

UAV とスマートフォンを利用した海岸地形の把握*

秋田大学工学部
 秋田大学大学院理工学研究科
 ビーコン
 ENEOS リニューアブル・エナジー 関谷 努力・上原子 満成・石井 翔也

山形 朔矢
 齋藤 憲寿・渡辺 一也
 廣田 諒

1. はじめに

秋田県では平成 23 年 5 月に、秋田県新エネルギー産業戦略を策定、平成 27 年 5 月には、「あきた洋上風力発電関連産業フォーラム」を設立するなど、本格的に洋上風力について整備を進めている¹⁾。そのため、波浪や気象条件などの影響を受けて変化する海岸地形の把握やモニタリングは、環境保全や今後の施設計画において重要な役割を持つことから、地形変化を定期的に観測、定量的に把握をすることが重要となる。

従来は深淺測量（断面測量等）や汀線測量（GNSS 測量）等が行われ、画像解析技術（定点観測，UAV 撮影，衛星画像解析等）を用いた汀線の抽出や植生境界の把握にも活用されている²⁾³⁾。従来の UAV（Unmanned Aerial Vehicle：無人航空機）撮影や衛星画像解析には撮影頻度の制約や天候条件による影響，機材の初期導入や運用にかかるコスト，所要時間による制限，技術の専門性といった問題点⁴⁾が表-1 のようにあると言える。そのため本研究では，より身近で低コストであるスマートフォンを用いた撮影を行うことでこれらの問題点を改善，または代用



図-1 鹿の浦展望所と周辺の海岸

表-1 それぞれの手法の比較

撮影手段	初期・運用コスト	所要時間	天候	専門性
UAV	機体・バッテリー交換などコスト高	準備・飛行計画・大量処理が必要	風・雨・視界不良で飛行不可	操縦訓練・安全管理が必要
スマートフォン	特別な機材や維持管理が不要	撮影即時・処理軽量と短時間	風の影響小・小雨対応可	非専門家でも撮影可能

*Investigation of coastal topographic change using UAV and cell phone by Sakuya YAMAGATA, Noritoshi SAITO, Kazuya WATANABE, Ryo HIROTA, Doryoku SEKIYA, Mitsunari KAMIHARAKO and Syoya ISII

が可能であるかの検討を目的とする。

2. 対象海岸

本研究の観測を行う場所である鹿の浦展望所と観測する対象である周辺海岸の位置関係、海岸の汀

線までの距離、観測の基準である構造物や地形要素を含めたものを図-1に示す。

鹿の浦展望所は青森県との県境である秋田県北部八峰町に位置しており、展望所に対し砂浜海岸が北側、南側にそれぞれ形成されている。特に南側の海岸は突堤と泊川の河口部の間に位置しており離岸堤により保護されている。

3. 撮影高度の決定

平地にて基準地点を設置、メジャーを用いて基準点からの水平距離 L が 30 m, 60 m, 100 m 地点に対空標識を設置, その中心にプリズムを設置し基準点から光波測距(トータルステーション, TS) を用いて距離を測定, その後図-2のように UAV を高度 h が 50 m, 100 m, 150 m で鹿の浦展望所と同じオーバーラップ率で自動飛行を行い, それぞれの高度での基準点からの水平距離 L が 30 m, 60 m, 100 m の地点までの距離をそれぞれの地点に設置した対空標識を目安に測定, 三次元点群データを作成し対空標識の中心間の距離を計測, 比較をした。

光波測距で求めた距離と UAV を用いて求めた距離はそれぞれ表-2 となった。また, 誤差の比較を行った結果のグラフを図-3 のように示した。光波測距との誤差の値が最も大きい高度 150 m, 水平距離 60 m での誤差は 0.07 m, 誤差率は 0.12 % となる。実際に鹿の浦展望所にて実測を行い光波測距と UAV を用いた三次元点群データをもとに突堤の距離を測定した。その結果光波測距は 65.07 m, UAV では 65.30 m となり, 誤差は 0.23 m, 誤差率は 0.35 % となるため, 十分に小さいものといえる。さらに, 鹿の浦展望所での UAV 撮影を自動飛行で行う際に必要な撮影枚数や撮影時間を表-3 のように示し比較を行った。50 m は他に比べ撮影枚数が圧倒的に多く, 撮影時間が 3 倍以上かかってしまう点があるため除外, 100 m と 150 m は撮影時間が 1 分程度しか変わらないものの, 撮影枚数が 100 m のほうが 1.5 倍近くあるため SfM 処理に

