

宍道湖・中海貧酸素水調査

(宍道湖・中海水産資源維持再生事業)

山根恭道

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、4月から11月までは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。使用機器の故障により、12月からは新しい測定器を使用したため、表層から底層まで連続観測を行った。

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。

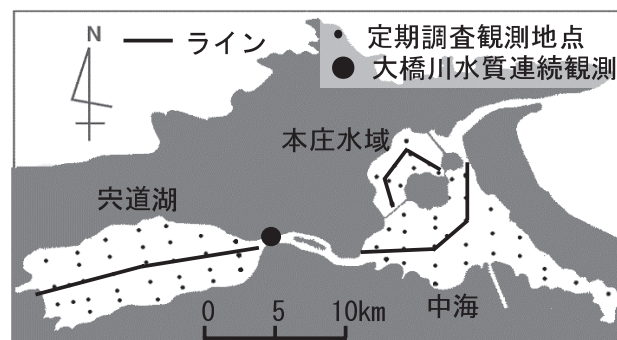


図1 宍道湖・中海貧酸素水調査地点

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。

(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またはDateSonde-5を、松江大橋直下の河川中

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

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水産技術センター内水面浅海部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: $HSI = \sum (Sh \cdot \Delta t) \dots$ (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、DO1.5mg/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

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

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）×（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

$F \Delta DO$ ：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

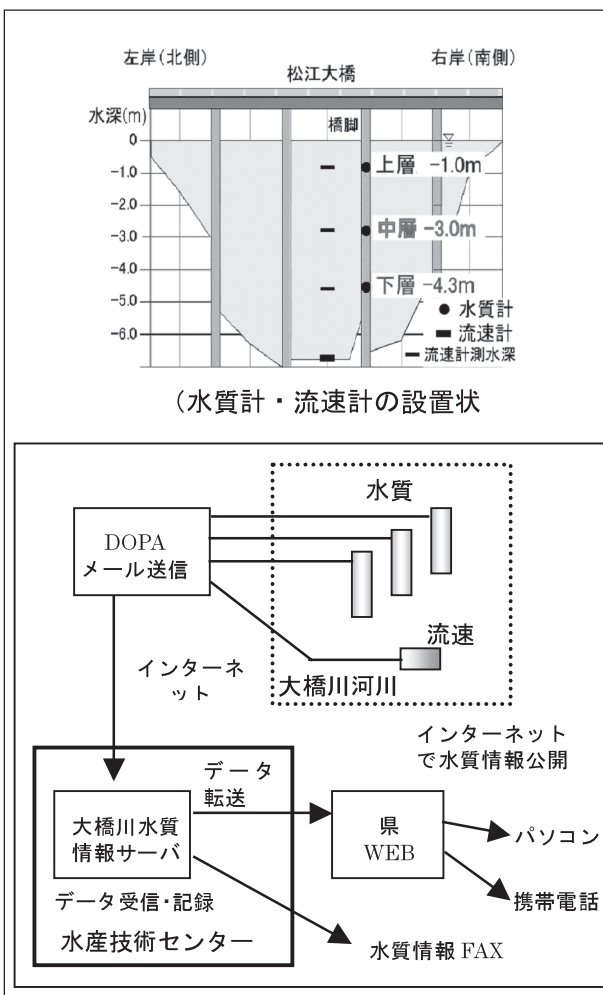


図2 大橋川水質情報システムの概要

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9～16）

毎月1回の調査船による観測結果から各水域の平成19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4.4～28.5℃の範囲で変動し、相対的にはほぼ過去3ヵ年並みで推移した。年間を通した平均水温（月平均の平

均)は16.1℃で、過去3カ年平均(16.6℃)並となった。

塩分 月別平均値は2.3~8.6psuの範囲で変動した。年度当初塩分濃度は5.2~8.6と宍道湖としては高い水準で推移したが、7月に降雨により低下し8~10月にかけて塩分濃度(Psu)は2.3~2.8と平年より低い濃度となった。しかし12月以降は過去3カ年平均を1.3~2.5Psu高い値となった。年間を通した平均値(月平均の平均)は5.2psuで、過去3カ年平均(3.7psu)よりも1.5psu高い値であった。

