

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24654153

研究課題名(和文) 固定反射物からのレーダーエコー位相情報を用いた水蒸気情報の抽出手法の確立

研究課題名(英文) Establishment of humidity estimation method from the phase information of radar echo from the fixed target

研究代表者

津田 敏隆 (TSUDA, Toshitaka)

京都大学・生存圏研究所・教授

研究者番号：30115886

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：Lバンドレーダー(ウインドプロファイラ)を用いて地表付近の水蒸気推定を試みた。レーダーから電波を送信し外付け受信機で検出された電波の位相時間変化から屈折率時間変動を得て、それから送受信器間の水蒸気の時間変動を得る。ウインドプロファイラ観測では使用されずに除去していた側方放射情報を有効利用した新しい水蒸気観測が可能となると期待される。

位相変動による水蒸気推定の基礎理論を明らかにし誤差要因の大きさのスケール解析で行った。実際に側方放射を受信するため受信システム構築し、位相伝搬遅延の時間変動を導出した。

研究成果の概要(英文)：This study is devoted to development of humidity estimation method by using the carrier phase of L-band radar. The transmitted radio wave is detected by an independent receiver located away from the radar. The side-lobe transmission, which is regarded as the useless transmission, is positively used as the passive radar system. This new system is expected to estimate horizontal structure of humidity fluctuations.

In this study, the theoretical background of this new system was deeply discussed especially focusing on the error of oscillator and timing controller. The prototype system was assembled for the test experiment at the Shigaraki MU observatory.

研究分野：電磁波を活用した大気計測法開発、および大気変動現象

キーワード：ウインドプロファイラ 水蒸気観測 屈折率変動

1. 研究開始当初の背景

地球大気に発生する気象現象の振る舞いを考える上で大気中の水蒸気の影響は極めて大きいことが知られている。水蒸気は大気中の微量分子に過ぎないが、時間・空間変動が大きく、凝結等による潜熱は、集中豪雨など災害をもたらす激しい気象現象の主要な駆動源である。特に、地表付近の水蒸気の収束は積雲対流活動の発生・発達過程を決定する極めて重要な要因である(例えば、Seko et al, 2004; Kawabata et al, 2007)。

しかしながら、地上気象観測は、気象庁が運用するアメダスは水蒸気データ自体を収集しておらず、気象官署のみの観測に留まっている。気象庁以外でも、各研究機関がそれぞれの研究目的に合わせてピンポイント観測を行っているにすぎず、積雲対流活動を解析するには、地表付近の水蒸気の空間・時間分解能は十分とは言えない。

地上気象観測以外の地表付近の水蒸気水平分布観測としては、従来、紫外ラマン・ライダーを用いて水平スキャンする実験が行われてきている(Eichinger et al, 1993;1994;1999 など)。しかし、ライダー観測は、日中の太陽光ノイズにより観測範囲が限定され、また厚い積雲中を光が通過できないために、降雨を伴うような激しい気象擾乱の観測にも適さない。

こうした現状を打破し、激しい積雲対流活動の解析に適用できる高時間分解能の下層水蒸気量観測を実現する方法として、大気中を伝搬するマイクロ波の伝搬遅延を利用して水蒸気を測定する方法が開発されている。

2. 研究の目的

このような現状を踏まえ、本課題では全国に展開されている気象庁ウィンダスと同じLバンドレーダーを用いて地表付近の水蒸気推定を実現する。具体的には、レーダーから電波を送信し、外付け受信機で受信された電波の位相時間変化から屈折率時間変動を得て、それから送受信器間の水蒸気の時間変動を得る。このような研究はLバンドレーダーに適用した報告もない。

これまでのウインドプロファイラ観測では使用されずに除去していた側方放射情報を有効利用した新しい水蒸気観測が可能となり、水蒸気推定用のレーダーの開発等の基礎的な技術になると考えた。

