

三重県吉崎海岸の長期的海岸線変化

LONG-TERM SHORELINE CHANGES OF YOSHIZAKI COAST IN MIE PREFECTURE

宇多高明¹・新堂紳一郎²・小林利行³・後藤 隆⁴・黒木利幸⁴・中野 優⁴
Takaaki UDA, Shin-ichiro SHINDO, Toshiyuki KOBAYASHI, Takashi GOTO,
Toshiyuki KUROKI and Masaru NAKANO

¹正会員 工博 (財)土木研究センター理事なぎさ総合研究室長 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4)

² 三重県北勢流域下水道事務所 事業推進室主幹 (〒510-8122 三重県三重郡川越町大字豊田564-1)

³ 三重県県土整備部 下水道室主査 (〒514-8570 三重県津市広明町13)

⁴正会員 三井共同建設コンサルタント(株)環境事業部 (〒169-0075 新宿区高田馬場1-4-15)

Long-term shoreline changes of the Yoshizaki coast located around a mouth of a tributary of the Suzuka River flowing into Ise Bay were investigated on the basis of the comparison of past geographical maps and aerial photographs. The characteristic height of beach changes was evaluated to be 4m from the bathymetric survey data. Longshore sand transport rate of $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ was obtained from the shoreline changes multiplied by this characteristic height of beach changes in the natural condition. In recent years, this longshore sand transport of the coast was totally exhausted and a long shoreline was separated into several pocket beaches.

Key Words : Beach changes, shoreline changes, aerial photographs, Yoshizaki coast

1. はじめに

伊勢湾北部に位置する三重県吉崎海岸では南部浄化センターの増設が計画されており, その際海域の埋め立てが行われる予定となっている。この区域の海岸では, 鈴鹿川派川からの流出土砂が運び込まれることによって海浜の発達が促されてきたが, 近年では鈴鹿川派川からの流出土砂量の減少や, 沿岸に建設された各種人工構造物による沿岸漂砂の遮断により侵食が進んできている^{1) 2)}。対象区域は伊勢湾北部に位置し, 海岸の人工化が大きく進んできており, わずかに残された海浜は自然環境の維持上重要な価値を有している。このため埋め立て計画にあたっては, その影響を最小限に抑えることが求められている。これには当該海岸の長期的な海浜変形や沿岸漂砂特性について十分な理解が必要である。このことから, ここでは明治33 (1900) 年以降, 昭和12 (1937) 年までの古地図を用いて, まず地形図に基づく海岸線の長期的変遷を調べた。また1947年以降, 2001年までの54年間に撮影された多数の空中写真から代表9時期の空中写真を選んで海浜地形変化の判読を行うとともに, 空中写真に基づく汀線変化解析を行った。表-1にはこの区域で撮影された空中写真の撮影年月と, 白黒・カラーの区別と

もに, 写真判読を行った9時期 (○印) をまとめて示す。

表-1 空中写真一覧

撮影年月日	種別	備考
1947年11月	白黒	○
1961年10月	白黒	○
1966年8月	白黒	○
1968年11月	白黒	
1971年4月	白黒	○
1974年1月	白黒	
1975年9月	白黒	○
1979年7月	白黒	
1982年10月	白黒	○
1987年10月	白黒	○
1988年6月	白黒	
1993年8月	カラー	○
1996年6月	カラー	
2001年7月	カラー	○

2. 古地図に基づく海岸線変化の分析

四日市周辺においては明治時代以降地形図が作成されており, それらによれば空中写真判読を行うことのできる時期以前における海岸線の長期的変遷を調べることが

できる。地形図については何回かの修正測量が行われてきているが、ある時期の海域情報を正確に読み取ることができる地形図は、明治33（1900）年12月25日、大正12（1923）年7月30日、昭和12（1937）年10月30日の3回分がある。これらの地形図から四日市周辺の海岸線の変遷を調べることにする。

