

# 侵食域の前浜上における 砂鉄層形成のメカニズム

FORMATIVE MECHANISM OF IRON SAND LAYER  
ON FORESHORE OF ERODED BEACH

宇多高明<sup>1</sup>・熊田貴之<sup>2</sup>・芹沢真澄<sup>3</sup>・星上幸良<sup>4</sup>・三波俊郎<sup>5</sup>・小林昭男<sup>6</sup>  
Takaaki UDA, Takayuki KUMADA, Masumi SERIZAWA, Yukiyoshi HOSHIGAMI,  
Toshiro SAN-NAMI and Akio KOBAYASHI

<sup>1</sup>正会員 工博 (財) 土木研究センター審議役なぎさ総合研究室長  
(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

<sup>2</sup>正会員 博(工) (株) 水圏科学コンサルタント技術部  
(〒145-0064 東京都大田区上池台1-14-1 明伸ビル)

<sup>3</sup>正会員 海岸研究室(有) (〒160-0011 東京都新宿区若葉1-22 ローヤル若葉208)

<sup>4</sup>正会員 国際航業(株) 海洋エンジニアリング部 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘3-6-1)

<sup>5</sup>海岸研究室(有) (〒160-0011 東京都新宿区若葉1-22 ローヤル若葉208)

<sup>6</sup>正会員 工博 日本大学助教授 理工学部海洋建築工学科  
(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

Formative mechanism of iron sand layer on the foreshore of the eroded beach was investigated through field observation and numerical simulation considering density difference of the bed materials. Field observation was carried out at the Ohga coast in Tateyama Bay. On this coast, a river mouth jetty was built, resulting in the formation of wave shadow zone. Sand was transported by longshore sand transport from outside to inside the wave shadow zone. Eroded beach was covered by the black sand containing much iron sand. Accumulation mechanism was predicted by the one-line model of beach changes, considering density difference of the bed materials. Observed phenomenon was well explained by this model.

**Key Words :** Iron sand, longshore sand transport, one-line model, Ohga coast

## 1. はじめに

千葉県館山市の大賀海岸は館山湾南側に位置する全長800mのポケットビーチである。海岸東端には蟹田川河口導流堤があり、それが波の入射方向に対して斜めに延ばされているために周辺海岸から波の遮蔽域へ向いた沿岸漂砂が誘起され、遮蔽域の外側では侵食が、遮蔽域内では堆積が生じている。現地踏査により汀線付近を詳細に調べたところ侵食区域では砂鉄が前浜を覆っており、逆に導流堤背後の堆積域では貝殻を多く含む白っぽい砂層であることが見出された。これは各地の海岸でしばしば見られる現象であるが、その定量的予測モデルは存在しない。

本研究では、発見的研究としてまず大賀海岸を対象とした現地調査を行い、その上で、熊田ら<sup>1)</sup>のモデルを拡張してこの現象の予測モデルを構築した。

## 2. 大賀海岸の概要

大賀海岸は千葉県館山市の館山湾南側に位置し、東側の海上自衛隊館山航空基地と西側の香(こうやつ)漁港に挟まれた、全長800mのポケットビーチである。汀線は概ね北西方向に面しており、特に冬季の風浪が来襲しやすい。ここでは戦後、漁港や河口導流堤、離岸堤、護岸等の施設が建設されているが、局所的な汀線後退に伴う浜崖形成や越波等の問題が生じている。

当海岸の前面海域では、戦前に滑走路の建設に際して大量の砂が採取された経緯がある。その後館山航空基地の背後を流れる蟹田川の河口処理の一環として河口に導流堤が建設された。この導流堤は波の入射方向に対して斜めに延ばされたために、その背後に波の遮蔽域が形成され、それによって周辺海岸

