

有明海北西部で発生する貧酸素水塊に着目した現地調査

中山 哲 嚴*・佐伯 信 哉**・時 吉 学***・木元 克 則****

有明海では、2000 年度ノリ漁期にこれまでにない大規模なノリの色落ちが発生し、大きな社会問題となった。併せてアサリやタイラギのへい死が発生し、漁業を取り巻く環境が大きく変化していることが予測されている。ノリの不作や二枚貝のへい死の要因の 1 つとして、貧酸素水塊の形成が指摘されている。そこで本研究では、2002 年 6 月中旬から 8 月まで 2.5 ヶ月間にわたり、底層の貧酸素化や赤潮が頻繁に発生している有明海北西部にて、溶存酸素、水温等の水質分布および流れ等を連続観測した。その結果、貧酸素水塊の発生、発達、解消の過程に気象、流動、水質の要因が密接に関係することが明らかとなった。

1. はじめに

有明海では、2000 年秋から 2001 年春までの 2000 年度ノリ漁期に、これまでにない大規模なノリの色落ちが発生し、大きな社会問題となった。併せてアサリやタイラギのへい死などが発生しており、近年漁業を取り巻く環境が大きく変化していることが予測されている。

一般に閉鎖性水域の特に流れの弱い場所では、夏季に水温、塩分層が発達し、鉛直混合が起こりにくくなる。その結果、底層への酸素供給が減少すること、生物及び化学的作用により底層の酸素が消費され、底層は貧酸素化しやすい。また、貧酸素化は底泥の栄養塩や硫化物の溶出を促進し、時として青潮や爆発的な植物プランクトンの増殖（赤潮）を引き起こす。2001 年 8 月夏季には、長期間有明海北西部において底層で飽和度が 40% を下回る貧酸素状態であったことが観測された（藤井・山本, 2003）。正常な生物活動や生態系の形成に大きな影響を与え、魚介類の生産にも影響を及ぼしていると考えられる。

本研究では、ノリの不作や二枚貝のへい死の要因の 1 つとして指摘されている貧酸素水塊に着目し、6 月中旬から 8 月の約 2.5 ヶ月間の溶存酸素、水温等の水質分布、流れ等を連続観測し、貧酸素水塊の発生、発達、解消過程と気象、流動、水質との関係を明らかにすることを目的とする。

2. 現地調査の方法

現地調査は、図-1 に示す有明海北西部（諫早湾口周辺の大浦沖 P1、小長井沖 P2）の 2 か所に連続観測用の係留系（図-2）及びナローバンドタイプの超音波流速計（AQUADOPP）を設置した。各測器の計測は下記の要領で行った。

①超音波流速計（AQUADOPP）を底設し、流速分布の連続観測（10 分間隔、1 分平均）を行った。

②AQUADOPP 設置地点にて、水温、塩分、溶存酸素、濁度、クロロフィル等の計測器を係留ロープに配置し、連続観測（10 分間隔、一部 20 分間隔）を行った。

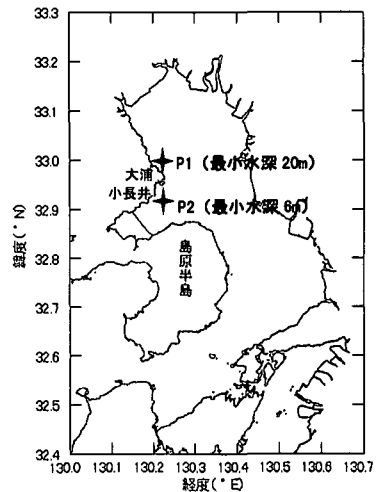


図-1 観測地点位置図

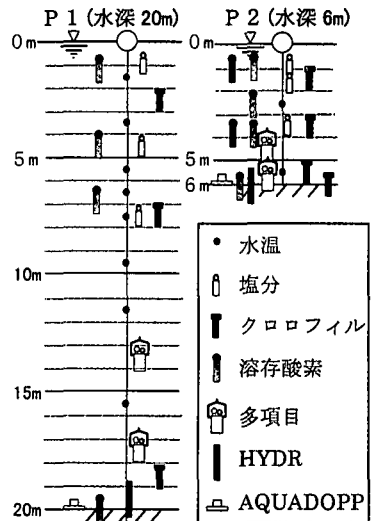


図-2 観測機器設置図

* 正会員 工修 (独法)水産総合研究センター水産工学研究所
** 正会員 (株)荒谷建設コンサルタント 技術企画室
*** 正会員 復建調査設計(株) 環境技術部 環境技術課
**** (独法)水産総合研究センター西海区水産研究所

