

アカウミガメの繁殖活動に影響を与える砂浜環境に関する研究

—表浜海岸を対象として—

Study on environmental factors of sandy beach affecting the reproductive activity of
loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) at Omotehama Coast

2015年1月

博士（工学）

今村 和志

豊橋技術科学大学

アカウミガメの繁殖活動に影響を与える砂浜環境に関する研究 —表浜海岸を対象として—

論文要旨

本研究では、良好な砂浜環境の指標種としてアカウミガメを設定し、その繁殖活動に焦点を当て、砂浜幅や海浜植生などといった砂浜環境との関係を調べた。これらの結果をもとに、環境と調和した砂浜海岸の保全・再生について提言した。

第1章では、研究対象種であるアカウミガメの生態、減少要因、保全の重要性および研究対象海岸の概要等について整理した。

第2章では、現地調査の概要について整理するとともに、2008年～2014年の期間における豊橋・湖西市域で確認されたウミガメの上陸回数についてとりまとめた。

第3章では、表浜海岸に訪れるウミガメの繁殖活動を「上陸」・「産卵」・「ふ化・脱出」の3ステージに分類し、現地調査からウミガメの繁殖活動に適した砂浜環境について検証した。上陸ステージにおいては、潜堤が設置された正面の砂浜ではウミガメの上陸密度が粗になる傾向や潜堤群と潜堤群の間に上陸が集中する傾向が明らかとなった。産卵ステージにおいては、2008年～2010年の期間、豊橋市域に上陸したウミガメ327例の移動痕跡を元に各個体の挙動を分析した結果、未産卵で帰海したウミガメ110例のうち、半数の55例は人工構造物（消波堤・消波工）が原因で、帰海したことが明らかになった。また、産卵場として選択した環境を分析した結果、海浜植物の存在やそれらの地下茎や根の発達に伴う地形変化（急峻な砂浜勾配の形成）が産卵のトリガーになる可能性を示した。さらに、上陸後の移動距離の計測結果から、表浜海岸に上陸するウミガメにとって産卵のために必要とされる砂浜幅は、最短でも40m以上必要であることが示された。ふ化・脱出ステージにおいては、砂中温度が高温化し、胚が32℃以上の温度に長時間曝されると、ふ化率の低下を招き、特にふ卵期間後期の暴露時間に左右されることが示された。一方、砂中温度の低温下がふ化率に及ぼす影響については、初期に24℃以下の低い砂中温度であったとしても、中期～後期にかけて砂中温度が上昇すればふ化率の低下は避けられることが明らかとなった。

第4章では、表浜海岸のうち、地形変化等の情報が蓄積されている豊橋市内の3海岸を対象に、砂浜幅や標高といった環境要素の現況を分析し、ウミガメの産卵成功率等を向上させるための改善策について検証した。その結果、ウミガメにとって好適な産卵・ふ卵範囲は消波ブロックの陸側に存在し、ブロックを越えられないウミガメには、利用不可能であることや、ブロックの海側の区間の標高が低く、台風等の高波浪時には産卵巣が水没する等の可能性が高いことが分かった。ブロックのセットバックや堆砂を促し、ブロックを埋没させる等の対策を講じることで、ウミガメが容易に浜奥へ移動できるようになり、産卵成功率の向上に繋がると考えられる。

第5章では、ウミガメの産卵に配慮し、既設の消波ブロックを陸側にセットバックし、緩傾斜堤へと改良した「エコ・コースト事業」について検証した。当該事業地内におけるウミガメの産卵状況については、同期間における豊橋市全域の産卵成功率よりも高い値を示し、産卵個体の平均移動距離も豊橋市域の平均移動距離よりも長いことが明らかとなった。

第6章では、ウミガメの繁殖活動を体系的にとりまとめ、環境的な側面から海岸の保全目標を設定するための諸量を明らかにした。

Study on environmental factors of sandy beach affecting the reproductive activity of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) at Omotehama Coast

Abstract

The sandy beaches of Enshu Coast (Omotehama), located on the Atsumi Peninsula in the center of Japan, support a large nesting habitat for the endangered loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*). It is important that this coast is located nearly at the northern limit of the North Pacific Ocean and that the sandy beaches provide a suitable environment for turtle oviposition.

The reproductive activity of loggerhead sea turtles can be classified into three stages: landing, oviposition, and hatching emergence. The purpose of this study is to investigate the influence of various environmental factors such as beach width, beach elevation, artificial structures, and sand temperature on the three stages of the reproductive activity of loggerhead sea turtles on the beach.

Submerged breakwaters have been constructed in the western part of Toyohashi area and may affect the landing activities of loggerhead turtles. The number of landings was found to be smaller on the beach in front of the submerged breakwaters than in the other areas of the beach without breakwaters. The breakwaters clearly obstructed turtle landings in this area. Because the breakwaters protect the beach from erosion, further consideration may be necessary, e.g., shortening the dike and widening the distance between dikes on coastal managements.

Most egg depositions occur between the mean high tide lines and vegetation lines. In the coastal area of Toyohashi, many precast armor units (blocks) were placed in the middle of the beach for shore protection. These blocks sometimes interrupt the turtle landings and ovipositing activities. The field sign called “turtle tracks” created by turtle landings gives a lot of information on various turtle behaviors after their landing. Analysis of turtle tracks revealed that among the sea turtles that failed to oviposit, half were unable to oviposit because of the blocks. Investigation of the landing distance of sea turtles with GPS and measuring tapes also revealed that the necessary beach width is more than 40 m from the high tide level on the beach. In general, sea turtles lay eggs around the border between the sandy beach and vegetation area or deeper in the vegetation zone to protect eggs from wind and waves. Blocks disrupt the path from the foreshore to backshore and prevent turtles from approaching their ideal nesting area. The frequency and rate of using the vegetation zone for nesting on the basis of the data from the Kosai area (where no blocks were installed) were investigated in 2009–2011 and 2013–2014. Almost 50% of the turtles

selected the vegetation area for nesting. In addition, turtles tended to lay eggs after having climbed over the steep slope formed by an underground stem and the root of the plant where they decided on a suitable nest site.

To understand the nest productivity of loggerhead sea turtles, we collected sand temperature data using loggers, measured depths of egg chambers, investigated the hatching/emerging success rate (*in situ* and in relocated nests), and recorded nest incubation lengths at the Omotehama Coast from 2008 to 2010. Our results showed that the distance between the top and bottom of the nests was uniform despite the various depths of nests. A significant negative correlation of the emergence success rate was observed when the sand temperature over 32°C exceeded 150 hours of the cumulative exposure time. In contrast, no significant correlation was observed when the sand temperature was lower than 24°C.

The beach is restored by reforming the coastal facilities in Toyohashi city. This action is called the Eco-coast project. This project was the first trial in Japan and was conducted on the basis of a consensus among stakeholders such as the local government, community residents, and Non-Profit Organizations. After removing the precast units, the shoreline distance has been gradually increasing; however, the sectional area has been gradually decreasing. The coastal topography and behavior of sea turtles tended to change toward those of natural beaches and the oviposition rate increased. Vegetation was damaged by the Eco-coast project because of transferring the blocks. To investigate the recovery of the vegetation, the belt transect method was performed in this area in 2013–2014. The coastal vegetation has recovered in less than five years and is stable in the area that is at an elevation of more than 4 m. It was confirmed that the Eco-coast project restores the function of the sandy beach judging from the ovipositional viewpoint of the sea turtle nesting. On the other hand, some new problems have occurred such as depredation because of the wild animals and light pollution because of an increase in coastal users. It is necessary to take countermeasures for depredation and light pollution with continuous monitoring because it is known that the depredation increases every year and artificial lighting obstructs the turtles' oviposition. To live in harmony with wildlife, it is necessary to continue monitoring and to give feedback after the project.

By analyzing the reproductive activity of sea turtles, we succeeded in obtaining some data to maintain a better condition of sandy beaches from an environmental point of view.

目次

1. 序論	1
1.1 沿岸域における生態系の保全に関する社会動向の変遷	1
1.2 アカウミガメ (<i>Caretta caretta</i>) の生態	2
1.3 ウミガメの減少要因	3
1.4 日本近海におけるウミガメの保全の重要性	3
1.5 砂浜の生態系サービス	5
1.6 本研究が対象とする砂浜の環境	6
1.7 対象領域の概要	7
1.7.1 表浜海岸 (遠州灘)	7
1.7.2 表浜が保全されてきた経緯	15
1.7.3 潮位差	16
1.8 研究の目的と概要	17
2. ウミガメの上陸・産卵回数に関する現地調査の概要	19
2.1 用語の説明	19
2.2 現地調査の概要	20
2.2.1 上陸および産卵痕跡確認調査	21
2.2.2 砂中温熱環境の把握	22
2.2.3 ふ化・脱出調査	22
2.2.4 砂浜断面測量 (水準測量)	22
2.2.5 海浜植物調査	23
2.2.6 夜間交通量調査	23
2.2.7 CVM によるアンケート調査	23
2.3 2008 年～2014 年までのウミガメの上陸数の特徴	24
2.4 まとめ	28
3. 表浜海岸におけるウミガメの繁殖活動	29
3.1 豊橋, 湖西市域におけるウミガメの上陸回数の推移	29
3.2 シーズン初期の産卵回数とシーズン全体の産卵回数の関係	30
3.3 ウミガメの産卵回数と台風接近回数の関係	32
3.4 黒潮流軸位置がウミガメの産卵回数に及ぼす影響	34
3.5 海水温度とウミガメの産卵	36

3.6	ウミガメの繁殖ステージの分類.....	41
3.7	上陸行動に及ぼす沿岸域環境（上陸ステージ）.....	41
3.7.1	豊橋市域における上陸傾向.....	41
3.7.2	湖西市域における上陸傾向.....	47
3.8	上陸後の行動と産卵場の選択（産卵ステージ）.....	47
3.8.1	上陸後の行動.....	48
3.8.2	産卵環境の選定.....	51
3.8.3	上陸後の移動距離と産卵成功率.....	52
3.8.4	砂浜幅とウミガメの産卵成功率.....	54
3.8.5	産卵に好適な砂浜幅と海浜環境.....	56
3.9	ふ化および帰海に及ぼす砂浜環境（ふ化・脱出ステージ）.....	58
3.9.1	ウミガメの産卵巣（卵室）の深度分布.....	59
3.9.2	砂中温度の計測.....	61
3.9.3	砂中温度とふ化幼体の脱出.....	64
3.9.4	砂浜の地形変化と砂中温度分布.....	69
3.9.5	その他，卵やふ化幼体が受ける被害の要因.....	72
3.10	まとめ.....	75
4.	ウミガメの繁殖活動からみた砂浜環境の評価と改善策.....	79
4.1	細谷町地先の海岸.....	80
4.1.1	現状の砂浜環境.....	80
4.1.2	改善策.....	83
4.2	寺沢町地先の海岸.....	84
4.2.1	現状の砂浜環境.....	84
4.2.2	改善策.....	86
4.3	高塚町地先の海岸.....	89
4.3.1	現状の砂浜環境.....	89
4.3.2	改善策.....	90
4.4	ウミガメの繁殖活動において配慮すべき事項.....	94
4.5	まとめ.....	96
5.	ウミガメの繁殖活動からみたエコ・コースト事業の評価.....	99
5.1	エコ・コースト事業の概要.....	99
5.1.1	エコ・コースト事業施工時の課題.....	101
5.1.2	エコ・コースト事業地内におけるウミガメの事故事例.....	102
5.2	エコ・コースト事業地における砂浜環境の変化.....	103
5.2.1	消波ブロック撤去後の汀線距離と断面積の変化.....	103
5.2.2	海浜植生の変遷.....	104

5.3	エコ・コースト事業地におけるウミガメの上陸・産卵行動.....	110
5.4	エコ・コースト事業地における夜間交通量の計測とウミガメへの影響.....	115
5.5	CVMによるエコ・コースト事業の価値に関する意識調査.....	122
5.5.1	調査の方法.....	123
5.5.2	調査結果および考察.....	125
5.6	まとめ.....	130
6.	結論.....	133
	参考文献.....	137
	謝辞	

1. 序論

第1章では、沿岸域における生態系保全に関する社会的動向の変遷や調査対象種であるアカウミガメ (*Caretta caretta*) (以下、ウミガメと呼ぶ) の生態概要、調査対象域等について述べ、本研究の目的と構成について示す。

1.1 沿岸域における生態系の保全に関する社会動向の変遷

1992年にリオデジャネイロで開催された地球サミットにおいて、リオデジャネイロ宣言、気候変動枠組み条約、生物多様性条約、森林原則宣言、アジェンダ 21などが採択された。これらに伴ってわが国の環境関連法の整備が進められ、沿岸域においては1999年に海岸法が改正され、防護のみならず、環境への配慮が求められるようになった。その後、国土交通省が主導し、2001年に「自然共生型海岸づくり研究会」が創設され、改正海岸法に盛り込まれた自然環境への配慮を実施するための手引書となる「自然共生型海岸づくりの進め方」が2003年に発行された(自然共生型海岸づくり研究会, 2003)。このガイドラインでは、砂浜を利用する代表的な生物の生態学的な知見が、実務的な視点でまとめられている。2002年には自然再生推進法が制定され、本法では過去に損なわれた自然環境を取り戻すため、関係行政機関や地方公共団体、地域住民、NPO、専門家など地域の多様な主体が参加して、自然環境の保全、再生、創出などを行うことが位置づけられた。また、2007年に施行された海洋基本法では基本的施策に沿岸域の総合的管理および海洋環境の保全等が盛り込まれ、2008年には生物多様性基本法が制定された。本法では、2010年の生物多様性条約第10回締約国会議(以下、CBD/COP10と呼ぶ)の開催を見据え、海洋保護区など国内における海洋生態系に対する政策的な計画策定が推し進められた。このCBD/COP10では、愛知ターゲット(ポスト2010年目標:2011-2020)が設定され、戦略目標Cの目標11において、海域の10%を保護地域などにより保全すること等が取り決められた。それらに伴い、上述した関連法等が整理され、海洋部分に関する国家戦略として「海洋生物多様性保全戦略」が環境省より公表された(環境省, 2011)。沿岸域における生物多様性の確保や健全な生態系の保全は重

要な施策目標であり、わが国の水産資源の持続的な利用を考える上でも重要であると言える。

1.2 アカウミガメ (*Caretta caretta*) の生態

ウミガメ類はカメ目に属し、一度は陸上に適応したものの、陸上から海洋生活に再適応したグループである。本種は、生涯を通じて海洋で生活をするが、産卵とふ化は砂浜を利用する。アカウミガメ（英名：Loggerhead turtle）はウミガメ科アカウミガメ属に属する。成体の甲長は、70cm～100cm、体重は70kg～120kgで、体色は背面が褐色または赤褐色、腹面は淡黄色である。国内におけるウミガメの産卵は、地域差はあるものの、およそ4月～8月にかけて南西諸島、九州、四国、本州の太平洋沿岸でなされる。本種の食性は雑食性であり、一般に他のウミガメ類よりも顎が発達しており、貝類やヤドカリ類などといった底生動物を好むグループとホヤ類などの浮遊生物を好むグループに別れる（Hataseら、2002）。ただし、上述した2グループに遺伝的な差異は認められていない（Watanabeら、2011；畑瀬、2013）。なお、産卵のために沿岸域に訪れた成熟した雌はグループに依らずほとんど摂餌しないことが知られている（佐藤、1995；田中ら、1995）。

産卵地の沿岸まで来遊してきたウミガメは、夜になるのを待って砂浜に上陸する（Bjorndal、1982）。通常の波浪状態では波が遡上しない位置まで移動し、その後、後肢を使って深さ約50cmの産卵巣を掘り、その中に120個ほどの卵を産む。ウミガメは1回の繁殖シーズンに2～3週間の間隔を空けて繰り返し産卵することが知られており（西村・大牟田、1993；Van Buskirk・Crowder、1994；佐藤、1995）、その産卵回数は平均3～4回/年程度と言われている（Van Buskirk・Crowder、1994）。親ガメが帰海した後、砂中温度に因るが約60日前後で幼体がふ化する。ふ化幼体は夜を待って産卵巣から脱出し、月光や海が発する明かりを手がかりに海の方を認識する（Mrosovsky・Kingsmill、1985；Salmonら、1992；Witherington・Martin、2003）。幼体は北太平洋に広く分散したのち、一部はメキシコ沖まで到達する。その後、ある程度まで成長した個体は再び日本近海に戻り、成熟を迎える。成熟後は東シナ海の大陸棚や太平洋上に生息し（西村・中東、1992；亀崎ら、1997；畑瀬、

2013) , 数年おきに日本南方の沿岸域に繁殖に訪れるとされている (Hatase・Tsukamoto, 2008) . 雌のウミガメが生まれた砂浜に戻って産卵するという仮説, いわゆる母浜回帰仮説については, 地磁気の影響が有力視されており, 現在でも研究が進められている (Brothers・Lohmann, 2015) . アカウミガメはウミガメ類の中で, 最も高緯度に産卵することが知られており, 温帯から亜熱帯に該当する世界中の海に広く分布する. 現在, 本種は個体数の減少が著しく, ワシントン条約附属書 I の掲載種であり, 種の保存法の国際希少野生動植物種に指定されている. また, IUCN (国際自然保護連合) のレッドリスト (2012) では, 絶滅危惧種 (endangered) に指定されている. 国内においては, 環境省レッドリスト (2007 改定) では絶滅危惧 IB 類 (EN) , 本研究の調査対象域である愛知県レッドリスト (2008) では, 絶滅危惧 IB 類 (EN) , 静岡県レッドリスト (2006) では絶滅危惧 IA 類 (CR) に指定されており, 早急な保護対策が必要な種である.

1.3 ウミガメの減少要因

ウミガメの減少要因について, 亀崎 (2012) を参考に表 1.1 に整理した. ウミガメの減少要因のうち, 海岸工学の分野と関わりが深いのは産卵場である砂浜の消失およびその機能不全であると考えられる.

わが国では全国的に砂浜の侵食が進んでいる (宇多, 1997) . また, たとえ砂浜が存在していたとしても, ウミガメが産卵場として利用できなかつたり, 本来の環境とかけ離れたものに変質していたりすることもある. 砂浜は, ウミガメ類が再生産の場として利用できる唯一の環境であり, ウミガメの繁殖活動における上陸, 産卵, ふ化・脱出, 帰海と複数の過程を満足させることが求められる.

1.4 日本近海におけるウミガメの保全の重要性

ウミガメは世界中の熱帯および温暖な地域に広く分布しているが, 北太平洋に生息するグループは唯一日本列島の砂浜を産卵場とすることが知られている (Kamezaki ら, 2003) . また, ミトコンドリア DNA の塩基配列解析によって, 日

本で産卵する北太平洋産の個体群と南太平洋のオーストラリアで産卵する個体群とは遺伝的に異なっていることが明らかにされている (Bowen ら, 1995) . したがって, 遺伝的多様性保全の観点からも, 北太平洋域に生息する本種個体群に対して保全対策を講じることは重要であり, 産卵場であるわが国の砂浜海岸の保全は必要不可欠である. これらの事情を鑑み, 本研究では北太平洋産アカウミガメを研究対象として取り扱う.

国内におけるウミガメに配慮した海岸づくりの代表的な事例は渡邊 (2010) により整理されている. 表 1.2 にその概要を示した. 海岸行政におけるウミガメに配慮した海岸づくり事例は 1980 年頃から始まり, 1996 年に創設されたエコ・コースト事業とともに急速に拡大することとなった. エコ・コースト事業の目的は様々であるが, 失われた砂浜の機能を回復させること, 砂浜本来の機能を失わせないことに重点が置かれていると言える. 海岸整備の方針は従来の防護機能を優先の海岸事業から自然環境との調和を目指す海岸整備へと変化してきた.

生態学的な視点からウミガメといった単一の種を保全することも大切だが, 自然環境の一部である「ウミガメ」を工学的な視点から保全・維持することが恒久的なウミガメを含めた生態系の保全策につながると考えられる.

表 1.1 ウミガメの減少要因 (亀崎, 2012 を基に要約)

要因	概要
漁業による混獲	・刺網, 巻網, 底曳網, 定置網などによる混獲
産卵場である砂浜の消失およびその機能不全	・砂利の採取やダム建設にともなう土砂供給不足による砂浜の侵食 ・港湾施設や沖合構造物の設置に起因した沿岸漂砂系の変化による砂浜の侵食 ・養浜による砂質の変化 ・過度な安定化による砂浜の硬化や有機物の蓄積 ・護岸による親ガメの上陸・産卵阻害およびふ化幼体の帰海阻害 ・照明による光害
野生動物による食害	・イノシシや野犬などによる産卵巣の食害 (獣害)
海域の汚染	・原油流出事故や人工ゴミによる影響
気候変動	・海面上昇による砂浜の消失 ・砂中温度の上昇にともなう性比の偏りおよびふ化・脱出率の低下
人工的な卵の移植と放流会	・移植による砂中環境の人為的操作 ・不適切な方法でふ化幼体を放流することによる生残率の低下

表 1.2 ウミガメに配慮した海岸づくり代表事例（渡邊，2010 を基に要約）

対象海岸	概要
兵庫県東播海岸 【養浜による人工砂浜の造成】	海岸侵食対策として，1982 年より，広島産の海浜砂を直接投入する養浜がなされた．当初はウミガメの上陸・産卵を想定してはいなかったが，国内最初の本格的な養浜事例であり，海岸管理者の意識がウミガメに向けたきっかけとなる事業となった．
宮崎県住吉海岸 【既設構造物の改良】	1987 年，ウミガメの産卵に配慮して，既設の緩傾斜護岸の被覆ブロックを 50cm 掘り下げ，ポケットを設けた改良型緩傾斜護岸とした（田水，1993）．その後，当該地の海岸侵食が進行したことから砂浜が消失し，ウミガメの産卵は不可能となったが，1980 年代という早い時期に実施された先駆的な取組である．
千葉県興津港海岸 【計画段階における配慮の実施】	突堤の整備にあたり，ウミガメの砂浜へのアクセスを極力妨げないようにするために，既設の人工リーフとの間を 70m 開ける設計とした．
長崎県古里港海岸 【計画段階における配慮の実施】	潜堤の設置にあたり，ウミガメの上陸を妨げないように潜堤を 2 分割して開口部を設ける設計とした．
静岡県駿河海岸（住吉工区） 【障害となる構造物の撤去】	汀線際に消波堤が設置されており，ウミガメの上陸が不可能であった．1993 年から離岸堤の設置が開始され，堆砂を確認後，2000 年に汀線際の消波堤が撤去された．撤去されたブロックは他工区の堤防の根固め等に再利用された．制度的に難しい既設海岸構造物の撤去を，代替え施設による防災性能の確保と他施設へのブロック転用という段階を踏んで実現した事例である．
三重県伊勢湾西南海岸（北浜工区） 【現地砂を用いた養浜】	2002 年，堤防の改修に併せて養浜を行ない，ウミガメが上陸・産卵できるようにした．ウミガメの産卵場所となる満潮線以上の場所については堤防の後背地から砂が採取され，使用された．
愛知県二川漁港海岸 【消波ブロックの移設】 エコ・コースト事業 （5 章にて後述）	前浜部分に設置された消波ブロックによってウミガメの上陸阻害が生じたことから，まず試験的に消波ブロックを移設して砂浜の安定性を確認した後，エコ・コースト事業によって消波堤を移設・緩傾斜堤として改良した．この事例は最初からウミガメの産卵環境改善を目指したものであった．
三重県伊勢湾西南海岸（北藤原工区） 【海岸堤防の設置位置変更】	砂浜幅が狭い区間について，堤防の設置位置を内陸側に後退させ，ウミガメの産卵空間となる後浜部分の創出が図られた．

1.5 砂浜の生態系サービス

砂浜は様々な機能を有している．一般的な砂浜の機能について表 1.3 に示した．砂浜が有する機能は，防災，環境保全，利用に大別できる．

防災機能は，砂浜による波浪の減衰である．1999 年に海岸法が改正された際，砂浜は海岸保全施設として指定することが可能となり，従来型の構造物（ハード対策）に加え，今後は，砂浜（ソフト対策）を活用した防護対策が推進されると考えられ

表 1.3 砂浜の機能（生態系サービス）

機能	具体例
防災機能	波エネルギー吸収（消波）機能，構造物の根固め機能
環境保全機能	生息場の提供機能，採餌場としての機能，稚仔育成機能，産卵場の提供，水質浄化（砂による濾過，微生物による分解）
利用機能	漁業，景観，レクリエーション，芸術・文化，遺伝子資源

（宇多ら，2007），実際に，ジオスタイル袋に砂を詰めて作られたサンドバッグを汀線際に設置する海岸保全対策などが検討されている（富田・田島，2010；弘中ら，2011）。環境保全機能は，生息場や採餌場，物理的濾過や生物活動に伴う浄化作用による水質浄化機能などがあげられる。利用機能については，釣りやサーフィン等のレクリエーション，漁業，芸術・文化や砂浜に生育・生息する生物から得られる遺伝子資源に関することである。これらの恵みは生態系サービスと呼ばれ，人類は古来よりこれらの恵みを享受しながら発展してきたと言える。

1.6 本研究が対象とする砂浜の環境

我が国の海岸線延長は約 3.5 万 km（世界第 6 位）であり（国土交通省，2013），海洋国家として，海から多くの恩恵を受けている。その一方，都市化に伴う沿岸域の開発や海岸侵食によって，自然海岸は減少傾向にある。1993 年時点での自然海岸の割合は，全国で 55.2%，本土では 44.7%となっている（環境庁，1994）。海岸線総延長のうち，砂浜を有する海岸線の延長は約 4,900km と約 14%を占める（国土交通省，2013）。

生物多様性条約では，生物多様性を「生態系」，「種」，「遺伝子」の 3 つ階層で捉えている。このうち「生態系」の多様性は「種」と「遺伝子」の多様性を支える基盤である。本研究の対象種であるウミガメは，産卵場として，この減少傾向にある自然海岸のうち砂浜生態系を利用する生物種であり，同種の産卵地の保全を考える場合，産卵地のどのような環境を保全すべきなのかを明らかにしておく必要がある。

本研究における砂浜の環境とは、海から陸へとつながる境界部分をも含めた環境を意味する（**図 1.1**）。これはウミガメが繁殖時に沖合から砂浜へ上陸し産卵するプロセスを考慮して設定したものである。一般に、海から砂浜へとつながる領域はエコトーン（移行帯・推移帯・遷移帯）と呼ばれ、水域と陸域などの異なった環境を緩やかにつなぐ場である。本研究では、そのエコトーンの中でも主として、砂浜幅および海浜勾配などの海浜地形、潜堤や消波ブロックなど砂浜に設置された人工構造物、砂中温度などの環境要素を取り扱う。**表 1.4**に砂浜海岸の一般的な区分名称とその概要を整理した。砂浜海岸は大きく砂丘と沿岸帯に分類される。沿岸帯はさらに陸側から、後浜、前浜、外浜、沖浜と分類され、それぞれ異なった物理特性を有する。

1.7 対象領域の概要

1.7.1 表浜海岸（遠州灘）

愛知県と静岡県に跨る遠州灘のうち、浜名湖今切口から伊良湖岬までの約 55km は表浜海岸と呼ばれ、本州では有数のウミガメの産卵地として知られている（**図 1.2**）。また、本海岸は豊かな生態系を有しており、伊良湖岬周辺は、サシバなどのタカの渡りで有名であり、コアジサシが営巣する砂浜としても知られている。本研究の調査対象域は主に豊橋市域（延長 13.5km のうち東部約 10km 区間）および湖西市白須賀（延長 4.5km、旧新居町を除く）であり、隣接した砂浜である。海岸のタイプは多段バー海岸に分類され、沖合には複数の沿岸砂州が形成されている。海浜砂の粒径は地域ごとに若干のバラつきはあるがおよそ中央粒径（ D_{50} ）で 0.3mm 程度である（**図 1.3**）。繁茂する海浜植物はコウボウムギ、ケカモノハシ、ハマヒルガオが優先しており、その他にコウボウシバ、ハマボウフウ、オカヒジキ、ハマニガナ、ハマエンドウ、コマツヨイグサ等が繁茂し、海食崖付近にはテリハノイバラ、トベラ、ハマゴウなどの低木が生育する（**写真 1.1**）。調査対象域の行政区界を**図 1.4**に示す。それぞれの砂浜の概要は以下の通りである。

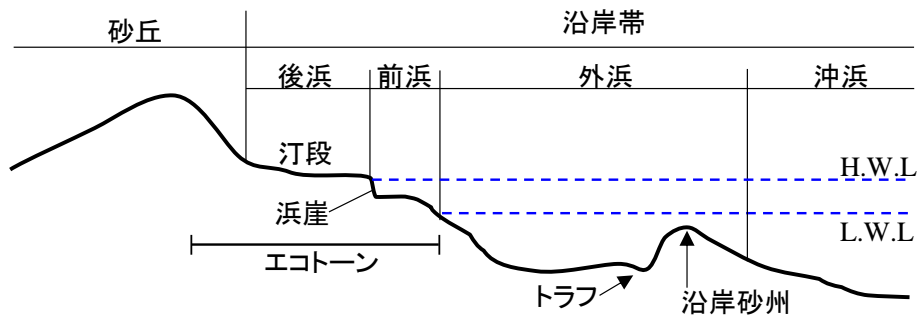


図 1.1 砂浜海岸の断面地形と名称 (須田・早川 (2002) を元に改変)

表 1.4 砂浜海岸の一般的な区分名称とその概要 (蔣ら (2006) を基に改変)

区分	砂丘	沿岸帯			
		後浜	前浜	外浜	沖浜
概要	後浜より内側の陸上部分.	汀段端から海浜植生の前縁または地形的に顕著な変曲点 (砂丘, 崖など) までの領域.	汀段端から低潮時の引き波が最も引いた地点までの領域.	低潮時の引き波が最も引いた地点から碎波帯を少し越えた辺りまでの領域.	外浜より沖側の領域.
物理的特性	砂丘から砂浜間での砂交換, 風の影響下にある. 植物にとっては, 飛砂による堆積と洗掘, 強光による高温と乾燥, 塩水の飛沫などが環境要因となる.	台風等の高波浪時を除き, 通常は波の影響を受けにくい. 海風が強く, 多量の海塩飛沫, 砂輸送, 塩分の高負荷, 温度較差が大きい.	潮位に応じて冠水, 干出する. ドリフトラインより上部の砂浜は乾燥 (ただし海塩飛沫は飛来), ドリフトライン~湧出帯の砂は, 引き潮後も湿気を帯びる. 波打ち際には漂着物が打ち上げられる.	碎波帯は, 波浪によるかく乱が大きい. 強い海浜流, 大量の浮遊砂, 大きな地形変化, 塩分変動が激しい等, 生物にとっては厳しい環境. これらの条件を克服した種にとっては捕食者や競合者が少ない.	細砂底. 強力な波エネルギーと底層流, 海底の不安定さは沖にいくほど弱まる. 水深は急深となる.

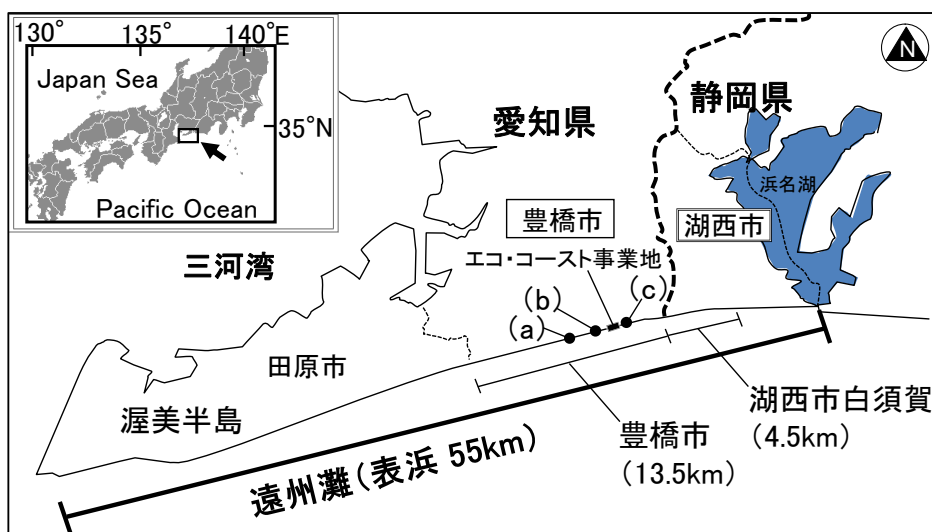


図 1.2 調査対象域

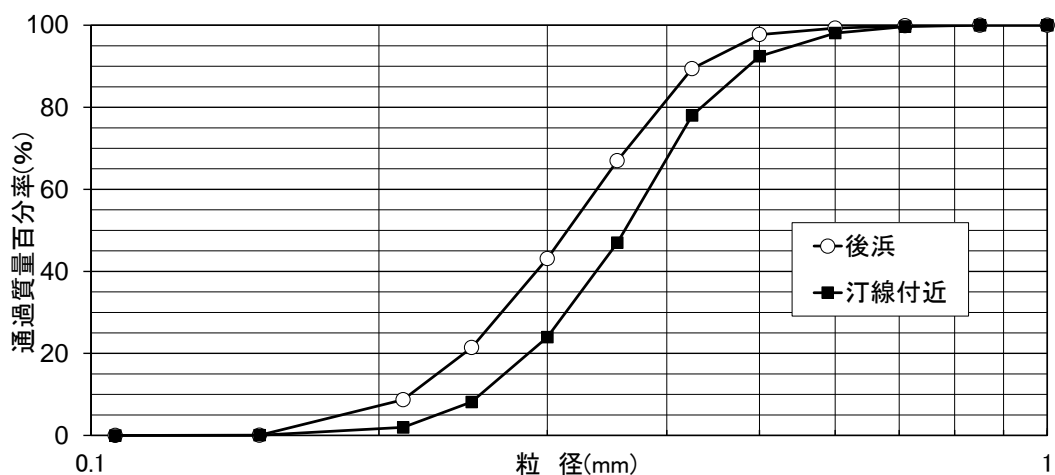


図 1.3 表浜海岸の粒度分布の典型例

調査対象範囲外		調査対象域											
		10.0					5.0				0 [県境からの距離: km]		-4.5
田原市	豊橋市											湖西市	
	城下	西赤沢	東赤沢	伊古部	高塚	西七根	東七根	寺沢	小松原	小島	細谷	東細谷	白須賀
	田原・豊橋海岸 (2.7km)		高豊漁港海岸 (3.9km)			豊橋海岸 (2.0km)		二川漁港海岸 (5.3km)				白須賀海岸 (4.5km)	
	三河湾国定公園区域 (7.6km)				自然公園未指定区域 (6.3km)							浜名湖県立自然公園	
	第2種特別区域 (2.7km)		普通区域 (3.9km)			第2種特別地域 (1.0km)						第2種特別区域 (車馬等乗入規制区域)	

図 1.4 対象海岸の行政区界

愛知県豊橋市 伊古部町～東細谷町


砂浜中央に台風などの高波から砂浜の侵食を抑制する目的で設置された消波ブロック（主にホロースケア，四脚ブロック，六脚ブロック）などの消波堤・消波工がその延長の 98.3%，緩傾斜護岸・直立護岸を含めると 153.3%を占める割合で設置されている半自然海岸である（井戸，2001）。なお，100%を超過しているのは目的別に複数のタイプの構造物が同一エリアに重複して設置されているためである。砂浜の後背部には海食崖がそびえ立ち，夜間の市街地の明かりを遮蔽し，暗い環境が保たれている。





写真 1.1 表浜に生育する主な海浜植物

豊橋市域では、オフロード車等の無秩序な乗入れなどにより、ウミガメの産卵地および海浜植物の生育地である砂浜の環境が損なわれる恐れが生じたことから、愛知県の条例により、2006年1月より砂浜への車両の乗り入れは規制されている(3.9.5にて後述)。

行政区界ごとの砂浜の概要を以下に示す。

伊古部 (いこべ)	
	<p>三河湾国定公園区域（普通地域）．浜幅は比較的広く，東部には整備の行き届いた駐車場（延長約 300m）があり，人による利用頻度が高いエリアである．中央部は，アクセス道路や管理道路がなく，砂丘が広がっており，ウミガメの産卵に適した環境である．西部は消波ブロックが露出しており，隣接する東赤沢町以西は砂浜幅が著しく狭くなる．伊古部から高塚の沖合には潜堤 7 基が設置されている．</p>
写真 1.2 伊古部	

高塚 (たかつか)	
<p>三河湾国定公園区域（第二種特別地域および普通地域）に指定されている．第二種特別区域の管理道路の通行は禁止されている．沖合には潜堤（離岸距離 300m）が設置されており，汀線は前進傾向にある．海岸へのアクセス道路があり，利用者は多い．海食崖がそびえ立ち，崩落防止のための治山工事が行われている．消波ブロックは埋没している．豊橋市が設置したふ化場が設置されている．</p>	
写真 1.3 高塚	

西七根 (にしななね)	
	<p>東部は広い駐車場と公衆トイレがあり，人の利用頻度が比較的高い．ただし，西部にいくほど管理道路が狭くなるため，利用頻度は低くなる．海食崖はこの西七根以西より発達している．東部は六脚ブロック上段が露出しているが西部ではほとんどのブロックが埋没している．中央部から西部にかけてコウボウムギの大群落が広がる．東端には豊橋市が設置したウミガメのふ化場が設置されている．</p>
写真 1.4 西七根	

東七根（ひがしななね）

浜幅は比較的狭く、四脚ブロックが全域に渡って露出している。冬季には消波ブロックの前面の砂浜が大きく侵食されることがある。ブロックの背部はコウボウムギを優先種とした海浜植生が広がる。



写真 1.5 東七根

寺沢（てらさわ）



写真 1.6 寺沢

中央部に船小屋があり、その正面には船出し用の緩傾斜堤が整備されている。浜幅は比較的狭く、秋季から冬季にかけて場所によって大きく侵食されることがある。全域に渡って消波ブロックの上・中段が露出していることが多い。

小松原（こまつばら）

特別養護老人ホーム「王寿園」の正面にあたる。管理道路と砂浜の境には緩傾斜堤が整備されている。海岸へのアクセス道路、公共トイレ、駐車場があり、人による利用頻度が高いエリアである。中央部から東部にかけて、消波ブロックの上段～中段が露出していることが多い。消波ブロックの背後にはコウボウムギ、ハマヒルガオ、ケカモノハシなどの植生帯が発達している。



写真 1.7 小松原

小島（こじま）（西部）

同エリアは西部と中央部～東部でその環境様相が大きく異なる。管理道路と砂浜の境には緩傾斜堤が整備されている。本区域にはコミュニティ広場（トイレ・駐車場等）が整備されており、調査対象域の中ではサーフィン、釣りなど、人による利用頻度が高いエリアの1つである。消波ブロックの背部と緩傾斜堤の間には植生帯が高密度に生育する。総じて浜幅は狭い。



写真 1.8 小島西部

小島（こじま）（中央部～東部：エコ・コースト事業地）



写真 1.9 小島中央部～東部

同エリアは消波ブロックを緩傾斜堤に作り変えた「エコ・コースト事業」が実施され、広い浜幅が保たれている。砂丘が発達しており、浜幅も広く、コウボウムギやハマヒルガオなどの海浜植物が成帯構造を形成している。東端には豊橋市が設置したウミガメのふ化場がある。

細谷（ほそや）



写真 1.10 細谷

全域に渡って消波ブロックが露出している。ブロックの設置位置は、波の遡上位置（静穏時）よりも陸側である。秋季から冬季にかけて局所的に侵食されるエリアがある。後背部にはコウボウムギやケカモノハシなどの海浜植物が繁茂し、管理道路を挟んで、ハマヒサカキ、トベラ、オオバヤシャブシなどの照葉樹林が発達している。隣接する小島町との町境には小判田川が流れる。

東細谷（ひがしほそや）

静岡県（湖西市）との県境（市境）に接する。野外クラブがあり、夏季は一時的に人の利用頻度が非常に高くなることがある。砂浜幅は比較的広めであるが、消波ブロックの露出が目立つ。消波ブロックの切れ目（写真中の矢印位置）は静岡県との県境を示す。



写真 1.11 東細谷

静岡県湖西市 白須賀

湖西市白須賀海岸は、豊橋市域の海岸と比較して砂浜幅が広く、西部～中央部にかけては豊かな海浜植生が広がっている。中央部～東部にかけては国道1号線に隣接しており、緩傾斜護岸もしくは蛇籠護岸と遊歩道が整備されている。流入のある場所など限定された場所を除いて、砂浜に消波ブロックはほとんど設置されていない。ただし、本研究の調査範囲外にあたる湖西市新居町以東は、侵食傾向にあることから消波ブロック（主として、四脚ブロック）が設置されている。

白須賀（しらすか）西部

愛知県（豊橋市）と隣接したエリアであり、消波ブロックは設置されていない。西部約1kmの範囲には周囲に家屋等がなく静かな環境が保たれている。後背地の海浜植物は海側からコウボウムギ帯→ハマヒルガオ帯→ケカモノハシ帯→チガヤ帯と成帯構造を形成している。砂浜幅が広く、海岸利用者も少ないことからウミガメの産卵に適したエリアと言える。



写真 1.12 白須賀西部

白須賀（しらすか）中央部および東部



写真 1.13 白須賀中央部～東部

中央部から東部にかけて、国道1号線の明かりが砂浜まで届く環境となっている。砂浜に沿って駐車場や遊歩道が整備されており、砂浜の間には緩傾斜堤が設置されている。砂浜幅は豊橋市域と比較して広く、砂丘にはコウボウムギやハマボウフウなどの海浜植物が繁茂している。

1.7.2 表浜が保全されてきた経緯

清野（2010, 2011）は遠州灘（表浜）が、実質的な海洋保護区（Marine Protected Area, 以下, MPA）として保全されてきた経緯に触れている。1964年から遠州灘（愛知県域）の沖合3kmまでが海岸法の海岸保全区域（**図 1.5**）として指定され、保全された事例（標準の保全区域は海岸法によって沖合50m以内とされている）である。当初、この保全区域は砂利採取等の規制のために設定されたものであるが、この規制により、海底地形が砂利採掘や埋め立て等の改変から保護されたため、結果的にウミガメなどの希少生物や水産生物の繁殖地や生息地が確保された。MPAは、海洋の空間管理によって生態系および生物多様性を保全する区域である。環境省が所管する海洋生物多様性保全戦略公式WebサイトによるMPAの定義は、「海洋生態系の健全な構造と機能を与える生物多様性の保全および生態系サービスの持続可能な利用を目的として、利用形態を考慮し、法律又はその他の効果的な手法により管理される明確に特定された区域」とされている。2010年に開催されたCBD/COP10において国際的な目標として合意された愛知ターゲットでは、2020年までに、各国が沿岸域および海域の少なくとも10%を保全することが決議された。それを受けて2011年3月、環境省は海洋生物多様性国家戦略を公表し、このMPAも基本的視点に盛り込まれている。現在までのところ日本において、海洋保護区という名称で区域を指定する制度は存在していない（山田ら, 2012）。わが国における今後のMPAの動向は、社会的な摩擦が少ない自然公園や自然環境保全地域など

既にある MPA と同等の網掛けがされた区域が設定されると考えられる（清野，2011）．このような日本の特性に応じた MPA が国際的に認められるかどうかは世界が注目しているところである．

2014 年，遠州灘は，環境省の有識者会議により，生物学や生態学の観点から重要な場所である「重要海域」として選定されている．重要海域は，海洋保護区の設定やそのネットワーク化を目論んだ取組みであることから，現在表浜は，持続的な環境保全が担保されるか否かの重要な局面に立っていると言える．

1.7.3 潮位差

ウミガメの産卵は通常夜間に行われるが，上陸が集中する時間帯があるのか否かについては，砂浜ごとの潮位差によるとされている（Frazer, 1983）．それゆえに，表浜海岸の潮位変動について把握しておく必要がある．表浜海岸の潮位変動の典型例として，気象庁が公開している赤羽根観測所（愛知県田原市池尻町）の観測潮位の経時変化を図 1.6 に示す．また，2008 年～2013 年各年の 5 月～8 月（ウミガメの産卵シーズン）の期間における最高，最低，平均潮位（標高基準）を表 1.5 に示した．ここで平均潮位差は 1 日の最高潮位と最低潮位との差を対象期間で平均したものである．平均最高潮位は 98.8cm，最低は -125.8cm，6 年間の平均潮位差は 126.5cm であった．なお，ウミガメの産卵活動と潮位差の関係については 3.7.1，3.8.3 にて後述する．

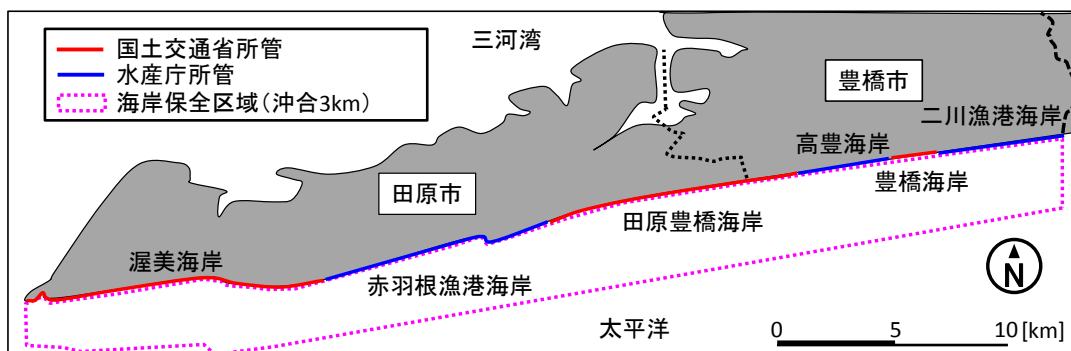


図 1.5 海岸保全区域（国土交通省（2013）を基に作成）

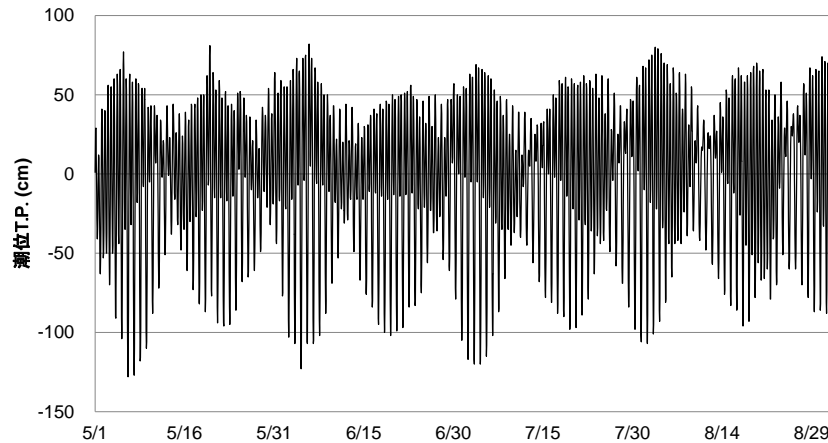


図 1.6 潮位変動の典型例（2008年5月～8月：気象庁赤羽根観測所）

表 1.5 表浜における潮位に関する諸量（2008年～2013年）

年	2008	2009	2010	2011	2012	2013	6年間の 平均値
最高潮位 (cm)	82	79	100	106	137	89	98.8
最低潮位 (cm)	-128	-130	-124	-128	-125	-120	-125.8
平均潮位差 (cm)	128.1	126.2	125.1	126.5	130.0	123.2	126.5

