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

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①貧酸素水塊の発生時期・広がり・規模を把握するための定点調査、②高塩分貧酸素水の移動を知るために大橋川に設置した連続観測水質計による宍道湖流入・流出水調査、③貧酸素水による魚介類のへい死事例について調査を実施している。

2. 研究方法

(1) 貧酸素水塊発生状況調査（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」を使用して図 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、基本的には 1m間隔で測定を行い、貧酸素化が認められた場合 0.5m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

先述した A（塩分など）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。

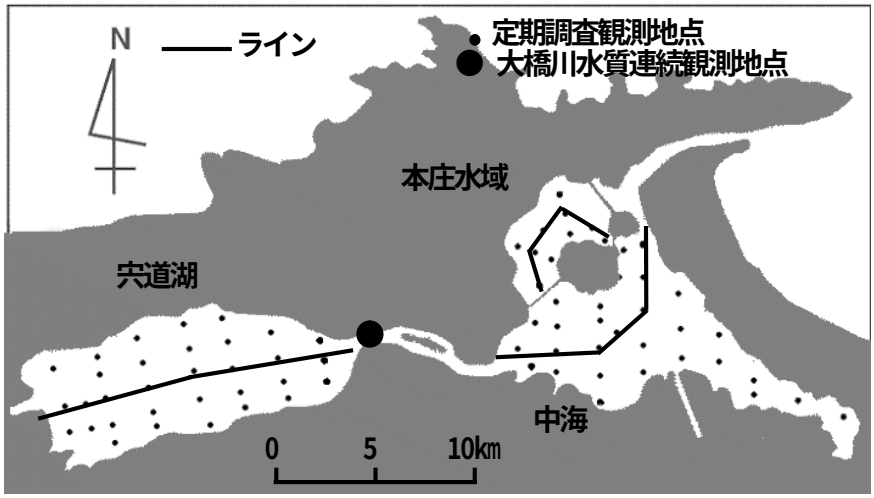


図１　宍道湖・中海貧酸素水調査地点

表１　宍道湖・中海貧酸素調査定期調査観測地点

宍道湖

St.No.	緯度(N)	経度(E)	水深(m)
1	35°　27.149'	132°　52.773'	3.5
2	35°　26.082'	132°　53.308'	4.0
3	35°　25.325'	132°　53.434'	3.9
4	35°　26.174'	132°　53.768'	4.6
5	35°　25.422'	132°　53.917'	4.8
6	35°　27.374'	132°　54.171'	3.9
7	35°　27.008'	132°　54.411'	5.0
8	35°　26.347'	132°　54.624'	5.1
9	35°　25.584'	132°　54.849'	5.4
10	35°　25.006'	132°　55.088'	4.5
11	35°　27.921'	132°　55.670'	3.1
12	35°　27.296'	132°　55.823'	5.5
13	35°　26.595'	132°　56.050'	5.6
14	35°　25.901'	132°　56.359'	5.6
15	35°　25.598'	132°　56.512'	5.1
16	35°　28.304'	132°　57.290'	3.5
17	35°　27.654'	132°　57.492'	5.4
18	35°　26.988'	132°　57.627'	5.6
19	35°　26.165'	132°　57.929'	5.7
20	35°　25.518'	132°　58.281'	2.2
21	35°　28.549'	132°　58.869'	3.6
22	35°　27.769'	132°　58.943'	5.3
23	35°　27.100'	132°　59.145'	5.5
24	35°　26.396'	132°　59.297'	5.5
25	35°　25.991'	132°　59.473'	3.9
26	35°　28.245'	133°　0.263'	3.5
27	35°　27.386'	133°　0.597'	4.7
28	35°　26.720'	133°　0.764'	4.8
29	35°　26.331'	133°　1.008'	3.0
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

中海

St.No.	緯度(N)	経度(E)	水深(m)
1	35°　27.689'	133°　8.273'	3.6
2	35°　28.483'	133°　8.848'	4.8
3	35°　27.149'	133°　8.691'	3.1
4	35°　28.954'	133°　9.652'	5.3
5	35°　28.325'	133°　9.641'	6.4
6	35°　27.634'	133°　9.639'	5.7
7	35°　27.039'	133°　9.571'	4.3
8	35°　30.299'	133°　11.533'	5.9
9	35°　29.497'	133°　11.301'	5.1
10	35°　28.900'	133°　10.953'	6.3
11	35°　28.325'	133°　10.934'	6.8
12	35°　27.979'	133°　11.477'	6.7
13	35°　27.566'	133°　10.966'	6.5
14	35°　26.714'	133°　10.900'	5.5
15	35°　26.130'	133°　10.970'	4.2
16	35°　30.411'	133°　12.290'	10.5
17	35°　29.610'	133°　12.345'	7.5
18	35°　28.684'	133°　12.256'	7.3
19	35°　27.881'	133°　12.250'	7.2
20	35°　26.919'	133°　12.333'	5.5
21	35°　29.182'	133°　13.465'	6.6
22	35°　28.274'	133°　13.512'	7.8
23	35°　27.291'	133°　13.591'	5.8
24	35°　27.942'	133°　14.929'	7.8
25	35°　26.977'	133°　14.906'	6.7
26	35°　26.791'	133°　15.995'	10.6
27	35°　26.385'	133°　16.094'	6.0
28	35°　26.122'	133°　17.524'	5.8
29	35°　25.606'	133°　18.688'	4.4

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 Hydorolab 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）。

高塩分水出現指数：HSI=Σ（Sh・Δt）…(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）[2)]。

・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（ΔDO＝測定値-1.5mg/l）を求めた。

ΔDO：溶存酸素偏差

ΔDO＝（測定値－1.5）　(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）×（各層部東方流速：Vn）として求め、各層の溶存酸素偏差フラックスFΔDOを（FΔDO＝Σ(ΔS)×各層部Vn×(ΔDO)）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。

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

$F_{\Delta DO}$：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　MΔDO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

FΔDO：溶存酸素濃度偏差フラックス

t ：観測時刻

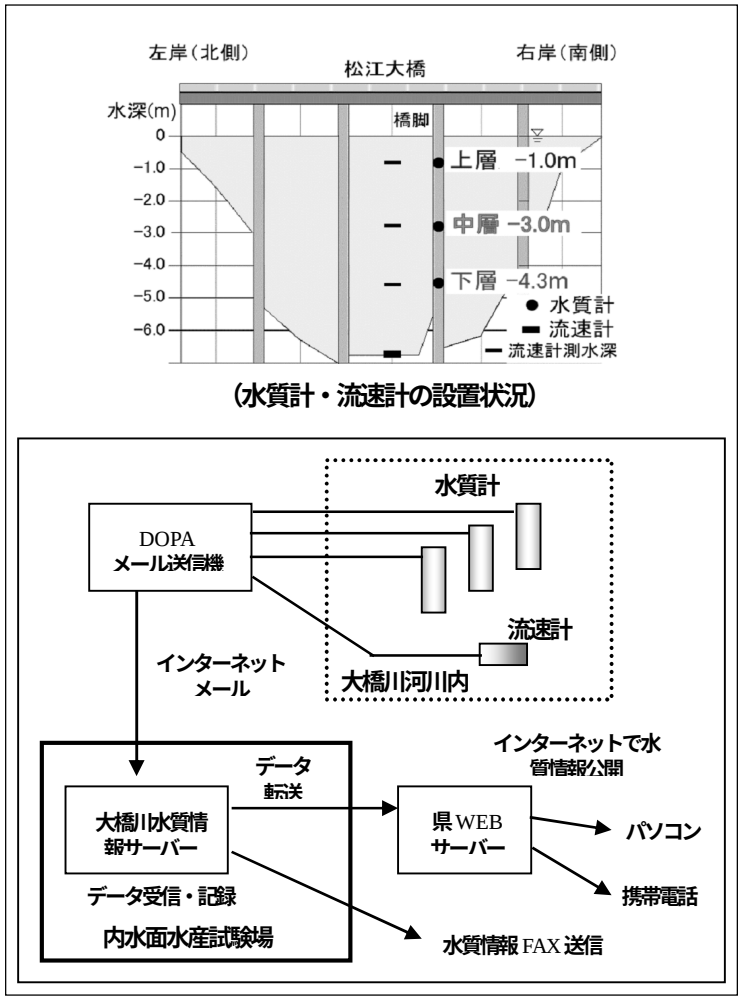


図2　大橋川水質情報システムの概要

(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3～5および図14～17）

毎月1回の調査船による観測結果から各水域の平成17年度の特徴についてまとめた。水温、塩分に関しては全調査点における平均値の月変化、溶存酸素濃度に関しては、各水域の湖容積に占める貧酸素水（3mg/l以下の溶存酸素濃度）の体積割合の月変化を示した。

