

平成28年度 河川砂防技術研究開発 海岸技術分野 課題

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

田島 芳満
佐藤 慎司
布施 孝志
竹内 渉
下園 武範
吴 連慧
中西 航
織田 和夫

東京大学大学院工学系研究科
東京大学大学院工学系研究科
東京大学大学院工学系研究科
東京大学生産技術研究所
東京大学大学院工学系研究科
東京大学大学院工学系研究科
東京工業大学
アジア航測株式会社

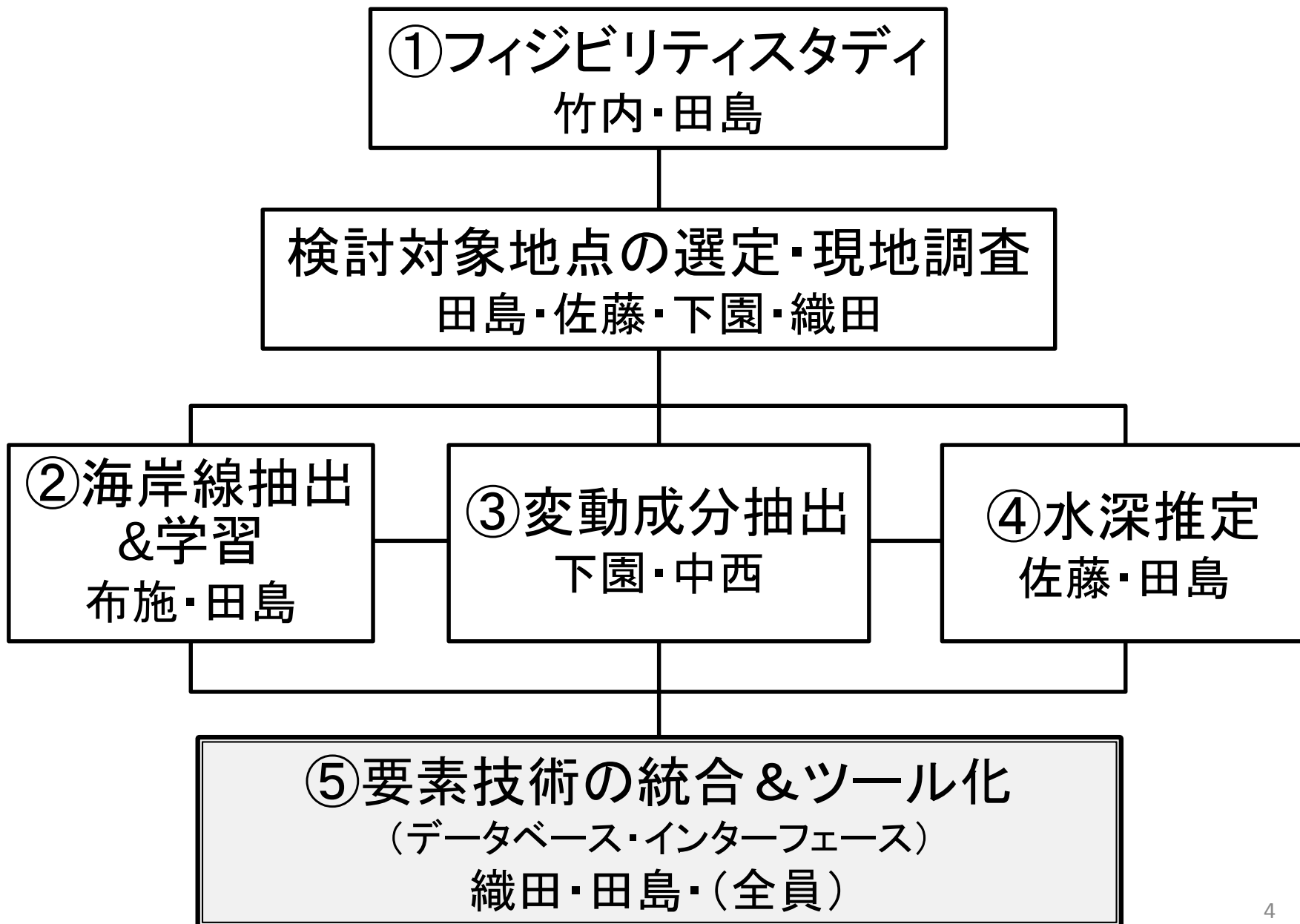
課 題

- 海岸線の**長期的な傾向**、**短期的な変動**を把握するためには、**広域・高頻度な観測**が必要→衛星データを活用した実用的・汎用的な海岸モニタリング手法の構築が望まれる
- 可視光データ: 海岸線の抽出は比較的容易だが被雲率や日照条件の制約によって**観測頻度が限られる**。
- マイクロ波(SAR)データ: 被雲率・日照条件の影響は受けない反面、**海岸線抽出手法が確立されていない**。
- リモートセンシングによる海岸線抽出→観測時の**潮位の影響**を取り除く必要がある。
- 海岸線抽出手法には**客観性・汎用性**が要求される(誰がやっても同じ結果が出るか？ 我が国の様々な海岸線に適用可能か？)

目的(研究サブテーマ)

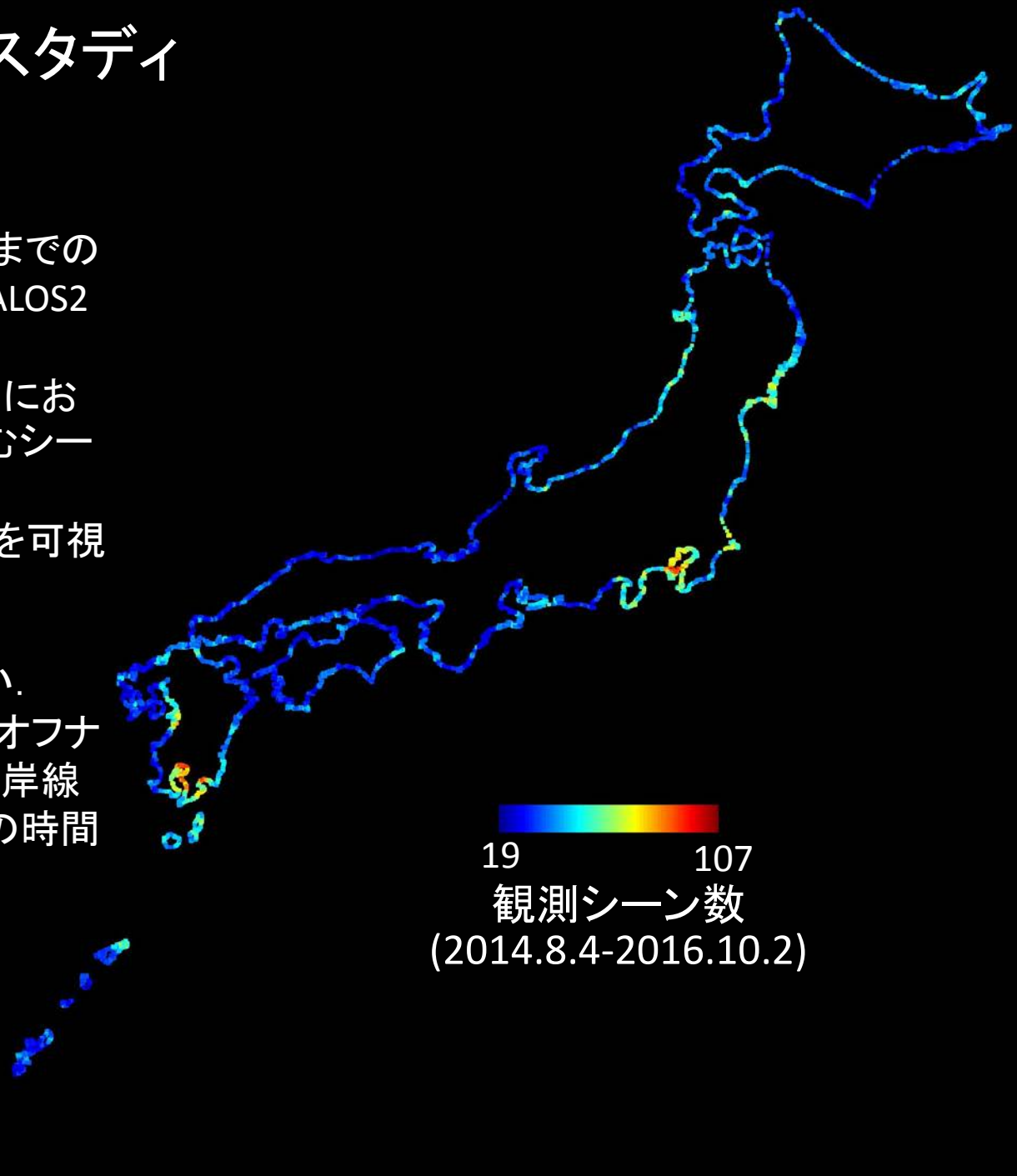
1. 衛星データ(特にSAR)による海岸モニタリングの適用可能性, 適用限界を明らかにする(フィジビリティスタディ)
2. SARデータから自動的に海岸線位置を抽出する汎用性の高い技術を開発する(海岸線抽出)
3. 抽出した海岸線位置の時空間分布から長期的トレンド, 短期的変動を抽出する技術の開発(変動成分抽出)
4. 可視データやSARを活用し, 沿岸域の水深を推定する手法を構築する.(水深推定)
5. 上記の要素技術を統合し, 実用的・汎用的に活用できるツールの開発を試みる.(ツール化)

