

気仙沼湾における透明度の長期変動

久松和恵¹⁾・荒川久幸¹⁾・關哲夫²⁾・森永勤¹⁾

Long-term Variation of Secchi Depth in Kesennuma Bay

Kazue HISAMATSU, Hisayuki ARAKAWA, Tetsuo SEKI and Tduyomu MORINAGA

Abstract : The Secchi depth, temperature, and specific gravity of water in Moune, the head of Kesennuma Bay were measured daily from 1971 through 1989. The collected data were statistically analyzed to study the long-term variation of Secchi depth and the causes of the variation. During the 19 years of measurement, the mean value of Secchi depth was 10.0m, and the standard deviation was 0.7m. The monthly averaged variation became about 5m before the year of 1977, and after that, approximately 8m more. In particular, it had 4m larger in winter. The yearly averaged variation increased with time, showing a value of 2.1m in total. Throughout the year except in winter, the watermass of the bay was covered with the coastal surface water. In winter, the water mass at the depth of 3m to 10m was under the influence of outer ocean. The correlation among Secchi depth, temperature, and salinity was high for the water in the depth down to 1 m from the surface. The transparency was negatively correlated with temperature, while correlated positively with salinity. It is suggested that one of the causes for increase of the long-term variation is due to the sludge dredging conducted from 1976 to 1988. This probably causes the volume of the bay to increase; as a result, the transparency becomes higher. The distinct variation of the Secchi depth is the result of the effect of organic/inorganic particles carried through rivers to the bay after a downpour, and the effect of watermass originated from outer ocean.

Keywords : Secchi depth, Transparency, Water Temperature, Oyster, Historical trend, Kesennuma Bay.

1. はじめに

気仙沼湾は東北三陸のリアス式海岸に位置し、湾口を南へ開き、その中央部には大島が存在している。そのため、湾の形状は細長く湾曲した水路状になり、海水交換が悪く閉鎖的な湾といえる。また、湾奥では水産資源のカキやコンブなどの養殖業が盛んに行われて

いる。

従来、気仙沼湾における水質の研究に関しては渡辺ら（1978）、太田ら（1989）および伊藤ら（1994）がある。渡辺ら（1978）は、湾奥のCOD、BODおよび無機栄養塩濃度は湾口部の2—3倍高く、夏季では環境基準の上限を超えていると報告した。太田ら（1989）は、湾内の底質は多くの地点でCOD、全硫化物および強熱減量の水産用水基準を超えており、汚染物質が堆積していると述べた。伊藤ら（1994）は湾奥の底質環境汚染の変遷を調べ、底質改善の必要性を示唆した。

HANAWA and HITSUDERA（1986）は三陸沿岸海域における水系の分布とその変化を明らかにする目的で、1977-1981年の5年分における沿岸定線資料をT-S相関図を基に解析した。その結果、対象海域の水は6個の水系に分類できた。即ち、津軽暖流水系（水温： $t > 5$ °C, 塩分： $33.7 \leq s \leq 34.2$, 密度： $\sigma_t < 24.0$ ）、親潮水系（ $t < 7$ °C, $s > 33.0$, $\sigma_t < 26.7$ ）、黒潮水系（ $34.2 \leq s \leq 35.0$,

¹⁾ 東京海洋大学海洋科学部 〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7

Department of Ocean Sciences, Tokyo University of Marine Science and Technology 4-5-7 Konan, Minato-ku Tokyo, 108-8477, Japan

²⁾ 独立行政法人水産総合研究センター東北区水産研究所, 〒985-0001 宮城県塩竈市新浜町 3-27-5

Tohoku National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, 3-27-5 Shinhamma, Shioyama, Miyagi 985-0001, Japan

$24.0 \leq \sigma t \leq 26.7$), 沿岸親潮水系 ($t < 2^\circ\text{C}$, $s < 33.0$), 冷低層水系 ($\sigma t > 26.7$, 津軽暖流水系の範囲を除く領域) および沿岸表層水系 (上記5ヶの水系の範囲を除く領域) である。また、複雑な海況をかなりの程度表現することができたが、水温と塩分のみを扱ったのでは不適切な点もあると報告した。

近年、伊藤ら (2005, 2006) は 1963 年から 2003 年までの水質調査データを用いて 40 年間におよび漁場環境の変遷や季節変動を調べ、水質環境の改善や漁業被害の減少は主にヘドロ浚渫事業、水質汚濁防止法および公共下水道の整備などに起因すると結論づけた。しかし、これらの研究では湾内の水質環境の長期的変動を物理的視点から検討されておらず、例えば、出現する水塊の季節変化などとの関連性は不明である。

本論文では透明度を湾内の水質の指標と考え、湾奥の定点において透明度、水温および比重を毎日・定時刻に測定した長期間データを統計的に処理し、透明度の長期変動の特性やその変動要因を調べた。

2. 観測と解析方法

観測は 1971 年から 1989 年までの 19 年間、湾奥舞根の (財) かき研究所の棧橋先端で行った。(Fig. 1 参照) 観測定点の位置は岸から 28m 沖、水深は 16m に相当する。観測は毎日午前 10 時に行っている。観測項目は透明度、水温、比重および一般気象である。使用した測器は透明度板、水銀温度計および赤沼式比重計である。水温と比重の測定は、ポンプで海面、1, 3, 5 および 10m 深からそれぞれ採水して行った。透明度のデータ数は 6669 個である。なお、塩分は水温と比重から増沢・蓮沼 (1970) の Eckart の式を基に算出した。降水量の各データは気象庁アメダスの値で、毎月の平均値を使用している。(気象庁気象観測 (電子閲覧室)、気仙沼水産試験場のデータを一部使用) また、栄養塩類 (DIP, DSI および DIN)、懸濁物質質量 (SS)、プラ

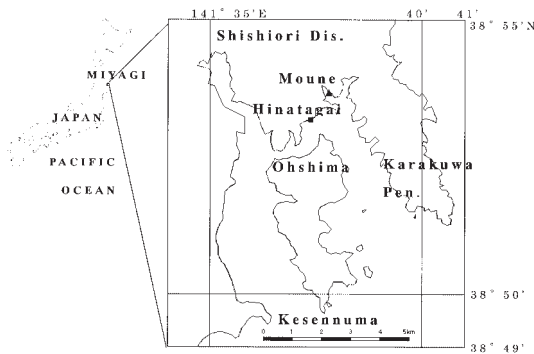


Fig. 1. Map showing the observation site, Moune in Kesennuma Bay. Hinatagai is the position conducted by Kesennuma Fishery Station.

