

長期深浅データに基づく湘南海岸の 長期的汀線変化の分析

LONG-TERM SHORELINE CHANGES OF SHONAN COAST BASED ON BATHYMETRIC SURVEY DATA

宇多高明¹, 三波俊郎², 細川順一³, 吉岡 敦³, 石川仁憲⁴
Takaaki UDA, Toshiro SAN-NAMI, Atsushi YOSHIOKA,
Jun-ichi HOSOKAWA and Toshinori ISHIKAWA

¹正会員 工博 (財) 土木研究センター常務理事なぎ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 タカラビル)

²海岸研究室 (有) (〒160-0011 東京都新宿区若葉1-22 ローヤル若葉301)

³神奈川県 県土整備部 砂防海岸課 (〒231-8588 神奈川県横浜市中区日本大通1 新庁舎11階)

⁴正会員 工修 (財) 土木研究センターなぎさ総合研究室 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

On the basis of the bathymetric surveys during the past 38 years since 1971, the long-term shoreline changes were investigated, taking the Shonan coast as the example. The area under study was separated into three subregions: area A with a 4.7 km length between the Sagami River mouth and Oiso Port, area B with a 5.1 km length between the Sagami River mouth and east end of the Chigasaki coast, and area C with a 5.3 km length between the east end of area B to Enoshima Island. The detailed shoreline change in each subregion was investigated.

Key Words: Shonan coast, shoreline changes, Sagami River

1. まえがき

湘南海岸の大磯港から江ノ島まで延長約15kmの海岸は、主として相模川からの流出土砂が堆積して形成された海浜であるが、相模川上流部に相模ダムなどが建設され、同時に大量の砂利採取が行われた結果河川流出土砂量が激減し、さらには沿岸に茅ヶ崎漁港など沿岸漂砂を阻止する施設が造られたこと、および浚渫が行われた結果侵食が急速に広がってきた。このため現在では養浜を主体とする対策が行われている。一方、この海岸では1971年以降、毎年1回深浅測量が行われてきており、それらをもとにした地先海岸ごとの土砂収支分析なども行われている¹⁾²⁾。また湘南海岸全体を対象とした汀線変化については、宇多ら³⁾が1954～2005年の空中写真をもとに分析し、汀線変化量の空間分布を明らかにしているが、空中写真の撮影回数が少ないために、任意地点における汀線の時間的変化過程の詳細は不明であった。このことから、本研究ではこれらの既往研究も踏まえて1971年以降38年間に蓄積された深浅データを用いて、湘南海岸の汀線の時間的変化の詳細を明らかにする。

2. 対象海岸の概要と解析区域の設定

調査対象区域は図-1に示すように相模湾に面した湘南海岸の大磯港から江ノ島まで延長15kmの海岸線である。この海岸線は、大磯港、平塚新港、茅ヶ崎漁港、ヘッドランドなどの施設と、江ノ島などにより幾つかの区間に区切られている。湘南海岸は、房総・三浦半島、および伊豆半島に挟まれた地理的条件より、海岸には年間を通じてS～SSE方向から波が入射し、相模川を境に東側では東向きの沿岸漂砂、西側では西向きの沿岸漂砂が卓越する。

図-2は防災科学技術研究所平塚波浪観測所における1999～2007年の有義波高と周期の観測結果を示す。2007年の台風9号来襲時などたびたび高波浪が来襲しているが、エネルギー平均波は $H=0.83\text{m}$ 、 $T=6.1\text{s}$ であり、外洋に面した海岸と比べて波高は相対的に小さい。図-3は1954年の汀線位置を基準とした各年の汀線変化量を示す³⁾。相模川河口では1954年から1973年までに最大約100m汀線が後退しており、NMB測量データの分析によれば、近年河口テラスの縮小が続いている¹⁾。相模川河口東側では、茅ヶ崎漁港やヘッドランドにより東向き漂砂が阻止された結果、その西側では汀線が前進し、東側では汀線が後退している。広域的にみれば $X=11.5\text{km}$ 地点を不動点としてこれより西側では汀線が後退傾向、東側では前進傾向にある。 $X=11.5\text{km}$ 地点より東側区域における近年の堆積量は $0.9 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ である²⁾。このような特