3. 研究の方法

従来のプロファイラ観測では、一般に見られる地面や送電鉄塔などの固定反射物らの反射波(クラッタと呼ばれる)は、観測対象

である対象散乱体は晴天エコーにとってはノイズであり、取り除くべき対象とされてきた。特に、対象散乱体の電波の視線方向の動きが小さい場合には、観測対象エコーとクラッタの分離が難しくなるため、レーダー周辺にフェンスを設置するなどしてクラッタの影響が小さくなるようにして観測を行う。

しかし、実際のプロファイラ観測では主ビーム領域の外に弱いながらも感度を持つ領域(サイドローブ)が数多く存在し、サイドローブ方向からのクラッタが大気中の対象散乱体のエコーより強く受信されてしまう。そのため、クラッタがほとんど占めるドップラー周波数遷移がゼロの成分を取り除いてから、対象散乱体のエコー抽出を行うことが広く行われている。

本課題では、従来のプロファイラ観測にとって不要かつ除去すべき存在であった側方放射に着目し、外付け受信機で送信することで信号の時間変動から大気の情報を取り出そうとする発想に基づく研究である。

遅延量は電波の伝搬経路上の気圧、温度、水蒸気に依存するが、このうち水蒸気の影響が最も強いという性質を利用して水蒸気量の時間変化を推定する。この手法は、1つのレーダーで一度に多点の観測が可能という特長も有する。

2000年代以降アナログ→デジタル変換器(ADC: analog-to-digital converter)の低コスト化が進み、高ダイナミックレンジ(14-bit程度)で100MHz以上の高速サンプリングが可能になった。一方で、CPUの高速化により、広帯域信号のリアルタイム処理が可能となった。高速ADCで受信したIQ信号をPCで処理するシステムはソフトウェア・ラジオと呼ばれ利用が拡大している。本研究でもこれを利用する。

4. 研究成果

(1)位相変動による水蒸気推定の基礎理論

電波発射源であるウインドプロファイラと、離れた位置に設置する受信機は非同期状態で運用される。この条件下で得られる位相誤差を検討する。受信位相の誤差要因としては、送受信機の基準周波数の変動、送受信機の時間ずれさらに大気遅延の影響が考えられる。

図1のように $x=0$ に固定した送信機(TX)の電波が、屈折率 $n(x)$ の大気中を伝搬して、 $x=L$ におかれた受信機(RX)で受信されることを考える。

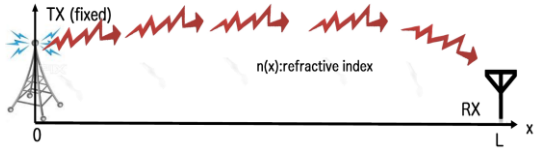


図1：TX と RX の配置の模式図

TX と RX 搬送波周波数 (f_0) 変動成分を Δf_t 、 Δf_r とし、それぞれのタイミング信号の時間ずれを Δt_t 、 Δt_r とする。

このとき TX から発射される電波が $x = L$ の RX アンテナに達した時の搬送波位相 $\phi_i(t, x)$ (t は時間) は、

$$\begin{aligned} \phi_i(t, L) = & 2\pi(f_0 + \Delta f_d(t) + \Delta f_t(t))(t + \Delta t_i(t)) \\ & - 2\pi \frac{f_0 + \Delta f_d(t) + \Delta f_t(t)}{c_0} (L + \Delta L(t)) \\ & + C \quad \dots\dots(1) \end{aligned}$$

とあらわされる。ここで、 $\Delta f_d(t)$ は、TX と RX の相対的な動きによるドップラー周波数遷移であり、 $\Delta L(t)$ は大気遅延量、 c_0 は真空中の光速、 C は定数である。

