

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の監視とメカニズムを解明して、湖底貧酸素化の軽減につなげるため、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 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 (D0) である。調査水深については、1m 間隔で測定を行った。

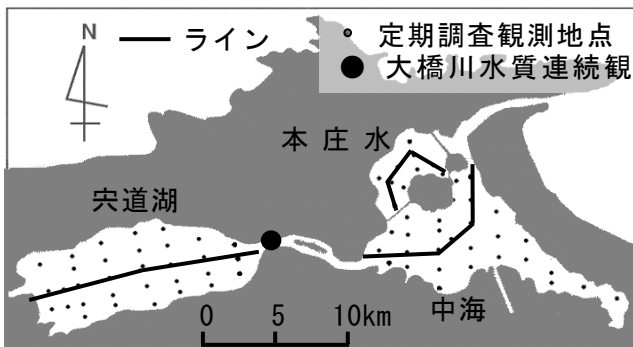


図 1 宍道湖・中海貧酸素水調査地点

調査結果から各水域の塩分・溶存酸素 (D0) 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 (D0) 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・D0 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域の貧酸素水 (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、4.3m 部分に Hydorolab 社製多項目水質計を、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。収集されたデータは、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

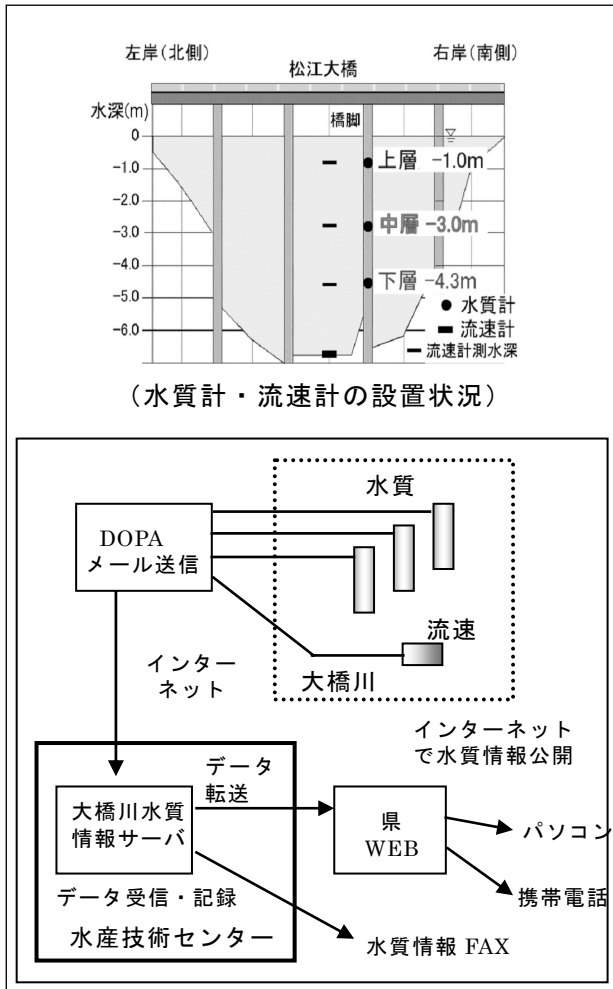


図2 大橋川水質情報システムの概要

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、高塩分水塊出現頻度を数値化した。数値化には独自の指標値として高塩分水出現指数 (HSI) 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 以上の海水は大橋川を通じて中海から宍道湖に流入するが、この中海から流入する 10PSU 以上の海水を「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 : $HSI = \sum (Sh \cdot \Delta t)$ (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 ($\Delta DO =$ 測定値 - 1.5mg/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) × (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 (添付資料 1~6) 参照

調査船による毎月 1 回の観測結果から各水域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。溶存酸素濃度偏差フラックスでは、DO 1.5mg/l をシジミの貧酸素耐性の境界と仮定したが、ここでは底生生物以外の魚類等にも影響がある 3mg/l (酸素濃度約 50%) 以下の溶存酸素濃度を「貧酸素水」とした。

