

千葉県九十九里海岸における漂砂の 卓越方向に関する研究

堀 川 清 司*・砂 村 継 夫**

1. はじめに

本研究の目的は、標題地域における、汀線に平行方向の漂砂の卓越方向を明らかにすることにある。現地調査により判明した海浜堆積物の変異系列ならびに既往の資料をもとに調べた河口偏寄の状態より卓越方向を推定し、この結果を長期間の汀線変化および沿岸砂州の発達の状態との関連において考察した。以下に「漂砂」とは汀線に平行方向の砂移動を意味するものとする。

2. 調査地域概観

調査地域は屏風ヶ浦の西端から九十九里海岸および太東岬をへて和泉浦に至る、延長約 80 km の海岸である(図-1)。九十九里海岸は少量の礫が点在する砂浜海岸

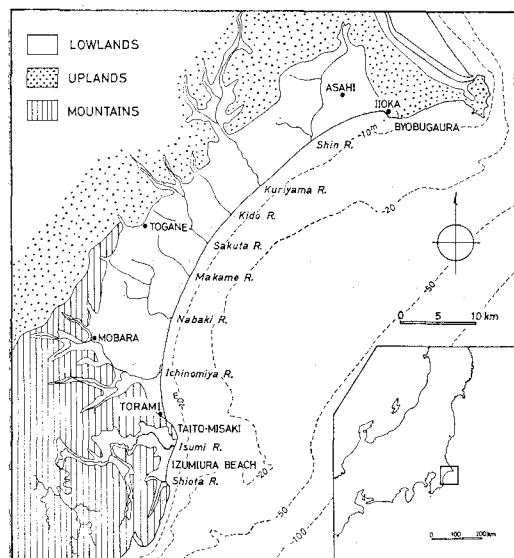


図-1 調査地域

で、汀線の背後には比高数 m の砂丘が発達している。海浜の幅(砂丘の海側の麓から汀線までの距離)は、中央部の木戸川～真亀川間が最も広く 100～150 m で、両端部に行くにつれて漸次狭くなり、北の新川付近で約 25 m、南の一宮川付近で約 30 m である。

九十九里海岸の北端に接する屏風ヶ浦の海蝕崖はその基部に鮮新統の飯岡層、上部に洪積統の成田層および関

東ローム層が露出する。飯岡層は灰色泥岩、成田層は砂礫より成る。一方、当海岸の南端に位置する太東岬は鮮新統の黄和田層が露出する海蝕崖である。黄和田層の大部分は灰色泥岩で、一部に白褐色軽石質泥岩が見られる。これらの海蝕崖は侵蝕が激しく、前者は年平均 0.7 m/year¹⁾、後者は 0.9 m/year 程度²⁾の速度で後退していることが明らかになっている。

九十九里海岸の汀線付近に分布する礫の種類は灰色泥岩、白褐色軽石質泥岩(以下「白褐色泥岩」とよぶ)、石英粗面岩および軽石質凝灰岩などである。当海岸に流入する諸河川はいずれも河口付近まで礫を流送していない。したがって、これらの礫は当海岸に隣接する海岸から運搬されてきたものと思われる。上述したように、屏風ヶ浦と太東岬の海蝕崖は激しく侵蝕されており、その結果両地域とも多量の灰色泥岩礫を生産している。屏風ヶ浦の灰色泥岩と太東岬のそれとを現地において区別することはむずかしいが、当海岸にみられる灰色泥岩礫の供給源はこれらの海蝕崖であることは明らかである。一方、白褐色泥岩礫の供給源は太東岬の海蝕崖である。なお、その他の礫の供給源は今回の調査では明らかにされなかった。

3. 海浜堆積物の変異系列から推定した漂砂の卓越方向

従来、多くの研究者によって海浜堆積物の分布状態から漂砂の移動方向を推定しようとする試みがなされている。これを大別すると次の5つになる：海浜礫の分布状態から推定したもの^{3)～10)}、海浜砂の粒度特性から推定したもの^{11)～14)}、海浜砂の重鉱物含有率から推定したもの^{15)～20)}、特殊な鉱物を指標としてその分布状態から推定したもの^{21)～26)}、海浜砂に含まれる天然放射能の分布状態から推定したもの^{27)～30)}。

