

B-4 能動型と受動型リモートセンサーの複合利用による大気汚染エアロゾルと雲の気候影響研究
 (1) 雲レーダによる雲観測手法高度化とシナジーアルゴリズムの研究

独立行政法人情報通信研究機構	電磁波計測研究センター	熊谷博
	同 環境情報センシングネットワークグループ	大野裕一
千葉大学大学院自然科学研究科		鷹野敏明
東北大学大学院理学研究科大気海洋変動観測研究センター		岡本創
<研究協力者> 東京大学気候システム研究センター		Nick Schutgens

平成14～18年度合計予算額	1 6 6 , 4 9 1 千円
(うち、平成18年度予算額)	2 4 , 3 3 4 千円)

[要旨]

地球放射収支を通して気候変動に大きな影響を与えるとして雲およびエアロゾルは近年非常に注目されている。この気候変動予測のキーとなる雲を、その高さ構造も含めて精度よく観測できる手法の開発が本サブテーマの目的である。そこで本研究では、ミリ波を使った雲レーダを開発し、さらにその観測手法や解析手法も併せて開発した。ミリ波雲レーダについては、パルス方式の航空機搭載型雲レーダ (SPIDER) と本プロジェクトで開発したFMCW方式雲レーダ (FALCON) を用いた。特にFMCW方式雲レーダは、2アンテナ方式のFALCON-Iおよび1アンテナ方式のFALCON-IIを独自に低コストで開発したことから、マスコミなどに大いに注目された。また、雲レーダを使ったデータ取得も進め、SPIDERにおいては、2003年春季や2006年2月の直下ライダーを同時搭載した航空機観測や、2003, 2004, 2005, 2006年に地上での長期観測、また、インドネシア赤道レーダサイトにおけるキャンペーン観測を実施した。また、FALCONは観測船みらいに搭載して長期観測を行い、北極海、赤道太平洋、インド洋など広い地域を観測して、多くのデータを取得した。そして、SPIDER、FALCONなどの雲レーダで取得されたデータを用いてレーダ単独による雲の微物理量解析手法やライダーと組み合わせたシナジーによる微物理量解析手法の開発も進めてきた。これらの結果を気候数値モデルなどと比較することで、モデルで得られた上層の巻雲が観測より多すぎるなど気候モデルの検証や改良に結びつく結果を得ることができた。また、エアロゾル数密度と有効半径、氷水量と比較することで雲エアロゾル相互作用に関する検討材料を収集することができた。日本と欧州宇宙機関は、雲とエアロゾルの全球放射に対する役割を解明するために雲レーダとライダーを搭載したEarthCARE衛星の開発を2012年度の打ち上げを目指して進めている。この衛星の高次データ処理で必要となるレーダ・ライダーのシナジー解析手法は本手法を基にして今後詳細化を図りながら活用していく。

[キーワード] 雲レーダ、ライダー、FMCW方式レーダ、シナジーアルゴリズム、雲微物理量

1. はじめに

雲とエアロゾルの気候に対する影響の評価には未だに大きな不確実性が存在する。例えば、積算雲水量の緯度分布については、各国の研究機関の気候モデルを用いた再現実験でも大きなばら

つきがある。このばらつきの原因としては、雲のモデル化に違いがあることが大きな要素であると考えられている。しかし、現在まで、雲の鉛直分布に関しては、ほとんどデータセットが存在しないこともあり、解明は進んでいない。また人為起源エアロゾルの増加が気候へ与える影響として、エアロゾルとの相互作用により雲が変質する、いわゆる間接効果が大きな話題となっているが、その大きさの確定にもまだ至っていないのが現状である。近年、降雨レーダを搭載したTRMM衛星によって、全球的な降水量の把握が進められているが、これは全降雨量の8-9割程度を把握することはできるが、弱い降水域（霧雨）に対しては感度が足りない。この弱い降水域は全降水量に対しては大きくないが、降雨領域としてみると半分程度を占め、放射や熱収支への影響が非常に大きいと言われている。このような状況を改善するためには、雲・エアロゾルの高さ構造を知ることが不可欠であると考えられており、能動型センサーによる観測の必要性が広く認識されるに至っている。

雲・エアロゾル観測に重要な能動センサーとしては、雲レーダとライダーがある。これらは自ら電磁波を送信し、観測ターゲットからの受信信号を得る測定器であり、従来の太陽光からの反射光を観測するパッシブセンシングでは得ることのできない対象の高度分布等の新しい情報の取得が可能である。このため、本サブテーマでは雲レーダを使って雲の鉛直分布を求めることを研究の主眼としている。雲レーダは、ミリ波帯の電波(95、35GHz)を用いることで雲や霧といった小さな粒子まで高感度で測定できるようにした気象レーダで、まだ開発の歴史が浅くセンサー技術や解析手法にはまだ研究課題が多く存在し、まだ気象研究者が容易に観測を行う段階には達していない。

2. 研究目的

本プロジェクトでは、雲の鉛直構造が観測可能な雲レーダを活用して雲の各種情報を取得するとともに、ライダーと組み合わせる解析をするシナジー解析の手法を発展させて雲の微物理量に関する情報抽出を行う。さらにこの得られたデータを気候数値モデルなどと比較検討することで、気候モデルにおける雲物理過程の検証、改良に役立てることを目的とする。また、全球の雲エアロゾルの地球放射における役割を解明するための衛星ミッション（EarthCARE）で行われる雲レーダ・ライダーの高次アルゴリズム開発に役立てる基礎を確立させることも目的の一つである。

3. 研究方法

本研究では雲レーダとして、一つは情報通信研究機構で既に開発されている航空機搭載雲レーダ（SPIDER）を活用し、各種データを取得する。また、新たな雲レーダとして千葉大学で独自開発したFMCW方式の地上設置型雲レーダ（FALCON）を改良、新規開発して、雲データ取得に用いる。これらは、サブテーマ2で行われる国立環境研究所のミーライダーを組み合わせるシナジー観測を実施して、雲レーダ・ライダーのデータセットを取得する。地上で鉛直固定の観測を続け、長期データを取得するとともに、観測プラットフォームとして飛行機（SPIDER）、観測船（FALCON）を用いて広範囲にわたる雲観測データも取得する。シナジー解析アルゴリズムについては、雲レーダ・ライダーのエコー強度のみでなく、ドップラー速度、偏光解消度、マイクロ波放射計など他のパラメータや測器と組み合わせることでその高度化を図って、検証を行う。また、気候数値モデルとしては東京大学気候システム研究センター・国立環境研究所・地球フロンティアが開発

した大気大循環モデルAGCMにエアロゾル輸送スキームを組み合わせたSPRINTERを比較対象として用いて、雲だけでなくエアロゾルの分布なども含めて解析を行う。

4. 結果・考察

(1) SPIDERによるデータ取得、解析

SPIDERは情報通信研究機構が平成9年に開発したパルス方式の雲レーダである。流線型のポッドにレーダを格納してGulfstream-II という航空機に取り付け、雲の上空より下方の雲観測をすることができる。2003年3-4月に九州南西域において、雲やエアロゾルの観測を目的とした大々的なキャンペーン観測が行われた。SPIDERも直下ライダーとともにこの航空機に取り付けて計10回、21時間を越える飛行観測を実施した。図1は飛行機に取り付けられた雲レーダの写真で、図2にこのときの飛行コースを示す。このとき直下ライダーとシナジー観測をして得られたレーダ、ライダーエコー強度、有効半径、雲氷量の鉛直断面が図3である。航空機から雲レーダとライダーで同時に雲鉛直断面を取得した例は少なく、衛星観測手法の確立の面でも貴重なデータを取得することができた。



図1 飛行機に取り付けられたSPIDER

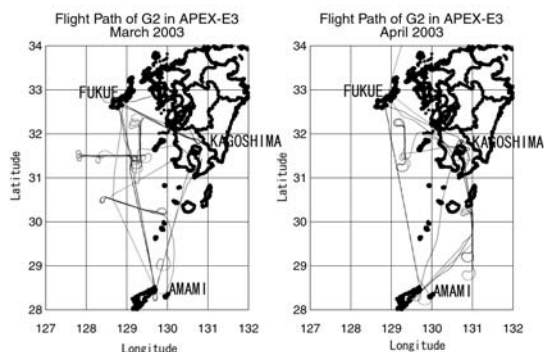


図2 2003年3月および4月の飛行機経路

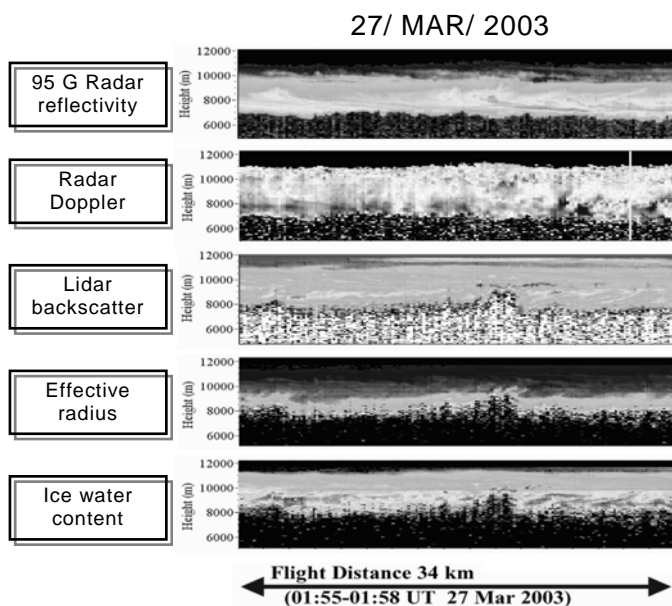


図3 飛行機観測で得られたレーダ、ライダーのエコー強度および有効半径、氷雲量の断面図

次に地上からの鉛直上方を向けた長期観測について示す。2003, 2004, 2005, 2006年と天井にレードームつき窓を有するコンテナにSPIDERを収納して、小金井の情報通信研究機構において上空の雲連続観測を実施した。データは自動で24時間連続して続け、数ヶ月に及ぶ連続観測データを取得した。雲レーダのデータには雲以外に、下層には虫などによる非降水エコー、雨のエコー、雑音による偽のエコーが現れるので、これを取り除かないときちんと雲の解析としては見誤ることになる。図4はこうして得られたデータから雲のデータを識別して、各月ごとの雲出現高度分布の変化である。夏にエコー頂が高くなり、冬に低くなるという季節変化以外にも、6月に上層の雲出現率が最大になる、夏季に2-3kmに雲出現率の小さな高度が現れるなど、ほぼ似た季節変化のプロファイルが見られる。これはこの月ごとの統計が雲出現率の季節変化として有意な情報であることを示しており、1地点ではあるが、雲高度の季節変化の実態を明らかにできた。