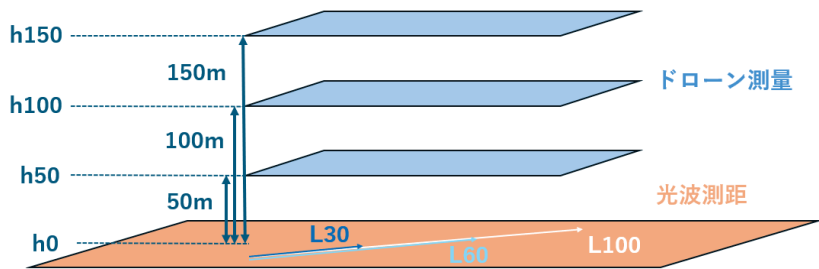


図-2 TS・UAVでの測量概略

表-2 TS・UAVの計測値

測量手段	L30[m]	L60[m]	L100[m]
h0(TS)	30.0174	60.0282	100.0309
h50(UAV)	30.0000	60.0000	100.0000
h100(UAV)	30.0000	60.0000	100.0000
h150(UAV)	30.0000	60.1000	100.0000

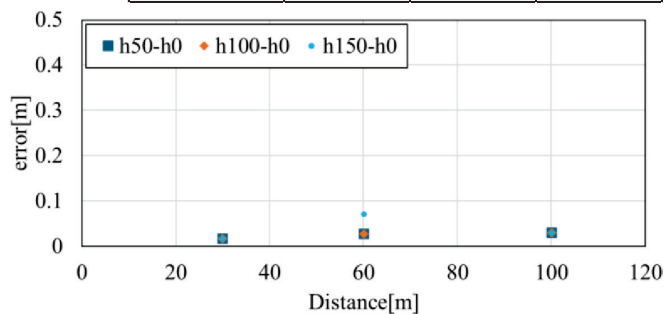


図-3 計測値 (UAV と TS) の撮影高度別の誤差

表-3 撮影コストの比較

撮影高度	撮影枚数	撮影時間
50 m	333枚	15分00秒
100 m	103枚	4分45秒
150 m	65枚	3分28秒

かかる時間が数時間単位で変わることや 150 m でも誤差が十分に小さいなどのことから撮影高度を 150 m に決定した。

UAV 測量の概略図は図-4 のように表すことが出来る。撮影高度 150 m の場合における 1 画素あたりの地上寸法を式(1)のように算出すると、使用した Phantom 4Pro V2.0 のセンサーのサイズ、レンズの焦点距離 (8.8mm) から 0.041 m と算出できる。

$$D = \frac{H \times PS}{f} \quad (1)$$

ここで、 D は 1 画素あたりの地上の長さ (m)、 H は UAV の飛行高度 (m)、 PS は UAV に搭載されたセンサーの 1 画素あたりの 1 辺の大きさ (mm)、 f は UAV の焦点距離 (mm) を示している。

4. 研究手法

1) UAV

UAV (Phantom 4Pro V2.0) に搭載されているカメラ (センサー : 5472px×3648px, センサーサイズ : 13.2mm×8.8mm) を用いて鹿の浦展望所と北側・南側の海岸を含む周辺地形の撮影を行った。上空 150 m から撮影範囲が約 215 m×115 m (5472px×3648px) の鉛直方向の写真を上オーバーラップ率 75 % で複数枚撮影した。次に、撮影された写真を用いて SfM 処理を行い図-5 のように三次元点群データを作成し、鹿の浦展望所を含む周辺海岸の形状を復元した。そのデータを用いて、北側は図-6 のように基準の岩石から汀線までの距離を、南側は図-7 のように海岸堤防から汀線までの距離を計測した。

