

平成 22 年 5 月 24 日現在

研究種目：基盤研究（B）
研究期間：2007～2009
課題番号：19340136
研究課題名（和文） イメージング・ウィンドプロファイラーの開発による下層大気乱流の超微細構造の研究
研究課題名（英文） Study on Turbulence Structure in the Lower Atmosphere based on Development of Imaging Wind Profiler

研究代表者

橋口 浩之 (HASHIGUCHI HIROYUKI)
京都大学・生存圏研究所・准教授
研究者番号：90293943

研究成果の概要（和文）：下層大気における乱流の 3 次元構造を連続観測可能とするイメージング・ウィンドプロファイラー(Imaging Wind Profiler; IWP)を開発し、大気乱流の微細構造を観測した。周波数切替機能付き局部発振器を設計・制作し、既存の LQ-7 に付加して、多周波送受信によるレンジイメージング観測を実現した。35GHz 雲レーダーとの同時観測を実施し、日中の境界層の発達と雲の発生高度との詳細な関連を得ることができた。また、空間イメージング観測を実現するため、デジタル受信機の開発を行った。

研究成果の概要（英文）：We have developed an Imaging Wind Profiler (IWP) which enables us to observe the detailed structure of turbulence in the lower atmosphere. Frequency Domain Interferometry (FDI) is a technique to obtain high range resolution using the phase difference among receiving signals for various transmitting frequencies. We applied the FDI technique to LQ-7 which was upgraded to use five frequencies. From simultaneous observations with a 35-GHz cloud radar, we found the relation between the development of the atmospheric boundary layer and clouds. We have also developed digital receivers to enable Spatial Domain Interferometry (SDI).

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2008 年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2009 年度	2,900,000	870,000	3,770,000
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：レーダー大気物理学

科研費の分科・細目：気象・海洋・陸水学

キーワード：ウィンドプロファイラー・大気レーダー・イメージング・下層大気・乱流・リモートセンシング・デジタル受信機・干渉計

1. 研究開始当初の背景

大気中の微量成分の輸送は、対流によるもの以外に大気乱流に伴う拡散による効果が大きく、成層圏のみならず対流圏においても乱流拡散の効果は無視できない。大気乱流の研究は、大気力学の諸現象の素過程を明らかに

し、大気中のエネルギー、運動量および物質の輸送を理解する上で本質的に重要であるが、その観測は極めて困難である。

大気レーダーは、大気乱流からの散乱エコーを観測すること、時間・空間的に連続観測可能である点で、大気乱流の観測装置として

優位にあるが、従来空間分解能に限界があった。単一の周波数、単一の受信アンテナを用いる通常のパルスレーダーでは、距離分解能はパルス幅で、空間分解能はアンテナビーム幅で規定される。例えば、パルス幅 $1 \mu\text{s}$ の時の距離分解能は 150m 、ビーム幅 6° の時の空間分解能は高度 1km で約 100m である。パルス幅の最小値は通常使用できる占有周波数帯幅で制限され、パルス幅を狭くすることは送信平均電力を下げることになるので、信号対雑音比(S/N)の劣化につながる。また、ビーム幅はアンテナの物理的な大きさで決定されるので、設置面積やコストの問題から制限される。

世界最高性能の大気観測用大型レーダーであるMUレーダーでは、2003年度に「超多チャンネルデジタル受信システム」が導入され、最新のデジタル信号処理技術を用いた変復調装置が導入された[Hassenpflug et al., 2008, Radio Sci.]。これにより、全部で25群(1群はアンテナ19本から構成)あるアンテナの各群からの受信信号を、同時に並行して取得することができるようになった。多チャンネルの受信信号を相関処理することにより、レーダー上空の大気乱流エコー強度の空間分布をイメージング(映像化)することが可能になった。また送信周波数をパルス毎に最大5つまで切り替えることができ、これによってレーダーの距離分解能を飛躍的に向上させることができるようになった。MUレーダーの新機能を生かしたレーダーイメージングによって、大気乱流の3次元構造を解明し、乱流の発生と消滅の詳細な過程を観測し、大気乱流層の生成原因を明らかにする研究が進められている[例えば、Luce et al., 2006, Ann. Geophys.]。MUレーダーは、現在大気乱流の3次元構造を詳細に観測できる世界で唯一の装置である。しかしながら、大型のレーダーであるがゆえに、送信から受信の切り替えに時間がかかり、MUレーダーでは高度 2km 以下を観測できないという本質的な問題を抱えている。

