

**京都大学教育研究振興財団助成事業
成果報告書**

平成22年2月10日

財団法人京都大学教育研究振興財団
会長 辻 井 昭 雄 様

所属部局・研究科 京都大学・生存圏研究所

職名・学年 助教

氏 名 山 本 真 之

事業区分	平成21年度・中期派遣助成		
研究課題名	VHF帯大気レーダー・気象レーダー・ライダー観測による雲物理量と風速変動との関連の解明		
受入機関	Université du Sud- Toulon Var, France		
渡航期間	平成22年11月3日 ~ 平成22年2月1日		
成果の概要	タイトルは「成果の概要/報告者名」として、A4版2000字程度・和文で作成し、添付して下さい。「成果の概要」以外に添付する資料 無 有()		
会計報告	交付を受けた助成金額	750,000円	
	使用した助成金額	750,000円	
	返納すべき助成金額	0円	
	助成金の使途内訳 (使用旅費の内容)	交通費 (飛行機、バス、電車)	258,000
		宿泊費	224,000
		日当	268,000

1. 概要

京都大学が開発・運用する MU レーダー (MUR)・赤道大気レーダー (EAR) は、複数の周波数を用いるレンジイメージング^{1,2)} (以下 RI) により、大気乱流・風速を数 10m の鉛直分解能で解像可能な優れた特長を持つ。一方、レーザーレーダー (ライダー) や気象レーダーは、雲や降水内の凝結物 (氷晶・雪片・雨粒) を検出可能である。MUR・EAR・気象レーダー・ライダーの観測データを用いた研究課題として、(1) 熱帯対流圏界層 (TTL) における大気乱流微細構造の解明、(2) 層状性降水域における詳細構造の解明、(3) 新型気象レーダーのデータ処理手法開発、に取り組んだ。

2. 研究成果

2.1 熱帯対流圏界層 (TTL) における大気乱流微細構造の解明

熱帯域における高度 14km ~ 18.5km の、大気の性質が対流圏から成層圏に遷移する領域を TTL と呼ぶ。熱帯域は、活発な積雲対流に伴う対流圏から成層圏への大気流入が発生する主要な領域であるため、TTL における力学的過程の解明は、地球温暖化に大きく影響する大気微量成分 (水蒸気など) の輸送メカニズムの理解に不可欠である。成果報告者を中心に 2008 年 12 月に実施した観測キャンペーン (Cloud experiment using Lidar and Equatorial Atmosphere Radar; CLEAR) における EAR の RI 観測データから、TTL において発生する大気乱流の微細構造を明らかにした (図 1)。さらに、気球観測を併用したデータ解析から、大気乱流は対流圏上部の東風ジェットに起因するシア不安定により生成されたこと、シア不安定の発生高度や大気混合の強さは大規模赤道重力波により変調されていること、なども併せて明らかにした。得られた成果を査読付き学術論文誌に投稿した。

