

水工学シリーズ02-B-4

## 最近の海岸侵食対策の動向

国土交通省国土技術政策総合研究所 海岸研究室長

鳥 居 謙 一

土木学会  
海岸工学委員会・水理委員会  
2002年9月

# 最近の海岸侵食対策の動向

## Recent Trend of the Beach Erosion Control

鳥居 謙一

Ken-ichi TORII

### 1. はじめに

沖積平野前面の砂浜海岸は、おおむね海水準が現在の水位になった 5,000~6,000 年前からの堆積環境下で形成された。侵食災害は、砂浜海岸の環境が、人為的もしくは自然的に堆積から侵食へと、逆のトレンドへ劇的に変化し、これに社会が順応することができないために発生する。

大規模な侵食災害の例としては、富山県の下新川海岸、鳥取県の皆生海岸などをあげることができる。黒部川扇状地の前面の下新川海岸では、幾筋にも分かれて流れ、満遍無く土砂を沿岸に供給していた黒部川が、江戸時代に現在の位置に固定されたため、土砂供給が断たれた領域では侵食が続いている。この汀線後退により戦後（1945 年）から 1979 年頃にかけて数度の家屋移転が余技なくされた（黒部工事事務所, 1990）。

鳥取県弓ヶ浜半島の前面に位置する皆生海岸では、明治時代まで盛んであった日野川上流の砂鉄採取によって生産された大量の砂によって、汀線が著しく前進した。この江戸時代以降に形成された新しい土地で、温泉が発見され大いに産業が発達してきた。しかし、砂鉄採取の衰微とともに供給土砂量が激減したため、1923 年には海岸侵食が顕在化し、汀線付近に設置された地域発展の基盤である温泉の源泉が移設を強いられた。（倉吉工事事務所, 1994）。

このような大規模な侵食災害以外にも、各地で汀線の後退により護岸の倒壊や越波の増大が生じ、背後資産が危機に瀕していたり、砂浜を基盤とした生態系の維持や文化・歴史の継承が困難な状況が見られている。

侵食災害を軽減するための対策工法の主流は、海岸工学の進歩とともに、汀線の後退を直接防護する消波堤・護岸や土砂の捕捉を目的とした突堤から、沿岸漂砂を制御する離岸堤、人工リーフ、ヘッドランドや養浜へ移り、現在では複数の工法が組み合わされた面的防護方式が主流となっている。さらに、人工海藻、サブサンドフィルター、歪砂れんマットなど新しい海岸保全工法も開発されている。

一方、海岸法の改正を受けて 2000 年に国が定めた「海岸保全区域等に係る海岸の保全に関する基本的な方針」（以下、「基本的な方針」という）では、侵食対策の目標を「現在の汀線を保全することを基本的な目標とし、必要な場合には、さらに汀線の回復を図ることを目標とする。」としている。また、侵食対策の進め方について「沿岸漂砂の連続性を勘案し、侵食が進んでいる地域だけではなく、砂の移動する範囲全体において、土砂収支の状況を踏まえた広域的な視点に立った侵食対策を推進する。」とするとともに、「施設の整備と併せ、広域的な漂砂の移動を考慮して、一連の海岸において堆積箇所から侵食箇所へ砂を補給する等構造物によらない対策も含めて土砂の適切な管理を推進する。」としている。さらに、「沿岸漂砂による土砂の収支が適切となるよう構造物の工夫等を含む取り組みを進めるとともに、海岸部への適切な土砂供給が図られるよう河川流域における総合的な土砂管理対策とも連携する等、関係機関との連携の下に広域的・総合的な対策を推進する。」としている。

各海岸の特性に応じて海岸侵食対策工法が決定されており、その決定の経緯を記したものが侵食対策計画であるということができる。「海岸施設設計便覧」（土木学会, 2000）では、図-1 のような計画策定フローを示している。これによれば、侵食対策計画も 1) 目標の設定に関わる基本計画、2) 個別あるいは複数の施設の位置、規模、構造に関わる施設計画、3) 整備後の維持・管理（モニタリングを含む）計画に大きく分けることができる。既存の海岸保全に関する技術基準を侵食対策について分類すると以下ようになる。

- 1) 基本計画まで対象とした技術基準：「海岸保全計画の手引き」（建設省河川局, 1994）、「改定新版建設省河川砂防技術基準（案）同解説計画編（以下、「河川砂防技術基準」という）」（建設省河川局, 1997）、
- 2) 主に施設設計を対象とした技術基準：「改定海岸保全施設築造基準（以下、「築造基準」という）」（海岸保全施設築

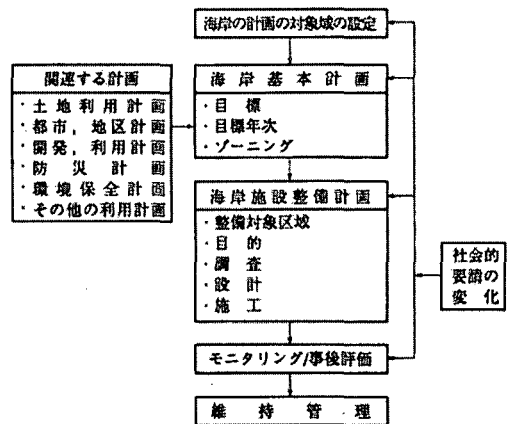


図-1 計画策定フロー（土木学会, 2000）

造基準連絡協議会，1987），「人工リーフの設計の手引き」（建設省河川局，1992），「ビーチの計画・設計マニュアル」（運輸省港湾局，1992）などの他に，複数の施設を組み合わせた面的防護方式を対象とした「面的な海岸防護方式の計画・設計マニュアル」（運輸省港湾局，1991），3）管理計画を対象とした技術基準は整備されていない。

国が策定した「基本的な方針」に示された「施設によらない対策」，「広域的な視点」，「関係機関との連携」を具体化するには，施設計画の上位に位置する基本計画に関わる技術基準が重要となる。しかし，「築造基準」は，もともと海岸保全施設の位置・規模・構造に関する技術基準であり，また「設計波」「設計高潮位」については規定しているが，侵食対策上の目標を示す諸元を規定していないため，侵食対策の目標が不明確となっている。「河川砂防技術基準」では，侵食対策の目標を「保全すべき海浜の形状を維持する。」としているが，「保全すべき海浜の形状」が具体的ではない。「海岸保全計画の手引き」では，図-2の計画立案フローを示し，高潮対策の基本となる計画海浜断面，および計画海浜断面の汀線である計画汀線位置などの概念が導入されているが，「基本的な方針」に示された，構造物によらない対策や関係機関との連携といった観点が不十分である。

そこで，第2章で「基本的な方針」に基づき侵食対策を中心に計画立案フロー（案）について検討し，第3，4，5章で広域的な土砂収支を踏まえた侵食対策計画や構造物によらない対策を含む侵食対策計画の例を示し，第6章で今後の課題について整理する。

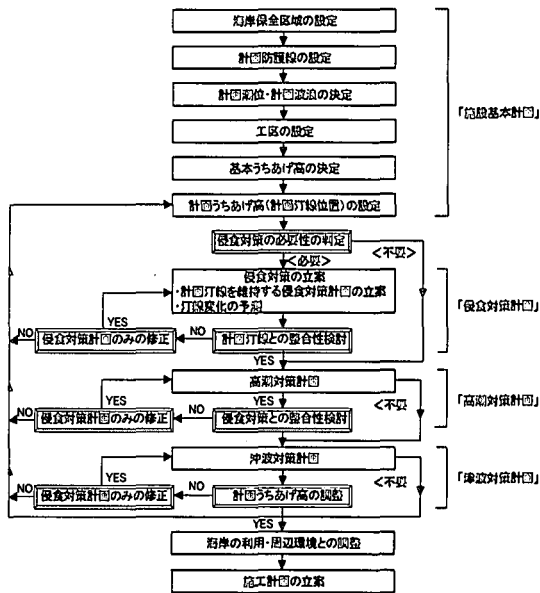


図-2 計画策定フロー（建設省河川局（1994）を簡素化）

## 2. 海岸保全計画立案フローの提案 — 侵食対策を中心として —

### 2.1 海岸保全の目的

①海岸保全計画は，海岸の有する機能を保全・復元・増進することにより，海岸の防護・環境・利用が調和した海岸空間を創出することを目的とする。

②特に，砂浜は，防護・環境・利用の各観点から保全・復元する。

(a)海岸は，人類にとって貴重な資産であり，土地，海水浴等の海洋性レクリエーションの場や公園，農漁業の場，景勝，自然環境，歴史・文化，生活空間などの観点から適正に評価され，将来の世代に引継がれることが求められる。一方，きびしい自然条件や社会・経済環境の変化によって高潮・津波や海岸侵食による災害が発生している。

(b)従来，海岸の防護のために，海岸環境が損なわれたり，海浜へのアクセスを妨げられる場合があった。また，海浜へのアクセスを確保するために実施された堤防・護岸の緩傾斜化が，砂浜の面積を減少させ，逆に海浜利用を妨げたり，動植物の生育・生息域，産卵域等の消失を招いたり，越波量を増大させる場合があった。

(c)海岸保全計画は，「海岸の防護に関する事項」，「海岸環境の整備と保全に関する事項」，「公衆の海岸の適正な利用に関する事項」で構成される。海岸保全計画は，防護・環境・利用の個別の目的の最適化を図るのではなく，海岸の防護・環境・利用が総合的に最適化されなければならない。

(d)海岸保全の目的の1つである「海岸の防護」は，高潮，津波，波浪の侵入から国民の生命，財産を守り，国民の共通の資産である海浜を侵食から守ることである。「海岸環境の整備と保全」は，生態系や歴史・文化の基盤となった荒磯，砂浜，干潟など多様な空間そのものを保全するとともに，歴史・文化の舞台となった海岸景観を保全し，必要に応じて劣化している海岸環境の整備，改善を図ることである。また，「海岸の利用」は，レクリエーション，流通，漁場など多様な利用形態の輻輳，利用形態間の対立の調整を図り，安全で快適な海岸利用を増進することである。

