

# 指宿知林ヶ島陸繋砂州の年間を通じた変動過程に関する研究

## Study on deformation Process of a Tombolo throughout a whole year at Chiringa-shima Island, Ibusuki City

長山昭夫<sup>1</sup>・谷山昌弘<sup>2</sup>・川上弘次<sup>3</sup>・浅野敏之<sup>4</sup>

Akio NAGAYAMA, Masahiro TANIYAMA, Koji KAWAKAMI and Toshiyuki ASANO

A long-tied tombolo with the length of 800m at Chiringa-shima island emerges only during ebb-tide in spring tide condition from March to October. In this study, the physical processes of the emerging are investigated. The field surveys have revealed that the base underneath the surface sands consists of rocks, and a shallow area with huge amount of sand extends around the tombolo, and beyond the area, the sea bottom suddenly deepens. A series of numerical simulations for the wave fields, current fields, sediment motion and bathymetric changes were conducted. The result suggests that the emerging process of the tombolo can be explained by the seasonal change of the wind direction and the resultant changes in the wave fields.

### 1. はじめに

鹿児島県指宿市の知林ヶ島(写真-1中央)は鹿児島湾の湾口部西側に位置している。この知林ヶ島と指宿海岸の間に形成されている陸繋砂州(以下、砂州という)は、全長800m・幅最大20m程度であり3~10月の大潮干潮時に連結し数時間のみ出現する。これまでの研究で砂州の形成・消滅過程は風場の季節変化に影響を受けていることがわかっている。本論文では2008年9月から現在まで継続されている定点カメラ観測から得られた画像データをもとに年間を通じた砂州の変動過程について検討した。さらに現地踏査や風場の現地観測を行い砂州の出現過程に影響する因子を検討した。また数値計算による地形変化シミュレーションを行い、現地観測結果が再現できるのかを検討することによって地形変動のメカニズムについて考察した。

### 2. 現地踏査

指宿海岸の現地踏査を行った際の周辺地形の表層底質状況を示す(写真-1)。知林ヶ島とその周辺海岸は砂州が形成されるに十分な量の砂が堆積しているが、この周辺以外の海岸部では写真-1左下部分に示すように汀線付近は護岸に囲まれている。これまでに得られたデータを元に砂の完全移動限界水深を求めた。その結果、砂の移動限界水深は1.2m程度となった。図-1に知林ヶ島周辺の水深図を示す。これらより砂州を形成している砂は知林ヶ島と本土間のみを移動していることが推定される。

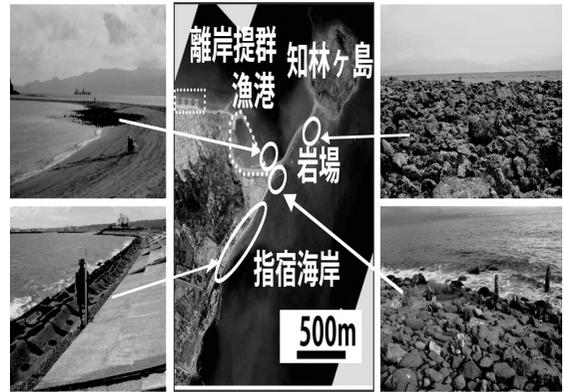


写真-1 知林ヶ島の航空写真と指宿海岸の現地踏査

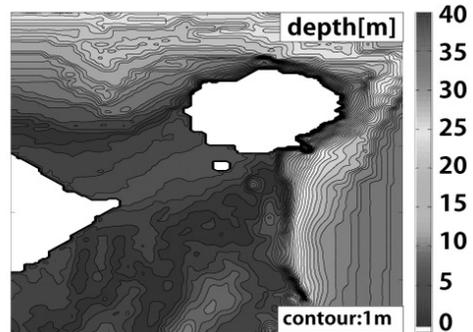


図-1 知林ヶ島周辺の水深図

### 3. 風場の現地観測

前報(長山ら(2009))では現地から南西に2km離れた指宿気象観測所のアメダス気象データを使用し、風場の検討を行った。しかし周辺地形の風場に与える影響が懸念されたため、今回は砂州本土側根元付近に風速計を設

