

土木研究所報告

第 179 号

目 次

阿字ヶ浦海岸における海浜地形の長期的変動とその原因.....	宇多高明
	小俣 篤
	斉藤友伸

平成元年 8 月

建設省土木研究所

Copyright © 1989年 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

阿字ヶ浦海岸における海浜地形の長期的変動と その原因

宇多 高明*
小俣 篤**
斉藤 友伸**

LONG-TERM BEACH CHANGES AND THEIR CAUSES AT AJIGAURA BEACH, IBARAKI PREFECTURE, JAPAN

By Dr.Takaaki UDA
Atsushi OMATA
Tomonobu SAITO

要旨

1976年から1986年にかけて茨城県の阿字ヶ浦海岸において毎週1回の割合で取得した海浜断面形状、底質、波浪特性のデータを用い、海浜地形の長期的変動を解析した。海浜断面形状の解析には経験的固有関数法を用いた。汀線位置、波向、前浜勾配は、1982～1983年にその平均的な値が著しく変化し、同時にそれらの周期的な変動特性にも変化を生じた。解析の結果より、汀線位置と前浜勾配の平均値の変化は異常波浪による冲向漂砂に起因することを明らかにした。さらに、汀線位置や波向の周期的変動特性の変化は、エルニーニョのような気象、海洋の長期的変動と関連することがわかった。

キーワード：阿字ヶ浦海岸、長期的変動

海浜変形、経験的固有関数法

気象変動、エルニーニョ

Abstract

Long-term beach changes and the topographic responses to the wave climate were analyzed based on the field data of the wave characteristics, grain size of the bed materials and beach profiles measured every week in a 11-year period between 1976 and 1986 at Ajigaura Beach in Ibaraki Prefecture. For the wave characteristics wave direction, wave height and wave period were observed. Eigenfunction analysis was carried out using the profile data. It was found that distinctive changes were observed before and after a period of 1982-83 in the moving average value of one year regarding shoreline position, wave climate and foreshore slope, and the periodic fluctuations of wave direction and shoreline position had totally changed since this time. It was concluded that the changes in shoreline position and foreshore slope were caused by the offshore sediment transport associated with the extraordinary high waves. In addition, the abrupt changes of the periodic fluctuations in wave direction and shoreline position closely correlated to the long-term changes of the oceanic and meteorological changes

* 工博 建設省土木研究所河川部海岸研究室長

**建設省土木研究所河川部海岸研究室

associated with the climate anomalies such as El Nino.

Key words : Beach profile changes, eigenfunction
analysis, Ajigaura Beach, long-term
changes, climate anomaly, El Nino.

目 次

1. まえがき	(1)
2. 観測内容	(1)
3. 阿字ヶ浦海岸での波浪条件、海浜地形の長期的変動	(2)
(1) 波浪条件の長期的変化	(2)
(2) 阿字ヶ浦海岸の前浜地形の長期的変化	(3)
(3) 波向変化と汀線変化の関係	(4)
(4) 底質中央粒径の経時変化	(4)
4. 1982年～1983年に生じた波向・海浜地形の急激な変化	(5)
(1) 1982年～1983年に生じた海浜断面の変化要因に関する考察	(5)
(2) 波向の周期的変動特性の変化	(8)
5. 1982～1986年の海岸災害	(9)
6. 気象・海洋の変化	(9)
7. 結論	(10)
参考文献	(11)

1. まえがき

土木研究所では海浜変形機構を明らかにするための基礎的な資料を得ることを目的として、1976年1月より現在に至るまでの12年間にわたり、茨城県の阿字ヶ浦海岸において漂砂観測用棧橋を用いた海浜測量を毎週1回行ってきた。また、そのデータを用いて、経験的固有関数法による海浜地形変化の解析¹⁾を行うとともに、外力に対する海浜地形の動的応答について考察した²⁾。さらに、最近では12年分の地形データをもとに、前浜地形変化の支配要因を示した³⁾。これらの研究は、数日～1ヶ月程度の短期的な地形変化に着目して行われたものである。従来より海浜過程に関しては多くの研究がなされている。例えば Short⁴⁾、Wright⁵⁾、武田ら⁶⁾により海浜過程のモデルが提案されているが、これらの研究も同様の時間スケールを対象にして行われている。

近年、海水準の上昇等、長期的な自然条件の変化による防災上の問題がいく例か報告されている^{7),8)}。波浪や潮位のような自然条件、そしてそれを支配する気象や海洋に長期的な変動が存在すれば、その変動に応じて海浜地形も1年以上の長い時間スケールを持つ長期的変動を示すことは十分考えられる。しかしながら、海浜地形の長期変動を明らかにするために十分な期間を有し、なおかつ詳細な海浜地形変化の観測が行われた例はほとんどない。したがって、波浪条件等の自然条件の長期変動とそれに対する海浜地形の応答は未だ未解明の問題として残されている。

一方、1982～83年にペルー沖で発生した最近で最も大規模なエルニーニョ^{9),10)}は世界各地に気象変動を及ぼした。このエルニーニョの発生は世界各地の農業、漁業に大きな影響をもたらした。例えば、インドネシア、オーストラリア、ブラジル、インドでの干ばつ¹¹⁾やペルー¹²⁾での多雨などにより各地で凶作を生じたほか、海水温の変化や湧昇流の異常により、特に南米の西海岸の漁業に影響を生じた^{11),13)}。エルニーニョによる気象変動と海岸の災害との関連についての報告もなされている。カリフォルニアの海岸では1982～83年に海水位上昇と高波浪の来襲とが重なったため大きな海岸災害を生じた¹⁴⁾。

以上のような海洋そして気象の長期的な変動や異常によって、海岸へ来襲する波浪の特性や潮位が変化し、さらに海浜地形の平均的な姿が変化することは十分に考えられることである。また、波浪条件や海水位が長

期的に変化するのであれば、設計波や設計潮位を設定する際十分な配慮が必要となる。このように、気象や海洋の長期的変動と波浪特性や海浜地形との関連を調べることは海岸工学的にも重要な課題である。日本近海においても、日本列島の西部を中心とする沿岸に沿って流れている黒潮の流軸は、長期的にかなり大きく変動していることが黒潮の大蛇行に関する研究により確かめられている¹⁵⁾。また、近年親潮の著しい南下現象も報告されている^{16),17)}。さらに、エルニーニョと長梅雨や冷夏との関係も論じられている^{11),18)}。このような気象・海洋の変化を考慮すると、阿字ヶ浦海岸へ来襲する波浪も長期的に見てかなり変動している可能性が高い。したがって、海浜地形と波浪条件との応答関係を短い時間スケールでのみ考察するのでは不十分である。本研究の目的は、阿字ヶ浦海岸での長期間の現地観測データをもとに、波浪条件および海浜地形の長期変動特性を見出すとともに、その変化の要因を明らかにすることにある。

2. 観測内容

筆者らは、茨城県の阿字ヶ浦海岸において1976年より漂砂観測用棧橋を利用した海浜断面形の測定、底質採取、波向観測等を毎週1回行ってきた(写真-1及び図-1参照)。観測項目は水温、気温、波向、棧橋に沿う測線上の海浜地形測量、およびP₀、P₂、P₄、P₈各地点での底質採取である。ここにPは棧橋の橋脚を、0～8の添字は橋脚番号を表わす。なお、岸沖方向の座標Xは、棧橋延長上、P₀より48 m岸側の地点を基準とし、沖向を正にとった。波向は、毎週の観測時に棧橋の陸側約300 mの砂丘上、標高約30 mの地点から平板とアリゲードを用いて碎波波峰線を記録することにより測定した。他の観測方法については文献¹⁹⁾を参照されたい。

