

周防灘豊前海における溶存酸素変動と海洋構造について 2005年夏季の15日間定点係留観測から

メタデータ	言語: Japanese
	出版者:水産大学校
	公開日: 2024-10-11
	キーワード (Ja):
	キーワード (En): DO variation; fortnight field
	experiment; drift current; coastal waters
	作成者: 岸本, 充史, 安田, 秀一, 鬼塚, 剛, 高島, 創太郎,
	湯浅, 豊年
	メールアドレス:
	所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2011859
	This work is licensed under a Creative Commons

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



岸本充史1,安田秀一1节,鬼塚 剛1,高島創太郎2,湯浅豊年3

Variations of Dissolved Oxygen and Related Marine Phenomena in Buzen Sea, the Suonada Sound : analytical results of fortnight field experiments in the late summer, 2005

Atsushi Kishimoto¹, Hideichi Yasuda^{1†}, Goh Onitsuka¹, Sotarou Takashima² and Toyotoshi Yuasa³

Field experiments were carried out in the southwest part of the Suonada sound in the late summer, 2005 to reveal the process and the mechanism of the dissolved oxygen (DO) variation in this sea. This study shows that DO near the basin floor was changed widely by the influence of the residual current, the atmospheric temperature, the thermocline and so on though many of researchers reported that DO variations resulted from resuspension of floor mud. In other words, DO variation is not concerned with the vertical phenomena but with the horizontal advection. It is suggested from the further analysis that the residual current given by elimination of the four main tidal components was varied by the wind during this experiment and the behavior of the thermocline was concerned with the wind and the atmospheric temperature.

Key word : DO variation, fortnight field experiment, drift current, coastal waters ASFA : 02142, 02170, 01521, 2090

はじめに

近年,瀬戸内海西部に位置する周防灘豊前海では,養殖 魚介類などに貧酸素水塊による斃死被害が頻発している¹⁾。 この周防灘豊前海における貧酸素水塊の形成に関わる溶存 酸素(DO)の変動要因として,底泥の再懸濁による底層水 中の酸素消費²⁾ や河川水の流入³⁾ などの影響が報告され ている。Senjyu et al.²⁾ は大潮期の25時間に注目して溶存 酸素に関わる潮流・濁度・水温・塩分などの環境要素の詳 細な観測を実施し,DOの変動に関しては,潮流にともな う底層の再懸濁が重要な役割を果たしていることを示し た。周防灘は福岡県側と山口県側では底質が大きく異な り,特に福岡県側の豊前海といわれる海域では,係留系で 使用した錆びに覆われた鉄のアンカーが,25時間観測の後 にその錆がほとんどなくなるほどの還元的な泥が分布して おり⁴⁾,このような底泥の再懸濁に関心が払われている。こ れまで周防灘豊前海では,25時間連続観測²⁾や1週間毎の 観測^{5),6)}は行われているが,潮流以外の環境要素にも注 目した大潮・小潮を含む総合的な長期間の連続観測はほと んど行われていない。沿岸海域においては,大潮から小潮 期にかけて潮流は大きく変動しており,大潮・小潮を含ん だ15日間連続観測は,沿岸域のDO変動過程の解明や貧酸 素水塊形成の予測をする上で意義があると考える。

周防灘は船舶の運航が頻繁で,多くの小型漁船やレジャーボートも航路以外の海面を昼夜を問わず縦横に往航 している。そのため,この海域で係留系を設置して15日間

2007年4月16日受付. Received April 16, 2007.

 水産大学校 水産情報経営学科 情報システム数理講座 (Department of Fisheries Information and Management, National Fisheries University)

2 株式会社 いであ (IDEA Inc.)

3 豊前海区海洋環境保全協議会(Council for preservation of the marine environment of Buzen Sea)

† 別刷り請求先 (corresponding author) : yasuda@fish-u.ac.jp

の観測を行うことは困難であったが、この度、周辺の漁業 者や第七管区海上保安本部、国土交通省苅田港湾事務所な どの理解と協力を得て、次節で示すような係留系設置によ る15日間連続観測を実施することができた。本報では、こ の観測データの解析によって新たに見出されたDO変動に 関わる物理過程を中心とした海洋現象について報告する。

観測内容

15日間の係留定点観測は, Fig.1 に示す周防灘豊前海の



Fig. 1. Locations of experimental stations in the Suonada sound. A mark ○ indicates the stationary station for mooring system and CTD, and ● for CTD. Marks ▲ and ★ are wave observing station for wind and AMEDAS in Yukuhashi for atmospheric temperature.

