

富山湾の海岸性状について

——海岸踏査と鉱物分析による検討——

佐藤昭二*・入江 功・堀江 毅

港湾技術研究所

On the Littoral Drift in Toyama Bay ——Investigation Through Site Inspection and Heavy Mineral Analysis——

By

Shoji Sato,* Isao Irie and Takeshi Horie

Port and Harbour Research Institute, Yokosuka

Abstract

Joint site inspections of the Toyama Bay were performed in March and October 1969 in order to obtain its general characteristics of littoral drift. According to the observations of erosion and accretion on either side of the coastal structures and to those of the characteristics of the beach materials, such as grain size, shape and colour tone, a null point of littoral drift seems to exist near the New Toyama Port which is in the middle of the coast of the bay, that is, the predominant direction of littoral drift on the coast east of the New Toyama Port is towards the west, and on the coast west of it towards the east.

In order to confirm this fact, a more detailed investigation was performed with samples collected along the coast of the bay and in the rivers flowing into the bay. Contents of four components, namely, green hornblende, brown hornblende, augite and hypersthene in the heavy minerals of these samples within the size fraction of 0.088 mm to 0.177 mm were analyzed with microscope, and the correlations of the sediments in rivers to the beach materials with respect to the above four components were calculated by using electronic computer, and then the regions of the coast affected by the sediments from rivers were estimated.

The results of this mineralogical analysis coincided very well with the observations of the configuration of the coast near the coastal structures and the characteristics of beach materials.

概 要

本報告は、富山湾の総括的な浸食状況をは握するためおこなった海岸踏査の結果をとりまとめ、さらに、この時採取した海浜砂の底質分析から沿岸漂砂の特性について二、三の検討を加えたものである。

1. 海岸踏査

海岸状況の季節的動向をは握するため、昭和44年3月24日～29日および昭和44年10月27日～11月1日の2回にわたって、境川から姿海岸に至る、総延長90kmの踏査を行なったがそのおもな調査

事項はつぎのとおりである。

- (1) 海浜の状況
海浜の有無、海浜を構成する玉石、砂の粒径、構成比の観察
- (2) 海浜横断形状の測定
ハンドレベル、クリノメーター、巻尺、ポール等による簡易横断測量
- (3) 海岸構造物の機能効果
海岸浸食防止のため設けられた構造物の浸食状況と機能およびその効果
- (4) 写真撮影、スケッチ
- (5) 海浜砂の採取

* 本論文執筆代表者 (The writer responsible for the present paper)

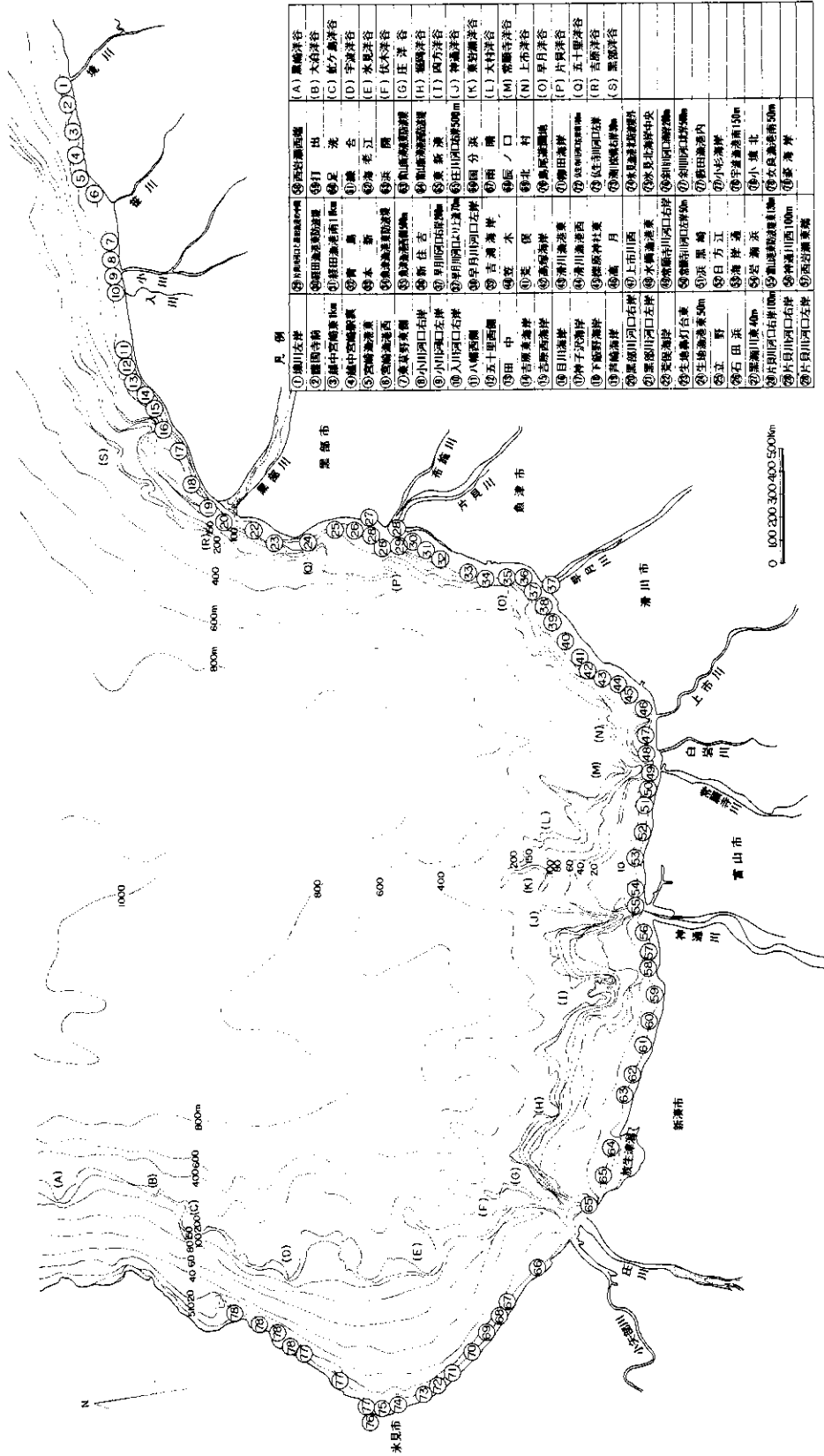


図1 富山湾の自然概況と踏査地点

凡例

① 富山区岸	④ 西谷川河口	(A) 黒崎沢谷
② 黒川河口	⑤ 新湊川河口	(B) 大谷沢谷
③ 黒川河口	⑥ 黒川河口	(C) 宇津沢谷
④ 黒川河口	⑦ 黒川河口	(D) 宇津沢谷
⑤ 黒川河口	⑧ 黒川河口	(E) 黒川河口
⑥ 黒川河口	⑨ 黒川河口	(F) 黒川河口
⑦ 黒川河口	⑩ 黒川河口	(G) 黒川河口
⑧ 黒川河口	⑪ 黒川河口	(H) 黒川河口
⑨ 黒川河口	⑫ 黒川河口	(I) 黒川河口
⑩ 黒川河口	⑬ 黒川河口	(J) 黒川河口
⑪ 黒川河口	⑭ 黒川河口	(K) 黒川河口
⑫ 黒川河口	⑮ 黒川河口	(L) 黒川河口
⑬ 黒川河口	⑯ 黒川河口	(M) 黒川河口
⑭ 黒川河口	⑰ 黒川河口	(N) 黒川河口
⑮ 黒川河口	⑱ 黒川河口	(O) 黒川河口
⑯ 黒川河口	⑲ 黒川河口	(P) 黒川河口
⑰ 黒川河口	⑳ 黒川河口	(Q) 黒川河口
⑱ 黒川河口	㉑ 黒川河口	(R) 黒川河口
㉒ 黒川河口	㉓ 黒川河口	(S) 黒川河口

