

## 研究ノート

# 高知県におけるアカウミガメの産卵海岸選択に影響する環境要因

小林陽介<sup>1)</sup>・藤本竜平<sup>1)</sup>・小坂 将<sup>1)</sup>・三宅香成<sup>1)</sup>・田中幸記<sup>2)</sup>・斉藤知己<sup>1),2)</sup> \*

### 要旨

高知県の砂浜海岸は絶滅危惧種アカウミガメ (*Caretta caretta*) の北太平洋群の重要な産卵地の一つである。しかし、近年では海岸、河川の整備や人為的改変などにより海岸環境が悪化し、本種の産卵に大きな影響を及ぼしていると考えられる。本研究では、高知県下の砂浜海岸の様々な物理的および人為的環境を網羅的に調査してその現況を把握するとともに、本種の産卵に影響する環境要因について明らかにすることを目的とした。調査地として高知県うみがめ保護条例による指定保護区、県下で海に面する各市町村から少なくとも1つの砂浜海岸をとりあげ、計29海岸68地点を選定した。環境の調査は2017年7-10月に実施し、海岸の長さや奥行きなど計15項目の要因を記録した。そのうち6つを説明変数に用いた重回帰分析の結果、本種の産卵密度に対して方角およびメジアン粒径に負の関係があることが示された。この結果から、アカウミガメの産卵に影響すると考えられる物理的および人工的要因について海岸の特徴との関係を考慮して説明を試みた。

キーワード : *Caretta caretta*、産卵密度、方角、メジアン粒径、重回帰分析

アカウミガメ (*Caretta caretta*) は環境省レッドリストで絶滅危惧IB類 (EN) (環境省、URL: <http://www.env.go.jp/press/files/jp/105449.pdf>, 2017年12月18日閲覧)、高知県レッドリスト (動物編) 2017改訂版では絶滅危惧I類に指定されている (高知県、URL: <http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030701/redlist-animal.html>, 2017年12月18日閲覧、高知県レッドデータブック (動物編) 改訂委員会 2018)。本種は他のウミガメ類と異なり温帯域にまで産卵地を広げた種であり、北太平洋では通常、千葉県から沖縄県までの海岸で産卵が行われている。中でも高知県は東西に長い地形で、総距離約713 kmにおよぶ広い海岸が太平洋に面して本種の重要な産卵地を供している (Márquez 1990, Kamezaki et al. 2003, 松沢・亀崎 2012)。そのため、県内の砂浜に上陸するウミガメとその生育環境の保護を目的として2004年5月1日より高知県うみがめ保護条例が施行され、長年の上陸・産卵およびウミガメの保護活動の実績等から、うみがめ生育地保護

区として室戸市の元・岩戸・奈良市海岸および土佐清水市の大岐の浜が指定された。また、高知県高知市の仁淀川河口に面した仁ノ海岸では、産卵期の5月から8月にかけて砂浜への車両侵入を防止するための柵が設けられるなど、県下では広くウミガメの保護活動が行われている。

ウミガメの個体数の減少要因は、メスの産卵に影響を与えるもの、卵発生や孵化幼体に影響を与えるもの、および海洋でのウミガメの生活に影響を与えるもの、の三つに大きく分類される (紀伊半島ウミガメ情報交換会・日本ウミガメ協議会 1994)。そのうち、前二者は砂浜海岸の環境が大きく関係している。例えば、徳島県阿南市の蒲生田海岸では離岸堤の建設後、アカウミガメの上陸数が著しく減少した (中野ら 2002)。宮崎県宮崎市の一ツ葉海岸では離岸堤により砂浜の奥行きは回復したものの、本種の上陸数は減少した (渡辺ら 2002)。また、海岸の砂の性質を検討した例として、同一の砂浜の中で粒径が小さい場所ほど産卵成功率が高いことが知られている (和田ら 2017)。さらに、亀崎 (2012) は、ウミガメの卵と孵化幼体にとって健全な環境には、卵が孵化・脱出までの間、温度や湿度、酸素分圧などが適切に保たれ、孵化幼体が容易に地表に脱出でき、確実に海へ到達できるなどの要件が満たされ、その

2019年2月7日受領; 2019年2月26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) 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

様な場所は波・風による攪乱と海浜植物の成長とが拮抗する植生帯の際付近に形成されると述べている。

しかし、各地の河川のダム建設や海底の掘削および海岸の整備、人為的改変によって沿岸漂砂は減少して砂浜が後退し（玉井 1979、大垣 2010、諏訪ら 2010）、ウミガメの産卵地としての機能を失う砂浜が増えている。現在、高知海岸（高知市・土佐市）では南海トラフ地震に向けた護岸の耐震工事が行われており、アカウミガメの産卵に影響を及ぼしていると思われる。田中（2003a、2003b、2003c、2005）は高知県中・西部の砂浜海岸の環境調査を行い、本種の産卵には堆積物の粒子が細かいこと、浜の高さや奥行きが大きいことが肝要であると報告した。しかし、それから15年以上経過した現在、県下の砂浜海岸の環境はさらに大きく変容しているものと推察される。本種の産卵地や産卵数の減少を食い止めるためには、現在の産卵地環境の定性・定量的な調査を通じて産卵数の減少に影響を与えている具体的な環境要因を明らかにし、それを早急に除去または軽減するための対策を講じる必要がある。よって本研究では、高知県全域の砂浜海岸の環境を網羅的に調査してその現況を把握するとともに、県下でアカウミガメの産卵に適した環境要因を明らかにして産卵地の保全に資する知見を得ることを目的とした。

## 材料と方法

### 調査海岸

高知県全域の砂浜海岸のうち、①県うみがめ保護条例による指定保護区、②海岸に面する県下各自治体から少なくとも1海岸、の2条件より、県西部では、藻津（Mukuzu）（宿毛市）、桜浜（Sakura-hama）、大岐の浜（Ohki-no-hama）、下ノ加江（Shimo-no-kae）（土佐清水市）、名鹿（Nashishi）、平野（Hirano）、双海（Futami）（四万十市）、出口（Ideguchi）、田野浦（Tanoura）、入野海岸（Irina Beach）、塩屋の浜（Shioya-no-hama）（黒潮町）、興津小室の浜（Okitsu-komuro-no-hama）（四万十町）、小矢井賀浜（Koyaiga-hama）（中土佐町）、安和海岸（Awa Beach）（須崎市）の14海岸、県中部では、新居（Nii）（土佐市）、仁ノ（Nino）、甲殿（Kohdono）、戸原（Tobara）、長浜（Nagahama）（高知市）、吉川海岸（Yoshikawa Beach）、赤岡海岸（Akaoka Beach）、ヤ・シィパー

ク（Yasea garden）（香南市）の8海岸、県東部では、琴ヶ浜（Koto-ga-hama）（芸西村）、安芸海岸（Aki Beach）（安芸市）、唐の浜（Toh-no-hama）（安田町）、羽根海岸（Hane Beach）、元海岸（Moto Beach）、椎名（Shiina）（室戸市）、生見海岸（Ikumi Beach）（東洋町）の7海岸の合計29海岸を調査海岸として選定した（Fig. 1、Figs. S1、S2）。なお、土佐市萩岬から香南市夜須町手結岬にかけての約30 kmの海岸を総称して高知海岸と呼ぶが、本調査ではそのうち新居、仁ノ、甲殿、戸原、長浜、吉川海岸、赤岡海岸およびヤ・シィパークの8海岸を分けて扱った。また、当初、調査地の候補の一つとしていた南国工区（南国市）は、調査期間中に南海トラフ地震にむけた堤防の耐震工事が施行中で砂浜に立ち入ることができなかったため除外した。各海岸で長さが1 km以内の場合は調査地点として海岸の中央付近の1地点を、1 kmを超える場合は0.5–1 kmごとに1地点を設けて平均値を求めた。

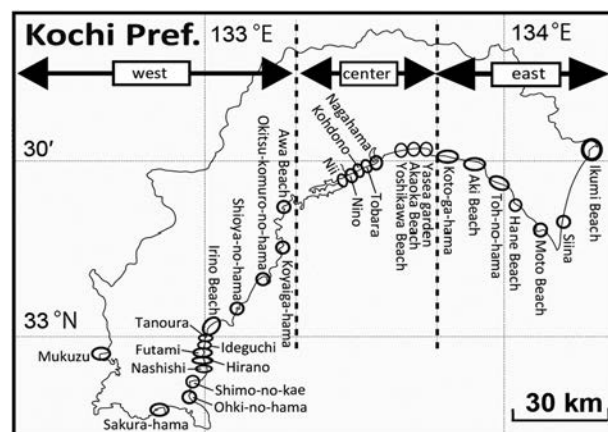


Fig. 1. Map of Kochi Prefecture showing the locations of surveyed sandy beaches (circled).

