

EarthCARE 搭載雲レーダの開発について

大野 裕一, 堀江 宏昭, 熊谷博 (情報通信研究機構),
木村俊義, 飯田幸榮, 岡田和之, 小嶋正弘 (宇宙航空研究開発機構)

1. はじめに

地球温暖化による地球環境の危機がクローズアップされているが、その予測には多くの不確定性が指摘されている。その中でも雲の変動がもたらす地球放射への影響が未解明かつ重要な事項として多くの研究者に認識されている。また、雲と大気中のチリ（エアロゾル）がもたらす相互作用による地球放射収支への影響も同様に注目されている。この解明のために情報通信研究機構（NICT）と宇宙航空研究開発機構（JAXA）はヨーロッパ宇宙機関（ESA）と協力して雲エアロゾルを全地球で測定するための衛星、アースケア衛星を開発中である。日本側は、この衛星に搭載する雲レーダを担当して開発を進めているが、本日はこの衛星について紹介する。

2. 地球温暖化と雲の影響

各国各機関が気候の数値モデルによって二酸化炭素の増加による地球温暖化予測を行っているが、地球表面平均気温の予測値は IPCC の 3 次レポートによっても 2-3 度ばらついている（図 1）。この差は、雲による放射収支の差が大きく働いていることが分かってきている。低層の水雲は太陽放射を遮り、日傘の役割を果たして地球表面気温を下げる効果が大きい。一方、高層の水雲は太陽の短波放射を通すが地表面からの赤外放射を吸収して再放射するので、掛け布団の役割をして地表面気温を上げることになる。そして、これらの地球放射収支に果たす効果は雲の高度、厚さ、または雲粒子の組成によって大きく変わる。また、エアロゾルが小さな雲粒子をたくさん生成することにより、逆に雨粒への成長を抑えて、雲の長寿命化につながるというエアロゾル間接効果も気候モデル不確定性の大きな要因で、その定量的な解明が急がれている。こうした雲放射収支を定量的に求めて気候数値モデルに反映させるためには、雲の水平構造だけでなく、高さや厚さといった雲の高度分布の観測情報が必要になる。

3. 雲のレーダ観測

可視や赤外を用いた気象衛星による観測では、雲の水平分布を捉えることはできるが、雲頂付近の情報となるために鉛直分布の観測は難しい。特に雲が重なり合っているような状況では、下層の雲についての情報は得られない。自ら電波を射出するレーダであれ

ば、雲の内部構造（雲粒子の粗密）を測定したり、多層構造になっている雲を検知したりすることができるので、雲の放射収支を調べるのに非常に有効である。また、ドップラにより雲の鉛直速度を測定したり、他の測器と組み合わせて雲物理量（光学的厚さ、有効粒径）などの推定したりできることも大きな利点である。

一般の気象レーダは、降雨観測はできるが、波長が長いために雨粒に比べて大きさが100分の1以下の雲粒子では感度が足りずに雲観測には適さない。雲観測をするためには波長の短いミリ波を用いた高感度のレーダが必要になる。ミリ波のレーダ(95GHz)は、10GHzの気象レーダと同一のアンテナ利得で換算すれば、約40dB感度を上げることができる。EarthCARE衛星では、このミリ波雲レーダを搭載して、宇宙から雲の全球の鉛直分布を測定することが大きな特徴である。

4. EarthCARE衛星の概要

雲・エアロゾル・放射収支観測衛星（EarthCARE アースケア：Earth Clouds, Aerosol and Radiation Explorer）は、地球温暖化予測の高精度化を目的とした衛星ミッションでESAのLiving Planet Programという一連の地球観測衛星の一つとして、コンペティションを経て2004年に選定された(図2)。EarthCARE衛星の概要について表1に示す。その特徴は、雲レーダーとライダーを搭載して雲の鉛直分布を測定すると共に、可視赤外イメージャーによって雲とエアロゾルの水平分布、および広帯域放射計による放射収支も測定して、雲やエアロゾルの地球放射収支に果たす役割を総合的に観測できるところにある。類似の衛星ミッションとしては本年4月にNASAによって打ち上げられたCloudSat・CALIPSOがある。これらは雲レーダとライダーを別々の衛星に搭載して同一軌道に周回させることで同様な測定をするものであるが、期間が短く、各種観測性能はEarthCAREに比較して劣っている。アースケア衛星は欧州と日本が分担して共同開発を進めており、2012年の打ち上げを目指してプログラムを進めている。その中で雲レーダの開発は日本(NICTとJAXA)が担当して、衛星バスやその他の観測機器は欧州が担当している。

