HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	雲エアロゾル放射観測衛星 「EarthCARE」
Author(s)	沖, 理子; 久保田, 拓志; 平形, 麻紀
Description	Ⅳ. リモートセンシングで観るエアロゾル・雲相互作用
Citation	低温科学, 72, 225-230
Issue Date	2014-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55059
Type	departmental bulletin paper
File Information	LTS72_025.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

低温科学 72 （2014） 225-230

雲エアロゾル放射観測衛星「EarthCARE」

沖　　理子，久保田拓志，平形　麻紀

宇宙航空研究開発機構（JAXA）は，欧州宇宙機関（ESA）と共同で，雲エアロゾル放射観測衛星「EarthCARE (Earth Clouds, Aerosols, and Radiation Explorer)」の開発を行っている．EarthCAREミッションの主要な目的は，地球放射収支と気候の観点から雲とエアロゾルおよびそれらの相互作用についての我々の理解を深め，大気モデルにおけるそれらの表現を良くすることである．そのためにJAXAはNICTと共同で雲プロファイリングレーダ（CPR）を開発している．EarthCAREのデータプロダクトは，観測開始後一定の評価を行った後，公開される．

Earth Cloud Aerosol Radiation Explorer—EarthCARE—

Riko Oki, Takuji Kubota, Maki Hirakata

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) is conducting the development of the Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer (EarthCARE) in collaboration with European Space Agency (ESA). The main object of the EarthCARE mission is to deepen our understanding, in terms of the earth's radiation budget and climate, of cloud and aerosol and their interaction, and to improve their simulation in the atmospheric models. In order to achieve this, JAXA is developing the cloud profiling radar (CPR) in collaboration with NICT. The EarthCARE data products will be open to public after a certain evaluation after the start of the observation.

1. はじめに

雲エアロゾル放射観測衛星「EarthCARE（Earth Clouds, Aerosols, and Radiation Explorer）」は欧州宇宙機関（ESA）と日本（JAXAおよびNICT）の共同の衛星観測ミッションであり，2016年の打ち上げを目指して，開発を進めている．ミッションの目的は，現在数値モデルにおいて最も不確定性の高い要素の一つである雲・エアロゾルの放射的評価を行うものである．そのため，衛星から全球範囲で，雲・エアロゾルの3次元構造，雲層内上昇下降流，大気上端の放射収支を計測することで，エアロゾルとの相互作用を含んだ雲の生成消滅過程の一端を明らかとし，雲を含む全天状況での大気上端での放射フラックスを10 W/m² の精度で観測することを目標としている．

そのため，EarthCAREでは4つの観測センサを搭載する．すなわちエアロゾルおよび巻雲測定のための高波長分解能紫外ライダ（ATLID），雲構造・弱い降水および雲層内上昇下降流の観測のための94 GHzドップラ雲プロファイリングレーダ（CPR），雲エアロゾルの水平分布観測のための多波長イメージャ（MSI），雲頂面での3次元効果を考慮した大気上端での放射収支測定のための3方向放射収支計（BBR）である．これらのセンサを太陽同期極軌道をとる衛星に搭載し，全球域での観測を3年間行う予定である．これらのセンサで精度の高い同時観測をすることによって，現在観測が行われているNASA CALIPSO/CloudSatの精度を大幅に上回る観測が期待されている．なお，日本はCPRの開発を受け持っており，その他のセンサ・衛星の開発および打ち上げ運用はESAによって実施される．

EarthCARE衛星のオリジナルのコンセプトは，1990年代に新しい雲プロファイリングレーダ（Cloud Profiling Radara, CPR）技術が実現可能になってから作られた．CPRは雲粒子を，高周波のマイクロ波レーダパルスで感知して，雲の層構造を観測することができる．ESAのEarth Radiation Mission (ERM) は，初めて衛星搭載のCPRを提案したもので1990年代のはじめであった．衛星搭載CPRを目指した日本のATMOS-B1ミッションは1990年代半ばに提案された．これらの第一世代のミッション提案の後，EarthCAREミッションがプロジェクトとして開発研究を遂に承認されたのは欧

連絡先
沖　理子
宇宙航空研究開発機構・地球観測研究センター
Earth Observation Research Center (EORC), Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)
e-mail：oki.riko@jaxa.jp

