

海岸砂の鉱物組成および全岩組成に基づく 土砂移動動態の推定

—湘南海岸・九十九里浜を例として

ESTIMATION OF SEDIMENT TRANSPORT BASED ON MINERAL AND
CHEMICAL COMPOSITION OF BEACH SAND

—CASE STUDIES ON SHONAN AND KUJUKURI COAST, JAPAN

石井敦子¹・萩谷宏²・渡辺国広³

Atsuko ISHII, Hiroshi HAGIYA, Kunihiro WATANABE

¹武蔵工業大学 環境情報学部環境情報学科 (〒224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西3-3-1)

²武蔵工業大学 知識工学部化学部門 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1)

³正会員 農博 国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

The mineral and chemical compositions of beach sediments were analyzed on Shonan and Kujukuri coast, Japan. Distributions of some minerals and chemicals along coast were well coincided with longshore transports of sediments on Kujukuri coast and Shichirigahama beach, Shonan coast. The ratio of colored mineral tended to be high on eroding beach, and was considered as applicable index for early assessment of shoreline change. The chemical compositions well illustrated the difference in source of beach sediments. Otherwise, minerals could not estimate source properly in some cases. These results suggested the usefulness and limitation of mineral composition analysis on beach management.

Key Words : longshore sand transport, XRF, mineral, Shonan coast, Kujukuri coast

1. はじめに

砂浜における底質の鉱物組成の差異は、色の違いとして認識されやすいため、利用可能なデータの限られる現地調査時の貴重な情報源と期待されるが、これまでは粒度組成に比べて着目されてこなかった。厳密な鉱物組成分析には鉱物を同定するための熟練が必要とされることが現場における利用が進まなかった原因の一つと考えられる。

しかし、海岸利用や生物の生息環境保全のうえでは重要な要素であること、沿岸漂砂による底質の分級を考慮した海浜変形モデル¹⁾が利用されるようになってきたことを考えれば、今後は鉱物組成にも着目した検討の必要性が高まるものと考えられる。そこで本研究では、海浜砂の鉱物組成が海岸の侵食・堆積傾向や土砂供給源の推定に利用可能かを検討するために、侵食・堆積傾向についての情報が揃っている海岸において海浜砂の鉱物組成分析と全岩組成分析を実施した。さらに得られた結果をもとに、簡略化した鉱物組成分析でどの程度まで地先海岸の情報を得ることが出来るかについても検討した。

2. 方法

(1) 底質試料の採取

沿岸漂砂や海浜変形についての情報が比較的揃っている神奈川県西湘海岸・湘南海岸と千葉県九十九里浜の2箇所を調査対象とした。西湘海岸・湘南海岸については、逗子海岸から酒匂川河口までの46地点で、九十九里浜については屏風ヶ浦から太東崎にかけての32地点で汀線部表層の底質を採取した(図-1)。また、湘南海岸の土砂供給源を特定するために、相模川(3地点9試料)、金目川(4地点7試料)、酒匂川(2地点2試料)の中流域から河床および河岸の土砂を採取した(図-1)。

(2) 鉱物組成分析

実体顕微鏡下で1試料につき200以上の砂粒をカウントした。カウントの際には石英、斜長石、カリ長石、普通輝石、紫蘇輝石、黒雲母、かんらん石、角閃石、軽石、スコリア、岩石片、生物起源(貝殻片、有孔虫など)、磁鉄鉱、人工物、その他の15種に分類した。

