話 題

気仙沼湾の養殖漁場環境の変遷

伊藤 博

宮城県水産技術総合センター

HIROSHI ITO

Miyagi Prefecture Fisheries Technology Institute,
Ishinomaki, Miyagi

1. はじめに

気仙沼湾は宮城県の最北部に位置するリアス式内湾で、湾口から湾奥までの距離が約 10 km、湾口部の幅が約 7 km、湾内の総面積は約 30 km² に及んでいる。湾の中央に位置する大島によって西湾と東湾に分けられているが、この大島によって風浪が遮られ、古くから静穏な養殖漁場として利用されてきた。また、湾奥部には気仙沼港を有する気仙沼市があり、全国有数の水産都市として栄えてきた。

しかし、内湾性が強く海水交換が悪いことから海水が滞留しやすく、1950 年代頃から水質汚濁が進行し、養殖生物への被害も発生するようになった。また、1970 年代には赤潮の発生も問題となり始めた。こうした汚水被害対策として宮城県水産試験場気仙沼分場（現宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験場）は気仙沼湾の定期的な水質調査を開始し、以来、赤潮調査や底質調査等の漁場環境調査が継続して行われてきた。

これまで蓄積されてきたデータはいくつかの報告に取り纏められているが、¹⁻³⁾ 本稿ではそれらをもとにして気仙沼湾における養殖業と漁場環境の変遷について紹介する。

2. 気仙沼湾の養殖業

気仙沼湾における養殖業は 1854 年に宮城県としても初めてノリ養殖が行われたのが最初とされ、主な漁場は湾央～湾奥部であった。一方、カキ養殖は 1930 年に筏式養殖法が取り入れられて以来、急速に発展した。また、この頃からノリ養殖では網ひびが用いられるようになり、漁場は湾口部へと広げられた。

1950 年頃から湾奥部の鼎が浦で水質の悪化からノリの枯死、カキの斃死が発生するようになり、特に 1955 年にはカキの大規模な斃死が起こった。これらのことが原因となり、鼎が浦での養殖漁場はノリ、カキ共に 1960 年代に消失したとされる。この頃からノリの生産

量は減少し続けていったが、カキは 1950 年代に開発された延縄式垂下養殖法の導入により、湾口部漁場での生産が増加した。同じ頃、ノリ・カキと比べて労働力がかからず経済性も良いワカメ養殖が急速に生産を伸ばした。

1974～1975 年にはノリの大不作、赤変カキやワカメ穴あき症の発生等により養殖業が厳しい状況にさらされたため、この頃から病気等に強いコンブ養殖が普及していった。また、1960 年代から県外種苗により行われていたホタテガイ養殖が、1980 年代後半から天然採苗による地種養殖へ移行することで、生産量の増大につながった。一方、1992 年にはノリの養殖はほとんど行われなくなり、現在では、カキ・ワカメ・コンブ・ホタテガイが主要な養殖種目となっている。

3. 水質環境の変遷

前項で述べた通り、気仙沼湾の養殖業の移り変わりには養殖技術の進歩とともに漁場環境の変遷が深く関連している。ここでは、定期的な水質調査結果より明らかになった事を示す。^{1,2)}

本項で扱うデータは 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 St. 1 (図 1) の 4 層 (0, 1, 5, 8 m (底層)) で得られたもの

図 1 水質調査 (Sts. 1-7), 底質調査 (Sts. 1, 3', 5) 測点

* Tel : 81-225-24-0139. Fax : 81-225-97-3444.
Email : ito-hi728@pref.miyagi.jp

図2 (a) DIN, (b) DIP, (c)透明度, (d) COD, (e) DOの平均的季節変化

である。ここで示す調査項目は1963年の調査開始時には溶存酸素量（以下「DO」）、化学的酸素要求量（以下「COD」）、透明度であり、1971年より硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素（三態窒素で以下「DIN」）、リン酸態リン（以下「DIP」）が追加された。ただし、DINは1997年までのデータを解析に用いた。

標準的な季節変動をみるため、調査期間中の各月のデータの平均値を算出した。欠測の場合は線形補間を行った。

栄養塩濃度の変動についてまとめると、表層ではDIN, DIP共に4月に減少してDIPは6月以降緩やかに増加、DINは10月以降大きく増加した（図2(a), (b)）。4月の各栄養塩の減少は珪藻を主とした植物プランクトンのブルームによる消費が原因と考えられ、これ以降は陸水の影響から表層への各栄養塩付加は増大したと予想されるが、次項で述べる珪藻以外の種を主とする赤潮の発生で表層では栄養塩が消費されたと考えられる。底層ではDIN, DIPは共に夏季に増加しており、高水温と分解層の発達による底泥からの溶出増大が原因といえる。夏季には躍層が発達しているため栄養塩は底層にとどまり、10月になって鉛直混合が起こることによって表層に供給される。