③観測期間は、有明海で貧酸素水塊が頻繁に発生する夏季（6月17日～8月29日）とした。

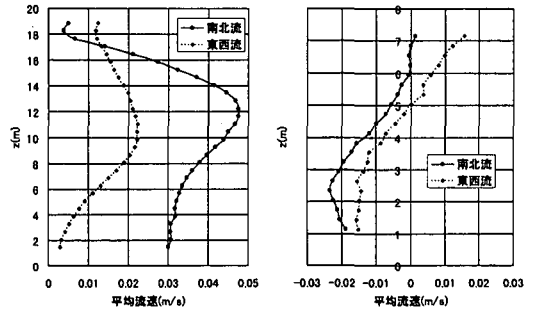
④観測期間中の台風通過時には、係留系を引き上げ、台風通過後再設置した。また、約10日間に1回程度の割合で、係留系計測器を引き上げセンサーの清掃を行った。

3. 現地調査の結果と考察

(1) 流動特性

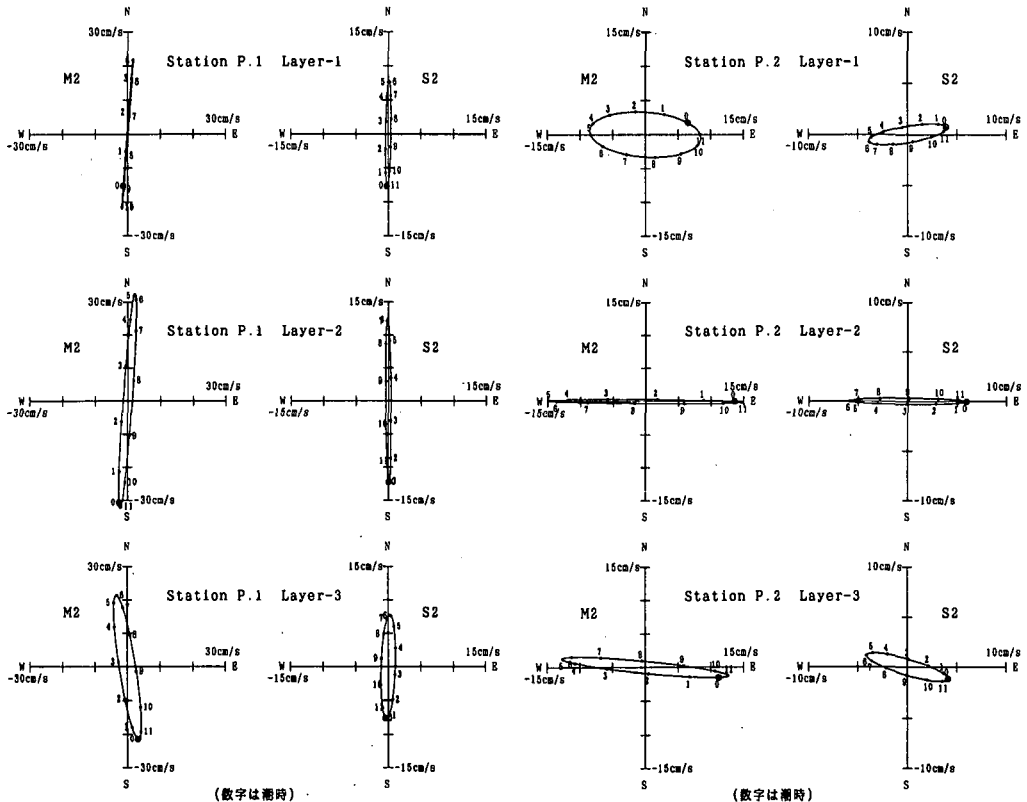
図-3(a), (b)は、大浦沖 P1 点および小長井沖 P2 点における AQUADOPP により実測した流速の10分潮を用いて調和解析を行い、流動特性を検討した。図中の横軸は東西方向流速成分 (cm/s) で、縦軸は南北方向流速成分 (cm/s) を示している。各図中の左が M₂ 分潮、右が S₂ 分潮を示している。各図上段 (Layer-1) は最下層～3層の平均、下段 (Layer-3) は海面下3～5層の3層の平均、中段 (Layer-2) は最下層と海面の中間の3層の平均であり、P1 点では1層60 cm, P2 点では1層は30 cmである。P1 点では地形の影響を受け、海面～海底にわたり南北流が卓越している。観測結果によれば、その大きさは場合によっては、1 m/s に達することがある。P2 点でもやはり地形の影響を受け東西流成分が卓越するが、海

