

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)	所属	役職	
	田島 芳満 (たじまよしみつ)	国立大学法人東京大学 大学院工学系研究科	教授	
②研究テーマ	名称	衛星画像を活用した海岸モニタリングに関する技術開発		
	政策領域	[分野] 海岸技術分野	融合技術	リモートセンシング、海岸工学
		[公募課題]		
③研究経費 (単位: 万円) <small>※端数切り捨て。</small>	平成28年度	平成29年度	平成 年度	総 合 計
	1,391(万円)	1,607(万円)		2,998(万円)
④研究者氏名	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)			
氏 名	所属・役職 (※平成30年3月31日現在)			
佐藤 慎司	国立大学法人東京大学・教授			
布施 孝志	国立大学法人東京大学・教授			
下園 武範	国立大学法人東京大学・准教授			
竹内 涉	国立大学法人東京大学・准教授			
中西 航	国立大学法人東京工業大学・助教			
織田 和夫	アジア航測株式会社			
角田 里美	アジア航測株式会社			
⑤研究の目的・目標 (申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)	<p>本研究は衛星データに基づく海岸モニタリング技術の開発を目的とし、以下の5つのサブテーマで構成される。</p> <p>①特に焦点をあてる ALOS2(SAR)について、観測頻度や時期、観測領域を調べ、その適用可能性、適用限界を明らかにする。</p> <p>②特徴の異なる様々な海岸を対象に SAR から海岸線を自動抽出する技術を開発する。</p> <p>③抽出した海岸線位置の時空間分布から変動成分を分離・抽出する手法を構築する。</p> <p>④可視データと SAR を併用し沿岸部水深を推定する手法を構築する。</p> <p>⑤開発した解析手法による海岸線自動抽出システムを構築する。</p>			

⑥研究成果

(様式 D-11と同じ内容について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

(1) フィジビリティスタディ

我が国の全海岸線を対象に、ALOS2による観測頻度と観測条件を調べた(図-1)。その結果、地域によるばらつきはあるもののALOS2が全海岸線を海岸線抽出に適した条件で観測をしていることを確認した。

また入手した360以上のシーンにおける1,800以上の海岸線近傍の領域において砂礫浜および海面の後方散乱係数の平均値および標準偏差を抽出し、観測条件や波浪、砂浜構成粒子の粒径などの条件と、後方散乱係数との関係を明らかにした。その結果、海岸線抽出に望ましい条件としては以下の様な条件があげられることが分かった。

- (i) 単偏波HHの観測であること、
- (ii) 入射角(≡オフナディア角)が35度以上50度以下程度であること、
- (iii) 観測方向が海から陸方向であること、
- (iv) 観測時の海域が比較的静穏であること、
- (v) 砂浜の構成材料の粒径が比較的大きいこと。

さらにそれぞれのSARシーンによる海岸線抽出への適合度を定量的に表す指標として、砂礫浜からの後方散乱係数が海面からのそれよりも大きくなる確率 P を定義し、 P の算定手法を構築し各シーンの P を推定した。図-2に有義波高と周期が $H_s=1m$, $T_s=6s$ の時の入射角および砂浜粒径と P との関係を例として示す。また、入手した全てのSARシーンに対して P を算定し、 P の値と目視による海岸線境界の判定可否を調べた結果、両者には明確な相関があり、 P が0.75程度以上であれば海岸線抽出が可能になる確率が極めて高くなることが分かった。