1.1 踏査各論

富山湾の踏査は、新潟県寄りの境川を起点として、西向きに行なった。その結果、海岸性状そのほかで類似したいくつかの地域群がみとめられた。そこで説明を容易にするため、これらの地域群ごとに東から順次述べることにする。なお踏査地点は図1に示すとおりである。

a) 境川より宮崎漁港まで

一带は標高250m級の山が海にせまり、その間を道路、鉄道が東西に走っている。越中宮崎駅までの護岸は後浜の十分陸側にあり(図2)、大きな

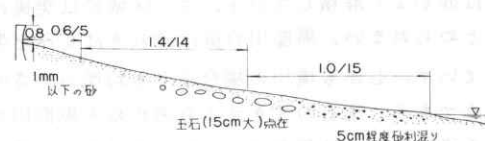


図2 護国寺前

しけの時の波をのぞいてここまで波が打上げることほとんどないと思われる。越中宮崎駅から宮崎漁港間には護岸がなく、昔につくられた土堤が原形を保っている。小川の河口や排水口付近では玉石や砂利が露出している(写真1)。これは後



写真1 越中宮崎東の小川付近

浜の下層は玉石、砂利であることを示している。前浜の玉石、砂利の粒径は西にゆくにしたがってだいに小さくなり、宮崎漁港の東側が砂側の採取場になっていることからこの海岸での漂砂は明らかに西向きである。この区域の浜幅は広く海浜は安定している。

b) 宮崎漁港西より横山まで

宮崎、笹川間は平地がなく道路と鉄道が海にせまっているが、ここより以西では急に平地が開け、

水田として利用されている。この区域は一般に侵食性の海岸で、西方にゆくにしたがって激しくなり、笹川から東草野付近(図3)で最大となる(写真2)。とくに笹川、東草野中央部付近では旧

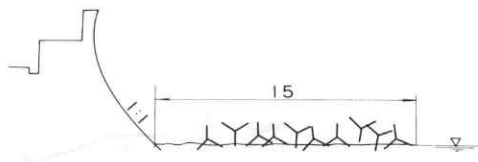


図3 東草野



写真2 大屋付近

護岸が各所で決壊したため、新護岸が約5m後退して改修されている(写真3)。小川、入川の河がともに西向きであり、またこの区域の異形ブロック、上手の砂の堆積状況を調べると、漂砂はやはり西向きであると考えられる。



写真3 東草野

c) 八幡西より吉原海岸まで

東の小川と西の黒部川との中間に位置する。この区域では漂砂の源となりうるような大きな川は

ない。八幡付近では異形ブロックの根固めをもつ護岸があり、前浜はないが、八幡西から砂利浜があらわれ、五十里西方で浜幅は最大となる。カヌブは五十里(図4)から田中にかけて最も発達し、ピッチは約15mである(写真4)。底質の粒径は

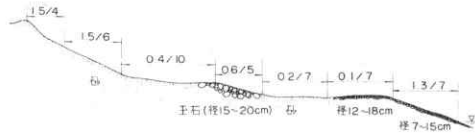


図4 五十里西



写真4 五十里付近

八幡西から五十里にかけては球状の15~20cm径の玉石が目立つが田中から吉原海岸まではへん平で10cm径以下の砂利が卓越し砂が多くなり、五十里浜からはさらに小さくなる。このことから漂砂は西向きであると考えられる。吉原一帯でも各所で旧堤が破壊され、約10m後退して新堤が築かれており、侵食のはげしさを示しているが、この付近を除けば、とくに著しい海岸決壊はみとめられない。

d) 目川海岸より黒部川河口まで

比較的安定した砂浜海岸であり(図5), 菌家山付近から浜幅は急激に大きくなる(写真5)。護岸より数m離して設置された消波ブロックの陸側

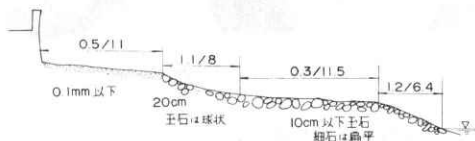


図5 下飯野



写真5 下飯野付近

には砂がよく堆積している。この区域には突堤はみとめられない。黒部川の排出砂れきは丸みを帯びていて、しかも境川の場合よりも粒径が小さいようである。玉石の大きさから考えると黒部川からの排出砂れきは現在では目川海岸付近まで達しているものと思われる。

e) 黒部川より生地漁港まで

黒部川左岸から黒部, 片貝川の中間に至る区域で、黒部川の排出砂れきの及び範囲と考えられる。黒部川からの排出砂れきにより河口が大きく海に突出しているにもかかわらず、荒俣地域の海岸が決壊しているのは冬期に卓越するS~SWの風浪による影響と考えられる。生地鼻燈台東側(図6)海岸では一部異形ブロックのみの護岸がみられるが十分その機能を発揮しているようである(写真6)。荒俣海岸の一部を除いては海岸は比較的安定しているようである。荒俣海岸一帯の突堤の上手下手側の砂の堆積状況から判断すれば、この区域における漂砂も西向きと考えてよいであろう。

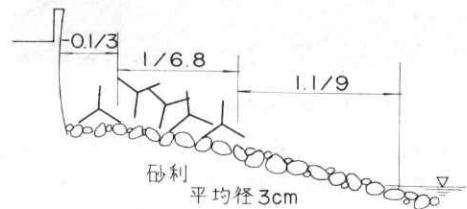


図6 生地鼻燈台東側

f) 立野より新住吉まで

海浜の赤みを帯びた砂より判断して、この区域は片貝川の影響範囲と思われる。生地漁港西から立野付近(図7)では傾斜護岸があるが、立野以



写真6 荒俣西

南は自然海浜となり(写真7)経田漁港まで安定した砂浜海岸である。片貝川河口では兩岸とも背後に松林をもつ砂丘が発達している。このことか

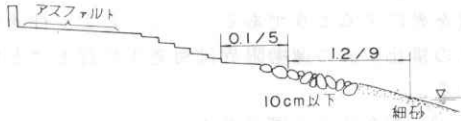


図7 立野

ら考えると、片貝川は砂れきというよりはむしろ赤みを含んだ砂をより多く排出しているようである。経田漁港北防波堤においてはその先端にまで砂が堆積して港内にも浸入し、時々しゅんせつをおこなっているという。この防波堤による漂砂の南方向の阻止能力は大きく青島付近まで影響を与えている。魚津北海岸には異形ブロックの根固めがあり、浜幅10mぐらゐとなつて砂、砂利の堆積がある。また魚津、新住吉間の突堤は赤みの



写真7 立野北(アスファルト傾斜護岸)

砂がよく付いている。

g) 早月川より水橋漁港まで

早月川の河口は主として玉石と砂れきから成り立っている。新住吉と早月川との間で海岸決壊した跡が見受けられるが、それ以西では玉石が多量に堆積している。このことより早月川の排出土砂の移動は新住吉南付近が北限と考えられる。吉浦付近では護岸の決壊箇所があるが、笠木付近の異形ブロック突堤間には玉砂利がよく堆積している高塚付近で浜幅は急激に広くなり滑川漁港東側において最大となっている。滑川漁港東防波堤で早月川よりの漂砂が阻止され、高月までにはほとんど浜がない。また滑川市内は民家の屋根に届くほどの高い護岸(高さ約4m)がある。早月川から滑川漁港の間での例(写真8)からみると玉石海岸においては透過突堤でも十分機能を発揮しうることがわかる。上市川以西からは、再び玉石海岸が現われ、浜は西に行くにしたがつて広がっている(図8)。