1 正会員 修(工) 鹿児島大学大学院 理工学研究科  
2 鹿児島県警  
3 学生会員 鹿児島大学大学院 理工学研究科  
4 正会員 工博 鹿児島大学大学院教授 理工学研究科

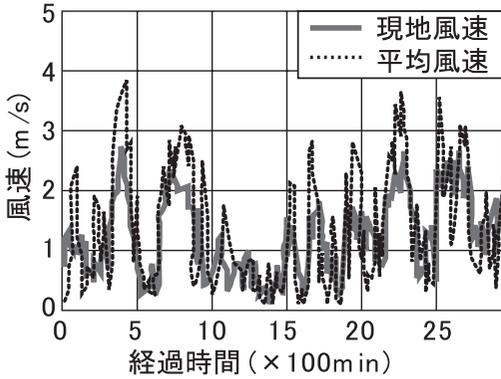


図-2 現地観測とアメダスデータの平均風速の比較

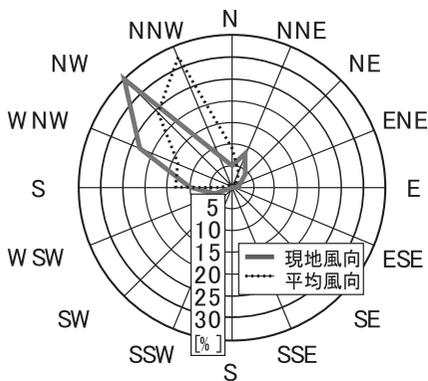


図-3 現地観測とアメダスデータの平均風向の比較

置し、現地の風場を詳細に検討することにした。観測装置は地上高さ3.5mの位置に風向風速計が設置されており、5分間の平均の風速と平均風向が取得できる。図-2は、現地場風速と指宿気象観測所のアメダス気象データから得られた10分間の平均風速を比較したもので、現地の平均風速とアメダスデータの平均風速の相関係数が0.7となり良好な相関があることがわかった。

次に図-3に現地観測とアメダスデータの平均風向の比較を示す。図-3より、両者はともに北風の発生割合が高いが、現地風向の出現割合のピーク値はNW、アメダス平均風向の出現割合のピーク値はNNWとなって若干のずれが生じていることがわかる。

#### 4. 定点カメラ観測

##### (1) 観測期間

砂州の定点カメラ観測は2008年9月から開始し、現在継続中であるが、本研究では2009年12月までのデータを解析した。また得られた画像データを2次元射影変換し正射影画像にした。

##### (2) 岩場が砂州地形に与える影響

砂州周辺には根固め工として設置されたと考えられる岩場(写真-1右)が多数ある。この岩場が砂州形成にどのように影響を与えるかを検討した。

写真-2は観測期間中において最干潮時の観測写真を射影変換によりオルソ画像としてものである。この写真より本土側の砂州付け根周辺では岩場が集合していることがわかる。つまり本土側の砂州は岩場の上に乗る形で形成されることになる。砂州を形成している砂が流出してもこの岩場によりトラップされている可能性が高い。また砂州中央部南側に岩場が点在しており、その中のひとつは岩礁となって水面上に現れている。

##### (3) 砂州連結潮位の年変動の検討

図-4に2008年9月から2009年12月までの砂州の出現潮位、出現継続時間と日最大瞬間風速を示す。各図の点線は観測期間内の平均値を示している。2009年6月から8月までは機材故障のためデータが無い。2008年12月から翌年1月中旬までは、干潮時でも砂州は出現しない。こ