沖波波高・周期のデータに関しては、運輸省鹿島港工事事務所が1980年1月より棧橋沖合の水深30 m地点で行っている波浪観測のデータを利用した。それ以前については、阿字ヶ浦より12 km南の大洗港沖で茨城県三浜港湾事務所により観測されたデータを沖波資料として用いることができる。1980年1月1日より1096日間の日平均有義波高・周期の観測データをもとに両地点間の相関係数Rを求めると、有義波高ではR=0.84、周期ではR=0.95と相関は大変良かった。したがって阿字ヶ浦の波浪データの代わりに大洗沖のデータを用いることは、特に問題ないと考えられる。

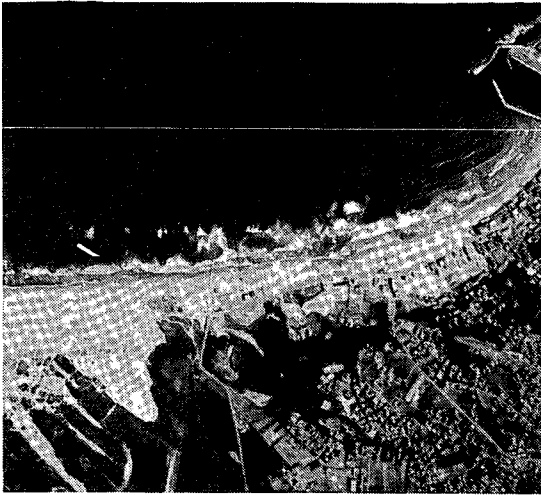


写真-1 阿字ヶ浦海岸と漂砂観測用栈橋
(1987年10月撮影)

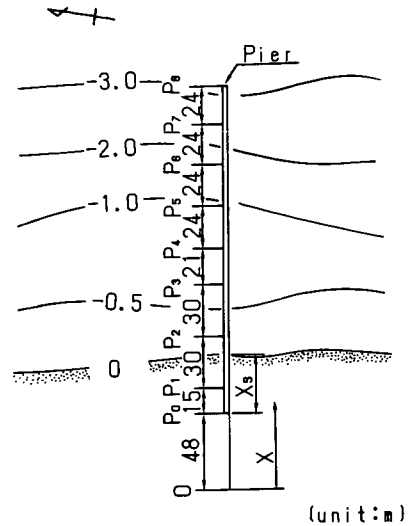


図-1 漂砂観測用栈橋

沖波波高及び周期のデータは2時間ごとに取得されているので、それより日平均有義波高・周期を求めた。

本研究では、以上のようにして得られた1976年から1986年まで11年間の観測データを用いて地形変化解析を行った。

3. 阿字ヶ浦海岸での波浪条件、海浜地形の長期的変動

(1) 波浪条件の長期的変化

阿字ヶ浦海岸に襲来する波浪の有義波高・周期、波向の長期的変化を調べるために、2時間毎の沖波データと毎週の波向データを整理した。まず、季節変動等の短中期的な変動と年変動以上の長期的な変動を調べる目的で、沖波データを日平均して日平均の換算沖波有義波高 $\bar{H}_0$ 、波形勾配 $\bar{H}_0/L_0$ を求め、それらと波向 θ の測定結果に5週間と1年間の移動平均を施して整理した。以後、各パラメータには5週間の移動平均の場合に「-」を、また1年間の移動平均の場合に「~」を付けて区別する。ただし、欠測期間では欠測前後のデータを用いて一次内挿を行った。

$\bar{H}_0$ と $\bar{H}_0/L_0$ の経時変化を図-2に示す。 $\bar{H}_0$ は約半年周期の季節変動を有するが、 $\bar{H}_0$ はほぼ一定であり長期的な変動傾向を示さない。 $\bar{H}_0/L_0$ も $\bar{H}_0$ の変動と対応して顕著な季節変動を有する。一方、 $\bar{H}_0/L_0$ には2~3年の長期的な変動が見られる。 $\bar{H}_0$ と $\bar{H}_0/L_0$ のパワースペクトル P を図-3、4に示す。スペクトルの計算は、

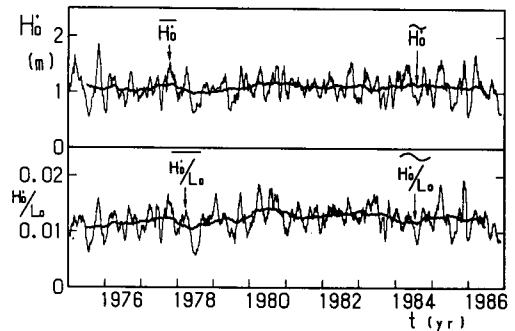


図-2 沖波有義波高 $\bar{H}_0$ 、波形勾配 $\bar{H}_0/L_0$ の経年変化

データ個数 $N=4096$ 個、データ間隔 $\Delta t=1$ 日で行った。また、スペクトルの計算には三角フィルターを用いており、その抽出間隔を1個、フィルター片幅を2個とした。 $\bar{H}_0$ のパワースペクトルは186日付近に1次ピークを持ち、約半年の周期変動が卓越していることが明らかである。一方、 $\bar{H}_0/L_0$ のパワースペクトル(図-4)には186日に1次のピークが存在するほか、2次3次のピークがそれぞれ512日、1014日付近にある。 $\bar{H}_0/L_0$ には約半年周期の変動のほか、2~3年の周期変動も存在することがわかる。

波向 θ の経時変化を図-5に示す。波向は東より反時計回り(北側)を正にとった角度で示した。栈橋の方向はその栈橋付け根付近の汀線とほぼ直交している。また、栈橋の軸は東より北に $8^{\circ}54'$ 傾いている。したがって、汀線の法線方向は $E8^{\circ}54'N$ 方向(破線表示)と

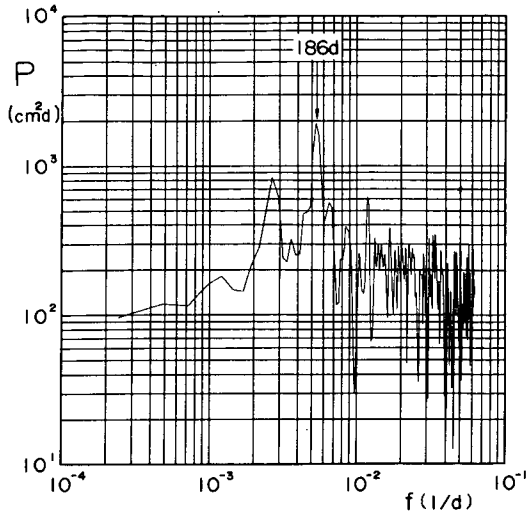


図-3 沖波有義波高のパワースペクトル

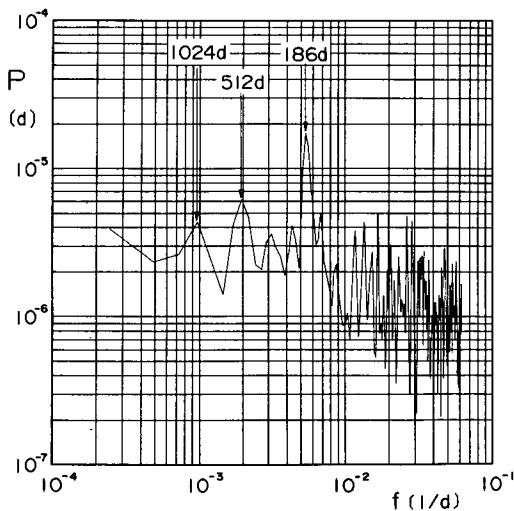


図-4 波形勾配のパワースペクトル

なる。1982年以前の $\bar{\theta}$ は、2、3月より8、9月の間に南寄りに変化し、その後再び北寄りに変化するという規則正しい1年の周期変動を有していた。しかし、1983年以後、変動の振幅が小さくなり、短周期の変動が多くなった。 $\bar{\theta}$ に明かなように、1982年以前の波の入射方向は平均的に栈橋軸方向よりやや南寄りであったが、1982年に北寄りに変化し、1983年以降、平均的に見て栈橋軸とほぼ同じ方向になった。すなわち、波の入射方向が1982年～1983年の間で平均的に南寄りから北寄りへと変化したのである。 $\bar{\theta}$ を見ると1983年