ここでは、比較的時間がからず、しかも経済的な方法として次の3つの方法を採用した：(1) 海浜礫の最大礫値から推定する方法、(2) 海浜砂の粒度特性(粒径および分級度)から推定する方法、(3) 海浜砂の重鉱物含有率から推定する方法。

(1) 海浜礫の最大礫値から推定した結果

海浜礫は供給源から漂砂の下流方向に行くにつれて、漸次その大きさが減少する^{31), 32)}ので、各調査地点におけ

* 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 東京大学研究生 工学部土木工学科

る礫の大きさを比較することによって漂砂の卓越方向を推定することが可能となる。各地点で岩質別に最大径の礫を採集し、長径・中径・短径を計測して見掛けの体積を求め、それを最大礫値とする方法がある^{33)~35)}。

ここでは、図-2に示すように、3~4 km 間隔に調査地点を設け、各地点において、一边を汀線に平行に約300 m、他の一边を海浜幅とするような長方形内から岩

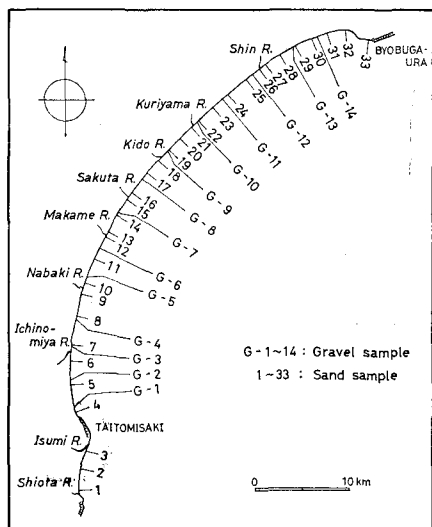


図-2 調査地点

質別に礫を採集し、大きいものから10個を選び、それぞれにつき見掛けの体積を求め、それらを平均してその地点における最大礫値とした。測定した礫は、供給源の明白な灰色泥岩礫と白褐色泥岩礫に限定した*。

図-3(A)は、供給源が太東岬あるいは屏風ヶ浦である灰色泥岩礫の最大礫値の変異系列を示している。かなりの局地的変動を示しているが、両供給源から南白亀川

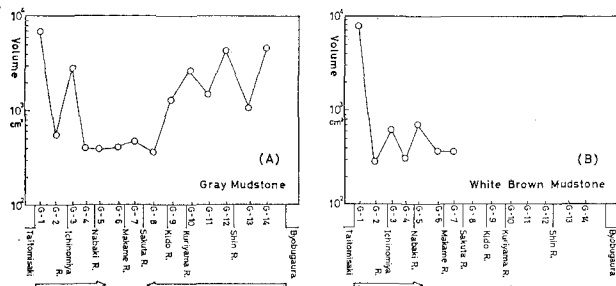


図-3 海浜礫の最大値の変化およびそれより推定される漂砂の卓越方向(矢印)

～作田川間の地域に向うにつれて最大礫値は減少する。この変化より推定される漂砂の卓越方向は、図中矢印で示されるように、当海岸の両端から中央部に向っている。次に、供給源を太東岬に持つ白褐色泥岩礫の最大礫

値の変化は、図-3(B)に示されるように、供給源から遠ざかるにつれて急激に減少し、地点G-8より屏風ヶ浦寄りの地域では、この種の礫は発見できなかった。この図より明らかに、太東岬より当海岸の中央部に向う漂砂の存在が推察される。

