

◆特集：防護・環境・利用の調和した海岸を目指して◆

漂砂系の概念と海浜過程に関わる研究課題

山本幸次*

1. はじめに

我が国は四方を海に囲まれており、その海岸線は大小の屈曲に富むために多様な海岸が見られる(小池¹⁾)。例えば、北海道東部の野付半島や静岡県三保松原は沿岸漂砂により形成された砂嘴として、茨城県の鹿島灘沿岸や千葉県九十九里浜は岸沖漂砂の卓越する長大砂浜として位置づけられる。また、三陸地方などのリアス式海岸は固結堆積物からなる岩石海岸で、それらで構成される岬と岬との間には安定したポケットビーチが見られる。さらに、南西諸島ではサンゴ礁と、それを供給源とする美しい砂浜もある(サンゴ礁地域研究グループ²⁾)。

このように、我が国においては多種多様な自然海岸が存在しているが、明治以降、全国各地で海岸侵食が著しく進んだ(例えば、田中ほか³⁾)。この海岸侵食の原因としては、海岸における土砂移動に影響を与える港湾や漁港等の建設、河川からの流出土砂の減少、海食崖の侵食防止に伴う崩落土砂の減少が挙げられる(宇多⁴⁾)。さらに、海岸保全で侵食対策として整備されてきた消波堤や突堤、離岸堤が局所的な効果を発揮するものの、それらが沿岸漂砂の不均衡を招いて、下手側に新たな侵食を引き起こした事例も多い(宇多⁴⁾)。

このことから、1998年7月に河川審議会総合土砂管理小委員会から「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」という報告書が提出され、流域の源頭部斜面から海岸までの土砂の運動領域全体を指す「流砂系」という概念が新たに導入された(高橋⁶⁾)。そして、この流砂系の概念にもとづき、陸域と海域を包括した総合的な土砂管理に向けた取り組みも本格的に始められることになった。また、従来の海岸保全のあり方を見直した改正「海岸法」が1999年5月28日に公布され、防護・環境・利用

の調和した海岸保全を行うことが義務づけられた(青山⁵⁾)。

したがって、今後は、流砂系における総合的な土砂管理にもとづいた、改正「海岸法」の理念を実現するための海岸保全が望まれる。この海岸保全を進めるにあたっては、まず取り扱うべき空間としての海域での土砂の運動領域(漂砂系)を設定し、その領域で土砂動態調査や生態系調査などを行うことが必要とされる。そこで、ここでは、まだ明確にされていない漂砂系の概念を示すとともに、土砂動態と海浜過程の観点から、漂砂系の沿岸方向境界および岸沖方向境界の設定指標に関わる研究課題について述べる。

2. 漂砂系の概念

従来の海岸保全においては、汀線の急激な後退や浜崖の形成を国土の消失としてとらえ、その対策として消波堤や突堤、離岸堤などが局所的に整備されてきた。しかし、海浜地形の変化はおもに波浪の作用にともなう沿岸方向と岸沖方向の土砂移動で生じる現象である。したがって、短期間で局所的な侵食が生じていても、広範囲で長期的にみると土砂量は変化せず、一時的に後退した汀線も復元し、海岸保全上は問題がない場合もある。つまり、海岸保全計画を立案する場合には局所的な侵食に着目するよりも、保全の対象とする区域を設定して、その区域における土砂収支を把握するとともに、海浜変形の傾向を予測しておくことが必要とされる。

例えば、図-1に実線で示すような区域を考えたとき、この区域には河川から土砂(Q_R)が直接供給され、区域外からは沿岸漂砂(L_1)や岸向き漂砂(O_1)、飛砂(B_1)により土砂が運ばれてくる。一方、区域外には沖向き漂砂(O_2)や沿岸漂砂(L_2)、飛砂(B_2)より土砂が運び去られる。この実線で示した区域において、沿岸漂砂や岸沖漂砂および飛砂により運ばれてくる土砂量と、運び去

The Notion of Sediment Cells, and the Research Topics
Concerning Coastal Processes

