

汀線変化の変遷

田 中 則 男

1. はしがき

広辞苑によると、「汀」あるいは「渚」とは川、湖および海において波が海岸に打ち寄せる場所であり、「汀線」とは海面と陸地の交わる線である。したがって、厳密な意味では、これらの言葉に陸側が砂浜であることに限定する意味合いはない。しかしながら、感覚的にはこれらの言葉が砂浜を連想させることは事実であるし、かつ、汀線変化が社会的な問題となるのは多くの場合砂浜に関してである。したがって、ここでは砂浜における汀線に話題を限定しておきたい。

砂浜汀線の変化を考える場合、元来砂浜であった汀線がコンクリートの護岸に変る場合のような質的な変化、埋立等によって水際線の延長が増加するような量的な変化、さらには、砂浜の侵食や堆積によって汀線の位置が変わる場合のような状態の変化等、いろいろな角度から変化を論ずることが出来る。しかし、このように多方向から汀線変化を論ずることは著者の良くなし得るところではないし、本講義の目的もそこにはないものと思われるので、極めて簡単に、砂浜汀線の質、量の変化にふれた後、話題の大半を汀線の前進あるいは後退の問題についてやりたい。

我が国において五万分の1等の地形図が整備されたのは、早い地域で明治20年代初頭以降である。以来整備地域の拡大がはかれると共に、修正測量が続けられているが、特殊な場合を除き海岸の砂浜部が修正測量されるに至るのは、昭和30年代に入って国土地理院が組織的な空中写真測量を開始して以降である。したがって、全国的規模で汀線変化の変遷を見ようとする場合にも、明治20年代から昭和30年代に至る70余年は1つの期間として取り扱わざるを得ないのが実状であり、その間の変遷を把握する手段はない。

本稿では、これ等の限定条件と制約条件下で、我が国における汀線変化の変遷について議論して行きたい。

なお、本稿の構成は次のとおりである。

1. まえがき
2. 減少する砂浜，増大する汀線延長
3. 全国的視野で見た汀線変化の傾向
4. 汀線変化の代表的な事例
5. マクロに把えた海浜変形と土砂移動のパターン
6. まとめ
7. 結 語

2. 減少する砂浜，増大する海岸線の延長

図一1は明治20年代から昭和30年代に至る70余年の間の海岸線の変化を、東京湾と大阪湾について示したものである。図において太い実線は現在の岸線、細い実線は明治20年代の岸線を意味する。図に見るように、これら両湾における、過去70年間の埋立事業の進行は驚ろくべきものであり、湾岸の全延長の80～90％は埋立られ、天然の砂浜からコンクリートやスチールの護岸に変貌してしまっている。5万分の1地形図等によって時代経過をより細かく見ると、全埋立の80％近くが昭和30年代以降の20年間に実施されたものであることがわかる。このように驚異的な埋立事業の進捗が、この時代

高い内湾地域に集中していることに起因している
と考えることが出来よう。

我が国の汀線の変貌の原因として今一つ忘れて
ならないのは、海岸侵食に起因するものである。
図-3に示したのは、大阪湾泉南海岸における汀
線の状況の変化を示したものである。汀線の状
況は、図中凡例に示すように「天然砂浜」から
「埋立」までの5つに分類され、航空写真から
判別された汀線状況が記号で示されている。こ
の地域は戦後早い時期から海岸侵食が問題とな
っており、海岸護岸や堤防の築造が始められて
いた。しかし、浜の後退は止まず、終戦直後か
ら昭和41年の20年の間に急速に砂浜が消え、汀
線はコンクリートの護岸に変わってしまっている。

図-4に示したように伊勢湾台風の翌年の昭和
35年以降昭和51年の間に、延長4,000kmにのぼ
る堤防・護岸が我が国沿岸を囲って築造されてい
る²⁾。昭和51年時点での堤防護岸の総延長は、約
8,000km、我が国の総海岸線延長の1/4強に相当す
る。これらの堤防・護岸は沿岸地域を高波や高潮
から守り、海岸侵食をその線で止める効果を
発揮し、人命と財産の保護に実に重要な役割を
はたして来たと言えるであろう。しかし、我が
国の汀線の変貌とい

う観点から見ると、
汀線の自然さを失わ
しめた大きな原因で
ある。

さらに、昭和51年
時点で我が国沿岸の
突堤総基数はほぼ1
万基、離岸堤基数は

12.70基に達する。突堤および離岸堤の設置間隔を200mと考えると、我が国の砂浜のうち2,000kmは突
堤で、254kmは離岸堤で防護されていることになる。総海岸線延長3万kmの1/5弱を占める砂浜海岸の
うち、完全に自然な状況にある箇所を見い出すことは今やむづかしと言って過言ではない。

図-5に示すのは、我が国の海岸線延長の推移である³⁾。この種統計の難しさのために、値は必らず
しも十分に納得し得ない変化をしばしば示している。特に1973と74年の間で、過去の数値の見直し
が行なわれ、200km近く海岸線が伸びた結果になっている。しかしながら、海岸線が年と共に伸び、
その伸びの速度は20km/年程度と考えて大過なさそうである。臨海部への人口および産業の集中高が
高い我が国において、海岸線の有効な利用と新しい海岸線の造成は重要な国家的な課題である。した
がって、海岸線伸長のこうした傾向は今後も止まることはないであろう。

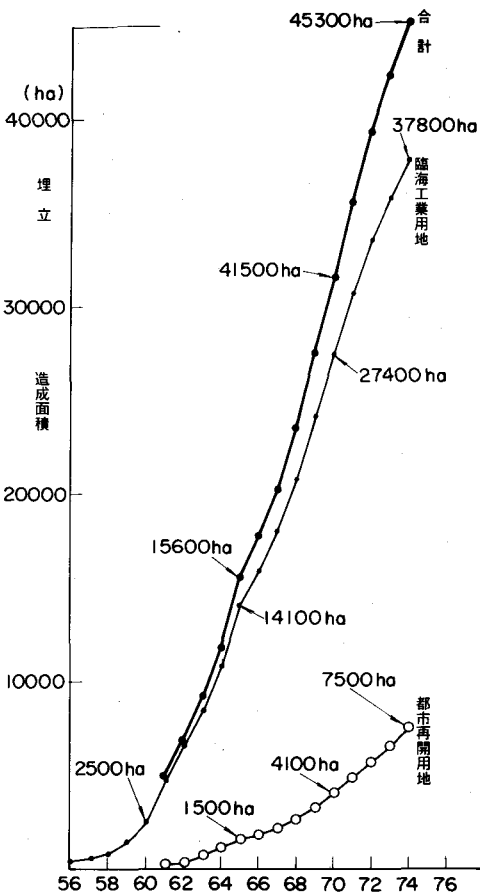


図-2 我が国における埋立実績

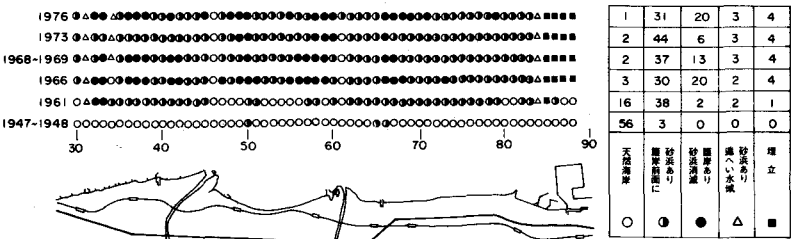


図-3 泉南海岸における汀線性状の変遷

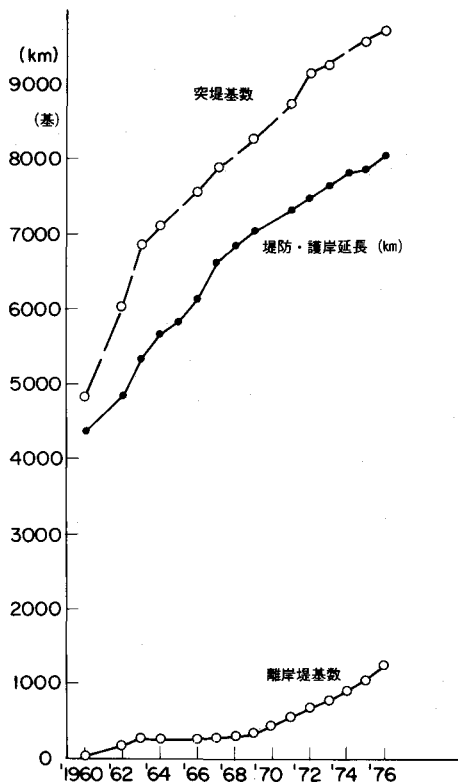


図-4 我が国における海岸侵食対策施設の推移

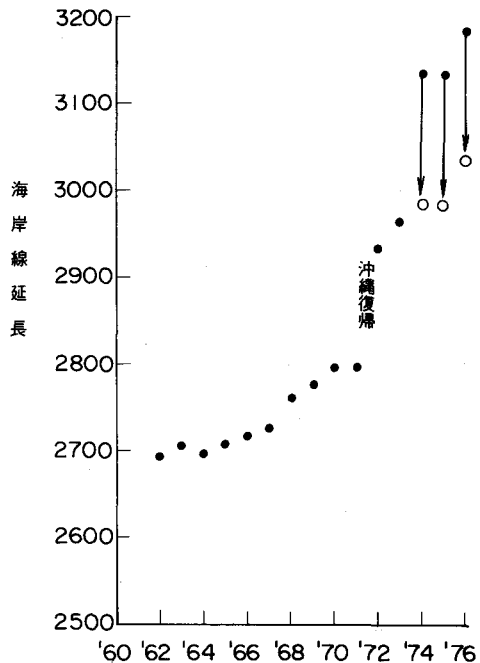


図-5 我が国における海岸線延長の変化

3. 全国的視野で見た汀線変化の傾向

我が国の汀線変化の傾向を全国的な視野で見ようとする作業の成果としては、著者の知る限りにおいては以下の3つの研究がある。すなわち、著者等港湾技術研究所漂砂研究室グループによるもの⁴⁾、小池等によるもの⁵⁾および国土地理院によるもの⁶⁾である。

