

ノート

鹿兒島湾湾奥部における水質調査に関する考察

貴島 宏 坂元 克行¹ 尾辻 裕一²
 須納瀬 正

要 旨

複雑な海底の形状のため海水の交換が起こりにくい鹿兒島湾湾奥部において、2012年12月14日、2013年1月30日、3月7日に多項目水質計を用いてDO等の鉛直観測を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 湾奥部における底層のDOは、年間を通じて12月頃に最も低い値となり、監視点トでは底層が無酸素状態になっていた。これは2011年度に実施した調査結果と同じ傾向であった。
- (2) 湾奥部の底層付近のDOは、12月から3月にかけて回復することが分かった。監視点トの底層では、12月に無酸素状態であったものが、1月30日には6.6mg/L、3月7日には6.9mg/Lにまで上昇した。これは湾中央部のDOを豊富に含んだ海水が、湾奥部の底層に流入することに起因すると推察される。
- (3) 今後湾奥部の基準点において下層DO調査を実施するには、10～12月を中心とするのが望ましいと考えられる。

キーワード：鹿兒島湾、溶存酸素、下層DO、多項目水質計

1 はじめに

鹿兒島湾は、南北約80km東西20kmの細長く入り組んだ内湾であり、桜島と鹿兒島市街地を結ぶ水深40m、幅1.9kmの西桜島水道を隔てて、北方の湾奥部（最大水深206m）と南方の湾央・湾口部に大別される。鹿兒島湾は、特に湾奥部において海水の交換が起こりにくく、赤潮の発生が起こりやすいことや、水深30mまでの比較的浅い層において貧酸素水塊が発生しやすいことが知られている¹⁾。

近年、水質汚濁が著しい閉鎖性海域などにおいて、水温成層が生じる夏季を中心に、底層に貧酸素水塊が発生し、水生生物の生育に好ましくない状況が発生している。そのため、環境省では水質汚濁に係る新規環境基準項目として「下層における溶存酸素」を導入することに向けた準備が進められている²⁾。また、本県では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「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）に取り組んでいる。こ

の共同研究の一環として、鹿兒島湾内で貧酸素水塊の発生が懸念される地点を選定し、下層DOの状況を把握するための調査を実施している。

湾奥部にて2011年度に実施した下層DO調査結果に関しては、既報³⁾により報告した。湾奥部の基準点1（水深約100m）では、8月、10月、12月のうち12月の下層DOが最も低下することや、湾奥部最深部地点では12月の底層が無酸素状態になることが分かった。しかしながら、調査回数や調査地点数が十分でなく、鉛直混合が最も活発になる1～2月の調査ができなかった。そこで、本報では鉛直混合が最も活発になる期間を含む12～3月におけるDOの状況を把握するため、2012年度に実施したDO等の鉛直観測結果について報告する。

2 多項目水質計を用いたDO等の鉛直観測方法

2.1 調査地点

図1に鹿兒島湾の地図及び調査地点を示す。調査地点と

鹿兒島県環境保健センター
 1 大隅地域振興局保健福祉環境部
 2 環境放射線監視センター

〒892-0836 鹿兒島市城南町18
 〒893-0011 鹿屋市打馬2-16-6
 〒895-0054 薩摩川内市若松町1

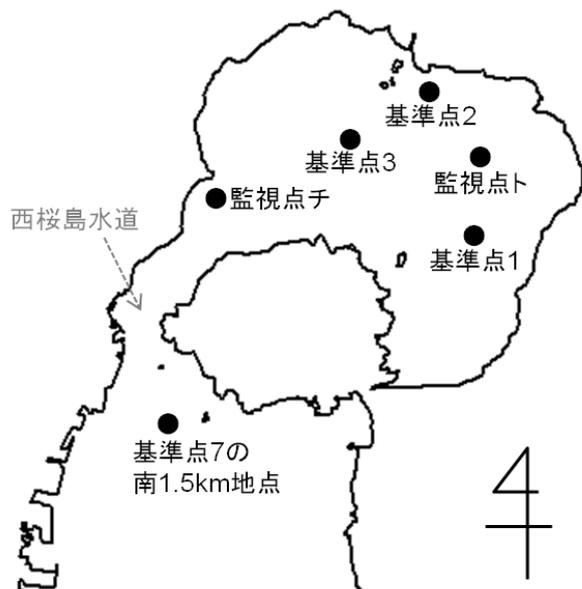


図1 調査地点図

しては、公共用水域常時監視調査が行われている基準点1, 2, 3並びに監視点ト, チを設定した。また、湾中央部に位置する基準点7の南1.5km地点（水深約155m）を調査点として追加した。この地点は、監視点チ（水深約145m）の西桜島水道を隔てて反対側に位置する地点である。