引き続き RX で検波した後の位相は、2 次以上の微小量を無視すると

$$\begin{aligned} \phi_r(t, L) = & 2\pi \left(\frac{\Delta f_t(t)}{f_0} - \frac{\Delta f_r(t)}{f_0} + \frac{\Delta f_d(t)}{f_0} \right) f_0 t \\ & - 2\pi \left(\frac{\Delta t_t(t)}{\tau_0} - \frac{\Delta t_r(t)}{\tau_0} \right) \\ & - 2\pi \frac{\Delta f_t(t)}{f_0} \frac{L}{\lambda_0} - 2\pi \frac{L}{\lambda_0} \frac{\Delta L(t)}{L} + C \quad \dots\dots(2) \end{aligned}$$

となる。ここで、 $\lambda_0 = f_0 / c_0$ であり、 $\tau_0 = 1/f_0$ 、 C は定数である。

右辺第一項より、TX と RX の相対位置が固定されていても、ドップラーシフトはゼロにならず、基準信号周波数のずれ起因して疑似的ドップラーシフト $\Delta f'_d(t)$ が現れる。

$$\Delta f'_d(t) t = \left(\frac{\Delta f_t(t)}{f_0} - \frac{\Delta f_r(t)}{f_0} \right) f_0 t \quad \dots\dots(3)$$

本項は時間に比例して値が増大する。実際、試験観測を行った結果、位相が時間と共に線形に変化してゆく様子が見られ、この項の影響が大きいことが示唆される。

一方他項は t に比例しないため、本観測の目標である大気位相遅延を取り出すには、まず、疑似ドップラー項の影響を取り除くことが必須となる。

一般的にパッシブレーダーでは送信側の発信器やタイミング発生器の状況がわからない状態で観測を行うことを前提とする。このため受信機を離れた位置に 2 台設置して送信側の影響を取り除く。

2 台の受信機 (RX1 と RX2) を $x = L_1$ と $x = L_2$ に固定設置した時に受信検波される位相の差を取る。

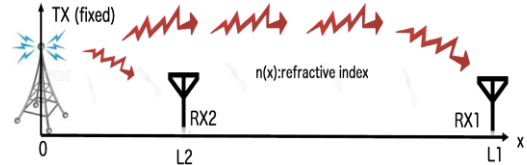


図2：RX を 2 台設置した際の配置模式図

このときの受信機間の位相遅延の差は以下ようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\lambda_0 \phi_{12}(t)}{2\pi} = & \left(\frac{\Delta f_{r1}(t)}{f_0} - \frac{\Delta f_{r2}(t)}{f_0} \right) c_0 t \\ & - \lambda_0 \left(\frac{\Delta t_{r1}(t)}{\tau_0} - \frac{\Delta t_{r2}(t)}{\tau_0} \right) \\ & - \frac{\Delta f_t(t)}{f_0} (L_1 - L_2) - (\Delta L_1(t) - \Delta L_2(t)) \quad \dots\dots(4) \end{aligned}$$

ここで、添字は RX 番号を示し、定数項は省略している。これによって疑似ドップラー項から送信機基準信号の誤差の影響が除去できた。

受信機にルビジウム原子時計などなるべく精度の良い基準信号発信器を接続することで、疑似ドップラー周波数遷移の影響を軽減できる。しかし $c_0 t$ が乗じられることには変わりなく、時間経過とともに大気位相遅延が大きく変動してゆくことには変わらない。

なおこの場合でも右辺第 3 項で送信機の基準信号周波数の誤差の影響が残ることに注意されたい。

以上の考察から、疑似ドップラー項の存在のため遅延量そのものの導出が難しいこと、遅延量の時間微分を行う必要があることがわかる。そこで両辺の時間微分を実行し、 L_1 と L_2 間の大気位相遅延に基づくドップラー周波数遷移 $V_r(t)$ (m/s) を計算する。

$$\begin{aligned} V_r(t) = & \frac{d}{dt} (\Delta L_1(t) - \Delta L_2(t)) \\ = & \frac{\lambda_0}{2\pi} \frac{d}{dt} \phi_{12}(t) \\ & - \left(\frac{\Delta f_{r1}(t)}{f_0} - \frac{\Delta f_{r2}(t)}{f_0} \right) c_0 \\ & + \lambda_0 \frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta t_{r1}(t)}{\tau_0} - \frac{\Delta t_{r2}(t)}{\tau_0} \right) \\ & - \frac{d}{dt} \frac{\Delta f_t(t)}{f_0} (L_1 - L_2) \quad \dots\dots(5) \end{aligned}$$

