

宍道湖・中海貧酸素水調査

(宍道湖・中海水産振興事業)

安木 茂・大北晋也

1. 研究目的

宍道湖・中海においては湖底の貧酸素化現象が底生生物の生存に大きな影響を与えており、同水域の水産振興のためにはこの湖底貧酸素化を軽減・解消することが重要な課題と考えられている。このため、宍道湖・中海の湖底貧酸素化現象を監視し、またそのメカニズムを解明して湖底貧酸素化の軽減につなげてゆくこととし、平成10年度から同水域の貧酸素水のモニタリング調査を継続実施している。内容は、宍道湖・中海における貧酸素水塊の発生時期・広がり・規模を把握するため、毎月1回航走による広範囲な定点調査を行っている。また中海・宍道湖間の高塩分貧酸素水の移動を知るため、連続観測水質計を使用した宍道湖流入・流出水調査を実施している。さらに、貧酸素水による魚介類のへい死事例についても調査を実施している。

2. 研究方法

(1) 定期調査 (宍道湖・中海定期観測)

宍道湖・中海の貧酸素水の発生時期・発生規模を平面的・空間的かつ量的に把握するため、毎月1回、調査船「ごず：8.5トン」の航走調査により図1、表1に示す宍道湖32地点、中海29地点、本庄水域10地点において水質を調査した。調査項目は各地点における水深毎の水温・塩分・溶存酸素(DO)である。調査水深については、各地点において貧酸素化が認められない場合は表層と底層のみで測定を行い、貧酸素化が認められた場合宍道湖では水深0.5m毎、中海・本庄水域では水深1.0m毎に測定を行った。

調査結果から各水域における毎月の塩分・溶存酸素(DO)の分布図を作成した。分布図は水平分布図と図1に示したラインに沿った鉛直分布図を作成した。同時に各水域で発生した貧酸素水塊の体積を算出した。分布図作成と貧酸素水塊の体積計算方法の概要は下記のとおりである。

A. 塩分・溶存酸素(DO)の水平・鉛直分布図の作成

観測データから表層・底層の塩分・DOの水平・鉛直分布図を作成した(各地点において、測定を行っていない水深のデータについては前後の水深の測定値から線形補間により値を推測した)。図の作成にはカイプロット4.0(株式会社カイエンス)を用い、図の描画手法にはスプライン補間(薄板平滑化スプライン回帰)を用いた。

B. 貧酸素水塊の体積計算

Aと同様の方法で水深別(宍道湖・本庄水域は水深0.5m毎、中海は水深1.0m毎)の溶存酸素の水平分布図を作成した。作成した水深毎の水平分布図から各水深毎の貧酸素水(3mg/l未満)の分布面積を求め、貧酸素水塊の体積を計算した。

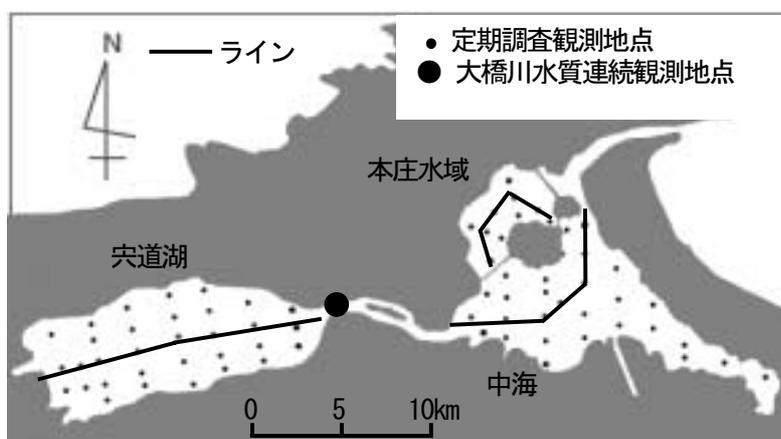


図1 宍道湖・中海貧酸素水調査地点

表1 宍道湖・中海貧酸素調査定期調査観測地点

宍道湖					中海				
St.No.	緯度(N)	経度(E)	水深(m)		St.No.	緯度(N)	経度(E)	水深(m)	
1	35° 27.149'	132° 52.773'	3.5		1	35° 27.689'	133° 8.273'	3.6	
2	35° 26.082'	132° 53.308'	4.0		2	35° 28.483'	133° 8.848'	4.8	
3	35° 25.325'	132° 53.434'	3.9		3	35° 27.149'	133° 8.691'	3.1	
4	35° 26.174'	132° 53.768'	4.6		4	35° 28.954'	133° 9.652'	5.3	
5	35° 25.422'	132° 53.917'	4.8		5	35° 28.325'	133° 9.641'	6.4	
6	35° 27.374'	132° 54.171'	3.9		6	35° 27.634'	133° 9.639'	5.7	
7	35° 27.008'	132° 54.411'	5.0		7	35° 27.039'	133° 9.571'	4.3	
8	35° 26.347'	132° 54.624'	5.1		8	35° 30.299'	133° 11.533'	5.9	
9	35° 25.584'	132° 54.849'	5.4		9	35° 29.497'	133° 11.301'	5.1	
10	35° 25.006'	132° 55.088'	4.5		10	35° 28.900'	133° 10.953'	6.3	
11	35° 27.921'	132° 55.670'	3.1		11	35° 28.325'	133° 10.934'	6.8	
12	35° 27.296'	132° 55.823'	5.5		12	35° 27.979'	133° 11.477'	6.7	
13	35° 26.595'	132° 56.050'	5.6		13	35° 27.566'	133° 10.966'	6.5	
14	35° 25.901'	132° 56.359'	5.6		14	35° 26.714'	133° 10.900'	5.5	
15	35° 25.598'	132° 56.512'	5.1		15	35° 26.130'	133° 10.970'	4.2	
16	35° 28.304'	132° 57.290'	3.5		16	35° 30.411'	133° 12.290'	10.5	
17	35° 27.654'	132° 57.492'	5.4		17	35° 29.610'	133° 12.345'	7.5	
18	35° 26.988'	132° 57.627'	5.6		18	35° 28.684'	133° 12.256'	7.3	
19	35° 26.165'	132° 57.929'	5.7		19	35° 27.881'	133° 12.250'	7.2	
20	35° 25.518'	132° 58.281'	2.2		20	35° 26.919'	133° 12.333'	5.5	
21	35° 28.549'	132° 58.869'	3.6		21	35° 29.182'	133° 13.465'	6.6	
22	35° 27.769'	132° 58.943'	5.3		22	35° 28.274'	133° 13.512'	7.8	
23	35° 27.100'	132° 59.145'	5.5		23	35° 27.291'	133° 13.591'	5.8	
24	35° 26.396'	132° 59.297'	5.5		24	35° 27.942'	133° 14.929'	7.8	
25	35° 25.991'	132° 59.473'	3.9		25	35° 26.977'	133° 14.906'	6.7	
26	35° 28.245'	133° 0.263'	3.5		26	35° 26.791'	133° 15.995'	10.6	
27	35° 27.386'	133° 0.597'	4.7		27	35° 26.385'	133° 16.094'	6.0	
28	35° 26.720'	133° 0.764'	4.8		28	35° 26.122'	133° 17.524'	5.8	
29	35° 26.331'	133° 1.008'	3.0		29	35° 25.606'	133° 18.688'	4.4	
30	35° 27.684'	133° 2.221'	3.7						
31	35° 27.253'	133° 2.387'	3.6						
32	35° 26.902'	133° 2.437'	3.5						