A. 宍道湖（図3）

水温　今年度の月別平均値は 3.8～29.9℃の範囲で変動し、ほぼ過去2ヵ年並みで推移したが、12 月（6.9℃）は非常に低い値となった。これは、12月初旬から強い寒波が襲来し、気温が急激に低下したためだと考えられる。年間を通した平均水温（月平均の平均）は16.6℃で、過去2ヵ年平均（16.9℃）並となった。

塩分　月別平均値は1.8～6.1psuの範囲で変動し、6～7月は降水量が少なく過去2ヵ年にに比べ高い値を示した。9月にまとまった雨が降ったため、やや低い値を示したが、10～1月までは5psuを越える高めで推移した。年間を通した平均値（月平均の平均）は4.5psuで、過去2ヵ年平均（2.9psu）に比べ高めとなった。

溶存酸素　宍道湖において、生物に悪影響をもたらすといわれている溶存酸素濃度 3mg/l以下のいわゆる貧酸素水が出現するのは、夏～秋にかけての高水温期に中海から遡上してきた高塩分水が湖底に滞留する場合にしばしば見受けられ、湖底から数㎝～数十㎝程度の厚さで形成される。湖容積に占める貧酸素水の割合が10%を越えることは希で、中海や本庄水域に比べ貧酸素水塊の規模は極めて小さい傾向にある。しかし、湖底付近で薄く滞留している貧酸素水塊が、連続した強風などにより浅場へ這い上がり、シジミなどの生物に悪影響をおよぼすこともある。平成17年度は、5月、6月、10月、11月に過去3カ年の平均値に比べ貧酸素水塊の規模が大きくなった。年間を通した体積割合の平均値（月平均の平均）は1.7%で、過去3カ年の平均値（0.7%）に比べやや高めであった。

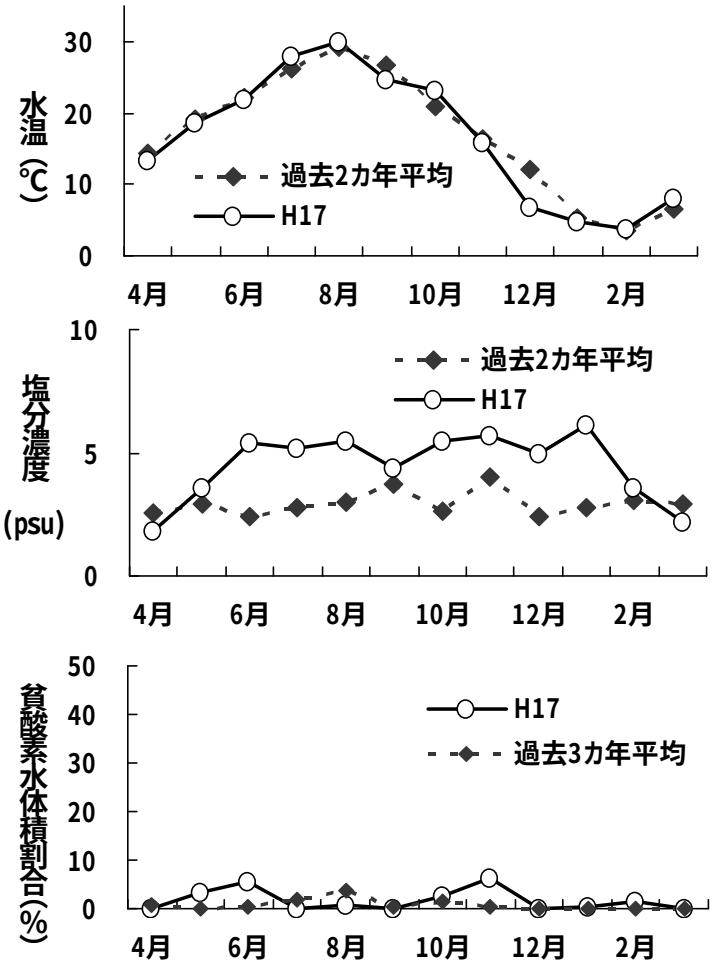


図 3　宍道湖における表面水温、表面塩分濃度の平均、湖容積に占める貧酸素水（3mg/l）の体積割合の変化

B．中海（図4）

水温　月別平均値は 5.1～29.1℃の範囲で変動し、ほぼ平成 16 年度並みで推移したが、宍道湖と同様に 12 月（6.5℃）は平成16年度（13.7℃）に比べ非常に低い値となった。年間を通した平均水温（月平均の平均）は16.8℃で、平成16年度（17.8℃）に比べ1℃低くなった。

塩分　塩分濃度は 9.2～20.7psu の範囲で変動し、5～12 月は 20psu 前後で安定的に推移した。これは、梅雨時期および秋雨時期の降水量が少なかったことに起因すると推察される。年間を通した平均値は 16.7psu で、平成16年度（15.2psu）に比べ高めとなった。

溶存酸素　中海は宍道湖に比べ水深が深く塩分濃度も高いため、湖底の貧酸素化が起きやすく、しかも大規模に形成されるのが特徴である。平成 17 年度は 9 月に宍道湖からの淡水の流入の影響で底層の貧酸素化が解消されたが、その他の月は平成 16 年度並で推移した。年間を通した体積割合の平均値（月平均の平均）は18.2%で、過去3カ年の平均値（18.3%）と同程度となった。

C．本庄水域（図5）

水温　月別平均値は4.3～30.4℃の範囲で変動し、ほぼ平成16年度並みで推移したが、宍道湖・中海と同様に 12 月（8.5℃）は平成 16 年度（13.5℃）に比べ非常に低い値となった。年間を通した平均水温（月平均の平均）は17.4℃で、平成16年度（17.6℃）並となった。

塩分　塩分濃度は 15.0～20.6psu の範囲で変動し、季節的な変動はほとんど無く安定した濃度であった。年間を通した平均値は18.8psu で、平成16年度（17.7psu）に比べ高めとなった。

