

## 2012 年 大村湾における夏季貧酸素水塊について

元山芳謹、中村心一

## Oxygen-deficient water mass in Omura Bay (2012)

Yoshinori MOTOYAMA, Shinichi NAKAMURA

Key words: Omura Bay, oxygen-deficient water mass

キーワード: 大村湾、貧酸素水塊

## はじめに

長崎県の本土中央に位置する大村湾は、閉鎖性が強く(表1)外海との海水交換が少ないため、汚濁しやすいという特徴を有する。大村湾の水質は、1965 年代以降の都市化の進展や人口の増加によって、1976 年度以降、水質汚濁の代表的な指標である COD(化学的酸素要求量)が環境基準を超過する状況が続いている。また、自然海岸の減少に伴う藻場や干潟の消失、地球温暖化による環境の変化などにより、湾内の漁業資源は、近年、減少傾向にある。大村湾にはスナメリやカブトガニなど国・県のレッドデータブックに記載された希少野生動植物が生息・生育しており、その生息・生育環境の保全も大きな課題となっている。こうした背景のもと、県(環境政策課)によって2003年2月に「大村湾環境保全・活性化行動計画」(以下、「第1期行動計画」という。)が策定され、各種の施策が実施された。

続いて2009年には第1期行動計画の評価を踏まえ、県は「里海創生による海域の環境保全と再生」に取り組むこととし、新たに「第2期大村湾環境保全・活性化行動計画」<sup>1)</sup>(以下、「第2期行動計画」という。)を策定し、現在に至っている。この第2期行動計画では「1. 流域全体の一体的な環境保全による里海づくり」の中の「(3) 湾内の水環境の改善」において「③貧酸素水塊や赤潮の継続的な調査・研究」が掲げられており、環境部が実施する事業として「※貧酸素水塊観測情報システムの構築」がある。なお、貧酸素水塊とは、溶存酸素(以下、「DO: Dissolved Oxygen」という。)が極度に低下した水塊のことである。

この事業は大村湾において貧酸素水塊が発生し、それにより水産資源の被害が生じるおそれがある8月から9月にかけて一週間に一回程度、県の環境政策課が即日、県のホームページで情報提供するほか、漁業対策として、湾内の漁協へ FAX で情報提供を行うもので

ある。この事業において、環境保健研究センターでは観測当日、大村湾の水質を観測し、そのデータをもとに長崎大学が底上1mのDO濃度データを用いて底層貧酸素水塊の等値線を描き、予報を付した上で県の環境政策課に送信する方法が行われた。

ここでは2012年度に行われた大村湾貧酸素水塊および水質環境予測研究委託業務のなかで得られたデータにより、貧酸素水塊の移動(移流)や消長について、気象や潮汐データと併せて概査したので報告する。

表1に窒素又は磷の濃度が高く、海洋植物プランクトンの著しい増殖を来す恐れがある海域として環境庁長官が定めた88の海域(1993年8月27日付環境庁告示第67号)を元に、閉鎖度の順に並び変えたものを示す。大村湾は全国で5番目に閉鎖度が高い閉鎖性内湾であることがわかる。

## 方法

## 1 調査測点

## (1) 測点図及び緯度経度

大村湾内に26の測点を設けた(図1、表2)。大村湾全域の状態をできる限り把握するには測点は多いほうが良い。しかしながら、観測の後、分布を図化して、評価を加え、最終的に18時までには県のホームページにアップできること、各測点での観測結果が気象や潮汐にできるだけ影響されないように、観測開始から観測終了までの時間を短くすることを考慮し26点と定められた。各測点の緯度と経度は表2のとおりであるが、使用したGPSの表示が度と分の表示であり、分が10進法であったことから、表の真ん中の数値を用いた。

## (2) 各測定点の移動行程

各測点間の移動行程を図2に示す。図中の矢印の順に観測した場合、全行程は112 kmと計算された。大村市漁協前の港から出航し、20 knot  $\approx$  37 km/h で航走

した場合、航走時間の予想は3時間02分となる。同様に15 knot  $\equiv$  28 km/hの場合4時間00分、10 knot  $\equiv$  18 km/hの場合6時間14分である。測点1点あたりの作業時間を3分とすると、+1時間18分となる。実際には18 knot  $\equiv$  33 km/hほどの速力で移動し、1測点あたり6分ほどの観測時間を要したので、3時間22分+2時間36分となり、合計5時間58分(約6時間)を要した。したがって、毎回朝8時に出航し、帰港は14時頃であった。

## 2 観測日

8月から9月の2ヶ月間で概ね1週間ごとに1回、計8回の観測を行い、観測日は8月9日、17日、23日、31日、9月7日、13日、20日、27日であった。

## 3 観測方法

水質測定には多項目水質計 AAQ-RINKO(AAQ171)を用い、測定項目は深度、水温、DO、塩分、Chl-a(クロロフィル a)であった。

## 結果

全8回の調査により観測された底層から1m上の酸素濃度分布(単位:飽和濃度に対する%)の観測結果をまとめて図3に示す。

本観測結果の概況については、8/9の観測開始時点では既に全域にて貧酸素状態にあり、8/17、8/23と徐々に貧酸素状態は強まり、無酸素状態の範囲も中央付近を中心に広がっていた。