底付近では南北流成分も見られる。図-4(a), (b) は、P1 点及び P2 点における観測期間中の平均流速を示す。図中の横軸は平均流速 (m/s) で、縦軸は海底からの高さ (m) を示す。P1 点では、観測期間中の平均流速は、北流、東流成分がそれぞれ中層の極大値で、4.5、2.0 cm/s である。P2 点では、表層で東流成分 1.5 cm/s、底層で西流成分 1.5 cm/s となり、表層で諫早湾外への流出、底層で湾内への流入となり、弱いエスチャリー循環が生じている



(a) 大浦沖 (P1 点) (b) 小長井沖 (P2 点)

図-4 平均流速の鉛直分布



(a) 大浦沖 (P1 点)

(b) 小長井沖 (P2 点)

図-3 大浦沖 (P1 点) および小長井沖 (P2 点) における M₂, S₂ の潮流楕円図

と推察された。

(2) 溶存酸素濃度の夏季における変動特性

図-5は、2002年6月17日から8月31日までのP2点における水質観測結果の時系列データを示す。図の1段目より底層での東西流速成分の連続解析によるスケール(周期)に対する流速振幅、AQUADOPPによる実測潮位、底層での溶存酸素濃度(P1点も付記)、水温、風速、風向、全日射量と降水量に対する時系列変化を示してある。なお風速、風向、全日射量、降水量については、佐賀地方気象台により観測されたものを用いた。

P1点における溶存酸素濃度は、6月16日の設置後から若干の変動を繰り返しながらも8月上旬まで徐々に低下し、8月6日前後に2mg/l以下となった以外は、夏季としては比較的高い値を示した。P2点における溶存酸素濃度は、6月17日の設置後から大きな変動を繰り返しながらも8月上旬まで低下した。その後8月中下旬にも大きな変動を示したが、9月初めには回復しつつあることが伺えた。図-5に示すようにP2点における溶存酸素濃度は、風が弱く、流れが弱い小潮の時期に徐々に低下する傾向にある。特に溶存酸素濃度が3mg/lを下回る以前は、風や流れの条件に加えて、降水がなく高い日射量が続く条件で、表層の水温上昇に伴う水温成層の発達が見

られる。底層での貧酸素状態の発達は、水温成層の形成により鉛直混合が阻害され、表層からの酸素供給が低下するとともに、底層での酸素消費が進行するためと考えられる。

溶存酸素濃度の回復過程では、風速およびその継続時間、潮汐に依存している。流れの大きい大潮時では、風速5m/s以上の風が半日程度の連吹、流れの小さな小潮時でも、風速5m/s以上の風が1日程度連吹することにより貧酸素状態は解消される傾向にある。これは、強風による混合により水温成層が弱まり、表層からの酸素供給が酸素消費を上回り、底層の溶存酸素濃度を上昇させたものと考えられる。

2002年夏季における貧酸素水塊の発生は、P1点では8月6日前後の1回であった。これはP2点に比べ流動が大きいためと考えられる。P2点においては小潮時期に頻繁に貧酸素水塊の発生が見られたが、長期化や著しい溶存酸素濃度の低下は見られなかった。その原因としては、台風等の気象擾乱が多かったためと考えられる。