福岡県行橋市沖定点(以下St.3;図中の○印)において, 2005年8月17日から9月2日の期間で行われた。また気象 データはFig.1に示す国交省苅田港湾事務所波浪観測塔 (図中の▲印)で海面より平均10m上で観測された風向・ 風速,行橋気象観測所(アメダス;図中の★印)で観測さ れた気温のデータを使用した。

今回使用した係留系の概要をFig.2に示す。観測におい ては、シアー流速計(アレック電子社製ACM16M-4CH, 以下C/Tタワー)をSt.3(〇の位置)に設置し,海底上0.5m, 1.0m,1.5m,2.0mの流向,流速,濁度,及び,海底上2.0m の水温,塩分,水圧(潮位)を5分毎に測定した。また同 地点の海底上1.0mにサーミスター付きのDO計を設置し た。さらに潮流の鉛直分布を測定するためAquadopp(沿 岸用ADCP)を海底に設置し,海底から0.4m毎に30層の潮 流と濁度,潮位変動を観測した。電磁流速計(アレック電 子社製,ACM8M)はSt.3の海面下1.0m,3.0mに係留し, 5分毎の流向,流速および水温を測定した。それぞれの装 置には水温センサーがついているが、さらに保留ロープに 水温計をとりつけ海底上2.7m,3.5m,4.2mにおいても水 温の測定をし,鉛直分布の時間変動がわかるようにした。

観測期間中の周辺の海洋構造を知るために,多項目水質 計クロロテック(アレック電子社製,MODEL ACL1182-PDK)用いて8月17日(設置日),8月25日(保守点検日), 9月2日(回収日)の合計3回にわたって,St.1からSt.5 (図中の○印および●印)の5測点において水温,塩分, 溶存酸素,濁度などの横断面内の分布を測定した。

なお、濁度の値は赤外後方散乱方式でカオリンの値に換



Fig. 2. Illustration of mooring system at the stationary station.

算したものであり,DOは測定前後に100%海水で検定はし ているものの,ここでは絶対値を高精度に測定することよ りも連続的に変動する様子をとらえることを目的としたも ので,これらの個々の数値を他の観測データと定量的に比 較するには無理があるかもしれない。

観測結果とそのデータ解析

データ解析に際しては、まず、観測で得られた5分毎の データから1時間ごとのデータを作成した。このような処 理においては、通常、5分毎のデータを1時間で平均して 1時間毎のデータを作成することが多いが、その場合に は、測定データに異常値が現れたときに影響をうけやすい ことから,本研究では1時間毎の中央値を基礎データとし て作図や解析に使用した。

Fig. 3 にSt. 3 における観測期間中の水温鉛直分布の時 間変動を示す。図中の上部の波状の曲線は,潮位の時間変 動を表している。観測期間の前半の(a)に示す大潮期(8 月20日から8月22日)においては,表層では夏季の瀬戸内 海でよく見られる28.5℃以上の高温水が見られる。一方, 底層では23.0℃以下の低温となっており,海底に近いとこ ろでシャープな水温躍層が形成されそれが周期的に上下し ていることがわかる。8月24日以降は大潮期に比べ表層の 水温が低下し,底層では水温が上昇して躍層が弱くなる傾 向にある。小潮期(8月27日から8月29日)においては表 層と底層で水温差が小さくなって成層が弱まり,大潮期に



Fig. 3. Variation with time of vertical profile of water temperature at the stationary station.(a) the first half and (b) the latter half of this experiment.

