画像解析に基づく七里御浜井田海岸の汀線変化特性に関する研究

Study on Mechanism of Shoreline Change in Shichiri-mihama Ida Beach Using Web Camera Images

ブー ティ ラン フーン¹・水谷法美²

VU Thi Lan Huong and Norimi MIZUTANI

Image analysis using Web camera can be very useful tool to clarify the mechanics of beach deformation because it allows time domain analysis of shoreline changes. The purpose of the present study is to extract shoreline from the video images using image processing and investigate the relationship between shoreline change and waves. New method to detect shoreline in images has been proposed and it has been demonstrated to detect shoreline more stable than the exiting CCD model. Results reveal that the shoreline tends to forward if the significant wave height is ranged between 1m and 2m, whereas it tends to retreat if the significant wave height is larger than 3m. Furthermore, the image analysis reveals that presence of artificial reefs reduces the retreat of shoreline during storm.

1. はじめに

三重県南部に位置する七里御浜は鬼ヶ城に隣接する木本港から熊野川河口部に隣接する鵜殿港に延びる延長約20kmにおよぶ礫浜海岸である。七里御浜では、高度経済成長期以降、熊野川におけるダムの建設や土砂採取などによる海岸への土砂供給量の減少等によって海岸侵食が顕在化するようになった。そのため、特に侵食が厳しい七里御浜井田地区海岸（以下、井田海岸）では人工リーフの設置や養浜など様々な侵食対策がこれまでに行われてきた。例えば、梶ヶ鼻の北約1kmの範囲では、昭和57年から昭和63年までに消波ブロックが設置されたが、現状では多くのブロックは沈下しており（写真-1参照）、その機能は十分果たせなくなっている。また、鵜殿港の北に隣接する海岸では、平成5年に人工リーフが2基設置され、さらに、平成6年9月の台風26号による堤防被災の後、災害事業として6基の人工リーフが設置された。

写真-1 2011/11/28の消波ブロックの様子

その後の人工リーフの増設により、井田海岸にはこれまでに14基の人工リーフが設置されている。

一方、人工リーフ設置以降の汀線変化についてはいくつか検討例はあるものの、十分に検討されているとはいえないのが現状であり、今後の有効な海岸侵食対策を検討する上で、人工リーフ背後を含め、長期間にわたる汀線変化の特性を把握しておくことが重要である。七里御浜海岸は波浪エネルギーが高い海岸域で、年間の汀線変化も大きい。しかし従来の現地調査や数値計算（宇多ら、1992；山本ら、1999；水谷ら、2003）は、その観測の時間間隔も長く、汀線の時間変化を連続的に観察することが困難であった。そこで本研究では、井田海岸にWebカメラを設置し、海岸線を連続的に撮影した画像にもとづき、汀線の変化を入射波浪と関連づけて考究することで、汀線変化の特性とその機構を検討することを目的とする。

2. 画像解析

汀線変化の機構を解明するには汀線の経時的な変化を外力である波浪と関連づけて観測することが望ましく、そのためには、Webカメラを使った画像解析は有効な手法の一つである。この際、画像から汀線を検出する手法が必要である。

本研究では、これまで多くの砂浜で利用されたCCD法（鈴木ら、2008）に加え、新たな手法を提案し、礫浜への応用性を検討した。具体的には、まず井田海岸のWebカメラシステムによるRGB画像を入力データとし、CCD法の適用性を検討した。その結果、雨天など天候の悪い条件で撮影された画像に対する検出の安定性に改善の余地が認められたため、このような場合の画像の特徴を考慮し、新たな画像解析方法を提案した。

1 学生会員 修(工) 名古屋大学大学院工学研究科
2 フェロー 工博 名古屋大学教授 大学院工学研究科社会基盤工学専攻

図-1 Webカメラシステムの概要

図-2 CCD手法の概要

(1) 七里御浜海岸のWebカメラシステムと画像解析

Webカメラを、井田海岸の護岸背後の保安林端部に20mの複合柱を設置し、その最上部に取り付けた。Webカメラで撮影された画像は、専用光ケーブルで国土交通省紀勢国道事務所熊野維持出張所に設置したPCに取り込まれている。画像は、解析の対象としている海岸を5つのフレームで撮影している。すなわち、毎日6:00から18:00まで、1フレーム毎に10分間を割り当て、そのうちの5分間にわたり画像を1秒間隔で記録し、これを一つのデータセットとしている（図-1参照）。これを5つのフレームで繰り返し、最後の10分は作業用時間としている。さらに画像を撮影しない夜間にそれぞれのデータセット毎の平均画像を計算し、これを本研究の解析に使用した。なお、熊野維持出張所内のPCから名古屋大学へのデータ転送は、民間のインターネットを介してリモートで行っている。

