

## 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

岩井拓郎\*

The recent occurrence and examination for occurred causes  
of oxygen depleted water in Sendai Bay

Takuro Iwai \*

キーワード：仙台湾，貧酸素水塊

仙台湾は、緩やかに湾曲し、ほぼ南東方向にひらいた開放系の湾である。狭義には、宮城県の牡鹿半島先端部と福島県の鶴ノ尾岬を結んだ海域を指す<sup>1)</sup>とされており、海岸線の長さ約130km、湾口部の長さ約68kmそして水深は大部分が50m以浅となっている。同湾には、旧北上川、鳴瀬川、七北田川、名取川、阿武隈川等の県内主要河川の流入がみられ、このため沿岸域ではこれら河川水流入の影響を受けるとともに、海底には広く泥質域が分布している(図1)。沖合には、年、時期によって、その強弱が異なるが、親潮系水、津軽暖流系水の南下や黒潮系水の北上がみられ、これらの波及の影響を受ける海域でもある。これらの漁場環境の特性等により、同湾では、ノリ、マガキ等の養殖、カレイ類等を対象とした刺網、小型底曳き網漁業、マアナゴを対象としたせん漁業、アカガイ、ホッキガイを対象とした貝桁漁業等が営まれている。

仙台湾では、昭和63年8月中旬～9月上旬にかけて、中南部海域(七ヶ浜町～福島県境沖)の水深20m～30m付近の底層で、酸素飽和度10%以下の貧酸素水の発生がみられ、ハモ筒に入ったマアナゴの斃死、カレイ類の不漁等の異変が認められた<sup>2)</sup>。平成元年以降、漁場環境モニタリングや貧酸素水発生機構の解明を目的として、継続して漁場環境調査を実施してきたが、平成元年～平成6年にかけては、七ヶ浜町沖で局所的に貧酸素水(溶存酸素量1.1～3.7mg/l)の発生がみられたことがあり(平成元年7月)、また平成5年8月に一部海域で3～4mg/lの発生が認められたが、それ以外は、時期的に一部海

域で4～5mg/lの発生が認められたものの、漁業被害に結びつくような貧酸素水の発生は認められなかった<sup>3)</sup>。ここでは、平成7～14年にかけての仙台湾における貧酸素水発生状況と貧酸素水発生時の発生要因等について報告する。

### 調査方法

#### 1 漁場環境モニタリング調査

図2に示す湾内8調査点で、平成7～14年の4～11月にかけて、原則として毎月1回、北原式採水器で層別(0m, 10m, 20m, 30mおよび海底上1m層)に採水し、溶存酸素量(DO)および栄養塩類(平成13年から実施)を調べた。また、貧酸素水発生時には、適宜追跡調査を実施した。分析方法は、溶存酸素量はウィンクラー法、栄養塩類は自動水質分析装置(プラン・ルーベ社製, TRAACS-800)で分析した。また各調査点で、水温塩分計(アレック電子社製, ADR-500)により、1m毎に水温、塩分を測定した。



図1 仙台湾泥質分布域(宮城県沿岸漁場基本図より)

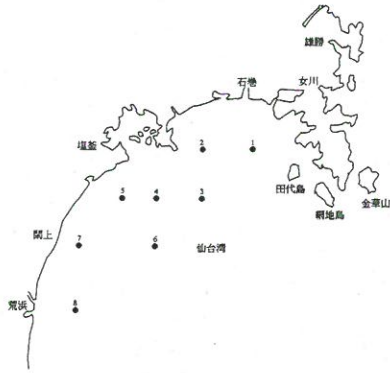


図2 仙台湾漁場環境モニタリング調査点

2 流動調査

図16に示す亙理町沖の定点(38°02.2'N, 141°01.8'E)で、平成12~14年8, 9月にかけて、貧酸素水発生と流動との関係を検討するため、2m層と25m層の2層に流向流速計(アレック電子社製, 電磁流速計ACM16M-215)を設置し、15昼夜連続観測を実施した。

3 生物影響調査

図20に示す湾内13調査点で、仙台湾南部海域において比較的広範囲に貧酸素水の発生が認められた(平成11年6月14日)後の平成11年7月5~7日にかけて、桁網(開口部1.5m, 下端にチェーンを装着したもの)、約5分間曳網により、調査を実施した。調査項目は、採集へい死魚介類等の種名、個体数および同生存魚介類等の種名とした。

4 底質調査

図23に示す湾内23調査点で、貧酸素水の発生が認められた平成14年7月18日(St.7で発生確認)の後の平成14年7月26日に実施した。調査点は、仙台市荒浜沖~亙理町沖の水深約20mラインに7調査点を設け、各調査点の岸側と沖側にほぼ等間隔に調査点を設け、対照点として鳴瀬町沖に2調査点を設けた。同時に、海底上1m層の溶存酸素量を調べた。底質調査の採泥はスミス・マッキンタイヤ型採泥器を用いて行い、分析試料として表層泥(0~2cm層)と下層泥(採泥層厚により、4~13cm層の間の2cm層)を分取した。調査項目は、泥温、性状、全硫化物、COD、強熱減量とし、分析方法は、全硫化物は検知管法<sup>4)</sup>、CODは水質汚濁調査指針<sup>4)</sup>の方法、強熱減量は600℃・2時間強熱の方法によった。

結果および考察

1 貧酸素水発生状況

貧酸素水の基準は、水産用水基準<sup>5)</sup>により、「溶存酸素は、海域では6mg/l以上であること。」とされていることから、6mg/l未満とした。項目は、年別、月別、St.別の3区分として、平成7~14年4~11月に実施した全調査データをもとに、各区分毎の発生頻度をもとめた。発生頻度(%)は、当該項目毎の「延べ調査点数×100/全調査点数(%)」で算出した。

図3に年別の貧酸素水発生頻度を示した。6mg/l未満および5mg/l未満の発生頻度は、平成10, 11, 13, 14年が高く、平成7, 8年がこれらにつき、平成9, 12年は低かった。

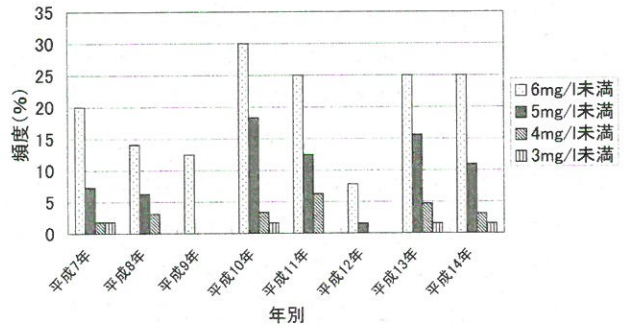


図3 仙台湾年別貧酸素水発生頻度 (H 7~14)

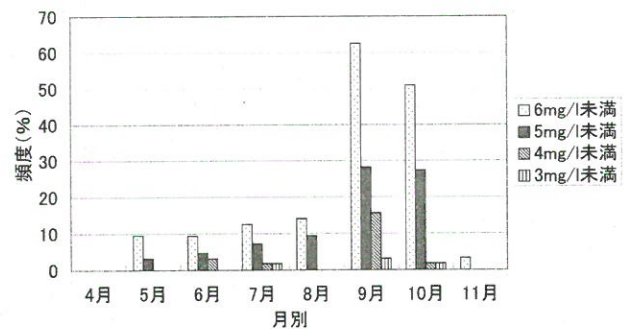


図4 仙台湾月別貧酸素水発生頻度 (H 7~14)

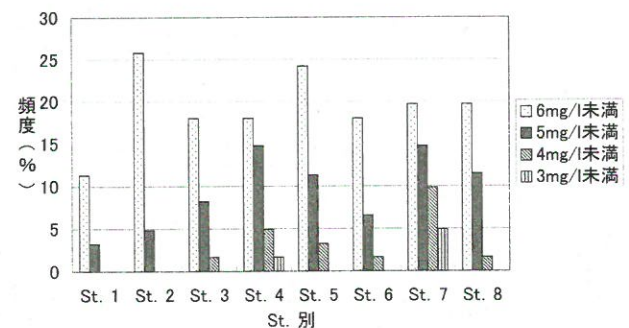


図5 仙台湾 St. 別貧酸素水発生頻度 (H 7~14)