EarthCARE衛星では雲レーダとライダーは衛星のほぼ真下にビームを向けて雲の鉛直分布を測定し、可視赤外イメージャーはクロストラック方向に150kmの幅の水平観測をする。広帯域放射計は前方、後方、直下の3方向に向けて観測し、3つを統合して放射輝度を測定する。これらを一緒に同一地点同時観測することによって、大気トップでの短波、長波の放射収支を $3\text{W/m}^2\text{Sr}$ 程度で測定することがこの衛星ミッションの大きな目的となっている。

5. EarthCARE衛星搭載雲レーダ

図3にEarthCARE搭載雲レーダ(CPR)の概観図を示す。また、表2にCPRの諸元を示す。CPRは衛星進行方向の前面に取り付けられて、アンテナを地球中心方向に向けて飛行す

る。3.3 μ 秒のパルスを送信しながら飛行して、100m 高度ごとのエコー強度と鉛直ドップラ速度を測定する。雲の検出感度としては、大気トップにおいて-35dBZ (10km 積分値) の達成を要求されており、この感度で 98%の放射収支にとって重要な氷雲を検出できて、40%の水雲を検出できると推算されている。この検出感度を達成するために、直径 2.5m の高精度のミリ波アンテナを用いて、高出力の送信管および、低雑音の受信増幅器を開発している。また、パルスペア法を用いて鉛直方向のドップラ観測を行い、1m/s の測定精度 (10km 積分) が求められている (目標値は 0.2m/s)。このドップラ速度観測精度の達成は、衛星プラットフォームが秒速 7 km/s 以上で移動するため、少しのビーム方向の違いが測定精度に影響を及ぼすために技術的に大きな課題となっている。例えば 0.1 度ビーム方向がずれると衛星の移動速度が 12m/s も混入してしまう。そのため衛星の姿勢やアンテナの指向方向精度を高精度に決定する必要があり、その誤差軽減のための設計の努力をしている。

6. まとめ

EarthCARE 衛星は温暖化予測の高精度化に必要な雲・エアロゾルの 3 次元構造を全球で観測できる衛星で、それに搭載する雲レーダの開発について紹介した。また、感度やドップラ精度などに課題が残されているが、これらを解決して 2012 年の打ち上げに向けての本格的開発に取り組んでいく。

