

## 気仙沼湾湾奥部における漁場環境の変遷

伊藤 博\*・藤田則孝\*・千葉充子\*

The change of the aquaculture ground environment  
at the innermost in Kesenuma Bay

Hiroshi ITO, Noritaka FUJITA and Atsuko CHIBA

キーワード：気仙沼湾・水質・赤潮・変遷

気仙沼湾は湾口から湾奥までの距離が約10kmの細長い湾であり、湾奥の鼎浦湾では古くからノリやカキの養殖が行われて来た。1940年代には鼎浦湾の筏式カキ養殖施設数は900台を超えていたが、1950年代に入って、隣接する水産加工場からの廃水に起因する低酸素水によりカキの斃死被害が恒常的に発生していた。表1に気仙沼湾の主な公害発生とその対策等の年表を示した。1950年代半ばには汚染が著しくなり、例年秋季になると鼎浦湾内から蜂ヶ崎以南の漁場にカキ養殖筏の退避が繰り返された。しかし、汚染の恒常化等により鼎浦湾のカキ漁場は

喪失し、漁場は湾奥から湾口の海域に移動した。その後も加工場廃水や赤潮による湾内カキ養殖漁業への被害が継続的に発生したが、1970年代に入ると全国的な公害防止意識の高まりと公害防止に係る法整備により加工場の廃水規制や下水処理施設の設置、湾奥部に蓄積した海底泥の浚渫等の対策が行われてきた。そして、近年では、かつてのような加工場廃水による養殖業への直接的被害や、漁業被害をもたらすほどの赤潮の発生は殆ど見られなくなった。

気仙沼湾の水質調査は、1950年代にカキ養殖漁場の汚

表1 気仙沼湾の漁業被害を伴う公害発生と対策等の年表（参考：気仙沼市<sup>1)2)</sup>）

年代	漁業被害を伴う公害の発生等	公害対策事業	気水試の環境調査事業	法律等の公布
1951-1960	湾奥で排水等による養殖カキ斃死(1952) この頃からベト*・廃油によるカキ・ノリ・ワカメの品質低下・枯死が発生。		カキ養殖場の生産性、 汚水被害対策調査 (1953-1956頃)	
1961-1970	唐桑町で汚水によるノリ養殖被害(1968)。 ベト・廃油によるノリの品質低下・枯死被害 (1970)。		気仙沼湾水質調査 (1963-)	公害対策基本法公布 (1963) 水質汚濁防止法公布 (1970)
1971-1980	この頃から赤潮の発生がみられるようになる。 赤潮発生によりカキ・ホタテに被害(1972) 赤変カキ発生(1974-1976) ワカメ穴あき症発生(1975) 大島でノリ網にベト付着被害(1979)	気仙沼湾大規模 環境保全事業 (1976-1987) 公共下水道共用開始 (1984)	大規模漁場保全事業 効果調査 (1976-1987)	水質汚濁に係る環境 基準告示(1971)
1981-1990	魚類の大量斃死(1985) <i>Eutreptiella</i> 赤潮発生(1989)			
1991-2000				
2001-2004				

\*ベト：水産加工排水起源の油分と蛋白質を含む粘着性の物質。

水被害対策として宮城県水産試験場気仙沼分場（現宮城県気仙沼水産試験場）により始められ、以来継続的な調査が行われてきた。このうち水質環境については、1954、1955年に今井ら<sup>3)</sup>が、1963年に酒井ら<sup>4)</sup>および辺見・赤坂<sup>5)</sup>が、1973年に五十嵐ら<sup>6)</sup>が、1980年に渡辺ら<sup>7)</sup>が、赤潮発生状況については、1974年に藤田ら<sup>8)</sup>が、1975、1976年に藤田ら<sup>9)</sup>が、1977年に渡辺ら<sup>10)</sup>が、1978、1979年に須田ら<sup>11)</sup>が調査・報告している。水質環境・赤潮発生状況の変遷については、藤田ら<sup>12)</sup>が1974-1979年、五十嵐ら<sup>13)</sup>が1972-1986年の赤潮発生状況について、鈴木・千葉<sup>14)</sup>が1991-2001年の夏季の水質についてまとめているが、調査開始時からの長期的な変遷をまとめたものはまだない。

本報告では、1963年から2003年まで、気仙沼湾湾奥部の水質環境がどのように変化し、現在どのような状態にあるかを明らかにするため、過去40年間の調査データとその間に実施された各種公害対策との関わり、漁業被害の発生状況などを対比し評価する。

### 調査方法

本稿で扱うデータは1963年4月から1990年3月にかけて毎月1回および1991年4月から2004年3月にかけて偶数月に1回行った水質調査のうち湾奥部の定点（図1）の4層（0、1、5 m、底層）で得られたものである。

調査項目は1963年の調査開始時には水温、塩分、溶存酸素量（DO）、化学的酸素要求量（COD）、pH、透明度であり、1965年よりプランクトン沈殿量、1971年より栄養塩濃度（NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P、SiO<sub>2</sub>-Si）、

