

衛星による 太陽放射エネルギー関連の観測

村上 浩

宇宙航空研究開発機構

地球観測研究センター

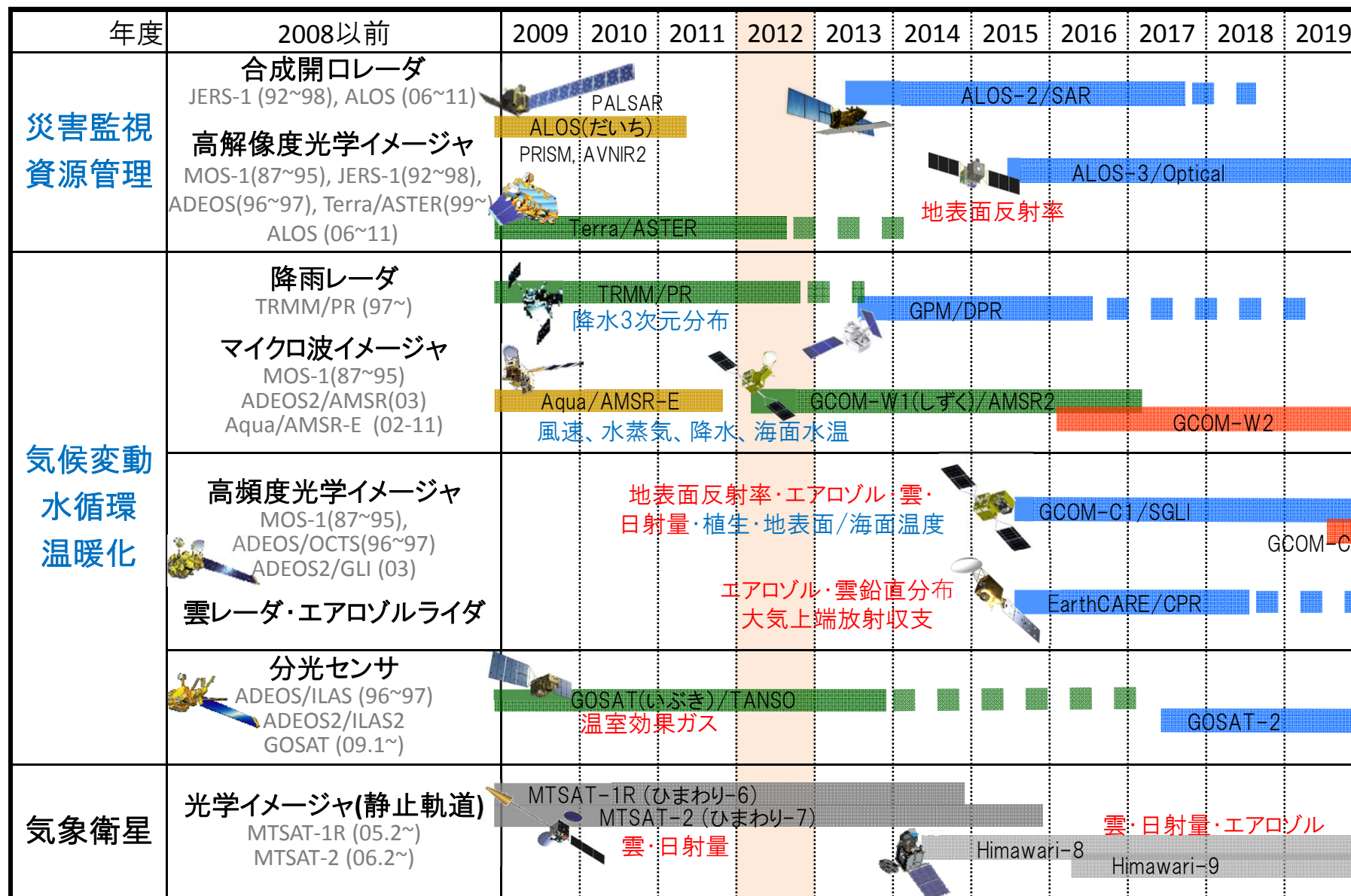
地球温暖化観測に関するワークショップ

2012年11月15日

Contents

1. 太陽放射エネルギーに関わる地球観測衛星・センサと放射関係のサイエンスの紹介
 - 日本の衛星・センサ計画
 - 解析例(日射量・エアロゾル・植生)
2. 衛星プロダクトの精度向上に向けて
 - 衛星センサの校正
 - プロダクトの検証
 - 検証用現場観測センサの校正