8/31には湾北部から貧酸素の一部解消が見られた。これは8/26と8/30にそれぞれ台風15号と14号が接近し、風速4.1～10.3 m/sの強い南風が続いたことによる。

さらに9/7は湾北部～湾西部の範囲で貧酸素が解消されるとともに、貧酸素範囲は湾東部に移動していた。

9/13では湾南部に一部貧酸素水塊が残存する形となっているが、一度貧酸素が解消された湾北部に貧酸素水塊が見られた。

9/20には全域で貧酸素水塊が解消されたが、これは9/17に台風が接近しており、平均風速12.2m/sと非常に強い南風が吹いたことによるものである。

9/27には貧酸素水塊は観測されなかった。

## 考察

考察に用いた降水量や気温、風向、風速を表3に、観測期間中に県に接近した台風を図4に、また観測期間中の潮汐を図5に示す。

ここでは、貧酸素水塊の移動(移流)や消長を検討す

るため、観測期間中に消長や過渡的状況が現れている測点を選定して検討することが効率的なことからSt.7を中心に検討した。以下、8回の観測結果についてSt.7における水温、塩分、DO濃度の鉛直プロファイルをN回目とN+1回目を並べて図化し、観測日間の貧酸素水塊の動態について考察した。また図には貧酸素水塊の水平分布図も併せて示すとともに、強混合域と思われるSt.1の鉛直プロファイルもSt.7の対照として示した。(図6～図14)

気象庁の統計資料<sup>34)</sup>から長崎空港での観測値のうち、降水量、気温、および風向、風速を抜粋し、併せて観測日と台風接近日を示した。気象庁の統計によると、2012年には12月現在で23個の台風が確認されている。ここではそれら台風のうち、8月と9月の2ヶ月の間に、進路軌跡が東経120度から140度まで、および北緯30から40度までの間(図中、台風10号の軌跡図に示す楕形)を通過し、長崎県に近接した5個の進路軌跡を示したものである。これら5個の台風が最も長崎県に接近した2日間はそれぞれ次のとおりである。

台風10号	8/1 ～ 8/2
台風15号	8/27 ～ 8/28
台風14号	8/29 ～ 8/30
台風16号	9/16 ～ 9/17
台風17号	9/29 ～ 9/30

図5に海上保安庁海洋情報部の資料「Tide 736(日本沿岸736港の潮汐表)」<sup>5)</sup>に掲載された資料を引用した。

### (1) 8月9日から17日(図6)

底上1mDOの全湾分布を見ると、St.7近傍は9日はそこまで厳しくないことが窺われたが、8月17日にはほとんど無酸素状態であった。

鉛直プロファイルの2つの赤丸部分を比較すると、9日は底質表層のみ無酸素で底質から1m上では貧酸素ではあっても無酸素ではなかったが、17日には底層から2mまで無酸素であった。

また、St.7では、9日は水深8mから14mまでは水温、塩分、DOともに鉛直方向に一樣である。これは、St.1で良く混合された水塊がSt.7付近の中層に貫入してきていることを示すものと考えられる。さらに、9日は表層から2mまでは同じく鉛直的に一樣である。ここで9日の潮汐を見ると、St.7の観測時間(14時頃)は潮止まりであることがわかる。したがって、鉛直的に一樣な水塊は潮汐によるものではなく、補償流によるものと推測され

る。すなわち、9日は南東の風が吹いており、表層の水塊は南東の風によって湾奥から移流してきたものと考えられ、中層の水塊はその補償流であると考えられる。

8月17日には、水温、塩分、DOが表層から底層までなだらかに変化している。これは、15日に平均4.4 m/sの風が吹き、混合により成層が緩んだものと考えられた。なお、8月17日の鉛直プロファイル(St.7)において、植物プランクトンの生物量の指標となるクロロフィル a が高くなっている深度と、DOが高くなっている深度がほぼ同一である。これは植物プランクトンの光合成により酸素が供給されているためと考えられる(図7)。また、植物プランクトンが高くなっていたのは、8月10日~14日にかけて雨が降り、13日には一日の降水量の合計が37.0mmになるほどであったことから、河川から栄養塩類が豊富な淡水が大村湾に流れ込んだことが要因と考えられる。それを裏付けるように、17日の鉛直プロファイルでは、塩分が表層では低くなっている。

#### (2) 8月17日から23日(図8)

17日と23日では、水平分布に大きな違いは見られないが、St.7の鉛直プロファイルには、若干の相違が見られる。すなわち、8m以浅では、17日より23日の方に鉛直混合が見られる。これは、21日の平均4.0 m/sの風による影響と考えられる。また、23日は深度8m付近に躍層が見られるが、これは、17日以降、ほぼ南東の風が連吹して、中層付近までの混合が進んだ可能性もあると考えられる。

