

砂浜の環境がアカウミガメの繁殖活動に及ぼす影響について

Environmental Factors of Sandy Beaches Influencing the Reproductive Activity of Loggerhead Sea Turtles

今村和志¹・田中雄二²・青木伸一³

Kazuyuki IMAMURA, Yuji TANAKA and Shin-ichi AOKI

Reproductive activity of loggerhead sea turtles can be classified into 3 stages: landing, oviposition, and hatching. The purpose of this study is to investigate the influence of environmental factors such as beach elevation and sand temperature on the reproductive activity of loggerhead turtles nesting on the beach. It was found that the number of landings in the period 2005-2008 was smaller on the beach in front of detached breakwaters than the other areas of beach without breakwaters. The length of tracks with successful nests (oviposition) was significantly larger than the length of tracks with abandoned nesting attempts (oviposition failure). In the hatching stage, sand depth was found to affect incubation temperature.

1. はじめに

愛知県と静岡県に跨る遠州灘海岸のうち、浜名湖今切口から伊良湖岬までの約51kmは表浜海岸と呼ばれる(図-1)。同海岸には毎年5月～8月の約4ヶ月間にわたって、アカウミガメ(*Caretta caretta*)が産卵に訪れる。

1999年に海岸法が改正され、各地でエココースト事業など海岸生態系に配慮した取組みが実施されており、豊橋市においても2006年から表浜海岸二川漁港区域で、アカウミガメの産卵に配慮する試みとして、砂浜の中央部に設置された消波ブロックの一部をセットバックするなどの事業が実施されている。しかし、こういった試みが実施される一方、アカウミガメに関する生態的な知見が不足しているといった現状がある。本研究は、表浜海岸豊橋市域を対象に、アカウミガメを砂浜環境の指標種と

位置づけ、その繁殖活動を「上陸」、「産卵」、「孵化」の3ステージに分類し、離岸堤(潜堤)が上陸に及ぼす影響、上陸後の行動(移動距離)、砂浜の横断勾配、砂中温度などの海浜環境特性との関係を明らかにすることを目的に行ったものである。

2. 表浜海岸におけるアカウミガメの上陸数

(1) 表浜海岸における上陸産卵数

表浜海岸(旧渥美町～湖西市)における2008年5月～9月の上陸産卵数を図-2に示す。なお、各地域のデータは自然保護団体等から提供を受けて集計したものである。表浜海岸全体で合計453例のアカウミガメの上陸産卵が確認されており、その内訳は産卵265例、未産卵188例で産卵成功率は58%であった。調査対象地である豊橋市域には表浜海岸全体における上陸数の約37%(168例:豊橋市集計)が上陸している。



図-1 表浜海岸

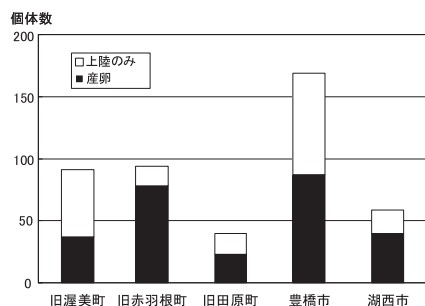


図-2 表浜海岸における上陸産卵数 (2008)

