会員	修(環)	東京大学大学院新領域創成科学研究科
** フェロー	工博	東京大学教授大学院新領域創成科学研究科環境学専攻
*** 正会員	工博	東京大学教授大学院工学系研究科社会基盤学専攻
**** 正会員	工博	東京大学講師大学院新領域創成科学研究科環境学専攻
*****	工博	韓国海洋研究院沿岸・港湾工学本部
*****	理博	韓国海洋研究院海底環境・資源研究本部
*****	修(理)	韓国海洋研究院海底環境・資源研究本部

2. 始華湖における歴史および物理環境の変遷

表-1 は、始華湖の歴史的経緯に関する既存資料を収集し、とりまとめたものである。始華湖は、京幾道安山市、始興市、華城市に面する入り江として、海が閉め切られる前には「半月湾」と呼ばれた。潮汐の干満差が大きく、緩やかな海底勾配を形成していた。また、船舶の出入りする航路は水深が20 m 程度で、そのほかはほとんど10 m 以浅の干潟・浅海域となっていた。

しかし、半月湾周辺は1970年代から1990年代後半にかけて安山工業団地、始華湖防潮堤の完工及び永宗島新空港建設、松島新都市建設などの大規模な干拓事業が行われ、多くの干潟域が消失した。このような海岸線の変遷は、流況変化をもたらして底棲生物を始めとする生物の生息に悪影響を促したと見られる。

表-1 始華湖における主要年代

1977.04	安山新工業都市基本計画の決定
1986.12	始華工業団地造成工事着工
1987.04～1994.01	始華防潮堤工事着工閉切り堤防完成 (12.7km) …始華湖誕生 (淡水湖)
1996.07	始華湖の水質改善策発表 (環境部)
1997.03	始華防潮堤の排水門開門
2000.12	政府は「始華湖の淡水化計画白紙化」を発表
2001.08	始華湖特別管理海域の総合管理計画 (海洋水産部)

図-1 は、始華湖の水質環境の変遷を示す。これは、韓国水資源公社によって定期観測された COD 濃度の経年変化である。図-3 に示す△点の A から C までの 3 地点において、表層水（毎 1 回/月）の分析データを平均したものである。COD の推移からみると、始華湖の水質は1994年 防潮堤完工後に急激に悪化し、1997年夏には、表層水の平均 COD が20 mg/l 以上までに達している。また、水門を開放した後から2000年にかけて目に見えて水質が改善されており、堤防閉め切り前の状態に近づきつつあるように見える。しかし、閉め切り堤防完成

後には、急激な人口流入による生活排水や工業団地の廃水が閉め切られた始華湖に流入している。そして、その履歴が現在の始華湖の底質コアに記録されているものと考えられる。

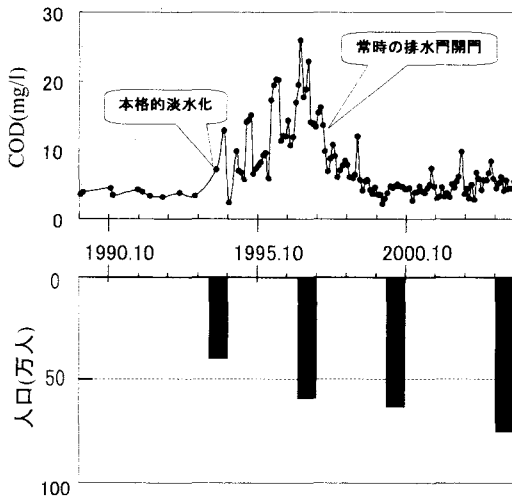


図-1 始華湖周辺における COD および人口の推移

3. 現地観測および分析法

(1) 水質測定とコア試料採取法

図-2 は、研究対象とした始華湖周辺の地形、および 2004 年 11 月に行った水質と底質コアの試料採取点を示すものである。調査には韓国政府認可の調査船「ハヌル号」を用いた。吃水深度・航海能力を考慮して水深 2 m 以上の始華湖全水域を対象とした。また、調査測線を設定し、DGPS 測位によって測点を確認しながら水質観測および底泥のコア採取を行った。具体的には、まず 2004 年 11 月 19 日に、始華湖内の●点の No.1 から No.10 までの 10 地点において、米国 YSI 社製の投げ込み式 DO 計 (YSI-58) と塩分計 (YSI-30) を用いて、水温、塩分、溶存酸素などの鉛直分布を 1 m 間隔で測定した。さらに、始華湖内のコア試料採取は 2004 年 11 月 21 日に水路に沿った✕点の 3 か所 (C1 河口付近～C3 排水門) で行った。底質試料採取には、柱状採泥器を用いた。この採泥器はパイプがステンレス製で、鉛のおもりが付いており、塩ビ製パイプ (内径 60 mm) を内装するようになっている。インナーは長さ 2 m の円形パイプを使用した。船上のウインチから本体の上部にロープをつけ、水面近くまでおろし、重りをつけた採泥器を自由落下させてつきさすという重力式である。