研究計画と実施体制



①フィジビリティスタディ

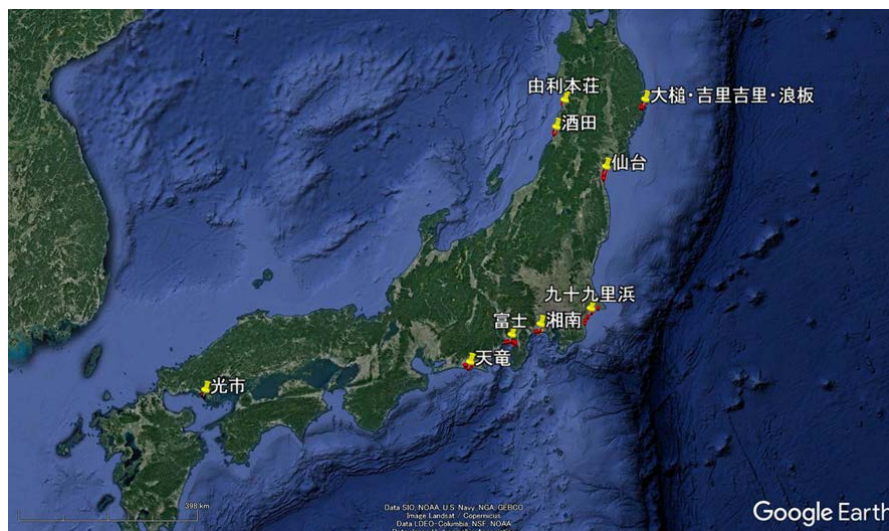
- 2014/8/4～2016/10/02までの日本海岸部を観測したALOS2データ:10580シーン
- 日本の海岸線の各地点における約1kmの線分を含むシーンをそれぞれ抽出
- シーン数の海岸別分布を可視化
- 関東, 東北, 九州が多い.
- 地点をいくつか選定し, オフナディア角, 観測方向と海岸線との関係, 観測時潮位の時間変化などを確認する.



①フィジビリティスタディ

対象地点

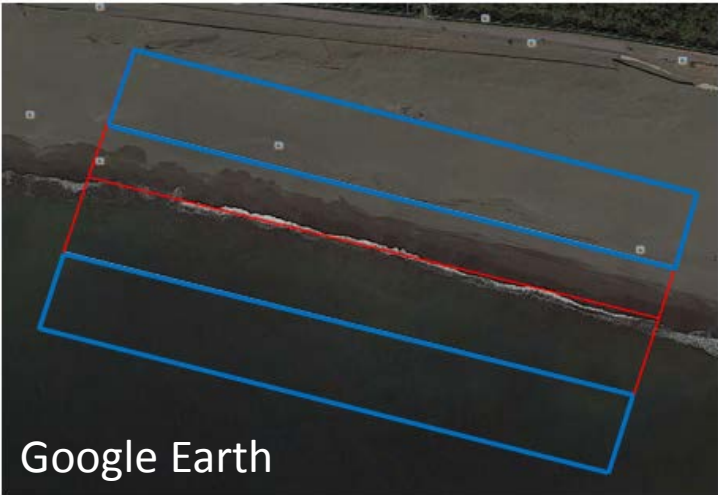
対象地域	海岸線の方向	海岸の勾配	構成粒径
宮城県仙台海岸	南北	小さい	比較的小さな砂
山口県光市・室積海岸	南北	大きい	比較的大きな砂
静岡県天竜川河口	東西	比較的大きい	砂～小礫
神奈川県湘南海岸	東西	比較的大きい	砂～小礫
静岡県富士海岸	東西	大きい	礫
山形県酒田・秋田県由利本荘	南北	大きい	砂
岩手県・吉里吉里，波板海岸	南北	比較的大きい	砂～礫
石垣島・白保海岸	南北	比較的大きい	砂(サンゴ)
九十九里浜海岸	南北	小さい	比較的小さな砂



※観測時の潮位や波高はランダムに分布し周期的な変動は見られなかった。

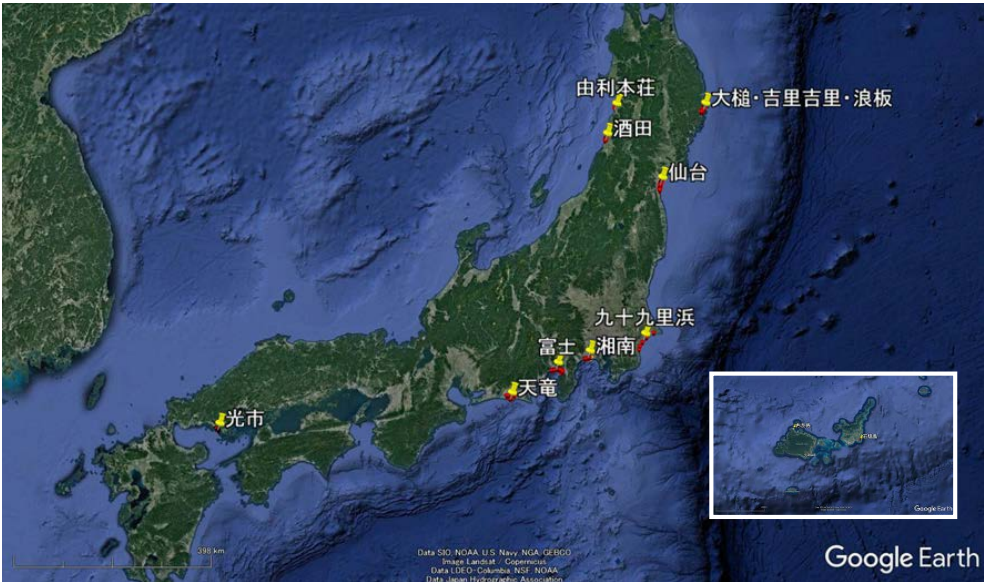
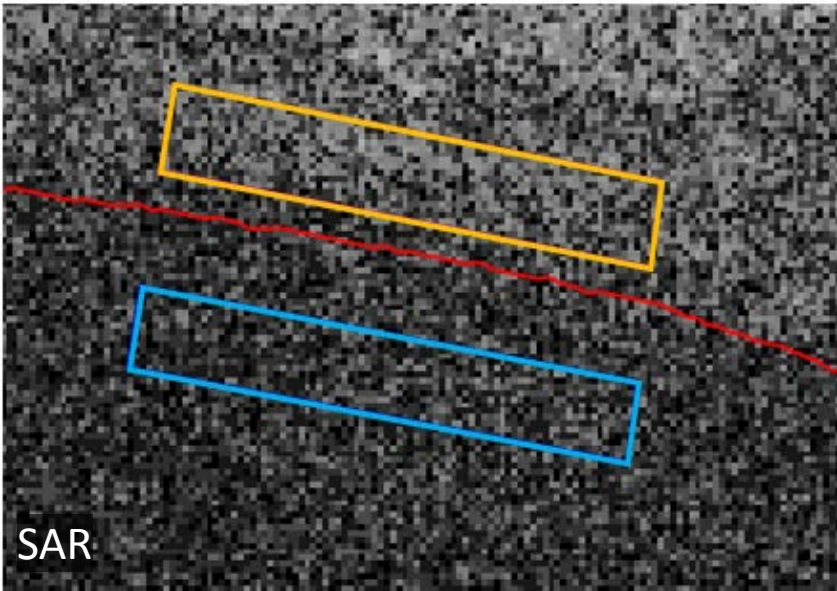
①フィジビリティスタディ