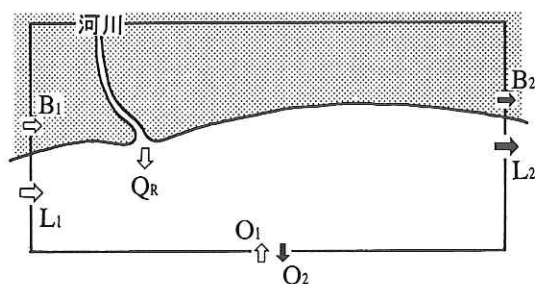


図-1 地先海岸における土砂収支

られる土砂量が均衡していれば、河川から直接供給される土砂量 (Q_R) に応じて堆積が進み、河口部から汀線が前進していくことになる。

しかし、何らかの要因で沿岸漂砂 (L_1) や岸向き漂砂 (O_1) および飛砂 (B_1) により運ばれてくる土砂量がほとんどなくなると、河川から供給される土砂量 (Q_R) と、沖向き漂砂 (O_2) や沿岸漂砂 (L_2) および飛砂 (B_2) で運び去られる土砂量 (流出土砂量) の収支により海浜地形の変化が生じる。すなわち、河川から供給される土砂量が流出土砂量より少ない場合には、河口部から侵食が進むことになる。以上のことから、現状の海岸保全計画では図-1 に示した区域での土砂収支の把握や、侵食範囲の予測などが行われるようになってきた。

ところで、河川から供給される土砂量が流出土砂量よりも少ない状況が継続すると、侵食範囲は図-1 に示した区域を超えた沿岸漂砂の下手側まで拡大することになる。そこで、図-1 に示した局所的な区域よりもさらに広い領域での土砂収支を検討して、海岸保全計画を立案する必要性が生じてくる。このことから、宇多⁷⁾ は岬や大規模な構造物などの沿岸漂砂を阻止するものを境界とする領域を漂砂系として模式的に示し、その領域での土砂収支の把握の必要性を述べている。同様に、栗山⁸⁾ も沿岸漂砂がゼロの2つの地点 (岬) を境界とする漂砂系を模式的に示し、広域における土砂収支を把握することの重要性を説いている。

すなわち、海岸保全計画を立案するにあたっては、広域の土砂収支を把握することの重要性が指摘されつつある (三村⁹⁾)。そして、流砂系の総合的な土砂管理においても、海域での土砂の運動領域における土砂収支の調査・把握が求められている。ここで、海域での土砂の運動領域とは、流

砂の働きとしての海浜地形の形成作用を考慮すれば、漂砂系と同義と考えられる。

磯部¹⁰⁾ は改正「海岸法」の理念の実現にあたっては、沿岸方向には沿岸漂砂の連続する一連の区間の、岸沖方向には砂丘の陸端から海底における漂砂の限界水深までの範囲までの土砂収支を把握しておく必要があるとしている。この領域は模式的に図-2 のように示され、宇多⁷⁾ や栗山⁸⁾ による漂砂系とはほぼ同様の領域となる。つまり、沿岸方向には沿岸漂砂の連続する一連の区間、岸沖方向には砂丘の陸端から海底における漂砂の限界水深までの範囲が漂砂系の概念として与えられることになる。

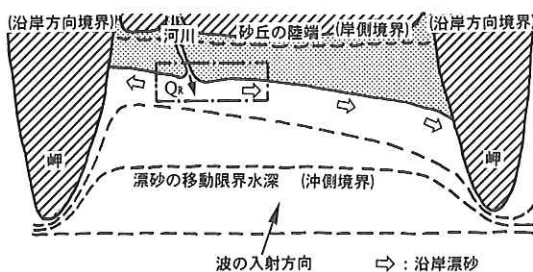


図-2 漂砂系の概念

さらに、河川や海食崖などから供給された土砂によって、海浜地形が形成されるという地形学的な観点からは次のようなことが指摘できる。①河川や海食崖から海域に供給される土砂は、ほぼ類似な岩石種や鉱物組成からなる。②それにより形成された一連の海浜では、波浪のよるふり分け作用や摩耗作用を受けて沿岸方向に異なる粒径分布となっても、土砂の岩石種や鉱物組成は供給されたときの特性を保つ。つまり、漂砂系においては分布する土砂の岩石種や鉱物組成が類似であると考えられる。