これらによって採取された試料は、立てたままにして水を上からくみ出した後、試料のない部分のパイプは切る。これを実験室に持ち帰って、縦に半割りにし、断面

を 5 cm 間隔で分割して乾燥後に微粉碎した。そして冷凍保存し、以下のような種々の分析を行った。

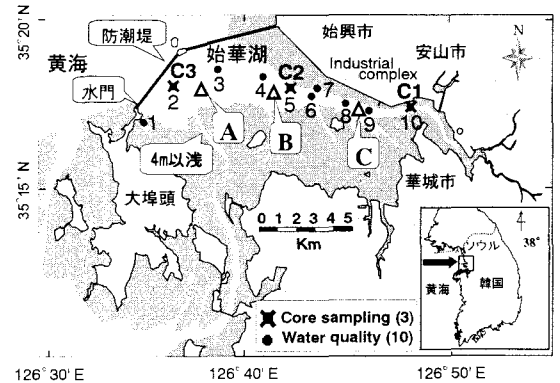


図-2 始華湖および底質試料採取地点

(2) 分析方法

まず、中央粒径と含水率を測定した。中央粒径の測定にはレーザ回折式粒度分析測定装置 (島津製作所製, SALD-3000S) を用いた。含水率は、底質試料を 105℃ の乾燥機で 24 時間以上乾燥し、堆積物中の土粒子に対する水の質量比を百分率で示した。

堆積年代推定を行うために、46.5 keV (鉛-210) と放出率 84% の 661.6 keV (セシウム-137) の γ 線を検出することにより放射線強度を測定した。鉛-210 は、半減期 22.3 年であり、自然の大気中に一定の割合で存在するため、攪乱が起らずに堆積傾向が続ければ、堆積後の崩壊により深さ方向に放射線強度が減衰することになる。

また、セシウム-137 は半減期 30 年の放射性核種であり、核実験の影響で 1986 年と 1963 年に降下量のピークがあったことがわかっており、鉛直分布のピークにより年代推定に利用できる。測定器は、 γ 線検出器 (米国 ORTEC 社製, GMX29P HP-Ge) と SEIKO EG & G 社製の Spectrum Navigator を用いた。

堆積物から汚濁負荷の流入などによる様々な影響を調べるため、炭素、窒素、C/N 比を測定した。測定方法は有機物の燃焼によって生じる二酸化炭素を測定する CN 分析が一般的である。本研究では、MT 型 CN コーダー (ヤナコ製) を用い、測定を行った。この値は堆積物に含まれている有機物の起源を論ずる場合に有用である。

4. 水質現況の把握

図-3 は水温、塩分、溶存酸素の観測結果である。観測時 (11 月 19 日午前) は、気温が 5 度以下であったために、海面からの冷却により表層の水温が低下し、底層よりも低くなっている (水温逆転)。しかし、塩分は上層

ほど低い状態であり、下層の密度の方が高いので、鉛直混合は起こっていない。このように始華湖の河口付近においては、秋季においても塩分の鉛直分布の影響が強いため成層化していることがわかる。またこのような塩分成層の影響により、溶存酸素濃度は下層で低濃度となっていることが分かる。