(2) 海浜砂の粒度特性(粒径および分級度)から推定した結果

海浜礫の場合と同様に、海浜砂の大きさも漂砂の下流方向に減少する^{36), 37)}傾向が一般に認められる。また、供給源に近い所では分級度が悪い³⁸⁾と考えられる。したがって、海浜砂の大きさと分級度の場所的变化を調べることによって、漂砂の移動方向を推定できる場合がある。このような推定を試みる際に用いる海浜砂の粒径や分級度の指標としては、できる限り正確に堆積環境を表現できるようなものを選ぶことが必要であろう。

従来、砂粒子の平均的な大きさの指標としては中央粒径と平均粒径が用いられている。どちらがより正確に堆積環境を表現するかという点については多くの議論があり、意見の一致をみていない³⁹⁾ので、ここでは次式で示される平均粒径を用いることにする。この理由は、後述するように、分級度の指標として適している標準偏差を計算する際に都合がよいからである。

$$m_\phi = \frac{1}{100} \sum f x_\phi \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 m_ϕ は ϕ スケールで表わされた平均粒径、 x_ϕ は ϕ スケールの各粒径グループの midpoint および f は度数百分率である。

従来、よく用いられてきた Trask の分級度⁴⁰⁾ ($S_0 = \sqrt{d_{75}/d_{25}}$) および Krumbein の分級度⁴¹⁾ ($Q_d = (\phi_{75} - \phi_{25})/2$) は、Folk⁴²⁾によると、ともに堆積環境をよく表現しないので、使うべきではないと述べている。また、Koldijk⁴³⁾によって、Trask の分級度はあまり淘汰のよくない砂の堆積環境を解釈するには有効でないことが示されており、次式で表現される Friedman⁴⁴⁾ の標準偏差が望ましいことが明らかにされているので、ここでは次式によって分級度を計算することにする。

$$\sigma_\phi = \sqrt{\sum f (x_\phi - m_\phi)^2 / 100} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 σ_ϕ は標準偏差である。

海浜砂の粒径は、上述したように、漂砂の下流方向に減少する傾向があるが、下流方向に粒径が増大するという現象も二、三報告されている^{45)~47)}。これらの報告によると、下流方向に運搬されてきた海浜砂の中に含まれる細粒物質が沖方向に運び去られてしまった結果、海浜に粗粒な物質が残されるためであると解されている。このような場合、分級度は漂砂の上流側よりも一般に小さくなるであろう。Seibold⁴⁸⁾は、分級度も同時に考慮するならば粒径分布から移動方

*海浜礫の調査および後述する海浜砂の採集は1970年12月22~24日に行なわれた。

向を推定することができる」と述べている。Pettijohn と Ridge⁽⁹⁾ は、Erie 湖沿岸における調査結果から、供給源から遠ざかるにつれて粒径は顕著に減少するが分級度には大きな変化は見られないと報告している。

以上のことから、次のような推定基準を設ける。

(i) 供給源から遠ざかるにつれて、粒径および分級度がともに減少する場合ならびに粒径が減少し分級度が一定の傾向を示さない場合は、ともに粒径が減少する方向に漂砂が卓越する。

(ii) 供給源から離れるにつれて、粒径が増大し分級度が減少する場合は、分級度が減少する方向に漂砂が卓越する。

(iii) (i) あるいは (ii) に該当しない場合は推定不能とする。

調査地域において、多量の土砂を放出あるいは排出する場所としては屏風ヶ浦、太東岬および夷隅川がある。これらが九十九里海岸への土砂の主要な供給源であり、当海岸に流入する諸河川はいずれも河床勾配が小さく流量も少ないので、当海岸への土砂の供給源ではない。なお、これら諸河川の河口付近における河道内の堆積物の粒径は海浜のものとは比べてはるかに小さい。

図-2 に示すように、1~2 km 間隔に海浜砂の採集地点を設け、一地点につき前浜と後浜の2か所で採集した砂を Tyler の標準ふるいを用いてふるい分けを行なった。結果はすべてφスケールで表わした。式(1)および(2)を用いてそれぞれ平均粒径および分級度を計算した。