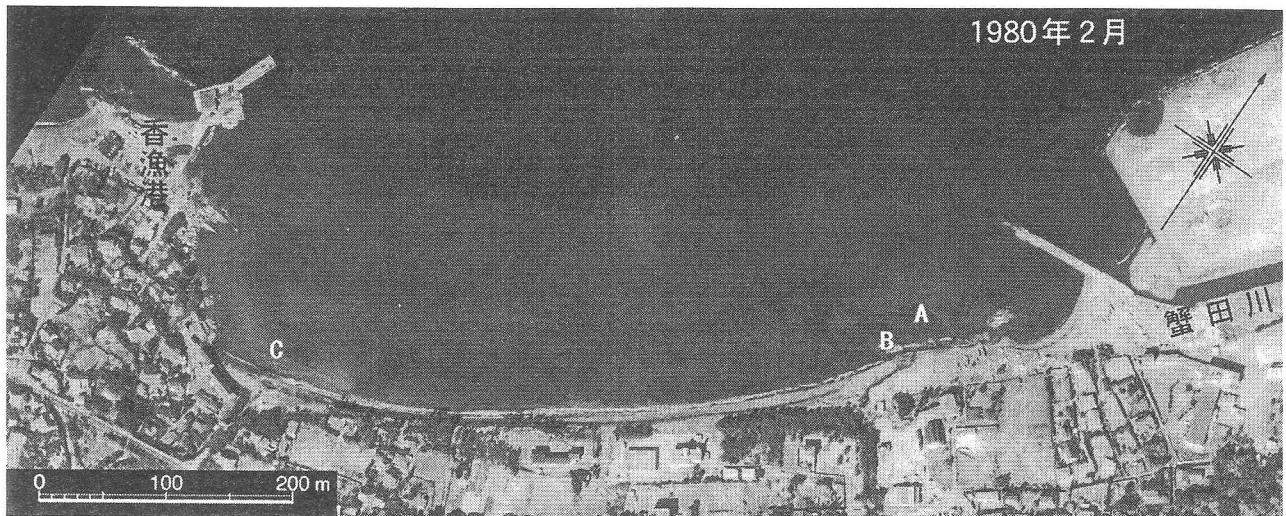


写真-1 大賀海岸の空中写真（1980年2月）

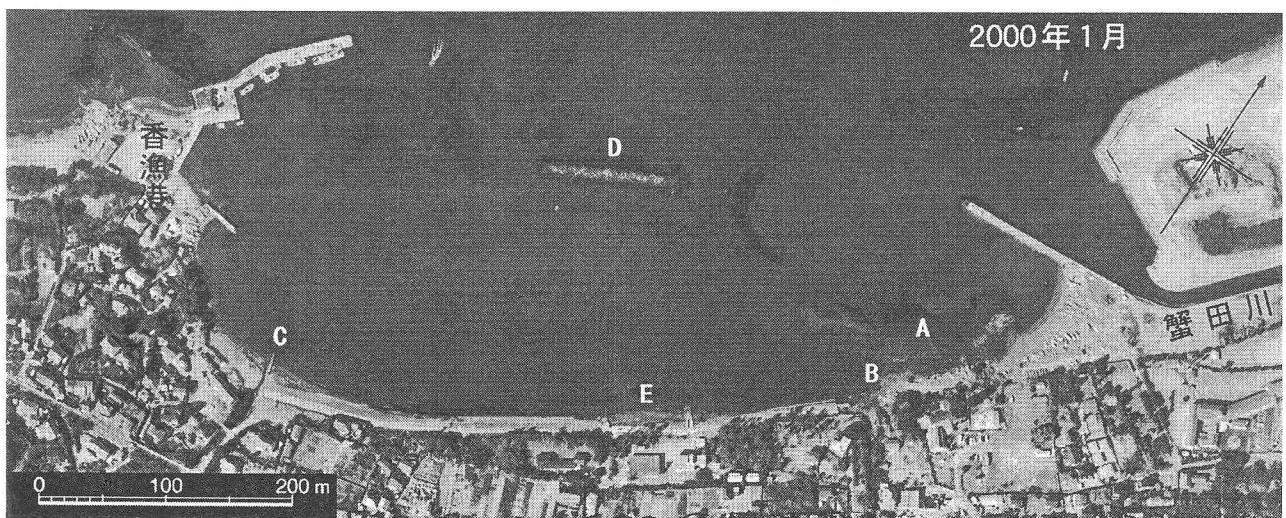


写真-2 大賀海岸の空中写真（2000年1月）

から波の遮蔽域へ向いた沿岸漂砂が誘起され、遮蔽域の外側では侵食が、遮蔽域内では堆積が生じた。

### 3. 空中写真的判読

#### (1) 空中写真的判読手順

千葉県館山市の館山湾に面する大賀海岸では、1947年以降2002年までに37回の空中写真撮影が行われてきている。一般に、海浜変形解析では空中写真による汀線変化の判読がその常套手段となっている。しかしながら本研究では、いわゆる海浜変形ではなく、海浜表面への砂鉄分の集積現象を明らかにすることに主眼を置くために、汀線変化情報も必要なものがあくまでも砂鉄の集積現象を説明するのに必要とされる最小限のものでよく、これには侵食・堆積区域を明確に区分し、それぞれの区域における前浜材料特性との関係を明らかにすることで十分である。なぜなら、侵食・堆積以前と、それが生じてほぼ安定状態となった段階での観察により現象の基本的理得を得ることこそ重要であり、海浜変形に関する詳