1.8 研究の目的と概要

ウミガメの減少要因の1つとして、産卵場である砂浜の消失およびその機能不全が挙げられている。自然再生推進法や生物多様性基本法の制定に伴う生物多様性国家戦略2012-2020が策定されるなど、海岸行政においても海辺の自然再生をテーマとした取組がなされていることは先述した通りである。適切な砂浜の保全・再生には、まず保全の目標となる指標種を設定することになるが、対象とする動植物の生態学的な知見が必要となる。

そこで本研究では、良好な砂浜環境の指標種としてウミガメを取り上げ、その繁殖活動に焦点を当て、砂浜環境との関係を調べた。本論文では、人工構造物を含む沿岸域の環境変化がウミガメの繁殖活動に及ぼした影響や、砂浜の環境要因と本種が持つ産卵行動特性およびふ化幼体のふ化・脱出（ふ卵環境）について考察する。さらに、研究対象地においては既設の消波ブロックをセットバックし、ウミガメの

上陸しやすい砂浜への再生を目的としたエコ・コースト事業が 2006 年から段階的に実施されてきたことを踏まえて、当該事業がウミガメの産卵行動に及ぼした変化についても考察する。これらの結果をもとに、環境と調和した砂浜海岸の保全・再生について提言する。以下に各章の概要を示す。

第 2 章では、実施した現地調査の概要について整理するとともに、2008 年～2014 年の期間における豊橋・湖西市域で確認されたウミガメの上陸回数についてとりまとめた。

第 3 章では、ウミガメの上陸、産卵、ふ化・脱出に関する現地調査結果や地形測量等によって得られた結果を解析し、ウミガメの繁殖活動に好適な砂浜環境について明らかにする。沿岸域付近のウミガメの繁殖活動は便宜的に「上陸ステージ」、「産卵ステージ」および「ふ化・脱出ステージ」の 3 ステージに分類できる。「上陸ステージ」では沖合構造物である潜堤がウミガメの上陸におよぼす影響について考察する。「産卵ステージ」では、ウミガメの上陸後の移動距離や砂浜の岸沖勾配と移動距離の関係など、産卵場としての砂浜の環境について考察する。「ふ化・脱出ステージ」はふ卵環境としての砂浜について考察する

第 4 章では、表浜海岸豊橋市域のうち 1999 年から 2014 年現在まで続く断面測量によって地形変化や周辺環境等の情報が蓄積されている高塚、寺沢、細谷の 3 海岸において、砂浜幅、海浜植生、標高といった共通の環境要素から現況を評価・分析し、ウミガメの産卵成功率等を向上させるための改善策について提言する。

第 5 章ではウミガメの繁殖活動からみたエコ・コースト事業地の評価について述べる。施工段階での問題点や海浜植物の回復状況、ウミガメの産卵状況等の調査結果を基に、この事業を工学的な視点から分析・評価する。

第 6 章では、本研究で得られた成果を総括する。

2. ウミガメの上陸・産卵回数に関する現地調査の概要

本章では、本論文で用いるウミガメに関する用語の説明や現地調査の概要、現地調査対象期間におけるウミガメの上陸・産卵回数についてとりまとめた。

2.1 用語の説明

本論文で用いるウミガメの繁殖活動に関連した用語について NPO 法人日本ウミガメ協議会がオンラインで公開する「ウミガメ用語集」(日本ウミガメ協議会, 2009) を参考に定義した (表 2.1)。

表 2.1 本論文で用いるウミガメに関する用語

用語 親ガメが上陸してから産卵するまで	
上陸	ウミガメが海から砂浜に上陸すること。上陸には、産卵するものと、上陸しただけで産卵せずに海に戻るものが含まれる。
産卵間隔	同一の産卵シーズンにおいて、同一個体が産卵する間隔。
タートル トラック	ウミガメが砂浜に上陸した際に残る足跡。フィールドサイン。上陸跡。
産卵巣	砂浜に産卵のために掘った円筒状の穴。通常は穴とそこにある卵塊を指す。
ボディー・ ピット	産卵巣を掘る前に、前脚を使って作る比較的広く浅いくぼみ。親ガメはそ の中に定位し、産卵する。
卵室	産卵巣のうち卵塊がある空間。
移植	卵を元の産卵巣から人為的に別の場所に移して埋めること。
卵塊 (クラッチ)	1回の産卵で産む卵のこと。およそ120個程である。
用語 卵のふ化から脱出まで	
走行性	光を刺激源に個体が移動すること。光に近づくことを正の走光性、逆に遠 ざかることを負の走光性という。
胚	卵殻の中で卵割を始めてふ化するまでの間の個体のこと。
ふ化	砂中でふ化幼体が卵殻を破って卵の外に出ること。
ふ化日数	ふ化幼体が卵殻を破って卵の外に出るまでの日数。
ふ化幼体	ふ化直後から、腹部にある卵黄や胚膜の痕跡が消失するまでの間の個体を 指す語。ふ化後、数週間はこの呼称を用いる。→子ガメ
ふ化率	ふ化幼体が卵殻から出るのに成功した卵の割合。
脱出	ふ化幼体が産卵巣から砂表へと這い出し、帰海すること。
脱出日数	親ガメによる産卵からふ化幼体が産卵巣から砂表へと這い出し、帰海する までに要した日数。
脱出率	1クラッチの中で、巣穴からふ化幼体が脱出するに至った割合。

2.2 現地調査の概要

表浜海岸において著者らが実施した現地調査の内容について表 2.2 に整理した。表浜海岸における現地調査は 2008 年から開始し、2014 年まで継続して実施した。そのうち、ウミガメに関する調査は 2008 年～2011 年および 2013 年～2014 年である。年ごとの調査範囲を表 2.3 に示す。豊橋市域を対象とした調査は 2008 年～2010 年および 2013 年～2014 年にかけて実施した。そのうち、2008 年～2010 年は NPO 法人表浜ネットワークの協力を受けた。一方、湖西市域における調査は、2009 年～2011 年および 2013 年～2014 年にかけて実施し、カレッタ君のふる里を守る会の協力を受けた。本論文で使用したウミガメに関するデータにおいて、2007 年以前および筆者が調査した範囲外のデータについては、豊橋市、表浜ネットワーク、カレッタ君のふる里を守る会より提供を受けたものである（豊橋市、2013、2014）。

表 2.2 2008 年～2014 年における調査内容

年	調査内容
2008	<ul style="list-style-type: none"> ・上陸および産卵調査（豊橋市域のみ）*¹ ・砂中温度の計測 ・砂浜断面測量
2009	<ul style="list-style-type: none"> ・上陸および産卵調査*^{1*2} ・砂中温度の計測 ・（ふ化・脱出調査）*カレッタ君のふる里を守る会よりデータ提供 ・砂浜断面測量
2010	<ul style="list-style-type: none"> ・上陸および産卵調査*^{1*2} ・砂中温度の計測 ・ふ化・脱出調査*² ・砂浜断面測量
2011	<ul style="list-style-type: none"> ・上陸および産卵調査（湖西市白須賀地域のみ*²） ・砂浜断面測量
2012	<ul style="list-style-type: none"> ・砂浜断面測量
2013	<ul style="list-style-type: none"> ・上陸および産卵調査（豊橋市域東細谷町～高塚町域および湖西市白須賀地域*²） ・砂浜断面測量 ・海浜植物調査
2014	<ul style="list-style-type: none"> ・上陸および産卵調査（豊橋市東細谷町～西七根町の東部地域および湖西市域*²） ・砂浜断面測量 ・海浜植物調査 ・夜間交通量調査（エコ・コースト事業地） ・CVM アンケート調査

*¹ 豊橋市域：NPO 法人表浜ネットワークと共同実施

*² 湖西市域：カレッタ君のふる里を守る会と共同実施

表 2.3 年ごとの調査範囲

＜豊橋市域＞	
調査協力団体：NPO 法人表浜ネットワーク（2008 年～2010 年）	
2008 年～2010 年	東細谷町～伊古部町（延長約 10.2km）
2011 年～2012 年	未実施
2013 年	東細谷町～高塚町（延長約 8.0km）
2014 年	東細谷町～西七根町中央部（延長約 6.2km）
＜湖西市域＞	
調査協力団体：カレッタ君のふる里を守る会（2009 年～2011 年，2013 年～2014 年）	
2008 年および 2012 年	未実施
2009 年～2011 年および 2013 年～2014 年	白須賀地域（延長約 4.5km）

2.2.1 上陸および産卵痕跡確認調査

上陸位置情報の記録

豊橋市域および湖西市域において、5 月中旬頃～8 月下旬頃までの期間、海岸を車両および徒歩にて踏査した。調査の開始時間はウミガメの産卵を阻害しないように原則的に早朝 3 時 30 分以降とした。

ウミガメの上陸位置にどのような傾向があるのかを調べるため、ウミガメが上陸した際に砂浜に残った足跡を元に GPS（GPSMAP60CSx, eTrex30, Oregon550TC：Garmin 社製）を用いて記録した。位置情報の記録は、産卵巣や産卵を諦め帰海に至る折り返し地点とした。なお、GPS による記録は衛星状態を常に確認し、表示された測位精度が 5m 以内になったことを確認した後、実施した。

上陸後の行動の記録

上陸位置の記録に併せて、砂浜に残された足跡（タートルトラック）やボディー・ピット、産卵巣などの痕跡（フィールドサイン）から判断される産卵の有無、人工構造物に対する挙動、産卵中止の原因など様々な基礎情報を記録した。産卵の有無については、産卵巣を慎重に手で掘り、卵を目視確認する場合と、親ガメが産卵巣を埋め戻した状況などから総合的に産卵の有無を判断する場合の 2 通りとした。また、産卵場として選択した環境（砂地、植生帯、砂地と植生帯の境界）についても併せて記録した。

上陸後の移動距離の把握

タートルトラックに沿ってハンディ GPS のトラッキング機能および測量テープを用いて波打ち際から産卵巣までの移動距離を計測した。なお、台風の接近や上陸

などの影響で波が浜奥まで遡上し、タートルトラックの消失が著しいサンプルについては分析対象から除外した。

2.2.1 海浜勾配（岸沖方向）の計測

タートルトラックに沿って波打ち際から産卵巣までの岸沖方向の砂浜勾配をスラントルールで5mごとに計測し、その勾配を記録した。なお、勾配は、豊橋市・湖西の両地域で計測したが、データの分析に関しては、消波ブロックが設置されておらず、上陸後、浜奥への移動に障害のない湖西市域のものを用いた。

2.2.2 砂中温熱環境の把握

砂中内の温熱環境の把握を目的として、砂中温度を調査した。計測には、温度データロガー（TidbitV2：onset社製）を用いて1時間間隔で実施した。計測期間は親ガメの産卵シーズンからふ化幼体が巣穴から脱出するまでの5月～10月であり、データロガーの設置深度は卵室と同程度である20cm～60cmの範囲とした。

2.2.3 ふ化・脱出調査

親ガメが産卵した後、ふ化幼体が産卵巣から這い出す（脱出）までに要した日数（脱出日数）を調べた。また、脱出後、産卵巣に残された卵殻、ふ化しなかった卵、ふ化幼体（生存・死亡）の数をカウントし、ふ化・脱出率についても併せて調べた。ふ化・脱出調査は最初のふ化幼体の脱出を確認した後、1週間程度が経過するか、産卵後80日～90日間程度経過した後もふ化がみられない場合に実施した。産卵巣を素手で慎重に掘り、全ての卵殻、卵、ふ化幼体を取り出し、卵は殻を開いておよその発生段階を記録した。ここで、ふ化幼体が卵から出た場合をふ化、ふ化幼体がふ化し、産卵巣からの脱出に成功した場合を脱出、卵が割れていないか、割れていたとしても卵の中に胚が残留していた場合は未ふ化と定義した。

2.2.4 砂浜断面測量（水準測量）

豊橋市域の砂浜に4測線（高塚町、寺沢町、小島町、細谷町）を設定し、およそ週1回の頻度でレベル測量を実施した。高塚海岸は沖合に設置された5基の潜堤群のうち最も東側の潜堤の背後に位置する。寺沢海岸は、高潮位・高波浪の際に波が

作用する位置に消波ブロックが設置されており、その背部に植生帯が繁茂している。細谷海岸は、通常の波の作用位置よりかなり高い位置に消波ブロックが設置されている海岸である。上述した3測線（高塚町，寺沢町，細谷町）の測量は1999年5月から実施しているが2014年11月現在までを解析対象とした。小島海岸は、消波ブロックをセットバックしたエコ・コースト事業が実施された海岸で（5章にて後述。），消波ブロックの一部が試験撤去された2006年7月から2014年11月現在まで継続して測量を行っている。測量方法を図2.1に示した。各地点ともに陸側に基準点（B.M.）を設け、そこから朔望平均満潮位（以下，H.W.L.，T.P.+0.88m）までを5m間隔で計測した。

2.2.5 海浜植物調査

エコ・コースト事業地およびその隣接地を対象に、ベルトトランセクト法（幅1m）で、5m毎に生育が確認された海浜植物の種数を記録した。ベルトトランセクトは100mごとに8測線、事業地外（隣接地）に2測線を設定した。

2.2.6 夜間交通量調査

エコ・コースト事業地を対象に照度計（Hobo light intensity : onset 社製）を3カ所設置し、当該事業地に整備された管理道路の夜間交通量を調べた。調査期間は2013年および2014年の8月で、計測時間は20時～翌日5時までとし、1秒間隔で連続観測した。

2.2.7 CVMによるアンケート調査

エコ・コースト事業地を含む東西約2kmの範囲において、サーファーや釣り人などの海岸利用者を対象とした仮想市場評価法（CVM）によるエコ・コースト事業（海岸の自然再生事業）の経済的な価値認識を問うアンケート調査を実施した。アンケート調査は2014年6月～7月の期間に126人の利用者を対象にヒアリング形式で実施した。

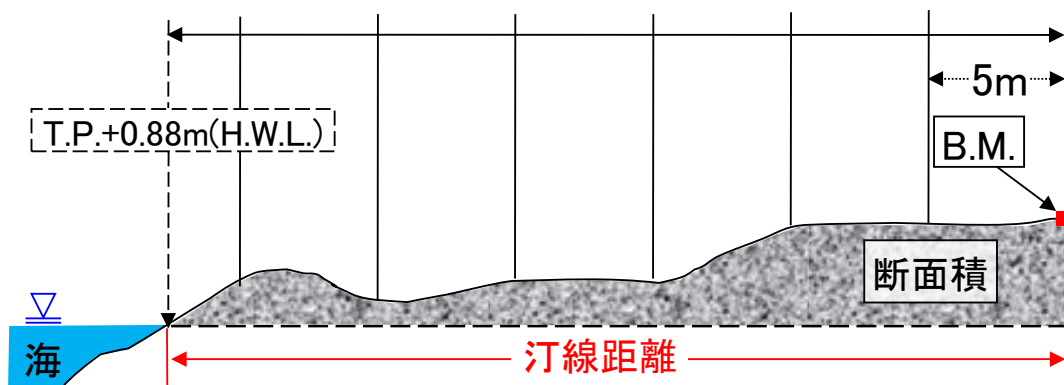


図 2.1 レベル測量の方法

2.3 2008 年～2014 年までのウミガメの上陸数の特徴

豊橋市域（約 10.2km 区間）および湖西市白須賀（約 4.5km）における現地調査により確認したウミガメの上陸痕跡数を表 2.4 に、調査期間内の平均気温および総降水量を表 2.5 に示した。また、2008 年～2013 年における日毎の上陸数と平均気温および降水量の経時変化を図 2.2～図 2.8 に示す。ここで、平均気温および降水量は気象庁のアメダス豊橋観測所の観測値である。調査年ごとの概要は以下の通りである。

2008 年、初上陸は 5 月 18 日で、豊橋、湖西の両地域で合計 195 回の上陸が確認された。そのうち産卵が確認されたのは 124 回であった。8 月下旬に降雨が集中し、1 日の雨量が 200mm を越えた日もあり、気温の低下とともに、上陸も終息した。

2009 年、初上陸は 5 月 17 日に確認され、上陸は両地域で合計 139 回、産卵は 106 回であった。この年は 7 月および 8 月の平均気温がやや低かった。

2010 年の初上陸は 5 月 16 日に確認され、両地域で 123 回の上陸があり、産卵は 92 回であった。この年は降水量も少なく、8 月の平均気温が高かった。

2011 年、豊橋市域での調査は実施しなかった。初上陸は 5 月 28 日で今回の調査期間で最も遅く確認された。上陸は 130 回、産卵は 87 回であった。

2012 年、著者は現地調査を実施していないが、豊橋市およびカレッタ君のふる里を守る会の記録によると初上陸は 5 月 12 日と対象期間内において最も早く確認され、両地域で 416 回の上陸があり、産卵は 225 回であった。豊橋・湖西両地域で調査が開始されてから最も多い上陸・産卵が記録された年であった。

2013年は、両地域で157回の上陸が確認され、産卵は102回であった。調査期間内の総雨量が最も少ない年であった。初上陸は5月20日に確認された。

2014年は、両地域において111回の上陸痕跡が確認され、そのうち産卵は78回であった。この年は7月～8月の平均気温が平年と比較してやや低めに推移した。初上陸は5月25日に確認された。

2008年～2014年を通した豊橋・湖西両地域におけるウミガメの合計上陸回数は1271回、年平均181.6回であった。産卵巣数は両地域合計814巣で、年平均116.3巣であった。

表 2.4 上陸および産卵調査による確認上陸痕跡数（期間：5月～8月）

年	調査によって確認した上陸痕跡数		
	豊橋	湖西	合計 ()は 産卵巣数
2008	137	(57) *3	195 (124)
2009	97	41	139 (106)
2010	93	30	123 (92)
2011	(91) *1	38	130 (87)
2012	(309) *1	(107) *3	416 (225)
2013	94+(8) *2	37	157 (102)
2014	68	43	111 (78)

*1 豊橋市調査データ（豊橋市 2013）を使用

*2 豊橋市調査データ（豊橋市 2014）で欠測データを一部補間

5月20日、5月22日の3データ、県境より8.2km以西の5データ

*3 カレッタ君のふる里を守る会より提供

表 2.5 調査期間内における産卵巣数および平均気温、総降水量

年	初上陸 確認日	産卵巣数		期間内 平均気温 (°C)	期間内総 降水量 (mm)
		豊橋	湖西		
2008	5/18	84	40	24.0	899.5
2009	5/17	68	38	23.9	641.0
2010	5/16	69	23	24.5	573.5
2011	5/28	60	27	24.2	851.5
2012	5/12	141	84	23.7	443.0
2013	5/20	70	32	24.6	394.0
2014	5/25	45	33	23.9	465.0

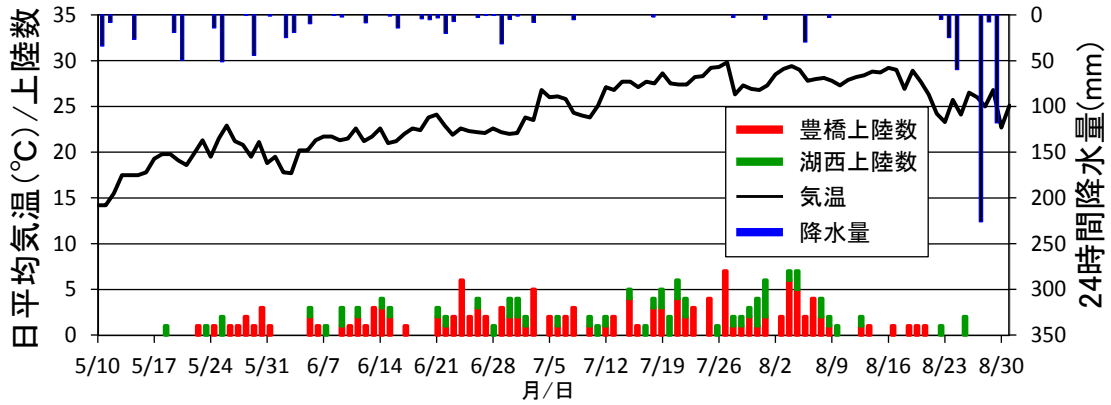


図 2.2 ウミガメの上陸数と平均気温および降水量の経時変化 (2008年)

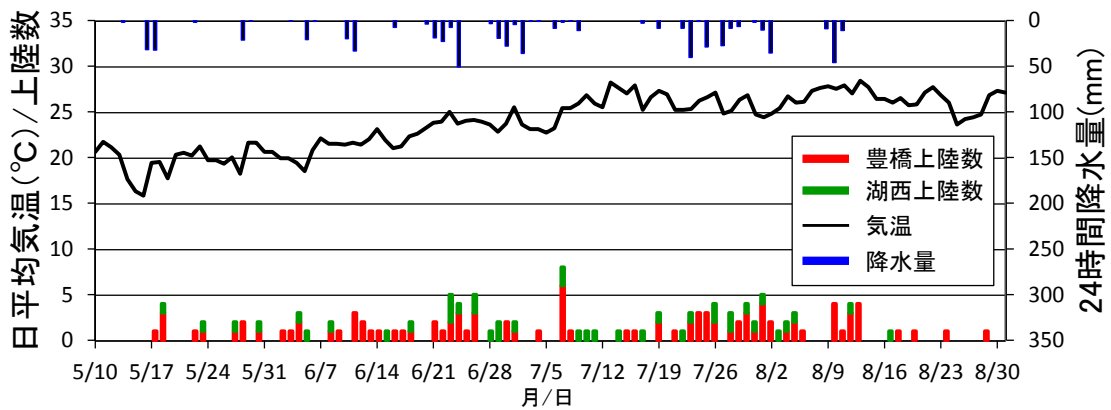


図 2.3 ウミガメの上陸数と平均気温および降水量の経時変化 (2009年)

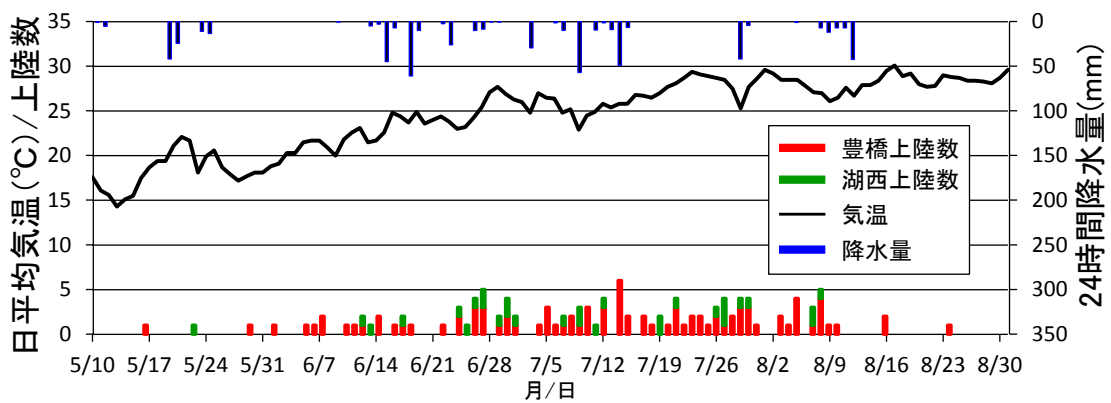


図 2.4 ウミガメの上陸数と平均気温および降水量の経時変化 (2010年)

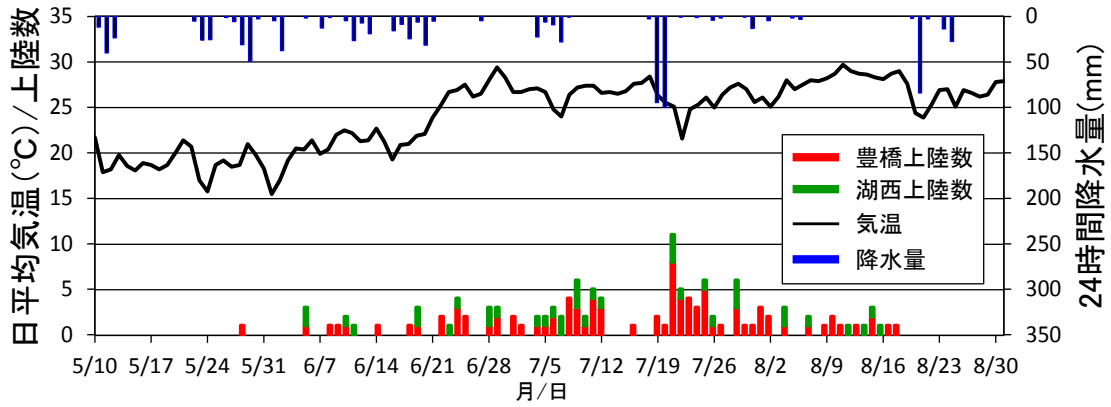


図 2.5 ウミガメの上陸数と平均気温および降水量の経時変化 (2011年)

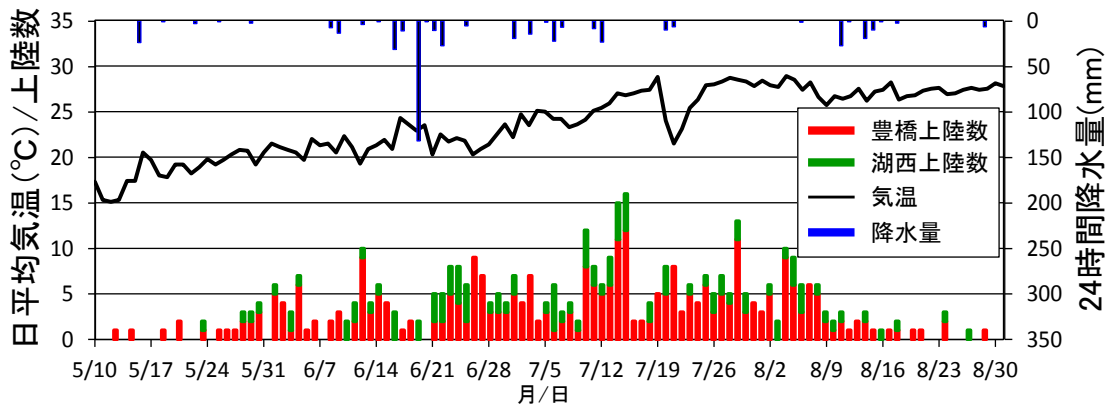


図 2.6 ウミガメの上陸数と平均気温および降水量の経時変化 (2012年)

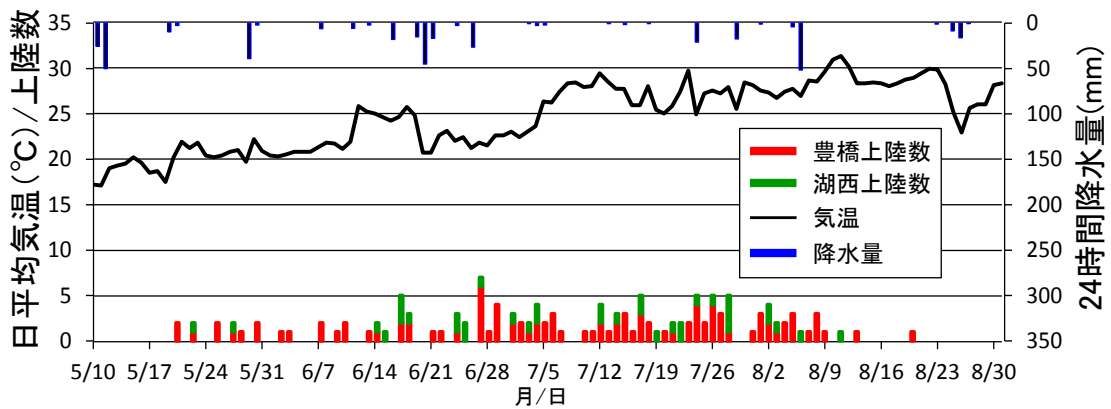


図 2.7 ウミガメの上陸数と平均気温および降水量の経時変化 (2013年)

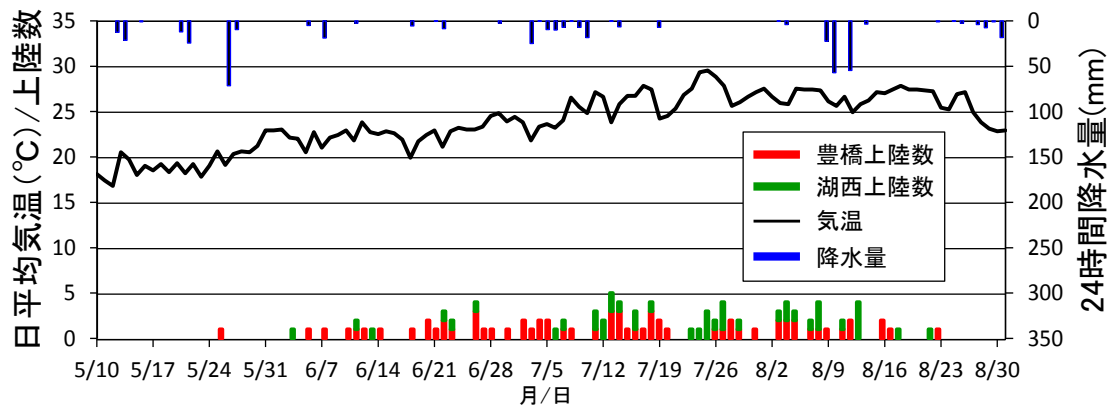


図 2.8 ウミガメの上陸数と平均気温および降水量の経時変化 (2014 年)

2.4 まとめ

第 2 章では、現地調査の概要について整理するとともに、2008 年～2014 年における豊橋・湖西市域で確認されたウミガメの上陸・産卵回数についてとりまとめた。

- ・2008 年～2014 年の期間において、両地域で最も上陸回数が多かったのは、2012 年の 416 回で、そのうち産卵が確認されたのは 225 回であった。次いで、2008 年の 195 回のうち産卵回数は 124 回であった。
- ・2008 年～2014 年の期間において、豊橋・湖西両地域におけるウミガメの合計上陸回数は 1271 回、年平均 181.6 回であった。産卵巣数は両地域合計 814 巣で、年平均 116.3 巣であった。

3. 表浜海岸におけるウミガメの繁殖活動

本章では、第2章で示した現地調査等によって得られたデータを用い、台風の接近回数や黒潮流軸位置とウミガメの産卵回数との関係性、ウミガメの繁殖活動に好適な砂浜環境について明らかにする。

3.1 豊橋、湖西市域におけるウミガメの上陸回数の推移

砂浜に消波ブロックが設置されている豊橋市域（砂浜延長 13.5km）と消波ブロックが設置されていない湖西市白須賀（延長 4.5km）において上陸回数および産卵成功率の経年変化について調べた。ここで、産卵成功率は2つの市域で確認された産卵巣の数をそれぞれの市域の上陸回数で除したものである。豊橋市域 13.5km 区間の内、西部約 4km の範囲は中潮～大潮の満潮時にほぼ砂浜が水没するためウミガメの産卵に適した汀線距離（砂浜幅）が確保されておらず、波による上陸痕跡の消失などがあると考えられる。なお、1992年～1994年の湖西市の上陸回数は産卵回数であり、産卵成功率の評価は行っていない。

図 3.1 に豊橋市および湖西市における上陸回数と産卵成功率の経時変化を示す。豊橋市においては 1992年～2013年までの 22年間に 2,280例の上陸が確認されており、産卵成功率は 62.0%、湖西市では過去 22年間に 731例の上陸が確認され産卵成功率は 75.0%であった。上陸数には経年的な変動が見られ、豊橋市域では年平均 103.7例（最低 21回～最高 327回、1km あたりの上陸数：7.7例）、湖西市域では年平均 33.2例（最低 22回～最高 107回、1km あたりの上陸数：7.4例）の上陸が確認されており、1km あたりの上陸回数に統計的な差異はなかった。産卵成功率は 1996年、1999年、2000年の 3年間を除いて湖西市域の方が高い数値を示した。両地域の産卵成功率について有意な差があるかをノンパラメトリックな検定手法である Mann-Whitney の U 検定を用いて分析した。Mann-Whitney の U 検定は独立 2群の差を検定する際に用いる手法である。ここで、 U ：検定統計量式 (3.1)、 n ：サンプルサイズ、 R ：順位和である。 R は標本の順位の和から求められる。算出した U からサンプルサイズに応じ Mann-Whitney 検定表 ($n_1 \leq 20$ かつ $n_2 \leq 20$) を用いるか、

サンプルサイズ n が 20 より大きい場合は、式 (3.2) および式 (3.3) から平均値と標準偏差を計算し、 z 値 (式 3.4) を求めることにより、正規分布に近似させ、標準正規分布表から危険率 (有意水準) を求める。

$$U = n_1 n_2 + \frac{n(n+1)}{2} - R \quad (3.1)$$

$$\text{平均値 } \mu_U = \frac{n_1 n_2}{2} \quad (3.2)$$

$$\text{標準偏差 } \sigma_U = \frac{\sqrt{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}}{12} \quad (3.3)$$

$$z = \frac{U - \mu_U}{\sigma_U} \quad (3.4)$$

分析の結果、 $U = 58.5$ ($p < 0.01$) と両地域の産卵成功率には有意な差があることが示された。両地域における環境的に大きな差異は、先述したように消波ブロックが設置されているか否かであると考えられ、ブロックの設置がウミガメの産卵に影響を及ぼしていると推察される。消波ブロックがウミガメの産卵におよぼす影響については 3.8.1 にて後述する。

3.2 シーズン初期の産卵回数とシーズン全体の産卵回数の関係

ウミガメは 1 度の繁殖シーズン内に複数回産卵することから、産卵シーズンの初期段階 (4 月～6 月) における産卵回数からシーズン全体を通じた産卵回数を推算する試みもなされており、比較的高い精度で推定が可能であることが報告されている (大内ら, 2011)。本研究の対象域でも、シーズン初期の産卵回数を用いてシーズン全体の産卵回数を推定できるか分析した。ウミガメの産卵回数のデータは 2007 年～2013 年に豊橋市域および湖西市域にて確認された産卵回数を用いた。図 3.2 に産卵シーズン初期の産卵回数とシーズン全体の産卵回数の関係について示した。同図から、シーズン初期の産卵回数とシーズン全体の産卵回数の間には高い相関があることが分かる。ノンパラメトリックな検定手法である Spearman の順位相関係数 (式 3.5) によって両者の関係について解析した。ここで、 T_x および T_y は式 (3.6) および式 (3.7) を用いて求める。 n : データ対の数, d : (x_i, y_i) の順位の差, t_i, t_j : 同順位を構成するデータの数である。Spearman の順位相関係数 r_s は、2 群 (変

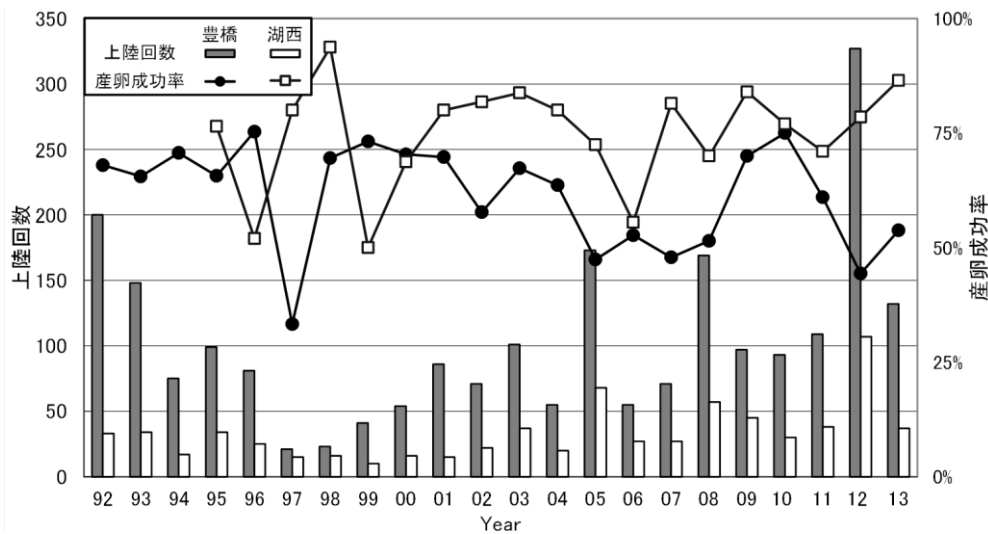


図 3.1 豊橋市，湖西市における上陸回数および産卵成功率

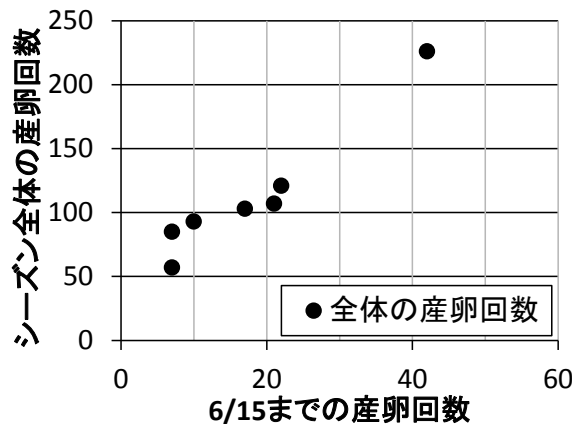


図 3.2 産卵シーズン初期の産卵回数とシーズン全体の産卵回数の関係

数： $(x_i, y_i), \dots, (x_n, y_n)$ それぞれにおいてデータの小さい順に順位付けを行ない，その順位を用いてピアソンの相関係数を計算したものである．本解析手法には，順位を用いることで標本分布の偏りに左右され難いといった長所がある．算出された r_s からサンプルサイズに応じ，Sperman の検定表 ($n \leq 30$) および t 分布表 ($n > 30$) から危険率 (有意水準) p を求める．

$$r_s = 1 - \frac{T_x + T_y + \sum d_i^2}{2\sqrt{T_x T_y}} \quad (3.5)$$

$$T_x = \frac{n^3 - n - \sum (t_i^3 - t_i)}{12} \quad (3.6)$$

$$T_y = \frac{n^3 - n - \sum (t_i^3 - t_i)}{12} \quad (3.7)$$

解析の結果, $r_s = 0.99$, $p < 0.01$ (p :危険率) と有意な相関が示された. 佐藤 (1995) は, みなべ町千里浜における現地調査から, ウミガメが同一シーズン内の産卵行動において, 同一の砂浜を選択する傾向があることを報告しており, これは産卵シーズン初期に来遊した成体 (成熟) 雌の個体数がシーズン全体の産卵回数を決定づけることを示す. 本研究対象地においても同様に, 産卵シーズン初期の産卵回数からシーズン全体の産卵回数がある程度の精度で推定できることが分かった.

3.3 ウミガメの産卵回数と台風接近回数との関係

西ら (2012) は台風の上陸数とウミガメの上陸回数の間には, 相関があることを報告しており, この要因として沿岸におけるウミガメのエサ資源や上陸を阻止する物理的な制限が寄与していると推察した. 台風の襲来時期とウミガメの上陸・産卵時期は重なる期間があることから, その産卵回数の増減に台風がどのように影響しているのか考察する. **表 3.1** は 1992 年～2013 年の期間の東海地方における台風の接近回数と, 本研究の豊橋・湖西市域のウミガメの産卵回数の合計値を示したものである. 台風の接近回数はウミガメの産卵シーズンである 5 月～8 月の期間における, 気象庁が公表している東海地方に接近した台風の数 (<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/statistics/accession/tokai.html>) を用いた. ここでの台風の接近とは, 台風が中心が東海地方 (静岡, 愛知, 岐阜, 三重) の気象官署から 300km 以内に入った場合と定義されている. ウミガメの産卵期間において台風の接近回数が最も多かった年は 2004 年の 6 回, 次いで 1992 年の 4 回で, 台風の平均襲来回数 (接近・上陸数) は年 1.6 回であった. ウミガメの産卵回数は 19 回～229 回の間で増減している. **図 3.3** にウミガメの産卵回数と台風の接近回数との関係を示した. Spearman の順位相関分析を用いて解析した結果, 両者の間に明確な対応関係はみられなかった ($r_s = 0.17$, $p = 0.46$). ウミガメの産卵回数は摂餌海域における水温や餌料条件等, 多様な環境因子に影響を受けるとされており (Chaloupka ら, 2008; 環境省, 2014), 年変動も大きく, 台風の襲来回数と単純に比較することは困難であると考えられる. 複数の条件を考慮した, より長期的な分析が必要であると考えられる.