本庄水域				
St.No.	緯度(N)	経度(E)	水深(m)	
1	35° 29.123'	133° 8.864'	6.0	
2	35° 30.368'	133° 8.136'	6.0	
3	35° 30.161'	133° 8.811'	6.6	
4	35° 30.124'	133° 9.343'	2.8	
5	35° 30.805'	133° 9.166'	6.5	
6	35° 31.909'	133° 9.522'	4.8	
7	35° 31.172'	133° 9.868'	6.5	
8	35° 30.711'	133° 9.954'	5.2	
9	35° 30.693'	133° 10.623'	6.0	
10	35° 30.345'	133° 10.975'	4.3	

(2) 宍道湖流入・流出水調査（大橋川水質連続観測）

図2に示すように、松江市内大橋川に架かる松江大橋橋脚の水深1.0m、3.0m、水深4.3m部分にHydrolab社製多項目水質計DateSonde-4を、松江大橋直下の河川中央部の河床（水深6.5m）にはRD Instruments社製ドップラー式流向・流速計を設置し、年間を通じて20分毎の連続観測を行った。これらのセンサーにより収集されたデータは、インターネット経由で内水面水産試験場に設置された水質情報サーバーに転送され、この水質データを用いて下記の分析を行った。

A. データのグラフ化

大橋川水質情報システムで得られたデータを元に毎月、水温・塩分・溶存酸素・流速についてグラフを作成した。

B. 高塩分水塊の出現規模の定量化

中海からの高塩分水の影響の強さを知るため、中海からの高塩分水塊出現頻度を数値化した。数値化には高塩分水出現指数(HSI)と名付けた独自の指標値を用いた¹⁾。高塩分水出現指数の求め方は次のとおりである。10PSU以上の海水は宍道湖内部で生成されることはないと考えられ、10PSU以上の海水は大橋川

を通じて外海から宍道湖に入ったものとみなすことができる。これを「高塩分水塊」と呼ぶことにする。監視システムの水深約 4m 深（下層）において、高塩分水塊が出現した時間（継続時間）とその塩分値とから積算塩分値を求め、これを高塩分水出現指数（以下 HSI と呼ぶ）とした（式 1）。

$$\text{高塩分水出現指数} : \text{HSI} = \sum (\text{Sh} \cdot \Delta t) \dots (\text{式 1})$$

ただし、Sh : 10PSU 以上の塩分値, Δt : 単位時間 (10 分間) .

また HSI を月毎に積算して大橋川における高塩分水塊の季節的な変動を検討した。

C. 大橋川における酸素欠乏量の定量化

大橋川で中海から流入する高塩分水は高水温期には貧酸素化している傾向が強く、大橋川や宍道湖のヤマトシジミを初めとする底生生物の生存を脅かす。この貧酸素化の度合いを知るため、大橋川での酸素欠乏度を下記の指標を用いて数値化した（平成 12 年度宍道湖・中海貧酸素業務調査報告書より改変）。

・ 溶存酸素濃度偏差フラックス

中海・宍道湖に生息する底生生物（アサリ、シジミなど）の生息条件を考慮し、溶存酸素濃度（以下 DO と略記）1.5mg/l をシジミの貧酸素耐性の境界と仮定する。そこで、DO 1.5mg/l を基準値とし、溶存酸素濃度偏差（ $\Delta DO = \text{測定値} - 1.5\text{mg/l}$ ）を求めた。

ΔDO : 溶存酸素偏差

$$\Delta DO = (\text{測定値} - 1.5) \quad (\text{mg/l})$$

また、大橋川断面を上層・中層・下層の 3 層に分け、各層の流量を、（各層部断面積 : S） \times （各層部東方流速 : V_n ）として求め、各層の溶存酸素偏差フラックス $F_{\Delta DO}$ を（ $F_{\Delta DO} = \sum (\Delta S) \times \text{各層部 } V_n \times (\Delta DO)$ ）として算出し、最終的に各層の値を合計して溶存酸素偏差フラックスとした。

$$F_{\Delta DO} = \sum (\Delta S) \cdot v_n \cdot (\Delta DO)$$

$F_{\Delta DO}$: 各層の溶存酸素偏差フラックス

ΔS : 各層部の断面積

ΔDO : 溶存酸素濃度偏差 = 測定値 - 1.5mg/l

v_n : 面積素片に垂直な流速成分(東方流速)

・ 酸素欠損量の算定

下記の積分を行い、酸素欠損量 $M_{\Delta DO}$ を算出した。

$M_{\Delta DO}$: 酸素欠損量

$$M_{\Delta DO} = \int_a^b F_{\Delta DO} dt$$

a : DO が 1.5mg/l 以下に下り始めた時刻

b : DO が 1.5mg/l 以上に上り始めた時刻

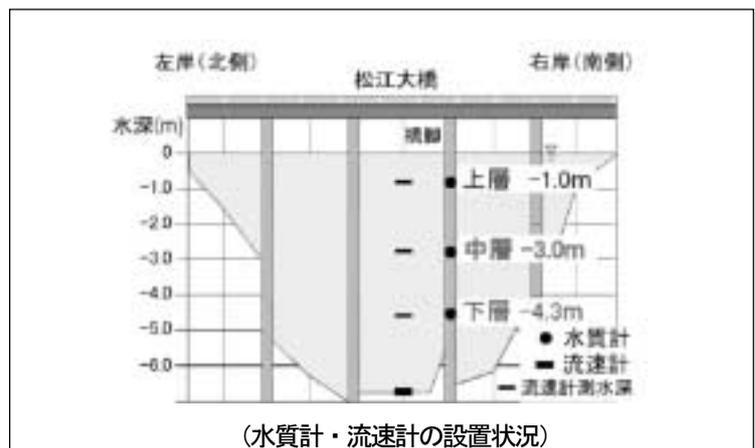


図 2 大橋川水質情報システムの概要

F ΔD0 : 溶存酸素濃度偏差フラックス

t : 観測時刻

(3) 貧酸素水による魚介類のへい死調査

宍道湖・中海において貧酸素水が原因と考えられる魚介類のへい死が発生した場合は、現場に赴きへい死状況・水質などを調査した。

3. 研究結果と考察

(1) 宍道湖・中海定期観測 (図3、図4および図7～図10)

A. 宍道湖

平成16年度の宍道湖は全般に3～7PSUと平年並みの塩分濃度となった。貧酸素化については、6月～8月にかけて比較的広範囲で湖底の貧酸素化現象が見られ、8月には、3mg/l以下の水塊が湖底容積に占める割合が8.7%と例年になく高い値を示した。9月以降は降水量が増加したことにより、大規模な貧酸素化は起きなかった(図3)。宍道湖における湖底貧酸素化は中海からの高塩分水の流入による塩分躍層の形成が大きな要因となるが、昨年度は塩分の流入が少なかったため貧酸素化の程度も少なかった。しかし、今年度は塩分の流入も平年並みであり、6～8月に宍道湖内で貧酸素化が起きたとも推察される。また、水温が下がる秋季から冬季においても、部分的に湖底の貧酸素化が観察された。

B. 中海

全観測地点における平均値を月ごとに見ると、10月、11月に宍道湖からの低塩分水流入が多かったため中海東岸域を中心に塩分濃度の低下が見られた(図3)。一方、水深4m以深の塩分は

