

無人飛行機 (UAV) による 新しい海岸モニタリング手法

COASTAL MONITORING USING UNMANNED AERIAL VEHICLE

熊田貴之¹・宇多高明²・鈴木真二³・酒井和也⁴・

野志保仁⁵・森田 学⁶・柄沢研治⁷

Takayuki KUMADA, Takaaki UDA, Shinji SUZUKI, Kazuya SAKAI,
Yasuhito NOSHI, Manabu MORITA and Kenji KARASAWA

¹正会員 博 (工) (有) アイコムネット (〒135-0064 東京都江東区青海2-7-4-627)

²正会員 工博 (財) 土木研究センター常務理事なごさ総合研究室長
兼日本大学客員教授理工学部海洋建築工学科 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

³工博 東京大学大学院工学系研究科教授 航空宇宙工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

⁴正会員 修 (工) (財) 土木研究センター河川・海岸研究部
(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

⁵正会員 博 (工) (有) アイコムネット環境コンサルティング部
(〒135-0064 東京都江東区青海2-7-4-627)

⁶修 (工) 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

⁷東京大学大学院工学系研究科助教 航空宇宙工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

The unmanned aerial vehicle (UAV) is one of the applications of robotics technology, and has an ability of automatic flight with a high accuracy because it has the GPS and inertia sensors on board. This vehicle can fly along the planned course with keeping a constant altitude. The imageries and photographs can be taken by the on-board video recorder and digital camera. We applied this vehicle for the field observation of the nearshore dynamics on exposed beaches, taking the Jinkoji coast as the example.

Key Words : *Unmanned aerial vehicle, aerial robot, beach monitoring methodology, Jinkoji coast*

1. まえがき

従来、海岸の広域情報を収集する方法として航空機を用いた空中写真撮影が行われてきた。この手法は全国各地で使われているが、予め航空法に基づく手続きが必要なため撮影日を簡単に変更できず、また撮影に多くの経費を要するという欠点があった。また航空機が飛ぶ際気象条件の制約を受け、さらに撮影高度を一定に保つことができないため、画像に歪みが生じるなど課題が多い。近年、辰巳ら¹⁾は防災用飛行ロボットである無人飛行機 (Unmanned Aerial Vehicle : UAV) を開発したが、UAVはGPSと慣性センサを積載しているため高精度の自動飛行ができ、同時に常に同一飛行経路と高度を保って飛行することが可能である。さらに積載した動画用高精度ビデオカメラと静止画用デジタルカメラにより詳細な画像を取得することができる。渡部・佐々²⁾は、

UAVを用いて干潟の撮影を行い、干潟地盤の微地形や底生生物の巣穴の分布等の把握にUAVが有効に利用可能なことを示した。しかし、干潟以外の海岸への適用例はなく、海岸への適用に際しいかなる海岸情報 (現象) を入手できるかについては検討例がない。そこで、本研究では動画用高精度ビデオカメラと静止画用デジタルカメラを搭載したUAVを用いて、外海・外洋に面し強い波浪作用を受ける海岸でのモニタリング手法の可能性について検討した。具体的には鹿島灘に面した神向寺海岸を対象として観測を行った。

2. 調査方法

(1) 使用機体

使用した無人飛行機 (UAV: Unmanned Aerial

Vehicle) を図-1に示す。機体は全長1.2 m、全幅(翼幅) 1.7 mで、全備重量は約2 kgと手投げによる離陸が可能である。ペイロード(最大積載量)は約500gで、本研究では計測機器として動画用高精度ビデオカメラと静止画用デジタルカメラを搭載した。本研究では使用していないが、赤外線カメラなども搭載可能である。また着陸用パラシュートは標準装備している。

このUAVは、電動モータによるプロペラ駆動で推進する。UAVの誘導装置となるGPS受信機、MEMS慣性センサ(加速度計3軸、ジャイロ3軸)、圧力計(動圧、静圧)、制御計算用マイコンで構成された独自設計のアビオニクスボードを搭載し、GPS/INS複合航法による自立飛行を行うことができる。飛行中はモバイルPC上の司令管制局(図-2)と常時通信を行い、飛行状況や搭載カメラ映像の監視、飛行目標点のリアルタイム変更などが可能である。また飛行運用は、図-3のように手投げにより離陸させた後、設定経路を自立飛行(図-4)して画像データを取得する。撮影画像は無線によりリアルタイム伝送されるほか、無線では伝送できない高画質画像は一旦保存し着陸後に解析するシステムとなっている。着陸時は、有人操作(ラジコン操作)に切り替え無線