図-4 は後浜の試料の平均粒径および分級度の変異系列を示している。新川および一宮川付近に平均粒径の極大値が現われている。上述したように、これらの河川は海浜堆積物の供給源ではない。これらの河口付近に粒径の大きい砂が分布することについて、ここでは次のように考えておく。これらの地域で分級度が大きい(図-4)ことから判断して、屏風ヶ浦から放出された土砂が新川付近に、太東岬および夷隅川から供給された土砂が一宮川付近に、それぞれ海底沿いに運搬されてきて、打ち上げられたものとする*。したがって、これらの地域も当海岸の漂砂の供給源になっているといえよう。なお、顕著ではないが、前浜の平均粒径(図-5)にも同様な傾向がみられる。さて、後浜の平均粒径と分級度を比較すると、図-4 よりわかるように、新川以南ではほぼ同様な変化状態を示している。一方、新川以北では分級度の大きな変化は認められない。上述の基準をもとに漂砂の卓越方向を推定したものが

図中矢印で示されている。

前浜の平均粒径(図-5)はかなりの局地的変動を示すが、ならしてみると図中の曲線ようになる。一方、分級度は一定した傾向を示していない。図中の矢印は平均粒径の曲線をもとにして推定された漂砂の移動方向を示す。

(3) 海浜砂の重鉱物含有率から推定した結果

供給源から遠ざかるにつれて重鉱物の含有率が減少する場合は、その方向に漂砂が卓越していることを示している⁵⁰⁾。したがって、各調査地点における海浜砂の重鉱物含有率を調べることで、漂砂の卓越方向を推定することができる。前述の海浜砂の試料から粒径が2φ(0.25 mm)~4φ(0.062 mm)の範囲に入る細粒物を約10 g 抽出し、Hallimond 型の自動鉱物電磁分離機を用

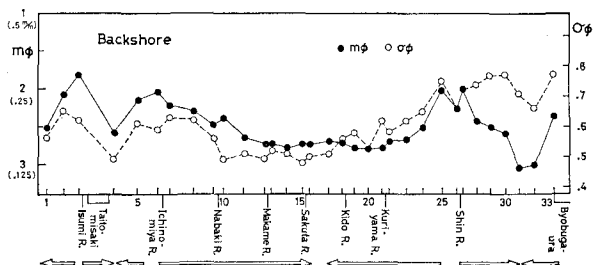


図-4 海浜砂(後浜)の平均値および分級度の変化およびそれより推定される漂砂の卓越方向(矢印)

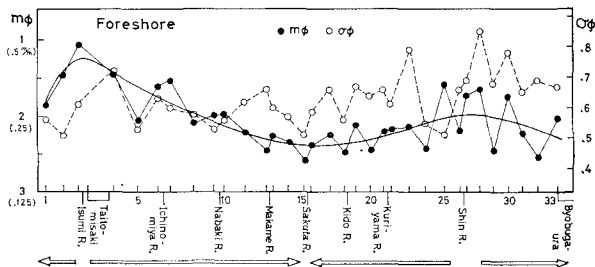


図-5 海浜砂(前浜)の平均値および分級度の変化およびそれより推定される漂砂の卓越方向(矢印)

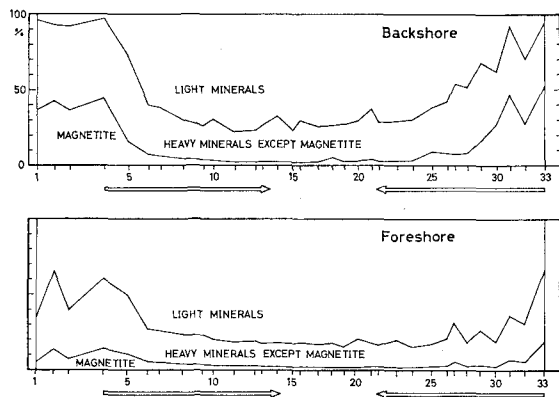


図-6 海浜砂の重鉱物含有率の変化およびそれより推定される漂砂の卓越方向(矢印)

