

天竜川以西の遠州海岸の汀線変化と沿岸漂砂量分布の推算

青木伸一*・真田誠至**・歌津宏康***

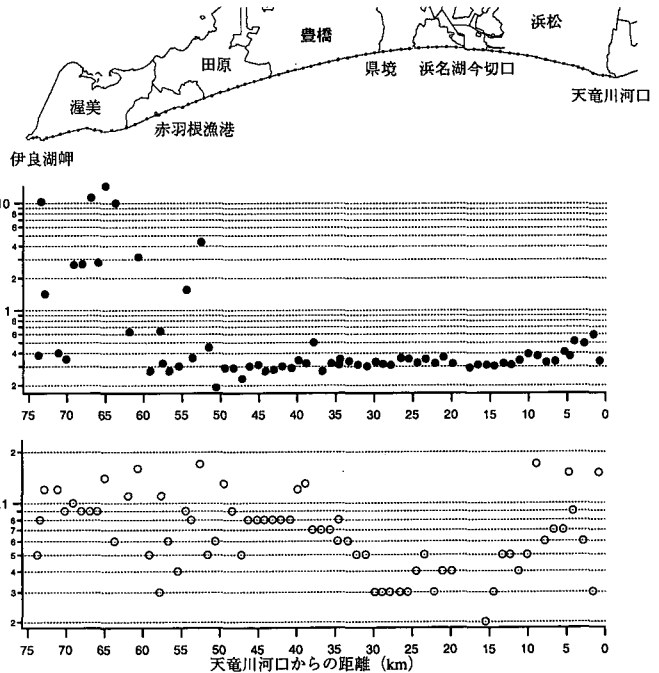
1. まえがき

天竜川河口から伊良湖岬にかけての遠州海岸では、近年砂浜の侵食が顕著になっていると言われており、その影響もあつてか、海岸へのアカウミガメの上陸・産卵数も年々減少している(豊橋市, 1998)。海岸侵食の原因としては、当海岸への大きな土砂供給源であった天竜川において、1960年前後に佐久間ダムをはじめとする貯水池や砂防ダムの建設が急激に進んだこと、渥美半島の海食崖の侵食対策により崖からの土砂供給が絶たれたこと、1950年代から70年代にかけて造られた防波堤(赤羽根漁港)や導流堤(浜名湖今切口)などの影響で漂砂平衡が崩れたことなどが考えられている。

遠州海岸における漂砂過程に関する研究例はすでにいくつかあるが、天竜川河口から渥美半島伊良湖岬にわたる、天竜川以西の海岸(約75 km)については、広域での汀線変動や漂砂特性が十分明らかにされていないとは言えず、侵食防止対策を広域的に検討する際の資料に乏しい。本研究では、天竜川以西の遠州海岸を対象とし、航空写真を用いて1960年～1990年頃までの約30年間の汀線の経年変化を明らかにするとともに、これにone-lineモデルの仮定を適用して沿岸漂砂量分布の逆算を行い、天竜川からの流出土砂量の変化と関連づけることによって、大きな空間スケールでの汀線変化のメカニズムを明らかにしようとするものである。

2. 対象海岸の地形と漂砂の卓越方向

対象海岸の概要については、建設省中部地方建設局(1991, 1993)および和田・石原(1991)などに詳しい。海岸の様子は、天竜川河口から静岡・愛知県境の西側ま



図一 対象海岸および前浜の粒径と勾配の分布

では、広く一樣な砂浜が続くが、豊橋から伊良湖岬までの海岸は、海食崖前面の比較的狭い砂浜と点在する岩場からなる。ただし、天竜川河口西側の離岸堤、浜名湖今切口の導流堤、赤羽根漁港の防波堤付近では、構造物の影響により、近年、海浜地形に大きな変化が生じている(宇多ら, 1991)。図一には、対象海岸の範囲とともに、著者らが1996年および1997年の夏に行った海岸調査による、前浜における砂粒径(中央粒径)および前浜勾配の分布を示している。河口付近を除けば、天竜川から50 km 付近までは、粒径0.3 mm程度の細砂の砂浜が続いているが、それより西では、砂浜は崖起源と思われる比較的粗い砂と細砂が入り混じっており、変化に富んだ海岸になっている。

