

報 文

551.351.051 (521.41)

新潟県寺泊海岸における堆積過程について

磯部 一 洋*

A study on modern sedimentation at the Teradomari coast in Niigata Prefecture

Ichiyo ISOBE

Abstract

The opening of the diversion channel at the Teradomari coast faced on the Japan Sea has led large problems of coastal sedimentation. The channel named the Shin-Shinano River was opened as part of diversion work of the Shinano River in 1922. Since then the natural process of the coastal sedimentation has been changed by a large quantity of supply of suspended and bed load discharged from the drainage area of the Shinano River to the coast.

A wide sandy coast was formed on the both sides of the river mouth. The area of the sandy coast has been increased more than $2.35 \times 10^6 \text{ m}^2$ since 1922, with maximum width of about 600 m on the northern side. The feature of the sandy coast formed by the advance of the shoreline shows the cuspat type delta.

Overall changes of shoreline and sedimentation along the coast were analyzed based on the data of various scale topographic maps surveyed between 1911 and 1968, and of the author's field observation from 1974 to 1976. Measurement of the width of sandy coast was made at eleven profiles at 500 m intervals from the river mouth, namely, four profiles (S1-S4) on the southern coast and seven profiles (N1-N7) on the northern coast (Fig. 2).

Chronologic changes observed along the each profile show that the growth process of the sandy coast can be divided into three stages. The first stage is characterized by show advance of the shoreline, corresponding to the period from 1922 to 1937, immediately after opening of the channel. The second stage is characterized by fast advance of the shoreline from 1937 to 1968. The third stage is characterized by recent slower advance of the shoreline since 1968.

The author has examined the factors produced the three growth stages of the shoreline development and concluded that the major factor is the gradual changes of bottom profiles in the shallows by active and a large quantity of deposition, after opening of the diversion channel at the Teradomari coast.

1. 緒 言

近年砂浜海岸やその隣接地における臨海工業地帯の出現に伴い大規模港湾施設の建設が行われ、また防波堤が構築されることによって、その砂浜海岸では土砂の移動状態に著しい変化が生ずるようになった(市川ほか, 1961)。小規模の港湾建設においても、防波堤が延長されたり、河口に導流堤が設けられたりした際、これらの人工構築物によって土砂の移動が妨げられ、その結果波や

流れに対して防波堤などの下流側に当たる所では、堆積の進行が妨げられ、広範囲にわたって侵食が行われるようになった例が少なくない(JOHNSON, 1956; 田中・沢本, 1974; GRIGGS and JOHNSON, 1976)。また、大規模河川の河口付近においては、上流側における各種建設工事、川砂利採取に伴って供給土砂量の著しい減少をきたし、河口周辺の海岸では、以前平衡に近い状態ないし成長傾向にあったものが侵食傾向に転じて、汀線が後退するに至った事例が報告されている(細井, 1976)。

上記の如く砂浜海岸に対する人為的作用が強大化し、

* 環境地質部

かつ多様化するに従い、以前にはみられなかった海岸侵食が新たに徐々に、かつ大規模に発生するようになった。今後もある条件を有する砂浜海岸に対しては、人為的作用が増加し続けるものと考えられる。このため海岸侵食の対策、特に海岸侵食の規模やその時期を予測するための研究は特に必要である。

この海岸侵食は海岸の堆積と一対をなして生じていることが多い。すなわち、沿岸漂砂や河川からの排出土砂が海岸の人工構築物によって移動を妨げられれば、そこにおいては局地的に堆積が生ずるが、下流側では逆に侵食が生ずることになる。この海岸侵食過程と堆積過程とは表裏の関係にあるので、堆積過程の研究を行うことによって侵食過程も類推できるものと考えられる。侵食過程の研究を行う場合、海浜堆積物はすでに侵食されて存在せず、資料として数少ない古記録や写真等にたよるを得ない。これに対して、堆積過程の研究を行う場合、海浜堆積物は侵食されずに残存しており、後日の詳細な調査研究も可能であり、研究を行う上からも前者と比べてより一層有利な点が多い。

そこで、筆者は砂浜海岸に新たに人為的作用が加えられた場合発生する侵食および堆積の規模やその時期等に関する予測を行う研究の一環として、まず堆積の著しい砂浜海岸を選定して事例研究を行うことにした。調査地には、侵食傾向の認められる新潟海岸の南方に当たり、局地的に堆積の卓越する寺泊海岸を選んだ。

寺泊海岸の堆積について述べるに当たっては、まず新信濃川(あるいは大河津分水とも呼ばれる)の通水までの経緯について触れなければならない。新信濃川の通水は、越後平野において繰り返して発生した氾濫と、信濃川河口の新潟港の土砂による埋没とを防止する目的で行われたものである。1871-1877年、現在の新信濃川とほぼ同一位置に、排水路である須走川が開さくされた。1911年新信濃川河口から58 km 上流の分水町大川津から寺泊町野積の間8 km を結ぶ本格的な放水路建設が開始され、同放水路が竣工したのは11年後の1922年であった(長岡工事事務所, 1969)。

寺泊海岸における1960年頃までの堆積過程は、新潟県(1960)によって詳細に述べられ、またその後の堆積過程は田中ほか(1973)と堀川ほか(1975)に述べられている。ごく最近のそれは寺泊海岸の成長に関する報告(磯部, 1976a)と新潟海岸の最近の侵食と堆積に関する報告(磯部, 1976b)の中で筆者がすでに述べたところである。

本稿は1974-1976年に実施された現地調査結果をもとに、上記の諸論文および資料を参考にし、かつ検討を加

えたものである。現地調査に当たっては新潟県商工労働部、同土木部、寺泊町役場をはじめ寺泊町の方々から協力を仰いだ。記して謝意を表する次第である。

2. 寺泊海岸の地象・気象および海象に関する特徴

2.1 地形と地質

寺泊海岸はいわゆる新潟海岸の南西側に当たり、ほぼ南北に延びる長さ6.5 km の砂浜からなる(第1図)。北は弥彦山塊によって限られ、東から南にかけては丘陵に取囲まれ、南は寺泊港北側の防砂堤によって境されている(第2図)。この海岸線は南北両側の部分が全体的に海側へ張り出す中で、ゆるやかな湾入をなしている。

寺泊海岸のほぼ中央に新信濃川が流入し、大量の流送土砂を日本海に排出している。その河口付近の海岸は局部的に海側へ突出し、尖状三角州(井関, 1972)の形態を示すが、右岸(北部海岸)が左岸(南部海岸¹⁾)のそれより発達して非対称形をしている。またこの河口は冬季に埋積されてその幅が著しく狭くなる以外は、海側に向かって扇形に開き、かつ北に片寄ることが多い(第2図)。他に流入する小河川としては、大野積川、高堂川、藤四郎川、代三川、そして新島崎川等がある。このうち新島崎川が最も大きく、細粒な浮遊物質に富む河川水を常に流出させている。上記の小河川は河口近くの砂浜海岸において流路が南方向あるいは北方向に振れることが多く、その際流路の外側の、水勢がより強く作用する攻撃斜面では急速に侵食が進み、急な崖が形成される。

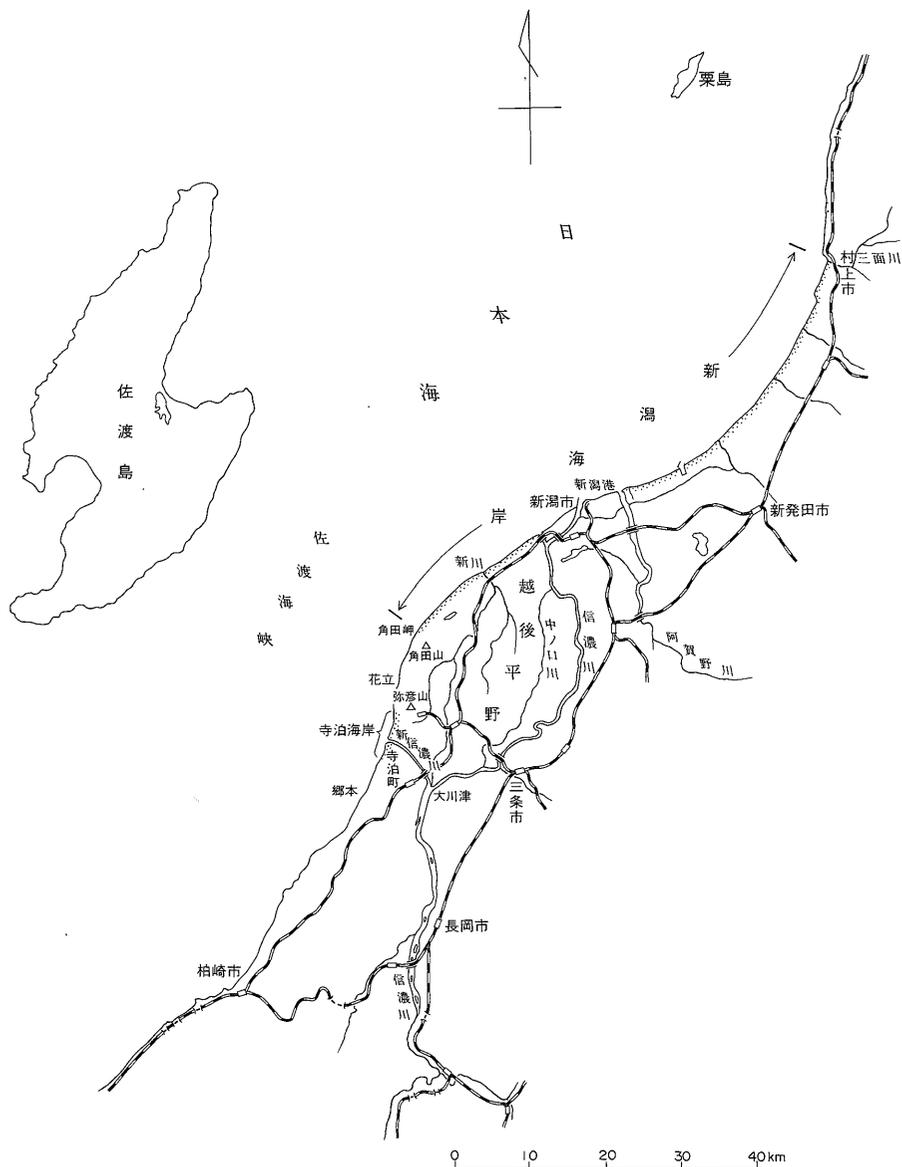
海岸の後背山地・丘陵を構成する岩層は、主として新第三系からなる。そのうち北部の急峻な弥彦山塊は玄武岩・安山岩および流紋岩などの火成岩によって特徴づけられ、東部から南部の丘陵は、黒色頁岩を主とする堆積岩類(寺泊層)からなる(津田ほか, 1974)。火成岩類から海岸への砂礫の供給は少ない。堆積岩類からの供給もわずかであり、しかも泥質岩を主とするために海浜砂にはなりにくい(磯部, 1977)。従って、寺泊海岸の海浜砂は、周辺の後背山地から供給されるものより、新信濃川から供給されるものがはるかに優勢である。

