

## 仙台湾中南部沿岸域における貧酸素水塊発生要因の検討

岩井 拓郎\*

Examination for occurred causes of oxygen-deficient water at middle-southern district area  
along the shore in Sendai Bay

Takuro IWAI\*

キーワード：仙台湾中南部沿岸域, 貧酸素水塊発生要因, モデル区設定

仙台湾では、1988年8月中旬～9月上旬にかけて、中南部海域の水深20～30m付近の底層で、酸素飽和度10%以下の貧酸素水塊が発生した<sup>1)</sup>が、これは同湾で貧酸素水塊発生が観測された初めての事例であった。1989年以降、漁場環境モニタリング調査（全湾8定点、4～11月に月1回）を実施しているが、年別、月別および調査点別に貧酸素水塊の発生状況を見ると、年別には1998年以降発生頻度(%)が高く、月別には5～10月に発生がみられたが、9,10月に顕著に高く、調査点別にみると中南部沿岸域の仙台新港沖～亙理町沖で発生頻度が高い傾向にあり<sup>2)</sup>、近年さらに多発化の傾向が強まっている<sup>3)</sup>。また、月別に発生頻度が顕著に高い9,10月の調査点別の発生頻度をみると、仙台新港沖～名取市閑上沖で発生頻度がもっとも高かった<sup>4)</sup>。

仙台湾における貧酸素水塊発生要因について、これまでの漁場環境調査から、海洋構造（水塊分布）と溶存酸素消費物質堆積との両条件の相乗作用により発生すると考えられた。海洋構造（水塊分布）について、沖合からの影響として、暖流系水の波及・停滞<sup>2)</sup>、低水温水塊の流入・停滞<sup>5)</sup>により、底層付近で水塊の閉鎖性、停滞性が強まった場合、沿岸域では、成層期において水塊鉛直分布の時期変化により底層水温が上昇した場合（9,10月）<sup>2)</sup>、多量の河川水等の流入により密度成層が発達した場合<sup>4)</sup>

があげられた。溶存酸素消費物質堆積については、河川等からの流入負荷量の増大<sup>2)</sup>、植物プランクトン1次生産の過剰増大・枯死沈降<sup>5), 6)</sup>、底質悪化<sup>4)</sup>等があげられた。

本稿においては、貧酸素水塊発生が多発している中南部沿岸域で、主に貧酸素水塊発生と底質分布との関係についてより詳細に検討するため、名取市閑上沖に任意にモデル区を設定し調査したところ、貧酸素水塊発生と底質悪化等との関連が認められたので報告する。

### 調査方法

名取市閑上沖にモデル区（海岸線方向6.0km, 沖方向7.2km, 20調査点）（図1）を設定した。モデル区は、名取川流入域にあり、岸側の調査点は海岸線から約0.6km, 水深は約7.5～27.0mであった。

底質調査を、漁業調査船「開洋」を用い、2006年7月20日に実施した。スミス・マッキンタイア型採泥器（開口部、22cm×22cm）を用いて採泥し、分析試料として表層泥（0～5cm）を採取した。調査項目は、泥温、含水率、全硫化物、COD、シルト含有率（62.5μm未満, %）、強熱減量である。分析方法は、全硫化物が検知管法、CODがアルカリ性法、シルト含有率がふるい別法（以上、水質汚濁調査指針<sup>7)</sup>の方法）、強熱減量が600℃・2時間強熱の

\*水産研究開発センター

方法によった。

水質調査を、中南部沿岸域で貧酸素水塊発生が多発している時期を中心に実施することとし、2006年8月29日、9月8日および10月5日の3回行った。北原式採水器を用いて、St.11～St.15ラインの5調査点では層別（調査点水深により、0,10,20m、海底上1（B-1）mの2～4層）に、その他の15調査点では海底上1（B-1）mを採水し、溶存酸素量（DO）をウィンクラー法で分析した。また、水温塩分計（アレック電子（株）製、AST500-PK）を用いて、1m毎に水温、塩分を測定した。

また、調査期間の降水量等の気象要因については、宮城県気象月報（仙台管区気象台）<sup>8)</sup>を参照した。



図1 名取市閑上沖モデル区調査点

## 結果および考察

### 1 モデル区底質分布

貧酸素水塊発生と底質分布との関連を検討するため、水質調査を実施する前に、モデル区表層泥（0～5cm層）の底質を調査した。

**全硫化物（mg/g乾泥）：**<0.01～1.30mg/g乾泥の範囲にあった。もっとも岸側の調査点は泥線<sup>9)</sup>以浅にあり、何れも<0.01mg/g乾泥であった。最大値は名取川流入域に近いSt.7の1.30mg/g乾泥であった（表1）。0.3mg/g乾泥以上の分布（水産用水基準<sup>10)</sup>では0.2mg/g乾泥以下）が、1.0mg/g

乾泥以上または0.7mg/g乾泥以上の高濃度域を取り囲むように広く分布しており、岸側および沖方向に向かつては<0.01mg/g乾泥であった（図2）。

**COD（mg/g乾泥）：**<0.1～40.4mg/g乾泥の範囲にあった。もっとも岸側の調査点は、何れも<0.1mg/g乾泥であり、最大値は名取川流入域に近いSt.2の40.4 mg/g乾泥であった（表1）。20mg/g乾泥以上の分布（水産用水基準<sup>10)</sup>では20mg/g乾泥以下）が、30mg/g乾泥以上の高濃度域を取り囲むように広く分布していた。岸側および沖方向に向かつては10mg/g乾泥以下であった（図3）。

