

ノート

## 鹿児島湾における水質調査に関する考察

貴島 宏                      坂元 克行                      尾辻 裕一  
永井 里央                      長井 一文

### 要 旨

閉鎖性が強く、下層の低DOが懸念される鹿児島湾奥部において多項目水質計による調査を行った。また、鹿児島市鴨池地区に設置した水温ロガーによる海水温連続観測について、観測結果の解析及び従来の常時監視測定結果との比較を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 湾奥部における底層付近のDOは12月19日に最も低い値となっていた。
- (2) 湾奥部の中でも、南東部や東部に位置する監視点イ、トの底層付近のDOが低くなる傾向にあった。
- (3) 湾奥部水深205m地点では、12月19日に底層が無酸素状態になっていた。
- (4) 10月7日、12月19日の多くの地点で下層DOが3mg/Lを満たしていなかった。
- (5) 海水温連続観測地点は、常時監視の基準点8-表層とおおむね類似した値となった。常時監視における採水後の水温の変動を受けずに、正確な海水温を測定できる有用な手段である。

キーワード：鹿児島湾、溶存酸素、下層DO、多項目水質計、海水温連続観測

### 1 はじめに

現在、国立環境研究所と地方公共団体環境研究機関との共同研究として、「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」（2011～2013年度）が行われている。この共同研究において本県では、沿岸海域にて顕在化している貧酸素水塊発生状況を把握するとともに、水質汚濁に係る環境基準項目として導入が検討される要測定指標「下層における溶存酸素」の基準策定<sup>1)</sup>に関する知見を得ることを目的に、多項目水質計を用いた水質調査を行っている。また、現行の常時監視で二箇月おきに測定されてきた鹿児島湾海域の水温データを利用して、沿岸海域への温暖化影響評価の検証に資することを目的として、水温ロガーを用いた海水温連続観測を行っている。

鹿児島湾は独特な形状の海底を有している。桜島と鹿児島市街地を結ぶ水深40mの西桜島水道を隔てて、北方の湾奥部（最大水深206m）と南方の湾中部・湾口部に大別される。特に湾奥部は海水の交換が起こりにくい閉鎖性の強い海域であり、赤潮や貧酸素水塊の発生が起

りやすいことが知られている<sup>2)</sup>。

そこで本研究では、下層の低DOが特に懸念される湾奥部において、下層DO調査を今後実施する地点の選定や時期等に関する知見を得ることを目的として、2011年度に実施した多項目水質計によるDO等の鉛直観測結果について報告する。また、鹿児島市鴨池地区に設置した水温ロガーによる海水温連続観測について、この地区の年間を通じての水温特性を把握し、調査地点としての妥当性を検証するために、2011年観測結果の解析及び常時監視における採水時水温との比較を行ったので報告する。

### 2 調査方法

#### 2.1 多項目水質計を用いたDO等の鉛直観測方法

図1に鹿児島湾の地図及び調査地点を示す。例年貧酸素情報<sup>3)</sup>が発表される時期にあたる10月7日には、調査地点ごとの水質状況を把握するために、複数地点の調査を実施した。12月19日の調査には従来の常時監視の調査点ではないものの、湾奥部最深部付近の水深205m地点を

