



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Studies on the tropospheric and stratospheric water vapor measurements for climate monitoring [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	杉立, 卓治
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第11343号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55415
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Takuji_Sugidachi_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

地球圏科学専攻：博士（環境科学）

氏 名 杉 立 卓 治

審査委員	主査	准教授	藤 原 正 智
	副査	教 授	藤 吉 康 志
	副査	教 授	長谷部 文 雄
	副査	チームリーダー	米山 邦夫（海洋研究開発機構）

学 位 論 文 題 名

Studies on the tropospheric and stratospheric water vapor measurements for climate monitoring

（気候監視のための対流圏・成層圏水蒸気測定に関する研究）

水蒸気は、対流圏では日々の天気や大気現象に関わり、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、雲物理、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が重要視されるようになり、水蒸気の高精度な観測が必要とされている。

対流圏下層の水蒸気は、1940年代から主に天気予報のためのデータ収集としてラジオゾンデに搭載された相対湿度計により観測されてきた。しかし、多くのラジオゾンデ用相対湿度計は様々な要因によって大きな測定の不確かさを伴うため、気候変動に伴う僅かな変動を検出することは困難とされてきた。本研究では、日本の高層気象観測で広く利用された明星電気製ラジオゾンデの相対湿度計について、恒温槽と風洞装置を用いた室内実験にて測定の不確かさの再評価を実施した。RS-06Gラジオゾンデによる湿度測定には、気温0℃で不連続となる温度補正式の適用により、気温0℃高度で相対湿度3%程度の不連続な変化が生じていたことが明らかになった。このため、室内実験結果をもとに新たな温度補正式を開発・提案した。さらに、開発した温度補正式を明星電気製ラジオゾンデが使用された2000年代の高層気象観測のデータに適用しその影響を調べた。センサの更新時期などが記述されたメタデータを入手できた札幌と館野における時系列を調べた結果、従来の温度補正式が適用され始めた2003年2月1日を境に時系列に不連続な変化が生じており、2000年代の相対湿度は見掛けの大きな減少傾向を示すことがわかった。新たな温度補正式を対象のラジオゾンデが使用された全期間に適用することで大きな減少傾向が解消されることが明らかとなった。

上部対流圏および成層圏の水蒸気は非常に低濃度でラジオゾンデに搭載された通常の相対湿度計では測定することができないため、特殊な水蒸気計が必要とされる。1940年代Brewerらによる航空機用露点湿度計の開発以降、多くの研究機関で気球や航空機に搭載するための成層圏用水蒸気計が開発された。現在、気球搭載用としては冷媒を用いた鏡面冷却式露点計が主流となっているが、冷媒とし

て用いるトリフルオロメタンは強力な温室効果を持ち、観測の度に大気中に放出されてしまうことが問題視されている。一方、冷媒を必要としないペルチェ素子による冷却を用いた鏡面冷却式露点計としてSnow Whiteがあるが、成層圏では測定不能であり、その原因さえ特定できない状況であった。本研究では、環境負荷の少ないペルチェ冷却方式の鏡面冷却式露点計を新たに開発した。Azbil株式会社により開発された工業用途の鏡面冷却式露点計FINEDEWを参考にし、高層気象観測用にするため、放熱効率を向上させ軽量化したセンサおよび電池のみで動作可能な軽量化した制御・通信基板を設計、製作した。鏡面冷却露点計では鏡面の露・霜を平衡状態に維持するための精密な鏡面温度の制御が必要とされる。開発機器はマイコンを用いたデジタル方式のため、Snow Whiteでは成し得なかった詳細な制御の設定や制御アルゴリズムを組み込むことが可能である。高層大気を再現したチャンバー内で様々な室内実験を繰り返し、高層気象観測に適した制御設定やアルゴリズムを作成した。国内外で飛揚試験を実施した結果、開発機器は冷媒を用いず下部成層圏まで測定する能力があることが確かめられた。しかし、成層圏内では制御パラメータの調整不足により鏡面上の霜を安定に平衡状態に保つことができず、鏡面温度に振動が生じ安定した測定には至らなかった。冷媒冷却方式の鏡面冷却式露点計との同時測定では、両者の測定は対流圏において非常に良い一致を示した。

露点測定方式の水蒸気計は、測定空気に触れた鏡面を冷却し鏡面上に形成された露および霜を平衡状態に保ち鏡面温度を露点に維持することで大気露点を測定するものである。熱力学原理に基づいているため高精度な測定が可能と考えられているが、様々な測定の不確かさを伴うことが知られている。その主な要因として、鏡面上の霜を平衡状態に保つための制御（PID制御）の安定性や、低温域での水蒸気量減少によって霜が平衡状態に達するまでの要する時間の遅れによる応答性の遅れなどが挙げられる。開発した鏡面冷却式露点計について、光学顕微鏡を用いて鏡面の霜の状態とその変動の様子をマイクロレベルで観察し、霜の成長および蒸発速度による応答性への影響について調べた。気温0℃～-60℃までの環境における観察の結果、各気温で鏡面の状態が異なり低温ほど小さな氷晶が多数形成されることがわかった。霜の成長速度は粒径にも強く依存するため、鏡面冷却式露点計における応答性および安定性は、周囲の環境（主に水蒸気濃度）及び鏡面冷却のためのPID制御パラメータに加え、鏡面上の霜の粒径の影響を強く受けていることが示唆される。これらの結果を踏まえ、鏡面冷却式露点計における測定の不確かさについて議論した。

以上、本研究では気候監視のための対流圏・成層圏水蒸気測定の実現を目標に、現業用ラジオゾンデ搭載センサの補正式の考案とその気候データへの影響調査、および、環境負荷の少ない気球搭載用の鏡面冷却式露点計の開発、評価、問題点の整理をおこなった。

審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士（環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。