透明度は12～2月に高い値を示した後減少し、8月に最低値を示し、10月以降は上昇した（図2(c)）。COD

図3 (a) DIN, (b) DIP, (c)透明度, (d) COD, (e) DOの移動平均の経年変化

は表層では6月以降上昇して8月に最大値を示し、10月以降は減少した（図2(d)）。中底層では年間を通じて大きな変動はみられなかった。夏季の表層での高い値は陸水の影響による付加および次項で述べる赤潮による内部生産の結果と考えられる。DOは表層では4～8月に高い値を示した後に減少し、10月に最低の値を示した（図2(e)）。底層では2月に最高値を示して6月に大きく減少し、8月に最低値を示した。夏季には表層で主に赤潮プランクトンの光合成によって表層のDOが上昇したと考えられる。底層では透明度の減少による光量不足が植物プランクトンの光合成を妨げ、その結果酸素供給が減少し、加えて高水温および分解層の発達による酸素消費の増大が低い酸素量の原因となったと考えられる。

次に、長期変動をみるため、各月のデータの前後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。ここでは0, 8mのデータを用いた。

DINは表層、底層共に有意な減少傾向がみられ、特

に表層で強い相関を示した (図 3(a))。DIP は表層で有意な減少傾向がみられた (図 3(b))。減少の程度は DIN の方が大きく、季節別に見ると、DIN, DIP とともに秋～冬季を中心に減少していた。

透明度は年間を通じて有意な増加傾向を示した (図 3(c))。COD は表層、底層共に有意な減少傾向がみられ、特に表層で強い相関を示した (図 3(d))。DO は底層で増加傾向にあった (図 3(e))。季節別では、COD, DO は夏季を中心に改善傾向にあった。1960～1970 年代の表層での高い COD 値は陸水からの負荷、底層での低い DO 値は低い透明度から想定される光の不足による酸素供給低下と分解層の発達による酸素消費増大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 の減少とを合わせて考えると、長期的にみて水質環境は改善されているといえる。

1960～1970 年代の湾奥部では陸水からの負荷により富栄養化が著しかったが、次項で述べるヘドロ浚渫による底泥からの溶出負荷量の減少、水質汚濁防止法による汚濁負荷量の軽減および 1984 年に公共下水道の供用が開始され、湾奥部に排水が直接流入することがなくなった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、湾奥部の DIN, DIP 濃度は減少しており、COD の減少、底層 DO の増加などもこれに対応している。

4. 赤潮の発生状況

1970 年代には、前項で述べた通り富栄養化が著しくなり、毎年のように赤潮が発生するようになった。この対策として、赤潮の目視観測調査が開始された。^{1,2)}

赤潮目視観測調査は 1972 年より行われた。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目視で観測した。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。

図 4 に赤潮発生状況を示した。赤変カキの被害をもたらし *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。この赤潮発生対策として 1976 年から 1987 年にかけ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。⁴⁾ これにより、*P. micans* の赤潮発生が抑えられたとされている。⁵⁾ また、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。この赤潮発生日数の減少は前項で述べた栄養塩の減少が原因と推察される。

月毎にみると、赤潮発生月は 5～9 月に集中しており、特に 6～9 月は調査期間の 70% 以上の年で発生した。このうち、半数以上は珪藻以外の種 (渦鞭毛藻 (*Prorocentrum* 属, *Heterocapsa triquetra*), ラフィド藻

(*Heterosigma* 属等), クリプト藻 (*Cryptomonas* spp.), プラシノ藻 (*Pyramimonas* spp.) 等) が優占しており、特に 7～9 月は珪藻 (*Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* spp.) が単独で優占することは稀だった。また、上述したように赤潮の発生期間は年代を経る毎に減少しているが、特に近年では、珪藻によるものはほとんど出現しなくなったことが分かる。

5. 貧酸素水の発生状況と底質

前項までに述べたとおり、湾奥部の漁場環境は改善の傾向にあるが、溶存酸素量に注目すると、湾奥部底層での値は増加しているものの、夏季の湾央から湾奥部底層では依然として貧酸素水 (本報告では溶存酸素量が日本水産資源保護協会の定める内湾漁場の夏季底層の水産用水基準 4.3 mg/L 未満⁶⁾ の場合を貧酸素水と定義する。) が観測されている。貧酸素水発生要因の 1 つとして底質の悪化による有機物の分解に伴う溶存酸素の消費が考えられる。気仙沼湾では 1950 年代から不定期に詳細な底質調査 (1954,⁷⁾ 1962～1963,⁸⁾ 1971,⁹⁾ 1985,¹⁰⁾ 1991,¹¹⁾ 2001 年¹²⁾) が行われており、これらによると、底質の汚濁は 1950 年代には緩やかに、1960 年代には著しく進行した。その後、底質汚濁の指標となる全硫化物は 1970～1980 年代にかけて低下したものの、1990 年代には横這い、COD は 1970～1990 年代まで横這いの値を示し、2001 年の時点では西湾・東湾ともに湾央から湾奥部で汚濁された状態となっている。