著者等による調査は、終戦直後、当時占領軍であった米空軍によって撮影され現在国土地理院に保管されている1/20 000空中写真と昭和30年代後半以降国土地理院によって撮影された空中写真とを比較して汀線変化を論じたものであり、一方、小池および国土地理院による調査は明治20年代および最新の1/50 000地形図を対比させて汀線変化を論じたものである。

衆知の通り、海浜は相当激しい短期的な変動をし、高波によって侵食された浜が荒天がおさまるにつれて再び元に復することはしばしば見られる。したがって、相当長い期間をおいて撮られた2枚の写真から汀線の長期的変化を論ずることには当然大きな問題がある。しかし、現実に汀線の長期的な変化を論ずる手段が他には存在しないし、『長期的な変化を見る場合に、どの程度の量の変化を有意と見るのか』、また『長期的変動の原因となる事実が存在するか』等に留意して資料を見て行くことによって、大過のない結論に達し得るものと思われる。

小池の研究⁵⁾ 前述のように小池は5万分の1地形図の重ね合せによって我が国の大規模な砂浜の変化を計測した。2つの地形図の測量時間々隔は地域によって差があるが40年から75年〔平均65年〕であり、汀線変化量が50m以上に達する変化のみを有意な変化として議論を進めている。

図-6は小池の調査結果を示すものである⁸⁾。図中において海向きの矢印は堆積を陸向の矢印は侵食を意味し、矢印の頭部に付された数字は10m単位で表わされた変化量（すなわち15は変化量150mを意味する）を示している。これによると、新潟から石川県に至る地域、鹿島灘沿岸、八戸から泊に至る地域、北海道胆振沿岸、北見湾沿岸等に侵食の集中した地域が見られ、東海地方沿岸から日向沿岸に至る大平洋岸の沿岸では強い堆積と侵食が交互に見られる。一方九十九里沿岸、仙台湾、志布志湾、石狩湾等の開発の進んでいない湾では一様に堆積傾向が強い。

小池は自身の調査結果と著者等の提供した調査の中間結果を比較し、明治年代から40～75年間の変化と戦後20～30年の変化の相異を論じている。表-1は小池等の調査結果を集計したものである。この結果を地域別に細かく見て行くと解釈に苦しみ場合も多い。しかし、汀線変化を全国総量と、表-2に示す著者等の結果と比べると

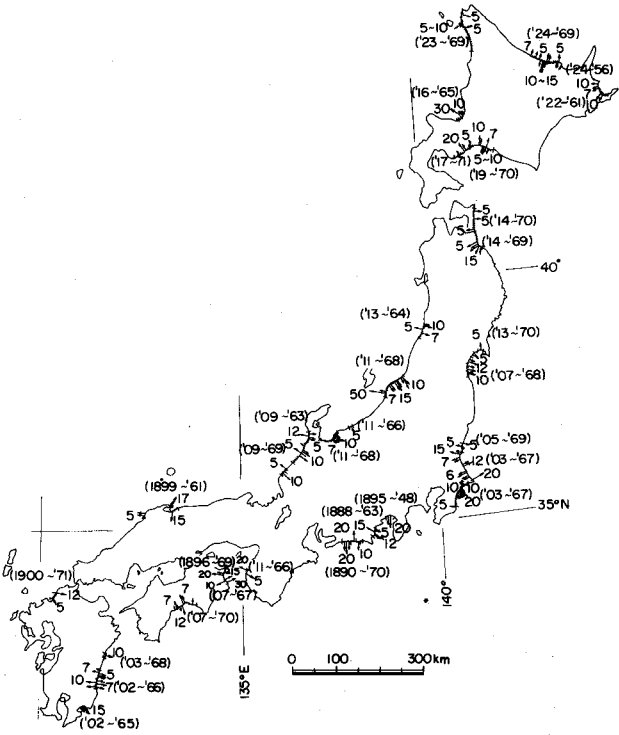


図-6 地形図から求められた我が国の汀線変化の傾向(小池による⁸⁾)

表-1 地形図から求めた海浜変形総括表(小池による⁸⁾)

地域	砂浜海岸 全延長	測定海岸 線延長	期 間	侵 食 海 岸		安 定	堆 積 海 岸		備 考
				～150 m	-150～-30m		50～150 m	150 m～	
I	724.0 km	331.5 km	1920 1968	2.0 km	64.5 km	213.6 km	47.5 km	4.5 km	北海道
II	482.5	303.5	1913 ～1968 1903	2.5	33.5	183.5	71.5	12.5	青森～房総大平洋岸
III	493.5	264.5	1910 1968	5.5	59.0	177.0	16.5	6.0	青森～若狭日本海岸
IV	333.5	81.5	1890 1965	4.5	5.0	33.5	34.5	4.0	相模湾～紀伊半島
V	175.0	108.0	1902 1965	0.5	12.0	65.0	30.5	—	紀伊半島～大隅
VI	287.5	—	—	—	—	—	—	—	瀬戸内海
VII	344.0	62.0	1900 1965	—	9.0	35.0	15.0	3.0	若狭～大隅, 日本海, 支那海岸
合計	2,840.0	1,150.5	—	15.0	183.0	707.0			
%		100		1.3	15.9	61.5	18.7	2.6	

堆積(A)/侵食(R) = 1.24

17.2 %

21.3 %

地形図に基づいた約70年間の方が、戦後のそれに比べて堆積や侵食を示している地域の海岸総延長に対する比が明らかに高く、戦後の20年間は著しい侵食や堆積を示している地域が少なくなっていることが読み取れる。これは戦後における砂防あるいは海岸侵食対策事業の効果の現れと考えることが出来よう。また、小池による70年間の調査では堆積を示す地域の方が侵食を示す地域より長く、堆積地域延長と侵食地域延長の比率(A/R)は、 $A/R=1.24$ であるのに反して、戦後の20年間では侵食地域の方が堆積地域より長く $A/R=0.91$ 減少し、海岸侵食問題の深刻化をうかがうことが出来る。

国土地理院の研究⁹⁾ 国土地理院においても小池と同様5万分の1地形図によって45～75年間の汀線変化を求めている。この結果は汀線変化を堆積・侵食共に大・中・小の3階級に区分し、全国を17地区に区分して各区分毎に汀線変化の分布図として示されている。さらにこの研究では、これ等の資料に基づいて地形変化の要因の分析、地形変化の類型化等を試みている。

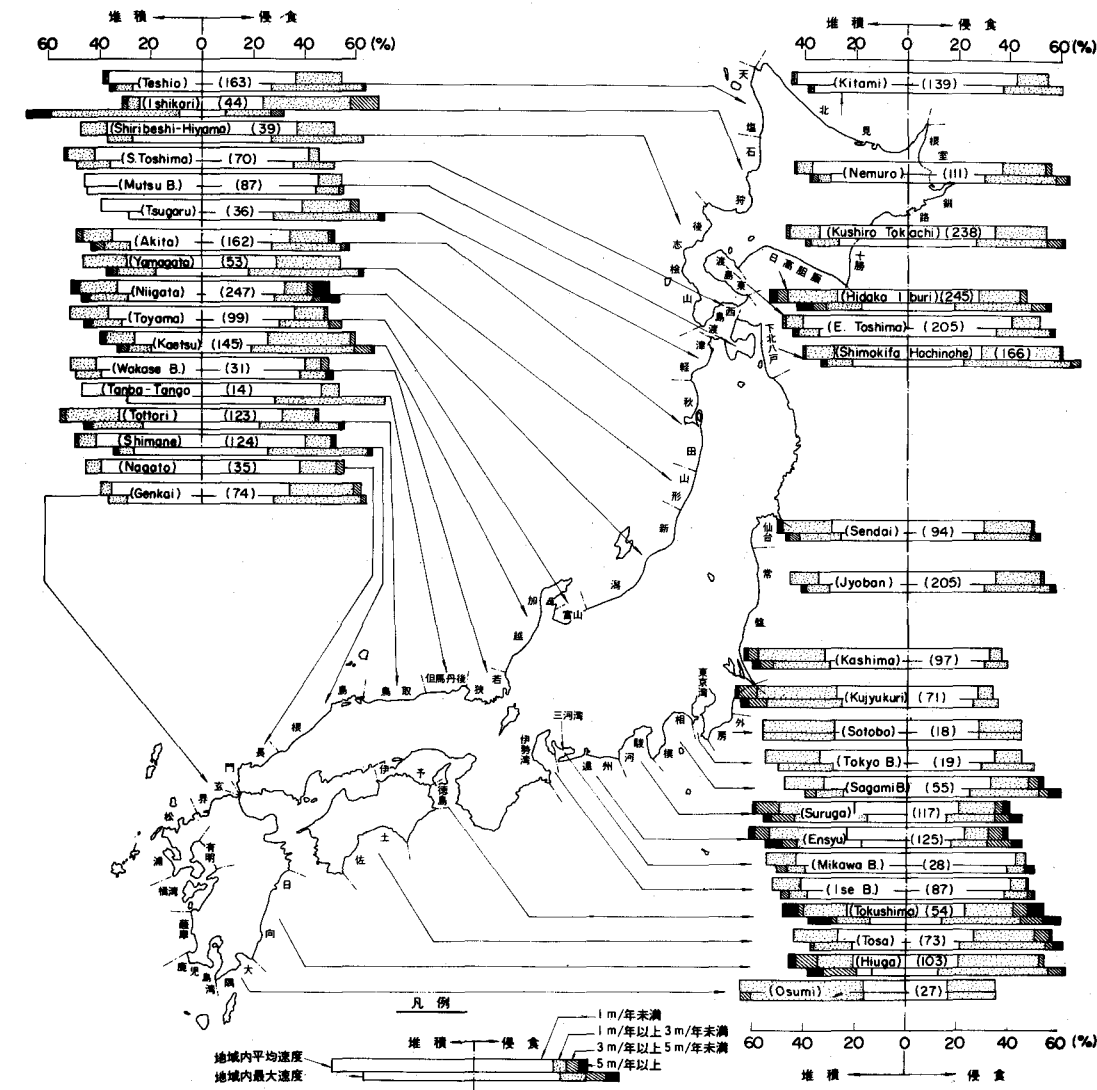


図-7 我が国における汀線変化の実態総括図

著者等の研究⁴⁾⁵⁾⁶⁾ 著者等は戦後における航空写真を比較することによって浜に沿って 160 m 年毎に汀線変化量を測定し、これらの資料に基づいて全国 1 km 格子地域毎にメッシュ内平均およびメッシュ内最大の汀線変化速度を求めて『日本の海浜変形図』を作成した¹⁰⁾。その結果に基づいて我が国の各海岸毎の汀線変化の傾向をグラフ化したのが図-7 である。