表 3.1 ウミガメの産卵回数と接近した台風の数

年	ウミガメの 産卵回数 (豊橋+湖西)	接近した台風の数				
		5月	6月	7月	8月	合計
1992	169	0	1	1	2	4
1993	131	0	0	1	1	2
1994	70	0	0	0	0	0
1995	91	0	0	0	0	0
1996	74	0	0	2	1	3
1997	19	0	2	1	0	3
1998	31	0	0	0	0	0
1999	35	0	0	0	0	0
2000	49	0	0	1	0	1
2001	72	0	0	0	1	1
2002	59	0	0	2	1	3
2003	99	0	0	0	1	1
2004	51	1	2	1	2	6
2005	132	0	0	1	1	2
2006	44	0	0	0	1	1
2007	56	0	0	1	0	1
2008	126	0	0	0	1	1
2009	110	0	0	0	2	2
2010	101	0	0	0	1	1
2011	93	1	0	1	0	2
2012	229	0	1	0	0	1
2013	103	0	0	0	0	0

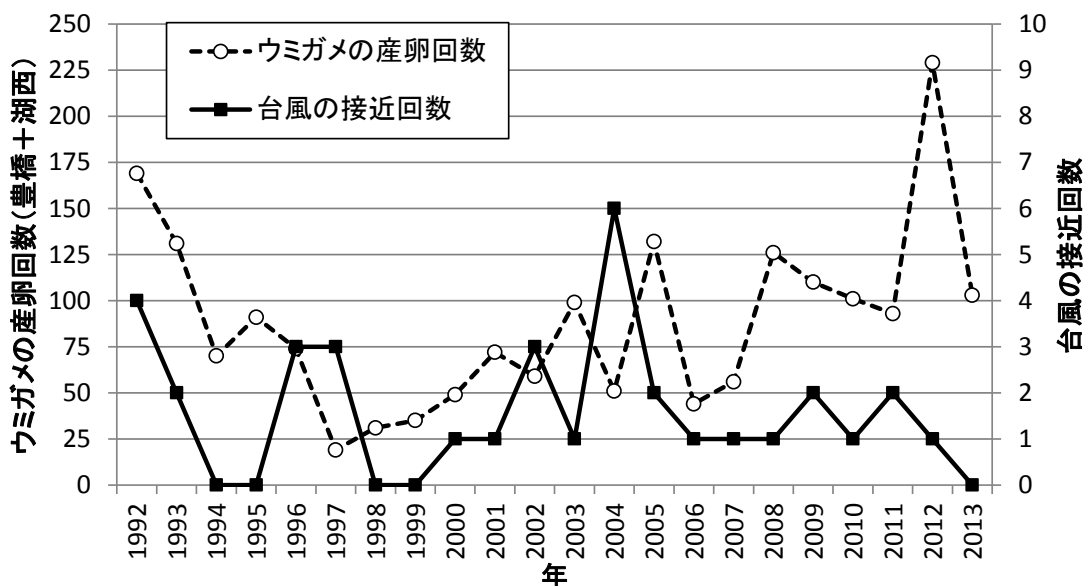


図 3.3 各年のウミガメの産卵回数と台風の接近回数

3.4 黒潮流軸位置がウミガメの産卵回数に及ぼす影響

国内におけるウミガメの産卵地は黒潮の流軸に沿っており、ウミガメは黒潮とともにその生息範囲を広げてきたと考えられている（亀崎，2006）。ウミガメの成熟個体は数年ごとに摂餌場から繁殖場へと向かい、産卵期が終わると再び摂餌場へと戻る。このような短い時間スケールでの回遊は季節回遊と呼ばれる。畑瀬（2013）はウミガメの季節回遊について、その卵黄と餌生物の安定同位体分析の結果から、その年の産卵を終えた成体雌のウミガメは8割の個体が東シナ海へ、2割が外洋（太平洋）へと移動したことを報告している。摂餌場で繁殖のためのエネルギーを蓄えたウミガメは、再び日本の太平洋沿岸を目指すことになる。東シナ海から産卵地への移動には黒潮を利用すると考えられており（亀崎，2006；環境省，2009），黒潮流軸位置と調査対象域におけるウミガメの産卵回数には関係性があると考えられる。そこで、黒潮流軸位置とウミガメの産卵回数の関係について整理した。なお、黒潮流軸位置は海上保安庁が公開する2007年～2013年の東経137°および138°の位置における黒潮流軸の緯度を用いた（**図 3.4**）（参考：<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/KAIYO/qboc/index.html>）。なお、黒潮流軸位置は、土日祝・年末年始を除き、1日1回公表されている。ウミガメの産卵回数については豊橋および湖西市域を合計したものをを用いた。

表 3.2 に黒潮流軸位置の最北限位置とウミガメの産卵回数を整理した。ウミガメが産卵のために豊橋・湖西市域沿岸に接近すると考えられる4月～5月の黒潮の北限位置と、産卵シーズンの初期に当たる5月～6月までの産卵回数の関係について、**図 3.5** および **図 3.6** に示した。**表 3.3** に示したように、Spearman の順位相関分析では4月および5月のどちらにも明確な対応関係はみられなかったが、4月の黒潮北限緯度と産卵シーズン初期の産卵回数の間には137°，138°ともに0.3程度の弱い相関がみられた。これまで、ウミガメが産卵場周辺の沖合へと来遊する時期について報告された事例はないが、本結果はウミガメが4月頃に産卵場周辺の沖合に来遊している可能性を示唆するものとなった。

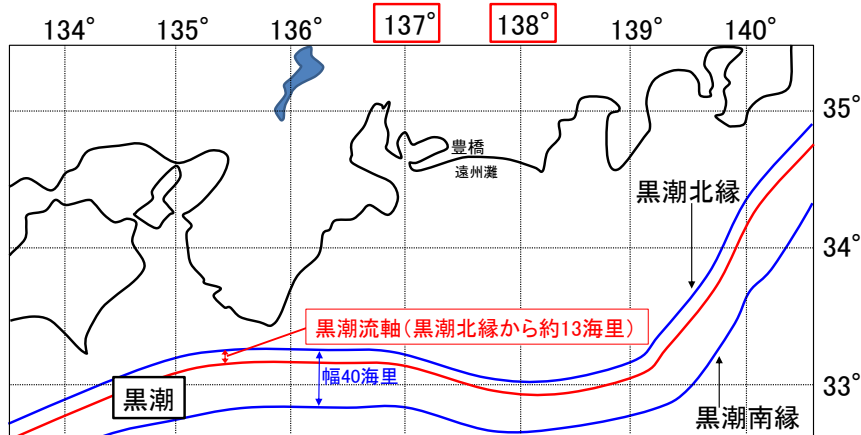


図 3.4 黒潮流軸位置の定義 (海上保安庁公式 Web サイトを参考に作成)

表 3.2 黒潮流軸の最北限とウミガメの産卵回数

年	黒潮流軸の最北限位置				ウミガメの産卵回数 (5月~6月) ()内は全産卵回数に対する割合を示す.	ウミガメの産卵回数 (5月~8月)
	137°	138°	137°	138°		
	4月		5月			
2007	33.0	32.5	32.8	32.3	12 (21.1)	57
2008	33.3	33.7	33.3	32.6	40 (33.1)	121
2009	33.2	33.0	33.1	32.6	46 (43.0)	107
2010	33.4	33.2	33.3	33.5	28 (30.1)	93
2011	33.3	33.5	33.2	33.2	21 (24.7)	85
2012	33.4	33.6	33.2	33.0	85 (37.6)	226
2013	33.8	33.9	33.2	32.5	38 (36.9)	103

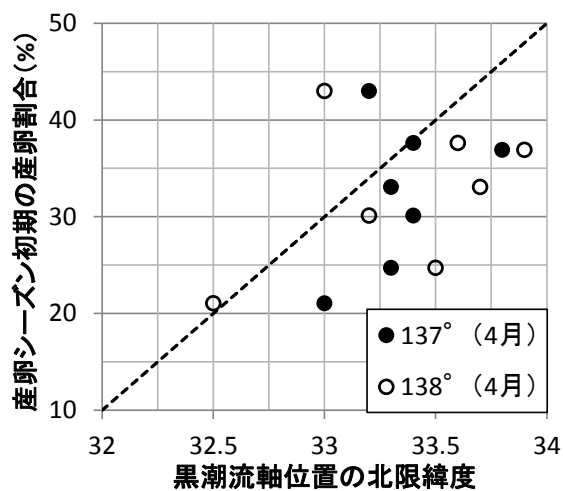


図 3.5 黒潮流軸位置の北限と産卵期初期の産卵割合の関係 (2007年~2013年4月)

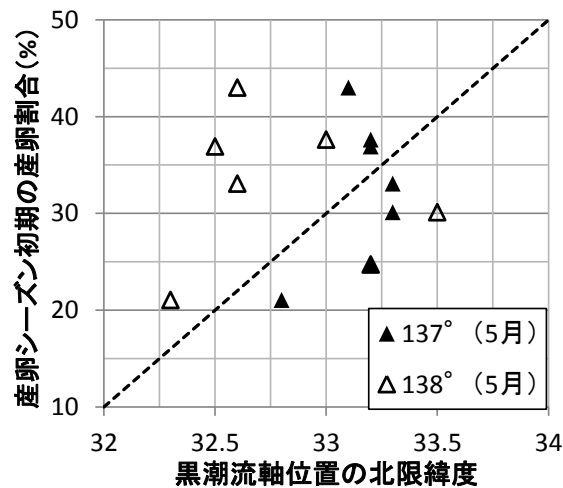


図 3.6 黒潮流軸位置の北限と産卵期初期の産卵割合の関係 (2007 年～2013 年 5 月)

表 3.3 Spearman の順位相関分析による解析結果

経度	月	Spearman の 順位相関係数	p値
137°	4 月	0.31	0.50
	5 月	0.02	0.97
138°	4 月	0.32	0.48
	5 月	0.02	0.97

3.5 海水温度とウミガメの産卵

産卵期におけるウミガメ成体雌の産卵間隔は、水温に左右されることが知られている (Dodd, 1988 ; 西村・大牟田, 1993 ; 佐藤, 1995 ; Hays ら, 2002) . このことは海水温がウミガメの上陸時期に影響を及ぼしている可能性を示唆している. そこで、海水温度とウミガメの産卵開始日の関係について整理した. 海水温データは国土交通省中部地方整備局が運営する「伊勢湾環境モニタリングシステム」 (http://www.isewan-db.go.jp/real_web/REAL_WEB_buoy/PointSelect/Index.asp) により公表されている 2010 年～2013 年のデータを用いた. 観測塔の設置地点は「伊勢湾湾口部」で北緯 34 度 30 分 33.7 秒, 東経 137 度 01 分 06.4 秒 (WGS) である (図 3.7) . 観測機器は、自動昇降式観測機器 (観測インターバル : 1 回/時間, 測定ピッチ : 1 m) であり, およそ 3 ヶ月に 1 回メンテナンスが実施されている. 水温計の概要を表 3.4 に示す. 「伊勢湾湾口部」は調査対象域である豊橋市および湖西市からやや離れた位置にあり, 伊勢湾の影響を受けている可能性もあるため, データの妥当性

を検証する必要がある。そこで、愛知県水産試験場が 2010 年～2013 年の 5 月～9 月に現地で観測したデータ (A13 地点: 北緯 34 度 36 分, 東経 137 度 24 分 (WGS) : **図 3.7**) と伊勢湾湾口部で記録された水温を比較した (**図 3.8**)。水産試験場がデータを取得した最も近い時間および水深で比較した結果, 2010 年 8 月の水温においてやや差が開くことがあったが, 他は概ね一致したため, 湾口部と外洋には大きな差はないと判断した。2010 年～2013 年の期間における豊橋市域および湖西市域にて確認されたウミガメの産卵回数と海水温の関係を **図 3.9**～**図 3.12** に示した。なお, ウミガメの産卵回数は 3 日間ごとにまとめて示している。これらの図から, 海水温のピークはおよそ 8 月以降に訪れること, 海水温の上昇に伴って産卵回数も増加するが, 海水温がピークを迎える前には産卵が終息することが分かる。**表 3.5** に各年の産卵開始日とその前日の平均海水温度およびウミガメの繁殖シーズンである 5 月 15 日～8 月 31 日の期間における海水温を, **表 3.6** には, 各年の月ごとの平均海水温をそれぞれ示した。繁殖シーズンを通した海水温はおよそ 16 度～28 度の範囲で変化し, 約 12 度の差があった。ウミガメは海水温が平均 17 度～18 度程度に達した頃から産卵を開始することが示された。また, **図 3.13** には, 2010 年～2013 年 5 月および 6 月の平均海水温と総産卵回数に占める 5 月～6 月の産卵回数の割合を示した。同図からは, 平均海水温度が高いほどウミガメの産卵が早まる傾向が読み取れる。西村・大牟田 (1993) は, ウミガメの産卵間隔と産卵場付近の海水温の間に負の相関があることを報告している。Sato ら (1998) は, さらに踏み込み, ウミガメの背甲と胃内に温度データロガーを据え付け, 産卵場付近の海水温とウミガメが経験する海水温が異なっていること, 経験水温を介した体温が産卵間隔に影響していることを示した。産卵場付近の海水温度とウミガメの経験海水温に差が生じるのは産卵と産卵の合間, 卵が産卵可能な状態になるまでウミガメが産卵場付近から離れることを示唆している。産卵場付近の海水温度と産卵間隔の直接的な関係についてはまだ議論の余地があるが, 本研究で得られた平均海水温度が高いほどウミガメの産卵が早まるといった傾向は, 産卵間隔を始めとしたウミガメの産卵行動を予測する 1 つの指標として利用できると思われる。

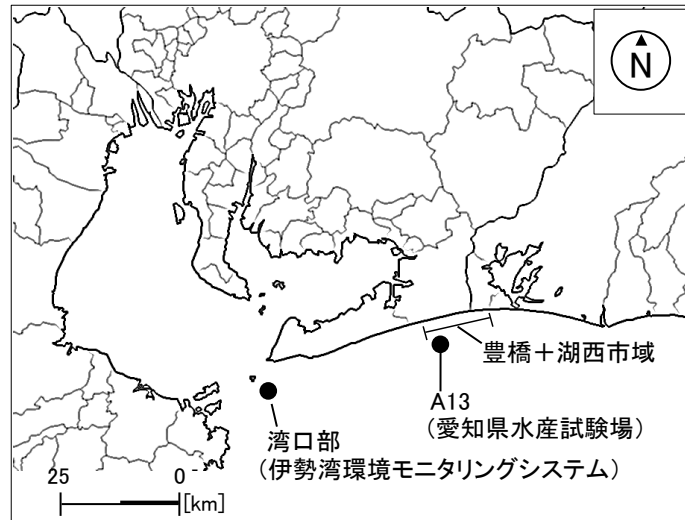


図 3.7 伊勢湾環境モニタリングシステム「湾口部」位置図

表 3.4 水温センサーの概要

センサタイプ	サーミスタ
測定範囲	-4~40 (°C)
分解能	0.01 (°C)
精度	0.05 (°C)

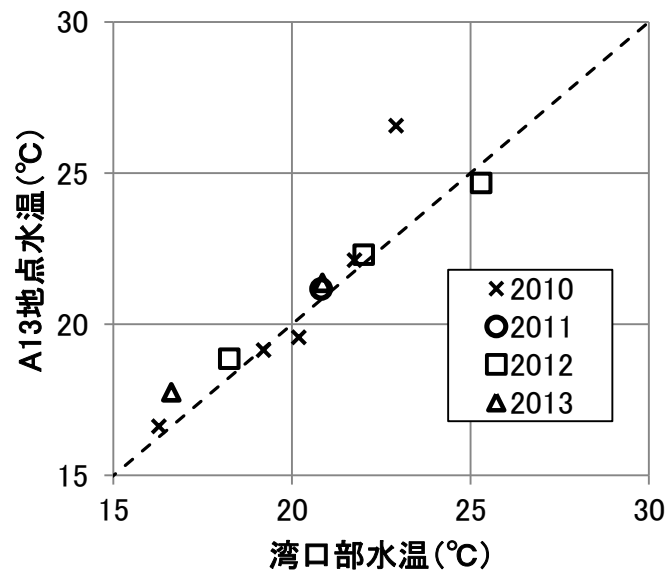


図 3.8 湾口部と A13 地点の水温の比較

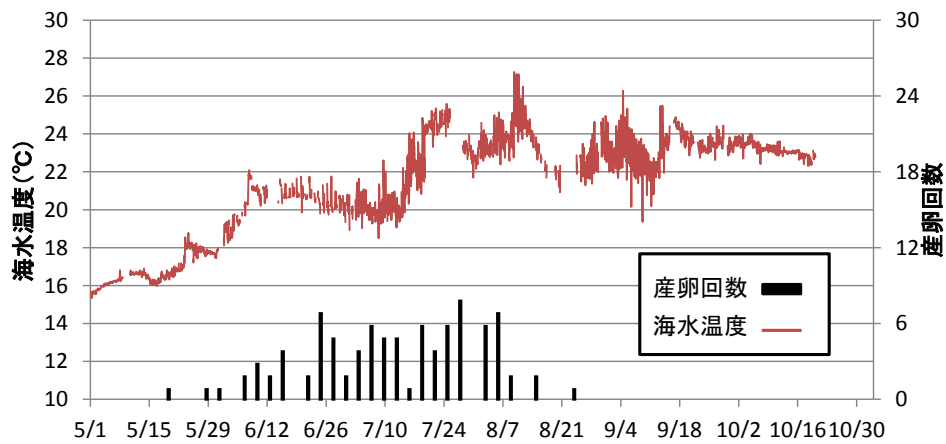


図 3.9 海水温度とウミガメの産卵回数 (2010 年)

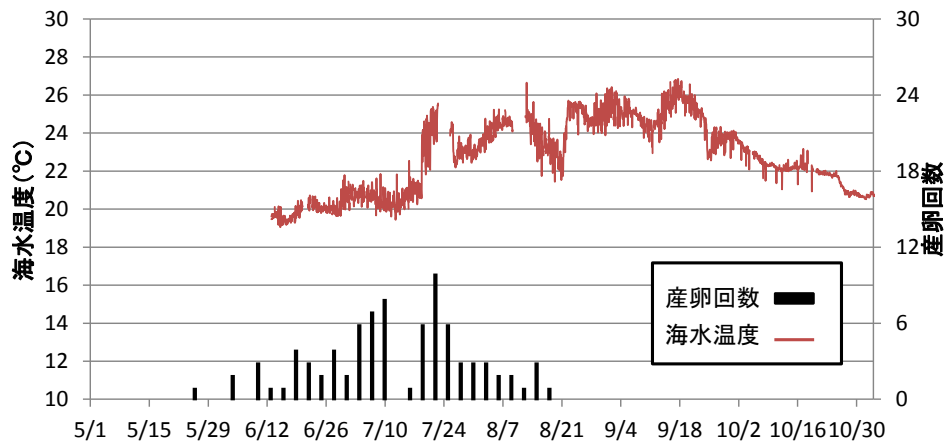


図 3.10 海水温度とウミガメの産卵回数 (2011 年)

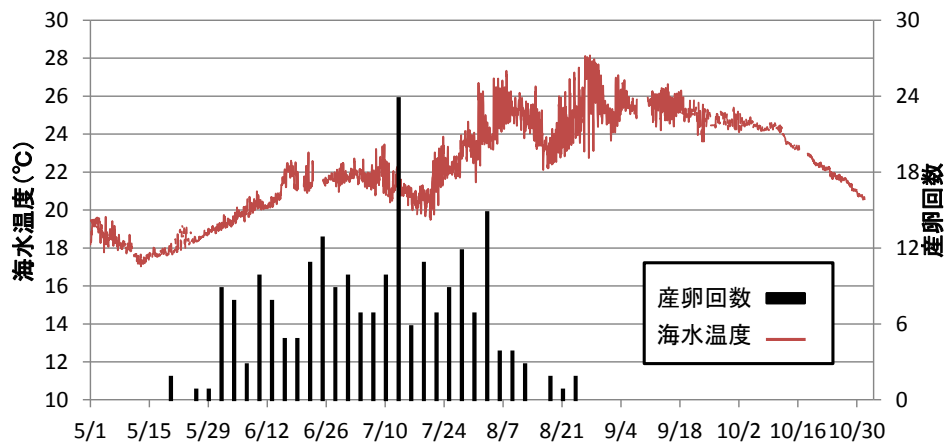


図 3.11 海水温度とウミガメの産卵回数 (2012 年)

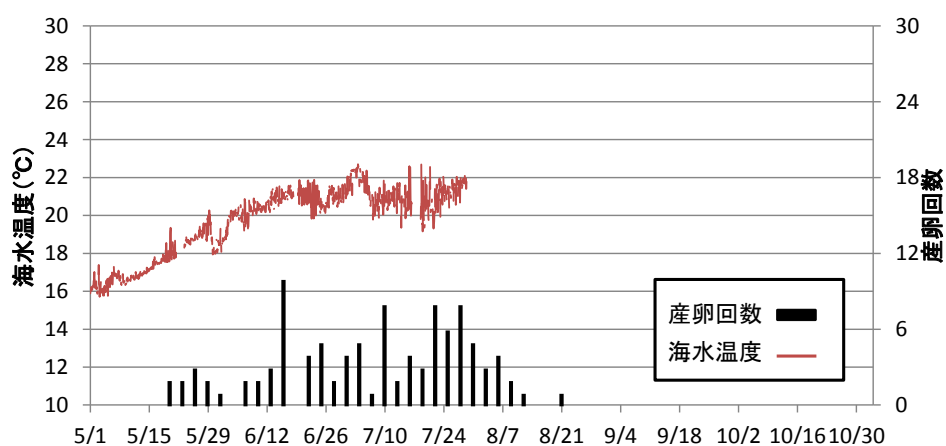


図 3.12 海水温度とウミガメの産卵回数 (2013年)

表 3.5 各年の産卵開始日と海水温度の概要

年	産卵開始日	産卵開始日前日の平均海水温度 (°C)	産卵期間内海水温 (5/15-8/31)		
			平均 (°C)	最高 (°C)	最低 (°C)
2010	5/22	16.8	21.0	27.3	16.0
2011	5/28	欠測	-	26.7	-
2012	5/20	17.8	22.0	28.2	17.5
2013	5/20	17.9	-	-	17.1

表 3.6 各年の月ごとの平均海水温

	平均海水温 (°C)			
	2010年	2011年	2012年	2013年
5月	16.8	欠測	18.3	17.8
6月	20.4	19.9	20.8	21.0
7月	21.7	21.7	21.8	21.0
8月	23.5	24.3	24.9	欠測

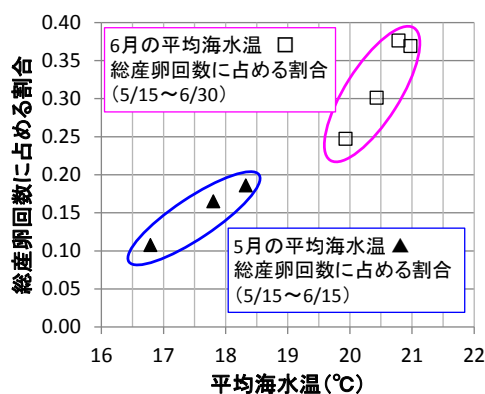


図 3.13 平均海水温と総産卵回数に占める割合

3.6 ウミガメの繁殖ステージの分類

沿岸域に來遊したウミガメの繁殖活動は以下の3ステージに分類できる(表 3.7). 第1に「上陸ステージ」がある. このステージは海から砂浜へ上陸するまでの段階である. 本論文では沖合に設置された潜堤の影響について考察する. 第2に「産卵ステージ」がある. ウミガメは上陸後, 産卵に適した環境を選択した後に産卵する. ここでは砂浜幅やその岸沖勾配, 植生帯などの環境条件と産卵行動との関係性について考察する. 第3に, 産卵された卵がふ化・脱出するか否かの「ふ化・脱出ステージ」がある. ここでは砂中温度がふ化・脱出に及ぼす影響について考察する.

3.7 上陸行動に及ぼす沿岸域環境(上陸ステージ)

ウミガメは産卵場として砂浜を利用する. この砂浜への上陸に及ぼす沿岸域(海中)の環境要因として考えられるのは, 沖合構造物およびそれらに関連する流れ場などである. 本節ではそれらのうち, 沖合構造物「潜堤」の影響について考察する.

3.7.1 豊橋市域における上陸傾向

1993年から2013年の期間において豊橋市域に上陸したウミガメの上陸回数(産卵+未産卵)を図 3.14に示す. 静岡県境を0.0kmとし, 砂浜幅が比較的広く, 大潮の満潮時でも上陸の痕跡が残る範囲である9.2km地点(豊橋市伊古部町)までの海岸を対象に, 200m間隔で示した. 上陸回数は合計1880例で, 200mごとの平均上陸数は40.9回で, 西部にいくほど上陸回数が少なくなる傾向がみられた. 西部には潜堤が設置されており, この潜堤がウミガメの上陸に何らかの影響を及ぼしたと推測される. これまで離岸堤がウミガメの上陸に及ぼした影響については, 複数の報告事例がある(内田, 1986; 田水, 1993; 渡辺ら, 2001; 中野ら, 2002). しかし, 潜堤に関する影響について報告した事例はない. 当該地における潜堤は, 天竜川からの土砂供給の減少や今切口導流堤による影響, 海食崖を対象とした治山工事による土砂供給の減少などが複合的に作用し, 沿岸域全体が侵食傾向にあったため, 1991年から2004年までに段階的に建設されたものである. 潜堤の施工が完了した後の2005年~2010年の5月~8月の期間における潜堤周辺のウミガメの上陸位置

表 3.7 ウミガメの繁殖活動ステージ

ステージ分類	対象	要素
上陸ステージ	親ガメ	<ul style="list-style-type: none"> <海中の環境>：砂浜への上陸の可否 ・沖合構造物（潜堤・離岸堤）が上陸に及ぼす影響 ・流れ場の影響（未実施）
産卵ステージ		<ul style="list-style-type: none"> <産卵場としての砂浜の環境>：産卵の可否 ・産卵に好適な砂浜環境（標高，勾配，砂浜幅，植生帯など） ・砂の掘りやすさ（未実施）
ふ化・脱出ステージ	卵 ふ化幼体	<ul style="list-style-type: none"> <砂中の温熱環境>：ふ化・脱出の可否 ・良好なふ卵環境（砂中温度） ・脱出のしやすさ（未実施）

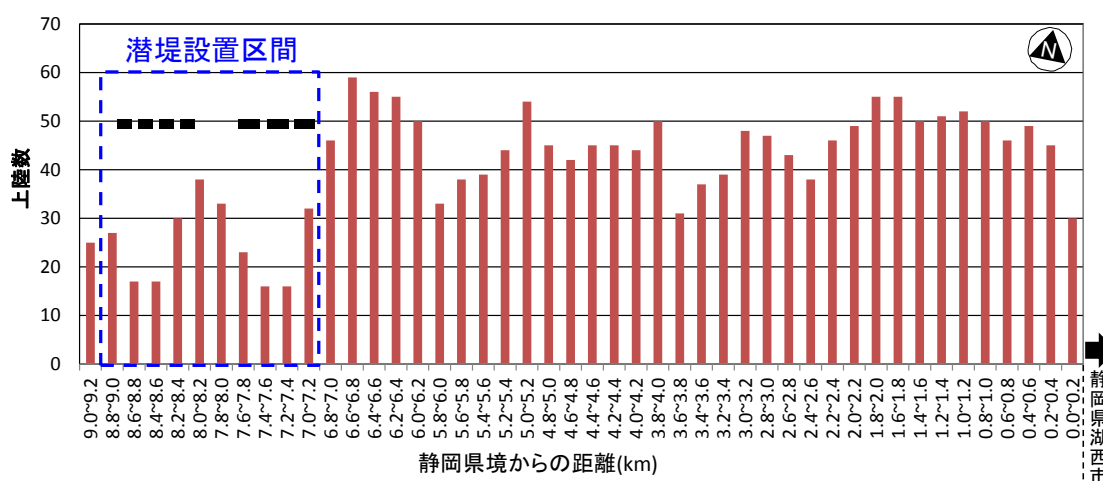


図 3.14 豊橋市におけるウミガメの上陸位置（1993～2013）

を航空写真上にプロットした（図 3.15）。なお，航空写真は愛知県から提供を受けた。上陸位置座標は GPS により取得し，その精度は 10m 未満である。2005 年～2007 年は NPO 法人表浜ネットワークが取得したデータを，2008 年は著者および NPO 法人表浜ネットワークが取得したデータを用いた。上陸数は，潜堤の設置されていない区間の砂浜で多く，潜堤の正面にあたる砂浜では少なくなる傾向がみられた。さらに，潜堤群（3 基）と潜堤群（4 基）の間では上陸密度がやや高くなる傾向がみられた。ウミガメは，潜堤間（50m，70m）を通過するよりも，より広い潜堤群間（470m）を接岸ルートに利用したと推察される。

当該域における潜堤の施工が完了した 2005 年以降で，2013 年までの潜堤周辺における 100m ごとの平均上陸数を図 3.16 に示す。同図からは，東部の潜堤群正面

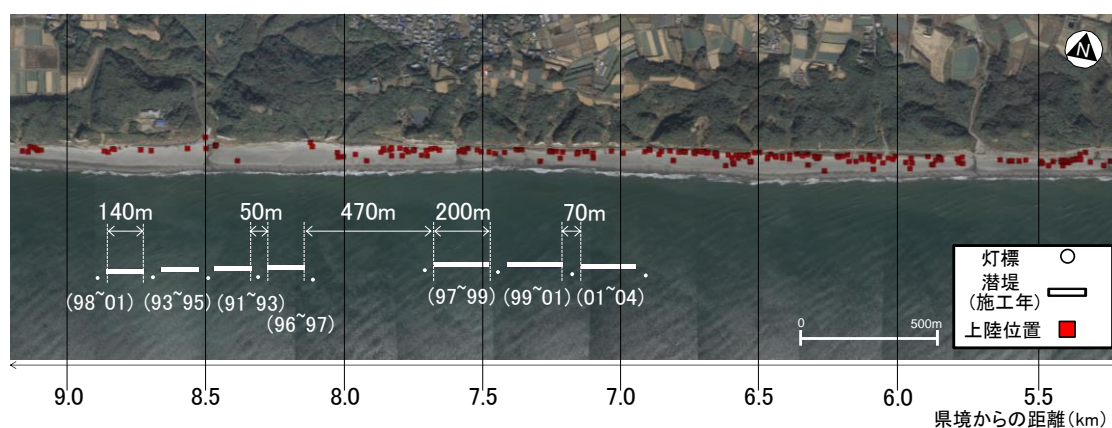


図 3.15 潜堤周辺のウミガメの上陸位置 (2005~2010)

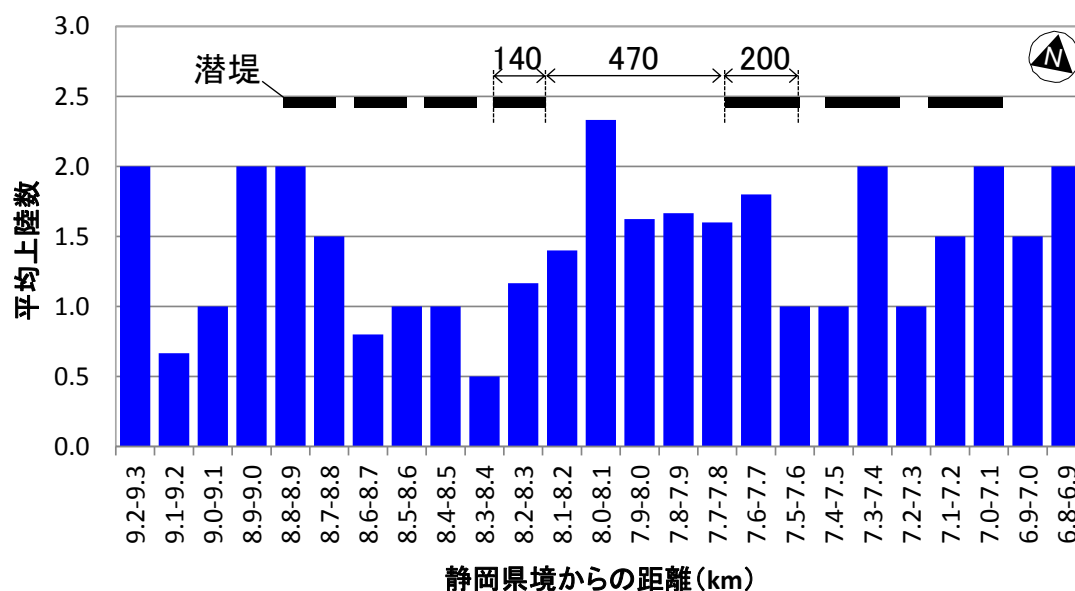


図 3.16 潜堤周辺のウミガメの平均上陸数 (2005~2013)

より、西部の潜堤群正面の方が、平均上陸数が少ないことが分かる。潜堤間距離の差 (50m, 70m) が影響していると考えられる。

次に、潜堤が設置されているエリアと設置されていないエリアとにおいて統計的に有意な差があるかを検定した。調査対象区間 (9.2km) の潜堤は2004年に施工が完了していることから、潜堤施工完了後の2005年~2013年までの9年間の上陸数を用いた。潜堤の影響が及んでいないと考えられる0.0km~6.5km地点における500mごとの上陸数に差があるかについてノンパラメトリックな検定手法である

Kruskal Wallis 検定により分析した。Kruskal Wallis 検定は対応のない3つ以上のグループがある場合、データのどこかに差があるかについて検定する手法である。まず、すべてのデータを小さいものから1番→2番→……→ n 番と順位付けする。この順位をグループごとに積算して R_i を求め、式(3.8)より統計量を算出する。ただし、同順位がある場合は式(3.9)により、 H を修正し、 H' とする(式3.10)。ここで、 n =データの総数、 k =群数、 m は同順位の組の個数、 t_j は各同順位の個数である。確率を求める際、条件によって求め方は異なる。 $k=3$ かつ $n \leq 17$ の場合はKruskal-Wallis 検定表から求める。それ以外の条件の場合は H または H' は近似的に自由度 $df = k - 1$ の χ^2 分布に従うので χ^2 分布表を用いる。

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1) \quad (3.8)$$

$$C = 1 - \frac{\sum_{j=1}^m (t_j^3 - t_j)}{n(n^2+1)} \quad (3.9)$$

$$H' = \frac{H}{C} \quad (3.10)$$

分析の結果、 $n=9$ 、 $k=17$ 、 χ^2 値8.44、であり、 χ^2 分布表より $\chi^2 \leq 26.30$ ($p=0.05$)となった。従って、潜堤未設置区間においてはどの地点においても上陸数に統計的な有意差がないことが明らかとなった。次に、潜堤設置エリア(AおよびB)と潜堤未設置エリア(CおよびD)に基準点を設け(図3.17および表3.8)、基準点から東西500mの範囲におけるウミガメの上陸数を図3.18に示した。各エリアにおける9年間の平均上陸数は潜堤設置エリアのAで2.4回、Bで3.6回、潜堤未設置エリアのCで9.4回、Dで7.4回と潜堤の設置されているエリアでは平均上陸回数が半数未満となった。潜堤設置区間の正面の砂浜は潜堤の影響を受けない砂浜より上陸回数が少なくなる傾向がみられた。これらの上陸数の差に統計的な有意差があるかをノンパラメトリックな統計手法であるSteel-Dwass法を用いて分析した。Steel-Dwass法はグループ間ですべての対比較を検定する手法である。まず、すべてのグループに対して i と j の組み合わせを作る。次に、第 i グループと第 j グループを併せてデータを小さいものから1番→2番→……→ n 番と順位付けする。次に、第 i グループの第 k 番目のデータの順位を r_{ik} とし、第 i グループの順位和 $R_{ij} = r_{i1} + r_{i2} +$

… + r_{in} とする。両グループの標本数を n_i , n_j ($N_{ij} = n_i + n_j$)とする。式 (3.11) より期待値 $E(R_{ik})$ と、式 (3.12) より分散 $V(R_{ik})$ をそれぞれ計算する。これらから検定統計量 t_{ij} (式 3.13) を算出する。 t_{ij} よりスチューデント化された q 分布表より p 値を求める。

$$E(R_{ij}) = \frac{n_i(N_{ij}+1)}{2} \quad (3.11)$$

$$V(R_{ij}) = \frac{n_i n_j}{n_{ij}(n_{ij}-1)} \left\{ \sum_{k=1}^{n_i} r_i^2 k + \sum_{k=1}^{n_j} r_j^2 k - \frac{N_{ij}(N_{ij}+1)^2}{4} \right\} \quad (3.12)$$

$$t_{ij} = \frac{R_{ij} - E(R_{ij})}{\sqrt{V(R_{ij})}} \quad (3.13)$$

分析の結果を表 3.9 に示した。その結果、エリア A とエリア C の間には上陸数に有意な差があることが明らかとなり、潜堤がウミガメの上陸に何らかの影響を与えていると推察される。

離岸堤と比較して潜堤は天端が水面下にあることから、ウミガメの接岸に及ぼす影響は少ないものの、干潮時には潜堤の天端が露出すること等が影響していると考えられる。松沢 (2012) は、現地調査の結果から、干満差が 1.2m~1.5m とそれほど大きくない日本の太平洋沿岸の砂浜では、満潮に合わせた上陸はないと推測しており、潜堤の影響はウミガメが上陸を試みたタイミング (満潮時・干潮時) にも左右されると考えられ、接岸時のウミガメの遊泳行動について、水面付近もしくは海底付近のどちらを利用する傾向があるのかを調査・分析する必要がある。また、潜堤群 (4 基) と潜堤群 (3 基) の間では上陸がやや集中する傾向がみられた。これは干潮時など潜堤の天端が海面に出ている際は、潜堤正面の砂浜には上陸ができないことから、迂回して上陸した先が、潜堤群間であったと考えられる。また、潜堤間距離が 50m のエリア A は、潜堤間距離が 70m のエリア B と比較してより上陸数が少ないことが分かる。高瀬 (2012) は、当該域の潜堤の配置・延長について、汀線距離 60m 以上を維持し、かつ、産卵時の好適な砂粒子粒径 (0.2~2mm) を確保しながら潜堤間距離の拡幅を目的とした波浪変形と 1-line モデルによる汀線変化のシミュレーション計算を行った。潜堤が 4 基編成 (エリア A) の場合、潜堤延長 90~95m、潜堤間距離 115m が最も侵食対策とウミガメの上陸・産卵に配慮した状態

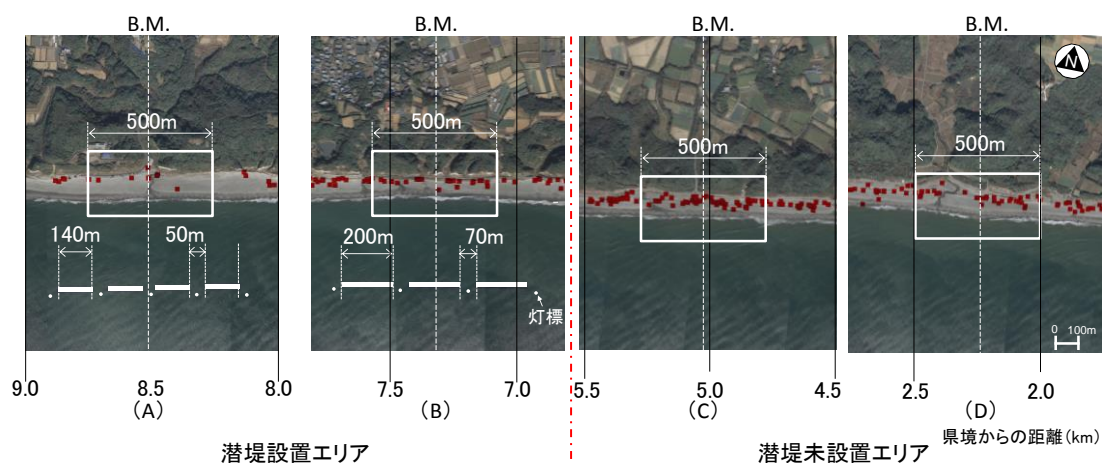


図 3.17 潜堤設置エリア (A, B) と未設置エリア (C, D)

表 3.8 エリア概要

エリア	県境からの距離	場所 (地先名)	備考	
潜堤設置	A	8.2km～8.7km	高塚町～伊古部町	潜堤 4 基
	B	7.1km～7.6km	高塚町	潜堤 3 基
潜堤未設置	C	4.9km～5.4km	寺沢町～東七根町	
	D	2.0km～2.5km	細谷町～小島町	

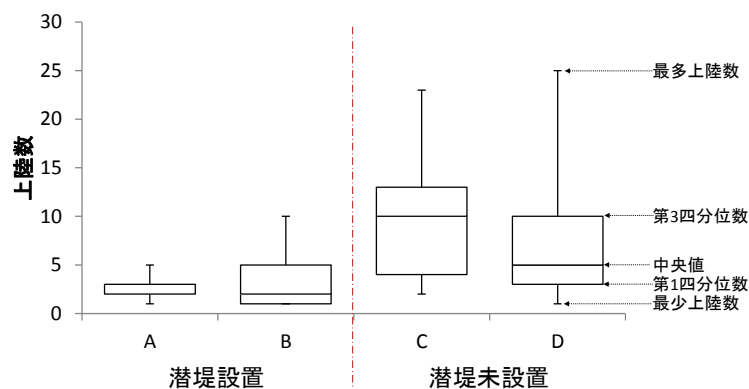


図 3.18 各エリア (500m 区間) の上陸数 (2005-2013)

であると結論づけた。潜堤間距離をエリア C の 70m より拡幅することで、上陸数の回復が見込まれる。潜堤が及ぼす上陸への影響は当該地のような開放的な砂浜であれば、ウミガメは上陸阻害となる海岸構造物を迂回することで回避が可能である。しかし、小規模なポケットビーチなどに潜堤が設置された場合は、ウミガメの上陸場所が制限され、過剰に産卵が集中するなどの影響が懸念される。

表 3.9 地点ごとの統計量

エリア 1	エリア 2	期待値 E	分散 V	統計量 t_{ij}	判定
A	B	85.5	120.7	0.41	
A	C	85.5	125.1	2.77	5%有意
A	D	85.5	124.0	1.93	
B	C	85.5	126.8	2.22	
B	D	85.5	125.6	1.29	
C	D	85.5	126.8	0.89	

3.7.2 湖西市域における上陸傾向

湖西市白須賀域における上陸位置を図 3.19 に、ウミガメの上陸回数（産卵＋未産卵）を図 3.20 に示した。データは 2008 年～2011 年および 2013 年の期間のものを用い、愛知県境から湖西市白須賀までの延長 4.5km の海岸を対象に、200m 間隔の上陸数を示した。総上陸数は合計 205 回で、200m ごとの平均上陸回数は 9.2 回であった。区間ごとの上陸回数に統計的な有意差はみられなかった (Kruskal Wallis test, $n=5$, $k=22$, χ^2 値 19.03, であり, χ^2 分布表より $\chi^2 \leq 32.67$ ($p=0.05$))。湖西市白須賀エリアでは潜堤など沖合構造物は設置されていないため、上陸数に有意な差は生じなかったと考えられる。また、国道 1 号線（潮見バイパス）が近接する中央部および東部エリアと静かな環境が保たれている西部エリアにおいても上陸数に大きな差異はなかった。

3.8 上陸後の行動と産卵場の選択（産卵ステージ）

写真 3.1 は砂浜に設置された消波ブロックがウミガメの移動・産卵を阻害した事例である。ウミガメが上陸・産卵した際、砂浜には“タートルトラックと呼ばれる足跡や産卵場所をカモフラージュした痕跡が残る。本節では、環境と調和した砂浜海岸の維持・再生に向けた基礎データの収集・蓄積を目的に、このタートルトラックやカモフラージュ等の痕跡を手がかりとして、人工構造物を含む沿岸域の環境がウミガメの繁殖活動にどのように作用してきたのかや、砂浜の環境要因と本種が持つ産卵行動特性について考察する。なお、調査項目は Kikukawa ら (1999) や Miller ら (2003) を参考とした。

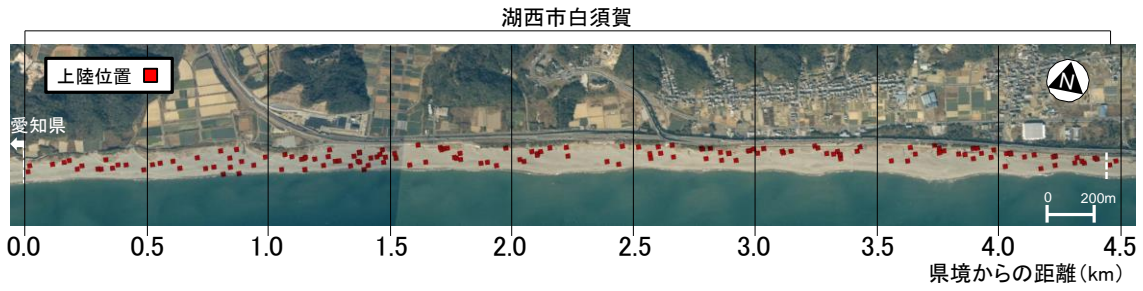


図 3.19 湖西市白須賀におけるウミガメの上陸位置 (2008~2011, 2013)

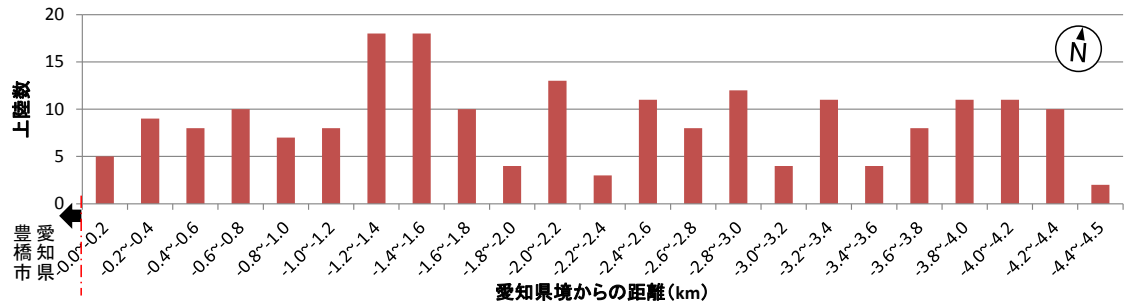


図 3.20 湖西市域におけるウミガメの上陸位置 (2008~2011, 2013)



写真 3.1 ウミガメの移動痕跡「タートルトラック」

3.8.1 上陸後の行動

ウミガメが上陸した際に砂浜に残る足跡“タートルトラック”からはウミガメが産卵を中止した原因、移動距離や選択した産卵場の環境など様々な基礎情報を得ることができる。2008年～2010年に実施した現地調査から豊橋市域に上陸した327例のタートルトラックの挙動を分析し、(a) 通常産卵、(b) 消波ブロックを乗り

越えて産卵（垂直方向に 15cm 程度までの段差であれば乗り越えられる），（c）消波ブロックの前面（海側）で産卵，（d）上陸のみ（未産卵の原因不明），（e）消波ブロックに阻害され産卵を中止，（f）消波ブロックを乗り越えたものの未産卵，の 6 パターンに整理し，分類した．また，湖西市域については，2009 年～2011 年および 2013 年に実施した現地調査において得られた 152 例の挙動を分析した．

図 3.21 は豊橋市域に上陸したウミガメの行動をタートルトラックの挙動から分類したものである．総上陸数 327 例のうち 66%にあたる 217 例が産卵に成功した．産卵個体のうち，ウミガメが乗り越えられる程度（およそ 15cm）に露出した消波ブロックを乗り越えて産卵した個体（b）は 19 例，消波ブロックの影響で浜奥に移動できず，ブロックの前で産卵した個体（c）は 48 例であった．産卵に失敗した 110 例のうち，50%にあたる 55 例が消波ブロックによって移動・産卵を阻害され帰海した個体（e）である．タートルトラックからは産卵を中止した原因が分からない個体（d）が 48 例，消波ブロックを乗り越えたにも関わらず産卵を中止した個体（f）も 7 例確認された．自然の砂浜海岸では浜崖などの障壁が生じることはあるが，上陸後の移動障害は少ない．当該海岸は冬季～春季に堆積傾向に，夏季～秋季に台風などの影響により侵食傾向となる．本海岸にウミガメが産卵に訪れるのは 5 月中旬～8 月下旬頃であり，堆積後の砂浜に産卵していることになる．砂浜に設置された消波ブロックがウミガメの産卵行動に与える影響について調査した事例は少ない．大富ら（2001）は屋久島の永田海岸で護岸域に上陸した 221 例のうち，護岸に接触した個体は 181 例でその産卵成功率が 54.7%であったと報告した．しかし，護岸に接触しなかった個体 40 例のうち，産卵した個体は 14 例であり，その産卵成功率は 35%と，護岸に接触しなかった個体の方が成功率は低かった．大富らはその理由について，「ウミガメが比較的遠方から護岸の存在を認識していた可能性がある」と推測した．本研究における調査結果についても原因不明で未産卵のまま帰海した個体（同図（d））の中に，護岸の存在を遠方から認めて帰海した個体がいるとすれば，護岸の影響は調査結果の数値以上である可能性もある．さらに，露出した消波ブロックの隙間に落下し，抱卵したまま死亡する親ガメも年間 1～2 例程度を確認している（**写真 3.2**）．産卵行動を観察していると，ウミガメは成体になっても 20cm

以上の垂直な段差を乗り越えることができないため、自力での脱出は不可能である。これまでウミガメの性成熟年齢は明らかにされていなかったが、最近の研究で自然界における北太平洋産ウミガメが性成熟するまでには 22～61 年の歳月が必要との報告もあり（石原，2010），成熟したメスの死亡は大きな損失である。この他，産卵巣から脱出したふ化幼体がブロックの隙間に落下するケースもあり，消波ブロックの形状や設置方法への配慮が必要である。

一方，湖西市域では，上陸した 152 例のうち 119 例が産卵し，33 例が未産卵のまま帰海した。未産卵であった 33 例のうち 4 例が砂丘などの自然にできた落差から落下したり，浜崖に移動を阻まれて帰海したりした。その他，29 例の未産卵の原因は不明であるが，人工物などによる帰海（未産卵）と比較して，自然から受ける影響による帰海は少ないと考えられる。

