

学生プロジェクト活動を通した福岡県における成層圏気球洋上打上実験

須藤路真¹, 矢津秀和¹, 藤井勇人¹, 野村優太¹, 田代和也¹, 松本脩哉¹, 松浦星河¹,
前田恵介², 秋山演亮², 奥平修², 村上幸一³, 和田豊², 森琢磨⁴, 小川秀朗¹

¹九州大学, ²千葉工業大学, ³香川高専, ⁴ASTROCEAN 株式会社

Stratospheric Balloon Experiments in Fukuoka Prefecture at Sea through Student Project Activities

Michimasa Suto, Hidekazu Yazu, Hayato Fujii, Yuta Nomura, Kazuya Tashiro, Yuya Matsumoto,
Seiga Matsuura, Keisuke Maeda, Hiroaki Akiyama, Osamu Okudaira, Yukikazu Murakami, Yutaka Wada,
Takuma Mori, Hideaki Ogawa

1 はじめに

我々は、2021年5月から成層圏気球を通した福岡県の宇宙ビジネス推進プロジェクトに参画し、福岡県で成層圏気球を打ち上げることを決定した。過去、日本国内における海上回収を前提とする成層圏気球の打ち上げは、偏西風の影響を踏まえ、太平洋側の地域で実施するのが主流であった。福岡県は地理的な特性上、地上から放球した場合、陸地に着地する可能性が高く、また空港が近辺にあるため安全性の面で課題があった。

前述の課題から、海上で放球地点を調整することが可能な洋上フロートからの放球を視野に入れ、過去にハイブリッドロケットの洋上打上げ実績のある ASTROCEAN 株式会社の技術協力のもと、フロート上での放球に至った。ただし、近辺の空港や公海を考慮した落下予定区域 (Figure1) にバルーンを着水させるためには、狙った上昇速度、落下速度での飛行を実現させることが不可欠であった。そこで、福岡県の放球実験の前に、気球を安全に打ち上げ、回収するための技術獲得とフライトシミュレーションや上

昇速度・下降速度の見積もり精度検証のため、高知県四万十市の沿岸部で放球実験を実施した。高知県で放球経験を得た後、福岡県の洋上フロートからの放球実験を実施した。洋上フロートからの放球実験では、足場の悪い中でもガス充填や締結作業がスムーズに行えるよう、より綿密なシーケンスの作成や、現地作業を簡素化するための事前準備を行った。本稿では、これらの実験の経緯と実験結果の報告を行う。



Figure1 バルーンの放球可能範囲と落下予定区域

2 高知県放球実験

福岡での実験を想定し、気球を速く上昇させ、下降させるために、上昇速度を 7.0 [m/s] 、下降速度は 8.0 [m/s] に設定した。上昇速度では、観測機器の重量、地表大気圧、地表温度、破裂時膜圧から、必要なヘリウムガスの充填量を算出し、調整を試みた。下降速度では、機体の重量から落下方向の表面積を算出し、パラシュートの設計を行った。初めての放球という事もあり、我々が作成した無線機に加え千葉工業大学製の無線機、既製品の GPS メッセンジャーである SPOT GEN3 の 3 つをペイロードとしてバルーンに載せる形となった。

結果としては、気球は上昇速度 6.88 [m/s] で上昇したのち、高度約 31.9 km で破裂し、下降速度 7.91 [m/s] で降下したことをログで確認した。このことから、上昇速度や下降速度の概ね設計通りに調整できたことが検証され、今回の計算方法は正しかったことがわかった。また実際の飛行経路も Figure2 に示す通り、概ねフライトシミュレーションと同じ軌跡を描いて、落下予測地点から 2km 離れた地点に着水した。当日は、高層流が比較的穏やかであったため、気球は放球地点の近辺を飛行した。また、雲ひとつない晴天であったため、気球が破裂するまでバルーンを目視で確認することができた。観測装置の飛行中及び着水後には、パイロードに搭載した LoRa 通信及び SPOT の通信を確認し、観測装置の回収に成功した。