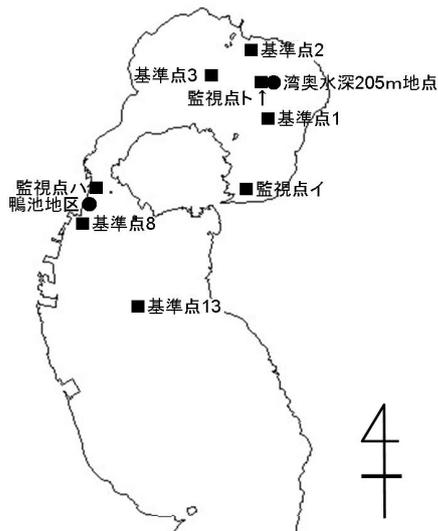


図1 鹿児島湾の地図及び調査地点

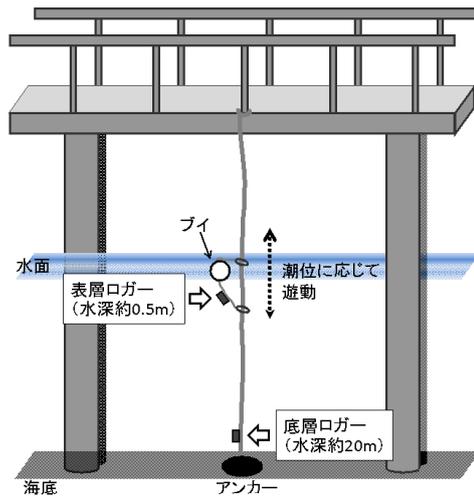


図2 水温ロガー設置イメージ

追加した。また、多項目水質計は共同研究の一環として国立環境研究所より借用したものを利用した。多項目水質計を用いたDO等の鉛直観測方法は以下のとおりである。

#### 調査日及び調査地点

2011年7月29日：鹿児島湾海域 (1) 基準点1

同年10月7日：基準点1, 2, 3, 監視点イ, ト

同年12月19日：基準点1, 湾奥部水深205m地点

使用機器：HYDROLAB社製DS4a, 同社DS5x

測定項目：水深, 水温, DO, 塩分

投入速度：10m/分程度

#### 2. 2 水温ロガーによる海水温連続観測方法

図2に水温ロガーの設置イメージを示す。なお、2011年7月17日8時30分から7月20日16時30分までは台風6号のため水温ロガーを回収した。水温ロガーの設置状況は以下のとおりである。

設置場所：鹿児島市鴨池海釣り公園歩道橋脚

観測水深：水深約0.5mの表層, 水深約20mの底層 (海底より約1m)

観測期間：2011年1月1日0時00分～2011年12月31日23時30分

観測頻度：毎正時及び30分後

ロガー水温と比較した常時監視の採水時水温の調査地点は、図1に示す鹿児島湾海域 (1) 基準点8, 13, 監視点ハである。常時監視の採水時刻と水温ロガーの記録時刻が異なる場合は、水温ロガーの記録値として、常時監視の採水時刻の差が15分未満となる記録時刻の値を採用している。また、水温との比較のために気温データを用いたが、これは気象庁で公表されている鹿児島地方気象台のデータ<sup>4)</sup>を使用した。

### 3 結果及び考察

#### 3. 1 多項目水質計による水質調査

##### 3. 1. 1 基準点1について

湾奥部の中でも代表的な地点として挙げられる基準点1において計3回実施した調査について、図3に水温及び塩分の鉛直分布を、図4にDOの鉛直分布を示す。塩分は塩化カリウム標準溶液との電気伝導度比により算出した実用塩分<sup>5)</sup>で表記した。なお、基準点1の調査については海底が斜面になっているため、調査中の風や潮流による影響により、測定日によって全水深が多少異なっている。

まず、水温について着目する。7月29日においては、表層水温が約29℃と最も高くなっており、底層まで緩やかに低下していた。10月7日では、表層から水深40m付近まで約24℃と等しくなっており、水深80mまでは徐々に低下し、水深80m以深では一様になっていた。7月29日と比べると、表層水温は低下しているのに対し、水深20～80m付近までは水温が上昇していることが見て取れる。12月19日では、表層から水深80m付近まで約19℃とほぼ同様の水温になっていた。10月7日と比べると、表層から水深60mまで水温が低下し、水深60mから底層までは上昇していることが分かる。

次に、塩分について着目する。7月29日においては、表層の塩分は約30であり、水深20～50mまではわずかず高くなり、水深50m以深では約34と一様になっていた。10月7日では、表層で32.5になり、水深70mまでわずかず高くなり、底層では一様になっていた。12月19日では、表層から底層まで同様に約34であった。

最後に、DOについて述べる。7月29日においては、表層のDOは約7mg/Lであり、水深10m付近では約8mg/Lと最も高くなり、水深20m付近に見られるDOの躍層で約6mg/Lまで低下していた。水深10m付近では植物プランク

トンによる光合成が活発に行われていると考えられる。水深20mから底層までは、約5~6mg/Lの間で推移しており、底層のDOは4.7mg/Lであった。10月7日では、表層が約7mg/Lと最も高くなり、水深10m付近の躍層では約5mg/Lまで低下していた。水深20mから底層まではDOが緩やかに低下し、底層では約3mg/Lであった。7月29日と比較すると、水深20m以深のDOは総じて1~2mg/L低下していることが見て取れる。また、水深20~40mのDOが約4mg/Lと、この層では最も低くなることが分かった。12月19日では、DOが表層から水深50mまでは5~6mg/Lとほぼ同様になっているが、水深50mから底層まで徐々に低下していき、水深100m付近の底層ではDOが2mg/L以下であった。10月7日と比較すると、水深20~80mではDOが上昇し、水深80m以深では低下していた。

