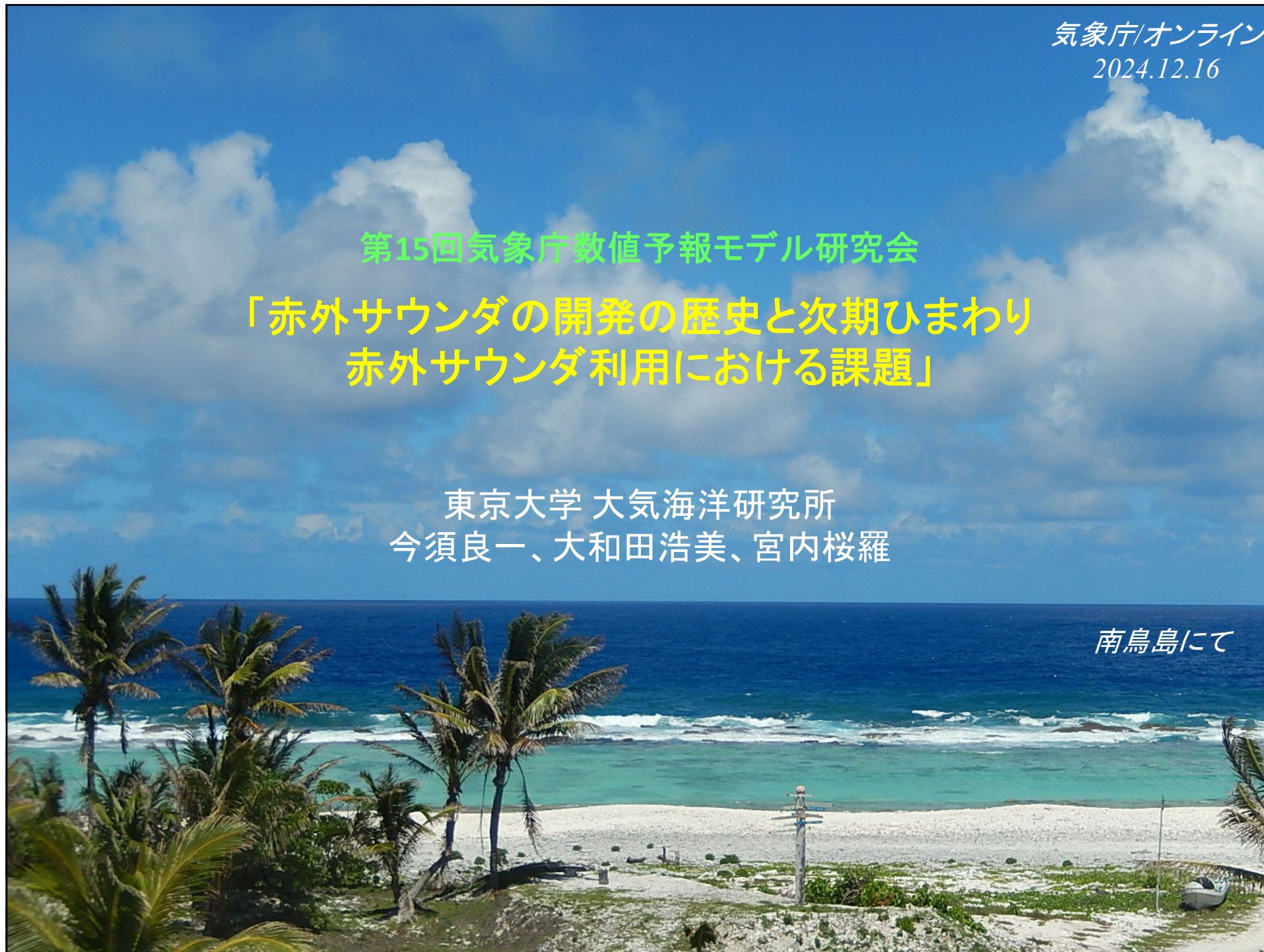


気象庁/オンライン
2024.12.16

第15回気象庁数値予報モデル研究会
「赤外サウンダの開発の歴史と次期ひまわり
赤外サウンダ利用における課題」

東京大学 大気海洋研究所
今須良一、大和田浩美、宮内桜羅

南鳥島にて



目次

赤外サウンダの開発の歴史

- ・気象・温室効果ガス観測の歴史
- ・日本の温室効果ガス観測衛星

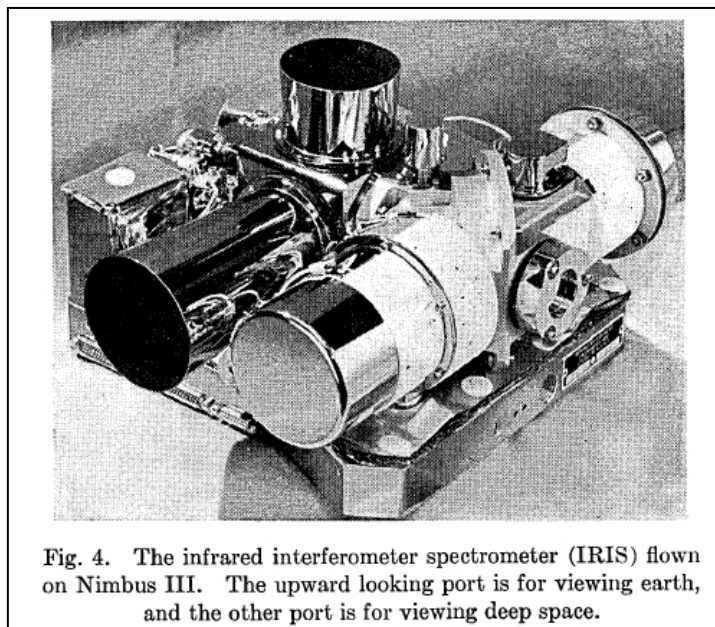
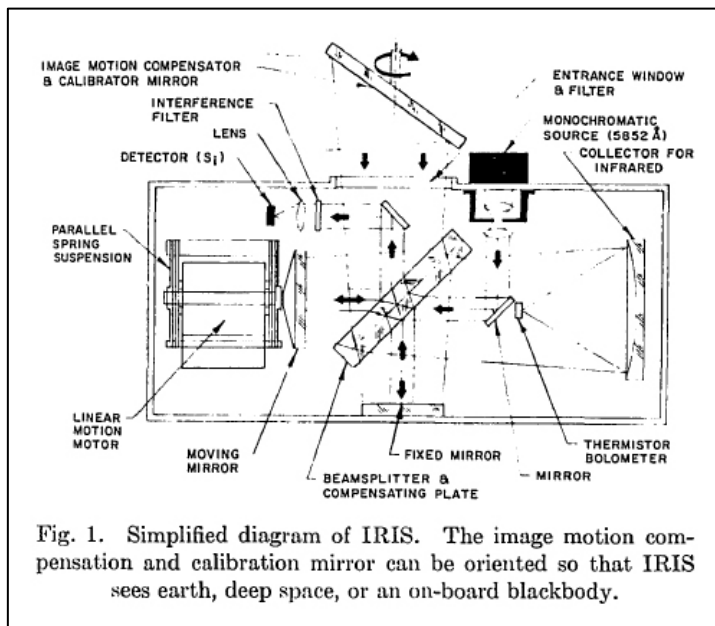
次期ひまわり搭載赤外サウンダに関連する研究