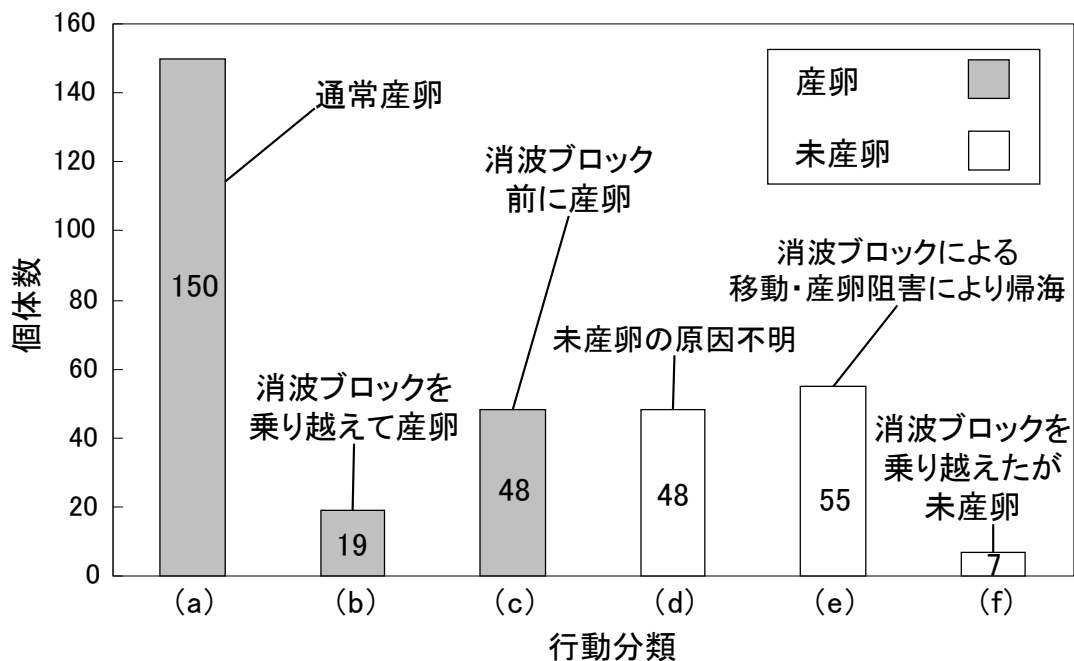


図 3.21 ウミガメの上陸後の行動

図中の (a) ～ (f) は，(a) 通常産卵，(b) 消波ブロックを乗り越えて産卵，(c) 消波ブロックの前面（海側）で産卵，(d) 上陸のみ（未産卵の原因不明），(e) 消波ブロックに阻害され産卵を中止，(f) 消波ブロックを乗り越えたが未産卵，を示す。



写真 3.2 消波ブロックによるウミガメの死亡事例

3.8.2 産卵環境の選定

一般に自然状態では、ウミガメが産卵場所として選定する場所は、周囲にコウボウムギやハマヒルガオなどの海浜植物が生育している後浜と風波の影響で地形変動が激しい前浜との境界付近が多い (Hays・Speakman, 1993 ; Hays ら, 1995) . 前浜に産卵した場合、波により卵が流出・水没する等の恐れがある。一方、後浜では長期間、砂が波に洗浄されないことで有機物が蓄積し、砂中の酸素濃度が低い環境となるため一長一短である。そのため、ウミガメは産卵場決定の要素の1つとして植生帯と前浜の境目付近を選択すると考えられている。ウミガメがどの程度、植生帯を利用しているかを明らかにするために、湖西市域における産卵場所の選定状況について調査した。先述したように、湖西市域では砂浜に消波ブロックが設置されておらず、植生帯に到達するまでの障害は少ない。2009年～2011年および2013年～2014年の5月～8月に湖西市域に産卵したウミガメ(151例)が産卵場所として選択した環境を砂地(50×50cmのコドラートで植被率がおよそ5%未満)、境界部分(植被率5～20%)、植生帯(植被率20%以上)に分類した。なお、植被率は植生の占める面積をコドラート内全体の面積で除したものであり、目視および色域を利用した画像解析によって判定した。

上陸後、移動に障害がない湖西市域に上陸した151例のウミガメが選択した産卵場の環境は49.7%が砂地、29.8%が境界部分、20.5%が植生帯であった。産卵個体の

約半数が植生帯もしくはその境界部分を利用しているという結果が得られた。Karavas ら (2005) が Sekania beach で産卵場所を調査した結果、植生帯の前面 5m の範囲における産卵密度が高いといった報告や、アオウミガメの例ではあるが Wang・Cheng (1999) の調査結果によれば 70%以上の個体が植生帯の前線から岸沖両方向 10m の範囲に産卵したとの報告がある。著者らが実施した湖西市域での調査結果を分析すると、151 例中 93 例 (62%) が植生帯前線の前後 10m の範囲に産卵していた。

3.8.3 上陸後の移動距離と産卵成功率

砂浜海岸の保全計画においては、最初に確保すべき適切な砂浜幅あるいは管理目標とする汀線 (管理汀線距離) が検討される場合が多い (竹内ら, 2008)。砂浜幅や管理汀線距離はこれまで汀線の変動特性やそれに作用する外力など物理的側面から設定されてきた。しかし、生物学的な側面からも管理汀線距離の目標値を設定する必要があると言える。加藤ら (2001) は海浜植物の生育状況から保全すべき砂浜幅について検討しているが、ウミガメが産卵のために必要な砂浜幅について報告した事例は少ない (菅野・大牟田, 2000; 大富ら, 2001)。そこで、ウミガメが産卵するのに好適な砂浜幅を推測するため、上陸後の移動距離を計測した。移動距離の計測は豊橋市域 (産卵 167 例, 未産卵 72 例: 2008 年~2010 年) に上陸した合計 239 例のタートルトラックを対象に、波打ち際から産卵巣までを、未産卵の場合は波打ち際から折り返し地点までを GPS および測量テープを用いてトレースした。なお、台風接近時など高波浪により痕跡の消失が顕著なサンプルは分析から除外した。ウミガメの産卵は通常夜間に行われるが、上陸が集中する時間帯があるのかどうかについては、砂浜ごとの潮位差に因るとされている (Frazer, 1983)。松沢 (2012) は和歌山県みなべ町千里浜での調査結果を踏まえ、「日本の太平洋側では平均潮差は 1.2m~1.5m 程度と比較的小さい。また、概して大陸の浜と比べると砂が粗く、傾斜は急になるため、満潮に併せて上陸することで省くことのできる距離は比較的短い。このようなことを考慮すると日本の砂浜では、千里浜に限らず、どこでも満潮に合わせた上陸はないものと予想される。ただし、地先の発達したリーフが障壁となり満潮時以外はアクセスできないような砂浜においては、この限りではない。」

としている。1.7.3 で述べたように、気象庁が観測したウミガメの産卵シーズンにおける赤羽根漁港での平均潮差は約 1.3m 程度であることから、当該海岸における上陸時間に差はないものとした。次に、砂浜に設置された消波ブロックが上陸後の移動距離に及ぼす影響について比較するため、ブロックの設置されていない湖西市域に 2009 年～2011 年に上陸した 90 例（産卵 75 例，未産卵 15 例）のタートルトラックについても同様に計測した。なお、距離計測の始点となる波打ち際の位置は潮汐の影響を受け変動するが、調査時間は 3 年間ほぼ同刻であり、潮汐の影響は平均化されたものと仮定した。また、移動距離の計測と同時に図 3.22 に示すように、湖西市域に上陸した 90 例のうちの産卵個体 75 例について、波打ち際から産卵巣までの砂浜勾配をスラントルールで 5m ごとに計測し、平均岸沖勾配を記録した。なお、台風接近時など高波浪によりタートルトラックの消失が顕著なサンプルは分析から除外した。

上陸後の移動距離

図 3.23 は豊橋市域および湖西市域に上陸したウミガメの上陸後の移動距離を 5m ごとに分級して示したものである。同図より移動距離が 20m 未満については記録が少なく、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傾向がみられる。豊橋市域では 40～45m でピークを示し、産卵個体の平均移動距離は $42.6 \pm 15.4\text{m}$ (Mean \pm SD) ($n = 167$: n はサンプル数)，最長 98m，最短 10m である。未産卵個体の平均移動距離は $36.1 \pm 15.5\text{m}$ ($n = 72$)，最長 91m，最短 7m であった。

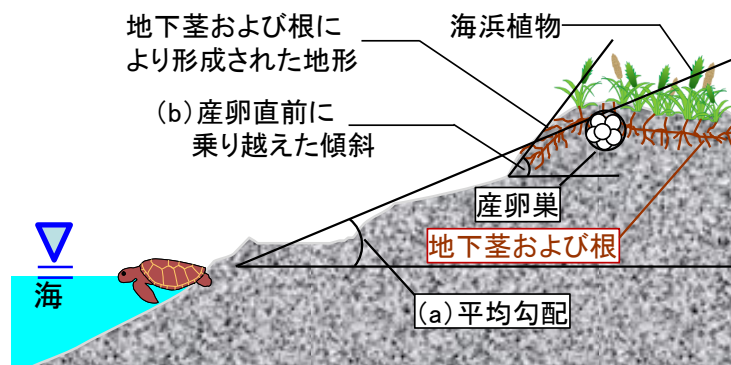


図 3.22 砂浜の平均勾配と産卵直前の勾配

一方、湖西市域では 55～60m でピークを示し、産卵個体の平均移動距離は $55.4 \pm 20.7\text{m}$ ($n = 75$)、未産卵個体の平均移動距離は $34.5 \pm 24.4\text{m}$ ($n = 15$) であり、豊橋、湖西両地域間の産卵個体の平均移動距離には約 13m の差があった。

砂浜の岸沖勾配が移動距離に及ぼす影響

砂浜の岸沖勾配が移動距離に及ぼす影響について調べるため、湖西市域に産卵した 75 例のタートルトラックをトレースした結果、砂浜の岸沖勾配の平均値は $3.8 \pm 2.2\%$ であった。この平均値を境にウミガメが上陸した砂浜の岸沖勾配と移動距離の関係を整理した。その結果、岸沖勾配が 3.8% 以上の砂浜に産卵した個体の平均移動距離は $54.5 \pm 19.1\text{m}$ ($n = 37$) であった。一方、3.8% 未満の砂浜に産卵した個体の平均移動距離は $56.3 \pm 22.4\text{m}$ ($n = 38$) で有意な差はなかった。図 3.24 は上述した 75 例のタートルトラックの岸沖勾配の計測結果をさらに詳細に分析したものである。(a) はウミガメの上陸した砂浜の産卵巣までの平均勾配、(b) は産卵巣を掘る直前にウミガメが乗り越えた傾斜の平均勾配をそれぞれ示している。同図より、ウミガメは産卵巣を掘る直前に、平均勾配 (3.8%) の 2 倍以上の勾配 (9.3%) を越えていることが分かる。さらに、3.8.2 で述べた海浜植生が産卵に及ぼした影響を除去するため、砂地を産卵場として選択した 44 例のみについて岸沖勾配と移動距離の関係を分析した (図 3.25)。同図から、平均勾配と移動距離の間には明瞭な対応関係はないが弱い負の相関があることが分かる (Spearman の順位相関係数 $r_s = -0.26$, $p < 0.10$ (p :危険率))。これらの結果、平均勾配が移動距離や産卵場の選択に及ぼす影響は海浜植生やそれに起因する地形変化と比較して小さいが影響がないとは言えない。

3.8.4 砂浜幅とウミガメの産卵成功率

砂浜幅とウミガメの産卵成功率の関係について調べた。砂浜幅は、豊橋市域に設置した 3 測線 (a) 高塚町、(b) 寺沢町、(c) 細谷町地先の海岸 : 図 1.2) の、1999 年から 2013 年までの期間におけるレベル測定の結果を用いた。なお、ここでの砂浜幅は、ウミガメの産卵シーズンに当たる 5 月～8 月における朔望平均満潮位

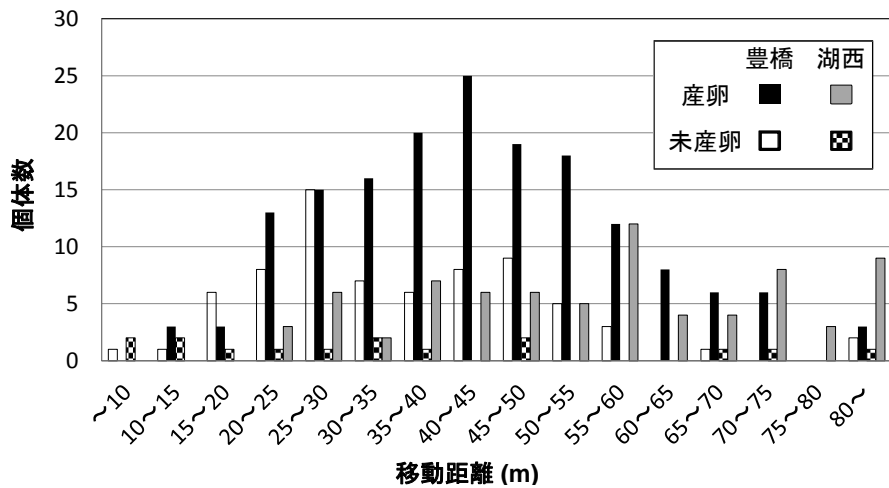


図 3.23 ウミガメの上陸後の移動距離

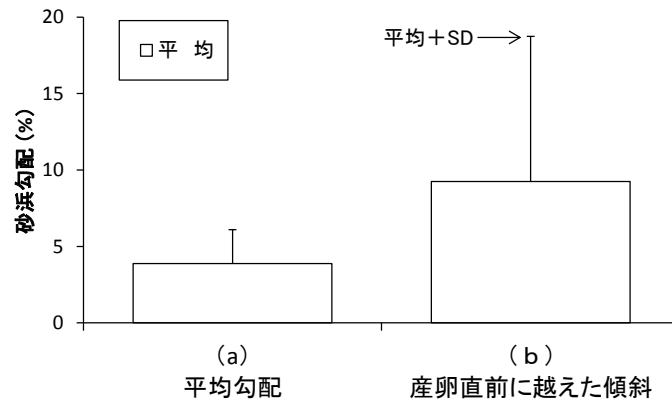


図 3.24 波打ち際から産卵場までの平均勾配および産卵場直前の勾配の平均値

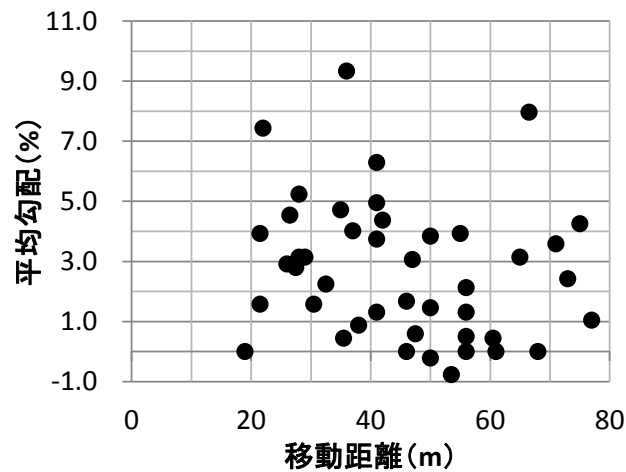


図 3.25 移動距離と平均勾配の関係 (産卵場に砂地を選択したケースのみ)

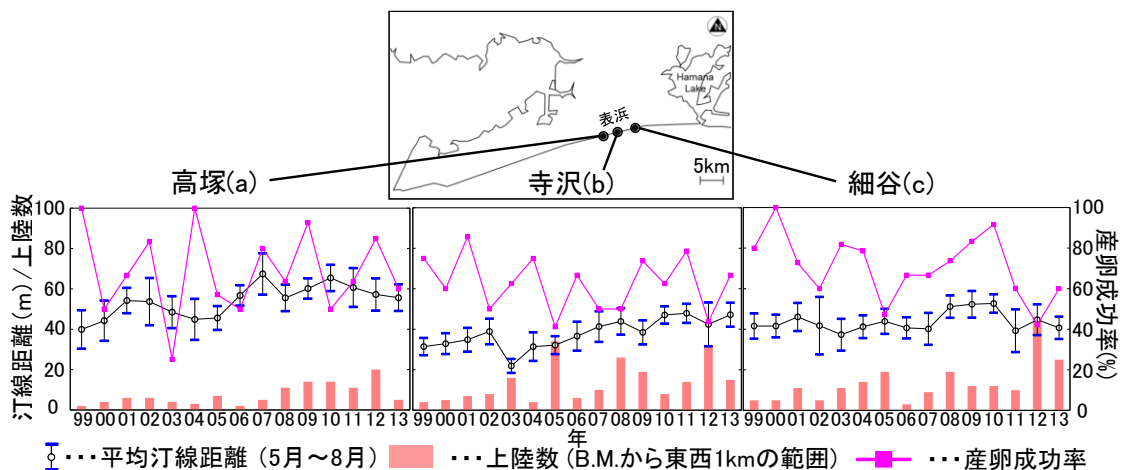


図 3.26 平均汀線距離と産卵成功率の関係

(T.P.+0.88m, 以下 H.W.L.とする) からウミガメが遡上移動可能な地点までの平均距離と定義した。ウミガメの産卵成功率は 1999 年～2013 年の調査結果において、各測線から東西 1km の範囲に上陸したウミガメのうち、産卵した個体数の割合から求めた。図 3.26 は (a) 高塚町、(b) 寺沢町、(c) 細谷町地先の海岸における 5 月～8 月の砂浜幅とウミガメの産卵成功率の関係を示したものである。年平均汀線距離は高塚町で 39.9m～67.4m(平均 53.6m)、寺沢町では 21.9m～47.9m(平均 37.9m)、細谷町では 37.3m～52.7m(平均 43.3m) の範囲でそれぞれ増減を繰り返し、3 地点とも汀線距離は緩やかに前進傾向にある。一方、産卵成功率は高塚 25.0%～100.0% (平均 70.2%)、寺沢 41.0%～86.0% (平均 57.2%)、細谷町 42.0%～100.0% (平均 64.4%) の範囲で増減し、長期的には減少傾向にあることが分かる。

3.8.5 産卵に好適な砂浜幅と海浜環境

産卵に好適な砂浜幅

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 例のウミガメ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」としている。つまり、ウミガメは海からの上陸が容易な砂浜を選択し、上陸した後に産卵するかしないかを決定していると推察される。1981

年に屋久島のいなか浜で菅野・大牟田（2000）がウミガメの産卵個体の移動距離を調査した結果、平均移動距離は 39.2m ($n = 60$)、最長 82.0m、最短 13.4m であった。宮崎市教育委員会（1980）の調査結果には 86.4 ± 26.6 m（サンプル数不明）という記録がある。これらの結果から、平均移動距離には護岸等の直接的な移動障害や海浜地形が影響していると考えられる。

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、傾斜が大きければ、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。砂浜の岸沖勾配が移動距離に及ぼす影響として、菅野・大牟田（2000）の屋久島での調査結果によれば、ウミガメは、なだらかな浜と傾斜の急な砂浜にそれぞれ上陸産卵した場合、前者ではおよそ 51m 程度を前進し、後者ではおよそ 24m であった、と報告している。

3.8.3 で示したように、平均勾配より緩やかな砂浜に産卵したグループは急な勾配の砂浜に産卵したグループと比較して平均 1.8m 長い距離を移動した程度であり、その差は僅かであった。移動距離に差が生じるには、砂浜勾配に顕著な差がある場合と考えられる。

ウミガメの産卵に好適な砂浜幅は、砂浜の岸沖勾配や海浜植物の有無などにも左右されるが上陸後の移動距離の調査結果（**図 3.23**）からおよそ満潮位から 40m 以上が必要と推測される。このことは、砂浜の侵食・堆積が直接的に影響する可能性が高いことを示唆している。砂浜幅はウミガメの産卵における重要な環境条件（Kikukawa, 1999 ; Antonios ら, 2006）であるが、ある一定の砂浜幅が確保されている場合は、人工構造物、海浜植生、砂浜の岸沖勾配、人為的な海岸利用などの他の影響が大きいと考えられる。

海浜植生と産卵環境

渡辺ら（2002）は蒲生田海岸におけるウミガメの産卵巣の分布調査から、浜幅よりも標高の重要性を指摘し、「ウミガメが「ふ化可能な標高範囲」を産卵場所の探索時に推定できるとは考えにくいものの、地形や波浪、海浜材料などから間接的に推定している可能性がある。」と述べていることから、急な勾配を乗り越えることが産卵を促すトリガーになっている可能性がある。海浜植物は砂を抱え込むよう

に根付くため、砂浜に多様な地形と環境が形成される。田水（1993）はウミガメが産卵場の選定（定位）の際に砂浜の勾配の変化が関与している可能性について述べている。植生帯や砂浜の境界部分は植生の地下茎や根によって地形変化が生じる場であり、複合的に植生帯や砂地との境界部分が産卵場として選定されていると考えられる。海岸堤防の設置による植生帯の分断がウミガメの上陸頭数を激減させた事例もあり（渡辺ら，2001），砂浜の保全は海浜植生とセットで考える必要がある。

3.9 ふ化および帰海に及ぼす砂浜環境（ふ化・脱出ステージ）

ウミガメ類などの爬虫類は、ふ化途中に卵が経験する温度によって性別が決まるという特殊な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雌に、それ以下の場合には雄になることが分かっている（Mrosovsky, 1980；Matsuzawa ら，2002）。これまでのところ生まれたばかりのふ化幼体の性別を外部形態から判別することは不可能で、信頼できる判別方法は胚生殖腺組織の精査が必要となる。しかし、ふ化幼体を殺すことになるので有用とは言えない（Mrosovsky・Yntema, 1980）。最近では内視鏡による生殖腺等の形態観察から性判別をする手法も開発されつつあり、ホルマリンで固定されたサンプルにも適用可能とされているが、一般的であるとは言い難い（Wyneken ら，2007；Simona・Wyneken, 2008）。ウミガメ類の成熟には数十年を要し（石原，2011），保全対策を講じる場合は早期に手を打つ必要がある。このような状況のため、砂浜における砂中温度のモニタリングは、ふ化幼体の性比やふ化・脱出状況を推測するための手段として重要な意味を持つ。

我が国において、ウミガメの上陸・産卵を取り扱った事例は数多く、例えば加藤・鳥居（2002）によって整理されている。それと比較し、ふ化をテーマとした研究事例はMatsuzawa ら（2002）や渡辺ら（2003）によるものがあるが、その事例数は限られている。今後、海岸事業において自然再生をテーマとした取組が実施される際、適切な砂浜環境の保全・再生には、対象とする動植物に関する知見が不可欠であり、それらの情報を詳細設計にフィードバックする必要がある。ウミガメの性決定やふ

化・脱出率は産卵巣内の砂中温度に左右されることから、本節では、表浜におけるウミガメの繁殖調査データを基に、砂中温度とふ化幼体が巣穴から脱出するまでの日数やふ化・脱出率との関係を明らかにする。

3.9.1 ウミガメの産卵巣（卵室）の深度分布

砂中温度は砂表面からの深度に依存する。ウミガメは砂浜に穴を掘って産卵するため、産卵巣内の温度環境調査には、その深度の把握が必要となる。2007年～2012年に湖西市白須賀（**図 3.27**）に産卵された234例の産卵巣のうち100例（全体の42.7%）について地表から卵室までの深度を計測した。計測方法は以下の通りである。ウミガメの産卵巣の形状（**図 3.28**）は入口が狭く、中は広い壺型で、砂表面から掘り進んだ先に卵がある。ここが卵室である。ウミガメが産卵後に埋め戻し終わった産卵巣を元の形状を崩さないように素手で掘る。その後、巣穴入口を跨ぐ形で砂表面に棒を渡し基準面とする。そこから垂直方向に卵室の上面までをメジャーにて計測した後、卵を全て取り出し、その個数を計測する。最後に底面深度を計測する。作業は転卵による胚発生の停止を避けるため産卵後12時間以内に実施した（田中，2007）。**表 3.10**に卵室の深度について、既往の松沢ら（1995）およびHoughton・Hays（2001）の結果と併せて示した。湖西市域における産卵巣の卵室上面の平均深度は33.4cm（最小10，最大53），底面52.2cm（最小35，最大67）で、上面と底面の平均値から求めた卵室厚は平均18.8cm，中心部の平均深度は42.8cmであった。**図 3.29**に産卵巣の深度分布を示す。卵室上面と底面深度には高い相関（Spearmanの順位相関係数 $r_s = 0.64$ ， $p < 0.01$ ）（ p ：危険率）があり、これは深度によらず卵室の「厚さ」が比較的均一であることを示している。一度の産卵で産まれる卵の数（卵塊サイズ）は 115.5 ± 21.8 個（Mean \pm SD）で、卵室厚と卵塊サイズには弱い相関があるものの明瞭な対応関係はみられなかった（Spearmanの順位相関係数 $r_s = 0.36$ ， $p < 0.01$ ）（ p ：危険率）。

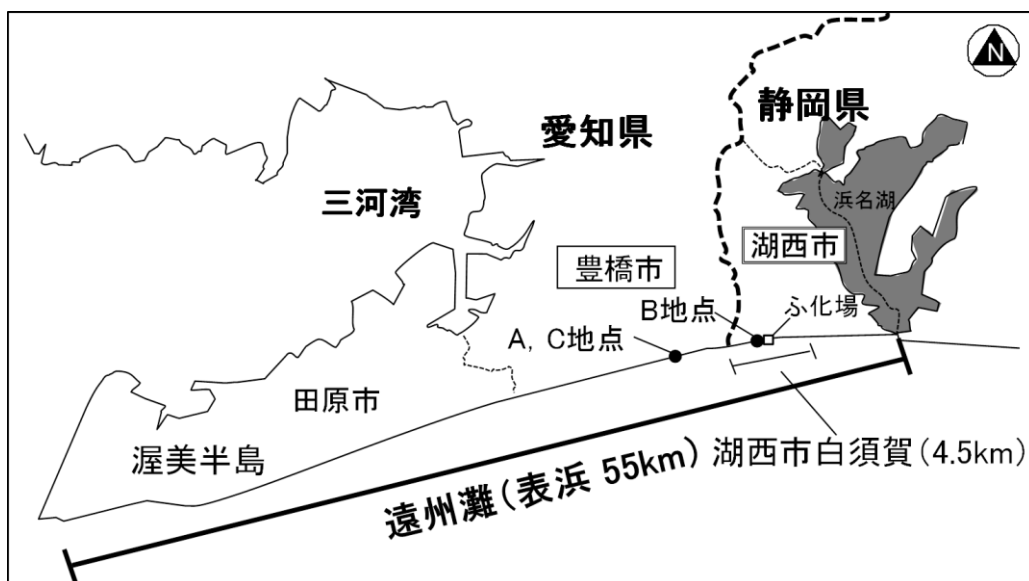


図 3.27 調査対象地点

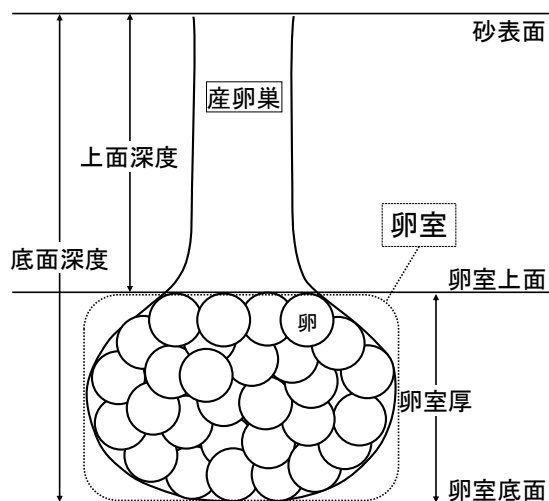


図 3.28 産卵巣の模式図

表 3.10 卵室の深度 (既往の結果との比較)

	場所	上面 (cm)	中心部 (cm)	底面 (cm)	卵室厚 (cm)
松沢ら(1995) $n = 82$	みなべ町 (千里浜)	31.6	43.0	54.4	22.8
Houghton & Hays (2001) $n = 33$	Greek (Kefalonia)	—	—	50.9	—
湖西市域 $n = 100$	湖西市(表浜)	33.4	42.8	52.2	18.8

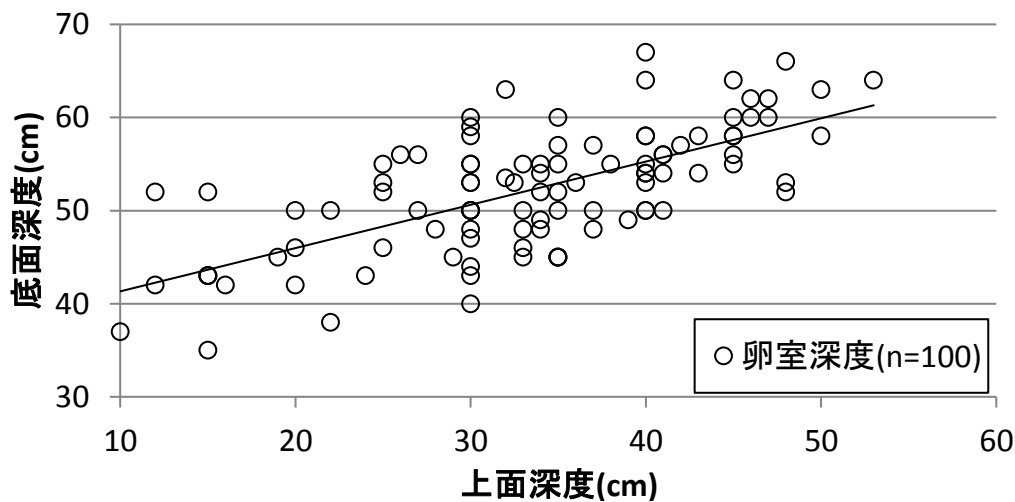


図 3.29 卵室上面および底面の深度分布

3.9.2 砂中温度の計測

2008年～2010年の3カ年、親ガメが産卵に訪れる5月中旬からふ化幼体の脱出が終息する10月下旬までの期間、インターバル1時間で砂中温度を計測した。計測には温度データロガーStowaway TidbiT v2(Onset社製:精度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$, 分解能 0.02°C)を用いた。データロガーの設置深度は卵室中心部の平均深度である40cmとした。2009年は深度20cmと60cmの温度についても計測した。温度ロガーの設置地点は、2008年および2009年は豊橋市小島町地先の海岸(以下、A地点、H.W.L.から約48m陸側)、2010年は湖西市白須賀地先の海岸(以下、B地点、H.W.L.からの距離は未計測)であり(図3.27)、両地点ともコウボウムギなどの海浜植物がまばらに生え、静穏時は波が遡上しない砂丘に位置する。深度40cmにおける温度データの計測期間および取得データ数を表3.11に示す。なお、2009年8月18日～9月2日は欠測のため、別地点の同一深度にて得られたデータにて代替した。データの代替については、A地点における6月14日～8月17日までの平均砂中温度は 27.1°C 、代替地点は 26.2°C で 0.9°C の差がある程度であったため、代替データの使用は妥当であると判断した。砂浜は風波の影響で地形が経時的に変化し、設置深度が変化すると推測されるため、2008年5月～10月にかけてA地点にて断面測量を週約1回の頻度で実施した。計測の結果、A地点の平均標高は $3.63 \pm 0.02\text{m}$ (Mean \pm SD)であ

った。B地点の標高は約3.3mでA地点のような連続的な測量は実施していないが、地形変化はほとんどみられなかった。

鉛直方向における砂中温度の日周変動の典型例を図 3.30 に示した。深度ごとの平均砂中温度は深度 20cm で 30.7℃、40cm で 29.3℃、60cm では 28.2℃で、図からも明らかなように気温のような大きな変動はなかった。砂中温度は深度が深いほど上層よりもピーク（図中▼）は遅れて表れ、その変化量も僅かであった。図 3.31 に卵室の上面近くの深度 20cm と同底面近くの 60cm の砂中温度差を示す。両者の温度差は平均 0.6℃、最大 8.1℃と卵室内は多様な温熱環境を有していることが分かる。図 3.32 に 2008 年～2010 年の 5 月～8 月における砂中温度の時系列変化および湖西市白須賀（延長 4.5km）のウミガメの産卵回数（3 日間分ごと）を示した。同図より、深度 40cm における最高砂中温度（図中▼）は 2008 年において 31.6℃（7 月 28 日午前 0 時に観測）、2009 年は 31.2℃（8 月 18 日午前 1 時）、2010 年は 32.4℃（9 月 1 日午後 3 時および 9 月 2 日午前 2 時）であった。なお、図中には、ウミガメにとって好適なふ卵温度の範囲（25℃以上 34℃未満：Yntema・Mrosovsky, 1980；松沢, 1998）も併せて示した。ところどころにみられる急激な温度低下は主に降雨による影響である。2010 年は 8 月～9 月にかけて高い砂中温度が記録された。特に 8 月 18 日～9 月 8 日にかけて 32℃以上の砂中温度は合計 149 時間（最長 18 時間継続）に達した。これはこの期間の総時間数 528 時間の 28.2%を占める。

産卵の最盛期は 6 月下旬から約 1 ヶ月間程度続き、例年 8 月 10 日以降に急速に終息する。この最盛期の開始は深度 40cm における砂中温度が 25℃に到達した頃と重なる。

表 3.11 砂中温度の計測期間と取得データ数

調査年	計測期間	データ数	備考
2008	5/14~10/31	4,105	海側へ 20m の地点にも温度ロガーを設置（C 地点, 3.9.4 にて後述。）
2009	5/14~10/31	4,072	・ 8/18~9/2 : 欠測（代替データ使用） ・ 10/9~10/10 : 欠測
2010	5/26~10/31	3,816	

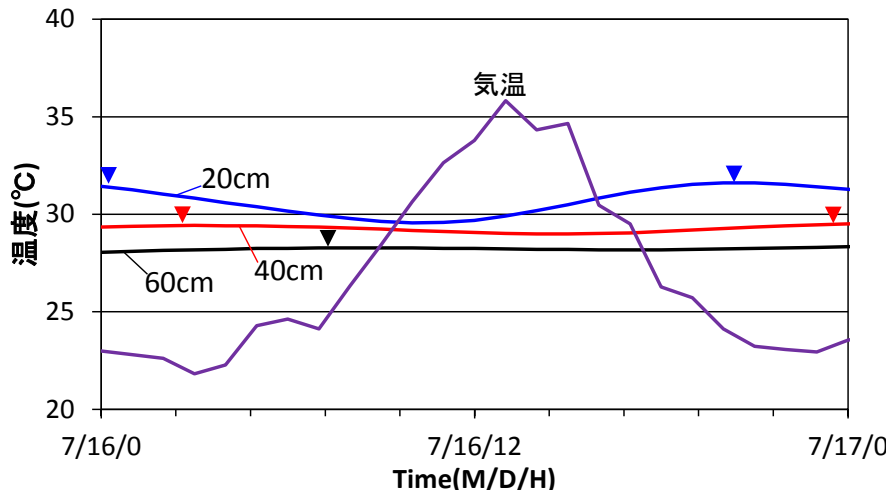


図 3.30 気温と砂中温度の日変動 (2009年7月16日)

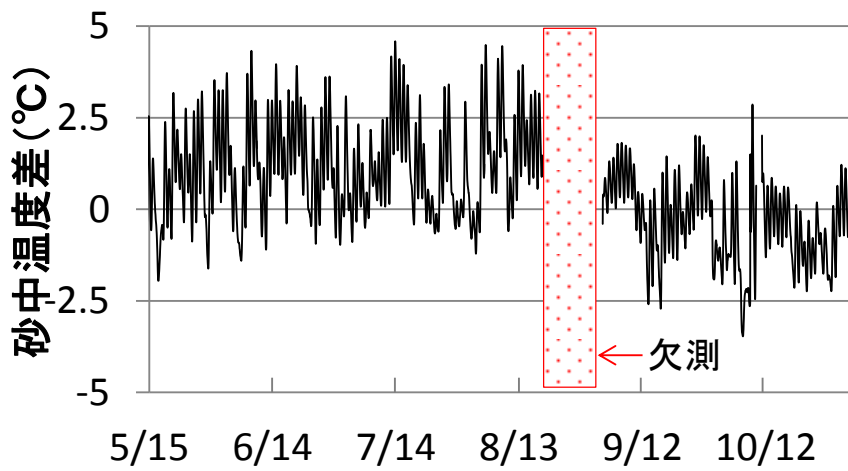


図 3.31 深度60cmと20cmの砂中温度差 (2009年5月~10月)

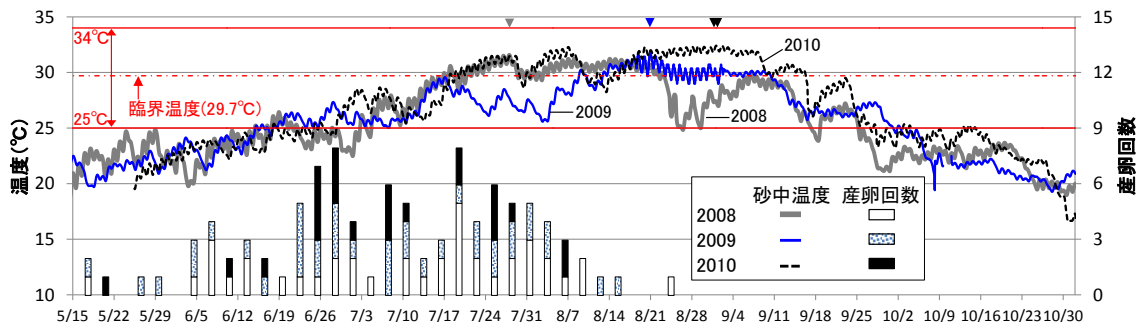


図 3.32 砂中温度 (深度40cm) と産卵回数の経時変化

3.9.3 砂中温度とふ化幼体の脱出

砂中温度とふ化幼体の脱出日数

Matsuzawa ら (2002) は卵が産み落とされてからふ化幼体が巣穴を脱出するまでの期間 (脱出日数) について, 卵塊と同じ深さの砂中温度の日平均から 17.6°C を差し引いた値を産卵日から積算していき, それが 639.8°C に達した頃が脱出の目安となることを報告している. このことは平均砂中温度が高ければ, 脱出日数は短くなることを意味する. 脱出日数にはふ化後, ふ化幼体が巣穴で待機する日数も含んでおり, 産卵巣内での待機日数は 4 日~7 日 (平均 5.4 日, $n=7$ 巣) (Christens, 1990) と言われている. 温度ロガーによって得られた深度 40cm の砂中温度にどの程度の代表性があるかを検証した. 図 3.33 に脱出日数が分かっている卵塊群 (2008 年~2010 年, $n=88$) の脱出日数と有効積算温度 (639.8°C) から推算した脱出日数を比較した. ここで, 「脱出日数」は産卵日からふ化幼体の脱出が最初に確認された日までの期間と定義する. Spearman の順位相関分析では, 実際の脱出日数と有効積算温度による推算脱出日数に有意な正の関係 ($r_s = 0.919$, $p < 0.01$) が示された. しかし, 脱出日数が短期間である場合, 実際の脱出日数の方が短く, 脱出までの日数が長期に渡る場合は実際の脱出日数の方が長い傾向にあった. そこで, 産卵巣を移植したもの (以下, 移植巣) と自然放置したもの (以下, 自然巣) に分けた. 移植は, 獣害を避ける目的や波打ち際や水路 (湧水) の近くに産卵した場合などに, 卵塊をふ化場と呼ばれる特定の場所に移す行為である. 2008 年~2010 年における移植率は全産卵巣 98 巣に対して 71 巣 (72.4%) を占める. なお, 移植巣と自然巣におけるふ化幼体の平均脱出率は前者が 62.5 ± 29.1 ($n=71$), 後者が 72.5 ± 23.0 ($n=27$) で, 移植巣の方が 10% 低かった. 図 3.34 に移植巣と自然巣に分類して, 実際の脱出日数と推算脱出日数の関係を比較した. 移植巣の場合, 実際の脱出日数と推算脱出日数には平均で -1.2 ± 2.5 日の差がある程度で良い一致が示された. 一方, 自然巣 (ただし, 親ガメの後肢が欠損していることなどにより, 卵室の深度が浅い場合は底面深度が 50cm になるまで掘り足した後に卵を戻した) では -3.0 ± 4.9 日と, こちらはややその差が開き, 移植巣と同様に, 実際の脱出日数の方が推算脱出日数よりも短い傾向を示した. 移植先であるふ化場は卵が特定範囲に集約され, 埋設深度も

人為的に画一化されることからふ卵時の温熱環境が似通り、推算日数により近い結果となったと考えられる。なお、ふ化場は露天で標高は 3.8m（温度ロガーの設置標高と同程度）である。一方、自然巣は移植巣と比較して多様な環境下（標高、植生帯、飛砂による地形変化、湿度等）にあるため、推算日数との差が開いたと推測される。前述したように、ウミガメ類は、雌雄比が等しくなる臨界温度（**図 3.32**）（29.7℃：Matsuzawa ら，2002）を境に、それ以上の温度では雌に、それ以下では雄になる（温度依存性決定；Yntema・Mrosovsky，1980）。Hays・Speakman（1993）は、産卵巣の位置が海から離れるほどふ化率は高まること、砂中温度が上昇することを報告している。標高と砂中温度には正の相関があり（渡辺ら，2003），一般的

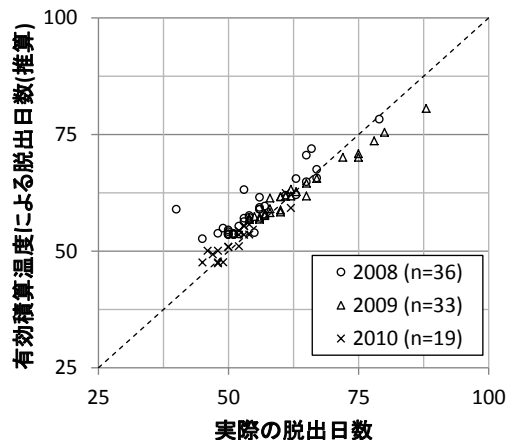


図 3.33 実際の脱出日数と有効積算温度による推算脱出日数

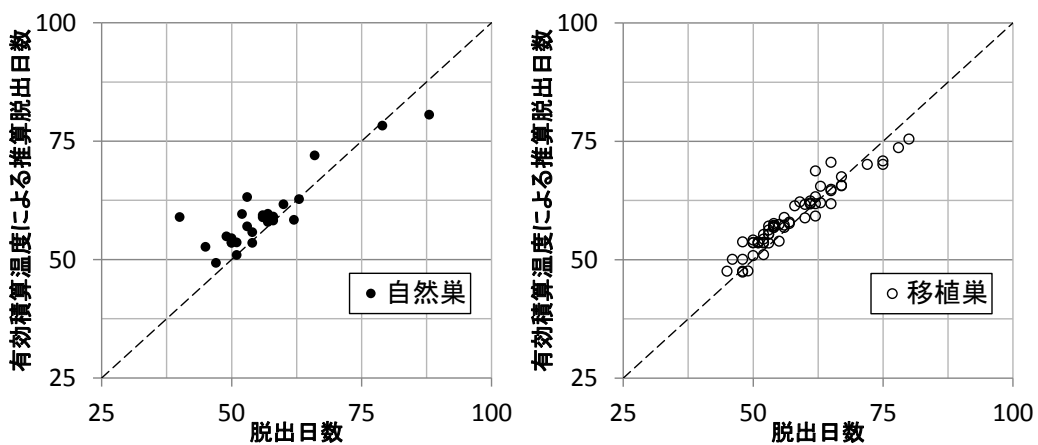


図 3.34 自然巣（左）と移植巣（右）における実際の脱出日数と推算脱出日数

に、ふ化場が小高い砂丘に位置することが多いことを考えると、移植巢の深度が自然巢の平均値程度であれば、移植巢は、自然巢よりも高い砂中温度を経験することになると予測される。たとえふ化率が高まったとしても、性比が雌に偏ると考えられ、ふ化場への集約は卵が経験する温度を画一化し、個体群の性比バランスに影響を与える可能性が高い。

砂中温度とふ化率

ふ卵期間中の平均砂中温度とふ化率の関係を図 3.35 に示した。ここで、ふ化率は 2008 年～2010 年にかけて湖西市で記録された移植巢のデータを、砂中温度は卵塊ごとの産卵日からふ化日(脱出日数から 5 日を差し引いた期間(待機日数を考慮))までの期間の平均値を用いた。なお、「ふ化率」は、ふ化した個体数を総卵数で除したものと定義する。分析に用いたサンプルサイズは合計 60 例で、その内訳は 2008 年 20 例、2009 年 25 例、2010 年 15 例である。平均ふ化率は 2008 年 73.6%、2009 年 70.5%、2010 年 65.5% である。2010 年は高温化の影響と考えられるふ化率の低下がみられた。同年 8 月 18 日～9 月 8 日にかけて砂中温度が高くなり、この間の平均砂中温度は 31.8°C (最高 32.4°C, 最低 30.7°C) であった (図 3.32)。8 月中の平均ふ化率は 72.6% ($n=9$) であったのに対し、9 月は 54.8% ($n=6$) であった。好適なふ卵温度の範囲は 25°C 以上 34°C 未満とされている。深度 40cm は卵室中心部付近であり、同深度で 32°C が記録されたということは、卵室の上層に位置する卵は 32°C 以上の砂中温度に曝されたと考えられる。図 3.36 に移植巢 15 例について、産卵後からふ化までのふ卵期間(脱出日数-5 日間)のうち、32°C 以上の砂中温度に暴露された合計時間とふ化率との関係を示した。産卵巢が経験した 32°C 以上の砂中温度の合計暴露時間は平均 88.5 時間(最短 18 時間, 最長 167 時間)に及んだ。Spearman の順位相関分析では、合計暴露時間が増えるほどふ化率が低下する負の相関が示された ($r_s = -0.60$, $p = 0.02$)。胚が 34°C に達した時点ですぐ死滅するとは考え難いが、暴露時間が短い場合にも、長い場合にもふ化率の低下がみられ、合計暴露時間から単純にふ化率の高低を判断することは難しいと考えられる。そこで、ふ卵期間を初期、中期、後期に等分し、ふ化率と各期間における 32°C 以上の砂中温度に曝された合計時間を比較したのが図 3.37 である。同図より、後期に合計暴露時間が

長時間に及んだ No.10~No.14 の卵塊のふ化率が低くなっていること、中期に暴露時間が長かった No.15 のふ化率が高かったことから後期に長時間高温を経験するとふ化率が低下する可能性が示された。一方、24℃以下の砂中温度を経験した移植巣 ($n=25$) については、合計暴露時間とふ化率の間に相関は見られなかった ($r_s = -0.17, p = 0.432$) (図 3.38)。24℃以下の砂中温度が記録されたのは5月から6月初旬の間および9月下旬以降であった (図 3.32)。産卵シーズン初期に当たる5月~6月に産卵された卵塊は産卵直後に24℃以下の低温に暴露されるものの、ふ卵期間の中期~後期に温度が上昇すれば、ふ化率の大きな低下は避けられるようである。2008年~2010年における24℃以下の温度に暴露された移植巣のうち、暴露時間の長い上位5巣の平均ふ化率は77.4% (平均暴露時間301.2時間) で、2008