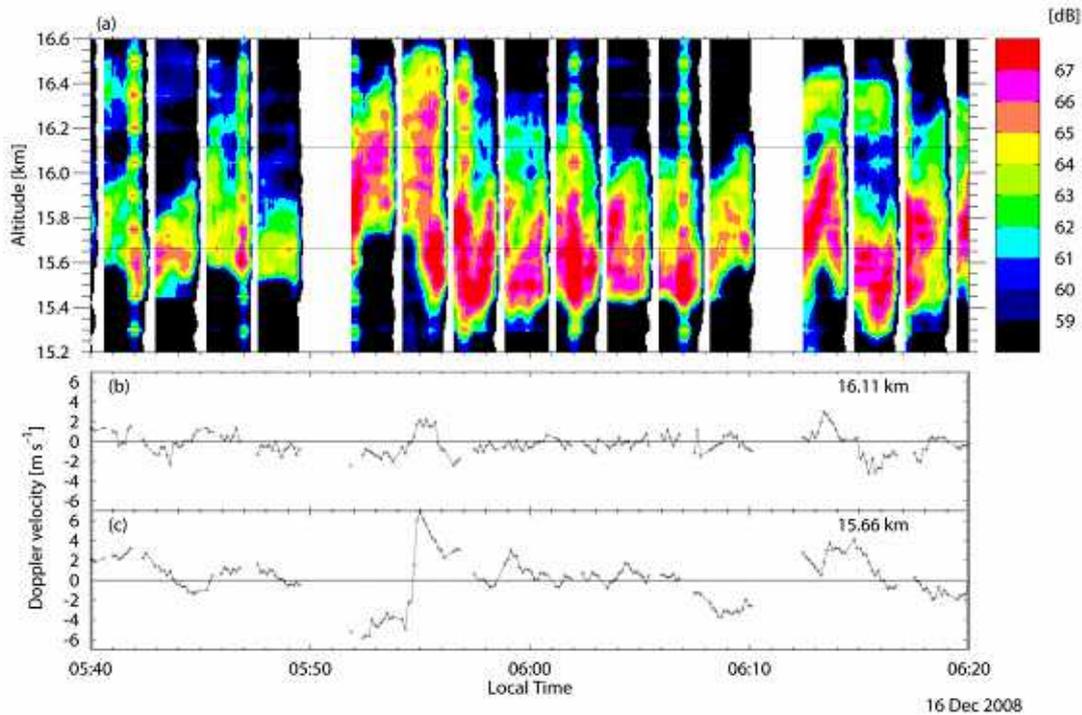


図 1：EAR による観測結果。(a) RI を用いて鉛直 5m 間隔でプロットした乱流エコーの時間高度断面図。RI により、乱流エコーの高度変化をパルス幅に対応するレンジ分解能 (150m) より良い精度で捉えている。シア不安定により、5時52～56分と6時8～16分にエコー層の大きな上昇(高度16.2km以上)が見られる。(b)と(c)は乱流エコー上部(高度16.11km)と下部(高度15.66km)における鉛直ドップラー速度の時系列を示す。シア不安定に伴い、5時52分～56分と6時8分～16分に数 m/s 以上のドップラー速度の変化(下降から上昇)が見られる。

2.2 層状性降水域における詳細構造の解明

CLEAR 観測において、ライダーは偏光解消度(送信偏波に対し平行な成分の信号強度($P_{//}$)に対する直交する成分の信号強度の比; LDR)の観測を行い、雲粒・雨粒の相(氷・水)の識別を行った。氷から水への相変化が発生する融解層の詳細構造観測結果を図2に示す。EARは凝結物の相変化を捉えている(図2a)。高度4.7km以上で1.0～1.5m/s程度の落下速度を持つ成分は雪片のエコーである。雪片は気温が0以上となる高度4.6～4.7km付近で融解して水滴となり、落下速度が4～8m/sに増大する。ライダーのLDRは、高度4.6～5.5kmで、粒径の大きな雪片の存在に対応する0.05以上の値を示している(図2b)。 $P_{//}$ は、粒径の大きい高度4.7km以上で大きく、高度4.6～4.7kmで極小(受信レベル200以下)を持つ(図2c)。この極小は、雪片の融解に伴い粒径が小さくなることと、表面の一部のみが水滴であるため、表面波が一様でない効果で説明できる³⁾。さらに、EARの鉛直流観測結果とLDRの観測結果の比較により、層状性降水域上層における上昇流が大きい場合、融解層におけるLDRが大きい観測結果を得た。これは、雲粒の凝結に伴う潜熱開放効果が大きいほど、粒径の大きい雪片が生成されることを示す貴重な観測成果であり、詳細解析を継続中である。

