

— 速報 —

## 2006年夏季の有明海奥部における大規模貧酸素化\*

濱田 孝治<sup>†</sup>・速水 祐一<sup>†</sup>・山本 浩一<sup>†</sup>・大串 浩一郎<sup>†‡</sup>・  
吉野 健児<sup>†</sup>・平川 隆一<sup>‡</sup>・山田 裕樹<sup>‡</sup>

### 要 旨

2006年夏季の有明海では過去最大規模の貧酸素水塊が形成された。貧酸素化 ( $DO < 3 \text{ mg L}^{-1}$ ) は7月初旬に始まり、台風10号が通過した8月中旬まで継続した。もっとも発達した8月上旬には、貧酸素水塊は大牟田-竹崎島以北の有明海奥部全域に広がった。1972年以來の浅海定線調査データと比較すると、2006年夏の底層溶存酸素は大潮期としては過去最低レベルであった。これは、7月の降水量が例年に比べて多く、大規模な出水が繰り返し生じた結果、強い塩分成層が長期間維持されたことが直接の原因である。しかし、同程度の出水があり、やはり強い塩分成層が存在した1980年と比較すると、2006年の方が貧酸素化が激しかった。これは、底泥の有機物含有量の増加により有明海奥部が貧酸素化しやすい環境に変化してきたためと考えられる。

キーワード：有明海，貧酸素水塊，出水

### 1. はじめに

有明海は貧酸素水塊の発生しにくい領域であると考えられてきたが(佐々木ら, 2003), 近年, 貧酸素水塊によるベントスや魚類への影響が問題とされるようになってきた(水産庁, 2006)。有明海の貧酸素水塊は奥部と諫早湾で発生する(木元ら, 2004)。本研究では、特に有明海奥部に発生する貧酸素水塊に注目し、その形成から消失までのプロセスを明らかにするため、2006年夏に船舶による水質観測と係留観測とを組み合わせた大規模調査を実施した。奇しくも2006年はそれまでと比較して最大級の貧酸素水塊の発生した年であり、

有明海奥部の生態系に大きな影響を与えた可能性があると考えられたので、ここに速報的に報告する。なお、本研究では溶存酸素濃度(DO)  $3.0 \text{ mg L}^{-1}$  以下を貧酸素とする定義を採用した。

### 2. 観測と結果

Fig. 1に示すA01-A17, B01-B15の各点について、Table 1に示す日程で、多項目水質計による水質観測(水温、塩分、DO)を行った。潮時を極力あわせるため、観測点数の多いときは2隻の漁船で観測を行った。使用した機材はアレック電子製AAQ1183(単独で使用し、水温、塩分、DOを測定)、アレック電子製Compact-CTDおよびYSI ナノテック製YSI-600QS(結束して使用し前者で水温と塩分、後者でDOを測定)である。AAQ1183は  $20 \text{ cm s}^{-1}$ 、Compact-CTDとYSI-600QSは  $10 \text{ cm s}^{-1}$  で降下させ、着底後海底上30 cm付近で

\* 2007年1月23日受領；2008年5月31日受理  
著作権：日本海洋学会，2008

<sup>†</sup> 佐賀大学有明海総合研究プロジェクト  
〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町1番地  
主著者 e-mail address : hamada@cc.saga-u.ac.jp

<sup>‡</sup> 佐賀大学理工学部  
〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町1番地

Table 1. Time and area of the surveys with lunar age and high water time.

Date	Lunar age	HW time	Observation duration	Stations
6/27	1.5	9:43	8:10–12:15	A01–A17, B01–B15
7/3	7.5	13:25	11:45–15:42	A01–A17, B01–B15
7/7	11.5	5:10	8:47–14:22	A01, A03, A10, A13, B02, B12, B14
7/10	14.5	7:59	6:15–8:47	A01–A03, A10, A13, B02, B12–B15
7/13	17.5	10:25	8:44–12:25	A01–A17, B01–B15
7/16	20.5	12:37	11:16–13:08	A01, A03, A10, A13, B02, B12, B14
7/20	24.5	17:16	15:15–19:19	A01–A17, B02, B12, B14
7/23	27.5	7:20	5:41–9:54	A01–A17, B01–B15
7/26	0.9	9:35	7:38–11:38	A01–A17, B02, B12, B14
7/30	4.9	11:36	10:01–12:57	A01–A17, B01–B17
8/5	10.9	4:15	5:13–8:16	A01, A03, A10, B02, B12, B14
8/8	13.9	7:51	6:10–8:59	A01–A17, B01–B15
8/16	21.9	13:56	12:50–15:01	A01, A03, A10, A13, B02, B12, B14
8/20	25.9	6:24	5:28–7:21	A01, A03, A10, A13, B02, B12, B14
8/25	1.3	9:50	8:07–11:45	A01–A17, B02, B12, B14

