



衛星データ利用の課題

太田芳文

気象庁 情報基盤部

数値予報課

数値予報モデル技術開発室

数値予報における衛星データ利用

◆数値予報の初期値作成(データ同化)

- 【目的】初期値の精度を向上させる
- 輝度温度、大気追跡風、GNSS電波遅延量等を同化利用

◆数値予報の境界値作成

- 海面水温、海氷、積雪、地面アルベド、エアロゾル等

◆モデルの検証

2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方 重点的な取組事項

① 観測・予測精度向上に係る技術開発

気象・気候

(具体目標の例)

現在～
1 時間程度

「いま」の気象状況と直近予測 (1時間先の大雨を実況に近い精度で予測)

～半日程度

早め早めの防災対応等に直結する予測

(線状降水帯の発生を含め集中豪雨の予測精度向上)

～3 日程度

台風予報など数日前からの見通し予測

(3 日先の進路予測誤差を現在の 1 日先と同程度へ)

～1 か月

数週間先までの顕著現象の見通し予測

～数ヶ月

数ヶ月先の冷夏・暖冬等の予測 (確率予報をよりメリハリのある予報へ)

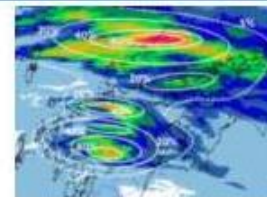
数十年後

地球温暖化の将来予測 (詳細な地球温暖化予測で適応策を支援)

～100年後

(具体的な取組の内容)

- 気象衛星、レーダー等の充実・高度化、膨大な観測データの活用
- 研究機関との連携等による数値予報技術向上、「地球システムモデル」導入



線状降水帯の予測



台風の進路予測



熱波、寒波の予測



地球温暖化の予測

地震・津波・火山

(具体目標の例)

- 地震 … 面的な揺れの広がり予測

地震活動や地殻変動の的確な評価による地震活動の見通しを提供

- 津波 … 第1波・最大波から減衰まで時間的推移

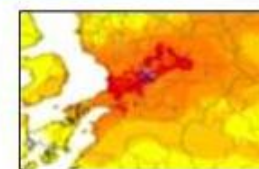
天文潮位を考慮した津波の高さ予測

- 火山 … 地下構造や噴火履歴を踏まえた評価・解説、

降灰予報の予測精度向上

(具体的な取組の内容)

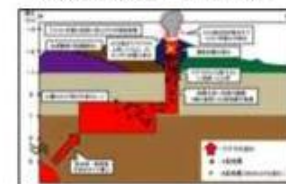
- 大学や研究機関が実施する観測、調査研究成果やWebカメラ・ドローン等の積極的な活用
- 津波のリアルタイムシミュレーションの実施、噴煙観測データの降灰予測への同化。



地震の面的な広がり
予測

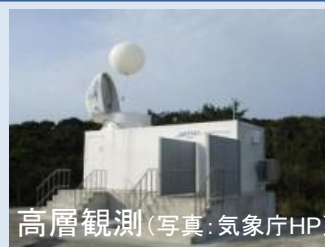


津波の時間的推移



火山の地下構造のイメージ化

数値予報で利用している観測



高層観測 (写真: 気象庁HP)



地上観測
(写真: 仙台管区HP)



ブイ観測
(写真: 気象庁HP)



航空機観測 (写真: YS提供)



海上観測 (写真: 気象庁HP)

直接観測



ウィンドプロファイラ
(写真: 東京管区HP)

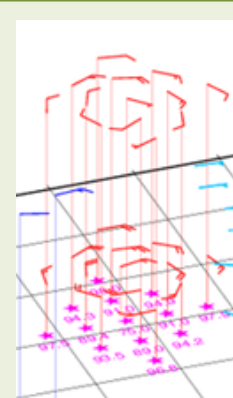


(ドップラー) レーダー
(写真: 大阪管区HP)

リモートセンシング 遠隔観測

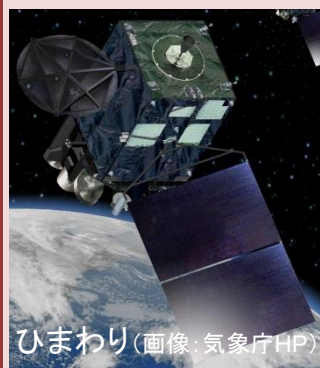


GNSS受信機
(写真: 観測部提供)



台風ボーガス

疑似観測



ひまわり (画像: 気象庁HP)



METEOSAT
(image: © ESA)



GOES (image: © NOAA)

