

海蝕崖の崩落土砂の漂砂系への 供給メカニズム

MECHANISM OF SAND SUPPLY TO LITTORAL CELL FROM CLIFFY COAST

渡辺剛士¹・小林昭男²・宇多高明³・星上幸良⁴・野志保仁¹・清水達也¹
Takeshi WATANABE, Akio KOBAYASHI, Takaaki UDA, Yukiyooshi HOSHIGAMI,
Yasuhito NOSHI and Tatsuya SHIMIZU

¹学生会員 日本大学大学院生 理工学研究科海洋建築工学専攻
(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

²正会員 工博 日本大学教授 理工学部海洋建築工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

³正会員 工博 (財) 土木研究センター理事なごさ総合研究室長兼日本大学客員教授
理工学部海洋建築工学科 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4)

⁴正会員 博 (工) 国際航業 (株) 防災・海洋部 (〒138-0057 東京都府中市晴見町2-24-1)

Sand supply from the sea cliff to the coast was investigated, taking the Byobugaura sea cliff as an example. This sea cliff with a 10 km length has been retreated for a long time while supplying sand to the Kujukuri coast with a 60 km length. This sea cliff is composed of unconsolidated layers, mostly mud stone with part of sand stone. Grain size of sand supplied from the sea cliff was investigated by the sieve analysis of the samples taken from fallen rocks, as well as the shoreline materials downcoast. The silt content is as high as 42-64% in the sea cliff, but downcoast of the sea cliff, the content of fine sand increases along the coastline, suggesting that a large amount of silt is quickly lost soon after the collapse of sea cliff.

Key Words: Byobugaura sea cliff, sand stone, mud stone, Kujukuri coast, shoreline change

1. まえがき

房総半島の太平洋岸に位置する九十九里浜は、全長約 60km の細砂からなる緩勾配の海岸であり、北部の屏風ヶ浦と南部の太東崎の海蝕崖、および太東崎の南側に流入する夷隅川からの供給土砂が堆積して形成されてきた¹⁾。いま九十九里浜の中央やや南にある片貝漁港より北側を北九十九里浜 (図-1 参照) と呼ぶと、片貝漁港での沿岸漂砂の卓越方向が南向き²⁾であることから、北九十九里浜は主に屏風ヶ浦の海蝕崖の崩落土砂により形成されたと言えることができる。

土砂供給源である屏風ヶ浦は、砂岩・泥岩の未固結の地層でできているため、波蝕により容易に崩落し、海岸へ多量の砂と泥分を供給してきた。一方、九十九里浜は今から約 6,000~5,500 年前の縄文海進極相期以降、海蝕崖から供給された土砂が堆積して形成されたものである³⁾。したがって屏風ヶ浦では、海蝕崖の崩落土砂が砂と泥分に分級しつつ、沿岸漂砂によって九十九里浜へとそのまま運ばれ堆積してきたように思われる。しかしながら以下に述べるように、屏風ヶ浦の海蝕崖を構成する岩石の大半

はシルト分で構成されているにもかかわらず、九十九里浜の碎波帯や汀線付近の底質は砂のみで構成され、シルト分は含まれていない。このことより、屏風ヶ浦の海蝕崖から大量に供給されるシルト分は崩落後急速に広域へと拡散してしまい、沿岸漂砂によって運ばれず、結果的に九十九里浜の形成には役立つてこなかったとの推定が可能である。

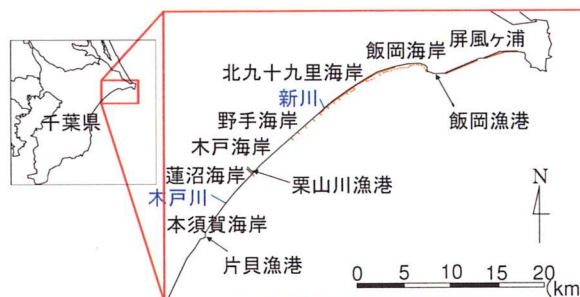


図-1 北九十九里浜の地先海岸名

宇多ら²⁾は、地質年代での九十九里浜の海岸線変化より、屏風ヶ浦から九十九里浜へと40万m³/yrの沿岸漂砂があったと推定した。この値は、現に九十九里浜の低地形成に役立っている細砂中砂成分を対象にしているから、実際には上記沿岸漂砂量より多くの細粒土砂が海洋へと供給され、それが波の作用があまり及ばない広い海底面に拡散していることを示唆する。海蝕崖の崩落土砂が海岸に供給された場合、海浜を構成するよりも細かな成分は浮遊流出し、海浜を構成できないはずであり、事実、芹沢ら⁴⁾は、等深線変化モデルを用いて海岸へ寄与する成分の大小によって海蝕崖の浸食状況が大きく異なることを示した。

