

京都府後ヶ浜海岸の侵食実態

BEACH EROSION OF NOCHIGAHAMA COAST IN KYOTO PREFECTURE

宇多高明¹・宮原志帆²・古池 鋼²・芹沢真澄²・星上幸良³・沖田勝俊³

Takaaki UDA, Shiho MIYAHARA, Kou FURUIKE, Masumi SERIZAWA,
Yukiyoshi HOSHIGAMI and Katsutoshi OKITA

¹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 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国際航業(株) 防災事業本部 防災・海洋部 (東京都府中市晴見町1-24-1)

Beach changes of the Nochigahama coast in Kyoto Prefecture, facing the Sea of Japan, were investigated on the basis of the aerial photographs and field observation. The Nochigahama coast is a pocket beach with a 1.1 km length. This beach had been stable for a long time, but since 1964, beach erosion has become severe. The cause of the erosion was investigated. The Takeno River flows into this pocket beach, and the fluvial sand supply from this river has nourished this beach. However, since 1964, river bed mining had been carried out at the river mouth, resulting in the decrease in sand volume of this pocket beach. This became the main cause of the beach erosion on this coast.

Key Words: Nochigahama, pocket beach, beach erosion, river mouth, river bed mining

1. はじめに

京都府後ヶ浜海岸は、図-1に示すように丹後半島のほぼ中央部に位置し、日本海を北に望む長さ約1kmのポケットビーチである。かつて後ヶ浜は砂浜幅約40mと広い砂浜を有する海水浴場のメッカとして知られていたが、近年侵食が進み、一時は砂浜の存在すら危ぶまれ、高波浪により一部の護岸が倒壊する危険も生じた。このため侵食対策として、1982-1984年にはポケットビーチの西部に離岸堤が建設されるとともに、1984-1986年には西端の岩礁と繋げるようにして突堤が施工され、さらに近年では人工リーフの建設も進められた。しかし構造物は建設されても昔の広がった砂浜は侵食されたままの姿を保っている。後ヶ浜は両端を規模の大きな岩礁に挟まれたポケットビーチであって、その中央部やや東には竹野川が流入している。ポケットビーチであるから長い間安定した姿を保ってきたはずであり、しかも流域面積が206.4km²と丹後半島最大の規模を誇る竹野川からの土砂流入も期待できるにもかかわらず、1980年代以降急に侵食傾向となった理由はよく分かっていない。各種侵食対策も侵食原因が明確でないまま行われているようであり、離岸堤や人工リーフなど、冬季風浪を弱めることを主眼とした対策となっている。しかし侵食原因が不明確なままの対策は、その効果が十分に上がらない可能性が高い。そこで本研究では、過去の空中写真を用いて後ヶ浜



図-1 後ヶ浜の位置

の汀線変化を分析するとともに、現地調査などを行って侵食原因を調べ、今後の有効な手立てについて考察する。

2. 空中写真の判読

1947年以降撮影された空中写真に基づき、まず後ヶ浜の変形を写真比較から調べた。図-2(a)-(e)には、代表5時期として1947, 1964, 1975, 1995, 2005年撮影の空中写真を示す。1947年には後ヶ浜には広々とした砂浜があった。中央に流入するのが竹野川であり、立岩の背後から海へ流入していた。また立岩の西900mには岩礁a、また東300m, 800mには岩礁b, c