**強熱減量（%）：**1.4～13.4%の範囲にあった。もっとも岸側の調査点は、1.6～2.5%と低く、最大値は名取川流入域に近いSt.2の13.4%であった（表1）。7%以上の分布が、10%以上の分布域を取り囲むように広く分布していた。岸側および沖方向に向かつては5%以下であった（図4）。

**シルト含有率（62.5μm未満，%）：**1.0～98.7%の範囲にあった。もっとも岸側の調査点は、1.1～1.5%と低く、最大値は名取川流入域に近いSt.7の98.7%であった（表1）。90%以上の高濃度域を取り囲むように、70%以上が広く分布していた。岸側は10%以下、沖方向に向かつては70%以下となっていた（図5）。

図6にシルト含有率（%）と全硫化物（mg/g乾泥）との関係、図7にシルト含有率（%）とCOD（mg/g乾泥）との関係を示した。全硫化物（mg/g乾泥）、COD（mg/g乾泥）共に、シルト含有率（%）が高いほど、高い値を示す傾向にあった。直線回帰式にあてはめると、前者は $Y = -0.0988 + 0.0055X$ （ $r^2=0.3516$ ，1%有意）、後者は $Y = -2.4080 + 0.2724X$ （ $r^2=0.8781$ ，0.1%有意）であった。仙台湾中南部沿岸域ではシルト含有率（%）の顕著な増加がみられるが<sup>4)</sup>、シルト含有率（%）の増加に伴う底質悪化の進行が懸念される。

**海底勾配と底質分布：**図8にSt.11～St.15ラインの海底勾配（漁業調査船「開洋」で測深）を示した。海岸線から沖方向約1.8kmまでは勾配が大きく、その地点の水深は約19.3mであった。さらに沖方向に向かつては勾配が小さくなり、海岸線から約7.8km地点の水深は約26.4mであった。

海底勾配と底質分布との関連をみると、測深したSt.11～St.15ラインおよび他の3ライン共、水深の変曲点付近にある海岸線から第2,3番目の調査点で、底質がもっとも悪化していた。仙台湾での泥線（砂域と泥域の境界）の深

表1 モデル区底質調査結果

2006年7月20日調査

St.	泥温 (°C)	含水率 (%)	全硫化物 (mg/g乾)	COD (mg/g乾)	強熱減量 (%)	シルト含有率 (62.5μm未満, %)
1	16.7	25.0	<0.01	<0.1	2.5	1.1
2	14.4	67.8	0.54	40.4	13.4	97.3
3	14.1	55.6	0.23	19.6	8.8	95.8
4	14.0	37.3	0.03	7.7	4.7	71.5
5	13.7	19.0	<0.01	4.6	3.7	48.6
6	15.0	22.5	<0.01	<0.1	1.9	1.9
7	15.0	61.0	1.30	31.5	10.5	98.7
8	14.2	55.0	0.78	26.8	8.8	93.7
9	14.0	31.7	0.01	5.0	3.8	39.3
10	13.6	35.4	<0.01	7.7	4.3	57.3
11	15.8	22.4	<0.01	<0.1	1.6	1.3
12	14.5	46.3	0.14	15.4	6.8	84.9
13	14.0	47.0	0.01	20.2	7.1	81.6
14	14.2	44.8	0.02	15.0	5.9	74.7
15	13.7	16.6	<0.01	<0.1	1.7	1.1
16	17.0	22.8	<0.01	<0.1	1.8	1.5
17	14.2	55.7	0.74	25.2	8.3	88.0
18	14.5	44.3	0.06	13.3	6.2	80.4
19	14.2	13.9	<0.01	<0.1	1.4	1.0
20	13.8	37.0	0.03	9.0	4.7	44.8

