

仙台市蒲生干潟水域における塩素と懸濁物質の分布

熊 坂 繁 太 郎

1 はじめに

一般に干潟は、河川から運ばれた有機物が海水と接触し凝集作用を起し沈降する場所であり、その分解作用による富栄養化機構の極めて活発な場所でもある。従って、このような干潟は、底生動物が豊富で渡り鳥の渡来地として知られていることが多い。宮城県仙台市蒲生干潟は、新浜海岸・木曽川河口・大阪湾および有明海などと並んで、日本で有数のシギ・チドリ類の渡来地として知られている¹⁾。七北田川は、この環境を形成している主要因と考えられ、すでにこの感潮域の水質から見た特徴などについていくつか論じられている。

すなわち、七北田川河口域には、海水が塩水楔型で遡上し、河川水層と海水層とが極めて鋭く二層を形成している²⁾。また、河川流量の多少が、各地点における塩分（以下 Cl^- と記す）の垂直分布状態を規定し、干満周期によるパターンの変化は、比較的少ないことが明かにされている³⁾⁴⁾。

また、本河口域の無機栄養塩の濃度は、一般に海水層より河川水層の方が高いが、河口域での水の滞留時間の長短、従って河川流量の多少によって影響されている³⁾。滞留時間が長い場合、河川水層では主に植物プランクトンによる栄養塩類の取り込みが活発になり、海水層では懸濁物（以下 PM と記す）の嫌氣的分解が盛んになり、 $NH_4^{+}-N$ および $PO_4^{3-}-P$ の濃度が増大する。このように、河川流量の少ない場合には海水の遡上が多く、また、河口域水の滞留時間が長くなるため、河川水層や二層の境界附近での生物生産と主に海水層での分解機構が、活発に維持されているが、水深のある底層での強腐水化が進行している³⁾ 様子も明らかになっている。

また、蒲生干潟については、栗原等¹⁾ によって、植物相・底生動物および鳥類などの調査研究が詳細になされている。

本研究では、このような河口域の水を取りこんでいる蒲生干潟の水質の特徴を、水中の塩素量 (Cl^-) と懸濁物質量 (PM) との分布状態から考察し、本水域における富栄養化機構の一端を定性的に把握することを目的とした。

2 調査の方法

2-1 調査地点の概要

蒲生干潟は、七北田川河口の北側に隣接している約 38 ha の比較的小規模な干潟であり、シギ・チドリ類の渡来地として知られている。また、仙台湾に注ぐ七北田川は、中流域に泉市があり、さらに仙台市の北縁を流下している二級の都市河川である。河口の南側に隣接している場所には、仙台市の人口の58%にあたる約40万人分を処理する仙台市南蒲生下水処理場があり、現在では 289,600m³/日処理能力を有しており⁶⁾、二次処理までしたのち、海洋に放流している。干潟の北側に隣接している場所には、仙台港と臨海工業地帯が建設されている。

以上のように干潟をとりまく蒲生海岸域は、都市化の影響を有する河川の終着地で、生活雑廃水の集積場所になっており、また、下水処理所からは栄養塩の豊富な処理水が放流されており、さらに、港湾や工業地帯からの廃水の放流や養魚場からの排水などにより、人為汚染の極めて進んだ海岸域である。

観測および採水点は、干潟の入口から奥部にかけて St. 1, St. 2, St. 3, St. 4, St. 5, St. 6, および St. 7, とし、養魚場を St. F, および河口のすぐ北側の海岸に St. S (Fig. 1) さらに七北田川河口から約 6km 上流に St. R をそれぞれ

