

海岸地形の形成と分類について

芝野 照夫*

A Classification of Coastal Landforms and Formation of Sandy Beaches

Teruo SHIBANO

Beach processes and coastal landforms are affected by changes in sea level. Studies of coastal topography and sea level changes have become very important.

The purpose of this paper is to clarify the characteristics of coastal landforms associated with sea level rising from historical and geological times, the classification of sandy beaches by the buget of littoral sediments.

1. 緒言

わが国は約 34,000 km にも及ぶ海岸線をもっているが、それは砂質海岸と岩石・崖海岸に分けられ、前者は大河川河口部沿岸に見られる大規模なものと同様に内湾にみられる小規模砂質海岸に細分類される。

岩石海岸はリアス式海岸と呼ばれるものに代表されるように、屈曲に富んだ海岸線をもち、直接山地が海に続いている海岸であって、その中には小規模な砂質海岸が随所に見られる。このような砂質海岸は一般にポケットビーチと呼ばれている。この岩石海岸と同様に陸地が海へと続いている崖海岸のうち、比較的軟質な地層から構成されているところは、波浪などの外力によって侵食が生じやすく、この侵食によって生産された土砂が周辺の砂質海岸への漂砂の供給源ともなっている。

このような海岸地形は、地質時代からの長期間にわたる地殻変動や火山活動などとともに波浪などの外力、さらに気候要素の相互作用によって形成されてきたものである。

また、近年、海岸部では耕地の拡大を目的とした干拓事業や海岸線近傍の開発と利用が進められてきた。とくに、最近の工業用地の造成をはじめ、大規模港湾の建設、さらに居住空間としても利用され、人為的な作用による海岸部の改変が進んできている。

一方、山地部、平野部においても改変が進み、その中を貫流する諸河川も流域の高度な土地利用に伴う河道改修、さらに上流域では各種のダムが築造され、従来、海岸部へ土砂を供給して土地を広げ、涵養してきた河川の機能が大きく変化し、現在ではその影響による海岸侵食が各地の海岸でみられるようになってきた。

*建設工学科 土木工学専攻

2. 海岸大地形の形成と分類

a) 海岸地形の分類

海岸は太古から現在まで生活の場として波が打ち寄せ、また潮位の変化とたえず外力の脅威にさらされながらも、広く利用されてきたところである。

このような海岸がいつ頃に、またどのようにして形成されてきたのか非常に興味あるところであるが、その骨格である陸地の形成とそれを修飾する海岸とに分けて考える必要がある。

