

# 有明海における貧酸素水塊の分布と発生要因

筑紫 康博・松井 繁明  
(有明海研究所)

## Oxygen-Deficient Water Distribution and Factor in Ariake sea

Yasuhiro CHIKUSHI・Shigeaki MATSUI  
(Ariakekai Laboratory)

有明海福岡県地先ではノリ養殖業の他、アサリ、サルボウ等の貝類を対象とする採貝漁業、ヒラメ類、エイ、ボラ等の魚類やガザミ、クルマエビ等の甲殻類を対象とする網漁業など様々な漁業が行われ多くの漁獲をあげてきた。

しかしながら、近年二枚貝類、甲殻類等の漁獲量が減少する状況が続いており、その中で2000年には記録的なノリ養殖業の不作が発生した。また、二枚貝類についてはタイラギの夏期における大量へい死が確認され<sup>1)</sup>、'00年から沖合における操業ができない状況になっている。

このような状況を受け、本研究所ではノリ不作やタイラギへい死の原因究明のために様々な調査研究を行っており、貧酸素(ここでは酸素飽和度が40%以下の状態をいう。以下

同様に「貧酸素」と記す。)水塊の分布調査もその中の一つである。

貧酸素水塊は、閉鎖的な内湾において多く見られ<sup>2-8)</sup>、底層での有機物分解等による酸素の消費と同時に、海水の流動が弱いと成層が発達し、表層からの酸素供給が制限され、底層水の酸素濃度が著しく低下することにより発生する。

有明海は閉鎖的な海域ではあるが、最大干満差6mに達する干満の著しい特異な海域であり、経験的に、潮汐流による十分な混合があるため、成層は発達しにくく、福岡県地先においては貧酸素水塊は発生しないと考えられていた。しかしながら、'00年8月、本研究所による調査によって、タイラギの生息海域で貧酸素が確認された。このため、タイラギのへい死原因の一つとして、貧酸素水塊の分布と消長を把握する必要性が生じた。

本研究では福岡県地先における広域的な酸素飽和度分布状況と推移を把握することを目的として実施した。また、調査結果と気象条件との関係を検討したところ、その関連性が示唆された。このため、本研究所で実施した過去の調査結果と気象条件との関連を検討した結果、その発生要因について新たな知見を得たので報告する。

### 方 法

#### 1 酸素飽和度調査

有明海福岡県地先において、原則として小潮の満潮時に、図1に示した黒丸の地点18点で観測を行った。必要に応じて白丸で示した地点を追加した。調査は'01年は6月から9月の5回、'02年は5月から8月の7回実施した。測定項目は、酸素飽和度、水温、塩分であった。水温、塩分の測

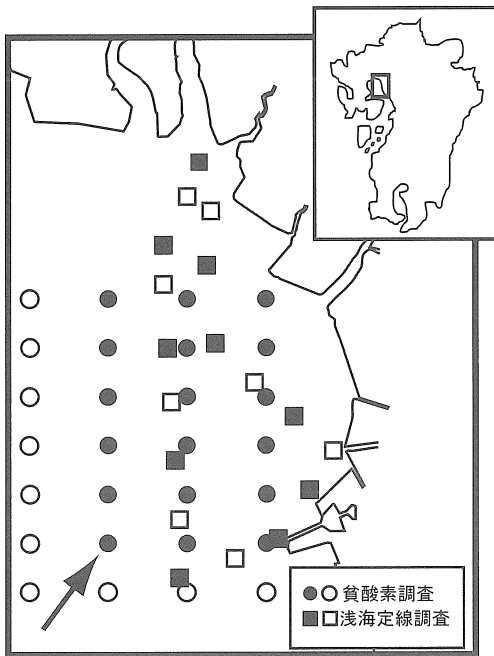


図1 調査点図

定値から海水密度を算出し、その後の検討に用いた。

測定には、携帯型の水質測定装置であるアレック電子(株)製ADO1050-P又はACL1183-PDKを用いた。各調査点での測定はセンサー部を表層から海底より+0.5mまで徐々に降下させ、水深ごとの観測値を装置の記憶装置に記録する方法(以下「連続測定」と記す。)を採用した。また必要に応じてウインクラージ化ナトリウム変法(以下「ウインクラ法」と記す。)による酸素濃度の測定を行った。