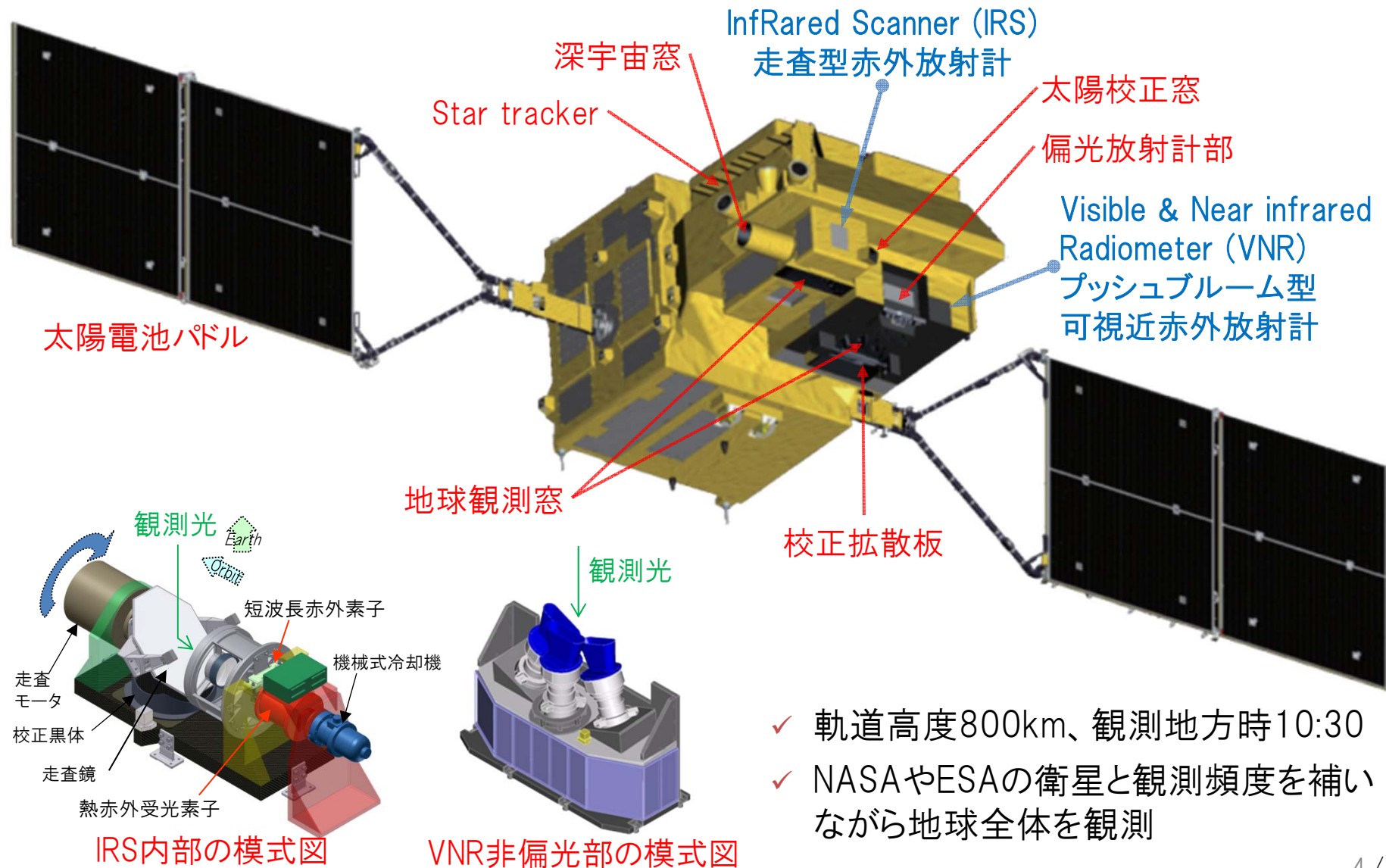
1. 既存・計画中の日本の地球観測衛星センサ



運用終了
運用中
開発中
研究段階

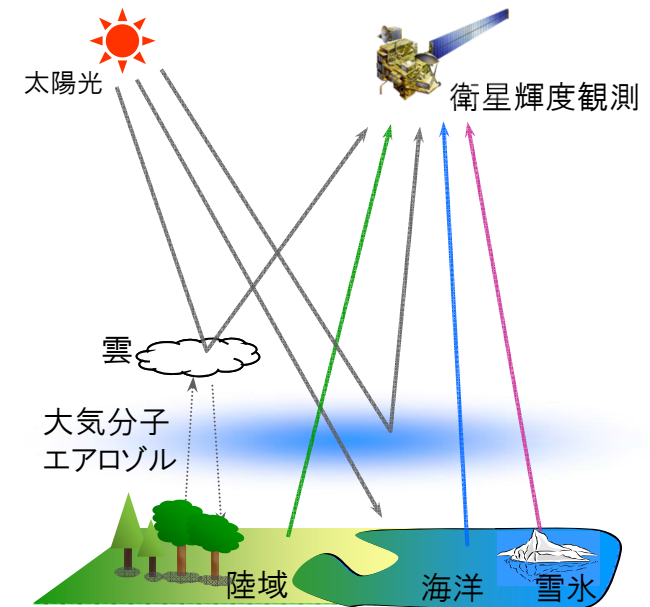
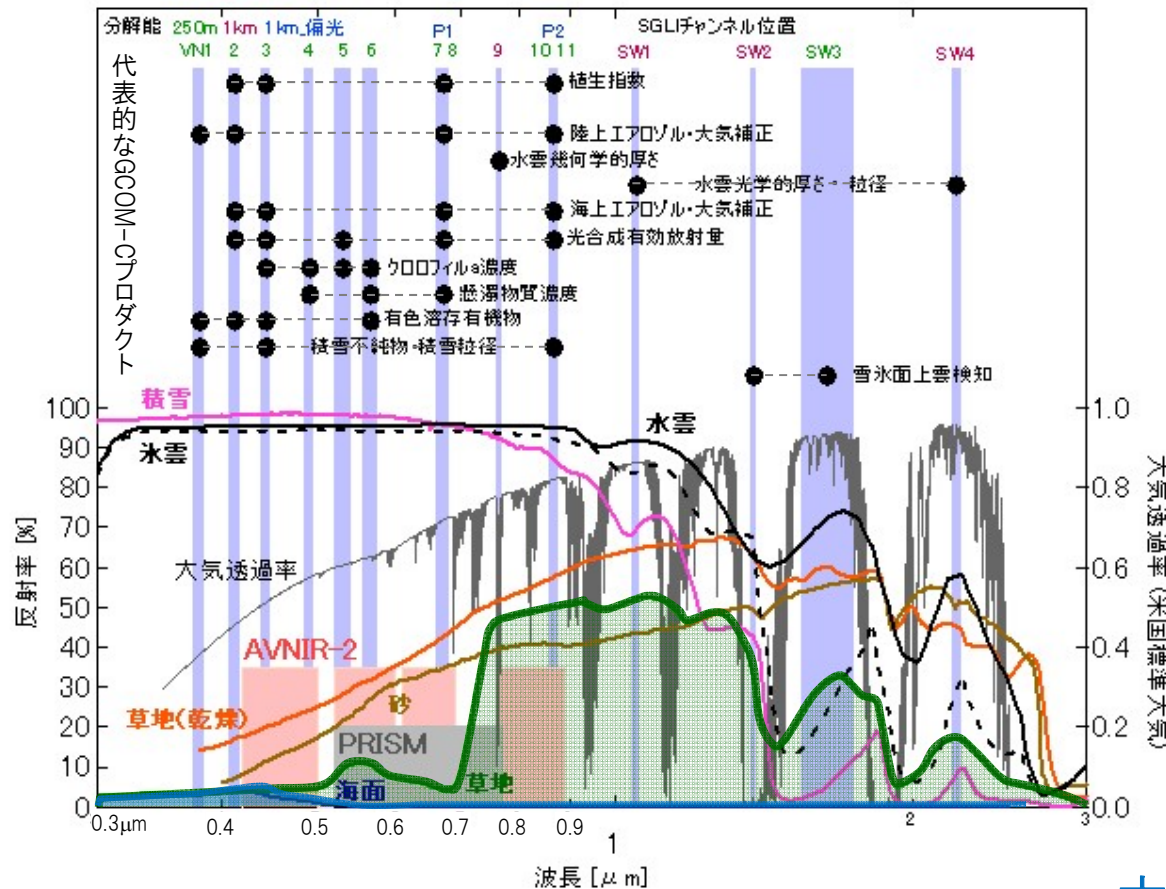
気候変動観測ミッション(GCOM-C)

搭載センサ: 次世代全球光学イメージャ(SGLI)



- ✓ 軌道高度800km、観測地方時10:30
- ✓ NASAやESAの衛星と観測頻度を補いながら地球全体を観測

観測波長と観測対象物の反射特性



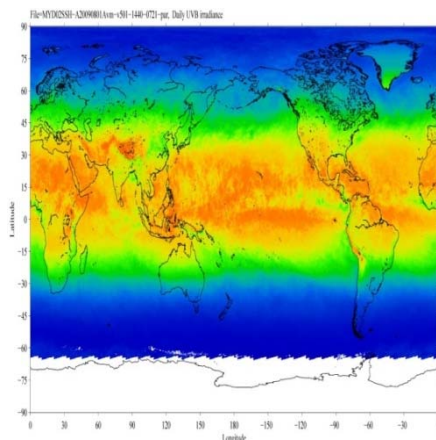
- 地球の代表的な観測対象物の反射率と大気の透過率
- 縦の帯水色、赤、灰色はSGLI、AVNIR-2、PRISMのチャンネル位置

大気の散乱・吸収や地表面反射率などの知見を用いて、黒丸のように複数の波長を組み合わせる解析し、プロダクトを導出

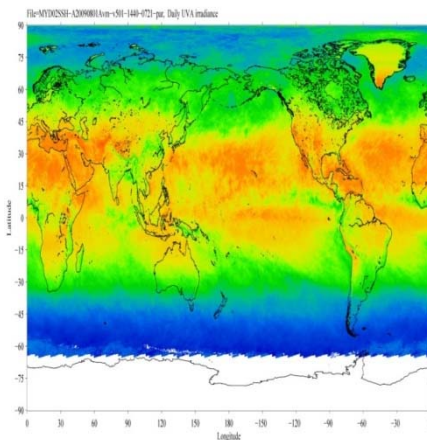
例：日射量・光合成有効放射・紫外線の推定



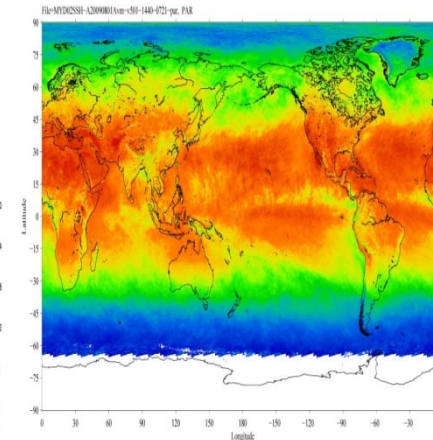
紫外線B(UVB)



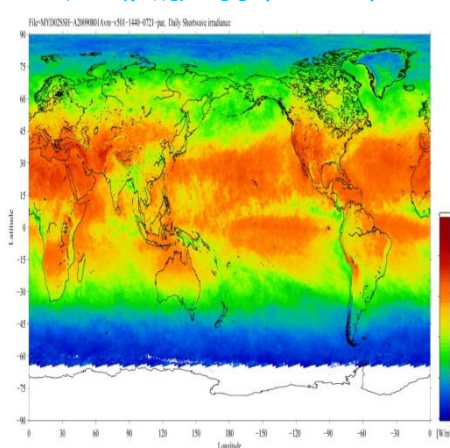
紫外線A(UVA)



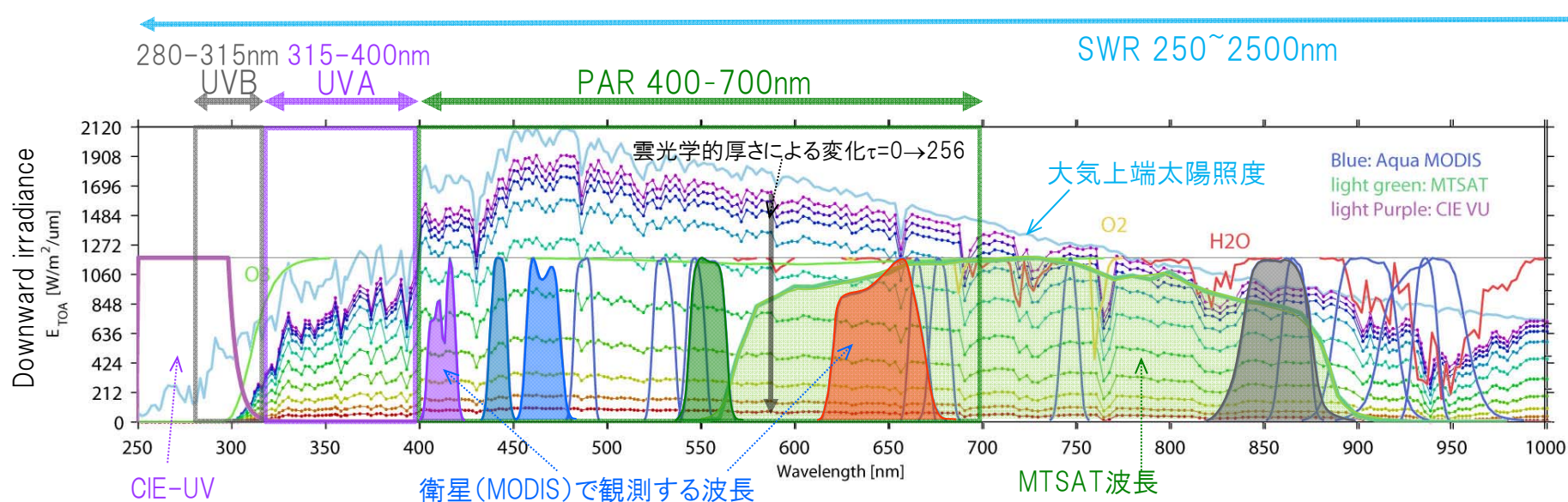
光合成有効放射(PAR)



短波放射(SWR)



