

# 南湖における湖底穴の現状と穴内外の水底質、底生動物生息状況

森田 尚・芳賀裕之\*・小林博美\*\*・岡村貴司\*\*\*・前河孝志・井戸本純一  
孝橋賢一\*\*\*\*。

The present condition of the abandoned dredge pits in the southern basin of Lake Biwa and the quality of water and sediment and the habitation situation of benthos in and out of the pits

Takashi Morita・Hiroyuki Haga・Hiromi Kobayashi・Takashi Okamura・Takashi Maegawa・Jun-ichi Idomoto  
Ken-ichi Kohashi

キーワード：湖底穴、水質、無酸素化、底生動物

琵琶湖南湖は本来、漁業生産の場として重要な水域であるが、現在では環境悪化が進み漁場としての価値が低下している。南湖の平均水深は約4mであるが、過去数十年間に行われた浚渫工事や砂利採取などによって生じた湖底の窪地（以下湖底穴と呼ぶ）が複数箇所に存在し、水深が10m以上の水域も見られる。このような人為的な湖底地形の改変が漁場環境に及ぼしている影響を明らかにすることは、漁業生産の場としての南湖の再生に向けた対策を立てる上で重要である。

水島ら（1979）は1960年代なかばに埋立地造成用の採土をするための浚渫が行われた守山市木浜埋立地地先の水域において1977年6月と7月に理化学的、生物学的環境調査を実施し、極端な凹凸状の地形が残存する地点において、表層水と底層水でpH、溶存酸素濃度、NH<sub>4</sub>-Nに差が認められ、7月の調査では水深8mの地点が無酸素状態であったことを報告した<sup>1)</sup>。

草津市矢橋町地先では流域下水道湖南中部浄化センターの建設用地造成のため、1978年4月から1980年にかけて埋立浚渫工事が行われた<sup>2)</sup>。浚渫により発生した湖底穴は滋賀県が実施している琵琶湖水深別水質調査の調査地点の一つに位置づけられ、1981年度から毎月月上旬と中旬に調査が実施されているが、水深12mの底層部において毎年7～9月に貧酸素ないし無酸素状態が観測されている<sup>3) 4)</sup>。

同様の現象は海面でも報告されており、東京湾奥部では人為的に掘り下げられた海底（航路と土砂採取跡窪地）で海水が停滞し、無酸素底層水が生じや

すく底泥中の遊離硫化水素含量が高いことが確認され、人為的な海底の改変が漁業被害をもたらす青潮発生の要因の一部と考えられている<sup>5)</sup>。瀬戸内海では約30年間にわたり海砂が骨材として採取されていたが、環境や水産資源に与える影響が問題視されるようになり、1998年から2006年にかけて沿岸の各県が海砂採取の全面禁止に踏み切った<sup>6) 7) 8)</sup>。

琵琶湖では1965年頃から長年にわたり骨材供給のための湖中砂利採取が行われてきた<sup>9)</sup>。砂利採取作業に伴う濁水の発生が琵琶湖の水質に大きな影響を及ぼしていることから、滋賀県は1996年に湖中砂利採取を今後段階的に縮小し将来は廃止する方針を決め、「マザーレイク21計画（琵琶湖総合保全整備計画）」の第1期末である2010年度末までの廃止に向けて事業者と協議を行ってきた。その結果、採取事業者から2011年3月31日までに事業を廃止することが表明された<sup>10)</sup>。しかし草津市下物町から志那町にかけての地先では、過去に砂利が採取された跡の湖底穴が放置されており、今後将来にわたって琵琶湖の漁場環境に及ぼす影響が懸念される。

セタシジミの良好な漁場であったこの水域の環境回復を図るためには、湖中砂利採取によって改変された湖底地形の現状とともに、水底質や生物の現況を把握し、湖底穴がセタシジミ等の生物に及ぼしている影響を評価する必要がある。

本研究は上述の目的を達成するため、滋賀県立の試験研究機関により構成される「琵琶湖と滋賀県の環境に関する試験研究機関連絡会議」の共同研究に

\*滋賀県立琵琶湖博物館、\*\*滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、現所属滋賀県立衛生科学センター、  
\*\*\*現所属滋賀県琵琶湖環境部琵琶湖再生課、\*\*\*\*滋賀県立琵琶湖博物館、現所属滋賀県農政水産部水産課

位置づけて、水産試験場、琵琶湖博物館、琵琶湖環境科学研究センターが役割を分担して実施した。

## 方法

### 1. 南湖湖底地形の広域調査(琵琶湖博物館)

湖底の地形図を作製するため、音響測深法による観測を行った。これまでの予備調査などによってとくに湖底の凹凸が著しいと判断される南湖東岸の南北方向 3km、東西方向 2km の範囲に調査区域を設け、東西方向の観測線を南北に 100m ピッチで 37 本設定した(図 1)。調査区域内に設けた観測線上を 2007 年 3 月 28 日と 29 日に、観測船「うみんど」で 10knot (時速 18 km) 前後で航行し、ディファレンシャル GPS (JRC NWU-800) とビデオ記録端子付 GPS 魚群探知機 (JRC Plot 700FX-II) を用いて湖底形状の記録を行った。

観測に使用した魚群探知機の条件設定は、波長を 200KHz、出力を 3 / 10、ゲインを 1.5 / 10 とした。魚群探知機の画像データを S-VHS ケーブルを介してデジタルビデオレコーダーで記録し、後日、研究室で再生した。再生した画像から 1 秒ごと(航走距離約 5m に相当)の緯度・経度・水深のデータを読み出し、表計算ソフト (Excel) に入力した。水深データについては、観測当日の水位 (-10cm) を補正し、琵琶湖基準水位 (BSL±0cm) での水深に変換した。

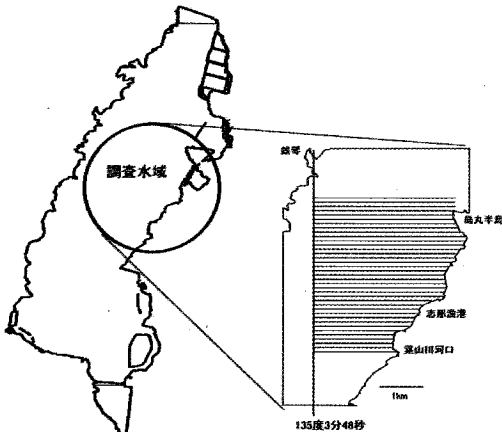


図 2 南湖湖底地形の観測計画図

### 2. 調査定点の設定(水産試験場)

1. で 2007 年 3 月に琵琶湖博物館が実施した湖底地形の広域調査結果に基づき、図 2 に示す調査水域 2 箇所(鳥丸半島沖および志那沖)を選定した。2007 年 5 月 23 日に約 200m 四方の範囲内を水産試験場の漁業調査船「はやぶさ」で集中的に航行し、GPS 魚探 (EAGLE Fish Elite 500C) を用いて航跡の緯度経度と

水深を記録した。そのデータから GIS フリーウェア (みんなで GIS) を用いて 5m 間隔での各平面座標における水深を補間計算して等深度図を作成し、各水域で穴の中央部と穴の外側の調査定点を設定した。

### 3. 定期水質調査(水産試験場)

2007 年 6 月 19 日、7 月 10 日、8 月 20 日、9 月 20 日に 2. で設定した調査定点において、水質チェッカー (HORIBA U-21) を用いて、水温、溶存酸素濃度、電気伝導度、pH、濁度を水深別に測定した。

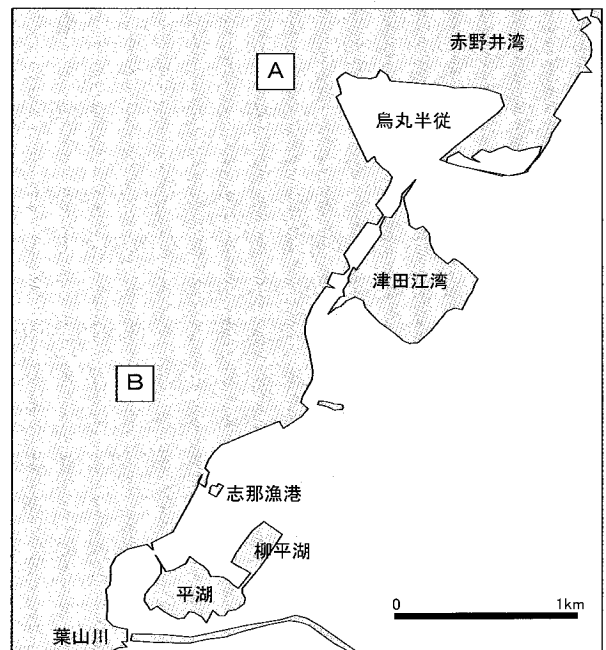


図 3 調査定点設定位置(図中の A, B3 水域)

### 4. 水深別採水、採泥調査(水産試験場、琵琶湖博物館、琵琶湖環境科学研究センター)

2007 年 8 月 20 日の水質調査は琵琶湖博物館の観測船「うみんど」を使用し、水質チェッカーを用いた定期水質調査項目に加えて、バンドーン採水器による水深別採水とエックマンバージ採泥器による表層泥の採取を行った。採取した水試料について水産試験場が各態窒素、全りんおよびりん酸態りん、COD、硫化物イオンを、琵琶湖環境科学研究センターが鉄、溶存態鉄、マンガン、溶存態マンガン、ヒ素、溶存態ヒ素を測定した。また湖底泥について水産試験場が底生動物と泥質を調査した。泥質は ORP (酸化還元電位)、AVS (酸揮発性硫化物)、灼熱減量について測定した。

