

富士海岸における砂礫の移動について

首 藤 伸 夫*・田 口 二 郎**・遠 藤 泰 司***

1. ま え が き

駿河湾奥部に位置する富士海岸は海底勾配が急で、かつ、巨大な波浪の来襲する場所として知られている。近年、富士川からの流下土砂量の減少や、田子の浦港の築港などの影響を受け、海岸は年々侵食されてきている。そして、昭和41年の26号台風時には、脚部の洗掘による堤防の破壊や、越波による死者や家屋の破壊などの災害を受けている。このように、侵食による海浜の消失または海浜幅の減少が直接災害に結びつくおそれが多いため、侵食を防止し、海浜の復元を図ることが重要な課題となっている。本報告は、富士海岸の侵食防止対策工法を検討するために行なった各種調査のうち、とくに砂礫の移動特性に関する調査結果をとりまとめたものである。現地調査の内容は、地質調査のためのボーリングおよび音波探査、砂礫（ビー玉）の追跡調査、ピットによる捕砂調査、ピンによる海底地形変動調査、海底土のブルトニウム含有量調査であり、昭和49、50年度に実施したものである。

2. 富士海岸の海岸性状

(1) 海浜および海底地形

図-1に示されるように富士海岸は東は沼津市狩野川河口から、西は庵原郡蒲原町神沢までの約25kmの範囲の海岸の総称である。建設省では図に示す測点（間隔250m）で毎年横断測量を実施している。図-2に富士海岸の代表的な横断面図を示す。汀線から堤防基部までの海浜幅は富士川河口部で200~300m、No.78~No.66までの田子の浦港までの間は海浜幅は狭く30~80m、田子の浦港東側の海浜幅は約150m程度であり、東に行くにつれて徐々に狭くなり、東端の沼津市では約20mとなる。海浜勾配は、ほぼ1/10である。海底勾配は、T.P. $\pm 0.0 \sim -10$ mまでは1/10~1/15であるが、水深が深くなるにつれて急勾配となり、T.P. -20 m以深では1/5以上となる。勾配の変換点はほぼ -20 m付

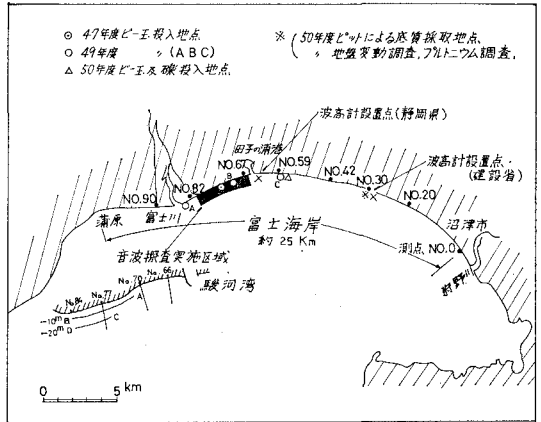


図-1 富士海岸調査位置図

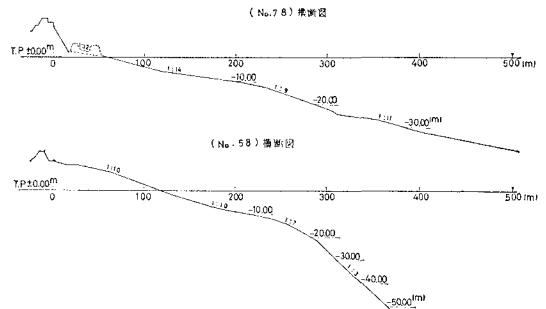


図-2 富士海岸横断面図

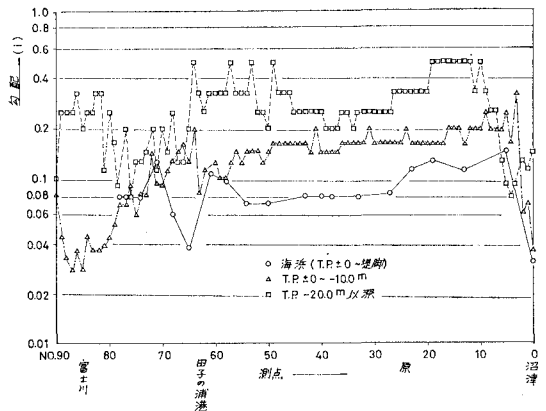


図-3 富士海岸海底勾配変化図

* 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科
 ** 正会員 建設省中部地方建設局沼津工事事務所長
 *** 正会員 日本テトラポッド(株)応用水理研究所