細な分析結果の記述はむしろ本質の理解を妨げることになると考えるからである。このことから、人工構造物建設に伴う侵食・堆積現象を最もよく表す空中写真のみを選定し、それによってまず現象の基本的理解を進めることにする。代表的な写真としては、まず香漁港の延長75mの防波堤はすでに存在していたが、蟹田川の導流堤が延ばされた直後で、大賀海岸の海浜形状に大きな変化が見られない時期として1980年2月を選定する。また、香漁港の防波堤が140mまで延長されると同時に、海岸中央部沖に延長105mの離岸堤が設置され、さらに蟹田川の河口導流堤が1985年までに現況と同じ長さとなってから15年が経過し、人工構造物の建設に伴う海浜変形が終息して安定海浜に近づいたと考えられる2000年1月の空中写真を選定し、これら2枚の空中写真の比較を行う。

#### (2) 1980年2月撮影の空中写真的判読

写真-1に示すように大賀海岸はほぼSW-NE方向に延びる延長約800mの海岸線である。南西端には香漁港の防波堤が、また北東端には西向きに延長

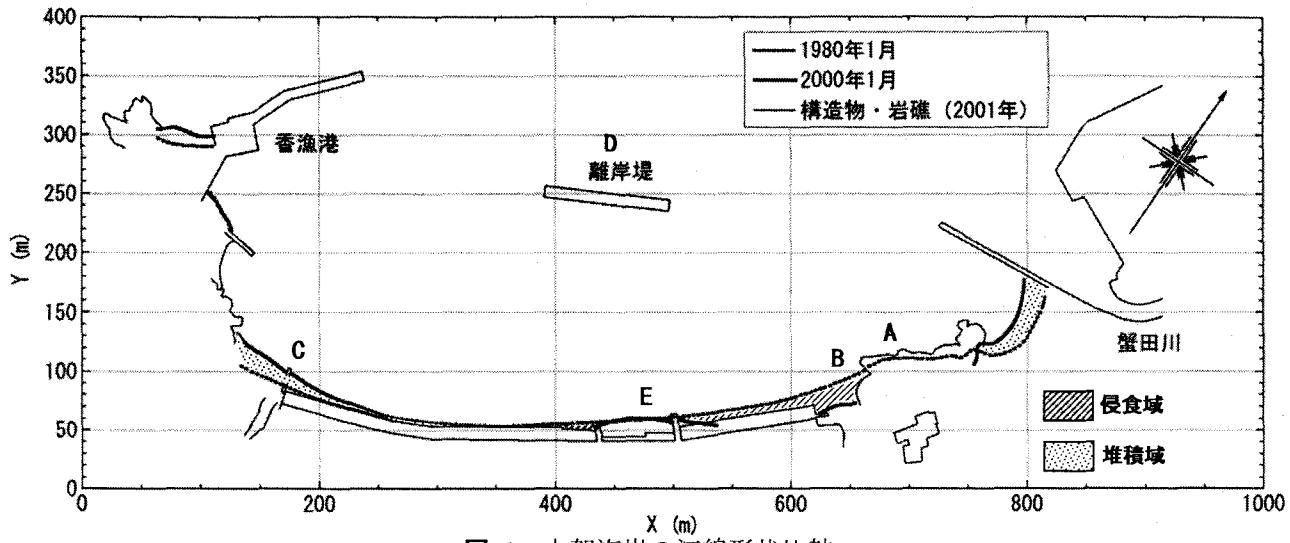


図-1 大賀海岸の汀線形状比較

100mの蟹田川河口導流堤が延びており、これらによって両端が区切られたポケットビーチである。海岸線状況を観察すると、香漁港背後の南東端付近から蟹田川河口に隣接する岩礁（A）付近までなだらかな汀線形状を有していた。A付近にある岩礁は海面下まで広がっており、それが消波効果を発揮していたためその背後に砂が堆積してトンボロが形成され、周辺部と比較して汀線が突出していた。詳細に観察すると、岩礁Aの中心部やや南西側に小河川Bが流入していたが、この小河川は右に蛇行して波浪の静穏な岩礁域の背後で海へ流入していた。一方、蟹田川河口導流堤の背後では波の遮蔽域が形成されたために湾入汀線が形成されている。またこの当時蟹田川河口には砂州が形成されていた。