比べて一見矛盾を示すような水温分布を形成している。

小潮期に成層が弱くなった原因を探るために,観測点に 近いアメダス(行橋)の気温を調べた。Fig.4に観測期間 中の気温と水温(海面下1.0m)の変動を時系列で示す。 観測期間の後半には,夜中から早朝にかけて気温が表層の 水温よりもかなり低くなる時もあり,それに伴うように表 層水温は徐々に低下しているように見える。この海域が浅 くて広い海域であることから,気温の低下によって表層と 底層の海水の密度差が小さくなり成層が弱まったと考える ことができるが,これに関しては,今後沿岸海域の物理過 程として定量的な検討をする必要があると考えている。ち なみに,8月の後半に周防灘の海岸周辺で20℃にまで低下 することはまれで,地元の漁業者によると例年になく冷夏 であるとのことであった。

次に8月17日,8月25日,9月2日のSt.1からSt.5にお ける水温の鉛直断面図をFg.5に示す。8月17日ではSt.1 とSt.2で表層に29.0℃以上の海水が見られる。St.4と St.5の底層では23.0℃以下の外洋水と見られる低温水が 存在している。8月25日では全観測地点で成層が弱まり表 層と底層で水温差が少なくなっている。9月2日ではSt.1 とSt.2の表層で水温が8月25日に比べ上昇している。こ のように空間的にも短期間で大きく変動していることがわ かった。

水温と同様にDOの鉛直断面図をFg.6に示す。それぞれ 8月17日,8月25日,9月2日のもので,8月17日は全体 的に5.5mg/1以上あり貧酸素水塊は見られないが,St.4 とSt.5の底層は4.0mg/1以下でほかの観測点と比べて低 い。8月25日は表層では5.5mg/1以上あるものの底層で は低い。特にSt.1の底層では2.0mg/1以下の貧酸素水塊 が存在している。9月2日はSt.1で過飽和と思われる値 が見られる。一方St.5の底層では3.0mg/1以下の低酸素 の水塊が認められる。

Senjyu et al.²⁾ はDOの変動に関しては、潮流にともな う底泥の再懸濁が重要な役割を果たしているとしており, ここでもDOと濁度の変動の関係を調べた。Fig. 7 にSt. 3 における海底上1.0mのDOと濁度の変動を時系列で示す。 大潮期に濁度が大きく変動しているにも関わらず、DOは 大きな変動もなく4.5mg/1から3.5mg/1の間で維持され ている。この値は飽和濃度で50%程度よりも小さいといえ る。一方,小潮期では濁度が低くなり、躍層が崩れたにも 関わらずDOは4.5mg/1から1.5mg/1以下まで徐々に低下 している。8月29日と8月30日には一時的にDOが上昇し, 再び低下している。その後8月30日以降,DOは上昇を見 せる。

沿岸海域の濁度は一般的に海底に近い程値が高くなる傾向にあるが、その変動についてSenjyu et al.²⁾ は大潮期の 25時間のデータに基づいて検討し、潮流の強さに依存していることを示した。潮流は大潮や小潮などで大きく変化していることから、本研究では大潮期から小潮期までを含む 15日間以上の連続観測を行っている。Fig. 8の(a)と(b)の それぞれに、この期間中の大潮期と小潮期における海底上 1mの濁度および流速の時間変動を示す。Fig. 8(a)によ ると、大潮期の濁度の変動は流速の大きさに対応している ようにみえるが、Fig. 8(b)の小潮期では、大潮期のよう に濁度と流速が関連しているようには見えない。濁度と流 速の関係を定量的に見るために、それぞれの期間において



Fig. 4. Variations with time of temperature in the atmosphere and the sea water.







 $Fig. \ 5$. Lateral sections of water temperature from St. 1 to St. 5 .



Fig. 6 . Lateral sections of DO.



Fig. 7 . Variations with time of turbidity and DO at the level of one meter from the basin floor.



Fig. 8 . Variations with time of current speed and turbidity near the floor. (a) spring tide and (b) neap tide.

濁度と流速値の調和解析を行った。その結果をTable 1 と Table 2 に示す。

Table 1 は大潮期(8月20日0時から75時間)の場合の 解析結果で,(a)には海底上1mの濁度と流速のM2周期 成分とM4潮周期成分を示した。なお,ここで示すM2周 期成分とM4周期成分は,振動周期をM2潮とM4潮にし たもので、潮汐成分を表したものではない。さて、これを 見ると、流速についてはM4潮周期の方が6倍近く大きく なって、潮流自身は半日周期が卓越していることを暗に示 しているが、濁度はM2周期成分とM4周期成分が同程度 に現れている。このことは、濁度が潮流による移流と底か らの再懸濁の両方の影響で変動していると考えることがで

Table 1 . Harmonic constants in the period of the spring tide of (a) current speed and turbidity at the level of one meterfrom the water floor and (b) turbidity at each level.