9月、10月を除き年間にわたり25～30PSU程度の海水が滞留し強い塩分躍層が形成されていた。この下層の高塩分水は1月、2月を除き周年貧酸素化していた。貧酸素水塊の体積は過去2年間と比較すると9月、10月にやや減少したが、その他の月は過去2年間と同様の傾向を示した(図4)。このことから、中海における貧酸素化の程度は昨年・一昨年よりやや少なかったと考えられる。

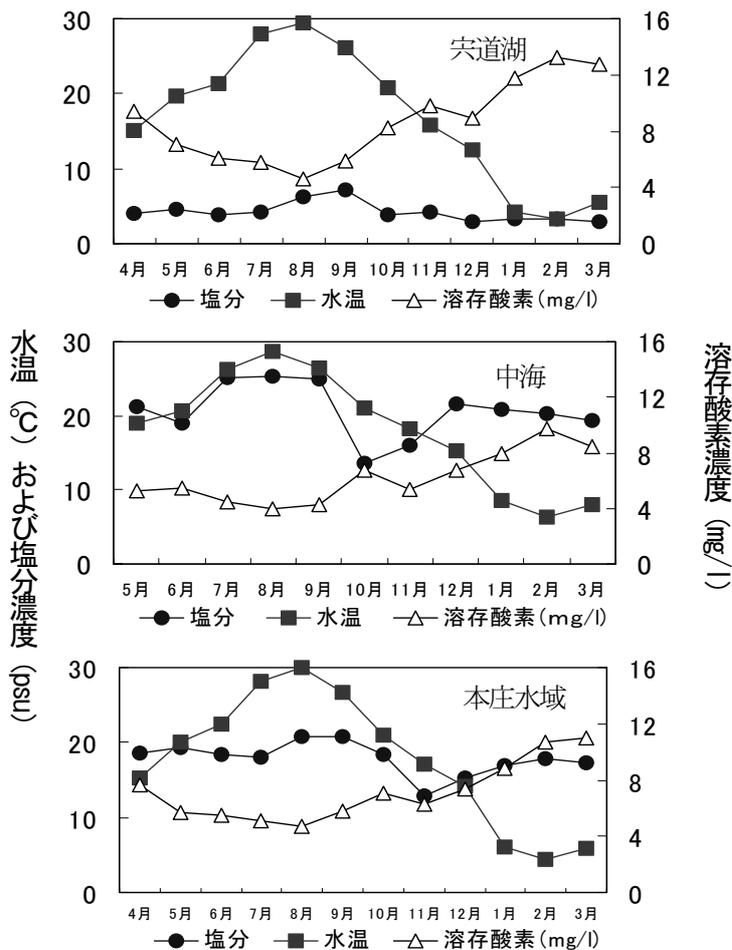


図3 宍道湖・中海・本庄水域における水温、塩分、溶存酸素の季節変化

※宍道湖32点、中海29点、本庄10点の全測定層の平均値

C. 中海本庄水域

全観測地点における平均値をみると、中海と同様塩分濃度の低下が見られるが、その時期は11月がピークとなっており、中海の状況と比較すると1月遅くなっていた(図3)。中海と異なり表層～底層まで塩分はほぼ一様で塩分躍層はほとんど認められない。8月にやや貧酸素水塊の体積が増えたものの、平成15年の夏季に見られたような大規模なものではなかった(図4)。

(2) 大橋川水質連続観測(図5,6および図11~13)

例年と同様、大橋川の流況は潮汐による往復流が卓越しており、それに降水による宍道湖・中海の水位差、季節による海水位の高低、低気圧や台風の通過による気圧の変化が加わり、流況が変化しているものと考えられる。今年度は5月に降水量が多かったものの、6月、7月と降水量が減少したため、7月、8月の塩分濃度は昨年に比べ高くなった。9月、10月には降水量が増えたため、10月以降は低い状態が継続した(図4)。

上記のように7月、8月の塩分流入が多かったものの、10月以降低塩分になったことから、年間を通した大橋川の溶存酸素の状況は、極端な低塩分化により酸素濃度が豊富であった平成15年に比べると、貧酸素化の度合いは高いものの、平成14年に比べると低くなっていた(図5)。

(3) 貧酸素水による魚介類のへい死

今年度は貧酸素水が原因と思われる魚介類の大量へい死現象は確認されなかった。

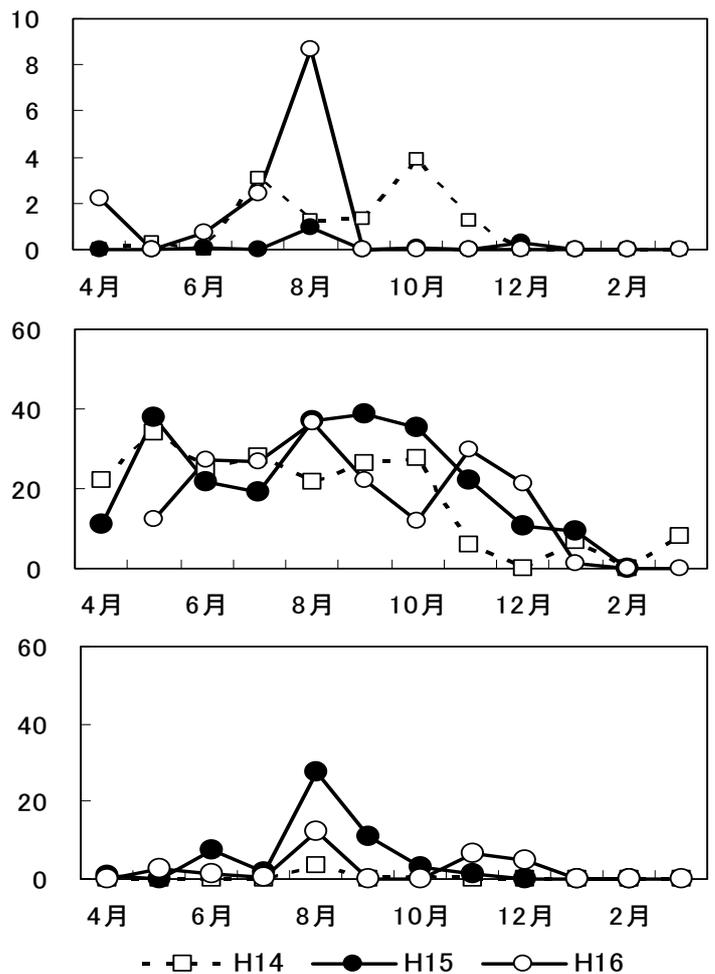


図4 各水域における貧酸素水塊の体積割合の推移 (貧酸素水の割合(%) = 貧酸素水塊体積 / 湖容積)