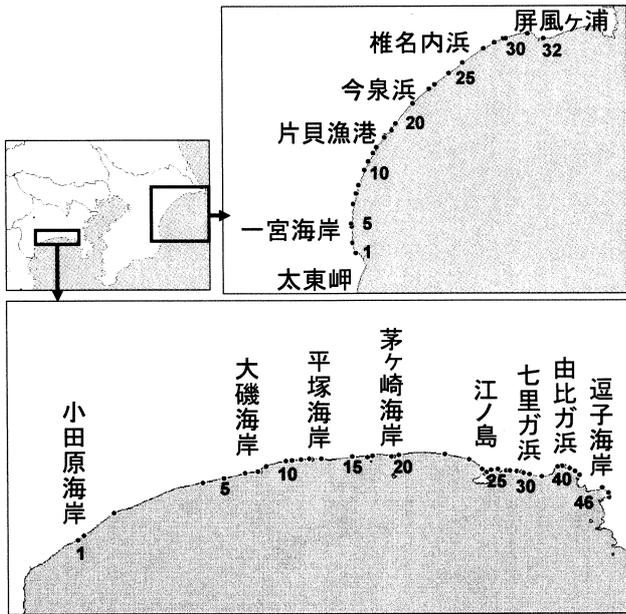


図-1 砂試料採取地点

(3) 全岩組成分析

砂試料を粉碎機にかけて粉末にした後、専用のプラスチック製リングに入れて加圧プレス機で約 10t の圧力をかけ、加圧成形ディスクを作成した。このディスクに含まれる主要 10 元素 (SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5) と微量元素 9 元素 (Rb, Sr, Nb, Ni, Cr, Y, Zr, S, Ba) を、武蔵工業大学機器分析室の蛍光 X 線分析装置 RIX3000 (理学電気工業製) により定量した。

3. 結果

(1) 鉱物組成分析

鉱物組成分析の結果を無色鉱物 (石英, 斜長石, カリ長石), 有色鉱物 (普通輝石, 紫蘇輝石, 黒雲母, かんらん石, 角閃石), 岩石片 (軽石, スコリア, 岩石片), 生物起源粒子, 磁鉄鉱他の 5 つに分類して示したものを図-2, 図-3 に示す。