(e)海岸の防護では，計画立案時の海岸線を基本として防護ラインが設定される場合が多い。しかし，国土管理全体の観点からみれば，既与の条件のように扱われている防護ラインも，国土利用のあり方等からその妥当性が検討される必要がある。したがって，海岸保全計画は，海岸に影響を与えている陸域と海域の両者を

一体として取り扱い、海岸保全区域において海岸管理者が自ら実施する事項とともに、周辺地域で関係者と調整して実施すべき事項を含むものとする。また、必要に応じて海岸保全区域の設定についても見直す。

(f)海岸は気象、海象、地形、地質等の自然条件が多様であり、人口、資産、土地利用などの社会・経済条件もそれぞれの海岸で異なっている。このため、海岸保全計画の立案にあたっては、画一化しないように注意し、地域特性に応じて策定しなければならない。

(g)海岸では波浪、潮汐、風、生物の営みなど自然の営力が絶えず働き、変動しながら海岸地形や環境が形成されている。このような自然の営力を尊重、活用することにより、海岸域が本来有している生物の良好な生育環境や自然環境を保全し、安全で美しい海岸域を保全・発展させることが可能である。このため、海岸保全計画の策定においては、自然の営力を十分に理解する必要がある。

(h)砂浜は、海岸の防護の主たる場であり、海岸管理者が自ら海岸保全施設の整備を行う機会が多い空間である。砂浜で海岸保全施設の整備を行うに際しては、例えば消波効果や微生物や曝気作用による海水浄化効果、多様な生物の生育・生息空間、レクリエーション・スポーツ空間、農業や漁業の作業空間など、砂浜が海岸の防護・環境・利用上の重要な機能を担っていることを十分理解する必要がある。

(i)海岸保全計画を策定するにあたって、特に留意すべき事項は以下のとおりである。

1. 関連計画との整合性の確保

国土の利用や開発計画、環境保全計画、地域計画等関係する計画との整合性を確保する。

2. 関係行政機関との連携調整

海岸に関係する行政機関と十分な連携と緊密な調整を図る。

3. 地域住民の参画と情報公開

計画の策定段階において必要に応じ計画によりもたらされる防護、環境、利用に関する状況について示す等、事業の透明性の向上を図るために海岸に関する情報を広く公開する。計画策定段階で必要に応じ開催される公聴会等だけではなく、計画が実効的かつ効率的に執行できるように、実施段階においても適宜地域住民の参画を得る。

4. 計画の適宜見直し

計画の実施段階において、計画された内容が達成されているかモニタリングを実施するとともに、モニタリングの結果、地域の状況の変化や社会経済状況の変化等に応じ、計画の基本的事項および海岸保全施設の整備内容等を点検し、適宜見直しを行う。

2. 2 海岸防護に関する基本的な事項

①海岸防護は、計画で想定される高潮、波浪、津波および土砂動態に対して人命、資産に対する被害や堤内地の諸活動への影響を軽減することを目的とする。

②対象とする災害、外力の状況、越波、越流による浸水区域の状況、漂砂の連続性を考慮して一連の海岸を対象区域として設定する。

③海岸防護は、侵食対策、高潮対策、および津波対策の3つの面から総合的に取り組む。特に、高潮対策、津波対策において前提となっている砂浜については、侵食の有無に留意する。

(a)我が国の海岸は、地震や台風、低気圧、冬季風浪などの厳しい自然条件のもとにおかれているために、津波、高潮、波浪、海岸侵食あるいは地盤沈下などによる災害が起きやすく、これまで各地で大きな災害を受けてきている。

(b)図-3に、海岸保全計画の全体フロー(案)を示す。海岸保全基本計画では、計画立案時の海岸の状況をもとに海岸の防護・環境・利用に関するそれぞれの目標を定め、計画の基本諸元である計画波、計画潮位、計画海浜形状を設定する。次に、基本諸元に対して防護対策の策定が可能であるか検討し、実行不可能な場合には目標を修正する。

(c)越波は、侵食によって海浜断面が小さくなることにより、増大する。また、計画海浜形状は、高潮対策や津波対策の前提条件となっている。このため、海浜断面の長期的な安定(侵食対策の必要性の有無)を確認する。

(d)計画規模は既往の高潮・波浪、海浜の状況を検討し、事業の効果、計画対象地域の重要性を勘案して決定する。

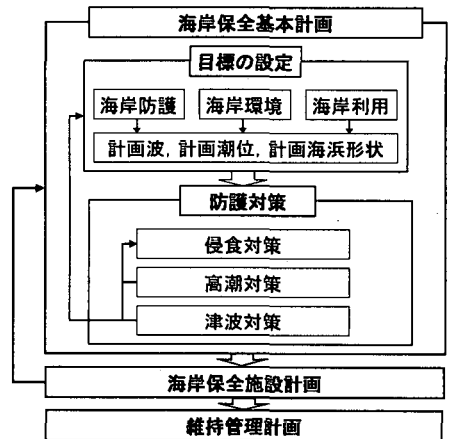


図-3 海岸保全計画全体フロー(案)

## 2. 3 計画海浜形状

計画海浜形状は、気象、海象、地形、生態系等の自然条件、歴史・文化、利用状況、経済性等を勘案して、防護・環境・利用上必要とされる海浜の断面形状、平面形状を定めるものとする。

(a)計画海浜形状は、計画海浜断面形状と計画海浜平面形状で規定される。断面形状は打ち上げ高、越波量に、また、平面形状は、沿岸漂砂量に影響を及ぼす。計画海浜形状を設定する際には、海岸の各種機能を保全する観点から総合的に設定する。

(b)砂浜の機能を表-1に示す。計画海浜断面は、海岸の防護の観点から、高潮対策や津波対策においては、打ち上げ高や越波量が計画を上回らない海浜断面として、侵食対策においては国土の基線、海岸保全施設の基礎部の地盤として必要な断面形状を設定する。海岸環境の保全の観点からは、海岸の植生帯や産卵地などの場として必要な海浜面積、および海岸域の動植物の生息範囲、海岸の景観を考慮して設定する。利用の観点からは、地域の文化や生活との関連、および海浜の利用者数などを考慮する。

(c)図-4に計画海浜断面の考え方を示す。海浜の断面形状は、波浪や潮流による短期的変動や、沿岸漂砂の不均衡による侵食のような長期的な変動が複合して変動している。計画海浜断面形状の設定においては、侵食対策により長期的な安定化が図られた海浜を想定して設定する。計画海浜断面形状は、図-4(a)に示すように、想定される短期変動による海浜の後退時に、必要な砂浜幅が確保されていなければならない。図-4(b)、(c)に示すように、現況海浜断面が不十分な場合には、計画海浜断面を確保するため(静的)養浜を検討する。

(d)設定された計画海浜形状が、高潮・津波・侵食対策施設の計画から確保することが困難な場合には、計画海浜断面形状や目標の設定を変更する。

(e)計画海浜断面形状は、後浜の天端高( $Y_s$ )、幅と前浜勾配により定義される。後浜の天端高の設定が低すぎる場合には、高波浪時に後浜へ土砂が打ち上げられたり、前浜勾配が安定勾配より急な場合には、沖への流出量が多くなるなど、計画海浜断面形状を維持することができなくなる。このため、養浜によって計画海浜断面を確保する場合には、現地海岸の底質の粒径に近い材料で養浜した場合、後浜の天端高は自然海浜における後浜の天端高以上を確保し、自然海浜の海浜形状を平行に沖へ移動させた形状とする。養浜材料が現地の底質の粒径と異なる場合や波浪制御施設によって波高を低減する場合には、Rector, Swart, 砂村の提案等を用い適切に推定する。

### Rector の提案

$$Y_s / L_0 = \begin{cases} 0.18(H_0 / L_0)^{0.5} \dots \text{for} \dots H_0 / L_0 < 0.018 \\ 0.024 \dots \dots \dots \text{for} \dots H_0 / L_0 \geq 0.018 \end{cases}$$

### Swart の提案

$$Y_s / M_{d50} = 7644 - 7706e^A \dots A = -0.000143 \frac{H_0^{0.488} T^{0.93}}{M_{d50}^{0.786}}$$

### 砂村の提案

$$Y_s = 1.1H_b$$

(f)後浜幅は図-4に示したように、海岸防護の観点からは、計画の対象とする時化が作用した場合、消波また堤防等の基礎地盤として必要な幅が確保されていなければならない。したがって、時化の継続時間を定義した上で、時化が作用した場合の海浜断面の変化を予測する必要がある。

(g)「漂砂環境の創造に向けて」(土木学会, 1998)によれば、縦断地形変化モデルには、米国のSBEACHモデルなどの半経験モデルと戻り流れを考慮したモデルに分類することができる。これらのモデルは、砕波帯外のシートフローによる沖向き漂砂と砕波帯内の戻り流れによる沖向きの

表-1 砂浜の性能(土木学会, 2001)

目的	機能	性能
防護	・越波防止機能	打ち上げ高・越波量の低減率、安定性(汀線変動量など)
環境	・水質浄化機能 ・生物の生息空間機能 ・景観機能	浄化率、生物の生息条件(底質粒径、水質など)、景観の質(天端高など)
利用	・海水浴場としての機能 ・漁場としての機能 ・祭りの場としての機能	利便性(アクセス時間など)、快適さ(底質粒径、底質の色、水質など)
その他	堤防等の構造物基礎としての機能	岩盤支持力、洗掘量、安定性

