

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)

向井哲也・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（DO）である。調査水深は、宍道湖・本庄水域については 0.5m 間隔、中海については 1m 間隔で測定を行った。

調査結果から各水域の塩分・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 Hydrolab 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

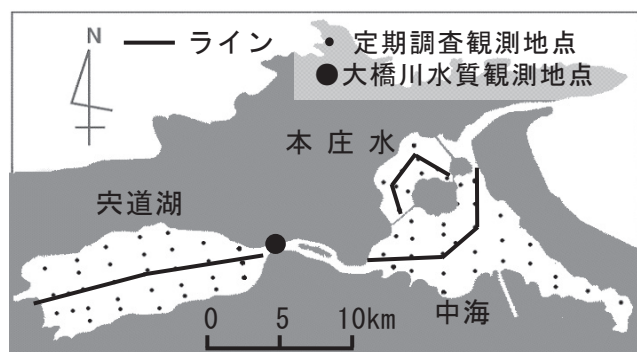


図 1 宍道湖・中海貧酸素水調査地点

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)。

$$HSI = \sum (Sh \cdot \Delta t) \dots (式 1)$$

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、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

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

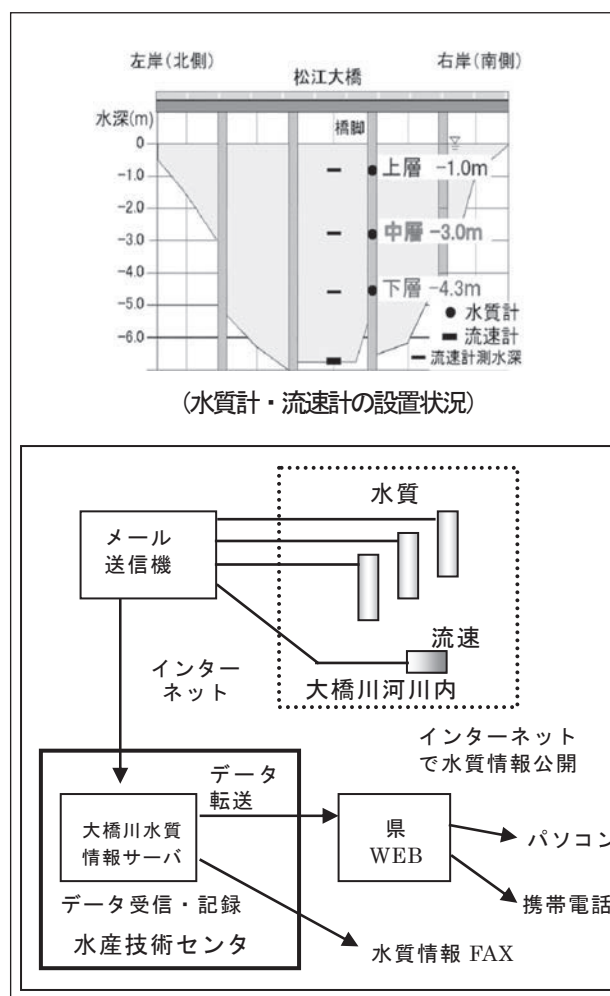
また、大橋川断面を上層・中層・下層の 3 層に分け、各層の流量を(各層部断面積: S) × (各層部東方流速: V_n) として求め、各層の溶存酸素偏差フラックス $F_{\Delta DO}$ を ($F_{\Delta DO} = \sum (\Delta S) \times \text{各層部 } V_n \times (\Delta DO)$) として算出し、最終的に各層の値を合計して溶存酸素偏差フラックスとした。

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

$F_{\Delta DO}$: 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

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。

① 全般

いずれの水域も、水温・塩分については全般的にはほぼ平年並であったが、7月に降水が多かったため各水域共に平年より夏季の水温・表層の塩分はやや低めとなった。また本庄水域では6月以降、底層の塩分が高くなった(詳細は後述)。

貧酸素化の指標値である貧酸素水体積割合は、宍道湖・中海はほぼ平年並であったが、

本庄水域については平年よりかなり高めであった。(図2)