調査結果と気象庁アメダス大牟田における観測結果(降水量, 気温, 風速, 日照時間)との比較検討を行った。

## 2 過去の調査及び気象条件との比較

福岡県の浅海定線調査の調査点を図1に四角で示した。当初から18定点で月1回の観測が行われていたが、1997年以降観測点は黒四角で示した10点に減少している。また酸素濃度の測定は1982年以降からウインクラ法によって行われている。

本調査で貧酸素水塊の発生を確認した'01年の浅海定線調査の結果は50%台であり、貧酸素水塊の発生状況を反映している可能性が高いと考えたため、これらの'82年～'01年の結果のうち、酸素飽和度60%以下(以下「低酸素」と記す。)を記録した年に着目して、気象庁アメダス大牟田における観測結果(降水量, 気温, 風速, 日照時間)との比較検討を行った。

## 結 果

### 1 酸素飽和度調査

'01年の観測時における海底より+0.5mの連続測定による酸素飽和度の分布を図2に示した。'01年6月15日の結果は、飽和度が低い地点も約80%程度であった。ところが7月26日には広範囲で飽和度が低下しており、南西部を中心に40%以下の海域が広く見られた。8月9日には、沖合域で60%以下という水域が見られたが、8月24日には全ての地点で100%以上に回復していた。

'02年においては、'01年のような貧酸素は全く観測されず、期間を通じての全点全測定層の最小値は約70%であった。

なお、連続測定による値はウインクラ法より若干高めになる傾向が見られたが、測定誤差の範囲内であった。

図1の調査定点の矢印で示した点での水深別の海水密度の推移を図3に示した。

'01年における表底層間の差は6月15日に2.8であったが、広域に貧酸素水塊の発生した7月26日には4.3と顕著な成

層が見られた。

その後、8月は1.0～1.6となり、9月には3.0となった。

'02年においては、5月20日に6.3、6月6日に4.0と顕著な躍層が見られた。しかしその後は見られず、6月18日に1.5、7月2日に2.7、7月30日に2.4と前年のような夏期の顕著な躍層は見られなかった。8月12日以降はほとんど差がなかった。

'01年、'02年の6～8月の積算降水量を比較すると(図4)、'01年は平年値('79年～'00年)の109.0%と上回っているのに対して、'02年は平年値の40.5%となっていた。

'01年、'02年における月別の平均気温、平均風速、日照時間を図5、6、7に示した。平均気温については、年ごとの変動はほとんどなかった。平均風速については、夏季に'02年が値が大きい傾向が見られたが、日照時間については降水量ほどの大きな差は見られなかった。

## 2 過去の調査及び気象条件との比較

浅海定線調査において、7、8月に低酸素を記録した年の詳細を表1に示した。'82年以降該当する年は10カ年であり、うち酸素飽和度40%台の年は6カ年である。また、1986年においては30%台を記録している。

7、8月に低酸素が確認された年、8月のみ低酸素が確認された年、どちらの月にも低酸素が確認されなかった年のそれぞれの6～8月の平均気温と積算降水量の関係を図8に示した。

平均気温に関しては明確な傾向は見られないが、低酸素が確認された年は一部の例外はあるものの、平年値の積算降水量(1979年～'00年)より高い値への偏りが見られ、未確認の年は低い値への偏りが見られた。

同様に7月の平均気温と降水量の関係を7月の低酸素確認の有無別に、8月の平均気温と降水量の関係を8月の低酸素確認の有無別に、6～8月の平均気温と積算降水量の関係を8月の低酸素確認の有無別にそれぞれ示した(図9、10、11)。7月においても6～8月の積算降水量との関係と同様の傾向が見られた。8月においては、8月の降水量、6～8月の積算降水量いずれとの関係においても明確な傾向は見られなかったが、8月下旬に低酸素が確認された年については8月の降水量との関連が見られた。