2006年11月にインドネシア、スマトラ島にある赤道レーダサイトにSPIDERを移設して10日間鉛直固定観測を実施した。赤道レーダは大気からの散乱エコーを捕らえて大気速度を測定することができるので、雲内の鉛直大気速度場を測定することができる。雲内の雲粒子は大気の鉛直運動に乗っていることから、雲粒子の落下速度を調べるためには大気の鉛直速度を差し引く必要がある。そして赤道レーダで得られた大気の鉛直速度を引くと、巻雲内の粒子の落下速度とレーダ反射因子には明確な相関関係があることがこの解析より明らかになった。

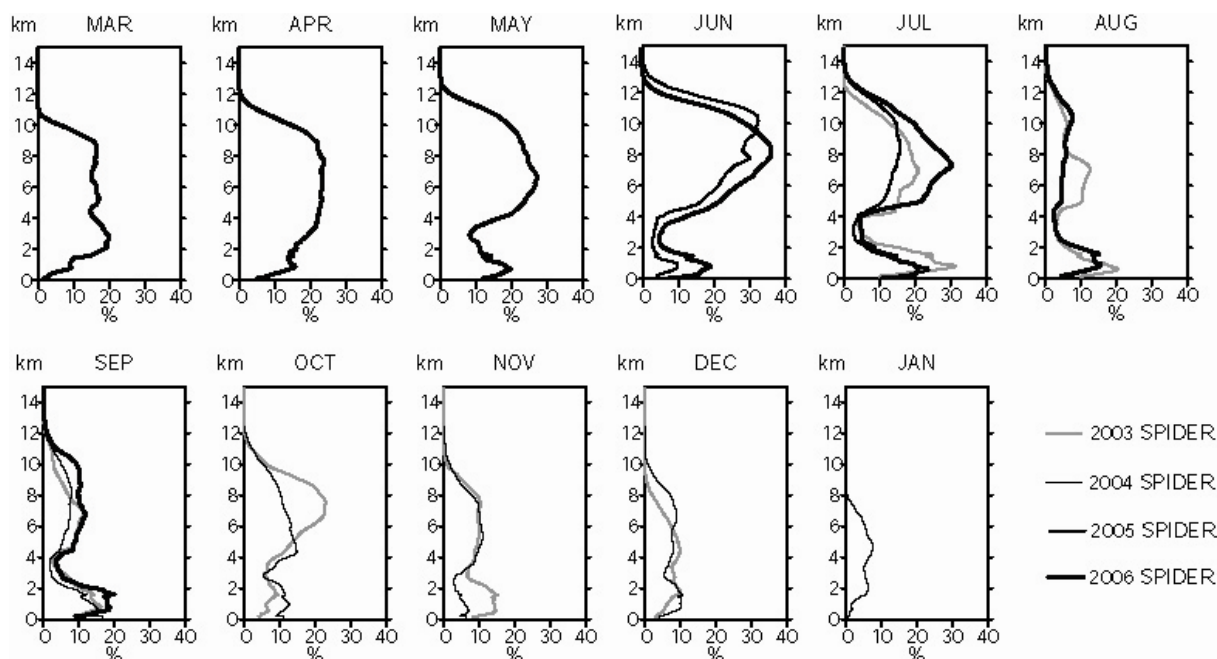


図4 SPIDERの鉛直観測で得られた小金井上空の雲の出現分布プロファイル

(2) FMCW型雲レーダ (FALCON-I、-II) の開発およびデータ取得、解析

FMCWレーダとは、パルス状の電波を出す代わりに送信周波数を連続的に掃引して射出し、送信した周波数と受信エコーの周波数との差から距離情報を得るレーダである。ミリ波レーダ用のパルス大電力送信管は高コストであるために半導体電力増幅素子を用いることが望ましいのだが、送信電力が30dBほど小さくなる。そのためFMCW型は送信電力を小さくする代わりに連続波を用い、

低コストで耐久性、保守性、安定性に優れたレーダを形成できる。こうしたことから千葉大学では95GHz帯のFMCW型雲レーダの製作に取り組み、独自に部品をそろえながら送信用と受信用の二つのアンテナを使用するFALCON-I および送受信アンテナを同一にしたFALCON-II の開発に成功した（図5）。アンテナを一つにするFALCON-II は、送信波がアンテナ系を通じて受信器に直接入り込む漏れこみを低減させないと、雲からの非常に微弱なエコーを捉えることができないという大きな技術的課題があるが、高ゲインの大きなアンテナを使用することができ、全体をコンパクトにすることができる。本研究においてFALCON-I の性能の向上、評価、FALCON II の初期開発を行ってきた。

FALCON-I の性能評価をするためにFALCON-I をパルス型雲レーダSPIDERのある情報通信研究機構小金井に運び、近距離において鉛直上空の同時雲観測を実施した。図6はこのときの受信エコーの6時間分の高度時間断面図（上がFALCON-I、下がSPIDER）を示している。FALCON-I では多少感度が劣っているが、12時に5km以上にあった雲が徐々に高度を下げて15時過ぎに雨が降り出している様子が、SPIDERとほぼ同様に得られている。図7はSPIDERとFALCON-I の受信エコー強度を比較した例で、両観測は非常に相関が高いことが示されている。また、この結果よりFALCON-I が最低感度-32dBZまで取得可能であることが示された。

上記で感度を校正したミリ波雲レーダ1号機 FALCON-I を、2004～2006年度の3年にわたって、（独）海洋研究開発機構の海洋地球研究船「みらい」に搭載し、長期間の観測を実施した。各年度とも、FALCON-I を「みらい」後部甲板に設置したコンテナに置き、夏から冬の終わりまでの約5ヶ月間にわたり継続して観測を行った。この3ヵ年度で観測した海域は、太平洋の大部分と北極海、インド洋に及ぶ。観測した海域と航路を図8に示す。3年間におよびこの長期間観測で、FALCON-I は安定して運用でき、連続的に雲データを取得することができた。95 GHz という高い周波数のレーダでこれほど広範囲に観測した例はこれまでなく、地球全体の雲分布や海域による雲の構造や生成消滅の研究を進める上で大変役立つものと期待される。

2004年9月から2005年1月にかけての観測船「みらい」上で取得した北極海および南西太平洋パラオ沖海域でのエコーの時間高度断面図を図9に示す。北極海では高度5km以下に低く垂れ込めた雲が長い期間にわたって見られる一方、南西太平洋では雨や雲は数時間以下の時間で大きく変化していることが分かる。これらを定量的に示すために雲と雨の検出率の高度分布を北極海および南西太平洋のそれぞれについて調べた（図10）。北極海では、地表付近で50%の率で霧や雨が検出されているが、雲の高度分布は6km程度までであった。一方、南西太平洋では雲の高度分布は10km程度までに広がっているが、各高度の検出率は8%以下と小さくなっていた。船舶に搭載して移動して観測することで、地球規模での雲分布を捉えることができた。このデータは、グローバルな気候を考えていく上で、重要かつ貴重な基礎データになると考えられる。

FALCON-II（図1右）は、アンテナを1台として送信と受信を同一アンテナで行う方式であり、装置全体の大きさをコンパクトにまとめることに成功した。また、これまで試験観測で降雨の様子を捉えることができ、感度等はFALCON-Iに近いことを示すことが出来た。しかし、システムの安定性や送信信号の受信側への漏れこみなど問題も残されており、今後はこれらを解決し、雲検出感度の飛躍的向上を目指していく。



図5 開発されたミリ波FM-CW型雲レーダFALCON-I (左)およびFALCON-II (右)

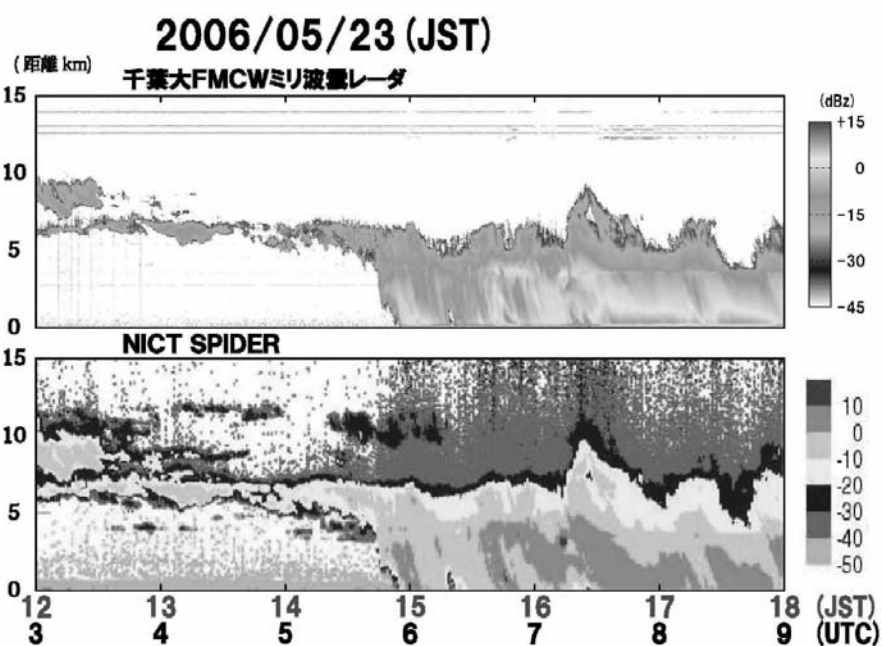


図6 雲レーダエコーの雲高度断面図(上:FALCON-I、下:SPIDER)