ここで右辺 1 ~ 4 項を $F_1(t) \sim F_4(t)$ とする。それぞれ、

$F_1(t)$:観測された位相値の時間変動の影響
 $F_2(t)$:RX1,2の基準信号変動の影響
 $F_3(t)$:RX1,2のタイミング信号ずれの影響
 $F_4(t)$:TXの基準信号変動の影響

観測が実現するためには $F_1(t)$ による大気遅延の変動が他項より大きいことが条件となる。すなわち、それぞれの項のオーダーを $O()$ という演算子で示すとすると、

$$O(F_1(t)) \gg O(F_2(t)), O(F_3(t)), O(F_4(t)), \dots \quad (\square)$$

が本システムの観測実現のための条件となる。以下に誤差オーダー解析を行う。

(2) 時計誤差の影響

RX1とRX2には同一型式で誤差特性が同一の基準信号発信機を接使用したものとす。基準信号発信機の周波数変動は統計的に正規分布を示すので、

$$P\left(\frac{\Delta f_{r1}}{f_0}\right) = P\left(\frac{\Delta f_{r2}}{f_0}\right) \\ = N(0, \sigma_{RX}^2) \dots \dots (\square)$$

となる。 P は確率密度関数を示し、 $N(\mu, \sigma^2)$ は平均値 μ 、分散 σ^2 の正規分布関数を示す。 σ_{RX}^2 はRXの周波数変動の分散を示す。正規分布の再生性から F_2 項の誤差分散 σ_{F2}^2 は

$$\sigma_{F2}^2 = 2c_0 \sigma_{RX}^2 \dots \dots (\square)$$

となる。

第3項の誤差分散について一般にTXやRXの送信タイミング信号は、基準信号がある位相(例えば0度)に達したときを基準タイミングと定める。したがって、周波数精度とタイミング精度の確率密度には一般に相関があり今回が以下の関係が成立するとする。

$$P\left(\frac{\Delta t_{r1}}{\tau_0}\right) = P\left(\frac{\Delta t_{r2}}{\tau_0}\right) \\ = N(0, N_N \sigma_{RX}^2) \dots \dots (\square)$$

ここで

N_N はTXやRX内でタイミング信号を生成するために使用した基準周波数と、送信周波数 f_0 の比であり、送受信機の構造によってその値が定まる。

微分演算を中心差分により求めるものとすれば、上記同様に F_3 項の誤差分散 σ_{F3}^2 は

$$\sigma_{F3}^2 = \frac{2\lambda_0}{T_s} N_N \sigma_{RX}^2 \dots \dots (\square)$$

ここで、 T_s はコヒーレント積分後の時系列のサンプリング間隔を示す。

第4項にはTXの基準信号の誤差が残っている。TXの基準周波数の揺らぎも正規分布

に従うと仮定し、その分散を σ_{TX}^2 とすると、 F_4 項の誤差分散 σ_{F4}^2 は、

$$\sigma_{F4}^2 = \frac{1}{T_s} \sigma_{TX}^2 (L_1 - L_2) \dots \dots (\square)$$

となる。 $F_2 \sim F_4$ による誤差分散の和は以下のようになる。

$$\sigma_{F2}^2 + \sigma_{F3}^2 + \sigma_{F4}^2 \\ = \left(2c_0 + \frac{2N_N \lambda_0}{T_s}\right) \sigma_{RX}^2 + \frac{1}{T_s} (L_1 - L_2) \sigma_{TX}^2 \dots \dots (\square)$$