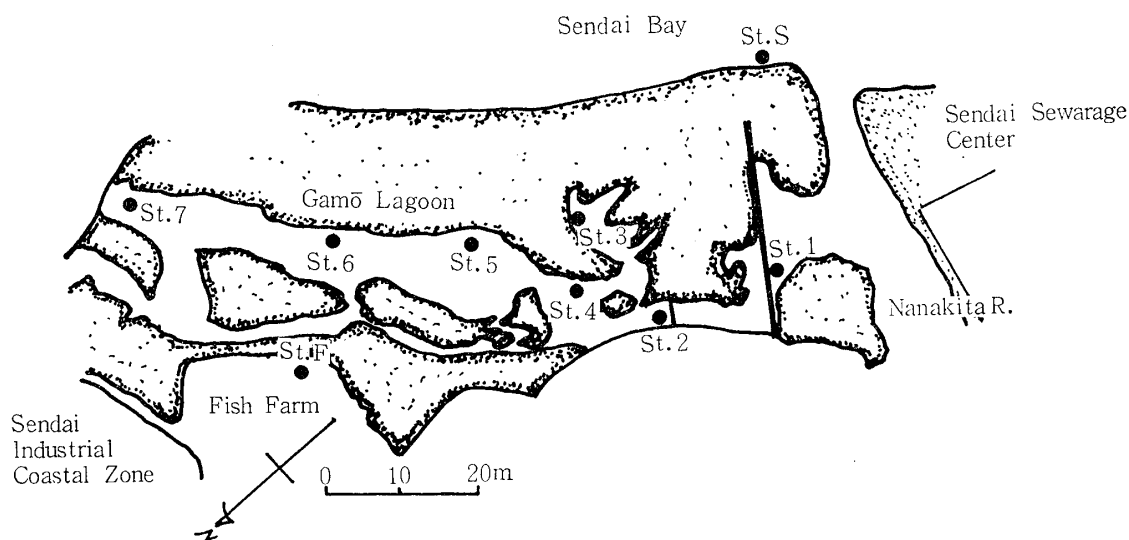


Fig.1 Location of survey stations at Gamō lagoon.

設定した。

2—2 採水方法

採水は、1978年7月3日から同年7月18日および8月3日に行い、7月17日には、4:00から16:00まで3時間おきに採水した。なお、本論文では7月17日4:00から16:00までの経時変化についてのみ報告する。

観測地点での採水は、ポリバケツで行いサンプル処理は実験室に持ち帰っておこなった。

2—3 分析方法

2—3—1 懸濁物質の定量

本論文において、懸濁物質とは、乾重量を意味し、単位は mg/ℓ で表わされている。

まず、Whatman, GF/C, 45mm のグラスファイバーフィルターを用意し、電気炉中 $450 \pm 10^\circ\text{C}$ で3時間灼熱する。これをデシケータ中に12時間放置し、1枚ずつ秤量する。このフィルターを用いて採水した試水を汙過した。試水の汉過量は、観測地点によって異なり、200mlから1ℓまでの間で行われた。このフィルターを、定温乾燥器中 $70 \pm 5^\circ\text{C}$ で48時間乾燥し、12時間デシケータ中に放置したのち秤量した。これによって、試水1ℓ中の乾重量(mg)を算出した。さらに、これを電気炉中 $450 \pm 10^\circ\text{C}$ で3時間灼熱し、デシケータに12時間放置後秤量し灼熱減量を求めた。なお灼熱減量とは、減量値

を乾重量値で割り100倍した値を用い、単位は%である。

2—3—2 塩素の分析

塩素の定量はモールの滴定法⁷⁾によった。

3 結果と考察

3—1 干潟水域における観測点の位置と塩素量の変化

Fig.2 は、干潟水域 St.1 から St.7、河口に接近した海水域 St. S、河口から七北田川上流約 6km の St. R および干潟に隣接した養魚場 St. F における Cl^- と PM 量の3時間ごとの変化の様子を示している。 Cl^- 量の変化の状態を見ると、St.1では干潮から満潮へかけてその変化が著しく、海水の遡上によって河川水が短時間のうちに上流に押し上げられていくであろう様子が、これから推測できる。干潮と満潮での Cl^- 量の差は、7.96%となる。この地点附近の水域では、海水の干満による Cl^- 量の変動が、地形的に最も敏感に影響を受けるようである。St.2からSt.7までを含む水域では、St.1とヒューム管で接続されており、海水の干満周期の影響は、各地点により異なっているようである。ヒューム管のすぐ内側に位置しているSt.2における Cl^- 量の経時変化の様子は、極めて典型的な干満周期の波形を示しており、観測時間

