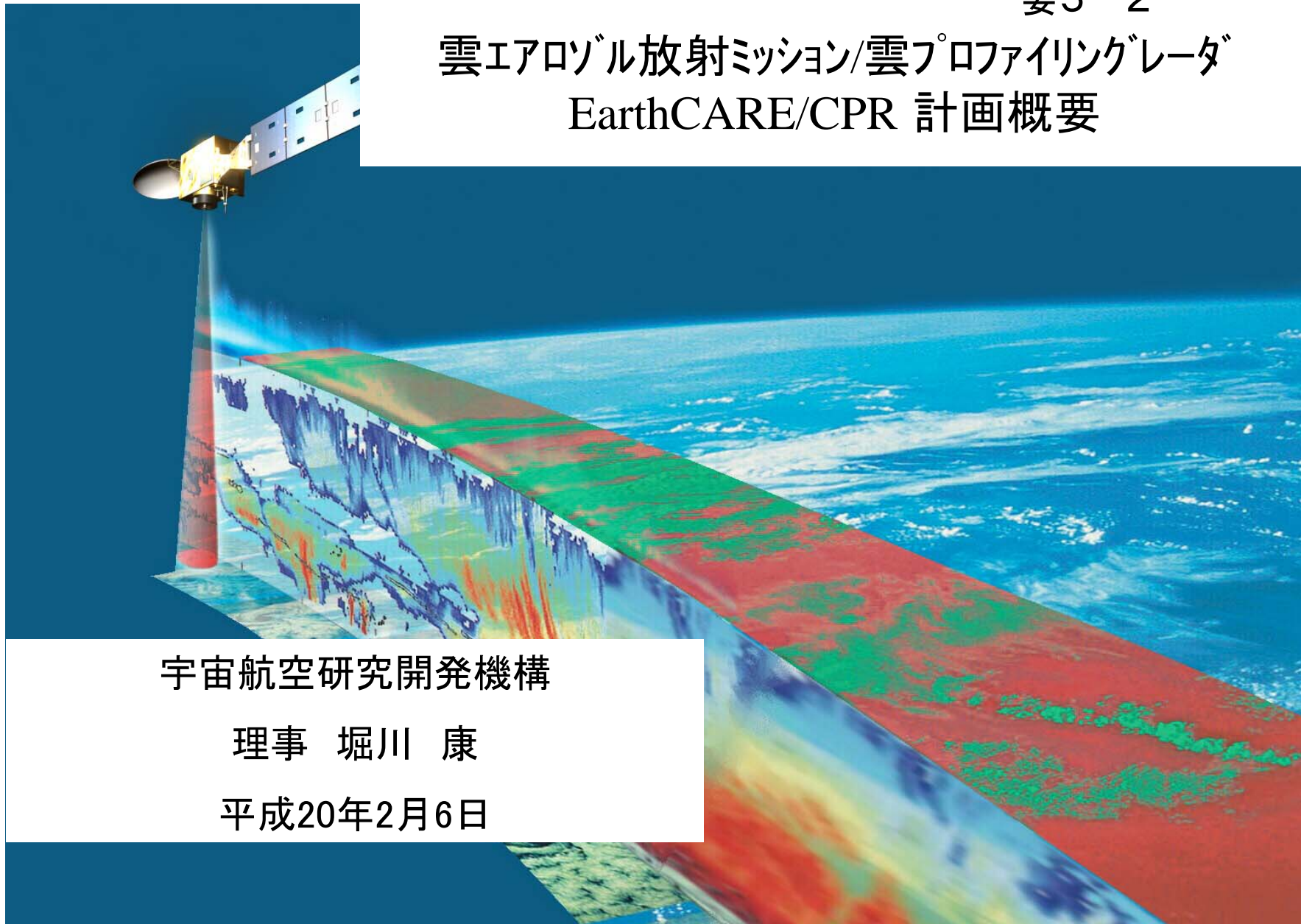




委5-2

# 雲エアロゾル放射ミッション/雲プロファイリングレーダ EarthCARE/CPR 計画概要



宇宙航空研究開発機構

理事 堀川 康

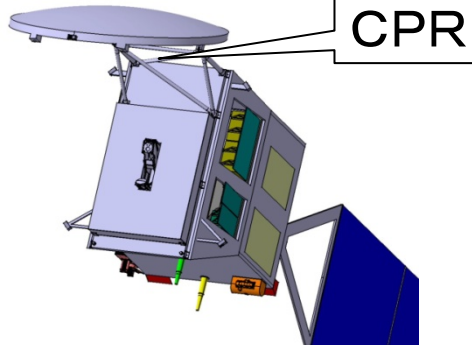
平成20年2月6日

## 目次

---

1. EarthCARE計画の概要/経緯/位置付け
2. ミッション目的と意義
3. 実施体制
4. 今後の進め方

# 1. EarthCARE計画の概要/経緯/位置付け



- EarthCARE 衛星  
(Earth Cloud, Aerosol and Radiation Explorer)  
総重量: 1238kg  
軌道: 低軌道太陽同期準回帰軌道  
(高度450km, 降交点地方通過時1:30)  
ミッション期間 3年

### •搭載センサ

(1) 雲プロファイリングレーダ[94GHzドップラーレーダ](JAXA/NICT共同開発)

- (2) 大気ライダー
- (3) 多波長イメージャー
- (4) 広帯域放射収支計

### •打ち上げ

- ロケット(TBD)使用  
平成25年度(2013年度)打上想定

### •地上局・運用

- 衛星運用及び欧州でのデータアーカイブ

-日本でのデータアーカイブ: JAXA

日本分担、無印ESA分担

## 計画の概要

気候変動予測の主要誤差要因である、雲・エアロゾルについて3次元分布を観測し、相互作用を含めたその地球放射収支に関するプロセスを明らかにすることを目的とし、気候数値予測精度を向上させる事を目指す日欧共同計画。

JAXAは、NICTと共同でW-band(94GHz)において世界初の衛星搭載ドップラーレーダである雲プロファイリングレーダ(CPR)を開発しESAに提供し、日本が優位性を持つレーダー技術の発展を図る。

## 利用先機関

### 利用機関

海洋研究開発機構(JAMSTEC)地球環境フロンティア研究センター  
環境省/国立環境研究所  
気象庁/気象研究所  
東京大学気候システム研究センター(CCSR)等の大学連携機関  
欧州中期予報センター(ECMWF)等



Cloud Profiling RADAR(CPR)

### •主な機能性能(暫定)

- 94GHzドップラー計測機能付レーダー
- 計測高度範囲 -0.5~20km
- 垂直分解能 500m (サンプル100m)
- 感度: -35dBZ ~ >+21dBZ
- 地表面観測視野: 750m (cross track)
- ドップラー計測範囲: -10~+10 m/s
- ドップラー計測精度: 1 m/s

### •物理的特性

- 寸法 2500x2700x1300 [mm] (収納時),  
2500x2700x3550 [mm] (展開時)
- 重量: 216kg
- 消費電力: 300W

## 1. EarthCARE計画の概要/経緯/位置付け

---

### 位置づけ

EarthCARE/CPRは、国家基幹技術の一つである「海洋地球観測探査システム」の一部として、気候変動・水循環変動分野における衛星観測の一端を担う。 IPCC第4次報告書の中で数値気候モデルの主な誤差要因とされている「雲・エアロゾル」について、日本が技術的優位性を持ち、世界初となるミリ波ドップラー計測レーダを開発し、欧州開発の搭載センサと同時観測しつつ、雲・エアロゾルの全球の鉛直分布観測を行い、気候数値モデル誤差低減を目指す。 尚、本計画はGEOSS10年実施計画に対する我が国の貢献の一つとして位置づけられている。