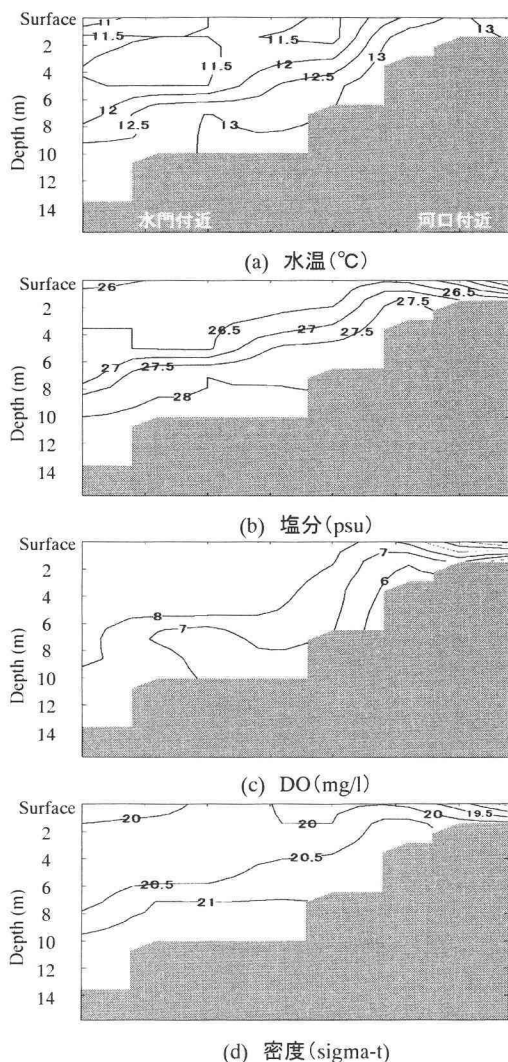


図-3 水温(a)、塩分(b)、DO(c)、密度(d)の鉛直分布

5. 試料分析の結果および考察

(1) 底質コア資料写真

図-4は、コア断面の写真を示すもので、観察では、C1地点において表層から78 cm までに黒色、その下層が灰色に、C2地点においても表層から20 cm までが黒色で、灰色、褐色の順になっている。また、C3地点には表層から約3 cm 程度の黒色の堆積層が残っているだ

けで、その下層が褐色になっている。このように各観測地点において明瞭な泥色変化が見られており、それぞれに堆積構造の異なる異種層の混入が観察された。これらは汚濁堆積層、一般的干潟堆積層などと推定される。

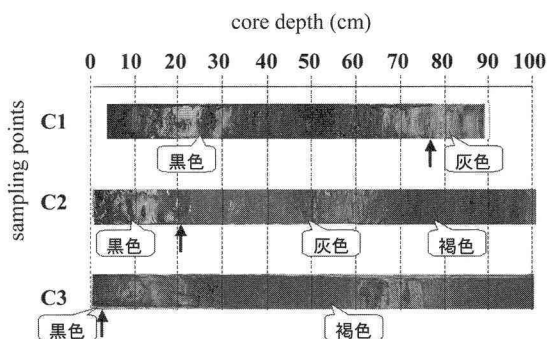


図-4 コア写真

(2) 中央粒径及び自然含水率

図-5に底質コア試料の分析結果の一例を示す。中央粒径鉛直は、河口域から水門にいくほど増大する傾向が見られる。ただし、中央の工団前(C2)の中央粒径の鉛直分布には、深度20~50 cm の中間層に明確な細砂層があり、その上下に粘土・シルト層が見られる。また、表層堆積物を構成する泥層の自然含水率は、河口域(C1)および中央の工団前(C2)の方が水門付近(C3)に比べて高い値を示す。この値は、シルト質の底質に分類されるとともに軟弱泥層を意味する。

(3) 炭素・窒素含有率 (C/N 比)

C/N 比は、河口域から水門にいくほど減少する傾向が見られる。C2地点では炭素・窒素含有率が20~50 cm 層で低下しており、前述した中央粒径の鉛直分布の変化から、この層が、閉め切り堤防工事用の土砂流出より、工事前の干潟上に堆積して形成された層であると考えられる。

そして、深さ20 cm から上の閉切り後の層においては有機物が急増しており、主に河川汚濁負荷の流入や閉鎖性水域形成による海水交換の不良などの原因が考えられる。

このような水質・底質環境の変化は現行の水質改善策においても、始華湖の水質悪化が継続していることを意味しており、今後の方針を議論する上で注目すべき点として指摘できる。

(4) 放射線強度 (鉛-210, セシウム-137)

鉛-210およびセシウム-137の線量の分布は、河口域から水門にいくほど減少する傾向が見られる。これは、中央粒径が増大する傾向と対応している。また、C2地点におけるセシウム-137放射線強度は深度20~50 cm