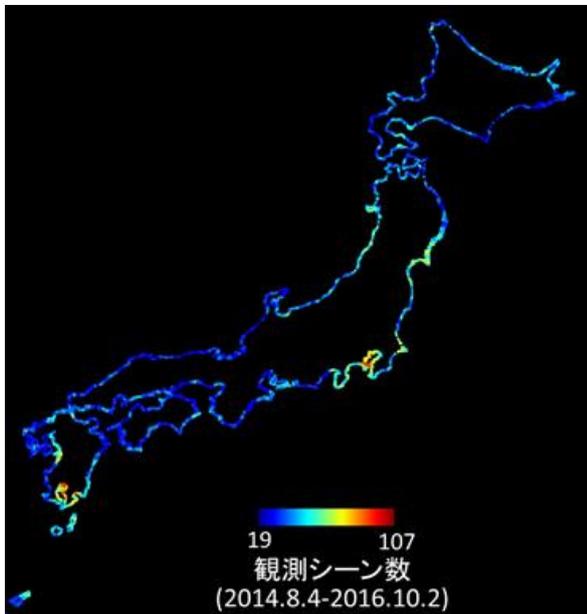


図-1 ALOS-2による日本の海岸線の観測頻度

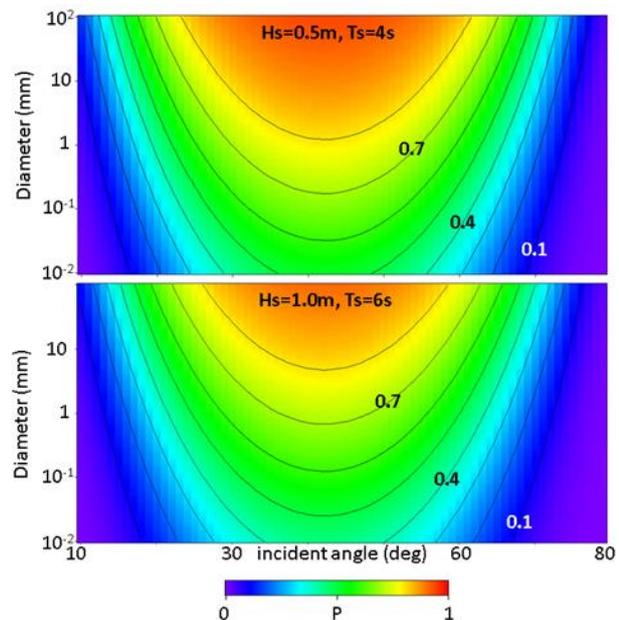


図-2 砂浜材料の粒径、入射角と P の関係($H_s=1m$, $T_s=6s$)

⑥研究成果（つづき）

(2) 海岸線自動抽出手法の構築

海岸線の自動抽出手法として、種々のフィルタとウェーブレットを活用したエッジ抽出による抽出手法と、画像分離1)とグラフカット2)を用いた二値化による境界抽出手法をそれぞれ構築し、適用した。その結果、海岸線抽出に適したシーンを選定すればどちらの手法においても妥当に精度良く海岸線を抽出することができたが、特に後方散乱強度の空間パターンが異なる場合や、構造物近傍において海岸線が複雑な形状となっている場合においては、後者の手法の方が有効であることも確認できた。構築した手法(後者)の手順は以下の通りである。

- ①後方散乱強度の空間パターンを学習し、テクスチャと線画に画像を分離する。
- ②抽出した線画画像に対しノンローカルミンフィルタ3)を用いて平滑化をかける。
- ③得られた画像にグラフカットを用いて画像を二値化する。
- ④二値化画像の境界線を海岸線位置として抽出し、snakeアルゴリズムを適用して滑らかな線情報を抽出する。

以上の手法を用いて海岸線抽出を実施した例として図-3に室積海岸および富士海岸において切り出したSARの元画像、画像分離後の画像と抽出した海岸線と計測値を示す。

構築した手法をさまざまな条件のSARシーンに適用した結果、海岸線位置の岸沖方向の誤差(絶対値)の平均値は数メートルから10メートル程度であった。さらに、同手法を条件の厳しい、構造物周辺や波高がやや大きかったときなどの条件にも適用し、これらの条件下でも海岸線抽出が可能なシーンがあることを示した。特に画像分離においては、元のSAR画像から後方散乱強度の空間パターンを学習させることにより、海面に見える波紋についてもある程度除去することができており、本モデルの優位性が確認できた。