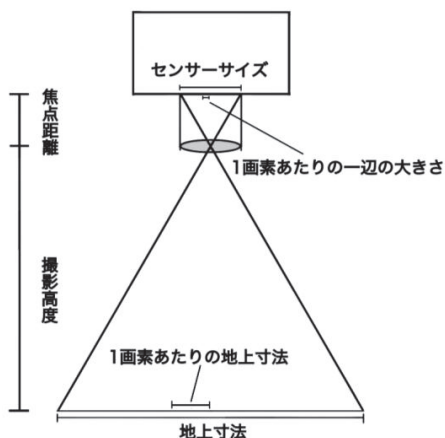


図-4 UAV 測量の概略図



図-5 作成した三次元点群データの例



図-6 汀線までの距離 (北側)



図-7 汀線までの距離 (南側)

表-4 撮影手段ごとの器具仕様比較

撮影手段	重量	対角寸法	連続稼働時間	画素数	センサーサイズ	レンズ焦点距離
UAV(Phantom 4Pro V2.0)	1375 g	350 mm	約30分	5472 px × 3648 px	13.2 mm×8.8 mm	8.8 mm
スマートフォン(iPhone14)	172 g	155 mm	最大20時間	4032 px×3024 px	7.4 × 5.6 mm(一般仕様)	5.7 mm

2) スマートフォン

スマートフォン (iPhone 14) の外側の広角カメラ (4032px×3042px) を用いて鹿の浦展望所から北側、南側の海岸撮影をそれぞれ行った。標高約 20 m の展望所の柵上にある設置箇所にて図-8 のように設置し、倍率 1 倍で斜め写真を撮影した。この設置箇所は下部に海岸線の記録の重要性を記述し、来訪者に撮影の協力をお願いしている。この写真を用いて南側は人工物の距離(海岸堤防と離岸堤の距離、突堤の距離)と海岸堤防から汀線までの距離を図-9 のように比較し算出した。また、岩石を人工物と同様の剛性、耐久性と位置づけ、波浪による浸食が極めて小さいとみなし不変の長さとして設定、北側の岩石間の距離と岩石から汀線までの距離を図-10 のように比較し算出した。

その後、UAV とスマートフォンで求めた数値の比較をそれぞれ行った。また、撮影手段ごとの器具仕様の比較を表-4 にまとめた。

5. 結果

観測期間 (2025/5/16~2025/10/14) における南側の海岸を UAV で求めた距離と、スマートフォンで撮影した斜め写真で求めた突堤の距離、堤防から離岸堤までの距離比率、それぞれを基準に定めて求めた距離の経時変化をまとめて図-11 に示した。また、南側の海岸を UAV で求めた距離と離岸堤までの距離を基準にした斜め写真で求めた距離の関係を図-12 に示した。つぎに、北側の海岸を UAV で求めた距離と、斜め写真で求めた距離の経時変化をまとめて図-13 に示した。そして、北側の海岸を UAV で求めた距離と斜め写真で求めた距離の関係



図-8 スマートフォン設置箇所

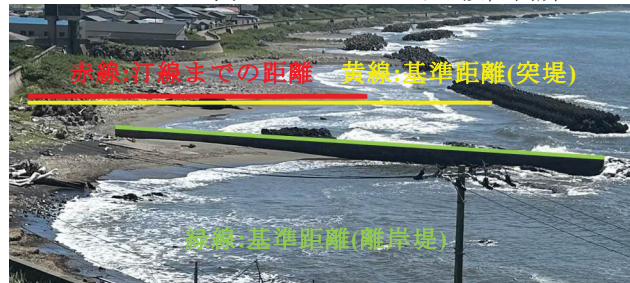


図-9 斜め写真での距離比較の目安 (南側)



図-10 斜め写真での距離比較の目安 (北側)

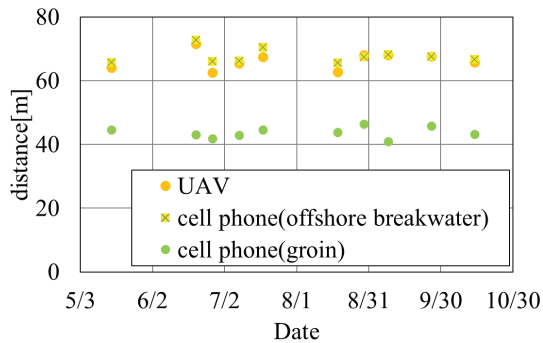


図-11 UAV・斜め写真の計測距離の経時変化 (南側)