誘導し海浜へ着陸させる。

(2) 飛行経路

2009年11月15日に鹿島灘に面した神向寺海岸で試験飛行を行った。試験飛行では、機体が海へ落ちても回収可能とするため、海域にはマリンジェットを待機させた。飛行経路は、神向寺海岸の8号ヘッドランド(HL)から平井突堤まで約3.7 kmの区域とし、海岸線に沿って飛行させた(図-5)。管制局は、無駄な飛行時間を短くするとともに飛行を目視で確認できるよう2箇所に設置した。飛行高度は、前浜付近の波・流れ状況を高解像度で把握するため150 mの低空飛行とした。なお飛行高度が200 m以下であれば航空法に基づく事前申請が不要なことも本手法の大きな利点である。また飛行速度は15 m/sである。1回の飛行時間は約18分で、異なる場所からの2回の飛行で撮影を実施した。

試験飛行は、11月15日の午前7時から10時に行った。観測時の潮位はT. P. +0.01~+0.09 mであって、海浜状況を把握しやすいよう日中の干潮時に撮影を行った。当日の平均風速は、鹿嶋アメダス(地上6.5 mで測定)による午前7~10時の平均値では1.4 m/sであった。UAVの飛行高度は地上150 mに設定し



図-1 無人飛行機
(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)