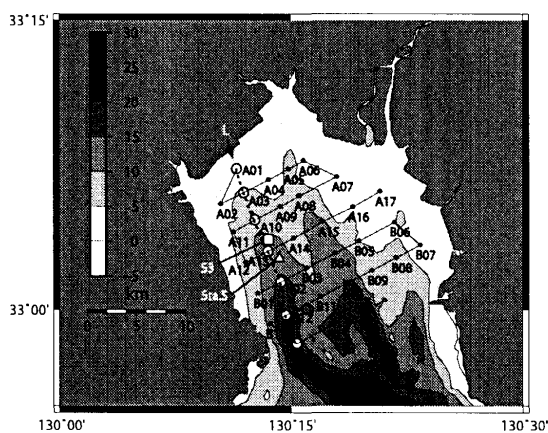


Fig. 1. Bathymetry map of the inner area of the Ariake Sea with the locations of ship survey stations (A01–A17, and B01–B15) and mooring point (S3). Section L is indicated with a dashed line. Monthly monitoring point Sta. 5 by Saga Prefectural Ariake Fisheries Research and Development Center is also plotted.

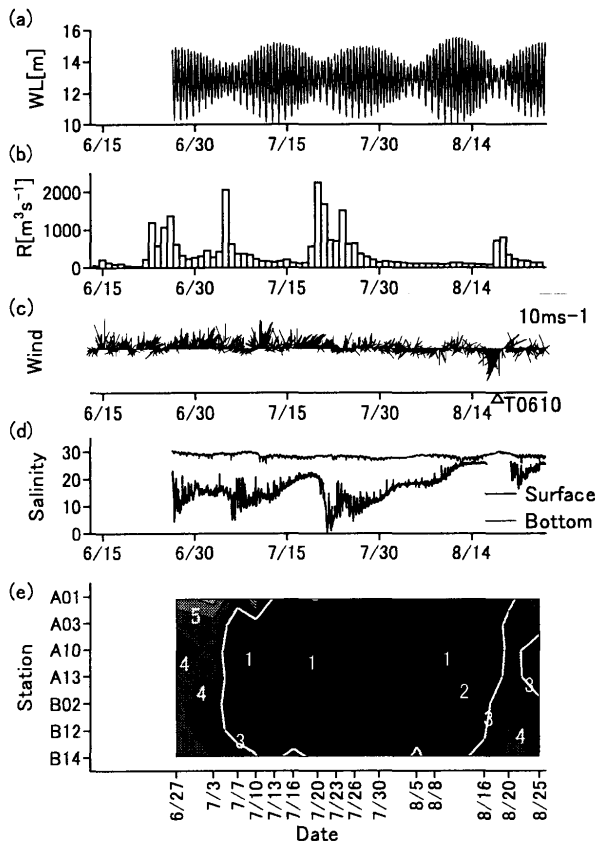
出力が安定するのを待ち、降下時と同じ速度で上昇させた。水温と塩分は下降時の値を使用し、DOは鈴木

ら(1998)の方法に従って下降上昇双方のデータから値を推定した。以上により各点、各項目について0.5 m刻みのプロファイルデータを得た。

船舶による水質観測と並行して、Fig. 1の定線Lの中央付近に位置する定点S3において、2006年6月26日から8月30日まで係留観測を行った。本論文ではアレック電子製Compact-CTWで得られた表層(海面下1 m)および底層(海底上25 cm)の塩分、およびNortek製Aquadopp Profilerで得られた水位のデータを使用した。観測の間隔は10分である。また、佐賀地方気象台における地上気象観測によって得られた毎時の風向・風速、および筑後川瀬ノ下観測所で測定された日平均流量を解析に用いた。