2. 2 調査時期

既報³⁾により、水深の深い鹿児島湾湾奥部における底層付近のDOは、8～12月のうち12月が最も低くなるから、本調査は、晩冬期におけるDO等の状況を把握することとした。調査は、湾奥部の中でも代表的な地点である基準点1の底層（水深約100m）までの鉛直観測結果がほぼ同様³⁾であった、湾奥部最深部に近い監視点ト（水深約200m）において、2012年12月14日、2013年1月30日、3月7日の計3回実施した。また、1月30日には全地点での調査を行った。

2. 3 調査項目

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。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を用いた。

使用機器：HYDROLAB社製DS5x

測定項目：水深、水温、DO、塩分、pH等

3 結果及び考察

3. 1 監視点トにおける調査結果について

監視点トで12月14日、1月30日、3月7日に実施した調査について水温、塩分、DOの鉛直測定結果を図2～4に示す。なお、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⁴⁾で表記した。

まず、水温については、12月14日では表層から水深60mまでは水温が様になっており、水深150mまで低下して、水深150mから底層では16.6℃になっていた。1月30日では、表層から水深90mまで一様になっており、水深120m付近に温度のわずかな上昇が見られ、底層にかけて低下していた。水温は全層にわたって12月14日よりも低下していることが分かる。3月7日では、表層水温が前回の測定よりも低下しているが、水深25m付近では16.0℃と1月30日と同様の温度になっていた。それ以深では、水深80m付近にわずかな水温の上昇が見られるものの、水深100m以深は約15.5℃になっていた。1月30日と比較すると、中層から底層にかけて大きく温度が低下していることが見てとれる。

次に、塩分について、12月14日では表層から水深60mまではやや低い値で一様になっており、水深150mから底層までは33.9‰に収束していた。1月30日には、表層から水深90mにかけて一様であり、12月14日よりも表層から水深130m付近までは塩分の上昇が見られるものの、底層付近は前回とほぼ同様であった。3月7日では、表層付近のみ塩分が低くなっているが、水深20mから底層までやや高い値になっており、1月30日よりも水深20～100mまでの塩分が上昇していることが分かる。

最後に、DOについて、12月14日では表層から水深60m付近までのDOが6.5mg/L付近で一様になっており、これが水深180mにかけて大きく低下し、水深180mから底層では無酸素状態となっていた。12月の底層が無酸素状態となっていた結果は、既報³⁾で報告した2011年12月の結果と同等のものであった。1月30日では、表層から水深90mまでのDOは12月14日と変わらないのに対して、水深80m以深で大幅な上昇が認められる。さらに、DOが水深100～120mにかけて低下、120m以深で再び上昇していることが特徴的であり、底層のDOは表層よりも高くなっていた。3月7日では表層から水深10mまでのDOが10.0mg/Lと高くなり、DO飽和度が約120%と過飽和となっていた。水深20m以深では、徐々にDOが上昇しており、底層のDOは水深20m以深で最も高い値であった。1月30日と比較すると、水深100m以深ではDOが上昇しており、水深120m付近で見られたDOの特徴的な挙動は確認できなかった。

以上のことから、監視点トで2012年度の12～3月に実施した計3回の調査結果をまとめると以下のようなになる。12月14日には、表層から水深60m付近までの水温、塩分、DOがほぼ一様になっていたことから、この層まで鉛直混合が生じており、1月30日には鉛直混合が水深90m付近まで達したものと考えられる。1月30日の水深100～120m付近