*このような考えの妥当性については、今後詳細な調査を行なう必要がある。

いて、砂鉄、砂鉄以外の重鉱物および軽鉱物に分離し、重量百分率を求めた。

九十九里海岸北端の飯岡周辺、南端の東浪見付近および泉浦には沖積世砂鉄の鉱床があり⁵¹⁾、これらが当海岸の重鉱物の供給源になっている。図-6は重鉱物含有率の場所的分布を示している。後浜・前浜ともに、当海岸の両端の供給源から中央部に向うにつれて含有率が減少している。これらの結果から両端から中央部に向う漂砂が卓越していることが推定される。

ここで海浜堆積物の分布状態から推定された諸結果を

表-1 河口偏寄の状態より推定される漂砂の移動方向

	SURVEY YEAR										Inferred dominant direction
	1883	1884	1903	1921	1930	1931	1934	1950	1963		
Shin River	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↗
Kuriyama R.	?	-	↗	-	-	-	↗	-	-	↗	↗
Kido R.	↗	-	?	-	-	-	?	↗	-	↗	↗
Sakura R.	↗	-	↗	↗	-	-	X	↗	-	↗	↗
Makame R.	X	-	↗	-	-	-	↗	-	-	↗	↗
Nabaki R.	↗	-	↗	-	-	X	-	↗	-	↗	↗
Ichinomiya R.	↗	-	↗	-	-	↗	-	↗	-	↗	↗
Isumi R.	↗	-	↗	-	-	↗	-	↗	-	↗	↗
Shiota R.	↗	-	↗	-	-	↗	-	↗	-	↗	↗

LEGEND	↗ ↘ Both directions are inferred.
X	No directions are inferred.
?	Inference is impossible due to river mouth blocking.

いることになる。

4. 河口偏寄の状態より推定した漂砂の卓越方向

漂砂の移動方向を直接示すものとして河口の形状がある。表-1は調査地域に流入する諸河川の河口の偏寄に着目して、漂砂の方向を推定した結果である。これらの結果は既往の地形図*をもとにして調べられたものである。それぞれの河口における漂砂の卓越方向を表中の右欄に示した。これらの結果は図-7にも示されている。なお、これらの河口のうち、特に一宮川河口の移動状況については、本間⁵²⁾が顕著な北向きの移動の存在を報告している。

5. 考察

長期間の漂砂の卓越方向が当海岸の両端から中央部に

*1883~4年のものが2万分の1、他のものは5万分の1の縮尺である。

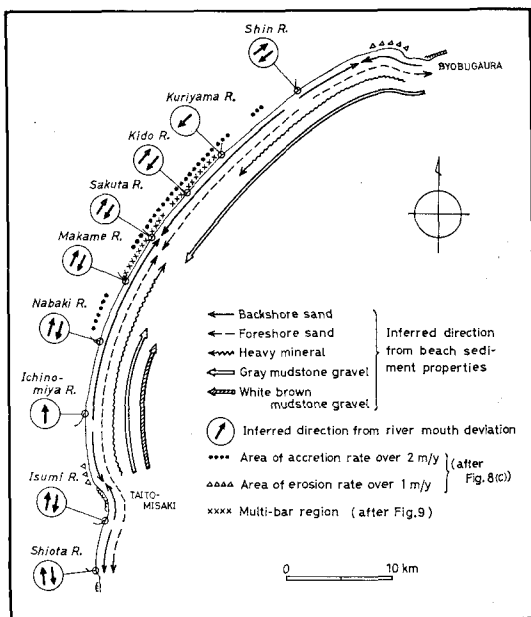


図-7 種々の指標より推定される漂砂の卓越方向

まとめてみると 図-7 のようになる。一宮川~新川間の地域においては、当海岸の中央部に向うような漂砂の移動があることがどの指標によっても示されている。一方、新川以北および一宮川以南の地域においては、これらの指標から知れる移動方向がすべて一致しているとはいえない。このことは、これらの地域においては、漂砂の移動方向が逆転する場合があることを暗示しているものであろう。礫は砂に比べて移動しにくいので、礫の分布から推定した移動方向というものは砂の場合よりも長期にわたって積算されたものをしていいると考えれば、当海岸における長期間の漂砂の卓越方向は、礫の分布傾向から見て、太東岬および屏風ヶ浦から当海岸の中央部に向って