Fig. 2に、観測期間中のS3における水位、筑後川の流量、佐賀の風、S3における表層・底層塩分、及び定線L上の底層(底上0.5 m)におけるDOを示す。

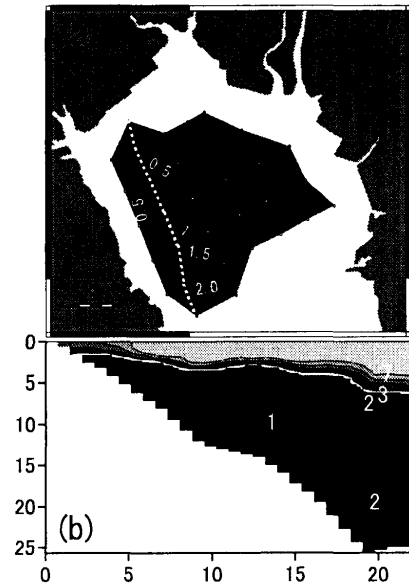
観測期間中には大潮・小潮サイクルが約4回含まれていた(Fig. 2a)。2006年は梅雨明けが遅れ、7月下旬までの間に3回の大出水があり(Fig. 2b)、強い塩分成層が形成され、8月中旬の大潮期に解消するまで長期



**Fig. 2.** Temporal variations of (a) sea level at Sta. S3, (b) discharge of the Chikugo River, (c) wind at Saga, (d) surface and bottom salinity at Sta. S3 and (e) dissolved oxygen in the bottom layer along the section L (from Sta. A01 to Sta. B14).

にわたり継続した。風は観測前半には南よりで、7月下旬以降は台風10号通過時を除くと弱く、方向も一定しなかった。

長期間にわたる強い成層の下で貧酸素水塊が発達し (Fig. 2e), 台風10号が通過するまで定線L上の海底はほとんど貧酸素状態であった。特にA01点では、8月5日の観測で全観測中の最低値である DO 0.1 mg L<sup>-1</sup> を記録した。最も広範囲にわり貧酸素化していた8月8日の底層および定線L断面上のDO分布を Fig. 3に示す。貧酸素水塊は有明海奥部全域に広がり、東側は筑後川河口沖にまで至っていた (Fig. 3a)。また、底層だけでなく、海面下2~5 mの深さまで貧酸素化してい



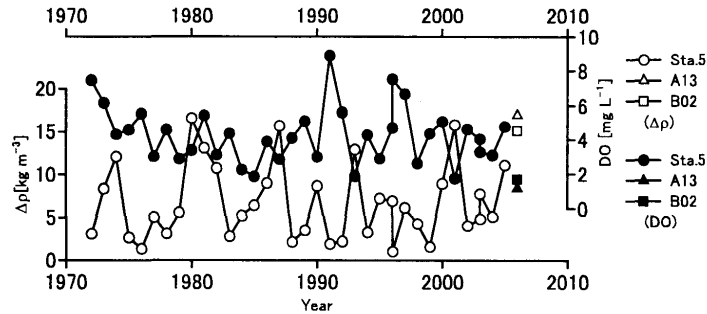
**Fig. 3.** (a) Horizontal distribution of dissolved oxygen at a depth of 0.5 m above the bottom and (b) distribution of dissolved oxygen along the Section L on 8 August, 2006.