図-7 には海浜変化速度を堆積・侵食について各々凡例に示す 3 段階に分け、これらの変化速度を持つメッシュ数の各海岸の全メッシュ数に対する比が示されている。各海岸に対応するグラフは上下 2 本で一組の棒グラフで示されているが、上段の太いグラフはメッシュ内平均変化速度、下段の細いグラフはメッシュ内最大変化速度を意味している。変化速度が 1 m / 年未満のメッシュは海岸が安定しているものと判定し、グラフに白抜で示した。この安定なメッシュ出現率の中央点を鉛直な直線上に一到させてグラフが並べられている。したがって、鉛直な直線に対してグラフが右側にかたよる程侵食地域が広いことを意味し、また班点、斜線、黒塗と色の濃い部分が長くなるほど汀線変化速度が高いメッシュの多いことを意味する。また表-2 は後述する図-8 に示す我が国の地質構造区分にしたがって我が国沿岸を区分し、メッシュ平均変形速度を集計したものであり、値は百分率で示されている。これらによって以下の事実が明らかである。すなわち、

a) 全調査海岸について見ると、安定していると判定された海岸は全調査延長 3,999 km 中の 65.8% であり、堆積性の海岸と侵食性の海岸とでは、わずかに後者の方が多い。前述のように小池⁸⁾にならってその比を示すと $A/R = 0.91$ となり、小池が地形図を用いて求めた明治年代以降の値 $A/R = 1.24$ に比べれば、戦後我が国の海岸がわずかながら侵食傾向に転じたことがわかる。しかしながら、全国平均で見ると侵食速度は意外に少なく、いま、仮に小規模変化の速度を 2 m/年、中規模を 4 m/年、さらに大規模を 6 m/年として全国統計の年間侵食面積を求めると、 $0.1219 \text{ km}^2/\text{年}$ となり、これに伴う侵食土量は百数十万 m^3 のオーダーにすぎない。すでに砂浜が消滅し、海岸護岸前面の水深が次第に増加している場合のように、この調査では把握し得ない侵食の進行のケースも勿論多い。それにしても、この値は意外と小さいという印象が強い。

b) 平均的に最も安定した海域は各地域の内湾域であり、北海道半島部およびオホーツク沿岸がこれに次ぐ。一方安定海岸の最も少ないのは東北日本および西南日本外帯である。内湾域以外の地域で安定海岸の比率が 80% を越えている地区は、北見沿岸、渡島西沿岸、島根沿岸、但馬丹後沿岸、若狭湾沿岸等であり、逆に安定海岸の比率が 50% 以下であるのは大隅沿岸（志布志湾）、日向灘沿岸、紀伊水道西岸、遠州灘沿岸、駿河湾沿岸、石狩湾沿岸等である。

c) 堆積性海岸が侵食性海岸より多い地域は、東北日本および西南日本外帯および北海道胴体部しかない。より狭い地域で見て、堆積性海岸の延長の比が 30% を越える地区は大隅沿岸（志布志湾）、遠州灘沿岸、駿河湾沿岸、九十九里沿岸、鹿島灘沿岸、石狩湾沿岸である。

d) 前項以外の地域では、すべて侵食性海岸が堆積性のそれをしのいでいる。侵食性海岸の比率が 30% を越える地区は、日向灘沿岸、土佐湾沿岸、加越沿岸、下北・八戸沿岸である。

e) 年間の侵食速度が 5 m/年を起える地域（戦後 30 年で 150 m 以上の侵食を示している地域）は、全国ではほぼ 30 km 程度あり、侵食速度が 3 m/年（戦後の侵食量が 100 m 程度以上）以上の海岸は全国で 90 km 弱あって、東北日本日本海岸および西南日本外帯に集中している。地区別に見ると中規模侵食以上の侵食が 5% を越える地域には、土佐湾沿岸、紀伊水道西岸（徳島海岸）、遠州灘沿岸、駿河湾沿岸、相模湾沿岸および新潟海岸が挙げられ、行政的にも戦後我が国の深刻な侵食海岸として注目されて来た地域と一致する。

f) 逆に、年間の堆積速度が 5 m/年以上に達する海岸の延長は、全国で 30 km 弱、堆積速度が 3 m/年以上の延長が 95 km 程度あり、東北および西南日本外帯および北海道胴体部、等に集中している。地

表-2 我が国の地質構造区分にしたがって集計したメッシュ平均変化速度の集計表

地域区分	地 域	調査延長 (km)	堆 積			安 定	侵 食			地 区
			大規模	中規模	小規模		小規模	中規模	大規模	
北海道胴体部	太平洋岸	484	1.45	2.48	15.70	60.95	17.98	1.45	0	日高・胆振，釧路・十勝
			19.63				19.42			
	日本海岸	207	0.48	1.93	17.39	63.78	16.43	0	0	天塩，石狩湾
			18.84				16.43			
	オホーツク海岸	250	0.40	0.40	3.20	80.80	14.40	0.80	0	北見，根室
			4.00				15.20			
胴体部小計	941	0.96	1.81	12.75	66.84	16.68	0.96	0	太平洋岸，日本海岸，オホーツク海岸	
		15.52				17.64				
北半	海 島 道 部	341	0	0.64	8.92	80.25	10.19	0	0	後志・松山，渡島東，渡島西
			9.55				10.19			
北小	海 道 計	1255	0.72	1.51	11.79	70.20	15.06	0.72	0	北海道胴体部，北海道半島部
			14.02				15.78			
東北日本	太平洋岸	563	0.36	1.24	14.92	62.88	19.72	0.71	0.18	下北，仙台，常盤，鹿島
			16.52				20.60			
	日本海岸	498	1.00	1.00	13.05	66.66	13.25	1.61	3.41	津軽，秋田，山形，新潟
			15.06				18.27			
	内 湾 域	106	0	0	3.77	86.79	9.43	0	0	陸奥湾，東京湾
			3.77				9.43			
外 帯	261	0.77	6.13	26.44	50.57	11.88	2.30	1.92	九十九里，外房，相模湾，駿河湾	
		33.33				16.09				
東北日本小計	1428	0.63	1.96	15.55	63.72	15.27	1.26	1.61	太平洋岸，日本海岸，内湾域，外帯	
		18.13				18.14				
外帯小計		696	1.58	4.89	23.13	49.43	15.95	3.45	1.58	東北日本外帯，西南日本外帯
			29.60				20.98			
西南日本	外 帯	435	2.47	4.14	21.15	48.73	18.39	4.14	1.38	遠州灘，紀伊西岸，土佐湾，日向灘，大隅，薩摩
			27.36				23.91			
	内 帯 (日本海岸)	646	0.15	0.62	11.76	68.42	17.34	1.39	0.31	富山湾，加越，若狭湾，但馬丹後，島取，島根，長門，玄界灘
			12.54				19.04			
	内 湾 域	235	0	0	7.66	79.14	12.77	0	0.43	燧灘，伊予，三河湾，伊勢湾，鹿児島湾，豊前・豊後，松浦湾，有明海，橘湾，大阪湾
			7.66				13.19			
南日本帯小計	1316	0.76	1.67	14.13	63.83	16.87	2.05	0.68	外帯，内帯，内湾域	
		16.56				19.60				
全 国 合 計		3999	0.70	1.73	13.90	65.79	15.73	1.35	0.80	北海道，東北日本，西南日本
			16.33				17.88			

区別に見て中規模堆積以上の海岸線延長が5%を超える地区は、日向灘沿岸、紀伊水道西岸、駿河湾沿岸、遠州灘沿岸、九十九里沿岸、鹿島灘沿岸、日高・胆振沿岸、石狩湾沿岸である。このうち紀伊水道沿岸から遠州灘沿岸に至る地域は、前項の侵食の激しい地域にも該当し、グラフの両側に色の濃い部分が目立ち局所的に侵食・堆積共に激しい地域と言うことが出来る。

g) 図-7を見ると、駿河湾から日向灘にかけてグラフが右下方に流れ、平均的な侵食傾向が強まって行く傾向を示していることがわかる。これと同様に、例えば鹿島灘沿岸から相模湾沿岸までの間、

若狭湾から玄界灘沿岸の間、新潟-富山-加越沿岸の間というように、沿岸の或る範囲毎にグループとしてまとまって連続した傾向を持っているかのように見える。これら各グループの中では、すべてのケースで南へ下る程侵食傾向が強まっている。現在の時点ではこうした傾向の意味を理解することは出来ない。しかし