(2) 豊橋市域における上陸産卵数の経時変化

図-3は豊橋市域におけるアカウミガメの一日当たりの総上陸数の経時変化と平均気温および海水温度(表層～水深30m)の関係を示したものである。なお、海水温度

1 修(工) 豊橋技術科学大学大学院環境・生命工学専攻
2 NPO法人表浜ネットワーク代表
3 正会員 工博 豊橋技術科学大学教授建設工学系

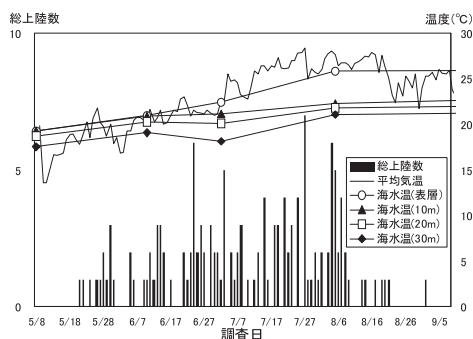


図-3 気温、海水温とアカウミガメの総上陸数の経時変化

は愛知県水産試験場が豊橋市南部に位置する沖合約7km (北緯34度36分, 東経137度24分) 地点で計測したデータを使用した。ウミガメの上陸産卵数調査は2008年の5月～9月にかけて豊橋市域 (東細谷地区～城下地区) 約13.5kmの区間において実施した。調査の結果137例のアカウミガメの上陸および産卵を確認した。なお, 9月2日以降の上陸は確認されなかった。図-3より, アカウミガメの総上陸数は平均気温, 海水温の上昇とともに増加し, 平均気温が低下するようになって上陸が終了していることが分かる。

3. アカウミガメの繁殖活動ステージ毎の特徴

本研究では, 沿岸域付近のアカウミガメの繁殖活動を3つのステージに分類した。すなわち, 「上陸ステージ」, 「産卵ステージ」および「孵化ステージ」である。「上陸ステージ」に影響する要素としては, 海中から砂浜へ上陸する際に障害となる離岸堤や沿岸の流れなどが考えられる。ここではウミガメの上陸位置から離岸堤の影響を考察する。「産卵ステージ」では, 上陸に成功した砂浜の環境がウミガメにとって産卵に適しているかどうか問題となる。本ステージではウミガメの上陸後の移動距離や砂浜の横断勾配と移動距離の関係について考察する。「孵化ステージ」では, アカウミガメが産卵した砂

浜の砂中温度が生存可能範囲内であるかが問題となる。本ステージについては温度データロガーを用いた砂中の温熱環境の把握と汀線位置および砂の堆積量の関係について考察した。

(1) 上陸ステージ

a) 離岸堤付近の上陸位置 (2005～2008)

豊橋市域の西部には離岸堤 (潜堤) が設置されており, アカウミガメの上陸に何らかの影響があると考えられる。内田 (1986) は蒲生田海岸のデータをもとに, 離岸堤の設置はアカウミガメの産卵行動を明らかに変えたと報告している。離岸堤付近の上陸位置の把握は2005年～2008年の5月～9月の期間のデータを使用した。図-4はGPSによって計測したウミガメの上陸位置情報を航空写真上にプロットしたものである。なお, GPSの精度は15m以下, 航空写真は2000年に撮影されたものである。調査区間東部の離岸堤未設置区間においては全体的に上陸が高密度であるが, 離岸堤設置区間においては上陸が集中する部分と疎になる部分が表れている。離岸堤設置区間では離岸堤の正面の砂浜でほとんど上陸が見られないのに対し, 離岸堤の切れ目にあたる砂浜で上陸が集中する傾向がみられた。

(2) 産卵ステージ

a) 上陸後の移動距離

アカウミガメが上陸すると砂浜にタートルトラックと呼ばれる足跡が残る (写真-1)。一般にアカウミガメは上陸後, 砂浜の植生帯付近まで移動した後産卵する。しかし, 上述した様に砂浜には侵食を防ぐ目的で中央部に消波ブロックが設置されており, ウミガメの上陸・産卵を阻害する事例が確認されている (写真-2)。砂浜に消波ブロックが設置されている豊橋市域 (13.5km) と豊橋市に隣接しており消波ブロックが設置されていない静岡県湖西市域 (4.5km) での総上陸数および産卵成功率を図-5に整理した。なお, 1992年から1994年の湖西市の総上陸数は産卵数のみの値である。豊橋市においては過去17年



図-4 離岸堤付近の上陸位置 (2005年5月-9月～2008年5月-9月)



