

放射観測ラジオゾンデ用薄膜放射フラックスセンサーの検証 (B14-01ピギー)

○山田昇 (長岡技科大) 吉田貴則 (長岡技科大)
岡島淳之介 (東北大流体研) 円山重直 (東北大流体研)

1. はじめに

大気放射フラックスとは、大気各層における上向き (地球→宇宙) および下向き (宇宙→地球) の放射エネルギー流束密度 (W/m^2) であり、地球大気の加熱冷却、すなわち地球温暖化に直接的に影響する重要な量である。この大気放射フラックスの空間分布、とくに鉛直分布は地球大気の放射収支メカニズムや変動を研究する上で必要不可欠な情報となっている。しかし、大気放射フラックスの鉛直分布の「その場」観測報告はほとんど実施されていない。航空機や大型繫留気球による観測^[1-2]が報告されているが、高コストであること、運用が複雑であることから継続的な観測には至っていない。一方、比較的小型のラジオゾンデを用いる手法は、上記の手法よりも精度は低いが、低コストであるために散発的に観測が行われてきた^[3-6]。最近では日射計と赤外放射計を搭載したラジオゾンデを用いた観測報告がある^[7-9]。これらに用いられる日射計と赤外放射計は地上観測用であるため時定数は10s前後と遅く、温度応答に対して慎重な校正が必要である。また、これらの機器は高価なために継続的な観測にあまり適さない。

そこで著者らは、薄膜放射フラックスセンサ (以下、放射センサ) を用いた放射観測ラジオゾンデ (以下、放射ゾンデ) を開発した。このセンサは応答性が高く、且つ、比較的安価なため使い捨てできる。また、従来放射計より格段に軽量である。これまでに数回の飛揚テストを行い、実際に観測値を取得している。しかし、実用化のためには従来手法との比較検証が必要である。以下に放射ゾンデの概要と飛揚テスト結果の一部を紹介するとともに、大気球実験で従来手法との比較検証を行った結果を報告する。

2. 放射観測ラジオゾンデ とテスト飛揚結果

図1に放射ゾンデの概要を示す。放射センサ表面は帯状の薄い吸熱板 (放射率が相対的に大きい) と反射板 (放射率が相対的に小さい) で交互に覆われており、原理的に放射流束のみが熱電対の接点にエネルギー差を発生させる構造になっており、センサ温度が変化しても感度は一定で、対流および伝導の影響を受けず、放射流束のみを高精度に電圧出力できる。センサの応答速度は約50ms、使用温度範囲は $-200 \sim 250^\circ\text{C}$ である。このセンサをラジオゾンデRS-06G (明星電気(株)) をベースに改造したゾンデの上下面に両面テープに固定し、小型ゴム気球に約15mの糸でぶら下げて飛揚させた。気温、相対湿度、放射流束センサ電圧、位置情報、風向風速などの観測値が1s毎に地上の受信機で収集される。なお、上面のセンサ面からバルーンへの形態係数は小さく無視できる。

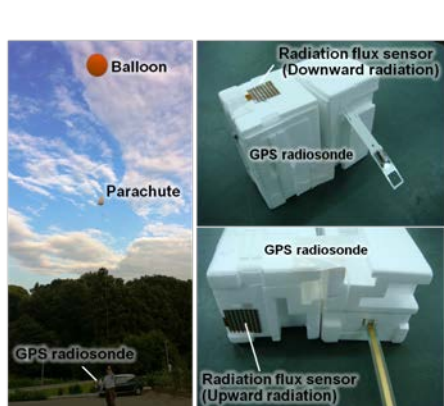


図1 放射センサを搭載した小型ラジオゾンデ

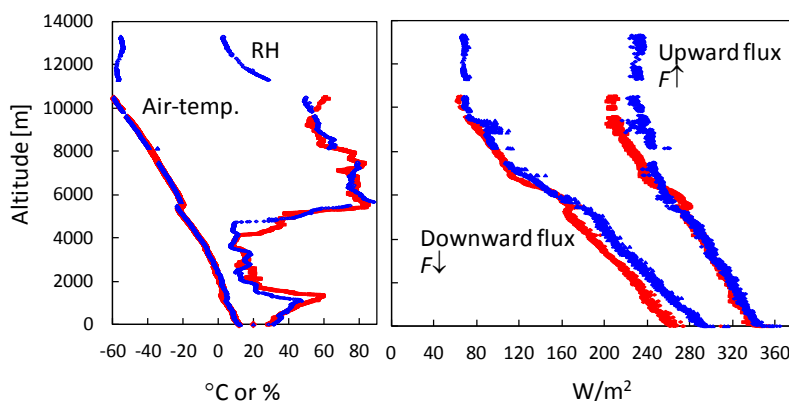


図2 気温、相対湿度、放射フラックス (青: sonde#1, 赤: sonde#2)

