

研究論文

高知県仁淀川河口浜 (新居・仁ノ海岸) におけるアカウミガメの産卵生態および産卵場所の砂の粒径について

和田真央子¹⁾・藤本竜平¹⁾・大山淳也¹⁾・
小林翔平²⁾・熊澤佳範³⁾・斉藤知己^{1,4)*}

要旨

絶滅危惧種アカウミガメ (*Caretta caretta*) の保護にかかる基礎知見を収集することを目的とし、2013–2015年の5月上旬から8月中旬にかけて、仁淀川河口の新居・仁ノ海岸 (高知県土佐市、高知市) にて、早朝に上陸産卵痕跡調査を行い、本種の上陸産卵状況、海岸環境の現況および経年変化を把握するとともに、上陸産卵場所の砂の粒径について検討した。その結果、2013年から2015年の3年間で上陸回数、産卵回数はともに大きく減少した。産卵成功率は砂の粒径が小さいと高く、粒径が大きくなるにつれて低下することが示された。また、産卵成功率が高かった区間は年によって異なり、3年間という期間でも砂浜環境は大きく変容することがうかがえた。

キーワード：アカウミガメ、上陸、産卵、粒径、新居海岸、仁ノ海岸

現在、世界に2科6属7種が認められるウミガメ類は、あらゆる人間の活動の影響を受けて絶滅の危機に瀕しているとされ、いずれもがIUCNのレッドリストに挙げられて国際的な保護の必要性が叫ばれている (Casale and Tucker 2015)。その多くが亜熱帯、熱帯域で繁殖するのに対し、アカウミガメ (*Caretta caretta*) は例外的に温帯域で繁殖を行う種である。本種の分布は凡世界的に及ぶものの (Dodd 1988)、北太平洋においては黒潮の流域圏である南日本の海岸線に産卵地が集中している (Marquez 1990)。本種の繁殖は黒潮に大きく依存していると考えられ、特に、その影響を強く受ける高知県の海岸では多くの産卵が確認される (Kamezaki *et al.* 2003)。よって、高知県は本種の再生産と存続に最も重要な産卵地である砂浜海岸および沿岸域の自然度と健全性を維持していく責務を担っていると言える。

土佐湾中央部に注ぐ仁淀川の河口の両端には西から新居海岸、仁ノ海岸と呼ばれる、合わせて約3.6

kmの砂浜海岸が存在する (Fig.1)。過去に、これら海岸は本邦のアカウミガメの代表的産卵地としては挙げられていない (Nishimura 1967, Kamezaki *et al.* 2003)。しかし、現在、同海岸は本種の産卵回数が多く、高知県下で常に上位であることから (日本ウミガメ協議会 2013–2015)、従来、地元では知られた大規模な産卵場であったと考えられる。両海岸は外海に面する開放型海岸であること、河川水の影響があることに加え、一部で広大な奥行きがあり安定した植生帯が発達していることなどによって、浜の形や砂の粒径などの環境特性の変化に富んでいる。

新居海岸の砂は砂岩・頁岩・赤色チャート・石英・貝殻などの構成で、径3 mm以下の分級不良な極粗粒砂～砂礫とされ、一方、仁ノ海岸の砂は砂岩・頁岩・赤色及び緑色チャート・石英などから成る、径0.5–1.5 mmの粗粒砂と径2–5 mmの細礫の混合物で、それらの構成比率は海岸ごとに相違すると報告されている (有田・須藤 2006)。同海岸では1946年の昭和南海地震とそれに伴う津波被害の復興のために防波堤の整備が進められてきた。しかし、これが砂の侵食を招いていると考えられ、同時に、仁淀川でのダム建設に伴い上流から砂の供給が減っていることによって同海岸の砂浜の退縮傾向は著しい (出口 2004)。その上、高知県はしばしば台風や熱帯低気圧の北上経路にあってその影響を受けやすく、

2016年9月1日受領；2017年2月20日受理

- 1) 高知大学理学部生物科学コース海洋動物学研究室
〒781-1164 高知県土佐市宇佐町井尻194
- 2) 東京農工大学大学院連合農学研究科生物生産科学専攻
〒183-0054 東京都府中市幸町3-5-8
- 3) 〒781-0315 高知県高知市春野町東諸木3302-1
- 4) 高知大学総合研究センター海洋生物研究教育施設
〒781-1164 高知県土佐市宇佐町井尻194

*連絡責任者e-mail address : t-saito@kochi-u.ac.jp

初夏から晩夏にかけて同海岸で産み付けられた産卵巣は、通常45–75日とされる脱出日数の間に、高波によって大多数が冠水または流失してしまう恐れがあり、自然下で卵が無事に孵化し、幼体の脱出に至る可能性は低いと考えられる。実際に、2014年、同海岸の浜の地盤高さが最も高い区間の植生帯付近にて自然孵化を試みたが、台風上陸の際に卵が流失した経験がある（和田 未発表）。このような状況を見かねた地元の自然保護団体「春野の自然を守る会」は、2002年から早朝の上陸産卵痕跡の観察で見出した卵をより安全な孵化場へ移植し、幼体の孵化脱出まで管理する活動を行ってきた。

卵の人為的管理は、温度依存性決定様式を有する本種の自然性を攪乱しかねないこと、発生中の卵の取り扱いそのものにより孵化率が下がることなどの問題が指摘されているが（山田・和田 2006、松沢・亀崎 2012）、しばらく自然砂浜の回復が見込めない産卵場では、その問題点を十分に考慮した上で卵移植を有効な手段の一つとしていく必要があると考えられる。同時に、ウミガメの保護にかかる根本的解決のために、ウミガメの上陸産卵状況や海岸環境の変化を長期的に監視し、ウミガメの産卵と孵化にとって適切な環境条件を把握することが不可欠である。その上で、対象とする産卵地の海岸でウミガメの産卵から孵化、脱出までが健全に行われるように、砂浜環境を改善、保持していかななくてはならない。

田中（2003a、b、c、2005）は四国南部に存在する103カ所もの海岸を網羅的に調査し、アカウミガメが上陸もしくは産卵の記録がある浜の規模、堆積物、人工光、植生帯、離岸堤等の海岸環境について報告した。これにより、高知県全域で本種の産卵が見込まれる浜の概要が明らかになった。一方、アカウミガメの産卵雌が砂浜に上陸してから、その砂浜内においてどのような場所を選択し、産卵するのかという問題も興味深い。産卵場所の選択は、雌そのものの産卵の容易さと、そこから生まれる孵化幼体の生残、性比等とに関係があると考えられている（Carthy *et al.* 2003、Miller *et al.* 2003）。本種の産卵雌は通常、波浪の達しない砂浜の上部へのぼり、植生帯より少し海側を産卵場所を選ぶことが知られている（Hays and Speakman 1993、Hays *et al.* 1995、菅野・大牟田 2000）。また、Wood and Bjorndal（2000）はフロリダの海岸で本種の産卵場所の選択に関わる諸要因を調べ、塩分、水分が潜在的な要因