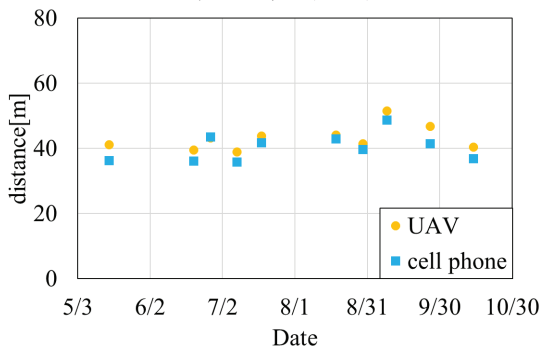


図-12 UAV・斜め写真の距離の関係 (南側)

を図-14 に示した。

南側の海岸を対象にした距離の計測では突堤を基準にしたものと比べ、海岸堤防から離岸堤までの距離を基準に用いて測定した距離のほうがより精度が高いという結果となった。その原因として基準とする長さであるスケールを計測対象より手前の人工物に設定したため、透視投影に伴う遠近縮小効果の影響で距離換算の際に誤差が生じてしまい実際の距離より小さい値が算出されたと考えられる。

さらに、南側・北側の海岸を UAV で求めた距離と斜め写真で求めた距離の関係をそれぞれまとめて図-15 に示した。

それぞれの求めた距離の関係として南側は近似直線 $Y=1.04x-4.41$ 、決定係数 $R^2=0.75$ となった。この近似直線に基づく、UAV で求められる距離が 62 m では斜め写真が 63.61 m、誤差率 2.60 %となり、UAV で求められる距離が 72 m では斜め写真が 73.19 m、誤差率 1.65 %であることが予想される。

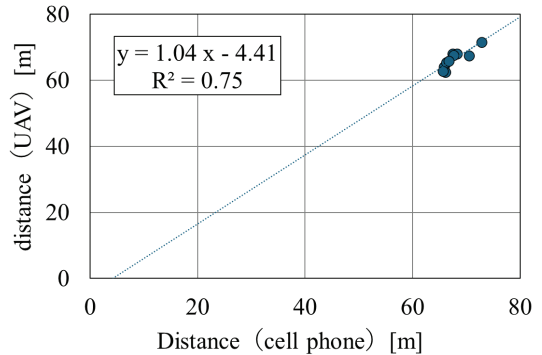


図-13 UAV・斜め写真の計測距離の経時変化 (北側)

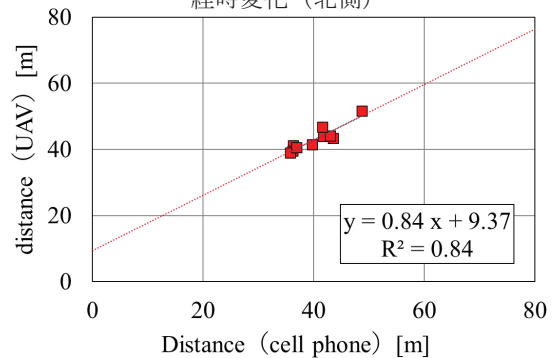


図-14 UAV・斜め写真の距離の関係 (北側)

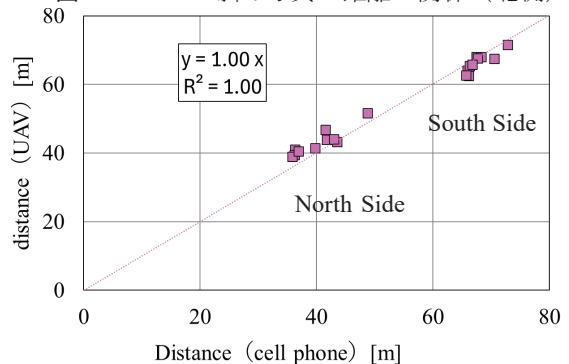


図-15 UAV・斜め写真の距離の関係 (北側・南側)

それに対し、北側は近似直線 $Y=0.84x+9.37$ 、決定係数 $R^2=0.84$ となった。この近似直線に基づくと、UAV で求められる距離が 40 m では斜め写真が 36.46 m、誤差率 8.84 %となり、UAV で求められる距離が 50 m では斜め写真が 48.37 m、誤差率 3.26 %であることが得られる。