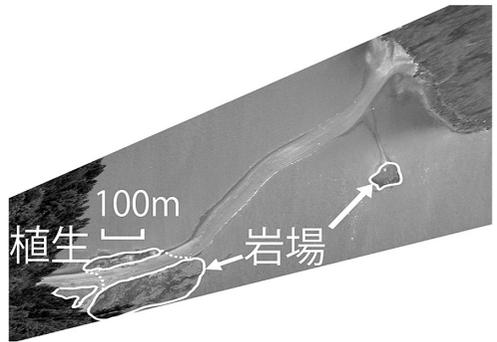


写真-2 岩場と植生位置の検討

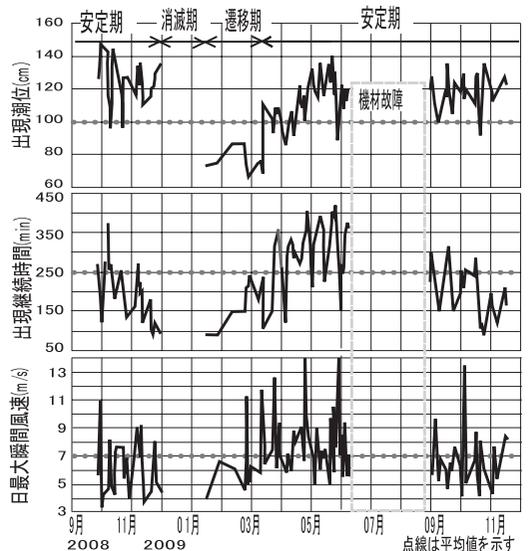


図-4 砂州の年変動に関する諸量

の期間を消滅期と定義する。観測期間における砂州の出現潮位の平均は100cmであった。1月中旬から3月中旬の期間、砂州の出現潮位はこの出現潮位(100cm)よりも低い傾向にある。この期間を遷移期と定義する。一方、3月中旬から11月の期間、砂州の出現潮位は潮位100cmよりも高くても砂州が出現することがわかる。この期間を安定期と定義する。砂州の一年を通じての平均の出現継続時間は250分であった。出現継続時間については、砂州出現潮位のグラフで定義した消滅・遷移・安定期のような明確な傾向は現れない。遷移期では出現継続時間は平均の250分以下より短く、安定期においては250分以上継続する傾向にある。しかし、安定期においても砂州出現継続時間が250分以下で極端に低下することが数回ある。この要因のひとつとして考えられるのは吹送流による水面上昇であり、日最大瞬間風速が大きいと砂州の出現継続時間が短くなるのが中段と下段の図の比較から読み取れる。

#### (4) 遷移期における平均潮位時の砂州の様子

遷移期である2009年2月から3月までの平均潮位(150cm)における砂州の様子を写真-3示す。この図より、遷移期において本土側砂州の先端は岩場の境界とほぼ一致したままであることがわかる。一方、島側の砂州の先端は時間の経過とともに、本土側の砂州先端に向けて伸張していく。つまり砂州は形成時に知林ヶ島側から先端が伸び、ついには岩場境界まで延びている本土側砂州の先端と繋がるという過程を辿るといえる。

#### (5) 砂州の年変動について

観測期間における潮位100cmでの砂州位置の検討を行った(写真-4)。2008年10月に形成されている砂州は徐々に南下する。また消滅期を経て遷移期となると砂州は南下した位置のまま形成され始める。砂州が形成されつつある3月からは遷移期とほとんど位置を変えず砂州が連結する。また安定期である5月から9月にかけて砂州全体は北上する。