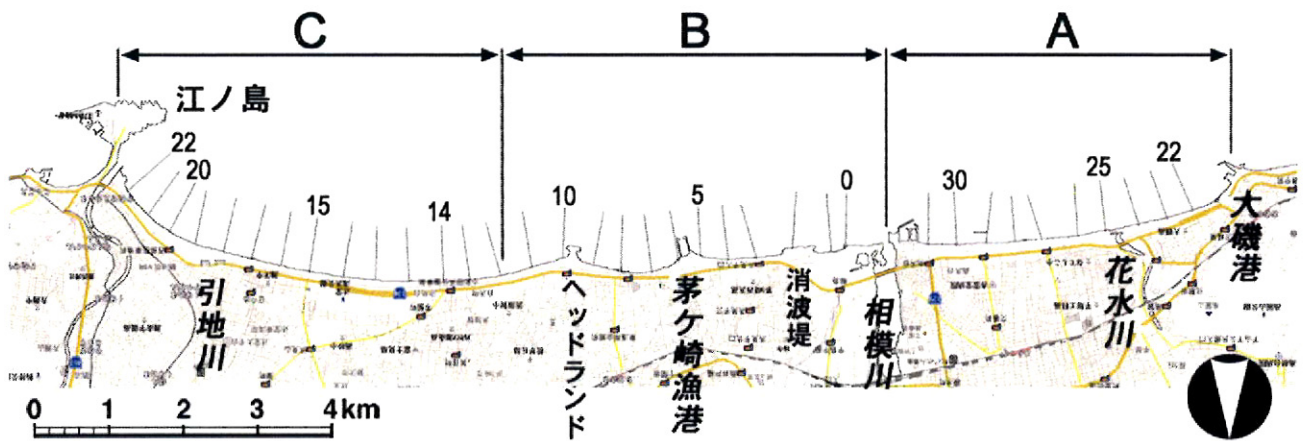


図-1 調査対象区域（湘南海岸）

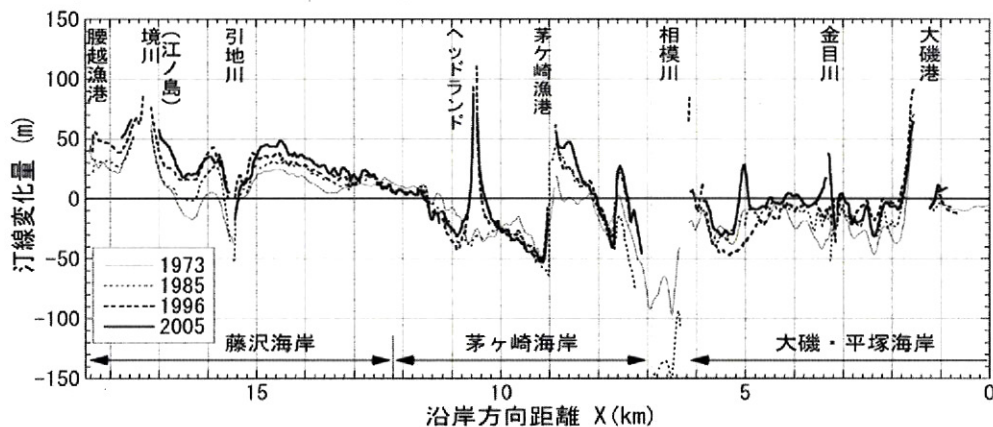


図-3 空中写真に基づく汀線変化（1954年基準）¹⁾

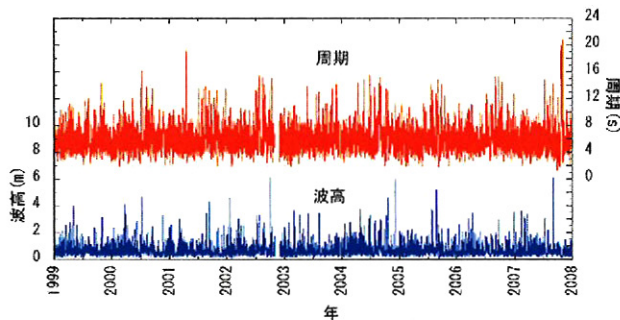


図-2 平塚波浪観測所における 1999 ～ 2008 年の有義波高・周期の変化¹⁾

微に対応して、前浜勾配は、 $X=11.5\text{km}$ より西側ではヘッドランド周辺を除き1/10程度、東側では1/10から1/35と江ノ島に近づくにつれて緩くなる特徴がある³⁾。また底質は $X=11.5\text{km}$ より東側では細粒分が多い¹⁾²⁾。以上のように相模川河口の東側では $X=11.5\text{km}$ を境に海岸の特徴が大きく異なる。一方、相模川河口の西側では、大磯港の東側直近で1973年に後退していた汀線が大きく前進し、1973年から2005年までの汀線前進域は花水川河口の東側まで、延長約 2.5km に及んでいる。