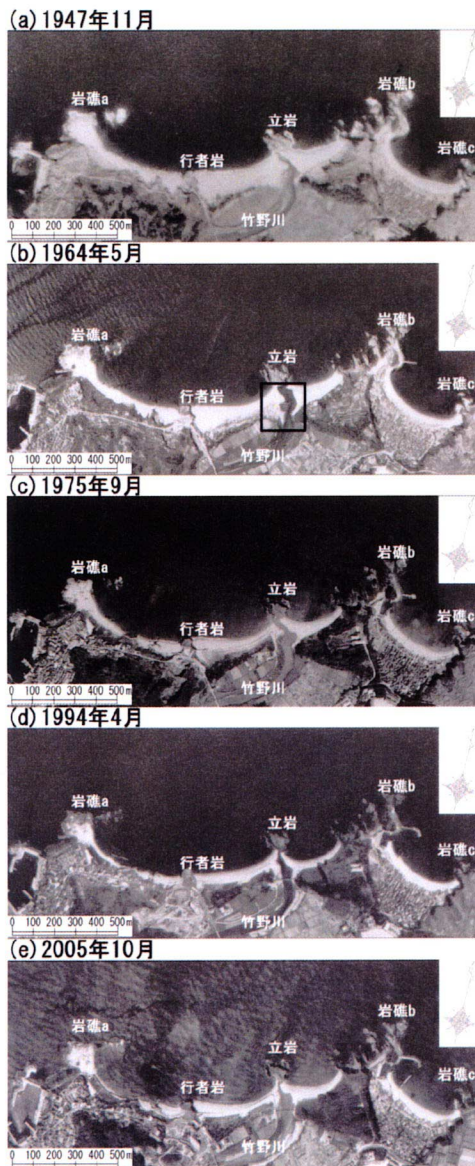


図-2 後ヶ浜の空中写真の比較

があり、ab間とbc間はそれぞれ独立したポケットビーチとなっていた。ポケットビーチの規模は、ab間（ポケットビーチ①：P①と略記）が1,200m、bc間（ポケットビーチ②：P②と略記）が350mであり、竹野川の流入するP①の規模が大きい。なお図-2(a)では、竹野川が立岩背後において西向きに流れているが、河口は季節的に変動し東側に開口する場合もある。このため立岩背後は沿岸漂砂の通過が可能である。

図-2(b)に示す1964年では、P①では大きな変化は見られない。しかしP②では岩礁bの東端に長さ65mの防波堤が直線状に伸ばされた。図-2(c)に示す1975年では、1947年と比較してP①中央部の、行者岩と立岩の間の区域において斜めに保安林区域が広がり、その分海浜地が狭まった。また1947年と比較

して立岩の両側では汀線が後退するとともに汀線の湾入度が著しく高まった。さらにP①では、行者岩と西端の岩礁aの間では侵食により岩盤が露出し、そこで海浜が分断された。一方、P②では防波堤が延長された。図-2(d)に示す1994年では、P①の砂浜が益々狭まった。とくに行者岩両側での汀線後退が顕著である。同様な汀線の後退は立岩の東部でも起きている。これらと対照的に、P②においては漁港防波堤が伸ばされて波の遮蔽効果が上がったことから、西向きの沿岸漂砂が起きて岩礁cの西側側面で汀線が後退したが、海浜面積に大きな変化は見られない。このように隣接するポケットビーチでありながら、P①のみで海浜面積の減少が目立っている。

図-2(e)に示す2005年では、海浜面積は1994年当時と同様減少したままであるが、立岩の西側隣接部で汀線が後退して護岸が現れる一方、行者岩の東側隣接部では汀線の前進が見られる。すなわち汀線の右回りの回転が起きている。P①は1947年と比較して著しく海浜面積が減少したが、隣接のP②では全体的にはそれほど大きな変化が見られないのが特徴である。

3. 汀線変化

上記の空中写真をもとに汀線変化を算出した。汀線変化の読み取りの基準を1947年の汀線位置に置き、これより1964, 1975, 1994, 2005年までの汀線変化量を算出し、図-3(a)-(d)に示す。汀線変化の読み取りはP①、P②を対象とした。1964年までの変化では（図-3(a)）、P①の立岩と行者岩周辺、とくに両者の中央部での汀線後退が著しく、最大23mの汀線後退が生じた。同じ時期、P②では岩礁bの東端に伸ばされた防波堤による波の遮蔽域形成に伴って岩礁cの近傍で汀線が後退、漁港の背後で汀線前進という波の遮蔽域形成に伴う典型的な変化¹⁾が見られたが、海浜面積は均衡している。このように隣接するポケットビーチで海浜変形特性が大きく異なっている。

1975年までの変化では（図-3(b)）、侵食はP①全体に広がり、とくに1964年では侵食量がわずかであった立岩と岩礁bの間でも侵食が顕著となり、1947年からの汀線の最大後退量は立岩の東側での43mとなった。P②でも岩礁cの西側隣接部での汀線後退が顕著にはなつたが、ポケットビーチ中央部では汀線の変化がなくP①とは変形状況が異なっている。1994年までの変化では（図-3(c)）、P①では全域で汀線の後退が顕著で、立岩の西側区域ではほぼ25m汀線が平行移動しながら後退した。また立岩と岩礁bの間では非常に大きな汀線の後退が起きその最大値は62mにも達した。これに対してP②では、防波堤背後の汀線は前進し、海浜面積は全体的には均衡が取れている。