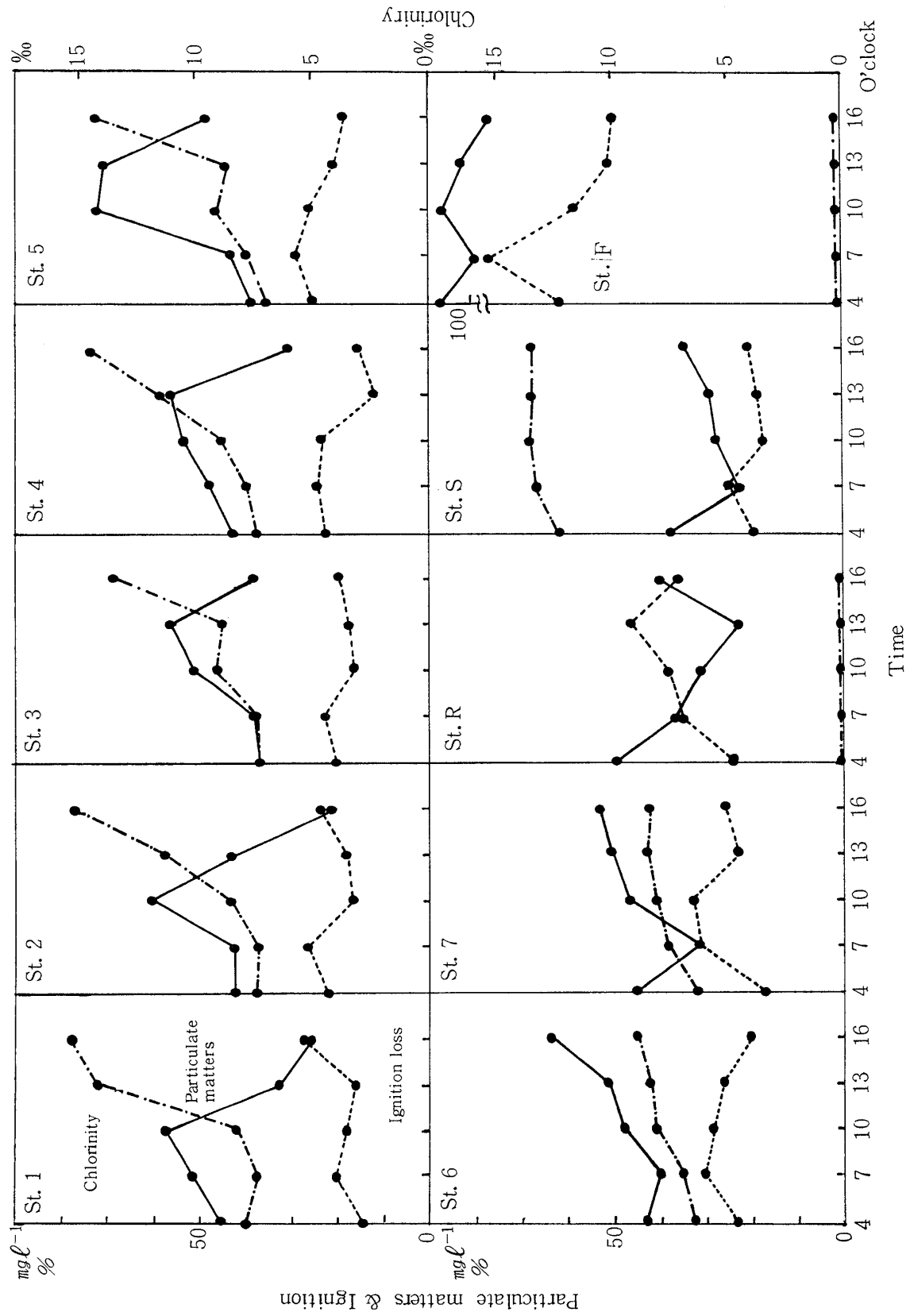


Fig. 2 Changes of the chlorinity concentration, particulate matters and ignition loss at each station.