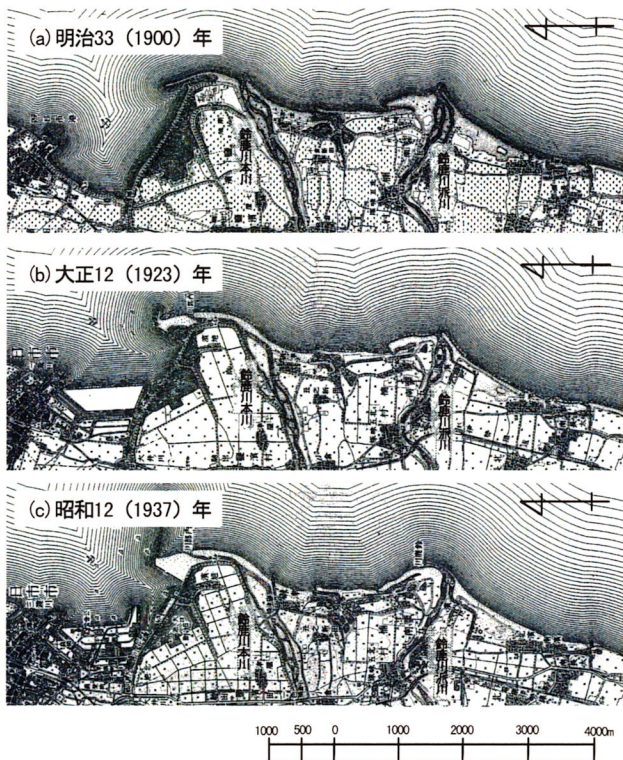


図-1 地形図

図-1 (a) は明治33（1900）年の地形図である。沿岸で開発が行われる以前の海岸状況が良好に記録されている。鈴鹿川が北側の本川と南側の派川とに分かれて流下しているが、本川にあつては河口のすぐ北から長さ約1.2kmの単純砂嘴と、その西側に水域を囲むようにして干拓堤防が伸びていた。同様に派川の河口にあつても長さ約800mの砂嘴が北向きに伸びていた。これらと対照的に、河口南側の汀線はなだらかな凹状に湾曲していた。このような河口地形の南北非対称性は、鈴鹿川からの流出土砂が北向きの強い沿岸漂砂によって運ばれていることをよく表している。

図-1 (b) は大正12（1923）年の地形図である。派川河口周辺では大きな海岸線の変化は見られないが、本川河口では流路が北向きに大きく伸び、砂嘴先端部で漸く海に注いでいる。また砂嘴の先端部に「く」の字型防波堤が建設されて沿岸漂砂の移動が阻止されたために隅角部に砂が堆積して砂州が形成された。

図-1 (c) は昭和12（1937）年の地形図である。派川では大きな変化は見られないが、本川河口から北向きに長大な砂嘴が伸びている。同時に延長されたL型の四日市港の防波堤隅角部では前浜が大きく広がっている。鈴鹿川本川河口を基準として、それ以北で1923年から1937年

までの期間で砂州面積の増加割合を求めると $4.5 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{yr}$ となる。さらにこの値に、4. 深浅図の判読の項で求められる漂砂の移動高4mを乗ずると沿岸漂砂量として $1.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ が得られる。

3. 空中写真の判読

(1) 1947年（図-2(a)）

戦後間もない時期の空中写真である。鈴鹿川南流の河口砂州が大きく膨らみ海へ突出していた。また河口右岸側から河口を塞ぐようにして長大な砂州が北向きに伸びていた。この当時、右岸側には楠漁港の防波堤がなかったために、右岸側から直線的に砂州が伸びることが可能であった。河川からの流出土砂量が豊富であった時代の河口状況をよく表している。また、河口左岸から北向きに長さ約200mの砂嘴が伸び、その内側にはラグーンを抱えていた。さらに、この砂嘴と切り離されたもう一段の長大な砂嘴が北向きに伸び、その先端部には砂州背後のラグーンと海とを繋ぐ細い水路が伸びていた。この細い水路の北側の $x=0.7\text{km}$ 付近には、この当時海岸に唯一存在した人工構造物としての突堤があり、それが沿岸漂砂の移動をかなり阻止するためにそこで汀線が階段状となっていた。この地点から北の、現在磯津漁港の防波堤が伸びている場所までは汀線が連続的に伸びていた。1947年には全域が砂浜で覆われており、海岸に砂が潤沢にあった。