で、浜の勾配が最重要な要因であるとした。さらに、長山ら（2014）は鹿児島県屋久島いなか浜において、本種の卵が冠水しない地盤高さを必要条件とし、年間平均満潮水位、推算波高、平均産卵巣深を総和した値を同海岸で産卵可能な地盤高さと定義した。また、雌は産卵巣を掘る過程で穴が崩れるとそれを止めて他の場所へ移動してやり直すか、海に戻ることが知られている（松沢 2012b）。この場合の穴の掘りやすさは砂の保水力および可塑性によるが、これらはそもそも砂の粒径に基づくと考えられる。

ウミガメ類の産卵雌が産卵地選択をする際、その砂浜の砂の粒径が関係し、種によってその嗜好性は異なるとする意見があるが（Hughes 1974、Nuitja and Uchida 1983）、これを否定する意見もある（Hirth 1971）。特にBustrad（1974）はトンガでのアカウミガメの調査から、砂の粒径は本種の産卵地選択の要因ではないとした。Mortimer（1982）はこうした現状と自身の調査から、砂の粒径はウミガメ類の産卵地選択の重要な要因ではないとまとめた。しかし、砂の粒径は後述する胚発生、そして孵化幼体の脱出の面から重要な要因であり、かつ、それは雌が産卵地を選択し産卵巣を掘る際にも同様と考えられ、あらゆる産卵場での新しい知見を集めて再検討を行う必要がある。

ウミガメ類の卵発生に影響を与える様々な要因の中でも、特に、ガス交換、水分、温度が重要と考えられている。松沢（2012b）はこれらを規定する物理的環境として、その土地の気候、天候、浜の方角、波打ち際からの距離、砂の粒度組成、反射率、産卵巣の深さ、卵室内での位置などを挙げ、複雑に変化するその動向の概略をまとめた。例えば、Mortimer（1990）は、南大西洋アセンション島では砂の粒径が大きい砂浜ほどアカウミガメの卵の孵化率が低下するが、これは砂の粒径が大きくなることで砂中の間隙が増大するとともに保水力が低下することに関係すると報告した。これら先行研究に基づき、Boulon（1999）とMortimer（1999）は自然下での卵の移植および孵化場での卵管理の方法を提示しているが、意外にも産卵巣に用いるべき砂の粒径について明示していない。

よって、本研究では雌による産卵場所を選択する要因として砂の粒径に着目し、2013–2015年に新居・仁ノ海岸にて行った上陸産卵痕跡調査の結果から、アカウミガメの上陸産卵状況と海岸環境の経年

変化を把握するとともに、砂の粒径が産卵雌の上陸産卵行動と産卵成功率に与える影響を明らかにした。

材料と方法

2013年5月7日から8月16日、2014年5月7日から8月15日、および2015年5月7日から8月10日まで、日の出とともにアカウミガメの上陸産卵痕跡調査を行った。仁淀川河口両側に位置する新居・仁ノ海岸を、2013年度調査開始時点で次のような海岸の特性に基づき西側から順に5区に分けた (Fig. 1, Table 1)。1区：仁淀川河口西岸に位置する新居海岸。比較的奥行きがあるが、消波ブロックが海岸の

前面、背面に広く存在する区間。2区：仁淀川河口東西から発達する不安定な砂嘴部分で平均距離597.5 mとした。3区：仁ノ海岸の最西部に位置する。後背部に植生があった。全区間中、最も自然度が高い。4区：後背部に海岸工事車両の運行のために赤土で固められたダートがあった区間。5区：海岸の前面、背面に消波ブロックが広く敷設され、多くが礫で占められていた区間。各区の距離は空中写真から算定した。なお、県道23号線と海岸の間は、仁淀川河口大橋の部分を除いて防潮壁で隔てられている。各調査区を徒歩で移動し、目視、または双眼鏡を用いてウミガメの上陸と産卵の痕跡を観察した。ウミガメの一連の産卵行動は順に、(a) 上陸、(b) ボディーピット (以下BPと略す) 掘り、(c) 穴掘り、

Table 1. Results of emergence tracks of female loggerhead turtles on Niyodo River mouth in 2013-2015

Year	Area	1st	2nd	3rd	4th	5th	Total
	Length (m)	1008.9	597.5	962.3	393.6	602.8	3565.1
2013	Emergence tracks (land and nest)	18	13	27	11	13	82
2014		13	7	9	9	9	47
2015		2	5	3	2	7	19
2013	Nests	13	5	25	5	0	48
2014		5	2	6	7	1	21
2015		0	1	2	2	2	7
2013	Density of emergence tracks (land and nest) (number of emergence tracks \cdot km $^{-1}$)	17.8	21.8	28.1	27.9	21.6	23.0
2014		12.9	11.7	9.4	22.9	14.9	13.2
2015		2.0	8.4	3.1	5.1	11.6	5.3
2013	Density of nests (number of nests \cdot km $^{-1}$)	12.9	8.4	26.0	12.7	0	13.5
2014		5.0	3.3	6.2	17.8	1.7	5.9
2015		0	1.7	2.1	5.1	3.3	2.0
2013	Nesting success (%)	72.2	38.5	92.6	45.5	0	58.5
2014		38.5	28.6	66.7	77.8	11.1	44.7
2015		0	20.0	66.7	100.0	28.6	36.8

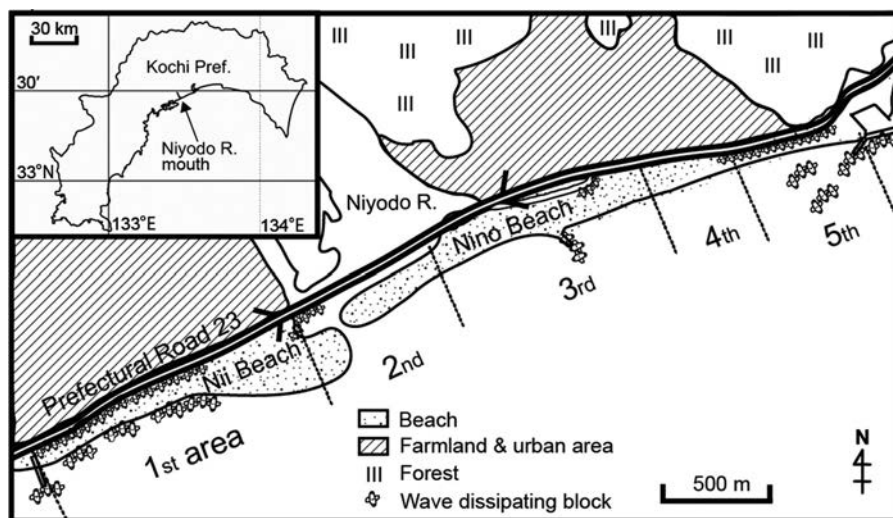


Fig. 1. Study sites divided into 5 areas at Nii and Nino Beaches, Niyodo River mouth, Kochi Prefecture.

