

2023.3.10

静止気象衛星に関する懇談会

静止衛星搭載赤外サウンダの性能と期待される成果

東京大学 大気海洋研究所 今須良一

目次

1. 赤外サウンダの開発の歴史
2. 赤外サウンダデータ利用の有効性
 - ・観測システムシミュレーション実験(OSSE)による赤外サウンダデータ同化の有効性の評価
 - ・波数(波長)分解能の違いによる性能の違い
3. 将来の静止衛星観測に係る検討会(MInT)における活動
4. 各種研究協力について
 - ・モデルー観測、サウンダーイメージャ、産学官連携

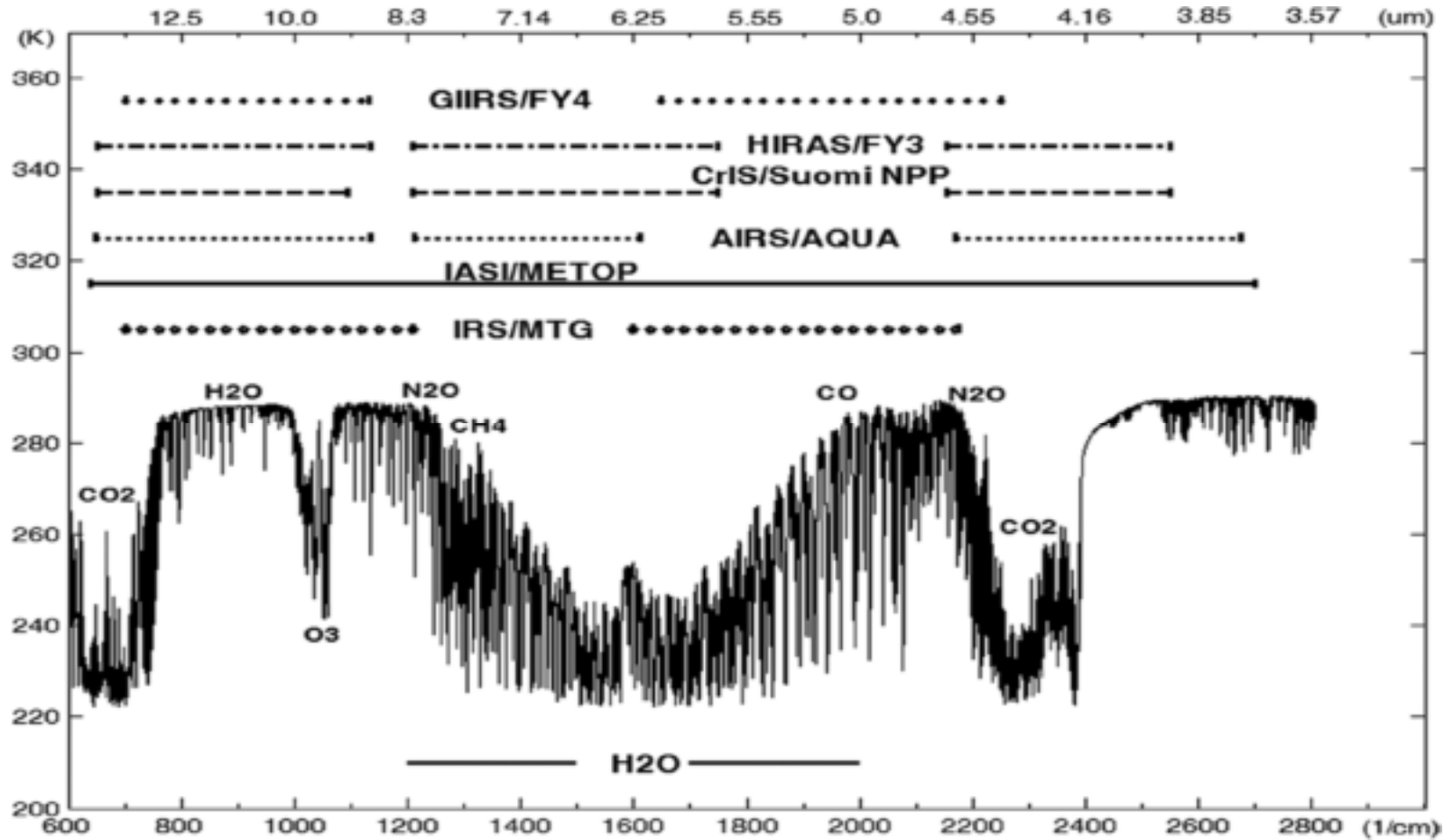
「サウンダ (sounder)」とは？

- ・(水深など)深さを測る器具 (小学館辞書)
- ・深さ(高さ)方向、あるいは視線方向の物理量を測る機器 (リモートセンシング事典, 丸善)

→気象: 気温や水蒸気量の鉛直分布を測る受動型リモートセンシング装置
一般的にはレーダーなどの能動型リモートセンシング装置は含まない
一方、気球による観測もサウンディングと呼ぶ

ハイパースペクトラル赤外サウンダ (Hyper-spectral infrared sounder)

日本の IMG/ADEOS に始まる高波数(波長)分解能な赤外サウンダによる大気観測



(Menzel et al., 2018)

ハイパースペクトラル赤外サウンダ (下方視、極軌道)

0 1960s- 1970s	第 1 世代 1990s	第 2 世代 2000s - 2010s	第 3 世代 2020s - 2030s
IRIS	IMG →	TANSO-FTS/GOSAT TANSO-FTS-2/GOSAT-2 →	(grating) GOSAT-GW
HIRS* *filter	→	CrIS/NPOESS・NPP	
	TES		
	IASI-1 →	IASI-2, 3 (5years × 3)	
		Microcarb	-----→ IRS/MTG
	MIPAS		
(grating)	AIRS →	OCO, OCO-2, OCO-3 →	× GeoCARB
		TanSat, GIIRS	

Nimbus 3 & 4 *IRIS* /*SIRS*
(1969-1972)



First Satellite
Sounder Spectrometers

Nimbus 5/*ITPR* /*ITOS*/*VTPR*
Nimbus 6/*NOAA HIRS* /*GOES/VAS* & *HIRS*
(1972-2010)



High Horizontal
Resolution

High Resolution
Interferometer
Sounder (*HIS*)
(1985-)



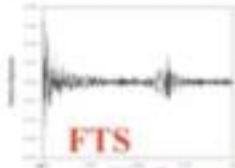
Ultraspectral
Resolution

Aircraft
NAST-I / *SHIS*
(1998 -)



Ultraspectral
Resolution Imagery

ADEOS /*IMG* [LEO]
(1996-1997)



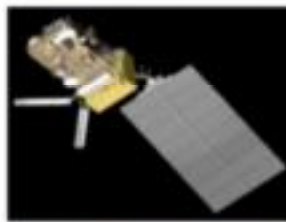
First Satellite
Ultraspectral Resolution
Sounding Spectrometers

Aqua-AIRS [LEO]
(2002)



Grating

METOP-IASI [LEO]
(2006)



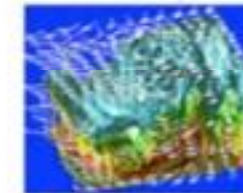
1st Operational
Ultraspectral
Resolution Sounder

NPP/NPOESS/CrIS [LEO]
(<2010)