南側・北側の切片なしでの関係としては近似直線 $Y=1.00x$ 、決定係数 $R^2=1.00$ となった。この近似直線に基づくと、十分代用が出来ると言える。

6. トレースによる海岸変形

2025/1/20~2025/7/18 の約 6 か月間、2025/7/18~2025/10/14 の 3 か月間の汀線変化を求めるため、三次元点群データを用いて

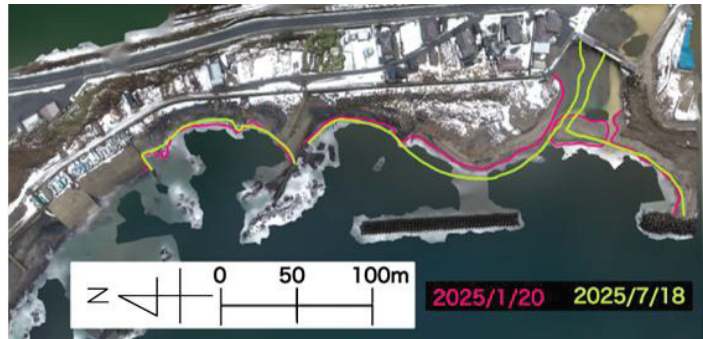


図-16 汀線トレース(2025/1/20~7/18)

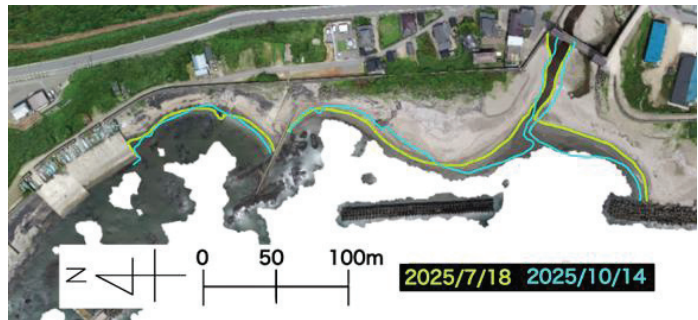


図-17 汀線トレース(2025/7/18~10/14)

海岸地形のトレースを行い、図-16, 17 のように比較を行った。トレース画像を見ると、1月から7月にかけて全体的に海岸が大きく拡大していることが分かる。また、7月から10月にかけての変化は泊川の河口周辺の海岸が僅かに拡大、突堤から離岸堤の間の海岸は減少するなど、対象の海岸の最大汀線の位置が突堤側から泊川の河口方向へ移動していることが分かる。

7. おわりに

本研究では鹿の浦展望所周辺の砂浜海岸を対象とし、UAV を用いた三次元点群データとスマートフォンを用いた斜め写真の異なる手法についてそれぞれ手法を選定し、距離を算出、その値について比較検討を行った。結果として南側の海岸は近似直線 $Y=1.04x-4.41$ 、決定係数 $R^2=0.75$ 、北側の海岸は近似直線 $Y=0.84x+9.37$ 、決定係数 $R^2=0.84$ 、南側・北側の切片なしでの関係としては近似直線 $Y=1.00x$ 、決定係数 $R^2=1.00$ となった。UAV の問題点であるコストや簡便性に対し、スマートフォンが評価できるため代替的手段の一つとして活用が期待できる。ただし、データ数が少なく個々のデータによりばらつきが出やすいため今後も追加データを取得し精度の検証を続けていく必要がある。

参考文献

- 菅原喬：秋田県における風力発電に係る取組について、風力エネルギー、Vol.41, No.4, pp.590-593, 2017.
- 山中玲, 青木賢人：加越海岸における汀線の時空間変動とその要因—GISを用いた汀線変化の定量的解析—, 日本海域研究, Vol.52, pp.13-30, 2021.
- 辻本剛三, 澁谷容子：鳥取砂丘海岸の汀線の時空間変動特性に関する研究, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol.75, No. 2, I 613-I 618, 2019.
- 黒崎弘司, 由比政年, 石田啓：画像情報を活用した海浜地形変動の簡易モニタリングシステムの構築と珠洲市鉢ヶ崎海岸への適用, 日本海域研究, Vol.42, pp.9-25, 2011.