2.2 気象と海象

日本海に面する寺泊海岸は、裏日本型の気候の特徴を持つ。そのうちから風向の年変化に関する特徴を述べる。第3図(1)は、寺泊港で1965-1969年にかけての5年間に観測された風向の資料(新潟県, 1974)から作成した。なお、同図には寺泊海岸の汀線²⁾の一般的な伸長方向を合わせて示した。年間を通じて最も頻度の高い風向は、

1) 以下、右岸の海岸を北部海岸、左岸のそれを南部海岸と呼ぶ。
2) 平均海水位と陸地の交わる線をさす。

新潟県寺泊海岸における堆積過程について（磯部一洋）



第1図 寺泊海岸および新潟海岸の位置図

陸側から海側に向かって吹く南東～南南東風である。次に頻度の高い風向は、4-10月には南西～西南西風および北北東風、11-3月には北風および西風であり、これらはいずれもほぼ海側から陸側に向かって吹くものである。

さらに、上記の11-3月に相当する時期について強風(5.5 m/sec)の風向別頻度を示したのが第3図(2)である。これによれば、強風は海側から陸側に向かって吹くものがほとんど大部分であり、北西風の頻度が特に高

く、続いて西風、北北西風、西北西風、そして南西風の順序である。

寺泊海岸へ入射する波は上記の風向と密接な関係がある。すなわち、強風が海側から陸側に向かって吹く冬季を中心(11-3月)に大きな波が入射し、一方弱い風が陸側から海側に向かって吹く夏季を中心にした時期(4-10月)には小さな波が入射するか、あるいはまったく波の存在しないことが多い。従来の観測結果によれば、いずれの季節の波も太平洋岸へ入射するその周期

に比べより短い周期のものが多い。これは、太平洋と日本海の規模すなわち両者の吹送距離の違いに基づくものである。

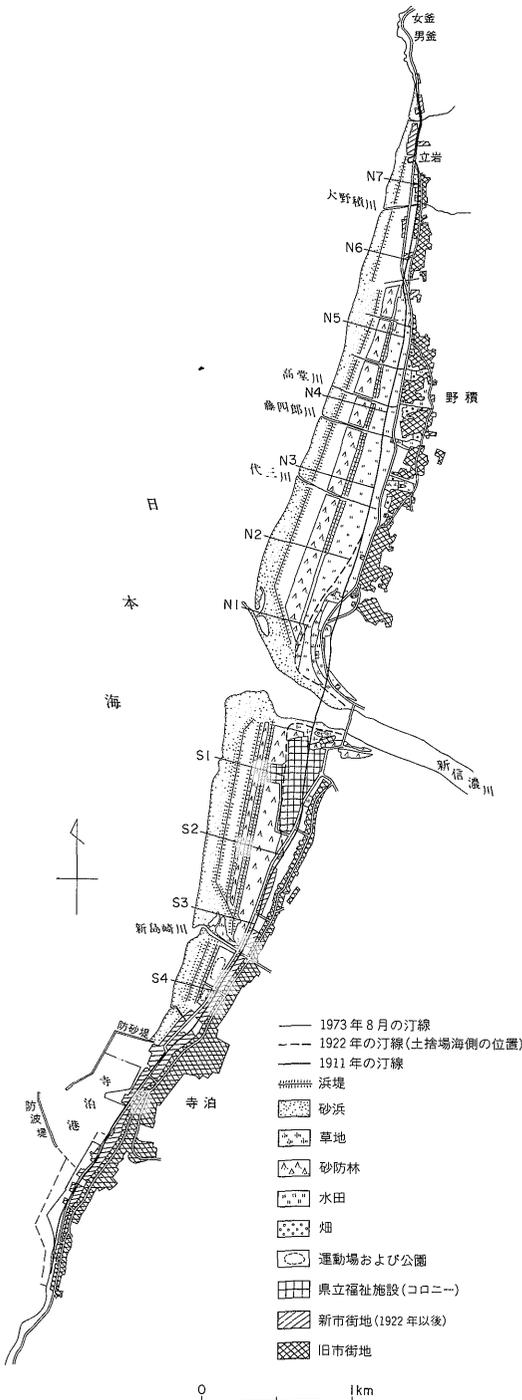
寺泊港における朔望平均満潮面と同干潮面との潮位差は0.40mと小さく、従って潮流は微弱であると考えられる。一方、寺泊港沖合には0.5ノットの北向きの海岸流 (coastal current) がみられ (新潟県, 1974), また河口兩岸の汀線付近における浮子観測からも卓越した北向きの流れの存在することが報告されている (新潟県, 1960)。

3. 最近の汀線変化

最近における汀線の変化を知るために、寺泊海岸の一般的な伸長方向 (N14°E) に直角に、かつ新信濃川の河口中央を起点として北側と南側へ500m間隔にそれぞれ N1・N2……N7 測線, S1・S2……S4 測線を設定し (第2図), 縦断形状に関する観測を行った。汀線にほぼ平行して1-3列並ぶ浜堤 (beach ridge) のうち最も海寄りの浜堤の頂部 (水準測量のための起点) から汀線に至る砂浜³⁾の縦断形状 (第4図) を求めるため、1974年, 1975年, そして1976年のいずれも9月下旬に水準測量を実施した。その結果は第5図に示す通りであって、これには浜堤頂部から若干陸寄りの部分までが示してある。N1測線とS3測線はそれぞれ新信濃川と新島崎川河口に当たるため、起点から汀線に至る水平距離だけを測定し、水準測量を実施しなかった。

第5図によれば、砂浜の幅は80-150mの範囲にあり、浜堤の頂部は高さ6m前後のものが多い。各測線の浜堤上には砂防柵が設けられているが、このうちN6測線とN7測線においては、それが1975年末に設けられ、以後の経過時間が短いため低い。砂浜は海側に緩傾斜する広く平坦な汀段 (berm) からなり、逆に陸側へ傾斜する部分も存在する。この汀段の海寄りに、さらに狭い低位の汀段がみられることもある。汀段端 (berm edge) の高度は、河口⁴⁾に近い測線ほど大きく、一方遠いものほど小さい。この汀段端の海側の部分 (beach face) は海底に向かって急勾配で、平滑な縦断形状を呈し、遡上波帯 (swash zone) となっている。

第5図により1974年9月から1976年9月にかけて2年間における砂浜の縦断形状の変化をみると、河口から最も遠いN7測線とS4測線の砂浜は年々増大し、特にこのうちS4測線上の汀線は、1年に20mも前進している。また河口に近いN2測線とS1測線でも砂浜の変化が著しく、このうちN2測線では2年間に40mも前進し



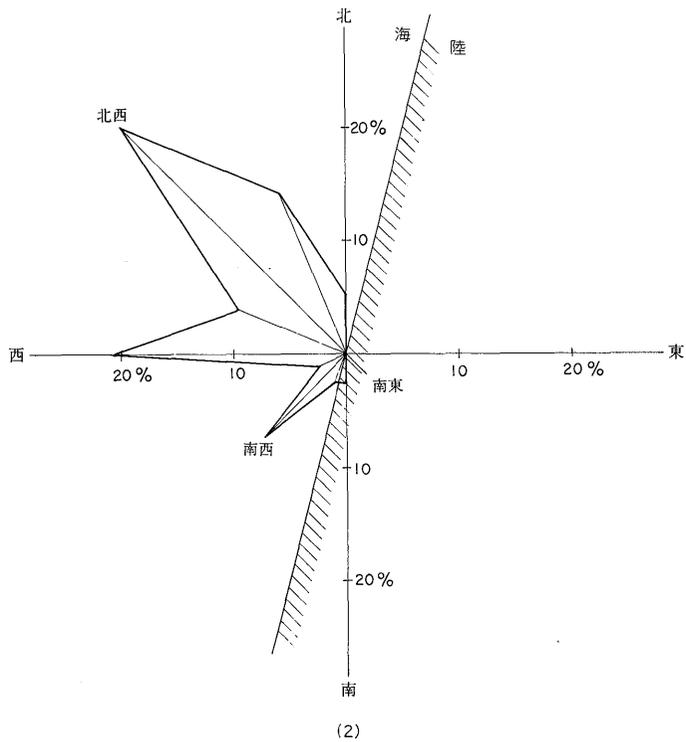
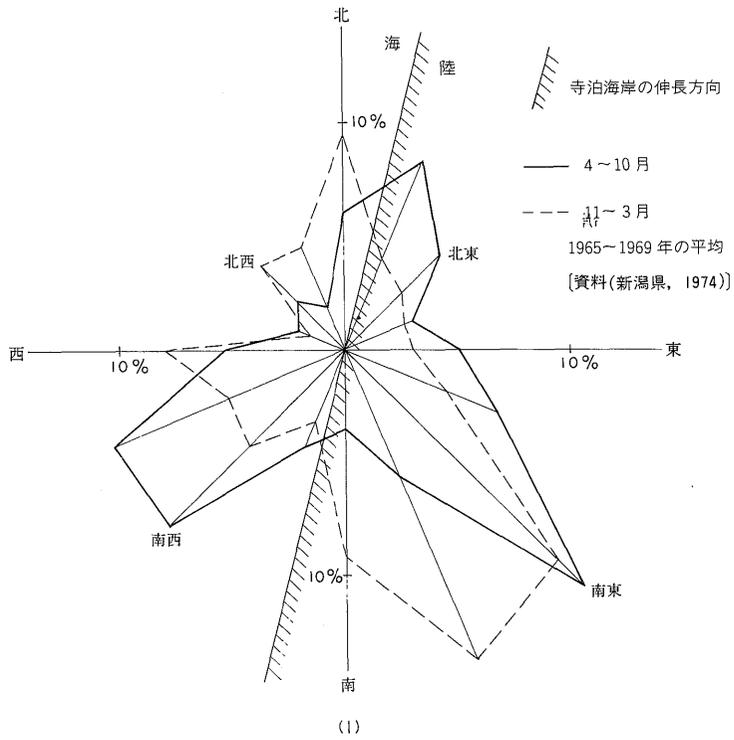
第2図 寺泊海岸の土地利用と測線の位置図

The location map of eleven profiles on the Tera-domari coast.