これらのことから、基準点1の水質状況の推移について考察すると以下ようになる。

7月29日においては、表層から水深20mまでの層と水深20m以深の層に大きく分けられる。前者は高温・低塩分であり、海水密度は比較的lowく、植物プランクトンによる光合成が活発に行われDOが約6~8mg/Lになっていたのに対し、後者は海水密度が比較的高く、DOが約5~6mg/Lになっていた。東京湾などでは夏季の成層化が激しい時期に下層のDOが低下することが知られている<sup>6)</sup>。鹿児島湾においても同様に、表層水からのDOの供給が少なくなる水深20m以深の層でDOが低下することが予想されたが、実際には底層のDOが約5mg/Lと豊富な状態にあることが分かった。

10月7日では、表層から水深20mまで、水深20~80mま

で、水深80m以深の層に大きく分けられる。表層から水深20mまでの層は比較的低塩分でDOは4~7mg/Lとなっていた。水深20~80mまでの層は、7月29日より水温が上昇し、塩分は底層よりわずかに低くなっていることから、鉛直混合や淡水の拡散などによる影響を受けていることが推察される。さらに、水深20~40mのDOが約4mg/Lに低下したのは、水温が上昇することで微生物等の活動によるDOの消費が大きくなったためと考えられる。この結果は、この時期に水深20m付近の比較的浅い層に貧酸素水塊が発生することを示唆し、例年9、10月に発表される湾奥部の貧酸素情報<sup>3)</sup>とも一致している。水深80m以深の層では水温・塩分共に7月29日とほぼ変わらなかったことから、鉛直混合や拡散などによる影響をあまり受けずにDOの消費が進み、底層のDOが約3mg/Lにまで低下したと考えられる。

12月19日では、表層から水深50mまでの層、水深50~80mの層、水深80m以深の層に大きく分けられる。表層から水深50mまでは、水温、塩分及びDOが一緒になっていることから、表層から水深50mまでの層の中で循環が発生していることが推察される。水深50~80mまでの層では、DOが10月7日より上昇していることから、鉛直混合や拡散などによる影響を受けていることが考えられる。しかし、水深80m以深の層では、微生物等によるDOの消費が上回り、底層のDOが2mg/L以下に低下したものと推察される。今回の調査により、水深の深い鹿児島湾湾奥部では冬期の底層付近のDOが最も低くなることが明らかになった。

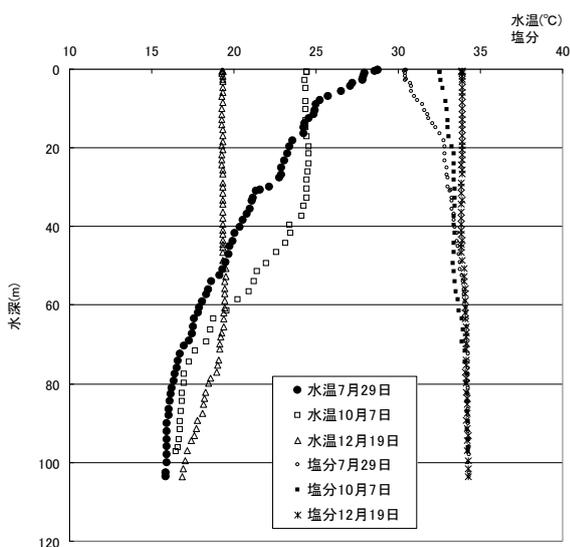


図3 基準点1における水温、塩分の鉛直分布

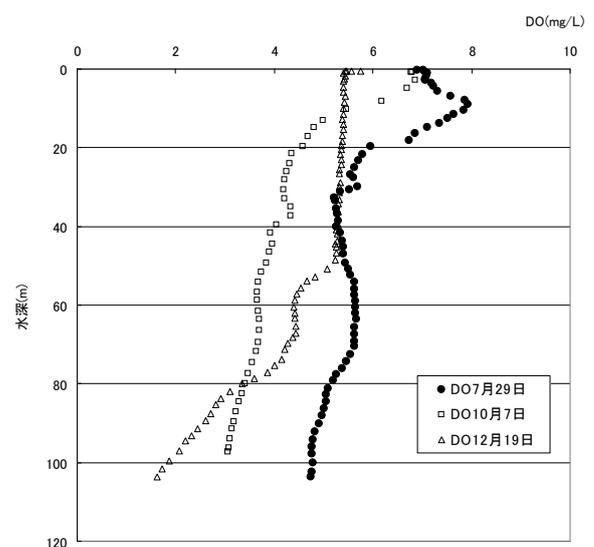


図4 基準点1におけるDOの鉛直分布

### 3. 1. 2 10月7日複数地点調査について

10月7日における湾奥部の水質状況を把握するために、複数地点の調査を実施した。水温及び塩分鉛直分布について、基準点2, 3の結果を図5-1に、監視点イ, トの結果を図5-2に示す。また、DO鉛直分布について、基準点2, 3の結果を図6-1に、監視点イ, トの結果を図6-2に示す。なお、比較のため基準点1の結果を併せて示している。

