

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

熊 坂 繁 太 郎

1. はじめに

宮城県仙台市の蒲生海岸は、七北田川の河口と干潟をもち、シギ・チドリ類の渡来地として知られている¹⁾。このような環境を形成している大きな要因として、特に河口域の水質を挙げることができよう。一般に、河口域は河川水の流入と海水の遡上により、汽水圏を形成し、汽水に適応性を得た、あるいは特有の生物のみが生息可能な環境を構成している。また、河川流量と潮汐作用による、汽水圏の伸縮および淡水海水的混合比率の変動等を伴い、絶えず攪乱を秘めた生態系である。

本河口域は、流入している河川水と遡上する海水とが、ほとんど混合せず、河川水の下層に海水が楔状に遡上し、上下二層流型すなわち、塩水楔型の水圏となっている^{2),3)}。また、この河口域に流入する河川水は、仙台市街地や隣接の市の排水を含み、栄養塩や懸濁物質に富んだ

水質を呈している。この水質によって、河口域や干潟の生物や物質は、複雑で特徴的に鋭く影響しあっているはずである⁴⁾。

河口域や干潟を伴う海岸は、河川流域から運びこまれた生活排棄物の集積場になっている。この水域が、汚染物質をどのような機構で、どの程度の規模や質で自浄作用を示すのかは、今や興味以上の問題点と見なさざるを得ないようである。

蒲生海岸においては、河口の北側に干潟があり、南側に近代的設備を持つ下水処理場が設置されている。さらに、干潟の北側には、臨海工業地帯が、干潟を押し潰しながら膨張している (Fig.1)。限られた土地空間に都市化していく人間社会の縮図と自然へのインパクトの大きさを、象徴的に表現しているようでもある。

本研究では、河口から上流 4 km までの感潮域における懸濁物質およびクロロフィルの分布状

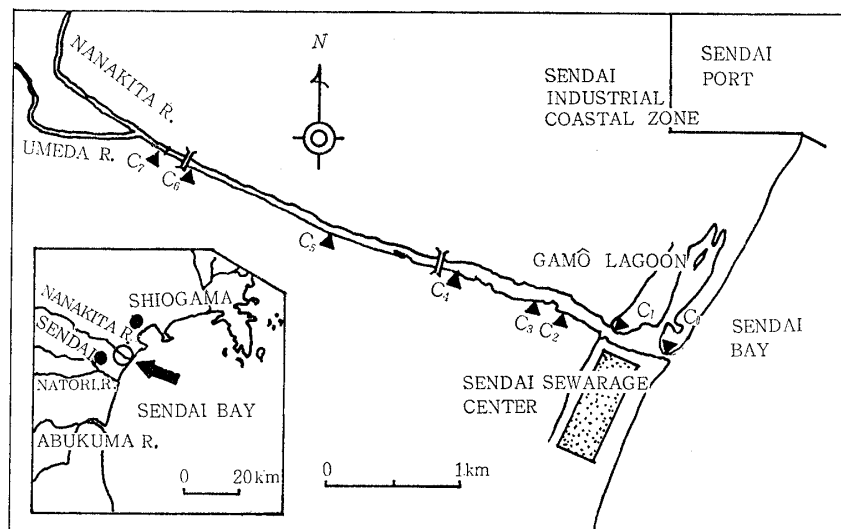


Fig.1 Location of the estuary at the River Nanakita and the position of sampling stations.

態を調査し、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. 調査方法

2-1 調査地点の概況

仙台市蒲生海岸に河口をもつ七北田川は、宮城県泉ヶ岳に源流をおき、その中流域に人口約10万人を擁する泉市があり、さらに仙台市北縁を流下している二級河川である。また、仙台市街を貫流している梅田川と河口上流約4 km地点

で合流している。泉市では、下水処理水をこの七北田川に放流しており、さらに、梅田川も生活排水の一部を受け入れており、通常、懸濁物質の多い水質である。

この河口出口より4 km上流に堰があり、この点までが感潮域になり、この区間を我々は、河口域と呼んでいる。観測および採水点を、河口出口から上流へC₀, C₁, C₂, C₃, C₄, C₅およびC₆とし、堰のすぐ上流をC₇とそれぞれ設定した (Fig. 2)。

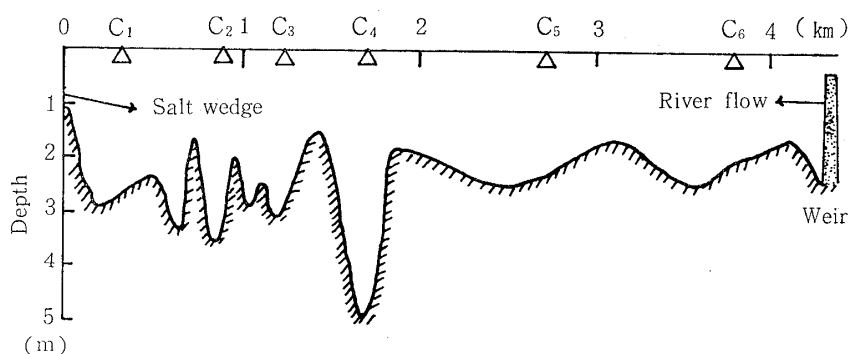


Fig. 2 Lateral view of sampling stations of the estuary at the River Nanakita: July 6, 1976 (10:00 a. m.)

