

離岸堤の建設がアカウミガメの上陸・産卵行動へ与えた影響

——徳島県蒲生田海岸の例——

渡辺 国広*・清野 聡子**・宇多 高明***

1. ま え が き

アカウミガメ *Caretta caretta* (以下, ウミガメ) の産卵地となる砂浜における環境条件の悪化の一因として海岸構造物の建設がある。ウミガメ保護活動家の間では, 海岸構造物の建設が悪影響を及ぼしたとする声が圧倒的であるが, その理由についての十分な説明はなされておらず, したがって環境に配慮した海岸事業, 例えばエコ・コースト事業などにおいて如何なる配慮をすべきかについては十分明らかではない。本研究は, 海浜地における海岸堤防の建設と沖合に造られた離岸堤がウミガメの上陸・産卵行動に及ぼす影響を評価し, 今後の生態系に優しい海岸保全手法について考えることを目的とし, 既往文献調査, 現地住民へのヒアリング調査, 空中写真判読, 現地踏査, 海浜縦断測量, 波と海浜流の数値計算を用いて研究を進める。筆者ら(渡辺ら, 2000)は, 昨年の海岸工学講演会において宮崎海岸を対象とした検討の結果を報告したが, 本研究では新たにアカウミガメの代表的な産卵地である紀伊水道に面した徳島県阿南市の蒲生田海岸(図-1 参照)を対象として同様な主旨からの研究を進める。この海岸は, 海岸堤防と離岸堤の設置によってウミガメの産卵・上陸数が激減したと言われている海岸であり, また小学生による約 50 年にわたる長期観察記録が残されている貴重なフィールドである。筆者らは既にこの海岸を対象としてアカウミガメの産卵と海岸堤防建設の関係について報告した(渡辺ら, 2001)ので, 本研究では特に沖合での離岸堤の建設とアカウミガメの産卵について考察を進める。

2. 研究 方 法

研究対象地の蒲生田海岸は図-1 に示すように室戸阿南国定公園の一角にあり, 四国最東端において紀伊水道に大きく突出した蒲生田岬の北側に広がる。南側には蒲生田岬が突出し, 海岸南部の海岸線の方向角がほぼ NE

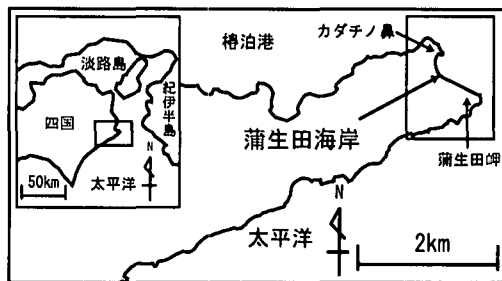


図-1 蒲生田海岸の位置

方向であるために太平洋の波浪は直接作用せず, 大きく屈折・回折した波浪が作用する。また北端にはカダチノ鼻があってその南側に隣接して延長約 500 m のポケットビーチが存在する。この海岸においてウミガメの上陸状況について既往文献調査を行い, 海浜の環境変化について現地住民への聞き込み調査を行った。また, 海岸堤防の位置や汀線の変化を空中写真から調べた。さらに現地踏査によって海岸堤防周辺の海岸状況を調べるとともに海浜縦断測量を行った。次に波と海浜流の数値計算を行い, 計算結果と既存のウミガメ上陸調査データから離岸堤設置による海浜流の流況変化とウミガメ上陸頭数の変化の関係について考察した。

(1) ウミガメの上陸状況調査

蒲生田海岸では 1954 年から 1991 年までは蒲生田小学校により, 1992 年から現在に至るまでは地元住民によりウミガメの上陸調査が継続的に行われてきている。これらのデータは現在では阿南市教育委員会に帰属するが, 本研究ではそのデータを解析させていただいた。本研究では, 海浜を図-2 に示すように 6 区域(A~F)に分割し, 各区域における上陸数をフィールドノートから計測した。海浜の区域分け方法は内田(1986)によった。

