

移動するプラットフォームからの海面高度計測実験

九州大学応用力学研究所 市川香

愛媛大学沿岸環境科学研究センター 森本昭彦

1. 研究目的

波浪，潮汐，地衡流平衡，熱膨張など様々な要因で変化する海面高は海洋物理学における重要な物理量の一つであり，沿岸の潮位計などによって古くから計測が行われている。しかし，絶対的な高さの基準のない洋上では人工衛星海面高度計しか計測手段が無かったため，観測海域や時刻が限定されてしまう。一方，少なくとも日本では Global Navigation Satellite System (GNSS)の基準局網が整備されており，高精度な衛星測位が可能となっている。そこで，GNSS 受信機をドローンに搭載して，任意の場所と時刻で海面高度を計測する試みを行っている。

GNSS で海面高を計測するには，GNSS アンテナ高の精密測位とともに，アンテナと海面間の鉛直距離の測定が必要である。昨年の計測実験の結果，ドローンの高度が 20m 以下であれば，GNSS 信号の海面反射波の遅延を用いた GNSS-R 手法を用いるよりも，赤外線測距儀(GARMIN 社製 Lidar Lite v3)を用いて直下海面までの高さを求めた方が精度の良い観測ができることが分かった。

上記の方法は，上空で静止させたドローンから直下海面の高度を計測するものだが，広域を観測するには移動しながら計測できると効率が良い。だがマルチコプターの構造上，水平方向に移動するためには機体を傾斜させる必要があり，この傾斜によって直下海面までの鉛直方向の距離が正しく計測できなくなる可能性がある。そこで今回は，ドローンを移動しながら計測する場合の精度を確認することを試みた。

2. 研究内容

SwellPro 社の SprashDrone3+の上面に GNSS 受信機，底面に Lidar を取り付けて海面の高さを計測する。今年度は，2022 年 8 月 28 日と 29 日に「いさな」を用いて佐多岬南方 500m 程度の海域 (33.37° N, 132.06° E) 付近で実施した。参照用地上局は佐多岬港内に三脚を用いて測量用

GNSS アンテナを設置し、ublox 社 F9P チップを用い 1Hz で受信した。二周波の受信ができるため測位精度は高く、500m 程度しか離れていない国土地理院の電子基準局「三崎」(970828)を参照して静止測位を行ったところ、位置のばらつきは 5~10mm 程度であった。計測フライトは両日で 4 回を行ったが、1 回目と 2 回目はそれぞれ GNSS 受信機と Lidar の不調によって組となるデータが取得できなかった。そこで今回は、3 回目のフライトを中心に結果を示す。

