

雲エアロゾル放射ミッション (EarthCARE)

菊池麻紀*

雲エアロゾル放射ミッション (Earth Clouds, Aerosols, and Radiation Explorer : EarthCARE) は、日欧共同地球観測衛星ミッションである。

近年、温室効果ガス削減のための新たな国際枠組みとして2016年にパリ協定が採択されるなど、地球温暖化やそれが引き起こす気候変動は人類にとって喫緊の課題である。気候変動は地球のエネルギー収支の変化によって駆動される (Stephens *et al.* 2012) が、このエネルギー収支への影響因子として特に理解が不十分なのが雲とエアロゾルである。IPCC 第5次評価報告書においても、エアロゾルおよびその雲との相互作用が引き起こす放射強制力は、人為起源の放射強制力全体に対して最も大きな不確実性をもたらしていると報告されている。EarthCAREの目的は、この不確実性の要因である雲とエアロゾルの三次元構造とりわけ鉛直分布を全球規模で観測することにより両者の動態や相互作用を詳細に解明し、気候変動予測モデルにおける大きな不確実要因である雲とエアロゾルの放射強制力を精度良く評価することである。これらの目的のために、下記の観測目標に主眼を置いている (ESA 2006)。

- ・自然起源・人為起源のエアロゾル分布、およびその微物理特性と雲との相互作用の全球的観測
- ・大気中の雲水・雲水の鉛直分布の全球的観測とそれらの放射効果の定量化
- ・雲の鉛直分布 (オーバーラップ状況)、雲と降水の相互作用、および雲層内の鉛直運動の観測

- ・これらの観測情報にもとづいて評価される大気の放射加熱/冷却率の鉛直分布

これらを実現するため、EarthCARE衛星は4つの測器を搭載している。すなわち、①宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と情報通信研究機構 (NICT) が共同開発する雲プロファイリングレーダ (Cloud Profiling Radar ; CPR), 欧州宇宙機関 (ESA) が開発する②大気ライダ (Atmospheric Lidar ; ATLID), ③多波長イメージャ (Multi-Spectral Imager ; MSI), ④広帯域放射収支計 (Broad Band Radiometer : BBR) の4つである (第1表)。CPRはミリ波レーダで、94 GHzのパルス信号を発射してその反射波を測定することにより、雲や粒径の小さな霧雨 (drizzle) の鉛直構造を観測する。特に、EarthCARE搭載のCPRはドップラー計測機能を有するため、世界で初めて雲粒子の上昇下降流速を全球規模で観測する。ATLIDは紫外域 (355 nm) の高スペクトル分解ライダで、エアロゾルや雲の鉛直構造を観測する。従来のミー散乱ライダとは異なり、ライダの受信信号からレイリー散乱成分 (大気分子由来) とミー散乱分子 (エアロゾル等の粒子由来) を分離できるため、エアロゾルの消散係数をより精度良く測定できる。MSIは可視から赤外域における7つの観測波長帯を有するプッシュブルーム方式 (1ライン分の素子を並べて衛星が進行することにより面的な観測を行う) イメージャで、雲やエアロゾルの水平分布を観測する。BBRは長波域および短波域を含む全波長帯域の放射輝度を計測することにより、大気上端における太陽光の反射と地球からの赤外放射を観測する (Illingworth *et al.* 2015)。

JAXAでは雲、エアロゾルおよび放射収支に関わ

* Maki KIKUCHI, 宇宙航空研究開発機構,
kikuchi.maki@jaxa.jp

© 2017 日本気象学会

る8つの「標準プロダクト」を定常的に地球観測衛星データ提供システム(次期G-Portal)から公開する計画である。この他に、JAXA地球観測研究センターにおいて作成予定の「研究プロダクト」がある。「標準プロダクト」は開発を着実に進め、一定の品質基準を満たしたプロダクトである一方「研究プロダクト」は研究開発要素が高いプロダクトである。JAXAの標準プロダクト(L1, L2)およびESAのL1プロダクトを第2表に示す。L1プロダクトはセンサから得られた観測信号に幾何補正や校正処理を適用したものであり、L2プロダク

トは高次アルゴリズムによって地球物理量を導出したものである。詳しくはJAXA/EORCのEarthCAREウェブページ(JAXA 2008)を参照されたい。これらのプロダクトでは、CPRとATLIDの観測から導出される雲・エアロゾルの重要な特性(雲内のドップラー速度、雲水量/雲氷量、有効粒径、エアロゾル消散係数等)の鉛直分布が提供されるほか、それらをMSIの水平輝度観測と組み合わせることにより、衛星軌道から水平10 km程度まで外挿された雲とエアロゾルの三次元場の情報が得られる。これに放射伝達計算を適用することで短波及び長波放射フラックスを算出し、BBRによる大気上端における放射観測との比較によって、言わば“答え合わせ”を行う。この“閉じたループ”によって、導出された雲・エアロゾルの特性を評価検証し、必要に応じて再構築することで、放射フラックスや大気加熱率への雲・エアロゾルの寄与を定量化する。こうして得られるエアロゾル・雲・放射に関する総合的なデータセットは、数値気候モデルにおけるこれらの再現性を検証するためのこれまでにない情報を提供する。