(d) 産卵、(e) 穴埋め、(f) カモフラージュ、および(g) 帰海の7つに類別される (Fig. 2, Miller 1997, 松沢 2012b)。BP掘りは、波打ち際から陸側へ進んだ雌が次の穴掘りに先立ち、四肢を動かして体が隠れる程度の穴を掘る行動である。穴掘りは後肢だけを使い卵室を掘る行動で、反対に穴埋めは産卵後、同様に後肢のみを使って卵室を埋める行動である。カモフラージュは穴埋め後、前肢も使い砂を後方へ掃き飛ばし、漸進しながらBPを埋めていく行動である。

ウミガメが産卵していた場合は産卵巣の位置を、上陸のみでBPを掘っていなかった場合は上陸痕跡の最奥部の位置を、BPを1回以上掘っていた場合は最後のBPの位置を高感度GPS (Garmin社製、OREGON 550TC) で記録するとともに目印の杭を立てた。全区間の調査後、この杭をたよりに産卵巣の詳細について調べ、それと同時、もしくは1週間以内に杭を立てた位置の砂を1000 ml程度採取した。この砂はウミガメがBP掘りの際に掘り返し、さらに、観察者によって卵移植の際に再度掘り返されているので表面から深さ約50 cmまでの砂が混ざったものである。この試料を地盤工学会 (2010) に従い試料を所定の含水比に調整した後、0.2 mm未満、0.2 - 0.5 mm、0.5 - 1 mm、1 - 2 mm、2 - 4 mm、4 mm以上の6階級にふるい分け、粒度組成を分析して中央粒径 (D_{50}) をもとめた。

長山ほか (2014) を参考として当海岸における年

間平均満潮水位、推算波高、平均産卵巣深から産卵可能地盤高さをもとめることとした。高さは東京湾平均海面 (TP) を基準とした。また、その他は自然下にアカウミガメ卵が実在する可能性のある期間として2013年5月1日から9月30日までのデータを使用することとし、気象庁 (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/genbo/genbo.php>) の観測地点「高知」のデータより平均満潮潮位を168.5cm、全国港湾海洋波浪情報網 (ナウファス) 波浪データ (<http://nowphas.mlit.go.jp/nowphasdata/sub300.htm>) の観測地点「高知」のデータより平均有義波高を81.6 cm、平均産卵巣深を松沢ほか (1995) に従い54.4 cmとし、これらを総和した304.5 cm (≈ 3.0 m) を当海岸の産卵可能地盤高さとして定義した。

上陸密度 (density of emergence, 回 \cdot km⁻¹) と産卵密度 (density of nests, 回 \cdot km⁻¹) は各区の上陸の回数と産卵の回数を距離で割ることで、産卵成功率 (nesting success (%)) は雌の上陸のうち産卵に至った回数を上陸回数で割ることでもとめた。海水温は高知県が土佐湾安芸市沖 (33° 07.17'N, 133° 37.17'E) に設置している黒潮牧場12号ブイで得られた表層水温データを使用した (<http://www.suisan.tosa.pref.kochi.lg.jp/top>)。調査区、または粒径の階級ごとの上陸回数、産卵回数、上陸密度、産卵密度および産卵成功率、さらに、上陸産卵痕跡ごとの粒径構成比率の統計解析には有意水準5%として χ^2 -testを用いた。また、その後の多重比較は、ボンフェローニ

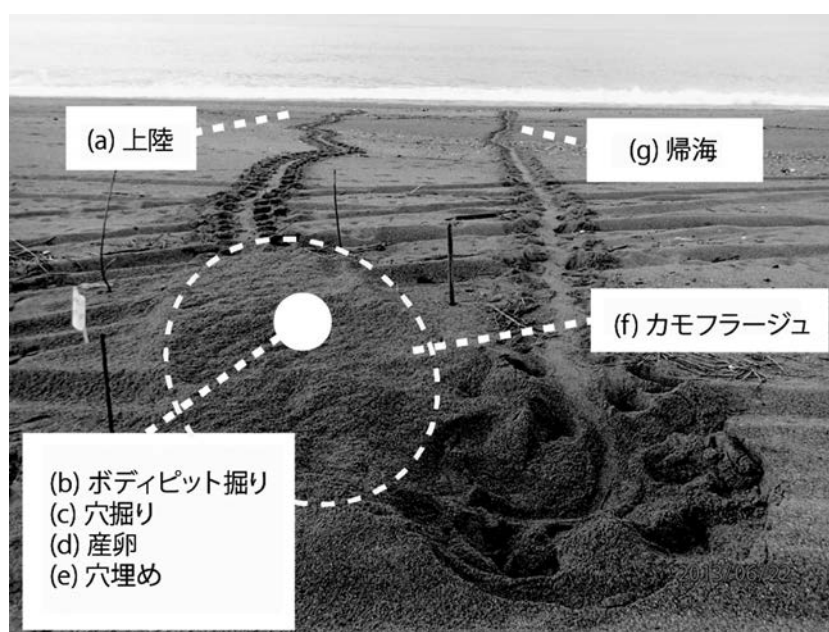


Fig. 2. Typical trace of a nesting behavior of loggerhead turtle.

の補正により有意水準を調整して行った。統計ソフトはExcel Statistics 2012 software package for Windows (SSRI, Tokyo, Japan) を使用した。

用語は紀伊半島ウミガメ情報交換会・日本ウミガメ協議会 (1994) に従い、次のように定義した。産卵回数 (number of nests): 雌が産卵を行った回数。産卵数 (number of eggs): 雌が一回の産卵で産んだ卵の数。産卵巣 (nest): 雌が砂浜に産卵の為に後肢で掘った円筒状の穴。通常は穴とそこにある卵塊を指す。産卵日 (day of nesting): 卵を発見した日の前日 (本研究ではその翌日早朝に調査を行ったため)。上陸回数 (number of emergence tracks): 雌が海岸に上陸し、上述の産卵行動の全てもしくは途中までを行った場合に残した痕跡の数。詳しくは、上陸のみでBPを掘らずに戻った場合 (land (-BP)) とBPは掘ったが産卵しなかった場合 (land (+BP)) と産卵した場合 (nest) を含む。上陸日 (day of emergence): 上陸痕跡を発見した日の前日。

