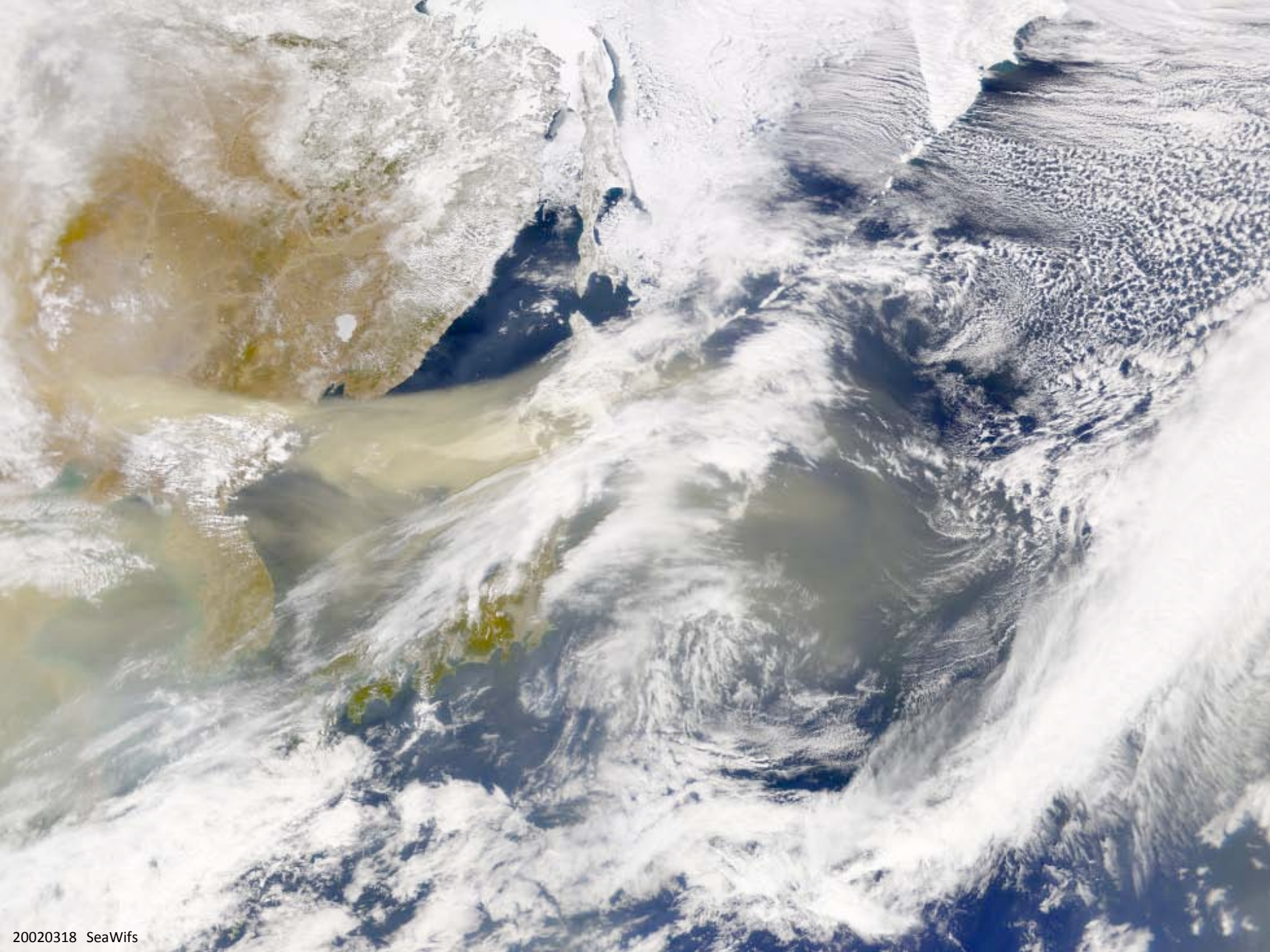


数値モデル・衛星が一体となった 大気環境の実況・予測の高度化

三上正男、眞木貴史、関山 剛(気象庁気象研究所)

環境観測衛星シンポジウムー暮らしを支える宇宙の目ー

2011年9月21日(東京)