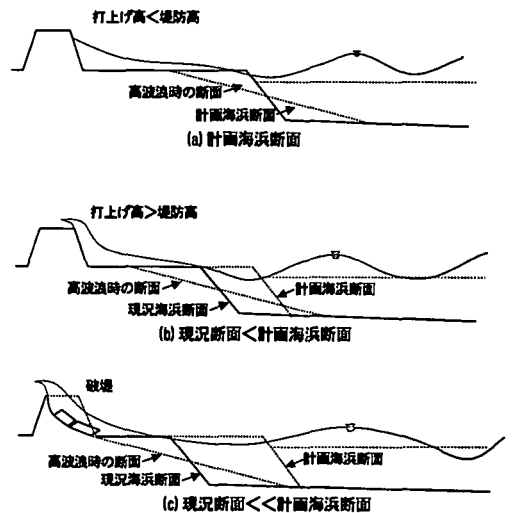


図-4 計画海浜断面模式図

漂砂を考慮すれば、現地の高波浪時の縦断地形変化を説明できが、前浜の侵食を十分表現できない。

(h)米国において砂丘侵食モデルとして一般的に使われている SBEACH モデル (Larson and Kraus, 1989, 1990, 1991) や EDUNE モデル (Kriebel and Dean, 1985) は, Dean (1988) の平衡海浜断面を基礎として発達してきた。両者の主な違いは, SBEACH モデルは岸沖方向で漂砂特性の違いによって 4 つの領域に分けて取り扱っている点である。SBEACH モデルは, パーの形成のような汀線付近からの沖向移動と沖からの岸向の移動を同時に取り扱うことができる。SBEACH モデルでは, 各領域の漂砂量を次式で与えている。(Herbich, 2000)

領域Ⅰ (碎波帯外)

$$q = q_b e^{-\lambda_1(x-x_b)} \quad x_b < x$$

領域Ⅱ (碎波遷移帯)

$$q = q_b e^{-\lambda_2(x-x_b)} \quad x_p < x \leq x_b$$

領域Ⅲ (碎波帯内)

$$q = \begin{cases} K(D - D_{eq} + \frac{\varepsilon}{K} \frac{dh}{dx}) \dots \dots \dots \text{for} \dots D > (D_{eq} - \frac{\varepsilon}{K} \frac{dh}{dx}) \\ 0 \dots \dots \dots \text{for} \dots D \leq (D_{eq} - \frac{\varepsilon}{K} \frac{dh}{dx}) \end{cases} \quad x_z < x \leq x_p$$

領域Ⅳ (遡上域)

$$q = q_z \left( \frac{x - x_r}{x_z - x_r} \right) \quad x_r < x \leq x_z$$

ここに,  $q, \lambda, K, D, \varepsilon, x, h$  は, それぞれ漂砂量, 漂砂量の減衰係数, 漂砂量係数, エネルギー逸散率, 斜面勾配項の漂砂量係数, 静水汀線からの岸向き距離, 静水面からの深さを示す。添字  $b, p, z, r, 1, 2, eq$  は, それぞれ碎波点, Plunge Point, 遡上帯の沖側境界点, 遡上点, 領域 1, 領域 2, 平衡海浜断面での値であることを示す。

Larson (1994) は, 不規則波に拡大するとともに, 漂砂量式中の係数を大型造波水路実験結果を用いて調整して設定し, パーの位置, 高さ, 前浜の侵食状況とも実測値と非常によく一致するモデルを提案している (土木学会, 1998)。

(h) 福島ら (2000) は, 茨城県阿字ヶ浦海岸で約 20 年間にわたり毎週実施された断面測量結果をもとに, 極値統計解析を行い, 平均汀線からの確率後退量を推定している。この結果によれば, 阿字ヶ浦海岸の年超過確率 1/30 の汀線後退量は 25m 程度と推定されている (表-2)。さらに, 建設省直轄海岸の汀線測量結果から, 底質および地域別の年超過確率 1/30 の後退量を提案している (表-3)。

(i) 海浜植生帯を確保する観点から後浜幅を設定する場合には, 植生の状況を航空写真から読み取り, 必要な後浜幅を設定することができる。加藤ら (2001) は, 鹿島灘沿岸, 九十九里沿岸の海浜幅と植生帯幅を検討し, 太平洋に面した緩勾配の海浜で, 秋冬季においても植物が存在する砂浜幅の目安として, 最低でも 20m, 5 割以上の確率で植生が存在するためには, 100m 以上を示している。(図-5)

(j) 大倉ら (2001) は, ウミガメの産卵場の確保の観点から 30m 以上の後浜幅を提案している。

(k) 「ビーチ計画・設計マニュアル」(運輸省港湾局, 1992) では, 砂浜の利用実態から遊戯や日光浴に供される砂浜幅は, 50m 程度が望ましいとしている。

表-2 茨城県阿字ヶ浦海岸の汀線後退量の確率点 (土木学会, 2001)

	T <sub>0</sub> (年)	GEV	Gumbel	GP	EXP
確率点	10	20	20	19	20
	20	22	23	21	24
	30	23	25	22	25
	50	24	27	24	28
推定値	10	20	20	18	20
	20	22	23	21	24
	30	23	25	22	25
	50	24	27	23	28
推定誤差	10	2	2	2	2
	20	2	2	3	2
	30	2	2	4	2
	50	2	2	4	2
変動係数	10	0.077	0.083	0.123	0.084
	20	0.075	0.086	0.148	0.084
	30	0.079	0.087	0.163	0.085
	50	0.090	0.090	0.182	0.085
SLSC	0.031	0.043	0.020	0.023	
COR	0.992	0.875	0.997	0.994	

表-3 全国の汀線後退量の確率点 (福島ら, 2000) (単位: m)

	構造物無し		構造物有り	
	粗砂	細砂	粗砂	細砂
太平洋側	22	25		
日本海側	20	34		20

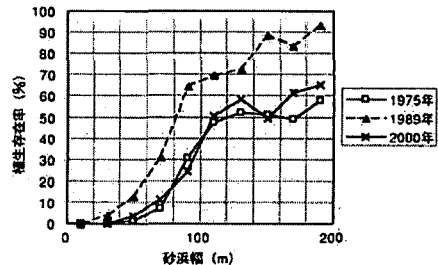


図-5 植生帯の分布 (加藤ら, 2001)

## 2. 4 侵食対策

### (1) 基本方針

- ① 侵食対策は、計画海浜形状を保全することを目的とする。
- ② 第1に、侵食機構に応じて関係機関と連携し土砂動態の改善を図る。第2に、漂砂制御施設や養浜により沿岸漂砂の不均衡を是正する。
- ③ 計画区域は、1つの漂砂系を基本とし、飛砂を考慮する場合には陸域も対象とする。

(a) 侵食対策は、国土の消失を防ぐことや、越流や越波による災害を防ぐことのみではなく、かけがえのない海岸の環境を将来に遺すこと、海岸利用空間を確保することも目的とする。

(b) 汀線が後退した海岸で、漂砂制御施設により流入漂砂量に対して通過漂砂量を小さくすると、漂砂制御施設の背後もしくは上手側で堆積が生じ、汀線を回復することが可能である。しかし、漂砂制御施設の漂砂下手側では漂砂量が減少するため、漂砂制御施設が整備される以前に比べ、激しい侵食が発生することになる。また、漂砂制御施設の整備は、漂砂下手側からの施工が理想であるが、現実には侵食箇所から着手せざるえない。したがって、計画海浜形状を確保するために必要となる土砂は（静的）養浜として確保し、漂砂制御施設の規模は、関係機関との連携による土砂動態の改善により増加した流入土砂量と（動的）養浜で補給される土砂量の総和と均衡する漂砂量に制御する程度の規模とする。

(c) 海岸の土砂収支の構成を図-6に示す。土砂収支には、1) 河川や崖から供給される土砂、2) 飛砂となって領域外へ流出する土砂、3) 沿岸漂砂として領域に流入・流出する土砂、4) 岸沖方向の漂砂として領域に流入・流出する土砂、5) 海底谷や深海へ流出する土砂、および5) 人為的に領域外へ持ち出される土砂がある。侵食計画を検討する場合には、海底谷や深海へ流出する場合を除いては土砂収支が閉じた系を設定する必要がある。

(d) 岸沖方向に閉じた系を設定する際に、沖側境界については、移動限界水深が参考となる。波により海底面の表層の砂がほとんど動き出す表層移動限界水深は、次式で与えられる。

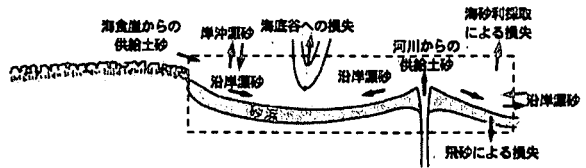


図-6 土砂収支の構成 ((宇多, 1997) に加筆)

$$\left(\frac{H}{H_0}\right)^{-1} \sinh \frac{2\pi h_c}{L} = 0.741 \left(\frac{H_0}{L_0}\right) \left(\frac{L_0}{d}\right)^{1/3}$$

ここに、 $h_c, H, L, H_0, L_0, d$  は限界水深、限界水深での波高と周期、沖波の波高と周期、粒径を示す。

Hallermeier(1978,1981)は、底質中央粒径が約 0.2mmの砂に対して次式を提案している。

$$h_c = 2.28 H_e - 68.5 \left( \frac{H_e^2}{g T_e^2} \right) \quad H_e = \bar{H}_{1/3} + 5.6 \sigma_H$$

ここに、 $H_e, T_e, H_m, \sigma_H$  は、それぞれ年 12 時間超過 (0.137%) 有義波の波高、周期、年平均有義波高およびその標準偏差を示す。

また、周期を含まない形式として次式を提案している。

$$h_c = 2\bar{H}_{1/3} + 11\sigma_H$$

Birkemeier(1985)は、Hallermeier の提案式を現地観測結果から評価し、次式を提案している。

$$h_c = 1.57 H_e$$

Houston(1996)は、次式の経験式を提案している。

$$h_c = 6.75 \bar{H}_{1/3}$$

宇多 (1997) は、測量データから日本の地形変化の限界水深を調査し一覧表にしている (図-7)。宇多によれば、一般的に太平洋側では約 10m、日本海側では 8~9 m、内海・内湾では 2~3 m 程度であるとしている。

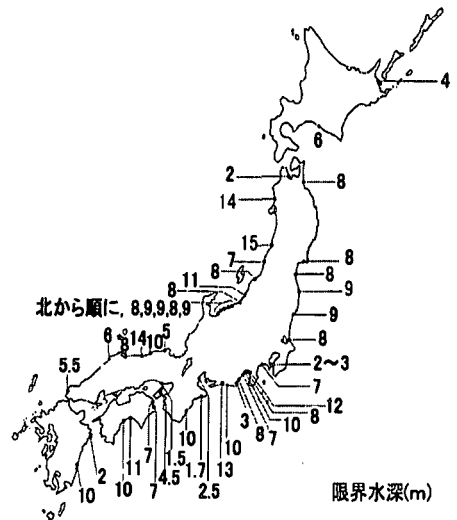


図-7 波による地形変化の限界水深 (宇多, 1997 を図化)