## 考 察

'01年に有明海の広い範囲で貧酸素水塊が発生していることが明らかになった。

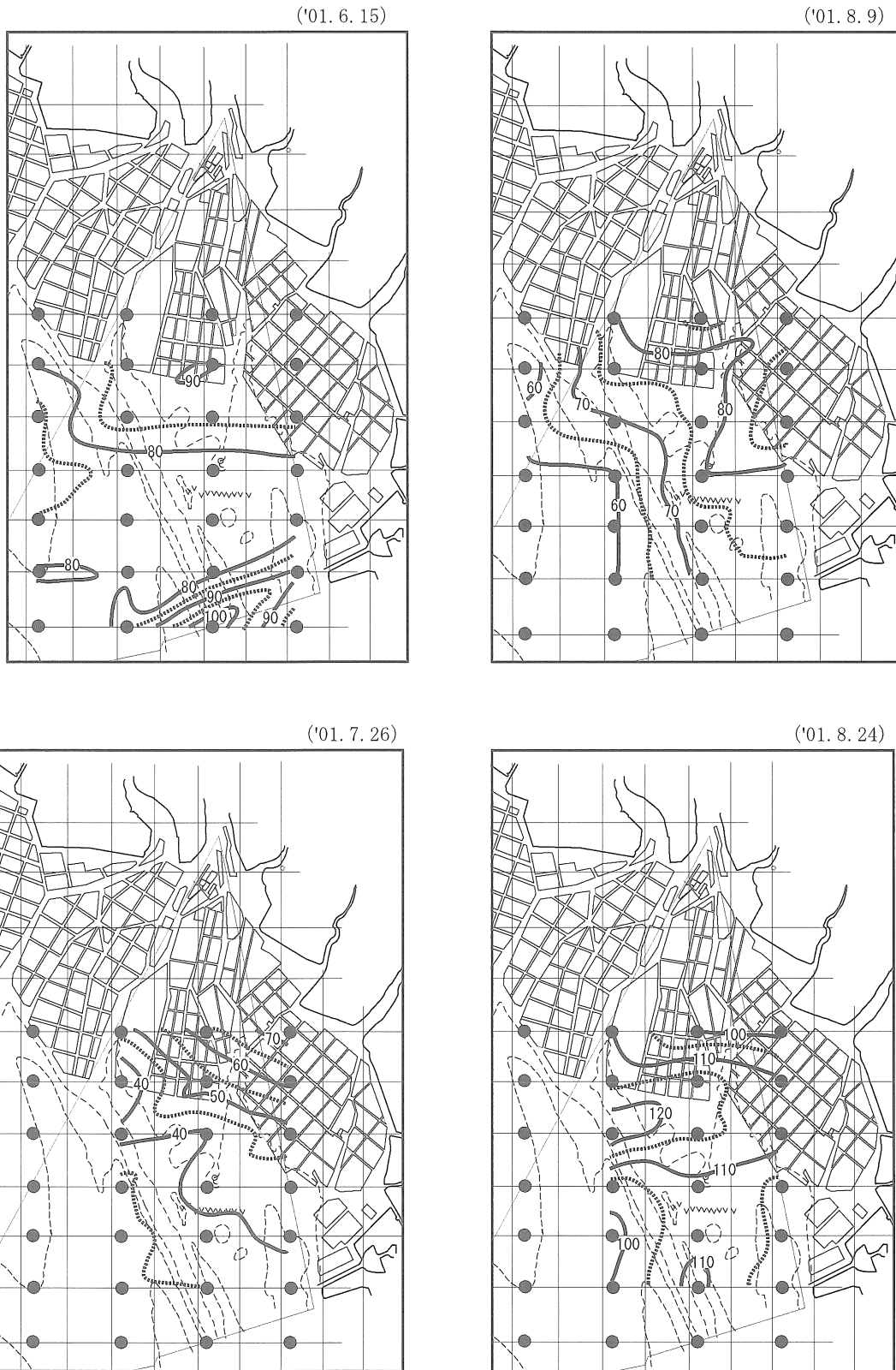


図2 海底より+0.5mの連続測定による酸素飽和度の分布

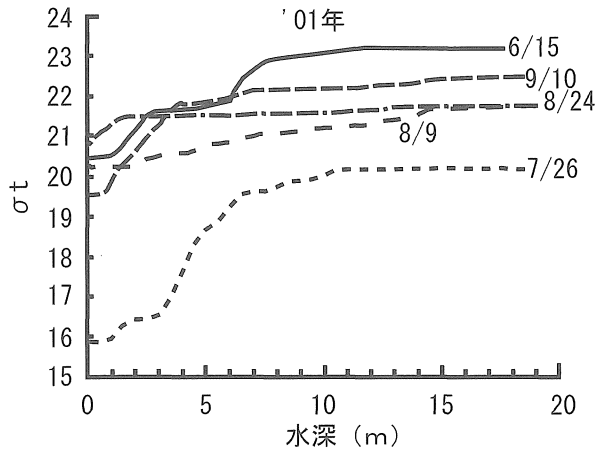


図3 水深別の海水密度

'02年は貧酸素水塊の発生を確認することができなかった。これは、7月における密度躍層の両年の違いからも明らかのように、海域の成層状態が脆弱であったためである。

成層の形成には、直接的な要因としては水温、塩分、風浪等が考えられたため、それぞれに対応する気象データの気温、降水量、風速、日照時間との関連性を検討することとした。