### 経緯

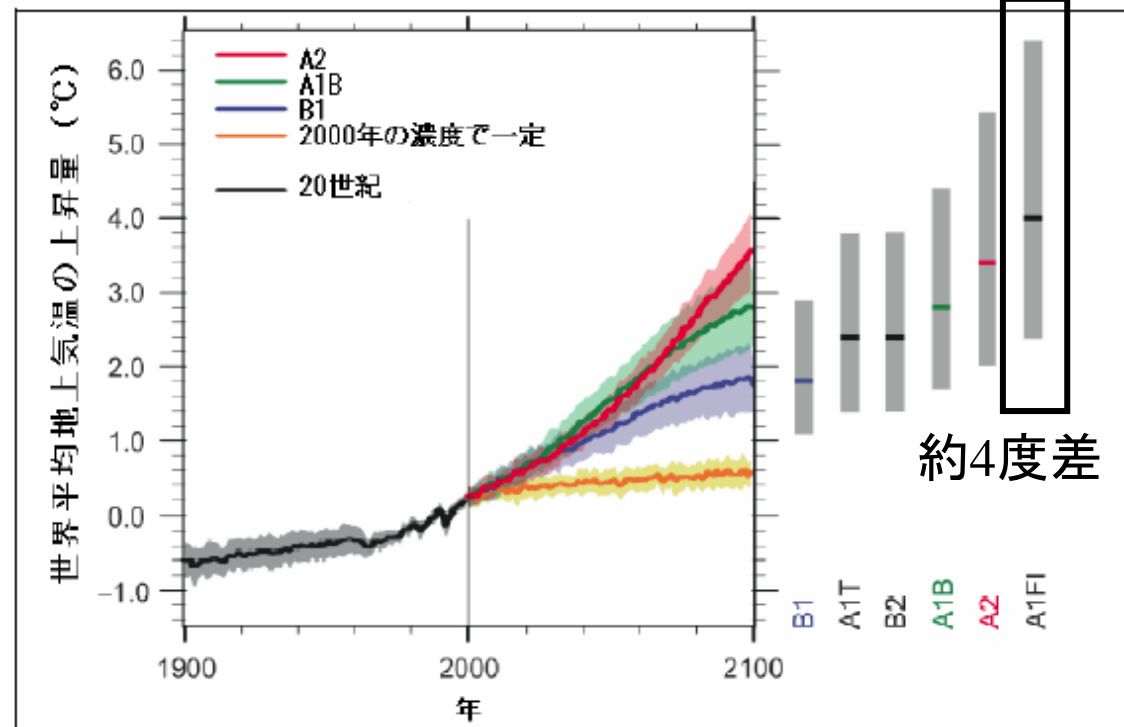
- ▶平成12年：第25回日ESA行政官会合に於いて、ESA研究ミッション(ERM)とJAXA(当時NASDA)研究ミッション(ATMOS--B1)の類似性を確認し国際共同研究を開始
- ▶平成13年：ESA側でEarthExplorer計画第6次ミッションとして、第1次選考に最終ミッション候補となる
- ▶平成15年：ESA側で第6次ミッションとして最終選定を受ける
- ▶平成17年4月：平成19年度にSAC審査を経てCPRの開発に移行することを目標とし、JAXA-NICT間で3年間の共同研究契約を締結し、平成19年度までのExtended Phase Aを開始。
- ▶平成19年5月：NICTと合同でEarthCARE/CPR総合システムのミッション定義審査(MDR)/システム要求審査(SRR)を行い、EarthCARE/CPRのミッション定義が適切に行われていること、及びミッション要求が総合システムを構築する各システムのシステム仕様に適切にブレークダウンされていることを確認した。  
引き続きプロジェクト準備審査を完了し、プリプロジェクトチームを発足(8月)

## 2. ミッション目的と意義

背景：気候変動の予測精度の現状

現在世界各国の数値気候モデルによる100年後の全球平均気温予測のモデル毎の差は最大4度程度（IPCC 4次報告書）。（約 $4 \pm 2$ 度：精度50%程度）

→ 人為起源による気候変動の影響を評価するには数値モデルの予測精度が不十分  
 注：過去100年の全球平均気温上昇は0.6度程度



IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

本評価に関し、日本から気象研モデルおよび地球環境フロンティア(FRCGC)/環境研/東大気候センター(CCSR)モデルの2モデルが参加

実線は、各社会発展シナリオ及び20世紀の状態を継続した場合における複数の数値モデルによる(1980~1999年と比較した)地球平均地上気温の昇温を示す。陰影部は、個々の数値モデルの年平均値の標準偏差の範囲。橙色の線は、2000年の濃度を一定に保った実験のもの。右側の灰色の帯は、6つの各社会発展シナリオにおける最良の見積り(各帯の横線)および可能性が高い予測幅。(出典: IPCC-AR4/WG1, 図SPM-5)

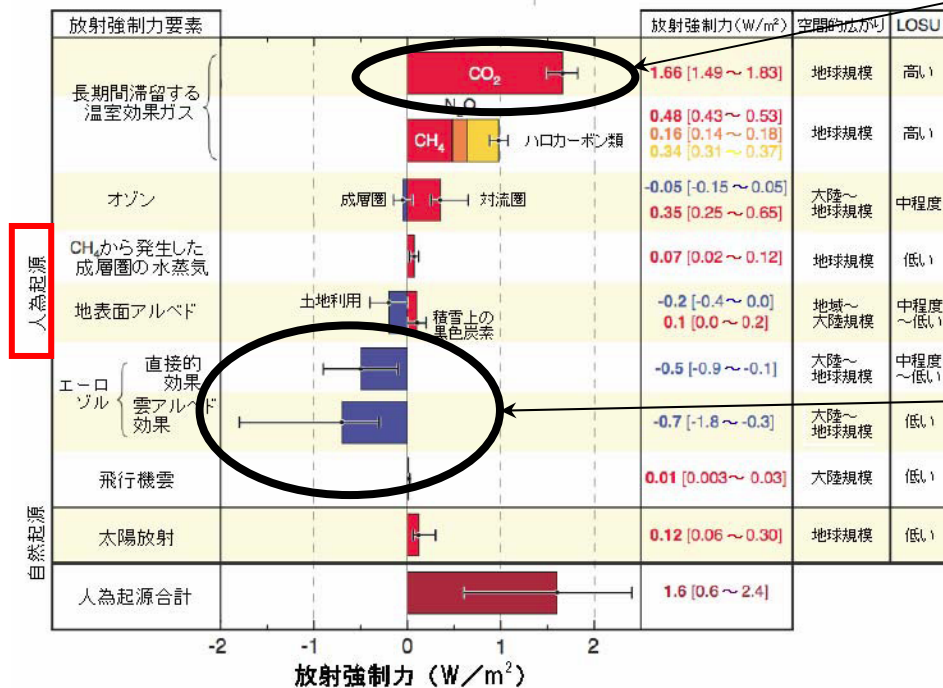
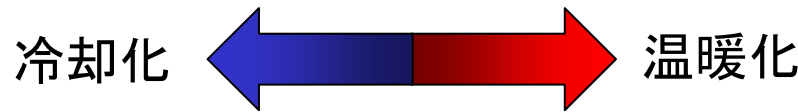
## 2. ミッション目的と意義

背景：気候変動予測の人間活動に関わる主要誤差要因

「エアロゾルと間接的な雲のアルベドは依然として放射強制力における顕著な不確実性」「雲のフィードバックは依然として最大の不確実要因のまま」(IPCC第4次報告書より抜粋)

これらの要因に対するJAXAの計画案

	各要因の影響力の大きさ	全球の存在量を把握
二酸化炭素	比較的良好にわかっている	GOSATで観測評価
雲・エアロゾル	顕著な不確実性 EarthCAREで観測評価し、 解明	GCOS-Cで観測評価