結果と考察

2013-2015年の上陸産卵痕跡調査 2013-2015年の調査地における上陸回数は、2013年から82回、47回および19回となり、産卵回数は、2013年から48回、21回および7回となり、この3年間で上陸回数、産卵回数ともに減少した。また、調査地全体の産卵成功率もこの3年間で順に58.5%、44.7%および36.8%と減少した (Table 1)。調査地における各年のアカウミガメの産卵期の到来を示す初上陸日は、2013年から5月17日、6月2日および5月6日と、年によって約1か月の違いがあった (Fig. 3, Table 2)。それに対し、産卵期の終了を告げる最終上陸日は2013年から7月30日、7月28日および7月27日と、3年とも7月末日となった (Table 2)。2013-2015年の調査地におけるアカウミガメの1日当たりの上陸回数と産卵回数の経日変化と土佐湾沖海水温との

関係に着目すると、上陸は海水温が20℃を超えた頃から始まり、水温の上昇とともに増加し、最大値 (28-30℃) に達した頃に上陸が終了していた (Fig. 3)。今村ほか (2009) は愛知県渥美半島表浜海岸でアカウミガメの上陸の経時変化を調べ、同様に遠州灘の海水温が20℃を超えた頃から上陸の開始を確認している。今回の調査ではアカウミガメの上陸は2013年

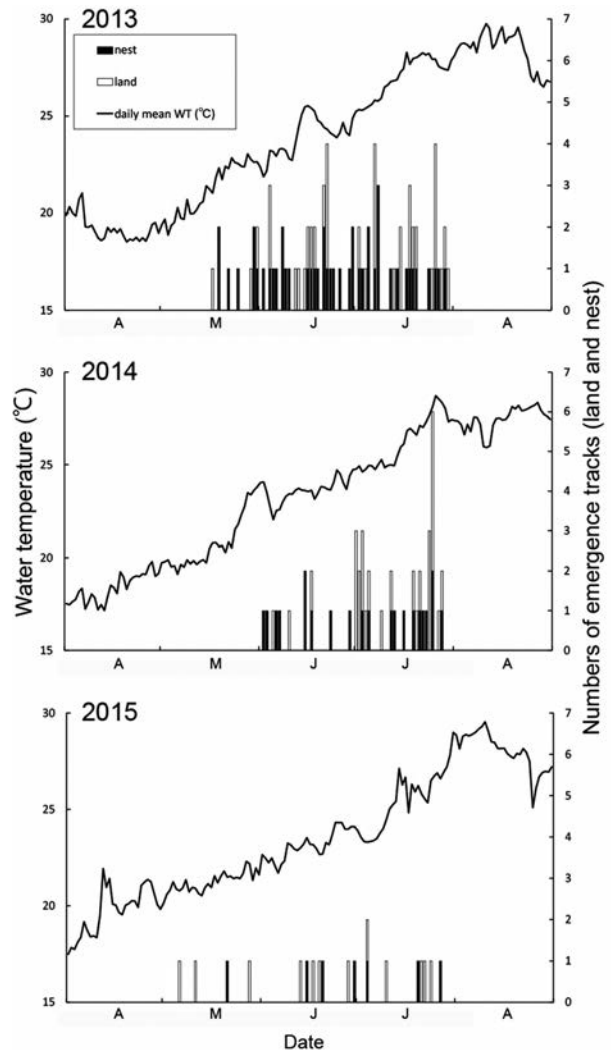


Fig. 3. Daily emergence tracks of loggerhead turtles and mean WT (°C) in 2013-2015.

Table 2. Dates of emergence and nesting of female loggerhead turtles on Niyodo River mouth in 2013-2015

	2013	2014	2015
First day of emergence	17-May	2-Jun	6-May
First day of nesting	19-May	2-Jun	21-May
Last day of nesting	29-Jul	28-Jul	27-Jul
Last day of emergence	30-Jul	28-Jul	27-Jul

と2015年では初上陸日から最終上陸日までの海水温がおよそ21℃から28℃まで上昇するのに伴って確認されたが、2014年はそれが22℃から28℃までとなっていた。また、初上陸日が遅れた2014年の4月の海水温は、2013年と2015年のそれと比べて低く、20℃を超えることがなかったため、アカウミガメの上陸開始と海水温は関係があると考えられる。低水温を経験した雌個体は、産卵間隔が長期化する傾向が報告されているが、これは体温が低下することで輸卵管内での卵の胚発生が遅れることが原因とされており (Sato *et al.* 1998)、産卵前に生息していた海域の海水温が低いと雌の卵巣内での卵細胞の発達が遅れ、それに伴い産卵の開始時期も遅れることと推察される。また、Weishampel *et al.* (2004) は1989年から2003年にかけて米国フロリダ州の海岸におけるアカウミガメの産卵期が次第に前後に延びていること、産卵開始日に近い5月の近海表層水温が平均0.8℃上昇していること、産卵期中日にあたる日が年々早まっていることおよび同日の表層水温が24–26℃であることなどを報告した。当海岸では、2013年から2015年の3ヶ年で、産卵期の開始日に約1ヶ月のずれがあったこと、終了時期はほぼ変わらなかったこと、産卵期中日の表層水温が23–24℃であることなどを認めたが、近年の海水温上昇等による影響を論じるには長期的な調査が不可欠である。

調査地各区のウミガメの産卵成功率を年ごとに示した (Fig. 4, Table 1)。2013年の上陸密度は区ごとに有意な偏りは認められなかったが ($P > 0.05$, χ^2 -test)、産卵密度は有意に偏っていた ($P < 0.01$, χ^2 -test)。同年の産卵成功率は区ごとに有意に異なり ($P < 0.05$, χ^2 -test)、また、多重比較の結果、3区と5区との間で有意に異なった ($P < 0.01$, χ^2 -test)。2014年は上陸密度、産卵密度とも区ごとに有意な偏りはみられず ($P > 0.05$, χ^2 -test)、2015年は上陸密度、産卵密度ともに少なかったため検定を行うことができなかった。上陸密度が最も高かった区は、2013年から順に3区、4区、5区と推移し、産卵密度が最も高かった区は、2013年が3区、2014年と2015年が4区であった。一方、上陸密度が最も低かった区は2013年から順に1区、3区、1区で、産卵密度が最も低かった区は2013年と2014年が5区、2015年が1区となった。このように、上陸密度と産卵密度が最も高い区および最も低い区は年ごとに変動した。産卵成功率が最も高かった区は、2013年は