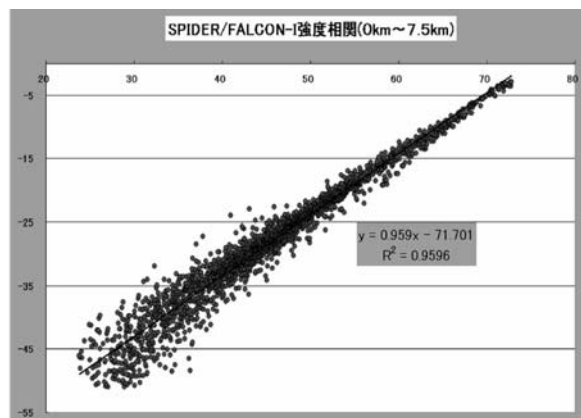


図7 雲レーダエコー強度の散布図(横軸:FALCON-I、縦軸:SPIDER)。0~7.5km の様々な雲についてプロットしたもので両者はよい相関を示している。

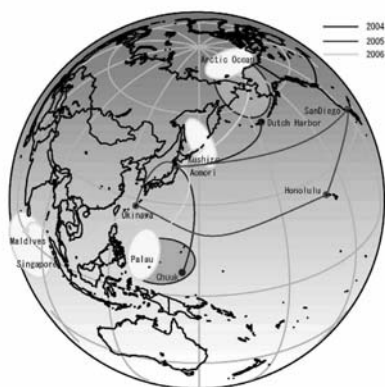
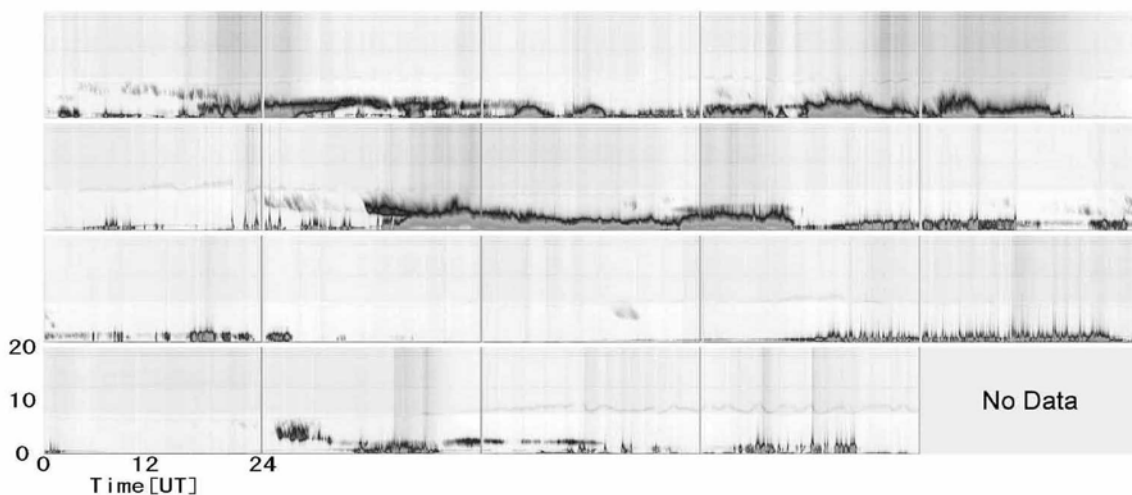


図8 2004～2006年度に海洋地球研究船「みらい」にFALCON-Iを搭載して行った観測海域と航路

Cloud Profiles in the Arctic Ocean (2004. Sep. 21～Oct. 10)
Millimeter-Wave FM-CW Radar of Chiba Univ. on MIRAI



Cloud Profiles in Palau (2004. Dec. 15～2005. Jan. 3)
Millimeter-Wave FM-CW Radar of Chiba Univ. on MIRAI

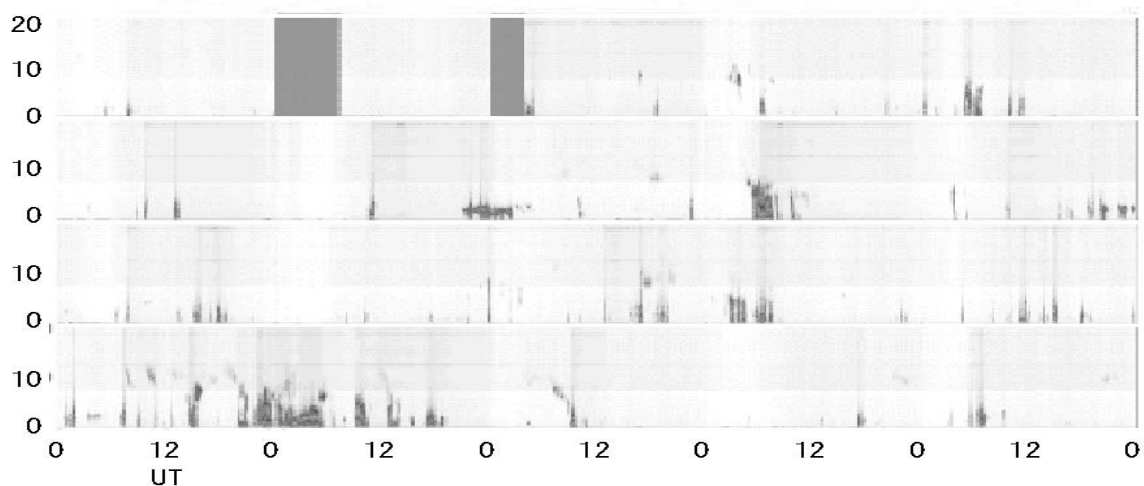


図9 FALCON-I の鉛直真上方向の雲プロファイル（上：2004年9月21日～10月9日の北極海、下：2004年12月15日～2005年1月3日の南西太平洋パラオ沖）横軸は時間で 0:00～24:00 (UT), 縦軸は高度で高度20km までの雲の様子を表している。

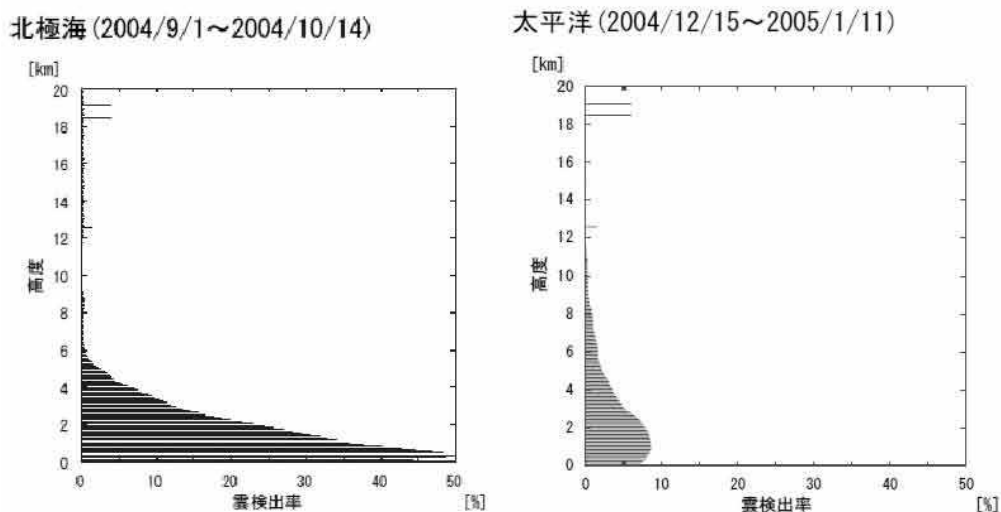


図10 図9の結果を用いて計算した高度100m 毎の雲および雨が検出されている時間の割合
(左：北極海、右：南西太平洋パラオ沖)

(3) シナジアルゴリズムの開発と気候モデルとの比較

本研究では雲レーダ・ライダーの観測結果を用いて、雲域の抽出を行う雲マスクの開発、雲と降水や霧雨域との区別、放射収支を計算するため、上層の氷雲と下層の水雲の微物理量の導出を行った。また、エコー受信強度だけでなくドップラー速度と交差偏波比の情報を組みあわせて、雲レーダのみで雲微物理量導出に用いる手法の開発を行った。これにより、これまで精度良く求める事のできなかつた雲域の鉛直分布、降水・霧雨域の鉛直分布、氷雲の有効半径と氷水量の鉛直分布、エアロゾルの種類と濃度の鉛直分布の把握ができるようになる。また、大気大循環モデルAGCMの雲とエアロゾル生成スキームの評価校正として、雲とエアロゾルの微物理量のアウトプットからレーダとライダーの観測値に対応する信号を計算するレーダー・ライダーシミュレーターを開発し、それらを用いたAGCMの評価を行った。さらにレーダ・ライダーシナジアルゴリズムを適用して有効半径、氷水量を算出して、中緯度と熱帯を比較したとともに、エアロゾル数と有効半径、氷水量の関係についても相関関係を調べた。

巻雲などの氷粒子で構成される上層雲の雲レーダの信号の解析には、氷粒子の散乱特性の正確な把握が必要となる。これにはそのような計算を可能にする散乱理論適用が望ましい。これには任意の形状の粒子を扱うことのできるDiscrete Dipole Approximation (DDA) 法が95GHzでの六角柱や平板状など様々なアスペクト比を持つ氷粒子の計算で十分な精度を持つことがわかっている(Okamoto 2002)。ここでは最近の航空機現場観測から導かれた代表的ないくつかの現実的な粒子の特性を考慮することにする。レーダとライダーを組み合わせることで雲の微物理量を抽出する手法に関しては、これまでに氷雲を対象に開発してきたものをベースとする(Okamoto et al., 2003)。これを水雲の場合、及び広範な観測範囲において運用できるようにした。

最初に雲マスクについて、いくつかの手法を用いてその評価をした。雲レーダのレーダ反射因子とノイズの情報を用いるものをC1、ライダーの可視波長の信号を用い、エアロゾルと雲を区別するしきい値を設けて、ライダーの後方散乱係数の情報のみから雲を識別するものをC2、レーダとライダーで同時に雲を検出した場合を雲とするC3、レーダかライダーのどちらかで雲を検出し

た場合に雲とするC4、C4に温度の情報を加えて、温度が0度以上ではライダーの雲底情報を利用し、それより下の高度にあるレーダから検出された層は降水や霧雨であるとして除去するスキームをC5とした。C4とC5の差は降水と霧雨の有無に相当する。これらの5つの雲マスクスキームをSPIDERで取得された2001年の中緯度のみらいの航海データに適用し、全観測期間の平均的雲出現頻度分布を導いた結果が図11である。中緯度のこのデータの例では、上層7kmと11kmに2つのピークがあり、これは相対湿度の極大に対応している。また、高度4kmから上ではC1とC4、C5のマスクでは差が全くなかった。さらに下層雲が多かったということを反映し、レーダとライダーとで同時に雲が検出できたC3の結果は10%以下であった。上層にはsub visual cirrusのような非常に薄くライダーでしか検出可能でないような巻雲は存在せず、上層の雲の検出に関してはミリ波レーダが十分な感度を有していたと考えられる。高度4kmはこの観測期間で気温0度であったことがラジオゾンデの観測からもわかっている。よってこれより下の高度では液体の水が存在していたと考えられる。これらの高度領域では、C5とC4の差が霧雨や降水の頻度に対応する。例えば高度1kmではC4で29%、C5では19%であったが、霧雨か降水とされているものは10%ということになる。これは雲の約三分の一が霧雨等を伴っているということを示している。一方雨量計のデータによると、降水頻度は2%でしかなかった。この差は大部分の雲粒子が落下する過程で海面に到達する前に蒸発しているということを示している。実際に、1km高度から霧雨で典型的な粒子半径である50、100、200ミクロンを仮定し、1kmと海面での温度の差、海面での水蒸気量を用いて、簡単に粒子の蒸発と落下時間を見積もると、200ミクロン以下では落下にかかる時間の方が蒸発に要する時間より長いことがわかった。霧雨はかなりの部分が地表面に到達する前に蒸発するということがだが、レーダとライダーによる結果と整合性があった(Okamoto et al., 2007)。