一方、本研究代表者らは高度 2km 以下を含む下層大気の流れプロファイルを連続観測可能な小型ウィンドプロファイラーの開発を行ってきた。中でも三菱電機(株)と共同開発した「下部対流圏レーダー(Lower Troposphere Radar: LTR)」[Hashiguchi et al., 2004, JMSJ]は、気象庁が2000年度に導入した大気レーダー31台から成る観測網(Wind Profiler Network and Data Acquisition System: WINDAS)の構成レーダーとして採用された[Ishihara et al., 2006, JMSJ]。現在、WINDASの観測データは天気予報のための現業数値予報モデルの初期データとして入力され、従来予報が困難であった集中豪雨などの局地現象に対する予報精度の向上に貢献している。さらに、地球観測システム構築推進プラン「海大陸レーダーネットワーク構築」で赤道大気観測に用いるため、住

友電気工業(株)と共同で、ルネベルグレンズアンテナと高出力アンプを用いることで、LTRとほぼ同性能で設置面積を約 $1/4$ に向上させた小型ウィンドプロファイラー(LQ-7)の開発に成功した。

2. 研究の目的

本研究は、滋賀県甲賀市の信楽MU観測所に設置の小型ウィンドプロファイラーLQ-7号機に、多周波送受信機能と多チャンネル受信機能を付加して、下層大気乱流の3次元構造を観測可能なイメージング・ウィンドプロファイラーIWPを開発することを目的とする。IWPを用いて、信楽MU観測所において、雲レーダーやラジオゾンデ等の既存の観測機器との同時観測を実施し、大気乱流の超微細構造を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 多周波送受信機能の開発

代表的なレンジイメージングの手法に周波数領域干渉計(FDI)法[Palmer et al., 1999, Radio Sci.]がある。FDI法とは、周波数の異なる複数の送信波を照射し、異なる送信周波数で得られた受信信号間の位相差をもとにレーダーの送信パルス幅より細かい高度分解能を得る手法である。レンジイメージングを行うために周波数切替機能付き局部発振器を設計・制作し、多周波(中心周波数 1357.5MHz に対して、 $0, \pm 250\text{kHz}, \pm 500\text{kHz}$ の5周波)送受信機能をLQ-7(図1)に付加した。その後、Capon法[Stoica and R. Moses, 1997, Prentice-Hall]により散乱層の位置推定を行った。



図1. 信楽MU観測所に設置のウィンドプロファイラーLQ-7。

(2) 多チャンネル受信機能の開発

多チャンネル受信を実現するため、各アンテナからの信号を独立に受信するためのデジタル受信機を開発を行った。LQ-7では各アンテナからの信号は 130MHz のIF信号に変換された後、7合成される構成となっている。そこで合成前に信号を2分配して、片方はそのまま合成器に戻し、片方をデジタル受信機に入力する方式とした。デジタル受信機には比較的安価ながら本研究の目的のために十

分な信号処理能力を有する USRP(Universal Software Radio Peripheral)-2 (http://www.ettus.com/downloads/ettus_ds_usrp2_v2.pdf)を使用した。USRP-2 は次のような特徴・機能を持っている。

1. Gigabit Ethernet Interface で PC と接続
 2. 2 つの 100 MS/s 14-bit A/D converter
 3. 設定可能な Digital Down Converter
 4. 外部信号による同期のための入力端子
 5. 内部タイムカウンタリセット用入力端子
- 1 により PC と容易に接続することができ、2, 3 により 130MHz 帯の IF 信号を受信し、必要な帯域まで落としたデジタル信号を PC に取り込むことができ、PC での信号処理を軽減できる。また、4, 5 により、LQ-7 のパルス送信信号に同期した動作が可能となる。USRP-2 では、GNU Radio(<http://gnuradio.org/>)と呼ばれる、ソフトウェア無線などを比較的容易に実現するための開発ツールキットとして、Python と C++ のライブラリがフリーで提供されている。本研究では、処理の高速性が要求されることから、C++ ライブラリを用いてソフトウェアの開発を行った。