このように海蝕崖からの土砂供給は海蝕崖自体の安定性や下手側海浜の形成と深く関係するが、海蝕崖の崩落土砂と下手側の海浜構成材料の関係を質的意味から検討した研究はほとんどない。このことから、本研究では、屏風ヶ浦の海蝕崖の岩石と、北九十九里浜の汀線とバームの間においてサンプリング調査を行い、海蝕崖からの供給土砂が海へいかなる形で供給されるのかを質的側面から考察する。

2. 研究対象地の概況

約6,000～5,500年前以降、人工的改變の規模が小さかった1960年頃まで屏風ヶ浦の崩落土砂は北九十九里浜へと連続的に供給されてきた。しかし1964年以降の飯岡漁港の建設、1966年以降の屏風ヶ浦の海蝕崖の崩落防止工事により海蝕崖からの流出土砂量が激減した。この結果北九十九里浜への漂砂供給が途絶え、1970年頃から飯岡海岸で侵食が始まった。その対策として飯岡海岸では護岸の建設が進められ、1980年頃には離岸堤も建設された。さらに侵食が進行していた野手海岸から堀川海岸の間では1990年頃にヘッドランドが建設された。現在、飯岡海岸から北九十九里海岸の間では離岸堤が23基、ヘッドランドが12基建設されている。それより南側では漁港や栗山川漁港に突堤が1基建設されている以外は自然な砂浜が続いている。

海食崖の侵食速度については、屏風ヶ浦の後退速度は自然状態では平均約1m/yr⁵⁾であり、その地質は泥岩では第三系（鮮新統）、洪積層では第四系であるとされている。そのうち、現飯岡漁港付近を通過して九十九里浜へと移動する沿岸漂砂は、長期的には40万m³/yrと推定されている²⁾。このように北九十九里浜の砂の供給源は屏風ヶ浦であることは間違いないが、屏風ヶ浦を構成する土砂の粒度組成と北九十九里浜の海浜砂の粒度組成の関係は十分明らかではない。

3. 海蝕崖の構成岩と海浜砂の粒度組成調査の方法

屏風ヶ浦の地質断面を図-2に示す⁶⁾。屏風ヶ浦の上部は関東ローム層で覆われており、その下には厚さ約15mの香取層がある。さらにその下層は飯岡漁港周辺では飯岡層、名洗町周辺では名洗層で構成される。また基盤層の平面分布を図-3⁷⁾に示す。2007年11月14日と12月30日、これらの地層から岩石を採取した。採取地域は図-3に示すようにAからEまでの5地域とした。表-1には採取地点の緯度経度および地層の区別を付けた。

図-4は地点Aの採取地点を示す。地表面下には関東ローム層が、その下には香取層があり、さらにその下部にあるのが名洗層の露頭である。試料は、海蝕崖の前面に設置された消波堤の天端（平均海面上約2m）から10m上方の岩盤から採取した。図-5は、同じく名洗層の採取地点の状況であり、ここでは海蝕崖の傾斜が比較的緩かったために消波堤背後の地盤から6mの高さまで7点で試料を採取した。図-6は地点Cの関東ローム層の採取地点である。図-2の地質断面と現地での測量によれば、採取地点の標高はほぼ41mである。図-7は、地点Dにおける飯岡層の採取地点の状況であり、標高6m付近から試料を採取した。さらに図-8は、地点Eにおける香取層の試料採取状況であり、地質断面図と調査地点の高さをあわせると標高は38.2mである。

