

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT

---

VOL. 15

NO. 2

JUNE 1976

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第15巻 第2号 (Vol. 15, No. 2), 1976年6月 (June 1976)

## 目 次 (CONTENTS)

1. Theory of transient fluid waves in a vibrated storage tank  
..... Tomotsuka TAKAYAMA..... 3  
(振動外力を受けるタンク内発生波の非定常解について.....高山 知司)
2. 防波堤隅角部付近の波高分布に関する研究 ..... 小舟浩治・大里睦男.....55  
(A study of wave height distribution along a breakwater with a corner  
..... Koji KOBUNE, Mutsuo OSATO)
3. 阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について (1962年~1973年)  
..... 田中則男・加藤一正・柳島慎.....89  
(Changes of sea-bed topography at the coast near Agano River (1963~1973)  
..... Norio TANAKA, Kazumasa KATO, Shin-ichi YANAGISHIMA)
4. 波浪中の直立円柱浮体に働く流体力とその運動  
..... 合田良実・鈴木康正・笹田 正..... 167  
(Movements of a floating vertical circular cylinder in waves and associated  
forces..... Yoshimi GODA, Yasumasa SUZUKI, Tadashi SASADA)
5. 大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験 (第2報)  
——主要汚染源の湾内汚染に与える影響——  
..... 金子安雄・堀江 毅・村上和男・亀山 豊・入尾野幸雄..... 211  
(Model experiment on tidal current and substance diffusion in Osaka Bay (2nd  
Report)—Influence of main sources on the water contamination of the Osaka  
Bay ..... Yasuo KANEKO,  
Takeshi HORIE, Kazuo MURAKAMI, Yutaka KAMEYAMA, Sachio IRIONO)
6. 潮流計算における境界等の取扱い——特にADI法による検討——  
..... 堀江 毅・金子安雄・村上和男・細川恭文・亀山 豊..... 251  
(Boundary treatments of tidal simulation—Investigation by alternating direction  
implicit method—.....Takeshi HORIE, Yasuo KANEKO, Kazuo MURAKAMI,  
Yasushi HOSOKAWA, Yutaka KAMEYAMA)
7. 強震記録の上下動成分の解析と重力式岸壁の安定に関する事例研究  
..... 上部達生・野田節男・倉田栄..... 289  
(Characteristics of vertical components of strong-motion accelerograms and  
effects of vertical ground motion on stability of gravity type quay walls.....  
.....Tatsuo UWABE, Setsuo NODA, Eiichi KURATA)

### 3. 阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について (1962年~1973年)

田中則男\*・加藤一正\*\*・柳島慎一\*\*

#### 要 旨

漂砂研究室では、これまで深浅図ライブラリーの一環として深浅図のデジタル化作業をおこなってきた。本報告は、このうち新潟東港周辺の資料・データを用いて、阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化を把握することと、デジタル化された深浅測量成果を用いた統計処理手法の一例を示すことを目的としている。

まず対象海岸全体の地形変化を定量的に把握するため、阿賀野川河口から加治川河口に至る18kmの海岸で水深-20mまでの範囲の解析をおこなった。その結果、地盤沈下によると考えられる欠壊が全域に広がっていること、漂砂現象の結果と見なされる地形変化では、阿賀野川河口前面の欠壊、新潟東港西海岸の堆積が顕著であること、また新潟東港は地形変化の立場から見ると巧みに計画・建設されていること等が明らかになった。

阿賀野川河口前面の欠壊を河川流下流量との関連において考察した結果、河口海底における扇状の浅瀬の特異な変化型は河道内蛇行流の影響を受けたものであり、80万 m<sup>3</sup>/yearの欠壊は河川流下流量の減少に伴う流下土砂量の減少に起因していることが明らかになった。

沿岸砂州地形については、新しく標準偏差により砂州規模を定義し empirical eigenfunction を用いて、擬3次元的に解析した結果、阿賀野川近くのバー・トラフ地形は河川流下流量の変化と同じ周期で変動しており河川から遠ざかるにつれて周期が長くなること、沿岸砂州は沿岸東方向に250 m/yearで移動したこと、トラフ地形は夏季にほとんど変化せず5年周期の変動をしていること、新潟東港西海岸の堆積は、阿賀野川河口付近から移動した土砂が堆積したものであること等が明らかになった。

---

\* 水工部 漂砂研究室長

\*\* 水工部 漂砂研究室

### 3. Change of Sea-Bed Topography at the Coast near Agano River

Norio TANAKA\*

Kazumasa KATO\*\*

Shin-ichi YANAGISHIMA\*\*

#### Synopsis

In this paper, change of sea-bed topography at the coast around the mouth of Agano River are discussed on the basis of results of statistical analysis on the data of sounding survey performed during from 1962 to 1973. Agano River is one of the biggest rivers of Japan flows, into Japan Sea at five kilometers west of the East Port of Niigata which is under construction.

Following three subjects are mainly discussed:

- 1) Changes of sea bed topography from the view point of the long time scale and wide area.
- 2) Reduction of the scale and change of configuration of the submarine sand bank at the front of Agano River.
- 3) Characteristics of longshore bars near the river mouth.

Around the East Port of Niigata, the coast of updrift side (the west coast) has been remarkably accreted and the front of the west reclaimed land and the west breakwater have been seriously eroded. And slight accretion and erosion have been found at the offshore area of updrift side and downdrift side of the west breakwater respectively.

Due to decrease of water discharge from the river, the submarine bank has gradually reduced and the volume of erosion of its bank is estimated to reach about  $8 \times 10^5 \text{m}^3/\text{year}$ . And the configuration of its bank is deeply affected by the change of meandering pattern of the river flow.

Scale of longshore bars decreases eastward from the mouth of the river taking sinuous variation of wave length of 1 to 2 kilometers. Longshore bars are steady in summer season, but it have tendency to move eastward by the velocity of 250 meters per year in winter season.

On a certain fixed line perpendicular to the coast, time coefficient of the empirical eigen function corresponding to the bar and trough configuration take periodic variation. Near the river mouth, this period of time coefficient is about 4 to 5 years and consist with the period of variation of river discharge. But, corresponding to increase of the distance from the river mouth, this period become longer.

---

\* Chief of the Littoral Drift Laboratory, Hydraulic Engineering Division.

\*\* Member of the Littoral Drift Laboratory, Hydraulic Engineering Division.

# 目 次

要 旨 .....	89
1. はじめに .....	93
2. 阿賀野川河口近傍海岸の自然条件 .....	94
2.1 新潟海岸の地形 .....	94
2.2 阿賀野川河口近傍海岸の海底地形 .....	94
2.3 底 質 特 性 .....	94
2.4 気 象 .....	96
2.5 海 象 .....	96
2.6 漂 砂 .....	97
2.7 阿賀野川の特性 .....	97
2.8 地盤沈下および新潟地震 .....	98
2.9 新潟東港建設工事 .....	98
3. 本解析に用いたデータ .....	99
4. 長期的広域的に見た地形変化 .....	100
4.1 解析の内容 .....	100
4.2 1962年から1973年に至る11年間に生じた地形変化の総括的把握 .....	102
4.3 地形変化の時間的経過 .....	104
4.4 各区域の平均水深変化の相関性 .....	113
5. 阿賀野川河口地形変化の特性 .....	116
5.1 河口舌状砂州の衰退 .....	116
5.2 河口舌状砂州の形状変化 .....	117
5.3 河口砂州の形状変化 .....	124
6. 沿岸砂州のダイナミックス .....	127
6.1 標準偏差による沿岸地形の把握 .....	127
6.2 Empirical eigenfunction による解析 .....	130
7. 結 論 .....	139
8. あとがき .....	140
参考文献 .....	140
附 録 A .....	142
附 録 B .....	145
附 録 C .....	156

## 1. はじめに

本報告は、新潟市の東海岸に流出する阿賀野川の近傍、すなわち阿賀野川河口の西約1 kmの地点から東へ18 km、すなわち加治川河口附近に広がる地域の海底地形変化を取り扱っている。新潟海岸は我が国有数の欠壊海岸である。衆知のとおり、この欠壊は1922年の新信濃川（大河津分水とも呼ぶ）の開削によって、旧信濃川（河口に新潟西港が位置する）への河川流下土砂が激減したことに主たる原因があり、天然ガス採取に伴う地盤沈下も重要な役割をはたしているものと考えられている。したがって、いわゆる新潟海岸の侵食は、現状では旧信濃川河口を中心とし東西はほぼ10 km程度におよんでいるものと考えられ<sup>1)</sup>、今回の報告の対象となっている海岸の西側の部分については、信濃川河口から広がる侵食傾向も留意しておかねばならないであろう。

新潟市の西海岸は、前述した海岸侵食および新潟西港の埋没問題に関連して古くから調査されており、新潟港技術調査委員会を初めとする多くの機関によって報告されている<sup>2)</sup>。一方本報告の対象となっている新潟東海岸については、阿賀野川河口の東約6 km程度の地域に建設中の新潟東港の建設のための事前調査として1962年度より第一港湾建設局によって調査が開始され、以来現在に至るまで、各種の調査が継続されている<sup>3)</sup>。

本報告に述べる諸解析の基礎となるのは、これら新潟東港建設に伴って実施された調査結果のうち、主として1962年以来10余年にわたり、毎年春秋2回宛繰り返されて来た深淺測量の成果である。これらの深淺測量成果は、著者等が過去数年来進めて来た深淺図のデジタル化作業によって<sup>4)</sup>、海岸に固定的に設定された格子交点上の水深の値として磁気テープ上に記憶されている。このような深淺測量成果のデジタル化によって、コンピューターを用いた複雑な統計的解析が、地点的に高密度で行なえるようになり、その成果として本文に述べるような地形変化特性が初めて明らかにし得たのである。このような意味で、本報告を取りまとめる意図の一つには、デジタル化された深淺測量成果を用いた統計処理手法の一例を示すことも含まれている。

本報告では、次の第2章において解析対象となった海岸の自然条件、第3章において、今回用いた資料の性格について概述した後、第4章において、調査対象地域全域に関して1962年から1973年の間の地形変化について述べられる。第5章では、特に阿賀野川河口部に地域を限定し、河川からの流下土砂の減少と密接な関係を持つ河

口海底における扇状の浅瀬（本報告では、これを河口舌状砂州と呼んで、河口を閉塞するように河口両岸から伸びる河口砂州と区別している。）の衰退傾向と、それに伴う地形変化について議論している。さらに第6章においては、碎波帯内の浅い地域に話題を限定し、沿岸砂州の規模の沿岸方向の分布や沿岸砂州地形の変動性等、資料のゆるす範囲で沿岸地形をダイナミカルな視点で捕えようとした解析の結果が示される。

今や全国的に慢延して来た海岸の侵食傾向には、種々の原因があろうが、その中で最も重要な問題が、河川から排出される土砂量の減少にあることは異論のないところである。こうした現実が、海岸侵食問題を、山地に於ける土砂生産に振り返って、河道への堆積、人為的な採取、海岸への流出といった土砂の流れの系全体の土砂収支問題とし捕えようとする動きを生むのは当然であり、鮮川等による大井川河口の研究<sup>5)</sup>、野田による皆生海岸の研究<sup>6)</sup>は、こうした意図を持つものであろう。本報告においては、河川の土砂生産量、流量等には言及し得ていないけれども、河口舌状砂州の衰退の追跡によって、海岸への土砂流出の明らかな減少とその海底地形に与える効果について、かなり明確な事実を第5章に示している。

河口地形において最も注目されて来たのは、河口両岸から伸びるいわゆる河口砂州である。しかしながら、河口における海底舌状砂州の形状について論じている報告は少なく、著者等の知るところでは新潟港技術調査委員会による旧信濃川河口の例<sup>7)</sup>のみにすぎない。本文第5章では、こうした河口舌状砂州の形状にも言及し、河口舌状砂州の形状変化が、河道内蛇行流の変化と密接に関連していることを示している。

沿岸部の地形として沿岸砂州は古くから注目されて来た。したがって、沿岸砂州の存否を目安とした沿岸地形の分類<sup>8)</sup>、沿岸砂州の発生条件<sup>9)</sup>等について多くの研究がある。これらの研究の多くは沿岸地形を海岸線に直角な方向の断面形としてのみ捕えた議論であるが、近年では沿岸地形を三次元的に捕え、沿岸流系統との関連においてその変化の特性が論じられている<sup>10)</sup>。本報告の対象とした海岸においても、沿岸砂州の規模が沿岸方向に或る波長をもってリズムカルに変動し、いわゆる Sonu<sup>11)</sup>等の提唱するリズムック・トポグラフィ (rhythmic topography) をなしている。本文第6章においては、海岸線に直角方向および平行方向の断面について、沿岸砂州地形を現わす empirical eigenfunction<sup>12)</sup> の局所的・時間的変化の解析を通じて、沿岸砂州のリズムック・パターン

ンの動的な特性が論じられている。

## 2. 阿賀野川河口近傍海岸の自然条件

### 2.1 新潟海岸の地形

新潟平野は、新潟県の北部に位置し、南北約 100 km、東西 10~25 km、面積 2,070 km<sup>2</sup> を有する我が国有数の大沖積平野である。図-2.1 に示すように、平野はその南西縁を弥彦山地、南西部を越後山地、東部を飯豊山地、さらに北縁を朝日山山地で取り囲まれた紡錘形をなしている。新潟平野の南部および中央部の大部分は、信濃川および阿賀野川の氾濫原あるいは三角州からなり、北部は加治川、胎内川、荒川等の扇状地からなっている。

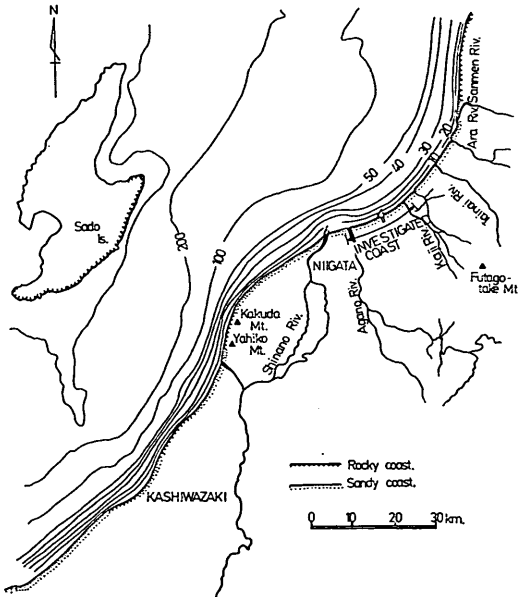


図-2.1 新潟海岸の地形

海岸線は新信濃川と信濃川の間角田浜附近を中心に凸状に海に向かって張り出し、この凸部の北西沖に佐渡ヶ島が横たわっている。角田浜から信濃川間の海岸線はほぼ直線状であるが、信濃川河口から三面川河口にかけての海岸は、北西方向に正対したなめらかな湾曲をなして海に開いており、その最奥部附近に加治川および胎内川が流出している。本報告の対象とした海岸は、この湾曲部の南西の部分構成している。

海岸線に沿って砂丘、砂堆列が発達し、その最も大規模なものは、南方の角田浜から北端の三面川河口付近まではほぼ 70km にわたって連なり、標高 25~30m に達する部分も少なくない。今回の調査対象となる海岸は、中で

も砂丘の発達の最も著しい地域に当り、海岸から福島潟附近までの間に 8 列内外の砂丘、砂堆が見られる。

水深 -30m 程度までの等深線は、信濃川および阿賀野川河口付近で凸状に沖に張り出すが、全般的には海岸線に平行であり、角田浜附近から信濃川河口にかけて徐々に勾配がゆるやかになり、信濃川河口から三面川河口に至る湾曲部では、湾奥部で勾配が急になり両側部で多少ゆるやかである。水深 -40~-200m の等深線は、角田浜以南では海岸線にほぼ平行に走っているが、角田浜から北に行くにしたがって海岸から遠ざかり地形は緩勾配となる。

### 2.2 阿賀野川河口近傍海岸の海底地形

図-2.2 に、新潟東港建設以前 (1962 年 7 月) の調査対象海岸の深淺図を示す。水深 -7 m 以深の等深線は、阿賀野川河口付近の水深 -15m 以浅の部分で著しく凸状に沖に張り出しているが、他の地域では滑らかな曲線をなしている。水深 -7 m から -20m の間は対象地域の西端で勾配が 1/150 とゆるやかで、東に向かって徐々に勾配が急になるが、阿賀野川の東 2~3 km 程度の地点以東ではほぼ 1/70~1/90 の一定勾配となる。水深 -6 m 以浅の地形はきわめて複雑である。この地域には沿岸砂州が 1~3 段になって存在しており、最も沖側の沿岸砂州は汀線から 500~600m の距離にあり、その頂部水深は 3~6 m、谷部水深は 5~9 m 程度である。最も沖側の砂州の沿岸方向の長さは 1~3 km 程度であるが、砂州の比高、沿岸方向への長さ共に西から東に向かって小さくなっている。岸側へ 2 段、3 段目の沿岸砂州は沖側の砂州に比べると小規模である。

### 2.3 底質特性

図-2.3 は 1962 年 7 月における底質中央粒径および均等係数の分布を示すものである。中央粒径 ( $d_{50}$ ) は、水深 -10~-15m の沖浜では 0.15mm 程度で地域的にも大きな変動はなく、測定時期が変わってもあまり変化していない。砕波帯中の水深 -5m 線上では、阿賀野川河口付近で 0.3mm 程度あるが東に向うにつれて徐々に細くなり、加治川前面付近ではほぼ 0.2mm 程度となる。この傾向は、測定時期が異っても大体保たれている。汀線附近の中央粒径は、変動性に豊んでおり、測定時期および場所によって 0.67mm~0.3mm 程度で変化し、阿賀野川右岸付近で粗く、東に向かって細くなる場合が多い。

均等係数 ( $S_0$ ) は、阿賀野川の排出土砂の堆積のために、阿賀野川河口付近の -10 m 以深の地点でしばしば 3.0~4.0 程度の値を取るが、その他の地域ではほぼ 1.5~2.0 程度の値であり、一般には水深が大きいほど小さ

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

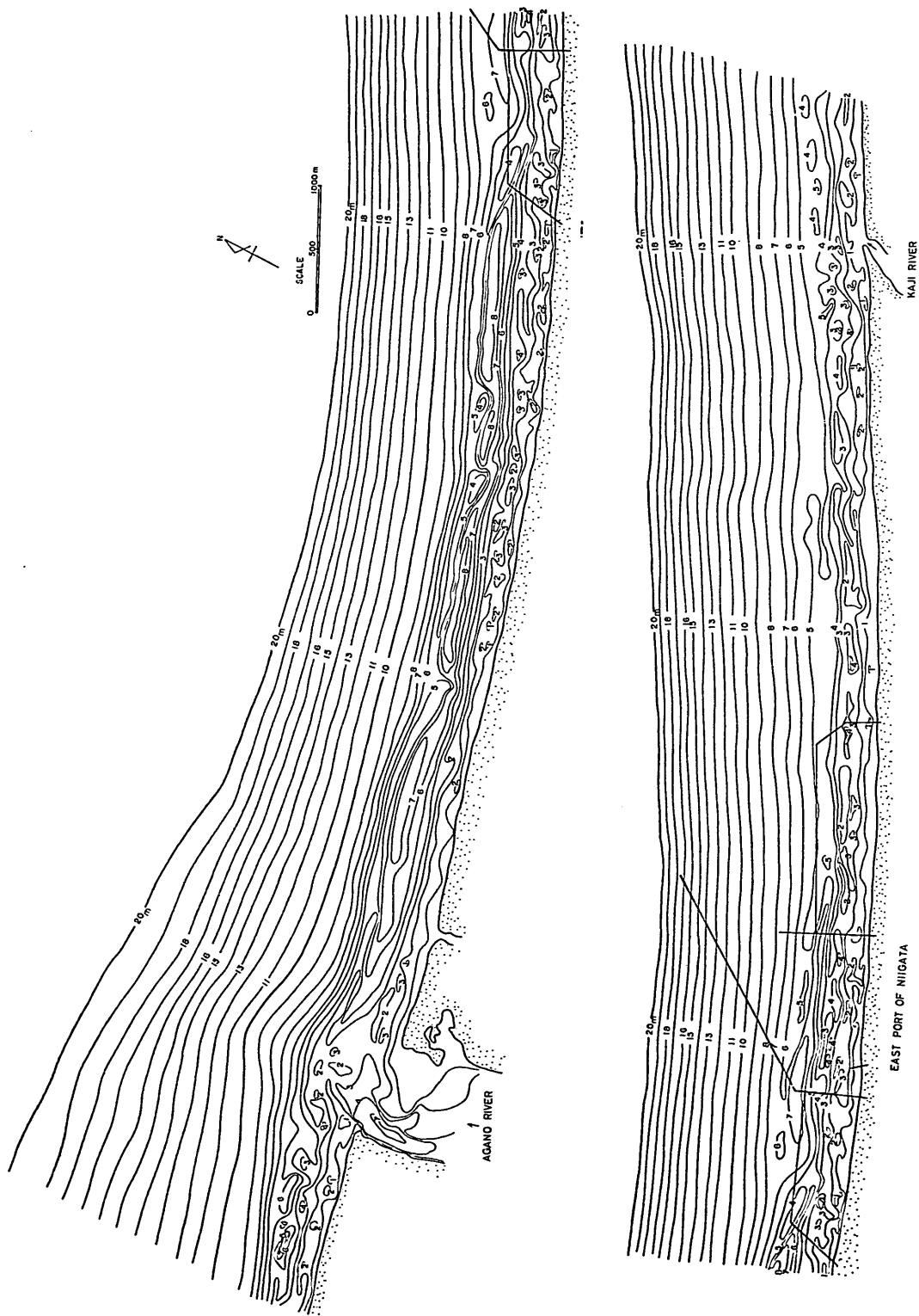


図-2.2 調査対象地域水深図



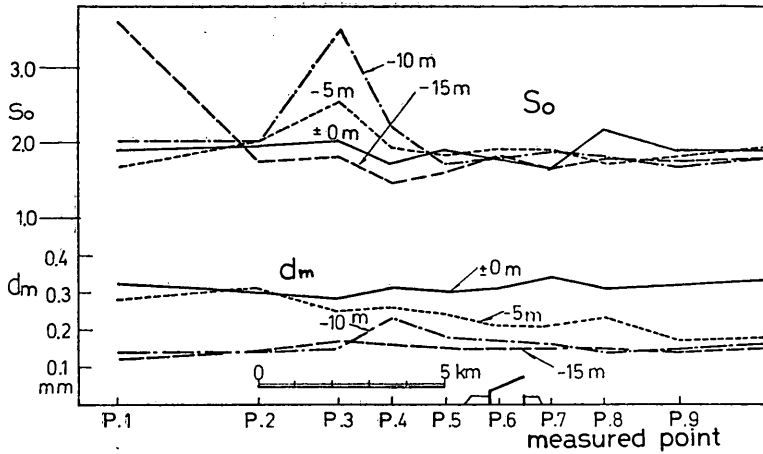


図-2.3 調査対象海岸の底質

な値を取る傾向がある。

2.4 気 象

本海岸は、冬季における強烈な季節風で特徴付けられ、夏季はきわめて静穏である。図-2.4に示すように、年間を通しての10m/s以上の強風の最多風向はNW方向であり、強風の大半は海岸線に直角な方向に対して西

側から東に向って吹く。強風頻度は冬季に圧倒的に高く、全体の60%は冬季に集中する。

2.5 海 象

本海岸は、日本海沿岸の特色として、潮位偏差がきわめて小さく、わずかに0.277 mにすぎない。したがって、潮流は微弱であり、漂砂に対する外力としては波浪および波浪流のみを考えれば良い。

本海岸の波は、冬季に強烈な季節風に伴って発生するものが大きく、夏季は台風の影響を受けることは少なく、一般に静穏である。波高の大きい激浪は、12月から3月の間に頻繁に通過する移動性低気圧に伴って発生し、これらの中には、1970年1月低気圧のように大型台風と相当するものが多く、このような低気圧が通過すると有義波高が7 mを越える波が本海岸に来襲する。

図-2.5は1973年1月から1974年12月までの2ケ年間東港東海岸の沖合、水深-24.2m地点において超音波波高計によって測定された波の発生確率を示すものであり、図-2.6は、波高発生率を季節別に示したものである。さらに図-2.7は、ミリ波レーダーにより観測された波向の頻度を示している。これらによると、 $H_{1/10}$ が0.5m以下の静穏な時間は全体の45%であり、その大半は夏季に集中する傾向があることがわかる。逆に、 $H_{1/10}$ が2mを越える荒天は、全体の17%あり、その大半は12月から2月の冬季に集中している。太平洋側の海岸と異なり、本海岸では波の周期と波高との間には、明瞭な相関があり、波高と共に周期が長くなる。波向は、前述した風向と一致してNW~NNW方向に集中しているが、風向分布と異なってNW~W方向からの波は少ない。この原因は本海岸のWNW以西の方向から波は、その沖合に横た

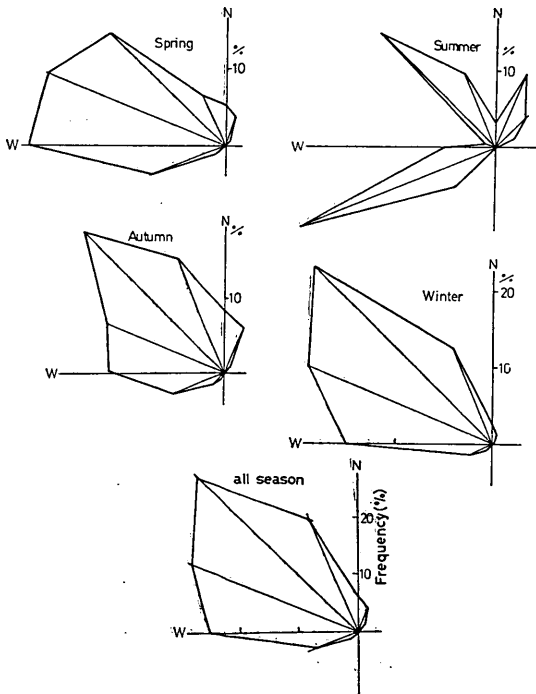


図-2.4 調査対象海岸の風

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

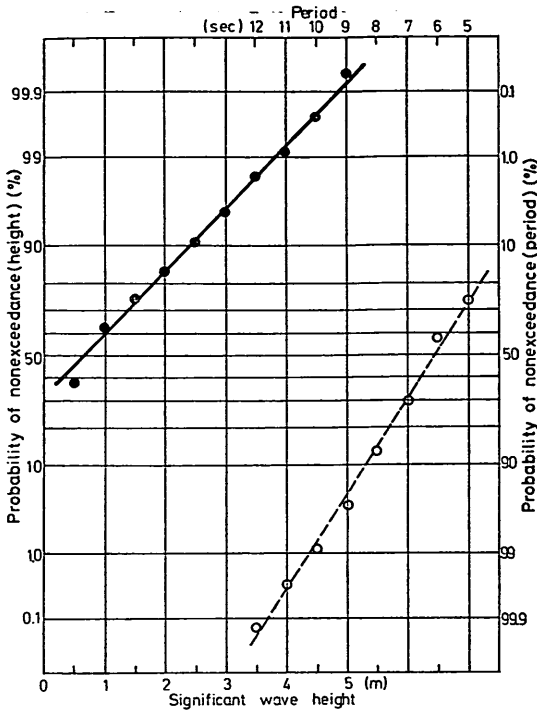


図-2.5 波高, 周期の発生率

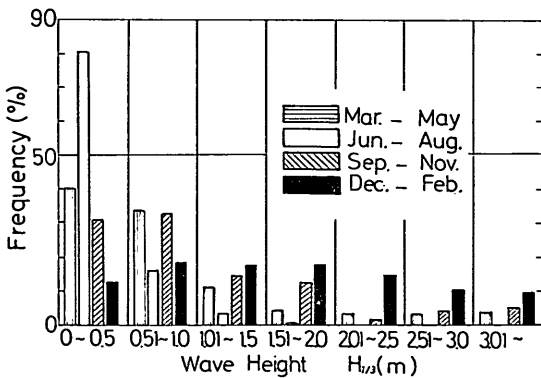


図-2.6 季節別の波高発生率

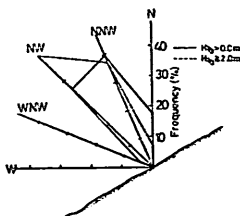


図-2.7 波向の分布

わる佐渡ヶ島によって遮蔽されてしまうためと考えられている。

本海岸の波浪の今一つの特徴は、その継続時間の長いことにある。これは、波の発生要因が持続性の強い気節風によるものであるため、1度荒天になれば波高  $H_{1/10}$  が2 m以上の波が5日から1週間継続されることも少なくない。

2.6 漂砂

本海岸の漂砂については、新潟海岸の侵食の調査および新潟東港の建設のための予備調査の中で種々の調査が行なわれて来た。これらによると、信濃川河口から三面川河口に至る砂浜海岸において、その西部すなわち信濃川河口から加治川河口に至る地域は、信濃川および阿賀野川の勢力下であり、西から東に向う漂砂が卓越することが明らかにされている。一方、東部すなわち三面川から落堀川に至る地域は三面川荒川等の勢力圏にあり、東から西に向う漂砂が卓越する。したがって、本調査対象海岸は、西から東へ向う漂砂が卓越する地域に相当するが、その東端、加治川に近付くにつれて卓越方向が不鮮明になるものと考えて良いであろう。沿岸漂砂量に関して確度の高い推定値はない。

2.7 阿賀野川の特性

阿賀野川は福島県に源を発し、幹川延長215 km、流域面積約7,708km<sup>2</sup>、計画高水流量11,000m<sup>3</sup>/secの我が国でも有数の河川である。古くは最下流で信濃川と合流していたが1731年松崎放水路として開削された水路が出水により拡大され、現在位置に流出することになったと言われる。河川の縦断勾配は、河口から上流140 km程度の間で平均的に1/700程度、その上流では1/100程度の勾配になる。

阿賀野川はその流域面積の89%が山地であり、流域内の年間降雨量は上流部で1,200~2,000 mm、下流部で2,000~2,500mmである。冬季の積雪は多い所で5 mに達し、この積雪が本河川の出水原因となる。

図-2.8は1962年以降1973年に至る間の河口から約13 km上流の横越観測所における月平均流量の変化を示すものである。図によると前述した融雪出水による3月~5月のピークが毎年見られ、1964年、1966年、1969年等、台風による出水の見られる年もある。流量は激しく変動しているが全体的には多少減少傾向にある。図-2.9は各流量レベルの出現日数および年平均流量の経年変化を示している。図によると、年平均流量は2~4年の周期性を持って変化しながら徐々に減少する傾向を示し、日平均流量が500m<sup>3</sup>/sec以上の日数も、年平均流量

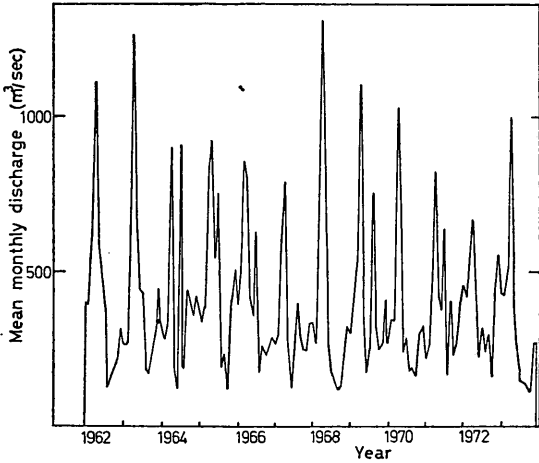


図-2.8 阿賀野川の月平均流下流量

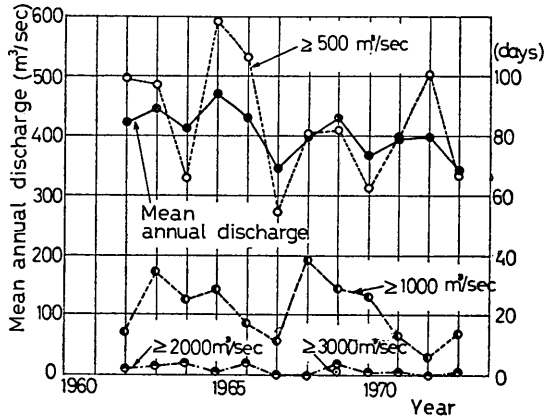


図-2.9 阿賀野川の年平均流下流量および出水回数

の変化と非常に似かよった変動をしている。日平均流量が  $1,000\text{m}^3/\text{sec}$  以上の出水日数は1963年と1968年にピークを持ち、この周期性が有意であるとすれば5年程度の周期である。調査期間において最も大きい日平均流量は1969年8月12日の新潟県下の集中豪雨時で  $3,470\text{m}^3/\text{sec}$  であった。

### 2.8 地盤沈下および新潟地震

新潟市は地盤沈下地帯として著名であり、その地域は新潟市街を中心に東は加治川附近から西は寺泊附近にまで及んでいる。図-2.10 は東港に最も近い2等水準点 No. 2191 および阿賀野川左岸に位置する新潟空港水準基点の累積沈下量を示すものである。これによると東港附近では1960年初期、年間  $10\sim 15\text{cm}$  程度の沈下量を示すが、沈下量は徐々に減少し近年は年間  $3\sim 5\text{cm}$  程度の沈下量に止まっている。しかし、阿賀野川近くでは、

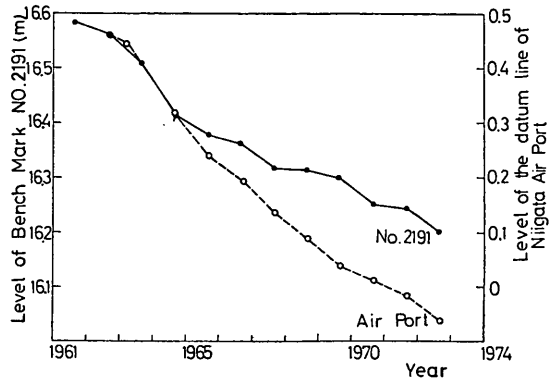


図-2.10 調査対象地域の地盤沈下の進行状況

沈下速度の減少はゆるやかである。

1964年6月16日に生じた新潟地震によって、震源の粟島においては  $90\sim 150\text{cm}$  程度の隆起が生じ、対岸の山形県と新潟県々境において最大  $45\text{cm}$  程度におよぶ沈降の生じていることが知られている。しかしながら、この影響は村上市附近までに止まり、今回の調査対象地域には及んでいないようである。仮に多少の隆起、沈降が存在したとしても、その結果は図-2.10 に示す地盤沈下量の中に含まれている。

### 2.9 新潟東港建設工事

新潟東港の建設は、本海岸の海底地形変化を考える上で見逃し得ない外的条件である。新潟東港建設工事は1963年4月西防波堤の建設から着手された。以降の防波堤伸長状況は、図-2.11 に示すとおりである。西防波堤は年間  $200\sim 400\text{m}$  弱の速さで伸長され、1973年度末で  $2,614\text{m}$  の延長に達している。東防波堤は1965年、西防波堤が約  $700\text{m}$  に達した時点で着手され、1969年度で全延長  $781.5\text{m}$  を完成した。

航路浚渫工事は、1964年船溜の浚渫工事から着手さ

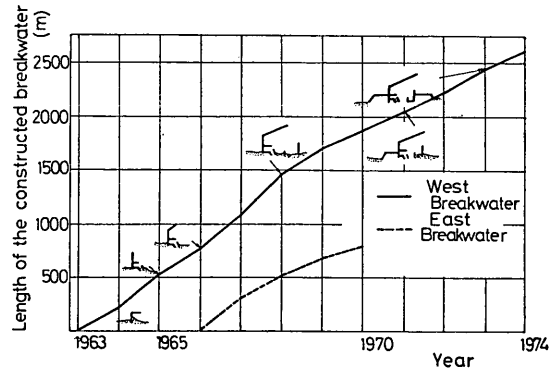


図-2.11 新潟東港の防波堤伸長状況

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

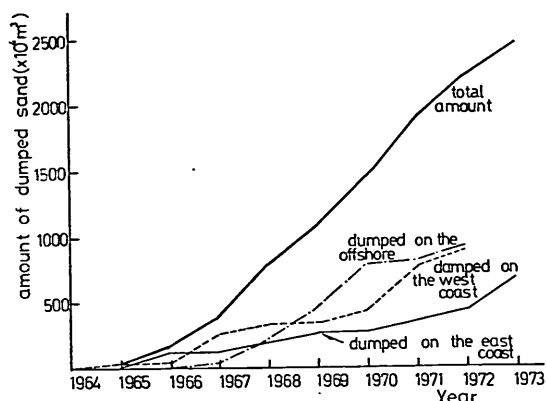


図-2.12 新潟東港浚渫土砂投棄状況

れ、浚渫土砂は東西両海岸および西防波堤直部の延長上、旧汀線から約4 km 沖地点の直径500 m 程度の地域に投棄された。沖捨て地域の水深は約-40m 程度である。図-2.12 は投棄土砂量の累計量を示すものであり、これによると、1964年以来1972年度末までに、総計2,471万 $m^3$ の土砂が投棄されているが、その内訳は西海岸へ880万 $m^3$ 、東海岸へ670万 $m^3$ 、沖捨て920万 $m^3$ となる。