#### (3) 8月23日から31日(図9)

8月31日は湾北部で底層貧酸素水塊の解消が見られる。St.7において、水温は、5m以浅で成層化の動きがあるが、塩分、DOが全深度にわたりほぼ鉛直的に一様であった。これは、27日から30日まで台風15号と14号が長崎に接近し、降水量は多くないものの、平均4m/s以上の風が5日間連吹して鉛直混合が進み、表層から混合された水がほぼ南東よりの風で湾奥から湾口に吹き寄せられたことと、吹き渡る距離(吹層距離)が長くなる湾北部での高い波浪により北部での鉛直混合が進んだものと考えられる。

#### (4) 8月31日から9月7日(図10)

8月31日から9月7日までの一週間は、気温は若干下がったものの、相変わらず南東方向の緩やかな風が連吹している。

9月5日には1日に47mmの降雨があったものの、7日のSt.7では、塩分濃度が表層では低いものの顕著な躍層はみられず、水深5m~10m付近に躍層の痕跡のようなゆるい躍層が見られる。

7日のSt.7の水深16m以深に高塩分の水塊の流入と思われる徴候が見られるのは水平分布からもわかるように湾西岸沿いに外海水の進入があったことが原因と考えられる。また、9月7日の鉛直プロファイル(St.7)の深度6m付近でDOが高くなっているのは、9月5日に1日降水量の合計が46.0mmとなるほどの降雨があり、8月17日の場合と同様の理由から起きていると考えられる。(図11)

#### (5) 9月7日から13日(図12)

9月7日には湾西岸沿いに外海水の底層進入がみられたが、13日には消失している。これは、7日以降、顕著な降水も強風もなく、気温は8月に比べて若干低下気味ではあるが、再び湾内に底層水の停滞が始まっていると考えられた。

また湾東岸にDOが40%ほどの底層水が認められるのは、7日に湾内に流入した外海水が湾北部から一部流入した可能性があると考えられた。

#### (6) 9月13日から20日(図13)

9月20日にはほぼ湾の全域で貧酸素水塊が解消されているのは、平均風速12.2 m/sを伴った台風16号による鉛直混合がすすんだ結果と考えられる。

20日の塩分とDOの鉛直プロファイルは、St.7では、水深17mまでの混合を示している。

また、St.7で17m以深で水温が上昇しているのは高水温ながら高塩分の水塊が、湾口から進入してきた可能性を示すと考えられた。

#### (7) 9月20日から27日(図14)

台風16号が接近した9月16、17日以降、風向は北よりに向きを変え、底層水は湾奥から湾口へ流出する駆動力を得ている。

27日の鉛直プロファイルでSt.7では、水深13m付近に躍層が見られるが、これは13mを境に上層が低塩分、下層が高塩分であることから13m以浅で湾内水の湾外への流れを示すものと考えられた。

## 結論

- 1 St.1では、鉛直的な混合が常態である。
- 2 風の吹き去る方向に海表面の海水が移動することが多い。
- 3 一つの流れは必ず別の補償流を伴う。
- 4 風が吹き続ける時間(吹送時間)と吹送距離が大きくなる時は、風下での波が高くなり、混合が促進される。
- 5 台風による混合で貧酸素水塊が大幅に解消される。
- 6 河川からの淡水流入は栄養塩の加入をもたらす、植物プランクトンを増殖させる。

### 今後の課題

- 1 今回は底層水塊の移流を中心に概査したが、今後は湾全体の水塊移流に着目した貧酸素水塊の動態を把握する必要がある。
- 2 そのためには観測結果を一括して把握できる図化がきわめて効果的と考えられることから、湾全体を深度別に複数分割した等値線図や種々の縦断面等値線図を描いて評価する必要がある。

### 参考文献

- 1) 長崎県:第2期大村湾環境保全・活性化行動計画(2009年3月)
- 2) 長崎県環境部環境政策課ホームページ 大村湾環境ネットワーク情報 貧酸素水塊情報 (アクセス日:2012.12/3)  
<http://www.pref.nagasaki.jp/kankyo/oomura/03hinsanso01info.html>
- 3) 気象庁ホームページ 気象統計情報 過去の気象データ検索(アクセス日:2012.12/3)  
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 4) 気象庁ホームページ台風経路図 2012年(アクセス日:2012.12/3)  
[http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/route\\_map/bstv2012.html](http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/route_map/bstv2012.html)
- 5) Tide736ホームページ(日本沿岸736港の潮汐表)(アクセス日:2012.12/3)  
<http://tide736.net/month/?y=2012&m=9&pc=28&hc=9&sw=calendar>

表1 日本の閉鎖性海域(88)