### 調査項目

上陸と産卵の回数は、高知県下の各地で保護活動従事者等によって調べられ、高知県林業振興・環境部環境共生課によって集計された2011–2018年のデータを参考とした。産卵密度（nest density、number・km<sup>-1</sup>）は各海岸の合計産卵回数（total number of nests、number）から8年間の平均値を算出し、さらに長さで除した値とした。産卵成功率（nesting success、%）は、産卵回数を上陸回数（number of false and nester tracks、number）で除した100分率の値を算出した。

各海岸の物理的および人為的環境要因として次の項目について2017年7-11月に調査を実施し、記録した。緯度・経度 (latitude・longitude, degree) は BaseCamp (010-BaseCamp-00, Garmin社) を使用し、砂浜中央部の位置情報の値を10進法で記録した。砂浜の長さ (length, m) は航空写真 (Google Map, URL: <https://www.google.co.jp/maps/>、2017年5月1日閲覧) をもとに100 mの単位で算定した (Fig. 2A)。大潮時の満潮線から砂丘と後浜の境界部付近ないしは護岸の際までの斜辺を奥行き (width, m) とし (Fig. 2B)、その位置の高さ (elevation, m) と水平方向の距離をオートレベル (AC-2s, Nikon・トリニプル社) を用いてスタジア測量を行い、作成した地形断面図をもとに奥行きと傾斜 (slope, degree) を三角関数により算出した。方角 (direction, degree) は BaseCamp (同上) を使用し、砂浜の両端を結ぶ弦から垂線を引き、その線から北 (0°) までの角度をもとめた。メジアン粒径 (median sand particle size,  $\mu\text{m}$ ) は、奥行き最奥部にて表面より深さ50 cmまでの層から採取した砂約500 mlを試料として地盤工学会 (2010) に従って所定の含水比に調節した後、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もとめた (Folk 1974)。土壌硬度 (sand softness,  $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) は、土壌硬度計 (山中式標準型No. 351、藤原製作所) を用い、奥行き最奥部の3点で指標硬度を測定した平均値から換算した。砂浜または砂浜の後背にある植生帯を安定帯 (stable vegetation)、不安定帯、不安定帯の3つに分類し、安定帯の有無を記録した。人の出入り (human entry) は海岸に人がいるか、もしくは足跡があるかを記録した。車両の侵入

(vehicle entry) は、海岸に車両が乗り入れているか、もしくはその痕跡を記録した。発光体 (artificial light) は、砂浜または砂浜後背に家屋やホテルの照明、街灯や車道を走る車のヘッドランプの光など人工光の有無を記録した。人工構造物 (artificial structure) は、砂浜または砂浜後背に建造された構造物の有無を記録した。離岸堤 (offshore barriers) は、砂浜の沖合に離岸堤が設置されているかを記録した。

### 統計解析

アカウミガメの産卵地の環境が本種の産卵数の多寡に及ぼす影響について重回帰分析 (ステップワイズ法) を用いて検証することとした。専属の調査員などから信頼性の高いデータが報告されている計18海岸 (桜浜、大岐の浜、名鹿、平野、双海、出口、入野海岸、塩屋の浜、興津小室の浜、仁ノ、甲殿、戸原、長浜、ヤ・シイパーク、琴ヶ浜、元海岸、椎名、生見海岸) について、環境データを収集した2017年を含む前後1年を合わせた3年間の平均産卵密度を目的変数とした。なお、琴ヶ浜の産卵密度として、新規に調査団体が発足して得られた2018年のデータのみを用いた。説明変数は計15項目を候補とし、植生帯、人の出入り、車両の進入、発光体、人工構造物、離岸堤の6項目の環境要因については無を0、有を1として2値化した。説明変数間の多重共線性の問題を避けるために、全ての2因子間においてスピアマンの順位相関係数をもとめてその独立性を確認し、互いに強い相関が示されなかった計6項目 (長さ、方角、メジアン粒径、車両の進入、発光体、離岸堤) を説明変数として用いた。方角は22.5°ごとに1から16までの整数に、メジアン粒径は対数に変換した。解析はExcel Statistics 2012 software package for Windows (SSRI, Tokyo) を使用して行った。

### 結果

#### 高知県の各海岸の上陸・産卵状況

調査を行った高知県の29海岸のうち、2011-2018年の間に産卵が記録されたのは、安和海岸、赤岡海岸、羽根海岸の3海岸を除く26海岸であった。2011-2018年に高知県下では平均産卵回数が146.5回/年で、産卵回数が最も多かった年は2012

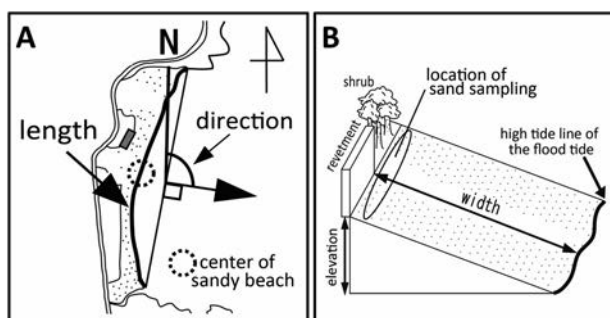


Fig. 2. (A) Measurements of length and direction, and (B) measurements of width and elevation, and sand sampling locations on sandy beaches.

アカウミガメの産卵海岸選択

年の280回で、最も少なかった年は2017年の56回であった (Fig. 3)。8年間の合計の産卵成功率は57.4%で、年別では2012年に最高値の63.9%を記録し、最低値は2013年と2016年の48.7%であった。2011 -

2018年の平均産卵成功率を各地域で比較すると西部78.4%、中部35.7%、東部59.6%となった。

調査を行った29海岸における2011-2018年の平均産卵回数は40.4回・海岸<sup>-1</sup>となった (Table 1)。合計

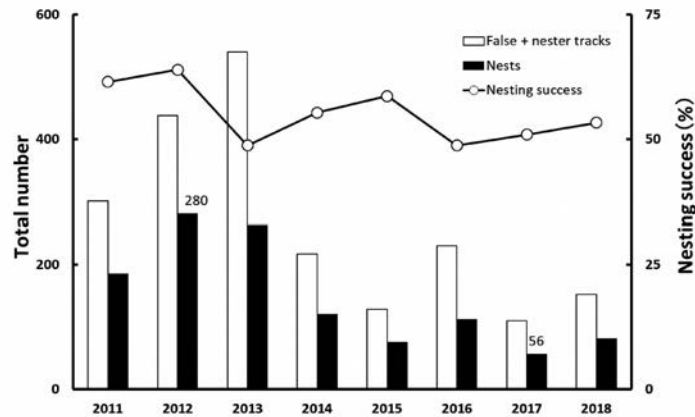


Fig. 3. Total number of nests and false and nester tracks, and nesting success at sandy beaches in Kochi Prefecture in 2011-2018.

Table 1. Environmental variables at the study sites measured by field surveys. Values of variables are expressed as mean ± SD, followed by ranges in parentheses. See text for methods of quantification/coding of each characteristic. \*: Characteristics tested in multiple regression analysis.

Variables	Units	Mean ± SD
Total number of nests (2011-2018)	Total number	40.4 ± 48.1 (0-154)
Nest density (2011-2018)	Annual number•km <sup>-1</sup>	4.1 ± 4.4 (0-17.3)
Nest density (2016-2018) *	Annual number•km <sup>-1</sup>	3.8 ± 3.0 (0.5-10.0)
Nesting success (2011-2018)	%	57.4 ± 35.6 (0-100)
Latitude	degree	33.4 ± 0.3 (32.88-33.77)
Longitude	degree	133.5 ± 0.4 (132.74-134.36)
Length*	km	1.4 ± 1.3 (0.2-5.8)
Width	m	40.5 ± 18.7 (16.6-85.6)
Elevation	m	2.6 ± 1.3 (0.7-6.1)
Slope	degree	4.1 ± 1.9 (1-7)
Direction*	degree	151.0 ± 45.7 (70.2-248.1)
Median sand particle size*	µm	790.6 ± 646.8 (100.0-2718.0)
Sand softness	kg•cm <sup>-2</sup>	0.45 ± 0.27 (0.05-1.31)
Stable vegetation	0 or 1	0.6 ± 0.5
Human entry	0 or 1	1.0 ± 0
Vehicle entry*	0 or 1	0.3 ± 0.5
Artificial light*	0 or 1	0.9 ± 0.3
Artificial structure	0 or 1	0.9 ± 0.3
Offshore barriers*	0 or 1	0.2 ± 0.4

産卵回数が最も多かった海岸は入野海岸の154回であった (Fig. 4A)。産卵密度が最も高かったのは双海の17.3回・km<sup>-1</sup>であった (Fig. 4B)。

#### 海岸の物理的要因

調査を行った29海岸の長さの平均値は1.4 kmで、

最大値は琴ヶ浜の5.8 km、最小値は桜浜の0.2 kmであった (Fig. 5A)。奥行きは平均値は40.5 mで、最大値は琴ヶ浜で85.6 m、最小値は藻津の16.6 mで、20 m以下の砂浜はこの海岸のみであった (Fig. 5B)。高さの平均値は2.6 mで、最大値は琴ヶ浜の6.1 m、最小値は下ノ加江の0.7 mであった (Fig. 6A)。産卵