た (Fig. 3b)。

貧酸素水塊は台風10号の通過に伴いほぼ解消した。このときは 10 m s<sup>-1</sup> を超える強い北風が連吹し (Fig. 2c), 同時に底層で塩分の上昇が見られた。こうしたことから、北風に伴う沿岸湧昇によって沖側から底層に新鮮な海水が供給されたことと、波浪の発達により海面からの酸素供給と鉛直混合が活発になったことが、貧酸素水塊の解消に寄与したものと考えられる。なお、貧酸素状態はいったん解消したものの、8月25日の観測ではA10からA13付近で再び貧酸素化していた (Fig. 2e)。

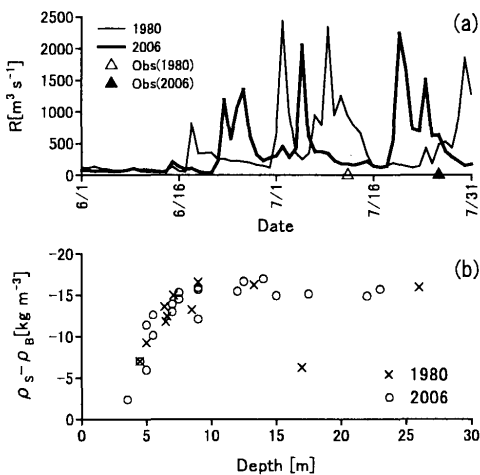
### 3. 考察と結論

2006年夏の貧酸素水塊の規模と強さは過去最大級であった。Fig. 4に、佐賀県の浅海定線調査によって得られた、7月の朔の大潮のSta. 5 (Fig. 1)の表底密度差および底層DOの経年変動を示し、また、同じく朔の大潮である2006年7月26日にSta. 5の最寄りの点であるA13およびB02点で観測された表底密度差および底層DOを示す。7月の朔の大潮にSta. 5付近で2 mg



**Fig. 4.** Inter-annual variation in bottom-surface density difference and in dissolved oxygen in the bottom layer at Station 5 in July. Bottom-surface density differences and dissolved oxygen values in the bottom layer at Stations A13 and B02 (adjacent to Sta. 5) on 26 July, 2006 are also plotted.

$L^{-1}$  以下の貧酸素状態となったのは、2006年以外では2001年 ( $1.7 \text{ mg L}^{-1}$ ), 1985年 ( $1.87 \text{ mg L}^{-1}$ ), 1993年 ( $1.88 \text{ mg L}^{-1}$ ) の3回しかなかった。また、有明海奥部底層の溶存酸素濃度分布については村上ら (2001), 木元・西内 (2005), 環境省 (2006) などが報告しているが、それらと比較しても、これほど貧酸素水塊が広い範囲まで発達した例は報告されていない。



**Fig. 5.** Comparison of stratification condition. (a) Time series of discharge of the Chikugo River (at Senoshita) in 1980 and 2006 in summer. (b) Relationship between the depth and surface-bottom density difference in 12 July, 1980 and 26 Jul, 2006.

Fig. 4によれば、表底密度差の大きい年は貧酸素化が強い傾向にある。このことから、2006年夏の貧酸素水塊が強化された理由のひとつとして、梅雨明けの集中豪雨に伴う河川流量の影響として、海域が長期間強く成層していたことが考えられる。しかし、同様に大量の淡水供給があり強く成層していた年のなかでも2006年の貧酸素化は特に激しかった。ここでは、浅海定線調査が始まって以来、7月の流量が最も多かった1980年の観測結果と比較する。Fig. 5aに、1980年と2006年の6月-7月の筑後川流量の時系列を示す。また、Fig. 6bに1980年7月12日と2006年7月26日の観測で得られた水深と表底密度差の関係を示す。1980年、2006年には、ともに観測日直前に大出水があり (Fig. 5a), また、観測日の成層状態はほぼ同様で、どちらも強く成層していた (Fig. 5b)。Fig. 6に、1980年7月12日と2006年7月26日の底層DOの水平分布を示す。河川流量の履歴と観測当日の成層状態に大きな違いが見られなかったにもかかわらず、1980年に比べ明らかに2006年のほうが激しく貧酸素化している。このことは、成層強度が同じでも、近年有明海がより貧酸素化しやすい海域となっていることを示唆している。