中の Cl^- 量の差は、7.95% で St.1 とほぼ等しかった。St.3 の位置はヒューム管や St.2 に近いが、入り組んだ閉鎖的な位置にあり、干満による Cl^- 量の影響が速かに応答しにくく、 Cl^- 量の差は、6.12% であった。St.4 および St.5 は、 Cl^- 量の経時変化の様子から、St.2 について干満による影響が強く、 Cl^- の差はそれぞれ、7.34% および 7.48% であった。さらに、St.6 と St.7 においては、海水の干満周期による Cl^- 量の経時変化が極めて少なく、それぞれの Cl^- 量の最大濃度と最小濃度の差が、2.43% および 2.07% であった。以上の結果とそれぞれの地点での Cl^- 量の最大濃度とを Fig.3 に示す。

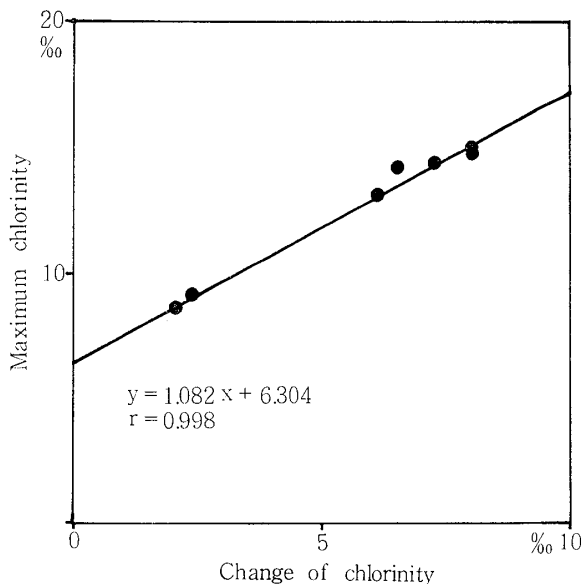


Fig.3 The relationship between the change of chlorinity concentration and the maximum concentration of chlorinity in period of 12 hours at each station. Showed the regression equations and the coefficients of correlation.

3—2 底質および底生動物の分布から見た干潟水域

水質の状態は、その地点における底質の特性および底生動物の分布にも影響を与えるはずである。この点について栗原等¹⁾は、詳細な研究を行っているが、それによれば、干潟の奥部に移るほど底土の粒径が小さくなり、シルト・クレイ（粒径 0.063mm 以下）の占める割合が多

くなる。また、全炭素量も同様な傾向で増加し、酸化還元電位 Eh は、低下する傾向が認められた。これに伴って、ヒューム管の前後すなわち、干潟の入口附近の底生動物は、貝のような軟体動物が優占種になっているが、干潟の中部では、ゴカイ類など多毛類が優占種になり、また、奥部にかけて多毛類の他に双翅目の幼虫などが認められている。

このように底質の特性や底生動物の分布状態が、干潟各域で明確になっていることと、本調査での Cl^- 分布の結果とが関連を示しているといっていよう。

3—3 塩素量の変動による干潟水の交換状態

Cl^- 量の経時変化が大きく、その地点での最大塩素量が多い程海水および河川水の影響を強く示すことになるから、このことは同時にその地点での経時的な水の交換量が多いことを示していることにもなる。このような観点から干潟内の各地点を分類すると、極めて水の交換量の多い地点として、St.1・St.2 これに近い地点として St.4・St.5 および St.3、さらに極めて水の交換量の少ない地点として St.6・St.7 と三つのグループに分けられる。

Fig.3 は、Fig.2 から求めた各地点での Cl^- の変化量と Cl^- の最大量との関係を示すものであり、二グループないし三グループに分けることができ、全体の相関も極めて高いことを示している。このように、水の交換の難易度は塩素量の変化の状態から推測され得ると考えられる。ただし、この Fig.3 にない条件で Cl^- の変化量が少なく Cl^- の最大量が極めて多い場合は、海水域（各地点での塩素の変化量 $\Delta\text{Cl}^- = 3.31\%$ 、各地点での塩素の最大濃度 $\text{Cl}^-_{\text{Max}} = 15.48\%$ ）を意味し、また、 Cl^- の変化量が少なく Cl^- の最大量が極めて少ない場合は、河川水域（ $\Delta\text{Cl}^- = 0.01\%$ 、 $\text{Cl}^-_{\text{Max}} = 0.08\%$ ）を意味することになる。