1st US Operational
Ultraspectral
Resolution Sounder

GIFTS? /
GOES-HES? /
MTG-IRS, others

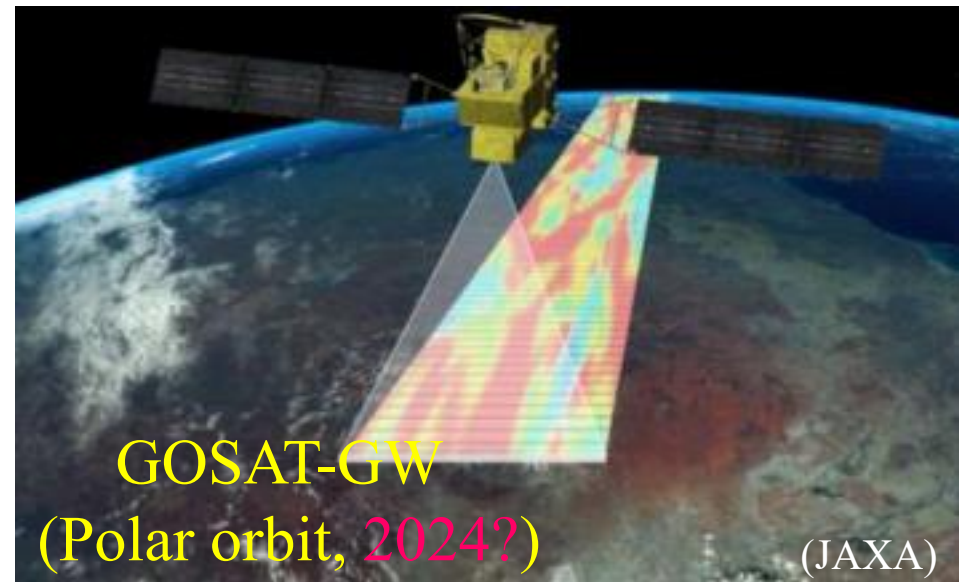
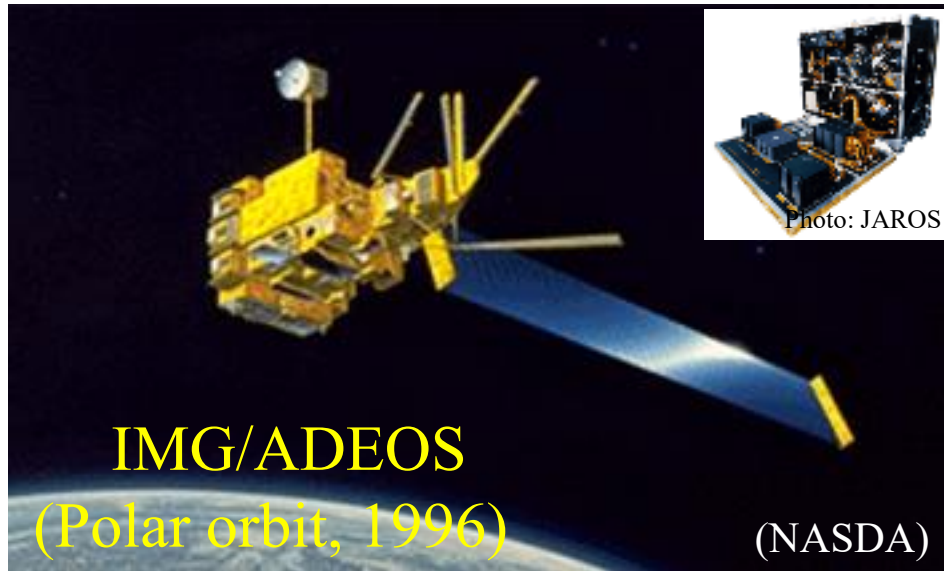


Geostationary
4-d Imaging
Ultraspectral
Sounder

詳細は、Smith (2009), Menzel (2018) によるレビューを参照

(Smith et al., 2009)

日本のハイパースペクトラル赤外サウンダ



静止衛星搭載の赤外サウンダ

【 1980 年代 ~ 】

- VAS/GOES-4~7 (1980-94, USA)
(フィルターホイール放射計)

【 1990 年代 ~ 】

- Sounder/GOES-8 (1994-, USA)
(フィルターホイール放射計)
- HES/GOES-R シリーズ (NOAA) ... 2006年中止
- GIFTS/GOES-R シリーズ (NASA, ウィスコンシン大) ... 2006年中止

【 2000 年代 ~ 】

- HIRAS/FY-3 series (2008, 中国)
- Sounder/INSAT-3D, -3DR (2013, 2016, インド)
- GIIRS/FY-4 series (in 2016, 中国)
- IRS/MTG-S (in 2022, 2024, ESA)
- ABX (L3Harris)
- GEO-XO (GOES-R follow on) (2030-2050, NOAA)
(ABX: 2021年開始のPhase-A 研究の候補)
- GEO-Ring (全球ネットワーク)

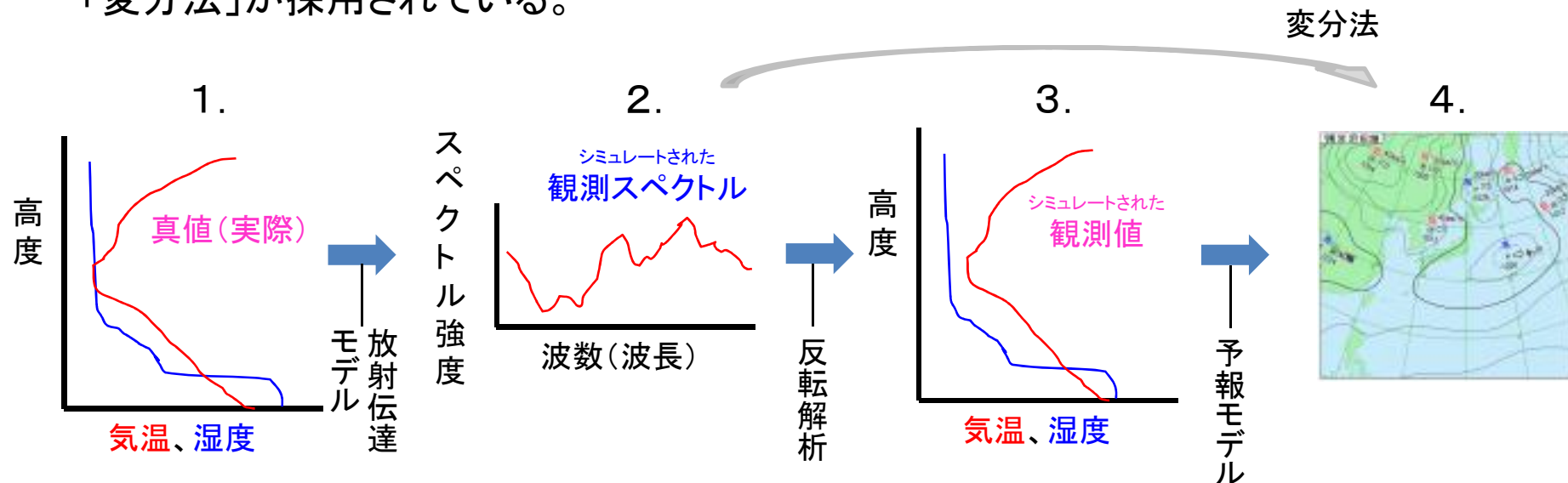
観測システムシミュレーション実験* による赤外サウンダデータ同化の有効性の評価

*Observing System Simulation Experiment (OSSE)

【手法】

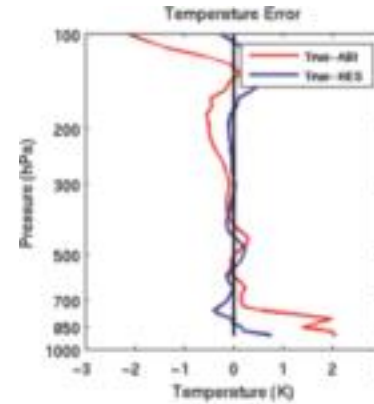
1. 真値(実際)となる気象データ(気温、湿度など)をもとに、衛星から観測される赤外放射スペクトルを計算する(→最高性能の理論計算値)
2. 想定される観測用センサーの性能、誤差に合わせて修正する(→観測されるスペクトル)
3. 上記スペクトルを解析システムに導入し、気象データ(シミュレートされた観測値)を得る
4. 気象予報システム(モデル)に入れ、予報値へのインパクトを評価する(導入の有無による予報精度の評価)