高い年の発生頻度は、6 mg/ℓ未満で25.0～30.0%、5 mg/ℓ未満で10.9～18.3%の範囲にあった。4 mg/ℓ未満の発生は、平成7, 8, 10, 11, 13, 14年にみられ、発生頻度は1.8～6.3%の範囲にあった。また3 mg/ℓ未満の発生は、平成7, 10, 13, 14年にみられ、発生頻度は1.6～1.8%の範囲にあった。

図4に月別の同発生頻度を示した。貧酸素水の発生は5～11月にかけて認められ、9, 10月が顕著に高かった。9, 10月の6 mg/ℓ未満および5 mg/ℓ未満の発生頻度は、それぞれ50.9～62.5%, 27.3～28.1%の範囲にあった。4 mg/ℓ未満の発生は、6, 7, 9, 10月にみられ、発生頻度は1.8～15.6%の範囲にあった。また3 mg/ℓ未満の発生は、7, 9, 10月にみられ、発生頻度は1.8～3.1%の範囲にあった。このように、仙台湾における貧酸素水発生には明瞭な季節変化が認められ、9, 10月に顕著であったが、その他6, 7月に4 mg/ℓ未満の発生が認められたのが特徴的であった。

図5にSt.別の同発生頻度を示した。St.1～8の全調査点で貧酸素水の発生が認められ、6 mg/ℓ未満および5 mg/ℓ未満の発生頻度は、それぞれ11.3～25.8%, 3.2～14.8%の範囲にあった。5 mg/ℓ未満の発生頻度をみると、仙台新港沖のSt.4, 5, 関上沖のSt.7および亶理町沖のSt.8で高い傾向にあった。4 mg/ℓ未満の発生は、St.3～8でみられ、発生頻度は1.6～9.8%の範囲にあった。また3 mg/ℓ未満の発生は、St.4, 7でみられ、発生頻度は1.6～4.9%の範囲にあった。4 mg/ℓ未満および3 mg/ℓ未満の発生は、St.7が最も高かった。このように、貧酸素水発生には区域性がみられ、仙台新港沖～亶理町沖の岸側の海域で発生頻度が高い傾向にあった。

## 2 貧酸素水発生要因別の貧酸素水発生状況と発生要因に関する検討内容

平成7～14年4～11月の調査結果等から、仙台湾における貧酸素水発生の発生要因として、①水温鉛直分布の季節変動に伴うもの、②暖流水波及の影響により、高水温・高塩分の水塊が下層に流入し、底層水温が急上昇しかつ滞留状態を示した場合、③成層期に多量の流入負荷があった場合、の3点が考えられた。以下に、各発生要因別の貧酸素水発生状況並びに発生要因に関する検討内容について記載する。

### (1) 水温鉛直分布の季節変動に伴う貧酸素水発生

表1に、本発生要因によるとみられる平成7～14年9, 10月の底層における5 mg/ℓ未満の貧酸素水発生状況を示した。貧酸素水発生状況は年別に異なり、平成7, 8, 10, 11, 13, 14年に発生がみられ、平成9, 12年には発生がみられなかった。また発生海域は、年別にやや異なっているものの、仙台新港沖のSt.4, 5, 名取市関上沖のSt.7および亶理町沖のSt.8で発生が多く、仙台湾の仙台新港沖～亶理町沖の岸側の海域で多い傾向にあった。水産生物が健全に生育できる濃度として3.0mg/ℓ(4.3mg/ℓ)が提唱されている<sup>6)</sup>が、9月には発生のみられた各年、また10月には平成10, 13年に、この値を下回った。菅野<sup>7)</sup>は、仙台湾の底質とアカガイ漁場について、アカガイの優秀漁場は、名取川、阿武隈川の流入域にある名取・阿武隈シルト区であると述べているが、近年貧酸素水発生がこの海域周辺で高頻度に見られ、その影響が懸念される。平成8, 13年には、漁業者から一部アカガイへい死等の情報があった。

この水温鉛直分布の季節変動に伴う貧酸素水発生を示す事例として、図6に平成13年、St.5における溶存

表1 平成7～14年9, 10月の底層における5 mg/ℓ未満の貧酸素水発生状況

年	9月	10月
平成7年	St.7(2.8mg/ℓ), St.8(4.4mg/ℓ)	未調査
平成8年	St.4(3.6mg/ℓ), St.7(3.8mg/ℓ)	St.2(4.5mg/ℓ)
平成9年	なし	なし
平成10年	St.4(4.7mg/ℓ), St.5(4.6mg/ℓ) St.6(4.0mg/ℓ), St.7(3.6mg/ℓ)	St.3(4.4mg/ℓ), St.6(4.4mg/ℓ) St.7(2.4mg/ℓ)
平成11年	St.4(3.7mg/ℓ), St.5(3.4mg/ℓ)	St.2(4.6mg/ℓ), St.4(4.9mg/ℓ) St.5(4.5mg/ℓ)
平成12年	なし	St.5(4.5mg/ℓ)
平成13年	St.3(3.7mg/ℓ), St.4(2.4mg/ℓ) St.5(3.0mg/ℓ), St.8(4.4mg/ℓ)	St.1(4.0mg/ℓ), St.3(4.6mg/ℓ) St.7(4.8mg/ℓ)
平成14年	St.5(4.5mg/ℓ), St.8(3.1mg/ℓ)	St.3(4.8mg/ℓ), St.5(4.6mg/ℓ) St.7(4.9mg/ℓ), St.8(4.4mg/ℓ)