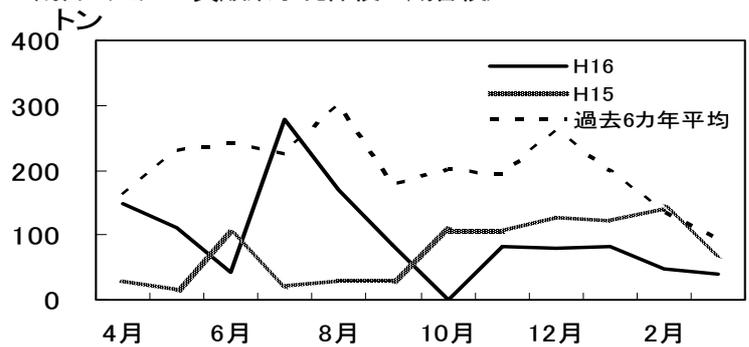


図5 大橋川の高塩分水出現指数

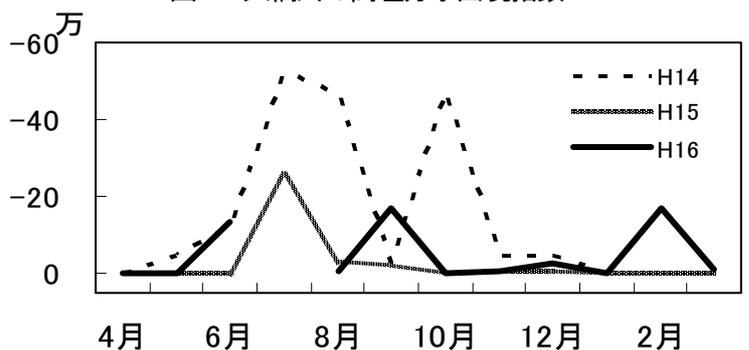


図6 大橋川の溶存酸素欠損量

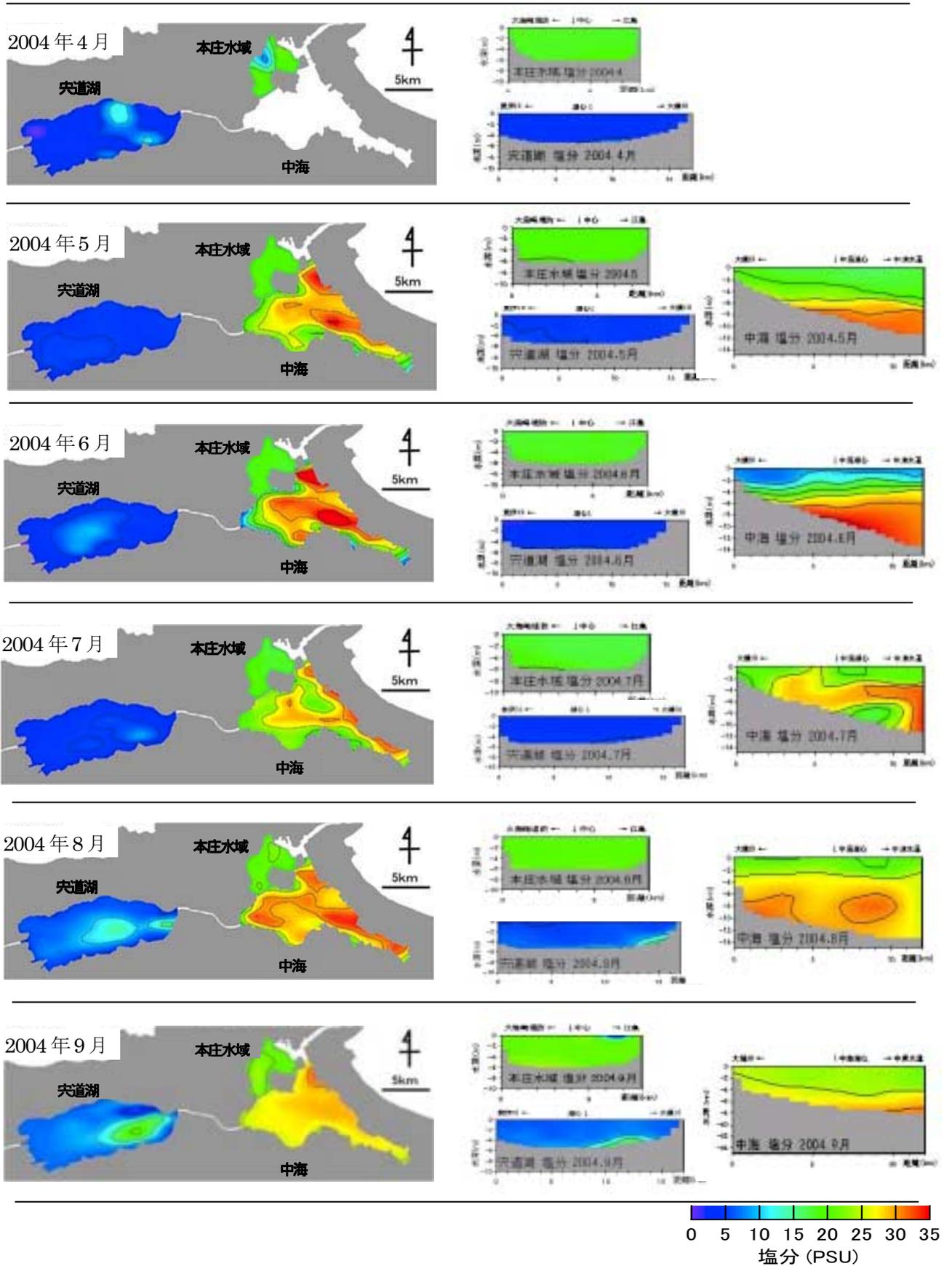


図7 突道湖・中海の塩分（水平分布（底層）および鉛直断面）
2004年4月～9月

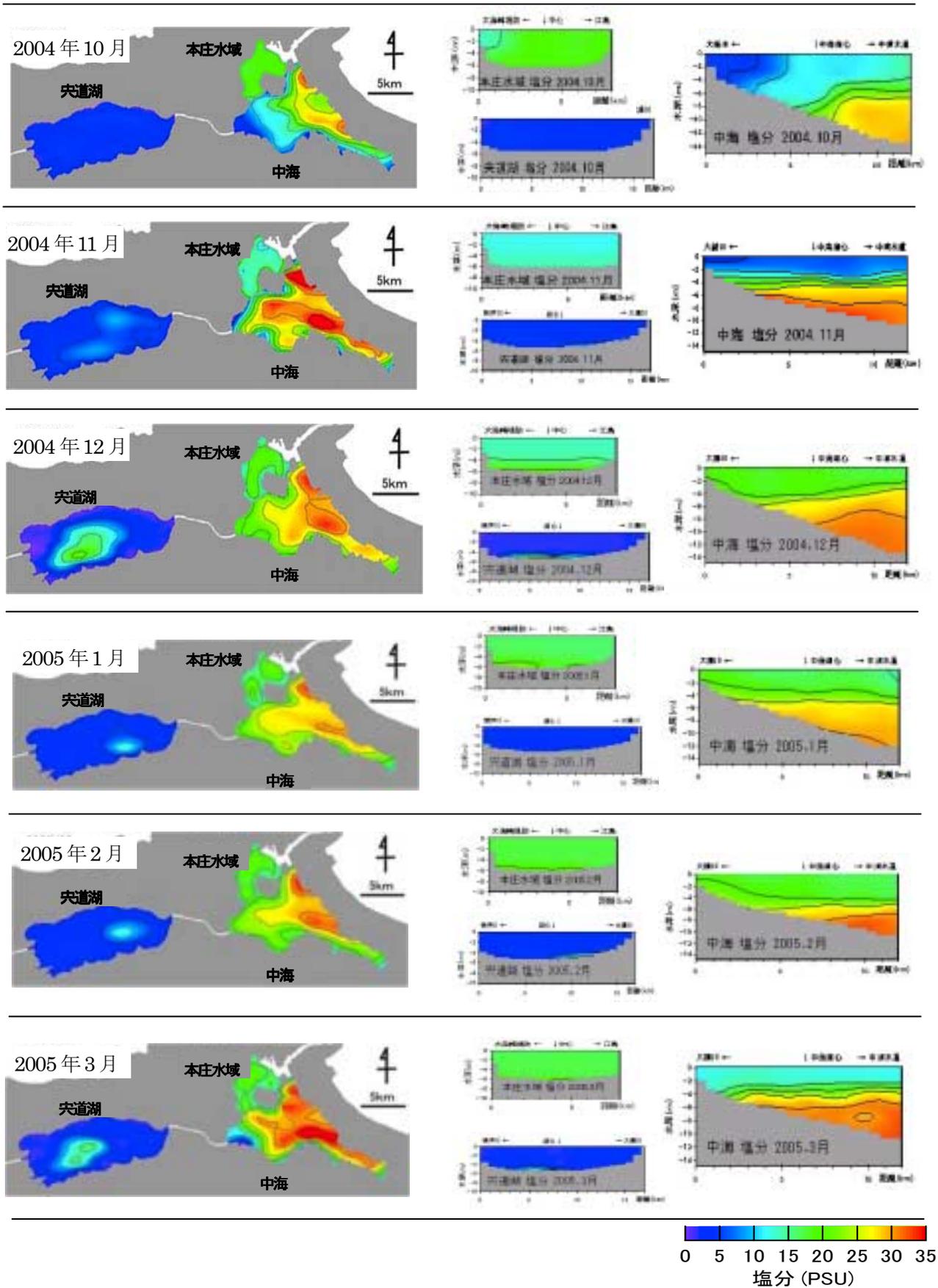


図 8 尖道湖・中海の塩分（水平分布（底層）および鉛直断面）
2004年10月～2005年3月

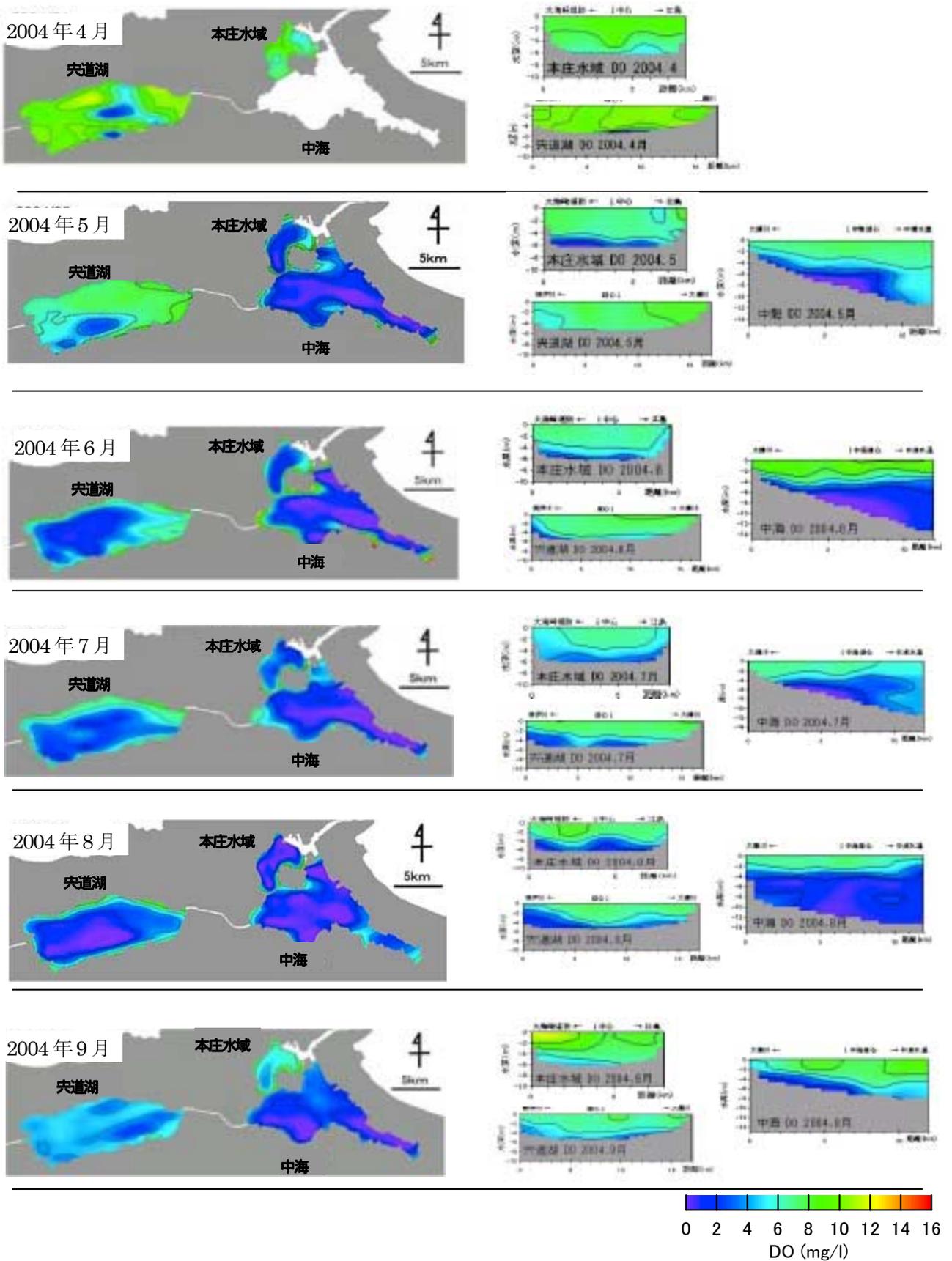


図9 突道湖・中海のDO (水平分布(底層)および鉛直断面)
2004年4月~9月