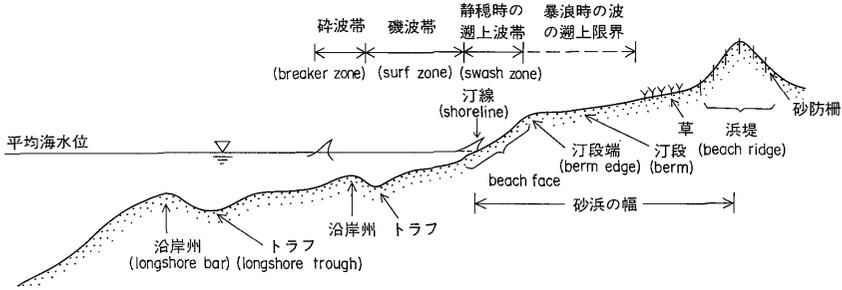
3) 以下、浜堤頂部から汀線までの場所をさす。

4) 以下本稿で述べる河口は、すべて新信濃川のものとする。

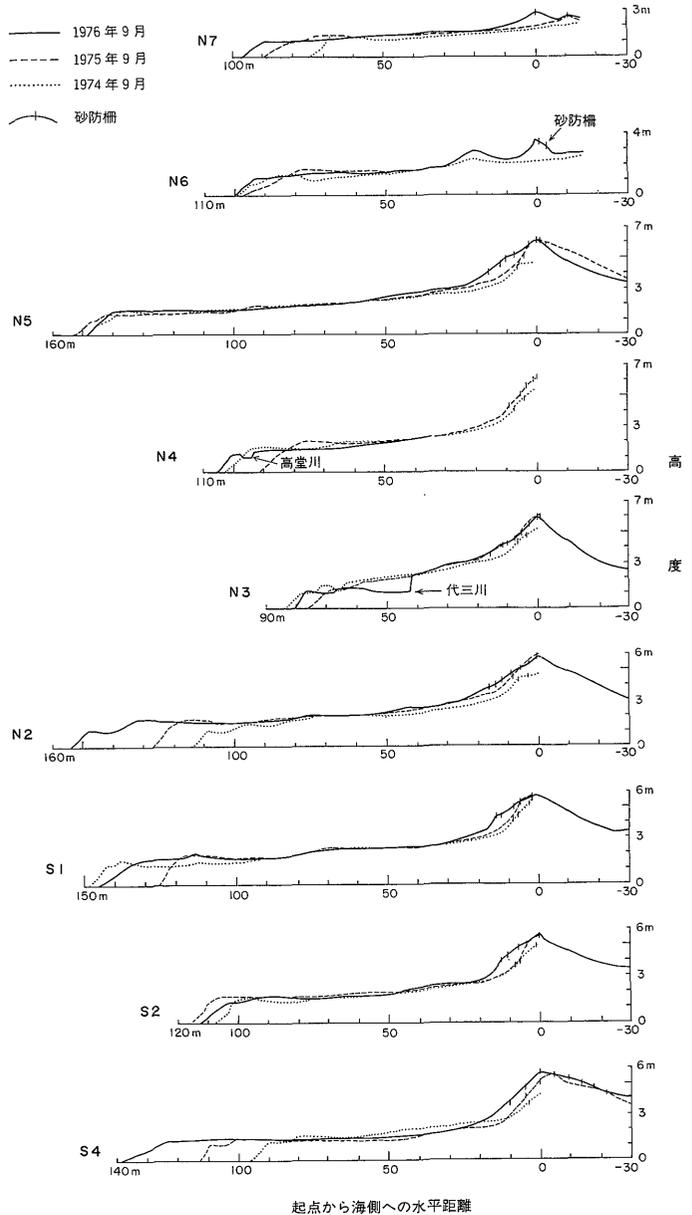
新潟県寺泊海岸における堆積過程について（磯部一洋）



第3図 寺泊港における風配図



第 4 図 波の静穏時にみられる砂浜海岸の模式縦断形状と地形名称その他



第 5 図 縦断形状の比較図

ている。一方、これらの前進の著しい測線には含まれた北部海岸中央部および南部海岸中央部（N3-N6測線、S2およびS3測線）に当たる砂浜は、2年間に小規模な前進あるいは後退を示すにすぎない。ところで、各測線とも砂防柵の設けられた浜堤付近では汀線付近の変化と同様に堆積傾向が著しく、1年に1m以上も高まった所も多い。この地形変化は波の堆積作用によるのではなく、主として冬季に著しい風の堆積作用によっている。なお、砂防柵は設置される場所と規模が年次毎に異なるため、浜堤付近の地形変化から堆積作用の規則性をみいだすことは難しい。

上記の水準測量は1年に1回実施したものであり、測量された時だけの縦断形状を示している。そこで、砂浜の内部構造（inner structure）の観察を行って、測量が実施されていない期間を通じて生じた縦断形状の変化（推移）を知ろうと試みた。このため水準測量の直後に汀段の海寄りから beach face にかけて長さ35-52m、幅1m、深さ1mで浅いトレンチを掘り、ラミナの観察を行った（第6図）。なお、寺泊海岸でみられるラミナは特に細部の観察が容易であったが、これは河川から供給された木片および中粒砂⁵⁾の堆積によるものと考えられる。トレンチ調査の対象としては前進傾向の著しい測線と変化の少ないものとのうちから1つずつS4測線とS2測線を選定した。前者では1974年と1976年の2回、また後者では1974年、1975年、そして1976年の3回、観察を実施し、その結果を第7図に示す。

S4測線上の汀線は2年間に45m以上も前進したために、1年目である1974年に掘られたトレンチと3年目である1976年に掘られたトレンチとは、重複せずにそれぞれ異なった位置となった。この2回のスケッチ〔第7図(1)・(2)〕をみると、海側に緩傾斜する多くのラミナが発達し、3年目のスケッチにaおよびbと示されたラミナが存在し、明灰色のやや粗粒の砂からなるラミナaが暗灰色の細粒の砂からなるラミナbによって切られていることから侵食による一時的な汀線の後退も考えられるが、大勢としては砂浜が海側へ卓越して前進する傾向が読みとられる。

S2測線上の汀線は2年間に10m未満の変化しか示さなかったために、3回にわたって掘られたトレンチはいずれも測線に平行に、ごく接近して掘ることができた。これらのトレンチの掘られた位置の中心は、1年目には測線の南側に1.5m、2年目には測線の南側に0.5m、3年目には測線の北側に0.5mである。第7図(3)-(5)に示し

たように、1年目のスケッチにcと示された暗灰色の細粒の砂からなるうねったラミナ（第8図）が、2年目と3年目にも同一地点・同一高度で確認され、また2年目のスケッチにdおよびeと示されたラミナが3年目にも同一位置に確認されたことから、次のことが推察できる。なお、ラミナdは明灰色の粗粒の砂からなり、ラミナeは暗灰色の細粒の砂からなる。

1年目と2年目の汀段端から陸側へかけた約15mの部分は、まず侵食されてから後に堆積されるというように毎年更新され、また汀段端から陸側に当たる汀段（起点から80-92m）は年々高まるのがわかる。第9図は汀段が年々高まる状況を示している。すなわち、トレンチ中央の木杭は1974年9月に砂浜の表面から10cm出るように埋設されたが、1976年9月までに44cm埋没されている。さらに、上記のラミナdおよびeの形成時期は、次のように考えられる。すなわち、1年目の調査の4カ月後に当たる1975年1月下旬に行った簡易測量⁶⁾の結果、汀段が前回調査時より高まっていた（第7図(4)の一点鎖線）ことから、ラミナdは少なくともこの時まで形成され、さらにラミナeはその勾配がこの測量時点の beach face とほぼ同一であることからその後形成されたものであろう。なお、うねったラミナcは、汀線に直角方向の断面で観察すれば、鉛直に隆起した褶曲軸状の構造をもつ直径20-25cm、高さ5-10cmの堆積後にゆがめられたラミナであり、air-heave structure と呼ばれるものである（STEWART, 1956）。このラミナについては別途に報告を予定している。

上記の内部構造の観察結果から、次のことが明らかとなった。1) 河口から最も遠く前進の著しい砂浜と、前進の著しくない砂浜とでは内部構造に明瞭な違いがみられる。すなわち前者では汀段全体にわたり海側に緩傾斜するラミナが卓越するが、後者では逆傾斜するラミナや汀段端付近において海側にやや急傾斜するラミナが顕著である。2) 前進の著しくない砂浜では、夏季を中心にした波の静穏期に汀段（端）が一旦前進するが、逆に冬季を中心にした暴浪期には侵食によって約15mほど後退しながら高まると同時に、その海側に当たる beach face はより緩勾配となる。さらに、波の静穏期に汀段がまた前進する。

