

## 女川湾の底質

佐々木浩一\*・青柳和義\*\*・荒井永平\*

### Bottom Sediments of Onagawa Bay, Miyagi

Koichi SASAKI\*, Kazuyoshi AOYAGI\*\* and Nagahira ARAI\*

#### Abstract

Bottom sediments of Onagawa Bay, a typical small bay located in the southernmost region of Sanriku ria coast, were investigated to clarify features of bottom surface layers inhabited by various marine benthic organisms.

Fifty four samples of bottom sediments were collected using a Smith-McIntyre grab sampler. Particle size distributions of the samples were analysed by sieving and pipetting methods. Median diameters of the samples ranged widely from  $-0.36\phi$  to  $6.78\phi$ , and mud contents from 0.03% to 88.1%.

Feature of the bottom sediments in the bay shows a complicated distribution pattern. Sandy sediments, mainly occupied by fine and medium sand fractions, occur in the mouth part and in the southern side of the central part to the mouth part. Especially, sediments in the mouth part are well sorted and includes little muddy materials, being subject to the coastal current with relatively fast flows.

A remarkable muddy bottom, surrounded by muddy sand or sandy mud bottoms, exists in the central part. This bottom suggests existence of a clockwise circular current in the bay, which is generated by inflow of a branch of the coastal current. Silt fractions dominate in sediments of the harbor, the innermost part of the bay, which is caused by isolated conditions. The sediment of the semi-closed branch bay consists of various sized materials, reflecting complicated depositing conditions. Coarser materials in the sediment are occupied mainly by calcareous debris of marine organisms.

#### 1. はじめに

底質（底表堆積物）の性状は、その水域の潮流や波浪などの流動特性と、流入河川の有無、海岸および海底の地形的要因に規定される水理学的条件によって決まる。底質の物理・化学的性質は、底生生物にとって生活基質として最も直接的な環境要素の一つである。同時に底生生物の食物となる微小生物や有機物粒子の輸送や底層域への酸素供給などの生活資料の供給条件が底質の特性を左右する堆積条件と連動することを考えれば、底質特性についての知見は水域の生物生産に

関わる環境構造を理解する上で重要な意味を持つ。

本報では、三陸沿岸域の典型的なりアス式湾である女川湾の底表堆積物の粒度組成とその分布パターンの特徴について述べ、更に湾内底層域の環境構造の区分とそれを規定する底層の流動条件について考察した。

#### 2. 方法

Fig. 1は女川湾の概要、Fig. 2は調査点の配置図である。底表堆積物の試料は、1992年6月10日および1993年6月30日に採取した。調査には東北大学農学部所属の実習調査船「翠皓」（14.9トン）を用い、調査点の位置はGPSで測定した。

1992年の調査では、湾内に格子状に配置した40調査点（St. 1～41, St. 4欠番）のうち、岩礁域のために底質採取のできなかった3点（St. 39～41）を除く37点から試料を得た。1993年には、沿岸部の12点（St. 42～53）および1992年の調査結果から底質組成の変化

1995年4月12日受理

\* 東北大学農学部附属水産実験所 Marine Fisheries Laboratory, Faculty of Agriculture, Tohoku University, 15, Konorihama, Onagawa, Miyagi, 986-22, Japan.

\*\* 福島県水産事務所 Fukushima Prefecture Fishery Office, 15, Umemoto, Taira, Iwaki, Fukushima, 973, Japan.

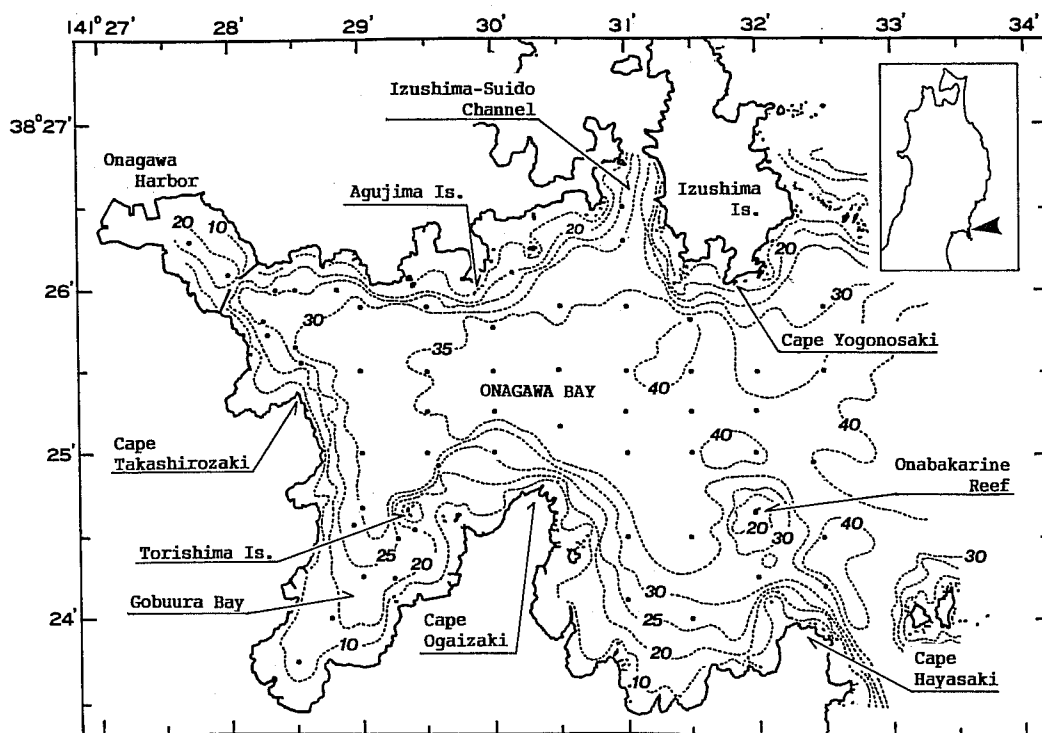


Fig. 1. Map of Onagawa Bay. Numerals denote depths in meter.