(2) 汀線変化調査

国土地理院発行の空中写真から汀線変化を判読した。判読に用いた空中写真は 1963, 1976, 1996 年撮影のものである。

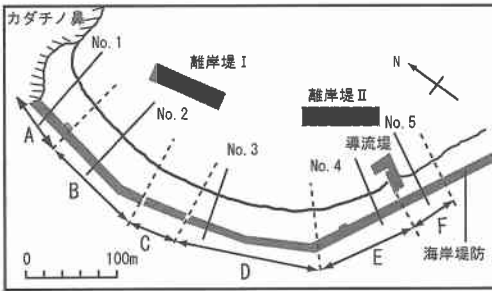
(3) 海浜縦断測量

2001 年 3 月 8 日に海浜測量を実施した。図-2 に示す

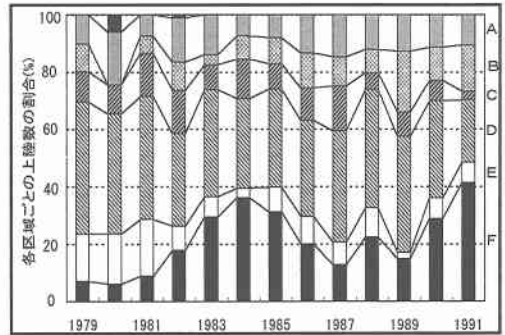
* 学生会員 東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学科

** 正 会 員 農 修 東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学科

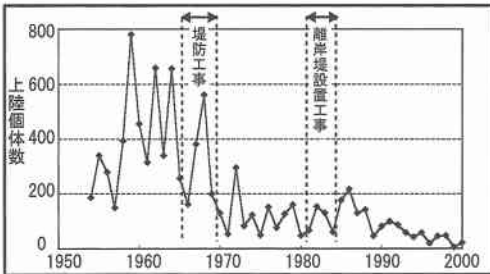
*** 正 会 員 工 博 国土交通省国土技術政策総合研究所研究総務官



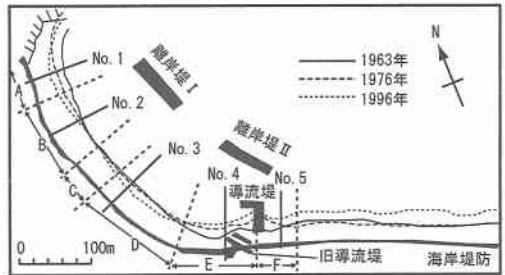
図一2 海浜区域分けおよび測線配置



図一4 海浜全体に対する各区域ごとの上陸数の割合



図一3 蒲生田海岸におけるウミガメ上陸数経年変化



図一5 空中写真による汀線判読

No.1～5の5測線を設定し測量した。

(4) 波と海浜流の数値計算

御坊沖の波浪観測データをもとにウミガメの産卵が主に行われる5～7月の平均的な波浪条件として $H=0.8$ m, $T=7$ s, 入射方向 W の波浪条件を設定し、離岸堤有無の条件で波浪場と海浜流の数値計算を行った。波浪場の計算モデルとしては、磯部 (1986) により提案された放物型方程式による数値計算モデルを使用した。波浪場の計算結果から、堀川編 (1985) に示されている数値モデルを使用し海浜流の流速・流向を計算した。流れの計算結果は、流向と輸送流関数として表示した。ここに輸送流関数 ψ は、海浜流の計算結果を用いてその定義式 (1) (堀川編, 1985) を差分化した式を平面的に数値積分することにより求めた。ここに x, y は平面座標, U, V は x, y 方向の海浜流流速 (深さ方向の平均流速), η は平均水位の上昇量である。

$$\left. \begin{aligned} U(h+\eta) &= \partial\psi/\partial y \\ V(h+\eta) &= -\partial\psi/\partial x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

3. 結 果

(1) ウミガメの上陸状況

図一3は鎌田 (1994) と阿南市教育委員会 (未発表) をもとに作成した蒲生田海岸のウミガメ上陸頭数の変化である。ウミガメ上陸数は海岸堤防の設置と時期を同じくして激減し、その後は100頭前後の上陸数で推移してい

