

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18740295

研究課題名（和文） 大気レーダーを中心とした複合的水蒸気推定手法の実用化

研究課題名（英文） Development of practical humidity estimation method from the atmosphere radar and other complementary data

研究代表者

古本 淳一 (FURUMOTO JUN-ICHI)

京都大学・生存圏研究所・特定助教

研究者番号：10402934

研究成果の概要：

今まで申請代表者が開発を進めてきた大気レーダーを用いた水蒸気推定法を発展させ、実際の気象予報モデルに同化することで予報精度向上を目指す基礎技術の技術開発を行うことを目的とした。

数値予報モデルのデータ同化手法である変分法に着目し、大気レーダーを用いた水蒸気推定手法に変分法を組み込むようにアルゴリズム改良を行った。さらに、従来のラジオゾンデ観測の時間補間値に代わって気象予報モデルの予報値を第一推定値とする新しいアルゴリズムを開発し、ラジオゾンデなしで推定を行う手法を開発した。これにより一般的なウインドプロファイラを用いた水蒸気推定を行う技術基盤を開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,400,000	0	1,400,000
2007年度	1,400,000	0	1,400,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	210,000	3,710,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：気象・海洋物理・陸水

キーワード： 水蒸気、大気レーダー、RASS、変分法、干渉計観測

1. 研究開始当初の背景

地球大気において水蒸気的气象現象への影響は非常に大きいことが知られている。水蒸気は大気中では微量分子に過ぎないが、その相変化に伴う潜熱は集中豪雨など激しい気象現象を駆動する主要なエネルギー源であり、その高精度かつ高い分解能観測は現象メカニズムの解明に非常に重要と捉えられている。現在、最も一般的に行われている大

気水蒸気測定法であるラジオゾンデ観測は高度約 10 km までの水蒸気観測が可能であるが、しかしながら時間分解能を数時間より短くすることは難しく、数時間の時間スケールを持つ激しい気象擾乱のメカニズムの観測的解明には不十分である。近年、より高い時間分解能の水蒸気推定を目的として最新の電子技術を応用した観測技術が開発されつつある。例えば、光を用いた水蒸気推定手法

であるラマンライダー観測では、対流圏内の水蒸気を数分という高い時間分解能で得ることができる。このライダー観測の結果からは水蒸気の時空間変動が非常に激しいことが示唆する興味深い結果を得ている。ところがライダーによる観測は、夜間かつ雲の薄い気象状態下に観測条件が限られるため、降雨を伴うような激しい気象擾乱の観測には適しない。

近年さまざまな先進的大気水蒸気推定手法が開発されつつあるものの、現在に至るまで天候、昼夜に関わりなく高い時間分解能で水蒸気を観測する技術はいまだ発展途上なのが現状であり、全天候型かつ日時に関わりなく精度良い水蒸気を推定する手法の開発が望まれている。

研究代表者はこうした要請に応えるべく、大気レーダーを用いた水蒸気推定手法の開発を行ってきた。これは大気レーダーのエコー強度に含まれる水蒸気に関する情報を取り出すことにより、全天候型かつ昼夜にかかわらず無く水蒸気推定を行うものである。

大気レーダーから得られる乱流エコー強度は大気乱流の強度、大気水蒸気、大気温度等の影響を受ける。研究代表者らは滋賀県甲賀市に設置された MU (Middle and Upper Atmosphere) レーダーデータを解析し、乱流エコー強度が水蒸気量の高度勾配により主に決定されることを定量的に示した (Furumoto et al. (2001))。さらに、この知見を用いて、エコー強度と水蒸気量の高度勾配間を関係付ける微分方程式を導出し、さらにこの式に含まれる温度を、音波を用いた大気温度推定技術である RASS (Radio Acoustic Sounding System) 観測を併用することで求め、エコー強度から水蒸気プロファイルを推定する手法を開発した。この手法を用いて MU レーダー・RASS で測定された水蒸気量をラジオゾンデによる同時観測結果と比較したところ良い一致を得た (Tsuda et al. 2001)。