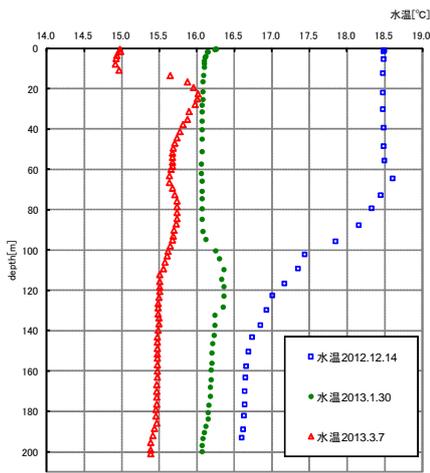


図2 監視点トにおける水温鉛直分布

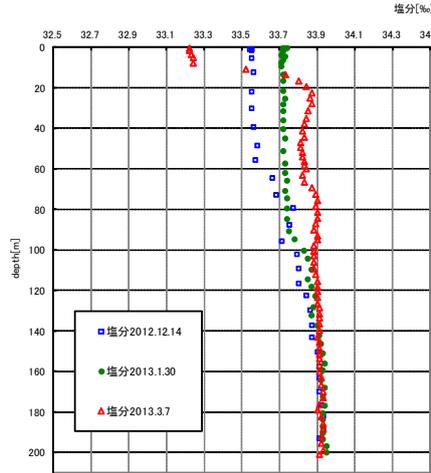


図3 監視点トにおける塩分鉛直分布

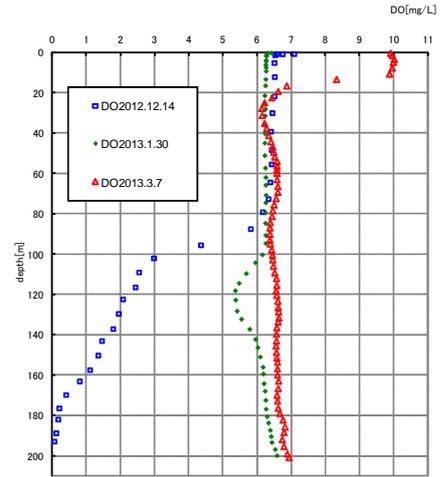


図4 監視点トにおけるDO鉛直分布

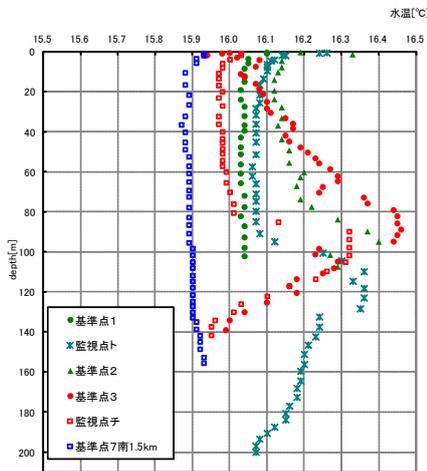


図5 1月30日における水温鉛直分布

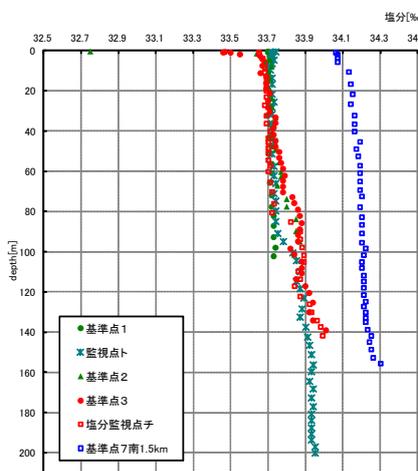


図6 1月30日における塩分鉛直分布

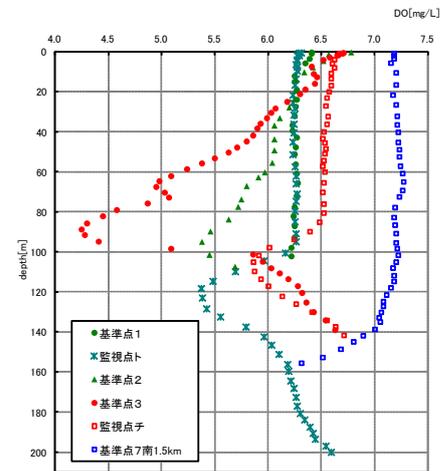


図7 1月30日におけるDO鉛直分布

では水温が上昇、DOが減少しており、120m以深で再び水温が低下、DOが上昇するという特徴的な現象が見られた。さらに、底層のDOが12月14日から大幅に回復し、表層よりも高くなっていた。鉛直混合によるDOの供給や水温の低下は浅いところから深いところへ徐々に進行するので、このことについて鉛直混合だけでは説明が難しく、水平方向の海水の大きな動きがあることが予想されるが、詳細については次節で述べる。3月7日では、表層付近の水温、塩分が低く、DOが過飽和になっていることから降雨や河川から流入した淡水、もしくはその影響を受けて植物プランクトンなどが増殖し光合成が活発に行われているものと推察される。1月30日と比較して、水深100m以深での水温が大きく低下し、DOがわずかに上昇していることから、3月7日までの間にも水深100m以深で水平方向の海水の動きが生じている可能性が示唆される。

3. 2 1月30日複数地点調査結果について

1月30日に基準点1, 2, 3, 監視点チ, ト, 基準点7の南1.5km地点にて実施した複数地点調査結果について図5～7に示す。

まず、水温について、湾奥部の多くの地点で水深100m前後をピークに水温のわずかな上昇が見られ、それ以深で再び水温が低下していた。湾奥部の中でもより奥側に位置する監視点トでは水温の上昇が水深120m付近で見られた。湾奥部の中央に位置する基準点2や3では水温の上昇が水深90～100mをピークに見られ、監視点トよりも浅い層から減少していた。底層の水温は、水深の深い基準点3や監視点ト, チで表層以下になっており、湾中央部に近い監視点チが最も低くなっていた。これに対して、湾中央部に位置する基準点7の南1.5km地点では水深100m前後での水温の特徴的な上昇は見られず、表層から底層まで湾

