

1. ま え が き

鳥取県米子市の皆生海岸で放射性同位元素を使用して漂砂の調査を実施したのは昭和32、33年であつた。同地域での漂砂に関する調査報告書として過去に昭和25年4月に提出された鳥取県漂砂対策調査委員会の「漂砂対策調査報告書」があるが、この報告書が基礎になって、当時の原子力平和利用の機運に乗り、放射性同位元素をトレーサーとして同地域での漂砂の調査を実施することになり、昭和31年度から33年度にかけて原子力平和利用に関する予算の配布を受け、中国地方建設局の倉吉工事事務所が主体となつて皆生地区の漂砂の移動調査が行なわれたのであつた。この調査の報告書として、第7回中・四直轄技術研究会での「皆生海岸における放射性同位元素による漂砂追跡実験について」および昭和34年3月建設省河川局「放射性物質利用現地調査成果報告書」がある。以上2つの報告書で皆生地区で実施された漂砂移動調査の全貌はつかめる訳であるが、多大の費用と労力を費して実施したこの調査の成果が、今後新たな角度から見て解析され、海岸工学に新たな貢献をすることを期待して、ここに同地域での漂砂調査に関する資料をまとめ、資料集として今後の役に立てたいと考える次第である。

この調査を担当した職員の氏名は次の通りである。

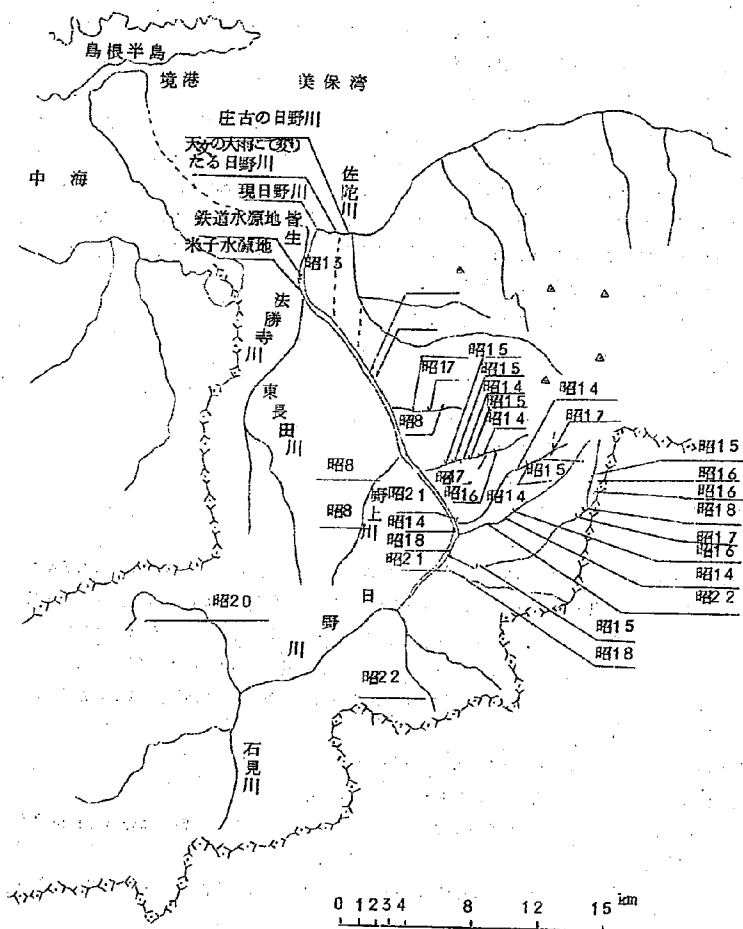
中国地方建設局	倉吉工事事務所長	坂井 秀 正
	同 工務課 調査係長	染 矢 聡
	同 工務課 調査係全員	
土木研究所	化学研究室長	有 泉 昌
	化 学 研 究 室	近 藤 紀

2. 調査地域の概要

皆生海岸は鳥取県と鳥居県の県境に位置する弓ヶ浜の基部附近を指し、附近に温泉が湧出するため皆生温泉として栄えている。この弓ヶ浜は図-1に示す通り延長1.8 km、最大巾員4 kmに及ぶ一大砂嘴で、基部に日野川を有し、突端に重要港湾境港を有している。この弓ヶ浜の砂嘴の生成、漂砂の堆積、海岸侵蝕の問題については、従来より皆生温泉の侵蝕よりの深掘と、境港口堆砂処理の為、気象、海象、ならびに環境状態の解明がなされていた。過去の調査で解明されたことは、大要次の通りである。

- (1) 大山火山の風化物と砂嘴を形成する砂とは同一物質である。
- (2) 冬期はN-NWの風が多く、夏期にNE-Nの風が多い。
- (3) 弓ヶ浜基部に於いて侵蝕が著しく（過去20数年の間に300 m）、突端部に於いて堆砂が著しい（約60年間に150 m）。
- (4) 上流部に於ける砂防工事が侵蝕に影響していると思われる。（右支川中流部に於いて昭和8～21年迄に34ヵ所）
- (5) 砂粒の分布は日野川附近に於いて1mm以上が52%、境に於いては1mm以上は殆んど見当らない。

図 - 1 弓ヶ浜日野川流域一般図



以上綜合するに、従来、日野川より排出されて皆生海岸に堆積し均衡を得ていたものが、砂防工事、その他の影響により排出土砂量が減少し、北東卓越風により、基部が侵蝕され、突端に堆積しているだろうことはうなずけるのである。

美保湾口は、北東に面しているため、北西の風は影響がよくないと考えられる。

海流については、当初山陰沖数10kmを東流する対馬海流の反流により、漂砂が東から西に向かつて流れるのではないかと考えられていたが、運輸省第三港湾建設部の調査の結果では、一定の流れはないとされている。

3. 調査の目的

上述した様に、概略的な傾向は説明せられているというものの、更に海中の深砂の動向を適確に把握しているとは云い難く、具体的、且つ正確に測定するために、放射性同位元素（以下R、I、と略記する）による方法は可能であるかどうか、砂の移動は風、波、潮流と如何に結びつけることが出来るか、海底の砂はどの様な経路で移動しているか、等々の諸問題を解決するために、本調査を開始したものである。

4. 皆生海岸の一般条件

(1) 海岸の現状

過去の海岸の状況の変化等は既に概要で述べた所であるが、現在の①汀線、②横断、③深浅図等の変化を比較してみると（図-2～4）の様になる。

1) 汀線図について（図-2）

汀線図よりその変化をみると、昭和25年には河口附近がえぐられて東に砂洲がついているが、同27年には現在よりも大きく、全体的に侵蝕をうけている。

このことは日野川よりの土砂供給が不十分となると、養護所附近より、西部の地区の汀線は非常に不安定なことを示しており、突堤のみで、この汀線を安定させることは不可能で護岸の必要なことは明らかである。

昭和30～32年迄の汀線は、略々一定しており、安定している様に見受けられる。なお、現在の顕著な現象として、31年度に鳥取県が施工した護岸工附近の砂の堆積は非常に大きくなっており、護岸工東端より東側では若干の侵蝕が見られる。

ii) 横断面、深浅図について（図3の1、3の2及び4）

横断面及び深浅図は、一応時期的な傾向を考へて、昭和24年4月に測量したものと比較してみた。これによると、昭和24年に測定した複雑な線はなくなり、単純なコンターラインを描いている。サンドリツヂ附近の詳細は、今度測定したのでは現われていないが、これは冬期で非常に波浪が高く計測出来なかつたものである。又、昭和24年の測量ではサンドリツヂの位置は、基線より200m～300mの附近に現われているが、今回の場合は、150～200m附近迄、汀線に近くなっている様に思われる。

(2) 底 質

岸線より海岸に直角に引いた距離で粒径分布を描くと図-5の線になる。この図は、昭和31年設定基準線（以後新基準線、旧基準線とする）底3、底4、底5より21ヶ所を取つたものであるが、300m附近は沖に行くに従つて粒径は小さくなり、400m（水深7m以上）になると大体一定してきてd 60で0.2mmとなつてゐる。圖中水深は底3線上のものを取つたものである。

(3) 風向、風速

皆生海岸に於いて実測した風向、風速は資料が多くないので、一応昭和28年度に米子商標所が観測したものを図-6に示す。これによると風向、風速共に、漂砂に最も影響すると思われるNE～ENEの風が大であることが判る。また参考として昭和12年4月より同14年3月までの皆生海岸における風速頻度及び海風と陸風との比を表-1に示す。

表 - 1

風速頻度及び海風
陸風 表

昭和12.4～14.3

事 項 \ 年 次	12.5	6	7	8	9	10	11	12	13.1	2	3	4
5 M/S以上風程	320	128	132	124	176	166	186		308		230	336
海風 GOMP	0.739	2.193	1.353	1.215	2.164	2.036	1.386		0.569		1.910	0.730
海風 風向を考 え ず	0.85	2.00	1.16	1.44	1.88	2.02	1.38		0.77		1.69	0.81

5	6	7	8	9	10	11	12	14.1	2	3	4
152	140	124	184	128	348	176	246	250	210	316	
0.665	1.707	1.791	2.543	1.459	2.603	0.515	0.387	0.518	0.996	1.257	
0.70	1.94	1.60	1.54	1.65	2.20	0.92	0.48	0.87	1.11	1.38	

(註) 海風 GOMP、皆生海岸の海岸線は略々ENE～WNWの方向である事より

陸風 (海風の回数×海岸線に直角、即NNE～SSWの分速度)

と(陸風の同じ値)との比

圖-2 皆生海岸汀線圖

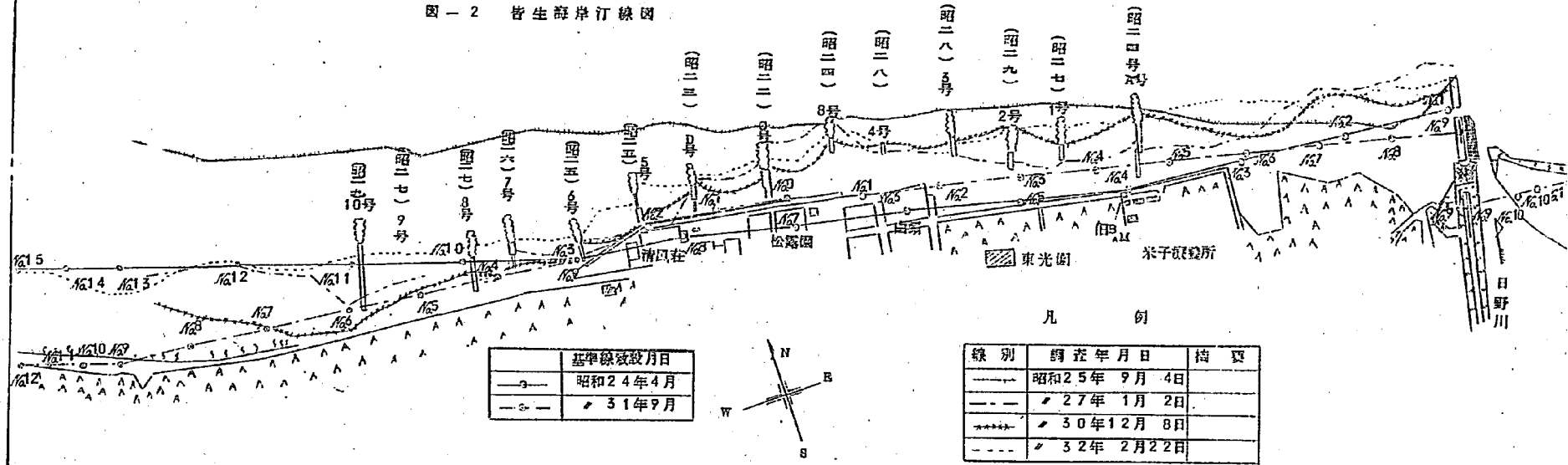


図 - 3 の 1 寄生海岸横断面図 (1)

実線旧横断 点線新横断
(横尺：横1/5,000 縦1/500)

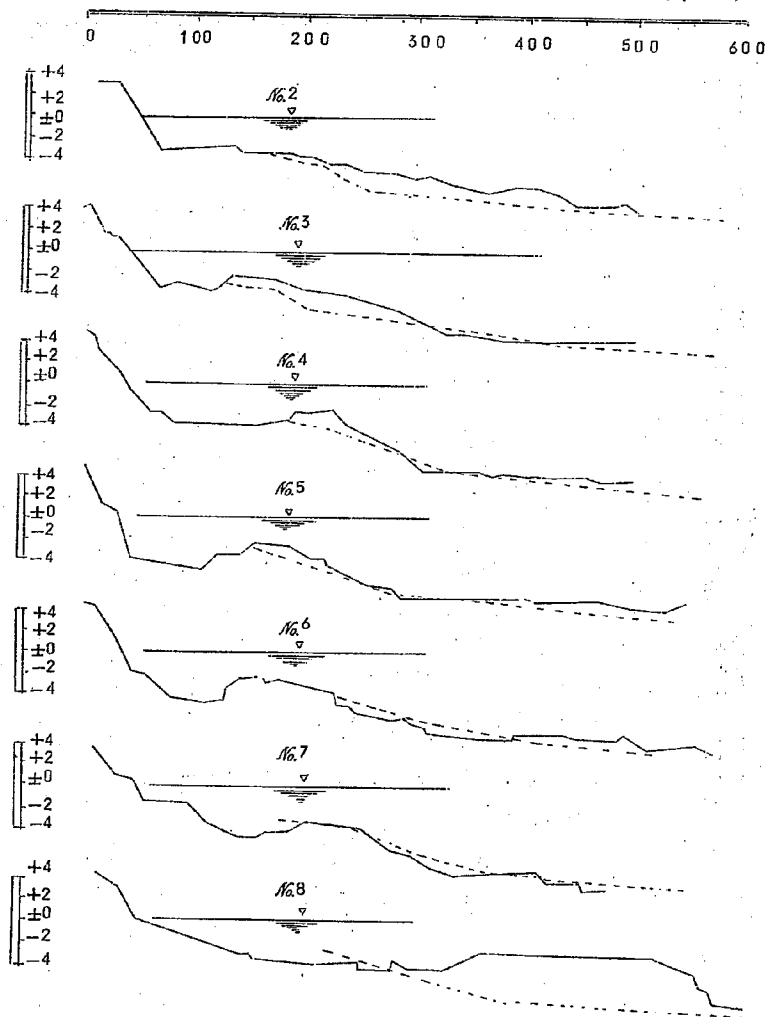


図 - 3 の 2 皆生海岸横断面図 (2)