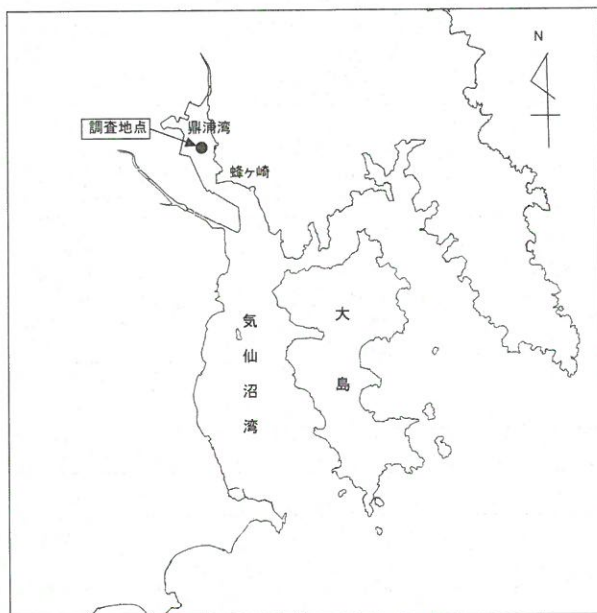


図1 調査地点図

懸濁物（SS、0 mのみ）が追加された。ただし、栄養塩濃度のうちNH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、SiO<sub>2</sub>-Siは1997年まで、pHは1999年までのデータを解析に用いた。赤潮観測調査は1972年より行われた。

溶存酸素量（ウィンクラー法）、COD（ヨウ素滴定法）、SS（GF/F濾過）は水質汚濁調査指針<sup>15)</sup>、栄養塩濃度は海洋観測指針<sup>16)</sup>の方法による。水温は水温計、塩分はサリノメーターおよび塩分計、pHは比色測定法、透明度は透明度板を用いた。プランクトン沈殿量は北原式定量ネット（XX13）を用いて、5 mの垂直曳きを行い沈殿量を求めた。赤潮観測調査は赤潮発生時期に湾奥部のモニタリングステーションにおいて1日1回赤潮の分布および色調を観測した。これと平行して、赤潮プランクトンの種査定を適宜行った。

各年の調査方法・結果の概要は宮城県水産試験場事業報告（1963-1969）<sup>17)</sup>、宮城県気仙沼水産試験場事業報告（1970-1999）<sup>18)</sup>、宮城県水産試験研究成果要旨集（2000-2003）<sup>19)</sup>に掲載されており、1974年以降の水質調査については宮城県気仙沼水産試験場事業報告（1974-1999）<sup>18)</sup>、宮城県水産試験研究成果要旨集（2000-2003）<sup>19)</sup>に全データが掲載されている。

また、各調査項目の長期変動をみるため、各月のデータ前後6ヶ月ずつ合計13ヶ月の移動平均を用い、Spearmanの順位相関を適用した。なお、欠測の場合は次の月を詰めて計算した。

### 結果と考察

図2に各項目の移動平均を、表2にSpearmanの順位相関係数を示した。

水温・塩分の移動平均は各深度とも一定の傾向はみられなかった（図2(a)、(b)、表2）。

栄養塩濃度はNH<sub>4</sub>-N + NO<sub>2</sub>-N + NO<sub>3</sub>-NをDIN（溶存態無機窒素）、PO<sub>4</sub>-PをDIP（溶存態無機リン）、SiO<sub>2</sub>-SiをDSi（溶存態ケイ素）と表記する。DINは各深度とも有意な減少傾向がみられ、特に0、1 mで強い相関を示した（図2(c)、表2）。DIPは0、1 mで相関は低いものの有意な減少傾向がみられた（図2(d)、表2）。DSiは各深度とも有意な増加傾向がみられ、特に5 m、底層で強い相関がみられた（図2(e)、表2）。DSiが0、1 mで高い値を示しているのに対し、DINおよびDIPは底層でも高い値を示している。これはDSiの多くが陸水起源であるのに対し、DINおよびDIPは陸水からの供給に加えて底層からの溶出も大きいことを示している。

DIN、DIP、DSiをモル比で表したDIN/DIP比、D

IN/DSi 比は各深度とも減少傾向にあり、非常に強い相関を示した(図2(f), (g)、表2)。すなわち、DSiが増加しているのに対してDIN、DIPは減少しているが、特にDINの減少が顕著であることが示された。植物プランク

トンの制限栄養塩を推定するため、植物プランクトンの元素組成比にレッドフィールド比<sup>20)</sup> C:N:P=106:16:1を用い、このうち珪藻の場合にはLibes<sup>21)</sup>によって示された値を組み込み、C:N:P:Si=106:16:1:15