以上のことから、1) 沿岸方向には沿岸漂砂の連続する区間、2) 岸沖方向には砂丘の陸端から海底の漂砂の移動限界水深までの範囲、3) 分布する土砂の岩石種や鉱物組成が類似な空間的領域を、漂砂系の概念として明確に与えることができる。

3. 漂砂系における海浜過程に関わる研究課題

2節で漂砂系の概念を明確に示したが、実際に

漂砂系を確定するためには、土砂動態と海浜過程に関わるいくつかの解明しなければならない研究課題がある (図-3)。

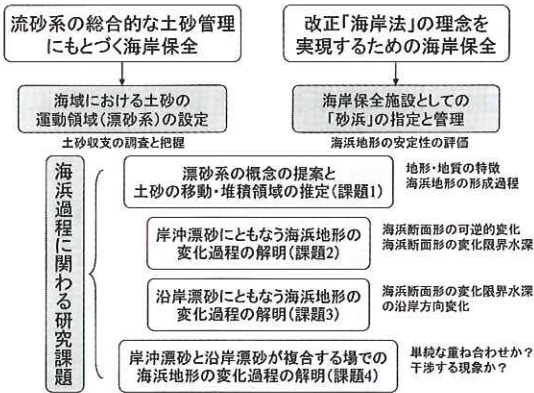
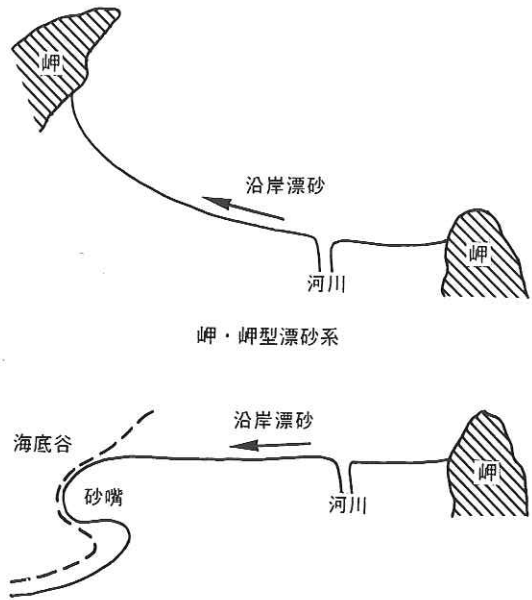


図-3 海浜過程に関わる研究課題

まず、漂砂系の沿岸方向境界は、宇多⁷⁾によれば岬や大規模な構造物などの沿岸方向の土砂の移動(沿岸漂砂)を阻止するもので、栗山⁸⁾によれば沿岸漂砂がゼロの2つの地点で与えることができる。しかし、漂砂系における沿岸漂砂の上手側は土砂が運び去られる場であり、下手側は沿岸漂砂で運ばれてきた土砂によって海浜地形が形成される場であるという、地形学的な観点からは沿岸漂砂量の見かけ上の大きさはあまり重要ではない。

とくに、沿岸漂砂の下手側は海浜地形が形成される場であるという地形学的な観点によれば、沿岸方向境界を沿岸漂砂を阻止するものや沿岸漂砂量がゼロの地点とする必要はないと考えられる。つまり、漂砂系の沿岸方向境界は、地形・地質の特徴や海浜地形の形成過程などの地形学的な観点にもとづき、土砂の移動・堆積過程を推定して設定するのが望ましく、その手法を具体的に示すことが必要とされる(図-3、課題1)。例えば、沿岸漂砂の下手側の地形に着目すると、大規模な岬や海底谷が存在する場合があるので、それらを沿岸方向境界として、図-4に示すように漂砂系を確定できる。

次に、漂砂系の岸沖方向境界は、海域では波浪と流れ、陸域では波浪と風の作用による土砂の移動限界を指標として設定できると考えられる。とくに、海岸における土砂移動の主な外力は波浪