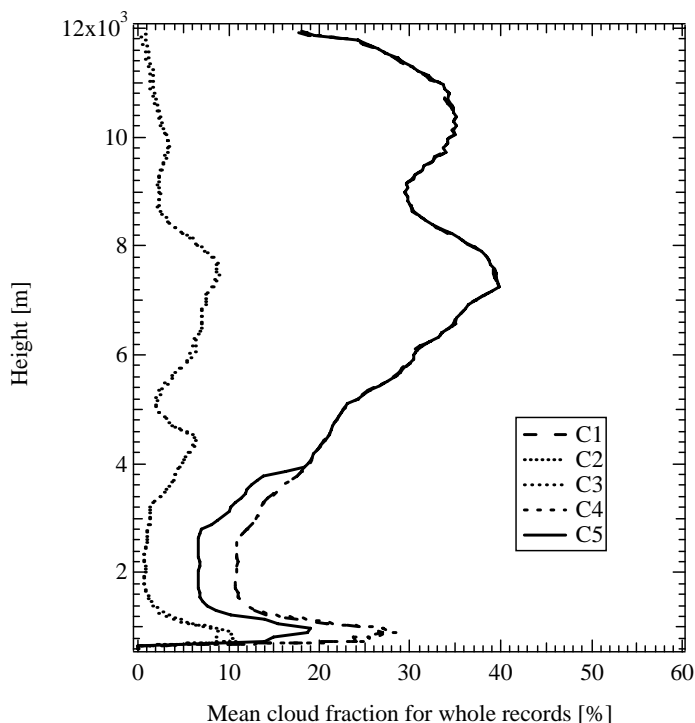


図11 様々な雲マスクスキームによる2001年に中緯度で観測された雲の出現頻度分布

同様な解析を2001年9月21日から12月10日までの西部熱帯太平洋上の観測結果で行ったものが

図12である。簡単のため、レーダだけのC1と霧雨を除去した後の雲域だけのものを出すC5の比較だけ示す。圏界面高度が17km程度で、雲出現頻度は16km程度まで伸びている。雲出現頻度の最大値は20%で、高度11km程度に存在していた。これはアンビルの存在する高度に対応すると考えられる。また気温0度の高度は5km程度であり、そのため、C5とC4の差は高度5km以下に生じていた。高度1kmでC1では24.3%、C5で7.5%であったので、これから霧雨を見積もると、霧雨の出現頻度は17%程度、雲エコーの七割程度は霧雨を伴っていたことを示している。雨量計の示す全観測期間の降水頻度は1.5%であり、この差は熱帯での非常に強い蒸発を示していると考えられる。

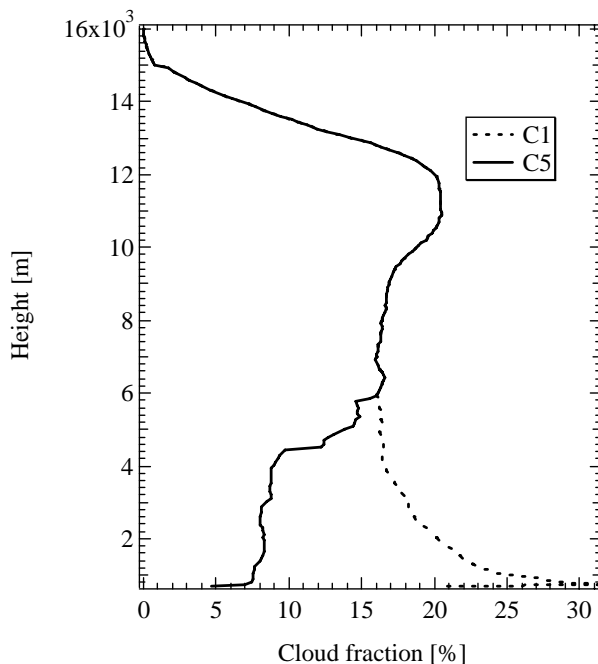


図12 図11と同じ。ただし熱帯の場合

次に国立環境研究所、東京大学気候システム研究センター、地球フロンティアの開発による大気大循環モデルAGCMにエアロゾル輸送スキームSPRINTARSを組み合わせたモデルを、みらいの観測期間に走らせ、雲とエアロゾルに関する微物理量等をみらいの航路に沿って切り出し、観測と比較した。モデルの水平解像度は約100km、鉛直には20層のものを用いた。モデルの出力に合わせて、データの比較は6時間平均値を比較した。スケールの大きなモデルの結果を詳細なスケールの観測データと比較するため、いくつかの必要な工夫を行った。雲の雲量をAGCMから計算する場合、AGCMではあるグリッドではグリッド平均の雲水量と雲量が与えられる。レーダ反射因子を求めるため、観測に用いた機器の最低検出感度を考慮して、まずグリッド平均の雲水量を雲量で割り、それを計算に用いた。同様にライダー後方散乱係数をモデルの出力から計算し、前述した雲マスクを実施し、最終的に雲の観測されるグリッドを求め、C5によって観測から得られたものと比較した(図13)。中緯度では下層で雲出現頻度を過小評価、中層から上層にかけて過大評価であることがわかった。また観測から得られた雲出現頻度の二つのピークは再現されていなかった。熱帯でも雲出現頻度の時間高度断面を観測から導かれたものと比較した(図14)。全期間にわたって上層でかなり過大評価となっていた。全期間平均では、モデルで約二倍程度の上層雲の過大評価であった(図15)。

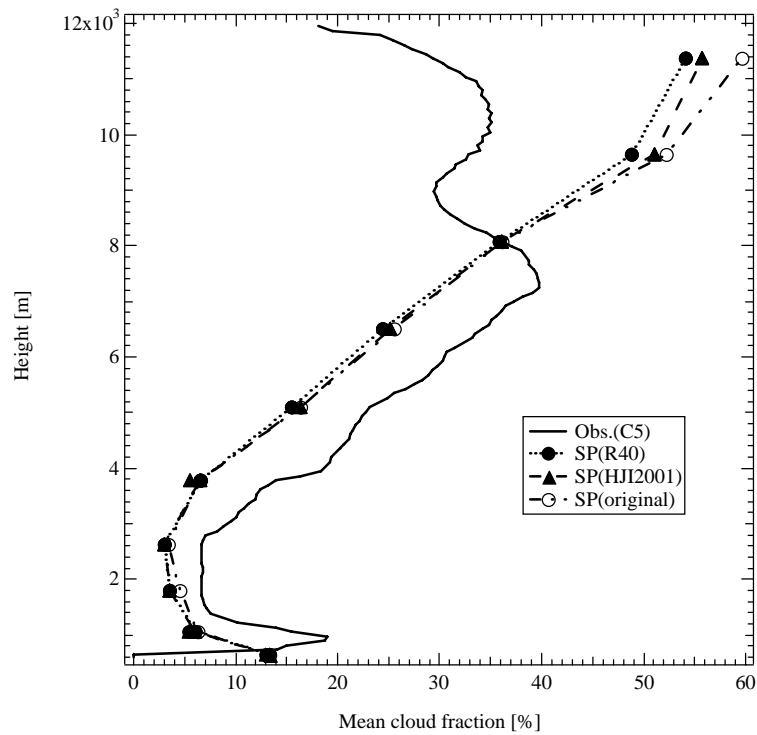


図13 中緯度の2001年の航海で得られた雲出現頻度分布とモデルとの比較
R40は粒子有効半径を40ミクロンに、HJI2001はZ-IWC関係によってパラメータ化した結果