ントン沈殿量の各データは該当年度 (1974 年~1989 年) の気仙沼水産試験場報告 (1971~2000) を参照した。

3. 結果

3-1. 透明度の出現頻度分布

Fig. 2 は透明度の出現頻度の分布を示す。出現回数が最も多いのは 10m 台の 923 回、次に多いのは 9m 台の 888 回である。反対に、出現回数が最も少ないのは 16m 台、18m 台、および 19m 台で各々 1 回である。17m 台では出現の無いのがわかる。

現場水深の 16m より大きい値は透明度の定義上、繰り出したロープが何らかの影響で斜めに下降したと考えられる。また、15m 台が 645 回と突出している。これは、潮の干満 (最大潮位差: 1.0m 程度) によって現場の水深が 15m 以下で透明度板が着底した場合、観測した透明度の深度を全て 15m と記録したためである。

透明度の 19 年間の平均値は 10.0m、標準偏差は 0.7 m とそれぞれ算出できる。

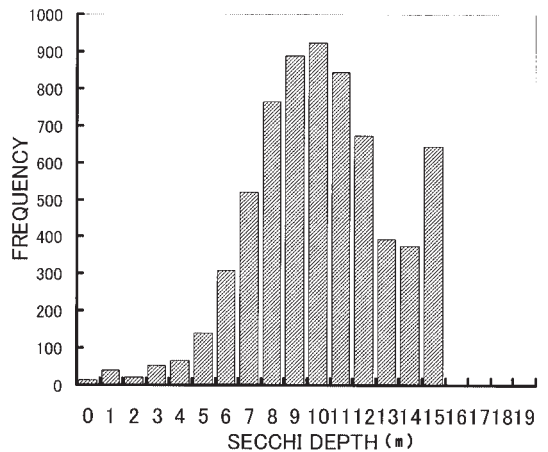


Fig. 2. Frequency distribution of transparency values from 1971 to 1989.

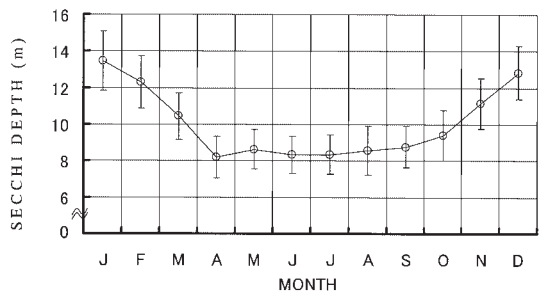


Fig. 3. Seasonal variation of monthly averaged Secchi depth during 19 years. Error bars represent standard deviations.

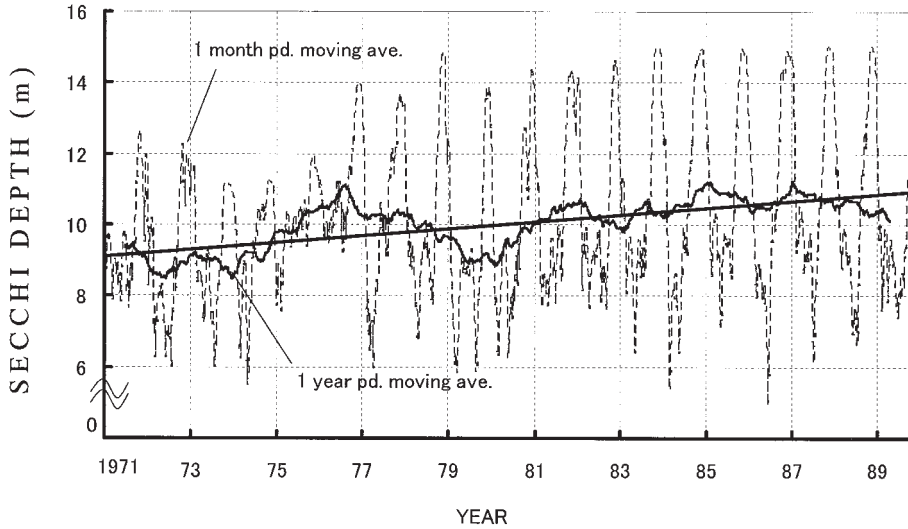


Fig. 4. Monthly and yearly averaged variations of Secchi depth from 1971 to 1989. Broken/thin line represents one month/year moving average, respectively. A straight line means a trend from 1971 to 1989.

3-2. 透明度の季節および経年変化

Fig. 3は約19年間における透明度の季節変化を示す。その変動傾向を平均値±標準偏差であらわすと、1月の 13.5 ± 1.6 mから4月の 8.2 ± 1.1 mまで低下し、その後9月まで変動幅は小さく、 8.2 ± 1.1 mと 8.8 ± 1.4 mの範囲を推移する。その後、12月の 12.8 ± 1.4 mまで上昇している。

Fig.4は透明度の30日および365日の各移動平均と

365日の移動平均に回帰直線を当てはめた結果をそれぞれ示す。この図から、30日移動平均では周期的な上下変動を繰り返し、季節変動が見られる。特に、1977年を境に、その以前と以後では変動幅が大きく変化している。前者では5m程度であったが、後者では約8mに増大している。特に、冬季ではおよそ4m増加している。また、365日移動平均では、1972年から徐々に高くなり、1976年と1977年の間では最高値を示している