(3) 溶存酸素濃度の短期変動特性

溶存酸素濃度が徐々に低下する一方、6月22日、7月9日、7月25日、8月17日等には溶存酸素濃度の急激な変化が短期間で起こっている。そこで、7月25日前後の

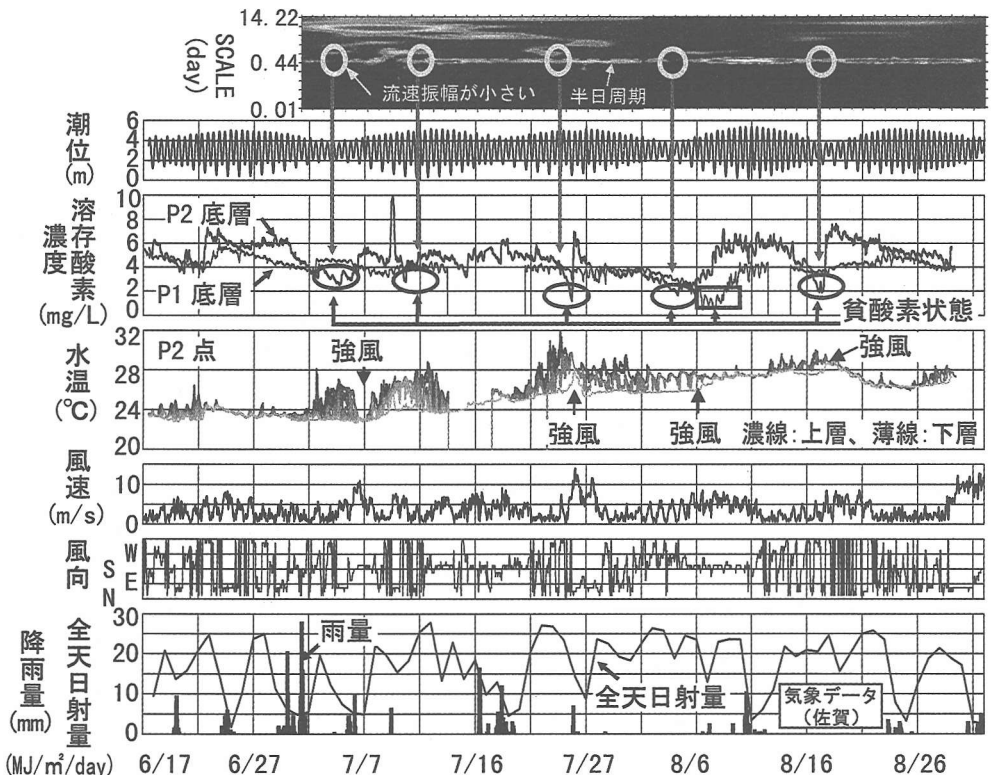


図-5 2002年夏季における流動・水質・気象の時系列
(底層流速の連続 Wavelet 解析結果・潮位・溶存酸素濃度・水温・風速・風向・全日射量・降水量)

溶存酸素濃度の急激な変化に及ぼす要因を検討した。

図-6 は、2002 年 7 月 18 日から 7 月 27 日までの P2 点における水質観測結果の時系列データを示す。図の 1 段目より AQUADOPP により計測した流速の鉛直分布の東西方向成分、南北方向成分、AQUADOPP による実測水深、底層での溶存酸素濃度、水温、塩分、クロロフィル、濁度、風速、風向、全日射量と降水量、諫早排水門からの排水量に対する時系列変化を示してある。流速の鉛直分布図の縦軸は、海底からの高さを示してある。

7 月 17 日から 20 日までの 80 mm 程度の降雨により、諫早排水門より約 940 万トンの排水があり、それに反応するように表層の塩分濃度が大きく低下した。しかしながら、諫早湾内への流れが顕著となることにより表層の

塩分濃度は一時回復するものの、7 月 22 日より湾内への流れにより再び塩分濃度が低下した。溶存酸素濃度はゆるやかに低下傾向にあるものの、底層で 0.3 m/sec 程度の西流によりやや回復する傾向にある。その後日射量が大きく、風が弱い日が続き水温成層が発達するものの、やはり西流により溶存酸素濃度の低下は抑えられていることから、諫早湾口より東方海域には、当時比較的溶存酸素濃度の高い水塊が存在した可能性が示唆される。7 月 24 日より、海面下 4 m の水温、塩分が潮汐に伴い大きく変動していることから躍層が発達し、鉛直混合が阻害されることにより底層での溶存酸素濃度が徐々に低下しはじめたものと推察される。7 月 24 日日没より溶存酸素濃度が急激に低下を始め、約 1 日で 3 mg/l の低下を観測