また、浚渫土砂の海岸への投棄に伴い、西海岸には1970年度に、東海岸には1972年度に各々1,600m および2,090mの埋立護岸が建設された。

3. 本解析に用いたデータ

本解析に用いた基本的データは、新潟東港建設のために、第一港湾建設局、新潟港工事事務所によって実施されて来た深浅測量の成果である。これら測量成果の一覧を表-3.1に示した。

これらの測量成果は、各種縮尺の深浅原図として、工事事務所に保管されているが、今回の作業では、これらの原図を35m/m マイクロ・フィルムに収録し、さらにこのマイクロ・フィルムから作成したA3版の縮少版を用いた。縮少版の縮尺はすべて1/10000である。

これらの深浅原図中の等深線の形状は、GRAF/PEN GP-2によってデジタル化され、最終的には海岸に自動的に設定された50m間隔の格子座標の交点の水深値として磁気テープに集録されている。これらの作業過程は、著者等が「深浅図ライブラリー」と称し、他港のデータと共に進んでいるもので、その詳細について文献4)に述べられている。

深浅測量業務としては、船上に設置した音響測深機を用いて測定時の水深を測り、これに附近の検潮所水位によって水位補正を加え、測深位置は2~3台のトランシ

表-3.1 解析に使用した深浅図の一覧

深浅図番号	測量年月	測量範囲	深浅図番号	測量年月	測量範囲
1	1962. 7	全域	18	1967. 3	河口
2	1963. 3	河口	19	" 5	全域
3	" 6	全域	20	" 8	河口
4	" 10	河口	21	" 12	全域
5	" 11	全域	22	1968. 3	河口
6	1964. 3	河口	23	" 5	全域
7	" 5	全域	24	" 11	"
8	" 7	河口	25	1969. 6	"
9	" 11	全域	26	" 10	"
10	1965. 3	河口	27	1970. 6	"
11	" 6	全域	28	" 12	"
12	" 7	河口	29	1971. 6	"
13	" 11	全域	30	" 10	"
14	1966. 3	河口	31	1972. 5	"
15	" 5	全域	32	" 10	"
16	" 7	河口	33	1973. 6	"
17	" 11	全域	34	" 10	"

注) 全域: 阿賀野川から加治川までの範囲, 河口: 阿賀野野川河口付近のみ

ットで定めるのが最も一般的な方法である。したがって、その作業過程で各種の誤差を含む可能性があり、測量精度について問題とされる場合も少なくはない。

深浅測量の測深技術上の誤差については、第一港湾建設局新潟調査設計事務所の検討結果<sup>14)</sup>などがある。これらから推察して、非常に条件の悪い場合を除いては、測深誤差は±10cm程度と考えて良いようである。

しかしながら、水位基準の取り方の過誤などのような系統的誤差の介入がないかぎり、或る地域にわたる平均水深や土量の増減を求めるように、地域内における多数データの平均化作業を行えば、かなり精度の高い結果を得ることが出来るはずである。また、系統的誤差の介入は、データを時系列的に見、異常な変動について十分な考察を行なうことによって発見することが出来る。

測量の誤差とは言えないけれども、深浅測量成果のもつ今一つの問題点は、その作業速度の関係から、測量範囲が広範にわたる場合には、測量に相当日数を要することである。成果が1枚の深浅図として表示されていても、その測量に1ヶ月以上を要したという例は少なくない。

また、本解析に用いた測量成果の多くは、港湾周辺での地形変化のモニタリングを目的として継続的、定期的

に行なわれた測量によるものである。したがって、地形を大きく変化させるような外力の発生時期と測量実施時期との間には、常にかかなりの時間的ずれがある。

地形は強烈な外力に対して大きく変化し、比較的小さな外力に対してもわずかつつ変化している。したがって、深浅図上に見る地形は、わずかつつ期間の異なる過去の外力の残像が重り合った地形を地域的に緊き合せた地形像である。

こうした深浅測量データの持つ性格は、いわば宿命的なものではあるが、外力とそれに対する地形の応答との関係を追究する場合に、常に問題となる。このような問題に対しては、過去の外力の選択、すなわち過去の外力をどの程度の期間振り返って、どのように（代表値を選ぶかあるいは平均化するかといった）選択するという判断によって対処する以外に方法はない。この判断は、研究者の地形学的な知識と経験が背景とはなっていないが、私的なものであることに変わりはない。

以上述べたように、深浅測量データは多くの問題点を含んでいいるが、解析視点が適確であれば、これらデータを用いて地形変化の特性を十分把握することが可能である。このことは、本文を通読することによって理解されるであろう。

本解析には、前述の深浅測量成果の他に、汀線変化に関する資料、新潟東港の建設工事に関する資料が用いられているが、これらは、第一港湾建設局、新潟港工事事務所の提供を受けた。

さらに、阿賀野川の流下流量および河道地形に関する資料に関しては、建設省北陸地方建設局、阿賀野川工事事務所から提供されたものを用いた。

## 4. 長期的広域的に見た地形変化

### 4.1 解析の内容

解析の第1段階として、前章で述べたデジタル化された深浅測量成果を電子計算機で処理することによって、地形の長期的広域的变化を定量的に把握することを試みた。電子計算機を用いた解析の内容は以下に示す3つの方法である。

#### (1) 各区域の平均水深の算定

本海岸の土砂増減を定量的に把握するため、海域をいくつかの区域に分割し区域内の平均水深を計算した。区域の分割をあまり小さくすると平面的な分布のパターンが複雑になって、大きな現象（変化）を見落す恐れがあるし、逆に区域の分割を大きくすると、変化の場所的相違をとらえることができなくなる。従って、区域分割

は、対象地域の地形の変動性の大小および解析の目的などによって適正な大きさに決定されねばならない。ここでは、沖向きには沿岸砂州が存在し比較的短時間の地形変化の激しい汀線から水深-6m~-7mまでの岸側領域、水深-6m~-7mから水深-14m~-15mまでの中間領域、水深-14m~-15mから水深-20mまでの沖側領域の3領域に分割し、さらに、沿岸方向は一様に一边500mの長方形区域に分割した。計算区域および区域番号を図-4.1に示す。なお区域番号は、60番以下の偶数番号が岸側領域、59番以下の奇数番号が中間領域、61番以上の番号が沖側領域に含まれる区域をそれぞれあらわしている。各区域面積は、必ずしも同一でなく表-4.1に示すとおりである。

各区域の土砂増減を把握するためには、体積計算を必要とするが、各区域の面積が異なるため地形変化を検討する際に不便である。そこで、ここでは区域内の水容積を計算した後、面積で除して場所的平均水深を求めた。水容積は、必要に応じて平均水深に区域面積を乗ずればよい。デジタルデータから水容積を計算する方法の詳細は文献4)に示されている。

#### (2) 一定地点に於ける水深の時間的変化量と変化傾向の型の算定

10年あまりのタイムスケールで地形変動を考えた場合、異なる2地点の欠壊（堆積）量は同じでも、その欠壊（堆積）過程は異なることが多い。例えば、欠壊地点の欠壊過程が一定速度で欠壊しているものであったり、初期に欠壊が激しく最近ほとんど欠壊していないものであったり、逆に初期には欠壊していなくて最近になって激しく欠壊が生じているものであったりする。これらの変化過程を知ることは、欠壊の原因、将来の欠壊量等を考えるとき非常に有益である。

水深の変化過程には種々のタイプが存在し得るが、本解析では任意の地点の水深の時間的変化パターン（変化型と呼ぶ）を次の3つの型に分類した。すなわち、水深が時間とともに

- a) 直線的に変化する（直線型）
- b) 放物線的に変化する（放物線型）
- c)  $\sqrt{\quad}$ 曲線的に変化する（ $\sqrt{\quad}$ 曲線型）

である。電子計算機でこれらの型を判別するため次のような手法を用いた。まず直線型、放物線型、 $\sqrt{\quad}$ 曲線型に対応する曲線として、それぞれ

$$a) \quad h = \alpha_1 t + \beta_1 \quad (4.1)$$

$$b) \quad h = \alpha_2 t^2 + \beta_2 t + \gamma_2 \quad (4.2)$$

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

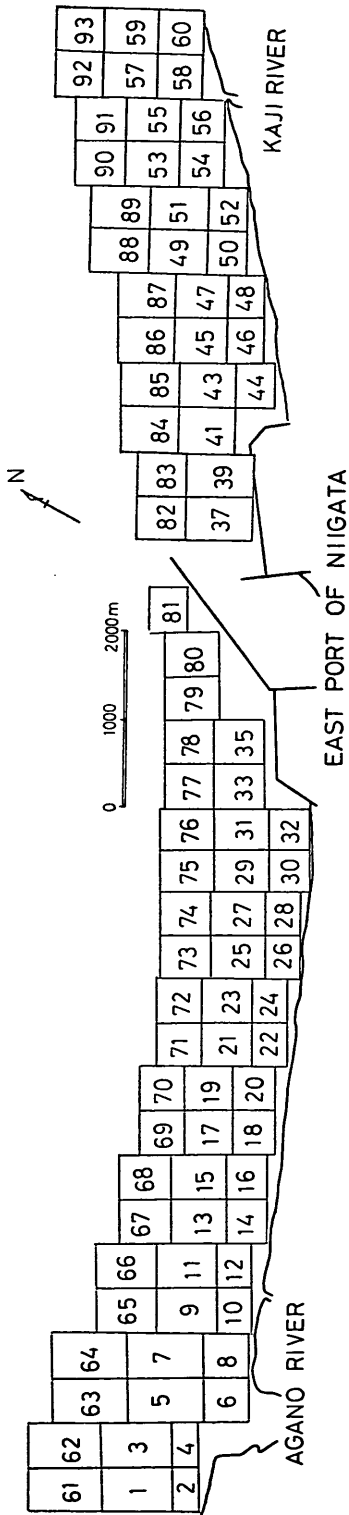


図-4.1 平均水深計算区域および区域番号

表-4.1 平均水深計算区域の面積

岸側 区域 No.	面積 m <sup>2</sup>	中間 区域 No.	面積 m <sup>2</sup>	沖側 区域 No.	面積 m <sup>2</sup>
No. 2	175,000	No. 1	400,000	No. 61	400,000
4	175,000	3	400,000	62	400,000
6	250,000	5	425,000	63	425,000
8	250,000	7	425,000	64	425,000
10	200,000	9	325,000	65	350,000
12	200,000	11	325,000	66	350,000
14	225,000	13	300,000	67	300,000
16	225,000	15	300,000	68	300,000
18	225,000	17	275,000	69	250,000
20	225,000	19	275,000	70	250,000
22	200,000	21	275,000	71	250,000
24	200,000	23	275,000	72	250,000
26	200,000	25	300,000	73	275,000
28	200,000	27	300,000	74	275,000
30	225,000	29	300,000	75	300,000
32	225,000	31	300,000	76	300,000
		33	275,000	77	275,000
		35	275,000	78	275,000
				79	300,000
				80	300,000
				81	225,000
		37	375,000	82	375,000
		39	375,000	83	375,000
		41	325,000	84	300,000
44	225,000	43	325,000	85	300,000
46	200,000	45	300,000	86	300,000
48	200,000	47	300,000	87	300,000
50	225,000	49	325,000	88	300,000
52	225,000	51	325,000	89	300,000
54	250,000	53	300,000	90	275,000
56	250,000	55	300,000	91	275,000
58	225,000	57	325,000	92	300,000
60	225,000	59	325,000	93	300,000

$$c) \quad t = \alpha_0 h^2 + \beta_0 h + \gamma_0 \quad (4.3)$$

$h$ : 水深

$t$ : 時間

$\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ : 係数

の3曲線を定義し、データを用いて最小自乗法近似により各々の曲線に対する係数を決定した。それらの近似式のうちで、最小の水深偏差を与える近似式の型をその地点の水深変化型とした。ただし、 $\sqrt{\quad}$ 型の近似式の係数

は時間偏差が最小になるように決定し、他の型の水深偏差と比較する際には決定された係数を使用して水深偏差を求めた後に行なった。

(3) 各区域間の平均水深変化の相関係数の算定

漂砂現象は、時間的空間的に連続したものであり、侵食および堆積は一つのメカニズムの中で関連しあって生起するものであるから、ある区域の平均水深の時間変動が隣接区域の時間変動と関連性をもつであろうことは当然予想されることである。この各区域間の水深変化の関連性を知ることは、海底の地形変化を理解するうえで重要なことである。そのために、本解析では相関係数の概念を導入して解析を行なった。

相関係数  $r_{ij}$  は次式で定義される。

$$r_{ij} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (h_{iu} - \bar{h}_i)(h_{ju} - \bar{h}_j)}{\sigma_i \sigma_j} \quad (4.4)$$

$$\text{ただし } \sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (h_{iu} - \bar{h}_i)^2}$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (h_{ju} - \bar{h}_j)^2}$$

$h_{iu}, h_{ju}$ : 区域番号  $i, j$  の区域の  $t$  番目の空間的平均水深

$\bar{h}_i, \bar{h}_j$ : 区域番号  $i, j$  の区域の空間的平均水深の時間平均値

この相関係数の計算は、図-4.1に示す区域を、i) 岸側領域、ii) 中間領域、iii) 沖側領域に分け、それぞれの領域内の区域について行なった。

4.2 1962年から1973年に至る11年間に生じた地形変化の概括的把握

1962年から1973年に至る11年間の地形変化を概括的に把握するために、先ず図-4.2を示す。この図は、1962年7月と1973年6月の深淺図を重ね合せたもので、堆積箇所は斑点模様で、欠壊箇所は黒色で示されている。

図において第1に目に付くのは、阿賀野川河口附近における著しい侵食である。1962年に見られた河口での等深線の沖向き張り出しが1973年にはほとんど見られず、いわゆる河口海底の舌状砂州がほとんど消滅してしまっていることを示している。この問題については、次章において詳述する。しかしながら、この地域の欠壊パターンが阿賀野川河口の西側ほど著しくなっている状況から、本報告の対象地域の西に続く信濃川河口を中心とした侵食の影響を見逃すことは出来ないものと思われる。

阿賀野川河口と新潟東港の中間地域に広範な堆積が見られる。この堆積は、新潟東港建設の影響と考えるのが

自然である。この海岸の漂砂の特性として西から東へ移動する漂砂が、東港西側の埋立護岸によって阻止され、さらに新潟東港西防波堤に斜めから波が作用することによって生じるであろうと考えられる防波堤に沿った西向きの流れによって押された結果の堆積であろう。

新潟東港の周辺について見ると、西防波堤に沿ってその港外側に侵食箇所が見られ、西防波堤の先端沖合附近が堆積して、さらに新潟東港の東側の水深-6m程度以深の地域が欠壊している。こうしたパターンは他の港湾周辺でもしばしば見られるものであり、西防波堤港外側の侵食は、防波堤に沿う波および流れの効果であり、新潟東港東側の欠壊は、西防波堤の効果によって西からの漂砂の供給が断たれた結果によるものように見える。

他の港湾にしばしば見られる港湾周辺における地形変化のパターンとして、長大な主防波堤の上手海岸（この海岸では西防波堤の西側に当たる。）の侵食および主防波堤の下手海岸（東港の東側。）の侵食は、新潟東港の場合は、これら両地域が埋め立てられているために現われていない。さらに港湾等に対して漂砂の下手海岸に現われることの多い侵食傾向も、ほとんど見られない。前述したように、信濃川河口から三面川河口に至る海岸においては、元来信濃川河口附近から加治川河口附近までの間は東へ向う漂砂が卓越し、逆に三面川附近から胎内川河口附近までの間は東から西へ向う漂砂が卓越する傾向があった。したがって、加治川附近では漂砂の卓越方向は明瞭でなく、長期間にわたって平均すれば、沿岸漂砂量が元来少なかつたものと考えて良いであろう。新潟東港の東海岸に侵食傾向がほとんど見られないのは、このような理由によるものと思われる。なお、港内の欠壊は航路浚渫によるものである。

図-4.3は、前述した図-4.1に示す区域について1962年から1973年に至る11年間に生じた平均水深の変化量を示すものである。図において区域内の数値はm単位で表わした水深変化量、プラス符号は堆積、マイナス符号は侵食を示している。この図は、前述した地形変化を定量的に示すことを目的としたものであるが、図を見るにあたっては新潟海岸全域に生じている地盤沈下量を念頭に置かななくてはならない。前述した（図-2.10参照）新潟東港の水準変化によると、地盤沈下量は3~5cm/年と考えられるから、11年間では0.33~0.55mの水深の増加が地盤沈下によって生じていることになる。したがって、図-4.3において0.30~0.50m未満の水深変化は漂砂現象に起因する水深変化として有意なものではない。この図-4.3によっても、漂砂現象に起因する地形変化として

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

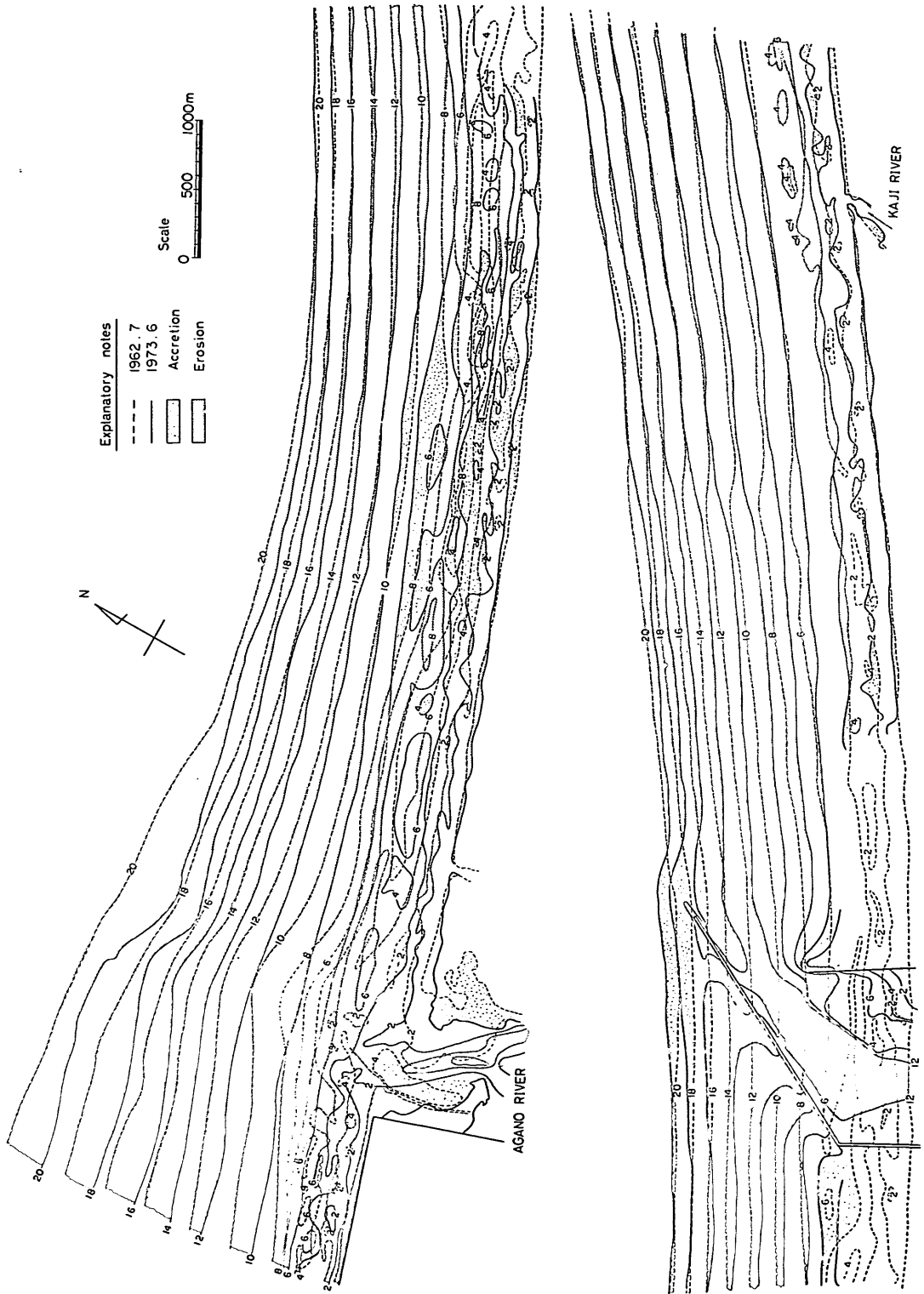


図-4.2 1962年7月と1973年6月の深浅比較図

EAST PORT OF NIIGATA



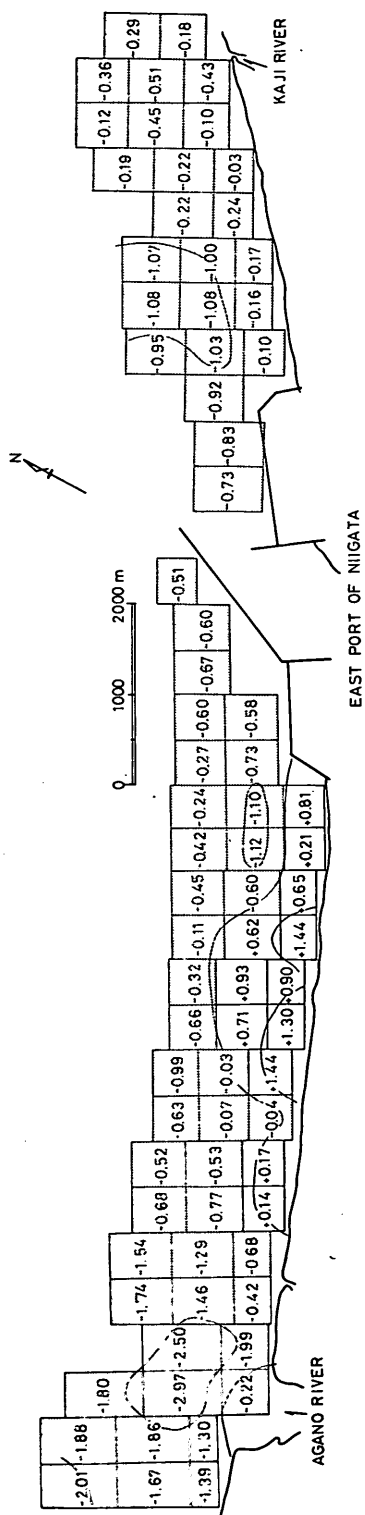


図-4.3 1962年7月と1973年6月の平均水深変化

有意なものは、前述した通りであることがわかる。

以上述べたように、今回の調査対象海岸の地形変化に対して、新潟東港の建設は当然大きな役割をはたしている。しかし、港湾の埋設を防止し、併せて海岸の欠壊を生ぜしめないという観点から見ると、これらの地形変化は港湾建設地点の選定をも含めて、港湾が実に巧みに計画されており、計画における意図の通りに漂砂現象を制御し得ていることを示すものと考えて良いであろう。

### 4.3 地形変化の時間的経過

前述したように各格子交点における水深の時間経過に対する変化型の計算を、1962年から1973年の全年、1962年から1967年の秋季および1967年から1973年の秋季について行なった。その結果をそれぞれ図-4.4、図-4.5、図-4.6に示す。各図では250m間隔の格子交点における変化型を示しており、交点上のAは直線型変化、Bは放物線型変化、Cは $\sqrt{\quad}$ 型変化を示している。変化型の下に記した数字は、水深値を直線近似した場合の係数 $\alpha_1$ を計算したものである。正の係数は欠壊を意味し、図中では黒く塗られており、負の係数は堆積を意味し白抜の部分である。なお係数値が1.0は1年間に水深が12cm変化するのに対応している。

まず、図-4.4によって全年の変化について見ると、新潟東港西側のNo. -80からNo. -10までの地域と阿賀野川河口左岸等で堆積が見られるだけでほとんどの地域が欠壊している。新潟東港より東側 (No. 60~No. 180) はほぼ全面に欠壊しているが一般に欠壊量は少なく、顕著な区域 (No. 60~No. 100, の沖方向 No. 26~No. 41) でも約10cm/年である。一方西側 (No. -170~No. 10) には、堆積の区域と欠壊の区域が存在し、しかもそれらの量はともに大きい。堆積の著しい区域は、阿賀野川河口左岸附近とNo. -80からNo. -10までの砕波帯内であり、特に後者の区域では40cm/年にも及ぶ堆積地点さえ存在する。欠壊の著しい区域は、阿賀野川河口沖の沖方向No. 36~No. 41の範囲と河口より西側No. -80に到る約3kmの沿岸砂州の存在している浅い範囲である。欠壊の最も激しい阿賀野川前面では、50cm/年にも達する。沖の水深が大きいところは、一様に欠壊している。

変化型に注目すると、最も多いのは直線型 (A) であることがわかる。直線型は、堆積欠壊がこの11年間にほぼ一定速度で生じていることを示すものであり、本海岸は全域にその傾向が強いといえよう。 $\sqrt{\quad}$ 型は阿賀野川河口前面附近に集中しているが、ほぼNo. -140を境にして東側は前半欠壊が著しく後半少ない $\sqrt{\quad}$ 型 (C) であり、西側は前半欠壊が少なく後半著しい $\sqrt{\quad}$ 型 (C')

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

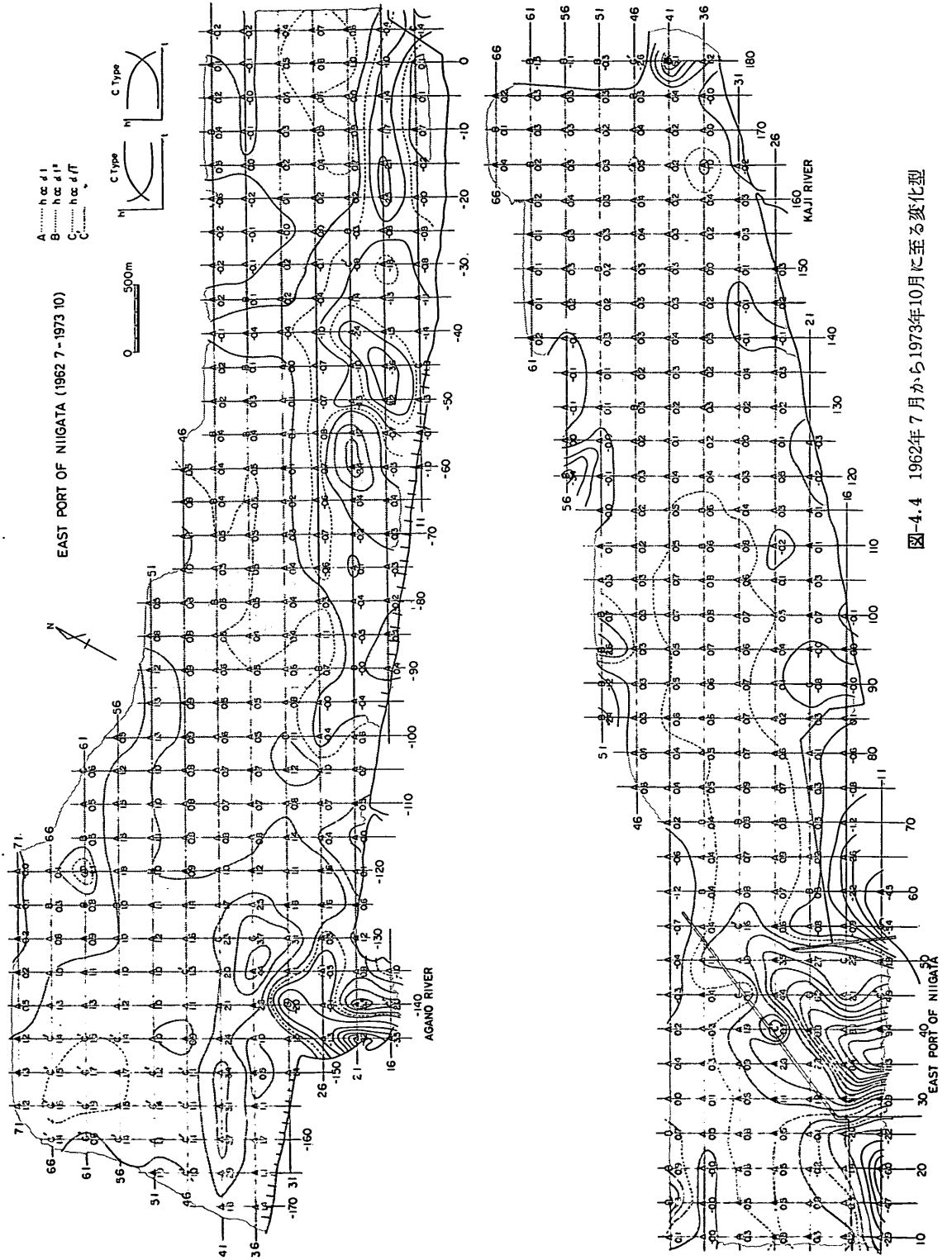


図-4.4 1962年7月から1973年10月に至る変化型



阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

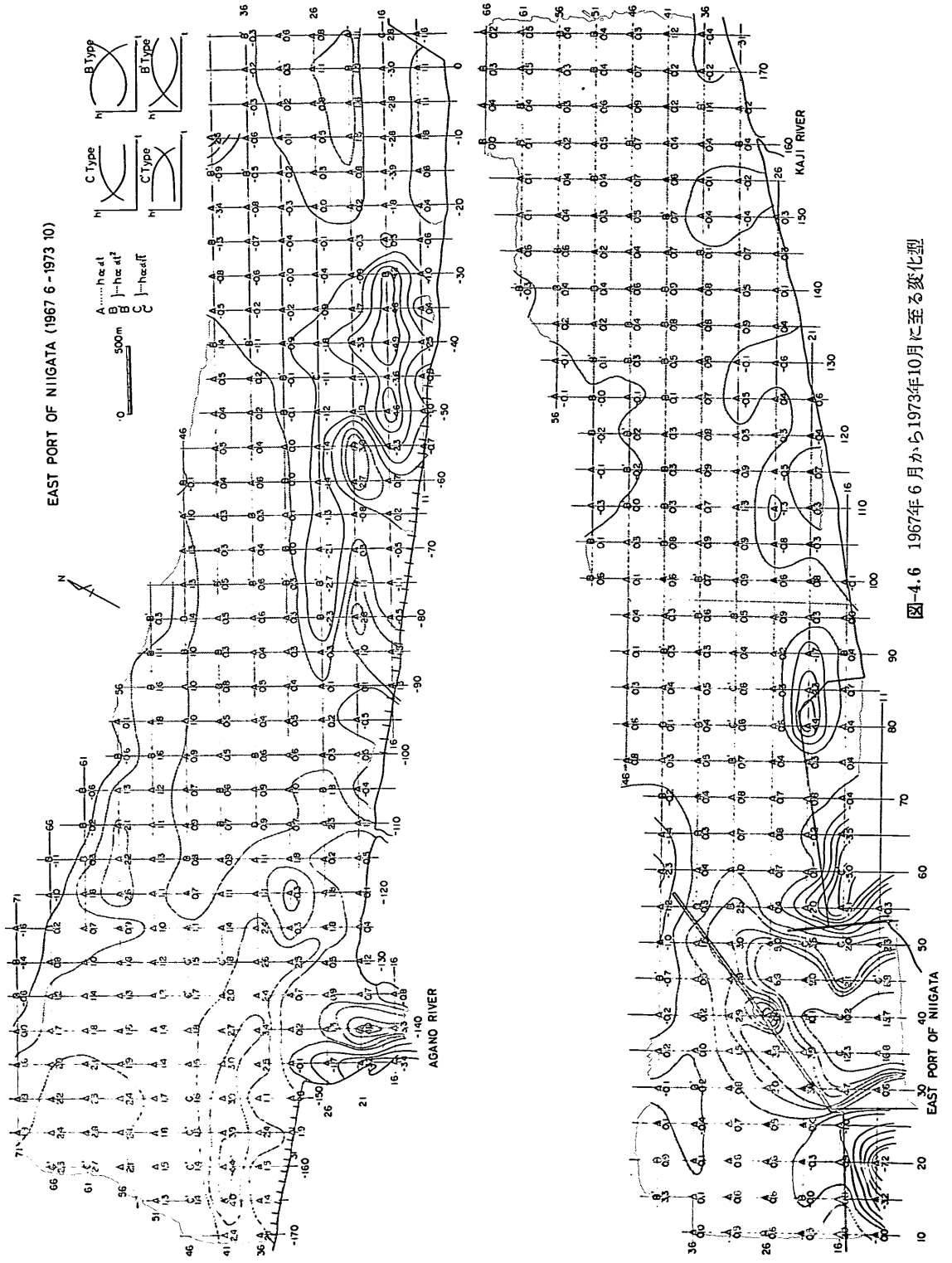


図-4.6 1967年6月から1973年10月に至る変化型

である。この様に√型が河口前面に集中して、左右で内容が異なるのは、河口前面海面下の堆積地形の変形に起因していると考えられ、この点に関しては次章で詳しく議論する。放物線型は最も少なく、阿賀野川河口、阿賀野川河口沖のNo. -125附近、新潟東港東西護岸前面の沖方向No. 26~No. 31の附近、No. 110~No. 115で沖方向No. 36の地点に限られている。

地盤沈下量は、図-2.10に示されているように1965年から1973年まではほぼ直線的に変化増大しており、ここで議論している変化型でいえば直線型係数0.3に相当するものである。したがって図-4.4において、直線型欠壊が全域に広がっているのは、地盤沈下の影響が含まれていることによると考えられる。特に新潟東港より東側のほとんどの地域およびNo. -50~No. 40の沖側の地域は、係数が0.2~0.3程度であることから、地盤沈下によるものと考えられる。

図-4.5は、1962年から1967年すなわち調査期間の前半期の変化型の分布を示す。各格子点のデータ数が全年の約半分であるので、最小自乗近似をしたとき、1つの特異なデータに近似曲線が大きく影響されることがある。しかし全体をながめると岸近くは堆積傾向にあり、沖の水深が大きいところは欠壊傾向であるといえる。

堆積地域のうち、阿賀野川河口部で係数が-6.7と大きいのは、この格子点が最も古い深浅図において河道最深部に相当するため、近似曲線が初期の大きな水深の影響を受けたことによると考えられる。No. -120~No. -77の岸側地域は沿岸砂州が存在し地形変動のかなり激しいところであり、この区域に存在する80cm/年の堆積地点は、阿賀野川河口と同じ原因により近似曲線の勾配が過大評価されたものと考えられる。したがって、この2点では、堆積の傾向が大であると解釈するのが妥当であろう。同じようにNo. -25~No. 0, No. 10~No. 80の各地域も堆積傾向が大きい、この地域の堆積として1964年から始まった新潟東港東西海岸への土砂投棄の影響(図-2.12参照)が考えられる。わずかに堆積傾向がある地域は、No. -60~No. -40, No. 90~No. 175それぞれの岸側である。

沖全面に広がっている欠壊地域で注目されることは、後半に変化が大きくなる放物線型(B')が数多く分布していることである。前半期の後半は新潟東港西防波堤が延長されている最中で1965年から1967年の間に700mから1,500mに延長されているけれども、この西防波堤の延長が港周辺はともかく、全域に影響を与へずことは考えられず、欠壊は別の要因によるものと見られる。

図-4.6は1967年から1973年に至る後半期の変化型の分布を示すものである。前半期の変化と異なる地域に注目すると、No. -80~No. -10に堆積の地域が広がっており、特にNo. -40~No. -25の範囲は沖まで堆積傾向を示している。この堆積は、地域が西防波堤のすぐ西側に相当していること、前半期には見られなかった変化であること、さらにこの時期には防波堤が2,500mまで延長されていることから、西防波堤建設の効果であると考えられる。前半期に存在したNo. -120~No. -77の岸側堆積地域は後半期に欠壊地域になっており、この区域の欠壊土砂は先に示した堆積区域に移動したと推測される。一方新潟東港の東側においては、全般に欠壊傾向を示しているけれども、欠壊量は少ない。また西防波堤先端の沖側では、西から東へ向う漂砂が阻止されて堆積している。わずかに認められる堆積地域として、No. 100~No. 135の沖側と岸側、No. 150~No. 155の岸側地域が目につく。