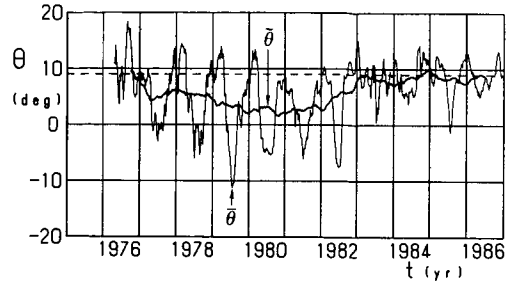


図-5 波向 θ の経年変化

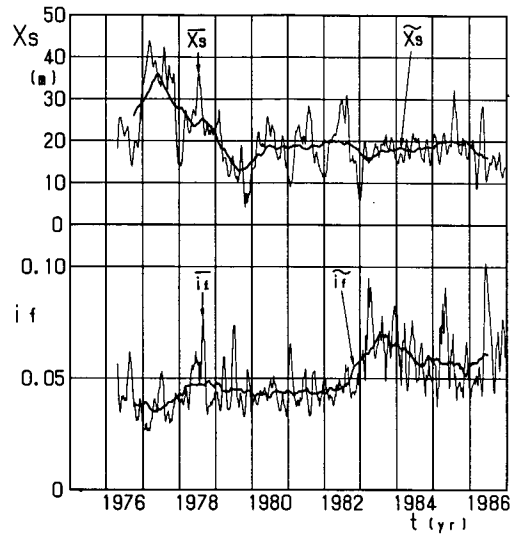


図-6 汀線位置 X_s 、前浜勾配 i_r の経年変化

以降夏期の南寄りの入射波の発生が非常に少なくなった。

(2) 阿字ヶ浦海岸の前浜地形の長期的変化

前浜地形を代表するパラメータとして P_0 (図-1参照) から汀線 (T.P. Om で定義) までの距離 X_s 、前浜勾配 i_r を地形測量データから求め、それらの経時変化を図-6に示した。 i_r は T.P. Om 以高の前浜の平均勾配として求めた。

1982年以前において、 $\bar{X}_s$ は $\bar{\theta}$ と同様に約1年周期の変動を示す。1983年以後、このような周期変動は $\bar{\theta}$ と同様に見られなくなった。 $\bar{X}_s$ は1977年6月から1979年まで減少傾向にあった。その後やや増加傾向となり、1982年後半から1983年前半にかけて再び減少傾向を示し、それ以後は徐々に増加傾向となった。一方、 $\bar{i}_r$ は周期性を示さず、ランダムな変動が卓越してい

る。特に、1983年以後その変動が激しくなった。 $\bar{r}_t$ は1982年後半から1983年前半にかけて急速に大きくなり、その後やや緩勾配化したが、1981年以前より平均的に急勾配となり安定している。

(3) 波向変化と汀線変化の関係

栈橋の南には沿岸漂砂の移動を阻止する岬がある(写真-1参照)。そのため one-line theory に基づく汀線変化モデルの考え方に立てば、波向と汀線位置の時間変化率との間に強い相関関係が成立するはずである。波向が式(1)のように1年周期で変化する場においては、沿岸漂砂を阻止する岬近くでの汀線変化の理論解としては式(2)が導かれる²⁾。

$$\theta = \theta_0 \cos \omega t \quad (1)$$

$$\frac{\partial X_s}{\partial t} = \theta_0 \sqrt{\frac{\omega F}{h}} \exp\left(-\sqrt{\frac{\omega h}{2F}} x\right) \cdot \cos\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega h}{2F}} x + \frac{\pi}{4}\right) \quad (2)$$

ここに、 θ_0 : 波向の振幅、 ω : 波向変化の角速度、 h : 沿岸漂砂の移動高、 F : 波のエネルギーフラックスに依存する漂砂量係数、 x : 岬からの沿岸方向距離、 t : 時間である。

ここで $\bar{\theta}$ と $\bar{X}_s$ が1年周期の変化を示した1976年～1982年の7年間について $\bar{\theta}$ と $d\bar{X}_s/dt$ の相関関係を調べる。 $\bar{\theta}$ と $d\bar{X}_s/dt$ の相互相関係数 R_1 を図-7に示す。横軸は週単位のラグである。図より、相関値は0.3と低いが、ラグ12週にピークが存在している。つまり、波向の変化に対して汀線位置の変化は12週間遅れていることになる。例えば、波向が北寄りから南寄りに変化した場合には、12週間(約3ヶ月)遅れて栈橋付近の汀線が後退し始める。これは沿岸漂砂の移動を阻止する岬が栈橋から約1 km 離れているので、地形

変化が伝播するのに時間を要するためである²⁾。式(2)より $\partial X_s/\partial t$ と θ の位相差 δ は、

$$\delta = \sqrt{\frac{\omega h}{2F}} x - \frac{\pi}{4} \quad (3)$$

となる。橋本・宇多²⁾は適当な F を与えて位相差 δ を求めたが、ここでは逆に位相差 δ を与えて F を逆算してみる。前報によると $\omega = 0.017 \text{ rad/d}$ 、 $h = 4.55 \text{ m}$ 、 $x = 1000 \text{ m}$ であり、 δ を12週間とすれば、式(3)より $F = 7.8 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ となる。阿字ヶ浦海岸での θ_0 は $5^\circ \sim 10^\circ$ であり、 $\theta_0 = 7^\circ$ として計算すると、全沿岸漂砂量 Q_0 は次のようになる。

$$Q_0 = F \sin \theta_0 \cos \theta_0 \approx 3.4 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$$

Johnson がアメリカ西海岸と東海岸における Q をまとめた表によると²⁰⁾、その値はほぼ $(1.0 \sim 4.0) \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ にある。さらに、Kraus *et al.* が求めた阿字ヶ浦及び大洗海岸での Q は $(0.8 \sim 3.4) \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ である²¹⁾。阿字ヶ浦海岸では年間を通じて波向が変動するため、 θ_0 を用いて計算した Q_0 は年間に生じる全沿岸漂砂量の最大値に相当する。この値が地形変化等より求めた他海岸のデータとオーダー的に等しいことから、ここで求めた F の値はほぼ妥当と考えられる。このことから、式(2)の関係が阿字ヶ浦海岸ではほぼ成立し、汀線位置が沿岸漂砂による地形変化を良く代表することがわかる。

(4) 底質中央粒径の経時変化

P_0 、 P_2 、 P_4 、 P_8 各地点の底質の中央粒径 d_{50} の経時変化を図-8に示す。1980年の後半から1982年の前半にかけてはかなりの部分で欠測した。各地点の $\bar{d}_{50}$ は周期的変動を示さない。これは底質の変化がごく短期的な高波浪の来襲等に支配されることの表われと考えられる。汀線付近の P_0 、 P_2 では1983年以後、それ以前と比べ変動が短周期化していることがわかる。これは前浜勾配の変化と良く対応する。すなわち、前浜地形の変化が激しくなったことと前浜部の底質粒径の変化が激しくなったことが対応するのである。 $\bar{d}_{50}$ を見ると1983年以後には平均的に粗粒化していることがわかる。このように底質中央粒径にも1982年～1983年を境として変化が見られる。特に長期的な変動として P_4 、 P_8 の沖側でも粗粒化が生じていることが特筆される。