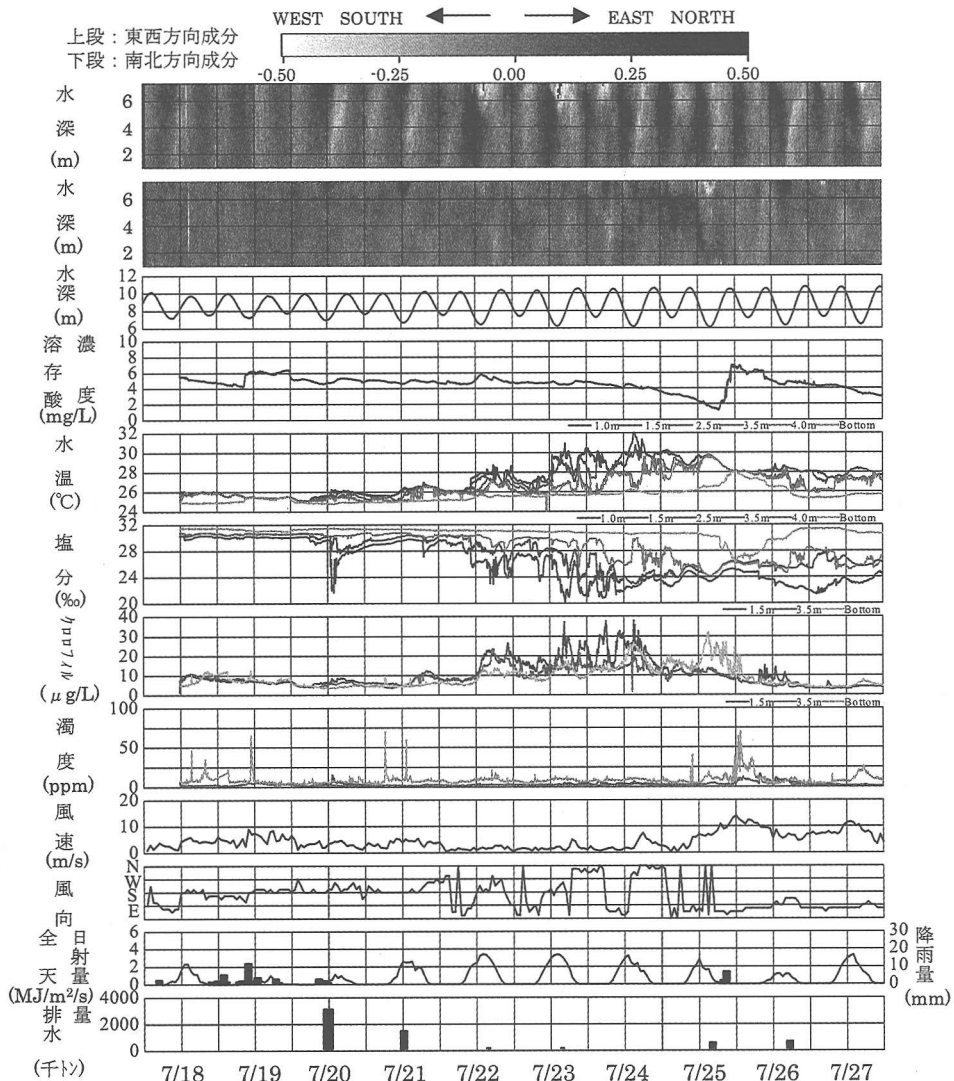


図-6 7 月 18 日から 7 月 27 日間の流動・水質・気象・諫早排水門排水量の時系列

(東西流速・南北流速・水深・溶存酸素濃度・水温・塩分・クロロフィル・濁度・風速・風向・全日射量・降雨量・排水量)

した。溶存酸素濃度の急激な低下は、数種の要因が考えられる。気象擾乱に着目すれば、溶存酸素濃度の急激な低下時が、台風等による風の変動とよく対応しており、強風吹送初期段階で、風による擾乱により海底の堆積物が再懸濁し急激な酸素消費をおこした可能性が示唆された。底層の濁度に注目すれば、水温成層が弱い時には強風による底質の巻き上げとみられる濁度増加は明確に現れているものの、今回の観測では溶存酸素濃度の急激な低下と濁度の急上昇という明確な関係は見られなかった。クロロフィルに着目すれば、鯉渚ら (2001) による指摘と同様に、表層のクロロフィル濃度の低下より1日遅れて溶存酸素量が極小となっており、植物プランクトンが有機物として海底に沈降して分解される過程で酸素消費が行われたものと考えられる。流動に着目すれば、躍層海面の上昇と同時期より底層に北流が流入しており、島原半島北岸からの貧酸素水塊の移流によることも考えられる。急激な貧酸素化に及ぼす要因の特定は今後の課題である。