実線旧横断 点線新横断
(縮尺: 横 1/5000 縦 1/500) s24.4 s32.2

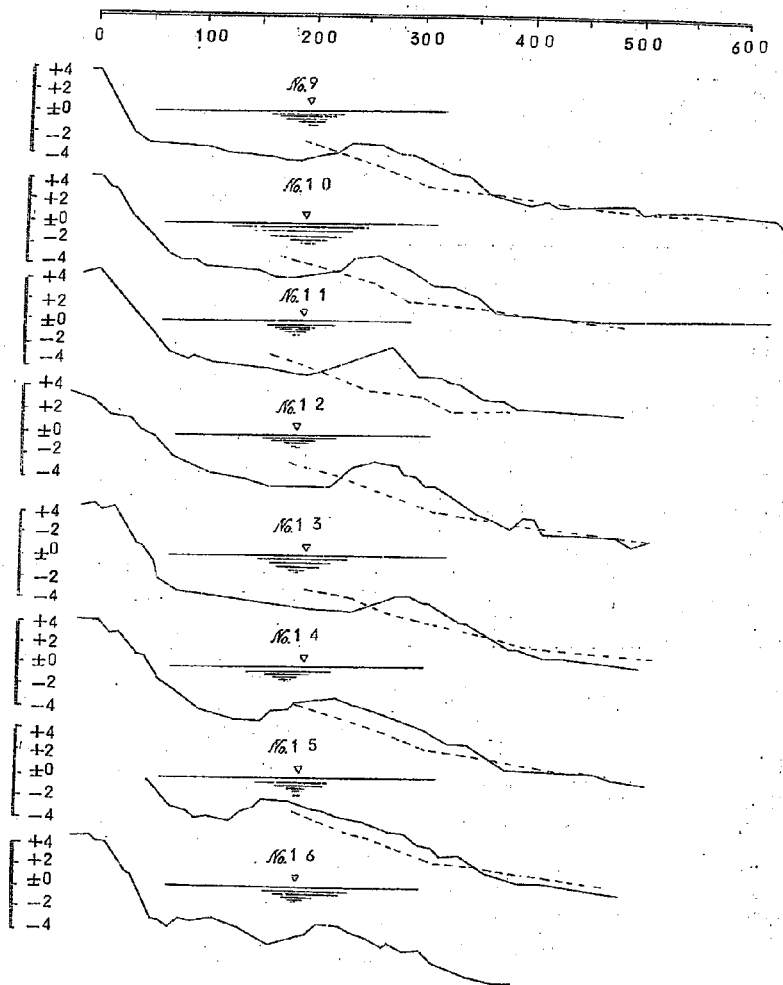


圖 - 4 皆生海岸深淺圖

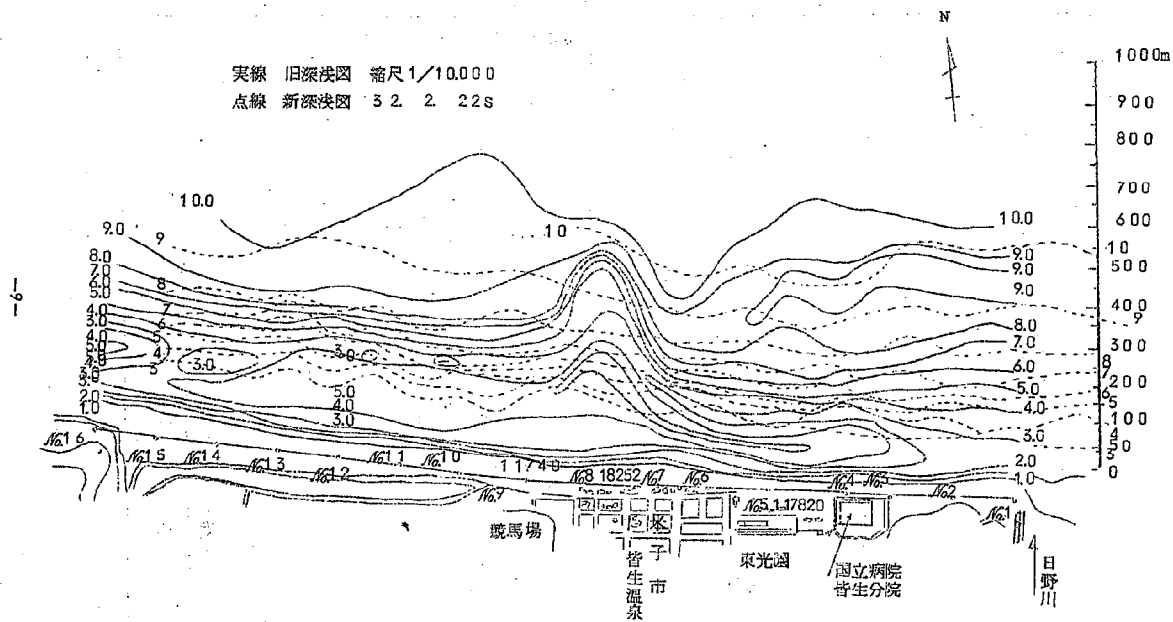


図-5 粒度分布図

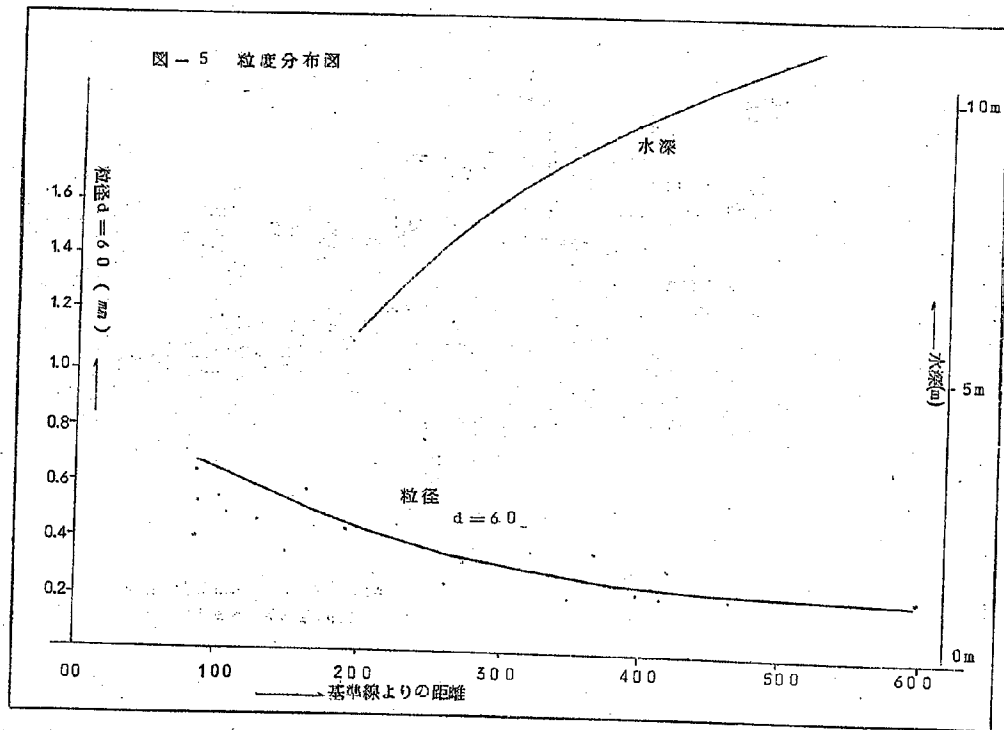
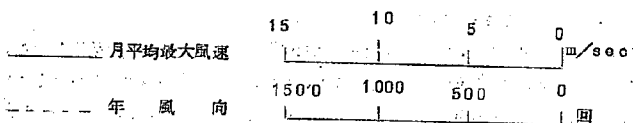
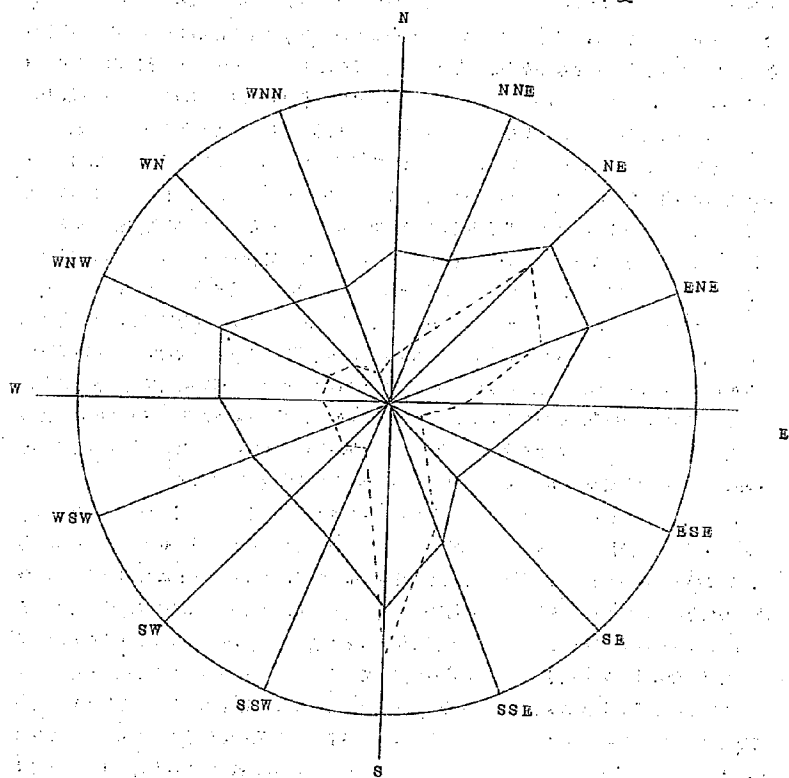


图 - 6 皆生海岸風力图

昭和 28 年度



5. 調査に使用した放射性砂

漂砂の運動機構を調査する手段として漂砂そのものに標識をつけるとか、漂砂と物理的性質を一致させた物質を漂砂に混入するとかのトレーサー法はかなり諸外国でも普及している。このうちの主なものは漂砂にエナメルを塗って着色する方法、同じく蛍光物質を塗布する方法、漂砂と比重、粒径を一致させた着色物質を使用する方法等であるが、そのいずれもが、漂砂の運動を調査する場合に試料採取を必要とし、実験室内で試料中に存在している標識物質の量又は数を測定せねばならない。これに対し第2次世界大戦後その使用が普及して来たR.I. をトレーサーとして使用する方法は上述したR.I. 以外のトレーサーと比べて、漂砂の移動状況を追跡するに当って試料採取を必要とせず、海面上の観測船から放射能測定用プローブを海底に垂下して直接その分布を調査し得るという利点がある。しかしR.I. をトレーサーとして使用した場合、上記の利点に対して、放射線障害の問題が出てくる。すなわちR.I. を入手してから海中に投入するまでの過程と、海中に投入後漂砂と共に運動分散し、放射能強度が或るレベル以下に低下する過程における危険性である。

R.I. を入手して海中に投入するまでの過程において、放射線の被曝量を最小にするには取扱い上の注意は勿論であるが、R.I. トレーサーの製造に当って放射化法を採用することが必要である。すなわち漂砂追跡用R.I. トレーサーの製造法には2つあり、1つはガラスを溶解し、これにR.I. を混入し、固化後粉碎、粒度を調整するもので、他の1つは、ガラスの中に放射化され易い元素をあらかじめ混入しておき、粉碎、粒度を調整後、原子炉中で中性子により放射化する方法である。前者はR.I. 混入後粉碎、篩分等の過程でかなり危険性が高いが、後者は放射化完了後直ちに使用でき充分な準備を行なつて取扱えばほとんど放射線の被曝は免かれ得る。したがって本調査では放射線による危険性を充分に考慮して、R.I. トレーサーの製造は放射化法によつた。

R.I. トレーサーを海中に投入後、それは漂砂と共に運動して行くが、まだ分散が充分に起らない間はかなり放射能強度が大きい。したがってこのトレーサーを含む漂砂が海浜に打上げられる場合、そこが人の立ち入る場所であれば当然放射線の被曝の問題が生じる。海中にR.I. がある場合は、海水そのものがかなり放射線の減衰効果を持っているので、ほとんど問題は無いと考えられる。R.I. トレーサーを使用するに当って以上のような事を考慮すれば、理想的には使用するR.I. がほしい漂砂の調査期間と同じ程度の半減期を持つていることが望ましい。このことからたとえば ^{90}Sr は半減期が5.3年で長く、漂砂調査用トレーサーとしては不適当であると考えられる。漂砂調査用のR.I. トレーサーとしては上述のように調査終了後の調査区域の汚染を最少限に止めるべく、数十日程度の半減期をもつR.I. を選ぶべきである。本調査においては半減期の点においては必ずしも理想的とは云えなかつたが、半減期250日の ^{65}Zn と、85日の ^{90}Sr を使用した、このR.I. の特性を表-2に示す。

本調査に使用したR.I. トレーサーは上記の ^{65}Zn または ^{90}Sr をガラスに含ませて作つた。すなわちZnは ZnO の形で国産化学試薬を、Srは SrO_2 の形で工業的純度のものを5gカナダより輸入したものを使用した。これらはそれぞれ化学試薬の SiO_2 、 CaCO_3 等と混合しガラスを黒鉛ルツボで試製し、比重を測定し、現地産の砂と同一比重にするために Pb_3O_4 を加えて求める

表-2 使用した標砂トレーサー R I の特性

原子番号	記号及び元素名	質量及び存在比	R I の製法および熱中性子放射化断面積	半減期	放射線の種類及びエネルギー (MeV)	本調査に使用した量	左に対する費用 (製作、輸送、放射化) を含む
30	亜鉛 Zn	64-48.89% 66-27.81% 67-4.11% 68-16.57% 70-0.62%	Zn ⁶⁴ (n, γ) Zn ⁶⁵ 0.44 ± 0.05 バーン	250日	β ⁺ 0.325 EC γ 1.120, 0.21	200 mc	374,000 円
21	スカンジウム Sc	45-100%	Sc ⁴⁵ (n, γ) Sc ⁴⁶ 10 ± 4 バーン	85日	β ⁻ 0.36, 1.2 γ 0.87, 1.12	32年 180 mc 33年 300 mc	203,000 円 117,000 円

(註) β⁺ : 陽電子, β⁻ : 陰電子, EC : 電子捕獲型 γ : γ線

Sc の 33 年の金額が安いのは 32 年に製砂したものが英国に留めてあり、それを使用したためである。

表-3 ガラス分析値

物質名	数 量 (%)	物質名	数 量 (%)
SiO ₂	68.90	Fe ₂ O ₃	0.013
Na ₂ O	15.29	硫酸減量	0.25
CaO	7.80	MgO	trace
ZnO	6.25	BaO	0.00
PbO	1.34	B ₂ O ₃	0.00
Al ₂ O ₃	0.12	As ₂ O ₃	0.00

ガラス成分を決定した。ガラスの原料の配合はZn ガラスについては表-3の通りで、大型黒鉛ルッポで約5 kgのガラスを造り、良質部を粉碎、篩分けした。ガラスは0.297mm~0.420mm、0.71mm~0.840mmに篩分けした。次にガラス粒にどの位の比放射能を与えるべきかを検討することとし、ガラス砂の粒(0.28平均径)1個を換出する為に10⁴ dpmの放射能を必要と認め、さらに安全率を考えて10⁵ dpmを与えることにした。1μCiは222×10⁵ dpmであるから、砂の1粒は0.054μCi程度の放射能を与えることとなる。粗い方はその容積に比例してその放射能は大きくなる。

ZnO または SnO₂ を混合、溶解し、粉碎、篩別した試料は、ZnO ガラスについては米国アイダホ州のアルコ研究所に、SnO₂ ガラスについては英国のハーウェル研究所に送附し、中性子照射を行ない、Zn または Sn について所定の放射能強度が得られるようにした。中性子照射が完了と同時に放射化されたガラスの構成成分たるナトリウムの放射能が減衰するのを待つて送り返されて来た試料は倉吉工事業務所の構内に設けたR.I 貯蔵庫に収納した。放射化後のガラスは褐色に変色していたが、ガラス粒の形状には細粒(0.297~0.420mm)、粗粒(0.71~0.84mm)ともに変化が無いことを認めた。なお放射化後におけるZn または Sn についての全放射能強度、およびその費用を表-2に示す。

6. 調査に使用した諸器具、機械の概要

この調査においては種々の海岸調査用の器具の他に、放射性のガラス砂を貯蔵、取扱い、投入するための特殊な器具を必要とした。これらは日本でもあまり経験がなかったものだけに、かなりの工夫を必要とした。以下この調査において使用した諸器具、機械の概要について述べる。

(1) R.I 投入器

最初写真-1に示すような投入器を試作し、内部には先端に鉄線を取付けたポリエチレン製の袋(直径8cm、長さ20cm程度)を装置し、この中にR.Iを入れて写真-23、に示すような順序で投入する予定であった。ところが実験の結果では約10%が袋に附着、引き上げる途中及び水面で落下することが判った。若しR.Iが一点に全部投入されない場合、その地区に於ける

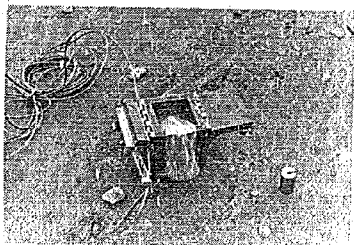


写真-1

ポリエチレン製袋を取付けた R・I。
投入器の内部右端に有るのは開蓋用
伝達子。

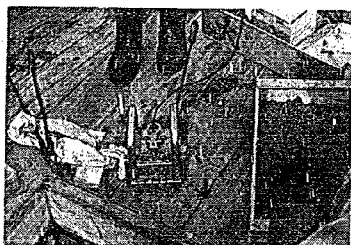


写真-2

投入器の上面
両側の爪で蓋を閉じる。



写真-3

投入器の開いた時の状態
伝達子がワイヤを伝つて上部のピン
を押すと両側の爪が外れて下側の蓋が
開く。

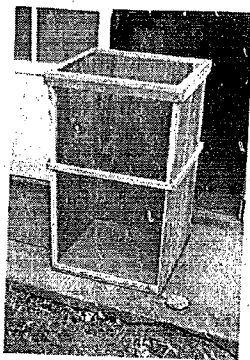


写真-4

投入器用実験水槽
60×60×100cm

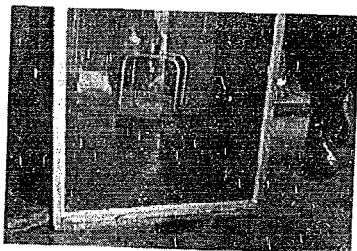


写真-5 爪が外れて蓋が開いた瞬間
実験の際はR、Iの代りに砂をマチツクイ
ンクにて赤色に染め、その拡がりを観察した。

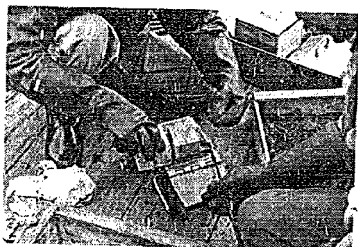


写真-6

木片を器内に入れて砂の
壁を作る。

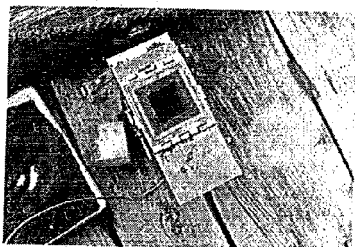


写真-7

砂の壁が出来たところ。底部に
も1cm程度の厚さに砂を敷く。

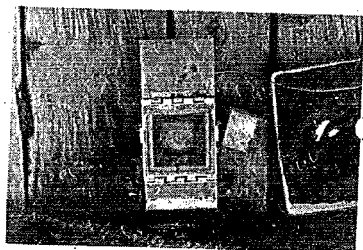


写真-8

この中にR、Iを詰める。



写真-9

石鹼液にてR.I.を飽和させ、気泡を追い出す。

査査は誤差の多いものとなる。したがって以上の欠点をなくする為写真-4の如き水槽を作り、写真-5に示す様な実験を繰り返した。その結果ポリエチレン製の袋を除去し、器内に厚さ1cm程度の普通砂の層を作り、次に側壁も写真6~8に示すように作る。次にR.I.を入れ写真-9に示すようにこれに石鹼液を入れR.I.中の気泡を追い出し、砂粒子の浮上を防ぐ。この上を更に普通砂にて覆いR.I.を封入する。こうして投入器の準備を終り、所定の位置に吊り下げ投入したところ、99.8%以上が図-7に示すように直径30cm以内の円の中に落下することが判明した。

(2) レートメータ、プローブ、レコーダ

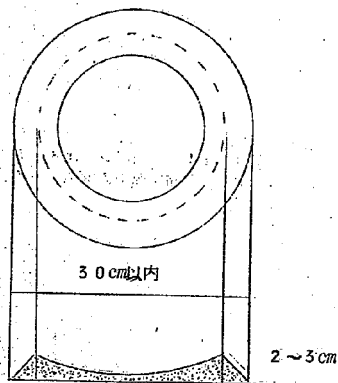
レートメータは神戸工業製R.M-30を用い、海水の侵入を防ぐため気密箱中に入れた。プローブも同社製のもので、宇宙線用G.M.管G.M-210型2本を気密箱の中に収納し、これを長さ1.4m、巾40cmの写真-10に示すようなステンレス製舟型プローブに収め、これに水を注入して海底を曳行するようにした。しかしこのプローブで海底を曳行すると海底の状態を乱す恐れがある為と、測定の決定が困難な為、外箱を取除き、その代りに厚さ1.5cmの鉄板をもって周囲をめぐらし、外側よりの影響を半減させ一点一点について測定した。

レコーダは横河電機のKR-1型を使用した。使用したレートメータ、レコーダを写真-11に示す。右がレートメータ、左がレコーダである。

(3) R.I.貯蔵庫

R.I.貯蔵庫を写真-12に示す。この貯蔵庫はコンクリート製、壁厚、蓋、共に厚さ20cm、

図-7 投入後の砂の分布



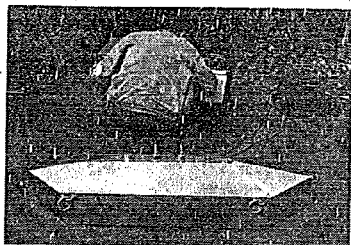


写真-1-0 海底用プローブ

Probe 両端のリングにて吊り下げる。

上部内側はコード引出しナット、その両側のナットを外して水を注入する。



写真-1-1 右がリードメーター、左がレコー

ダー、予備実験中の写真である。

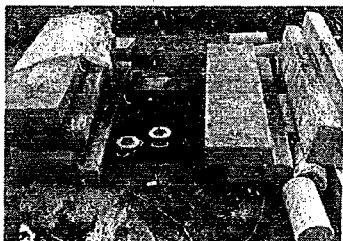


写真-1.2 R-I 貯蔵庫

内部に見えるのがR I用鉛容器。

内法は $80 \times 80 \times 50$ cmとし2/3を土中に埋設した。なお、又内部には紙板を並べて雨水の浸水を避けた。放射化が完了し、倉吉工事事務所に送附されて来たR.I.は肉厚5cmの鉛容器に入れ、貯蔵庫に収納し、蓋で蔽つた。なお貯蔵庫の外部は60°角の柵を設けて、人の立ち入りを禁止した。⁵⁵ ^{210}Po の200mCiを収容して蓋の直上で放射線率を測定した結果は4mr/hrで、当時の最大許容線量率の6.25mr/hrより小であつたため、R.I.の貯蔵による危険は無いと考えられた。