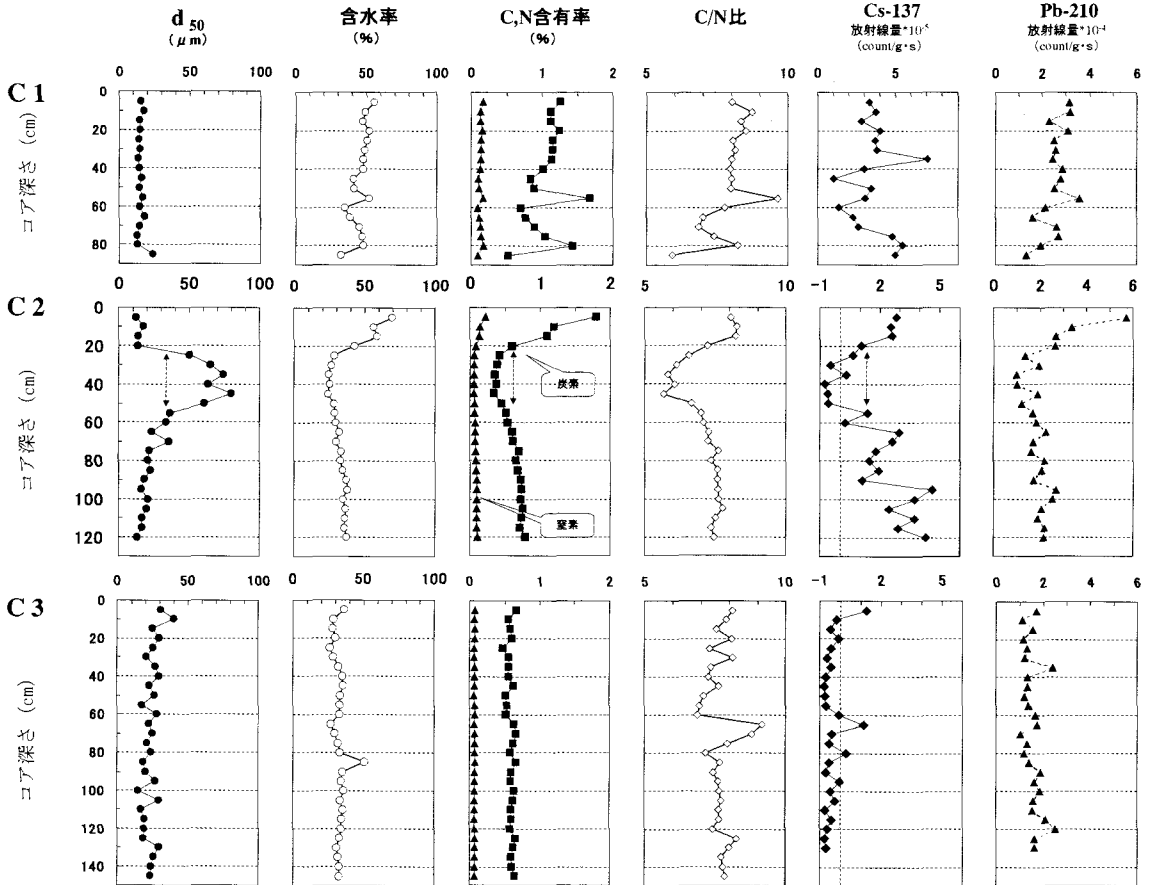


図-5 始華湖における中央粒径，含水率，有機物含有量，放射線強度 (^{137}Cs ・ ^{210}Pb) の鉛直分布

層で線量が0に近く、その上の層の値と著しく異なる。これは、この層が堤防工事中（1987～94年）の際に形成された砂質層であることを裏づける。これは、深さ65 cmのセシウム-137のピークによって推定された1986年より上の層にあることも整合する。さらに、鉛-210の鉛直分布においては20 cm以浅で急増し、表層付近の深さで最大となっている。このことにより、1994年以降より重金属汚染が急激に進み、ピークに達して今日に至っていることが考えられる。このように、鉛などを含んだ金属元素は人為的利用と環境への放出によって濃度を高めていると考えられる。なお、これらより、C2地点における堆積速度は、工事中で4 cm/年、完工後で2 cm/年と推定される。

(5) 始華湖における水質と底質との関係

湖底地形は図-6の通りで、河口付近が浅く（1～5 m）中央から水門にかけての湖心部が相対的に深い。湖心部は最大水深18 mほどの湖盆をなしている。水門を通じて入ってきた海水は、蛇行した水路を経て奥域に至ると流速は急激に減衰し停滞する。一方、河口付近では

河川水の直接的な広がりである河川ブルームを形成し、下層の海水との鉛直混合が起きていない。これは、密度成層を形成し、下層で溶存酸素濃度が低下していると考えられる。

また、底質においても半月川、安山川など大小5の河川を通じて生活排水や畜産排水などの高い濃度の有機物が流入する一方、工業団地前では工場廃水が湖内へ多量の重金属を供給し続けていたと推定される。このように河川から流入した陸起源の有機物は、始華湖に入ると、速やかに沈降する。それを分解する時に溶存酸素が消費され、溶存酸素濃度を低下させる（図-3(c)）。