## 5. 水深の異なる複数の穴についての比較調査（水産試験場）

1. の琵琶湖博物館による湖底地形調査結果に基づいて烏丸半島沖から津田江沖にかけての水域で20箇所の穴を選定し、2007年8月22日および8月27日に水質チェッカーを用いて底層の水温、溶存酸素濃度、電気伝導度、pH、濁度を調査した。本調査は滋賀県土木交通部河港課との共同で実施した。

### 結果

#### 1. 南湖湖底地形の広域調査（琵琶湖博物館）

実際に観測を行った航跡図を図3に示す。計画した観測線のうち、No. 30-32の3本は砂利採取船があったため観測できなかった。図4~8に、観測で得られた34測線の断面地形を示した。いずれの測線においても不規則な湖底の凹凸が見られ、人為的な湖底の改変が著しいことが明らかになった。

穴の中で最も深いものは水深12.5mに達した。ひとつの目安として観測が行われた南湖中央部の最大水深（約6m）よりも深い穴に注目すると、266箇所となった（表1）。木浜沖や帰帆島沖では、水深10m以上の穴で無酸素水塊の形成が報告されている<sup>1),3),4)</sup>。今回の観測では、10m以上の水深を持つ穴は10箇所あった。

観測結果をもとに、GISソフトウェア（ArcView）を用いて面的な分布図を作成した（図9）。将来の3D化を前提に、水深データは標高データに置き換えた。図9は各航跡の地形を独立のものとみなし、メッシュ状に彩色したもので、穴の分布の地形的な偏りや、大きな穴の所在を概観することには利用できる。同じデータを用いて等深線図の作成を試みたが、観測線の間隔が100mと比較的粗いために、各穴が円形に描画されてしまう問題があり、実用には至らなかった。水産試験場の調査によれば、深い穴でも開口部が20m四方程度しかないものも存在しており、詳細な地図を作成するには、観測線の間隔を非常に細かくする必要があるだろう。今後、観測線の密度を増やし、さらに実用的な地図を作成する予定である。

表1 調査測線上の穴数

水深(m)	箇所数
6~7m	148
7~8m	68
8~9m	26
9~10m	14
10m以上	10

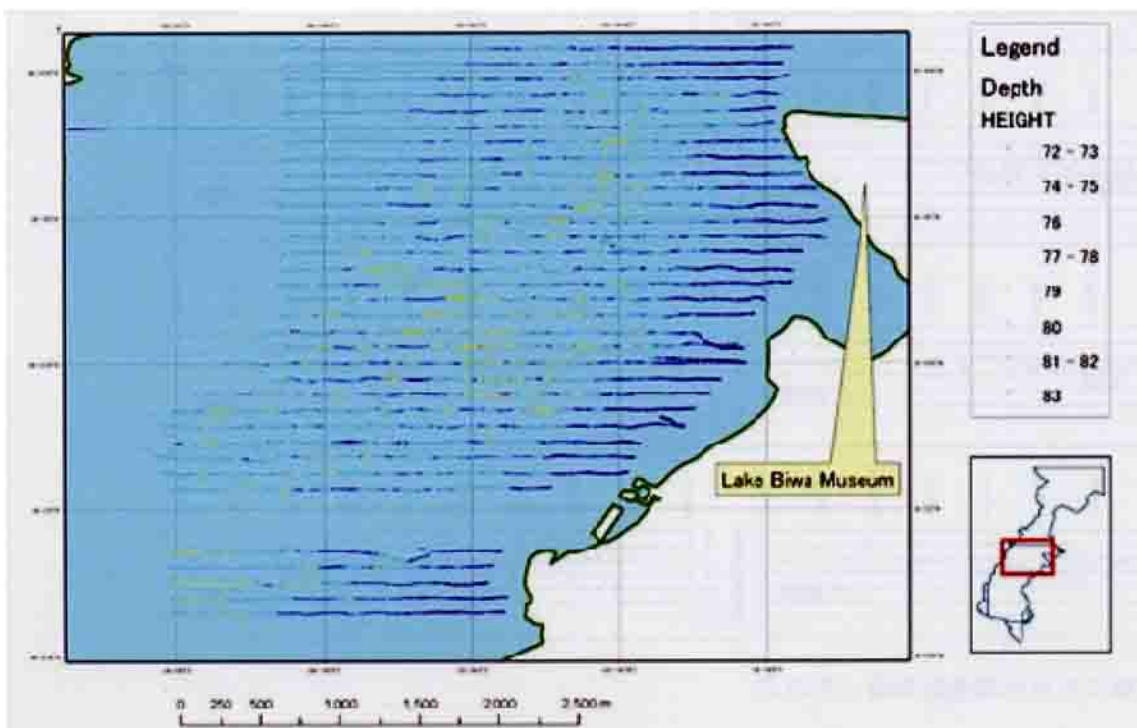


図3 観測を行った航跡図。計画した観測線のうち3本は欠測となった。線上の各色は標高を示す。

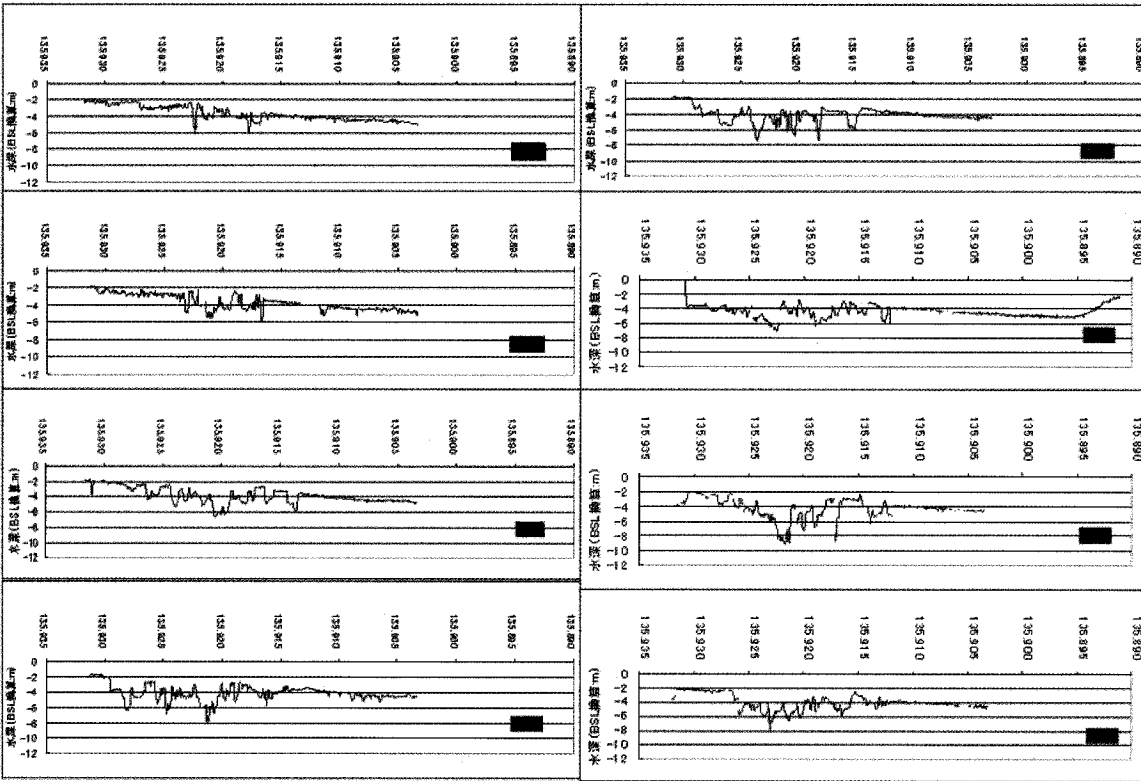


図4 各調査測線における湖底断面図 (その1)

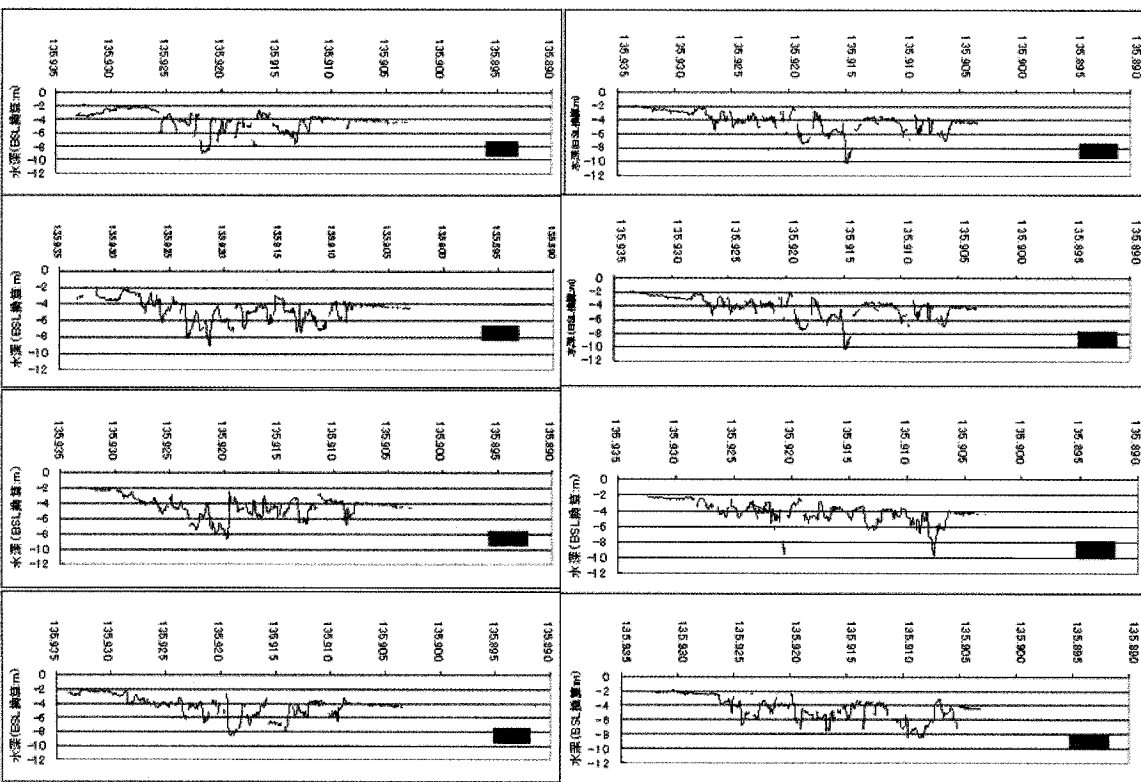


図5 各調査測線における湖底断面図 (その2)