ここでは前述した定期的な水質調査に加えて、2000～2007 年に夏季の西湾を中心に行った詳細な酸素量調査の結果と 1996～2007 年に定期的に行った底質・ベントス調査の結果を示す。³⁾

水質調査のデータは 1975～2007 年の 6, 8, 10 月に気仙沼湾の西湾 6 測点 (Sts. 1-6) および東湾 1 測点 (St. 7) で行ったものを用いた (図 1)。酸素量調査は 2000～2007 年の 8～10 月に月 1 回西湾の 20 測点および東湾の 1 測点で行った。底質・ベントス調査は 1996～2007 年の 5, 9 月の年 2 回西湾の 3 測点 (Sts. 1, 3', 5) で行った (図 1)。

1975～2007 年の水質調査結果から、貧酸素水は湾央から湾奥部ではほぼ毎年観測され、特に 8 月の湾奥部では発生頻度が大きいことがわかる (図 5(a), (b))。

経年的にみると、1989 年以前には 8 月の湾奥部で溶存酸素量が 1.0 mg/L 以下という値が観測されていたが、1990 年以降はこのような極めて低い値はみられなくなった (図 6)。陸域からの有機物負荷の減少に加えて、1971,⁹⁾ 1985,¹⁰⁾ 1991 年¹¹⁾ の調査結果からこの期間に底質が改善傾向にあったことが示されており、前項で述べたヘドロ浚渫による底泥の有機物除去が酸素濃度の上昇に繋がったと考えられる。

図4 赤潮発生状況の経年変化

また、1996年以前と比べて1997年以降では貧酸素水の発生範囲、期間が小さくなっていた（図5(a), (b)）。前項で述べたとおり、気仙沼湾では1960年代より湾奥部で頻発していた赤潮発生日数が1990年代後半に大きく減少しており、湾奥部ではこのような赤潮プランクトンの枯死・沈降による底層への有機物負荷が減少

した結果、貧酸素水発生の規模が小さくなったと推察される。しかし、こうした有機物負荷は減少したが、1991年¹¹⁾と2001年¹²⁾の調査結果から、この期間に底質は大きく変化しておらず、底泥による酸素消費は減少していないと推定される。

1996～2007年の底質COD、全硫化物（TS）、含泥率

図5 (a)月別貧酸素水発生測点数の経年変化, (b)測点別貧酸素水発生月数の経年変化

図6 8月底層のDOの経年変化

(MC) から合成指標 ($= 0.582(\text{COD}-20.9)/15.4 + 0.568(\text{TS}-0.51)/0.60 + 0.580(\text{MC}-64.9)/30.5$)⁶⁾ を求め、底質の評価を行った (図7)。合成指標は湾口部では期間中を通じて負の値を示し、正常な底質と判断された、これに対し、湾中央から湾奥部では期間中を通じて正の値を示し、汚濁された底質と判断された。全硫化物、COD の値自体も水産用水基準を超えており、2001 年¹²⁾ の調査以降も湾中央から湾奥部は汚濁された状態が継続していると考えられる。また、ベントスに着目すると湾中央から湾奥部では汚濁に伴って優占度が増加するとされる多毛類が優占し、汚染指標種もみられることから、³⁾ やはり汚濁状態にあることが示唆される。経年的には湾口

図7 底質の合成指標の経年変化

部で減少傾向、季節別にみると湾奥部の9月で減少傾向にあった。このことから、底質の状況は横這い～改善の傾向にあるといえる。しかし、個別の項目をみると一律に減少しているわけではなく、今後も各項目に注意してモニタリングを継続する必要がある。

前述したように、湾中央から湾奥部では毎年のように貧酸素水が発生しており、底質の汚濁状況と考え合わせると、1960～1980年代と比べて改善されてはいるものの、依然として汚濁された底泥が貧酸素水発生の原因の1つとなっているといえよう。

2000～2007年の酸素量調査³⁾と水質調査結果 (図5(a), (b)) から、2000年9月、2001年8～9月、2006年6～9月は広範囲に貧酸素が発生し、特に2006年は長期間に亘り、溶存酸素量も低い値を示している。貧酸素水により二枚貝やベントスが影響を受けることが知られているが、ベントス個体数および種類数は湾奥部で2001、2006年9月に極めて低い値を示しており、³⁾ 例年より貧酸素水の規模が大きかった影響と考えられる。また、湾中央から湾奥部では各年とも5月より9月に低い値を示しており、³⁾ 夏季の貧酸素水によりベントスの個体数および種類数が減少したことを示している。