このように、EarthCARE衛星はエアロゾル・雲・

第1表 EarthCARE衛星搭載センサ概略

センサ	概 要
CPR	<ul style="list-style-type: none"> ・94 GHz ドップラーレーダ ・分解能：水平500 m 積分，鉛直500 m (100 m オーバーサンプル) ・レーダ感度：-35 dBZ*¹ ・ドップラー速度計測精度：1.3 m/s*^{1,2} ・フットプリント：750 m
ATLID	<ul style="list-style-type: none"> ・355 nm 高スペクトル分解ライダ ・サンプリング：水平285 m，鉛直100 m ・レイリーチャンネル，ミーチャンネル (水平・鉛直偏波)
MSI	<ul style="list-style-type: none"> ・プッシュブルーム方式イメージャ ・観測中心波長：0.670 μm, 0.865 μm, 1.65 μm, 2.21 μm, 8.80 μm, 10.80 μm, 12.00 μm ・観測幅：150 km (-35 km~+115 km) ・フットプリント：500 m×500 m
BBR	<ul style="list-style-type: none"> ・広帯域放射計 ・観測波長帯*³：0.2~4.0 μm (短波)，4.0~50 μm (長波) ・ダイナミックレンジ*³：0~450 W/m²/str (短波)，0~130 W/m²/str ・観測方向：直下，55°前方，55°後方 ・フットプリント：10 km×10 km

*¹ データの積分区間を10 kmとして定義

*² -19 dBZ以上の雲に対して定義

*³ 長波放射輝度は全波長帯の放射輝度(0.2~50 μm)と短波放射輝度の観測から導出

降水の素過程の理解に資する微物理特性からその放射収支への影響評価までを統合的に観測することで、地球のエネルギー収支の全体像の理解を更新し、気候変動予測の精度向上に大きく貢献することが期待される。

参 考 文 献

- ESA, 2006: EarthCARE Mission Requirement Document. http://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/EarthCARE_MRD_v5.pdf (2017.3.6 閲覧)
- Illingworth, A. J. *et al.*, 2015: The EarthCARE satellite: The next step forward in global measurements of clouds, aerosols, precipitation and radiation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **96**, 1311-1332.
- JAXA 2008: JAXA 雲エアロゾル放射ミッションホームページ. http://www.eorc.jaxa.jp/EARTH/CARE/index_j.html (2017.3.6 閲覧)
- Stephens, G. L., J. Li, M. Wild, C. A. Clayson, N. Loeb, S. Kato, T. L'Ecuyer, P. W. Stackhouse Jr, M. Lebsock and T. Andrews, 2012: An update on Earth's energy balance in light of the latest global observations. *Nature Geosci.*, **5**, 691-696.

第2表 JAXA のEarthCARE 標準プロダクト表. 参考までに ESA L1プロダクトも併せて掲載する.

センサ	レベル	主要パラメータ	ピクセル解像度	
			水平	鉛直
CPR	L1b	受信電力/レーダ反射因子/ドップラー速度/パルスペア共分散/スペクトル幅/地表面レーダ散乱断面積*1	500 m	100 m
ATLID	L1b*2	減衰後方散乱 (レイリー成分, ミー成分 [水平偏光, 鉛直偏光])	285 m	103 m
MSI	L1b/c*2,3	放射輝度 (7波長帯*4)	500 m	—
BBR	L1b*2	短波放射輝度・長波放射輝度 (前方, 直下, 後方)	10 km	—
CPR	L2a	積分レーダ反射因子/積分ドップラー速度/大気減衰補正量*1	1 km	100 m
CPR	L2a	雲マスク/雲粒子タイプ/雲水量・雲氷量/有効粒径 (水雲・氷雲) /光学的厚さ*1/気柱雲水量・雲氷量*1,7	1 km	100 m
CPR + ATLID	L2b			
CPR + ATLID + MSI				
ATLID	L2a	フィーチャーマスク/ターゲットマスク/エアロゾル・雲 消散係数, 後方散乱係数, ライダ比, 偏光解消度/大気境界層高度*1	L1b 最小単位*5/ 1 km	100 m
MSI	L2a	雲フラグ/雲フェイズ/水雲光学的厚さ・有効粒径*6/雲頂温度・気圧・高度	500 m	—
4 センサ	L2b	放射フラックス (短波・長波)*1/加熱率 (短波・長波)	10 km	500 m

*1 水平のみ

*2 ESA プロダクト

*3 MSI L1c は MSI L1b にチャンネル間位置補正を適用したもの

*4 0.670 μm, 0.865 μm, 1.65 μm, 2.21 μm, 8.80 μm, 10.80 μm, 12.00 μm

*5 フィーチャーマスクのみ

*6 1.6 μm, 2.2 μm で定義

*7 CPR+ATLID+MSI プロダクトのみ