### (3) 2000年1月撮影の空中写真の判読

写真-2に示すように1980年と比較して香漁港の防波堤は約75m、蟹田川河口導流堤は約45m延長された。ポケットビーチ中央部の海岸線への法線の方向がほぼNWであることを考慮すれば、これらの施設の背後では波の遮蔽域が広がったことが明らかである。またポケットビーチの中央部沖約200mには延長約105mの離岸堤が建設された。これらの施設の建設により各施設の背後で波の遮蔽域が形成され、そこでは砂の堆積が、同時に周辺部では侵食が起きた。それらが最も顕著に現れているのは香漁港背後の流入河川Cの河口付近の前浜であり、ここでは汀線が最大約20m前進した。また離岸堤の背後でも小規模な舌状砂州が形成された。しかし香漁港と離岸堤の遮蔽域外に出る部分では緩傾斜護岸が露出し護岸の先が直接波に洗われる状況となっている。こうした状況の分析は酒井ら<sup>2)</sup>で示した手法によって分析可能であるが、それは本研究の主旨と異なるのでここでは行わない。ただし、卓越入射波の方向を推定しておくことは必要なので写真から特性を読み取っておく。

離岸堤背後の舌状砂州の形状に着目すると、離岸堤を二分する線上に舌状砂州のピークはなく北東方

向に約40mずれている。このことは卓越波の入射方向が離岸堤を二分する線より西側にやや傾いていることを意味する。そこで離岸堤の中点をD、舌状砂州の最突出点をEとすれば、離岸堤を挟んだ両側の海底地形に大きな変化がないとすれば、D、Eを結ぶ直線を引けばこれがほぼ卓越入射方向を与えることになる。この方向角はN36°Wである。

本研究で最も注目するのは東部の河口蟹田川導流堤とその近傍の岩礁部分の汀線変化である。岩礁A付近では大きく汀線が後退し、逆に蟹田川河口導流堤の背後では汀線が顕著に前進した。すなわちその背後にかなり大きな波の遮蔽域を形成する導流堤が延びたためにその背後での堆砂が促進され、土砂供給のために岩礁A周辺で著しく汀線が後退したのである。岩礁A付近では1980年には小河川がその中央部に接近しながら海へ流入していたが、侵食の結果岩礁A付近では前浜が消失し、河川は直線的に海に注がれる状況となった。この小河川ではその後河口への波浪侵入度が増加したことにより左岸側から約25mの小規模な導流堤が延ばされた。

なお1980年当時蟹田川河口内に存在した河口砂州は浚渫が行われた結果2000年には完全に消失している。

以上のように蟹田川河口導流堤の建設によって形成された波の遮蔽域に向かって全体として北東への沿岸漂砂が生じ、土砂の供給源となった岩礁Aの背後の砂浜は消失したことが分かる。図-1は上述の2時期の空中写真をもとに汀線変化をまとめたものである。背後にかなり大きな波の遮蔽域を形成する導流堤が延びたためにその背後で堆砂が促進され最大約20m汀線が前進し、土砂供給のために岩礁A周辺で著しく汀線が後退した。