一方、陸側の境界は、飛砂による損失を考慮する場合には、砂丘陸側が境界となる。

(e)沿岸方向については、山本(2002)は岬で囲まれたタイプと岬と深海に囲まれたタイプに分類している。漂砂系の境界となる岬は、少なくとも波による移動限界水深より突出し、沿岸漂砂の移動を完全に阻止している必要がある。この場合、両側を岬に囲まれたタイプでは、土砂収支が閉じた系となるが、岬と深海に囲まれたタイプでは、土砂収支が閉じていない。

(f)図-8に侵食対策検討のフロー(案)を示す。最初に防災・環境・利用上保全あるいは、計画的に確保すべき計画海浜形状を設定する。次に、漂砂系を確定するとともに、過去および計画立案時の土砂収支の状況から、侵食機構を解明し、関係機関との連携により土砂動態の改善を試み、土砂動態の将来形を設定する。最後に、社会・経済的にみて土砂動態の改善では、海岸が安定した状態に復元することが困難な場合には、漂砂制御施設や(動的)養浜により計画海浜形状の保全を図る。計画された漂砂制御施設や(動的)養浜を経済的、環境的な観点から実行可能性について検討し、実行不可能な場合には、目標の設定を変更するなどして再度検討する。

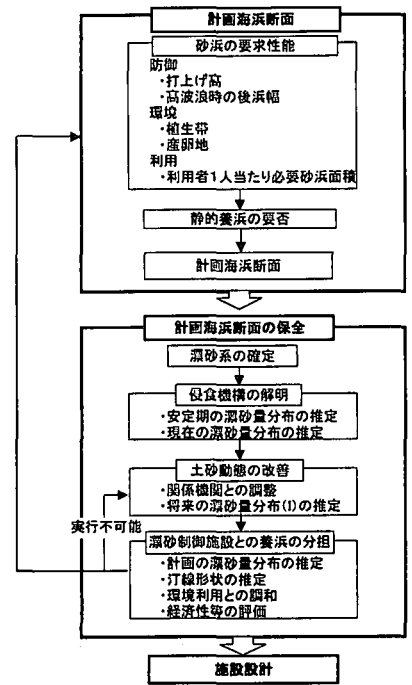


図-8 侵食対策検討のフロー(案)

## (2) 侵食機構の解明

河川や海食崖等からの土砂供給量、海砂利の採取状況、海岸の土砂量変化などから、過去および計画立案時の土砂動態を把握し、侵食機構を解明する。

(a) 侵食対策の目的は、沿岸漂砂量分布の不均衡、不連続を改善し、均衡した沿岸漂砂量分布を復元することである。このためには、計画立案時の土砂動態を沿岸漂砂量分布あるいは土砂収支として把握することが重要である。また、土砂動態の改善で目標とする土砂動態は、過去の土砂動態が参考となるので、海岸が安定していた時期の土砂動態を推定することも重要である。土砂動態を把握する地点としては、対象とする漂砂系への土砂流入点、漂砂系外への土砂流出点、および沿岸構造物等によって沿岸漂砂が変化する点の前後である。

(b) 安倍川では、1955年から砂利採取量が急増し、1968年に砂利採取が禁止されるまでに880万 $m^3$ の砂利が採取された。図-9は、河床変動計算から推定した安倍川の河口からの流出土砂量の5ヵ年移動平均を示したものである。安倍川からの流出土砂量は、1968年以降回復し、1970年以降は河川の流況に応じた流出に回復していると判断できる。安倍川の流出土砂に対する静岡・清水海岸の応答は、砂利採取が禁止された4年後の1972年の航空写真では侵食はまだ顕在化していない。さらに、安倍川の流出土砂量が、回復している1977年に堤防の決壊が発生している。1983年によりやく河口部地形の回復が確認することができる。このように、波浪や供給土砂等の環境の変化というインパクトに対して、海岸地形の変化は、時間的に遅れて発現し長期間に及ぶため、侵食機構には、時代の異なる複数の要因が関連している場合が多い。侵食機構の検討にあたっては、流域・沿岸域における土砂環境の変遷を調査し、総合的に解析・検討し、海岸への供給土砂量、海岸での漂砂移動を解明しなければならない。

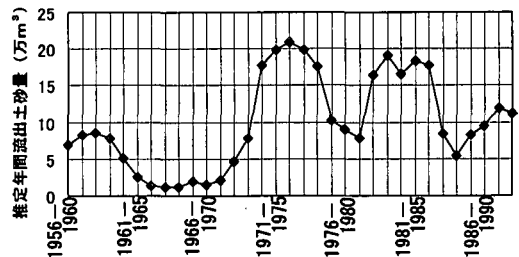


図-9 安倍川の推定年間流出土砂量(5ヵ年移動平均)

(c) 海岸侵食は、地盤沈下や沿岸漂砂の不均衡が主な原因である。このうち沿岸漂砂の不均衡による侵食には、次の機構が考えられる。

1. 河川・海食崖からの供給土砂量の減少



対象海岸へ流入する河川の上流における植生の変化、砂防ダム、貯水ダムへの堆砂、洪水頻度の減少に伴う流砂量の減少、床止め等による河道内堆積量の増加、川砂利採取による河道内堆積物の減少により、河口からの供給土砂量は減少する。また、海食崖から供給される土砂によって維持されていた海岸では、海食崖の侵食対策によって土砂収支バランスが崩れ侵食が発生する。

2. 沿岸漂砂の連続性の阻害

沿岸漂砂が卓越した海岸において、防波堤、導流堤、埋め立て護岸、あるいは突堤や離岸堤などの構造物が設置されると、沿岸漂砂の一部または全部が遮断され、構造物の下流で侵食が発生する。

3. しゅんせつ・砂利採取

航路・河口しゅんせつや河口部や海域での砂利採取によって沖に掘削跡が形成させると、漂砂が掘削跡にトラップされたり、掘削跡を埋めるような海浜変形が発生し侵食が発生する。

4. 遮蔽域の形成

波が海岸線にほぼ直角に入射する沿岸漂砂の少ない海岸でも、海域に設置された大規模な防波堤や人工島の背後では、波の遮蔽域が形成されることにより、岸の近くで遮蔽域の外側から内側へと土砂の移動することにより侵食が発生する。また、波の入射方向が季節的に変動し見かけの漂砂量の少ない海岸では、沿岸漂砂が構造物に遮断されて堆積した土砂が、波向が反転しても、遮蔽域では漂砂の方向が反転しないため遮蔽域の外に移動できず、不均衡が生じ急速な侵食が発生する（図-10）。

(d) 図-11は、One-line モデルで汀線変化の状況を計算したものである。(a)は、河川からの供給土砂により150年間で河口デルタが形成される過程と、150年以降供給土砂量の減少により汀線が後退する過程を示したものである。汀線は、減少した直後に河口部において急速に後退し、境界に近づくほど後退は小さい。100年後に供給量を減少させた場合には、大きな後退は河口部に限定される。(b)は、左側境界の沖に1000mの遮蔽域を形成した場合の汀線変化を示している。遮蔽域に土砂が移動し、遮蔽域の外側で汀線の後退が生じる。最大後退点は大きく移動せず、侵食域が右側に拡大していく。

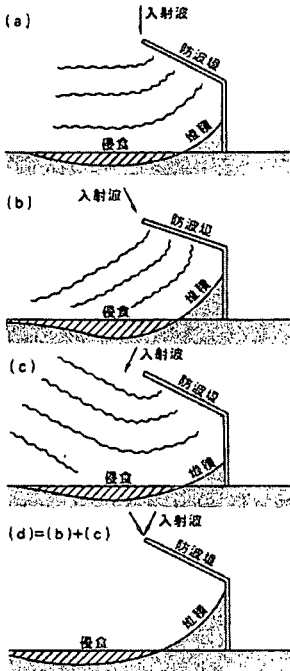


図-10 遮蔽による侵食 (宇多, 1997)

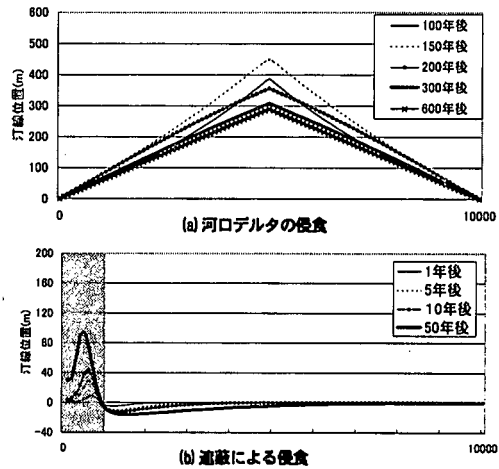


図-11 侵食機構別の侵食域の拡大状況

(3) 土砂動態の改善

関係機関と連携を図り、土砂動態を改善するための対策を講じ、将来の土砂動態を設定する。

- (a) 過去に安定していた時期と計画立案時の漂砂量分布、底質の粒度組成を基に、必要な粒径集団と必要な河川からの供給土砂量や港湾におけるサンドバイパス量を明らかにする。
- (b) 河川における砂利採取、河床掘削、ダムや砂防堰堤による土砂の抑止などが原因で河川からの供給土砂の減少している場合には、流砂系一貫管理の観点から海岸への土砂量確保対策を検討する。
- (c) 河口導流堤、防波堤、埋立地など沿岸構造物が原因で沿岸漂砂の連続性が阻害されている場合には、サ

ンドバイパス等を検討する。

(d)漂砂系内での土砂採取が海岸侵食の原因となっている場合には、海砂利採取地点を漂砂系外の海域や漂砂系の末端に変更する。また、航路等のしゅんせつ土砂に含まれている汀線付近を構成する粒径集団の土砂は、基本的には海域での土砂採取と同等の影響を海岸に与えるため、養浜材料として再利用を検討する。