(2) 1961年（図-2(b)）

河口右岸では楠漁港の防波堤が伸ばされ、掘削により泊地が造られた。これと同時に、南側から河口へと細長く伸びていた河口砂州は消失し、従来北側で開いていた河口が南側の導流堤隣接部へと移動した。このように導流堤など不透過構造物が造られると、河川流がそれに沿って流れるようになる現象は、市川³⁾が、千葉県の九十九里浜に流入する一宮川と南白亀川河口で示した結果と全く同一である。また南流の河川数を見ると、1947年には見られた網状流路が消えていることから、河床もかなり掘削が進んだと推定される。河口部での最大汀線後退量は150mであった。

河口左岸では、現在と同規模の堤防が建設された。この湾曲した堤防は先端部が大きく突出し、それが突堤のような効果を発揮したため、そこで汀線に段差が付き、北側の汀線が後退し始めた。これは北向きの沿岸漂砂の場所的不均衡によるものである。しかしながらこのような変化はあったものの、この突起以北では広い砂浜が広がっていた。

一方、河口左岸近傍での汀線の後退と対照的に、磯津漁港の防波堤から $x=0.7\text{km}$ までと、 $x=0.9\text{km} \sim 1.1\text{km}$ の区域では汀線が前進している。前者は、磯津漁港の防波堤が沿岸漂砂移動を阻止したためであり、後者は、砂嘴状の地形が全体として北側へ移動したためである。後者で