6. 結論および今後の課題

始華湖における従来の水質研究では、開門による海水交換の効果によって水質改善が見られ、密度成層による底層の貧酸素化は夏季に限って起きると報告されている（Park ら, 2003）。しかし、今回の水質観測結果により、湖内では秋季（11月）においても水深が浅い河口付近、工団前は、塩分成層による溶存酸素濃度の低下が観測さ

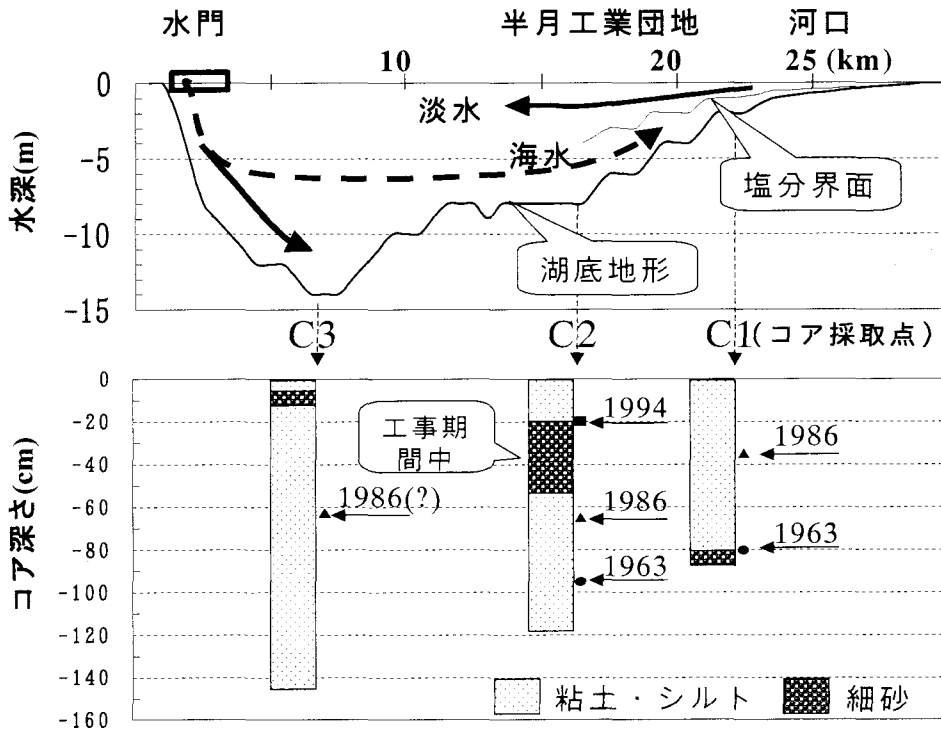


図-6 始華湖における水質と底質変化

れた。さらに底質のコア試料分析により、閉切り堤防完工後、工事期間中および建設前の干潟堆積層における堆積過程の変化を明らかにした。特に、C2地点での堆積速度は工事中が4 cm/年以上で最も速い。完工後の有機汚濁層の堆積速度は2 cm/年と推定されるが、今後、流域の開発による有機汚濁物質負荷の増加は、底質環境へ悪影響をもたらす可能性がある。

これらの水質・底質環境変化からみると、開門による海水交換はCODの減少という水質改善効果をもたらしているが、底層水質や底質を見ると、十分な改善が行われたとはいえない。今後、さらなる調査によって詳細を解明することが必要であるが、開門による流動変化や底質の変化と貧酸素現象との関係について総合的なモニタリングを継続する必要がある。

謝辞：本研究の一部は、21世紀COEプログラム「都市空間の持続再生学の創出」および科学研究費若手研究B（課題番号：16760403，研究代表者：鯉淵幸生講師）の補助を受けて実施したものであることを付記する。また、水質の推移などのデータは韓国水資源公社より提供して頂いた。ここに記してお礼申し上げます。

参考文献

- 呉海鍾・磯部雅彦・鯉淵幸生・佐藤慎司・渡辺晃(2004)：三番瀬における埋立地近傍の地形と底質変化の実態，第51回海岸工学論文集，土木学会，pp. 1001-1005.
- 韓国海洋水産部(2003)：始華湖の海洋環境改善事業，5p.
- Park, J. K., E. S. Kim, S. R. Cho, K. T. Kim and Y. C. Park(2003)：Annual Variation of Water Qualities in the Shihwa Lake. Ocean and Polar Research, Vol.25(4)：459-468, pp. 466-467.