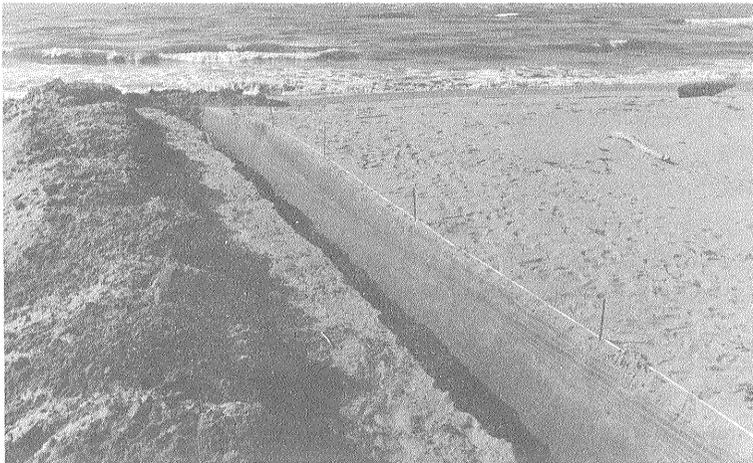
4. 海岸の成長の経過

4.1 陸上について

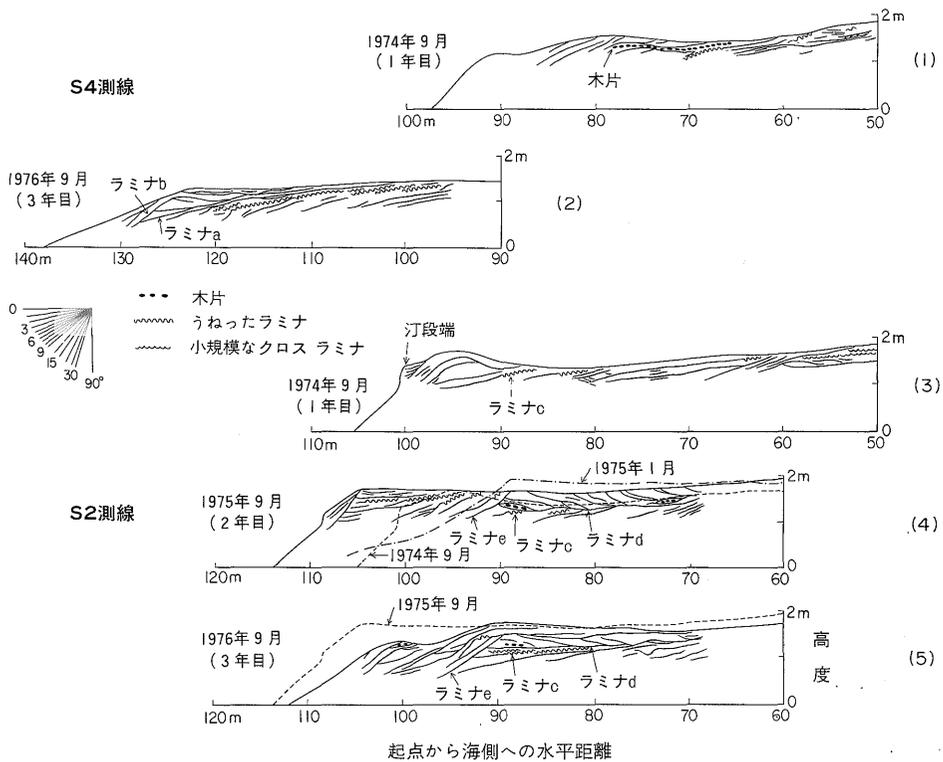
ごく最近2年間の砂浜の縦断形状の変化については第

5) 砂粒は主として石英、斜長石、シソ輝石、磁鉄鉱、そして岩石片からなる。

6) ハンドレベルと間縄を用いて行った。



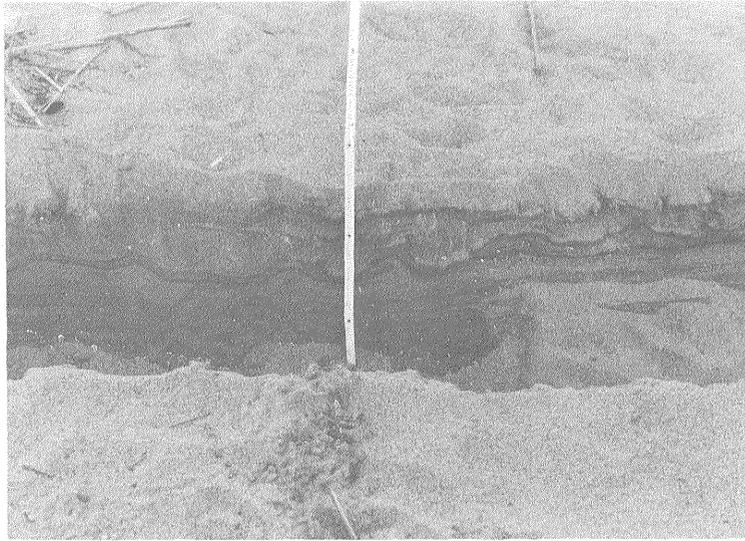
第 6 図 S 4 測線におけるトレンチ (1976年, 起点から110-130m)



第 7 図 内部構造観察スケッチ図

3章で述べた通りであるが、ここではそれ以前における寺泊海岸の成長の経過について述べる。まず、1911年と

1931年測量の5万分の1の地形図「弥彦」および「三条」から、寺泊海岸の汀線と放水路建設に伴う掘削土捨



第8図 S2測線におけるトレンチとうねったラミナc（起点から88m，左側が海）



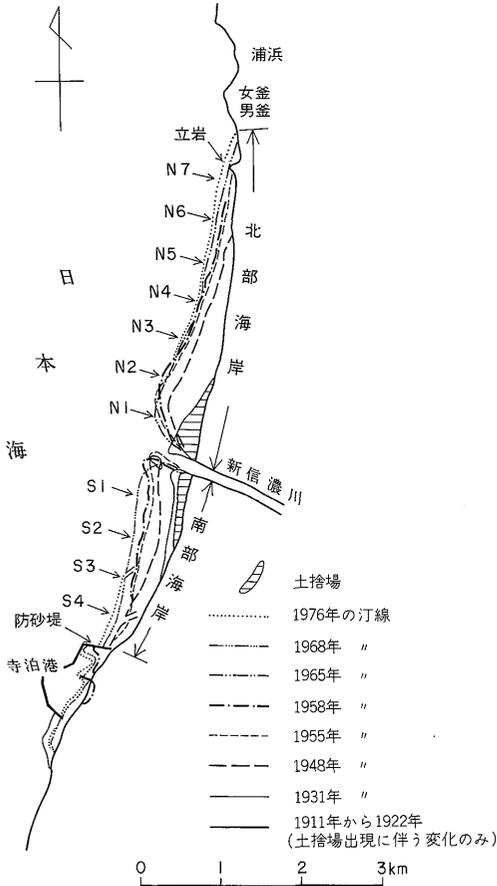
第9図 埋設された木杭（S2測線の起点から83m，海側を望む）

場の位置とを，1973年8月測量の1万分の1の地形図「寺泊町平面図」に書き入れて得られたものが第2図で

ある。太い実線が新信濃川通水前である1911年の汀線を示し，破線が土捨場の海側の大概の位置を，すなわち汀線を示している。従って，新信濃川が通水した1922年の汀線は河口付近で破線に，そこから南北に離れると実線の位置に接近するものと推定される。通水から約50年間に第2図に示すように約 $2.35 \times 10^6 \text{m}^2$ に及ぶ広い陸地が形成された。

第10図は，小池（1974）の方法⁷⁾に従って得られた汀線の経年変化である。これによれば，1922年から1931年にかけての9年間に河口の両岸，それに南部海岸の中央部にかけては前進が小規模に生じ，また河口左岸寄りに小規模な砂州が形成されている。さらに1931年から1948年にかけての17年間には砂浜が大規模に前進している。すなわち，この期間に増大した陸地の面積は，約 $8.80 \times 10^5 \text{m}^2$ にのぼり，1922年から1976年にかけての54年間に増大した陸地の面積（約 $2.35 \times 10^6 \text{m}^2$ ）の37%に達する。さらに，1948年から1955年にかけての7年間に，北部海岸のうちで河口から3.7 km北に当たる立岩に至る部分は全面的に前進し，このうち河口から3-3.7 kmの区間がこの期間に新たに前進を開始した。一方この期間に南部海岸では河口近くの海岸を中心に前進が生じているが，南端付近では逆に後退が小規模ながら一部にみられる。さらに，1955年から1965年ないし1968年にかけての10-13年間には，北部海岸は全体として前進が鈍るが，そのうちより北方部では前進量が大きくなっている。一方，この

7) 測量年次の異なる新旧の地形図を用い，海岸付近にある複数の対応する三角点を重ね合わせ，汀線の変化を知る方法である。



第10図 汀線前進の平面図

期間に南部海岸は一様に前進する。その後、1965年ないし1968年から1976年にかけての8-11年間に、北部海岸と南部海岸ではともに河口から最も遠い部分だけに前進がみられる。これは第3章で述べた、ごく最近の縦断形状の変化傾向と良く一致するものである。

第10図および筆者による実測値をもとにして各測線ごとに、1922年の汀線の位置（新信濃川通水時の汀線の位置と考えられる）に対する各年代の汀線の位置の経年変化をみた(第11図)。ここで直線の勾配は汀線の前進率に当たり、時間の経過につれて右上りのものは前進、右下りのものは後退、水平が変化のないことを示すことになる。第11図によると、各測線の汀線の位置毎に前進開始時期を異にするが、全体としてその開始後しばらくしてから急激に前進し、その後前進が鈍る。河口に近いN1-N4測線とS1-S3測線とでは、1965年頃までにはほぼこのような状態に達し、その後著しい前進はみられない。なお、N1測線では1967年頃と比べその後100m

ほど後退がある。一方、河口から遠いN5-N7測線とS4測線では、1965年頃から1976年に至るまで前進が継続している。上記の各測線における汀線前進の開始時期についてみると、河口から遠いものほどそれが相対的に遅れて波及する傾向がみられる。

第11図に示した各測線上の汀線の前進距離、北部海岸および南部海岸で増大した面積、それらの面積比を年代順にまとめたのが第1表である。なお、第1表における面積は、各測線ごとに前進距離に500m(測線上から直角方向(南北)に250mずつとった長さ)をかけたものを合計した。

$$AN = 500 (IN1 + IN2 + \dots + IN7) = 500LN$$

$$AS = 500 (IS1 + IS2 + IS3 + IS4) + \alpha = 500LS + \alpha$$

$$A = AN + AS$$

ここで

α : S1 測線に平行に北側250mの位置から河口にかけて増大した面積(㎡)

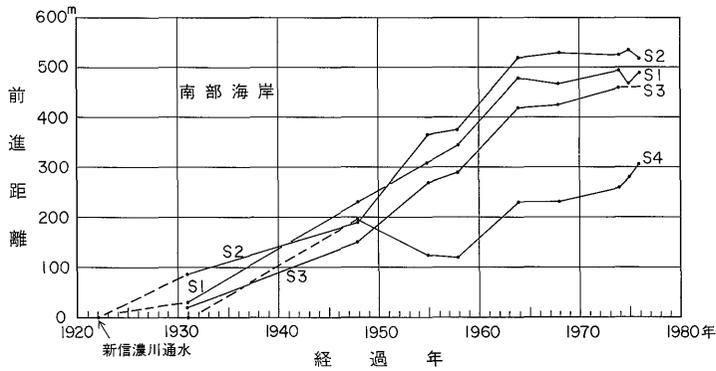
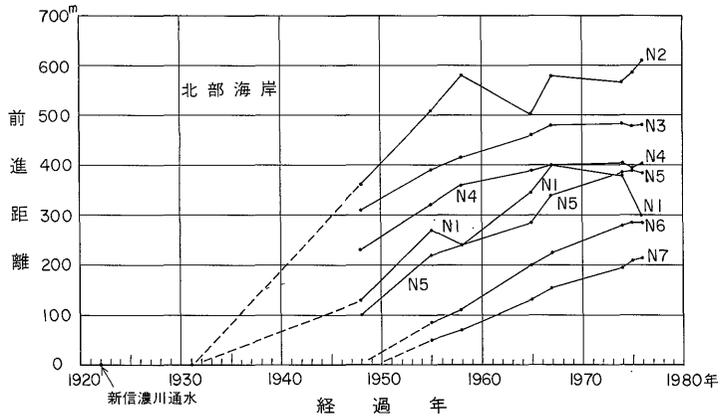
ところで、河口が北に片寄ることが多いため、上記の面積の求め方によればS1測線から河口にかけての部分の面積が、実際の面積と比べて著しく小さく求められる。さらに、河口両岸だけで前進を示した1931年の面積も同様に小さく求められる。そこで、1931年の面積は面積計を用いて求め、かつ1931年以外の各年代については、南部海岸の一部に関する面積 α を面積計を用いて求めた。