② 各水域の状況

各水域の貧酸素化の状況を図にしたものを添付資料1~4に示した。毎月の水質データは添付資料6に収録した。また、各水域の毎月の水温・塩分・溶存酸素を平年値と比較したグラフを図3~図5に示した。

A. 宍道湖 (図3)

宍道湖では、貧酸素化の度合いは平年よりやや少なめであった。5~12月に湖底の貧酸素化は見られたが、貧酸素化は湖底から数十センチの範囲に限られ、その体積は湖容積の3%未満であった。

B. 中海 (図4)

中海では、貧酸素化の度合いは平年並かやや高めであった。概ね水深4m付近に塩分躍層が形成され、5~12月にかけては躍層より下の部分が貧酸素化していた。貧酸素水の体積は7~9月の平均値で湖容積の32%に達した。7月中旬には中海西部の沿岸で貧酸素水の這い上がりが見られる魚類のへい死が起こった。(「(3)魚介類のへい死など」を参照)。

C. 本庄水域 (図5)

本庄水域では森山堤防が幅60mにわたり開削され、平成21年5月から通水が開始された(図8)。そのため平成21年6月以降は境水道から海水が底層に流入し、概ね水深5m以深は高塩分の状態となった。これにより本庄水域では堤防開削前に比較して明瞭な塩分躍層が形成されるようになった(図9)。

下層の高塩分水の層は夏季の高水温時には極度に貧酸素化し、貧酸素水の体積割合は7~9月平均で湖容積の22%となり、平年を大きく上回る値となった(図5)。

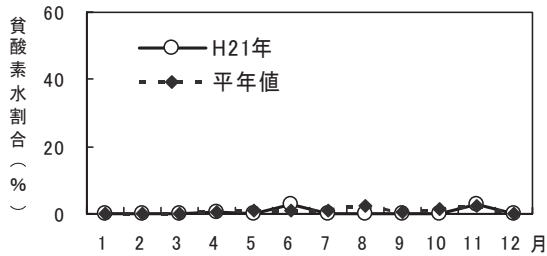
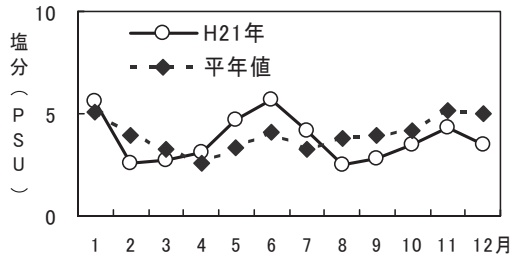
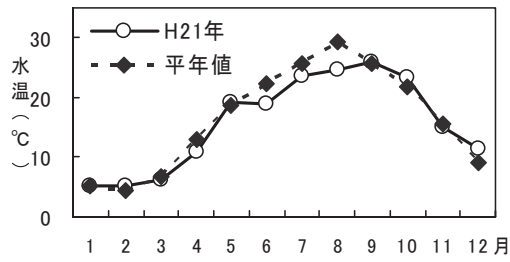


図 3 宍道湖における表面水温、表層塩分、湖容積に占める貧酸素水体積割合の変化

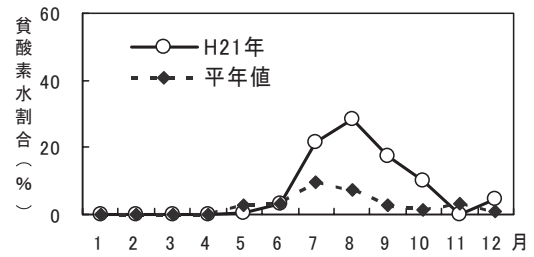
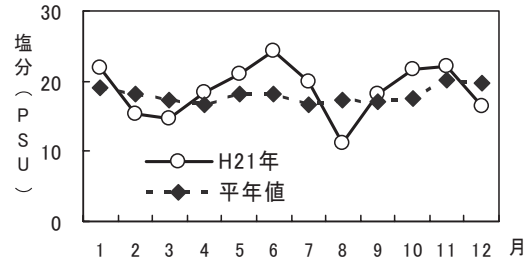
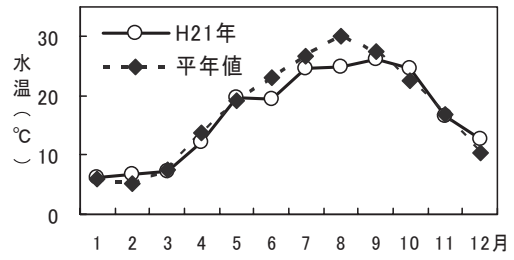