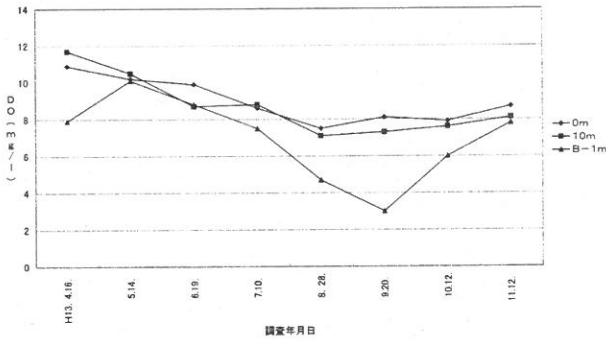


図6 平成13年, St. 5のDO(mg/l)時期別変化

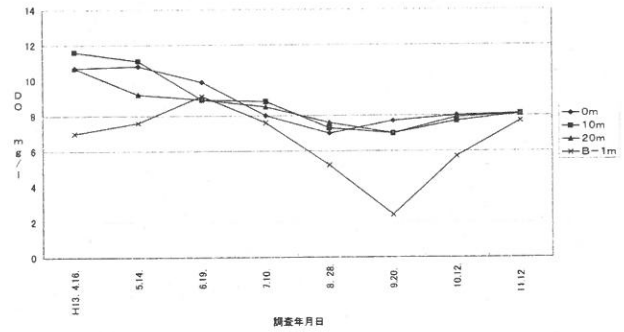


図7 平成13年, St. 4のDO(mg/l)時期別変化

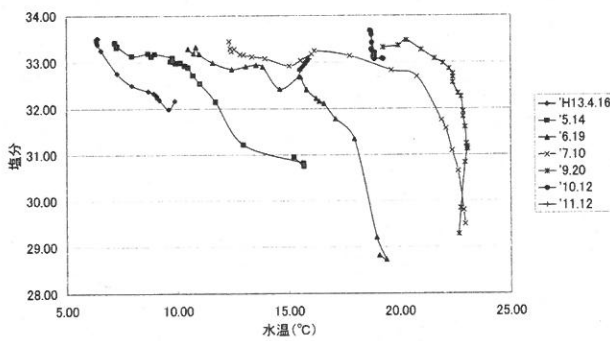


図8 平成13年, St. 5のT-Sダイアグラムの時期別変化

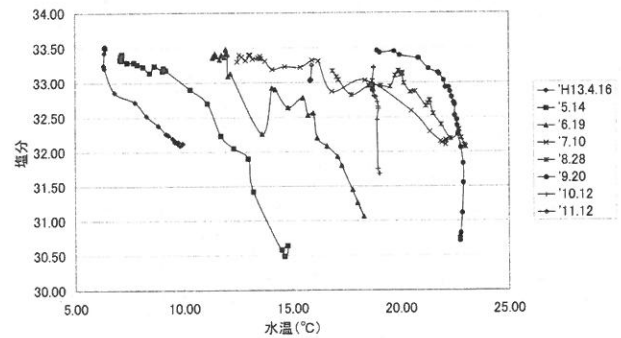


図9 平成13年, St. 4のT-Sダイアグラムの時期別変化

酸素量 (mg/l) の時期別変化, 図7に同年 St.4における溶存酸素量 (mg/l) の時期別変化, 図8に同年 St.5の T-S ダイアグラムの時期別変化, 図9に同年 St.4における T-S ダイアグラムの時期別変化を示した。St.5における溶存酸素量の時期別変化は, 0 m層, 10m層において, 4~11月まで7.1~11.7mg/lで推移していたが, 底層(海底上1m層)では7月以降低下し, 9月に最低の3.0mg/lとなり, 10月以降上昇傾向を示した。また St.4における時期別変化は, 同様に, 0 m層, 10m層, 20m層において, 4~11月まで7.0~11.6mg/lで推移していたが, 底層では7月以降低下し, 9月に最低の2.4mg/lとなり, 10月以降上昇傾向を示した。一方, St.5の T-S ダイアグラムの時期別変化をみると, 水温鉛直分布は4月以降に成層分布が発達し, 7月にもっとも発達した。9月には成層分布が弱まったものの, 底層水温はもっとも上昇した。塩分成層は, 程度の差があるものの4~9月にかけて認められた。10, 11月には, 鉛直混合が進み, 水温, 塩分の表底差は, ほとんどみられなくなった。St.4の T-S ダイアグラムの時期別変化も, St.5とほとんど同様に推移した。St.5, 4における溶存酸素量の時期別変化と T-S ダイアグラムの時期別変化との関係を見ると, 貧酸素水の発

生は, 水温成層分布がみられ, 底層水温がもっとも上昇する9月に, 認められた。このような溶存酸素量の時期別変化と T-S ダイアグラムの時期別変化との関係は, 表1に示した他の発生事例でも同様であった。青山等<sup>8)</sup>は, 三河湾における海況自動観測ブイの観測結果から, 下層水温と貧酸素発生との関連について, 水温が高くなるほど溶存酸素飽和度が低くなり, 1号ブイ(湾奥部ブイ)においては20℃がしきい値となり, これを越えると貧酸素化の引き金となっているように思われると述べているが, これらは仙台湾において底層水温がもっとも上昇する時期(9, 10月)に貧酸素水の発生頻度が高いこととほぼ一致すると考えられた。また松川<sup>9)</sup>は, 弱混合型内湾の三河湾や東京湾における貧酸素水塊の形成機構についてはほぼ解明されており, その外的要因は①全般的流入負荷の増大, ②流入負荷のタイミング, ③流入負荷のレッドフィールド比(N/P比)など, 内的要因は①河川水流入と日照による成層構造の発達, ②それに伴う二層流, ③貧酸素水塊の形成に伴うリン(PO<sub>4</sub>-P)の溶出などであり, これらによって, 成層構造は植物プランクトンの増殖を容易にし, 二層流は下層の栄養塩を上層に回帰し植物プランクトンの増殖を一層容易にし, こうして生産



された有機物が死骸や動物プランクトンの糞粒となって下層に沈降され、バクテリアなどによる分解によって溶存酸素が消費されるが、この湾内下層の溶存酸素は成層期には海面からの供給が実質的に断たれ、二層流による外海水の下層からの流入によって溶存酸素の補給が辛くも担われるが、この溶存酸素の流入を溶存酸素の消費が上回った時に、貧酸素水塊が形成されると述べている。平成13年9月における貧酸素水発生(9月20日確認)時には、仙台市周辺で44mm(9月11日)の降雨が観測されており、貧酸素水の発生が、底層水温のもっとも上昇する時期(9月)にあつて、底層付

近でバクテリアなどによる分解によって溶存酸素の消費が促進されたことに加えて、河川水の流入により流入負荷が増大したことや成層構造が発達したことなどにより、その発生がさらに助長されたと考えられた。

仙台湾における近年の高頻度の貧酸素水発生の背景として、全般的な富栄養化の進行が考えられ、無機態N化合物(DIN)および無機態P化合物(DIP)について、吉田による海域の栄養階級区分<sup>10)</sup>と比較した。図10に平成13年におけるSt.5のDIN時期別変化、図11にSt.5のDIP(PO<sub>4</sub>-P)時期別変化、図12にSt.4のDIN時期別変化、図13にSt.4のDIP(PO<sub>4</sub>-P)時期別変化、図