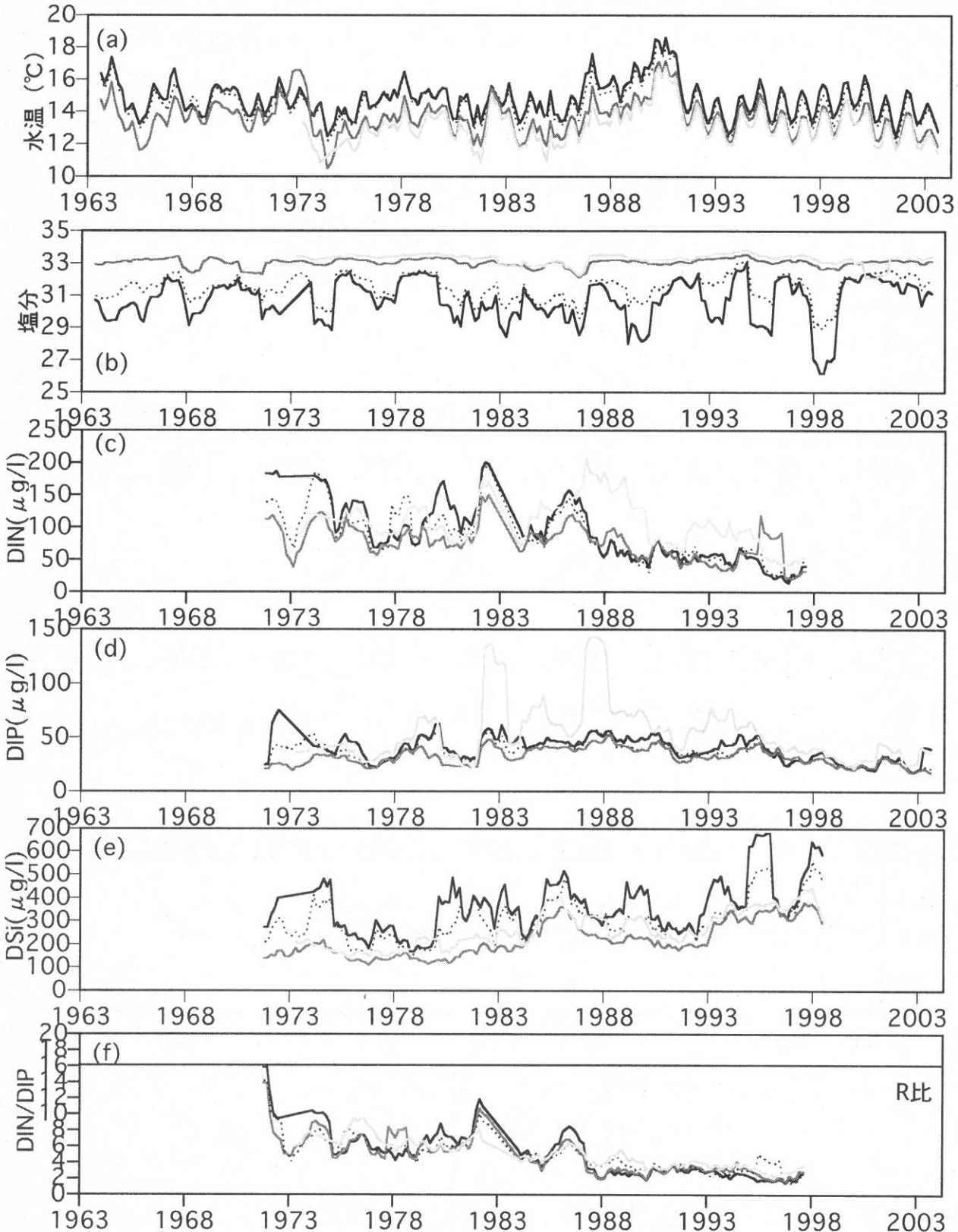


図2 (a)水温、(b)塩分、(c) DIN、(d) DIP、(e) DSi、(f) DIN/DIP、(g) DIN/DSi、(h) SS、プランクトン (Pl) 沈殿量、透明度、(i) COD、(j) DO、(k) pH の移動平均の経年変化  
 ※(f)、(g)の横棒はレッドフィールド比 (R比)



を採用する。ここではこの比率を栄養塩の取り込み比率と仮定して議論する。DIN/DIP 比はレッドフィールド比である16と比べて常に低く、0 mでの値が最も高かった1971年でも15.8であり、これ以降減少した。渡辺ら<sup>22)</sup>は1979年の赤潮時にはDINは供給量がほぼ全量消費されたのに対し、DIPは供給量が消費量を上回るため余って

いたと述べている。五十嵐・藤田<sup>23)</sup>によると1978-1979年の赤潮時に実際測定した3種の植物プランクトンのDIN/DIP比はレッドフィールド比より低い傾向にあった。渡辺ら<sup>22)</sup>はこれらのプランクトンはDIN多量消費型であり、DIN制限の傾向がより強いと述べている。これらのことよりこの海域での植物プランクトンの増殖は