岬・海底谷型漂砂系

図-4 漂砂系の沿岸方向境界

であるので、波浪の作用による岸沖漂砂にともなう海浜断面形の変化過程を検討して岸沖方向境界を設定するのが望ましい。

例えば、Sunamura¹¹⁾が提案しているバームとバー、および海浜断面形の変化タイプ(図-5)に関する指標は、漂砂系の沖側境界の設定に不可欠なものと考えられる。しかし、Sunamura¹¹⁾の指標を用いて、現地での養浜後の海浜断面形の安定性を予測すると、過大評価や過小評価となる場合もある。したがって、海浜断面形の安定性に関するSunamura¹¹⁾の指標を再評価する必要がある。また、漂砂系の沖側境界を設定する新しい指標の提案するためには、波浪条件と海浜断面形の変化限界水深(図-5に示した h_r)の関係を明らかにすることが望まれる(図-3、課題2)。

ところで、砂質海岸や砂礫海岸では、暴浪波の作用により土砂が前浜から沖側に運ばれバーが形成されても、その後の静穏波の作用により土砂が岸側に運ばれて、前浜が復元するとともにバームが形成される、図-6に示す可逆的な変化が生じる(例えば、砂村¹²⁾)。しかし、暴浪波の作用で土砂がかなり深いところまで運ばれると、その土砂は静穏波の作用では岸側にはもどらず、海浜断面形の非可逆的な変化が生じると考えられる。このこ

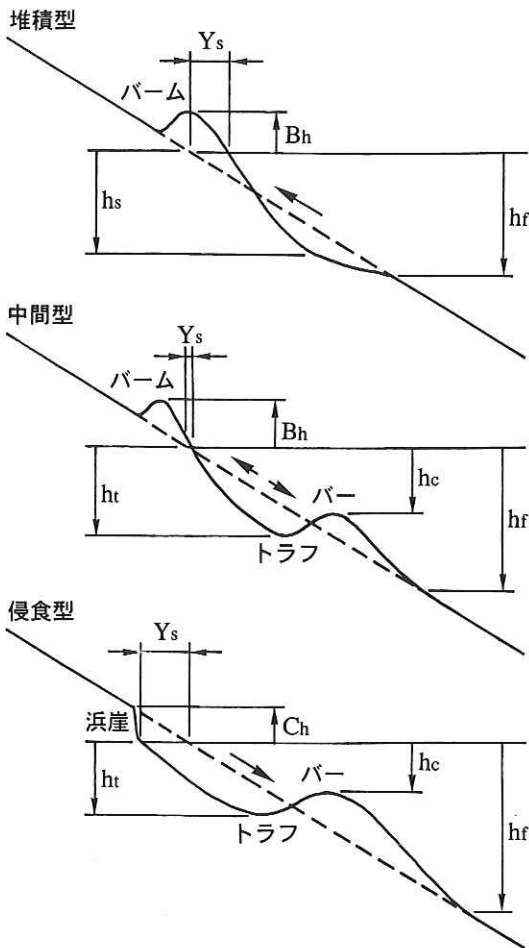


図-5 海浜断面形の変化タイプ

とは、砂村・倉田¹³⁾による時間的に変化する波浪の作用にともなう海浜変形に関する実験で指摘されている。このような暴浪波の作用による沖側への土砂の堆積は、場合によっては漂砂系の沖側への土砂流出になるので、海浜断面形の可逆・非可逆的变化過程を解明し、それにもとづき漂砂系の沖側境界の設定を見直す必要がある(図-3、課題2)。

以上の課題を検討すれば、漂砂系の沿岸方向境界は、地形・地質の特徴および海浜地形の形成過程などの地形学的な観点から、沖側境界は岸沖漂砂にともなう海浜断面形の変化限界水深によって一義的に設定できることになる。また、改正「海岸法」の理念の実現に必要と考えられる「砂浜」の安定性は、海浜断面形の可逆・非可逆的变化過程から評価が可能となる。