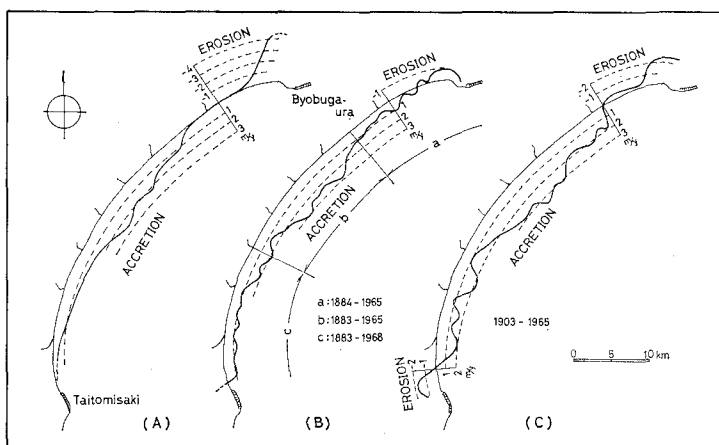


図-8 九十九里海岸における汀線変化

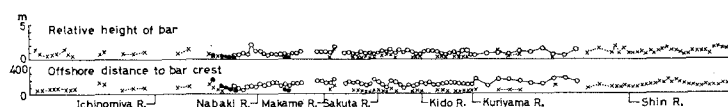


図-9 九十九里海岸における沿岸砂州の分布(茂木による)

向うものであるならば、中央部では砂の堆積が行なわれ、汀線の前進が予想される。そこで長期間の汀線変化を調べてみた。

図-8 (A) は沿岸の住民が概測した最近 100 年間の汀線変化の状態を示している*。図-8 (B) は 1883 年あるいは 1884 年実測の 2 万分の 1 測図と 1965 年あるいは 1968 年の 2 万 5 千分の 1 地形図とから、これらを同一縮尺にして、80 数年間の変化状況を調べたものである。次に図-8 (C) は 1903 年および 1965 年の 5 万分の 1 地形図を比較して変化状況を求めたものである。これら 3 つの図をみると、定量的には多少異なっている場所もあるが、定性的には一致しており、当海岸の中央部において顕著な汀線の前進がみられ、両端では後退していることがわかる。

次に沿岸砂州の発達状態をみてみると、当海岸の中央部には 2 段の沿岸砂州の発達が見られる (図-9⁵⁴⁾)。この発達地域と汀線の前進速度が 2 m/year 以上の地域とを比較すると、ほぼ一致していることがわかる (図-7)。当海岸の両端から中央部に運搬されてきた土砂がそこに多量に堆積して、汀線の前進や 2 段の沿岸砂州の発達をもたらしているものと考えられる。

図-7 をもとにして、当海岸における漂砂の卓越方向を考察する。長期間にわたる漂砂の移動は、海浜砂の分布傾向から推定されるように、当海岸の両端から中央部へ向うものが卓越している (図-10)。また、顕著な汀線の前進状況および 2 段の沿岸砂州の発達状態から判断

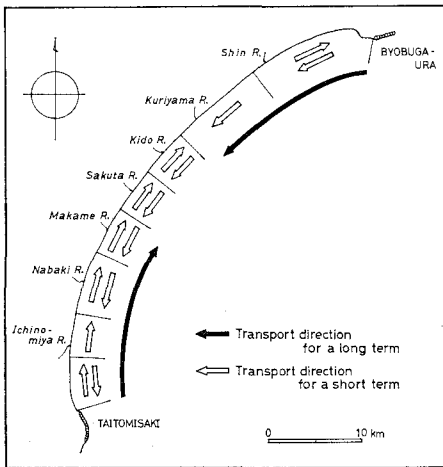


図-10 九十九里海岸における漂砂の卓越方向推定図

して、真亀川～栗山川間の地域が運搬されてきた土砂の堆積区域であろう。一方、短期間の漂砂の移動方向は海浜砂の分布傾向および河口変化の状態から、図-10 に示されるように、地域により異なることが推定される。