州で2006年，日本では2007年であった．EarthCAREの特徴は，CPRに加えて，ATLID（大気ライダ）という2つの能動型センサが1つの衛星に同時搭載されることにある．ミッション目的のため，MSIとBBRも同時に搭載される．

NASAのA-Trainに含まれる，MODIS (Moderate resolution Imaging Spectroradiometer)，CloudSAT，CALIPSO (Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations) による観測で，大気中の雲とエアロゾルの鉛直構造についての知見が報告されてきている．EarthCAREはポストA-Trainとなりうるミッションである．しかも，CPR，ATLID，MSI，BBRが1つの衛星に同時搭載されることは，雲とエアロゾルについての関係がより正確に得られるというEarthCAREの利点である．また更に，EarthCAREのCPRは，ドップラ速度を計測できる設計となっており，宇宙からのドップラ速度計測は，初の試みである．

2．ミッションの目的

雲とエアロゾルは気候システムにおいて重要な役割を演じることが知られている．しかしながらそれらは我々の知識における不確定性の主要な部分であり，大気中におけるそれらの相互作用を評価するために，特に多大な努力が必要となっている［IPCC 2007］．EarthCAREミッションの主要な目的は，地球放射収支と気候の観点において，雲とエアロゾルおよびそれらの相互作用についての我々の理解を深めることにある．更にその発展として，雲とエアロゾルの振舞いが，今以上に，数値天気予報モデルと同様，領域モデルから全球気候モデルまでにおいてうまく表現されることが期待されている．EarthCAREミッションの主要な目的については，MRD (Mission Requirement Document 2006) に次のように記述されている．

—自然および人為起源のエアロゾルの全球スケールでの鉛直プロファイルを観測し，それらの放射特性と雲との相互作用を推定する
—大気中の水の液相，固相を含めた鉛直分布を全球スケールで観測する．またその雲による輸送とその放射におけるインパクトを推定する．
—雲の分布（つまり，雲のフェーズ，鉛直オーバーラップのパターン，水平方向の変動），雲—降水相互作用，雲内の鉛直運動の特徴，そして
—リトリーブされたエアロゾルと雲特性を，大気の放射加熱・冷却の鉛直プロファイルを推定するために用いる

上記の主要目的を達成するために，JAXAとNICTはCPRレベル1（L1）アルゴリズムの開発を行っている．他の観測機器，即ちATLID，MSI，BBRのL1アルゴリズムの開発は，ESAとその協力者が行っている．

EarthCAREはこれらの目標を，すべての気候帯で，雲とエアロゾル場の鉛直・水平分布および大気上端（TOA）における放射フラックスを同時に推定することで，達成する．

エアロゾル層の特性：
—エアロゾル層構造の発生，それらの消散係数の鉛直プロファイル，境界層高度
—様々な種類のエアロゾルの存在．人為起源，自然起源を含む．

雲の場の特性：
—複数層構造を含む，雲境界（トップとベースの高度）
—高分解能の雲量と雲の重複率
—氷相，液相，過冷却雲の発生
—雲氷量の鉛直プロファイルと有効粒径サイズおよび形状
—雲水量鉛直プロファイルと有効粒径サイズ
—小さいスケール（1 kmかそれ以下）でのこれらの雲特性の変動

他の特性
—雲スケールの対流運動を特徴づける鉛直速度と氷晶の沈降
—霧雨とより強い降雨の降水強度
—大気上端におけるナローバンドとブロードバンドにおける太陽反射と熱放射フラックス