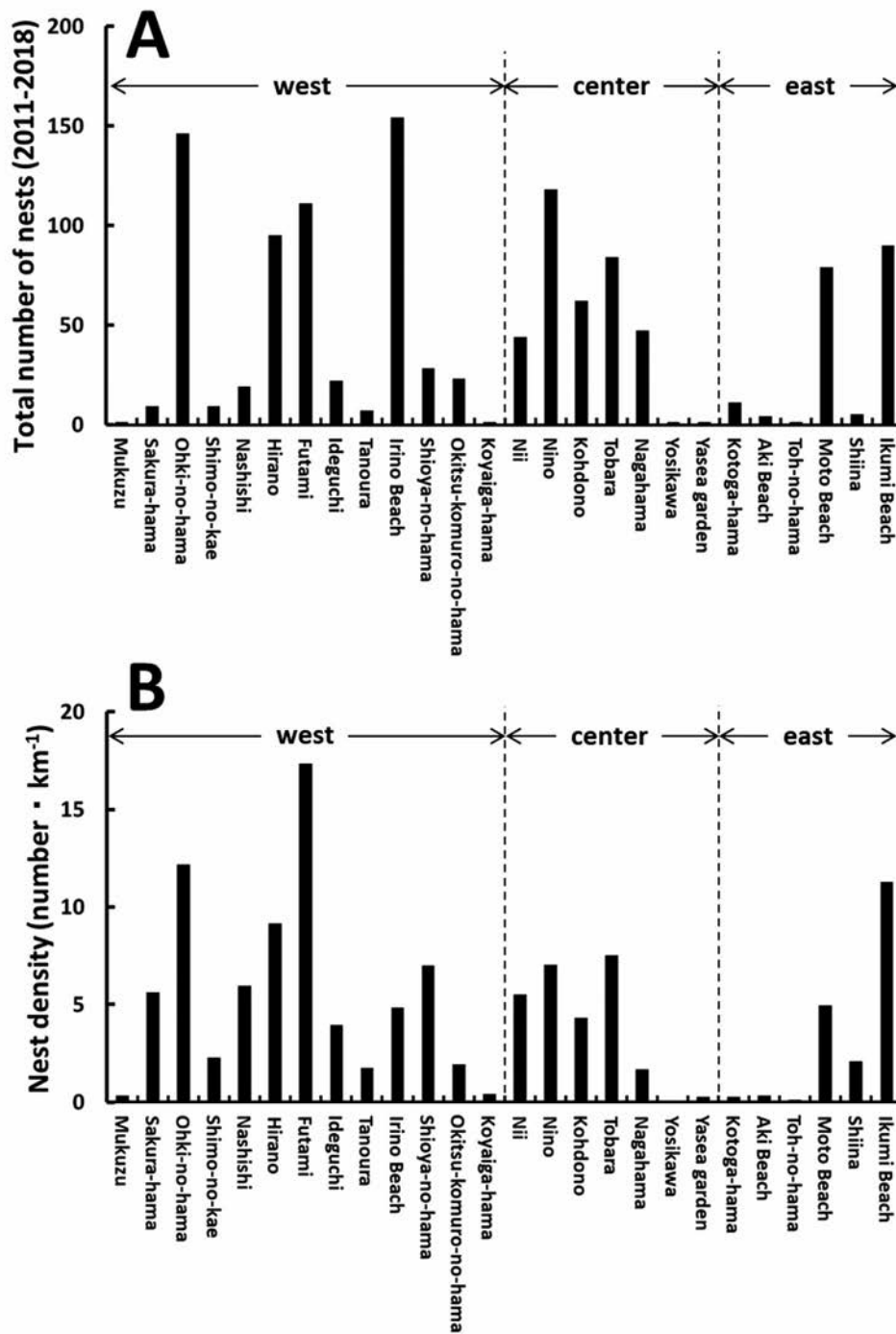


Fig. 4. (A) Total number of nests and (B) nest density at each sandy beach in Kochi Prefecture in 2011-2018.

アカウミガメの産卵海岸選択

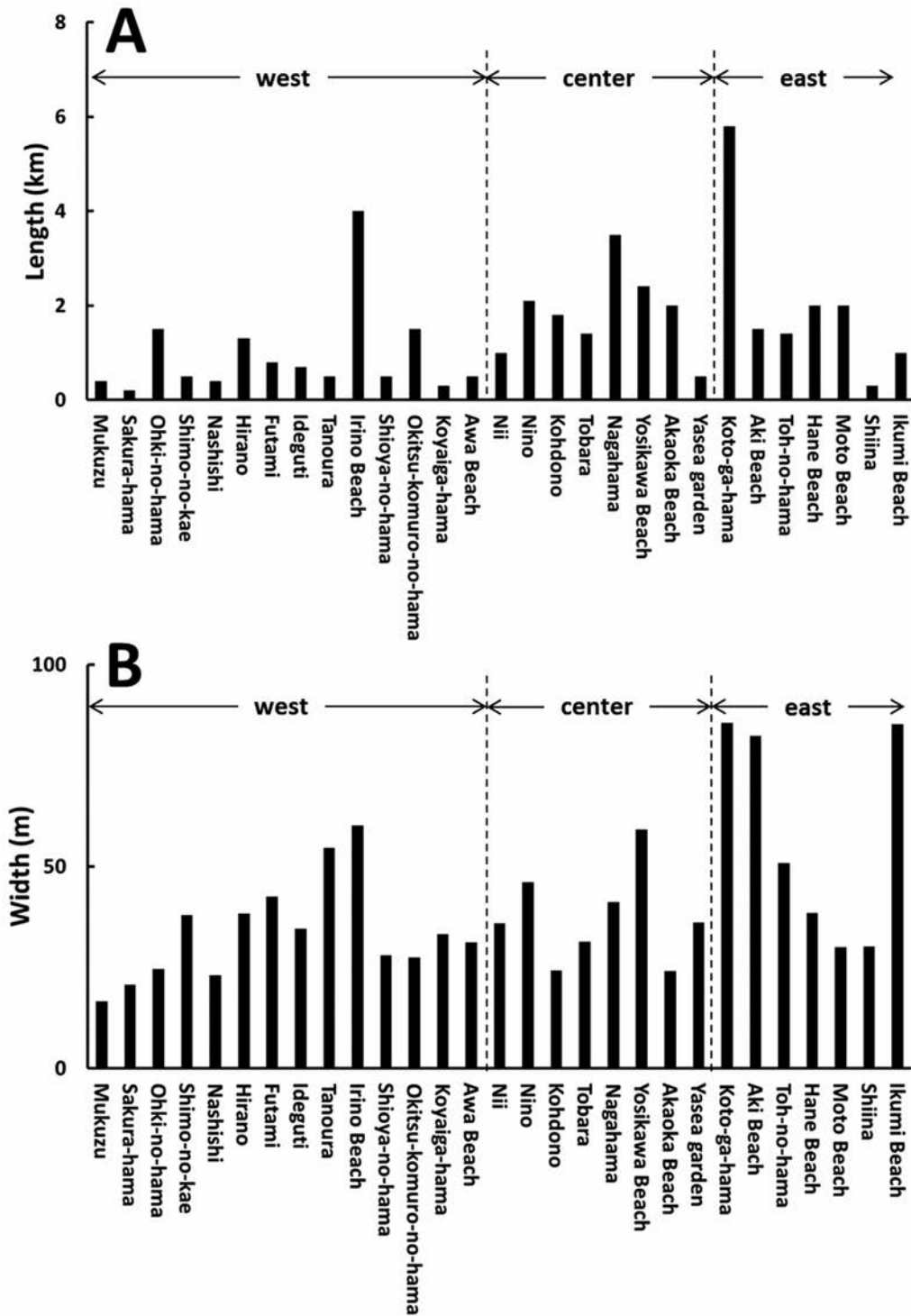


Fig. 5. (A) Length and (B) width of each sandy beach in Kochi Prefecture.