海岸線を挟み砂浜面および海面の矩形領域から
後方散乱係数の平均値を抽出

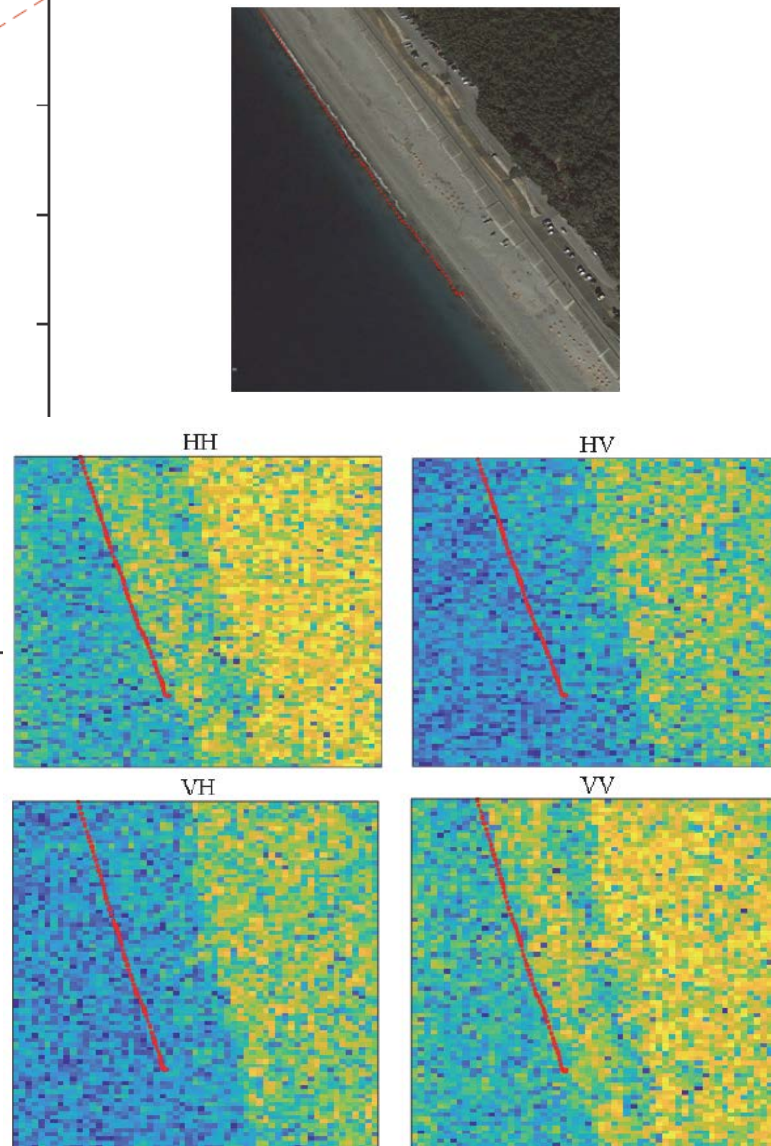
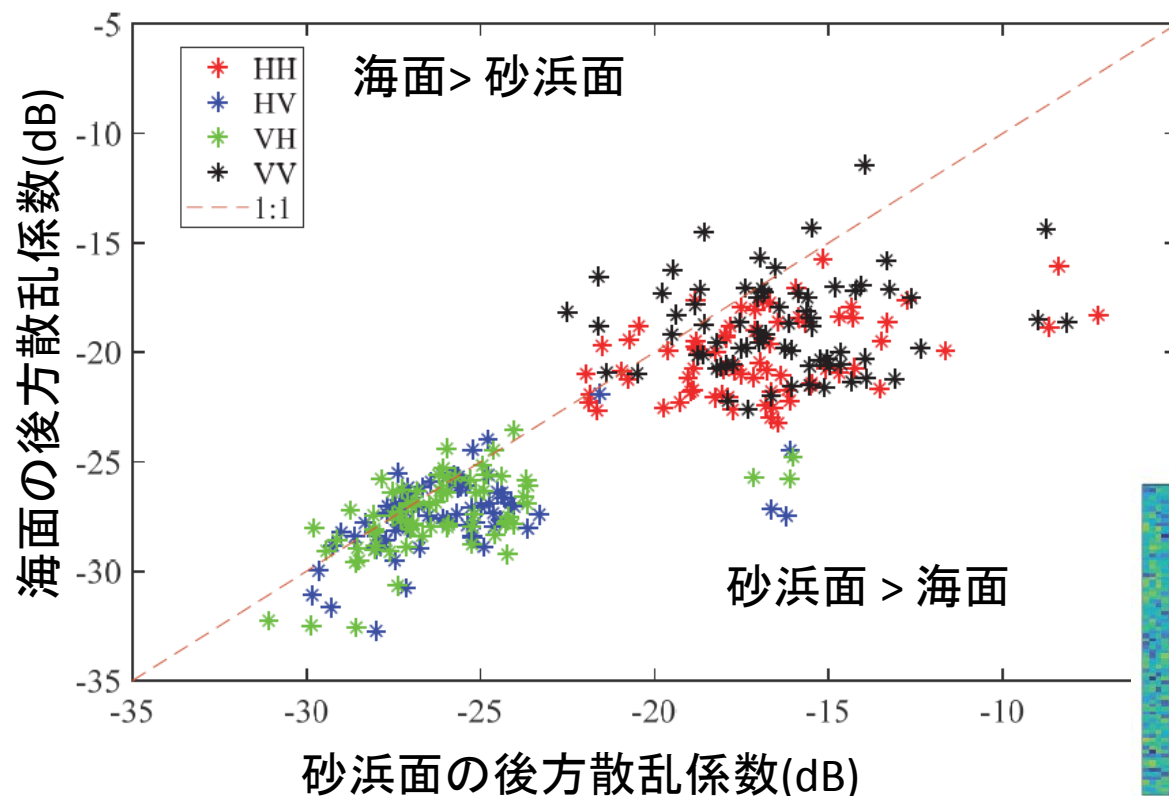


後方散乱係数の抽出領域(337シーンから1799地点で抽出)

対象地域	Location 数	Case 総数	4 偏波観測 Case 数	2 偏波観測 Case 数	単偏波観測 Case 数
富士海岸	5	201	40	0	161
光市	6	305	72	0	233
大槌・吉里吉里・ 波板	4	124	16	0	108
九十九里浜	4	117	0	8	109
仙台海岸	5	161	20	0	141
湘南海岸	7	386	84	58	214
天竜川河口	6	260	48	0	242
酒田	2	123	16	0	107
由利本荘	2	112	16	0	96
石垣島白保海岸	1	10	4	0	6



①フィジビリティスタディ: 偏波による違い



- 後方散乱係数は多くのシーンで砂浜面 > 海面となる傾向
- HVおよびVHは全体的に後方散乱係数が小さい
- HHにおいて砂浜面 > 海面となり両者の差が相対的に大きいシーンが多い

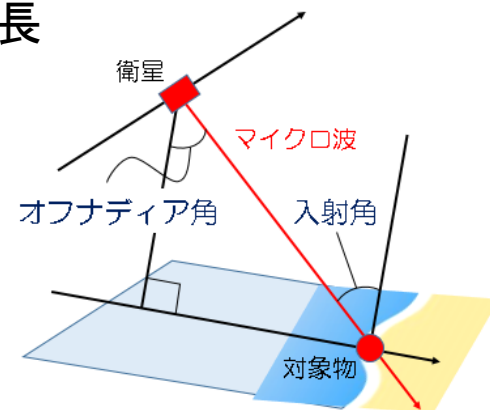
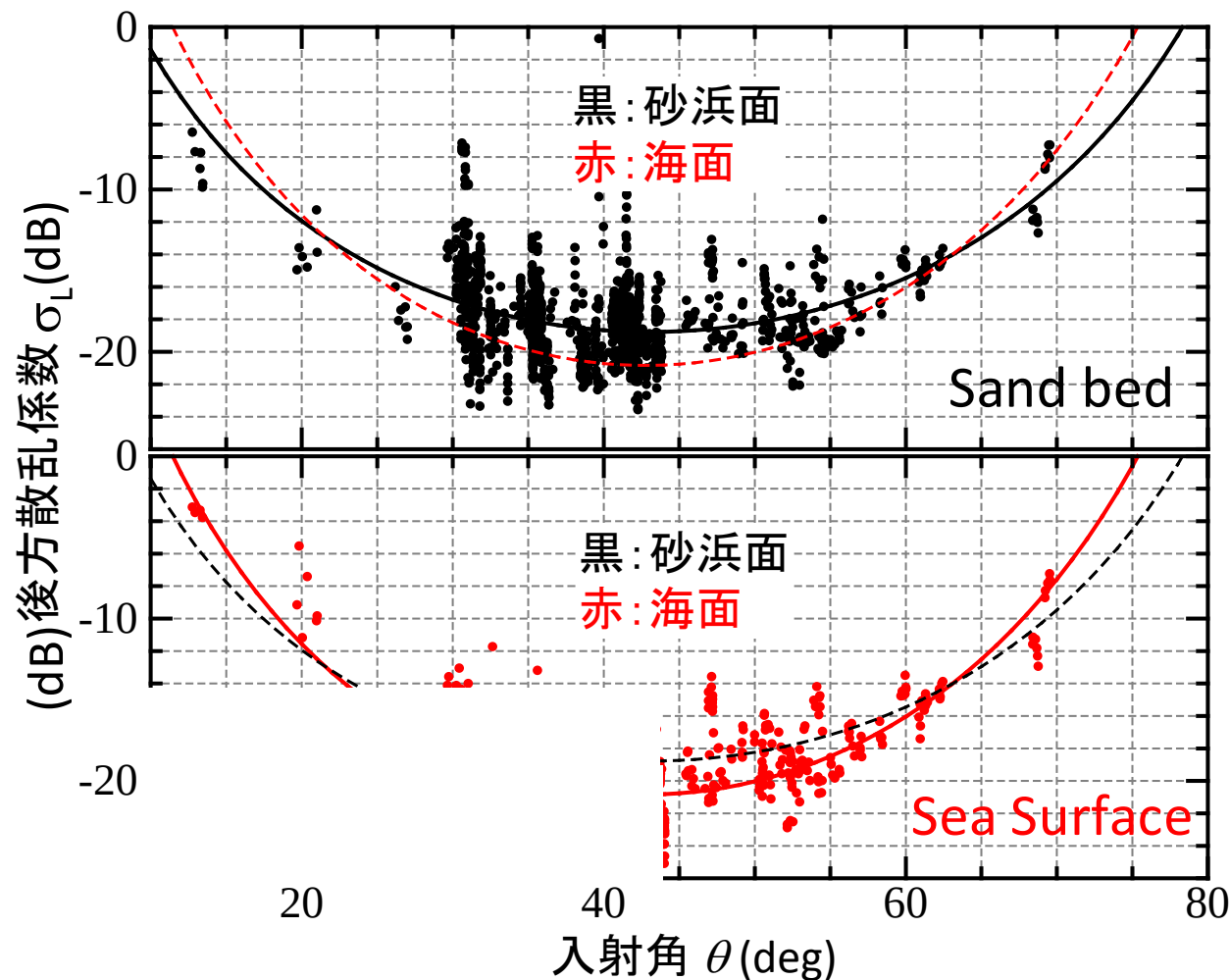
→本研究では観測シーン数も多いHHに基づき海岸線抽出モデルを構築