(e)地質学的時間スケールでの供給土砂量や沿岸構造物による捕捉された土砂量から漂砂量係数が同定できる海岸では、計画海浜平面形状に対して波のエネルギーから平衡状態の漂砂量分布を推定することが可能であり、計画策定上の参考になる。(鳥居ら, 2001)

#### (4) 漂砂制御施設と養浜の分担

漂砂制御施設と養浜の分担は、経済性、保全される海岸の環境・利用特性、実現性等を勘案し、総合的に決定するものとする。

(a)海岸侵食は、海底谷など海岸地形や現在の社会経済の基盤施設、過去に行われた行為が原因となっている場合には、土砂動態の改善によって増加させることのできる土砂量が不足量を補うことができず、計画海浜形状を保全できない場合もある。このような場合、漂砂制御施設と養浜を組み合わせることで計画海浜形状を保全する。

(b)侵食対策は、計画海浜形状を無施設で維持するために必要な漂砂量分布に対する、改善された土砂動態において見込まれる漂砂量分布との不整合を、漂砂量を抑制するか、もしくは不足する漂砂量を補給することにより、整合を図るものである。

(c)漂砂量を抑制する対策には、離岸堤、人工リーフ、ヘッドランドなどの漂砂制御施設の整備がある。この場合、長大な砂浜においては、連続的に構造物を配置する必要があり、整備に多大な費用と長期の時間を要する。また、選択する構造物によっては、景観や生態系に影響を及ぼす場合がある。

(d)一方、不足する漂砂量を補給する対策には、養浜やサンドバイパスがある。この場合、確保される養浜材料によっては、きわめて自然に近い海岸の保全が可能である。しかし、養浜を継続的に実施する必要があり、長期にわたり安定した財源と良質で安価な養浜材料の確保が前提となる。

(e)漂砂制御施設と養浜を組み合わせることにより、様々な選択肢が考えられ、漂砂制御施設のライフサイクル・コストと養浜事業の維持コスト、および保全される海浜の特性に応じて、計画される地域の特性に適合する両者の組み合わせを決定する。

(f)基本的には、計画期間内に海浜の安定化が図られる必要がある。しかし、計画の評価に由来から用いられている計画期間の最終時点(通常 30~50 年後)の汀線図は、計画期間中に亘り計画海浜形状が維持されていることや、計画期間の最終時点以降の汀線が安定に維持されることを担保するものではない。計画期間中の状況は、汀線位置の時系列変化で確認する。また、立案された計画による長期的な海岸の安定は、計画期間の最終時点の沿岸漂砂量分布図によって判断する。計画期間中に汀線後退量が許容範囲を超過したり、計画期間の最終時点で平衡状態まで達していない場合には、(動的)養浜により計画期間中に目標を達成する。

### 3. 皆生海岸のサンドリサイクル計画

皆生海岸は、美保湾に面した弓ヶ浜半島を含む弓状の砂浜海岸である。宇多(1997)は、弓ヶ浜半島は日野川からの流出土砂が、島根半島による波の遮蔽効果によりトンボロとして発達したものとし、波による地形変化の限界水深は8mと推定している。図-12に、地質図を示す。弓ヶ浜は砂丘であり、平田地先までは完新世の堆積物である。平田地先以东については、河口部を除いては更新世の堆積物および大山の火山性岩が海に接していることが確認できる。また、沖の堆積物も平田地先付近を境界にして砂から岩・礫に変化している。さらに、水深20mの等深線は西側で地蔵岬付近、東側で平田地先付近において岸に近づいている。以上より、皆生海岸の漂砂系は、西側は地蔵岬から東側は平田地先付近までと考えられる。

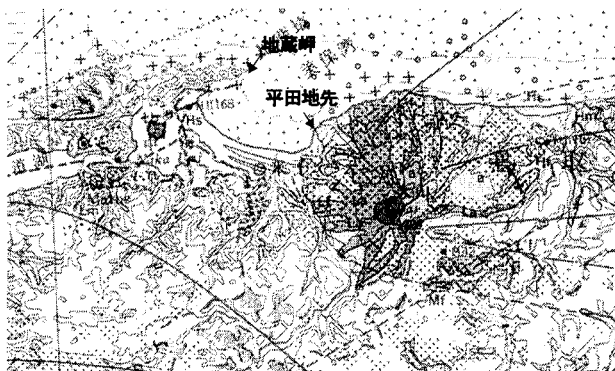


図-12 皆生海岸付近の地質図(日本第四紀学会, 1987)

皆生海岸は、1921年に第1号源泉が開発され温泉街として発展してきた。しかし、日野川上流部での砂鉄採取の衰退とともに、河口からの流出土砂が減少したため、1930年代頃から激しい侵食に見舞われるように

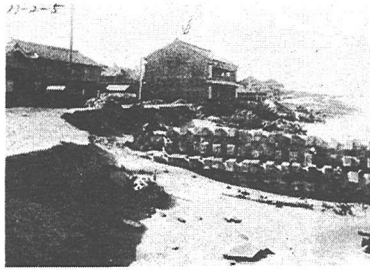


写真-1 1946年



写真-2 1955年



写真-3 1967年

なった(写真-1)。このため、1947年に「鳥取県漂砂対策協議会」、1948年に「鳥取県漂砂対策委員会」が設立され、侵食対策のための本格的な調査が実施された。同委員会は、護岸・突堤による対策計画を立案し、1954年には突堤14基の整備が完了した(写真-2)。汀線は一時的に安定を呈したが、その後侵食が進み、突堤の補強、護岸前面に消波堤の設置がされ(写真-3)、1971年以降は離岸堤による対策へ計画を変更し、2002年までに日野川より西側では離岸堤17基が完成している。

日野川流砂系の変遷については、平成12年度建設省技術研究発表会指定課題(建設省、2000)を参考に整理する。日野川の流出土砂量に大きな影響を与えた要因は、砂鉄採取に伴う土砂の人工的な生産である。貞方(1996)は、上流域の地形変化から日野川流域の砂鉄採取に伴う土砂生産量を $2.0\sim 2.7$ 億 $m^3$ と推定している。また、弓ヶ浜の最も美保湾側の砂丘列は砂鉄採取により生産された土砂と関連があるとされ、その土砂量は $1.75$ 億 $m^3$ と見積られている。日野川流域における砂鉄採取期間を、最も古い記録である「鉄穴書上帳」の記録により1757年から、ほぼ終了したと見られる1923年までとすれば、日野川からの流出土砂量は、上流域の地形変化から $120\sim 160$ 万 $m^3$ /年、砂丘の土砂量から $100$ 万 $m^3$ /年と推定される。一方、1976年～1993年の年平均流出土砂量は、ダムの堆砂量および河床変動計算から $4$ 万 $m^3$ /年と推定されている。

このような流砂系の変遷にともない、汀線の前進・後退が生じている。1863年の古地図と1915年の地形図(国土地理院)を比較すると、河口付近で $200$ m、中央部(測点No.60付近)で $300$ m、弓ヶ浜半島の先端部で $70$ m汀線が前進している。また、皆生温泉の源泉変化から推定すると、1870年代から1910年代にかけて汀線は、年 $2\sim 4$ m前進している。さらに、1899年と1968年の地形図(国土地理院)を比較すると、汀線は河口右岸で $170$ m後退し、1948年と1983年の航空写真を比較すると、河口右岸で $150$ m後退しているのが確認されている。

1971年から1999年の等深線の変化を図-14に示す。離岸堤整備区間のほぼ末端に当たる測点No.30では、汀線は1999年までに約 $20$ m程度の後退であるが、水深 $5$ mの等深線は1989年までに約 $150$ m後退し、その後若干回復している。また、水深 $10$ mの等深線は、1991年に急激に約 $130$ m後退した後、徐々に回復している。突堤整備区間の末端である測点No.40では、汀線、水深 $5$ mの等深線は、経年的に後退しており、1999年までの後退量は約 $50$ mである。一方、水深 $10$ mの等深線は、1991年に急激に後退した後、若干回復してきている。さらに離れた弓ヶ浜半島中央部の測点No.52では、いずれの等深線も安定している。境港側の堆積域である測点No.86では、汀線、水深 $5$ mの等深線とも前進し、1999年までに $100$ m程度前進しているが、水深 $10$ mの等深線は、1986年以降後退が確認される。

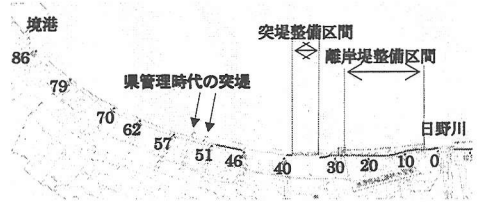


図-13 皆生海岸の測点配置

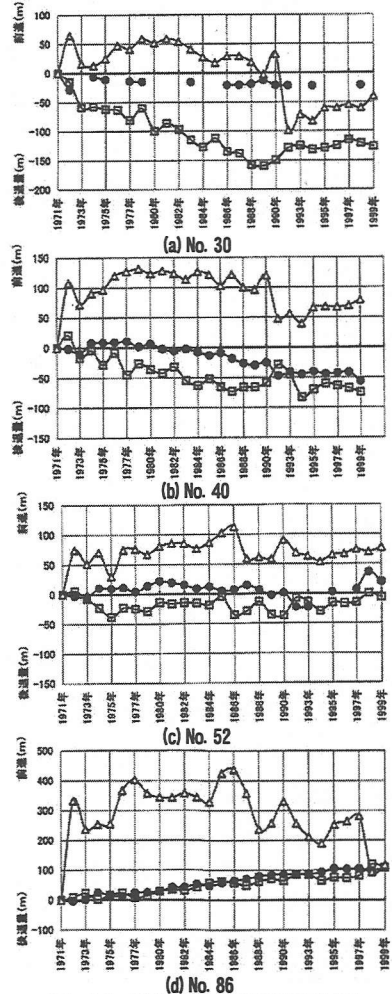


図-14 皆生海岸の等深線変化図

図-15 (a) は、1948 年の航空写真の汀線をもとに、漂砂量分布を推定したものである。測点 No.31 付近で漂砂量は最大 (10 万 $m^3$ /年) となり、測点 No.55 (県管理時代に整備された突堤付近) まで、漂砂量がほぼ 10 万 $m^3$ /年となる。そこより境港に近づくにつれて漂砂量は減少し、境港側で 0 となっている。