- ・赤外サウンダの基本性能に関連する検討事項
- ・赤外サウンダの運用に関連する事項
- ・予報業務への利用に関係するその他の課題
- ・温室効果ガス、その他微量成分の解析
- ・線量降水帯予測のための赤外サウンダ利用
 - どこを観測すべきか？(水蒸気の供給源)
 - 雲の影響(雲タイプ毎の解析の可否)
- ・OSSEにおける情報量についての一考

Hyper-spectral infrared sounders (nadir looking)

0 1960s- 1970s	1 st generation 1990s	2 nd generation 2000s - 2010s	3 rd generation 2020s - 2030s
IRIS	IMG	TANSO-FTS/GOSAT TANSO-FTS-2/GOSAT-2	(grating) GOSAT-GW
HIRS* *filter	TES	CrIS/NPOESS • NPP	
(grating)	AIRS	OCO, OCO-2, OCO-3 TanSat	IASI-NG IRS/MTG
			GeoCARB

First Space-FTS : IRIS on Nimbus3/4



(Hanel et al., 1970)

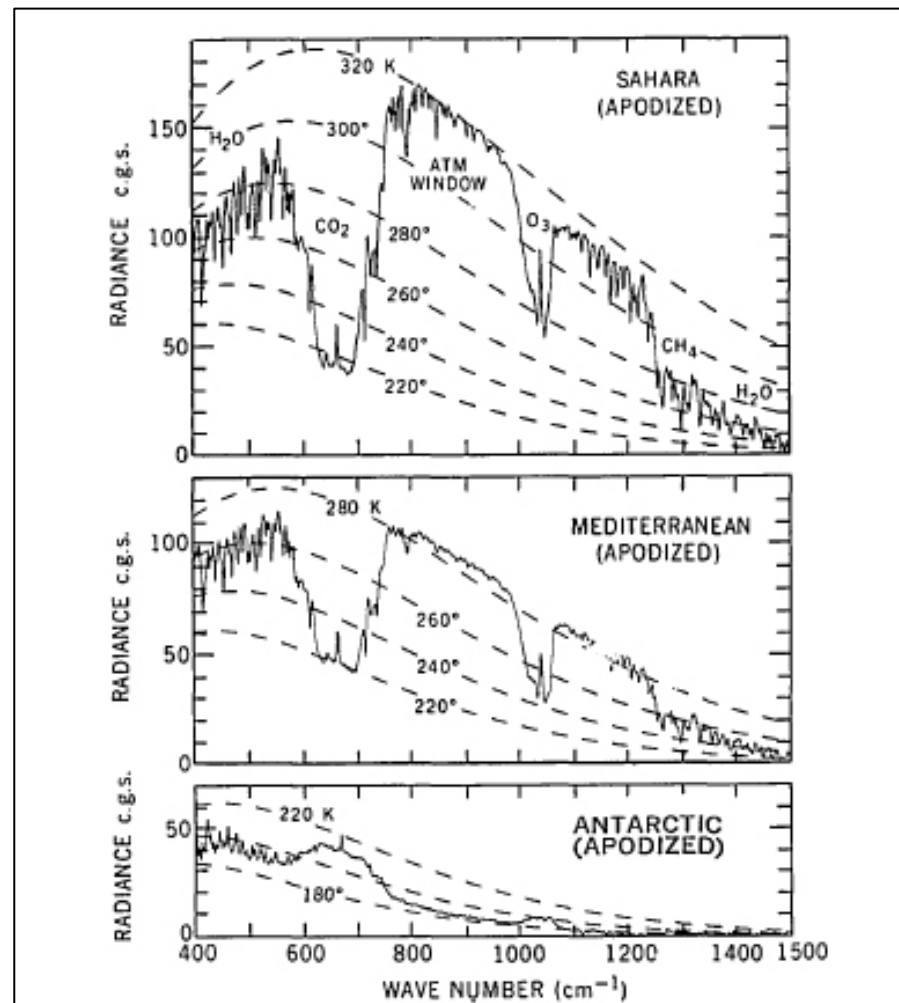
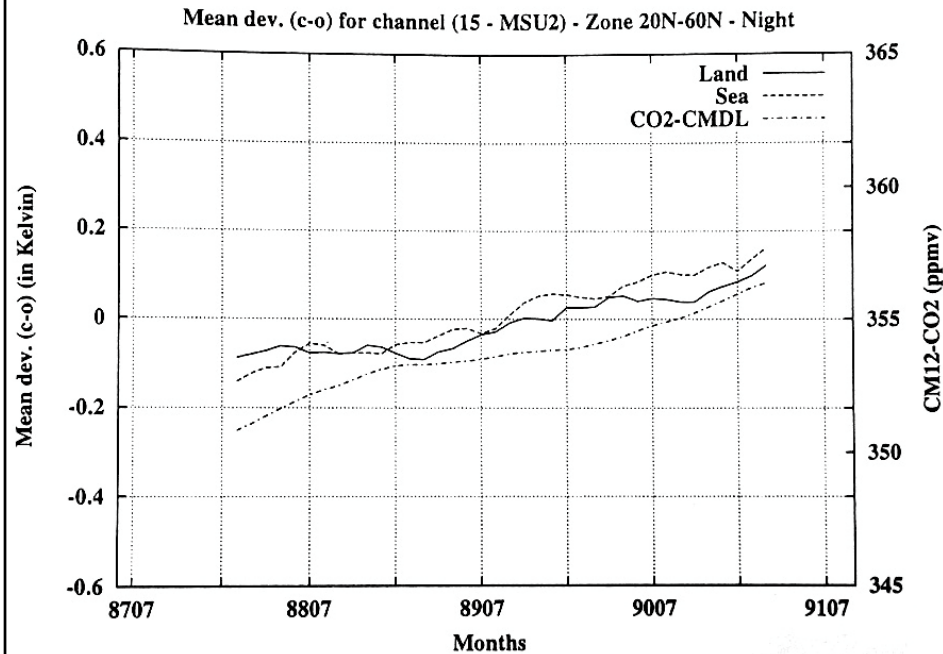