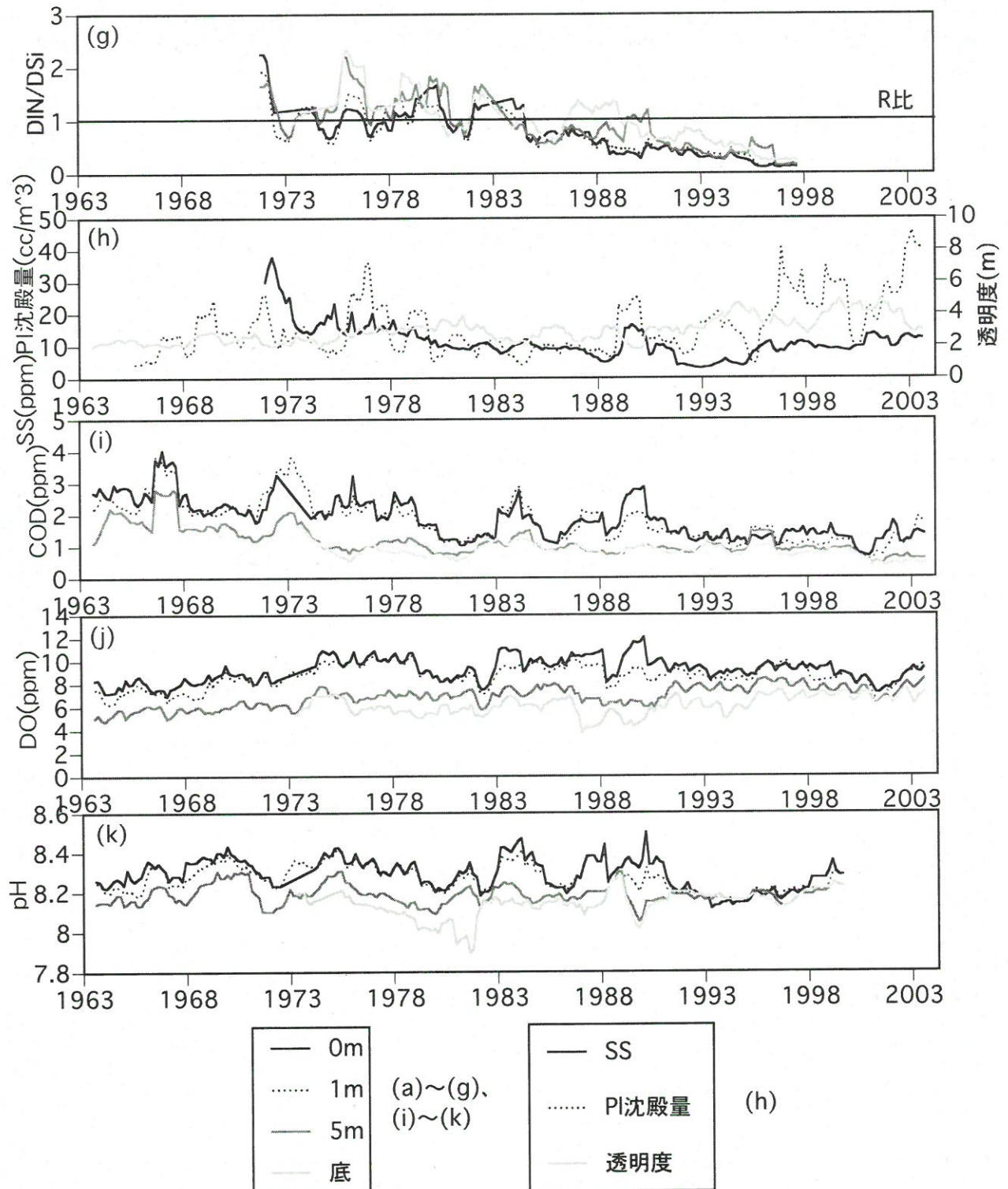


図2 (a)水温、(b)塩分、(c) DIN、(d) DIP、(e) DSi、(f) DIN/DIP、(g) DIN/DSi、(h) SS、プランクトン (PI) 沈殿量、透明度、(i) COD、(j) DO、(k) pH の移動平均の経年変化  
 ※(f)、(g)の横棒はレッドフィールド比 (R比)

表2 Spearman の順位相関分析の結果

	水温	塩分	DIN	DIP	DSi	N/P	N/Si	透明度	SS	プランクトン	COD	DO	pH
0m	-0.08	0.11	-0.81**	-0.37**	0.38**	-0.82**	-0.88**	0.71**	-0.51**	0.36**	-0.74**	0.17**	-0.42**
1m	-0.12*	0.19**	-0.76**	-0.39**	0.50**	-0.81**	-0.84**				-0.79**	0.19**	-0.41**
5m	-0.1	0.09	-0.51**	-0.05	0.76**	-0.84**	-0.81**				-0.75**	0.69**	-0.07
底	0.09	-0.15*	-0.36**	-0.14*	0.80**	-0.89**	-0.79**				-0.37**	0.51**	0.52**

(\*P&lt;0.05, \*\*P&lt;0.01)

基本的には DIN が制限栄養塩となっているといえる。DIN/DSi 比は 0 m での値が最も高かった1971年には2.2であったがこれ以降減少し、1985年には 0 m での値がレッドフィールド比である 1 より低くなった。このことより、植物プランクトンのうち珪藻に関しては1984年以前は DSi、1985年以降は DIN が制限栄養塩となっていたと考えられる。

透明度、プランクトン沈殿量は有意な増加傾向、SS は有意な減少傾向を示し、特に透明度は強い相関がみられた (図 2 (h)、表 2)。SS が減少したことにより、透明度が増加したと考えられるが、GF/F (粒子保持能0.7 $\mu$ m) を用いた SS が減少しているのに対し、目合い100 $\mu$ m のプランクトンネットを用いたプランクトン沈殿量は増加していた。このことより、小型のプランクトンを含む懸濁物が減少し、大型の珪藻や連鎖個体およびマクロ動物プランクトンが増加したことが伺える。前述した DSi の増加の結果、珪藻が増加したか、珪藻およびそれを餌とするマクロ動物プランクトンも増加した可能性もある。