第12図は寺泊海岸全体として増大した面積A、および北部海岸で増大した面積ANに対する南部海岸で増大した面積ASとの比AN/ASの経年変化を示すものである。これによれば、面積Aは新信濃川通水から15年ほどは緩慢に、その後から約31年間は急激に増加し、通水後46年頃からきわめて緩慢な増加傾向となったことがわかる。従って、今後寺泊海岸の面積Aは徐々に増加するだけで、以前のように急激には増加しないことが考えられる。

第12図から、海岸の増加時期を次の3つに分けることができる。すなわち初期にみられた緩慢な増加時期を成長前期(1922-1937年)、急激な増加時期を成長中期(1937-1968年)、その後のきわめて緩慢な増加時期を成長後期(1968年以後)と呼ぶことにする。また面積の比AN/ASの経年変化をみると、成長前期には0.25未満の小さな値を示すが、成長中期には次第に大きな値(最大1.55)を、すなわち北部海岸の面積の方がより増加した後に、1.22とやや小さな値を経て、1.38と再度やや大きな値を示している。続く成長後期には1.38を最大にその後徐々に小さな値となる傾向がみられる。

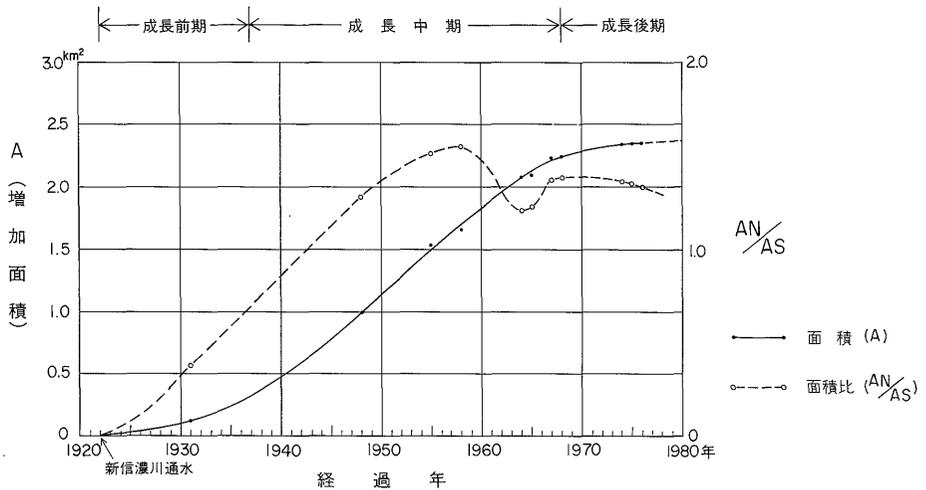
4.2 海底について

新潟県寺泊海岸における堆積過程について (磯部一洋)



第11図 汀線の経年変化

(1967年の汀線は新潟県発行の2千分の1の地形図「新潟県野積地区海岸線図」による。1964年の汀線は同地形図「新潟県寺泊町地区海岸線図」による)
 ----推定



第12図 寺泊海岸の面積および北部海岸と南部海岸の面積比の経年変化

第1表 測線ごとの汀線前進距離および面積の経年変化

前進距離(m)および面積(m ²)	1922年 (通水時)	1931年	1948年	1955年	1958年	1964年	1965年	1967年	1968年	1974年	1975年	1976年
IN7	0	0	0	50	70	(120)	130	155	(160)	195	210	215
IN6	0	0	0	85	110	(190)	200	225	(235)	280	285	285
IN5	0	0	100	220	240	(280)	285	340	(345)	385	390	385
IN4	0	0	230	320	360	(385)	390	400	(400)	405	395	405
IN3	0	0	310	390	415	(455)	460	480	(480)	485	480	480
IN2	0	0	360	510	580	(510)	500	580	(580)	570	585	610
IN1	0	0	130	270	240	(330)	345	400	(400)	380	(340)	300
LN	0	0	1,130	1,845	2,015	(2,270)	2,310	2,580	(2,600)	2,700	2,685	2,680
IS1	0	30	230	310	345	480	(480)	(470)	470	495	470	490
IS2	0	85	190	365	375	520	(520)	(525)	530	525	535	520
IS3	0	20	195	270	290	420	(420)	(425)	425	460	(460)	(460)
IS4	0	0	150	125	120	230	(230)	(230)	230	260	280	305
LS	0	135	765	1,070	1,130	1,650	(1,650)	(1,650)	1,655	1,740	1,745	1,775
LN+LS	0	135	1,895	2,915	3,145	3,920	3,960	4,230	4,255	4,440	4,430	4,455
AN	0	3.61×10^4	5.65×10^5	9.23×10^5	1.01×10^6	1.14×10^6	1.16×10^6	1.29×10^6	1.30×10^6	1.35×10^6	1.34×10^6	1.34×10^6
AS	0	9.64×10^4	4.40×10^5	6.12×10^5	6.51×10^5	9.45×10^5	9.45×10^5	9.43×10^5	9.45×10^5	9.94×10^5	9.90×10^5	1.01×10^6
A	0	1.33×10^5	1.01×10^6	1.54×10^6	1.66×10^6	2.09×10^6	2.11×10^6	2.23×10^6	2.25×10^6	2.34×10^6	2.33×10^6	2.35×10^6
AN/AS	0	0.38	1.28	1.51	1.55	1.21	1.23	1.37	1.38	1.36	1.35	1.33

地質調査所月報(第29巻第12号)

12-(784)

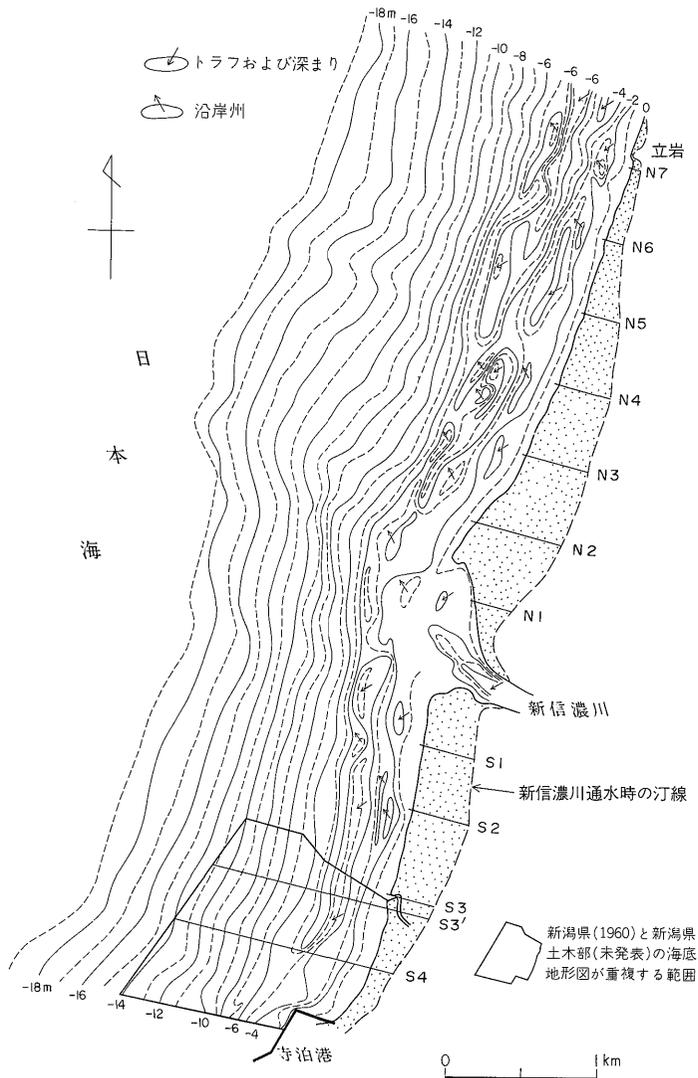
IN1: N1 測線の前進距離, IS1: S1 測線の前進距離, LN: N1-N7 測線全体の前進距離, LS: S1-S4 測線全体の前進距離, AN: 北部海岸で増大した面積, AS: 南部海岸で増大した面積, A: 寺泊海岸全体で増大した面積。()はその直前および直後に当たる年代の前進距離を比例配分により推定した値。

寺泊海岸の海底域も、新信濃川の通水以来排出される大量の土砂によって埋積され、著しく変化しているものと考えられる。通水から33年後の1955年に新潟県により深淺測量が開始されたが、それ以前の資料はない。

第13図は新潟県(1960)による1959年5月(通水後37年経過)の海底地形図である。太く長い破線は通水時における汀線を示すもので、すでに1959年当時広い陸地が形成され、海底においても遠浅の地形をなしていたことがわかる。汀線から海側の400-700m間にトラフ(longshore trough)と沿岸州(longshore bar)が対をなして2重に配列する所が多くみられる。沿岸州あるいはトラフの沿岸方向の連続性は北部海岸では良くない。海寄りの

沿岸州からさらに沖合に向けた海底は単調であり、汀線から1.5-2.0 km 沖合では深度が19mとなっている。新信濃川河口には、トラフに対して直角方向に伸びた深まりがあり、北西へ向きを変えながら沖合に向かって浅くなる。そして、この深まりの延長方向に当たる海底は、さらに沖合まで周囲に比べて浅く緩傾斜の海底地形をなしている。このことより、河口堰を流れ下った河川水の大部分は、まず河口部の海底を洗掘しながら海へ流れ出した後に、河口の北側に片寄って移動しながら沖合に達し、そこでは海底を洗掘せずに、運搬してきた土砂を堆積させるに至ったことが考えられる。

新信濃川通水前の海底地形は調査資料がなく、不明で



第13図 寺泊海岸における海底地形図 (1959年5月)