**二酸化炭素**  
気候変動への影響力は最大だが、科学的によくわかっている (推定誤差が小)

**雲・エアロゾル**  
気候変動への力は十分大きく、科学的によくわかっていない (推定誤差が大)

この部分は、1-2度分の寄与がある\*

\*補足資料参照

人為起源の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、メタン(CH<sub>4</sub>)、一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)並びにその他の重要な要素及びメカニズムの、2005年時点で世界平均した放射強制力の推定値と推定幅(出典：IPCC-AR4/WG1, 図SPM-2)

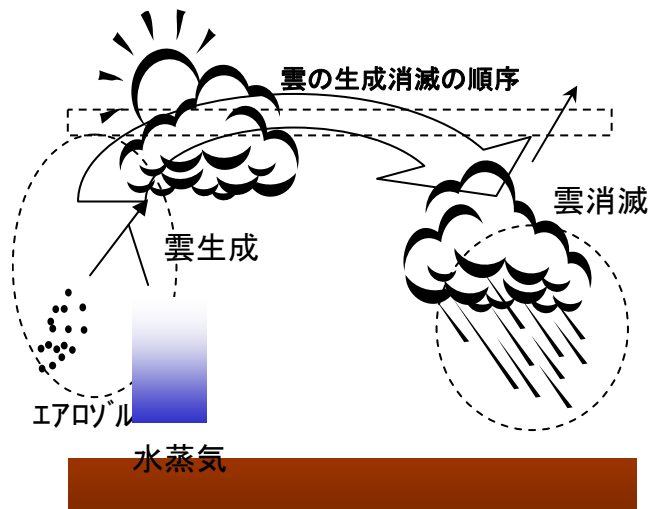
放射強制力：温暖化要因の影響力を定量化した値  
エアロゾル：大気中に存在する微粒子(塵埃)  
LOSU: Level of Scientific Understanding: 科学的理解度  
GOSAT; Greenhouse gases Observation SATellite  
GCOS; Global Change Observation Mission

## 2. ミッションの目的と意義

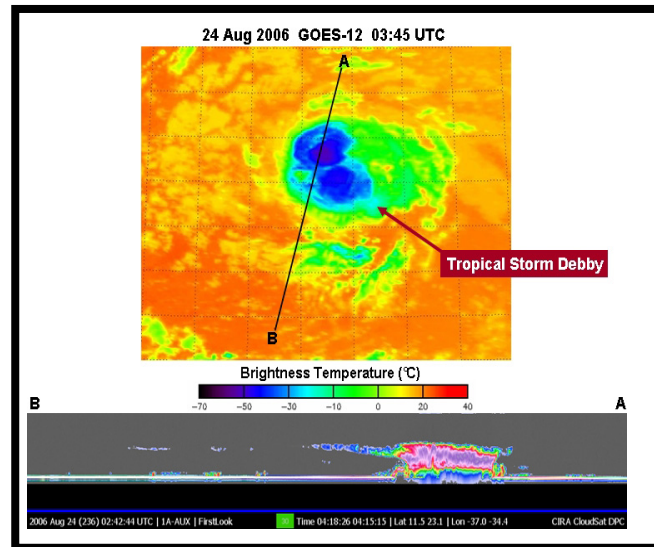
### EarthCAREの観測概要

#### EarthCAREミッション

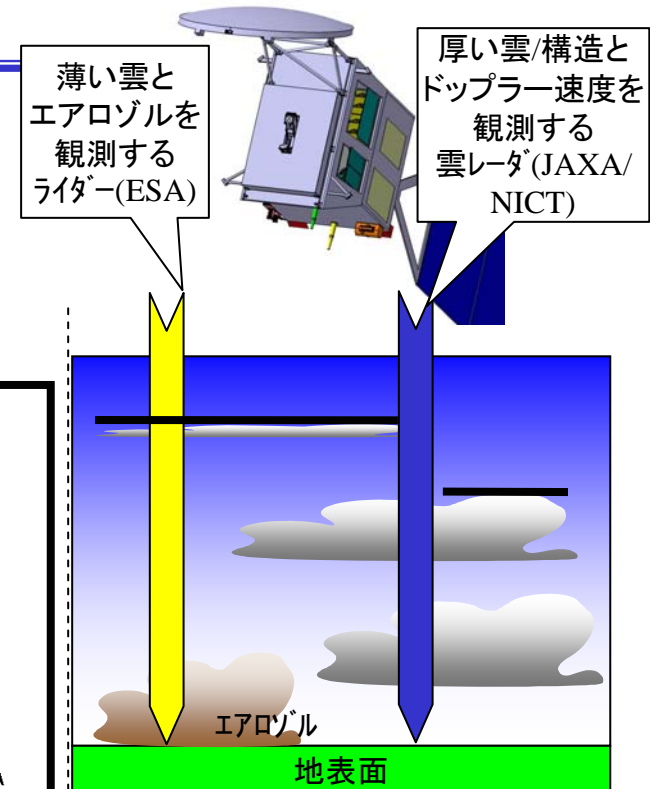
雲・エアロゾルの鉛直分布と微物理特性(雲水量, 有効粒子半径など)および雲粒子落下速度を全球規模で計測(ドップラー計測)することを観測目的とし、3年間の運用を行う



雲とエアロゾルの生成消滅



熱帯性低気圧の大規模な雲構造を捉えた観測例(CloudSAT/NASA)



— は受動観測センサ(GCOM-C/SGLI, NPOESS/VIIIRS等)で観測した場合の観測範囲(下部構造が見通せない)