COD は各深度とも有意な減少傾向がみられ、特に 0 - 5 m で強い相関を示した (図 2 (i)、表 2)。DO は 5 m、底層で増加傾向にあった (図 2 (j)、表 2)。pH は 0、1 m で減少傾向、底層で増加傾向にあった (図 2 (k)、表 2)。1960 - 1970年代の表中層での高い COD 値は陸水からの負荷、中底層での低い DO 値は低い透明度、高い SS 値から想定される光の不足による分解層の発達による酸素消費が原因となっている。これ以降、陸水からの負荷の減少に対応して COD は減少し、透明度の増加、SS の減少に対応して DO は増加したと考えられる。これらの傾向と DIN、DIP の減少と合わせて考えると、長期的にみて水質環境は改善されているといえる。pH の増減傾向に関しては後述する。

五十嵐ら<sup>6)</sup>によると、吉田<sup>24)</sup>の「海域における栄養段階区分」を湾奥部に当てはめると1973年夏季の透明度、COD、DO はいずれも過栄養域と判定された。1999 - 2003年の8月のデータを同様に当てはめるとCODは富栄養域、透明度、DO は依然として過栄養域と判定された。また、水産用水基準<sup>25)</sup>に示された基準値と比較すると、1999 - 2003年にはCOD、DO、pHの移動平均はいずれ

も基準を満たしていたが、夏季、特に8月に表層のCOD、底層のDOは基準値を満たしていなかった。すなわち、湾奥部の水質は長期的には改善されているが、夏季には依然として注意が必要である。

赤潮発生状況を見ると、赤変カキ<sup>26)</sup>の被害をもたらした *Prorocentrum micans* 赤潮は1974 - 1975年をピークにその後減少し、1980年以降出現していない<sup>13)</sup>。これ以降は大きな漁業被害もなく、1990年代後半には発生日数も激減している (図 3)。この赤潮発生日数の減少は前述した DIN の減少が原因と推察される。また、赤潮発生の減少は前述した透明度の増加、SS の減少と対応し、1970年代には赤潮発生が透明度の低い、SS の高い値の原因と考えられる。しかし、特に *Prorocentrum* 属をはじめとした微小鞭毛藻<sup>27)</sup>が主な赤潮構成種であったことから、大型のプランクトンを対象としたプランクトン沈殿量には赤潮発生状況は反映されなかったと推察される。さらに、前述した pH の増減傾向は赤潮発生日数の減少と対応している。赤潮発生時の表層では植物プランクトンの同化作用で炭酸が失われ、底層では光の不足による分解層の発達によって炭酸が生じる。このことより、赤潮発生日数が多かった1970年代の pH は表層で高く、底層で低くなり、赤潮発生日数の減少にしたがって表層では減少、底層では増加したと考えられる。

一方、1978年から1987年にかけて赤潮発生対策として湾奥部のヘドロ浚渫が行われ、底泥とともに赤潮促進物質が除去された<sup>28)</sup> (表 3)。これにより、*P. micans* の赤潮発生が抑えられたと考えられる<sup>13)</sup>。また、湾奥部では陸水からの負荷により富栄養化が著しく、赤潮発生の原因となっていたが<sup>29)</sup>、水質汚濁防止法による汚濁負荷量の軽減および1984年に公共下水道の共用が開始された (図 4) ことにより富栄養化が軽減されたことが推察される。事実、DIN、DIP 濃度は減少しており、COD の減少、DO の増加などもこれに対応している。また、2003年の公共下水道終末処理場への流入水の栄養塩濃度を DIN/DIP 比で表すと 5.6 - 16.6 の範囲にあった<sup>32)</sup>。一方、2003年の湾奥部での DIN/DIP 比は 0.0 - 4.9 の範囲にあり、明らかに低い値であった。このことより、リンと比べて窒素の減少が大きい要因は公共下水道の整備による