写真8 笠木付近

h) 常願寺川より神通川まで

この区域は常願寺川左岸の一部を除いては幅の広い砂浜の自然海浜で背後は松林となっている(図9)。浜の砂は多少赤みを帯びているが鉄分が多量に含まれている。カヌブは明らかでないが200m~300mピッチの波状海岸となっている。常願寺川から浜幅は海岸通り西にかけて最大となるがそれ以西では逆に小さくなる。これは富山付近にまでせまっている神通川河谷の影響であろう海浜の所々に突出している暗きよにおいては、いずれもその東側が西側より砂の堆積量が大きい(写真9)。以上の事実より判断すれば、この区域の砂は主として常願寺川から排出されたもので漂砂は西向きであると考えられる。

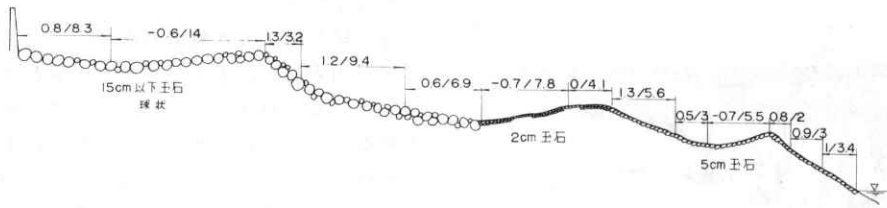


図8 水橋漁港東

だいに出現し、安定した浜となる。しかし足洗の突出部に近づくにつれてこの砂浜は少なくなる。練合付近では狭い砂浜が所々現れる程度であるが、測点61の所のコンクリート突堤東側には砂がよく堆積し根固め前面にも浜がある。練合付近に天然ガス採取場があるので、ここより赤みを帯びた排水が付近の海岸に流れ込んでいる。このため砂浜の底質の判定を困難にしているが、海老江を境として、これ以東の砂はこれ以西の白い砂とは品質を異にするようである。このことより神通川よりの排出土砂の運搬限界は海老江付近までと思われる。

j) 海老江より国分浜まで

この区域は新湊港防波堤の影響を比較的強く受ける領域と考えられ、浜が断続的に現われる。この区域の砂はこれ以東、以西と比較すれば白さが目立つ。海老江から新湊港防波堤までは小さな浜が所々にあるが、浜開付近には根固め前面に比較的安定した幅広い砂浜がある(図11)。新湊港東防波堤付近では浜はほとんどなくなる。西防波堤から放生津まで東新湊付近を除いて根固め前面に砂浜はない。これは北東および北西寄りの波が東および西防波堤によって反射され、波のエネルギーがこれらの地域に集中するためと考えられる。庄川、小矢部川も相当な土砂を排出していると考えられるが、河口付近に砂州はみられない。このことはこれらの排出土砂が河口付近に迫っている庄洋谷に落ちこみやすいためと思われる。このため河口付近は各種の異形ブロックによって根固め、海岸堤防が施されている。国分港のすぐ西側が

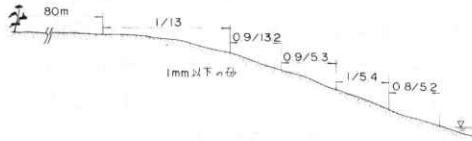


図9 浜黒崎



写真9 日方江西の暗き

i) 神通川より海老江まで

神通川河口は、これ以東の河口と異なり、河口に露出した砂州はみられない。なおこの左岸近くの沿岸は決壊性である。四方までの海岸は神通川河口を除いて、比較的赤みを帯びている(図10)。特に前浜においてこの傾向が著しい。西岩瀬中央部から四方まで異形ブロックによる平行堤があり、その前面には浜がある。しかし四方にくると浜はなくなる。四方の西側付近は根固め用の異形ブロック前面に砂浜はないが、打出に近づくにつれてし

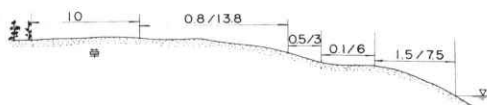


図10 西岩瀬東

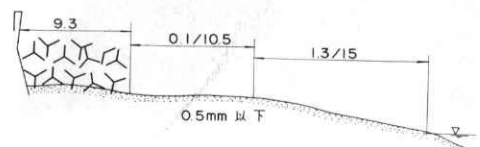


図11 浜開

国分浜で、これは完全なポケットビーチであり、砂浜は依然白く、また粒径が非常に小さいことが特徴である。ここは決壊性海浜である。底質からみてこの区域が庄川、小矢部川の影響範囲と考えられる。

k) 雨晴より氷見漁港まで

国分浜の砂と雨晴以西との砂は性質を異にするようである。国分浜、雨晴間は岩盤が突出していて小島が岬の頭部に点在している。雨晴から北村付近までは階段護岸があり、浜幅は狭く決壊性である。北村から仏生寺河口までは単調な赤みを帯びた砂の自然海浜となり、背後は低い砂丘の松林となっている(図12)。鳥尾遊園地から柳田付近の海岸は安定していて幾分堆積性であるとおもわれる。仏生寺川河口では右岸側は護岸がなく浜幅はかなりあるが、左岸側は護岸があっても浜幅は小さい。湊川河口から氷見漁港までは道路が海岸に迫り、異形ブロックによる透過突堤、根固め、および護岸がある。砂の堆積はみられない。この区域の底質は仏生寺川、湊川から供給されたものか、あるいはがけが浸食されてできたものとおもわれる。

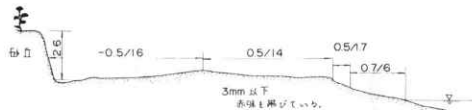


図12 北村

1) 氷見漁港北より女良漁港まで

この区域には流出する大河川がなく、概して山が海岸線に迫っている。海岸線の出入が複雑で、砂岩質の小さな岬の突出が数多く存在し、これらの南側が漁港として利用されている(写真10)。

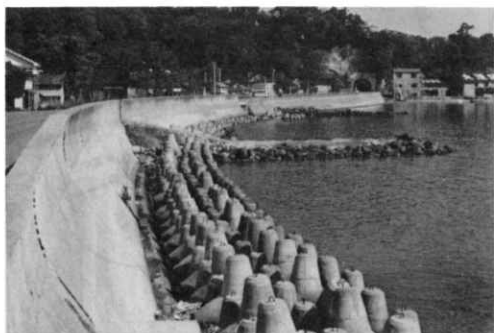


写真10 氷見漁港

したがって岬の北側には砂浜はない。この海岸の浜のない部分には洗たく板のような岩礁が水面付近の高さにみられる。港の外側では砂浜がなくても港内の防波堤のためには細かい砂が堆積している(図13)。これらの砂は波によって岩のがけが浸食されてできたものか、または付近の小川からの排出土砂であろう。

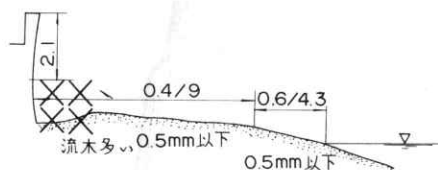


図13 氷見北

1.2 踏査結果のまとめ

図1に示すとおり富山湾は日本海に面し、北西部は能登半島でおおわれている。また南部は立山、剣岳等の3,000 m級の山が連なり、これらの谷間から神通川、庄川、黒部川、常願寺川、小川、片貝川、早月川等のかなりの急流河川が富山湾に流出している。これらの河川によって運ばれた土砂により多くの扇状地、三角州が各地に形成されている。一方海底地形をみると、富山湾では一帯に大陸だながあまり発達せず常願寺、神通、四方、庄の各洋谷をはじめ多くの洋谷が陸地に迫っている。「富山湾の自然条件について」(運輸省第一港湾建設局伏木富山港工事事務所、昭和39年)によると、新湊地区における風は通常NE、SW方向が卓越し、10 m/sec以上の風も同様の傾向にあるが台風期にはN~ENEに集中するものとされている。波に関する詳細なデータは入手できなかったが、昭和38年~43年度の観測を総合すると、波高の季節的変動は小さく、 $H_{1/3}$ 有義波で1 m以下は60%、2 m以下は80%、5 m以上は0.1%以下であり、周期は6~11秒前後の出現度数が最も高いようである。