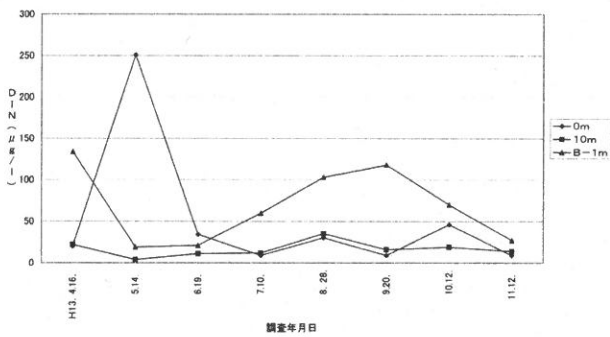


図10 平成13年, St. 5のDIN時期別変化

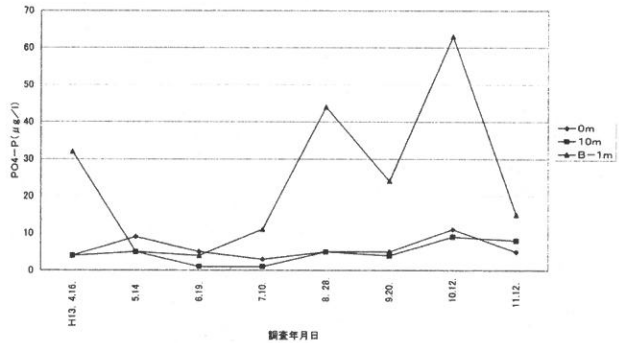


図11 平成13年, St. 5のDIP(PO<sub>4</sub>-P)時期別変化

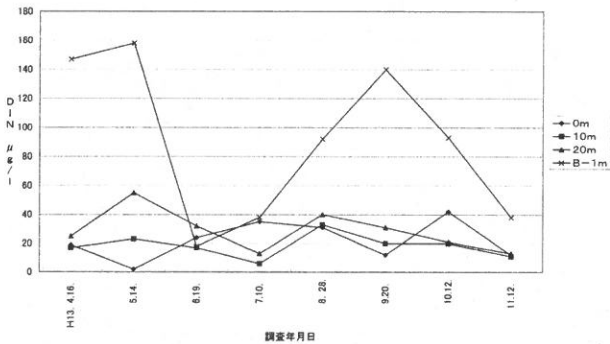


図12 平成13年, St. 4のDIN時期別変化

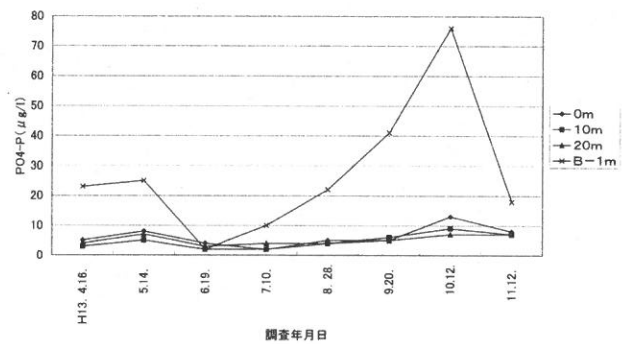


図13 平成13年, St. 4のDIP(PO<sub>4</sub>-P)時期別変化

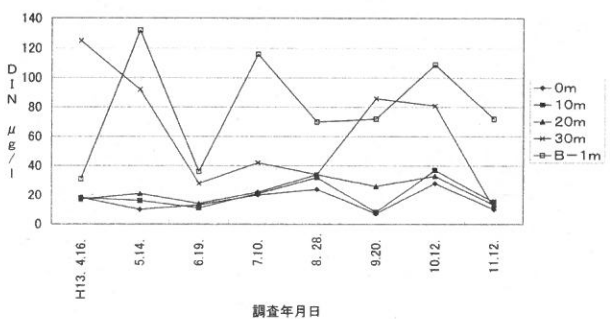


図14 平成13年, St. 3のDIN時期別変化

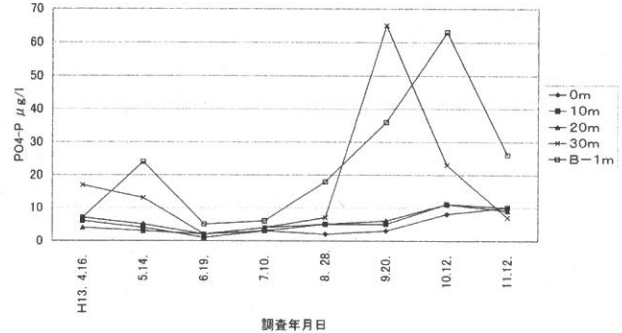


図15 平成13年, St. 3のDIP(PO<sub>4</sub>-P)時期別変化

14にSt.3のDIN 時期別変化, 図15にSt.3のDIP (PO<sub>4</sub>-P) 時期別変化を示した。吉田の栄養階級区分<sup>10)</sup>によると, 7~9月の成層期において, 無機態N化合物(DIN)は, 腐水域が100 $\mu$ g-at/ $\ell$  (1,400 $\mu$ g/ $\ell$ )以上, 過栄養域が10~100 $\mu$ g-at/ $\ell$  (140~1,400 $\mu$ g/ $\ell$ ), 富栄養域が2~10 $\mu$ g-at/ $\ell$  (28~140 $\mu$ g/ $\ell$ ), 貧栄養域が2 $\mu$ g-at/ $\ell$  (28 $\mu$ g/ $\ell$ )以下, 無機態P化合物(DIP)は, 腐水域が10 $\mu$ g-at/ $\ell$  (310 $\mu$ g/ $\ell$ )以上, 過栄養域が1~10 $\mu$ g-at/ $\ell$  (31~310 $\mu$ g/ $\ell$ ), 富栄養域が0.2~1.0 $\mu$ g-at/ $\ell$  (6~31 $\mu$ g/ $\ell$ ), 貧栄養域が0.2 $\mu$ g-at/ $\ell$  (6 $\mu$ g/ $\ell$ )以下と示されている。平成13年7~9月におけるDINは, St.5で9~118 $\mu$ g/ $\ell$  (平均43.6 $\mu$ g/ $\ell$ ), St.4で6~140 $\mu$ g/ $\ell$  (平均40.9 $\mu$ g/ $\ell$ ), St.3で7~116 $\mu$ g/ $\ell$  (平均40.9 $\mu$ g/ $\ell$ ), DIPは, St.5で1~44 $\mu$ g/ $\ell$  (平均11.3 $\mu$ g/ $\ell$ ), St.4で2~41 $\mu$ g/ $\ell$  (平均9.2 $\mu$ g/ $\ell$ ), St.3で2~65 $\mu$ g/ $\ell$  (平均11.5 $\mu$ g/ $\ell$ )の範囲にあり, 当海域は, DIN, DIPの濃度範囲からみて, おおむね富栄養域にあると考えられた。また平成14年7~9月におけるDINは, St.5で16~122 $\mu$ g/ $\ell$  (平均52.6 $\mu$ g/ $\ell$ ), St.4で15~136 $\mu$ g/ $\ell$  (平均40.8 $\mu$ g/ $\ell$ ), St.3で12~150 $\mu$ g/ $\ell$  (平均50.0 $\mu$ g/ $\ell$ ), DIPは, St.5で2~35 $\mu$ g/ $\ell$  (平均10.0

$\mu$ g/ $\ell$ ), St.4で2~42 $\mu$ g/ $\ell$  (平均9.3 $\mu$ g/ $\ell$ ), St.3で2~41 $\mu$ g/ $\ell$  (平均11.0 $\mu$ g/ $\ell$ )の範囲にあり, 平成14年の結果からみても, 当海域は, おおむね富栄養域にあると考えられた。今後, NP流入負荷量と植物プランクトン等による内部生産との関連やこれら植物プランクトン等が枯死沈降し分解される際の溶存酸素消費量の把握が重要と考えられる。

また貧酸素水発生と流動との関連を検討するため, 図16に示す亶理町沖調査点(水深約29m)で, 平成12~14年の8月下旬~9月中旬にかけて15昼夜連続観測を実施した。表2に, 最多流向, 流速最頻値および平均流速, 図17に流速ベクトル図を示した。最多流向は, 平成12年に表層(2m層)がN, 底層(25m層)がSと, 表底層で流向が異なっていたが, 平成13年には表底層ともNW, 平成14年には表底層ともSSWであった。流速最頻値は, 表層で10~20cm/秒または20~30cm/秒, 底層で0~10cm/秒であった。平均流速は, 表層で15.78~24.33cm/秒, 底層で6.61~7.84cm/秒の範囲にあった。表層平均流速に対する底層平均流速は, 32.2~42.5%の範囲にあった。流速ベクトルは, 平成12~14年調査とも, 明瞭な規則性はみられなかった。渡辺等<sup>11)</sup>は, 仙台湾沿岸域の流れからみた特性は, 特

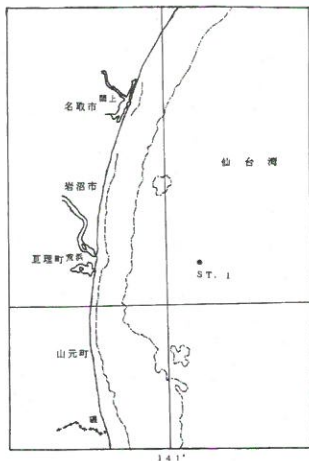


図16 仙台湾流動調査点

表2 平成12~14年8, 9月仙台湾流動調査結果 (15昼夜連続観測)

調査期間	項目 観測水深	最多流向	流速最頻値 (cm/秒)	平均流速 (cm/秒)
平成12年8月23日~9月6日	2m層	N	10~20	15.78
	25m層	S	0~10	6.61
平成13年9月1日~9月15日	2m層	NW	20~30	24.33
	25m層	NW	0~10	7.84
平成14年8月29日~9月12日	2m層	SSW	10~20	17.53
	25m層	SSW	0~10	7.45