2-1 採水方法

採水日時は、1976年7月6日10:00 a. m. で、満潮時であった。設定された観測点において、ゴムボートを使用し、これを観測点に固定して、試作したサイホン式採水具⁵⁾と伝導度計のセンサーとを結びつけて、25cm, 50cmまたは100cmごとの水深の差で、観測および採水をした。

2-3 分析方法

2-3-1 沝過方法

懸濁物質量は、各点各水深で異なるため、沝過水量を同量にするのが困難であった。試水は、200ml から1 l までの間で、それぞれ計り取り、45mmのグラスファイバー・フィルター (Whatman, GF/C) を用いて、吸引沝過した。クロフィル量の分析用に使用する試水には、飽和 MgCO₃ 溶液を1 ml ずつ加え攪拌してから沝過した。懸濁物質量測定用のグラスファイバー・フィルターは、予め電気炉中450℃で灼熱し、有機物によるコンタミネーションを除去して、

これを1枚ずつ秤量しておいたもので沝過した。それぞれをアルミホイルに包み、-20℃の冷凍庫に保存した。

2-3-2 塩素、溶存酸素および無機栄養塩の分析

分析試薬は、和光純薬製を用い、塩素量はモールの適定法、溶存酸素はウィンクラー法により、その他は定法⁶⁾に従った。

2-3-3 乾重量と灼熱減量

懸濁物を沝過した乾重量測定用グラスファイバー・フィルターを、定温乾燥器中70±5℃で48時間乾燥し秤量した。さらに、電気炉中450±10℃で3時間灼熱し秤量した。これらから、乾重量および灼熱減量を求めた。

本論文において、懸濁物質量とは、乾重量を用い単位は、mg l⁻¹、有機物質量とは乾重量を灼熱して減量した値で、単位は、mg l⁻¹、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。

2-3-4 クロフィルの分析

クロロフィル a, b および c 量などを, 吸光度法によって決定した⁷⁾。すなわち, 冷凍保存してあるクロロフィル定量用の試料を汙過したグラスファイバー・フィルターを, ハサミで細かく切り刻み乳針中でアセトン湿す程度加えてすり潰す。十分にすり潰しをしないと, 定量値にばらつきが出るようである。溶媒は90%アセトンを用い, 抽出に使用するときあらかじめ正確に容量を計っておく必要がある。その他は定法⁷⁾に従った。

3. 結果と考察

3-1 河川水と海水による層構造

河口付近の感潮域における水質の状態を調べる場合には, 塩分量の垂直分布を観測することが, 最もその特性を把握し易い。Fig. 3 は, 観

測点 C₁ すなわち河口付近から順に上流へ C₂, C₃, C₄, C₅ そして C₆ それぞれの塩素量などの垂直分布を示している。C₁ の垂直分布状態は, 他の観測点と比較すると, 水深25cmから海水との混合が始まっており, 水深1.3mまで河川水と海水がそれぞれわずかずつ混合している不連続層すなわち, 塩分躍層を形成している。この点は, 河口出口から500m付近にあり, 海水の浸入による河川水との攪乱が, 比較的起り易いことと, 河川での最終点付近であるため, 海水層と接して最も長時間滞留した河川水でもある。観測点 C₂, C₃ そして C₄ とそれぞれの塩分による垂直状態は, 不連続層がかなりの水深巾をなしており, それぞれ1.75m, 1.55m, そして, 1.95mとなっているが, 河川水と海水とが極めて明確に層構造を形成している。さらに, C₅,