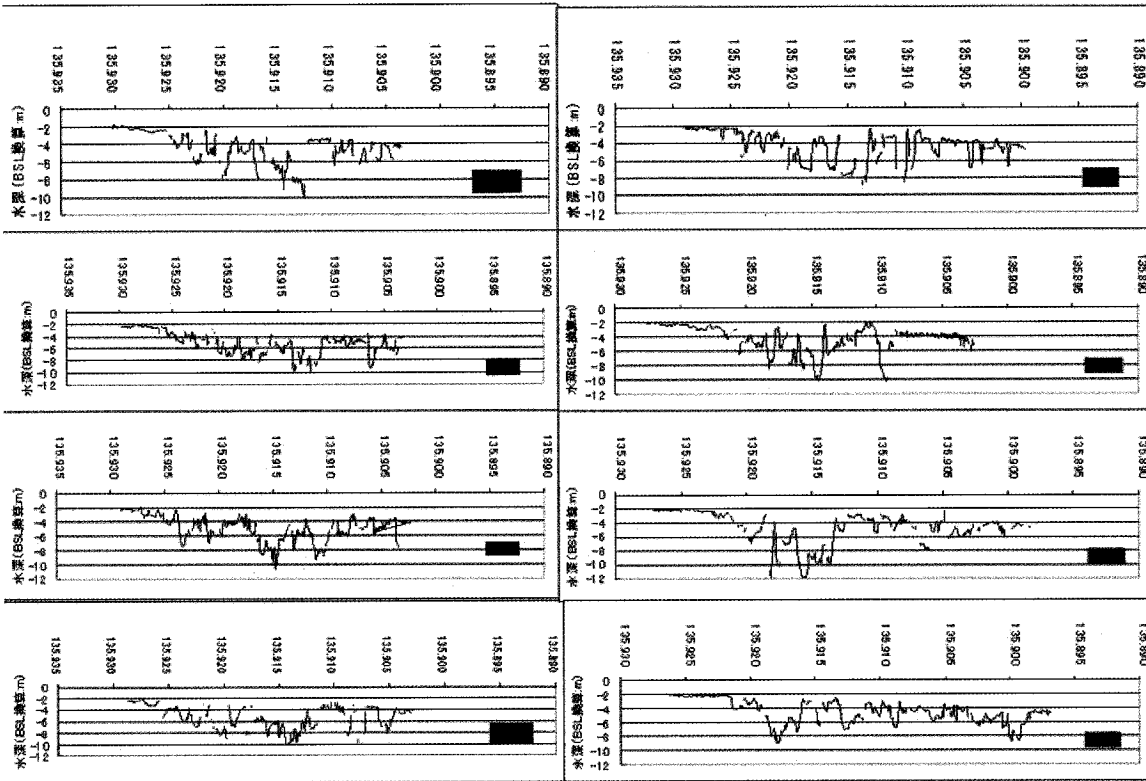


図6 各調査測線における湖底断面図 (その3)

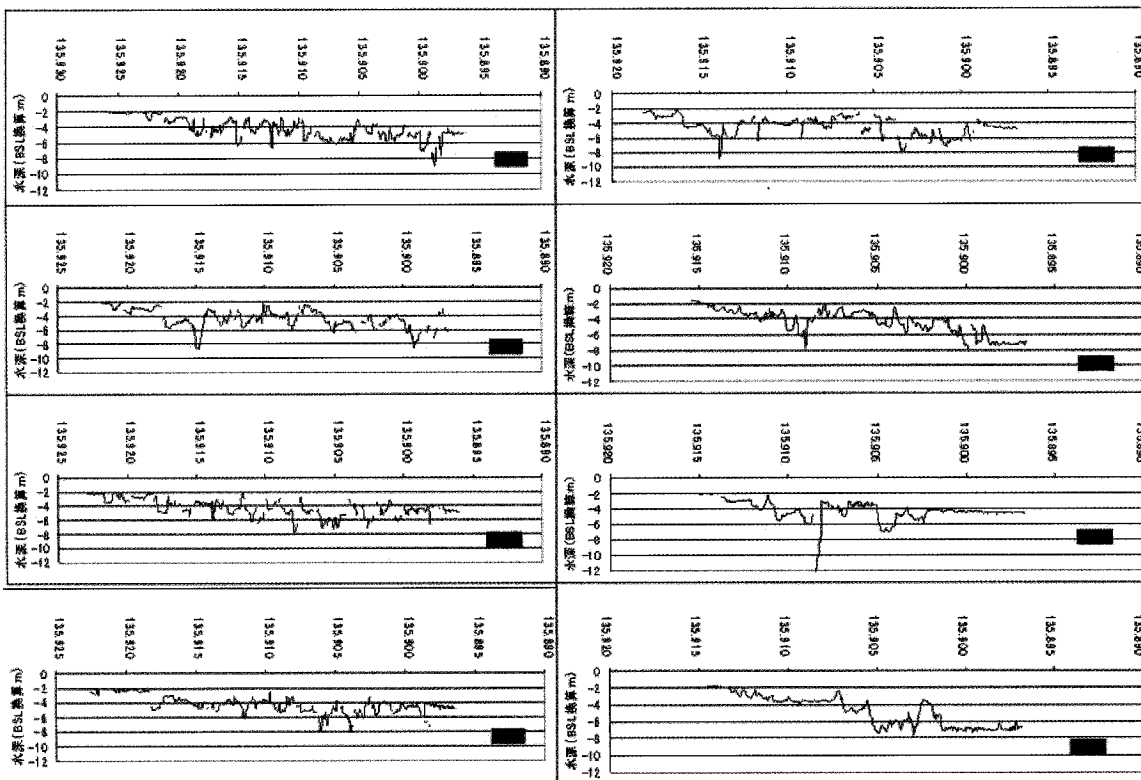


図7 各調査測線における湖底断面図 (その4)