	M2 component		M4 component	
	amplitude	phase lag	amplitude	phase lag
Current	1.1 cm/s	20.8°	6.4 cm/s	299.9°
Turbidity	4.16 ppm	81.1°	4.28 ppm	320.0°

(b)

	Residue	M2 component		M4 c	M4 component	
	amplitude	amplitude	phase lag	amplitude	phase lag	
B+2 m	13.46 ppm	3.11 ppm	79.9°	3.59 ppm	332.4°	
B+1.5 m	13.99	3.24	76.9	3.69	327.8	
B+1 m	16.32	4.16	81.1	4.28	320.0	
B+0.5 m	18.26	4.75	85.5	4.84	314.1	

Table 2. Harmonic constants in the period of the neap tide of (a) current speed and turbidity at the level of one meterfrom the water floor and (b) turbidity at each level.

(a)

	M2 component		M4 (component
	amplitude	phase lag	amplitude	phase lag
Current	2.2 cm/s	205.8°	0.5 cm/s	251.6°
Turbidity	0.46 ppm	107.5°	0.26 ppm	329.4°

1	1 \	
	h	۱.
L	υ	
۰.	-,	

	Residue	M2 c	component	M4 c	omponent
	amplitude	amplitude	phase lag	amplitude	phase lag
B+2 m	4.33 ppm	0.74 ppm	78.1°	0.41 ppm	62.0°
B+1.5 m	5.35	1.08	109.5	0.21	327.5
B+1 m	7.86	0.46	107.5	0.26	329.4
B+0.5 m	9.42	1.01	166.8	0.06	66.0

(a)

きる。M4周期成分に関しては、濁度の位相が流れの強さ に遅れていることから潮流が強くなったときに再懸濁が生 じることを暗に示している。また、(b)には、海底上4層 における濁度の平均値と、M2周期とM4周期のそれぞれ の振幅と位相遅れを示した。海底から高くなるに従って、 平均値が小さくなっていることと、M4周期の振幅も小さ くなり位相が遅れるという傾向は再懸濁の特徴を表してい るが、M2周期に関しては位相が上の方で早いということ は、潮流の速度分布を考慮すると、潮流の移流に影響を受 けていると見なしてよいのではないかと考える。

一方,小潮期においては,濁度の平均的な鉛直分布は海 底近くで高く,海底から離れるに従って減少しているが, 潮汐周期の変動成分は非常に小さく,潮流とは別の要因で 濁度分布が形成されていると考えられる。Fig.8(b)をみ ると濁度は時間的に変動はしているが,この原因について は風などの外的要因も考えられるものの,ここでは言及す ることはできない。

底層の濁度に関わる海底近傍の潮流は,移流や再懸濁に 関わって沿岸では非常に重要であるが,Senjyu et al.らも 示したように,残差流に相当する長周期の流れもこの海域 に影響を与えているようである。そこで,次に海底付近の 長周期の流れについて調べた。ここでは,1時間毎の潮流 データから,調和解析によってM2,S2,K1,O1の主 要4分潮を求め,それを取り除いて残渣データを作り,潮 汐成分以外のものについて検討した。Fig.9は,各水深の 残渣データに24時間の移動平均をかけてstick diagramにし て表したものである。期間は8月18日深夜0時から9月2 日深夜0時に対応している。除去した主要4分潮はTable 3に示す。表の中のSとBは海面と海底を表し,S-1mは海 面下1m,B+1mは海底上1mを意味する。図中の上部に は,後で検討するために波浪観測塔の風を24時間移動平均 にして載せている。

Fig. 9 をよく見ると,海面下1mと3mで水深が深くな るにつれて流れの強さが弱くなり,全体的には風の方向か ら時計回りに偏向する傾向にあり,上層の流れがEkman spiralを形成しているように見える。観測期間中は,上層 の流れは風の影響を受けて南流が優勢であるといえる。一 方,底層の流れは大潮期,南向きの流れが優勢で上層の流 れと同方向であるが,小潮期は北向きの流れが優勢になっ て上層の流れと逆の向きを示している。これは小潮期に観 測地点で上層から底層にかけて鉛直循環流が形成されてい るように見える。