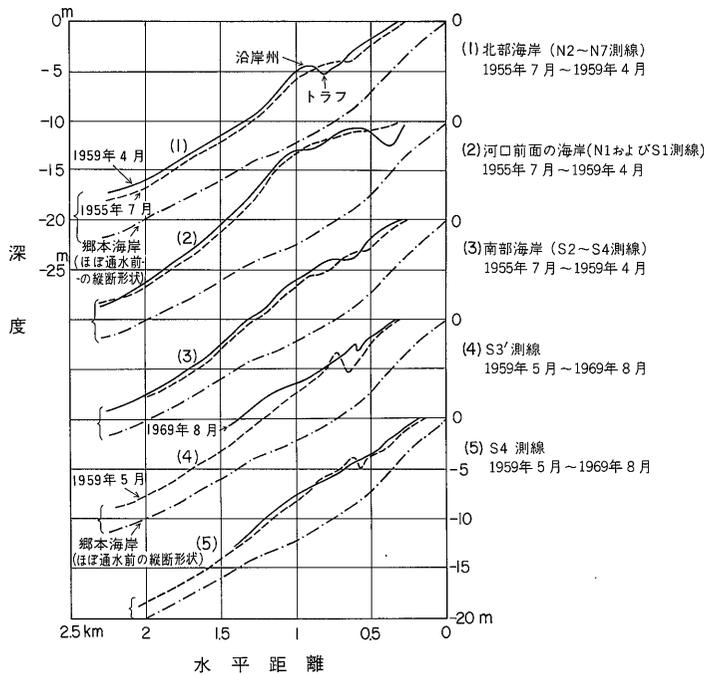
ある。そこで、寺泊海岸南方5kmの、寺泊海岸同様の地質と海岸地形とからなる郷本海岸に関する、新潟県(1960)による深淺測量結果を通水前の寺泊海岸の縦断形状とみなし、堆積傾向を推定した。第14図(1)-(3)は、北部海岸、河口前面の海岸、南部海岸の順に、1955年7月の海底の縦断形状、1959年4月の海底の縦断形状と郷本海岸のそれとをそれぞれ比較したものである。なお、第14図の作成に当たり、寺泊海岸における各縦断形状は、通水後から1955年と1959年までのそれぞれ汀線前進距離⁸⁾に相当する平均値だけ海側へ平行に移動させた。また第14図(4)・(5)には、新潟県(1960)による1959年5月測量の海底地形図と新潟県土木部(未発表)による1969年8月測量の3千分の1の海底地形図とから、S3測線の南方100mの測線⁹⁾とS4測線について、2つの時期の海底縦断形状と郷本海岸のそれとを比較したものである。そして、1959年5月と1969年8月のS3'測線とS4測線の縦断形状は、それぞれ通水後から1959年と1969年までのS3測線とS4測線の汀線の前進距離に相当するとみなされる値だけ海側へ平行に移動させたものである。

第14図(1)-(3)からは、新信濃川の通水後から1955年7月にかけての33年間に0m地点から2km地点までの海底

では2-10mほど埋積されて浅くなり、特に0m地点から1.5km地点までに厚く堆積が行われたことが読みとられる。そして、場所ごとに堆積の規模の違いがみられ、堆積規模の最大は河口前面の海岸となっている。

1955年7月から1959年4月にかけての3年9カ月間には沿岸州とトラフの変形に伴う侵食以外は、全体として堆積の方が卓越している。詳細にみると、南部海岸と河口前面の海岸においては1.5km地点以遠になると堆積の規模がともに減少する傾向を示しているが、一方北部海岸においては2km地点以遠になっても増加している。

1959年5月から1969年8月にかけての10年3カ月間については資料が限られているが、S3'測線の縦断形状では、1km地点以遠の海底に厚い堆積が生じている(第14図(4))。またS4測線では区間によっては堆積と侵食とが相反する関係にあるが、いずれも小規模であり、かつ全体としては堆積の規模が侵食のそれより若干大きい(第14図(5))。ここで、南部海岸の1955年7月から1959年4月にかけての3年9カ月間に生じた堆積の規模(第14図(3))とS3'測線およびS4測線の1959年5月から1969年8月にかけての10年3カ月間に生じた堆積の規模(第14図(4)・(5))とを比較すると、後者の期間の方が約3倍長いにもかかわらず、堆積の規模が期間の長さに比例して大



第14図 海底縦断形状の変化

8) 1959年の汀線前進距離は、第1表の1958-1964年のその値をもとに、比例配分により求めた。
9) 以下、S3'測線と呼ぶ。

きくはなっていない。すなわち、南部海岸のうち南端付近だけではあるが、その海底における堆積量は1959年以後になると、それ以前と比べて減少しつつあることが読みとられる。

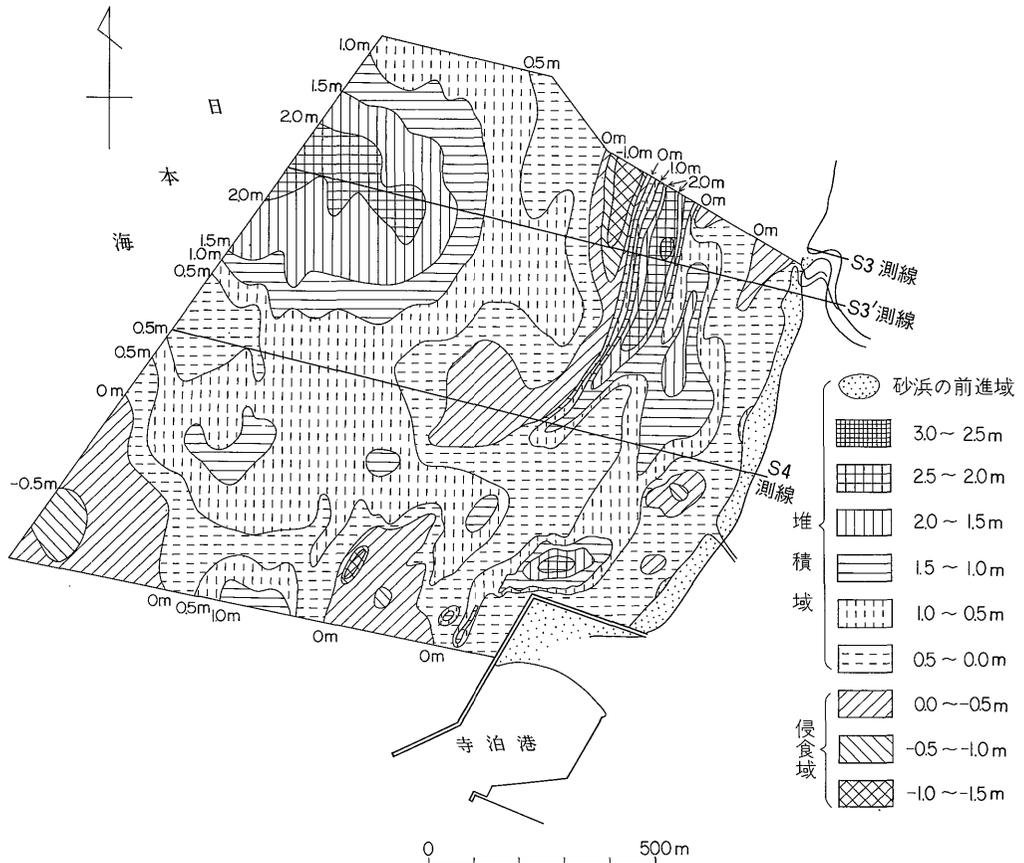
第15図は、第13図下部の実線で囲んだ範囲について、1959年5月と1969年8月の測量間にみられる深度変化を0.5m間隔に分割し、その結果を深度変化分布として表わしたものである。これによれば、上記の10年3カ月間に深度の減少した地域、すなわち堆積域が、深度の増大した地域、すなわち侵食域よりも面積にはるかに大きい。また、堆積域階級数は侵食域の階級数の2倍である。ここで、深度の減少を示す各階級についてそれらが占める面積を求め、それに各階級の中央値（例えば、0-0.5mの場合には0.25m）をかけて堆積量を求めた。同様に、深度の増大を示す各階級についてもそれらが占める面積を求め、それに各階級の中央値（例えば、0-0.5mの場合には0.25m）をかけて侵食量を求めた。

その結果によれば、堆積量は $9.98 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、侵食量は $8.30 \times 10^4 \text{ m}^3$ であり、この範囲内の堆積量と侵食量の差すなわち土砂¹⁰⁾の増加量は、 $9.15 \times 10^6 \text{ m}^3$ である。また、この期間内に前進した砂浜についてもその面積を求め、それに第5図から推定される砂浜の平均高度1.5mをかけて砂浜における堆積量を算出すると、 $6.05 \times 10^4 \text{ m}^3$ となる。従って、砂浜（陸上）における堆積量は海底における土砂の増加量のわずか6.6%にすぎず、専ら海底に大量の土砂が堆積していたことがわかる。また、海底における土砂の増加量を海底の面積($1.40 \times 10^6 \text{ m}^2$)で割ると、平均して0.65mの深度減少、すなわち堆積増が明らかである。従って、この期間の堆積の規模は年平均6.3cmに達し、依然として大きい。

5. 海岸の成長の考察

5.1 3つの成長時期を生じさせた要因

わが国最長の信濃川、そして同河川の放水路である新



第15図 寺泊海岸南端部における深度変化（1959年5月-1969年8月）

10) 本稿では、砂泥および若干の礫を土砂と呼ぶ。

信濃川を通じて寺泊海岸へ排出される土砂量は、莫大な量に達するものと推定される。新潟県(1960)によれば、新信濃川から1年に排出される土砂量は $6.01 \times 10^6 \text{ m}^3$ であり、このうち0.075 mm以上の粗い粒径からなる土砂量は $1.18 \times 10^6 \text{ m}^3$ であるという。また、堀川ほか(1975)の報告によれば、1955-1972年の排出土砂量のうち、0.03 mm以上の粒径からなる土砂量の変化は第16図に示す通りである。この図からは、1967年以後の年排出土砂量がそれ以前の $2.22 \times 10^6 \text{ m}^3$ から $1.54 \times 10^6 \text{ m}^3$ へと約30%減少したことがわかる。1922年の通水後から1955年にかけて年排出土砂量の推移は不明であるが、年によって多少の変化が考えられる。年排出土砂量の変化要因となる可能性のあるものとしては、降水量の経年変化、河川改修や砂防工事の進行、そして河砂利採取やダム等の建設があげられる。