対象海岸における漂砂の卓越方向については、服部ら(1974)および和田・石原(1991)は、海浜礫および海浜砂の粒径分布から、河口付近から今切口までは西向き、

* 正会員 工博 豊橋技術科学大学助教授 建設工学系
 ** 工修 岐阜大学大学院 工学研究科
 *** 工修 西松建設(株)

今切口以西では東向きであると類推している。しかしながら、宇多ら (1991) は、今切口および赤羽根では明らかに西向きの漂砂が卓越することを示し、天竜川以西ではほぼ全域で西向き漂砂が卓越としている。著者らは、海浜礫および海浜砂の粒径分布は漂砂の移動方向を決定づけるほど大きな変化を示していないこと、今切口と赤羽根では明らかに西向きであり、かつこの間で大きな海底地形や海岸線の変化がないことより、この間で漂砂の向きが東に転じているとは考えにくく、宇多らの推論が妥当であると考えられる。

3. 航空写真を用いた汀線変化の推算

(1) 使用した航空写真と処理方法

汀線の経年変化を調べるために、建設省国土地理院発行の空中写真を購入した。1960年頃からおよそ10年毎に1990年頃までの写真136枚を解析対象としたが、対象海岸全域を同一年に撮影した写真でカバーすることはできないので、多少の年代のずれは許すこととした。また、撮影時期 (季節) についても、同一の季節を選択することはできなかった。表-1に、使用した空中写真の撮影年月と撮影範囲を示す。

航空写真は、写真上の参照点の緯度・経度を数値地図25000をもとに読み取った後、スキャナーで読み取り、幾何補正を行いながら、汎用GISソフト (SIS) 上に画像データとして取り込んだ。これにより、縮尺の異なる写真を同一のスケールで重ねて比較することが可能となる。

(2) 汀線位置の推定法

汀線位置の推定には、通常砂浜上の湿潤線をまず読み取り、種々の補正を加えることが多い。湿潤線に大きな影響を与える要因としては、潮位変動および波の遡上 (setupを含む) が考えられる。そこで、湿潤線の挙動を調べるために、赤羽根漁港東側の砂浜海岸において、1998年9月30日~11月4日の期間のうちの14日間、湿潤線の時間変化に関する現地観測を行った。波の遡上域の海浜断面については毎回測量を行い、湿潤線の位置は目視によって決定した。この期間中は、海岸の沖合い約1km

の地点で波浪の連続観測を行っていたため、同時に波浪データを取得することができた。

まず、潮位については、潮汐調和定数表 (海上保安庁水路部, 1992) をもとに、赤羽根での12分潮を用いて推算した。推算結果は実測結果とよく一致しており、また御前崎での調和定数を用いて推算した値とも、ほぼ一致していたので、赤羽根のデータを用いて、対象海岸全域について潮位の推算が可能であることがわかった。

波の遡上高さについては、実測した湿潤線の高さから潮位を差し引いて求めた遡上高さRを、補正係数C_Rを付加した Hunt の式 (1) と比較した。

$$\frac{R}{H_0} = C_R \left(\frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_0/L_0}} \right) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、tan α は波の遡上域の海浜勾配、H₀、L₀ はそれぞれ沖波の有義波高および有義波周期に対応する波長である。図-2は、C_R=1とした場合の遡上高さの計算値と観測値を比較したものであるが、潮位が平均水面より低い場合は湿潤線の高さを過大に評価する傾向があり、潮位によってC_Rを変える必要があることがわかった。そこで、潮位が平均水面より上にある場合はC_R=0.9、下にある場合はC_R=0.6を採用することにした。実際に空中写真から読み取った湿潤線の補正を行うには、撮影時の波高と周期を知る必要があるが、過去の波浪データを手に入れることは困難であるため、ここでは、御前崎での近年の波浪観測結果 (沿岸開発技術センター, 1996) をもとに求めた、月平均有義波高を採用し、撮影月毎に波高と周期を変えて遡上高さを概算した。