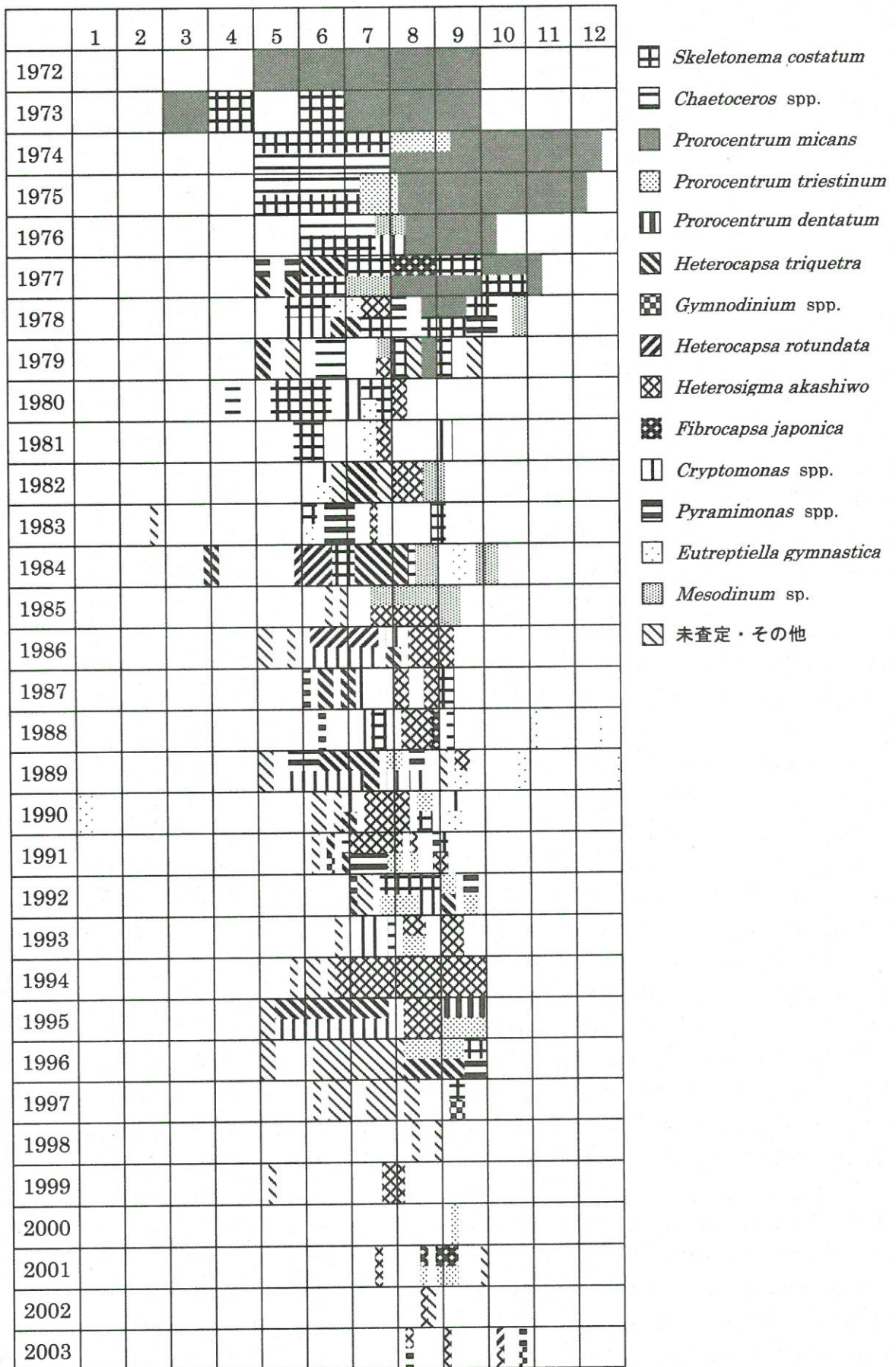


図3 気仙沼湾における赤潮発生状況

ものである可能性が示唆された。

この他、湾奥部（鼎浦湾）の養殖漁場はノリが1960-1961年にかけて、カキが1966年までに消失したが<sup>33)</sup>、これらに替わって1960年代後半からコンブを主とした海藻養殖が行われている。この海域でのコンブ生産量は1983-1985年には平均約400トン<sup>28)</sup>、2002年には約230トンであった。佐々木ら<sup>34)</sup>は海藻養殖による内湾の富栄養化抑制の可能性について示唆しているが、この海域でもコンブを主とした海藻による窒素・リンの吸収が海域の浄化に寄与しているといえよう。

以上より気仙沼湾湾奥部における漁場環境の変遷の傾向が明らかになったが、排水起源ではないDSiの増加の理由は不明である。この解明のためには湾奥部だけでなく湾全域の傾向や季節変動等、より詳細な解析が必要となり、今後の課題である。

最後に永年に亘り水質および赤潮観測調査に携わってきた宮城県気仙沼水産試験場の歴代の担当職員および赤潮現場観測者に対し厚く御礼申し上げる。

表3 大規模漁場保全事業で浚渫によって除去された有機物量

年度	浚渫面積 (m <sup>2</sup> )	浚渫土量 (m <sup>3</sup> )	COD (ton)	全硫化物 (ton)	強熱減量 (ton)
1976	47,800	29,100	437.9	37.5	1,623.1
1977	27,460	21,220	417.9	46.6	1,632.7
1978	66,175	52,100	960.9	65.0	311.8
1979					
1980	22,850	13,800	144.1	12.7	624.1
1981	20,610	8,900	141.2	12.7	648.9
1982	32,240	16,100	230.7	15.0	809.0
1983	25,960	14,300	147.0	11.6	695.0
1984					
1985	18,000	7,200	122.7	5.1	418.6
1986	36,700	14,700	229.6	12.4	847.1
1987	28,000	13,520	288.0	10.9	791.5
合計	325,795	190,940	3,120	229	8,402