Fig. 6. Thermal emission spectra recorded by IRIS-D on Nimbus 4. The apodized spectra have a spectral resolution between 2.8 cm⁻¹ and 3 cm⁻¹. A hot desert case, an intermediate case over water, and an extremely cold spectrum recorded over the Antarctic are shown. Radiances of blackbodies at several temperatures are superimposed.

(Hanel et al., 1971)

CO₂衛星観測の始まり

“HIRS”と“MSU2”の解析から求められた
輝度偏差のトレンド



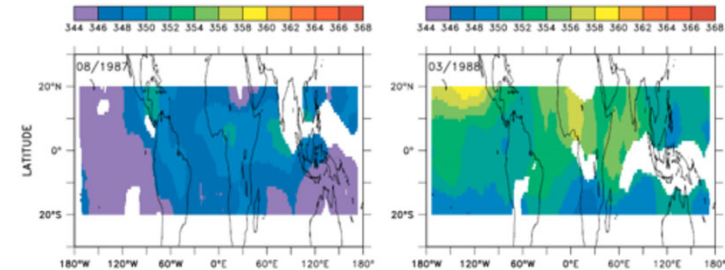
(Chedin et al., 2002)

初めてのCO₂濃度のマッピング

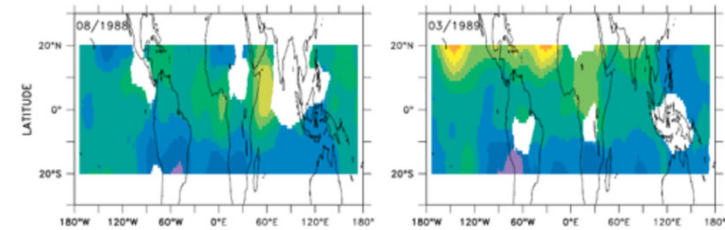
August

March

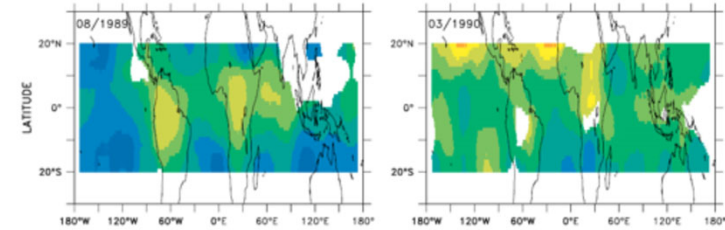
1987



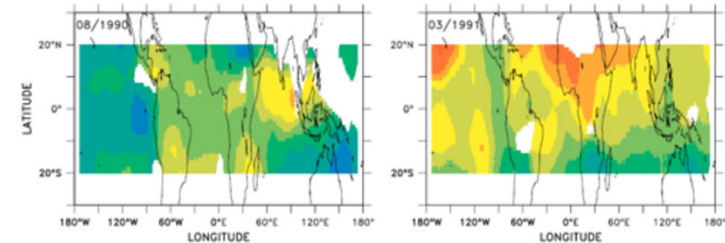
1988



1989



1990



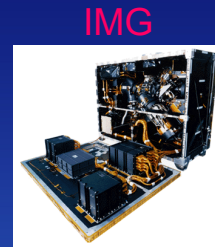
(Chedin et al., 2003JD003439)

温室効果ガス観測に用いられてきた赤外サウンダなど

(極軌道、下方視のみ)

[Thermal IR sounders]

- (IRIS / Nimbus 3, 4 (1969.4))
- HIRS(TOVS) / NOAA (1971-)
- IMG / ADEOS (1996.8: Japan)
- AIRS / Aqua (2002-)
- TES / Aura (2004.7-)
- IASI / Metop-1, 2, 3, NG (2006-)
- CrIS / NPP (2011.10), NPOESS (2015)
- IRS / MTG-S (2022)



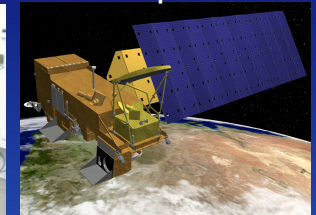
IMG



ADEOS



AIRS



Aqua



IASI



Metop



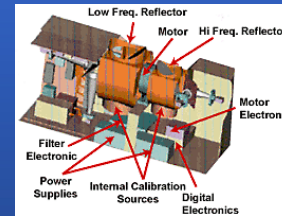
TES



Aura



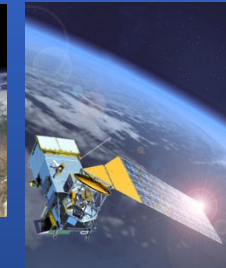
Sentinel



CrIS



NPP



NPOESS

[GHG satellite missions]

- TANSO/GOSAT (2009: Japan)
- TANSO-2/GOSAT-2 (2014: Japan)
- OCO-2 (2014) (OCO failed, 2009)
- OCO-3 (2019)
- TanSat (2016), ...