富山湾の自然条件の概要は以上に述べたようである。踏査により得られた富山湾の海岸性状の概略を図14に示す。この図をみると海岸線の方向と波高および海岸性状との間に非常に密接な関係のあることがわかる。すなわちNNE方向の波に対して波の入射角が大きくなる常願寺川以東、ならびに氷見以北では沿岸方向の波のエネルギーが

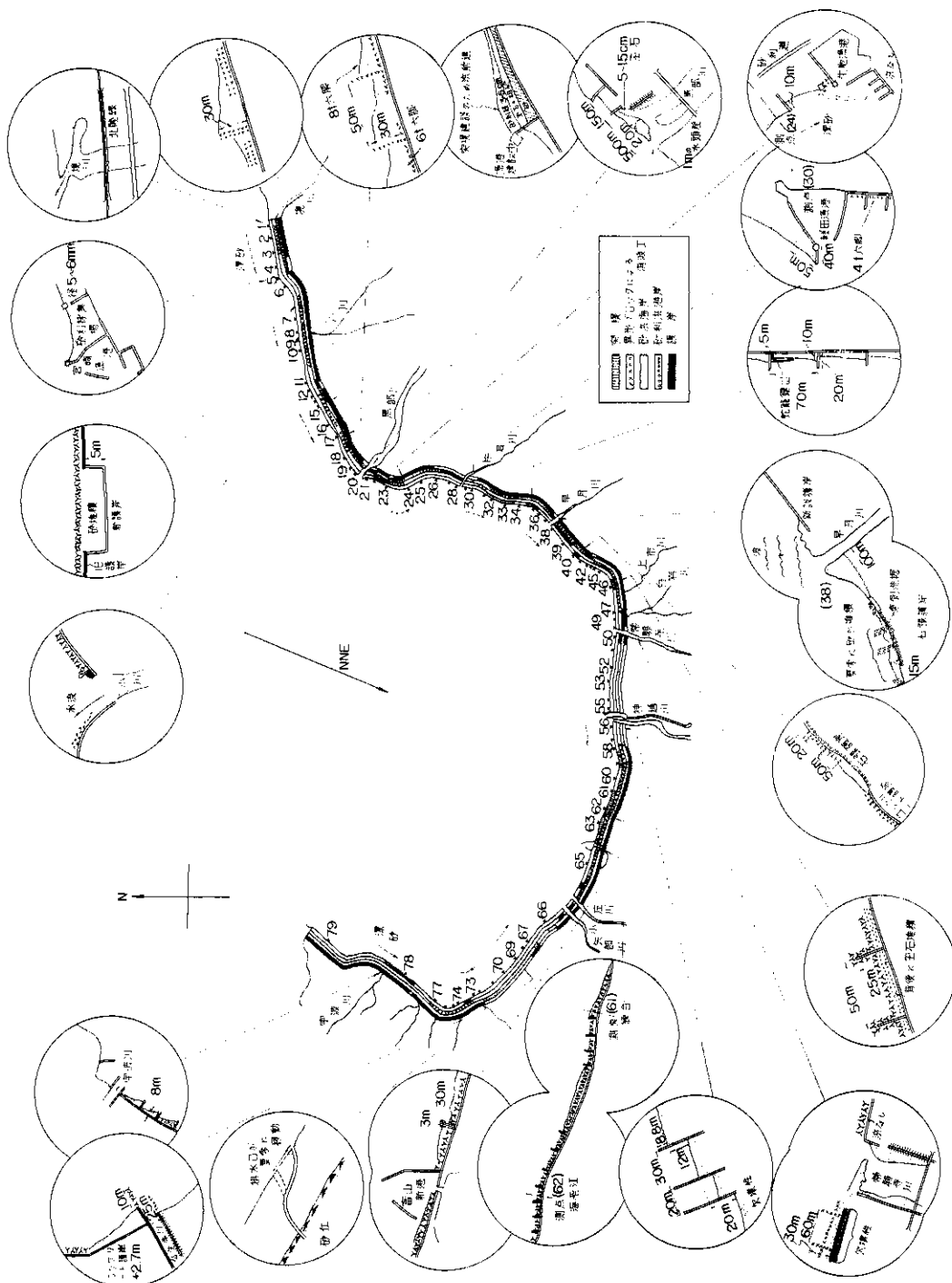


図14 富山湾の海岸性状

大きくなるため浜がまったくないか、あるいは後背地の河川よりの排出土砂に富む常願寺川以東では細かい砂は運び去られ玉石ばかりの砂利浜海岸が卓越している。これに対し常願寺川と氷見間の湾奥部では一般に波の入射角は小さく比較的安定した砂浜海岸となるべきである。さらに常願寺川、神通川、庄川、小矢部川等の大河川がこの地域の海岸に流出しているにもかかわらずこれらの排出土砂の影響範囲がそれほど顕著にあらわれないのはこれらの河口付近を通っている洋谷のため多くの土砂が失われるものと考えられる。このため常願寺川左岸、四方あるいは庄川河口付近の突出部西側で卓越波の入射角が大きくなる場所では決壊性となっている。また海岸線方向が波の卓越方向 $N \sim NNE$ に近い所では構造物周辺での堆積は少なく、所によっては突堤や消波ブロックがあっても砂浜の維持はほとんどできず、護岸法先の洗掘さえみられる。これとは逆に海岸線が波の卓越方向とほぼ直角の所では砂浜が開け比較的安定している。また特に常願寺川以東の各港の防波堤による漂砂の阻止能力は無視しがたく、その影響範囲が時には数 km にもおよんでいる。さらに図 14 に示した各河口の閉塞状況や構造物周辺の砂の堆積状況から漂砂の卓越方向が推定しうるようである。すなわち神通川以東では西向き、氷見以北では北向きであろう、しかし湾奥部の中間については明確でない。

2 底質分析

第 1 節において海岸踏査で得た資料をもとにして富山湾の海岸性状を概略的には握した。本章においては海岸性状についてさらに詳細な資料を得るため海岸より採取した砂の粒度分析、重鉱物分析をおこなった。そこで第 2.1 節においては粒度分析について、第 2.2 節においては重鉱物分析についてそれぞれ述べる。

2.1 粒度分析

a) 砂の採取方法

試料砂は図 1 にあげた踏査地点 78 か所のうち浜のある所から採取した。採取方法は直径 10 cm 長さ 15 cm のステンレスパイプをてい線付近に垂直に貫入させて内部に詰まった砂を採取した。なお参考のため後浜の先端付近からも同様の方法で採取した。

b) 砂のふるい分け

現地より採取した砂に赤外線ランプを照射して 3 日間放置し、砂を十分乾燥させた。その後ふるい目 0.088, 0.177, 0.25, 0.35, 0.50, 0.71, 1.00, 2.00, 4.80, 9.52, 19.10, 38.10, 10.50, 50.80 mm のふるいを用いて振とう式自動ふるい機により 30 分間ふるい分けをおこなった。

c) 結果

各粒径域にふるい分けられた砂の重量を直してんびんにてひょう量し粒度曲線を作成した。この粒度曲線からふるい通過百分率 25%, 50%, 75% に相当する粒度 d_{25} , d_{50} , d_{75} を求めた。冬季および夏季の実施分について図 15 にその結果を示す。この図において破線および二点鎖線によって示されたところは粒度分析を行わず、目測によったことを示すものである。なお参考のためふるい分け係数 $\sqrt{d_{75}/d_{25}}$ および偏わい度 $\sqrt{d_{25} \times d_{75}/d_{50}^2}$ の値も同時に図示してある。