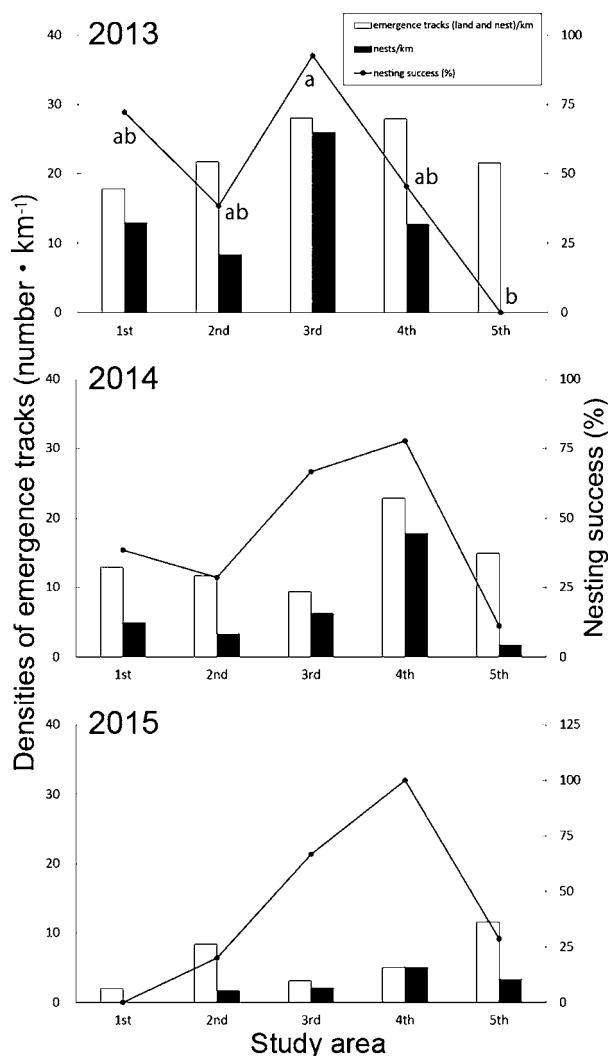


Fig. 4. Annual change of the densities of emergence tracks and nesting success (%) of each study area in 2013-2015. Different alphabets show statistical significance at $P < 0.05$.

3区であったが、2014年と2015年では4区となった。今村ほか (2009) は表浜海岸の離岸堤設置区間において、離岸堤の正面の砂浜でアカウミガメの上陸がほとんど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を確認している。本調査では、1区と5区で同様の傾向を確認しているものの、各調査区間で上陸密度に有意な偏りは見られなかった。調査地の海岸線は東北東–西南西方向に延びており、土佐湾沖に対しては南南東方向にほぼ直線を成して開放的に面している。まず、沖から進入してきたウミガメが砂浜にランダムに接岸していたこと、さらに、海岸付近で消波ブロックを避けつつもそれに近いところに上陸していたことで、

各調査区の上陸密度がおおよそ均一になったと考えられる。一方、上陸後は各調査区において、砂の粒径や海岸後背の構造物等の条件に対応した、狭い範囲での産卵場所の選択があったと考えられる。

上陸産卵場所の砂の粒径 本調査でウミガメが上陸しても産卵に至らなかった事例には、上陸のみでBPを掘らずに戻った場合 (land (-BP)) と、BPは掘ったが産卵しなかった場合 (land (+BP)) が含まれている。後者では砂の粒径による産卵巣の掘り易さが影響した可能性が高いと考えられるが、前者の場合は、砂の粒径を選択する以前にBP掘りに移行できなかった様々な理由も考えられる。例えば、汀線近くに並ぶ消波ブロックによって産卵をあきらめた、または上陸したもののスペースが狭かったなどの要因もあろう。そこで、2013-2015年の全てのデータについて、上陸のみの場合 (land (-BP))、BPを掘った場合 (land (+BP))、産卵した場合 (nest) の3者で平均粒径構成をもとめて比較した (Fig. 5)。その結果、産卵した場合は他の二つに比べ平均粒径構成に有意な差がみられたが ($P < 0.01$, χ^2 -test)、多重比較から上陸のみとBPを掘った場合には有意な差は認められなかった ($P = 0.61$, χ^2 -test)。このことから、本調査では上陸したメスの産卵行動を中止させるに至った要因はBPを掘る前と後とで変わらなかったとみなした。よって、本報告では、ウミガメが上陸しても産卵には至らなかった事例として、上陸のみとBPを掘った場合を合わせて解析することとした。

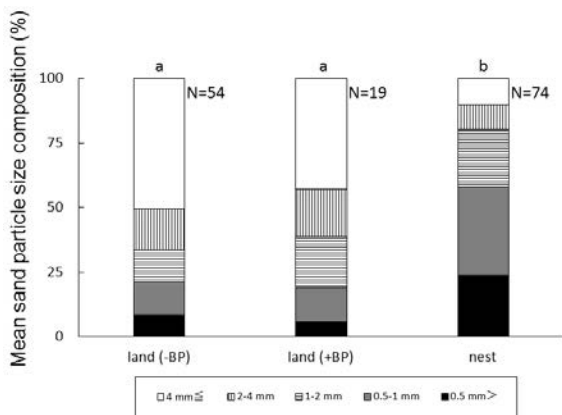


Fig. 5. Comparison of the mean sand particle size composition (%) among emergence tracks (land (-BP), land (+BP) and nest) in 2013-2015. Different alphabets show statistical significance at $P < 0.05$.

2013-2015年の全ての上陸産卵場所の砂について中央粒径をもとめた後、これを5つの階級に分け、上陸回数、産卵回数および産卵成功率をその階級ごとに示したところ (Fig. 6A)、各階級の産卵成功率が有意に異なった ($P < 0.05$, χ^2 -test)。また、多重比較により、礫以上 (≥ 4 mm) の階級の産卵成功率がその他の階級と比べて有意に低かった ($P < 0.01$, χ^2 -test)。さらに、統計学的有意性は保留されたものの、砂の粒径が小さい方が産卵成功率は高くなる傾向が示された。ただし、海岸では陸方向に向かって砂の粒径は小さくなるとされており (McLachlan 1991)、雌が産卵地として地盤高さを選択した結果、粒径の小さい場所で産卵が行われた可能性がある。そこで、Fig. 6Aから地盤高さという要因を除くため、当海岸の産卵可能地盤高さ3.0 mに達した観察事例に限り、上陸回数、産卵回数および産卵成功率を中央粒径の階級ごとにまとめた (Fig. 6B)。その結果、地盤高さ3.0 m以上の産卵巣については、標本数が少ないことにより統計学的有意性は保留されたものの、砂の粒径が小さい階級で産卵成功率が高くなる傾向が示された ($P = 0.17$, χ^2 -test)。砂の粒径が大きいと粒子間の可塑性が低下し、産卵巣にする穴は筒状に掘ることができなくなってすり鉢状になりがちである。目的とする深度 (約50 cm) に達するまでに時間がかかりすぎれば、雌が穴掘りを途中で諦めてしまうことにつながる。よって、砂の粒径が大きいと産卵成功率が低くなると考えられる。