図 5 本庄水域における表面水温、表層塩分、湖容積に占める貧酸素水体積割合の変化

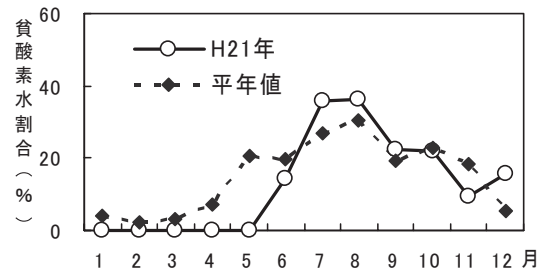
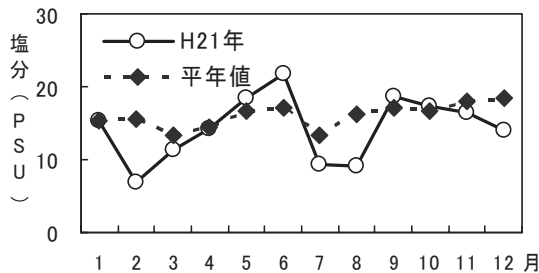
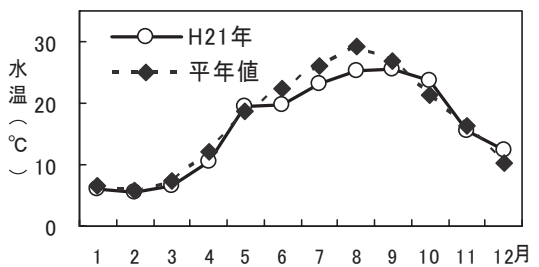


図 4 中海における表面水温、表層塩分、湖容積に占める貧酸素水の体積割合の変化

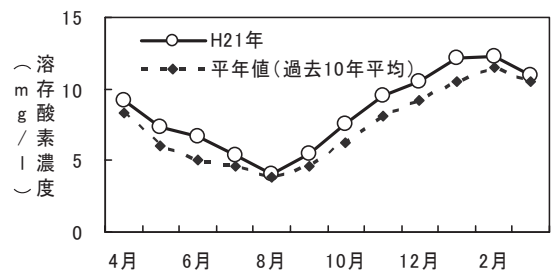
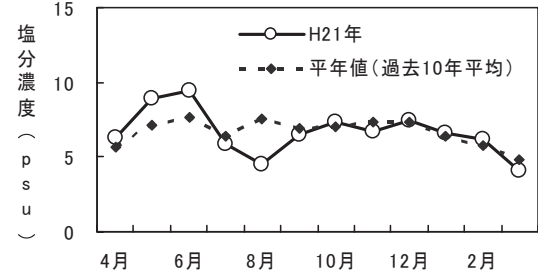
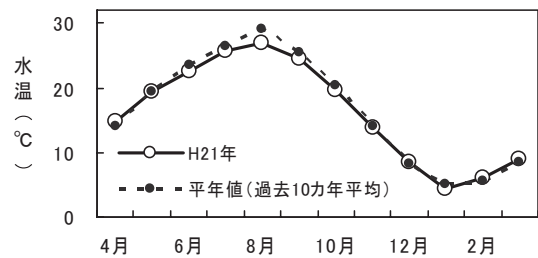


図 6 大橋川における表面水温、表面塩分濃度、溶存酸素濃度の平均

本庄水域においては、堤防開削部からの海水流入により塩分躍層が形成されたことで、下層の貧酸素化が促進された可能性がある。ただし、堤防開削部付近は流入海水の影響で底層でも溶存酸素が他の地点より多い傾向があり、また全体的にも11月以降は貧酸素状態が解消される状態も見られた。今後本庄水域の水質がどのような状態で安定するかはさらに長期的に見て判断する必要がある。