ここで、MKS単位系において具体的なシステムで観測を行った際の式(12)のそれぞれの項の大きさを見積もり、主となる誤差の要因と送信機の基準発信機の揺らぎが無視できる条件を検討する。

一般的な基準信号発信機は、10MHzの正弦波を基本周波数として利用しており、10MHz正弦波での位相を用いてタイミングを決めている場合が多い。今回試験観測に用いる発信機もこれに該当する。

$$N_N = \frac{10^7}{f_0} \dots \dots (\square)$$

(f_0 の単位はHz)。この時、RXの誤差による項のみを抜き出すと以下のようになる。

$$2\left(c_0 + \frac{\lambda_0}{c_0 T_s}\right) \dots \dots (\square)$$

本研究では、1.3GHz帯のウインドプロファイラを観測対象とし、コヒーレント積分後の時系列長は数秒程度を考えているが、より一般的な電波を用いた時に対してスケール解析を行う。

$$\lambda_0 = 10\text{m} \sim 1\text{cm} \quad (\text{VHF} \sim \text{SHF} \text{ をカバー})$$

$$T_s = 0.1\text{s} \sim 1000\text{s} \quad (\text{乱流} \sim \text{積雲スケール})$$

この時、 $c_0 \approx 3 \times 10^8$ (m/s)なので

$$\frac{1}{3} 10^{-12} \text{ (m/s)} < \frac{\lambda_0}{c_0 T_s} < \frac{1}{3} 10^{-4} \text{ (m/s)} \dots \dots (\square)$$

となり、式(14)の第2項は c_0 と比べて十分小さく無視する。

一方、第4項にふくまれる観測距離 $(L_1 - L_2)$ は、1~100km程度なので、

$$1 < \frac{1}{T_s} (L_1 - L_2) < 10^6 \dots \dots (\square)$$

本項は観測パス長やコヒーレント積分時間により大きく変動することに注意が必要である。

$V_r(t)$ の誤差標準偏差のうち、基準信号発生器由来の第2~4項のオーダー解析結果は

$$O\left(\sqrt{\sigma_{F2}^2 + \sigma_{F3}^2 + \sigma_{F4}^2}\right) \approx 10^{4.5} O(\sigma_{RX}) + (10^0 \sim 10^3) O(\sigma_{TX}) \dots (17)$$

となる。第2項の大きさは観測パラメータにより大きく変化するので注意が必要である。

表1に主な基準信号発信機の周波数精度を示す。近年、ルビジウム原子時計の価格が数十万円まで低下しており、容易に高精度な基準信号発生器を入手することが可能になった。

まず第2項の誤差が最大となる時の値を知るため、ウインドプロファイラの側方放射受信を想定し、RXにはルビジウム原子時計、TXにはGPS同期型水晶発振器を利用することにする。この時、TXによる誤差が最大となる時、TXとRXの誤差影響のオーダーは、それぞれ $10^{-7.5}$ と 10^{-7} と同程度になる。この場合たとえRXに良い精度の発信機を使用したとしてもTXの基準信号の揺らぎの影響を同程度受けてしまう。

次に現実観測に基づくパラメータでの誤差計算を試算した。パス長を10km、コヒーレント積分時間を10秒とした場合、第2項は $10^{-8.5}$ となり、TXの誤差影響は一桁小さくなるが、無視できるほどは小さくならない。

結論として、送信源がGPS同期型水晶発振器を用いていた場合、たとえ2台のRXの搬送波位相の差をとったとしても、TX側の基準信号発信機の揺らぎの影響を完全に除去することができない。

なお、比較のために地上デジタルテレビジョンの電波を受信する場合を考える。この基準信号にはルビジウム原子時計が使われている。上記の現実に近い観測パラメータで(パス長を10km、コヒーレント積分時間を10秒)で計算したところ、TXの基準信号発信機の揺らぎの影響は $10^{-9.5}$ まで小さくなり、RXの誤差影響と比べて、TXの誤差の影響は2桁小さくなり無視することができる。