水温について、基準点1とそれぞれの地点を比較すると、どの地点も基準点1と同様に表層から水深40m付近までは一様であり、水深80m付近までは徐々に低下し、水深80m以深では約16℃で一様になっていた。

塩分については、監視点トは基準点1と同様になっていたが、基準点2, 3, 監視点イについては表層から水深50m付近までの塩分が低くなっていた。

DOについては、表層から水深20mまでに地点ごとの違いが多少見られるが、いずれの地点でも水深20～40mのDOは約4mg/Lであり、水深100mまでは基準点1とほぼ同様の結果となっていた。基準点2については基準点1と全水深が大きく変わらないこともあって、結果はほぼ同様なものであり、底層のDOは2.8mg/Lであった。調査時の全水深が140mの基準点3については、水深100～135mではDOが約3mg/Lとなっており、底層付近のDOが2.6mg/Lに低下していた。一方、調査時の全水深が128mの監視点イ及び全水深160mの監視点トについて、水深100～120mではDOは約3mg/Lとほぼ変わらないが、水深120m以深でDOが低下し、監視点イの底層で2.2mg/L、監視点トの底層で1.5mg/Lになっていた。

以上のことから、10月7日の調査地点による水質状況の違いは以下ようになる。水温については調査地点による違いは見られなかったが、塩分では地点により水深50m付近までの塩分が低くなっていた。このことは、淡水と海水の混合によるものと考えられる。DOについては水深100mまではどの地点も大きくは変わらなかった。水深100m以深では、基準点3の底層付近でDOが低下するのに対し、監視点イ, トについては水深120m以深でDOが低下し、底層のDOも比較的低い値であった。湾奥部の中でも、北部に位置する基準点2や中央部の基準点3よりも、東部の監視点トや南東部に位置する監視点イが底層付近のDOが低くなっていたのは、底層付近の海水の交換が良くないからであると推察される。

塩分に関して、基準点1や監視点トの表層から水深50mまでの塩分は比較的高くなっていたのに対し、基準点2, 3, 監視点イでは比較的低くなっていた。これは、天降川などからの淡水と海水の混合によるものと考えられる。しかし、湾奥部の中でも海水の交換が良くないと考

えられる南東部の監視点イの周辺には大きな河川は存在していない。また、前段落で述べたDOの結果においても、地点によって底層付近のDOの状況が異なることが明らかとなった。このことは、湾奥部の表層から底層における、水平・鉛直方向の海水の動きが非常に複雑であることを示唆している。これまでの湾奥部の常時監視において、底層直上を対象とした調査はなされていない。今回の多項目水質計を用いた複数地点調査により、常時監視の測定結果から読み取ることでできない湾奥部の海水の動きの一部について考察することができた。今後は湾奥部における海水の動きについて詳細な観測を行うことが望ましい。

### 3. 1. 3 12月19日湾奥部水深205m地点について

3.1.1により、実施した3回の調査の中では12月19日の底層付近のDOが最も低くなることが分かった。そのため、湾奥部最深部付近の水深205m地点にて水質状況調査を実施した。この地点の水温及び塩分鉛直分布を図7に、DO鉛直分布を図8に示す。この地点では、塩分濃度は表層から底層まで一様であったが、水温は表層から水深80mまでは約19℃となっていたのに対し、水深100mから底層では約16℃と低くなっていた。DOの鉛直分布より、表層から水深50mまではDOが5～6mg/Lであり、水深50m以深では徐々にDOが低下していき、水深100mではDOが2.1mg/Lになっていた。ここまでは、全水深が約100mの基準点1とほぼ同様の結果であるが、100m以深ではDOが更に低くなり、水深200m付近の下層DOは0.1mg/Lと無酸素状態であった。その要因は、基準点1と同様に、水深100m以深では微生物等によるDOの消費が大きくなったためと推察される。

この地点は監視点トの500m程東側に位置している。監視点トの常時監視における最大調査深度は150mであり、これまで最深部付近の底層直上の調査は実施されていないかった。また、高橋が1976年9月に最深部地点にて行った15日間の潮流観測によると、水深180m層の潮流は測定下限以下であり、夏期の底層水はほぼ完全に静止している状態にあると報告されている<sup>7)</sup>。この地点では、冷え込みの厳しい時期にかけて生じる鉛直混合や循環、または水平方向からの流入等に起因するDOの供給がどこまで生じているのか確認する必要がある。