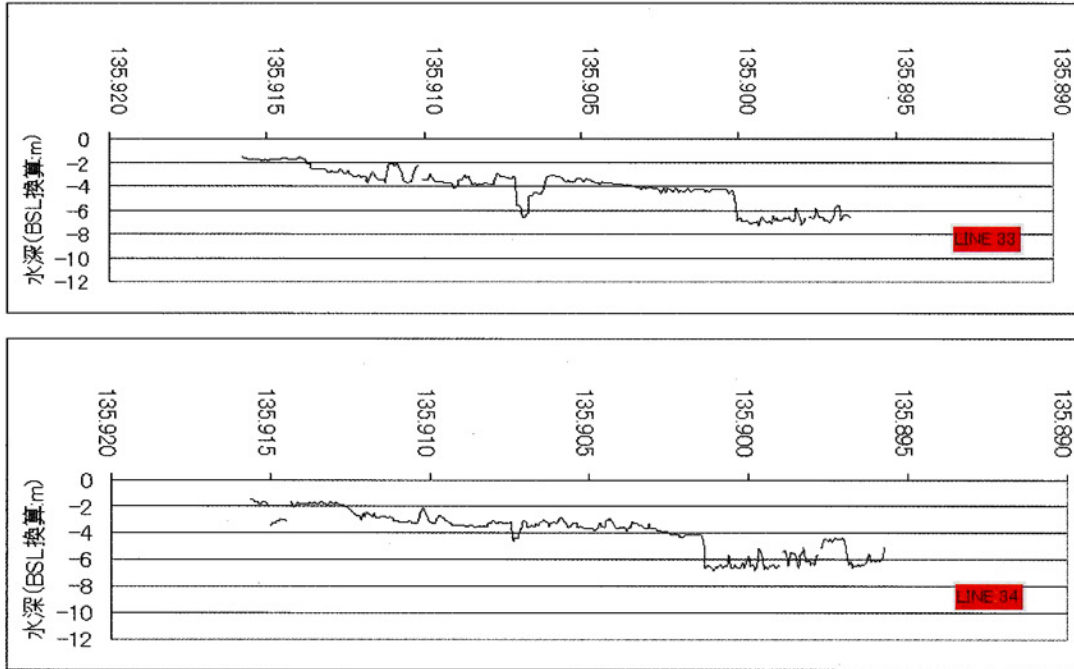


図8 各調査測線における湖底断面図（その5）

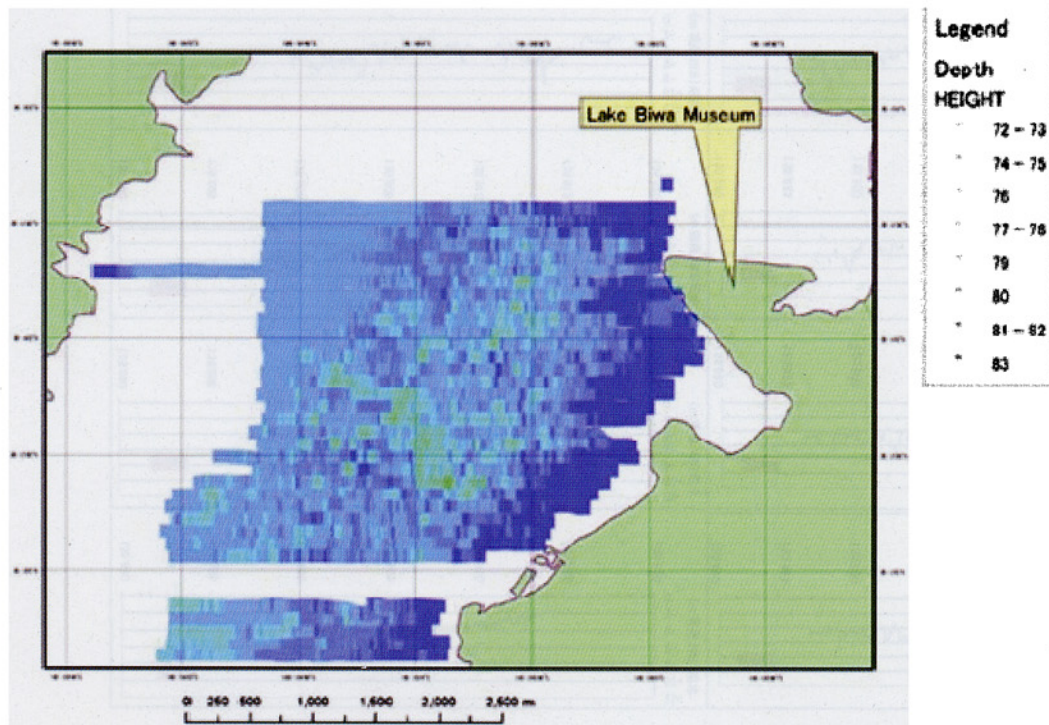


図9 湖底地形のメッシュマップ。水深は標高に換算してある。青色が薄いほど深い。

## 2. 調査水域の湖底地形と調査地点位置 (水産試験場)

図 10、11 に烏丸半島沖と志那沖調査水域の等深線図と調査地点の位置を示した。烏丸半島沖の穴 A は約 7m、志那沖の穴 B は約 11m の水深があった。穴 A の中央部に調査定点 A 内を設定し、穴の外側にあたる地点として A 内の南側 30m の調査定点 A 外 (水深 2m) を設定した。同様に穴 B の中央部に調査定点 B 内を設定し、穴の外側にあたる地点として B 内の南東側 35m の調査定点 B 外 (水深 2m) を設定した。

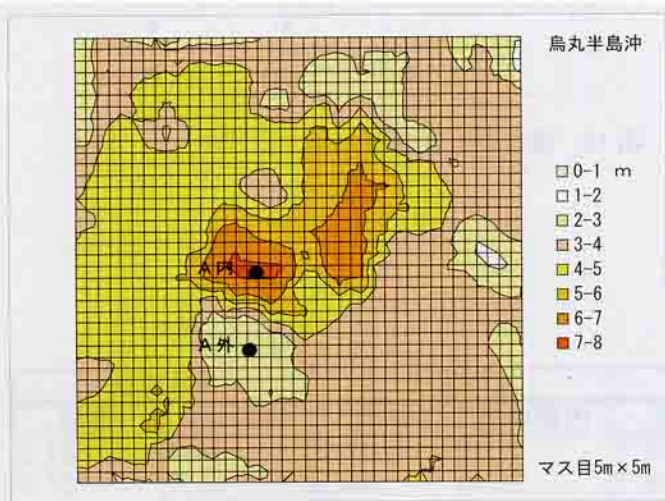


図 10 烏丸半島沖調査水域の等深線図と調査地点

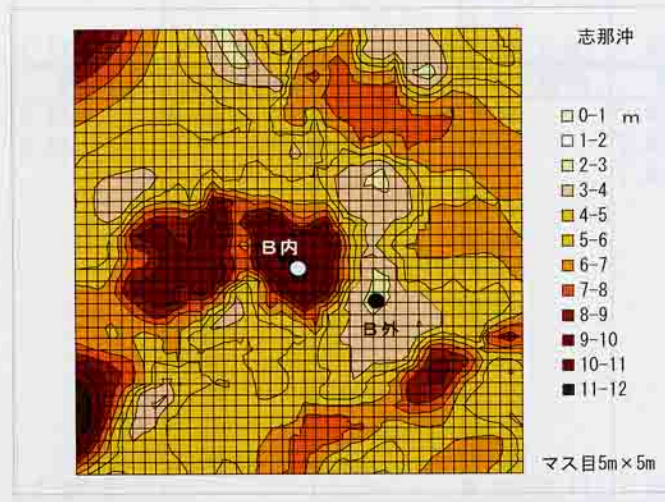


図 11 志那沖調査水域における等深線図と調査地点

## 3. 定期水質調査 (水産試験場)

(1) 水温 計測値を表 2 に、穴内側中央部における鉛直分布図を図 12 に示す。B では 6 月調査時点で既に成層が確認できた。躍層の水深は時期により変化し、8 月調査では最も浅く、6~7m に認められた。表層と

底層との水温差は 6 月で 5.8℃、8 月で 10.8℃であった。A では明確な成層は認められなかったが、上下層間の水温差は 1.1~1.8℃であった。

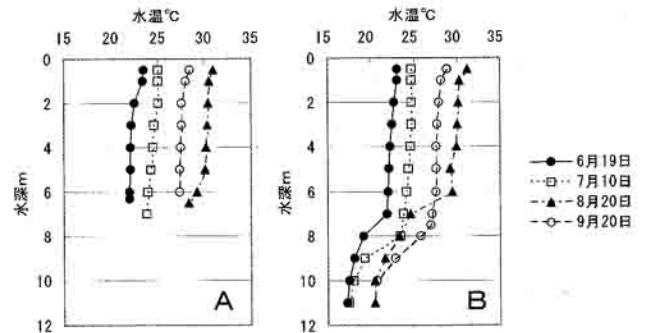


図 12 各湖底穴内の中央部における水温鉛直分布

(2) 溶存酸素濃度 計測値を表 3 に、穴内側中央部における鉛直分布を図 13 に示す。A では 7~8 月に 6m の底で無酸素状態となった。B では水深 7~9m 以深で常に無酸素状態が確認された。今後 B について、無酸素状態の始期と終期を確認する必要がある。