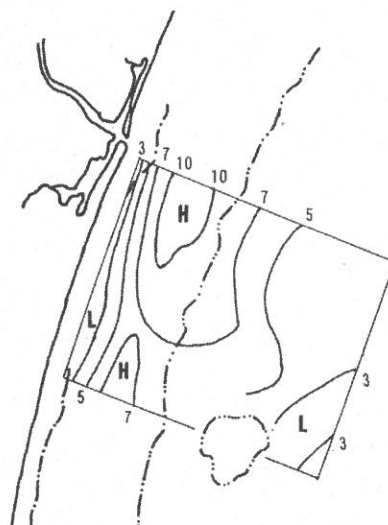


図4 強熱減量(%)分布

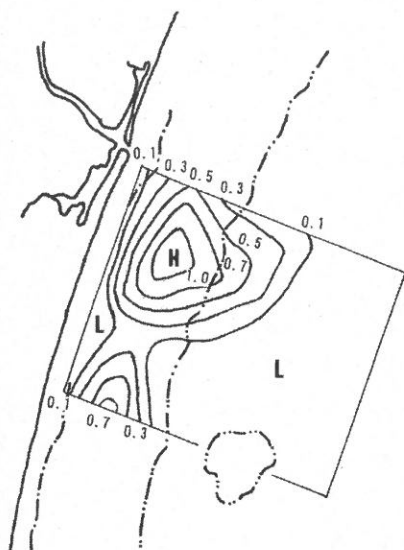


図2 全硫化物(mg/g 乾泥)分布

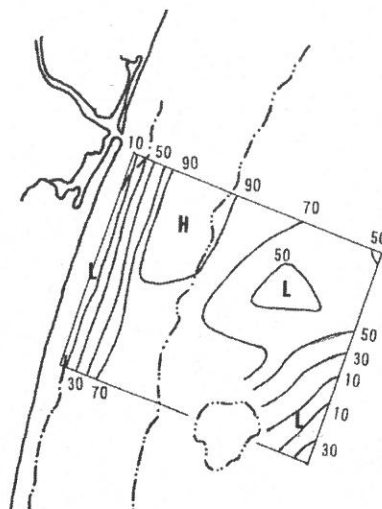


図5 シルト含有率(62.5μm 未満, %)分布

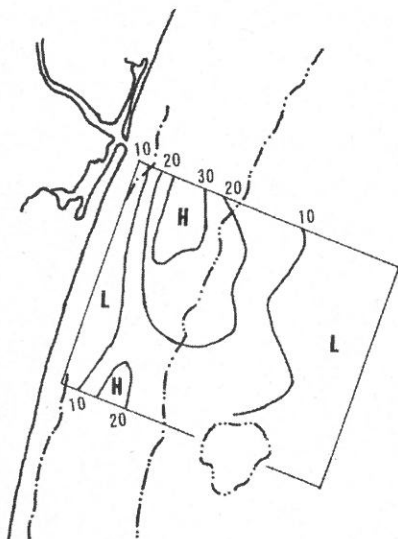


図3 COD(mg/g 乾泥)分布

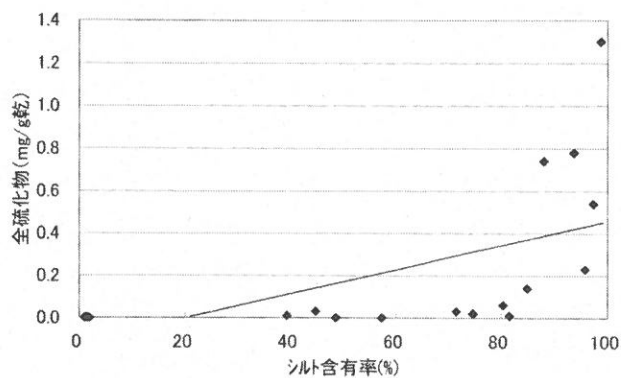


図6 底質のシルト含有率(%)と全硫化物(mg/g 乾泥)との関係

度は12~14mである<sup>9)</sup>ことが知られているが、このような海底地形も、水深の変曲点付近での浮泥、デトリタス等の集積、底質悪化をもたらす要因と考えられた。

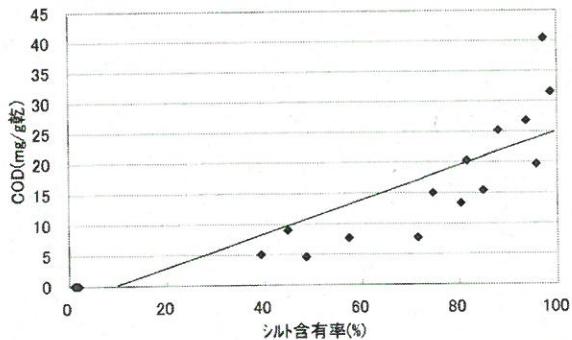


図7 底質のシルト含有率(%)とCOD(mg/g 乾泥)との関係

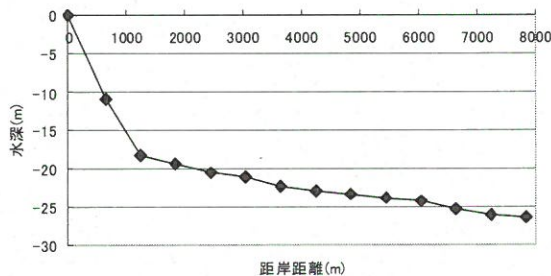


図8 モデル区 St. 11~St. 15 ラインの海底勾配

## 2 モデル区貧酸素水塊発生状況と底質等との関係

### 1) 降水量・水温塩分分布

仙台湾で貧酸素水塊発生が多発する9,10月は、この期間の降水量が多く、鉛直安定度が高いほど、発生頻度が高まる傾向にある<sup>4)</sup>。このことから、本調査期間の降水量を宮城県気象月報<sup>8)</sup>から参照すると共に、各水質調査時の水温塩分分布を調査した。

**降水量：**表2に各水質調査前10,20,30日間の累計降水量(仙台)を示した。1995~2005年9,10月漁場環境モニタリング調査前の累計降水量は、9月の調査前10,20,30日間累計では、5.0~155.0mm, 39.5~249.5mm, 46.5~336.0mm, 10月の調査前各累計では、0~163.0mm, 6.0~256.0mm, 52.5~262.0mmの範囲にあった<sup>4)</sup>が、これらと比較すると、8月29日調査前の30日間累計降水量は27.5mmともっとも少なかった。9月8日調査前の30日間では100.0mmと少なかったが、10日間累計では73.0mmと第4番目に多い降水量であった。また、10月5日調査前の30日間では278.5mmともっとも多く、10日間累計では143.0mmと第2番目であ