d) 考察

図 15 をみると明らかなように富山海岸は白岩川を境として東は砂利浜海岸、西は砂浜海岸と大別される。白岩川以西では中央粒径 d_{50} はだいたいにおいて西にゆくに従って小さくなっている。これは波による底質の西方向のふるい分け作用によるものと考えられる。また白岩川以東については、粒径が目測により求められたため明確ではないが、中央粒径は河口付近では小さくなり、付近に大きな河川をもたないところでは大きくなっている。このことは白岩川以東の地域では沿岸方向の波のエネルギーが大きいいため細かい砂は直ちに運び去られ、上流からの排出土砂の供給に富む河口付近の地域のみで細かい砂が分布するためと考えられる。またこの図を全域にわたってみると、夏季の海浜における中央粒径は冬季のそれに比べて一般に小さい傾向がある。これは夏季の波のエネルギーが冬季のそれに比べて小さいことによる底質の季節的変動の度合いを示すものと解釈してよいであろう。ふるい分け係数についていえば波のふるい分け作用によってその値は河口から遠ざかるに従って、しだいに 1 に近づく状況が黒部川、早月川あるいは国分より北の海岸で一部みとめられる。しかしその他の地域では明確でない。偏わい度については一部の海岸を除いて砂浜海岸ではだいたい 1 に近く底質の粒度分布のかたよりが小さいことを示している。しかし砂利または砂れき

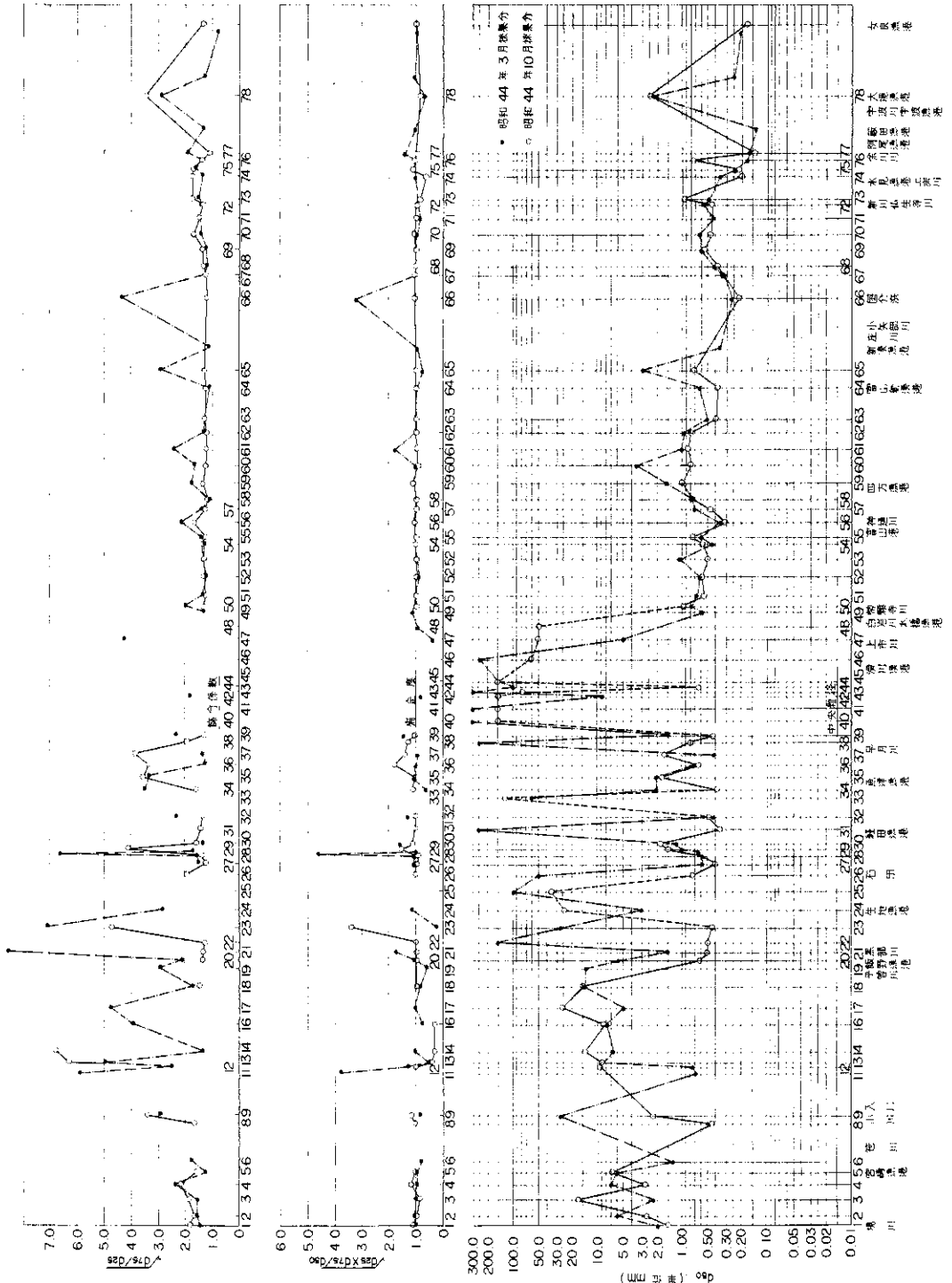


図 15 粒度分析

浜海岸では粒度分布がかなりひずんでいる地域が見受けられる。

2.2 重鉱物分析

現地踏査、粒度分析により海岸の浸食状況や漂砂の移動方向の概略を知ることができた。つぎに海浜を構成している底質がどこから運ばれてきたものか、すなわち漂砂源を追求する問題が残された。従来、この種の問題は底質の鉱物分析、または岩石中に含まれる天然放射能の分析等によって解析されている。著者らはさきに重鉱物中に含まれる天然放射性核種トリウム 228を利用して仙台湾における漂砂源および卓越方向の解析を試みた。富山湾においても同様の方法で現在実施中である。また鉱物分析法は分析にかなり専門的知識を要すること、および分析にかなりの時間を要することなどの理由から、これまであまり詳しい解析はおこなわれていないようである。しかしさきのトリウムの場合のように単一要素のみを追跡するのに比べて、重鉱物中の各種の鉱物を対象として、これらのパターンに注目すればさらに多くの情報量を得ることが期待できる。このような理由から本研究で鉱物分析をおこなった。二、三の興味ある結果が得られたので、これについて以下に述べる。

a) 重鉱物難法

砂の粒径—粒度分析をおこなった際的全粒径域において分析するのが理想的であろう。しかし、一般に砂の粒径が大きくなると重鉱物の含有量が小さくなる。また重鉱物の粒度が大きくなると、2種以上の重鉱物が互いに混合しあって見分けにくくなったり、顕微鏡下での光の透過度が低下する。さらに鉱物の識別に要する時間、労力も無視できない。このような観点から対象とする粒径域は代表的なものに限定する必要が生じた。そこで本解析には、鉱物分析に対しては0.088～0.177径の砂を適用した。なお念のため0.177～0.250mm 粒径域の底質についても重鉱物分析をおこなったが、鉱物組成比その他で同様の類似がみとめられた。

重鉱物の分離—内径30mmの大型ビュレットに約500gの四臭化エタン($\text{CHBr}_2 \cdot \text{CHBr}_2$ 比重2.95)を入れ、この中に試料砂20g程度を混合し、よくかくはんして数時間放置して、その後重鉱物が完全に沈下したことを確かめてからビュレットの底に沈んだ重鉱物をピッカーに流し出した。ピッカーに採取された重鉱物をメチルアルコール