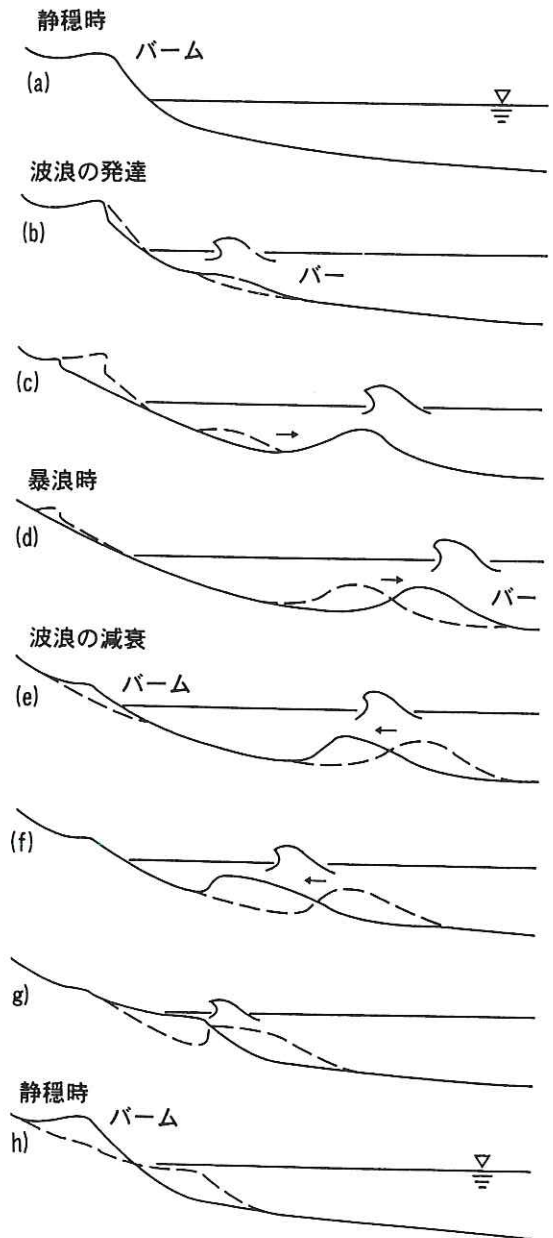


図-6 海浜断面形の可逆的变化過程

しかし、岸沖漂砂にともなう海浜断面形の変化は短期的な時間スケール(数時間から数百日間)の現象であり、実際の漂砂系においては、沿岸漂砂の不均衡で中期的な時間スケール(数年間から数十年間)の海浜地形の変化も生じる。この場合、沿岸漂砂の下手側では、図-7に示すように波浪の作用による海浜断面形の変化限界水深よりも深いところまで土砂が堆積することもある。このこと

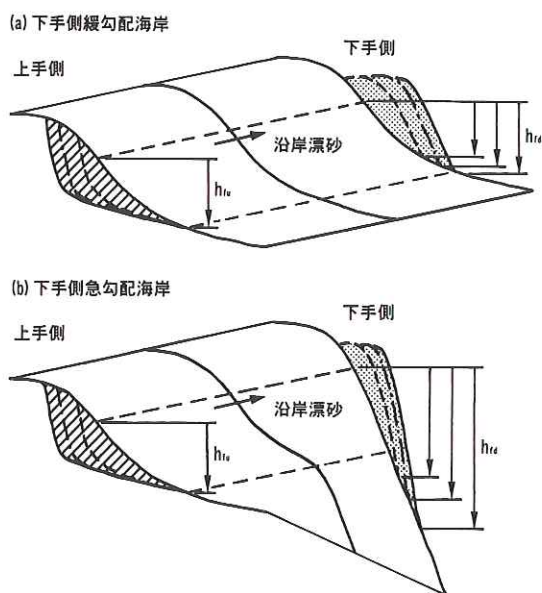


図-7 沿岸漂砂による海浜断面形の変化過程

は、沿岸漂砂で形成される海浜断面形の特徴と分類に関する宇多・山本¹⁴⁾の研究で指摘したものの、漂砂系の沖側境界の設定という観点からの再検討が必要とされる(図-3、課題3)。また、沿岸漂砂にともなう海浜断面形の変化過程については、平面水槽を用いた移動床模型実験により再現を試み、その普遍的な特性について考察すること(図-3、課題3)も、漂砂系の沿岸方向および沖側の境界を設定する上で重要と考える。