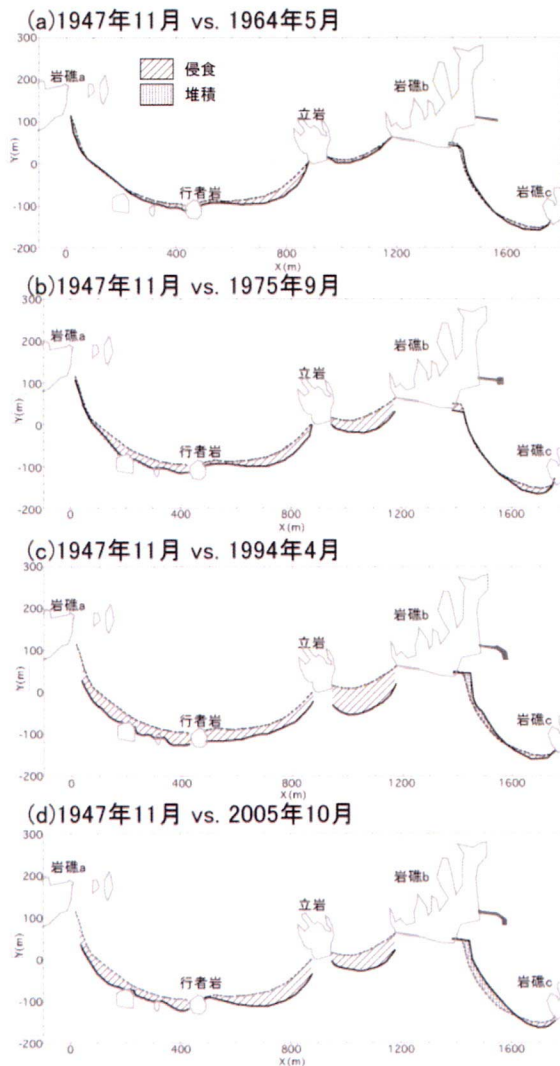


図-3 後ヶ浜の汀線変化

2005年までの変化では(図-3(d)), 全体的に見ると1994年までの汀線変化と大きな違いはないが、P①では1994年までに後退した汀線が全体的にやや前進傾向にある。一方P②では、明らかに波の遮蔽構造物が造られた場合に起こる典型的な汀線変化¹⁾は生じているものの、P①とは異なる変形が起きたことが分かる。

図-3には各時期の汀線変化を示したが、汀線変化の全体状況を理解するために、図-4には1947年の汀線を基準としたときの1964, 1975, 1994, 2005年までの汀線変化量をまとめて示す。時間経過とともに、岩礁b, c間のP②では汀線の右回りのrotationが起きたものの、汀線前進域の面積と後退域の面積はほぼ均衡している。このことはP②の中で西向きに沿岸漂砂はあったものの、土砂量の欠損はほとんどないことを示す。漂砂の発生原因は、岩礁bの東端に防波堤が伸ばされたことによる。これと対照的に岩礁a, b間のP①では全域で汀線が後退し、とくに立岩と