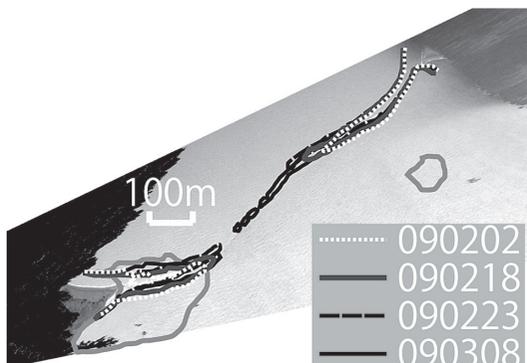


写真-3 遷移期における平均潮位時の砂州の経時変化

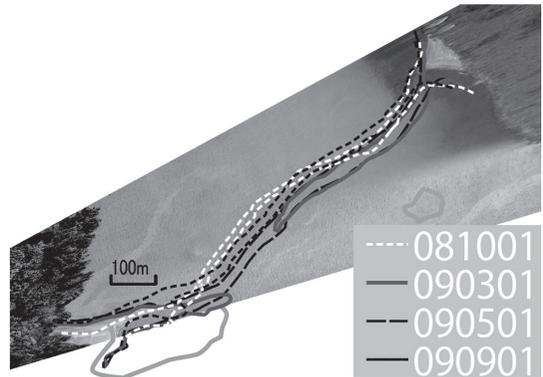


写真-4 潮位100cmにおける砂州の経時変化

## 5. 数値シミュレーション

### (1) 計算対象地形

計算領域は図-1の範囲を含む2km×2kmの範囲で格子間隔を8mとした。知林ヶ島と本土間の砂州形成位置での水深は3mより浅い。また指宿海岸沖合は知林ヶ島付近までは10m以浅の水深の地形が広がっている。知林ヶ島を境にし、知林ヶ島東部から急激に深くなる特徴を有している。解析では砂州の形成位置の水深を1.0mと一定とし、潮位変動は考慮しなかった。これより砂州の出現・消滅を含む砂州の年間を通じた出現位置の検討を行った。

### (2) 波浪場の検討

前報ではアメダス気象データを用いた解析より、砂州消滅期において北風が、砂州出現期においては南風が卓越することを明らかにした。風場の季節変化が砂州の出現位置に影響を与えていると考え、今回は南北方向それぞれから波を入射させて波浪場を求めた。アメダス気象データによる風向・風速を用いてSMB法で推算した結果、有義波高0.36m・有義波周期5.5sを得た。この波を沖波の計算条件として設定した。碎波による波高減衰項を導入したエネルギー平衡方程式(高山ら, 1991)によって波浪場を計算した。ここでは有義波周期からJONSWAP型スペクトルを有する不規則波に変換し、波向き方向には方向集中度パラメータ $S_{max}=25$ の光易型方向分布関数で与えた。図-5に北からの入射波による波高分布、図-6に南からの入射波による波高分布を示す。砂州形成位置より北側の10m以浅の地形は南側に比べて浅く、砂州形成方向とほぼ平行な単純な等深線になっており、計算される波高もあまり高くはならない。一方、砂州形成位置より南側の10m以浅は複雑な海岸地形になっており、北側に比べて全般に深くなっている。