MODISから推定した2009年8月月平均UVB・UVA・PAR・SWR

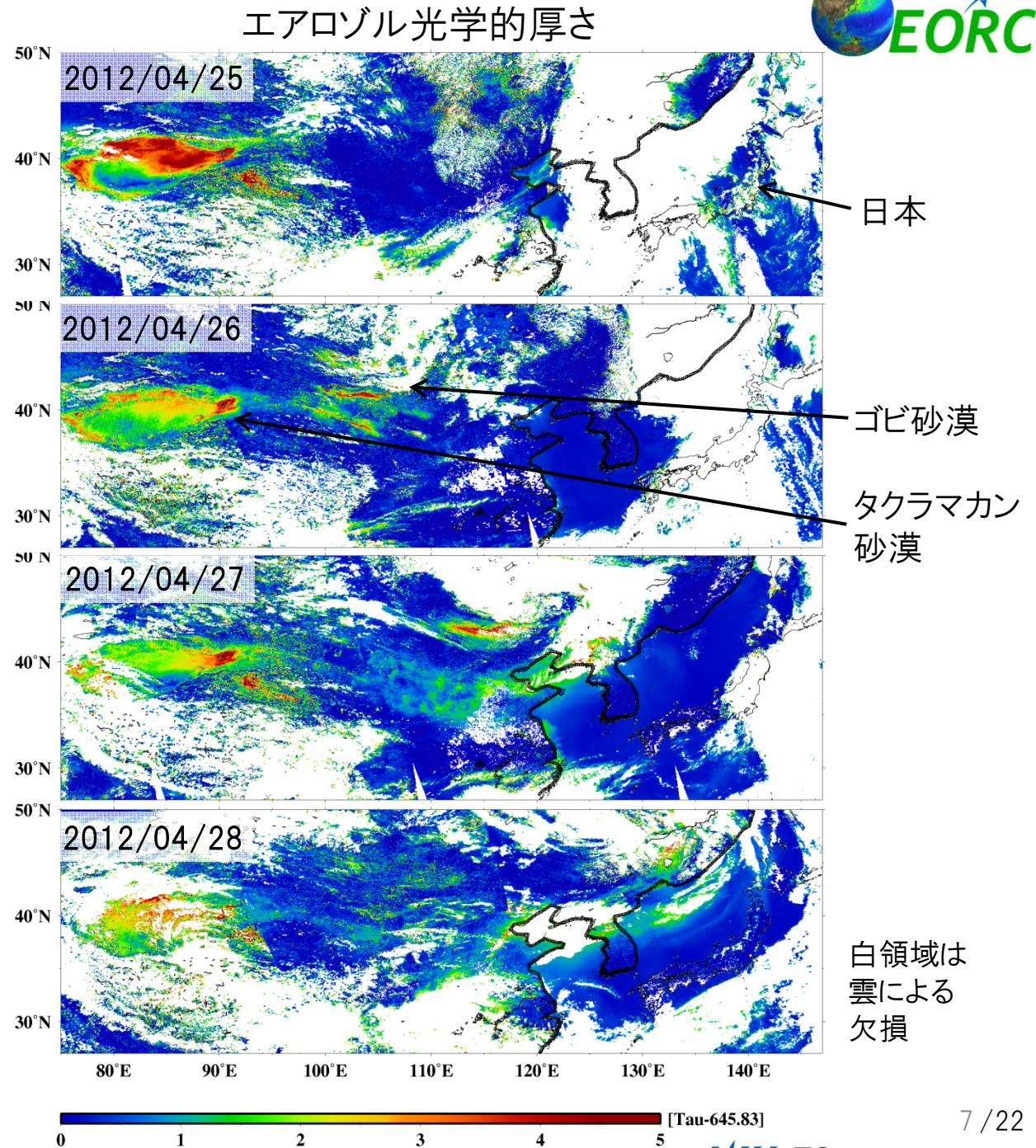


放射伝達シミュレーション(Rstar6B)で計算した地表下向き分光照度

例： エアロゾル推定

Aqua MODISデータから推定
した東アジアにおけるエアロ
ゾル光学的厚さ

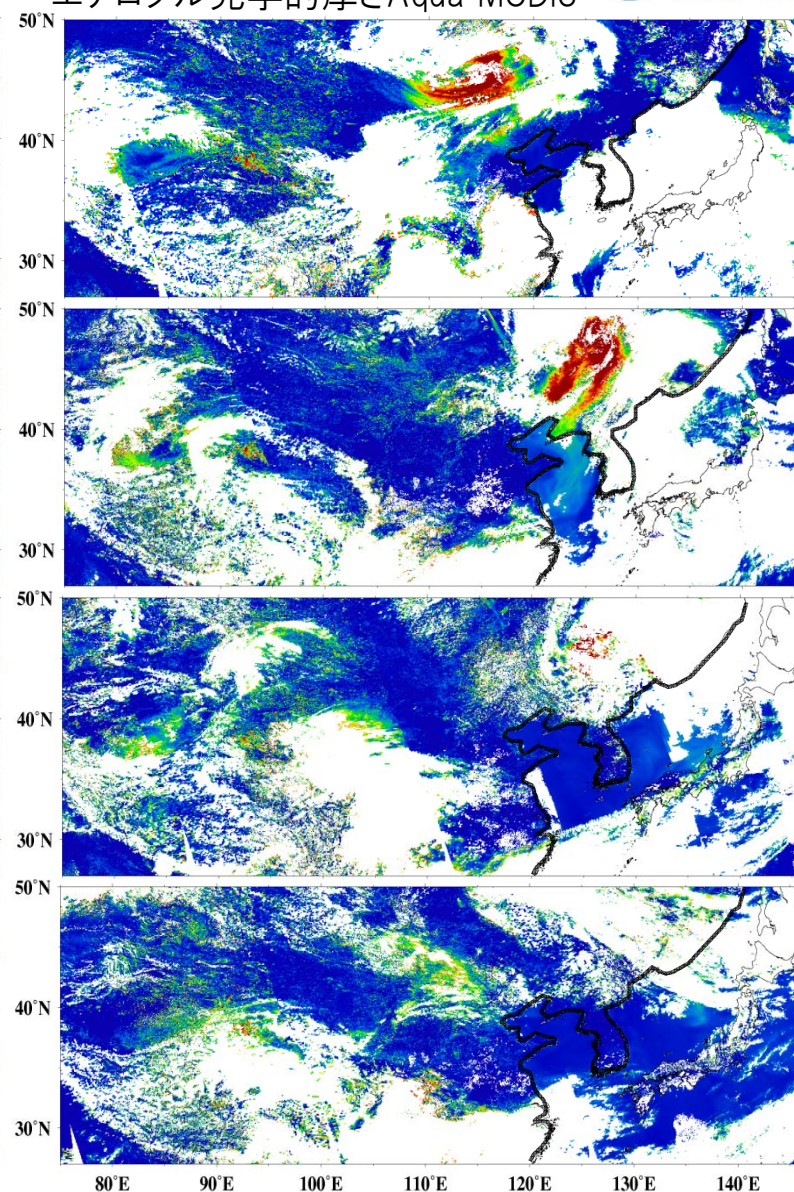
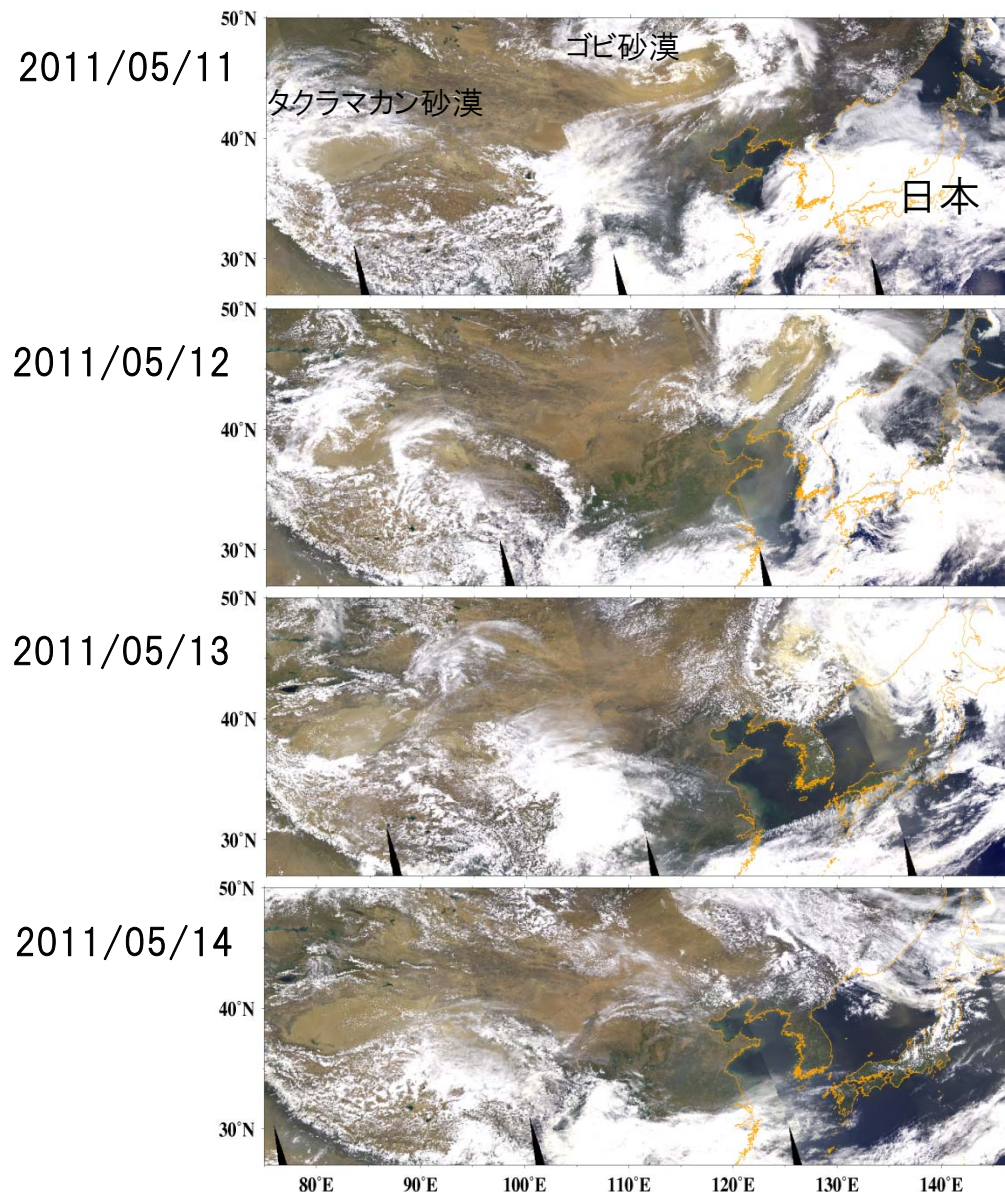
- 4/25~27にタクラマカン砂
漠やゴビ砂漠で黄砂が発生
- 低気圧などの大気の流れに
伴って、数日後に朝鮮半島
～日本海に厚いエアロゾル
が現れている