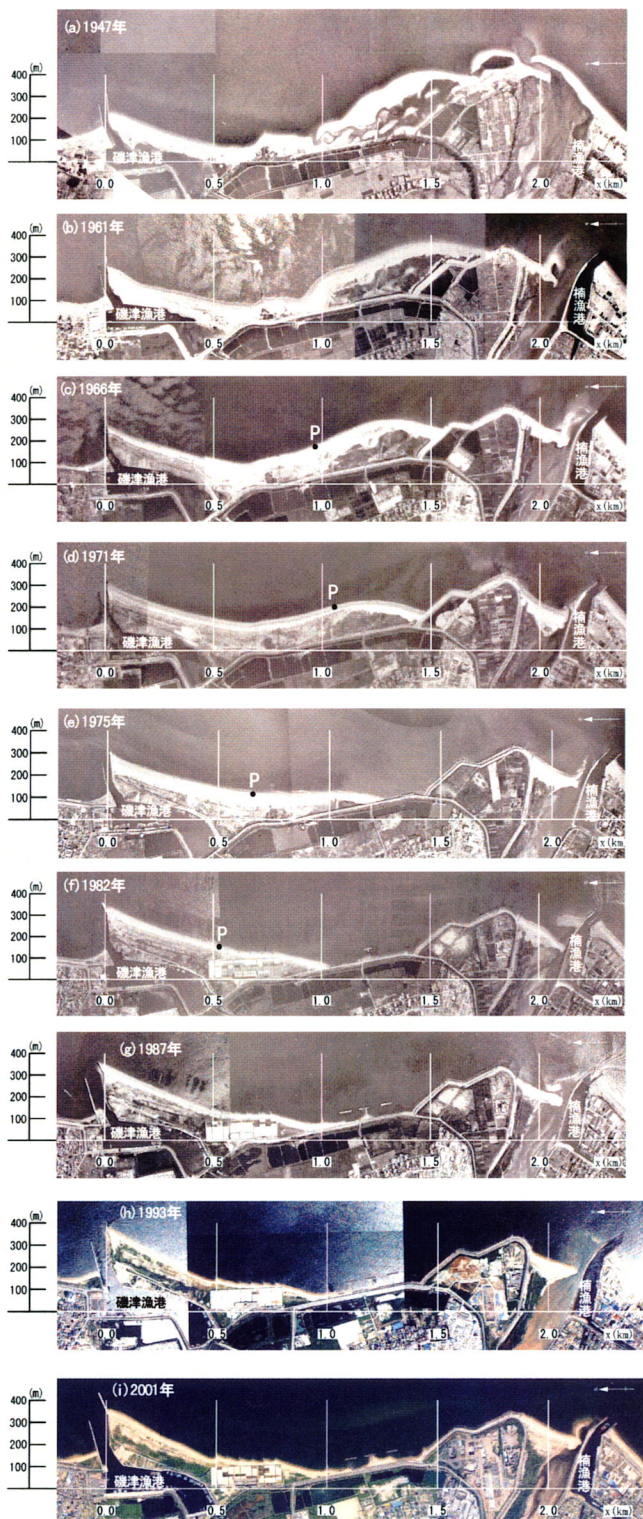


図-2 空中写真

の汀線の最大前進量は70mであった。

(3) 1966年(図-2(c))

1961年と大きく相違するのは、 $x=1.6\sim 1.8\text{km}$ 間において従来は砂浜に覆われていた海岸堤防が直接波に晒されるようになったことである。河口の北側隣接部での侵食が著しくなった。ここでの最大汀線後退量は100mに達

し、図にPで示す地点より南側で1961年から $3.3\times 10^4\text{m}^2$ の海浜が消失した。これと対照的に、磯津漁港の南側隣接域では防波堤によって沿岸漂砂が阻止されたために汀線が前進した。この区域の汀線は1947年当時の汀線と平行移動しつつ前進したことに特徴がある。このことは磯津漁港の防波堤によって沿岸漂砂が阻止されているために、この付近に入射する卓越波の波向とほぼ直角方向となりつつ汀線が前進したことを示す。

(4) 1971年(図-2(d))

南部浄化センターが立地し、鈴鹿川河口左岸で堤防によって凸状に大きく囲まれた区域の堤防付け根部分まで汀線が後退した。図示する汀線の後退・前進の変化点Pより南側の海浜面積の、1966年からの減少量は $2.6\times 10^4\text{m}^2$ であった。一方、北部では磯津漁港の防波堤の先端まで汀線が前進した。その場合、磯津漁港の南側地区では汀線が再び平行移動しつつ前進している。また防波堤の先端と汀線とが重なりを示していることから、この時期以降、防波堤の先端を回り込んで北向きに流出する漂砂移動が始まったと推定される。

(5) 1975年(図-2(e))

南部浄化センターが立地する区域では堤防が完全にむき出しとなり、堤防前面の砂州は完全に消失した。 $x=0.7\text{km}$ 付近の汀線の後退・前進区域の境界点Pの南側での砂浜面積の減少量は $4.3\times 10^4\text{m}^2$ であった。これに対し磯津漁港の防波堤の先端まで汀線が前進していることから、1971年以降防波堤の先端を回り込む漂砂の流出が継続していたと判断される。また、侵食面積 $4.3\times 10^4\text{m}^2$ に対し、増加面積は $1.1\times 10^4\text{m}^2$ であって、侵食面積のほうがはるかに大きい、これは磯津漁港の防波堤を回り込んで漂砂が流出したためである。

(6) 1982年(図-2(f))

南部浄化センターの立地した区域の北側約400mにおいても砂浜が完全に消失した。この部分での越波を防止するために根固めが設置されるとともに、初めてT字突堤が建設された。しかし前浜の回復ははかばかしくない。汀線後退域の北端の点P以南での侵食面積は $1.2\times 10^4\text{m}^2$ である。

(7) 1987年(図-2(g))

南部浄化センターの立地した区域の北側約400mの侵食が著しい場所では、T字突堤のみではなく、2基の離岸堤と1基の突堤が設置されるとともに、その北側の養魚場の前面にも6基の突堤群が設置された。この段階では、これらの突堤群の位置の汀線はまだほぼ連続的であった。これは突堤の先端を沿岸漂砂が一部通過していたためと考えられる。

(8) 1993年(図-2(h))