図-15 (b) は、1994 年の汀線形状から求められた、無施設で汀線を安定に維持するために必要な漂砂量分布図である。汀線形状が流入土砂量の減少に応じて変形しているため、測点 No.20 付近で漂砂量が最大 (8 万 $m^3$ /年) となっている。日野川からの現在の流入土砂量は 4 万 $m^3$ /年と推定されており、河口から最大漂砂量が発生する地点までは侵食が進行することになる。漂砂量は測点 No.20 から境港に近づくにつれて減少し、測点 No.40 付近で 6 万 $m^3$ /年を下回り、測点 No.60 付近で 4 万 $m^3$ /年を下回っている。また、境港側境界に 2 万 $m^3$ /年の流入があるため、流入した土砂は境港の外郭施設に捕捉され堆積し、端部の地形を前進させることになる。

図-15 (c) は、離岸堤、突堤が整備された施設状況の漂砂量分布図である。離岸堤により日野川の流入土砂量以下に漂砂量が制御されているので、離岸堤整備区間では堆積が進み、汀線が前進すると考えられる。離岸堤区間では、将来的には 4 万 $m^3$ /年の漂砂量が通過することになるが、離岸堤背後の堆砂が進行している段階においては、2 万 $m^3$ /年の漂砂量しか通過できないので、離岸堤整備区間の下手では、漂砂量の不均衡が発生し、侵食が進行することが予想される。同様に、突堤上手側で堆砂が進行し、突堤下手側で侵食が発生することが予測される。

現在、皆生海岸ではサンドリサイクル計画の詳細な検討が進められているところであるが、図-15 の漂砂量分布図をもとに、サンドリサイクル計画の概念を整理する。図-16 にサンドリサイクルの計画バリエーションを示す。

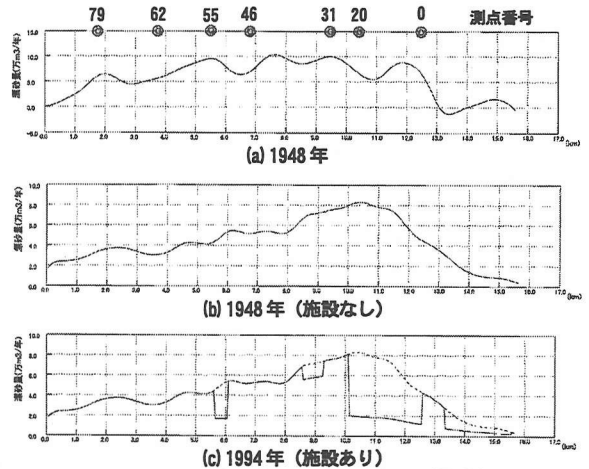


図-15 皆生海岸の漂砂量分布図 (推定)

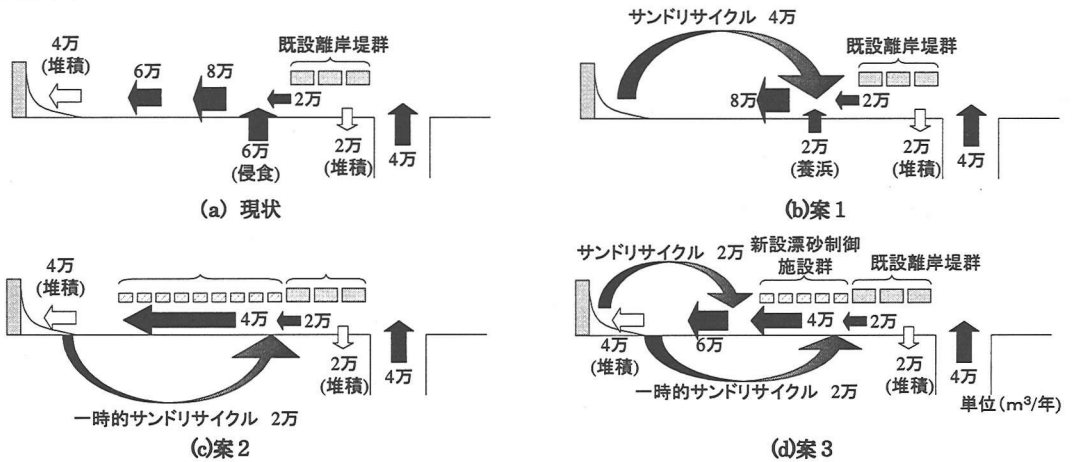


図-16 サンドリサイクルの計画バリエーション (概念図)

第 1 案は、境港側に堆積する 4 万 $m^3$ /年をリサイクルする方法である (図-16 (b))。境港側で掘削された土砂は、既設離岸堤区間の下手に養浜する。これにより、将来的には、日野川の流出土砂量の 4 万 $m^3$ /年とあわせて 8 万 $m^3$ /年の土砂量を確保することが可能である。この土砂量は、現在の最大漂砂量 8 万 $m^3$ /年と均衡するので、無施設で汀線を安定化することが可能である。ただし、離岸堤の背後の堆砂が見込まれる期間は、通過土砂量が減少するため系外から土砂を確保し養浜する必要がある。

第 2 案は、測点 No.20 から測点 No.60 までの区間の漂砂量を 4 万 $m^3$ /年に制御する方法である (図-16 (c))。日野川の供給土砂量 4 万 $m^3$ /年と均衡するため、サンドリサイクルを実施しなくても、海浜の安定化が図られる。ただし、離岸堤の背後の堆砂が見込まれる期間は、境港側に堆積する土砂を一時的にサンドリサイクルによって養浜する必要がある。

第3案は、第1案と第2案の折衷案であり、例えば境港側に堆積する4万 $m^3$ /年のうち2万 $m^3$ /年をリサイクルする方法である(図-16(d))。この場合、測点 No.20~No.40 までの漂砂量を6万 $m^3$ /年に制御する必要がある。これにより、弓ヶ浜半島のほぼ半分の区間は、無施設で海浜を安定化することができる。また、末端部で採取すればいいので、採取効率がよい。さらに、離岸堤の背後に堆砂が見込まれる期間に必要な土砂も、境港側に堆積する土砂を一時的にサンドリサイクルによって確保することが可能である。

これらの対策案が基本的なバリエーションであり、サンドリサイクルの費用(採取・運搬)と構造物の新設に要する費用や構造物や養浜が環境に与える影響などについて検討され、最適な対策が選定される必要がある。

#### 4. 九十九里海岸のヘッドランド計画

千葉県九十九里海岸は、太平洋に面する海岸延長約60kmの細砂からなる砂浜で、北側の屏風ヶ浦と南側の太東崎の海食崖が侵食され、その崩落土砂の供給により形成された海岸である(例えば、宇多、1997)。

屏風ヶ浦からの供給土砂については、宇多ら(2000)によれば、地質学的なスケールでは40万 $m^3$ /年、堀川・砂村(1971)は、1960年~1967年の侵食速度から30万 $m^3$ /年と推定されている。また、宇多ら(2000)では、地質年代スケールの漂砂量分布を推定し、屏風ヶ浦からの南向きの漂砂と太東崎からの北向きの漂砂の会合点は、片貝漁港の南約5km、真亀川の河口付近の地点と推定されている。崖を供給源として形成されてきた九十九里海岸であるが、崖の上の資産を防護するため崖侵食対策が実施された。このため、崖からの供給土砂が減少するとともに、沿岸構造物により漂砂が遮断され、両端から侵食が進行している。このため、千葉県において、ヘッドランドによる保全が進められ、新堀川河口付近まで10基の整備が進められている。ここでは、図-17に示す新堀川河口より片貝漁港までの海岸を対象に計画のバリエーションについて検討する。

まず、養浜量の基本的な量を検討する。宇多(1997)は、1982年~1989年の供給土砂量を9万 $m^3$ /年と推定しており、計画期間の30年間に270万 $m^3$ の土砂が系内に流入することになる。一方、図-18に汀線形状と来襲波の特性から求められる漂砂量分布を推定したものである。これによれば、各地点の漂砂量は、新堀川河口(11km)地点で約20万 $m^3$ /年、栗山川河口(17km)地点で約18万 $m^3$ /年、木戸川河口(20km)地点で約15万 $m^3$ /年となっている。以下、この漂砂量を基本漂砂量という。漂砂制御施設を整備した場合、計画立案時点の汀線形状を維持するには、平衡状態においては、漂砂制御施設の下手における基本漂砂量に対して不足する土砂量を養浜する必要がある。

しかし、平衡状態に達するまでにヘッドランドに捕捉される土砂や片貝漁港の堆砂による漂砂量分布の変化が予想されるため、汀線変化シミュレーションにより詳細に検討する。シミュレーションにおいては、漂砂制御構造物の下流で、限界汀線を維持するために必要な養浜を実施するものとした。また、養浜土砂は、片貝漁港上手の堆積土砂を使用することとする。

図-19に各対策計画の30年後の汀線予測・土砂収支、30年後の漂砂量分布、30年以降の対策案を示す。対策計画としては、計画Ⅰ 現整備区間の下手を無施設で防護、計画Ⅱ 栗山川河口まで漂砂制御施設を整備、計画Ⅲ 木戸川河口まで漂砂制御施設を整備の3ケースである。汀線変化シミュレーションの結果、30年間に計画Ⅰ 475万 $m^3$ (年平均15.8万 $m^3$ /年)、計画Ⅱ 220万 $m^3$ (年平均7.3万 $m^3$ /年)、計画Ⅲ 160万 $m^3$ (年平均5.3万 $m^3$ /年)の養浜が必要となる。また、30年後には計画Ⅰでは栗山川導流堤がヘッドランドの機能を発揮するため、基本漂砂量より少ない新堀川河口地点で24万 $m^3$ /年となり、サンドリサイクルで15万 $m^3$ /年の土砂を確保する必要である。この量は栗山川河口の基本漂砂量と一致している。計画Ⅱでは計画Ⅰに比べてサンドリサイクル量が少いため片貝漁港下手の堆砂が進行し、栗山川河口地点で基本漂砂量より少ない13万 $m^3$ が必要となり、サンドリサイクル量は4万 $m^3$ /年となる。計画Ⅲではさらに片貝漁港上手の堆砂が進行し、サンドリサイクルを行う必要がない。