静止軌道衛星

現業衛星



NOAA
(image: © NOAA)



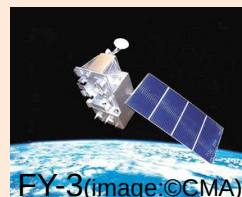
Suomi-NPP
(image: © NOAA)



DMSP (image: © NASA)



Metop
(image: © ESA)

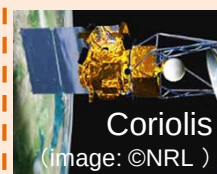


FY-3 (image: © CMA)



GPM主衛星
(image: © JAXA)

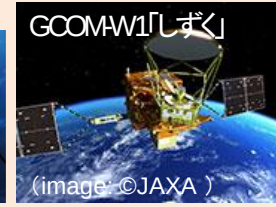
地球観測衛星



Coriolis
(image: © NRL)

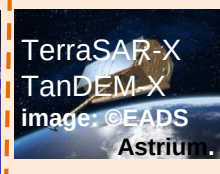


Aqua
(image: © NASA)

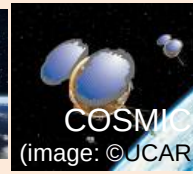


GCOM-W1「しずく」
(image: © JAXA)

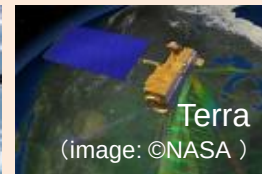
GNSS掩蔽衛星



TerraSAR-X
TanDEM-X
image: © EADS
Astrium



COSMIC
(image: © JCAR)