(4) 遠隔操作器

当事務所にて製作したもので、長さ約70cmのヤットロ状のものを7種類作り、全てこれに依り操作した。

(5) 超短波無線電話器

463M.C.の無電機を借用し、米子に開局して、陸上と海上の連絡に便する様にした。これによつて連絡のミスによる調査結果の誤りが激減した。

(6) 超音波測深機

沖電機製ヒロメーターを使用して測深測量を行つたが、これによつて連続的に深さの変化をつかむことが可能となつた事は、調査の成果を確実にするのに非常に役立った。

(7) 発電機

発電機は写真-13に示すような2KWの携帯用発電機を2台準備した。200W程度の電力を必要としたが、全然電圧降下に依る影響はなかつた。

(8) 底質土用サンプラー

底質調査用のサンプラーは、位置的にやや不完全であるが、写真-14に示すように測深用重錘に空罐3箇を取付け曳行採取した。

(9) 波高桿及び原点

波高桿は最初図-8の如きものを作り、波高、波向を同時に観測できるように計画したが、設置に失敗したため取止め、あらためて写真-15および図-9に示すような簡単なものを製作設置した。この波高桿は竹製で8mのものを2本組合せ、浮子として4mのものを2本結合し、500kg程度のコンクリートアンカーに $\phi 32$ mm $\times 4$ 本の麻縄にて連結した。なお麻縄がねじり切れるのを防ぐ為、麻縄の両端に自由回転子を取付け、流失を防ぐ為に40kgの錠を1本このアンカーに連結した。でき上つた波高桿は直径8cm、長さ10mで50cm毎に色分けして波高を直接観測した。原点は直径8cm、長さ8cm程度の浮子のすぐ下より3本のロープを出し、それぞれに8kgの錠をつけて図-10に示す位置に設置した。これはR.I.投入地点を明示し、R.I.拡散状況を調査するためのもので、波高桿と原点との間にR.I.を投入し、間縄にて測距し、舟の位置、すなわち測定箇所を明示することとしたものである。

(10) その他の器具および施設

ブローブを吊上げ又は下げる為に、写真-16に示すように般にテレツキ及びウインチを製作取付けた。船は2隻使用し、之には観測用の諸機械を全部積込んだ。船は5.7tの木造10坪船

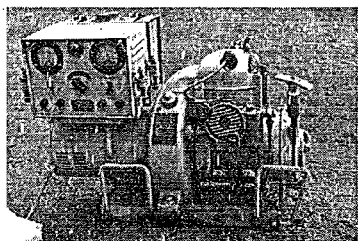


写真-13

発電機

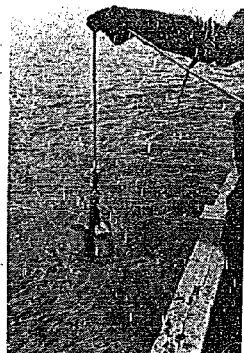


写真-14

底質土用サンプラー

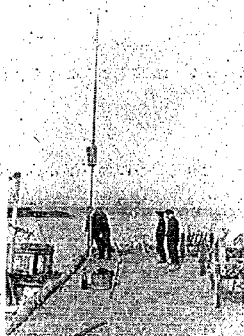


写真-15

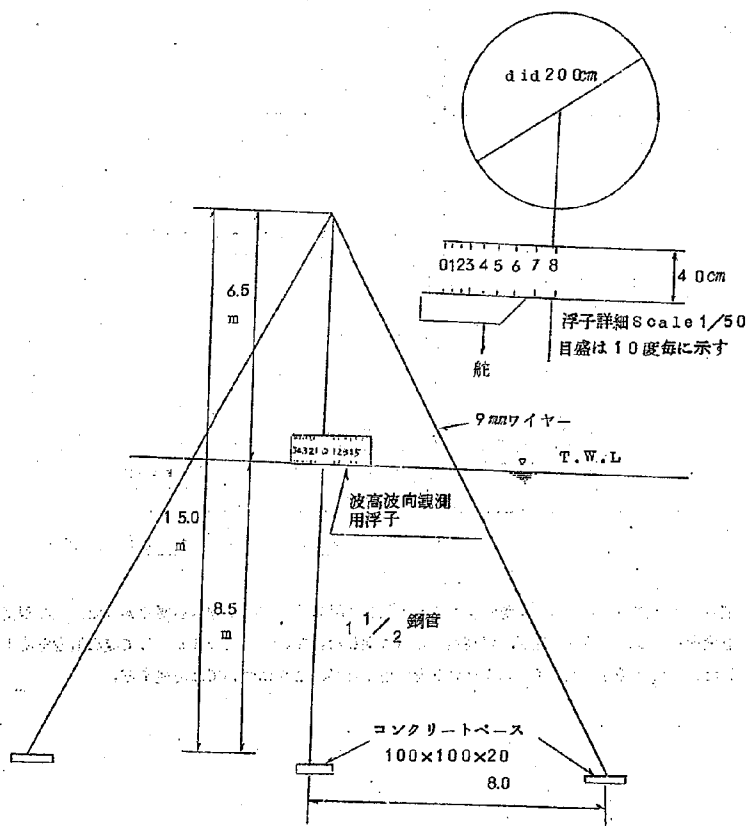
波高桿



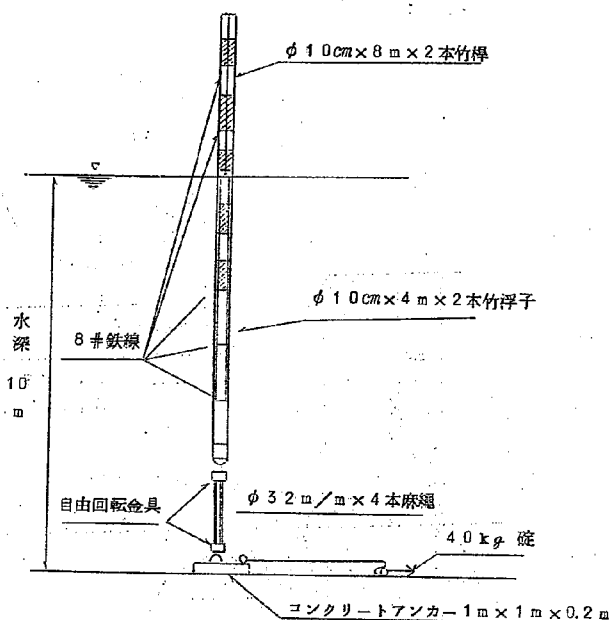
写真-16

観測船

図-8 波高棒図 (取止めたもの)
Scale 1/100

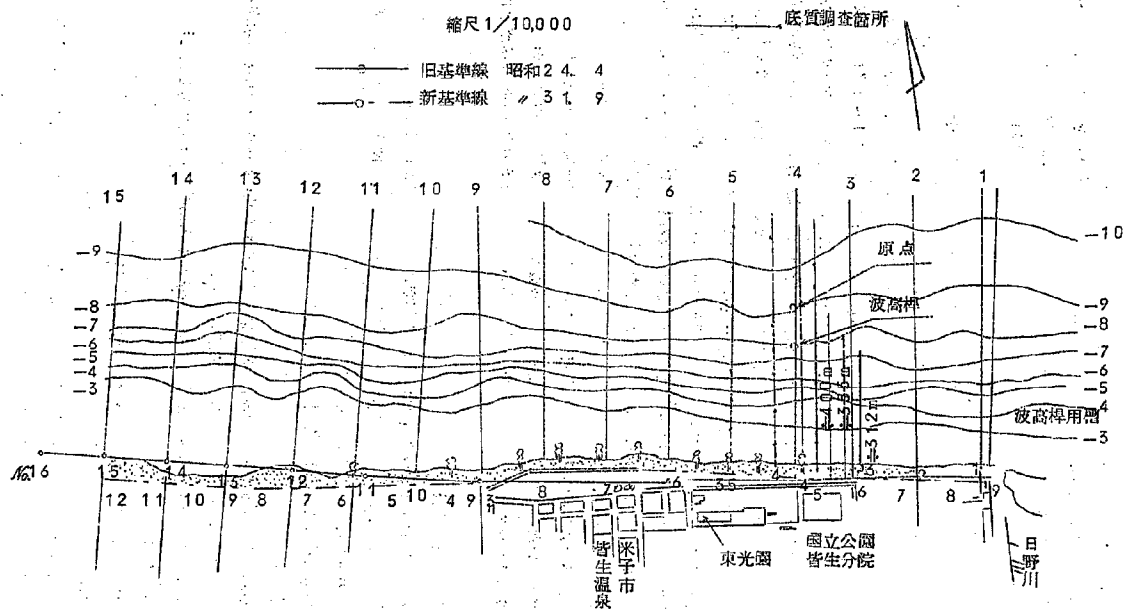


図一 波高棒構造及設置図



玉エンデン付である。他の1變は2tで投入及び使用には絶対に2變は必要であつた。また観測小屋を設置し、物品置場及び、波高観測の用に供した。なお観測船の基地として淀江漁港を使用した。また海底用X線フィルムカセットを使用した。これについては後述する。

図-10 波高桿及び原点設置地点



7. 予備実験とその結果

本実験の開始に先立ち、倉吉工事事務所において R.I の既知量を砂中に埋め込み、プローブで様々な位置で測定し、R.I の検出限界についての試験を行なった。これに使用した R.I は Zn^{65} の粗粒 10 粒で写真-17 のようにしてビニール袋に入れたものを使用した。R.I は砂中に深さ 0、5、15、20、25、30 cm に様々な位置に埋設し、その上にプローブを載せて計数値を測定しその場所での自然計数値を差し引き、正味の計数値を求めた。予備実験を実施した倉吉工事務所構内では自然計数値は 15~19 cps を示し、今回の漂砂調査の観測船の基地となつた淀江では 8~10 cps であつた。この予備実験の結果を図-11~17 に R.I の埋設深別に正味の計数値で示す。なお写真-18、19 に予備実験の状況を示す。図-11~17 において計数値のコンターが滑らかな線を示していないのは、測定時に於いて、宇宙線及び場所的な影響の為に一時的に大となり、又は小となる為で、自然計数に近い値を示す時、即ち表の数値が小さい時程その影響が大きく、R.I に依る影響が大きくなる時は表われていない。然し後者の場合でも放射線粒子が等時間間隔に出て来るものでは決してなく、一般にポアソン分布をなしており、当然計数処理の問題が出てくるのであるが、ここではそれ迄の精度を要求されないで省略する。又中心の位置が偏っているのはプローブの中に装置された GM 管の位置に依るもので、実際には差支えない。図 18、19 は代表的な三点を選び、砂中の深さと強度を示すものである。

以上の結果より R.I の砂 1 粒でも、それが表面にある場合では、海底にあつて充分プローブに感じ、自然計数と区別できることを確かめた。なおこの予備実験は当初設計したステンレス製のプローブを用いたものであり、その後製作した鉄板製のプローブについては実施していないが、このものはステンレスのものに比べて計数効率は高いため、この予備実験の結果は充分目安になり得る。

8. 漂砂調査の経過

この調査における漂砂の追跡は昭和 31 年度に ^{65}Zn 50m ϕ 32 年度に Zn^{65} 150m ϕ 及び ^{80}Br 180m ϕ 、33 年度に ^{80}Br 約 300m ϕ を 夫々投入して行つた。投入位置及び追跡期間は表-4 及び図-20 の通りである。

これに附随して次のような調査を実施した。

気象調査

- (1) 昭和 22 年~31 年 10 年間の米子測候所に於ける風向風速を調査しその傾向を調べた、なお 32 年以降についても 33 年末まで継続した。
- (2) 32 年 10 月 16 日~12 月 25 日間の皆生海岸に於ける風向風速を調査し、米子測候所に於けるそれと比較した。
- (3) 米子測候所に於ける風の吹続時間を調査した。

波浪調査

- (1) 波高槽を設置し波高及び海浜流を調べようとしたが、槽の転倒相次ぎ且つ漁業槽の問題から失敗放棄せざるを得なかつた。

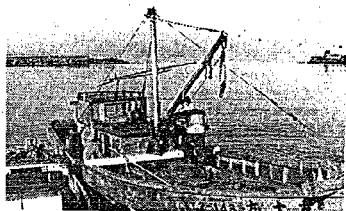


写真-17 RI 砂をビニール袋に入れる。°



写真-18 予備実験

手前がブロープ後方砂を盛り上げたところに RI を埋没し、ブロープを砂の上に載せて測定した。



写真-19 予備実験中の写真

図-11 正味計数値 (cps) の分布(1)

深さ 0 cm

(前)

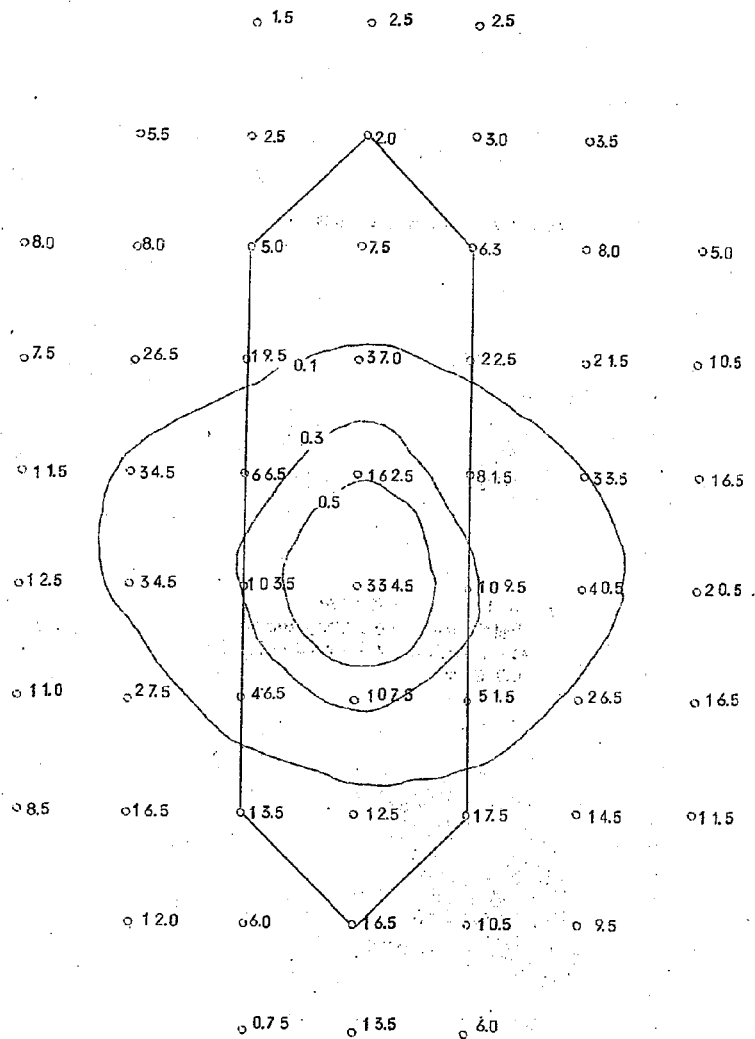
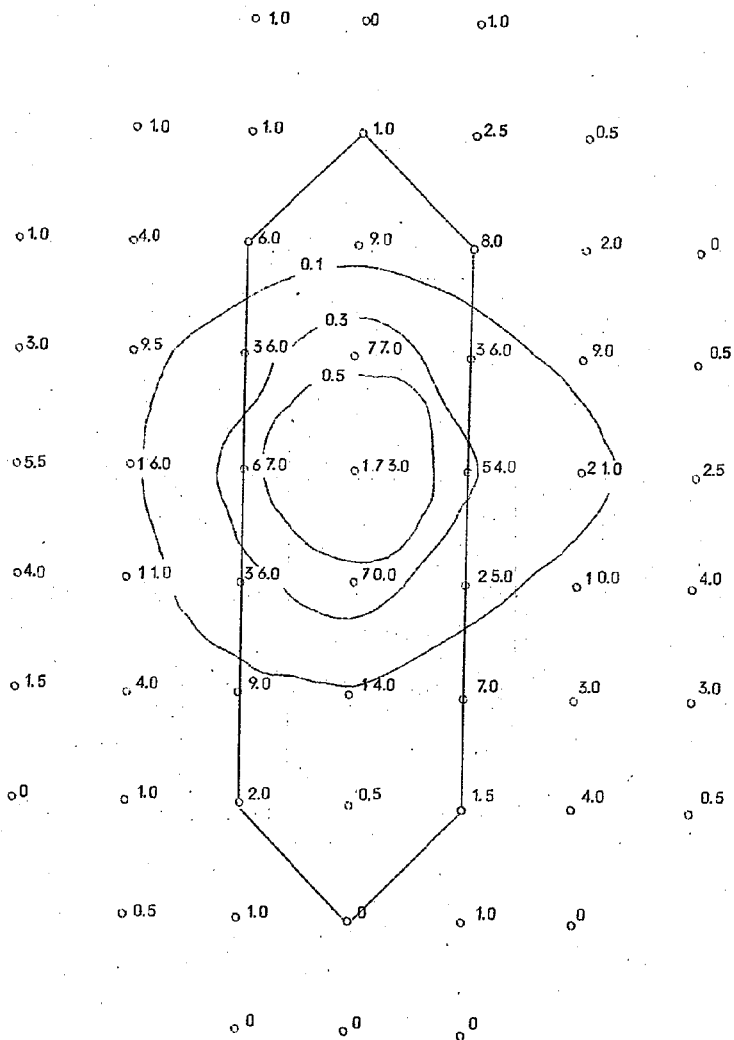


図-12 正味計数値 (cps) の分布(2)
深さ 5 cm



深さ 10 cm

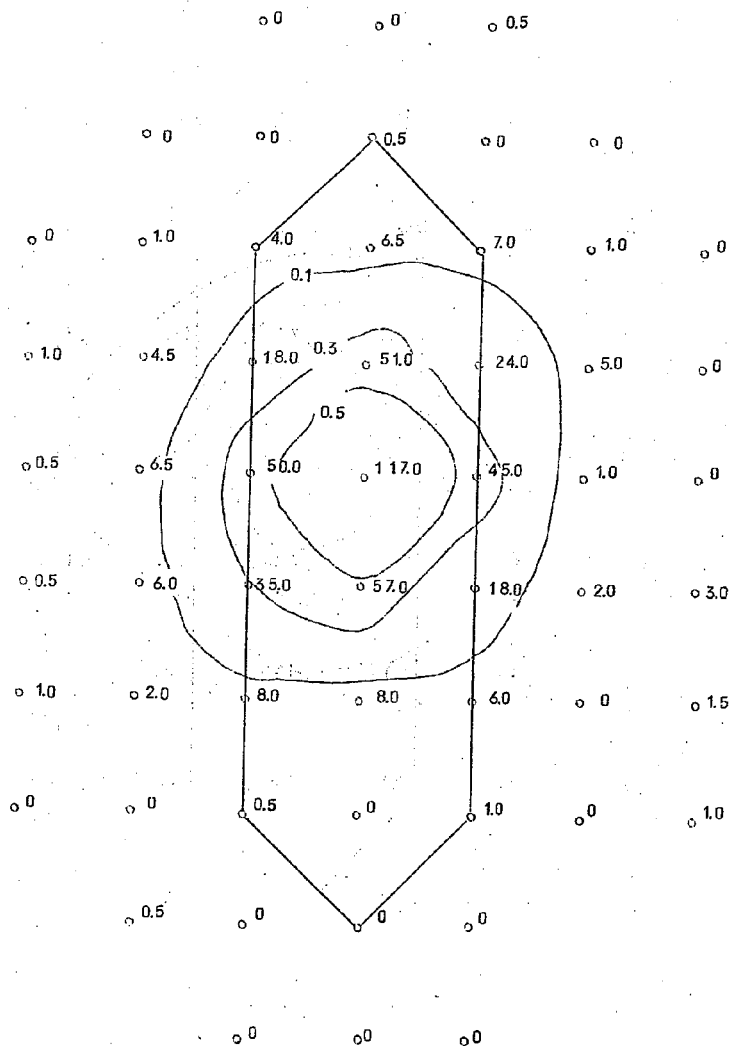


図 - 1 4 正味計数值 (cps) の分布(4)