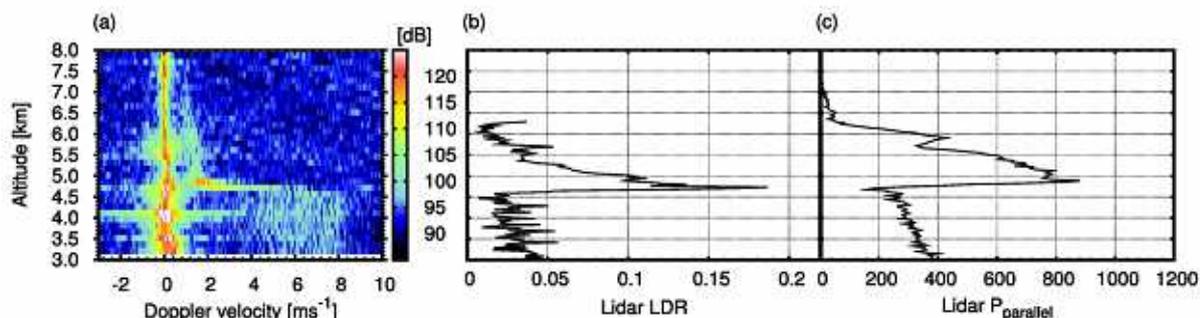


図 2 : (a) EAR で得られた周波数パワースペクトルの高度プロファイル。色の濃淡が受信エコー強度を示す。0m/s 付近の成分は乱流エコーである。高度 4.7km 以上で 1m/s 程度で地面に対して落下し、高度 4.6km 以下でドップラー速度が 4-8m/s に増大する成分は雪片あるいは水滴の散乱エコーである。ライダーで得られた (b) LDR、(c) P_{parallel} の高度プロファイル。

2.3 新型気象レーダーのデータ処理手法の開発

成果報告者は、MUR と気象レーダーの同時観測キャンペーン (Radar-observation Experiment toward QUantification In Precipitation Processes ; REQUIPP) を 2009 年 10 ~ 11 月に実施した。観測に用いた 9.8GHz 帯及び 35GHz 帯気象レーダーのデータ処理手法を開発した。引き続き観測結果の検証を行い、図 3 に示す強いような層状性降水では粒径の大きい雨滴による減衰の小さい 9.8GHz 帯気象レーダーの観測結果を、図 4 に示すような強い層状性降水では、粒径の小さい凝結物の検出感度に優れる 35GHz 帯気象レーダーの観測結果を用いて、風速・大気乱流と雲物理量の定量評価を行えることを確認した。さらに、MUR・新型気象レーダーの初期観測結果をまとめ、査読付き学術論文誌に投稿した。

謝辞

従来にない、VHF 帯大気レーダー・気象レーダー・ライダー観測を用いて得られたユニークかつ重要な研究成果は、京都大学所有の大型設備である MUR・EAR のさらなる発展に寄与すると確信しています。在外研究の機会をお与え頂いた京都大学教育研究財団に心より感謝します。滞在先の Université du Sud- Toulon Var と、受入れ研究者の Luce 博士のサポートに感謝します。CLEAR の観測実施とデータ解析には、文部科学省による海洋開発及地球科学技術調査研究促進費・地球観測システム構築推進プラン・アジアモンスーン地域水循環・気候変動観測研究プロジェクトの一環である「海大陸レーダーネットワーク構築」、科研費若手研究 B (課題番号 19740293)、科研費基盤研究 (B)(海外学術調査)(課題番号 19403008) による助成を受けました。REQUIPP の観測実施には、京都大学生存圏研究所の生存圏科学萌芽研究による助成を受けました。9.8GHz 帯及び 35GHz 帯の気象レーダーは、文部科学省科学技術振興調整費重要課題解決型研究「渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究」により開発されました。