計画Ⅰは構造物によらない対策といえるが、サンドリサイクルには維持的な費用の負担が必要であり、費用負担の問題を解決する必要があるとともに、施設の少ない海岸の便益評価を確立する必要がある。

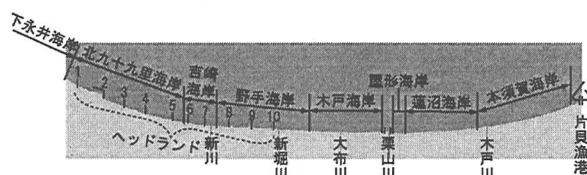


図-17 検討範囲

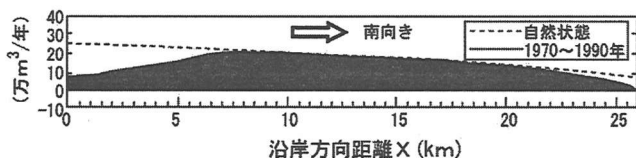


図-18 施設の無い場合の漂砂量分布図(推定)

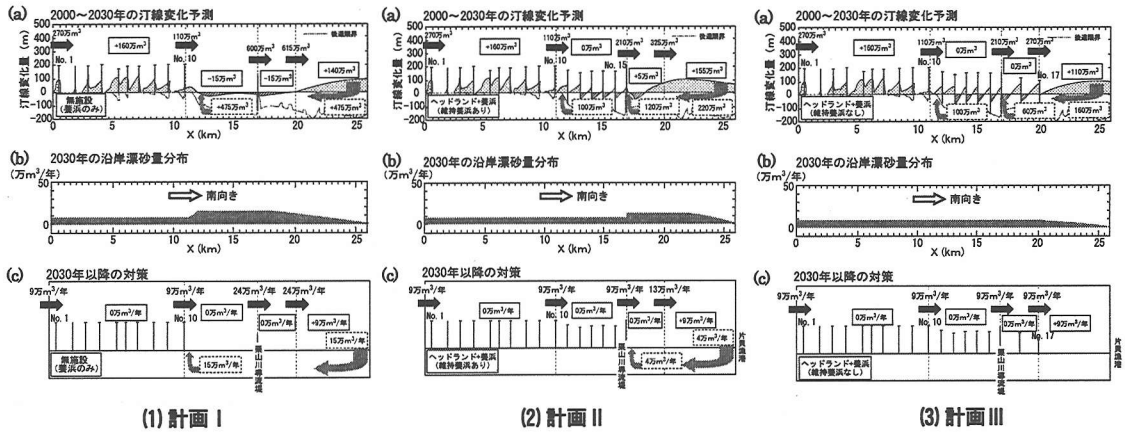


図-19 ヘッドランドと養浜を組み合わせた計画バリエーション (概念図)

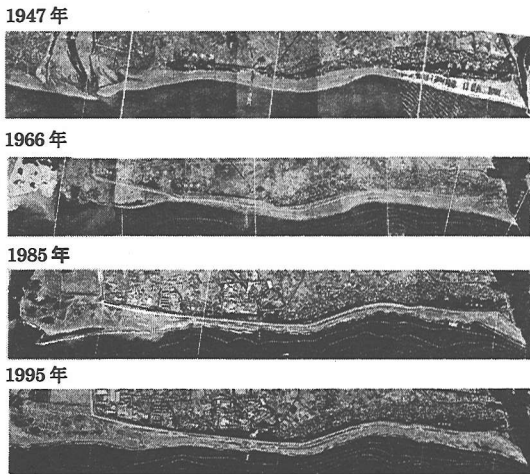
### 5. 富士海岸の養浜計画

富士海岸は、相模湾の湾奥に位置し、富士川からの供給土砂によって形成された海岸である。1961年に本格化した砂利採取は、1968年まで行われ、その量は $95 \text{万m}^3/\text{年}$ にも及んでいる(建設省, 2000)。この影響を受けて富士川下流の河床は著しく低下し、掃流力の減少に伴い河口からの供給土砂が減少し、富士海岸で侵食が見られるようになった。

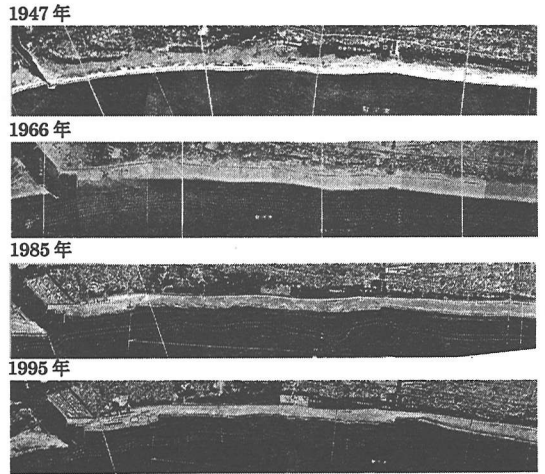
写真-4は1947年～1995年に撮影された航空写真である。富士川河口から田子ノ浦港防波堤までの写真-4(a)によれば、1947年は富士川での砂利採取が本格化する以前の状況であり、安定していた時期の汀線の状況を示している。1966年には図左端の富士川河口砂州が大きく後退し、図中央付近まで侵食されている。また、一方、1985年には河口部の地形が回復し、防波堤の漂砂下手側の堆砂が進み防波堤の先端まで達している。1995年には全体にわたり汀線が回復していることが確認される。

1962年に建設された田子ノ浦港の防波堤は、沿岸漂砂を遮断し、その下手での侵食を激化させた。田子ノ浦港から富士市と沼津市の市境付近までの写真-4(b)によれば、1947年には、田子ノ浦港の防波堤が建設される図左端は、滑らかな汀線を形成しており、沿岸漂砂は連続していた。1966年には田子ノ浦港の建設により汀線が分断されているとともに、田子ノ浦港の東側で侵食が確認される。この侵食は、東に向かって進行し、1985年には昭和放水路(図中の汀線が不連続な部分)まで消波堤が設置されている。1995年には昭和放水路が突堤となり、その漂砂下手で汀線が後退していることがはっきり確認される。

図-20は、2041年の汀線を予測した結果である。昭和放水路東側を無施設のまま放置すると、侵食は昭和放水路から東側2.5kmまで進行し、1.5kmの区間で堤防前面の砂浜が完全に消失することになる。富士海岸では前面の海底勾配が急なこともあり、昭和放水路以西は消波堤による汀線防護が進められてきたが、一方、昭和放水路以東は、手付かずの海岸が残っている貴重な海岸である。この海岸をできるだけ自然な海



(a) 富士川河口～田子ノ浦防波堤



(b) 田子の浦～市境

写真-4 富士海岸の航空写真による汀線比較

岸として保全することを目的として、1995年に「富士海岸侵食対策検討委員会」が設立された。

検討委員会では、新型離岸堤、ヘッドランド、養浜による保全が検討されたが、より自然な海岸が残せ、経済的である養浜による保全が推奨された。

図-21は2001年の漂砂量分布を推定したものである。この推定では、西側境界の田子ノ浦港側からの流入土砂量は0としている。また、汀線が消波堤に接触した場合、そこでの発生漂砂量は0としている。漂砂量分布の推定結果によれば、昭和放水路以東では、侵食により漂砂量が増加し、昭和放水路東側約2kmの地点で最大(6.6万m<sup>3</sup>/年)となっている。その東側では徐々に漂砂量が減少し、東側境界の沼津港では0となっている。この漂砂量の減少は、沼津港に向かうほど波浪エネルギーが減少することと、沖合いへの土砂流出を考慮していることによる。したがって、6万m<sup>3</sup>/年強の養浜を実施すれば、昭和放水路以東の海岸は、無施設で保全することが可能であると考えられる。

図-22は、汀線の回復を図るため初期の9年間、7.4万m<sup>3</sup>/年の養浜を行い、その後6.6万m<sup>3</sup>/年の養浜を昭和放水路東側1km区間で実施した場合の2040年1月の汀線予測結果である。昭和放水路東側300m区間については、局所的に後退しているが、その東側では堆積が見られ、安定した汀線が形成されているようである。

図-23は、養浜した場合の2040年の漂砂量分布図である。漂砂量の最大は、養浜区間の下手側で発生し、その量は6.6万m<sup>3</sup>/年となっており、養浜量と均衡が取れているのが確認される。また、下手側ほど漂砂量が少なくなっており、全体的に安定していることが確認される。

現在、委員会の提言を受けて、養浜の具体化に向けて検討が進められているが、「いかに安価で現地の底質に近い良質な養浜材料を安定的に確保するか。」が、最も重要な課題である。安定に養浜材料が確保できる可能性がある箇所としては、①富士山大沢崩れの土砂が堆積する大沢扇状地の砂防施設、②富士川河口～田子ノ浦防波堤、などが考えられる。

富士川河口～田子ノ浦防波堤間の土砂量変化を示している図-24によれば、河口側では1985年～1992年にかけて急激に土砂量が増加し、近年では堆積速度は約3万m<sup>3</sup>/年で安定化している。一方、田子ノ浦防波堤側では1991年から堆積が始まっており、その堆積速度は16万m<sup>3</sup>/年となり、堆積波が田子ノ浦防波堤まで達したと判断することができる。

これらの堆積速度には、河口側で3万m<sup>3</sup>/年、田子ノ浦防波堤側で6万m<sup>3</sup>/年の養浜(砂防堰堤の堆積土砂)が含まれており、これを差し引くと堆積速度は河口側では0、田子ノ浦防波堤側では10万m<sup>3</sup>/年となり、田子ノ浦防波堤側からは良質で十分な量の養浜材を確保することができる。また、富士川からの供給土砂の内、富士海岸の底質に相当する粒度10～100mmの土砂の供給量は、建設省(2001)の河床変動予測計算によれば、今後30年間に約600万m<sup>3</sup>(年平均20万m<sup>3</sup>)流出すると予測されており、直接河口沖へ流