*青野⁵³⁾の資料をもとに、筆者らが変化速度を求め、図示したものである。

6. おわりに

本研究は、運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所より依頼された調査の結果を一部修正してとりまとめたものである。調査を遂行するにあたりお世話になった横浜調査設計事務所 高岡征二郎調査課長、中央大学理工学部 鈴木隆介助教授、(株) I.N.A. 新土木研究所 高居富一代表取締役、東京大学工学部土木工学科 佐々木民雄大学院生および五十嵐元研究員の諸氏ならびに試料分析を手伝っていただいた内田義雄氏に、記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 堀川清司・砂村継夫：千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について (2)，第 17 回海岸工学講演会論文集，pp. 289～296，1970。
- 東京大学工学部土木工学科港湾研究室・(株) I.N.A. 新土木研究所：昭和 45 年度屏風ヶ浦および太東岬海岸侵蝕調査報告書，1971。
- 本間 仁・堀川清司・鮮干澈：片瀬・鎌倉海岸の沿岸流に関する研究，第 5 回海岸工学講演会論文集，pp. 115～122，1958。
- 荒巻 孚・鈴木隆介：海浜堆積物の分布傾向からみた相模湾の漂砂について，地理評，第 35 巻，pp. 17～34，1962。
- 三野与吉・町田 貞・荒巻 孚・山内秀夫：新潟海岸の海浜堆積物からみた沿岸流の卓越方向について，東大地理学研究報告，第 7 巻，pp. 1～22，1963。
- Aramaki, M. and S. Takayama: A Petrographic Study on Littoral Drift along the Ishikawa Coast, Japan, Proc. 10th Conf. Coastal Eng., pp. 615～631, 1966。
- 山内秀夫：渥美半島南岸における海浜砂の分布傾向について，群馬大教育学部紀要，第 17 巻，pp. 153～167，1967。
- 速水頌一郎・宇野木早苗・斎藤 晃：駿河湾奥部の河川に起源をもつ砂礫の移動，第 5 回災害科学総合シンポジウム，pp. 49～50，1968。
- 鴻上雄三・井波宏之・星 藤男：北海道太平洋岸における海岸浸食の特徴，第 17 回海岸工学講演会論文集，pp. 283～288，1970。
- Sunamura, T. and K. Horikawa: A Study on the Prevailing Direction of Littoral Drift along the Kashiwazaki Coast, Japan, Ann. Rep. Eng. Res. Inst., Univ. of Tokyo, Vol. 30, pp. 21～28, 1971。
- 前出 5)。
- 佐藤昭二・入江 功・杉山茂信：天然放射能による漂砂の供給源および卓越方向の推定について，第 14 回海岸工学講演会論文集，pp. 300～305，1967。
- 佐藤昭二・入江 功・堀江 毅：富山海岸における漂砂源と卓越方向について，第 17 回海岸工学講演会論文集，pp. 297～304，1970。
- 前出 10)。
- 前出 4)。
- Kamel, A.M.: Transportation of Coastal Sediments, Inst. Eng. Res., Tech. Rep., Ser. 185, Univ. of Calif., 1962。
- 前出 5)。
- 前出 6)。
- 前出 12)。
- 前出 10)。
- Trask, P.D.: Source of Beach Sand at Santa Barbara,