各調査区における全上陸産卵場所の平均粒径階級比率と産卵成功率の経年変化をまとめたところ (Fig. 7)、概して粒径が大きくなった浜の西側で産卵成功率が低下し、小さくなった東側で上昇した。各区の傾向をみると、まず1区では2013年から2015年にかけて礫以上 (≥ 4 mm) の割合が高くなった一方、粗粒砂 (0.5-1 mm) と中粒砂 (< 0.5 mm) を合わせた砂の割合が下がり、同時に産卵成功率も低下した。田中 (2003b) は高知県西部の大浦の浜で、0.2-2 mmの砂が9割以上も占めていたにもかかわらず、台風の影響で数年内にこぶし大の石の浜に変わり、それにともないウミガメの産卵が見られなくなったことを報告している。また、1区では2013年秋から2014年夏にかけて護岸工事が行われ、工事に使用する重機が乗り入れていたことや砂浜の形状が変わったことがウミガメの上陸産卵に影響を与えたとも考えられる。同様に2区と3区でも、粒

アカウミガメの産卵生態と砂の粒径

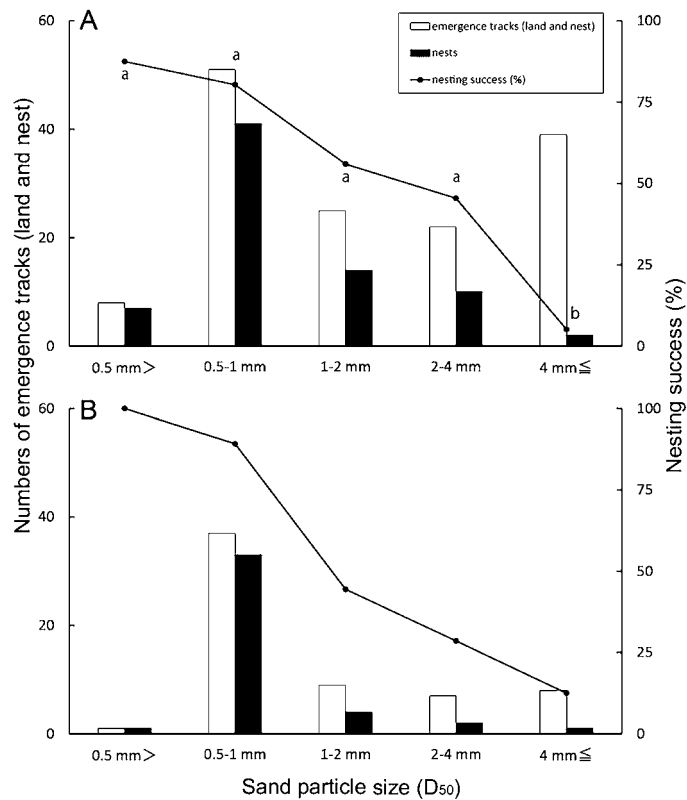


Fig. 6. Comparison of the numbers of emergence tracks and nesting success (%) among sand particle size classes. Different alphabets show statistical significance at $P < 0.05$. A: all samples in 2013-2015; B: except samples below TP = 3.0 m in 2013.

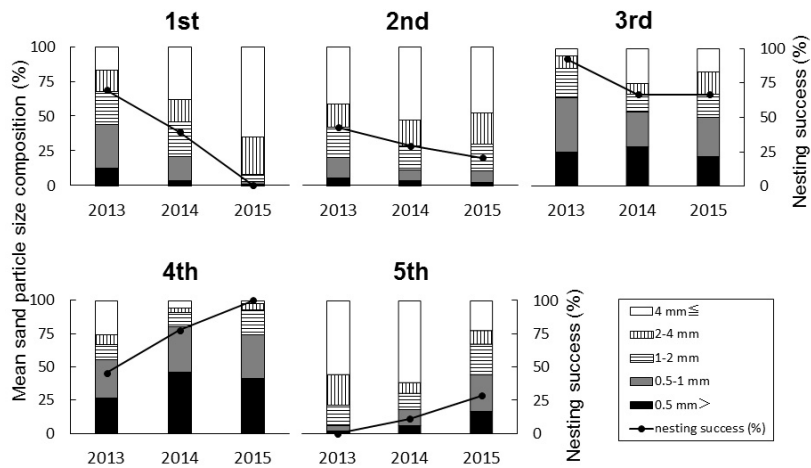


Fig. 7. Annual change of the mean sand particle size composition (%) and nesting success (%) of each study area in 2013-2015.

径の大きい砂が増加するのにしたがい、産卵成功率は低下する傾向がみられた。それに対して4区と5区では、3年間で細礫(2-4 mm)や礫以上(≥ 4 mm)の割合が下がるにつれて粗粒砂(0.5-1 mm)と中粒砂(< 0.5 mm)の割合が高くなり、産卵成功率も上昇する傾向がみられた。各年で粗粒砂(0.5-1 mm)と中粒砂(< 0.5 mm)を合わせた割合が最も

高かったのは、2013年は3区であったのに対し、2014年と2015年は4区に移っていた。このように砂の粒径の変動が上陸密度、産卵密度、産卵成功率の推移と一致していたことから、粒径の小さい砂が多い場所では、上陸密度、産卵密度および産卵成功率が高くなると考えられる。

各区の砂の粒径が年ごとに変化したのは高波によ

る砂の移動などが原因と考えられる。例えば、2014年7月10日に四国沖を通過した台風8号（最大勢力時930 hPa；<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/typhoon/T1408.pdf>）により、3区の砂が東側の4区へ移動していた。また、その1か月後、2014年8月10日には台風11号（最大勢力時920 hPa；<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/typhoon/T1411.pdf>）が高知県安芸市付近に上陸し、その通過後には3区の浜が植生帯を境に砂が約2mの深さで削り取られて東側の4区へ移動していた。このような砂の動きはウミガメの上陸産卵に影響をもたらすと考えられる。2015年は産卵密度と産卵成功率は4区で最も高かった一方、上陸密度は5区で最も高かった（Fig. 4）。5区は砂浜の後背の大部分に消波ブロックがあり、特にその西側では消波ブロック前に砂が十分に堆積しておらず、元々ウミガメが上陸しても産卵できなかった場所である。しかし、上述のように2014年に3区の砂が高波によって削り取られた後、その東側へと徐々に移動していったことで、2015年には5区の消波ブロック前でも高潮線より高く砂が堆積し、上陸したウミガメが産卵できる環境となっていた。そのため、2015年に5区で上陸密度が増加したとみられるが、その後背には依然として消波ブロックが存在し、かつ浜の奥行きなど他の条件も不十分であったため産卵成功率は低くとどまったと考えられる。