以上のようにして求めた湿潤線の高さから、海浜勾配を用いて汀線 (平均水面の位置と定義) を推定した。海浜勾配については、季節変動があることが予想されるが、詳細なデータがないので、図-1の実測値をもとに、対象区間を5区間に分割し、区間毎の平均的海浜勾配を求めた。なお、気圧変動および風の影嚮については、写真の撮影が晴天微風の日を選んで行われることから、その影嚮は無視できると考えた。以上のように、写真そのものが季節変動や波浪による短期変動を含んでいる上に、湿

表-1 空中写真の撮影範囲と撮影時期

| 年代 | 撮影範囲 | 撮影年月 |
|--------|-----------------|-------------|
| 1960年代 | 伊良湖~二川 二川~掛塚 | 1963年10月 |
| | | 1962年7月, 8月 |
| 1970年代 | 伊良湖~新居 新居~掛塚 | 1973年7月, 9月 |
| | | 1976年2月 |
| 1980年代 | 伊良湖~野田 田原~掛塚 | 1982年10月 |
| | | 1983年10月 |
| 1990年代 | 伊良湖~新居 新居~掛塚 | 1991年10月 |
| | | 1991年6月 |

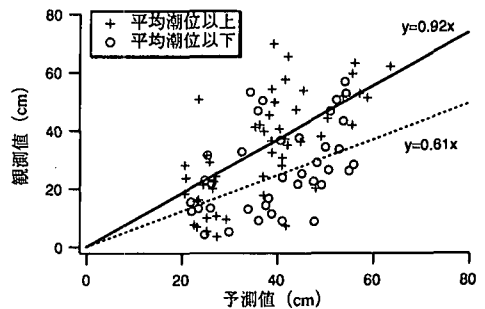


図-2 遡上高さの計算値と観測値の比較

潤線から汀線を算出する上でもかなりの誤差を伴うことが予想される。この誤差は、数10 mに及ぶ可能性もあるので、推定結果をもとにして、詳細な議論をすることはあまり意味がない。

(3) 汀線の経年変化

各年代の汀線位置を求めるために、まず、GIS上に取り込んだ画像データから、沿岸方向に100 m毎に湿潤線の位置を読み取り、1960年代(1962, 1963)を基準として湿潤線の変化量を求めた。次に、潮位および遡上高さの補正を行って汀線位置の変動量を算出した。

図-3は、1960年代の推定汀線位置を基準とし、この基準汀線からの変動量を年代別にプロットしたものである。ただし、場所による写真撮影年の違いを消去するために、1960年代から1970, 80および90年代までの年平均汀線変化量を計算した後、その値をそれぞれ10, 20および30倍して汀線位置としている。図中、正の値は汀線

の前進を、負の値は汀線の後退を表している。また、沿岸方向500 mにわたる移動平均を施して平滑化してある。これより、1960年以降、天竜川河口以西の汀線は、天竜川河口西側海岸を除いて前進しているところが多く、佐久間ダム等の建設による天竜川からの流出土砂量の減少が、直に対象海岸全域の侵食を誘発しているわけではないことがわかる。河田・植本(1998)は、河口部の海岸ではダムの堆砂から2年程度遅れてその影響が海岸侵食に現われるとしているが、対象海岸を広域的に見た場合、むしろ、浜名湖今切口導流堤および赤羽根防波堤の建設による、堤東側海岸の堆積の方が顕著に現われていることがわかる。

図-4は、各年代毎の年平均の汀線変化量を示したものであり、ここでも正の値が汀線の前進を、負の値が汀線の後退を表している。ただし、60年代と表示したものは1960年代~1970年代の期間に対応しており、70年代、