これらの地点では約100gの資料を採取後、細かく破砕

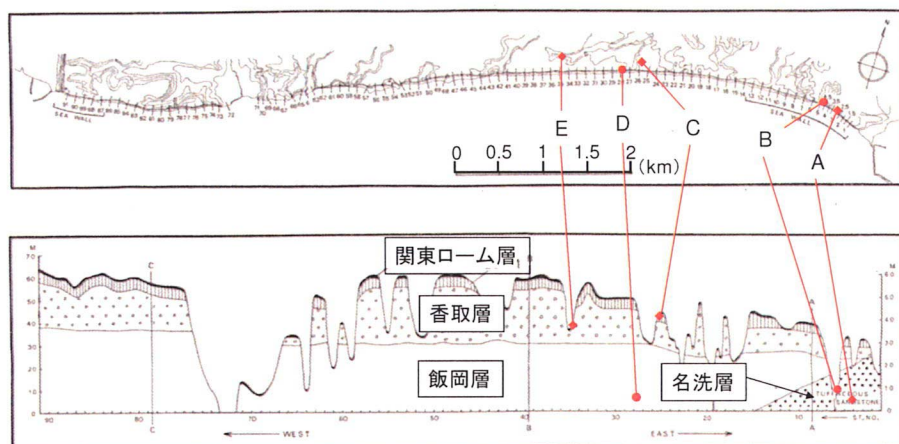


図-2 屏風ヶ浦の地質断面⁶⁾

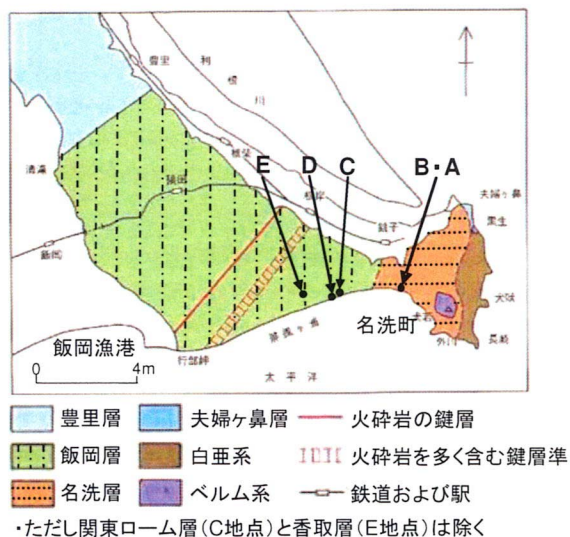


図-3 屏風ヶ浦周辺の基盤地質⁷⁾と岩石採取地点

表-1 試料採取地点の位置

地点	緯度	経度	地層
A	35° 42' 49.40"N	140° 49' 48.62"E	名洗層
B	35° 42' 49.37"N	140° 49' 46.18"E	名洗層
C	35° 42' 43.44"N	140° 48' 26.24"E	関東ローム層
D	35° 42' 41.90"N	140° 48' 21.31"E	飯岡層
E	35° 42' 36.83"N	140° 47' 48.85"E	香取層