陸地の形成は、大きく見ると太古からの大陸の生成につながっているが、これまでの海岸地形の分類について主要なものを挙げると次のようである。

Wegener の仮定した「大陸漂移説」に代表されるように、現在ではプレートテクトニクスの考えに基づいた大陸と海洋の形成が説明されている。

このプレートテクトニクスの考えを導入し、Inman・Nordstrom¹⁾ は図-1のように海岸の大地形を3つに分類している。

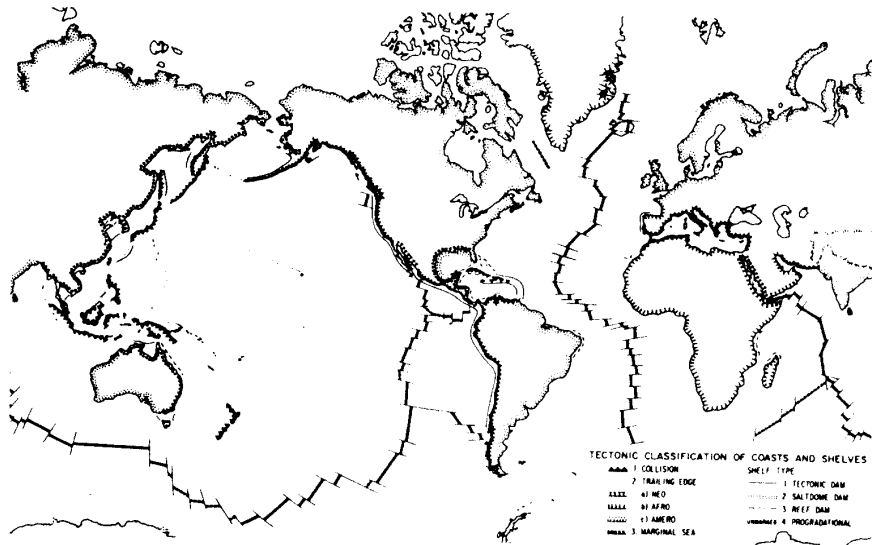


図-1 プレートテクトニクスに基づく海岸地形の分類

まず、第1は Collision coast (プレートと陸地が衝突する海岸)

であり、そこでは海岸近くに若い山岳が連なって、狭小な大陸棚、地殻変動と火山活動の激しいところである。第2の Trailing edge coast (プレートに乗って海底が引きつられている海岸) は、北アメリカの東海岸などが対応し、広大な大陸棚や大規模な砂浜海岸が分布している。

さらに、第3は Marginal sea coast (島弧によって遮閉された海岸) としている。この海岸の典型的な例はアリューシャン列島からインドネシアにかけてのような、外海の高波浪などから保護された比較的静穏な海岸などである。

D. W. Johnson²⁾ は地形発生的な立場から、海岸線を沈水海岸線、離水海岸線および中性海岸線の3つのタイプに分類している。しかし、現実の海岸地形は必ずしも1つのタイプに属するものでなく、種々組み合わせられたものとして存在している。このためそれらを合成海岸線と区分している。

この考えに従えば、いずれの海岸線もこの範ちゅうに属することになり、地形発生的な立場からは3つの大地形の分類で十分であるが、地形変化の過程に不合理性を残しているといわれている。

また、H. Valentin³⁾ は海岸線の前進(堆積)と後退(侵食)に注目して、そのなかに地殻変動による陸地の昇降および波浪などの外力による侵食と土砂堆積による陸地の前進を加えて分類している。しかし、海岸は一方的に前進・後退が生じるものでなく、その両者が複雑に変化するもので、海岸地形の生成の基本的な面では有用であるが、地形変化を十分に表現するものとは言えないであろう。

一方、W. N. Bascom⁴⁾ は海岸工学者の立場から Johosonらと相違して、北アメリカ太平洋沿岸の海岸地形について、海岸線に作用する波浪を主とした外力と底質特性の関係で分類している。

わが国のように地理的な件と複雑な地形のところでは、外洋からの波浪も一様でなく、Bascomの調査した北アメリカ太平洋沿岸のように画一的に地形区分を行うことは不可能であるが、砂浜海岸などにおける外力と底質特性の関係で一般性があり、海浜の変形など狭い範囲の海岸性状の表現については有用といえよう。

さらに、F. P. Shepard⁵⁾ は海岸が生成された原因に着目して、地形に作用する外力を念頭に海岸地形の分類を図-2のように試みている。

まず、海岸を1次および2次の海岸と大きく分け、前者は陸上からの地形生成の力が海岸地形を形成したもので、例えば海面上昇に伴う沈水、断層による陸地の沈水および河口デルタ地形の発達などをあげている。また、2次の海岸は主として波浪などの外力や海中生物の作用によって生成された海岸で、波食崖および波や沿岸流によって形成された砂浜海岸、さらにマングローブ海岸や珊瑚礁海岸などをその例としている。

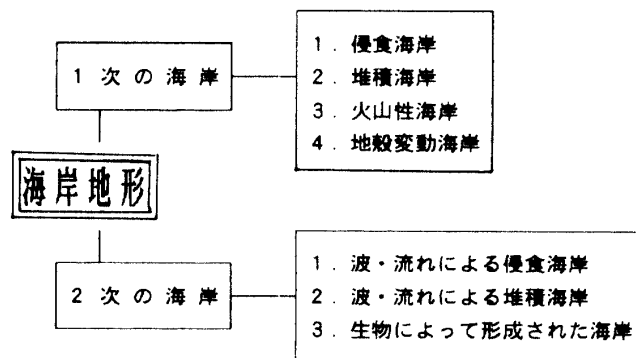


図-2 F. P. Shepard による海岸地形の分類

このように Shepard の分類は海岸が生成された原因に注目し、その外力の要素に基づいて海岸地形を分類しているが、海岸地形生成の要素をすべて加味しようとするならば、非常に分類が複雑になること、また、海岸地形の生成にはその原因が複雑に作用している場合も少なくないが、1次の海岸が2次の海岸へと変化する過程をも含んだ柔軟性のある分類といえよう。

