雲レーダFALCON-Iによって観測された雲頂・雲底高度の特徴

○井上梓、久慈誠（奈良女子大学理学部）、鷹野敏明（千葉大学）

背景と目的

雲は気候形成のメカニズムをコントロールする要因の一つとして重要な役割を果たしている。具体的には、赤外放射を吸収することによる温室効果と、太陽放射を反射することによる冷却効果の相反する性質を持つ。

また、地表面における地球放射は雲底高度に強く依存している[1] 。しかし、雲は時空間変動が大きく、形状や分布も多種多様であるため、詳細な観測は容易ではない。そのため、雲の動態を把握することは、地表面における放射収支推定の改善に役立つと期待される。そこで本研究では、リモートセンシングデータから得られた雲底・雲頂といった雲層高度の解析を行い、その変動を調べることを目的とする。

観測データ

本研究では、雲レーダ観測データの解析を行う。データは千葉大学より提供を受けた。観測地点は鹿児島県奄美大島（28.44° N, 129.70° E；図1）であり、解析期間は2003年3月15日から4月13日である。この期間は、Asian Atmospheric Particle Environmental Change Studies（APEX）における春期集中観測期間であった。

<雲粒子観測用レーダFALCON-Ｉ>

FM-CW **RA**dar for **CL**oud **O**bservatio**Ns**（FALCON-Ｉ）は、信号を発射し雲などの目標物で散乱されて戻って来た電波を受け取り、対象の密度や粒径についての情報を得る。尚、空間分解能は9.1m×0.2°、時間分解能は1msecである[2]。

尚、提供していただいた観測データは観測結果の画像データのみのため、本研究ではこの画像から雲の検出を行う。観測データ画像から、レーダ反射因子の値で閾値を設定し、雲頂・雲底高度を数値データとして取り出した。

図1: 観測地点[Google Map]

解析方法

観測データ画像において、画像中のカラーバーのRGB値と、レーダ反射因子の値の対応をとり解析を行う。まず、PDF形式の元画像から、処理の行いやすいppm形式の画像に変換する。ppm形式の画像において、カラーの状態からグレースケールに変換し、グレースケールの値とレーダ反射因子との対応をとる。

雲の検出条件

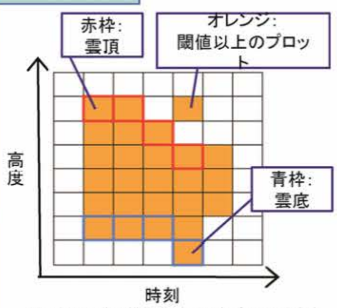

図2: 観測画像の模式図。1マスが1ピクセルを表す。

図2は観測画像の模式図を表している。

高度8km未満のデータに対して、閾値以上のもの、かつ高度方向に5ピクセル以上の固まりで存在している場合に雲として検出する。今回の解析では、[P. Kollias et al., 2007] を参考に、閾値を −60 [dBZ] に設定した。

同一時刻に観測されたものについて、鉛直方向で上空から1ピクセルずつ読み取り、初めに検出したものを雲頂、鉛直方向に下（地表）から処理し初めに検出したものを雲底とし、その時間における雲頂・雲底高度を決定する。

図2のように雲頂・雲底高度が検出され、検出したピクセルを高度（km）に変換し、数値データとして取り出す。

解析結果と考察

2003年3月19日19時～20日18時（JST）の検出結果を時系列でプロットしたものを図3に示す。図3より、おおよその雲の形を検出できていることが分かった。

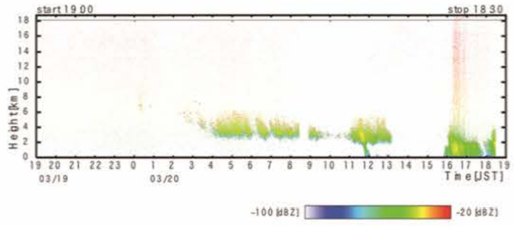

図3: 2003年3月19日19時～20日18時の、−60[dBZ] の閾値での検出結果。元画像データに検出結果のプロットを重ねて表示。縦軸は高度（km）、横軸は時刻、赤のプロットが雲頂高度、青のプロットが雲底高度を表す。

検出した雲頂高度と雲底高度の1時間毎の平均を図4に示す。また、日平均値を表1に示す。

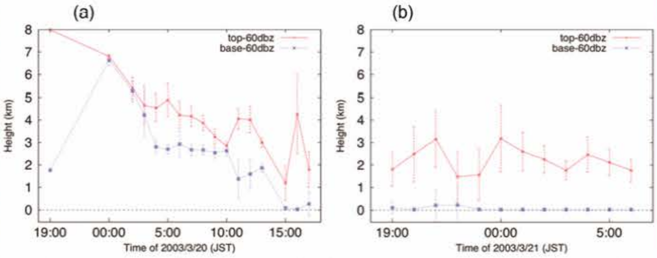

図4: 検出した雲頂高度と雲底高度の1時間平均値の変動。(a)2003年3月20日、(b)2003年3月21日。縦軸は高度（km）、横軸は時刻、赤が雲頂高度、青が雲底高度、エラーバーは標準偏差、破線は高度0kmを示す。