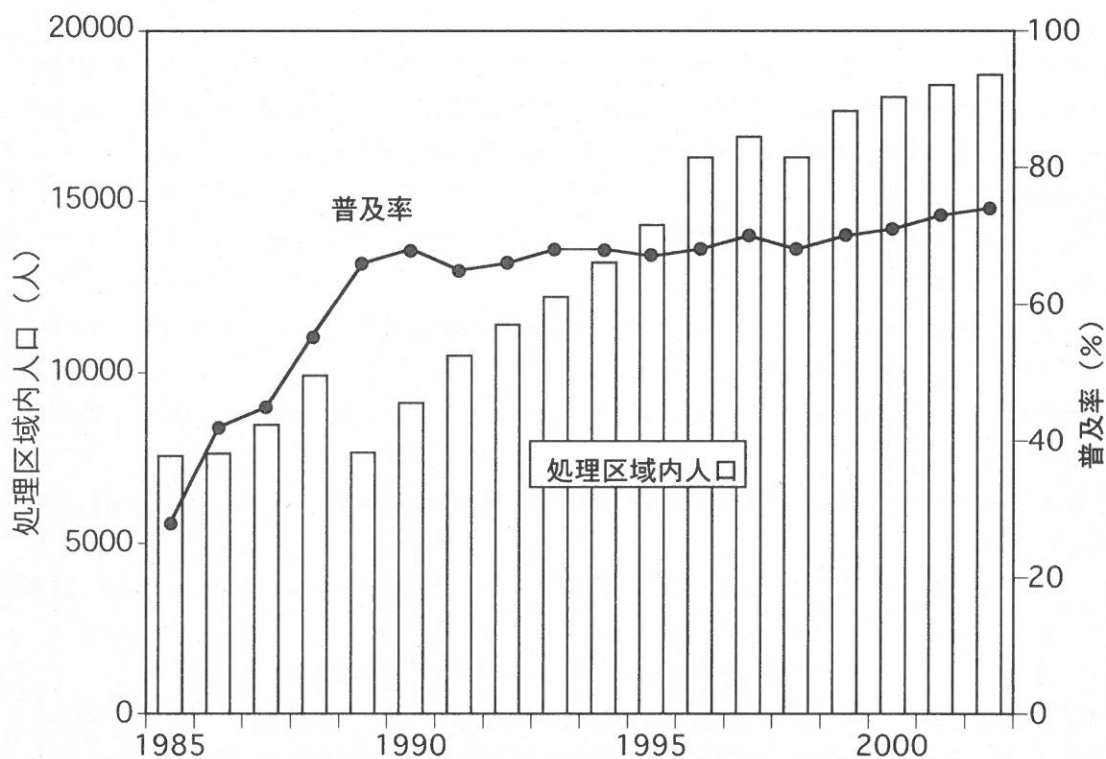


図4 下水道の普及状況  
(参考：気仙沼市<sup>30) 31)</sup>)



## 要 約

1. 栄養塩濃度は DIN が全層で減少傾向、DIP が表層で減少傾向、DSi は全層で増加傾向にあった。DIN/DIP 比、DIN/DSi 比は全層で減少傾向にあった。植物プランクトンは全期間を通じて DIN が、このうち珪藻に関しては1984年以前は DSi、1985年以降は DIN が基本的には制限栄養塩となっていた。
2. 透明度、プランクトン沈殿量は増加傾向、SS は減少傾向にあった。透明度の増加と SS の減少は対応している。プランクトン沈殿量の増加は珪藻やマクロ動物プランクトンの増加によるものと推察される。
3. COD は全層で減少傾向、DO は中底層で増加傾向にあった。DIN、DIP の減少と合わせて考えると、長期的にみて湾奥部の水質環境は改善されているといえるが、夏季には依然として注意が必要である。
4. 赤潮発生日数は1990年代後半に激減した。かつてみられた赤変カキなどの漁業被害もみられていない。また、透明度の増加と SS の減少は赤潮発生日数の減少と対応している。さらに、pH は表層で減少傾向、底層で増加傾向にあり、赤潮発生日数の減少と対応している。
5. これらの水質環境の改善、漁業被害の減少は気仙沼湾大規模漁場保全事業（ヘドロ浚渫）、水質汚濁防止法による汚濁負荷量の軽減、公共下水道の整備、海藻養殖による栄養塩除去等が寄与していると考えられる。