この結果からたとえ2台のRXを用いて観測を行い、その位相差をとったとしても、TXの基準信号発信機の精度が十分高くなければその誤差が観測に影響する。

表1：主な水晶発振器の精度の典型値

発信器の種類	誤差標準偏差の典型値
水晶発振器	10^{-8}
GPS同期型水晶発振器	10^{-10}
ルビジウム原子時計	10^{-12}
セシウム原子時計	10^{-13}

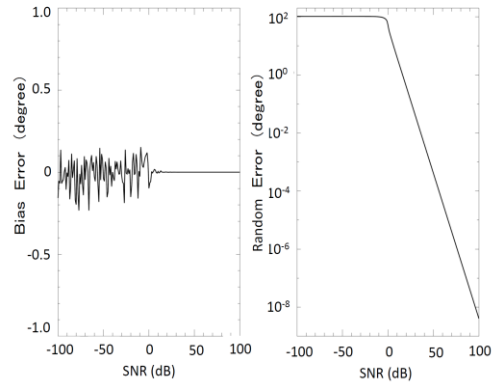


図4：SN比の変化によるバイアス誤差(右)、とランダム誤差の変化。

(3) 観測位相の誤差の見積もり

引き続き $F_1(t)$ の観測誤差に関して検討する。観測値である $\phi_{12}(t)$ の確率分布は信号のSN比により変動する。そこでモンテカルロ法でSN比を変えながら1000サンプルの位相を計算し、得られる雑音の大きさを測定した。

図4はモンテカルロ法を用いて計算した、SN比に対する位相のバイアス誤差とランダム誤差の大きさを示す。SNRはコヒーレント積分後の値を示している。

これから、コヒーレント積分後のSNRが0dBを下回る状況ではランダム誤差は最大値で一定となり観測値としての意味を持たない。バイアス誤差の変動も0dB以下では顕著である。

一方0dB以上ではSN比が向上するにつれてランダム誤差は急激に減少してゆく。例えば0.1度程度までランダム誤差を減少させるには25dBのSN比が必要である。

$\phi_{12}(t)$ の観測誤差を $\Delta\phi_{12}(t)$ (単位:°)と定義する。 $F_1(t)$ にふくまれる観測誤差を $\Delta F_1(t)$ とし、 $\Delta\phi_{12}(t)$ の確率分布が正規分布に従うとすると、

$$P(\Delta F_1(t)) = \frac{\lambda_0}{360T_s} N(0, \sigma_{SNR}^2) \dots (18)$$

となり、このオーダー解析を行うと

$$O(\Delta F_1(t)) = \sqrt{\frac{\lambda_0}{360T_s}} \sigma_{SNR} \dots (19)$$

$$1.6 \times 10^{-4} < \sqrt{\frac{\lambda_0}{360T_s}} < 1.6 \times 10^{-2} \dots (20)$$

となる。 $O(\Delta F_1(t))$ が基準周波数による誤差と同等のオーダーになるためには、コヒーレント積分後、30~50dB程度のSNRが必要となる。これを実現するためには、デジタルフィルター処理で搬送波の直近傍の周波数成分のみを鋭く取り出す処理が必須である。

またアンテナ近傍に高性能の高ゲインのLNAを挿入し、コヒーレント積分でSN比を高めるといった工夫ももちろん必要であろう。

(4)水蒸気遅延に伴う遅延量の見積もり

観測で推定すべき量であるRX1、RX2間の大気遅延量を ΔL_{1-2} とする。

$$\Delta L_{1-2} = \int_{L_1}^{L_2} n(x) dx \dots (\square\square)$$

と定義される。この値は水蒸気の水平非一様性の影響を受ける。特に屈折率に占める水蒸気の変動は未解明でありその特性は十分には明らかになっていないため、変動特性の見積もりは容易ではない。