4. 研究成果

(1) 多周波送受信機能の開発

2009 年 9 月 14 日の信楽 MU 観測所における通常の 1 周波観測結果を図 2(上)に、FDI 観測結果を図 2(下)に示す。観測パラメータはパルス繰り返し時間 $65 \mu\text{s}$ 、コヒーレント積分数 48、FFT 点数 512、3 周波である。通常観測ではレンジ分解能が 150m であるが、FDI 観測ではレンジ分解能内の乱流変動を細かく捉えることができている。

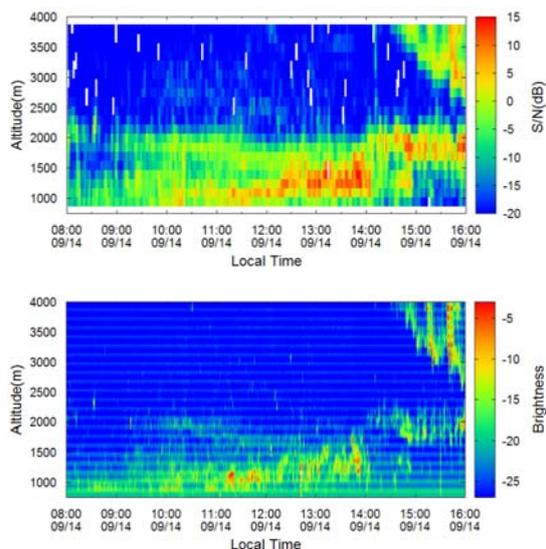


図 2. 2009 年 9 月 14 日における(上)1 周波 FDI なし及び(下)3 周波 FDI ありのエコー強度時間高度変化。

LQ-7のFDIモードで下層大気連続観測を行い、大気境界層の発達の様子を捉えた。観測パラメータはパルス繰り返し時間 $65 \mu\text{s}$ 、コヒーレント積分数48、FFT点数512、3周波、ビーム数5(天頂、東西南北)である。Ka帯FMCWレーダー(雲レーダー)も同時に運用した。LQ-7と雲レーダーの同時観測結果を図3に示す。図中の赤線はLQ-7のS/N-18dB以上の範囲であり、地表から高度約1.8kmの領域は大気境界層の概形を示している。黒線はKa帯FMCWレーダーのレーダー反射因子-5~10dBzの範囲であり、雲の領域を示している。この日は9時頃から16時頃にかけて境界層が観測された。境界層の上端は9時頃に高度約1kmにあり、14時頃までかけて約1.7kmにまで到達した。境界層は15時30分頃まで高度を維持したが、その後下降していく様子が観測された。雲は9時頃から観測されたが、雲底高度は1.4kmであった。12時頃から境界層の発達に伴って雲底高度は上昇し、雲底高度と境界層の到達高度はほぼ一致していた。13時15分頃に鉛直方向に伸びるエコーが観測され、雲底高度もエコーに沿うように急激に押し上げられた。9時頃から12時頃にかけて1.5kmに強いエコーが観測されたが、雲底とほぼ一致していた。水平風については(図省略)、境界層のエコーが強い高度では約3m/sの北西風であり、境界層が発達するにつれて北西風の領域が拡大していった。境界層下では12時30分頃から14時頃まで約10m/sの風だが、それ以外の時間では約5m/sであった。風向は14時頃まで北西風から東風が混在していたが、14時以降は北西風となった。雲中や境界層が見える直前は約10m/sの北東風であった。雲内全域で風向は一定であった。1.8km以上は雲がなく、約3m/sの北西風であり、雲が存在する時間、高度でのみ北東風であった。このためシーアによって雲が生じたと考えられる。