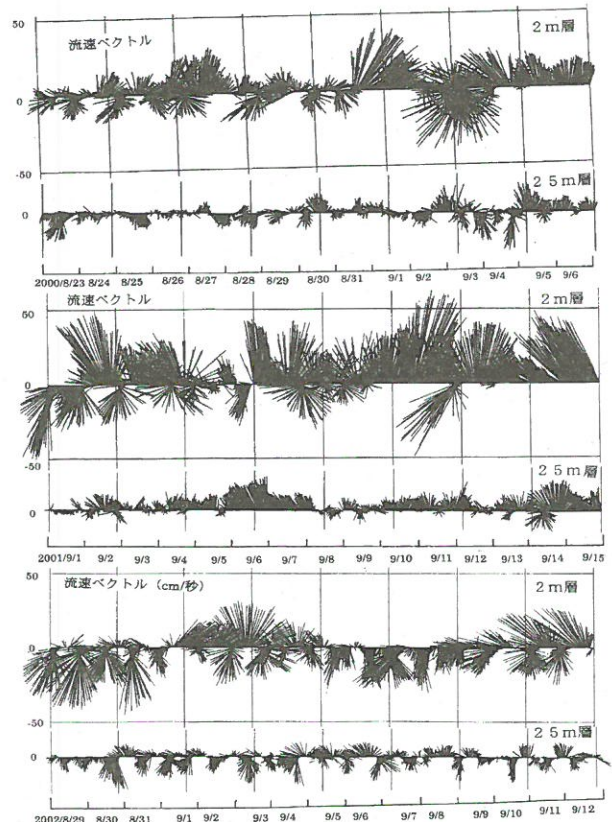


図17 平成12~14年8, 9月流速ベクトル図

定の周期成分をもたない不規則な過程が卓越した乱流場であるといえると述べているが、今回の結果もほぼ一致した。平成12年は、北方向と南方向の流れが交互にみられることもあった。平成13年は、表層とも北方向の流れが卓越し、NW～N方向の流れが、表層で44.9%、底層で41.4%をしめていた。平成14年は、南方向の流れが多かったが、SSE～SW方向の流れが、表層で44.7%、底層で41.1%をしめていた。この時期の貧酸素水の発生は、平成12年は認められなかったが、平成13年9月20日および平成14年9月24日に発生が認められた。貧酸素水発生と流れとの関係については、表層に比べ底層では流速がかなり弱いことが関与して

いるのではないかと考えられたが、今回の調査位置は、通常貧酸素水の発生が見られる海域のやや沖側であり、今後貧酸素水発生と流れとの関係について検討するため、通常貧酸素水の発生が見られる海域での流況を把握する必要があると考えられた。

(2) 暖流系水波及の影響による貧酸素水発生

この事例は、平成11年6月14日に認められた。表3に各St.における底層（海底上1m層）の水温、塩分および溶存酸素量を示した。溶存酸素量は、St.1～5で6.6～8.2mg/ℓと水産用水基準を上回っていたのに対して、仙台湾南部海域のSt.6～8では3.4～4.0mg/ℓと貧酸素状態であった。貧酸素水非発生調査点の底

表3 各St.における海底上1m層の水温、塩分および溶存酸素量（平成11年6月14日調査）

項目	St.	1	2	3	4	5	6	7	8
水温 (°C)		10.2	10.6	9.4	10.5	11.0	11.2	11.9	11.4
塩分		33.74	33.78	33.82	33.71	33.70	34.02	33.95	34.02
溶存酸素量 (mg/ℓ)		8.0	7.9	6.6	7.8	8.2	3.7	3.4	4.0
水深 (m)		31	22	37	26	23	32	22	27

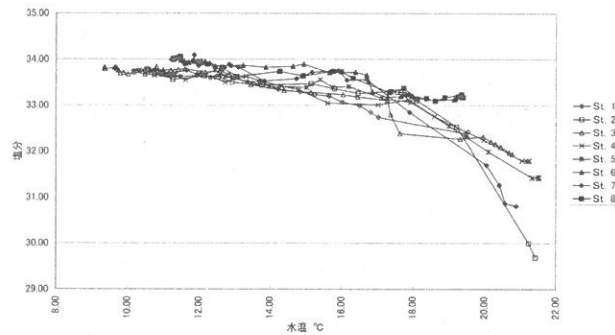


図18 平成11年6月14日、各St.のT-Sダイアグラム図

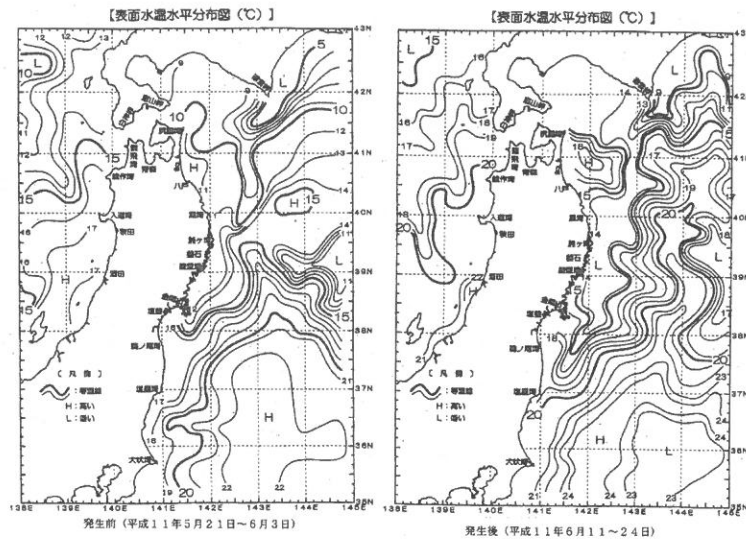


図19 貧酸素水発生前後海況図（第二管区海上保安本部海洋速報転写）



層の水温、塩分は、9.4~11.0℃、33.70~33.82の範囲にあり、発生調査点の底層の水温、塩分は、11.2~11.9℃、33.95~34.02の範囲にあった。非発生調査点に比べ、発生調査点の水温、塩分が高かった。ほぼ同一水深の調査点の水温、塩分を比較すると、発生調査点が非発生調査点に比べ、0.9~1.3℃、0.17~0.31高かった。図18に各 St. の T-S ダイアグラム図を示した。発生調査点の下層に水温、塩分の高い分布がみられるが、塩分33.90以上の分布が、St.6で19m以深、St.7で18m以深そして St.8で18m以深に認められた。図19に貧酸素水発生前後の海況図<sup>12)</sup>を示した。表面水温分布図によると、発生前(5月21日~6月3日)に比べ、

発生後(6月11日~6月24日)には、福島県沖~仙台湾南部海域の沿岸にそって、18℃台の流入がみられていた。これらのことから、この貧酸素水の発生は、暖流水波及の影響を受け、仙台湾南部海域に高水温・高塩分の水塊が下層に流入し、滞留したことにより、底層水温が急上昇し底層付近における溶存酸素の消費を促進するとともに、底層付近への溶存酸素の補給が減少したために発生したと考えられた。工藤<sup>13)</sup>は、仙台湾への沖合水の流入と沿岸水の流出について、4パターンを示しているが、今回みられたものは、その1パターン(南方からの沖合水の流入で湾北部に沿岸水の流出がみられるもの)に類似していた。しかし、貧

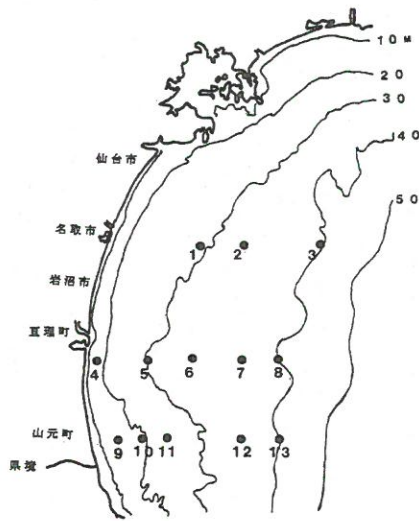


図20 仙台湾生物影響調査点

表4-1 貧酸素水発生による生物影響調査結果 (へい死状況) 平成11年7月5~7日調査

St.	魚介類等へい死状況 (採集体数)
5	シャコ (3個体)、エゾイシカゲガイ (1個体)
6	ナガウバガイ (2個体)、エゾキンチャクガイ (1個体) ゴカイ類 (1個体)
7	オオスダレガイ (1個体)
9	エゾヌノメガイ (1個体)
12	不明魚 (骨のみ) (1個体)
13	イシガレイ (1個体)、ウチダニチリンヒトデ (1個体)