さらに、実際の漂砂系においては、岸沖漂砂と沿岸漂砂が複合して海浜地形が変化しており、それらの相互作用については、永澤・田中¹⁵⁾や内山ほか¹⁶⁾により主要因分析が行われつつある。しかし、漂砂系の下手側では静穏波による沿岸漂砂で運ばれてきた土砂が徐々に堆積し、暴浪波の作用時に沖側に大量の土砂が運ばれて、かなり深い部分まで土砂が堆積するというような、土砂の移動・堆積過程に着目した研究は少ない。つまり、漂砂系における岸沖漂砂と沿岸漂砂の複合による海浜地形の変化過程を解明することも、海岸工学的に重要な課題の一つと言える(図-3、課題4)。

以上の課題を検討して得られた知見にもとづけば、流砂系において総合的な土砂管理を行うとともに、改正「海岸法」の理念を実現する海岸保全を行うために必要とされる、海域での土砂の運動領域(漂砂系)の沿岸方向境界と沖側境界が設定

できる。

しかし、漂砂系の陸側境界の設定手法についての検討が残されている。この検討は飛砂や砂丘の変形などに関する研究にもとづけばよい。例えば、飛砂量の予測については栗山・上堂園¹⁷⁾の研究、海岸砂丘の長期的な地形変動特性については有働・武若¹⁸⁾の研究、砂丘固有の地形特性については西ほか¹⁹⁾の研究を参考にできる。ところが、海岸保全の対象とする海岸では、砂丘がなかったり、人工的に改変されている場合が多く、海岸線沿いには道路や堤防・護岸の整備が進んでいる。つまり、ほとんどの海岸では人工構造物などで漂砂系の陸側境界が設定されと考えられる。

なお、流砂系における総合的な土砂管理のもとでの海岸侵食対策として、山地崩壊土砂や河道内の余剰土砂を海岸に投入する「養浜」があげられる。この場合、投入した土砂の移動・堆積過程を明らかにし、投入土砂が海岸の維持・復元に寄与することや、海岸環境にどのような影響を与えるかを示すことが重要である。

なぜならば、海岸地形が基本的な環境要素となり、海岸の土砂管理を通じて地形の安定化を図ることが、海岸環境全体の向上のために非常に重要で、とくに生態系に対しては、地形そのものとともに、土砂の粒径が支配的な要因となるからである(磯部²⁰⁾)。すなわち、改正「海岸法」の理念から、養浜などの人為的に土砂を海域に投入する侵食対策を行う場合には、海域における生物の生息条件を乱さないように、漂砂系における沿岸方向と岸沖方向の土砂の分布特性を把握しておくことの必要性も指摘される。

4. おわりに

本報では、1) 沿岸方向には沿岸漂砂の連続する区間の、2) 岸沖方向には砂丘の陸端から海底の漂砂の移動限界水深までの範囲で、3) 分布する土砂の岩石種や鉱物組成が類似な空間的領域を、漂砂系の概念として明確に示した。そして、漂砂系の沿岸方向境界と岸沖方向境界を設定するための研究課題について、土砂動態と海浜過程の観点から述べた。なお、これらの研究課題については、実験的検討および現地海岸データにもとづく検討を進めており、その成果^{21)~23)}は別の機会に紹介する。

今後は、ここで明確にした漂砂系の概念にもとづき、漂砂系の沿岸方向境界と岸沖方向境界を適切に設定し、各々の漂砂系に応じた海岸保全を計画するのが望ましい。例えば、沿岸漂砂の下手側に岬が存在する漂砂系では、河川からの供給土砂量の変化に応じて、流域で確保した土砂を投入する養浜や、堆積域から侵食域に人工的に土砂を移動させる海岸保全が考えられる。また、沿岸漂砂の下手側に海底谷が存在する漂砂系では、海底谷から深海への土砂堆積が漂砂系からの土砂流出を意味することから、土砂の流出対策と流入河川からの人工的な土砂供給の組み合わせによる海岸保全が必要とされる。

なお、土砂を人工的に投入する海岸保全を行う場合には、漂砂系における土砂の質を変えることなく、海浜地形の安定化を図らなければならない。なぜならば、生態系に対しては土砂の粒径が支配的な要因であるので、対象とする漂砂系に分布する土砂と異質な材料を海岸保全に用いると、海岸環境を変化（悪化）させることになるからである。