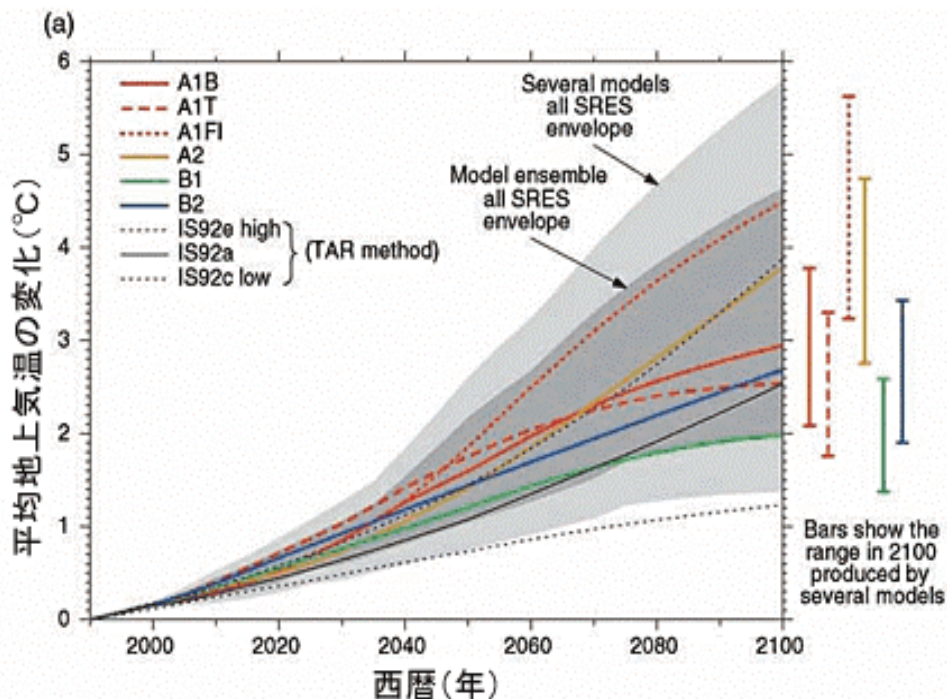


図1 複数の気候モデルによる温暖化予測

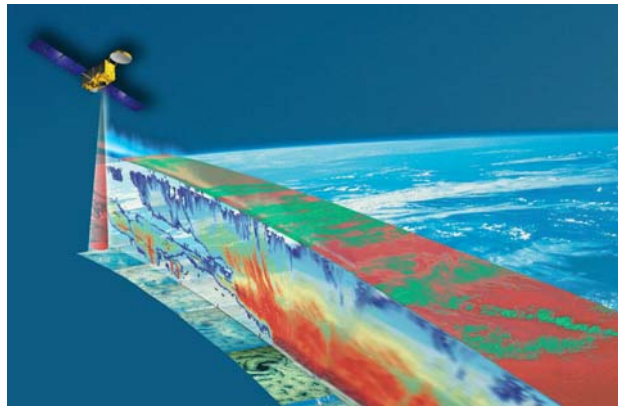


図2 EarthCARE 衛星観測概念図

表1 EarthCARE 衛星の概要

開発主体	欧州宇宙機関 (ESA)、 情報通信研究機構 (NICT) 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
打ち上げ	2012 年末
ミッション期間	3 年
搭載機器	雲レーダ (CPR) ライダー (ATLID) 可視赤外イメージャー (MSI) 広帯域放射計 (BBR)
衛星軌道	準回帰太陽同期極軌道 赤道通過地方時 13:30
平均衛星高度	約 450km
衛星周期	1 日 15 周余



図3 雲レーダ (CPR) の概観

表2 CPRの諸元

送信周波数	94.05 GHz
送信出力	1.5 kW 以上
送信パルス幅	3.3 マイクロ秒
パルス繰り返し周波数	6000-7200 Hz
観測高度	-0.5 km-20 km (赤道) -16 km(中緯度) -12 km(極域)
高度方向サンプリング	100 m
主反射鏡直径	2.5 m
ビーム幅	0.095 度
地表面フットプリント	約 700 m
雲観測感度	大気上端にて -35dBZ (10km 積分)
ドップラ観測手法	パルスペア法
ドップラ観測精度	1 m/s (10km 積分) 目標値 0.2 m/s (10km 積分)

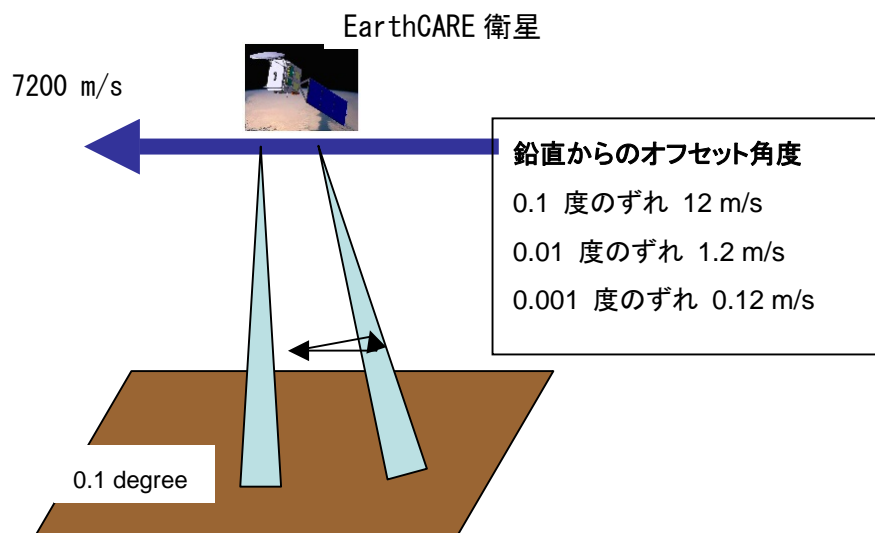


図4 衛星からの鉛直ドップラ測定