表4-2 貧酸素水発生による生物影響調査結果 (生存採集種) 平成11年7月5~7日調査

St.	生存採集生物種 (種類数)					種類数
	魚類	甲殻類	軟体動物	棘皮動物	環形動物	
1	マガレイ, アカウシノシタ, ネズツボ科, アカハゼギンボ, アサヒアナハゼ, ヨウジウオ	サメハダヘイケガニ, イボイチョウガニ, フタホシイシガニ, イッカクガニ, ヨツハマゴニ, キシエビ	ヒメエゾボラ	ツガルウニ, ヒトデ, スナヒトデ, クモヒトデ	なし	18種
2	マガレイ, ネズツボ科, ヨウジウオ, イカナゴ	イボイチョウガニ, ケセンガニ, エビジャコ, シャコ, オホーツクホンヤドカリ, サルエビ, キシエビ	モスソガイ, エゾタマガイ, タマキガイ	ツガルウニ, ヒトデ, スナヒトデ	なし	17種
3	アイナメ, マフグ, イカナゴ, イシガレイ, マガレイ, ネズツボ科, マダラ, クサウオ	エビジャコ	コウイカ	ツガルウニ, ヒトデ, スナヒトデ	なし	13種
4	アカハゼ, シラウオ科	ラスバンマメガニ, エビジャコ, シャコ, ナガテツボウエビ	アカガイ, エゾタマガイ, フリソデガイ, チヨノハナガイ, ニッコウガイ科1, 同科2	ヒトデ, ナマコ	ワラジヘラムシ	16種
5	ヨウジウオ, ビクニン, ソコダラ科	サルエビ, エビジャコ	なし	なし	なし	5種
6	イカナゴ, ヨウジウオ	イボイチョウガニ	なし	なし	なし	3種
7	マコガレイ, マガレイ, チダイ, イカナゴ, ギンボ	オホーツクホンヤドカリ	ジンドウイカ	なし	なし	7種
8	ヒラメ, イカナゴ, チダイ, ネズツボ科, カガミダイ, ギンボ	エビジャコ, イボイチョウガニ	ジンドウイカ	ツガルウニ, ヒトデ, スナヒトデ	なし	12種
9	アカハゼ, メバル, イカナゴ, シラウオ科	サメハダヘイケガニ, エビジャコ, イッカクガニ, ヨツハマゴニ	タマキガイ, バカガイ	ツガルウニ, ヒトデ	ウロコムシ	13種
10	イカナゴ, ヨウジウオ, ネズツボ科	キシエビ	タマキガイ	ツガルウニ, ヒトデ	なし	7種
11	イカナゴ, ヨウジウオ	イボイチョウガニ, オホーツクホンヤドカリ	なし	ツガルウニ, ヒトデ, スナヒトデ	なし	7種
12	イシガレイ, マコガレイ, イカナゴ, ネズツボ科, アイナメ	なし	ジンドウイカ	なし	なし	6種
13	アイナメ, ネズツボ科, メバル, ギンボ, マフグ	なし	ヒメエゾボラ, ニシキウス科	なし	なし	7種



酸素水の発生には海底での溶存酸素を消費する物質（有機物等）の堆積が必要であるが、今回底質が比較的良好とみられる<sup>14)</sup> St.6で発生が観測されたことについて、貧酸素水塊の移動の過程で観測されたことによるのか、あるいはSt.6周辺の海域に植物プランクトン等の内部生産に起因する死骸の堆積があったことによるのか等については、今後の検討課題と考えられた。

図20に生物影響調査点、表4-1および表4-2に、平成11年7月5～7日に実施した貧酸素水発生による生物影響調査結果を示した。へい死魚介類等は、St.5, 6, 7, 9, 12, 13で採集された。生存採集生物種は、表に示す多様な生物種が採集されたが、へい死魚介類等が採集された調査点で種類数が少ない傾向がみられた。今回へい死魚介類等が採集された海域は、St.9を除き漁業者からの情報（操業時にへい死魚介類等が採集された海域）とほぼ一致していた。また、平成11年6月14日に貧酸素水の発生が観測された海域に比べると、やや南方の海域であった。

図21に、St.6～8における底層の溶存酸素の推移を示した。6月29日（15日後）には、St.6, 7では6.0～6.3mg/lに上昇したが、St.8では3.8mg/lと引き続き貧酸素状態であった。7月6日（22日後）には、各調査点で6.2～9.1mg/lとなり、貧酸素状態はおおむね解消された。これらのことからみて、貧酸素水は徐々に南下したと考えられた。福島県水産試験場資料<sup>15)</sup>に

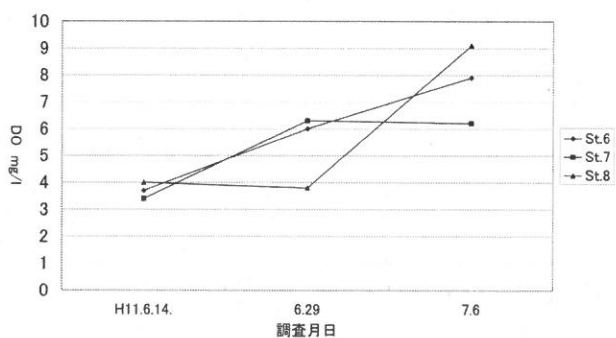


図21 平成11年6, 7月, St.6～8底層のDO(mg/l)の推移

よると、県北部の相馬原釜漁協で、6月21日～7月1日にかけて、イシガレイ、マコガレイの大量水揚げがあり、これらが貧酸素水発生時期とほぼ一致していたことから、このカレイ類の大量水揚げについても、この貧酸素水発生による影響と考えられた。

昭和63年8月中旬～9月上旬にかけての仙台湾における貧酸素水発生時の調査結果<sup>2)</sup>を参照すると、七ヶ浜町沖～福島県境沖の水深20～30m付近の底層で、溶存酸素飽和度10%以下の貧酸素水の分布が認められ、その海域の中層～下層の塩分は34台となっていた。また、この時期の海況図<sup>16)</sup>をみると、暖流系水が強勢で金華山沖に顕著な暖水塊が認められた。これらのことからみて、昭和63年8月中旬～9月上旬にかけての貧酸素水発生も、今回に比べ発生規模が大きい、今回の貧酸素水発生と同様に、暖流系水が仙台湾中南部海域の中層～下層に流入し、滞留したことによって発生した可能性が大きいと考えられた。

(3) 成層期に多量の流入負荷があったことに伴う貧酸素水発生

この事例は、平成14年7月18日に認められた。平成14年7月上旬～中旬にかけての県内の気象状況は、特に10～11日にかけて、梅雨前線と台風6号の接近、影響により、7月としては記録的な大雨となり、また、13～16日にかけては、梅雨前線と台風7号の影響により、各地で大雨となった。7月9～17日にかけての仙台市周辺の累計降水量は、286mmに達した（気象月報、仙台管区気象台）。このため、県内主要河川のほとんどが流入する仙台湾においては、この大雨の影響により、多量の流入負荷があったと考えられた。表5に、各St.における底層（海底上1m層）の水温、塩分および溶存酸素量を示した。水温は12.3～14.0℃、塩分は33.46～33.73の範囲にあった。溶存酸素量は、St.7で2.6mg/lと貧酸素であったが、その他の調査点では5.4～8.3mg/lの範囲にあり、水産用水基準をやや下回るか、これを上回っていた。図22に、各St.のT-Sダイアグラム図を示した。各St.の表層の塩分は、河川水

表5 各St.における海底上1m層の水温、塩分および溶存酸素量（平成14年7月18日調査）

項目	St.	1	2	3	4	5	6	7	8
水温 (℃)		12.9	13.3	12.3	13.2	14.0	12.3	14.0	12.5
塩分		33.62	33.61	33.73	33.63	33.46	33.62	33.50	33.57
溶存酸素量 (mg/l)		8.3	5.7	6.2	5.5	7.6	6.7	2.6	5.4
水深 (m)		30	22	37	27	21	31	22	27

表6 各 St., 各層における栄養塩類の濃度 (平成14年7月18日調査)

(単位:  $\mu\text{g}/\ell$ )