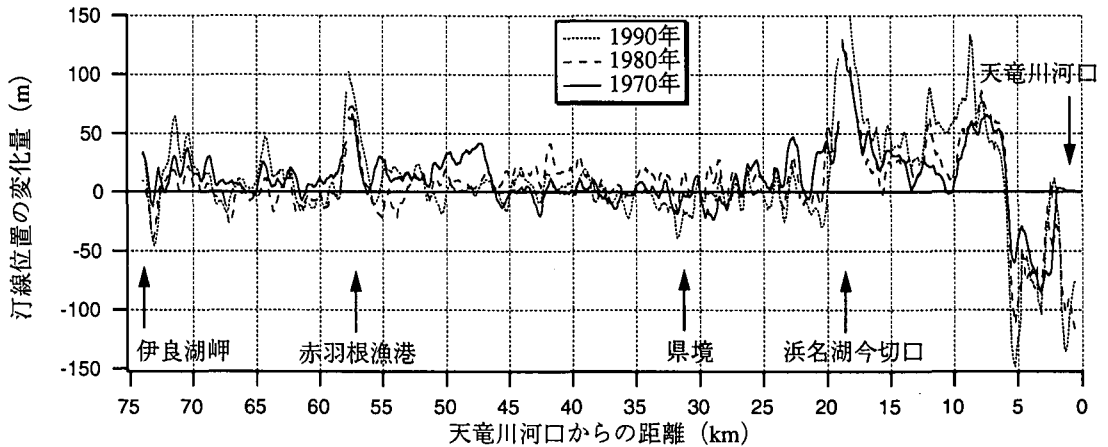


図-3 1960年代を基準とした汀線位置の変化

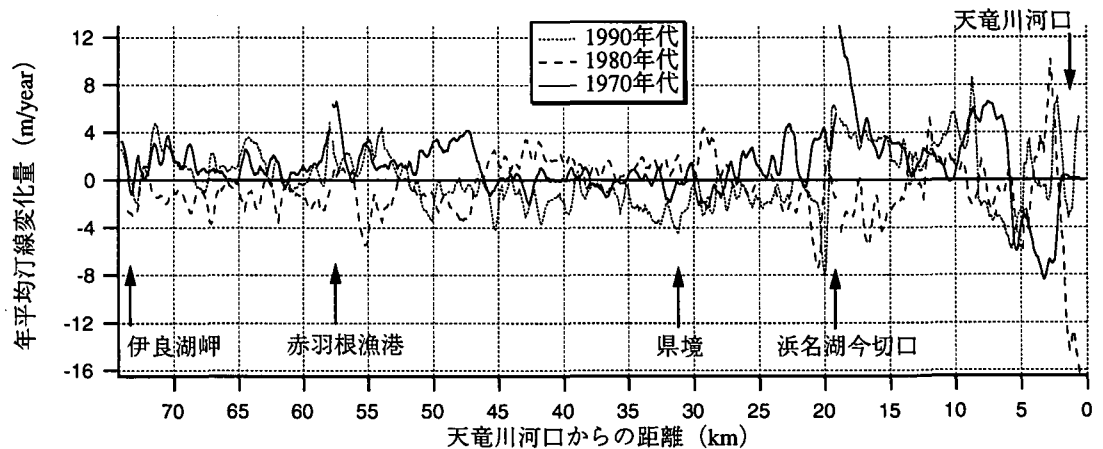


図-4 年平均汀線変化量の年代による相違

80年代も同様である。この図より、60年代は前進傾向にあった汀線が70年代には後退に転じ、80年代には再び前進している海岸が多いが、愛知・静岡の県境付近から西に20 km程度の範囲ではこの傾向が逆転している。また、80年代では、浜名湖今切口から田原にかけてのおおよそ30 kmの広い区間で汀線が後退傾向にあり、このことが近年の海岸侵食を印象づけているものと思われる。