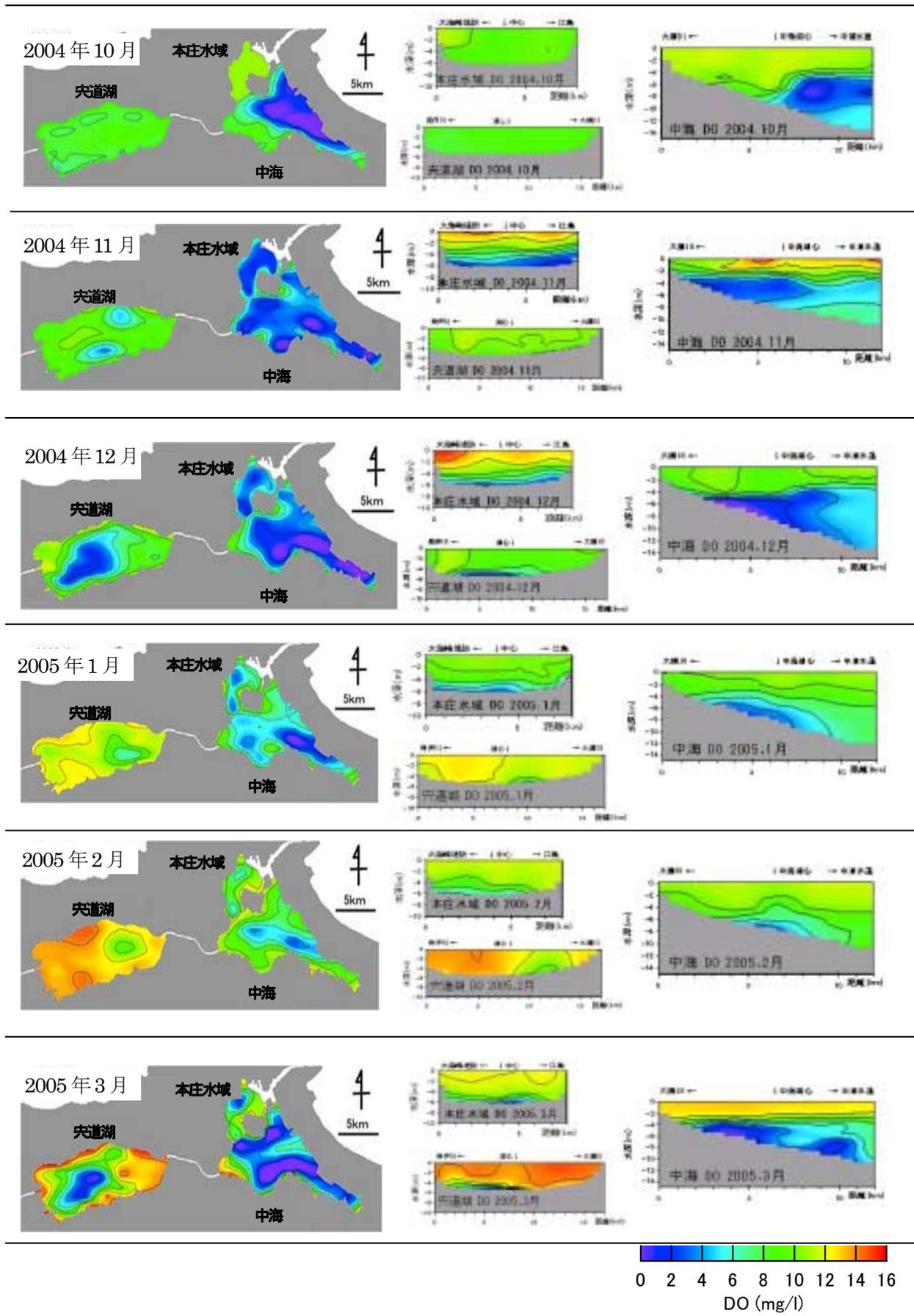
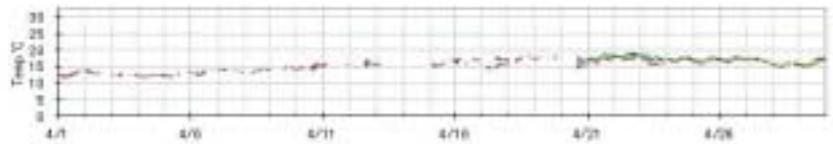


図 10 尖道湖・中海のDO (水平分布(底層)および鉛直断面)
2004年10月～2005年3月

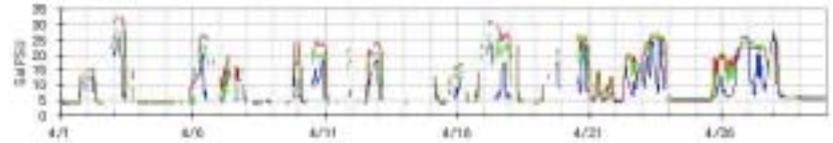
2004年4月

上層:水深1.0m ——— 中層:水深3.0m ——— 下層:水深4.3m ———

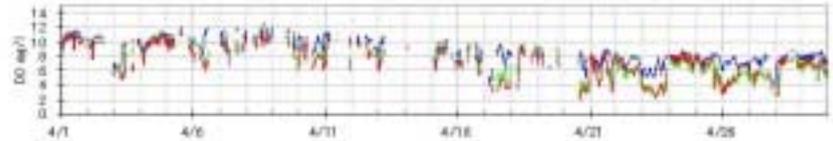
○ 水温 (°C)



○ 塩分 (PSU)



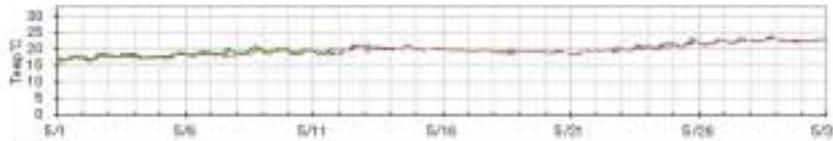
○ 溶存酸素 (mg/l)