3—4 懸濁物質の分布

河川の流量が多い場合、干潮時でも河川水が干潟に流入することがあるとしても、通常干潮

時には、干潟から海に水が流出している。満潮になり始めると、河川水が河口から海への流出を阻止され、これが干潟に流入し、さらに遡上して来た海水も同様に流入する。満潮時の干潟の Cl^- 量は、St. 6・St. 7 など奥部をのぞけば、12.92‰から14.94‰とかなり多く、海水の干潟への流入量は極めて多いようである。

河川水 (St. R) 中の PM 量は、平均 35.52 mg/ℓ であり、海水 (St. S) 中のそれは平均 29.64mg/ℓ である。干潟 St. 1 の水中 PM 量は、時刻による変動はあるものの、平均値 42.34mg/ℓ で河川水や海水の量を上まわっていることがわかる。以下それぞれの地点での平均値を示すと、St. 2 が 41.36mg/ℓ、St. 3 が 43.24mg/ℓ、St. 4 が 46.60mg/ℓ、St. 5 が 52.60 mg/ℓ、St. 6 が 49.00mg/ℓ および St. 7 では 45.24mg/ℓ である。このように、干潟水は河川水と海水とが混合し、特に、海水優位の混合水でありながら、PM 量が増加している (Fig. 2)。すなわち、干潟水中の PM 量の平均値は 45.77 mg/ℓ ($\sigma=3.993\text{mg}/\ell$) であり、河川水中の PM 量の平均の1.29倍、海水中のその1.54倍になっている。このようになる理由は、何によるものか極めて興味深い問題である。

例えば、養魚場 (St. F) の排水と遡上してくる海水によってのみ干潟水が成りたっているものとしよう。St. F の PM は、平均 100.6mg/ℓ と極めて高濃度である。しかも干潟に隣接し、その排水が干潟に流入している。干潟水の平均 Cl^- は、9.05‰であり、St. S の海水の平均 Cl^- は、14.30‰である。従って干潟水に対する海水の混合率は63.3%である。残る36.7%が養魚場の排水であり、干潟水の PM 量は、55.68mg/ℓ となる。この値は、干潟水の PM の平均値 45.77mg/ℓ にほぼ一致すると考えられよう。

3—5 塩素量の変動と懸濁物質の変動との関係

淡水と海水とが接触あるいは混合した場合、水中の PM が塩類のイオンの作用で凝集する、すなわちフロック (flock) の生成が起こること (flocculation) が知られている。このよう

な観点も含めて Fig. 2 の名観測点を見ると、St. 1・St. 2・St. 3・St. 4 および St. 5 では、海水が干潟に流入し始めた 10:00am 頃に PM 量が 57.4mg/ℓ・59.6mg/ℓ・55.0mg/ℓ・61.4 mg/ℓ および 69.8mg/ℓ とそれぞれ最大濃度を示している。また、St. 6・St. 7 では、PM 量が漸次増大し、16:00pm で 63.2mg/ℓ・52.6mg/ℓ とそれぞれ最大量を示した。このように PM が最大濃度に達するためには、干潟の入口から中部にかけてと奥部でとは6時間のずれがでている。海水の浸入によって PM の増大が起るとするならば、干潟で混合する海水の量が、生成する PM を支配するのではないかと考えられる。St. 1 から St. 5 までは、 Cl^- 量が 8‰ 台 (8.00‰ から 8.46‰) に達してはじめて PM が最大濃度に達している。

他方、St. 6 と St. 7 では、10:00am に Cl^- 濃度が 8.19‰ および 8.24‰ となっているが、PM は最大濃度に達せず、 Cl^- 濃度および PM 濃度が漸次増大し、観測最終時刻までそのまま増大している。すなわち、 Cl^- 量がそれぞれ 8.95‰、8.56‰で、PM はそれぞれ 63.2mg/ℓ、52.6mg/ℓ と最大量を示した。いずれの地点にしても、PM が最大量を示す Cl^- の濃度範囲は、8‰から9‰であり、この濃度範囲を越えた場合、PM 量は減少の傾向を示すことがわかる。St. 1 から St. 5 までの地点では、海水濃度が 8‰ 台から 15‰ 台に比較的速度やかに増大するために、PM 量の減少傾向が表われるのに対し、St. 6 および St. 7 では、水の循環が極めて遅く 8‰ 台に留まっているために、PM 量が増大し続けるものと考えられる。