近であり、斜面は平坦で沿岸砂州などはみられない。図—3 に示されるように、海底勾配は富士川より沼津方向へ東へ行くほど急勾配となる。特に測点 No. 50~No. 10 の区間は、T.P. -10m まではほぼ $i=0.15$ (1/6)、T.P. -20m 以深では $i=0.3\sim0.5$ (1/3~1/2) となる。

(2) 海底地質

富士海岸は、富士火山の急斜面の溶岩流の上に富士川からの流出土砂が堆積して形成された弓状の海岸であり、背後には浮島沼を中心とする低湿地が形成されている。富士海岸の海浜の地質構造を明確にするため、富士川河口から田子の浦港間においてボーリング¹⁾ および音波探査²⁾ を実施した。調査区域は図—1 に示す。結果の概要は次のとおりである。

(イ) T.P. -100m 前後の深度に富士火山活動の産物である溶岩または火山砂礫層が分布し、その上を富士川の流出土砂または海成の堆積物が堆積している。

(ロ) 図—4 に示すように、調査区域の地質は、表層の砂層 (A層)、上位の砂礫層 (B層)、および下位の砂礫・粘土互層 (C層) にわけられる。海浜部におけるボーリング結果から、T.P. -14m 以深と以浅では含水比や締め具合が異なり、明瞭な差を示している。T.P. -14m 付近は 5 000~6 000 年前の堆積物と考えられ、上部は

それより新しい堆積物である。図—4 の B層と C層の境界に相当すると言える。

(ハ) C層には明瞭な bedding が示されており、しかも端部はカットされている。-30m 以深の急斜面は、海退期に形成された海崖と思われる。

(ニ) 図—4 の地質断面図によれば、T.P. -10m 付近までは極めて平坦で、A、B、C層の存在は明瞭である。T.P. -20m では地形は不規則で、B層の存在しない海底谷がみられる。

(ホ) 表層の砂層は T.P. -20m から -40m の急斜面部では 1~2m の厚さであるが、それより深い所では、層厚は厚くなる。とくに田子の浦港西防波堤近くの No. 66 では、T.P. -100m 以深での砂層は 10m 以上の厚さとなっている。このことは、沖方向への土砂の堆積が相当あることを示している。

(3) 底質粒徑

富士海岸の構成砂礫は富士川から運搬されたものであり、礫質は硬砂岩、チャート、石英閃緑岩、玢岩などである。汀線付近の粒徑は富士川河口から東に移るほど小さくなる。表—1 は代表的な測線における水深別の底質

表—1 富士海岸での底質粒徑分布

測点 No.	底質		汀線	T.P. -2.5 m	T.P. -5.0 m	T.P. -10 m	T.P. -20 m	T.P. -30 m	T.P. -100 m
	表層	底層							
No. 77	d ₅₀ 9.5mm	19.5	4.3	15.0	1.2	0.45	0.245	0.24	
70	0.49	12.8	9.8			0.35	0.21	0.28	
66	8.40		31.0			9.50	0.18	0.17	0.03
60	10.2		0.25			5.60	3.60	2.0	0.50
30					6.50	7.85	2.82	3.85	

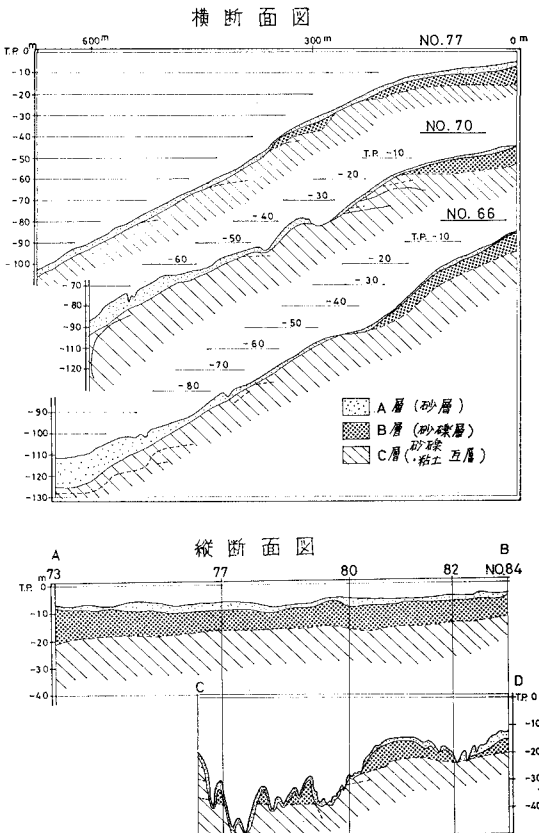
※ は 豊 崎 有 限 公 司 測 定 局 資 料 による。

粒徑を示したものである。富士川河口に近い No. 77 では汀線付近の粒徑は 10mm 以上と大きい。T.P. -5.0m 以深は急に細くなる。一方、富士海岸東端に近い No. 30 では T.P. -5.0m 以深でも粒徑は 5.0mm 前後と大きい。