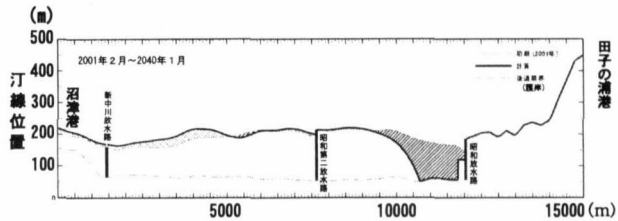


図-20 2040年汀線予測(現状トレンド)

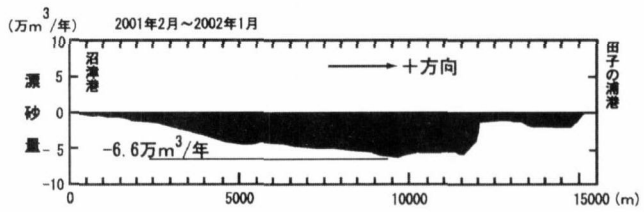


図-21 漂砂量分布(現状)

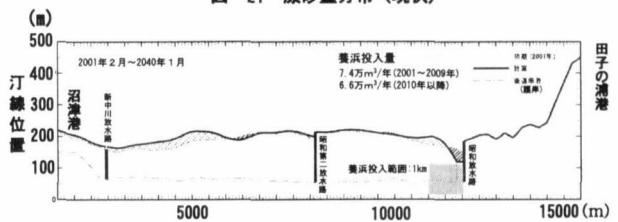


図-22 2040年汀線変化予測(養浜あり)

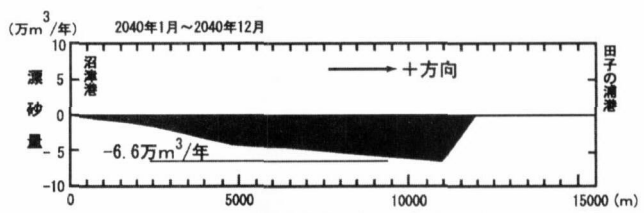


図-23 2040年漂砂量分布図(養浜あり)

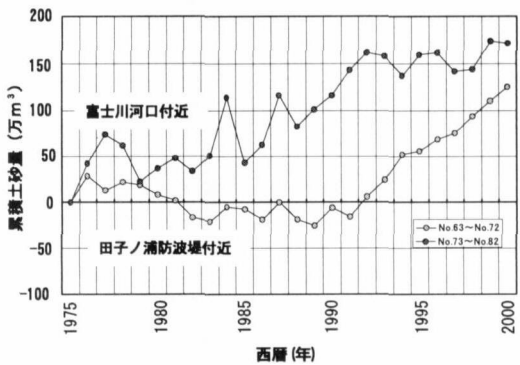


図-24 富士川左岸の累積土砂量

出する土砂や、田子ノ浦防波堤に到達する間に沖に流出する土砂量を考慮する必要があるが、将来的にも安定的に供給することが可能と考えられる。

今後の技術的な課題は、どのようにして安価にサンドバイパスを実施するか、残された田子ノ浦港から昭和放水路間の復元をいかに行うか、である。

## 6. 結び

海岸侵食災害は、資産としての土地、そこでの経済活動や海岸保全施設に被害を及ぼすとともに、生態系や歴史・文化の基盤の破壊といった側面を有している。

海岸保全計画の立案者が、海岸を災害の原因、加害者として捉え、経済被害の軽減を目的に計画を策定するのであれば、堤防と消波ブロックの計画が、維持管理費を含めても経済的かもしれない。しかし、海岸防護のみを目的とした計画では、侵食によって消失しつつある海岸の多様な価値を、復元することは不可能であり、さらに劣化させる場合もある。

また、「海岸保全」という言葉は、「海岸保全施設」に代表されるように、行政に携わる者にとって、「防護」の意味合いが強い。しかし、国民が「海岸保全」という言葉から連想するイメージは、むしろあるがままの海岸を維持するといった側面が強いように思われる。したがって、「海岸保全」を国民のイメージに近づけるためにも、海岸侵食対策は、海岸侵食によって失われる総体を把握し、その防止・復元を目的とすることが必要である。

第2章では、侵食対策計画のフローの提案を試みた。フローの策定に当たり留意した点は次の点である。

- (1)「海岸の防護」のために海岸の有する機能を劣化させることは避けなければならない。このためにも、海岸保全計画の目的を、海岸の有する機能に着目し、その機能を増進するとともに、海岸災害を防止することと位置づけ、海岸の有する機能を改めて認識する必要がある。
- (2)海岸侵食に関しては、土砂環境の変化を既与の条件とするのではなく、国土管理の観点から前提条件についても議論する必要がある。
- (3)漂砂制御施設により背後もしくは漂砂上手に堆砂させることにより、汀線の回復を図ろうとすると、その下手側の海岸の侵食が助長される。侵食対策において、汀線を回復させることと、汀線を維持させることに分離する必要がある。
- (4)計画の内容は、技術に裏付けられながら、海岸管理者が市民と議論できるフォーマットでなければならない。難しい計算の内容より、必要十分な内容を如何にシンプルに提示できるかが重要である。
- (5)地域によって海岸に対する価値観が異なることを認識しなければならない。計画の検討段階において、できるだけ多くの選択肢を提示し、できるだけ多くの人と議論を積み重ねる中で、計画対象地域の特性に応じて、プライオリティは付けられていくと考えられる。

第3、4、5章では、養浜を含む保全計画について事例を紹介した。皆生海岸、九十九里海岸は、養浜と漂砂制御施設の分担の在り方を検討した事例である。富士海岸は、サンドバイパスの可能性を検討した事例である。養浜を含む計画は、低コストで良質な養浜材料を安定的に確保することが課題となる。また、公共事業における維持的経費の負担といった新たな形態の負担に、国民の理解が得られるか否かが、動的養浜の今後の成否を握っている。しかし、国民の多くは自然な海浜を願っているが、そのための費用負担については議論が十分とはいえない。

海岸保全計画が国民にとって身近な存在となり、多くの国民が海岸保全の議論に参加し、国民の望む海岸保全が進められることを願う。

## 謝辞

本稿の作成にあたり、国土交通省中部地方整備局沼津工事事務所、中国地方整備局日野川工事事務所より多くの資料をお借りした。また、国際航業(株)、(株)INA、国土技術政策総合研究所海岸研究室の方々には、資料の作成をお手伝い頂いた。ここに、ご協力いただいた皆様に改めて感謝の意を表します。

## 引用文献

- 宇多高明, 1997: 日本の海岸侵食, 山海堂, 442P  
宇多高明・高田修・星上幸良・芹沢真澄・三波俊郎・古池綱(2000): 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  
運輸省港湾局監修(1992): ビーチ計画・設計マニュアル, 山海堂, 118P  
運輸省港湾局監修(1991): 面的な海岸防護方式の計画・設計マニュアル, (社)日本港湾協会, 209P  
海岸保全施設築造基準連絡協議会編集(1987): 海岸保全施設築造基準解説, (社)全国海岸協会, 269P  
大富将範・大牟田一美・西隆一郎(2001): ウミガメ保護に関する海岸工学的考察, 海岸工学論文集第48巻, pp. 1201-1205  
加藤史訓・鳥居謙一・橋本新(2001): 海浜植物の生息に必要な砂浜幅の検討, 海岸工学論文集第48巻, pp. 1216-1220  
栗山善昭(2001): 広域土砂収支図作成の試み, 2001年度(第37回)水工学に関する夏期研修会講義集Bコース, 土木学会, pp. B-5-1~13  
建設省(2000): 平成12年度建設省技術研究会指定課題, 建設省大臣官房技術調査室, pp18-1~69



建設省 (2001) : 平成 13 年度建設省技術研究会指定課題, 建設省大臣官房技術調査室, pp6-1~48  
建設省河川局監修 (1997) : 建設省河川砂防技術基準(案)同解説・計画編, 山海堂  
建設省河川局海岸課監修 (1994) : 海岸保全計画の手引き, (社)全国海岸協会, 170P  
建設省河川局海岸課監修 (1992) : 人工リーフの設計の手引き, (社)全国海岸協会  
建設省中国地方整備局倉吉工事事務所 (現国土交通省中国地方整備局日野川工事事務所) (1994) : 皆生海岸 波との闘い, 日野川工事事務所  
建設省北陸地方整備局 (現国土交通省北陸地方整備局) 黒部工事事務所 (1990) : 陸と海のはざままで, 黒部工事事務所  
貞方昇 (1996) : 中国地方における鉄穴流しによる地形環境変貌, 溪水社  
土木学会海岸工学委員会海岸施設設計便覧小委員会 (2000) : 海岸施設設計便覧, 丸善, 582P  
土木学会海岸工学委員会研究現況レビュー小委員会 (2001) : 新しい波浪算定法とこれからの海域施設の設計法, 丸善, 255P  
土木学会海岸工学委員会研究現況レビュー小委員会 (1998) : 漂砂環境の創造に向けて, 丸善, pp246-253  
鳥居謙一・山本幸次・高木利光 (2001) : 沿岸漂砂量図を活用した侵食対策計画の評価手法の提案, 海岸工学論文集第 48 巻, pp. 1378-1350  
日本第四紀学会編 (1987) : 日本第四紀地図, 東京大学出版会  
福島雅紀・鳥居謙一・田中茂信 (2000) : 海岸保全施設としての砂浜の確率的手法による変動量評価, 海岸工学論文集第 47 巻, pp. 701-705  
堀川清司・砂村継夫 (1969) : 千葉県屏風ヶ浦の海岸侵食について-航空写真による海食崖の後退に関する研究・第 2 報-, 第 16 回海岸工学講演集, pp. 289-296  
山本幸次(2002) : 漂砂系における海浜地形の変化過程に関する研究 (印刷中)  
John B. Herbich (2000) : Handbook of Coastal Engineering, McGraw-Hill, 10-1~33  
U. S. Army Corps of Engineers (2001) : Beach Fill Design (Draft Version), Coastal Engineering Manual, Part V, Chapter 4, 114p(<http://www.wes.army.mil/export/home/http/htdocs/chlc/PartV-Chap4.pdf>)