b) 海岸地形と時空間スケール

海岸地形を大スケールで考えると、陸地と海との相互作用によって形成されてきたことが明かであるが、砂質海岸を対象として考えると山地から河川、さらに海岸への土砂の供給が地質構造的な海岸地形を修飾して、各種の海岸微地形をつくっている。

この微地形の形成は主として外力による漂砂の侵食、堆積の作用によるものであると同時に、それらの地形もこの作用によって絶えず変化することになる。

地形変化の過程を見ると、海岸における大地形と小・微地形とに分けて考える必要がある。現在各地にみられる海岸段丘、扇状地海岸あるいは海谷などの海岸大地形、すなわち、海岸の原地形は、地質時代から現在までの地殻変動などの構造地形を形成する内的要因と、主として気候地形と呼ばれる長期的な海面変動や波浪などに原因した外的要因によって形成されたものであり、その形成過程は長期的な視点から考察しなければならない。

一方、海岸線近傍にみられる砂嘴、浜堤あるいは沿岸砂州などの海岸小・微地形は、原地形に付加されたものであり、比較的現在に近い時代に形成されたものである。さらに、現在ではかつての海岸土砂収支の均衡が崩れ、海岸小・微地形の変形だけではなく、原地形の変形をもたらすような海岸変

形が生じてきている。

このような海岸地形、とくに海浜特性を支配する要因として田中⁶⁾は、陸上地形、海浜・海底地形、波浪、潮汐、地盤変動および地質の5項目を取り上げるとともに、それらを時間スケールと空間スケールで規定している。一方、ここでは海岸地形の形成と変化を、海岸工学的な立場に地形学的スケールを導入するものであって、地形の生成と変化に与える外力の作用および生成された海岸地形、さらに、それぞれに対する時空間スケールを示すと図-3のようである。

この図からも海岸地形の変化は地質時代から継続しており、大地形は長期間にわたる作用の結果が地形の骨格として残されたものである。小・微地形は比較的新しい時代のもので、時間スケール上では中期から短期間の地表形態が残されたものといえよう。

時間スケールのみならず、海岸地形は空間的にもいろいろの広がりを持っているもので、大地形および小・微地形に立脚した海岸の単位はおのずから相違するはずである。また、小・微地形は大地形に付加されたものであることを考えるならば、海岸地形の形成と変化は時空間スケールそれぞれの組合せによって明らかにしなければならないといえよう。

3. 海面変動と海岸地形

平均海面の変動の研究は、従来より海洋学的な立場と測地学的な立場の両方を中心として研究されてきたが、地質学、地形学の分野において、地質時代の海面変動、とくに第4紀の海面変動のうち、過去1万年から2万年に至る最後の氷河期以降の研究が活発に行われてきている⁷⁾。

海岸線の位置は海面と陸上地形との相対的な関係によって定まるものであり、海岸侵食をはじめと

する海岸地形の変化も海面変動と波浪などの外力によって大きく影響されることになる。とくに、海面変動は図-4のように、大きく3つの時間スケールに区分される。まず、第1は地質学的スケール、第2は季節・年スケールおよび第3は高潮災害の発生にみられるようなきわめて短時間のスケールである。

ここでは、第1の地質学的スケールにおける長期的な視点による海面変動と海岸地形の形成、変化について見ることにする。

a) 地質時代における海面変動

海面変動の原因の第1はテクトニックな変動 (Tectonic movement) である。陸地が上昇、沈下することによって相対的に海面が低下、上昇するとしたものである。第2はユースタティックな変動