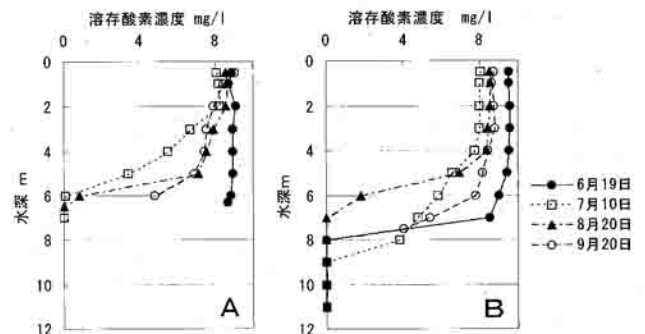


図 13 各湖底穴中央部における溶存酸素濃度鉛直分布

(3) pH 計測値を表 4 に、穴内側中央部における鉛直分布を図 14 に示す。

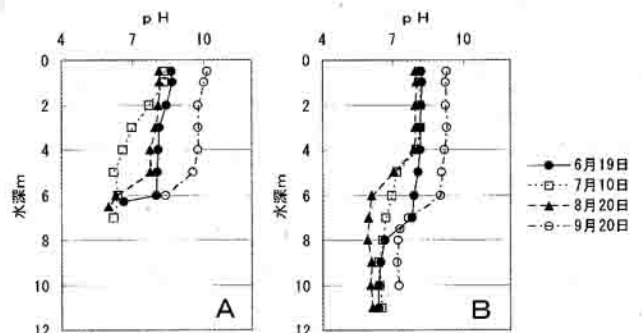


図 14 各湖底穴内の中央部における pH 鉛直分布

表層付近で高く、下層部で低い傾向が常に認められ、Bでは明確な成層が認められた。特に8月のBでは水深7~8mでpH6以下の値が観測された。

(4) 電気伝導度 計測値を表5に、穴内側中央部における鉛直分布を図15に示す。Bでは底層付近で常に高い傾向が認められた。

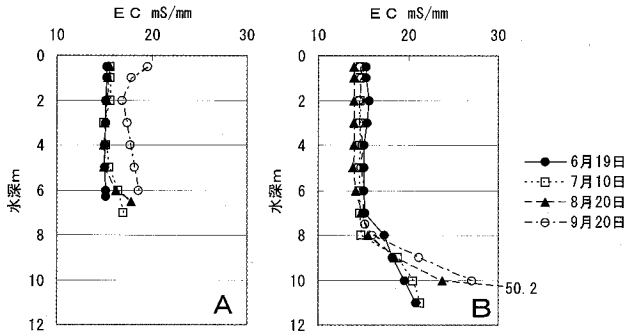


図15 電気伝導度の鉛直分布

(5) 濁度 計測値を表6に、穴内側中央部における鉛直分布を図16に示す。8月にBの6m以深で高い値が認められた。9月は機器不良のため測定できなかった。

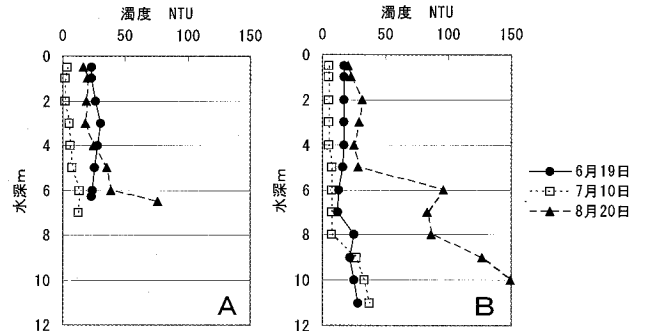


図16 濁度の鉛直分布

表2 水温調査結果

水温℃	6月19日		7月10日		8月20日		9月20日	
A湖底穴	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側
0.5m	23.5	23.5	25.1	25.1	31.0	31.2	28.4	28.2
1m	23.4	23.5	25.1	25.1	30.5	30.5	28.0	27.9
2m	22.5	22.1	25.1	25.0	30.4		27.6	27.7
3m	22.2	22.1	24.6		30.3		27.6	
4m	22.1		24.5		30.2		27.5	
5m	22.1		24.3		30.1		27.4	
6m	22.0		24.0		29.2		27.3	
底	(6.3)22.0		(7.0)23.8	(2.5)24.7	(6.5)28.3			(2.5)27.7
B湖底穴	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側
0.5m	23.0	23.1	24.7	24.7	31.2	31.0	28.8	28.8
1m	23.0	23.0	24.7	24.7	30.3	31.0	28.1	28.3
2m	22.7	22.9	24.7	24.7	30.2	30.3	27.9	
3m	22.5		24.7		30.0		27.7	
4m	22.2		24.6		29.9		27.6	
5m	22.1		24.3		29.2		27.6	
6m	22.0		24.1		29.4		27.5	
7m	21.9		23.7		24.6		27.1	
7.5m							26.9	
8m	19.1		23.4		23.3		25.8	
9m	18.1		19.3		21.6		22.8	
10m	17.5		17.9		20.5		20.7	
底	(11.0)17.2		(11.0)17.5	(2.5)24.7	(11.0)20.4			(1.5)28.3

( )内:底の測定水深m



表3 溶存酸素濃度調査結果

D O mg/l	6月19日		7月10日		8月20日		9月20日	
	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側
A湖底穴								
0.5m	8.87	8.60	8.05	8.26	8.6	8.77	9.05	9.06
1m	8.73	8.53	8.16	8.36	8.7	9.13	8.45	8.57
2m	9.06	9.20	8.21	8.45	8.5		7.91	8.64
3m	8.93	9.39	6.64		7.9		7.55	
4m	8.93		5.47		7.5		7.41	
5m	8.91		3.41		7.1		6.88	
6m	8.83		0.05		0.8		4.78	
底	(6.3)8.63		(7.0)0.00	(2.5)7.81	(6.5)0.00			(2.5)8.70
B湖底穴								
0.5m	9.52	9.60	8.02	8.28	8.54	8.83	8.74	8.91
1m	9.54	9.60	8.00	8.33	8.58	8.71	8.61	9.53
2m	9.58	9.61	8.00	8.35	8.50	8.98	8.73	
3m	9.56		8.00		8.43		8.78	
4m	9.53		7.72		8.37		8.41	
5m	9.41		6.56		6.91		8.13	
6m	9.02		5.84		1.80		7.77	
7m	8.51		4.74		0.00		5.38	
7.5m							4.01	
8m	0.00		3.83		0.00		0.00	
9m	0.00		0.00		0.00		0.00	
10m	0.00		0.00		0.00		0.00	
底	(11.0)0.00		(11.0)0.00	(2.5)8.32	(11.0)0.00			(1.5)9.59

( )内:底の測定水深m

表4 pH調査結果

pH	6月19日		7月10日		8月20日		9月20日	
	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側
A湖底穴								
0.5m	8.64	8.60	8.30	8.34	8.1	8.26	10.10	9.90
1m	8.65	8.64	8.31	8.35	8.1	8.25	10.00	9.75
2m	8.41	8.16	7.69	8.37	8.1		9.75	9.79
3m	8.10	8.14	6.95		7.9		9.74	
4m	8.05		6.57		7.7		9.74	
5m	8.01		6.18		7.7		9.54	
6m	7.96		6.34		6.3		8.36	
底	(6.3)6.63		(7.0)6.18	(2.5)8.09	(6.5)5.98			(2.5)9.82
B湖底穴								
0.5m	8.20	8.23	8.12	8.13	7.95	8.04	9.26	9.40
1m	8.23	8.27	8.12	8.13	7.96	8.04	9.23	9.60
2m	8.20	8.27	8.13	8.12	7.95	8.05	9.23	
3m	8.17		8.13		7.94		9.27	
4m	8.14		7.98		7.89		9.21	
5m	8.06		7.15		7.02		9.05	
6m	7.91		6.94		6.07		9.02	
7m	7.82		6.68		5.95		7.62	
7.5m							7.28	
8m	6.64		6.55		5.91		7.22	
9m	6.45		6.37		6.06		7.17	
10m	6.38		6.41		6.05		7.25	
底	(11.0)6.38		(11.0)6.49	(2.5)8.10	(11.0)6.10			(1.5)9.73

( )内:底の測定水深m

表 5 電気伝導度調査結果

EC mS/mm	6月19日		7月10日		8月20日		9月20日	
A湖底穴	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側
0.5m	15.2	15.2	15.6	15.2	15.6	15.6	19.5	16.6
1m	15.2	15.2	15.6	15.2	15.3	14.5	17.8	15.8
2m	15.1	15.0	15.6	15.1	15.2		16.8	16.0
3m	15.1	15.0	14.9		15.0		17.4	
4m	15.0		15.1		14.9		17.7	
5m	15.0		15.5		14.9		18.1	
6m	15.1		16.4		16.2		18.6	
底	(6.3)22.0		(7.0)16.9	(2.5)14.5	(6.5)17.8			(2.5)16.0
B湖底穴	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側
0.5m	15.3	15.3	14.6	14.6	14.0	14.0	14.6	14.7
1m	15.3	15.3	14.6	14.7	14.0	14.0	14.7	14.7
2m	15.6	15.4	14.6	14.7	13.9	13.9	14.5	
3m	15.4		14.6		13.9		14.5	
4m	15.1		14.6		13.9		14.9	
5m	15.1		14.5		13.8		14.8	
6m	15.1		14.5		14.2		15.1	
7m	15.2		14.6		14.8		15.0	
7.5m							15.2	
8m	17.4		14.8		15.5		16.0	
9m	18.3		18.8		18.5		21.2	
10m	19.6		20.5		23.8		27.1	
底	(11.0)20.9		(11.0)21.3	(2.5)14.7	(11.0)50.9			(1.5)14.6

( )内:底の測定水深m

表 6 濁度調査結果

濁度NTU	6月19日		7月10日		8月20日		9月20日	
A湖底穴	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側
0.5m	23	15	3	3	17	37	欠測	欠測
1m	23	16	2	2	19	41		
2m	26	23	2	2	19			
3m	30	21	5		18			
4m	28		6		25			
5m	25		7		35			
6m	24		13		39			
底	(6.3)23		(7.0)12	(2.5)3	(6.5)76			(2.5)16.0
B湖底穴	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側
0.5m	17	12	5	10	21	51	欠測	欠測
1m	17	12	5	6	23	42		
2m	17	11	5	5	32	52		
3m	17		5		29			
4m	17		5		25			
5m	16		7		28			
6m	13		7		96			
7m	12		7		83			
7.5m								
8m	25		7		86			
9m	22		27		127			
10m	25		33		149			
底	(11.0)28		(11.0)37	(2.5)5				(1.5)14.6

( )内:底の測定水深m

表 7 各態窒素調査結果

	NH <sub>4</sub> -N mg/l		NO <sub>2</sub> -N mg/l		NO <sub>3</sub> -N mg/l		T-N mg/l	
	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側	内側中央	外側
<b>A湖底穴</b>								
0.5m	0.014	0.021	0.002	0.001	0.008	0.000	0.353	0.307
4.0m	0.044		0.001		0.007		0.252	
5.5m	0.214		0.001		0.003		0.492	
<b>B湖底穴</b>								
0.5m	0.009	0.030	0.000	0.001	0.000	0.000	0.219	0.198
4.0m	0.010		0.000		0.000		0.177	
6.0m	0.098		0.043		0.007		0.392	
8.0m	0.628		0.004		0.000		1.012	
9.5m	1.640		0.001		0.000		2.140	

4. 水深別水質分析結果

8月20日に実施した水深別採水調査の結果を以下に示す。

(1) 窒素

計測値を表7に、穴内側中央部における鉛直分布を図17に示す。Bの6m以深で水深とともにNH<sub>4</sub>-Nの濃度が上昇する傾向が見られ、それに伴ってT-Nの濃度も上昇した。