本調査地の新居・仁ノ海岸よりも細かい砂で構成された砂浜では、砂が締まりすぎて硬くなる、産卵巣内の酸素量が欠乏してしまう、もしくは過度な水分環境につながるといったことが起こり、産卵雌や孵化幼体に負の影響を及ぼす可能性がある。Kikukawa *et al.* (1999) は、沖縄本島とその周辺の島々においてアオウミガメの雌が柔らかい砂を好んで産卵を行うことを示した。Kikukawa *et al.* (1999) は砂の柔らかさの理由については言及していないが、砂の粒径や構成物はそれを規定する要因の一つであると考えられる。本報告では孵化に適した具体的な粒径を明らかにする試みは行っていないが、自然下で成体雌による産卵成功率が高いと同時に、卵の孵化と幼体の脱出に最適な砂の粒径を明らかにしていく必要がある。ウミガメの保護にはそのような砂が十分に堆積した奥行きと高さがある砂浜を維持することが根本的に必要である。2013–2015年の3年間におけるアカウミガメの上陸回数の減少傾向は、

本調査地の新居・仁ノ海岸のみならず、他の高知県や全国の産卵地でも同様に確認されたことから（日本ウミガメ協議会2013–2015）、そもそも産卵を目的に日本周辺に来遊した雌の個体数が少なかったことが考えられる。しかし、ウミガメは成熟するまでに時間を要し、成熟後は数年おきに産卵する寿命が長い動物であることから、この3年間の上陸回数の減少を理由として本種北太平洋群の個体数が減少したと判断するのは尚早である。産卵成功率が年々減少したことで、本調査地はこの数年で産卵に不適な環境に変わったとも考えられるが、個体群変動と同様に、これを判断するにも長期的な調査が不可欠である。

謝辞

調査に多大な協力と理解をいただいた春野の自然を守る会、国土交通省四国地方整備局高知河川国道事務局、高知県林業復興・環境部環境共生課の皆様、そして文献資料等をご提供くださった環境省那覇自然環境事務所国立公園課の高橋優人氏と環境省那覇自然環境事務所石垣自然保護官事務所の伊藤珠実氏に心から感謝申し上げます。有益な助言をくださった日本ウミガメ協議会会長の松沢慶将博士、海洋生物研究教育施設職員の田中幸記博士、井本善次、山本ルリ子の各氏、同施設教授の木下泉博士、調査を手伝って下さったジャコ学研究室と海洋動物学研究室のメンバーに心から感謝申し上げます。本研究は平成24–25年度科学研究費補助金研究活動スタート支援（課題番号24810018）および平成27年度公益社団法人日本動物園水族館協会野生動物保護基金助成により行った。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 有田正史・須藤定久. 2006. 砂と砂浜の地域誌（5）高知平野と高知海岸－津波と対峙する浜辺. 地質ニュース 617: 46-56.
- Boulon R.H. Jr. 1999. Reducing threats to eggs and hatchlings: in situ protection. In: Eckert K.L., Bjourndal K.A., Abreu-Grobois F.A. and Donnelly M. (eds.) "Research and management techniques for the conservation of sea turtles", IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group Publication 4,

- Consolidated Graphic Communications, Blanchard, Pennsylvania, pp. 169-174.
- Bustard R. 1974. Barrier Reef sea turtle populations. In: Cameron A.M., Cambell B.M., Cribb A.B., Endean R., Jell J.S., Jones O.A., Mather P. and Talbot, F.H. (eds.) "Proceedings of the Second International Coral Reef Symposium. Vol. 1", The Great Barrier Reef Committee, Brisbane, pp. 227-234.
- Casale P. and Tucker A.D. 2015. *Caretta caretta*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e. T3897A83157651. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T3897A83157651.en>. Downloaded on 18 Dec 2015.
- Carthy R.R., Foley A.M. and Matsuzawa Y. 2003. Incubation environment of loggerhead turtle nests: effects on hatching success and hatchling characteristics. In: Bolten A. B. and Witherington B. E. (eds.) "Loggerhead Sea Turtles", Smithsonian Books, Washington, D.C., pp. 144-153.
- 出口一郎. 2004. 仁淀川河口海岸域の侵食と対策. 月刊 海洋 36(3): 211-216.
- Dodd C.K. Jr. 1988. Synopsis of the biological data on the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758). USFWS Biol. Rep. 88(14): 1-110.
- Hays G.C. and Speakman J.R. 1993. Nest placement by loggerhead turtles, *Caretta caretta*. Anim. Behav. 45: 47-53.
- Hays G.C., Mackay A., Adams C.R., Mortimer J.A., Speakman J.R. and Boerema M. 1995. Nest site selection by sea turtles. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 75 (3): 667-674.
- Hirth H.F. 1971. Synopsis of biological data on the green turtle, *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758). FAO Fish. Synop. (85). 77 pp.
- Hughes G.R. 1974. The sea turtles of southeast Africa. Oceanogr. Res. Inst. Invest. Rep., Durban 35: 1-144.
- 今村和志・田中雄二・青木伸一. 2009. 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. 土木学会論文集 B2 (海岸工学) 65(1): 1141-1145.
- Kamezaki N., Matsuzawa Y., Abe O., Asakawa H., Fujii T., Goto K., Hagino S., Hayami M., Ishii M., Iwamoto T., Kamata T., Kato H., Kodama J., Kondo Y., Miyawaki I., Mizobuchi K., Nakamura Y., Nakashima Y., Naruse H., Omuta K., Samejima M., Suganuma H., Takeshita H., Tanaka T., Toji T., Uematsu M., Yamamoto A., Yamato T. and Wakabayashi I. 2003. Loggerhead turtles nesting in Japan. In: Bolten A.B. and Witherington B.E. (eds.) "Loggerhead Sea Turtles", Smithsonian Books, Washington D.C., pp. 210-217.
- 紀伊半島ウミガメ情報交換会・日本ウミガメ協議会. 1994. ウミガメ用語辞典. 紀伊半島ウミガメ情報交換会・日本ウミガメ協議会 (編) 「ウミガメは減っているか～その保護と未来～」, 紀伊半島ウミガメ情報交換会, 和歌山, pp. 106-117.
- Kikukawa A., Kamezaki N. and Ota H. 1999. Factors affecting nesting beach selection by loggerhead turtles (*Caretta caretta*): a multiple regression approach. J. Zool. 249: 447-454.
- Márquez M.R. (ed.) 1990. Sea turtles of the world. FAO Fish. Synop. 125(11). FAO, Rome.
- 松沢慶将. 2012a. 発生 - 卵から子ガメへ. 亀崎直樹 (編) 「ウミガメの自然誌 - 産卵と回遊の生物学」, 東京大学出版会, 東京, pp. 85-113.
- 松沢慶将. 2012b. 繁殖生態 - 交尾と産卵. 亀崎直樹 (編) 「ウミガメの自然誌 - 産卵と回遊の生物学」, 東京大学出版会, 東京, pp. 115-140.
- 松沢慶将・坂東武治・坂本亘. 1995. 南部町千里浜におけるアカウミガメ産卵巣の深度分布と各深度ごとの砂中温度. うみがめニュースレター 26: 3-7.
- 松沢慶将・亀崎直樹. 2012. 保全 - 絶滅危惧種を守る. 亀崎直樹 (編) 「ウミガメの自然誌 - 産卵と回遊の生物学」, 東京大学出版会, 東京, pp. 227-254.
- McLachlan A. 1991. Ecology of coastal dune fauna. J. Arid Environ. 21: 229-243.
- Miller J.D. 1997. Reproduction in sea turtles. In: Lutz P.L. and Musick J.A. (eds.) "The Biology of Sea Turtles", CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 51-81.
- Miller J.D., Limpus C.J. and Godfrey M.H. 2003. Nest site selection, oviposition, eggs, development,