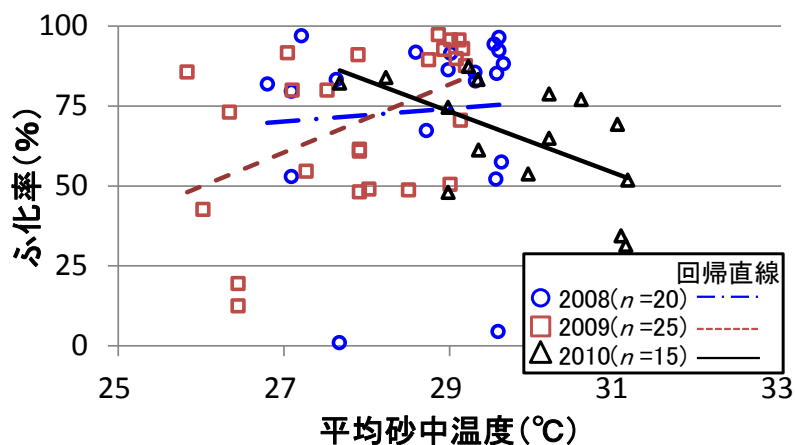


図 3.35 ふ卵期間の平均砂中温度 (深度 40cm) とふ化率

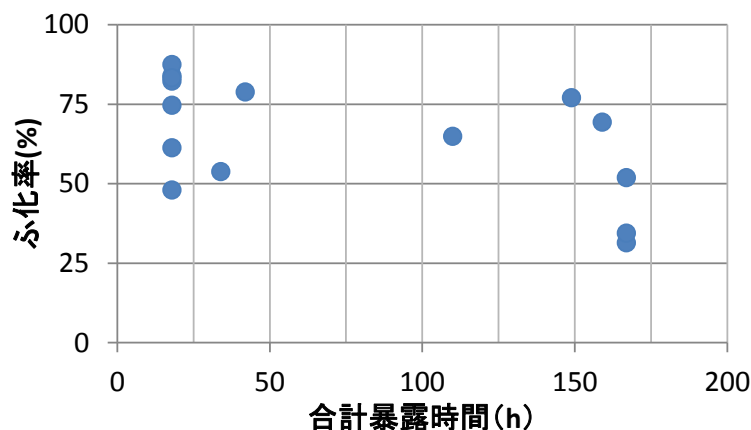


図 3.36 ふ化率と 32 度以上の砂中温度の合計暴露時間

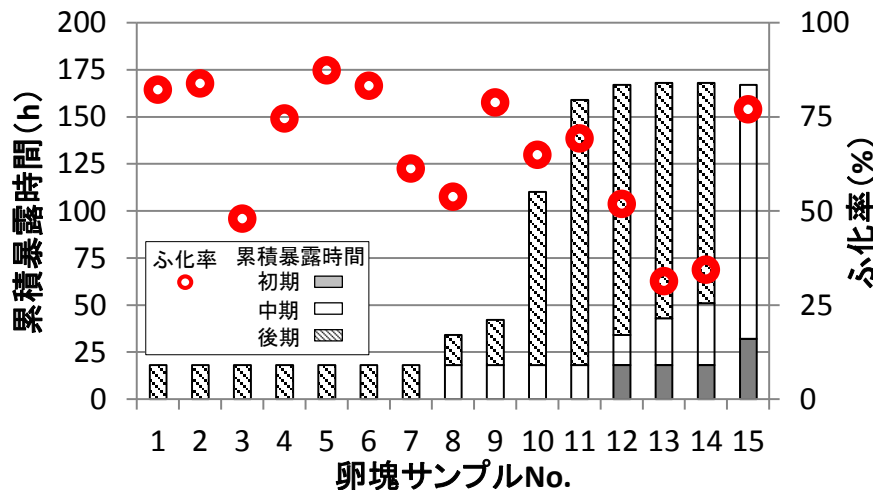


図 3.37 ふ卵段階ごとの 32 度以上の累積暴露時間とふ化率

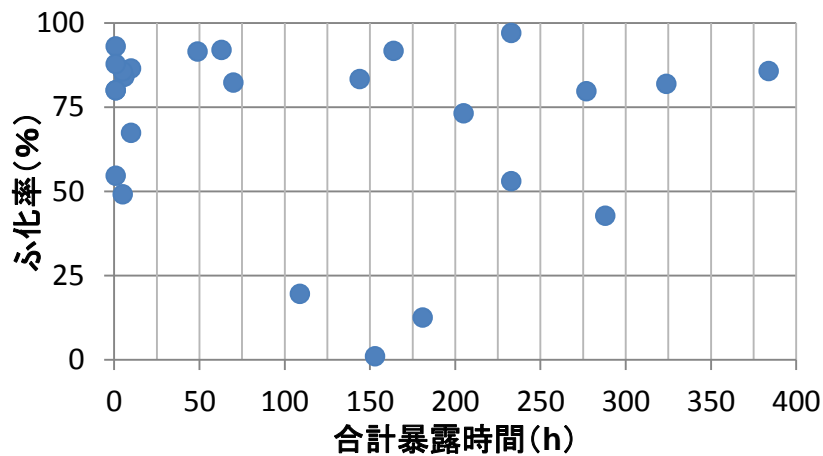


図 3.38 ふ化率と 24°C以下の砂中温度の合計暴露時間

年～2010年の全移植巢の平均ふ化率 68.2%よりも高い値となった。ただし、8月下旬以降など産卵シーズン後半に産卵された卵塊はふ卵期間の序盤に好適なふ卵温度内であっても、中期から後期にかけて 24°C以下の温度に曝されると未ふ化のまま死亡することになる。

砂中温度とふ化幼体の脱出率

Matsuzawa (2002) は、ふ化幼体が巣穴から脱出する 4 日前から脱出までの平均砂中温度 (深度 50cm) が「31.6°C」を超えると脱出率が半減することを報告している。2010年の調査結果においても、ふ化後に産卵巣内で待機していたと考えられる

ふ化幼体の死亡が4巣で確認されている(表 3.12, 平均 7.3 個体: 最小 1 個体~最大 21 個体)。この4巣は, 2010年7月21日~7月29日の間に産卵され, 脱出日は9月7日~9月14日の間である。卵塊サンプル No. は図 3.37 と対応している。ふ化から脱出までの待機期間(5日間)における平均砂中温度(深度 40cm)は 30.2°C~31.8°Cの範囲で, 最高 32.3°Cに達した。ふ化幼体は巣の上方に移動してから待機する性質がある。産卵巣内でのふ化幼体の待機位置は地表から 10cm~25cm (Christens, 1990, Moran ら, 1999)と言われ, 巣穴上層に移動することでより高い砂中温度に曝される可能性がある。O'Hara (1980)は, 温度とふ化幼体の遊泳速度に関する実験から, 30°C以上の高温条件下でふ化幼体の活性が低下することを報告している。これらを総合的に勘案すると, 巣穴上層で待機中に砂中温度が上昇し, 活性が低下したことにより脱出できず, そのまま熱死したと推察される。死亡個体数が最も多かった No.11 の卵塊において, ふ化幼体が待機中に経験したと推測される 31.6°Cの砂中温度(深度 40cm)は, 101 時間に達し, 砂表面まで移動した個体群および卵室上層付近の個体群が死亡したものと考えられる。No.12~No.14 の卵塊については暴露時間が短いことから, 砂表面付近で待機していた個体群が死亡したと推察される。

3.9.4 砂浜の地形変化と砂中温度分布

3.8.3 で述べたように, 消波ブロックが設置されている豊橋市域において, ウミガメは波打ち際から平均約 43m 移動した後, 産卵しているが, 湖西市域では平均約 55m 移動していた。また, 3.8.1 で示したように豊橋市域においては約 22%の個体が消波ブロックの海側(前浜)に産卵していることから, 海側(C地点; 前浜)と陸側(A地点; 後浜)における地形変化と砂中温度について調べた(図 3.39)。また, データロガーの設置地点の概要については表 3.13 に示した。地形変化は週約1回のレベル測量によって求めた値を用いた。砂中温度は A 地点および A 地点から海側へ 20m 移動した C 地点のデータを用いた。なお, C 地点は前浜にあたり, 風波の影響により地形変化が見られた。

図 3.40 は A 地点（深度 40cm で一定）および C 地点（深度変化）の日平均砂中温度，C 地点の深度（砂層厚）および汀線位置を示したものである。A 地点における平均砂中温度は 26.4℃（最高：31.2℃，最低 19.8℃），C 地点では 25.0℃（最高：29.4℃，最低 19.6℃）であった。A 地点は C 地点と比較すると早期に 25℃を超え，7 月 18 日～8 月 22 日にかけて約 1 ヶ月間程度，臨界温度を超えている。一方，C 地点では一度も臨界温度を超えることはなかった。C 地点の深度は温度計を設置した段階では 50cm であったが，2008 年は台風が一度も上陸せず，堆積傾向にあったことから，最大で約 98cm となった。

図 3.41 は，A 地点と C 地点の砂中温度差を，図 3.42 は平均気温と A 地点および C 地点の砂中温度との相関を示したものである。太陽光に熱せられた砂表面の熱は徐々に深部に伝達される。砂中温度は気温と高い相関があり，相関係数は A 地点で 0.93，C 地点で 0.80 であった。砂層厚の変化がみられなかった A 地点の日平均

表 3.12 産卵巣内でのふ化幼体の死亡数と砂中温度（2010）

卵塊 サンプル No.	産卵日	脱出日	死亡数	脱出前 5 日間の砂中温度 (深度 40cm)			31.6℃ 以上合 計時間
				平均	最高	最低	
11	7/21	9/7	21	31.8	32.3	31.5	101
12	7/27	9/13	3	30.4	31.8	29.6	12
13	7/27	9/14	4	30.2	30.7	29.6	0
14	7/29	9/12	1	30.2	30.7	29.6	0

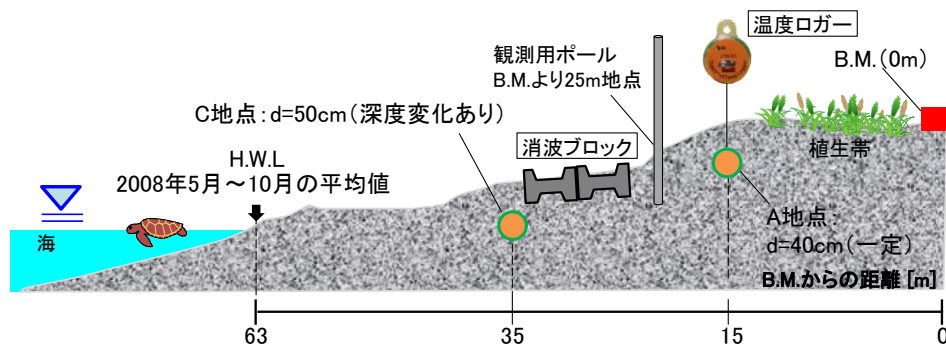


図 3.39 温度データロガー設置地点

表 3.13 砂中温度計測地点の概要

地点番号	平均標高 (m)	H.W.L からの距離 (m)	植生	深度 (砂層厚)	備考
A	3.67±0.04	48	無	40cm (一定)	3.9.1 の A 地点と同一 (図 3.27) .
C	2.36±0.13	28	無	50cm~98cm (変化)	消波ブロックの海側.

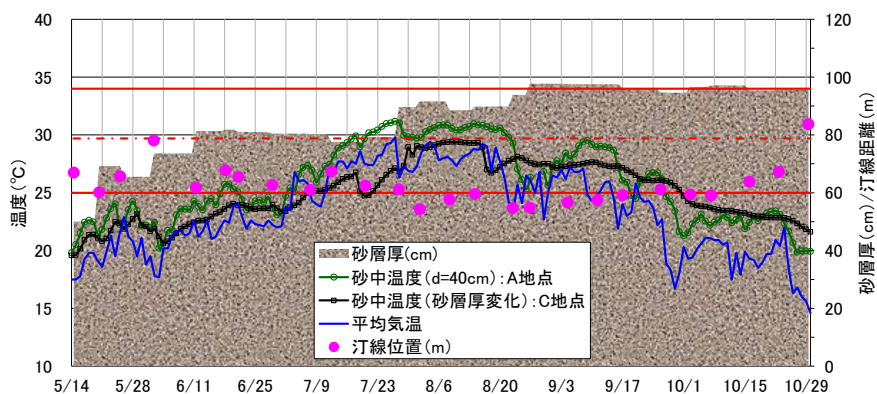


図 3.40 前浜と後浜における日平均砂中温度と砂層厚の変化

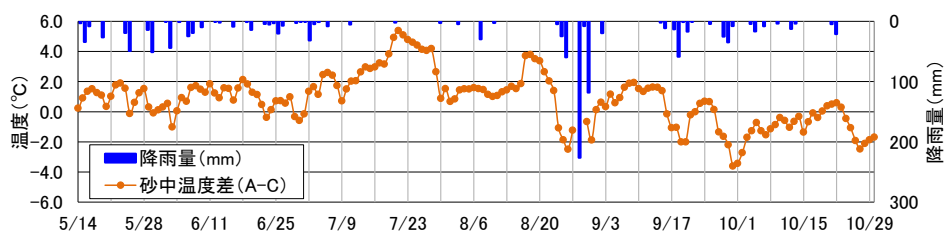


図 3.41 A 地点と C 地点の砂中温度差の変化

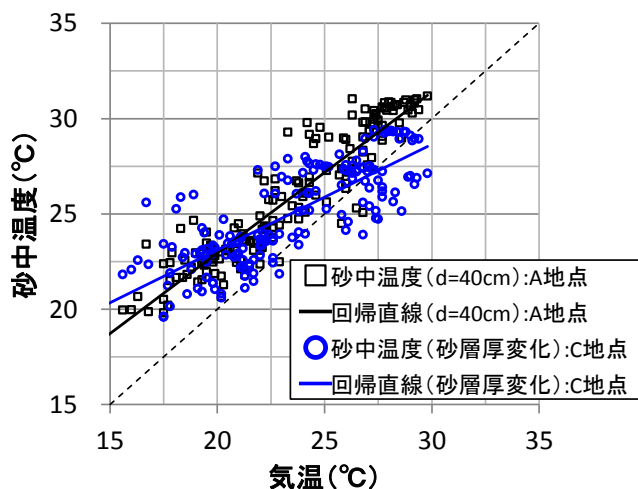


図 3.42 砂中温度と気温の関係

砂中温度は日平均気温よりも高くほぼ同じ傾きで、C地点とは異なった傾向を示した。このことは深度（砂層厚）の変化は砂中温度の変化に影響を及ぼすことを示している。9月中旬頃までは深度が浅いA地点の温度の方が高いが、9月下旬頃からは厚く積もった砂が保温効果を発揮する。砂中温度は10月初旬頃まではふ卵に対して好適な範囲（25℃以上）で推移しているが堆積傾向にあったC地点の方がやや長い期間25℃以上を保っている。

3.8.2で述べたようにウミガメは海浜植生の前面部分を産卵場として選択することが多く、およそA地点がその場所に該当する。地形変化が少なく、温熱環境が比較的高温に保たれる地点が経験的に産卵場として選択されているようである。

3.9.5 その他、卵やふ化幼体が受ける被害の要因

その他、卵やふ化幼体が受ける可能性がある被害要因について概要を示す。

人工構造物

豊橋市域に上陸した親ガメは消波ブロックが埋没している場合、浜奥（後浜）まで移動して産卵する。産卵後、台風などが襲来し、前浜が侵食された場合、消波ブロックが再び露出することがある。その際、産卵巣から脱出したふ化幼体が消波ブロックの隙間に落下し、脱出不能となる事例が見受けられる（写真3.3）。また、露出した消波ブロックが海岸線に平行して連結して設置されている場合、海にたどり着けないことがある。



写真 3.3 消波ブロックの隙間に落下して脱出不能となったふ化幼体

人的利用（人・車両）

表浜海岸はウミガメの産卵地や海浜植物の保全のため全域で車両の乗入が規制されている（静岡県・愛知県，2003；富岡，2007；愛知県，2014）。車両乗入規制の概要を表 3.14 に示す。管理道路沿いには周知看板が設置されてはいるが，規制を知らずか，ウミガメの繁殖シーズンにあっても砂浜内に乗り入れる車両が散見される（写真 3.4）。本研究の調査期間中，豊橋・湖西市域においては，砂浜内における産卵巣の潰滅やふ化幼体の轢死等は確認されていないが，その他の動植物への影響も鑑み，海岸利用のルールづくりやモラル向上を目指した取り組み，オフロード車の販売元等との協力が求められる。なお，オフロード車の利用規制の現状については松島（2008）に詳しい。

表 3.14 車両乗入規制の概要

県	指定日	法的根拠
静岡県	平成 6 年 12 月 1 日	県立自然公園条例 (浜名湖県立自然公園：湖西市域)
愛知県	平成 18 年 1 月 20 日	自然公園法：三河湾国定公園特別地域（約 35km） 海岸法：自然公園法で指定された区域外（約 12km）



写真 3.4 砂浜に乗り入れた車両（2014 年 7 月 6 日撮影）

食害（獣害）

近年，調査対象エリアにおいて野生動物による産卵巣の食害（写真 3.5）が多発するようになった．ホンドタヌキやホンドギツネなどによる食害は里山の荒廃がみられない地域では自然の摂理の一部と捉えることもできるが，捨て犬が野犬化するなどは人間活動が主要因と言える．被害を受けた産卵巣周辺に残る足跡から野犬，タヌキ，キツネによるものと考えられる．図 3.43 は豊橋市（2013，2014）が報告している 2008 年～2013 年に確認された獣害の被害巣数の推移を示したものである．獣害に遭う産卵巣の件数は増加傾向にあり，特に 2013 年は全産卵巣の 50%以上が被害に遭った．豊橋市ではふ化場への移植などを対策として実施しているが，ふ化場の中に獣が侵入し，被害が拡大するケースや，先述したように，ふ化場は自然の産卵巣よりも標高が高い位置に設置されること，砂中の温熱環境が画一化されることなど性比やふ化率に影響を及ぼす可能性もあり，移植以外の対策を立てる必要がある．なお，移植に依らない獣害対策については，Yerli ら（1997）および Kurz ら（2012）に詳しい．また，米国では，ハバネロパウダーを用いたユニークな獣害対策も提案されている（Lamarre-DeJesus・Griffin，2013）．



写真 3.5 獣害に遭った産卵巣

*産卵巣周囲の流木は豊橋市アカウミガメ実態調査員が設置したもの．

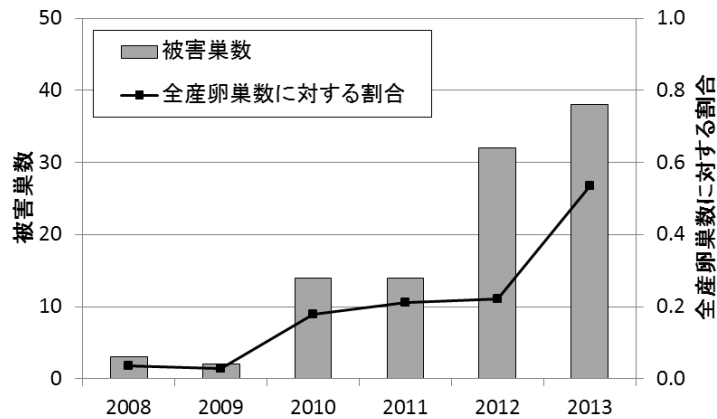


図 3.43 豊橋市における産卵巣の獣害件数の推移

3.10 まとめ

第3章では、ウミガメの上陸・産卵回数に関するデータ解析や表浜海岸に訪れるウミガメの繁殖活動を「上陸」、「産卵」、「ふ化・脱出」の3ステージに分類し、現地調査からウミガメの繁殖活動に適した砂浜環境について分析した。主要な結果を以下に示した。

- ・ウミガメの上陸回数には経年的な変動がみられ、1992年～2013年の期間においては、豊橋市域では年平均103.7回（最低21回～最高327回、1kmあたりの上陸数：7.7例）、湖西市域では年平均33.2例（最低22回～最高107回、1kmあたりの上陸数：7.4例）の上陸があり、両地域において1kmあたりの上陸数に統計的な差異はなかった。
- ・産卵成功率は1996年、1999年、2000年の3年間を除いて湖西市域の方が高い数値を示し、統計的に有意な差があることが示された。消波ブロック設置の有無が影響を及ぼしていると考えられる。
- ・シーズン初期の産卵回数とシーズン全体の産卵回数の関係性について調べた結果、本研究対象地においても、産卵シーズン初期の産卵回数からシーズン全体の産卵回数がある程度の精度で予測可能であることが分かった。
- ・黒潮流軸位置の最北限位置とウミガメの産卵回数を整理した結果、ウミガメが産卵のために豊橋・湖西市域沿岸に接近する4月～5月の黒潮の北限位置と産卵シ

ーズンの初期に当たる5月～6月までの産卵回数について分析した結果、4月の黒潮北限緯度と産卵シーズン初期の産卵回数の間には0.3程度の弱い相関がみられ、ウミガメが4月頃には産卵場の沖合に到達している可能性が示された。

上陸ステージ

- ・潜堤が設置された正面の砂浜ではウミガメの上陸密度が粗になる傾向や潜堤群と潜堤群の間に上陸が集中する傾向が明らかとなった。
- ・これまで、構造物の上部が常に海面上に現れている離岸堤については、ウミガメの砂浜への上陸を阻害することが報告されてきたが、本研究結果から、堤体を水面下にとどめた潜堤（ただし、干潮時は頂部が水上に露出することがある）についてもウミガメの上陸に影響を与える可能性が示された。当該エリアの様な開放性の砂浜海岸においては、離岸堤・潜堤が設置されたとしても、迂回して上陸することが可能であるが、小規模なポケットビーチなどについては上陸場所がかなり限定されると推測され、設計段階から配慮する必要があると考えられる。今後、接岸時におけるウミガメの遊泳行動の分析などが必要であると考えられる。

産卵ステージ

- ・豊橋市域に上陸したウミガメ327例の移動痕跡からその挙動を分析した結果、未産卵で帰海したウミガメ110例のうち、半数を占める55例の個体は人工構造物（消波堤・消波工）が原因となり、帰海していることが明らかになった。
- ・ウミガメの上陸後の移動距離の計測結果から、表浜海岸に上陸するウミガメにとって産卵のために必要な砂浜幅は、最短でも40m以上必要である可能性が示された。また、移動距離の長さは海浜植物の有無や砂浜の岸沖勾配などウミガメが産卵に訪れた砂浜の環境特性が影響していることが示された。
- ・ウミガメの産卵において、海浜植物の存在やそれらの生育に伴う地形変化（急峻な砂浜勾配の変化点）が産卵のトリガーとなる可能性が示された。

ふ化・脱出ステージ

- ・ウミガメの産卵巣の深度の計測から、平均深度は上面（卵塊の頂部）33.4cm、

底面（卵塊の底部）52.2cm であり，さらに上面深度の深浅に関わらず産卵室の厚さは比較的均一であることが明らかとなった。

- ・ふ卵期間を初期，中期，後期に三等分した場合，後期に 32℃以上の高い砂中温度に長時間曝されるとふ化率が低下する可能性が示された。
- ・ふ卵期間の初期に 24℃以下の低い砂中温度を経験したとしても，中期～後期にかけて砂中温度が上昇すればふ化率の低下は避けられることが明らかとなった。

4. ウミガメの繁殖活動からみた砂浜環境の評価と改善策

3章までは、ウミガメの繁殖活動に好適な砂浜環境の条件等について明らかにしてきた。本章では、表浜海岸豊橋市域のうち1999年から2014年現在まで継続実施している断面測量によって、地形変化や周辺環境等の情報が蓄積されている高塚、寺沢、細谷の3海岸において、砂浜幅、海浜植生、標高といった共通の環境要素から現況を評価・分析し、ウミガメの産卵成功率等を向上させるための改善策について提言する。なお、ここでの改善の目標は、「産卵・ふ卵に好適な場所がなるべく広く安定的に確保されること」である。

各海岸の評価のポイントは表4.1に示したように、ウミガメが容易に移動できる範囲、好適な産卵範囲、好適なふ卵範囲である。ウミガメが容易に移動できる範囲とは、浜奥への移動に際して、人工構造物などの障害がない範囲のことである。産卵に好適な範囲は、標高2.5m以上とし、大潮満潮時のドリフトラインを元に静穏時であれば水没しない標高として設定した。砂浜のうち、ドリフトラインより陸側はいわゆる陸域下縁（乾燥帯）と呼ばれ（須田・早川，2002），産卵に好適と考えられる。ふ卵に好適な範囲の標高は3.5m以上とし、ウミガメが植生帯の前線付近で産卵することが多いこと、表浜海岸における海浜植生の生育標高がおよそ3.5m以上（5.2.2で後述）であることから設定した。標高変化の標準偏差0.3m未満は波浪によってある程度の量の砂が流出したとしても卵が流失しない深さとして概括的に決定したものである。

表 4.1 評価のポイント

図中の凡例	区分	条件
←-----→	ウミガメが容易に移動可能な範囲	H.W.L.から浜奥まで、ウミガメの移動に常時障害がない範囲がどの程度保たれているか。
←-----→	好適な産卵環境	標高 2.5m 以上、かつ、標高変化の標準偏差が 0.3m 未満の範囲がどの程度保たれているか。
←-----→	好適なふ卵環境	標高 3.5m 以上、かつ、標高変化の標準偏差が 0.3m 未満の範囲がどの程度保たれているか。

4.1 細谷町地先の海岸

細谷町地先の海岸（**写真 4.1**）（以下、細谷海岸と呼ぶ。）における人工構造物の設置状況，砂浜幅，海浜植物等の砂浜環境の現況および改善策について述べる。

4.1.1 現状の砂浜環境

図 4.1に細谷海岸の現況断面を示す。図中の黒実線は2008年～2014年5月～10月（ウミガメ繁殖シーズン）の平均断面を，青破線は断面変化の標準偏差をそれぞれ示している。標準偏差が大きいほど地形変化の度合いが大きいことを示しており，波浪等の影響を受けやすい海側ほど大きな値となる。ブロックの陸側でもやや標準偏差が大きい場所があるのは，2012年9月下旬に接近した台風の影響で大きく洗掘された影響である。植生は，消波ブロックより海側には生育しておらず，ブロックの陸側にコウボウムギとケカモノハシを優先とした幅約20mの群落が形成されているものの砂浜との連続性はない。当該海岸には，消波ブロック（ホロースケア）がH.W.L.から陸側44.6m地点に設置されており，B.M.はブロック上に設置されている（**写真 4.1**）。ブロックは，3段積みで沿岸方向に連結されており，上部1段が砂面から1m以上露出した状態であり，中段，下段は砂に埋没している（ただし，砂が堆積傾向にある冬季～春季にかけては上段のブロックも砂に埋没することがある。）。H.W.L.からブロック端まで（ウミガメが容易に移動可能な範囲）は約45mである。水没や流失のリスクが低いふ卵時に好適と考えられる砂浜環境は，植生帯の前線位置，すなわち標高3.5m程度が確保されている地点を指し，消波ブロックの陸側約25mが該当するが消波ブロックを越えることができないウミガメには利用不可能である。

1999年5月～2014年11月までの期間における砂浜幅の変化を**図 4.2**に示した。ここでの砂浜幅はウミガメが容易に移動可能な範囲であるH.W.L.から消波ブロックが設置されている位置（B.M.より海側に4m地点を起点とする。）までと定義した。なお，図中の青線は回帰直線である。砂浜幅は測量を開始した1999年は平均36.9mであったが，2014年現在では平均44.8mと前進傾向にあり，その前進速度は0.44m/年であった。砂浜幅は，台風等の波浪の影響を受けやすい夏季から秋季にか

けては後退，比較的静穏な冬季から春季に前進傾向にあることが分かる．上述した期間のうち 2008 年～2014 年のウミガメ産卵期間（5 月～8 月）の砂浜幅の平均値，最大値，最小値を表 4.2 に整理した．砂浜幅の平均値は 38.8m～52.2m の範囲で増減し，最大 62.9m，最小 22.3m で，平均的にはウミガメの産卵に好適な砂浜幅である 40m を満足していることが分かる．

図 4.3 に断面変化の標準偏差が 0.3m 未満と比較的安定しているブロック端（B.M.）から海側へ 13.5m 地点の標高の変化を示した．期間は 2008 年～2014 年の各年における 5 月～10 月（ウミガメの繁殖シーズン）である．図中の矢印（白抜き）は表浜の 300km 圏内に台風が接近したことを，矢印（塗りつぶし）は台風が表浜に上陸したことを示している．地形変化は，主として台風襲来に左右され，堆積する場合と侵食する場合があることが分かる．台風により侵食されたとしても，冬季～春季にかけ砂が堆積し，翌年のウミガメ繁殖シーズンまでには侵食された分がかなり復元されるようである．表 4.3 に B.M.から 13.5m 地点における各年の平均標高を示した．侵食・堆積が繰り返されるが平均的には標高 2.2m が維持されていることが分かる．このことから，この位置より内陸側は，堆砂を促す等の手当をすることで，ウミガメの産卵・ふ卵に好適な砂浜幅を海側へと拡幅することも可能であると推察される．

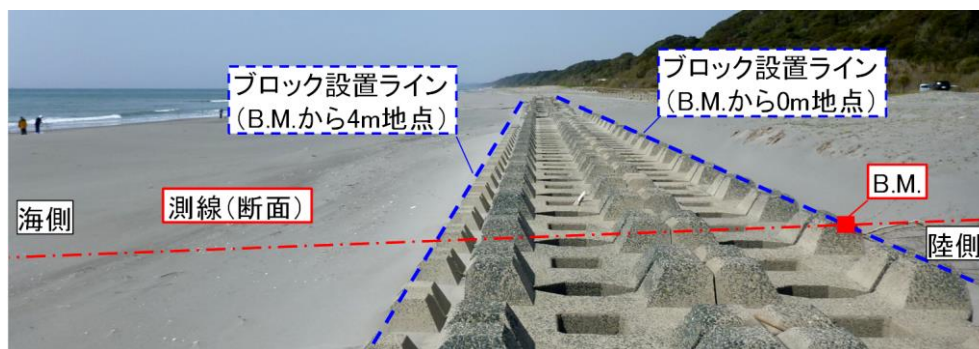


写真 4.1 細谷海岸（東方から西方を望む. 2012 年 4 月 2 日撮影）

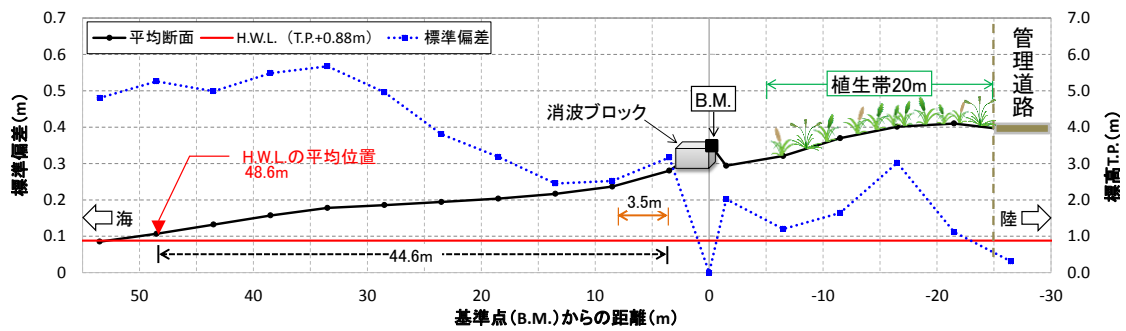


図 4.1 細谷海岸の現況断面

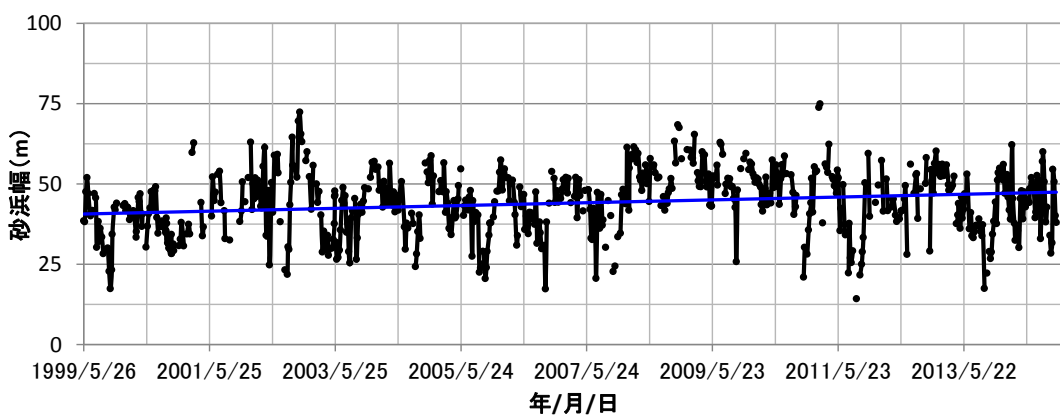


図 4.2 細谷海岸における砂浜幅の経年変化（1999年～2014年）

表 4.2 ウミガメが容易に移動可能な砂浜幅（細谷海岸：2008年～2014年5月～8月）

年	平均砂浜幅 (m)	最大値 (m)	最小値 (m)
2008	50.7	57.9	41.8
2009	51.8	62.9	43.0
2010	52.2	58.7	43.7
2011	38.8	54.3	22.3
2012	44.2	56.1	28.0
2013	39.8	53.0	33.8
2014	47.2	60.0	33.0
2008～2014 平均	46.3	57.6	35.1

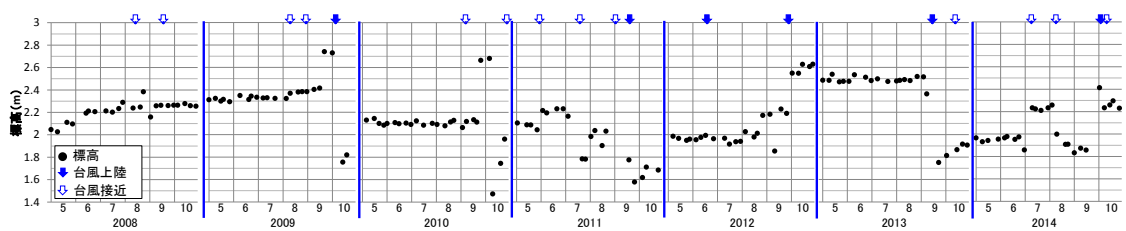


図 4.3 ブロック端 (B.M.) から 13.5m地点の標高の変化

表 4.3 各年の平均標高

年		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	平均
13.5m 地点	平均標高 (m)	2.2	2.3	2.1	2.0	2.1	2.4	2.1	2.2
	標準偏差 (m)	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2

4.1.2 改善策

愛知県が検討する「遠州灘沿岸海岸保全基本計画」では、これまでの消波ブロックを用いた施設整備による対策では、環境・利用面の問題を発生させたり、防災面での問題を繰り返したりする場合もあるため、人工構造物を極力設置せず砂浜を維持・回復させる対策を検討している（愛知県，2011）。コンクリート護岸などの恒久的な人工構造物を用いない当該海岸における改善策は、消波ブロックの上・中段を管理道路の手前までセットバックし、ウミガメが産卵可能な砂浜幅を拡幅し、砂浜と植生帯との連続性の確保をも同時に達成することである。ブロックをセットバックすることにより、ウミガメが浜奥に移動できるようになることから、卵が冠水・流失する等のリスクをより軽減することができる。

当該海岸は、砂浜幅が約 0.44m/年の速度で前進傾向にあること、管理道路までは 25m の余裕があることから地形変化をモニタリングしながらの段階的な改善が可能であると考えられる。上述した改善策を図 4.4 に示した。ブロックを管理道路手前までセットバックした場合、ウミガメが容易に移動できる範囲は管理道路端から最大約 67m にまで拡幅される。砂の堆積を促す方法としては、例えば、冬季～春季にかけて堆砂垣（写真 4.2）を設置し、堆砂を促し、B.M. (0m 地点) の陸・海側 5m 程度までの範囲の標高を 3.5m 程度まで嵩上げすることで、ふ卵に好適な砂浜幅をさらに 5m 程拡幅することができる。なお、その際の勾配はウミガメの移動に配慮し、およそ 1/20～1/10 を目安とする（福地，1999；土木学会海岸工学委員会，2000；自然共生型海岸づくり研究会，2003）。植生帯幅については、波浪の影響を受けやすくなることから台風の襲来状況などにより、一時的に標高 4m 未満に当たる部分が後退すると考えられ、その後は波浪条件などにより前進・後退を繰り返すことになると思われる。

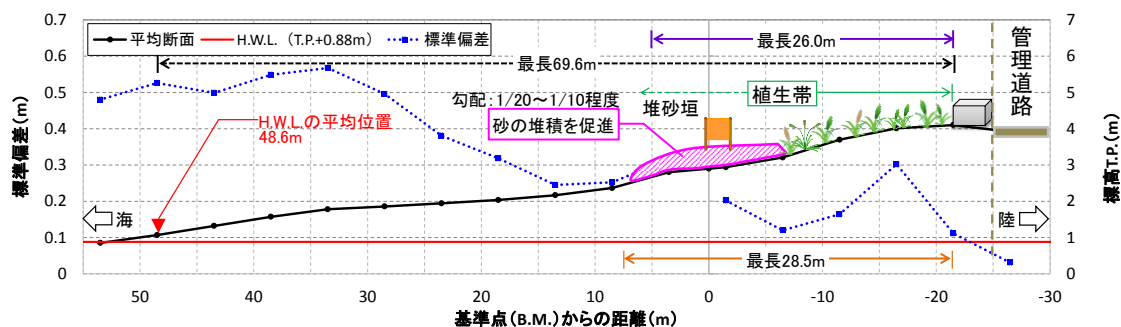


図 4.4 改善後の断面



写真 4.2 堆砂堰による養浜 (2010年4月21日撮影)

4.2 寺沢町地先の海岸

寺沢町地先の海岸（写真 4.3）（以下、寺沢海岸と呼ぶ。）における人工構造物の設置状況，砂浜幅，海浜植物等の砂浜環境の現況および改善策について述べる。

4.2.1 現状の砂浜環境

寺沢海岸の2008年～2014年の5月～10月における現況断面を図 4.5 に示した。寺沢海岸は B.M.より陸側に管理道路が整備されており，細谷海岸と同様に，植生は消波ブロックより海側には生育しておらず，ブロックの陸側にコウボウムギ，ハマヒルガオを優先種とした幅約 13m の群落が形成されている。消波ブロック（主として六脚ブロックおよび四脚ブロック）は B.M.より 20m 地点（H.W.L.から陸側に 40.5m）に設置されている。ブロックは，3 段積みで沿岸方向に並行に設置されており，上部 1 段が 20cm～40cm 程度露出し，中・下段は砂に埋没している。ウミガメが容易に移動可能な範囲は 40.5m で，そのうち標高が 2.5m 以上確保されている産卵環境として好適な範囲は幅約 7.5m，標高 3.5m 以上が確保されている場所はない。

ただし、砂の堆積状況によっては、上段のブロックが埋没し、浜奥への移動が可能となることがある。

1999年5月～2014年11月までの期間における砂浜幅の変化を図4.6に示した。ここでの砂浜幅はウミガメが容易に移動可能な範囲であり、H.W.L.から消波ブロックが設置されている位置（B.M.から陸側に20m地点）までと定義した。なお、図中の青線は回帰直線である。砂浜幅は測量を開始した1999年は平均30.8mで、2014年現在は平均28.2mとなっているが長期的にみれば前進傾向にあり、その前進速度は0.69m/年であった。また、砂浜幅は、細谷海岸と同様に夏季から秋季にかけては後退、冬季から春季に前進傾向にあることが分かる。上述した期間のうち2008年～2014年のウミガメ産卵期間（5月～8月）の砂浜幅の平均値、最大値、最小値を表4.4に整理した。砂浜幅の平均値は29.7m～47.9mの範囲で増減し、最大59.2m、最小16.3mで、平均的にはウミガメの産卵に好適な砂浜幅である40mをほぼ満足しているが、2014年はやや侵食傾向にあり、今後、このような傾向が続くようであれば、産卵成功率向上のために何らかの手当てが必要であると言える。

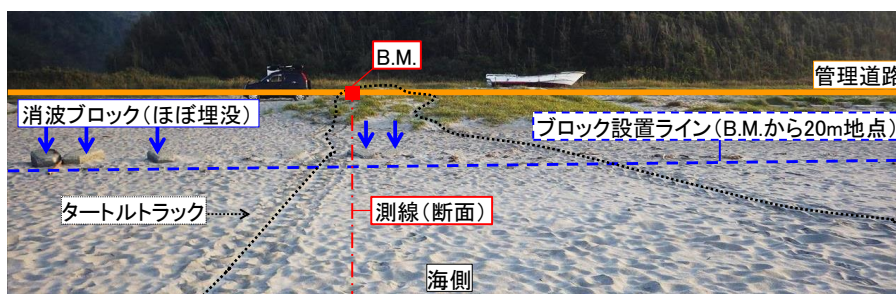


写真 4.3 寺沢海岸（海側から陸側を望む。2013年8月8日撮影）

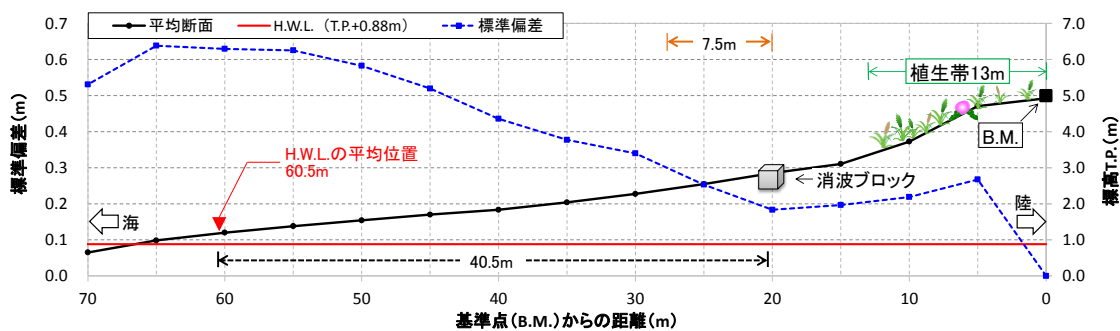


図 4.5 寺沢海岸現況断面

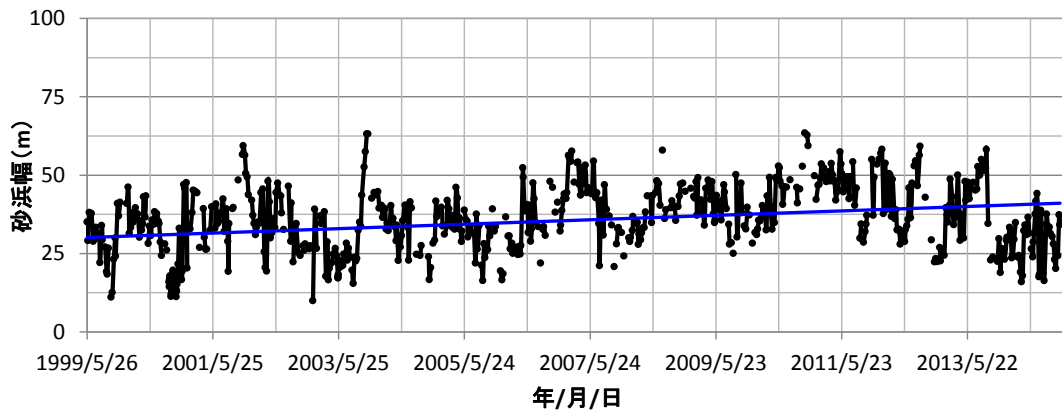


図 4.6 寺沢海岸における砂浜幅の変化（1999 年～2014 年）

表 4.4 ウミガメが容易に移動可能な砂浜幅（寺沢海岸：2008 年～2014 年 5 月～8 月）

年	平均砂浜幅 (m)	最大値 (m)	最小値 (m)
2008	43.9	57.9	34.8
2009	38.4	47.9	27.9
2010	47.1	52.9	38.9
2011	47.9	57.4	40.4
2012	42.4	59.2	28.8
2013	47.2	55.0	30.0
2014	29.7	44.1	16.3
2008～2014 平均	41.9	53.5	31.0

4.2.2 改善策

寺沢海岸において考えられる改善策は、ブロックが設置されている B.M. から 20m 地点付近に堆砂垣を設置し、堆砂を促すことで消波ブロックを埋没させることが考えられる。これらによってウミガメが産卵のために利用できる砂浜幅の拡幅と植生帯との連続性を同時に達成することが可能となり、ウミガメの産卵成功率の向上が期待できる。当該海岸は一部のエリアを除き、消波ブロックがある程度埋没していれば、ウミガメが浜奥へと移動することが可能である。1999 年～2013 年において、寺沢海岸に設定した測線の東西 1km の範囲に上陸したウミガメの産卵成功率と B.M. から 20m 地点における標高との関係について図 4.7 に示した。ただし、安定した結果を得るため、設定したエリア内における合計上陸回数が 10 回に満たない年のデータは除外した（表 4.5）。当該海岸の消波ブロックは B.M. から 20m 地点の標高が 2.8m を越えた時点でウミガメが自力でブロックを乗り越えられる高さ（ブロック頂部が 10cm～15cm 露出する程度）まで埋没し、2.9m を越えると一部のエリ