GOSAT



OCO



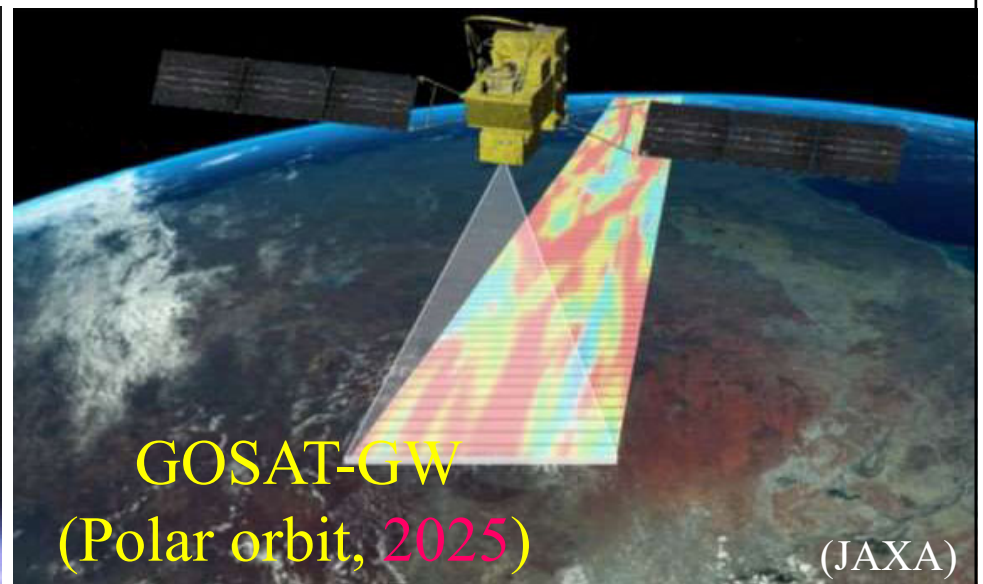
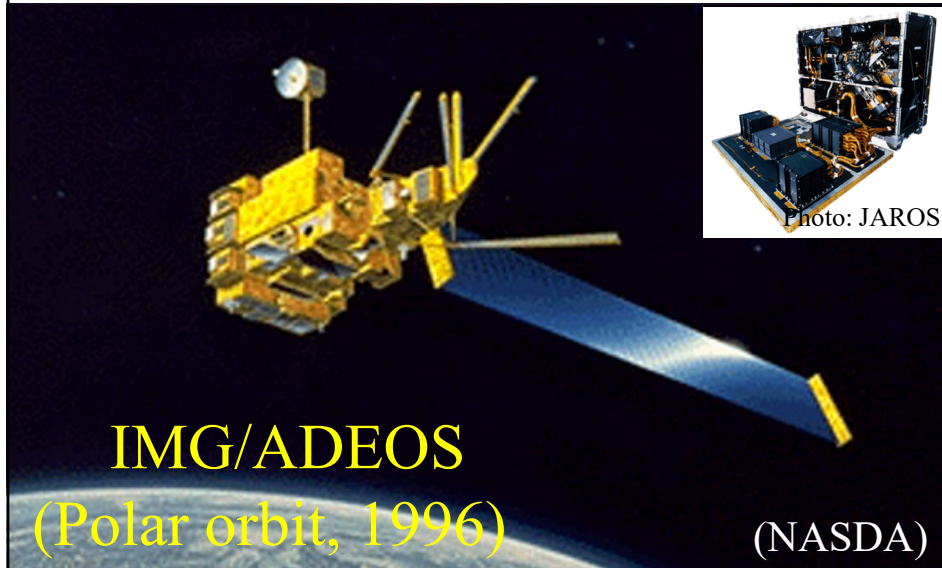
TanSat

[Others]

- SCIAMACHY (2002-2012)

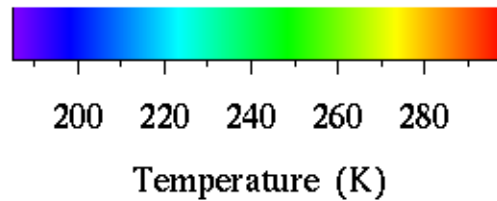
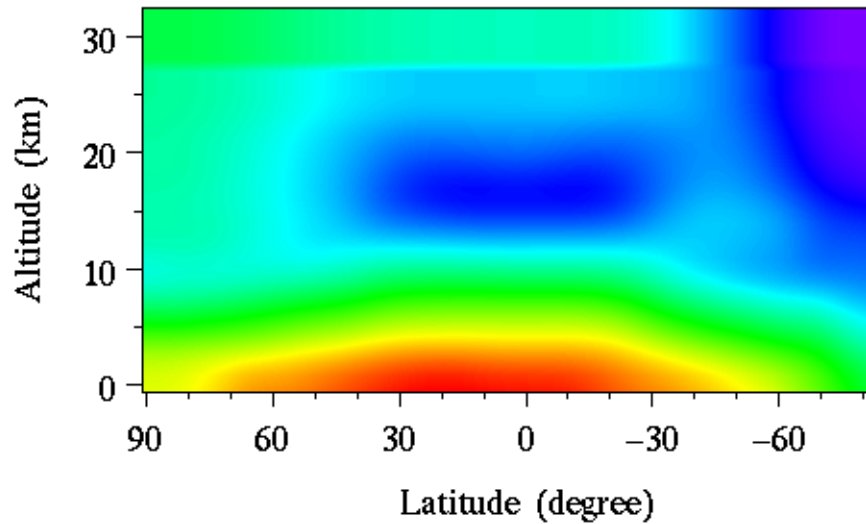
(太田、今須)