(2) CCD法の適用性

CCD法は海面と海浜の色に対して赤と青の明度が異なることを利用して汀線を取り出している。図-2は礫浜から海域における色の構成の岸沖方向変化を示したもので

図-3 雨天時における海浜から海面までの色調変化

図-4 破波帯の幅の変化

ある。同図より、海側に進むほど青と赤の輝度の差が大きくなることがわかる。破波帯では、波が崩れて白が卓越することからすべての色調がほぼ同様に高くなるが、CCD法ではこの破波帯の位置と経験的な破波帯幅を利用して汀線を推測する。すなわち、K値と呼ばれる経験的な値を破波帯幅にかけることによって汀線位置を求める。本手法を七里御浜井田地区海岸に適用した結果、同海岸では $K=0.81$ とすることで比較的良好に汀線を検出できることが判明した。

しかし、図-3に示すように、雨天時では海浜の赤と海面の青の違いは明瞭ではなくなるため、破波帯の位置を見出すのが困難であり、正しく汀線を抽出することは非常に困難となる問題が確認された。これは曇天時でも共通の課題である。

礫浜である七里御浜では、礫浜の浸透性や礫浜斜面上でエネルギー消散効果が高いこと（李ら, 2009）、また、現地の入射波と地形の関係などで、破波がほぼ汀線付近まで生じている。一方、図-4に例示するように、低気圧や台風などの高波浪時には沖の方から広く破波が生じており、このような条件を包含するような海岸固有のK値を見つけることは困難である。さらに七里御浜は東に面した海岸であることから、早朝の太陽高度が低い時間帯でのCCD法による汀線の検出も困難であることも判明した。そこで、本研究では、これらの要因に影響されにくい汀線の検出法について検討を行った。

(3) 新しい画像解析方法の提案

本研究では、砕波帯ではなく、浜の色調の変化そのものに着目して汀線を検出することとした。図-5に示すように、砕波帯の岸側では、陸地から海に近づくほど赤の輝度値が減少する。特に汀線近傍で赤の輝度値が急に下がる。この傾向は図示した条件以外にも共通の特性として確認された。そこで、この輝度値の変化に着目し、汀線の検出を試みた結果が図-6の青のプロットで示した線である。図-6にはCCD法による検出結果も比較のため赤で示してある。図-6(a)は曇天時の例であるが、この場合、砕波にともなう白く映った範囲が海面全体的に広がっているため、砕波帯との関係で汀線を検出することができなかった例である。しかし、海浜と海面には明確

図-5 新たな手法の原理

(a) 曇天時の例

(b) 雨天時の例

図-6 新たな手法とCCD手法の比較

な色調の差異があり、汀線近傍で赤の輝度値の変化は明瞭に確認でき、本手法により汀線を安定して検出が可能であった。

図-6(b)は雨天時の例である。カメラのハウジングに付着した水滴が白く映るため、砕波帯との識別が困難になり、砕波帯幅が局所的に大きく変化するため、固定のK値を使ったCCD法では安定して汀線を検出することは困難であった。しかし、図-6(a)と同様に、輝度値の空間変化そのものを利用した本手法を利用すると、より安定的に汀線を検出することが可能となった。したがって、本手法により、CCD法に比べて安定した汀線の検出が可能となったといえる。なお、本手法であってもハウジングに付着した水滴は画像の輝度値に影響を与えることからその影響は無視できない。この点については今後対応を検討する必要がある。

3. 汀線変化の特性

上述した手法により検出した汀線の変動特性を、入射波浪と関連づけて検討する。なお新方法で抽出した汀線は波の最高到達点である。井田海岸では、三重県によってHFレーダーを使った面的な波浪観測が行われている。したがって、汀線変化と入射波浪の関係を経時的に解析することが可能である。本研究では、三重県から提供いただいた波浪観測結果と関連づけた解析を行うこととした。ただし、HFレーダーの波浪観測に関して、特に2012年で欠測が頻繁に確認されたため、七里御浜に比較的近いナウファス波浪データ(尾鷲)も使用することとした。尾鷲の波浪データは2012年から提供されている。以下にその結果について述べる。なお、すべての汀線位置は平面直角座標で示す。

(1) 七里御浜の波浪要件

図-7にHFレーダー波浪データと尾鷲波浪データを示す。図-7(a)から分かるように、井田海岸には主にSE、ESE方向からの波が卓越していることが確認できる。すなわち、井田海岸の法線より南からの入射が卓越しており、したがって北向きの漂砂が卓越することが推察される。入射波高を1m, 1~2m, 2m以上の3つに分けるとその割合はそれぞれ約35%, 約40%, 約15%となっている。また入射波の周期は、8s以下が約40%, 8s~10sが約40%, 10s以上が約20%を占める。尾鷲の波浪データに着目すると、沖で計測されていることから入射方向が南に広がっているものの、SE、ESE方向が卓越している傾向は井田海岸と共通である。そこで2012年の波浪に関しては、HFレーダーの波浪データに欠陥が多いため本研究では尾鷲の波浪データを利用することとした。

