

令和元年6月19日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06502

研究課題名(和文) 沿岸漂砂フラックスのリモートセンシング観測手法の確立

研究課題名(英文) Estimation of longshore sediment flux from remote sensing data

研究代表者

武若 聡 (Takewaka, Satoshi)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：80202167

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：Xバンドレーダにより、茨城県神栖市須田浜の約5 km汀線位置分布を連続的に観測した。さらにSAR衛星の観測結果を収集し、10年間にわたる鹿島灘南部(鹿島港南端部～波崎漁港)16 kmの汀線位置を追跡した。経験的固有関数法(EOF)により汀線変動を解析したところ、季節的な変化(岸沖方向)と長期的な変化(沿岸方向)に分離できることを確認した。前者の変動は波の入射エネルギーの大小と関連性が高いことを示した。一方、後者の変動は沿岸漂砂フラックスによるものと考えられ、向きと大きさの変動をおおよそ波浪と関連付けられるが、波浪に加えて流れの影響を加味して詳細に理解する必要も判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Xバンドレーダの観測結果を潮汐観測結果と合わせて解析し、汀線位置と前浜勾配の沿岸分布を自動的に推定するシステムを完成させた。これにより、広域の海岸地形を自動的に収集することが可能となり、モニタリングの効率が向上した。課題は、推定の精度が波浪が大きい時、海浜勾配が非常に緩くなる時に悪くなることへの対応である。

研究成果の概要(英文)：Field observations on shoreline variation have been conducted at southern Kashimanada, Ibaraki, Japan. X-band radar is installed at research pier HORS to observe hourly shoreline position of 5 km. Also, shoreline positions of 16 km are extracted from SAR images. Both data are combined by a statistical method which is based on Empirical Orthogonal Function. The processed data set is analyzed by EOF and separated into two major components. One is the most prevailing component which maybe represents on-offshore motion due to seasonal wave variation. The second is maybe the longshore motion which is induced by seasonal variation of wave incidence direction. Latter component is the interest for understanding longshore sediment flux variation. Attempts have been done to correlate this component with longshore wave energy flux, but it was not fully successful. To improve the assessment, effects of current must be included.

研究分野：海岸工学

キーワード：漂砂 リモートセンシング Xバンドレーダ SAR 汀線

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

海岸侵食の対策は、従来の「ストック管理」から「フラックス管理」への高度化が必要であると関係者間で共有されている。土砂を貯めるストック管理には実績はあるが欠点も多く、その克服には、河川から沿岸域にかけて土砂移動を連続的にコントロールしながら海岸保全を図るフラックス管理の導入が必要である。フラックス管理では、フラックスを制御し得る構造物、高精度・高密度のフラックス計測技術など、これを実現するために必要な要素技術の具体的な検討が始まっている。本研究ではフラックス管理の実現に向け、レーダリモートセンシングと SAR 衛星データを併用し、沿岸漂砂フラックスをリモート観測する手法について検討する。鹿島灘南部全域とこの中にある観測栈橋で観測データを蓄積し、沿岸土砂フラックスの時間変動と空間分布を推定するための基礎的データの収集方法とその解析手順を示す。

2. 研究の目的

沿岸漂砂フラックスの分布、時間変化は海岸侵食の長期的な動向を定める要因である。ここでは、Xバンドレーダ観測と SAR 衛星データの観測結果を合わせて解析し、沿岸土砂フラックスの時間変動と空間分布を推定するための基礎的データの収集方法とその解析手順を示す。

Xバンドレーダ観測：観測栈橋周辺の 5 km の波浪場、海岸地形を連続的に観測する技術により毎時の汀線位置を観測している。荒天時にも対応可能なロバストな観測方法であり、短期間の海岸地形の変動、これをもたらした波浪場の特徴等を追跡できる。また、観測結果を時間平均することにより、季節変化程の時間スケールの局所の地形変動を抽出できる。潮位情報と合わせて、自動的に汀線位置を推定する手法を開発し、SAR 衛星データと合わせて海域全体の地形変動との関係を明らかにする。

SAR 衛星観測：SAR 衛星は観測時に雲の影響を受けないために、可視光域の衛星に比較して多数のシーンを年間に取得できる。エコー輝度分布より、対象域全体（延長約 16 km）の汀線位置を 10 m 程度の誤差で特定する。豊富な数のシーン分析により、対象域全体のサイクリックな季節変動と長期的なトレンドを追跡する。栈橋周辺の観測結果との基本的な関連付けを行い、海域全体の地形変動との関係を明らかにする。