(2) 大橋川水質連続観測

月平均値の季節変化

図6に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。また、毎月の水質の詳細なグラフは添付資料7に収録した。水温：月別平均値は4.0~24.6℃の範囲で変動し、今年度は6月~10月の平均水温が平年より約1~2℃低い状況であった。低水温の原因は降雨が多かったことと夏季に晴天日が少なかったことによると考えられる。

塩分：平成21年度は7~8月にかけて平年よりも塩分濃度が低く、特に7月は上層・中層・下層いずれも塩分が低く、平年より3~5PSU低かった。年間を通した平均塩分は8.0psuで、平年(8.1psu)並であった。大橋川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は、平成21年度は、7,8月には降雨が多かった関係で高塩分指数が平年よりかなり低かったが、それ以外の月はほぼ平年並で推移した(図10)。

溶存酸素：年間を通した平均溶存酸素濃度は8.0mg/lで平年(7.2mg/l)よりやや高かった。溶存酸素欠損量は、7月に平年値(過去6年平均)より顕著に低い値を示し、貧酸素化の度合いがかなり高かった(図11)。同時期に中海の貧酸素化が平年よりかなり進行したことが原因と考えられる(降雨が多かったため、中海からの流入量は多くないものの、流入水の貧酸素化の程度が高かった)。

(3) 魚介類のへい死など(図12~14)

平成21年7月14日に中海西部の松江市大井町の沿岸で、ハゼ類を中心として数千尾単

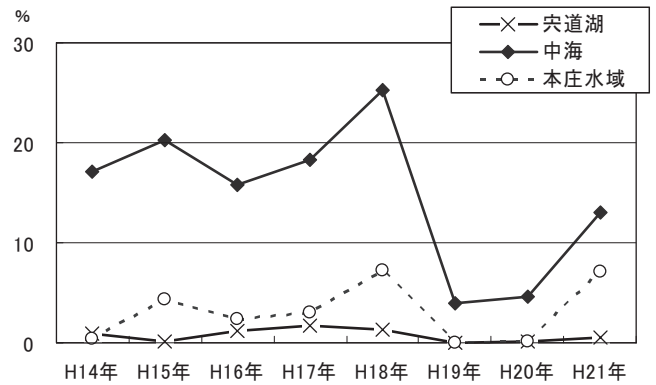


図7 各水域の貧酸素水容積割合の推移 (年間平均値)

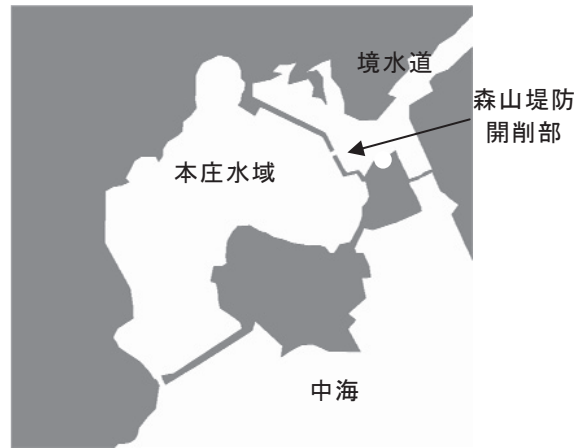


図8 中海本庄水域の堤防開削部 (平成21年5月通水)