## 参考文献

- 1) 気仙沼市（1985-1989）公害年表。公害調査報告書、昭和52-平成元年版、気仙沼市刊行物。
- 2) 気仙沼市（1990-2000）公害年表・環境年表。気仙沼のかんきょう、平成2-14年版、気仙沼市刊行物。
- 3) 今井丈夫・伊藤進・中村捷・小野寺弘（1957）気仙沼湾カキ養殖場の生態学的研究-環境条件とカキの生産性。気仙沼湾開発研究会、1-39。
- 4) 酒井誠一・広沢一郎・高橋靖夫（1964）気仙沼湾カキ養殖場の生態学的調査、第1報、養殖場の環境とカキの生産性。宮城水試気仙沼分場報告、1-46。
- 5) 辺見照夫・赤坂義民（1965）昭和38年度指定研究事業報告書（適地適種浅海増殖技術研究）。宮城水試気仙沼分場、1-27。
- 6) 五十嵐輝夫・藤田則孝・広沢一郎（1976）気仙沼湾の環境-I 昭和48年の水質について。宮城気水試研報、2、1-27。
- 7) 渡辺正孝・渡辺信・木幡邦男・原島省・中村泰男・森栄（1982）気仙沼湾における赤潮発生環境。海域における富栄養化と赤潮の発生機構に関する基礎的研究 昭和54/55年度特別研究報告。環境庁国立公害研究所、215-288。
- 8) 藤田則孝・五十嵐輝夫・渡辺誠樹（1976）昭和49年気仙沼湾に発生した赤潮 *Prorocentrum micans* について。宮城気水試研報、2、66-75。
- 9) 藤田則孝・五十嵐輝夫・岩井拓郎・渡辺誠樹（1977）気仙沼湾における赤潮の分布および出現頻度について。宮城気水試研報、3、38-55。
- 10) 渡辺誠樹・藤田則孝・五十嵐輝夫・岩井拓郎（1979）昭和52年度気仙沼湾奥に発生した赤潮の消長・構成種の変化と水温・塩分との関係。宮城気水試研報、5、36-41。
- 11) 須田善治・小畑一臣・佐藤茂（1979）気仙沼湾湾奥部におけるプランクトン発生状況とペリディニン量の変動。宮城気水試研報、5、1-4。
- 12) 藤田則孝・五十嵐輝夫・岩井拓郎・渡辺誠樹（1979）気仙沼湾における赤潮プランクトンの遷移と環境。宮城気水試研報、5、114-137。
- 13) 五十嵐輝夫・武川治人・太田裕達（1989）気仙沼湾湾口部における渦鞭毛藻 *Prorocentrum micans* の出現状況と同湾奥における赤潮との関係。宮城気水試研報、8、41-50。
- 14) 鈴木貢治・千葉充子（2003）気仙沼湾の底質および水質の経年変化。宮城水産研報、3、53-62。
- 15) 日本水産資源保護協会（1980）水質分析法。新編水質汚濁調査指針。東京、恒星社厚生閣、133-235、552pp。
- 16) 気象庁（1970）海水の化学分析法。海洋観測指針。東京、財団法人日本気象協会、124-181、252pp。
- 17) 宮城県水産試験場（1963-1969）浅海漁場水質汚濁調査。宮城水試事業報告、宮城水試。



- 18) 宮城県気仙沼水産試験場 (1970-1999) 浅海漁場水質汚濁調査・浅海漁場環境調査・沿岸漁場環境調査. 宮城気水試事業報告, 宮城気水試.
- 19) 宮城県気仙沼水産試験場 (2000-2003) 沿岸漁場環境調査. 宮城県水産試験研究成果要旨集, 宮城県水産関係試験研究機関.
- 20) Redfield, A. C., B. H. Ketchum, and F. A. Richard (1963) The influence of organisms on the composition of seawater. 26-77. In: The Sea, ed. M. N. Hill, vol. 2, New York, Inter Science.
- 21) Liebes, S. M. (1992) An Introduction to Marine Biogeochemistry. New York, John Willy & Sons, 734pp.
- 22) 渡辺誠樹・五十嵐輝夫・藤田則孝・岩井拓郎 (1979) 気仙沼湾奥の赤潮発生と水質特にN・Pとの関係. 宮城気水試研報, 5, 59-63.
- 23) 五十嵐輝夫・藤田則孝 (1979) 気仙沼湾に出現する赤潮構成プランクトンの有機物量. 宮城気水試研報, 5, 110-113.
- 24) 吉田陽一 (1973) 低次生産段階における生物生産の変化. 日本水産学会編, 水圏の富栄養化と水産増養殖, 92-103. 東京, 恒星社厚生閣, 125pp.
- 25) 日本水産資源保護協会 (2000) 水産用水基準. 2000年版, 東京, 日本水産資源保護協会, 96pp.
- 26) 宮城県気仙沼水産試験場 (1979) 赤変ガキ発生機構に関する研究、指定調査研究総合助成事業報告書 (昭和51年～昭和53年の3ヵ年のとりまとめ). 宮城気水試, 1-13.
- 27) 藤田則孝・堀口健雄・井上勲・原慶明 (1979) 気仙沼湾にみられる微小鞭毛藻. 宮城気水試研報, 5, 90-109.
- 28) 宮城県 (1988) 気仙沼湾大規模漁場保全事業 (ヘドロ浚渫) の効果について. 宮城県, 1-25.
- 29) 渡辺誠樹・五十嵐輝夫・岩井拓郎・藤田則孝 (1978) 気仙沼湾奥部の富栄養化機構. 宮城気水試研報, 4, 59-75.
- 30) 気仙沼市 (1985-1989) 下水道整備. 公害調査報告書, 昭和60-平成3年版, 気仙沼市刊行物.
- 31) 気仙沼市 (1990-2003) 水質汚濁防止対策. 気仙沼のかんきょう, 平成2-14年版, 気仙沼市刊行物.
- 32) 気仙沼市公共下水道終末処理場検討協議会 (2003) 終末処理場放流水等の水質測定結果について. 気下水協.
- 33) 五十嵐輝夫 (1978) 気仙沼湾における有用生物の分布と変遷および環境. 宮城気水試研報, 4, 19-31.
- 34) 佐々木久雄・田中千景・一宮睦雄・西村修・谷口和也 (2002) 大型褐藻による富栄養化の抑制. 水産業における水圏環境保全と修復機能. 日本水産学会監修, 119-131. 東京, 恒星社厚生閣, 131pp.