これらの貧酸素水発生状況とこの期間の底質の状況を比較すると、1998～2003年の湾奥部では5月より9月に底質の合成指標が高く (図7)、この時期の底質汚濁が溶存酸素の消費を助長した可能性がある。しかし、経年的には明瞭な関係はみられず、底質の汚濁は貧酸素水発生の原因になっているが、例えば2006年のような単年の広域化・長期化の原因は他にあると考えられる。

図8に2006年1～6月の湾口部 (St. 6) における底層水温、底層 DIN およびプランクトン沈殿量 (北原式定量ネット目合い $95\mu\text{m}$, 0～5 m 鉛直引き) の推移を示した。2006年は3～4月にかけて水温が低く (図8(a)), DIN は高い値を示した (図8(b))。これは、2006年冬春季に観測された親潮系冷水が接岸する異常冷水現象の影響と考えられる。続いて5～6月にはプラ

図8 2006年1～6月のSt. 6における(a)水温・(b) DIN・(c)プランクトン沈殿量の推移

ンクトン沈殿量が極めて高い値を示し(図8(c)), 3～4月の高いDINが植物プランクトンの増殖を引き起こしたと考えられる。この傾向は湾口から湾中央部で顕著であり, このため, 前述した赤潮プランクトンと同様の要因で酸素が消費され, 例年より早い6月から湾中央部を中心として広範囲で貧酸素水が発生したと推察される。

6. おわりに

気仙沼湾の漁場環境は, ここまで述べてきた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の他, 公害防止意識の高まりと公害防止に係る法整備等により改善され, 赤潮や貧酸素水の発生も大きく減少している。

しかし, 底質は改善されてはいるものの, 湾中央から湾奥では依然として汚濁された底泥がみられ, 貧酸素水発生の原因の1つとなっている。また, 外洋水の影響の様な底質以外の要因で貧酸素水が発生することもある。また, 現在の漁場は1960～1970年代と比較して二枚貝に対する生産性は大きく悪化してはいないものと推察されているが,¹³⁾ 栄養塩類の負荷量が減少していることは漁場の生産性の低下に繋がる可能性もある。

これらのことから, 今後も定期的なモニタリングを継続していく必要があるが, カキ・ホタテガイの餌となる植物プランクトンやワカメ・コンブの成長に必要な栄養

塩類の動態を明らかにするためのモニタリングを行っていくことが重要となるであろう。

最後に永年に亘り気仙沼湾の漁場環境調査に携わってきた宮城県水産技術総合センター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。

文 献

- 1) 伊藤 博, 藤田則孝, 千葉充子. 気仙沼湾湾奥部における漁場環境の変遷. 宮城水産研報, 2005; 5: 27-35.
- 2) 伊藤 博, 藤田則孝, 千葉充子. 気仙沼湾湾奥部における漁場環境の季節変動. 宮城水産研報, 2006; 6: 51-57.
- 3) 伊藤 博. 気仙沼湾における貧酸素水の発生と底質の経年変化. 宮城水産研報, 2008; 8: 41-48.
- 4) 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, 仙台, 1988.
- 5) 五十嵐輝夫, 武川治人, 太田裕達. 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. 宮気水試研報, 1989; 8: 41-50.
- 6) 水産用水基準(2005年版), 日本水産資源保護協会, 東京, 2006.
- 7) 今井丈夫, 伊藤 進, 中村 捷, 小野寺弘. 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, 気仙沼, 1957.
- 8) 酒井誠一, 広沢一郎, 高橋靖夫. 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, 宮城県水産試験場気仙沼分場, 気仙沼, 1964.
- 9) 広沢一郎, 五十嵐輝夫, 藤田則孝. 気仙沼湾の底質についてI. 気仙沼湾底質調査報告書, 宮城県気仙沼水産試

- 験場，仙台．1974; 1-14.
- 10) 太田裕達，五十嵐輝夫，武川治人．気仙沼湾および大川下流の底質環境．宮気水試研報，1989; **8**: 77-80.
- 11) 伊藤 章，田口滋之，千葉充子．気仙沼湾および大川下流の底質環境Ⅱ．宮気水試研報，1994; **9**: 85-99.
- 12) 鈴木貢治，千葉充子．気仙沼湾の底質および水質の経年変化．宮城水産研報，2003; **3**: 53-62.
- 13) 伊藤 博，千葉充子，齊藤憲次朗，小野寺毅，押野明夫．気仙沼湾の養殖漁場における生産性について．宮城水産研報，2007; **7**: 35-42.