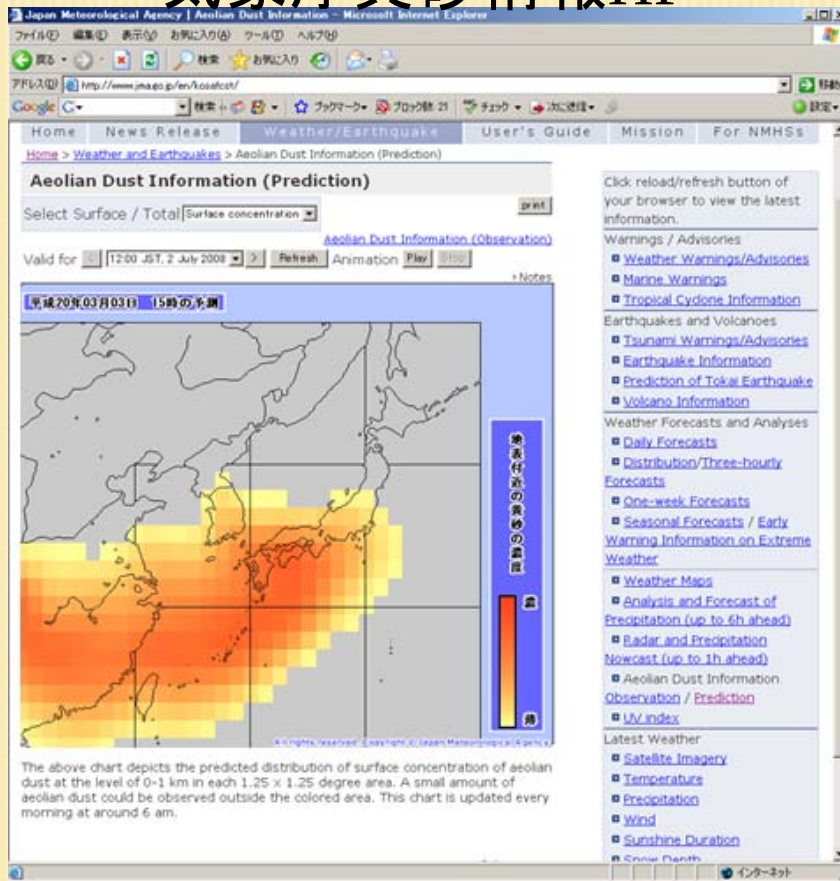
大気環境に関する様々な情報

1. 光化学スモッグ情報→**全球化学気候モデル**
2. 黄砂情報→**全球エアロゾルモデル**
3. 紫外線情報→**全球化学気候モデル**
4. 全球CO₂分布情報→**全球炭素循環モデル**
5. 火山ガス・火山灰等移流拡散
6. 原発からの放射線核種移流拡散

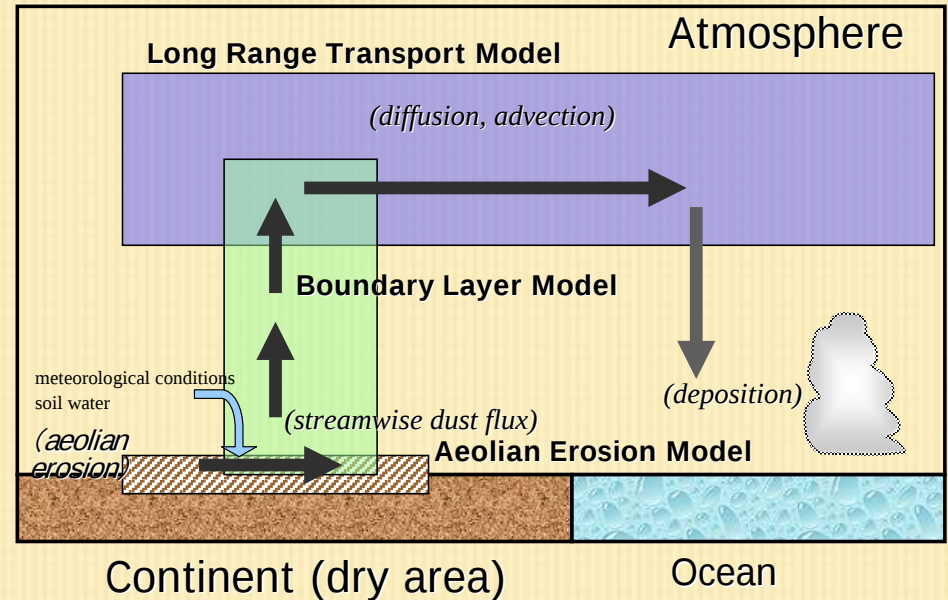
1. 数値モデルによる黄砂予測

気象庁黄砂予測モデル (MASINGAR)

気象庁黄砂情報HP



MASINGARの概要



MASINGAR は気象研究所で開発された全球エアロゾルモデルである (Tanaka et al., 2003)。計算対象は黄砂のみではなくほぼ全てのエアロゾルを含む。水平解像度は50～300kmである。

<http://www.jma.go.jp/en/kosafcs>
t/

気象庁では毎日4日先までの予測情報を提供中

データ同化によるモデル予測精度の向上

1. 現状の黄砂モデル

1. 発生→積雪、土壌水分、植生による影響
2. モデルそのものの不確定性

2. 最新の観測データを情報として取り込み、 モデルと観測双方の情報から最も確からしい分布とその予測を行う

3. データ同化の導入

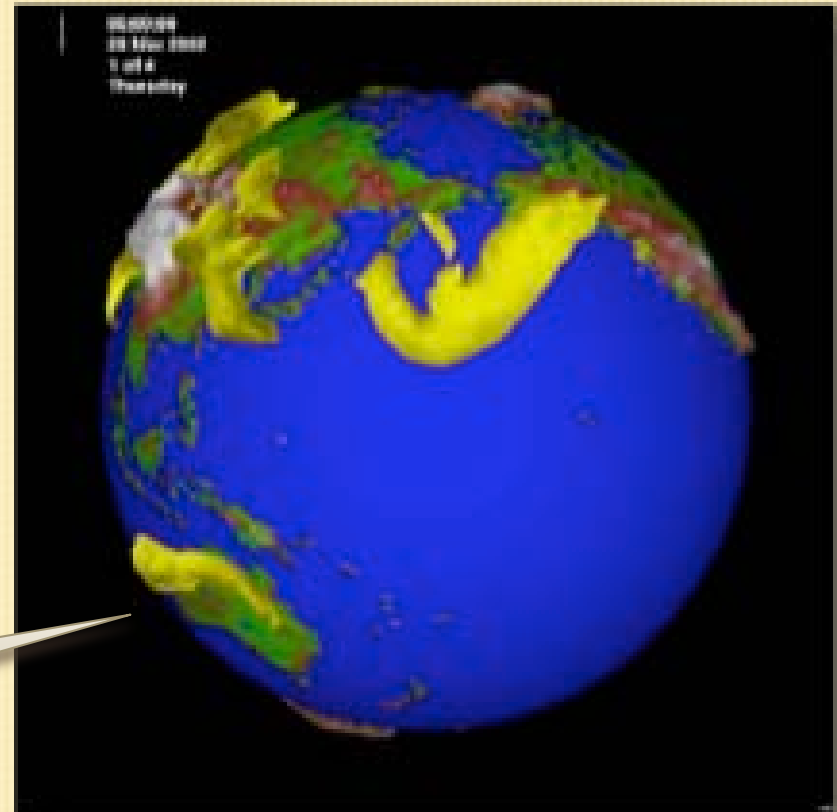
データ同化とは

- モデルと観測を足して2で割る、訳ではない
- モデル結果を第一推定値とし、最尤推定や最小分散推定などに基づいて、**観測結果と最も矛盾しない“状態”を探し求める**営みである
- 古典的解析手法（平均・内挿・時系列分析等）の適用が難しいケース（例えば、データの量や次元が膨大、データが不連続、解析対象の直接観測が無い場合）も解析可能
- 計算機性能が向上した現在では、**4次元変分法とアンサンブル・カルマン・フィルタ**がデータ同化手法の双璧をなしている