### 4. 現地踏査

2002年9月1日こうした状況を調査するため大賀海岸の現地踏査を行った。写真-3は導流堤上からそ

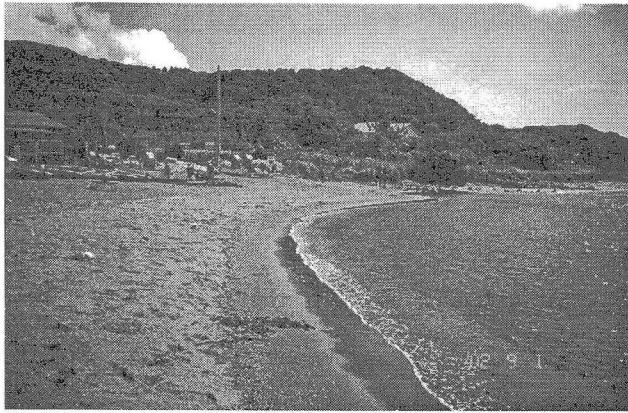


写真-3 大賀海岸東端の河口導流堤上から西側に広がるポケットビーチ

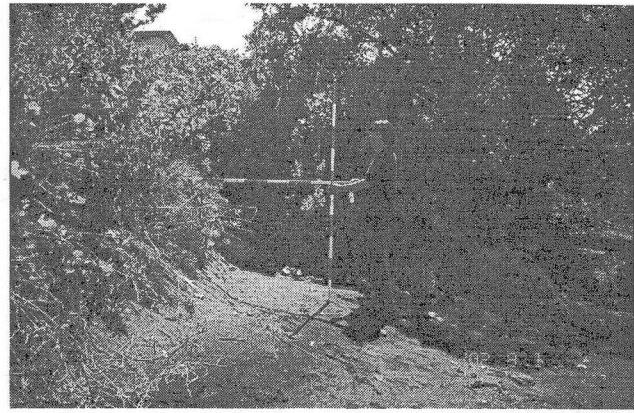


写真-6 侵食により形成された浜崖（浜崖の高さ約1.1m）

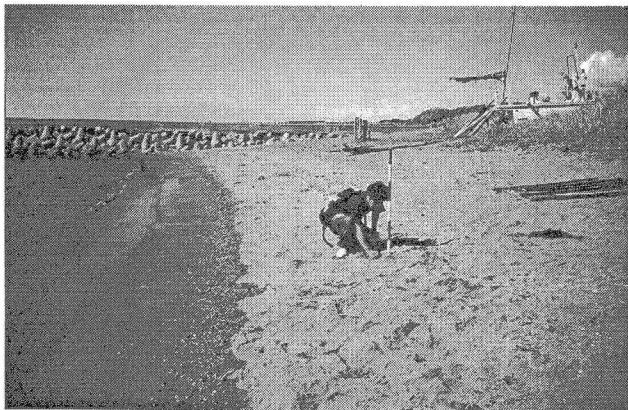


写真-4 導流堤近傍の前浜上におけるサンプリング

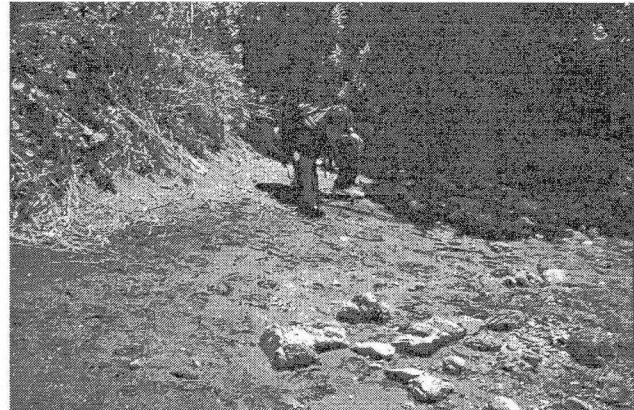


写真-7 浜崖形成域の前面に残された礫と砂鉄で覆われた表面

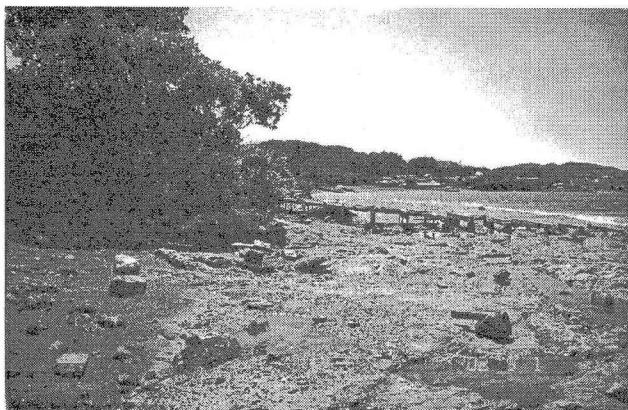


写真-5 侵食されて露出した基盤

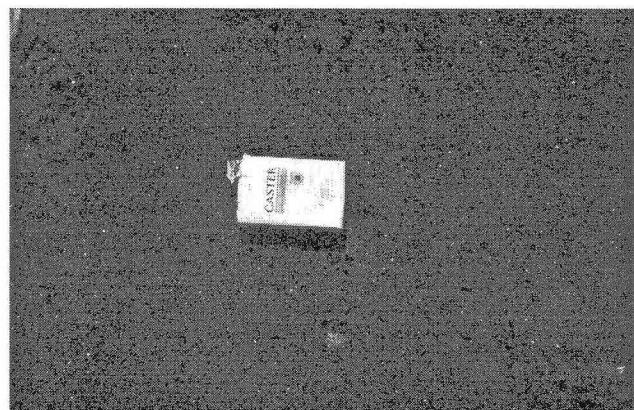


写真-8 砂鉄で覆われた海浜表面の状況

れに隣接する海浜を撮影したものである。この海浜は斜め導流堤の建設に伴って形成されたものであり、全体的に弓形のポケットビーチとなっている。海浜は、導流堤との接点付近で最も幅が広く、西側に離れるに従い砂浜幅は狭まる。遠方では砂浜幅が次第に狭まり、写真中央やや右側でこんもり見える林付近では砂浜が見えなくなる。この付近は導流堤の付け根方向へと砂が運び去られたために著しい侵食を受けた場所である。

写真-4は堆積域と侵食域での海浜砂の構成材料の違いを調べるために行った前浜構成材料調査のうち、