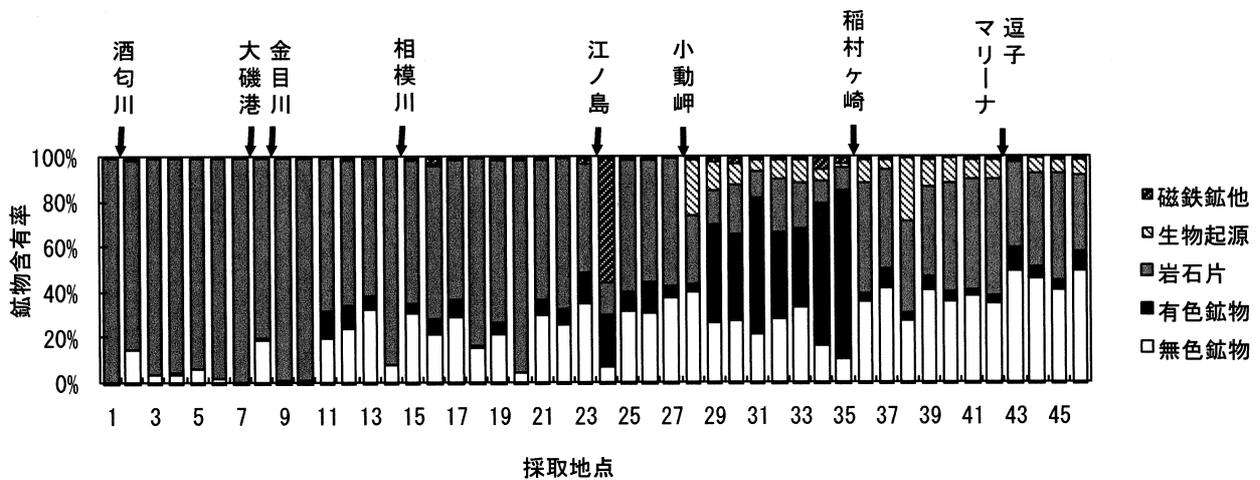


図-2 湘南海岸における鉱物組成の沿岸分布

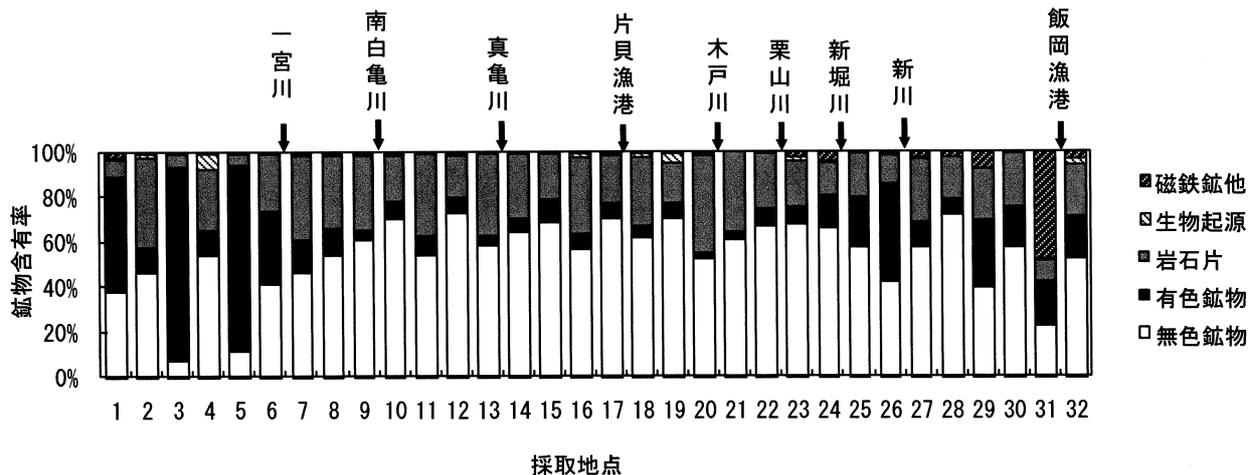


図-3 九十九里浜における鉱物組成の沿岸分布

表-1 3河川より採取された底質の化学組成

主要元素	相模川 (n=9)	金目川 (n=7)	酒匂川 (n=2)
	平均 (%)	平均値 (%)	平均値 (%)
SiO ₂	65.36	52.53	54.61
	2.39	0.79	0.65
TiO ₂	0.67	0.92	0.86
	0.06	0.04	0.01
Al ₂ O ₃	13.07	14.01	14.31
	0.42	0.45	0.12
Fe ₂ O ₃	7.62	11.79	9.46
	0.82	0.85	0.04
MnO	0.12	0.16	0.16
	0.01	0.01	0.00
MgO	3.19	5.25	5.39
	0.12	0.41	0.11
CaO	3.82	6.63	7.14
	0.53	0.53	0.42
Na ₂ O	2.31	2.62	2.82
	0.13	0.26	0.11
K ₂ O	1.16	0.88	0.61
	0.12	0.04	0.03
P ₂ O ₅	0.09	0.15	0.12
	0.01	0.01	0.00
微量元素	平均値 (ppm)	平均値 (ppm)	平均値 (ppm)
Rb	33.2	16.8	12.5
	5.0	1.3	0.0
Sr	200.7	223.7	223.3
	22.9	9.6	13.0
Ba	286.5	179.5	171.9
	24.9	11.4	3.4
Y	20.6	20.2	20.2
	0.1	0.1	0.0
Zr	72.6	57.8	57.8
	4.0	2.1	1.9
Nb	3.5	2.0	1.8
	0.5	0.3	0.0
Cr	67.9	67.8	83.1
	21.5	13.5	4.5
Ni	26.1	26.4	26.2
	7.3	5.0	1.1
S	204.2	173.0	303.6
	43.3	63.1	97.3

各元素の上段が平均値，下段が標準偏差

西湘・湘南海岸については、小田原から江ノ島周辺の範囲で、西から東に向かうにつれて岩石片の割合がほぼ100%から約50%まで減少する一方で、無色鉱物の割合が0%から約40%まで増加する傾向が見られた(図-2)。小動岬から稲村ヶ崎にかけては有色鉱物の割合が平均36.2% (SD 17.0%, n=6)と、その他の地点の平均8.3% (SD 14.8%, n=40)よりも明らかに高かった。

九十九里浜では湘南海岸に比べて岩石片の割合が少なく、鉱物が多かった(図-3)。南白亀(なばき)川から新堀川にかけての地点では無色鉱物の割合が平均63.6% (SD 6.1%, n=15)、その他の地点で平均44.4% (SD 16.9%, n=17)と、中央部付近で無色鉱物が多い傾向にあった。