3．EarthCARE衛星と雲プロファイリングレーダ（CPR）

EarthCARE衛星と観測機器を図1に示す．これらはESAとJAXAで開発中であり，CPRについてはJAXAとNICTで開発を行っている．

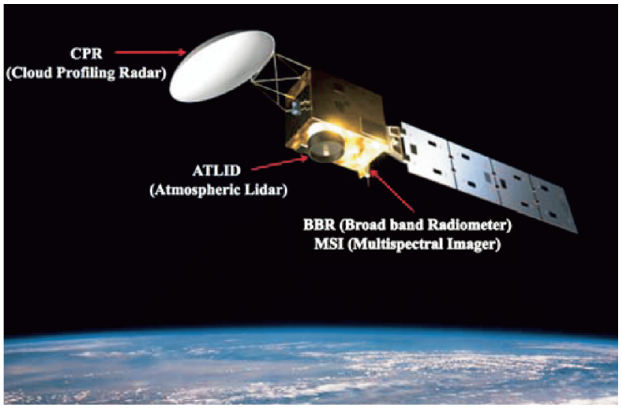

図 1：EarthCARE 衛星（courtesy of ESA）

EarthCARE の宇宙機器は，衛星本体および次の観測機器から成っている．

―雲プロファイリングレーダ（CPR）：雲の微視的および巨視的パラメータ，および雲粒子の鉛直速度を求める．
―高波長分解能紫外大気ライダ（ATLID）：エアロゾルについての物理的パラメータの鉛直プロファイルを推定する．CPR とのシナジー観測で，雲に関する物理的パラメータを推定する．
―多波長イメージャ（MSI）：能動型センサによる鉛直プロファイル情報をサポートするような，雲の場の水平方向の構造についての情報を得る
― 3 方向放射収支計（BBR）：能動型センサで計測された雲－エアロゾルの鉛直プロファイルから求められた放射収支のクロスチェックとして，大気上端における短波および長波フラックスを測定する．

CPR は，NICT と JAXA の共同開発により，日本が世界に先駆け開発する衛星搭載ドップラ雲レーダである．図 2 に CPR の主要諸元を，図 3 に観測概要を示す．ミリ波帯のレーダ信号使用により，雲や弱い降水の鉛直分布および物理的特性を計測する．ドップラ計測機能により，観測対象粒子の鉛直流速度を計測する．

図 2：CPR の主要諸元

図 3：CPR 観測概要

4. EarthCARE JAXA プロダクト

EarthCARE プロダクトは工学値を提供する Level 1 プロダクトと物理量を提供する Level 2 プロダクトに区別できる．Level 2 プロダクトは日本独自に開発を行う一方，Joint Algorithm Development Endeavor (JADE) という枠組みにより，ESA 側開発者とアルゴリズム開発の情報交換を進めている．

JAXA Level 2 プロダクトは「センサ単体プロダクト」と，複数のセンサデータによりプロダクト精度向上を目指す「センサ複合プロダクト」により構成される．Level 2 プロダクトの種類には，標準プロダクトと研究プロダクトがある．標準プロダクトは精度が設定され，確実に開発が見込まれるプロダクトである．打ち上げ 9 ヶ月後にセンサ単体プロダクトと CPR-ATLID 複合雲プロダクトがリリースされ，打ち上げ 18ヶ月後に CPR-ATLID-MSI 複合雲プロダクトと 4 センサ複合放射収支プロダクトがリリースされる予定である．またセンサ単体プロダクトは観測から 24 時間以内に，センサ複合プロダクトは観測から 48 時間以内に，G-Portal（地球観測衛星データ提供システム）から提供される．なお，ESA アルゴリズムにより作成されたプロダクトも G-Portal から提供される予定である．

一方，研究プロダクトは研究要素が高いチャレンジングなプロダクトであるため精度設定が困難であるが，研究ユーザからのニーズが見込まれるデータセットで，EORC からベストエフォートベースでプロダクトを提供する予定である．

表 1 に JAXA & ESA プロダクト（L 1 b/c），表 2 に JAXA 標準プロダクト（L 2 a），表 3 に JAXA 標準プロダクト（L 2 b：シナジー），表 4 に JAXA 補助プロダクト（Aux：単体），表 5 に JAXA 研究プロダクトを載せる．