※気象庁では、2. のスペクトルを直接、気象予報システムに入れる「変分法」が採用されている。

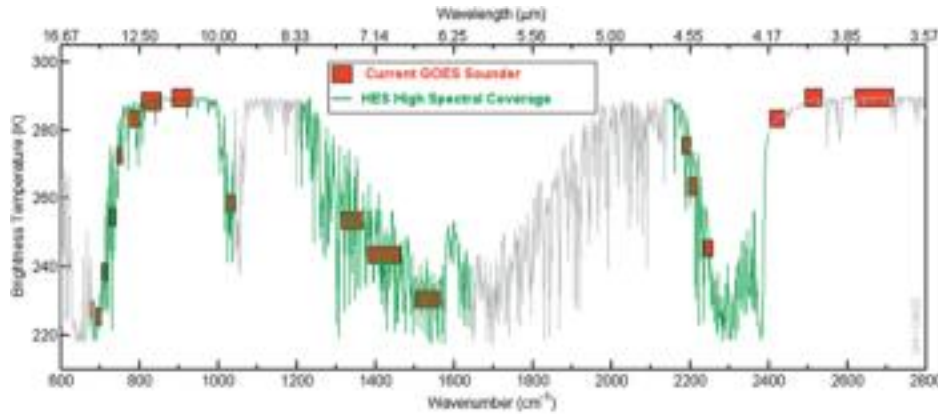
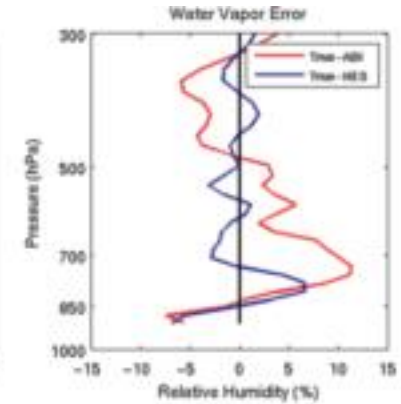


米国GOES衛星搭載センサーに関するシミュレーション

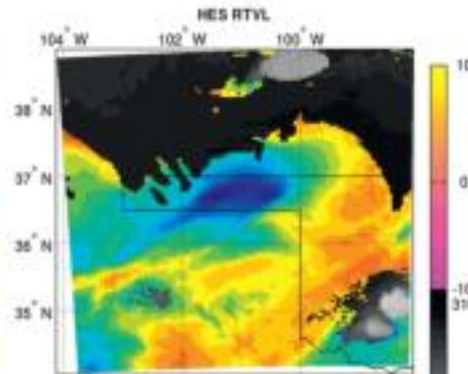
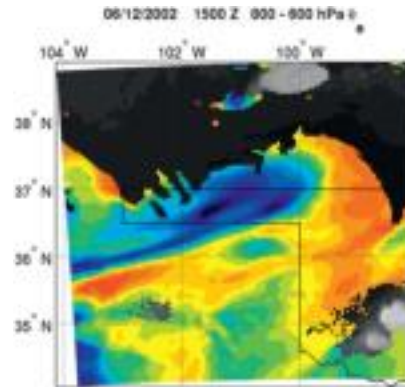
気温誤差



水蒸気誤差

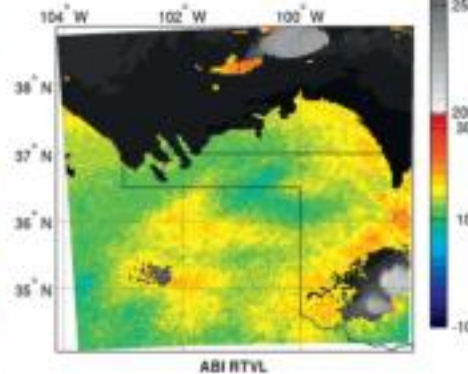
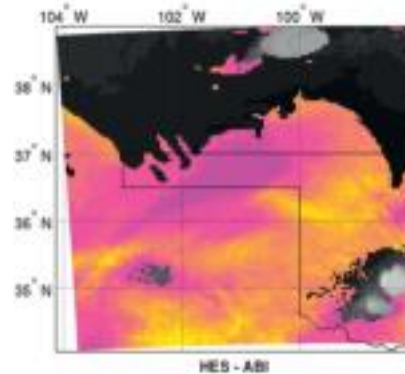


実況



HESによる解析
(高分解能)

実況とHESとの差



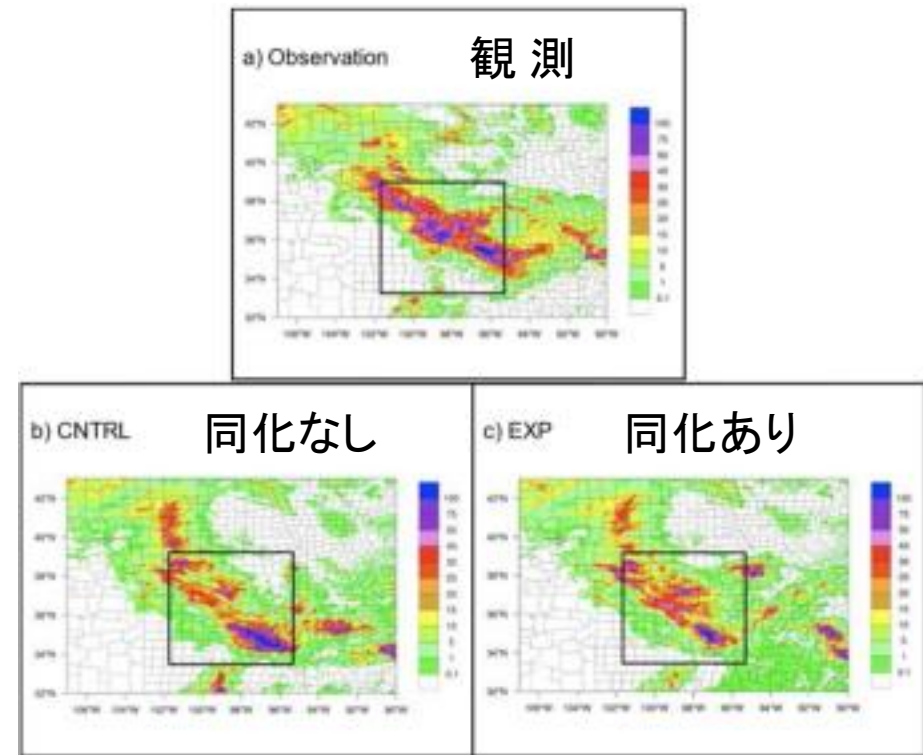
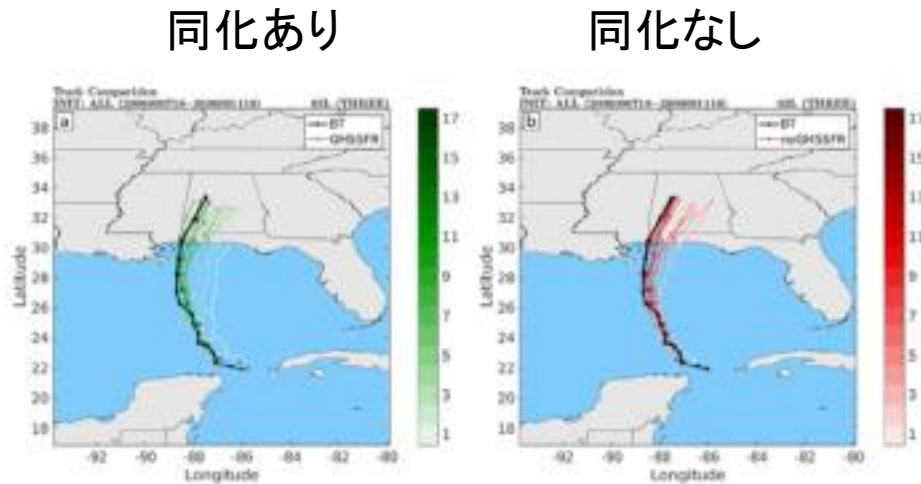
ABIによる解析
(低分解能)