さらにXバンドのSARデータ(Cosmo-Skymed)にも本手法を適用し(図-4)、LバンドSARでは海岸線抽出が困難であった仙台海岸においても、観測方向や観測時の波浪の静穏度などの条件が整えば海岸線抽出が可能になることも明らかとなった。

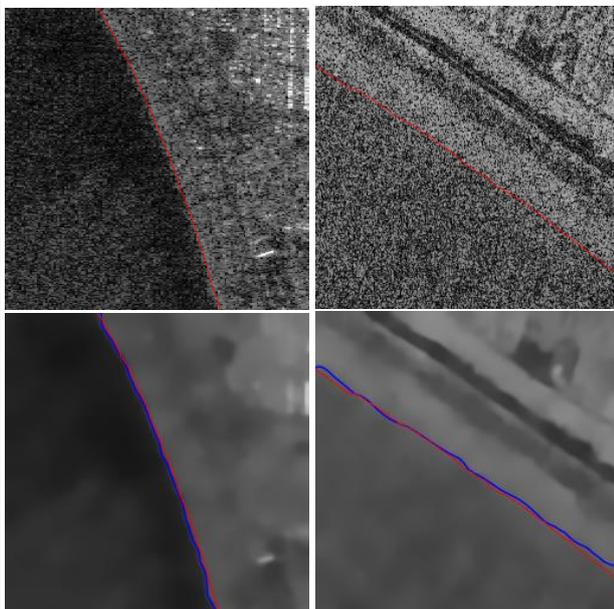


図-3 SAR 画像(上)と分離後画像(下)および抽出した海岸線(青線)と GPS による計測値(赤線). (左: 室積, 右: 富士)

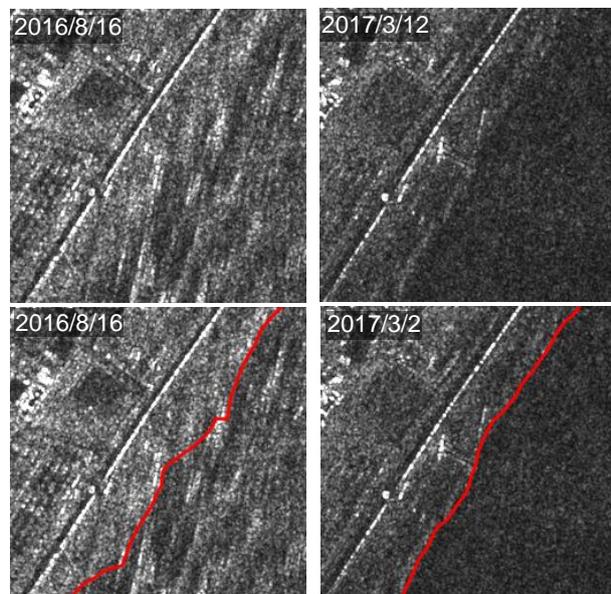


図-4 X-band の SAR 画像(上)と抽出した海岸線(下, 赤線)
(左: 高波浪時, 右: 静穏時)

⑥研究成果（つづき）

(3) 海岸線変動成分の分析

定点観測カメラやUAVによる撮影画像から、時々刻々の海岸線の変動をとらえ、得られたデータと潮位や来襲波条件との関係を分析した。さらに、(i) 潮位や前浜勾配が正確にわかっている場合、(ii) これらのデータが十分に得られていない場合、の二通りの条件を想定し、海岸線データから任意の標高(たとえばTP+0m)における海岸線位置を推定する手法を構築した。さらに構築した手法を上記の海岸線データに適用してその妥当性を検証・確認した。