4. one-line モデルの仮定を用いた沿岸漂砂量分布の推算

(1) 計算方法

ここでは、図-4 で求めた年平均汀線変動量をもとに、one-line モデルの仮定を適用して沿岸漂砂量分布の推算を試みる。漂砂の連続式に one-line モデルの仮定を適用すると、次式を得る。

$$\frac{\partial q}{\partial x} = q_a - h_k \frac{\partial l}{\partial t} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 q は岸沖方向に平均化された沿岸漂砂量 (容積表示)、 q_a は河川や崖崩壊などによる岸側からの単位長さ当たりの土砂供給量を表している。また、 l は汀線位置、 h_k は漂砂移動高さである。(2)式を積分すると、次式を得る。

$$q(x, t) = \int_a^x \left\{ q_a - h_k \frac{\partial l}{\partial t} \right\} dx + q(a, t) \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $x=a$ は漂砂量が既知な任意の点である。上式を今回対象とする遠州海岸に適用するために、原点を天竜川河口とし、 x 軸を西向きにとる。さらに、岸側からの土砂供給を天竜川のみ ($q_a(x \neq 0) = 0$) と仮定すると、沿岸漂砂量は差分表示で次式のように表すことができる。

$$q(j\Delta x, t) = \sum_{j=1}^N h_{kj} \left(\frac{\Delta l}{\Delta t} \right)_j \Delta x_j + q(0, t) \dots\dots\dots (4)$$

したがって、天竜川河口でのある時期 (t) における西向きの漂砂量 $q(0, t)$ がわかれば、 $(\Delta l / \Delta t)_j$ は既知であるので、伊良湖岬までの全海岸線におけるその時期の漂砂量

の空間分布が求められることを意味している。ただし、本研究では、汀線の時間変化は約10年間の平均量としてしか求められないため、漂砂量の空間分布も、平均的な分布ということになる。

(2) 漂砂量分布の特性

実際に(4)式を適用するためには、天竜川からの西側海岸への供給土砂量および各地点での漂砂移動高さがわからなければならない。後者については、宇多ら(1991)によれば、遠州海岸においては、10 m前後であることが示されているが、前者については不明である。そこで、まず天竜川からの供給土砂量がないもの ($q(0, t) = 0$) として q を求めた。その結果を図-5 に示す(西向きの漂砂が正)。河口部から西側海岸への土砂供給量を考慮する場合には、これらの曲線を、その分だけ上方にずらしてやればよい。図より、天竜川からの供給土砂量をゼロとした場合には、60年代の沿岸漂砂量は対象海岸のほぼ全域で負(東向き)となり、前述の事実と反する。全域で漂砂量が正(西向き)となるためには、最低でも年間約90万 m^3 程度の土砂が天竜川から西向きに供給されていたと考えなければならないことになる。90万 m^3 という量そのものにはあまり意味がないが、一方、70年代、80年代については、天竜川からの土砂供給がなくても、漂砂はほぼ全域で西向きとなっていることと比べると、特徴的である。

図-6 は、宇多ら(1991)に示されている、天竜川からの土砂流出量の変化を再掲したものである。土砂量は、佐久間ダム建設後急激に減少していき、60年代には河床低下による土砂供給が大きく、流出土砂量は依然として大きな値を保っていたことがわかる。一方70年代以降はほとんど流出がなくなっており、海岸への土砂供給が激減している。この傾向は、図-5の漂砂量分布から、60年代には天竜川河口部での大きな土砂供給の存在が予想されたことによく対応している。