本研究では鹿島灘南部（鹿島港～波崎漁港、延長約 16 km）の汀線位置変動を検討する。対象海域の南端には波崎漁港があり、この付近の侵食対策として 1 基の突堤と 5 基のヘッドランド（1986 年 - 2000 年）が設置されている。

3. 研究の方法

(1) Xバンドレーダ観測

Xバンドレーダ観測では毎時の汀線位置を抽出可能な時間平均画像が生成される。これまで、目視によるマニュアル作業で汀線位置を読み取っており、データ生成の大きな労力を要していた。ここではこの読み取り作業を、潮汐情報を合わせた画像解析により自動化する手法を確立した。具体的には、ある沿岸位置の水際の岸沖方向の輝度分布の時間変化と潮汐変動の類似性を相関解析により分析し、各岸沖位置の地盤高を求めた。この方法で求めた海浜断面形を測量結果と比較したところ、一定の変位が認められた。この変位は、いわゆる wave set-up、あるいは、波の遡上運動による平均的な海水位上昇によるものである。そこで、wave set-up あるいは波の遡上高を波浪観測情報により求め、この分の補正を行った。その結果、レーダ観測結果より推定した海浜断面形（汀線位置、前浜勾配）は測量結果と良好な一致を見せた（図-1、図-2）。両者の差が大きくなるのは、高波浪時、あるいは、海浜の勾配は小さい時であった。

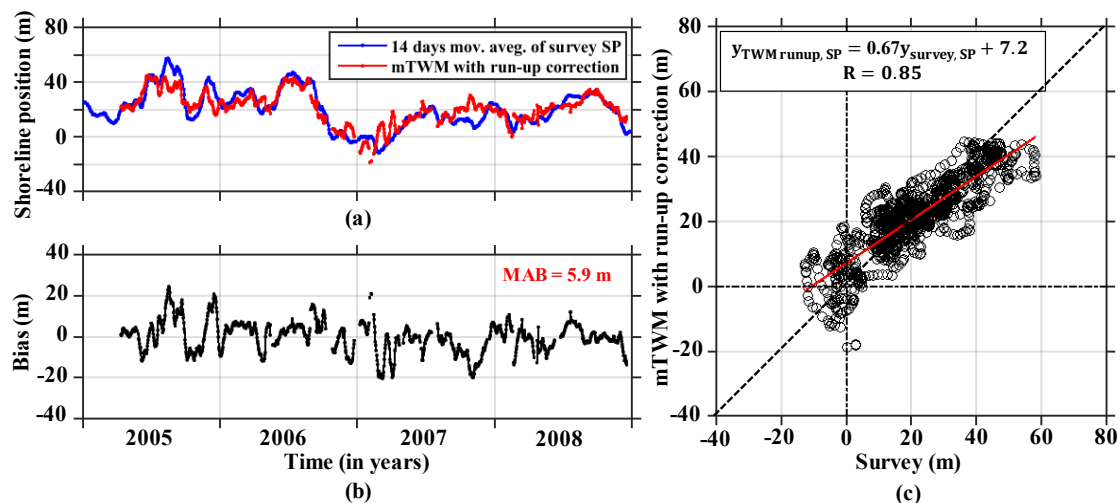


図-1 レーダ観測より求めた汀線位置と測量結果の比較 (2005-2008)