全域に分布する変化型を前半期のものと比べたとき、後期に変化の激しい変化型(B', C')が少なくなり、直線型(A)、前期に変化の激しい放物線型(B)が支配的になっていることが認められる。しかし依然として西防波堤東側の中間地域、すなわちNo. 75~No. 100の沖方向No. 31~No. 41で囲まれた地域にB', C'が集中している。これは西防波堤延にともない防波堤先端に土砂が堆積したため、この地域への土砂供給が断れたことによるものと考えられる。この地域の欠壊量は、1973年までは少なく、航路維持の立場から考えて好ましい現象であるけれども、後期欠壊傾向を示しているため、今後のこの地域の変化に注意しておく必要がある。

図-4.1に示されている分割にしたがって各区域内の平均水深を計算し、その結果を縦軸に平均水深、横軸に時間経過をとって図-4.7~図-4.15に示している。土量の変化は表-4.1に示されている各区域の面積をそれぞれ乗ずることによって求められる。

図-4.7は、調査地域の西部海岸、すなわち河口から東港と阿賀野川の中間点付近までの岸側領域の平均水深変化を示している。1962年頃は、河口付近の平均水深は浅く-3mであるのに対し、河口から離れたNo. 12~No. 18の区域では-5m程度と同じ岸側区域でもかなりの開きがある。ところが、No. 6の区域を除き、河口付近は年とともに深くなり、1973年には各区域とも-4m~-5mの水深となっている。No. 6の区域だけは1968年まで堆積を続けその後欠壊しているけれども、1962年と1973年との平均水深の差ははわずか0.3mである。最も欠壊量

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

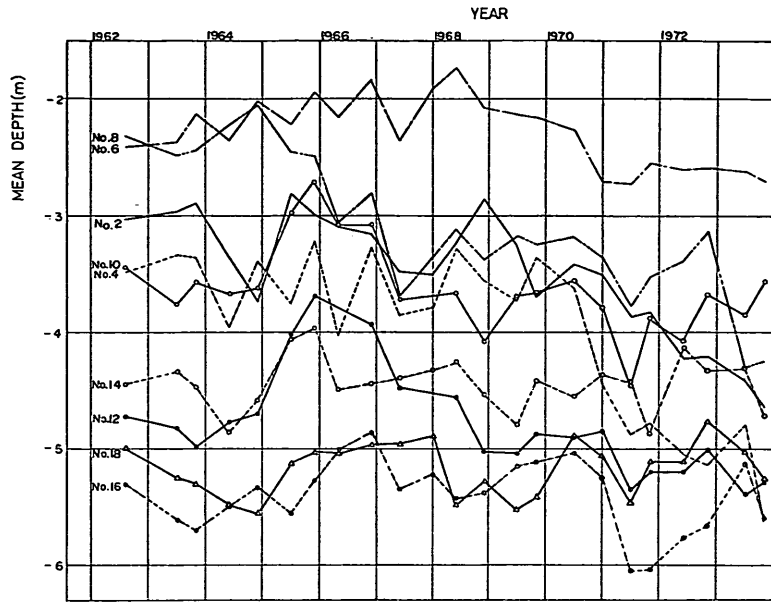


図-4.7 平均水深の経年変化 (その1)

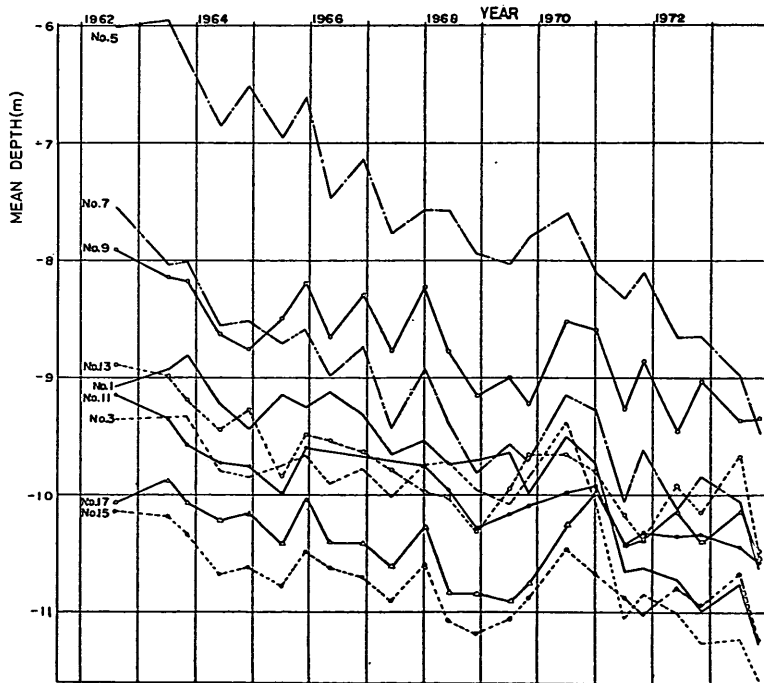


図-4.8 平均水深の経年変化 (その2)

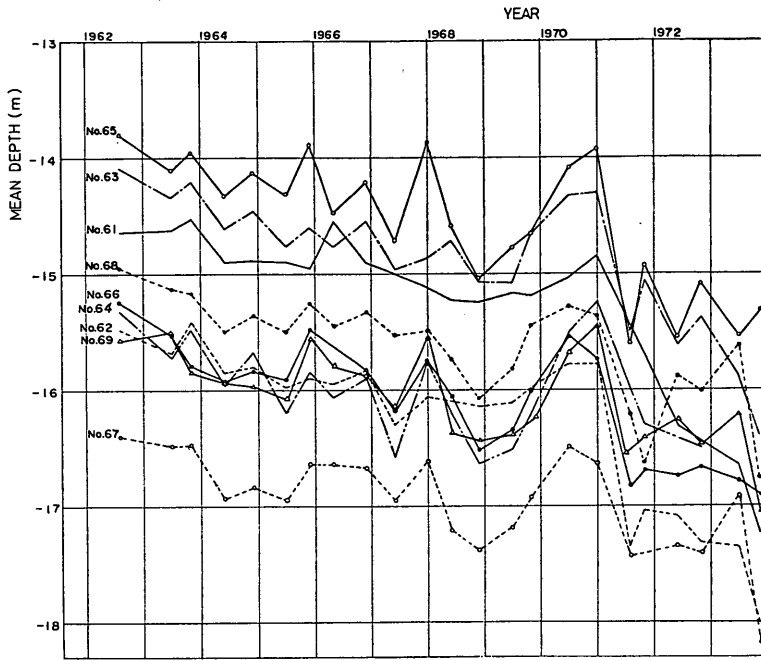


図-4.9 平均水深の経年変化 (その3)

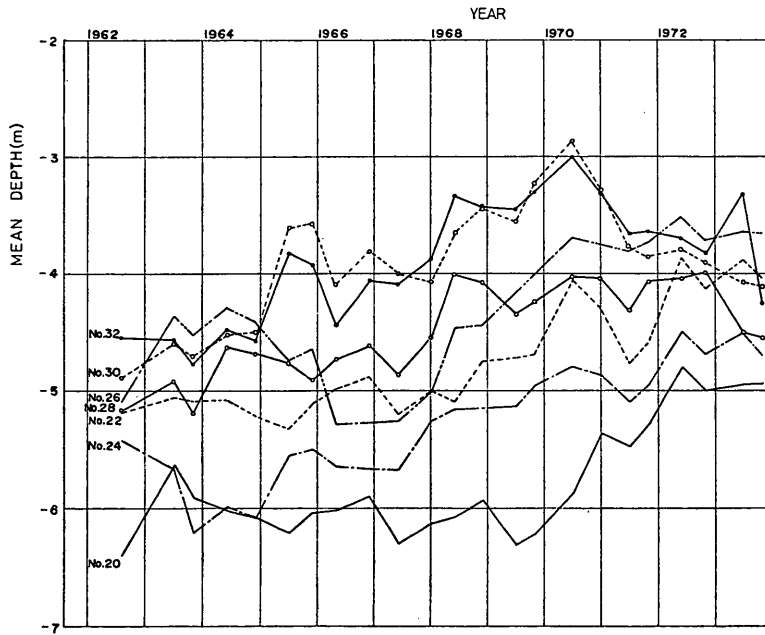


図-4.10 平均水深の経年変化 (その4)

### 阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

が多いのは、No. 4 の区域で11年間に2.14m深くなっている。河口の右岸 No. 10~No. 14 の区域は1965, 1966年頃急激に堆積し、堆積量は河口に近いNo. 10, No. 12の区域で1m程度であり、河口から離れると小さくなる。しかしこの堆積区域も1967年末までには欠壊しており堆積する以前とほぼ同じ水深となっている。1970年にすべての区域で急激に欠壊した後、河口の右岸では1971年後半から堆積に転じ、河口正面および左岸では1971年以後も急激な欠壊が継続する。11年間での平均水深の平均的な変化量は、河口附近 (No. 2~No. 8) で、-1.5m, 河口よりも東側 (No. 10~No. 18) で -0.3mである。

図-4.8は、調査地域の西部海岸中間領域の平均水深変化を示している。この区域は1969年後半から1970年前半にかけて一様に一次堆積し、それ以外は全て欠壊している。1970年の一次的な堆積は河口から東に離れた区域程著しく、西に向って小さくなる。最も欠壊量が多いのは、No. 5 の区域で11年間に3.46m欠壊している。欠壊量が多いのは1970年までは河口正面および右岸側であるが、1970年以降は左岸側であり、河口から東側に離れる程欠壊量は少なくなり、東端のNo. 17の区域では11年間で0.5m欠壊している程度である。欠壊量は岸側の区域より多く、河口附近 (No. 1~No. 7) で11年間に2.6m, 河口より東側 (No. 9~No. 17) で1.2mである。

図-4.9は、調査地域西部海岸の沖側領域の平均水深の

変化を示している。この地域も全域にわたり欠壊し、欠壊の程度は河口附近で激しく、東へ向うにつれて小さくなる。河口附近 (No. 61~No. 63) の欠壊量は平均して11年間で2.5m, 河口から離れたNo. 66~No. 69の区域では1.5m~2.0m程度である。この領域においては、1969年~1970年の一次堆積が中間および岸側領域より大きく1m程度となっている。また沖側領域内で見ると河口より河口から東に離れた区域の方が多くなっている。この堆積は1971年には欠壊して1969年以前の変化の延長線上に一致している。

図-4.10は、調査対象地域の中央部、すなわち東港の西防波堤直部から西5km程度までの岸側領域平均水深変化を示している。この領域は全体的に堆積傾向を示し11年間での平均的な堆積量は0.9mである。ここでの堆積は、時間経過と共に直線的に変化するのではなく、ある時期を境として急に増加に転ずる傾向がある。また新潟東港に近いNo. 30, No. 32の区域は1970年に最も浅くなり、その後は欠壊し、さらにNo. 28, No. 26の区域はそれぞれ1968年および1970年で堆積が止り、以後ほぼ一樣な水深が維持されている。これらの変化をとりまとめると表-4.2の通りである。

図-4.11は、調査対象海岸中央部の中間領域平均水深変化を示している。先ず新潟東港に近いNo. 33~No. 27の区域が、1963年~1964年の間に0.3~0.6m欠壊され、欠壊量は港に近いほど大きいことに気付く。1965年から

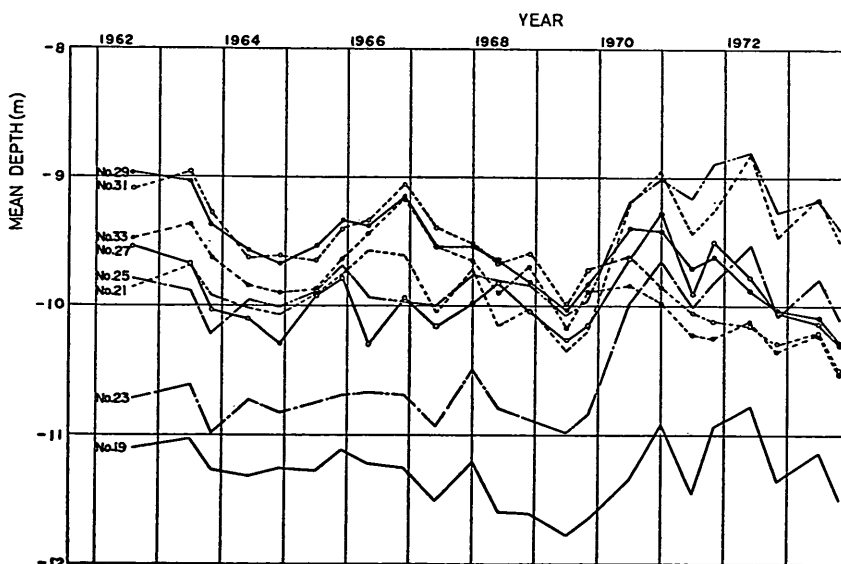


図-4.11 平均水深の経年変化 (そ5の)



表-4.2 新潟東港西側の岸側領域の平均水深変化年

No.	堆積が急増する時期(年)	堆積が止まり一定水深になる時期(年)	欠壊の始まる時期(年)
32	1962	—	1970
30	1962	—	1970
28	1962	1968	1973
26	1967	1970	—
24	1967	1972	—
22	1968	—	—
20	1969	—	—

1967年にかけて港に近いNo. 33~No. 25の区域は、1966年を中心に堆積され、以降欠壊するというパターンを描き、堆積量は港に近い区域程大きい。港から離れたNo. 19, No. 23の区域では1962年から1969年前半までごくわずかに欠壊される程度で水深変化は比較的単調である。

1969年末から1970年末にかけて全区域が堆積する。この堆積量は港に近い No. 33~No. 29 の区域で小さく、No. 27~No. 29の区域で大きい。1971年以降は全区域で一律に欠壊している。欠壊速度は港に近い区域が離れた区域より多少速い。以上の変化の結果1963年~1964年における欠壊が小さく、1969年から1970年の堆積が大きかった No. 21, No. 23, No. 25 の区域は結局過去11年間で堆積した結果を示し、これと逆の港に近いNo. 33, No. 31, No. 29の区域で欠壊を示すことになる。したがって過去11年間に同じく平均的堆積を示しているも、岸側領域の No. 20~No. 32 の区域と中間領域の No. 21, No. 23, No. 25 の区域とでは、堆積の機構に相異があるように思われる。すなわち、前者においては、基本的にその

区域が堆積性であり継続的な堆積が見られるが、後者ではその区域は基本的には欠壊性であり、きわめて短期的に生ずる或る条件が整ったときのみ大量の堆積が生ずるのである。

図-4.12は、調査対象海岸中央部の沖側領域平均水深の変化を示している。全区域とも欠壊傾向を示している。変化量は西側ほど多く、11年間で1.0~1.5m欠壊している。No. 74の区域より東側の区域は11年間で1.0m程度の欠壊量である。この地域も全域にわたり1963年~1964年末の間で0.3~0.5mの欠壊があり、No. 77の区域においては1965年から1968年にかけて堆積の後欠壊するパターンが見られる。またこの区域でも1969年から1970年に1m程度の堆積が見られる。これらの欠壊および堆積量は、中間領域と異なり、沿岸方向に大きな差異はない。その後1971年に欠壊する量は中間領域より大きい。しかし河口附近の沖側領域の場合に比べると少ない。

図-4.13は、調査対象海岸東部地域すなわち東港の東側加治川河口に至る地域の岸側領域平均水深の変化を示している。全区域とも欠壊しているが、その量は阿賀野川河口附近に比べたら少なく、11年間で0.2~0.5m程度であり、前述した地盤沈下量の範囲である。加治川河口の No. 54~No. 58 区域で1964年11月と1971年6月に0.4~0.5m程度の欠壊が見られる。

図-4.14は、調査対象海岸の東部地域の中間領域平均水深の変化を示している。この領域も全体的に欠壊傾向であり、岸側領域に比べ欠壊量は多い。特に新潟東港附近 No. 41~No. 47の区域は、11年間で1.1~1.6m欠壊している。No. 49の区域から東側では11年間で0.4~

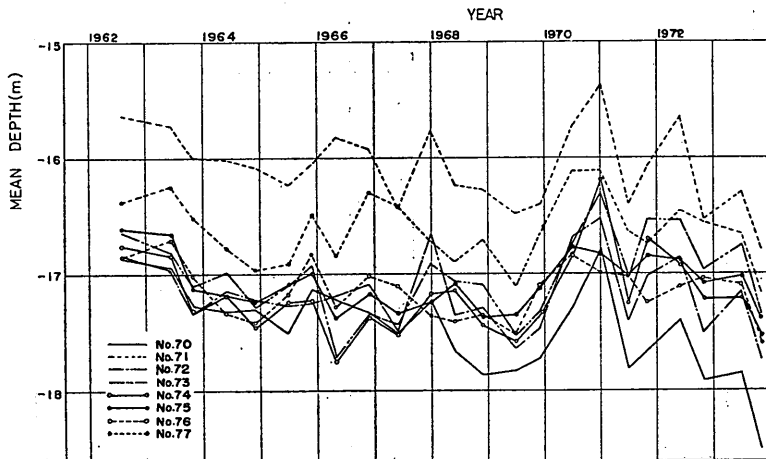


図-4.12 平均水深の経年変化(その6)

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

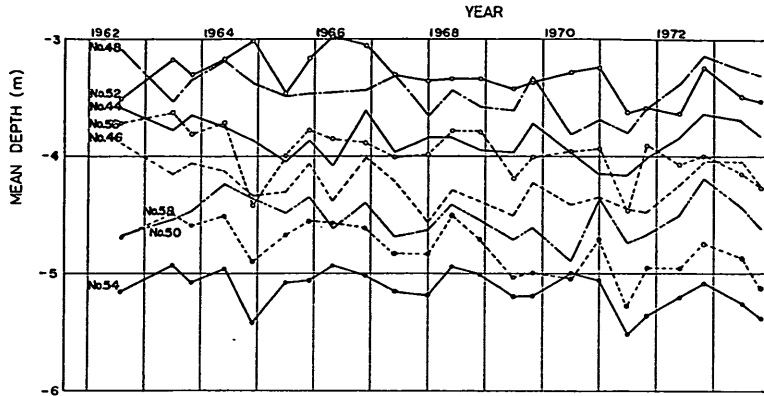


図-4.13 平均水深の経年変化 (その7)

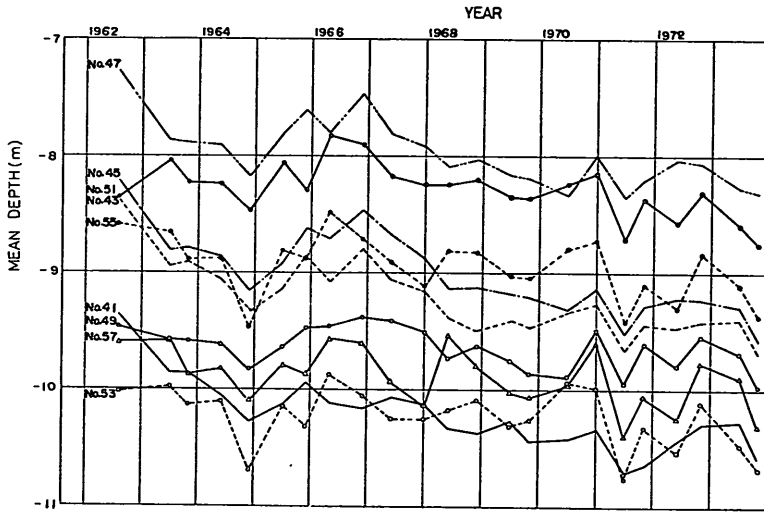


図-4.14 平均水深の経年変化 (その8)

0.8m 欠陥している。このように港に近い No. 43, No. 45, No. 47 の区域と加治川河口前面の No. 53, No. 55, No. 57 の区域では水深変化のパターンに明瞭な差異がある。1964年11月と1971年6月に、全域にわたり0.3~0.6mの欠陥が生じている。また No. 49, No. 51の区域を除き、1962年から1964年末にかけて0.3~1.0mの欠陥が生じており、その欠陥量は加治川沖の No. 57の区域を除けば新潟東港に近い程著しい。この期間の欠陥量が全欠陥量に占める比率は大きく、11年間の平均水深変化として大きい欠陥を示す区域の欠陥量の大半が1962年、1964年に生じていることになる。従って、東港東側沖合の欠陥が防波堤の伸長と共に増加しつつあるとは言えないことになる。1966年頃に全区域とも堆積し、その堆積

は東港に近い地域程多い。

図-4.15は、東部海岸での沖側領域平均水深の変化を示している。この区域も欠陥傾向であり、著しい欠陥は新潟東港に近い No. 85, No. 86, No. 87の区域で1962年から1964年に起きている。また毎年の変動量は岸側、中間領域に比べて多い。全年を通した欠陥量は港に近い程多く、No. 85~No. 87の区域は11年間で1.1~1.4m欠陥している。No. 89の区域から東側の区域は11年間で0.3~0.7mの欠陥である。No. 86の区域から東側の区域は、1970年に0.5~0.8m程度の堆積が見られる。1971年には、全区域とも0.7~1.4m欠陥している。

4.4 各区域の平均水深変化の相関性

図-4.1に示されている区域の平均水深変化の相関係数

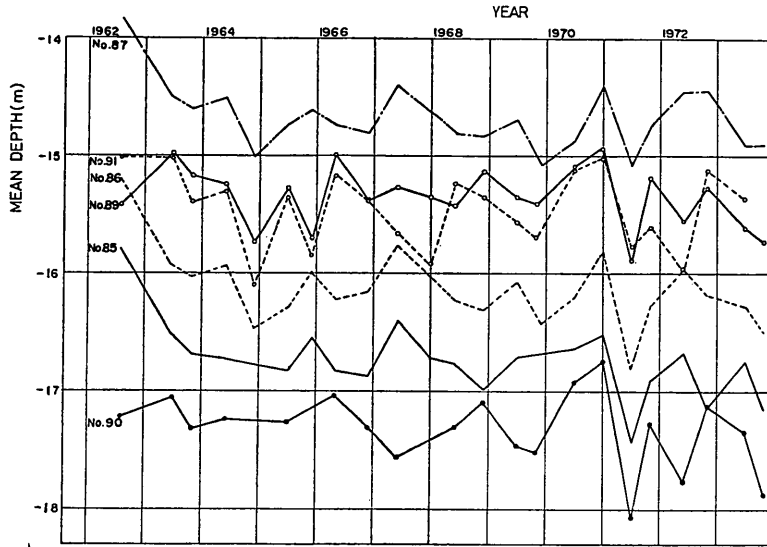


図-4.15 平均水深の経年変化 (その9)

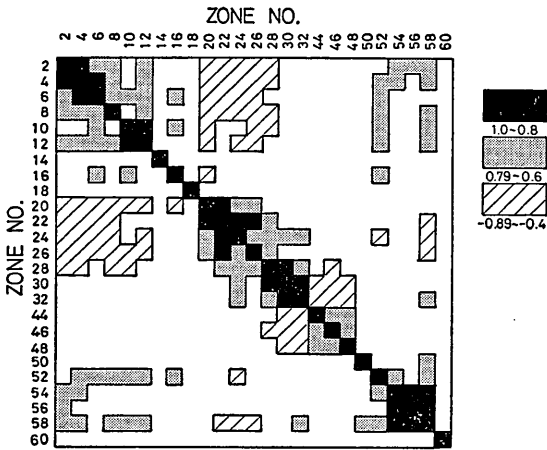


図-4.16 岸側領域区域の相関係数

を、岸側、中間、沖側領域について、(4.4)式で計算した。

図-4.16は、岸側領域にある各区域の相関係数を段階的に示したものである。対角線上を見ると相関の高い地域として、阿賀野川河口前面 (No.2~No.12)、新潟東港西海岸 (No.20~No.32)、東海岸 (No.44~No.48)、加治川河口前面の4ヶ所が認められ、今までの解析で明らかのようにそれぞれ欠壊、堆積、堆積、欠壊が生じたところである。これらの地域間についてながめると、阿賀野川前面の欠壊と西海岸の堆積過程は対称的であることが、負の高い相関係数からわかる。この2地域は隣接

した地域であり、かつ西海岸の東端は新潟東港によって沿岸方向の土砂移動が遮断されており、しかも阿賀野川河口は調査期間中継続的に欠壊していることから考えて、この2地域内では阿賀野川河口から東港西海岸の方向に土砂移動堆積があったものと考えてよい。また阿賀野川前面と加治川前面はともに欠壊していて、その欠壊過程はかなり似ていることが高い正の相関によって知れる。

図-4.17は、中間領域の相関係数を段階的 (負の段階値が図-4.16と異なる。) に示したものである。阿賀野川前面中間領域 (No.1~No.15) は高い正の相関をもつ欠

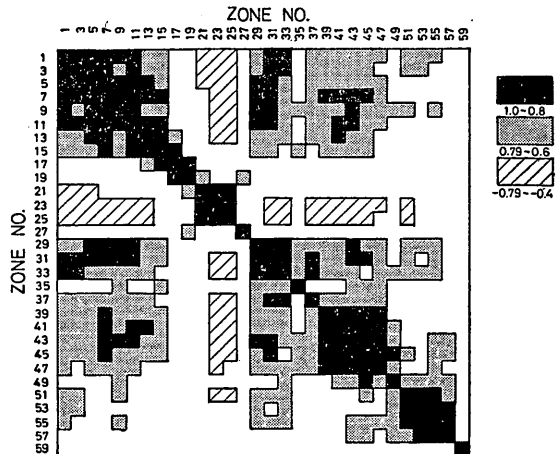


図-4.17 中間領域区域の相関係数

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

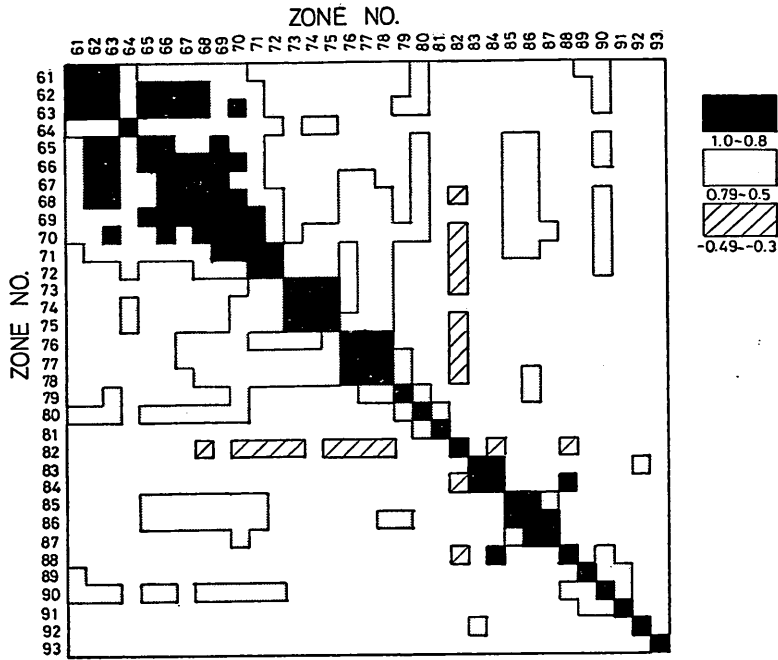


図-4.18 沖側領域区域の相関係数

壊区域であり、西海岸中間領域の堆積区域 (No. 21~No. 25) との負の相関は岸側領域のそれより低い。新潟東港前面 (No. 29~No. 47) は広い地域にわたって高い相関の欠壊区域であり、特に西側埋立地前面 (No. 29~No. 33) の相関係数と東側埋立地前面 (No. 37~No. 45) の相関係数はそれぞれ高いものである。このうち東側埋立地前面地域は、東港以东において欠壊の著しい範囲である (4.2)。加治川前面 (No. 51~No. 57) も相関の高い欠壊区域であるが、阿賀野川前面 (No. 1~No. 15) との相関は岸側領域のそれより低い。

図-4.18 は、沖側区域の相関係数を段階的 (段階値が

これまでと異なる。) に示したものである。これによると、沖側領域の高い相関は、岸側、中間領域のような離れた地域間になく、対角線上に集中していることがわかる。この傾向は特に東海岸 (No. 82~No. 93) に著しい。隣接区域間の相関が高い地域としては、阿賀野川前面 (No. 61~No. 70) が目に付く。東海岸地域は 4.2 でも明らかのように、地盤沈下による影響が強いため土砂移動による欠壊現象がほとんどないところである。負の高い相関は沖側全域を通じて見られない。

図-4.16~図-4.18 をまとめて平面的に示したのが 図-4.19 である。図中阿賀野川河口前面の A 地域は欠壊の相

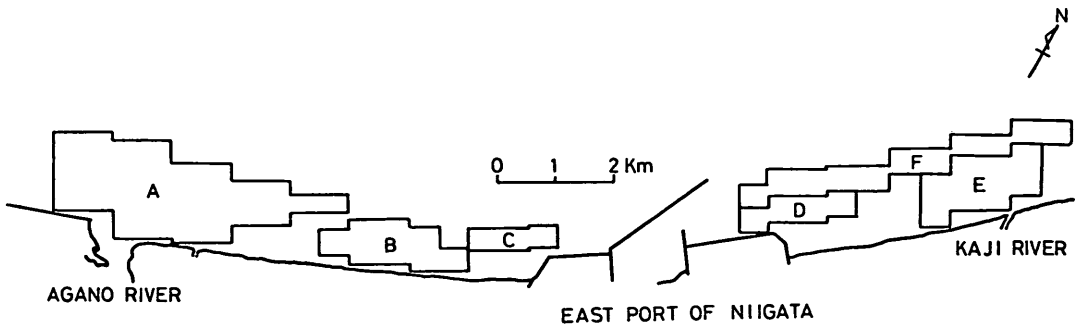


図-4.19 新潟東海岸の水深変化相関

関が高い範囲であり、次章で議論するように阿賀野川流下土砂の減少と密接に関連している。また逆の見方をすれば、阿賀野川流下土砂の減少が影響を及ぼした範囲を示しており、水深が大きいほどその範囲が広がる傾向にある。Aの地域と、地理的に離れているEの地域との相関が高いのは、Eの地域でも加治川の流下土砂減少による欠壊が生じていることを示している。しかし、Eの地域に流入している加治川は阿賀野川に比べてスケールが小さいため、影響範囲が狭くなっている。西海岸中央のB地域は、堆積の相関が高い範囲を示している。この地域と

A地域の負の相関は岸側ほど高いことから考えて、阿賀野川からA地域に供給される土砂量以上の土砂移動が岸側沿いに顕著に生じてB地域に堆積したと考えられる。また西側護岸前面のC地域は、B地域と負の相関が高い欠壊地域であるけれども、欠壊量が少ないのでC地域からB地域への土砂移動堆積はA地域からのものに比較してわずかであると考えられる。東側埋立地前面のD地域は、新潟東港東海岸では欠壊量も大きく、その相関が高い範囲である。D地域はC地域とも相関があることから、これらは西防波堤の影響を受けていると考えられる。東

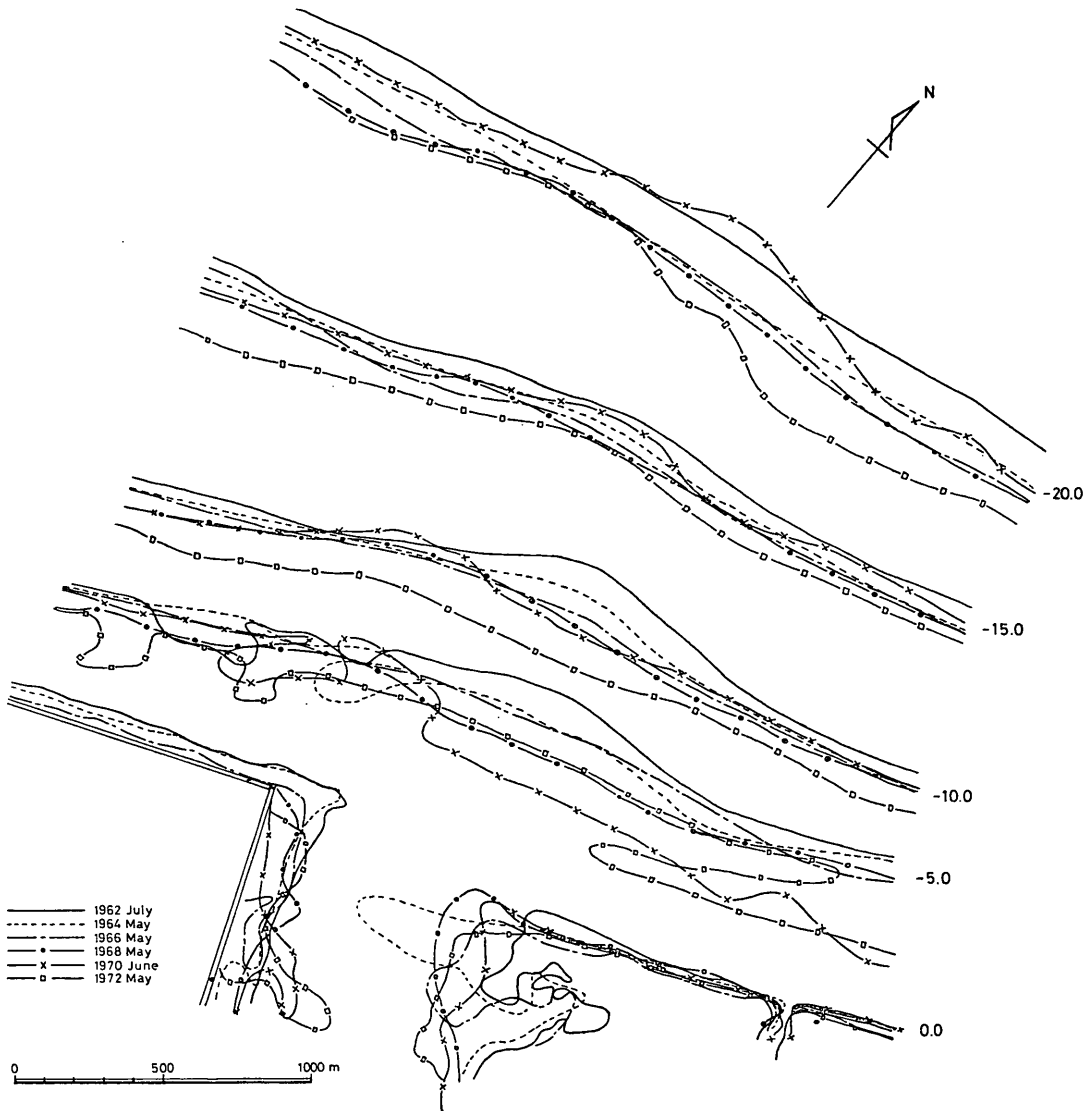


図-5.1 等深線の変動

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

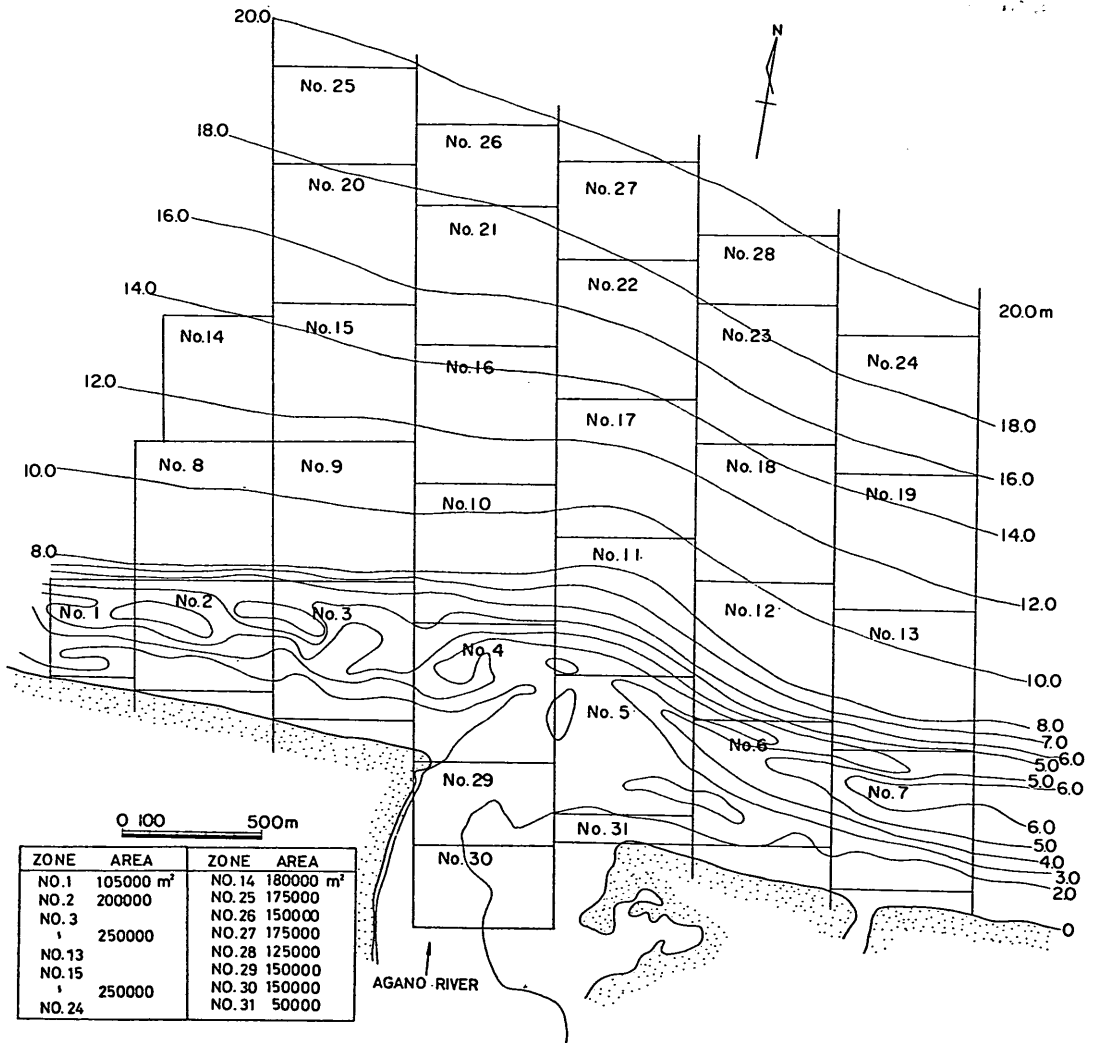


図-5.2 平均水深計算区割

海岸沖側領域のF地域内で相関が低いことは、もともと欠壊量が少なく相関係数という概念でとらえにくいことを示している。

5. 阿賀野川河口地形変化の特性

長期的、広域的な地形変化の解析から本海岸において最も欠壊が著しいのは阿賀野川河口付近であることがわかった。そこで本章では、特に河口付近に注目し河口附近地形の変化について詳述する。

図-5.1は1962年7月から1972年6月までの春季の深浅図を重ねて描いたものである。図中には水深-20、-15、-10、-5m および ±0m の等深線が示されている。各

等深線とも阿賀野川河口で沖に張り出しているが、本報告ではこの等深線が張り出している地形を河口舌状砂州と呼んでいる。

この図によると、各等深線とも年毎に岸に近付いて来ているが、特に水深-10mおよび-5mの河口正面の張り出し部と水深-20mの等深線が著しく岸側へ移動している。1970年に水深-15m および -20m の等深線が河口の東側で沖に移動しているが、水深-10mの等深線には移動が見られず、また水深-5mの等深線は、水深-15m以深とは逆に河口東側で岸に近付いている。さらに1972年には、各等深線とも最も岸に近づき、水深-20mの河口東側、水深-10、-15mの河口西側が著し

く移動している。

水深-10m, -5mの等深線張り出し点の位置は、1966年まで河口正面東寄りであったが、1968年以後は河口正面西寄りに移動している。

以上のように河口舌状砂州は年々衰退するとともに形状も変化して来ており、各等深線は海岸線と平行な形状に近づきつつある。

### 5.1 河口舌状砂州の衰退

河口舌状砂州の定量的な衰退をとらえるために、河口附近を図-5.2に示すような区割に分け各区割の平均水深を求めた。これらの区割を海岸線に平行に区域化し、岸側から沖に向かって第1, 第2, 第3, 第4, 第5の区域と呼ぶことにする。

図-5.3は1962年7月と1973年6月との各区割の平均水深の差を示している。河口内のNo. 29を除き全て欠壊している。最も欠壊が多いのは河口正面第2区域のNo.