にて十分洗浄し乾燥後ひょう量した。このようにして分離された重鉱物は一部は顕微鏡による重鉱物分析用の試料として、残りは天然放射能測定用の試料として用いられた。

b) 鉱物分析

分離された各試料について約500個の重鉱物が含まれるようにスライドガラス上に直径約15mmの円内に一様にまき、カナダバルサムを滴下しカバーガラスで押えてサンプルを作成した。カナダバルサムの固着後、偏光顕微鏡にて鉱物分析をおこなった。識別した重鉱物は緑角せん石、かっ色角せん石、普通輝石、しそ輝石、鉄鉱石、石英、長石、白雲母、黒雲母、ざくろ石、かんらん石、金紅石、電気石、その他の14種であった。また識別した重鉱物の数は1試料につき150～200個であった。

c) 分析結果

昭和44年3月に採取した底質についておこなった分析結果を図16の上欄に示す。この図において石英、長石以下電気石、金紅石に至る8種類の鉱物については、これら個々の重鉱物が他の4種類の鉱物の個数に比べて非常に少ないか、あるいはごく一部の限られた試料のみにしか含まれなかったため「その他」として取扱った。またその鉱物の表面の割れ目やきずが多くて光学的性質の調べがたいもの、2種類以上の鉱物が結合しているもの、あるいはこれら14種以外の新しい鉱物とか、重鉱物分離の際に混入した比重3以下の鉱物等を「不明」として取扱った。この図より白岩川を境としてその東西では重鉱物の組成比が対照的であることがわかる。すなわち白岩川以東では角せん石が多く、逆に以西では輝石類が多くなっている。このことは富山海岸が主として常願寺川以東は砂れきあるいは砂浜海岸、以西は砂浜海岸となっている事実とよい対応をなしている。しかし、以上の分析結果から沿岸の漂砂源およびその卓越方向を推定することは困難である。一般に緑色角せん石は花こう岩、花こうせん緑岩等の酸性岩に、かっ色角せん石ははんれい岩、かんらん岩等の塩基性あるいは超塩基性岩に、また普通輝石は火山岩に多く含まれているといわれている。富山県の地質図(図17)を見ると早月川以東の流域では花こう岩、花こうせん緑岩、流紋岩等の岩石が、また以西の流域では安山岩が目立っている。そこでこうした地質的特性を知って富山海浜の主な漂

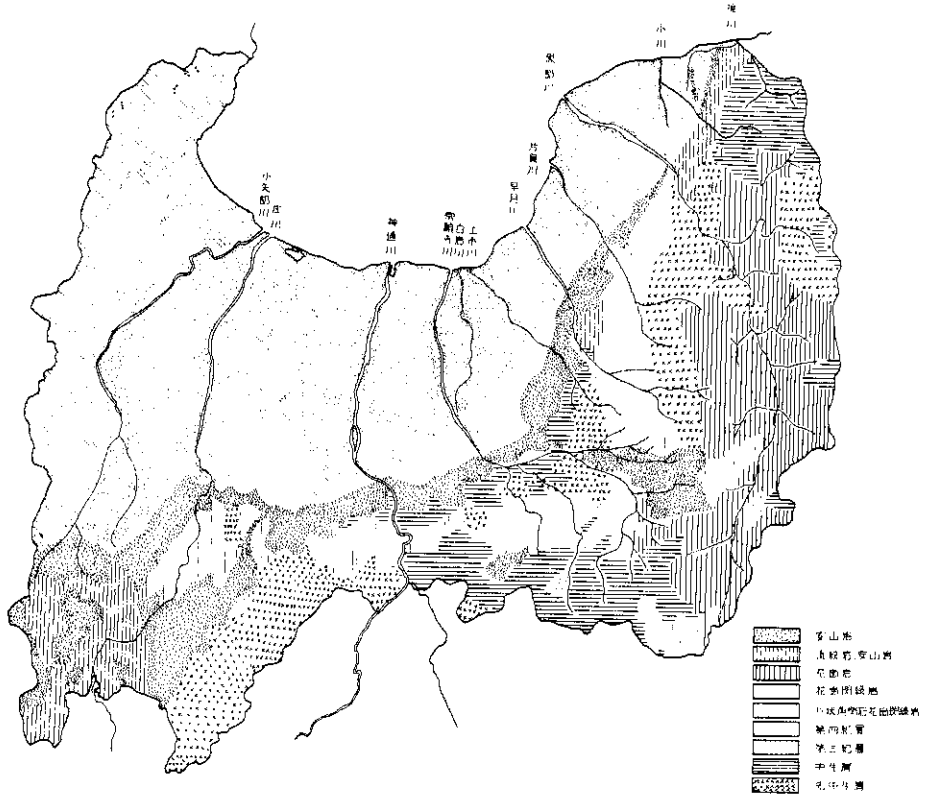


図 17 富山県地質図

砂源とおもわれる小川以下9河川の排出土砂の重鉱物組成を調べてみた。この結果を図18の上欄に示す。なお、この時採取した底質はそれぞれの河口より数百m上流にさかのぼったところの二、三点より採取された砂について分析したものである。この図より白岩川以西の川の重鉱物組成比は輝石類が多く、また以東の川では角せん石類が多くなっていることがわかる。これらの相異はさきに述べた富山の地質的特性よりみて容易に理解できる。さて図18の下欄において明らかなように、各河川間の重鉱物組成比はかなり特徴的である。そこでこれらの河川の各々の重鉱物組成比をその河川の特徴を示す要素とみなせば、いまここで求めようとしている漂砂源、卓越方向の推定に対するなんらかの指標となりうることが予想される。この考え方について以下さらに詳細をのべる。

d) 分析結果の解析

沿岸の漂砂がつぎの仮定のもとで生ずるものとした。

1)ある一地点の海浜は付近の河川よりの流出土砂により構成される。

2)対象重鉱物間の局所ふるい分けは生じない。

1)については漂砂の供給源は河川その他、沿岸の浸食によるもの、背後の陸地から風によって運ばれるもの、さらに外海から波によって打ち寄せられるもの等がある。しかし、富山湾の場合考えられるし、また海岸浸食によって漂砂源が生ずる可能性のあるところではそれを新たな漂砂源として取扱えば問題はないであろう。また2)については通常漂砂過程において底質間にふるい分けが生じ漂砂供給源より排出された砂はその比重や粒径の相異およびその他に応じて異なった運動をする。ところがこれからおこなう解析ではこの現象は好ましくない。このような問題点をできるだけさけるためには少なくとも粒径域が同じで、かつ類似の比重をもつ重鉱物のみ限定する必要がある。さらにこれらの重鉱物はどの試料にも比較的多量に含まれるものが望ましい。このような観