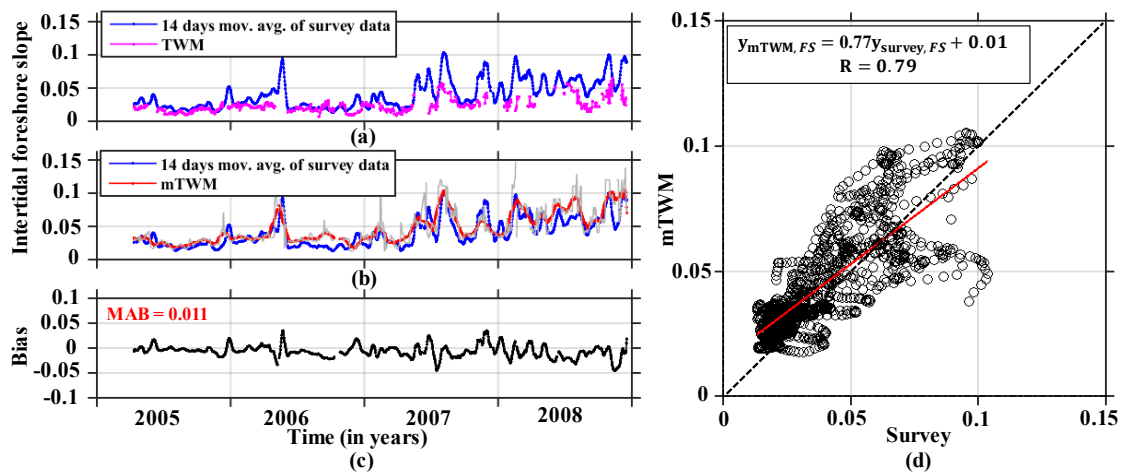


図-2 レーダ観測より求めた前浜勾配と測量結果の比較 (2005-2008)

(2) SAR 衛星観測

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の SAR を搭載した地球観測衛星 ALOS (PALSAR) (運用期間: 2006~2011 年) と ALOS-2 (PALSAR-2) (2014 年~現在) が観測したシーンを解析した。解析するシーンは次の条件を可能な限り満たすことを目標にして選択した: ①おおよそ等しいデータ取得間隔で季節毎に 1 シーン, ②SAR による観測条件の一つであるオフナディア角が等しい。以上を踏まえて解析対象として選択したシーンの数は 32 であった。汀線位置は, シーンの輝度 (=後方散乱強度) の分布を目視で確認し, その変曲位置を見極めて定めた。この方法は経験的であり, 作業者の主観に依存するが, 砂浜海岸の水際位置は, 平均的には SAR の観測分解能程度の誤差で抽出できること, 緩勾配の領域では誤差が大きくなり得ることを報告している。ここでは, 以上と同一の手法, すなわち, シーン内の輝度分布を目視で判断し, 水際位置を定めた (図-3)。

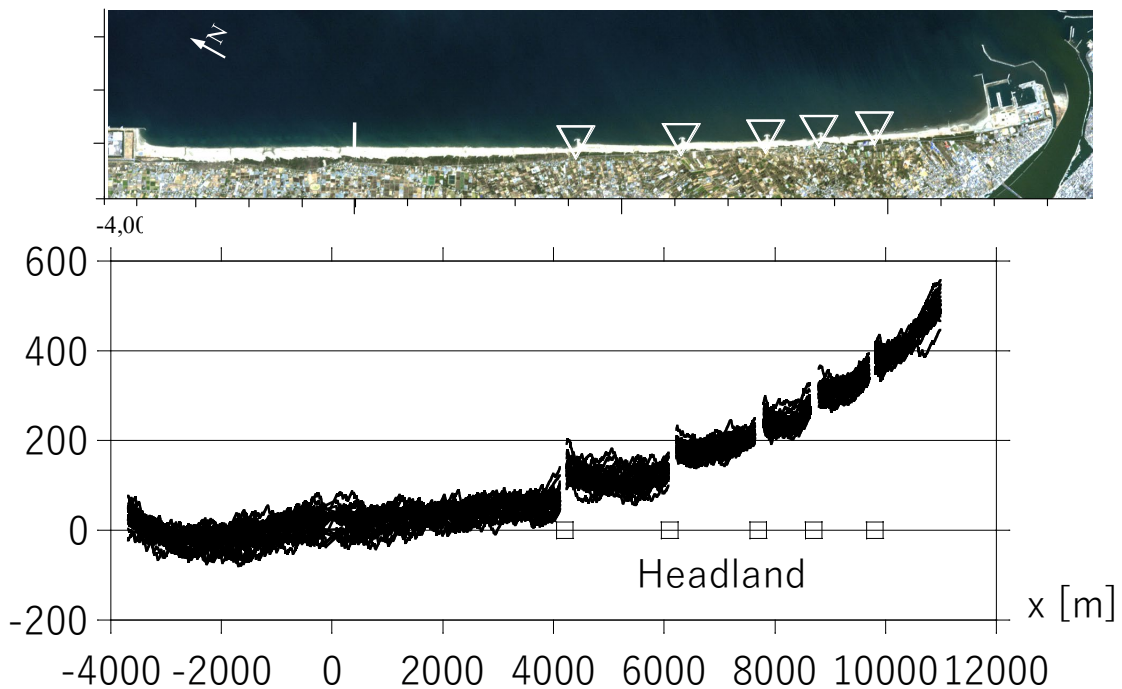


図-3 SAR 観測より求めた汀線位置 (2006-2016)

