

小型気球用テレメータと大気球による雷放電音波・電磁波計測の提案

高知工科大学 システム工学群 山本 真行、河野 紘基、木原 大城、
池原 光介、山崎 博之、柿並 義宏
富山県立大学 工学部 石坂 圭吾
北海道大学 大学院理学研究院 佐藤 光輝、高橋 幸弘

小型気球用テレメータ装置(MTM)の試作

現在、高知工科大学では、小型テレメータ装置の開発を学生実験テーマとして実施中である。これは市販の係留アドバルーン程度の小型バルーンを用いた気球実験の提案を可能とするものである。大学研究室レベルで、このような気球観測は国内ではほとんど実施されていないが、低コストで小型テレメータ装置が搭載できれば、高度20 km程度までの回収を意図しない気球観測で比較的気象条件の悪い環境下で高頻度を実施したい理学観測提案に道を開く可能性があり、単に学生実験のテーマとして閉じることなく、その開発意義は十分にあると考えている。

現在試作中の小型テレメータ装置MTMは、市販のAVRマイコンを用いたデータ収録部分と、アマチュア無線帯を用いたテレメータ送信機部分からなる。現状の試作装置ではアップリンクは想定しておらず、省電力で1200～9600 bps程度のビットレートでのダウンリンクを試みてきた。係留気球による実験を高知工科大学敷地内で複数回実施しており、2014年度をターゲットとし、実際の飛揚

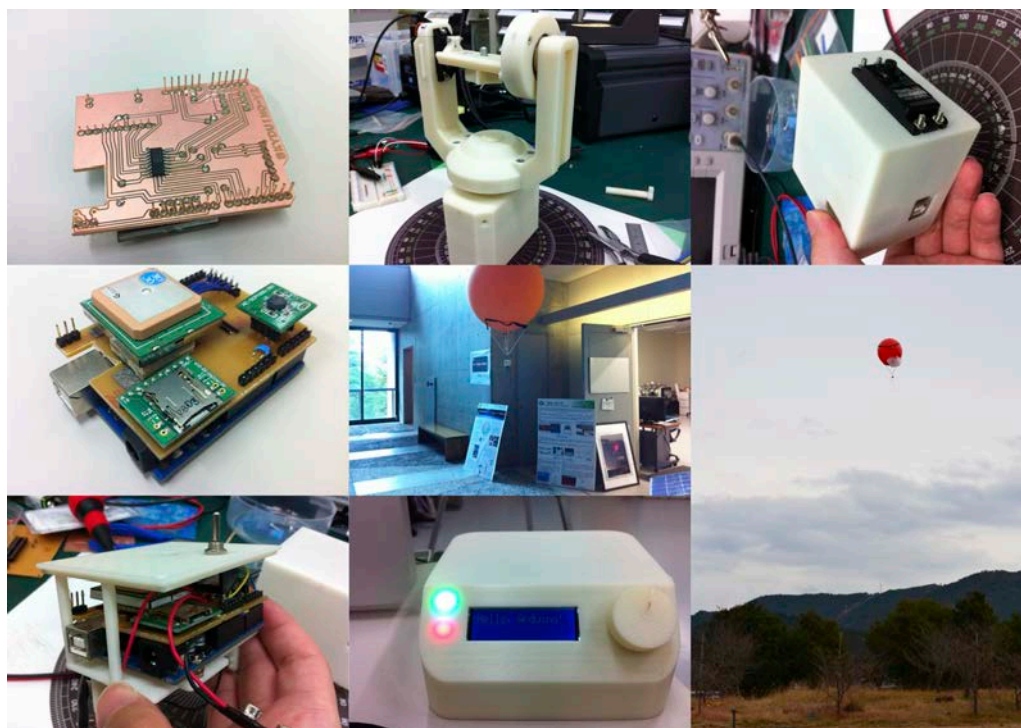


図1 係留気球による通信実験の様子(高知工科大学にて)

試験までに搭載機器としての環境試験等のクリアを含めた性能を得る実験を進める予定である。

MTM単体としては質量2 kg程度、大きさ0.1 m立方以内を想定している。将来的には、大気球ではなく、独立した小型気球に搭載し高頻度の気球実験を実施することを想定し、電源も搭載1次電池より自己供給したい。小型テレメータ装置MTMは、近い将来の大学研究室レベルでの小型高層気球による成層圏における科学観測に向け学生主体で開発中である。低コスト・高頻度・多地点での気球利用に道を開くと期待され、人材育成の観点からも重要である。