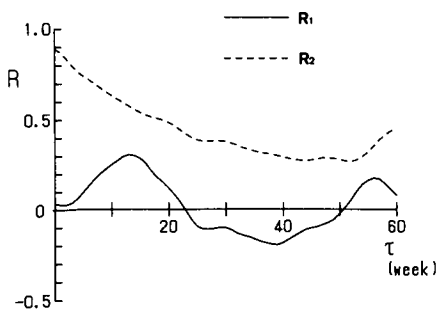


図-7 $\bar{\theta}$ と $d\bar{X}_s/dt$ 及び $\bar{X}_s$ と $\bar{r}_t$ の相互相関係数

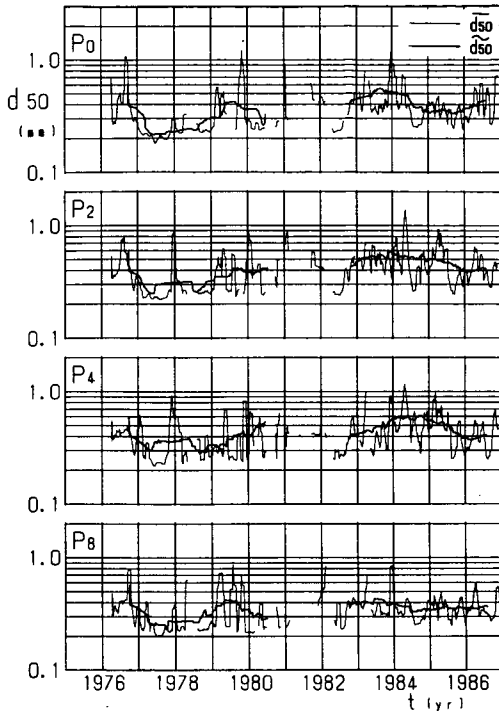


図-8 底質中央粒径 d_{50} の経年変化

4. 1982年～1983年に生じた波向 ・海浜地形の急激な変化

(1) 1982年～1983年に生じた海浜断面の変化要因に関する考察

1982年～1983年の前後で波向、汀線位置、前浜勾配の平均的な値や変動の周期性に急激な変化が見られた。以下、この変化に着目して検討する。

前報¹⁾では1976年から1979年までに得られた断面測量データを経験的固有関数法により解析した。ここでは地形変化の長期変動をさらに詳しく調べるために、データを追加して、1975年から1986年までの断面測量データを用い、次式に基づいて同じ手法による解析を行った。

$$h_{xt} - \bar{h}_x = \sum_{k=1}^n C_{kt}(t) \cdot e_{kx}(X) \quad (4)$$

ここに h_{xt} : 時刻 t における海浜の地盤高 (T.P.m)、
 $\bar{h}_x$: 全期間の海浜平均地盤高、 e_{kx} : k 番目の固有値に対応する固有関数、 C_{kt} : k 番目の時間関数である。岸沖方向の固有関数の分布を図-9に示す。図には固有値

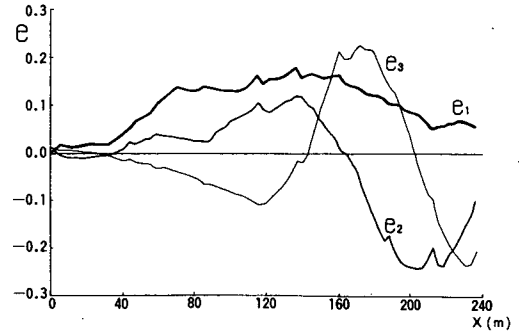


図-9 固有関数 e_1 , e_2 , e_3 の岸沖分布

表-1 主な固有関数の固有値

番号	固有値(m^2)	全固有値に占める割合(%)
1	0.0915	34.3
2	0.0625	23.4
3	0.0406	15.2

が大きい順に3番目までの固有関数 e_1 , e_2 , e_3 を示した。また、表-1に各固有値の大きさと固有値の総和に対する各々の割合を示す。固有関数の分布形及び固有値の大きさは橋本・宇多¹⁾による結果とほぼ同一である。橋本・宇多¹⁾によれば、主として e_1 は長期的な地形変動、 e_2 , e_3 が岸沖漂砂に起因する地形変動を表わすとしている。 e_1 は全域で符号が変わらないことから、測量範囲全域での堆積・侵食等の地形変化を表わす。阿字ヶ浦海岸への来襲波は平均的に見て $H_0 = 1.1$ m 程度(図-2参照)であり、測量範囲は平均して水深3m位置までに及ぶことから、沿岸漂砂による漂砂移動が生ずる範囲は測量範囲内にほぼ収まる。このことから、その分布形から見て、 e_1 は沿岸漂砂による地形変化を代表すると考えられる。また、暴浪時には測量範囲より沖でも地形変化が生じるため、測量範囲より沖への沖向き漂砂により地形変化が生じた場合、その変化は e_1 に含まれることも考えられる。

次に、各固有関数に対応する時間関数 C_1 , C_2 , C_3 を図-10に示す。時間関数は波浪、海浜地形データと同様に5週間と1年の移動平均値を示した。時間関数 C_1 は e_1 の経時変化を表わし、 C_1 が増加するとき海浜断面は堆積傾向となる。 $\bar{C}_1$ は1979年と1982年に正から負の値に大きく減少し、この時期海浜が侵食されたことを示している。また、 $\bar{C}_1$ と $\bar{X}_s$ (図-6参照) とを比較すると、両者の変化状況は非常に良く対応する。 $\bar{X}_s$ と $\bar{C}_1$

との相互関係係数 R_2 を前出の図-7にあわせて示した。 $\bar{X}_s$ と $\bar{C}_1$ は位相差なしで相関値が非常に高く、汀線位置の変化が e_1 に代表される海浜地形変化をよく表わすことがわかる。 $\bar{C}_1$ に比べ $\bar{X}_s$ に1982年での侵食の影響が顕著に見られない原因としては、侵食が汀線より沖で進行したことが考えられる。汀線沖で侵食が進行する場合、長期的にみて汀線付近は急勾配になると考えられる。その一つの裏付けとして、図-6に示した $\bar{i}_1$ が1983年以降平均的に急勾配したことを挙げることができる。

1979年と1982年に見られた $\bar{C}_1$ の海浜の侵食を表わす変化は非常に急速である。沿岸漂砂による地形変化は、その性質上棧橋南側の岬から生じ棧橋付近へと広がる。しかし、測定された地形変動は大層急速であるから、先に理論解で示した機構により、沿岸漂砂による地形変化が岬から棧橋位置まで急速に伝播したとは考えられない。阿字ヶ浦における海浜地形断面の測量範囲は、平均して汀線より220 m、水深にして約3 mまでである。よって、高波浪時に生ずる沖側の地形変化まではとらえていない。このことから、1979年と1982年における $\bar{C}_1$ に見られる侵食変化は、高波浪による沖向き漂砂による測量範囲全域で生じた侵食を表わす可能性がある。