アを除いてほぼ埋没する。平均標高と産卵成功率について Spearman の順位相関分析を用いて解析した結果、両者には有意な相関が認められ ($r_s = 0.78$, $p < 0.05$) , ブロックを埋没させることで産卵成功率の向上が可能であると推測される。写真 4.3 を撮影した際の B.M. から 20m 地点の標高は約 3.1m であり、ウミガメが埋没した消波ブロックの隙間をぬって移動した事例である。堆砂垣等により堆砂を促すことで、砂浜全体を嵩上げすれば、好適な産卵・ふ卵範囲を拡張できると考えられる。B.M. から 25m 地点における 2008 年～2014 年 5 月～10 月の標高変化を図 4.8 に、表 4.6 には同地点における各年の平均標高について、それぞれ示した。B.M. から 25m 地点は、平均標高 2.5m 程度を保持しており、標準偏差も 0.3m 程度と比較的安定していると言える。堆砂を促し、標高を 3.5m 程度まで嵩上げすることができれば、ふ卵に好適な範囲を 5m 程拡張することができると考えられる。当該海岸では、地域 NPO と企業や市民が連携して堆砂垣を設置している実績もあることから、効果的な設置場所を選定すれば、ウミガメの産卵成功率をより高めることが可能であると考えられる。上述した改善策についてまとめたものを図 4.9 に示した。消波ブロックを埋没させることで産卵に好適な範囲も 20m ほど拡張され、浜奥への移動も可能になる。ただし、ふ化幼体の脱出時期に台風が襲来し、侵食によりブロックが砂表から再度露出した場合は誘導柵などでふ化幼体の帰海を補助する必要がある。

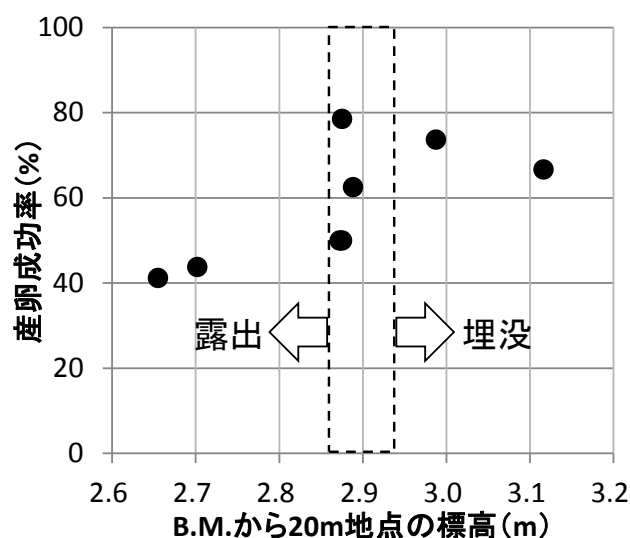


図 4.7 消波ブロックが埋没した場合と露出した場合の産卵成功率

表 4.5 当該エリアの産卵成功率と B.M. から 20m 地点の平均標高

年	ブロック設置地点の平均標高 (m)	上陸数	産卵成功率 (%)	データ使用の有無
1999	2.98	4	75.0	無
2000	2.86	5	60.0	無
2001	2.74	7	85.7	無
2002	2.86	8	50.0	無
2003	2.89	16	62.5	有
2004	2.72	4	75.0	無
2005	2.65	34	41.2	有
2006	2.82	6	66.6	無
2007	2.87	10	50.0	有
2008	2.88	26	50.0	有
2009	2.99	19	73.7	有
2010	2.87	8	62.5	無
2011	2.88	14	78.6	有
2012	2.70	32	43.8	有
2013	3.12	15	66.7	有

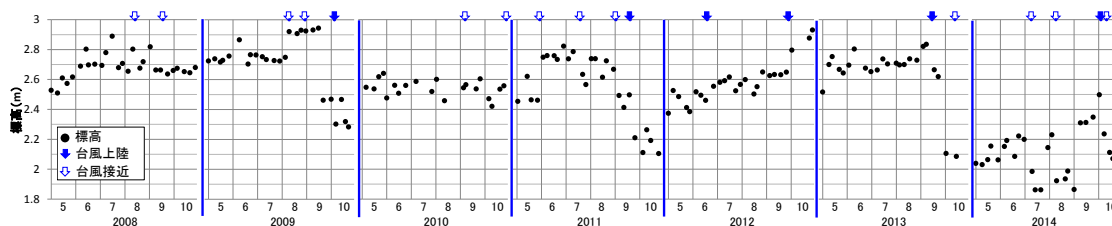


図 4.8 B.M. から 25m地点の標高の変化

表 4.6 各年の平均標高 (5月～10月)

年	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	平均	
25m 地点	平均標高 (m)	2.7	2.7	2.5	2.6	2.6	2.7	2.1	2.5
	標準偏差 (m)	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3

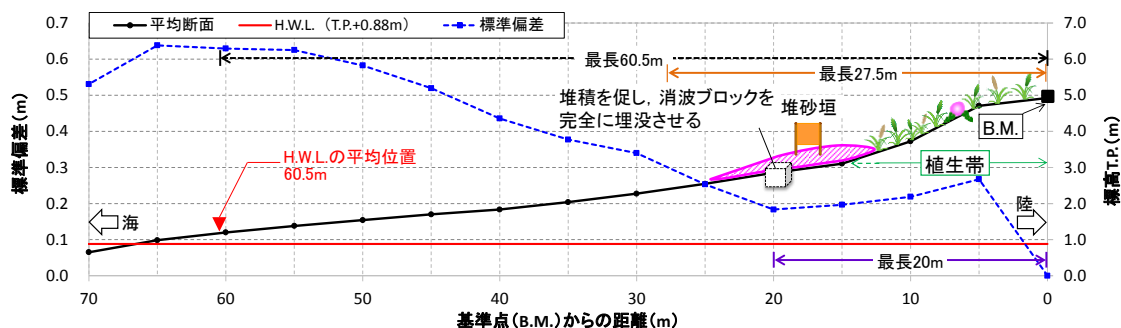


図 4.9 改善後の断面

4.3 高塚町地先の海岸

高塚町地先の海岸（**写真 4.4**）（以下、高塚海岸と呼ぶ。）における人工構造物の設置状況，砂浜幅，海浜植物等の砂浜環境の現況および改善策について述べる。

4.3.1 現状の砂浜環境

高塚海岸の2008年～2014年の5月～10月における現況断面を**図 4.10**に示した。高塚海岸に設置された消波ブロックは砂に埋没しており目視確認できないが，愛知県の資料によれば六脚ブロックが設置されており（愛知県，2001），設置場所は図中の植生帯の砂表面下に位置する。また，沖合には潜堤が設置されており，その離岸距離は約300mである。当該域にはコウボウムギ，コウボウシバを優先種とした幅約5mの群落が形成されている。陸側には管理道路と駐車スペースが整備されている。

ウミガメが容易に移動可能な範囲は，細谷，寺沢海岸と比較して最も広い約59mであり，そのうち標高2.5m以上が確保されている産卵に好適な範囲は17.5m，標高3.5m以上が確保されている範囲は管理道路端から約7.5mの範囲である。ただし，駐車スペースに隣接していることから，人による利用の影響を受ける可能性が高い。

1999年5月～2014年11月までの期間における砂浜幅の変化を**図 4.11**に示した。ここでの砂浜幅も上述した細谷，寺沢海岸同様，ウミガメが容易に移動可能な範囲を示しており，H.W.L.から管理道路（B.M.より海側に5m地点）までと定義した。なお，図中の青線は回帰直線である。当該海岸の砂浜幅は前進傾向にあり，その前進速度は0.84m/年で，潜堤の背後ということもあり，細谷，寺沢の両海岸と比較してやや大きな値となった。砂浜幅は，細谷，寺沢海岸と同様に夏季から秋季にかけて後退，冬季から春季に前進傾向にあることが分かる。上述した期間のうち2008年～2014年のウミガメ産卵期間（5月～8月）の砂浜幅の平均値，最大値，最小値を**表 4.7**に整理した。砂浜幅の平均値は55.1m～65.4mの範囲で増減し，最大78.8m，最小39.2mで，ウミガメの産卵に好適な砂浜幅である40mを十分に満足していると言える。

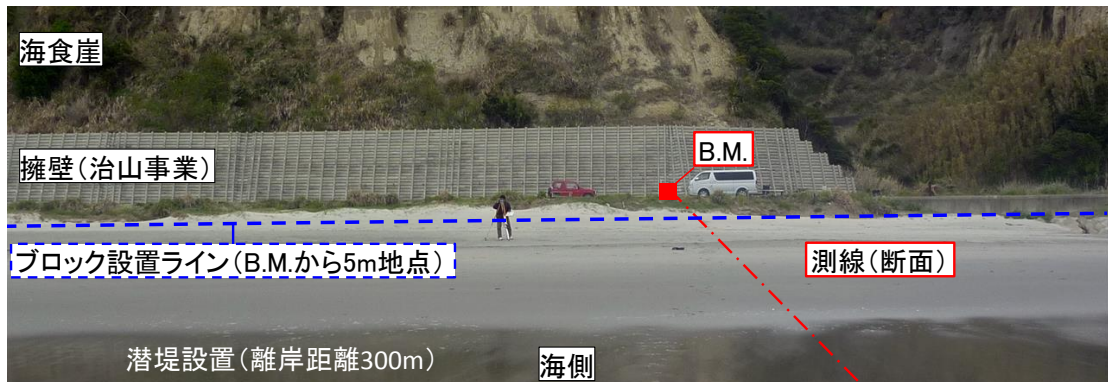


写真 4.4 高塚海岸(海側から陸側を望む. 2010年4月5日撮影)

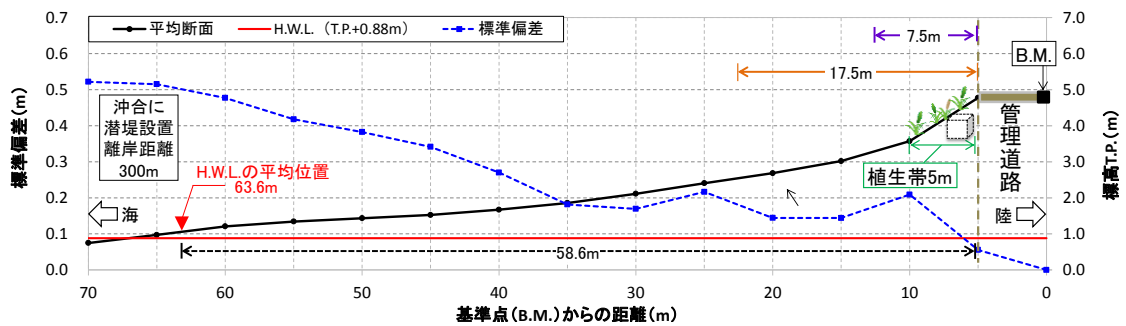


図 4.10 高塚海岸の現況断面

4.3.2 改善策

当該海岸は、細谷、寺沢海岸と比較してウミガメが上陸した後の産卵・ふ卵環境としては最も良好であると考えられる。実際、表 4.8 に示したように潜堤の整備が完了した 2005 年以降、3.7.1 で示した範囲(基準点から東西 1km)における産卵成功率は細谷海岸 59.7%、寺沢海岸 54.9%と比較して 70.8%と最も高い値となっている。現在、愛知県では、当該域に設置された潜堤の堤長を短縮させる計画を策定中である(愛知県, 2011)。表 4.9 に現在の構造諸元と改良後の構造諸元について示した。また、改良後の潜堤のイメージを図 4.12 に示した。計画が実行された場合、潜堤間の開口幅は 70m から 110m へと拡幅されることからウミガメの上陸数は増加すると考えられる。なお、3.7.1 で述べた高瀬(2012)によるシミュレーション結果によれば、計画された条件で堤長を短縮したとしても、砂浜幅は 60m が確保されることが予測されている。

当該海岸は現況でも、産卵に好適な範囲（標高 2.5m 以上、標準偏差 0.3m 未満）が約 17.5m、ふ卵に好適な範囲（標高 3.5m 以上、標準偏差 0.3m 未満）が約 7.5m 程度存在し、広い砂浜幅が確保されていると言える。しかし、先述した細谷、寺沢海岸と比較して、本海岸は全体的に標高がやや低いといった特徴がある。本海岸において、ふ卵に適した環境をより拡幅するのであれば、養浜や堆砂垣の設置などにより砂浜全体を嵩上げする改善策が考えられる。図 4.13 に断面変化の標準偏差が 0.2m 未満と比較的安定している B.M.から 35m 地点の標高の変化を示した。期間は 2008 年～2014 年の各年における 5 月～10 月である。図中の矢印（白抜き）は表浜の 300km 圏内に台風が接近したことを、矢印（塗りつぶし）は台風が表浜に上陸したことを示している。当該海岸には潜堤が設置されているものの台風の襲来により、2014 年 8 月に標高が最大 0.7m 低下しており、大きく侵食されたことが分かる。表 4.10 に B.M.から 35m 地点における各年の平均標高を示した。侵食・堆積は繰り返されるが平均的には標高 1.9m が維持されていることが分かり、これよりも内陸側の区間において堆砂を促すことで、ふ卵にも好適な環境を拡幅することが可能であると推察される。その他、高塚海岸は駐車スペースが整備されており、人による利用圧が高い海岸であるので、管理道路と砂浜の境に遮光板を設置することや、トベラなどの地域在来種を用いた植栽をすることでより産卵に適した環境へと改善することが可能であると考えられる。なお、植栽の場合は、樹木がある程度の大きさに生長するまでは、遮光板と併用することが望ましい。上述した改善策についてまとめたものを図 4.14 に示した。堆砂を促すことでふ卵にも好適な範囲を最長 15m 程度まで拡幅できる可能性があるが、潜堤の短縮化における影響をモニタリングしながらの取組が求められる地点であると言える。

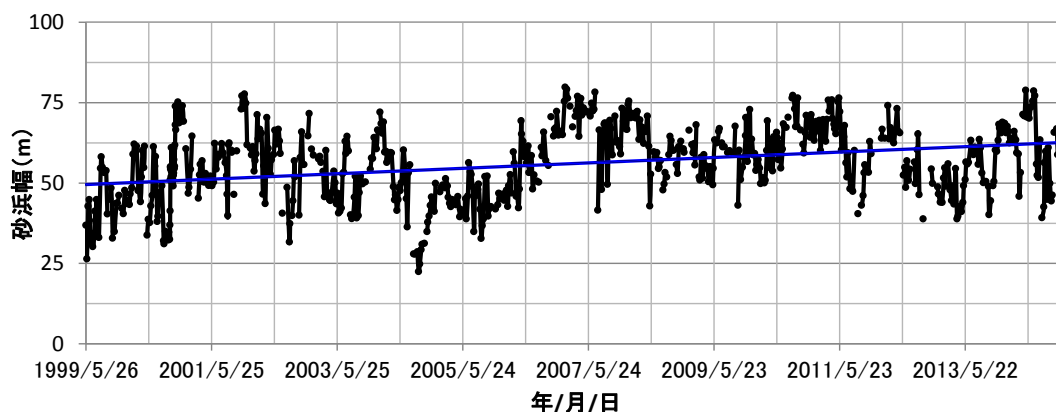


図 4.11 高塚海岸における砂浜幅の変化（1999年～2014年）

表 4.7 ウミガメが容易に移動可能な砂浜幅（高塚海岸：2008年～2014年5月～8月）

年	平均砂浜幅 (m)	最大値 (m)	最小値 (m)
2008	55.6	70.8	42.8
2009	60.2	66.9	49.4
2010	65.4	77.2	54.6
2011	60.7	76.4	47.4
2012	55.1	73.8	46.4
2013	55.6	63.5	41.1
2014	64.9	78.8	39.2
2008～2014 平均	60.0	72.5	45.8

表 4.8 2005年以降の各海岸における上陸数と産卵成功率

	高塚		寺沢		細谷	
	上陸数	産卵成功率 (%)	上陸数	産卵成功率 (%)	上陸数	産卵成功率 (%)
2005	7	57.1	34	41.2	19	47.4
2006	2	50.0	6	66.7	3	66.7
2007	5	80.0	10	50.0	9	66.7
2008	11	63.6	26	50.0	19	73.7
2009	14	92.9	19	73.7	12	83.3
2010	14	50.0	8	62.5	12	91.7
2011	11	63.6	14	78.6	10	60.0
2012	20	85.0	32	43.8	45	42.2
2013	5	60.0	15	66.7	25	60.0
合計	89	—	164	—	154	—
平均	9.9	70.8	18.2	54.9	17.1	59.7

表 4.9 遠州灘沿岸海岸保全基本計画 参考資料, H23.2 版 (愛知県, 2011) より作成

	現在	改良後
天端幅	10.4m	10.4m
堤長	200m	160m
開口幅	70m	110m

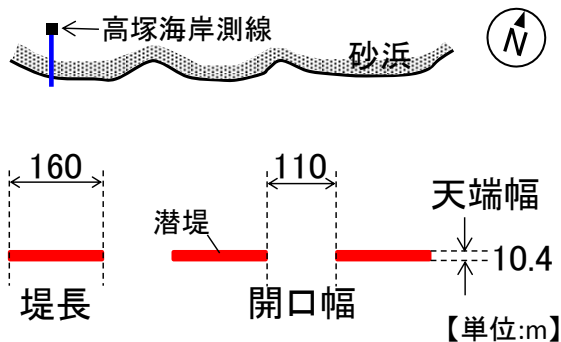


図 4.12 改良後の潜堤のイメージ図

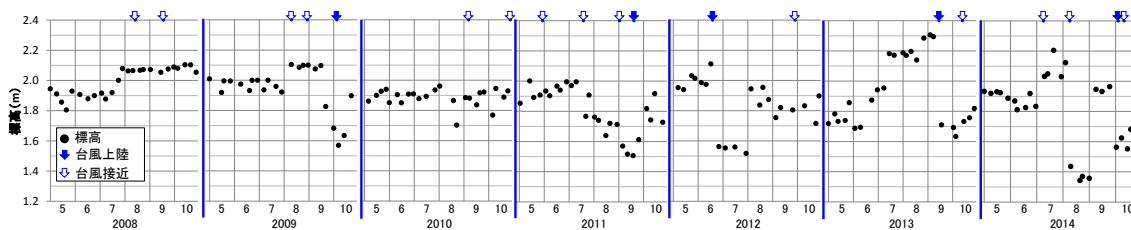


図 4.13 B.M. から 35m 地点の標高の変化

表 4.10 各年の平均標高

年	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	平均	
35m 地点	平均標高 (m)	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.9	1.8	1.9
	標準偏差 (m)	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

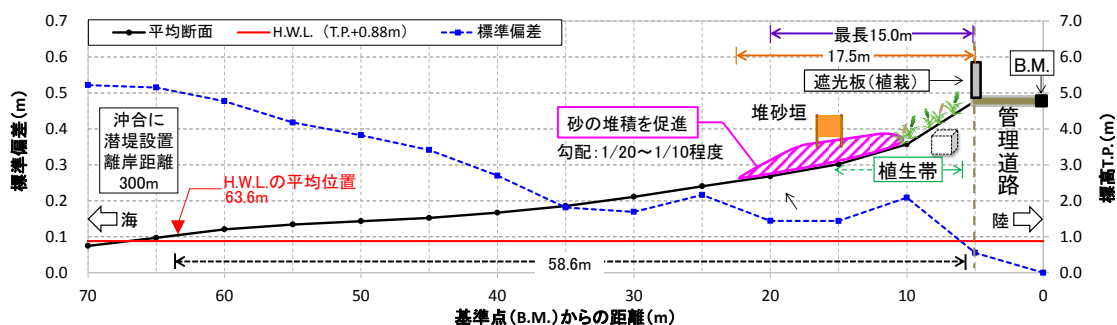


図 4.14 改善後の断面

4.4 ウミガメの繁殖活動において配慮すべき事項

ウミガメの繁殖活動において望ましい砂浜は、人為的な影響を可能な限り減じ、暗く静かな自然の状態を維持・確保することが最善と言える。しかし、やむを得ず施設等を整備する場合は、繁殖ステージに応じた工夫が必要であると考えられる。これまでに述べた内容を含め、ウミガメの繁殖活動において配慮すべき事項および好適な砂浜環境の条件について、既往の研究（例えば、自然共生型海岸づくり研究会, 2003）や本研究から得られた知見をウミガメの繁殖ステージごとに整理した（表 4.11, 表 4.12）。砂浜の環境を改善する際には、これらの点についても配慮することでより高い効果が期待できると考えられる。上陸ステージでは、沖合構造物がウミガメの上陸を阻害しないように、接岸時の遊泳行動を分析し、堤長や開口幅等を設計する必要がある。産卵ステージにおいては、これまでに集積されてきた知見

表 4.11 ウミガメの繁殖活動において配慮すべき事項（既往）

ステージ	概要	
上陸	沖合消波施設の 選択・設計	離岸堤と比較して潜堤（人工リーフ）、ヘッドランドの方が上陸への影響は少ないと考えられる。 堤長、開口幅、構成材料、天端高の設計に十分な配慮が必要。
	利用規制	繁殖シーズン中は暗く静かな環境を保つ（花火や砂浜への車両の乗入等の規制）
産卵	護岸施設 (砂浜幅)	十分な砂浜幅を確保できるように堤防・護岸の法線や形状を設定する。 施設等の施工は繁殖時期を避ける。
	砂浜勾配 (岸沖方向)	前浜勾配は 1/7～1/20 以下と緩やかな方が良い。
	砂層厚、底質 (砂質)	産卵巣の深さ 50cm～1m を確保する。 粒径は 0.2mm～2mm 程度（過度な細粒化、粗粒化を避ける）。
	海浜植生	砂浜と植生帯との連続性を分断しないようにする。
	利用規制	繁殖シーズン中は暗く静かな環境を保つ（花火や砂浜への車両の乗入等の規制）
ふ化・脱出	砂層厚、底質 (砂質)	産卵巣の深度分布から 50cm～1m を確保する。 ウミガメが産卵巣を掘りやすいこと（粒径 0.2mm～2mm 程度）。 胚の呼吸に必要な酸素が供給される程度の空隙と適度な湿り気が必要。
	照明	ふ化幼体には固定光源の影響が大きいため、設置しないことが望ましい。やむを得ず設置する場合は、低い場所への設置や、ナトリウム灯にカットルーバー等を取り付ける等の対策を講ずる。

や、本研究で得られた知見を総合的に勘案すると、産卵成功率は砂浜幅との関係性が高いことから、産卵に好適な砂浜幅を確保することが優先されるべきと考えられる。ふ化・脱出ステージでは、砂層厚の確保とウミガメのふ卵および脱出に適した砂質の維持が重要であると考えられる。養浜などの際にはこれまであまり議論されることがなかった砂中の温熱環境にも深い配慮が必要であると言える。

表 4.12 ウミガメの繁殖活動に好適な砂浜環境（本研究）

ステージ	主要な結果	
上陸	潜堤間距離	離岸堤のみならず潜堤もウミガメの上陸に影響をおよぼす可能性が示唆された。開放性の海岸の場合は、潜堤間距離を広くとることで上陸位置の集中を回避することができる。潜堤群間の距離が 500m 程度離れていれば影響はないと考えられる。潜堤・離岸堤をポケットビーチの沖合に整備する場合はウミガメの上陸場所を制限する可能性があることから接岸時におけるウミガメの遊泳行動などを調査・分析し、その配置等については熟慮する必要がある。
	砂浜幅	表浜海岸では、最低でも満潮位から 40m 以上の砂浜幅が必要。
産卵	砂浜勾配 (岸沖方向)	岸沖勾配が上陸後の移動距離に影響をおよぼす可能性がある。また、海浜植生の地下茎や根などにより形成された急な勾配の変化点（上り勾配）を乗り越えることが産卵のトリガーになっている可能性が示された。
	海浜植生	ウミガメは砂浜と植生帯の境界部分を産卵場として選定する傾向がある。表浜海岸において植生帯が安定して繁茂する標高は 4m 以上である。
	照明	管理道路を自動車が通行することで産卵を阻害する可能性があるため、遮光板や植生による遮蔽が必要。（5.4 にて後述）
	利用規制	ウミガメの上陸密度が高いエリアにおいては、産卵シーズンの夜間は対象となる砂浜や管理道路等の利用を規制する。
	標高	ウミガメは植生帯と砂浜の境界部分（半安定帯）を産卵場として選択する傾向があることを勘案すると表浜海岸においては標高 4m 付近が産卵場として選定される。
	護岸施設	消波堤等の人工構造物の設置は可能な限り避ける。やむを得ず設置する場合は、満潮線から 40m 程度の砂浜幅（ドライビーチ）を確保するため、可能な限り内陸側に設置する。
ふ化・脱出	砂層厚	卵室底面の深度分布の計測結果から、産卵には最小でも 60cm の厚さが必要。養浜をする場合は、客土を避けるか、養浜材の砂質を対象海岸に合わせ、温熱環境についても考慮する必要がある。
	移植	砂中温度環境が均一化されることにより性比バランスを崩すことや、猛暑時は全滅する可能性があること等が懸念されるため、避ける。

4.5 まとめ

以上、細谷、寺沢、高塚の3海岸を対象にウミガメの産卵・ふ卵に適した範囲について現況環境、改善後の環境について整理した。各海岸における現状の課題と改善策を表 4.13 に、現況の砂浜幅と改善後に期待される砂浜幅を表 4.14 にそれぞれ整理した。現状の環境ではウミガメが容易に移動可能な範囲はどの海岸においてもおよそ 40m 以上が確保されているが、産卵・ふ卵に好適な範囲は、消波ブロックの背面であったり、標高がやや低かったりすることから、ブロックのセットバックや、堆砂垣等を用いて堆砂を促し、ブロックを埋没させる等の対策を講じることで繁殖に適した環境へと改善されると考えられる。また、より改善の効果を高めるためには、4.4 で示した点等についても配慮することが望まれる。

堆砂垣など比較的ソフトな材料を用いた養浜は、コンクリート護岸など恒久的な人工構造物で実施する防護と比較して、大型台風の襲来などで根こそぎ流失する可能性も含んでいる。本来、砂浜は動的平衡場であるので、10 年単位など長い目でその効果を検証しなければならない点には注意が必要である。また、生態系のふるまいは複雑であり、予測は極めて困難であるので、モニタリングを続ける中で、対応策に不都合が生じた場合は、順応的な対処や調整が望まれる。

表 4.13 現況の課題と改善策

海岸名	現況の課題	改善策
細谷海岸	<ul style="list-style-type: none"> 産卵に好適な範囲が 3.5m と狭い。 ふ卵に好適な範囲がない。 	<ul style="list-style-type: none"> 管理道路手前までブロックをセットバックする。 堆砂垣等による養浜により堆砂を促し、後浜を嵩上げする。
寺沢海岸	<ul style="list-style-type: none"> 産卵に好適な範囲が 7.5m と狭い。 ふ卵に好適な範囲がない。 	<ul style="list-style-type: none"> 堆砂垣等を用いて堆砂を促し、消波ブロックを埋没させる。
高塚海岸	<ul style="list-style-type: none"> ふ卵に好適な範囲が 7.5m とやや狭い。 駐車スペースが整備されており、人による利用圧が高い 潜堤が上陸敷に負の影響を及ぼしている可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 養浜によって後浜を嵩上げする。 管理道路との境に遮光板（植栽）を施す。 愛知県が潜堤を短縮させる計画を策定中であるので、施工後、その効果についてモニタリングを実施する。

表 4.14 現況の砂浜幅と改善後に期待される砂浜幅

海岸名	現況の砂浜幅	判定	改善後の砂浜幅	拡幅可能な幅
細谷海岸	【容易に移動可能な範囲】 44.6m	○	【容易に移動可能な範囲】 69.6m	+25.0m
	【産卵に好適な範囲】 3.5m	△	【産卵に好適な範囲】 28.5m	+25.0m
	【ふ卵に好適な範囲】 0.0m	×	【ふ卵に好適な範囲】 26.0m	+26.0m
寺沢海岸	【容易に移動可能な範囲】 40.5m	○	【容易に移動可能な範囲】 60.5m	+20.0m
	【産卵に好適な範囲】 7.5m	△	【産卵に好適な範囲】 27.5m	+20.0m
	【ふ卵に好適な砂浜幅】 0.0m	×	【ふ卵に好適な範囲】 20.0m	+20.0m
高塚海岸	【容易に移動可能な範囲】 58.6m	○	【容易に移動可能な範囲】 58.6m	0m
	【産卵に好適な範囲】 17.5m	○	【産卵に好適な範囲】 17.5m	0m
	【ふ卵に好適な範囲】 7.5m	○	【ふ卵に好適な範囲】 15.0m	+7.5m

5. ウミガメの繁殖活動からみたエコ・コースト事業の評価

4章では、砂浜の改善策の1つとして、消波ブロックのセットバックおよび埋設を提言したが、豊橋市では、ウミガメの上陸しやすい砂浜への改良をテーマとして、消波ブロックを緩傾斜堤へと利用転換するエコ・コースト事業が施工された実績がある。本章では、この「エコ・コースト事業」についてその概要を述べるとともに、この事業がウミガメの上陸後の移動距離や産卵成功率に及ぼした効果、工事に伴って破壊された海浜植物の回復状況、海岸利用者が当該事業に持つ価値認識などについて検証した。

5.1 エコ・コースト事業の概要

エコ・コースト事業は、津波、高潮等の自然災害から海岸を防護することに加え、住民等の参加を得ながら、生態系や自然環境等に配慮して実施するものである（加藤，2005）。当該地のエコ・コースト事業（事業主体：豊橋市）は既存施設改良型のエコ・コースト事業であり、豊橋市の二川漁港区域（豊橋市小島町）にて施工され、ウミガメの上陸産卵の障害となる既存施設（消波ブロック）を移設し、緩傾斜護岸として整備改良（利用転換）することにより、海岸保全と環境との調和のとれた整備を行うことを目的としている。

豊橋市域の砂浜延長 13.5km のうち 880m を対象に、2006 年 6 月に既設消波ブロックの一部（施工延長：222m）をセットバックし、移設後、約 2 年間のモニタリング調査が行われた。その結果、砂浜は安定した勾配で保たれ、汀線の後退がないことが確認されたため、3 段積みブロックの上段および中段ブロックを陸側へと移設し、緩傾斜堤へと改良する本格的な事業が 2009 年から 5 カ年をかけて段階的に実施された（**図 5.1** および **図 5.2**）。当該事業は「ウミガメの上陸しやすい砂浜に改良する」というテーマを掲げて行なわれた先進的な砂浜環境修復の事例である（**写真 5.1**）。なお、当該事業でセットバックされた消波ブロックは 1973 年～1990 年にかけて豊橋市が国の補助金を受け、海岸侵食防止事業として設置されたものである。国の補助事業で整備した消波ブロックは自治体による無許可での処分や目的外

使用ができない。「補助金適正化法（適化法）」に抵触するためである。そのため目的外使用にならない範囲として緩傾斜堤へ作り変え、埋設するという柔軟な対応が取られた全国的にも珍しい事例である。なお、総事業費は137,400,600円である。

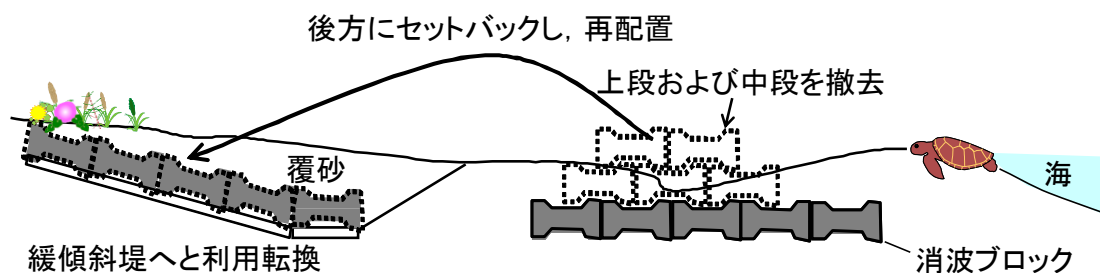


図 5.1 エコ・コースト事業の工事概要

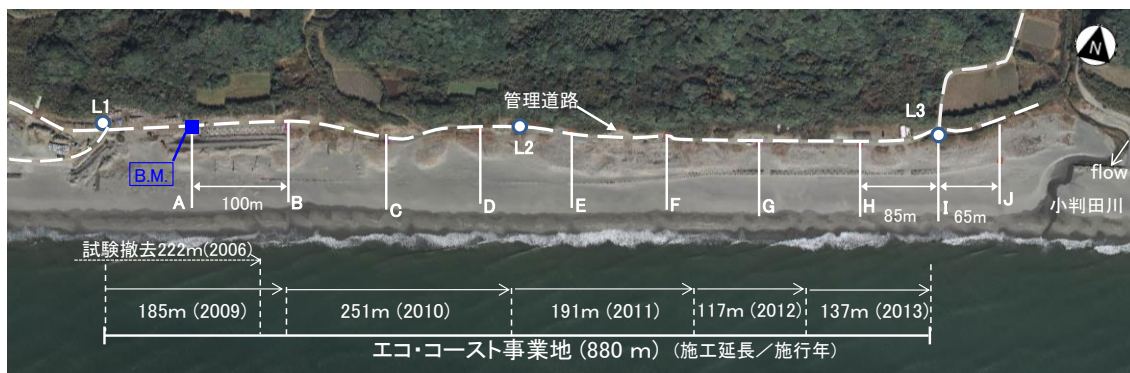


図 5.2 エコ・コースト事業地外観（航空写真：2008年撮影 愛知県提供）



写真 5.1 エコ・コースト事業地に設置された工事看板

5.1.1 エコ・コースト事業施工時の課題

施工後、当該事業地内において、事業前には存在しなかった巨礫や大礫を多量に確認している（写真 5.2）。ウミガメの産卵を観察していると、産卵巣を掘る際に後肢がコンクリートや礫に当たると産卵を中止することがある。表浜本来の砂質を保つためにも、客土はなるべく避ける必要がある。また、写真 5.3 に示すように、2009 年までに施工を終えたエリアにおいて、施工後の砂の締固めが充分でなかったことが原因と考えられる陥没が事業地内の至る場所で確認された。2001 年 12 月、兵庫県明石市の大蔵海岸において、人身事故が発生した事例もあることから、注意が必要である（土木学会海岸工学委員会，2002）。なお、同エリアにおいては、この陥没対策として事業地を再度掘削し、砂を締固める工事が 2009 年 6 月から実施され、その後の施工においては大きな陥没はみられていない。



写真 5.2 エコ・コースト事業地内で確認された岩



写真 5.3 長期間の降雨で陥没したエコ・コースト事業地

5.1.2 エコ・コースト事業地内におけるウミガメの事故事例

先述した砂を締固めるための養生工事は2009年6月から開始された(写真 5.4). 養生期間(2009年6月～2010年4月)がふ化幼体の脱出時期と重なったため, 掘削した溝にふ化幼体約30個体が迷入し, 帰海を阻害した事例がみられた(写真 5.5). その他, 当該事業地に産卵された産卵巣を囲った際に用いたスズランテープに脱出したふ化幼体が絡まった事例もあり, 工事期間はウミガメの繁殖シーズンを避ける必要がある.



写真 5.4 締固め工事



写真 5.5 工事の盛土による帰海阻害事例 (2010年8月28日)

5.2 エコ・コースト事業地における砂浜環境の変化

5.2.1 消波ブロック撤去後の汀線距離と断面積の変化

エコ・コースト事業地において、消波ブロック撤去後の汀線距離および断面積の変化について調べるため、レベル測量を実施した。測量方法は2.2.4に示したように、基準点(B.M.)からH.W.L.(T.P.+0.88m)までを5m間隔で計測し、汀線距離と断面積を求めた。断面積は(H.W.L.より上部の砂浜高さ)×(汀線距離)から求めた。測量期間は2006年7月からおよそ週1回のペースで2014年11月までである。測線は、**図5.2**のA測線である。A測線があるエリアは2006年にブロックの試験撤去が実施され、かつ、緩傾斜堤への改良工事が最も早い段階で着手された地点(2009年3月施工完了)である。なお、工事期間中および覆砂の陥没が生じたことによる養生工事期間中(2009年1月～2010年4月)は当該地における測量は実施できなかった。

図5.3に消波ブロック撤去後の汀線および断面積の変化を示す。なお、図中の実線は回帰直線である。汀線(図上段)は消波ブロック撤去後も平均的には後退は見られず緩やかに前進している。季節的には夏季～秋季は後退、冬季～春季は前進傾向にあることが分かる。また、断面積(図下段)は汀線と同様に季節的な変化は見られるものの、長期的にはほとんど変化が見られなかった。**図5.4**は消波ブロック撤去後の地形変化を示したものである。破線は試験撤去後(2006年7月～12月)の平均断面、実線は2012年1月～12月の平均断面、二重線は2013年1月～12月の平均断面をそれぞれ示す。2006年～2013年までの7年間で植生帯の前線が5m後退した。岸沖勾配は2006年では平均6.2%であったが、2012年は約0.8%程度緩傾斜化し5.4%となり、2013年は5.8%とやや勾配がきつくなったが緩勾配化傾向にある。消波ブロック撤去後、台風など波浪の影響を受ける範囲が広くなり、植生帯が海側から徐々に流失し、ブロックによって安定化していた後背部の砂が汀線方向に移動したことからこれらの地形変化が生じたと考えられる。前浜は2012年までは全体的に緩勾配化傾向にあったが、2013年の9月～10月にかけて、複数の台風が上陸または接近したことから、表浜海岸全体が侵食傾向となり、岸沖勾配は急勾配化した。

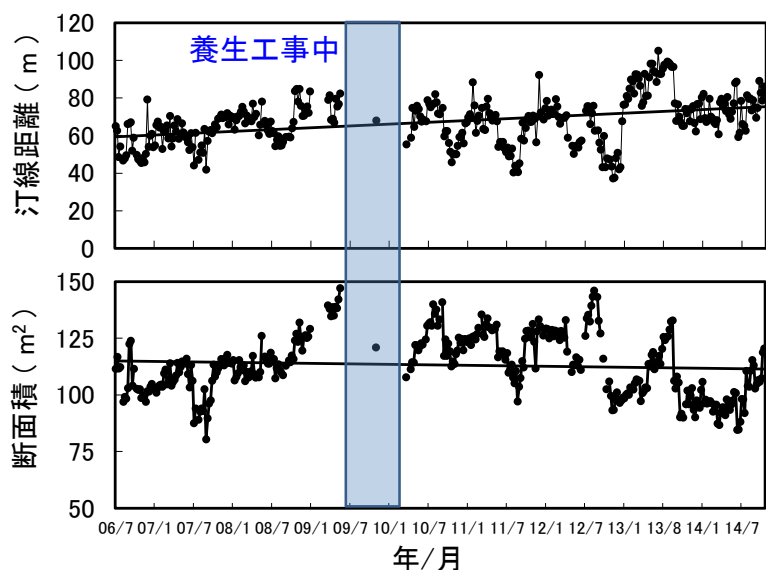


図 5.3 エコ・コースト事業地における汀線距離および断面積の変動

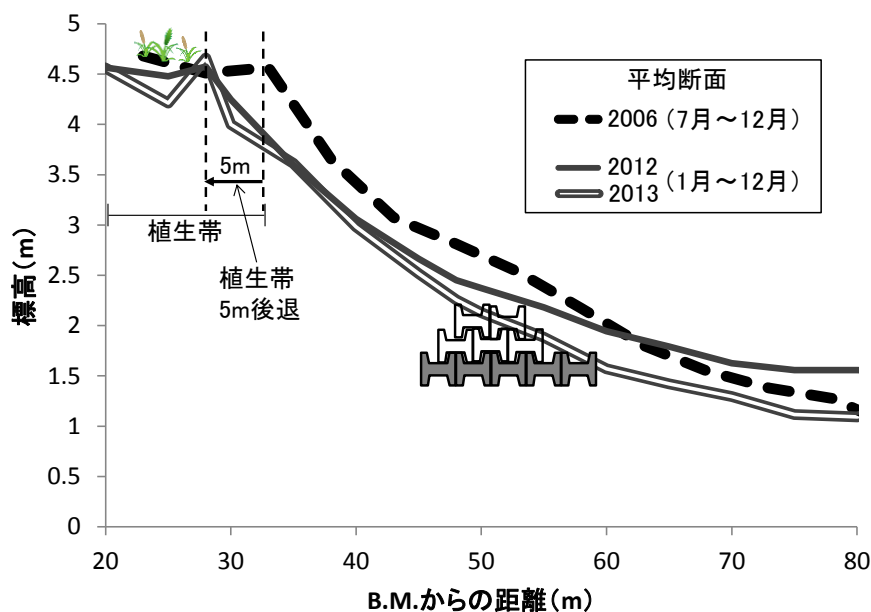


図 5.4 消波ブロック撤去後の断面変化

5.2.2 海浜植生の変遷

砂浜は元々栄養状態が乏しく、水分が不足し、時として非常に高温になるにもかかわらず、そこには多くの植物が生育している。海に最も近い打ち上げ帯は先駆植物帯と呼ばれ、根茎や匍匐枝で生長する匍匐草本と多肉草本で代表される（須田・早川，2002）。先駆植物帯は、漂着種子の発芽定着によってできた群落で、一年生植物から成る（中西・福本，1987）。陸側へ移動すると漸次的に多年生草本が生育

する。植生は飛砂による砂浜背後地への砂の流出を防ぎ、砂浜の砂の総量を安定的に増加させる機能を有すると考えられている（加藤・佐藤，1998；加藤ら，1997）。エコ・コースト事業地では既設消波堤の撤去や緩傾斜堤へと利用転換（改良）した際、既存の海浜植生が破壊された。地域の NPO 等からの提言もあり、破壊範囲は抑制された部分もあるが、緩傾斜堤が埋設されたエリアに関しては、海浜植物とそれに関わる生態系は一度リセットされたと言える。3.8.2 で述べたように、ウミガメにとって植生帯は産卵場を決定する 1 つの要素になっている可能性があり、既設消波堤撤去後に、エコ・コースト事業地の海浜植生がどのような変遷を遂げるのかといったことや、どの程度の期間で海浜植生が回復するのかを把握することは、将来的に同様の事業が展開された場合に貴重な資料になると考えられる。

遠州灘海岸の海浜植生については、岡ら（2008）が海浜植生の成帯構造の成立要因について報告している。また、海浜植物の生育条件について、小島ら（1997）は、福岡県の玄海・響灘沿岸における調査から、標高と汀線距離が重要であることを報告している。しかし、エコ・コースト事業のような、自然の砂浜へと復元させる事業が施工された後の海浜環境のモニタリング事例はあまり知られていない。そこで、エコ・コースト事業地における海浜植物調査を実施した。調査は、エコ・コースト事業の施工が完了した 2013 年の 5 月から、レベル測定の測線を設定した A～J ラインにおいて、幅 1m のベルト・トランセクト（図 5.2）を置き、5m 毎の出現種を月 1 回記録した。調査日を表 5.1 に示す。

表 5.1 調査日

調査日		備考
2013	5/23	
	6/22	
	7/24	
	8/22	
	9/22	9 月 16 日台風 18 号豊橋上陸
	10/31	10 月 15 日台風 26 号接近
	11/29	
2014	7/17	7 月 10 日台風 8 号接近
	8/26	
	9/22	

生育確認種

植物調査の結果、A～J エリアで合計 12 種の海浜植物が確認された。そのうちの 1 種は外来種のコマツヨイグサである。エリア全体を通して優占していたのは、コウボウムギおよびハマヒルガオで、オカヒジキを除く全ての種は多年草であった。調査により確認された植物種は合計 12 種であった（表 5.2）。

測線ごとの確認種数

調査期間のうち 2013 年および 2014 年の 7 月における測線ごとの確認種数を図 5.5、2013 年と 2014 年の確認種数の変化量を図 5.6 に示す。早期に施工が完了した西部では多くの種が確認され、東部にいくにつれ、植生は回復途上であり、確認種数は徐々に少なくなる傾向がみられた。また、帰化種コマツヨイグサが 2013 年は 3 測線で確認されていたが、2014 年では 5 測線で確認されており、その生育範囲を拡大していることが分かる。I ラインは消波ブロックが未撤去の区間であり、隣接するエリア（測線 H 周辺）のブロックを撤去した際に、掘削や重機の移動等の影響で砂浜がかく乱され、裸地化したため、施工直後の 2013 年は海浜植物の出現種数が少なかった。その後、2014 年は隣接する J ラインが供給源となったことや前浜に設置されている消波ブロックにより砂浜が安定化しているため、1 年間で 4 種の増加がみられた。B ラインでは 3 種、J ラインでは 1 種が姿を消し、その他の測線においては、1～2 種増加した。

表 5.2 生育確認種

科	種名	備考	
Cyperaceae/カヤツリグサ科	<i>C. kobomugi</i> /コウボウムギ	多年草	
	<i>Q. serrate</i> /コウボウシバ		
Convolvulaceae/ヒルガオ科	<i>C. soldanella</i> /ハマヒルガオ		
Asteraceae/キク科	<i>I. repens</i> /ハマニガナ		
Fabaceae/マメ科	<i>L. japonicas</i> /ハマエンドウ		
Apiaceae/セリ科	<i>G. littoralis</i> /ハマボウフウ		
	<i>Z. macrostachya</i> /オニシバ		
Poaceae/イネ科	<i>I. antheoroides</i> /ケカモノハシ		
	<i>I. cylindrical</i> /チガヤ		
Rosaceae/バラ科	<i>R. luciae</i> /テリハノイバラ		
Chenopodiaceae/アカザ科	<i>S. komarovii</i> /オカヒジキ		単年草
Onagraceae/アカバナ科	<i>O. laciniata</i> /コマツヨイグサ		多年草/帰化種