- hatching, and emergence of loggerhead turtles. In: Bolten A.B. and Witherington B.E. (eds.) "Loggerhead Sea Turtles", Smithsonian Books, Washington D.C., pp. 125-143.
- Mortimer J. A. 1982. Factors influencing beach selection by nesting sea turtles. In: Bjorndal K.A. (ed.) "The biology and conservation of sea turtles", Smithsonian Institution Press, Washington D.C., pp. 45-51.
- Mortimer J.A. 1990. The influence of beach and characteristics on the nesting behavior and clutch survival of green turtles (*Chelonia mydas*). Copeia 1990: 802-817.
- Mortimer J.A. 1999. Reducing threats to eggs and hatchlings: hatcheries. In: Eckert K.L., Bjorndal K.A., Abreu-Grobois F.A. and Donnelly M. (eds.) "Research and management techniques for the conservation of sea turtles", IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group Publication 4, Consolidated Graphic Communications, Blanchard, Pennsylvania, pp. 175-178.
- 長山昭夫・古田島樹・田中龍児. 2014. 屋久島いなか浜に上陸するウミガメの産卵活動と海浜環境の相関に関する基礎的研究. 土木学会論文集 B3 (海洋開発) 70(2): I_714-I_719.
- 日本ウミガメ協議会. 2013. 「日本ウミガメ誌2013(第24回日本ウミガメ会議牧之原静岡会議会議録)」, 日本ウミガメ協議会, 大阪.
- 日本ウミガメ協議会. 2014. 「日本ウミガメ誌2014(第25回日本ウミガメ会議奄美大島会議会議録)」, 日本ウミガメ協議会, 大阪.
- 日本ウミガメ協議会. 2015. 「日本ウミガメ誌2015(第26回日本ウミガメ会議一宮千葉会議会議録)」, 日本ウミガメ協議会, 大阪.
- Nishimura S. 1967. The loggerhead turtles in Japan and neighboring waters (Testudinata: Cheloniidae). Publ. Seto Mar. Biol. Lab. 15: 19-35.
- Nuitja I.N. and Uchida I. 1983. Studies in the sea turtles-II, the nesting site characteristics of the hawksbill and the green turtles. Treubia 29(1): 63-79.
- Sato K., Matsuzawa Y., Tanaka H., Bando T., Minamikawa S., Sakamoto W. and Naito Y. 1998. Internesting intervals for loggerhead turtles, *Caretta caretta*, and green turtles, *Chelonia mydas*, are affected by temperature. Can. J. Zool. 76: 1651-1662.
- 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－主に産卵上陸距離について－. 千葉生物誌 50(1): 34-44.
- 田中幸記. 2003a. ウミガメの産卵から見た四国南岸の海岸環境 その1－浜の規模について－. Current 3(4): 2-3.
- 田中幸記. 2003b. ウミガメの産卵から見た四国南岸の海岸環境 その2－浜の堆積物について－. Current 4(1): 2-3.
- 田中幸記. 2003c. ウミガメの産卵から見た四国南岸の海岸環境 その3－人工の光について－. Current 4(3): 4.
- 田中幸記. 2005. ウミガメの産卵から見た四国南岸の海岸環境 その4－植生帯および離岸堤・護岸について－. Current 5(4): 2-5.
- Weishampel J.F., Bagley D.A. and Ehrhart L.M. 2004. Earlier nesting by loggerhead sea turtles following sea surface warming. Global Change Biol. 10: 1424-1427.
- Wood D.W. and Bjorndal K. A. 2000. Relation of temperature, moisture, salinity, and slope to nest site selection in loggerhead sea turtles. Copeia 2000: 119-128.
- 山田さやか・和田正人. 2006. 屋久島におけるアカウミガメの孵化状況と未孵化卵の死亡原因について. 東京学芸大学紀要 総合教育科学系 57: 463-468.
- 地盤工学会. 2010. 「土質試験－基本と手引き－」, 丸善出版, 東京.

Nesting ecology of female loggerhead turtles (*Caretta caretta*) and sand particle size of the nesting sites at Nii and Nino Beaches, Niyodo River mouth, Kochi Prefecture

Maoko Wada¹⁾, Ryohei Fujimoto¹⁾,
Jun-ya Ooyama¹⁾, Shohei Kobayashi²⁾,
Yoshinori Kumazawa³⁾ and Tomomi Saito^{1), 4)*}

- ¹⁾ Department of Biology, Faculty of Science,
Kochi University, Tosa, Kochi 781-1164, Japan
²⁾ Department of Biological Production Science,
United Graduate School of Agricultural Science,
Tokyo University of Agriculture and Technology,
Tokyo 183-8509, Japan
³⁾ 3302-1 Higashi-morogi, Haruno-cho,
Kochi 781-0315, Japan
⁴⁾ Usa Marine Biological Institute,
Kochi University, Tosa, Kochi 781-1164, Japan

Abstract

For the purpose of collecting the basic information for the conservation of endangered loggerhead turtles (*Caretta caretta*), we recorded the annual change of emergence tracks of female loggerheads every morning from early May to August in 2013 to 2015 at Nii and Nino Beaches located on west and east sides of the Niyodo River mouth in Kochi Prefecture, Japan. Field survey results showed that the nesting success (number of nests /emergence tracks * 100) was affected by the sand particle size at the nest sites. When the sand was very fine, the number of nests and the nesting success increased. It was also indicated that the environment of sandy beach greatly changed even in just three years. In addition, the areas of higher nesting success changed yearly.

Key words: Loggerhead turtle, *Caretta caretta*, emergence, nest, sand particle size, Nii Beach, Nino Beach.