溶存酸素　本庄水域は、宍道湖よりも塩分濃度が高いものの、成層が形成されにくく、表層から底層まで

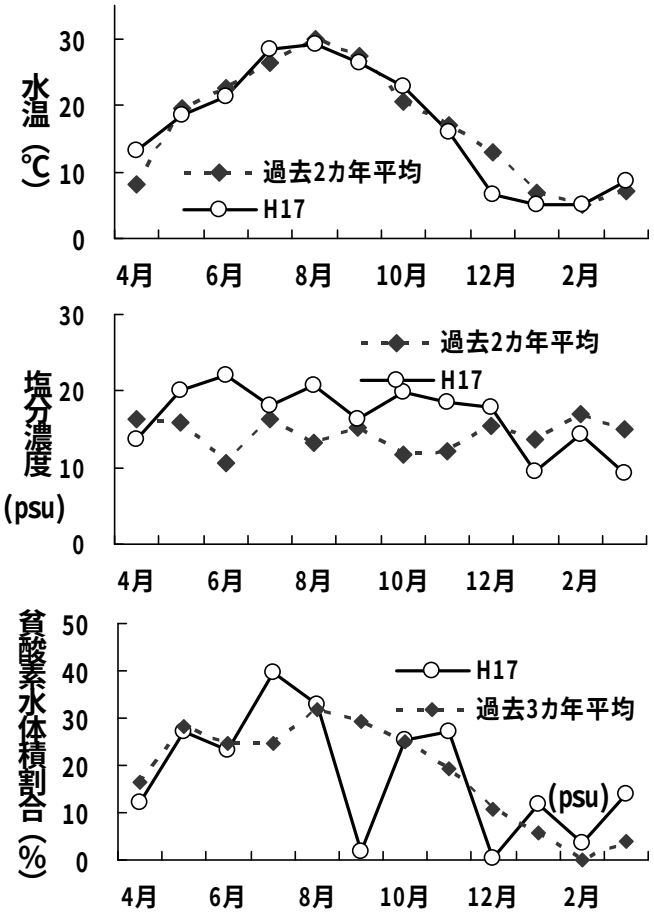


図 4　中海における表面水温、表面塩分濃度の平均、湖容積に占める貧酸素水（3mg/l 以下）の体積割合の変化

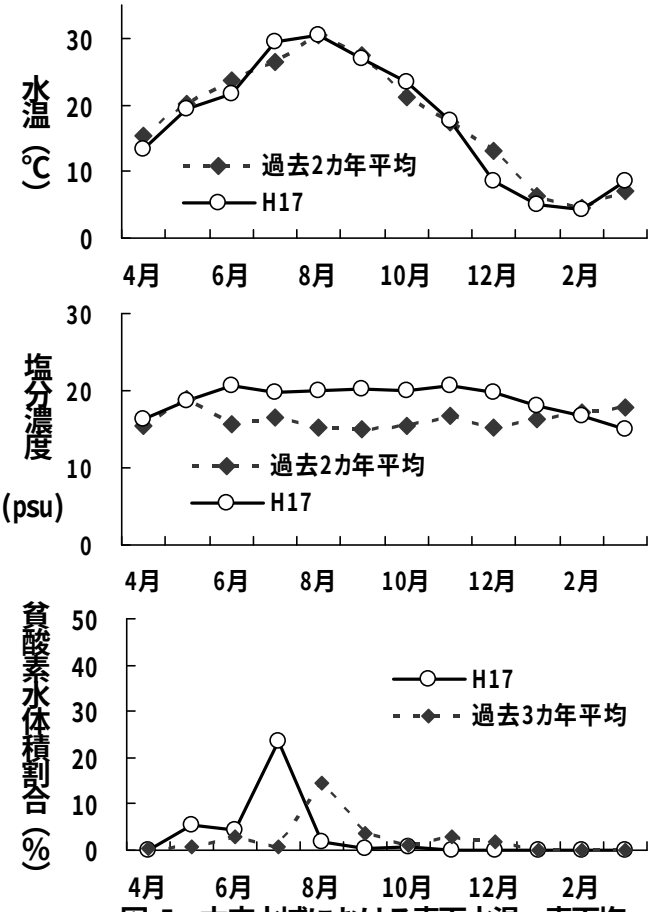


図 5　本庄水域における表面水温、表面塩分濃度の平均、湖容積に占める貧酸素水（3mg/l 以下）の体積割合の変化

ほぼ一様の濃度となることが多く、このため中海に比べ貧酸素状態になりにくいのが特徴である。平成17年度は7月に大規模な貧酸素化現象が見られたが、その他の月はほとんど貧酸素化は起きなかった。年間を通した体積割合の平均値（月平均の平均）は3.0%で、過去3カ年の平均値（2.4%）と同程度となった。

(2) 大橋川水質連続観測（図6および図18～21）

月平均値の季節変化

大橋川に設置した連続水質計で観測された表層（水面下約1m）の水温、塩分、溶存酸素の月平均値を示す。

水温　月別平均値は3.7～29.4℃の範囲で変動し、ほぼ平年並みで推移したが、定期観測結果と同様に12月（4.3℃）は平年（8.6℃）を大きく下回った。年間を通した平均水温（月平均の平均）は19.7℃で、平年（20.3℃）並となった。

塩分　5月から12月まで平年値を上回り、特に5月は12.0psuと平年の2倍近い値となった。このため、5月には大橋川から宍道湖東部域において、シオグサの仲間やアオノリの仲間が大量に繁茂し、ヤマトシジミのへい死を引き起こした。年間を通した平均塩分（月平均の平均）は8.6psuで、平年（6.7psu）を大きく上回った。

溶存酸素　月別平均値は3.0～10.9mg/lの範囲で変動し、8月、9月にやや平年を下回ったものの、ほぼ平年並みで推移した。

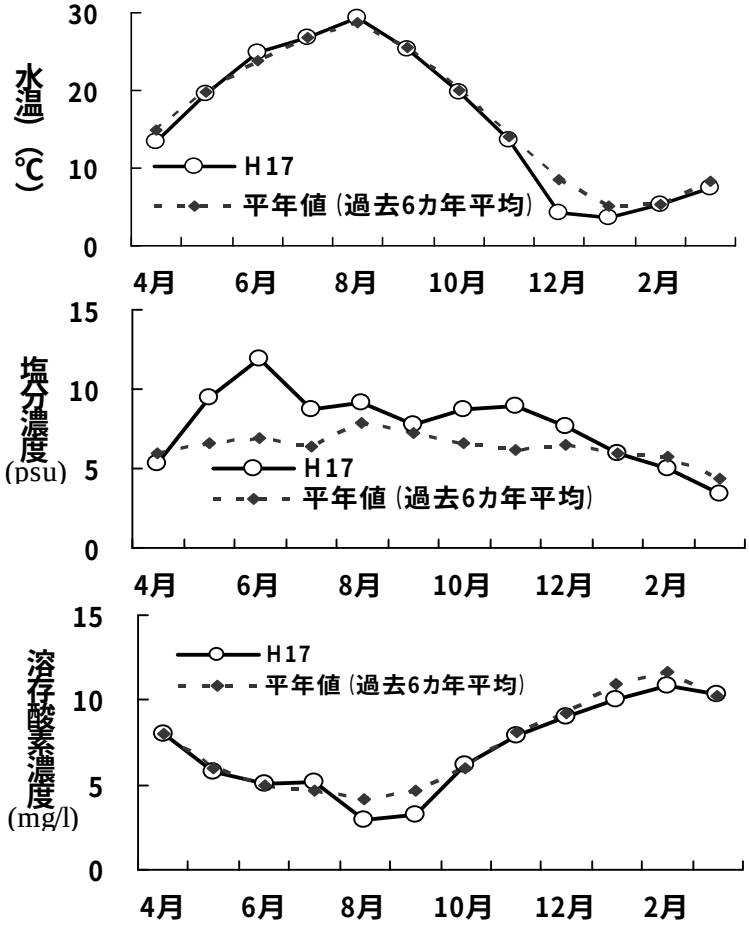


図6　大橋川における表面水温、表面塩分濃度、溶存酸素濃度の平均

年間を通した平均溶存酸素濃度（月平均の平均）は5.9mg/lで、平年（6.1mg/l）並となった。

高塩分水塊の出現規模と酸素欠乏量の定量化（図7および図8）

大橋川下層（水深約4m）における高塩分水塊の勢力の指標となる高塩分指数について、過去6カ年平均と今年度を比較した（図7）。

平成17年度は過去6ヶ年平均に比べ年間を通して低い値となっており、前述した大橋川表層（水深1m）とは逆の結果となった。これは、5月、6月に中海から大量に流入して

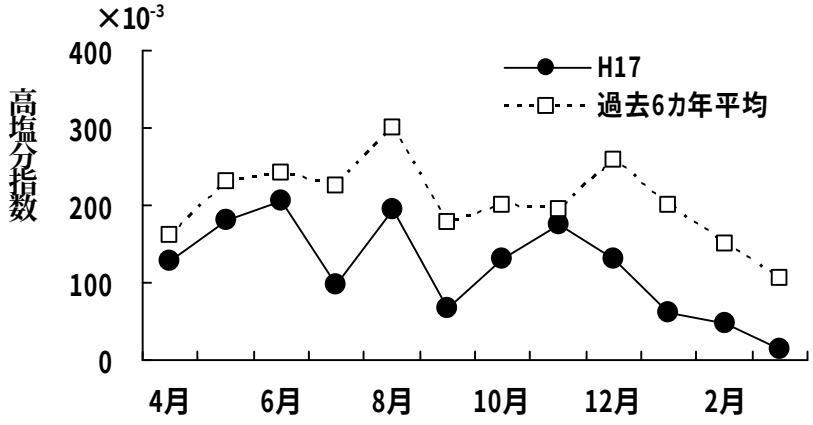


図7　大橋川における高塩分指数の変化

きて宍道湖全体の塩分濃度が上昇したものの、その後の流入は平年に比べ少なかったためだと考えられる。
また、貧酸素化の度合いを示す溶存酸素欠損量は、8月、9月に高い値を示した（図8）。