り、大量の降水に伴う多量の河川水等の流入、流入負荷量の増大による影響も大きいと考えられた。

表2 各水質調査前10,20,30日間累計降水量(mm, 仙台)

調査年月日	2006年		
累計降水量(mm)	8月29日	9月8日	10月5日
調査前10日間	7.5	73.0	143.0
20日間	27.0	80.5	173.5
30日間	27.5	100.0	278.5

**水温・塩分分布：**8月29日調査時の水温、塩分、現場密度は、16.8~24.1℃, 30.34~33.27, 20.14~24.22の範囲にあった。水温はモデル区沖側の表層で24℃台、底層で16℃台の成層分布を示していた。塩分は岸側付近表層で30台、底層付近で33台の分布であった。現場密度は岸側付近表層で20台、沖側底層で24台の分布であった(図9)。

9月8日調査時の水温、塩分、現場密度は、17.4~24.6℃, 28.86~33.19, 18.84~24.00の範囲にあった。水温は岸側表層で24℃台、沖側付近底層で17℃台の成層分布を示していた。塩分は岸側表層で29台、底層で33台の分布であった。現場密度は岸側表層で20台、底層で23台の分布であった(図10)。

10月5日調査時の水温、塩分、現場密度は、18.9~21.7℃, 25.35~33.48, 17.12~23.85の範囲にあった。水温は表層~中層で21℃台、底層で18℃台であった。成層状態は弱まったものの継続しており、底層水温の上昇がみられた。塩分は岸側表層で26台、底層で33台であった。大量の降水の影響で表層は28台以下で広く覆われており、前回調査時までと比べより進んだ塩分成層がみられた。現場密度は岸側表層で17台、底層で23台であった。塩分同様に、降水の影響があり、表層は20台以下で広く覆われていた。前回調査時までと比べると、底層水温が上昇し、中層~底層に弱い水温成層が認められるのみとなったが、塩分成層がかなり強まり、このため密度成層がさらに強まっていた(図11)。