15 cm

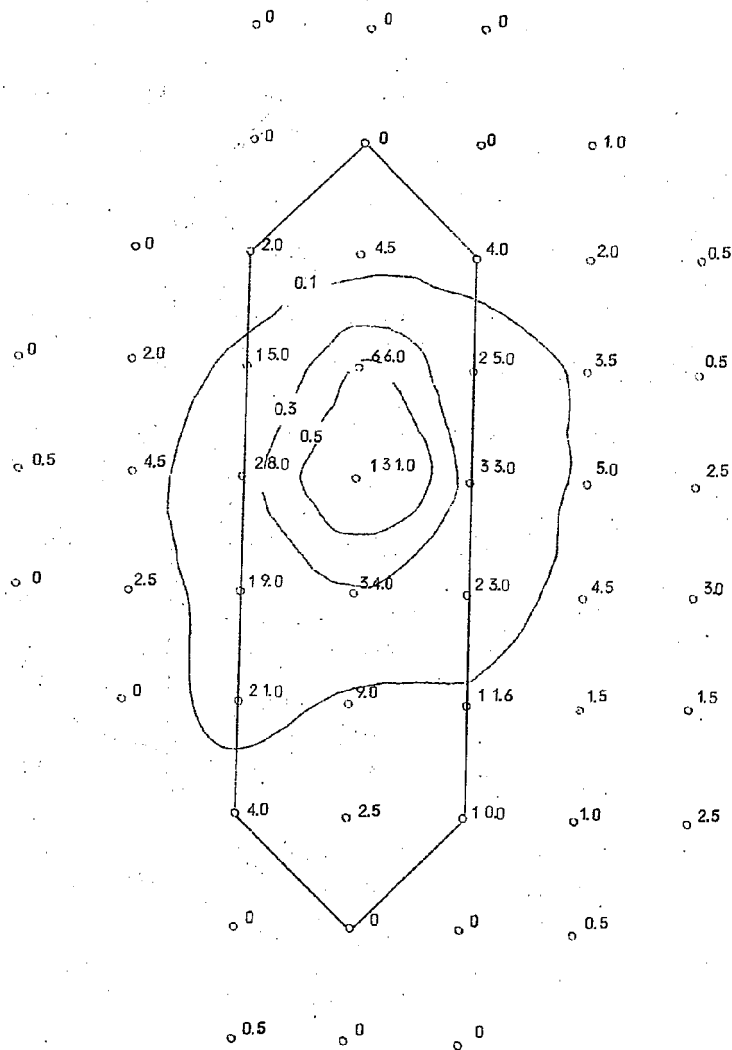


図 - 1 5 正味計数値 (cps) の分布(5)

深さ 20 cm

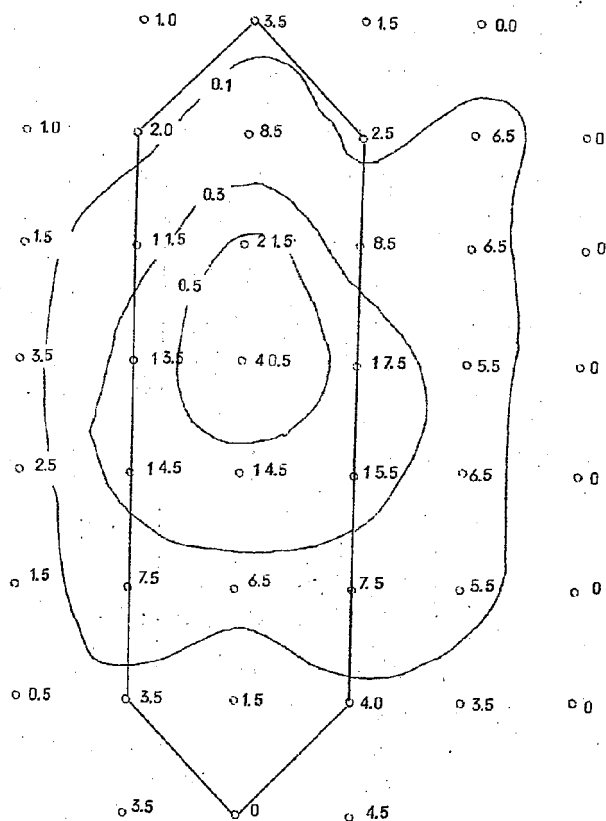


図-16 正味計数値(cps)の分布(s)

長さ25cm

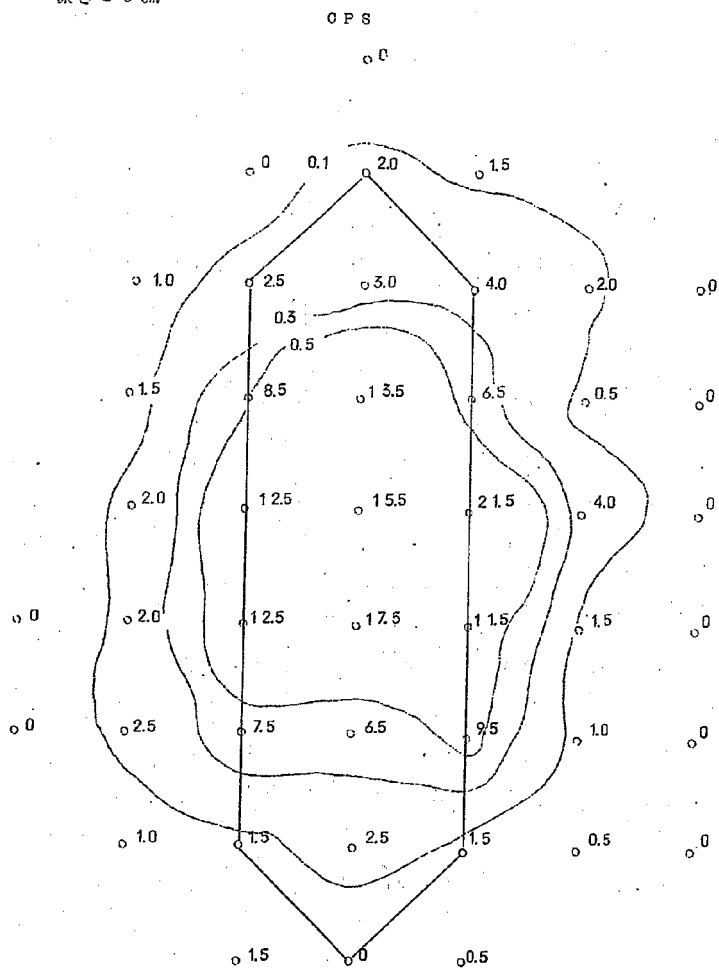


図-17 正味計数値 (cps) の分布(7)

深さ 30 cm

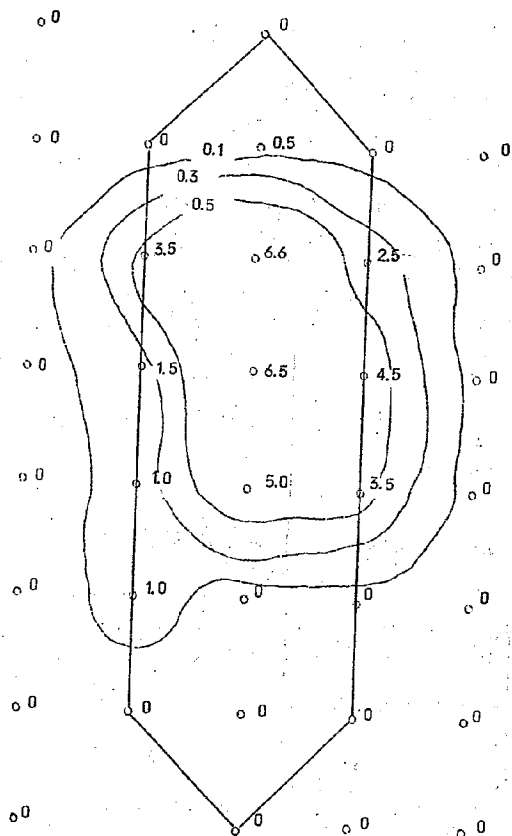


図-18 プローブの中心点横断
線上における正味計数
値の分布

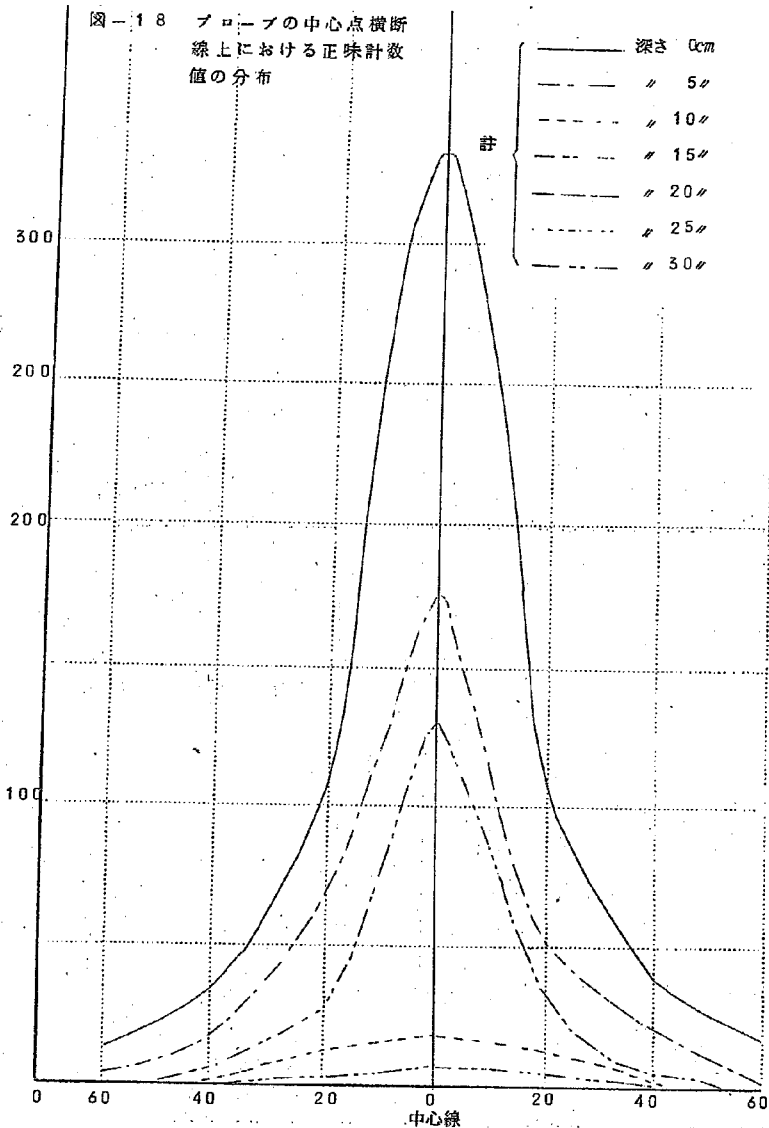


図-19 プローブの中心点前方および後方20cmの点の横断線上における正味計数値の分布

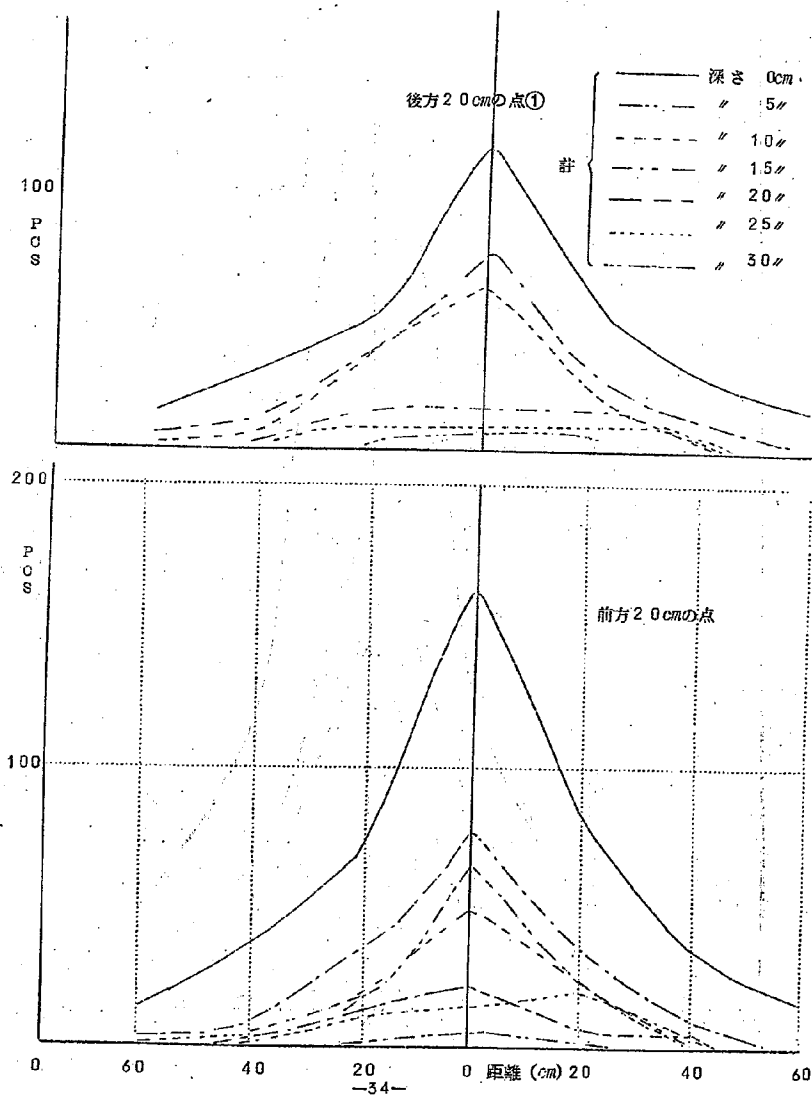


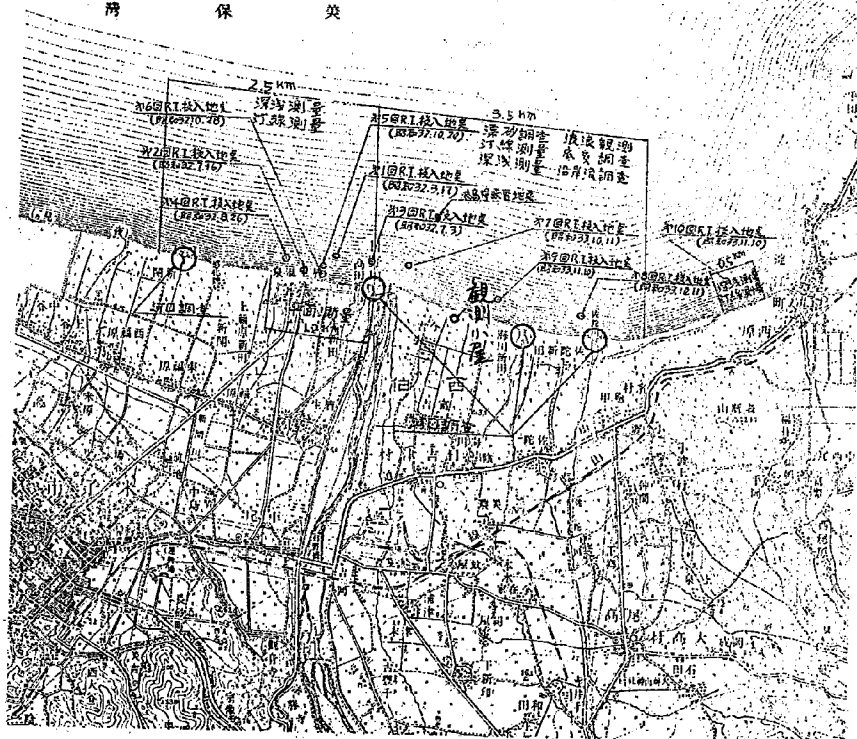
表 - 4

R.I. 投入位置、期間、追跡回数等

回	年度	投入月日	投入位置	R.I	追跡期間	追跡回数
1	31	32.3.17	L=360m (A号堤) D= 8.5m	Zn ⁶⁵ 50m.c 細粒	3.17~4.4 19日	2
2	32	32.7.16	L=120m D= 3m (砂堆頂点附近)	Zn ⁶⁵ 50m.c 粗粒	7.16~8.24 40日	9
3	32	32.7.31	L=275m (河口導流堤の) D= 3m 延長上	Zn ⁶⁵ 50m.c 粗粒	7.31~8.28 24日	6
4	32	32.8.26	L=230m (6号堤附近) D= 6m	Zn ⁶⁵ 50m.c 細粒	8.26~9.20 26日	5
5	32	32.10.20	L=285m (1号堤延長上) L= 8m	Sc ⁴⁶ 90m.c 細粒	10.20~12.5 47日	12
6	32	32.10.28	L= 90m (2号堤) D= 3m 延長上砂堆	Sc ⁴⁶ 90m.c 粗粒	11.3 ~12.5 33日	5
7	33	33.10.11	L=315m (日野川右岸) D= 6.3m (基線番号4ノ)	Sc ⁴⁶ 70m.c 粗粒	10.11~11.7 28日	16
8	33	33.10.11	L=270m (佐陀川新田川河口) D= 6m (底16)	Sc ⁴⁶ 70m.c 粗粒	10.11~11.8 29日	16
9	33	33.11.10	L=265m D= 6m	Sc ⁴⁶ 70m.c 粗粒	11.10~12.7 28日	12
10	33	33.11.10	L=363m D= 6m	Sc ⁴⁶ 70m.c 細粒	11.10~12.9 30日	13

图20 RI投入地奥图

美 保 册



- (2) 波高槽を波高槽に変更し、毎日4回(9、12、15、18時)定時的に波高、周期、波向を測定した。(期間は32年7月23日～8月31日及び32年10月27日～12月24日、33年7月30日～34年1月13日)
- (3) (2)の観測値と米子測候所の風との関係を調べた。
- (4) 皆生海岸沖美保関及び多古森における波浪を調べ季節的变化を明らかにした。
- (5) 最多風向と吹続時間との関係を調べた。

海浜流調査

浮子の水深を変化して海浜流の流向、流速を測定した。実施回数は32年7、8月は24回10、11、12月で40回、33年は10、11、12月で130回である。

一般測量

- (1) 32年6月、河口より西側2.2km 東側0.8km の区間及び33年6～7月西側2.5km 東側3.5km 淀江地区0.5km の区間に亘り深淺測量を行った。
- (2) 底質調査は31年に実施した、実施箇所はA号堤附近で水深3～9m間の範囲内で21ヶ所の底質を採取粒度分析を行った。
- (3) 汀線変化を調べる為淀江地区(0.5km)日吉津地区(3.5km)皆生地区(2.5km)和田地区(1.0km)中野地区(1.0km)において、平面及び横断測量を行った。
- (4) 河口4ヶ所(新開川、日野川、佐川、佐陀所田川)及び皆生突堤附近の平面図(1.2km)も同様に測量を実施した。