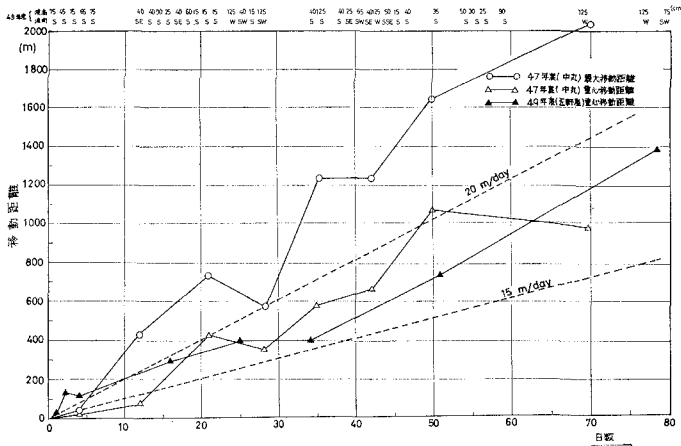
3. 砂礫の移動について

(1) 砂礫の移動速度

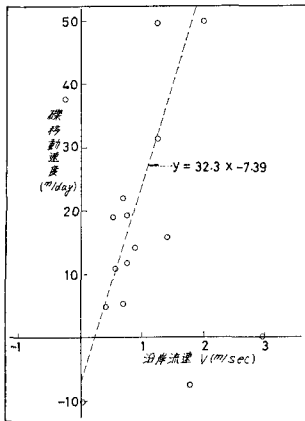
図—5 は昭和 47 年度に静岡県および昭和 49 年度に建設省によって実施されたビー玉 (径 24mm) の追跡調査の結果を示したものである。調査時期はいずれも11月から翌年の3月頃までである。各年度とも、移動方向は東であり、重心の移動速度は 15~20m/日、最大移動速度は重心移動速度のほぼ2倍となっている。図—6 は沿岸流速とビー玉の移動速度との関係を示す。昭和47年および昭和49年の両調査期間中の田子の浦港における波高および波向の観測記録 (静岡県実施) と現地汀線方向との関係を求め、Inman・Quinn の式により沿岸流速を求めたものである。波はビー玉追跡期間中の最大有義波高を



図—4 地質縦横断面図



図—5 経過日数とビー玉の移動距離



図—6 沿岸流速と礫移動速度との関係

用いた。図—5 には 49 年度調査期間中の波高および波向を示した。

$$V = \left[\left(\frac{1}{4x^2} + y \right)^{1/2} - \frac{1}{2x} \right]^2 \alpha_b \dots\dots\dots (1)$$

$$x = 646 H_b i \cos \alpha_b / T$$

$$y = c \sin \alpha_b$$

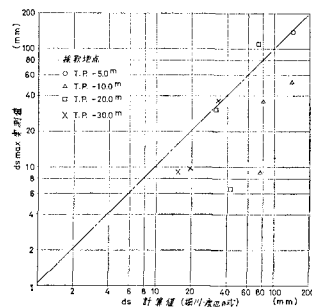
$$c = \sqrt{2.28 g H_b}$$

ここで、 H_b : 砕波高、 i : 海底勾配、 α_b : 波峰線が砕波線となす角、 T : 周期。

図—6 より沿岸流速とビー玉の移動速度とはかなりよい相関を示す。図中沿岸流速がゼロの時マイナスの移動（プラスが東方向、マイナスが西方向）を示すのは、現地では西方向の恒流が卓越するためと考えられる。運輸省の調査結果³⁾によれば、田子の浦港付近では、潮汐流は東西方向の往復流で最大 0.04 m/sec、恒流は西方向で 0.09 m/sec である。服部・鈴木⁴⁾は昭和50年富士海岸で行なわれた礫の移動速度と波の輸送エネルギーの沿岸方向成分との関係を解析しており、同様にかなりよい相関が得られている。