例：エアロゾル

RGB画像

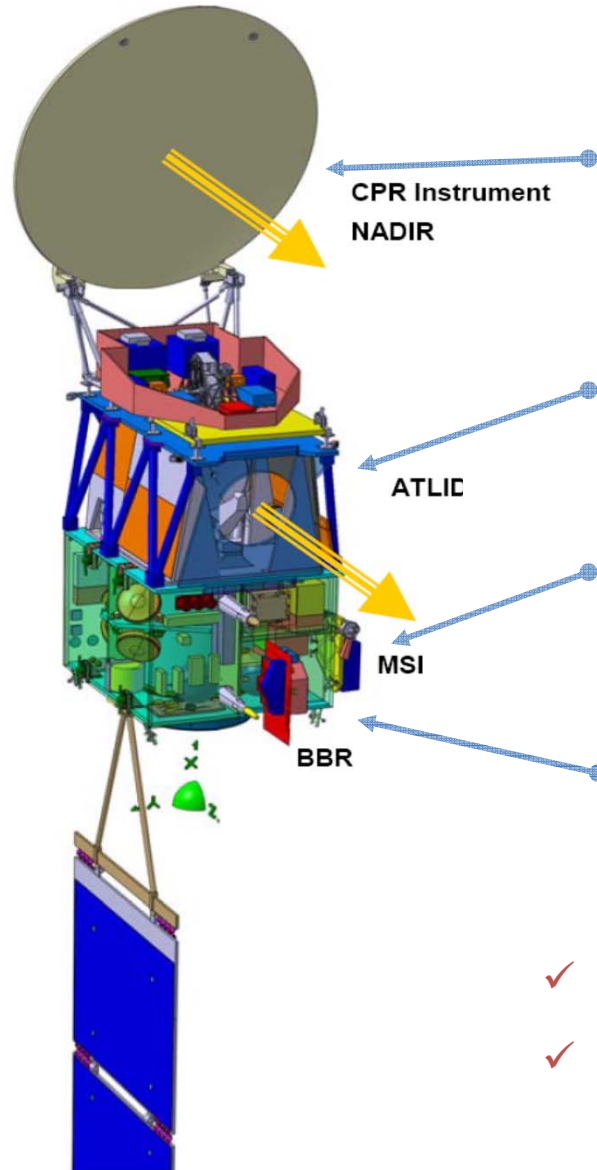
エアロゾル光学的厚さAqua MODIS



白領域は雲による欠損



Earth Cloud, Aerosol and Radiation Explorer (EarthCARE)



雲レーダー：高感度，衛星搭載世界初のドップラー計測機能を有する（JAXA/NICT共同開発）
【雲層構造】

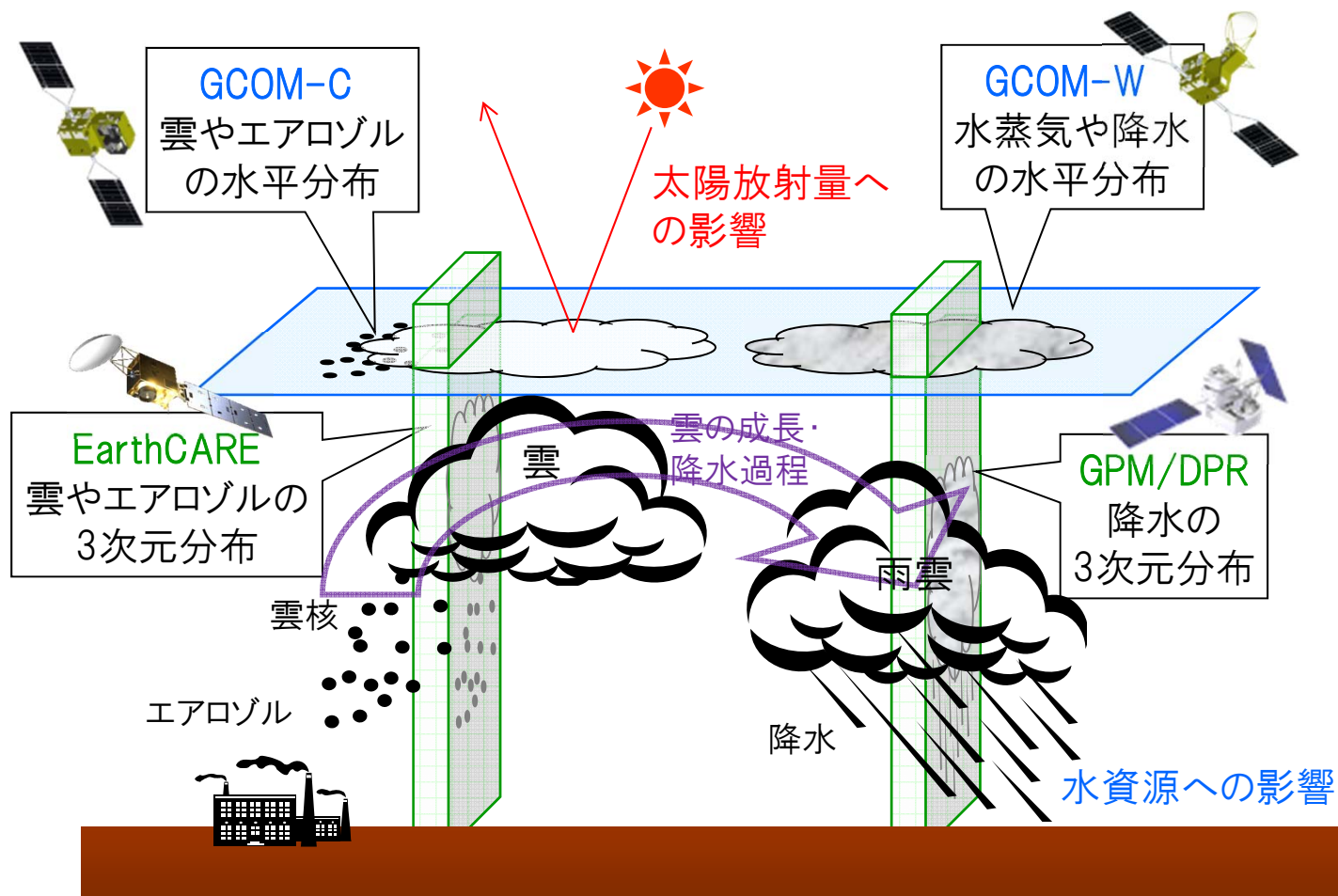
紫外（355nm）ライダー（ESA開発）【エアロゾル】

多波長放射計（ $0.67\mu\text{m} \sim 12\mu\text{m}$ ；7CH）
（ESA開発）【エアロゾル，雲頂温度・雲相等】

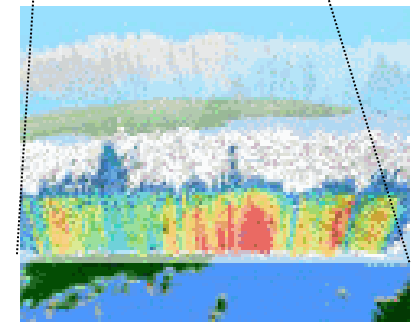
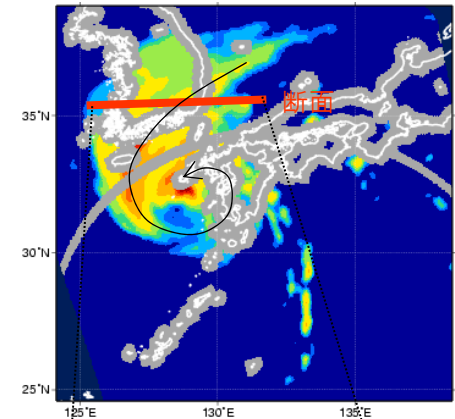
広域放射収支計（ $0.25-4\mu\text{m}$ & $0.25-50\mu\text{m}$ ）
（ESA開発）【放射収支】

- ✓ 日本・ヨーロッパの共同ミッション
- ✓ 軌道高度400 km、観測地方時14:00

雲やエアロゾルの生成・消滅過程の解明



マイクロ波による
水蒸気分布観測例

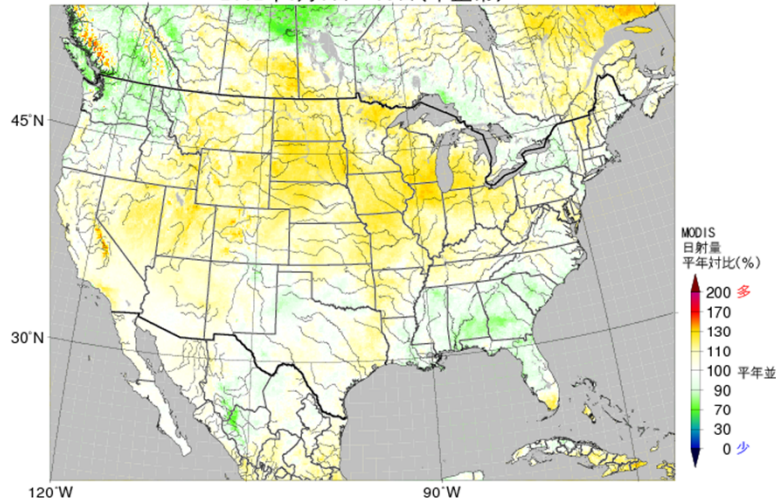


降雨レーダによる降水3
次元分布の観測例

- 雲とエアロゾルは地表に到達する太陽エネルギー量を大きく左右する
- 3次元的観測は生成・分布・消滅過程の知見を大きく向上 → 気候変動・気象予測へ
- 降水など水循環の変化は、太陽エネルギーの地上での再分配や雲形成に影響を及ぼすと共に、水資源の変化ももたらす