の傾度の大きいことが窺われた湾中央部の5点 (St. 54~58) で試料を採取した。粒度分析に用いた試料の総数は54である。また、岩礁域の分布の詳細を把握するために、底質採取とは別に魚群探知機による海底地形の調査を1993, 94年に行なった。

底質採取にはSM採泥器 (1/20m<sup>2</sup>) を用いた。採泥器のバケット中の底土にアクリル製パイプ (内径36 mm) を垂直に差し込んで、表面から5 cmの柱状のサブサンプルを2本採取し、これを十分に混合して粒度分析用試料とした。

底質の粒度分析は、砂質部分については篩分け法、泥質部分はピペット法 (鎌田, 1981) で行なった。粒径区分はWentworthの区分に従い、粒子のサイズは $\phi(\phi)$ -単位で表した。堆積物の粒子の直径をdmmとすると $\phi = -\log_2 d$ となり、粒径dが小さいほど $\phi$ 値は大きくなる。

粒度分析の結果に基づいて、中央粒径 $Md_\phi$ 、平均粒径 $M_\phi$ 、淘汰係数 $\sigma_\phi$ 、歪度 $\alpha_\phi$ を以下の式 (Inman, 1952) によって求めた。式中の $\phi_i$ は累積粒径頻度曲線のi%にあたる $\phi$ の値である。

$$\begin{aligned} Md_\phi &= \phi_{50} \\ M_\phi &= (\phi_{16} + \phi_{84})/2 \\ \sigma_\phi &= (\phi_{84} - \phi_{16})/2 \\ \alpha_\phi &= (M_\phi - \phi_{50})/\sigma_\phi \end{aligned}$$

また、含泥率はシルト ( $4 < \phi \leq 8$ ) および粘土 ( $\phi > 8$ ) を合わせたものの重量百分率とした。

### 3. 結果

#### (1) 海底地形

女川湾は三陸リアス海岸の南端にあたる牡鹿半島の北側の付け根に位置する。湾は出島 (いずしま) 南端と早崎を結ぶ線を湾口として東方に大きく開き、最奥部の女川港まで約8 km湾入している。南北方向の幅は湾口部で約3.9 km、湾中央部の赤根 (あぐじま) - 大貝崎 (おおがいがき) 間で約2.5 kmで、面積は約30 km<sup>2</sup>である。

海岸線は典型的なリアス海岸の性格を示し、鋸歯状の出入りに富んだ岩石海岸である。湾の北岸の海岸線では比較的小さな湾入が連続している。入江の奥部に礫浜もいくつか点在するが、いずれも規模は小さく、

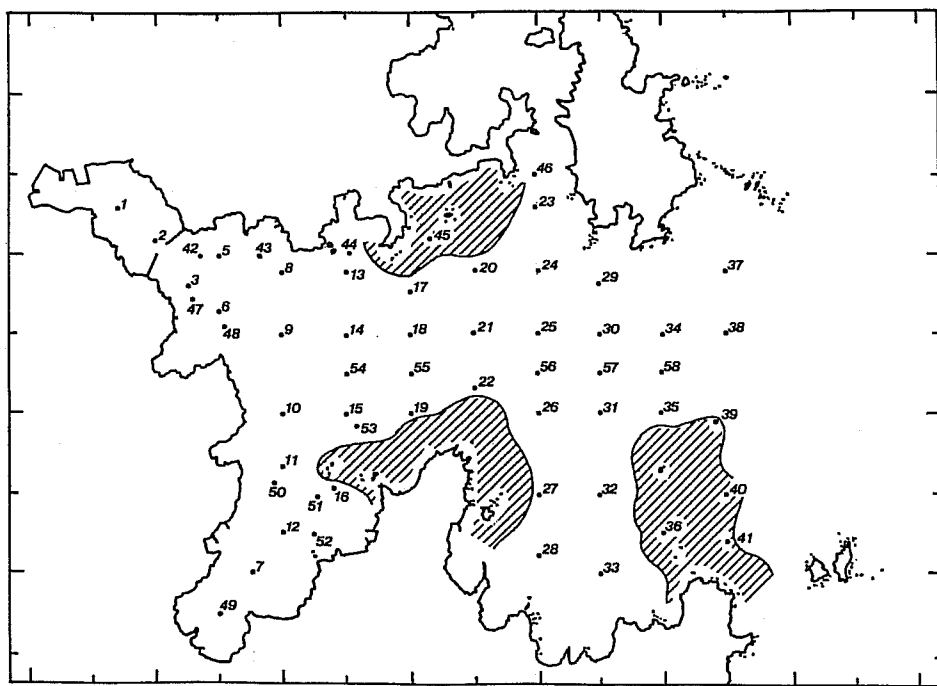


Fig. 2. Location of sediment sampling stations (solid circle). Numerals denote station numbers. Shaded areas indicate areas of hard substratum bottom with small reefs.

