

仙台湾の「海の健康診断」

渡邊 一仁*¹・菊地 喜彦*¹・鈴木 矩晃*¹

“Health Examination of the Sea” for Sendai Bay

Kazuhiro WATANABE*¹, Yoshihiko KIKUCHI*¹, and Noriaki SUZUKI*¹

キーワード：仙台湾，海の健康診断，生態系の安定性，物質循環の円滑さ，海洋環境モニタリング

仙台湾は宮城県の牡鹿半島先端部と福島県の鶴ノ尾崎を結ぶラインに囲まれた海域で、緩やかに湾曲した海岸線から湾口がほぼ南東方向に開かれた開放性の海湾である（図1）。仙台湾の大きな特徴としては、大部分は水深50m以浅、最大でも水深80m程度と遠浅で大陸棚が形成されており、同湾には北上川、鳴瀬川、名取川、阿武隈川など県内の主要河川の流入がみられ、沿岸水が発達していること、さらに、河川に由来する泥質域（シルト帯）が広く形成されていることなどが挙げられる¹⁻³⁾。

このような環境特性を利用して、仙台湾ではヒラメ・カレイ類を対象とした小型底曳網漁業や刺網漁業、アカガイ、ホッキガイを対象とした貝桁曳網漁業、マアナゴを対象としたせん漁業、イワシ、サバ等の浮魚類を対象とした定置網漁業等の漁船漁業の他、マガキ、ノリなどを対象とした養殖業が盛んに営まれている。一方、近年は貧酸素水等の影響と考えられる魚類や貝類の斃死等、閉鎖性海湾で生じることが多いとされる諸問題が仙台湾でも散見されるようになり、仙台湾の環境悪化が懸念されている⁴⁻⁵⁾。

沿岸海域の環境変化を把握する手法の一つとして「海の健康診断」がある。「海の健康診断」は海洋政策研究財団（財団法人シップ・アンド・オーシャン）が開発した新しい概念の環境評価法で、海の健康度を「生態系の安

定性（復元力の大きさ）」と「物質循環の円滑さ」の2つに関連する諸事項を用いて診断する⁶⁻⁷⁾。この手法は、もともとは人間活動の影響に対して敏感な閉鎖性の強い海湾を主な対象に、人間が健康診断を定期的におこなうのと同じように、海の環境変化をたえず確認できるようにしていこうとする発想から考案されたもので、これまでに全国88カ所の内湾域で評価が実施されてきた。仙台湾は閉鎖性の海湾ではないが、長期的な汚濁物質の蓄積や海流等に起因する沿岸水の封じ込みが懸念され、その影響で貧酸素水や赤潮等が発生しているとも考えられることから、この手法の考え方は仙台湾においても有効と考

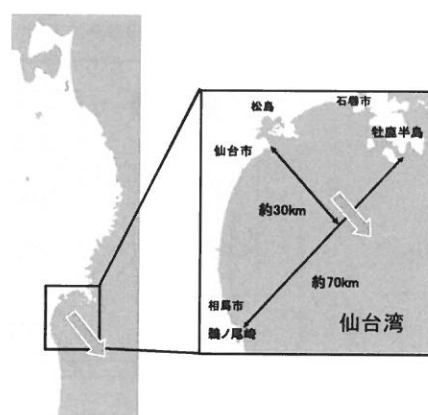


図1 仙台湾の位置と地理的形狀

*¹水産技術総合センター環境資源部

えられる。

そこで、本研究では「海の健康診断」手法の仙台湾への適用を試みるとともに、「海の健康診断」の基準により仙台湾の最近の環境について把握することを目的とした。

方法

1. 「海の健康診断」の構成と本研究の調査範囲

「海の健康診断」の流れを図2に示す。「海の健康診断」は、大きく、①基本情報、②検査、③評価及び④情報の公開・管理の4つの要素から構成されている。①基本情報は、地理的条件、気象的条件、海象の条件、社会的条件、歴史的条件及び管理的条件といった海湾の基本的な情報を整理する段階である。その後、②検査として、まず簡便な調査である一次検査を実施し、健康か不健康かを判断する。一次検査で不健康と判断された場合には、専門的な調査である二次検査へと進み、再検査と精密検査をおこなう。③総合評価は、検査結果に基本情報を踏まえて、対象海湾の健康状態を最終的に評価するものである。④検査結果および得られた環境情報は、公開や適切な管理・運用に活用される。全体としてはこのような構成をとるが、本報告では、「海の健康診断」をはじめめるにあたり、最初の段階である一次検査を調査範囲と設定した。