(Schmit et al., 2009)

米国Geostationary Extended Observations (GeoXO) ハイパースペクトラルサウンダに関するシミュレーション

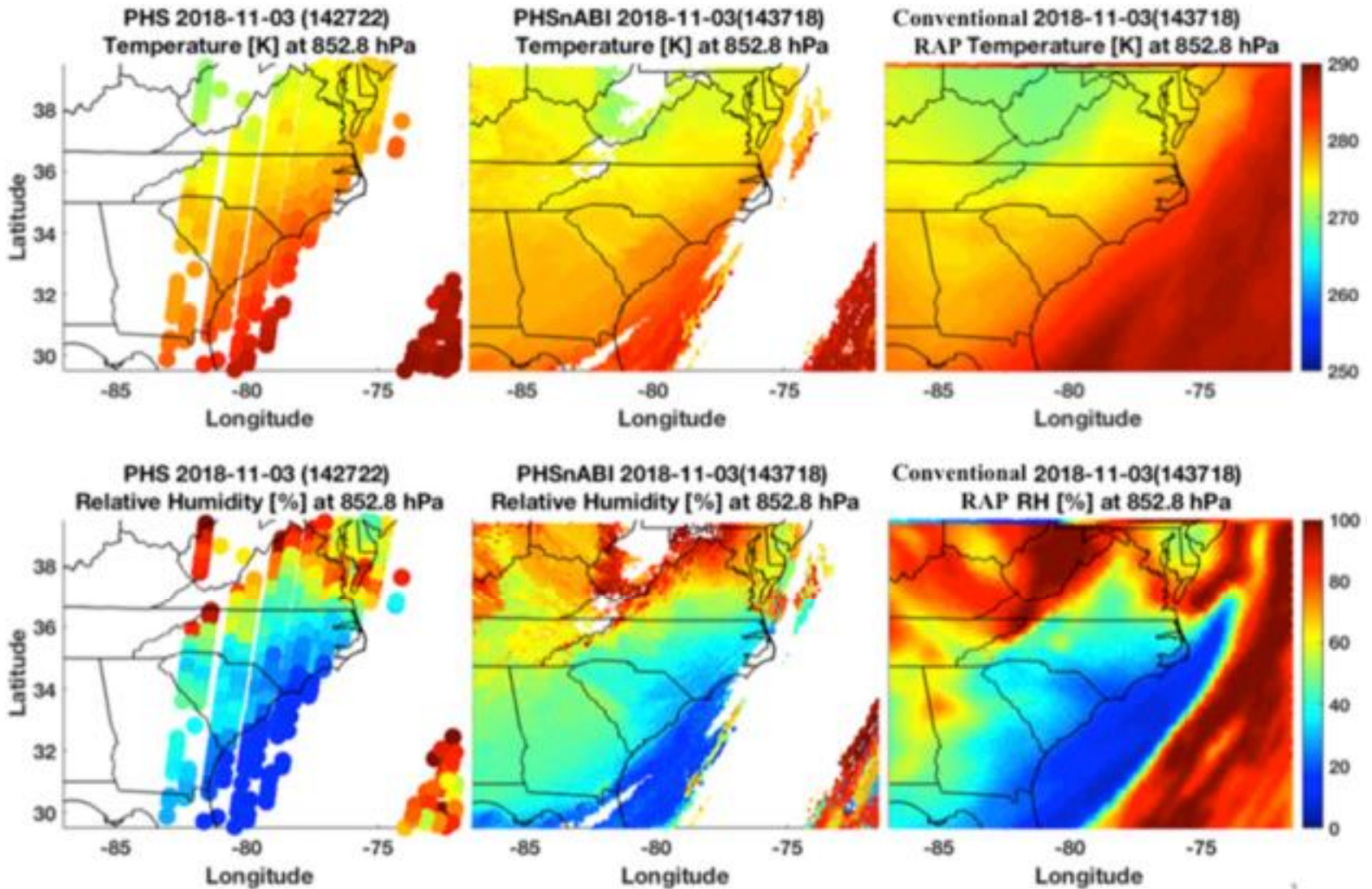
サウンダデータの同化による
ハリケーン進路予測の改善

サウンダ(CrIS)データの同化による
降雨域、強度の予測精度の向上



(GeoXO HSS アセスメントレポート: Adkins et al., 2021)

高波数分解能(低空間分解能) + 低波数分解能(高空間分解能)



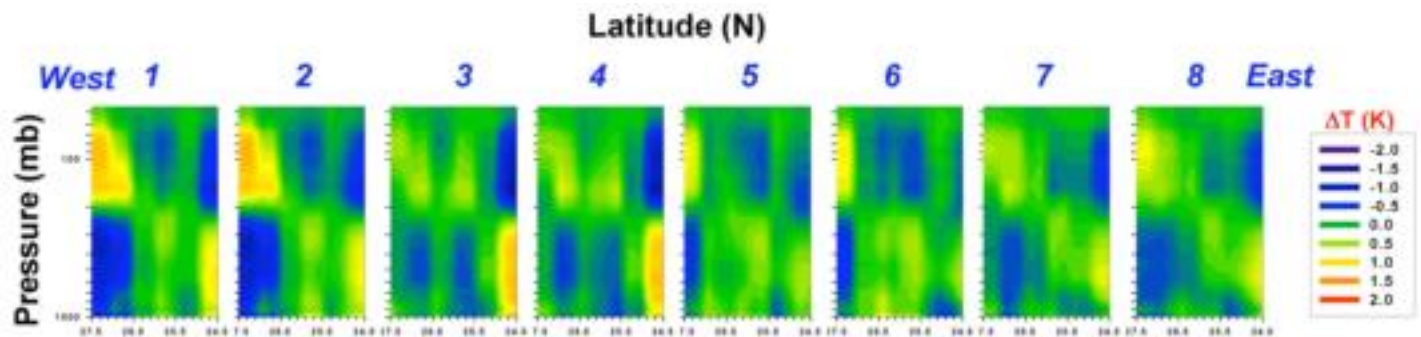
→シビアストーム(激しい嵐)の予報精度向上

(Smith et al., 2020)

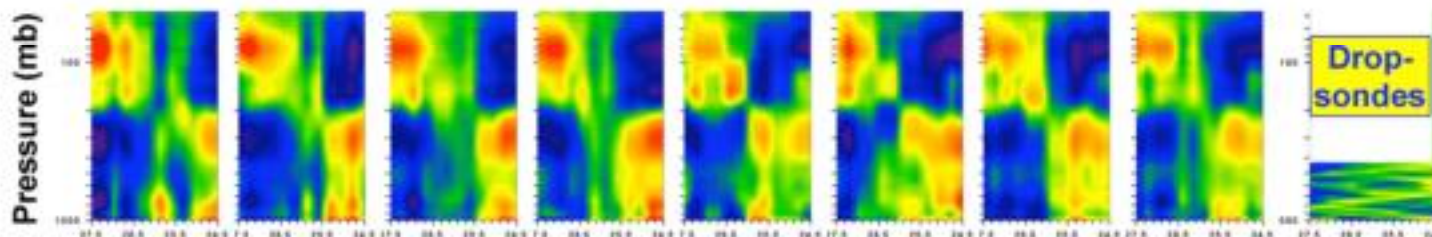
波数(波長)分解能の違いによる気温、相対湿度の解析能力の違い

気温

ABI
(低分解能)