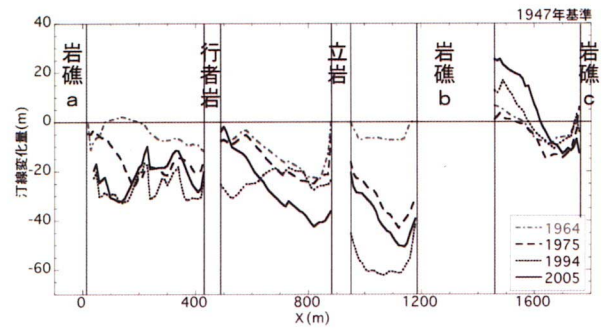


図-4 後ヶ浜における汀線変化量

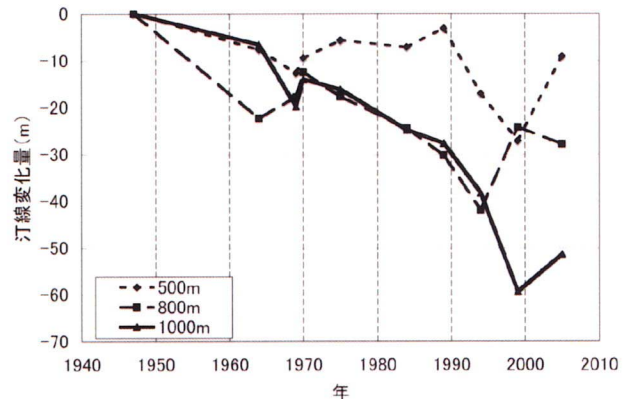


図-5 汀線の時間的变化

岩礁bの間での汀線後退が著しい。このことは、侵食原因がP①東部にあったことを示唆している。

後ヶ浜にあっては、汀線変化解析を行った上記5時期にとどまらず、他の時期にも空中写真撮影が行われている。そこで、図-4において顕著な汀線変化が見られる代表地点を選び、全空中写真を用いて汀線の時系列的变化を詳細に調べた。図-4において行者岩の東端のX=500m断面、立岩両側のX=800mと1,000m断面を選んで汀線の時間的变化としてまとめたのが図-5である。これによれば、立岩の両側(X=800mと1,000m断面)の汀線は、1970年頃から1994年まで急激に後退している。一方、1994～1999年では、X=800m断面において汀線が前進したのと対照的にX=1,000m断面では汀線が後退し、さらに1999～2005年ではこれと逆モードの汀線変化が生じている。X=1,000m断面は立岩の東側隣接部に、またX=500m断面も行者岩の東側隣接部にあり、固定境界を西に見る点では同じ条件を有する。このためX=500mと1,000m断面では同期した汀線変化が起き、また岩礁間で波向変動に伴うシーソーモードの汀線変化が起きたことが分かる。

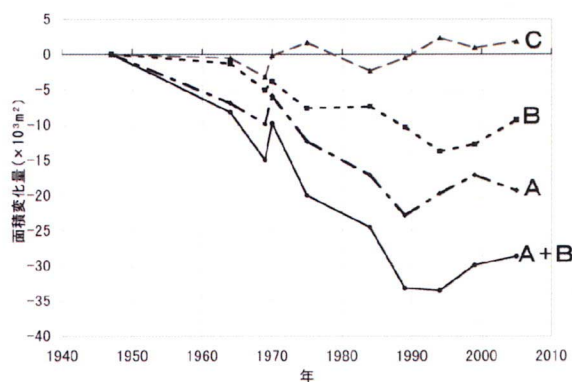


図-6 前浜面積の変化

4. 前浜面積の変化

汀線変化に続いて前浜面積の変化を調べた。岩礁aと立岩の間を区域A、立岩から岩礁bまでを区域B、岩礁b、cの間のP②を区域Cとして、それぞれの前浜面積の変化を調べたのが図-6である。これによると、区域C(P②)では前浜面積がほぼ平衡状態ないし暫増傾向を示す。これに対し、区域A,Bは1947年以来1989年までほぼ単調に減少し、しかも区域A,Bの変化は同時に起きている。図には区域A,Bの和、すなわちP①全体の前浜面積の変化も示すが、この区域の前浜は1989年までは後退傾向を示した後、2005年まで増大傾向に転じている。区域A,Bの和の1994年から2005年までの前浜面積の増加量は約4,800m²である。この間の経過年数が11年であることから前浜面積の増加割合は約440m²/yrとなる。

5. 後ヶ浜の深浅図

図-7 には 2007 年 9 月測量の後ヶ浜の深浅図を示す。立岩を境としてその両側では水深 4m までの等深線が大きく舌状となっている。これに対して立岩沖では水深 8m 以深の等深線が北東から南西方向にほぼ直線状に伸び、立岩背後の等深線形状と明らかな相違を示す。またこのような沖合の斜めの等深線はポケットビーチの汀線とも大きく斜交している。仮に沖合部が砂でできておれば、沖合の等深線は波の作用で汀線と平行にならなければならない。したがって両者の境界付近にある水深ほぼ 6m は、後ヶ浜における波による地形変化の限界水深 (h_c) にほぼ等しい。この場合、バーム高は h_c のほぼ 1/3 である¹⁾から 2m となる。漂砂の移動高 h を両者の和で近似すると、この海岸における h は 8m となり、これを図-6 の 1947 年から 1989 年までの海浜面積の総減少量 (約 33,000m²) に乗じると砂浜の土砂の総減少量は 2.6×10^5 m³ となり、また 1994~2005 年の前浜面積の増加割合 (約 440m²/yr) に乗ずると 3,520m³/yr となる。