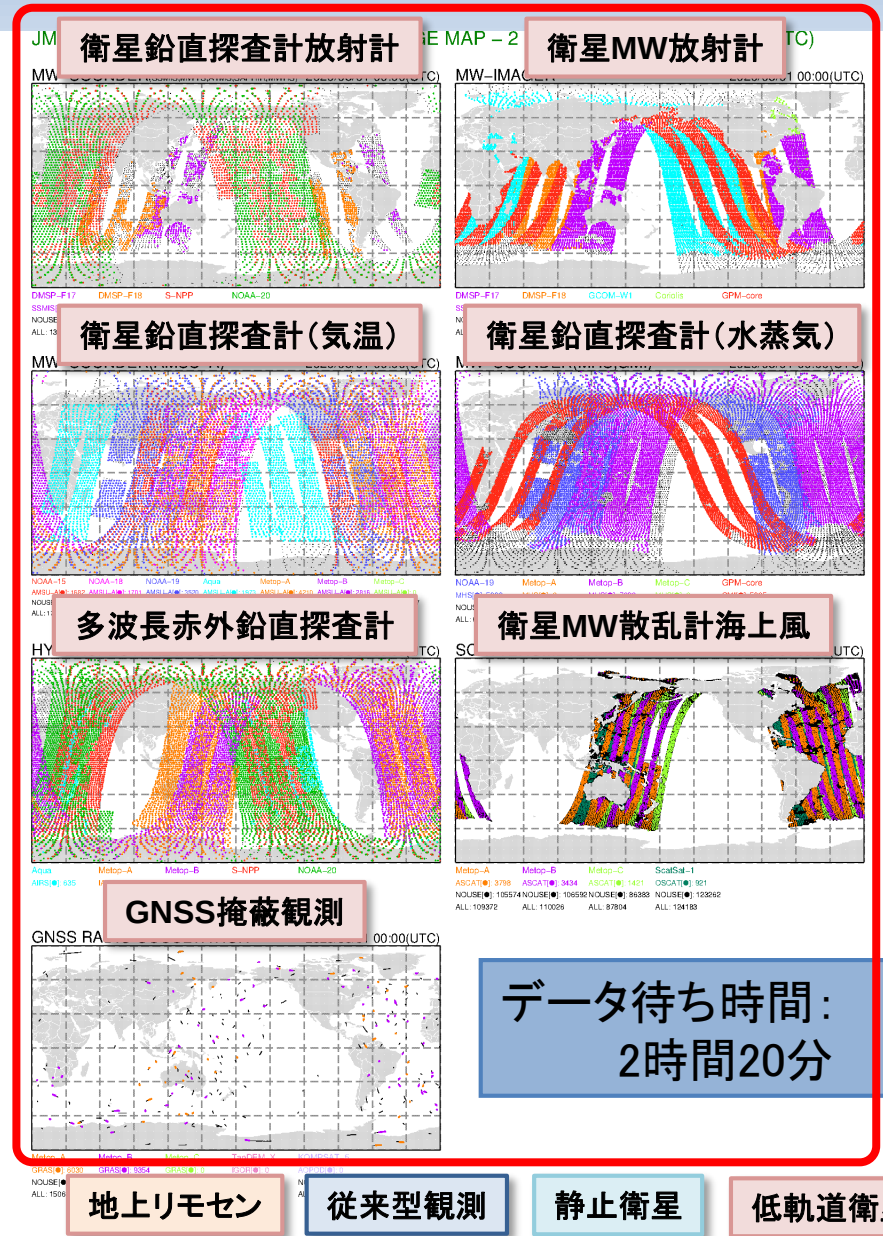
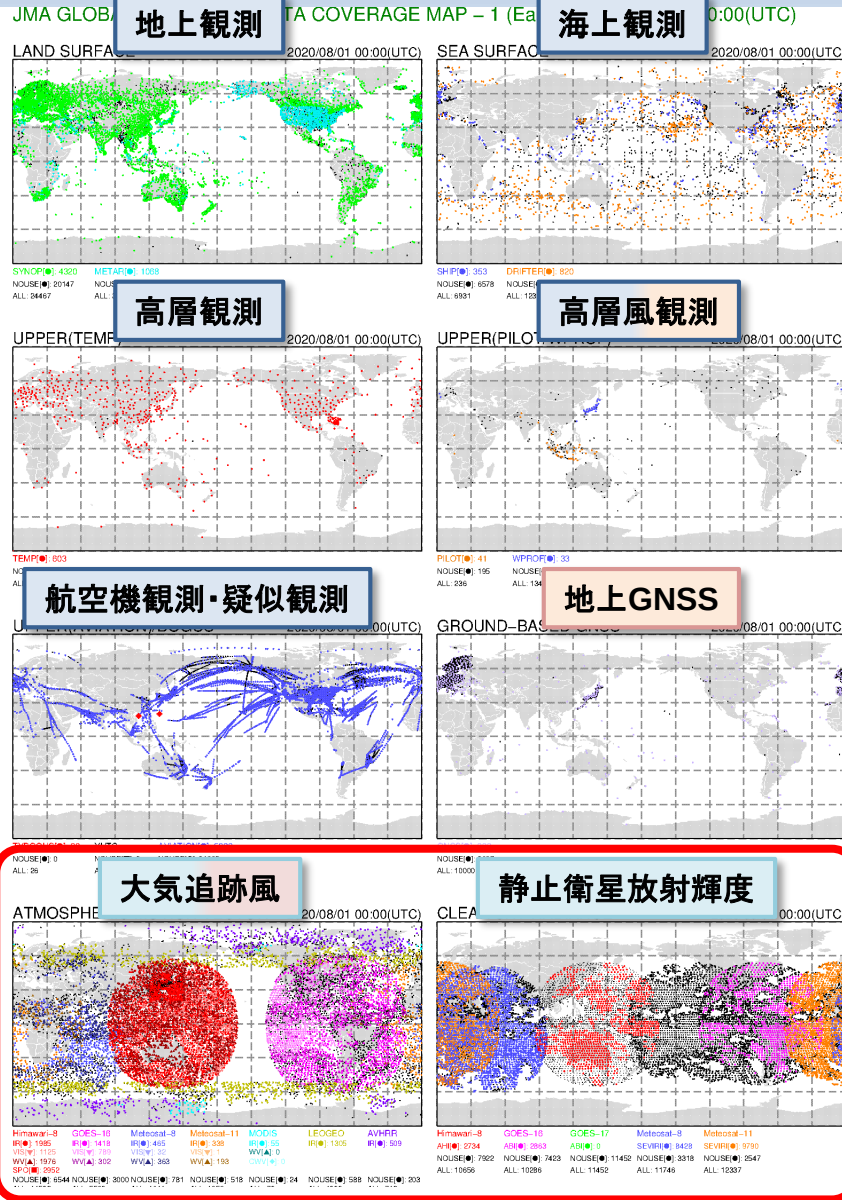
Terra
(image: © NASA)



Megha-Tropiques
(image: © CNES)

