

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 13日現在

機関番号：82115

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21780189

研究課題名（和文） DNA マーカーによる砂浜の生態系ネットワークの解明

研究課題名（英文） Research on ecological network between sandy beaches using DNA markers

研究代表者

渡邊 国広（WATANABE KUNIHIRO）

国土技術政策総合研究所・河川研究部・海岸研究室・研究官

研究者番号：30444061

研究成果の概要（和文）：地形図をもとに日本全国における砂浜の分布と浜幅を調査し、砂浜の生態系ネットワークの核となり得る19箇所の大規模砂礫浜を抽出した。4種の海浜生物についてDNAの地理的な変異を分析することで、これらの大規模砂浜間には海浜生物の遺伝的交流が抑制されているものもあり、特にハマエンドウに着目することで海流系よりも細かな空間スケールで砂浜の管理単位を把握することができることが示された。

研究成果の概要（英文）：Based on the topographical analysis, 19 beaches were recognized as important habitat for maintaining the ecosystems of sandy shores in Japan. Restrictions on the gene flows between some of these beaches were suggested by the result of genetic analysis on four species. Especially, beach pea *Lathyrus japonicus* were proved to be highly informative species for inspecting management units of beach in local scale.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|------|-----------|
| 2009年度 | 1,400,000 | 0 | 1,400,000 |
| 2010年度 | 1,200,000 | 0 | 1,200,000 |
| 2011年度 | 800,000 | 0 | 800,000 |
| 総計 | 3,400,000 | 0 | 3,400,000 |

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：海岸、砂浜、海浜植物、遺伝子、ハマエンドウ、地理的変異、ウミガメ

1. 研究開始当初の背景

我が国では平成11年の海岸法改正により、環境に配慮した海岸管理の実施が法的にも求められるようになった。しかし県管理の多くの海岸では、防災対策のみで財政的に手一杯であるため、十分な環境保全策が実施されていないのが実情である。財政的な制約の中で海岸環境を保全していくためには、いかにして保全事業を効率的に実施していけるかが求められている。

防災を目的とした海岸行政では、例えば岬と岬等で区切られた区間などの土砂が動き得る範囲が一つの漂砂系として管理対象となっているが、砂浜生態系保全の観点からは

全く異なる単位で管理をおこなったほうが効率的となる可能性がある。なぜならば、海浜生物の中には、自身による移動や種子散布などによって、海を渡って地理的に連続していない砂浜への移入が可能なものも多いからである。こうした“海上の道”によって連結される砂浜間のネットワーク構造を踏まえて砂浜の管理単位を設定することができれば、地域個体群の維持にとってキーとなる砂浜が明確となり、そこに重点的に保全策を講じることも可能となると期待されている。

2. 研究の目的

研究代表者は日本の砂浜を保全していく

ための方針を、従来の土砂動態の視点だけでなく砂浜間の生態系ネットワークを踏まえて生物の視点からも新たに提唱することを最終目標としている。本研究ではそのために必要となる管理単位を適切に把握するための手法を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、砂浜の管理単位を把握するうえで今後活用が期待される手法として、特にDNA マーカーを用いた砂浜間の遺伝的交流の把握および個体移動・クローン拡散状況の把握に着目した。

(1) 地形図による砂浜分布状況の把握

まず砂浜の管理単位について考えるうえで必要な基礎情報として、現存する砂浜の量を正確に把握するため、国土地理院刊行の5万分の1地形図を用いて全国的な砂浜の分布状況を調査した。

昭和53年時点と平成18年時点でそれぞれ最新となる過去の地形図(計2,261枚)に記載されている全ての砂礫浜をGISデータ化し、海岸線に沿って50m間隔で設定した評価線(計192,971本)における浜幅を計測した。

(2) 海浜生物の生息状況の現地確認

生物は緯度や気象的な条件によってそれぞれの種の分布範囲が制約を受けており、地域によって生息種の構成は異なる。管理単位の設定にあたっては、まずこうした生息種の構成の違いを踏まえる必要があるため、各地の砂浜における海浜生物の生息状況を調査した。