各観測日の平均汀線位置 (空間平均値) を求めたところ, 経年的なトレンドは認められず, 対象域の海浜は大局的には安定していると考えられる。不明瞭ではあるが, 夏季に前進, 冬季に後退するという季節的な変動を捉えているようにも見える。次に, 各沿岸位置における汀線の平均位置, 変動強度, 変化トレンドを求めた。平均的な汀線形状はヘッドランドの区間で不連続となっている。観測期間中の汀線の変動幅の平均は 85 m で, RMS 強度はヘッドランドのある区間で相対的に小さく, 漂砂の制御効果が現れていると考えられる。変化トレンドは各沿岸位置の汀線変化に対して線形回帰を行って求めた。最近の約 10 年間では, 対象域の両端で汀線位置が前進傾向, 中央部で後退傾向にあることを示している。また, ヘッドランド間では, 区間内の北側で正值, 南側で負値となる分布になっている。

汀線位置の変動を経験的固有関数法 (EOF) により解析した。EOF では、汀線位置の変動を空間分布関数 $C_k(x)$ と時間変動関数 $E_k(t)$ の積で表される複数のモード k ($k=1-32$) に分ける。その後、卓越するモードが表現すると考えられる地形変動について検討を行う。具体的には、岸沖方向ならびに沿岸方向漂砂によりもたらされていると考えられる汀線変動の抽出を目指す。汀線位置 $y(x, t)$ より全汀線位置平均値 (116 m) を差し引いた上で EOF 解析を行った結果、第 1 モード (寄与率 43%) と第 2 モード (18%) が卓越した。なお、続くモードの寄与率は第 3 モードが 5%、第 4 モードが 4% であった。

第 1 モードの時間関数は平均汀線位置の経年変化との相関が非常に高い。また、空間関数は全て正值で、汀線の RMS 変動強度の沿岸分布との相関が高かった。これらより、第 1 モードは全域的に生じる汀線の前進後退を代表していると考えられる。

第 2 モードの時間関数は観測期間を通じて減じるトレンドにあるが、これに加えて秋季・冬季にいくつかの大きな変動 (2007, 2008, 2011) があつた。空間関数は、汀線位置の変化トレンドの沿岸分布との相関が高く (相関係数 = -0.92)。解析期間を通じて、海域の両端で汀線位置が前進傾向、中央部で後退傾向にあることが示されている。以上より、第 2 モードは対象域内に生じる複数の局所的な汀線の前進後退を代表しており、これは沿岸方向の土砂移動によりもたらされていると考えられる。

(3) Xバンドレーダ観測と SAR 衛星観測の融合

Xバンドレーダの観測結果 (1 時間毎のデータ, 観測範囲 5 km) と SAR 観測の結果 (季節毎のデータ, 観測範囲 16 km) を PLS (Penalized Least Square) 法, DCT (Discrete Cosine Transform) 法, DINEOF (Data Interpolating Empirical Orthogonal Functions) 法により融合した。これらの方法は、欠測があるデータ、不当間隔に取得されたデータ等を統計的に内挿・外挿し、所定の分解能のデータを作るものである。いずれの方法で生成されたデータの妥当性を検証するためには真値が必要となるが、これは入手できない。そのために、生成されたデータの目視、統計的性質等を確認し、エキスパートジャッジでその妥当性を判断することになる。ここでは DINEOF によるデータが汀線変動を尤もらしく再現されると判定した。