(4) 底泥と底層水の酸素消費速度

底層水の溶存酸素濃度は、光合成による酸素生産や拡散・移流による酸素供給と底泥及び水中の有機物の分解や生物による酸素消費の収支により決まる。そこでP2点の底泥と底層水の酸素消費速度を現場実験で計測した。

実験では、図-7に示す連続記録計を取り付けたアクリル製の容器を海底に設置して容器内の溶存酸素濃度の変化を測定し、同時に測定した底層水の酸素消費速度を差し引いて底泥の酸素消費速度を求めた。

表-1 P2点における底泥と底層水の酸素消費速度

	調査地点	底泥の 酸素消費速度 g/m ² /day	底層水の 酸素消費速度 mg/l/day	底泥+底層水 酸素消費速度 mg/l/day*
2002/8/13	P2	1.04	1.10	1.31
2002/9/3	P2	0.84	0.02	0.19

*: 底層水の厚さを5mとして算出

得られた底泥の酸素消費速度は表-1に示すとおり0.84~1.04 g/m²/dayの範囲にあり、三河湾 (鈴木ら, 1998) で得られた値1.00~1.41 g/m²/dayと同程度の高い値であった。また底層水の酸素消費速度は0.02~1.10 mg/l/dayであり、これらから見積もられる底層の水柱当たりの酸素消費速度は、底層水を5mとしたとき0.19~1.31 mg/l/dayとなる。一方、前述の連続観測で見られた急激な溶存酸素の減少時には、これを大きく上回る酸素消費速度が見込まれ、擾乱時の急激な低酸素化には、有機物の分解による酸素消費だけでなく堆積物から巻き上げられた硫化物等の還元物質による化学的酸素消

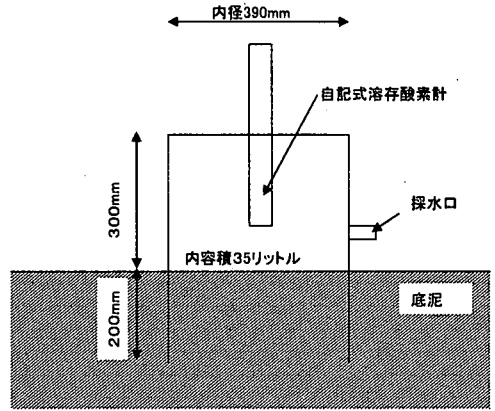


図-7 実験装置

費が生じている可能性がある。さらに貧酸素水塊の移流による溶存酸素濃度の低下の可能性も示唆された。

4. おわりに

本研究では、有明海北西部における流動、水質等の現地調査を行い貧酸素水塊の発生、発達、消散の過程に及ぼす要因について検討した。2002年夏季には、風が弱く流れが弱い小潮時期に頻繁に貧酸素水塊の発生が見られたが、長期化や著しい溶存酸素濃度の低下は見られなかった。貧酸素状態の発生、発達の過程では、水温成層が発達し、貧酸素状態の解消は風速に依存しており、5 m/s以上の風が吹くことにより、鉛直混合による水温成層の解消とともに、酸素消費量を酸素供給量が上回り、溶存酸素濃度が急速に増加すると考えられる。

2003年度も2002年度と同規模程度の長期連続観測を計画しており、対象領域における流動特性、貧酸素水塊の発生・移動・消散の解明を進めていきたい。

謝辞：本研究は、農林水産技術会議委託行政対応特別研究「有明海の環境の変化が生物生産に及ぼす影響の解明」における「生物生産に影響を及ぼす環境変動過程の把握」により行われた。

本調査を進めるにあたりご協力頂いた関係機関各位に謝意を申し上げます。

参考文献

- 鯉渚幸生・佐々木淳・磯部雅彦 (2002): 2001年の有明海における水質の動態解明, 第49回海講論文集, pp. 1056-1060.
- 鈴木輝明・青山裕晃・甲斐正信・今尾和正 (1998): 底層の貧酸素化が内湾浅海底生物群集の変化に及ぼす影響, 海の研究, 7(4), pp. 223-236.
- 藤井明彦・山本憲一 (2003): 諫早湾におけるアサリ・タイラギの現状と問題点. 月刊海洋, 2003年4月号.