3. 研究成果

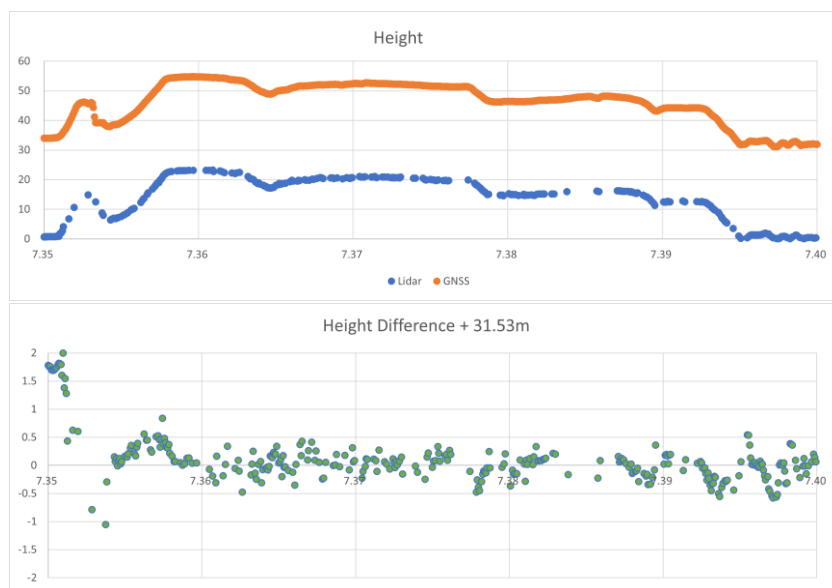


図 1 フライト中のアンテナ高 (赤) と Lidar の距離 (青) の時間変化 (上段) と、両者の差から 31.53m を除いたもの (下段)。横軸は 2022 年 8 月 28 日の GPS 時刻[hour]で、縦軸は高度[m]。

GNSS アンテナと Lidar は、図 1 上段に示すように、ほぼ同じパターンの変動をしていた。両者の差 (図 1 下段) の平均は 31.53m であり、Lidar とアンテナ間の距離が 0.5m だったことを考えると、海面高がほぼ 31.03m の一定値であったことがうかがえる。その平均値の周辺に、数秒程度で振幅が 0.3m 程度の変動が存在しているが、これは波浪のために生じたものだと考えられる。1m を超える大きな差は、ドローンが飛翔を開始する直前の 7.35 時付近にのみ見られるが、これはドローンの離陸前にデッキ上で頭上に保持されていたため、海面よりも 2m 近く高い Lidar の反射面

は、保持者のヘルメットであったと考えられる。

次に、今回の趣旨であるドローンの移動との対応関係を考える。図2は、同観測時のドローンの水平方向と鉛直方向の移動速度である。離陸時と着水時のほか、7:22:30 (7.375) ~ 7:23(7.385)の30秒間に、ゆっくりと右方向に移動した。水平移動速度は一定ではなく、特に7:22:42ごろ(7.378)は水平速度と高度の低下がみられた。これは、一時的にモータの出力が低下したためではないかと考えられ、ドローンの飛行速度は厳密には一定ではないようである。

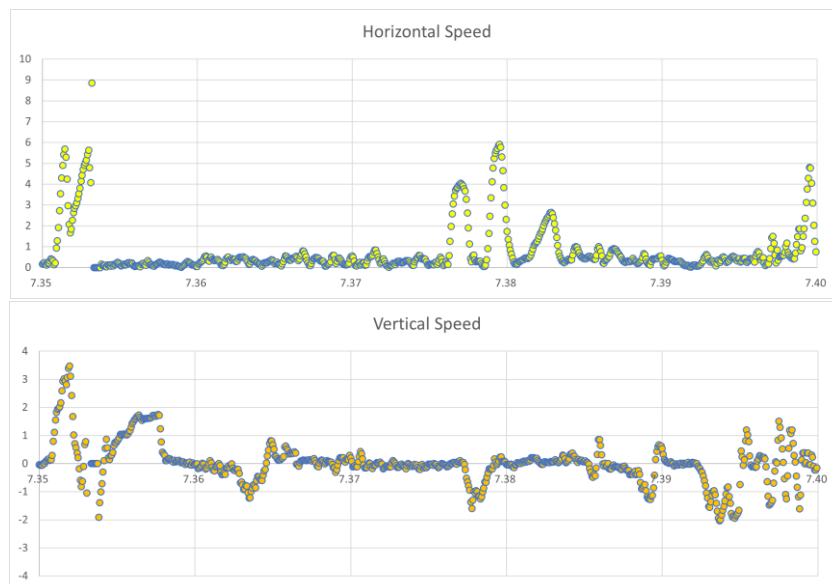


図2 図1の計測時のドローンの水平方向（上段）と鉛直方向（上段）の移動速度。縦軸は速度[m/s]。

この変化と図1下段の高度差の時間変化との対応を見るために、散布図を作成した（図3）。横軸の1.5~2mの点群は、ドローンの離陸前のヘルメットからの反射を示していて、移動速度は水平・鉛直方向ともほぼ0m/sに近い。一方、高度差の絶対値が0.5m以内の部分では、水平と鉛直で大きく様相が異なっていた。水平方向の速度は高度差とほぼ無相関だが、鉛直速度には明確な相関関係があり、約2m/sの上昇速度だと差は0.5mとなっていた。上層速度が w m/s のとき 4Hz サンプリングの 0.25 秒の間にドローンの高度が $0.25w$ m 変化するが、これが図3右図の傾きと一致す