日本の温室効果ガス観測衛星

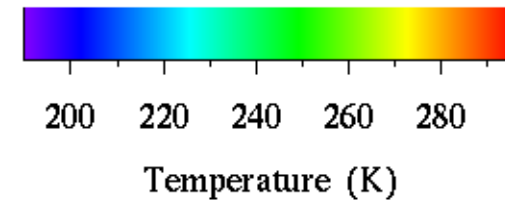
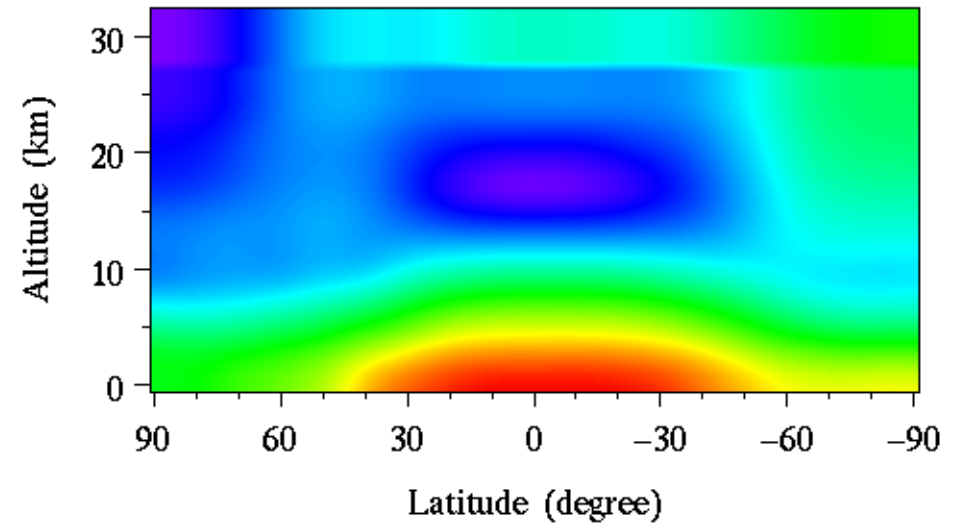


IMG/ADEOSにより観測された気温の緯度高度断面

北半球夏 1997.7.1



北半球冬 1997.1.1

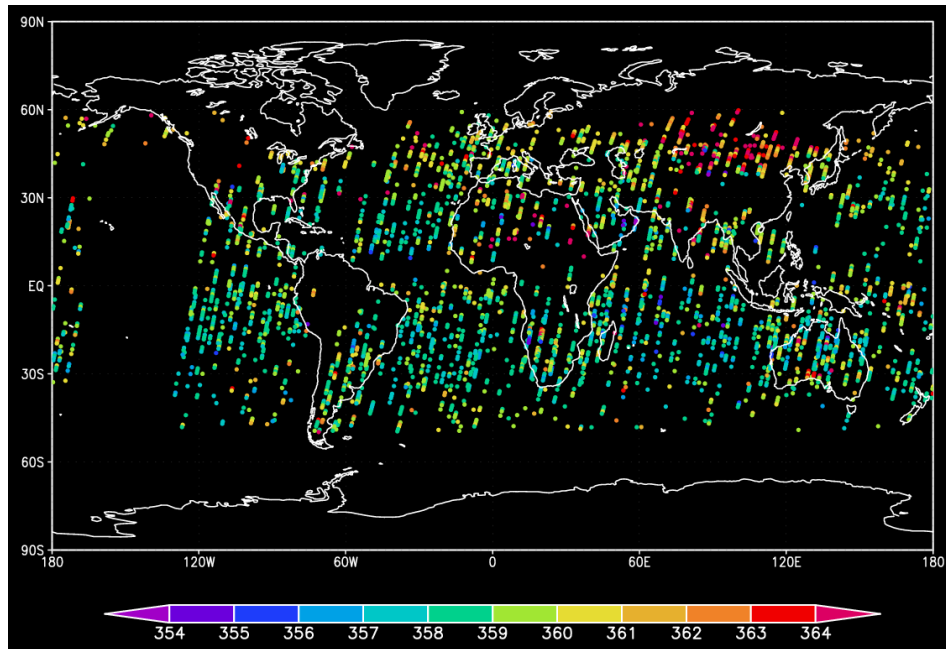


(Imasu, 1998)

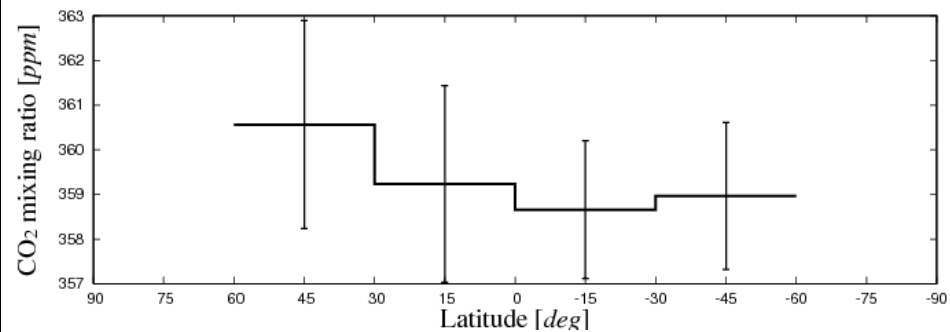
- ・北半球成層圏の低温により、オゾンホール、PSCsが報告された
- ・NASAニューズレターの表紙に日本の衛星による観測として紹介