音波伝搬特性プロファイル計測の提案

将来の小型高層気球の利用を想定した小型テレメータ装置 (MTM) の飛揚・通信実験として、ここでは、搭載マイク・スピーカーによる音波伝搬減衰率の高度プロファイル取得を目的とした実験を提案したい。具体的にはMTMの伝送性能試験として、大気球実験を利用して高信頼性かつ高ビットレートのテレメータ装置が利用可能であれば、比較的低いビットレートのMTMと併用して比較実験を実施したい。受信データの確認の例としては、上空で計測した音波波形の一部を保存しておき、時間をかけて伝送することで、大気球側のテレメータによる連続データのうちの一部分について回答あわせができる状況を実現し、通信試験を実施することを提案する。

2012年8月に内之浦にて実施したS-310-41号ロケット実験では、小型スピーカーと複数台のマイク、絶対圧力計から成る音波伝搬特性計測装置(PDI)を搭載した。小型スピーカーにより、搭載回路が出力する特定周波数の音波波形を適宜送出し、一定距離はなしたスピーカー・マイク間における音波波形振幅の減衰率を計測することで、ロケット・モーター燃焼音が消える高度35 km付近から上空150 kmの最高高度地点に至る高度範囲における音波伝搬特性プロファイルの取得に成功した。本提案では、MTMが送信する波形情報として、PDIメインマイクによる音波波形を用い、大気球側のテレメータ伝送情報と照合してMTM装置の通信実験を実施する。また、気球到達最高高度までの音波伝搬特性を取得できれば、S-310-41号観測ロケットで得られた実測と繋げ、地上から上空150 kmまでの高度プロファイルの取得が実現する。



図2 S-310-41号観測ロケット搭載PDI (2012年8月実施)

2012年8月の同ロケット実験ではPDIは正常動作したが、観測ロケットにおいては打上後約35秒

間のモーター燃焼中の音響特性は最悪条件であり、モーター燃焼音によるノイズにかき消されて実質的な観測はできなかった。このため、高度35 km以下の音波減衰率のin-situな計測は実現できていない。したがって本提案では、大気球にPDI同等品を搭載し高度35 km付近までの音波計測を実測する計画である。

内之浦でのロケット実験では、地上に設置した大型スピーカーから大音量の音波(周波数100 Hz程度、出力120dB)を送出し、同ロケット搭載PDIで計測して、地上ーロケット間の音波減衰率を定量する試みも実施したが、これもロケット・モーターの音響ノイズに阻まれ検出できなかった。静穏な飛揚環境が期待される気球上にてこれを実現したい。費用面で問題がなければ、PDIでも搭載した絶対圧計測センサ(図2右端の機器=地上でのインフラサウンド計測に利用)も搭載したい。これにより、マイクによる音波検出よりも高精度で地上からの自然微気圧波の到来を模擬した音波到来が検出可能となり、理学的意義が高まる。

PDIは、マイクと受信機からなるが、少なくともマイクは外気に接している必要がある。マイクを複数台搭載し差分を見れば到来方向推定が可能となるため、大気球実験では可能な限り距離を離れた4隅に設置するなどして、実験を実施できれば雷鳴の分布などの理学データが得られると期待される。音波計測器は、観測ロケット搭載装置PDIとしてS-310-41号機にて実証済みであり、このヘリテージを用いて簡潔な搭載装置を製作する。

現在までの準備状況と計画の進め方

上述のように、学生製作の機器による研究室レベルでの小型気球による実験(係留のため最高高度は200 m程度)や、JAXA観測ロケットS-310-41号機を用いたロケット搭載機器の飛翔試験を既に終えている。小型チェンバー内での実験を行うための真空・温度試験装置も学内に保有しており、実施環境もほぼ整っている。振動衝撃試験等は高知県工業技術センターにて実施可能である。PDIロケット搭載品では、これらの環境試験はすべて高知県内にて実施できた。