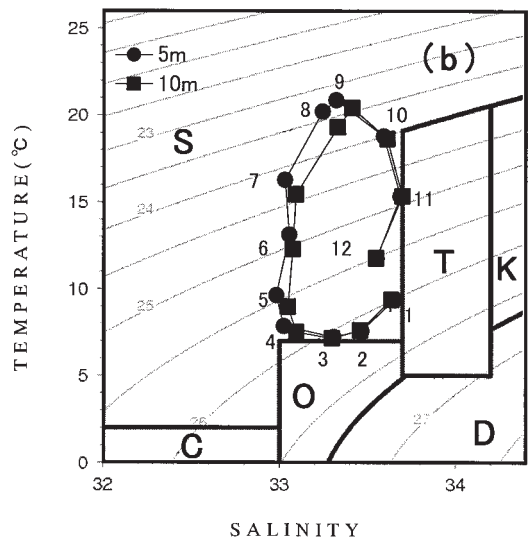
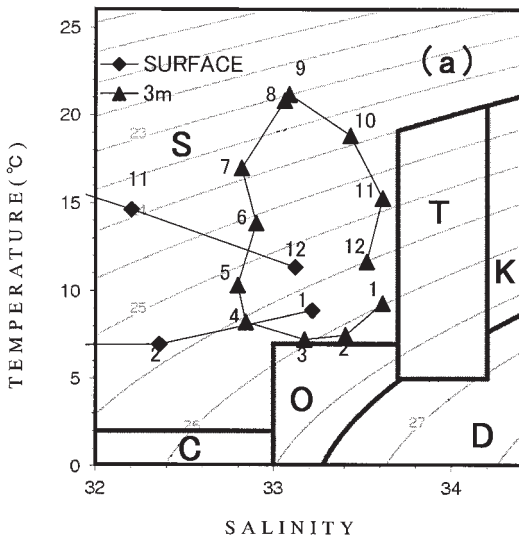


Fig. 5. Temperature-Salinity diagram. (a): surface and 3m depths. (b): 5 and 10m depths. Capital letters show water types (after Hanawa and Mitsudera, 1986). K: Kuroshio water, T: Tsugaru water, O: Oyashio water, C: Coastal Oyashio water, S: Coastal surface water, D: Cold deep water. Numerals indicate months.

る。その後 1979 年まで 2.0m 程度低下し、その後 1988 年まで再度上昇に転じる傾向を示す。19 年間でみると、透明度は有意な増加傾向（有意水準 5%）を示し、約 2.1m 上昇している。

3-3. 出現する水塊の季節変化

Fig. 5 は Hanawa and Mitsudera (1986) の水系分類に従って作成した T-S ダイアグラムへ各月の平均データを記入したものである。Fig. 5 の (a) は表層と 3m 深、Fig. 5 の (b) は 5m 深と 10m 深をそれぞれ示す。また、各図内の数値は各月を意味する。海面では、年間を通じて、特に冬季、沿岸表層水系に該当する水塊に覆われている（3月から10月までは塩分 32% 以下のため図外）。3m 深において、3月では親潮水系に近い水塊が、その他の月では沿岸表層水系が各々分布している。5m 深と 10m 深において、3月では 3m 深と同様、親潮水系に近い水塊が、11月では津軽暖流水系に近い水塊が、その他の月では沿岸表層水系の水塊が各々分布している。また、5m 深と 10m 深では水塊の出現パターンが 3m 深とほとんど同じである。これらのこと

から、湾内では年間を通して沿岸表層水系の水塊が分布していることがわかる。また、3m 深から 10m 深の各水塊では出現パターンの形状が楕円形で、同一であること、および秋季（11月）と初春季（3月）において僅かに外洋水系の影響を受けていることも伺える。

3-4. 透明度と水温・塩分との関係

Table 1 は透明度と水温の相関係数を示す。表内の数値の下線は 5% の有意水準の有意でないものを表す。この表から、透明度と水温（全層）の相関係数は 1 月から 9 月までは 0.2 以下で、相関は弱い。また、10 月から 12 月までは、全層通じて相関係数は -0.54 から

Table 1. Correlation coefficients between Secchi depth and temperature.

Depth, m	Jan.-Mar.	Apr.-Jun.	Jul.-Sep.	Oct.-Dec.	Through year
0	0.15	0.01	0.11	-0.54	-0.37
1	0.12	0.02	0.08	-0.59	-0.35
3	0.09	0.02	0.07	-0.61	-0.29
5	0.11	0.02	0.09	-0.61	-0.26
10	0.13	0.02	0.10	-0.61	-0.23

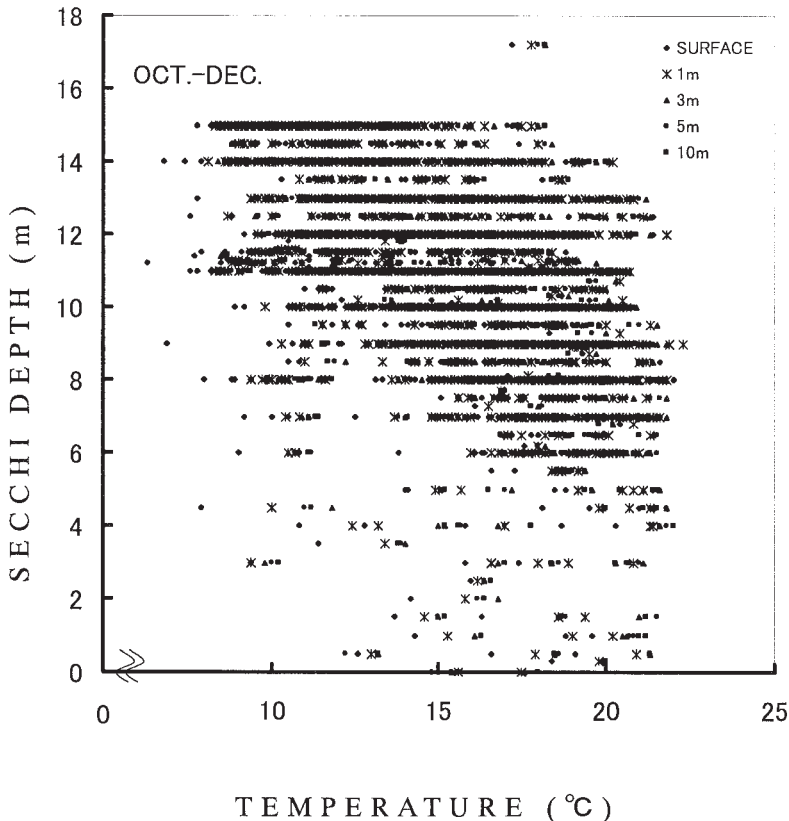


Fig. 6. Scatter diagram between Secchi depth and temperature.