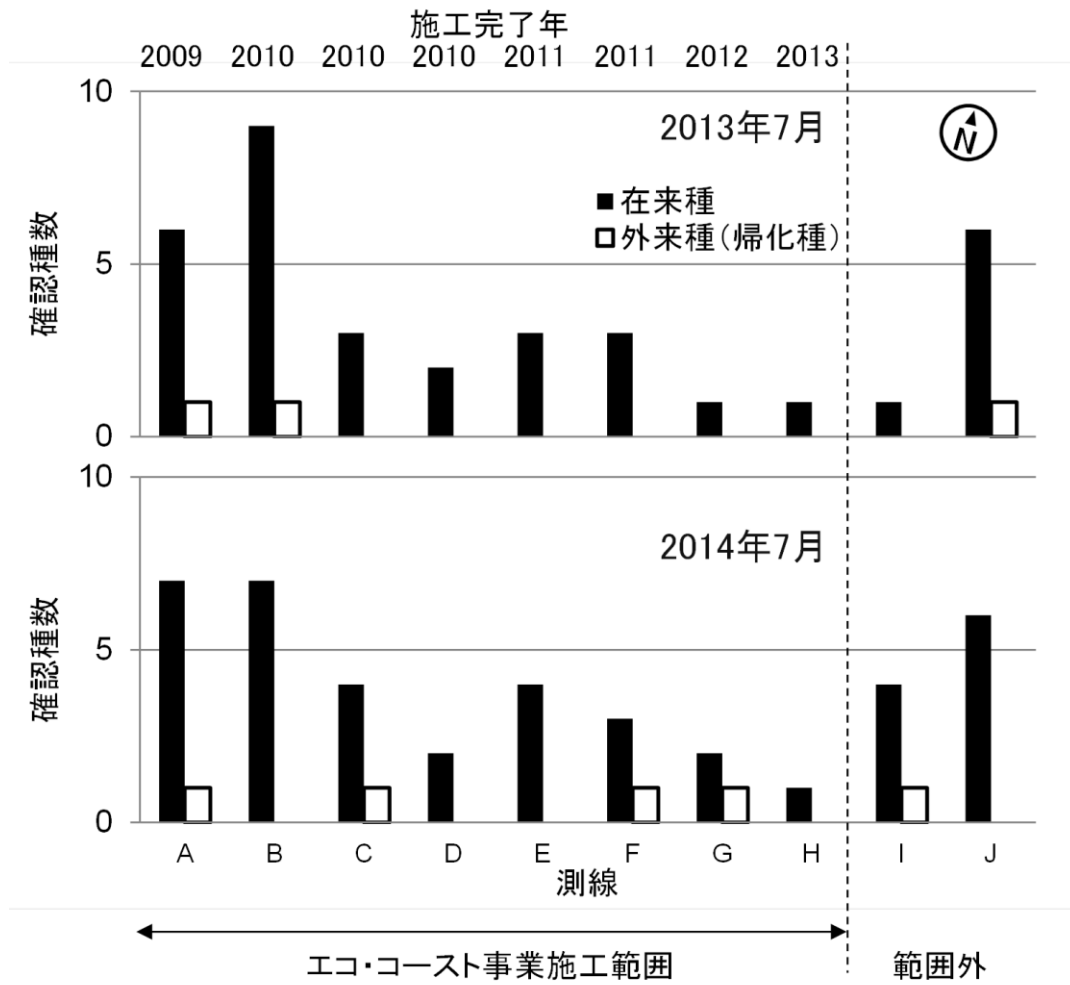


図 5.5 測線ごとの確認種数 (上段 2013, 下段 2014)

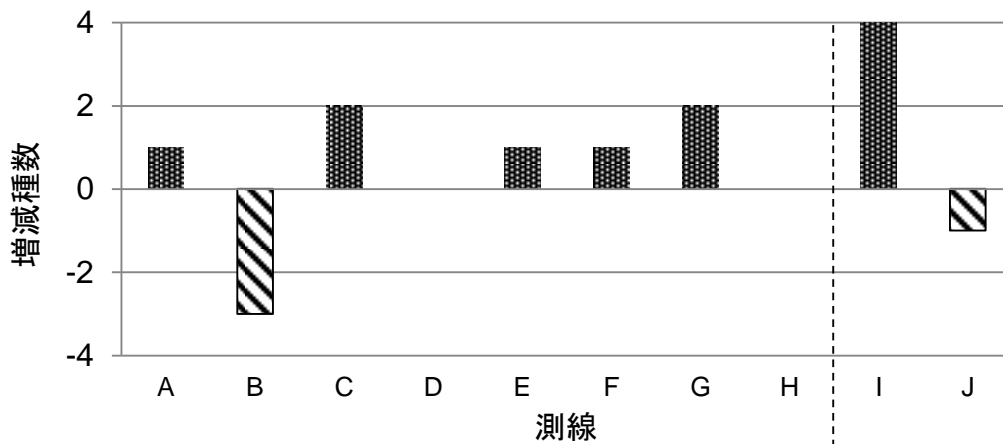


図 5.6 測線ごとの種数の変化量

植物種数の平面分布と標高

図 5.7 および図 5.8 に 2013 年および 2014 年の各測線における 5m 毎の出現海浜植物種数の平面分布を示した。なお、2013 年については 5 月～11 月の平均汀線位置を、2014 年については 6 月と 10 月の平均汀線位置についても併記した。また、図 5.9 は、2013 年から 2014 年にかけて同一地点にて確認された植物種数、標高および汀線距離の変化量を示したものである。これらの図から、内陸側の 15m 地点まではほとんどの地点で種数が維持・増加したことが分かる。また、H ラインでは、2013 年時点で管理道路から海側へ 25m 地点まで海浜植物が前進傾向にあったが、2014 年は 5m 地点まで後退した。これは、2014 年 7 月 10 日に台風が接近し、波浪の影響で砂浜にかく乱が生じた影響が大きい。H ラインは他の測線と比較して、平均汀線距離が短いため、波浪の影響を受けやすかったと考えられる。

各測線において標高が 4m 以上の地点では種数が増加傾向にあることが分かる。海浜植物は波浪などのかく乱がなければ陸側から海側へとその生育範囲を徐々に拡大していくが、このかく乱作用により、前進・後退を繰り返すことで、植生が過度に繁茂することがなく“砂浜”としての環境が維持されることが考えられる。先述したように、ウミガメは産卵場として植生帯の前線 5m の範囲に最も高密度に産卵する (Karavas ら, 2005)。この植生帯と砂地の境界 (遷移帯) の確保は、ウミガメが好む産卵場の確保につながると言える。国土保全の観点から言えば、砂浜に生育する植生の発達によって砂地が徐々に陸地化し、安定的に保全されることが望ましいという考え方もある。一方、ウミガメの産卵場の機能を考慮するのであれば、砂浜は、適度にかく乱され、微粒子分が掃流されることである程度の空隙が保たれ、有機物量の過剰な蓄積が抑制される姿が望ましいと言える。両者はトレードオフの関係にあり、このかく乱を前提とした場の保全には、活発な土砂動態を許容できる緩衝領域 (バッファー) の設定が必要と考えられる。

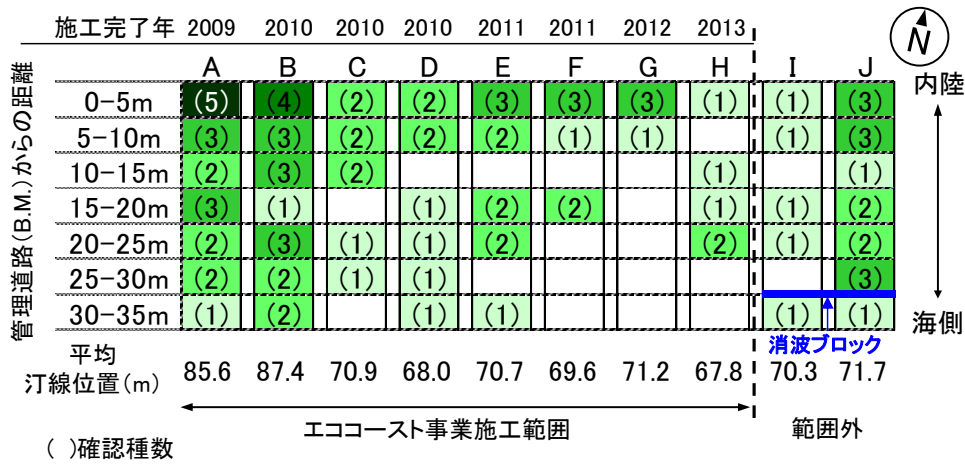


図 5.7 確認種数の空間分布 (2013 年)

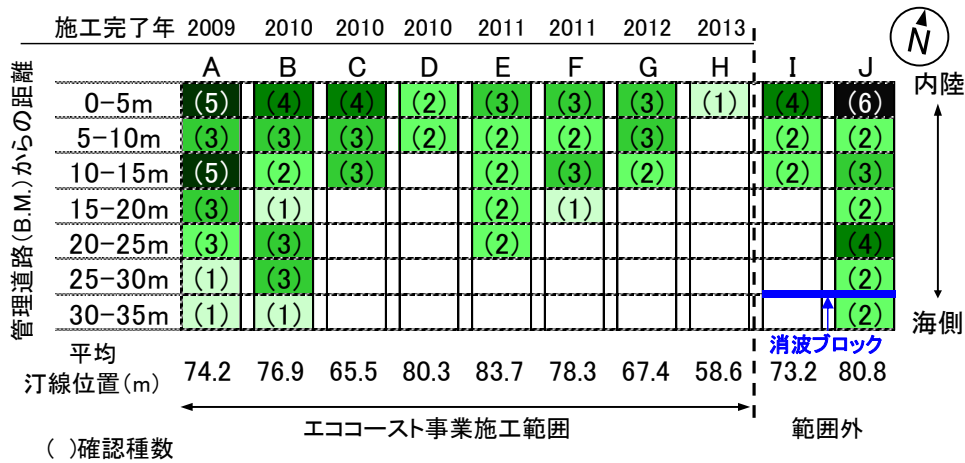


図 5.8 確認種数の空間分布 (2014 年)

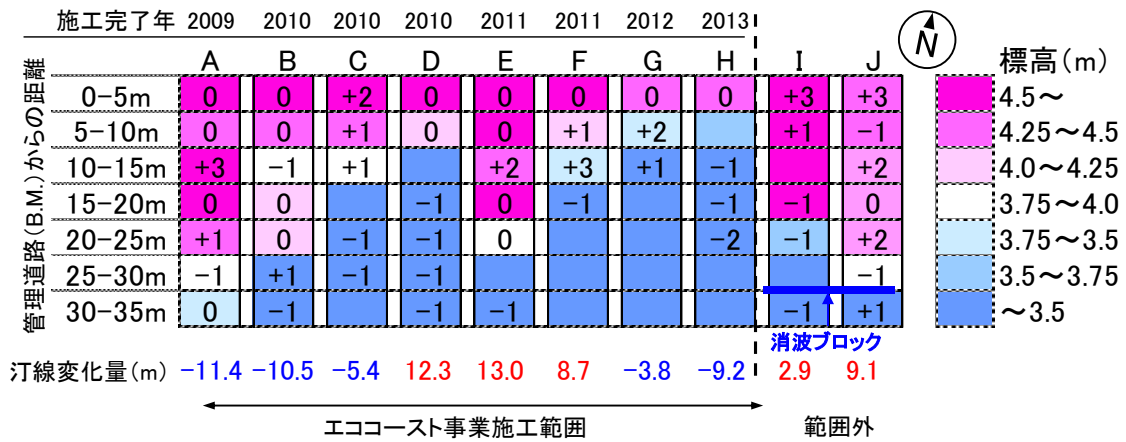


図 5.9 標高と植物種数の変化量 (2013 年と 2014 年の差)

5.3 エコ・コースト事業地におけるウミガメの上陸・産卵行動

消波ブロックを撤去したエリアに上陸・産卵したウミガメの行動の変化について現地調査データを整理した。使用したデータは 2009 年～2010 年および 2013 年～2014 年の 5 月～8 月の期間に記録されたものである。現地調査を実施していない 2011 年、2012 年については、豊橋市の調査結果を用いて補完した（豊橋市，2013，2014）。なお、先述したように当該事業は段階的に施工されており，2009 年の産卵シーズン（5 月～8 月）までの施工完了延長は約 185m，2010 年は 436m，2011 年は 627m，2012 年は 743m，2013 年は 880m である。

表 5.3 および **表 5.4** に 2009 年～2014 年の上陸・産卵データの一覧を示した。エコ・コースト事業地内において合計 66 例の上陸が確認され，そのうち産卵したのは 51 例（産卵成功率：76.9%）であった。2009 年～2013 年の豊橋市全域（13.5km）の産卵成功率の平均値は 57.4% であり，それと比較すると 19.5% 高く，ブロック移設前（2004 年～2005 年）における同事業エリアの産卵成功率 66.7% と比較すると 10.2% 高い値となった（豊橋市，2014）。**表 5.5** に，2009 年～2014 年の期間における事業の施工完了範囲とその範囲内のウミガメの上陸・産卵回数を整理した。上陸回数には，年ごとにバラつきがあるものの 2014 年を除き，産卵成功率は 70% 以上と高い値を維持している。上述した結果のうち，現地調査から得られた 2009 年～2010 年および 2013 年～2014 年の上陸・産卵位置を **図 5.10** に示した。図中のシンボル（白丸）は産卵巣の位置を，白実線はその移動軌跡を示している。シンボル（赤四角）は未産卵個体が産卵を中止し，折り返した位置を，赤実線はその移動軌跡である。ブロックの上段および中段が撤去された場所は水色の実線，3 段積みブロックが設置されている場所（施工範囲外）は黒実線で示した。合計 37 例のウミガメの上陸・産卵位置データが得られ，その内訳は産卵 30 例，未産卵 7 例（産卵成功率 81.1%）であった。さらに，エコ・コースト業地に隣接する東西 1km の範囲におけるウミガメの産卵状況を **図 5.11**（上段が西部 1km の範囲，下段は東部 1km の範囲を示す。）に，エコ・コースト事業地（ブロック移設前・移設後）および当該事業地に隣接する東西 1km の範囲における移動距離と産卵成功率を **表 5.6** に示した。エコ・コースト事業地において，移動距離を計測した産卵個体 30 例の平均

移動距離は 58.5m で、これは、3.8.3 で示した 2008 年～2010 年の豊橋市域における産卵個体の平均移動距離 42.6m と比較すると平均 15.9m 長い距離を移動していることが分かる。隣接エリア東部における産卵個体の平均移動距離は 47.7m ($n = 19$) で産卵成功率は 87.9% と高く、西部では平均移動距離 36.9m ($n = 13$) で、産卵成功率が 50.0% と低いことが分かる。移動距離の平均値からも分かるように、西部と比較して東部では相対的にウミガメが利用できる砂浜幅が広く保たれているため産卵成功率が高かったと考えられる。一方、西部は、消波ブロックの設置位置が前浜寄りであることも影響し、平均移動距離も 40m に満たず、十分な広さの砂浜が確保されていないことから低い産卵成功率であったと推測され、消波ブロック設置位置の前面まで到達するも未産卵のまま帰海している個体が多いことが分かる。

次に、当該事業地において、ウミガメが産卵場として選択した環境は、砂地が 20 例 (54.1%) 砂地と植生帯の境界が 12 例 (32.4%)、植生帯の中が 5 例 (13.5%) であった。当該事業は段階的に施工されたことから施工直後は植生が回復していないエリアがあることを考慮しても、約半数の 45.9% のウミガメが産卵環境として境界部分と植生帯を選択していることは注目に値する。

また、上陸個体について、消波ブロック上部 2 段が撤去されたライン (水色実線) を越えたのは 30 例で、総上陸数の 81.1% を占め、ブロックを撤去した効果が認められる。しかし、管理道路と砂浜を隔てるものがないため、管理道路を越えて移動する個体も確認されていることから、親ガメ、ふ化幼体双方に轢死や夜間に管理道路を通行する車両のヘッドライトによる影響 (光害 : 5.4 にて後述) が生じると考えられる。

エコ・コースト事業地において、消波ブロックが撤去されたエリアの砂浜は台風や波浪の影響を受けやすくなる。図 5.3 および図 5.4 で示したように、断面積がそれほど変化せず、汀線が前進していることから砂浜は緩勾配化傾向にあり、消波ブロック設置時よりも、植生の生育ラインが徐々に後退しており、砂浜が安定的な形状になるまではこの傾向が続くと推測される。海浜植生が約 5m 後退したことにより、当該事業地に上陸したウミガメが更に浜奥を目指すのであれば、上陸後の移動距離は今後も伸びることが予測される。当該事業域に上陸したウミガメの移動距

離は、ブロックが設置されているエリアよりも伸び、豊橋市全域の産卵成功率と比較して 23.7% 高い。これらの結果は、湖西市域に上陸したウミガメの挙動に近づきつつあることを示している可能性がある。元来ブロックが設置されなかった湖西市域の海岸では、豊橋市域の海岸と比較して植生帯の生育ラインは内陸側に位置する傾向にある。自然海岸では海、砂浜、植生帯は常にせめぎ合っており、台風などの季節的な要因で汀線および植生帯は周期的に前進・後退を繰り返す。このことは砂浜が“動的平衡場”であることを示している。一方、消波ブロックの設置された海岸では、ブロックの背面（陸側）では風波の影響は緩和され、海浜植物が安定して繁茂することになる。ブロックの設置は植生の過度な前進や高密度化を招き、砂浜を“静的に安定”させ、本来の砂浜環境からかけ離れたものにしてしまうと言える。Kikukawa ら（1999）は沖縄島における 3 年間の現地調査結果から、砂が柔らかい砂浜は相対的にウミガメの産卵回数が多いことを報告しており、砂浜の過度な安定化は負の影響を及ぼす可能性がある。これらのことから砂浜の侵食対策には人工護岸等を用いた対症療法ではなく養浜やサンドバイパスなどの原因療法に注力することと併せて、汀線の後退が見られないエリアではエコ・コースト事業等の生態的な視点にも配慮した“海岸のバリアフリー化”を図り、動的平衡場としての砂浜を保全する取組が期待される。



図 5.10 エコ・コースト事業地における上陸・産卵位置およびその移動軌跡

表 5.3 エコ・コースト事業地に上陸したウミガメ一覧 (1/2)

No.	確認日	産卵の有無	移動距離 (m)	選択した産卵環境	備考	
1	2009	7/30	68	植生帯	豊橋市データ	
2		8/1	60	境界		
3			42	境界		
4	2010	6/11	22	砂地		
5		6/14	-	砂地		
6		7/7	63	砂地		
7		7/8	57	植生帯		
8		7/10	52	砂地		
9		7/12	36	砂地		
10		7/20	33	植生帯		
11		8/3	53	砂地		
12	2011	6/25	-	-		
13		7/21	-	-		
14		7/23	○	-		-
15		7/25	○	-		-
16		7/27	○	-		-
17		8/1	○	-		-
18	2012	5/25	-	-		
19		5/29	-	-		
20		6/14	○	-		-
21		6/15	○	-		-
22		6/21	○	-		-
23		6/23	-	-		-
24		6/24	○	-		-
25		6/27	-	-		-
26			○	-		-
27		6/28	○	-		-
28		7/3	○	-		-
29		7/8	○	-		-
30		7/10	○	-		-
31		7/17	○	-		-
32		7/23	○	-		-
33		7/26	-	-		-
34		7/28	○	-		-
35		7/30	○	-		-
36		8/2	○	-		-
37		8/5	○	-		-
38	8/7	○	-	-		
39	8/8	○	-	-		
40	8/17	-	-	-		

表 5.4 エコ・コースト事業地に上陸したウミガメ一覧 (2/2)

No.	確認日	産卵の有無	移動距離 (m)	選択した産卵環境	備考
41	5/25	○	36	砂地	
42	5/30	○	70	植生帯	
43	6/10	○	54	砂地	
44	6/17	○	81	境界	
45	6/21		57	砂地	
46	6/22	○	66	境界	
47	6/27	○	32	砂地	
48			73	植生帯	
49	6/29	○	66	境界	
50	7/1	○	44	砂地	
51	7/3	○	61	境界	
52	7/4	○	63	砂地	
53			18	砂地	
54	7/17	○	80	砂地	
55	7/27	○	91	境界	
56	7/31	○	77	砂地	
57	8/5	○	32	境界	
58		○	86	境界	
59	8/7	○	52	砂地	
60	6/20	○	47	砂地	
61	7/7		75	砂地	
62	7/13	○	52	境界	
63			64	境界	
64	7/18		10	砂地	
65	8/5		22	砂地	
66	8/16	○	90	境界	
平均移動距離			55.1		

表 5.5 施工完了範囲とウミガメの上陸・産卵回数

年	施工完了範囲 (m)	上陸回数	産卵回数	産卵成功率 (%)	産卵個体の平均移動距離 (m)
2009	185	3	2	66.7	64.0
2010	436	8	8	100.0	45.1
2011	627	6	5	83.3	-
2012	743	23	17	73.9	-
2013	880	19	16	84.2	62.0
2014	880	7	3	43.0	63.0

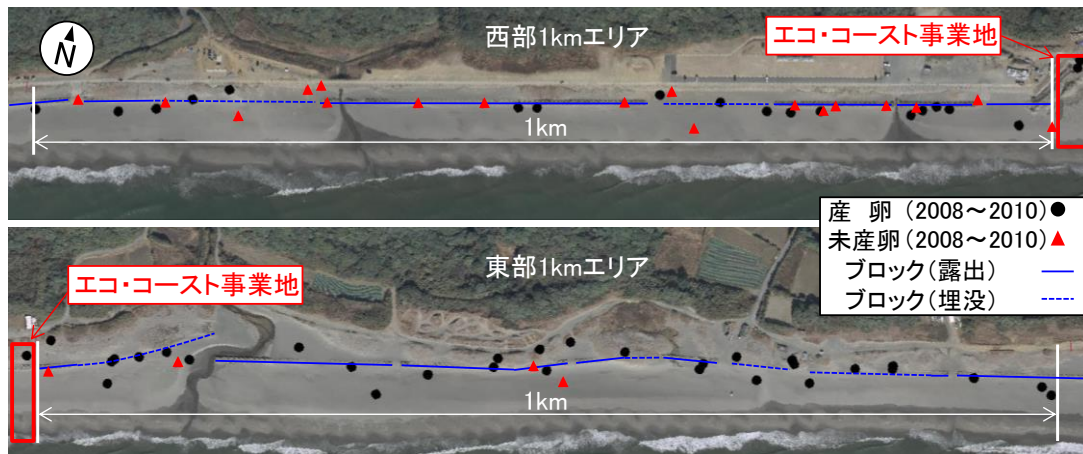


図 5.11 エコ・コースト事業地隣接エリアにおける産卵状況 (2008 年～2010 年)

表 5.6 産卵個体の平均移動距離と産卵成功率

エリア	年	延長 (km)	平均移動距離 (m) n:サンプル数	産卵成功率 (%) (産卵回数/上陸回数)
エコ・コースト事業地 (ブロック移設前)	2004～2005	-	-	66.7 (14/21)
エコ・コースト事業地	2009～2014	0.88 (最長)	58.5* ¹ (n = 30)	76.9 (30/37)
隣接エリア東側	2008～2010	1.0	47.7 (n = 19)	87.9 (29/33)
隣接エリア西側	2008～2010	1.0	36.9 (n = 13)	50.0 (17/34)
豊橋市全域	2008～2013	13.5	42.6* ² (n = 167)	53.3 (518/972)

*¹: 2011 年～2012 年は未計測.

*²: 2008 年～2010 年計測値.

5.4 エコ・コースト事業地における夜間交通量の計測とウミガメへの影響

ウミガメの産卵は夜間に行われる。産卵のために上陸したウミガメは非常に警戒心が強く、タバコの火程度にも反応を示したことが報告されている(大富ら, 2001)。また, Salmon ら (1995) は, フロリダでの現地調査結果から, 都市部の照明が遮られる高層建築物の影にウミガメの上陸産卵個体が集中する傾向があることを報告している。このことからウミガメはより暗い環境を産卵場として選択する習性があると推察される。巣穴から脱出したふ化幼体にとって, 帰海する際に照明灯などの人工光源によって海の方角を見失うことは轢死や捕食, エネルギーの浪費を招き, 生存率の低下につながる可能性が高い (McFarlane, 1963 ; Mann, 1978) 。これら

の人工光源による影響は「光害」と呼ばれ、親ガメ、ふ化幼体の双方に影響を及ぼすことが報告されている（表 5.7）。エコ・コースト事業地には照明灯などは設置されていないが、消波ブロックの移設作業の際、重機の通行のため管理道路の幅員が他のエリアと比較して広く整備された。結果として、昼夜を問わず、多くの車両の通行および駐車が見られるようになった（写真 5.6）。「ウミガメが上陸しやすい砂浜」をテーマとしたエコ・コースト事業であるが、この工事に伴う管理道路の拡幅により、車両の通行や駐車が容易になり、事業の本来の目的とは相反する課題が浮上したと言える。上述した既往研究結果を鑑みると、夜間に管理道路を通行する自動車の前照灯は親ガメの繁殖活動に負の影響を及ぼす可能性が高い。1.7.3 で示したように、平均潮位差が 1.3m 程度とあまり大きくない表浜海岸において、ウミガメが満潮時を狙って上陸するといったことは考えにくい（Frazer, 1983）。国内において、ウミガメの上陸時間帯について調べた事例として、和歌山県みなべ町千里浜において松沢（2012）が調査したものがある。2002 年～2006 年に同海岸に上陸したウミガメ延べ 703 回の上陸を整理した結果、上陸は主として 20 時～4 時の間に確認され、上陸が集中する時間は 20 時～2 時頃であったことが報告されている。ウミガメの産卵時間帯に当たる夜間から未明（20 時～4 時）にかけて実際にどの程度の車両がエコ・コースト事業地の管理道路を通行しているのか、また、それがウミガメの繁殖活動に影響を及ぼしているかどうかについて把握する必要がある。そこで、光強度データロガーHobo UA-002-64（onset 社製）を用い、データロガーに感知された光の回数をカウントし、通行量およびその時間帯について調べた。なお、データロガーに車両が低速で接近した場合や停車した場合は 2 秒以上連続して記録されるので、まとめて 1 回としてカウントした。データロガーは、当該事業地の L1 地点～L3 地点の 3 地点（図 5.10, 管理道路と砂浜の境界部分）に管理道路側（陸側）に向けて設置した。調査期間は 2014 年 8 月 7 日～31 日で計測時間帯は 20 時～翌日 5 時までの間に 1s 間隔で連続観測した。

図 5.12 に L3 地点において 8 月 11 日の 20 時～8 月 12 日の 5 時までの光の感知回数を示した。同図からは、サーファーや釣り人の訪れる朝 4 時頃に記録が集中する傾向があることが分かる。図 5.13 は 8 月 7 日～31 日の 20 時～4 時の間に L1～

L3 地点での光の感知回数を示したものである。調査期間中における地点ごとの合計感知回数は、L1 地点で 148 回、L2 地点で 32 回、L3 地点で 133 回であり、3 地点の合計回数が最も多かったのは 8 月 23 日～24 日の 58 回、次いで 8 月 14 日～15 日の 45 回であった。L1 および L3 地点付近には海岸へのアクセス道路があることから、多くの車両が通行していること、事業地の中央部にあたる L2 地点では通行量が少ないことが分かった。8 月 8 日～8 月 18 日は、盆休み期間であり、海岸に多くの利用者が訪れた（混雑期）。一方、平常時は、金曜の夜間～日曜に通行量が集中し、平日は通行量が少なくなる 8 月 17 日～8 月 31 日の期間が該当する。図 5.14 に盆明け（平常時）に当たる 8 月 17 日～8 月 31 日の 2 週間に L1～L3 の 3 地点において感知された光の合計回数を示した。通行量は土曜の夜から日曜の未明にかけて最も多く、次いで金曜の夜から土曜の未明にかけてであり、その合計回数は土曜～日曜が 78 回、金曜～土曜が 22 回であった。次に、8 月 17 日～8 月 31 日の期間において L1～L3 地点で感知された時間帯ごとの光の平均回数について図 5.15 に示した。同図からは、深夜帯であっても当該事業地を通行する車両があること、特に明け方に当たる 3 時～4 時頃に通行量が多いことが分かった。また、図 5.16 は盆休み（混雑期）に当たる 8 月 8 日～8 月 18 日の期間に L1 地点～L3 地点において感知された光の平均回数を示したものである。盆休み（混雑期）における車両の通行時間帯は、明け方に集中するなどといった傾向はなく分散した結果となった。盆休み期間は図 3.32 でも示したように例年的にウミガメの産卵も終息に向かう時期であり、ウミガメの繁殖活動に車両の前照灯が及ぼす影響は限定的であると考えられる。ただし、図 5.10 に示したウミガメの産卵状況を見ると、L1 地点周辺は未産卵のケースがやや集中している。当該事業地の西部に隣接するエリアはコミュニティ広場と呼ばれる広い駐車場とトイレが整備された空間があり、多くの人が利用する。コミュニティ広場とエコ・コースト事業地は盛土（図 5.10 中の白破線）で隔たれているが、車両が盛土の南側から進行した場合、前照灯が当該事業地を照らすことになる。実際、写真 5.7 のように上陸直後に折り返し帰海する痕跡が周辺で 2 例確認されていることから車両の前照灯が産卵を阻害している可能性がある。ウミガメが上陸後すぐに帰海した場合、波打ち際のタートルトラックは波により完全に

消失してしまうことも考えると潜在的な影響も懸念され、何らかの対策が必要であると考えられる。3.8.1で示したようにタートルトラックからでは未産卵の原因が不明なパターンの中には、前照灯により産卵を中止したケースも含まれているであろう。

一方、ふ化幼体が人工光源に翻弄された場合、写真 5.8 のような痕跡が残るが、事業地内では同様の痕跡は残されておらず、写真 5.9 のようにほぼ一直線に海を目指す痕跡がほとんどであり、今のところ帰海への影響は確認されていない。

管理道路沿いには写真 5.10 に示した啓発看板も複数設置されてはいるが、親ガメの産卵を阻害しないためには、遮光板の設置や遮光を目的とした植栽をするなどの対策が考えられる。特に盛土の南側（図 5.10 中の A）を通る車両のヘッドライトの遮光を優先することで、光害の影響を軽減させることが可能であると考えられる。

表 5.7 人工光源がウミガメの繁殖活動に及ぼす影響

		人工光源	
		ヘッドライト（移動光源）	照明灯（固定光源）
影響	親ガメ	親ガメは移動光源に対して反応が敏感。上陸途中で光が動くと産卵を中止して帰海する（八田，1996）。	人工照明のある海岸では産卵を避け、産卵した場合も帰海時に迷走することがある（Witherington，1992） 都市照明が遮光される場に上陸産卵個体群が集中する傾向がある（Salmon ら，1995）。
	ふ化幼体	ふ化幼体は正の走光性を持つ（Witherington・Bjorndal，1991）。一時的に海の方向を見失う可能性はあるが、長時間に至らなければ大きな影響はないと考えられる。	降海時、海の方向を見失い、迷走する（Witherington・Bjorndal，1991；Jacquelyn・Salmon，2007）。 カッターバー付き高圧ナトリウム灯では、0.5lux、低圧ナトリウム灯および紫外線 2 除去フィルム付き高圧ナトリウム灯では、5.0lux 程度までは走行性を示さないがそれ以上の照度については影響がある（八田，1996）。



写真 5.6 エコ・コースト事業地の管理道路に駐車する車両 (2014年8月31日6 A.M.)

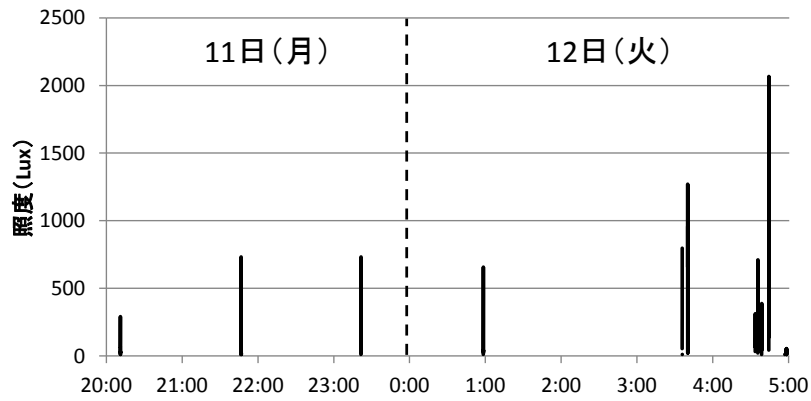


図 5.12 L3 地点において感知された光 (2014年8月11日~8月12日)

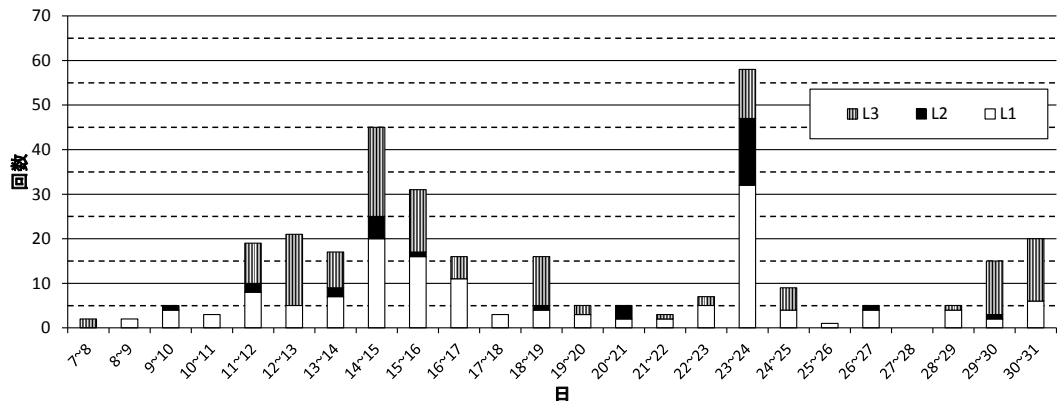


図 5.13 地点ごとの感知回数 (2014)

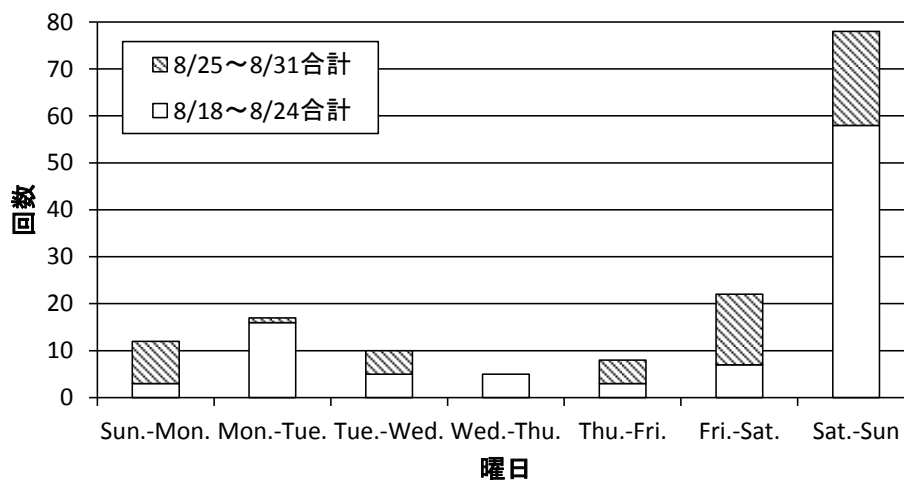


図 5.14 曜日ごとの光の感知回数 (2014)

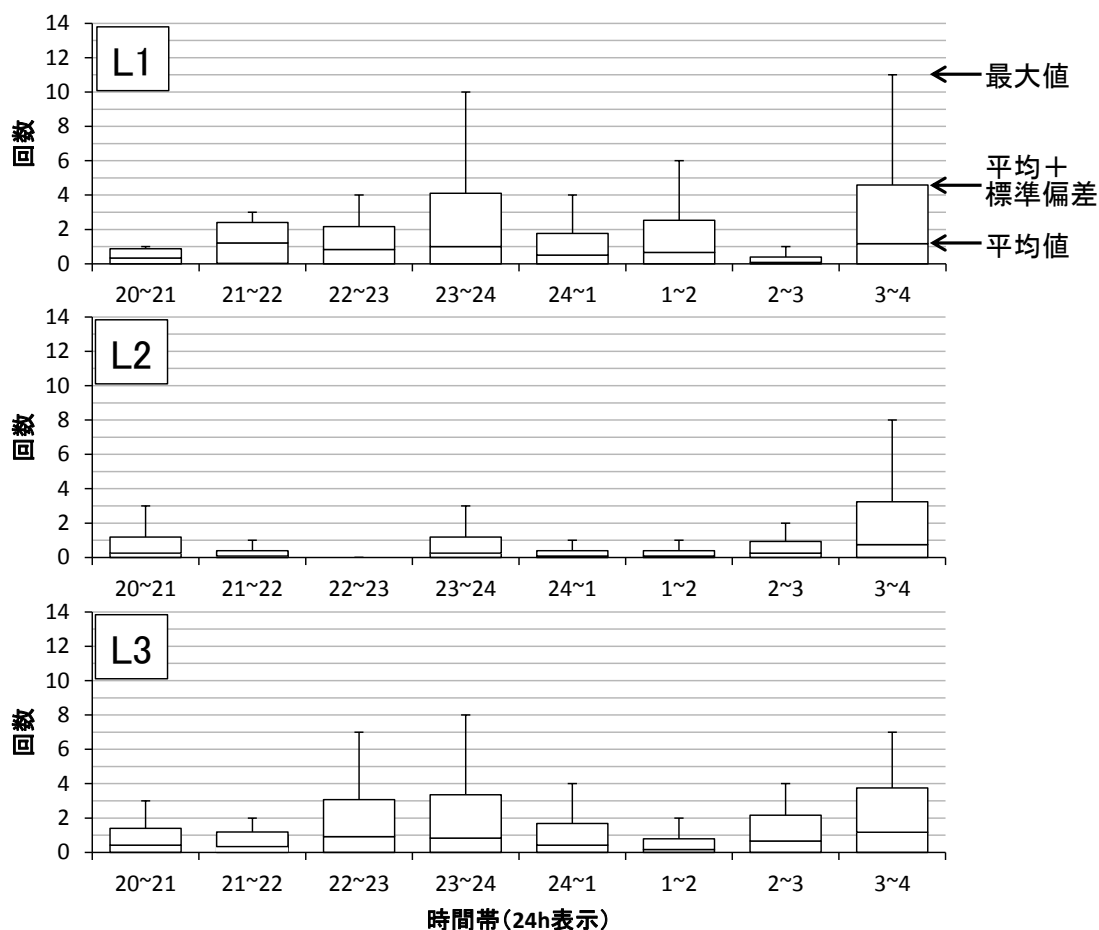


図 5.15 L1 地点~L3 地点にて記録された光の平均回数
(2014年8月17日~8月31日: 平常時)

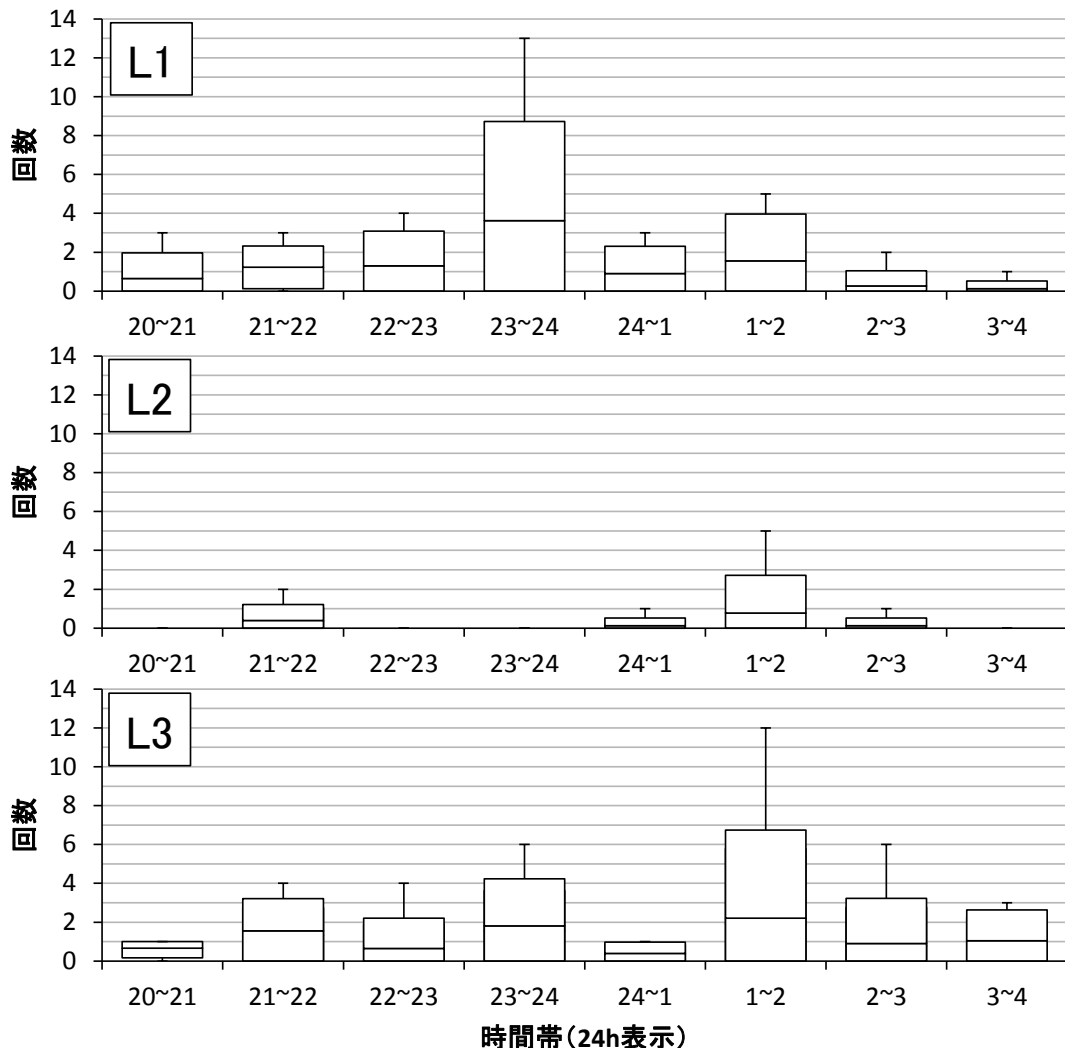


図 5.16 L1 地点～L3 地点にて記録された光の平均回数
(2014 年 8 月 8 日～8 月 17 日：混雑期)



写真 5.7 上陸後すぐに帰海したタートルトラック (親ガメ)



写真 5.8 光により翻弄されたふ化幼体の移動痕跡



写真 5.9 ふ化幼体の帰海痕跡



写真 5.10 エコ・コースト事業地に設置された啓発看板

5.5 CVMによるエコ・コースト事業の価値に関する意識調査

豊橋市で実施されたエコ・コースト事業は、「ウミガメの上陸しやすい砂浜への改良」がテーマとして押し出された先進的な砂浜環境修復の事例であるが、今後このような「自然再生型の公共事業」が社会的に認知されるには、費用対効果や事業内容の妥当性等に関する検討が必要となる。「海岸事業の費用便益分析指針（改訂

版)」（農林水産省・国土交通省，2004）によれば，海岸事業による環境保全に関する便益の算定には CVM（Contingent Valuation Method：仮想評価法）を用いることとしている．そこで本節では，エコ・コースト事業を対象に，サーファーや釣り人等の海岸利用者が自然再生型の公共事業に対してどのような価値認識を持っているかについて CVM を用いて評価をする．

CVM とは，公共事業などによる整備の便益を世帯が対価として支払ってもよい金額をアンケート調査によって集計し，事業効果を貨幣価値へと換算する手法である．人工なぎさの環境価値（閑野ら，1998），海岸空間の防護・利用・環境の価値（笠井ら，1999），トキの野生復帰を目指した減農薬・減化学肥料栽培米の価値（堅田・田中，2008）などの非市場材の評価への適用事例は多い．

5.5.1 調査の方法

仮想市場の設定

アンケート票は，a) 表浜に訪れる頻度とその理由を問う質問，b) エコ・コースト事業の言葉の認知度を問う質問，c) 豊橋市で施工されたエコ・コースト事業の概要および効果に関する説明，d) 同事業に対する支払い意志額の質問，e) 被験者の属性等に関する質問で構成される．

エコ・コースト事業の概要および質問事項については，被験者が理解しやすいように平易な言葉と図を用いて説明した．

支払意志額の回答方式

既存の回答方式としては，オープンエンド方式，支払いカード方式，二項選択方式，付け根ゲーム方式などがあるが，バイアスが少ないとされる二項選択方式を採用した（国土交通省，2010）．支払い意志額の選択形式としては，一般に追加税，寄附金，負担金，利用料があるが，河川環境に関する便益計測で多く用いられており，税金，寄附金と比較して先入観が小さいと考えられている「負担金」で支払う意志額を問うことにした．支払い意志額は月額 50 円（年額 600 円），100 円（1,200 円），200 円（2,400 円），500 円（6,000 円），1,000 円（12,000 円），3,000 円（年額 36,000 円），5,000 円（年額 60,000 円）の 7 段階とし，それ以上の場合は支払い

金額を記入する方式とした。回答金額の幅は 50 名程度を対象としたプレテストを実施し、決定した。

抵抗回答

被験者の中には支払意志額に関する質問において、事業を実施する場合としない場合の効用を比較して支払い意志額を回答するのではなく、調査票の仮想的市場（支払意志額の徴収方法など）に抵抗を感じるために「支払わない」と回答する場合もある。これは抵抗回答と呼ばれ、有効回答としては取り扱わないこととした。調査票において、抵抗回答は「負担金を集めるという仕組みに反対だから」および「これだけの情報では判断できない」と回答した被験者および自由記入の内容に応じて判断した。

被験者の理解の確認

被験者が調査対象事業やアンケートに対して十分に理解していないと考えられる回答についても有効回答からは除外した。調査票において、「高波の被害が軽減されるから」（事業によって実現しない効果）および「自分や家族に価値はないが、他の世帯が支払うのなら仕方ないから」と回答した被験者および自由記入の内容に応じて判断した。

サンプリング

エコ・コースト事業地周辺（豊橋市小島町）に訪れた人を被験対象者として、面接形式でアンケート調査を実施した。調査日および調査対象エリアの利用者数（概数）や有効回答数を表 5.8 に示した。なお、2014 年 6 月 9 日（月）に調査対象地の近隣でサーファーがサメに襲われる事件が発生したため、その後約 2 週間にわたって利用者が減少した。調査者数は 1 名ないし 2 名 1 組みで実施し、事業の説明等は全て著者が担当した。得られた結果を適正に評価するためには、各支払い意思金額において 50 票程度が必要とされている（肥田野，1999）。本調査では 126 票の回答が得られ、そのうち、表 5.9 に示すような「負担金」を集めるという仕組みへの反対や支払意志額の回答自体への拒否といった抵抗回答、質問の理解が十分でなく、論理的な矛盾が存在する回答を除外したところ、有効回答は 102 票であった。