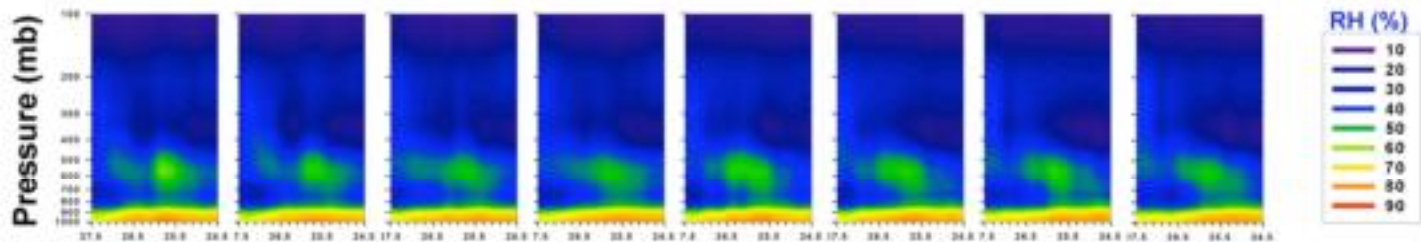


IASI
(高分解能)

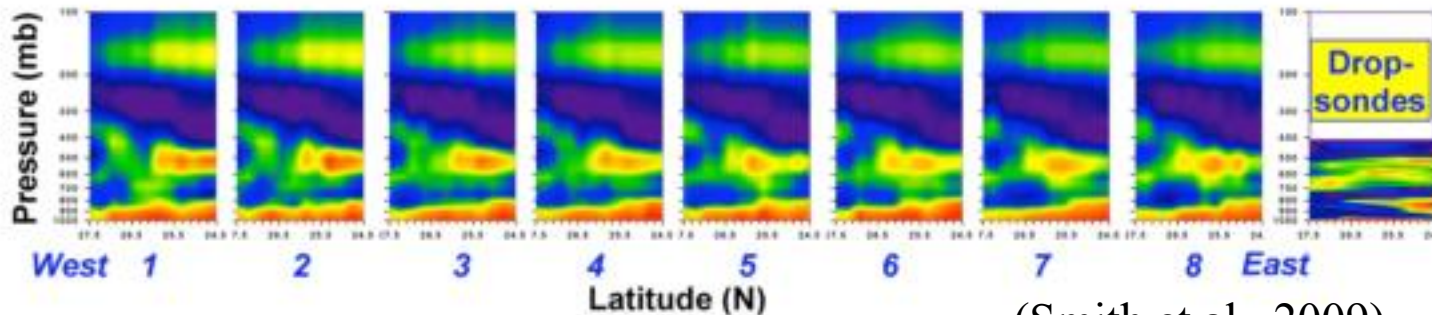


相対湿度

ABI
(低分解能)



IASI
(高分解能)

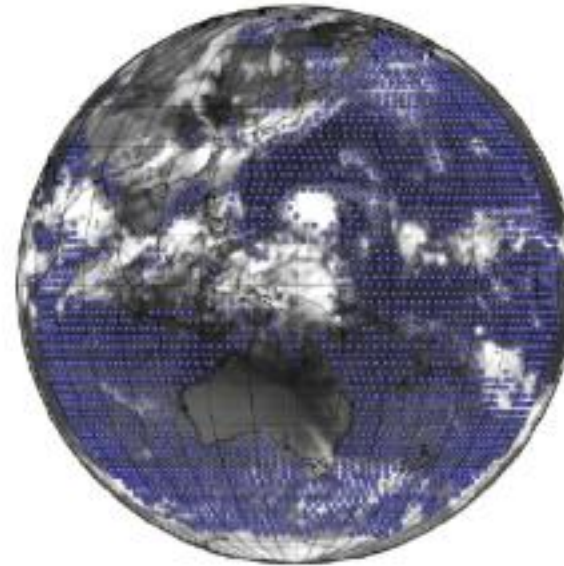
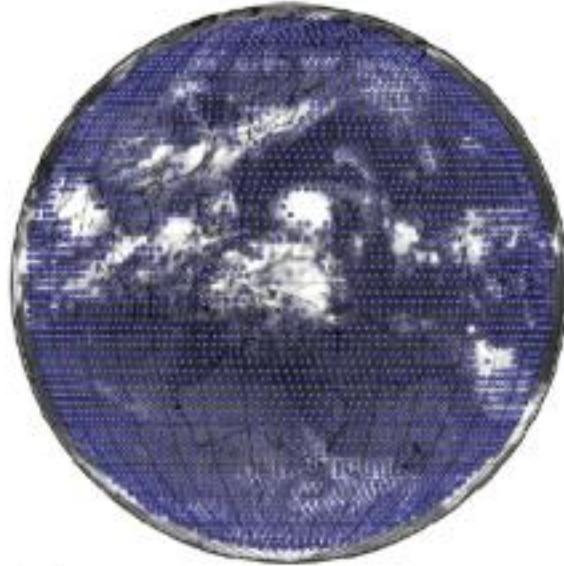


(Smith et al., 2009)

気象庁予報モデルによる実験【全球】：台風進路予測

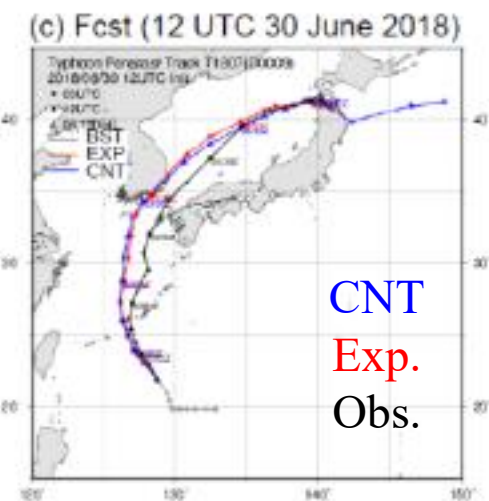
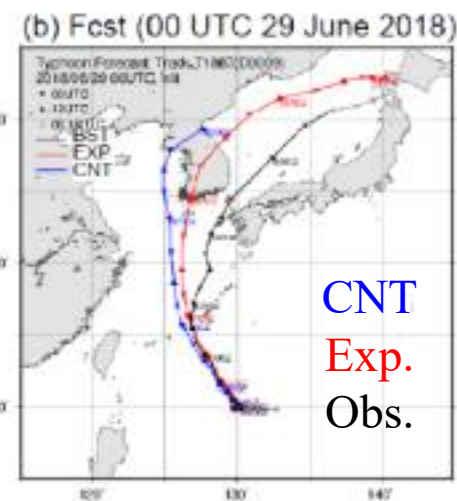
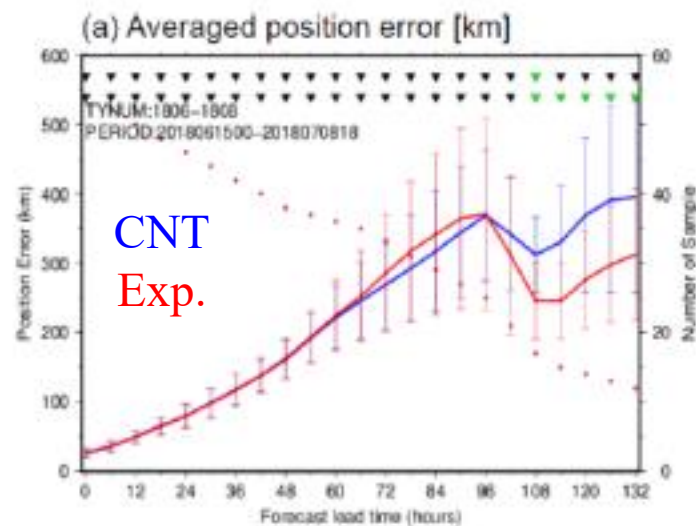
気温 ~250 hPa (14.260 μm)

湿度 ~850 hPa (5.092 μm)