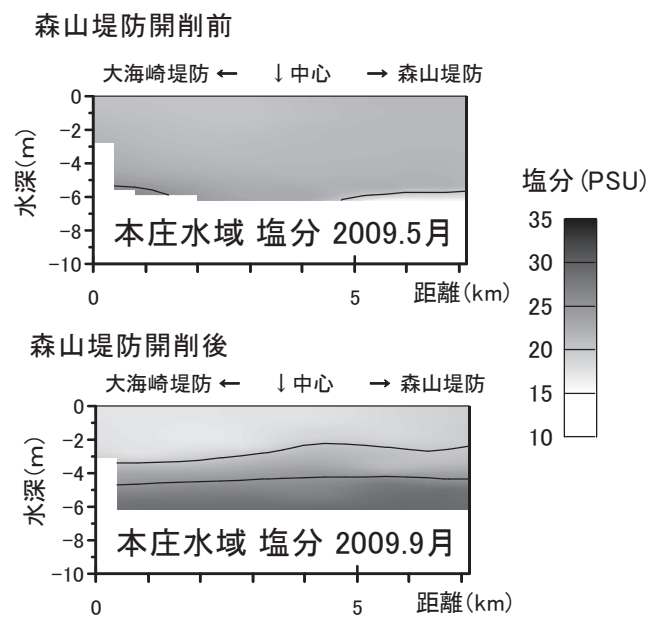


図9 森山堤防開削前後の本庄水域の塩分の鉛直分布の変化

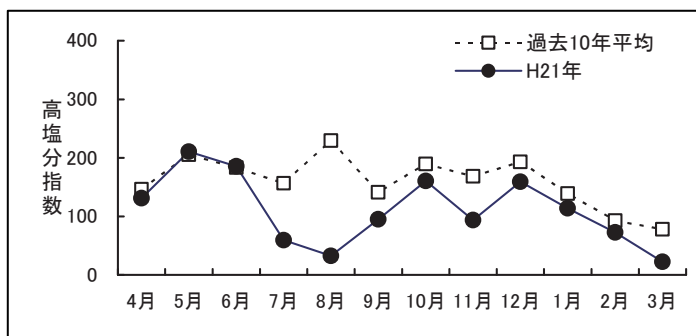


図 10 大橋川における高塩分指数の変化

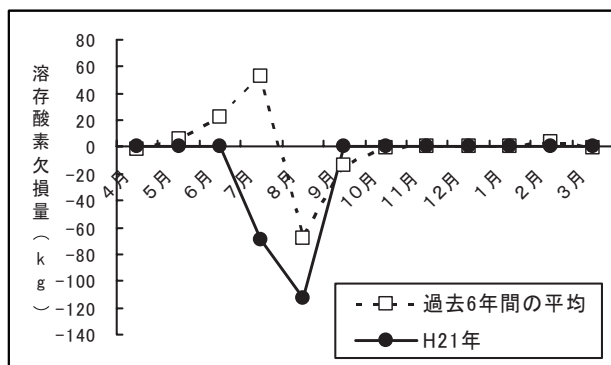


図 11 大橋川における溶存酸素欠損量の変化

位で魚類が死亡しているのが確認された。住民からの聞き取りからへい死は7月13日の夕方から夜にかけて起こったことが分かった。

死亡していた魚は全長7~12cm程度のマハゼがほとんどで、その他チチブ・コチ・コノシロ・スズキ・セイゴ・ボラ等も見られた。

当時、中海の下層はかなり貧酸素化していたこと、7月13日に強い西風が連続して吹いたこと、7月13日夜に大橋川に中海からの多量の貧酸素水流入があったこと（大橋川水質計の記録）等から、中海下層の貧酸素水が「這い上がり」により中海西岸に押し寄せたことにより、逃避できなくなった魚類が酸欠死したものと推定された。

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の場で内水面漁業関係者等に報告した。
- 調査を継続実施することにより、宍道湖・中海の長期的な環境変化を定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や FAX 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

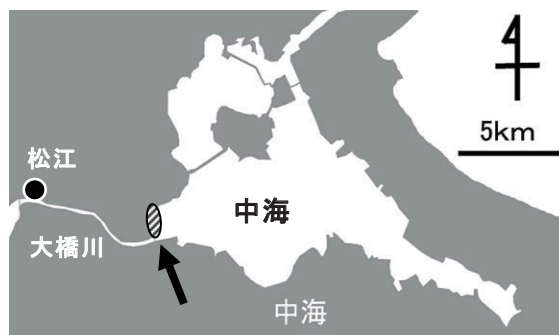


図 12 魚類のへい死があった水域



図 13 数百尾以上がへい死したマハゼ



図 14 護岸近くで死亡していた魚類
コノシロ、セイゴ、マハゼ、チチブ