奥部よりも低い温度でほぼ同様であった。

塩分については、基準点1や監視点トでは表層から水深100m付近まで33.7‰で一様であり、水深120m以深では約33.9‰となっていた。また、基準点3や監視点チでは水深90m以深で約33.9‰になり、底層でのみわずかに上昇していた。一方、基準点7の南1.5km地点では、全層にわたり湾奥部よりも高い値となっていた。

DOについては、湾奥部の多くの地点で水深100m前後をピークにDOの特徴的な減少が見られた。基準点1や監視点トでは表層から水深100mまでのDOが一様になっており、監視点トでは前節で述べたように水深120m付近まで減少しており、基準点2や3、監視点チにおいては、DOの減少のピークが水深90～100mにあり、基準点2や3では監視点トよりも浅い層から減少していた。これらの中層付近での最も減少したDOの値は、基準点3で最も低くなっており、基準点2及び監視点トでも大きく低下していた。中層から底層まではDOが増加し、基準点3や監視点ト、チでは底層のDOが表層以上の濃度にまでなっていた。これに対して、基準点7の南1.5km地点では、表層から水深130m付近まで約7.2mg/Lと湾奥部よりも高い値で一様になっており、底層でのみ減少していた。

以上のことから、1月30日における湾奥部の海水構造は、地点によって層の深度が異なるものの表層、中層、底層に大きく分けられる。

表層の海水は、比較的低温・低塩分・比較的高DOになっており、監視点トを例にとると、水温・塩分・DOが一様になっていた水深90mまでである。他の地点では、表層水は監視点トよりも浅い層にあると考えられる。

中層については、表層、底層よりも水温が上昇し、DOが減少するという特徴的な挙動を示していた層である。湾奥部でも中央に位置する基準点3においてこの特徴が顕著に見られた。

底層については、水深の深い基準点3や監視点ト、チの底層で見られたように、表層以下の水温、高塩分、表層以上のDOとなっていた層である。

前節でも述べたが、湾奥部の1月30日における中層から底層における特徴的な海水構造は、鉛直混合だけでは説明がつかず、底層付近での水平方向の海水の大きな動きがあることを示唆している。ここで、基準点7の南1.5km地点では全層にわたって湾奥部よりも冷たく、塩分とDOが高くなっていた。湾奥部の範囲内では、比重が大きくDOを豊富に含んだ海水は湾中央部に由来するため、湾中央部の海水が水深40mの西桜島水道を経て、湾奥部の底層を這うように流入しているものと考えられる。このことは高橋⁵⁾が、湿度の少ない冬期においては湾奥部の海底に西桜