### 3. 1. 4 下層DO調査結果について

基準点1についての海底から約1m付近の下層DOは、7月29日が4.7mg/L、10月7日が3.0mg/L、12月19日が1.7mg/Lであった。また、10月7日に複数地点で行った調査

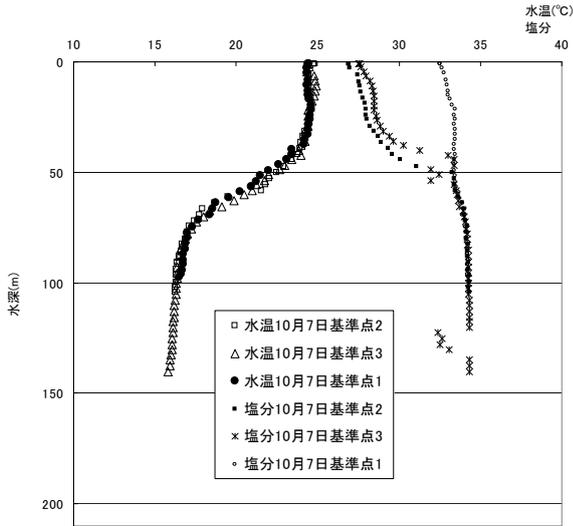


図5-1 10月7日調査における水温、塩分の鉛直分布

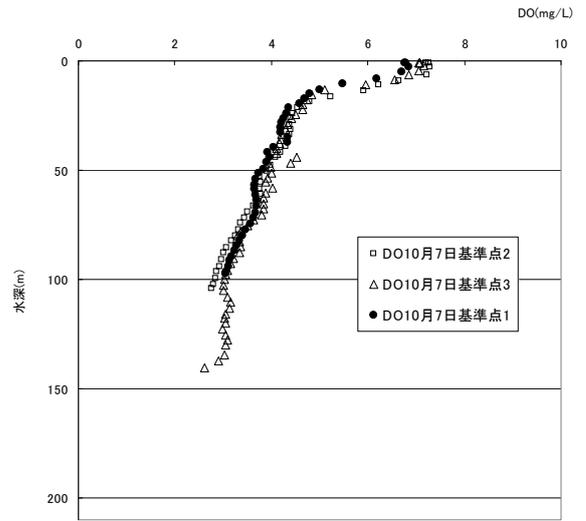


図6-1 10月7日調査におけるDOの鉛直分布

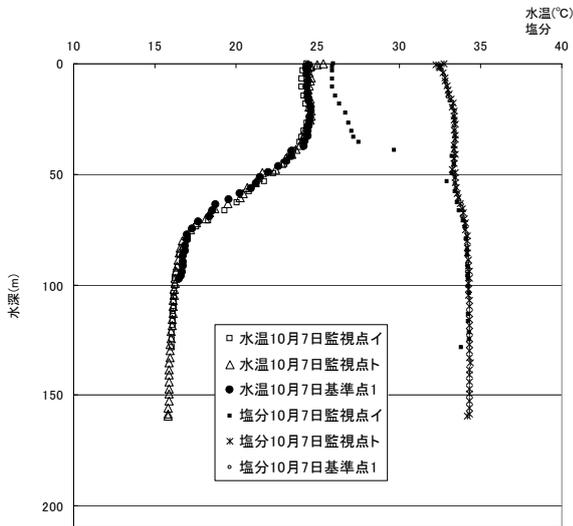


図5-2 10月7日調査における水温、塩分の鉛直分布

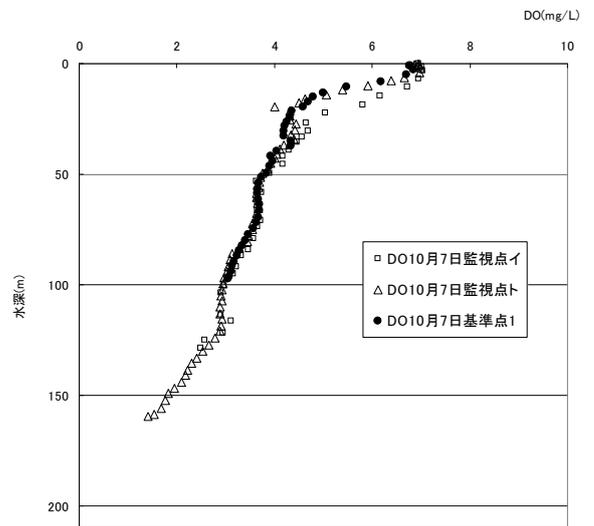


図6-2 10月7日調査におけるDOの鉛直分布

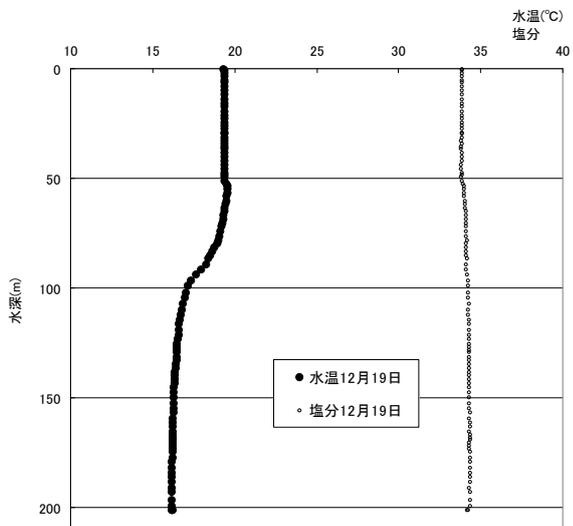


図7 湾奥部水深205m地点における水温、塩分の鉛直分布

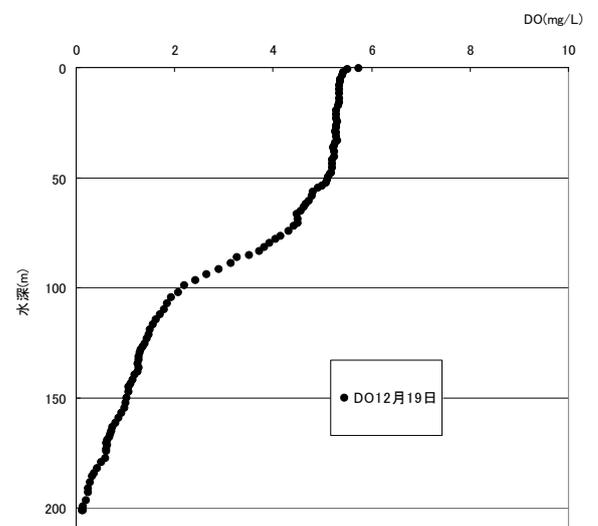


図8 湾奥部水深205m地点におけるDOの鉛直分布

結果より、基準点2, 3ではそれぞれ2.8, 2.6mg/Lであり、監視点イ, トについてはそれぞれ2.2, 1.5mg/Lであった。さらに、12月19日の湾奥部水深205m地点では0.1mg/Lであった。

魚貝類の生息域の確保のための底層DO目標の水域類型区分<sup>8)</sup>を参考にすると、溶存酸素の減少に対する耐性が弱い魚貝類を除く種（カサゴ、マダイなど）が成魚及び未成魚段階で生息できる水域の底層DO目標値は3mg/L以上となっている。今回の調査結果により、10月7日及び12月19日では、湾奥部の多くの地点でこの目標値を満たしていないことが分かった。