①フィジビリティスタディ: 入射角による影響

$$\sigma_{Lm} = a_{L1} + a_{L2} \log(\cos \theta) + a_{L3} \log(\sin \theta) + a_{L4} \log(D / \lambda)$$

$$\sigma_{Sm} = a_{S1} + a_{S2} \log(\cos \theta) + a_{S3} \log(\sin \theta) + a_{S4} \log(H_s / \lambda) + a_{S5} \log(L_0 / \lambda)$$

θ : 入射角, D : 粒径, H_s : 有義波高, L_0 : 沖波波長, λ : マイクロ波長

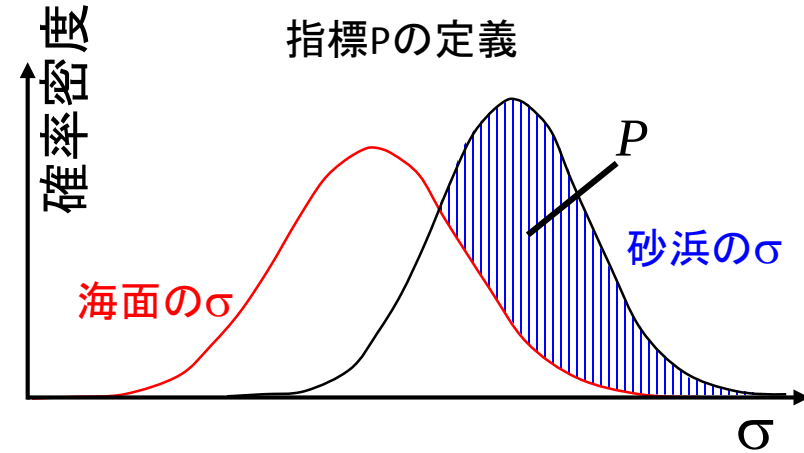
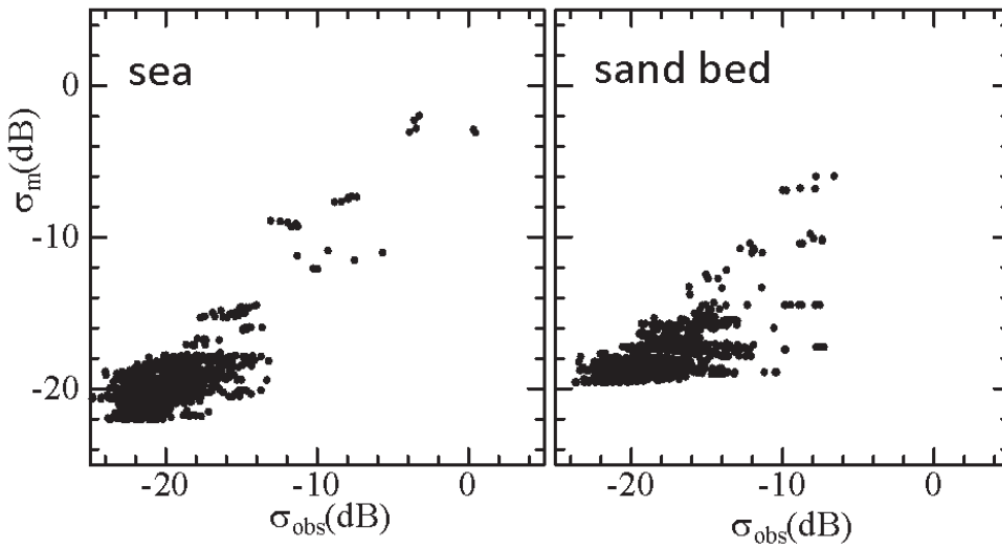


- 潮位と後方散乱係数には有意な相関がみられなかった.
- 入射角によって海面と砂浜面の後方散乱係数の大小関係が逆転する.

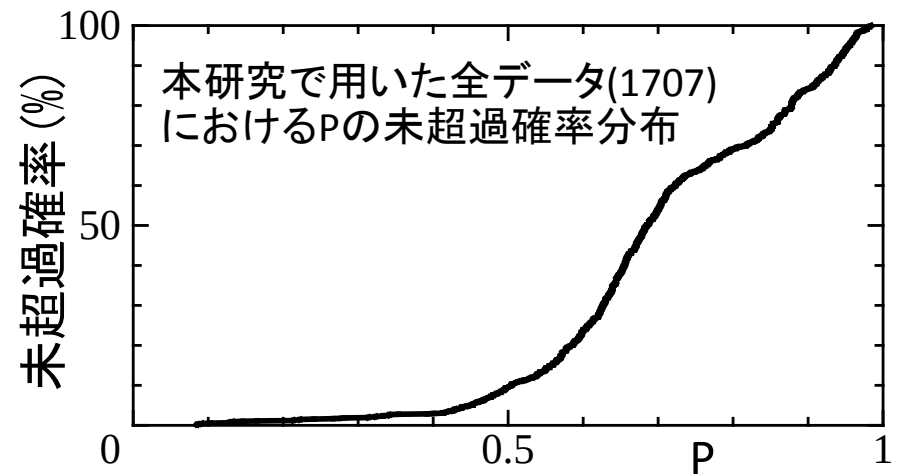
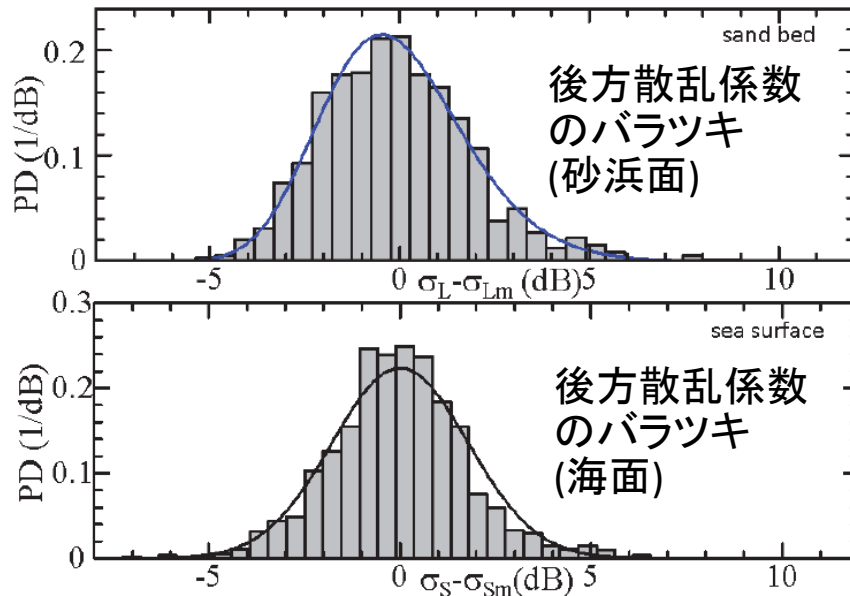
→海岸線抽出に適した入射角は30度～50度.

海岸線判別に適したシーンの選定方法

後方散乱係数の実測値(obs)vs推定値(m)



$P = f(\text{入射角, 砂浜粒径, 波高, 周期})$



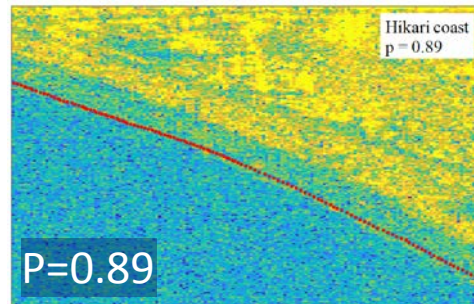
P値の異なるシーンの比較

Pが相対的に大きい

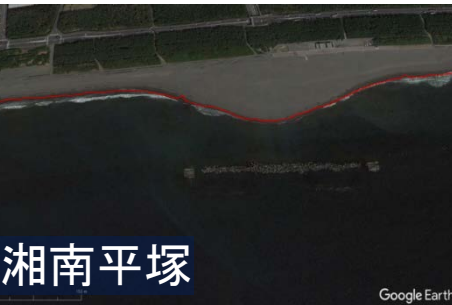
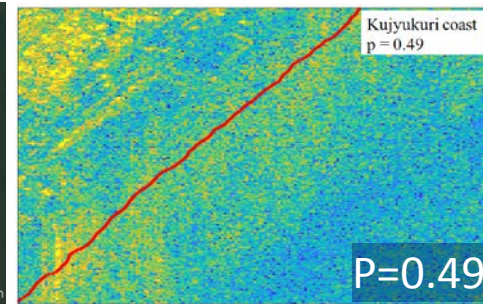
Pが相対的に小さい