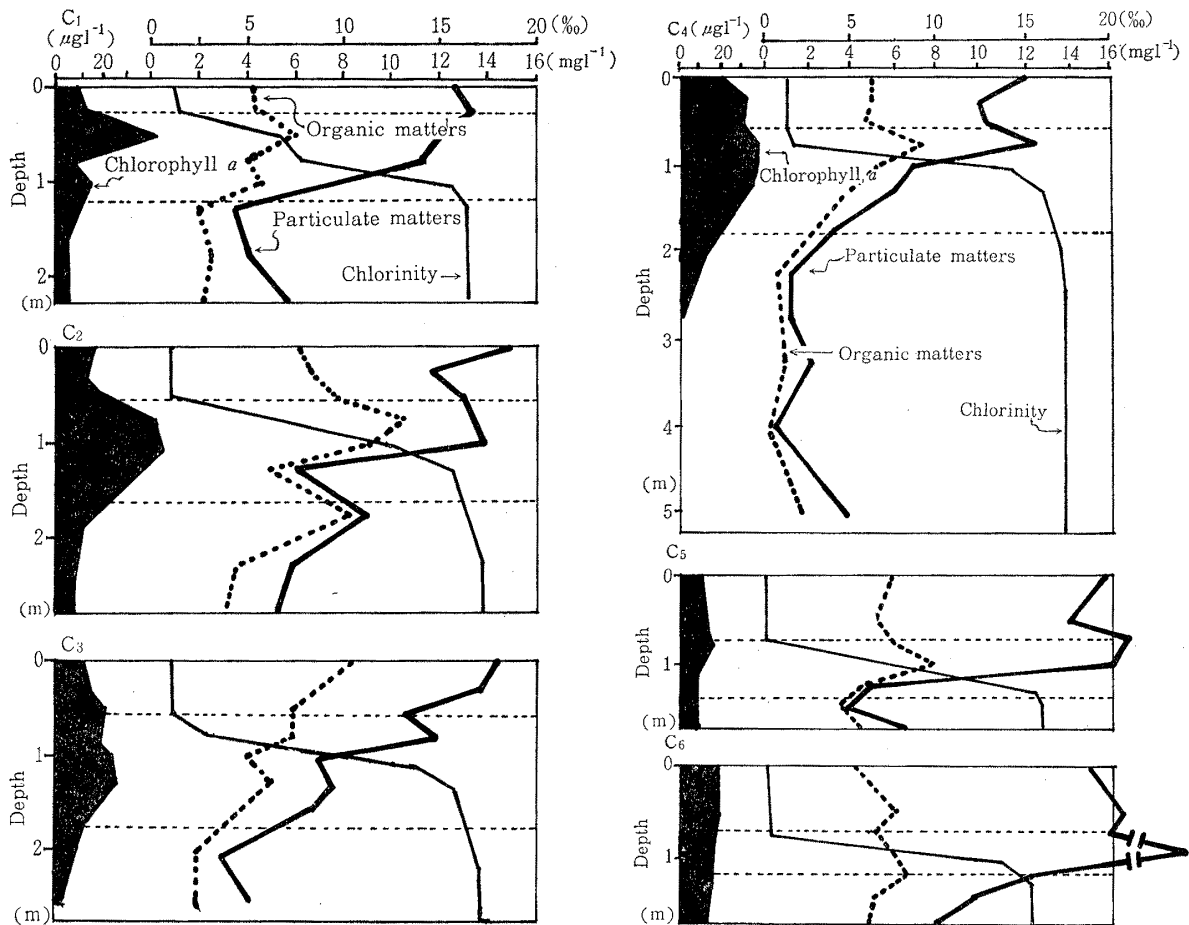


Fig. 3 Vertical distribution of chlorinity, particulate matters, organic matters and chlorophyll a at each station.

C₆点での塩分による垂直分布の状態は、不連続層の水深巾が小さくなり、極めて鋭い三層構造を形成している。

このように、河川水と海水との上下二層の間に不連続層または塩分躍層が存在するが、この層は、各点での垂直分布の構造と性質に関する極めて重要な層と考えられる。

本河口付近の感潮域の水質は、海水が河川の上流に向って、楔状に遡上するいわゆる塩水楔の二層流型を形成しているのである。この遡上する海水層の巾は、河床の凹凸により、不規則な層巾をなしている。C₁では0.95m、C₂では1.1m、C₃は0.75m、C₄は3.2m、C₅は0.35mそしてC₆は0.5mである。C₄は他の点と比べて5.0mと水深が極めて大きいので、海水層も3.2mと遙かに大きい層となっている。

他方、海水の遡上する距離は、潮汐の影響が少なく、河川水の流量に依存するようである^{3),8)}。当調査時の流量は、 $2.2\text{m}^3\text{sec}^{-1}$ であった^{3),8)}。

3-2 観測地点における最大塩素濃度

遡上する海水の塩素量で各点の濃度を比較すると、最大濃度で、C₁が16.73%、C₂が17.41%、C₃が17.43%、C₄が17.20%、C₅が16.14%そしてC₆が15.32%であった。C₅、C₆など河口から海水の遡上距離の長い場合、海水の塩分濃度が低下する傾向があるが、C₁は河口から500mの近距離にもかかわらず、上流の他の点よりも低濃度になっていた。河口出口の塩素量は、17.62%であり (Table 1)、この海水がそのまま遡上するならば、C₁以外の各観測地点の塩素濃度は、ほぼ妥当と考えられる。

Table 1 The values of chemical determination on particulate matters, organic matters, chlorophyll and chlorinity in C₀ and C₇ stations.