写真-1 タートルトラック



写真-2 消波ブロックによる産卵の阻害例

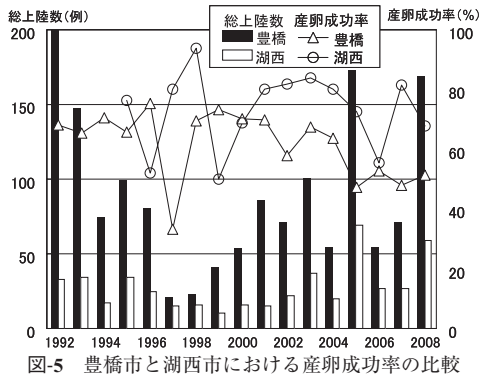


図-5 豊橋市と湖西市における産卵成功率の比較

間に1522例の総上陸が確認されており、産卵成功率はおおよそ62%、湖西市では過去14年間に392例の総上陸が確認され産卵成功率は73%であった。産卵成功率には様々な環境要因が複雑に影響するが、消波ブロックの設置の影響は大きいと考えられる。

上陸後の移動距離を把握することによってアカウミガメが産卵するのに好適な砂浜幅を推測した。移動距離の把握はタートルトラックに沿って波打ち際から産卵巣もしくは折り返し地点までを精度1mで計測した。

図-6は移動距離を計測した112例のタートルトラック

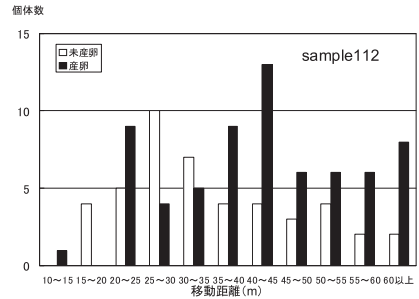


図-6 移動距離ごとの上陸産卵状況

を距離ごとに分類したものである。1年間の調査結果のみであり十分なサンプル数とは言えないが移動距離が20m未満については記録そのものが少なく、距離が伸びるほど産卵個体が増加し、未産卵の割合は低下するといった結果が得られた。産卵個体の平均移動距離は $44 \pm 18\text{m}$ ($n=66$: n はサンプル数)、最長111m、最短12mである。一方、未産卵個体の平均移動距離は $37 \pm 15\text{m}$ ($n=46$)、最長91m、最短15mであった。これらの差について統計的に有意な差があるかを一元配置分散分析によって解析した。なお、今回得られたサンプルについては、正規確率プロットにより正規性を、F検定により等分散性をそれぞれ確認した。一元配置分散分析による検定の結果、危険率 $P = 0.03$ ($P = 1 = 100\%$)で「産卵個体は未産卵個体より長い距離を移動している」ことが明らかになった。1981年に屋久島のいなか浜で菅野ら(2000)がアカウミガメの産卵個体の移動距離(産卵上陸距離)調査をした結果と比較すると平均移動距離が 39.2m ($n=60$)、最長82.0m、最短13.4mと比較的よく近似している。しかし、宮崎市教育委員会(1980)における汀線から産卵場所までの平均移動距離は $86.4 \pm 26.6\text{m}$ (サンプル数は不明)という記録があり、移動距離にはウミガメが産卵に訪れた砂浜の勾配などの特性が影響していると考えられる。

b) 砂浜の横断勾配と移動距離

亀崎(1992)によれば、汀線から陸域にかけての砂浜の傾斜は、カメが上陸して産卵する位置まで移動する距離に影響を与える。すなわち、傾斜が強ければ、産卵可能な位置までの移動距離が短くてすむとしている。そこで表浜海岸の砂浜の横断勾配と移動距離の関係を検証するため、2008年11月～2009年1月にかけて砂浜の横断勾配をRTK-GPS測量によって計測した。砂浜は動的に安定した場であり、横断勾配などは常に変化を続けている。しかし、2008年は台風が上陸せず表浜海岸は緩やかな堆積傾向にあり、砂浜の平均的な勾配に大きな変化は生じていないと考えられる。調査区間は静岡県境付近～高塚までの約8.3km区間とし、波打ち際から消波ブロック前面までの砂浜の横断勾配をおおよそ50mごとに計測した。なお、消波ブロックが砂により埋没している区間は