2. 一次検査の概要とデータの収集

一次検査の検査項目を表1に示す。この中では、「生態

系の安定性」と「物質循環の円滑さ」に着目した検査がおこなわれる。診断に必要なデータは、県の調査結果や報告書、統計、その他文献等から収集した。詳細は次のとおりである。

表1 一次検査の検査項目

検査の視点		検査項目
生態系の安定性	生物組成	漁獲生物の分類群別組成の変化 海岸生物の出現状況
	生息空間	干潟・藻場面積の変化 人工海岸の割合
	生息環境	有害物質の測定値 貧酸素水の確認頻度
物質循環の円滑さ	基礎生産	透明度の変化 赤潮の発生頻度
	負荷・海水交換	負荷と滞留のバランス 潮位振幅の変化
	堆積・分解	底質環境 無酸素水の出現状況
	除去（漁獲）	底生魚介類の漁獲量

2-1 生態系の安定性

生態系の安定性は、合計6項目で検査する。検査項目は生物組成、生息空間、生息環境という3つの視点からおこなった。

1) 生物組成

各海湾での生物群集の普遍性が保持できているかどうかを確認ため、次の2つを検査した。

漁獲生物の分類群別組成の変化 魚類を中心とした食物連鎖の高次の生物組成を確認する。JFみやぎ石巻東部支所から山元支所までの範囲において、20トン未満漁船による漁獲物を調査対象とした。また、分類群は浮魚類、底魚類、貝類、底生生物（貝類除く）、海藻類の5つに区分した。農林統計⁸⁾ から、最優占分類群の漁獲割合と漁

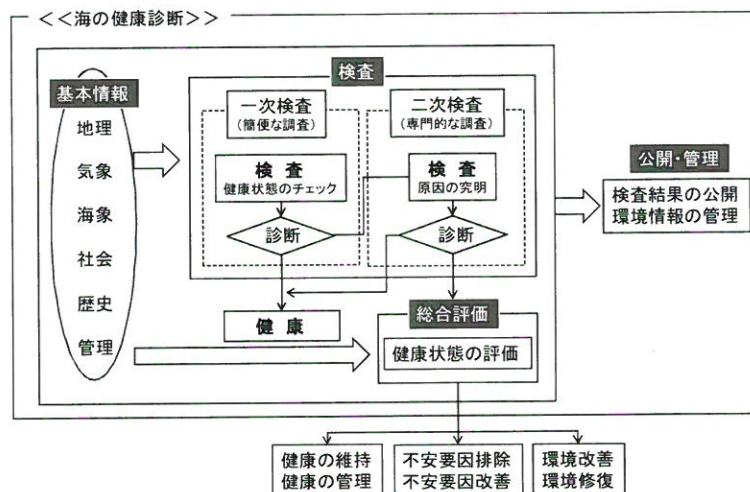


図2 「海の健康診断」の全体構成

獲量の変化をそれぞれFR, FCと定義し、最優占分類群の最近3年間の平均値を20年間の平均値で除することで求めた。

$$FR = FRt / FCs \dots (1)$$

$$FC = FCt / FCs \dots (2)$$

ここで、FRtは最近3年間の最優占分類群の漁獲割合、FCsは最近20年間の最優占分類群の漁獲割合、FCtは最近3年間の最優占分類群の漁獲量、FCsは最近20年間の最優占分類群の漁獲量を表す。

海岸生物の出現状況 海岸生物など比較的低次の食物連鎖構造を担う生物組成を確認する。内湾域のリスト表から、ニシキウズガイ・リュウテンサザエの仲間、カメノテ、フジツボの仲間、ヒトデ・ウニ・ナマコの仲間、ハゼの仲間、シギ・チドリ以外の鳥類の6系群を代表種として取り上げ、蒲生干潟出現データ⁹⁾を利用して海岸生物の出現割合(LC)を判定した。