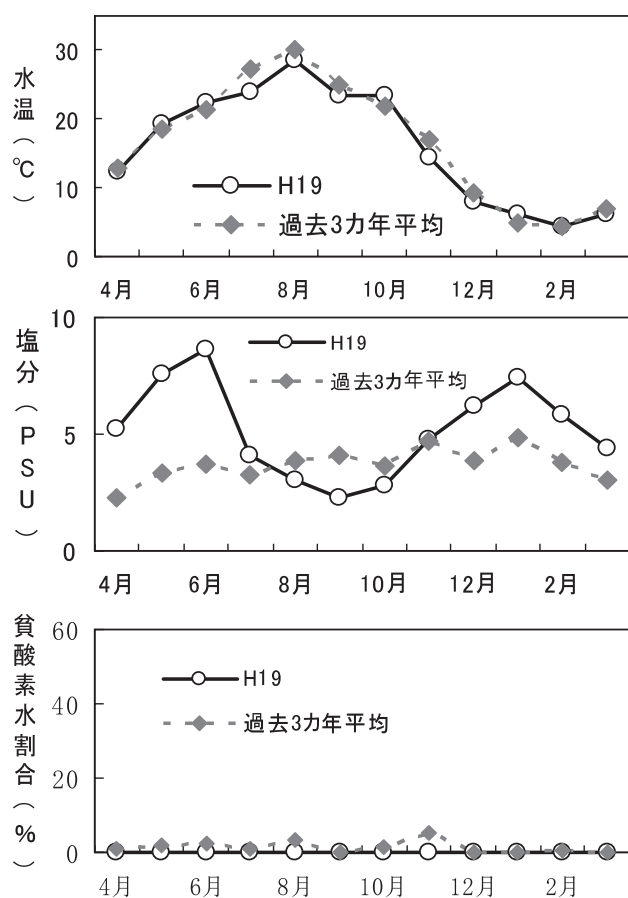


図3 宍道湖における表面水温、表面塩分濃度の平均、湖容積に占める貧酸素水(3mg/l)の体積割合の変化

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cm~数十cm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。過去3カ年の平均値では宍道湖の湖底面積の1.0%が貧酸素化する傾向にあるが、平成19年度は貧酸素水塊の形成は確認されず、年間を通した体積割合の平均値(月平均の平均)も0%であった。

B. 中海 (図4)

水温 月別平均値は6.6~29.7℃の範囲で変動し、7月に低く9月に高い値を示した以外は、ほぼ過去3カ年平均値と同程度であった。ちなみに過去3カ年平均よりも7月は4.7℃低く、9月は4.4℃高い値であった。

塩分 塩分濃度は11.8~24.2psuの範囲で変動した。7~8月は雨の影響により宍道湖からの河川水の流出が続いたため、11.8~14psuと低い値になったが、11~1月には逆に平年値より5.0~7.2psu高い値となった。それ以降は平年並みの濃度で推移した。年間を通した平均値は18.5psuで、過去3カ年平均(15.5psu)に比べ3.0psu高い値であった。

溶存酸素 中海は宍道湖に比べ水深が深く塩分濃度も高く、塩分躍層が形成されやすいため、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り、5月から11月にかけて割合が高くなることが多いが、平成19年度はこの間、過去3カ年平均よりかなり低めで推移した。年間を通した体積割合の平均値(月平均の平均)は4.0%で、過去3カ年の平均値(20.1%)に比べ、16.1%も低い値となった。