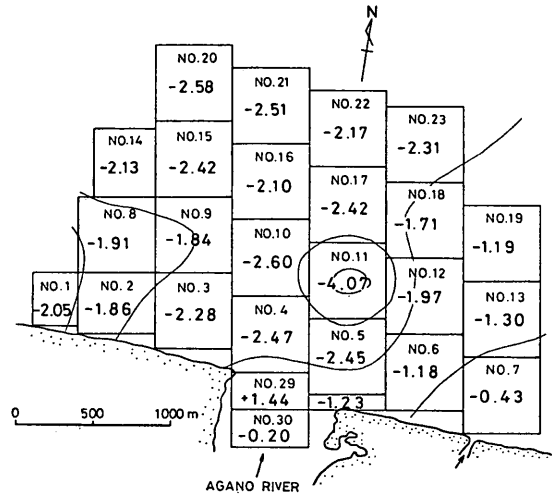


図-5.3 1962年7月と1973年6月の平均水深の変化量

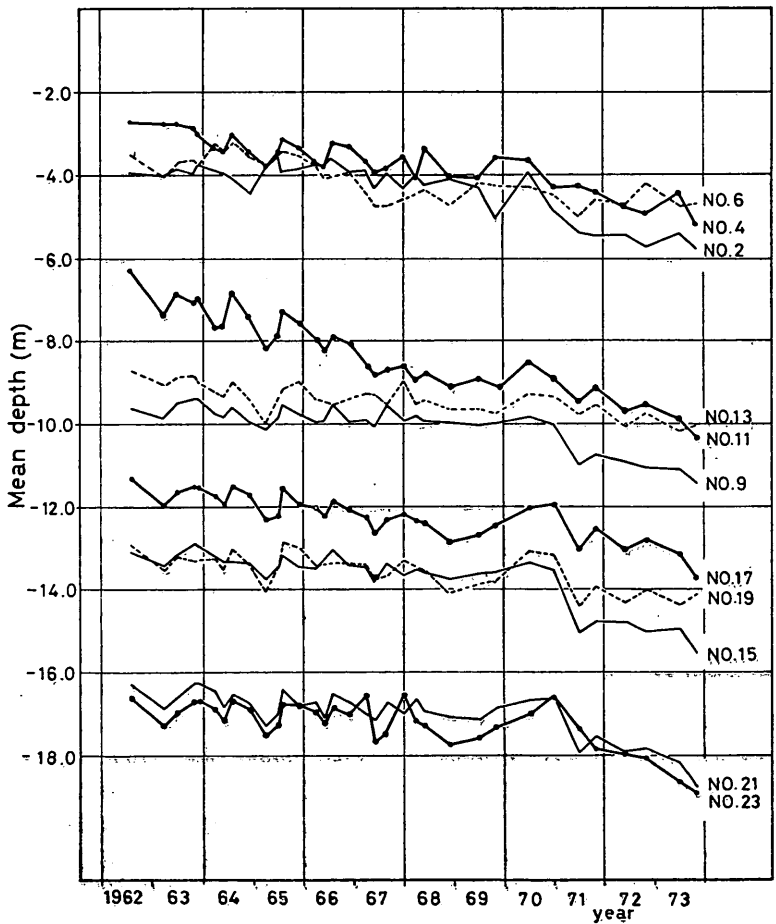


図-5.4 各区域の平均水深の経年変化

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

11で、11年間で4.07m 欠壊し、No. 11 から四方に離れるにしたがって欠壊量は少なくなっている。また河口西側と河口東側とを比較した場合、西側の方が欠壊量は多くなっている。沖方向について見れば、沿岸砂州の存在する第1区域よりも、第2、第3、第4区域の方が欠壊量は多い。各区域で最も欠壊量が多い区割は、沖からNo. 20, No. 17, No. 11, No. 4 となり逆くの字型に分布し、等深線張り出し点を連らねた曲線とはほぼ一致している。

No. 1~No. 23 の全区割の11年間での平均水深の平均的变化量は-2.12mであり、この欠壊量を土量に換算すると、11,575,000m<sup>3</sup>、年間約100万m<sup>3</sup>の欠壊があったことを示している。

図-5.4は上述した各区域の代表値として、第1区域ではNo. 2, No. 4, No. 6, 第2区域ではNo. 9, No. 11, No. 13, 第3区域ではNo. 15, No. 17, No. 19, 第4区域ではNo. 21, No. 23 の平均水深の経年変化を示している。各区域とも河口正面に位置している区割No. 4, No. 11, No. 17を除くと、1962年から1970年までは変化が非常に少なく、1970年以降欠壊量が多くなっている。特に水深の深いNo. 21, No. 22 は1970年以降の欠壊量が多い。これに反し、河口正面に位置するNo. 4, No. 11, No. 17は1962年から欠壊傾向にある。

1963年から1968年までの間は2~3ヶ月間隔で測量が実施された。この期間の変化は、3~5月に各区域とも水深が深くなり、6~7月に浅くなるというのこぎりの刃状に変化している。こののこぎりの刃状の変化がはっきりと見られるのは、第1区域のNo. 4, No. 5, 第2区域のNo. 10, No. 11, 第3区域のNo. 15, No. 16, No. 17, 第4区域のNo. 20, No. 21, No. 22, No. 23 と河口から放射状に広がった区域であった。

一般的には3月頃に冬季の波浪により洗掘されて平均水深は深くなり、4~5月の融雪出水によって5月に浅くなるというパターンが予想されるが、必ずしもそうではない。その原因は本海岸には4月あるいは5月に入ってから波高3m程度の波が来襲することが多く、5月に水深が深くなるという現象が生じ、5月頃の融雪出水によって6月に堆積するというパターンが生ずるものと考えられる。

図-5.5は3月から6~7月の間ののこぎりの刃状変化の著しい区割の平均水深の合計変化量と融雪出水期間中の全流量との関係を示している。図から3月から6~7月にかけての水深変化はその期間中の流量に比例していることがわかる。なお、1967年は水深変化が負すなわち欠壊となっているが、この年の流量が他の年よりも少なく、かつ4~5月に大きな波が来襲したためと考えられ

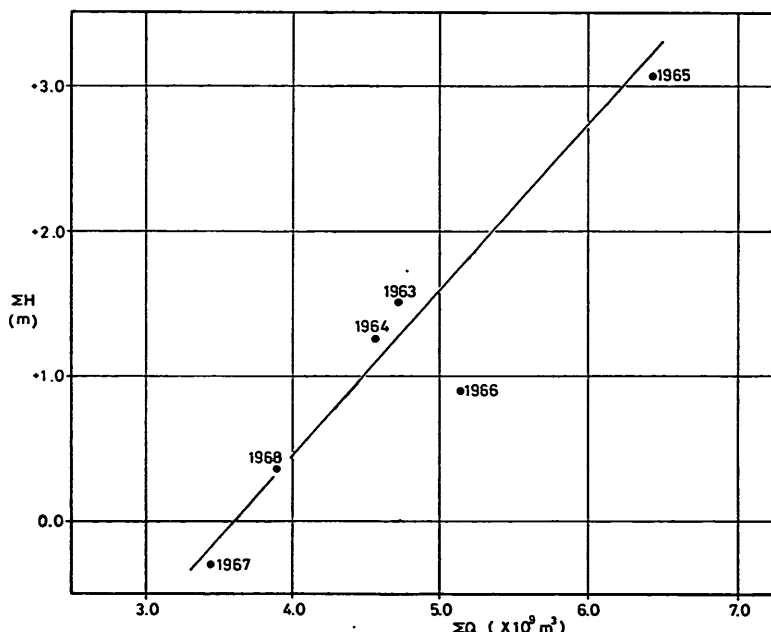


図-5.5 平均水深の合計変化量 (ΣH) と合計流量 (ΣQ) の関係



る。

### 5.2 河口舌状砂州の形状変化

前述したように河川流量の減少に伴う流下土砂量の減少のために、河口前面海底の舌状砂州は年々衰退する傾向にある。河川流量の減少は舌状砂州の規模のみでなく、河口周辺の地形にも当然影響を与えている。

図-5.7および図-5.8は河口前面の等深線について等深線が最も沖に張り出した地点の位置の経年変化を示したもので、座標系は図-5.6に示したとおりである。

図-5.7は沖方向 (y) の経年変化を示している。変化のパターンは各等深線にわたって非常に良く似かよい、全体に等深線が岸に近付いているが変化の細部について見れば、水深-10m以浅、水深-11~-16mの間および

水深-18m以深の3つのグループに分けられる。1962年から1973年に至る11年間の移動量は水深-17m以深および水深-10m以浅で約270mと多く、中間の水深-11~-17mの等深線は約120mと少ない。この差は、1962年から1965年および1971年以降の等深線が急激に岸に近づく時期に生じている。1969年から1970年にかけて各等深線とも沖に移動しているが、深い水深ほど移動量が多く、1969年6月から1970年12月まで等深線は明らかに沖に移動している。水深-10m以浅の等深線も移動量が多いけれど、1970年12月にはすでに等深線は岸に近づいている。この1969年から1970年にかけての堆積は、1968年8月の大出水（日平均流量3,470m<sup>3</sup>/sec）が影響しているものと考えられる。

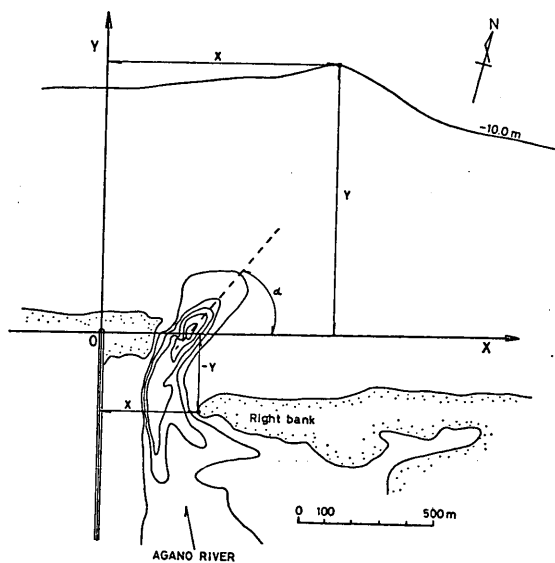


図-5.6 座標系

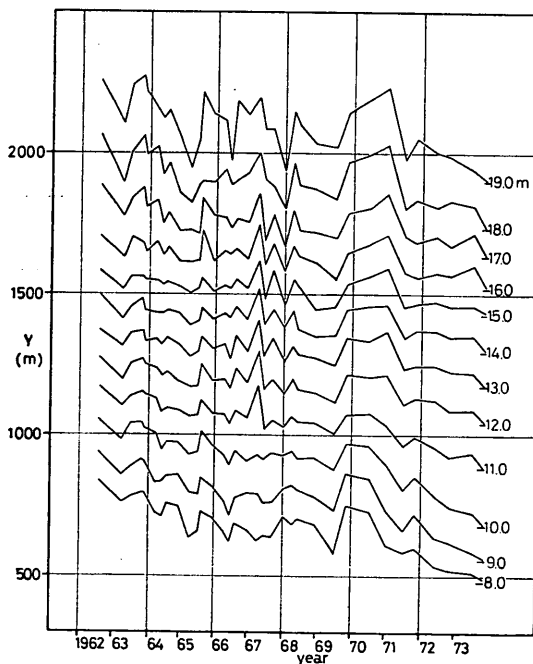


図-5.7 沖方向 (Y) の経年変化

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

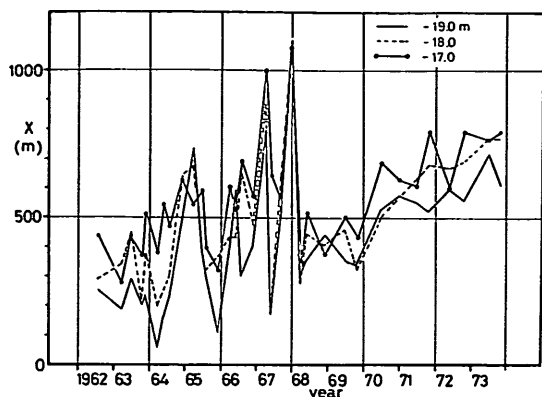


図-5.8 (a) 沿岸方向 (X) の経年変化

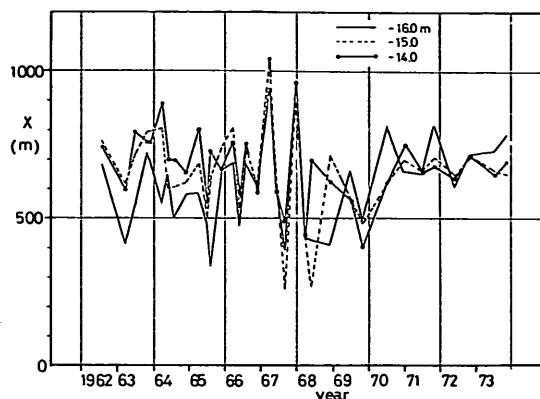


図-5.8 (b) 沿岸方向 (X) の経年変化

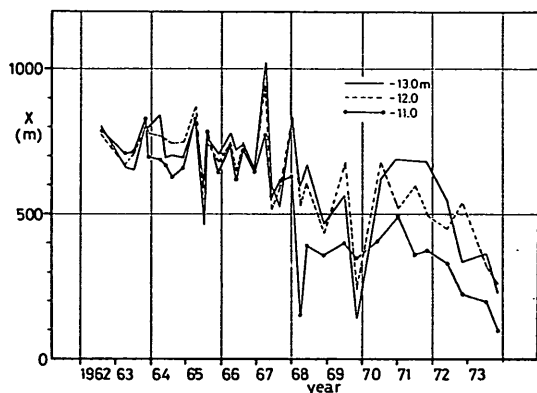


図-5.8 (c) 沿岸方向 (X) の経年変化

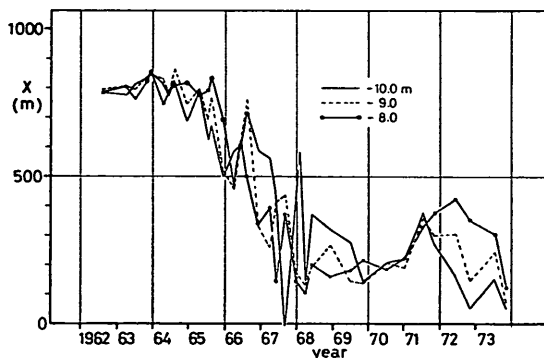


図-5.8 (d) 沿岸方向 (X) の経年変化

図-5.8 (a)~(d) は沿岸方向 (X) の経年変化を示している。図-5.8 (a) は水深  $-17\sim-19\text{m}$  の等深線の変化を示している。1962年から1967年までは著しく変動しているが、1968年から1973年にかけては変動が少なくなり、年間  $80\text{m}$  程度の速度で X の値が大きくなり、等深線の張り出し点が西から東に移動していることがわかる。全年の傾向としても等深線張り出し点は西から東に向って移動している。

図-5.8 (b) は水深  $-14\sim-16\text{m}$  の等深線の変化を示している。1967年から1968年に著しい変動が見られるが全年の平均的傾向としては張り出し点は移動していない。

図-5.8 (c) は水深  $-11\sim-12\text{m}$  の等深線の変化を示している。1962年から1967年まではほとんど移動が見られない。しかし、1967年~1968年初めにかけて水深  $-11\text{m}$  の等深線張り出し点は急激に西方向に移動し、

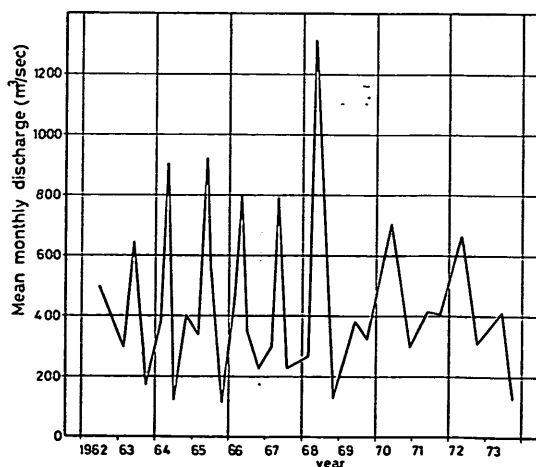


図-5.9 測点1ヶ月前の月平均流量

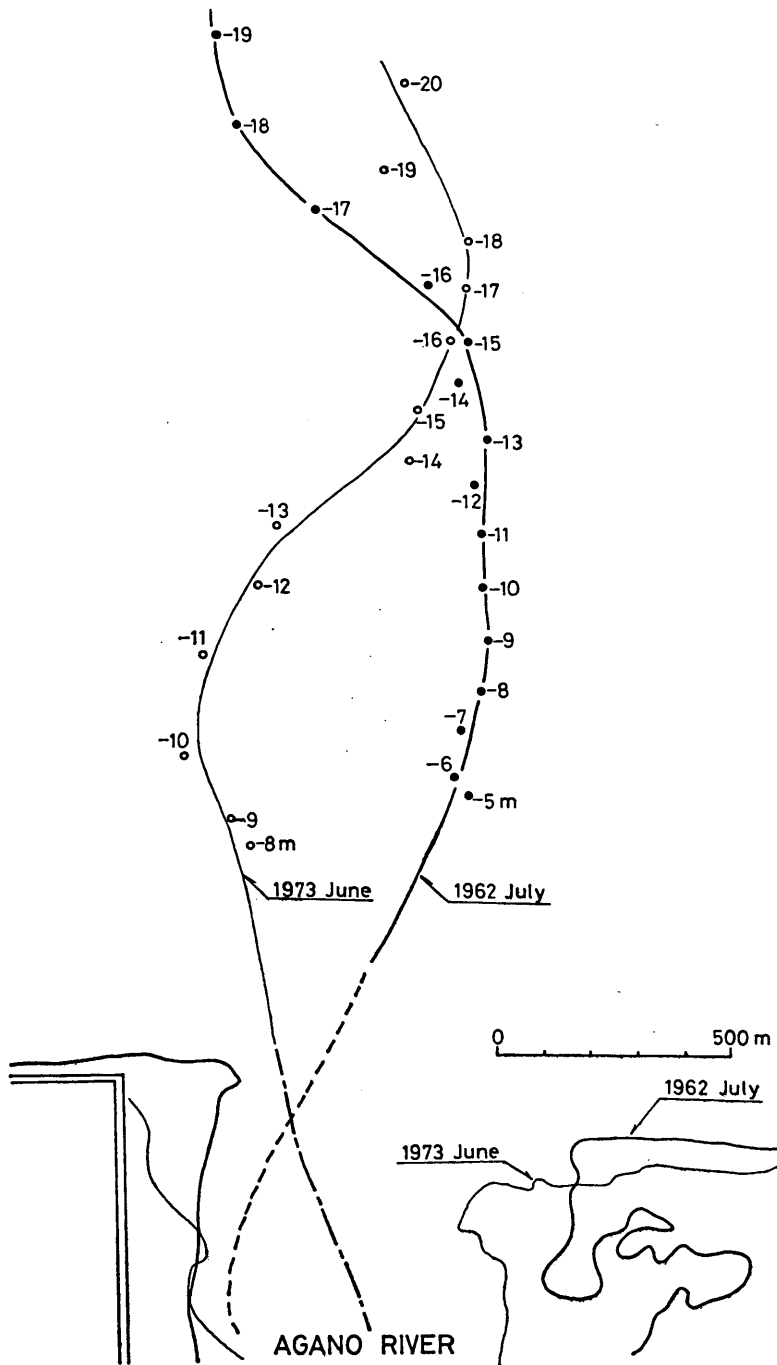


図-5.10 舌状砂州の稜線の変化

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

-12, -13mの張り出し点は年間50m弱の速度で西へ移動している。

図-5.8(d)は水深-8~-10mの等深線の変化を示している。1962年から1965年まではほとんど移動せず、1965年から1967年末にかけて等深線張り出し点は、年間150m程度の速度で急激に東から西方向へと移動している。その後、1968年から1970年末の間は移動が見られず、1971年~1972年には東へ移動し、1973年には再び西方へ移動している。

さらに、これらの図面から、全年を通じて水深の深い部分ほどXの値の短期的変動が大きく、水深が浅くなるほど小さくなっていること、および、(a), (b)図に示す深い水深については、1962年から1967年までの間等深線張り出し点が著しく沿岸方向に移動していることがわかる。

図-5.9は測量前月の月平均流量の経年変化を示している。図によると、1962年から1967年までの間は流量が著しく変動しており、1968年以後は変動が少なく、この流量の変化のパターンは深い等深線張り出し点のXの変動傾向とよく一致している。すなわち、水深の深い地域ほど河川流量の変動の影響が地形形成に強く表われていると言えるであろう。これは、水深の深い地域では海底に対する波の作用が弱いためであり、これに対し浅い水深では波による侵食作用が相対的に強いために河川の土砂堆積による変化が波によって均されるものと考えられる。

図-5.7および図-5.8によると、水深が-17mよりも深い所では舌状砂州地形は岸に近付きつつ西から東方へ移動し、水深の浅い所では岸に近付きながら東から西方へと移動し、水深が浅いほどこの傾向が強くなり、早くからこの傾向が起り、かつ変化が急激であることを示している。水深-14~-16mの水深での舌状砂州地形の変動は小さい。

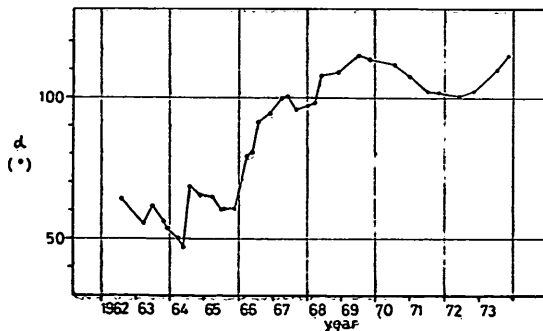


図-5.11 みお筋法線とX軸とのなす角( $\alpha$ )の経年変化

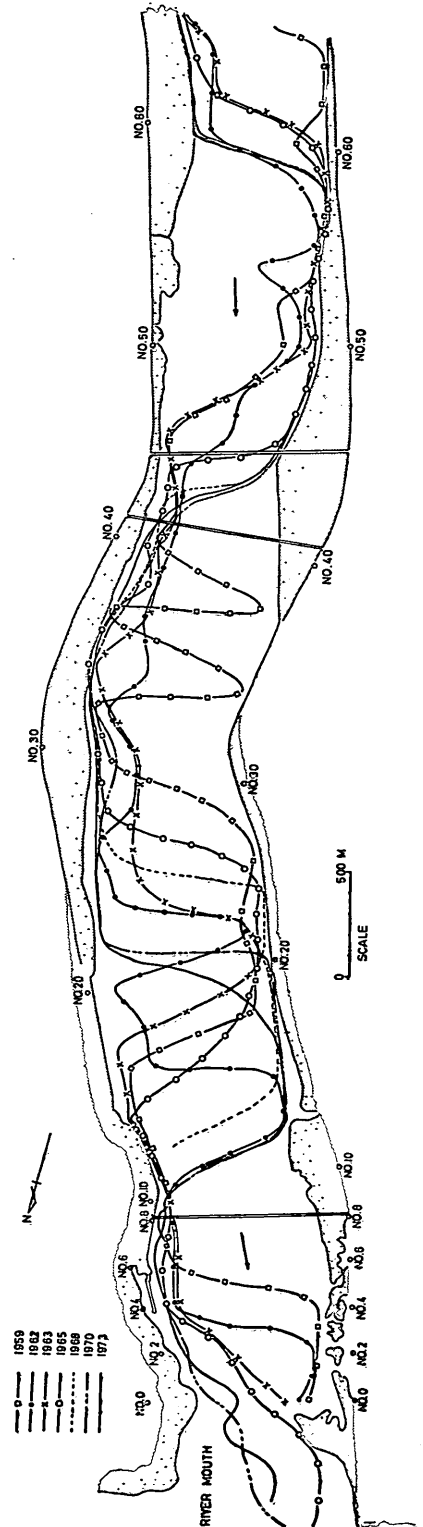


図-5.12 河道内最深部の変動

以上の傾向の結果、舌状砂州の陵線（等深線の最も張り出した点をつないだ線）は、1962年7月と11年後の1973年6月とでは図-5.10に示すように変化している。図-5.10において点線と一点鎖線は河口部のみお（滞）およびみお筋の方向を示すものであるが、舌状砂州の陵線と河口のみお筋が一つの曲線を持って結ばれることが明らかであり、舌状砂州地形が海に流出した河川流のパターンと密接に関係していることがわかる。みお筋が河川流の流心と一致しているものと考えて良いとすれば、舌状砂州の陵線もまた海に流出した河川流の中心線と一致しているものと考えられる。

図-5.11はみお筋の法線と図-5.6に示した座標系のX軸とのなす角( $\alpha$ )の経年変化を示している。 $(\alpha)$ は1962年から1965年まではほとんど変化せず、1966年の60度程度から1968年の100度程度へと急激に大きくなる。すなわち河口のみお筋はこの時期に東から西方へと向きを変えている。1970年から1972年にかけて再び東へわずかにもどるが、1973年には更に西へ向っている。この河口部みお筋法線とX軸とのなす角( $\alpha$ )の変化のパターンは、水深-8~-10mの等深張り出し点の沿岸方向の変化のパターンと完全に一致している。

図-5.12は、更に河口から上流6km地点までの最深部の平面位置の変化を示している。これによると、測点No.30~No.60の間では、最深部の位置はほとんど変化していない。測点No.20~No.30の間では、1959年から1973年の間に800m程度下流に河道内蛇行が移動し、測点No.10~No.20の間では、1959年から1973年の間に600m程度下流に河道内蛇行が移動している。さらに、河口からNo.10の間では600m程度下流に河道内蛇行が移動するとともに、右岸での曲りが緩かになり、1970年以降は左岸に当ることなく直接海に向うようになる。前述の( $\alpha$ )の値が大きくなっているのは、この下流部での蛇行パターンの変化のためである。

以上のように、河道内蛇行流の変化と河口舌状砂州の形状変化とは、非常に強い関連を持ち、河道内蛇行流が河口舌状砂州の形状を決定する主要因であると考えることが出来る。

### 5.3 河口砂州の形状変化

図-5.13は河口両岸に発達する、いわゆる河口砂州の形状を河口部における±0mの線で表わしたものである。また図-5.14は前図の各砂州形状に●印で示した点、すなわち、砂州地形のうち最も対岸に近い地点の位置を、前出図-5.6に示す座標系によって表わしたものである。これによると、右岸砂州は1962年7月から1963年3月の間

に海岸に沿って対岸に向い500m余りも急激に伸び、以後1963年から1966年まで砂州が全体に細るように、海岸線に平行な形を保ちつつわずかつ短かくなっている。1966年3月の測量結果では、砂州の途中が切れている。これは、同年3月5日の日平均流量2,454m<sup>3</sup>/secの出水によるものと思われる。1966年3月以後その切れ目は徐々に広がり、1967年には300m程短かくなり、わずかに河川内に巻き込む傾向を示している。1967年以後は海岸線に平行方向にはほとんど変化せず、次第に河川内に入り込んで来る。一方、左岸は1962年から1966年までの間は砂州とは言い難く、右岸砂州の河川内への巻き込みが始った1967年から少しづつ河川内に入り込む方向に伸び始めた。

河口砂州が河道内に巻き込み始めるのは、河口砂州形成に及ぼす河川の影響が弱くなり、波による影響が強くなったこと、すなわち、1967年頃から阿賀野川の流量、流下土砂量が減少したことを示しているものと考えられる。

図-5.15は河口最狭部断面の川幅(B)、水深(H)、流積(A)の経年変化を示している。川幅は1962年から1967年までは増減を繰り返すが、1968年以後は徐々に狭くなり、一方水深は1963年から1967年までは浅くなり、1968年以後はわずかではあるが深くなっている。

図-5.16は最狭部断面の川幅と水深の関係を示すものであるが、この図から川幅と水深は弱い負の相関を有していることがわかる。

図-5.15において流積は増減を繰り返しながら傾向としては減少してきている。前出の図-5.9で示した測量1ヶ月前の月平均流量のピークとこの流積のピークとはよく一致している。流積が徐々に減少するのは、流量の減少によって掃流力が弱くなり、河口付近で河川からの流下土砂が堆積すること、および波によって海から砂が運ばれ堆積する結果である。

図-5.17は測量1ヶ月前の月平均流量と流積との関係を示している。図中の各点には、測量年、月が書き込まれている。これによると3月の測量結果は、流積800m<sup>2</sup>、流量300~400m<sup>3</sup>/secの附近、5~6月のデータは、流積1,200m<sup>2</sup>、流量900m<sup>3</sup>/secの附近、そして8~12月頃のデータは、流積1,300m<sup>2</sup>、流量300m<sup>3</sup>/secの附近に分布している。

3月のデータは渇水期後の測量結果であるため流量が少なく、また大きな冬期波浪を受けた直後であるため流積が小さい。5~6月のデータは、波浪は弱いけれど融雪出水により流量の多い時期の後に当たるため、流