吉崎海岸の状況はほぼ現在と同じ状況となった。吉崎

海岸のほぼ半分は堤防などの人工物によって区切られ、砂浜は北部にのみ残された。

(9) 2001年 (図-2(i))

1993年と比較して鈴鹿川南流の河口砂州が前進し、砂州面積が増加している。これは鈴鹿川の流出土砂が堆積したためである。1993年には河口砂州の汀線は河口左岸の堤防先端より上流側にあった。このことは、河口砂州の砂は堤防の突起部を超えて北向きに流出できないことを意味する。この場合、河口左岸の堤防位置で漂砂移動が切られていることになる。そこで1993年を基準として河口砂州の面積増加量を求めると、1996年6月では $1.7 \times 10^4 \text{m}^2$ 、2001年7月では $1.1 \times 10^4 \text{m}^2$ となる。

4. 深浅図の判読

2003年9月1日には吉崎海岸の深浅測量が行われた。ここでは図-3に示す深浅図より海浜地形特性を調べることとする。まず派川河口部の河口砂州の形状を調べると、河口沖の-2m~-3mの間には非常に勾配の緩い海底面が広がっている。一方、-2mより+2mまでは勾配約1/10の急勾

配斜面となっている。そして汀線を挟んで-2mから+2mまでの等深（高）線は河口の開口部沖の一部を除けば、互いにほぼ平行に伸びている。派川河口では、過去、空中写真比較に明らかなように河口砂州が大きく突出しており、そこが侵食されて現在の砂州形状となった。その際沖合に平坦面が形成されたことは、波による地形変化の限界水深 h_c がほぼ-2mにあること、また陸域にあって砂が堆積する場合には+2mまで砂の堆積が起こることが分かる。すなわち、吉崎海岸にあって沿岸漂砂による地形変化が起こる場合、-2m~+2mの範囲で土砂移動が起こること、すなわち漂砂の移動高が約4mであることが分かる。これを考慮すると、過去に著しい侵食を受けた南部浄化センター北側の海岸堤防の沖合で-2mの平坦面が広がっていること、養魚場の南側隣接部に形成されている三角形の海浜でも-2mから+2mまでの範囲の等深線が互いにほぼ平行に伸びていること、そして磯津漁港の南側に広がる吉崎浜においてもほぼ-2mから+2mの範囲の等深線が沿岸方向にほぼ平行に伸びていることが皆共通した特徴であって、沿岸漂砂の作用によって形成されたものであることが理解できる。

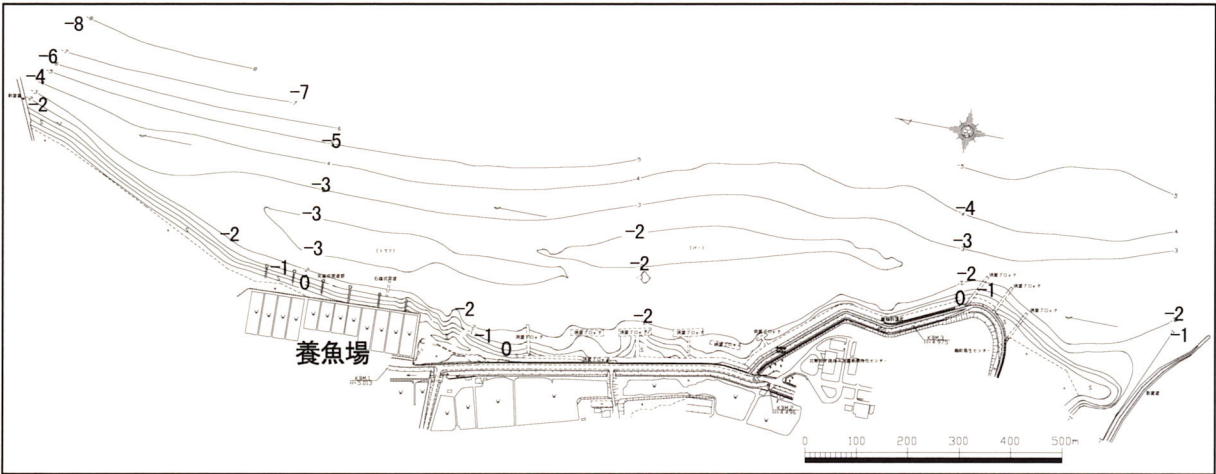


図-3 等深線図 (2003年9月)