順位	No	名称	湾口幅(km)	面積(km <sup>2</sup> )	湾内最大水深(m)	湾口最大水深(m)	閉鎖度指標
1	50	久美浜湾	0.05	6.93	20	2	526.50
2	4	コムケ湖	0.015	5.81	3.8	3	203.54
3	31	加茂湖	0.03	4.95	8.7	5.5	117.31
4	39	浜名湖	0.2	72.63	16.6	6.1	115.96
5	64	大村湾	0.33	321	54	54	54.29
6	3	能取湖	0.324	59	21	10	49.79
7	6	サロマ湖	0.285	150	22	22	42.97
8	27	松川浦	0.06	6.46	4	4	42.36
9	73	八代海	1.3	1200	89	73	32.49
10	56	浦戸湾	0.25	7	22	10	23.28
11	8	厚岸湾	0.4	32	9	9	14.14
12	12	大船湾	0.2	7.89	38	38	14.04
13	5	風連湖	0.6	56	11	10	13.72
14	59	有明海及び島原湾	4.5	1700	164.6	117	12.89
15	19	万石浦	0.46	7.4	3.9	3	7.69
16	63	長崎湾	0.45	10.79	45	45	7.30
17	30	南津港	0.35	5.63	11	11	6.78
18	57	浦ノ内湾	1.24	12.37	20	9	6.30
19	77	鹿儿岛湾	11	1040	237	111	6.26
20	62	仮屋湾	0.5	6.3	25	25	5.02
21	20	松島湾	1.7	35.3	4	4	3.49
22	37	小浜湾	2.4	58.7	35	35	3.19
23	10	陸奥湾	14	1667.89	75	75	2.92
24	28	藤湾	0.8	5.18	22	22	2.84
25	65	佐世保湾	2.39	42.98	25	25	2.74
26	38	内浦湾	1.2	7.8	44	44	2.33
27	74	羊角湾	1.48	11.28	21	21	2.27
28	21	気仙沼湾	2.6	15.4	29	21	2.08
29	84	三浦湾	1.2	6.19	60	60	2.07
30	49	阿蘇海及び宮津湾	2.5	26.08	30	30	2.04
31	58	博多湾	7.7	134.2	23	17	2.04
32	75	入津	1.42	5.28	25	20	2.02
33	80	榊内湾	2.53	25.76	84	84	2.01
34	88	羽地内湾	1.6	10.3	10	10	2.01
35	26	小名浜湾	1	3.97	20	20	1.99
36	16	越前湾	2.2	18.8	93	93	1.97
37	76	尾末湾	1.65	10.28	20	20	1.94
38	2	噴火湾	30.2	2485	107	93	1.90
39	9	野付湾	4.33	57	4.3	4	1.87
40	82	薩川湾	2.13	15.59	74	74	1.85
41	86	金武湾	5.66	109.58	56	56	1.85
42	44	五ヶ所湾	2.6	22.2	27	27	1.81
43	29	東京湾	20.9	1380	700	700	1.78
44	48	舞鶴湾	2.7	22.87	30	30	1.77
45	72	浅茅湾	4.18	53.61	80	80	1.75
46	53	仙崎湾	2.99	27.22	37	37	1.74
47	41	尾鷲湾	2.6	19.65	58	58	1.70
48	55	油谷湾	4.54	45.89	40	37	1.61
49	40	伊勢湾	34.7	2130	49	43	1.52
50	67	志々伎湾	1.74	7	21	21	1.52
51	22	雄勝湾	3.01	19.82	46	46	1.48
52	24	鯨ノ浦湾	2	8.6	34	34	1.47
53	33	七尾湾	11.58	182.92	58	46	1.47
54	87	琴那湾	1.71	6.36	2	2	1.47
55	47	基麻湾	5.7	42.3	37	29	1.45
56	18	山女川湾	3.94	31.96	90	90	1.43
57	23	内海	2.5	12.1	36	36	1.39
58	70	内海	1.82	5.91	20	20	1.34
59	54	深川湾	3.6	22.4	44	44	1.31
60	13	広田湾	4.75	37.13	56	56	1.28
61	14	釜石湾	2.3	8.7	49	49	1.28
62	69	半城湾	2.34	8.97	25	25	1.28
63	78	名瀬港	1.76	5.03	50	50	1.27
64	42	賀田湾	2.82	12.6	82	82	1.26
65	71	三浦湾	3.22	10.68	36	29	1.26
66	79	中瀬浦	2.42	8.47	60	60	1.20
67	81	久慈湾及び篠川湾	2.79	11.17	76	76	1.20
68	85	笠利湾	3.23	14.7	65	65	1.19
69	45	神前湾	2.68	9.75	53	53	1.17
70	60	唐津湾	10.7	150	32	32	1.14
71	51	瀬戸内海	130.3	21827	105	105	1.13
72	7	厚岸湾	9.15	102.64	24	24	1.11
73	35	矢代湾	3.57	15.68	43	43	1.11
74	68	郷ノ浦湾	2.05	5.19	37	37	1.11
75	15	大槌湾	4.1	20.2	77	77	1.10
76	46	鷺湾	3.25	12.24	58	58	1.08
77	32	真野湾	6.81	51.89	39	39	1.06
78	52	田辺湾	4.05	17.95	28	28	1.05
79	25	志津川湾	6.6	46.8	54	54	1.04
80	34	敦賀湾	7.3	57.8	51	51	1.04
81	83	諸鈍湾	3.13	10.69	43	43	1.04
82	43	新鹿湾	2.26	5.43	47	47	1.03
83	11	宮古湾	4.8	24.1	76	76	1.02
84	17	船越湾	3.1	9.4	55	55	0.99
85	66	橘湾	11.59	130.92	39	39	0.99
86	36	世間見湾	3.6	12.3	44	44	0.97
87	1	師範湾	8.4	65	58	58	0.96
88	61	伊予里湾	4.2	120	56	56	0.96