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

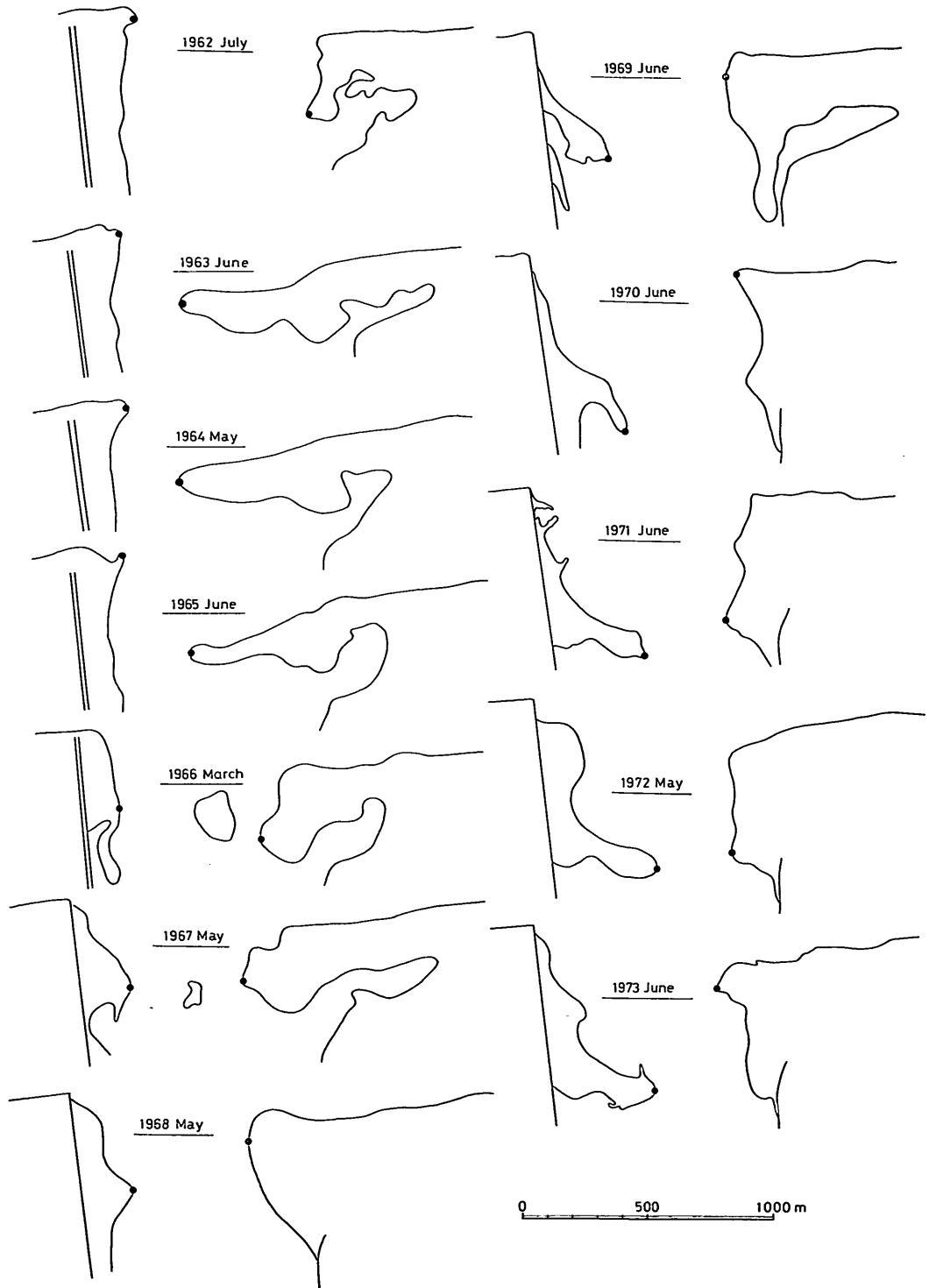


図-5.13 河口砂州の形状変化

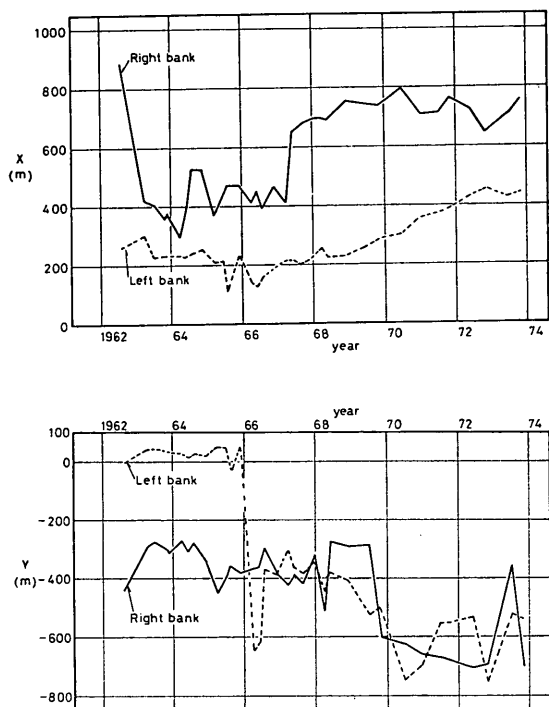


図-5.14 河口砂州先端の経年変化

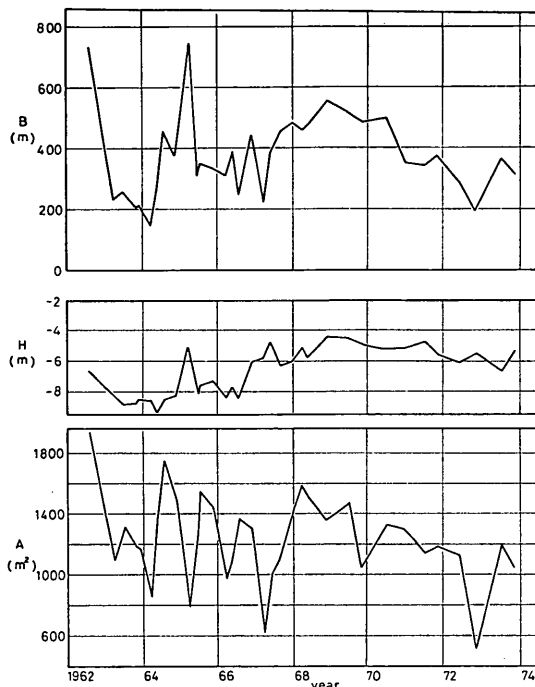


図-5.15 河口最狭部断面の川幅 (B), 水深 (H), 流積 (A) の経年変化

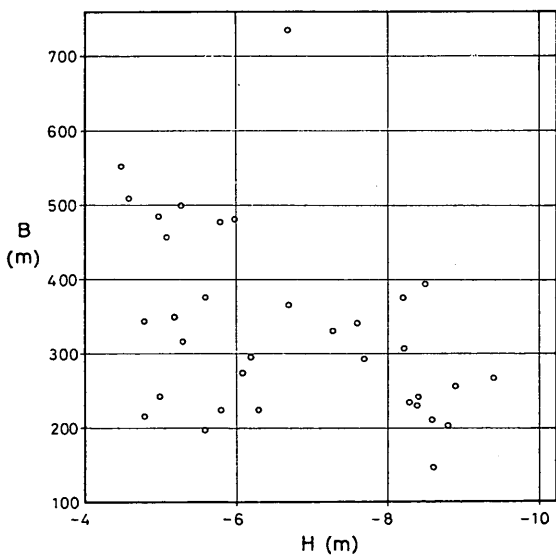


図-5.16 川幅 (B) と水深 (H) の関係

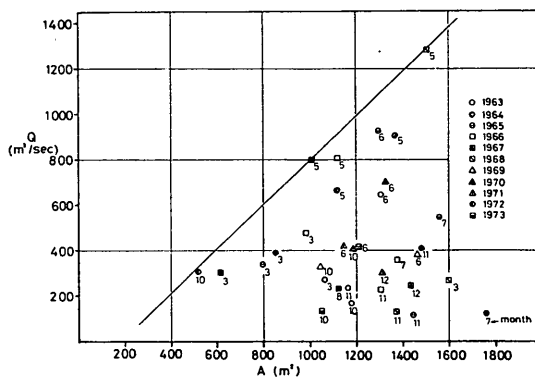


図-5.17 測量1ヶ月前の月平均流量 (Q) と流積 (A) の関係

積は大きくなる。8～12月は波、波れとも弱く、河口地形がほとんど変化せず流量に比して流積が大きな値となる。

融雪出水によって大きくなった流積は、夏の間静穏な海況と少ない流量のため保持され、冬期の波浪によって減少するという繰り返しが毎年行なわれている。図中の直線は、一定流量を流すのに必要な最小断面積を示すものである。

## 6. 沿岸砂州のダイナミックス

### 6.1 標準偏差による沿岸地形の把握

本海岸の沿岸地形の特徴は、沿岸砂州が存在することであり、したがって本海岸の沿岸砂州は、沿岸地形を論ずるに当たって第一に考えられなくてはならないものである。しかしながら、沿岸砂州の変形機構はとらえ易そうに見えてその実なかなかとらえにくいものである。その理由の第1は、沿岸砂州の変形のタイムスケールが、海岸工学で取り扱う多くの現象に比較すれば長く、変形に關与する天然あるいは人工的な要因の変化のタイムスケールにきわめて広い幅があり、それら多くの要因が複雑にからみあっているからである。例えば、数年間隔で発生する強烈な暴風雨、毎年定期的にくり返えされる冬季風浪等の中での初期と後期の微妙な違いといった短いスケールの要因まで沿岸砂州の変形に關与する。さらには、港の建設等人工的な要素も沿岸砂州の変形の要因となるのである。第2の理由は、沿岸砂州の存在場所が碎波帯内であるためと、変形が長期にわたって生じその間に作用する前述のような一連の現象が複雑なため、それらのデータ集取が困難なことである。沿岸砂州を含めた沿岸地形の研究が推測の域をなかなか脱し切れないのは、十分なデータによる裏づけが出来ないためである。そこで、著者らは沿岸砂州の変形機構を解明するための第一ステップとして、深淺図をもとに沿岸砂州の変形の実態を明らかにすることを試みた。

従来おこなわれて来た沿岸砂州の規模の定義には、本間、堀川、餅干、Shepard、Keuleganらの比高の概念(砂州頂部と谷部との高さの差)がある<sup>13)</sup>。この定義は、沿岸砂州の規模をその高さで規定するものであるけれども、沿岸砂州地形を海岸線に直角方向への幅をも含め、体積的に表現し得てはいない。加えて、今回の解析のように、データの処理を電算機にゆだねる場合には、計算をいたずらに複雑にするきらいがある。そこで、沿岸砂州の規模に關連して新しく次に示す沿岸地形の起伏

の定義を行なった。すなわち、海岸線にはほぼ直角方向の海底断面において、沿岸砂州地形の影響をほとんど受けないものと考えられる沖側端水深を設定する。この沖側端水深以浅の海底断面を直線近似し、この直線で近似された海底断面と実断面との差異を $\Delta h_i$ とすると、次式で表わされる値を沿岸砂州の規模と考えた。

$$Q = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^N \Delta h_i^2\right) / N} \quad (6.1)$$

$N$ : データ数

今回の解析においては、沖側端水深を-10mとし、海底断面のデータとして50mピッチの水深値を用いた。また、陸上部は計算対象にしていない。(6.1)式の定義では、沿岸砂州の規模が大きくなると $Q$ は大きな値になるが、 $Q$ が大きな値の場合必ずしも沿岸砂州の規模が大きいとは言えない。というのは、海底断面が全体に凹状、凸状をなっている場合も $Q$ は大きくなるし、また $Q$ には多段バーの影響も含まれているからである。しかし、本海岸に関しては、深淺図を検討した結果、水深-10m以浅の海底には $Q$ の値を大きく変化させる全体的な凹状・凸状はないことが明らかであったので、(6.1)式による定義は、ほぼ沿岸砂州の規模(多段バーも含めて)を示す指標とみなせる。

1962年から1973年までの間に行なわれた阿賀野川左岸から加治川右岸に至る約18kmにわたる、23回の深淺測量結果のそれぞれについて、沿岸方向50m間隔約350測線上の $Q$ を式(6.1)で計算した結果の一例をグラフにしたのが図-6.1である。図中縦軸は $Q$ 、横軸は測線番号で第4章のNo.と統一してある。実線は計算結果を直線で結んだものであるが、このままだと高周波のノイズがあるため、沿岸方向に移動平均をおこなった結果を点線で記入してある。移動平均は

$$Q_i = \frac{1}{4}(Q_{i-1} + 2Q_i + Q_{i+1}) \quad (6.2)$$

$i$ : 測線番号

の操作を全体に3度繰り返した。これによって、波長50～200m程度の変動は取り除かれている。23回分のデータから求めた $Q_i$ すべてにこの操作を行ない、その結果は附録Aに示されている。

図-6.2は、(a)図に1963年4月(実線)、同10月(点線)、翌1964年5月(一点鎖線)、(b)図に1964年5月(実線)、同11月(点線)、翌1965年6月(一点鎖線)のそれぞれの $Q$ を示したものである。これによると、No.-90附近から測線番号が加治川方向に大きくなるにしたがって、 $Q$ の値すなわち沿岸砂州の規模は小さくなることがわかる。沿岸砂州の規模が東海岸で小さくな



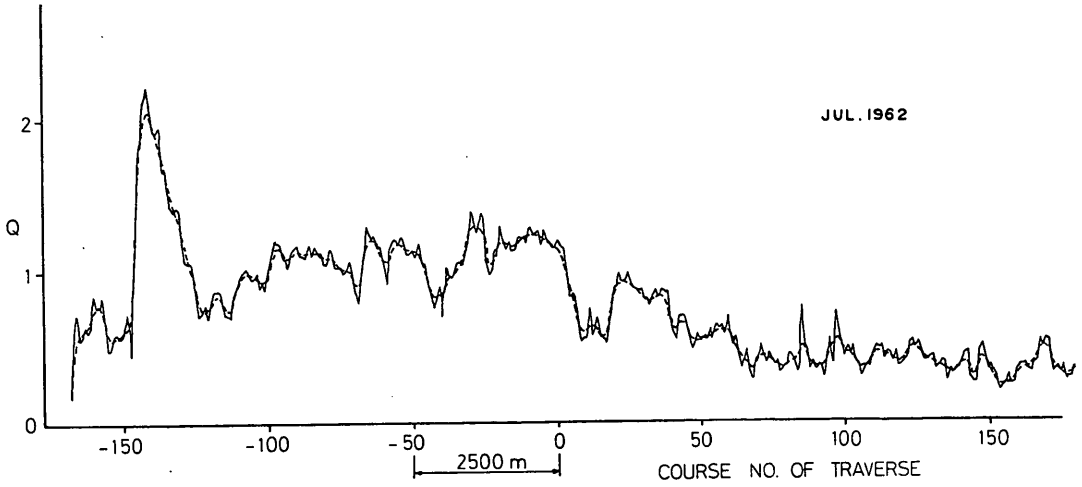


図-6.1 沿岸砂州の規模の分布と移動平均の効果

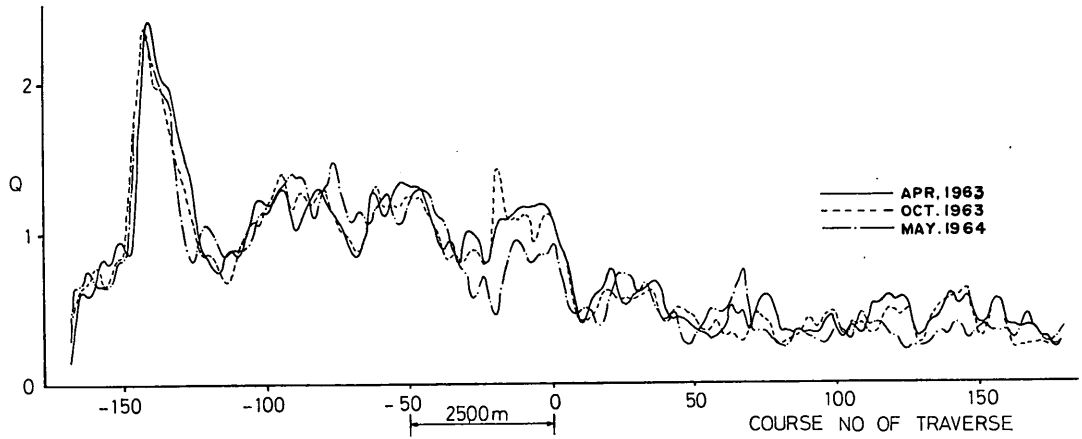


図-6.2 (a) 1963年における沿岸砂州の規模の分布

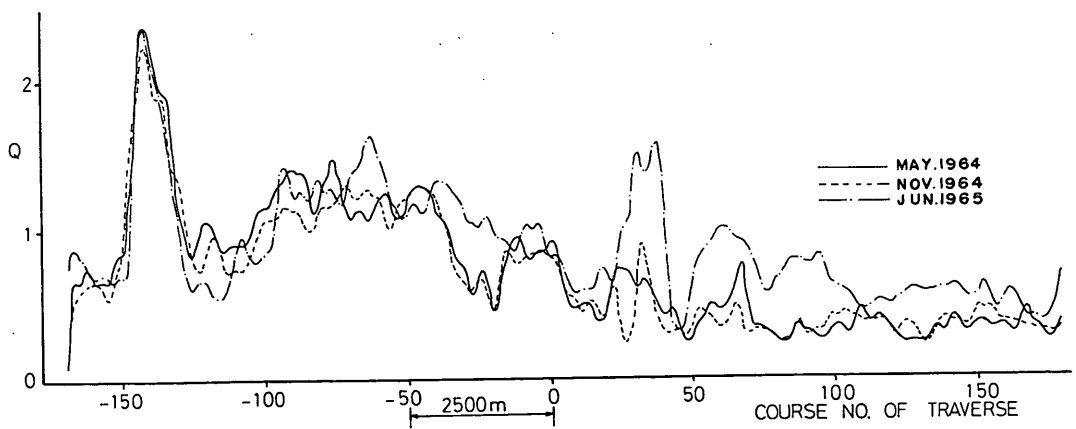


図-6.2 (b) 1964年における沿岸砂州の規模と分布

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

ることは、ここで解析した23回分のすべてについて認められ、深浅図の等深線をながめても定性的に認められる。一般に沿岸砂州の規模は砕波の規模、海底勾配、底質粒径に関係しているが、底質粒径が大きいほどそこに発達する沿岸砂州の規模も大きいと言われている。実際に、阿賀野川 (No. -140) から加治川 (No. 160) に向かって底質の平均粒径は順次下さくなる傾向があり、均等係数も西より東に向かい小さくなっていると報告されている。新潟東港附近 (No. 40) の  $Q$  の値が、年代が新しくなるにつれ大きくなっているのは、沿岸砂州の規模が変化したのではなく、新潟東港の航路浚渫によって生じた人工的な海底起伏によるものである。

(a) 図によると、 $Q$  の値は沿岸方向に周期性を持って変動していることがわかる。特に No. -120~No. 10 の間には、波長 2 km 程度の大きな周期変動が 3 周期認められ、それに数百 m 程度の小さな周期変動がかさなっている。(6.1) 式で計算される  $Q$  は、先にも述べたように多段バーも含めた沿岸砂州を表現するものであること、およびその沿岸方向の波長のスケールから考えて、2 km 程度に及ぶ大きな周期性は outer bar<sup>11)</sup> に対応するもの、数百 m 程度の周期性は inner bar<sup>11)</sup> に対応するものと考えられる。このような周期性は附録 A に示した各時代に認められ特に No. -120~No. 10 の間で顕著である。

同じ年の春季と秋季の  $Q$  は小さなスケール変動に差異が認められるにもかかわらず、大きなスケールではほとんど一致していることがわかる。ところが、翌年春季になると大きなスケールの変動は前年秋季と異なる位置に存在している。同じことが、解析をおこなったすべての時季について認められる。このことは、日本海のように夏季がきわめて静穏な海岸では、冬季波浪によって形成された大スケールの沿岸砂州が夏季波浪によってほとんど変形されず保持されることを意味するものである。

阿賀野川河口部において  $Q$  の値が大きくなっている原因として、2つのことが考えられる。すなわち、河口舌状砂州が存在すること、 $Q$  の値を計算する際、阿賀野川河川部の水深まで含めたことである。

阿賀野川河口 (No. -170~No. -100) に注目するため、1962年~1973年の春季の  $Q$  を古い順にずらして示したのが図-6.3である。これによると、No. -140 附近にある  $Q$  の値のピークについて、1962年から1965年にかけては左側に単一のピークが存在するのみであるが、1966年から二つのピークが現われるようになり、さらに1971年に至ると左側のピークが消滅して右側のみの単一ピーク

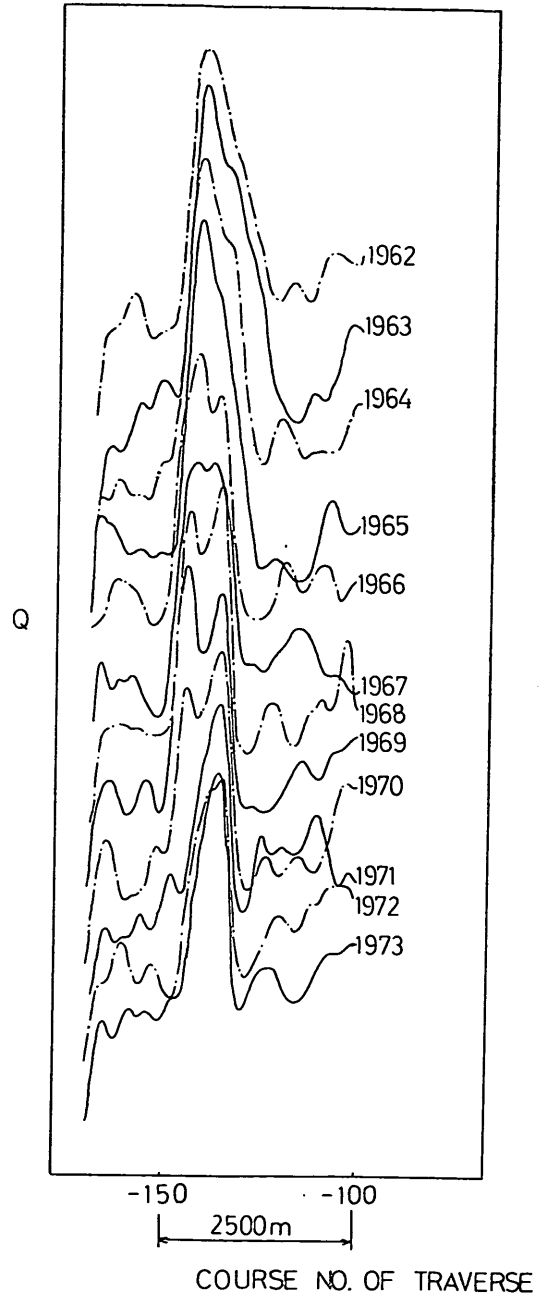


図-6.3 阿賀野川河口の海底起伏分布の変化

クになっていることがわかる。これは、河口部の地形がある方向に変形していることを表わしており、前章で述べた河口舌状砂州と河口砂州の変化をとらえたものである。

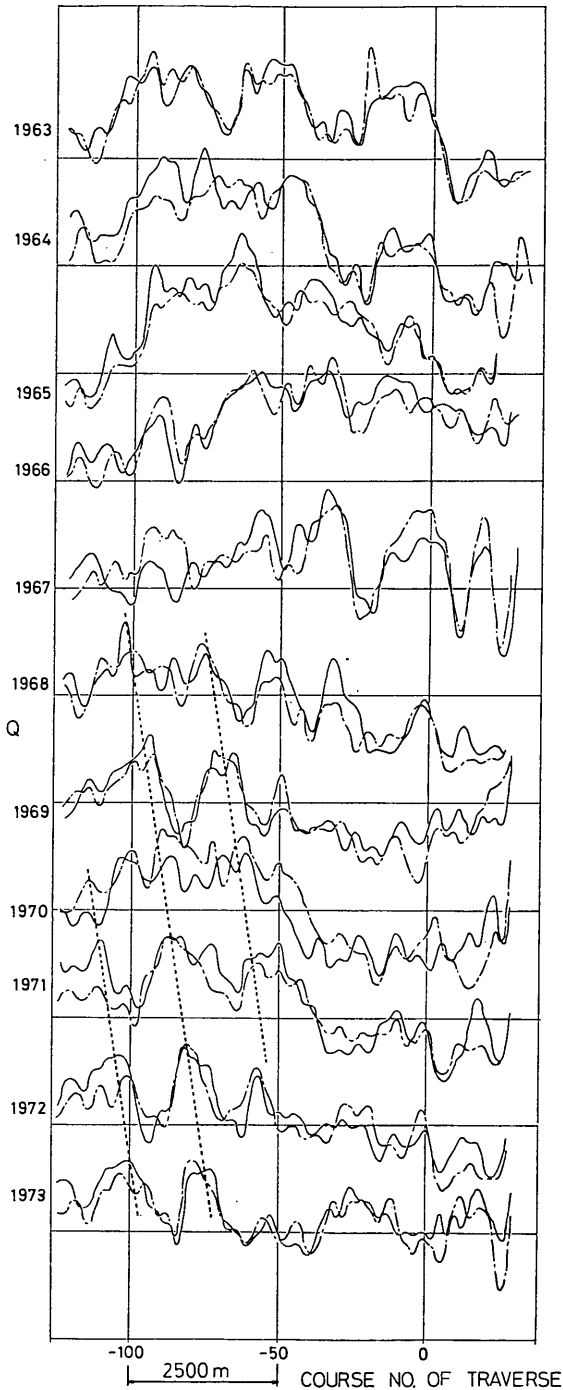


図-6.4 阿賀野川から新潟東港の間の1963年から1973年までの沿岸砂州の規模の変化

図-6.4 は、No. -130~No. 20 のQを、1963年~1973年春季(実線)、秋季(一点鎖線)について古い順にずらして書いたものである。No. -130~No. 20 は阿賀野川右岸から新潟東港までの範囲であり、ここに限定したのは、沿岸砂州の規模が大きくその沿岸方向周期性が他の地域にくらべて顕著だからである。同年の春季、秋季沿岸砂州が大スケールにおいて一致していることは、この図でさらによくわかる。11年間の全体的なパターンは、年代的に3つに区分できる。すなわち、(i) 1963年~1966年; 波長2km 程度の大スケールの沿岸砂州が時間とともに図示した区域を半波長とするモード1のさらに大きなスケールの沿岸砂州に成長していき、かつ図中で右側新潟東港方向に移動している時代。(ii) 1967年~1968年; 中央(No. -50) から新潟東港寄りに波長1~2km 程度の大スケールの沿岸砂州が認められる時代。これは(i)の時代と次の(iii)の時代の遷移期であると考えられる。(iii) 1969年~1973年; 阿賀野川から中央部に至る地域に1km 程度の大スケール沿岸砂州が存在し、かつそれらが図中破線でピークを結んで示したようにはば250m/yearの速度で新潟東港方向に移動している時代とである。第三の時代には図示した地域を1波長とするモード2のさらに大きなQの値の変動が認められる。

第二の時代を遷移期に前後の年でモードの異なる原因が何であるか不明である。しかし、第一の時代には大きなモード1の変動が基本になっているのに対し、第三の時代はモード2の変動が基本になっていることから推論すると、新潟東港建設によって沿岸方向の境界条件が変化したことに関連性があるように思える。

### 6.2 Empirical eigenfunction<sup>12)</sup> による解析

本節ではさらに領域を限定し、これまでの考察で沿岸砂州がよく変動していると考えられるNo. -124~No. -44の範囲について、empirical eigenfunctionを用いた方法により解析した結果を述べる。この手法が、沿岸地形の解析に用いられたのは、1975年 Winant, Inman, Nordstrom<sup>12)</sup> らが Torrey Pines Beach (California) の沿岸砂州、トラフ、テラスの季節変動を実測値から考察する際に利用したのが最初であり、その目的は、データの時間および空間に対する依存を分離し、データを時間および空間に対応する関数の線型重ね合せとして表現するものである。

今汀線に直角沖方向に設定した測線上の測点を、汀線に近い順に1, 2, …… $n_x$ と番号を付し、 $x$ 番目の水深を $h_{xt}$ で表わす。ただし $t$ は1と $n_t$ (全測量回数; 今回は

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

$n_i=23$ ) の間の整数であり測量年月を示す。この統計的手法は、 $h_{xi}$  を

$$h_{xi} = \sum_n C_{ni} \cdot e_{nx} \quad (6.3)$$

の形で表わし得る、 $C_{ni}, e_{nx}$  を決定するものである。 $h_{xi}$  は固定点の水深であるので、ある年の海底断面形は  $h_{xi}$  を成分とするベクトル

$$h_i = \begin{pmatrix} h_{1i} \\ h_{2i} \\ \vdots \\ h_{nxi} \end{pmatrix} \quad (6.4)$$

で表現される。

したがって、(6.3) 式のベクトル表示は、

$$h_i = \sum_n C_{ni} \cdot e_n \quad (6.5)$$

となる。ここで

$$e_n = \begin{pmatrix} e_{n1} \\ e_{n2} \\ \vdots \\ e_{nxi} \end{pmatrix} \quad (6.6)$$

である。(6.6) 式で示されるベクトルを empirical eigenfunction と呼び、これは  $h_{xi}$  から (6.7) 式によって計算

$$a_{ij} = \frac{1}{n_x n_i} \sum_{i=1}^{n_i} h_{xi} h_{ji} \quad (6.7)$$

される  $a_{ij}$  を要素とする対称相関マトリックス  $A$  の固有ベクトルとして求まる。各固有ベクトルに対応した固有

値  $\lambda_n$  によって empirical eigenfunction  $e_n$  の重要度が決定される。一般に海底断面を (6.5) 式で表現した場合固有値の大きい順に 3 個の  $e_n$  をとれば十分である<sup>12)</sup>。以後添字  $n$  は固有値の大きい順番を表わす。一番大きい固有値 ( $\lambda_1$ ) に対応した  $e_1$  は、平均断面をあらわすものであり、2, 3 番目の固有値 ( $\lambda_2, \lambda_3$ ) に対応した  $e_2, e_3$  がその、その断面の地形および地形変化の特性を示す。4 番目以降は重要度がきわめて小さく、また現実の物理現象との対応をつけることが困難である。 $C_{ni}$  は

$$C_{ni} = \sum_{x=1}^{n_x} h_{xi} \cdot e_{nx} \quad (6.8)$$

で計算されるスカラー量であり、時間の関数である。

解析範囲は、No. -124~No. -44 の間 3 測線とばし、すなわち 200m 間隔の計 21 測線について深浅測量 23 回分おこなった。各測線上では沖方向 50m 間隔約 40 点 (汀線から 2,000m, 水深約 20m 程度まで) の測点を設定した。これらの水深データとして、磁気テープに記録してある格子交点水深を利用したが、今までの統計処理と異なっており、欠測データがある場合や、深浅図をデジタル化するとき地形の特異性によって生じる誤差等に大きく解析結果が左右されるので、磁気テープのデータを深浅図でチェックし、一部追加修正を行なった。このようにして得られたデータを本解析に使用した。データの内容を

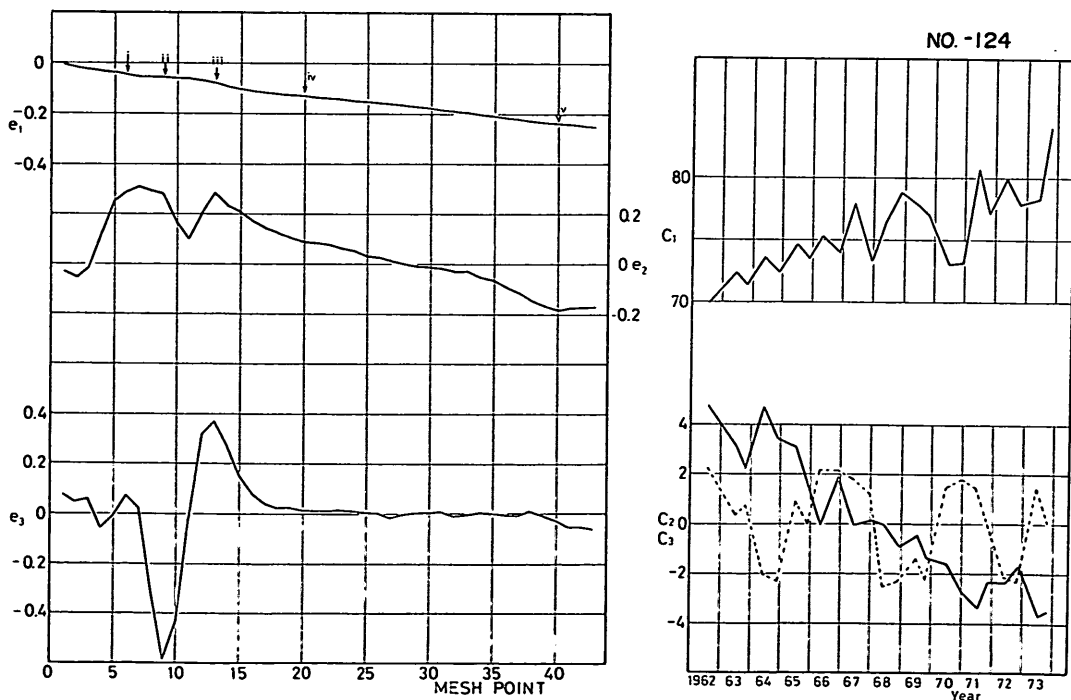


図-6.5 No. -124 における empirical eigenfunction  $e$  とその係数  $C$

示すため各測線毎23回の断面形をずらして描いたものが附録Bのグラフである。

解析結果はすべて固有値の大きいほうから3番目までについて考察した。解析結果の一例としてNo. -124の $e_n$ と $C_{nt}$ を図-6.5に示す。左図縦軸は $e_n$ の値を、横軸は汀線から順番に50m間隔で設定した測点番号である。上から固有値の大きい順に記入してある。また右図縦軸は係数 $C_{nt}$ の値であり、上図は $C_{1t}$ 、下図実線が $C_{2t}$ 、点線が $C_{3t}$ である。横軸は深淺測量の行なわれた年代をとっている。他の20測線については、その結果を附録Cにまとめて載せた。

一番大きな固有値に対応した empirical eigenfunction  $e_1$  は、Winant らが述べているように海底の平均断面を表わすものである。この平均断面の時間変動を調べるため、No. -124~No. -44の $C_1$ を縦方向にずらしてまとめたのが図-6.6である。図中、時間とともに $C_1$ の値が増加するのは、平均断面が欠壊していることを意味する。そうすると、No. -124で一番欠壊傾向が強く、新潟東港に近づくにつれてその傾向が減少し、No. -44付近では欠壊も堆積もしていないことがわかる。このことは先の章で述べたとおりである。

二番目、三番目に大きな固有値に対応した empirical eigenfunction  $e_2, e_3$  は、各測線毎にそれが示している物理的な意味が異なる。例えば、図-6.5の $e_2$ は大きな盛り上りを示すものであり、今までの議論からこれは阿賀野川河口舌状砂州であると考えられる。また $e_3$ は一段のバー・トラフ地形を示している。以下同じように附録Cに示してある各測線の $e_2, e_3$ を調べた結果、この地域では大きく分類して、(i) 大きな盛り上り、(ii) バー・トラフ地形に分けられ、さらに後者は1段バー、2段バー、3段バーに細分することができた。

これらの分類と同時に各 empirical eigenfunction の重要度すなわち、固有値( $\lambda_n$ )の値を検討するため、 $1,000\lambda_2/\lambda_1, 1,000\lambda_3/\lambda_1$ をそれぞれ $e_2, e_3$ の寄与率と定義し、その結果を図-6.7に示した。図において、縦軸は寄与率、横軸は測線番号である。図中白抜き印は大きな盛り上り、黒塗り印はバー・トラフ地形を、丸印は一段バー、四角印は二段バー、三角印は3段バーで区別してある。これによると大きな盛り上りの寄与率はNo. -124から遠ざかるにつれて急激に消滅していき、No. -112ではもはや $e_4$ 以下になっている。一方バー・トラフ地形の寄与率はNo. -44に向かって増大している。No. -124~No. -84の間では、しばしば一段バーが認められるが全体としては、二段バーが支配的である。特にNo. -80

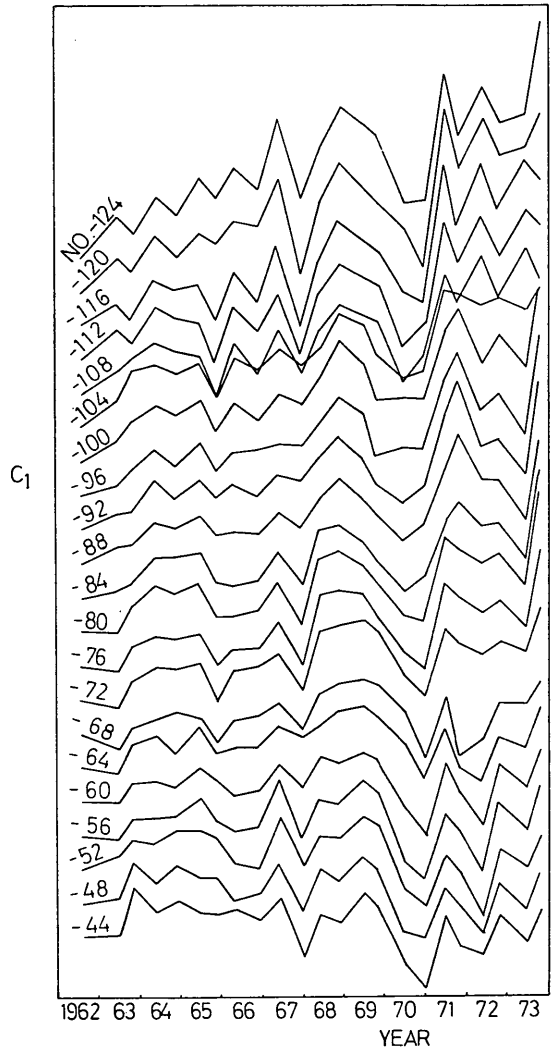


図-6.6 係数 $C_1$ の時間的場所的变化

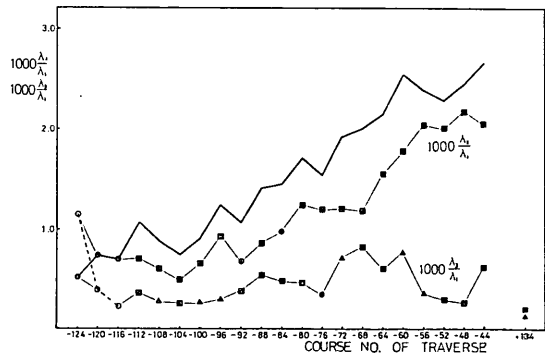


図-6.7  $e_2, e_3$ の寄与率

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

～No. -44 の間には二段バーだけである。三段バーは  $e_2$  に現われることがない。また  $e_2$  と  $e_3$  のバー・トラフに関連しているものの寄与率を加えたものを図中実線で示してあり、これによると阿賀野川から遠ざかるにつれ単調増加していることがわかる。寄与率が大きいたうことは、バー・トラフ地形が顕著であるということではなく、バー・トラフの変動振幅が大きいたうことを意味するものである。

この様に、阿賀野川から流出する土砂で直接形成される河口舌状砂州の影響が消えるあたりからバー・トラフ地形の変動が優勢になり、その変動の度合いが漂砂方向に大きくなるたうことは、非常に興味あることである。この傾向を調べるためにはNo. -44 よりさらに東側の測線まで解析の範囲を拡張すればよいのだが、残念ながらそこは、新潟東港西防波堤の沿波によって局地的に漂砂方向が逆向きであるためと、浚渫・埋立て等の人工的要素が大きいたうためこれらの影響が含まれてしまう。したがって、ここでは参考までに、新潟東港から加治川に向って十分な距離はなれたところのNo. 134 で同じ解析をおこない、バー・トラフの寄与率を計算した結果を示しておく。

バー・トラフを示す empirical eigenfunction の係数  $C$  の経年変化を示すと、図-6.8～図-6.11 のとおりである。これらの図において縦軸は、No. -124 については  $C_3$ 、それ以外のNo. については  $C_2$  の値であり、横軸は測量年である。 $C$  の変化のパターンは大きく4種類に分類することができる。