有明海奥部の貧酸素水塊の深刻化については、様々な原因が考えられているが、その中のひとつに底泥の有機化がある。たとえば堤ら (2003) は、諫早湾締切り

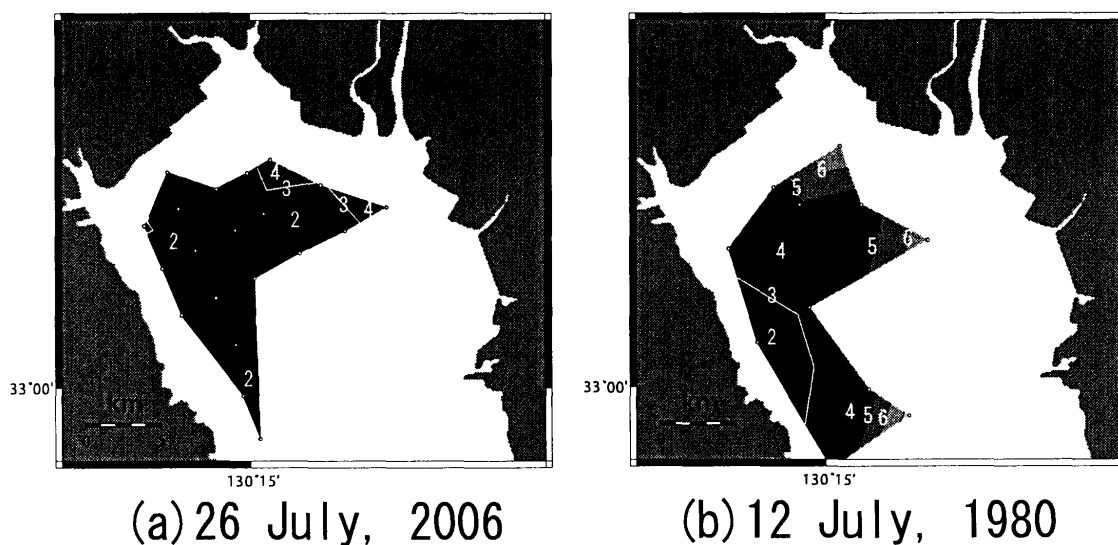


Fig. 6. Horizontal distributions of bottom dissolved oxygen observed on (a) 12 July, 1980 and (b) 26 July, 2006.

によって潮流が弱くなった結果夏季の成層が強化され、有明海奥部底層が貧酸素化しやすくなったと考えた。速水ら (2006) は、佐賀県浅海定線調査の底層 DO から年々の成層強度の影響を取り除いて潜在的な貧酸素化しやすさの経年変化を求め、有明海奥部は 1970 年代から 80 年代に貧酸素化しやすくなり変化しており、海域の有機物量増加による酸素消費速度上昇がその原因となっている可能性があるとして述べた。堤ら (2007) は、鉛直混合が弱まったことにより秋季に有明海奥部表層で赤潮が頻発するようになり、有明海奥部底層の有機化が進行したと述べた。本研究の結果はこれらの結果と矛盾しない。ただし、底泥の有機化のプロセスやその時期についてはそれぞれの研究で異なっており、実際にどのようなプロセスが支配的となりいつ有機化が進んだのか、今後の研究により明らかにしてゆく必要がある。

#### 謝 辞

本研究では佐賀県有明水産振興センターから浅海定線調査データの提供をうけた。また、瀬ノ下における日平均流量は筑後川河川事務所より提供をうけた。佐賀における風データは気象庁により取得されたものである。関係者各位に感謝する。

現地調査を行うにあたっては、藤井一文氏(白石北明

漁業協同組合)、いであ株式会社にご協力いただいた。また、Aquadopp Profiler は筑後川河川事務所所有のものを使用させていただいた。ここに感謝する。

長期かつ広範囲にわたる船舶観測にあたっては佐賀大学内の多くの人々に参加、協力いただいた。佐賀大学理工学部都市工学科 野口 剛志技官ならびに大串研究室学生の皆さん、佐賀大学理工学部機能物質化学科 田端 正明教授ならびに田端研究室学生の皆さん、佐賀大学農学部生物環境科学科 瀬口 昌洋教授ならびに瀬口研究室の学生の皆さん、佐賀大学有明海総合研究プロジェクト 加(槻木) 玲美研究員に深く感謝する。