「日本の閉鎖性海域(88海域)集境ガイドブック(財団法人国際エネテックセンター企画調査課)」より

表2 各測点の緯度と経度

St	経度(度)	緯度(度)	経度(度分)	緯度(度分)	経度(度分秒)	緯度(度分秒)
1	129.77500	33.03767	129°46.500'	33°02.260'	129°46'30.000"	33°02'15.600"
2	129.81333	33.02333	129°48.800'	33°01.400'	129°48'48.000"	33°01'24.000"
3	129.84667	33.02917	129°50.800'	33°01.750'	129°50'48.000"	33°01'45.000"
4	129.88000	33.03500	129°52.800'	33°02.100'	129°52'48.000"	33°02'06.000"
5	129.90833	33.02500	129°54.500'	33°01.500'	129°54'30.000"	33°01'30.000"
6	129.82833	33.00000	129°49.700'	33°00.000'	129°49'42.000"	33°00'00.000"
7	129.86222	33.00000	129°51.733'	33°00.000'	129°51'44.000"	33°00'00.000"
8	129.89611	33.00000	129°53.767'	33°00.000'	129°53'46.000"	33°00'00.000"
9	129.93000	33.00000	129°55.800'	33°00.000'	129°55'48.000"	33°00'00.000"
10	129.83333	32.95833	129°50.000'	32°57.500'	129°49'60.000"	32°57'30.000"
11	129.86222	32.95833	129°51.733'	32°57.500'	129°51'44.000"	32°57'30.000"
12	129.89111	32.95833	129°53.467'	32°57.500'	129°53'28.000"	32°57'30.000"
13	129.91660	32.95833	129°54.996'	32°57.500'	129°54'59.760"	32°57'30.000"
14	129.86400	32.93370	129°51.840'	32°56.022'	129°51'50.400"	32°56'01.320"
15	129.83492	32.91824	129°50.095'	32°55.095'	129°50'05.728"	32°55'05.677"
16	129.85638	32.91827	129°51.383'	32°55.096'	129°51'22.949"	32°55'05.760"
17	129.87775	32.91825	129°52.665'	32°55.095'	129°52'39.911"	32°55'05.700"
18	129.82785	32.89121	129°49.671'	32°53.473'	129°49'40.247"	32°53'28.373"
19	129.86482	32.89121	129°51.889'	32°53.473'	129°51'53.354"	32°53'28.373"
20	129.84000	32.86500	129°50.400'	32°51.900'	129°50'24.000"	32°51'54.000"
21	129.86482	32.86500	129°51.889'	32°51.900'	129°51'53.354"	32°51'54.000"
22	129.89346	32.89979	129°53.608'	32°53.987'	129°53'36.453"	32°53'59.239"
23	129.92000	32.88700	129°55.200'	32°53.220'	129°55'12.000"	32°53'13.200"
24	129.94500	32.87350	129°56.700'	32°52.410'	129°56'42.000"	32°52'24.600"
25	129.97000	32.86000	129°58.200'	32°51.600'	129°58'12.000"	32°51'36.000"
26	129.98750	32.85055	129°59.250'	32°51.033'	129°59'15.000"	32°51'01.980"

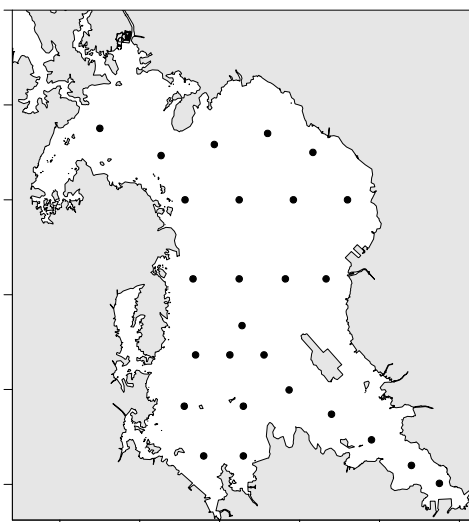


図1 測点図(測点番号付き)