第Iパターンは、阿賀野川に近い測線 (No. -124～No. -112) に見られ、図-6.8 に示すように負のピーク

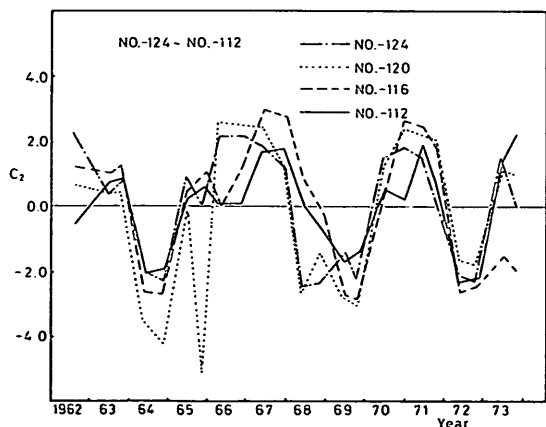


図-6.8 No. -124～No. -112 のバー・トラフ empirical eigenfunction の係数変化

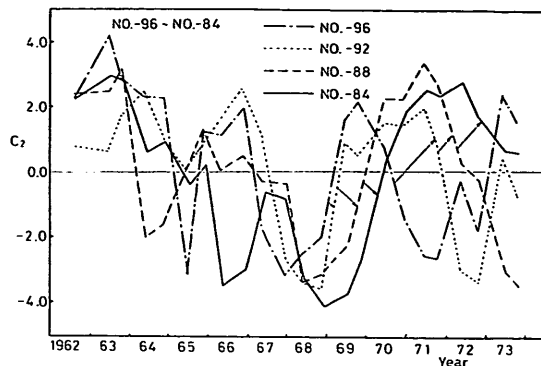


図-6.9 No. -96～No. -84 のバー・トラフ empirical eigenfunction の係数変化

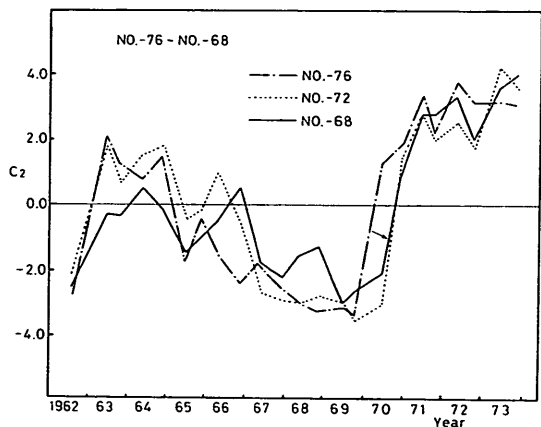


図-6.10 No. -76～No. -68 のバー・トラフ empirical eigenfunction の係数変化

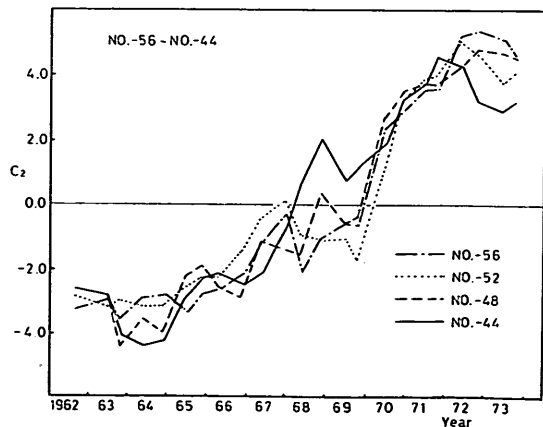


図-6.11 No. -56～No. -44 のバー・トラフ empirical eigenfunction の係数変化

は1964年, 1968~69年, 1972年にあり, 正のピークは1966~67年, 1971年にあって,  $C$ の値がほぼ4~5年の周期性を持つものである。

第IIのパターンは, No. -96~No. -84に見られ, 図-6.9に示すように1962年から減少し1968年の負のピークに至った後, 測線番号の大きいものすなわち阿賀野川から遠いほど周期が長くなっているものである。さらに1968年以降は測線が阿賀野川から遠ざかるにつれてほぼ一様に位相がずれ遅くなっている。

第IIIのパターンは, No. -76~No. -68に見られ, 図-6.10に示すように1963年の正のピークから1972~73年の正のピークまではほぼ一周期の変化が見られるものである。負のピークは, 1968~69年に存在し, 周期はほぼ10年程度である。なお, 1968年以後の部分は, 前述のIIの地域の曲線とかさねると依然として阿賀野川から遠ざかる方向に位相ずれて遅くなる傾向がある。

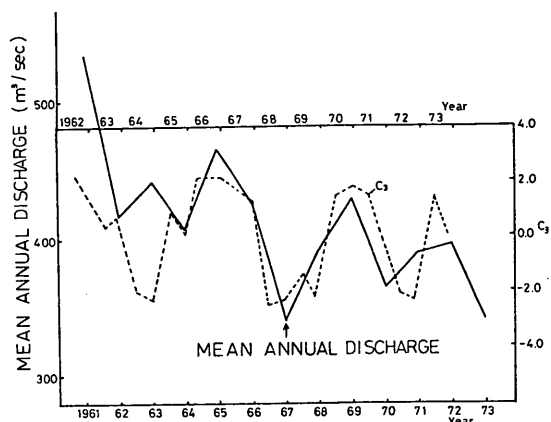


図-6.12 阿賀野川年平均流下流量と No. -124 のバートラフ empirical egenfunction の係数の変化

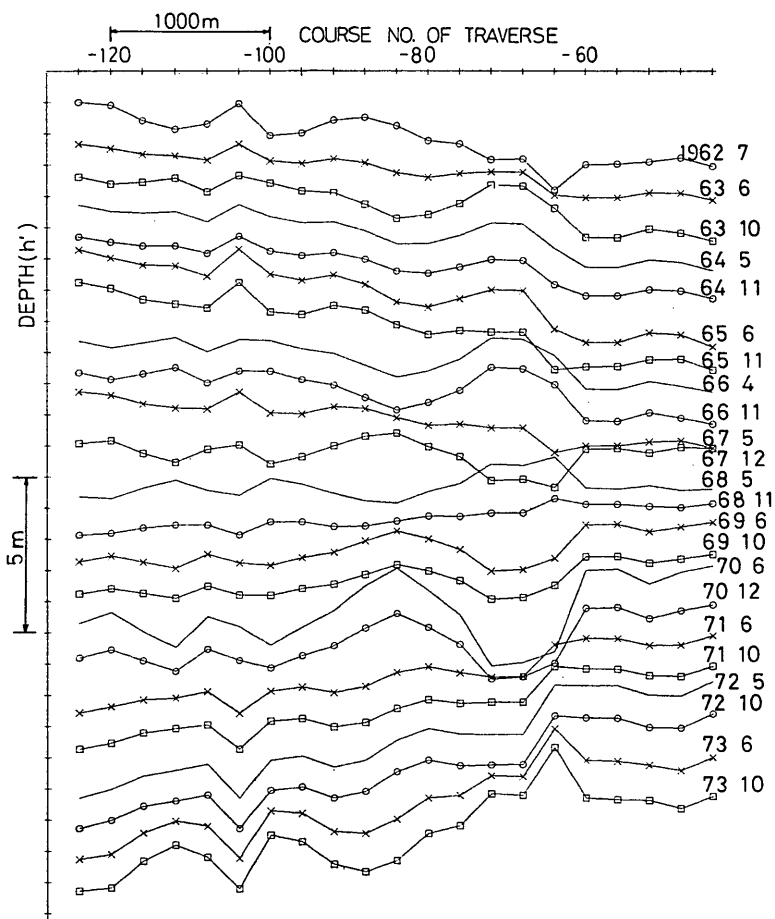


図-6.13 沖から二番目のバー頂部を連ねた測線の  $h_{2t}$

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

第IVのパターンは、No. -60~No. -44に見られ、図-6.11に示すとおり、1963~64の負のピークから年がたつにつれて増加していき、1972~73年の正に至るまで単調に増加するものである。新潟東港建設によって地形特性が単調に変化しつつあるとも考えられるし、曲線が正弦曲線の一部に非常に似ていることから周期変動をしているとも考えられる。周期変動だとすれば、20年程度の周期である。

これらの変化パターンの差異から、No. -124~No. -44の地域では阿賀野川から遠ざかるにつれて、バー・トラフの変動周期が徐々に長くなる傾向があることが明瞭であり、変動周期は阿賀野川に最も近いIの地域で4~5年である。またII・IIIの地域において、1968年以後は阿賀野川から遠ざかるにつれ位相がおくれ、位置的にも時間的にも前節6.1の図-6.4で示した沿岸砂州の移動現象と一致している。この期間の沿岸砂州は沿岸方向に場所的な周期性(波長1km程度)を有するから、沿岸

砂州が沿岸方向に移動するとき、ある地点の地形変化は、その上手地点の地形変化より遅れて生ずる。位相の遅れはこのことを示していると考えられる。

阿賀野川河口近くにおけるバー・トラフ地形の4~5年周期の周期性の原因を明らかにするために、No. -124の $C_3$ と阿賀野川年平均流下流量の関係を示すと図-6.12のとおりである。図は左側縦軸に年平均流下流量( $m^3/sec$ ) 下側横軸に年平均流下流量に対応した年を、また右側縦軸に $C_3$ の値上側横軸に $C_3$ に対応した年をとってある。ここで注意しておくことは、上側横軸と下側横軸は年代が1年ずれていることである。この図をみると、1963年の出水を除いて年平均流下流量と係数 $C_3$ には、きわめて高い相関のあることが認められる。すなわち係数 $C_3$ の変化は年平均流下流量変化に約1年おくれて応答している。この高い相関は阿賀野川に一番近いIの地域に限られ、II~IVの地域には見られない。以上のことは、バー・トラフの周期変動が阿賀野川河口近くにおい

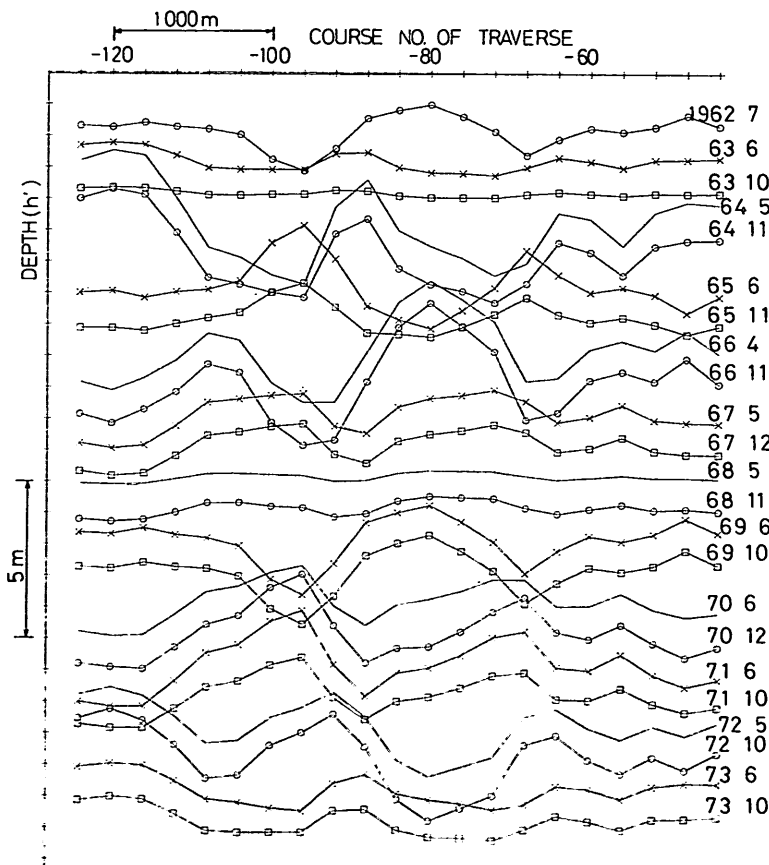


図-6.14 一番沖側のトラフ底部を連ねた測線の $h_x$



て河川の流下土砂，言い換えると付近の土砂の豊富さに依存していることを示しているものと考えられる。

Winant<sup>(12)</sup> が示した empirical eigenfunction を求める方法は，2次元取扱いに限定されるものではなく，原理的には3次元解析計算も可能である。というのは，本手法が測点のとり方に何ら左右されないため，測点を平面的に散らばったものとして順番をつけることができるからである。この場合，解析計算はきわめて高次元の対称相関マトリックスを大容量の電算機で解くことになる。あるいは，測定回数が少ない場合，Winant らがその論文中で示唆するように，時間的対称相関マトリックスを使用することによっても可能である。しかしながら，いずれにしてもその解析結果の判読が込み入ってくることは，避けられない。したがって，ここでは地形形成要因を3次元的に理解する目的で，3次元 empirical eigenfunction を求める代りに，海岸に直角方向の解析

に加えて海岸に平行方向の測線について2次元 empirical eigenfunction を計算した。

計算は次の5測線について，沿岸方向に200m 毎のデータを用いた。すなわち，(i) 沖から二番目のバー頂部を連ねた線（多段バーのないところは汀線から約300m 沖の地点），(ii) 一番沖側のトラフ底部を連ねた線，(iii) 一番沖側のバー頂部を連ねた線，(iv) 水深ほぼ-10mの地点を連ねた線，(v) 水深ほぼ-18mの地点を連ねた線である。測線 (i)，(ii)，(iii) 上の測点位置としては，先に計算した二番目と三番目の empirical eigenfunction のピーク位置を取り，測線 (iv)，(v) の測点位置は平均水深がそれぞれ-10m，-18mに一番近いメッシュ点とした。それらの地点は附録Cの図中に矢印で明示してある。

地形変化特性に注目するため，ここでは前節と同様の解析法で計算される二番目と三番目の沿岸方向 empiri-

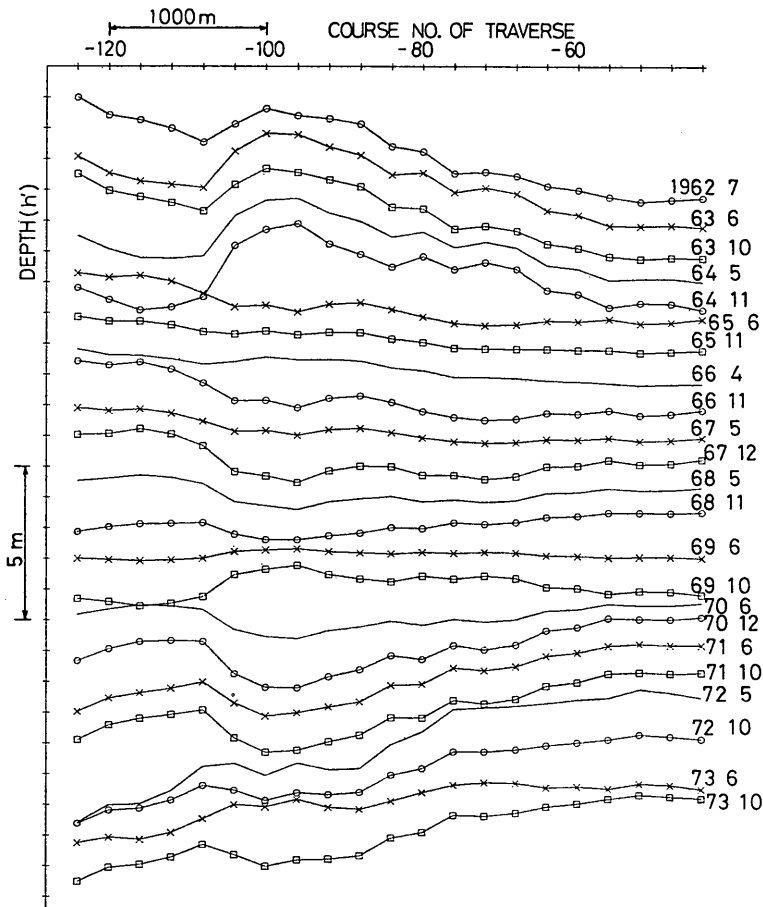


図-6.15 一番沖側のバー頂部を連ねた測線の  $h_{xt}$

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

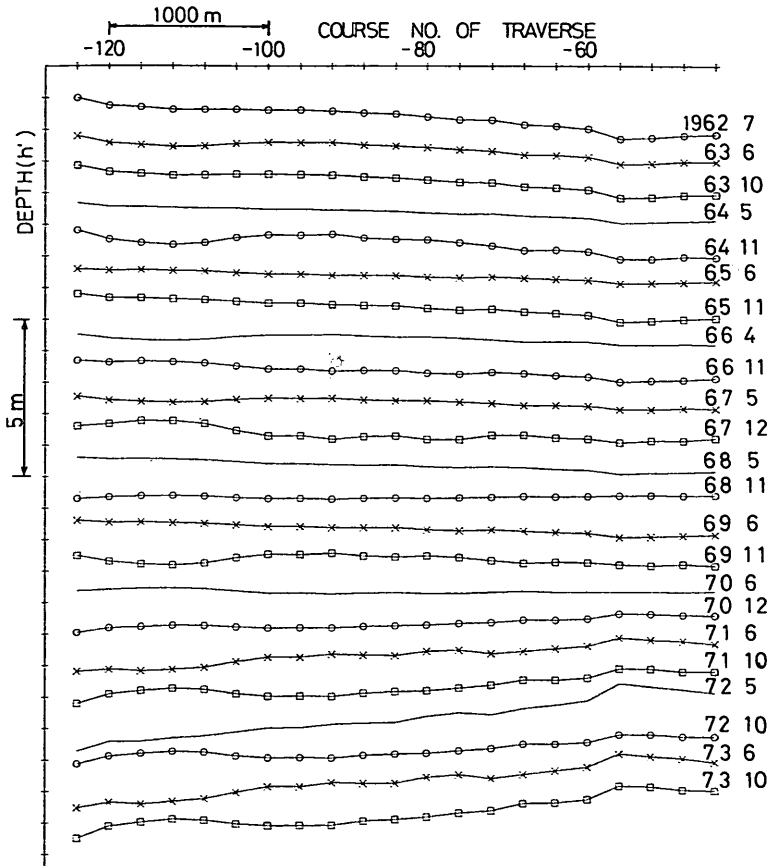


図-6.16 水深-10mの地点を連ねた測線の  $h'_{zt}$

cal eigenfunction から次式で計算される水深成分  $h'$  を求めた。

$$h'_{zt} = c_{2t}e_{2z} + c_{3t}e_{3z} \quad (6.9)$$

この成分  $h'$  は、生のデータから平均水深（一番目の empirical eigenfunction）と、微小変動（四番目以降の empirical eigenfunction）を除去して、有意な地形変動成分のみを抽出するものである。

各測線について (6.9) 式で計算された  $h'_{zt}$  を年代順にずらして描いたのが、図-6.13～図-6.17である。これらの図では横軸に No.、縦軸に水深がとられており 1 目盛が 1 m に相当する。また年代順にずらす間隔は縦軸の 1 目盛分である。

図-6.13 は、(i) 沖から二番目のパー頂部を連ねた測線の  $h'_{zt}$  を示したものである。これによると、1962年に右下りの曲線であったのが、時間がたつにつれて連続的に変化し、1973年には右上りの曲線になっていることが認められる。このことは、地形変動が阿賀野川に近い

No. -124 の付近で水深が深くなるように、新潟東港に近い No. -44 の付近で水深が浅くなるように生じたことを意味している。この測線上で比較的変動の激しいところは、No. -104 附近と No. -64 附近に存在している。

図-6.14 は、(ii) 一番沖側のトラフ底部を連ねた測線の  $h'_{zt}$  を示したものである。顕著な変動傾向として目に付くことは、1963年、1968年、1973年の  $h'_{zt}$  が沿岸方向にはほぼ一定で、それ以外の時期には激しく変動するという 5 年周期の地形変動が存在していることである。また沿岸方向にながめた場合、変動の激しい時期には No. -124～No. -60 の間に沿岸方向に場所的な周期性が存在し、その波長のオーダーは  $1 \times 10^3$  m である。激しい変動の生じている時期は、1 年で大きく変化し前年との関連性はあまりないようであるが、同じ年の春季と秋季ではまったく一致している。一方全体をながめたとき、図-6.13に見られたような右下りの曲線から右上りの曲

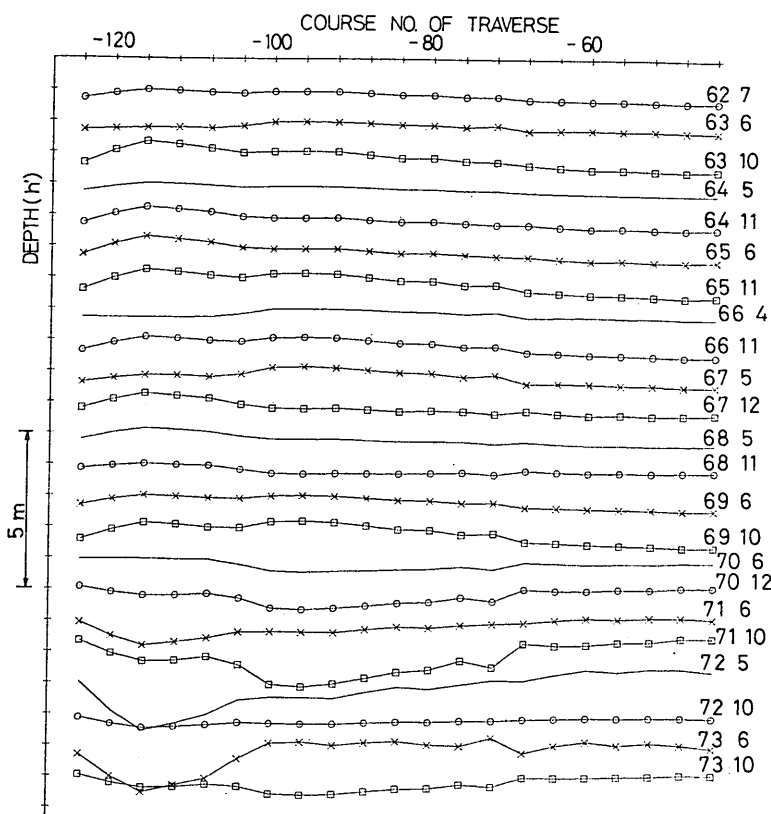


図-6.17 水深-18mの地点を連ねた測線の  $h_{zt}$

線に変化するようなことはなく、沿岸方向にほぼ一定である。

図-6.15は、(iii)一番沖側のバー頂部を連ねた測線の  $h_{zt}$  を示したものである。この測線上の全体的傾向は、図-6.13と同様に1962年の右下りの曲線から、年とともに連続的に変化して、1973年には右上りの曲線になっている。このような変動に加えてNo. -124~No. -108, No. -108~No. -56, No. -56~No. -40の各地域はそれぞれまとめて変化をし時間的に周期性をもつ。変動周期はNo. -124~No. -108の地域で約5年、No. -56~No. -44の地域で約10年の半周期となっている。変動周期が阿賀野川から遠ざかるにつれて長くなる現象は、先の解析結果でも認められたことである。また、同じ年の春季と秋季のデータは、よく似ているけれども図-6.14ほどの一致は見られない。

図-6.16, 図-6.17は、それぞれ(iv)水深ほぼ-10mの地点を連ねた測線、(v)水深ほぼ-18mの地点を連ねた測線の  $h_{zt}$  を示したものである。これらによると、水深-10m以深の海底では、変動成分がほとんどないこと

がわかる。しかし図-6.16の  $h_{zt}$  には依然として右下りから右上りに変化する傾向がわずかに残っていることと、図-6.17の1972年、1973年春季にNo. -124~No. -100の地域で変動が生じていることが認められる。

これら5測線の解析結果をまとめると、まず全域をながめるとき認められる右下りの曲線が、年がたつにつれて連続的に右上りの曲線に変化していく現象は、(i)(iii)(iv)の各測線に見られ、その強度は(iii),(i)において著しく、(iv)ではわずかに認められるにすぎない。これは4章でも明らかにされたように、この地域で阿賀野川から新潟東港に向かう土砂移動が水深-10m以浅のトラフを除く地域にあったものと考えられる。

一番沖のバー頂部を連ねた測線の  $h_{zt}$  (図-6.15)は、阿賀野川から遠ざかる方向に変動周期が長くなっており、これは先の解析で得られたバー・トラフを示す empirical eigenfunction の変動周期の場所的変化と一致する。このことは前節の沖方向2次元解析で得られたバー・トラフ関数に、一番沖のバーの変動の影響が強く含まれていることを意味している。

## 阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

トラフの位置における5年程度の周期性は、その周期と図-6.12から、阿賀野川流下流量の関連性が考えられる。また沿岸方向に生じた波長 $1 \times 10^3 \text{m}$ 程度の周期性は、その波長のオーダーから、一番沖の沿岸砂州(outer bar)の沿岸方向の周期性と見なせる。しかし図-6.15でも明らかのようにバー頂部にはこの周期性がほとんど存在していない。もともとトラフは、碎波によって生じる激しい乱れによって形成される欠壊地形であるから、トラフ内に流入する土砂は堆積することなく巻き上げられトラフ外へはき出され、一方バーは本質的には堆積地形であり、そこに流入する土砂は堆積することから、土砂移動が生じている地域の沿岸砂州は欠壊位置における周期性のみが顕著になるものと考えられる。またトラフ内を長期にわたって土砂が通過した形跡はなく、同じ年の春季と秋季地形変動はまったく一致している。

## 7. 結 論

以上1962年から1973年の11年間間にわたる、阿賀野川河口近傍の海底地形の解析によって、以下の事項が明らかになった。すなわち、

### 1) 広域的、長期的地形変化として

a) 過去11年間における調査地域の地形変化傾向は、図-4.2に示すように阿賀野川河口前面附近における著しい欠壊傾向、東港の西海岸附近における著しい堆積傾向、東港の西埋立地および西防波堤前面での欠壊、西防波堤々頭附近の堆積および東防波堤の東、東埋立地沖合における欠壊によって特徴づけられる。

b) 図-4.2によれば、その他の地域でも広く欠壊地域が分布しているが、この11年間に30cm以上におよんだと考えられる地盤沈下を考慮すると、漂砂現象に伴ったいわゆる欠壊としては有意なものではない。

c) 東港西海岸の堆積地域では、水深の浅い部分で明らかに東港の建設の影響が認められ、堆積は東港に近い地域から始まり、徐々に西側に広がっている。また堆積傾向は或る時期で飽和状態に達したようになり、以降は水深変化が少なくなる。しかし、水深の深い部分では、1970年に多量に堆積し、その後の欠壊速度が遅いため、1973年時点では欠壊を示す結果となっている。これは、この地域が1970年のように異常な外的条件(阿賀野川の異常出水および異常波浪であると考えられる。)の場合には著しく堆積するが、常時はむしろ弱い欠壊傾向を持つことを示している。

d) 東港西埋立地前面および西防波堤附近は、常時欠壊傾向を持つのに加えて、異常時においても堆積傾向が

弱い。このため、11年間を通じて著しい欠壊を示す結果になっている。

e) 東港東側沖合の欠壊は、主として1964年頃生じたものであるが、近年も多少欠壊の傾向にある。

f) 以上の地形変化を港湾建設の立場から見ると、新潟東港は、その位置の選定も含めて巧みに計画、建設されており、計画意図通りに漂砂を制御し得ていると言っている。

### 2) 阿賀野川河口地形の変化に関して

g) 阿賀野川河口前面の海底舌状砂州は、過去11年間で著しく衰退した。河口前面地域での水深増加は11年間で平均2.12mに達し、土量的には $11,575,000 \text{m}^3$ の減少となる。この地域では11年間に40~50cmの地盤沈下が生じているから、これを考慮しても11年間に水深で約1.6m、土量で約 $8,750,000 \text{m}^3$ の減少となり、これを年平均すると約 $800,000 \text{m}^3/\text{年}$ の土量減少となる。この河口舌状砂州の減少は、明からに河川流下流量の減少に伴う流下土砂量の減少に起因している。

h) 河口前面における融雪出水前後の堆積土量は、融雪出水流量とはほぼ直線関係にあり、その関係は図-5.5に示される。

i) 河口前面の河口舌状砂州の形状の変化は、河道内の蛇行流のパターンの変化と密接な関係を持っている。すなわち、河道のみお筋が河口付近で左岸にあり、河川流が東に向かって流出している時期には、舌状砂州の陵線は浅部で東に向い、深部で西に反転する曲線をなすが、河道内みお筋が右岸により、河川流が西に向かって流出する場合には、舌状砂州陵線は浅部で西に向い、深部で東へ反転するようになる。

k) 河口前面附近では、水深が深い程、地形変化の短期変動は、河川流量の変動に敏感である。これは、深い水深では地形変化に対する波浪の影響が弱く、河川の影響の方が相対的に強くなるためと考えられる。

l) 河口兩岸の河口砂州は、1963年より1966年までは右岸の砂州が海岸に平行に伸び、左岸砂州はほとんど見られないが、1966年に出水によって右岸砂州が切れた後には、砂州は河道内に巻き込むようになり、左岸には砂州が形成される。このような河口砂州の衰退傾向も、河川流量が減じたためと考えられ、また、河道内蛇行パターンの変化とも関係している。

m) 河口最狭断面の水深と河幅は弱い負の相関にあり、また流積は河川流量と密接に関係し、一定流量に対する最小流積は図-5.17に示すような関係にある。

### 3) 沿岸砂州地形について

n) 式(6.1)によって定義される沿岸砂州の規模 $Q$ は阿賀野川河口から東、加治川方向へ次第に小さくなって行くと共に、沿岸方向に周期を持って変動している。特に阿賀野川河口から新潟東港西海岸に至る地域では、波長2km程度の周期変動の上に、波長数百m程度の小さな周期変動が重なっている。

o) 同じ年の春と秋としては、沿岸砂州の規模とその分布パターンはほとんど変化せず、夏季にきわめて静穏なこの海岸では、冬季に形成された砂州地形が夏季にはほとんど保持されている。

p) 阿賀野川河口から新潟東港西海岸に至る海岸の沿岸砂州の分布のしかたは、年代的に3グループに分類し得る。第一期は1963年から1966年に至る期間で、波長2km程度の沿岸砂州が、この区域を半波長とするさらに大きな砂州に成長して行き、東港方向に移動しつつある時期であり、第二期は、1967～1968年で中央から東港までの地域にのみ波長1～2kmの砂州が存在する時期、さらに第三期は1968年以降1973年に至る時期で、この間阿賀野川から中央に至る地域に波長1km程度の砂州が存在し、それらの砂州が250m/年程度の速度で東方向に移動している。

q) 海岸線にはほぼ直角方向の海底断面について、eigenfunctionを用いて地形形成要因の検討を行なった結果、eigenfunctionの第2項、すなわち沿岸砂州地形を表わす項の時間係数 $C$ の値の経年変化のパターンが断面位置によって4つのグループに分類し得ることがわかった。

r) 第1のグループは、阿賀野川河口附近の測線に見られ、ここでは $C$ の値が4～5年周期の周期的変動をしており、この変動のピークは阿賀野川の流下流動の変動ピークに一年遅れてきわめて良く追従している。すなわち、阿賀野川の流量が大きかった年の翌年には、沿岸砂州地形が発達しやすくなっている。

s) 第2グループは、測線No. -84～No. -76(阿賀野川河口の東1.4kmから2kmの間)附近では1968年頃から $C$ の変動周期が徐々に長くなっているが、周期の増加率は東港に近いほど大きく、かつ変動の位相が測線が東港に近い程遅れている。この位相の遅れは、p)項で述べた沿岸砂州の移動を表わしているものと考えられる。

t) 第3グループ(阿賀野川から2～3km程度の地域)から第4グループ(東港西埋立地の西1km程度の地域)にかけて、 $C$ の値の時間的変動周期はますます長くなり、第3グループでは10年、第4グループでは20年程度の周期性を示すようになる。

u)  $C$ の経年変化の変動周期が、東港に近付くにつれ

て長くなるのは、東港の建設に伴ってその近傍に堆積傾向を持つようになったことと深い関係があるように思われる。

v) 海岸線に平行方向の測線について、同じくeigenfunctionによる地形変化要因の解析を行なった結果では、沿岸砂州の頂部を結ぶ2つの測線および水深-10mの測線では、年と共に阿賀野川側で欠壊し、東港側で堆積する傾向を示すのみである。しかし、沿岸砂州のトラフの底を結ぶ測線では、地形の変動成分の大きさは沿岸方向に明瞭な周期性を示し、4～5年の時間周期で沿岸方向の変動の大きさの周期性が、消える傾向にある。水深-10m以深の測線では、変動の大きさが沿岸方向にほぼ均一である。

## 8. あとがき

本報告においては、河口を持つ海岸の地形変化の特性を、経常的に行なわれて来た深淺測量成果に基づいて解析し、各種の興味ある事実を明らかにし得たと考えている。しかしながら、現象の普遍性の判断あるいは現象の物理的理解と言う意味では、他の事例の解析あるいはより詳細な現地観測が未だ未だ必要であるように思われる。これらは今後に残された課題として調査研究を進めたい。

今回の作業においては、資料の提供等に関して、第一港湾建設局、新潟調査設計事務所、新潟港工事々務所、さらに建設省北陸地方建設局、阿賀野川工事々務所の方に一方ならぬお世話になった。心底より感謝の意を表したい。

なお本報告は、研究の企画、指導および論文の一部執筆を田中が、資料の解析作業を加藤および柳島が担当し、論文の第4章および6章は加藤が、第5章を柳島が執筆した。  
(1976年3月31日受付)

## 参考文献

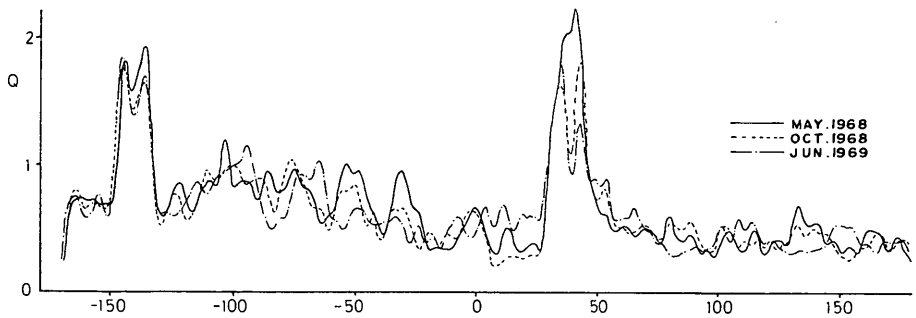
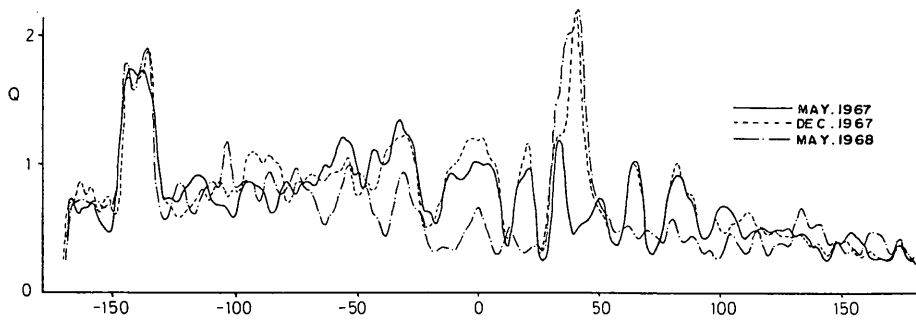
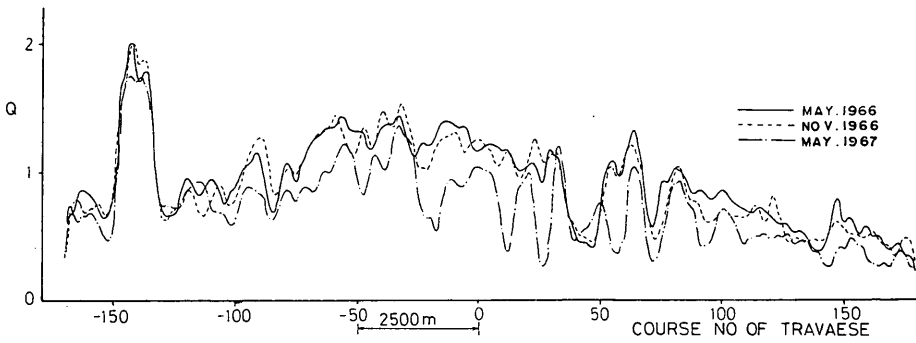
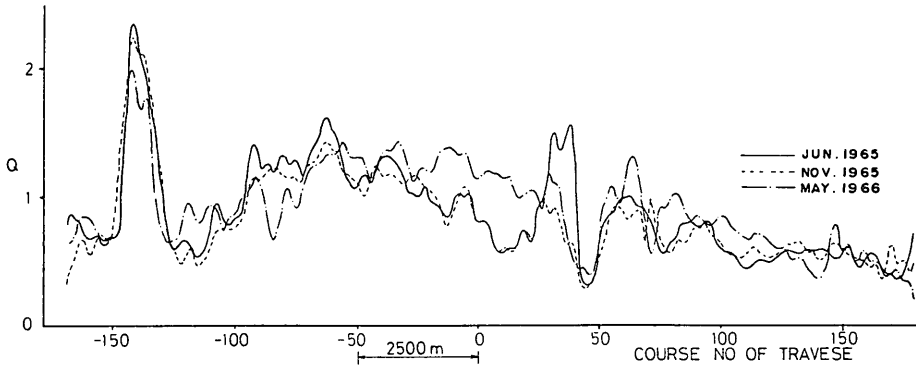
- 1) 田中則男, 小笹博昭, 小笠原昭: 海浜変形調査資料(第1報)——航空写真による汀線変化の解析(東日本編), 港湾技術資料 No. 163, 1973年 pp. 75～79
- 2) 例えば, 新潟港技術調査委員会: 新潟港技術調査報告 第1～3報, 1948～1951年
- 3) 例えば, 新潟港開発技術調査委員会: 新潟工業港および臨海工業地帯造成計画資料, No. 1～No. 6, 1962～1963年
- 4) 田中則男, 加藤一正, 柳島慎一: 深淺図ライブラリーの整備について——深淺図の集中保存, 管理, 解析システム——港湾技術資料 No. 203, 1975年
- 5) 鮮川登, 安養寺学, 鶴巻恒雄, 鶴本彰次: 駿河海岸の海岸侵食に関する土砂収支の研究, 早稲田大学理

阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

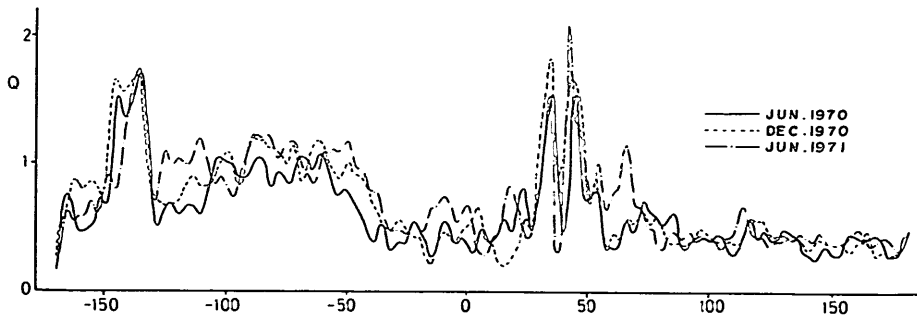
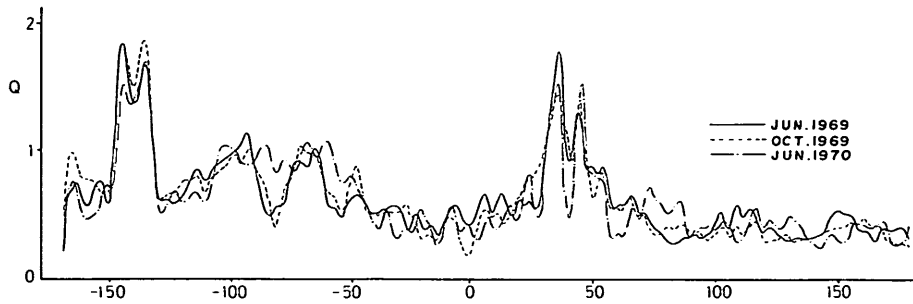
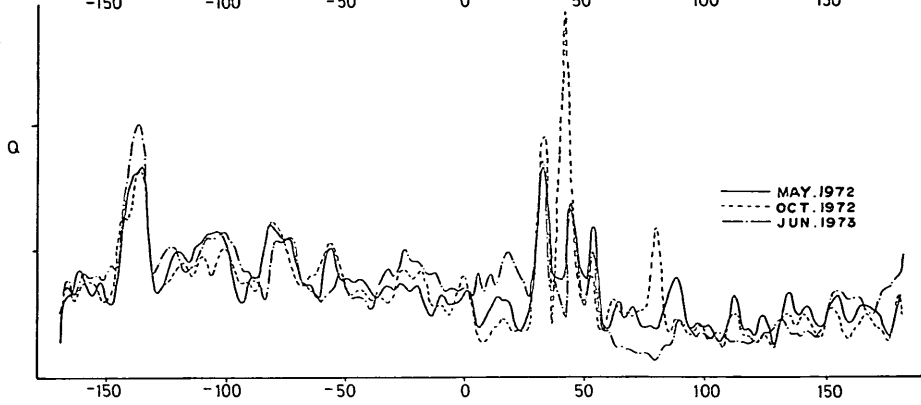
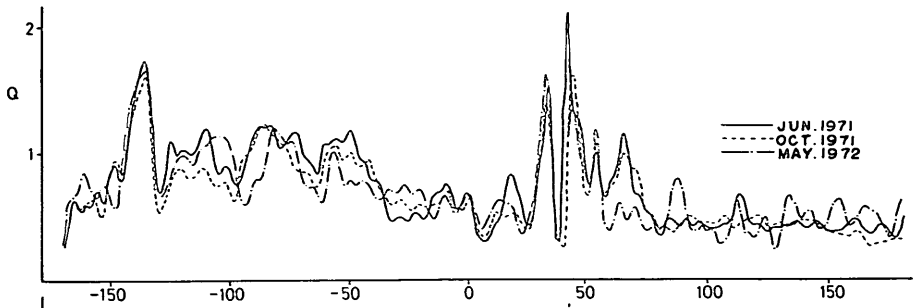
- 工学研究所報告第70輯, 1975年, pp. 62~68
- 6) 野田英明: 皆生海岸における海浜過程について, 第21回海岸工学講演論文集, 1974年, pp. 121~126
  - 7) 前出文献 2) 第3報
  - 8) Johnson, J.W.: Scale effects in hydraulic models involving wave motion, Trans. of A.G.V., Vol. 30, 1949, pp. 517~525
  - 9) Iwagaki, Y. and H. Noda: Laboratory study of scale effects in two-dimensional beach process, Proc. 8th Conf. on Coastal Eng., 1962, pp. 194~210
  - 10) 例えば Sonu, C.J., J.M. McCley, and McArthur, D.S.: Longshore currents and nearshore topographies, Proc. 10th Conf. on Coastal Eng., 1966, pp. 525~549
  - 11) Sonu, C.J.: Three-dimensional beach changes, Journal of Geology, Vol. 81, 1973, pp. 42~64
  - 12) Winant, C.D., D.L. Inman, and C.E. Nordstrom, : Description of seasonal beach changes using empirical eigenfunctions, Jour. G.R., Vol. 80, No. 15, 1975年
  - 13) 堀川清司: 海岸工学, 海洋工学への序説, 東京大学出版会, 1973年
  - 14) 第一港湾建設局, 新潟調査設計事務所: 深浅測量の精度について, 1967年

田中則男・加藤一正・柳島慎一

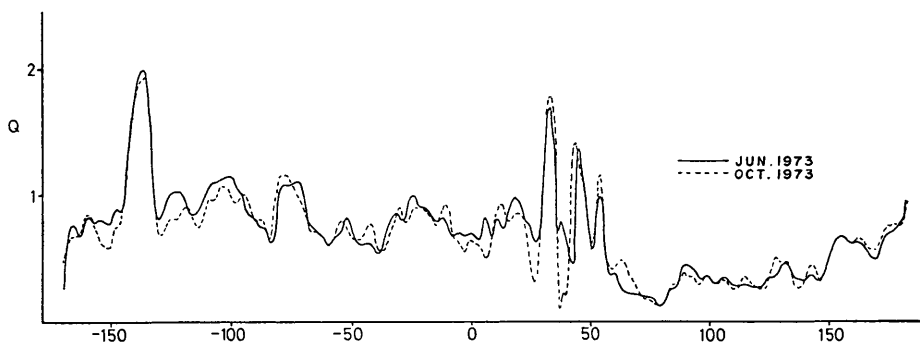
附録A 標準偏差による沿岸砂州の把握



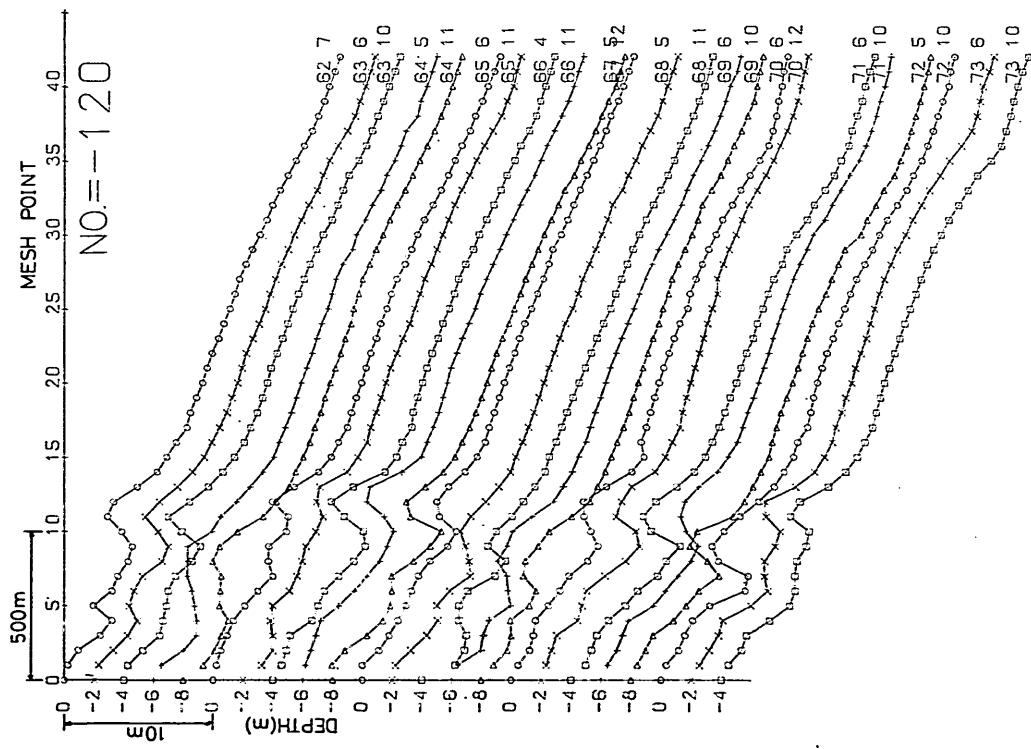
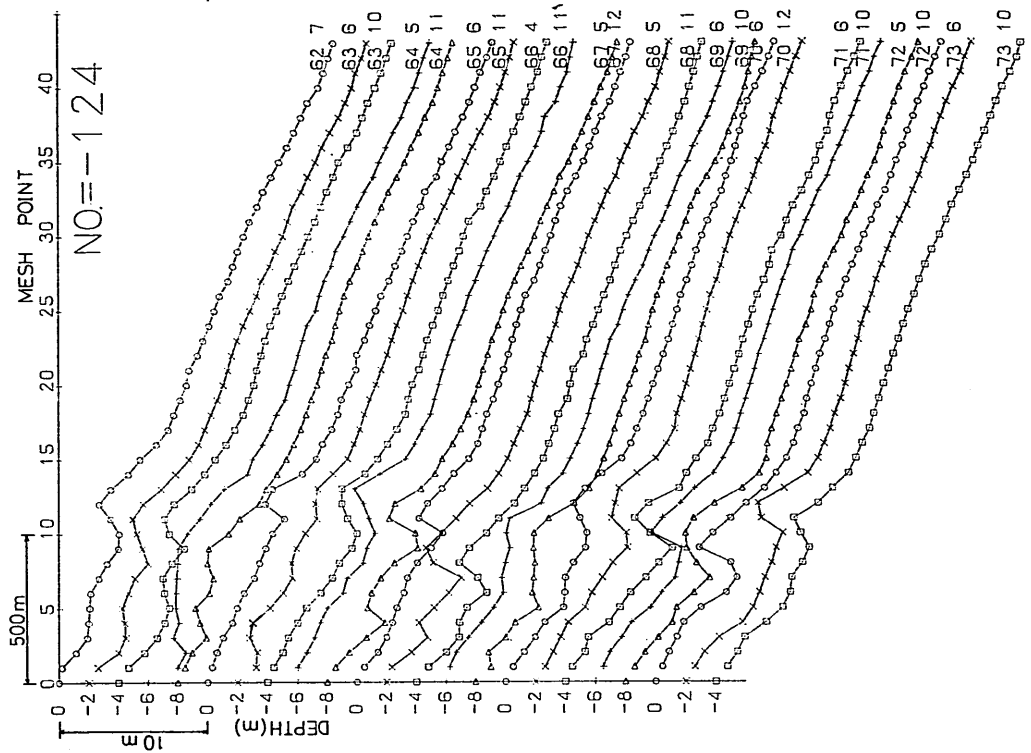
阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

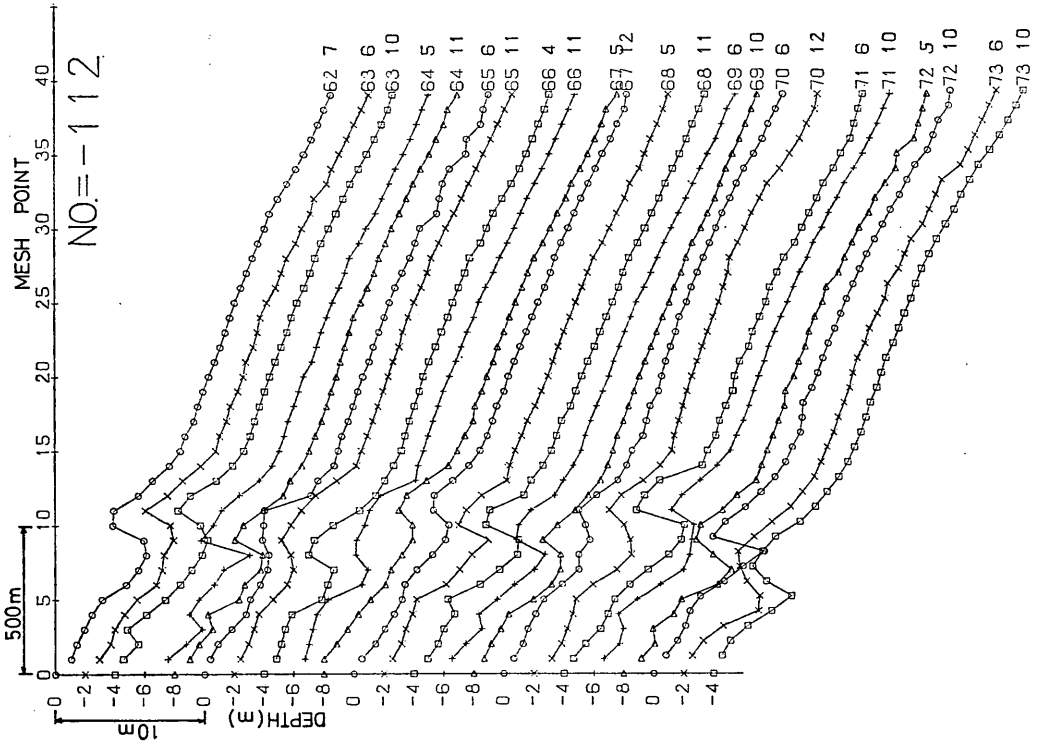
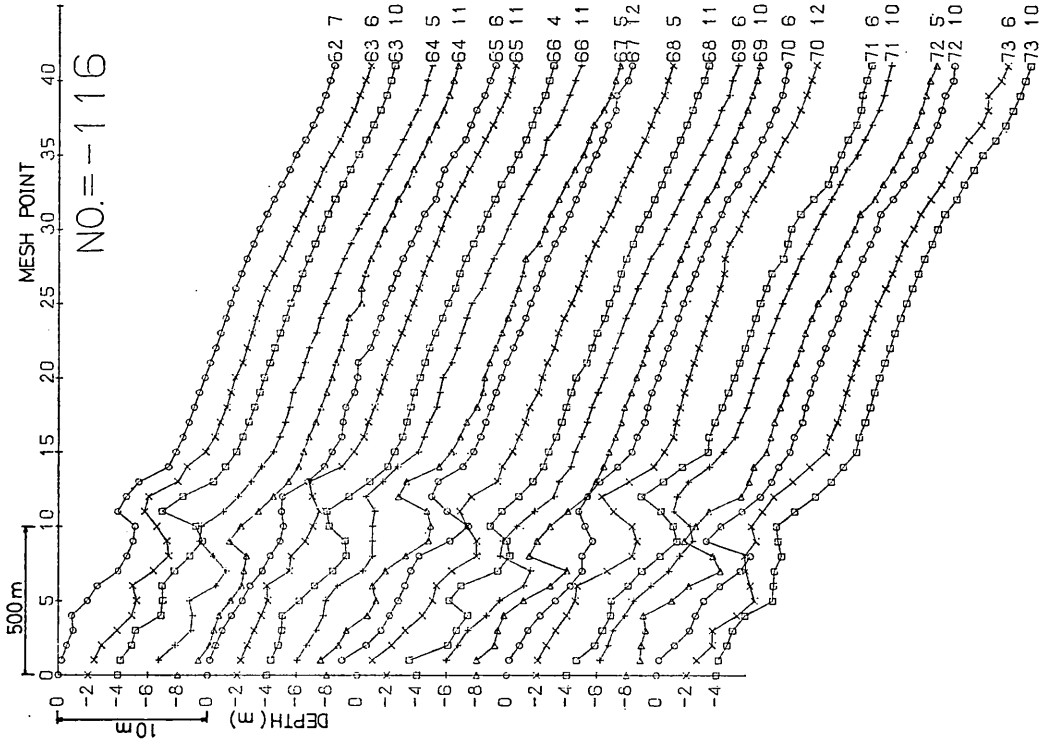




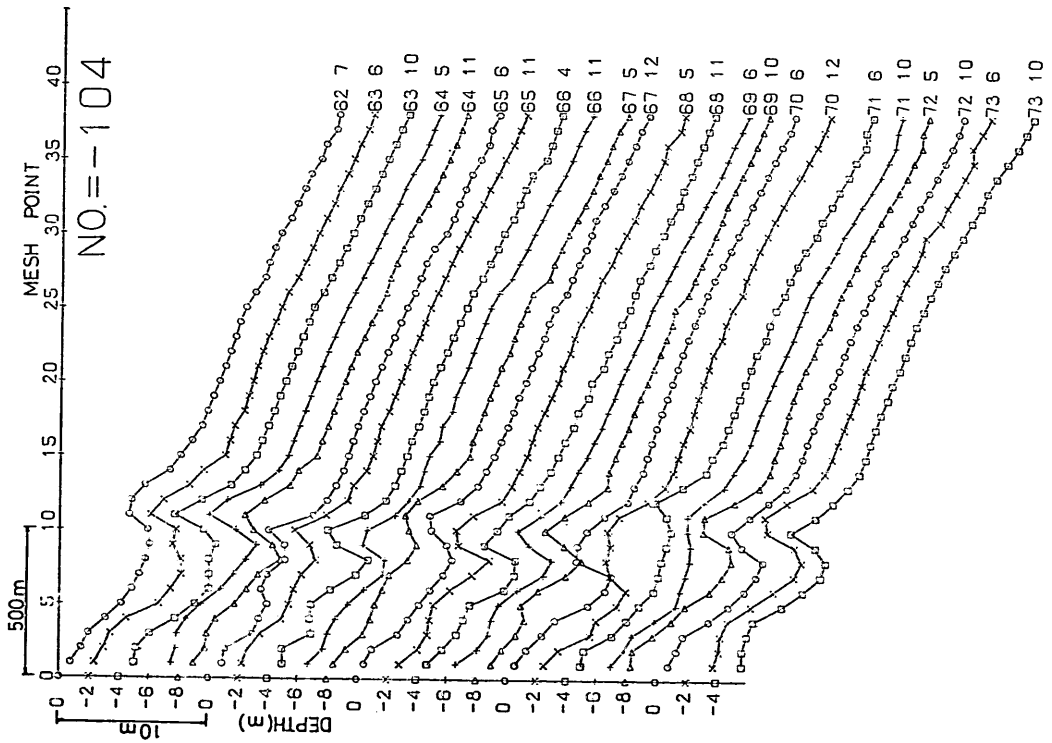
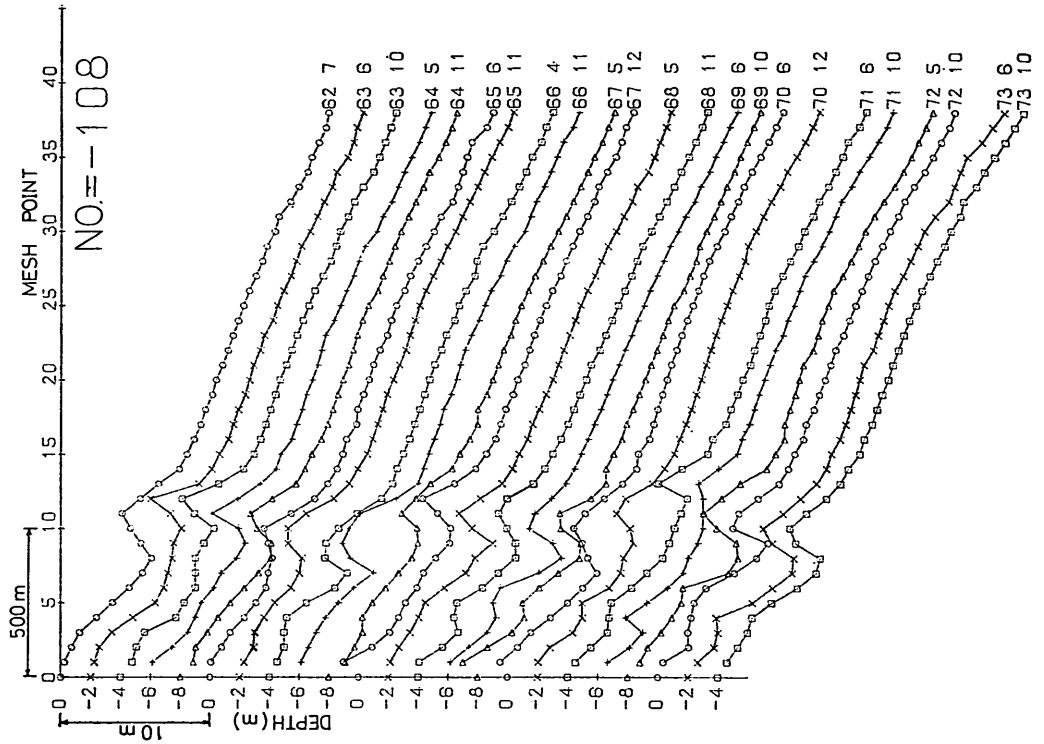


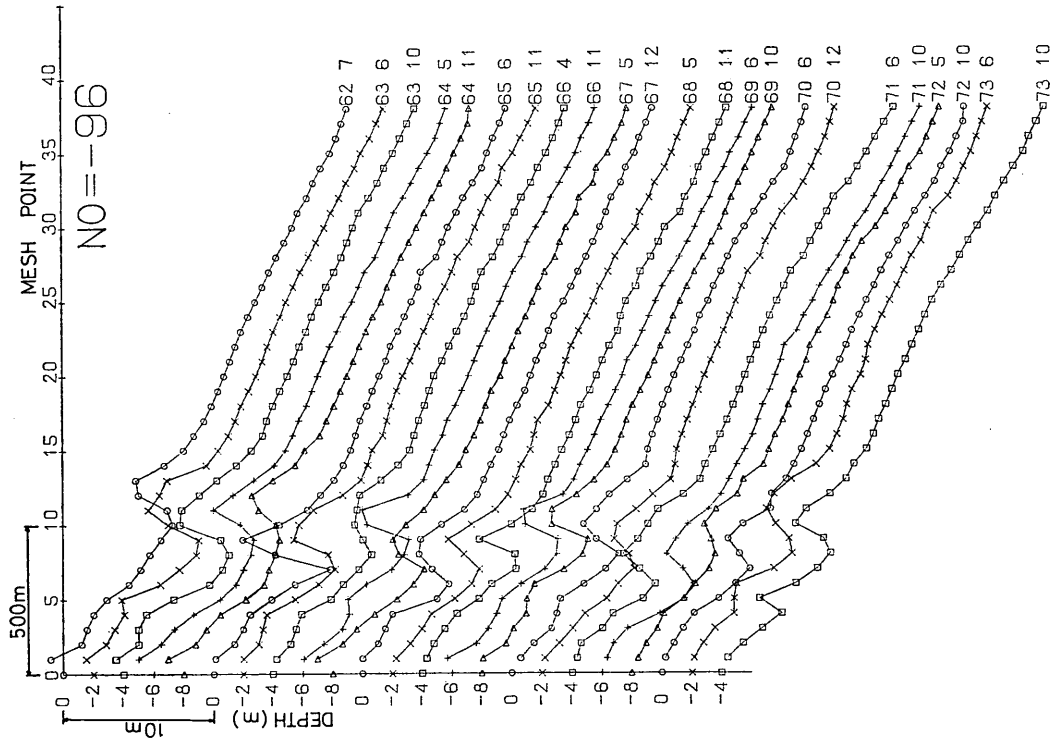
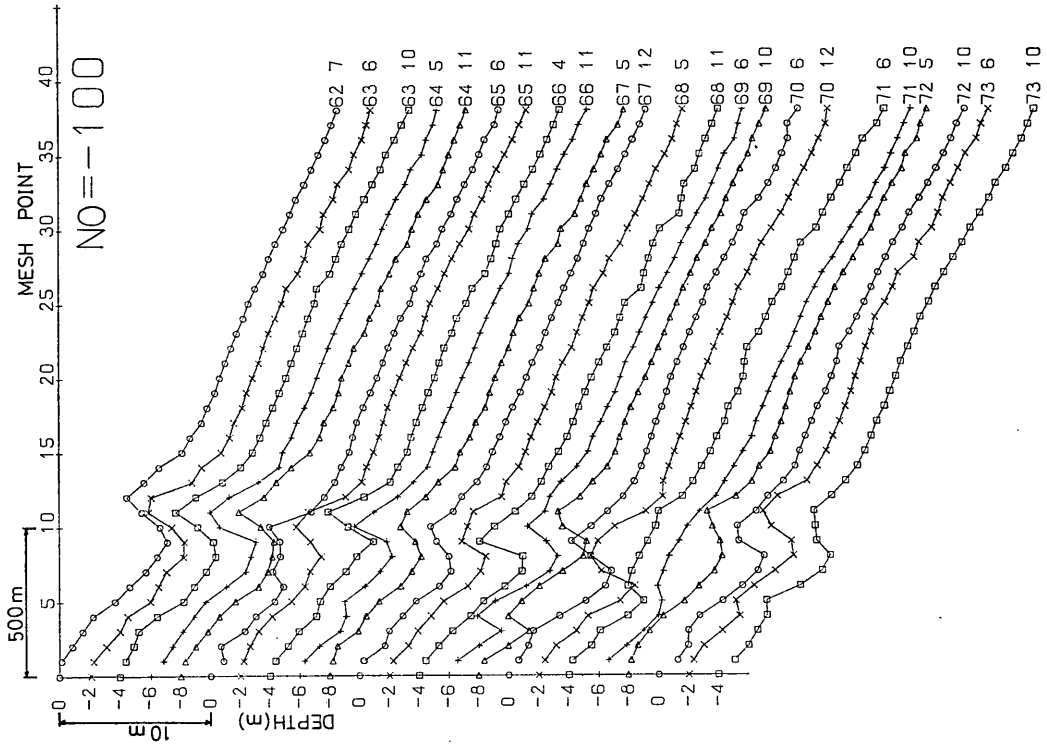
附録B empirical eigenfunction 解析に用いたデータ



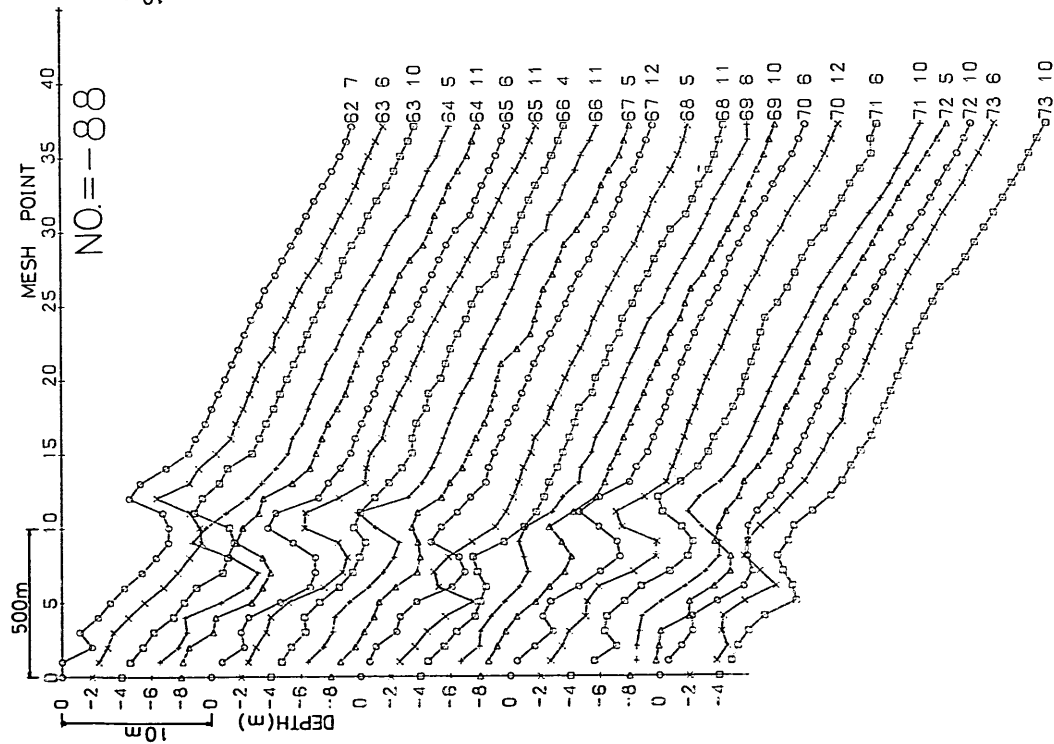
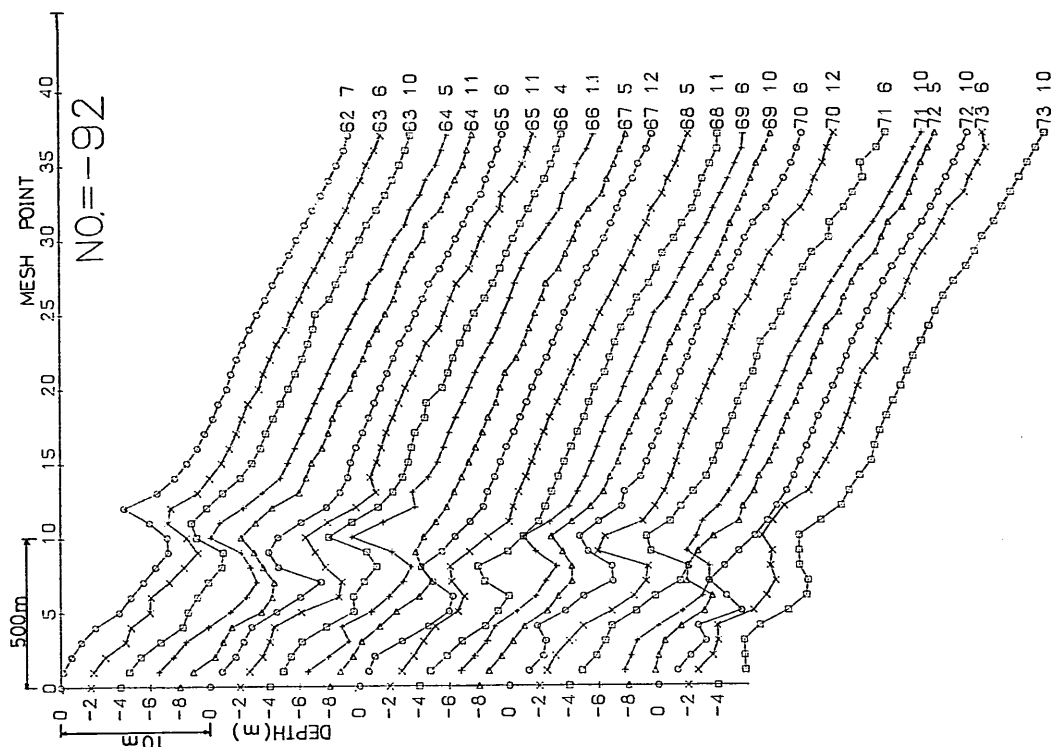


阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について



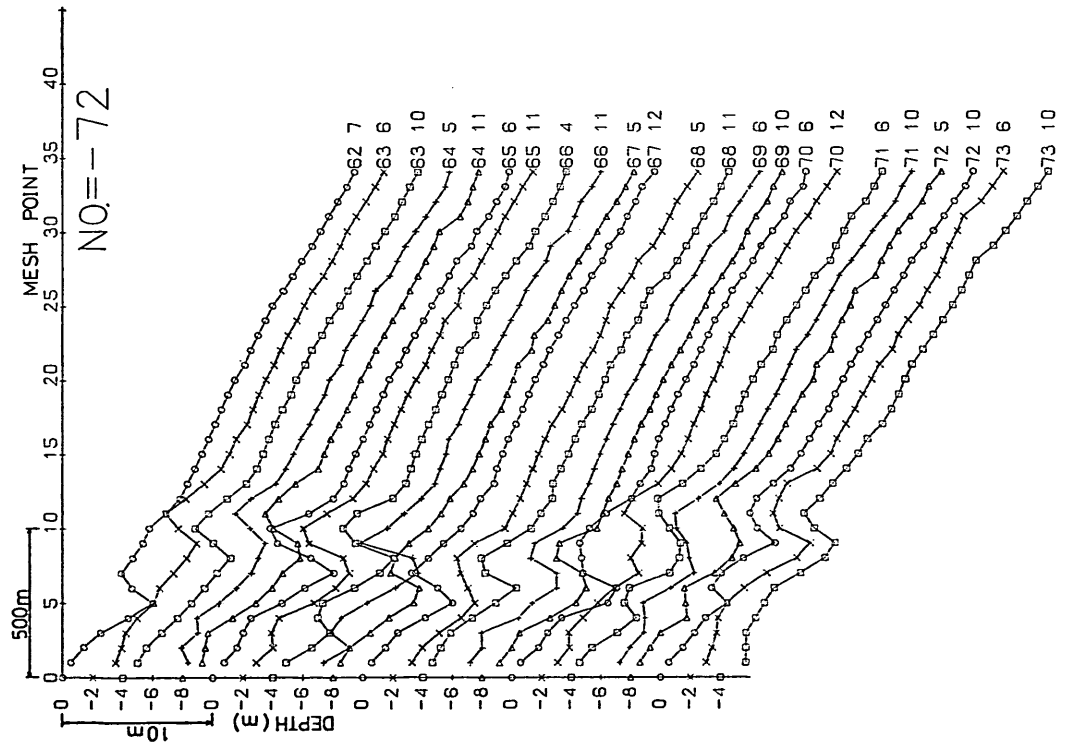
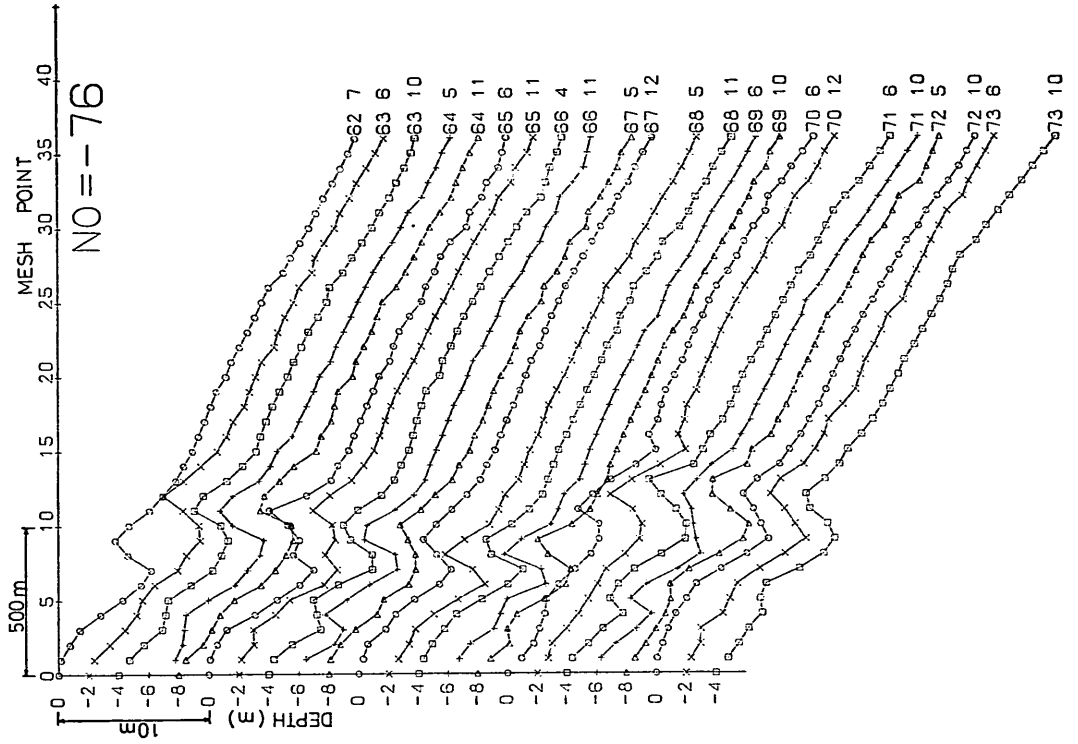


阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について





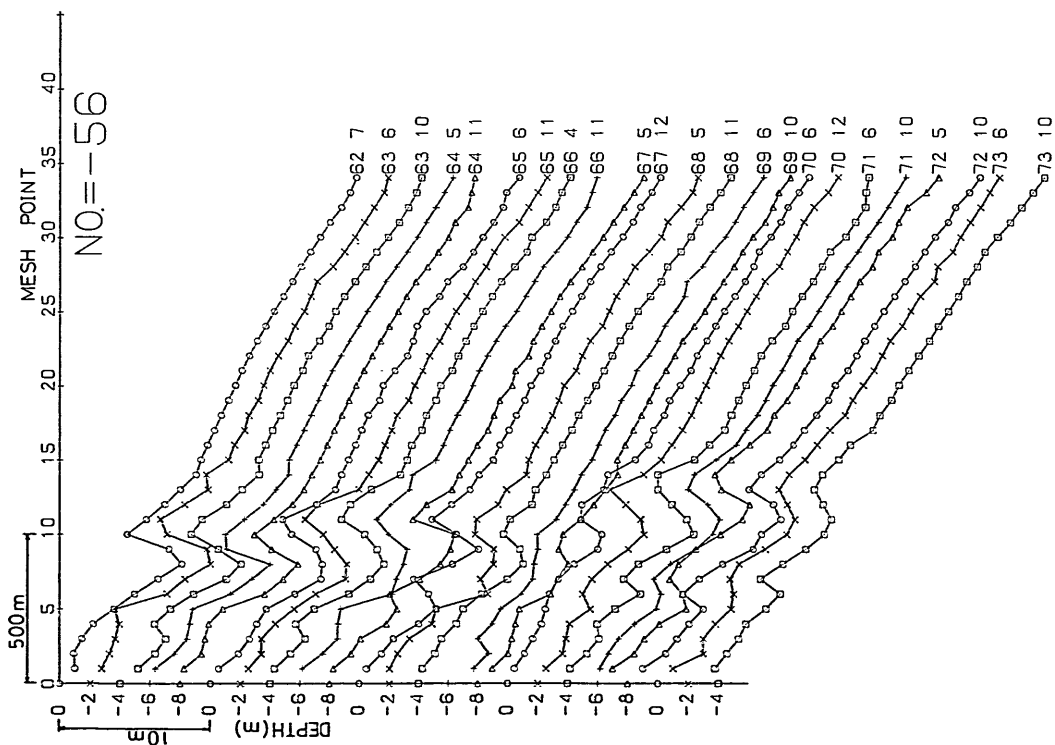
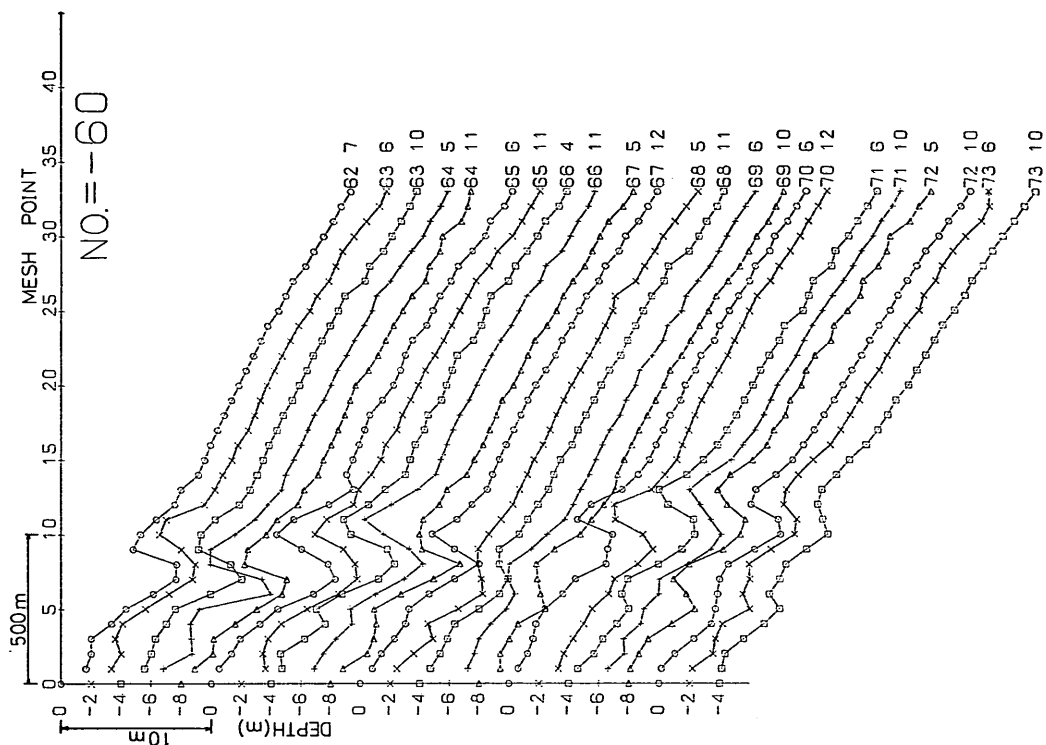
阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

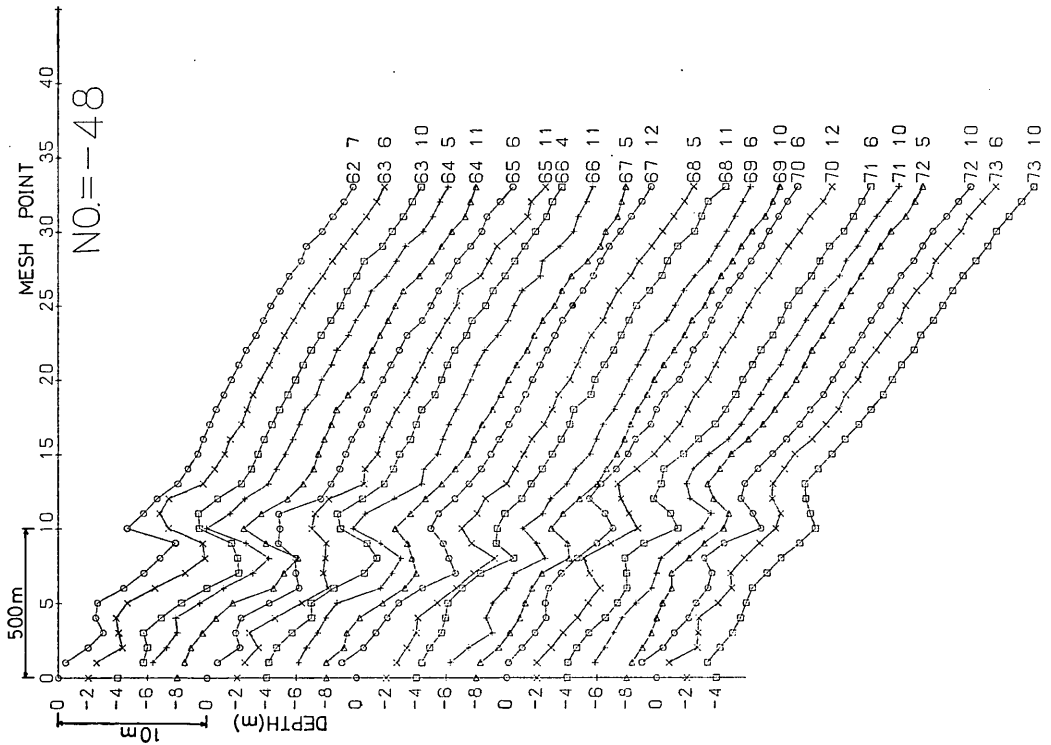
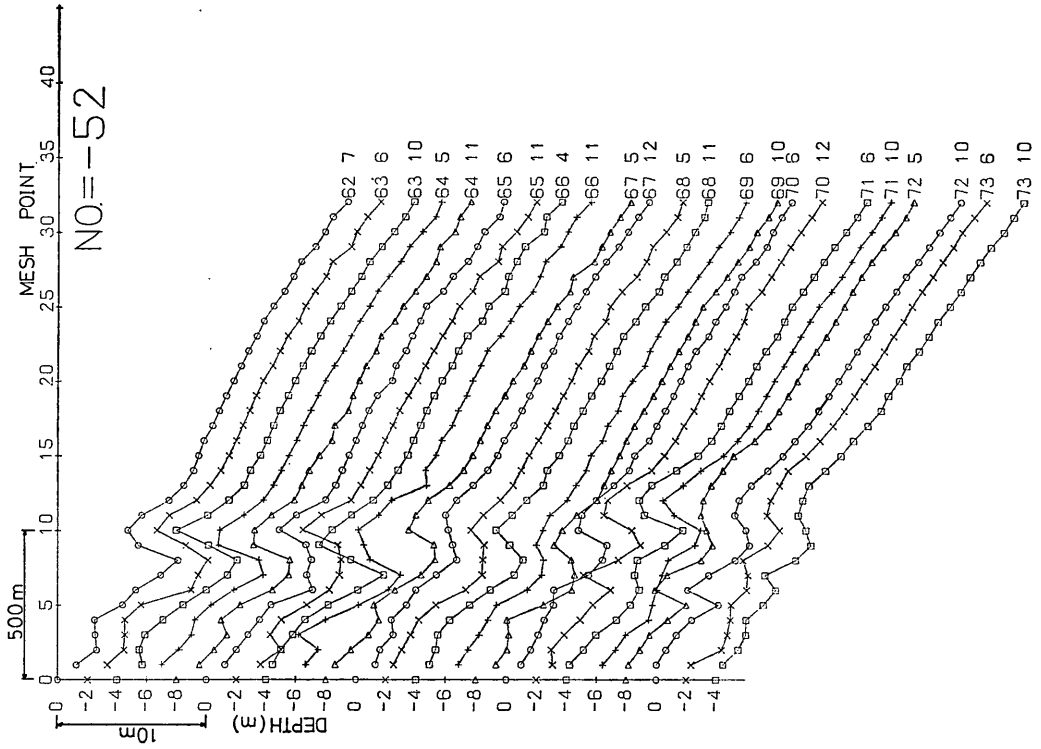




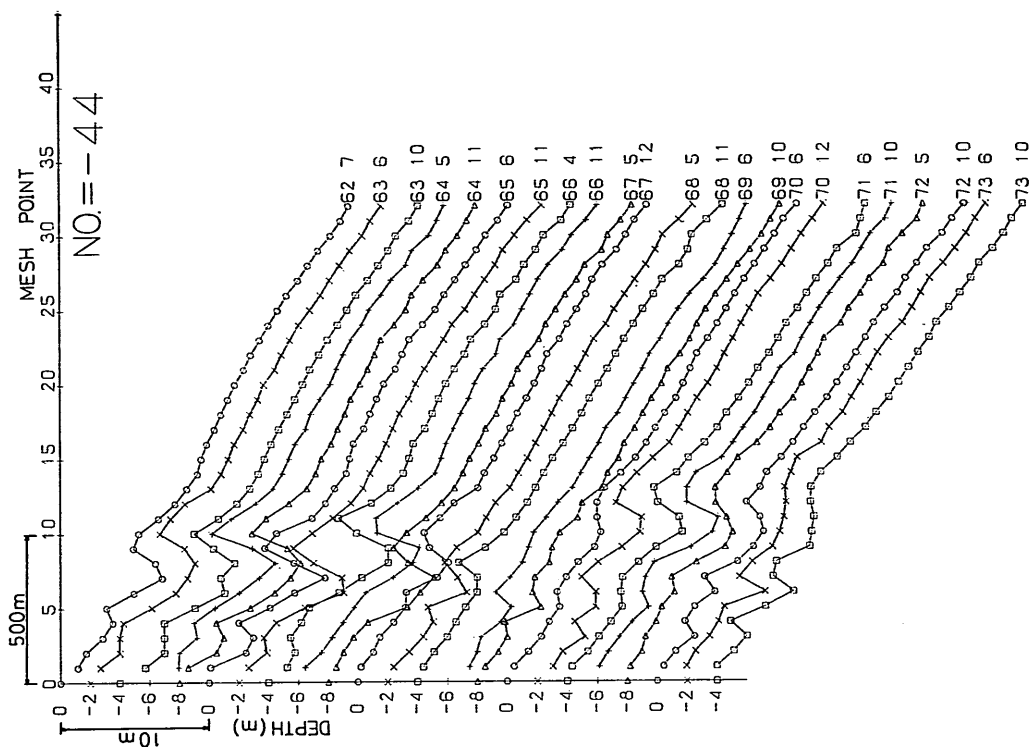


阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

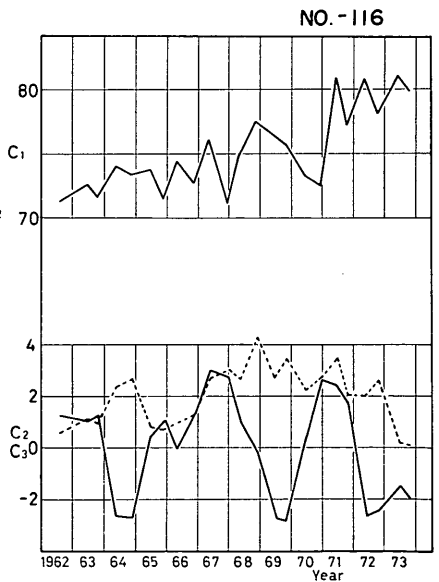
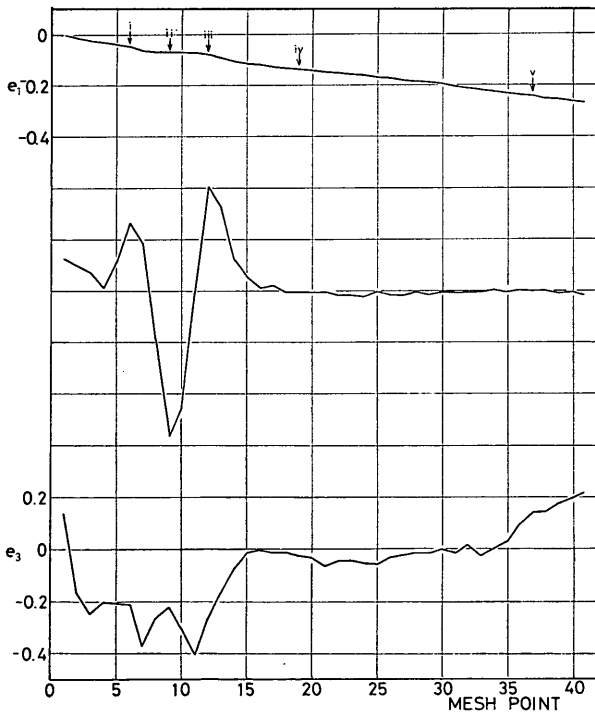
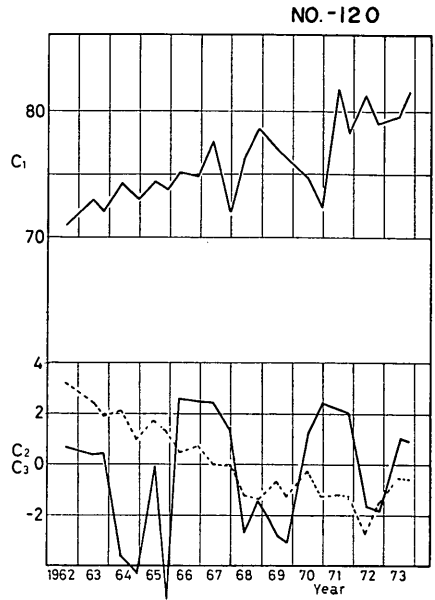
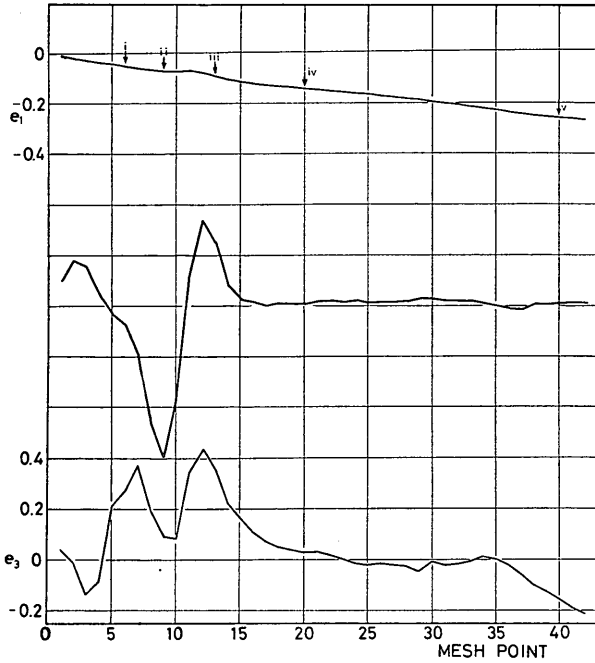




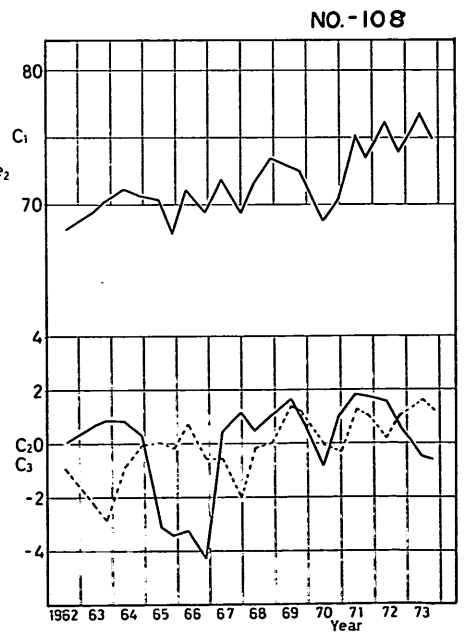
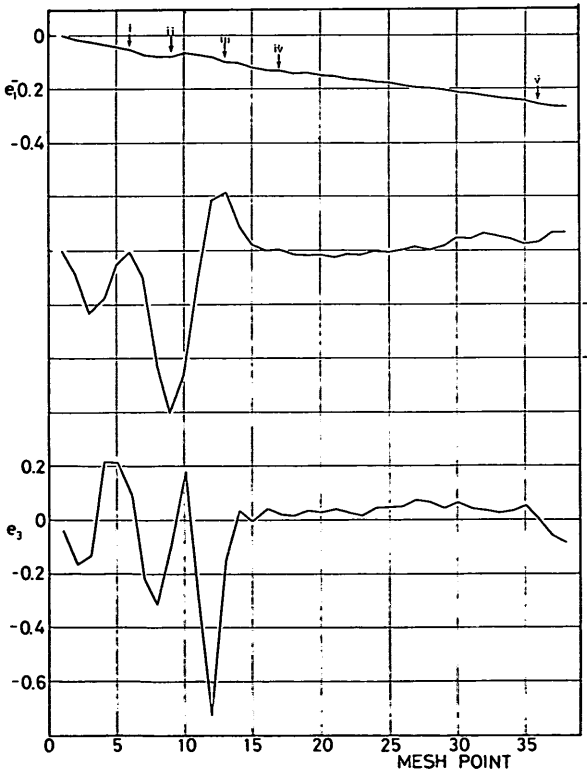
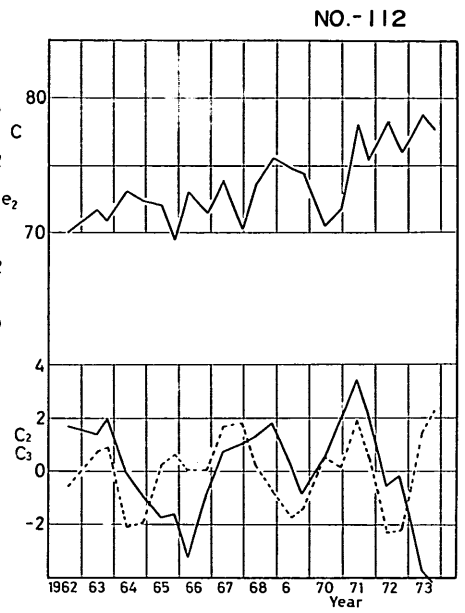
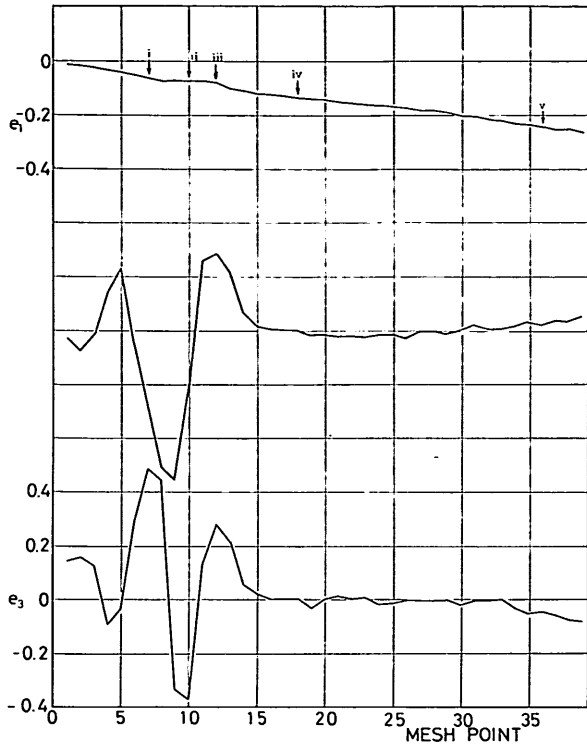
阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

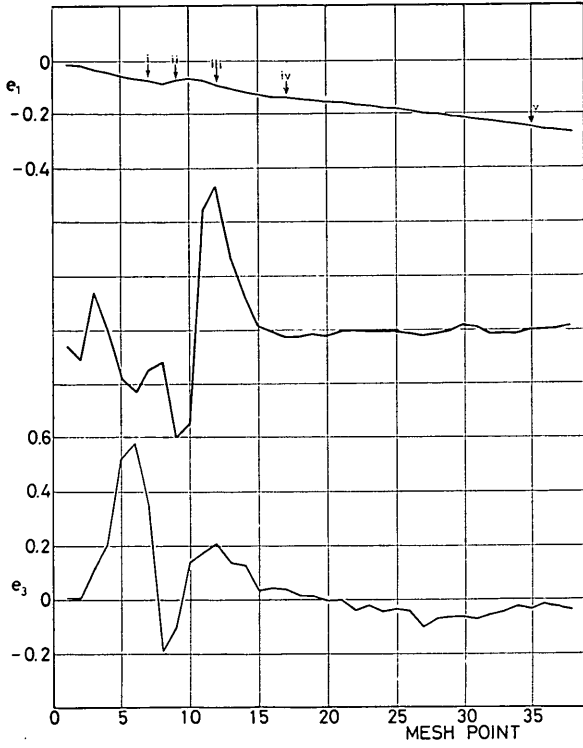


附録C empirical eigenfunction  $e$  とその係数  $C$

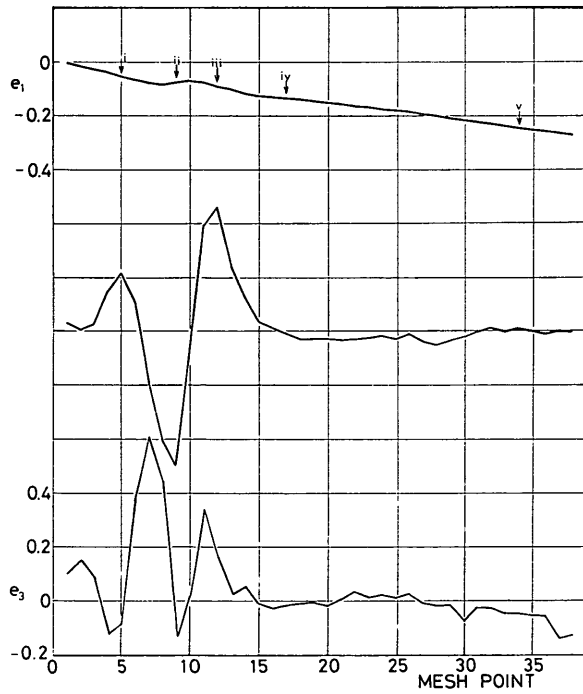
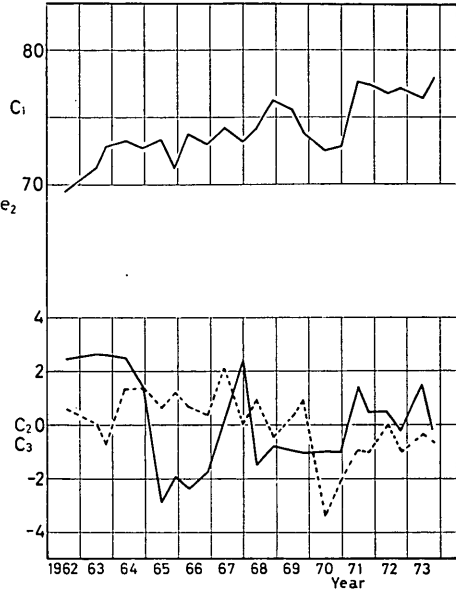


阿賀野川河口近傍海岸の海底地底変化について

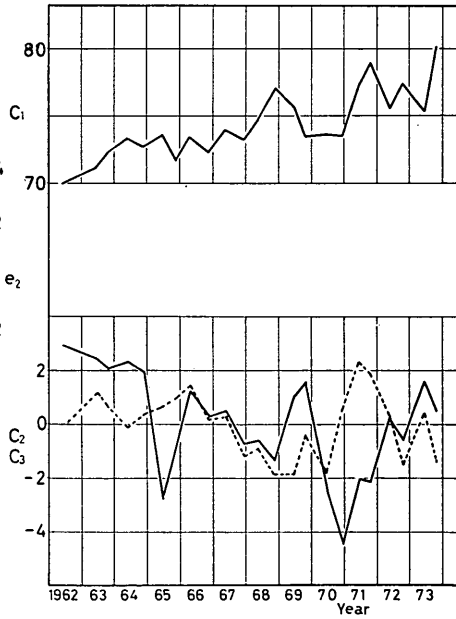




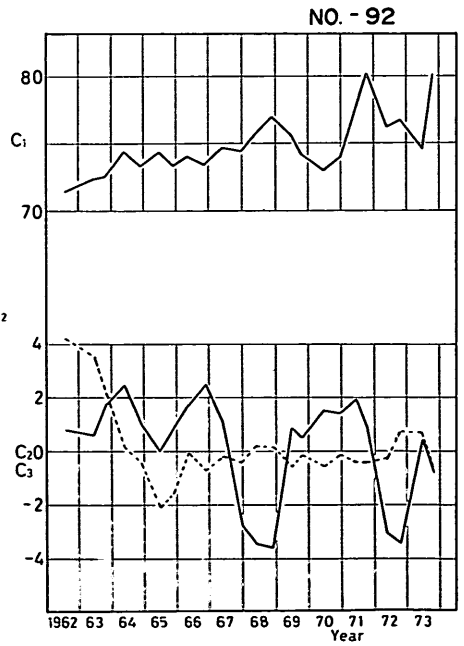
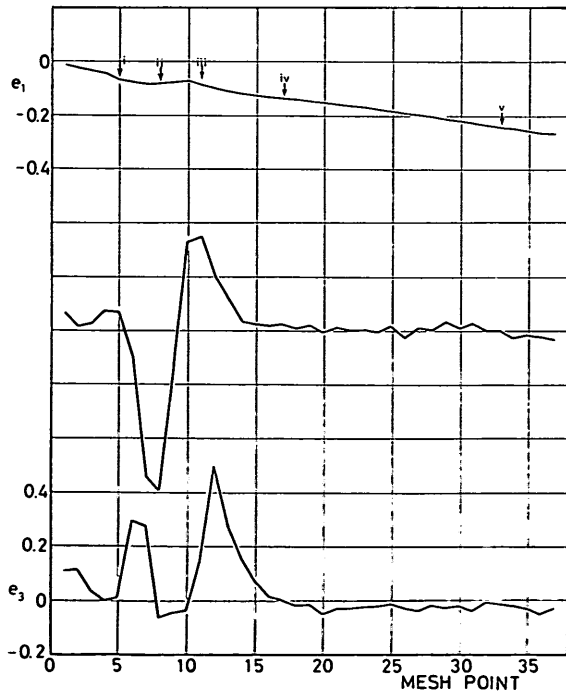
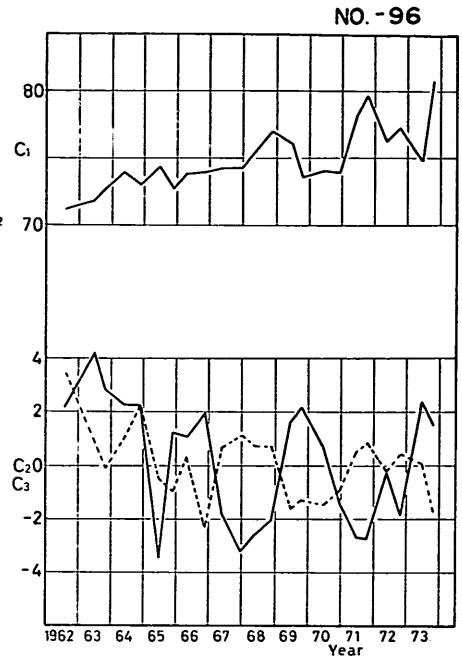
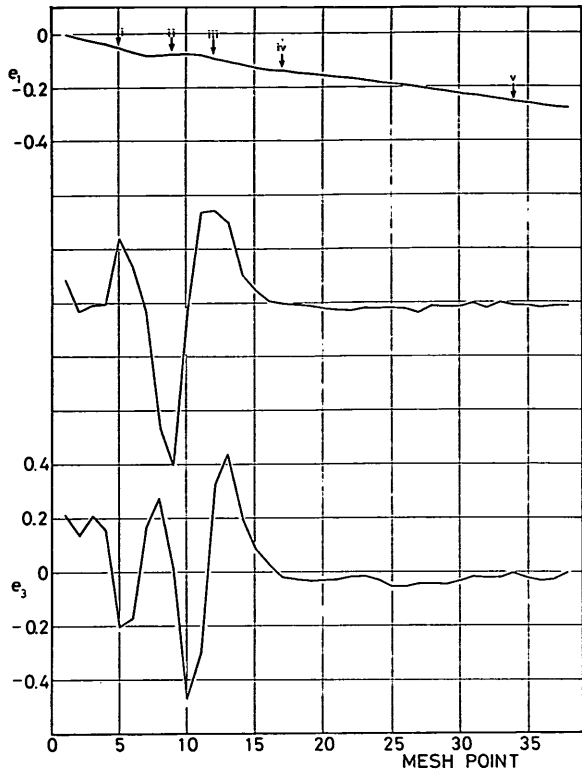
NO.-104



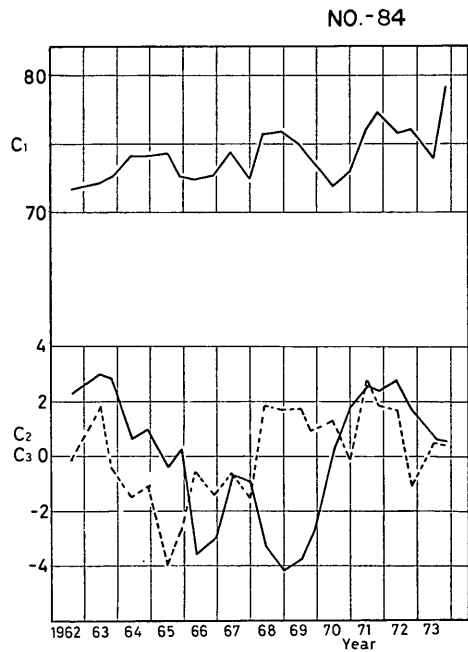
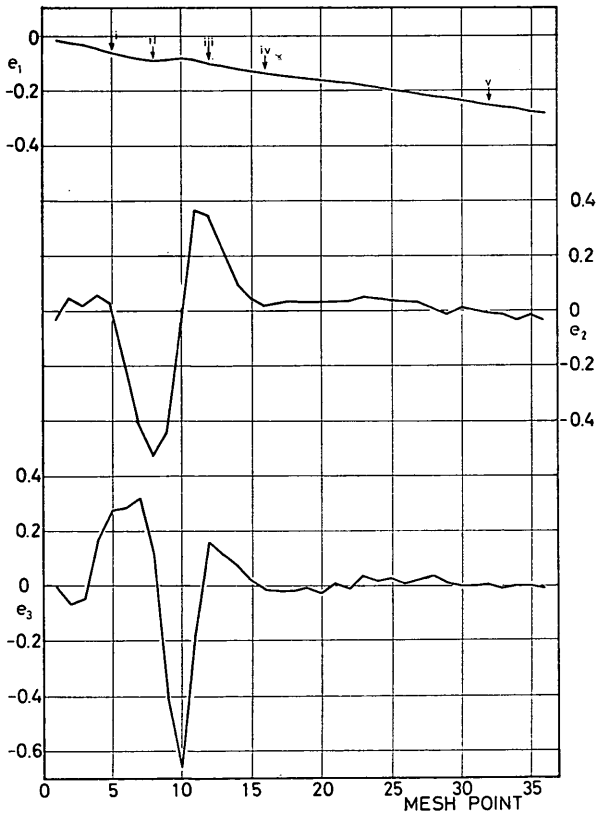
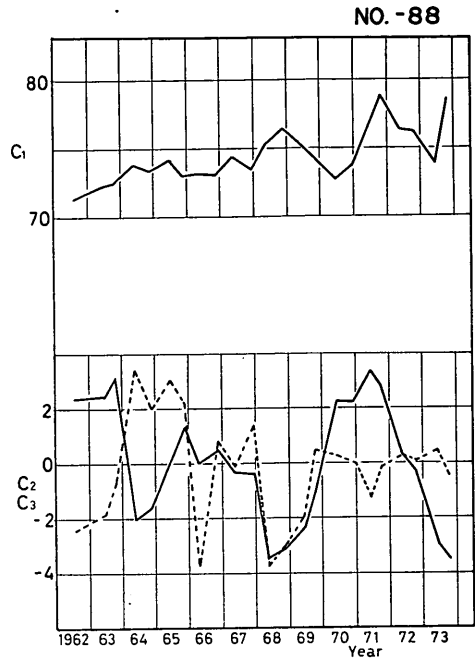
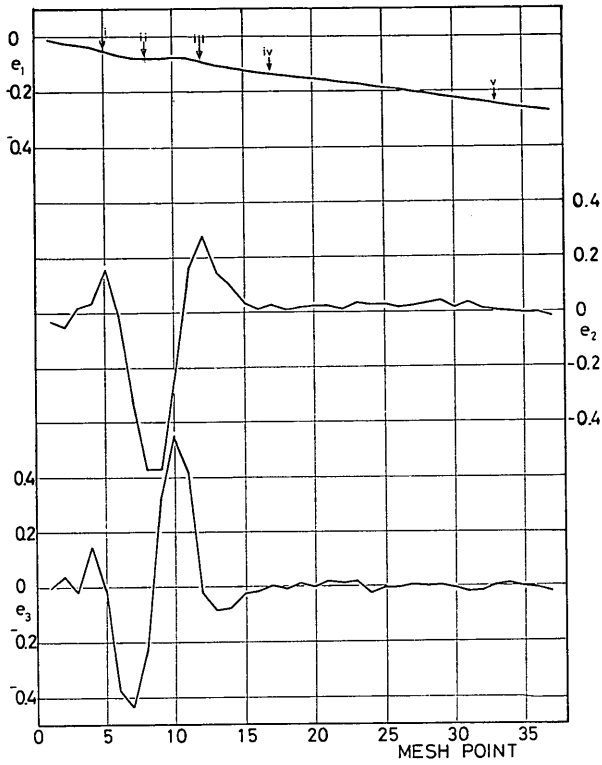
NO.-100



阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について







阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について