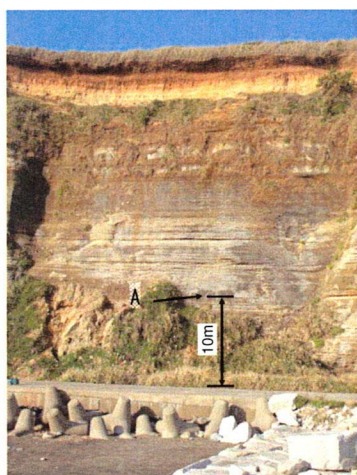


図-4 名洗層の採取地点A

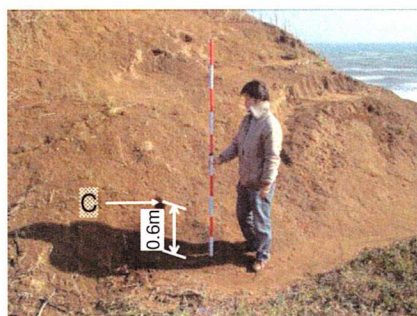


図-6 関東ローム層の採取地点C

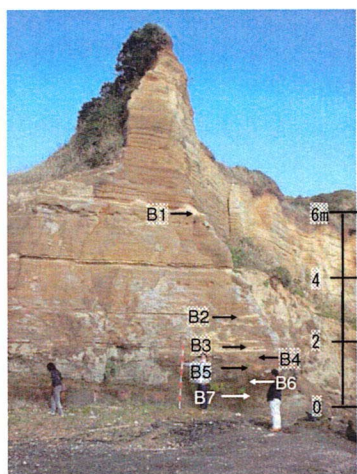


図-5 名洗層の採取地点B

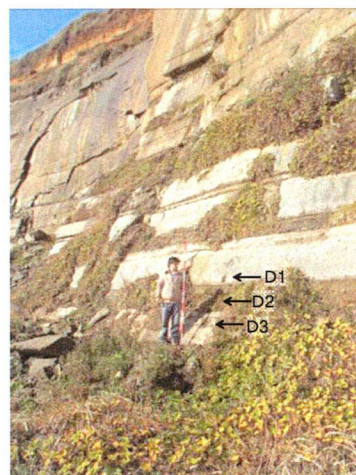


図-7 飯岡層の採取地点D

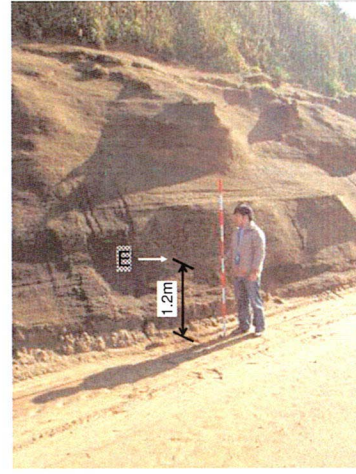


図-8 香取層の採取地点E

したのち水に浸して溶かした。その後、0.075mmのフルイ目でシルトと砂を分離し、さらに砂については乾燥後、JISA1202によるフルイ分け分析を行った。

一方、図-9 に示すように、屏風ヶ浦の海蝕崖直下にある砂浜3箇所と、飯岡漁港の東側であって沿岸漂砂が防波堤によって阻止されてできた砂浜をはじめとして片貝漁港まで約30km区間において、汀線付近の底質サンプリングを行った。測定は2007年10月25日、26日および12月30日に実施した。

また前浜砂のサンプリングと同時に前浜勾配の計測も行った。サンプリング地点数は21であり、地点ごとに汀線とバームの間から1試料を採取した。採取試料は持ち帰って乾燥後フルイ分け分析を行った。測定地点のうち、海蝕崖基部では測点位置が重要と考えられるので、屏風ヶ浦基部の地点1, 2, 3の採取地点の状況を図-10 に示す。いずれも海蝕崖の基部にある狭い砂浜上から採取を行った。