平年値の6月～8月の積算降水量に占める各月の割合は(図4)、それぞれ41.2%、38.4%、20.4%であり、6、7月の降水量で全体の約8割を占める。このため、この2ヶ月の降水量が夏期の海域環境に与える影響は大きいものと考えられた。

筑後川は有明海で最大の流入河川であり、またその地理的位置から特に福岡県地先海域へ影響は大きいものと考えられた。1984年～'02年の筑後大堰直下流量とアメダス大牟田の降水量それぞれの6～8月の積算値の関係を図12に示した。両者には明確な相関が見られ、降水量を海域への淡水流入量の指標値とすることは適当である。

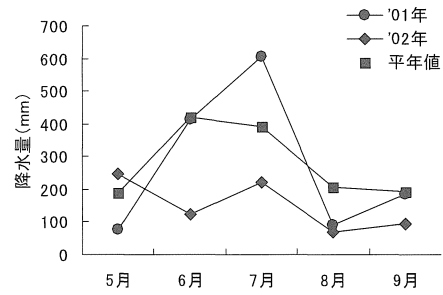


図4 月別降水量

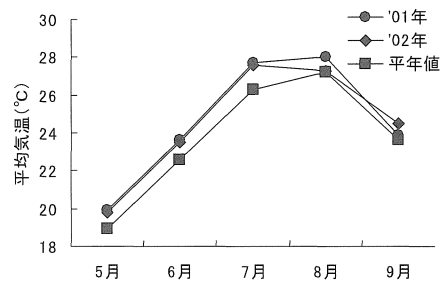


図5 月別平均気温

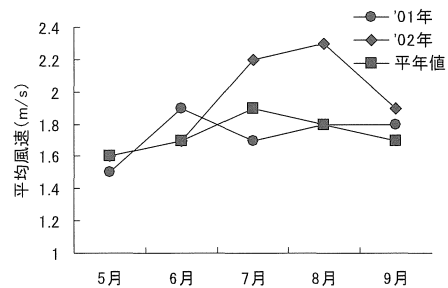


図6 月別平均風速

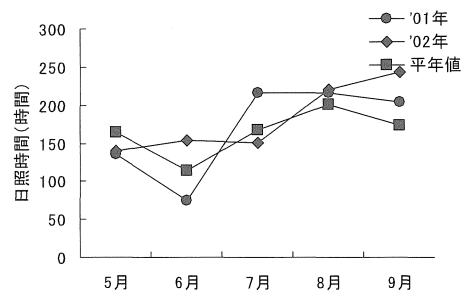


図7 月別日照時間

表1 浅海定線調査で7, 8月に60%以下を記録した年

年	月 日	低酸素確認 調査点数	DO (mg/l)		酸素飽和度 (%)	
			最小	最大	最小	最大
1982	7月21日	2	4.23	4.26	58.7	58.9
1984	8月27日	1	3.52	3.85	52.1	55.4
1985	7月20日	6	3.46	4.15	48.3	57.9
1986	8月6, 7日	14	2.69	4.15	38.2	59.4
1987	7月27, 28日	11	3.04	4.13	42.2	57.8
	8月26日	3	3.79	4.18	53.9	59.7
1988	7月15日	1	3.68	3.68	54.8	54.8
	8月11日	2	3.35	3.79	48.2	54.9
1991	7月13日	3	4.19	4.37	57.4	59.6
	8月8, 9日	13	2.93	4.21	41.2	59.8
1993	7月19, 20日	13	3.63	4.38	49.0	59.2
1995	7月28日	1	4.05	4.05	57.9	57.9
	8月24日	4	3.16	4.00	47.0	59.7
2001	7月23日	5	3.57	4.02	51.2	57.7