-0.61 の範囲で、比較的強い負の相関がある。10 月から 12 月までの全層における相関関係の具体例として、散布図を Fig. 6 に示す。この図からみると、バラツキは大きいですが、水温が低下すると透明度が高くなるということが伺われる。

一方、Table 2 は透明度と塩分の相関係数を示す。下線の値は水温の場合と同様、5%の有意水準で有意でないことを示す。透明度と海面塩分の相関係数は 1 月から 12 月までの 3 ヶ月ごとでは 0.27 から 0.42 の範囲にある。また、年間を通した 0.45 の値は他の深度の場合に比べて最も大きいことが分かる。水温の場合と同様、海面における 1 月から 3 月までの相関関係の具体例として、散布図を Fig. 7 に示す。この図からみると、高塩分の領域においてデータが集中し、塩分が増加する

と透明度も高くなることが僅かに読み取れる。

以上のことから、透明度と水温の間では 10—12 月の全層において負の相関が、透明度と塩分の間では年間を通して海面と 1m 深において正の相関がそれぞれ認められる。

4. 考察

透明度の長期観測定点の位置は湾奥の唐桑地区舞根沖であった。そこで、取得データが湾奥の水質の代表値として利用できるか否かを検討するため、大島北部側水路付近で取得した日向貝のデータと比較した。この資料は気仙沼湾水産試験場が 1974 年から 1989 年までの期間に観測したもので、データ数は 133 個である。両者における透明度の平均値（標準偏差）は舞根が 9.9 (0.7) m、日向貝が 10.5 (1.4) m であり、舞根の値が約 0.6m 小さく、変動幅も少ない。しかしながら、統計的には両者の平均値に有意な差（有意水準 5%）は認められない。また、Fig. 8 は舞根と日向貝の透明度の関係を示す。両者の関係には正の相関が認められ、相関係数は 0.68 である。このことから舞根の値は湾奥における水質の指標として用いることが可能と考えられる。

30 日移動平均の透明度では、変動幅の増加時期が 1977 年および 1983 年で見られる (Fig. 4 参照)。1977

Table 2. Correlation coefficients between Secchi depth and salinity.

Depth, m	Jan.-Mar.	Apr.-Jun.	Jul.-Sep.	Oct.-Dec.	Through year
0	0.42	0.32	0.27	0.37	0.45
1	0.35	0.38	0.30	0.15	0.42
3	0.13	0.10	0.05	-0.06	0.22
5	0.07	0.09	0.00	-0.16	0.15
10	<u>0.04</u>	0.06	<u>-0.04</u>	<u>-0.21</u>	0.11

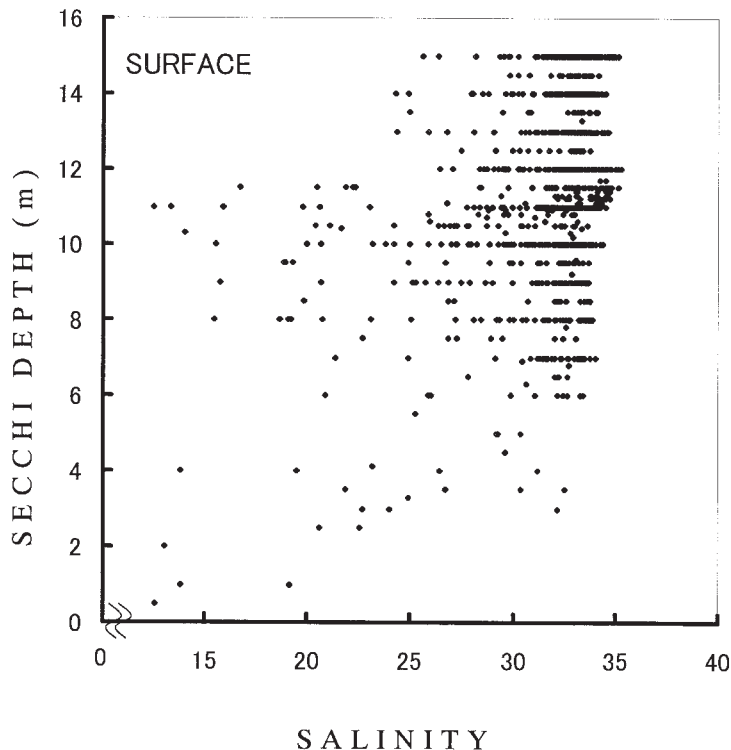


Fig. 7. Scatter diagram between Secchi depth and salinity.

Table 3. Dredged area, dredged mud volume and removed organic matters at Shishiori district in Kesenuma Bay.

Work	Year	Dredged area, m ²	Dredged volume, m ³	COD, ton	Total sulfide, ton	Ignission loss, ton
First Period	1976	47,800	29,100	437.9	37.5	1,623.1
	1977	27,460	21,200	417.9	46.6	1,632.7
	1978	66,175	52,100	960.9	65.0	311.8
	Amount	141,435	102,420	1,816.7	149.1	3,567.6
Second Period	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	14,900	147.0	11.6	695.0
	Amount	101,660	53,100	663.0	52.0	2,777.0
Third Period	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
	Amount	82,700	35,420	580.3	28.4	2,057.2
TOTAL		325,795	190,940	3,060.0	229.5	8,401.8

年での変動幅は 6.0–14.0m であり、それ以前の 1975 年から 1976 年の変動幅 7.5–13.1m に比べて 2.4m と著しく増大している。また、1983 年での変動幅は 6.4–15.0m で、それ以前の 1981 年から 1982 年までの変動幅 7.6–14.4m に比べて 1.8m 増大している。これらの変動幅の増大の原因を、1976 から 83 年まで 2 期に渡る湾奥の鹿折地区 (Fig.1 参照) でのヘドロ浚渫事業 (宮城県, 1988) に関連して検討する。