データ同化結果：進路予想

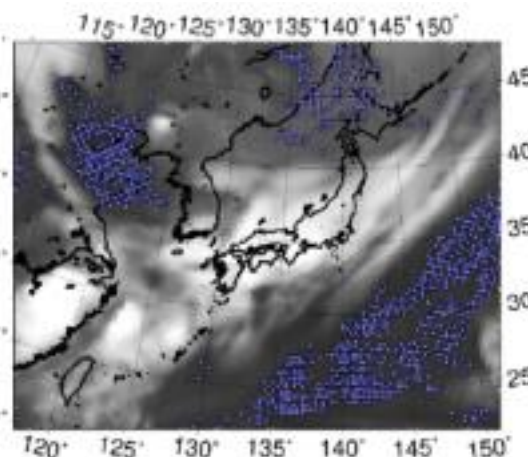
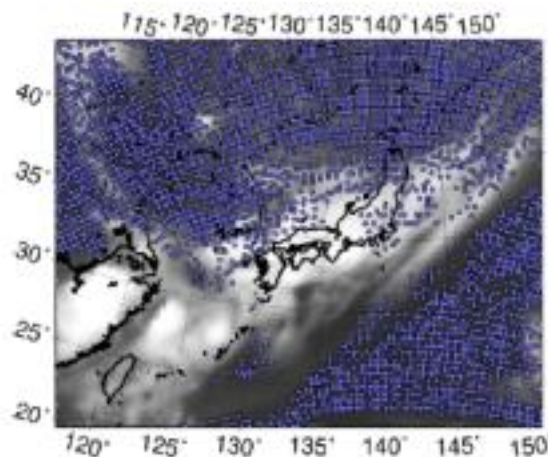
(Okamoto et al., 2020a,b)



気象庁予報モデルによる実験【領域】：線上降水帯

気温 150 - 250 hPa

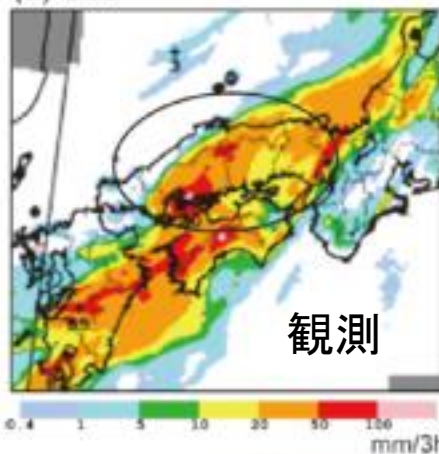
気温 850 - 1000 hPa



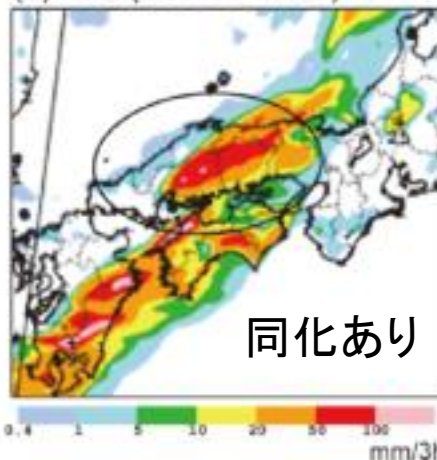
データ同化結果：降水量

(Okamoto et al., 2020a, b)

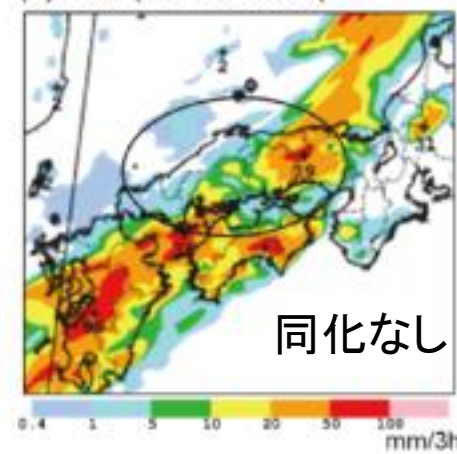
(a) Obs



(b) Fcst (Use GeoHSS)



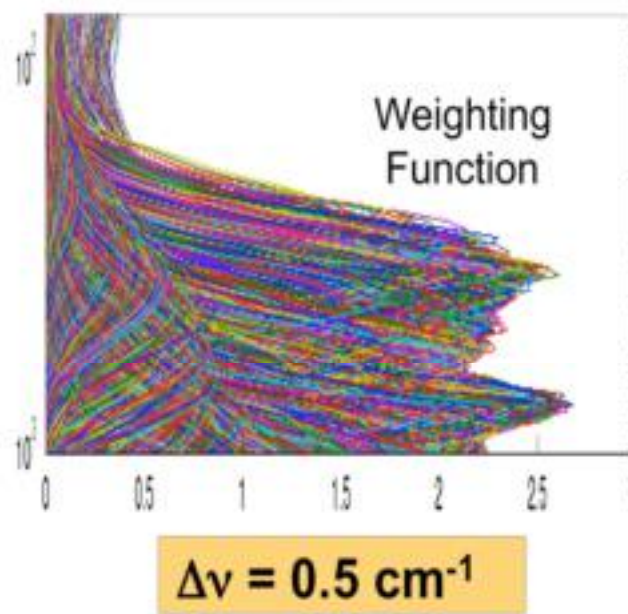
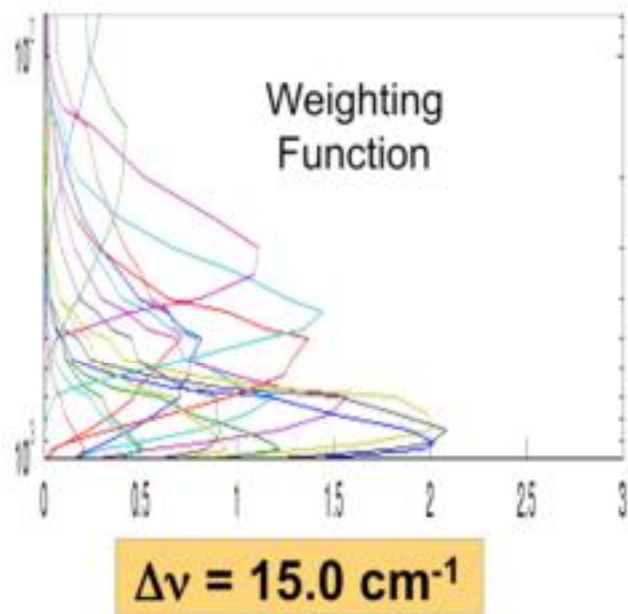
(c) Fcst (No GeoHSS)



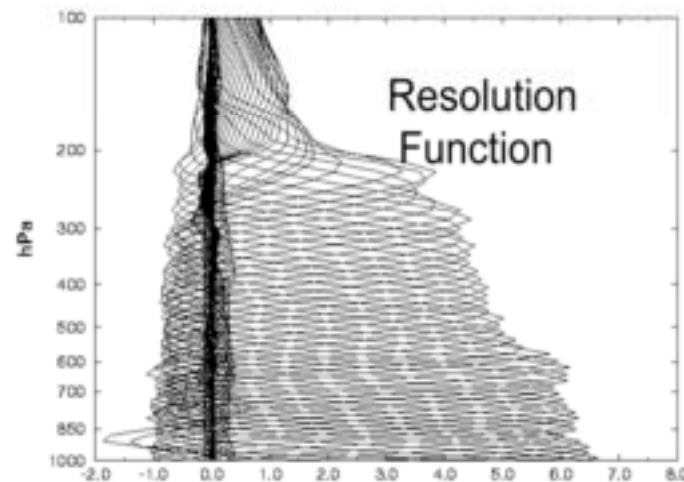
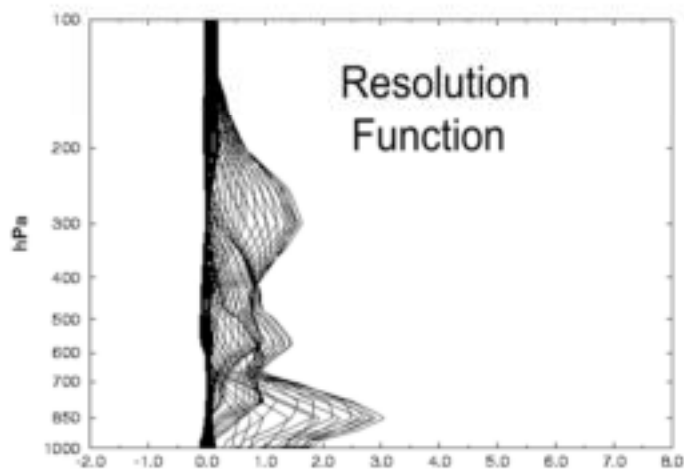
GeoHSSのデータ同化により、九州北西部への南西からの湿った空気の流入によりもたらされた西日本の中国地方における降雨強度の予測精度が向上