シミュレーションとデータ同化

- × 観測とは異なる研究アプローチ
 - × 数値モデルシミュレーション
- × モデルがあれば、
どんな時間のどんな
場所も「観られる」
- × しかし、モデルと
現実世界は一致しない

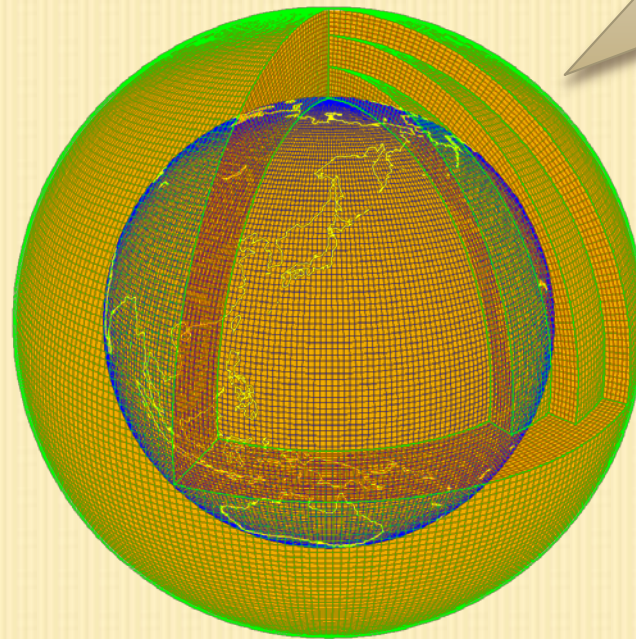
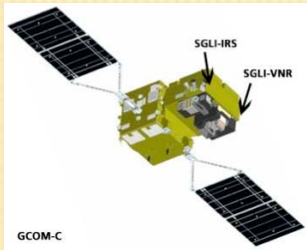
エアロゾルモデルが再現
した黄砂エアロゾル



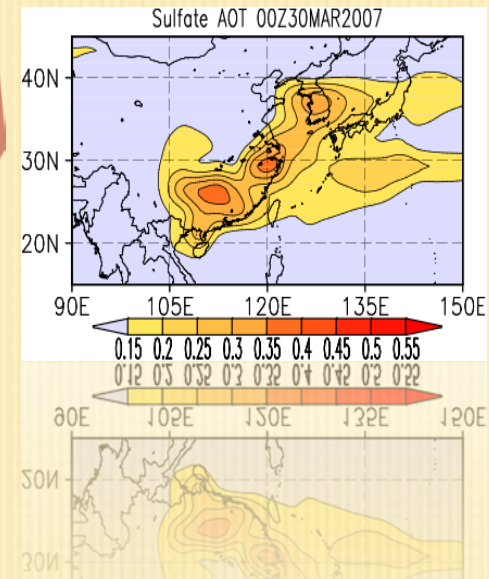
シミュレーションとデータ同化

エアロゾルの場合

観測値



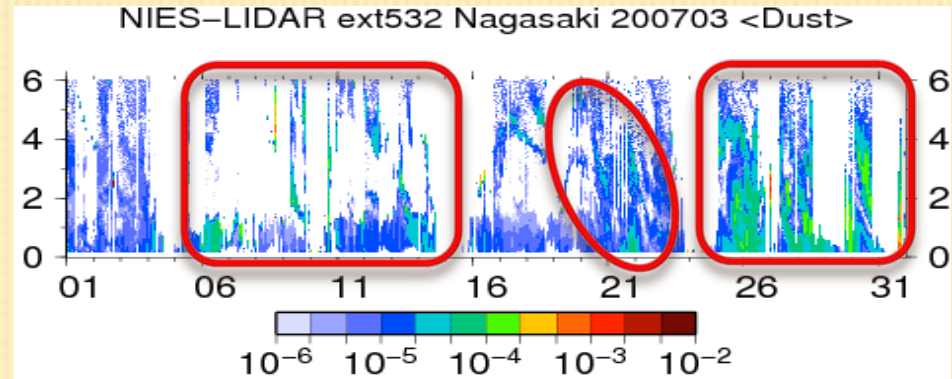
数値モデル



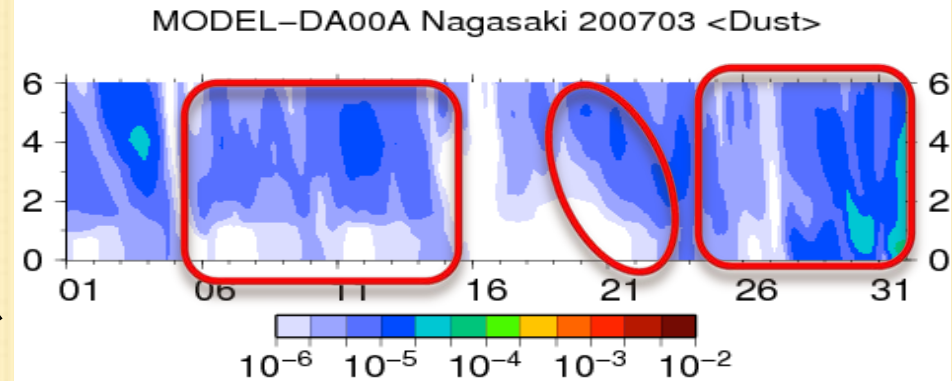
データ同化とは・・・ 観測とシミュレーションの融合
天気予報の分野で発展 → エアロゾルでもやってみよう