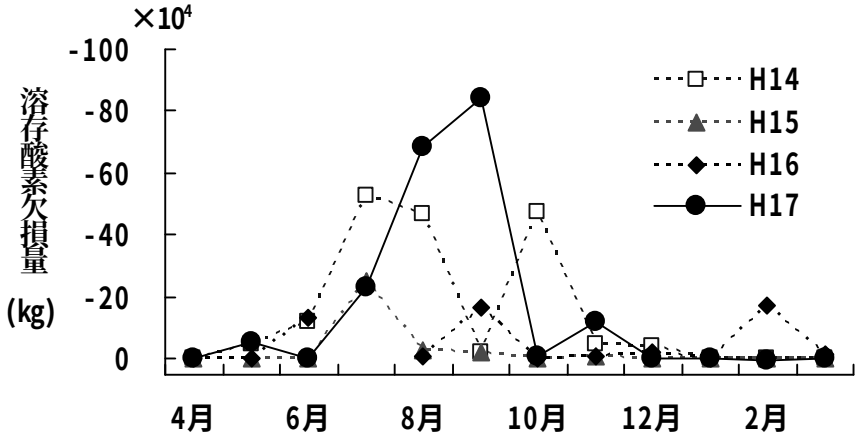


図8　大橋川における溶存酸素欠損量の変化

(3) 魚介類のへい死など

今年度は、魚介類のへい死現象と貧酸素水の関係が明らかであった事例だけでなく、貧酸素水の関与が疑われた事例、あるいはその他の環境の変化などで引き起こされた事例などについて紹介する。

A. 中海のハゼ類のへい死

平成17年7月19日松江市大井町の中海沿岸域で数千尾の魚が死んでいるとの連絡が国土交通省から寄せられ、現場に向かい状況を確認した。へい死魚はハゼ類（全長約5～10㎝）、コチ類（全長約20～30㎝）が主体で、図9に示す範囲で湖底に沈降している状況が確認された。当時の中海の貧酸素水塊の挙動については把握できていないが、6月1日の調査では中海の貧酸素水塊の規模が大きかったこと、空梅雨の影響で中海から宍道湖への遡上流が強かったこと、弱いながらも西よりの風が吹いていたこと等から、中海底層に停滞していた貧酸素水が這い上がったことにより引き起こされた可能性も示唆された。

図9　平成17年7月19日に中海で起こった魚類のへい死状況

B. 冬季のコノシロのへい死

平成17年12月16日、宍道湖東岸～南岸にかけてコノシロ約600尾のへい死が確認された。国土交通省からの依頼によりへい死魚の魚病診断を実施したところ、眼球、鰓、内臓等、いずれの器官も病変や寄生虫等は認められなかったことから、病気によるへい死では無いものと推察された（図10）。また、大橋川に設置してある連続観測水質計の記録では、12月4日以降水温の急激な低下が見られ、過去7カ年の最低

水温を下回る日が続いたことから、コノシロが急激な水温低下に対応できずにへい死したものと推察された（図 11）。

図 10　平成 17 年 12 月 16 日に宍道湖でへい死したコノシロ

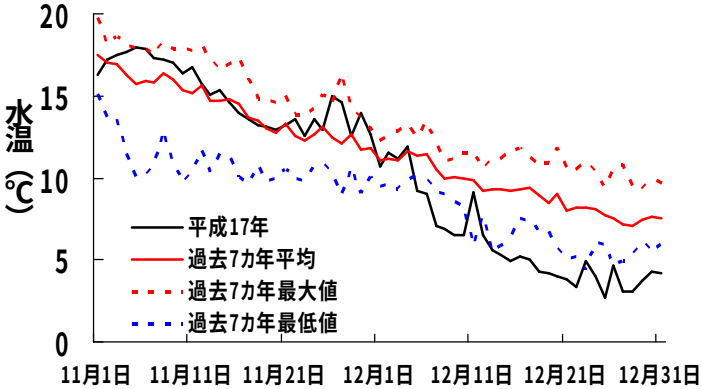


図 11　平成 17 年 11 月～12 月の大橋川表層の水温

C．シジミのへい死現象

2005 年 6 月 20 日佐陀川河口付近でシジミの身が浮いている状況が確認された（図 12）。

同日周辺域で、水質測定、採泥を実施したところ、水質については特に溶存酸素が低いところは見られなかった。また、採泥では湖底に繁茂しているシオグサ類、アオノリ類などが砂やシジミと一緒に採取された（図 13）。シジミのへい死は全体に起きているわけではなく、スポット的に起きており、そういう場所では藻の繁茂量も多く、砂は黒色還元状態で腐敗臭も強かった。