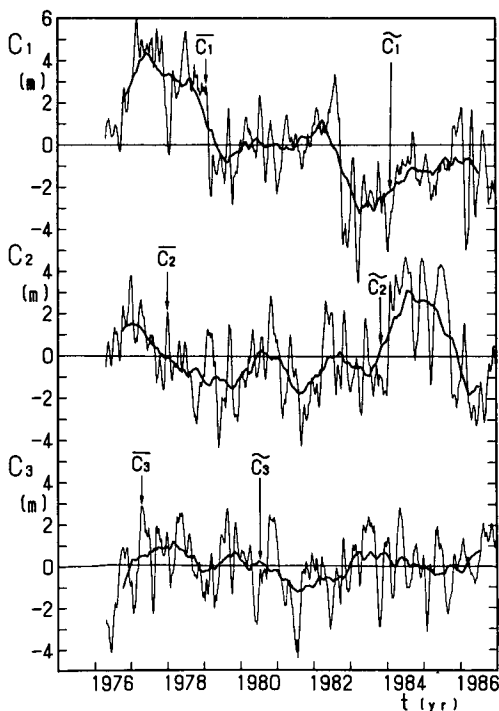


図-10 時間関数 C_1 , C_2 , C_3 の経年変化

図-2に示した波高の経時変化は時間的にかなり平滑化されており、数日程度で出現する高波浪を表現しない。そこで日平均有義波高 H_0 の経時変化を移動平均せずに図示すると図-11となる。欠測期間の波高は0とした。短期間の欠測の多くは高波浪による波高計の損傷が原因である。1979年前半には長期の欠測を生じ、その直後 $H_0 \approx 4$ m の高波浪が来襲した。1982年後半から1983年前半にかけては $H_0 > 4$ m の高波浪が2回来襲した。また、この時期には5回の欠測が生じた。1985年後半から1986年前半にかけても、高波浪の来襲がみられる。図-10に示した $\bar{C}_1$ も1986年前半に大きく変動している。このときの $\bar{C}_1$ には侵食直後に堆積方向の急速な変化が生じたため、 $\bar{C}_1$ に大きな変化が生じなかった。しかし、1982年後半と1986年前半に生じた現象の差異の原因をここでは明らかにできなかった。

1979年及び1982年後半に生じた $\bar{C}_1$ 及び $\bar{C}_2$ にみられる急激な侵食変化の原因は、高波浪の来襲を伴っていることから沖向き漂砂による侵食に起因すると考えられる。そこで、1982年～1983年にかけての来襲波と地形変化を詳しく調べた。この時期には4週間に1回の割合で棧橋延長上沖での測深が行われた。1982年9月～10月、1983年1月～3月における棧橋軸に沿った海浜断面形の変化を、それぞれ期間ごとに図-12b)、13b)に示す。図の上段には測量期間の沖波波浪条件を併せて示した(図-12a)、13a))。1982年9月19日と10月28日の断面図(図-12b))を見ると $X > 400$ m の沖側に広く堆積が生じており、 $X < 200$ m では著しい侵食が生じた。このときの沖波データ(図-12a))によると10月9日には $H_0 = 4.2$ m、10月20日には $H_0 = 3.4$ m の高波浪が来襲した。特に、10月9日の毎正時の記録によると最大 $H_{1/3} = 5.1$ m の波浪が観測された。断面変化

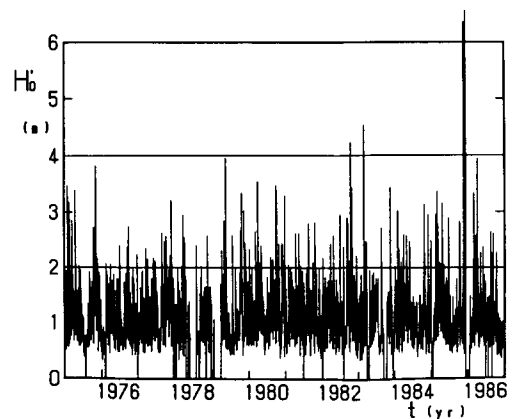


図-11 日平均有義波高の経年変化(移動平均無し)

に見られる地形変化は、この2回の高波浪に起因する沖向き漂砂によってもたらされたと考えられる。次に、1983年1月29日と2月26日の断面図(図-13b))を比較すると、2月26日には $X > 300$ mの沖に2つのバーが形成され、 $X > 450$ mでは広く堆積が生じた。 $X < 100$ mの岸側ではやや堆積傾向にある。これらと対照的に、 $X = 240$ m~330 mでは一部データが欠落しているが侵食傾向がみられる。この期間の沖波データ(図-13 a))によると2月18日に $H_0 = 4.5$ mの高波浪が生じている。沖合でのバーの形成や堆積はこの高波浪に起因すると考えられる。 $X < 240$ mでの侵食が顕著でなかった原因としては、高波浪の期間が短かったこと、その後の静穏波により岸向き漂砂が生じたこと等が考えられる。さらに、2月26日と3月19日の断面を比較すると、 $X = 50 \sim 240$ mでは侵食が生じ、 $X = 300$ m~450 mでは堆積が生じてバーが消失した。この期間には、波高としては2月18日より小さいが $H_0 = 2 \sim 2.5$ mの高波浪が4日以上継続しており、この高波浪により沖向き漂砂が生じたと考えられる。

以上に示したように、1982年~1983年での $\bar{X}_s$ や $\bar{C}_1$ の急激な変化は高波浪による沖向き漂砂に起因することがわかった。1983年以後、前浜勾配の変動が激しくなったのは、暴浪による侵食の結果、浅海部の海底が急勾配化し、前浜の変動が激しくなったためと考えられる。同様なことが汀線位置や前浜部の粒径の変動についてもいえる。さらに、1979年及び1982年以後平均的に測量範囲全域の粒径が大きくなっていることも(図-8参照)、測量範囲の大規模な侵食により細粒分が沖に移動したとすれば説明できる。1982、1984、1986年の平均海浜断面形状を求め図-14に示した。図よりこの4年間で汀線から $X = 160$ m付近までが深くなり、平均的に前浜から水深1 m付近までが急勾配化したことがわかる。

これまで述べたように、1979年及び1982年~1983年に生じた $\bar{C}_1$ の急激な変化は暴浪による沖向き漂砂に起因することがわかった。ここで特筆すべきことは $\bar{C}_1$ の急激かつ大規模な侵食変化量に対してその後に生じるゆっくりとした堆積変化量がつり合っていないこと

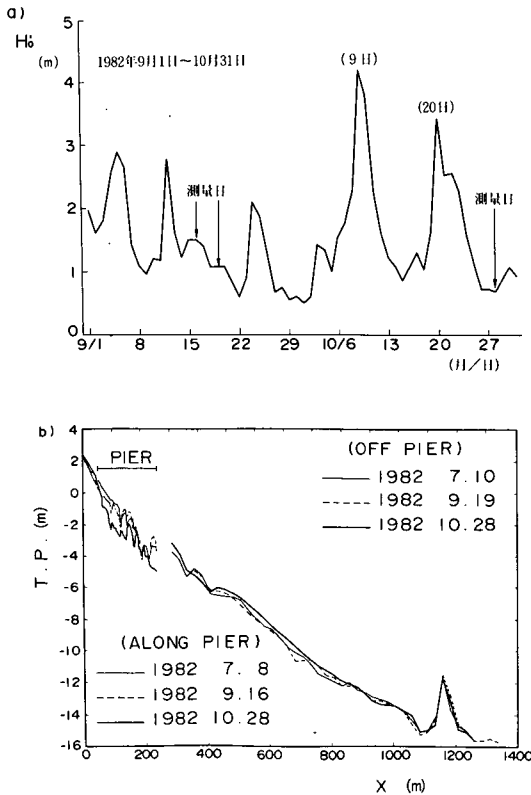


図-12 棧橋沖合の地形変化と沖波波浪条件 (1982年9月~10月)

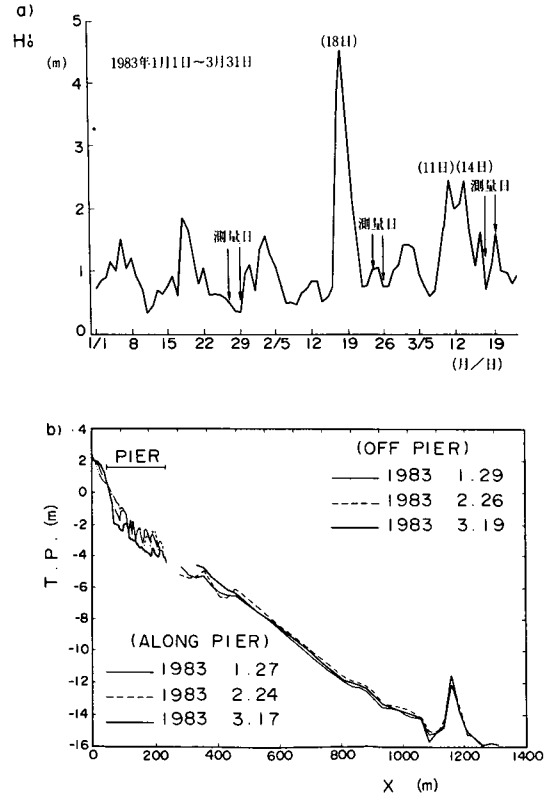


図-13 棧橋沖合の地形変化と沖波波浪条件 (1983年1月~3月)