Table 3 は各工期で浚渫した面積、土量および有機物量を示す。ここで、浚渫の層厚を推定してみる。例え

ば、第 I 期 (1976 から 1978 年) では浚渫面積 $141 \times 10^3 \text{m}^2$ (3 ヶ年の小計)、浚渫土量 $102 \times 10^3 \text{m}^3$ (3 ヶ年の小計) である。浚渫層厚は後者を前者で除して求めると、約 0.72m となる。他工期における浚渫層厚を Table 3 から同様な方法で算出すると、第 II 期 (1980 から 1983 年) は約 0.52m、第 III 期 (1985 から 1987 年) は約 0.42m になる。各期の層厚を比較すると、層厚の最も大きい工期は第 I 期で、次に大きい工期は第 II 期である。以上のように、浚渫の規模は面積、堆積、層厚いずれをみても、第 I 期が最も大きく、ついで第 II 期となっており、浚渫による海底地形の変化、湾口断面積の変化が外洋との海水交換や湾内の海水の動きに影響を与えたと想像される。実際、透明度の変動幅が大きくなった 1977 年は第 I 期工事の、また 1983 年は第 II 期工事の年度に該当している。そこで、浚渫工事前後での湾内水系を比較するために、工事前の 1971–75 年と工事開始後の 1976–89 年を T-S 図で比較してみると、Fig. 9 に示すように、浚渫後は特に水温の季節変化が大きくなっていることがわかる。透明度と水温との関連があることはすでに 3-4 で述べたとおりであり、このことから透明度の変動幅の増大が浚渫工事の影響であることがうかがわれる。なお、Fig. 9 で、浚渫前に湾内に見られた津軽暖流水が浚渫工事開始後に見られない理由については、このデータからはわからない。

さらに、浚渫による有機物量の増減に関して、渡辺ら (1978) は第 I 期工事の浚渫事業終了後では湾内の COD と全硫化物が浚渫以前より各々 32.4% 減少したと報告した。これらの浚渫事業が気仙沼湾の水質向上に役立ったことも判る。

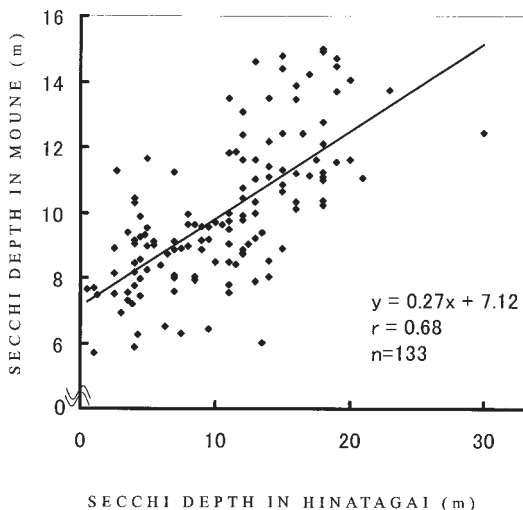


Fig. 8. Relationship between Secchi depths at Moune and those obtained at Hinatagai.

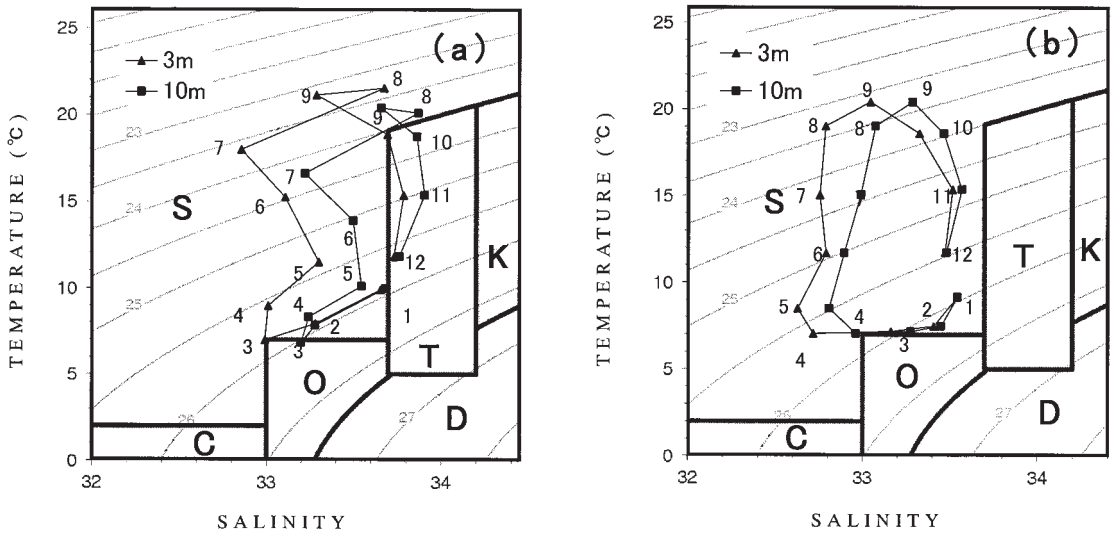


Fig. 9. Temperature-Salinity diagram. (a): diagram before dredging construction (from 1971 to 1975) (b): diagram after dredging construction (from 1976 to 1989) Capital letters and numerals are shown as in Fig. 5.