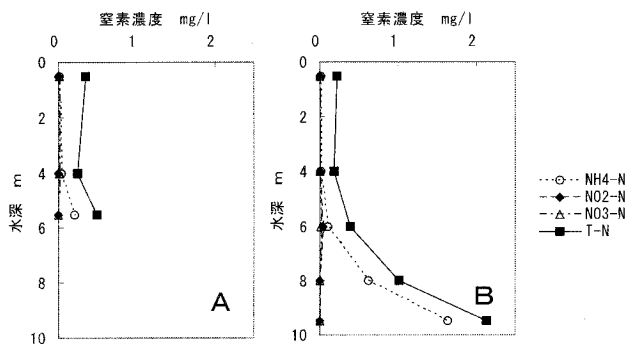


図 17 各態窒素の鉛直分布 2007年8月20日

(2) リン

計測値を表8に、穴内側中央部における鉛直分布を図18に示す。

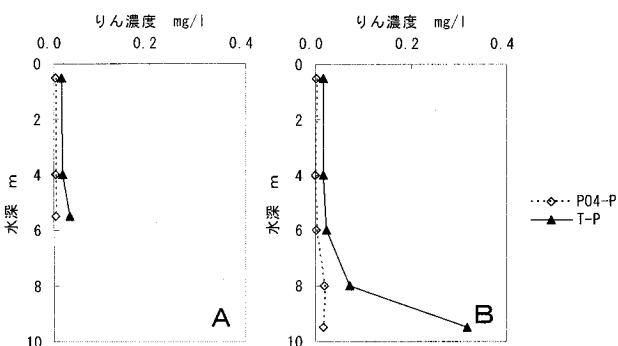


図 18 各態リンの鉛直分布 2007年8月20日

水深8m以深で水深とともにT-Pが上昇する傾向が見られた。PO<sub>4</sub>-Pも8m以深で表層に比べて高い値を示した。

表 8 各態りん調査結果

	PO <sub>4</sub> -P mg/l		T-P mg/l	
	内側中央	外側	内側中央	外側
<b>A湖底穴</b>				
0.5m	0.005	0.004	0.016	0.018
4.0m	0.005		0.019	
5.5m	0.005		0.034	
<b>B湖底穴</b>				
0.5m	0.003	0.004	0.016	0.016
4.0m	0.001		0.016	
6.0m	0.003		0.023	
8.0m	0.019		0.073	
9.5m	0.017		0.318	

(3) COD

計測値を表9に、穴内側中央部における鉛直分布を図19に示す。Bでは最深部の9.5m層で最大値3.45mg/lが観測されたが、表層から8m層まではほぼ一定(2.53~2.81mg/l)であった。

表 9 COD 調査結果

	COD mg/l	
<b>A湖底穴</b>	内側中央	外側
0.5m	3.31	3.13
4.0m	2.99	
5.5m	3.56	
<b>B湖底穴</b>	内側中央	外側
0.5m	2.81	2.81
4.0m	2.61	
6.0m	2.78	
8.0m	2.53	
9.5m	3.45	

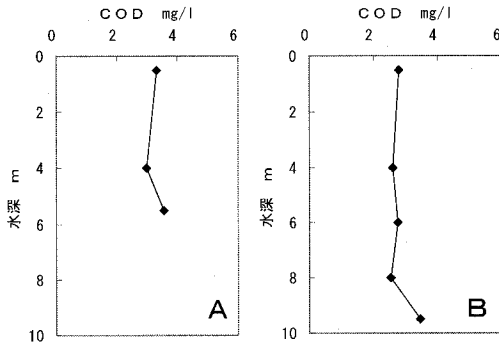


図 19 COD の鉛直分布 2007 年 8 月 20 日

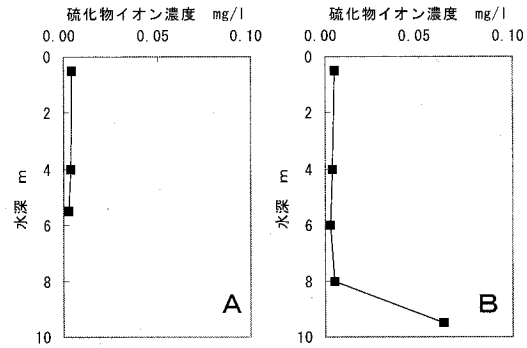


図 20 硫化物イオンの鉛直分布 2007 年 8 月 20 日

(4) 硫化物イオン濃度

計測値を表 10 に、穴内側中央部における鉛直分布を図 20 に示す。B 最深部の 9.5m 層において 0.06mg/l の濃度で検出されたが、それよりも浅い場所では検出下限値 (0.01mg/l) を下回っていた。

表 10 硫化物イオン調査結果

湖底穴	硫化物イオン mg/l	
	内側中央	外側
A 湖底穴	0.5m	<0.01
	4.0m	<0.01
	5.5m	<0.01
B 湖底穴	0.5m	<0.01
	4.0m	<0.01
	6.0m	<0.01
	8.0m	<0.01
	9.5m	0.06

(5) 重金属類

計測値を表 11 に、穴の内側地点中央部の鉛直分布を図 21 に示す。

重金属類各項目の水深別調査結果は水深 6m 以深で増加傾向が見られた。水産試験場が同時に実施した溶存酸素濃度調査結果は同水深以深で低下し 8m 以深ではほぼ無酸素状態であり、重金属類と溶存酸素濃度は連動する傾向が見られた。また、対照として分析を実施している穴外側表層水の調査結果は穴中央部の表層~4m までの濃度とほぼ同様であり、底層の重金属類の水温躍層上部への影響は見られなかった。

しかし、今回の調査は水温躍層が形成されている時期のみであり循環期における底層からの重金属類溶出の表層水質への影響が把握できていないため、今後季節変動、年変動を含め調査を実施し、水質状況の把握をしていく必要がある。

表 11 重金属類調査結果

湖底穴	Mn $\mu\text{g/l}$				Fe $\mu\text{g/l}$				As $\mu\text{g/l}$				
	内側中央		外側		内側中央		外側		内側中央		外側		
	全態	溶存態	全態	溶存態	全態	溶存態	全態	溶存態	全態	溶存態	全態	溶存態	
A 湖底穴	0.5m	36	<5	28	<5	110	24	100	23	<5	<5	<5	<5
	4.0m	62	19			190	28			<5	<5		
	5.5m	190	130			430	32			<5	<5		
B 湖底穴	0.5m	24	<5	23	<5	64	8	63	9	<5	<5	<5	<5
	4.0m	29	<5			69	8			<5	<5		
	6.0m	380	300			170	8			<5	<5		
	8.0m	1,500	1,400			610	74			9	<5		
	9.5m	2,800	2,800			3,800	1,400			25	8		



図 21 重金属類の鉛直分布 2007 年 8 月 20 日

AT・・・A 湖底穴中央 総量      AD・・・A 湖底穴中央 溶存態  
 BT・・・B 湖底穴中央 総量      BD・・・B 湖底穴中央 溶存態

### 5. 底質分析結果（水産試験場）

8月20日にAとBの穴の内外において採取した底質について分析した結果を表12に示す。なお、B穴の外部には礫が多く、エックマンバージ採泥器を用いた採取が出来なかった。

A穴の外部における底質は砂泥質であったが、A、Bともに穴の内部で採取した底質試料は泥質であり、植物遺体の残渣が多く含まれていた。灼熱減量、AVSは穴の内部の方が外部に比べて高く、ORPは穴の内部の方が外部よりも低い値であった。間隙水中に含まれるT-Nの濃度は穴の外部に比べて穴の内部で高く、A穴の内部で採取した試料が最も高い値であった。一方、間隙水中のT-P濃度は穴の内部の方が外部よ

りも低い濃度を示した。

### 6. 底生動物の調査結果（水産試験場）

8月20日の結果を表13に示す。穴の外部の地点(水深2m)では、プラナリア類、ミミズ類、キクロプス類、貝類の生息が認められたのに対し、穴の内部の地点ではミミズ類、ヒル類、センチウ類、ユスリカ幼虫が確認された。貝類の生息は穴の外部の点でのみ確認された。A穴の底ではミミズ類、ヒル類の他にユスリカ幼虫の生息が見られたが、B穴の底ではミミズ類の個体数、重量もA穴に比べて少なく、ユスリカ幼虫の生息は認められなかった。

表 12 底質分析結果

	採泥水深 m	含水率% %	灼熱減量 %	AVS mg/g乾泥	ORP mV	間隙水	
						TN mg/l	TP mg/l
A穴内	6	82.84	13.05	0.49	-190	1.85	0.026
A穴の外	2	38.18	1.77	0.11	-136	0.69	0.062
B穴内	10	72.33	8.69	0.38	-190	1.21	0.032

表 13 底生動物調査結果

	重 量 g 乾重/m <sup>2</sup>			個 体 数 個体/m <sup>2</sup>			
	A穴外	A穴内	B穴内	A穴外	A穴内	B穴外	B穴内
扁形動物門 プラナリア	0.01			214		○	
環形動物門 ミミズ ヒル	0.99	0.78 0.01	0.34 0.06	9,988	3,329 24	○	666 24
線形動物門 センチュウ			+				24
節足動物門 キクロプス ユスリカ幼虫		0.46			119	○	
軟体動物門 二枚貝綱 シジミ タテボシガイ	136			24		○	
腹足綱 ヒメタニシ	86			95			

B穴外は定量採取出来ず、存在の有無のみ記載

### 7. 水深の異なる複数の穴についての比較調査結果 (水産試験場)

表 14 に各調査地点の緯度経度、水深、透明度、pH、電気伝導度 (EC)、濁度 (Turb)、溶存酸素濃度 (DO)、水温の観測値をまとめた。これらの調査項目のうち、特に魚類や底生動物の生息に対して影響の大きいのは溶存酸素濃度の低下の問題であると考えられるため、特に水深と溶存酸素濃度の関係に着目して比較を行った。

図 22 に調査を実施した湖底穴の位置を示し、最大水深と 8 月 22, 27 日の調査時における底層の溶存酸素濃度の測定値を併記した。また、穴の最大水深と底層の溶存酸素濃度との関係を図 23 にプロットした。水深 6m 未満の湖底穴 7 地点のうち、底層の溶存酸素濃度が 2mg/l 以上の穴は 6 地点あり、2mg/l 未満の低い値を示したのは 1 地点のみであった。水深 6m 以上の湖底穴 14 地点のうち、底層溶存酸素濃度が 2mg/l 以上の箇所は 3 地点であり、11 地点が 2mg/l 未満の