る。海岸堤防の設置による影響については渡辺ら (2001) で述べたので、本論文では特に離岸堤設置の影響について論じるが、内田 (1986) によれば離岸堤の設置によって産卵場の位置が大きく変化した。図一4は阿南市教育委員会所有のフィールドノートから全上陸数に対する各区域における上陸数の割合を集計したものである。区域Fの上陸数・上陸割合は1981年までは非常に小さかったが、1982年以降明らかに上陸割合が増加している。

(2) 汀線変化調査

図一5は空中写真から汀線位置を判読したものである。1963年から1976年にかけて海浜北端部において汀線後退が見られる一方、導流堤の西側隣接域では汀線が前進している。また1976年から1996年にかけては離岸堤Iの背後では汀線が変化していないものの、離岸堤Iの両側では汀線が後退し、導流堤の西側付け根では汀線が前進している。また導流堤の東側端部も堆積傾向にある。

(3) 海浜縦断測量

2001年3月における測線No.1～No.5の測量結果を図一6に示す。いずれも汀線から海岸堤防ののり先までの海浜縦断形を示す。図一6に示したように近年汀線の後退が著しいNo.1ではバームが存在せず、前浜から後浜にかけて単調な勾配を有する。離岸堤Iの背後に位置するNo.2は他の測線に比べて大幅に比高が高く、約3

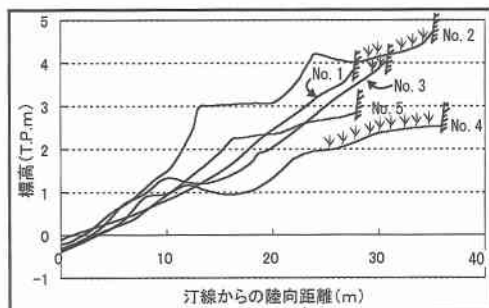


図-6 測線における海浜縦断面

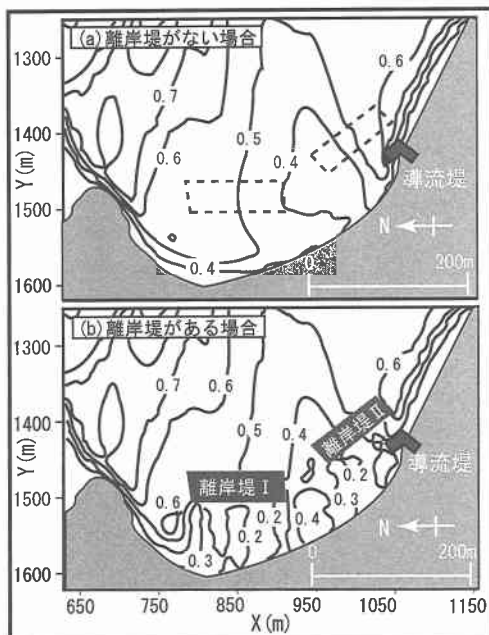
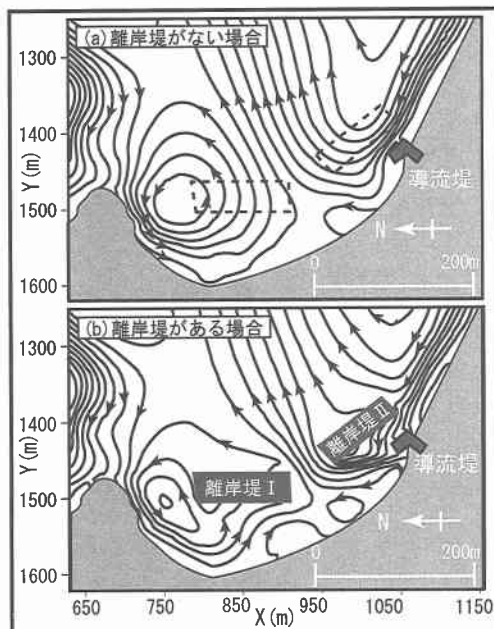


図-7 離岸堤の有無による波浪場の計算結果 (m)

mのバームが発達している。ここでは礫が大量にうちあげられている。離岸堤I、IIの開口部に位置するNo.3では約1.3mのバームが形成されているが、後浜の勾配は約1/6と一定である。離岸堤IIの背後の堆積域に位置するNo.4では全体的に勾配が緩いが、複数のバームが形成されている。導流堤の東側端部を通るNo.5は一段のみであるが2.2mと相対的に高いバームが形成されている。