9. 調査結果

この調査は表-4に示したように昭和32年から33年にかけて10回にわたってR、I砂を投入して実施したのであるが、調査の前半においては海底におけるR、I砂の分布を調べるためのブロープの位置決定法が思わしくなく、得られた結果は漂砂の運動の解析資料とはなり得なかつた。ブロープの位置がかなり正確に決定できるようになり、信頼できるR、I砂の分布図が得られるようになったのは、昭和33年度の第7次追跡実験以後である。第6次追跡実験までは、延べ39回にわたるR、I砂の分布調査を実施したのであるが、残念なことに今回の漂砂追跡調査の資料としては信頼性に乏しいと考えられる。したがってここでは第7回追跡実験以後のデータに基づいて、漂砂の移動方向と海象、気象との関係を述べる。

9.1 風

風は波を起す要因であり漂砂の最大原因になるだろう事は明白である。33年10月11日～11月7日及び11月10日～12月7日の追跡期間中に於ける5.4m以上の有効風の回数の累計値は図-21の通りである。ここでは海岸線が略々W-Eである事からW-N-Eの風を有効風と考えた。一方この有効風の回数の合力を考えると第7回および第8回、第9回および第10回追跡実験についてはそれぞれ図-22、図-23よりNN-Eの方向となる事が判る。

図-21 第7回～10回追跡期間中における
有効風景計値 有効風回数累計値

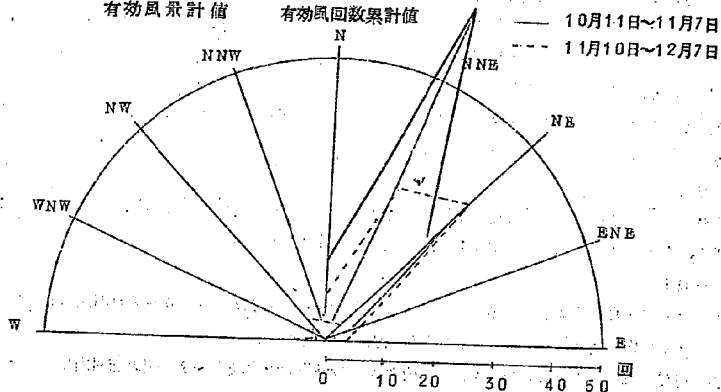
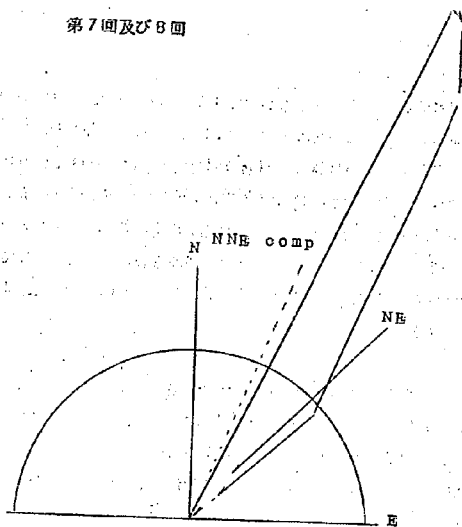


図-22 海風成分

33. 10. 11～33. 11. 7

5.4 m以上 回数累計値

第7回及び8回



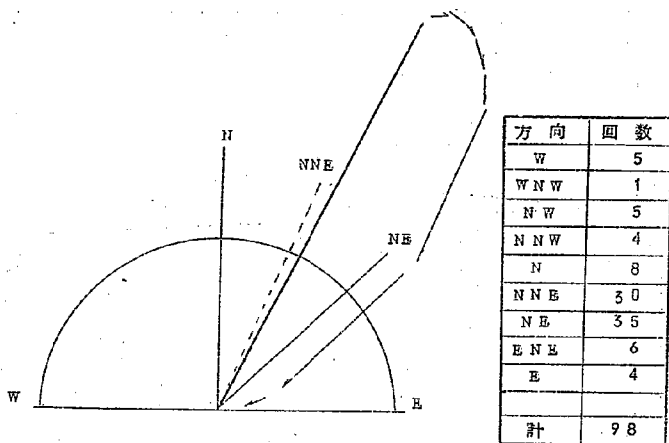
方 向	1
W	—
W-NW	—
N-W	—
NNW	2
N	14
NNE	62
NE	25
ENE	4
計	108

図-23 海風成分

33. 1.1. 10~33. 12. 7

第9回及び10回

5.4m以上回数累計値



2.2 波

33年10月11日~11月7日および11月10日~12月7日の波高、周期および波向を
図-24および図-25に示す。

波高および周期は1日4回観測の1/3最高波の平均値を示し、波向は合力方向とした。波高
棒は図-10に示した位置に設置し、観測時の水深は10mであつた。

図-24、図-25における波向は図-20における観測小屋の位置より500~600m西側
のものである。

2.3 波高屈折図と漂砂移動との関係

波及び風の関係から波向屈折図を描いた。風向としてはNNEを採用し、周期は、有効風の吹
いた日々の算術平均が10月11日~11月7日が9.86sec、11月10日~12月7日が
9.96secとなる事から約10秒と推定して、海図によつて描いた。この図を図-26に示す。

RI投入点は図-20、図-26に示したが、33年度に実施した第7次以後の追跡実験の海
底のRI砂分布測定結果のうち代表的なものを図-27~40に示す。このRI測定結果のうち
それぞれの実験について投入後しばらくたつてRIの拡散方向が明確になったものを取り上げ、
図-26に示した波向屈折図と組合せて示したものが図-41~44である。図-41~44を
見ると、RI砂の拡散方向は波向の屈折方向と極めて類似しており、漂砂は波向とだいたい同一
方向に移動しているものと考えられる。