| Station | Chlorinity (%) | Particulate matters (mg l ⁻¹) | Organic matters (mg l ⁻¹) | Chlorophyll (μg l ⁻¹) | | |
|----------------|----------------|---|---------------------------------------|-----------------------------------|------|------|
| | | | | a | b | c |
| C ₀ | 17.62 | 6.27 | 2.78 | 14.66 | 2.43 | 6.16 |
| C ₇ | 0.16 | 26.05 | 6.84 | 16.53 | 3.22 | 6.88 |

C₀とC₁との間500mの区間は、満潮時にC₀の狭い河口から開かれた河川に海水が浸入し干潟や河川上流へと河川水を押し上げながら遡上するため、C₁付近でかなりの攪乱混合が起り、海水の塩分濃度は希釈されるようである。従って、C₂、C₃およびC₄それぞれの最深部分に存在する最大塩素濃度の海水は、C₁に現在浸入して来ている海水ではなく、河川流量のさらに少ないときに遡上した密度の大きい海水が、そのまま窪に交換されずに留まっていると解される。ちなみに、これらの水深ではpHやDO値が低下しており、また、NH₄⁺やPO₄³⁻の濃度が他と比較して極めて高い値を示す等海水としては、かなり変質していることから推測されるのである。

3-3 懸濁物質の動態

河口域に入る前の河川水および海水の懸濁物質量の目安として、感潮域よりも上流で観測した河川水中の懸濁物質量を測定した結果、 26.05mg l^{-1} であり、河川水の影響を受けない海水中の懸濁物質量は、 6.27mg l^{-1} であった (Table 1)。

Fig. 3によれば、河川由来の懸濁物質の動態が、推測できるようである。すなわち、流下している河川水中の懸濁物質は、密度の差異により、上下に分散する。河川水の下部に分散している密度の大きい懸濁物質は、やがて底層に遡上している海水と接触し、塩析作用により、急激に凝集沈澱 (coagulation) を起す。海水の密度より大きい粒子に生長したものは、速やかに

海水層に沈降し、さらに河床に達するであろう。

3-4 不連続層における懸濁物質の分布

C₆点における懸濁物質が、不連続層の中央部分に 21.33mg^l⁻¹ と極めて高濃度で突起状に存在する。また、C₅点において不連続層の上部で 16.67mg^l⁻¹, 15.96mg^l⁻¹ と比較的高濃度で存在するが、その下部では急激に減少する。C₄点においても、C₅と同様な傾向を示すと同時に、不連続層中での最高濃度は、12.28mg^l⁻¹ とC₆, C₅から漸次懸濁物の濃度が低下している。しか

し、C₃, C₂ および C₁ の不連続層中で同様なパターンを示しつつも 11.56mg^l⁻¹, 12.77mg^l⁻¹ および 13.47mg^l⁻¹ とC₄のそれとほぼ同じ程度の濃度を維持しているようである。

Fig.4 は、七北田川の影響を受けない海水と海水の影響を受けない七北田川水の懸濁物の灼熱減量値および、各観測点の不連続層における懸濁物質量の平均灼熱減量値を、それぞれ%で表わしたものである。C₆ とC₅ の不連続層における灼熱減量値は、海水の影響を受けない七北田川水中の懸濁物質の灼熱減量値にほぼ等し

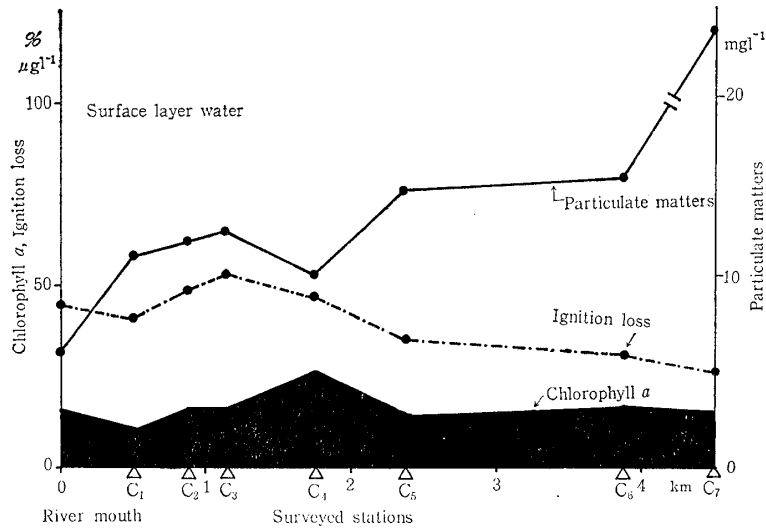


Fig. 4.1 Horizontal distribution of particulate matters, ignition loss and chlorophyll a in the surface layer water.