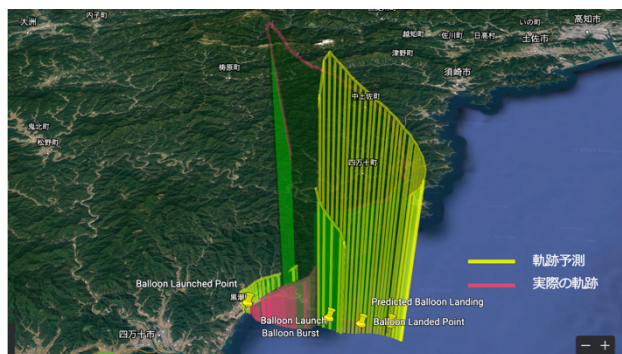


Figure2 シミュレーションと実際の軌跡の比較

3 福岡県放球実験

3-1 洋上フロートの概要

4 m×4 m の大きさのフロートに、作業人員 5 人が搭乗し、ヘリウムガスボンベ等の放球に必要な荷物を積載した。フロート乗組員の安全を考慮して、フロート上には安全柵を設置し、移動の際は曳航する船と 50m の距離を離れた状態で、漁港から 10 km の地点まで 5 ノットの速さでゆっくりと航行した。放球地点到着後の作業は、多少の波・揺れはあったものの作業に支障が出るほどのものではなく、予定通り放球シーケンスを実施することができた。

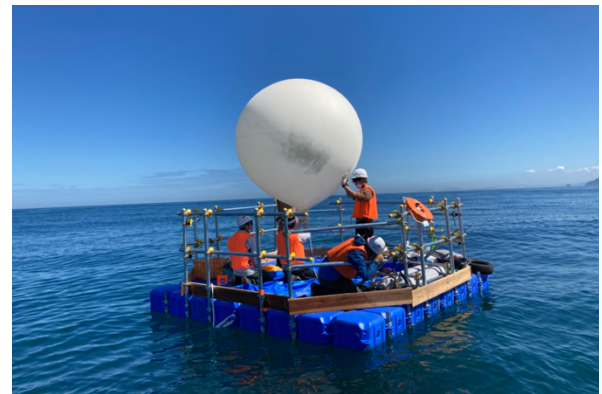


Figure3 洋上フロートでの打ち上げ作業の様子

3-2 搭載計器(ペイロード)の概要

パイロードでは、長距離通信システムの実装、成層圏での映像撮影をミッションとして設定した。長距離通信システムの通信モジュールは、920 MHz 帯の LoRa 規格である、RF Link 社の RM92A を採用した。ダウンリンクの内容は、パイロードの位置座標、高度、気圧、パイロード内の気温、ミッション時間である。成層圏映像撮影では、マイクロコントローラ(以下、マイコン)に Raspberry Pi Zero、カメラモジュールに Raspberry Pi Camera Module v2 を使用した。既製品のカメラではなく、マイコンとカメラモジュールを採用した理由は、指定した高度での撮影開始及び停止を可能とし、バッテリーの消耗を抑えることが目的であったからである。ただ

し、開発状況の兼ね合いから、バッテリー容量を増やすことで、常時撮影への変更に至った。また、冗長性を高めるため、追加装備として既製品のアクションカメラを2台搭載した。

3-3 福岡放球実験の結果

上昇速度 6.06 [m/s], 高度約 32.6 km で破裂し、下降速度 9.76 [m/s]で降下した。長距離通信システムでは、ダウンリンクにデータ落ちは見られず、各種データをモニタすることができた。しかし、上空 11.1 km に達した段階で GPS モジュールによる座標と高度を示す値が更新されなくなってしまった。これは GPS モジュールに設定されている高度制限によるものと考えられる^[1]。Figure4 に示すように上昇途中でデータ更新が止まっており、気球が下降し、再び上空 11.1 km 付近に戻った段階で GPS のデータが復帰していることがわかる。復帰後、得られた座標を手がかりに海上での回収に成功した。なお、高知、福岡での到達最高高度は標準大気表^[3]に従い見積もった。