堆積域での海浜砂の採取状況を示すが、ここでは貝殻分を多く含んだ白っぽい砂が堆積している。写真上部に見えるのが写真-3を撮影した導流堤である。

写真-3に示したように、弓形に延びた小規模なポケットビーチが終わる場所では侵食の結果基盤が露出している。この状況を撮影したのが写真-5である。この付近では軟岩上に少なくとも数十cm厚の砂層が存在したが、沿岸漂砂によって砂が運び去られたために基盤が露出したものである。基盤が露出しただけではなく、重量が大きいために波の作用で運ばれることのない大重量の石やコンクリート塊が岩盤上

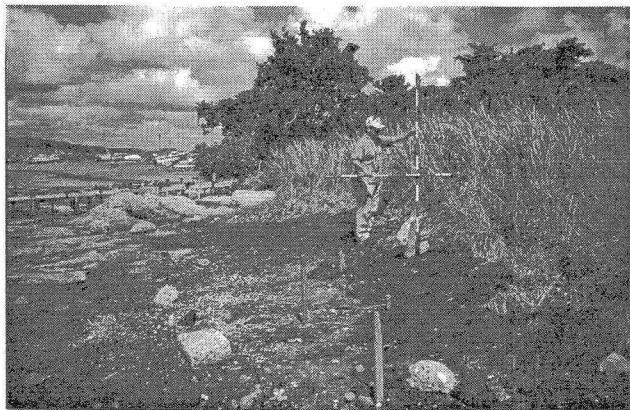


写真-9 写真-3に示した浜崖形成区域の西側の侵食区域



写真-10 砂鉄で完全に覆われた前浜

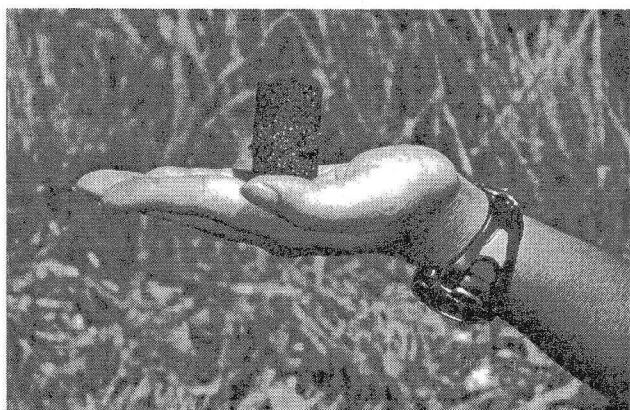


写真-11 コアサンプル（表面から約2cmは砂鉄が集積している）

に散乱している。一方、岩盤より岸側でも大重量の石が残されているだけではなく、前浜が黒い砂鉄分で覆われている。写真-5の左端付近の林の前面の海浜状況を示すのが写真-6である。写真に示すように、背後地の地盤と海浜地盤との間に大きな落差（浜崖）ができるおり、浜崖の高さは1.1mと読める。また観測者の立つ付近は勾配の緩やかな斜面ができるおり、海浜表面は砂鉄で覆われているため黒い。この付近の海浜の詳細状況は写真-7のようである。また表面状況を撮影したのが写真-8である。侵食域での前浜表面の状況は、導流堤に隣接する堆積域での