EarthCARE衛星による観測

## 2. ミッション目的と意義

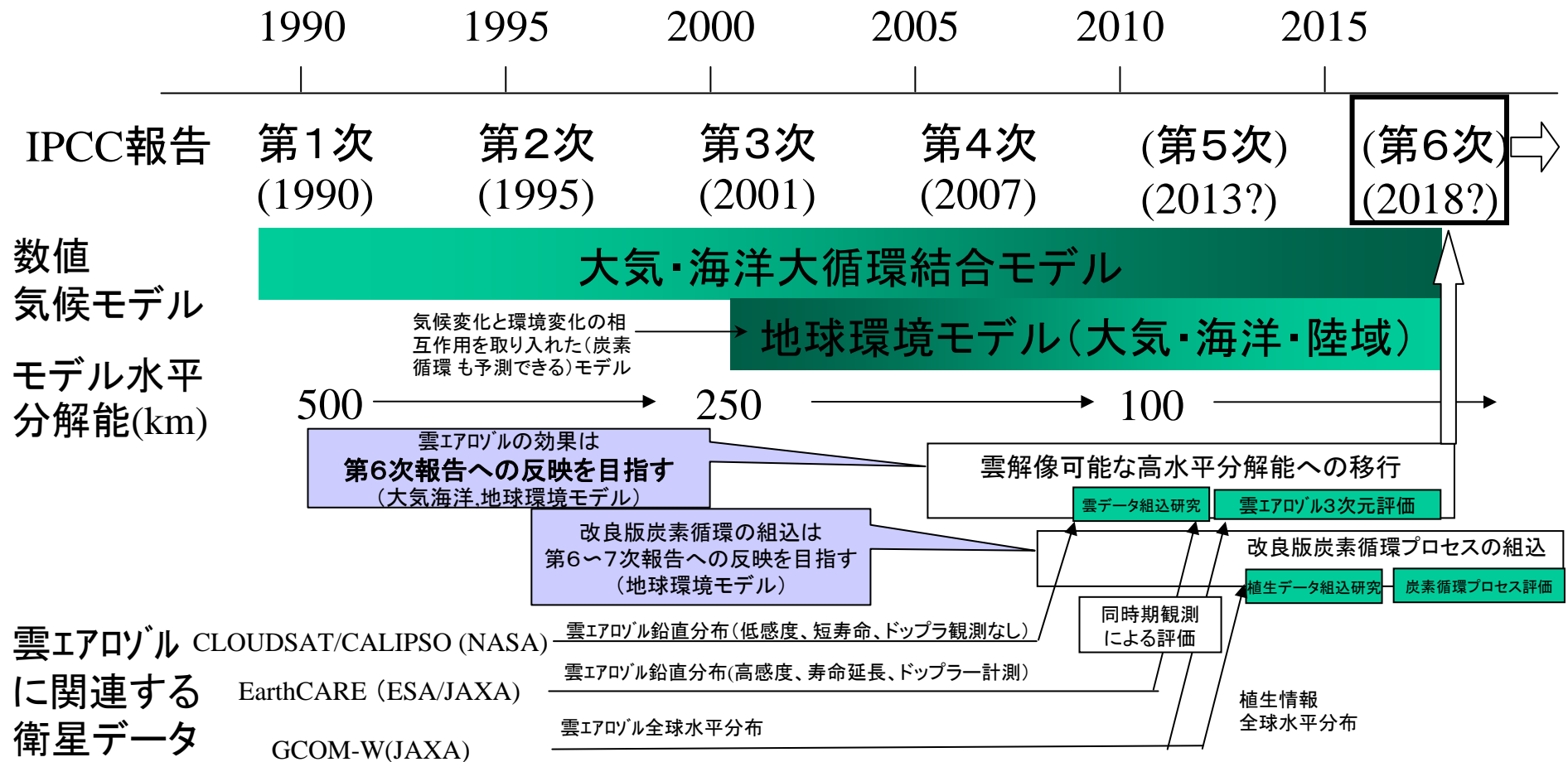
### EarthCARE/CPRミッションの目的

---

- (1) 観測要求を達成するため、従来よりも高感度であり、世界初となるドップラー計測機能を持つ衛星搭載W-bandレーダーをJAXA/NICT共同で開発すること
- (2) 衛星本体および他センサを開発する欧州宇宙機関との協力により、全球の各領域における雲の鉛直構造および雲内の鉛直運動の観測を行いCPR単体のプロダクトを生成すること
- (3) 欧州宇宙機関から、同時搭載される他センサ(大気ライダー、多波長イメージャー、広帯域放射収支計)のデータ提供を受けて、複数センサを用いた複合プロダクトを生成すること
- (4) 主として気候数値モデルを有するユーザ機関との協力により、プロセス研究、数値モデルの改善による長期気候変動予測精度の向上が図れると共に、気候変動に関わる政策決定に寄与する情報提供を行うこと
- (5) 地上観測データや他の衛星観測データと統合的にデータを利用出来るシステムとすること