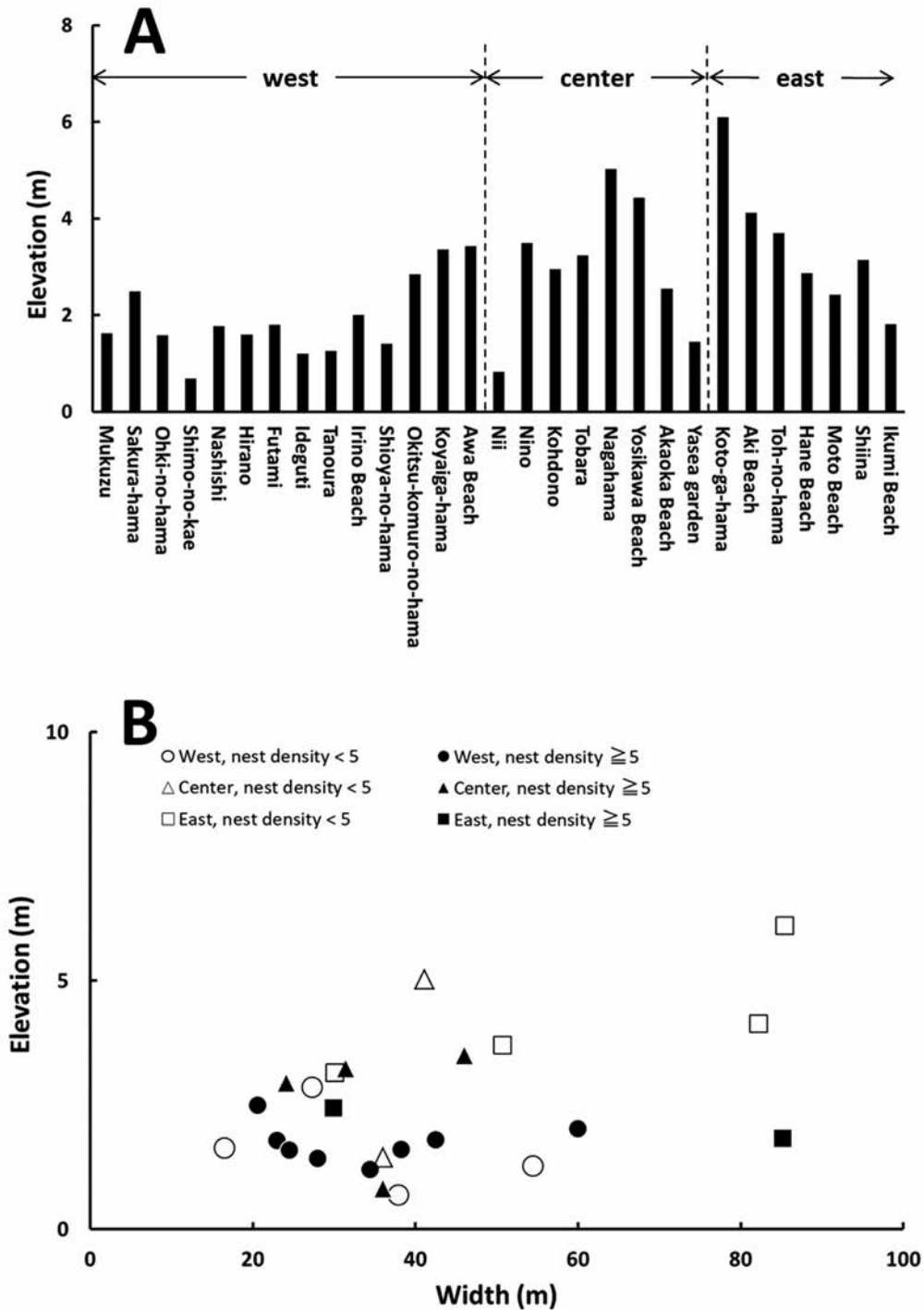


Fig. 6. (A) Elevation and (B) relationship between width and elevation among surveyed sandy beaches.

アカウミガメの産卵海岸選択

密度が5回・km<sup>-1</sup>以上の砂浜は、高さ4 m以下、奥行きが20-60 mの範囲に集中した (Fig. 6B)。砂浜のサイズを各地域の平均値と比較すると、長さが西部0.9 km、中部1.8 km、東部2.0 km、奥行きは西部36.9 m、中部37.3 m、東部57.5 m、高さは西部1.9 m、中部3.0 m、東部3.5 mであった。

傾斜の平均値は4.1° で、最大値は甲殿と長浜の7°、最小値は下ノ加江の1°であった。方角の平

均値は151° で、最大値はヤ・シイパークの248.1°、最小値は名鹿の70.2°であった (Fig. 7A)。調査を行った29海岸の粒径組成をFig. 7Bに示した。メジアン粒径の平均値は790.6 μmで、最大値は新居の2718.0 μm、最小値は田野浦の100.0 μmであった (Fig. 8A)。産卵が認められた26海岸のうち20海岸でメジアン粒径が1000 μm以下であり、特に、産卵密度5回・km<sup>-1</sup>以上を示した15海岸のうち、12海岸

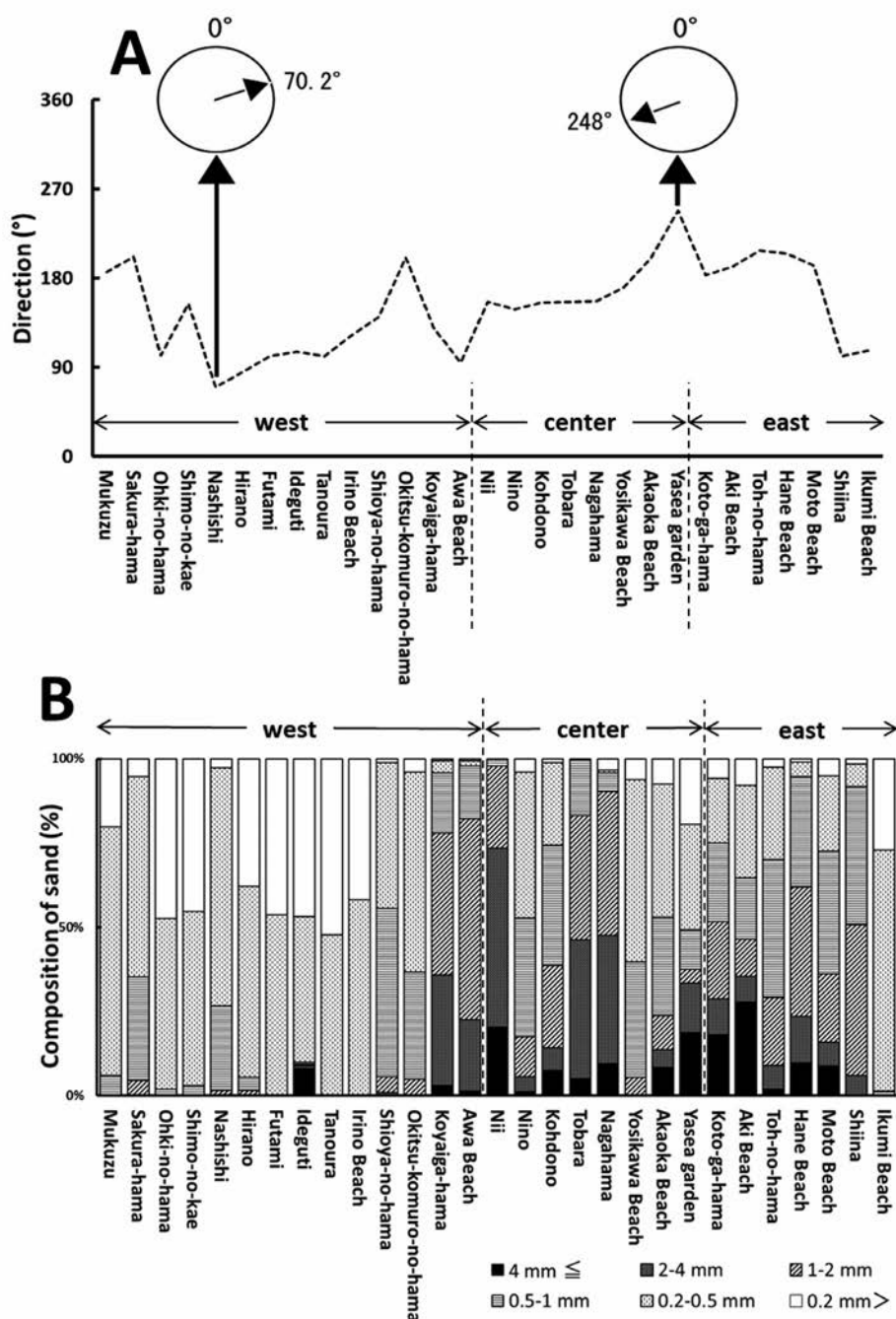


Fig. 7. (A) Direction and (B) sand particle size composition of each sandy beach in Kochi Prefecture.



でメジアン粒径が1000  $\mu\text{m}$ 以下、8海岸でメジアン粒径が500  $\mu\text{m}$ 以下であった (Fig. 8B)。メジアン粒径の平均値を各地域で比較すると、西部505.0  $\mu\text{m}$ 、中部1215.1  $\mu\text{m}$ 、東部876.5  $\mu\text{m}$ であった。

土壌硬度の平均値は0.45  $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ で、最大値はヤ・シィパークの1.31  $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、最小値は小矢井賀浜の0.05  $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ であった (Fig. 9A)。メジアン粒径と土壌硬度の関係を調べたところ、回帰が有意であり

メジアン粒径が大きいほど土壌硬度が低くなった (Fig. 9B,  $Y = -0.0002X + 0.60, R^2 = 0.21, P < 0.05$ )。

砂浜の植生の不安定帯、半安定帯は調査した全ての海岸で確認され、不安定帯ではコウボウムギ (*Carex kobomugi*) やハマヒルガオ (*Calystegia soldanella*)、半安定帯ではハマゴウ (*Vitex rotundifolia*) がみられた。安定帯は17海岸で確認することができ、クロマツ (*Pinus thunbergii*) やダン