縦断面図には植生帯も示すが、No.2, 3の植生帯前縁線は汀線からそれぞれ29.0m, 29.6m、標高が4m, 3.8mとほぼ同一であるが、離岸堤IIによって大きく遮蔽されたNo.4の前縁線は汀線から24.2m、標高2mとNo.2, 3と比較して汀線により接近している。各測線における汀線からT.P.1mまでの前浜勾配は平均で約1/8、最急

図-8 離岸堤の有無による海浜流の計算結果 (ϕ は $2\text{ m}^3/\text{s}$ の間隔)

勾配はNo.3の1/6.2、最緩勾配はNo.1の1/10.5である。

(4) 波と海浜流の数値計算結果

波浪場の計算結果を図-7a, bに示す。離岸堤有無による波浪場の変化である。離岸堤建設以前、蒲生田海岸では沿岸方向にほぼ一様な波高分布であった。しかし離岸堤の建設後、離岸堤による消波効果が顕著に現れた。このような波高分布の変化に対応して海浜流にも大きな変化が現れた。海浜流の流況を輸送流れ関数表示で示したのが図-8a, bである。2基の離岸堤の有無による流れ関数の変化を示す。離岸堤の設置以前、蒲生田海岸では蒲生田岬側の東側から北西方向への沿岸流が発達していた。一方、カダチノ鼻に沿ってこれと逆方向へ向かう沿岸流が発達し、両者は海浜の中央部で会合し、離岸流を発達させていた。これに対し離岸堤の設置後には、北西向きの沿岸流が離岸堤IIと導流堤の存在によって著しく阻止され、蒲生田海岸の中央部へ向いた流れが弱まると同時に、離岸堤IIの東端付近では沿岸流が離岸流に変化している。

一方、離岸堤Iの北西側開口部の汀線付近では蒲生田岬から流れ込む沿岸流と逆向きの沿岸流と循環流が生じている。さらに離岸堤Iはカダチノ鼻の東側の海岸線に沿って発達していた反時計回りの循環流を大きく阻害し、結果として循環流の大部分が離岸堤Iの西側開口部に押し込まれることになった。そのため、離岸堤Iとカ

ダチノ鼻の間を流れる沿岸流は強くなった。さらに離岸堤 I, II の間での離岸流が促進された。

4. 考 察

(1) 海浜変形

図-5 の汀線変化図によれば、区域 A において汀線の著しい後退が見られた。これは導流堤が延長されて導流堤の北西側に遮蔽域が形成されてそこで堆砂が進んだこと、および離岸堤 I の設置によって図-8b に示したように離岸堤 I とカダチノ鼻の間の沿岸流が強くなったことに起因すると考えられる。区域 A において減少した底質のうち砂礫分は主として導流堤の北西側に堆積し、細砂分は離岸堤 I の背後の海域へ、巨礫分は離岸堤 I の背後の海浜にそれぞれ堆積したものと考えられる。図-6 に示した縦断形において No. 1 ではバームが存在しないことから区域 A の海浜が侵食傾向にあることが分かる。

(2) バーム高の比較

図-6 の No. 1 以外の各測線では 2 つのバームが見てとれる。高い位置にあるバームは過去の高潮位・高波浪時に形成されたもの、低い位置のバームは相対的に低い潮位・波高条件下で最近形成されたものである。またバーム高を比較すると No. 5 に対し No. 4 のバーム高は相対的に低く、No. 4 が離岸堤と導流堤による波の遮蔽域にあることと対応している。また、離岸堤の開口部に位置する No. 3 では No. 4 と比較してバーム高が高い。

(3) 海浜地形とウミガメの上陸産卵

ウミガメの産卵にはある程度の浜幅が必要であるが、No. 1~No. 5 においては汀線から上陸が完全に遮られる堤防位置までの長さは平均で 31.3 m、最大が No. 4 の 35.8 m、最小が No. 1 の 27.5 m であった。No. 3 においては前浜勾配が測線中最急勾配の 1/6.2 であるが、ウミガメが上陸可能な勾配であると同時に、堤防前面に植生帯が存在する。Wang ら (1999) が植生帯の最前線付近に産卵が多いことを指摘しているように、ウミガメにとっては陸域の最も海側に位置する部分の植生が砂浜と連続していることが非常に重要であることを考えると、この位置はウミガメの産卵にとって良好な場所であると言える。一方で No. 4 においては前面が静穏域であるために堤防前面の植生もより汀線に近い位置から広範囲に渡って存在するが、海浜流計算で示されたように導流堤と離岸堤 II の設置によってウミガメはアクセスしにくい状態となっている。