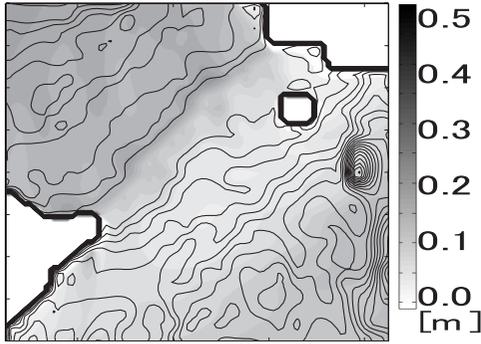


図-5 北からの入射波による波高分布

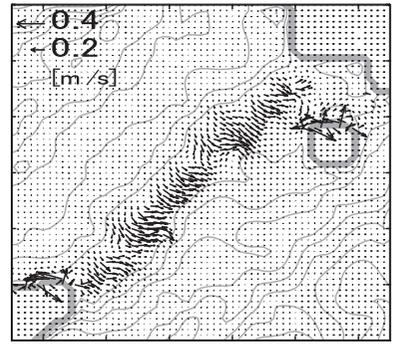


図-7 北からの入射波による海浜流ベクトル

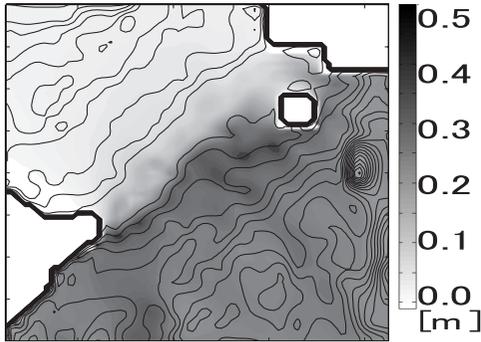


図-6 南からの入射波による波高分布

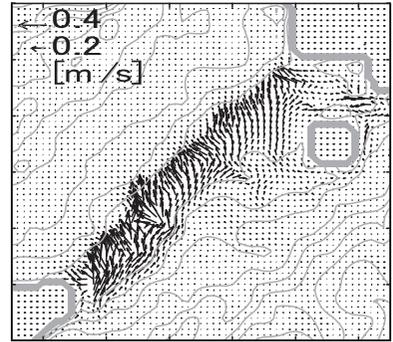


図-8 南からの入射波による海浜流ベクトル

図-5と図-6の比較により、南からの入射波による波高分布の場合、北側と比較して海底地形が複雑で深い部分が砂州近くまで入り組んでいることから、砂州出現位置直前まで波高が大きくなる結果になる。

### (3) 海浜流の計算

海浜流の基礎方程式は平面2次元浅水方程式(西村, 1985)を使用した。図-7と図-8に、それぞれ北と南からの入射波による海浜流ベクトルを示す。図-7と図-8の比較により、北・南からの入射波のどちらの場合も、砂州形成位置全体を横切る海浜流が発生している。また、南からの入射波による海浜流の方が、北からの入射波による海浜流よりも全体的に流速が大きい傾向にある。

### (4) 局所漂砂量の計算

上記で得られた波と流れの場から局所漂砂量をBailard(1981)の公式を用いて算出した。ただし、エネルギー平衡方程式は位相情報が無いので、局所的な波の波高・波長比に対応して正弦波をStokes波に置き換え、上下非対称的な水粒子速度波形に直してBailard公式を使用することによりnetの漂砂量が得られるようにした。

図-9に北からの入射波による漂砂量ベクトル、図-10に南からの入射波による漂砂量ベクトルを示す。海浜流ベクトルと同様に、北・南からの入射波のどちらの場合も、砂州形成位置全体を横切る漂砂が発生する。また、南か

らの入射波による漂砂の方が、北からの入射波による漂砂よりも全体的に大きい傾向にある。

### (5) 地形変化の計算

図-11に北からの入射波による2.8時間後(10,000秒後)の地形変化量、図-12に南からの入射波によるそれを示す。北・南からの入射波の場合ともに、砂州出現位置手前で広く浅く砂が侵食され、砂州出現位置と仮定した水深周辺に砂が帯状に堆積する傾向にあることがわかる。北からの入射波の場合、砂の堆積位置は砂州出現位置水深の南側に、一方、南からの入射波の場合はその逆で砂州出現位置水深の北側になる。

堆積量については、南からの入射波の場合の方が若干多くなる。この結果は、写真-4に示した砂州の出現位置の年変動と良く一致する。つまり、形成されている砂州が北からの入射波で徐々に南下し、砂州形成期において砂州は南からの入射波により北上するといった過程を再現している。写真-3に示した遷移期における砂州の経時変化では、本土側の砂州の先端はほとんど動かず、知林ヶ島側の砂州の先端が徐々に伸びてついに連結するといった形成過程を示していたが、今回のシミュレーションでは表現できなかった。これは砂州の形成過程が風波のみではなく、潮流流などの影響を受けていることが要因であると考えられる。