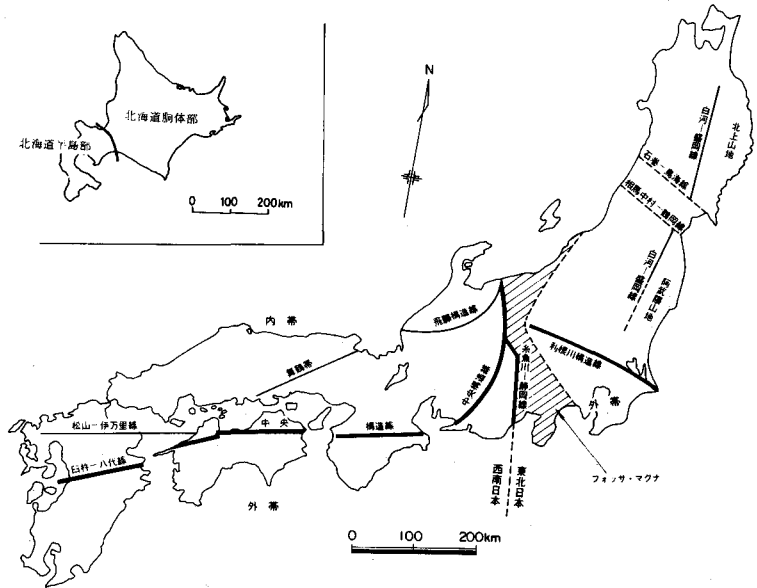


図-8 我が国の地質構造区分

これらのグループが我が国の地形を粗く直線をむすんでスケッチする時の地形のまとまりと対応しているかのごとく見えること、きわめてマクロに我が国周辺の気象・海象要因を見ると、南北方向に傾斜した変動性をもつものが多いこと等、このような傾向が偶然にすぎないとはかならずしも言い切れない要素もある。

図-8は、最も一般的に認められている我が国の地質構造区分である。すなわち、北海道を除く日本列島は、東北日本と西南日本、外帯と内帯という2つのカテゴリーの組合せによって基本的な4地域に分けられ、北海道は北部の胴体部と南西部の半島部に分けられている。これらの地質構造の差異が、地形、気候、河川の特性等を左右する基本的な要因であり、しいては人々の生活様式にまで強い影響を与えていることは衆知のとおりである。表-2に示した集計表はこの地質構造区分に対応してとりまとめたものである。また図-9は、我が国の主要91河川の河口部における砂浜面積の変化速度⁶⁾¹¹⁾ ($m^2/年$)と地質構造区分との対応を図示したものである。これらによってマクロな視点から我が国の海浜変形の特徴を見ると、この地質構造の差異の影響をいくつか見ることが出来る。すなわち、

a) その第一は外帯の特性に関する事項である。すなわち、外帯においては安定な砂浜の延長が他の地域に比べて極端に少なく、全国平均の安定海浜の延長の比率が65.8%であるのに反して、西南日本外帯では46.8%、東北日本外帯おもし合わせても50%弱にすぎない。さらに外帯においては堆積傾向、侵食傾向、共にその比率が高く、特に大規模な海浜変形が各所に発生している。この地域は東西に走る数本の褶曲山脈間の狭い谷間を急流河川が流れ、世界有数の多雨地帯でもある。したがって、元来山地における土砂生産および土砂の流下が最も激しい地帯である。同時にこうした地域特性は水資源の利用の適地条件でもあり、各種のダム群が建設され、ダム建設に伴う流下土砂の減少の影響を最も

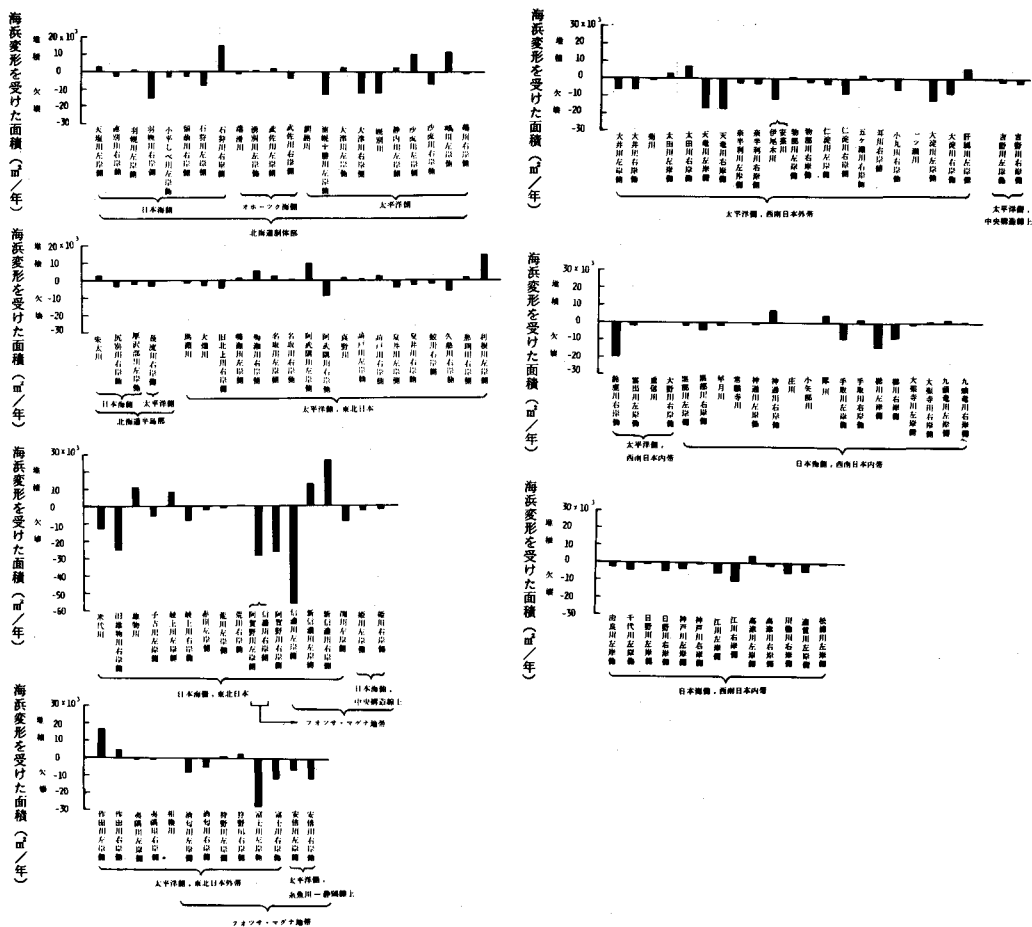


図-9 主要河川の河口部における海浜変形

強く受けている地帯といつてよい。さらにこの地域は我が国を襲う台風や移動性の低気圧の影響を最も強く受け、種々な意味で非常に荒々しい条件をそなえている。事実近年においては、我が国の海岸侵食対策の最重点地帯となっている。我が国における大規模な汀線の後退の大半が河口周辺において生じているが、この地域においては特にその傾向が著しく、わずかな例を除き河口の両岸で侵食されており、その侵食速度も最も大きい地域に当る。近年いくつかの河川において河川からの流下土砂の減少と海岸侵食との関係の追求を主テーマとした研究がなされ^{12) 13) 14) 15)} 少なくとも定性的にはその因果関係が明らかにされている。しかし、表-2に示すように広域で総量として見れば、外帯は北海道胴体部と並んで堆積地域の延長が侵食地域をしのぐ唯一の地区である。急激に減少して来つつあるとは言え、他の地域に比べれば豊富な河川流下土砂量と、河口部で侵食された土砂とによって、地域全体としては未だに砂浜の増大が維持されているのであろう。したがって、今後の河口部の侵食の進行によって、河口部の侵食が減少するか、あるいは海岸事業による侵食の進行の抑止によって、河川流下土砂の影響が直接広い地域に拡大して行くことが十分予想されるのである。

b) 西南日本内帯は、地盤の隆起および沈降が複雑に生じた結果、地形は小規模な多くの地塊に分割されて盆地の発達が著しい。このため海岸線も岬や小湾によって小さく分割されており、砂浜規模が小さくポケットビーチ的である。内湾域や北海道オホーツク岸を除けば、安定海岸の比率が高く、

かつ大規模な変形の比率の少ないのはこのためであろう。河口部についても、この地域は東北日本大平洋岸と並んで変化の小さい地域である。

c) 東北日本は南北に走る構造線と数本の駒切構造線によって地形は比較的大きく分割され、我が国としては大きい河川が多い。この河川の周辺に沿って大きい平野が発達し、この平野と海との境界として延長数10kmに達する大規模な砂浜が発達している。この地域の河川の土砂主産量は、外帯河川のそれに比べて少なく、一般には河床勾配も比較的ゆるやかである。これらの理由で海浜は外帯海浜より安定しており、ホッサマグナに近い日本海岸地帯を除いては、大規模な変化が少ない。