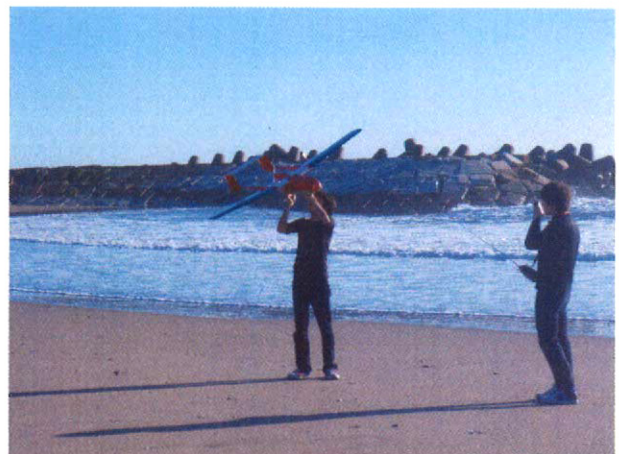


図-3 離陸状況

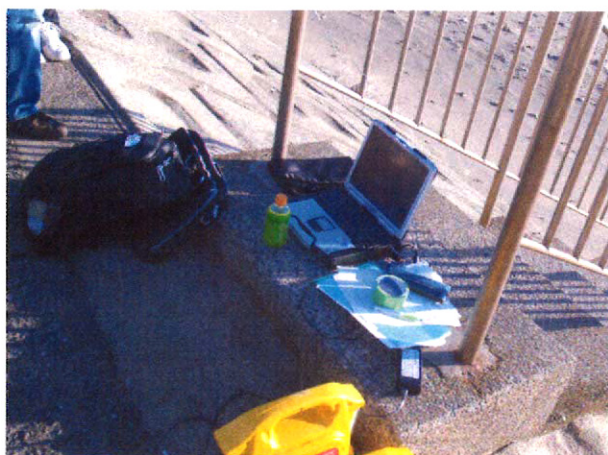


図-2 司令管制局



図-4 飛行状況

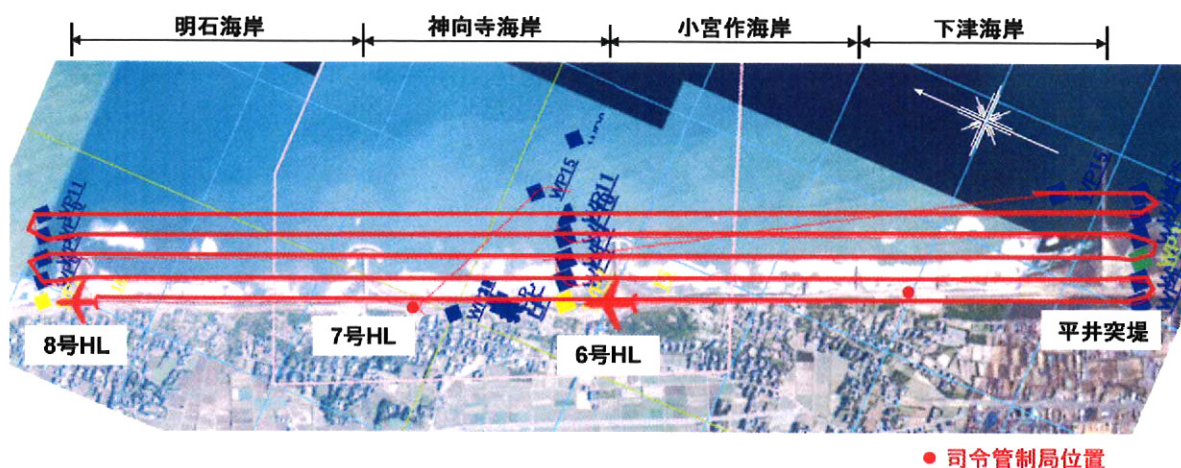


図-5 神向寺海岸での試験飛行時の飛行経路

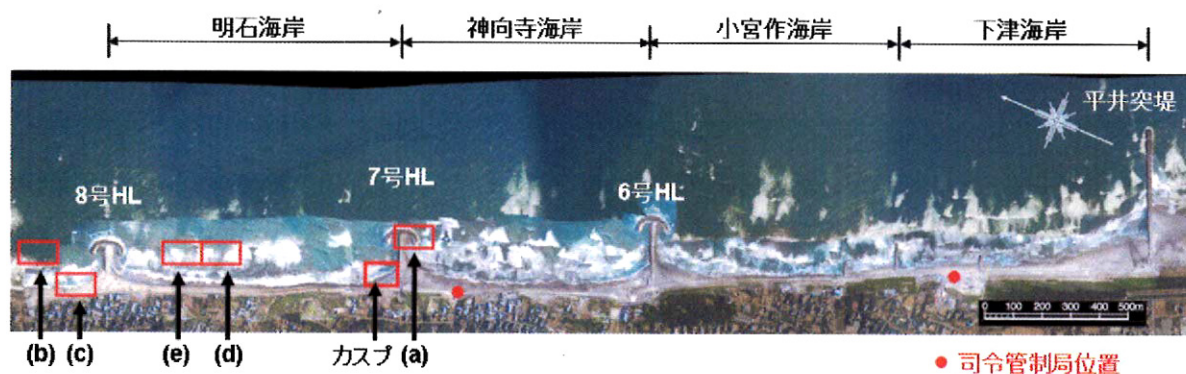


図-6 静止画用デジタルカメラによる画像の合成写真

ているので、鹿嶋アメダスの測定値をもとに風速をべき乗則により求めると1.9 m/sとなり、10 m/s以下で飛行可能という特長を有するUAVの飛行上の問題はなかった。飛行時の風向は南西であり、撮影時の波は静穏であった。

夏季におけるほぼ南東方向からの入射波の影響が残されていることによる。

次に、UAV搭載の動画用高精度ビデオカメラで撮影した映像より0.6 sごとの連続写真をまとめた。

図-6に示すように(a)HL周辺における波・流れ、(b)離岸流、(c)波の遡上線、(d)周期・波長、(e)濁

3. 観測結果

静止画用デジタルカメラによる飛行区域の画像の合成写真を示す(図-6)。図-7は、7号HL周辺部(図-6参照)を拡大したものであるが、高解像度のため前浜において礫が堆積してできたカスプ地形(図-7の破線)や、貝殻片の打ち上がり状況(図-7の○印)、粗粒材の堆積状況(汀線近傍の黒い部分)など、通常の中空写真と比べ海浜表層の微地形の観察が容易になった。黒く見える礫の堆積域がカスプ形状と一致していることから、前浜上では礫がカスプを形成して堆積しやすいことが分かる。また排水口からの流入水路(黒い溝)が細長く沿岸方向に流れ、7号HLの側面から蛇行しながら海へと流れ込んでいる状況、および水路が2列に盛られた土堤間で蛇行しながら流れている状況も見てとれる。