海岸線のほとんどは海食崖で占められる。

湾口部北側に位置する出島は、狭い水道（出島水道）によって陸岸から隔てられている。出島水道は最狭部の幅が約300mで、中央部の水深は約30mである。出島の南東岸から岩礁域が沖合に向かって延びている。

湾の南側中央部には大貝崎が張り出しており、その西側に南西方向に約3km湾入する支湾（五部浦；ごぶうら）を形成している。また大貝崎から、その東の早崎に至る海岸線も大きく湾入している。南岸の海岸線も北岸と同様にほとんどが海食崖を主体とする岩石海岸であるが、五部浦湾奥および大貝崎-早崎間の湾入部には小規模ながら砂浜が点在する。

湾奥の女川港は港口防波堤によって仕切られている。防波堤の開口部の幅は約150mで、礁があるために周辺の海底面よりも約10m高く、水深は約15mである。

北岸の海岸線付近は急傾斜で深度を増し、距岸300~500mで水深30~35mに達する。その南には湾中央部から湾口部にかけて水深35~40mの平坦面が広がっている。南岸側も島岬周辺では北岸側と同様に、海岸線付近は急崖であるが、五部浦および大貝崎-早崎の湾入部では海底面は比較的緩やかな傾斜で湾中央部の平坦

域へと続いている。

海岸線に沿った水深30m以浅の急傾斜面は基本的に全て岩礁域である。特に北岸の赤根から出島水道にかけての水域、南岸の大貝崎周辺および早崎から大名計根（おおなばかりね）にかけての水域には、比較的広い岩礁域が存在する（Fig. 2: 斜線部）。これらの水域では、周囲の海底面からの高さが数m~10m程度の岩礁が連続し、その間に砂または砂泥が堆積している。湾口部の大名計根の北側と出島の南側には海釜状の凹状地がある。

梅雨季や多量の降雨の後などに、本湾の北方約16kmにある北上川（追波川）の河川水が沿岸流の表層水となって湾内に流入することがあるが、湾内に直接河口を持つ大きな河川はない。

## (2) 粒径分布

Fig. 3, 4, 5はそれぞれ中央粒径  $Md_{50}$ 、含泥率、淘汰度  $\sigma_{50}$  の等値線図、Fig. 6は水域別の代表的な底質の調査点の粒径組成図である。岩礁域のために底質採取のできなかった3点を除く湾内54点での中央粒径の範囲は $-0.36\phi$  (St. 27) から $6.78\phi$  (St. 50) で、変異の幅はかなり広い (Fig. 3)。含泥率の分布は中央粒径の

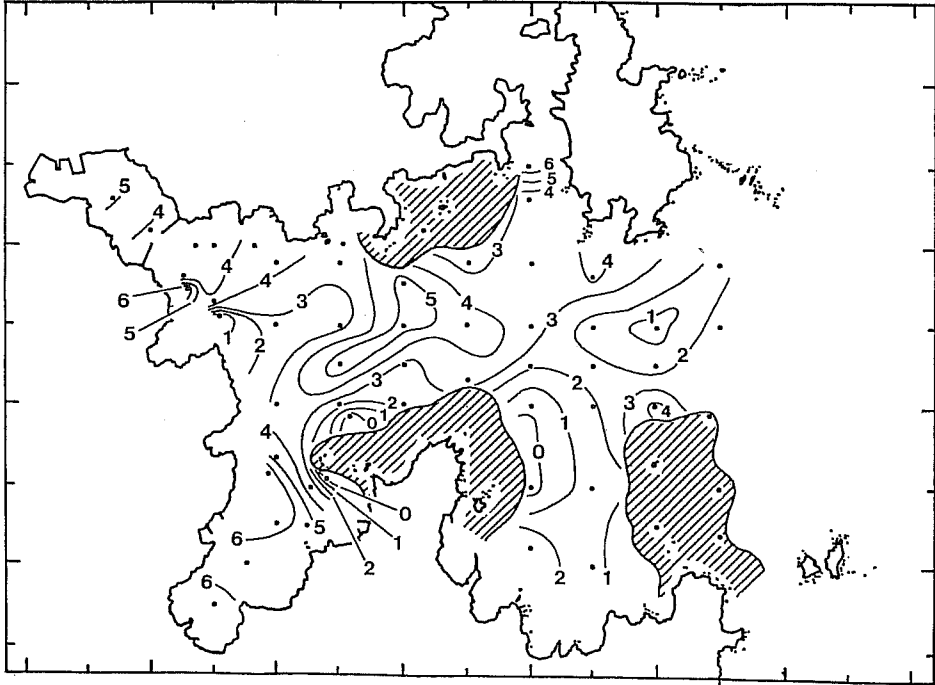


Fig. 3. Spatial distribution of median diameter  $Md_{\phi}$  of sediments in phi ( $\phi$ )-unit.