d) 北海道胴体部は、きわめて安定なオホーツク沿岸を除けば、安定な海岸の比率は外帯海岸に次いで少ない。しかし、変形は堆積侵食共に小規模である。

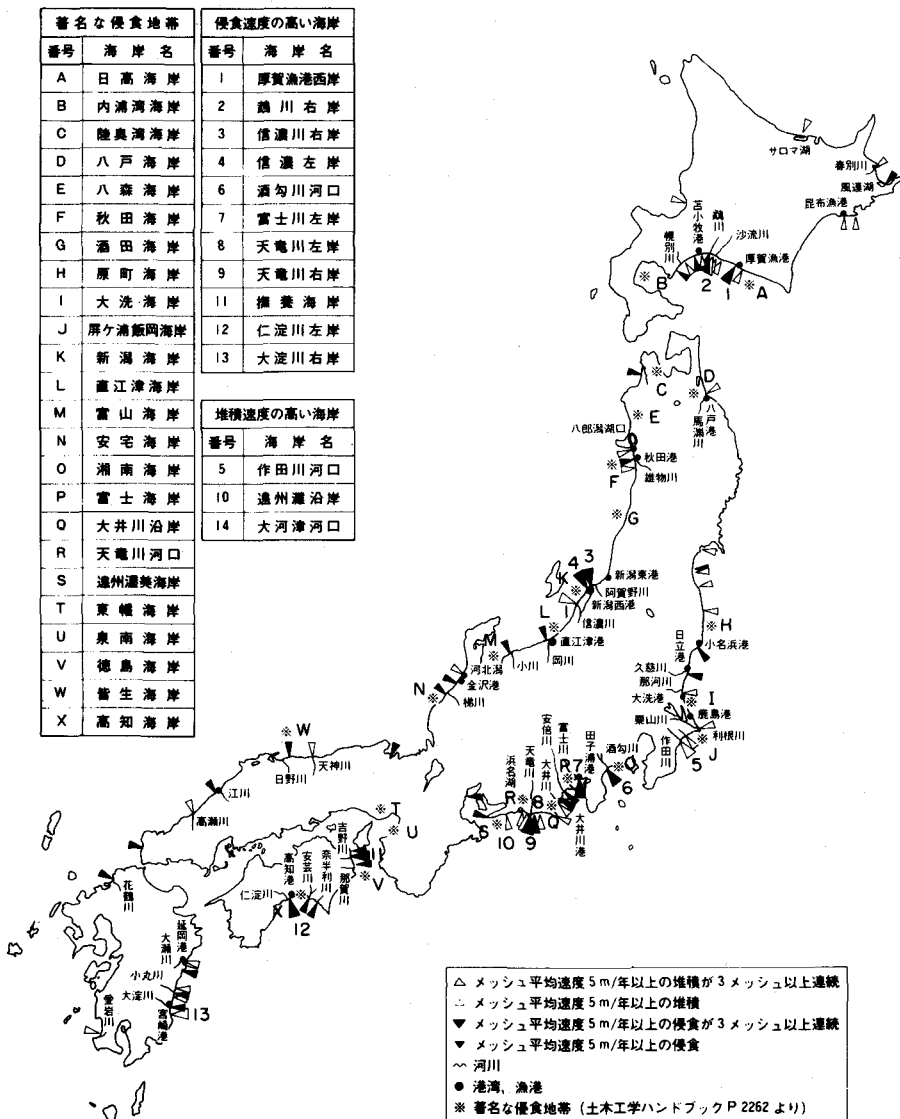


図-10 我が国における侵食地帯と堆積地帯

図-10は、汀線の変化が大きい地域の分布を示すもので、変形速度が5 m / 年以上の地域を三角印で示し、そのうち速度5 m / 年以上の変形が3 km以上続く地点は大きな三角で表示している。さらに図中には我が国で著名な海岸侵食地帯が※印で同時に示されている。

この図において先ず気付くのは、大規模な汀線変化地帯の多くが著名な河川の周辺に生じていることである。多くの河川は港湾として用いられている場合が多く、河口部にはそのための防波堤や河川導流堤が築造されており、こうした構造物の影響も勿論無視することは出来ない。しかし、我が国の海岸侵食の最も大きな要因が河川流下土砂の減少にあることはこの図が明瞭に物語っている。

当然のことながら、大規模変化の生じている地域と著名な海岸侵食地域とは多くの場合一致している。しかし、社会問題としての海岸侵食は、常に汀線変化と人々の生活の係りとの間に生じ、基本的には相互に次元を異にした問題である。例えば、富山湾岸や大阪湾岸のように、汀線変化の量としてはさ程大きくない段階で海岸侵食が大きな問題となり、早期に護岸等が築造されたために、汀線の後退はその後おさえられて来た事例も多い。また、前述して来たように、広範にわたる汀線の出入りを総合し、出入りが相殺し合って結極は侵食量は少ないという議論は、海岸侵食問題の立場からは、問題を大きくとらえその本質を理解すると言う意味は持っているが、個々の侵食問題を考える立場からは、ナンセンスは議論であろう。社会問題としては侵食と堆積は相殺し得ない問題である。

4 汀線変化の代表的な事例

4.1 駿河湾西岸の場合

駿河湾西岸すなわち御前崎から田子浦港に至る海岸には南から大井川、安倍川、富士川と我が国有数の急流河川三本が流入し、これら河川の河口部では三角洲が形成され汀線が海に向かって凸型の曲線をしている。冬期の季節風はこの海岸に対しては陸風となり、したがって湾口から侵入して来る南西方向のうねりが支配的な波である。そのため、全域にわたって南から北へ向う漂砂が明らかに卓越することになる。御前崎をまわった直後の相良町、榛原町の海岸では海底勾配が緩かで底質も砂であり、絶好の海水浴場であるが、それから湾奥の地域では砂利浜となり、海底勾配も次第に急になる。湾奥部の富士川海岸に至ると海底勾配は1/10より急くなり駿河舟状海盆と呼ばれる深みが深く湾内に入り込んでいる。

図-11はこの地域における汀線変化の分布を示すものであり、左側は1946～7年から1964～6年の間、20年間の右図はその後1970～71年まで6年間の値である。両期間共に大井川、安

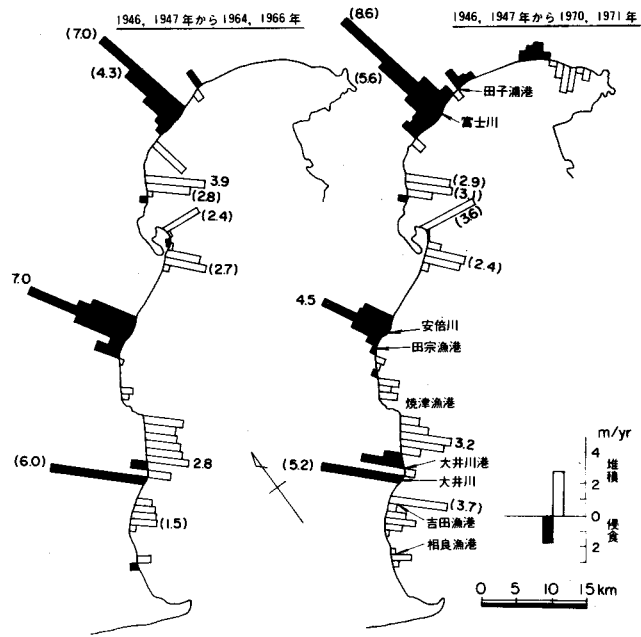


図-11 駿河湾西岸における汀線変化

倍川および富士川河口を中心に大規模な侵食が生じているが、それらの河川の北（下流）、すなわち大井川に対しては焼津に至る間、安倍川については三保崎周辺に一連の堆積地域が見られ、これらの間の土砂の収支を見るとむしろ堆積の方が明らかに大きい。しかし、富士川のみは例外であり、下手海岸に堆積地域を持たず、収支は完全に侵食側にかたむいている。田子浦港の防波堤周辺において、水深-100 m以深で厚さ10 m以上に達する堆積砂層の存在が確認されている事実から考えて、防波堤のた

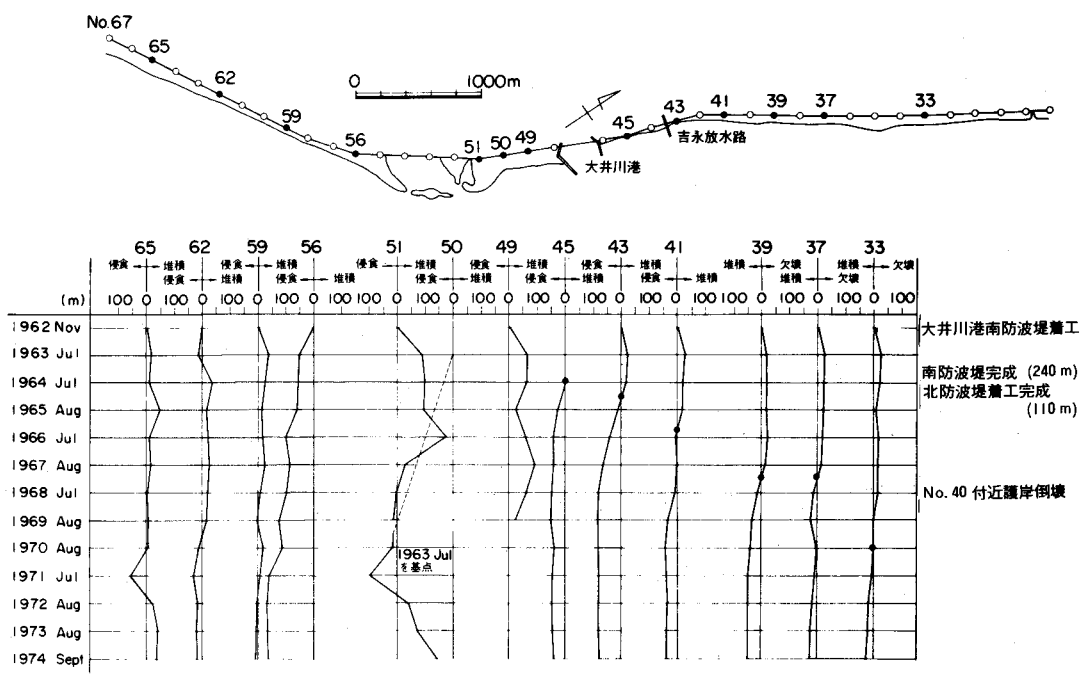


図-12 大井川河口における釘線変化

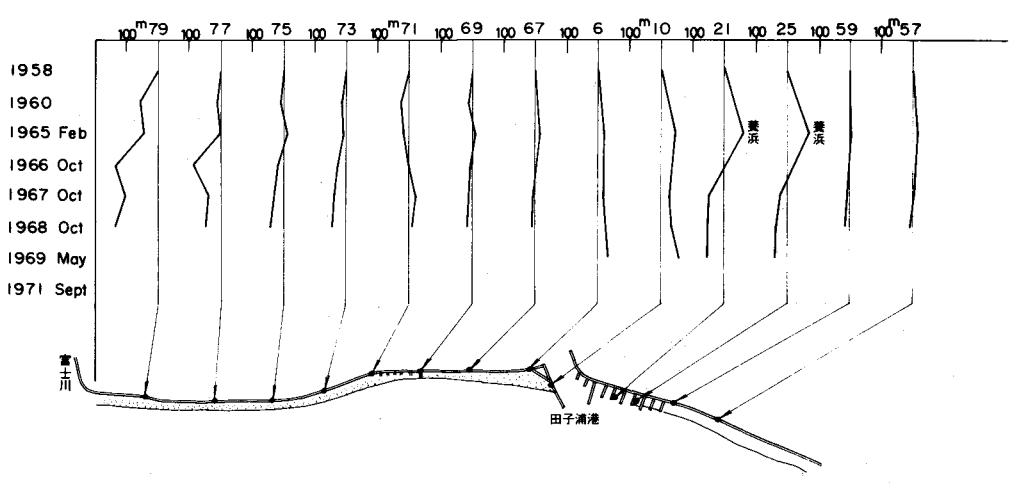


図-13 富士川河口周辺における釘線変化

めに沿岸漂砂が海盆中に落されているためであろうと考えられる。

左側の前期から右側の後期とでは、大井川および富士川では侵食速度あるいは地域が大きくなり、侵食が進行している。これに対して安倍川では侵食の進行は弱まる傾向を示している。これは、この3河川中では安倍川が最も人工密集地に近く、早期に対策が施された結果であろう。