MTMは学生実験(卒業研究・修士論文)課題として進めているものであり、必ずしも完成品に至っている状況ではないが、現状の準備状況(図1参照)を勘案すれば1年程度の準備期間があれば小型気球搭載は可能と推察される。ただし電波送信機器であるため、アマチュア無線帯(430 MHz帯のハンディ無線機を想定)を用いるとしても、大気球への相乗り搭載を考慮する場合は、他の搭載機器への電磁干渉(EMI)評価等が必須である。近隣の工業試験場の電波暗室施設や、実験室内に組み立て可能な簡易電波暗箱を用いて、MTM装置自体のEMI特性の把握を進める予定である。送信電力は、0.5 W内外となる見込みであり、気球側からは指向性の強くないアンテナで放射し、地上局では複数素子のクロス八木アンテナ等で指向性を確保して、自作ローテーター等を用いて追尾する。追尾用のデータは、MTM搭載のGPS計測値の履歴を用いる。

音波伝搬計測装置PDIは、予算規模に依存するが、マイク・スピーカー等は市販品を用いることができ、絶対圧センサは米国製の水晶振動式で、約70万円で入手可能である。予算に余裕のない場合は、絶対圧計を搭載せずにPDIを製作すれば、学生実験程度の試作品と同等の資金のみでも自作可能である。もしメーカーに依頼する製作費があれば、ロケット搭載品の同等品は設計済であり、短期間に製作できる。

PDI は、S-310-41 号観測ロケットに搭載実績があり、0.3 m 立方程度の包絡域以内に収めることが可能である。マイクとエレキ部分では 0.2 m 立方程度まで小型化可能であるが、一部のマイクについて距離を確保して搭載したいため 1 辺を 0.4 m としたが、相乗り搭載の提案であるため、隙間に搭載できるようフレキシブルに対応したい。

雷放電の音波・電磁波を融合した計測の提案

電磁波計測装置は、北海道大学ならびに富山県立大学の共同研究者らが開発してきた計測機器である。電磁波計測を上述の音波計測と併用すれば、それぞれの伝搬速度(光速と音速)を活用した高精度なリモートセンシングが可能となると期待され、今後、共同し開発を実施していく。

雷放電による電磁波観測の周波数帯域は、音波帯域に近く、両者の受信機部分を共通化することも可能である。気球観測の提案では必ずしも超小型装置にする必要性はないが、ワンチップでの受信機の基礎開発も京都大学・生存圏研究所(e.g. 石井他, 2012)において実施されており、近い将来には超小型受信機も実現可能である。既存のフィルタ回路やアンプ回路を用いれば、新規開発要素はほとんど存在せず、開発費に依存して簡易的な自作観測装置から、メーカー発注する衛星搭載レベルの機器まで製作が可能である。

まとめ

本提案では、アマチュア無線帯を利用した独自テレメータ装置 MTM を製作して、高度 30 km から地上局までの低ビットレート通信の確立を目標とする。大気球実験では、搭載テレメータ装置による伝送データの一部を、MTM による取得データと比較する。音波伝搬特性計測装置(PDI)を搭載し、音波データをマイク・受信機を用いて取得する。内之浦において S-310-41 号ロケット実験の際にも実施した地上-飛翔体間の直接音波伝搬の計測を大気球でも試みるため、周波数 50~150 Hz、120 dB 程度の大音量の音波を地上設置スピーカーから送出し、上空で減衰率を実測する。予算面で余裕があれば、地上インフラサウンド観測にて活躍中の絶対圧式圧力センサを搭載し、音波到来による差圧変動の振幅絶対値についての精密計測を行い、伝搬エネルギーを推定する。

電磁波・音波の併用観測では、衛星等での搭載実績のあるアンテナならびに受信機回路を用いた電磁波計測部を製作し、同時搭載することで、例えば雷放電による電磁波と、衝撃波起因の音波を同時計測することが可能となる。光速と音速は大きく異なるため、両者が検出される数 10 km 程度の範囲内の現象であれば、雷放電の分布を精密計測することができる。これらの計測実験は、近い将来に火星着陸機・ローバー搭載の火星大気中の放電探索実験に応用することを念頭に入れ、開発を継続する計画である。

参考文献：

石井宏宗, 福原始, 小嶋浩嗣, 山川宏, 較正機能を有するプリアンプ一体型小型プラズマ波動波形捕捉受信機の開発, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 132 回講演会, 2012.