さらに図-6に示されたHL周辺の海岸状況を調べると、HLの南側と北側で汀線形状が非対称形となっており、南側の汀線のほうが前進している。これは

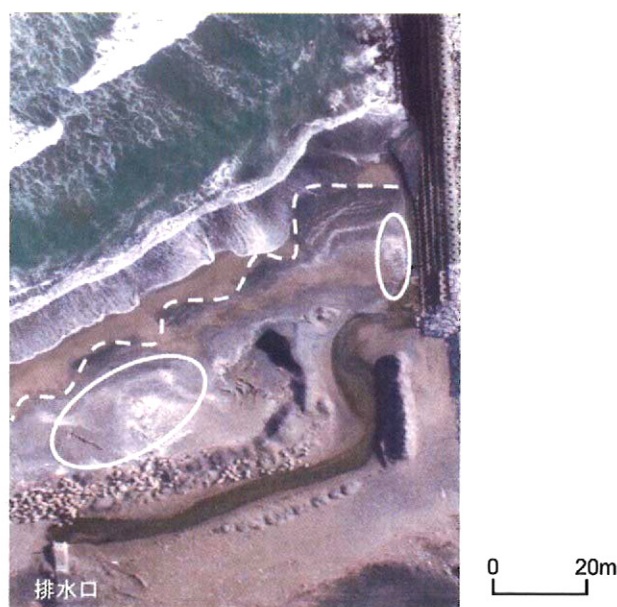
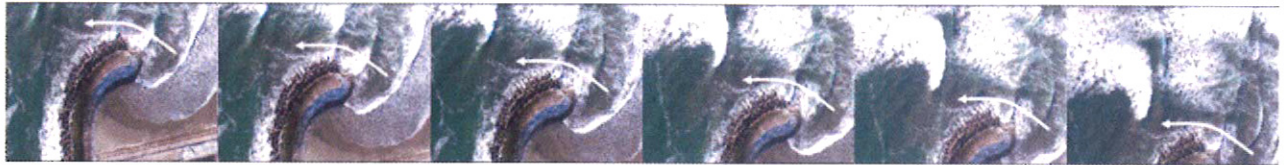