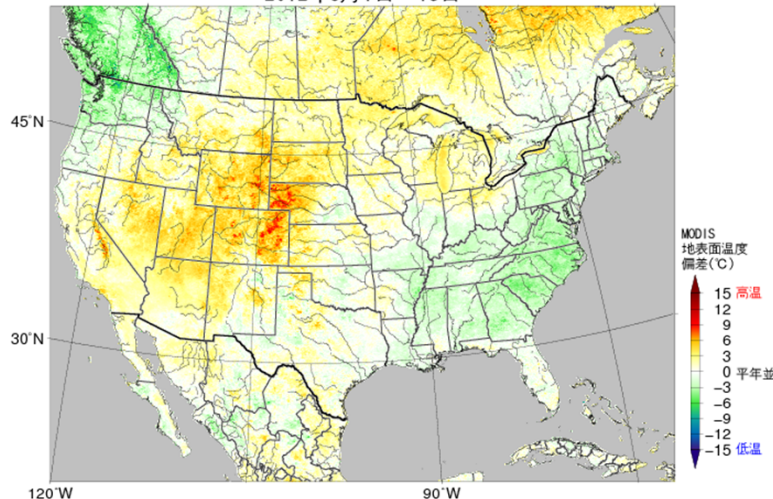
例：2012年の北米の旱魃

可視～赤外放射計(MODIS)による
日射量平年対比
2012年6月1日～15日(準正常)

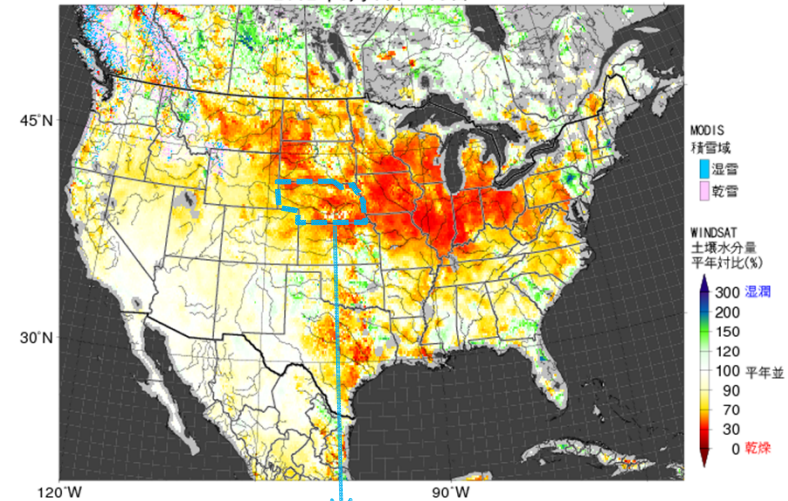


地表面温度偏差

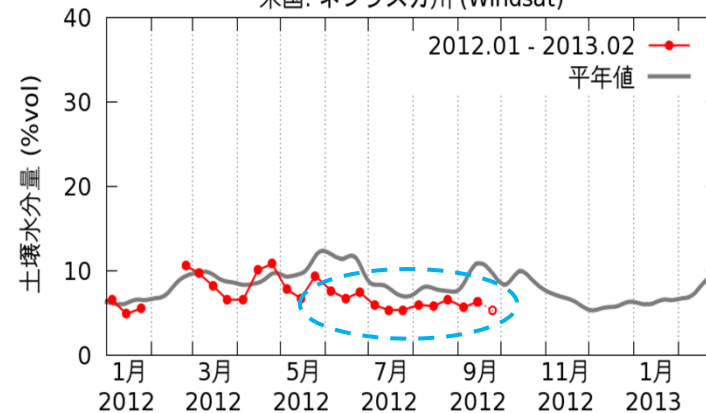
2012年6月1日～15日



マイクロ波放射計(Windsat)による
土壌水分平年対比 + 積雪域
2012年6月1日～15日

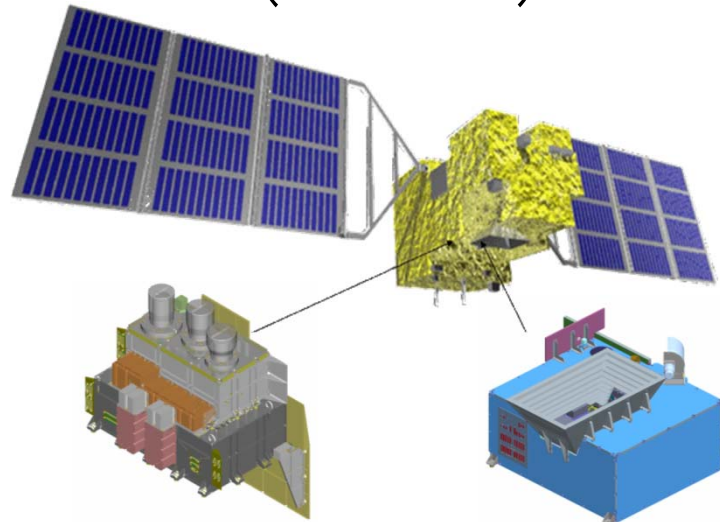


米国: ネブラスカ州 (Windsat)



2012年初夏から日射量の増加とそれに伴う
地表面温度の上昇や土壌水分の低下が生じており、
コーンベルトの諸州で大規模な旱魃となっていた

いぶき: Greenhouse gases Observing SATellite (GOSAT)



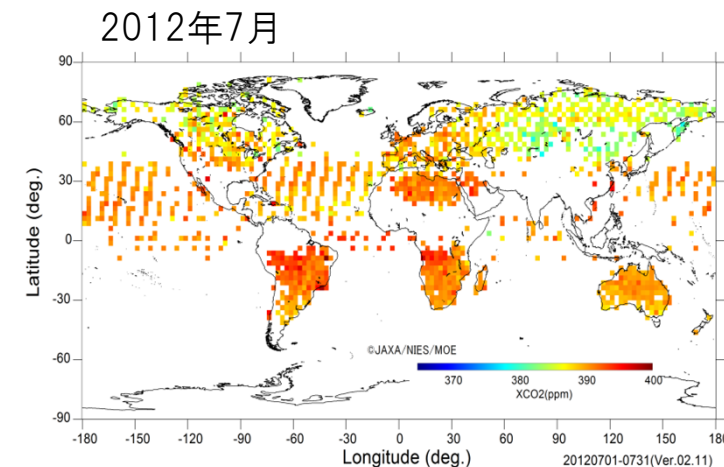
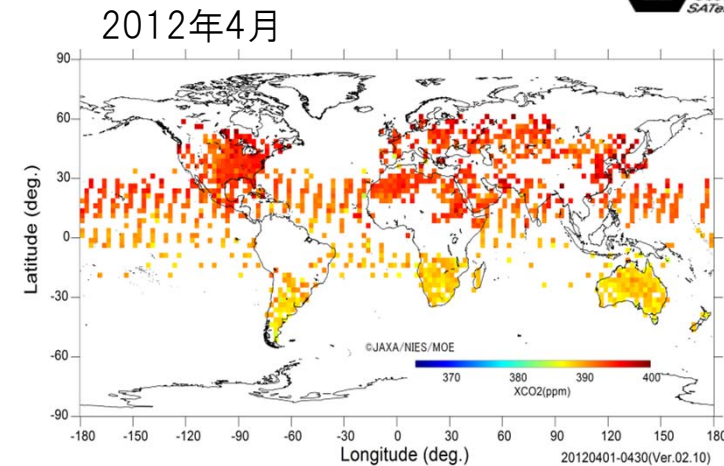
雲エアロゾル観測用イメージャ
(TANSO-CAI)

近紫外～短波長赤外の
4バンド

CO₂, CH₄観測分光計
(TANSO-FTS)