表 5.8 調査概要

調査地	調査日および時間帯		利用者概数	回答数	有効回答数	
エコ・コースト事業地の東端から西へ約 2km の範囲	2014 年	6 月 8 日 (日)	6:00~7:30	197	33	28
		6 月 9 日 (月)		15	4	2
		6 月 14 日 (土)		—	18	17
		6 月 15 日 (日)		41	15	14
		6 月 21 日 (土)		—	15	14
		6 月 24 日 (火)		27	8	3
		6 月 29 日 (日)		320	28	19
		7 月 1 日 (火)		23	5	5
合計			—	126	102	

表 5.9 除外サンプル対象

除外サンプルとその理由		該当数
抵抗回答	<ul style="list-style-type: none"> ・負担金を集めるという仕組みに反対した場合 ・アンケート内の情報だけでは判断できないとした支払意志額の回答を拒否した場合 	7
無効回答	<ul style="list-style-type: none"> ・被験者の理解が十分でない回答 (事業で実現しない効果を選択) ・「他の人が支払うなら仕方ない」を選択 (事業の効果の価値を認めていないにも関わらず支払意志額を選択) ・途中で回答を放棄した場合 	17

5.5.2 調査結果および考察

回答者（有効回答）の属性および支払意志額の推定

102 票の有効回答について、回答者の年代と性別を表 5.10 に、属性を表 5.11 に示す。性別は女性 17 人 (17%) に対して男性 85 人 (83%) で、年齢は 30 代~50 代が多かった。当該海岸への来訪目的の 7 割以上がサーフィンであり、次いで、釣りが 1 割程度であった。当該地におけるエコ・コースト事業施工の認知度は「知っている」が 15.7%、「事業名は知らなかったが事業のことは知っている」が 18.6% と合計 34.3% が事業について認知していた。当該地に訪れる頻度は、回答者の 54.9% が月 1 回以上、それ未満が 45.1% であった。回答者の居住地は豊橋市内在住が 31.4%、豊橋市を除く愛知県内が 49.0%、愛知県外が 19.6% であった。回答者の年代のうち

50歳未満は全体の62.7%を占め、50歳以上は37.3%であった。表5.12に有効回答から求められた金額ごとの賛成率を示した。アンケート調査の結果から得られた支払意志額と受諾率の関係を図5.17に示す。ここで、支払い意志額と被験者の賛成率の回帰式(賛成率曲線)は一般的に利用されているロジスティック回帰を用いた。ロジスティック回帰式から有効回答者の50%が賛成する金額は3,600円と推測された。エコ・コースト事業の認知度は約3割とそれほど高くないが本事業について賛成を示した(50円以上を支払うことに賛成した人数)のは全体の93.1%を占め、海岸利用者は本事業を肯定的に受け止めていると言える。有効回答者が選択した事業に関する賛否の理由を表5.13に示した。「1.アカウミガメの産卵・ふ化が容易になるから」を選択したのは25.5%、「2.砂浜の自然環境が再生されるから」は23.5%、「1.および2.の両方を選択したのは」38.2%を占めた。さらに図5.18に、(a)豊橋市でエコ・コースト事業が施工されたことを知っているか否か、(b)表浜海岸に訪れる頻度、(c)居住地、(d)年代、の各項目別の支払意志額と受諾率の関係を示した。併せて、表5.14に(a)～(d)の質問に対して回答別の支払意志額(賛成率50%)を整理した。(a)については、事業を認知していた回答者の方が支払意志額は高い傾向にあり、約1.3倍の差があった。(b)については、表浜への来訪頻度が高いほど支払意志額が高くなる傾向が示された。(c)については、支払意志額は豊橋市内<愛知県外<豊橋市外(愛知県内)の順に高くなった。豊橋市外(愛知県内)50名の居住地は、名古屋市13名、岡崎市10名、豊川市9名の順に多く、その他は18名であった。そのうち当該事業に年間6,000円以上支払う価値があると回答した割合は50%であった。一方、豊橋市内に居住する回答者32名のうち、当該事業に年間6,000円以上支払う価値があると回答した割合は22%、愛知県外在住の20名は45%であった。(d)については、30代以下の若い世代の方がエコ・コースト事業に高い価値認識を持っていることが示された。

上述した結果より、エコ・コースト事業の認知度は高くないものの、海岸利用者の大多数が非市場財である当該事業に対して高い価値認識を有していることが明らかとなった。特に豊橋市外(愛知県内)から表浜海岸に訪れる30代以下の若い世代の価値認識が高いと言える。

表 5.10 回答者の年代と性別

年代	男性 (人)	女性 (人)	合計 (人)
10代	6	0	6
20代	3	3	6
30代	24	6	30
40代	17	5	22
50代	17	2	19
60代	11	0	11
70代	7	1	8
合計	85	17	102

表 5.11 回答者の属性

アンケート調査項目		有効回答者数 (構成比)
来訪理由	釣り	14 (13.7%)
	サーフィン	78 (76.5%)
	レジャー	8 (7.8%)
	その他	2 (2.0%)
「エコ・コースト事業」という言葉の認知	知っている	18 (17.6%)
	知らない	84 (82.4%)
豊橋市でのエコ・コースト事業の施工実績	知っている	16 (15.7%)
	名前は知らなかったが事業は知っている	19 (18.6%)
	知らない	67 (65.7%)
表浜への来訪頻度	月1回以上	56 (54.9%)
	それ未満	46 (45.1%)
住 所	豊橋市内	32 (31.4%)
	豊橋市外 (愛知県内)	50 (49.0%)
	(愛知県外)	20 (19.6%)
年 代	10~40歳代	64 (62.7%)
	50歳以上	38 (37.3%)
職 業	自営業	24 (23.5%)
	会社員	53 (52.0%)
	年金生活者	12 (11.8%)
	それ以外	13 (12.7%)

水環境に関わる自然環境保全および自然再生事業との比較

当該事業以外の自然再生事業について、CVM 調査を実施した結果を表 5.15 に示した。仮想市場として設定された事業の目的や規模は様々ではあるが支払意志額はおよそ 2,000 円~4,000 円の範囲であり、当該事業は他の自然再生・創出事業と同等の価値があると認められたと言える。これまでの研究によると支払意志額は、回答者の属性により様々な影響をうけることが明らかとなっている（例えば、笠井ら、

1999；閑野ら，1999；柴・桜井，2003）。表 5.16 に支払意志額と回答者属性の関係について整理した。一般に，回答者の住所が遠方になると支払意志額は低下すると言われているが，地域住民ではなく海岸利用者を対象としたこと，藤前干潟の保全など環境意識の高い名古屋市民による回答が多かったことなどから既往研究とは異なった結果が得られたと考えられる。

通常，エコ・コースト事業のような自然再生事業がその効果を発揮するには時間がかかる。長期間モニタリングをし，地域住民や海岸利用者に向けた効果等の情報提示が，今後，同様の事業を拡大する際のコンセンサスに役立つと考えられる。

表 5.12 提示金額別の賛成率（有効回答）

提示月額 ()内は年額 (円)	賛成率 (%)	賛成者数 (人)
50 (600)	93.1	95
100 (1,200)	85.3	87
200 (2,400)	56.9	58
500 (6,000)	40.2	41
1000 (12,000)	11.8	12
3000 (36,000)	3.9	4
5000 (60,000)	2.0	2
それ以上	0.0	0
賛成者数合計	100	102

表 5.13 事業に関する賛否の理由

賛否	理由	回答人数 ()内は割合
賛成	1.アカウミガメの産卵・ふ化が容易になるから	26 (25.5%)
	2.砂浜の自然環境が再生されるから	24 (23.5%)
	1.+2.	39 (38.2%)
	1.+2.+自由意見	3 (2.9%)
	1.+自由意見	2 (2.0%)
	2.+自由意見	1 (1.0%)
反対	3.事業には賛成だが月 50 円 (年 600 円) を支払う価値はない	2 (2.0%)
	3.+自由意見	1 (1.0%)
	4.支払いがないとしてもこの事業に反対	4 (3.9%)
合計		102 (100%)

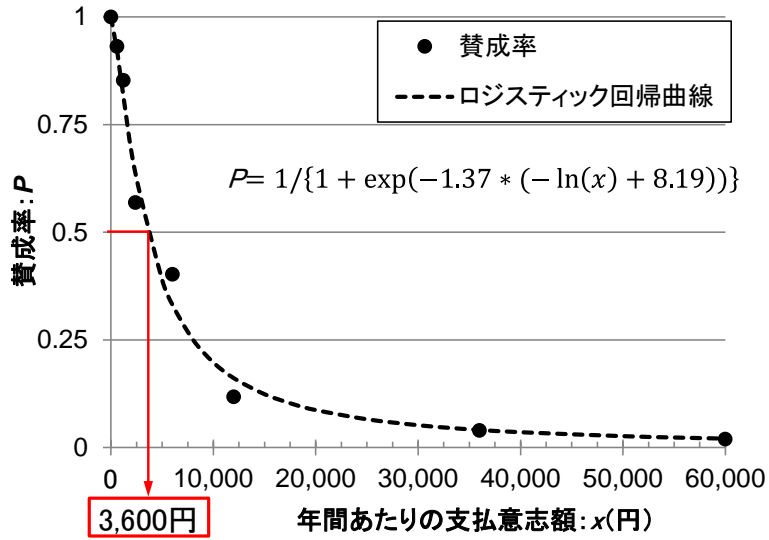


図 5.17 支払意志額と賛成率

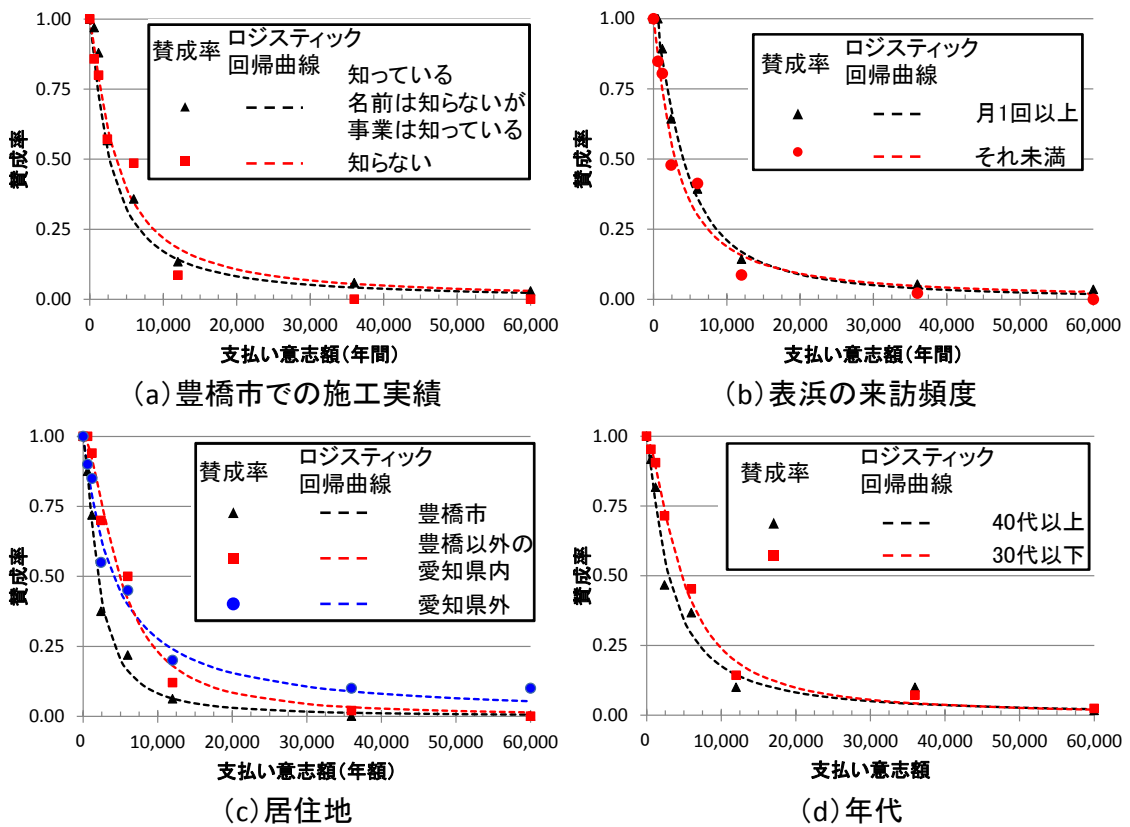


図 5.18 項目ごとの支払い意志額と受諾率

表 5.14 項目ごとの支払い意志額

アンケート調査項目	回答者数	支払い意志額 (円)	
(a) 豊橋市でのエコ・コースト事業の施工実績	知っているおよび事業名称は知らないが事業は知っている	35	3,557
	知らない	67	2,723
(b) 表浜を訪れる頻度	月1回以上	56	4,063
	それ未満	46	2,970
(c) 居住地	豊橋市内	32	2,029
	豊橋市以外の愛知県内	50	4,936
	愛知県外	20	4,079
(d) 年代	30代以下	42	4,729
	40代以上	60	2,988

表 5.15 自然再生事業と支払意志額

著者 (発行年)	評価対象事業	サンプル数	支払意志額 (円)
(当該研究)	エコ・コースト事業	102	3,600
閑野ら (1998)	人工なぎさ造成	234	3,562
今村ら (1999)	砂浜の維持	240	2,953~3,584
小島ら (1999)	人工砂浜の造成	200~250	2,437
柴・桜井 (2003)	藤前干潟の保全	525	3,181~9,361
	伊勢湾の人工なぎさ造成		2,017~4,877
	三番瀬の保全		3,082~6,712
	東京湾の人工なぎさ造成		2,302
柴・桜井 (2005)	アザメの瀬自然再生事業	175	2,324

表 5.16 支払意志額に影響を及ぼす回答者属性

属性	支払意志額に及ぼす影響
性別	女性は男性より支払意志額が低くなる。
年収	年収が高いほど支払意志額は高くなる。
住所 (距離)	一般に仮想市場に設定された場所が住所から遠ざかるほど支払意志額は低くなる。
生活環境	仮想市場の対象となる環境がどの程度日常に関わっているかにより支払意志額が変化する。

5.6 まとめ

第5章では、ウミガメの産卵環境を復元する目的で実施されたエコ・コースト事業について、当該事業がウミガメの繁殖活動、地形や海浜植物の自然環境にもたらした変化、海岸利用者が当該事業について持つ経済的な価値等について検証し、ウ

ミガメの産卵成功率が上昇していることや自然環境の変化、本事業の経済的な価値等について示した。主要な結果を以下にまとめる。

- ・消波ブロック撤去後の地形変化について、汀線は消波ブロック撤去後も後退が見られず緩やかに前進しており、夏季～秋季は後退、冬季～春季は前進傾向にあった。消波ブロックを撤去したことにより、砂浜は台風などの高波の影響を受けやすくなり、植生帯が海側から 5m ほど後退した。また、断面積の変化はほとんど見られなかったことから、ブロックによって安定化していた後背部の砂が汀線方向に移動したと考えられる。
- ・海浜植生については、工事が早期に完了した西部から徐々に回復傾向にあり、標高が 4m 以上の地点では種数が維持・増加傾向にあった。
- ・エコ・コースト事業地内におけるウミガメの上陸・産卵状況については、合計 66 例の上陸が確認され、そのうち産卵したのは 51 例（産卵成功率：76.9%）であった。2009 年～2013 年の豊橋市全域の産卵成功率（13.5km）の平均値は 57.4% であり、それと比較すると 19.5% 高い値であった。また、消波ブロックが設置されていたラインを越えたのは総上陸数の 81.1% を占め、ブロックを撤去した効果が認められる。
- ・エコ・コースト事業地における夜間交通量を調べるため、照度計を設置してその傾向を分析した。盆休みは時間帯によらず通行が認められたが、盆明けからは明け方に当たる 3 時～4 時頃に来訪者が集中する傾向がみられた。親ガメの産卵を阻害しないためには、遮光板の設置や遮光を目的とした植栽等の対策が考えられる。
- ・海岸利用者を対象としたエコ・コースト事業の認知度や価値について、CVM を用いて調べた。調査の結果、当該事業の認知度は約 35% で海岸利用者が当該事業に持つ価値は 3,600 円であった。海岸利用者の大多数が非市場財である当該事業に対して高い価値認識を有していることが明らかとなった。特に豊橋市外（愛知県内）から表浜海岸に訪れる 30 代以下の若い世代の価値認識が高いと言える。

6. 結論

適切な砂浜の保全・再生には、まずは保全の目標となる指標種を設定することになるが、対象とする動植物の生態学的な知見が必要となる。本研究では、良好な砂浜海岸の指標種としてウミガメを選定し、その産卵活動に焦点を当て、海浜環境との関係を調べた。特に、人工構造物を含む沿岸域の環境変化がウミガメの繁殖活動にどのように作用してきたのかや砂浜の持つ環境要因と本種が持つ産卵行動特性及びふ化幼体のふ化・脱出との関係性について考察した。

第1章では、沿岸域における生態系の保全に関する社会動向の変遷や砂浜から享受する生態系サービスについて整理した。また、研究対象とした海岸やウミガメの概要等についてとりまとめた。

第2章では、現地調査の概要について整理するとともに、2008年～2014年の期間における豊橋・湖西市域で確認されたウミガメの上陸回数についてとりまとめた。

第3章では、ウミガメの上陸、産卵、ふ化・脱出に関する現地調査結果や地形測量等によって得られた結果を解析し、ウミガメの繁殖活動に好適な砂浜環境について明らかにする。ウミガメの上陸・産卵回数に関するデータの解析や表浜海岸に訪れるウミガメの繁殖活動を「上陸」、「産卵」、「ふ化・脱出」の3ステージに分類し、現地調査からウミガメの繁殖活動に適した砂浜環境について分析した。主要な結果は、以下の通りである。

上陸ステージでは、

- ・潜堤が設置された正面の砂浜ではウミガメの上陸密度が粗になる傾向や潜堤群と潜堤群の間に上陸が集中する傾向が明らかとなった。
- ・これまで、構造物の上部が常に海面上に現れている離岸堤については、ウミガメの砂浜への上陸を阻害することが報告されてきたが、堤体を水面下にとどめた潜堤（ただし、干潮時は頂部が水上に露出することがある）についてもウミガメの上陸に影響を与える可能性が示された。当該エリアの様な開放性の砂浜海岸においては、離岸堤・潜堤が設置されたとしても、迂回して上陸することが可能であ

るが、小規模なポケットビーチなどについては設計段階からの配慮が必要であり、今後、接岸時におけるウミガメの遊泳行動の調査・分析が必要である。

産卵ステージでは、

- ・豊橋市域の海岸線には砂浜中央部に消波堤・消波工が設置され、それらが海岸線延長の98.3%を占める。豊橋市域に上陸したウミガメ327例の移動痕跡から各個体の挙動を分析した。その結果、未産卵で帰海したウミガメ110例のうち、半数を占める55例の個体は人工構造物（消波堤・消波工）が原因となり、帰海していることが明らかになった。
- ・ウミガメの産卵において、海浜植物の存在やそれらの生育に伴う地形変化（急峻な砂浜勾配の変化点）が産卵のトリガーとなる可能性を示した。
- ・上陸後の移動距離の計測結果から、表浜海岸に上陸するウミガメにとって、産卵のために必要とされる砂浜幅は、最短でも満潮位から40m以上必要であることが示された。

ふ化・脱出ステージでは、

- ・ウミガメの産卵巣の深度の分析結果から、平均深度は上面（卵塊の頂部）33.4cm、底面（卵塊の底部）52.2cmであり、さらに上面深度の深浅に関わらず産卵室の厚さは比較的均一であることが明らかとなった。
- ・ふ卵期間を初期、中期、後期に三等分した場合、後期に32℃以上の高い砂中温度に長時間曝されるとふ化率が低下する可能性が示された。
- ・ふ卵期間の初期に24℃以下の低い砂中温度を経験したとしても、中盤～後半にかけて砂中温度が上昇すればふ化率の低下は避けられることが明らかとなった。

第4章では、表浜海岸豊橋市域のうち1999年から2014年現在まで継続して実施している断面測量によって地形変化や周辺環境等の情報が蓄積されている高塚、寺沢、細谷の3海岸において、砂浜幅、海浜植生、標高といった共通の環境要素から現況を評価・分析し、ウミガメの産卵成功率等を向上させるための改善策について提言した。なお、改善の目標は、「産卵・ふ卵に好適な場所がなるべく広く安定的に確保されること」である。

産卵に好適な範囲は、標高 2.5m 以上とし、大潮満潮時のドリフトラインを元に静穏時であれば水没しない標高として設定した。また、ふ卵に好適な範囲の標高は 3.5m 以上とした。各海岸における現状では、ウミガメにとって好適な産卵・ふ卵範囲は消波ブロックの陸側に存在し、ブロックを越えられないウミガメには利用不可能であることや、ブロックの海側エリアは標高が低く、台風等の高波浪時には産卵巣が水没したりする可能性が高いことが分かった。ブロックのセットバックや堆砂を促し、ブロックを埋没させる等の対策を講じることで、ウミガメが容易に浜奥へと移動できるようになり、産卵成功率の向上に繋がると考えられる。

第 5 章では、ウミガメの産卵環境を復元する目的で実施されたエコ・コースト事業について検証し、ウミガメの産卵成功率が上昇していることなどその効果を示した。主要な結果を以下にまとめる。

- ・消波ブロック撤去後の地形変化について、汀線は消波ブロック撤去後も後退が見られず緩やかに前進しており、夏季～秋季は後退、冬季～春季は前進傾向にあった。消波ブロックを撤去したことにより、砂浜は台風などの高波の影響を受けやすくなり、植生帯が海側から 5m ほど後退した。断面積の変化はほとんど見られなかったことから、ブロックによって安定化していた後背部の砂が汀線方向に移動したと考えられる。
- ・海浜植生については、工事が早期に完了した西部から徐々に回復傾向にあり、標高が 4m 以上の地点では種数が維持・増加傾向にあった。
- ・エコ・コースト事業地内におけるウミガメの上陸・産卵状況については、合計 66 例の上陸が確認され、そのうち産卵したのは 51 例（産卵成功率：76.9%）であった。2009 年～2013 年の豊橋市の産卵成功率（13.5km）の平均値は 57.4%であり、それと比較すると 19.5%高い値であった。また、消波ブロックが設置されていたラインを越えたのは総上陸数の 81.1%を占め、ブロックを撤去した効果が認められた。
- ・砂浜の中央に設置された消波ブロックを陸側へセットバックした「エコ・コースト事業地」に上陸したウミガメの平均移動距離は 55.1m であり、消波ブロックが設置されている砂浜に上陸した産卵個体の平均移動距離 42.6m よりも 12.5m 長い

距離を移動していた。また、同事業地に上陸した個体は消波ブロックが設置されている砂浜に上陸した個体群よりも産卵成功率が約 20% 上昇しており、産卵環境の質の向上がみられた。

- ・エコ・コースト事業地における夜間交通量を調べるため、照度計を設置してその傾向を分析した。盆休み期間は時間帯によらず通行が認められたが、盆明けからは明け方に当たる 3 時～4 時頃に来訪者が集中する傾向がみられた。親ガメの産卵を阻害しないためには、遮光板の設置や遮光を目的とした植栽することが考えられる。
- ・海岸利用者を対象としたエコ・コースト事業の認知度や価値について CVM を用いて調べた。調査の結果、当該事業の認知度は約 35% で海岸利用者が当該事業に持つ価値は 3,600 円であった。海岸利用者の大多数が非市場財である当該事業に対して高い価値認識を有していることが明らかとなった。特に豊橋市外（愛知県内）から表浜海岸に訪れる 30 代以下の若い世代の価値認識が高いと言える。

環境的な側面から海岸の保全目標を設定するには生物の生育・生息空間（生態系）としての機能を重視しなければならない。上述したように、ウミガメの繁殖活動を体系的に分析することで、環境的な側面から海岸の保全目標を設定するための諸量が明らかとなった。

最後に、海岸は地域性が強く、定量的な評価が困難であるため、本研究で得られた知見は、本来であれば個別事例の 1 つとして取り扱われるべきである。しかし、適用する海岸の特性に合わせて適宜フィードバックされながら活用されることを望む。

参考文献

- 愛知県（2001）：遠州灘沿岸 海岸保全施設の整理表，22p.
- 愛知県（2011）：遠州灘沿岸海岸保全基本計画《参考資料H23.2 追加》，愛知県，38p.
- 愛知県（2014）：第1回愛知県海岸保全基本計画検討委員会資料 海岸保全基本計画の概要，15p.
- 石原 孝（2011）：北太平洋産アカウミガメの性成熟過程における生活史，東京大学大学院博士論文，118p.
- 井戸 亮介（2001）：愛知県の遠州灘海岸における海岸保全施設に関する研究，平成13年度豊橋技術科学大学卒業論文，28p.
- 今村能之・佐藤慎司・笠井雅広・齋藤明・原文宏・平野宜一（1999）：CVMによる新潟海岸の環境整備便益の計測，海洋開発論文集，Vol.15，pp.659-664.
- 宇多高明（1997）：日本の海岸侵食，山海堂，442p.
- 宇多高明・石川仁憲・福濱方哉・山田浩次（2007）：海岸保全施設としての「砂浜」の考え方，海洋開発論文集，Vol.23，pp.1027-1032.
- 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，海洋と生物44，Vol.8，No.3，生物研究社，pp.217-219.
- 大内裕貴・大牟田一美・亀崎直樹（2011）：産卵シーズン初期の上陸回数からシーズン全体の上陸および産卵回数を推定する試み，うみがめニューズレターNo.88，pp.18-22.
- 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，Vol.48，pp.1201-1205.
- 岡浩平，吉崎真司，小堀 洋美（2008）：静岡県遠州灘海岸における海浜植生の成帯構造の成立要因，日本緑化工学会誌，Vol.34，pp.57-62.
- 笠井雅広・佐藤慎司・今村能之・原文宏・平野宜一（1999）：CVMによる海岸空間の価値に関する意識調査，海岸工学論文集，Vol.46，pp.1286-1290.
- 堅田恵・田中裕人（2008）：トキの野生復帰を目的とした減農薬・減化学肥料栽培米の評価に関する研究，農業情報研究，Vol.17，No.1，pp.6-12.

- 加藤史訓・佐藤眞司・田中茂信・笠井雅広（1997）：砂浜海岸における植生の地形変化に及ぼす影響に関する現地調査．海岸工学論文集，Vol.44，pp.1151-1155．
- 加藤史訓・佐藤眞司（1998）：砂浜海岸の植生群落と地形変化の現地調査，海岸工学論文集，Vol.45，pp.666-670．
- 加藤史訓・鳥居謙一・橋本新（2001）：海浜植物の生息に必要な砂浜幅の検討，海岸工学論文集，Vol.48，pp.1216-1220．
- 加藤史訓・鳥居謙一（2002）：ウミガメに配慮した海岸づくりの検討，海洋開発論文集，Vol.18，pp.539-543．
- 加藤史訓（2005）：海岸事業における順応的管理，海洋開発論文集，Vol.21，pp.89-94．
- 亀崎直樹（1992）：八重山諸島におけるウミガメ類の生態学 1，生活史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調査報告書，環境庁自然保護局西表国立公園管理事務所，pp.1-8．
- 亀崎ら（1997）：日本産アカウミガメ（*Caretta caretta*）の産卵後の回遊，野生生物保護，Vol.3，No.1，pp.29-39．
- 亀崎直樹（2006）：「ウミガメ類の保全と日本の立場」，第4回生物多様性国家戦略の見直しに関する懇談会（2006年12月4日）資料，2p．
- 亀崎直樹編（2012）：ウミガメの自然誌，東京大学出版会，301p．
- 環境庁（1994）：第4回自然環境保全基礎調査 海岸調査報告書-全国版-，環境庁自然環境局，349p．
- 環境省（2009）：全国エコロジカル・ネットワーク構想（案），ウミガメ類を指標種とした重要地域，平成20年度全国エコロジカル・ネットワーク構想検討委員会（第1回）参考資料，pp.37-40．
- 環境省（2010）：生物多様性条約第10回締約国会議の結果，<https://www.env.go.jp/press/press.php?serial=13104>，2015年2月25日参照．
- 環境省（2011）：海洋生物多様性保全戦略公式サイト，<http://www.env.go.jp/nature/biodic/kaiyo-hozen/index.html>，2015年2月25日参照．
- 環境省（2014）：モニタリングサイト1000ウミガメ調査2004-2012年度とりまとめ報告書，環境省自然環境局生物多様性センター，55p．

- 閑野高広・横内憲久・桜井慎一・上野幸太（1998）：CVM を用いた人工なぎさの環境価値に関する研究，土木計画学研究・講演集，No.21（1），pp.1-4.
- 閑野高広・桜井慎一・横内憲久・岡田智秀（1999）：CVM による環境創造の価値評価に関する研究，土木計画学研究・論文集，No.16，pp.49-54.
- 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，Vol.50，No.1，pp.34-44.
- 国土交通省（2010）：河川に係る環境整備の経済評価の手引き【別冊】，国土交通省河川局河川環境課，111p.
- 国土交通省（2013）：海岸管理のあり方検討委員会 第2回配布資料 第1回委員会資料補足説明，15p.
- 国土交通省（2014）：海岸統計 平成24年度版（平成23年度），国土交通省水管理・国土保全局海岸室 255p.
- 小島治幸・武若聡・入江功・片岡治・島田浩・筒井久喜（1997）：砂浜海岸における自然環境の保護・保全に関する基礎的研究，海岸工学論文集，Vol.44，pp.1186-1190.
- 小島治幸・阿部真一・海老正陽・豊原弘之（1999）：砂浜海岸におけるアメニティと環境価値に関する研究，海岸工学論文集，Vol.46，pp.1281-1285.
- 佐藤克文（1995）：産卵期のアカウミガメの海洋における体温決定機構に関する研究，京都大学博士論文，75p.
- 静岡県・愛知県（1993）：遠州灘沿岸 海岸保全基本計画，79p.
- 自然共生型海岸づくり研究会（2003）：自然共生型海岸づくりの進め方，全国海岸協会，73p.
- 柴有香・桜井慎一（2003）：自然の干潟の保全と人工なぎさ造成に対する価値認識の差異に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.20，No.2，pp.261-267.
- 柴有香・桜井慎一（2005）：松浦川「アザメの瀬自然再生事業」に対する住民意識のCVM評価——檜原湿原の保全事業との比較を通じて，日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），pp.427-428.

- 蔣勤・福濱方哉・加藤史訓（2006）：砂浜海岸生態系の環境影響評価に関する基本的な検討，海岸工学論文集，Vol.53，pp.1111-1115.
- 須田有輔・早川康博訳（2002）（原著者 A.C.Brown and A.McLachlan（1990））：砂浜海岸の生態学，東海大学出版会，427p.
- 清野聡子（2010）：日本の砂浜環境の来し方行く末を考える，土木学会誌，Vol.95，No.11，pp. 46-50.
- 清野聡子（2011）：離島振興策としての「海洋保護区」－生物多様性保全と越境汚染の解決の枠組み，土木学会論文集 B3（海洋開発）Vol.67，No.2，pp. I_784-I_789.
- 高瀬雄大（2012）：砂浜海岸の生態環境に配慮した海岸構造物の配置・延長に関する研究，豊橋技術科学大学修士論文，49p.
- 竹内麻衣子・青木伸一・加藤茂・浪花まなみ（2008）：後浜の地下水位変動と汀線変化の関係について，海岸工学論文集，Vol.55，pp.591-595.
- 田中秀二・佐藤克文・松沢慶将・坂本亘・内藤靖彦・黒柳賢治（1995）：胃内温変化から見た産卵期アカウミガメの摂餌，日本水産学会誌，Vol.61，No.3，pp.339-345.
- 田中浩之（2007）：アカウミガメの胚発生の進行と産卵生理に関する研究，平成 18 年度岐阜大学卒業論文，48p.
- 田水達之（1993）：アカウミガメの産卵に配慮した緩傾斜護岸，月刊土木技術，Vol.48，No.12，pp.83-86.
- 土木学会海岸工学委員会（2000）：海岸施設設計便覧 [2000 年版]，582p.
- 土木学会海岸工学委員会（2002）：大蔵海岸陥没事故調査報告書，120p.
- 農林水産省・国土交通省（2004）：海岸事業の費用便益分析指針（改訂版），103p.
- 富岡誠司（2007）：遠州灘海岸におけるアカウミガメを保護するための「車両乗り入れ規制」について，沿岸域学会誌，Vol.20，No.1，pp.39-41.
- 富田沙希・田島芳満（2010）：サンドバッグによる海浜安定化機能の検証，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 66，No.1，pp.661-665.
- 豊橋市（2013）：とよはしアカウミガメのあしあと－豊橋市におけるアカウミガメ保護調査活動記録集一，豊橋市環境保全課，115P.

- 豊橋市（2014）：平成 25 年度豊橋市におけるウミガメ保護調査活動に関する報告書，豊橋市環境保全課，16P.
- 中西弘樹・福本 紘（1987）：南日本における海浜植生の成帯構造と地形，日本生態学会誌，Vol.37, pp.197-207.
- 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，Vol.30, pp.437-443.
- 西隆一郎・大牟田一美・相良拓也・Arthur THUMBAS・細谷和範（2012）：砂質性海岸でのアカウミガメの上陸数変動に関する基礎的研究，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.68, No.2, pp.I_1238-I_1243.
- 西村和一郎・中東覚（1992）：東シナ海におけるアカウミガメ（*Caretta caretta*）の分布，うみがめニュース，No.12, pp.3-8.
- 西村和一郎・大牟田一美（1993）：屋久島におけるアカウミガメの産卵間隔等についての知見，うみがめニュース，No.17, pp.4-10.
- 日本ウミガメ協議会：ウミガメ用語集，http://www.umigame.org/J1/kyokasyo_umigameyogo.html，2014 年 7 月 22 日参照.
- 畑瀬英男（2013）：ウミガメ類の回遊生態と生活史に関する研究，日本水産学会誌，Vol. 79, No.4, pp.634-637.
- 八田文夫（1996）：生態系に配慮した道路整備--アカウミガメにやさしい道づくり，月刊建設，Vol.40, No.9, pp.26-29.
- 肥田野登（1999）：環境と行政の経済評価 CVM（仮想市場法）マニュアル，勁草書房，200p.
- 弘中淳市・西村淳・松本七保子・諏訪義雄・野口賢二・渡辺国広・関口陽高（2011）：海岸保全を目的としたチューブ型袋詰め工の現地試験施工，ジオシンセティックス論文集，Vol.26, pp.151-156.
- 福地保宗（1999）：ウミガメの保護と海岸保全，波となぎさ，Vol.140, pp.14-17.
- 藤上円・篠原正典・後藤清・中本麻里子・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～和歌山県みなべ町千里浜調査より～，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.

- 松沢慶将・坂東武治・坂本亘 (1995) : 南部町千里浜海岸におけるアカウミガメ産卵
巣の深度分布と深度ごとの砂中温度, うみがめニューズレター, No.26, pp.3-7.
- 松沢慶将 (1998) : アカウミガメの孵化と性決定におよぼす産卵場温度環境の影響と
その地域特性に関する研究, 京都大学博士論文, 82 p.
- 松沢慶将 (2012) : 繁殖生態 交尾と産卵, ウミガメの自然史, 産卵と回遊の生物
学, 亀崎直樹 (編) 東京大学出版会, pp.115-133.
- 松島肇 (2008) : 日米比較によるオフロード車の利用規制に関する研究, ランドス
ケープ研究, Vol.71, No.5, pp.843-848.
- 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, 16p.
- 山田吉彦・川上哲太郎・川崎一平 (2012) : 地方公共団体による地域海洋基本計画
策定に関する調査研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.68, No.2,
pp.I_402-I_407.
- 渡辺国広・清野聡子・宇多高明 (2001) : 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—, 海岸工学論文集, Vol.48,
pp.1196-1200.
- 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, Vol.49, pp.1151-1155.
- 渡辺国広・清野聡子・宇多高明・山本明男 (2003) : 海浜におけるウミガメ類の孵化
に影響する砂中温度の分布と特性, 海洋開発論文集, Vol.19, pp.403-408.
- 渡邊国広 (2010) : ウミガメに配慮した海岸づくり, 海洋と生物 190, 生物研究社,
Vol.32, No.5, pp.455-462.
- Antonios, D. M., Yiannis G. M. and Dimitris M. (2006) : Nest site selection of loggerhead
sea turtles: The case of the island of Zakynthos, W Greece, Experimental marine biology
and ecology, Vol.336, pp.157-162.
- Bjorndal, K.A. (edit) (1982) : Biology and conservation of sea turtles, Smithsonian
institution press, pp.29-38.
- Bowen, B.W., Abreu-Grobois F.A., Balazs G.H., Kamezaki N., Limpus C.J. and Ferl R.J.
(1995) : Trans-Pacific migrations of the loggerhead turtle (*Caretta caretta*) demonstrated

- with mitochondrial DNA markers, Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America, Vol.92, pp.3731-3734.
- Brothers, J.R., and Lohmann K. J. (2015) : Evidence for geomagnetic imprinting and magnetic navigation in the natal homing of sea turtles, Current biology, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2014.12.035>.
- Chaloupka, M., N. Kamezaki and Limpus C. (2008) : Is climate change affecting the population dynamics of the endangered Pacific loggerhead sea turtle?, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology Vol.356, pp.136-143.
- Christens, E (1990) : Nest emergence lag in loggerhead sea turtles, Journal of herpetology, Vol.24, pp.400-402.
- Dodd, C. K. (1988) : Synopsis of the biological data on the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* (Linnaeus 1758), U.S. Department of Interior, Fish and Wildlife Service. Biological report, Vol.88 (14), 110p.
- Frazer, N. B (1983) : Effect of tidal cycles on loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) emerging from the sea, Copeia 1983(2), pp.516-519.
- Hatase, H., N. Takai, Y. Matsuzawa, W. Sakamoto, K. Omuta, K. Goto, N. Arai and T. Fujiwara (2002) : Size-related differences in feeding habitat use of adult female loggerhead turtles *Caretta caretta* around Japan determined by stable isotope analyses and satellite telemetry, Marine ecology progress series, Vol.233, pp.273-281.
- Hatase, H. and K. Tsukamoto (2008) : Smaller longer, larger shorter: energy budget calculations explain intrapopulation variation in remigration intervals for loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*), Canadian journal of zoology, 2008, Vol. 86, No. 7, pp. 595-600.
- Hays, G.C. and Speakman J.R. (1993) : Nest placement by loggerhead turtles, *Caretta caretta*, Animal behaviour, Vol.45, pp.47-53.
- Hays, G.C., A. Mackay, C.R. Adams, J.A. Mortimer, J.R. Speakman and Boersma M. (1995) : Nest site selection by sea turtles, Marine biological association of the United Kingdom Vol.75, pp.667-674.

- Hays, G.C., Broderick, A.C., Glen, F., Godley, B.J., Houghton, J.D.R. and Metcalfe J.D. (2002) : Water temperature and interesting intervals for loggerhead (*Caretta caretta*) and green (*Chelonia mydas*) sea turtles, Journal of thermal biology, Vol. 27, No. 5, pp. 429-432.
- Houghton, J.D.R. and Hays G.C. (2001) : Asynchronous emergence by loggerhead turtle (*Caretta caretta*) hatchlings, Naturwissenschaften, Vol.88, No.3, PP.133-136.
- Jacquelyn, K. L. and Salmon M. (2007) : Effects of exposure to artificial lighting on orientation of hatchling sea turtles on the beach and in the ocean, Endangered species research, Vol.3, pp.23-30.
- Kamezaki, N. et al (2003) : Loggerhead turtles nesting in Japan In (Bolten A.B & Witherington B.E. eds.) Loggerhead sea turtles, Smithsonian books, pp.210-217.
- Kikukawa, A., N. Kamezaki, and H. Ota (1999) : Factors affecting nesting beach selection by the sea turtles: A multiple regression approach, Journal of zoology Vol.249, pp. 447-454.
- Kurz, D.J., K.M. Straley, and DeGregorio B.A. (2012) : Out-foxing the red fox: how best to protect the nests of the Endangered loggerhead marine turtle *Caretta caretta* from mammalian predation?, Oryx, Vol.46, pp.223-228.
- Lamarre-DeJesus, A. S. and Griffin C. R. (2013) : Use of habanero pepper powder to reduce depredation of loggerhead sea turtle nests, Chelonian conservation and biology, Vol.12, No.2, pp.262-267.
- Mann, T. M. (1978) : Impact of developed coastline on nesting and hatchling sea turtles in southeastern Florida, Florida marine research publications, No.33, pp.53-55.
- Matsuzawa, Y, K. Sato, W. Sakamoto, Bjorndal K. (2002) : Seasonal fluctuations in sand temperature: effects on the incubation period and mortality of loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) pre-emergent hatchlings in Minabe, Japan, Marine biology Vol.140, pp.639-646.
- Miller, J.D., Limpus. C.J, et al. (2003) : Nest site selection, oviposition, eggs, development, Hatchling, and Emergence of loggerhead turtles In (Bolten A.B & Witherington B.E. eds.) Loggerhead sea turtles, Smithsonian books, pp.125-143.

- Moran, K. L., K. A. Bjorndal and Bolten A. B. (1999) : Effects of the thermal environment on the temporal pattern of emergence of hatchling loggerhead turtles *Caretta caretta*, Marine ecology progress series, Vol.189, pp.251-261.
- Mrosovsky, N.(1980) : Thermal biology of sea turtles, American zoologist Vol.20, pp.531-547.
- Mrosovsky, N, and Yntema C.L. (1980) : Temperature dependence of sexual differentiation in sea turtles: implications for conservation practices, Biological conservation, Vol.18, pp.271-280.
- Mrosovsky N. and Kingsmill S.F. (1985) : How turtles find the sea, Zeitschrift für tierpsychologie, Vol.67, pp. 237-256.
- O'Hara, J. (1980) : Thermal influences on the swimming speed of Loggerhead turtle hatchlings, Copeia, No.4, pp. 773-780.
- Salmon, M., Reiners, R., Lavin, C. and Wyneken J. (1995) : Behaviour of loggerhead sea turtles on an urban beach. 1. Correlates of nest placement, Herpetology Vol.29, pp.560-567.
- Salmon, M. J. Wyneken, E. Fritz and Lucas M. (1992) : Seafinding by hatchling sea turtles: role of brightness, silhouette and beach slope as orientation cues, Behaviour, Vol.122, pp.56-77.
- 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, Canadian journal of zoology, Vol.76, No.9, pp.1651-1662.
- Shiote, D. and T. Tokai (2004) : A review of development, modification and implementation of TED (Turtle Excluded Device) to reduce sea turtle bycatch in trawl fisheries, FAO Fish Rep.No.738 suppl., Rome, pp. 171-178.
- Simona, A.C. and Wyneken J. (2008) : Comparative morphology and sex identification of the reproductive system in formalin-preserved sea turtle specimens, Zoology, Vol.111, No.3, pp. 179-187.

- Van Buskirk, J. and Crowder L. B. (1994) : Life-history variation in marine turtles, *Copeia*, 1994 (1) , pp.66-81.
- Wang, H.C., and Cheng I.J. (1999) : Breeding biology of the green turtle *Chelonia mydas* (Reptilia: Cheloniidae), on Wan-An Island, PengHu archipelago. II. Nest site selection, *Marine biology*, Vol. 133, pp.603-609.
- Watanabe, K., H. Hatase, M. Kinoshita, K. Omuta, T. Bando, N. Kamezaki, K. Sato, Y. Matsuzawa, K. Goto, Y. Nakashima, H. Takeshita, J. Aoyama, K. Tsukamoto (2011) : Population structure of the loggerhead turtle *Caretta caretta*, a large marine carnivore that exhibits alternative foraging behaviors, *Marine ecology progress series*, Vol.424, pp.273-283.
- Witherington, B. E. and Bjorndal K. A. (1991) : Influences of wavelength and intensity on hatchling sea turtle phototaxis: implications for sea-finding behavior, *Copeia*, Vol. 1991, No. 4, pp. 1060-1069.
- Witherington, B. E. (1992) : Behavioral responses of nesting sea turtles to artificial lighting, *Herpetologica*, Vol.48, No.1, pp.31-39.
- Witherington, B. E., and Martin R. E. (2003) : Understanding, assessing and resolving light pollution problems on sea turtle nesting beaches, Florida marine research institute, Technical report Tr-2, 3rd Edition, 73p.
- Wyneken, J., S. P. Epperly, L. B. Crowder, J. Vaughan, and Esper K. B. (2007) : Determining Sex in Posthatchling Loggerhead Sea Turtles Using Multiple Gonadal and Accessory Duct Characteristics, *Herpetologica*, Vol.63, No.1, pp.19-30.
- Yerli, S., Canbolat, A.F., Brown , L.J. and Macdonald D.W. (1997): Mesh grids protect loggerhead turtle *Caretta caretta* nests from red fox *Vulpes vulpes* predation, *Biological conservation*, Vol.82, pp.109-111.
- Yntema, C. L. and N. Mrosovsky (1980) : Sexual differentiation in hatchling loggerheads (*Caretta caretta*) incubated at different controlled temperatures, *Herpetologica*, Vol. 36, No.1, pp.33-36.

Yntema, C. L. and Mrosovsky N. (1982) : Critical periods and pivotal temperatures of sexual differentiation in loggerhead sea turtles, Canadian journal of zoology, Vol.60, pp.1012-1016.

謝辞

論文の執筆にあたって親身にご指導いただきました指導教員の豊橋技術科学大学建築・都市システム学系の加藤茂准教授，元指導教員である大阪大学大学院地球総合工学専攻社会基盤工学部門の青木伸一教授，豊橋技術科学大学建築・都市システム学系の岡辺拓巳助教，片岡三枝子技術職員には，大変お世話になりました．心より感謝いたします．また，豊橋技術科学大学建築・都市システム学系の井上隆信教授，横田久里子准教授には，本論文を執筆するにあたり，多くの知識や示唆をいただきました．深く感謝しております．

また，アカウミガメを守る会，あかばね塾，NPO 法人表浜ネットワーク，カレッタ君のふる里を守る会，NPO 法人日本ウミガメ協議会，谷ノ口里浜里山育成会の皆様には調査への協力やデータ提供等，様々なご支援を賜りました．深く御礼申し上げます．

最後に，これまで私をあたたく応援してくれた海岸工学研究室を始めとする全ての皆様に御礼申し上げます．