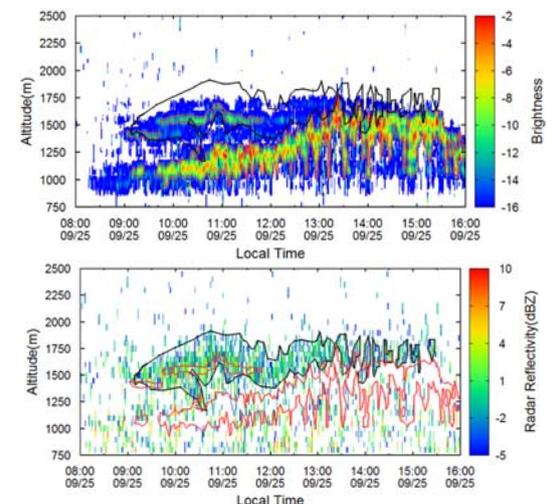


図3. 2009年9月25日における(上)LQ-7による大気乱流と(下)雲レーダーによる雲のエコー強度時間高度変化

(2) 多チャンネル受信機能の開発

130MHz の IF 信号は、USRP-2 の入力レベル(±1V)に整合するように 80dB 増幅された後、ノイズ除去のための 3MHz 帯域のバンドパスフィルターを通して、USRP-2 に入力される。USRP-2 では 100MHz でサンプリング(A/D 変換)され、ベースバンドに落とすとともに帯域 2MHz(高度分解能 75m に相当)まで間引き処理され、PC に転送されるデータ量が大幅に圧縮される。データは Ethernet を介して PC に転送され、PC 側でレンジングやパルス圧縮の復号処理が行われる。特に、LQ-7 送信との同期の実現が大きな開発項目であった。USRP-2 は、元々 GPS の 10MHz 信号をリファレンス信号として同調する機能を有している。しかし、LQ-7 から取り出すことのできる同調信号周波数は 100MHz が最低限界であった。そこで、USRP-2 内部のファームウェアを変更することにより、100MHz 信号をリファレンスとして利用できるようにした。LQ-7 を含むパルスレーダーの信号処理装置では、通常パルス送信に同期してデータとして必要な時間範囲だけをサンプリングし、データを PC に送出する。ソフトウェア無線が主な応用分野である USRP-2 の場合、受信信号を連続的にサンプリングし PC に送出するが、本研究では LQ-7 の送信と同期したデータ取得が必要である。USRP-2 は 100MHz(10ns)でカウントアップする 32 ビットのカウンタを、外部トリガーでゼロリセットする機能を有している。そこで、送信パルスに同期したトリガー信号を LQ-7 から取り出し、USRP-2 に入力することで、送信パルスの位置を特定し、PC 側で必要なデータのみを抜き出し記録することで、同期処理すなわちレンジングを可能にした。LQ-7 では Spano 符号(Spano et al., 1996, IEEE)を用いたパルス符号変調信号を送信しているが、USRP-2 で送信波そのものを受信し、パルス圧縮復号処理を行い、ある一点にピークを持つ信号を得ることで、レンジング及び復号処理が正しく機能していることを確認した。また、実観測データを LQ-7 本体で得られたものと比較し、同等以上の受信機性能を有していることが確認できた(図省略)。

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 11 件)

1. N. Kawano, H. Hashiguchi, K. Yoneyama, and S. Fukao, Lower atmosphere observations over the equatorial Indian Ocean with a shipborne lower troposphere radar during MISMO field experiment, *Radio Sci.*, 査読有, **44**, RS6011, doi:10.1029/2008RS003885, 2009.