以上の特徴を考慮し、本研究では、図-1に示すように、相模川河口から大磯港までをA地区（延長 4.7km）、相模川河口から $X=11.5\text{km}$ までをB地区（延

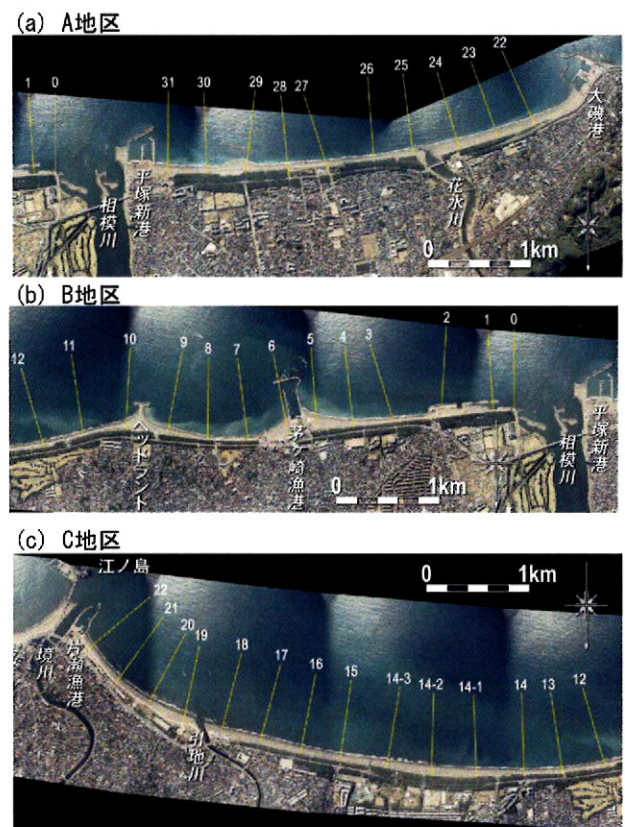


図-4 各調査区域における測線配置

長5.1km), およびB地区東端から江ノ島までの海岸線をC地区(延長5.3km)と区分し, それぞれの区域ごとの汀線変化について調べることにした。

3. A地区(相模川河口～大磯港)の汀線変化

A地区(図-4(a))の西端は大磯港の防波堤により, また東端は相模川河口に隣接した平塚新港の防波堤によって区切られている。これらのうち平塚新港の防波堤の先端水深は5.5mであって, 湘南海岸における波による地形変化の限界水深(depth of closure)は9m³)なので, 相模川河口側から一部の砂が流れ込むことが可能であるが, 大半の沿岸漂砂は阻止される。一方, 現況の大磯港防波堤の先端水深は8mなので大磯港では沿岸漂砂はほぼ阻止される。さらに平塚新港の西700mには離岸堤が設置されており, その背後には舌状砂州が形成されている。この区域には西端の測線No. 22から東端のNo. 31まで, 10測線が配置されており, 測線No. 22, 24, 26, 28, 29, 30, 31の7測線で顕著な特性が見られる。そこでこれら7測線における汀線変化をまとめて図-5に示す。汀線は測定年ごとに変動があるが, 緩やかな前進, または後退傾向を示すのでそれらの平均的変化を破線で示す。また表-1には, 全測線における汀線の平均前進・後退速度, 相関係数をまとめて示す。

対象区域のほぼ中央に位置するNo. 26では, 汀線は変動のみを示し, テレンドを持たず汀線は安定している。図-4(a)に示したようにNo. 26は両端を防波

堤で区切られたポケットビーチ状の海岸線の中央に位置し, また沖合施設もないので沿岸漂砂は通過するのみであり, したがって汀線は安定状態にあることが分かる。これと対照的に, 大磯港に近いNo. 22, 24では, 1971年以降汀線が単調な前進傾向を示し, しかも大磯港に近いNo. 22での前進速度が大きかったが, 近年ではやや後退傾向に変わった。

離岸堤の西300mに位置するNo. 28では, 汀線が後退傾向を示し, また離岸堤を横切るNo. 29でも離岸堤建設前は後退傾向であったが, 1998年の離岸堤建設後, 急激な前進傾向に変化している。さらに離岸堤と平塚新港の間のNo. 30でも急激な後退傾向を示す。これらと相違し, 平塚新港の防波堤による波の遮蔽域内に入るNo. 31では前進傾向に変わる。