データ同化による黄砂分布の精度向上

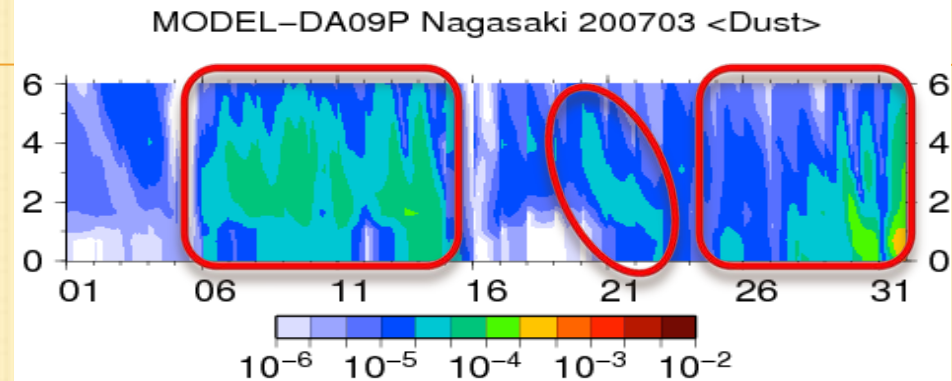
上段：長崎における黄砂の鉛直分布（解析に使用していないライダー観測データ）



中段：モデル（MASINGAR）のみによる黄砂予測結果



下段：MASINGARに衛星観測データを同化することによって得られた黄砂解析結果



データ同化により、独立観測データと近い解析結果を得ることができた

解析値と独立観測の比較

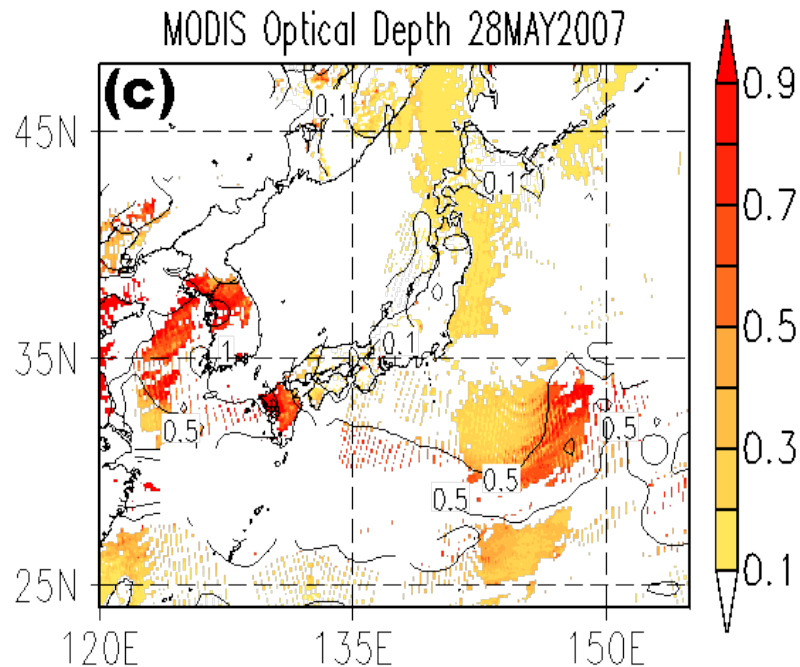
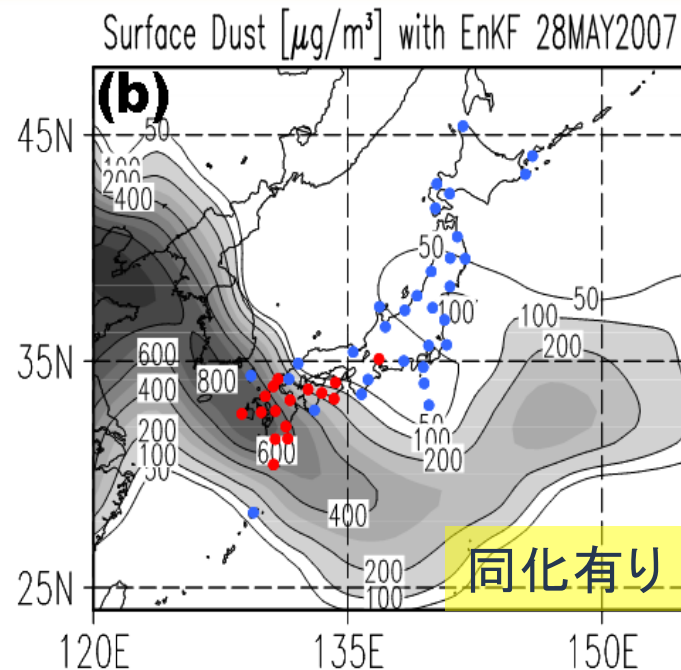
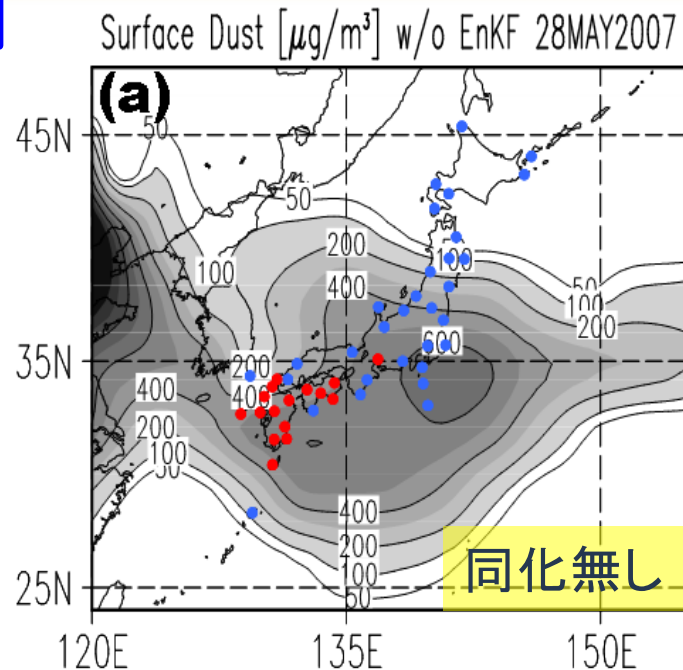
ダスト地表面濃度