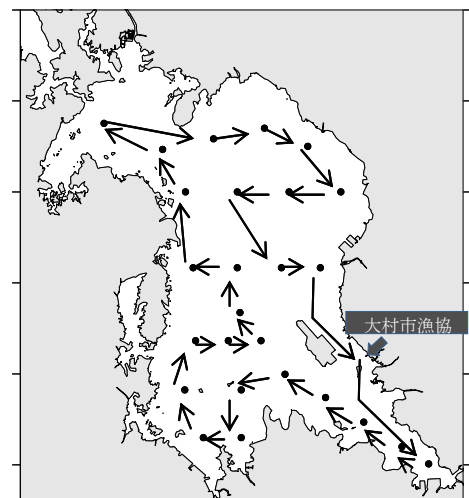


図2 各測点間の移動行程



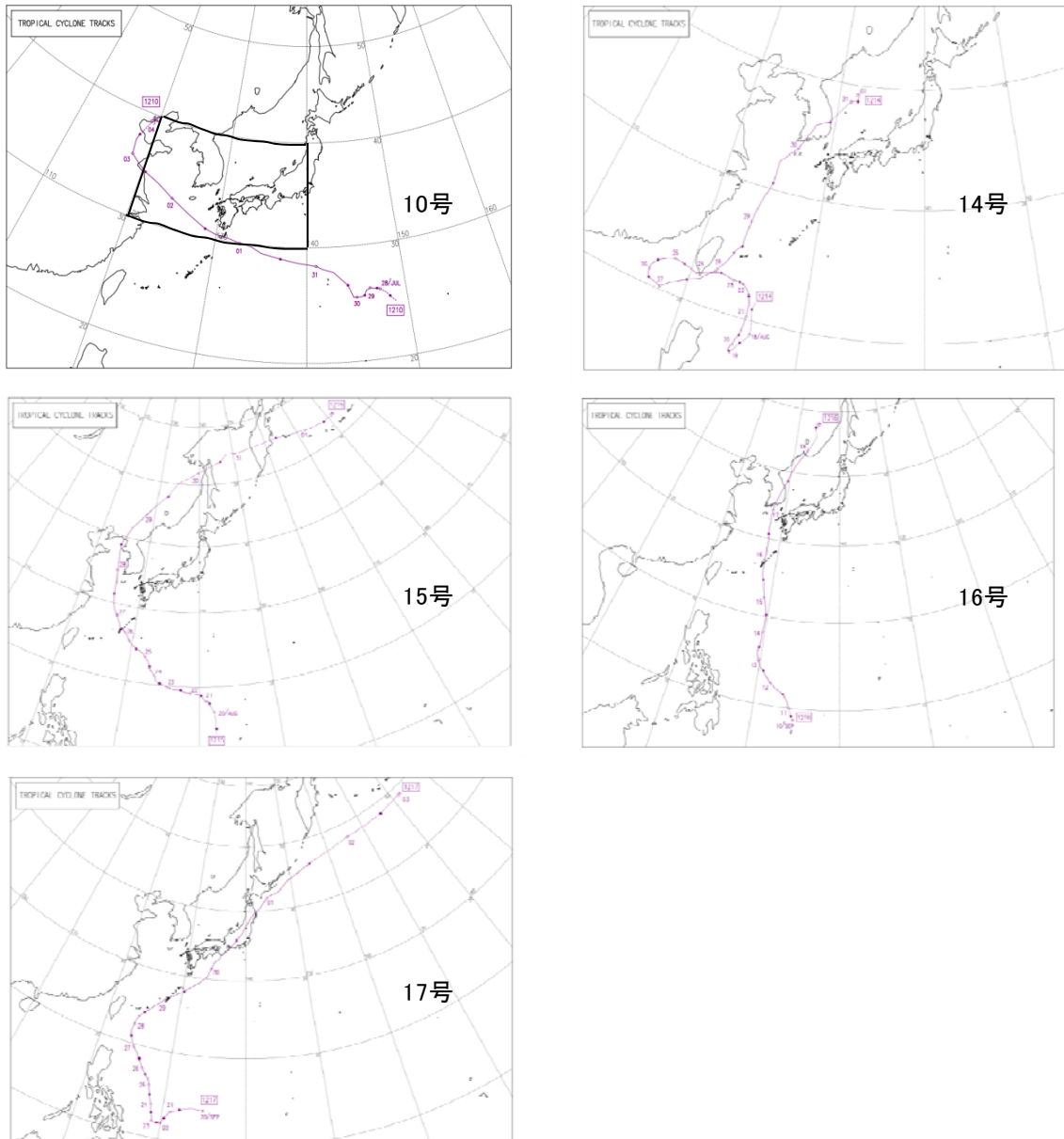


図4 長崎県に接近した台風(2012年)