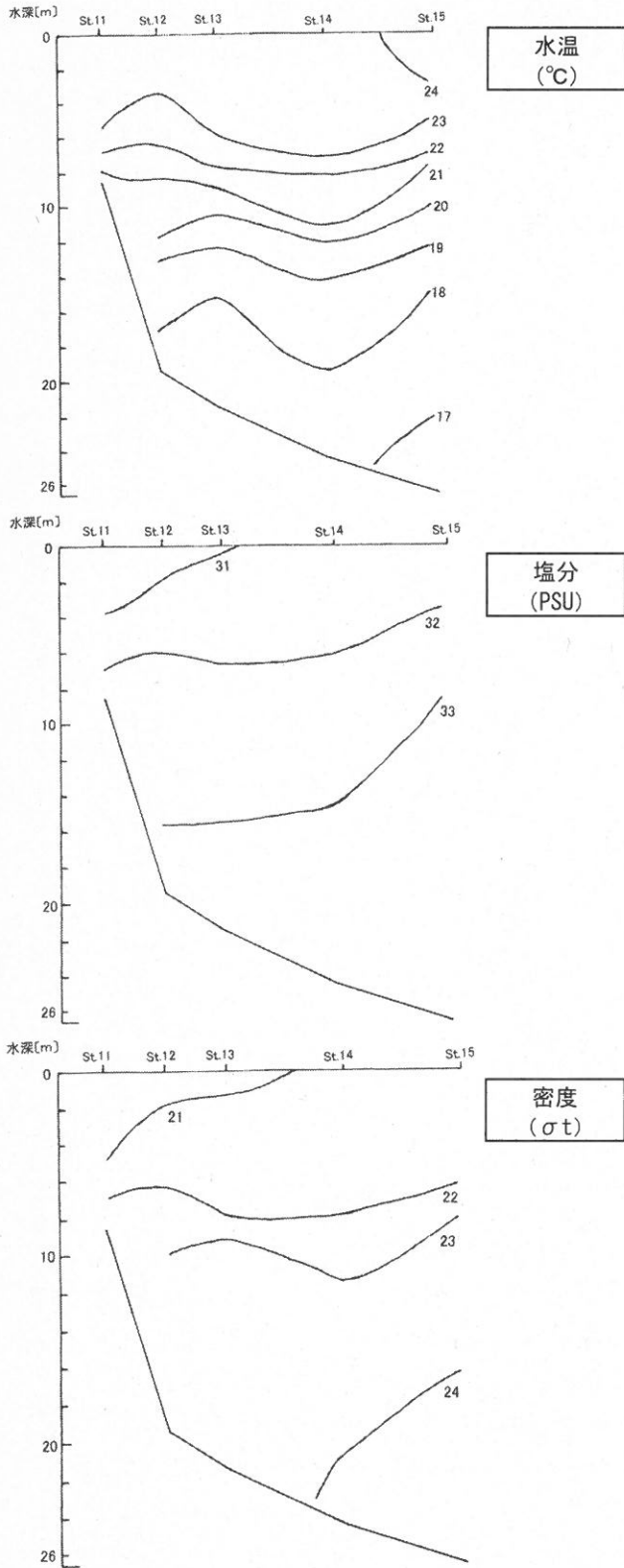


図 9 8月29日調査における St. 11~St. 15 ラインの水溫, 塩分および現場密度( $\sigma_t$ )鉛直分布

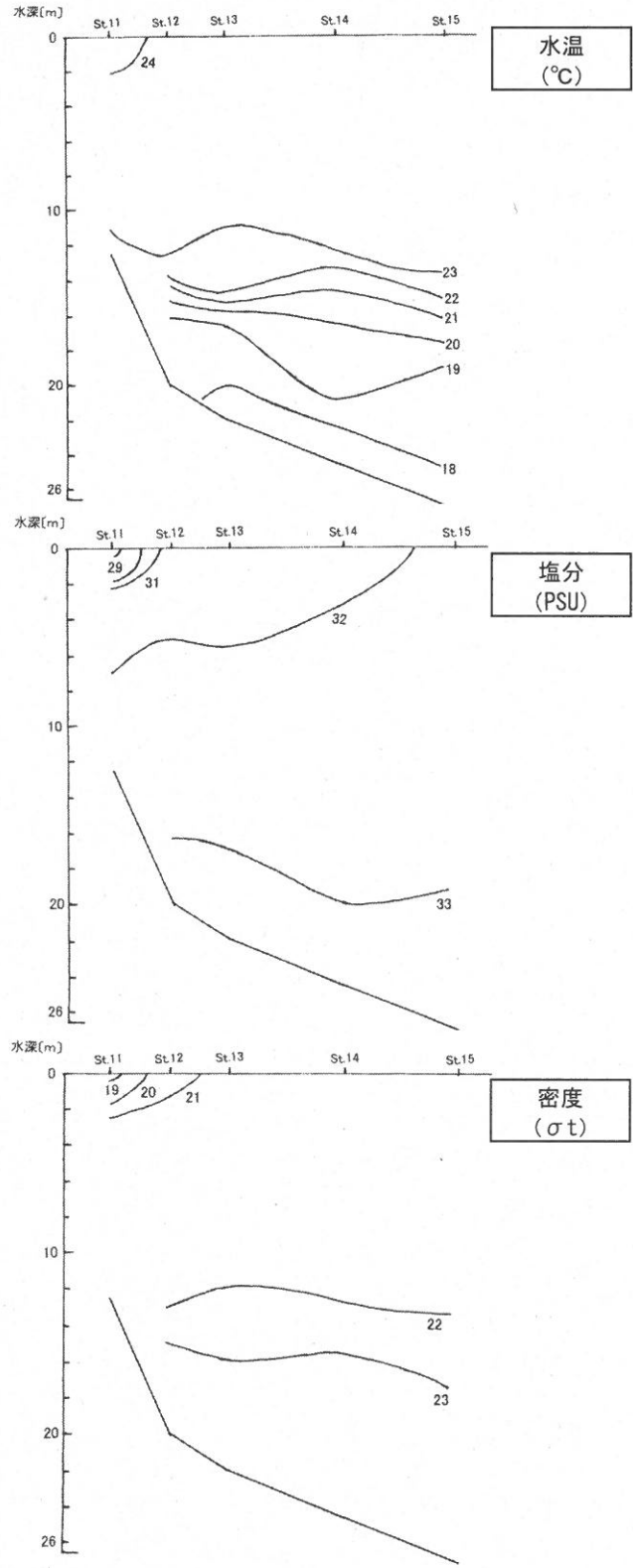


図 10 9月8日調査における St. 11~St. 15 ラインの水溫, 塩分および現場密度( $\sigma_t$ )鉛直分布

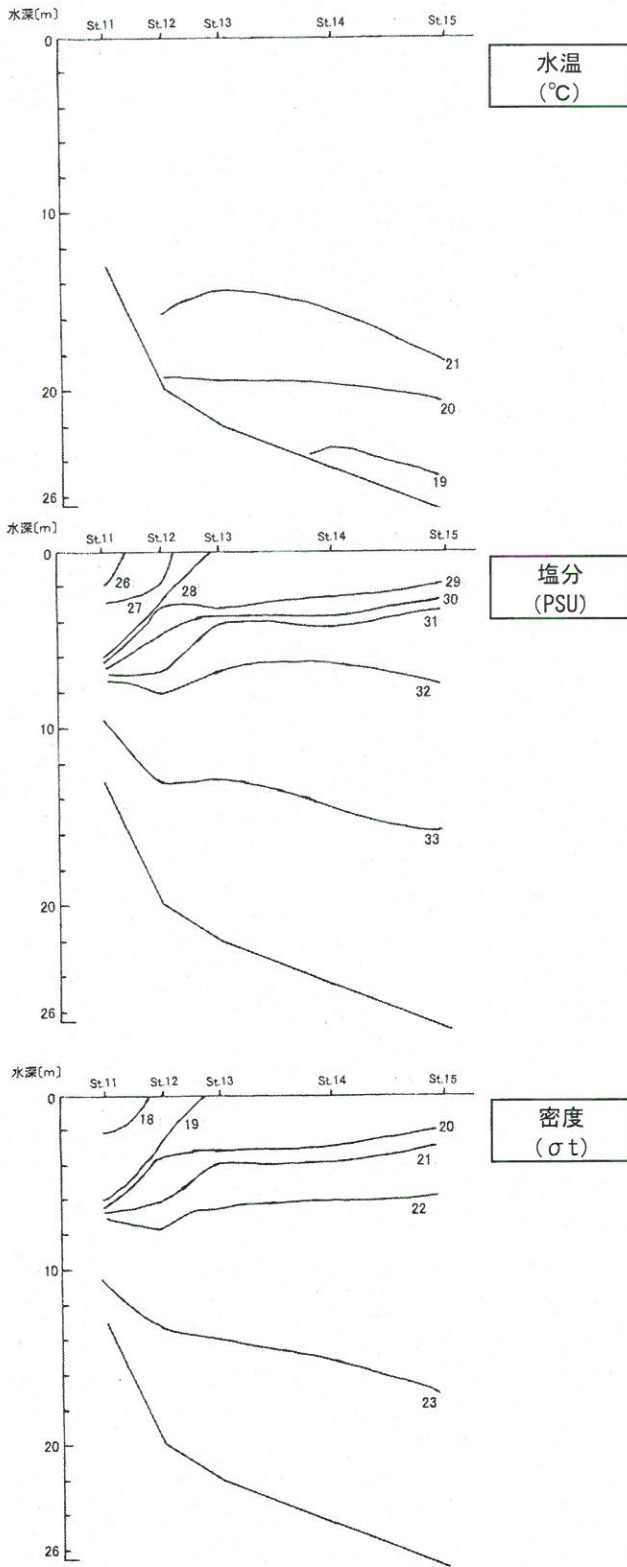


図 11 10月5日調査における St. 11~St. 15 ラインの水  
温、塩分および現場密度( $\sigma_t$ )鉛直分布

2) 貧酸素水塊発生状況

8月29日:海底上1(B-1)mの溶存酸素量は、3.7~7.5mg/lの範囲にあった。初回調査時において、すでに水産用水基準<sup>10)</sup>で生物生育に影響を及ぼさない最小限の濃度とされる4.3mg/lを下回る分布がみられた。4.0mg/lを下回る分布が、名取川流入域近くの水深約20mの底質悪化域にみられ、この岸側が6.0~8.0mg/l、沖側が4.0~5.0mg/lの分布であった。