(2) 全岩組成分析

湘南海岸に流入する相模川、金目川、酒匂川の中流域から採取した底質試料の組成は SiO₂、TiO₂、

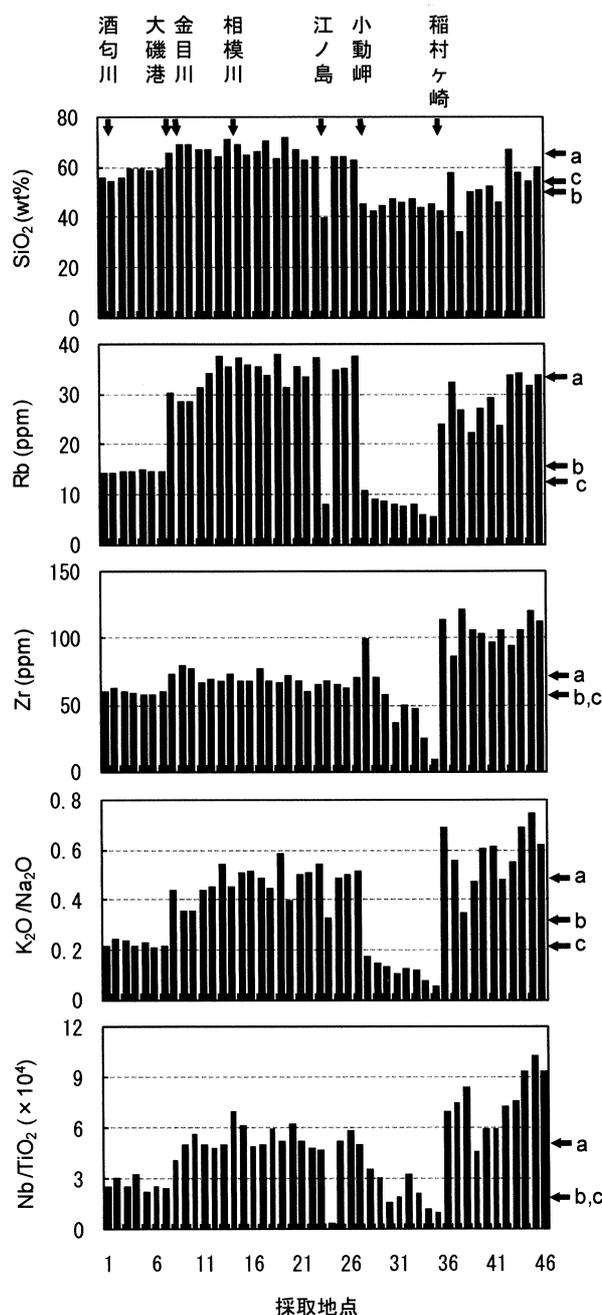


図-4 湘南海岸の底質の化学的組成 a, b, cはそれぞれ相模川、金目川、酒匂川における平均値

Fe₂O₃、K₂O、P₂O₅、Rb が同一河川内で差異が小さい一方で河川間で明瞭な差異を示し、海岸の土砂供給源を推定するうえで有望と考えられた(表-1)。

湘南海岸で採取された試料では、SiO₂、Rb、Zr、K₂O/Na₂O、Nb/TiO₂において、大磯港、小動岬、稲村ヶ崎を境界にした地点による差異が明瞭に見られた(図-4)。また、小動岬と稲村ヶ崎の間に位置する七里ヶ浜においてはRb、Zr、K₂O/Na₂O、Nb/TiO₂の値がいずれも西から東に向かって小さくなる傾向にあった。なお、P₂O₅については、3河川間で有意な差異が示されたにも関わらず、海岸では地点間の差異がみられなかった。

九十九里海岸では一宮川以南において局所的に値

が大きく変動する地点が存在するものの、 SiO_2 は全域でほぼ同じ値を示した(図-5)。Rbでは南白亀川から新堀川にかけての範囲で片貝漁港に近づくにつれて値が高くなる傾向が見られ、南白亀川以南および新堀川以北においては採取地点による値の変動が大きかった。