IMG/ADEOSデータから解析されたCO₂濃度

1997.4 500hPa

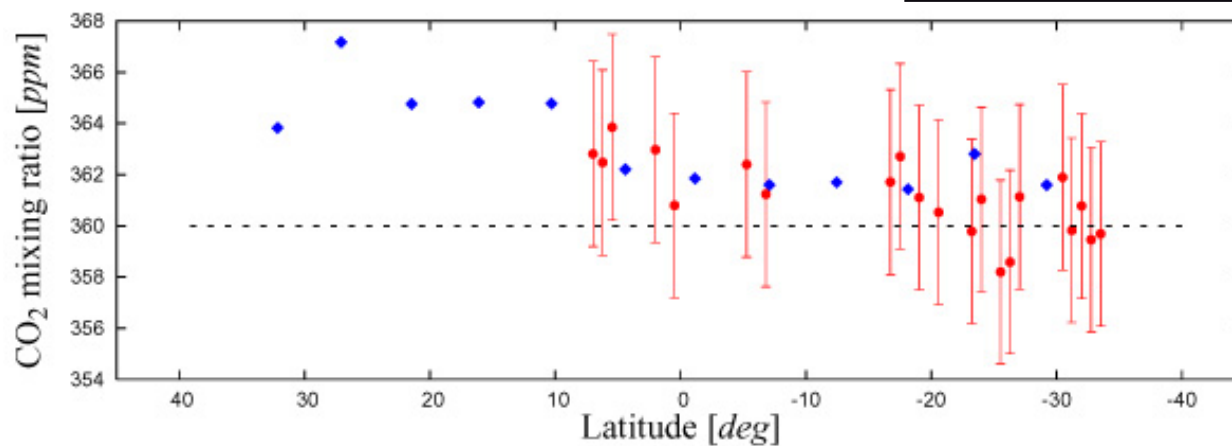


1997.4 500hPa

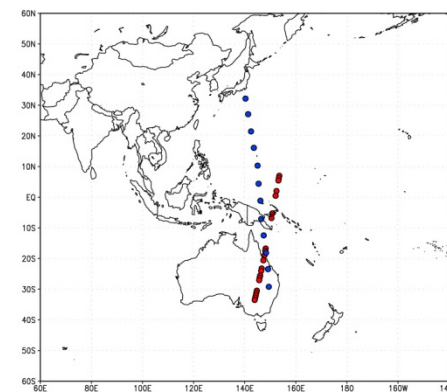


(誤差棒: 帯状平均の分散値)

1997.4.25



Red : IMG - clear sky
Blue : JAL (sampling)



(Ota and Imasu, JMSJ, 2016)



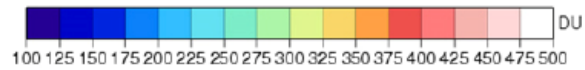
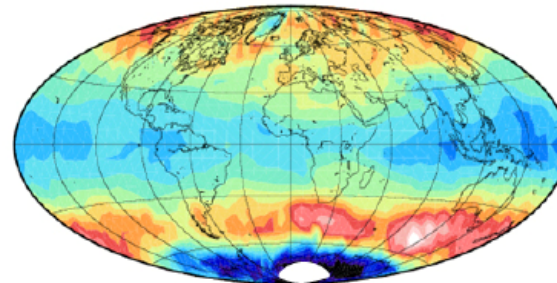
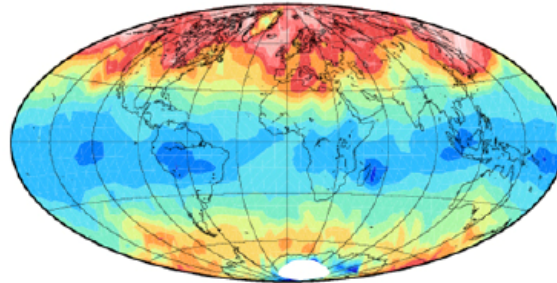
GOSAT TANSO-FTS (TIR)

【オゾンホール: 気柱積算 O_3 】



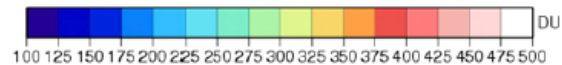
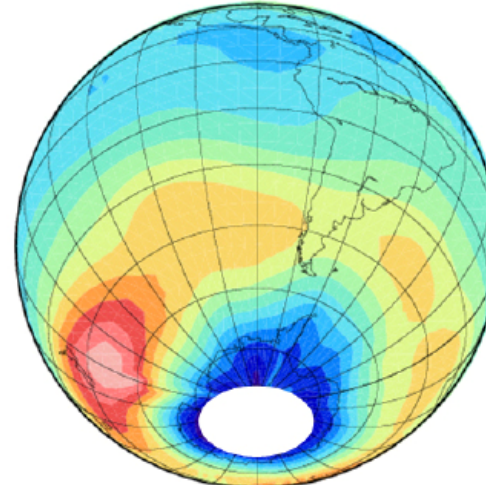
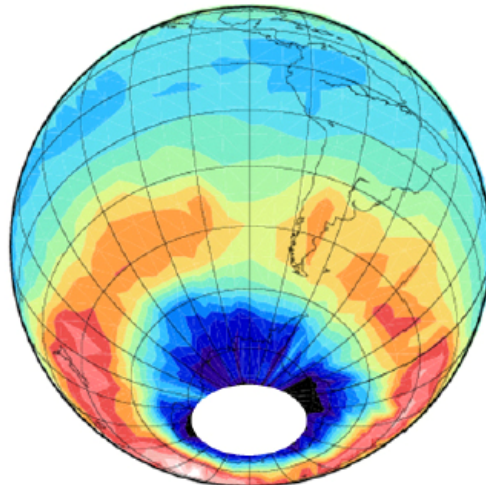
April 6~8, 2009

September 16~18, 2009



September 16~18, 2009

September 17~19, 2010



(Imasu et al, SPIE, 2010, doi: 10.1117/12.870684)



GOSAT TANSO-FTS (TIR)