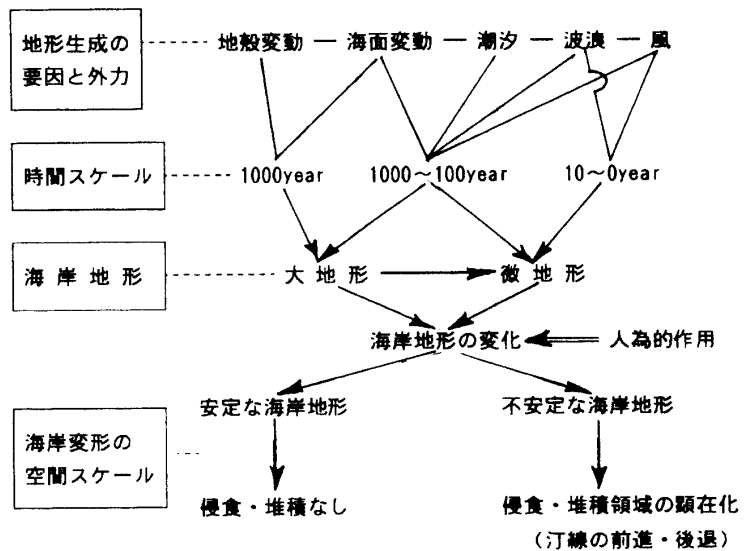


図-3 海岸地形の生成と時空間スケール

(Eustatic movement) である。

海面変動をもたらす原因のうちで最も重要なものは、第2のユースタティックな変動、すなわち第4紀の気候変動で代表される氷期と間氷期の繰り返しである。約200万年と言われる第4紀のうち、最も現在に近いものとして4回の氷期があり、それぞれ Gunz、Mindel、Riss および Wurm 氷期と呼ばれているが、それら氷期の間は間氷期と呼ばれ、気温もそれと対応して上昇・低下を繰り返し、海面の昇降差も100m以上に及んだと言われている。

このような気候変動に伴う海面変動は、海岸の大地形形成に大きく作用したことは明かであり、図-5は地質時代の海面高度を示すもので、地質年代の判定は海面の位置を示す地形や地層中に含まれる炭化物質の C^{14} 測定、あるいは遺跡などの考古学的手法で決定されたものである。

この図によれば、Fairbridge の曲線と同様に小さな上昇・低下の変動を繰り返しながら現在の海面高度に達していることが明らかである。

このように、海面高度の高い時期には、海水は陸地内部へと侵入し、相対的に海岸線が後退したと見てよいであろう。海面高度の高い6,000~5,000年B.P.、4,000~3,000年B.P. および1,000年B.P.を歴史時代区分に当てはめれば、縄文時代前期、縄文時代後期から弥生時代および平安時代に相当するものである。この海面高度が高かった縄文時代について東木⁸⁾は、関東平野に散在する貝塚の分布を調査し、当時の海岸線を図-6のように示している。