波数(波長)分解能の違いによる性能の違い

荷重関数



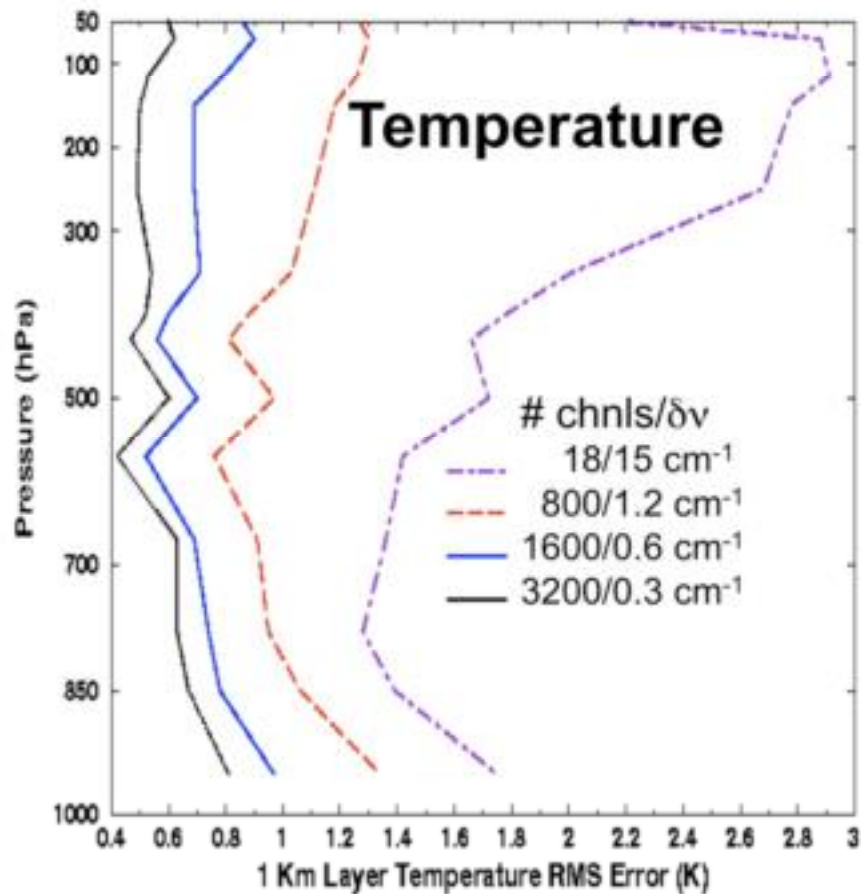
鉛直分解能



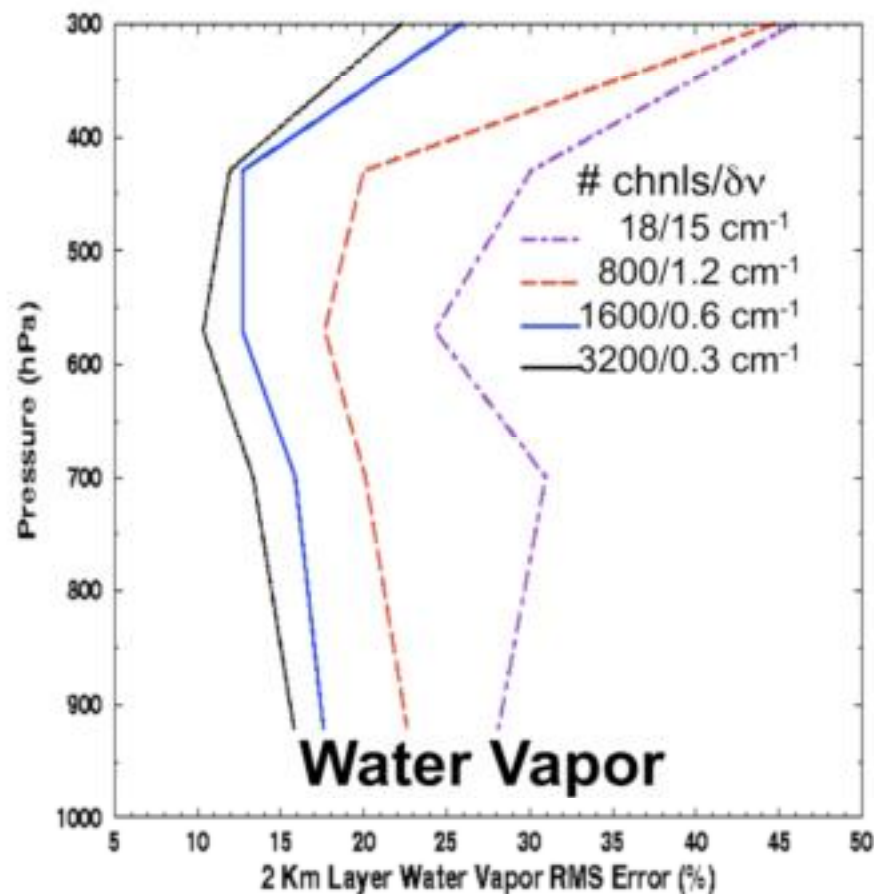
(Smith et al., 2009)

波数(波長)分解能の違いによる性能の違い

気温の解析精度



相対湿度の解析精度



(Smith et al., 1990, 2009; Wang et al., 2007; Schmit et al., 2008)

「将来の静止衛星観測に係る検討会(MInT)」

日本の学会有志連合による「地球観測グランドデザイン」の活動の一環として、静止軌道からの地球観測に関心の高い学術専門家の有志により、後継ひまわりのセンサへの期待や、遠い将来の静止衛星の地球観測センサ開発も視野に、学術的に意見交換を行う検討会。令和元年度より活動開始。

Mission Investigation Team (MInT)

発起人 : 本多嘉明(千葉大学 准教授)

メンバー : 大学等研究者(JAXA:技術的助言)

オブザーバー: 気象庁、環境省

全体会

座長: 本多嘉明(千葉大学)

イメージャ分科会

座長: 樋口篤志(千葉大学)

赤外サウンダ分科会

座長: 今須良一(東京大学)

雷光センサ分科会

座長: 牛尾知雄(大阪大学)

マイクロ波サウンダ分科会

座長: 高橋暢宏(名古屋大学)

2

今須他(2021)に詳細

将来の静止衛星観測に係わる検討会 "MInT" における活動

省庁を超えた情報交換の場

IRS/MTG-S をベースにしたOSSE研究

(岡本他, 2020a, b)

- ・気象庁気象予報システムを利用したパフォーマンス評価
- ・Physical retrieval による気温、水蒸気量鉛直分布の解析精度評価
- ・惑星境界層PBL(混合層)高の解析値の導入の有効性評価 (Priyith et al., 2016)

JAXAによる "TANSO-FTS/GOSAT"をベースにした"イメージングFTS"に関する フィジビリティ研究

(今須他, 2021)