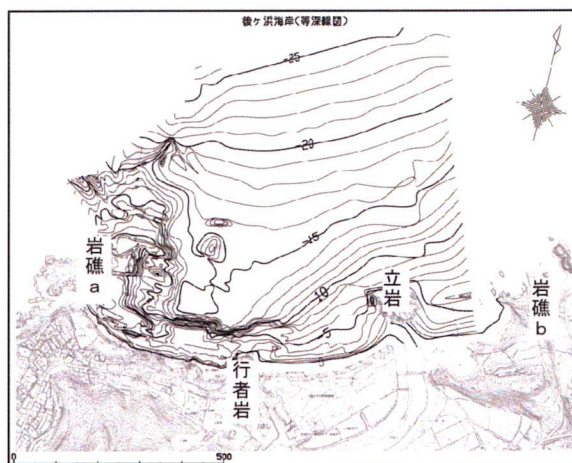


図-7 後ヶ浜の深浅図

6. 現地踏査による現地状況の確認

2007年11月15日、後ヶ浜海岸の現地踏査により地形状況を確認した。現地踏査は、竹野川河口付近から西端の岩礁aまで沿岸方向に約1km区間で行った。まず、図-8は竹野川河口にある橋の上から下流方向を望んだもので、立岩とその背後にある竹野川河口状況を示す。河口正面にある柱状節理の進んだ岩盤が立岩である。河川流は、立岩がつくる波の遮蔽域へと流れ込んでいる。立岩背後の波の遮蔽域では、立岩の消波効果によって周辺域と比較してバーム高が相対的に低くなり、このため河川流はその分少ないヘッド差を持って海へと流れることができる。この観察時には、河口砂州は右岸から左岸へと発達し開口部は西端にあった。これより北東方向（海岸線に対して斜め右側）からの入射波の作用が著しかったことが分かる。しかし砂州高さは沿岸方向に一樣であり、沿岸漂砂を阻止するような岩盤は砂州を横断するようには延びていない。このことは、入射波向が変動し、立岩の西側から入射する条件となった場合、立岩背後ではその沿岸漂砂は阻止されずに流れることができることを意味する。

図-9は、河口左岸側の護岸から立岩を遠望したものである。現況では汀線に沿って直立護岸が伸びており、その前に幅約30m程度の前浜がある。図-2において、立岩のすぐ西側では1975年頃から護岸が見え始め、2005年までには護岸が汀線近傍で明瞭に区別されるようになった。この護岸状況を示すのが図-9である。直立護岸が曲線状に伸びている。またこの図において、立岩背後の竹野川河口に形成されている砂州の高さを背後地の高さと比較すると砂州高は相対的に低い。このこともまた、立岩背後を沿岸漂砂が通過可能なことを示す。またこの付近の前浜勾配は1/5程度と急である。

図-10は、図-9の撮影地点から西向きに海浜状況を撮影したものである。前方に見えるのが行者岩

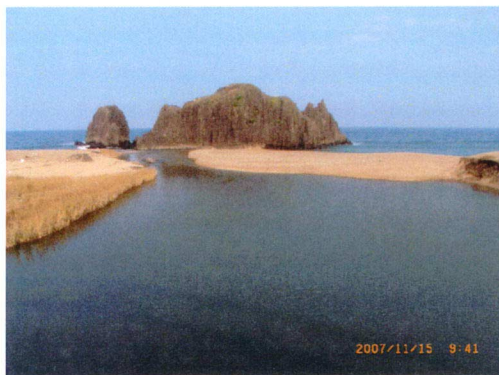


図-8 竹野川河口部



図-9 河口左岸側の護岸から立岩を遠望



図-10 西向きに海岸状況を望む



図-11 行者岩頂上から東側海浜と立岩を望む



図-12 岩礁 a 付近の前浜での海浜材料

である。行者岩は現況でかなり沖向き突出しているが、図-3の汀線変化解析に明らかなように、沿岸漂砂は岩礁の先端を回り込める条件下にある。図-11は、行者岩頂上から東側海浜と立岩を望んだものである。現地踏査を行う前、北東方向からの波の入射が卓越した結果、行者岩直下では前浜は広く、逆に遠方の立岩の西側直近では前浜が狭まっている。また、海岸線に沿って直立護岸があるが、その背後は駐車場および保安林区域となっている。最後に、ポケットビーチ西端の岩礁a付近の前浜で海浜材料を調べたのが図-12である。海浜材料は風化花崗岩砂（マサ土）で、時計のガラス盤の左右の幅から定めたスケールとの比較によれば、砂の粒径は2～5mmの