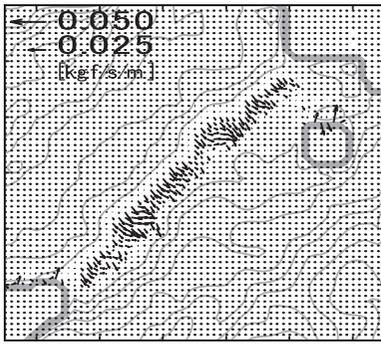


図-9 北からの入射波による漂砂ベクトル

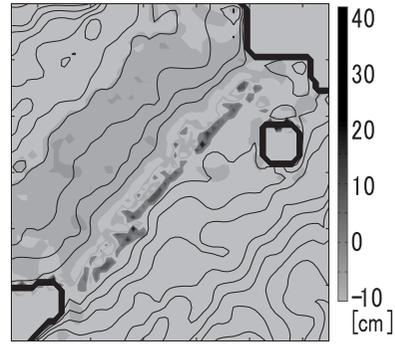


図-11 北からの入射波による地形変化量

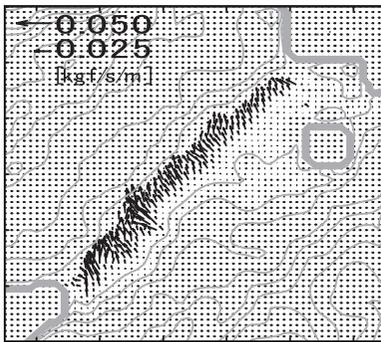


図-10 南からの入射波による漂砂ベクトル

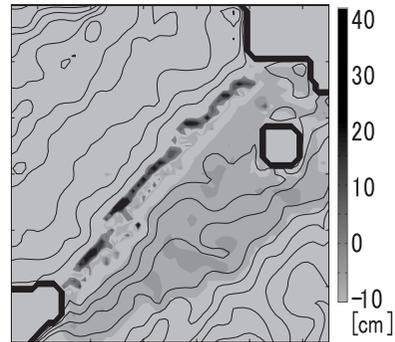


図-12 南からの入射波による地形変化量

## 6. まとめ

現地踏査により、砂州周辺の指宿海岸は護岸や岩場が点在し、現地固有の地形と底質の状況があることがわかった。また砂州を形成している砂は知林ヶ島と本土側間のみを移動していることが推察できた。定点カメラ観測により、指宿海岸と知林ヶ島の間に出現・形成される砂州は、出現潮位や出現継続時間により消滅期・遷移期・安定期に区分できた。本土側の砂州先端は岩場の境界位置からほぼ変化せず、知林ヶ島側の砂州の先端が徐々に伸びる形で連結することがわかった。砂州は形成と共に徐々に北上し、消滅とともに南下するサイクルを有することがわかった。また砂州出現位置の年変動の原因は風波の季節変動の影響を受けている可能性が高い。

今後の課題としては、現地の砂州地形変化に直接影響する波浪や潮流を観測し、砂州の形成・消滅をもたらす力学過程をより詳細に調べる必要がある。数値計算にお

いては、砂州の変動過程のみではなく、形成・消滅過程を表現可能なモデルの確立を検討するべきと考える。

**謝辞**：本研究の一部は平成21年度笹川研究助成（研究番号21-706M）により遂行した。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 高山知司・池田直太・平石哲也（1991）：砕波および反射を考慮した波浪数値計算，港湾技術研究所報告，第30巻，第1号，pp. 21-67.
- 長山昭夫・山口裕之・茶屋彰仁・田中龍児・中村和夫・浅野敏之（2009）：指宿知林ヶ島陸繋砂州の形成・消滅過程に関する基礎的研究，土木学会論文集B2（海岸工学）Vol.B2-65，No.1，pp. 586-590
- 西村仁嗣（1985）：流れの計算，海岸環境工学，東京大学出版会，第3編第3章，pp. 249-271.
- Bailard, J. A. (1981) : An energetics total load sediment transport model for a sloping beach, J. Geophys. Res., Vol.86, pp. 10939-10954.