島水道の下層から海水が流入すると報告していることと一致していた。前節により、湾奥部最深部付近の監視点トにおける底層DOが12月14日の無酸素状態から、1月30日には6.6mg/Lに上昇し、3月7日には6.9mg/Lとさらに上昇していた。このことから、底層流入は12月から1月に起こり始め、3月までの間に湾奥部の中層～底層の密度差が小さくなるまで継続して生じるものと推察される。

さらに、1月30日の中層においては、湾奥部の多くの地点で中層での水温の上昇、DOの低下が見られたのは、12月に中層から底層にあった海水が底層に流入してきた湾中央部の海水に押し上げられて上昇したことによると推察される。湾中央部の中央に位置する基準点3や北側の基準点2では、監視点トよりも水深の浅い層からこの現象が見られ、特に基準点3では顕著であったことから、中層水が湾奥部で反時計回りの動きをしている可能性が考えられるが、この時期の湾奥部の中層以深では複雑な海水の動きがあり、気温や海水温、気象条件等によってもその状況が変わってくるので、今後の詳細な検討が必要である。

今回の調査により、水深の深い湾奥部の底層付近のDOは12月頃に最も低下することが明らかとなった。下層DOは水生生物の生息域や再生産の場の確保のために基準が設定されるので、複雑な海底の形状を有する湾奥部の水生生物の生息域や再生産の状況に応じては、より浅い層に基準が設定されることも考えられる。既報³⁾により、湾奥部の水深20～40mのDOは10月頃に低下することを考慮すると、今後湾奥部の基準点において下層DO調査を実施するのは、10～12月頃を中心とするのが望ましいと考えられる。

従来の常時監視調査では、採水水深が湾奥部で最も多い基準点3でも表層、20m層、65m層、130m層の計4層で、採水水深が最も深い監視点トでも表層、75m層、150m層となっており、採水間隔も2か月に1回のみ（奇数月に実施）である。これまで間欠的に測定されてきた常時監視調査結果では把握が難しい海水の動きの一部について、今回の調査により考察することができた。

4 まとめ

鹿児島湾湾奥部において、冬期～晩冬期（12～3月）におけるDOの状況を把握するため、2012年度に湾奥部にDO等の鉛直観測を実施した結果、以下のことが明らかになった。

1) 湾奥部における底層のDOは、年間を通じて12月頃に最も低い値となり、監視点トでは底層が無酸素状態となっていた。これは2011年度に実施した調査結果と同じ傾向であった。

- 2) 湾奥部の底層付近のDOは、12月から3月にかけて回復することが分かった。監視点トの底層においては、12月に無酸素状態だったが、1月30日には6.6mg/L、3月7日には6.9mg/Lにまで上昇した。これは湾奥部のDOを豊富に含んだ海水が、湾奥部の底層に流入することに起因すると推察される。
- 3) 今後湾奥部の基準点において下層DO調査を実施するには、10～12月を中心とするのが望ましいと考えられる。

参考文献

- 1) 上野；鹿兒島湾奥部の水質環境（溶存酸素を中心として）、うしお, **293**, (2002)
- 2) 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）（環水大水発第110324001号），2011年3月24日
- 3) 貴島宏，坂元克之，他；鹿兒島湾における水質調査に関する考察，本誌, **13**, 50～57 (2012)
- 4) 気象庁；海洋観測指針（1999）
- 5) 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)

Discussion about the Water Survey in closed-off Section of Kagoshima Bay

Hiroshi KIJIMA, Katsuyuki SAKAMOTO, Yuichi OTSUJI
Tadashi SUNOSE

〔 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 on December 14 2012, January 30 2013 and March 7 2013. The following became to be cleared.

- (1) Dissolved oxygen near the bottom layer of the closed-off section of Kagoshima bay decline most on December. There is no dissolved oxygen at the bottom layer of the deepest point in the closed-off section of Kagoshima bay on December. This result was same as the result on 2011.
- (2) Dissolved oxygen near the bottom layer of the closed-off section of Kagoshima bay increase from December to march. This increase is due to the water delivered from center of Kagoshima bay.
- (3) Survey of dissolved oxygen at the bottom layer of the closed-off section of Kagoshima bay is preferable to practice between October to December of year.

Key Words : Kagoshima Bay, Dissolved oxygen, Dissolved oxygen at the bottom layer of the sea