貝塚は収穫後の運搬や消費の形態から、その近くに海岸線があったものと考えられ、縄文時代の海

進期には現在の河谷に沿ってかなり内陸部まで海岸線が入り込んでいたことを表している。また、大阪湾沿岸において前田⁹⁾

は、各地の地層を調査し、縄文

海進期の海面上昇の最盛期には、淀川の河谷沿いに枚方市付近まで海岸線が入り込んでいたことを明らかにした。

その後の海面低下と河川の流送土砂によって、関東平野および大阪湾沿岸をはじめとする沖積地は次第に埋積され、海岸線も現在のところに位置するようになったものであろう。

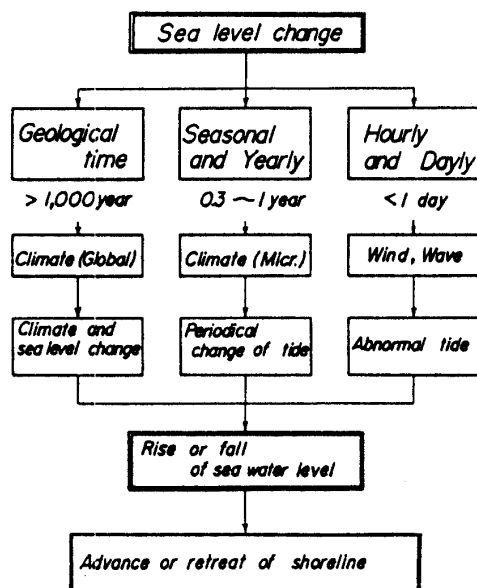


図-4 海面変動の時間スケール

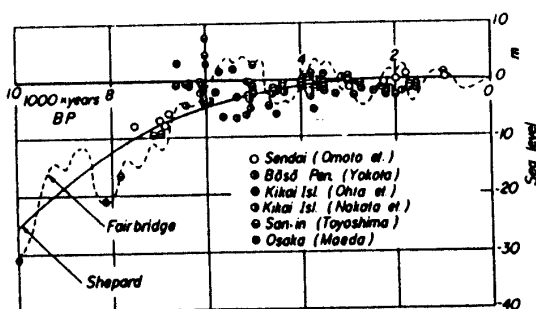


図-5 わが国地質時代の海面変動

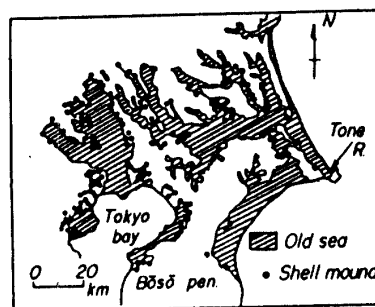


図-6 貝塚の分布と旧海岸線

b) 海面上昇と海岸線の後退

Wurm 氷期の最盛期である約 20,000 年B.P. 当時の海面高度は、現在に比べて -140 m 程度であったといわれ、その後 6,000 年B.P. 頃に現在よりも約 2~5m 程度海面高度が高かったことから、海面の平均上昇速度は約 10 mm/year にも達することとなる。

例えば、仮に海岸線付近の平均勾配を 1/200 とするならば、この急激な海面の上昇によって年平均約 2 m 程度海岸線が後退したことになる。これは現在わが国をはじめとして諸外国においても問題となっている、汀線や海食崖の後退量とほぼ同程度の値であることがわかる。

P. Bruun¹⁰⁾ は海岸工学的な立場から、海面上昇に伴って砂浜海岸で侵食が生じ、その侵食土砂は漂砂として沿岸方向および沖方向へと輸送されるが、中程度の勾配を持つ海岸では海面が 1 mm 上昇するごとに、汀線が約 0.3 m 後退すると指摘している。さらに、最近のアメリカ東岸では年当り約 2 mm の海面上昇があり、それによる侵食量は高波浪の来襲などに原因する全侵食量の 20~50 % にも及んでいると試算している。

わが国においても、高¹¹⁾ は長期的な観点から海面変動と海岸侵食の関係をとり上げ、沖積層から構成された海岸地形は、沖積世の海面変動に伴って形成された化石海岸地形で、現在問題となっている海岸侵食は人為的な影響による原因だけでなく、沖積世から現在に至る海面変動にも原因するもので、海岸地形の生成過程として海岸侵食が生ずるのは当然のことと指摘している。

以上のように、地質時代からの海面変動は、海岸近くの谷を埋積して広大な沖積低平地を形成すると同時に、沖積低平地を改変して現在の海岸大地形を形成したことが明らかである。

とくに、現在海岸線近傍にみられる海岸微地形は、このような変化過程の中で形成され、時間スケールの上では最も新しく、短期間に形成されたものといえよう。

4. 漂砂海岸の地形形成

漂砂海岸は主として砂礫から構成された海岸である。砂礫は河川や周辺海岸から供給され、来襲波浪や流れなどによって沿岸部を移動して、侵食あるいは堆積していろいろの海岸地形をつくっている。この海岸地形の形成には、波浪などの外力だけでなく、時間的にも長期にわたる海面変動や地殻変動も大きくかかわっている。

a) 漂砂海岸にみられる砂浜地形

Johanson²⁾ は沈水海岸線の発達過程の中で、岩石海岸に付随して見られる砂質海岸地形の主なものとして、図-7のようなものを挙げている。このような海浜においては、背後地の侵食や海域への流入河川からの流送土砂が主たる漂砂源であり、沿岸漂砂として移動していく間にいろいろの海岸地形を形成するのである。主な海岸地形としてバー（砂州）やトンボロ（舌状砂州）、サンドスピット（砂嘴）が挙げられる。