さらに水蒸気測定精度を向上させるために、GPS による可降水量 (水蒸気の地上から大気上端までの高度積分値) 等の補足的データを拘束条件として与えることでより高精度な水蒸気プロファイル推定を可能とするアルゴリズムの改良を行った。その結果水蒸気の時間高度分布を連続的に安定して推定することが可能となった。推定された水蒸気の時間高度分布は、3 時間毎に実施されたラジオゾンデ同時観測結果と良い一致を示した。さらにラジオゾンデでは捕えることの出来ない 1 時間以下の短周期変動も検出され、気象衛星による雲頂高度の特性や気象レーダー観測で検出された雨雲の運動、および雨雲の発達・衰退過程と矛盾しない結果を得ている (Furumoto et al. 2004)。この手法をより大気水蒸気量が多くその変動も激しい大

気境界層における大気水蒸気へ応用するため、1.3 GHz 帯の境界層レーダーに応用した。その結果高度 0.2-1.5 km の大気境界層内の水蒸気推定に成功している (Furumoto et al, 2005a)。

2. 研究の目的

以上のような背景を踏まえ、本課題では、この手法を実際の天気予報モデルに組み込み、短期予報の精度向上など実用化に図ることを目的とした研究を推進する。すなわち、気象予報モデル大気レーダーデータを同化することを目指し、数値予報モデルのデータ同化手法である変分法を用いた水蒸気推定手法を開発する。さらには、実際の数値予報モデルへの同化による効果を調べるための基礎研究を進め、気象庁が全国各地に合計 31 台展開し運営しているウインドプロファイラネットワーク (WINDAS: ウィンダス) を用いた水蒸気プロファイルの同化につなげる基礎データを得ることを目的とした。

3. 研究の方法

気象予報モデルへ大気レーダーデータを同化できるアルゴリズム開発を京都大学の MU レーダーを用いて行い、得られた技術をさらに沖縄の 400MHz ウィンドプロファイラなどへ応用可能な技術開発を行うことを目的として以下の研究を行った。

大気レーダーの乱流エコー強度は主に大気屈折率の高度変動 (M) の二乗値に依存することが知られている。また、M は湿潤大気中では主に水蒸気の高度勾配により決定されることがわかっている (Furumoto et al. 2001)。この関係を利用することで大気レーダーエコー強度から水蒸気プロファイルを推定する。ところが大気レーダーから得られるのは M^2 であるため M の符号がレーダー観測からは決定できない。そこで現在のアルゴリズムでは GPS 可降水量など外部データを援用し多くの経験則を利用することで各高度での符号を決定している。この符号の決定をより精度良く行うことを目的として 1 次元変分法を応用したアルゴリズムを開発する。なお、同化に必要なレーダーデータは MU レーダー観測データを利用する。最適化には多くの計算コストが必要なことから京都大学の大型計算機を利用する

さらに、上記アルゴリズムは、12 時間程度の間隔で上げられたラジオゾンデデータを初期値としている。本推定手法の実用化にはラジオゾンデによる直接観測を必要としない推定手法の開発が必須である。このため、ラジオゾンデ観測値の代わりに現業数値予報モデルデータを利用し、直接観測をよらない実用的推定手法を実現する。本手法により、近傍でラジオゾンデ観測が行われていない

観測点での推定が可能となることから、WINDAS データを利用した水蒸気推定が可能となると期待できる。

MU レーダーを用いて開発されてきた上記アルゴリズムの他レーダーへの適用を進める。特に、台風や梅雨前線活動など激しい気象擾乱が頻繁に通過する領域である沖縄領域に着目し、こうした気象現象の解明に活用するために沖縄県大宜味村に設置されている 400MHz ウインドプロファイラ観測データに本課題のアルゴリズムを適用する。