(a) データ同化無し
のモデル結果

(b) データ同化を
行った結果

●は黄砂を観測した
気象官署、
●は黄砂を観測しな
かった気象官署
の位置 (SYNOP)

(c) 衛星
(NASA/MODIS)に
よって観測された光
学的厚さ



2. どういう情報、観測が必要か？

どうやって測る

- ✕ 黄砂に限らず、エアロゾルの粒径・粒形・化学組成・濃度はほとんど分からなかった。

なぜ？

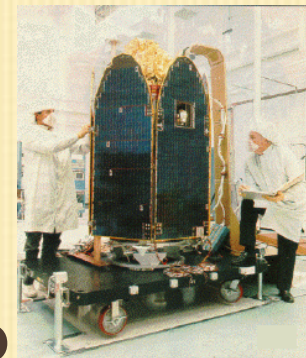
- ✕ 一つ：観測が難しいから
 - + 目に見えない微粒子をどうやって計る？
- ✕ 二つ：僻地や上空が観測対象だから
 - + 砂漠やジャングル、上空数千mにどうやって大きな測定装置を運ぶ？

でも大丈夫。人類は少しずつエアロゾルの姿を捉えつつあります。→宇宙からの精密観測

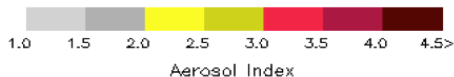
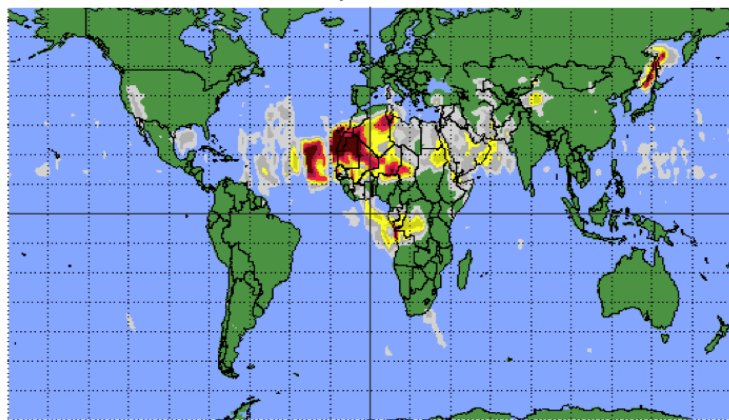
3. 宇宙から測る

TOMS (OMI)

- ✕ NASAが1970年代後半から様々な極軌道衛星に載せたセンサー
- ✕ 海陸どちらも測れる
- ✕ エアロゾルを測る精度はいまいち



Earth Probe TOMS Version 8 Aerosol Index
on July 15, 1998



Goddard Space
Flight Center

TOMS
エアロゾルインデックス

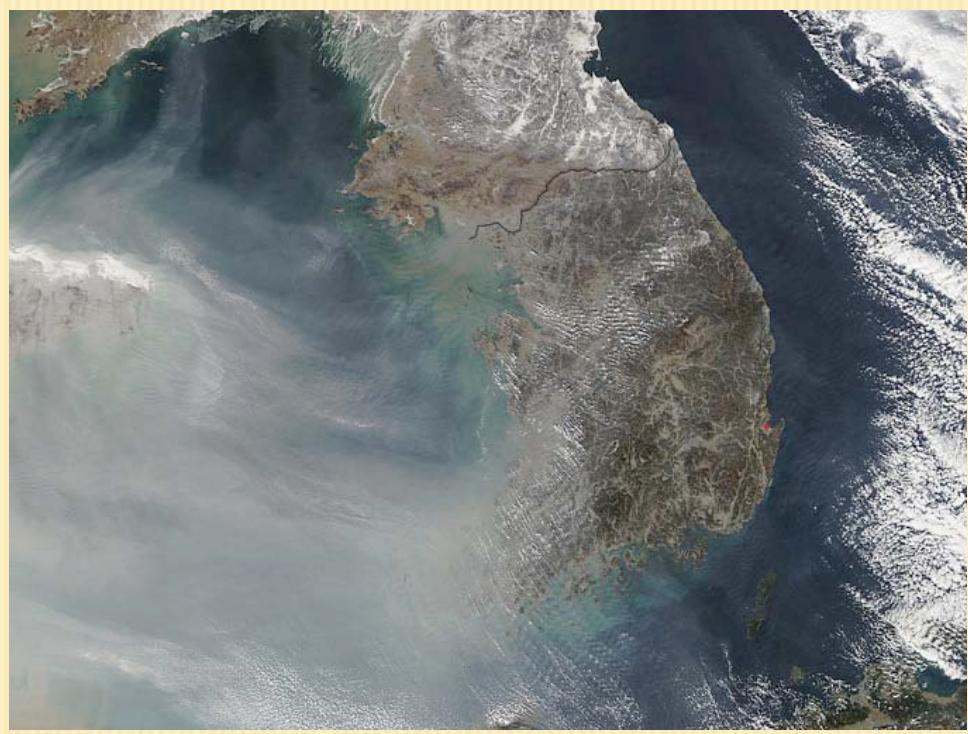
MODIS

- ✕ MODIS : NASAの開発したセンサー。
Terra (1999年) と Aqua (2002年) に搭載。
- ✕ 現在、世界で最も広く使われているエアロゾルの衛星観測データ
- ✕ 高い解像度・高い精度
- ✕ 36種類の波長を用いて、エアロゾルだけでなく雲・水蒸気・気温・地面/海面の様子・植物の生育状態を観測可能