2) 生息空間

生物群集を支える生息空間が保持できているのかを次の2つの検査により確認した。

干潟・藻場面積の変化 生物が多く生息する浅海域の代表として干潟や藻場の変化を自然環境保全基礎調査結果¹⁰⁾で把握した。

人工海岸の割合 埋立てや護岸整備等の人間活動による生物の生息空間の変化を確認するものである。自然環境保全基礎調査結果¹¹⁾より、人工海岸割合(AC)を求めた。

3) 生息環境

生息空間に変化が無くても、それを取り囲む生息環境に変化があれば、それは生態系の安定性を脅かすものとなる。特に、生物の生死に関する項目として、次の2つの検査をおこなった。

有害物質の測定値 公共用水域水質調査結果¹²⁾を利用して、斃死や奇形など生物にとって致命的な悪影響を与える重金属やダイオキシン類の影響をPS値(=測定値/環境基準値)で把握した。

貧酸素水の確認頻度 貧酸素水塊の定義は、多くの底生生物の生息状況に変化を起こす臨界濃度として、4.3mg/L未満¹³⁾とした。貧酸素水の発生状況(貧酸素水確認調査点の割合: CW)は当センターが毎年収集している漁場環境特性調査結果(4~11月, 8定点調査)を用いて、貧酸素発生回数を観測数で除することで確認した。

2-2 物質循環の円滑さ

物質循環の円滑さは、合計7項目で検査をおこなうが、基礎生産、負荷・海水交換、堆積・分解、除去(漁獲)の4つの視点から、検査項目を選定した。

1) 基礎生産

植物が次の栄養段階に物質を受け渡す流れに滞りがないかを次の2つの検査から確認した。

透明度の変化 高密度にプランクトンが存在する、懸濁物粒子が大量に流れ込むなど基礎生産の滞りが考えられる場合を最も簡単に表すデータとして、透明度の変化に着目し、当センターの漁場環境特性調査結果¹⁴⁾から、透明度の割合TP値(=最近3年間の平均/20年間の平均)及び透明度の平均差TD値(=最近3年間の平均-20年間の平均)を求めた。

赤潮の発生頻度 プランクトンや原生動物が異常発生することは基礎生産の滞りを示すものであり、それを視覚的に捉えることのできる赤潮の発生日数を県内部資料(水産業基盤整備課)から整理した。

2) 負荷・海水交換

陸域からの流入負荷や海水交換の程度から、物質が物理的に運ばれる流れに滞りがないかを次の二つの検査から確認した。

負荷と滞留のバランス 負荷滞留濃度と定義する次式から、負荷・海水交換のバランスを求めた。

$$\text{負荷滞留濃度 (LR)} = L\tau f / V$$

ここでLは物質の負荷量(COD, T-N, T-P), τf は淡水の平均滞留時間, Vは海湾の容積を表す。また、淡水の平均滞留時間 τf は次式により得られる。

$$\text{平均滞留時間 (\tau f)} = Vf / R$$

ここでRは淡水放出量(河川流量から求める), Vfは淡水存在量(海湾内外の塩分差から算出)を意味する。なお、淡水存在量は次の式で把握できる。

$$\text{淡水存在量 (Vf)} = (S_0 - S_1) / S_0 \times V$$

ここで、 S_0 は湾外水の平均塩分、 S_1 は湾内水の平均塩分、Vは海湾の体積である。

潮位振幅の変化 潮汐による海水交換の程度を潮位振幅の変化によって確認した。日本海洋データセンターのデータ¹⁵⁾を利用して、過去30年間の鮎川港の潮位振幅(朔望平均満潮位と朔望平均干潮位の差)から回帰直線を求め、その傾きに30年を掛け合わせて検査値(AT)とし、

基準値と比較した。

3) 堆積・分解

海底に沈降・堆積した物質が分解される過程に滞りが
ないかを次の2つの検査で確認した。

底質環境 「底質の悪化」や「貧酸素水の発生」の状況
など、海底の分解の程度を表現できる硫化物量から全硫
化物の最大値 (SD) を指標として求めた。

無酸素水の出現状況 無酸素水の定義は溶存酸素濃度
0.0mg/Lである。分解機能を担う生物の生息環境を確認す
るため、溶存酸素量の最低値 (AW) を指標に当センター
が毎年収集している漁場環境特性調査結果から求めた。