河口地域は未利用地である場合が多く、これが著しい侵食を放置した理由になっている場合が多い。

大井川港および田子浦港の位置で侵食地域に堆積区間がはさまれているのは、防波堤による沿岸漂砂捕捉の結果である。

図-12は大井川河口周辺における汀線変化の変遷をグラフ化したものである。グラフの横軸は汀線変化量であり、縦軸は測量時期である。各グラフの測線位置は上部の平面図の位置番号と一致する。

さらに、図-13は富士川河口から田子浦海岸に至る海岸について図-12と同一手法によって汀線変化を示したものである。これらのグラフは河口部での侵食の進行と侵食地域の拡大を良く表わしている。大井川河口の場合には、測点49と45の間に位置する大井川港の存在と、No.49付近で実施されている砂利採取も侵食の進行を助長して来たことは事実である。河口の南への侵食の拡大傾向は弱いですが、それでも1970年以降は河口から2 km程度までは影響が及んでいる。河口の北側へは侵食が年と共に進み、1964年から1970年の6年間で2.4 kmすなわち400 m/年の速度で侵食が進行している。各測線における侵食規模が侵食が始まって数年で侵食量50～100 mの一定値に達するのは、護岸の築造等人為的対策実施の結果である。

富士川河口についても状況は大井川とはほぼ同一のパターンであるが、田子浦港付近のみで防波堤による沿岸漂砂の阻止によって浜が維持されている。しかし、港の東海岸では侵食が次第に東へ拡大して行く傾向を示している。

他の地域についても共通して言える事実であるが、漂砂の卓越方向が明瞭であって、海底勾配がきつくなかつ底質の粗い海浜は、延長の短い構造物でも高い沿岸漂砂捕捉あるいは阻止力を示す傾向がある。この地域は富山湾東岸等と共にその代表地域である。このような地域では突堤、離岸堤等我が国における従来の侵食対策工法をもってしては対処し切れない状況が多く、サンドバイパス工法等より抜本的な対処が必要のように思える。こうした工法の採用条件がすみやかに整備されることを望んでいる。

4.1.2 新潟海岸の場合

新潟海岸の侵食についてはすでに多くの報告や書籍で語りつくされている^{18) 19) 20)} 図-14は信濃川河口周辺における約90年間にわたる汀線変化の変遷を示すもので、各年代区分毎の汀線変化量が棒グラフで示されている。新信濃川（大河津分水）の開削工事は1907年に着工され1922年8月に通水しているが、それ以前の1897年には河口における東西導流堤が完成（その後1907年頃までに大半が沈下倒壊する）している。このような本格的な河川改修工事の進行に伴って、河口両側に侵食が生じ始め、次第にその範囲が拡大して、1948年から1965年の間の最も厳しい時期には、侵食範囲が西10 km、東7 kmに及んでいる。東海岸については、近年7～80万²¹⁾ m³/年に達すると見られる阿賀野川河口における侵食効果²¹⁾が加わっている。1965年以降の堆積傾向への転向は、海岸侵食対策工の効果のあらわれであると同時に、地盤沈下速度の減少また東海岸にあっては東港の建設に伴う沿岸漂砂の阻止などのためである。

この図に見るように、汀線の後退という観点から侵食問題を見るかぎり、侵食対策の実施は着々とその効果を挙げていると言って良い。しかしながら、河川流下土砂量の減少と汀線部分の侵食の防護の結果は、当然海底における侵食の進行を招くことになる。こうした傾向は各所に見られるが、図-15はその一例として新潟海岸における水深変化速度の分布を示したものである²²⁾ 衆知のようにこの地

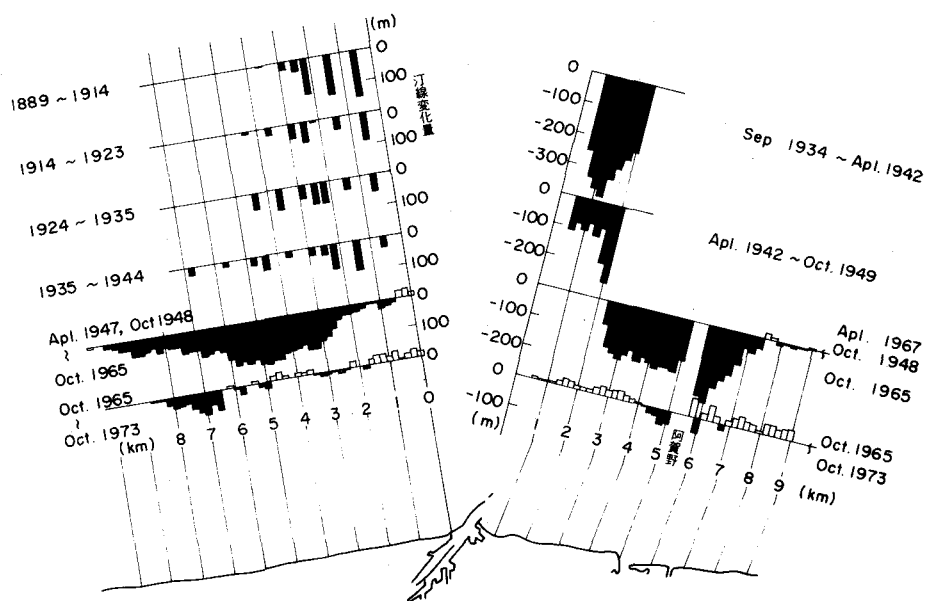


図-14 信濃川河口における汀線の変遷

域は地盤沈下の激しい地帯であり、水深変化は地盤の沈下量を含んだものである。図示した期間の沈下速度は地域を平均すれば、

1954 年から 1962 年の間	15 ~ 25 cm/年
1962 年から 1967 年の間	5 ~ 15 cm/年
1967 年から 1972 年の間	0 ~ 5 cm/年

の程度であり、近年急速に減少している。この事実を考慮して図-15を見ると、明らかに近年侵食に伴う水深の増大速度が速くなっている傾向を見ることが出来る。こうした、沖合における侵食の進行が、将来どのような問題を引き起して来るのか、現在の時点では十分にそれを予測することは出来ない。しかし、こうした傾向が沿岸部の環境の変化に大きななかかわりを持っていることは明らかである。

4.3 九十九里浜の場合

九十九里浜は我が国において最も堆積性の強い地域である。この海岸はきわめて緩勾配の砂浜海岸であり、水深-5mまでの平均勾配が1/100 ~ 1/150、それ以浅-10mまでは1/250程度となる。この浜における汀線変化は図-16の通りである。図において上部は地形図から求められた1883年から1965年に至る82年間の汀線変化速度であり²³⁾ 下図は航空写真に基づいた1947年から1970年に至る23年間の値である。いずれの場合も、浜の中央部で最も堆積傾向が強く、浜端に向う程堆積性が弱くなる。これはこの海岸の漂砂の供給源が浜の東側の屏ヶ浦における軟岩の崩壊と浜の西に流出する夷隅川からの流出土砂に依存し、これらの土砂が浜の中央に運搬されて行くためである。これら2つの土砂供給源の九十九里海岸に対する寄与率は、砂村によると²³⁾ 前者が40%強、後者が約50%と推定されており、残来は太東岬の崩壊や浜に流入する中小河川によるものである。