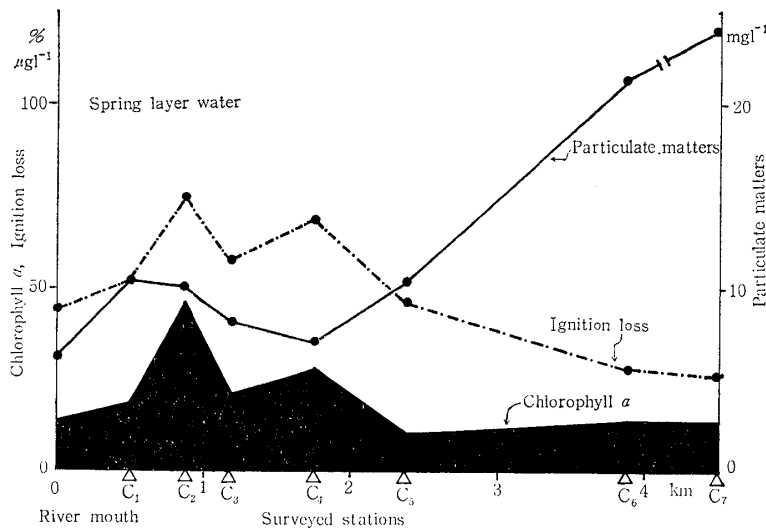


Fig. 4.2 Horizontal distribution of particulate matters, ignition loss and chlorophyll a in the spring layer water.

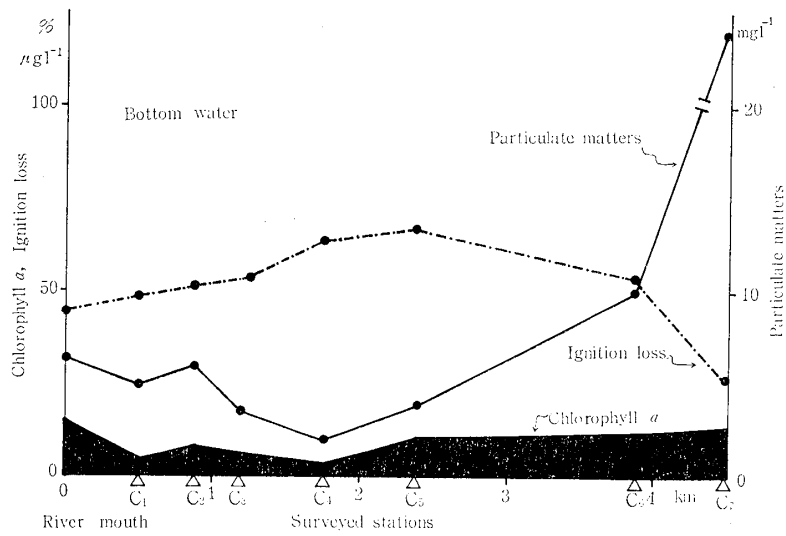


Fig. 4.3 Horizontal distribution of particulate matters, ignition loss and chlorophyll a in the bottom water.

い。このことから、河川由来の懸濁物質の影響を強く受けていると推測できよう。しかし、C₄より下流では灼熱減量値が増加し、C₂で、74.6%と最大値を示し、C₁で海水における値近くに減少する。すなわち、C₁では海水とほぼ等しい値でありながらC₂に引き続き懸濁物質の増加が認められる。このような観点から、C₁、C₂、C₃およびC₄のおよそ1.2km間の不連続層においては、極めて特徴的な水圏が構成されていると解される。

3-5 河川水層における懸濁物質の分布

河川水層の懸濁物質量は、感潮域 C₆において急激に減少し、さらに C₅、C₄と減少を続ける。しかし、C₄、C₃、C₂ および C₁ においては、ほぼ等しい値を保ち、海水におけるよりも高い値を示している。

灼熱減量値は、C₆において31.5%とほぼ上流における値と等しい。しかし、C₅、C₄と漸次値は増大し、C₃において最大値になり、C₃、C₂と減少し海水におけるよりも若干小さい値になる。

河川水層中に存在する河川由来の懸濁物質は、感潮域に入ると減少し、灼熱減量値の変化から推測すると、異質の懸濁物質が、河口付近、C₄、C₃、C₂ および C₁ において生成される

ようである。

このように、河川水層の部分においても、河口付近における水圏は、極めて特徴的であると理解できよう。

3-6 海水層における懸濁物質の分布

海水層は、河川水層とは流れの方向が逆になる。Fig. 4 に示されているように、海水層における懸濁物質量は、河川の影響を受けない海水中における量に比べて、全体的に減少している。海水が遡上する際、海水層の表面や先端において、河川由来の懸濁物が取り込まれ、海水層の懸濁物質量は増大するはずである。しかしながら、取り込まれた懸濁物質は、恐らく海水の塩析効果により、速やかな凝集沈降が起り、その際、海水由来の懸濁物質もこの効果の影響を受け、全体的に減少するのではなからうか。