以上のように干潟水域の各地点では、海水や河口域水が流入するが、これらの循環の程度により、水質が異なるため Cl^- と PM について、それぞれの地点での相関を調べた (Fig. 4)。

St. 1・St. 2・St. 3 および St. 4 の Cl^- 量と PM 量とは逆相関の状態を示している。すなわち、干潟の入口から中部にかけて水の交換能力の高い地点ほど相関係数 r が -1 に近ずき、St. 3 のように複雑な地点では、相関が低くなる。さらに、

中部から奥部にかけて水の交換能力が低く、海水の混入量が低い地点では、正の相関を示し r は 1 に近づく様子を表わしている。

海水 (St. S) でのこれらの状態は、低い相関 ($r = -0.213$) を示すが、これは陸水の影響を受け易い沿岸水の様子を表わしているのものと

思われる。

このように、 Cl^- 量と PM 量との関係は、先に Cl^- 量の分布状態から干潟の水の循環の様子を推測したが、それを裏づけており、また、フロックの生成条件の考察にも示唆を与えるものである。

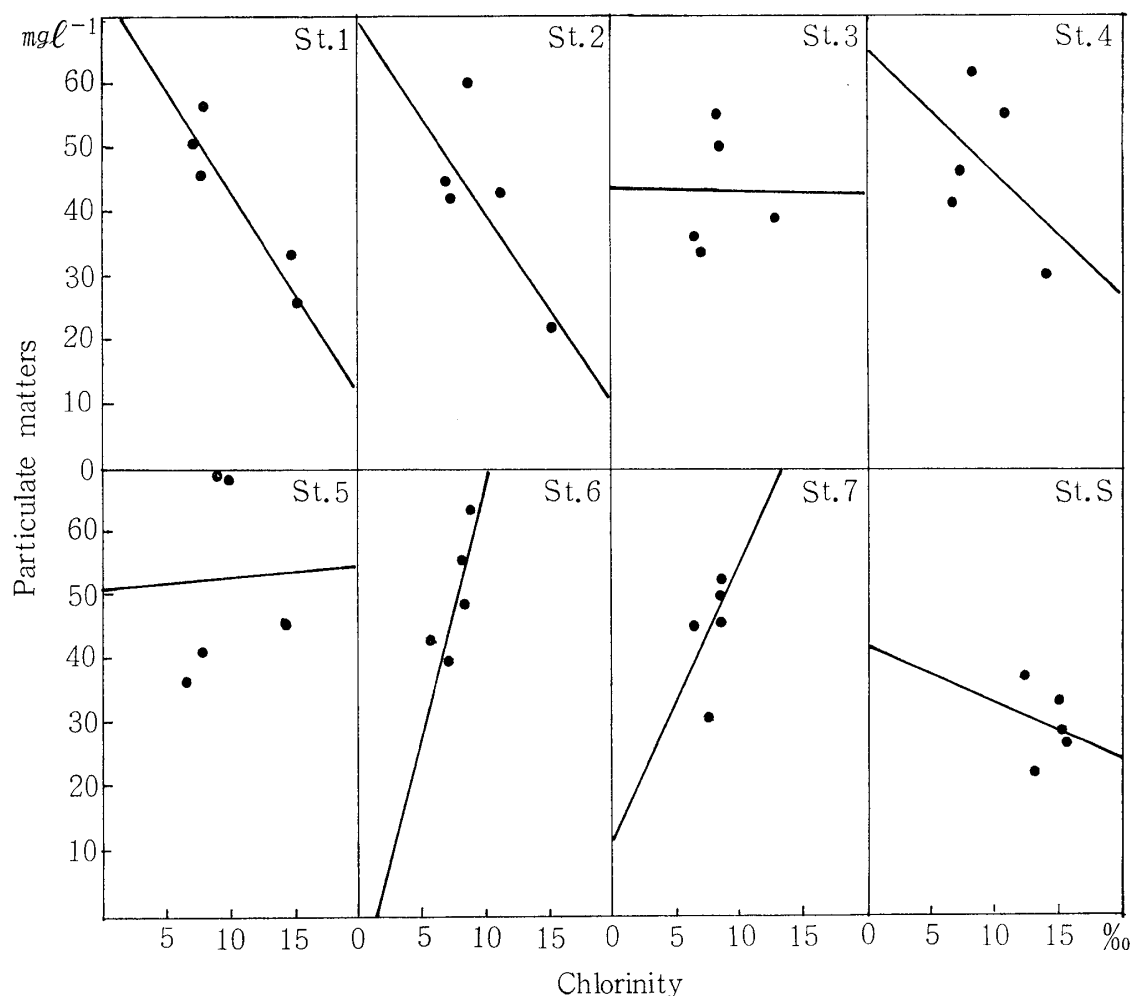


Fig. 4 The relationship between particulate matters and chlorinity at each station.

The regression equations (y) and the coefficients of correlation (r) are

St. 1 $y = -3.148x + 75.39$

$r = -0.9301$

St. 2 $y = -2.991x + 70.31$

$r = -0.7324$

St. 3 $y = -0.05466x + 43.72$

$r = -0.01534$

St. 4 $y = -1.862x + 64.42$

$r = -0.4539$

St. 5 $y = 0.17300x + 51.02$

$r = 0.03201$

St. 6 $y = 7.737x - 11.80$

$r = 0.8527$

St. 7 $y = 4.359x + 10.63$

$r = 0.4529$

St. 8 $y = -0.8726x + 42.12$

$r = -0.2131$

3-7 干潟水域の富栄養化機構