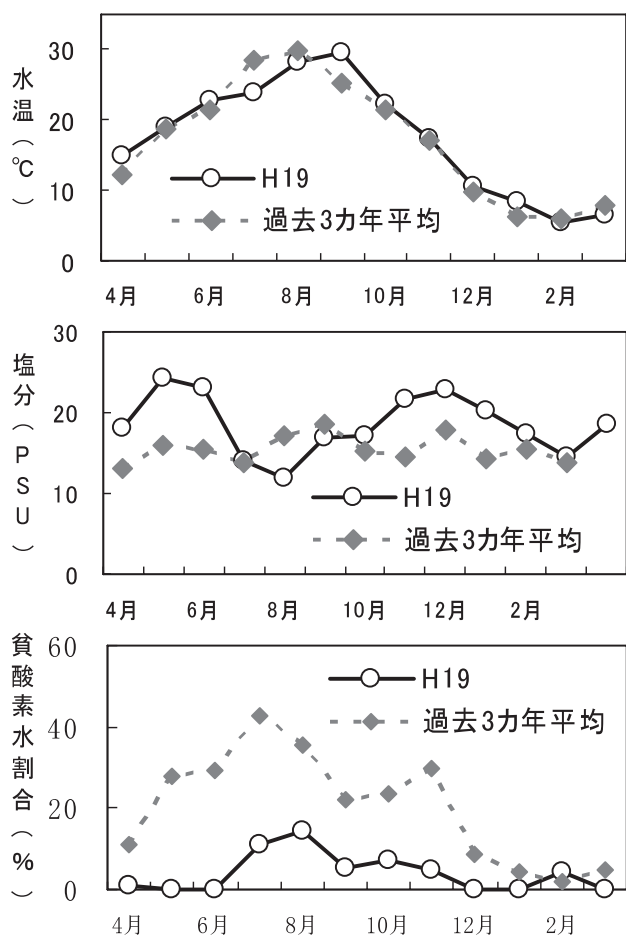


図4 地中海における表面水温、表面塩分濃度の平均、湖容積に占める貧酸素水(3 mg/l)の体積割合の変化

C. 本庄水域 (図5)

水温 月別平均値は5.4~30.1℃の範囲で変動し、ほぼ過去3カ年平均と同程度で推移した。年間を通した平均水温(月平均の平均)は17.7℃で、過去3カ年平均(17.5℃)並となった。

塩分 塩分濃度は12.4~24.2psuの範囲で変動した。雨の影響で7~9月は過去3カ年平均ほぼ同様な値であったが、11~2月には過去3カ年平均値を2.9~6.6psu上回った。年間を通した平均値は19.9psuで、過去3カ年平均(17.6psu)に比べ2.4psu高い値となった。

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、地中海のような明瞭な塩分躍層が形成されにくく、表層から底層までほぼ一様の濃度となることが多い。このため地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19

年度は年間を通してほとんど貧酸素状態は確認されなかった。年間を通した体積割合の平均値(月平均の平均)は0%で、過去3カ年の平均値(4.2%)を大きく下回った。

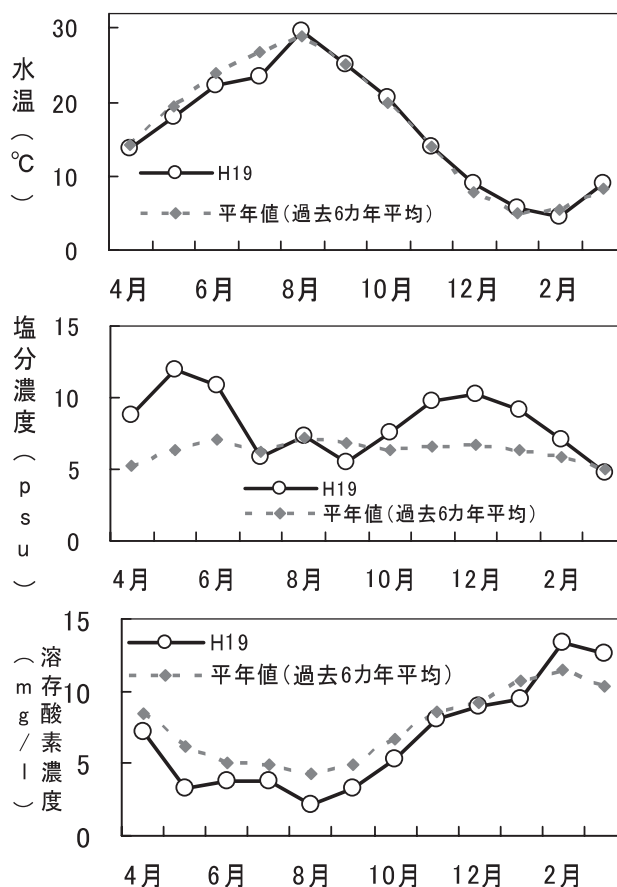


図5 本庄水域における表面水温、表面塩分濃度の平均、湖容積に占める貧酸素水(3 mg/l)の体積割合の変化

(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4.4~29.6℃の範囲で変動し、ほぼ平年並みで推移した。年間を通した平均水温(月平均の平均)は16.3℃で、平年(16.6℃)並となった。

塩分 4~6月まで平年値を上回り、7~6月には平年並みで推移したが、11~1月は再び平年よりも2.8~3.6psu高い値となった。年間を通した平均塩分(月平均の平均)は8.2psuで、