今回のシジミのへい死現象は、大規模な貧酸素化が起こったのではなく、繁茂した海藻類と湖底面との間の狭い範囲での貧酸素化が原因ではないかと推察された。

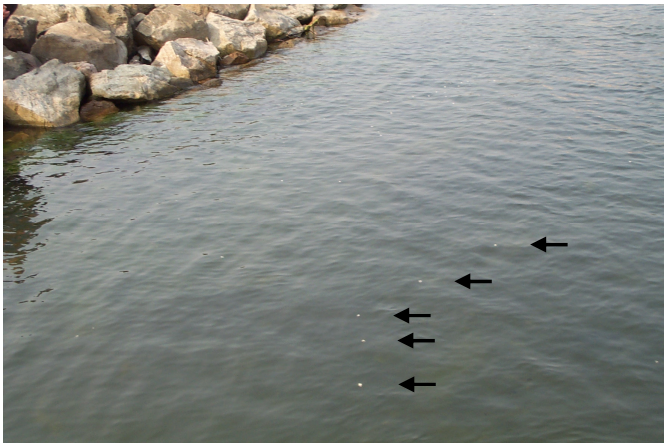


図 12　シジミの身が浮いているところ

図 13　繁茂していた海藻（シオグサ類、アオノリ類）

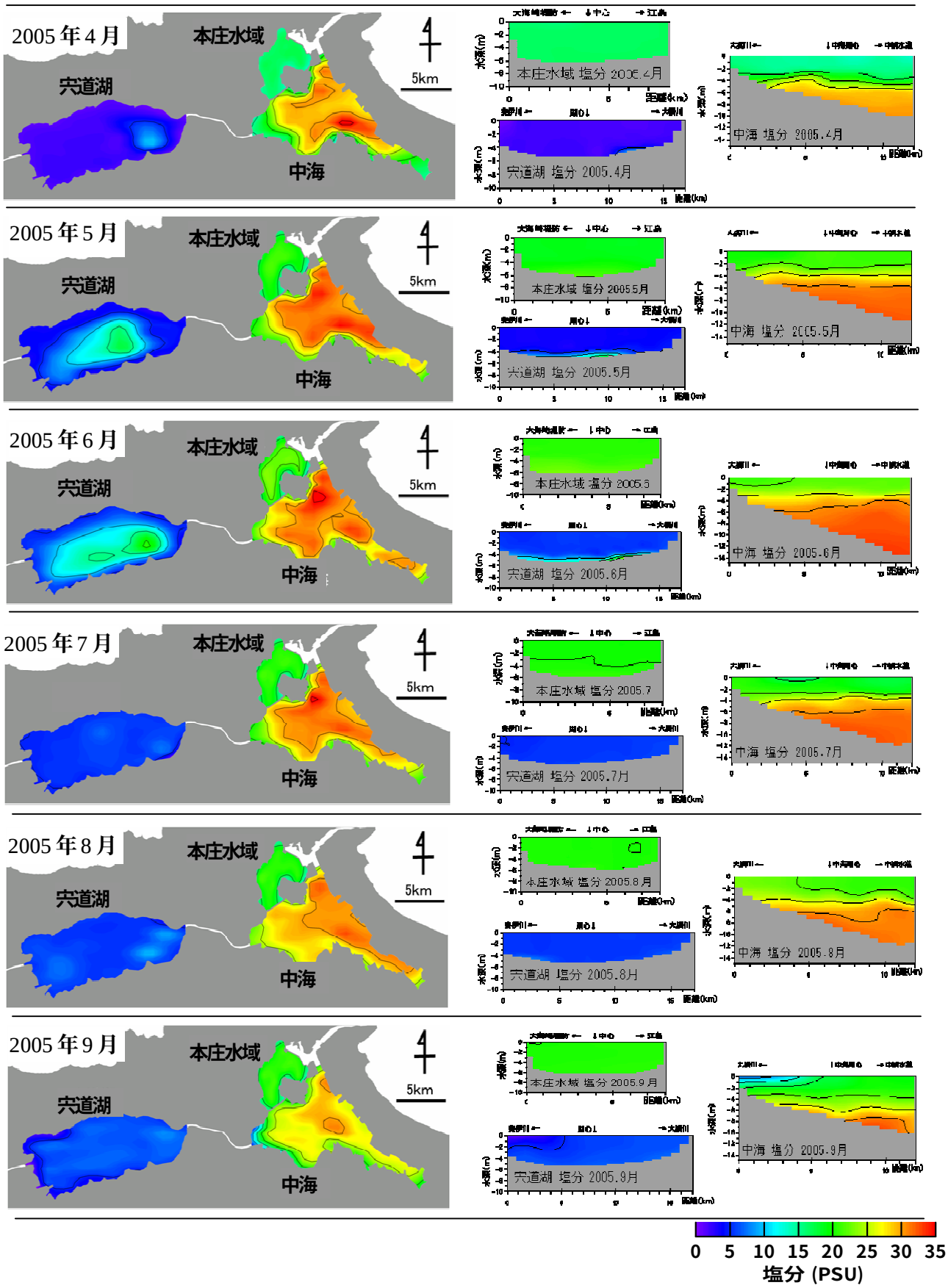


図14　宍道湖・中海・本庄水域の塩分　（水平分布（底層）および鉛直断面）
2005年4月～9月

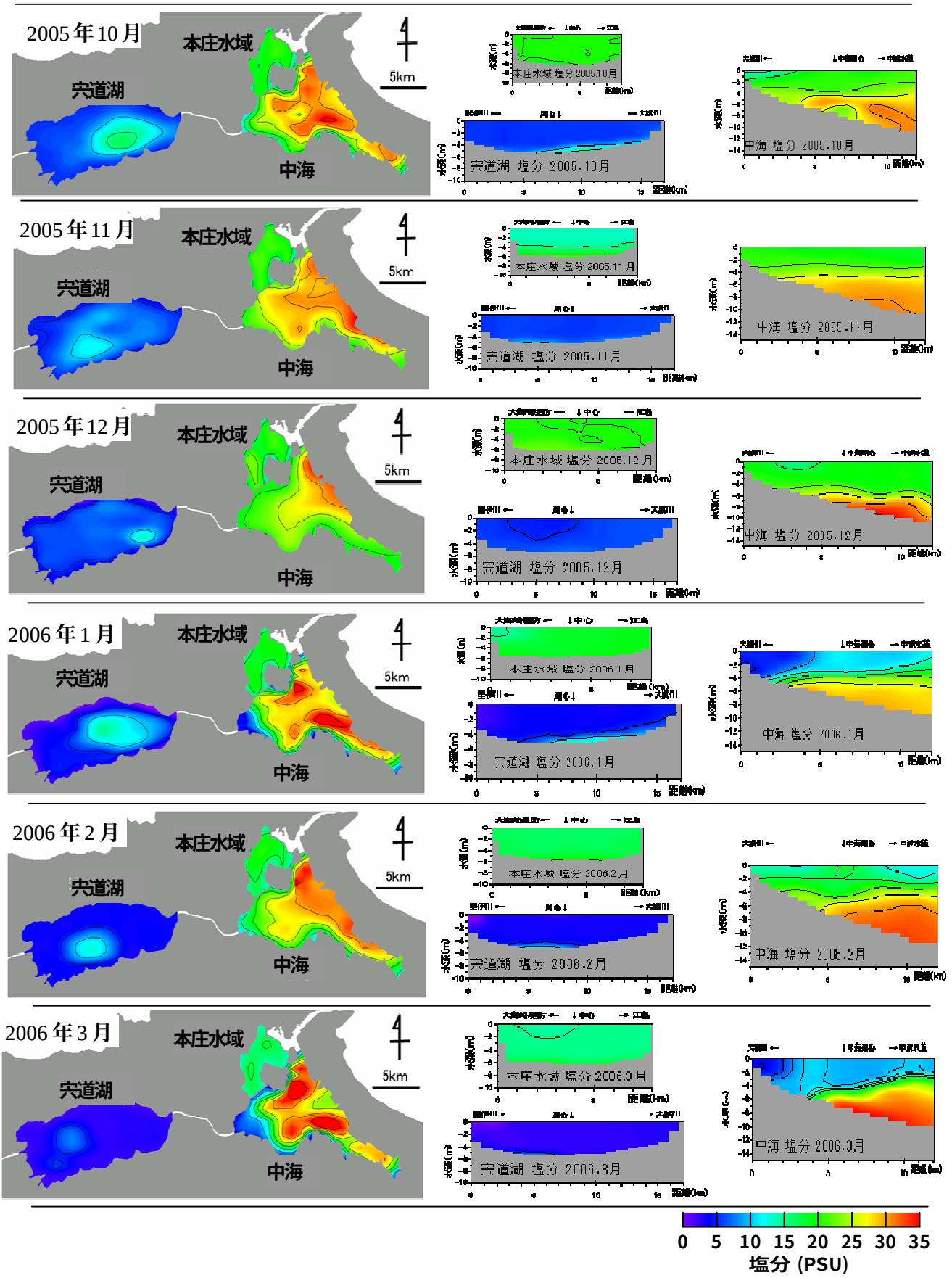


図15　宍道湖・中海・本庄水域の塩分　（水平分布（底層）および鉛直断面）

2005年10月～2006年3月

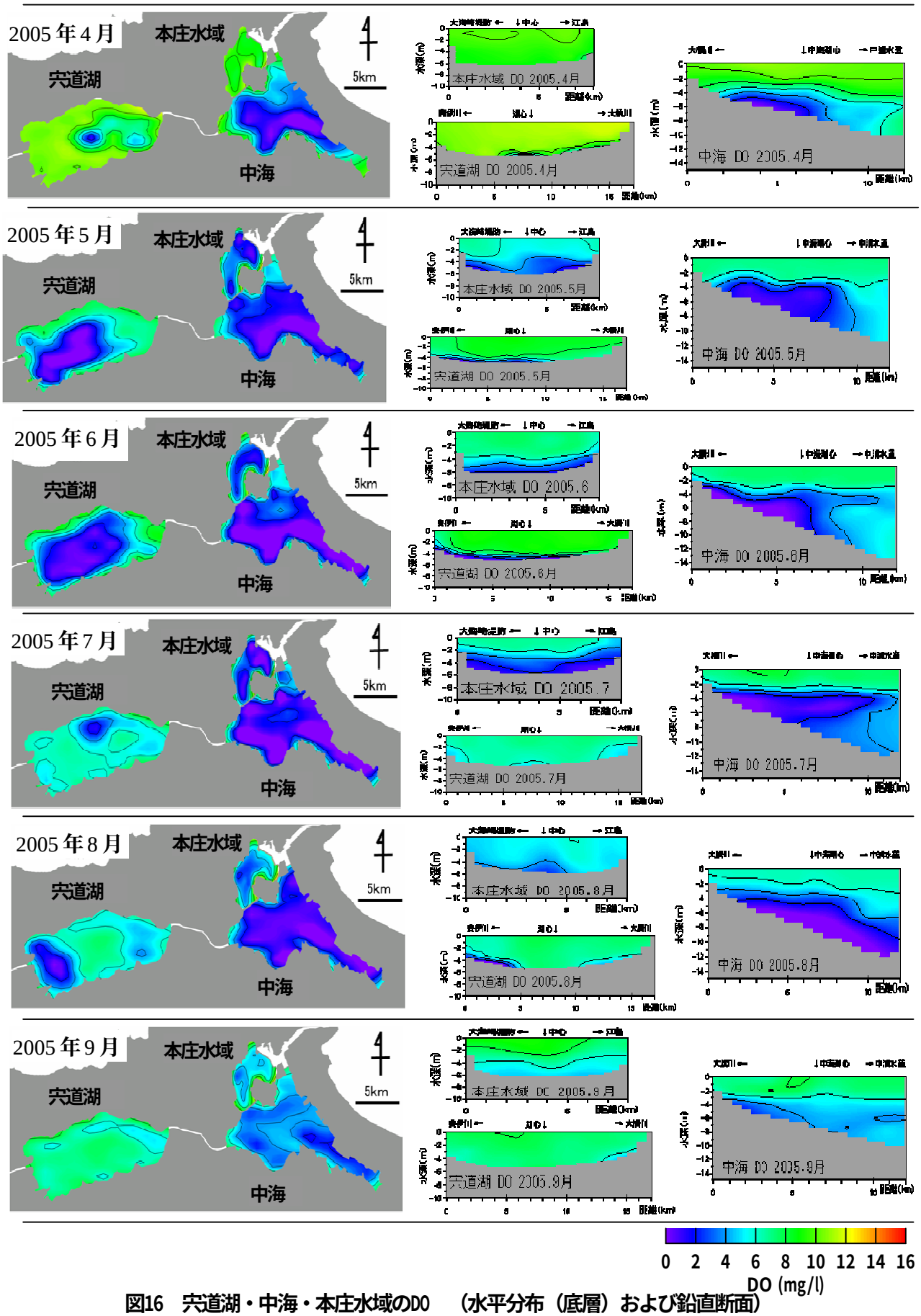