低い値を示した。水深 7m 以上の湖底穴は 6 地点あったが、いずれも 0mg/l 付近のきわめて低い溶存酸素濃度であった。水深 6m 以上で 2mg/l 以上の溶存酸素濃度を示した地点のうちの 1 地点 (水深 6.8m、溶存酸素濃度 5.7mg/l) は烏丸半島沖の A 穴に相当する地点であり、この調査を行った 8 月 22 日の 2 日前の 8 月 20 日の調査では前述したとおり穴の底で溶存酸素濃度が 0mg/l という状況が認められていた。8 月 20 日と 8 月 22 日では気象条件も異なっており、風の影響等を考慮する必要があると思われる。

今回の調査では、穴の地形的な特徴については主に最大水深に着目したが、穴の内部の溶存酸素濃度その他の水質形成には、水の上下混合に影響する要因として穴の開口部の広さなども大きく関わっていると考えられる。このことについては今後、それぞれの穴について、詳細な地形の情報が得られた段階でさらに解析をおこなう必要がある。

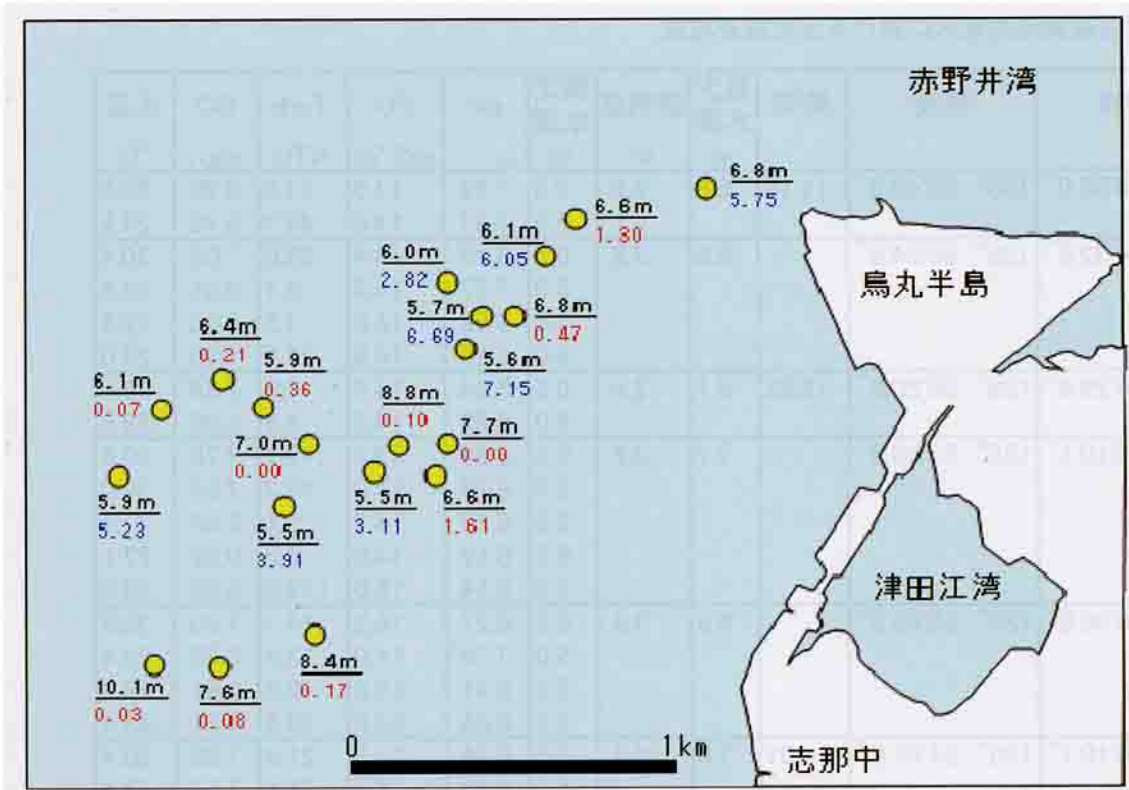


図 22 調査した湖底穴の位置と最大水深（上段）、底層溶存酸素濃度（下段 mg/l）  
溶存酸素濃度は 2mg/l 未満を赤字で、2mg/l 以上を青字で示した。

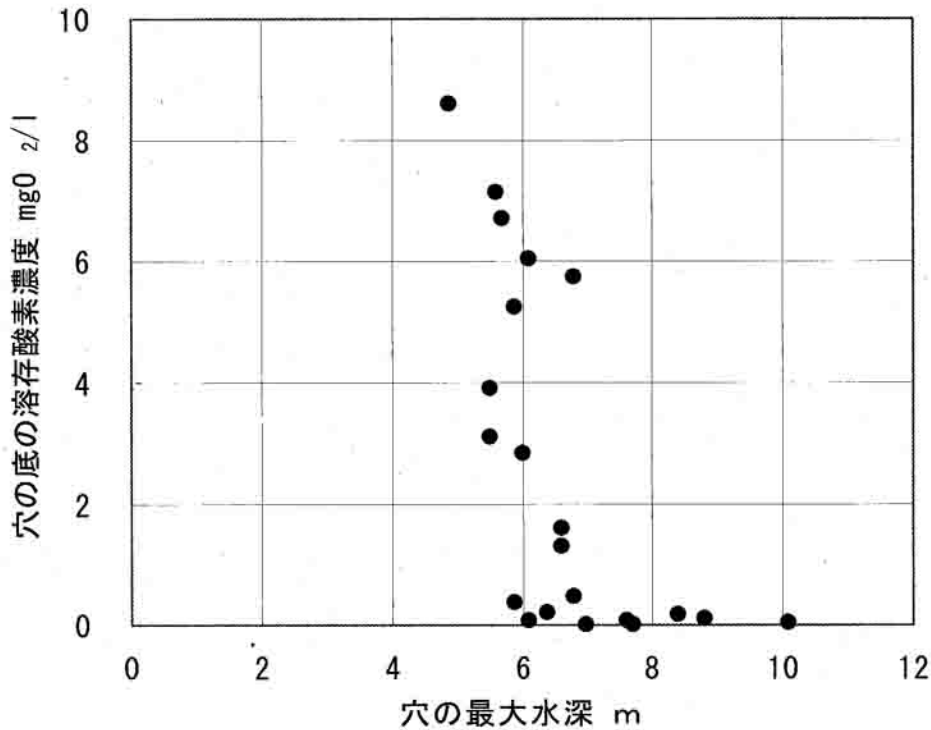


図 23 穴の最大水深と底層溶存酸素濃度の関係（2007 年 8 月 22、27 日）

表 14 水深の異なる複数の湖底穴における比較調査結果

調査日	緯度	経度	時間	最大	透明度	測定	pH	EC	Turb	DO	水温	
				水深		水深						
				m	m	m		mS/m	NTU	mg/l	°C	
8月22日	35° 04'36.0"	135° 55'40.9"	11:15	6.8	2.0	0.5	7.89	14.5	11.0	6.90	30.2	
						6.5	7.07	14.6	43.3	5.75	29.5	
	35° 04'32.8"	135° 55'24.8"			6.6	3.2	0.5	8.19	14.4	25.0	7.05	30.4
							5.0	7.77	14.4	3.1	6.51	29.8
							5.5	6.96	14.6	7.5	5.65	29.6
							6.0	6.25	14.9	27.1	1.30	29.0
	35° 04'29.4"	135° 55'20.8"	12:22		6.1	2.5	0.5	8.24	14.4	7.8	7.34	30.5
							6.0	6.92	14.2	6.8	6.05	28.8
	35° 04'10.1"	135° 55'08.3"			7.7	3.2	0.5	8.29	14.3	16.1	7.76	30.6
							5.0	8.19	14.2	19.3	7.24	30.0
							6.0	6.20	14.2	5.4	2.45	27.9
							6.5	6.12	14.6	8.3	0.02	27.1
7.0							6.14	16.0	119.0	0.00	26.0	
35° 04'06.8"	135° 55'06.8"			6.6	3.8	0.5	8.27	14.2	14.7	7.60	30.5	
						5.0	7.76	14.0	13.8	6.70	29.4	
						5.5	6.41	13.8	12.2	3.62	28.7	
						6.0	6.64	13.9	30.4	1.61	28.4	
35° 04'10.1"	135° 54'51.0"	14:01		7.0	4.2	0.5	8.14	13.9	21.9	7.83	30.4	
						5.5	6.73	14.2	71.1	7.57	27.4	
						6.0	6.14	14.5	74.6	0.31	26.5	
						6.5	6.13	16.8	108.0	0.00	24.6	
8月27日	35° 03'48.4"	135° 54'40.5"	9:35	10.1	5.5	0.5	8.89	14.4	41.7	9.37	29.8	
						6.0	7.51	14.5	53.6	7.86	29.2	
						6.5	7.05	14.6	62.9	3.46	28.1	
						7.0	6.92	15.2	56.7	0.30	27.2	
						9.5	7.18	21.5	171.0	0.03	22.4	
	35° 03'46.6"	135° 54'31.1"	10:00		7.6	5.1	0.5	8.59	14.4	61.9	8.75	29.8
							5.5	7.36	14.3	97.6	7.88	28.7
							6.0	6.89	14.8	99.2	0.20	27.5
							6.5	6.85	15.2	109.0	0.07	27.2
							7.0	6.91	17.9	181.0	0.08	24.7
	35° 03'43.5"	135° 54'47.6"	10:25		8.4	5.5	0.5	8.97	14.4	68.8	9.23	29.9
							6.0	7.36	14.4	96.2	7.08	28.6
							6.5	7.02	14.8	67.6	1.17	26.8
							7.0	7.13	16.6	146.0	0.10	25.3
							8.0	7.12	18.6	404.0	0.17	23.9
	35° 04'04.1"	135° 54'47.2"	10:40		5.5	5.2	0.5	9.03	14.6	19.2	9.31	29.9
							4.5	7.47	14.6	21.0	6.74	29.3
							5.0	7.26	15.1	27.9	3.91	29.1
	35° 04'05.8"	135° 54'27.8"	10:55		5.9	4.5	0.5	8.40	17.7	25.9	8.39	30.0
							5.5	7.30	14.7	34.6	5.23	29.1
35° 04'13.7"	135° 54'32.1"	11:12		6.1	4.0	0.5	8.41	14.7	32.6	8.47	30.1	
						4.0	7.57	14.7	25.1	6.82	29.4	
						4.5	7.10	14.9	49.5	3.80	29.0	
						5.0	6.82	16.4	71.2	0.11	28.2	
						5.5	6.85	19.3	87.7	0.07	26.8	
35° 04'16.5"	135° 54'38.9"	11:35		6.4	4.4	0.5	8.51	14.7	55.2	8.45	30.1	
						4.5	7.34	14.9	82.5	6.01	29.3	
						5.0	6.94	15.0	68.7	3.47	28.3	
						5.5	6.88	15.3	64.8	1.30	27.5	
						6.0	6.91	16.7	171.0	0.21	25.7	