京都大学生存圏研究所信楽MU観測所のウインドプロファイラ（中心周波数1.3575GHz）の側方放射を、10km離れた点で受信することを考える。

気象庁メソ非静力学モデルの結果では、10kmの距離で10分間に10cmの位相遅延の変動が得られている。これを $F_1(t)$ の変動に換算すると、

$$\frac{\lambda_0}{2\pi} \frac{d}{dt} \phi_{12}(t) = \frac{0.22}{2\pi} \frac{0.1}{600} = 5.8 \times 10^{-6} \dots (\square\square)$$

となる。この結果を基にするとTXとRXの基準信号の揺らぎによる誤差、観測誤差のオーダーを 10^{-7} 以下に抑えることができれば、この変動は捉えることが可能と考えられる。

(4)試験観測実験の実施

実際にウインドプロファイラの側方放射を受信するため、ソフトウエア・ラジオ(ETTUS RESEARCH社 USRPシリーズ)を用いた受信システム構築し、放射の受信信号から位相伝搬遅延の時間変動を導出するアルゴリズムを開発した。信楽MU観測所における試験観測を実施し、側方放射を実際に受信し位相変動を捉えることに成功した。また、室内実験からある程度の時間積分を行うことで水蒸気変動が捉えられることが分かった。

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5件)

- ① Oigawa, M., E. Realini and T. Tsuda, Study of Water Vapor Variations Associated with Meso- γ Scale Convection: Comparison between GNSS and Non-Hydrostatic Model Data, SOLA, 査読有, vol. 11, 2015, P. 27-30
- ② Oigawa, M., E. Realini, H. Seko, and T. Tsuda, Numerical Simulation on Retrieval of Meso- γ Scale Precipitable Water Vapor Distribution with the Quasi-Zenith Satellite System (QZSS), Journal of the Meteorological

Society of Japan, 査読有, Ser. II Vol. 92(2014) No. 3, 2014, pp. 189-205, DOI:10.2151/jmsj.2014-301

- ③ Sureshbabu, VN, V. K. Anandan, T. Tsuda, J. Furumoto, and S. V. Rao, Performance Analysis of Optimum Tilt Angle and Beam Configuration to Derive Horizontal Wind Velocities by Postset Beam Steering Technique, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 査読有, Volume: 51, Issue: 1, 2013, pp. 520-526

他2件

[学会発表] (計25件)

- ① Inaka, S., A study on an atmospheric propagation delay estimation method using a fixed radio source, 3rd GSS International Advisor's Conference (GIAC), 26-27, March, Kyoto University, Inamori Hall (Kyoto)
- ② Inaka, S., A Study on a Humidity Estimation Method Using the Side-lobe Emission from a Wind Profiling Radar, International Symposium on Earth-Science Challenges (ISEC) 2013, 3-5 Oct., Kyoto University Kihada hall, (Uji)
- ③ Seko, H., Y. Kimata and T. Tsuda, Assimilation Experiments of Refractivity Data Obtained by JMA-operational Doppler Radar, International Symposium on Earth-Science Challenges (ISEC) 2013, 2013年10月4日, Kyoto University Kihada Hall (Uji)
- ④ Oigawa M., T. Matsuda, Noersomadi, W. Hadi, T. Tsuda, Characteristics of tropical convection from a coordinated campaign with X-band radar, GPS-PWV and radiosondes in Indonesia, Workshop of Atmosphere/ionosphere variations over west part of Indonesia using X-Band radar, GPS network and radiosondes, 30 March, 2014, Bandung, (Indonesia)

他21件

6. 研究組織

(1) 研究代表者

津田 敏隆 (TSUDA, Toshitaka)
研究者番号: 30115886

(2) 研究分担者

古本 淳一 (FURUMOTO, Jun-ichi)
研究者番号: 10402934

(3) 連携研究者

瀬古 弘 (SEKO, Hiromu)
研究者番号: 60354445