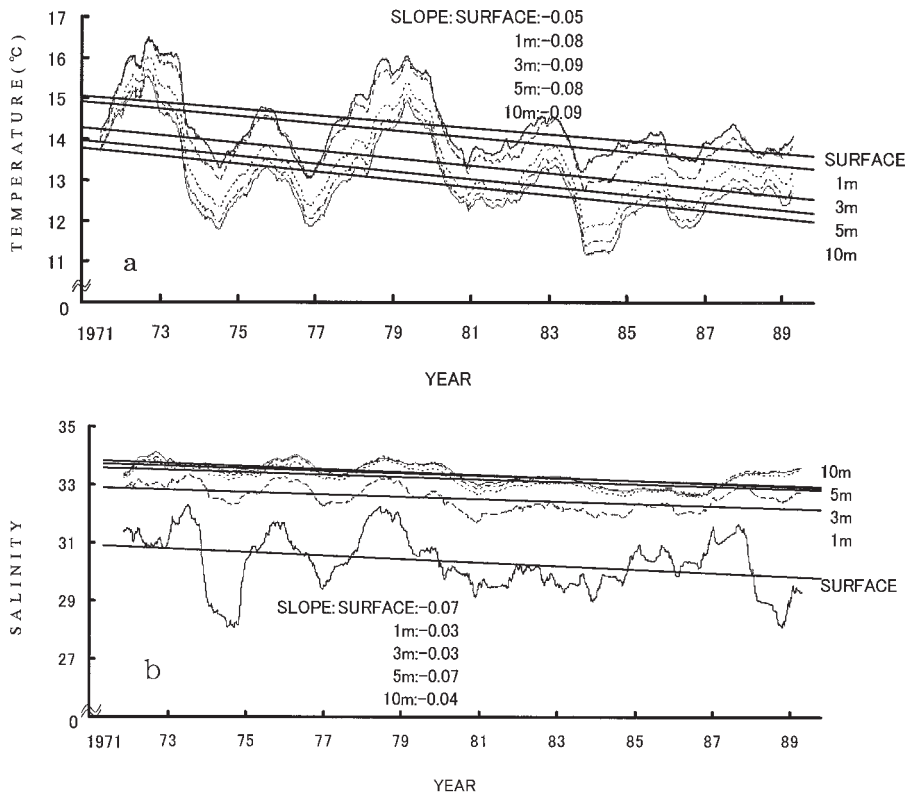


Fig. 10. Yearly averaged variations of temperature and salinity from 1971 to 1989. Strait lines are regression ones for yearly averaged variation. a: temperature, b: salinity

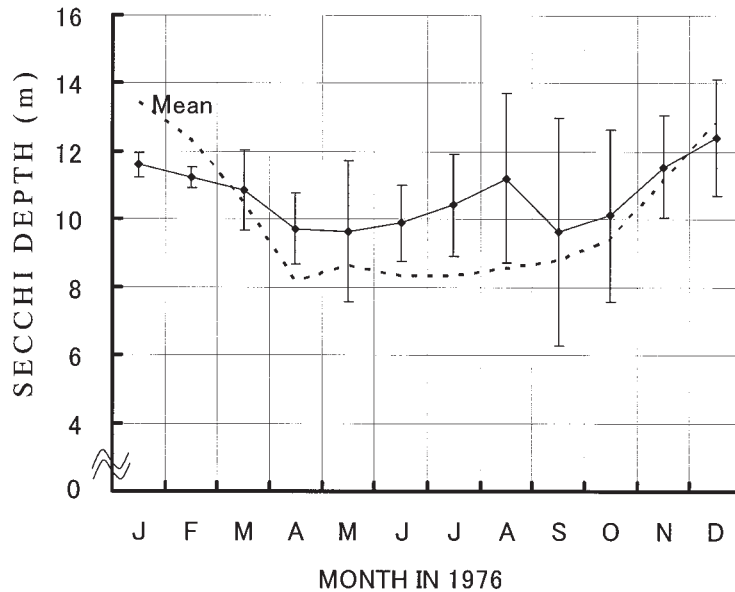


Fig. 11. Variation of transparency in 1976. Solid line represents seasonal variation in 1976. Dotted line represents seasonal variation of mean value during 19 years. Error bars represent standard deviations.

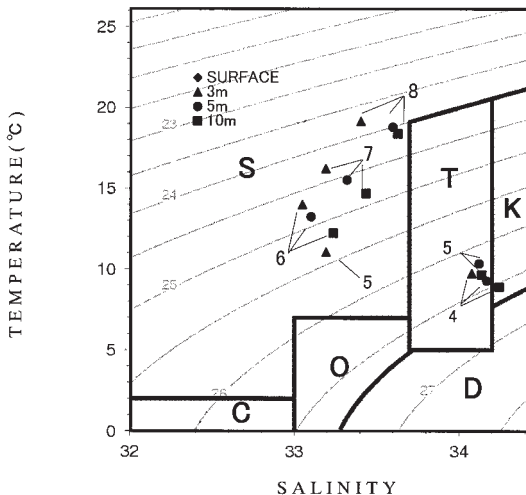


Fig. 12. T-S diagram from April to August in 1976. Capital letters and numerals are shown as in Fig. 5.

Fig. 10 は水温と塩分の各々19年間の365日移動平均を表す(久松, 2006)。水温の移動平均では19年間で有意な低下傾向を示している(Fig. 9a)。これに対して、透明度の365日移動平均は有意な上昇傾向を示している。このことは前述の両者の相関関係の結果(透明度と水温は負の相関関係)と一致している。しかし、塩分の場合では19年間で有意な低下傾向を示し、両

者の相関関係の結果(透明度と塩分は正の相関関係)とは一致していない(Fig. 9b)。このような相関関係の結果と長期的な変動傾向が一致していない現象は九州の有明海でも報告(野中, 2004)されているが、その原因は不明である。しかしながら、塩分の長期変動における低下傾向の原因の一端は、1984年から湾沿岸一帯で開始された公共水道整備の寄与と伊藤ら(2005)が推察している。

Fig. 11は透明度が特に上昇した1976年における透明度の月平均変化を示す。1976年の透明度の年平均値は10.7mで、平年値に比べて0.7m高くなっている。透明度の上昇が顕著な時期は4月から8月までの期間であり、それらは平年値より1.0~2.6m高いことがわかる。この現象を詳細に検討するため、Fig. 12に1976年の4月から8月までの各月に出現する水塊の分布を示す(表層のデータは塩分が32‰以下で図外)。この図より、4月の3m深および5m深の各水塊は津軽暖流水系、10m深は黒潮水系にそれぞれ該当している。また、5月の5m深および10m深の各水塊は津軽暖流水系の各水塊に分類される。さらに、これらの該当月における降水量、栄養塩類およびプランクトン沈殿量が例年に比べてそれぞれ3~4割、2~9割および9割減少している。従って、4月および5月における透明度の上昇要因は清澄な外洋水系の出現、降水量の低下による陸起源の栄養塩流入量の減少、およびプランクトンの増加抑制の各効果と考えられる。