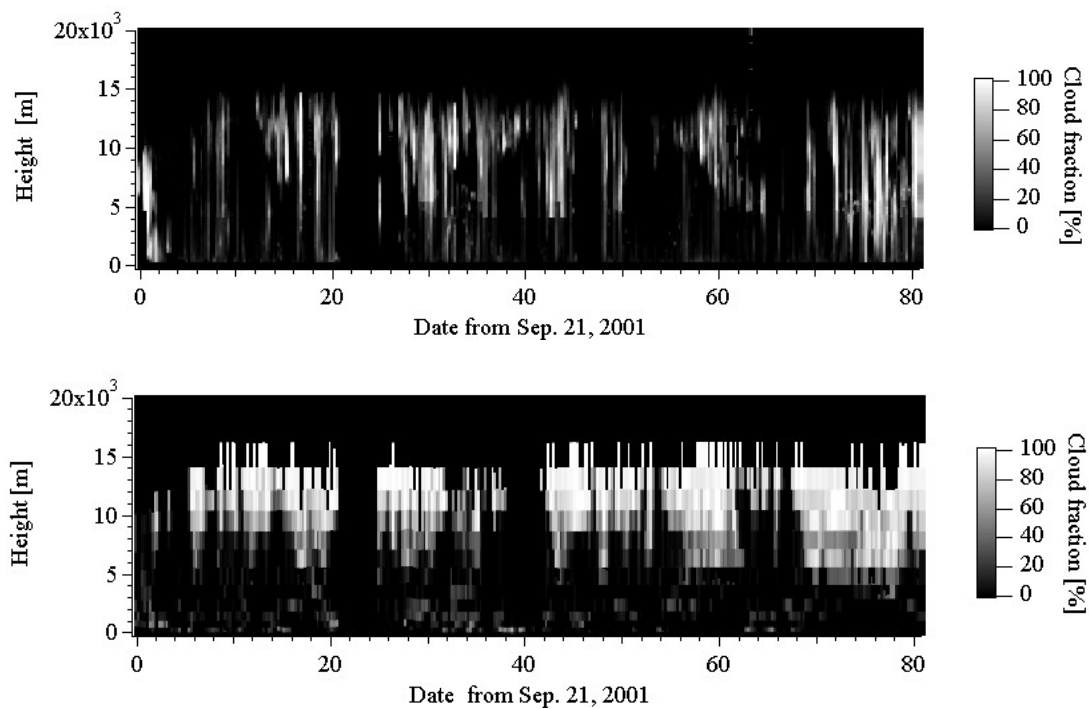


図14 西部熱帯太平洋上における雲出現頻度の時間高度断面の観測値(上)とモデル値(下)の比較

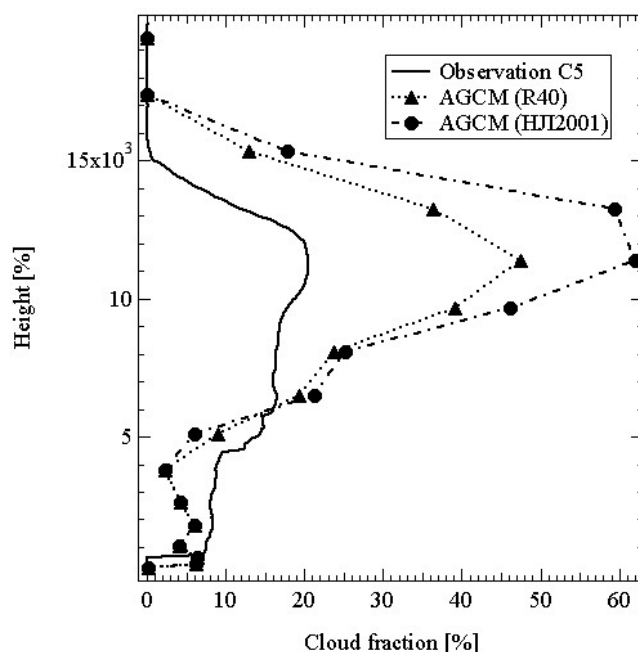


図15 図14と同じ。ただし熱帯の場合。

次にリトリバルアルゴリズムの開発結果について示す。基本的なアルゴリズムは、(1) レーダ反射因子とライダー後方散乱係数を組み合わせた2003年のものを改良させたもの(Okamoto et al., 2003)で水雲用、氷雲用がある。主な改良点は、水雲用にライダーで多重散乱の考慮がされていること、雲マスクで最新のOkamoto et al., 2007のものを採用していることである。(2) レーダ反射因子とドップラー速度の情報を用いるもので巻雲用。(3) 二波長偏光ライダーの解析用アルゴリズム(Nishizawa et al., 2007)、の3つである。(1)のうちの氷雲に対するものと、(2)のドップラーを組み合わせるものに対しては、アメリカNCARのHeymsfield氏の呼びかけであるアルゴリズム比較検証実験に参加し、精度を調べた。この結果、我々のレーダ・ライダーを組み合わせるアルゴリズムは参加十チーム中でトップの成績をおさめた。レーダ/ドップラーも良い成績を収める事ができた(Heymsfield et al., 2007)。これによると、航空機で観測されたIWCに対するリトリバルされたものの比の平均値とその標準偏差は、我々のレーダ・ライダーで、 1.06 ± 0.85 、レーダ・ドップラーで 0.93 ± 0.93 であった。このように他のチームのアルゴリズムと比較して我々の方が良い成績を残すことができた理由は、次の通りである。広くレーダ解析で用いられているものとして、BF95(Brown and Francis 1995)による粒子の半径と密度の関係がある。これは航空機観測でプローブによって得られるものを解釈する上で必要になったものであるが、この関係によると半径が大きくなると、密度は急激に下がっていく事になる。この場合、密度はeffective densityと呼ばれるもので、非球形粒子を考えた場合、それを囲うような仮想的な球を考え、その球のうち粒子がしめる体積をもとに、密度を計算するものとなっている。実際の粒子の密度は、粒子の中の空隙だけを考慮するので、bulk densityと呼ばれ、これは氷粒子では0.6-0.8の間をとることがわかっている。このeffective densityを持つような仮想球の平均誘電率をMaxwell-Garnet平均誘電率理論で求め、Mie理論かRayleigh散乱理論からレーダ反射因子を計算するというのがBF95を用いる代表的なものである。我々はこの精度を確かめるため、Discrete

Dipole Approximation法とBF95にもとづくものの両方を航空機観測で取得されたものに基づいた氷粒子モデルについて計算した。その結果、40ミクロンを超えると、BF95に基づいたものは大きく過小評価すると言う結果が得られた。100ミクロン以下の粒子ではMie理論で計算したものと粒子の形状を考慮したものの差は2dB程度であるため(Okamoto 2002)、100ミクロン以下はMie理論を、それ以上ではDDAを使用すべきで、BF95に基づくレーダ反射因子の計算は基本的には行ってはならない、という結論を得た(Sato and Okamoto 2006)。

このレーダ・ライダーによるリトリーバル法をみらい航海MR01-K02、MR01-K05で得られたデータそれぞれに適用し、有効半径と氷水量(IWC)を導いた。中緯度では有効半径のピークの位置が100ミクロンと大きいのに対し、熱帯では60ミクロンと小さい。これは、熱帯ではアンビルのように高高度に出現する薄い巻雲が多いため、有効半径も小さいため考えられる(図16)。同様にIWCについても、熱帯の方が小さい氷水量が大きかったがピークの値は、 $0.02\text{g}/\text{m}^3$ であり違いがない。

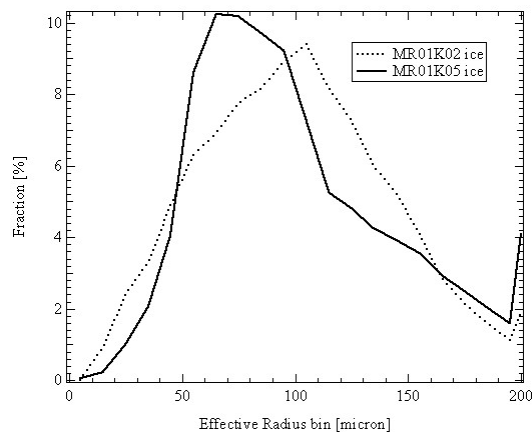


図16 有効半径の頻度分布
中緯度MR01-K02と熱帯MR01-K05での比較

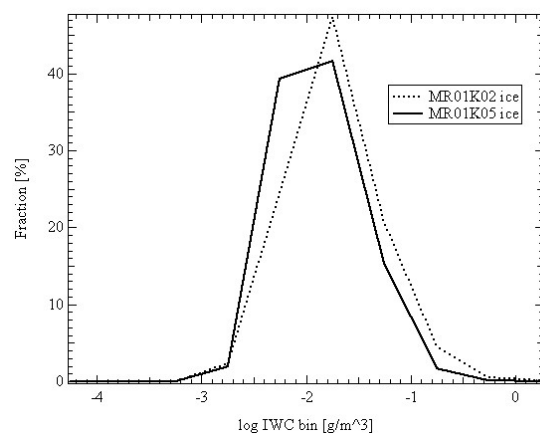


図17 図16と同様だが、氷水量の比較

最後に、雲底直下のエアロゾル数密度と雲底の雲粒数密度や雲粒子の有効半径の関係を調べた。エアロゾル数密度は、二波長偏光ライダーのアルゴリズムを使用して算出した結果を、雲の微物理情報は、雲レーダ・ライダーアルゴリズムを使用して解析した結果をそれぞれ用いた。図18(a)には中緯度の航海MR01-K02の期間に得られた雲有効半径とエアロゾル数密度の関係を、図18(b)は同期間の雲粒数密度とエアロゾル数密度の相関を調べたものである。エアロゾル数密度が少ない場合、雲有効半径は大きいですが、エアロゾル数密度が1ccあたり1000個以上に多くなると、霧雨抑制効果が働き、有効半径は20ミクロン以下になっているように見える。また雲粒の個数がエアロゾル数密度以上のものは移流によるものとして除くと、正の相関があり1000個以上のエアロゾル数密度に対しては急激に雲個数密度が上がっているように見える。同様な解析を西部熱帯太平洋域の航海データMR01-K05に関して行った結果を図19に示す。基本的には熱帯においても中緯度の結果と同じ傾向を示すことがわかった。エアロゾル数密度が1000個/ccを超える場合、霧雨生成が抑制され、やはり有効半径は20ミクロン以下に抑えられていることが多いようである(図19a)。エアロゾル個数密度が500個/cc以下では雲粒子の個数密度は小さく、それを超えると急激に個数が増加していることがわかる(図19b)。

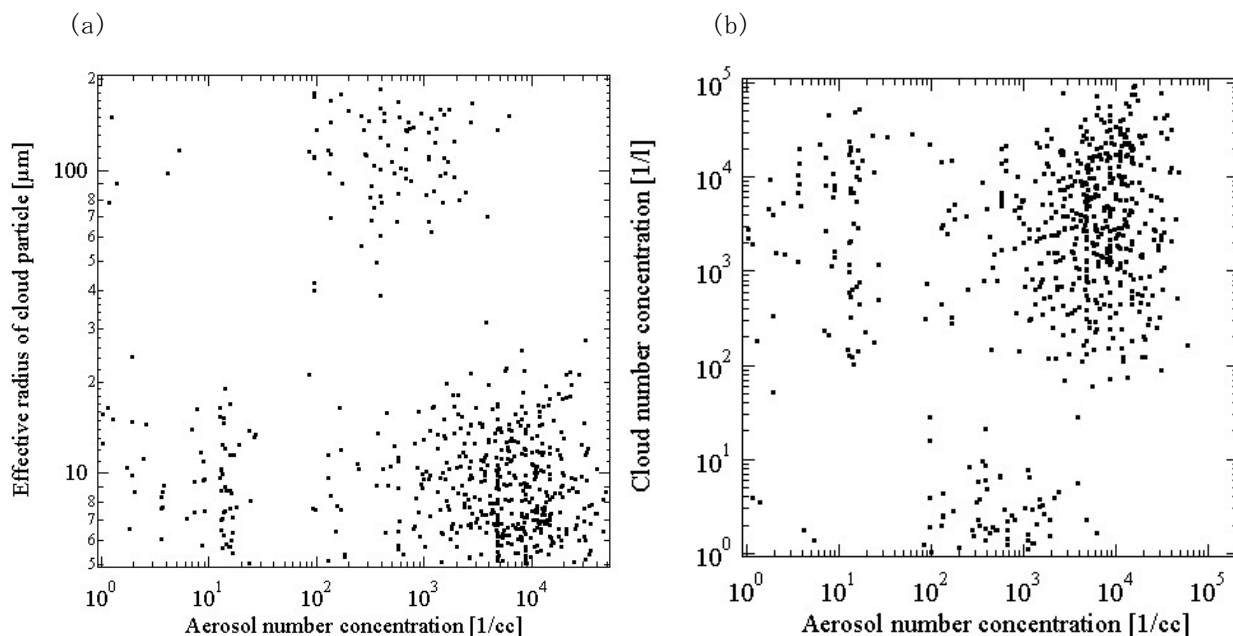


図18 中緯度におけるみらい観測データから得られたエアロゾルと雲微物理特性の解析結果
(a)エアロゾル数密度と雲粒有効半径の関係、(b)エアロゾル数密度と雲粒数密度の関係