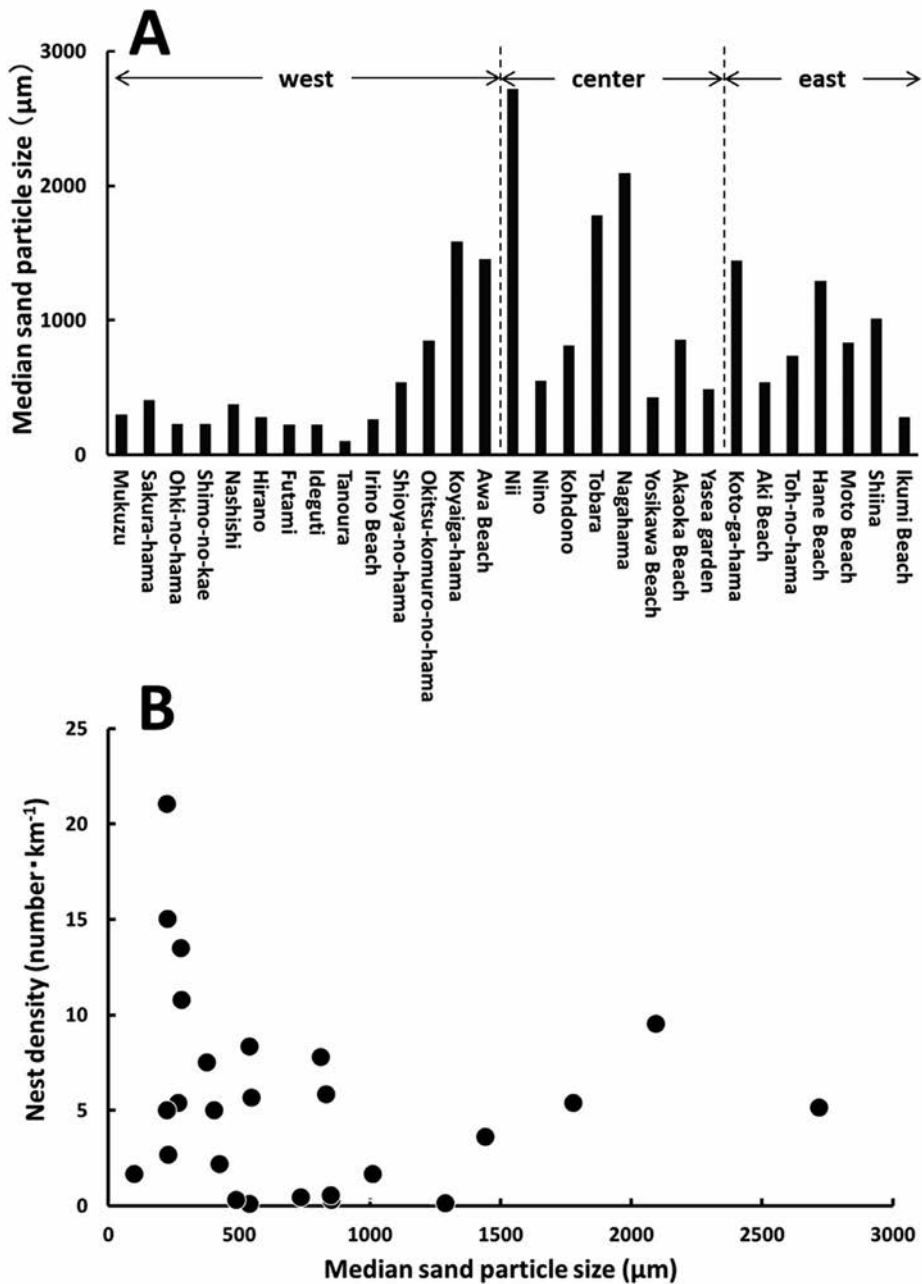


Fig. 8. (A) Median sand particle size at each sandy beach in Kochi Prefecture and (B) relationship between median sand particle size and nest density among surveyed sandy beaches.

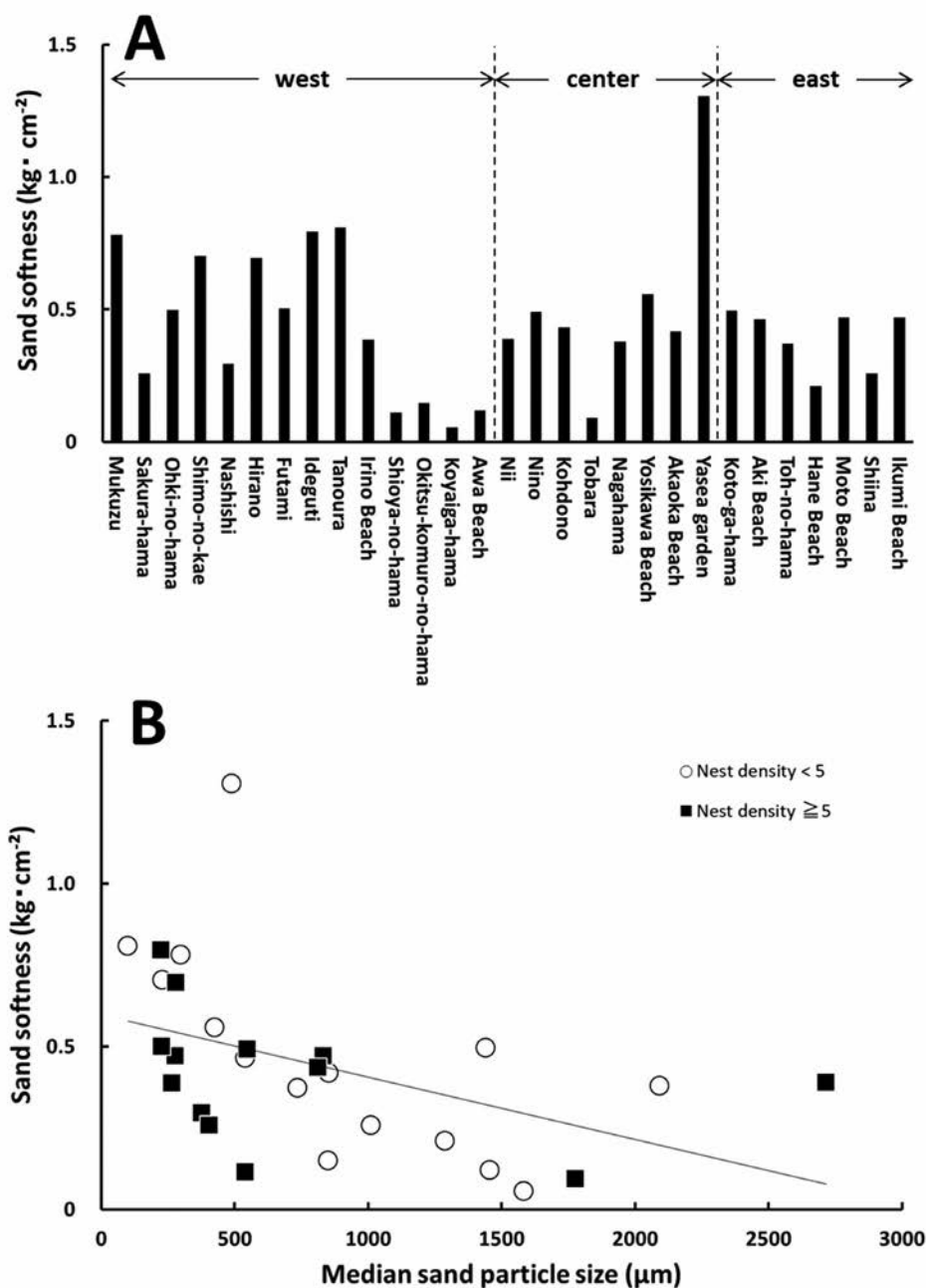


Fig. 9. (A) Sand softness at each sandy beach in Kochi Prefecture and (B) relationship between median sand particle size and sand softness among surveyed sandy beaches.

チク (*Arundo donax*) で構成された。

海岸の人為的要因

人の出入りは調査した全ての海岸で観察された。車両の進入は、釣りなどのレジャー、護岸工事や砂浜の整備が主な目的とみられ、全体の3分の1以上の海岸で認められた。発光体は3海岸を除く全ての海岸で確認され、その例として家屋やホテルの照明、

街灯、隣接する車道の信号機、車道を通る車両が発する光、駅舎の照明等が挙げられた。特に車道が隣接しているほとんどの海岸から車両が目視で確認でき、夜間に光の照射があることがうかがえた。これが確認されなかったのは、出口、ヤ・シィパークおよび琴ヶ浜の3海岸であった。出口は急な斜面を下った場所にあり、浜への光が遮られていると考え

られた。ヤ・シィパークは海水浴場であり、道の駅も隣接しているため発光体があると思われるが、道の駅と浜の間に傾斜があって浜への光は意外に遮られていた。琴ヶ浜は、車道と海岸の間に松林があって浜への光が遮られていた。人工建造物は双海、平野および名鹿の3海岸を除く全ての海岸で確認され、主に砂浜の後背部に建造された護岸や消波ブロック、隣接する漁港が記録された。双海、平野および名鹿は四万十川の河口付近に位置し、いずれもサーフビーチとして有名であるため、多くの人の出入りが観察された。離岸堤は塩屋の浜、仁ノ、吉川海岸、赤岡海岸、ヤ・シィパークおよび元海岸の6海岸で確認された。

#### ウミガメの産卵に影響する環境要因の解析

産卵密度および環境要因の全15項目のうち、人の出入りを除く14項目について相関関係を調べたところ、産卵密度とそれら環境要因との間に有意な相関

関係は見られなかった (Table 2)。6つの説明変数 (長さ、方角、メジアン粒径、車両の進入、発光体、離岸堤) を用いた重回帰分析の結果、本種の産卵密度を説明する変数としてメジアン粒径と海岸の方角を組み込んだモデル (修正 $R^2 = 0.522$ ,  $F = 10.271$ ,  $P = 0.002$ ,  $AIC = 52.065$ ) が選択された (Table 3)。

## 考察

### 産卵密度に影響を与える要因

高知県は北西部に四国山脈があるため、海に面する方角が限られている。調査した海岸の方角は最小値 $70.2^\circ$ 、最大値 $248.1^\circ$ であったことから、それらは全て東北から南西の間を向いている。本研究で調査した環境要因のうち6つを説明変数に用いた重回帰分析では、産卵密度と方角との間に負の関係性が示され、実際に足摺半島および室戸半島の東側に双海、大岐の浜および生見海岸など産卵密度が高い砂

**Table 2.** Correlations (Spearman's rank) among nest density and variables. Upper-right and lower halves of the table show correlations and significances, respectively. The total sample size of the number of beaches used is 29. The significant correlations are highlighted in bold. Nest density is based on the data of 2016-2018. \*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ .

	Nest density	Latitude	Longitude	Length	Width	Elevation	Slope	Direction	Median sand particle size	Sand softness	Stable vegetation	Vehicle entry	Artificial light	Artificial structure	Offshore barriers
Nest density	-	-0.20	-0.17	-0.01	0.19	-0.31	-0.38	-0.29	-0.34	0.02	0.19	0.15	0.03	-0.27	-0.07
Latitude		-	<b>0.77</b>	<b>0.38</b>	<b>0.37</b>	<b>0.59</b>	0.18	0.36	<b>0.57</b>	-0.25	<b>-0.77</b>	0.14	0.14	<b>0.43</b>	0.17
Longitude			-	<b>0.39</b>	<b>0.38</b>	<b>0.59</b>	0.17	<b>0.39</b>	<b>0.54</b>	-0.25	<b>-0.50</b>	0.07	0.08	0.31	0.26
Length				-	<b>0.44</b>	<b>0.43</b>	0.02	0.31	0.20	0.08	-0.33	0.32	-0.03	0.15	0.11
Width					-	0.28	<b>-0.54</b>	-0.03	-0.10	0.28	-0.20	<b>0.41</b>	-0.15	0.04	-0.17
Elevation						-	<b>0.61</b>	0.29	<b>0.58</b>	<b>-0.41</b>	<b>-0.44</b>	0.24	0.31	0.22	-0.11
Slope							-	0.23	<b>0.57</b>	<b>-0.54</b>	-0.20	-0.12	0.37	0.14	0.05
Direction								-	0.37	-0.07	-0.28	0.06	-0.03	<b>0.49</b>	0.28
Median sand particle size									-	<b>-0.65</b>	<b>-0.48</b>	0.05	0.32	0.32	0.09
Sand softness										-	0.28	0.27	-0.31	-0.14	0.08
Stable vegetation											-	-0.12	-0.27	-0.27	0.17
Vehicle entry												-	0.27	-0.20	-0.17
Artificial light													-	-0.12	-0.14
Artificial structure														-	0.16
Offshore barriers															-

**Table 3.** Results of multiple regression analysis of environmental variables affecting the nest density of turtles at the sandy beaches of Kochi Prefecture in 2016-2018.

Independent explanatory variable	Partial regression coefficient	Standardized partial regression coefficient	F-value	P-value
Median sand particle size	-7.977	-0.425	5.335	0.036
Direction	-1.224	-0.481	6.837	0.020
Intercept	37.426		18.172	< 0.001

浜が見受けられた。どちらかの岬に近く、海岸の方角が東を向いている立地は、土佐湾沖を流れる黒潮の流路が近づくケースが多いと考えられ、本種の産卵回遊と黒潮とを関連付ける要因の一つとなる可能性がある。また、Johannes and Rimmer (1984) はオーストラリア西部海岸で砂中の塩分が低い砂浜で産卵が見られることから、産卵密度と卓越した風との負の相関を挙げている。今後、高知県下の各海岸で風波の傾向を調べることが出来れば、本種の産卵密度と方角との関係もより明らかになるであろう。

本研究の重回帰分析の結果、本種の産卵密度に対してメジアン粒径に負の関係があることが示された。また、産卵密度5回・km<sup>-1</sup>以上を示した15海岸のうち12海岸でメジアン粒径が1000 μm以下であるなど、メジアン粒径が小さい砂浜で産卵密度が高くなる傾向がみられた (Fig. 8B)。田中 (2003a, 2003b, 2003c, 2005) による2001–2003年の調査でも、高知県中・西部の礫浜 (粒径2000 μm以上) でウミガメの産卵が確認されたケースは少なかった。砂の粒径は産卵メスや孵化幼体に影響を与えるとみられ、和田ら (2017) は土佐湾中部に面する仁淀川河口浜 (新居・仁ノ) において粒径が小さくなるにつれて産卵成功率が高まることを報告し、また、Saito et al. (2019) は産卵巣の砂の粒径が小さいほど卵室が長く維持され、孵化幼体の脱出に伴う労力を節約できてその疲労度が低くなることを示し、幼体の生残が高まる可能性に言及した。一方、鹿児島県屋久島の田舎浜は1998年に上陸579回、産卵367回で産卵成功率63.4%を記録した日本屈指のアカウミガメの産卵地であるが (環境省自然環境局生物多様性センター、URL: <http://www.biodic.go.jp/reports2/5th/umigame/>、2018年1月15日閲覧)、同浜のメジアン粒径は1000–1200 μmであった (大富ら 2001)。高知県全域のメジアン粒径の平均値は790.6 μmと田舎浜より小さく、県下にはアカウミガメの産卵に適した粒径を持つ砂浜海岸が少なくはないと考えられるが、2011–2018年の平均産卵成功率は57.4%と田舎浜のそれより低かった。田舎浜は長さ1 kmの砂浜海岸であるが、急峻な海蝕崖に囲まれた屋久島の中では数少ない貴重な砂浜である (永田ウミガメ連絡協議会、URL: <http://nagata-umigame.com/category/midokoro/>、2018年1月10日閲覧)。そのため、産卵する個体が集中すると同時に、ウミガメの産卵を妨げる要因が少ないと考えられる。

本研究の重回帰分析からは省いたが、メジアン粒径と有意な相関が見られた要因として高さ、傾斜、土壌硬度、安定帯があった (Table 2)。高さとおよび傾斜は密接な関係がある。浜崖等を除き、砂浜が緩やかな傾斜を保ちながら一定の高さを維持するには長い奥行きが必要である。通常は海岸地形と受ける波浪等の影響により、浜の高さと奥行き、同時に傾斜は一定の範囲に決まるとみられる。一般に砕波点付近の砂は粗く、岸側の砂は細くなることが知られ (Brown and McLachlan 1990、須田・早川 2002)、通常の波浪が及ばない高さのある海岸では、粒径の小さく軽い砂ほど風の作用で上部へ運ばれて堆積している。そのような粒径の小さな砂がウミガメの産卵に適し (和田ら 2017)、また、同じ場所で植生の安定帯が形成されるのは自然な成り行きである。

Mazaris et al. (2006) はギリシア西部ザキントス島でアカウミガメの産卵に影響する要因を分析した結果、奥行きが最も重要であるとした。同じくギリシアのセファロニア島で行われたアカウミガメの調査では満潮線からの奥行きが平均22.6 m (範囲9–34 m) の場所で産卵が行われていた (Hays and Speakman 1993)。本研究では砂浜の奥行きが20 m以上の海岸ではほぼ全ての産卵がみられ、産卵密度5回・km<sup>-1</sup>以上の砂浜のほとんどで奥行きが20–60 mであった (Fig. 6B)。アカウミガメの産卵する海岸として、屋久島では30 m以上の奥行きがあることが望ましいとされ (大富ら 2001)、愛知県豊橋市表浜海岸では必要な奥行きは最小で35–40 mとされている (今村ら 2009)。沖縄県の八重山諸島で行われた調査ではウミガメ類の産卵に影響する要因として、砂浜の高さが挙げられた (亀崎ら 1992)。ウミガメ類の卵はある時間冠水すると発生が停止してしまうため、ウミガメ類はそのリスクが低い高さのある海岸を選択して産卵すると考えられる (亀崎 1992、Caut et al. 2010)。とは言え、本研究では高さ4 m以上の砂浜は産卵密度が5回・km<sup>-1</sup>以上にはならず、必ずしも高さがあるほど産卵密度が高いわけではなかった (Fig. 6B)。海洋生活に適した形態を有し、体重が100 kgにもおよぶアカウミガメにとって陸地の砂浜を歩行することは大変な負担であり、砂浜が続く限り奥部の高い場所へと行き着くものではない。よって、ウミガメの産卵が行われる浜の高さと奥行きについては適正なレンジが存在すると考

えられる。

Mortimer (1990) は、アセンション島において乾燥した粗い粒径の砂ではアオウミガメが産卵巣を掘る際に穴の周縁から崩れやすいことから、途中で諦めたダミーの産卵巣が増え、産卵成功率が低下したことを示した。一方、Kikukawa et al. (1998) は沖縄本島とその周辺の島でウミガメ類が軟らかい砂を好んで産卵を行うことを示した。また、高知県下でも同様に、産卵密度が5回・km<sup>-1</sup>以上の海岸のほとんどは土壤硬度が0.50 kg・cm<sup>-2</sup>以下であった (Fig. 9B)。砂の粒径と土壤硬度については結果で述べたように負の関係が認められ、粒径の小さい砂で土壤硬度が高い。よって、Kikukawa et al. (1998) および本研究の結果は、メジアン粒径が小さい浜で産卵密度が高いと述べてきたこと (Fig. 8B) と矛盾する。しかし、これらの解釈は、砂の粒径に応じた土壤硬度の変性をふまえて行う必要がある。粒径の大きい砂は可塑性が低く崩れやすいため、メスが掘る産卵巣の穴の形状は維持されにくい、粒子間が固く締まる現象は起こりにくいため、その土壤硬度は常に低いと考えられる。Mortimer (1990) の観察事例はこれにあたる。一方、粒径が小さい砂は可塑性が高く、メスが掘る穴は周縁が保たれて形状が維持されやすい反面、水を含んだ場合やしばらく風や波の作用による砂の入れ替わりが無いと砂の粒子間が固く締まって土壤硬度は高くなり、産卵巣を掘ることが困難になる。Kikukawa et al. (1998) は粒径については言及していないが、砂が固く締まった場合とそうでない場合を比べ、後者で産卵密度が高い傾向を認めたのであろう。これらを総括し、適度に小さい粒径でかつ、風波によって表層から産卵巣底部までの部分の砂が頻繁に入れ替わり、土壤硬度が適度に低い場所がウミガメの産卵場所として望ましく、やはり粒径、土壤硬度においても、適度なレンジが存在すると考えられる。