また、モデル区沖側南に低い分布がみられたが、弘法根の周辺であり、流れ、デトリクス等集積の影響が考えられた(図12)。層別分布では、海底上1mを除くと6.8~8.4mg/lの範囲にあり、水産用水基準(溶存酸素量、6.0mg/l以上)<sup>10)</sup>をみたしていた(表3)。

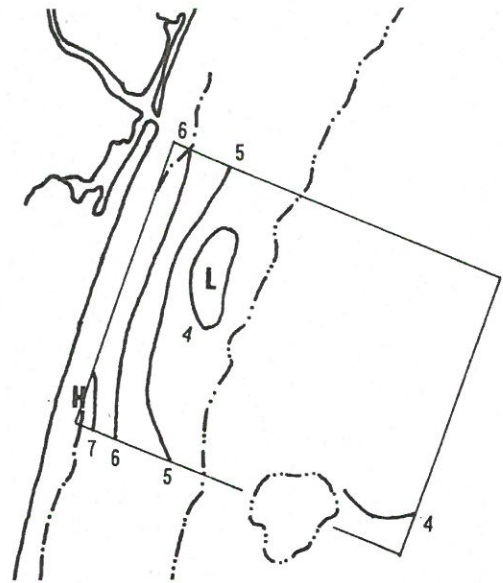


図 12 8月29日、海底上1(B-1)mの  
溶存酸素量(mg/l)分布

9月8日:海底上1(B-1)mの溶存酸素量は1.8~7.5mg/lの範囲にあり、極めて低い分布がみられた。もっとも低い2.0mg/l以下の分布が、前回調査時よりやや南側の水深約20m付近でみられた。底質がもっとも悪化していた地点とはやや異なるが、同一水深帯の底質悪化域近傍にみられた。この岸側は6.0~8.0mg/l、沖側は3.0~5.0mg/lの分布であった。最小値が1.8mg/lであり、4.0mg/lを下回る分布が広くみられるなど、貧酸素化の進行が顕著であった(図13)。層別分布をみると、沖側20mでは4.7~5.3mg/lと水産用水基準を下回っており、底層からの貧酸素化の影響が伺われた(表3)。