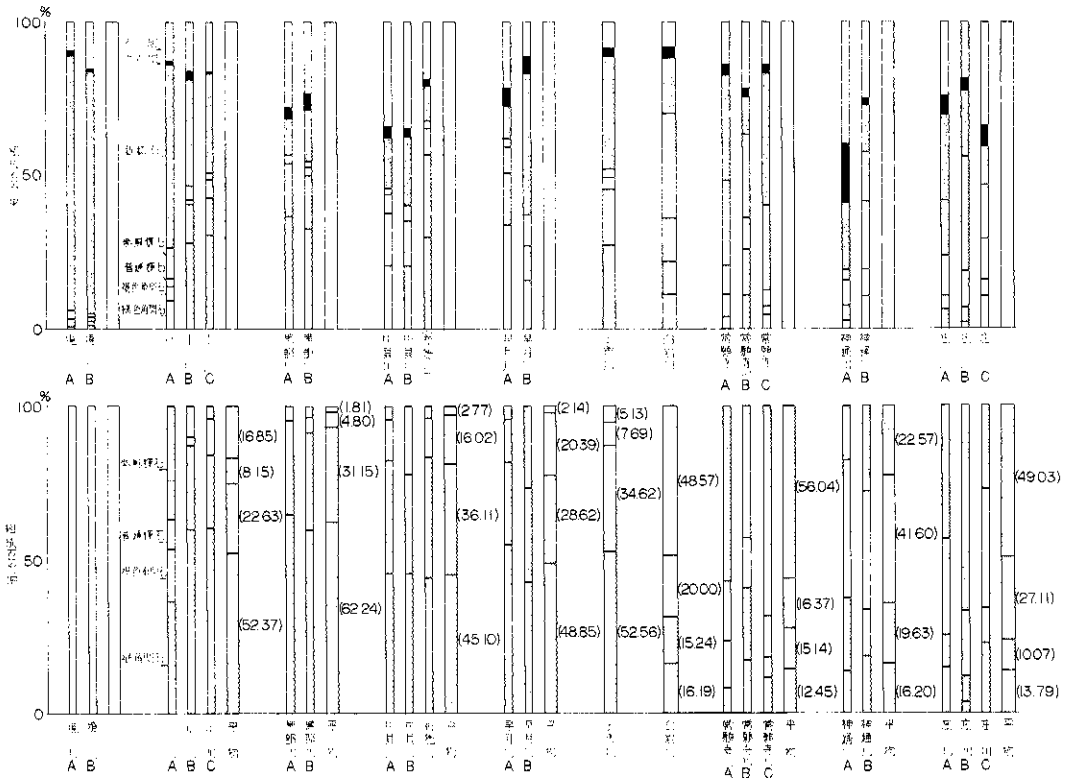


図18 鉱物分析(河川砂採取分)

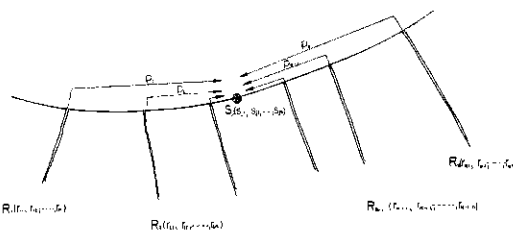


図19 海浜砂構成パターン

点から考えると、以上の条件を満足する重鉱物は緑角せん石(比重3.0~3.3)、かつ色角せん石(比重3.0~3.3)、普通輝石(比重3.2~3.6)、およびしそ輝石(比重3.3~3.5)の4種類になる。

鉄鉱石はどの試料にも多く含まれているが比重が4.5~5.0と他の4種類の重鉱物に比べてやや大きいことと、一般に鉄鉱石は選択的、局所的に集中する傾向があるといわれていることなどの理由からこれを除外した。こうして選ばれた4種類の重鉱物の組成比を改めて計算したものが図16の下欄、図18の下欄である。図18の下欄において

各河川ごとに点数より採取した砂の重鉱物組成はこれを平均し、その平均値をもってその河川の特徴を表わす代表組成比とした。また境川については鉄鉱石の含有量が多くて、これら4種類の重鉱物の数が少なすぎたためにこの計算から除外した。

いま海岸のある地点*j*における砂の供給源が R_1, R_2, \dots, R_n であるとし、これらがそれぞれ $P_{j1}, P_{j2}, \dots, P_{jn}$ (ただし $\sum_{i=1}^n P_{ji} = 1$) の割合で構成されているものとする(図19) そうすればさきの仮定から

$$P_{j1}R_1 + P_{j2}R_2 + \dots + P_{jn}R_n = S_j \quad \dots \dots (1)$$

と表わすことができる。ただし S_j は測点*j*における海浜砂の重鉱物組成比 ($S_{j1}, S_{j2}, \dots, S_{jn}$)

(ただし $\sum_{i=1}^n S_{ji} = 1$) を表わすベクトルを、また R_i ($i=1, 2, \dots, m$) は河川*i*の重鉱物組成比 ($r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}$) (ただし $\sum_{k=1}^n r_{ik} = 1$) をそれぞれ表わすものとする。

さらに m は測点*j*の海浜を構成している河川の個数、 n は対象とする重鉱物の個数をそれぞれ表わすものとする。いまもし $m=n$ であれば(1)式は次のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} P_{j1}\gamma_{11} + P_{j2}\gamma_{12} + \dots + P_{jn}\gamma_{1n} &= S_{j1} \\ P_{j1}\gamma_{21} + P_{j2}\gamma_{22} + \dots + P_{jn}\gamma_{2n} &= S_{j2} \\ \vdots & \\ P_{j1}\gamma_{n1} + P_{j2}\gamma_{n2} + \dots + P_{jn}\gamma_{nn} &= S_{jn} \end{aligned} \right\} (2)$$

したがって(2)式は

$$\begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \dots & \gamma_{1n} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \dots & \gamma_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \dots & \gamma_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{j1} \\ P_{j2} \\ \vdots \\ P_{jn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{j1} \\ S_{j2} \\ \vdots \\ S_{jn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

と表わせる。ゆえに(3)式より

$$\begin{pmatrix} P_{j1} \\ P_{j2} \\ \vdots \\ P_{jn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \dots & \gamma_{1n} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \dots & \gamma_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \dots & \gamma_{nn} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} S_{j1} \\ S_{j2} \\ \vdots \\ S_{jn} \end{pmatrix} \quad (4)$$

となる。(4)式において右辺の逆行列の各列は各河川の重鉱物組成比を、また右辺第2項の列ベクトルは観測点*j*における重鉱物組成比を表すものである。これら右辺の諸量は鉱物分析によって求められる量であるが、(4)式を各測点について計算すれば一つの漂砂源からの砂の到達限界、卓越方向の分布等が求められることになる。

ところがいまの場合重鉱物数 $n = 4$ であるのに対し、影響河川数 m は未知でこれを4個と限定することは容易でない。したがって(4)式を連立方程式として直接解くことはできない。そこで一つのシミュレーションとして、一応鉱物組成比が得られた全河川を漂砂源と考え $m = 9$ とし、各河川よりの土砂混合率 p_{ji} ($i = 1, \dots, 9, \sum_{i=1}^9 p_{ji} = 1$) を0.1刻みに0~1.0まで変化させ、すべての可能な限りの組み合わせのパターンを与えて(1)式の左辺より測色 j における重鉱物組成比 S'_j を求めた。このパターンは1測点について約40,000個与えられた。この各パターンにおいて得られる重鉱物組成 S'_j と S_j との間で4個の各重鉱物について分散を求め、この4個の分散の平均値 $\bar{\sigma}^2$ 、すなわち

$$\bar{\sigma}^2 = \{(S_{j1} - S'_{j1})^2 + (S_{j2} - S'_{j2})^2 + (S_{j3} - S'_{j3})^2 + (S_{j4} - S'_{j4})^2\} / 4$$

が最小になるパターンを選出し、この時の p_{ji} ($i = 1, 2, \dots, 9$) を測点 j における河川 i の寄与率とした。なお、比較のためこの分散の平均値 $\bar{\sigma}^2$ の小さいものから20個についての寄与率も同時に調べた。このようにして底質採取各点で河川の寄与率 p_{ji} を求め、これを図20に各河川別にプロットした。これらの点を実線で結んだものが各河川の排出土砂の影響範囲、各測点における底質の構成比と考えた。しかし、試料採取のかたより、重鉱物分析の誤差、ばらつきその他の原因のため、たとえば黒部川におけるように、その影響範囲が全域で4個あり、しかもこれらが互いに孤立する。このことは現実の現象をあてはめてみた場合不合理である。したがってこのように2個以上ピークが出て、しかもその間を結ぶ測点で2か所以上 $p_{ji} = 0$ になれば、河川を含む方を残して他を切り落とし、切り落した分を他の河川に割り振るという操作をおこなって部分的に修正した。図のハッチで示したものがその結果である。なお、神通川、庄川において測点51以上のところの白丸は神通川、庄川のみをこれらの地域の漂砂源と考えて計算した値である。また小川以東、庄川以西については漂砂源としての重鉱物分析ができなかったため、これらをまとめて2個の漂砂源として取扱った。

このようにして得られた結果をみると、各河川からの排出土砂の顕著な影響範囲は小川を除いてはだいたい10~15 kmであり、小川から西の神通川に至るまでの川では漂砂はいずれも西向きで、また庄川では東向きが卓越している。このことは、さきに述べた踏査結果をかなりよく説明していることがわかる。しかし図20の計算結果の各点のばらつきをみると明らかなようにハッチで示した分布を与えるにはかなり無理がある。とくに早月川、神通川、および庄川においてこの傾向が強い。これはさきにも述べたような各測点における採取砂のばらつきのほかに、図18に示す各河川の重鉱物組成比の決定にも問題があるようである。すなわち図18の下欄において明らかなように各河川における重鉱物組成は彩取点によってかなり差があり平均値の意味が疑わしい。このような問題点を避けるためには各河川よりの底質彩取点数を多くし、

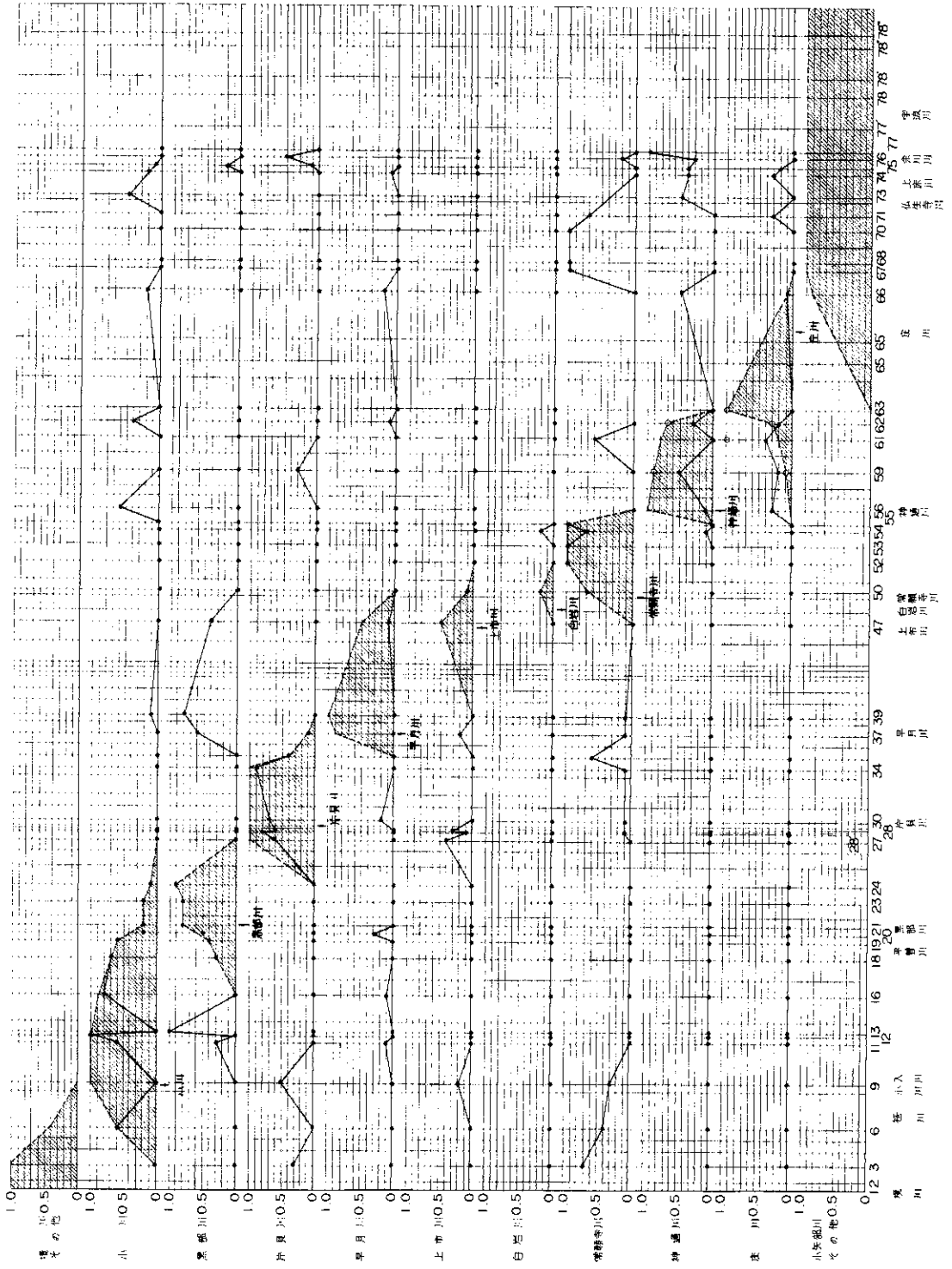


図20 礫物分析による礫砂源と礫砂卓越方向

また鉱物分析もこれに応じて増加することにより河川の重鉱物組成比の決定をさらに慎重におこなう必要がある。なお、これらの計算に研究所計算室のTOSBAC-3400を使用した。計算時間は1測点につき約5分間であった。

3. 結 論

以上の調査、分析からつぎのようなことが明らかにされた。

(1) 主として富山海岸は常願寺川以東は砂れき、常願寺川以西仏生寺川までは砂、それより西ではかけよりになっている。

(2) 富山湾の浸食は黒部川河口付近、および早月川付近において激しいようである。これは冬季に卓越するNNEからの波と海岸線の方向とに密接な関係があるようである。

(3) 常願寺川、神通川、庄川の砂浜海岸においても、NNEに垂直な方向に対してある程度傾斜をもつ左岸側ではいずれも決壊性である。

(4) れき、砂利あるいは砂浜海岸において、護岸より数m離して設置された異形ブロックは消波および砂れきの堆積に対し効果的に働いているところが随所にみられた。

(5) 漁港、港の防波堤による漂砂の阻止能力は大きく、その下手側では浜がないところが多い。

(9) 富山湾における漂砂は富山新湊港付近を境として以東は西向き、以西は南～東向きである。

(7) 砂浜の中央粒径は夏よりも冬のほうが大きく、夏と冬における波のエネルギーの相違が実証された。

(8) 砂れき海岸の河口部では砂や砂利が混合しているが、河口から遠ざかるに従って砂が沖に運び去られ海岸付近では砂れきが卓越する。

(9) 漂砂によって河口閉そくされる小川が多い。

(10) 護岸の脚部、突堤の先端の洗掘が目立った。

(11) れき浜、砂れき浜、砂浜の相異は河川の排出土砂の鉱物学的特性とよい対応をなしていることがみとめられた。

(12) 河川よりの流出土砂の影響範囲はそのほとんどが10～15 km程度である。

(13) 漂砂供給源としておもな河川をとりあげ、これらの重鉱物組成と各海岸のそれとの関係から現地の漂砂源、卓越方向、影響範囲をかなりよく説明できるようである。

以上述べたことが、昭和43年から44年にかけて2回にわたっておこなわれた現地踏査、および底質分析の結果である。なお2回目に採取した底質の重鉱物分析、および天然放射能を利用したトレーサ分析は、現在実施中であり、その結果は45年までの調査がすべて終了してから報告する予定である。

謝 辞

本調査は、富山県各土木事務所ならびに運輸省第一港湾建設局伏木富山港工事事務所の協力のもとでおこなわれた。また資料の分析、整理には本研究所浅川昭氏、および新保修氏に多大な骨折りを願った。これら関係者諸氏に深く感謝する所である。