生物相調査は調査者の経験によって結果が異なることが指摘されているため、本研究では既往の全国調査類の結果を用いることはせず、研究代表者自らによる調査結果のみをもとにすることとした。

現地調査は2010年から2011年にかけて国内13箇所の砂浜を対象に実施し、アカウミガメによる産卵の有無および、8種の海浜植物の現時点での生育の有無を調査した。ここでアカウミガメを含めたのは、本研究では植物だけでなく動物も含めた包括的な管理単位を探りたいと考えたからである。対象生物を決めるのに先だって、2009年に仙台湾南部海岸で植物から動物までを対象とした網羅的な海浜生物調査を実施したが(渡邊・諏訪、2010)、調査にかかるコストを勘案した結果、上記の9種を対象とすることにした。

(3) 海浜生物のDNAの地理的変異の把握

海浜生物の現在の地理的な分布状況は過去における分布拡大等の結果であるため、同じ種が生息する砂浜間であっても現在は交流が途絶えている可能性がある。その場合に

は、ハプロタイプ頻度等の遺伝的な違いが生じている場合もあるので、各海浜生物の遺伝的組成の砂浜間での違いを調査した。海浜の動物の代表としてはアカウミガメを選定し、過去に5箇所の海岸で採取されたアカウミガメ *Caretta caretta* 279個体のDNA標本についてmtDNA調節領域の塩基配列と核DNAマイクロサテライト領域の遺伝子型を分析した。

植物については、3種の海浜植物(ハマエンドウ *Lathyrus japonicus*、ハマゴウ *Vitex rotundifolia*、コウボウムギ *Carex kobomugi*)を対象とし、13箇所の砂浜で採取された標本から抽出された葉緑体DNAの塩基配列を分析した。

(4) 新規出現砂浜における植生調査

DNA分析の結果から海浜生物による砂浜間の交流について推察する際の参考とするために、砂浜間の交流の実態をよりミクロな個体レベルで把握するための現地調査を実施した。対象は、2009年に海岸堤防の位置を陸側に移設したことで新たに砂浜空間が出現した伊勢湾西南海岸北藤原工区とし、新たに海浜植物が侵入してくる過程を把握するために、2009年から2011年にかけて計9回の植生調査を実施した。

4. 研究成果

(1) 日本における砂礫浜の状況

①砂礫浜海岸の延長の変化

地形図上で砂礫浜とされている海岸のなかから、何らかの海浜植生群落の成立が期待できる砂浜として浜幅50m以上の砂礫浜海岸を抽出した。その結果、浜幅50m以上の砂礫浜海岸の延長は昭和53年時点では1,796.9kmであったものが、平成18年には1,351.3kmとなり、約25%減少していることが明らかとなった(図-1)。

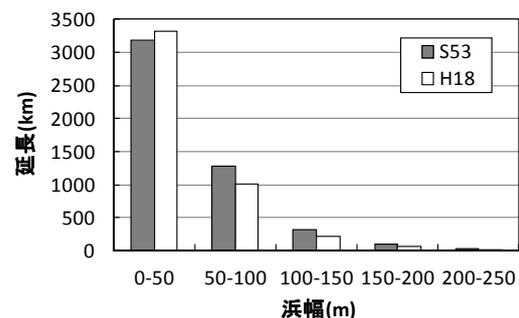


図-1 砂礫浜海岸の浜幅別延長

②浜幅200m以上の砂礫浜の存在状況

砂浜の生態系は人為的変化のみならず津波等の突破的なイベントによって消失することがあり、その場合には近傍で全滅を免れた砂浜から供給される種子等の存在がその後の回復を左右する。地域の砂浜生態系維持の

ためにはこうした Source と成り得る砂浜が砂浜ネットワーク上に存在することが重要であり、そのような砂浜が管理単位の核となることが予想される。そこで本研究では、一年草から低木群落までの海浜植物が安定して生育し、周辺海岸への供給源として機能することが期待される砂浜として、昭和 53 年から平成 18 年にかけて安定して存在し続けている浜幅 200m 以上の砂礫浜を抽出した。