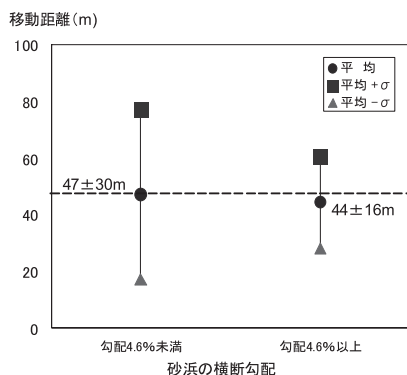


図-7 砂浜の横断勾配と移動距離の関係

ウミガメが上陸後移動可能と考えられる管理道路の手前部分や砂丘が浜崖状となっている地点までを計測した。計測の結果、計測区間の砂浜の横断勾配は平均4.6%、最大9.7%、最小が1.1%であった。

ウミガメが上陸するのは、一般に日の入から日の出前までの視界が不良な環境であるため、あらかじめ横断勾配などを見極めることはしていないと考えられる。藤上ら (2008) による和歌山県みなべ町千里浜における2002年～2008年の延べ1253例の上陸産卵調査によると、過去の上陸経験が異なる (砂浜に関する情報量に差異のある) と考えられる新規個体と回帰個体において、1シーズン中の上陸回数に差異はなく、幾度も上陸を試みて“パトロール”をするような行動はないと考えられる、とされており、海からの上陸が容易な浜を選択しているにすぎないと推察される。図-7は計測結果から得られた砂浜の横断勾配の平均値4.6% (2.6°) を境にウミガメが産卵した地点の勾配と移動距離を整理したものである。移動距離のサンプルは2008年の調査で得られた静岡県境付近～高塚区間の産卵個体66例のデータを用いた。勾配が4.6%以上の砂浜に産卵した30例の総移動距離は1,333mで1個体当たりの平均移動距離は44 ± 16m (n=30) である。一方、勾配が4.6%未満の砂浜に産卵した36例の総移動距離は1,694mで1個体当たり平均47 ± 30m (n=36) の移動距離である。これらの結果、平均勾配4.6%より緩やかな勾配の砂浜に産卵したグループは平均勾配より急な勾配の砂浜に上陸したグループと比較して平均3m長い距離を移動していた。菅野ら (2000) の調査結果によるとアカウミガメは、汀線がなだらかな浜 (駆け上がり部分傾斜角度5.5°, プラットホーム4°) に上陸産卵する場合、およそ51m程度を前進し、急傾斜地 (駆け上がり部分傾斜角度34°, プラットホーム4°) を越えて産卵する場合は、産卵場までの距離はおよそ24mであったとしている。