80年間という長期にわたる汀線変化と戦後における変化は基本的とは、同一のパターンを示すが、

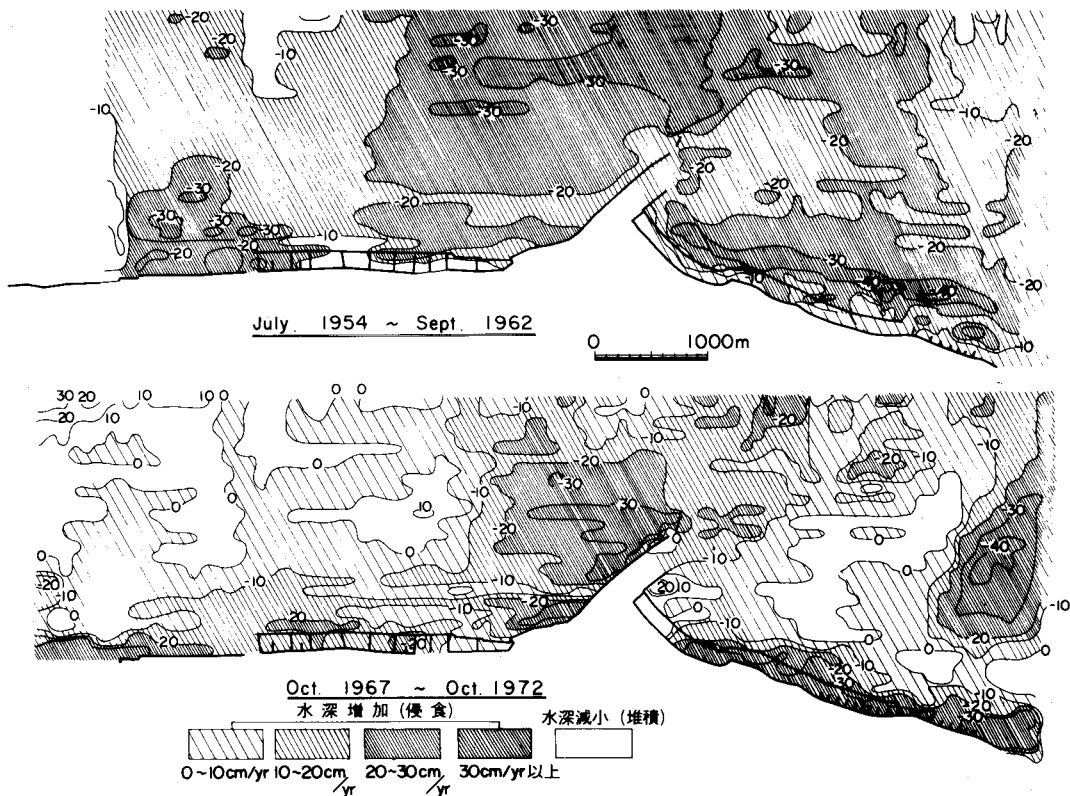


図-15 新潟海岸における水深変化

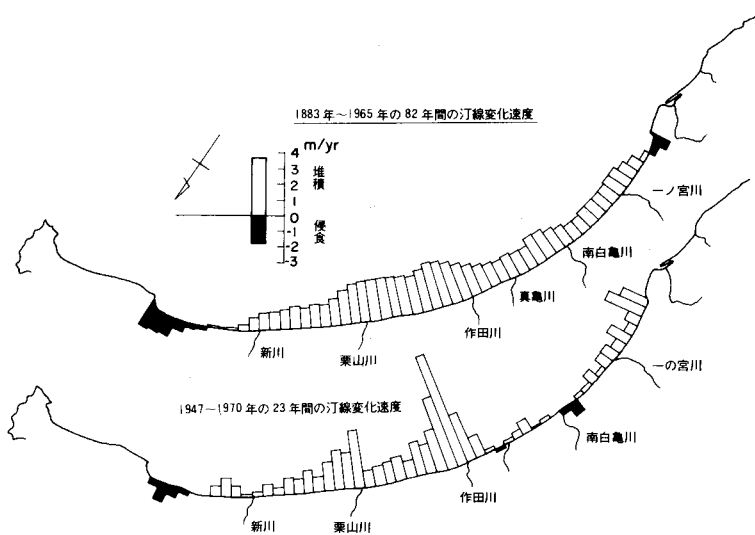


図-16 九十九里浜における汀線変化

前者が海岸全長にわたって汀線変化速度がきわめて平滑に推移するのに反して、後者では各河口の導流堤の影響によって導流堤近傍での堆積速度が飛び抜けて増大し、変化の大きい分布をするようになっている。また浜の西端部において堆積が目立ち、南白亀川付近で堆積が減少している原因は明らかでない。

奥行きが浅い弓形の汀線を持つ砂浜においては、多くの場合に九十九里浜の例と同様な漂砂移動の形態を示し、浜の両端から中央に向かって土砂が運搬され中央部が堆積傾向に、両端が侵食傾向にある場合が多い。

4.4 その他 2,3 の海浜変形事例

図-17は志布志湾における戦後における海浜変形分布を示すものである。志布志湾は奥行10 km程度の比較的深行きのある湾であり、その両側は岩礁海岸であり湾奥部に延長16 kmほどの砂浜がある。砂浜に作用する波にはうねり性の波形勾配の小さい波が多く、このため前浜勾配は急であり、後浜は高い。しかし、水深-8m以深になると海底はきわめて緩勾配である。この湾には南から肝属川、田原川、菱田川、安楽川および前川の5川が流入し、比較的土砂供給の豊かな海岸である。地形図を用いて得られた明治年代以降の地形変化では、浜全域にわたって堆積しているが⁹⁾ 航空写真による戦後の海浜変形調査の結果では、この図に示すように安楽川を中心に4～5 kmの範囲が侵食され、浜の端部で堆積が見られる。これは波当たりの強い浜の中央から、波静かな浜の端へ向う土砂輸送の存在を物語っているが、このようなパターンの海浜変形と土砂輸送は、奥行きが深い小湾の奥に存在する砂浜にしばしば見られる。

また秋田海岸の北端部、仙台海岸の北端部のように、大きな半島が浜の一端に突出し、そのかげに波の静穏な海岸が存在する場所では、浜端に向う漂砂が卓越し、浜端が堆積性の海岸となっている場合が多い。このような傾向も図-17に示した事実と同一の機構に起因している。

図-18は静岡県三保海岸および徳島県和田岬における海浜変形を示すものである。前者は安倍川の左岸に続く海岸の北端部、後者は那賀川の左岸に続く海岸の北端に当り、共に強力な土砂供給源の下手で海岸線の方向が急変する地点に形成された砂シ(嘴)地形である。現状ではその上手海岸は深刻な侵食海岸となっているが、海岸線の方向が急変する砂シ(嘴)先端部では、上手の侵食部を供給源として砂シの成長が続いている。

図-19は茨城県北端部、福島県との県境

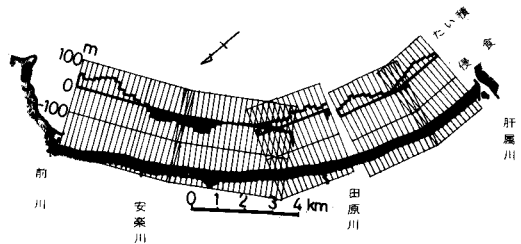


図-17 志布志湾における汀線変化

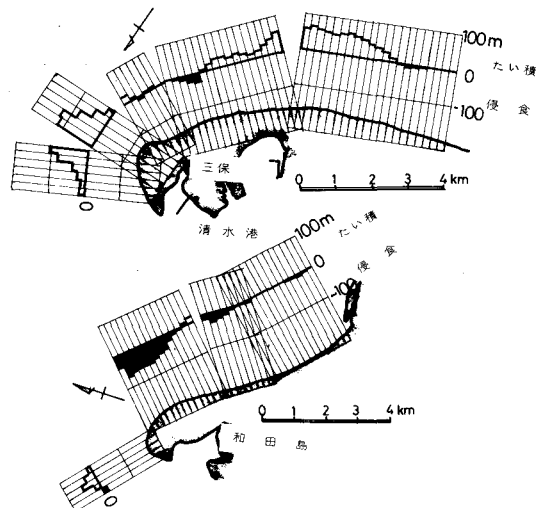


図-18 三保岬および和田島における汀線変化

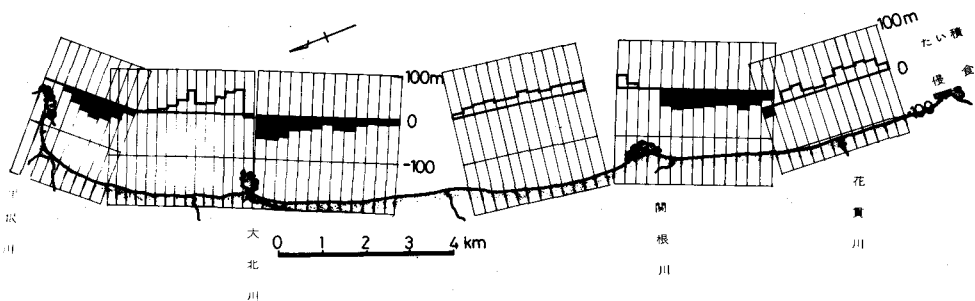


図-19 茨城県北境付近の汀線変化

近くにおける海浜変形を示すものである。この海岸では3～6 km毎に小さな岩場が存在し、海浜はその間に曲率の小さい弓形をなして存在するが、よりマクロに地形を見ると海岸はほぼ南北方向に直線状に走っている。

小規模な岩場にはさまれた砂浜は、各々北部で侵食され、南部で堆積する規則的な変化を示している。このような汀線の変化傾向は長期的なものとは考えにくく、来襲波の波向に応じた比較的短期的な変形であろうと思われる。

5. マクロに捉えた海浜変形と土砂移動のパターン

前節において述べて来た海浜変形の事例等から、海浜変形と土砂移動に関して幾つかの典型的なパターンを見出すことが出来る。これを模式的に図示したのが図-20である。

砂浜海岸に構造物を築造すると、その周辺に種々の海浜変形が発生する。この海浜変形は当然構造物の形態とそれが築造される場の条件とに強く左右されて、幾つかの典型的なパターンに類化される⁷⁾²⁴⁾以下本節に述べようとするのは、この場の条件に相当するようなマクロな視点からの議論である。

a) 曲率の小さい大規模な弓形海浜における海浜変形——延長数十kmに及ぶ長い弓形海浜においては、図-16に示した九十九里浜の場合のように、浜の両端から浜の中央に向う漂砂が卓越し、浜の中央部は堆積傾向にある場合が多い。この場合浜の両端には多量の流下土砂を有する河川あるいは土砂供給源となる侵食地域、たとえば海蝕崖や発達した河口三角洲等が存在する。このような海岸では、浜の端部程沿岸漂砂量