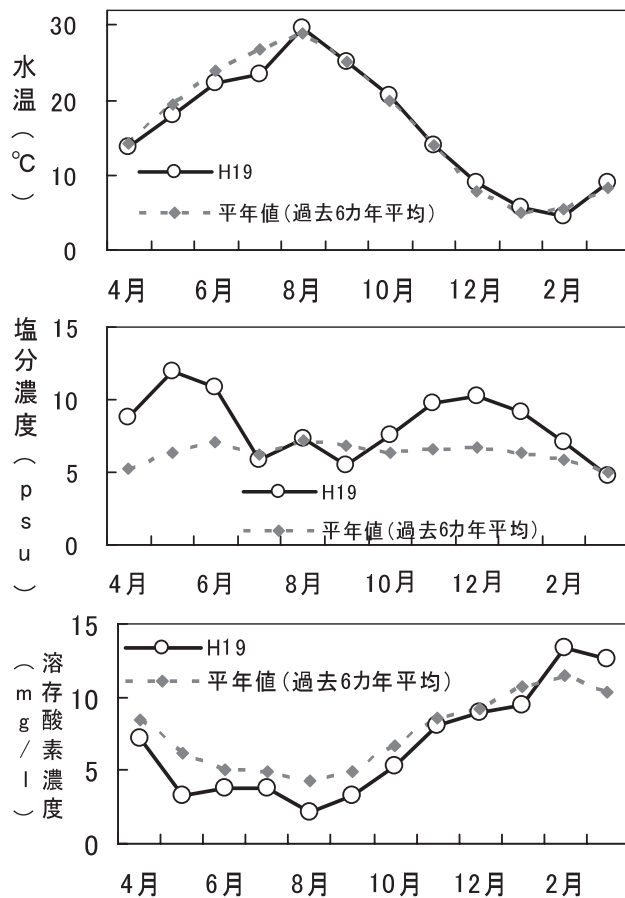


図6 大橋川における表面水温、表面塩分濃度、溶存酸素濃度の平均

平年（6.3psu）を大きく上回った。

溶存酸素 19年度は全体的に溶存酸素量が低く推移した。月別平均値は2.2～13.3mg/1の範囲で変動し、4月から翌年1月まで平年を下回り、2月から3月にかけて平年を上回った。

年間を通した平均溶存酸素濃度（月平均の平均）は6.8mg/1で、平年（7.5mg/1）よりも低くなった。

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9カ年平均と今年度を比較した（図7）。

平成19年度は過去9ヶ年平均に比べ全体的に低い値を示す月が多かったが、4～5月と10月に高く、特に5月と10月は平年を大きく上回った。

また、貧酸素化の度合いを示す溶存酸素欠損

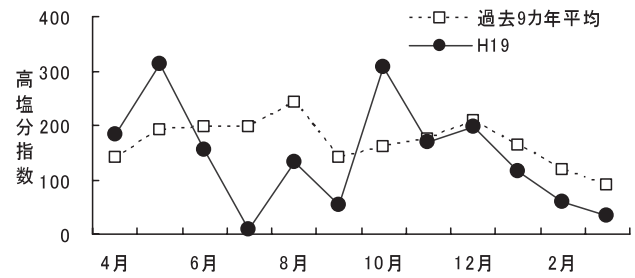


図7 大橋川における高塩分指数の変化

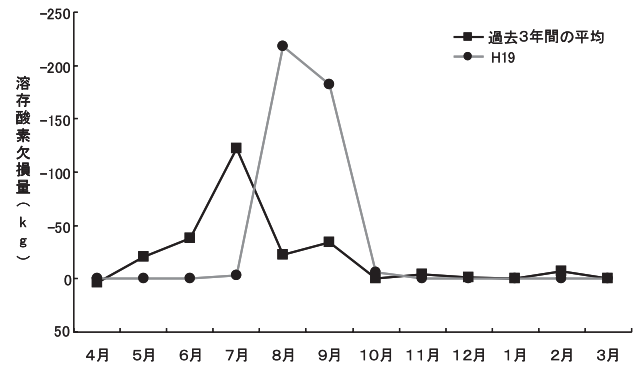


図8 大橋川における溶存酸素欠損量の変化

量は、8月、9月に過去3年間の平均値と比較し非常に高い値を示した（図8）。

(3) 魚介類のへい死など

今年度は、貧酸素化が直接の原因と思われる魚介類のへい死は確認できなかった。

4. 研究成果

- 調査で得られた結果は、宍道湖・中海水産資源維持再生事業検討会等を利用し、内水面漁業関係者等に報告した。
- 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.lg.jp/suigi/naisuimen/>) 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