特に前浜勾配のデータが得られていない場合においても、同地点における海岸線の変動データと対応する潮位データの組み合わせを複数組活用することにより、任意標高における海岸線位置が推定可能であることを示した。ただし、推定に用いる潮位データと対象地点における実際の潮位変動との間に時間差がある場合には、海岸線位置の補正量に誤差が生じることもあるので注意が必要である。例として図-5には、室積海岸における海岸線位置の潮汐変動と、近傍の徳山港における潮位波形とを比較しているが、両者のピークには時間差が認められる。図-6には室積海岸における観測データを対象に、random samplingしたN個の海岸線位置データと対応する潮位からTP+0mにおける海岸線位置を推定した場合における誤差の超過確率分布を示した。ここで(A)は、近傍の徳山港における潮位データに対して、あらかじめ求められた時間差を考慮して現地の潮位を推定した場合、(B)は徳山港での潮位データをそのまま用いた場合である。図に見られる様に対象地点における潮位の推定精度を向上させた(A)では、近傍の潮位データをそのまま用いた(B)と比べ、大きな推定誤差が生じる確率を大幅に低減できているのが分かる。

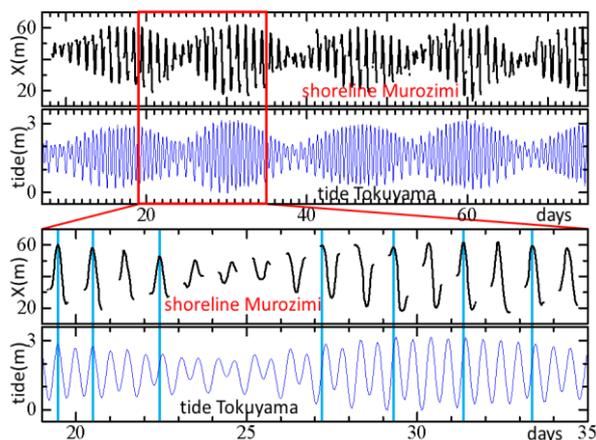


図-5 室積海岸における海岸線位置 X の潮汐変動と徳山港における潮位波形の比較。両者には位相差が認められる。

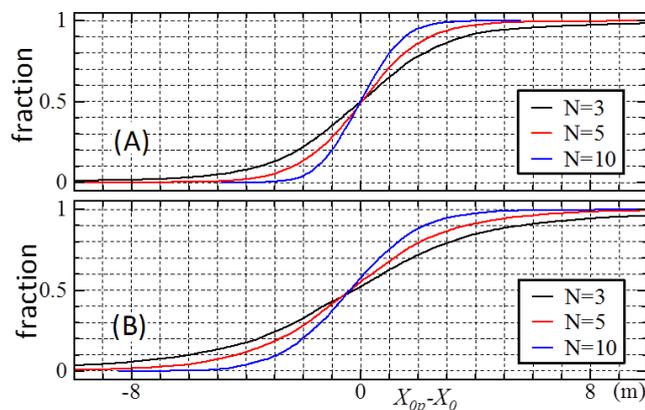


図-6 random sampling した N 個の海岸線位置データのに基づく平均海岸線位置の推定誤差($X_{op}-X_0$)の超過確率分布の例

⑥研究成果（つづき）

(4) 沿岸域における水深推定手法の構築

UAVによる撮影動画およびSARデータのそれぞれについて、波速および波長から水深を推定する手法を構築し、UAVでは浅羽海岸、SARは酒田海岸および仙台海岸に構築した手法を適用することにより、その妥当性を検証した。本研究で構築したSARによる水深推定手法の手順は以下の通りである。

- ①海面からの後方散乱強度の平均値と標準偏差に基づきスケーリングを行う。
- ②波向方向にMexican hat型、波峰線方向にGaussian型の2次元ウェーブレットを水平面上で回転させながら適用し、最大のウェーブレット係数の平面分布を求めることで波峰線分布を強調する。
- ③波向方向に有限長(二波長)の正弦波、波峰線方向にはGaussian型のウェーブレットを、波長や回転角を変えながら適用し、ウェーブレット係数が最大となったときの条件から波長を推定する。
- ④波長と周期から水深を推定する。

本手法を用いて仙台海岸のALOS2 SARを対象に水深推定を実施した例を図-7に示す。図より精度や推定可能領域に課題は残るものの、本手法により水深推定が可能であることが分かった。