低軌道衛星

【例】同化観測データ分布：全球速報解析



現業数値予報での衛星データ利用状況

種類	衛星／センサー	全球解析	メソ解析	局地解析
1. マイクロ波サウンダ	NOAA15,18,19, Metop-A,-B,-C(※),Aqua/AMSU-A	輝度温度	輝度温度	輝度温度
	NOAA18,19,Metop-A,-B,-C(※)/MHS	輝度温度	輝度温度	輝度温度
	DMSP-F17,18/SSMIS	輝度温度	-	-
	Suomi-NPP,NOAA20/ATMS	輝度温度	-	-
	Megha-Tropiques/SAPHIR	輝度温度	-	-
2. 赤外サウンダ	Aqua/AIRS	輝度温度	-	-
	Metop-A,B/IASI	輝度温度	-	-
	Suomi-NPP,NOAA20/CrIS	輝度温度	-	-
3. マイクロ波イメージャ	DMSP-F17,18/SSMIS	輝度温度	輝度温度, 降水強度	輝度温度
	GCOM-W/AMS2	輝度温度	輝度温度, 降水強度	輝度温度, 土壌水分量
	GPM-core/GMI	輝度温度	輝度温度, 降水強度	輝度温度
4. 可視・赤外イメージャ	Himawari-8	晴天輝度温度, 大気追跡風	晴天輝度温度, 大気追跡風	晴天輝度温度, 大気追跡風
	GOES-16	晴天輝度温度, 大気追跡風	-	-
	Meteosat-8,11	晴天輝度温度, 大気追跡風	-	-
	NOAA15,18,19,Metop-A,-B/AVHRR	大気追跡風	-	-
	Aqua,Terra/MODIS	大気追跡風	-	-
	LEO GEO composite image	大気追跡風	-	-
5. 散乱計	Metop-A,-B,-C(※)/ASCAT	海上風	海上風	土壌水分量
	ScatSat-1/OSCAT	海上風	-	-
6. GNSS掩蔽	Metop-A,-B/GRAS	屈折角	屈折率	-
	TerraSAR-X/IGOR	屈折角	屈折率	-
	TanDEM-X/IGOR	-	屈折率	-
	COSMIC/IGOR	屈折角	屈折率	-
7. 降水レーダー	GPM/DPR	-	相対湿度	-

(※) Metop-C/AMSU-A,MHS,ASCATの利用は全球解析のみ

2020年12月現在

衛星データの同化・利用への課題

◆新規衛星データへの対応、既存データ処理の高度化

- － 新規衛星・センサに関する最新情報の収集
- － データ特性の詳細な把握
 - ・ 品質管理・バイアス補正処理の開発、観測誤差の設定
- － 同化インパクト実験・評価
 - ・ 観測システム実験(OSE)が基本(全球→メソ→局地解析)

◆データの早期・安定的取得

- － 迅速で安定した観測・通信・処理システムの要請・構築
 - ・ 複数の経路の確保: GTS、インターネット、通信衛星
 - ・ DBNet(直接受信網)の活用
- － 新規データの早期取得

◆国内外の衛星処理・データ同化センターとの協力

- － 障害や新規データ情報などの交換

◆【現状】上記の開発作業が主になっている

輝度温度データのタイプと主な課題

タイプ	センサー(衛星)	現状、最近の変更	短期課題	中長期課題
マイクロ波 気温サウンダ	AMSU-A, ATMS, SSMIS, MWTS2, MTVZA-GY	晴天同化	新規センサー、未使用チャンネルの利用、	全天同化、下層チャンネル陸域同化、小型衛星
マイクロ波 水蒸気サウンダ	MHS, ATMS, GMI, SSMIS, SAPHIR, MWHS2, MTVZA-GY	全天同化(一部)	全天同化(残り)	全天同化のメソ解析・局地解析への適用、小型衛星
マイクロ波 イメージャ	AMSR2, GMI, SSMIS, WindSat, MWRI, MTVZA-GY	全天同化(一部)	新規センサー	メソ解析・局地解析への適用
ハイパースペクトル 赤外サウンダ	IASI, AIRS, CrIS, HIRAS, IKFS2, GIIRS	晴天同化、気温チャンネルのみ	チャンネル増、水蒸気チャンネル追加	メソ解析・局地解析への適用、新規センサー、ch間誤差相関、全天同化
静止衛星 赤外輝度温度 (CSR,ASR)	Himawari, Meteosat, GOES, GK2A	晴天同化、下層にも感度のあるchの陸域データの同化	新規センサー、衛星切り替え	CO2チャンネル利用、全天同化
共通		アウトーループ、ハイブリッド同化(全球)、変分法バイアス補正(メソ)	観測誤差・観測密度最適化、RTTOV更新、モデル層変更対応	観測誤差・観測密度最適化、観測誤差相関