4. 調査結果

(1) 屏風ヶ浦の海蝕崖の地層の粒度組成

屏風ヶ浦から採取した岩石の粒度分析結果を図-

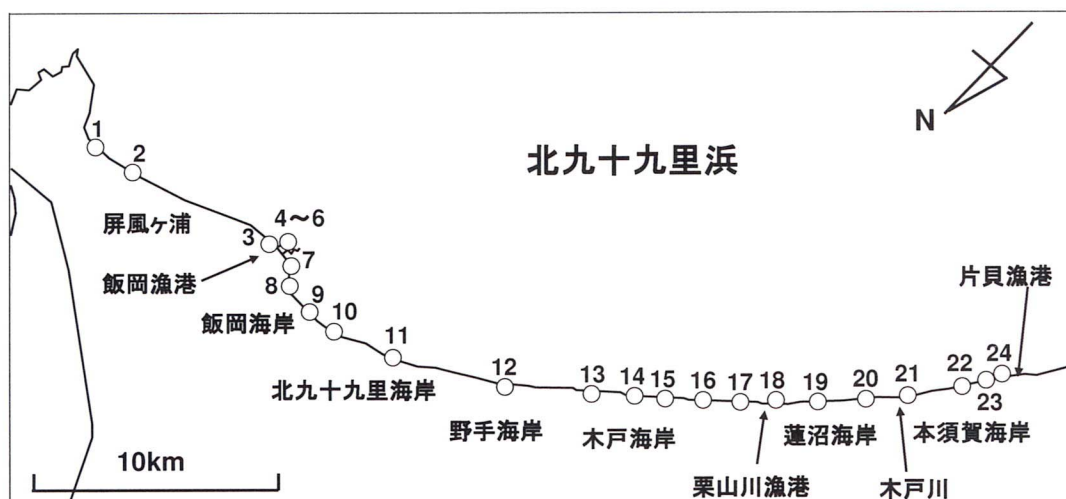


図-9 北九十九里浜の前浜材料の採取地点

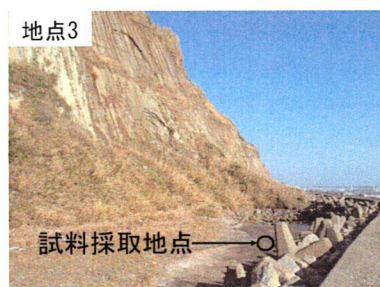


図-10 屏風ヶ浦直下の海滨の採取地点

11 に示す。また表-2 には多数の測点の平均値を示す。これによると、名洗層の採取地点 A, B では、平均でシルトの含有率が 42%、細砂・中砂の含有率がそれぞれ 32%、22%である。一方、関東ローム層ではシルトが 42%、細砂・中砂がそれぞれ 7%、50%であり、シルトの含有率は名洗層と同じであるが、細砂の含有率が非常に小さく中砂の含有率が高い。飯岡層では、シルトが 64%と名洗層や関東ロームと比較して高まる。細砂の含有率は名洗層と同等である

表-2 屏風ヶ浦の地層中のシルト・細砂・中砂・粗砂の含有率

	平均含有率(%)			
	シルト	細砂	中砂	粗砂
A(名洗層)	41	33	20	6
B(名洗層)	43	31	23	3
C(関東ローム層)	42	7	50	1
D(飯岡層)	64	35	1	0
E(香取層)	2	2	96	0

が、中砂成分はごくわずかである。これらと大きく相違するのは香取層である。香取層はシルトと細砂の含有率が非常に低い、中砂は 96%も含まれている。

(2) 九十九里浜の前浜構成材料の粒度組成

粒度分析の結果を図-12に示す。屏風ヶ浦の海蝕崖前面の砂浜（測点1, 2, 3）ではシルト分がほとんど存在せず、細砂と中砂がそれぞれ50%を占める。海蝕崖の地層にはシルト分が大量に含まれているが、海蝕崖直下の3地点では既にシルト成分がほとんどないという点は、海蝕崖が崩落して波の作用を受けると短時間のうちにシルト成分は沖方向へと流出拡散することを示す。さらに、海蝕崖からの崩落土砂が最初に到達し、堆積する飯岡漁港の防波堤の上手側の測点4から6の含有率を調べると、平均で細砂・中砂の含有率はそれぞれ52%、48%となり、ここでもシルト成分は全く検出されない。以上より、海蝕崖の崩落土砂のうちシルト成分は海蝕崖直下で強い分級作用を受けて流出することが分かる。

このようにして海蝕崖から供給された土砂については、飯岡漁港の上手側で既にシルト分の損失が起き、残存成分のみが沿岸漂砂によって南向きに運ばれる。その際、図-9の位置図と重ねると、飯岡漁港から新川右岸の間（測点4から12）、および木戸川左岸から片貝漁港の間（測点20から24）では細砂の占める割合が高く、新川右岸から木戸川左岸の間（測点13から19）では中砂の占める割合が高い。図-12には、各地点の前浜勾配も示すが、細砂の含有率が高い場所では勾配が緩く、中砂の含有率が高い場所