4) 除去

人間等が海域から物質を取り上げる流れに滞りが
ないかを確認した。

底生魚介類の漁獲量 外海の資源変動の影響を受けにく
い底生魚介類の漁獲量が減少していないかどうかを以下
の式で求めた。

$$\text{底生魚介類の漁獲量 (FB)} \\ = \text{最近3年間の平均} / \text{20年間の平均}$$

3. 検査結果のとりまとめ

一次審査結果は、一次診断カルテと一次診断チャート
にまとめた。カルテの最終列の診断は、検査結果を基に
おこなった。2つの検査項目によって診断する場合には、
変化をできるだけ見逃さない安全側に立って、低い評価
を基本とするため、表2のとおり診断した。

表2 検査結果の診断表

検査結果の組み合わせ	診断
A・A	A
A・B	B+
B・B	B
A・CまたはB・C	C+
C・C	C

結果

1 生態系の安定性

1-1 生物組成

漁獲生物の分類群別組成の変化 漁獲生物の分類群別組
成の変化を図3に示す。漁獲生物の分類群では、浮魚類が
最優占分類群となり、漁獲物全体の約65~90%を占めた。
1985年から2004年までの20年間の浮魚類の漁獲割合は

81.4%、2002年から2004年までの3年間の漁獲割合は
66.9%であった。これにより、漁獲割合FRは0.82となった。
一方、1985年から2004年までの20年間の浮魚類の漁獲量
は11,679.4kg、2002年から2004年までの3年間の漁獲量は
3,665.3kgであった。これにより、漁獲量の変化FCは0.31
と得られた。

海岸生物の出現状況 代表種としたニシキウズガイ・リ
ュウテンサザエの仲間、カメノテ、フジツボの仲間、ヒ
トデ・ウニ・ナマコの仲間、ハゼの仲間、シギ・チドリ
以外の鳥類の6系群はいずれも出現が確認されたことか
ら、海岸生物の出現割合 (LC) は1.0となった。

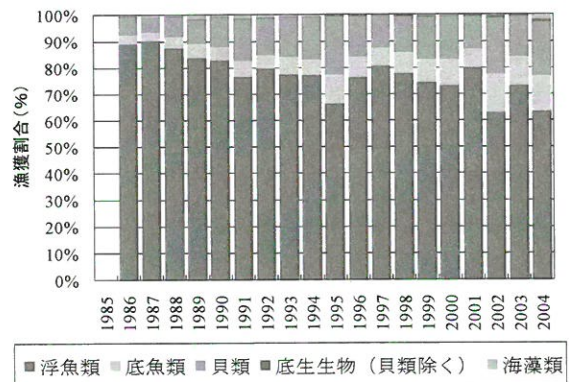


図3 漁獲生物の分類群別組成の変化

1-2 生息空間

干潟・藻場面積の変化 1978年における仙台湾の干潟、
藻場の面積はそれぞれ26ha、2,089haであった。データは
少し古いですが、1993年において干潟面積は25haと微減、藻
場面積は2,349haと増加であったことから、干潟・藻場の
面積はこの時点では減少していないと判断された (図4)。
人工海岸の割合 仙台湾における海岸線の長さはおおよそ
130kmで、このうち、人工海岸 (AC) の比率は38%であ
った。なお、自然海岸と半自然海岸の比率は、それぞれ
53%、9%となっていた (図5)。

1-3 生息環境

有害物質 1985年から2004年の20年間において、公共用
水域水質測定結果からカドミウム、鉛、ヒ素が検出され
ている。しかしながら、これらの物質のほとんどが地質
由来の自然汚濁であったことから、PS値は0となった。
貧酸素水の確認頻度 1992年から2004年までの13年間の

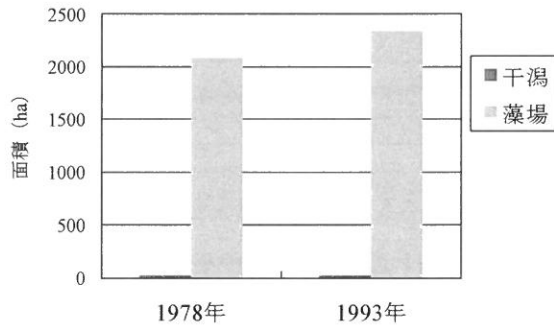


図4 仙台湾における干潟・藻場の面積

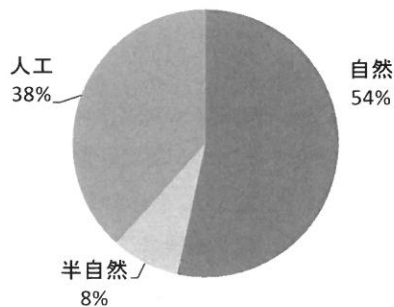


図5 仙台湾における形状別の海岸割合

貧酸素水の確認頻度を表3に示す。この表は、各月4月から11月まで8定点を調査したときの発生確認頻度をまとめたものであり、年間の発生頻度は0~7.1%、月別では、9月が最頻値となった。また、13年間の平均値は3.3%であったことから、CWは0.03となった。