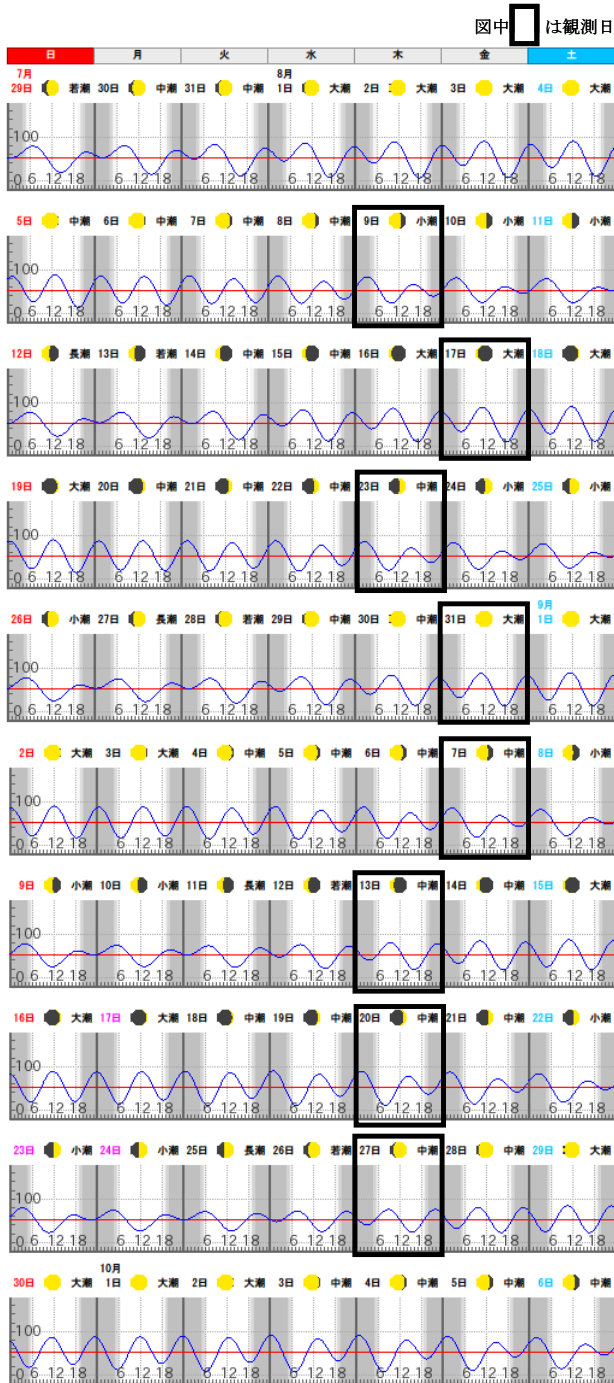


図5 平成24年8月と9月の大村湾の潮汐

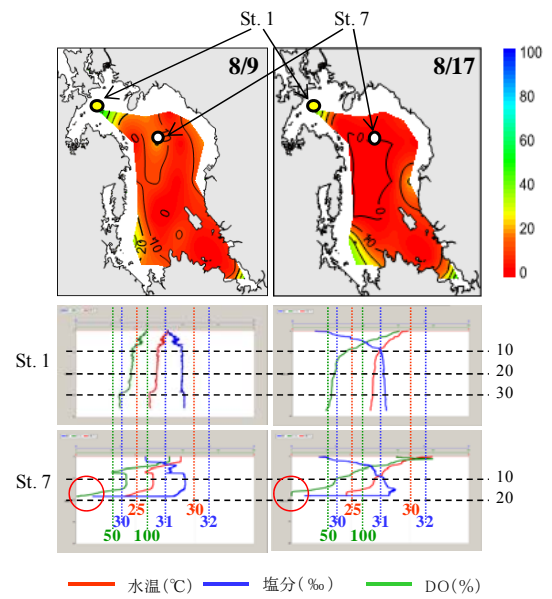


図6 8月9日と8月17日(8日後)の貧酸素分布とSt.1と7の水温、塩分、DOの鉛直プロファイル

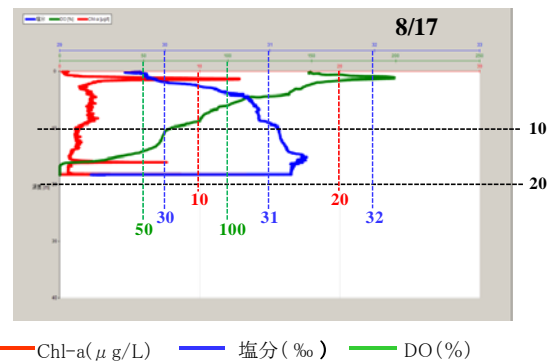


図7 8月17日のChl-a、塩分、DOの鉛直プロファイル

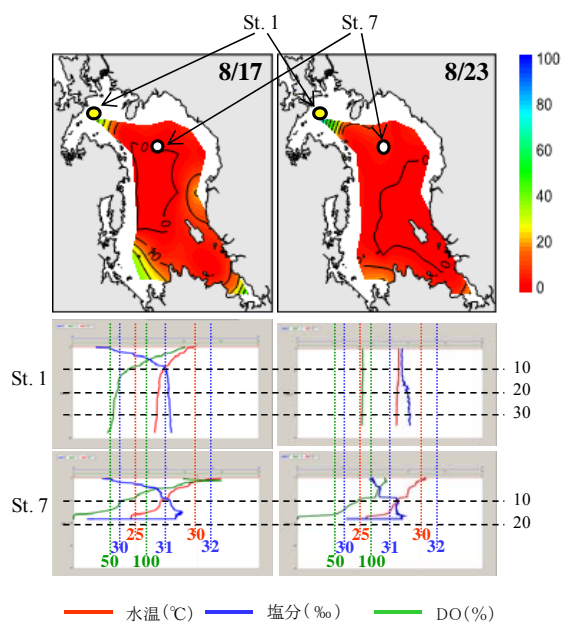


図8 8月17日と8月23日(6日後)の貧酸素分布とSt.1と7の水温、塩分、DOの鉛直プロファイル



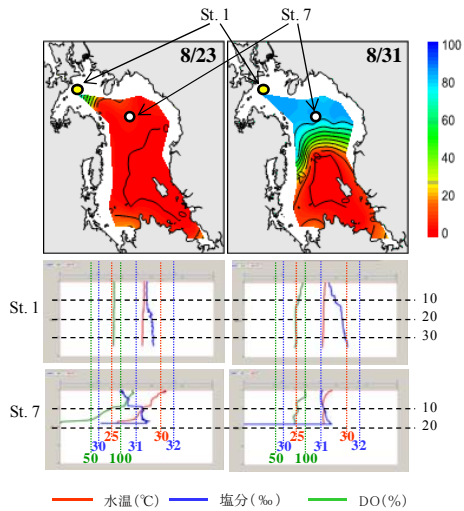


図9 8月23日と8月31日(8日後)の貧酸素分布とSt.1と7の水温、塩分、DOの鉛直プロファイル