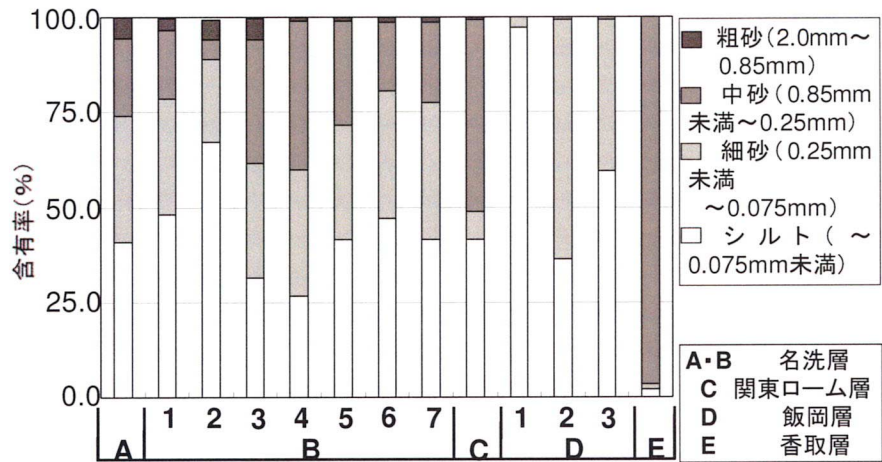


図-11 屏風ヶ浦粒度分析結果

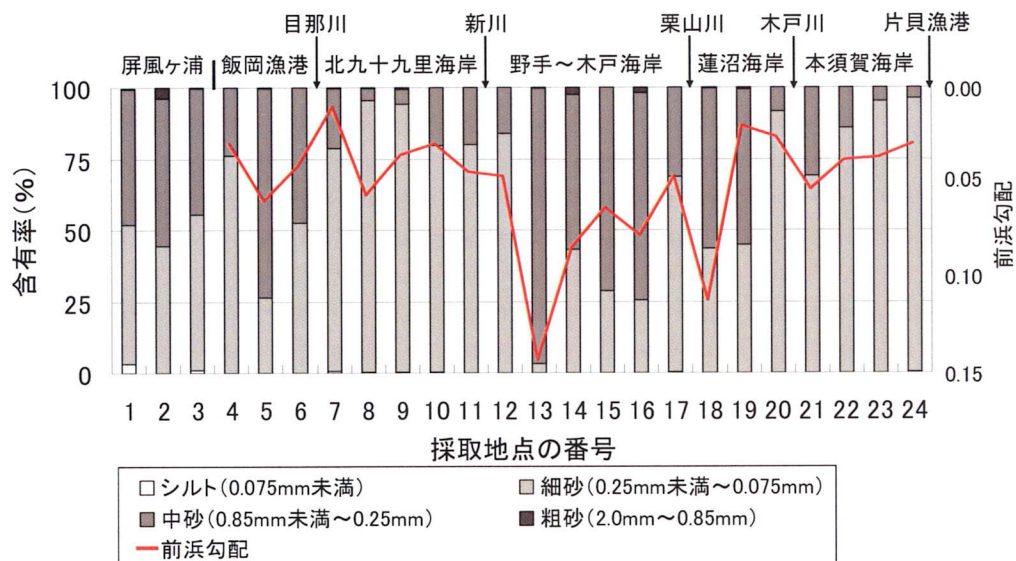


図-12 北九十九里浜の粒度分析結果と前浜勾配

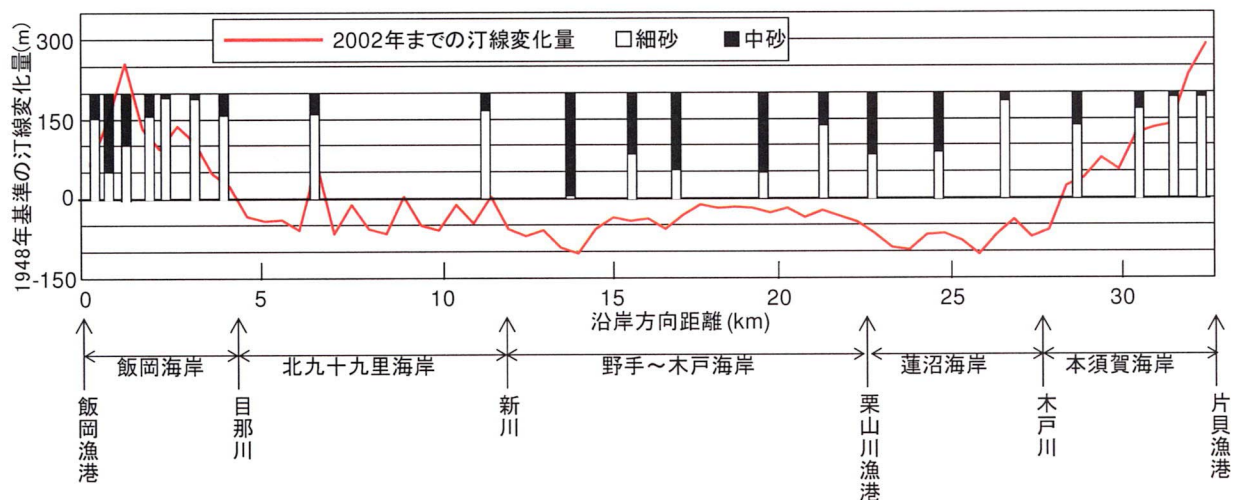


図-13 汀線変化と前浜粒度組成

表-3 各層の総土砂量

地層	各層の総土砂量 ($\times 10^3 \text{m}^3/\text{m}$)	割合(%)
名洗層	31	8.7
関東ローム層	24	6.7
飯岡層	226	63.5
香取層	75	21.1
合計	356	100