年排出土砂量が、通水直後の緩慢な砂浜の面積増加を示した成長前期に少なく、引き続き急激な面積の増加を示した成長中期に入り著しく多くなったとは考えにくい。しかし、第16図に示した通り、年排出土砂量が、その後のきわめて緩慢な面積の増加を示した成長後期に一致して減少していることから、年排出土砂量の減少が面積の緩慢な増加、すなわち面積増加率を減少させたかのようにもみられる。だが砂浜の面積の増加率の減少すなわち第12図によれば成長中期の $0.068/\text{km}^2/\text{year}$ から成長後期の $0.011/\text{km}^2/\text{year}$ へ84%の減少を示すがこの方が年排出土砂量の減少すなわち30%の減少と比べさらに著しく、面積増加率の減少と年排出土砂量の減少との直接的な相関は求めにくい。従って、上記の3つの成長時期によって特徴づけられる陸上における見掛上の堆積速度の変化を、直接排出土砂量の経年変化と結びつけて説明することは困難で、排出土砂の堆積過程については、海底を含めて考えてみる必要がある。

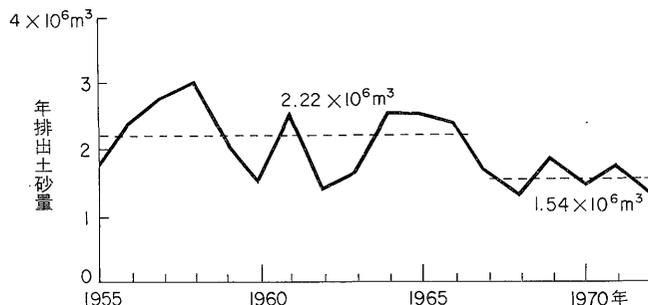
仮に通水直後から1976年まで、毎年ほぼ同程度の土砂

量が排出されていたとしても、第14図に示したように初期の勾配の急な浅海底を埋積するには、大量の土砂を必要としたはずである。その結果、通水直後に砂浜の面積が緩慢にしか増加しなかったことは容易に推定できる。やがて、浅海底が十分に浅くなるまで埋積された段階で、砂浜の面積が急速に増加したことはより考え易い。そして、陸地が短期間に著しく前進するとともに、波や流れの作用をより強く受けるようになり、砂浜の面積の急速な増加は以前のように生じることなく、やがて緩慢な面積の増加傾向へ移行したと考えられる。また、第10図に示すように、新信濃川が湾入部に通水したため、成長前期に寺泊海岸は、波や流れの作用を突出した海岸ほどには強く受けにくかったであろう。ところが、河口付近の汀線が南北の汀線同様に海側へ突出する成長中期後半に至ると、それらの作用を次第に強く受けるようになり、結果として成長後期には緩慢な面積の増加傾向を示すに至ったことが推定される。以上のことから、3つの成長時期に区分される砂浜海岸の堆積速度の変化は、通水前後の浅海底の縦断形状および汀線の平面形態の変化に対応するものと考えられる。

5.2 北部海岸と南部海岸の成長の違い

北部海岸と南部海岸の成長の経過は、すでに第10-12図に示した通りである。これらによれば、通水直後の成長前期には南部海岸が北部海岸に先行して成長した。成長中期になると、逆に北部海岸が南部海岸に比べより成長し、また成長後期には南部海岸と北部海岸の成長はともにきわめて緩慢となったが、南部海岸の成長の方がより大きかった。以下では、両海岸にみられる成長の違いについて考察する。

第10図によれば、河口両岸にある土捨場の平面形態が、著しく異なっている。成長前期には、これらの土捨場の平面形態の違いが、排出土砂量および波の季節変化や海岸付近の卓越した流れによる以上に砂浜の成長に強



第16図 新信濃川における年排出土砂量の最近の変化
(堀川ほか(1975)を一部改変)

く影響を及ぼしたとみなされる。すなわち、北部海岸の土捨場は、南部海岸のそれより海側へ突出するために、北部海岸の土捨場前面の深度が南部海岸のそれより大であると考えられる。そのために土捨場前面の深度の小さい南部海岸の方が海底を埋積し易く、早くから成長を開始したと考えられる。また、南部海岸土捨場の最も海側の伸長方向は $N6^{\circ}E$ であるのに対して、北部海岸土捨場の最も海側のそれは $N38^{\circ}E$ であり、成長後期に当たる1973年(第2図)の汀線の伸長方向である $N14^{\circ}E$ に南部海岸のそれの方がより近似しており、成長前期に南部海岸の土捨場に沿って砂浜が急速に成長したのは、これらの伸長方向の違いによるものと考えられる。すなわち、南部海岸土捨場の最も海側の伸長方向が寺泊海岸における波や流れの作用に対して、北部海岸のそれと比べて、より安定した状態に近い方向であるとみなされるからである。

成長中期には北部海岸が南部海岸と比べてより発達した。その要因として考えられる排出土砂量の季節変化、波の大きさおよびその入射方向の季節変化と海岸付近の流れの卓越方向との関係について考察する。第17図は、流量年表(日本河川協会, 1977)から求めた新信濃川における1975年の日平均流量である。なお、日平均流量が負の値を示すのは、小千谷観測所の(第18図)の流量に、小千谷一荒町間で渋海川等の小河川から信濃川への流入量が加算されており、逆に新川への流出量が差引かれたためである。第17図によれば、流量の多い時期は4-7月であり、逆に少ないのは1-3月と8-12月である。年間最多流量は7月14日に観測されたが、平均して流量の最も多い月は4月である。これに対して、平均して流量の最も少ない月は1月と2月である。従って、寺泊海岸へ排出される土砂量も、4月から7月にかけて多く、8月から12月を経て3月に至る期間に少なく、特に1月と2月に少ないと考えられる。さらに、入射波高の季節変化を示したのが第2表である。この表は、寺泊海岸南西方37 kmの柏崎港外の深度12mにおいて、1975年1-12月の期間偶数時に新潟県により観測された有義波¹¹⁾(significant wave)の資料のうちから、1975年の月別波高別頻度について示したものである。波高が大きい時期は11-3月、波高の小さいのは4-10月に当たる。

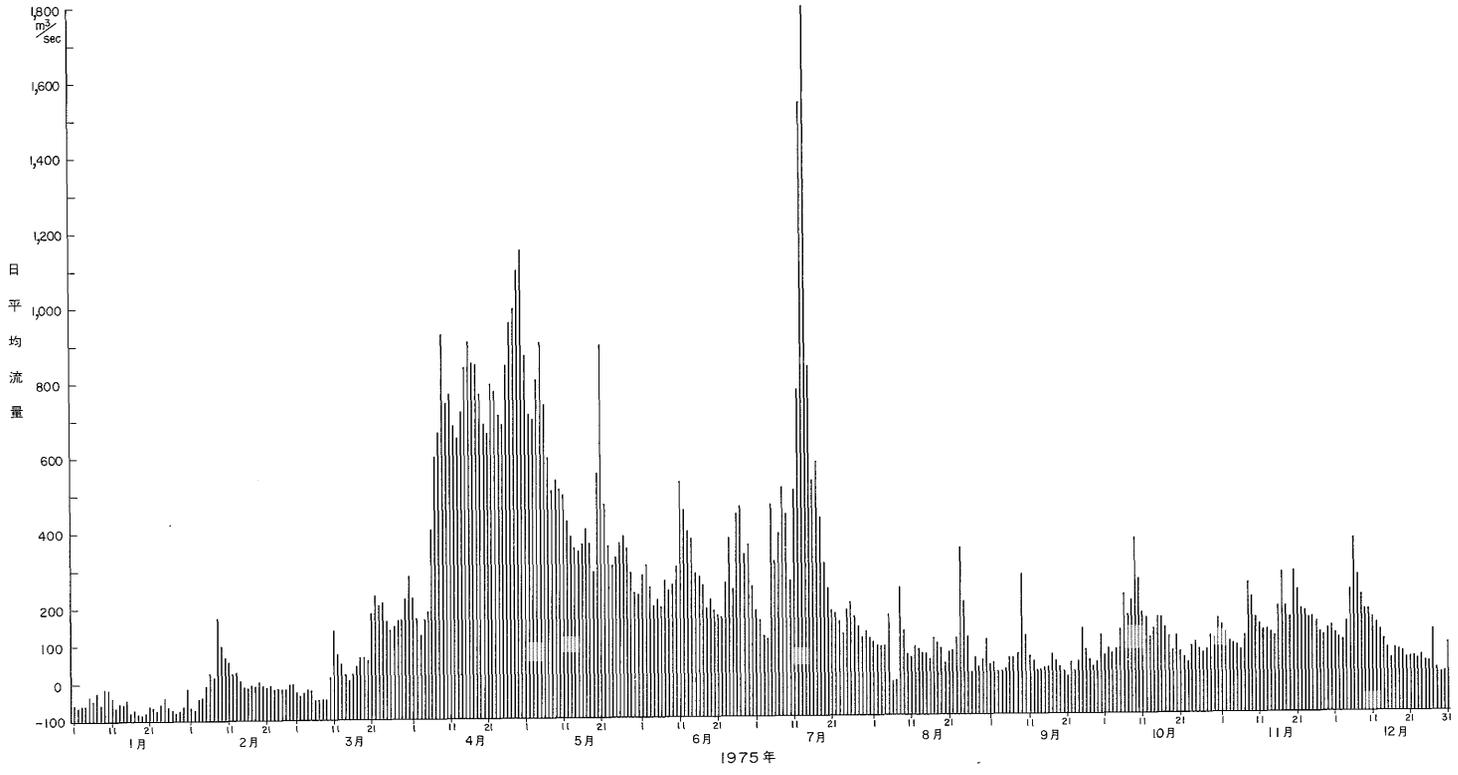
第17図と第2表からは、排出土砂量が多い時期には波高は小さく、逆にそれが少ない時期には波高は大きいことになる。また第3図によれば、4-10月に海側から陸

側へ向かって吹く最多風向は、南西~西南西であった。そこで、4-10月に波高の小さな波がそれらの方向から寺泊海岸へ入射するものと推定され、波が海岸に対して斜交して入射するために、北向きの沿岸流(longshore current)が生じ、その結果として北方への土砂の移動が卓越することになる。ちょうど、この時期のうち4-7月には大量の土砂が河口から排出されるため、河口より北方へ卓越して土砂が移動することになる。一方、新潟県(1960)によれば、冬季に大波は西~北西方向から寺泊海岸に対して入射してくると述べている。また第3図(2)により、晩秋から初春の11-3月に大波が上記の方向から入射することが十分に考えられる。従って、寺泊海岸の大部分では南方への沿岸流が生じ、同方向への土砂の移動が生ずることになる。ところが、この時期にはわずかの土砂が排出されるにすぎず、結果として河口より南方への土砂の移動量は少ない。以上から、寺泊海岸では北方への土砂の移動が卓越し、北部海岸が南部海岸に比べてより急速に発達したことが考えられる。