さらに、灼熱減量値は、海水や河川水の場合に比べてその値が高い。C₆に極大値が認められるのは、C₂の不連続層の影響を強く受けたからのものである。また、C₅、C₆において、灼熱減量値が高くなっているが、これは、これらの海水層において河川水層とは逆に最も滞留時間が長いこと、異質の懸濁物質が生成されているものとみなされる。

遡上した海水層においても、極めて特徴的な

水圏が構成されていると解されよう。

3-7 各観測点におけるクロロフィルaの分布

クロロフィルの各観測点における垂直分布を、Fig.5とTable 1に示す。クロロフィルa量は、精度の高い定量が可能であるが、クロロフィルbやc量については、それぞれ参考値として示した。

3-7-1 C₆ 観測点

クロロフィルaの濃度は、河川水層において高く、不連続層から海水層へと漸次減少している。この点における河川水層は、350m上流の堰で上下混合され、また、河川由来の懸濁物質

が極めて多いので、有光層が浅く植物プランクトンは、河川水層と不連続層にほぼ均一に分布することになる。海水層は、観測点中最も滞留時間が長いので、植物プランクトンの現存量が、下流の観測点と比べて高くなっているであろう。

3-7-2 C₅ 観測点

クロロフィルaの最大濃度を示す垂直分布が、不連続層の上部に形成され始めている。河川由来の懸濁物が、河川水層と不連続層において減少しており、これによって有光層の深さが増すことになる。しかし、観測点の中では、植物プランクトンの分布量が、一番少ない状態に