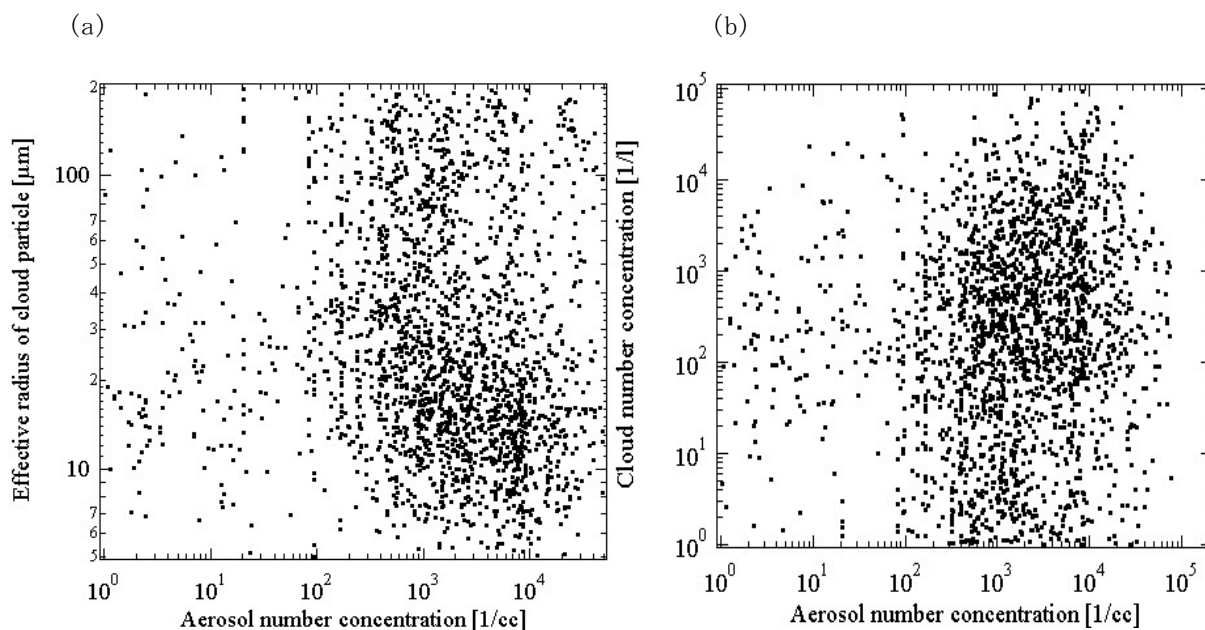


図19 図18と同じ。ただし熱帯の場合

(4) 衛星搭載雲レーダ、ライダー観測への展開

本研究プロジェクトでは、広範囲の雲・エアロゾル情報を取得するために、航空機を用いたり船舶を用いたりして水平展開を図ってきたが、それには限界があり、全球の雲・エアロゾルを把握して気候モデル改善に有効な情報を得るにはやはり衛星による観測が必要になる。日本（宇宙航空研究開発機構および情報通信研究機構）と欧州宇宙機関は、雲とエアロゾルの全球放射に対

する役割を解明するためにEarthCARE衛星の開発を進めている（図20）。表1にこの衛星の緒元を記す。この衛星には本サブテーマの中心である雲レーダ（表2）とライダーが搭載され、雲・エアロゾルの鉛直分布を全球で測定するとともに、レーダ・ライダーのシナジーアルゴリズムにより雲の微物理量に関する導出も計画されている。現在、2012年度の打ち上げを目指して設計が進んでいる。この衛星に搭載する雲レーダは日本が開発を分担しており、各種設計が進んでいる。この衛星観測データのプロダクトとしては有効半径、氷水量などの導出も検討されており、この高次データ処理で必要となるレーダ・ライダーのシナジー解析手法は本研究で得られたアルゴリズム開発が非常に役立つと考えられる。

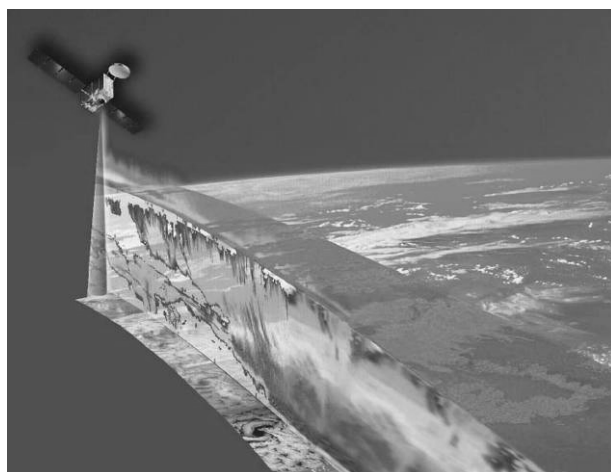


図20 EarthCARE衛星の観測概念図

表1 EarthCARE衛星の緒元

開発主体	欧州宇宙機関 (ESA)、宇宙航空研究開発機構 (JAXA)、情報通信研究機構 (NICT)
衛星軌道	太陽同期極軌道
衛星高度	430km程度
搭載センサー	雲レーダ、ライダー、可視赤外イメージャー、広帯域放射計
打ち上げ予定	2012年
ミッション期間	3年

表2 EarthCARE搭載雲レーダの緒元

送信周波数	94.05GHz
送信出力	1500W以上
送信パルス幅	3.3マイクロ秒
高度分解能	500m
アンテナビーム幅	0.1度以下
ビームサイズ	約800m
観測高度	-0.5~20km(地表面を基準として)
観測ピクセルサイズ	0.8×10km
最低観測感度	-35dBZ以上 (大気上端 10km積分時)
ドップラ速度誤差	1m/s (-19dBZ以上の雲に関して 10km積分時)

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

レーダとライダーを組み合わせることで雲の微物理情報を精度良く求めることができるようになった。アルゴリズムの精度に関しても航空機観測のデータと比較することで現在考えられる最も確かな方法で調べることができた。レーダとドップラー速度を組み合わせる手法の開発も行い、やはり精度も確立することができた。これらによって、放射収支に重要な氷雲のほとんどを解析可能になった。さらにはじめて海上で得られた長期の船舶搭載のレーダとライダーのデータにこれらを適用することで、中緯度と熱帯域の雲微物理量の違い（熱帯の方が小さい有効半径）について言及することができた。

(2) 地球環境政策への貢献

これらの観測データからアルゴリズムを適用し、リモートセンシングによって求めた雲の巨視的情報と微物理情報を求めることができ、それをを用いた気候モデルの検証法を示すことができた。現在の気候変動予測にはここで検証した大循環モデルが用いられていることから、モデルのパフォーマンスをかなり正確に見積もることができたこと、特に上層の雲の再現性に関し問題の多いことを示せたことは大きな貢献であったと言える。ここで作成した観測データベースを提供していくことで、今後信頼性の高いモデル開発に生かすことができれば、予測精度はさらに向上するので、地球環境政策へのさらなる貢献につながる。

6. 引用文献

- 1) A. Heymsfield, A. Protat, R. Austin, D. Bouniol, R. Hogan, J. Delaue, H. Okamoto, K. Sato, G. Zadelhoff, D. Donovan, Z. Wang: Accepted J. Appl. Meteor. (2007), “Testing and Evaluation of Ice Water Content Retrieval Methods using Radar and Ancillary Measurements”
- 2) T. Nishizawa, H. Okamoto, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, K. Aoki: J. Geophys. Res., 112, D06212, doi:10.1029/2006JD007435 (2007), “An algorithm that retrieves aerosol properties from dual-wavelength polarized lidar measurements”
- 3) H. Okamoto : J. Geophys. Res., 107 (D22, 4628), doi: 10.1029/2001JD001386 (2002), “Information content of the 95GHz cloud radar signals: Theoretical assessment of non-sphericity and error evaluation of the discrete dipole approximation”
- 4) H. Okamoto, S. Iwasaki, M. Yasui, H. Horie, H. Kuroiwa and H. Kumagai: J. Geophys. Res., 108, D7, 4226, doi:10.1029/2001JD0001225 (2003), “An algorithm for retrieval of cloud microphysics using 95-GHz cloud radar and lidar”
- 5) H. Okamoto, T. Nishizawa, T. Takemura, H. Kumagai, H. Kuroiwa, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, A. Kamei, S. Emori, and T. Nakajima: J. Geophys. Res., 112, D08216, doi:10.1029/2006JD007628 (2007), “Vertical cloud structure observed from shipborne radar and lidar, Part (I) : mid-latitude case study during the MR01/K02 cruise of the R/V Mirai”
- 6) W. B. Rossow and R. A. Schiffer: Bull. Amer. Meteor. Soc., 80, 2261-2287 (1999), “Advances in understanding clouds from ISCCP”

- 7) W. B. Rossow, Y. Zhang and J. Wang: J. Climate, 18, 3587-3605 (2005), "A statistical model of cloud vertical structure based on reconciling cloud layer amounts inferred from satellites and radiosonde humidity profiles"
- 8) K. Sato and H. Okamoto: J. Geophys. Res., 111, D22213, doi:10.1029/2005JD006959 (2006), "Characterization of Ze and LDR of nonspherical and inhomogeneous ice particles for 95-GHz cloud radar: Its implication to microphysical retrievals"
- 9) G. L. Stephens and the CloudSat Science Team: Bull. Amer. Meteor. Soc., 83, 1771-1790 (2002), "The CloudSat Mission and the A-train. A new dimension of space-based observations of clouds and precipitation"

7. 国際共同研究等の状況

(1) 欧州宇宙機関(ESA)と雲レーダを搭載した雲エアロゾル放射収支衛星計画(EarthCARE)を共同で進めている。EarthCARE計画は、ESAによるEarth Explore Core Missionとして検討されている将来ミッションである(2012年打上想定)。日欧共同のフェイズA研究が終了し、2004年度EarthCARE計画は次期地球探査衛星として選定された。本衛星計画の共同研究の一環として、欧州側の関連分野の研究者(代表者:英国Reading大 A. J. Illingworth教授)との緊密な共同研究も行なわれている。飛行機観測、アルゴリズム比較、衛星観測のシミュレータ開発などで密接な協力を行っている。

(2) 本研究参加者は、NASA CloudSat科学者チームのメンバーとして米国科学者と共同で研究を行っている。なお、CloudSat主任研究者は G. Stephens教授(コロラド州立大)であり、2006年打上げ予定である。

(3) 観測船みらいを使用した雲観測については、GEWEX Cloud System Study Data integration for Model Evaluationという国際プロジェクトに参加、cirrus cloud working groupにデータ提供を行っている。(http://gcss-dime.giss.nasa.gov/index.html).