さらに、溶存酸素の減少に対する耐性が強い魚貝類が成魚及び未成魚段階で生息できる水域の底層DO目標値は2mg/L以上となっている。今回の調査結果により、10月7日の監視点トや12月19日の湾奥部水深205m地点でこの目標値、すなわち水域類型区分の中で最も低い底層DO目標値を満たしていないことが明らかになった。

今後は、下層DOが最も低下すると考えられる12月や、1, 2月などの冷え込みの厳しい時期に混合・拡散がどこまで生じているかを確認するために、複数地点において詳細な調査を最低限行う必要がある。

### 3. 2 水温ロガーによる海水温連続観測

#### 3. 2. 1 海水温連続観測結果について

2011年1月1日0時00分から2011年12月31日23時30分までに鹿児島市鳴池地区において実施した海水温連続観測

結果を図9に示す。以下に2011年の月ごとの傾向を大まかに述べる。1月から2月までは水温が低下していき、2月から3月にかけて表層水温及び底層水温が約15.5℃と年間で最も低くなっていた。1月までは表層水温が底層水温よりも低くなっていたが、これが2, 3月には表層も底層もほぼ同じ、またはわずかに低くなっていた。この間、温かい海水の流入と考えられる海水温の上昇が数回生じる。これが4月になると海水温が上昇し始め、5月から6月には気温の上昇や日照とともに表層の水温がまず上昇していき、表層と底層との温度差がはっきりと見られるようになる。この温度差は7月にピークを迎え、24時間の平均で約7℃まで広がっている。7月半ばから8月にかけては表層水温が約28℃とも高くなった。9月下旬からは表層も底層水温もほぼ同じになり12月まで徐々に低下していた。この変化は常時監視調査結果からも裏付けられており、連続観測により表層から水深20mまでにおける夏季の成層の成立及び消滅時期を特定することができた。