以上の汀線変化より, 平塚新港や離岸堤による波の遮蔽域では局所的に汀線が前進しているものの, ポケットビーチ中央のNo. 26より東側では汀線は全体的に後退傾向, No. 26より西側は前進傾向であって, 汀線が反時計回りに回転してきたことが分かる。具体的には, 東端に平塚新港の防波堤があって沿岸漂砂がほぼ阻止される条件のもとで, No. 26を通過して西へ向かう沿岸漂砂が卓越し, これが平塚新港の防波堤によって阻止された結果このような汀線変化が生じたと考えられる。大磯港の防波堤は1973年には既に延ばされていたから, これによる波の遮蔽効果によって砂が堆積した可能性もあるが, 大磯港防波堤から東に1.2kmも離れたNo. 24までも大磯港防波堤による波の遮蔽効果が及ぶとは考えにくいことから,

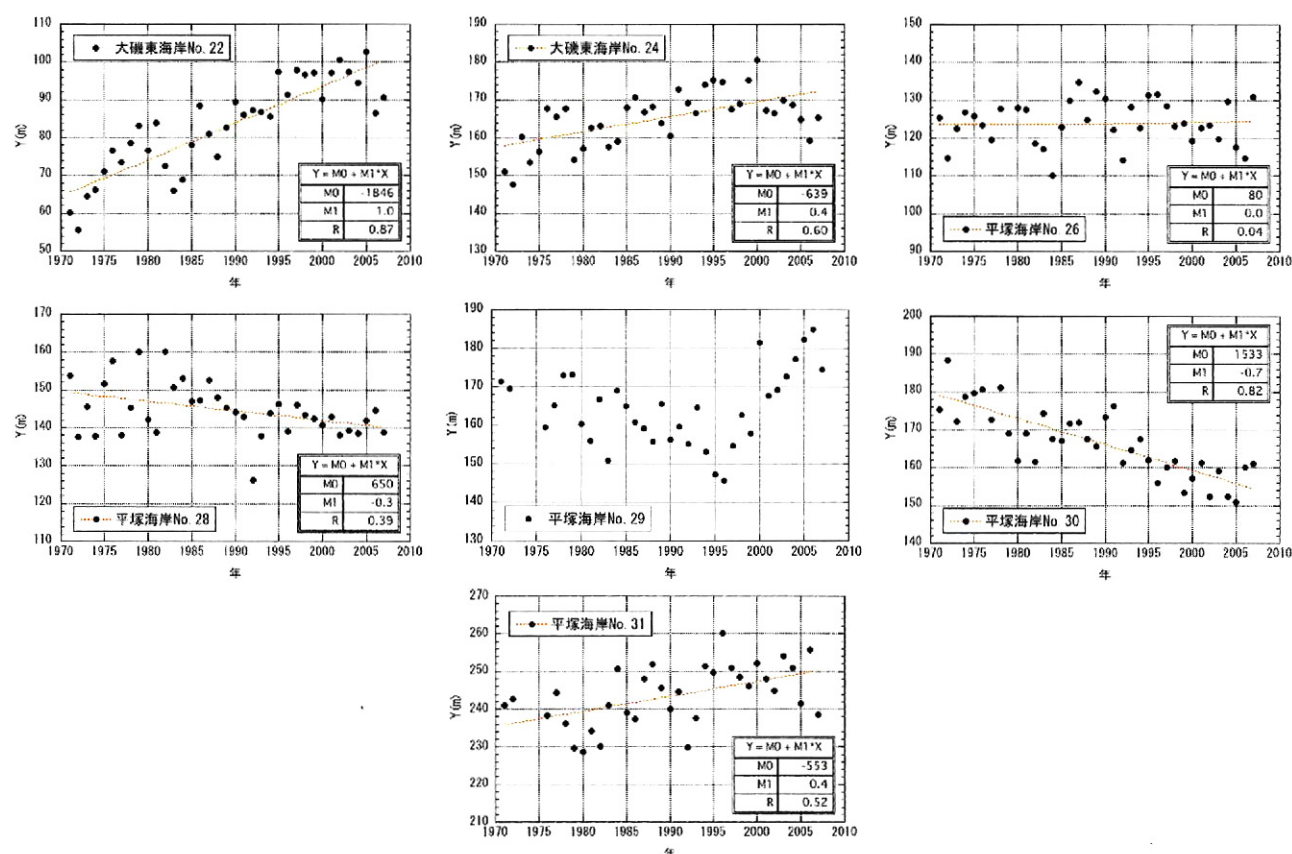


図-5 A地区(相模川河口～大磯港)の汀線変化

表-1 A地区における汀線の前進・後退速度

測線番号	トレンド(m/yr) 前進: + 後退: -	相関係数
大磯東海岸No. 22	+1.0	0.87
大磯東海岸No. 24	+0.4	0.60
平塚海岸No. 26	0.0	0.04
平塚海岸No. 28	-0.3	0.39
平塚海岸No. 30	-0.7	0.82
平塚海岸No. 31	+0.4	0.52