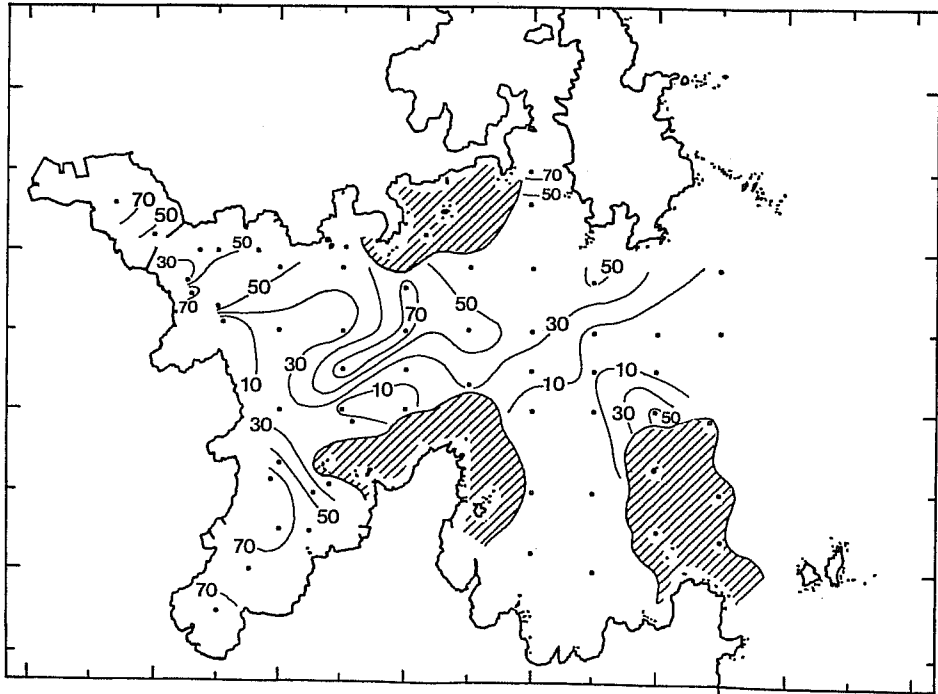


Fig. 4. Spatial distribution of mud content (%) in sediments.

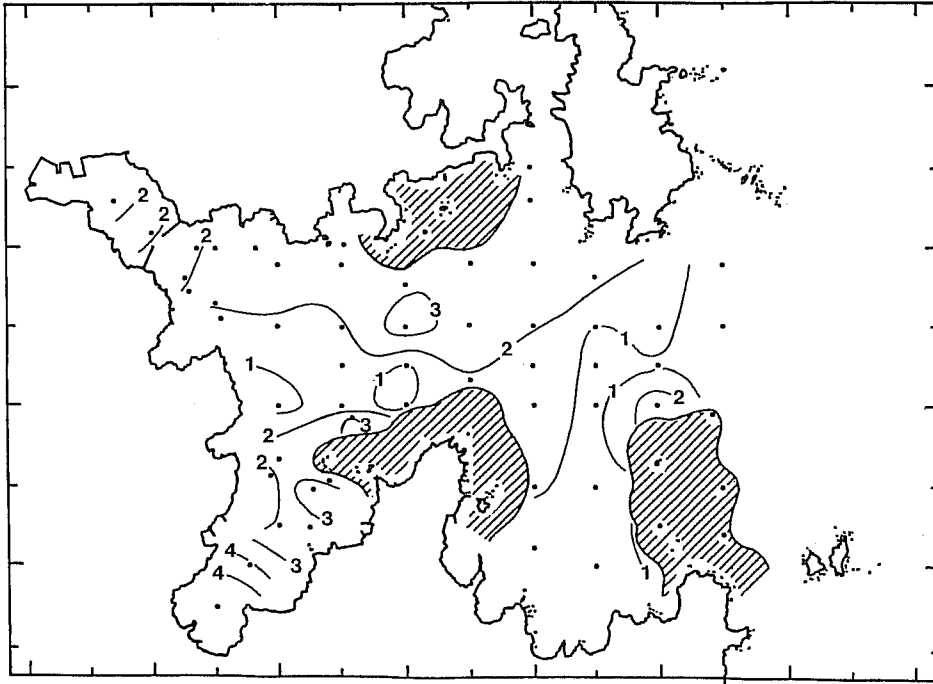


Fig. 5. Spatial distribution of sorting coefficient  $\sigma_s$  of sediments.

それとほぼ同じパターンを示す (Fig. 4)。中央粒径  $Md_\phi = 4\phi$  の等値線は含泥率50%の等値線と重なり、また含泥率30%は  $Md_\phi = 3\phi$  にほぼ対応する。

中央粒径が  $4\phi$  以上の泥質域は、女川港、湾奥部、五部浦、湾中央部のやや北岸寄りの水域に分布している。出島の南と、早崎から北へ延びる岩礁域の先端部および出島水道にも小規模な泥質域が見られる。含泥率が最も高いのは女川港内 (St. 1) の88.1%である。また五部浦の中央部でも含泥率が80%を越えているほか、湾中央部の泥質域や出島水道でも70%以上の高い値を示している。

湾中央部泥質域の底質の粒径組成は、粗・中シルト ( $4 < \phi \leq 6$ ) にモードを持つ。これに細砂と微細砂 ( $2 < \phi \leq 4$ ) が23~35%混在し、中心部ではさらに細粒の粘土 ( $\phi > 8$ ) が23~27%混じる (Fig. 6: St. 18)。 $\sigma_s = 2.0 \sim 3.6$ と淘汰は良くないが、中砂よりも粗粒 ( $\phi \leq 2$ ) の堆積物の割合は小さい。

五部浦の泥質域の底質は、湾中央部と同様に淘汰が悪い ( $\sigma_s = 2.0 \sim 4.1$ )。組成の主体は湾中央部よりもさらに細粒の細シルト ( $6 < \phi \leq 8$ ) であるが、礫 ( $\phi \leq -1$ ) から粘土までを含む混合底質で粒径分布の幅が広い。水域によって組成比は異なるが、ほとんどが

2~3峰型の粒径分布を示す (Fig. 6: St. 7)。粗粒堆積物 ( $\phi \leq 2$ ) の大部分はカキ殻、フジツボなどの石灰質の生物遺骸の細片である。