#### 3. 2. 2 常時監視調査地点との比較

水温ロガーによる海水温の観測結果と、監視点ハ-表層、基準点8-表層、基準点13-表層における海水温の採水時測定結果、及びその際の気温データと併せたものをそれぞれ図10～12に示す。

まず、監視点ハ-表層については、ロガー水温と採水時測定水温は3, 7, 9, 11月でおおむね一致しているが、

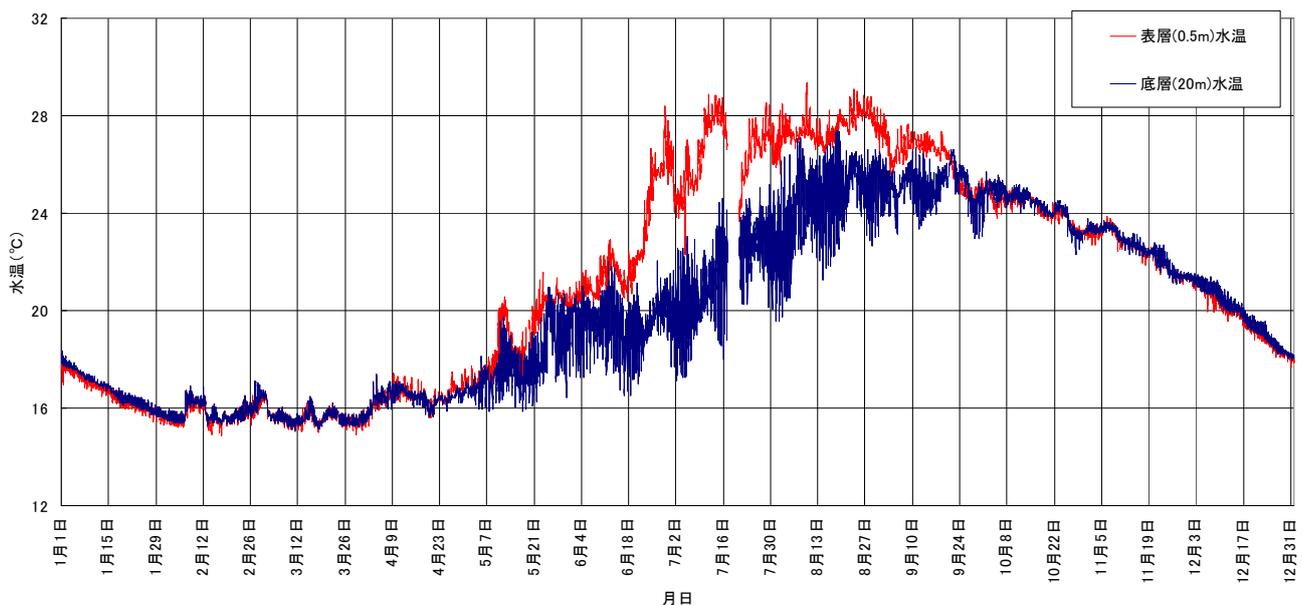


図9 2011年の海水温連続観測結果

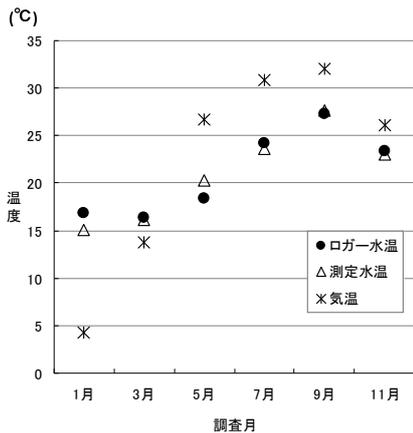


図10 監視点ハ-表層との比較

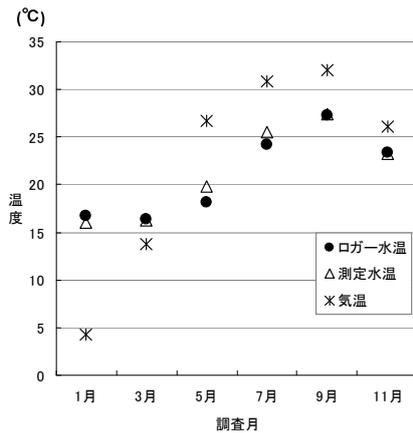


図11 基準点8-表層との比較

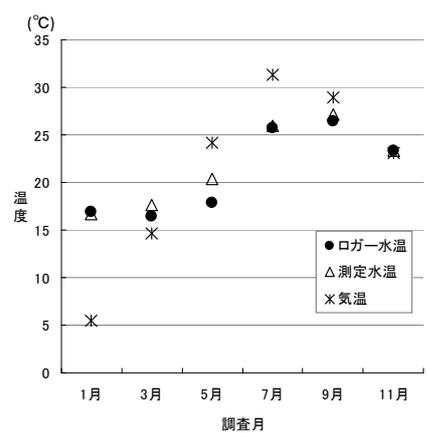


図12 基準点13-表層との比較

1, 7月については1.5°C以上の差が見られた。水温差の絶対値の平均値は0.9°Cであった。基準点8-表層については、5月以外はほぼ一致しており、水温差の絶対値の平均値は0.7°Cであった。基準点13-表層でも、5月以外はおおむね同様の値で、水温差の絶対値の平均値は0.8°Cであった。この水温差の要因については、いずれの地点でも採水時測定水温が当時の気温の方向に上下していることから、採水後の気温による影響を受けている可能性が推察される。

以上より、鴨池地区に設置した水温ロガーの表層水温は、基準点8-表層におおむね類似した値となることが分かった。このことは、常時監視における採水後の水温の変動を受けずに、正確な海水温を測定できる有用な手段であることを示唆している。

#### 4 まとめ

本研究では、下層の低DOが懸念される鹿児島湾奥部について、多項目水質計による鉛直観測を行った。また、鹿児島市鴨池地区に設置した水温ロガーについて、海水温連続観測結果の解析・常時監視の測定結果との比較を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 水深の深い鹿児島湾湾奥部における底層付近のDOは、12月19日に最も低い値となっていた。
- 2) 湾奥部の中でも、東部に位置する監視点トや南東部に位置する監視点イの底層付近のDOが低くなる傾向にあった。
- 3) 湾奥部水深205m地点では、12月19日に底層が無酸素状態になっていた。
- 4) 10月7日、12月19日の多くの地点で、下層DOが3mg/Lを満たしていなかった。
- 5) 海水温は、表層、底層共に2月から3月に最も低くなっていた。表層水温は7月から8月まで高い温度を保つ

のに対し、底層水温は約一月遅れの8月から9月に最も高くなった。

- 6) 表層の水温ロガーは、常時監視の基準点8-表層とおおむね類似した値となった。常時監視における採水後の水温の変動を受けずに、正確な海水温を測定できる有用な手段である。

#### 参考文献

- 1) 環境省水・大気環境局水環境課長通知；要測定指標の測定の実施について（協力依頼）（環水大発第110324001号），2011年3月24日
- 2) 上野；鹿児島湾奥部の水質環境（溶存酸素を中心として），うしお，293，（2002）
- 3) 鹿児島県水産技術開発センター；鹿児島湾貧酸素情報No.2（2011）
- 4) 気象庁；<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 5) 気象庁；海洋観測指針（1999）
- 6) 永山恵，岩淵美香，他；川崎港の海水温と水質変動に関する調査，第34回環境・公害研究合同発表会，（2010）
- 7) 高橋淳雄；内湾における流系の変動について，内湾における海水循環過程の研究 研究経過報告書，1～7（1978）
- 8) 環境省水・大気環境局水環境課；閉鎖性海域中長期ビジョン（2010）

## Discussion about the Water Quality Survey in Kagoshima Bay

Hiroshi KIJIMA, Katsuyuki SAKAMOTO, Yuichi OTSUJI

Rio NAGAI, Kazufumi NAGAI

( Kagoshima Prefectural Institute for Environmental Research and Public Health  
18, Jonan-cho, Kagoshima-shi, 892-0835, JAPAN )

### Abstract

In this study, we surveyed water quality using multi-parameter water quality instruments in closed-off section of Kagoshima bay having bad water exchange. And we analyzed about observation of water temperature by using temperature-recording device set up at Kamoike area in Kagoshima city, and compared this observation with constant monitoring observation. The following became to be cleared.

- (1) Dissolved oxygen neat the bottom layer of the closed-off section of Kagoshima bay decline most on December.
- (2) There is no dissolved oxygen at the bottom layer of the deepest point in the closed-off section of Kagoshima bay on December.
- (3) Observation of the surface sea temperature by using temperature-recording device is nearly corresponding to the constant monitoring point 8 at Kagoshima bay. This observation is effective to monitor accurate temperature of the sea.

**Key Words** : Kagoshima Bay, Multi-parameter water quality instruments, Dissolved oxygen at the bottom layer of the sea, Observation of sea water temperature by using temperature-recording device