図16　宍道湖・中海・本庄水域のDO　（水平分布（底層）および鉛直断面）

2005年4月～9月

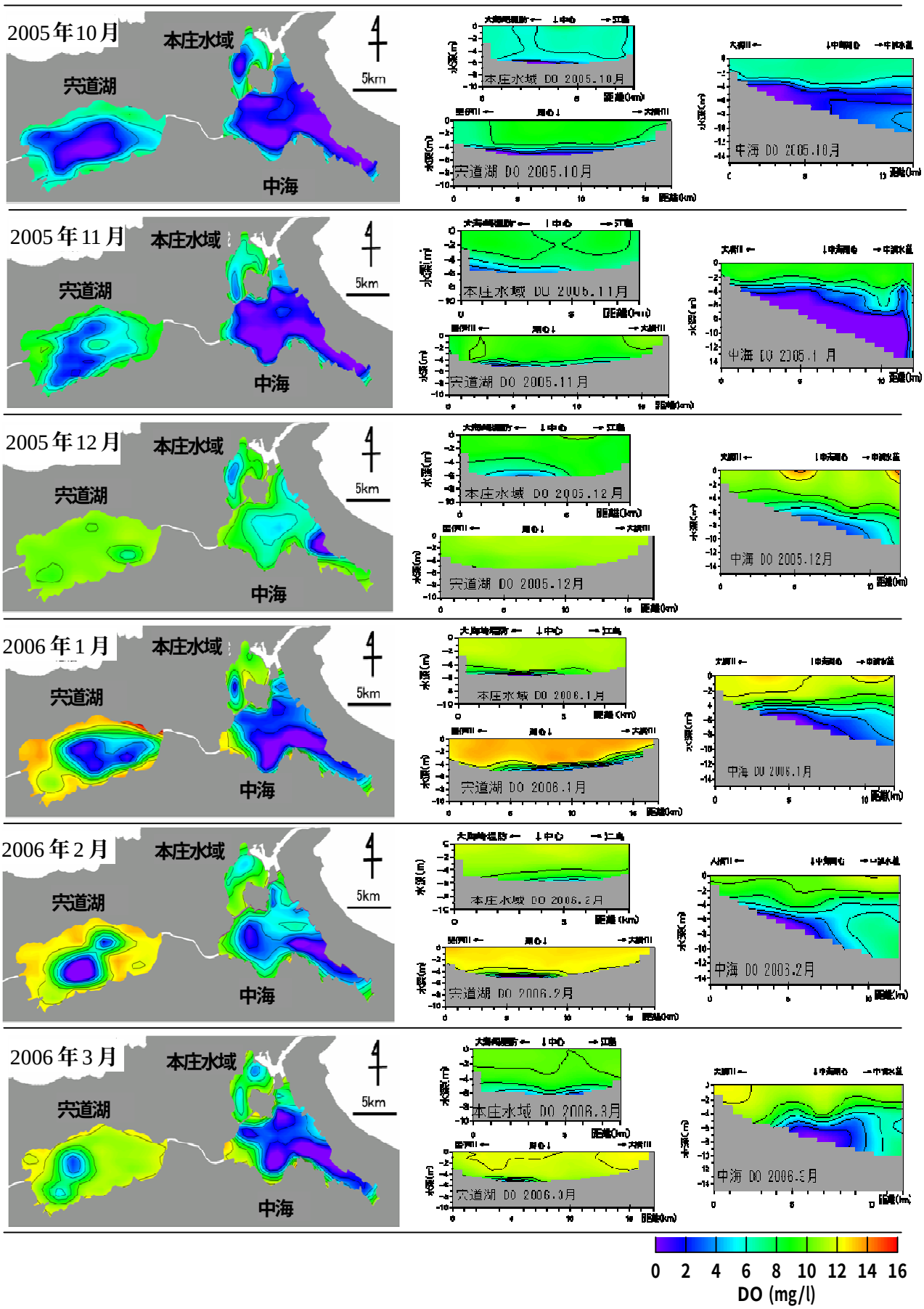


図17　宍道湖・中海・本庄水域のDO　（水平分布（底層）および鉛直断面）

2005年10月～2006年3月

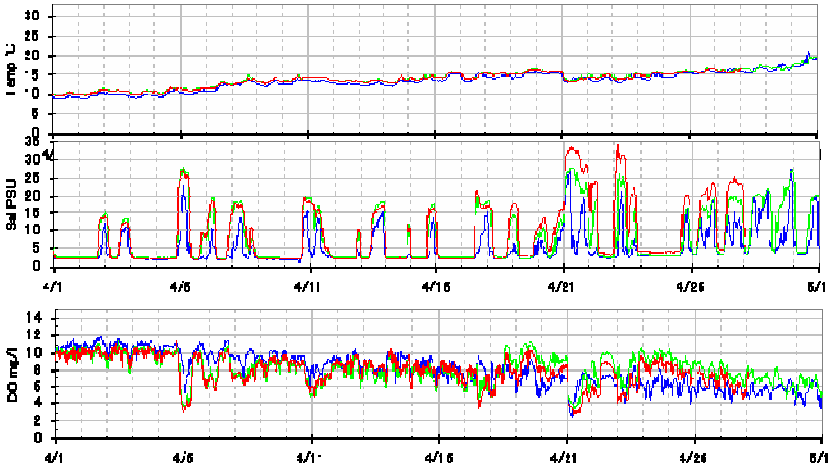
2005 年 4 月

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)



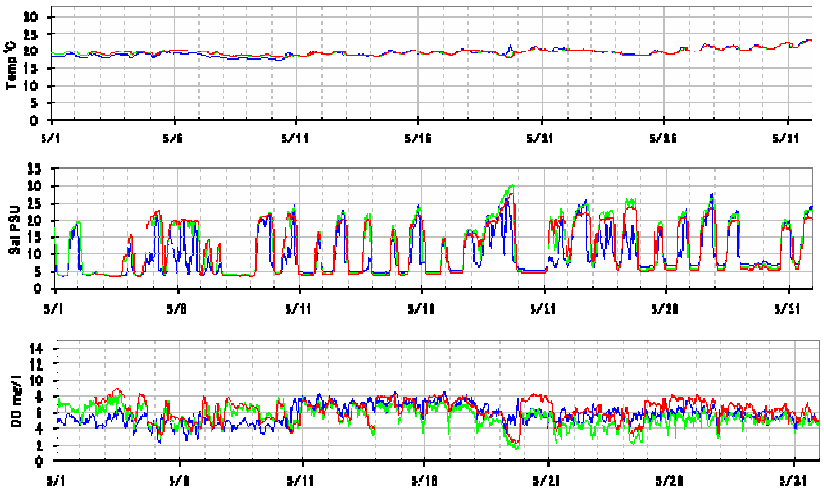
2005 年 5 月

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)



2005 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)