表 1：JAXA & ESA プロダクト（L 1 b/c）

センサ	レベル	プロダクト名 （ESA は Product Identifier）	主要パラメータ	ピクセル解像度		ファイル 単位・形式
				水平	鉛直	
CPR	L 1 b	CPR 単体 受信電力・ドップラー プロダクト	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	0.5 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
			地表面レーダ断面図	0.5 km	—	
ATLID	L 1 b	A-NOM	減衰後方散乱（Rayleigh 成分，Mie 成分） ※Mie 成分は水平偏波と鉛直偏光に分光	0.285 km	0.103 km	1/8 周回 netCDF
MSI	L 1 b	M-NOM	放射輝度 ※可視（0.67 μm），近赤外（0.865 μm）， 短波長赤外（1.65 μm，2.21 μm）， 熱赤外（8.80 μm，10.80 μm，12.00 μm）	0.5 km	—	1/8 周回 netCDF
BBR	L 1 b	B-NOM	短波放射輝度・長波放射輝度 （前方，直下，後方）	10 km	—	1/8 周回 netCDF

センサ	レベル	プロダクト名 （ESA は Product Identifier）	主要パラメータ	ピクセル解像度		ファイル 単位・形式
				水平	鉛直	
MSI	L 1 c	M-NOM	L 1 b 放射輝度 （但し，チャンネル間位置補正済）	0.5 km	—	1/8 周回 netCDF

※CPR 以外は ESA プロダクト．主要パラメータは TBD．

表 2：JAXA 標準プロダクト（L 2 a）

センサ	レベル	プロダクト名	主要パラメータ （赤字：空間平均値も算出）	ピクセル解像度		ファイル 単位・形式
				水平	鉛直	
CPR	L 2 a	CPR 単体 エコープロダクト	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 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
CPR	L 2 a	CPR 単体 雲プロダクト	雲マスク／雲粒子タイプ／雲水量／ 雲氷量／水雲有効粒径／氷雲有効粒径	1 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
			光学的厚さ	1 km	—	
ATLID	L 2 a	ATLID 単体 雲エアロゾルプロダクト	フィーチャー・マスク	0.2 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
			ターゲット・マスク	1 km	0.1 km	
			エアロゾル　消散係数／後方散乱係数／ ライダー比／偏光解消度	10 km	0.1 km	
			雲　消散係数／後方散乱係数／ ライダー比／偏光解消度	1 km	0.1 km	
			大気境界層高度	1 km	0.1 km	
MSI	L 2 a	MSI 単体 雲プロダクト	雲フラグ・雲フェイズ／水雲光学的厚さ／ 水雲雲粒有効粒径（1.6 μm）／ 水雲雲粒有効粒径（2.2 μm）／ 雲頂温度／雲頂気圧／雲頂高度	0.5 km	—	1/8 周回 HDF

表 3：JAXA 標準プロダクト（L 2 b：シナジー）

センサ	レベル	プロダクト名	主要パラメータ （赤字：空間平均値も算出）	ピクセル解像度		ファイル 単位・形式
				水平	鉛直	
2 センサ CPR ＋ ATLID	L 2 b	CPR-ATLID 複合 雲プロダクト	雲マスク／雲粒子タイプ／ 減衰補正済レーダ反射因子／ 雲水量／雲氷量／ 水雲有効粒径／氷雲有効粒径	1 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
			光学的厚さ	1 km	－	
3 センサ CPR ＋ ATLID ＋ MSI	L 2 b	CPR-ATLID-MSI 複合 雲プロダクト	雲マスク／雲粒子タイプ／ 減衰補正済レーダ反射因子／ 雲水量／雲氷量／ 水雲有効粒径／氷雲有効粒径	1 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
			光学的厚さ／ 気柱雲水量／気柱雲氷量	1 km	－	
4 センサ	L 2 b	4 センサ複合 放射収支プロダクト	短波放射フラックス／長波放射フラックス	10 km	－	1/8 周回 HDF
			短波加熱率／長波加熱率	10 km	0.5 km	

表 4：JAXA 補助プロダクト（Aux：単体）

センサ	レベル	プロダクト名	主要パラメータ （赤字：空間平均値も算出）	ピクセル解像度		ファイル 単位・形式
				水平	鉛直	
CPR	Aux	ECMWF CPR グリッドプロダクト	気圧／気温／比湿 （CPR グリッド）	1 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
			2 m 気温／地表面気圧 （CPR グリッド）	1 km	－	
ATLID	Aux	ECMWF ATLID グリッドプロダクト	気圧／気温／比湿／オゾン質量混合比 （ATLID グリッド）	1 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
			10 m 東西風／10 m 南北風／積算オゾン量 （ATLID グリッド）	1 km	－	
MSI	L 2 a	ECMWF MSI グリッドプロダクト	気圧／気温／比湿 （MSI グリッド）	10 km	25 層＊	1/8 周回 HDF
			積算オゾン量／10 m 東西風／10 m 南北風／ 地表面気圧／表面気温 （MSI グリッド）	10 km	－	