その結果、19 箇所の砂浜が抽出されたが(図-2)、福本ら(1989)が提案した海浜地形の特徴による海岸区分の第二次区分に照らし合わせると、これらの大規模砂浜は 5 地域中のうち 2 地域 (II B、II C) にしか存在しないことがわかった。これら 2 地域についても、II B では鳥取から九州西部にかけて、II C では紀伊半島から四国にかけての広い範囲にわたって大規模砂浜が存在しない地域が存在した。このような空白地域や残りの 3 地域 (I A、II D、III E) については、より小規模な砂浜が Source としての役割を担わなければならない、突発的なイベントに対して比較的脆弱であると考えられた。



図-2 砂礫浜海岸の分布状況と海岸区分
青太線の海岸線が平成 18 年時点で浜幅 50m 以上の砂礫浜、赤点が昭和 53 年から平成 18 年まで浜幅 200m 以上を維持した砂礫浜、緑線が福本ら(1989)による第二次までの海岸区分。現地調査を実施した海岸の位置は地名とともに矢印で示した。

(2) 海浜生物の生息状況にもとづく砂浜の分類

現地調査によって得られた 13 海岸における 9 種の海浜生物の在・不在データから砂浜間の Jaccard 類似度指数を算出し、Ward 法によるクラスター解析をおこなった。ここで植物群落の研究で一般的な TWINSPLAN 法を用いなかったのは、海岸管理の上では植物だけでなくアカウミガメ等の動物による利用も含

む包括的な類似性を評価する必要があると考えたからである。

解析の結果、各砂浜は下新川・新潟・奥尻島・胆振・仙台湾南部海岸の高緯度グループ、富士海岸から宮崎にかけての黒潮沿岸グループ、吹上浜・宮古島の東シナ海グループの大きく 3 グループに分類され、地理的な位置関係に概ね一致した結果となった(図-3)。

しかし詳細なグループ分けに着目すると、伊勢湾西南海岸が浜松よりも蒲生田と類似性が高かった点、宮崎と吹上浜が離れたグループに分類された点など、地理的な距離とは対応しない結果も確認され、何らかの生態的な障壁が存在することが示唆された。

砂浜間のネットワークについて議論する際には、福本ら(1989)による区分(図-2)に本結果を加えて細分した単位で考える必要があると考えられた。

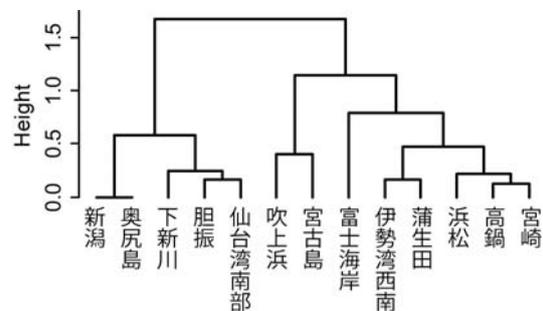


図-3 海浜生物の在・不在データに基づく各砂浜の類似性

(3) 海浜生物の DNA の地理的変異

① アカウミガメによる砂浜間の遺伝的交流

海浜生物全体の視点から砂浜間のネットワーク関係を評価するには、交流範囲が海流等によって受動的に決まる海浜植物だけでなく、能動的に交流範囲を選択できる動物についても確認しておく必要があると考え、アカウミガメを対象に砂浜間の遺伝的交流状況を調査した。

その結果、mtDNA 調節領域約 640bp についてはハプロタイプ頻度に海岸間で有意差が見られたが ($F_{ST} = 0.094$, $p < 0.001$) (図-4)、核 DNA マイクロサテライト領域 (5 領域を分析) では地域間で遺伝的な違いが認められなかった(Watanabe et al., 2011)。この結果は、母系遺伝する mtDNA については雌個体の母浜回帰性によって砂浜間で遺伝的な隔離が進みやすい一方で、核 DNA については雄との交尾を通じて砂浜間の遺伝的交流が保たれていることを示唆する。