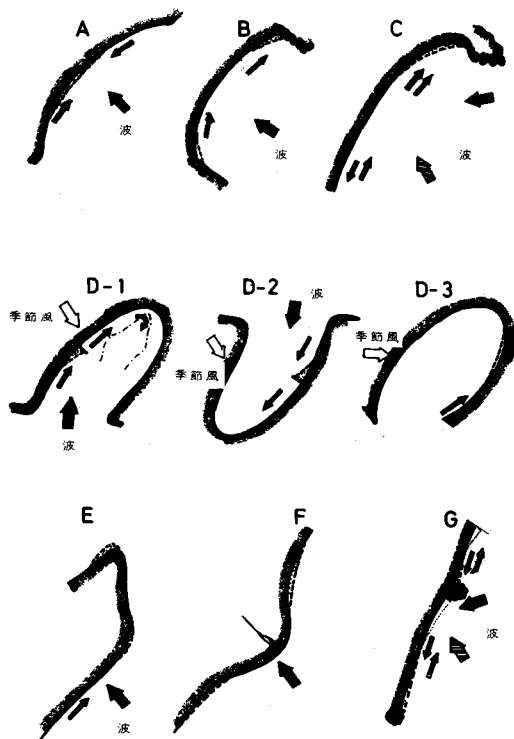


図-20 汀線変化の代表的パターン

が多く、したがって浜端部に築造された小港湾は深刻な埋没問題をかかえている場合が多く、浜の中央部に導流堤等を築造すると、その両岸に土砂の堆積を見ることが多い。このような特性を持つ海浜としては、前述した九十九里浜の他、八戸・小川原海岸、信濃川河口から岩船港に至る海岸がある。

b) 比較的奥行の深い小湾の湾奥の砂浜における海浜変形——前述の志布志の例に見るようにこのような事例では、浜の中央から端部へ向う漂砂が卓越し、浜端部において堆積傾向にある。このような事例としては志布志湾の他に唐津海岸がある。

c) 砂浜端部に半島が突出している海浜の変形——仙台湾や秋田湾などのように砂浜の一端に半島が突出している場合には、図-20(c)に示すように、半島に近い例の浜の端では常に浜端に向う漂砂が卓越し、浜の途中で漂砂の方向が逆になる場合が多い。このような事例としては、鳥取県弓ヶ浜、三浦海岸等がある。

d) 奥行き深い湾の側岸における海浜変形——このような海岸では、湾奥へ向う漂砂が卓越し、小規模な構造物の突出によっても沿岸漂砂の阻止の影響が強く、上手に堆積し、下手が侵食されるパターンが明瞭に現われる場合が多い。特にこの傾向は海盆が湾深く入り込み、海底勾配が急で、かつ底質の粗い駿河湾や富山湾で顕著である。このパターンはさらに図-20(d)(e)(f)に示すように3つの型に分類出来る。すなわち、

- 季節風による風浪の影響が少なく外海からの波の影響のみが強い場合（駿河湾、徳島海岸、内浦湾南岸）
- 季節風等による湾内で発達した風浪および外海からの波の両方の影響を受ける場合（富山湾）
- 季節風等による湾内発生波の影響のみが強いもの。（大阪湾、愛媛西岸）

e) 河口三角洲の周辺における海浜変形——河川からの流出土砂によって形成されている河口三角洲周辺では、海岸線がその部分でのみ凸型に突出した形状を示し、沿岸における波は汀線に対して比較的大きな入射角を持つことになる。したがって、沿岸漂砂量が多く、河川からの流下土砂の減少の影響を最初に受ける地域であり、激しい侵食を受けている場合が多い。しかし、この地域の侵食は、その周辺地域の漂砂の供給源となり、特に三角洲のすそ（裾）部の海に対して凹型な汀線形状をなす部分では、三角洲頂部の侵食の後も堆積が持続されている場合が多い。

f) 砂し(嘴)先端等汀線方向急変部での海浜変形——前述図-18に示した三保海岸や和田岬での変形を意味する。

g) 岩場で区切られた小砂浜の変形——このような浜は、来襲波の波向の変化に対する応答が速く、波向の変化に応じて汀線の方向を変化させている。そのため、このような海岸全体としては岩場の部分があたかも突堤のような効果を持ち、砂浜の安定性を高めている。

6 ま と め

以上述べて来た事柄を大略要約すると、以下の通りである。

1) 質的に見ると、汀線は多くの部分で天然砂浜からコンクリートやスチールパイル等人工的な汀線に変化した。その主要な要因は、主要な内湾域の人口密集地域における埋立の進行と海岸侵食とである。

2) 全国的視野で我が国の汀線変化を見ると、明治20年代から現在までの70余年間では、全国統計で汀線は前進しているが、戦後の30年間では侵食に転じている。

3) しかし、表-2に集計するように、総計としての侵食速度は、砂浜減少面積にして0.122km²/年と意外に遅く、これを侵食土量に換算しても百数十万m³/年程度である。

4) 我が国を図-8に示す地質構造区分にしたがって区分に分けた場合、最も砂浜の安定度の低い

のは外帯地域であり、この地域では侵食が激しい反面著しい堆積も多い。逆に最も安定しているのは、内湾域を除けば、オホーツク海沿岸と北海道半島部である。

5) 侵食速度が5 m / 年以上に達する海浜の延長は全国で30余 km, 侵食速度が3 m / 年以上の地域は90 km 弱あり、土佐湾、紀伊水道西岸（徳島海岸）、遠州灘沿岸、駿河湾沿岸、相模湾沿岸および新潟海岸に集中する。

6) これらの海浜変形の特徴は、前述の地質構造区分とよい対応を示している。

7) マクロに把えた汀線変化のパターンは、図-20に示したよう分類し得る。これらパターンによって、漂砂の特性特に卓越方向が特徴付けられ、構造物の築造に対する反応が異なる。

8) その他、海浜変形の事例として、駿河湾西岸、新潟海岸、九十九里、志布志湾、三保崎、和田岬および茨城県北部の例を示した。（各々図-11,14,16,17,18および19参照）

7. 結 語

海浜の変形が時間および空間の繋りの中で生じていると言う事実は、何人も異論をはさむ余地のないほどに明白である。これは、とりもなおさず、砂浜に対して何らかの状況の変化を加えれば、その影響がかならず何時か、何処かに現れて来ることを意味している。しかし、過去において我々はこの明白な事実を十分に意識して来たとは言えないし、仮に意識したとしても、その影響を十分に予測する手段を持っていたわけではない。

全国的に見て、安定していると見なされる海岸が60余%にすぎないという結果は、あるいは非常に重要なことなのではなからうかと思われる。これを逆に言えば、すでに我々は海浜の30%強を何らかの形で変えてしまっているからである。この影響は時の経過と共に次第に広がって行き、その結果、海岸に対する人為的管理の必要性は益々高まることになるのであろう。時代の要求に応じて可能な限り善良な管理を行なう努力が、海岸行政や海岸工学に従事する者の使命である。

参 考 文 献

- 1) 財団法人日本海事広報協会；日本の港湾（1977），1951年12月，p.p. 20
- 2) 建設省河川局編；海岸統計，昭和36年～昭和52年度版より作成
- 3) 全 上
- 4) 田中則男，小笹博昭，小笠原昭；海浜変形調査資料（第1報）——航空写真による汀線変化の解析（東日編）——港一港湾技研資料，No 266，1977年6月
- 5) 田中則男，小笹博昭；海浜変形調査資料（第2報）——航空写真による汀線変化の解析——，港湾技研資料，No 192，1974年6月
- 6) 田中則男，小笹博昭，蜂須賀和吉，三好英一；海浜変形調査資料（第3報）——航空写真による汀線変化の解析——，港湾技研資料，No 266，1977年6月
- 7) 田中則男，沢本正樹；砂浜港周辺における海浜変形——航空写真による現状把握と海浜変形形態類型化の試み——，港湾技研資料，No 266，1977年6月
- 8) 小池一也；Preliminary notes on recent changes of sandy shorelines in Japan, 1975
地学評論，Vol. 36, p.p. 245～266
- 9) 国土地理院；地形変化の類型化に関する研究——主として汀線変化について——，1978年2月
- 10) 運輸省港湾局，運輸省港湾技術研究所；日本の海浜変形（図集），1977年3月
- 11) H. Ozasa ; Recent shoreline changes in Japan—An investigation using aerial photographs —, Coastal Eng. in

Japan, Vol. 20, 1977, p.p. 69 ~ 81

- 12) 野田英明；皆生海岸における海浜過程について，第21回海岸工学講演会論文集，1974年11月，p.p. 121 ~ 125
 - 13) 土屋義人，芝野照夫；直江津港西海岸における海浜過程について，第21回海岸工学講演会論文集，1974年11月，p.p. 141 ~ 145
 - 14) 細井正延；河口周辺の海岸侵食について，第23回海岸工学講演会論文集，1976年11月，p.p. 279 ~ 285
 - 15) 大西外明，西村司；庄川水系ダム堆砂と海岸変化との関係，第24回海岸工学講演会論文集，1977年11月，p.p. 201 ~ 205
 - 16) 土木学会編；土木工学ハンド・ブック（下巻）— 海岸 —，1974年9月，
 - 17) 首藤伸夫，田口二郎，遠藤泰司；富士海岸における砂礫の移動について，第24回海岸工学講演会論文集，1977年11月，p.p. 221 ~ 225
 - 18) 新潟港技術調査委員会；新潟海岸の欠壊について，1951年12月，
 - 19) 新潟県土木部；新潟海岸の欠壊について，1960年3月
 - 20) 運輸省第一港湾建設局；新潟海岸の欠壊対策——主として離岸堤の効果について——，1973年11月
 - 21) 田中則男，加藤一正，柳島慎一；阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について，港湾技術研究所報告，Vol. 15, No. 2, 1976年6月，p.p. 89 ~ 165
 - 22) 運輸省第一港湾建設局，新潟調査設計事務所；日本海東部海岸調査報告書（第1報）航空写真による汀線変化の解析および新潟海岸深浅図による海底変動の解析，1974年3月
 - 23) Sunamura T. & K. Horikawa；Sediment budget in Kujukuri coastal area, Japan. Coastal Sediment 77, Nov., 1977, p.p. 475 ~ 487
 - 24) 田中則男；港湾周辺における地形変化の典型的パターンについて，第24回海岸工学講演会論文集，1977年11月，p.p. 190 ~ 194
-