表 5：JAXA 研究プロダクト

センサ	レベル	ステータス	プロダクト名	主要パラメータ（赤字：空間平均値も算出）	ピクセル解像度		ファイル単位・形式
					水平	鉛直	
CPR	L 2 a	Red R	CPR 単体 ドップラープロダクト	ドップラー速度補正値（不均質性考慮）／ エコー強度補正値（多重散乱効果考慮）	1 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
		ER	CPR 単体 雨・雪プロダクト	雨水量／雪水量／降雨強度／降雪強度	1 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
		ER	CPR 単体 鉛直速度プロダクト	大気鉛直速度／沈降速度	1 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
ATLID	L 2 a	ER	ATLID 単体 エアロゾル消散係数プロダクト	水溶性粒子消散係数／ダスト消散係数／ 海塩消散係数／ブラックカーボン消散係数	1 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
MSI	L 2 a	ER	MSI 単体 氷雲プロダクト	氷雲光学的厚さ（反射法）／氷雲有効粒径（1.6 μm）／氷雲有効粒径（2.2 μm）／氷雲雲頂温度／氷雲雲頂気圧／氷雲雲頂高度	0.5 km	−	1/8 周回 HDF
		ER	MSI 単体 エアロゾルプロダクト	エアロゾル光学的厚さ（海）／エアロゾル光学的厚さ（陸）／オングストローム指数（海）	0.5 km	−	1/8 周回 HDF
BBR	L 2 a	ER	BBR 単体 放射フラックスプロダクト	放射フラックス（大気上端）／ 放射フラックス（大気下端）	10 km	−	1/8 周回 HDF

Red R：JAXA にてプロダクト作成（精度確認後に標準プロダクトとなる予定）　ER：JAXA にてプロダクト作成　LR：国内研究機関でプロダクト作成

センサ	レベル	ステータス	プロダクト名	主要パラメータ（赤字：空間平均値も算出）	ピクセル解像度		ファイル単位・形式
					水平	鉛直	
CPR ＋ ATLID	L 2 a	Red R	CPR-ATLID 複合 雲粒質量比プロダクト	質量比（2 D 氷／IWC）	1 km	−	1/8 周回 HDF
		ER	CPR-ATLID 複合 雨・雪プロダクト	雨水量／雪水量／降雨強度／降雪強度	1 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
		ER	CPR-ATLID 複合 鉛直速度プロダクト	大気鉛直速度／沈降速度	1 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
ATLID ＋ MSI	L 2 a	ER	ATLID-MSI 複合 エアロゾル成分プロダクト	水溶性粒子消散係数／ダスト消散係数／ 海塩消散係数／ブラックカーボン消散係数／ モード半径	10 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
CPR ＋ ATLID ＋ MSI ＋ BBR	L 2 a	LR	CPR-ATLID-MSI 複合 雲プロダクト	雲マスク／雲粒子タイプ／雲水量／雲氷量／ 水雲有効粒径／氷雲有効粒径 （すべてドップラー有）	1 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
				光学的厚さ／気柱雲水量／気柱雲氷量 （すべてドップラー有）	1 km	−	1/8 周回 HDF
		LR	CPR-ATLID-MSI 複合 雨・雪プロダクト	雨水量／雪水量／降雨強度／降雪強度	1 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
		LR	CPR-ATLID-MSI 複合 鉛直速度プロダクト	大気鉛直速度／沈降速度	1 km	0.1 km	1/8 周回 HDF
		LR	CPR-ATLID-MSI 複合 氷雲プロダクト（赤外射出法）	氷雲有効粒径／氷雲光学的厚さ	0.5 km	−	1/8 周回 HDF

Red R：JAXA にてプロダクト作成（精度確認後に標準プロダクトとなる予定）　ER：JAXA にてプロダクト作成　LR：国内研究機関でプロダクト作成