## 2. ミッション目的と意義

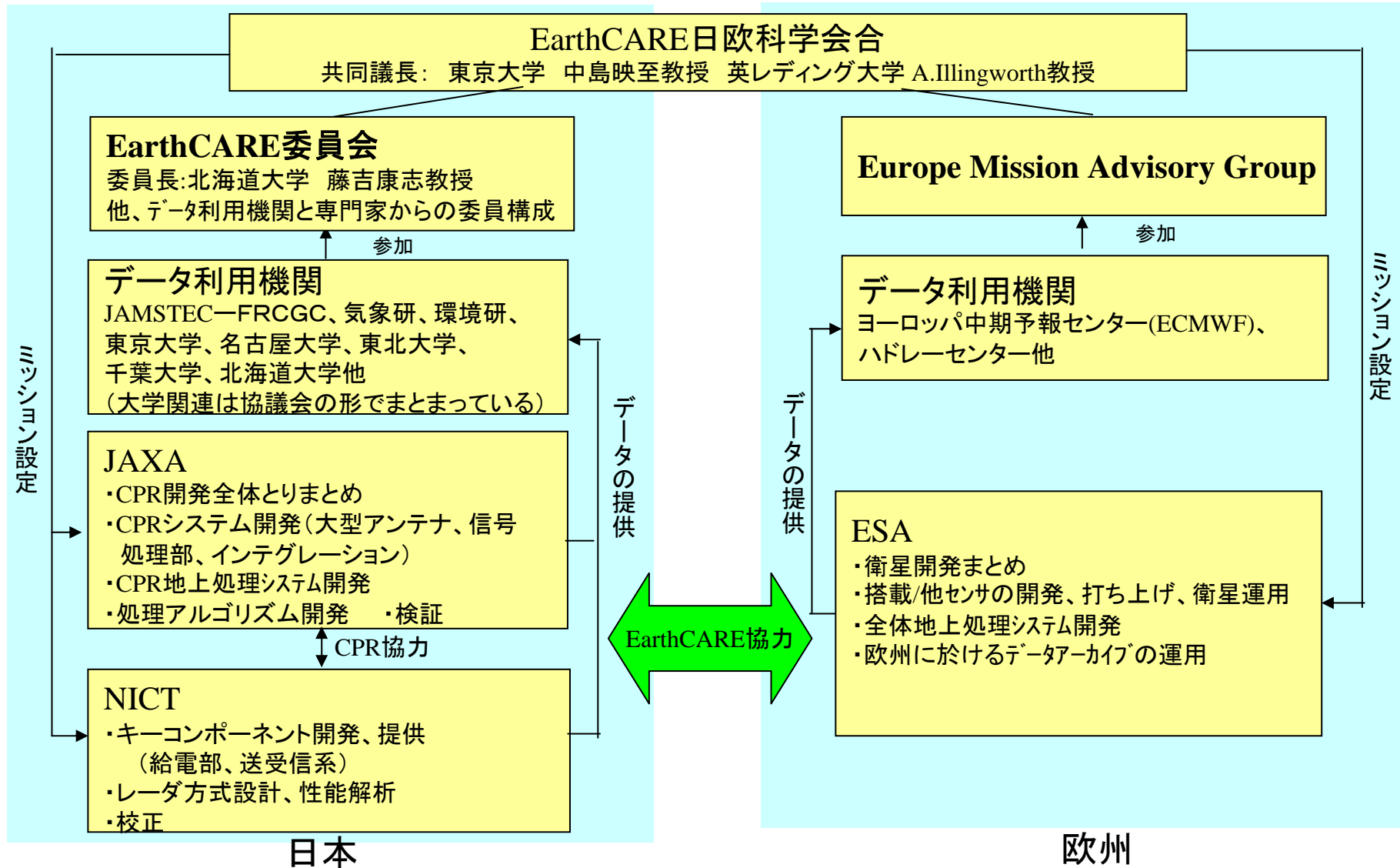
### IPCCと日本の数値モデル計画/衛星観測計画の関連



注1:モデル発展イメージについては「気候変動と衛星観測の未来」シンポジウム(H19.4.26)におけるJAMSTEC/FRCGCによる発表資料を基に作成

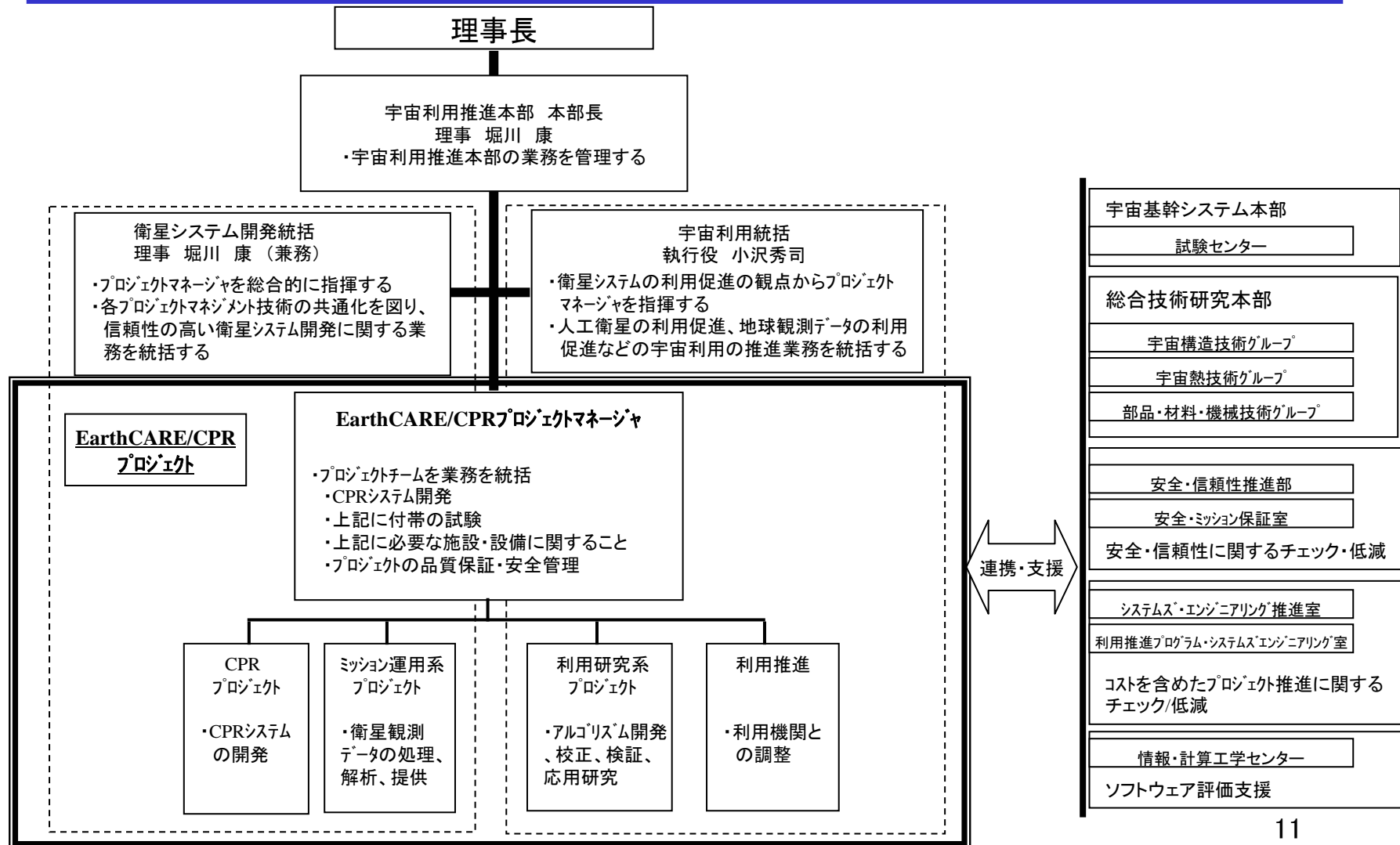
注2: JAMSTEC/FRCGCはIPCC-WG1日本事務局が置かれ、地球シミュレータによる気候変動予測モデル(東大、環境研との協力によるモデル)結果をIPCCへの日本からの入力の一つとして提出している(その他気象研モデルが参加)

### 3. 実施体制 利用推進体制



### 3. 実施体制

#### EarthCARE/CPRのJAXA実施体制図(案)



## 4. 今後の計画

	2007年度				2008年度				2009年度				2010年度				2011年度				2012年度				2013年度				2014年度				2015年度				後期運用期間へ
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4					
	▽SDR				▽CPR-PDR				▽CPR-CDR				▽CPR PQR/PSR																								
CPR (JAXA/NICT)	▽MDR/SRR				▽プロジェクト移行審査				▽STM EIS▽				▽CPR ESA引渡												▽Launch												
▼NICT部分					▼サブシステムPDR				▼サブシステムCDR				▼サブシステムPQR																								
	予備設計	基本設計	詳細設計	製作・試験	衛星支援	射場整備	初期	定常運用																													
ミッション運用系 (JAXA)	概念設計				基本設計	詳細設計	製作／試験	運用準備	初期	定常運用																											
利用研究系 (JAXA)	プロダクト検討				アルゴリズム開発				運用準備	初期	定常運用																										
衛星(ESA)	Phase-B				Phase-C/D								Phase-E																								

Phase-B: 予備設計フェーズに相当  
 Phase-C/D: 基本・詳細設計、製作・試験フェーズに相当  
 Phase-E: 打上げ後の運用フェーズに相当

2008年度第1四半期までに以下を実施することを目標とする

- ・プロジェクト移行
- ・JAXA-ESA, NICTとそれぞれ、MoU, 協定の締結

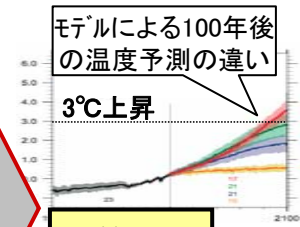
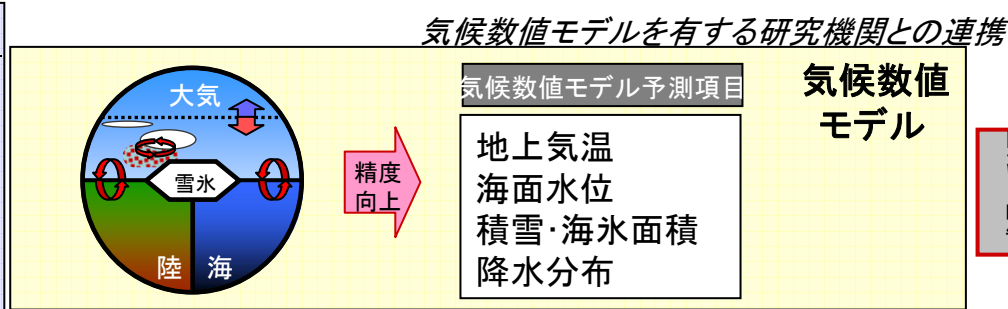
2008年度中に以下を実施することを目標とする

- ・基本設計に着手する。
- ・年度内にPDRを実施し、詳細設計に移行する

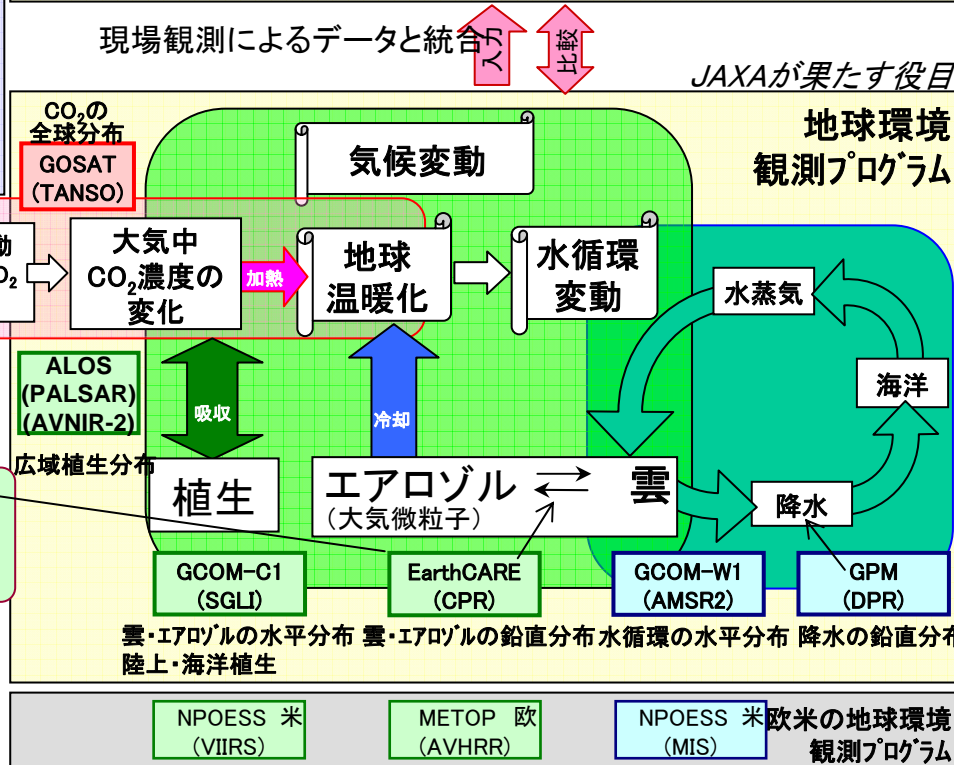
地球温暖化による気候変動と水循環は密接に関係し合う事象であるため、両者について衛星同時期観測を行いメカニズムの解明を行うことで、気候数値モデルを改善し地球環境の予測精度を向上。またGEOSSに貢献。