湾最奥部の女川港内の底質は、粗・中シルト ( $4 < \phi \leq 6$ ) が88%を占める (Fig. 6: St. 1)。これ以外の粒径の堆積物の構成割合が小さいため、見掛け上は淘汰が良い ( $\sigma_s = 1.1$ ) ことで、湾中央部および五部浦の泥質域の底質と性質が異なる。

出島の南と大名計根北側の岩礁域の先端付近には含泥率が50%を越える泥質の底質が分布する。中央粒径はそれぞれ  $4.0\phi$ 、 $4.2\phi$  であるが、泥質と細砂にモードを持つ砂質の混在型の粒径組成を示す (Fig. 6: St. 35)。この泥質域は海釜状の凹状地に重なる。

湾奥部および出島水道南側の湾北東部に広がる、中央粒径が  $3 \sim 4\phi$ 、含泥率が30~50%の底質は、細砂または微細砂をモードとする砂質に粗・中シルトと粘土が大きな割合で混在する組成で、相互によく似ている (Fig. 6: St. 8, 24)。この組成パターンは湾中央部泥質域のそれと共通している。

中央粒径が比較的粗粒 ( $Md_\phi \leq 3\phi$ ) の砂質域は、出島の四子ノ崎 (よごのさき) と大貝崎を結ぶ線よりも南東側 (沖側) の湾口部と、大貝崎の西側に延びる

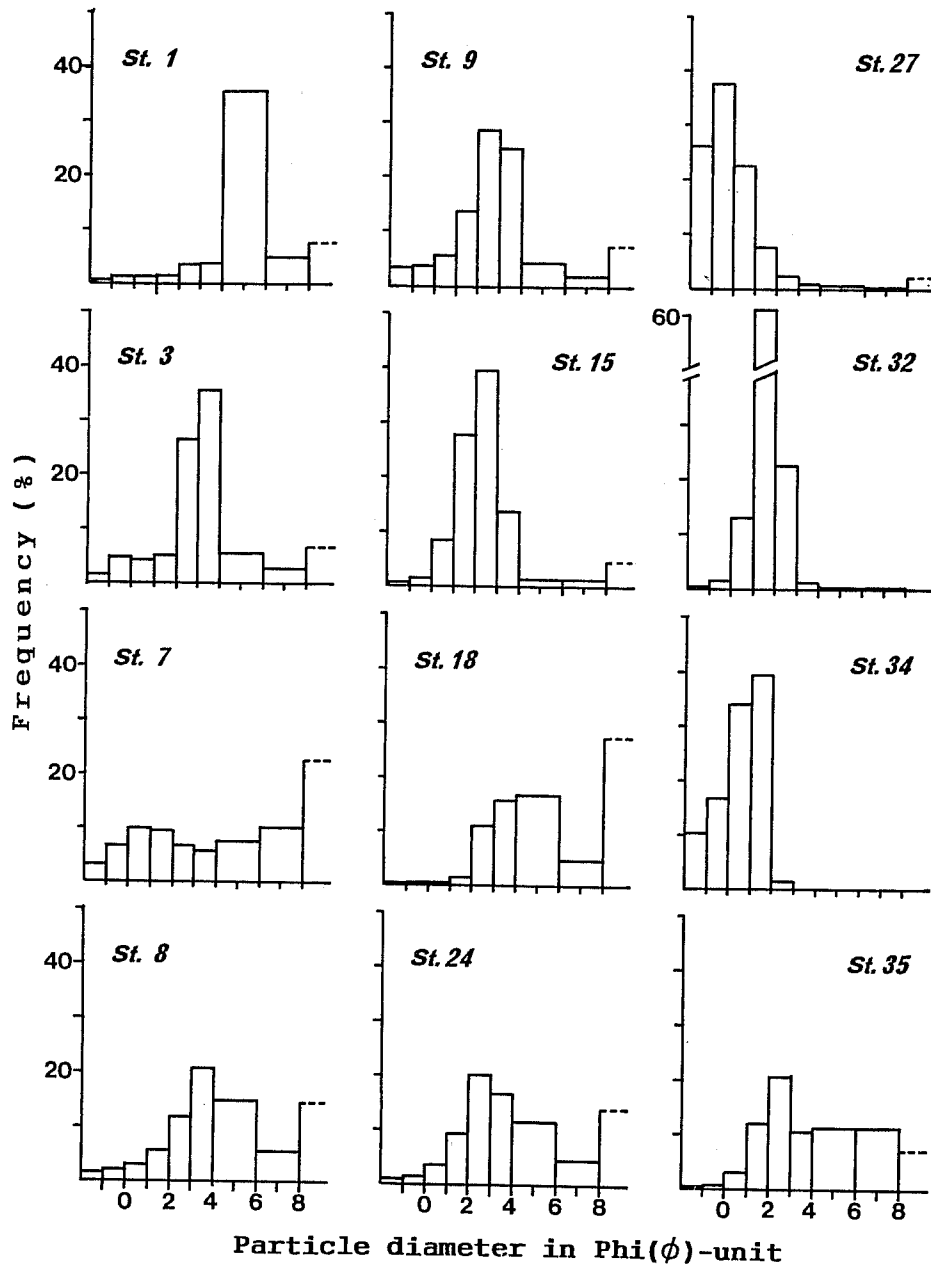


Fig. 6. Frequency distributions of the particle diameter of sediments at representative stations.