2. M.K. Yamamoto, M. Abo, T. Kishi, N. Nishi, T.H. Seto, H. Hashiguchi, M. Yamamoto, and S. Fukao, Vertical air motion in midlevel shallow-layer clouds observed by 47-MHz wind profiler and 532-nm Mie lidar: Initial results, *Radio Sci.*, 査読有, **44**, RS4014, doi:10.1029/2008RS004017, 2009.
3. M.K. Yamamoto, T. Kishi, T. Nakamura, N. Nishi, M. Yamamoto, H. Hashiguchi, and S. Fukao, Wind observation around tops of midlatitude cirrus by the MU radar and Raman/Mie lidar, *Earth Planets Space*, 査読有, **61**, e33-e36, 2009.
4. 前川泰之・柴垣佳明・佐藤亨・山本衛・橋口浩之・深尾昌一郎, 温帯および赤道域での Ku 帯衛星上下回線における伝搬特性の測定, *信学技報*, 査読有, **AP2009**, 19-24, 2009.
5. Marzuki, T. Kozu, T. Shimomai, W.L. Randeu, H. Hashiguchi, and Y. Shibagaki, Diurnal variation of rain attenuation obtained from measurement of raindrop size distribution in equatorial Indonesia, *IEEE Trans. Antennas Propagation*, 査読有, **57**, 1191-1196, 2009.
6. Sakurai, N., M. Kawashima, Y. Fujiyoshi, H. Hashiguchi, T. Shimomai, S. Mori, J-I. Hamada, M.D. Yamanaka, Y.I. Tauhid, T. Sribimawati, and B. Suhardi, Internal structures of migratory cloud systems with diurnal cycle over Sumatera Island during CPEA-I campaign, *J. Meteor. Soc. Japan*, 査読有, **87**, 157-170, 2009.
7. Seto, T.H., Y. Tabata, M.K. Yamamoto, H. Hashiguchi, T. Mega, M. Kudsy, M.D. Yamanaka, and S. Fukao, Comparison Study of Lower-tropospheric Horizontal Wind over Sumatra, Indonesia Using NCEP/NCAR Reanalysis, Operational Radiosonde, and the Equatorial Atmosphere Radar, *SOLA*, 査読有, **5**, 21-24, 2009.
8. 山本真之・大野裕一・中村卓司・阿保真・堀江宏昭・熊谷博・長澤親生・柴田泰邦・山本衛・橋口浩之・深尾昌一郎, VHF 帯レーダー・ミリ波レーダー・可視光ライダーによる雲内及び周辺の風速観測, *信学技報*, 査読有, **MW2008**, 1-6, 2008.
9. Saito, S., M. Yamamoto, and H. Hashiguchi, Imaging observations of nighttime mid-latitude F-region field-aligned irregularities by the MU radar ultra-multi channel system, *Annales Geophysicae, MST*, 査読有, **26**, 2345-2352, 2008.
10. Yamamoto, M. K., Y. Ohno, H. Horie, N. Nishi, H. Okamoto, K. Sato, H. Kumagai, M. Yamamoto, H. Hashiguchi, S. Mori, N.O.

Hashiguchi, H. Nagata, and S. Fukao, Observation of particle fall velocity in cirriform cloud by VHF and millimeter-wave Doppler radars, *J. Geophys. Res.*, 査読有, **113**, doi:10.1029/2007JD009125, 2008.

11. M.D. Yamanaka, H. Hashiguchi, S. Mori, P. Wu, F. Syamsudin, T. Manik, Hamada J.-I., M.K. Yamamoto, M. Kawashima, Y. Fujiyoshi, N. Sakurai, M. Ohi, R. Shirooka, M. Katsumata, Y. Shibagaki, T. Shimomai, Erlansyah, W. Setiawan, B. Tejasukmana, Y.S. Djajadihardja, and J.T. Anggadiredja, HARIMAU Radar-Profilers Network over the Indonesian Maritime Continent: A GEOSS Early Achievement for Hydrological Cycle and Disaster Prevention, *J. Disaster Res.*, 査読有, **3**, 78-88, 2008.