瀬戸内海などの沿岸域では夏には海陸風が発達すること

が知られている。風と流れの関係をもう少し詳しく見るた めに、4時間の移動平均をとった場合の風と流れのstick diagramをFig.10に描いた。風のデータは1時間毎のもの が提供されているが、そのstick diagramでは変動が激しく 図がわかりにくかったために、日周期程度の変動が見えや すいように4時間の移動平均をかけている。また、変動は 東西方向に大きく、そのままでは変動の様子が見えにく かったことから、図中にも示すように南北方向のスケール を2倍にして描いている。海面下の流れを見ると、すでに 主要4分潮が除去されているにもかかわらず、周期的な変 動が明瞭に残されている。図によると、その変動周期は風 の変動周期と似ており、流れが風に影響を受けているので はないかと推測される。

次に,流れと風の関係を定量的にみるためにFig.10で用 いた風と海面下1.0mと3.0m流れのスペクトル解析を行っ た。その結果をFig.11に示す。Fig.11は上層の2層と風の スペクトル解析の結果である。Fig.10より風の南北成分で 1日周期付近にピークが見られる。東西成分では1日周期 周辺にピークがみられない。流れの南北成分では2層とも 1日周期付近にピークがみられない。東西成分では2層と も1日周期周辺にピークがみられないが約12.8時間周期に ピークが見られる。これは,主要4分潮を取り除いたこと によりN2成分が現れたためと考えられる。スペクトル解 析の結果からははっきりとした風と流れの関係は見出せな かった。この原因として変動周期が一定していなかったこ とが考えられる。しかしながらFig.11で示したように流れ の変動に風が影響を与えている可能性は高いと考えられ る。

考察とまとめ

Fig. 7 によると, 観測地点の海底上1mのところで測定 したDOは観測期間内で大きく変動していることが示され た。その値は飽和溶存酸素濃度に換算して約50%を上回る ことがなかった。Senjyu et al.²⁾はこの時期の大潮期に観 測をして,底層では2mg/l以下になることを報告している が,この度の観測においては,大潮期の期間中,4.5mg/l から3.5mg/lの間で維持されていた。大潮期で再懸濁が 盛んな時にもかかわらず,この度は比較的高い値が維持さ れていた理由は,底層の残差流(24時間移動平均流)にあ ると考える。つまり,この大潮の期間中は底層は南流が優 勢になっており,関門海峡近くのDOが飽和状態の海水²⁾ が流入して,還元性堆積物の再懸濁のよるDO消費と釣り



Fig. 9. Stick diagrams of running-averaged wind and currents at each level over 24 hours.







Fig.11. Comparison of spectra between wind and current. The upper diagrams show the N-S and E-W components at the level of one meter from the water surface and the lower diagrams show the components at the level of 3 meters from the water surface.

Table 3 . Harmonic constants of main tidal components at each level.

[M2-comp]	Major axis(cm/s)	Minor axis(cm/s)	Orientation(°)	Phase lag(°)
S–1 m	16.90	2.70	260.1	146.4
S-3 m	16.94	2.66	274.2	152.1
B+2 m	13.98	0.97	288.6	122.5
B+1.5 m	13.05	1.38	287.1	119.4
B+1 m	11.96	1.81	287.2	115.0
B+0.5 m	10.10	1.86	287.1	112.2
[S2-comp]	Major axis(cm/s)	Minor axis(cm/s)	Orientation(°)	Phase lag(°)
S-1 m	9.27	1.39	84.7	58.2
S-3 m	9.64	1.44	87.4	66.2
B+2 m	8.32	0.50	113.7	35.6
B+1.5 m	7.60	0.96	110.6	31.1
B+1 m	6.71	1.09	108.0	30.1
B+0.5 m	5.58	1.05	105.6	29.7
101				
[O1-comp]	Major axis(cm/s)	Minor axis(cm/s)	Orientation(°)	Phase lag(°)
S–1 m	3.31	1.43	273.5	131.2
S–3 m	3.24	1.14	293.4	137.7
B+2 m	2.53	0.09	282.5	150.9
B+1.5 m	2.00	0.28	267.5	150.6
B+1 m	1.76	0.42	248.3	156.0
B+0.5 m	1.60	0.39	232.9	165.0
[K1-comp]	Major axis(cm/s)	Minor axis(cm/s)	Orientation(°)	Phase lag(°)
S-1 m	5.09	2.03	279.5	91.2
S–3 m	4.25	1.53	296.6	104.6
B+2 m	2.29	0.76	239.1	188.7
B+1.5 m	2.07	0.59	220.2	195.4
B+1 m	1.82	0.46	217.0	188.1
B+0.5m	1.62	0.04	210.2	175 1