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) H. Okamoto: J. Geophys. Res., 107 (D22, 4628), doi: 10.1029/2001JD001386 (2002), "Information content of the 95GHz cloud radar signals: Theoretical assessment of non-sphericity and error evaluation of the discrete dipole approximation"
- 2) H. Okamoto, S. Iwasaki, M. Yasui, H. Horie, H. Kuroiwa and H. Kumagai: J. Geophys. Res., 108, D7, 4226, doi:10.1029/2001JD0001225 (2003), "An algorithm for retrieval of cloud microphysics using 95-GHz cloud radar and lidar"
- 3) S. Iwasaki, R. Shirooka, Y. Tsushima, I. Matsui, A. Shimizu, N. Sugimoto, A. Kamei, H. Kumagai, H. Kuroiwa, M. Katsumata, K. Yoneyama, H. Okamoto: Geophys. Res. Lett., 31, L09103, doi:10.1029/2003GL019377 (2004), "Subvisual cirrus clouds observation with the 1064-nm lidar, the 95-GHz cloud radar, and radiosondes on the warm pool"

- 4) S. Iwasaki, H. Okamoto, H. Hanado, K. K. Reddy, H. Horie, H. Kuroiwa, and H. Kumagai: J. Meteor. Soc. Japan, 83, 771-782(2005), "Retrieval of Raindrop and Cloud Particle Size Distributions with 14 GHz and 95 GHz Radars"
- 5) K. Yasunaga, K. Yoneyama, K. H. Kubota, H. Okamoto, A. Shimizu, H. Kumagai, M. Katsumata: J. Atmos. Sci., 63, 11, 3020-3032(2006), "Melting layer cloud observed during R/V Mirai cruise MR01-K05"
- 6) R. Nagasawa, T. Iwasaki, S. Asano, K. Saito, and H. Okamoto: J. Meteor. Soc. Japan, 84, 969-987(2006), "Resolution Dependence of Nonhydrostatic Models in Simulating the Formation and Evolution of Low-Level Clouds during a Yamase Event"
- 7) K. Sato and H. Okamoto: J. Geophys. Res., 111, D22213, doi:10.1029/2005JD006959 (2006), "Characterization of Ze and LDR of nonspherical and inhomogeneous ice particles for 95-GHz cloud radar: Its implication to microphysical retrievals"
- 8) H. Okamoto, T. Nishizawa, T. Takemura, H. Kumagai, H. Kuroiwa, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, A. Kamei, S. Emori, and T. Nakajima: J. Geophys. Res., 112, D08216, doi:10.1029/2006JD007628 (2007), "Vertical cloud structure observed from shipborne radar and lidar, Part (I) : mid-latitude case study during the MR01/K02 cruise of the R/V Mirai"
- 9) T. Nishizawa, H. Okamoto, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, K. Aoki: J. Geophys. Res., 112, D06212, doi:10.1029/2006JD007435 (2007), "An algorithm that retrieves aerosol properties from dual-wavelength polarized lidar measurements"
- 10) A. Heymsfield, A. Protat, R. Austin, D. Bouniol, R. Hogan, J. Delaue, H. Okamoto, K. Sato, G. Zadelhoff, D. Donovan, Z. Wang: Accepted J. Appl. Meteor. (2007), "Testing and Evaluation of Ice Water Content Retrieval Methods using Radar and Ancillary Measurements"
- 11) N. A. J. Schutgens: Accepted J. Atmos. Oceanic Technol. (2007), "Simulated Doppler radar observations of inhomogeneous clouds; Application to the EarthCARE space mission"

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) T. Takano, K. Akita, H. Kubo, Y. Kawamura, H. Kumagai, T. Takamura, Y. Nakanishi and T. Nakajima: The International Society of Optical Engineering (SPIE), 5235, 67(2003), "First observational results with the newly developed cloud profiling FM-CW radar at 95 GHz"
- 2) T. Takano, K. Akita, H. Kubo, Y. Kawamura, H. Kumagai, T. Takamura, Y. Nakanishi and T. Nakajima: The International Society of Optical Engineering (SPIE), 5979, 07(2005), "Observations of clouds with the newly developed cloud profiling FM-CW radar at 95 GHz"
- 3) T. Takano, K. Futaba, H. Abe, J. Yamaguchi, A. Hirai, Y. Kawamura, H. Kumagai, Y. Ohno, Y. Fujiyoshi, and H. Okamoto: The International Society of Optical Engineering (SPIE), 6362, 30(2006), "Observations of clouds on MIRAI in the pacific ocean with the millimeter-wave FM-CW radar at 95 GHz"

- 4) H. Okamoto, T. Nishizawa, H. Kumagai, N. Sugimoto, T. Takemura, and T. Nakajima: IRS 2004 Current problems in Atmospheric Radiation, A. Deepak Publishing, 447-450(2006), "Study of cloud microphysical structure with cloud profiling radar and lidar: Mirai cruise"
- 5) T. Nishizawa, H. Okamoto, T. Takemura, N. Sugimoto, I. Matusi, and A. Shomizu: IRS 2004 Current problems in Atmospheric Radiation, A. Deepak Publishing, 99-102(2006), "Retrieval of aerosol optical properties from dual-wavelength polarization lidar measurements"
- 6) K. Sato, and H. Okamoto: IRS 2004 Current problems in Atmospheric Radiation, A. Deepak Publishing, 119-122(2006), "The effects of nonsphericity and variation in ices crystal bulk density on 95 GHz cloud radar signals"

(2) 主な口頭発表 (学会)

- 1) H. Okamoto, A. Kamei, H. Kuroiwa, H. Kumagai, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, T. Nakajima: 11th conference on the cloud physics, May 2002 "Studies of clouds by shipborne 95GHz radar and lidar system during the Mirai cruises"
- 2) H. Okamoto: EarthCARE workshop jointly held with Second international workshop on space borne cloud profiling radar/lidar July 2002, "Study of clouds by shipborne radar and lidar measurements during R-V Mirai MR-01-K02 cruise"
- 3) H. Okamoto, H. Kumagai, N. Sugimoto, T. Nakajima: EarthCARE workshop, ESA-ESTEC, Netherland, Dec 2002 "Radar/lidar activities towards EarthCARE mission ARM, Mirai, and APEX E3"
- 4) H. Okamoto, T. Nishizawa, S. Sato, H. Kumagai, A. Kamei, H. Kuroiwa, N. Sugimoto, A. Shimizu, I. Matsui, T. Nakajima: The Fifth APEX International Workshop, July 2002, "Study of clouds and aerosols by shipborne 95GHz radar and lidar system during Mirai cruises"
- 5) H. Okamoto, H. Kumagai, N. Sugimoto and T. Nakajima: CloudSAT science team meeting, California, US, May 2002, "Clouds studies from ground-based and shipborne radar-lidar systems"
- 6) H. Okamoto, T. Nishizawa, H. Kuroiwa, A. Kamei, H. Kumagai, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, Y. Fujiyoshi: Asian-Pacific Radiation Symposium (ARPS), Xi'An, China, Aug, 2003, "Radar/lidar algorithm with LDR to infer cloud microphysics in the Arctic Ocean"
- 7) H. Okamoto: Asian Brown Cloud (ABC) workshop, Tokyo, Japan, "From the experience of Research Vessel Mirai with cloud radar and lidar system for the studies of clouds and aerosols in Pacific Ocean"
- 8) H. Okamoto: The fifth meeting of the Joint Mission Advisory Group (JMAG) for EarthCARE, Tokyo, Japan, 2003, "Recent progress in analyses for Radar/Lidar data for eCare JMAG"
- 9) H. Okamoto: CloudSat/CALIPSO Joint Science Team Meeting, Colorado, US, 2003, "Mirai cruises"

- 10) T. Takano, Y. Suga, K. Akita, Y. Kawamura, K. Sakai, H. Kumagai, Y. Ohno, T. Takamura, Y. Nakanishi, T. Nakajima, N. Sugimoto: APEX-RIHN Workshop 2003, Awaji, Japan, June 2003, "Cloud profiling observations with the 95GHz FM-CW radar at Amami"
- 11) T. Takano, Y. Suga, K. Akita, Y. Kawamura, K. Sakai, H. Kumagai, T. Takamura, Y. Nakanishi, T. Nakajima: IUGG 2003 General Assembly Sapporo, Japan, July, 2003, "Development of a cloud profiling FM-CW radar at 95GHz and its observation results"
- 12) T. Takano, Y. Suga, K. Akita, Y. Kawamura, K. Sakai, H. Kumagai, H. Kuroiwa, Y. Ohno, H. Horie, T. Takamura, Y. Nakanishi, T. Nakajima: International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC) 2003 Korea, Jul, 2003, "Development of a cloud profiling FM-CW radar at 95GHz and its performance"
- 13) T. Takano, Y. Suga, K. Akita, Y. Kawamura, K. Sakai, H. Kumagai, H. Kuroiwa, Y. Ohno, H. Horie, T. Takamura, Y. Nakanishi, T. Nakajima: Asia Pacific Radiation Symposium (APRS) 2003 Xian, China, Aug 2003, "Development of a cloud profiling FM-CW radar at 95GHz and its first results"
- 14) T. Takano, Y. Suga, K. Akita, Y. Kawamura, K. Sakai, H. Kubo, H. Kumagai, T. Takamura, Y. Nakanishi, T. Nakajima: The CEReS (Center for Environmental Remote Sensing, Chiba Univ.) International Symposium on Remote Sensing Monitoring of Environmental Change in Asia, Chiba, Japan, Dec 2003, "Performance of the Developed 95GHz FM-CW Cloud Profiling Radar"
- 15) T. Takano, H. Kumagai, T. Takamura, T. Nakajima: ICCP (International Conference on Clouds and Precipitation) 2004, Bologna, Italy, Jul 2004, "Development of a Low Power and High Sensitivity Cloud Profiling FM-CW Radar at 95 GHz"
- 16) T. Takano, K. Akita, H. Kubo, Y. Kawamura, H. Kumagai, T. Takamura, Y. Nakanishi, T. Nakajima: AP-RASC (Asia-Pacific Radio Science Conference) 2004 Qingdao, China, Aug 2004, "Development of Low Power and High Sensitivity Cloud Profiling FM-CW Radars at 95 GHz"
- 17) T. Takano, K. Akita, H. Kubo, Y. Kawamura, H. Kumagai, T. Takamura, Y. Nakanishi, T. Nakajima: 2005 CEReS Symposium on Radiation Budget and Atmospheric Parameters Studied by Satellite and Ground Observation Data, Chiba, JAPAN, Feb 2005, "Observations of Cloud Properties Using the Developed Millimeter-Wave FM-CW Radars at 95 GHz"
- 18) T. Takano, K. Akita, H. Kubo, Y. Kawamura, H. Kumagai, T. Takamura, Y. Nakanishi, T. Nakajima, N. Sugimoto, Y. Fujiyoshi, H. Okamoto: 2nd EarthCARE Workshop, Tokyo, JAPAN, Mar 2005, "Observations of Cloud Properties With the Developed Millimeter-Wave FM-CW Radars at 95 GHz"
- 19) Y. Ohno, H. Horie, H. Kumagai: 2nd EarthCARE Workshop, Tokyo, JAPAN, Mar 2005, "Statistics of vertical distribution of cloud observed by the SPIDER"
- 20) H. Okamoto: CloudSat science team meeting, US, California, May 2004, "Ship-borne activities for CloudSat mission"
- 21) H. Okamoto: APEX/ACECAP workshop, Nagano, Japan, June 2004, "Cloud Structure and