(3) 孵化ステージ-砂浜における横断方向の砂中温度分布
ウミガメ類などの虫類は、孵化途中に卵が経験する

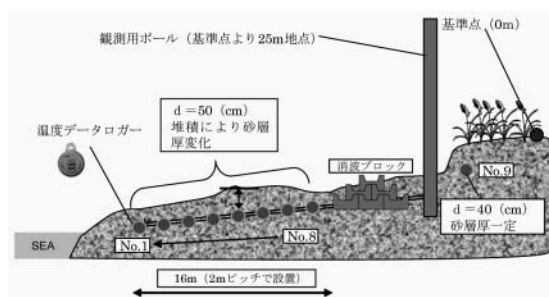


図-8 砂浜における砂中温度分布の計測

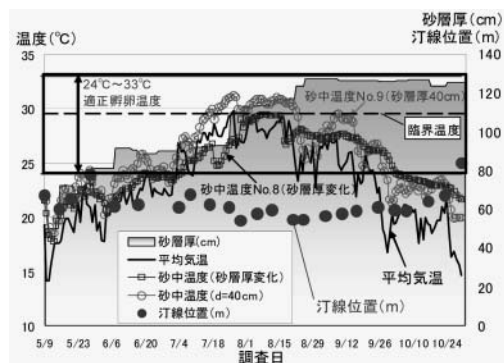


図-9 砂層厚と砂中温度の変化

太線の四角で囲まれた範囲はアカウミガメの適正孵卵温度 (24度-33度) である。図中の破線は雌雄が変化する臨界温度は29度付近である。砂層厚 (深度) が変化したNo.8の地点の砂層厚の変動については図中灰色のハッチングで示した。No.9の地点では調査期間中に砂層厚の変動は見られなかった。

温度によって性別が決まるという特殊性決定機構を有する。これは温度依存性決定 (TSD: Temperature dependent sex determination) と呼ばれ、アカウミガメについては雌雄比が等しくなる臨界温度 (29度付近) を境界に、それ以上の温度ではメスに、それ以下の場合はオスになることが分かっている。ただし、恒温条件では、砂中温度が24度以下や33度以上では極端に孵化率が低下することが知られているMcGehee (1979)。前述したようにウミガメの上陸後の移動距離には個体差がある。そこで、砂浜の同深度下における横断方向の砂中温度には変化があるのかを調査した。図-8に示す様に砂浜の横断方向においての温度変化を把握するために、温度データロガーTidbiTv2 (オンセット社製) を8個設置した。データロガーの計測精度は±0.2度 (-20度～30度 (水中)) である。計測はステンレス製のチェーンに2mピッチで温度データロガーを取り付け、16mの区間にわたって計測した。なお、設置深度はアカウミガメが掘る産卵巣の深さ約50cmにあわせた。データロガーの設置は、陸側は観測用ボールに固定し、海側は5kgの錘を付けた。データ収集は10分毎とした。調査期間は2008年5月～10月までとした。同時に、データロガーの埋設地点は毎週1

回数程度、レベル測量を実施した。レベル測量は基準点から約5m間隔で波打ち際までを計測した。

図-9は砂の堆積が顕著であった最も陸側にあたる地点の砂中温度No.8とほとんど砂層厚が変化しなかった地点(砂の堆積が認められなかった地点:d=40cmで一定)No.9の砂中温度の計測結果を比較したものである。砂の堆積が顕著であった地点においては、砂中温度が調査期間を通じてほぼ平均気温を超えており、7月上旬から9月下旬にかけて卵の生存温度である24度以上を保っている。しかし、臨界温度である29度まで到達することはなかった。これらの結果から、砂層厚は砂中温度の変動に大きく影響していることが分かる。また、砂層厚40cm(No.9)では日周変動の影響から1日当たりの温度変化量が大きいのに対し、砂層厚が最大120cmとなった地点(No.8)では温度変動は小さく安定した環境となっている。砂中温度は平均気温と高い相関があるが、平均気温がある一定を下回ると保温に転じ、砂中温度は平均気温を上回る。表浜海岸においてウミガメは8月下旬まで産卵をする。8月初旬以降に産卵された卵が孵化する10月初旬頃まで砂中温度は比較的安定しており、卵の生存温度を保っている。

孵卵環境は砂の粒径や締め固まり具合、卵室の酸素濃度(ガス交換)や湿度などといった多様な因子が複雑に作用するが、温熱環境のみで見れば、台風などが来襲せず、過度な堆積が生じてそれが卵の死滅に直に結びつく可能性は低いと考えられる。また、レベル測量から得られた汀線位置の変化(図中黒丸)と砂層厚には顕著な関係はみられなかった。ウミガメの孵卵環境は汀線の前進や後退などといったマクロな要素のみならず断面内でのミクロな地形変化の影響を受けていることが分かった。