#### その他の要因

Kikukawa et al. (1999) は沖縄本島周辺のウミガメの産卵に係る要因について、重回帰分析の結果からその多寡を説明する変数の一つとして海岸の長さが選択され、負の相関があることを示した。これについてKikukawa et al. (1999) は、沖縄本島における長い砂浜は人々のレジャーに利用されるため、ウミガメの産卵が阻害されて減ったと解釈して

いる。沖縄県文化観光スポーツ部観光政策課によって平成28年度7 - 9月期に沖縄県の主要4空港で県外旅行者を対象に実施されたアンケートで、その約6割が訪れた目的が海水浴・マリレジャーと回答した (沖縄県、URL: [http://www.pref.okinawa.jp/site/bunka-sports/kankoseisaku/kikaku/report/quest/jittai\\_top.html](http://www.pref.okinawa.jp/site/bunka-sports/kankoseisaku/kikaku/report/quest/jittai_top.html), 2018年1月15日閲覧)。このことから沖縄県の砂浜海岸の人の利用度が高いのは明白である。ウミガメは上陸した後、産卵できる場所の探索から穴掘りの過程までに最も周囲を警戒するとされており (内田 1982)、多くの人によって利用される海岸を避けると考えられる。今回の調査では高知県下の長い海岸で、産卵密度が低い傾向は見られなかったが、県西部にある長さ4 kmの入野海岸等は、砂浜の後背部にはキャンプ場があって夏にはアウトドアレジャーを楽しむ観光客で賑わう (巡るめく四国 四国地区観光公式サイト、URL: <https://www.shikoku.gr.jp/spot/>, 2018年1月15日閲覧)。このことはアカウミガメの産卵にも少なからず影響する可能性があるため、産卵期には節度ある海岸の利用が望まれる。

また、先行研究では人間活動が営まれている場と砂浜との距離に正の相関があることが示されているが (Stancyk and Ross 1978, Mortimer 1982, Kikukawa et al. 1999)、本研究では産卵密度と人の出入りの間に相関は見られなかった。さらに、産卵密度と車両の進入との間に相関は見られなかったが、車両の進入は上陸産卵に影響を与えるだけでなく、産卵巣からの孵化幼体の脱出にも影響を及ぼすことが知られ、工藤ら (2004) は積算圧力が高いほど脱出率が有意に低下するとしている。車両によってできる轍は脱出後、海へと向かうウミガメの幼体にとっての障害となりうる。

近年、高知県では護岸工事やそれらの耐震工事および離堤防の建設が進んでいる。これらは水害への対策や海岸の侵食を防ぐことが目的で建造されているが、ウミガメにとっては海岸への上陸の妨げになると考えられる。元海岸は県の条例によりうみがめ生育地等保護区に指定されているが、現状では離岸堤があり、砂浜には消波ブロックが多数設置されているため、ウミガメの産卵できる場所は限られている。一方、元海岸に隣接する元大橋では海側の壁が高く、車両の光が海岸に漏れないようになっている。また、橋の街灯が壁に埋め込まれ、山側に光が照射

されるようになっているため、光がウミガメの産卵に影響しないように配慮されている。Kelly et al. (2017) はウミガメの産卵場所の選択に関する研究を総括し、それは通常、植生の近く、海岸や砂丘の表面がくぼんでいて険しくない部分で、人工光に適度にさらされているエリアにも見られることを示した。本研究では、先行研究によって示唆された人工光の産卵メスへの負の影響は確認されていない (Witherington 1992, Salmon et al. 1995)。

### 高知県西・中・東部の砂浜環境

2011–2018年の平均産卵成功率は西部で最も高く78.4%であった。産卵成功率は上陸したウミガメが産卵行動を妨げられた場合に低くなる。県西部では人工建造物や離岸堤の設置された海岸が少なく、他の地域と比べて自然度が高く、産卵行動を妨げる要因が少なかったとみられる。砂浜のサイズの平均値は、長さ、奥行き、高さともに西部で最も小さくなり、西部では奥行き20–40 m、高さ2–3 mのサイズの小さな砂浜で産卵が行われていた (Fig. 6B)。中部ではそれよりもサイズの大きい奥行き25–50 m、高さ3–5 mの砂浜で産卵が行われていた。東部では高さが2 m程度の砂浜で産卵密度が高かった。

四万十川周辺の海岸は河川からの流砂の供給を受けている。また、足摺半島周辺の海岸は岬周辺で海食によって生じた漂砂も堆積していると考えられ、その東側の大岐の浜は周囲に大河川がなくとも砂のメジアン粒径が228  $\mu\text{m}$ と小さかった。このように西部の海岸は概して粒径が212–500  $\mu\text{m}$ 以下の階級の小さい砂で構成され (Fig. 7B)、そのメジアン粒径の平均値は中東部と比べて最も小さく505.0  $\mu\text{m}$ であった。一方、塩屋の浜より東へ安和海岸までは海岸沿いに断崖が多くて砂浜はあまりみられず、粒径組成が著しく大きくなった。また、中東部の仁淀川河口の新居、戸原、長浜などでも粒径組成が大きい海岸が見られたが、これらは海岸侵食に起因すると考えられる。反射型の砂浜では前浜の勾配が急であるため、沖から入射した波が砕けることなく岸まで近づき、波エネルギーを保持したまま前浜にぶつかる。その波打ち際は大きく攪乱されて細かな砂は堆積しにくいいため、他のタイプの砂浜と比べて砂の粒径が最も大きくなるとされる (須田 2017)。1948年10月19日に撮影された仁淀川河口の浜は全域に100

mを超える奥行きを有していたが (国土地理院 地図・空中写真閲覧サービス、URL:<http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>、2019年2月21日閲覧)、現在では一部を除いてどこも奥行きが50 mに満たない。侵食により奥行きが短く急な前浜を持つに至った海岸では、砂浜上部まで波に攪乱されて大きい粒径の砂が堆積していると考えられる。

以上より、県中東部は侵食の影響が大きいと考えられる海岸が多く (玉井 1979、大垣 2010、諏訪ら 2010)、対して県西部の特に入野海岸から西の海岸は砂浜の規模が小さくとも自然度が高く粒径の小さい砂で構成される場所が多く、ウミガメの産卵に理想的な環境が残されているとうかがえた。

### 謝辞

本研究を行うにあたり、高知県各地でウミガメ上陸産卵調査を行い貴重な一次データを集めて下さった保護活動従事者の皆様、取りまとめデータの提供をいただいた高知県林業振興・環境部環境共生課ならびに調査に多くのご協力を頂いた溝渕幸三氏 (四万十市)、春野の自然を守る会の熊沢佳範氏、伊藤仁志氏、高知大学うみがめ同好会かめイズム、加島祐二氏 (徳島県牟岐町)、むろと廃校水族館、国土交通省四国地方設備局高知河川国道事務所の皆様に深く感謝致します。終始有益な助言とご指導を頂いた高知大学総合研究センター海洋生物研究教育施設教授の木下泉博士、同施設技術職員の井本善次氏、山本ルリ子氏、上野浩功氏、調査や研究に惜しみない協力を下さった総合人間自然科学研究科の寺山佳奈氏、ジャコ学研究室、甲らモノ研究室のメンバーに心より感謝致します。本研究は、平成27–28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、平成28年度三井物産環境基金および平成28年度科学研究費補助金基盤研究C (課題番号16K072232) 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

- Brown A.C. and McLachlan A. 1990. "Ecology of sandy shores", Elsevier, Amsterdam.
- Caut S., Guirlet E. and Girondot M. 2010. Effect of tidal overwash on the embryonic development