これは否定されよう。相模川河口から大磯港の間の海岸線は相模川河口デルタの一部として形成されてきたが、相模川からの土砂供給が枯渇状態になったこと、併せて平塚新港の防波堤が西向きの沿岸漂砂を阻止したことによって、残された区間において土砂バランスの調整が自動的になされた結果、汀線の反時計回りの回転が起きたと考えられる。

4. B地区(相模川河口～茅ヶ崎HL)の汀線変化

B地区(図-4(b))は、西端が相模川河口左岸、東端が茅ヶ崎ヘッドランド(HL)を超えたX=11.5km地点に設定してあり、東端は自由境界であり沿岸漂砂が通過可能である。この区域には、相模川河口左岸から

茅ヶ崎漁港間に測線No. 0からNo. 5、茅ヶ崎漁港と茅ヶ崎HL間にNo. 6からNo. 9、さらに茅ヶ崎HLの東にNo. 10, 11の計12測線が配置されている。これらのうち茅ヶ崎漁港の西側ではNo. 0, 2, 3, 5に、茅ヶ崎漁港と茅ヶ崎HL間ではNo. 6, 7, 9に、そして菱沼海岸にあってはNo. 10, 11に顕著な変化が見られるのでこれらを抜粋し、図-6に一括して示す。

相模川河口左岸のNo. 0では、1974年から1988まで急速な汀線後退が起き、後退量は92mに達した。1990年以降汀線変化がなくなったが、これは汀線が護岸位置に張り付いたためである。このように相模川河口部では砂州の後退とともに著しい汀線変化が起きた。河口の東740mに位置するNo. 2では1970年から1990年までは汀線が後退したが、その後大きく前進し、一定値を保っている。これは図-4(b)に示したように柳島地区沖に消波堤ができたため、消波堤の沖側まで汀線が前進したことによる。茅ヶ崎漁港と相模川河口の中間点のNo. 3では、変動はあるものの緩やかな後退傾向を示すが、茅ヶ崎漁港の西隣のNo. 5では明らかに前進傾向を示す。両者の汀線変化より、この地域では東向きの沿岸漂砂が卓越し、相模川からの土砂供給量が減少すると同時に、柳島の消波堤が沿岸漂砂を阻止するためにNo. 3では侵食傾向となったのに対し、茅ヶ崎漁港の西側直近では逆に堆積が進んだことが分かる。またNo. 2, 3間で養浜が行われ、その土砂が茅ヶ崎漁港方面へ移動したことによりNo. 5では著しい堆積が生じたことも分かる。