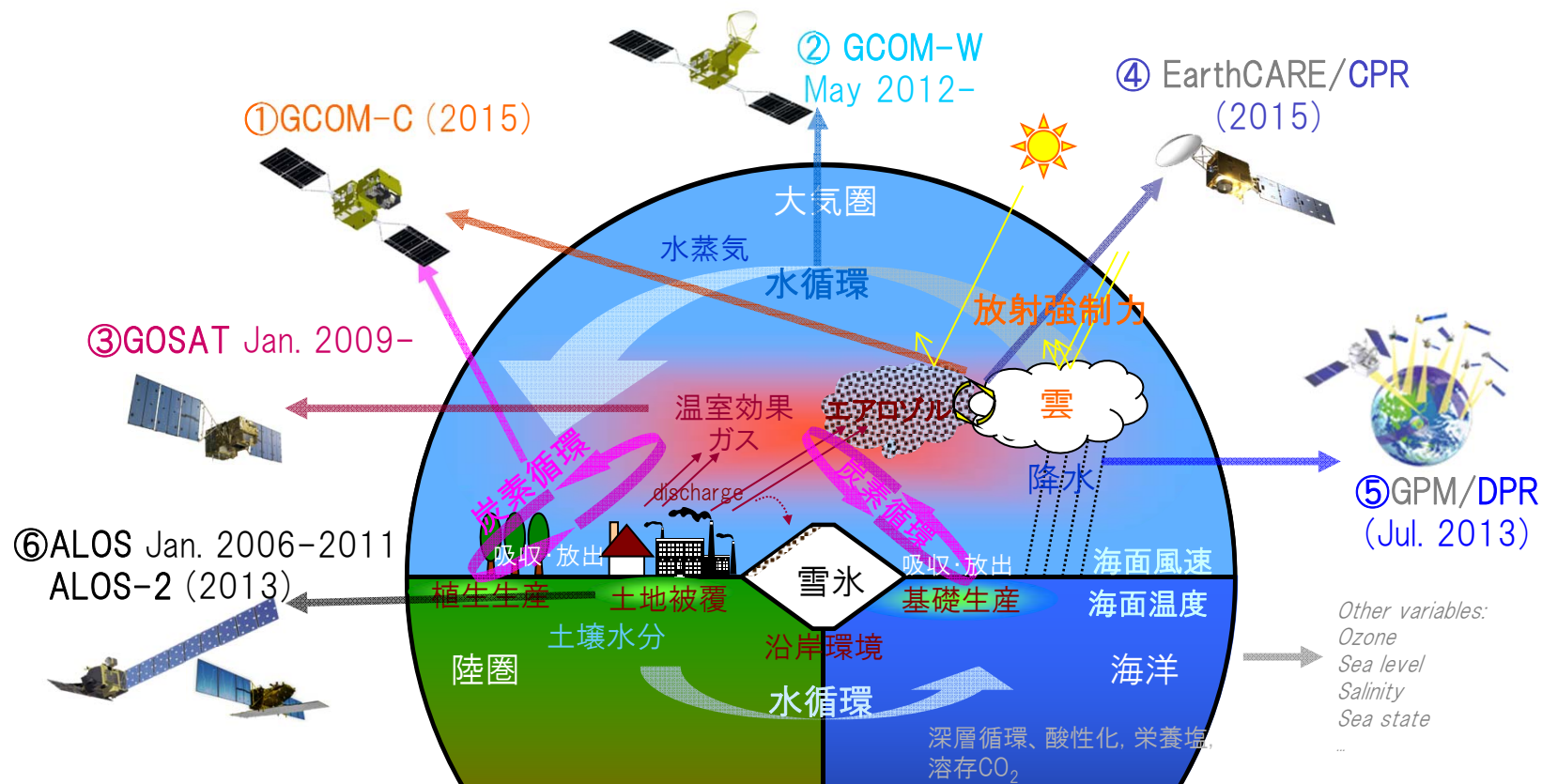
近赤外～熱赤外における4つの
波長領域の吸収スペクトル
を詳細な波長分解能で計測

- ✓ 吸収スペクトルの観測により、温室効果
気体である**二酸化炭素やメタン**等の分布
量を導出
- ✓ 2009年1月23日打ち上げ(運用中)
- ✓ 軌道高度667km、観測地方時13:00



GOSATによる二酸化炭素の月別カラム
平均濃度の2.5度メッシュ平均値分布;
2012年の4月と7月の推定例
(国環研による結果[V02.10])

気候変動・温暖化・水循環変動予測へ向けて



① GCOM-C:

雲・エアロゾルの水平分布や植生等の高頻度・長期観測

② GCOM-W(しずく):

水循環に関わる水蒸気・雪氷域・土壌水分・海面水温等の高頻度・長期観測

③ GOSAT(いぶき):

CO₂やCH₄等の温室効果気体分布の全球観測

④ EarthCARE/CPR:

雲・エアロゾルの3次元構造の観測

⑤ GPM/DPR:

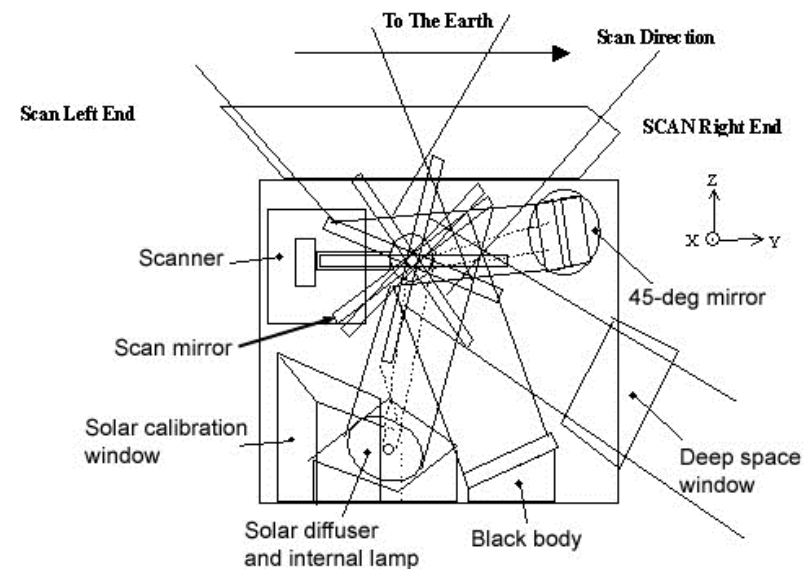
降水の3次元構造の観測と副衛星による降水統合観測

⑥ ALOS(だいち):