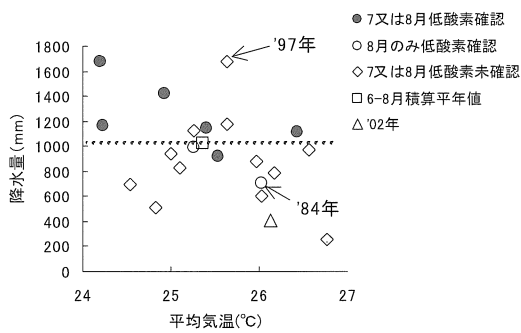


図8 7又は8月に低酸素確認有無別の  
6～8月の平均気温－積算降水量 ('82～'02年)

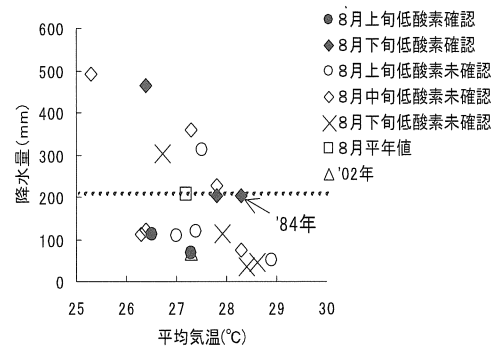


図10 8月に低酸素確認有無別の  
8月の平均気温－降水量 ('82～'02年)

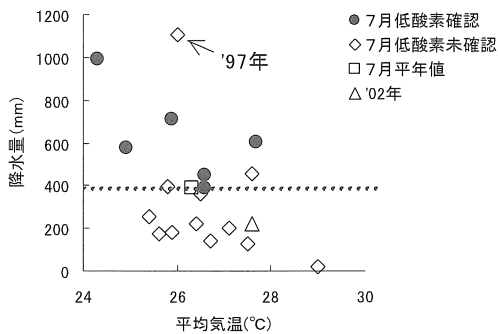


図9 7月に低酸素確認有無別の  
7月の平均気温－降水量 ('82～'02年)

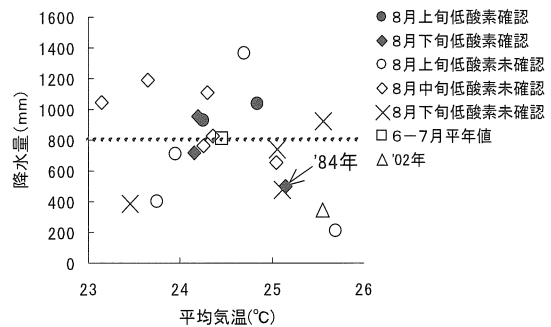


図11 8月に低酸素確認有無別の  
6～8月の平均気温－積算降水量 ('82～'02年)

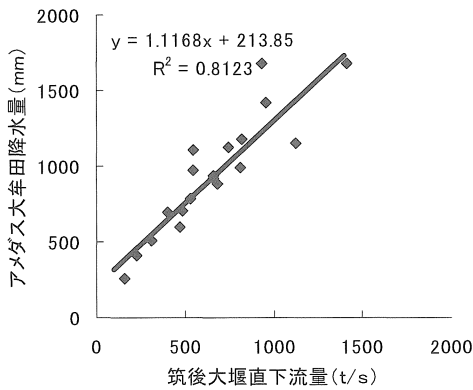


図12 筑後大堰直下流量と降水量の関係

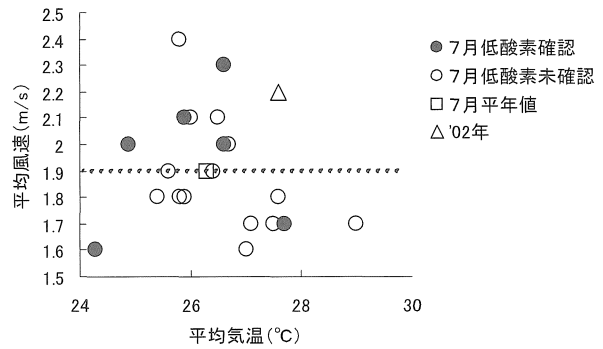


図13 低酸素確認の有無別の7月平均気温－平均風速 ('82～'02年)

表2 低酸素確認時の調査日前4日間の平均風速及び最大風速時風向 (1997年を除く)