干潟水中の PM が、海水域 St. S や、河川水域 St. R のそれより、高濃度を示す原因と考えられるもう一つの理由を上げることが出来る。

すでに七北田川河口域水の調査研究によって明らかにされている³⁾⁴⁾⁵⁾ように、夏季の河川流量の少ない期間には、海水の遡上する量が多く、また、河口域水の滞留する時間が長くなり、その

水域での生物生産と分解が極めて活発になる。PM を多く含有していた河川水が河口に到達する以前に感潮域に到達すると、その PM の多くは海水と接触し、塩析作用により凝集沈澱を起す。海水の密度よりも大きく成長した PM は河床に達するであろう。実際に、感潮域に達した河川水中の PM 量は、急激な減少傾向を示すが、やがて緩やかな増大傾向を示すようになる。この増大しているときの PM は灼熱減量値から、生物生産に由来する PM であることが明らかであった。PM 量の増大傾向は、間もなく再び減少へと移向する。生物の生産と分解との平衡が、多量の海水との接触混合により、崩されて PM 量の減少傾向が現われてきたものと解される。

干潟水域においては、干潮時から満潮時にかけて、まず、それまでに干潟から流出していた水の流れが逆向きになり、河口域水が流入し、間もなく海水が干潟に遡上し干潟水の Cl^- 濃度を高める。

従って、干潟水域は、豊富な栄養塩や生物由来の PM を含んだ河口域水と St. F の排水を受け入れるので、生物生産と分解機構を保持するためには、極めて好的条件を備えている水域である。

養魚場から放出される排水は、もともと地下水 (Cl^- 量 0.58% から 0.70%) で、そこにアオコや飼料の残滓などが多量に含まれている (PM 量は平均 100.7mg/ℓ)。これが干潟水と混合すると、塩分の作用でフロックの形成が起り沈降するために、排水口からその周囲にかけて、沈降した PM と水の循環の悪さから嫌気性の分解が起っている。また、海の潮汐作用により、干潟への海水の侵入および流出が定時的に行われるために、水の循環の容易な地点すなわち、干潟の入口付近ではほとんどの水が交換される。このために、この附近における干潟水の懸濁物の灼熱減量は、河川水のそれが平均 35.48% であり、養魚場のそれが 58.84% であるのに対し、18.04% から 20.36% と低かった。また、干潟の奥部における水の交換の悪い地点 St. 6 および