連携を進めたい衛星データ利用の課題

◆新規衛星データの同化利用

- ハイパースペクトル赤外サウンダ
 - 静止衛星搭載への世界的潮流がある
 - GIIRS/FY-4A(中国)、IRS/MTG-S(欧州)
 - 極軌道衛星搭載センサの増加・高性能化
 - HIRAS/FY-3D(中国)、IKFS-2/Meteor-M N2シリーズ(ロシア)、IASI-NG(フランス)
- ドップラー風ライダー：ECMWFでは同化インパクト大、現業利用
 - ALADIN/Aeolus(欧州) → 気象研で調査中、JAXA-気象研連絡協議会、都立大
- GNSS掩蔽観測
 - 民間企業による小型衛星を用いた事業化の動き
- 小型衛星によるマイクロ波観測
 - 米国で研究ミッションが進行中(TROPICS, 2021年6月打上予定)
 - データ評価には米国現業機関も参加予定
- 長楕円軌道(Tundra)衛星

- ## ◆ 国際動向(欧米中露韓印)、データ品質・利用方法に関する知見が大切
- 優先して同化利用すべき衛星データの選定

連携を進めたい衛星データ利用の課題

◆データ同化(事前)処理の高度化

- － 輝度温度全天同化
 - ・ マイクロ波: 多くの外国機関で現業化している
 - － 現業利用中(全球解析のみ、水蒸気CHが主): AMSR2/GCOM-W, GMI/GPM, SSMIS/DMSP, MHS/NOAA, MHS/Metop, WindSat/Coriolis, MWRI/FY-3C
 - － メソ・局地解析、および気温サウンダの全天同化はまだできていない
 - ・ 赤外: 外国機関でも現業化実績はまだない
 - － ひまわり8号データ同化 → 気象研で開発中
- － 陸域でのマイクロ波放射計・ハイパースペクトル赤外サウンダの利用
 - ・ Dynamic Emissivity の活用(マイクロ波) → JAXA－気象研連絡協議会
- － 観測誤差の最適化(観測誤差相関) → 気象研で調査・開発中
- － 高解像・高頻度観測データの同化利用
- － 極軌道衛星ハイパースペクトル赤外サウンダ(IASI, CrIS)
 - ・ 利用チャンネルの拡充(気温、水蒸気)
 - － 外国機関と比べると、まだ十分にデータを活用できていない
 - ・ 主成分スコアの活用 → 気象研で調査中

◆品質管理、バイアス補正、観測誤差設定に関する知見が大切

<国際動向> WMO WIGOSビジョン2040と各国の状況

※WMO(世界気象機関)が推奨する、2040年頃の静止気象衛星に搭載されていることが望ましいセンサ

○運用中	△試験運用中	計画あり (打上予定時期)	- 未定
------	--------	------------------	------

VISION for WIGOS in 2040※	日本	米国	欧州	中国	韓国
高頻度・多波長イメージャ 雲や地表によって反射された太陽光及び雲、地面、大気から放射される赤外線を測定し、雲や上空の水蒸気の分布を観測するセンサ	○ (バンドの追加等の機能向上の可能性)				
ハイパースペクトル赤外サウンダ 大気からの赤外放射を高い周波数分解能で測定し、気温や水蒸気などの大気鉛直構造を観測するセンサ(以降「 赤外サウンダ 」)	-	-	2023~ IRS/MTG-S	△ GIIRS/FY-4A	-
雷センサ 雷(対地雷及び雲放電)にともなう光(稲光)を検出することで雷の観測を行うセンサ	-	○ GLM/GOES-16,17	2021~ LI/MTG-I	△ LMI/FY-4A	-
紫外・可視・近赤外サウンダ 対流圏オゾンやNO ₂ といった大気汚染物質を観測する大気化学センサ	-	2022~ TEMPO	2023~ UVN/MTG-S	-	○ GEMS/GEO-KOMPSAT-2B