岩礁域の北側に分布する。湾中央泥質域の西側水域では、高白崎付近から北東方向の赤根に向かって粗粒の砂質域が舌状に延びている。また、湾奥の港口防波堤周辺にも砂質域が分布する。

湾口部では大貝崎-四子ノ崎線付近で湾中央から湾口に向って含泥率が急激に低下し、これより沖側では泥

質をほとんど含まない底質（含泥率3%以下）が広い範囲を占める。湾口部砂質域の底質は主に中砂、細砂からなり、中央粒径は1~3φである (Fig. 6: St. 32)。淘汰は湾内で最も良好で ( $\sigma_s = 0.53 \sim 1.12$ )、歪度は0に近い ( $\alpha = -0.22 \sim 0.21$ )。

大貝崎の東側の岩盤露出域に近い St. 26, 27 や早崎

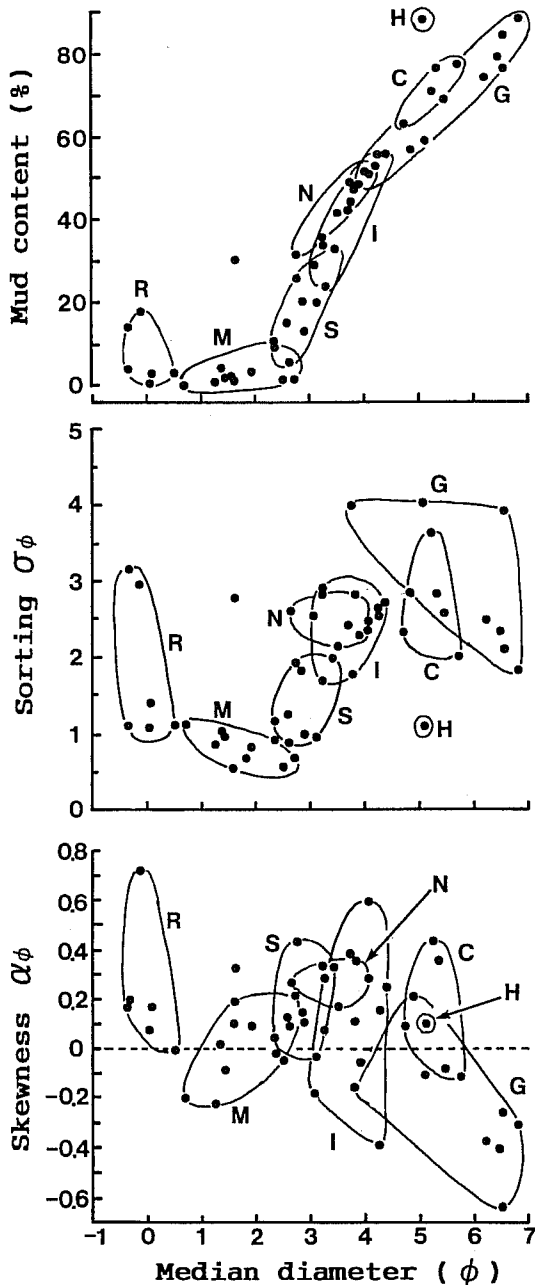


Fig. 7. Scatter plots of mud content (top), sorting coefficient (middle), and skewness (bottom) against median diameter. Alphabets denote subareas.

C: muddy bottom in the central part, G: Gobuura bay, H: Onagawa harbor, I: the inner part, M: the mouth part, N: the northeastern part, R: rocky bottoms, S: southern side of the central part.

北側の岩礁域 (St. 36) などでは、粗砂から細礫 ( $-1 < \phi \leq 1$ ) の粗粒堆積物が主体となるが、その大部分は石灰質の生物遺骸由来のものである (Fig. 6: St. 27)。四子ノ崎の南の比較的傾斜の大きな張り出し部でも粗粒堆積物の比率が高いが、ここでは生物起源の石灰質の粒子とともに鉱物質の粒子が多く含まれる (Fig. 6: St. 34)。これらの調査点を含め、湾口部砂質域の底質は含泥率が著しく低いことで特徴づけられる。

湾中央南部の大貝崎から高白崎にかけての水域および高白崎の北東側の砂質域では、湾口部砂質域に比べて、シルトと岩礁性生物起源の石灰質の粗粒堆積物の比率が高いために淘汰度はやや悪いが、底質組成の主体は湾口部砂質域と同様に細砂を中心とした砂質である (Fig. 6: St. 9, 15)。

### (3) 底質特性値相互の関係

Fig. 7 は、それぞれ中央粒径  $Md_\phi$  に対する含泥率、淘汰度  $\sigma_\phi$ 、歪度  $\alpha_\phi$  の関係である。

$Md_\phi < 2.5 \phi$  の範囲には、岩礁域周辺 (Fig. 7: R) および湾口部砂質域 (M) が対応する。この範囲では  $Md_\phi$  に関係なく含泥率は5%以下である。 $\alpha_\phi$  は0を中心に散らばっているが、粗粒堆積物の混じる岩礁域周辺部では淘汰が悪く、 $Md_\phi$  が2φ付近で  $\sigma_\phi$  は最小になる。