- [ニーズ] ・温室効果ガス(GHG)の測定に関する環境省などからの行政ニーズ
・特に日変化 (ラッシュアワー、夜間のピークなど) の検出

[一案] ・**気象観測と GHG 観測の統合システム**

→ GOSAT のメインセンサーである TANSO-FTS に基づく静止衛星用システムについて、JAXAがその実現可能性の調査を開始

- [技術的課題] ・軌道高度: 600km→36,000km→光度: 1/3,600
・有効ビーム径を大きくすることが難しい

- [解決策(案)] ・前置光学系の採用(干渉効率の低下を避けるため、afocal比: Max.3)
・積分時間の増加 (IRS/MTG-S と同様に 10 秒程度)
・瞬時視野 (IFOV) の拡大 (4、8、12、16 km)

※ただし、"ショットノイズ" : "システムノイズ" = 2:1 を仮定)

"TANSO-FTS/GOSAT"をベースにした"イメージングFTS"

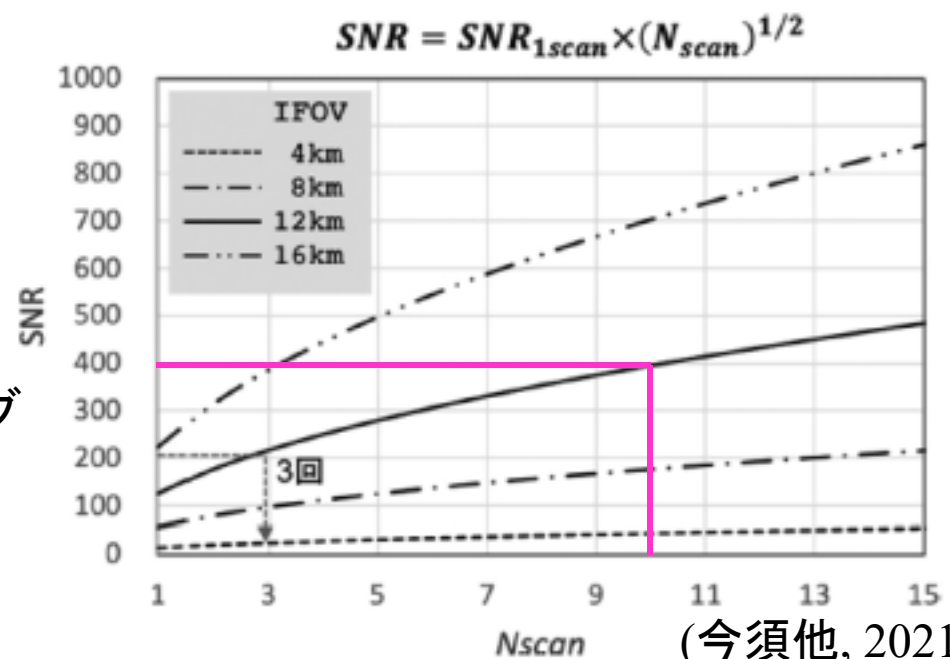
	TANSO-FTS	Scaling conditions for GeoHSS			
Orbital height	666km	36,000km			
Polarization	Yes	Non			
Afocal ratio	1	3			
Effective beam diameter	64mm	73mm			
Sampling interval	0.2cm ⁻¹	0.625cm ⁻¹			
Integration time	4sec	10sec			
IFOV	10.5km	4km	8km	12km	16km
Light intensity ratio	1	0.012	0.046	0.104	0.185
SNR _{1scan}	> 400	13.9	55.5	124.8	221.9

[結論]

- 気象観測とGHG観測の同時観測は、現時点では困難

[現実的な解決策]

- 気象観測とGHG観測のタイムシェアリング
- 重要度を指標にした観測域の局所化



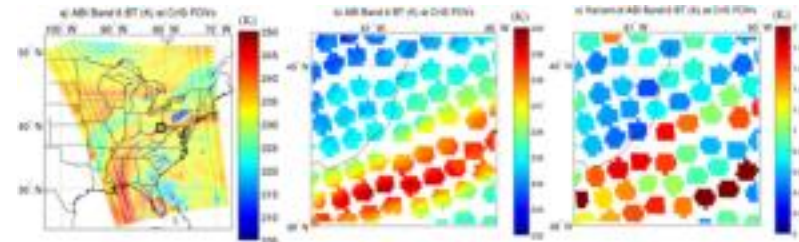
各種研究協力

【モデルー観測】

- ・モデル計算における「事前推定誤差の大きな所」を集中的に観測
- ・変分法(現業に有用)と Physical retrieval (鉛直構造の詳細解析が可能)の融合

【サウンダーイメージャ】

- ・イメージャによる晴天域の抽出後にサウンダによる観測
- ・両者融合による水蒸気分布の微細な水平構造の解析 (↓CrIS IFOV中のAVI)



【産学官連携】

- ・MInT(学)との連携
- ・アルゴリズム開発の大学等への委託(Wisconsin大学の例) (Di et al., 2021)
- ・サウンダデータ利用による予報精度の向上
→民間による予報業務精度の向上 (e.g., Adkins et al., 2021)

引用文献

- Adkins et al., Geostationary Extended Observations (GeoXO) Hyperspectral InfraRed Sounder Value Assessment Report, NOAA/NESDIS Technical Report, 103pp., doi.org/10.25923/7zvz-fv26, 2021.
- Di et al., Can current hyperspectral infrared sounders capture the small scale atmospheric water vapor spatial variations?, *Geo. Res. Lett.*, **48**, e2021GL095825, doi.org/10.1029/2021GL095825, 2021.
- 本多嘉明, 将来の静止衛星観測に係る検討会 (MInT), 静止気象衛星に関する懇談会第2回資料, https://www.data.jma.go.jp/sat_info/himawari/kondan/kai2/shiryou2_2-3.pdf, (アクセス:2023.3.9)
- 今須良一他, 次期静止ミッション検討会分科会における赤外サウンダー搭載に向けた検討, *J. Remote Sens. Soc. Japan*, **41**, <https://doi.org/10.11440/rssj.41.469>, 469-477, 2021.
- Menzel et al., Satellite-based atmospheric infrared sounder development and applications, *Bul. Amer. Meteor. Soci.*, **99**, 583-603, doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0293.1, 2018.
- Okamoto et al., Assessment of the Potential Impact of a Hyperspectral Infrared Sounder on the Himawari Follow-On Geostationary Satellite, *SOLA*, **16**, 162-168, [doi:10.2151/sola.2020-028](https://doi.org/10.2151/sola.2020-028), 2020a.
- 岡本幸三他, ひまわり8・9号後継衛星検討のためのハイパースペクトル赤外サウンダーの数値予報インパクト調査, *測候時報*, **87**, 99-150, 2020b.
- Prijith et al., Estimation of planetary boundary layer height using Suomi NPP-CrIS soundings, *Remo. Sens. Lett.*, **7:7**, 621-630, [doi:10.1080/2150704X.2016.1171921](https://doi.org/10.1080/2150704X.2016.1171921), 2016.
- Schmit et al., The GOES-R Advanced Baseline Imager and the Continuation of Current Sounder Products, *J. Appl. Meteor. Clim.*, **47**, 2696-2711, 2008.
- Smith et al., Technical Note: Evolution, current capabilities, and future advance in satellite nadir viewing ultra-spectral IR sounding of the lower atmosphere, *Atmos. Chem. Phys.*, **9**, 5563-5574, 2009.
- Smith et al., GHIS-The GOES High-Resolution Interferometer Sounder, *J. Appl. Meteor.*, **29**, 1189-1204, 1990.
- Wang et al., Trade-off studies of a hyperspectral infrared sounder on a geostationary satellite, *Appl. Opt.*, **46**, 200-209, 2007.

Thank you !

Minamitori-shima (南鳥島) observatory