表1: 検出した雲頂・雲底高度の日平均値と標準偏差

	雲頂 ± 標準偏差 (km)	雲底 ± 標準偏差 (km)
03/20	3.92 ± 1.23	2.06 ± 1.35
03/21	2.23 ± 1.1	0.06 ± 0.32

図4(a)より、3月20日の検出結果では、雲頂・雲底高度と雲の厚さが、一日の中で大きく変動していることが分かった。また、(b)より、3月21日では、雲頂高度と雲の厚さが一日の中で大きく変動していた。これらのことから、雲の時空間変動が大きかったことが考えられる。また(a)より、19日の19時については、実際にこの時間帯に雲頂・雲底高度として検出されたプロットは1つのみだったため、ノイズが雲として検出されたと考えられる。さらに、(b)において、1日中ほぼ地表面付近の高度を雲底高度として検出している理由として、雲ではなく雨もしくは霧を捉えている可能性が考えられる。

期間全体について検出した場合の、雲頂・雲底高度の日平均値を図5に示す。

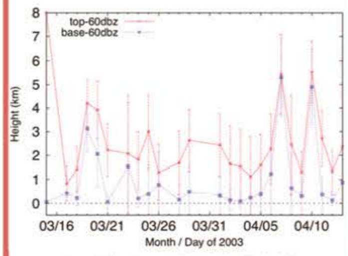

図5: 期間全体における、雲頂高度と雲底高度（日平均値）の変動。赤が雲頂高度、青が雲底高度、エラーバーは標準偏差、破線は高度0kmを表す。

図5より、期間全体で見ると、雲頂高度・雲底高度は日によって変動が大きいことが分かる。また、雲の厚さについても、日ごとに大きく異なっていることが分かる。また、雲底高度に着目すると、検出高度が1km未満である日が、解析した25日間のうち19日と多いことが分かった。このように低い雲底高度を検出している日のうち、特に0km付近の高度を検出している日については、雨もしくは霧を検出しているのではないかと考えられる。また、4月7日においては検出した雲頂高度と雲底高度がほぼ同じ値を示している。これは、1日の中で雲頂・雲底として検出されたデータ数がとても少ないことから、画像中に疎らに存在していたノイズが雲として検出されている可能性も考えられる。

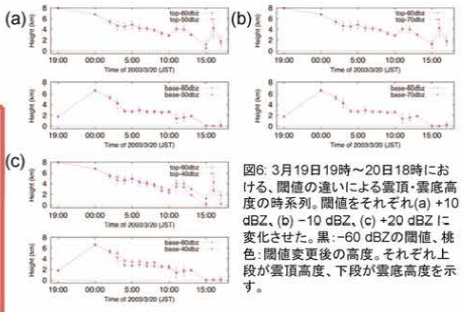

図6: 3月19日19時～20日18時における、閾値の違いによる雲頂・雲底高度の時系列。閾値をそれぞれ(a) +10 dBZ、(b) −10 dBZ、(c) +20 dBZ に変化させた。黒：−60 dBZの閾値、桃色：閾値変更後の高度。それぞれ上段が雲頂高度、下段が雲底高度を示す。

閾値の設定によって検出する雲頂・雲底高度がどの程度変化するのかについて調べた。

図6の(a)、(b)より、−60 dBZ を基準とし、±10 dBZ 変化させた際には、検出結果に大きな変化は見られなかった。しかし、(c)より、閾値を20 dBZ大きくした場合では、検出高度に有意な差が生じている。

まとめと今後の展望

奄美大島における雲レーダの観測データについて解析を行い、2003年3月15日から2003年4月13日の雲頂高度と雲底高度について調べた。−60 dBZの閾値で、画像からおおよその雲の形を検出できていることが分かった。また、雲頂・雲底高度の日内変動、日変動が大きいことが分かった。地表面付近の高度を検出している雲底高度については、雨・霧の影響を受けていると考えられる。また、雲の検出の際、ノイズが雲として検出されている可能性があることが分かった。さらに、閾値の設定や、何ピクセル以上の固まりを雲層と判断するかによっても検出結果は大きく変化すると考えられ、画像からの検出方法については改善の余地があると言える。今後は、雲のみを解析するために雨と考えられる時間帯は除外する方法や、氷雲と水雲の条件を仮定し区別を行う方法を用い、更に詳しく解析を行う予定である。

参考文献

[1] 高村民雄, 岡田格, 雲・放射収支とCERES, 日本リモートセンシング学会誌, 1998.
[2] 鷹野敏明, 高感度95 GHz ミリ波雲レーダの開発とその性能 −感度と空間分解能−, 電気学会論文誌A, 2008.
[3] P. Kollias et al., Millimeter-Wavelength Radars – New Frontier in Atmospheric Cloud and Precipitation Research, Bulletin of the American Meteorological Society, 2007.

謝辞

千葉大学環境リモートセンシング研究センターの高村民雄教授に有用なコメントを頂きました。御礼申し上げます。