

高精度水蒸気ゾンデおよび雲ゾンデの開発

杉立卓治・新井徹・藤原正智（北大院環境）

清水健作（明星電気株式会社）、井端一雅・金井良之（アズビル株式会社）

奥村聡（神栄株式会社）、相良一生・林真由美（神栄テクノロジー株式会社）

1. はじめに

水蒸気は、日々の天気・降雨や雲の形成に関わるだけでなく、上部対流圏や成層圏においては地球の放射エネルギー収支、オゾン光化学等に主要な役割を果たす。近年、地球温暖化問題への関心が深まり、気候監視の面から上部対流圏・成層圏の水蒸気観測が重要視されるようになってきた。しかし、その測定技術は満足な状態にあるとは言えない。そこで本研究では、地上から下部成層圏までの水蒸気濃度を高精度に測定できるラジオゾンデ用の鏡面冷却式露点計を開発する。

また、大気中の水蒸気は液相・個相である雲粒子として存在する。雲粒子は水蒸気濃度に影響するだけでなく、それ自体が放射収支への寄与、潜熱輸送等に関与し、気候システムにおいて重要な役割を果たす。しかし、雲の微物理量を測定するためには高価な機器を必要とするため、これまで定常的な雲の“その場”観測は実施されてこなかった。本研究では、高精度水蒸気ゾンデと合わせて飛揚できる、雲の微物理量を測定可能な小型で安価な雲ゾンデの開発にも取り組む。

2. 装置概要

(1) 高精度水蒸気ゾンデ

鏡面冷却式露点計は、熱力学原理に基づいた高精度な水蒸気測定が可能である。大気に晒した小さな鏡を冷却すると、鏡面の温度が露点（霜点）温度に達し、鏡面上に露（霜）が結ばれる。鏡面上に露（霜）がうっすらと付き、その量に変化

しない状態を保つように冷却強度を常時調整する時、鏡の温度は大気の露点（霜点）温度とみなされる。本研究では、主に工業用として使用されている鏡面冷却式露点計 **FINEDEW™**（アズビル株式会社）をラジオゾンデ用に改造する。従来、上部対流圏成層圏の水蒸気観測に用いられてきた冷媒冷却方式の鏡面冷却式露点計では、鏡を冷却するために強力な温室効果ガスであるトリフルオロメタンを冷媒として用いる必要があった。**FINEDEW™** はペルチェ素子により鏡を冷却する鏡面冷却式露点計である。

FINEDEW™ をラジオゾンデ用として用いるための主な改造内容は、(a)軽量化したハードウェアの製作、(b)ソフトウェアの製作、(c)鏡面冷却の制御（PID制御）パラメータの設定、(d)装置構成（通風筒）の検討、である。これらの改造を行ったうえで、気圧温度槽を用いた仮想高層大気での動作確認と日本およびインドネシアでの飛揚試験を実施した。

(2) 雲ゾンデ

花粉センサ「PS2」（神栄テクノロジー株式会社）は、大気中に浮遊する花粉を測定するために開発されたセンサであり、粒子を光学的に検知するものである。このセンサは、空中の浮遊粒子の大きさに依存する散乱光強度、形状に依存する偏光度、数密度に対応する1秒間あたりのカウント数を得ることができる。水滴および氷晶に対するPの出力と粒径との対応、偏光度と形状との対応関係、及び測定空気の流量を把握することができれば、雲粒子の粒径、形状、数密度を測定する

ことが可能となる。超音波加湿器や霧吹きの水滴を利用し、センサ出力と顕微鏡によって確認した水滴の大きさとの対応、低温室内で作り出した氷晶に対する偏光度、などを確かめ、その後、ラジオゾンデに接続して国内外で飛揚試験を実施した。

3. 飛揚試験の結果

図1は高精度水蒸気ゾンデのインドネシアでの飛揚試験の結果である。地表から対流圏中層では、気温 -40°C 以上の測定が信頼できるRS-06G相対湿度計と比較すると $\pm 5\% \text{RH}$ 以内でよく一致した。対流圏界面以上では、散乱光強度と鏡面温度に振動が生じた。この振動は、測定の時定数を早めるためPID制御の感度をやや大きすぎる設定して試験を行ったため生じたもので、真値付近を中心として振動していると考えられる。高度 25km 以上では冷却限界となり、鏡面温度が上昇している様子が確認できる。