新たに砂浜が出現もしくは再生した場合には、そこが産卵場として利用されるか否かは、雌の砂浜選択に依存することを考えれば、本種の保全のためには mtDNA の結果が重要であり、少なくとも吹上浜、屋久島、宮崎は別々

の管理単位として保全する必要があると考えられた。

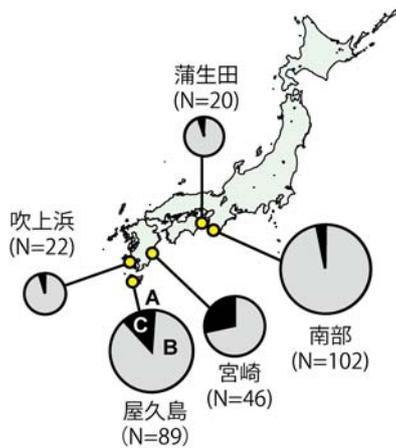


図-4 5 海岸におけるアカウミガメ産卵個体の mtDNA ハプロタイプ頻度

②ハマエンドウの葉緑体 DNA における地理的変異

10 海岸で採取された計 67 個体のハマエンドウについて、Ohtsuki et al. (2011) のプライマーを用いて葉緑体 DNA の psbA-trnH 領域の部分塩基配列 400bp と atpI-atpH 領域の部分塩基配列 700bp を分析したところ、psbA-trnH 領域で 4 種類、atpI-atpH 領域で 3 種類のハプロタイプが確認された。統計解析できるだけの標本数は得られなかったものの、海岸によってハプロタイプ頻度が異なり、日本国内の砂浜間でもある程度の地理スケールで遺伝的交流が抑制されていることが示唆された (図-5)。

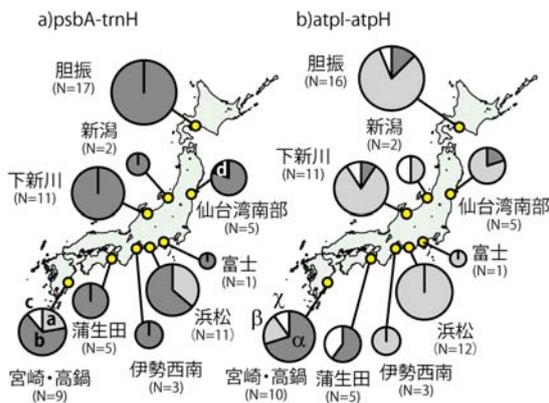


図-5 ハマエンドウの葉緑体 DNA のハプロタイプ頻度の地理分布

特に、福本ら (1989) の分類では緯度と気象・海象から胆振海岸と同じ II C 区分に分類されていた胆振海岸、仙台湾南部海岸、浜松、宮崎・高鍋が、本分析ではそれぞれ異なるハプロタイプ頻度で構成されることが 2 領域ともに示された。この結果は、ハマエンドウの種子散布による砂浜間の交流範囲は黒潮や

親潮などの海流よりもさらに小スケールの要素、例えば分枝流等の流況に依存することを示すものと考えられた。現地調査で確認されたハマエンドウの広範な分布は、過去に達成されたものに過ぎず、保全上はより細かな空間スケールで管理していく必要があることがわかった。

③ハマゴウ、コウボウムギの葉緑体 DNA における地理的変異

ハマゴウについては、6 海岸から採取した 43 個体、コウボウムギについては、10 海岸から採取した 80 個体を対象に分析をおこなった。Shaw et al. (2007) のユニバーサルプライマーを用いて葉緑体 DNA の 34 領域、約 17,000bp の塩基配列を決定したものの、多型はごくわずかに留まっており、地理的な比較を行えるものではなかった。このことが、両種の日本への加入時期やボトルネック等の過去の経緯によるものか否かは慎重に検討していく必要があるが、少なくとも現段階では、砂浜の管理単位を議論するうえでは参考とならないと判断された。