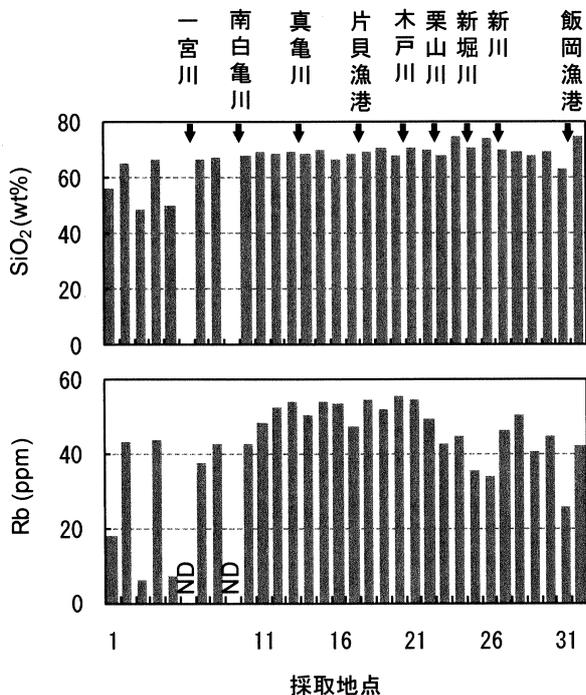


図-5 九十九里浜の底質の化学的組成

4. 考察

(1) 湘南海岸における土砂供給源の推定

全岩組成分析の結果によれば、大磯港以西の海岸と以東の海岸では Rb, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, Nb/TiO_2 の値が明瞭に異なっていた。Rb, K_2O と Na_2O は無色鉱物(長石類)・岩石片に、Nb と TiO_2 は有色鉱物や磁鉄鉱に多く含まれる元素であるため、それぞれ、無色鉱物・岩石片、有色鉱物の起源の違いを反映したものと考えられる。

Rb の値は大磯港以西ではどの地点でも約 15ppm なのに対して、大磯港以東では江ノ島に至るまで 30ppm を上回る値を示した(図-4)。酒匂川、相模川から採取した土砂の Rb がそれぞれ平均で 12.5ppm, 33.2ppm であることを考えると大磯港を境界に西側が酒匂川、東側が相模川から供給される土砂に大きく依存していることが示唆される(表-1)。

$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, Nb/TiO_2 についても 3 河川で得られた結果と照らし合わせると、Rb と全く同じことが言える。これらの結果は石英閃緑岩礫の構成比と最大礫の分布に基づいて大磯港が沿岸漂砂の境界点となっていることを示した荒巻・鈴木²⁾の結果に合致する。

福山ら³⁾は酒匂川から相模川にかけての海岸の岩

石構成比がさまざまな人為改変の影響を受けて荒巻・鈴木²⁾の調査時からの 40 年間で大きく変化していることを指摘している。しかし、本研究の結果では大磯港を境界とした土砂供給の違いが依然として明瞭であったことから、全岩組成分析を用いれば、人為的な影響の有無によらず正確に土砂の供給源を推定できることが示された。

小動岬と稲村ヶ崎によって区切られた七里ヶ浜についても、砂質が他の地点と明らかに異なることが全岩組成分析の結果によって示された。宇多ら⁴⁾は小動岬の東側に位置する七里ヶ浜側の汀線の方が岬の西側に位置する片瀬東浜の東端部の汀線より 100m 沖に位置していることから、片瀬東浜から小動岬を越えて東側へ移動する沿岸漂砂は考えにくく、小動岬が七里ヶ浜にとって西側の固定境界であると述べているが、本研究の結果はこれを砂質の点でも裏付けるものである。