[Residue]	Amplitude(cm/s)	Orientation(°)
S-1 m	3.83	138.2
S-3 m	3.36	145.6
B+2 m	2.54	148.0
B+1.5 m	2.13	148.1
B+1 m	1.45	148.4
B+0.5 m	1.23	177.4

合う形で,約50%のDOが維持されていたと推測される。 小潮期にはDOは4.5mg/1から1.5mg/1以下まで徐々に低 下しているが,この期間は再懸濁も弱く,さらに躍層が弱 くなっており,このような場合にDOが低下するという現 象は通常は想定することはできない。しかしながら,この 期間は北流の残差流が優勢となり,Senjyu et al.²⁾の報告 にあるように,このときも豊前海南部に低酸素領域が存在 していたとすると,このDOの変動はこの移流によってう まく説明できる。これら大潮期と小潮期のDOの変動は, 可能性の一つとして,水平的な移流に支配されていたと考 える。

小潮期が終わり8月30日以降底層の残差流が南流傾向に なり,関門海峡付近のDOの高い海水が流入したことによっ て再びDOは高くなっている。また,小潮期にDOが一時的 に上昇をしているが, Fig.3と比較すると弱くなった水温 躍層が内部波的な運動で下降し,上層の高いDOをとらえ たためと推測することができる。内部波的な運動は,Senjyu et al.²⁾でも示されており,これも可能性の一つとし て記した。

15日間を越える連続観測を行うことで,新たにわかった 現象やDO変動に関わるプロセスが見出されたが,それで も夏季の一時期のみの現象であることは否めない。他の年 における夏の様子や1年間を通じたそれぞれの環境要素の 変動過程など,さらに解明すべき多くのことが残されてい る。今後さらに観測を行ってデータを蓄積し,数値モデル をうまく使いながら適切なモニタリングシステムを提案す ることによって沿岸海域の環境保全に貢献できるのではな いかと考えている。

謝 辞

本研究の観測で使用したシアー流速計(C/Tタワー)と DO計およびクロロテックCTDは、学内の競争資金で購入 した貴重な観測機器である。予算獲得に労を執っていただ いた関係各位に感謝します。解析に用いた風のデータは国 土交通省苅田港湾事務所から提供いただいた。またこの卒 業研究を進めるにあたり,水産情報経営学科情報システム 数理講座講師伊澤瑞夫博士と生物生産学科資源環境学講座 講師村瀬昇博士にはセミナー等で熱心に議論をしていただ き貴重な意見をいただいた。この場を借りて各位に厚く御 礼を申し上げます。

本論文は,2006年度の水産情報経営学科における卒業論 文を元にしたもので,卒論生であった筆頭者が理解できな かったものは本文中には加えなかった。従って,一査読者 (学内)の指摘にもあるように論文としての完成度の不十 分さは否めないが,いくつかの新しい事実は提示できたと 考えている。完成度を高めるための各素過程の解明は,現 在,共著者らによって進められつつある。

参考文献

- 水産庁:周防灘小型機船底びき網漁業対象種(カレイ 類,ヒラメ,クルマエビ,シャコ,ガザミ)資源回復 計画,(2004).http://www.jfa.maff.go.jp/sigen/ syuboukosoko.htm,
- 2) T. Senjyu, H. Yasuda, S. Sugihara and M. Kamizono: J. Oceanobr. 57, 15-27 (2001)
- 3)馬込 伸哉,磯辺 篤彦,神薗 真人:沿岸海洋研究.40,59-70 (2002)
- 4) H. Yasuda, T. Senjyu and S. Sugihara: Proc. of 3rd International Symposium on Environmental Hydraulics, CD-ROM (2001)
- 5) 磯辺 篤彦, 神薗 真人, 俵 悟:沿岸海洋研究ノー ト. 31, 109-119 (1993)
- 6) 神薗 真人,磯辺 篤彦,江藤 拓也,俵 悟,小泉 喜嗣:沿岸海洋研究ノート.32,167-175 (1995)