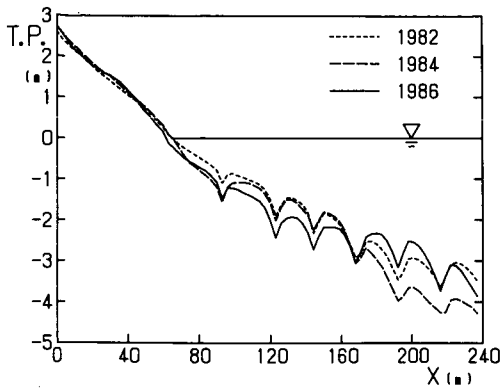


図-14 年平均海浜断面形状の変化

である。つまり、非可逆的な侵食が生じていることである。この間、汀線位置が長期的な後退傾向を示さなかった理由は次のようである。すなわち、南寄りの人射波が減少したことにより北からの沿岸漂砂が卓越するようになり、この結果、南側を岬で囲まれた阿字ヶ浦では堆積傾向となる。沿岸漂砂による堆積は卓越波浪の有義波高が1m程度であることから主に浅海域と前浜で生じる。そのため、前浜付近では暴浪による侵食と沿岸漂砂による堆積とが打ち消し合う。このような理由により汀線沖で沖向き漂砂による断面形の変化が顕著に現われたと考えられる。

次に、 C_2 、 C_3 の特徴を図-10より調べる。 e_2 と e_3 (図-9参照)は正と負の部分の面積がほぼつり合うことから測定範囲でほぼ閉じた岸沖漂砂移動による地形変化を代表すると考えられる。 $\bar{C}_2$ 、 $\bar{C}_3$ は非常に激しく変動している。これは高波浪、静穏波の繰り返しによる短期的な地形変動を示していると考えられる。 $\bar{C}_3$ の変動幅は大きくない。一方、 $\bar{C}_2$ は1983年後半以降増加し、1984年前半まで増加、すなわち長期的に見て $X=160$ mより沖から岸方向へと砂が移動する変化があったことを示している。これは、1982年～1983年に生じた沖向き漂砂による大規模な侵食によって測量範囲全域が侵食した変化に重なって、 $X=160$ m付近より沖から岸に砂が移動したことを示すと考えられる。さらに1984年以降この逆の変化を示す。この変化は、図-14に示す1984年と1986年の平均海浜断面形の比較にも明瞭に表われている。 $\bar{C}_2$ の増加減少は1979年後半から1981年前半にかけても見られ、大規模な侵食が生じた後には1年程度の時間スケールで e_2 型の岸沖漂砂による地形変化が生じることを示していると考えられる。

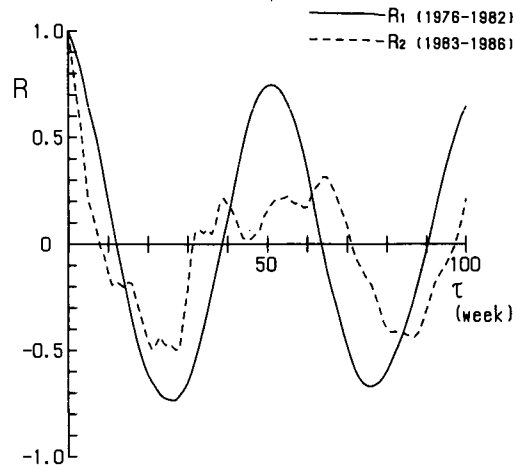


図-15 波向の自己相関係数

(2) 波向の周期的変動特性の変化

前節では1982年～1983年の急激な地形変動について述べ、その原因が高波浪による急速な侵食であると推定した。しかし、一時的な高波浪の来襲では、気象条件等によって定まる $\bar{\theta}$ の値がこの時期の後急激に増加したことや、この時期の前後で周期的変動特性が変化したことを説明し得ない。そこで、1982～1983年を境にして、その前後で周期的変動特性が顕著に変化した $\bar{\theta}$ について考察する。

1976年から1982年までの7年間と1983年から1986年までの4年間とを区別して、 $\bar{\theta}$ の自己相関係数 R を求めた。ここでは変動成分のみを考慮し、トレンドを除去するために $\bar{\theta} - \bar{\theta}$ を計算に用いた。2時期の自己相関関数 R_1 、 R_2 を図-15に示す。 R_1 には1年周期の変動が明瞭に表われている。一方、 R_2 には1年周期の変動に対応したピークは見られず、周期的変動の存在を示さない。このように、1982年から1983年にかけて $\bar{\theta}$ の変動特性に変化が生じたことが明らかである。1982年から1983年を境に生じた $\bar{\theta}$ の変動特性の変化が、同じ時期を境とする $\bar{\theta}$ の平均的な値の増加にも対応すると考えるのが妥当である。すなわち、波の来襲する方向を決定する気象や海洋に変化が生じたことが考えられる。

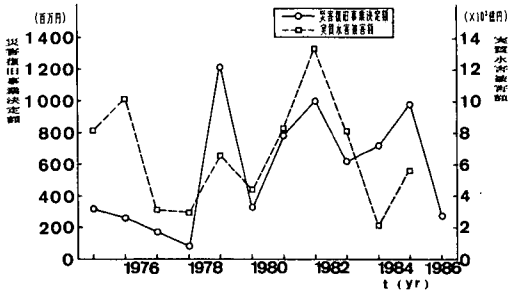


図-16 海岸災害復旧事業決定額と実質水害被害額の経年変化

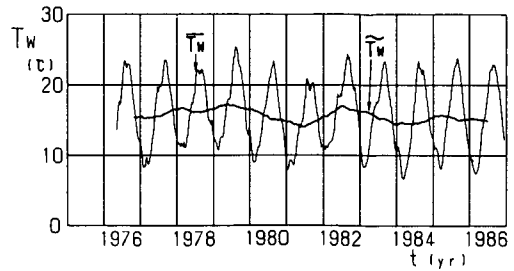


図-17 水温 T_w の経年変化

5. 1982～1986年の海岸災害

前章で1979年と1982～1983年に阿字ヶ浦海岸において暴浪による大規模な侵食が生じたことを述べた。このような状況は他海岸にも見られるはずである。そこで、暴浪による侵食や高潮などの程度を示す指標として海岸災害をとりあげた。海岸事業においては国または自治体の申請より災害の程度に見合った復旧費を毎年決定している。この海岸災害復旧事業決定額を太平洋に面する建設省所管の海岸についてとりまとめて図-16に示す²²⁾。事業決定額は1979年、1982年、1985年に大きく上がっている。1979年は3つの台風が本州に上陸しており、1985年には勢力の強い台風6号が本州を縦走した。1982年には4つの台風が日本に上陸した。この年はエルニーニョの発生年に当たり、前述のようにカリフォルニア海岸でも大きな被害が生じた年である。このように阿字ヶ浦で大規模な侵食が生じた1979年と1982年～1983年には太平洋沿岸全域でも災害が多かったことがわかる。すなわち、これらの年は気象や海洋に異常があったことがうかがわれる。その一つの裏付けとして水害について調べてみた。1975年～1985年の実質水害被害額²³⁾を図-16に示した。これによると、1976年、1979年、1982年に被害額が大きくなっている。1976年は1982年の前のエルニーニョの発生年に当たる。このように、1979年、1982年は水害の多かった年でもあり、異常気象と阿字ヶ浦での大規模な侵食との関連を示すものと推定される。