年	1982年	1984年	1986年	1987年	1991年	1993年	1995年	2001年	1997年※低酸素未確認				
調査日	7月21日	8月27日	8月6, 7日	7月27, 28日	8月26日	7月13日	8月8, 9日	7月19, 20日	7月28日	8月24日	7月23日	7月8日	8月4日
平均風速 (m/s)	0.5 東南東	1.1 南西	2.1 北西	2.6 南	2 南	3 南南西	2.3 北	2.3 南南東	1.8 南西	1.3 北北西	1.8 南南西	3.4 南南西	1.2 南南東
最大風速時風向	1.5 北北東	1.7 北	1.7 北	1.1 南南西	2.5 南東	2.3 南東	2.5 北	1.7 南南東	1 西北西	1 南南西	2 南	3.9 南	2.1 南西
	1.1 東	1 北北東	2.5 北北東	1.6 南	2.3 南南西	2.5 南南西	1.8 北北西	3.4 北	1.3 北西	1.5 南南西	1 西北西	3.7 南	2.2 南南西
	1.4 北西	1.5 南	1.5 北	0.8 西南西	1.8 南東	1.6 西南西	1.7 南	3.3 北	1.1 西北西	1.3 南南西	1.5 北北東	2.7 南	2.4 南

※ 網掛部分は調査日

貧酸素水塊が発生しなかった'02年における7, 8月の平均風速は'01年及び平年に比べて大きい(図6), 平均風速が貧酸素水塊の発生に関連があるようにも思われるが, 各年の7月における平均風速との関連をみると(図13), 低酸素確認の有無によって, 明確な傾向は見られなかった。

低酸素を確認した年と積算降水量が平年値を大きく超えているにもかかわらず低酸素を確認していない'97年の調査日前4日間の平均風速と風向を表2に示した。松井ら<sup>8)</sup>は, 底層水の酸素濃度と風浪の関係について, 風速3m/s以上の南もしくは南西からの風では速やかな酸素濃度の回復が見られたが, 同様の風速であっても北～北西の風では回復は見られなかったと述べている。

以上のことから, 風浪は, 短期的要因として影響するも

のと考えられた。

図8において, 全体の傾向と異なる点が2点あるが, 矢印で示した年のうち'97年については, 表2に示したように, '97年の調査時の平均風速は, 調査日前から南方向からの強い風が続き, 調査当日においても2.4～2.7m/sと強い南方向からの風である。このため, 成層の破壊と速やかな酸素濃度の回復が起こり, 調査日には低酸素が確認されなかったと思われる。

7月の平均気温と降水量の関係(図9)において, 明確な傾向が見られた理由は, 7月の降水量の6～8月の積算降水量に占める割合が6月と同等の約40%と多く, 降水量からの直接的な影響が大きいとと考えられた。

8月の平均気温と降水量の関係(図10)では明確な関連は

\*松井繁明・筑紫康博: 有明海北東部漁場における貧酸素水塊の発生. 福岡水技研報, 13(2003).

認められなかった。6～8月の積算降水量に占める割合は約20%であり、直接的な降水量の影響よりも水質、底質等他の要因による影響が考えられた。'84年の8月27日の調査では低酸素が確認されており、この年の8月の降水量は平年並みではあるが(図10)、6～8月の積算降水量との関連は認められない(図11)。また、低酸素の発生が8月に確認されなかった年についても6～8月の積算降水量との関連は認められない。これは降雨以外の要因、底質環境、底層における酸素消費量の変動等様々な影響も考えられたため、今後これらの要因も含めた検討を行う必要がある。

'01年の浅海定線調査で酸素飽和度50%台が記録されたが、本調査では同時期に貧酸素が広域で観測されている。このことから推測すると、浅海定線調査の結果は貧酸素水塊の発生の年を反映していると考えられ、各年の発生期間・規模に違いがあるとしても、'82年以降福岡県地先では少なくとも10カ年貧酸素水塊が発生していたと思われた。また、これまでの結果から、貧酸素水塊の発生は、降水量によってある程度予想できうるものと考えられた。

神園ら<sup>7)</sup>は周防灘南西海域(豊前海)において貧酸素水塊が発生する降水量の目安として、夏季(6～8月)積算降水量600mm以上がしきい値になると述べている。図9から6～8月平年値の積算降水量付近の値が低酸素確認の有無の境界になることから、有明海福岡県地先では6～8月の平年値の積算降水量1000mm以上がしきい値になると考えられた。