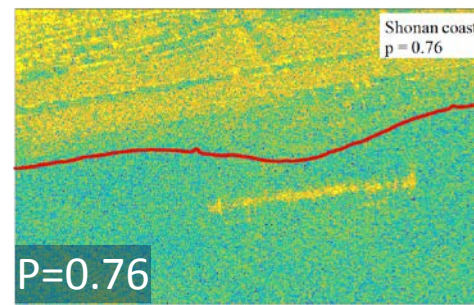
光市虹が浜



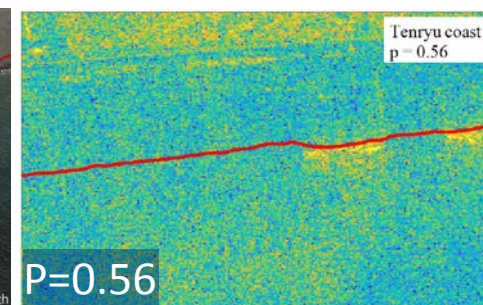
九十九里



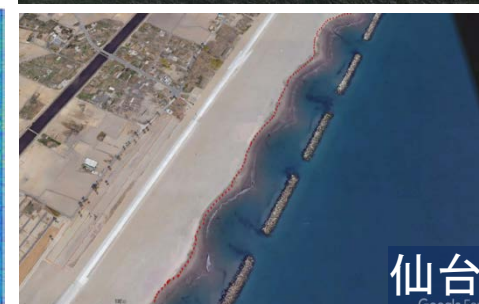
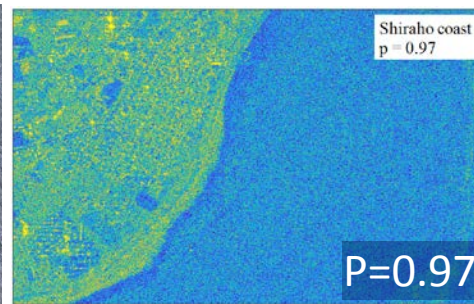
湘南平塚



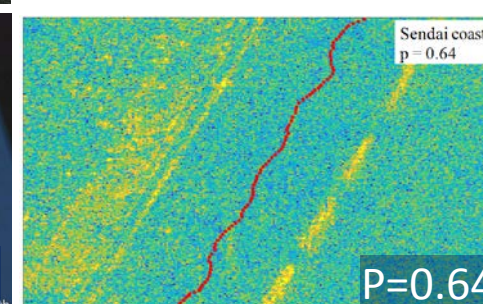
浜松磐田



石垣島
白保



仙台

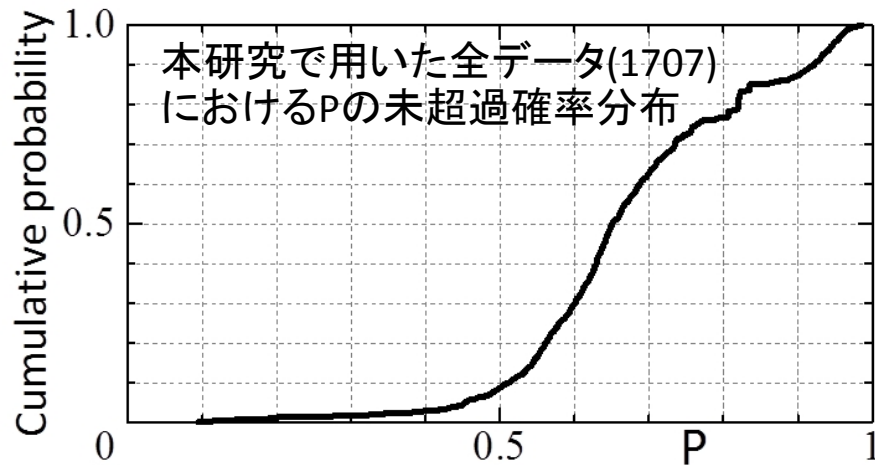


Backscattering coefficient (dB)



海岸線抽出に適したシーンの条件: $P > 0.75$

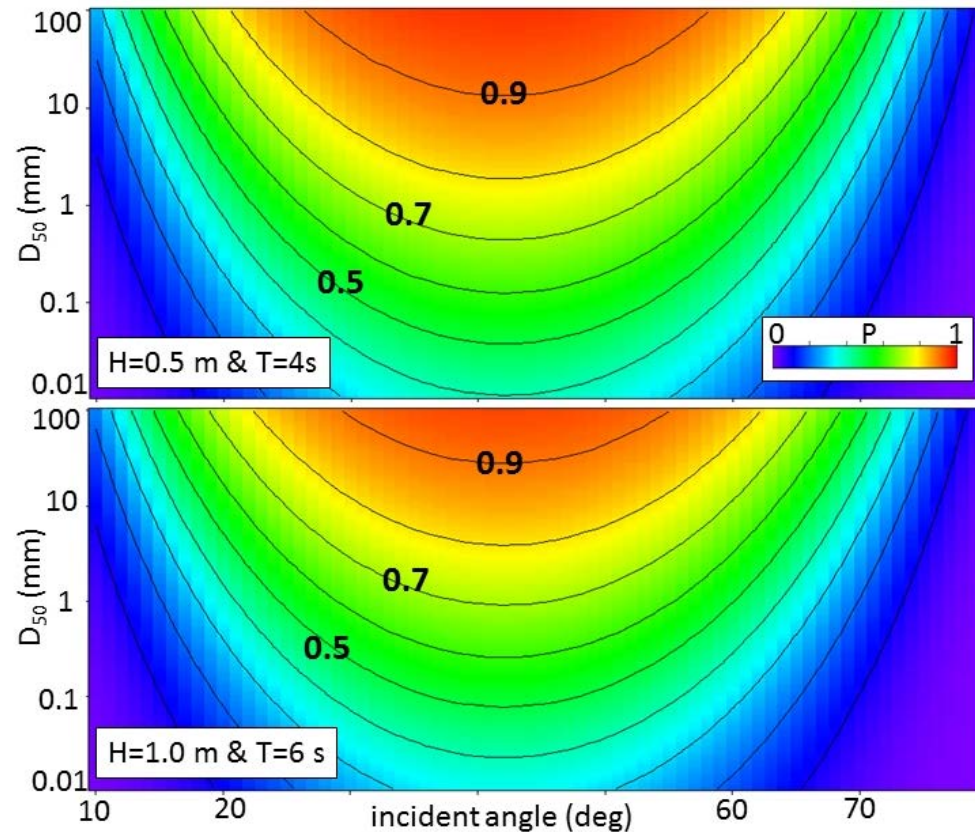
海岸線判別に適したシーンの選定方法



本研究で用いた全データ(1707)のうち
P>0.75を満たすのは3割程度

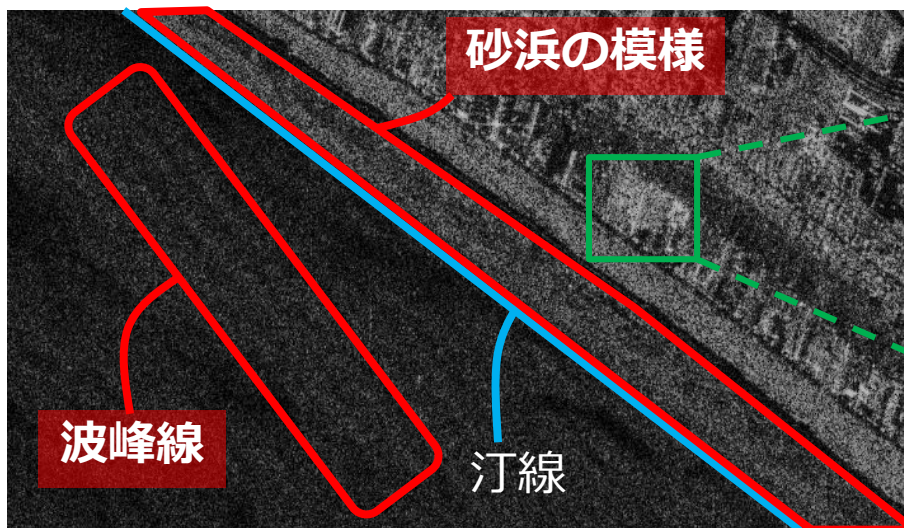
例：
観測時の波高が50cm以下
入射角が30～50度

→砂浜の粒径が0.5mm程度
以上であればP>0.7を, 1mm
程度以上であればP>0.75を満
たす.