図-27~34により第7次追跡結果から漂砂の移動を段階的に追ってみると、第7次では漂

図-24 波高・波向・周期及び有効風回数

33. 10. 11~33. 11. 7

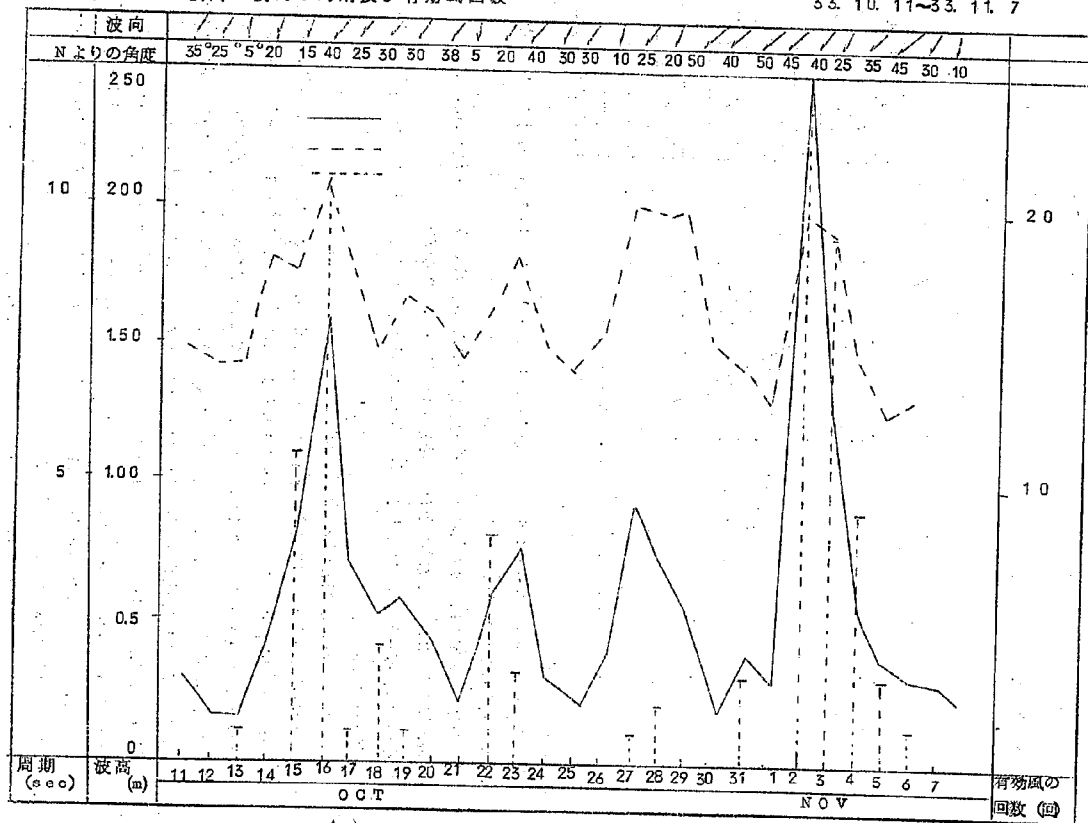


図-25 波高、波向、周期および有効風回数

53. 11. 10~12. 7

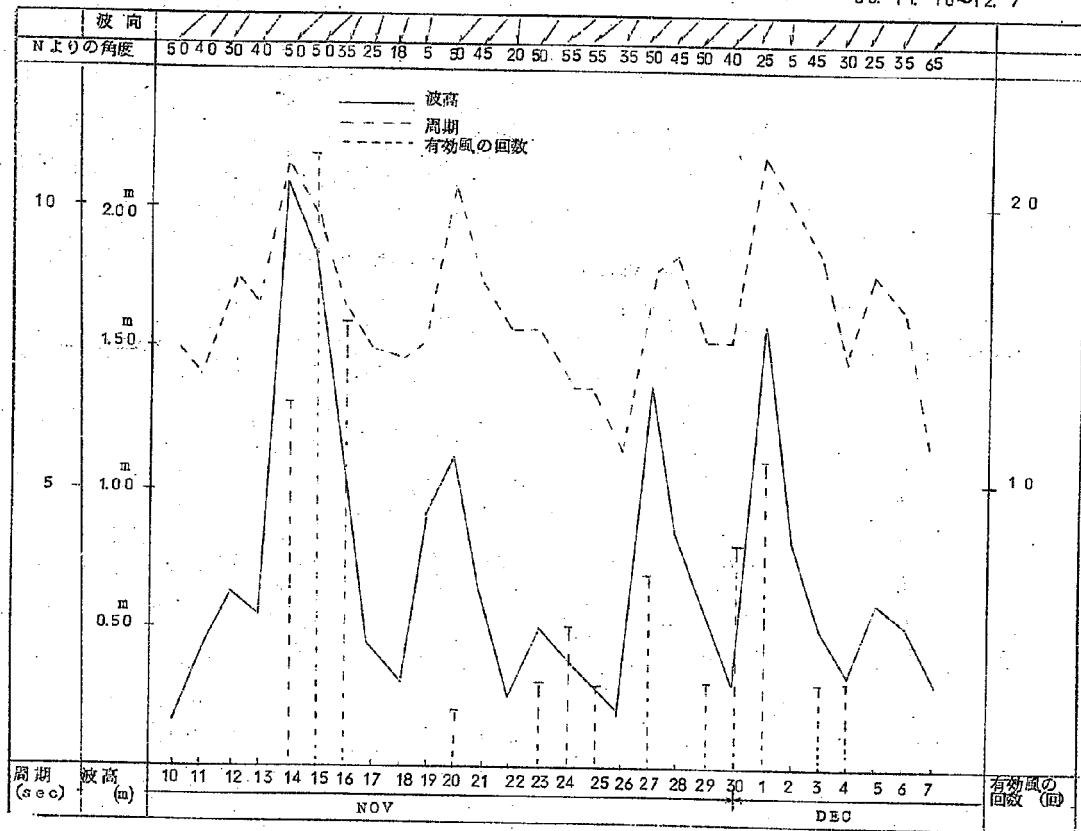


图 2 6 波向屈折图

入射波向 NNE
周期 $T=10\text{ sec}$

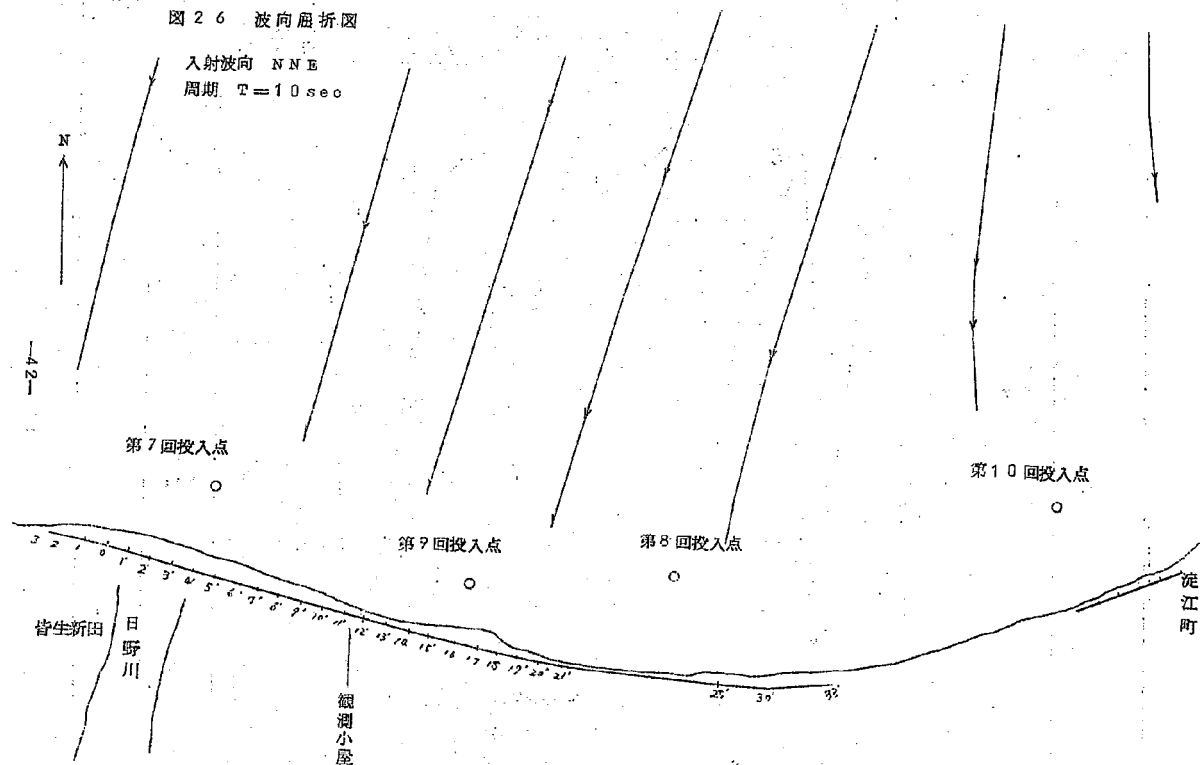


図 2 7 第 7 回 - 1 放射性砂追跡 縮尺 1 : 5 0 0

投入月日 1958.10.11 追跡月日 1958.10.13 投入後日数 2 日

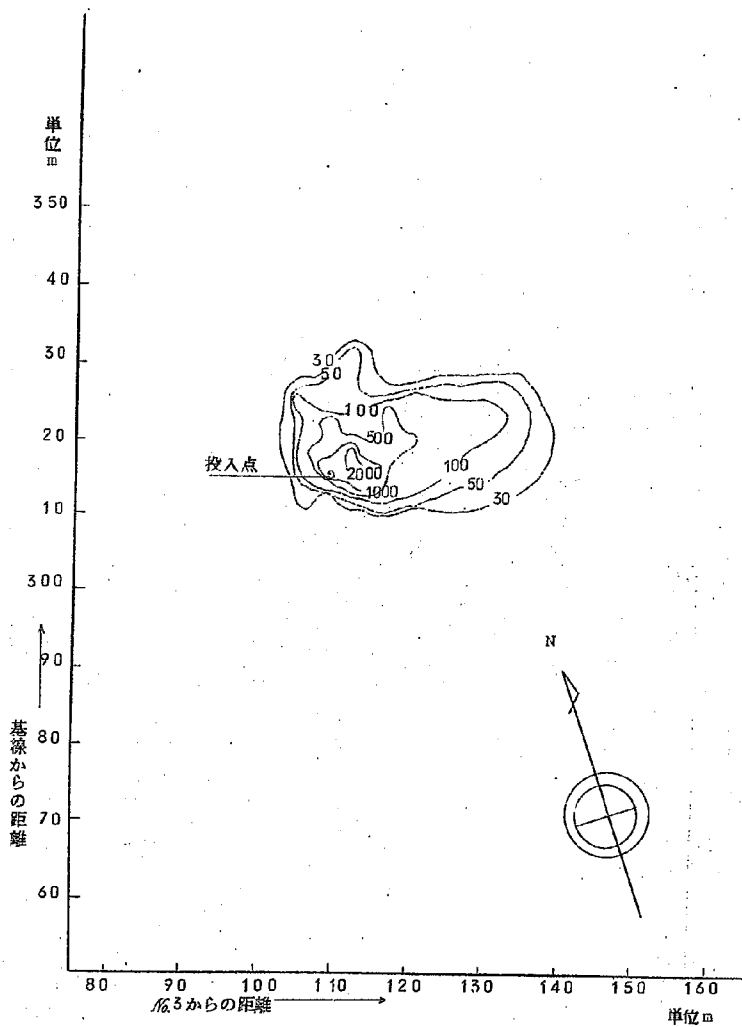


図-28 第7回-2 放射性砂追跡 縮尺1:500

投入月日 1958. 10. 11 追跡月日 1958. 10. 20 投入後日数9日

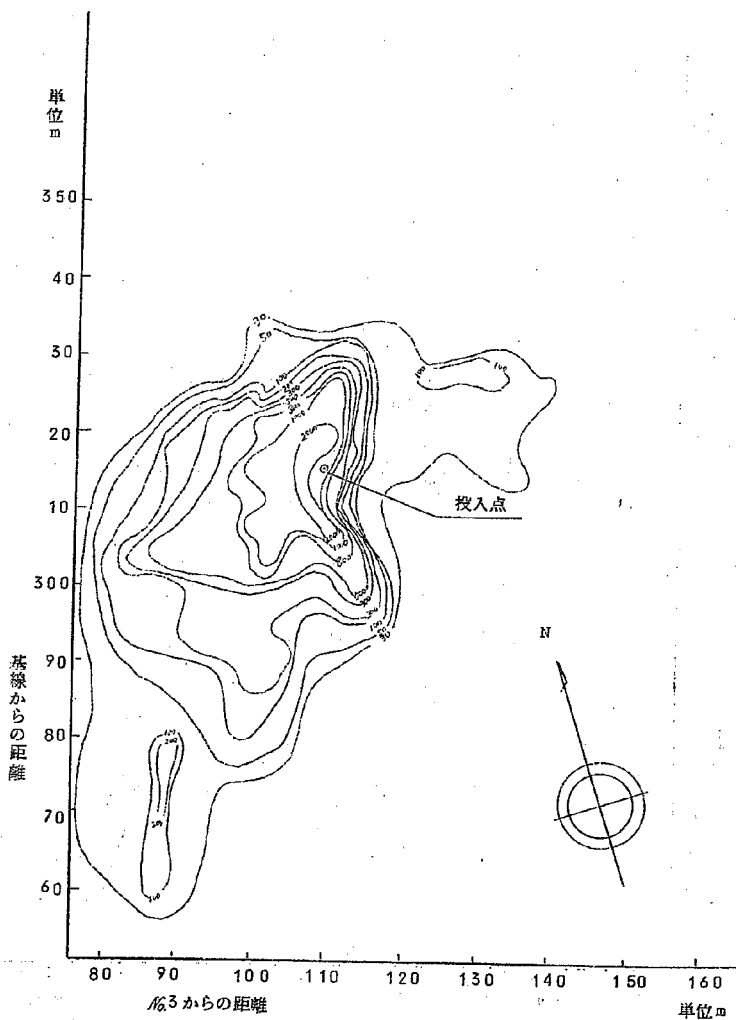


図-29 第7回-3 放射性砂追跡 縮 1:500

投入月日1958.10.11 追跡月日1958.10.29 投入後日数18日

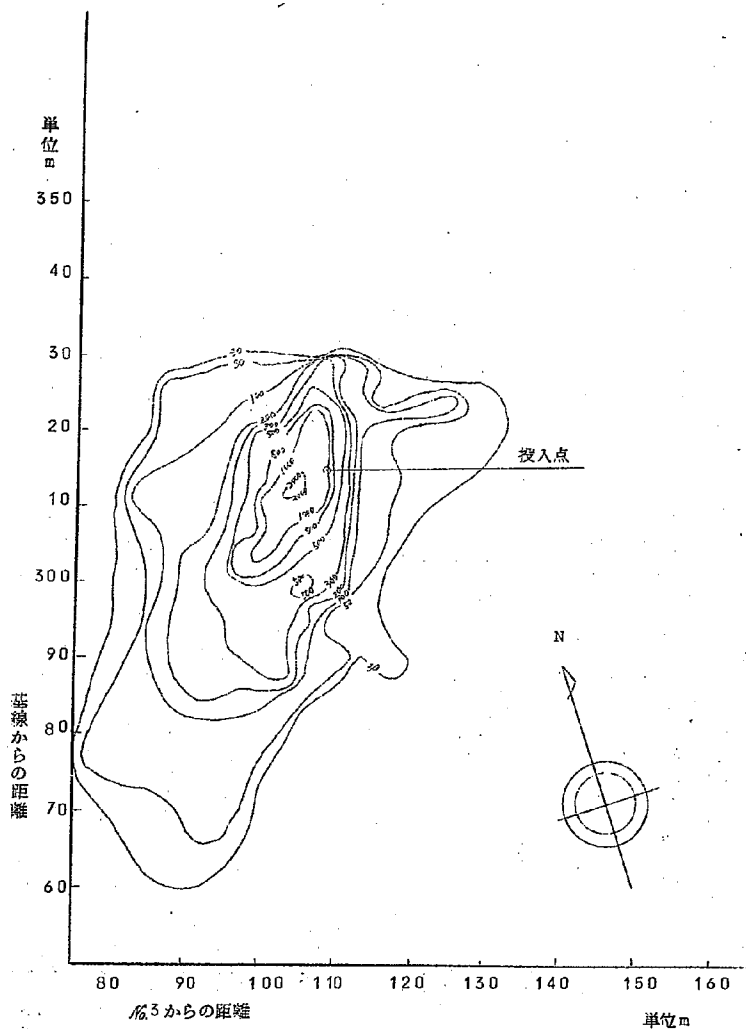


図-30 第7回-4放射能砂追跡 縮尺
投入月日1958. 10. 11 追跡月日1958. 11. 6 投入後日数26日

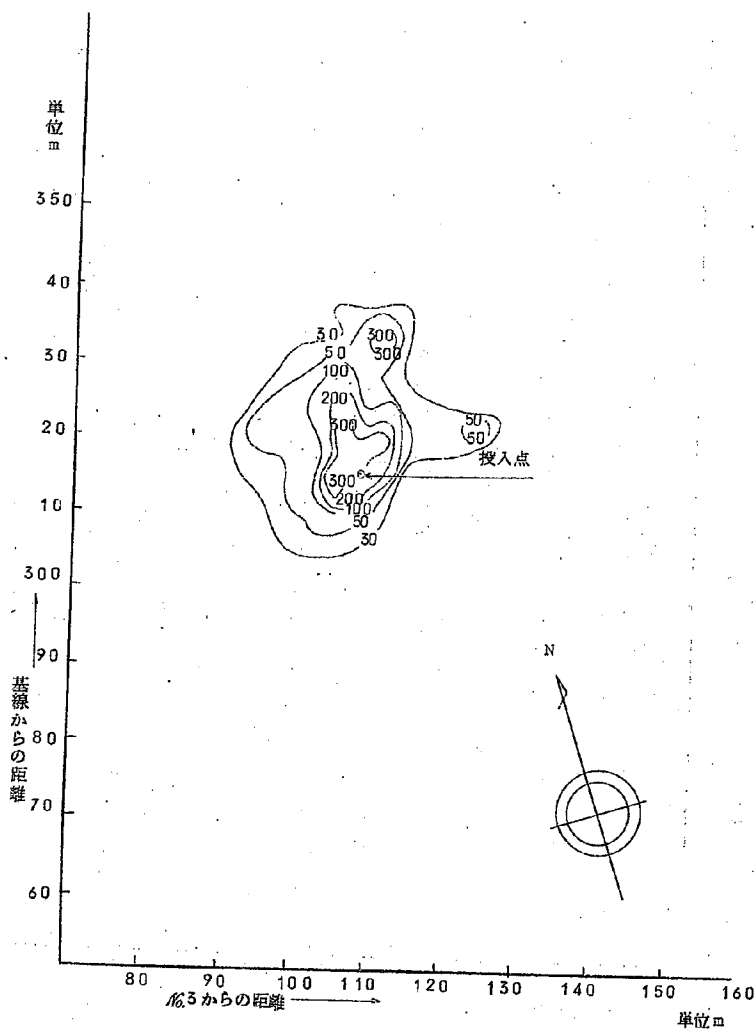


図-31 第一B回-1放射性砂追跡 縮尺1:500

投入月日 1958. 10. 11 追跡月日 1958. 10. 13 投入後日数2日

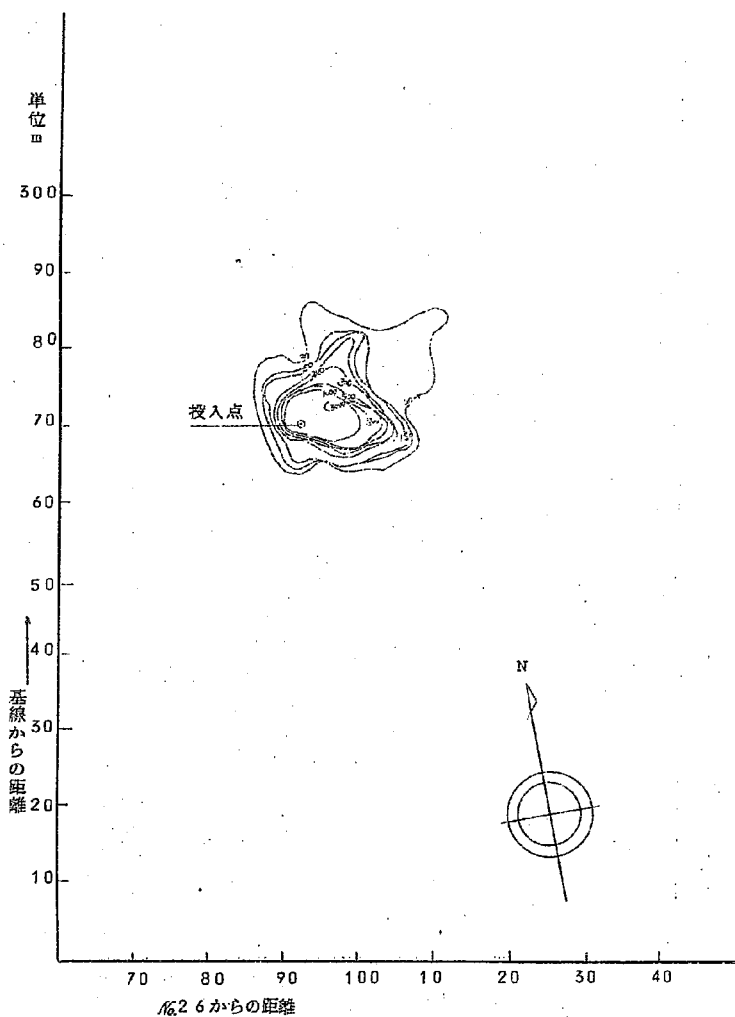


図-32 第8回-2 放射性砂追跡 縮尺 1:500

投入月日 1958. 10. 11 追跡月日 1958. 10. 20 投入後日数 9 日

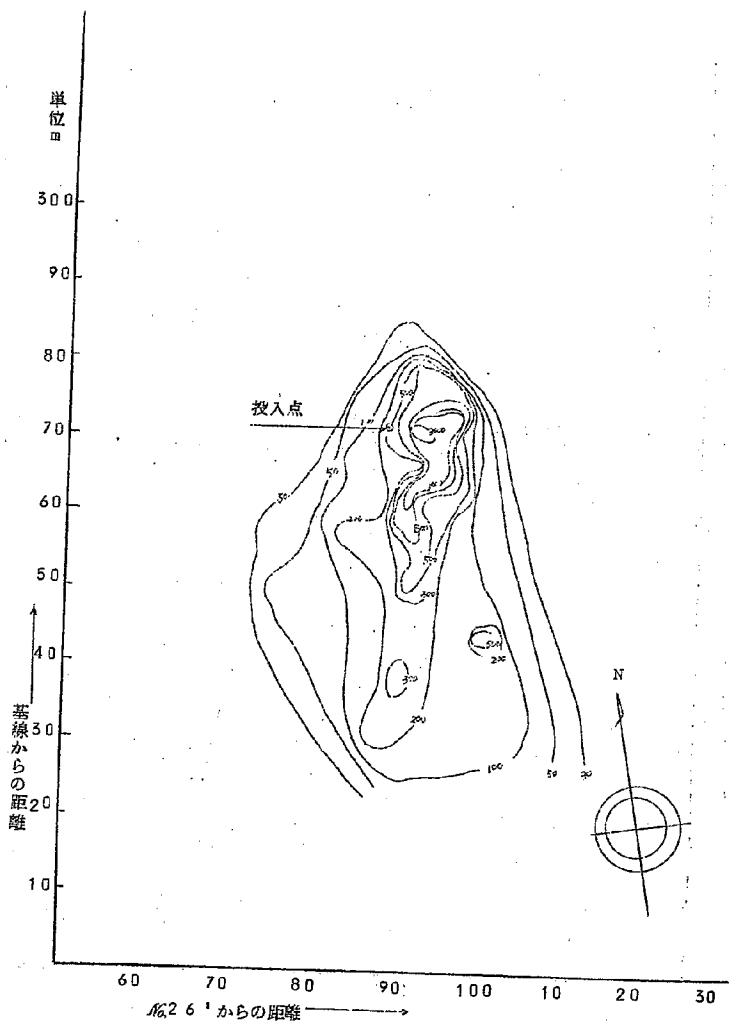


図 3 3 第 8 回 - 3 放射性砂追跡 縮尺 1 : 5 0 0

投入月日 1958. 10. 11 追跡月日 1958. 10. 29 投入後日数 18 日