[学会発表] (計 53 件)

1. 森谷祐介・橋口浩之・山本真之・妻鹿友昭・山本衛・今井克之・足立アホロ・中里真久・田尻拓也・柴垣佳明・H. Luce, 大気境界層観測用レンジイメージング・ウィンドプロファイラーの開発, 第 24 回 大気圏シンポジウム, 相模原, 2010 年 2 月 18-19 日.
2. 深尾昌一郎・H. Luce・妻鹿友昭・山本真之・橋口浩之・山本衛, 上部対流圏・下部成層圏ケルビン・ヘルムホルツ不安定波の形態学的研究, 第 24 回 大気圏シンポジウム, 相模原, 2010 年 2 月 18-19 日.
3. 脇阪洋平・橋口浩之・山本衛・山本真之・森谷祐介・妻鹿友昭・今井克之・足立アホロ・柴垣佳明, GNU Radio を用いたウィンドプロファイラー用デジタル受信機の開発, 第 5 回 MU レーダーシンポジウム, 宇治, 2010 年 1 月 19-20 日.
4. 森谷祐介・橋口浩之・山本真之・妻鹿友昭・山本衛・今井克之・足立アホロ・中里真久・田尻拓也・柴垣佳明・Hubert Luce, 大気境界層観測用レンジイメージング・ウィンドプロファイラーの開発, 第 5 回 MU レーダーシンポジウム, 宇治, 2010 年 1 月 19-20 日.
5. 橋口浩之・津田敏隆・山本衛・山本真之・古本淳一・深尾昌一郎・佐藤亨・山中大学・中村卓司・浜津享助・渡邊伸一郎・今井克之, 京都大学における可搬型小型大気レーダーの開発, 第 5 回 MU レーダーシンポジウム, 宇治, 2010 年 1 月 19-20 日.
6. 柴垣佳明・橋口浩之・東邦昭・山中大学・深尾昌一郎, MU レーダー観測に基づいた前線帯擾乱の鉛直構造に関する研究, 第 5 回 MU レーダーシンポジウム, 宇治, 2010 年 1 月 19-20 日.
7. 深尾昌一郎・Hubert Luce・山本真之・妻鹿友昭・橋口浩之・山本衛, MU レーダーで観測される対流圏ケルビン・ヘルムホルツ不安定波の形態学的研究, 第 5 回 MU レーダーシンポジウム, 宇治, 2010 年 1 月 19-20 日.
8. H. Hashiguchi, M.K. Yamamoto, J. Furumoto, Y. Moritani, N. Ikeno, Y. Wakisaka, K. Imai, Y. Ohhigashi, Fadli S., and Timbul M., Development of Atmospheric Radar Observation Techniques and Its Application to Observations over Indonesian Maritime Continent, GCOE-ARS Workshop on Science and Education Programs, Uji, January 12 and 14, 2010.
9. 深尾昌一郎・山本真之・Hubert Luce・妻鹿友昭・橋口浩之・山本衛・田尻拓也・中里真久, Mammatus clouds(乳房雲)と背景乱流の 3 波長帯レーダーによる同時観測, 日本気象学会 2009 年度秋期大会, 福岡, 2009 年 11 月 25-27 日.
10. 脇阪洋平・橋口浩之・山本衛・山本真之・森谷祐介・妻鹿友昭・今井克之・足立アホロ・柴垣佳明, GNU Radio を用いたウィンドプロファイラー用デジタル受信機の開発, 日本気象学会 2009 年度秋期大会, 福岡, 2009 年 11 月 25-27 日.
11. 森谷祐介・橋口浩之・山本真之・妻鹿友昭・山本衛・今井克之・足立アホロ・柴垣佳明・H. Luce, レンジイメージング・ウィンドプロファイラーによる大気境界層の発達観測, 日本気象学会 2009 年度秋期大会, 福岡, 2009 年 11 月 25-27 日.
12. H. Hashiguchi, M. Yamamoto, M.K. Yamamoto, S. Fukao, and H. Luce, Imaging observations with the MU radar and an L-band wind profiler, Invited talk, International Symposium on Radar and Modeling Studies of the Atmosphere, Uji, November 10-13, 2009.
13. 深尾昌一郎・Luce Hubert・中村卓司・山本真之・橋口浩之・山本衛, MU レーダーとライダー同時観測で捉えられた巻雲にともなう晴天大気乱流, 第 126 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 金沢, 2009 年 9 月 27-30 日.
14. 橋口浩之・森谷祐介・山本真之・妻鹿友昭・脇阪洋平・山本衛・今井克之・Hubert Luce・足立アホロ・柴垣佳明, イメージング・ウィンドプロファイラーの開発, 第 126 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 金沢, 2009 年 9 月 27-30 日.
15. 森谷祐介・橋口浩之・山本衛・山本真之・妻鹿友昭・今井克之・足立アホロ・柴垣佳明, イメージング・ウィンドプロファイラーの開発, 日本気象学会 2009 年度春期大会, つくば, 2009 年 5 月 28-31 日.