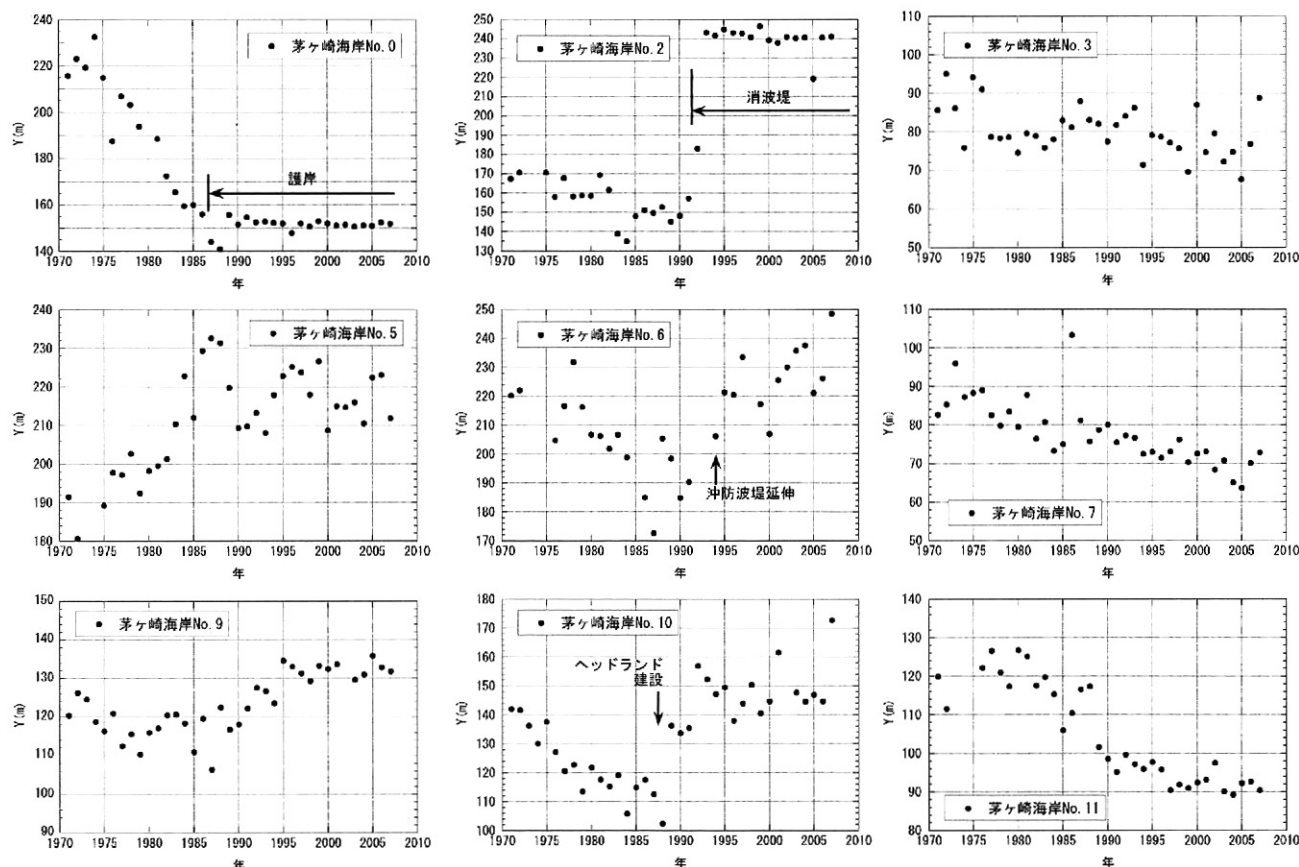


図-6 B地区(相模川河口～大磯港)の汀線変化

茅ヶ崎漁港とHL間においては、中央部のNo. 7では単調な汀線後退が起きてきている。これに対し、漁港防波堤による波の遮蔽域内に入るNo. 6では1990年頃までは汀線が後退傾向を示したが、沖防波堤が1994年に東へ延伸された直後から著しい前進傾向に変わった。これは防波堤による波の遮蔽効果が著しく高まったためと考えられる。茅ヶ崎HLの西隣のNo. 9では1990年までは緩やかな後退傾向を示していたが、HLが1990年に完成してからは前進傾向に変わり、1995年以降ほぼ平衡状態に達した。一連の汀線変化は、1990年までは東向きの沿岸漂砂によってこの区域の砂が運び去られたために土砂量が減少していたが、HLの建設後東向きの沿岸漂砂が阻止される一方、上手側からの沿岸漂砂の供給がないため汀線がほぼ安定状態に達したことを示している。

茅ヶ崎HLの東側の菱沼海岸のNo. 10では、HL建設前には汀線は急速な後退傾向を示していたが、1990年にHLが完成すると東向きの沿岸漂砂が阻止されると同時に、HLによる波の遮蔽効果が発揮され、汀線は急激な前進傾向に変わった。その後1995年頃にはほぼ定常状態に達した。これと対照的な変化を示すのがNo. 11である。HL建設前はNo. 10と同様侵食傾向を示したが、HLの建設によりNo. 10方面への砂の逆流と、No. 11を通過する東向きの沿岸漂砂量の減少とが重なった結果、汀線の後退が進んでいることが分かる。以上のように、B地区では茅ヶ崎漁港の防波堤と