砂浜状況（写真-4参照）とは全く異なることがよく分かる。

一方、侵食域は写真-5に示したように大きな木を回り込んだ西側区域にまで広がっている。写真-5に示した木を西側から撮影したのが写真-9であるが、ここでも同様にして浜崖が形成されている。浜崖の高さは約0.9mである。木の東側の海浜と比較して浜崖の高さは0.2m低下しているものの、ここでもかなり激しく侵食されたことが分かる。海浜には重量の大きな石が散乱すると同時に、黒い砂鉄分が多く残されている。海浜状況の詳細写真が写真-10である。前浜全面が砂鉄で覆われている。写真で観測者が指差す場所でコアサンプリングを行った結果の一例を示すのが写真-11である。表面から約2cmが砂鉄で覆われており、下層とは明瞭な違いを示す。この付近は写真にも示したように侵食されて海浜地盤高が低下した場所である。その際、海浜中に含まれた重量の大きな石およびコンクリート塊が残されると同時に、比重の大きな砂鉄分もまた集中的に残されたと考えられる。写真に示すコアの上層の約2cmに集中しているのは約0.9m厚の砂層が削り取られる際、砂層の構成土砂内の砂鉄の体積含有率に応じて表層に砂鉄の層が集まつたためと推定される。

## 5. 鉱物毎の分級を考慮した汀線変化モデルの構築

### (1) モデルの構築

以上の調査結果をもとに砂鉄層の形成を再現することにした。現象を再現するために、鉱物毎の分級を考慮した汀線変化モデルを新たに構築した。鉱物組成の分級過程を考慮するためには、混合状態の鉱物毎の沿岸漂砂量の算定が必要である。従来のCERC型漂砂量式には、鉱物の密度が考慮されているが、鉱物組成の分級過程は考慮できなかった。そこで、CERC型漂砂量式に波が作用する交換層内の鉱物毎（ $N$ 種類）の含有率  $\mu^{(K)}$  ;  $K = 1 \sim N$  を新たに考慮して次式を考案した。

$$Q^{(K)} = \mu^{(K)} \cdot \left( \frac{\rho}{\rho_s^{(K)} - \rho} \right) \cdot K \cdot (EC_g)_b \cos \alpha_{bs} \sin \alpha_{bs} \quad \cdots (1)$$

ここに、 $\rho$  は海水の比重、 $\rho_s^{(K)}$  は鉱物毎の比重、 $K$  は漂砂量係数を示す。ここでは、モデルの単純化を図り単粒径を仮定し、砂の空隙率は考慮しない。鉱物毎の汀線変化量は鉱物毎に連続式で算定し、混合状態の汀線変化量はこれらを合計した。交換層内での鉱物毎の含有率算定は、熊田ら<sup>1)</sup>の交換層内での粒径毎の土砂収支式を準用した。交換層厚さはKraus<sup>3)</sup>に従って定義した。計算は以上の式を連立して解いた。