表-4 屏風ヶ浦が1m後退した場合における各成分の供給量と総土砂量 ($\times 10^3 \text{m}^3/\text{m}$)

地層	各層の総土砂量	シルト	細砂	中砂	粗砂
合計	356	169	92	93	2
名洗層	31	13	10	7	1
関東ローム層	24	10	2	11	1
飯岡層	226	145	79	2	0
香取層	75	1	1	73	0
含有率(%)	100	48	26	26	0

では勾配が急となっていることが分かる。さらに図-13は、1948年を基準とした2002年までの汀線変化⁸⁾と粒度組成の関係を示す。これによれば、侵食域では中砂の含有率が高まり、堆積域では細砂の含有率が高いという関係があることが分かる。

5. 考察

図-2の地質断面図には名洗層、関東ローム層、飯岡層、香取層の層厚が示されているので、いま海蝕崖が1m後退した場合を想定すると、各地層からの供給土砂量が計算できる。計算結果を表-3に示す。総土砂量は $356,000 \text{m}^3$ であり、その約64%を飯岡層が占めている。さらに地層ごとにシルト、細砂、中砂、粗砂の含有率の平均値は表-2のように得られているので、表-3の総土砂量に表-2の含有率を乗じて地層ごとのシルト、細砂、中砂、粗砂量を算定すると表-4となる。さらにそれらを総計し、シルト、細砂、中砂、粗砂の含有率を求めると、シルトが全量の48%、細砂中砂が52%となり、粗砂は0%となった。すなわち、シルトは細砂中砂の0.9倍生産されて海洋へと流出していることになる。またこの値より、宇多ら²⁾が推定した、長期的に見た場合における現飯岡漁港地点を通過する沿岸漂砂量 $40 \text{万m}^3/\text{yr}$ を考慮すると、 $36 \text{万m}^3/\text{yr}$ もの割合でシルト分が海蝕崖から供給され、周辺海域へと拡散したことが分かる。

6. まとめ

北九十九里浜の土砂供給源である屏風ヶ浦の海蝕崖を構成する未固結の軟岩のサンプリング調査と、北九十九里浜の多数の地点で前浜構成材料の採取分析を行い、海蝕崖から供給された土砂がシルト、細

砂、中砂、粗砂の各成分に分かれて下手側の九十九里浜へと運ばれ、堆積する現象を質的側面から調べた。この結果、シルト分は海蝕崖の崩落後直ちに拡散すること、また細砂中砂成分は海岸侵食とその対策として造られた離岸堤などの人工構造物の背後に偏在する結果となっていることが明らかになった。このように、海浜への土砂供給源である海蝕崖と海浜の構成物質を質的側面から調べる調査も有効である。

参考文献

- 1) 星上幸良・宇多高明・野志保仁・小澤広樹：九十九里浜の形成にかかわる土砂供給源に関する一考察，海洋開発論文集，第22巻，pp. 403-408，2006。
- 2) 宇多高明・高田 修・星上幸良・芹沢真澄・三波俊郎・古池 鋼：九十九里海岸における地質年代スケールの沿岸漂砂量の推定，海岸工学論文集，第47巻，pp. 686-690，2000。
- 3) 森脇 広：九十九里浜平野の地形発達史，第四紀研究，Vol. 18，pp. 1-16，1979。
- 4) 芹沢真澄・宇多高明・星上幸良：等深線変化モデルによる海岸崖～海浜系の地形変化予測，海洋開発論文集，第23巻，pp. 1069-1074，2007。
- 5) 堀川清司・砂村継夫：千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について(3)－航空写真による海蝕崖の後退に関する研究・第4報－，第19回海岸工学講演会講演集，pp. 13-17，1972。
- 6) 堀川清司・砂村継夫：千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について－航空写真による海蝕崖の後退に関する研究・第2報－，第16回海岸工学講演会講演集，pp. 137-145，1969。
- 7) 財団法人 千葉県史料研究財団：『千葉県の自然誌』，本編・千葉県の大地，pp. 95，2000。
- 8) 星上幸良・小林昭男・宇多高明・熊田貴之：近世における九十九里浜の形成と変形，沿岸域学会誌，第17巻，第3号，pp. 47-56，2005。