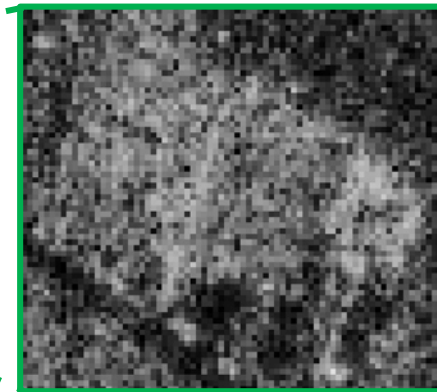


異なる観測時波浪条件に対する
P値と砂浜粒径との関係

- 【既往研究】 衛星 SAR 画像からの汀線の自動抽出
 - **ノイズ**を除去 → エッジ抽出 or 海域と陸域を分割して境界抽出
 - **スペックル** … SAR の原理上避けられないノイズ
- 衛星搭載 SAR の**高分解能化** (1990年代：約 20m → 近年では 3～5m)
→ **スペックル**に加え、**波峰線**や**砂浜の模様**により汀線が誤抽出される可能性の示唆
 - 既往研究ではほとんど考えられてきていない

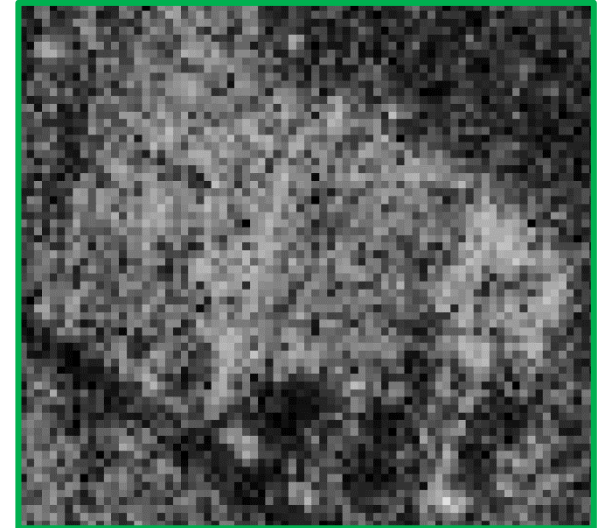
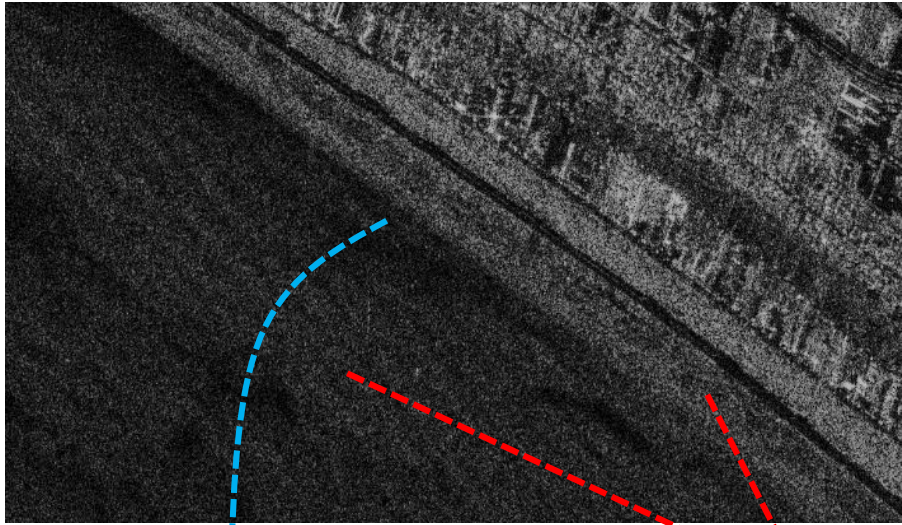


スペックルの例



例：静岡・富士海岸の衛星 SAR 画像

- 本研究では、SAR 画像における**空間パターンの違い**に着目



汀線

画素値の
大きな変化が
線状に連なっている

波峰線・砂浜

同じような模様の
繰り返しがある

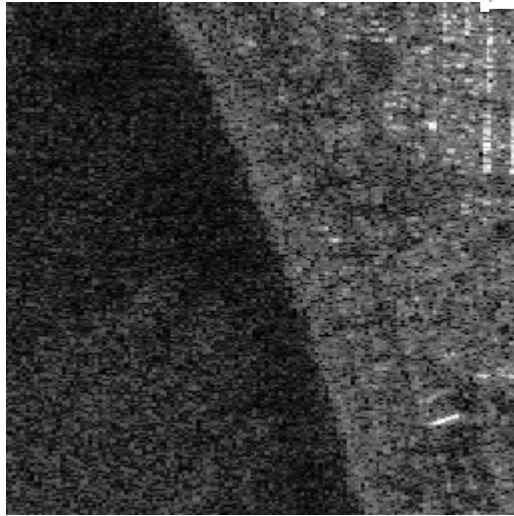
スペックル

画素値が
局所的に大きく変化



空間的なパターンの違いに着目し、これらを分離することにより、**高精度な汀線抽出**が期待される

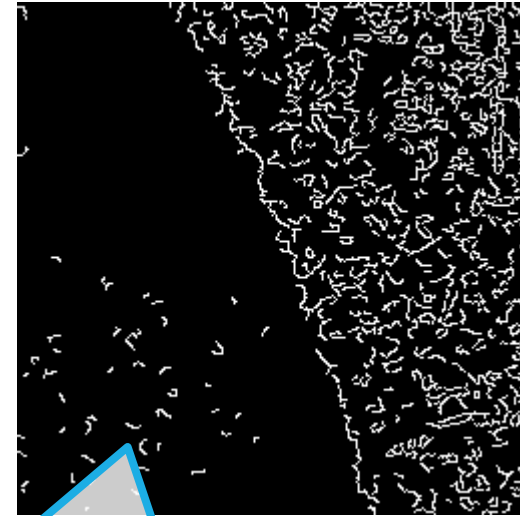
一般的な 平滑化+エッジ抽出 の場



SAR 画像



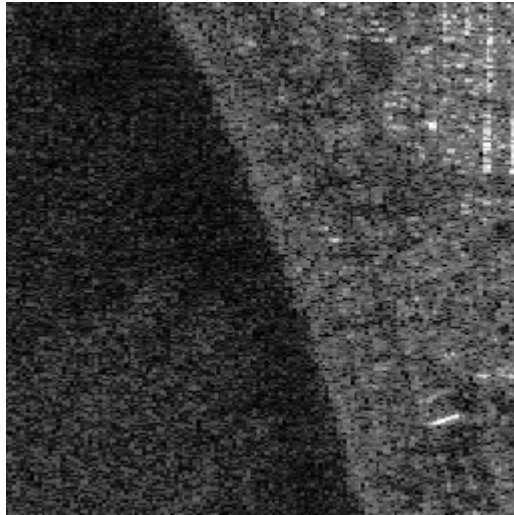
平滑化および
エッジ抽出
(Canny フィル
タ)



ノイズやパターン (**テクスチャ**) により
隣接ピクセル間に画素値の差が生じる
→ **エッジとして誤抽出される**

- 領域分割でも同様に誤抽出が起こる

提案手法



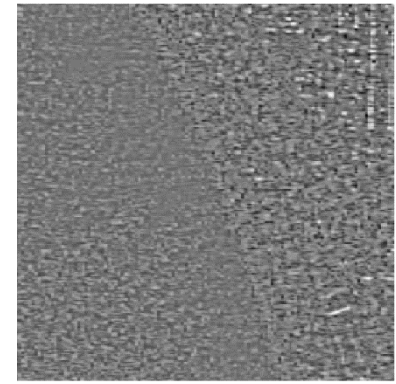
SAR 画像

=



線画 :
滑らかな変化

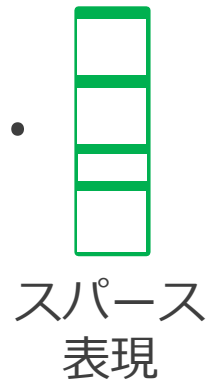
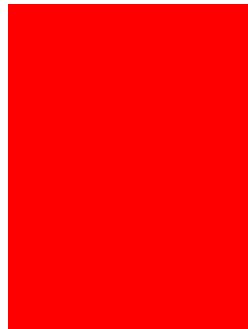
+



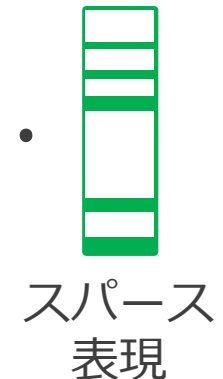
テクスチャ :
周期的なパターンや
スペckル



線画 辞書



テクスチャ 辞書



- **グラフカット**…画像の濃淡値のみを利用
 - **画素の勾配**や**境界線の滑らかさ**といった情報を用いてより精緻な汀線抽出につなげる

- **動的輪郭法 (Snakes : Kass et al., 1988)**

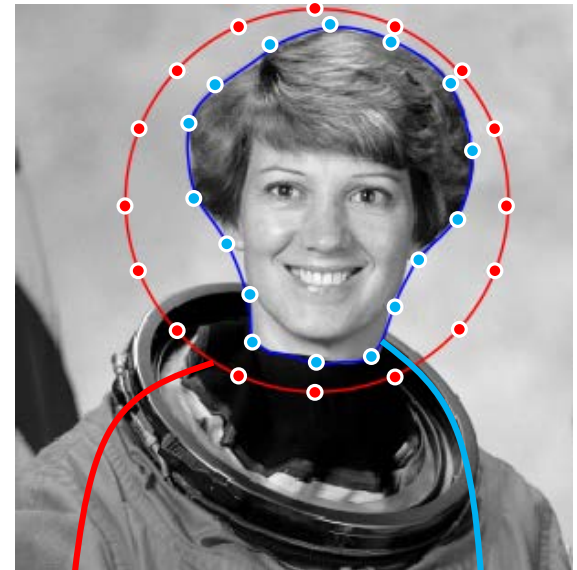
- 画像上で点を結んだ曲線を定義
- 曲線のエネルギー関数が最小になるよう動的に形状を修正→境界線