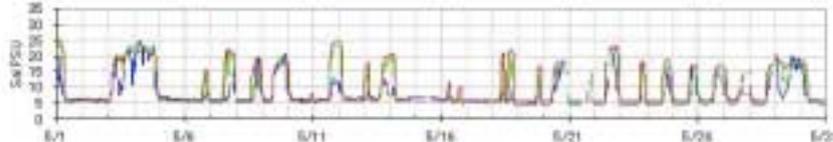
2004年5月

上層:水深1.0m ——— 中層:水深3.0m ——— 下層:水深4.3m ———

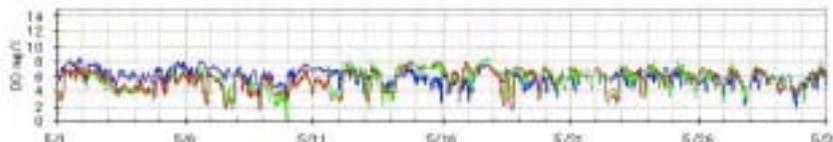
○ 水温 (°C)



○ 塩分 (PSU)



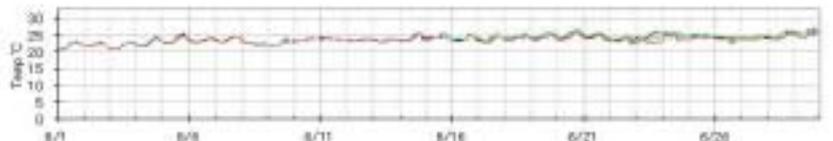
○ 溶存酸素 (mg/l)



2004年6月

上層:水深1.0m ——— 中層:水深3.0m ——— 下層:水深4.3m ———

○ 水温 (°C)



○ 塩分 (PSU)



○ 溶存酸素 (mg/l)

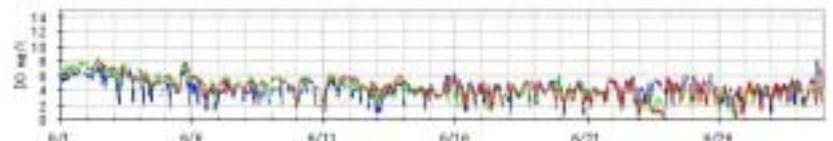
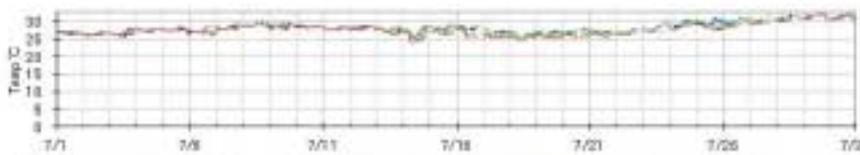