A. 宍道湖 (図 3)

水温 今年度の月別平均値は過去 3 カ年よりも 1~2℃高い 5.3~31.5℃の範囲で変動した。年間を通した平均水温 (月平均の平均) は 16.3℃で、過去 3 カ年平均値と同じであった。

塩分 月別平均値は 1.9~6.8psu の範囲で変動した。年度当初~7 月までの塩分濃度は 1.9~3.3 と低い水準で推移したが、8~12 月にかけて塩分濃度 (PSU) は 4.7~6.8 と平年 (2.7~5.3) より高い濃度となった。年間を通した平均値 (月平均の平均) は 4.3psu で、過去 3 カ年平均

均 (4.2psu) とほぼ同じ値であった。

溶存酸素 宍道湖において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、今年度は貧酸素水塊の形成は 8 月に湖底面積の 2.1%の貧酸素化が確認された。年間を通した貧酸素も 8 月の発生だけであった。

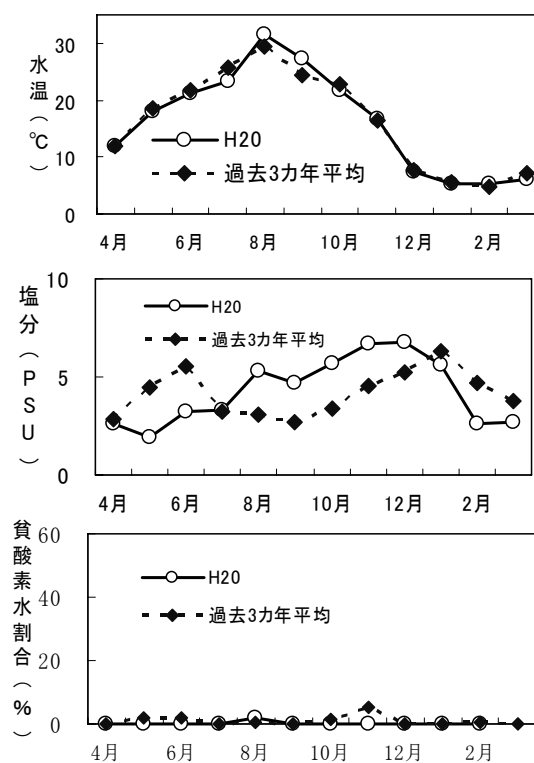


図 3 宍道湖における表面水温、表面塩分濃度の平均、湖容積に占める貧酸素水 (3mg/l) の体積割合の変化

B. 中海 (図 4)

水温 月別平均値は 5.5~31.7℃の範囲で変動し、8 月に最も高く近年では最高の 31.7℃と高い値を示した。それ以外は、ほぼ過去 3 カ年平均値と同程度であった。

塩分 塩分濃度は 6.8~22.3psu の範囲で変動

した。7月に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、11.1psu と低い値になったが、8月には猛暑となり 21.8psu と高い値となった。8月以降平年並みであったが、1月に山間部で近年にない大雪となったことから雪解け水により2月 6.8psu と低い値になった。年間を通した平均値は 15.9psu で、過去3カ年平均 (16.6psu) に比べやや低い値であった。溶存酸素 中海は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。今年度は6月から9月にかけて湖底の貧酸素化が見られたが、過去3カ年平均よりも低めで推移した。年間を通した体積割合の平均値は 4.6% で、過去3カ年の平均値 (15.8%) に比べ、11.9%も

低い値となった。

C. 本庄水域 (図5)

水温 月別平均値は 6.1~31.8℃の範囲で変動し、最高水温は近年で最も高い値であった。年間を通した平均水温は 17.4℃で、過去3カ年平均 (17.5℃) 並となった。

塩分 塩分濃度は 15.3~24.1psu の範囲で変動した。雨の影響で7月と2月はやや低い値であったが、中海ほどの塩分低下は確認されなかった。これは本庄水域は大きな流入河川も無く、閉鎖性が高いことが伺える。年間を通した平均値は 19.5psu で、過去3カ年平均 (18.3psu) に比べ1.2psu 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、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