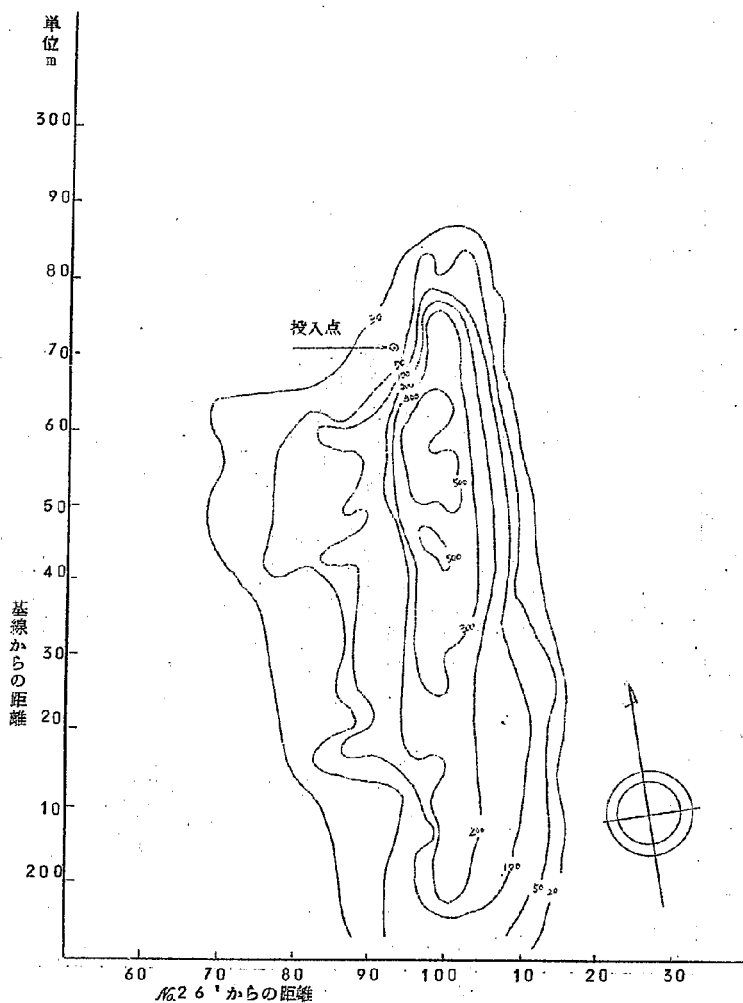


図-34 第8回-4 放射性砂追跡 縮尺 1:5000

投入月日 1958. 10. 11 追跡月日 1958. 11. 6 投入後日数 25日

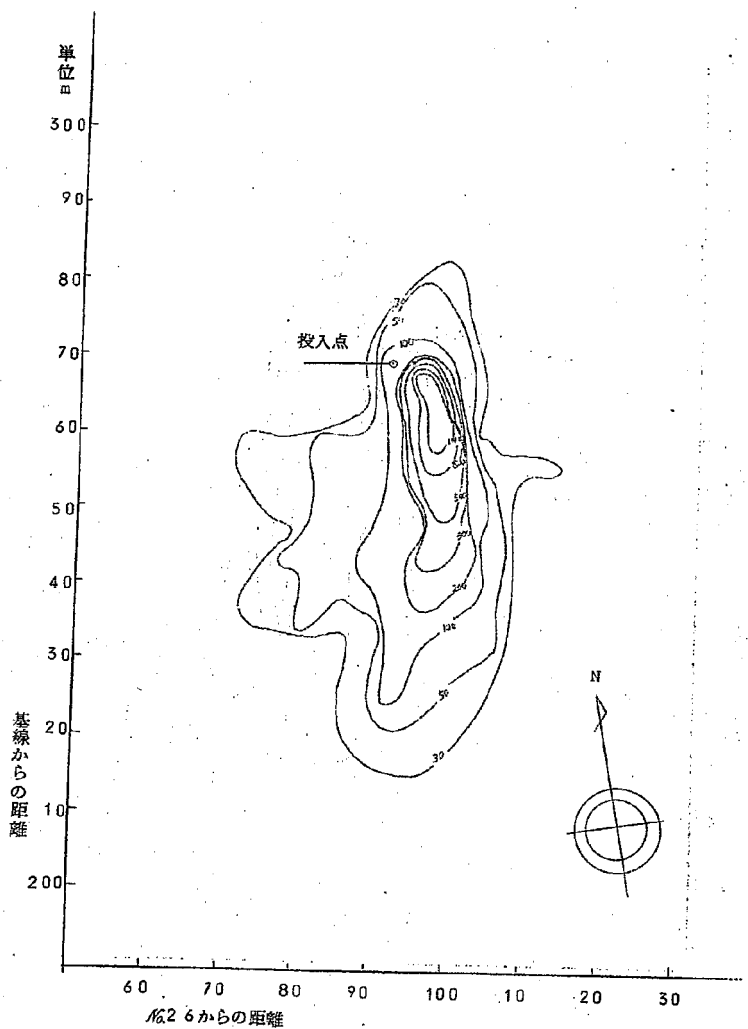


図-35 第9回-1放射性砂追跡

投入月日、1958. 11. 10

追跡月日 1958. 11. 28

投入後日数 12日

縮尺1:500

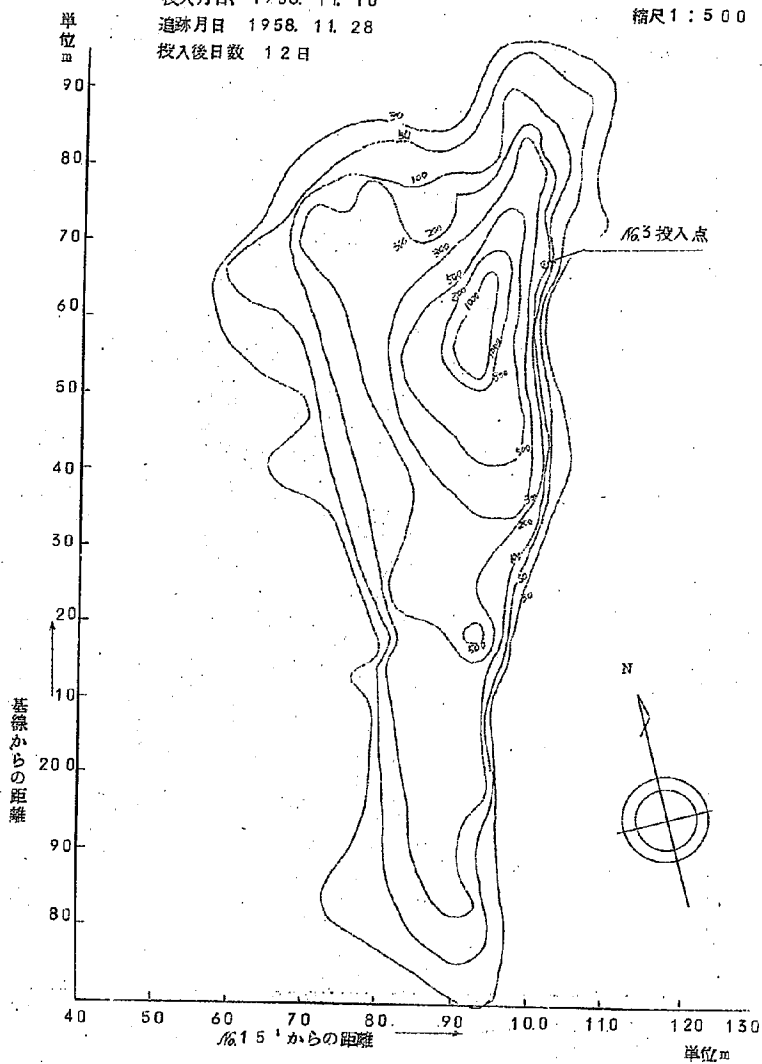


図-36

第9回-2 放射性砂追跡

投入月日 1958. 11. 10

追跡月日 1958. 11. 25

投入後日数 15日

縮尺 1:500

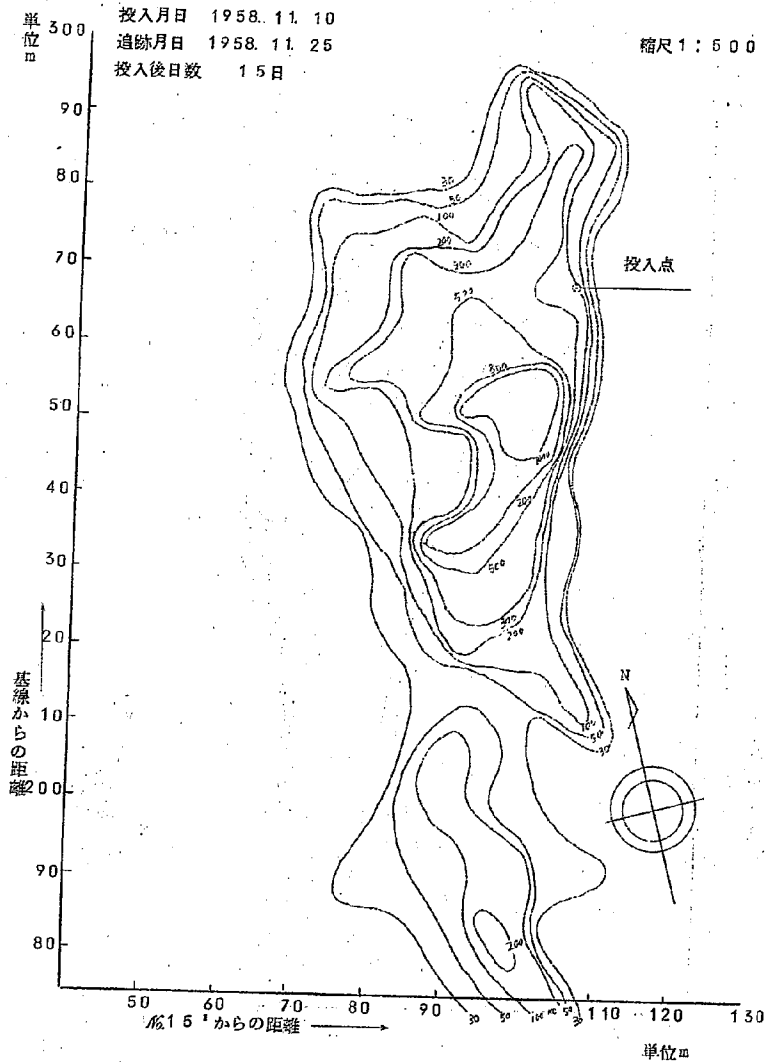


図-37

第9回-3放射性砂追跡

投入月日 1958. 11. 10

追跡月日 1958. 12. 6

投入後日数 26日

縮尺 1:500

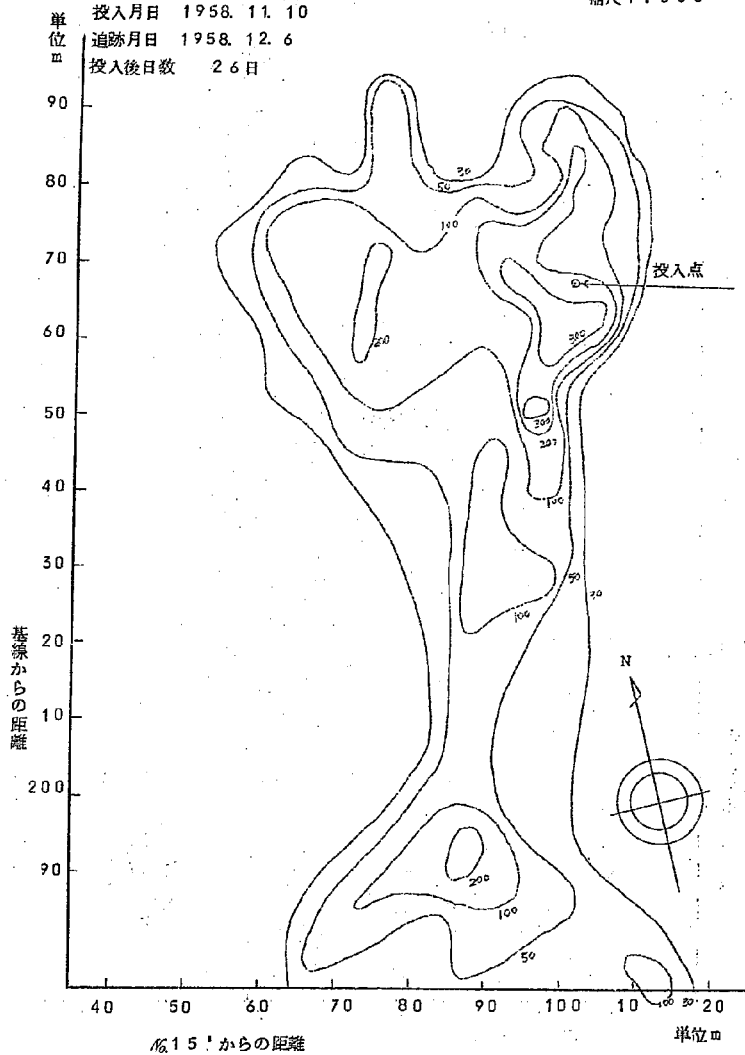


図-38 第10回-1放射性砂追跡 縮尺1:500

投入月日1958. 11.10 追跡月日 1958. 11. 22

投入後日数12日

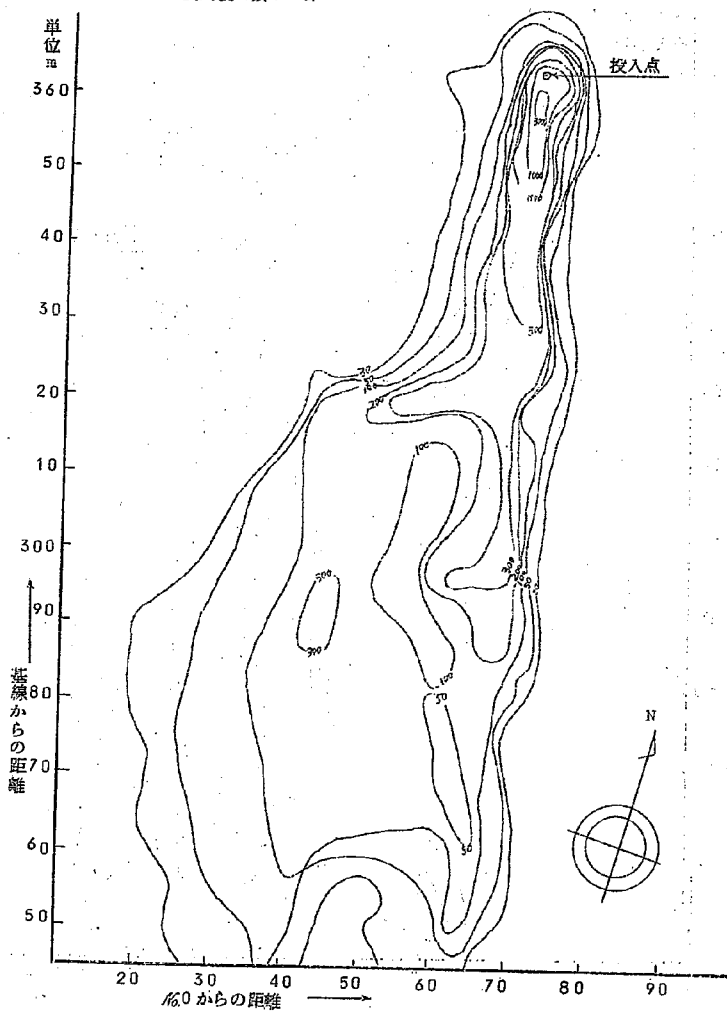


図-39

第10回-2放射性砂追跡 縮尺1:500

投入月日1958. 11. 10 追跡月日1958. 11. 25

投入後日数 15日

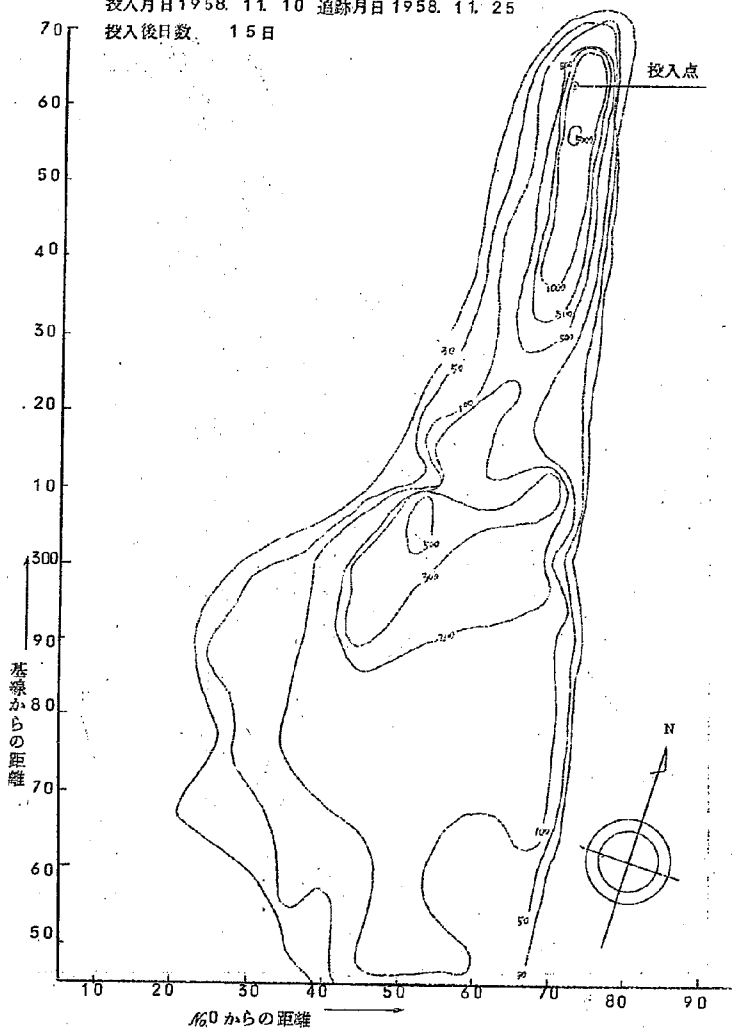


図-40

第10一回-3放射性砂追跡 縮尺1:500

投入月日1958. 11. 10 追跡月日1958. 12.6

投入後日数 26日

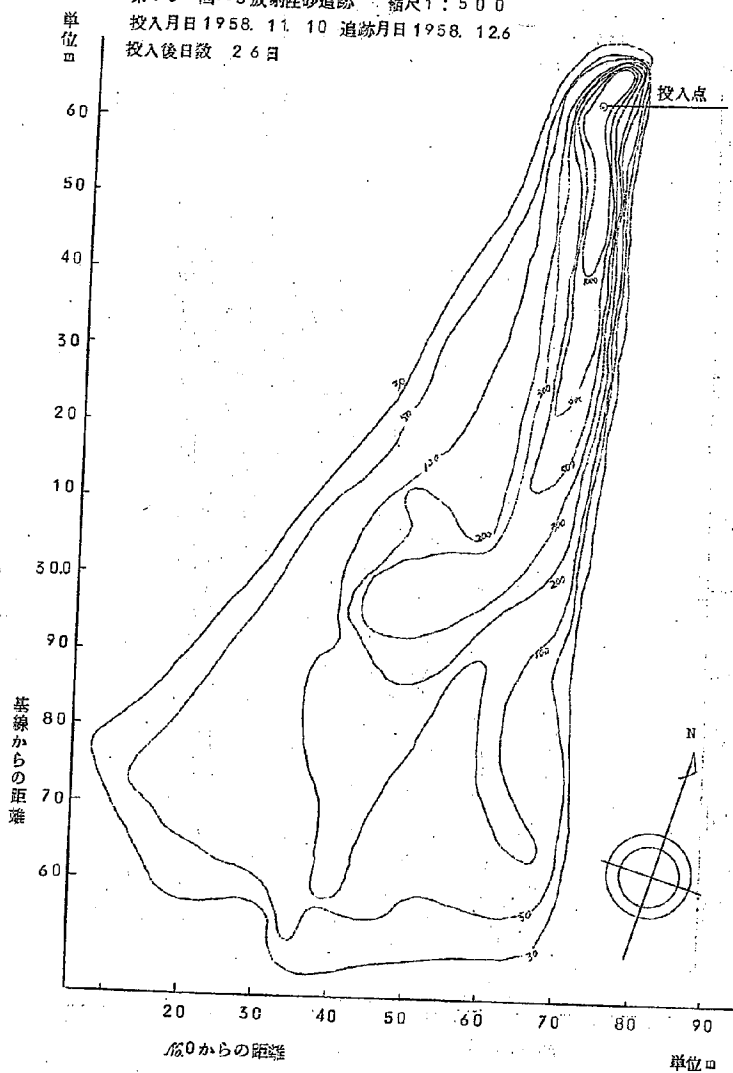
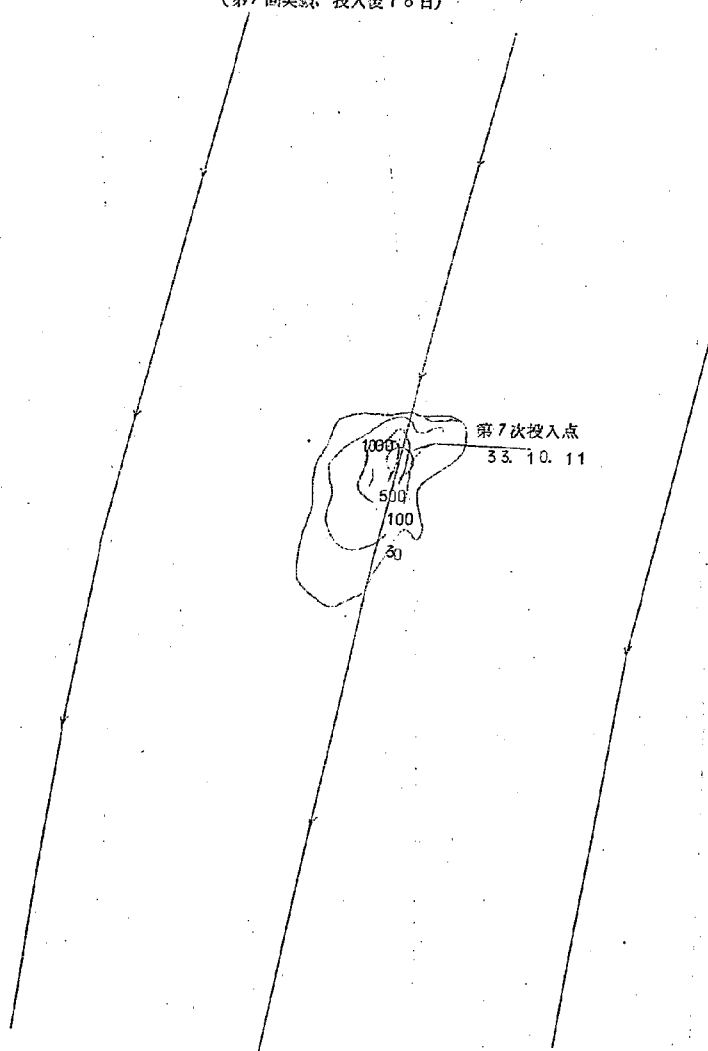


図-41 波向屈折図とRI砂拡散との関係
(第7回実験、投入後18日)



図一.42 波向屈折図とRI砂拡散との関係
(第8回実験、投入後18日)

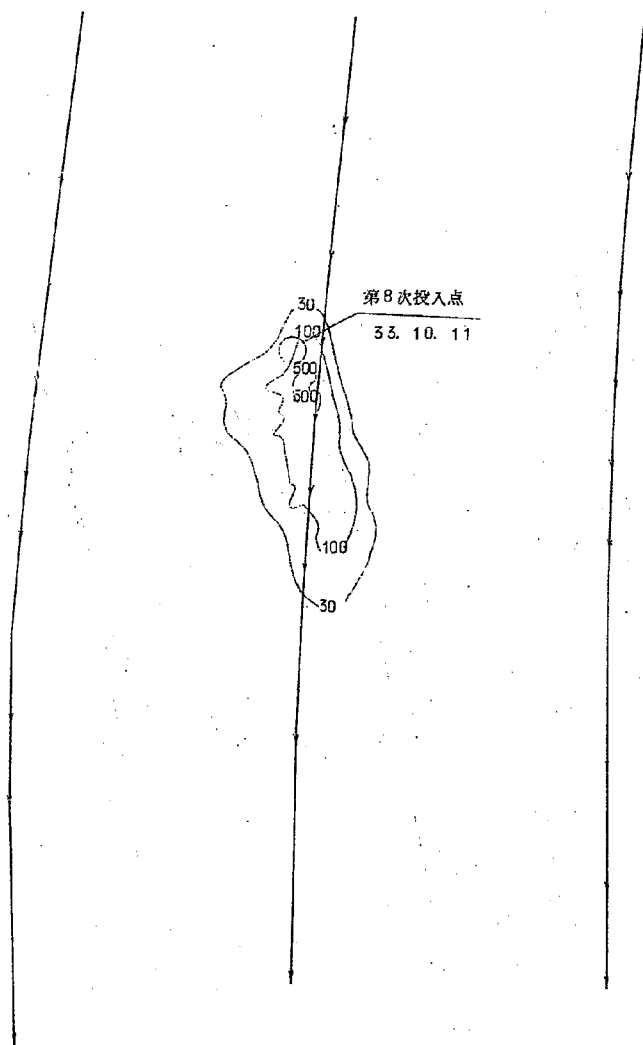


図-43 波向扇接図とR I 砂拡散との関係
(第9回実験、投入後12日)