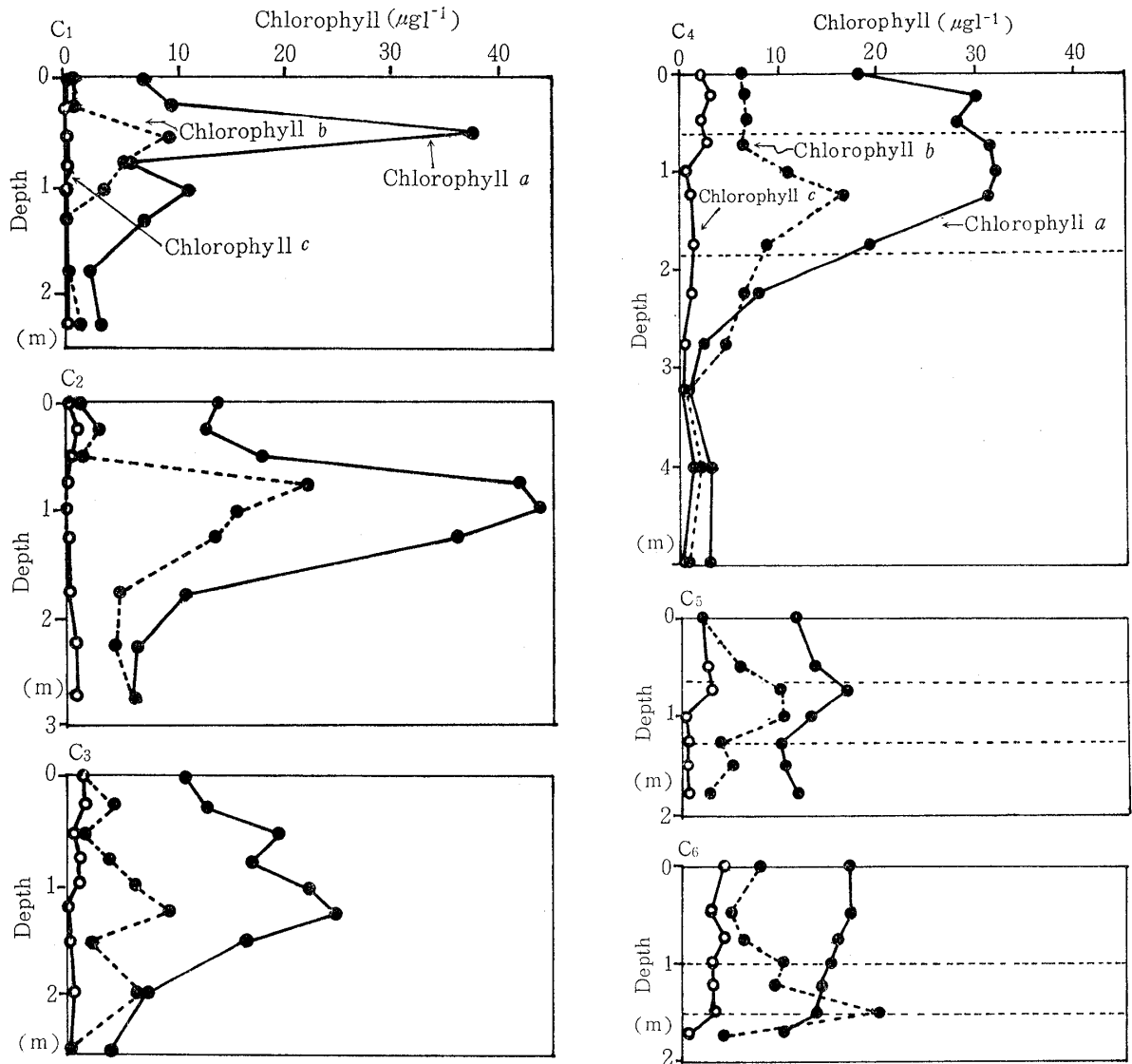


Fig. 5 Vertical distribution of chlorophyll a, b and c at each station.

あった。

3-7-3 C₄ 観測点⁴⁾

水深5 mで最も深い観測点である。河口出口から1.7 km上流に位置し、感潮域のほぼ中間地点になっている。クロロフィル *a* 量は、河川水層の中間に極大分布があり、この部分とほぼ連続して不連続層の上部から中間部にかけて最大分布となり、その下部から海水層にかけて急激に減少している分布状態を示している。この地点までには、かなりの滞留時間になり、従って日射量が増加していること、さらに、河川水由来の懸濁物量が、河川水層や不連続層で減少していることなどにより、有光層の深さが増加している。このように、日射量の増加により水温の上昇が続いているため、塩分による密度躍層以外に滞留時間の増加による躍層が形成され始めるであろう。この水温躍層⁹⁾が、塩分躍層の拡大の原因であるかどうかは不明である。有光層の深さの増大と塩分躍層の増巾により、躍層中に生存する汽水性植物プランクトンが、好適な光条件と、河川由来の豊富で多量の栄養塩の補給で、急激に増殖したものと解される。また、表層の表面では、光合成の強光阻害⁹⁾が起っており、クロロフィル *a* 量が減少している。

3-7-4 C₃ 観測点

不連続層中にクロロフィルの最大分布があり、C₄に比べて植物プランクトンの分布量が全体的に減少している。

滞留時間がさらに増加しており、日射量もますます増加し、C₄地点におけるよりも、不連続層中の植物プランクトン群集にとってさらに好適光条件にも恵まれているはずである。

しかし、不連続層と表層における栄養塩が、C₄点に比べて半分以下に減少しており、この段階では、わずかに不連続層中の有機物の分解によって栄養塩が補給されている程度で、その生産量は全体として低下していると考えられよう。

3-7-5 C₂ の観測点

不連続層に極めて高濃度のクロロフィル *a* の分布が出現している。その量は、C₃の2倍以上

にも達している。不連続層を中心として植物プランクトン群集が、高い生産を示すとするならば、栄養塩の補給が、何らかの理由で行われていることになる。他から栄養塩の供給は考えられないので、滞留時間と日照時間の増加により、懸濁物質の分解が進行し、栄養塩の補給が可能になり、ブルーミングが起ったと解すことができよう。

表層中のアンモニウムと硝酸濃度が、C₃に比べて増加している状態を確認した。

3-7-6 C₁ 観測点

河口500 m付近にあり、表層が極めて薄く20 cm程度になっている。採水時は満潮時であり、海水の浸入により、上流地点とは異なって地形的に河川水と海水の攪乱が起る地点でもある。

表層と不連続層の上部は、最も滞留時間と日照時間の長い観測点であるが、植物プランクトンの分布は、不連続層の表層に近い部分に高量を示す以外には、比較的低い分布状態になっている。

3-8 七北田川河口域の富栄養化と汚染機構

河口域に流入した河川水は、急に流速が小さくなり、また、遡上した海水との二層流の中で、密度の大きい懸濁物質を、速やかに沈降させることになる。不連続層付近に滞まっている懸濁物質もやがて、河口域の中間点付近で、沈降してしまふようである。

滞留時間の長くなった河川水で、植物プランクトンの生産は、肥沃な栄養塩と十分な日射量によって、河口出口に到達するまでに、種種の段階を経て継続される。

同時に、懸濁物の分解も行われ、栄養塩の補給が、中間点以降でかなり活発に行われていると推測される。

他方、深いところの底層では、無酸素状態が起っており、分解作用が緩慢になり、嫌気性の分解作用が進行している。

このように、河川流量が少なければ少ない程、海水の遡上が多く、また、河口域水の滞留時間が長くなる。このため、この河口域の表層や不連続層での生物生産と分解機構が、活発に

維持されていることになるが、底層の最深点においては、強腐水化が進行していると解される。

このような機構については、栄養塩の分布状態を検討することにより、さらに詳細な考察が可能と思われる。

4. 結 語

仙台市蒲生海岸の七北田川河口域において、河口から上流 4 km までの感潮域に、8 個所の観測点を設けて、水質調査を行った。本報告では、懸濁物質とクロロフィル a の分布状態から、河口域の富栄養化機構の一端を定性的に考察した。