図 11 大橋川水質連続観測結果 2004年4月~6月

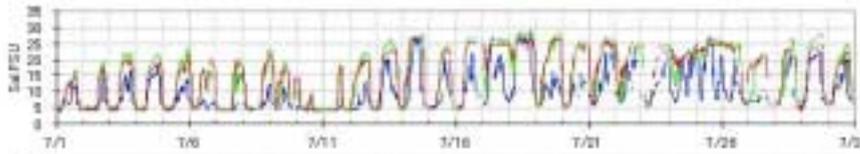
2004年7月

上層:水深 1.0m ——— 中層:水深 3.0m ——— 下層:水深 4.3m ———

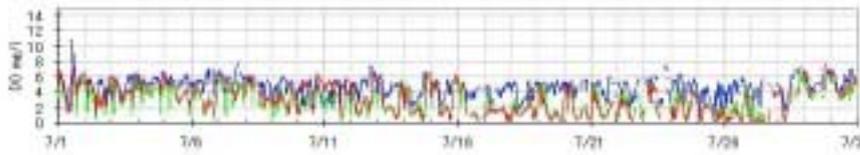
○ 水温 (°C)



○ 塩分 (PSU)



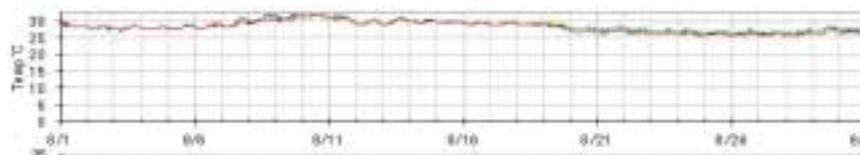
○ 溶存酸素 (mg/l)



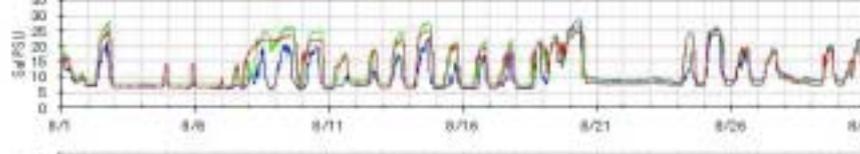
2004年8月

上層:水深 1.0m ——— 中層:水深 3.0m ——— 下層:水深 4.3m ———

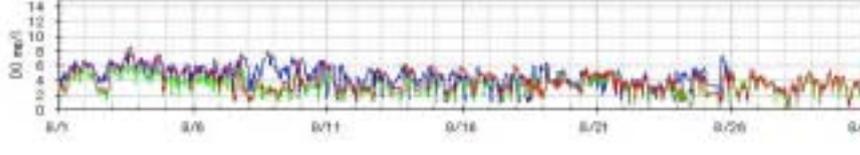
○ 水温 (°C)



○ 塩分 (PSU)



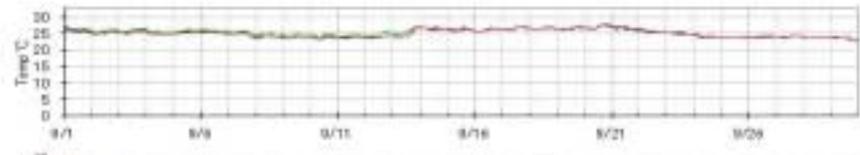
○ 溶存酸素 (mg/l)



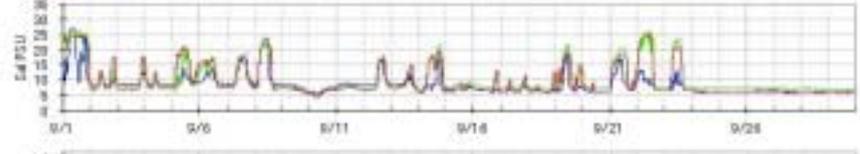
2004年9月

上層:水深 1.0m ——— 中層:水深 3.0m ——— 下層:水深 4.3m ———

○ 水温 (°C)



○ 塩分 (PSU)



○ 溶存酸素 (mg/l)

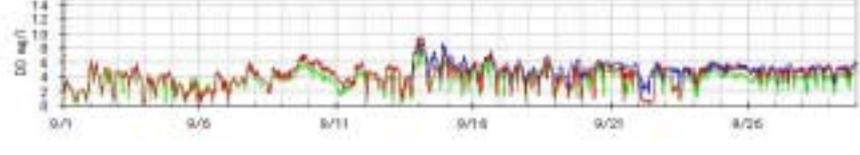
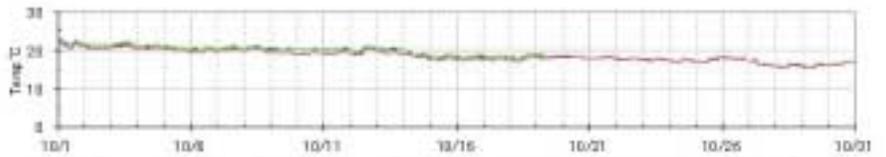


図 12 大橋川水質連続観測結果 2004年7月~9月

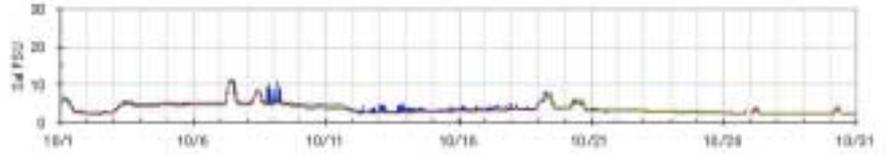
2004年10月

上層:水深 1.0m ——— 中層:水深 3.0m ——— 下層:水深 4.3m ———

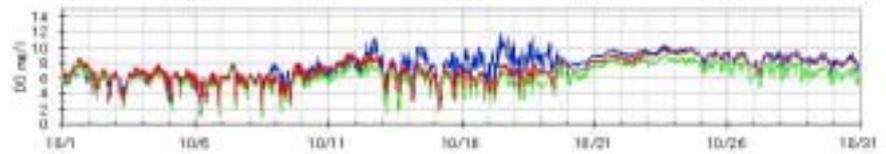
○ 水温 (°C)



○ 塩分 (PSU)



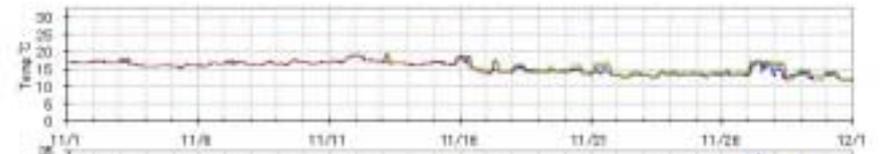
○ 溶存酸素 (mg/l)



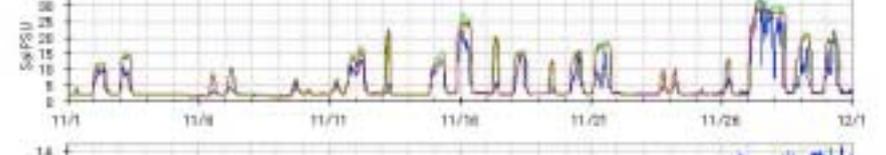
2004年11月

上層:水深 1.0m ——— 中層:水深 3.0m ——— 下層:水深 4.3m ———

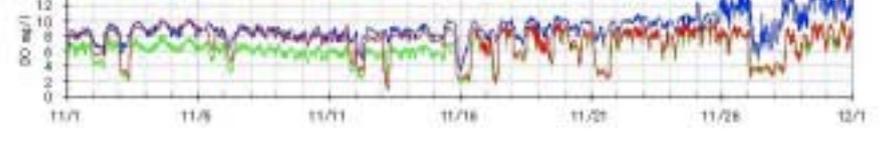
○ 水温 (°C)