(4) 海浜流とウミガメの上陸位置の関係

海浜流計算によると、離岸堤が存在することで海浜内へ向いた流れが弱まると同時に、離岸堤東端付近では離岸流が生じていることが分かったが、導流堤東側で沿岸流が遮られれば、そこには砂が堆積する。この結果は「昔、

導流堤の南側は礫浜であったが、離岸堤が設置されてから砂浜になった」という地元住民の証言とも合致する。また、現地踏査でも導流堤東側の砂浜は北西側の砂浜よりも砂が高く堆積しており、北西向きの沿岸漂砂が導流堤東側で堆積していることが分かった。現地踏査によれば離岸堤 I の背後には大量の礫が集積しているが、ここは離岸堤 I の北西側からの波・沿岸流の侵入の著しい場所と対応する。

ウミガメの上陸頭数に関して、内田 (1986) は離岸堤の設置後、導流堤東側での上陸割合が増えたことを指摘した。同様に離岸堤が設置されたことでウミガメの上陸位置変化が生じた例は渡辺ら (2000) が宮崎県一葉海岸について論じている。内田 (1986) は蒲生田海岸における上陸位置変化を「ウミガメは離岸堤を回避し、前面が開放されている導流堤東側に上陸を始めた」と解釈した。本研究における各区域の上陸数の分析でも、同様に導流堤東側に位置する区域 F への上陸数が導流堤の延長および離岸堤の設置と時期を同じくして大幅に増加していた (図-4 参照)。しかし内田の解釈では前面が開放されている部分が他にも存在する中で、なぜ導流堤の東側において特に上陸数が大幅に増加したのかを説明できない。また、離岸堤 I しか設置されておらず、海浜の大部分がまだ前面を塞がれていない 1982, 1983 年においても F 地区へ上陸する割合が増加していることを説明できない。本研究によれば、離岸堤 II と導流堤によって沿岸流が遮られたことで、海浜内に侵入できないウミガメが導流堤東側に上陸するようになったと考えられる。1982, 1983 年についても導流堤が延長されたことによって蒲生田岬側からの沿岸流が遮られ、その結果区域 F への上陸数が増えたものと考えられる。産卵直前の身重なウミガメにとっては、構造物自体よりも今回の計算で明らかになった構造物設置による波浪場・沿岸流の変化の方が強く影響すると考えられる。

さらに区域 F は離岸堤設置前までは巨礫浜であったが、離岸堤設置後は砂が堆積するようになり、現在では渡辺ら (2001) にも示されているように、 $d_{50}=0.68$ mm の細砂による三角形の砂浜が形成されている。導流堤の延長および離岸堤の設置によって良好な産卵場所が導流堤東側に形成されたことも、区域 F での上陸増加の要因となったと考えられる。

区域 F の海浜は産卵場所としての特性を満たしているが、産卵に適している部分は空間的に非常に狭い海浜である。そのため、この海浜への上陸・産卵が過度に殺到するとウミガメの産卵にとってマイナスになる。実際に、「既の上陸産卵した巣を、後続の産卵個体が掘り起こして巣を破壊し、新たに産卵する現象が見られている。」との証言が内田 (1986) で示されている。ウミガメによ