またUAV動画に基づく手法では、波峰線を追跡することでより高精度に水深を推定することが可能であることを示した。詳細な手法は報告書(様式D-12)に示した。

(5) 海岸線抽出システムの構築

本研究で開発したプログラムを統合し、SARデータの選定、登録から、解析範囲の切り出し、学習、海岸線抽出、抽出した海岸線データの可視化に至る過程を汎用的に実施することのできるシステムを構築した。また構築したシステムを実際のSARデータに適用し、その動作を確認するとともに、汎用性、省力化、高速化に向けた今後の改善点について考察を加えた。

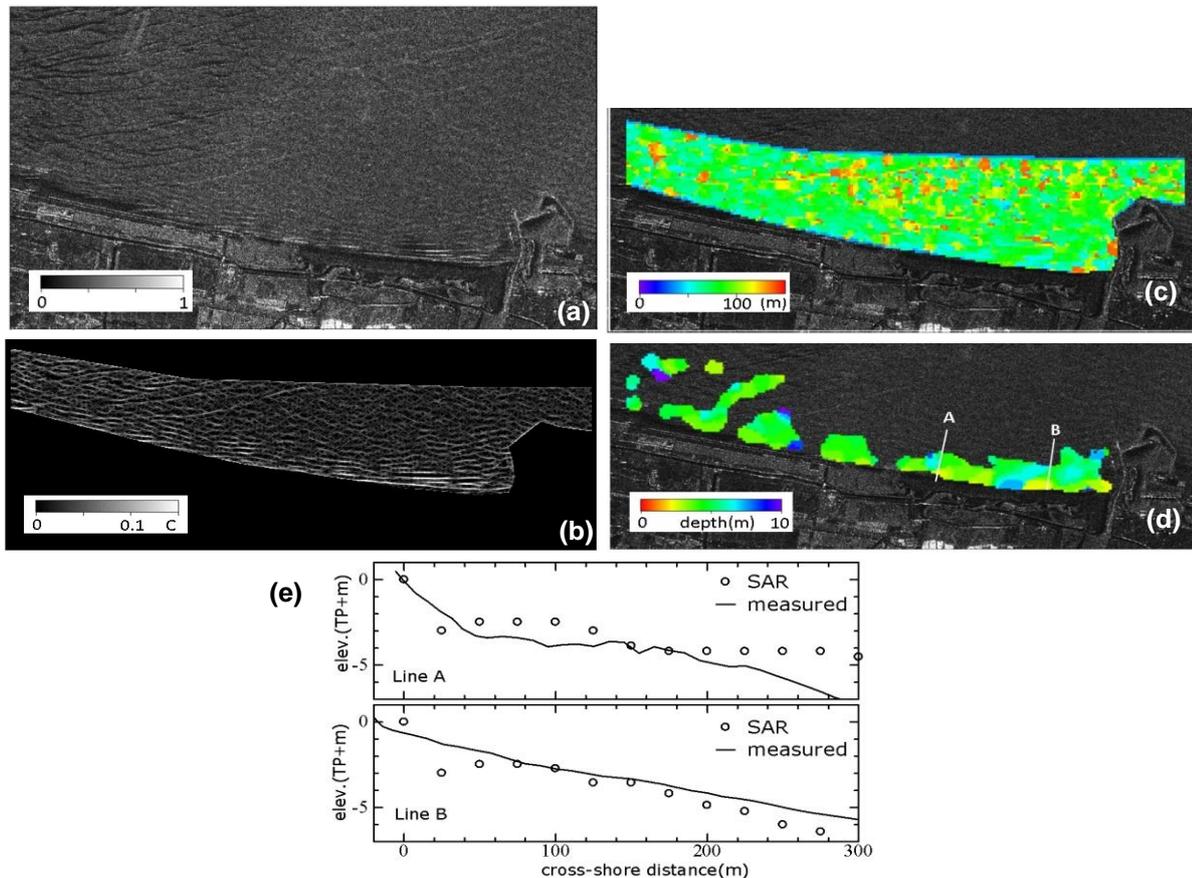


図-7 SAR画像に基づく水深推定手法の適用例(仙台海岸)。(a)スケーリングしたSAR画像、(b)ウェーブレット係数による波峰位置の強調、(c)波長の推定、(d)水深の推定、(e)測線AおよびBにおける推定水深と深浅測量結果との比較。