4. 研究成果

本研究ではまず、本論文では同一サイトに設置された 2 つのレーダー観測データを組み合わせ、広い高度範囲の水蒸気分布推定を実現した。すなわち、中心周波数 46.5 MHz の MU (Middle and Upper atmosphere) レーダーと 1.3 GHz の L 帯下部対流圏レーダー (Lower Troposphere Radar (LTR)) のデータを組み合わせることで、高度 0.3-7.5km における水蒸気分布推定を行った。MU レーダーは送信波の洩れこみを防ぐため低高度においてレーダー受信感度を低くしてある。この影響を取り除いた上で 2 つのレーダーのエコー強度 (信号対雑音比) のプロファイルを 1.5-1.95 km で結合した。推定された水蒸気プロファイルは微細な時間高度変動を示す。推定結果をラマンライダーやラジオゾンデによる同時観測結果と比較したところ良く一致した (Imura et al. 2007)。

さらに、精度の良い水蒸気推定のため、1次元変分法を用いた推定を行った。レーダーから推定された M の符号を考慮するために M の符号の正負の割合の気候値 $Pr(z)$ を導入した。符号の決定を容易にするために同時に観測された GPS による水蒸気積分値を同時同化した。12 時間間隔のラジオゾンデ観測結果の時間補間値を第一推定値とした推定結果は、従来法 (Furumoto et al. 2003) と比べてより精度の高い推定が可能であることを示した (Furumoto et al. 2007)。

引き続き、ラジオゾンデを用いない推定を行うためにラジオゾンデの時間補間値を用いずに、現業気象予報モデルの予報値を第一推定値とする推定に成功した。これによりラジオゾンデ観測が行われていない点での推定が可能となった。この成果を用いて情報通信研究機構 (NICT) と京都大学が共同研究により行っている NICT 沖縄亜熱帯計測技術センターの 443MHz ウインドプロファイラを用いた水蒸気推定を行い、ラジオゾンデ観測なしで観測を行うことに成功した (投稿準備中)。さらに、これらの成果を用いて一般的なウインドプロファイラを用いて水蒸気プロファイルを推定する手法開発について検討を行い、WINDAS などの定常的なウインドプ

ロファイラ観測での水蒸気推定に向けた記述基盤を整えることに成功した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

1. Furumoto, J., T. Tsuda, S. Iwai, T. Koza 2006: Continuous Humidity Monitoring in a Tropical Region with the Equatorial Atmosphere Radar, J. Atmos. Ocean. Technol., 23, 538-551.
2. Furumoto, J., S. Imura, T. Tsuda, H. Seko, T. Tsuyuki, K. Saito 2007: The Variational Assimilation Method for the Retrieval of Humidity Profiles with the Wind-profiling Radar, J. Atmos. Ocean. Technol., 24, 1525-1545.
3. Imura, S. J. Furumoto, T. Tsuda, T. Nakamura, A. Behrendt, M. Onishi 2007: Estimation of Humidity Profiles by Combining Co-locating VHF and UHF Wind-profiling Radar Data, J. Meteorol. Soc. Japan, 301, 301-319.

[学会発表] (計 20 件)

1. Furumoto, J., T. Shinoda, T. Tsuda, and A. Matsugatani 2009: Application of the frequency - domain interferometric imaging to RASS measurements, MST-12 workshop, London, Canada.
2. Shinoda, T., J. Furumoto, T. Tsuda, S. Satoh, and Y. Murayama 2009: Continuous observations of temperature profiles by 443 MHz wind profiling radar with RASS in Okinawa, MST-12 workshop, London, Canada.
3. 古本淳一、津田敏隆、佐藤晋介、2008: 443MHz 帯ウインドプロファイラを用いた沖縄亜熱帯域における水蒸気プロファイルの推定、日本気象学会 2008 年度秋期大会、仙台。
4. 篠田智仁、古本淳一、津田敏隆、2008: 周波数領域干渉計を用いた RASS による気温観測の高鉛直分解能化、日本気象学会 2008 年度秋期大会、仙台。
5. 佐藤晋介、古本淳一、篠田智仁、三上彩、津田敏隆、永井清二、村山泰啓、2008: 400MHz 帯 WPR/RASS で観測された対流境界層の発達、日本気象学会 2008 年度秋期大会、仙台。
6. 古本淳一、津田敏隆、篠田智仁、2008: 周波数領域干渉計映像法を用いた RASS 観測による高鉛直分解能気温観測、