バーは大規模砂浜海岸の沖合いにみられる水面下のものとは違って、一般にバリエーと呼ばれるもので、その成因は碎波帯付近の沿岸砂州が海面上に現れたもの、沿岸流によって輸送された漂砂が砂嘴として発達、成長したものと陸上部に形成された砂堆がその後の海面の上昇によって沖合いのバリエーとなったものなど、これらの作用が複雑に関係して形成されたと考えられる。この典型的な例は

アメリカのカロライナ州など大西洋沿岸部において、延長距離の長い非常に規模の大きなものがみられる。トンボロは湘南海岸の江ノ島背後に広がる砂浜の汀線形状が、大きく江ノ島方向に突き出しているように、沖からやってくる

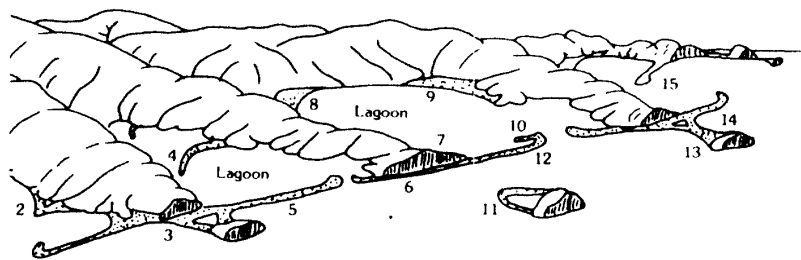


図-7 沈水海岸の発達に伴う砂質海岸の概念図

波浪が島によって遮られ、回折波として背後に回り込むことと背後の静穏な海域に両側から移動してきた漂砂が堆積し、次第に汀線が島の方向に延びるものである。このような海岸地形は、砂浜海岸に数多く設置されている離岸堤の背後においてよく見られ、離岸堤はこの効果を利用して砂浜海岸を守る役目をしている。また、岬などの先端付近から海岸線に沿って、あるいはやや沖方向に細長い砂堆が伸びているのが砂嘴である。

この砂嘴の形態には、1)ほぼ直線状に延びる単純砂嘴、2)複合砂嘴、3)鉤状砂嘴と呼ばれ、複合砂嘴と鉤状砂嘴はその先端部が陸地方向に曲がり、静岡県三保半島や北海道野付岬がその典型的な例である。このような砂浜地形は沿岸流によって漂砂が移動、堆積することで形成されるものである。これらの砂浜海岸地形を Shepard の考えに当てはめると2次的な砂浜海岸の地形といえることができる。

b) 天ノ橋立における砂嘴地形の形成と変化

日本三景の一つとして古くから知られ、波浪や流れによって砂礫が沿岸部に堆積し、雄大な砂浜地形を形づくっている京都府宮津市の「天ノ橋立海岸」の形成について見てみよう。

天ノ橋立は若狭湾西端の丹後半島基部の宮津湾の湾奥に位置しているが、若狭湾沿岸は多くの断層が走り、これらの断層運動によって形成された沈水海岸で、山地が直接海に接する海岸線を形づくっている。これらの沿岸部には小規模な砂浜海岸がみられるが、天ノ橋立は、典型的なサンドスピット（砂嘴）といわれている。しかし、宮津湾と天ノ橋立背後の「阿蘇海」の地形を見ると「阿蘇海」の湾口を締め切るように土砂堆積によって作られた砂州が陸化したものとも考えられる。

その形成過程について陳、岩垣¹²⁾は、地質時代から現在まで続いてきた海面変動と関係して、約3,000年から6,000年前の現在より海面が約6m程度高かった「縄文海進」と呼ばれる時代から形成され始めたものと結論づけている。