St. 7 においても、この灼熱減量値は、25.14% および 25.94% と河川水のそれより低い。なお海水のそれは、19.82% である。

干潟水域中の PM に占める生物由来の物質の割合は、養魚場や河川水中に存在する PM 中のそれに比較して低い。

すでに検討されている泥質の状態¹⁾ から、フロックの形成作用 (flocculation) は、極めて活発であろう。特に、本水域の中央部附近には養魚場の排水口があり、flocculation によって成長した PM が沈降しながら、ゆっくりと奥部の方へ循環している。また、本水域では、水深が浅く夏季の高温のために、条件により好氣的または嫌氣的分解作用が顕著であろうが、植物プランクトンの増殖作用は、強光阻害のために、河口水域ほど活発ではなさそうである。

4 結 語

蒲生干潟水域は、海の波浪や河川の水流から隔離されていて地形的に極めて穏やかな環境を保っている。河川水と海水とが河口で接触し混合して生成された河口域水が、干潟への入口になっているヒューム管から干潟内に流入する。

他方、干潟より高い場所に位置する養魚場から、排水がこの中に流入している。干潟内は、水流が緩やかで塩分の影響も働き、フロックの生成と沈澱が起り、その懸濁物の分解作用が水中や水底で行われている。すなわち干潟の入口から中央部附近では、水の循環がよいために、懸濁物は好氣的分解が行われ、中央部特に養魚場の排水口から奥部にかけては、水の循環が悪く嫌氣的分解が行われているであろう。

以上のことが、塩素と懸濁物との分布とその動態から検討され、干潟は多様な機能を有する一種の沈澱槽の役割を担い、この中に流入した河川水・海水および養殖場の排水は、懸濁および溶存している物質の一部を沈降し、海へ放流されている。

さらに、植物プランクトンや栄養塩類の分布の様子を調べることにより、干潟の沈澱槽としての多様な機能をさらに具体的に把握すること

ができ、干潟の富栄養化の機構が詳細に検討されるものと考えられる。

謝 辞

本研究は、東北大学理学部栗原 康教授による共同研究の一部であり、研究の機会と御指導をいただきました同教授ならびに種々資料をいただきました東北大学理学部菊地永祐博士に対しまして深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 栗原 康, 1975, 蒲生干潟の環境保全に関する基礎的研究, 1—133, 宮城県.
- 2) 杉本降成, 1975, 沿岸海洋における模型実験, 沿岸海洋研究ノート, 第11巻, 第1号, 34—40.
- 3) 栗原 康, 1976, 河口域および沿岸域における汚染物質の挙動に関する研究; 佐々 学編, “人間生存にかかわる自然環境に関する基礎的研究” 132—156, 東京大学出版会 (昭和52年).
- 4) 熊坂繁太郎, 1981, 仙台市蒲生七北田川河口域の最深点における懸濁および溶存物質の垂直分布, 仙台大学紀要, 13, 69.
- 5) 熊坂繁太郎, 1983, 仙台市蒲生七北田川河口域における懸濁物質およびクロロフィル a の分布, 仙台大学紀要, 15, 9.
- 6) 仙台市建設局下水道部編, 1983, 南蒲生下水処理場, 1—7, 仙台市.
- 7) J. D. H. Strickland and T. R. Parson, 1972, A practical handbook of sea water analysis, 11—131, Fish. Res. Bd. Canada Ottawa.

Distribution of Chlorinity and Particulate Matters in the Lagoon Located at Gamō, Sendai City

Shigetarō KUMASAKA

The purpose of this study is to make clear of the qualitative mechanism of eutrophication and pollution of water in Gamō lagoon; especially the relationship between the mechanism and the distribution of chlorinity and particulate matters in this lagoon.

This paper consists of the following topics:

1. Changes of chlorinity, particulate matters and ignition loss in water with lapse of the time at each station.
2. The condition of water circulation expressed by changes of chlorinity at each station.
3. Flocculation of this lagoon expressed by the distribution of particulate matters.
4. The mechanism of eutrophication and pollution of this lagoon.

From the results obtained, it was concluded that the lagoon water might be clearly distinguished from the sea water, the river water and the estuarine water, and the water from the entrance to the middle part at the lagoon was easy of circulation, but the water of back part was difficult of it by reason that the lagoon water with increasing particulate matters by flocculation had been causing pollution by running out of dissolved oxygen at the bottom.

Furthermore it is presumed that water flowing into the lagoon is free from dissolved and particulate matters by flocculation, namely the lagoon may have a function to ventilate water.