高空間分解能による地表マッピング

微小の長期変動を見る
ために、より高精度な観
測が要求されている

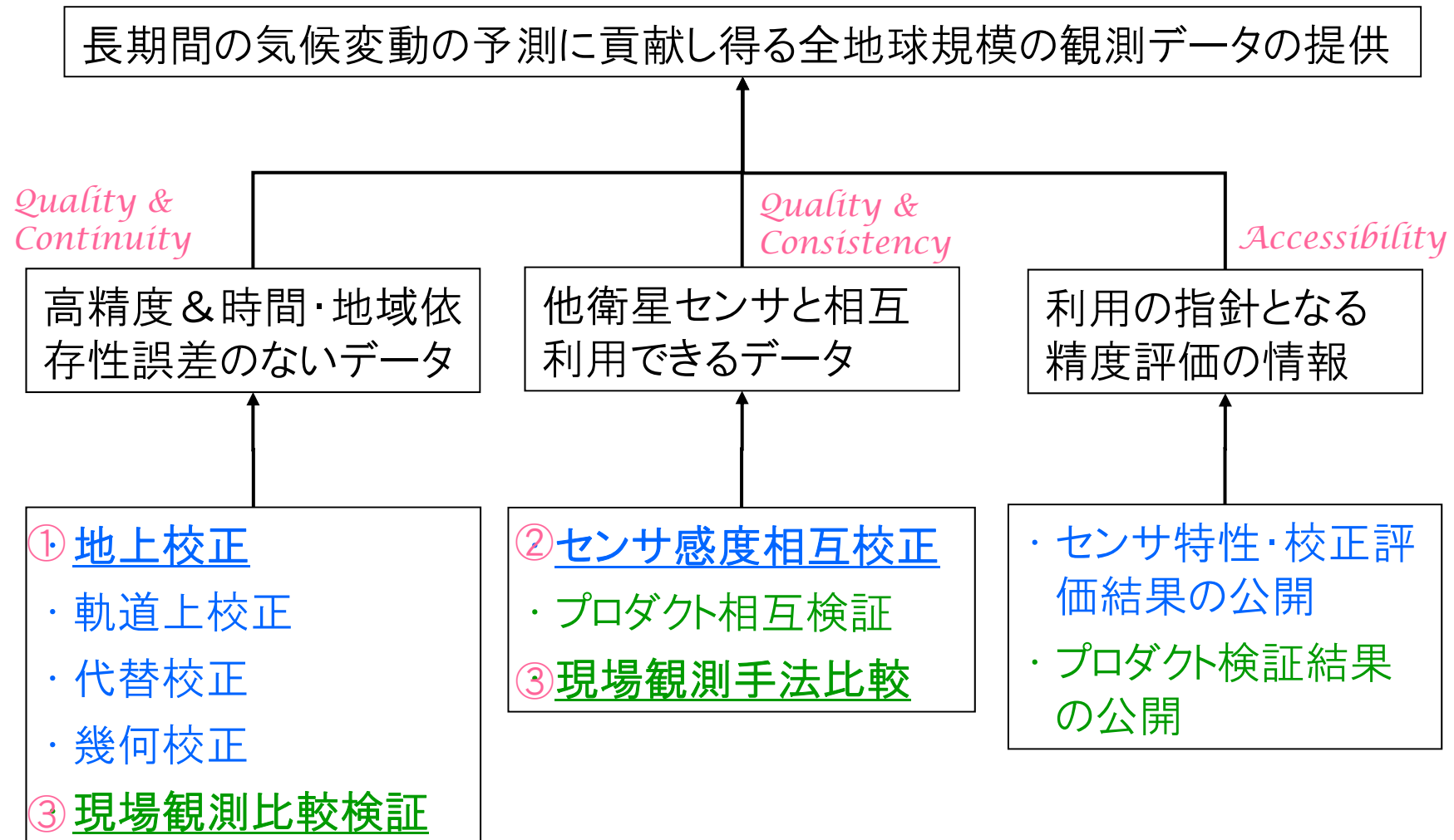
2. 衛星プロダクトの精度向上に向けて



ADEOS-2(みどり-2)/GLI
の校正システム

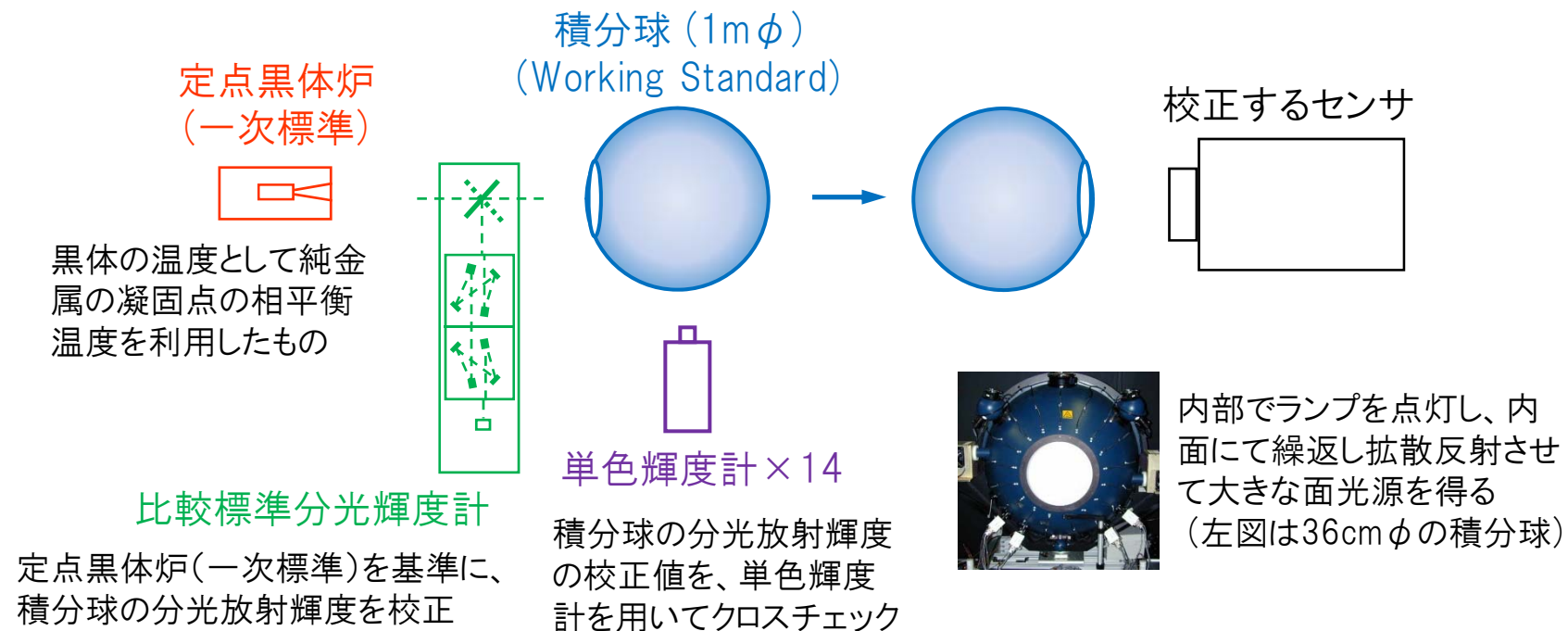
校正検証の目的

各衛星ミッションを達成するために必要なプロダクト精度を達成し、その評価情報を公開すること

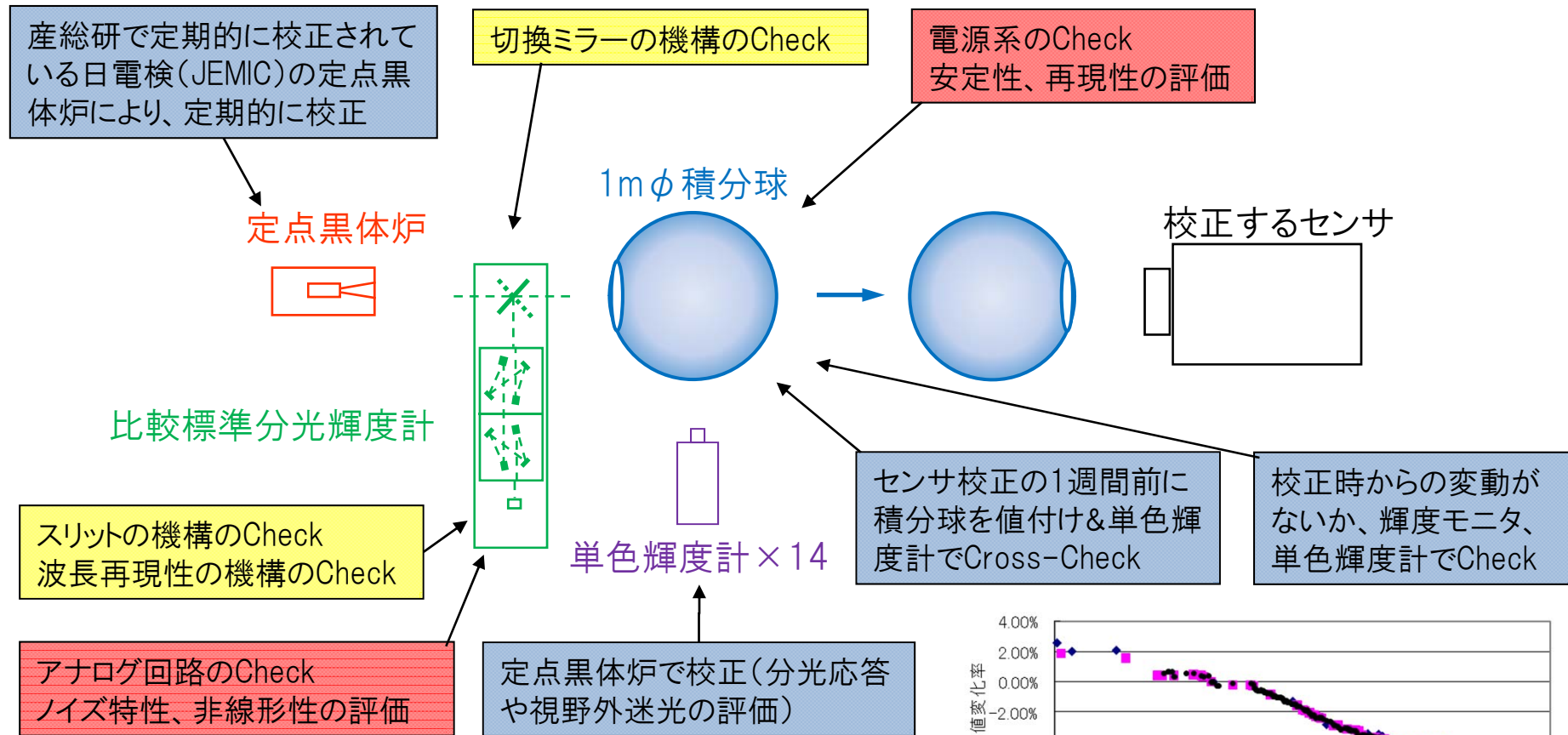


① JAXAにおける衛星センサ地上校正

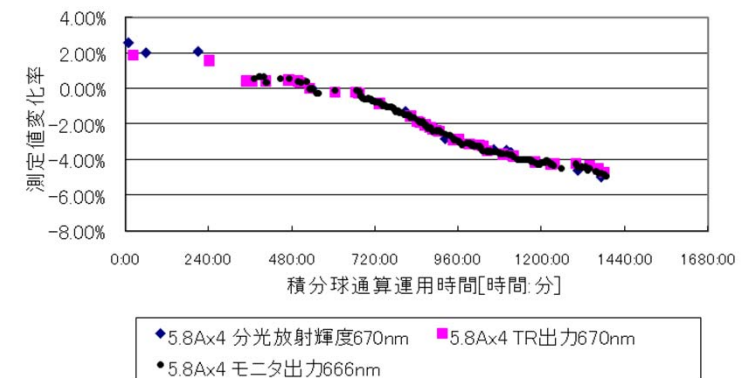
- 純金属の凝固点の相平衡温度を利用する**定点黒体炉**を分光放射輝度の一次標準とする
- その**定点黒体炉**から、**比較標準分光輝度計**を介し、**積分球**の分光放射輝度を校正
- 衛星センサの校正作業は**積分球**を基準(Working Standard)として実施
- 積分球の分光放射輝度の特性は、**単色輝度計**によって確認・評価
- ADEOS-II/GLI, ALOS/AVNIR-2, SELENE(かぐや)/LISM, PLANET-C(あかつき)/IR, UV、GCOM-C/SGLI(評価試験)などがこの技術で校正されている



① 輝度校正標準の維持管理



大きく分けて、①絶対値、②機構系、③電気系の安定性のチェックを定期的を実施



分光放射輝度の経時変化の評価例

② 国際連携 QA4EO(地球観測データ品質保証体制)



実行組織: 地球観測衛星委員会/可視赤外センササブグループ(CEOS/IVOS)
世界気象機関/全球衛星観測相互校正システム(WMO/GSICS)

- センサ校正精度やセンサ間のバイアスを除くため、反射率の安定な領域を国際的に既定し、各国の衛星観測値を比較検証(GEO-task)
- 海の反射率(可視波長)や海の温度(熱赤外波長)を用いた同様の活動もある



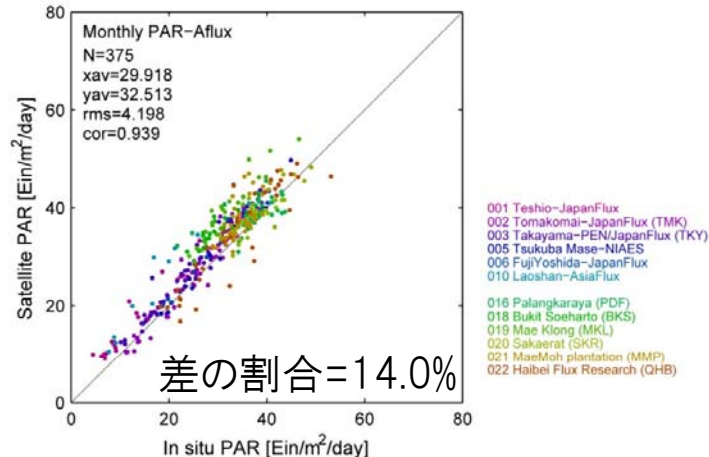
- ✓ 衛星センサ間の比較
- ✓ 校正手法の比較・標準化
- ✓ 地上観測測器の標準化