(2) 汀線変化

ここでは2012年06月1日から2012年12月31日までの

図-7 七里御浜の波浪特性

汀線変化を、図-8に示すP1～P8の8点の汀線位置を使って汀線の移動と波浪変化の関係を検討する。

なお、P1, P2, P3は人工リーフの設置区間の北側に位置する地点で前面海域には構造物は設置されていない。これに対し、P4～P8は前面海域に人工リーフが設置された地点になる。また、図-8に示すように、5つのフレームの画像は、座標変換を行って平面画像に修正し、さらに一枚の連続した画像にして解析を行っている。

a) 波浪と汀線変化の関係

井田海岸では6月から7月にかけて汀線が前進する傾向がある (水谷ら, 2003)。図-9に示すように、この期間の入射波の波高はほぼ1～2mのものが卓越している。また、波高が1m前後の場合、汀線の変化は比較的小さい傾向が認められた。一方、波高が3mを超える場合には、一時的に汀線は後退することが多いことも確認された。一時的に後退した汀線は、その後大きな波が来襲しなければ、ほぼ1週間程度で元の位置に回復するようである。8月から10月の間では、前半に1度4mを超える波が来襲し、その後1m程度の波がほとんどである。この

図-9 汀線変化と波浪の関係

図-10 台風における汀線変化

間の汀線は、一度後退した後、回復の傾向が認められる。一方、後半は3m～4mの波が間欠的に来襲するため、頻繁に汀線が後退する傾向が確認できる。11月から12月の

図-11 台風前後の汀線位置

期間は、3m以上の波も入射しているが、頻度は低く、汀線も一時的に後退するもののその後回復する傾向が認められる。

b) 台風時の汀線変化

前述のように、高波浪時に汀線が後退する傾向が確認されたが、その主な気象要因である台風時の汀線について検討する。ここでは、平成24年の17号を取り上げ、台風の経過にともなう汀線変化を検討した。17号台風は、平成24年9月28日から10月1日にかけて、日本全国に影響を及ぼしており、9月29日に沖縄本島付近を通過した後、30日19時頃に愛知県東部に上陸した。気象庁によると三重県熊野市遊木町では9月30日17時6分頃の潮位が134cmとなり、三重県の沿岸で高潮が発生し、最高潮位を更新している。図-10に示すように、最大11mの波高が来襲した後、汀線は約8m後退した。図-11は、台風17号を含む前後約1ヶ月の波浪と汀線変化を示したものである。図-11では、台風のピークが過ぎて波高が小さくなると汀線は回復傾向になるが、その後、波高が2mを超える期間があることから、台風の通過後、約2週間経過した10月18日でも汀線は台風前の位置までは回復していない。

c) 汀線変化と人工リーフ

図-10 (d) や図-10 (e) からわかるように台風の場合

でも、人工リーフ背後のP5、P6、P7、P8では汀線の後退量は人工リーフの設置されていない海浜よりも小さいことが確認される。これは他の台風の場合でも確認されている。また、台風の通過後の人工リーフ背後の汀線の回復も人工リーフが設置されていない場所に比べて早い傾向が確認された。したがって、従来からいわれているように、人工リーフによる汀線後退への有効性が確認される。

4. おわりに

本研究では七里御浜井田地区海岸に設置したWebカメラで撮影した画像にもとづき、汀線変化を波浪と関連付けて検討した。主な結論は以下にまとめる。

- 1) 本研究で提案した方法により従来のCCD法と比較して安定して汀線を検出可能となった。
- 2) 七里御浜では波高が1m前後では汀線は停滞傾向、波高が1～2mで前進傾向、波高が3～4mを超えると侵食傾向となることが確認できた。
- 3) 人工リーフが存在することで汀線の後退は緩やかになる傾向があることが確認された。

今後、潮位変化の補正などについても更に検討を加え、より詳細に検討を加えていく所存である。

謝辞：本研究を行うにあたり、国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所・鈴木高二朗氏（前独立行政法人港湾空港技術研究所）に画像解析による汀線変化の解析手法の構築に多大な協力を賜った。ここに記して感謝の意を表します。また、同中部地方整備局紀勢国道事務所、三重県にはWebカメラの設置、および光ケーブルの利用、波浪データの提供等で協力を賜った。関係各位に感謝申し上げます。最後に、本研究は科学研究費補助金基盤研究（B）（代表者：水谷法美）により行われたことを付記し、関係各位に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 宇多高明・後藤康長・山本 幸（1992）：三重県七里御浜海岸の海浜変形機構に関する一考察，海工論文集，Vol. 39, pp. 351-355.
- 山本幸次，佐藤慎司，野口賢二，宮野正実（1999）：熊野川を土砂供給源とする海岸の海浜変形と砂礫層厚，海岸工学論文集，第46巻，Vol. 46, pp. 666-670.
- 水谷法美・許 東秀・上運天陽次・神谷篤史（2003）：人工リーフと養浜による礫浜海岸の汀線変化の現地調査とその予測，海岸工学論文集，Vol. 50, pp. 581-585.
- 鈴木高二朗・有路隆一・諸星一信・柳島慎一・高橋重雄・松坂省一・鈴木信昭（2008）：WEBカメラを用いた海岸の連続観測手法の開発について，海岸工学論文集，Vol. 55, pp. 1446-1450.
- 李 光浩・藤井俊明・水谷法美（2009）：礫浜斜面上の碎波特性に関する実験的研究，海洋開発論文集，Vol. 25, pp. 831-835.