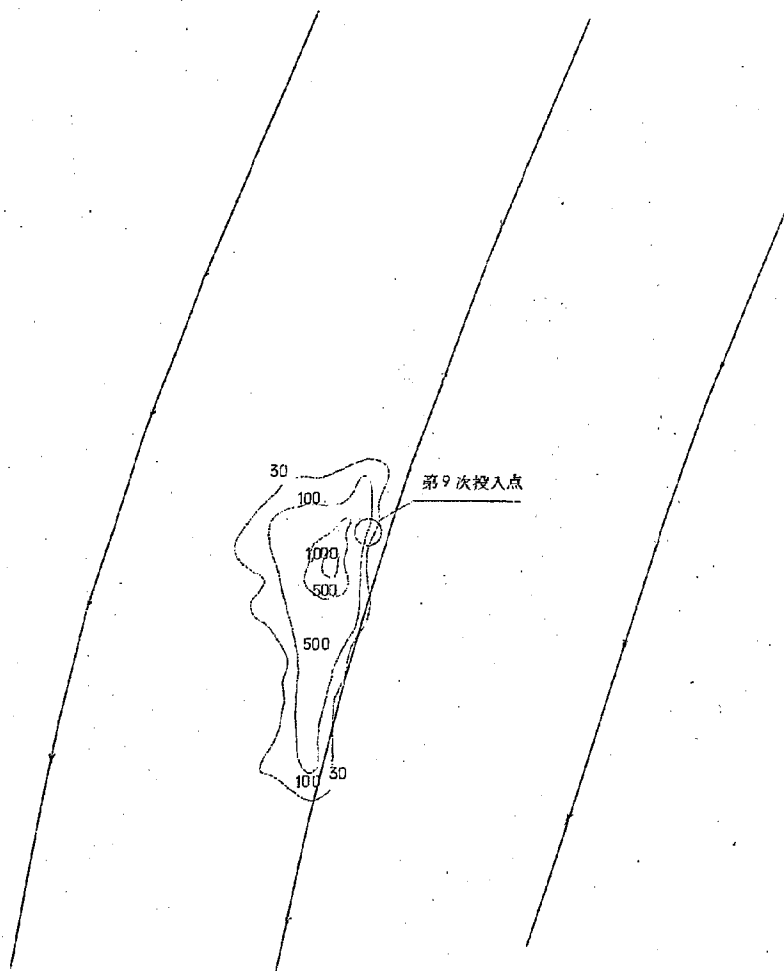
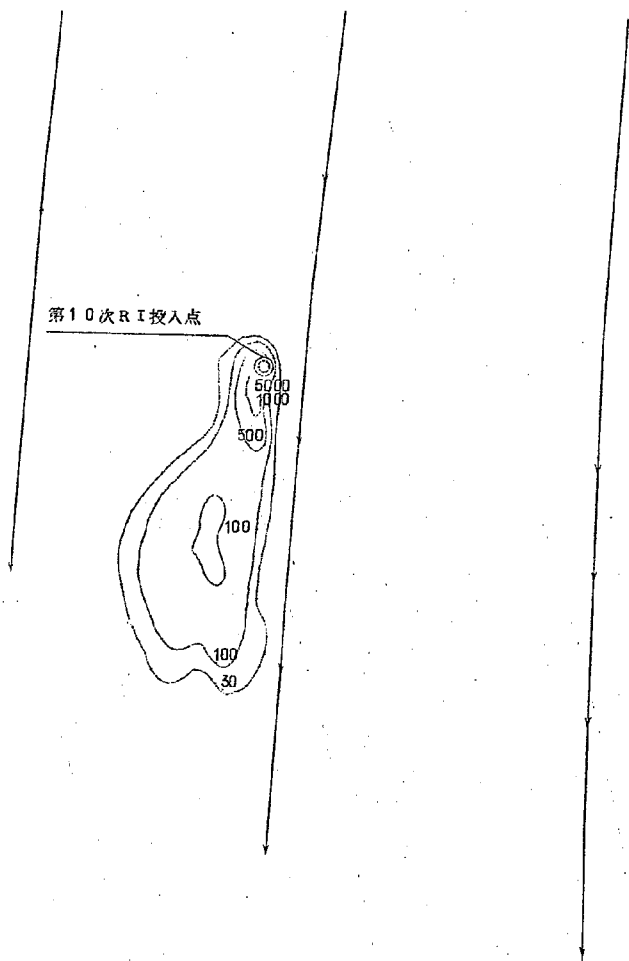


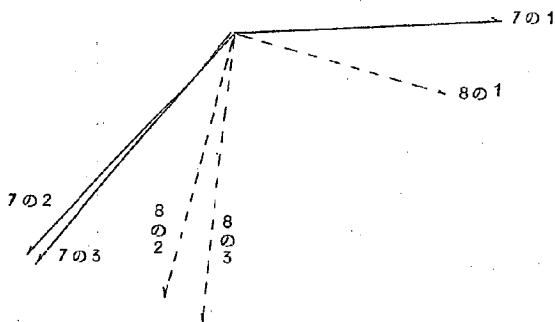
図-44 波向屈折図とR I 砂拡散との関係
(第10回実験、投入後12日)



砂は最初WよりEの方へ移動し、次いでN→S即ち海岸の方へ移動し、次いでNN E→SSWの方向に向きを変えている事がよく判る。之は図-24、25の波高、波向、周期の図表を見ると13日までは波高0.5m程度で殆んど海底に影響を与えず16日の風で方向を変え、29日の波浪で山が崩れ、周辺のRIを流し去り、次いで11月2日の波浪で殆んど流れ去つたことをよく表わしていると思われる。波浪が小さい場合は主として河川流況、潮流の影響を受けているのではないかと考えられる。

第8次は第7次と同時に投入し、投入地点の違いによる拡散方向の比較を行つた。投入後2日、18日、26日における第7次と第8次の追跡結果から、その拡散方向を図示すると図-45のようになる。ここで7の1、8の1はそれぞれ投入後2日、7の2、8の2は投入後18日、7の3、8の3は投入後26日を表わす。この図から漂砂の拡散方向は初めはW-E、ついでNN E-SSW、NNW-SS Eと変つて行つたことが判明する。7の1及び8の1は別にして7の2、8の2及び7の3、8の3を比較すると第8次の地点が波向屈折により、大きな影響を受ける事が図-41、42の屈折図を見ても容易に相象し得る。これは第7次地点における実測波向が10月10日N40°E、10月27日N20°E、である事からも証明される。

図-45 第7次及び第8次の拡散方向比較図



第9次、第10次は同日に投入したものであるが、この追跡結果は図-35~40に示してある。波向とRI拡散方向について調べると波向の実測地点とに相当の距離があるので、直ちにこの実測波向を使用する事は不正確であると思われるから風向を合成したものから考えると、屈折図、図-43、図-44より、拡散の仕方は9次がNN E-SSW、10次の箇所ではNNW-SS Eの方向に流れる筈で、追跡の結果もこの傾向を顕著に示している事が判る。図-46、図-47には第9次および第10次追跡における放射能強度図心の位置の移動状況を示す。又、拡散

図-46 第9次R.I.拡散放射能濃度関心の位置

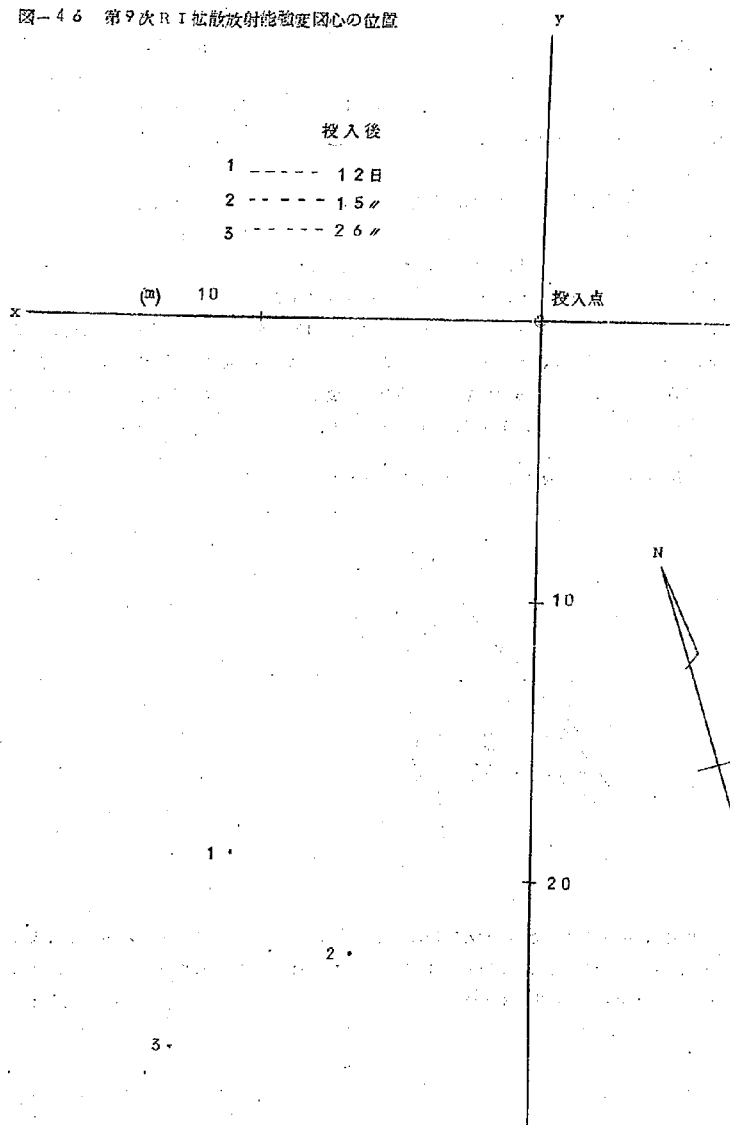
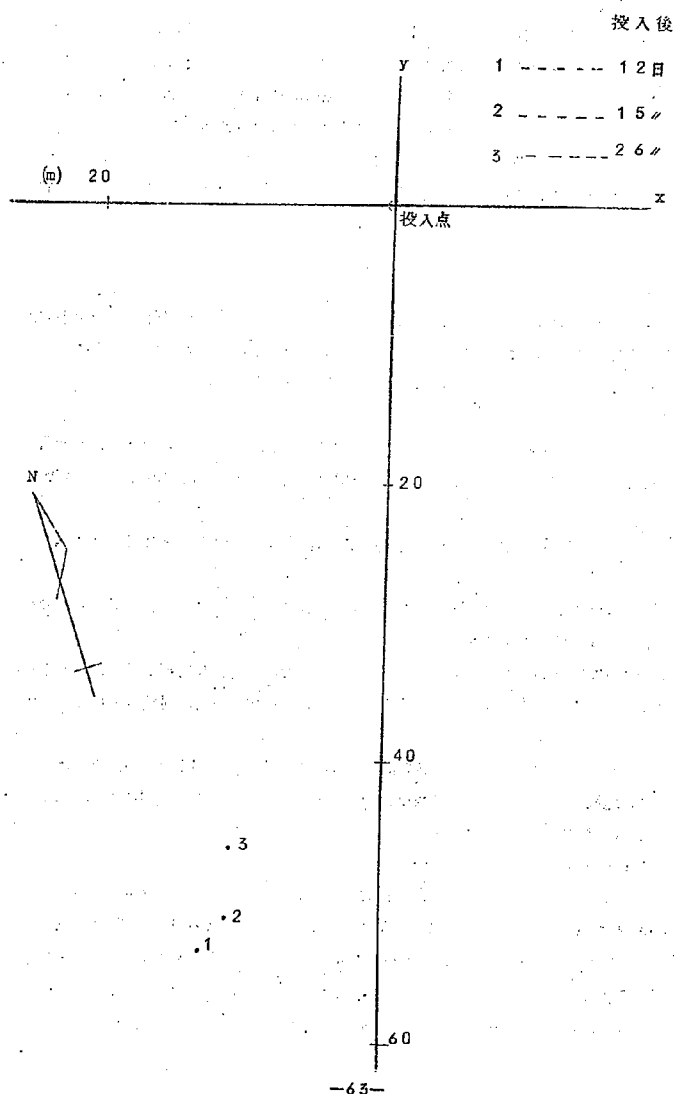


図-47 第10次R I 拡散放射能強度図心の位置



の範囲も、比較的波力の弱い第10次の地点では漸進的で、急激な減少、消滅はない。また第10次投入においてRIトレーサーの移動状況を調査するため、X線フィルムを海底に設置した。設置の位置は第10次投入点の南10mと南西20mの2箇所で水深5.3mのところであつた。設置したのはRI投入後10日経過した11月20日から22日までの2日間で、X線フィルムは鉄のおもりを付けたステンレス製の密閉式カセットに装入し、ゴパン目状に直径1cmの穴を開け、その穴をパラフィンで填充した厚さ1cmの鉛板を上部に取り付けたものを、海底に逆さに設置した。穴開き鉛板を取付けた理由はRI砂粒子によるフィルムの感光範囲を局限し、RI移動の方向をチェックするためである。その結果は1枚は全く感光していず、他の1枚に1箇所感光している部分が認められたが、この結果からはRIトレーサーの海底における挙動については結論は出せなかつた。

10. あとがき

以上昭和32年、33年において実施した皆生海岸の漂砂のRIによる移動調査に関する資料を挙げた。調査の終了後かなりたつた現在、RIを漂砂のトレーサーとして使用した点で特徴のあるこの調査を反省するとき、次のような点が今後の問題点として挙げられる。

10. 1 RIトレーサーの使用について

漂砂追跡にRIトレーサーを使用することは、前に述べたようにリンプリングを必要とせず、観測船上から直接海底のトレーサー拡散の状況を測定できる利点があるが、次のような点も充分考虑せねばならない。

- 1) RIの使用に当つては「放射線障害の防止に関する法律」に従つて充分な施設を設け、科学技術庁の使用許可を得なければならない。
- 2) RIの使用に当つてはRI取扱主任者（漂砂の調査の場合では第1種）の資格を有する人を1人選任しておかねばならない。
- 3) RIの取扱いに当つては放射線による危険がともなうため、充分な防護装置が必要である。
- 4) RIを含むガラス砂の製造に当つて、ガラスの製造、放射化の費用、運賃等でかなりの費用がかかる。
- 5) RIトレーサー追跡に放射能検出器が必要であり、これはかなり高価である。とくにプローブ部分は調査地域の条件を考慮して特殊な設計をする必要がある。また放射能検出器に電力を供給するため、発電機またはバッテリーの準備をせねばならない。

10. 2 RIトレーサー追跡の方法について

この調査においては当初はプローブは海底を曳航するように設計し、レートメーターを使用し曳航線上の放射能の連続変化を知る予定であつたが、海底が攪乱される恐れがあることと、プローブ曳航線の位置を決定することが困難だつたため、これを変更して1点毎にプローブを置き替えて測定することにした。しかし各点測定よりも連続追跡の方が、データ整理、解析の方から云つて有利であることは明らかなので、今後は連続追跡の方法を研究する必要があると考えら

れる。

10. 3 RIトレーサによる漂砂調査の限界

漂砂の調査にRIトレーサを投入、追跡する方法は、本調査で明らかにされているように、漂砂の移動状況を平面的に定性的に把握する点においては極めて有効な方法であるが、漂砂の垂直方向の移動、移動量、移動速度、移動の機構等になると現在の方法では困難であり、今後の研究に待たねばならない。RIトレーサの或る地点における垂直分布を調査するにはサンプラーを使用して試料のコアーを採取し実験室内で深度別の放射能を計測する方法があるが、これではすでにRIトレーサ法のもつサンプリングを必要としない測定法が可能であるという利点を生かしていない。

10. 4 サンドリッチ内の調査について

サンドリッチ内は3 m以下の水深しかない浅い部分となる為荒天時でなくても平成波高が高く船を進めることが困難であり又RIを投入しても数日で拡散し追跡の余裕は全くない実情である。従つてこの部分に対してはRIに頼ることは困難で別に機械的方法で漂砂の移動状況を調査せねばならないと考えられる。

11. 参 考 文 献

本報告をまとめ上げる時点において、RIを利用した漂砂の調査に関する報告書が世界各国でかなりの数出されていた。以下にこれらを列举し、諸兄の参考に供したいと思う。

- 1) J.L.Putman and D.B.Smith; Radioactive Tracer Techniques for Sand and Silt under Water, Internatl. Journal of Applied Radiation and Isotopes, Vol. 1, pp. 24-32 (1956)
- 2) F.H.Allen and J. Grindley; Radioactive Tracers in the Thames Estuary, Dock and Harbour Authority, Vol. 37, pp. 302-306 (1957)
- 3) R.B.Krone; Methods for Studying Estuarial Sediment Transport Processes, Univ. of California Inst. of Engrg. Research, Berkley, Calif. (1960)
- 4) W.J.Reid; Coastal Experiments with Radioactive Tracers, Dock and Harbour Authority, Vol. 39, p. 84 (1958)
- 5) P. Jaffry and R. Hours; L'étude du transport littoral par la méthode des traceurs radioactifs, Cahiers Oceanographiques, Vol. 11, pp. 475 - 498 (1959)
- 6) C.Kidson, J.A. Steers and D.B. Smith; Drift Experiments with Radioactive Pebbles, Nature, Vol. 178, p. 257 (1956)
- 7) S. Inose and N. Shiraishi; The measurement of Littoral

- Drift by Radioisotopes, Dock and Harbour Authority,
Vol. 36, pp. 284 - 288 (1956)
- 8) R. Hours, W.D. Nesteroff and V. Romanovsky; Méthode d'étude de l'évolution des plages par traceurs radioactifs, Travaux du Centre de Recherches et d'Etudes Oceanographiques, Vol. 11, pp. 1 - 7 (1955)
 - 9) D.L. Inman and T.K. Chamberlain; Tracing Beach Sand Movement with Irradiated Quartz, Journal of Geophysical Research, Vol. 64, pp. 41 - 47 (1959)
 - 10) V.N. Afanasev, V.N. Zvezdov, O.K. Leontev and S.G. Jakovlev; Instruction in the Use of Radioactive Isotopes in Studying the Movement of Beach Materials, Sojuzmorprojekt, State Research Inst., Internal Report, Geographical Faculty, Lomonossov Univ., Moscow (1957)
 - 11) J.J. Arlman, P. Santema and B. Verkerk; The Use of Radioactive Isotopes for the Study of Littoral Drift, Philips Technical Review, Vol. 21, pp. 157 - 166 (1960)
 - 12) J.J. Arlman, P. Santema and J.N. Svasek; Movement of Bottom Sediment in Coastal Waters by Currents and Waves; Measurements with the Aid of Radioactive Tracers in the Netherlands, Ministry of Transport and Waterways, The Hague (1957)
 - 13) J. Davidsson; Investigations of Sand Movements Using Radioactive Sand, Lund Studies in Geography, Series A: Physical Geography, vol. 12, pp. 107 - 126 (1958)
 - 14) A. Gibert et al; Tracing Sand Movement Under Sea Water with Radioactive Silver Ag 110, Proceedings, 2nd U.N. International Conf. on Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 19, pp. 355 - 359 (1958)
 - 15) H. Greisseiner; Zur Anwendung von Radioisotopen beim Studium der litoralen Materialbewegungen, Acta Hydrophysica, Vol. 6, pp. 163 - 186 (1960)
 - 16) R.B. Krone; Silt Transport Studies Utilizing Radioisotopes, First Annual Report October 1956 - December 1957, Univ. of California Inst. of Engrg. Research,

- Berkley, Calif. (1958)
- 17) R.B. Krone: Methods for Studying Estuarial Sediment Transport Processes, Univ. of California Inst. of Engrg. Research, Berkley, California (1960)
 - 18) C. Kidson, A.P. Carr and D.B. Smith: Further Experiments Using Radioactive Methods to Detect the Movement of Shingle over the Sea Bed and Alongshore, Geographical Journal, Vol. 124, pp. 210 - 218 (1958)
 - 19) C. Kidson and A. P. Carr The Movement of Shingle over the Sea Bed Close Inshore, Geographical Journal, Vol. 125, pp. 380 - 389 (1959)
 - 20) A. Pattison, W.R. Ellis, M.E. Fisher, J.B. Hinwood and P. Kriek The Formulation and Operation of Field Experiments Using Radioactive Isotopes for Tracing Silt Movement, Section 1 and 2, The Hunter Valley Research Foundation, Monograph No. 7 (1961)
 - 21) 旧信濃川閘屋分水調査報告書, 新潟県, 昭和35年3月
 - 22) コバルト60を利用した信濃川河口漂砂の調査報告書, 日本原子力研究所 JAERI-Memo No.1037 (1962)
 - 23) スカンデウム46を利用した新潟西海岸の漂砂の調査報告書, 日本原子力研究所 JAERI-Memo No.1038 (1962)