(2) 捕砂の最大粒径と移動限界水深

富士海岸は海底勾配が急なため沖合での砂礫の移動が問題である。そのため、勾配の急な No. 30 地点（建設省波高計設置点）でピットによる捕砂調査を行なった⁵⁾。T.P. -5.0 m, -10 m, -20 m, -30 m の海底に、直径 50 cm、高さ 30 cm の円筒のピットを海底を掘削して埋設した。ピットは外函と内函にわかれ、内函は4分割されており、それぞれ方向別の捕砂が可能である。ピットの設置および採取は潜水夫が直接行ない、内函は、磁針を用いて方位を定めた。ピットは、50年11月16日に設置し、捕砂の採取は11月19日、51年1月30日、2月13日の3回行なった。図—7 は捕砂の最大



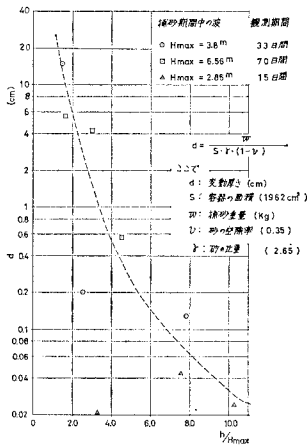
図—7 捕砂の最大粒径と計算値との比較

最大粒径と堀川・渡辺の式⁶⁾による計算値との関係を示す。計算値は各採取日までの波浪観測記録から、その間の最大波高をもとにして求めたものである。図より水深 -30 m でも 40 mm 近い礫が採取されており、かなり動きの激しいことが

わかる。堀川・渡辺の式では、砂利のような粒径の大きい場合にもよくあてはまることがいわれているが、本調査でもオーダー的に一致する結果が得られた。

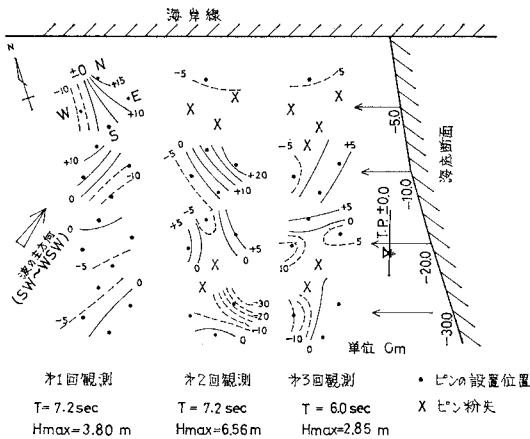
(3) 捕砂量と海底変動量

富士海岸では顕著な汀線漂砂は -10~-13 m 前後までであるといわれている⁷⁾。これらは測量断面図の比較から判定したものである。前述したピットによる捕砂は、その粒径からみてほとんどが掃流砂であると言える。各水深ごとに採取された砂の総重量をピットの面積で除し、砂の空隙率、比重を一定として、海底の単位面積当りの変動量を求めたのが図—8 である。横軸は観測期間中の最大波高と採取水深（-5~-30 m）との比を示す。換算された海底変動厚さ d は h/H_{max} が大きくなるにつれて指数関数的に減少するようである。捕砂の粒径（今回 $d_{50}=2.0\sim30$ mm）や、これら変動厚さとの関係から、表層移動、完全移動の区別、汀線漂砂の有意な限界水深などの判定ができよう。ただし、汀線付近の変動量との連続性、観測期間の長さ、指標としての波高の取り方など問題点が多い。



図—8 海底変動厚さと h/H_{max} との関係

(4) ピンによる
海底変動測定量
各水深に埋設された
ビットの中心から
各 2m 離れた東西南
北の 4 点に目盛ピン
を設置した。ピンは
 $\phi 19\text{mm}$ の丸鋼を使用し、潜水夫が直接
地盤に 80 cm 打込ん
で固定した。海底変
動量は潜水夫が直接
計測した。図—9 は
海底変動の測定値を
示す。図によれば、



図—9 ピンによる海底変動測定値

同一地点での海底変動量は $\pm 10\text{cm}$ 程度とかなり大きい。同一地点で 4 点すべてが+または-という例は少なく、+、- が同時に現れる場合が多い。これは、砂礫のジグザク型の移動など海底変動の形態特性を示すものと思われる。