16. H. Hashiguchi, N. Kawano, M. Teshiba, K. Yoneyama, and S. Fukao, Lower Atmosphere Observations over the Equatorial Indian Ocean with a Ship-Borne Lower Troposphere Radar During MISMO Field Experiment, MISMO International Workshop, 横浜, 2008年11月25-26日.
17. 橋口浩之・山本衛・山本真之・妻鹿友昭・今井克之・足立アホロ・柴垣佳明, イメージング・ウィンドプロファイラーの開発, 日本気象学会2008年度秋期大会, 仙台, 2008年11月19-21日.
18. 橋口浩之, 下部対流圏レーダーの開発とその大気観測研究への応用, 日本気象学会2008年度秋期大会堀内賞授賞記念講演, 仙台, 2008年11月20日.
19. 山本真之・岸豊久・中村卓司・西憲敬・山本衛・橋口浩之・深尾昌一郎, MUレーダーとレイリー/ラマンライダーによる中緯度域の巻雲観測, 第26回レーザセンシングシンポジウム, 福岡県朝倉市, 2008年9月11-12日.
20. 山本真之・岸豊久・中村卓司・山本衛・橋口浩之・深尾昌一郎・西憲敬, VHF帯レーダーとライダーによる巻雲の雲頂付近における風速観測, 日本気象学会関西支部2008年度年会, 大阪, 2008年6月28日.
21. Yamamoto, M. K., T. Kishi, T. Nakamura, H. Hashiguchi, M. Yamamoto, N. Nishi, and S. Fukao, Wind observation around a top of midlatitude cirriform cloud by VHF Doppler radar and Rayleigh/Raman lidar, The 24th International Laser Radar Conference, Boulder, USA, June 23-27, 2008.
22. 山本真之・大野裕一・中村卓司・阿保真・堀江宏昭・熊谷博・長澤親生・柴田泰邦・山本衛・橋口浩之・深尾昌一郎, VHF帯レーダー・ミリ波レーダー・可視光ライダーによる雲内及び周辺の風速観測, 電子情報通信学会マイクロ波研究会, 宇治, 2008年5月29-30日.
23. M. Yamamoto, G. Hassenpflug, S. Saito, H. Luce and S. Fukao, MU radar 1D, 2D, and 3D imaging of atmosphere and ionosphere, 12th International Symposium on Equatorial Aeronomy, Crete, Greece, May 18, 2008.
24. 深尾昌一郎・Hubert Luce・山本衛・橋口浩之, MUレーダーによる対流圏界面のケルビンヘルムホルツ不安定の観測, 第22回大気圏シンポジウム, 相模原, 2008年2月27-28日.
25. H. Hashiguchi, F. Renggono, M.K. Yamamoto, T. Kozu, T. Shimomai, and S. Fukao, Precipitating clouds over Kototabang, West Sumatra observed by

wind profilers, Abstracts: International CAWSES Symposium, Kyoto, Japan, October 23-27, 2007.

〔図書〕(計1件)

1. 深尾昌一郎・山本衛他, 地球環境の心臓 赤道大気の鼓動を聴く, クバプロ, 186pp, 2009

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋口 浩之 (HASHIGUCHI HIROYUKI)
京都大学・生存圏研究所・准教授
研究者番号: 90293943

(2) 研究分担者

山本 衛 (YAMAMOTO MAMORU)
京都大学・生存圏研究所・教授
研究者番号: 20210560

(3) 連携研究者

足立 アホロ (ADACHI AHORO)
気象庁気象研究所・気象衛星・観測システム研究部・主任研究官
研究者番号: 80354520

柴垣 佳明 (SHIBAGAKI YOSHIAKI)
大阪電気通信大学・情報通信工学部・准教授
研究者番号: 00319592