また、図-5をみると、年代によって漂砂量分布の空間変動の傾向が大きく異なっており、60年代にはほとんど全域で堆積傾向(右上がり)となっていたのに対し、海

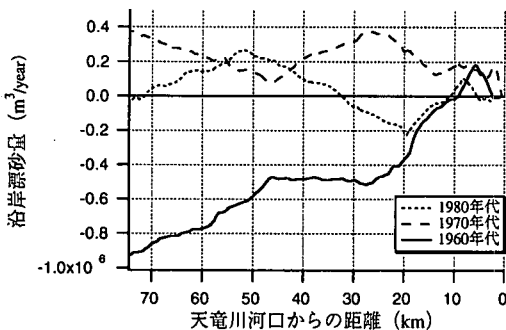


図-5 沿岸漂砂量の分布の比較(天竜川からの供給土砂量をゼロとした場合)

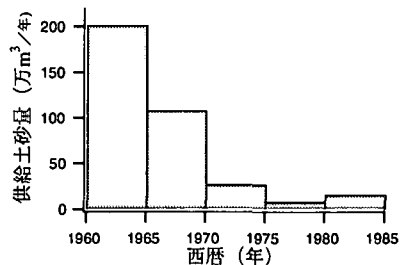


図-6 天竜川からの土砂流出量の推移

岸構造物の建設が一段落した 80 年代は、今切口付近で漂砂量が極小となっており、これが境界となっており、今切口以西の漂砂量分布が侵食パターン（右下がり）となっていることがわかる。

5. あとがき

本研究では、1960 年～1990 年の約 30 年間にわたる、天竜川以西の遠州海岸の汀線変化を、航空写真をもとに解析するとともに、one-line モデルの仮定を用いて予測した漂砂量分布を天竜川からの流出土砂量と関連づけて考察した。その結果、対象海岸の汀線変化および沿岸漂砂の特性に関して、以下のような知見を得た。

(1) 天竜川でのダム建設による流出土砂量の急減が対象海岸の海岸侵食の一因とされているが、1960～1990 年の汀線変動を広域的に見ると、その影響は汀線変動に顕著に現われているとはいえず、むしろ海岸構造物の建設による影響が大きい。

(2) 年代別の沿岸漂砂量分布の推算を行ったところ、1960 年代には、天竜川河口部から対象海岸へ大量の土砂供給が存在したこと、および、1970 年代以降、天竜川からの土砂の供給が絶たれた後は、西向き漂砂の分布パターンが広範囲で侵食型となっていることが明らかになった。このことより、対象海岸において今後急激に海岸侵食が進行することが予想された。

本研究を行うに当たり、建設省中部地方建設局浜松工事事務所には貴重なデータを提供していただいた。また、現地海岸の調査では、小畑浩子君をはじめとする豊橋技術科学大学の学生諸君の協力を得た。さらに本研究は、文部省科学研究費基盤研究 (A) (1) 「全日本比較河口学に基づく河口処理指針の総括」(研究代表者：田中 仁、課題番号 10305036) の補助を受けて行ったものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 宇多高明・坂野 章・山本幸次 (1991): 遠州海岸の 1960 年代以降における海浜変形, 土木研究所報告, 第 183 号-2, pp. 23-70.
- 沿岸開発技術センター(1996): 全国港湾海洋波浪観測 25 年統計資料, 640 p.
- 海上保安庁水路部 (1992): 日本沿岸潮汐調和定数表, 267 p.
- 河田恵昭・植本 実 (1998): 天竜川・遠州海岸系の海浜過程について, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 616-620.
- 建設省中部地方建設局 (1983): 水系における土砂動態と流出土砂の管理に関する検討 (改訂版), 275 p.
- 建設省中部地方建設局浜松工事事務所 (1991): 遠州灘, 319 p.
- 豊橋市保健環境部 (1998): 豊橋市アカウミガメ実態調査報告書一とよはしのアカウミガメ, 83 p.
- 服部昌太郎・鈴木隆介・佐藤敏夫 (1974): 遠州海岸中央部の海浜変形と漂砂, 第 21 回海岸工学講演会論文集, pp. 127-133.
- 和田 清・石原安雄 (1991): 渥美半島・高豊漁港海岸の海浜変形と沿岸漂砂の素過程, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 291-295.