➤ 静止気象衛星にイメージャに加え新型のセンサを搭載するのが国際的な動向



<国際動向> 主要国の静止衛星計画

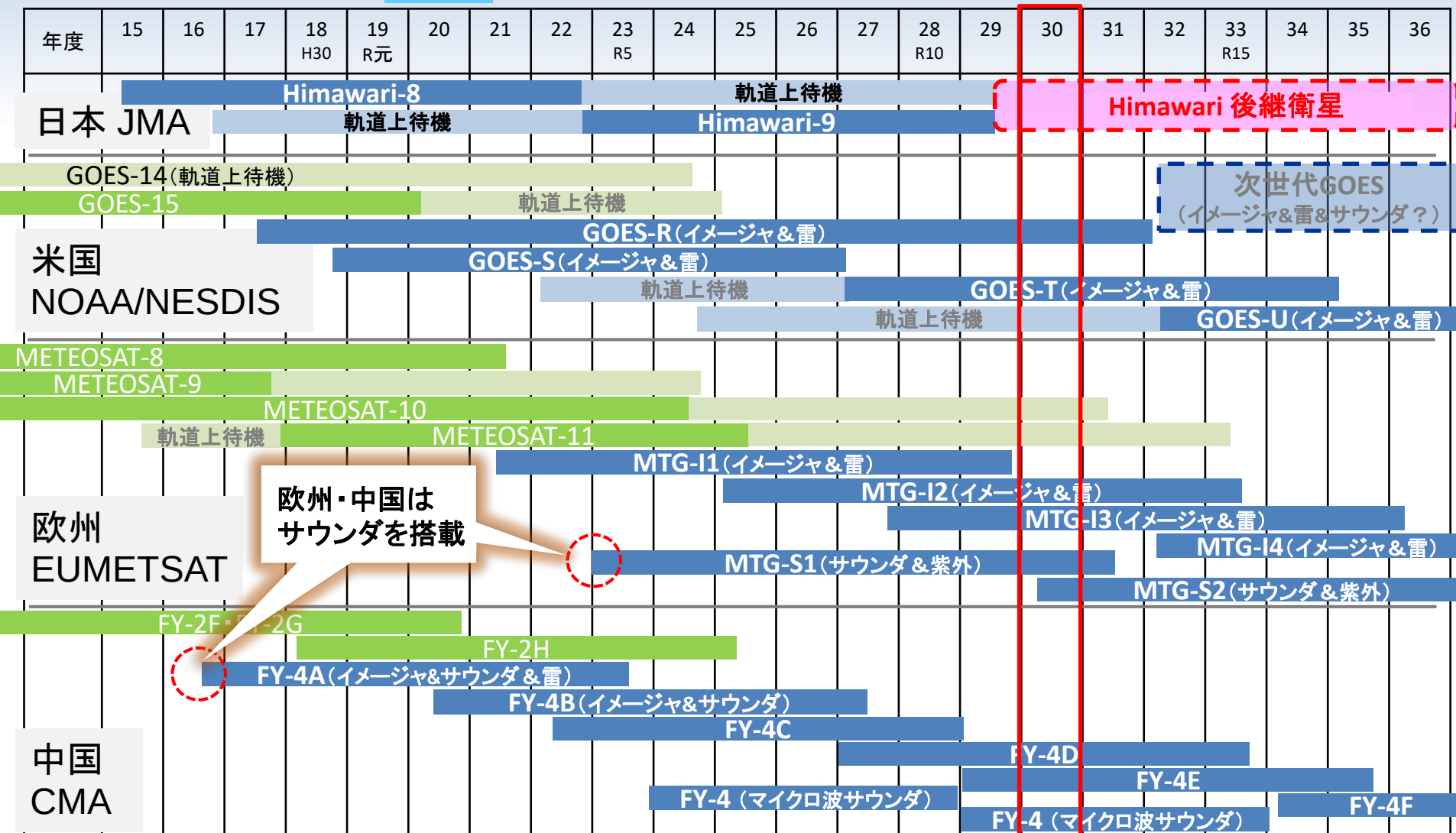
前世代衛星

新世代衛星

現在

気象分科会提言の目標時期

2020年6月時点



欧州・中国は
サウンダを搭載

※ NOAA/NESDIS, EUMETSAT, CMAの衛星計画は、各機関のWebsiteや国際会議の発表資料を参照

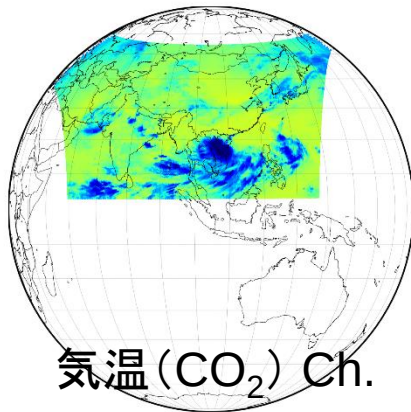
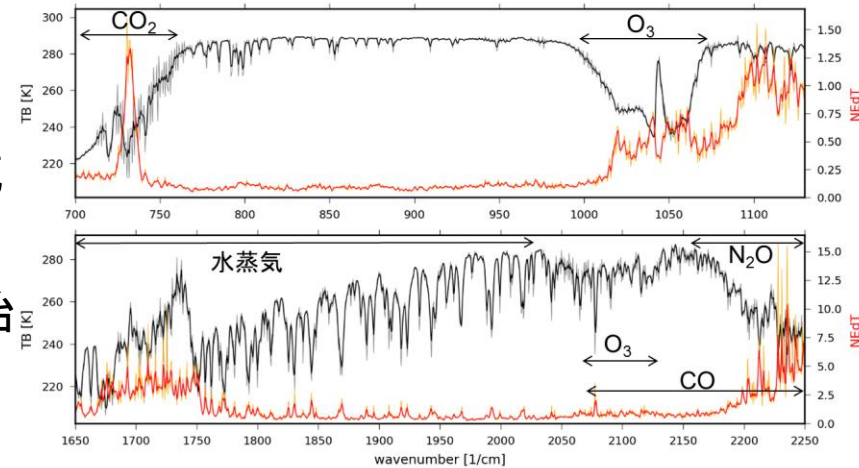
<https://www.nesdis.noaa.gov>, <https://www.eumetsat.int/>, <http://www.nsmc.org.cn/en/NSMC/Home/index.html>,

<https://www.cgms-info.org/agendas/agendas/CGMS-47>, <http://www.bom.gov.au/research/aomsuc-10/presentations/S1-P2-FANG.pdf>