【アンモニア: 気柱積算 NH_3 】

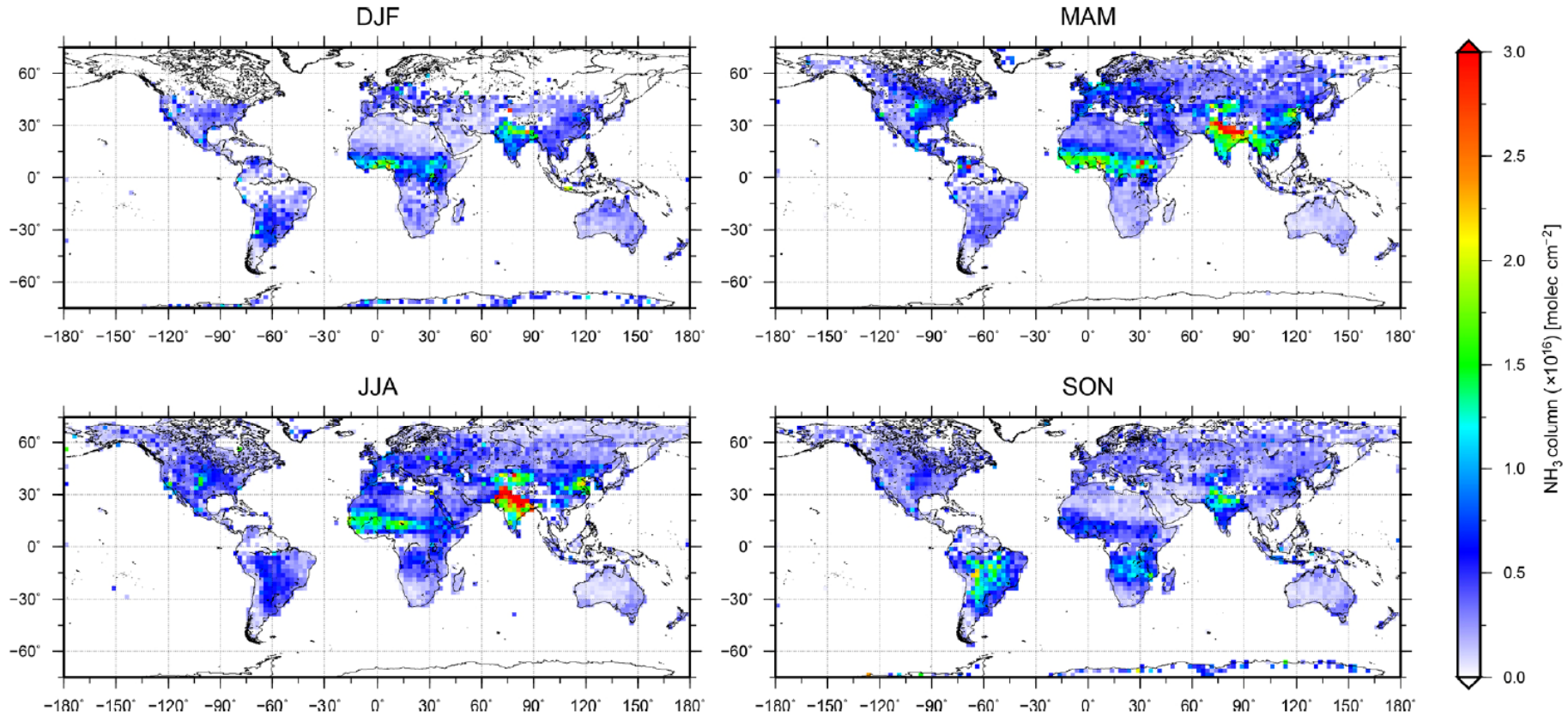


Figure 3. Horizontal distributions of ammonia column amounts for each season: December through February (DJF); March through May (MAM); June through August (JJA); and September through November (SON); as retrieved from GOSAT over $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ grids averaged from April 2009 to May 2014.

(Someya et al., AMT, 2020)



GOSAT TANSO-FTS (TIR)

【アンモニア: 気柱積算 NH_3 】



水蒸気(連続吸収帯、吸収線)の効果を適切に取り除くため、一般的には気温、水蒸気を先に解析 (sequential analysis)

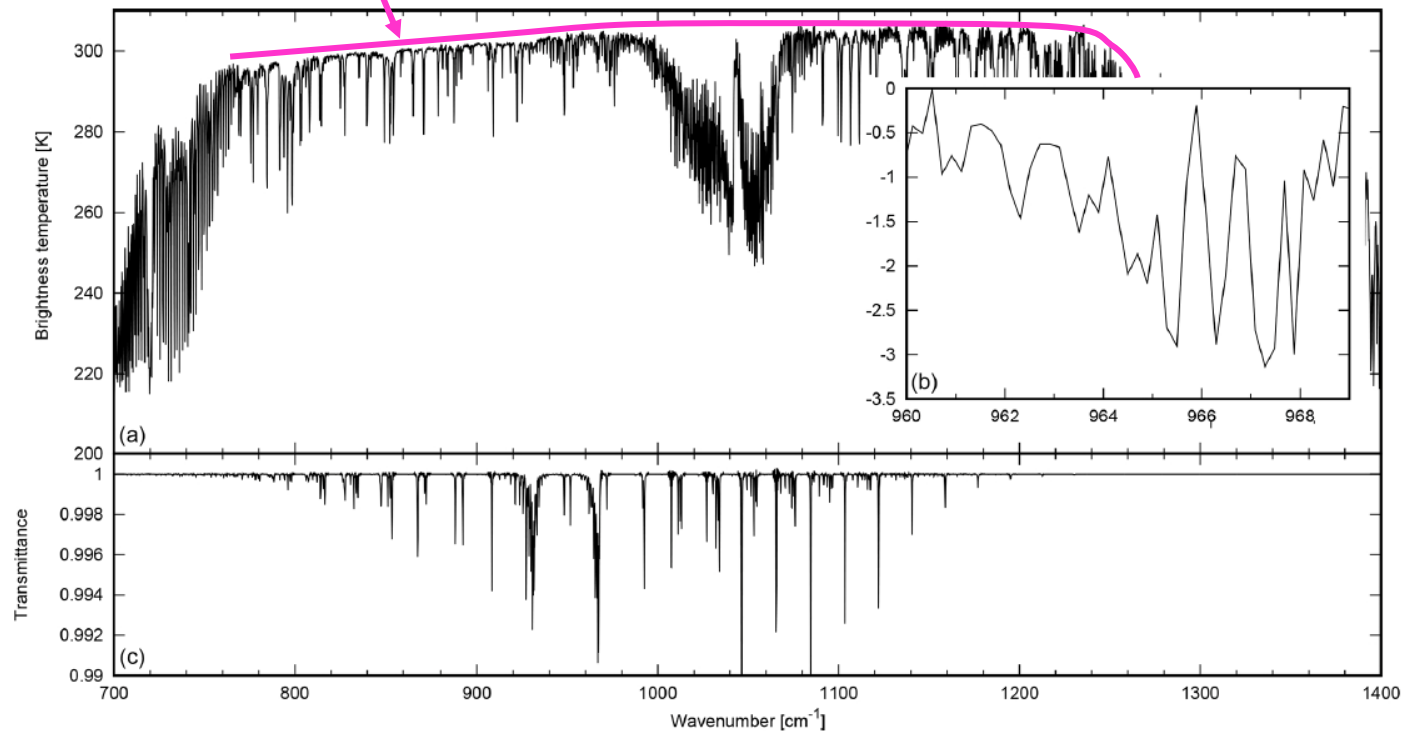


Figure 1. Observed spectra by GOSAT at (75.85° E, 29.80° N) on 15 July 2013 (a), the residuals between the observed spectra and the one calculated without NH_3 (b), and NH_3 transmittance using the AFGL profile (c).