### (2) モデルの検証

砂鉄層の集積が見られた区域は、隣接する蟹田川河口導流堤による波の遮蔽効果によりその背後へと

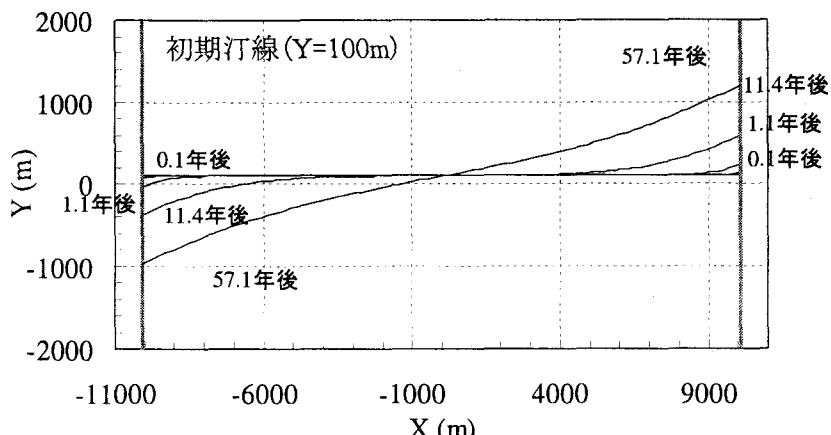


図-2 仮想海岸の汀線変化（計算結果）

初期値

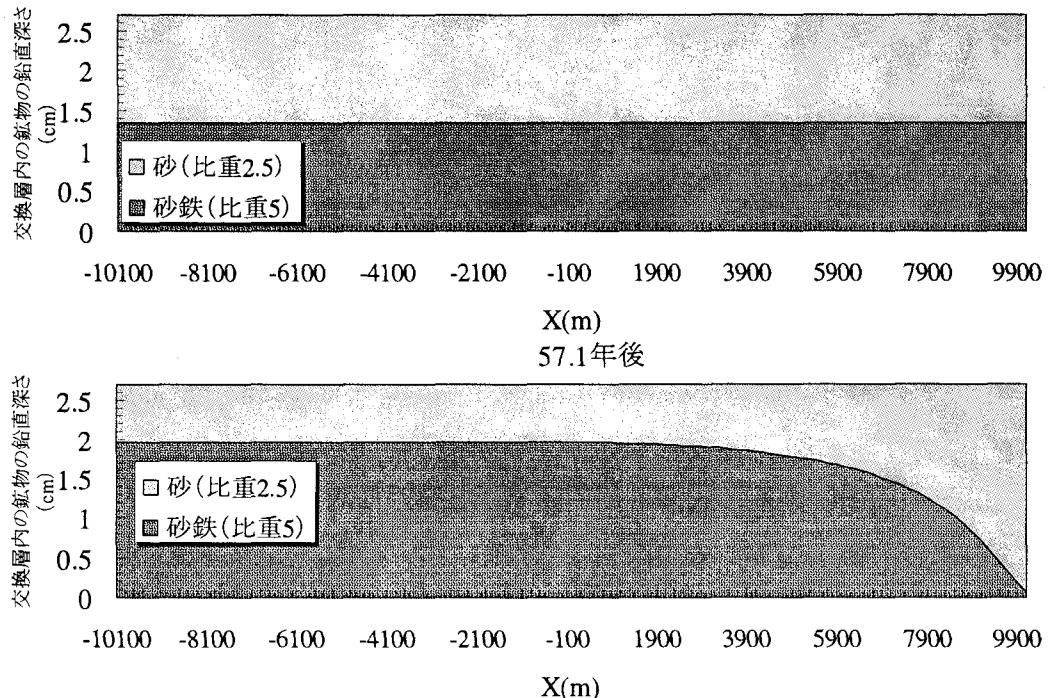


図-3 仮想海岸交換層内の鉱物の鉛直深さ

沿岸漂砂によって運び出された場所である。現象の本質部分は、沿岸漂砂によって土砂が運び出されるとき砂鉄層が残され、逆に土砂が堆積する場合には軽い砂が堆積するというものである。そこで現象ができるだけ単純化し、卓越した沿岸漂砂が突堤によって阻止される場合を想定した。いま  $H_b=1\text{m}$ ,  $\theta=10^\circ$ 、初期勾配 $1/10$ の海岸の両端に突堤があつて沿岸漂砂が阻止されるとする。混合の鉛直深さを $2.7\text{cm}$ 、砂の比重を $2.5$ 、砂鉄の比重を $5$ 、砂と砂鉄の構成比を $1:1$ とする。図-2は汀線変化である。突堤の下手側では汀線が後退し、上手側では前進するという通常の結果が得られる。図-3は、交換層内の鉱物の鉛直深さの経時変化を示す。なお、交換層の位置は汀線の変化と共に変化するため、図-3の交換層内では鉱物毎の土砂収支は満足していないように見えるが、海岸全体としての土砂収支は満足している。初期状態では砂と砂鉄の構成比が同一と仮定したが、沿岸漂砂の作用で右向きに砂が運ばれ、侵食域では

砂鉄の構成比が増大する。十分長い時間（57.1年）が経過した後、堆積域周辺を除いてかなり広い範囲が砂鉄で覆われ、現地での現象をかなり良く再現できる。このように、本研究により侵食域に砂鉄層が残される現象を理論的に明らかにすることができた。

#### 参考文献

- 1) 熊田貴之・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・星上幸良・増田光一：混合粒径砂の分級過程を考慮した海浜変形モデルの開発、海岸工学論文集、第49巻、pp.476-480、2002。
- 2) 酒井和也・小林昭男・熊田貴之・芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎：3次元Hsuモデルによるポケットビーチ内の護岸周辺の静的安定海浜形状の予測、海岸工学論文集、第49巻、pp.631-635、2002。
- 3) Kraus, N. C.: Field experiments on vertical mixing of sand in the surf zone, J. Sedimentary Petrology, Vol.55, pp.3-14., 1985.