(4) 新規砂浜への海浜植物の移入

伊勢湾西南海岸で 3 年間にわたって植生調査を実施した結果、新たに出現した砂浜では、まず内陸で生育する 1 年生のメヒシバ群落やヒメムカシヨモギ群落が優占した後に、2011 年の台風シーズンを境に現在の日本の砂浜で一般的なコマツヨイグサ・ハマヒルガオ群落優占へと遷移したことが確認された (図-6)。また 2011 年より、群落を形成するほどではないものの、ハマゴウの生育も確認されるようになってきた。

当初はこれらハマヒルガオやハマゴウの供給源を DNA マーカーによって特定する予定であったが、研究期間中に有効な DNA マーカーを発見することができなかったため、今後調査していくべき課題として残された。

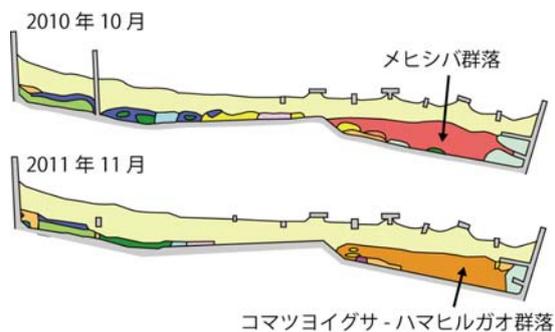


図-6 伊勢湾西南海岸で確認された裸地性植物から海浜植物への遷移

(5) 砂浜間の生態系ネットワークを踏まえた管理単位の設定

本研究では、全国の地形図の分析から、砂浜間の生態系ネットワークの核と成り得る大規模砂浜を抽出することができた。また、海浜生物のDNA分析を実施することで、これまでの砂浜の緯度や気象・海象、生物の在・不在データをもとにした海岸区分よりもさらに細かなスケールの区分を見つけ出せる可能性があることを示すことができた。これらの結果は、これまで土砂移動だけに着目して設定されてきた海岸の管理単位に対して新たな判断材料を与える点で、よりの確な海岸行政の実施に寄与するものと期待される。

(6) 今後の展望

本研究の結果によれば、海浜生物のDNAにおける多型の量や地理的な変異の蓄積状況は種によって大きく異なっていた。砂浜の管理単位の設定に活かそうとするならば、アカウミガメのような希少種については種特異的な砂浜間の交流も考慮する必要があるが、それ以外の生物については複数種で共通に見られる地理的な単位こそが重要と考えられる。そのためには、やみくもに多くの種のDNAを分析するよりも、ハマエンドウのように砂浜間の違いがあらわれやすい種に絞って集中的に調査を実施した方が効率的である。今後は、こうした多くの情報が得られる種の組み合わせを明らかにしていくことが求められる。また、今回は日本全体での概要把握を目的としたが、今後はさらに小さな地理スケールで砂浜間の具体的な交流範囲を把握していくことも必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Watanabe, K. K., H. Hatase, M. Kinoshita, K. Omuta, T. Bando, N. Kamezaki, K. Sato, Y. Matsuzawa, K. Goto, Y. Nakashima, H. Takeshita, J. Aoyama and K. Tsukamoto: Population structure of the loggerhead turtle *Caretta caretta*, a large marine carnivore that exhibits alternative foraging behaviors, *Marine Ecology Progress Series*, 査読有, Vol.424, 2011, 273-283.

DOI:10.3354/meps08989

- ② 渡邊国広、諏訪義雄：波が造りし生態系：砂浜における生物の生息適地評価、土木技術資料、査読有、Vol.52(10)、2011、38-41.

[学会発表] (計1件)

- ① Hatase, H, K. Watanabe and K. Tsukamoto: Oceanic planktivores or neritic benthivores: foraging dichotomy in loggerhead sea turtles and its underlying mechanism, *Trench*

Connection: International Symposium on the Deepest Environment on Earth, Nov. 2011, Tokyo.

[図書] (計1件)

- ① 渡邊国広 (共著)：朝倉書店、水辺の環境科学Ⅲ、2012、63-66. (印刷中)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 国広 (WATANABE KUNIHIRO)

国土技術政策総合研究所・河川研究部・海岸研究室・研究官

研究者番号：30444061

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし