

# 宍道湖におけるコノシロの大量斃死と 貧酸素水塊との関連性について

美見昭光<sup>1</sup>

## Correlation of massive die-off events of *Konosirus punctatus* with low oxygen levels in Lake Shinji

Terumitus Miimi<sup>1</sup>

**Abstract:** Since 1996 massive die-off events of *Konosirus punctatus*, Gizzard shad, have occurred in June, during the final stage of their spawning period in Lake Shinji, the uppermost part of a brackish lake system. This phenomenon occurred every year from 1996 through 2004, with the exception of 2003. The maximum number of dead fish was 250,000 in 2000.

In order to understand whether the poor oxygen water in the lower layers of the water of Lake Shinji was associated with these fish-kills, the writer analyzed dissolved oxygen (DO) content of deep lake water around the time when the dead fish were gathered. The results were as follows; first, in seven cases out of eight, each year's collection of dead fish began from two to six days after oxygen-poor water was documented in Lake Shinji of the lower layers. Second, the correlation coefficient between the total hours of oxygen-poor conditions leading up to and during the fish-kill event and the total number of the dead fish gathered was 0.74.

These results suggest that oxygen-poor conditions in Lake Shinji of the lower layers was causally associated with the dying off of Gizzard fish. However, this conclusion remains tentative until proof has been obtained that gizzard fish were affected by exposure to oxygen-poor water during their spawning period.

### はじめに

島根県に位置する斐伊川水系の水は、宍道湖 (79.1km<sup>2</sup>) と中海 (86.2km<sup>2</sup>) という 2 つの汽水湖を経て日本海に流入している。

1996 年以來ほぼ 10 年間、宍道湖では殆ど毎年 5 月下旬から 7 月はじめにかけて、コノシロの大量斃死が発生している。この間に回収されたコノシロの斃死個体数は、多い年には 25 万尾強に達している。

魚類の大量斃死には、風によって表層水が風下に吹き寄せられる時、逆方向の浅場に貧酸素水塊が湧昇する「アオ潮」とか「スミ潮」と呼ばれている現象が関与することがある (石飛, 2001)。これは宍道湖でも発生している。しかし、コノシロが大量斃死する

時期には、そのような現象が発生していたという報告は見られない。

また、宍道湖の下層・底層における貧酸素水塊の形成は、5 月から 7 月に限らず、冬場でさえ起こることがあるが、上記の「アオ潮」や 5 月から 7 月以外の時期にコノシロの大量斃死は報告されていない。コノシロは敏捷で貧酸素水塊を避けて遊泳できる魚でもあり、貧酸素水塊が 5 月から 7 月の大量斃死に関わっているとは、普通には考えにくい。

しかしながら、筆者は宍道湖の溶存酸素 (dissolved oxygen 以後 DO と略す) の観測値を調べていた過程で、宍道湖下層の貧酸素水塊が産卵期のコノシロの大量斃死に関与しているのではないかとの疑問を抱いた。

<sup>1</sup> 島根県安来市広瀬町下山佐 108-23 Hirose-cho 108-23, Yasugi-si 692-0412, Japan

さらに、1996年以後美保湾で、コノシロの生息量の増加が見られ、境水道・中海・大橋川を経て宍道湖にもコノシロが大量に遡上するようになった事がコノシロの大量斃死の背景にあるとされている(石田・大北, 2003)。しかし大量斃死の直接の原因はまだ明かにされていない。そこで、本研究では宍道湖でのコノシロの大量斃死に、貧酸素水塊が関与していた可能性の有無について考察する事とした。

## 観測データの収集と解析方法

### (1) 観測データの収集

1) 宍道湖湖心には国土交通省所管の水質観測所(北緯 35° 26' 50", 東経 132° 57' 46")があり、時間毎に水温・塩分・pH・DO量を下記5段階の水深で自動観測している。

観測水深： 標準水面 TP+0.2 m  
 表層……水深 0.5 m=TP-0.3 m  
 上層……水深 1.0 m=TP-0.8 m  
 中層……水深 3.0 m=TP-2.8 m  
 下層……湖底上 0.6 m=TP-4.76 m  
 底層……湖底上 0.3 m=TP-5.06 m

コノシロが大量に斃死する現象について宍道湖に発生する貧酸素水塊が関与しているかどうかを考えると、宍道湖で問題になるのは中海からの高塩分水塊の流入によって塩分躍層が形成され、貧酸素化するのは下層・底層である。その際 10万尾以上という大規模な斃死に対して底層の貧酸素水塊では量が少な過ぎて対応しきれないと思われる。一方、地図をもとに計算した結果、水深 5 mでの断面積は湖面の面積の 46%に達しており、広がり大きさからすれば大量斃死への関与を可能にすることもありえる。そのため、本研究では湖心の水質観測所における下層の DO量だけを使用させていただいた。また下層で観測された DO量が貧酸素状態の値を示す時は下層の観測点付近に塩分躍層があり、それ以深の水域はほぼ貧酸素水塊で充たされている。

なおここでは貧酸素状態とは、ベントスの生命が危うくなる DO3 mg/l未満(柳, 1989)と定義する。

### 2) コノシロの斃死データ

宍道湖でのコノシロの大量斃死時のデータは、国土交通省出雲河川事務所及び宍道湖漁業協同組合から提供して頂き、1996年から2004年の9年間について毎年、①コノシロの斃死個体の発見月日、②コノシロの斃死個体回収期間、③斃死個体の回収尾数

という3要素を資料として使用した。

### 3) 解析方法

宍道湖下層の貧酸素水塊とコノシロの大量斃死との関連について、3つの側面から解析を行った。

その1つは、水中で死んだ魚は何日か経って腐蝕して浮上し、また何日か経って沈降する。この特徴的な動きに貧酸素水塊の関与が認められるかどうかを資料やデータから考察した。次にコノシロの年間の斃死個体数と斃死期間の貧酸素状態の総時間数の相関係数を算出し、これを基に貧酸素水塊の大量斃死への関与を考察した。相関係数を求めるために用いたのは2変数間の相関関係を表す指標としてよく用いられる次式で、ピアソンの積率相関係数である。

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2\}^{1/2}} \quad \dots\dots (1)$$

さらに、DOの量の違いと斃死個体数に関連性は見られないかを検討した。

## 結果と考察

### (1) 大量斃死の実態と斃死個体回収前後の宍道湖下層の貧酸素水塊発生状況の対応

大量斃死の実態と斃死個体回収前後の宍道湖下層の貧酸素水塊発生状況の対応について表1にまとめた。

1) 宍道湖におけるコノシロの大量斃死が起こる時期  
 コノシロの斃死個体回収の期間は年によって異なる(表1)。1996年から2004年までを通じて、一番早い始まりは5月22日、一番遅い終了は7月12日である。これと宍道湖のコノシロが4月から6月にかけて産卵すること(石田・大北, 2003; 石飛ほか, 2005)を合わせ考えると、コノシロの大量斃死は、宍道湖のコノシロの産卵末期と重なっていることになる。このタイミングからコノシロの大量斃死は産卵後の疲弊によるものではないかとも考えられる。しかし、コノシロの大量斃死が見られない年もあることから、これだけが原因であるとは考えにくい。

### 2) 水中での死魚の浮上と沈降

水中で死亡した魚類は、一旦湖底に沈降してから浮上する。死んでから浮上までの日数は水温によって異なるが、宍道湖のコノシロの場合、死亡から浮

表 1. コノシロ大量斃死の資料と貧酸素水塊の資料の対応。  
(観測値は1時間持続すると仮定して時間数を算出した)

**Table 1.** Dead gizzard fish collection numbers and duration of oxygen-poor water conditions.  
(Each observation of low oxygen content was counted having lasted for one hour.)

西暦年		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
コノシロの	発見日	5/31	6/9			6/15				
大量斃死個体	回収	6/2~	6/11~	5/22~	6/4~	6/16~	6/28~	6/12~		6/1~
発見日と回収期間	期間	7/1	7/3	6/11	6/24	7/12	7/4	7/1		6/24
国交省回収尾数		160000	210794	9870	170015	225304	2950	16219		75038
宍道湖漁協回収尾数			24000			27000				
総回収尾数		160000	234794	9870	170015	252304	2950	16219	0	75038
斃死個体発見日前から	期間	5/29~	6/5~	5/20~	6/2~	6/9~	6/23~	6/7~		6/7~
回収中の下層の貧酸素化期間と総時間数	総時間	6/15	6/29	5/29	6/17	7/11	6/26	6/24		6/21
下層 DO の低下から斃死発見までの日数		302	310	50	150	359	38	276		132
		2日	4日	2日	2日	6日	5日	5日		-6

上まで、4月・5月であれば2日~3日、6月であれば1日~2日、また浮上したコノシロが再び沈降するまでの期間は、4月・5月では23日~24日、6月では8日~10日とされている(石田・大北, 2003)。

宍道湖における今回の検討結果では、8例中7例で斃死個体の発見又は回収初日より2日~6日前に宍道湖下層で継続的に貧酸素水塊が発生している(表1)。この日数の差は、下層以深の水域の産卵魚が貧酸素水塊に巻き込まれて大量に死に、浮上して発見されたという状況を示唆している。

また、斃死個体の回収は貧酸素状態解消後3日~16日後まで続いている。これは浮上したコノシロが沈降するまでの日数を考えると、仮に貧酸素水塊でコノシロが斃死して浮上した場合を想定しても起こり得る範囲内のことである。

## (2) 相関係数

コノシロの大量斃死と宍道湖下層の貧酸素状態との関連を評価するため、その双方を変数とした相関係数を求めた。宍道湖下層の貧酸素状態を評価するための変数は、斃死個体発見の数日前から斃死個体回収中の貧酸素状態の総時間数とした(表1)。もしコノシロ遊泳水域の貧酸素状態がコノシロに影響を与えるとすれば、この時間数が多いほど影響は大きいと考えられる。一方、斃死個体数については、実数を求めることは不可能であるため、実数を反映している近似値として斃死個体回収数を用いた。計算の結果、相関係数は  $r_{xy}=0.74$  であり、2つの変数間に相関性があることを示す値となった。

## (3) 溶存酸素量の時系列グラフと斃死個体回収尾数の対応

これまでの議論では宍道湖下層に発生した貧酸素状態の総時間数でその影響力の強弱を考えてきたが、同じ貧酸素状態でも DO 量が 3mg/l から 0mg/l に近いものまで変化している(図1, 2)。斃死個体回収数が10万尾以上に達した1996年、97年、99年、2000年、2002年では0mg/lに近いDO量を示す状態が斃死個体回収期間中に集中して起こっている。これに対して斃死個体回収数が1万尾以下の1998年、2001年ではDO量が2mg/l以下であった時間帯は極めて少ない。また、回収のなかった2003年ではDO2mg/l以下を示した時間数は、この年の6月25日から7月15日の期間で32時間に過ぎなかった。

このような状況は、コノシロの産卵魚の大量斃死に宍道湖下層以深の貧酸素水塊が関与した可能性を示唆している。

## ま と め

- 1) 宍道湖下層では5月下旬から7月上旬にかけて貧酸素水塊の形成がしばしば見られる。ほとんどの実例で斃死個体の発見は、貧酸素状態の形成から2日~6日後であり、斃死個体回収中に下層で継続的な貧酸素状態が観測された。
- 2) 斃死個体回収尾数と、回収直前数日及び回収中の貧酸素状態の時間の累計との間の相関係数は、0.74という値であり、かなり高い相関性を示すことが明らかとなった。
- 3) 斃死個体の回収尾数が10万尾以上に達する年は、宍道湖下層のDO量が継続的に0mg/lに近い観測値

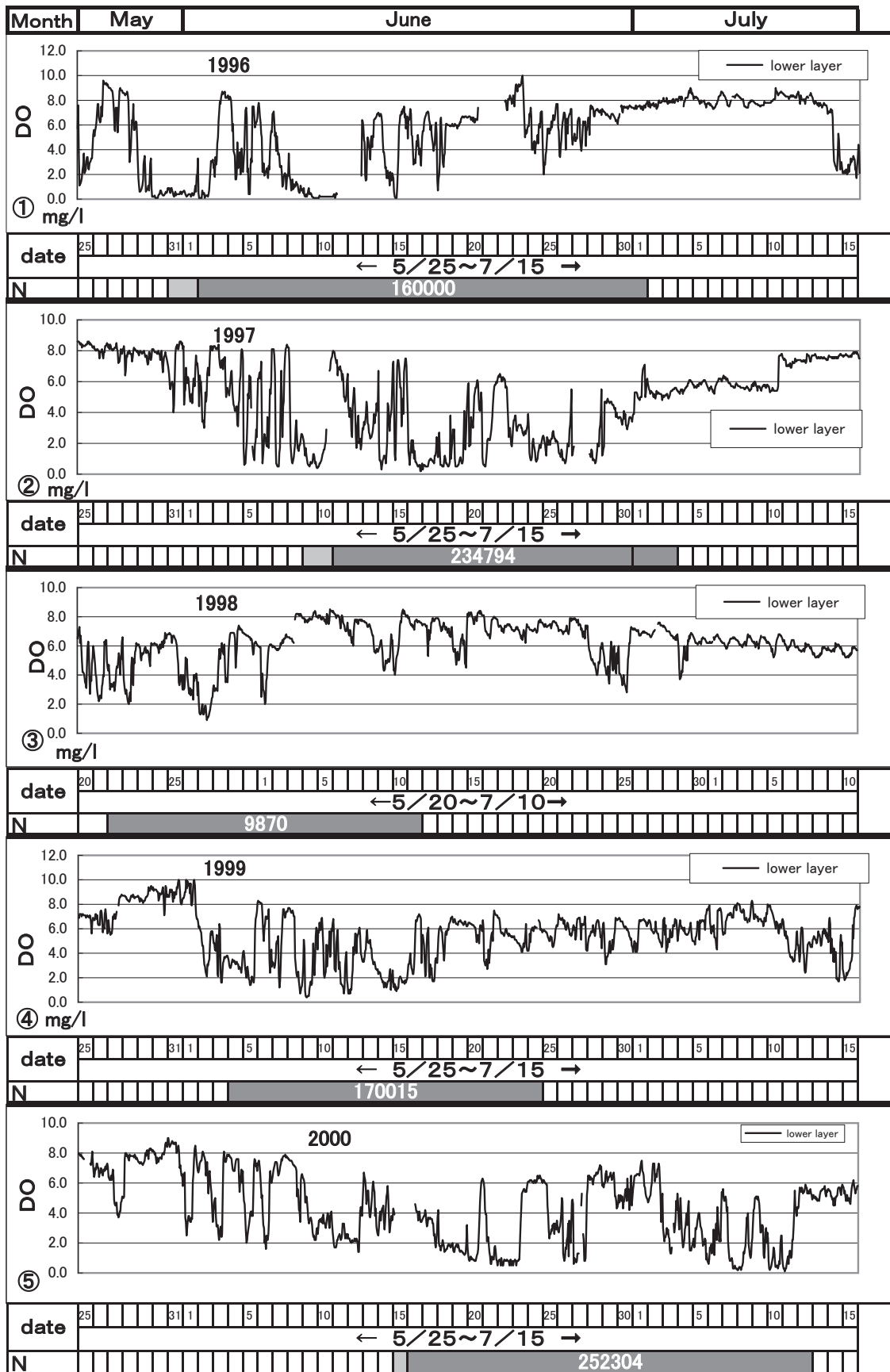


図1. 下層 DO のデータ解析とコノシロ斃死個体回収尾数および発見・回収期間 (1996~2000)  
 Fig. 1. Lower layers DO and the number of dead Gizzard fish collected or counted between 1996 and 2000.