5. 沿岸漂砂量の推定

各空中写真によれば、汀線が堤防に張り付き、その沖では図-3に示したように-2mの侵食平坦面が形成されている。このことは、汀線が堤防と張り付いた場所では沿岸漂砂が0となっていることを意味する。したがって、そこでは南側からの漂砂の流入がないという条件が成立し、土砂の連続関係から沿岸漂砂量の推定が可能となる。

各時期において河口北側の点P以北での侵食面積を求めたが、この値に漂砂の移動高4mを乗じたとえ、経過年数で割ると表-2のように各時期、各点ごとの沿岸漂砂量

が算出できる。その際、前回汀線と比較して汀線の後退がなくなる地点P'をまとめて図-4に示す。

表-2 各時期における沿岸漂砂量

算出期間(年)	消失面積($\times 10^4 \text{m}^2$)	沿岸漂砂量($\times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$)
1961-1966	3.3	2.6
1966-1968	1.7	3.4
1968-1971	0.9	1.2
1971-1974	2.0	2.7
1974-1975	2.4	9.6
1995-1979	0.6	0.6
1979-1982	0.6	0.8

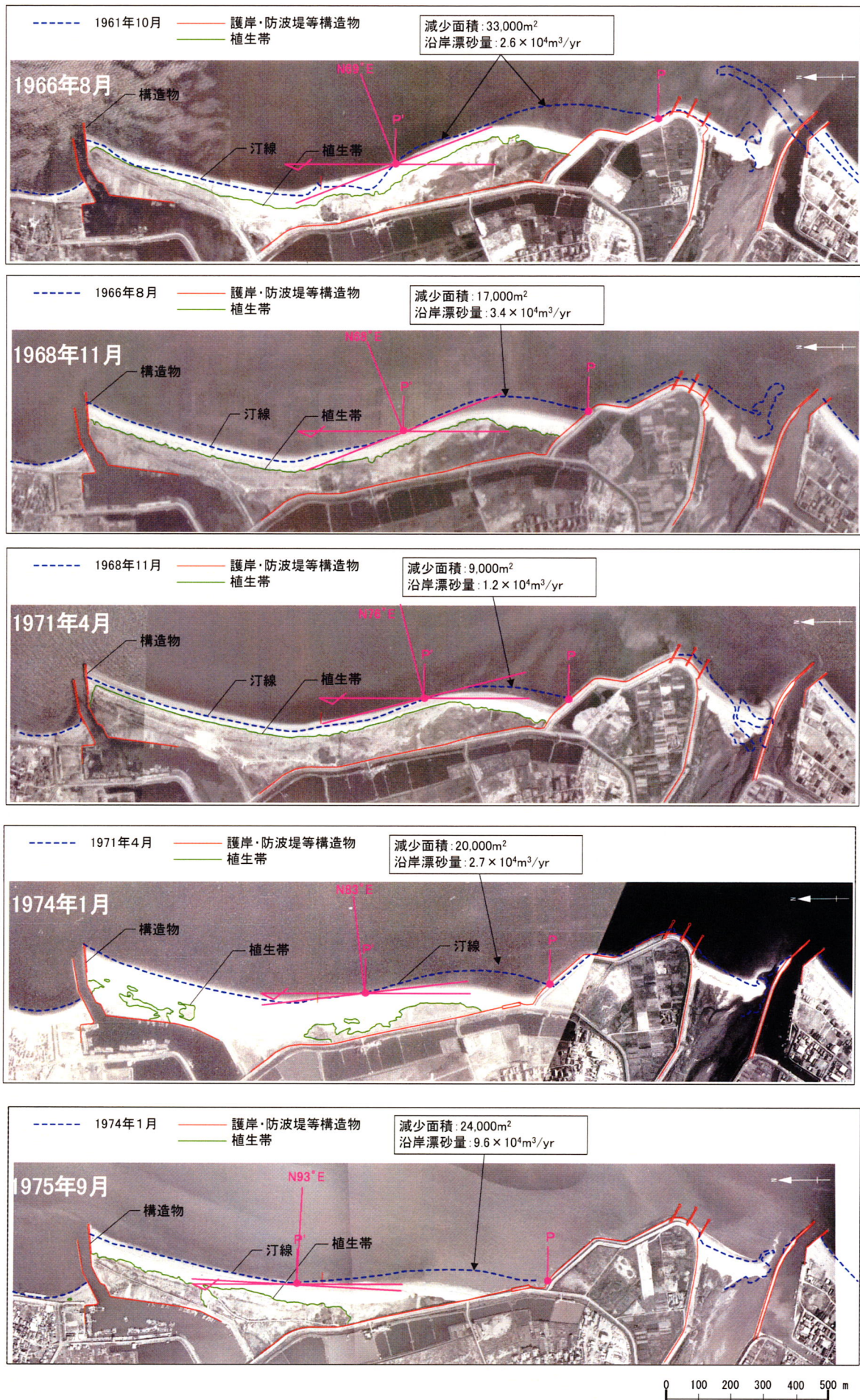


図-4 1961年から1982年までの吉崎海岸の変遷(1)

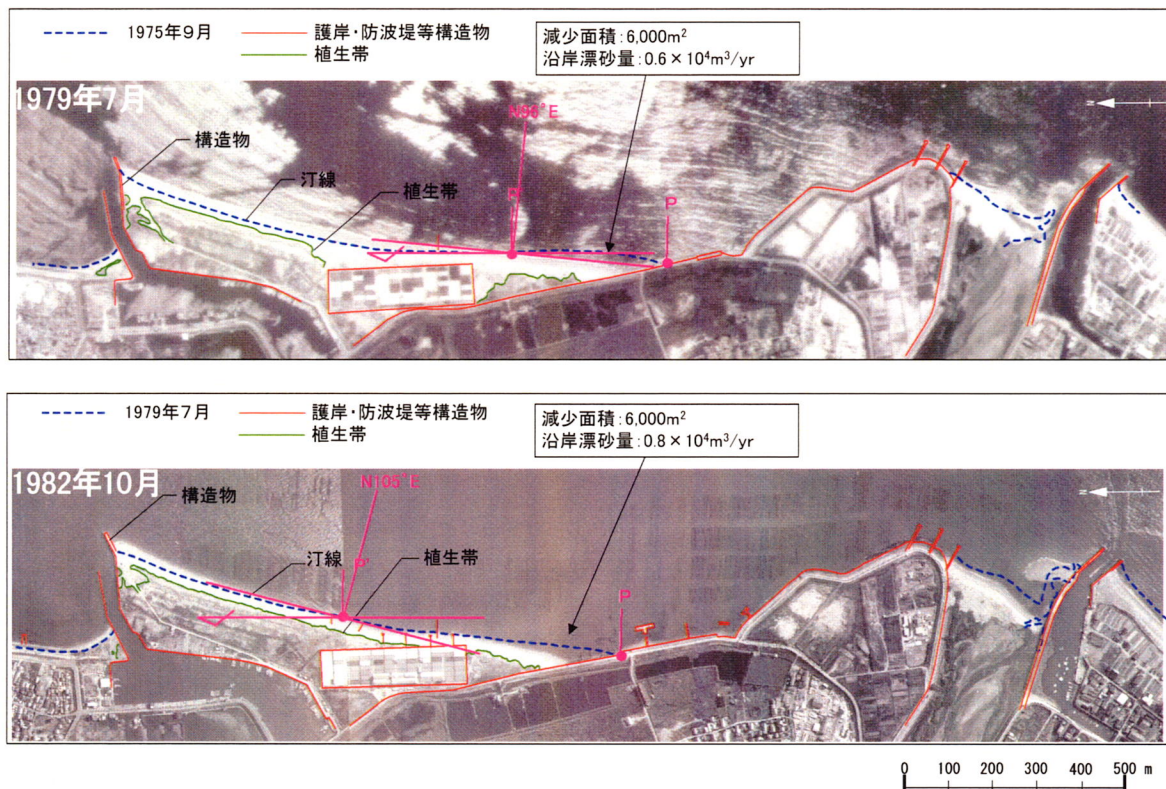


図-4 1961年から1982年までの吉崎海岸の変遷(2)