7月の水塊は表層を除くいずれの深度においても沿岸

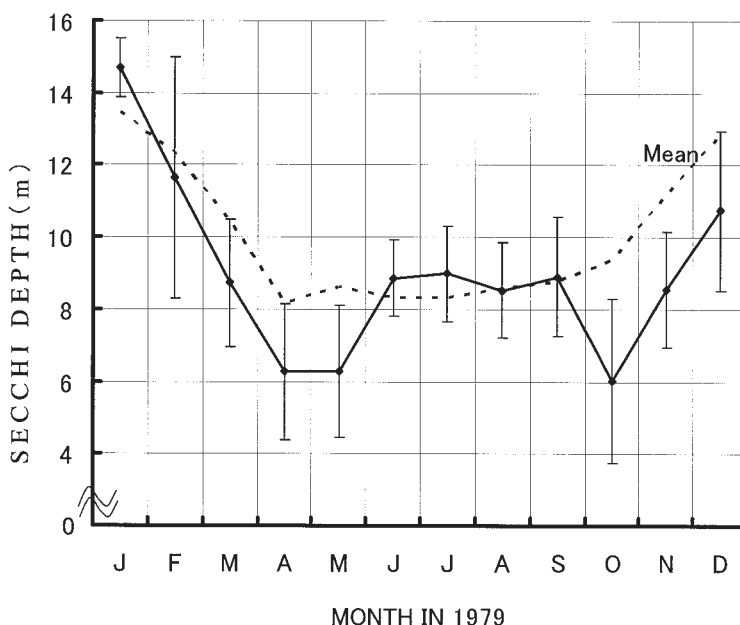


Fig. 13. Variation of transparency in 1979. Solid line represents seasonal variation in 1979. Dotted line represents seasonal variation of mean value during 19 years. Error bars represent standard deviations.

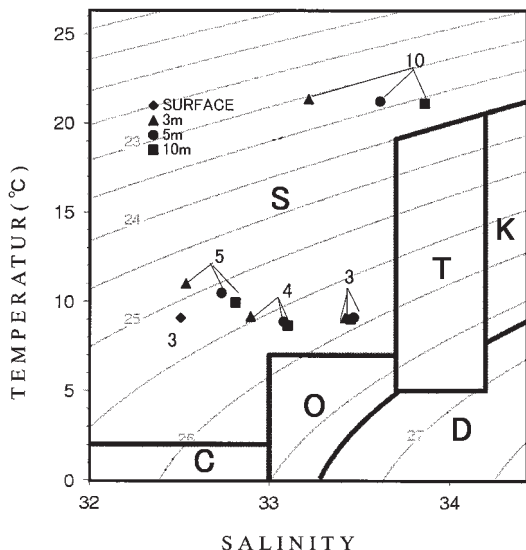


Fig. 14. T-S diagram from March to May and October in 1979. Capital letters and numerals are shown as in Fig. 5.

表層水系に分類されるが、降水量、栄養塩類およびSSは例年に比べて各々7割、3~9割および7割減少している。また、8月の水塊も7月と同様、沿岸表層水系に該当するが、この月における栄養塩類やプランクトン沈殿量が例年に比べて4~9割および4割減少している。このことから、7月および8月における透明度の上昇要因は降水量減少による陸起源の無機粒子の負荷軽減、および低濃度の栄養塩によるプランクトン増殖抑制の各効果と推察できる。

Fig. 13は透明度が特に低下した1979年における透明度の月平均変化を示す。1979年の透明度の年平均値は9.0mで、平年値より1.0m低くなっている。透明度の低下が顕著な時期は2月から5月までの期間と10月から12月までの期間にあたり、それらの値は平年値より0.7~3.4m低いことが分かる。この現象を詳細に検討するため、Fig. 14に1979年3月、4月、5月および10月に出現する水塊の分類を示す。また、Table 4は該当月における水温および塩分の平均値と各平年値との較差を示す。

透明度の低下が顕著であった3月から5月までにおける各水塊は表層から10m深まで沿岸表層水系に分類される(3月を除く表層のデータは塩分が32%以下で図外)。3月の水塊では全層における水温および塩分は例年より高温(+1.7から2.1°C)、高塩(+0.1から1.7‰)である。また、SSおよびプランクトン沈殿量が例年に比べて1.4倍および1.6~1.8倍それぞれ増大して

Table 4. Difference between value in 1979 and one averaged during 19 years. Small bars indicate no differences.

MONTH	Surface		3m		5m		10m	
	TEMP.	SAL.	TEMP.	SAL.	TEMP.	SAL.	TEMP.	SAL.
MAR.	+2.1	+1.6	+1.7	+0.2	+1.7	+0.1	+1.7	+0.1
APR.	—	+0.2	+0.8	—	+0.9	—	+1.0	—
MAY	+0.1	-2.2	+0.5	-0.2	+0.7	-0.2	+0.8	-0.2
OCT.	+1.7	-2.8	+2.4	-0.2	+2.3	—	+2.4	+0.2