HLの建設により東向きの沿岸漂砂のバランスが崩れるとともに、局所的な波の遮蔽域の変化に伴う汀線変化が重なって起きている。

5. C地区(茅ヶ崎HLから江ノ島)の汀線変化

C地区(図-4(c))は、B地区の東端から江ノ島に至る区域である。この間には緩く湾曲した単調な汀線が広がり、江ノ島背後の舌状砂州へとつながる。江ノ島背後には境川が流入し、その右岸側には片瀬漁港がある。また境川河口の西1.5kmには引地川が流入している。西端の測線No. 12から東端のNo. 22までの計14測線のうち、測線No. 12, 14, 14-2, 15, 17, 20, 21, 22において特徴ある汀線変化が見られる。図-7にはこれらの測線の汀線変化を一括して示す。まず、No. 12ではB地区のNo. 11と同様、全体として後退傾向にある。しかしNo. 12から780m東に位置するNo. 14では、変動はあるものの汀線は長期のトレンドを示さず安定しており、この測線より西側の汀線が後退傾向を示すのとよい対照を示す。一方、No. 14の東側に位置するNo. 14-2からNo. 17では変動はあるものの汀線は前進傾向を示すが、詳細に見るとNo. 14-2とNo. 17に典型的に見られるように、1970年から1990年頃までは汀線の前進傾向は明らかであったものの、1990年頃以降は明らかな汀線前進傾向はなくなり、ほぼ平衡