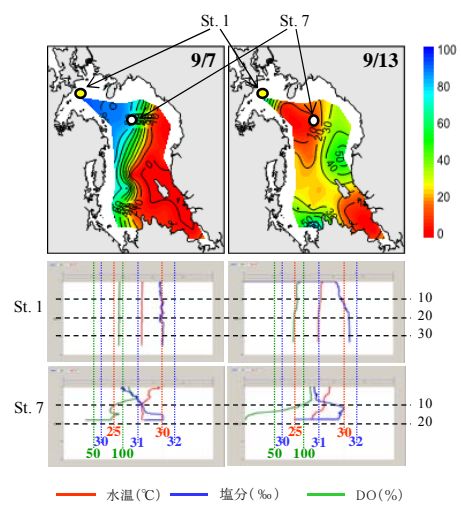


図12 9月7日と9月13日(6日後)の貧酸素分布とSt.1と7の水温、塩分、DOの鉛直プロファイル

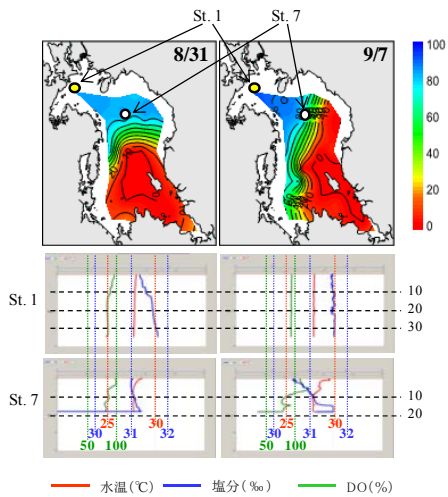


図10 8月31日と9月7日(7日後)の貧酸素分布とSt.1と7の水温、塩分、DOの鉛直プロファイル

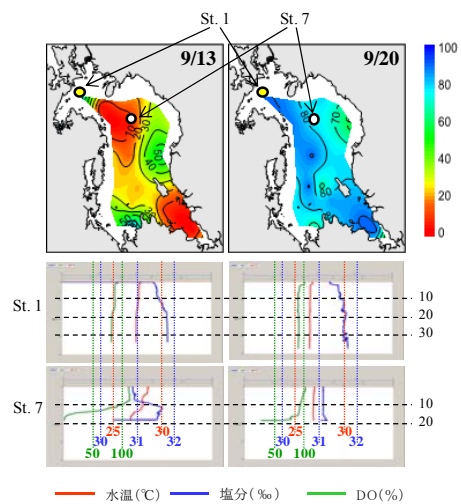


図13 9月13日と9月20日(7日後)の貧酸素分布とSt.1と7の水温、塩分、DOの鉛直プロファイル

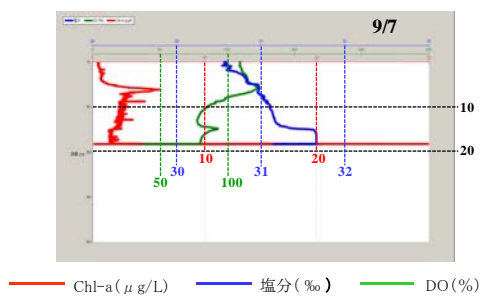


図11 9月7日のChl-a、塩分、DOの鉛直プロファイル

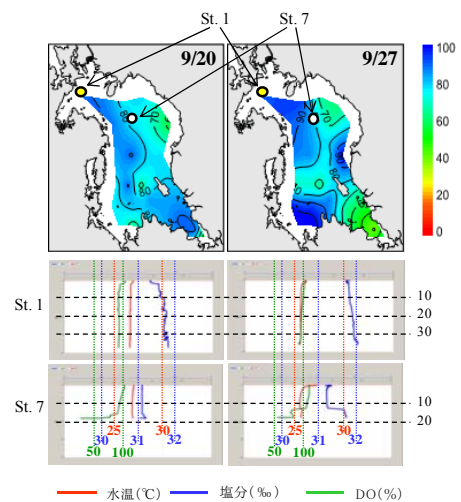


図14 9月20日と9月27日(7日後)の貧酸素分布とSt.1と7の水温、塩分、DOの鉛直プロファイル