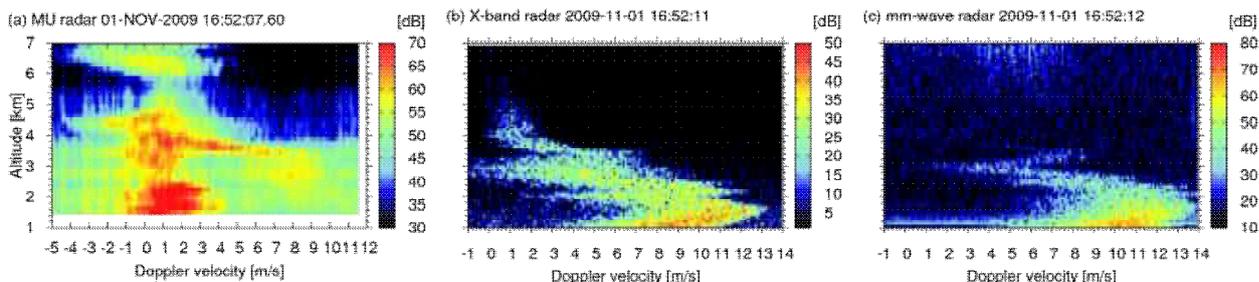


図 3: 強い層状性降水における、(a) MUR、(b) 9.8GHz 帯気象レーダー、(c) 35GHz 帯気象レーダーで観測された周波数パワースペクトルの高度プロファイル。地面に向かって落下する方向を正としている。MUR (図 a) においてのみ、ドップラー速度が-2m/s から 3m/s に分布する大気エコーが観測されている。強い降雨であるため、MUR もドップラー速度 6m/s 以上の降水エコーを一部捉えている。降雨減衰が小さい 9.8GHz 帯気象レーダー (図 b) では、高度 3.5km 以上の雨粒・雪片エコーの検出に成功しているが、35GHz 帯気象レーダー (図 c) は、大きい粒径の雨粒による強い降雨減衰のため高度 3.5km 以上でエコーが検出できていない。

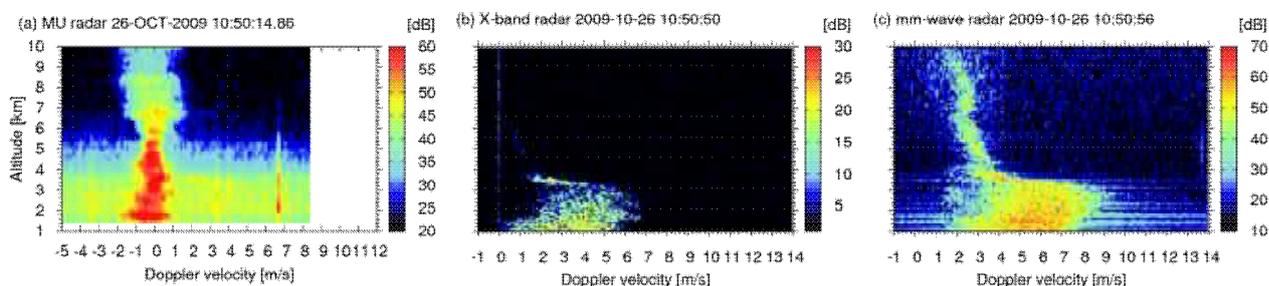


図 4: 図 3 と同じ。ただし弱い層状性降水の例。MUR (図 a) では、降水エコーは融解層 (高度 3.5km 付近) を除いて検出できていない。35GHz 帯気象レーダーと比較して小さい雨粒・雪片に感度が劣る 9.8GHz 帯気象レーダーでは降雨エコーの検出が 4km 以下に限られる (図 b) が、35GHz 帯気象レーダーは高度 10km 付近まで連続して雪片のエコーを検出している (図 c)。

参考文献

- (1) D. Palmer, T.-Y. Yu, and P. B. Chilson, "Range imaging using frequency diversity," *Radio Sci.*, Vol. 34, pp. 1485-1496, 1999.
- (2) H. Luce, G. Hassenpflug, M. Yamamoto, and S. Fukao, "High-resolution vertical imaging of the troposphere and lower stratosphere using the new MU radar system," *Ann. Geophys.*, Vol. 24, pp. 791-805, 2006.
- (3) K. Sassen, J. R. Campbell, J. Zhu, P. Kollias, M. Shupe, and C. Williams, "Lidar and triple-wavelength Doppler radar measurements of the melting Layer: A revised model for dark- and brightband phenomena," *J. Appl. Meteorol.*, Vol. 44, pp. 301-312, 2005.