表-2によれば、1974～1975年の沿岸漂砂量のみ他の観測時期と大きな相違がある。この期間には規模の大きな台風の襲来もなかったことから、この時期のみ他の期間とオーダー的に異なる沿岸漂砂量となることについて疑問が残される。しかし、この正確な理由を突きとめることはできなかったため仮に1974～1975年の値を除外すると、1974年以前には約 $2.3 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ の沿岸漂砂があったが、1975年以降1982年では $0.7 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ にまで沿岸漂砂量が減少したと推定される。1975年以前での推定沿岸漂砂量は、1923～1937年の期間での推定沿岸漂砂量 $1.8 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ とかなりよい対応を示す。このことから、過去吉崎海岸にあってはほぼ $2 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ の沿岸漂砂が流れていたと推定される。

図-4では、汀線の後退がなくなるP'より南側の侵食面積が算出されると同時に、漂砂の移動高を乗じることによって侵食土砂量が計算された。またこの土砂はP'を通過する北向きの沿岸漂砂によって運ばれたものと推定できることから、P'での沿岸漂砂量が算出された。一方、沿岸漂砂量 Q は、各地点の海岸線と碎波点における波峰線との交角を α_b 、波のエネルギーフラックスに漂砂量係数を乗じた値を F とすれば、

$$Q = F \sin \alpha_b \cdot \cos \alpha_b \quad (1)$$

と表される。P'では Q と α_b が近似的に与えられているので、式(1)から F を逆算すると表-3のようになる。ここに α_b は主波向と汀線の方角角の差として定めた。また主波向は図-2の2001年の空中写真より吉崎海岸、養魚

場南側および鈴鹿川派川河口の安定汀線に直角方向として定めた。1974-1975年のデータのみ他の値と大きくずれるので除外すると、最終的に $F=5.5 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ という値が得られた。この値が既知である点は、埋め立て地の護岸線の方角と波向線のなす角を与えれば、護岸前面での沿岸漂砂量を求めることができることを意味する。これは、例えば現地と同じ粒径を用いた養浜を行った場合の土砂損失時間などを推定する上で利用可能である。

表-3 漂砂量フラックスの算定

比較年	対象年	沿岸漂砂量 Q ($\times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$)	汀線方向角 $N \times E$	主波向 $N \times E$	α_b ($^\circ$)	$\sin \alpha_b$	$\cos \alpha_b$	F ($\times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$)
1961	1966	2.6	69	110	41	0.656	0.755	5.3
1966	1968	3.4	68	110	42	0.669	0.743	6.8
1968	1971	1.2	76	110	34	0.559	0.829	2.6
1971	1974	2.7	83	110	27	0.454	0.891	6.7
1974	1975	9.6	93	110	17	0.292	0.956	34.3
1975	1979	0.6	96	110	14	0.242	0.970	2.6
1979	1982	0.8	105	110	5	0.087	0.996	9.2
平均値								9.6
1974-1975の除いた平均値								5.5

参考文献

- 1) 宇多高明, 山本幸次: 鈴鹿川河口周辺海岸の経年的地形変化, 地形, 第10巻, pp. 53-62, 1989.
- 2) 宇多高明, 山本幸次: 鈴鹿川河口周辺海岸における沿岸漂砂量と漂砂の移動高, 地形, 第10巻, pp. 113-119, 1989.
- 3) 市川慎一, 宇多高明, 三波俊郎, 古池 鋼, 木戸浩彦, 星上幸良: 外洋に面した海岸における河口処理と河口地形の応答-九十九里浜南部に流入する南白亀川および一宮川河口の例-, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 621-625, 2001.