4. おわりに

本研究で得られた知見をステージごとにまとめると以下の通りである。

上陸ステージ

離岸堤付近の上陸データの整理により、離岸堤正面の砂浜では上陸が少なくなる特徴が示された。しかし、離岸堤が砂浜の維持機能を有する構造物であることも踏まえ、離岸堤の設置方法や上陸が集中する離岸堤の切れ目部分の砂浜に設置されている消波ブロックのセットバックや埋設、適切な砂層厚の確保など、産卵場としての質を向上させるといったエコアップによるミチゲーションが考えられる。

産卵ステージ

データ数を補うため今後も継続した調査が必要ではあるが、表浜海岸に上陸するアカウミガメにとって必要な最小砂浜幅は、産卵数が未産卵数を上回る35~40m付近

にある可能性が示唆された。上陸後の移動距離の計測結果から、アカウミガメはある一定の距離までは上陸後の移動距離が長いほど産卵する個体が増加し、未産卵個体は一定距離以降には減少傾向にある。移動距離の長さは砂浜の勾配などウミガメが産卵に訪れた(上陸した)砂浜の特性が影響している可能性が高い。今後は豊橋市に隣接する湖西市など砂浜に消波ブロックが設置されていない海岸におけるアカウミガメの上陸移動距離を計測し、比較検討する必要がある。

孵化ステージ

孵卵環境は砂の粒径、卵室の酸素濃度(ガス交換)などといった多様な因子が複雑に作用するが、温熱環境のみで見ると過度な堆積が生じてそれが卵の死滅に直に結びつく可能性は低い。汀線の前進や後退などといったマクロな要素のみならずウミガメの孵卵環境はミクロな地形変化の影響を受けている可能性が高い。

上陸後の移動距離の計測結果から明らかになったアカウミガメの個体差によって生じる砂浜の縦断方向および上陸場所の違いにより生じる横断方向の産卵巣の位置のばらつきは、砂の堆積や侵食などに起因する砂中温度の変化など、砂浜環境の変動を予測できないアカウミガメの生き残り戦略であると考えられる。

謝辞：本研究を実施するにあたって、あかばね塾うらしま隊、アカウミガメを守る会、カレッタ君のふる里を守る会などに調査の協力やデータを提供していただいた。ここに感謝の意を表する。さらに本研究の一部は(株)三井物産環境基金の助成および豊橋技術科学大学文部科学省連携融合事業 県境を跨ぐエコ地域づくり戦略プランの支援を受けて実施した。

参考文献

- 内田 至(1986)：海ガメ学ノート3ー離岸堤の構築と海ガメの産卵、上陸生態の変化、海洋と生物44, Vol.8, No.3, 生物研究社, pp.217-219.
- 亀崎直樹(1992)：八重山諸島におけるウミガメ類の生態学1、生活上の位置づけと産卵場の環境特性、八重山諸島における海洋動物繁殖地等の保全対策検討報告書、環境庁自然保護局西表国立公園管理事務所, pp.1-8.
- 菅野健夫・大牟田幸久(2000)：屋久島「いなか浜」におけるウミガメの産卵行動ー主に産卵上陸距離についてー、千葉生物誌、第50巻、第1号, pp.34-44.
- 藤上 円・篠原正典・後藤 清・中本真理子・松沢慶将(2008)：アカウミガメの上陸経験が次の上陸時刻や場所に及ぼす影響ー和歌山県みなべ町千里浜調査よりー、第19回日本ウミガメ会議in明石日本ウミガメ誌2008、日本ウミガメ協議会, pp.44.
- 宮崎市教育委員会(1980)：昭和55年度アカウミガメ調査報告書, pp.16.
- McGehee, M. A. (1979): Factor affecting the hatching success of Loggerhead sea turtle eggs (*Caretta caretta caretta*) Unpubl. M.S. Thesis. University of Central Florida, Orlando.