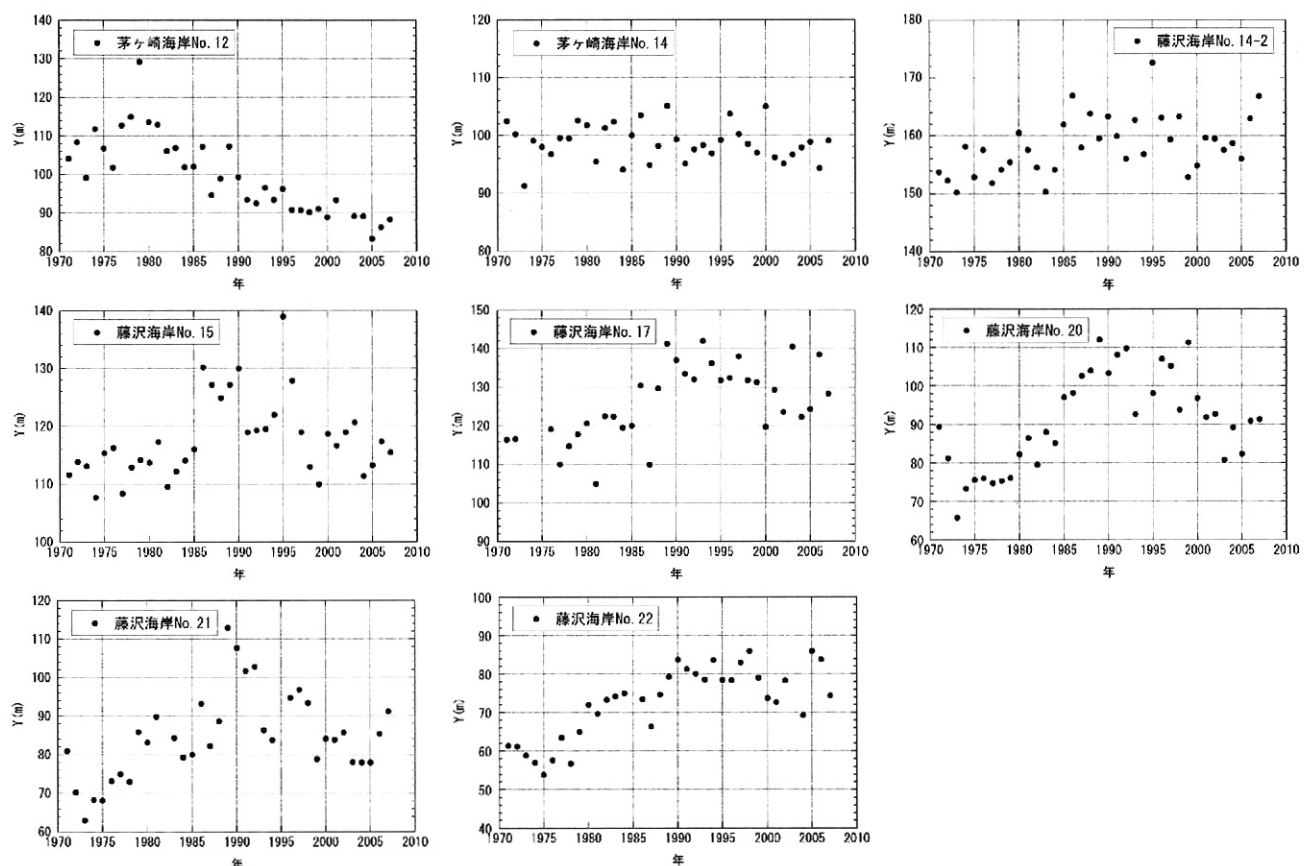


図-7 C地区(相模川河口～大磯港)の汀線変化

状態に達している。

当地域の沿岸漂砂上手側に位置するNo. 11, 12の汀線変化では、1990年以前汀線の後退速度が大きかったが、1990年以降後退速度の低減が起きている。すなわち、No. 14-2とNo. 17に典型的に見られる1970年から1990年頃までの汀線の前進傾向と、1990年頃以降で汀線がほぼ平衡状態に達した特徴は、これらより上手側に位置するNo. 11, 12での汀線変化と反対称の変化として起きている。すなわち茅ヶ崎HLの下手側直近での侵食によって供給された土砂がNo. 14-2からNo. 17に堆積している間は汀線が前進したが、侵食が進むにしたがい下手側への流出土砂量も減少することから、結果的にNo. 14-2からNo. 17の区域の汀線前進も止まったと考えられる。図-4(c)に示したように、測線No. 18とNo. 19の間には引地川が流入しているが、引地川を挟んで汀線の方角が大きく変化している。例えばNo. 17での汀線への法線方向はS13° Wであるのに対し、No. 20ではS28° Wと時計回りの方向に15° のずれがある。このようなずれは、この付近の汀線形状が江ノ島による波の遮蔽効果を強く受けていることを示す。このことを考慮した上で、図-7からNo. 20, 21, 22の汀線変化を調べると、No. 20では1990年まで急速な前進傾向を有していた汀線が1990年以降後退に転じた。同様な傾向はNo. 21でも見られる。しかしながら片瀬漁港の西隣のNo. 22では1990年まで汀線が前進傾向を示した後、1990年以降はほぼ平衡状態にある。すなわち大きく突出した舌状砂州の頂点(No. 22)では汀線変化がほとんどないが、頂点から西向きに離れた引地川河口の左岸側の、汀線形状から判断して江ノ島による波の遮蔽域の境界付近(No. 20, 21)で侵食が起きたことが分かる。

既に述べたように、引地川河口右岸のNo. 17付近では1970～1990年に汀線が前進した後、汀線はほぼ平衡状態に達し、砂の堆積は起きていなかった。これより、引地川河口以西では沿岸漂砂の供給がほぼなくなっていたと考えられる。一方、江ノ島背後の片瀬漁港（境川河口沖）では、1983～2006年に総量19.4万m³の浚渫が行われた³⁾。これによってできたくぼ地を埋めるよう、江ノ島背後の舌状砂州の付け根付近が

侵食された結果、No. 20, 21に見られるような汀線変化が起きたと考えられる。宇多ら³⁾による、1954年を基準とした2005年までの空中写真から算出した湘南海岸全域での汀線変化、さらには粒径を考慮した土砂収支図²⁾によれば、茅ヶ崎HLの東約1km地点より東側、江ノ島に至る区間の汀線は長期的に見て長らく前進傾向にあった。このことから、本来江ノ島背後は安定した砂の堆積空間であったが、その先端部での掘削という人為改変の影響が汀線後退として現れたと考えられる。

6. まとめ

湘南海岸の長期的な海浜変形については、既に宇多ら³⁾により報告されているが、本研究では1971年以降38年間に蓄積された深淺データを用いて、湘南海岸の任意地点における汀線の時間的変化を詳細に調べた。この結果、湘南海岸の長期的な汀線変化に加えて、漁港防波堤の延伸やヘッドランドの建設、浚渫など人為的影響による汀線の詳細な変化が明らかになった。

参考文献

- 1) 宇多高明, 青島元次, 鮫島 強, 吉岡 敦, 古池 鋼, 石川仁憲: 広域地形・粒径変化予測モデルの湘南海岸への適用, 海岸工学論文集, 第 55 巻, pp. 606-610, 2008.
- 2) 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.
- 3) 宇多高明, 木下幸夫, 山野 巧, 吉岡 敦, 三波俊郎, 壺岐信二, 石川仁憲: 長期深淺測量データに基づく湘南海岸の海浜変形の実態分析, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp. 651-655, 2006.
- 4) 青島元次, 鮫島 強, 吉岡 敦, 宇多高明, 三波俊郎, 石川仁憲: Narrow multi beam 測量データを用いた湘南海岸の土砂量の長期的変化, 海岸工学論文集, 第 56 巻, pp. 656-660, 2009.