表3 貧酸素水の確認頻度

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
4月	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—
5月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6月	0	12.5	0	0	0	0	0	37.5	0	0	0	14.3	0
7月	0	0	0	0	0	—	0	0	0	0	12.5	0	0
8月	0	37.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9月	12.5	0	12.5	12.5	37.5	0	25.0	12.5	0	37.5	12.5	12.5	0
10月	—	0	0	—	0	0	12.5	0	0	12.5	0	12.5	0
11月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
年平均	2.1	7.1	1.8	1.8	4.7	0	4.7	6.3	0	6.3	3.1	4.8	0

2 物質循環の円滑さ

2-1 基礎生産

透明度の変化 通常観測8定点の平均値（各年4月から11月までの観測データ使用（一部欠落あり））を図6に示す。各年の平均透明度は、4.4~8.6mで推移しており、TP値は1.07、TD値は0.47となった。

赤潮の発生頻度 図7に1985年から2004年までの赤潮の発生日数の推移を示した。年に0~8回の頻度で観測されており、毎年ではないが赤潮の発生が確認された。

2-2 負荷・海水交換

負荷と滞留のバランス 海湾の体積57km³、湾外水の平均塩分33.35‰、湾内水の平均塩分32.05‰から淡水存在量は2.21km³と得られた。また、河川流量が0.03km³/dayであったことから、淡水の平均滞留時間は63.9日となった。流入負荷量としてCOD、T-P、T-Nの単位面積あたり負荷量（ton/day/km³）がそれぞれ2.05、0.76、0.04であることから（図8）、これらの値を用いて負荷滞留濃度を求めると、LR（COD）は0.13mg/L、LR（T-N）は4.86×10⁻² mg/L、LR（T-P）は2.86×10⁻³ mg/Lとなった。

潮位振幅の変化 鮎川港における1976年から2005年までの潮位振幅の推移を図9に記した。潮位振幅は153~168cmで変化していた。また、直線近似の回帰式を求めたところ、傾きは0.094であったことから、検査値ATは2.82となった。

2-3 堆積・分解

底質環境 全硫化物の値は断片的にはあるが残っており、追跡できた1983~1984年、1988~1990年、2002~2005年のデータを整理した。この中では、1990年の全硫化物が2.1mg/gであったことからこの値をSDとした。