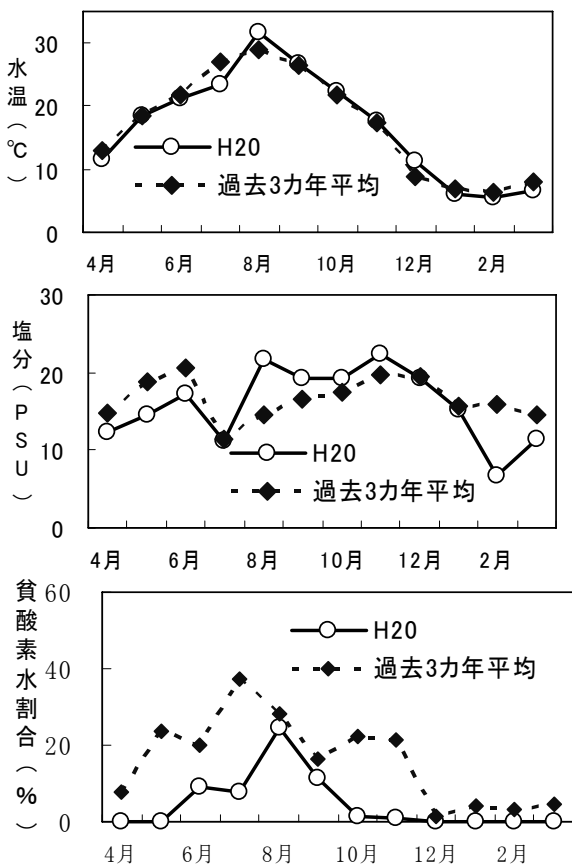


図4 中海における表面水温、表面塩分濃度の平均、湖容積に占める貧酸素水(3mg/l)の体積割合の変化

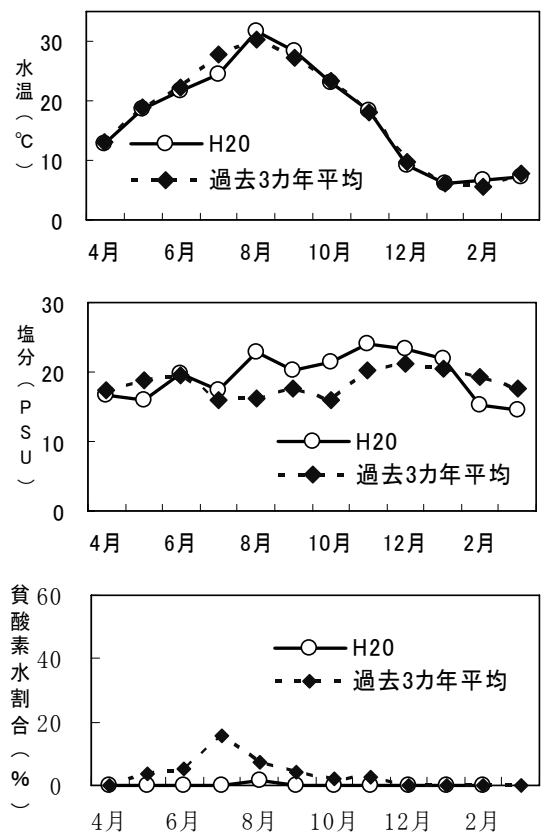


図5 本庄水域における表面水温、表面塩分濃度の平均、湖容積に占める貧酸素水(3mg/l)の体積割合の変化

濃度となることが多い。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。今年度は8月1.6%9月0.2%の湖底の貧酸素状態が確認された。年間を通した体積割合の平均値は0.2%で、過去3カ年の平均値(3.4%)を下回った。

(2) 大橋川水質連続観測 (図6)

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4.0~29.0℃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17.0℃で、平年(16.5℃)より0.5℃高い結果であった。今年度は7月から平均水温28℃と平成19年より5℃平成18年より3℃も高い状況であった。このことから最高水温は平年並みであるが、高水温期の長期化が伺える。