水深 (m)	St.	1		2		3		4		5		6		7		8	
		PO <sub>4</sub> -P	DIN	PO <sub>4</sub> -P	DIN	PO <sub>4</sub> -P	DIN	PO <sub>4</sub> -P	DIN	PO <sub>4</sub> -P	DIN	PO <sub>4</sub> -P	DIN	PO <sub>4</sub> -P	DIN	PO <sub>4</sub> -P	DIN
0		2	44	4	21	3	40	3	38	3	119	3	45	4	90	9	558
10		5	58	14	85	2	28	2	40	2	36	2	17	2	23	3	27
20		2	36	28	125	2	46	2	31	—	—	1	22	2	29	7	38
30		—	—	—	—	12	70	—	—	—	—	4	22	—	—	—	—
海底上 1 m		12	64	31	125	41	150	33	136	9	68	18	71	38	205	37	132

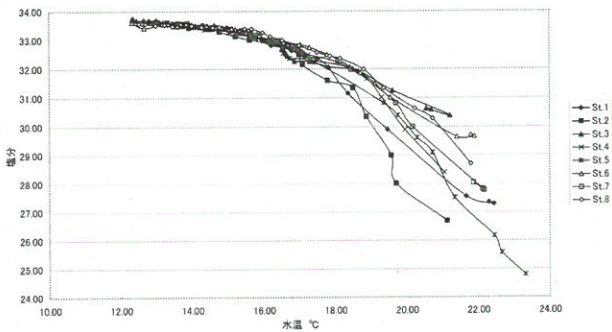


図22 平成14年7月18日, 各 St. の T-S ダイアグラム図

流入の影響により, 24.80~30.59と河口域に近い調査点で低くなっており, 各 St. で水深9~16mまで, 33.00以下となっていた。表6に, 各 St., 各層における栄養塩類の濃度を示した。河川水流入の影響により, 河口域に近い調査点で通常を上回る濃度がみられた。これらのことから, この貧酸素水発生は, 成層期において, 短期間に多量の流入負荷があったために発生したと考えられた。

また, 平成14年7月26日に, より詳細に貧酸素水の

発生状況の把握と底質との関連性について検討するため, 図23に示す調査点で, 調査を実施した。表7に, 底質(表層泥, 下層泥)および底層溶存酸素量調査結果を示した。底質について, 表層泥の全硫化物は, < 0.01~0.70mg/g 乾の範囲にあり, 仙台市荒浜沖の St.1, 2, 4, 5, 岩沼市二野倉沖の St.13, 14, 17そして石巻湾の St.22で水産用水基準(全硫化物0.2mg/g 乾以下)を上回っていた。CODは, < 0.1~21.6mg/g 乾の範囲にあり, St.1, 19で水産用水基準(COD20 mg/g 乾以下)を上回っていた。強熱減量は, 1.6~11.1%の範囲にあった。下層泥の全硫化物は, < 0.01~2.38mg/g 乾の範囲にあり, 沖側調査点の St.9, 12, 15, 18および亶理町沖の St.16, 19を除いた各調査点で水産用水基準を上回り, 仙台市荒浜~関上沖の St.4, 7, 8, 11および岩沼市二野倉~亶理町沖の St.13, 17, 20, 21では, 1.0mg/g 乾を上回っていた。CODは, < 0.1~31.3mg/g 乾の範囲にあり, 仙台市荒浜~関上沖の St.1, 4, 8および亶理町沖の St.21で水産用水基準を上回っていた。強熱減量は, 1.5~10.0%の範囲にあった。底質について総体的にみると, 表層泥では,

表7 平成14年度仙台湾底質(表層泥, 下層泥)および底層溶存酸素量調査結果 平成14年7月26日調査

St.	水深	泥温 (°C)	泥層 (cm)	性状	全硫化物 (mg/g 乾)	COD (mg/g 乾)	強熱減量 (%)	泥層 (cm)	性状	全硫化物 (mg/g 乾)	COD (mg/g 乾)	強熱減量 (%)	底層溶存酸素量 (mg/l)
1	18m	14.2	0~2	泥	0.25	21.1	9.9	11~13	泥	0.98	25.1	10.0	4.4
2	20m	14.4	0~2	泥	0.36	14.6	7.5	11~13	泥	0.62	10.8	6.6	5.3
3	23m	14.6	0~2	泥	0.02	14.0	5.6	9~11	砂泥	0.27	8.4	5.3	4.8
4	18m	14.6	0~2	泥	0.34	18.2	8.8	11~13	泥	1.57	26.1	9.9	4.7
5	21m	14.2	0~2	泥	0.22	15.7	7.4	11~13	泥	0.32	14.2	7.0	5.6
6	23m	14.0	0~2	泥~砂泥	<0.01	4.1	4.3	11~13	泥~砂泥	0.42	6.7	4.7	4.8
7	18m	14.6	0~2	泥	0.03	9.9	6.3	11~13	泥	1.62	17.8	7.6	2.1
8	20m	14.8	0~2	泥	0.02	12.8	7.7	11~13	泥	1.67	24.9	9.4	5.6
9	24m	14.4	0~2	砂泥	<0.01	2.5	3.0	4~6	砂泥	0.02	3.3	3.5	3.8
10	17m	15.0	0~2	泥	0.11	4.9	8.1	11~13	泥	0.94	11.3	7.1	0.9
11	20m	14.2	0~2	泥	<0.01	14.4	7.4	11~13	泥	1.25	15.1	7.3	2.8
12	24m	15.4	0~2	中砂	<0.01	1.2	2.1	4~6	中砂	<0.01	<0.1	2.2	3.0
13	18m	15.2	0~2	泥	0.70	14.5	7.9	11~13	泥	1.72	15.1	7.0	1.1
14	20m	14.7	0~2	泥	0.30	14.3	7.7	11~13	泥	0.75	14.5	6.6	5.0
15	24m	15.6	0~2	細砂	0.01	1.9	2.9	6~8	細砂	<0.01	1.0	2.8	4.5
16	16m	14.8	0~2	砂泥	0.06	4.1	4.7	7~9	砂泥	0.17	3.9	4.9	7.4
17	20m	14.2	0~2	泥	0.34	15.1	7.8	11~13	泥	2.03	18.6	6.3	7.0
18	25m	15.0	0~2	中砂	<0.01	<0.1	1.6	8~10	中砂	<0.01	<0.1	1.5	6.5
19	15m	15.8	0~2	砂泥	0.01	9.2	6.8	8~10	砂泥	0.02	2.8	4.6	3.4
20	21m	13.8	0~2	泥	0.10	21.6	11.1	11~13	泥	1.45	19.0	8.8	7.5
21	27m	13.0	0~2	泥	0.05	15.6	7.1	11~13	泥	2.34	31.3	9.2	4.9
22	15m	15.6	0~2	泥	0.25	14.6	7.8	11~13	泥	0.54	11.5	5.9	5.9
23	21m	15.6	0~2	泥	0.10	16.5	8.5	11~13	泥	0.75	15.8	7.6	5.8

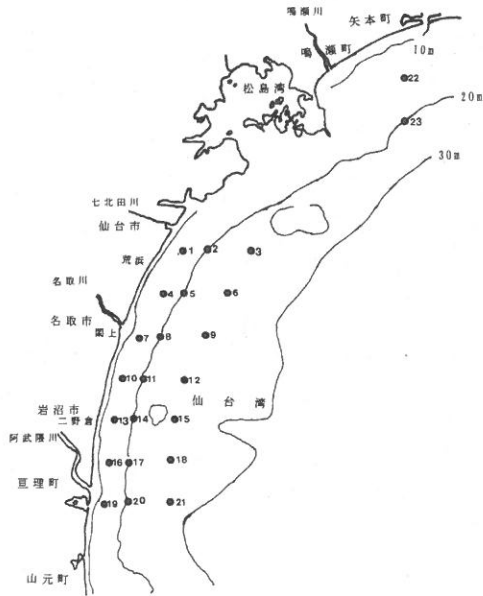


図23 仙台湾底質調査点

沖側調査点の St.9, 12, 15, 18は良好であり、その他の調査点ではやや汚染の進行がみられ、仙台市荒浜沖および岩沼市二野倉沖の水深18~21m付近の海域で汚染がみられた。また、下層泥では、同様に沖側調査点の St.9, 12, 15, 18は良好であったが、その他の調査点では、表層泥に比べ汚染が進行しており、仙台市荒浜~関上沖および岩沼市二野倉~亶理町沖の水深18~21mおよび27m付近では汚染が顕著であった。底層(海底上1m)の溶存酸素量は、0.9~7.5mg/lの範囲にあり、全体的に貧酸素化の傾向がみられたが、関上~岩沼市二野倉沖の St.7, 10, 13で0.9~2.1mg/lと低く、周辺の St.11, 12で3.0mg/lを下回り、亶理町沖の St. 19で4.0mg/lを下回っていた。図24に、表層泥の全硫化物と底層溶存酸素量との関係、図25に、表層泥のCODと底層溶存酸素量との関係を示した。表層泥の全硫化物と底層溶存酸素量との関係について、St.13