無酸素水の出現状況 仙台湾における底層の溶存酸素量の推移を図10に示す。1990年以降に調査記録があり、こ

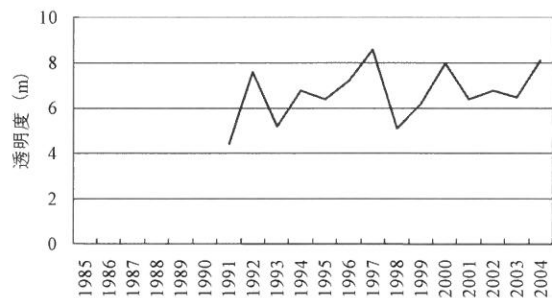


図6 透明度平均値の推移

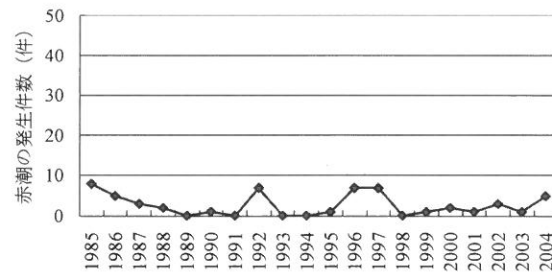


図7 赤潮の発生日数

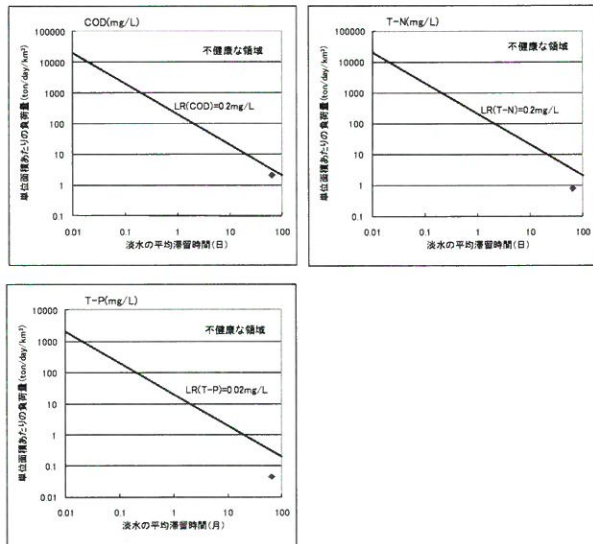


図8 負荷と滞留のバランス

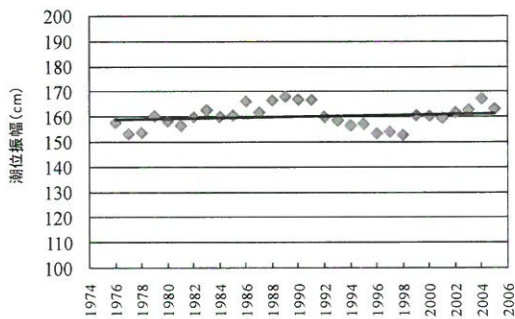


図9 潮位振幅の変化

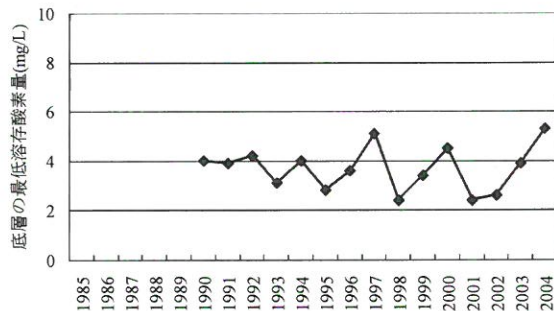


図10 無酸素水の出現状況

の期間に無酸素水の発生は確認されなかった。最低溶存酸素量は2.4~5.3mg/Lの範囲で変化していたため、最低溶存酸素量AW値は2.4となった。

2-4 除去

底生魚介類の漁獲量 底生魚介類の漁獲量の推移を図11に示す。底魚類，貝類，底生生物（貝類除く）の20年間

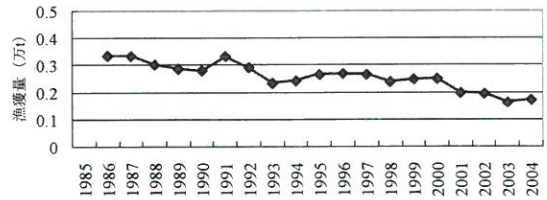


図11 底生魚介類の漁獲量の推移

の平均漁獲量は2,590tで、2002年から2004年の3ヶ年の平均漁獲量は1,773tであった。したがって、底生生物の漁獲量FB値は0.68と得られた。

3 一次検査の取りまとめ

「生態系の安定性」および「物質循環の円滑さ」の各項目の検査結果を取りまとめ、現状を診断したカルテが表4、また、レーダーチャートで示したものが図12である。「生態系の安定性」に関する項目では、生物組成がB+、生息空間がB+、生息環境がAとなった。また、「物質循環の円滑さ」に関する項目では、基礎生産がB+、負荷・海水交換がC+、堆積・分解がC+、除去（漁獲）がCという結果であった。

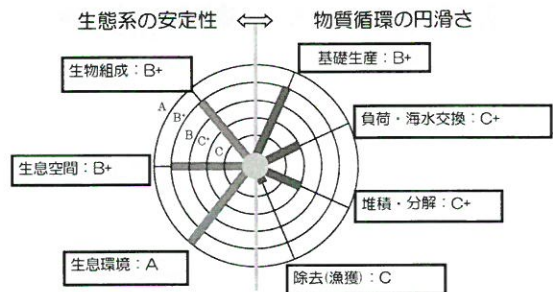


図12 レーダーチャート

考察

一次検査結果をみると、「生態系の安定性」については良好な検査結果が出ていた。「物質循環の円滑さ」については、負荷・海水交換、堆積・分解、除去（漁獲）がC判定（要精検）であった。この結果の詳細をみると、負荷・海水交換については潮位変動が年々変化していることでC判定となっているが、これは潮汐の長周期変動の一部を捉えた可能性もあり、詳しい解析が必要である。