塩分 7~12月にかけて平年よりも塩分濃度が

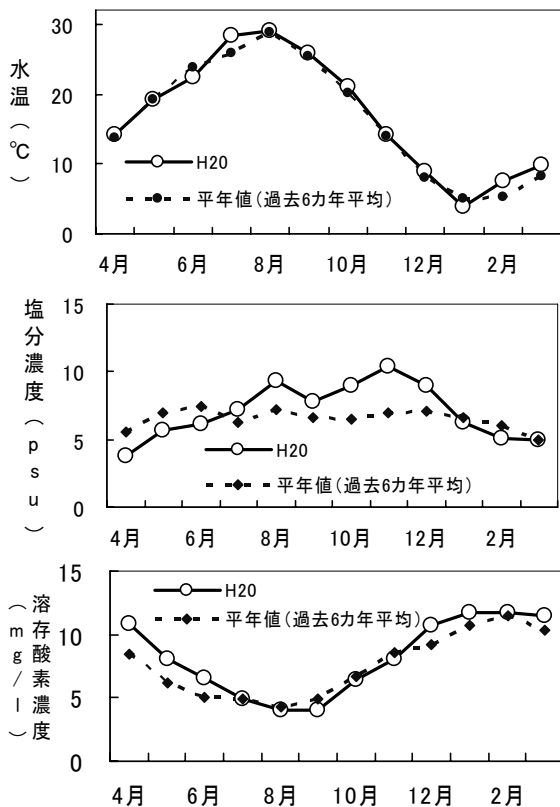


図6 大橋川における表面水温、表面塩分濃度、溶存酸素濃度の平均

高く、恒常的に中海から高塩分水が宍道湖へ流入していたことが解る。年間を通した平均塩分は7.1psuで、平年(6.6psu)をやや上回った。溶存酸素 今年度は全体的に溶存酸素量が高く

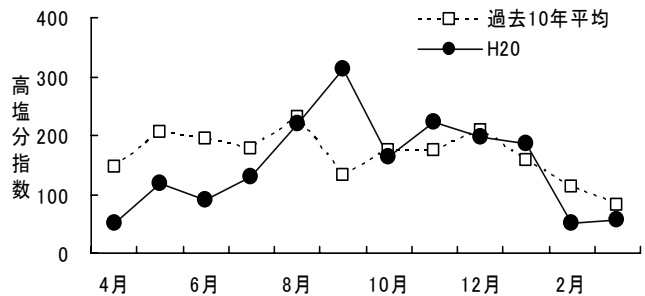


図7 大橋川における高塩分指数の変化

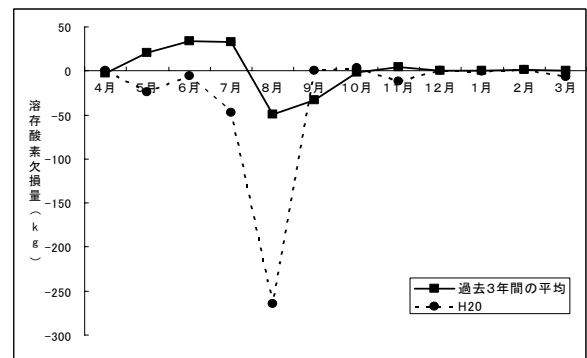


図8 大橋川における溶存酸素欠損量の変化

推移した。月別平均値は4.0~11.7mg/lの範囲で変動し、9月に平年をやや下回ったが、それ以外はほぼ平年並みかそれ以上であった。

年間を通した平均溶存酸素濃度は8.2mg/lで、平年(7.5mg/l)よりも高くなった。

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)。今年度は過去9ヶ年平均に比べ7月まで低く、9月から1月まで高めに推移した。特に9月は9年平均の約2倍の値を示した。

また、貧酸素化の度合いを示す溶存酸素欠損量は、8月、9月に過去3年間の平均値と比較し全体的に低い値を示し、特に8月が顕著であった(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。
- 調査結果は島根県水産技術センターのホームページ
(<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