(5) 方向別捕砂量

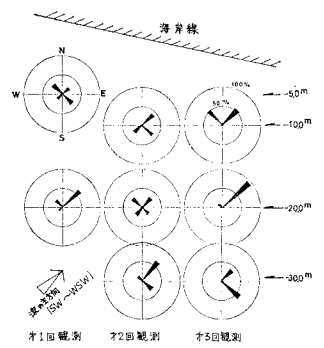
前述した捕砂用のビットは 4 方向に分割され、方位に合せて設置された。図—10 は方向別の捕砂量を重量比で示したものである。調査期間中の波向については実測されていないが図—1 に示す調査地点での地形特性からみて、波の主方向は SW~WSW 方向であったと考えてよい。図—10 によれば、波の入射方向である S~W 方向にはほとんど砂礫の堆積はみられない。このことは底面において岸方向の流れはみられなかったと言える。また、W~N~E 方向の捕砂量が大きいのは、全体として沖方向の砂の移動が大きいことを示している。このように、方向別の捕砂量と、波向との関係を求めることにより、漂砂の岸方向、沖方向の量的な比を求めることが可

能と言える。

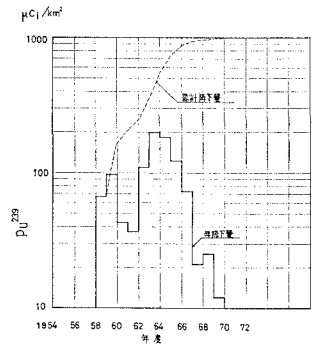
(6) 放射性降下物を利用した砂移動厚さの推定

1954 年以降、大気圏における核実験、あるいは原子力を動力とした人工衛生の大気圏への突入事故(1964 年 4 月)などに起因した放射性チリが毎年地上へと落下している。三宅らが東京における値を測定した例を図—11 に示す^{9),10)}。図に示されるように 1963 年に最大を示している。米国 Los Angeles でも同じ傾向を示し、量的にも殆んど同じである¹¹⁾。したがって、日本近海にも同様の割合で放射性チリの降下がある筈である。三宅らの調査によると¹²⁾、水面下 100m まで一様に分布していると考えられる。海水中の放射性物質の総量が、降下全量に比べてオーダーが落ちるため、かなり深い所まで沈下しているものと考えられている。

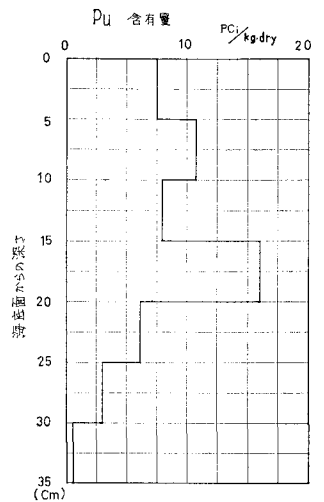
動燃事業団が東海沖で行なった調査結果によると¹³⁾、Pu は海水中に安定には存在できず、海水表面に供給されるとすぐ懸濁物質と共に沈降するものと推定されている。同事業団の採取したサンプルのうち、水深 20m 程度の海底から得られた長さ 35cm のコアサンプルを 5cm 毎に分割して測定した例を図—12 に示す¹⁴⁾。図によれば、30~35cm の所で Pu 量が急変しており、これより上部では何らかの形での混合があったことを示



図—10 方向別捕砂量(重量比)



図—11 東京で測定されたプルトニウム降下量



図—12 東海沖での海底土プルトニウム含有量図

している。いいかえれば、この地点では、海底面から 30 cm 以上の深い所の砂は殆んど動かなかったと考えてよいであろう。Pu²³⁹ の半減期は 2.44×10^4 年と非常に長く、1954 年以降では、まだ殆んど変らぬ強さをもっているとしてよい。

以上の例からみて、富士海岸での砂移動厚さ（あるいは砂の上下方向の混合厚さ）の測定に利用することとした。ピットを設置した水深 30 m の海底から長さ約 30 cm のコアサンプルをとり、Pu²³⁹ および Ce¹⁴⁴ の分析を行なった。分析は動燃事業団東海事業所安全管理部の