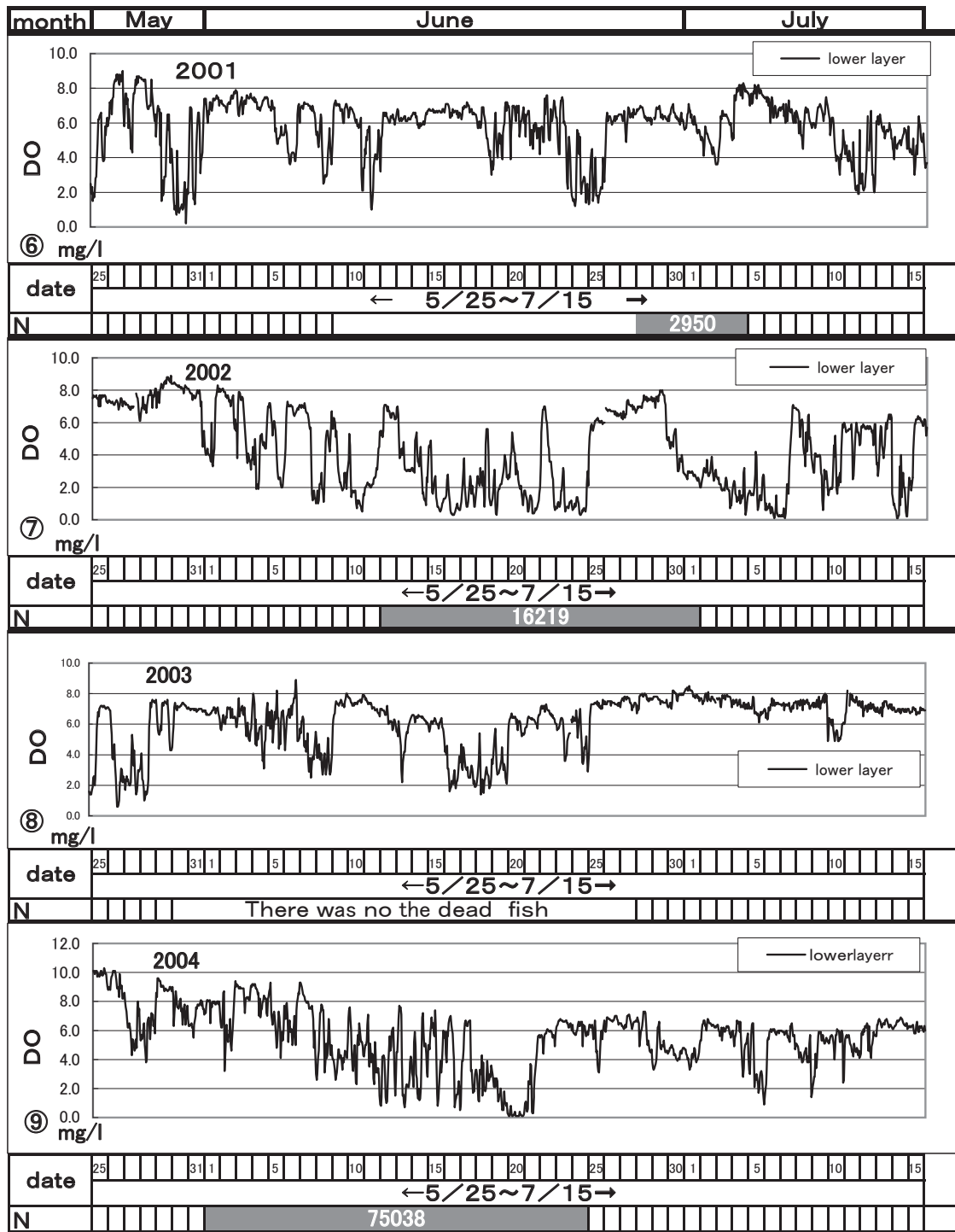


図2. 下層 DO のデータ解析とコノシロ斃死個体回収尾数および発見・回収期間 (2001~2004)  
**Fig. 2.** Lower layers DO and the number of dead Gizzard fish collected or counted between 2001 and 2004  
 Explanatory (図1, 図2)

■ The term of finding dead fish      ■ The term of gathering dead fish  
 N : The numbers of gathering the dead fish.

を示し、逆に1万尾未満の斃死個体回収尾数の年には2mg/l以下のDOは僅かしか観測されなかった。  
 4) 以上の3点から、宍道湖下層以下の水域が貧酸素状態になった時には、それがコノシロの産卵魚の大量斃死に関与する可能性があるのではないかと考察

した。しかしながら、大量斃死時のコノシロの生態はまだ明らかにできていないので、現時点ではこの問題に結論を下すことはできない。



## 謝 辞

国土交通省・出雲河川事務所及び宍道湖漁業協同組合の方には、宍道湖におけるコノシロの大量斃死に関する資料を提供頂き感謝に堪えない。また色々の分野の諸先輩の方々にご助言を頂いて稿を完成し得たことについて深くお礼を申し上げたい。

## 引 用 文 献

石田健次・大北晋也(2003) 宍道湖・中海におけるコ

ノシロ大量斃死の原因究明. 内水面水産試験場事業報告, 6: 72-75

石飛 裕・平塚純一・桑原弘道・山室真澄・中村由行・森脇晋平(2005) 宍道湖におけるコノシロの成長・成熟と大量斃死. 水産海洋研究, 69(1): 37-44.

石飛 裕(2001) 汽水域の物理特性-水塊の動き-. 高安克己編「汽水域の科学」: 10-18.

柳 哲夫(1989) シンポジウム「貧酸素水塊」沿岸海洋研究ノート 26: 141-145.