2012年4月12日に本ゾンデのテスト観測を実施した。飛揚地点は仙台市青葉区片平の東北大学流体科学研究所1号館屋上（地上約25m）とし、日没後の18:48JSTに1台目のゾンデ (Sonde #1) を打ち上げ、次いで19:21JSTに2台目 (Sonde #2) を打ち上げた。図2に観測で得られた気温、相対湿度、上向き/下向き大気放射フラックスを示す。2台のゾンデによる結果は良く一致している。また、各量の分布傾向は過去の文献等で報告されている観測結果とも整合する。

4. 大気球実験の概要および結果

放射ゾンデを早期実用化するために従来手法との比較、高層でのセンサ表面への着氷の有無等を検証した。機器類が重くなるため通常の小型気球では実施困難である。本実験はH25年度の気球実験B13-02へのピギーバック搭載に採用されたが、飛翔中止となり、H26年度の気球実験B14-01で再びピギーバック搭載された。図4に実験装置の概要を示す。観測機器ゴンドラの側面にセンサユニットを取り付け、ゴンドラ内部の圧力容器に格納されたデータロガーとバッテリーにケーブル接続してある。センサユニットには、薄膜放射センサと従来型放射計を下向きに並列に設置し、ゴンドラ側からの放射を遮断するために高反射ミラーを背面に設置した。また、飛翔中のセンサ面の様子を観察するためのデジタルカメラ（インターバル撮影）と温湿度センサも設置した。加えて、各部位における温度を熱電対、白金測温抵抗体で取得した。図5に示すように全センサの値を得ることに成功した。現在、詳細を解析中である。

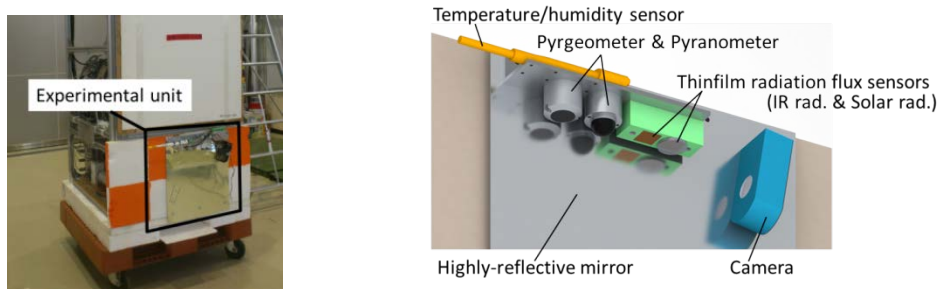


図4 観測機器ゴンドラ側面に取り付けたセンサユニット(左)およびセンサユニット構成図(右)

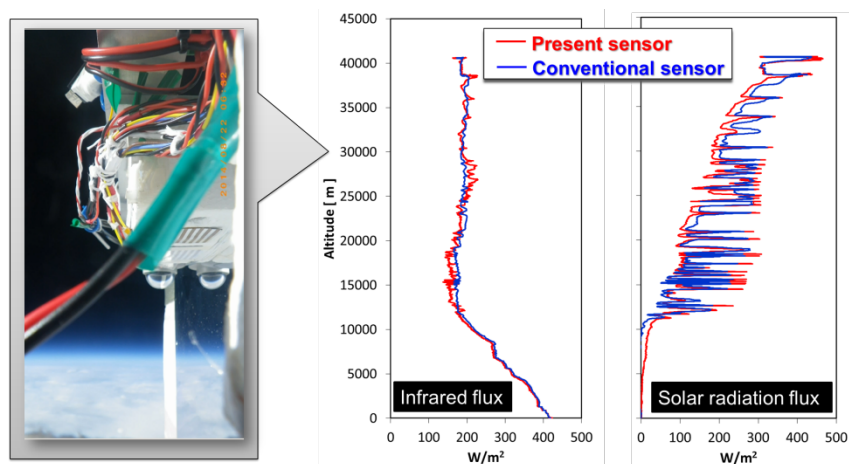


図5 B14-01ピギー実験結果：上空での写真（左），赤外放射（中），日射（右）

謝辞

本実験にあたり、JAXAの梯友哉様、莊司泰弘様をはじめ多くの皆様のご協力をいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- [1] S.A. Ackerman, S.K. Cox, J. Atmos. Sci., 44(1987), 3052-3078.
- [2] J.M. Alzheimer et al., Preprints 8th Symp. on Meteorological Observations and Instrumentation. (17-22 Jan. 1993, Anaheim, CA), 175-180.
- [3] V.E. Suomi, P.M. Khun, Tellus, 1(1958), 160-163.
- [4] P.M. Khun, D.R. Johnson, J. Geophys. Res., 71(1966), 367-373.
- [5] K. Sekihara, Papers Meteorol. Geophys., 26(1975), 93-110.
- [6] M. Miyauchi, N. Ohkawara, Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol., 6(1992), 53-70.
- [7] S. Asano, Y. Yoshida, Journal of the Meteorological Society of Japan, 82-2(2004), pp.623-637.
- [8] Y. Yoshida, S. Asano, Journal of the Meteorological Society of Japan, 82-2(2004), 639-656.
- [9] Rolf Philippona, Geophysical Research Letters, 39(2012), L13806.