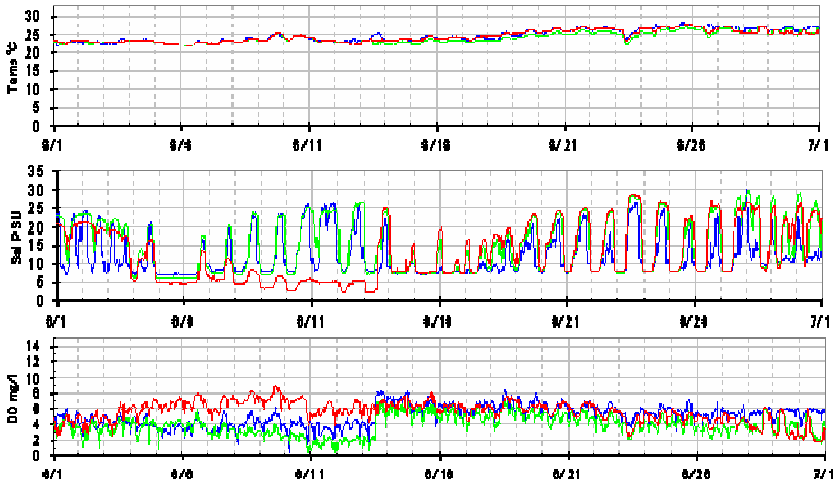


図 18　大橋川水質連続観測結果　2005 年 4 月～6 月

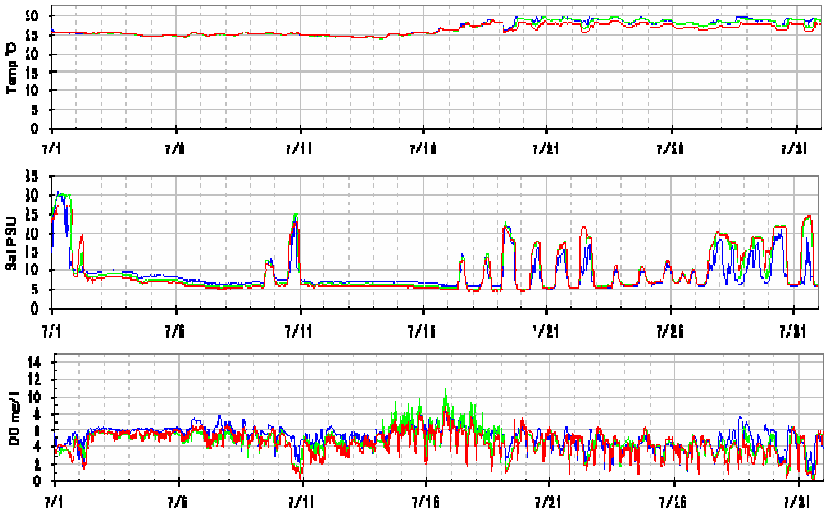
上層:水深 1.0m　中層:水深 3.0m　下層:水深 4.3m

2005 年 7 月

○ 水温　(°C)

○ 塩分 (PSU)

○ 溶存酸素　(mg/l)



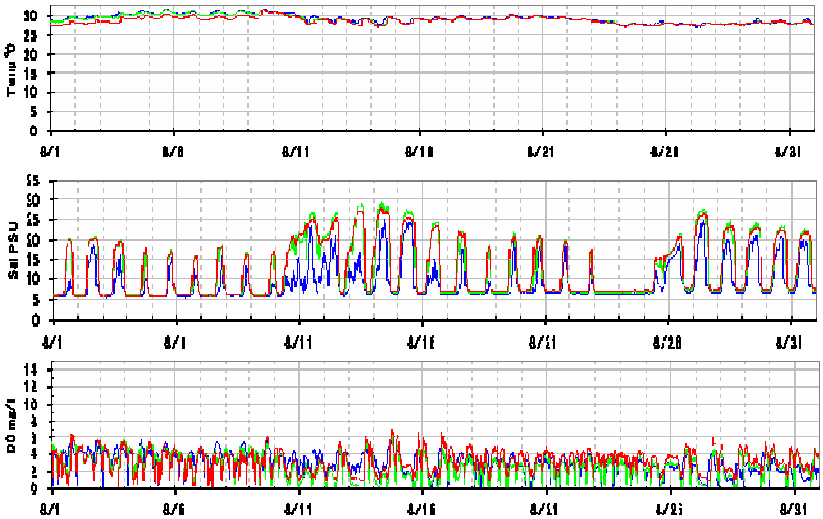
上層:水深 1.0m　中層:水深 3.0m　下層:水深 4.3m

2005 年 8 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 9 月

○ 水温　(°C)

○ 塩分 (PSU)

○ 溶存酸素　(mg/l)

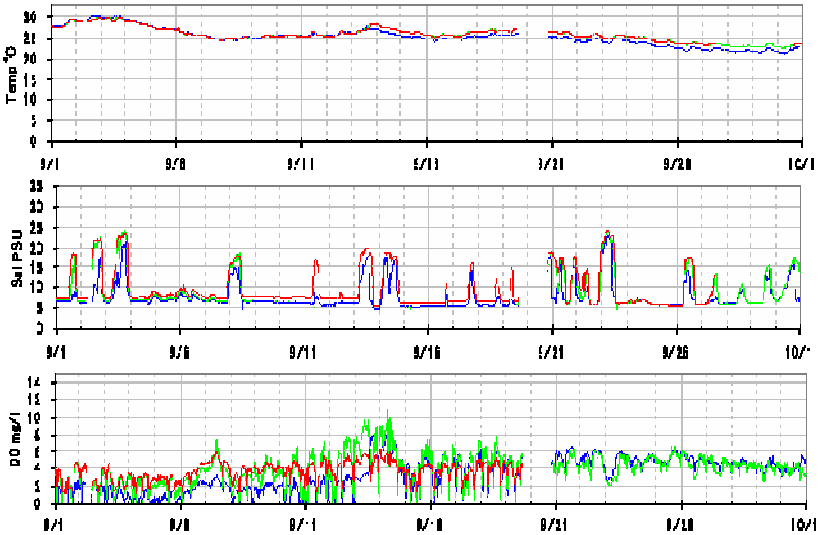
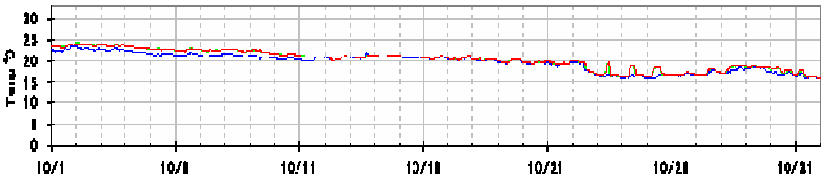


図 19　大橋川水質連続観測結果　2005 年 7 月～9 月

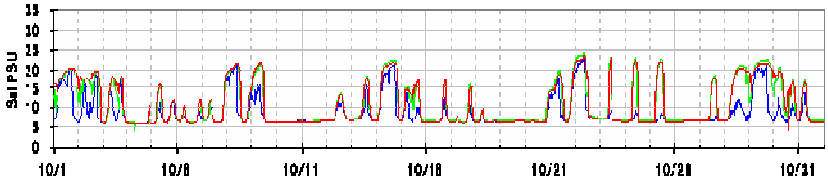
2005 年 10 月

上層:水深 1.0m　中層:水深 3.0m　下層:水深 4.3m

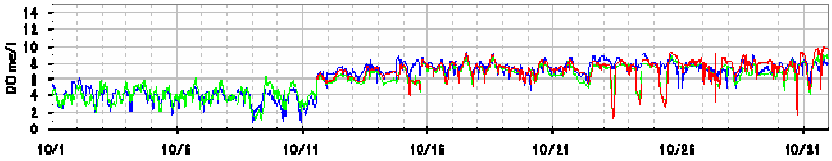
○ 水温　(°C)



○ 塩分 (PSU)



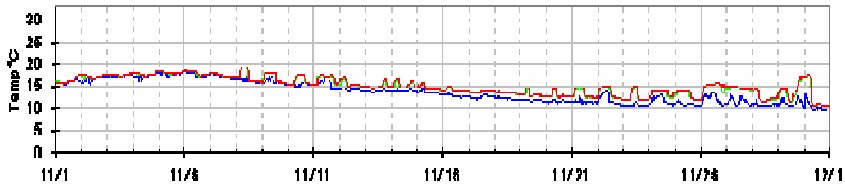
○ 溶存酸素　(mg/l)



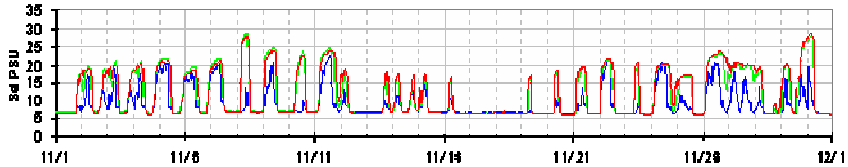
2005 年 11 月

上層:水深 1.0m　中層:水深 3.0m　下層:水深 4.3m

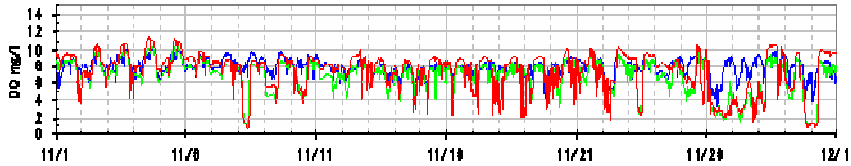
○ 水温　(°C)