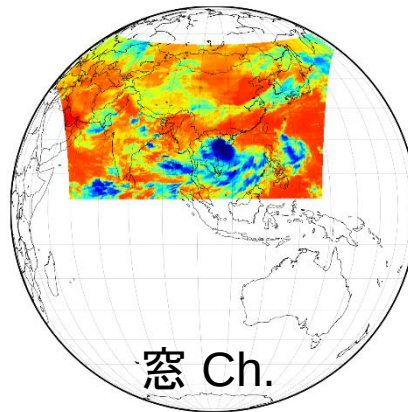
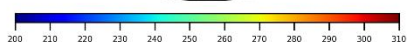
GIIRS, Geostationary Interferometric InfraRed Sounder

◆ 世界初の静止衛星ハイパースペクトル赤外サウンダ (GeoHSS)

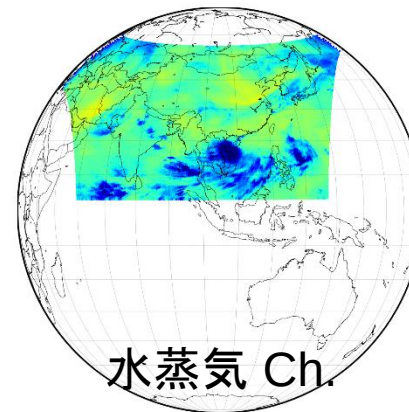
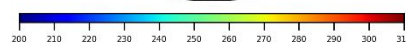
- 2次元アレイ検出器を備えたフーリエ変換分光計 (いわゆる、Imaging FTS)
- 100%中国製
- 研究・開発段階の位置づけ
- 中国の静止軌道気象衛星FY-4Aに搭載
 - 2016年12月11日: 打ち上げ
 - 2018年12月25日: CMA現業同化利用開始
 - 2019年 1月28日: L1データ配信開始



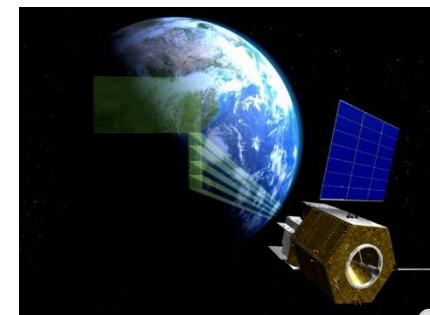
気温 (CO₂) Ch.



窓 Ch.



水蒸気 Ch.