なお、本論文中的図の一部は GMT (Generic Mapping Tools) を使用して作成されたものである。

#### References

- 速水 祐一, 山本 浩一, 大串 浩一郎, 濱田 孝治, 平川 隆一, 宮坂 仁, 大森 浩二 (2006): 夏季の有明海奥部における懸濁物輸送とその水質への影響. 海岸工学論文集, 53, 956-960.
- 環境省 (2006): 有明海・八代海総合調査評価委員会中間取りまとめ. <http://www.env.go.jp/info/iken/h180328a/index.html>, 環境省, 139 pp.
- 木元 克則, 田中 勝久, 児玉 真央, 山本 憲一, 那須 博史

- (2004): 有明海奥部における貧酸素水塊の動態. 2005年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 191.
- 木元 克則, 西内 耕 (2005): 二枚貝生産に影響を及ぼす貧酸素水塊の分布特性の把握. 「有明海の海洋環境の変化が生物生産に及ぼす影響の解明」, 27-32. 農林水産省農林水産技術会議事務局編・出版.
- 村上 哲生, 小寺 浩二, 程木 義邦 (2001): 有明海奥部における底層の溶存酸素濃度 (速報). [http://www.nacsj.or.jp/old\\_database/isahaya/isahaya-010817-hokoku.html](http://www.nacsj.or.jp/old_database/isahaya/isahaya-010817-hokoku.html), 日本自然保護協会.
- 佐々木 克之 (2006): 水底質変化-ノリ漁場栄養塩・調整池水質と諫早湾水底質・有明海奥部貧酸素-. 「有明海の生態系再生をめざして」, 69-94. 日本海洋学会編, 恒星社厚生閣.
- 鈴木 伴征, 鶴田 泰士, 石川 忠晴 (1998): 河川・湖沼等における DO 空間分布の高速計測. 水環境学会誌 **21**, 455-459.
- 堤 裕昭, 岡村 絵美子, 小川 満代, 高橋 徹, 山口 一岩, 門谷 茂, 小橋 乃子, 安達 貴浩, 小松 利光 (2003): 有明海奥部海域における近年の貧酸素水塊および赤潮発生と海洋構造の関係. 海の研究 **12**, 291-304.
- 堤 裕昭, 堤 彩, 高松 篤志, 木村 千寿子, 永田 紗矢香, 佃 政則, 小森 田智大, 高橋 徹, 門谷 茂 (2007): 有明海奥部における夏季の貧酸素水塊発生域の拡大とそのメカニズム. 海の研究 **16**, 183-202.

## Serious Hypoxia in the Head of the Ariake Sea in Summer, 2006

Takaharu Hamada<sup>†</sup>, Yuichi Hayami<sup>†</sup>, Koichi Yamamoto<sup>†</sup>, Koichiro Ohgushi<sup>†‡</sup>,  
Kenji Yoshino<sup>†</sup>, Ryuichi Hirakawa<sup>‡</sup>, and Yuki Yamada<sup>‡</sup>

### Abstract

A record breaking hypoxia occurred in the Ariake Sea in summer of 2006. The formation of the hypoxic water mass ( $DO < 3 \text{ mg L}^{-1}$ ) began in early July and continued to spread until the mid August, when the Typhoon 0610 passed over the bay. In early August, when the hypoxic water mass was at its maximum size it had covered all the inner area of the Ariake Sea. Comparing to the monthly monitoring data taken by the Saga Prefectural Ariake Fisheries Research and Development Center, the bottom DO level in 2006 was record-low in spring tide since 1972. The direct reason for this massive hypoxia was the strong salinity stratification caused by the abnormally large river discharge in July. However, comparing to 1980 when the nearly identical level of river discharge was recorded and stratification condition was virtually the same, the bottom DO level was still lower in 2006. It is plausible that the Ariake Sea is prone to hypoxic because of the increase of the organic matter content in the mud.

**Key words:** Ariake Sea, hypoxia, river flood

(Received 23 January 2007; accepted 31 May 2008)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2008)

---

<sup>†</sup> Ariake Sea Research Project, Saga University, 1 Honjo-machi, Saga-city, Saga, 840-8502, Japan

<sup>‡</sup> Faculty of Science and Engineering, Saga University, 1 Honjo-machi, Saga-city, Saga, 840-8502, Japan