○ 塩分 (PSU)



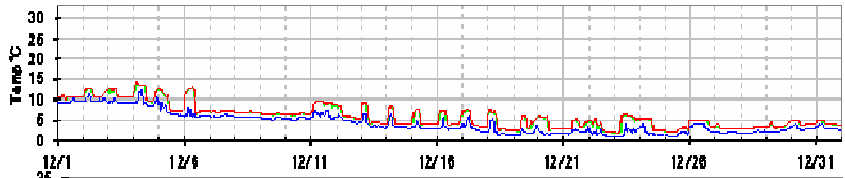
○ 溶存酸素　(mg/l)



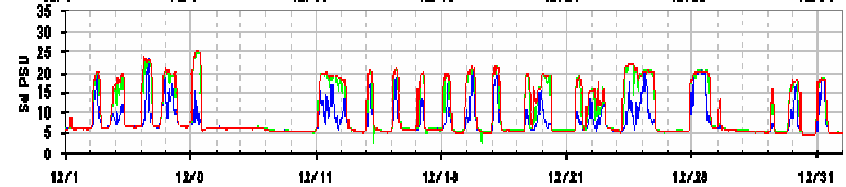
2005 年 12 月

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)

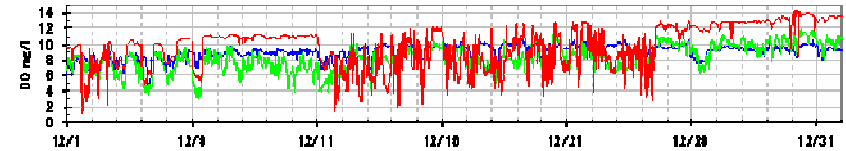


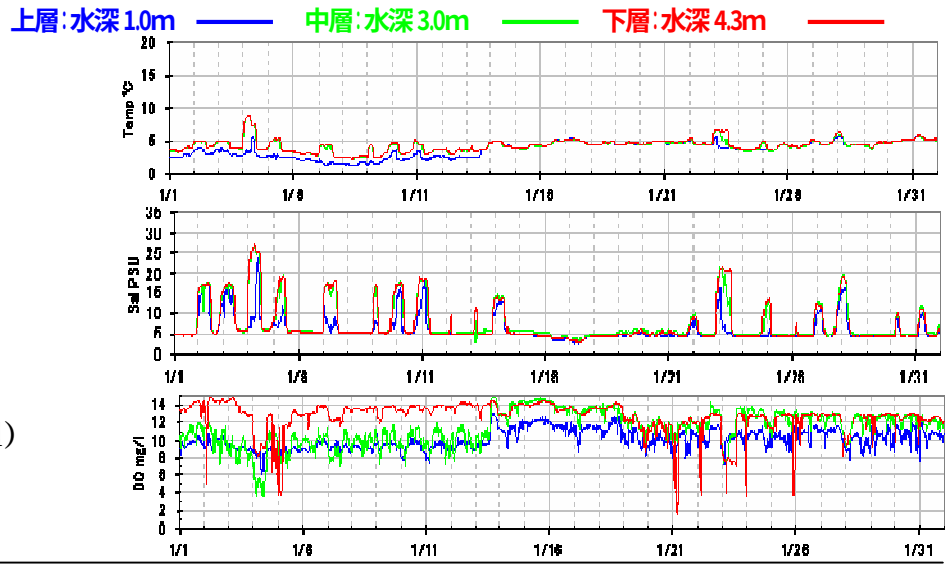
図 20　大橋川水質連続観測結果　2005 年 10 月～12 月

2006年1月

○ 水温 (℃)

○ 塩分 (PSU)

○ 溶存酸素 (mg/l)

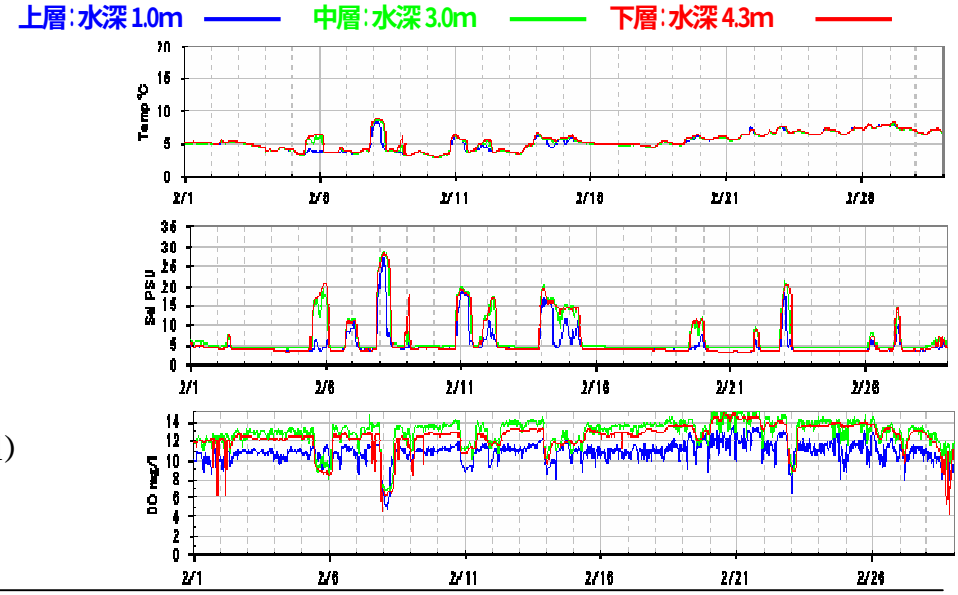


2006年2月

○水温 (℃)

○ 塩分 (PSU)

○ 溶存酸素 (mg/l)



2006年3月

○ 水温 (℃)

○ 塩分 (PSU)

○ 溶存酸素 (mg/l)

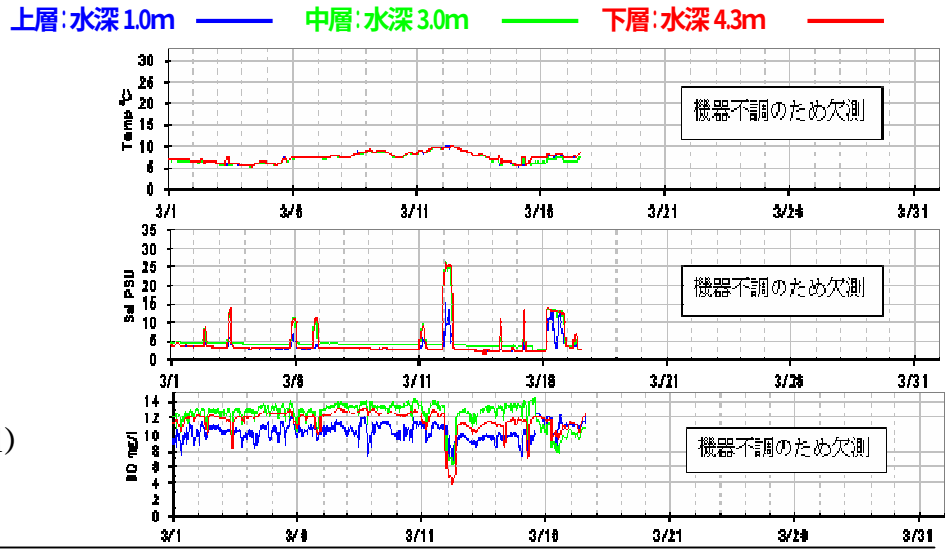


図21 大橋川水質連続観測結果 2006年1月～3月

4．研究成果

- 調査で得られた結果は、内水面漁業関係者等に報告するとともに宍道湖・中海水産資源維持再生構想の資料に使用された。
- 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.

2）島根県内水面水産試験場，日本ミクニヤ株式会社　平成12年度宍道湖・中海貧酸素水調査業務報告書 2000；39－44.