1) 本河口域は、河川水と海水が二層流を成しているが、懸濁物質やクロロフィル a の垂直分布状態によれば、垂直に三層を構成していると思なすことが適当と考えられる。すなわち、上層となっている河川水の層を表層とし、中層となっている塩分躍層を不連続層とし、そして下層となっている海水層を底層とした。

2) 各観測点における最深点の塩素濃度、DO や pH 等の測定から、最深点の海水は、交換し難いと解される。

3) 河川由来の懸濁物質量は、感潮域に入ると表層では急激に減少し、 C_4 点の増加以外には、なだらかな減少傾向を示す。また、不連続層では、感潮域以前の濃度から、 C_4 における濃度まで連続的に減少し、 C_3 、 C_2 、 C_1 とわずかずつ増大している。さらに、底層でも C_4 まで減少し、 C_3 、 C_2 、 C_1 と若干の増加の傾向を示すが、 C_0 の濃度すなわち河川の影響のない海水における濃度まで回復しない。

4) 懸濁物質の灼熱減量は、河川由来の懸濁物質において小さく、感潮域を流下するに従って漸次増大し、表層では C_3 で最大となり C_2 、 C_1 と減少する。また、不連続層では、表層と比べて高い増加傾向を示し、 C_2 で最大となり C_1 、 C_0 と急激に減少する。灼熱減量値のこのような傾向の原因が、滞留時間であるとするならば、底層では河川を遡上するため、滞留時間の長さ

は、上流点に行くに従って増すはずである。底層における灼熱減量値は、表層とは逆のパターンと解される状態を示している。

5) クロロフィル a 量は、河川水における量と海水における量とがほぼ等しいが、表層における平均値では C_4 で増大している以外、顕著な増減はない。不連続層においては、灼熱減量値の変動とほぼ対応したパターンを示している。このことから、この層の大部分の懸濁物質は、植物プランクトン由来のものであるといえよう。さらに、底層においては、 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 と少なく C_5 、 C_6 と若干増加している。底層の上部と下部では、クロロフィルの存在量に相違があり、層巾が大きい場合平均値をとると C_4 のように低くなる。

6) このように、河川流量が少ない場合には、海水の遡上が多く、また、河口域水の滞留時間が長くなる。このため、表層や不連続層での生物生産と分解機構が、活発に維持されるが、底層の最深点において、強腐水化が進行している。

謝 辞

本研究の機会と御指導をいただきました東北大学理学部栗原 康教授さらに、資料や調査上のご協力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。

なお、本研究の経費は、昭和51年度の文部省科学研究費特定研究“人間の生存にかかわる自然環境に関する基礎的研究”(課題番号110503)より支弁されたものであることを附記する。

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, 1-4, 宮城県.
- 2) 杉本隆成, 1973, 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染汚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) 日本化学編, 昭和41年, 14 地球化学, 実験化学講座, 111-129, 丸善株式会社.
- 6) J. D. H. Strickland and T. R. Parson, 1972, A practical handbook of sea water analysis, 11-131, Fish. Res. Bd. Canada Ottawa.
- 7) 西條八東, 1975, クロロフィルの測定法, Jap. J. Limnol., 36, 3, 103-109.
- 8) K. Hanawa and T. Sugimoto, 1970, Effect of the variation of river discharge on flushing and recovery of salt wedge (1), Sci. Rep. Tôhoku Uni., Ser. 5, Geophys. 25, 219-223.
- 9) 谷口 旭, 1973, 海洋植物プランクトン群集の生産力, 海洋科学, 5, 91-97.

Distribution of Particulate Matters and Chlorophyll *a*
in the Estuary of the River Nanakita
Located at Gamô, Sendai City

Shigetarô KUMASAKA

The purpose of the present study is to make clear of the qualitative mechanism of eutrophication and pollution of the estuarine water of the River Nanakita at Gamô; especially the relation between the condition of this river water expressed by chlorinity, and the vertical and the horizontal distribution of particulate matters and chlorophyll *a*.

This paper consists of the following topics;

1. The vertical formation of three layers of this estuarine water observed at each surveyed station; the surface layer formed by the river water, the spring layer known as halocline and the bottom water predominated by sea water advancing into the river.
2. A difficult exchange of the water with the maximum chlorinity at the deepest point of each surveyed station.
3. The behavior of particulate matters in this estuary.
4. The distribution of particulate matters at each of the three layers.
5. The distribution of chlorophyll *a*, *b* and *c* at each station.

From the results obtained, it was concluded that the biological production and decomposition were actively carried out in this estuary of the river, but the running out of dissolved oxygen was observed at each of the deepest points at surveyed stations.