⑦研究成果の発表状況

(本研究の成果について、予定しているものも積極的に記入して下さい。(以下記入例))

- ・これまでに発表した代表的な論文
- ・著書(教科書、学会妙録、講演要旨は除く)
- ・国際会議、学会等における発表状況
- ・主要雑誌・新聞等への成果発表
- ・学術誌へ投稿中の論文(掲載が決定しているものに限る)
- ・究開発成果としての事業化、製品化などの普及状況
- ・企業とのタイアップ状況
- ・特許など、知的財産権の取得状況
- ・技術研究開発成果による受賞、表彰等)

Akamatsu, S., Tajima, Y., Shimozono, T. and S. Sato: Study on Applicability of Synthetic Aperture Radar for Shoreline Monitoring, Proc. Int. Conf. on Asia Pacific Coast, 2017.

赤松空之・田島芳満・下園武範・佐藤慎司: 海岸線モニタリングにおける合成開口レーダの適用性の分析, 土木学会論文集B2(海岸工学), 2017.

松葉義直・下園武範・田島芳満: UAVを用いた波の伝播・遡上特性分析, 土木学会論文集B2(海岸工学), 2017.

Wu, L. and Y. Tajima: Feasibility study of Synthetic Aperture Radar for Shoreline Monitoring, AOG S, 2018 (口頭発表採択済).

Wu, L., Tajima, Y., Yamanaka, Y., Shimozono, T. and S.Sato: Study on characteristics of SAR imagery around the coast for shoreline monitoring, J.JSCE (B2)・CEJ, 2018(投稿中).

Tajima, Y., Wu, L., Fuse, T., Shimozono, T. and Sato, S.: Study on shoreline monitoring system based on satellite SAR imagery, J.JSCE (B2)/ CEJ, (投稿中).

Fuse, T. and Okura, T.: Development of shoreline extraction method based on spatial pattern analysis of satellite SAR images, Remote Sensing.(投稿中)

⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

特になし

⑨表彰、受領歴

(単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

海岸工学論文賞，2017年11月 「海岸線モニタリングにおける合成開口レーダの適用性の分析」

⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や海岸政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

5つのサブテーマにおいて、計画通りの成果を得ることができた。今後は構築した手法やシステムを全国の海岸に適用・展開して、その妥当性を検証するとともに、システムのさらなる汎用化、高速化、高精度化に向けた課題や情報のフィードバックを得ることにより、更なる改良が期待される。

一方で、ALOS2によるLバンドSARでは、海岸線抽出が困難な海岸も少なからずあることが分かってきた。本研究で提案した指標であるPを用いることにより、LバンドSARでは海岸線抽出が難しい海岸も特定することができるため、これらの海岸については、XバンドSARやその他のセンシング技術を活用して海岸線を抽出する技術を構築し展開していくことも重要となる。本研究で構築した海岸線抽出手法はXバンドSARにも適用可能であることが分かっており、今後の展開も期待できる。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、海岸政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

本研究では、被雲率や日照の影響を受けずに高頻度観測が可能な衛星SARに基づく海岸線モニタリングの手法を構築した。これにより、広範囲・高頻度に海岸線をモニタリングすることが可能になる。さらに、航空写真や国土データ情報、現地調査等により実施してきた従来の方法に比べ、比較的安価に海岸線のモニタリングを実施することができるため、これまで十分な調査ができてこなかった海岸においても海岸線データを収集・管理することが可能となる。これにより、日々変動しながらゆっくりと進行する海岸侵食や、イベント時に著しく変動する全国の海岸の実態をより正確に捉えることが可能になり、より適切な海岸保全策、防災減災策を適切なタイミングで計画・実施していくために必要不可欠な情報の提供に大いに寄与すると考えられる。