6. 気象・海洋の変化

前章で述べたように阿字ヶ浦海岸での大規模な侵食

は気象や海洋の変化に関連すると推定された。もし、1982年～1983年にかけて、気象や海洋に変化が生じているとすればその期間の前後で波向の変動特性や平均的な波向に変化が生じることも十分考えられる。そこで、1975年～1986年にかけての日本近海における気象・海洋の変化について考察する。

阿字ヶ浦では、水温 T_w の観測を毎週行っている。その結果を、波浪、海浜地形データと同様に図-17に示す。 $\bar{T}_w$ は1年周期の規則的な変動を示す。 $\bar{T}_w$ と $\bar{X}_s$ (図-6参照)とを比べると、 $\bar{X}_s$ が増加する場合(1980年前半～1981年後半、1983年前半～1984年前半)には $\bar{T}_w$ は低下、減少する場合(1978年前半～1979年後半、1982年)には上昇の対応関係が見られる。すなわち、水温が低下するときに汀線が前進し、上昇するときに汀線は後退傾向となる。

日本列島の太平洋沿岸には親潮と黒潮の2大海流が存在する。特に海水温についてはこの2つの海流の変動に支配されるところが大きい。例えば、図-17に見られるように1984年春にはかなり水温が低下しているが、これは親潮の著しい南下によるものである²⁴⁾。また、これらの海流は日本周辺の気象条件との間に密接な関連を有し、その変動は太平洋岸に襲来する波浪条件にも影響を与えると考えられる。

親潮の南限、すなわち親潮前線については近年著しい南下が認められる^{15), 16)}。図-18は冬期の親潮前線位置の偏差を東経142°～146°の範囲(図-19参照)について経年的に示したものである¹⁶⁾。1976年～1977年と1981年以後に親潮の南下が生じている。

次に、親潮前線の位置に関連して黒潮の変動を取り上げ、気象庁の黒潮観測資料を基に調べた。ここでは、千葉県銚子から同緯度上における表面水温18°Cの黒潮流域境界線までの距離 X_R (図-19参照)を調べ、

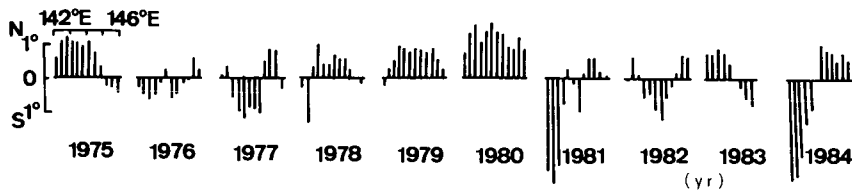
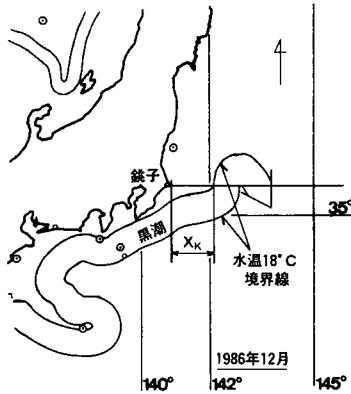
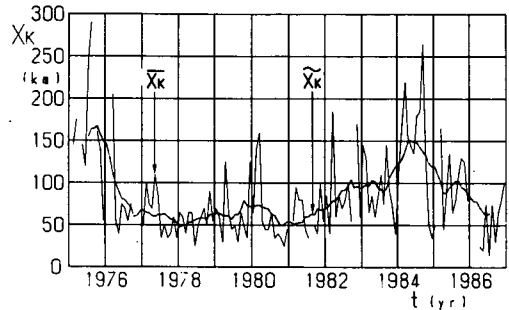


図-18 親潮前線の経年変化

図-19 黒潮流軸位置 X_k の定義図

黒潮変動の代表値としてその経時変化を調べた(図-20)。 X_k は毎月の気象庁の海流図より読みとった。変動はあるものの $\bar{X}_k$ は3、4月ごろに大きくなる傾向が見られる。一方、 $\tilde{X}_k$ は1976年及び1982年～1985年に大きく、黒潮が日本沿岸から遠ざかっていたことがわかる。これは親潮の南下と良く対応する。また、 $\tilde{X}_k$ は $\bar{\theta}$ (図-5 参照) の変化と明らかに良い対応を示す。

1976年及び1982年～1983年はエルニーニョの年に当たり、その年に親潮の南下が生じ、黒潮が銚子から遠ざかっていることは興味深い。これらの現象については未だ定説は無いようであるが、エルニーニョと長梅雨や冷夏とは良い相関があることが報告されている¹⁸⁾。また、東北地方の冷夏・冷害は、オホーツク海高気圧から親潮海面上を吹走してくる「やませ」と呼ばれる冷風に起因するという説もある²⁵⁾。以上のことをまとめると、エルニーニョの発生→親潮の南下(黒潮の銚子からの離岸)→オホーツク海高気圧の発達→やませ→冷夏・冷害という仮説を立てることができる。1983年以降「やませ」のような北東風が夏期に発達したと

図-20 X_k の経年変化

すれば、阿字ヶ浦沖で南寄りの入射波が減少したことを説明できる。このことからさらに、 $\tilde{X}_k$ と $\bar{\theta}$ が良く対応することも裏付けられる。

以上のように、エルニーニョの発生、親潮や黒潮の変動、オホーツク海高気圧の発達などの気象や海洋の変化が、異常気象による集中的な災害の発生を引き起こし、あるいは長期的な波浪条件の変化と関連することが見出された。これまでの結果より、海浜の長期的な変動に対して、異常波浪の発生や長期的な変化を介して気象や海洋の変化が影響していることが推定された。これは、将来の長期的な海浜の安定を考える上で、1つの重要な課題であると考えられる。

7. 結論

阿字ヶ浦海岸における1976年～1986年の波浪条件と海浜地形の長期的変動を解析した。この結果得られた主な結論は次の通りである。

- ① 波向、汀線位置、前浜勾配、 P_0 、 P_2 での底質中央粒径は、1982年以後その変動が激しくなった。また、 P_4 、 P_8 での底質中央粒径も含めて、これらの平均的

な値が、1982年～1983年を境として変化した。

- ② 汀線位置の変化は波向の変化と12週遅れで相関を示す。このことより沿岸漂砂による地形変化が生じていることが分かった。一方、1982年～1983年での $\bar{X}_s$ や $\bar{C}_1$ の急激な変化は高波浪による冲向き漂砂に起因することがわかった。1983年以後、前浜勾配の変動が激しくなったのは、暴浪による侵食の結果、浅海部の海底が急勾配化し、前浜の変動が激しくなったためと考えられる。同様なことが汀線位置や前浜部の粒径の変動についてもいえる。さらに、1979年及び1982年以後平均的に測定範囲全域の粒径が粗くなっていることも、急激な侵食に起因すると考えられる。
- ③ 1979年後半から1981年前半にかけて $\bar{C}_2$ の増加減少が見られた。このことは大規模な侵食が生じた後には1年程度の時間スケールで e_2 型の岸沖漂砂による地形変化が生じることを示すと考えられる。
- ④ 海岸災害復旧事業決定額は1979年、1982年、1985年に、実質水害被害額は1976年、1979年、1982年に大きい。阿字ヶ浦で大規模な侵食が生じた1979年と1982年～1983年には太平洋沿岸での海岸災害や水害が多かった。1976年と1982年～1983年はエルニーニョの発生年にも当たる。これらのことより、阿字ヶ浦での大規模な侵食は気象や海洋の異常・変化と関連することが推定された。
- ⑤ 海水温と汀線位置の長期的変動、さらに黒潮流軸の変動を表わす X_k と波向の示す長期的変動は良く対応した。
- ⑥ エルニーニョの発生→親潮の南下（黒潮の銚子からの離岸）→オホーツク海高気圧の発達→やませ→冷夏・冷害という仮説により、「やませ」のような北東風が夏期に発達すれば、1983年以後夏期に北東風が卓越するようになり、南寄りの入射波が減少したことが説明でき、 $\bar{X}_k$ と $\bar{\theta}$ が良く対応することが裏図けられる。

謝辞：沖波波浪データは運輸省鹿島港工事事務所の方々に便宜を図っていただいた。また、黒潮流軸の変動データは気象庁海洋部海洋課よりその写しをいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 橋本 宏・宇多高明：経験的固有関数による海浜地形変化の解析，土木学会論文報告集，第305号，

pp. 57～71, 1981.