仙台湾の「海の健康診断」

表 4 一次診断カルテ (仙台湾)

	視 点	検査項目	検査基準			検査結果	診断	
			良好(A)	要注意(B)	要精査(C)			
【生態系の安定性】 を示す項目	生物組成	漁獲生物の分類群別組成の変化(最近3年間の平均/20年間の平均:最優占分類群の漁獲割合(FR)、漁獲量(FC))	$0.8 \leq FR \leq 1.2$ かつ $0.7 \leq FC \leq 1.3$	$0.8 \leq FR \leq 1.2$ かつ $FC < 0.7$ または $1.3 < FC$	$FR < 0.8$ または $1.2 < FR$	FR= (0.82) FC= (0.31)	A B C	B+
		海岸生物の出現状況(代表種の確認割合:LC)	LC=1	$0.8 \leq LC < 1$	LC<0.8	LC= (1.0)	A B C	
	生息空間	干潟・藻場面積の変化	干潟・藻場面積は減少していない	干潟・藻場面積がいずれも減少している	干潟・藻場面積がともに減少している	干潟・藻場面積は減少していない	A B C	B+
		人工海岸の割合(AC)	AC≤20	20<AC<50	50≤AC	AC= (38)	A B C	
生息環境	有害物質の測定値(測定値/環境基準値:PS)	すべての健康項目でPS<0.8	1つの健康項目でも0.8≤PS<1	1つの健康項目でも1≤PS	PS= (0)	A B C	A	
	貧酸素水の確認頻度(貧酸素水確認調査点の割合: CW)	CW<0.1	0.1≤CW<0.5	0.5≤CW	CW= (0.03) 13年平均	A B C		
【物質循環の円滑さ】 を示す項目	基礎生産	透明度の変化(最近3年間の平均/20年間の平均:透明度の割合(TP)、最近3年間の平均/20年間の平均(TD))	$0.8 \leq TP \leq 1.2$ かつ TD<20	$0.8 \leq TP \leq 1.2$ かつ 20≤TD	TP<0.8または 1.2<TP	TP= (1.07)、TD= (0.47)	A B C	B+
		赤潮の発生頻度	赤潮は発生していない	毎年ではないが赤潮は発生している	毎年赤潮は発生している	毎年ではないが赤潮は発生している	A B C	
	負荷・海水交換	負荷と滞留のバランス(負荷滞留濃度:LR)	COD、T-N、T-PともにLR<スタンダード値の場合	COD、T-N、T-Pのいずれかでスタンダード値≤LRの場合	COD、T-N、T-Pともにスタンダード値≤LRの場合	LR(COD)= (0.13) LR(T-N)= (0.05) LR(T-P)= (0.003)	A B C	C+
		潮位振幅の変化(AT)	AT<0.05かつ最近3年間減少傾向にない	AT<0.05かつ最近3年間減少傾向	0.05≤AT	AT= (2.82)	A B C	
	堆積・分解	底質環境(全硫化物量の最大値:SD)	SD<0.2	0.2≤SD<1	1≤SD	SD= (2.1)	A B C	C+
無酸素水の出現状況(最低溶存酸素濃度:AW)		2.9≤AW	0.5≤AW<2.9	AW<0.5	AW= (2.4)	A B C		
除去(漁獲)	底生魚介類の漁獲量(最近3年間の平均/20年間の平均:FB)	0.7<FBかつ最近3年間増加もしくは横這い傾向	0.7<FBかつ最近3年間減少傾向	FB≤0.7	FB= (0.68)	A B C	C	

一方、仙台湾は開放性の海湾であるにもかかわらず、淡水の平均滞留時間が約2ヶ月のとなっているところは着目しなければならない。物理的な海洋構造を詳細に検査し、外海起因の栄養塩による影響も視野に入れた検討が必要である。堆積・分解については、栄養塩類の収支の結果として現れる底質の汚濁がC判定の原因であり、除去(漁獲)のC判定とともに底層や海底付近の栄養塩類の挙動を解明することが重要と判断できる。このような解析をおこなうためには、継続的(場合によっては連続的)な海洋環境のモニタリングが必要であり、データの蓄積が不可欠である。生態系(組成、空間、環境)は今のところ良好に保たれていることから、「物質循環の円滑さ」の二次検査は時空間的に精度の高い調査が要求される。