礫である。

7. 侵食原因の推定

空中写真を基にした汀線変化解析の結果によれば、岩礁bを境にその東側にあるP②では波の遮蔽構造物建設に伴って波の遮蔽域外で侵食、遮蔽域内で堆積という変化が起きたものの、海浜面積はほぼ均衡しており土砂の欠損は生じていなかった。これと対照的に、P①では単調な汀線の後退が起こり、ポケットビーチ全体で明らかに土砂の欠損が起きた。両ポケットビーチは互いに隣接し、かつ両者とも端部を岩礁によって区切られていて岩礁が沿岸漂砂の固定境界となっている。このことから、侵食原因は波浪などの自然的要因に求めることは難しい。P①で侵食が起これば、同時にP②でもほぼ同じ現象が起こるはずであるからである。このように考えると、侵食原因はP①にあり、しかも汀線変化が立岩周辺で大きく、西側では小さかったことを考慮すると、竹野川河口部に何らかの要因があったと推定される。このことから、図-2の1964年の空中写真を再度調べると、竹野川河口部の左岸砂州に凹状の窪地が形成されている。またこの凹部は竹野川の河道の湾曲状態と比較して明らかに不自然な形状を有する。このことは、竹野川河口部で過去に掘削が行われた可能

性が高いことを示唆する。そこで図-2の1964年の空中写真に示すように、立岩の南側に矩形状の区域を定め、1947年から1994年までの8時期についてこの矩形区域内の変化を調べた。結果が図-13である。これによると、1964年以降、竹野川河口部の左岸側に大きな窪地が形成されたが、1994年までには河道内でのこのような不自然な形状の窪地が消えた。これらより、1964年から1989年頃までに河道内で掘削が行われていたが、掘削が中止されて自然河道の形状に近づいたと考えられる。立岩背後の河口砂州は波の作用により変動が著しいが、その砂州部分で砂が採取されたことが侵食原因と推定される。後ヶ浜では侵食によって前浜が消失したが、海浜構成材料は図-12に示したように礫である。ポケットビーチ内に堆積した礫は安定性が高いので、掘削により除去されない限り消失しにくいはずであることも上記推定を裏付けている。

空中写真による変遷調査では1994年以降河道掘削は明らかに行われていないが、図-6によればこれ以降海浜土砂量が増加に転じており、これは河道掘削の中止以降、竹野川からの流出土砂が堆積して海浜土砂量が増加したことに対応すると考えられる。土砂の堆積速度は5. で推定したように $3,520\text{m}^3/\text{yr}$ であり、一方P①全体での過去の土砂損失量は $2.6 \times 10^5\text{m}^3$ であったことから、欠損土砂量を堆積速度で割って欠損分を全て取り戻すのに要する期間を逆算すると74年となる。後ヶ浜では、侵食後越波がひどいため人工リーフなどを用いた対策が緊急に行われた。その価値は高いものの、竹野川からの土砂供給量は推定で $3,520\text{m}^3/\text{yr}$ と小さいので、海浜土砂量を増やすには今後養浜についても検討する必要があると思われる。

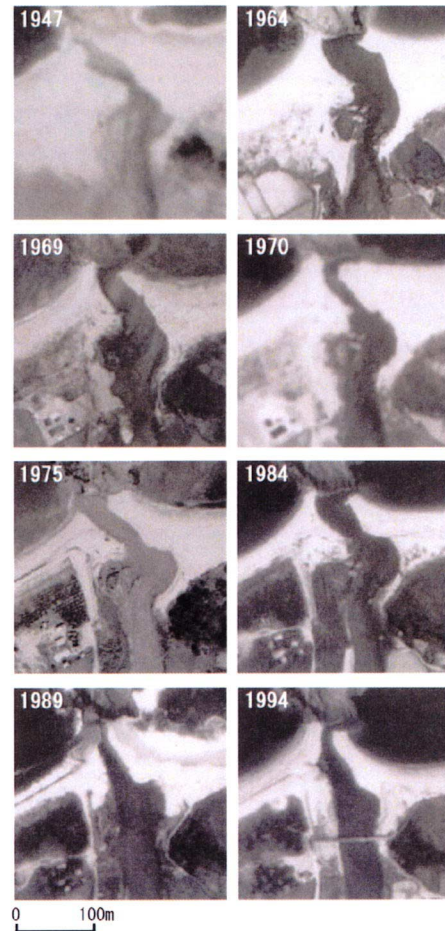


図-13 竹野川河口部の拡大空中写真

参考文献

- 1) 宇多高明：「海岸侵食の実態と解決策」，山海堂，p.304, 2004.