microphysics by radar/lidar”

22) H. Okamoto: GRP meeting, Kyoto, Oct 2004, “Microphysics of clouds and aerosols by cloud radar and lidar”

23) H. Okamoto, T. Nishizawa, K. Sato, T. Takemura, H. Kumagai, N. Sugimoto, T. Takano and T. Nakajima: 2nd EarthCARE workshop, Tokyo, Mar 2005 “Cloud properties of shipborne radar and lidar on the research vessel mirai: validation of general circulation model”

24) H. Okamoto: ABC-EAREX05 Workshop, Kyoto, Japan, 2005, “Cloud and aerosol properties over Pacific Ocean by shipborne radar and lidar”.

25) T. Nishizawa, H. Okamoto, T. Takemura, N. Sugimoto, I. Matsui, and A. Shimizu: ABC-EAREX05 Workshop, Kyoto, Japan, 2005, “Comparison of the lidar signals simulated from three dimensional aerosol transport model with dual-wavelength polarization lidar measurements”

26) K. Sato and H. Okamoto: ABC-EAREX05 Workshop, Kyoto, Japan, 2005, “Characterization of ice cloud over the western Pacific Ocean by cloud radar; Preliminary study of its microphysics, Atmospheric Brown Clouds Gosan Campaign: East Asian Regional Experiment 2005”

27) H. Okamoto, T. Nishizawa, K. Sato, S. Ohtake, M. Senu, T. Takemura, H. Kumagai, N. Sugimoto, T. Takano and T. Nakajima: IAMAS, Beijing, China, 2005, “Study of clouds by shipborne radar and lidar on the R/V Mirai: its implication for validation of General Circulation Model”

28) T. Nishizawa, H. Okamoto, T. Takemura, N. Sugimoto, I. Matsui, and A. Shimizu: IAMAS, Beijing, China, 2005, “Intercomparison of aerosol vertical profiles retrieved from dual-wavelength polarization lidar data with those simulated from three dimensional aerosol transport model”

29) K. Sato and H. Okamoto: IAMAS, Beijing, China, 2005, “Retrieval of microphysical properties of ice clouds in tropics by combinational use of linear depolarization and Doppler functions in 95GHz cloud radar”

30) T. Takano, K. Akita, H. Kubo, Y. Kawamura, H. Kumagai, T. Takamura, Y. Nakanishi, and T. Nakajima: IAMAS, Beijing, China, 2005, “Observations of Clouds Using a Millimeter-Wave FM-CW Radar at 95 GHz”

31) T. Takano, K. Akita, H. Kubo, Y. Kawamura, H. Kumagai, T. Takamura, Y. Nakanishi, and T. Nakajima: Symposium on Remote Sensing, Bruges, Belgium, 2005, “Observations of Clouds with the Newly Developed Cloud Profiling FM-CW Radar at 95GHz”

32) Y. Ohno, H. Horie, and H. Kumagai: 32th Conference on radar meteorology, Albuquerque, USA, 2005, “Wind observation in boundary layer by W-band radar using non-hydrometeor echo”

33) H. Horie, A. Kamei, H. Kuroiwa, H. Kumagai, and M. Murakami: 32th Conference on radar meteorology, Albuquerque, USA, 2005, “Snow cloud observation using the airborne cloud radar (SPIDER)”

- 34) T. Takano, K. Akita, H. Kubo, Y. Kawamura, H. Kumagai, T. Takamura, Y. Nakanishi, and T. Nakajima: 11th CEReS International Symposium on Remote Sensing, Chiba, Japan, 2005, "Observations of Clouds Properties Using the Developed Millimeter-Wave FM-CW Radar at 95GHz"
- 35) T. Takano, J. Yamaguchi, H. Abe, K. Futaba, S. Yokote, H. Kubo, K. Akita, Y. Kawamura, H. Kumagai, Y. Ohno, T. Takamura, T. Nakajima, Y. Fujiyoshi, H. Okamoto and N. Sugimoto: APMC2006, Yokohama, 2006, "Observation of cloud properties using millimeter-wave FM-CW radar of Chiba Univ."
- 36) J. Yamaguchi, T. Takano, T. Nakajima, T. Takamura, H. Kumagai, Y. Ohno, K. Akita and Y. Kawamura: APMC2006, Yokohama, 2006, "The development of FMCW 95GHz MMCR"
- 37) T. Takano, K. Akita, H. Kubo, H. Abe, J. Yamaguchi, K. Futaba, Y. Kawamura, H. Kumagai, T. Takamura, Y. Nakanishi: PIERS2006, Tokyo, 2006, "Performance of developed low-power and high-sensitivity cloud profiling FM-CW radar"
- 38) Y. Nakanishi, T. Takano, K. Akita, H. Kubo, Y. Kawamura, H. Kumagai, T. Takamura and T. Nakajima: 2nd Asia-Pacific Radiation Symposium, Kanazawa, 2006, "Observation of cloud properties using millimeter-wave FM-CW radar of Chiba Univ."

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) アースケア・ワークショップ（2005年2月22-23日、晴海トリトンスクエア、観客40名）
- 2) 日本気象学会専門分科会「雲・エアロゾルの新しい地球環境監視システム」（2006年5月24日、つくば国際会議場、観客100名）

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) NHK総合テレビ（2003年5月 日、「新しいタイプの雲観測用レーダの開発」）
- 2) 日本工業新聞（2003年6月5日、第2面、次頁参照）
- 3) 千葉日報（2003年6月5日、第1面、「高性能雲レーダ 千葉大など開発成功」）
- 4) 朝日新聞（2003年6月7日、第34面、次頁参照）
- 5) 千葉テレビ CTC ニュース 930 ライフ（2003年6月25日、「雲観測新型レーダ開発」）
- 6) 日本経済新聞（2003年10月13日、第15面、「雲の立体構造低コスト観測、千葉大などレーダ開発」）
- 7) 読売新聞（2004年2月4日、第14面、「雲を解明新型レーダ」）
- 8) NHK教育テレビ サイエンスゼロ（2004年9月11日、「高感度気象レーダを開発せよ」）

(6) その他

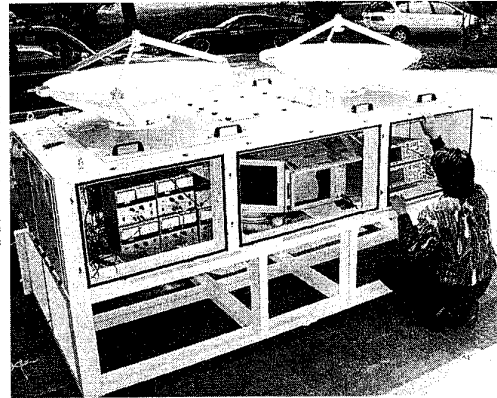
特に記載すべき事項はなし

高層雲や薄い雲・霧もバッチリ

雲観測 新型レーダー開発

千葉大の研究グループが雲を観測する新型レーダーの開発に成功した。今まで観測できなかった高層雲や薄い雲、霧などを測定することができ、しかも従来のレーダーに比べ3千分の1の低電力で、価格も10分の1程度で済むという。

千葉大のグループ



試験中の新型雲観測用レーダー。鹿角島の奄美大高で、鹿野助教が操作している。

電力は3千分の1 価格も10分の1に

開発したのは千葉大大学院の鹿野助教。従来のレーダーは電波を放射して反射を捉えるが、この新型レーダーは電波を吸収する。従来のレーダーは電波を放射して反射を捉えるが、この新型レーダーは電波を吸収する。従来のレーダーは電波を放射して反射を捉えるが、この新型レーダーは電波を吸収する。

香澄シーガルス、優勝

サントリーカップ第34回全国ママさんバレー大会準優勝(興業)レポール協会、朝日新聞千葉支局、興業婦人バレーボール連盟主催の決勝が6日、千葉市稲毛区の興業運動場体育館で、香澄シーガルス(習志野市)が二侯クラブ(市川市)を2-1で破り、優勝した。香澄シーガルスは7月に大阪で開催される全国大会に出場する。



決勝で熱戦を繰り広げる選手たち。市川市稲毛区の興業運動場。

消費電力300分の1

千葉大の鹿野敏明助教は、千葉大環境研究センターの高村民雄氏、通信総合研究所の熊谷博氏らと共同で、高層の雲に電波を放射して観測する新型レーダーを開発した。従来のレーダーは電波を放射して反射を捉えるが、この新型レーダーは電波を吸収する。従来のレーダーは電波を放射して反射を捉えるが、この新型レーダーは電波を吸収する。

電力は3千分の1 価格も10分の1に

職員試験 一般行政職15倍

初回の倍率超 近隣都県上回る

事務・編集アシスタントを募集

新レーダーは、雲そのものの観測、地球規模での太陽エネルギーの吸収放射に対する雲の役割、大気汚染と雲の関連などが期待される。鹿野助教は今後、「空層など雲が薄く、気流が激しい場所などに設置して役立ててもらいたい」としている。