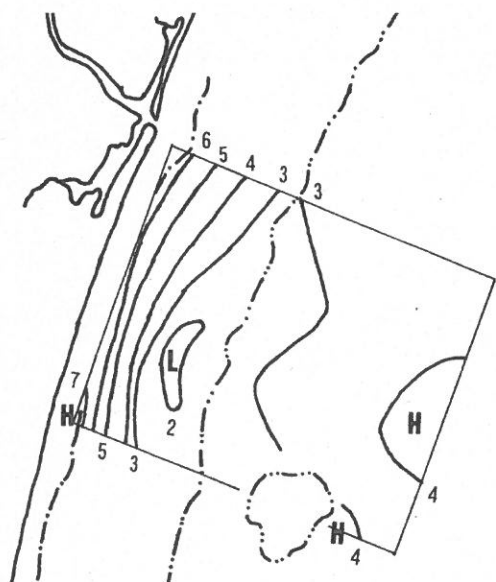


図13 9月8日、海底上1(B-1)mの溶存酸素量(mg/l)分布

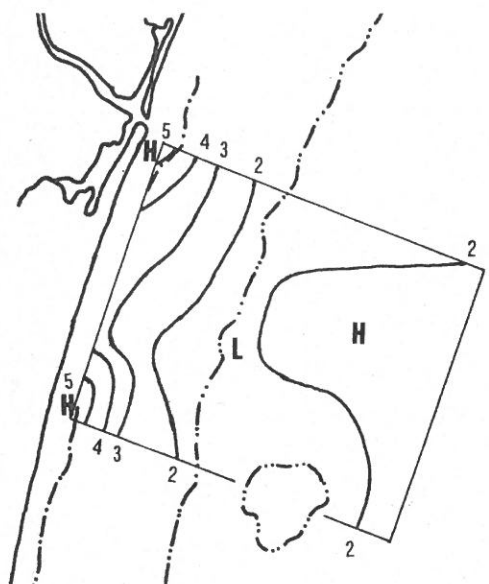


図14 10月5日、海底上1(B-1)mの溶存酸素量(mg/l)分布

10月5日：海底上1(B-1)mの溶存酸素量は1.2~6.3 mg/lの範囲にあり、前回調査時に比べ、さらに貧酸素化の進行が顕著であった。2.0mg/l以下の極めて低い分布が約21~26mの水深帯に広く帯状に分布していた。この極めて低い貧酸素水塊分布域は、もっとも底質が悪化していたところよりやや沖側にあるが、底質分布とほぼ同様

に帯状に分布しており、この岸側は3.0~7.0mg/l、沖側は2.0~3.0mg/lの分布であった(図14)。層別分布をみると、沖側20mでは3.2~5.4mg/lに低下し、底層からの影響もさらに強まっている状況が伺えた(表3)。

表3 モデル区 St. 11~St. 15 ラインの溶存酸素量(mg/l)および酸素飽和度(%)鉛直分布

調査年月日	調査点	St.11	St.12	St.13	St.14	St.15
2006年 8月29日	調査層(m)					
	0	8.4(118.7)	8.0(112.4)	8.1(116.2)	7.8(110.9)	7.9(112.4)
	10	-	7.9(106.3)	8.2(110.5)	7.9(108.6)	8.4(111.7)
	20	-	-	-	7.9(102.3)	6.8(86.6)
	B-1	6.6(90.2)	4.6(58.7)	4.0(51.2)	4.7(59.2)	4.9(61.7)
水深(m)	8.5	19.5	21.5	24.5	26.5	
9月8日	調査層(m)					
	0	7.7(108.7)	7.9(112.7)	7.9(112.2)	8.1(114.8)	7.8(111.3)
	10	7.0(98.6)	7.7(109.3)	7.8(111.2)	7.8(111.6)	7.8(110.4)
	20	-	-	-	5.3(69.4)	4.7(60.7)
	B-1	6.1(86.3)	1.8(24.0)	2.8(36.4)	3.5(45.1)	4.6(59.7)
水深(m)	12.5	20.0	22.0	24.5	27.0	
10月5日	調査層(m)					
	0	8.9(115.7)	9.4(123.8)	9.6(127.7)	9.5(127.6)	9.5(126.5)
	10	5.2(71.7)	6.1(84.0)	6.2(84.8)	7.8(106.7)	7.1(97.0)
	20	-	-	-	3.2(43.3)	5.4(72.7)
	B-1	3.1(43.0)	1.9(25.8)	1.5(20.5)	1.8(24.3)	2.6(34.3)
水深(m)	13.0	20.0	22.0	24.5	27.0	

\*( )内は、酸素飽和度(%)を示す。

### 3) 貧酸素水塊発生要因の検討

モデル区での貧酸素水塊発生は、初回の8月29日調査時に認められた。この調査時にもっとも低かった溶存酸素量4.0mg/l以下の分布域は、名取川流入域近くの底質がもっとも悪化していたところとほぼ一致していた。本調査前の降水量は極めて少なく、降水による河川等からの流入負荷増大などの影響は少なかったと考えられる。これらのことから、この調査時の貧酸素水塊発生は底質悪化が影響し、水塊鉛直分布の時期変化に伴い底層水温が上昇したことにより、底層において底泥での溶存酸素消費が促進されたため発生したと考えられた。また、このことは同海域の底泥には海域の自浄能力を上回る経年的な汚染負荷の堆積があり、水塊分布状況の変化に対応して貧酸素水塊発生の可能性があることを示していると考えられた。

9月8日調査時には貧酸素化の進行が顕著であったが、もっとも低い2.0mg/l以下の分布は底質悪化域近傍にあり、この貧酸素水塊発生にも底質悪化が影響したと考えられた。貧酸素化が顕著に進行した要因として、底層水温上昇(8月29日調査時に比べ、平均0.86℃上昇)に伴うバクテリアによる有機物分解等促進、降水(調査前10日間累計、73.0mm)に伴う流入負荷量の増大などが考えられた。