で、全硫化物が0.7mg/lと高く、底層溶存酸素量が1.1mg/lと低かったが、その他の調査点において底質の汚染状況と底層溶存酸素量とに明瞭な関係はみられなかった。また、表層泥のCODと底層溶存酸素量との関係については、底質の汚染状況と底層溶存酸素量とに明瞭な関係はみられなかった。底層の溶存酸素量が関上~岩沼市二野倉沖の St.7, 10, 13で0.9~2.1mg/lと低かったことについては、この海域が名取川および阿武隈川流入域の周辺にあることと、仙台湾中南部海域の湾入奥部にあることから、流入負荷が堆積しやすかつ滞留しやすい海域となっているためではないかと考えられた。

以上、近年の仙台湾における貧酸素水発生状況とこれまでの調査結果等から考えられた発生要因について報告したが、近年仙台湾において、貧酸素水の発生が高頻度化する傾向がみられた。貧酸素水発生要因について、平成7~14年4~11月の調査結果等をもとに検討したが、断片的な知見にとどまっているものもあり、仙台湾における貧酸素水発生要因の究明を図るため、今後さらに調査検討が必要と考えられた。また、仙台湾においては、各種の養殖・漁業が営まれているとともに、多種多様な生物生産の場となっており<sup>17)</sup>、これらの持続的生産等を図っていく上でも、漁場環境の保全を図ることが極めて重要であると考えられた。終わりに、本稿をとりまとめるにあたり、一連の各種調査を共に実施し、多大の労をとられた漁港漁場整備課太田裕達技術主幹、気仙沼水産試験場鈴木貢治技師、内水面水産試験場花輪正一主任研究員、水産研究開発センター山内洋幸技師、阿部修久技師、生物影響調査における種の査定に、ご指導、ご助力いただいた五十嵐輝夫元海洋資源部長(現漁港漁場整備課長)はじめ当時の海洋資源部の方々、各種調査に尽力いただいた開洋の乗組員の方々に深謝申し上げます。

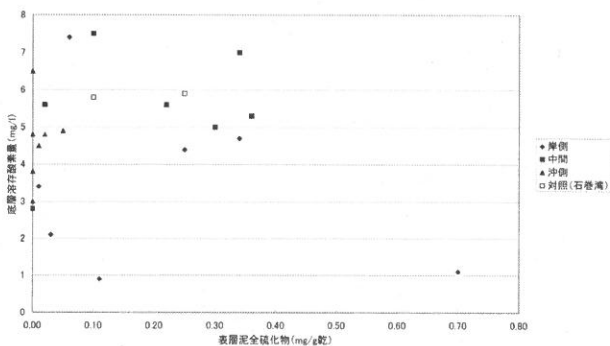


図24 表層泥全硫化物と底層溶存酸素量との関係

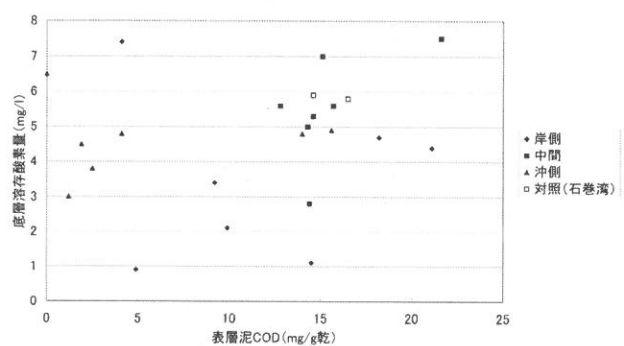


図25 表層泥 COD と底層溶存酸素量との関係



## 要 約

- 1 平成7～14年4～11月の仙台湾における貧酸素水発生状況について、年別、月別およびSt. 別に、発生頻度(%)をとりまとめた。年別には、平成10, 11, 13, 14年が高く、平成7, 8年がこれらにつき、平成9, 12年は低かった。月別には、明瞭な季節変化が認められ、9, 10月に顕著であったが、その他6, 7月に4 mg/l未滿の発生が認められたことがあった。St. 別には、仙台新港沖～亶理町沖の岸側の海域で発生頻度が高い傾向がみられた。
- 2 仙台湾における貧酸素水発生要因について、平成7～14年4～11月の調査結果等から、①水温鉛直分布の季節変動に伴うもの、②暖流系水の波及の影響で、高

水温・高塩分の水塊が下層に流入することにより、底層水温が急上昇しかつ滞留状態を示した場合、③成層期に多量の流入負荷があった場合、の3点が考えられ、これら①～③の発生要因別に、貧酸素水発生事例、関連する調査結果および各発生要因に関する検討内容について記載した。

- 3 ①～③の発生要因について、①の発生要因によるものは、9, 10月に、仙台新港沖～亶理町沖の岸側の海域で、高頻度に発生する傾向にあり、②の発生要因の場合には、発生事例が少ないが、一端発生した場合にはその影響が広範囲におよぶ傾向にあった。また③の事例は、名取川流入域～阿武隈流入域の岸側の海域で認められた。

## 参考文献

- 1) 八島邦夫(1985)第7章仙台湾I地質. 日本全国沿岸海洋誌, 東海大学出版会, 253-262.
- 2) 宮城県水産試験場事業報告(昭和63年度・平成元年度).
- 3) 宮城県水産試験場事業報告(昭和63年度・平成元年度～平成6年度).
- 4) 水質汚濁調査指針(日本水産資源保護協会編)(1980), 恒星社厚生閣.
- 5) 水産用水基準(2000年版) 社団法人日本水産資源保護協会.
- 6) 風呂田俊夫(2003)底生生物からみた環境回復目標. 第4回東京湾海洋環境シンポジウム要旨集, 東京大学海洋研究所.
- 7) 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20号, 55-68.
- 8) 青山裕見・石田基雄・木村仁美(2002)海況自動観測ブイ10ヶ年観測結果(1991～2000年)からみられる三河湾の赤潮と貧酸素. 愛知県水産試験場研究報告, 第9号, 1-10.
- 9) 松川康夫(1992)II水域別の検討, 3三河湾・東京湾. 漁場環境容量(日本水産学会監修), 恒星社厚生閣, 37-48.
- 10) 吉田陽一(1983)III環境変化の予測と評価の方法, 3生物指標法. 漁場環境アセスメント(日本水産学会監修), 恒星社厚生閣, 25-46.
- 11) 渡辺競・小林一郎(1985)第7章仙台湾II物理. 日本全国沿岸海洋誌, 東海大学出版会, 263-271.
- 12) 第二管区海上保安本部海洋速報(1999)11号, 12号.
- 13) 工藤英郎(1971)仙台湾に流入する沖合水についてI. 昭和45年度, IBP, PM北方冷水海域における生物群集の生産に関する総合研究, 仙台湾研究班, 9-26.
- 14) 宮城県水産試験場(1988)仙台湾南部海域漁業環境調査結果報告書.
- 15) 福島県水産試験場(1999)平成11年度東北ブロック水産試験場等連絡協議会(漁場環境分科会)資料.
- 16) 東北区水産研究所(2000)東北海区漁場海況概要(1981-1990合本版).
- 17) 川崎健(1985)第7章仙台湾IV生物. 日本全国沿岸海洋誌, 東海大学出版会, 278-286.