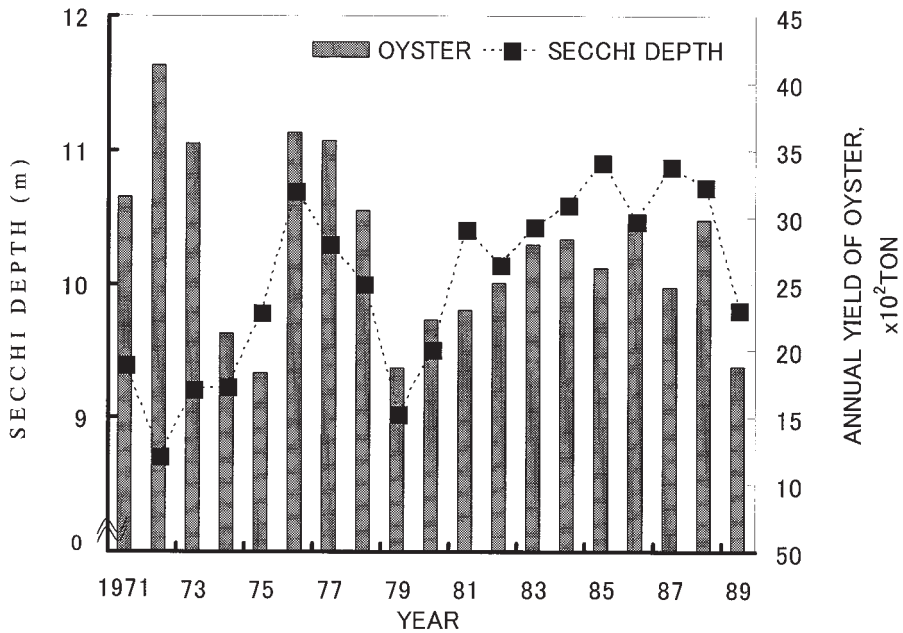


Fig. 15. Comparison of transparency with annual yield of oyster.

いる。次に、10月の水塊は前記の各月と同様、沿岸表層水系に分類され、全層における水温および塩分は例年に比べて高温(+1.7から2.4℃)、低塩(海面、3m深:-0.2から-2.8‰)である。その上、降水量、栄養塩類およびSSが例年に比べてそれぞれ2.1倍、1.4~2.2倍および1.4倍増大している。これらのことから、透明度の低下の要因は、沿岸表層水系の出現、多量の降雨による陸起源の無機粒子負荷の増大、それによる栄養塩流入量の増大およびプランクトンの増殖の影響と推察できる。

以上のことから、透明度の上昇(1976年)の場合は、黒潮や津軽暖流水の出現および少雨(年間降水量:1299mm)が、透明度の下降(1979年)の場合は、沿岸表層水の占有および多雨(年間降水量:1519mm、浚渫期間内の最高値)がそれぞれ影響していると考えられる。

終わりに、透明度の長期変動と湾内における水産資源水揚げ高の変化との関連について詳述する。長田・小川(1997)は日本周辺域において年平均透明度と年

間漁業生産量との間には負の相関関係があると報告した。Fig.15は、気仙沼湾の年平均透明度とカキ生産量との関係の経年変化を示す。カキ生産量のデータは「気仙沼の水産(気仙沼市役所・水産課)」および「唐桑町の水産業(町役場・産業振興課)」より引用し、総水揚げ販売数量(殻付)を表す。1976年および1980年から1984年までは、透明度上昇とカキ生産量増大が、1979年および1989年では透明度低下とカキ生産量減少が、それぞれ一致している。両者の相関関係においては、1971年から1975年では年平均透明度とカキ生産量の関係は負であるが、1976年以後は正($r=0.56$)が認められる。また、経年的に見ても、年平均透明度と年間カキ生産量は各々有意な差(有意水準5%)は認められず横ばい状態であり、相関関係の結果と一致している。両者の関係が負から正へと一転する1976年は浚渫開始年度に該当していることから、浚渫事業が両者の関係の変化に関連すると考えられる。また、外洋性の沿岸域でのカキ養殖を可能にした延縄式施設の台数は、1964年の162台から1969年にかけて600台レベルへ急

上昇し、1979年以降では800台レベルへと微増しており、現在では県内のカキ生産量の約9割を占めている(農林省宮城統計調査事務所)。この統計調査事務所によれば、カキ養殖が湾内から唐桑半島全体へ展開したのは1979年頃だといわれており、これらの時期は年平均透明度とカキ生産量の関係が負から正へ変わる時期に符合している。今後、気仙沼湾産のカキ生産量データを湾内と湾外に区分して両者の関係の解析を試みる必要はあるが、透明度は漁業生産量を推定する指標のひとつとみなすことができると考える。

謝辞

本論文を取りまとめるにあたり、統計的手法や貴重なコメントを賜った、東京海洋大学海洋科学部桜本和美教授に深く感謝の意を表します。また、論文査読者の方の有益なご助言に深謝の意を表します。さらに、降水量のデータをご提供いただいた宮城県気仙沼水産試験場に御礼を申し上げます。

文献

- 伊藤章・田口滋之・千葉充子(1994): 気仙沼湾および大川下流域の底質環境—II 宮城気水試研報, 9, 85-99.
- 伊藤博・藤田則孝・千葉充子(2005): 気仙沼湾湾奥部における漁場環境の変遷. 宮城水産研報, 5, 27-35.
- 伊藤博・藤田則孝・千葉充子(2006): 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, 6, 51-57.
- 太田裕達・五十嵐輝夫・武川治人(1989): 気仙沼湾および大川下流域の底質環境 宮城気水試研報 8, 69-81.
- 長田宏, 小川嘉彦(1997): 日本周辺海域における漁業生産量と海域の基礎生産量の指標としての透明度との関係 Bull. Japan Sea Natl. Fish. Res. Inst., 47, 23-32.
- 気象庁気象観測(電子閲覧室) <http://www.data.kishou.go.jp/etrm/index.html>.
- HANAWA, K. and MITSUDERA, F. (1986): Variation of Water System Distribution in the Sanriku Coastal Area. J. Oceanogr. Soc. Japan, 42, 435-446.
- 野中裕子(2004): 有明海の海況変動とその要因に関する研究. 第95回海洋環境セミナー <http://www.fish.nagasaki-u.ac.jp/fish/kyoukan/ishizaka/seminar03/seminar95.htm>
- 久松和恵(2006): 気仙沼湾における透明度の長期変動について.
東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科修士学位論文 1-57.
- 増沢譲太郎・蓮沼啓一(1970): 海洋科学基礎講座, 4 巻海洋物理IV 海洋の水系 東海大学出版会.
- 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.
- 宮城県気仙沼水産試験場(1971-2001): 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.
- 渡辺誠樹・五十嵐輝夫・岩井拓郎・藤田則孝(1978): 気仙沼湾湾奥部の富栄養化機構 宮城気水試研報 4, 59-75.

2006年12月13日受付

2008年6月16日受理