さらに、波がなく、沿岸流が存在しない時にも、河口から日本海に流出した河川水が北方へ卓越して流れるのが度々観察された。すでに第2章第2節で、寺泊港沖合には北向きの海岸流があり、また河口付近における浮子観測結果からも、卓越した北向きの流れが存在するということを述べた。このような卓越した北向きの流れが存在することも、北部海岸が南部海岸に比べてより発達した要因の1つとみなされる。

成長後期には、寺泊海岸全体としてみれば成長が緩慢となったが、南部海岸の成長が北部海岸のそれより大きかった。以下、南部海岸の成長が北部海岸のそれより大きくなったことについて考察する。成長後期になると、寺泊海岸の南北両端部だけで成長が引き続いてみられた。これは、河口から大量に排出される土砂のうち、その一部が寺泊海岸の両端部に堆積するものの、その大部分は寺泊海岸以外に運搬されることを示している。現在のところ、北部海岸北端から6.5 km北方の花立の岬に至る間の相対的な湾入部において、浦浜・田の浦等の小規模な砂浜海岸が急速に発達しつつある。すなわち、北部海岸の北端は男釜・女釜の小規模な岬で境されているにすぎず、浅海底が急速に埋積された結果、土砂がこの岬を容易に迂回してより北方へ移動する。これに対して、寺泊港からさらに南方の郷本にかけて断続する砂浜海岸は明らかに侵食傾向にある。これは、南部海岸の南端が寺泊港の防砂堤で境され、かつ同港防波堤が海側へ大きく突出するため、より南方への土砂移動がそれらによって妨げられるためである。従って、南部海岸の南端およ

11) ある時間の連続した波形記録から読み取られる最も大きい波高を示す波から数えて、全部の波の数の $1/5$ を、波高の順に拾い上げていったとき、それらの波の平均の波高をもち、またそれらの波の平均の周期をもつ波のことである(井島, 1960)。

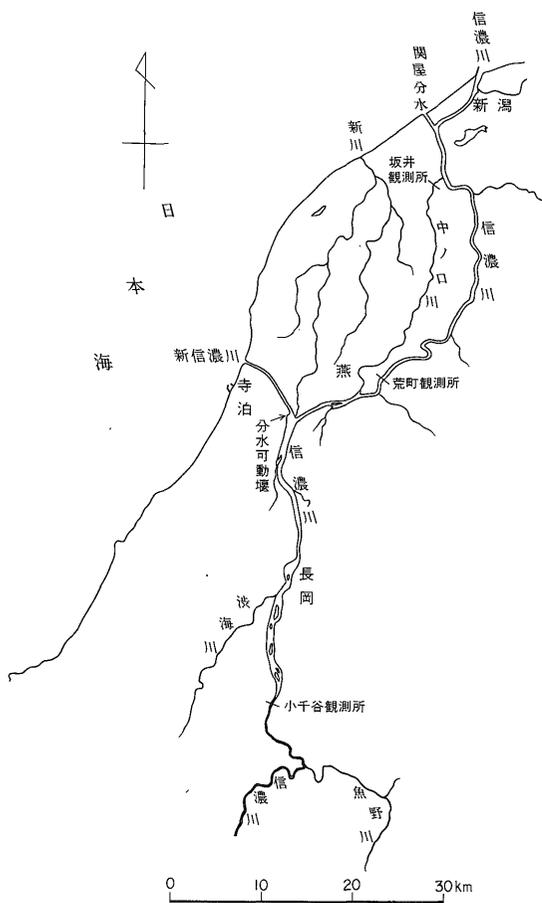


第17図 新信濃川における1975年の日平均流量変化傾向

第2表 月別波高別頻度表

（新潟県による柏崎港外の深度12mにおける1975年1—12月の期間，偶数時毎の観測値）

有義波高 (m)	月												計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0.00—0.50	28	44	130	194	224	298	324	241	268	197	167	59	2,174
0.51—1.00	59	67	132	61	27	27	30	24	48	102	69	118	764
1.01—1.50	18	58	67	17	1	2	11	5	16	60	39	90	384
1.51—2.00	17	82	18	18	0	0	1	1	1	12	47	45	242
2.01—2.50	12	44	5	0	0	0	0	0	0	1	15	16	93
2.51—3.00	8	11	11	0	0	0	0	0	0	0	10	8	48
3.01—3.50	13	6	5	0	0	0	0	1	0	0	2	1	28
3.51—4.00	4	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
4.01—4.50	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
4.51—5.00	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
5.01—5.50	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2



第18図 信濃川の流路および流量観測所の位置図

（第17図の日平均流量は小千谷観測所の流量から坂井・荒町観測所のそれを差引いて求めた）

び寺泊港内に集中して埋積が生じ，全体としてみれば南部海岸の成長が北部海岸のそれより大きくなったものと考えられる。

6. 結 論

新信濃川は1922年に竣工し，通水を開始した結果，第2図に示した通り新しく広い陸地が約50年間に形成された。

これらの変化についてその経過をみると，まず通水直後に河口付近で砂浜の前進が小規模に生じ，その後大規模な前進域が北部海岸と南部海岸の，それぞれ河口から逐次遠い部分へと波及していった。寺泊海岸全体について，前進した海岸の面積の経年変化（第12図）を検討した結果，明らかに3つの成長段階に区分できる。通水後に緩やかな増加を示した成長前期（1922—1937年），急激な増加を示した成長中期（1937—1968年），引続きわめて緩やかな増加を示した成長後期（1968年以降）である。一方，海底には河口から大量に排出された土砂が堆積したために，通水前の海底の縦断形状と比べ，より勾配の急な部分が生じた（第14図）。そして，1959年以後には，土砂の堆積量が1959年以前のその量と比べて減少する傾向が現われてきた。

次に，3つの成長時期を生じさせた要因について検討した結果，年排出土砂量の経年変化にその要因を求める必要はなく，むしろその要因は通水前の海底の縦断形状および汀線の平面形態に対する通水後の両者の変化にあると考えられる。すなわち，成長前期には海底を埋積するために大量の土砂を必要とし，その結果砂浜の面積の増加が小さかった。成長中期には大量の土砂の堆積によって浅海底が十分に浅くなり，堆積域が陸上まで波及し

た結果、砂浜の面積の増加が大きかった。成長中期の後半になると、海底の縦断形状は大規模な堆積に伴い通水前のそれと比べて著しく急な勾配となり、かつ河口付近の平面形態は部分的に海側へと大きく突出するに至った。従って、成長後期には通水前と比べて波や流れの作用をより強く受けるようになり、砂浜の面積の増加が再び小さくなった。

さらに、北部海岸と南部海岸の成長の違いについて検討した。成長前期には南部海岸が北部海岸に先行して成長したが、これについては土捨場の最も海側の伸長方向の違いが成長開始の遅速を生じさせた主要因であるとみなされる。成長中期には北部海岸が南部海岸に比べより成長した。これは、排出土砂量が4-10月に多く、かつこの時期に一致して入射波に伴う北向きの沿岸流や卓越した北向きの海岸流によって土砂が北部海岸により多く移動した結果であると考えられる。成長後期には、南部海岸が北部海岸より成長した。この要因として、大規模な寺泊港防砂堤および防波堤によって南方への土砂移動が妨げられ、堆積は南部海岸の南端付近に集中して生じ砂浜が前進した。これに対して、北部海岸の北端では土砂が、小規模でかつその海側が浅くなった岬を容易に迂回して北方へ移動可能であるため、より以上の前進が生じにくくなった。

本研究に当たって、海底域に関する資料が不十分であることは否定できない。今後、通水以後に堆積した新时期堆積物の分布および堆積過程が明らかになれば、この海岸の変化についてより詳細な研究が可能になるものと考えられる。

文 献

GRIGGS, G. B. and JOHNSON, R. E. (1976) Effects of the Santa Cruz Harbor on coastal processes of Northern Monterey Bay, California. *Environmental Geology*, vol. 1, p. 299-312.

堀川清司・砂村継夫・鮎川 登(1975) 河道・海岸を対象とした土砂収支と自然環境変化, 新信濃川とその河口海岸. 石原藤次郎代表, 土砂の流送・運搬に伴う自然環境変化に関する研究, 文部省科学研究費, 自然災害特別研究研究成果, no. A-50-9, p. 69-71.

細井正延(1976) 河口周辺の海岸侵食について. 第23回海岸工学講演会論文集, p. 279-283.

市川 武・落合治美・富田一男・室伏久治(1961) 駿河湾田子浦海岸の波と漂砂. 第8回海岸

工学講演会講演集, p. 161-167.

磯部一洋(1976a) 砂浜は生きている—新潟県寺泊浜の成長を探る—. 地質ニュース, no. 262, p. 20-25.

————(1976b) 新潟海岸における最近の侵食と堆積について. 昭和51年度日本応用地質学会研究発表会, 講演要旨, p. 22-23.

————(1977) 海浜砂礫のおいたちを鹿児島県新島に探る. 地質ニュース, no. 273, p. 11-19.

井関弘太郎(1972) 三角州. 朝倉書店, 226p.

井島武士(1960) 海岸・港湾測量. 森北出版, 305p.

JOHNSON, J. W. (1956) Dynamics of nearshore sediment movement. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*, vol. 40, p. 2211-2232.

小池一之(1974) 砂浜海岸線の変化について (予報). 地理学評論, vol. 47, p. 719-725.

長岡工事事務所(1969) 信濃川大河津分水誌. 第1集・第2集.

日本河川協会(1977) 流量年表(昭和50年). 建設省河川局編, 430p.

新潟県(1960) 旧信濃川関屋分水調査報告書. 184 p.

————(1974) 寺泊マリーナ計画報告書. 84p.

STEWART JR., H. B. (1956) Contorted sediments in modern coastal lagoon explained by laboratory experiments. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*, vol. 40, p. 153-161.

田中則男・小笹博昭・小笠原 昭(1973) 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)—. 港湾技研資料, no. 163, 95p.

————・沢本正樹(1974) 砂浜港湾周辺における砂浜変形—航空写真による現状把握と海浜変形形態類型化の試み—. 港湾技研資料, no. 180, 121p.

津田禾粒・茅原一也・白井健裕・長谷川美行(1974) 表層地質図幅「弥彦」, 同説明書. 新潟県, p. 24-30.

(受付: 1978年5月9日; 受理: 1978年6月14日)