$Md_\phi$  が2~4.5φの範囲には、湾中央南部 (S)、湾北東部の出島水道南側水域 (N)、湾奥部 (I) が含まれる。この範囲では、含泥率の上昇につれて  $\sigma_\phi$  が大きく (淘汰が悪く) なる。また、細粒成分が増加するために  $\alpha_\phi$  は+側に偏る。湾北東部と湾奥部は水域的に離れているが、底質特性値および粒径組成は極めて良く似ている。また含泥率は相対的に低いが、 $\sigma_\phi$ 、 $\alpha_\phi$  は湾中央泥質域 (C) のそれらとほぼ同じレベルにある。これら4水域の底質特性値は連続的な変化系列を形成している。湾北東部および湾奥部の底質は異なる堆積条件の重複した中間相ではなく、特性値の連続的な変化は同じ性質の堆積環境における傾斜である。

五部浦 (G) の底質特性値はいずれも変異の幅が大きい。泥質に粗粒堆積物が混在する組成を反映して  $\alpha_\phi$  は一側に大きく偏っており、主湾の底質とは性格を異にする。また、女川港 (H) の底質特性値は湾内のいずれの水域のものとも明らかに異質である。

## 4. 考察

底質は海水の流動や地形的条件を強く反映する。追波湾は、女川湾と同じく三陸リアス海岸南部に位置す

る半開放型の湾であるが、湾奥部に河口を開く北上川(追波川)によって供給される土砂の影響で、泥質が80~90%以上の軟泥域が河口部を除く湾域の大部分を占める(石川・小山, 1985)。湾入度の大きい気仙沼湾では、砂質域は外海に面した湾口部だけに分布し、湾中央から湾奥部のほとんどは泥質に被われている(太田ら, 1989)。

これに対して、女川湾では性状の異なる底質が比較的狭い範囲で隣接して分布しており、堆積条件が複雑であることを示している。底表堆積物の組成からみて、水域別の堆積条件は次のように考えられる。

湾内の底質の分布パターンの最も特徴的な点は、大貝崎-四子ノ崎線付近での含泥率の急激な変化である。佐藤・玉木(1959)は、中央粒径3.5~4.0φの間に泥と砂の境界があり、その前後で堆積物が運搬される条件、すなわち海水の運動状態が異なると述べている。女川湾の場合、底質は大貝崎-四子ノ崎線付近を境界域として、沖側の砂質域と内湾側の砂泥質および泥質域に大きく区分されるが、これは堆積条件に関わる海水の流動環境の違いを反映している。

湾口部砂質域の底質がほとんど泥質を含まず、さらに淘汰が極めて良好であることは、この水域が流速が比較的大きく、斉一性の高い沿岸流の直接的な影響下にあることを示している。この境界域では、含泥率の等値線は北東-南西に延びているが、これが平均的な底層流の方向を表しているものと考えられる。

四子ノ崎の南の粗粒域では、露岩による凹凸の少ない比較的平坦な基盤岩の上に粗粒堆積物が堆積している。地形的には出島と南岸側の岩礁域に挟まれた狭窄部であるために、湾口部でも最も流速の速い水域とみられる。大名計根北側の小規模な泥質域は、この速い沿岸流が岩礁域にぶつかって局地的な渦流域を生じ、海釜状の凹状地に細粒堆積物が沈積したものであろう。

五部浦および最奥部の女川港を除く、湾奥部、湾中央部および湾北東部では、含泥率の違いはみられるが底質の基本的性格は同じである。含泥率の違いは底層での流動の強さに対応している。

これらの水域では北側に泥質域が偏在する。南側の大貝崎から高白崎にかけてと、高白崎から北東に延びる砂質域では、湾口部砂質域に比べると泥質の混入度は高いものの淘汰は良好で、相対的に速い流れのあることが判る。これは、湾内に向う沿岸流の分枝や沖合からの波浪、うねりが南寄りのコースで進入し、高白崎にぶつかった後、主流は北東に反転することを示し

ている。

湾中央部泥質域は、湾口部砂質域に連なる平坦底に形成されている。湾口部の流れから相対的に独立した滞水性の水塊を形成するような地形的条件はないこと、また組成的にはその周辺域と同じように砂質にシルトと粘土が多量に付加されたものであることから、湾中央部に泥質を集積する環流が存在するとみて間違いない。

湾奥部と湾北東部は、堆積環境としては湾中央部泥質域を形成する環流の影響下にあり、湾中央部泥質域の外縁部としての性格が強い。湾奥部では、港口防波堤周辺に含泥率の低い砂泥底が形成される(Fig. 6: St. 3)。これは波浪、うねりが防波堤にぶつかって生じる乱流の擾乱作用によって泥質の堆積が妨げられることによるもので、定常的な流れの掃流作用によるものではない。また出島水道中央部での泥質堆積は、この水道を通る強い流れの無いことを示している。

女川港および五部浦の大きな泥質域は、その粒度組成からみて、湾中央部泥質域とはそれぞれ性質の異なる堆積条件によって形成されたものである。

湾最奥部の最も細粒の泥質堆積物は、海況的に閉塞された湾奥固有水塊においてはじめて形成される(鎌田ら, 1972)。女川港は典型的な閉塞性水域で、特に底層では流動が極めて微弱であること、さらに防波堤開口部の岩礁が障壁となって堆積物の港外への移送、拡散が妨げられることなどのために泥質が厚く堆積しているものとみられる。

五部浦は支湾口の東側が岩礁によって不完全ながら仕切られているために、主湾からの海水の流入は高白崎へぶつかった潮流や波浪の一部が南流となって西側から進入するものが主である。しかし流速は急速に減衰するものと思われ、支湾の西部に多量の泥質の沈積を生じている。