QA4EO  A QUALITY ASSURANCE
FRAMEWORK FOR
EARTH OBSERVATION

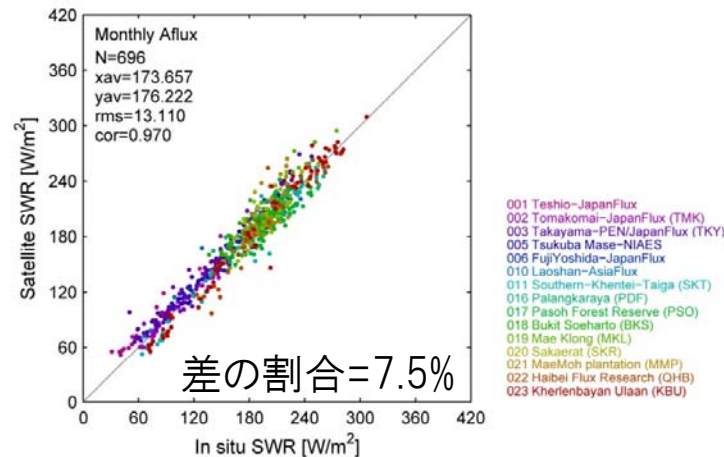
<http://qa4eo.org/index.html>

③ 地上観測との物理量比較検証

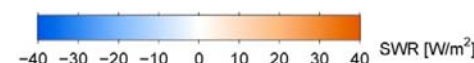
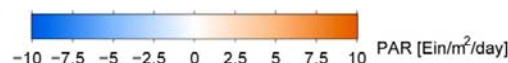
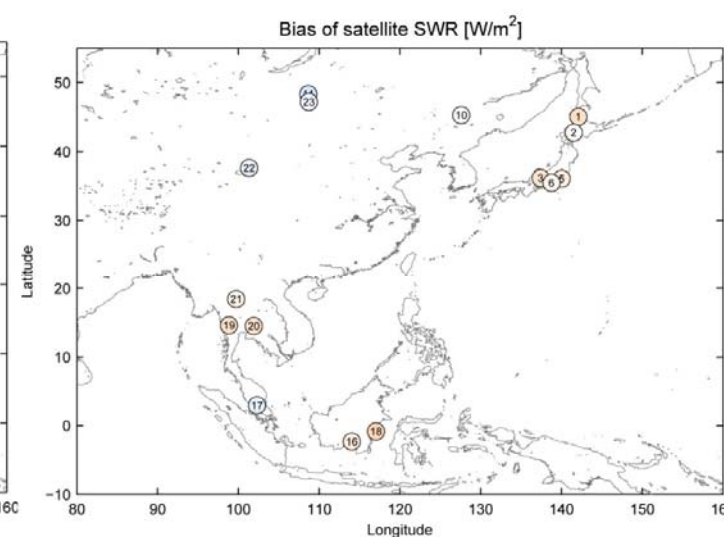
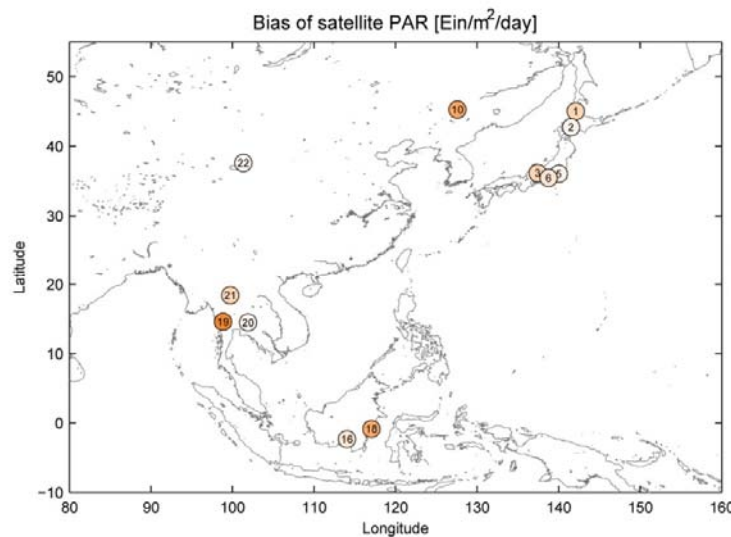
光合成有効放射(PAR)



日射量(SWR)



- PARもSWRも衛星のPAR波長の情報を用いて推定しているので、原理的にはPARの方が精度が良いはず
- しかし、検証結果はSWRの方が良い
- 現場のPAR計測（測器校正）に課題があるかも？



各サイトにおける衛星-現場のバイアス

現場のPARと日射データはJapanFluxから提供



③ 検証用現場センサの校正(PARの例)



背景

- 簡易型PARセンサが多くの生態系観測サイトで使用されている
- 衛星PARの精度検証には5%以下の現場観測精度が必要
- 経年劣化が激しいため定期的な校正が必要だが、校正方法の基準が無い
- 絶対値の値付け精度、近赤外域のカットオフなどの波長応答の特性、センサ入射角（や入射光の直達・散乱比率）による感度差(コサイン特性)等について機種間で違いがある(購入時の比較でも各社で10%以上の差)

目的

- 実際の観測環境における、PAR計各機種のような特性を調べて各サイトのPAR観測データを比較可能なものにする
- 高精度や簡易中精度の精度維持の手法の基準を作る

PARセンサの例

LI-COR製



世界標準として使われている機種(高価)

EKO製



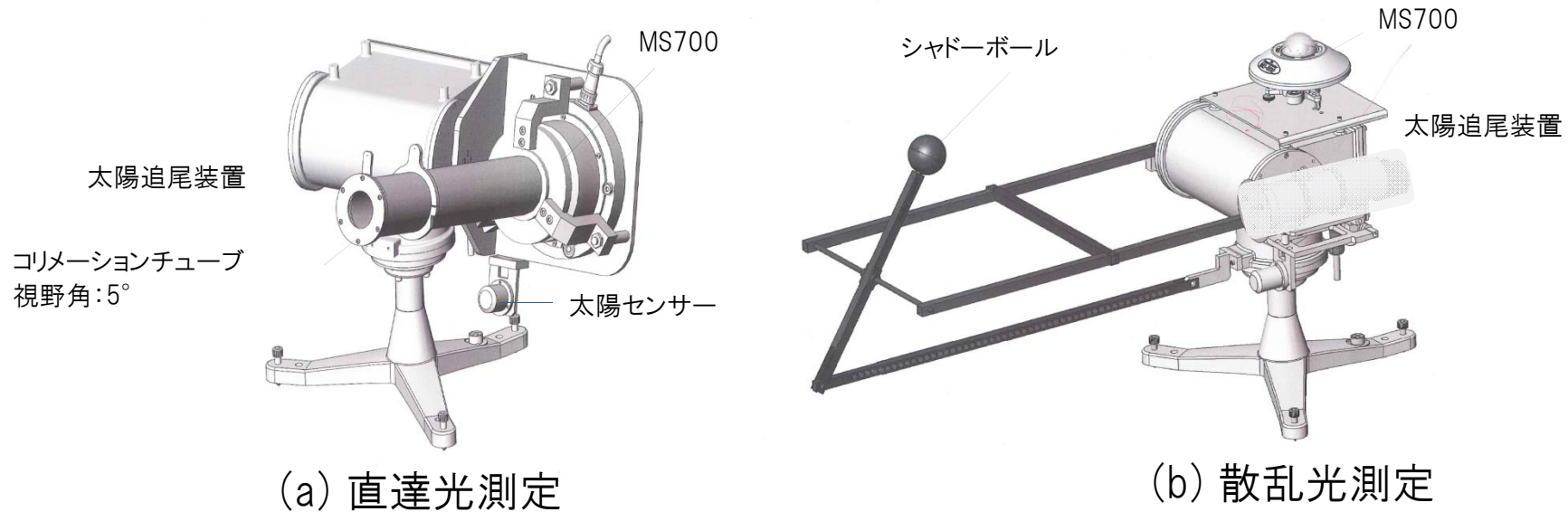
機種実験の結果が良かった機種

KOITO製



日本の生態系観測サイトでよく使用されている機種

③ 検証用現場センサの校正(PARの例)



- 可視近赤外全天分光放射計(英弘精機 MS-700X) 2台
 - (a) 直達光観測(視野を5度に絞って太陽を追尾)
 - (b) 散乱光観測(太陽遮蔽球で直達光を遮蔽し水平面で拡散光を観測)
- 上記の近くで日射計やPAR計の観測を同時に実施し、相互比較を行う
- JAXA/EORCの横軸生態系研究の一環として、環境研、気象庁・高層気象台やGCOM-CのPI等と連携して実施中

③ JAXAにおける現場センサの校正

- JAXAでは、衛星プロダクト開発と検証用として現場観測測器を整備・運用
 - 例えばGCOM-Cプロジェクトにおいては、スカイラジオメータ(POM-02)、全天分光放射計(MS700等)、携帯型太陽光度計(Microtops-II)、携帯型分光放射計(FieldSpec)、海洋分光放射・照度計(TriOS等)、多波長海洋プロファイラ(PRR2600等)、海洋散乱輝度計(HydroScat-6P)等
- 年1回の測器メーカー校正をサポート
 - ✓ 各測器の運用者の要求に依存するため、一部の測器では長期間校正されない場合がある
- 一部の地上計測機器(主に輝度計)については、半年に1回程度、JAXA衛星と同等の設備による校正を実施(積分球校正や輝線による波長校正)
 - ✓ 校正実施個数に限りがある
 - ✓ 広角の放射計は積分球で校正しにくい



JAXAの積分球を用いた現場輝度計の校正の様子(MS-720:千葉大梶原先生)

まとめ

- JAXAでは、雲・エアロゾル、陸・海表面変動、水循環等の太陽放射エネルギーに関わる衛星観測ミッションを計画・運用している(太陽反射光観測とマイクロ波等による太陽エネルギーに関わる現象の観測)
- 衛星プロダクトの精度向上のためには、衛星センサの校正と、現場データとの比較による検証が必須
- 衛星データ検証のための(太陽放射関連の)地上測器にも校正作業が必須
- 昨今の高精度な気候変動監視や衛星＋現場データ同化等のニーズに応えるためには、衛星・地上で一貫・継続的な校正・運用が必須
- 現場観測ネットワーク(大気、生態系...)との連携..