松井ら<sup>8)</sup>は'01年及び'02年の夏季に有明海福岡県地先の海底に水質連続観測器を設置し、酸素濃度の連続的な変化を観測している。これによると浅海定線調査で低酸素が確認され、本調査でも広域的な貧酸素水塊が確認された'01年は長期間にわたる低酸素が観測されているが、上記両調査で低酸素が確認されていない'02年においても、一時的な低酸素が観測されている。また、'00年においても、本研究所の調査で貧酸素が観測されており、現在の有明海福岡県地先では小規模なものも含めると頻繁に貧酸素水塊が発生していると考えられた。

過去にも貧酸素水塊が発生していたと予想されるにも関わらず、福岡県地先において'00年より以前にタイラギの夏期における大量へい死が報告された報告はない。'00年以降に観測した低酸素と過去のものとは期間・規模に大きな違いがあることも考えられたため、さらに検討が必要である。いずれにしても、低酸素だけがタイラギの大量へい死原因ではなくそれ以外の要因も関連していることを示していると思われた。このため、他の様々な要因を検討し、原因究明を進めていく必要がある。

## 要 約

- 1) 有明海福岡県地先において、'01年6月～9月、'02年5月～8月に、原則として小潮の満潮時に18点で鉛直方向の連続観測を行った。測定項目は、酸素飽和度、水温、塩分であった。
- 2) 福岡県が行った浅海定線調査の結果のうち、7、8月に酸素飽和度60%以下を記録した年に着目して、アメダス大牟田における観測結果(気温、降水量、風速、日照時間)との比較検討を行った。
- 3) '01年の結果:7月には密度躍層が顕著に形成され、それに伴い海域の南西側を中心に低酸素が広い海域で見られた。8月末には躍層は解消し、酸素飽和度の低下も見られなくなった。
- 4) '02年の結果:降雨時期の5月には密度躍層が顕著に形成されたが、7、8月には顕著な密度躍層は見られず、低酸素も観測されなかった。
- 5) 浅海定線調査において60%以下を記録した年の6～8月の積算降水量は平年値より高い値へ偏りが見られた。60%以下が確認されなかった年については平年値より低い値への偏りが見られた。
- 6) 成層の形成とそれにつながる低酸素水塊の発生には中長期的には降水量、短期的には風速と関連していることが示唆され、有明海福岡県地先において低酸素水塊が発生する降水量の目安として、夏季(6～8月)積算降水量1000mm以上がしきい値になると考えられた。
- 7) タイラギの夏期における大量へい死が初めて報告された'00年より以前にも低酸素水塊が発生していたと推定されたが、過去の発生期間・規模については、さらに検討が必要である。

## 文 献

- 1) 松井繁明:有明海東北部漁場におけるタイラギの資源変動. 福岡水海技セ研報, 12,29-35(2002).
- 2) 飯塚昭二, 関霽虹:大村湾における無酸素水塊の形成. 沿岸海洋研究ノート, 26,75-86(1989).
- 3) 城久:大阪湾の低酸素水塊. 沿岸海洋研究ノート, 26,87-98(1989).
- 4) 鬼塚正光:東京湾の低酸素水塊. 沿岸海洋研究ノート, 26,99-100(1989).
- 5) 佐々木克之:三河湾における低酸素水塊の形成機構. 沿岸海洋研究ノート, 26,109-118(1989).
- 6) 山田佳昭:東京内湾における低酸素水の季節的消長. 神

- 水試研報, 13,65-72(1992).
- 7) 神園真人: 周防灘南西部海域(豊前海)における貧酸素水塊形成機構に関する研究. 福岡水海技セ研報, 6,97-146(1997).
- 8) 篠原満寿美: 福岡湾における貧酸素水塊の発生状況. 福岡水海技セ研報, 12,81-87(2002).
- 9) 山下康夫: 有明海産タイラギに関する研究 - I 漁獲量変動の周期性について. 佐賀県水産試験場研究報告, 7, 85-88(1980)
- 10) 柳哲雄: シンポジウム「貧酸素水塊」のまとめ. 沿岸海洋研究ノート, 26,141-145(1989).
- 11) 入江章, 秋本恒基, 福永剛: 1991年度冬季に見られた有明海大牟田地先におけるタイラギへい死の原因. 福岡水技研報, 1,165-169(1993).