これらの結果をもとに鉱物組成分析の結果を改めて見直すと、七里ヶ浜の土砂供給源が他の海岸とは異なることは、有色鉱物の比率から鉱物組成分析からだけでもある程度は推察できそうである(図-2)。実際に現地調査の際にも特別黒い砂浜として確認できた地点であるので、この違いは誰でも容易に認識できるものである。ただし、七里ヶ浜では所々に露出した第三紀豆子層の岩盤上に薄く堆積する形で砂が存在している。比較的砂層厚のある他の地点とは波による鉱物の分別作用の受け方が異なる可能性もあることを留意する必要がある。

また、大磯港を境界とした土砂供給源の違いについては鉱物組成では明確でなく、無色鉱物の比率の増加として砂質の違いが明瞭になるのは大磯港よりも約 3km 東にずれた地点 11 以東からである。

このように海岸底質の鉱物組成が土砂供給源の違いを正しく表すか否かは海岸によって異なり、鉱物組成をもとに土砂供給について議論する場合には十分に注意して、他の情報も参考にして総合的に判断することが必要であることがわかった。

(2) 沿岸漂砂の卓越方向の推定

鉱物組成分析の結果によれば、湘南海岸では大磯港から江ノ島に向かって次第に岩石片の割合が減少し、無色鉱物が増加する傾向にあった。これは、比重の軽い無色鉱物(比重 2.5~2.7)が選択的に東へと運ばれた結果と考えられ、この海岸における東向き沿岸漂砂卓越方向⁵⁾を良く反映している。

七里ヶ浜では全岩組成分析の Rb, Zr, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, Nb/TiO_2 の値がいずれも東から西に向かって大きくなる傾向にあったが、 Fe_2O_3 , MnO, MgO は逆に東から西へ向かって値が小さくなる傾向にある(図-6)。Fe, Mn, Mg が比重の重い磁鉄鉱や斜方輝石に多く含まれる成分であることから、説明のひとつには西向きの漂砂による分別作用の存在が挙げられる。七里ヶ浜では波の入射方向が季節的に変動し、冬季にはやや東寄りの入射波となることが知られている⁴⁾。

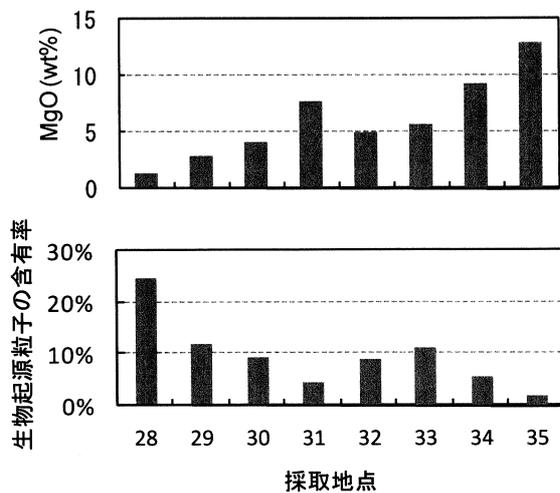


図-6 七里ヶ浜における MgO, 生物起源粒子の出現状況

現地調査が実施されたのは 2008 年 11 月 15 日であるので、このときには西向きの沿岸漂砂が卓越しており、このような傾向が現れたものと考えられる。

なお、同様の傾向は鉱物組成分析の生物起源粒子においても表れており(図-6)、比重が軽いため西に向かって増加する傾向となったと考えられる。生物起源粒子は、現地調査の際に誰でも容易に識別できるものであるため、漂砂状況を簡便に知る手がかりとして有効と考えられる。

九十九里海岸においては、鉱物組成分析では無色鉱物が、全岩分析では Rb がいずれも新川から片貝漁港に向かって多くなる傾向が見られ、北九十九里海岸において卓越する南向きの漂砂⁶⁾に対応したものと考えられる。一方で、片貝漁港よりも南側の真亀川に至る海岸までは南向きの沿岸漂砂が卓越する場であるため、真亀川周辺に無色鉱物の含有量のピークが来るはずだが、無色鉱物の割合の増加は見られない。これは、無色鉱物の多くが漂砂上手側に位置する片貝漁港によって阻止され、南側の海岸への供給が制限されていることによると考えられる。