- of leatherback turtles in French Guiana. *Mar. Env. Res.* 69(4): 254-261.
- Folk R.L. 1974. "Petrology of sedimentary rocks". Hemphills, Texas.
- Hays G.C. and Speakman J.R. 1993. Nest placement by loggerhead turtles, *Caretta caretta*. *Anim. Behav.* 45(1): 47-53.
- 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 B2-65(1)*: 1141-1145.
- Johannes R. E. and Rimmer D. W. 1984. Some distinguishing characteristics of nesting beaches of the green turtle *Chelonia mydas* on North West Cape Peninsula, Western Australia. *Mar. Biol.* 83(2): 149-154.
- 亀崎直樹・宮城康一・岩瀬文人・柏原正尚. 1992. 八重山諸島における砂浜の環境要因とウミガメ類の産卵との関係. 「八重山諸島における海洋動物繁殖地等の保全対策検討調査報告書」, 環境省, pp. 56-69.
- 亀崎直樹. 2012. ウミガメという生きもの. 亀崎直樹 (編) 「ウミガメの自然誌」, 東京大学出版会, 東京, pp. 1-10.
- 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.
- Kelly I., Leon J. X., Gilby B. L., Olds A. D. and Schlacher T. A. 2017. Marine turtles are not fussy nesters: a novel test of small-scale nest site selection using structure from motion beach terrain information. *PeerJ* 5: e2770.
- 紀伊半島ウミガメ情報交換会・日本ウミガメ協議会 共編. 1994. ウミガメを守ろう. 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～その保護の未来～, 紀伊半島ウミガメ情報交換会, 和歌山, pp. 53-66.
- Kikukawa A., Kamezaki N. and Ota H. 1998. Current status of the sea turtles nesting on Okinawajima and adjacent islands of the central Ryukyus, Japan. *Biol. Conserv.* 87 (1): 149-153.
- 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.
- 高知県レッドデータブック (動物編) 改訂委員会編. 2018. 高知県レッドデータブック2018 動物編, 高知県林業振興・環境部環境共生課, 高知.
- 工藤宏美・北川貴士・木村伸吾・渡辺達三. 2004. 屋久島におけるアカウミガメ孵化幼体の脱出に与える踏圧の影響. *水産海洋研究* 68(4): 225-231.
- Márquez M.R. (ed.) 1990. Sea turtles of the world. *FAO Fish. Synop.* 125(11). FAO, Rome.
- 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」, 東京大学出版会, 東京, pp. 228-254.
- Mazaris A.D., Matsinos Y.G. and Margaritoulis D. 2006. Nest site selection of loggerhead sea turtles: the case of the island of Zakynthos, W Greece. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 336(2): 157-162.
- Mortimer J. A. 1982. Factors influencing beach selection by nesting sea turtles. In: Bjorndal K. (ed.) "Biology and conservation of sea turtles", Smithsonian Books, Washington, D.C., pp. 45-51.
- Mortimer J.A. 1990. The influence of beach sand characteristics on the nesting behavior and clutch survival of green turtles (*Chelonia mydas*). *Copeia* 1990: 802-817.
- 中野晋・片岡孝一・田所真路. 2002. 徳島沿岸におけるアカウミガメ上陸頭数の減少要因の検討. *環境システム研究論文集* 30: 437-443.
- 大垣俊一. 2010. 高知県下のダムと河口海域の漁業被害. *Argonauta* 17: 31-42.
- 大冨将範・大牟田一美・西隆一郎. 2001. ウミガメ保護に関する海岸工学的考察. *海岸工学論文集* 48: 1201-1205.
- Saito T., Wada M., Fujimoto R., Kobayashi S. and Kumazawa Y. 2019. Effects of sand type on hatch, emergence, and locomotor performance

- in loggerhead turtle hatchlings. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 511: 54-59.
- Salmon M., Reiners R., Lavin C. and Wyneken J. 1995. Behavior of loggerhead sea turtles on an urban beach. I. Correlates of nest placement. J. Herp. 29: 560-567.
- Stancyk S.E. and Ross J.P. 1978. An analysis of sand from green turtle nesting beaches on Ascension Island. Copeia 1978: 93-99.
- 須田有輔・早川康博 (訳). 2002. 「砂浜海岸の生態学」, 東海大学出版会, 東京.
- 須田有輔 (編). 2017. 「砂浜海岸の自然と保全」, 生物研究社, 東京.
- 諏訪義雄・山田浩次・宇多高明・宮原志帆・芹沢真澄・石川仁憲. 2010. 高波浪に伴う沖の細砂堆積域での地形変化と掘削による汀線後退の機構. 土木学会論文集 B2 (海岸工学) 66(1): 606-610.
- 玉井佐一. 1979. 高知海岸における海浜変形の特徴. 海岸工学講演会論文集 26: 243-247.
- 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.
- 内田至. 1982. アカウミガメ - その生態と現況 -. 姫路市立水族館報告 II 業績集 331-335.
- 和田真央子・藤本竜平・大山淳也・小林翔平・熊澤佳範・斉藤知己. 2017. 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. 黒潮圏科学 10(2): 136-147.
- 渡辺国広・清野聡子・宇多高明. 2002. アカウミガメの産卵行動に影響を及ぼす前浜地形と海浜流の特性. 海岸工学論文集 49: 1151-1155.
- Witherington B.E. 1992. Behavioral responses of nesting sea turtles to artificial lighting. Herpetologica 48: 31-39.

## Environmental factors affecting beach selection by nesting loggerhead turtles in Kochi Prefecture

Yosuke Kobayashi<sup>1)</sup>, Ryohei Fujimoto<sup>1)</sup>, Sho Kosaka<sup>1)</sup>, Kanari Miyake<sup>1)</sup>, Kouki Tanaka<sup>2)</sup> and Tomomi Saito<sup>1),2)\*</sup>

1) Department of Biology, Faculty of Science, Kochi University, Tosa, Kochi 781-1164, Japan

2) \* Usa Marine Biological Institute, Kochi University, Tosa, Kochi 781-1164, Japan

### Abstract

Sandy beaches of Kochi Prefecture are popular nesting grounds for North Pacific loggerhead turtles (*Caretta caretta*). However, the habitats of these beaches have changed drastically mainly due to sand depletion caused by human alterations of sea coasts and rivers. This study aimed to assess the relative influence of various physical and human-related beach characteristics on beach selection by nesting loggerhead turtles, and to comprehensively understand the current conditions of turtles based on fieldwork data. Sixty-eight sites from 29 beaches were chosen for survey based on either of two conditions: 1) the beach was in a designated protected area of sea turtles by prefectural regulations; and 2) at least one sandy beach from each municipality that faces the ocean was selected. We surveyed these beaches and measured 15 environmental factors such as length, width and elevation from July to October 2017. Of the 6 factors tested by multiple regression analysis, direction and median sand particle size were selected as significant variables that were negatively related to the beach selection of turtles. Explanations for this result were given to relate beach characteristics with physical and human factors considered to affect the nesting of loggerhead turtles.

**Key words:** *Caretta caretta*, nest density, direction, median sand particle size, multiple regression analysis.





Fig. S1. Photos and maps of several sandy beaches in western area of Kochi Prefecture.

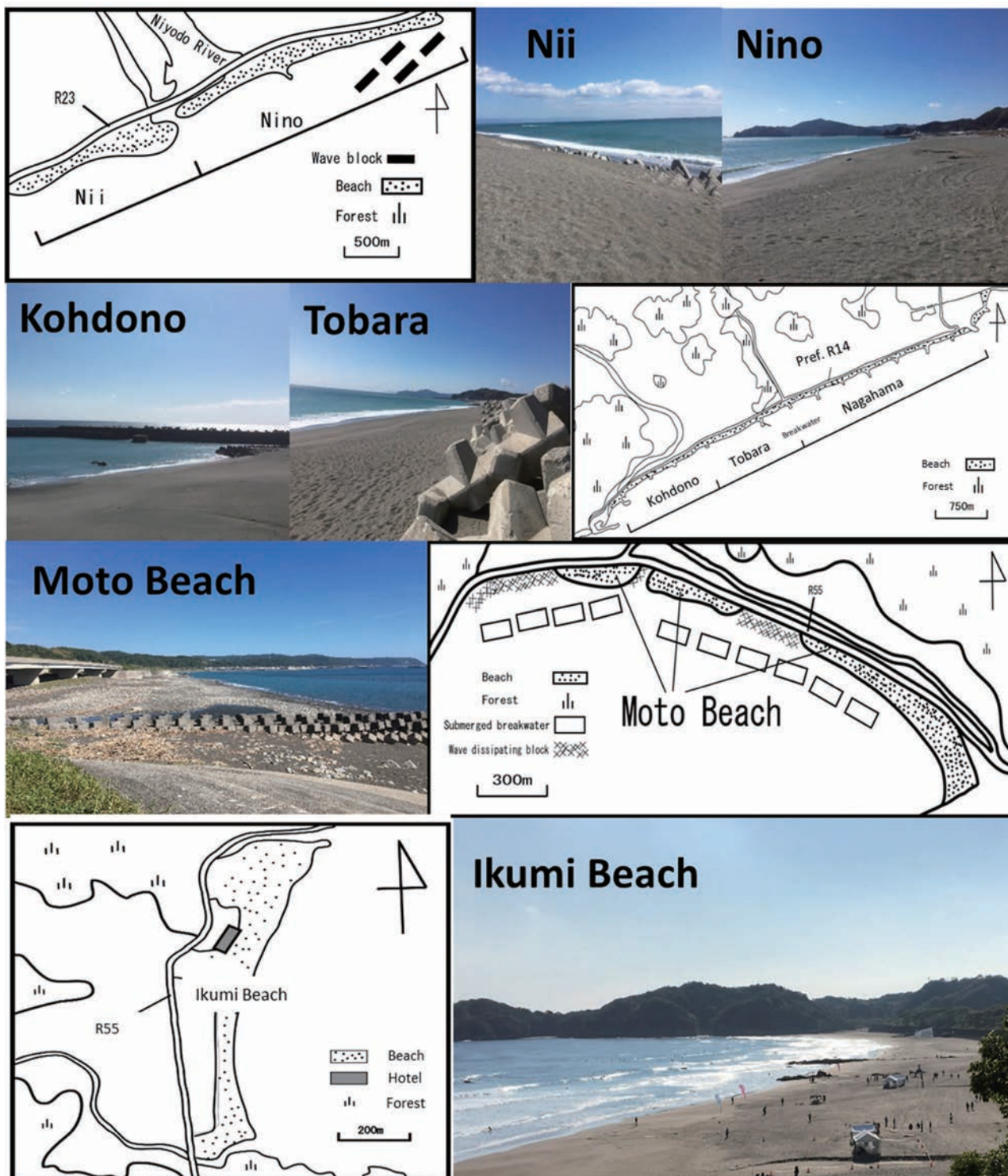


Fig. S2. Photos and maps of several sandy beaches in central and eastern areas of Kochi Prefecture.