- エネルギー関数の中身の例

- 長さ：短いほど好ましい
- 曲率：滑らかな方が好ましい
- 周辺画素の勾配：強いほど好ましい

- 初期曲線として、グラフカットによる抽出結果を用いる

イメージ



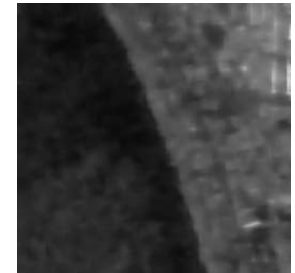
初期曲線
(ここでは円状)

動的輪郭法の
適用結果

Step.1

空間パターンに基づく画像分離

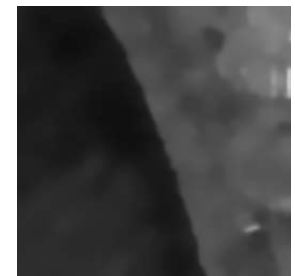
- **MCA (モルフォロジ成分分析)** を利用
- 波峰線や砂浜の模様・スペックルを分離



Step.2

画像全体の平滑化

- **ノンローカルミーンフィルタ** を利用
- 残っているノイズの除去



Step.3

領域分割と汀線抽出

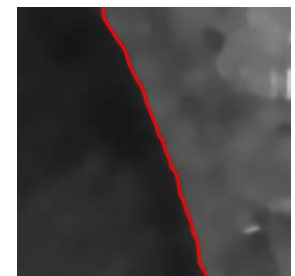
- **グラフカット** による領域分割
- 境界を汀線として抽出



Step.4

抽出された汀線の調整

- **動的輪郭法** を利用
- 画素の勾配や境界線の滑らかさの考慮

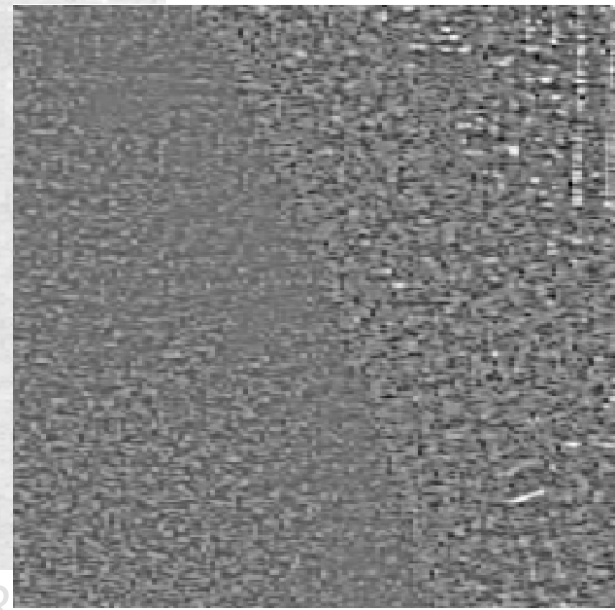


Step.1 空間パターンに基づく画像分離

- **MCA (モルフォロジ成分分析)** を利用
- 空間パターンに着目し、波峰線や砂浜の模様・スペックルを分離



線画：
滑らかな変化

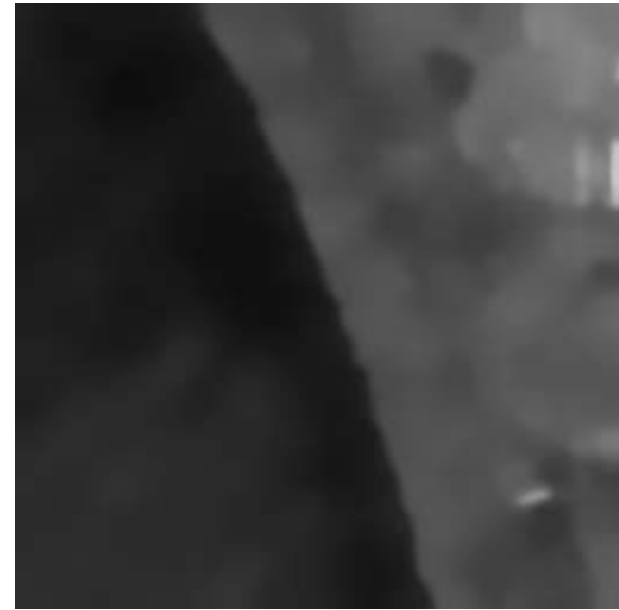


テクスチャ：
周期的なパターンやスペックル

Step.2

画像全体の平滑化

- ノンローカルミーンフィルタ (Non-local Means Filter) を利用
- 残っているノイズの除去