- California as Indicated by Mineral Grain Studies, BEB Tech. Memo. No. 28, 1952.
- 22) McMaster, R.L. : Mineralogy as an Indicator of Beach Sand Movement Along the Rhode Island Shore, J. Sedi. Petrol., Vol. 30, pp. 404~413, 1960.
- 23) 前出 4).
- 24) 石下禎重・中橋 新・奈須紀幸 : 東京湾湾口(富津埼)における漂砂について, 第14回海岸工学講演会講演集, pp. 290~299, 1967.
- 25) 前出 9).
- 26) 前出 13).
- 27) 前出 16).
- 28) Kamel, A.M. and J.W. Johnson : Tracing Coastal Sediment Movement by Naturally Radioactive Minerals, Proc. 8th Coastal Eng., pp. 324~330, 1963.
- 29) Tashjian, Z., J. Cherry, G. Gordon, and M. Gablinger : Radiometric Determination of Thorium in Coastal Sands for Tracing Littoral Movement, Hydranlic Eng. Lab. Rep. No. HEL-5-3, Univ. of Calif., 1964.
- 30) 前出 12).
- 31) Russell, R.D. : Effects of Transportation on Sedimentary Particles, Recent Marine Sediments (ed. by P.D. Trask), Am. Assoc. Petrol. Geol., Oklahoma, pp. 32~47, 1939.
- 32) Pettijohn, F.J. : Sedimentary Rocks (2nd ed.), Harper & Row, New York, pp. 528~529, 1957.
- 33) 前出 4).
- 34) 前出 5).
- 35) 前出 10).
- 36) MacCarthy, G.R. : Coastal Sands of the Eastern United States, Am. J. Sci., Vol. 22, pp. 35~50, 1931.
- 37) Pettijohn, F.J. and A.C. Lundahl : Shape and Roundness of Lake Erie Beach Sands, J. Sedi. Petrol., Vol. 13, pp. 69~78, 1943. (前出 32), p.531 による)
- 38) Martens, J.H.C. : Beaches, Recent Marine Sediments (ed. by P.D. Trask), Am. Assoc. Petrol. Geol., Oklahoma, pp. 207~218, 1939.
- 39) Koldijk, W.S. : On Environment-Sensitive Grain-Size Parameters, Sedimentology, Vol. 10, pp. 57~69, 1968.
- 40) Trask, P.D. : Mechanical Analysis of Sediments by Centrifuge. Econ. Geol., Vol. 25, pp. 581~599, 1930.
- 41) Krumbein, W.C. : The Use of Quartile Measures in Describing and Comparing Sediments, Am. J. Sci. Vol. 32, pp. 98~111, 1936.
- 42) Folk, R.L. : A Review of Grain-Size Parameters, Sedimentology, Vol. 6, pp. 73~93, 1966.
- 43) 前出 39).
- 44) Friedman, G.M. : Distinction between Dune, Beach, and River Sands from Their Textural Characteristics, J. Sedi. Petrol., Vol. 31, pp. 514~529, 1961.
- 45) Schalk, M. : A Textural Study of the Outer Beach of Cape Cod, Massachusetts, J. Sedi. Petrol., Vol. 8, pp. 41~54, 1938.
- 46) Handin, J.W. : The Geological Aspects of Coastal Engineering, Proc. 1st Conf. Coastal Eng., pp. 133~139, 1950.
- 47) Seibold, E. : Geological Investigation of Near-Shore Sand-Transport, Progress in Oceanography (ed. by M. Sears), Pergamon Press, Oxford, pp. 1~70, 1963.
- 48) 前出 47).
- 49) Pettijohn, F.J. and J.D. Ridge : A Textural Variation Series of Beach Sands from Cedar Point, Ohio, J. Sedi. Petrol., Vol. 2, pp. 76~88, 1932. (前出 38) による).
- 50) 前出 16).
- 51) 服部富雄 : 本邦の含チタン砂鉄資源, 地質調査報告特別号(E), pp. 1~38, 1960.
- 52) 本間 仁 : わが国沿岸の漂砂に関する調査報告(第2報) 土木試験所報告, 第66巻, pp. 11~18, 1944.
- 53) 青野寿郎 : 九十九里浜海岸平野における集落の移動, 地理評, 第7巻, pp. 1~25, 1931.
- 54) 茂木昭夫 : 日本の海浜型について, 地理評, 第36巻, pp. 245~266, 1963.