このことは、鉱物の沿岸方向分布は沿岸漂砂の卓越方向を推定する手がかりとなるものの、沿岸漂砂を阻害する構造物が存在する場合には、その下手側では必ずしも鉱物組成と沿岸漂砂方向が合致しないことがあり注意を要することを示唆する。

(3) 汀線変化傾向の推定

宇多⁶⁾が空中写真から判読した 1970 年から 1984 年にかけての九十九里海岸の汀線変化と本研究で得られた有色鉱物/無色鉱物の関係を図-7 に示す。なお、極端に有色鉱物が多かった地点 3 と地点 5 は除いてある。これによると、侵食傾向にある地点では無色鉱物に対する有色鉱物の割合が比較的多いことがわかる。侵食域の前浜上には砂鉄層が形成されることが鉱物の分級メカニズムとともに既に明らかにされているが¹⁾、本研究の有色鉱物(比重 2.7~3.5)も無色鉱物(比重 2.5~2.7)に比べて重いこ

とから、同様の分級作用を受けて侵食域に多く出現したものと考えられる。有色鉱物は磁鉄鉱(比重 5.2)に比べれば、分級が弱いものの、地先の海岸が侵食傾向にあることをいち早く簡便に察知する良い情報源となることが期待される。

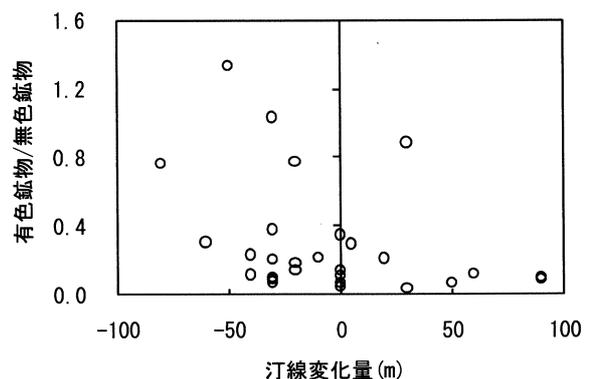


図-7 九十九里海岸の汀線変化(1970~1984年)と鉱物組成の関係

5. 最後に

本研究では鉱物組成分析の結果を無色鉱物、有色鉱物、岩石片、生物源粒子、磁鉄鉱他の 5 つに再分類して扱った。厳密な鉱物組成分析は熟練を要するものだが、この 5 分類であれば誰でもルーペで比較的簡単に分類することができる。利用できる情報の乏しい海岸であっても、現地調査の際にその場で即座に情報を得る手だてとして有用であることが本研究によって示された。

謝辞：本研究を実施するにあたり、武蔵工業大学総合研究所機器分析室のご協力をいただいた。著者の一人(石井)は環境情報学部の室田昌子准教授にご指導をいただいた。ここに記して深く謝意を表す。

参考文献

- 1) 宇多高明, 熊田貴之, 芹沢真澄, 星上幸良, 三波俊郎, 小林昭男: 侵食域の前浜上における砂鉄層形成のメカニズム, 海洋開発論文集, 第 20 巻, pp. 539-544, 2004.
- 2) 荒巻宇, 鈴木隆介: 海浜堆積物の分布傾向から見た相模湾の漂砂について, 地理学評論, 第 35 巻, 1 号, pp. 17-34, 1958.
- 3) 福山貴子, 松田武久, 佐藤慎司, 田中晋: 湘南海岸流砂系の土砂動態と相模川河口地形の変化, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp. 576-580, 2003.
- 4) 宇多高明, 三波俊郎, 芹沢真澄, 古池鋼: 限られた現地海岸データから海浜変形要因について検討する手法-片瀬東浜, 小動岬および七里ヶ浜を例として-, 海洋開発論文集, 第 14 巻, 227-232, 1998.
- 5) 宇多高明, 青島元次, 鮫島強, 吉岡敦, 三波俊郎, 石川仁憲: 粒径を考慮した土砂収支検討-湘南海岸の例, 海岸工学論文集, 第 55 巻, pp. 726-730, 2008.
- 6) 宇多高明: 日本の海岸侵食, 山海堂, p. 442, 1997.