五部浦の大部分を占める泥質底は、粗粒堆積物の含有率が高いが、粗粒成分のほとんどはカキ殻細片などの生物起源のものである。これは、古くから行なわれてきた垂下養殖施設からの脱落に由来するもので、この粗粒堆積物の存在は強い流れの存在を示すものではない。泥質域の形成は半閉塞的な地形要因による海水の停滞性に起因するものであるが、粒度組成に水域内で大きな違いのあることは、地形的な要因に加えて、多数の養殖施設の設置がこの水域の堆積条件を複雑に入り組んだものにしてしていることを窺わせる。

女川湾の海洋観測資料(未発表データ)からみると、閉塞度の高い港内を除けば、湾内に固有の相対的に独



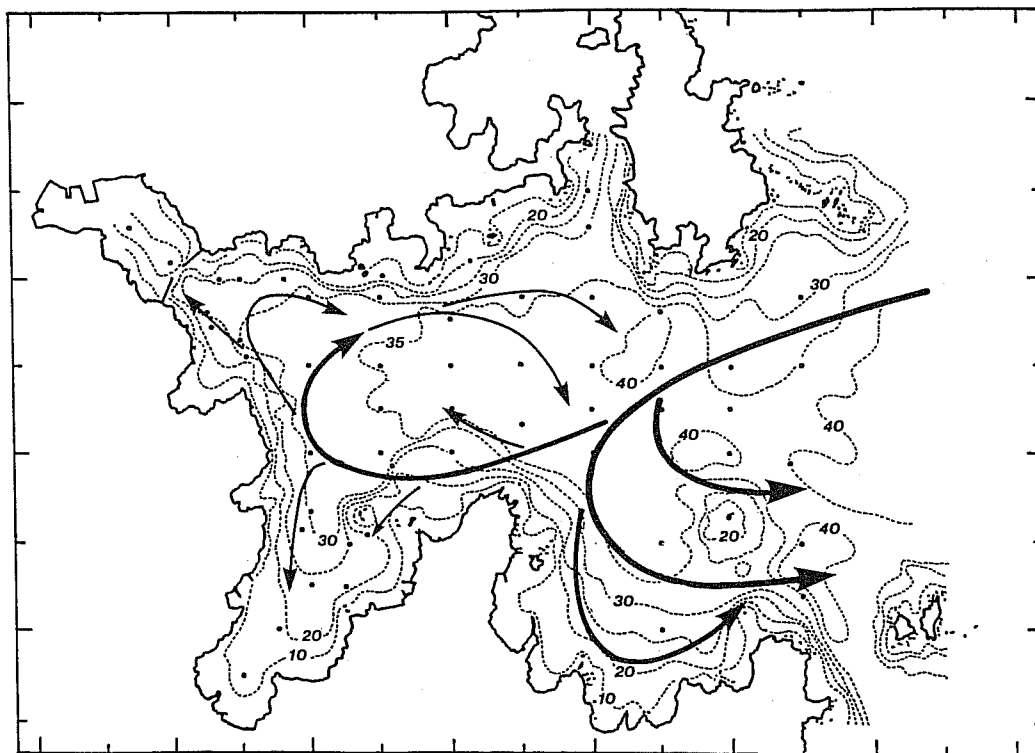


Fig. 8. Diagrammatic illustration of residual bottom currents in Onagawa Bay.

立した水塊の形成は認められない。すなわち底質特性の違いをもたらす水域別の堆積条件の違いは、基本的には全体として、沿岸流の流入によって起こされる底層流の流動パターンと、その水域別の強弱に規定されていると考えられる。底質の分布状態からみて、湾内の堆積環境を支配する経常的な底層流の概略は次のように推定される。(Fig. 8)

湾口沖合の沿岸流は基本的には南流である(川村・門馬, 1970)。沿岸流は湾口の北岸寄りの出島側から南西に向って湾内に流入する。主流は大貝崎の東側を反時計方向に回って湾外に向う。大貝崎で生じた分派流は、大貝崎から西へ延びる岩礁域に沿って主湾の南部を西に流れる。高白崎にぶつかった後、一部は南下して五部浦へ流入するが、本体は北東へ反転して湾中央部に環流を形成する。高白崎よりさらに湾奥へ向う経常的な流れは小さく、特に防波堤で区切られた港内の海水交換は著しく悪い。湾口部と湾北東部の底質特性の間の明らかな不連続性は、堆積条件に影響するような、沿岸流から北西に向う分派流が無いことを示している。

本報をまとめるにあたり御助言と原稿の御校閲を賜った東北大学農学部 大森迪夫博士にお礼申し上げます。

#### 文 献

- INMAN, D.L. (1952) Measures for describing the size distribution of sediments. *J. Sed. Petrol.*, **22**, 125-145.
- 石川公敏・小山利郎 (1985) 追波湾の海域特性(II) 追波湾のマクロベントス群集. *公害資源研報*, **14**, 45-58.
- 鎌田泰彦・堀口承明・井上昌幸・渡辺博光 (1972) 長崎千々石湾の底質—とくに泥質堆積物の分布について—. *長崎大学教育学部自然科学研報*, **24**, 61-79.
- 鎌田泰彦 (1981) 日本沿岸浅海域の堆積物 II 底質試料の採取と粒度分析. *海洋と生物*, **3**, 42-49.
- 川村 亨・門馬善彦 (1984) 浅海定線調査結果からみた宮城県北部沿岸の平均的海況. *宮城県気仙沼水試研報*, **7**, 80-99.
- 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. *宮城県気仙沼水試研報*, **8**, 69-81.
- 佐藤任弘・玉木 操 (1959) 能代沖の底質 (I). *水路要報*, **60**, 32-44.