**気候変動メカニズムと観測の必要性**

- ✓ 人間活動によるCO<sub>2</sub>等の排出により大気中濃度が高くなると、地球温暖化が進行する。
- ✓ 地球温暖化は、気候および水循環に影響を及ぼす。
- ✓ 植生のCO<sub>2</sub>吸収量や雲・エアロゾルの冷却効果は逆に地球温暖化に関与。



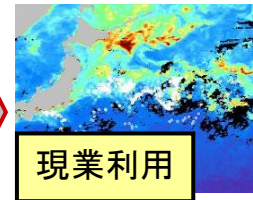
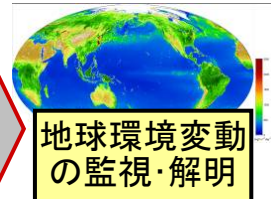
政策立案



成果の利用

成果の利用

データ利用



➢ EarthCAREは日欧協力により、気候変動予測の主要誤差要因であるの雲・エアロゾルの3次元分布を高精度で観測し地球放射収支に関するプロセスを明らかにする**唯一の計画**

## (補足資料)エアロゾルと雲の評価における鉛直観測の必要性

---

(雲とエアロゾルの鉛直分布の解析)

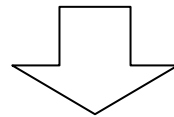
エアロゾルの雲との相互作用を気候研究の観点から研究するためには、エアロゾルの特性(粒径分布、化学組成など)とともに雲底付近の雲粒径の情報が非常に重要である。このような研究は、現在の大循環モデリングにおいて大きな不確定性をもつ低層雲の形成過程のモデリングにとっても重要である。また、大循環モデルを用いて地球温暖化研究を行うためには、中上層雲の融解プロセスを理解につながる中上層雲の雲量、雲水量、有効粒子半径、雲粒子落下速度などの温度依存性のデータ取得が必要である。しかし、これらの情報は受動センサ観測では得ることが出来なく、能動センサである94GHz雲レーダとライダーの同時解析が必要である。現在進められている、「人・人間・地球共生プロジェクト」のモデリンググループは、この部分のパラメタリゼーションの違いにより1度から2度程度の気候感度の変化が起きるとしている。2005年頃に実現予定のNASA(米国大気海洋局)によるCALIPSOとCLOUDSATによるA-train計画は、短期間の技術実証ミッションであるが、衛星搭載レーダとライダーのデータが得られ、その検証と同時解析が気候研究にとって重要である。さらに、より高精度で本格的な研究観測を目的として単一衛星に雲レーダ、ライダー、受動センサを搭載した、EarthCARE計画が日欧協力により研究中である。

(補足資料)

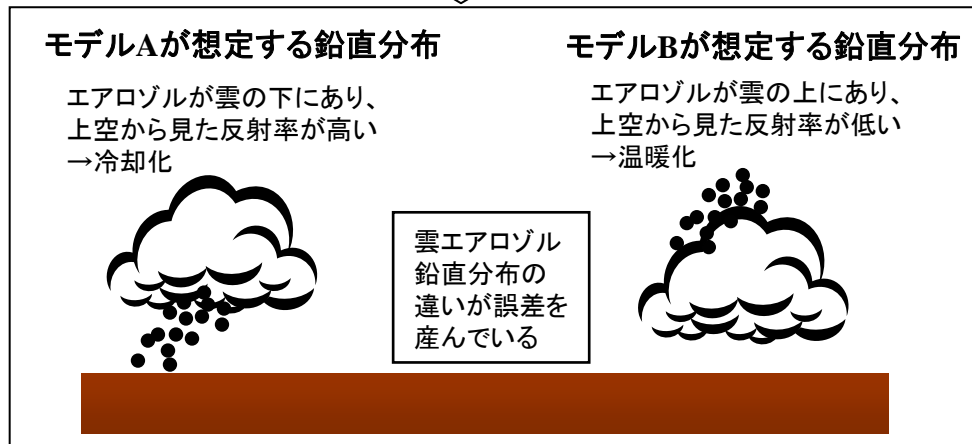
## EarthCAREによって低減が期待できる誤差量の例(1)

エアロゾルの直接効果\*について

→影響量;  $-0.5 \pm 0.5 \text{ Wm}^{-2}$  (IPCC第4次報告)



モデル間誤差「 $\pm 0.5 \text{ Wm}^{-2}$ 」の要因は「鉛直分布」仮定

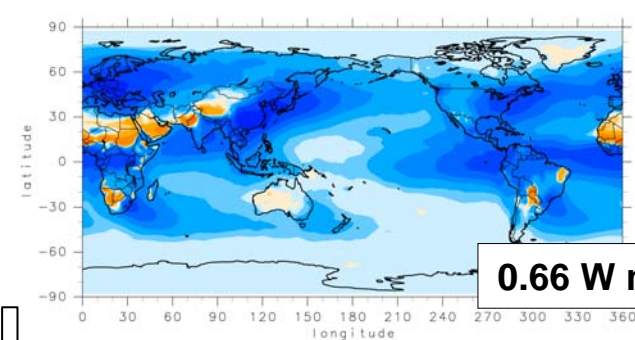


- 日本の最新研究例では直接効果の算定は $-0.04 \text{ Wm}^{-2}$ 程度(右図)、他国のモデルでは最大約 $-1 \text{ Wm}^{-2}$ 程度
- この影響で $0.5 \text{ Wm}^{-2}$ 強の差が見込まれるので(右図)、EarthCAREによる鉛直分布観測により、誤差半減が期待される。

\*: エアロゾルの直接効果とは、エアロゾルによって、直接太陽光が反射、散乱されたり、吸収される効果

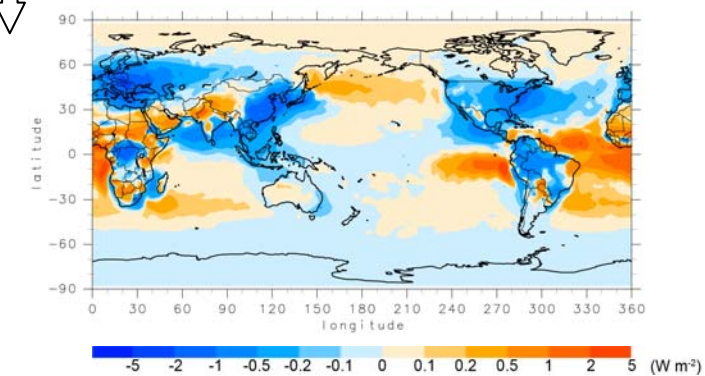
雲の上にエアロゾルが分布し、温暖化方向に変化している

雲なし、エアロゾルあり  $-0.70 \text{ W m}^{-2}$



0.66  $\text{W m}^{-2}$ の差

雲あり、エアロゾルあり  $-0.04 \text{ W m}^{-2}$



大気上端でのエアロゾルの放射強制力  
(数値モデル計算結果)