以上のように、海岸保全計画を立案する場合には、市町村界や県境などの行政・省庁所管から決定されている区域を大きく越える領域（すなわち、漂砂系）を設定することが望まれる。そして、漂砂系における土砂収支を調査・把握して、各事業の見直しと整合を図りつつ、流域と河口域および漂砂系での土砂の流れを確保した海岸保全を進める必要がある。

参考文献

- 1) 小池一之：「海岸とつきあう」，岩波書店，p131，1997.
- 2) サンゴ礁地域研究グループ：「熱い自然-サンゴ礁の環境誌」古今書院，p372，1990.
- 3) 田中茂信、小荒井衛、深沢 満：地形図の比較による全国の海岸線変化，海岸工学論文集，第40巻，pp.416-420，1993.
- 4) 宇多高明：「日本の海岸侵食」，山海堂，p442，1997.
- 5) 青山俊行：時代の要請に応える新しい海岸管理制度—海岸法の一部を改正する法律—，土木學會誌，Vol.84，No.8，pp.50-53，1999.
- 6) 高橋 保：流砂系の総合的な土砂管理に向けて，河川，No.628，pp.3-5，1998.
- 7) 宇多高明：海浜地形変化，土木学会海岸工学委員会編，「海岸施設設計便覧 [2000年版]」，(社)土木学会，pp.124-129，2000.
- 8) 栗山善昭：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，pp.B-5-1-B-5-13，2001.
- 9) 三村信男：海岸の計画の考え方，土木学会海岸工学委員会編，「海岸施設設計便覧 [2000年版]」，(社)土木学会，pp.5-7，2000.
- 10) 磯部雅彦：改正海岸法の理念の実現に向けて，海岸，第39巻第1号，pp.14-18，1999.
- 11) Sunamura, T.: Sandy beach geomorphology elucidated by laboratory modeling, V.C.Lakhan and A.S.Trenhaile (editors), *Applications in Coastal Modeling*, Elsevier, Amsterdam, pp.159-213, 1989.
- 12) 砂村継夫：海浜地形，堀川清司編「海岸環境工学」，東京大学出版会，pp.130-146，1985.
- 13) 砂村継夫、倉田雄司：時間的に変化する波浪を用いた海浜変形に関する二次元実験，第28回海岸工学講演会論文集，pp.222-226，1981.
- 14) 宇多高明、山本幸次：沿岸漂砂の卓越する砂浜海岸における縦断面形変化の分類，地形，第17巻，pp.86-106，1996.
- 15) 永澤 豪、田中 仁：等深線距離を用いた三次元経験的固有関数展開による仙台海浜海浜変形解析，海岸工学論文集，第47巻，pp.621-625，2000.
- 16) 内山雄介、栗山善昭、波多野敦史：蒲生干潟前面海浜地形の中期変動特性，海岸工学論文集，第48巻，pp.601-605，2001.
- 17) 栗山善昭、上堂園孝一：後浜から砂丘前面にかけての飛砂量の数値計算，海岸工学論文集，第46巻，pp.501-505，1999.
- 18) 有働恵子、武若 聡：海岸砂丘の長期的な地形変動特性とその再現，海岸工学論文集，第48巻，pp.596-600，2001.
- 19) 西隆一郎、宇多高明、佐藤道朗、牟田神宗征、中村俊一：砂丘風食地形に関する基礎的研究，海岸工学論文集，第47巻，pp.581-585，2000.
- 20) 磯部雅彦：海岸環境と流砂系土砂管理，河川，No.628，pp.24-31，1998.
- 21) 福島雅紀、山本幸次、佐藤慎司：時間変動波浪を用いた海浜変形実験，海岸工学論文集，第46巻，pp.556-560，1999.
- 22) 福島雅紀、山本幸次、鳥居謙一：岸沖漂砂による海浜断面変化の予測指標に関する研究，海岸工学論文集，第48巻，pp.576-580，2001.
- 23) 鳥居謙一、福島雅紀、山本幸次：平衡海浜断面形の形成過程とその波浪応答性に関する研究，海岸工学論文集，第50巻，印刷中，2003.

山本幸次*



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室主任
研究官，博（工）
Dr. Koji YAMAMOTO