図2は、雲ゾンデのインドネシアでの飛揚試験の結果である。高度 $5\text{ km} \sim 9\text{ km}$ 付近と高度 $12\text{ km} \sim 17\text{ km}$ 付近で雲粒子に対応した出力が確認できる。また、水雲(高度 5.3 km)に対する偏光度は1付近に集中し、それ以外の氷雲と思われる雲に対する偏光度は1以外にも広く分布を示すことが分かり、水雲と氷雲の判別が可能であることが確かめられた。

4. まとめ

開発した高精度水蒸気ゾンデは地表から下部成層圏の水蒸気の高精度に測定できる可能性があること、および、花粉センサを利用した雲ゾンデは雲の検出が可能であることが確かめられた。

謝辞：文部科学省科学研究費若手(B)22740306 および宇宙航空研究開発機構宇宙理学委員会「搭載機器基礎開発実験費」より研究資金を得た。

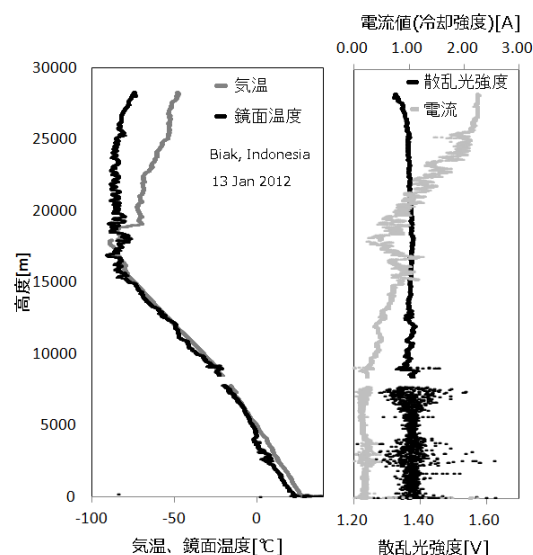


図1：高精度水蒸気ゾンデによる観測結果。2012年1月13日、インドネシアBiakでの飛揚試験。地表～高度 30 km における気温と鏡面温度(左)、散乱光強度と電流(右)を示す。

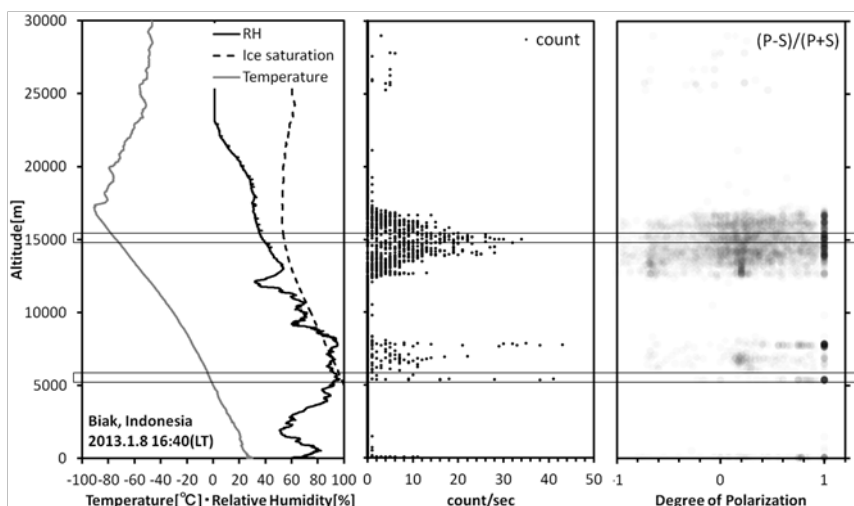


図2：インドネシアBiak島における観測結果。気温・相対湿度・氷飽和湿度(左)、1秒間あたりのカウント数(中)、偏光度(右)の高度分布を示す。高度 $12\text{ km} \sim 17\text{ km}$ 付近は氷雲、高度 5 km 付近は水雲と判別できる。