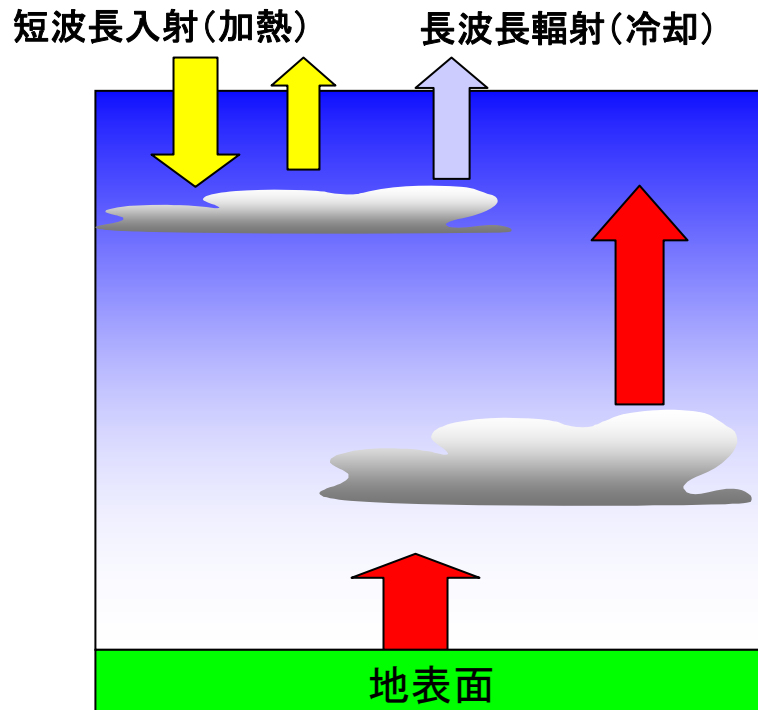
CCSR/NIES/FRCGC AGCM+ SPRINTERSモデル

Tekemura et al. (JGR2005) 5

(補足資料)

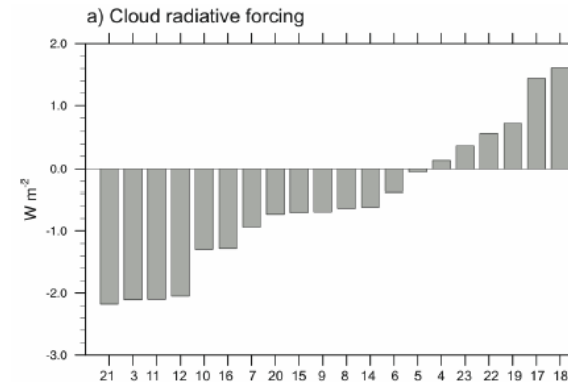
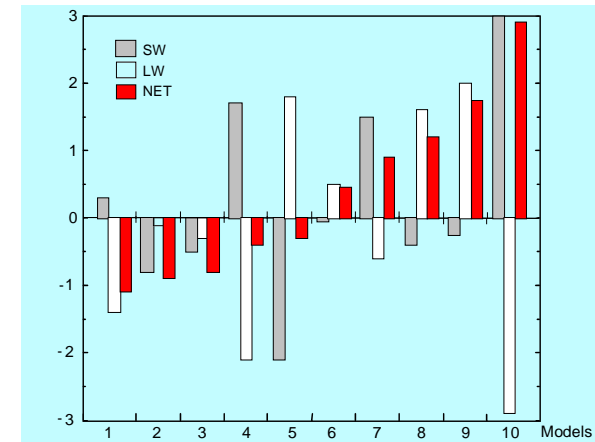
## EarthCAREによって低減が期待できる誤差量の例(2)

雲の鉛直分布の違いで発生する誤差



高い雲は地球を加熱し、低い雲は冷却する。  
 →雲の鉛直構造を理解しなければ、その放射強制力を正確に評価することが原理的にできない  
 右図で示されるモデル間の雲の放射強制力差は雲の鉛直分布仮定の差によって生ずるため、衛星からの雲の鉛直分布測定により、これらを低減できる。

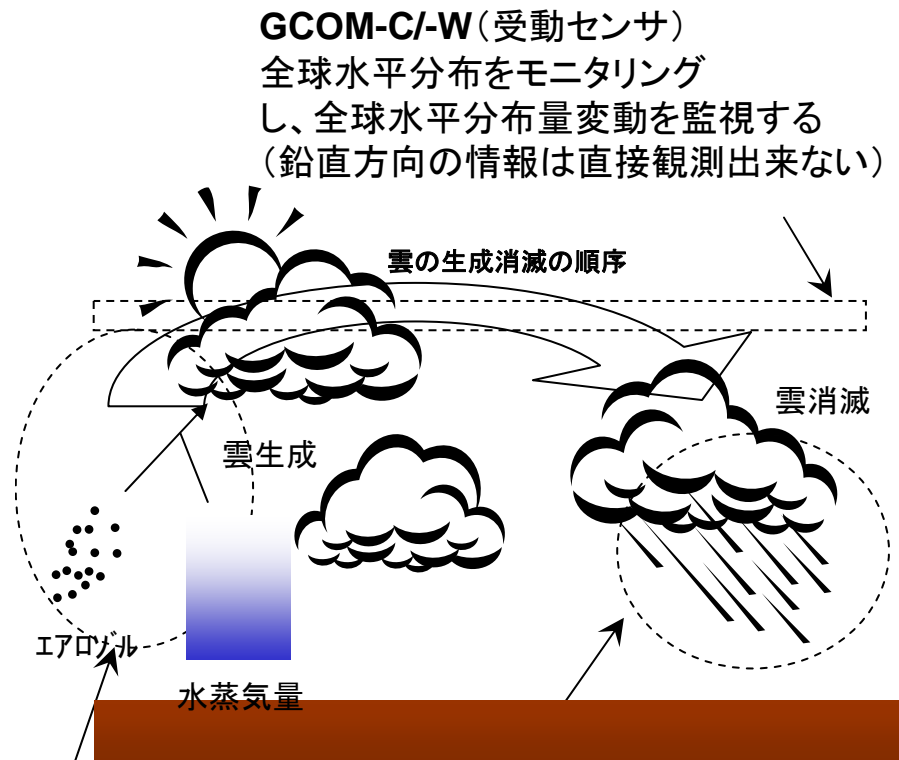
現時点では、雲が地球温暖化を抑制するように働くか、増幅するように働くかについて結論がでない



二酸化炭素倍増実験における各国の数値気候モデル別の大気上端における雲の放射強制力の違い(上段は赤色の部分)  
 (上段IPCC第3次報告書、下段第4次報告書)

(補足資料)