MODIS

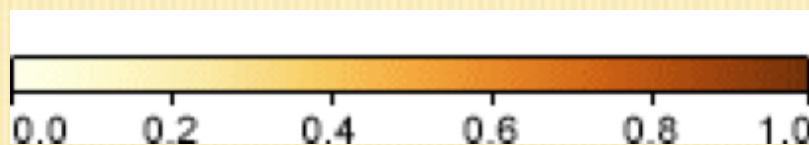
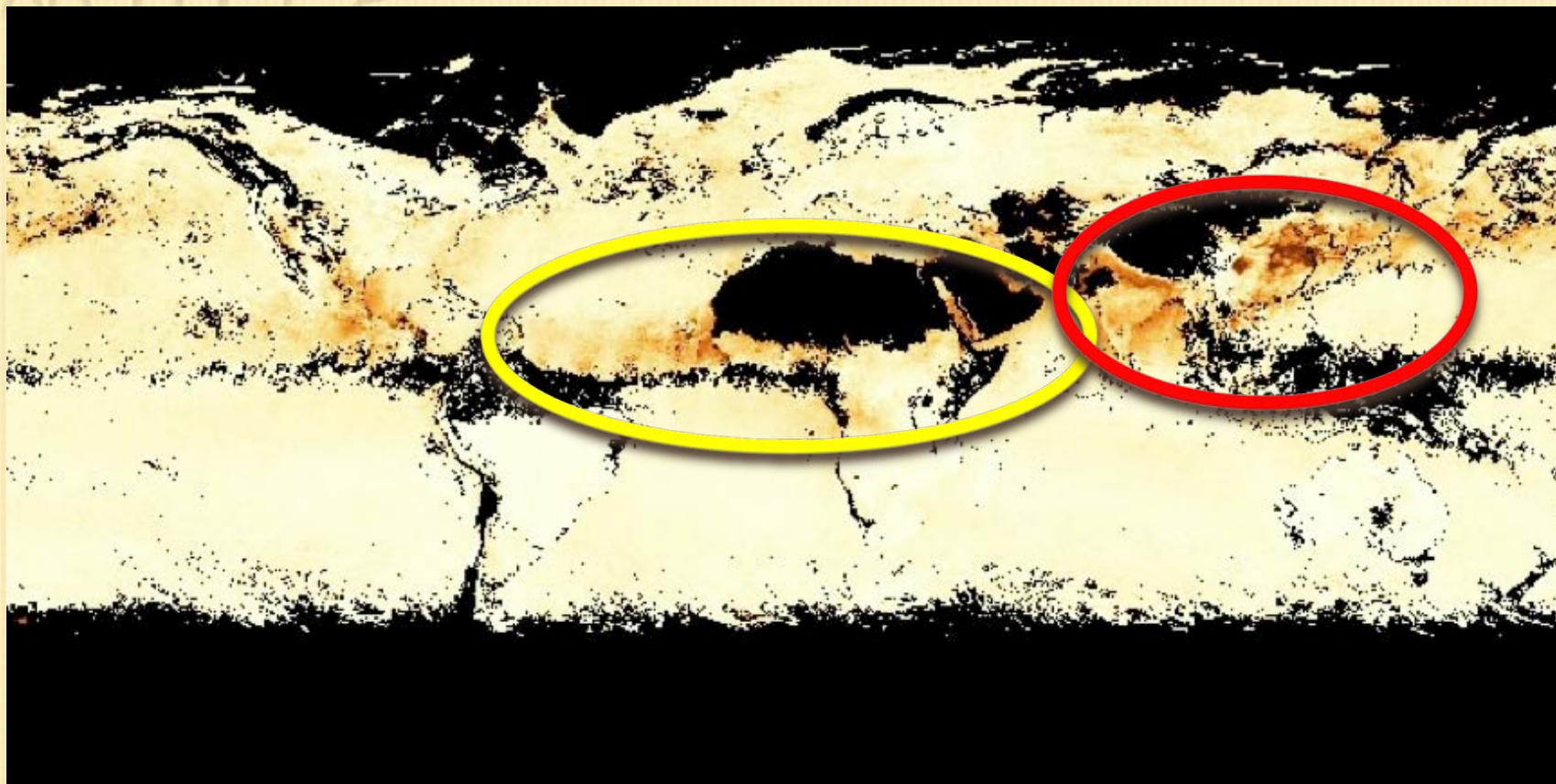


紅海（エジプト-アラビア半島）を
渡る砂埃



中国で発生し、東シナ海を渡って朝鮮
半島へ達した大気汚染物質エアロゾル

MODIS



Terra/MODISが測定した2011年5月の1ヶ月平均のエアロゾル光学的厚さ（大気の濁り具合）→ 陸地観測は苦手

次世代機への期待

- ✕ 人工衛星の寿命は3～6年
- ✕ MODISはすでに設計寿命を大きく超えている
(Terraは12歳、Aquaは9歳)
- ✕ 観測の継続性
 - + 次の観測衛星を打ち上げなければ絶たれる
- ✕ 新しい技術の導入
 - ! より精度の高いエアロゾル観測
 - ! 陸上のエアロゾル観測