FY-4Aイメージ

※中国気象局ウェブサイトより引用

赤外サウンダデータ同化のための課題

◆放射伝達モデル

- 【現状】RTTOV 10.2 を現業利用
- 最新版の利用、精度評価

◆チャンネル選択

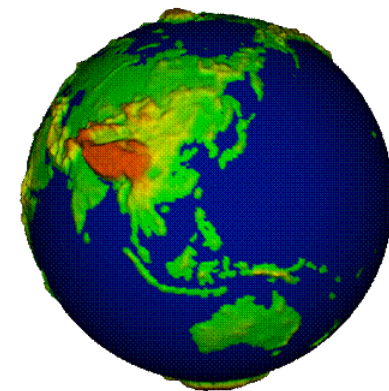
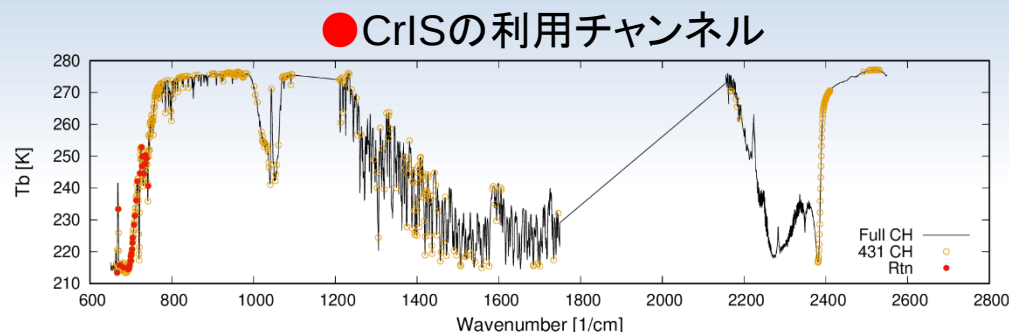
- 【現状】経験的に選択、気温(CO_2)チャンネルのみ同化利用
- 情報量に基づいた選択、主成分スコア(PCS)の応用
- 水蒸気チャンネルの同化利用

◆雲の取り扱い

- 【現状】雲判定を行って晴天データのみを同化利用
 - 窓チャンネルのO-B値閾値判定、2チャンネル巻雲判定、 CO_2 slicing
- 雲判定手法の高度化(特に下層雲)、赤外全天同化

◆地表面情報の精度

- 【現状】地表面(対流圏下層)に感度のあるチャンネルを同化利用していない
- 地表面温度・射出率の補正、標高・大気透過率に応じたチャンネル選択



赤外サウンダーデータ同化のための課題

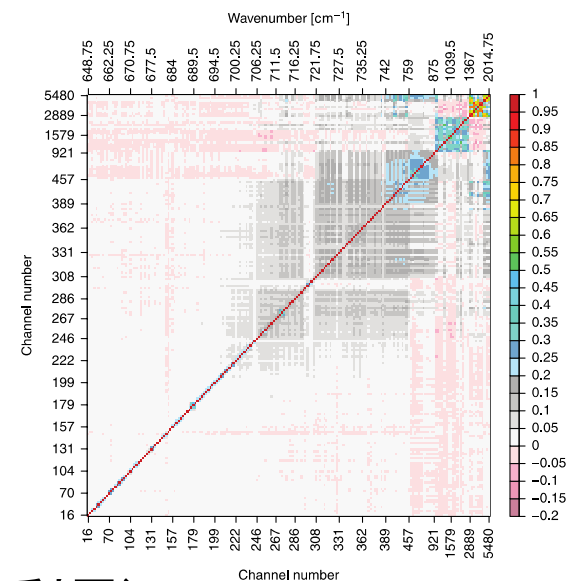
◆バイアス補正

- 【現状】O-B統計に基づくスキャンバイアス補正(FOVバイアス補正)
- 【現状】変分法バイアス補正(VarBC): 説明変数は層厚と定数
 - 層厚: $Z_{300-850}$, Z_{50-200} , Z_{5-50} , Z_{1-10}
- VarBCにおける最適な説明変数の選択
- 日変化・時間変化するバイアスの補正

◆観測誤差

- 【現状】O-B統計に基づいた誤差設定
- 【現状】水平距離200kmで間引き(全球解析)
- 最適な観測誤差の推定
- チャンネル間誤差相関の推定と考慮
- 水平間引き距離の最適化(観測データの高密度利用)

IASIの観測誤差共分散行列の例



(Bormann et al, 2016)

◆メソ・局地解析での同化利用

- 【現状】メソ・局地解析では同化利用していない
- 日本領域固有のバイアスの評価

まとめ

◆衛星データ同化を目的とした連携に期待すること

◆新規衛星データの同化利用

- 世界最先端の新規衛星・センサ(欧米中露韓印)に関する最新情報
- データ品質・利用方法に関する知見
- 同化インパクトが大きく、優先して利用すべき衛星データの選定

◆データ同化(事前)処理の高度化

- データ特性の詳細な把握
 - 同化利用に困難があるデータ(陸域・海氷・雲域データ等)の特性評価
 - 品質管理、バイアス補正、観測誤差の評価
- 新たな品質管理、バイアス補正、観測誤差設定の手法の共同開発
 - 雲域や地表面の影響を受ける観測データ
 - 高解像・高頻度観測データの同化利用、など
- 観測演算子(放射伝達モデル(RTTOV)等)の開発・精度検証