## EarthCARE, GCOM-C/-Wのエアロゾル～雲～降水の観測における対象領域の違い



**EarthCARE**  
 (95GHz能動レーダ,  
 355nm能動ライダー)  
 エアロゾル～雲の鉛直分布を全球各地で観測しプロセス解明を行う

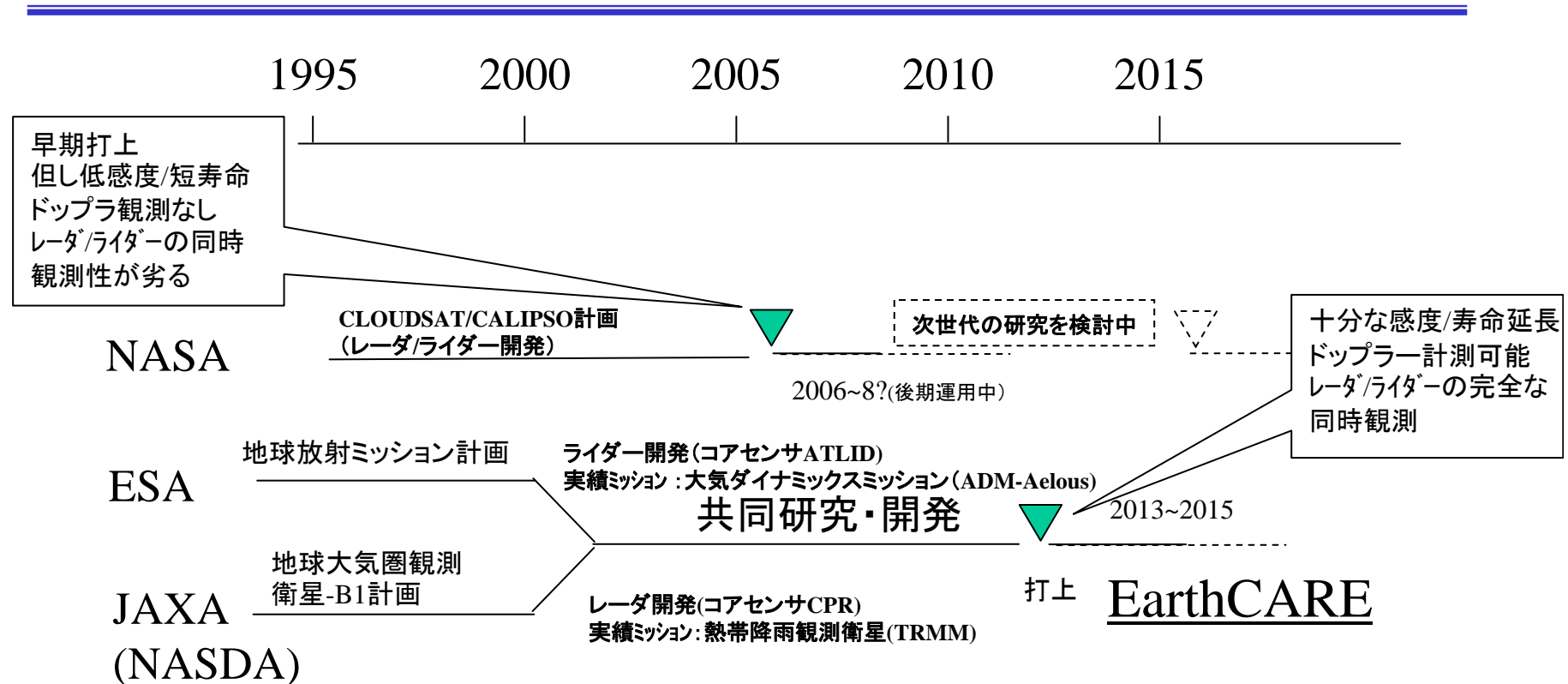
**GPMコア衛星**  
 (13/35GHz能動レーダ)  
 降水の3次元分布を全球の大部分で観測し副衛星(GCOM-W等)の観測を高精度化する

		EarthCARE	GCOM-C	GCOM-W
	観測方式	能動センサ 95GHzミリ波 レーダ 355nm ライダー(ESA)	受動センサ 0.38~12μm 光学 イメージャ	受動センサ 6~89GHz マイクロ波イ メージャ
エアロゾルの直接的効果および雲アルベド効果の評価	雲エアロゾル水平分布	×	全球量を計測	×
	雲エアロゾル鉛直分布	全球各地	×	×
	降水水平分布	×	×	全球量を計測
	水蒸気水平分布	×	×	全球量を計測

注:GCOMについては、観測対象全体のうち、雲エアロゾル関連観測についてのみ記述

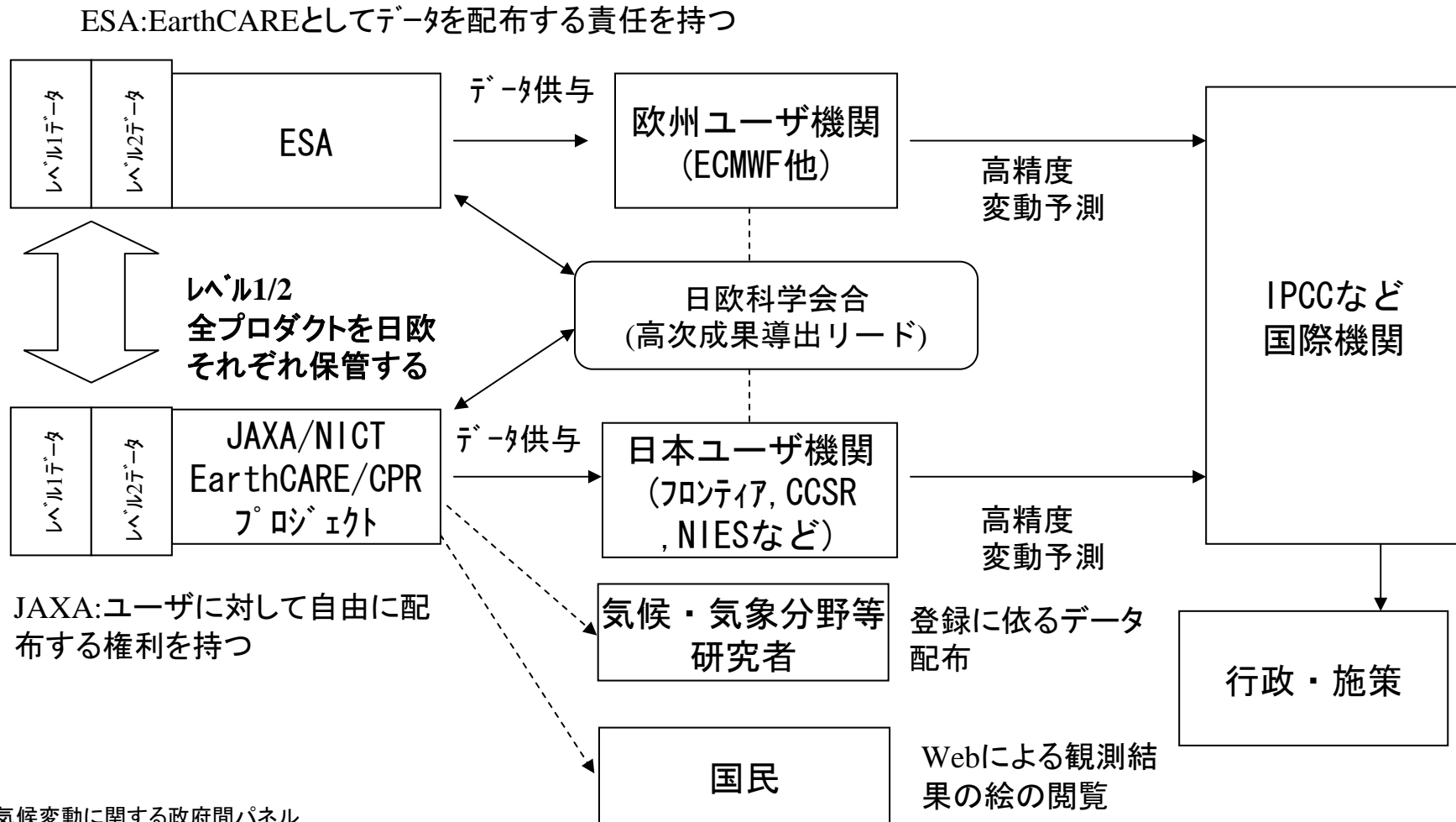
EarthCAREとGCOM-Cは、雲エアロゾルの分布について、受動能動の観測方式の違いにより、水平と鉛直分布をそれぞれ観測し、GCOM-Wは雲生成消滅に深くかかわる水蒸気量(生成)と降水(消滅)を観測する。  
 この総合的な観測により、雲エアロゾルの単位あたり影響力を評価し、また存在量を測ることで、数値モデル精度を著しく向上させる

## (補足資料) 雲3次元観測に関する国際的な要求と日米欧分担の経緯



観測要求に対して、NASA, ESA/JAXAと運用時期が重ならず、国際的に適切に分担された計画となっている。またESAとの分担では共同研究当初の日本分担分を(打上+センサ2種)としていたが、計画の選択と集中によりコアセンサである雲レーダの分担のみに見直すことでESAと合意

## (補足資料) 利用の全体相関図



IPCC: 気候変動に関する政府間パネル  
CCSR: 東京大学気候システム研究センター  
NIES: 国立環境研究所  
ECMWF: 欧州中期予報センター