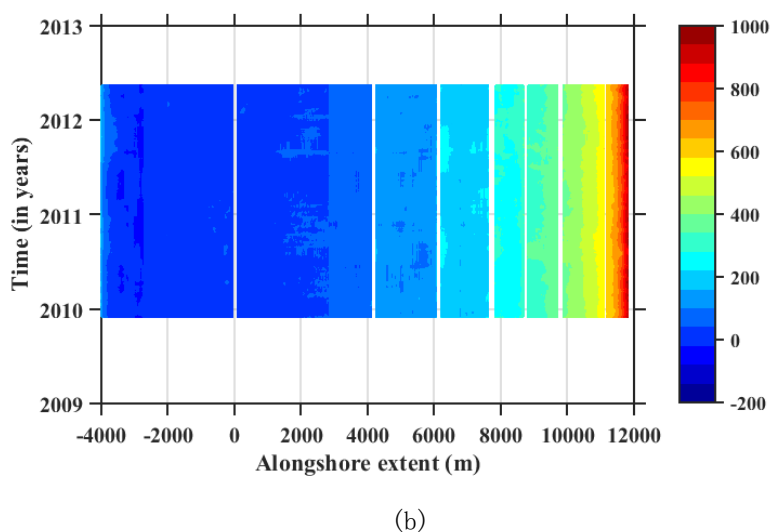
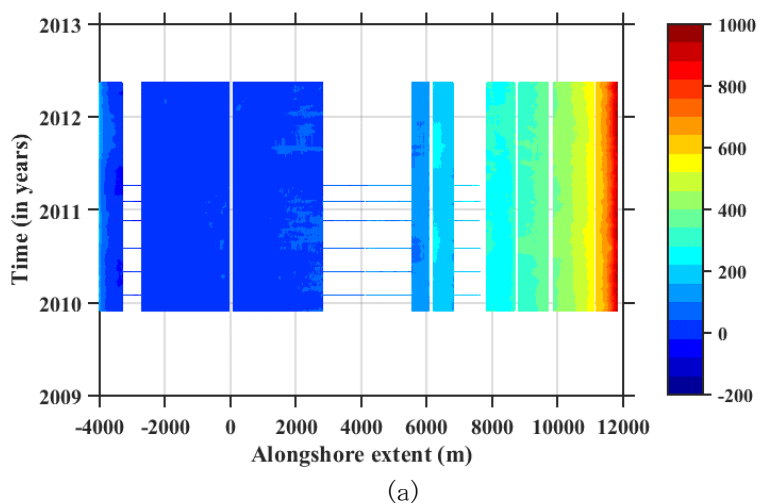


図-4 レーダ観測と SAR 観測を結合した結果より求めた汀線位置 (2009-2012)
(a) 結合前のデータ, (b) 結合結果

4. 研究成果

Xバンドレーダと SAR 衛星の観測結果を DINEOF という手法により融合することを試みた。DINEOF は、欠測等により欠けているデータを、EOF 解析結果の特性を利用して補完する手法である。この手法のパフォーマンスを厳密に検証することは困難であるが、尤もらしい結果が得られたことを目視で確認した。これにより作成されたデータの空間分解能は 10 m、時間分解能は 1 日であり、これはこの海域の地形変動特性、波浪・流れとの関連付けをするためのデータセットとなる。

Xバンドレーダの観測結果を潮汐観測結果と合わせて解析し、汀線位置と前浜勾配の沿岸分布を自動的に推定するシステムを完成させた。これにより、広域の海岸地形を効率的に自動収集することが可能となり、モニタリングの効率が向上した。課題は、波浪が大きい時、海浜勾配が非常に緩くなる時に推定精度が悪くなることへの対応である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

1. Dipankar Kumar and Satoshi Takewaka: Automatic Shoreline Position and Intertidal Foreshore Slope Detection from X-Band Radar Images Using Modified Temporal Waterline Method with Corrected Wave Run-up, *J. Mar. Sci. Eng.* 2019, 7(2), 45; <https://doi.org/10.3390/jmse7020045>
2. Dipankar Kumar and Satoshi Takewaka: Estimation of Shoreline Positions by Combining X-band Radar and SAR Observations, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, Vol. 74, pp. I_979-I_984, 2018.
3. 武若 聡, 松本 顕政, 海老原 友基: SAR 衛星による高頻度観測結果を用いた鹿島灘南部の汀線変動解析, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, Vol. 74, pp. I_985-I_990, 2018.
4. 武若 聡, 文天悦: 鹿島灘南端部の汀線変動の特徴, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, Vol. 73, pp. I_679-I_684, 2017.
5. Satoshi Takewaka and Wen Tianue: Shoreline variabilities observed at two locations in a littoral cell, *Coastal Dynamics 2017, Conference Proceedings (CD-ROM)*, 2017.

[学会発表] (計 4 件)

1. 武若 聡: SAR 衛星による高頻度観測結果を用いた鹿島灘南部の汀線変動解析, *土木学会海岸工学講演会 (鳥取)*, 2018.
2. 武若 聡: 総合土砂管理を支えるモニタリング技術, *土木学会海岸工学講演会企画セッション (札幌)*, 2017.
3. 武若 聡: 鹿島灘南端部の汀線変動の特徴, *土木学会海岸工学講演会 (札幌)*, 2017.
4. Satoshi Takewaka: Shoreline variabilities observed at two locations in a littoral cell, *Coastal Dynamics 2017*, 2017.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

該当無し

6. 研究組織

(1) 研究分担者

該当無し

(2) 研究協力者

該当無し