○ 塩分 (PSU)



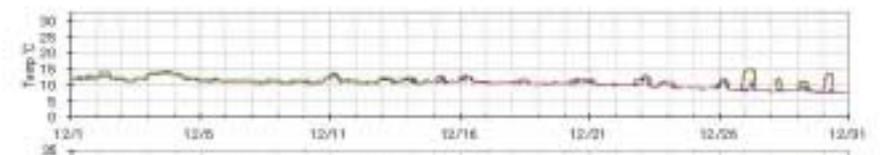
○ 溶存酸素 (mg/l)



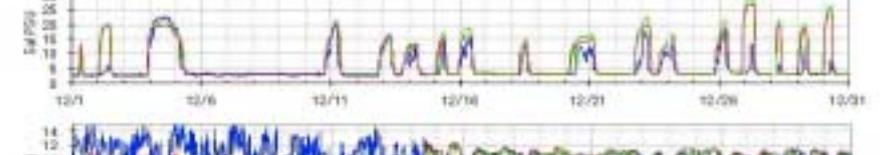
2004年12月

上層:水深 1.0m ——— 中層:水深 3.0m ——— 下層:水深 4.3m ———

○ 水温 (°C)



○ 塩分 (PSU)



○ 溶存酸素 (mg/l)

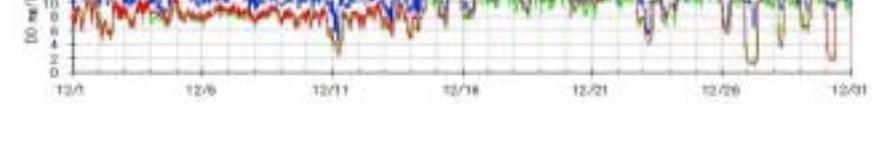


図 13 大橋川水質連続観測結果 2004年10月~12月

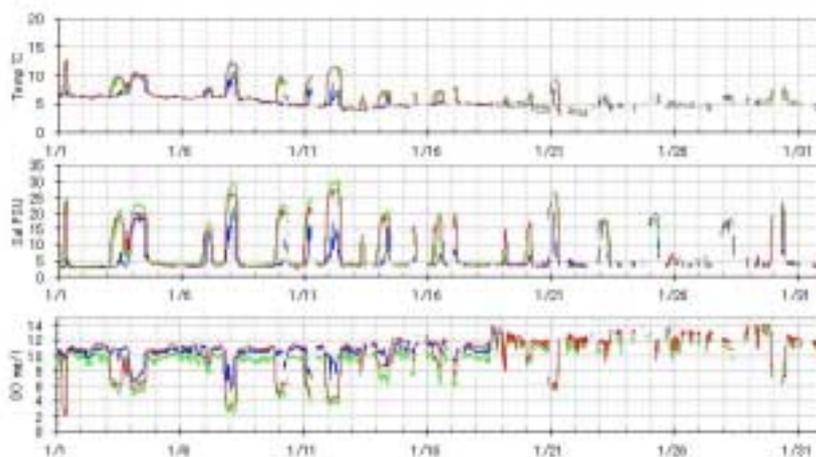
2005年1月

○ 水温 (°C)

○ 塩分 (PSU)

○ 溶存酸素 (mg/l)

上層:水深 1.0m ——— 中層:水深 3.0m ——— 下層:水深 4.3m ———



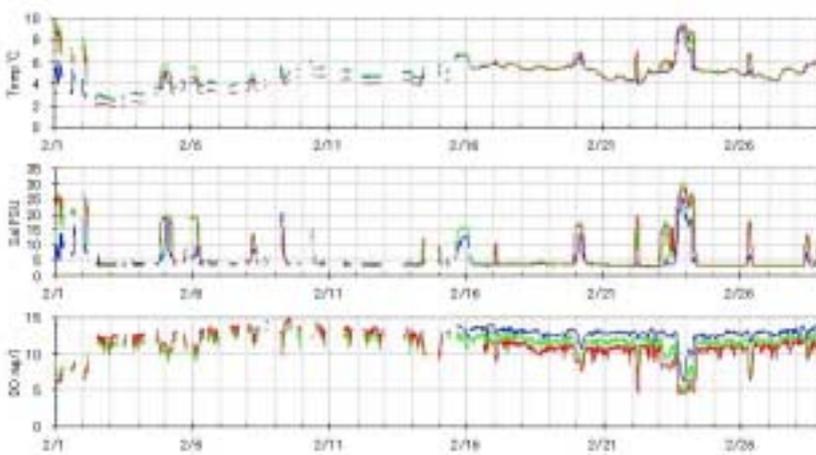
2005年2月

○ 水温 (°C)

○ 塩分 (PSU)

○ 溶存酸素 (mg/l)

上層:水深 1.0m ——— 中層:水深 3.0m ——— 下層:水深 4.3m ———



2005年3月

○ 水温 (°C)

○ 塩分 (PSU)

○ 溶存酸素 (mg/l)

上層:水深 1.0m ——— 中層:水深 3.0m ——— 下層:水深 4.3m ———

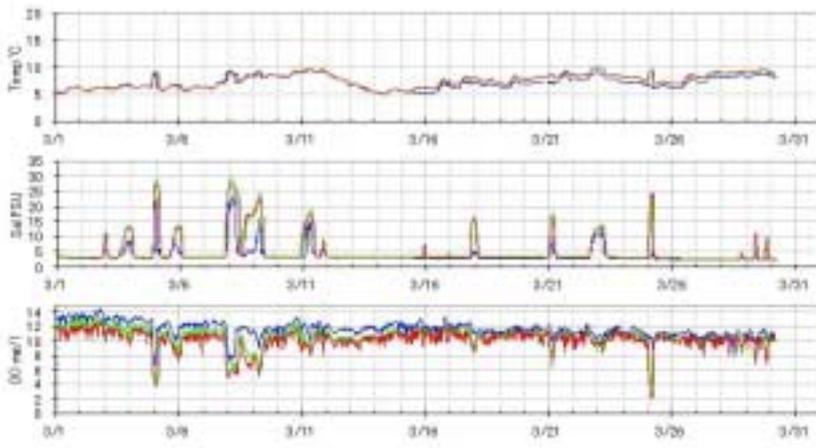


図 14 大橋川水質連続観測結果 2005年1月~3月

4. 研究成果

- 調査で得られた結果は、宍道湖・中海水産振興対策検討委員会及び内水面調査研究協議会で報告された。
- この調査を今後も継続して行うことにより、宍道湖・中海の長期的な環境変化を量的に把握することが可能になる。
- 調査結果は島根県内水面水産試験場のホームページ (<http://www.pref.shimane.jp/naisuisi/>) やFAX、I-mode 等で紹介し、広く一般への情報提供を行った。

5. 文献

- 1) 森脇晋平 他. 島根県内水面水産試験場事業報告書 (平成 13 年度) 2001 ; 9-73.