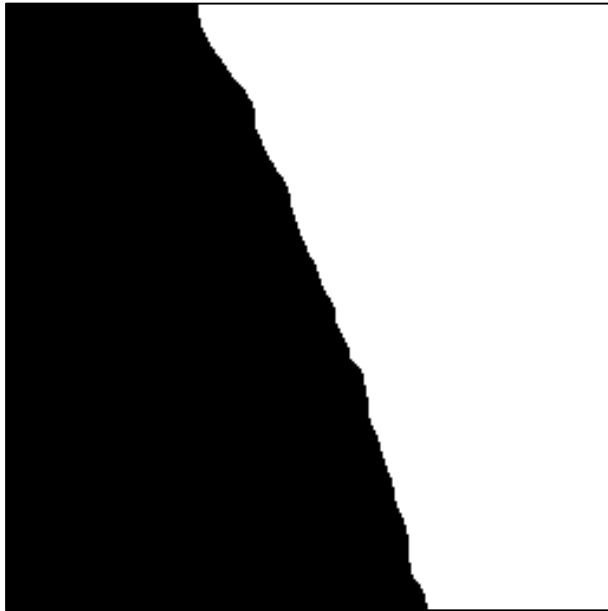


線画：
滑らかな変化

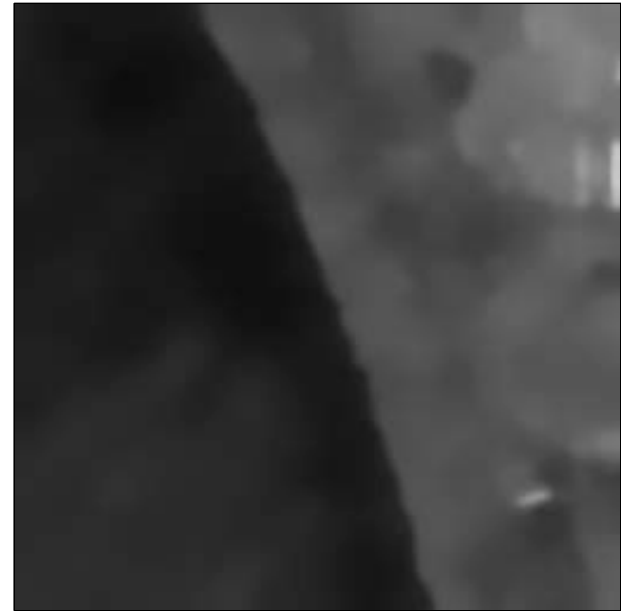
Step.3

領域分割と汀線抽出

- **グラフカット**により、画像を海域と陸域に領域分割
- 海域と陸域の境界を汀線として抽出



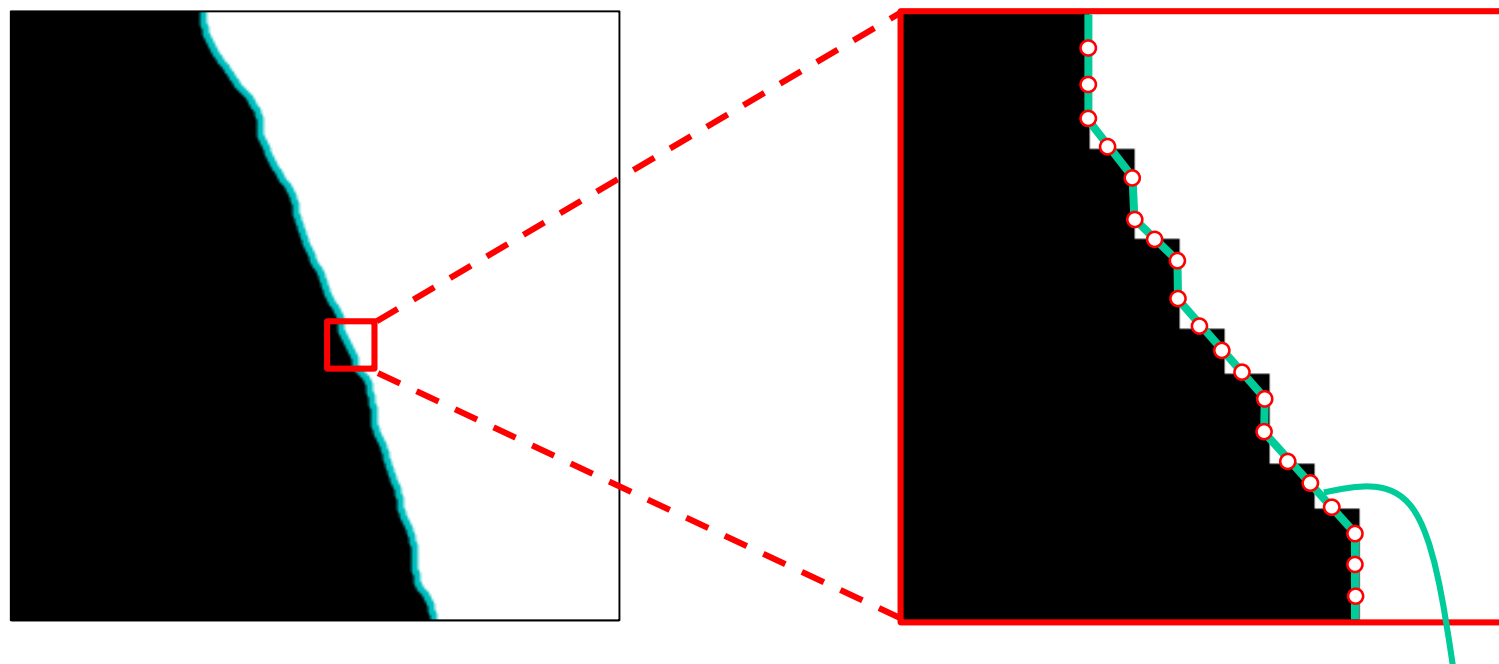
←
領域分割



Step.3

領域分割と汀線抽出

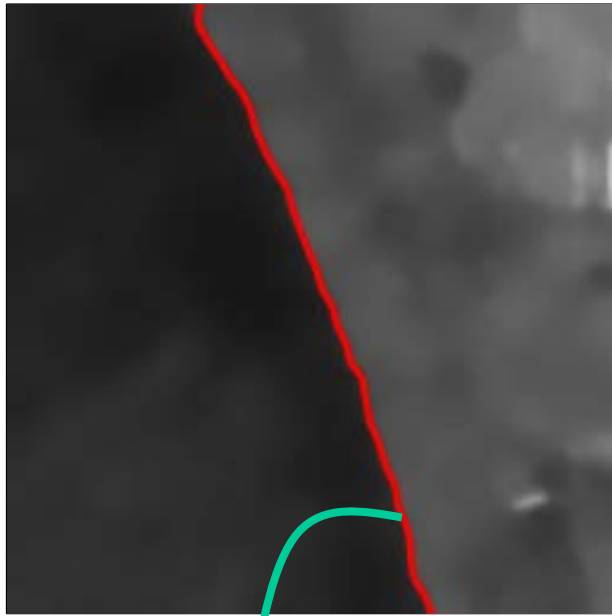
- **グラフカット**により、画像を海域と陸域に領域分割
- 海域と陸域の境界を汀線として抽出



境界を汀線として抽出

Step.4 抽出された汀線の調整

- **動的輪郭法**により、抽出された汀線の位置を調整
- 画素の勾配や境界線の滑らかさの考慮



最終的な汀線とする

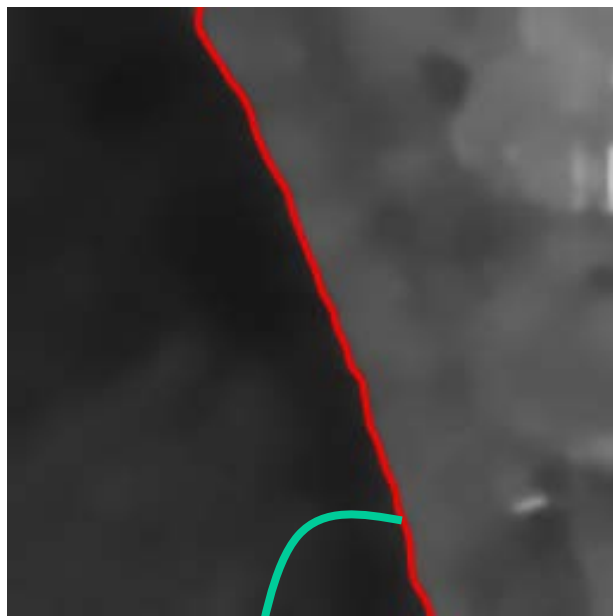
Step.

4

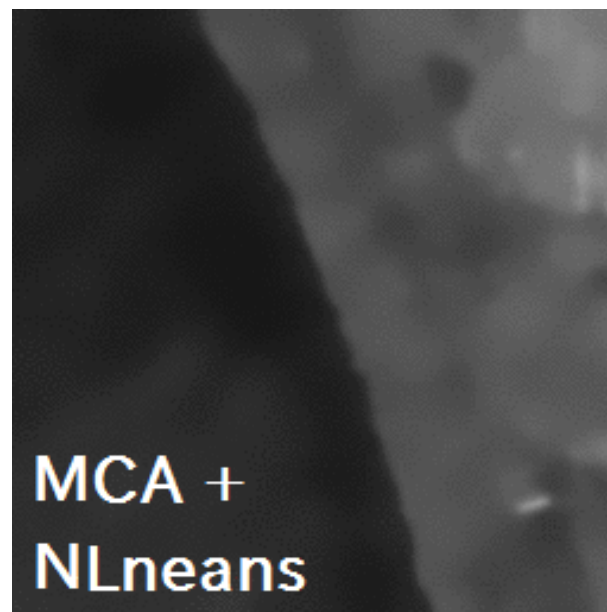
抽出された汀線の調

整

- **動的輪郭法**により、抽出された汀線の位置を調整
- 画素の勾配や境界線の滑らかさの考慮

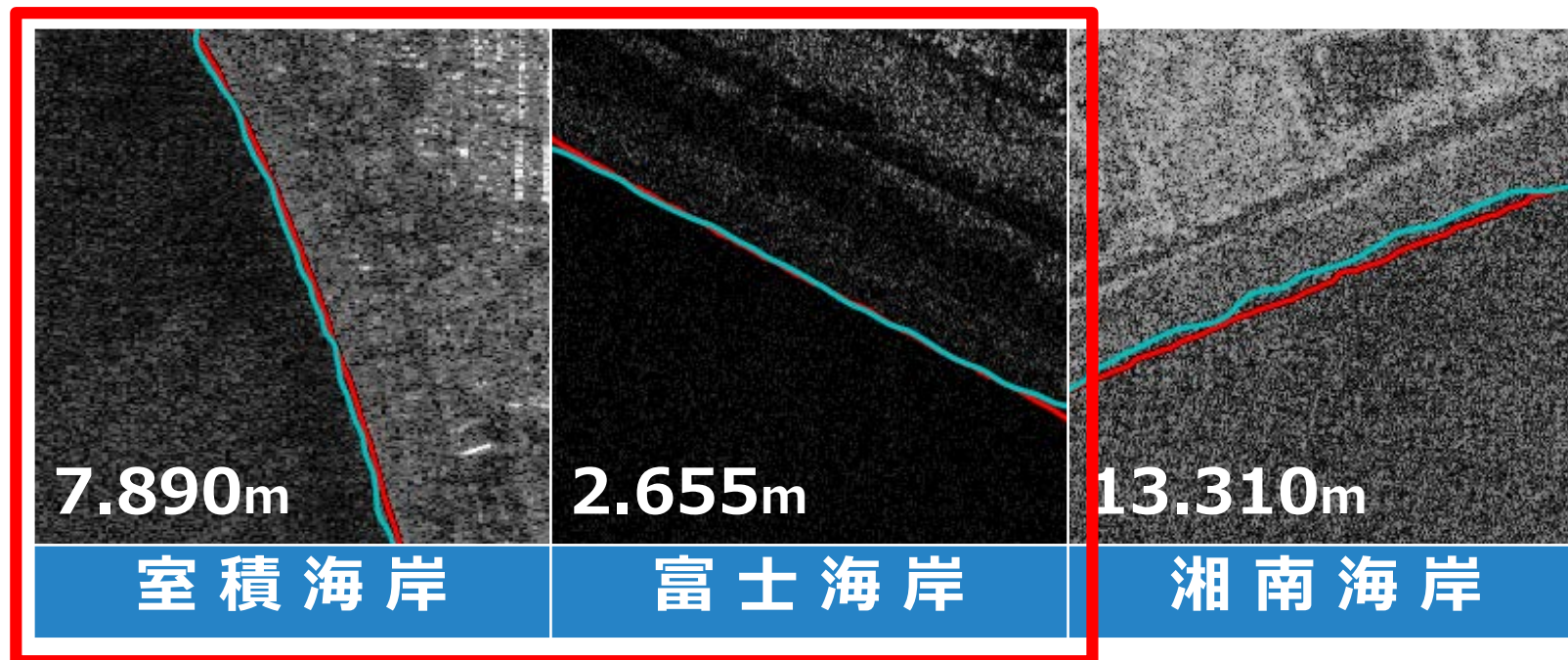


最終的な汀線とする



□ **青色**：抽出された汀線、**赤色**：GPS データ

■ 画像内の値は 2 つの線の間の距離の平均



十分な精度 (10m 以内) で抽出できている

□ 湘南海岸の誤差の要因

- 砂の粒径が小さい→砂浜の後方散乱強度が小さくなる
- マイクロ波の入射角が大きい→砂浜の後方散乱強度が相対的に低くなる

⑤ツール化