漁業者からの聞き取りや現地調査で“局所的な魚介類の斃死”が確認されている。一次検査の貧酸素水確認頻度では健全と見積もられたが、魚介類の斃死要因としては“局所的に発生し比較的滞留時間が長い貧酸素水塊に

よる影響”が想定^{3,5)}され、月一回程度の現地調査ではデータとして捉えきれていなかったことが理由と考えられる。今後適切に対策を実施するためには、魚介類の斃死要因を綿密に究明するとともに斃死事故を未然に防ぐ手法の立案が必要である。また、どのようにしたら人為的に海洋環境を改善(治療)できるのかを検討することも重要である。貧酸素水塊の発生範囲や継続時間の縮小をねらい、例えば、貧酸素の発生要因が底質にあるのならば、海底耕耘等によって底泥表層の有機物を拡散させる等の試みも環境への影響を充分に考慮した上で検討するなど有効と考える。

要 約

本研究では、開放性の海湾である仙台湾にはじめて「海の健康診断」の手法を適用した。本研究で得られた結論は次のとおりである。

1) 「生態系の安定性」については比較的良好的な検査結

果が出たが、「物質循環の円滑さ」については、負荷・海水交換、堆積・分解、除去（漁獲）がC判定（要精検）であった。

2) 仙台湾は開放性の海湾であるにもかかわらず、約2ヶ月の淡水の平均滞留時間となっているところは着目すべき点である。

3) 魚介類の斃死要因としては“局所的な貧酸素水による影響”が想定されることから、綿密な原因究明を進めると同時に、改善（治療）策も検討する必要がある。

4) 精度の高い解析をおこなうためには、継続的、場合によっては連続的な海洋環境のモニタリングが必要であり、データの蓄積が不可欠である。

感謝の意を表す。また、海洋政策研究財団の常務理事寺島紘士様をはじめ、政策研究グループ長の菅原善則様、海技研究グループ技術開発チーム長の大川光様には診断を進める中で様々な便宜を図っていただいた。厚くお礼申し上げる。本研究は「仙台湾の水循環健康診断事業（平成18～21年度、県単）」により実施した結果の一部を取りまとめたものである。本報告は現在の担当者として著者らが取りまとめたが、これまで行政、研究の各立場から多数の職員が本事業に携わっており、その繋がりの上に成り立つものである。記して謝意を表す。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、「海健康診断」判定会議委員の平野敏行様、中田英昭様、松田治様、中田喜三郎様、南卓志様には多大なるご指導とご助言を賜った。謹んで

参考文献

- 1) 八島邦夫（1985）仙台湾 I 地質。日本全国沿岸海洋誌，東海大学出版会，p253-262.
- 2) 川崎健（1980）対話「仙台湾」，月刊海洋科学，5，p321-323.
- 3) 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，p1-12.
- 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) 岩井拓郎（2008）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，宮城水産研報，8，p5-12.
- 6) 海健康診断-考え方と方法-. 平成18年3月，海洋政策研究財団，p1-59.
- 7) 中田英昭（2005）海健康診断-沿岸環境の保全・回復のために-. 月刊海洋号外，40，p148-152.
- 8) 東北農政局統計部，宮城の漁業の動き（昭和60年～平成18年）.
- 9) 宮城県自然保護課，蒲生干潟出現状況データ（平成14年～平成16年）.
- 10) 生物多様性情報システムHP（自然環境保全基礎調査（第4回藻場調査，干潟調査，サンゴ礁））.
http://www.biodic.go.jp/kiso/fnd_list_h.html.
- 11) 生物多様性情報システムHP（自然環境保全基礎調査（第4回海岸調査））.
http://www.biodic.go.jp/kiso/fnd_list_h.html
- 12) 環境情報センターHP 公共用水域水質調査結果 <http://www.nies.go.jp/igreen/index.html>
- 13) 水産用水基準（2000年版），（社）日本水産資源保護協会，平成12年12月.
- 14) 宮城県水産研究開発センター，試験研究成果要旨集（漁場環境特性調査結果）（平成2年～平成18年）.
- 15) 日本海洋データセンターHP http://www.jodc.go.jp/index_j.html.