GCOM-C1

- ✕ JAXAが2014年頃に打ち上げ予定

- ✕ 多波長光学放射計

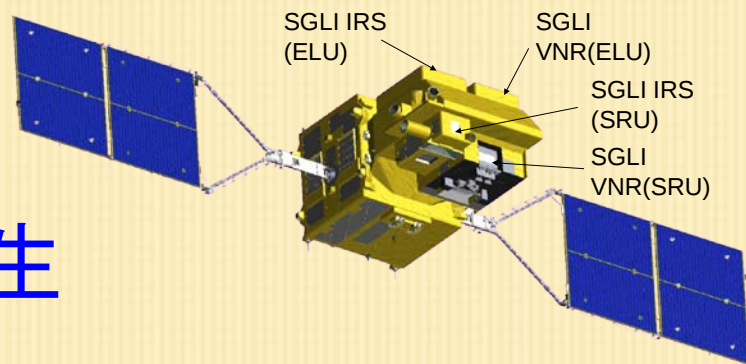
- ✕ 大気と植生を監視

→ 雲、エアロゾル、植生

- ✕ GCOMシリーズ

 - ✕ W1（水循環変動）＋C1（放射収支、炭素循環）

- ✕ C1のセンサーはMODISを遙かに上回り、今まで不明であった陸上のエアロゾルの分布と特性が観測可能に！



4. 地球温暖化を捕らえる

大気中へ

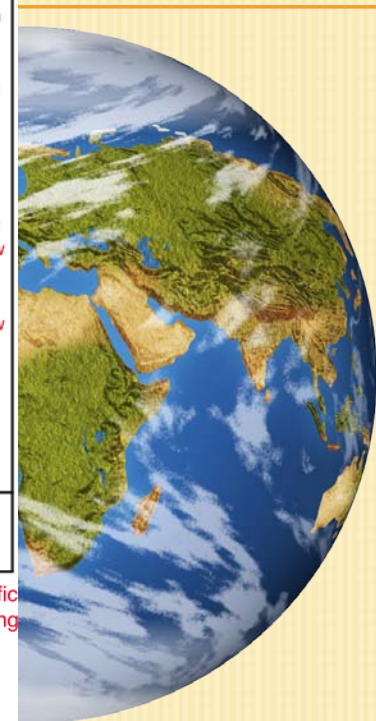
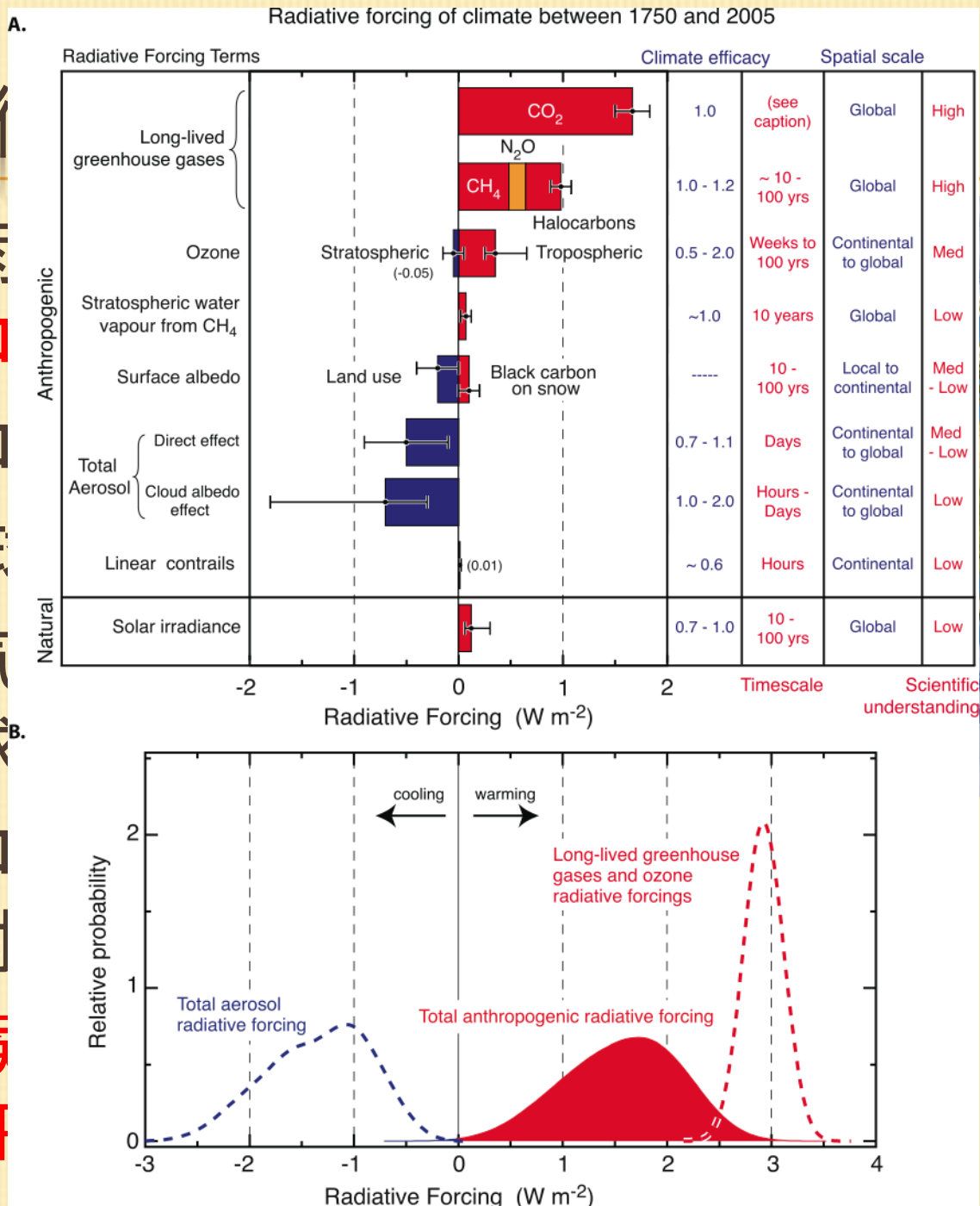
× 雲や雨
エアロゾル