10月5日調査時にはさらに貧酸素化の進行が顕著であった。2.0mg/l以下の極めて低い分布が約21~26mの水深帯に広くみられた。この極めて低い分布域は、底質がもっとも悪化していたところよりやや沖側であったが、有機汚濁が進み、各項目とも相対的に高濃度な分布域と概ね一致しており、この貧酸素水塊発生についても底質悪化が影響したと考えられた。貧酸素化がさらに顕著に進行した要因として、底層水温上昇(9月8日調査時に比べ、平均1.41℃上昇)に伴うバクテリアによる有機物分解等促進、大量の降水(調査前10,30日間累計、各143.0mm, 278.5mm)に伴う多量の河川水流入等により密度成層が発達したこと、流入負荷量の増大により溶存酸素消費物質堆積が進んだことが考えられた。さらに、表層の酸素飽和度は、岸側調査点を除き、120%を超える過飽和を示しており

(表3)、このことから植物プランクトン1次生産の過剰増大・枯死沈降があり、さらに貧酸素化を助長したと考えられた。

今回の名取市閑上沖モデル区で実施した調査結果から仙台湾中南部沿岸域(特に、発生頻度が高い仙台新港沖~名取市閑上沖)における発生多発期である9,10月の貧酸素水塊発生は、底質悪化域が初発生域となり、底質悪化域およびその周辺を中心に、底層水温上昇に伴う底泥での有機物分解の進行により、さらに貧酸素化が進行すると考えられた。また、調査前に大量の降雨があった10月5日調査時には、密度成層の発達や、河川等からの流入負荷量の増大、植物プランクトン1次生産の過剰増大・枯死沈降による溶存酸素消費物質のさらなる堆積があったとみられた。このような大量の降雨の影響があった場合には、これらの相乗作用により顕著に貧酸素化が進行すると考えられた。

## 要 約

仙台湾で貧酸素水塊発生が多発している中南部沿岸域(特に、仙台新港沖~名取市閑上沖)で、時期的に顕著に発生が多い9,10月の貧酸素水塊発生要因を検討するため、名取市閑上沖に任意にモデル区を設定し、主に底質分布と貧酸素水塊発生との関係について検討した。

1) モデル区の底質調査を2006年7月20日に実施した。全

硫化物、COD、強熱減量およびシルト含有率の各項目共、もっとも底質が悪化していたのは、名取川流入域近くであり、泥線以深の水深の変曲点付近(海底勾配)であった。また、泥線以浅の底質は良好であり、沖方向に向かつては相対的に高濃度な分布がほぼ同一水深まで帯状に分布していた。

- 2) モデル区の水質調査を2006年8月29日、9月8日および10月5日に実施した。8月29日の初回調査時に、すでに貧酸素水塊発生がみられ、初発生域はもっとも底質が悪化していたところであった。9月8日には、底層水温の上昇に伴い、底質悪化域を中心に、溶存酸素量のさらなる低下、発生範囲の拡大など貧酸素化の進行がみられた。10月5日には多量の降雨があり、底層水温のさらなる上昇と共に、多量の河川水流入等による密度成層の発達や、流入負荷量の増大、植物プランクトン1次生産の過剰増大・枯死沈降による溶存酸素消費物質のさらなる堆積があり、これらの相乗作用により、貧酸素化が顕著に進行したと考えられた。
- 3) これらの調査結果から、中南部沿岸域(特に、仙台新港沖~名取市閑上沖)で顕著に発生が多い9,10月の貧酸素水塊発生要因は、底質悪化が影響しており、底層水温上昇に伴うバクテリアによる有機物分解等の促進により貧酸素化を進行していると考えられた。また、この発生危険期における多量の降雨は、多量の河川水流入等による密度成層の発達や、流入負荷量の増大、植物プランクトン1次生産の過剰増大・枯死沈降をもたらし、これらの相乗作用により、貧酸素化を顕著に進行させることが示された。

## 謝 辞

本調査に参画いただいた調査員の方々、底質分析を担当いただいた当センター環境養殖部山内洋幸研究員、霜山まさ子技師(主任)、並びに各種調査に尽力いただいた当センター調査船「開洋」の乗組員の方々に深謝申し上げる。



## 参考文献

- 1) 宮城県水産試験場 (1988) 昭和63年度宮城県水産試験場事業報告.
- 2) 岩井拓郎 (2004) 近年の仙台湾における貧酸素水発生状況と発生要因の検討. 宮城水産研報, 4, 1-12.
- 3) 岩井拓郎 (2007) 1-2) 水質・底質環境調査から. 研究集会「仙台湾の環境と漁業—沿岸域の底魚資源を中心として—」発表要旨集.
- 4) 岩井拓郎 (2006) 仙台湾における貧酸素水発生多発期の年別発生状況と気象要因および発生海域と底質との関係. 宮城水産研報, 6, 27-39.
- 5) 宮城県水産研究開発センター (2006) 平成18年度宮城県水産試験研究成果要旨集.
- 6) 宮城県水産研究開発センター (2003) 平成15年度宮城県水産試験研究成果要旨集.
- 7) 水質汚濁調査指針 (1980) 日本水産資源保護協会編, 恒星社厚生閣.
- 8) 宮城県気象月報 (2006) 8~10月, 仙台管区気象台.
- 9) 菅野 尚 (1966) 仙台湾の底質とアカガイについて. 東北区水産研究所研究報告, 第26号, 55-75.
- 10) 水産用水基準 (2000) 日本水産資源保護協会.