- 2) 橋本 宏・宇多高明：海浜地形と外力の動的応答関係について，土木学会論文報告集，第310号，pp. 77～887, 1981.
- 3) 宇多高明・小俣 篤・竹渕 勉：波による前浜地形の支配要因，第35回海岸工学講演会論文集，pp. 337～341, 1988.
- 4) Short, D. A.: Three dimensional beach-stage model, Jour. Geol., Vol. 87, pp. 553-571, 1979.
- 5) Wright, L. D., B. G. Thom and J. Chappell: Morphodynamic variability of high-energy beaches, Proc. 16th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 1180-1194, 1978.
- 6) 武田一郎・砂村継夫：砂浜海岸の堆積過程における地形変化，第30回海岸工学講演会論文集，pp. 254～258, 1983.
- 7) Heiberg III, MGE. R., L. A. Puscha and J. H. Lockhart: Responding to an SOS - save our coast, Proc. 18th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 2241-2263, 1982.
- 8) Ramsey, K. E. and T. F. Moslow: A numerical analysis of subsidence and sea level rise in Louisiana, Proc. Coastal Sed. '87, pp. 1673-1688, 1987.
- 9) Deser, Clara and J. M. Wallace: El Nino events and their relation to the southern oscillation: 1925-1986, Jour. Geophys. Res., Vol. 92, No. C13, pp. 14189-14196, 1987.
- 10) 田中 実：熱帯地域における気候の変動，気象研究ノート，第159号，pp. 10～46, 1987.
- 11) Michael, G., K. Richard and K. Maria (editor): The societal impacts associated with the 1982-83 worldwide climate anomalies, National Center Atmos. Res., 66p., 1987.
- 12) Goldberg, R. A. and G. Tisnado M.: Characteristics of extreme rainfall event in northwestern Peru during 1982-1983 El Nino period, Jour. Geophys. Res., Vol. 92, No. C13, pp. 14225-14241, 1987.
- 13) Huyer A., R. L. Smith and T. Paluszkievicz: Coastal upwelling off Peru during normal and El Nino times, 1981-1984, Jour. Geophys. Res., Vol. 92, No. C13, pp. 14297-14307, 1987.
- 14) Flick, R. E. and D. R. Cayan: Extreme sea levels on the Coast of California, Proc. 19th

Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 886-898, 1984.

- 15) 例えば, 黒潮調査研究—KER の成果, 海洋科学, Vol. 17, No. 3, 197p., 1985.
- 16) Sekine, Y.: Anomalous southward intrusion of the Oyashio east of Japan, Jour. Geophys. Res., Vol. 93, No. C3, pp. 2247-2245, 1988.
- 17) 石川孝一: 親潮前線, 海洋科学, Vol. 16, No. 12, pp. 690~696. 1984.
- 18) 朝倉 正: 気候変動と人間社会, 岩波現代選書, 214p., 1985.
- 19) Uda, T. and Y. Sakai: Summarized data of beach profiles and wave observations at Ajigaura Beach, Tech. Memo. PWRI, No. 2294, 286p., 1985.
- 20) Jonson, J. W.: The littoral drift problem at shoreline harbors, Proc. ASCE, J. Waterway Harbors Div., Vol. 83, paper 1211, 1957.
- 21) Kraus, N. C., M. Isobe, H. Igarashi, T. Sasaki and K. Horikawa: Field experiments on long-shore sand transport in the nearshore zone, Proc. 18th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 969-988, 1982.
- 22) 建設省河川局編: 海岸統計, 1976~1987.
- 23) 建設省河川局: 水害統計, 845p., 1987.
- 24) 久保治良: 鹿島灘から常磐南部海域の親潮水, 海洋科学, Vol. 16, No. 12, pp. 713~718, 1984.
- 25) 赤川正臣: オホーツク海の気象, 海洋科学, Vol. 18, No. 2, pp. 112~116, 1986.

阿字ヶ浦海岸における海浜地形の長期的変動とその原因

土木研究所報告
第179号 1989年8月

宇多高明, 小俣 篤, 斉藤友伸

要 旨

1976年から1986年にかけて茨城県阿字ヶ浦海岸において毎週1回の割合で取得した海浜断面形状, 底質, 波浪特性のデータを用い, 海浜地形の長期的変動を解析した。海浜断面形状の解析には経験的固有関数法を用いた。汀線位置, 波向, 前浜勾配は, 1982~1983年にその平均的な値が著しく変化し, 同時にそれらの周期的な変動特性にも変化を生じた。解析の結果より, 汀線位置と前浜勾配の平均値の変化は異常波浪による冲向漂砂に起因することを明らかにした。さらに, 汀線位置や波向の周期的変動特性の変化は, エルニーニョのような気象, 海洋の長期的変動と関連することがわかった。

キーワード: 阿字ヶ浦海岸, 長期的変動

海浜変形, 経験的固有関数法

気象変動, エルニーニョ

**Long-Term Beach Changes and
Their Causes at Ajigaura Beach,
Ibaraki Prefecture, Japan**

Report of PWRI
Vol. 179, Aug. 1989
by Dr. Takaaki Uda
Atsushi Omata
Tomonobu Saito

Abstract

Long-term beach changes and the topographic responses to the wave climate were analyzed based on the field data of the wave characteristics, grain size of the bed materials and beach profiles measured every week in a 11-year period between 1976 and 1986 at Ajigaura Beach in Ibaraki Prefecture. For the wave characteristics wave direction, wave height and wave period were observed. Eigenfunction analysis was carried out using the profile data. It was found that distinctive changes were observed before and after a period of 1982-83 in the moving average value of one year regarding shoreline position, wave climate and foreshore slope, and the periodic fluctuations of wave direction and shoreline position had totally changed since this time. It was concluded that the changes in shoreline position and foreshore slope were caused by the offshore sediment transport associated with the extraordinary high waves. In addition, the abrupt changes of the periodic fluctuations in wave direction and shoreline position closely correlated to the long-term changes of the oceanic and meteorological changes associated with the climate anomalies such as El Nino.

Key Words : Beach profile changes, eigenfunction, analysis, Ajigaura Beach, long-term changes, climate anomaly, El Nino.

土木研究報告第179号

平成元年8月5日発行

発行 建設省土木研究所
〒305 茨城県つくば市大字旭1番地
電話 0298 (64) 2211

印刷 株式会社エリート印刷
〒300-12 茨城県牛久市柏田町3269
電話 0298 (73) 2231

本研究報告より転載又は複製する場合は、前もって
建設省土木研究所情報資料課に連絡のうえ、許可を
得てください。

Report
of
Public Works Research Institute
Ministry of Construction

Vol. 179, Aug. 1989

CONTENTS

Long-Term Beach Changes and Their Causes at Ajigaura Beach, Ibaraki Prefecture, Japan	Takaaki Uda Atsushi Omata Tomonobu Saito
--	--