表 14 つづき

調査日	緯度	経度	時間	最大水深 m	透明度 m	測定水深 m	pH	EC mS/m	Turb NTU	DO mg/l	水温 °C
8月27日	35° 04'13.5"	135° 54'45.8"	11:57	5.9	4.6	0.5	8.90	14.4	45.6	8.84	30.1
						4.5	7.57	14.5	34.0	7.07	29.1
						5.0	6.96	15.0	42.0	1.78	28.5
						5.5	6.84	15.1	46.6	0.36	28.0
	35° 04'07.0"	135° 55'00.6"	12:31	5.5	5.0	0.5	9.10	14.5	25.3	9.39	30.2
						4.5	9.02	14.4	24.4	9.31	29.6
						5.0	7.20	14.7	39.4	3.11	29.1
	35° 04'21.2"	135° 55'15.8"	14:28	6.8	4.6	0.5	9.31	15.0	25.3	9.68	30.2
						5.5	7.21	14.5	21.4	4.67	29.1
						6.0	7.04	14.7	35.7	3.03	28.7
						6.5	6.93	15.1	61.3	0.47	28.3
	35° 04'23.0"	135° 55'13.0"	14:40	5.7	5.2	0.5	9.29	14.8	13.8	9.43	30.3
						5.5	7.34	14.5	18.2	6.69	29.4
	35° 04'26.4"	135° 55'8.4"	14:54	6.0	4.8	0.5	9.21	14.5	29.8	9.50	30.3
						5.0	7.21	14.3	23.0	5.52	29.1
						5.5	7.02	14.5	29.8	2.82	28.6
	35° 04'19.3"	135° 55'12.3"	15:28	5.6	5.0	0.5	9.41	14.6	17.2	9.86	30.3
						5.0	7.83	14.5	18.8	7.15	29.5
	35° 04'09.3"	135° 55'02.8"	15:36	8.8	5.3	0.5	9.12	14.4	45.2	9.73	30.3
						5.5	7.22	14.3	68.1	6.71	29.2
						6.0	6.74	14.5	89.9	1.19	27.8
						6.5	6.74	14.9	104.0	0.08	27.1
						7.0	6.75	16.1	128.0	0.04	25.8
	8.5	7.06	22.3	199.0	0.10	23.0					

考 察

今回の調査結果より、調査水域の全域にわたって多数の穴が存在していること、水深6m以深の湖底穴の底では夏季に貧酸素～無酸素状態となり、特に水深10m規模の深い穴の底では長期間にわたって無酸素状態が継続していることが確認された。このことにより、少なくとも夏季には底生動物などの水生生物の生息には適さない環境条件となっていることが示唆された。南湖の漁場環境回復のためには、湖底地形の復元などの改善対策が必要と考えられる。

今後、具体的な改善対策を考える上では、湖底形状の詳細な把握と、それぞれの湖底形状分類に対応した環境の現況把握および周辺環境への影響リスクの評価が必要である。

琵琶湖博物館が担当した音響探査による広域的な湖底形状の調査は、100m間隔の観測線で実施されたが、現状ではこれよりも細かな凹凸が見られるため、今後観測線の密度を増やした調査を行い、さらに実用的な地図を作成する予定である。

水産試験場と琵琶湖環境科学研究センターが担当

した栄養塩類や重金属類の分析については、表層部や穴の外部への拡散の有無を確認するために、成層の解消期や循環期にも調査を行う必要がある。また、水産生物への影響を評価するためには、この水域でのセタシジミ等の分布調査を行い、湖底形状の調査データと重ね合わせることも必要と思われる。

要 約

- 2007年3～9月の間に琵琶湖南湖の草津市沖において、砂利採取などにより改変された湖底地形の現状を把握するとともに、湖底地形の改変がこの水域の水質、底質および水生生物に及ぼしている影響を明らかにすることを目的に調査を行った。
- 3月28日・29日の両日に琵琶湖南湖東岸部の南北3km、東西2kmの範囲に100m間隔で観測線を設定し、湖底状況を音響測深により調査した。調査した観測線中、10m以上の穴が10個確認され、最大水深は12.5mであった。
- 5月23日烏丸半島沖(A穴)と志那沖(B穴)の各200m四方をGPS魚探で調査し、湖底穴の内外を代表する

調査定点を設定した。最大水深はA穴が7m、B穴が11mであった。

- 4) 6～9月に毎月1回、水質チェッカーで水温、溶存酸素濃度等を水深別に測定した。A穴は成層していなかったが、B穴では調査期間を通じて成層が見られ、水深8m以深は無酸素状態であった。A穴でも7～8月は水深6m以深で無酸素状態となった。
- 5) 8月20日に水深別に水質を分析したところ、B穴の6m以深でNH<sub>4</sub>-NとT-N濃度が高く、8m以深では重金属類の濃度も高かった。T-P、PO<sub>4</sub>-PもB穴の水深8m以深で高く、B穴の底では硫化物イオンも検出された。
- 6) 8月20日に調査したA穴外側の底質は砂泥質であったが、A、Bともに穴内部の底は泥質であった。灼熱減量、AVSは穴内部が外部に比べて高く、ORPは穴内部が外部よりも低かった。間隙水中のT-Nは外部に比べて穴内部で高かった。間隙水中のT-P濃度は穴内部が外部よりも低かった。
- 7) 8月20日の底生動物調査の結果、A穴の外側(水深2m)では、プラナリア類、ミミズ類、キクロプス類、貝類が見られた。A穴の底ではミミズ類、ヒル類の他にユスリカ幼虫の生息が見られたが、B穴の底ではミミズ類はA穴より少なく、ユスリカ幼虫は見られなかった。
- 8) 8月22、27日に20箇所の湖底穴で最深部の溶存酸素濃度等を調査した。水深約6mを境に、それよりも深い穴で貧酸素～無酸素状態が認められた。
- 9) 夏季に湖底穴の内部では水生生物の生存に適さない環境条件になっており、水産動物その他の生物生産の場として南湖の再生を図るために、湖底地形の修復などの改善対策を行うことが必要である。

## 文 献

- 1) 水島久宜、山中 治、伊東正夫、里井晋一(1979) 湖底浚渫地水域の環境調査 滋賀県水産試験場研究報告第31号 p.130～146
- 2) 滋賀県(1982) 環境白書昭和56年版
- 3) 滋賀県(1984～2008) 環境白書資料編昭和57・58年版～平成19年版
- 4) 熊谷道夫、前田広人、大西行雄(1986) 鉛直循環と無酸素層の形成 びわ湖南湖しゅんせつ窪みの例 陸水学雑誌 Vol.47, No.1 p.27～35
- 5) 滝井進、田中秀之、相崎守弘(2001) 東京湾奥部

底泥における硫酸還元とメタン生成 水環境学会誌 第24巻 第1号 p.35～41

- 6) 中国新聞社(1997～1999) 特集 追跡海砂採取 <http://www.chugoku-np.co.jp/saisyu/index.html>
- 7) 四国新聞社(1999) 追跡 海砂採取、全面禁止へ(1999年12月6日四国新聞掲載) <http://www.shikoku-ne.co.jp/feature/tuiseki/076/index.htm>
- 8) 四国新聞社(2005) 追跡 「全面禁止」で終わらぬ海砂問題(2005年4月24日四国新聞掲載) <http://www.shikoku-ne.co.jp/feature/tuiseki/295/index.html>
- 9) 滋賀県(2002) 滋賀県骨材需給基本計画
- 10) 滋賀県(2003) 滋賀県骨材需給基本計画に関する行動計画

付表1 分析方法

アンモニア態窒素 (NH <sub>4</sub> -N) : インドフェノール青吸光光度法
亜硝酸態窒素 (NO <sub>2</sub> -N) : ナフチルエチレンジアミン吸光光度法
硝酸態窒素 (NO <sub>3</sub> -N) : ヒドラジン還元、ナフチルエチレンジアミン吸光光度法
全窒素 (TN) : 紫外線吸光光度法
りん酸態りん (PO <sub>4</sub> -P) : モリブデン青 [塩化スズ (II) 還元] 吸光光度法
全りん (TP) : ペルオキシニ硫酸カリウム分解法
化学的酸素要求量 (COD) : 100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量
硫化物イオン : メチレンブルー吸光光度法