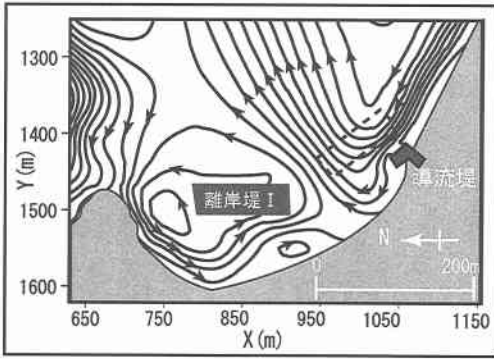


図-9 離岸堤 II が無い場合の海浜流の計算結果

るあるエリアの過度の利用を回避するためには、導流堤よりも北西側の、現在離岸堤によって囲われている部分の海浜（区域 A～E）への産卵上陸数の増加が望ましい。ところが海浜流計算によって示されたように本来の経路である導流堤と離岸堤 II の間から導流堤北西側の海浜へ沿岸流とともに到達するのが難しい状況になっている。

(5) 環境改善手法の提案

蒲生田岬の方向から海浜へ接近するウミガメの進路を妨げる位置にある離岸堤 II が無い場合の流況について考察する。離岸堤 II が無い場合の海浜流の予測結果を図-9 に示す。離岸堤 I, II が設置された現況（図-8b）と比較すると離岸堤 II の東端付近で発生していた離岸流が消失し、より北西側まで沿岸流が入り込むようになった。また離岸堤 II の北西側開口部の汀線付近で発生していた循環流は生じなくなった。しかし離岸堤 I によって循環流の大部分が離岸堤 I の西側開口部に押し込められている状況は図-8a とほぼ同じである。この結果から、離岸堤 II を撤去した場合には蒲生田岬側から海浜内へのウミガメの侵入は容易になり、区域 D および E への上陸数は増加するものと予測される。しかし、導流堤による沿岸流の阻害はなおも続くので、区域 F における上陸数は離岸堤 II の存在時ほどではないにせよ、多い状態は続くと思われる。また、離岸堤 I の存在によってカダチノ鼻の横で区域 A へ達する海浜流が強められている状況に変

化はないので、区域 A の状況に大きな変化は生じないと推測される。つまり、ウミガメの産卵に利用される場所が浜全体に広がることは期待できないが、海浜の南側半分への利用域の広がりは期待することができ、区域 F への過度な利用状況が改善されると考えられる。離岸堤 II が存在しなければ背後地への作用波浪は現在よりも強くなる。しかし、ウミガメの上陸産卵に配慮するのであれば、そのような不利益は許容せねばなるまい。生態系に優しい海岸保全手法を今後採用していくとすれば、海浜全域にわたって完全に防護するという考えを改め、可能な部分については譲歩する発想を持つ必要がある。

謝辞：現地での聞き取り調査にあたっては、元蒲生田小学校校長の鎌田武氏の、海浜横断測量にあたってはパンダクラブ徳島の井口利枝子氏にご協力をいただいた。また蒲生田海岸でのウミガメの上陸に関するデータは鎌田武氏、阿南市教育委員会より提供していただいたが、このデータは約 50 年にも渡ってウミガメの上陸調査を実施してきた蒲生田小学校生徒および関係者の努力の賜物である。紙面を借りて謝意を表わせていただきます。

参 考 文 献

- 内田 至(1986): 海ガメ学ノート③-離岸堤の構築と海ガメの産卵上陸生態の変化, 海洋生物, 44, Vol. 8, No. 3, pp. 217-219.
- 磯部雅彦 (1986): 放物型方程式を用いた不規則波の屈折・回折・碎波変形の計算法, 第 33 回海岸工学講演会論文集, pp. 134-138.
- 堀川清司編 (1985): 海岸環境工学-海岸過程の理論・観測・予測方法, 東京大学出版会, 582 p.
- 鎌田 武 (1994): 蒲生田海岸のウミガメ情報, 日本のウミガメ産卵地, 日本ウミガメ協議会, pp. 58-65.
- 渡辺国広・清野聡子・宇多高明 (2000): アカウミガメの産卵行動に及ぼす海岸構造物の影響評価, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 1221-1225.
- 渡辺国広・清野聡子・宇多高明 (2001): 海浜部における堤防建設がアカウミガメの産卵に及ぼした影響, 海洋開発論文集, 第 17 巻, pp. 381-386.
- Wang, H. C. and I. J. Cheng (1999): Breeding biology of the green turtle, *Chelonia mydas* (Reptilia: Cheloniidae), on Wan-An Island, PengHu archipelago, Marine Biology, 133, pp. 603-609.