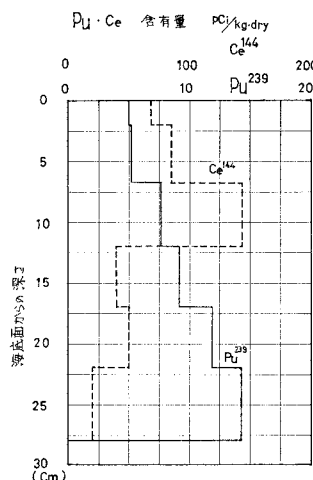


図-13 富士海岸水深 30m 地点での分析結果

好意によって行なわれた。ここで Ce¹⁴⁴ の分析を追加したのは、これの半減期が 285 日と短いので、最近数年の動きをみようとしたものである。測定結果を図-13 に示す。Ce¹⁴⁴ のピークが 10 cm 内外にあるのは、この付近までかなりの頻度で砂が動いていることを示していると思われる。Pu²³⁹ は採取したコアの範囲では、下方に行くに

たがって増加しており、1954 年以前の砂層にはまだ到達していない。

ピットによる調査結果から、富士海岸では砂は沖方向へと動きやすいことが知られた。したがって、下方へ行く程 Pu²³⁹ が増加するのは、図-11 からみて何がわかるように、下程古い砂が存在し、その上に新しい砂がのってきていると解釈できる。新しい砂が移動する厚さ、あるいは、その際に上下方向に混合する厚さは 10 cm 内外なのであろう。

4. むすび

富士海岸における砂礫の移動に関する現地調査結果から次のようなことが言える。

(1) 音波探査結果から、-50 m 以深に深くなるほど厚く砂が堆積している。このことから沖方向の砂の移動が大きいと推定される。(2) 砂礫（ビー玉）の移動速度は冬 15~20 m/day と大きい。また、現地では沿岸流速との相関はかなりよい。(3) 各水深別に行なった捕砂量から海底変動量と $h/H_{\max}$ の関係が得られた。1 回だけの観測では十分でないが、漂砂の有効な限界水深などの判定に利用できよう。(4) 方向別に捕砂調査を行なった結

果、富士海岸では沖方向の砂礫の移動が大きいことが示された。ピンによる海底変動調査でも同様の傾向が示されている。(5) プルトニウム含有量調査から、海底変動厚さの推定が可能といえる。富士海岸の水深 30 m での短期間の変動厚さは 10 cm 程度であろう。

謝 辞

本報告は富士海岸の侵食防止対策工法を検討するために行なわれた現地調査の結果をとりまとめたものである。現地調査は、東京大学堀川清司教授を委員長とする富士海岸保全対策検討会の指導のもとに実施したものであり、また、Pu, Ce の分析を行なうにあたり、動燃事業団安全管理室長黒川良康博士、同東海事業所安全管理部大和愛司氏に大変御世話になった。ここに記して、関係者の方々に深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 建設省中部地建沼津工事々務所・(株) グランドリサーチ：昭和49年度富士海岸地質調査報告書，昭和50年1月。
- 2) 建設省中部地建沼津工事々務所・日本テトラポッド(株)：富士海岸海底地質調査地層探査報告書，昭和50年1月。
- 3) 運輸省第五港湾建設局：田子の浦港漂砂調査報告書，昭和48年3月。
- 4) 服部昌太郎・鈴木隆介：海浜礫の変異系列に関する現地実験，第23回海岸工学講演会論文集，pp. 268-273，1975。
- 5) 建設省中部地建沼津工事々務所・日本テトラポッド(株)：富士海岸海底砂移動調査報告書，昭和51年2月。
- 6) 堀川清司：海岸工学，東大出版会，pp. 207-216，昭和48年4月。
- 7) 市川 武・落合治美・富田一夫・室伏久治：駿河湾田子の浦海岸の波と漂砂，第8回海岸工学講演会講演集，pp. 161-167，1961。
- 8) 橋本 宏：海浜変形モデルの富士海岸への適用，第23回海岸工学講演会論文集，pp. 218-222，1976。
- 9) Miyake, Y. et al.: Deposition of plutonium in Tokyo through the end of 1966, 気象研報告第19巻第2号，pp. 267-276，1968。
- 10) Miyake, Y. et al.: A study on plutonium fallout, J.G.R., Vol. 75, No. 12, pp. 2329-2330, 1970。
- 11) Koide, M. et al.: Records of plutonium fallout in marine and terrestrial samples, J.G.R., Vol. 80, No. 30, pp. 4153-4162, 1975。
- 12) Miyake, Y. et al.: Plutonium content in the western North Pacific Waters, 気象研報告第19巻第3号，pp. 481-485，1968。
- 13) 今熊義一，他：海洋環境試料中のプルトニウム濃度，日本保健物理学会第10回研究発表会要旨集，p. 28。
- 13) で発表時に使用した資料の写し，大和愛司氏からの私信による。