るため、GNSS と Lidar の計測時刻の違いに起因している可能性がある。Lidar は自身が時計を保有しておらず、計測時に GNSS 時刻を受信してマイコンで記録しているが、ここでラグが生じていた可能性が示唆される。そこで、Lidar の時計を 0.25 秒早めて処理したところ (図 4)、鉛直速度に対する依存性は無くなり、ほぼ無相関となった。

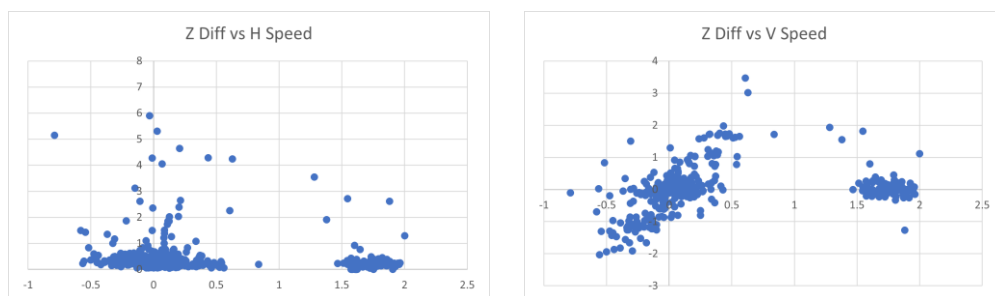


図 3 図 1 下段の高度差を横軸に、図 2 の移動速度を縦軸にした散布図。左が水平方向、右が鉛直方向の速度。

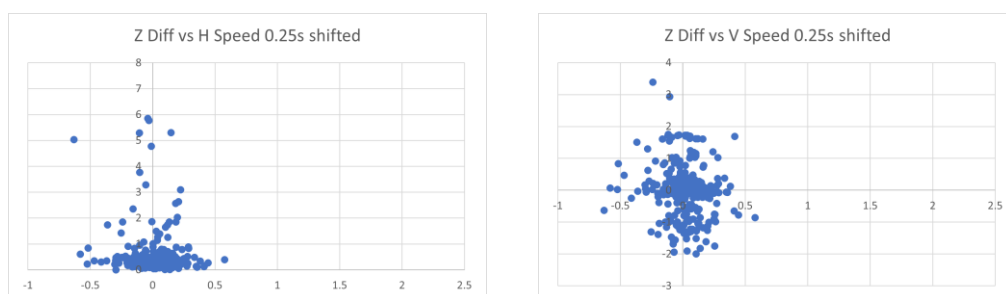


図 4 図 3 と同じ。ただし、Lidar の時刻を 0.25 秒早め、離陸前のデータを省いた。

4. まとめと考察

ドローンが傾いて移動する場合でも、海面高度の計測は可能であった。これは、Lidar が照射する赤外線ビームが太いため、機体が多少傾いていても鉛直方向の照射成分を含んでいて、ドローンまでの最短経路として直下点からの反射が選択されたためだと考えられる。

ただし、ドローンが移動すると、どの時刻での計測かを正確に把握する必要があるため、測器の時計の誤差の影響が無視できなくなることが分か

った。今回の検定により，**Lidar** の計測で記録された時刻が 1 サンプル前の値となっている可能性が示唆された。今後，サンプリング間隔を変化させて，計測時刻への影響の仕方を検証していく予定である。また，ドローンのモータ出力が不安定になる場合があるため，なるべく飛行速度に依存しない計測を行う必要があることも分かった。