図-7 カスプ地形、貝殻片の打ち上がり状況

(a) HL周りの波・流れ



(b) 海浜中央部での離岸流の発達



(c) 波の遡上線



(d) 周期・波長



(e) 濁りの分布

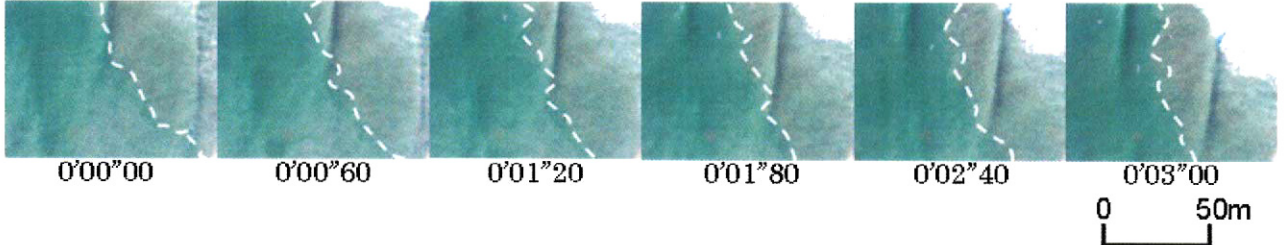


図-8 動画用高精度ビデオカメラによる映像（連続写真表示）

りの分布に注目して矩形領域を切り出したのが図-8(a)～8(e)である。

(a) HL周辺の波・流れ

HLのヘッド部において、波が回折し遮蔽域へと侵入する状況が鮮明に捉えられている。HL周辺では白濁した碎波帯があるが、HLの直近では白濁域が存在しないことから（図-8(a)の矢印近傍）、そこに海底の溝が延びており、この溝はヘッド部裏（陸側）の砂浜付近からヘッド部に沿って湾曲しつつ伸びている。さらにヘッド部端部の沖合には細長い潮目が沖向きに伸びているが（図-8(a)の矢印の下部）、これは上記の溝に沿って離岸流が存在すると考えればその発生を無理なく説明できる。このことから、この画像からはHLに沿う離岸流の発達があることが見て取れる。HL周辺では人身事故が多く報告³⁾されているが、それには多くの場合ヘッド部周りに発達する溝に沿って流れる離岸流が関係している。本手法によればこの種の離岸流の発達状況や、離岸流の発達開始点がヘッド部の裏側であることなど、事故防止にかかわる情報を容易に得ることができる。またUAVの特徴である常に同一飛行経路、同一高度を

飛べるため、複数回の撮影が可能であり、季節や潮位の違い（撮影時間の違い）によるHL周辺の波・流れの変化の把握にも有効利用できる。

(b) 海浜中央部での離岸流の発達

海浜中央部において、碎波の白濁域に挟まれた場所で波が立たない場所があることから、海浜中央部に離岸流が発生していることが判別できる（図-8(b)）。通常の空中写真では標定点がないと位置の測定ができないが、UAVはGPSを積載しているので単なる画像の取得ではなく、離岸流の発生位置や幅（17 m）を正確に観測できる。さらに、今回は測定できなかったが浮遊目標物があれば流速計測も可能である。

(c) 波の遡上線

飛行時の潮位、波浪状況において前浜の波の遡上線を同時刻に、空間的に把握することができる（図-8(c)）。従来の地形測量では測量時間中にも潮位変化の影響を受けるため、空間分布を正確にかつ速やかに測定するのが難しく、遡上線の時間・空間的な変化の把握は困難であった。しかしUAVの動画

映像ではそれらが容易に観測可能である。

(d) 周期・波長

波峰線が徐々に岸側へと移動している状況が撮影され、これにより周期が4.5 sであることが判読できる(図-8(d))。また波峰線間隔から波長(31 m)を読み取ることもできる。

(d) 濁りの分布

汀線付近の濁りの拡散状況が観察できる(図-8(e)の白点線の右側の領域)。この濁りの時間的拡散状況を把握するのは、1回の撮影では難しいが、空間的な分布は一度の撮影で把握することはできる。

4. 結論

鹿島灘海岸では、茨城県により航空機を用いた定期空中写真撮影が行われてきている。その場合、撮影時の気象条件から撮影は毎年1月初旬に行われ、結果としてその他の時期の空中写真は撮られていない。一方、鹿島灘への作用波の入射方向は季節的に変動し、夏季の南寄りから冬季の北寄りと変動し、これに海浜が応答している⁴⁾。このことを考慮すれ

ば、従来から行われてきた空中写真撮影は、常に冬季の波の作用後の状況を撮影することになり、変動をも考慮した海浜変形の全貌を明らかにするには不十分である。本手法は観測域が定期空中写真撮影と比べて狭いことから、全域を対象にした観測を行うことはできないが、箇所をある程度絞って季節的に観測を行えば、上記定期空中写真を補完する有効な情報を得ることが可能である。

参考文献

- 1) 辰巳 薫・廣川 類・寛松洋平・鈴木真二・土屋武司・久保大輔：小型自立飛行ロボットシステムの開発と飛行試験，日本航空宇宙学会誌，Vol. 54-625，pp. 41-45，2005.
- 2) 渡部要一・佐々真志：UAV と MASW を活用した効率的な干潟堆積土砂調査，海岸工学論文集，第 65 巻，pp. 1441-1445，2009.
- 3) 読売新聞（2009）：平成 21 年 9 月 7 日の記事
- 4) 宇多高明・熊田貴之・芹沢真澄・長山英樹：波向変動場で生じる漂砂大循環の発生メカニズム，海岸工学論文集，第 55 巻，pp. 506-510，2008.