- 日本気象学会 2008 年度春期大会、横浜.
7. 篠田智仁、古本淳一、津田敏隆、佐藤晋介、永井清二、村山泰啓、2008:400MHz帯WPR・RASSを用いた亜熱帯域気温高度分布の定常観測、日本気象学会 2008 年度春期大会、横浜.
 8. Furumoto, J., T. Tsuda, T. Shimomai, and T. Kozu, 2007: Continuous Humidity Observation in a Tropical Region with the Equatorial Atmosphere Radar (EAR), International CAWSES Symposium, Kyoto.
 9. Furumoto, J., T. Tsuda, and H. Seko, 2007: Use of GPS Precipitable Water Vapor Data to Retrieve Humidity Profiles with a Wind-profiling Radar, AOGS 2007 Assembly, Bangkok, Japan.
 10. 古本淳一、大西正典、津田敏隆、佐藤晋介、村山泰啓、井口俊夫、2007:400MHz帯ウィンドプロファイラ・RASS観測による亜熱帯域温度微細構造の観測、日本気象学会 2007 年度春期大会、東京.
 11. 松ヶ谷篤史、古本淳一、津田敏隆、2007:周波数干渉計映像法を用いたMUレーダー・RASS観測による気温の高高度分解能観測、日本気象学会 2007 年度春期大会、東京.
 12. Furumoto, J., T. Tsuda, T. Kozu, 2006: Continuous humidity monitoring in a tropical region with the Equatorial Atmosphere Radar (EAR), Eleventh International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar, Tirupati, India, 416-420.
 13. Imura, S., J. Furumoto, T. Tsuda, T. Nakamura, 2006: Retrieval of humidity profiles by simultaneous co-located VHF and UHF wind-profiling radar data, Eleventh International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar, Tirupati, India, 401-405.
 14. Furumoto, J., T. Tsuda, H. Seko, K. Saito, 2006: Humidity retrieval from the turbulence echo characteristics using one-dimensional variational assimilation method, Eleventh International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar, Tirupati, India, 406-410.
 15. Matsugatani, A., J. Furumoto, and T. Tsuda, 2006: The Frequency Domain Interferometric Imaging to Monitor the Temperature Profiles with the MU Radar-RASS, Eleventh International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar, Tirupati, India, 343-346.
 16. Sarma, T. V. C., D. N. Rao, J. Furumoto and T. Tsuda, 2006: Design and Development of an Acoustic Attachment to Gadanki MST Radar for RASS Observations, Eleventh International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar, Tirupati, India, 279-283.
 17. Sarma, T. V. C., D. N. Rao, J. Furumoto and T. Tsuda, 2006: First RASS Observations using Gadanki MST Radar, Eleventh International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar, Tirupati, India, 589-591.
 18. Alexander S., T. Tsuda, and J. Furumoto, 2006: Effects of Atmospheric Stability on Tropospheric Wave and Energy Propagation, Eleventh International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar, Tirupati, India, 647-649.
 19. 古本淳一、津田敏隆、瀬古弘、斉藤和雄、2006:GPS掩蔽およびウィンドプロファイラデータを用いて水蒸気プロファイル推定を行う1次元変分法手法、日本気象学会 2006 年度秋期大会、名古屋.
 20. 松ヶ谷篤史、古本淳一、津田敏隆、2006:MUレーダー・RASSイメージングによる温度微細構造の観測、日本気象学会 2006 年度秋期大会、名古屋.
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
古本淳一 (FURUMOTO JUN-ICHI) 京都大学・生存圏研究所・特定助教
研究者番号：10402934
- (2) 研究分担者
なし