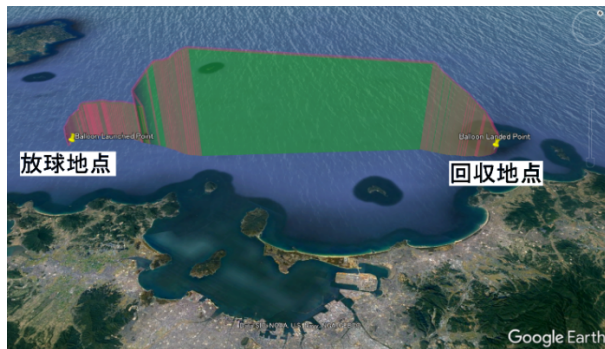


Figure 4 GPS データによる飛行経路

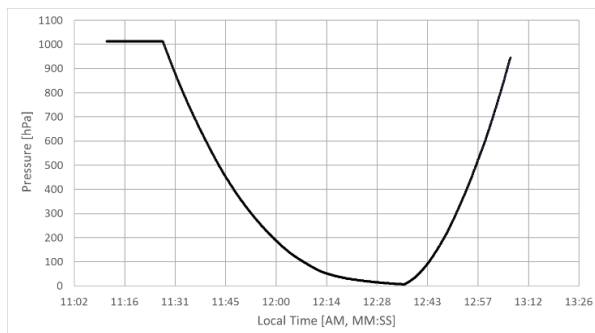


Figure 5 気圧センサによる気圧データ

映像撮影については、放球直前に Raspberry Pi がシャットダウンする事態が発生し、成層圏での撮影は叶わなかった。原因としては、CPU の熱暴走が考えられる。Figure6 にペイロード内の気温を示す。ペイロード内の気温は実験中 30-55 °Cの範囲であったことがわかる。したがって CPU 自体の温度はより高い温度に達しており、このことが Raspberry Pi のシャットダウンにつながったと考えられる。一方、冗長化のため搭載した既製品のアクションカメラでは問題なく撮影できていた。

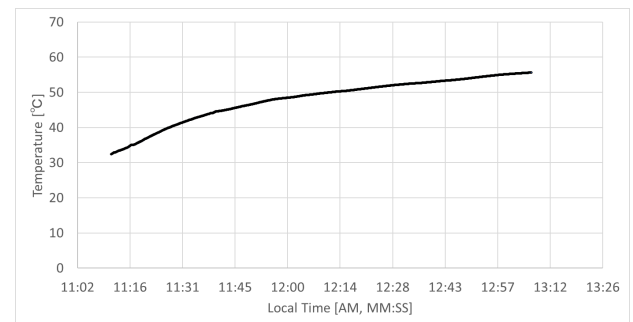


Figure 6 ペイロード内の気温推移

4 課題と今後の開発

今回、GPS モジュールが高度制限によりロックされたため、一時的に位置、高度を取得することができなかった。高度制限のロックが解除されているモジュールの導入あるいは、気圧と外気温による高度推定を行いたい。成層圏映像撮影では、CPU の熱暴走を防ぐため、ペイロード内の温度を一定に保つ冷却システムを導入する必要がある。今後の開発では、以上の課題を改良しつつ新たなミッションを採用したい。通信データ量を増やし、上空で撮影した画像ファイルをリアルタイムで地上へ送信するシステムの構築や、成層圏での、ロボットアームを使った実験装置の操作などを考えている。さらに、撮影時に姿勢を維持するために、ジャイロセンサや加速度センサによる計測を行い、姿勢制御を

行いたいと考えている。

5 まとめ

前田氏をはじめとした専門家の指導のもと、高知県と福岡県の二度の実験を実施したことにより、我々は安全に、そして確実にバルーンを打ち上げるためのノウハウを会得することができた。

福岡の実験では、乗組員の安全に配慮しながら、洋上フロートからの成層圏気球の打ち上げと回収に成功した。しかし、GPS モジュールの高度ロックや熱暴走によるラズパイカメラの撮影失敗などの課題も露呈した。今後はそれらの課題を解決しつつ、ジャイロセンサによる姿勢制御などの新たなミッションにも挑戦していくつもりだ。

6 謝辞

本実験に際して、福岡青年会議所を始め、海上での放球に協力して下さった糸島漁協組合や宗方漁協組合など、様々な方々のご協力のおかげで実施できた。関係機関・関係者の皆様にはこの場を借りて心より御礼申し上げたい。

7 参考文献

- [1] Ravtrack, COCOM GPS TRACKING LIMITS, <http://ravtrack.com/GPSTracking/cocom-gps-tracking-limits/>, 2021/10/23 アクセス
- [2] Cambridge University Spaceflight Landing Predictor, <http://predict.habhub.org/>
- [3] JIS W 0201:1990, “標準大気”