つまり、海面の上昇によって現在の宮津湾が海となり、外海からの波浪が進入することによって、湾頭西側に流入する畑川、世屋川、波見川の小河川から流出した土砂が湾奥方向に輸送され、阿蘇海の湾口を閉じるように土砂が堆積して砂州を形づくり、その後の海面の低下によって陸化したものとしている。また、1500年頃に雪舟によって描かれた「天橋立図」（国宝）では、砂嘴の下手にあたる小天橋がなく、砂嘴の付け根である江尻地先から2km程度の延長距離であることが判る。

これらのことから天ノ橋立を形成してきた沿岸漂砂について、原地形の復原結果と上手側海岸に築造された日置港、江尻港における浚渫土砂量から年平均4,500m³程度になるものと推定している。

この値は雪舟の「天橋立図」から算定した年平均約4,800m³とよく対応しており、砂嘴の形成に

海面変動や来襲波浪の波向などが大きく影響することを明らかにしている。

一方、これまで砂嘴を形成してきた沿岸漂砂が上手側海岸において阻止されると、砂嘴は次第に侵食されやせ細ることが明らかで、漂砂の連続性を回復することが砂浜海岸の侵食にとって重要であることがわかる。

5. 結 語

海岸大地形の形成には、地質時代からの海面変動が大きく作用し、また、波浪を主とする外力によって地形が大きく変化してきたことを明らかにした。

とくに、最近ではこれまで海岸部へ土砂を供給してきた流入河川からの流送土砂が減少したため、海岸侵食が顕著となってきたことが明らかである。とくに、大河川河口部沿岸の大規模砂浜海岸において侵食の傾向が強く、河口デルタの縮小と一体となった海岸侵食が顕著となってきている。この海岸の侵食をさらに助長し、砂質海岸の変形を加速してきたのは沿岸部に築造されてきた海岸・港湾構造物によるもので、従来の海岸侵食対策による海岸保全を新たな観点から考え直すことが必要と考えられる。

参 考 文 献

- 1) Inman, D. L. & C. E. Nordstrom : On the tectonic and morphologic classification of coasts. *Lour. Geol.*, Vol. 79, No. 1, 1971, pp. 1-21.
- 2) Johnson, D. W. : *Shore Processes and Shore Development*, Wiley, 1919, P. 584.
- 3) Valentin, H. : Principles of a handbook on regional coastal geomorphology of the world, *Zeitschr. Geomorphologie*, Vol. 13, 1969, pp. 124-129.
- 4) Bascom, W. N. : The relationship between sand size and beach face slope, *Trans. AGU*, Vol. 32, No. 6, 1951, pp. 866-874.
- 5) Shepard, F. P. : *Submarine geology*, third edition, Harper & Row Publ., 1973, pp. 102-122.
- 6) 田中則男 : 日本沿岸の漂砂特性と沿岸構造物築造に伴う地形変化に関する研究, *港湾技研資料*, No. 453, 1983, pp. 1-148.
- 7) 日本地理学会 : 最終氷期以降の海水準変動と地形発達 - 1976年秋季大会シンポジウム -, *地理学評論*, Vol. 50, No. 3, 1977, pp. 172-184.
- 8) 東木竜夫 : 地形と貝塚分布よりみたる関東低地の旧海岸線, *地理学評論*, Vol. 2, No. 7-9, 1926, pp. 597-607, 659-678, 746-773.
- 9) 前田保夫 : 縄文の海と森 - 完新世前期の自然史 -, 蒼樹書房, 1980, P. 238.
- 10) Bruun, P. : Sea level rise as a cause of shore erosion, *Proc. ASCE, WW1*, 1962, pp. 117-130.
- 11) 高 隆二 : 海岸侵食と海水準変動, 第15回海岸工学講演会講演集, 1968, pp. 141-148.
- 12) 陳 活雄, 岩垣雄一 : 砂嘴の形成と侵食に関する研究 - 天橋立海岸について -, *海岸工学論文集*, 第39巻、1992, pp. 371-375.

(平成6年12月6日受理)