× エアロゾル
地球

× 水蒸気が地球へ

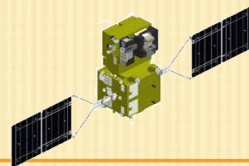
× エアロゾル／反射

× 気候
→ 11



吸収する
なる

GCOM-C1



- ✕ GCOM-C1 → 生態系によるCO₂の吸収放出
- ✕ → エアロゾルの分布、特性
- ✕ EarthCARE → エアロゾル・雲三次元分布
- ✕ GCOM-C1 と EarthCARE の連携
地球温暖化最大のunknownである
エアロゾル・雲の立体的観測が可能に
- ✕ 今地球で何が起こりつつあるか？
 - ！ より精度の高いエアロゾル観測
 - ！ モデルと連携した現状把握と予測

まとめ—GCOM-Cへの期待—

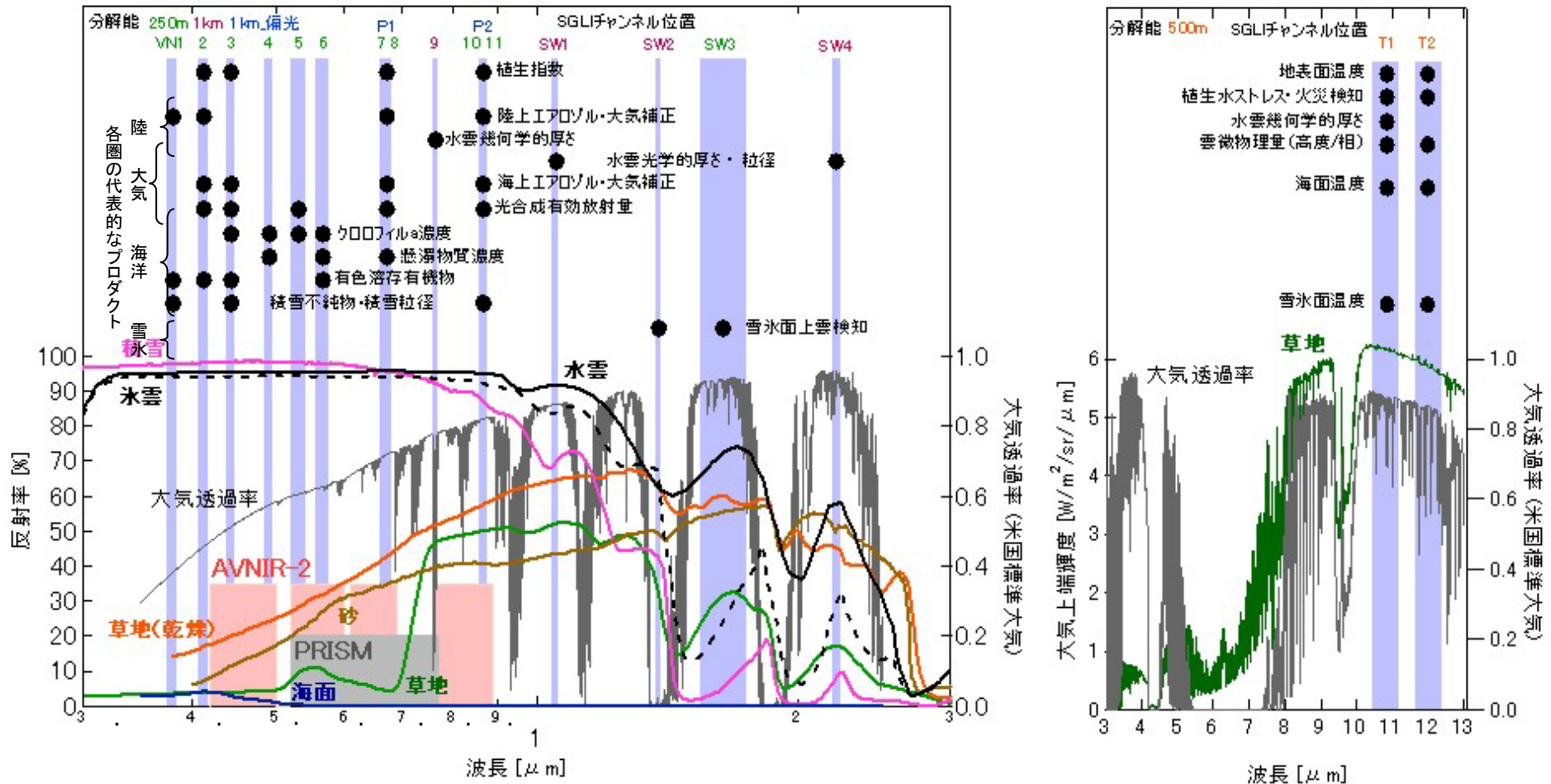
- ✕ 東アジア、日本の大気環境
 - PM2.5、黄砂、光化学スモッグ等の実況監視と予測
- ✕ データ同化手法（モデルと衛星データ融合）
 - 最新の情報取り込んで、最適な分布と予測が可能に！
 - 自然起源物質（黄砂、海塩）と人為起源物質（大気汚染）が混在した複雑な東アジア大気環境の実況と予測
- ✕ 我が国の大気健康診断ときめ細かい予測
 - 最新のモデル技術と最新の衛星データの融合により技術的に可能に！



ご静聴ありがとうございました

SGLIの波長分解能と観測対象物の反射特性

- ✕ SGLIのチャンネル仕様は、GCOMの目標に資するプロダクトを効率的に導出しうる波長帯を選択することで、チャンネル数をADEOS-II搭載GLIの36chに対し19chに減らす一方、標準プロダクトを22個から29個に増加し、雲・エアロゾルや陸域植生の観測を強化している。



地球の代表的な観測対象物の反射率と大気の透過率。SGLIのチャンネル位置を縦の水色で、また陸域観測用高分解能センサであるAVNIR-2およびPRISMのチャンネル位置も赤および灰色で示す。黒丸はSGLIの代表的なプロダクト導出に直接的に用いられるチャンネル