(Someya et al., AMT, 2020)



GOSAT TANSO-FTS (TIR)

【一酸化二窒素: 気柱平均 N_2O 濃度】



GOSAT_TIR

LMD₂-OR-INCAモデル

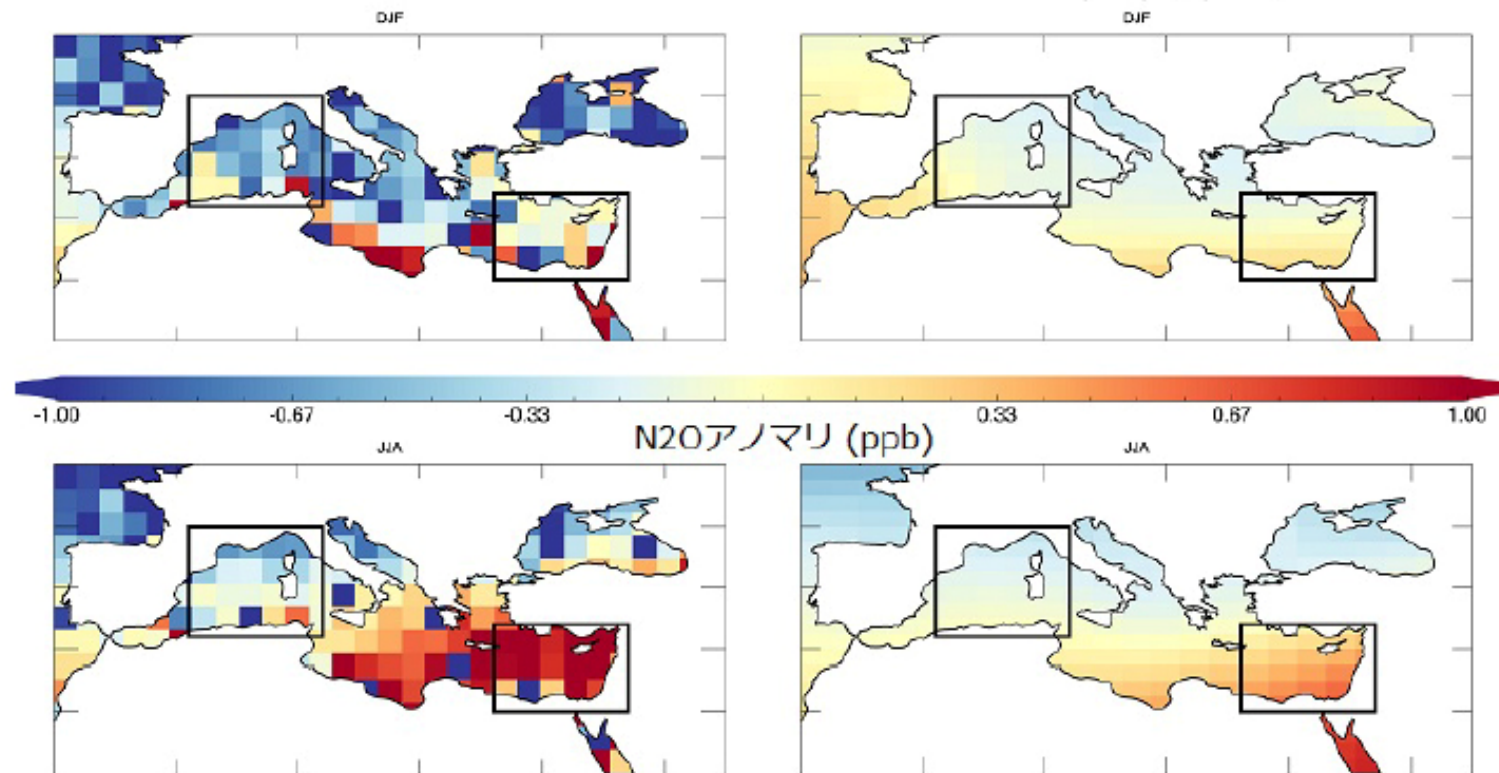


図4 314 hPaにおける N_2O 濃度の2010-2013年平均からのアノマリ(Kangah *et al.* [2017]の図4を一部改変)。左側がTANSO-FTSのTIRバンドの観測データ, 右側がLMD₂-OR-INCAのモデルデータ。上側が冬季(12-2月), 下側が夏季(6-8月)。

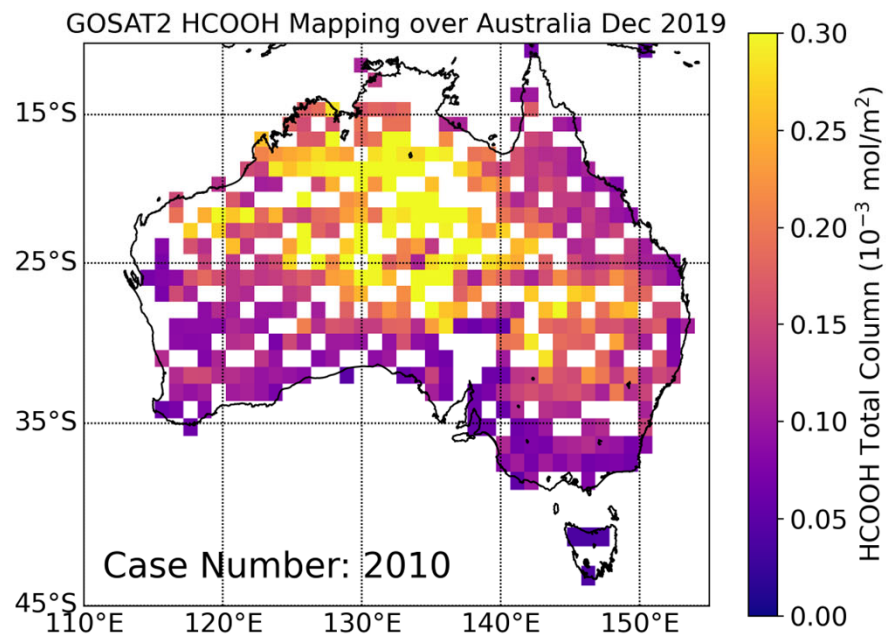
(Saitoh, 大気化学研究, 2018)



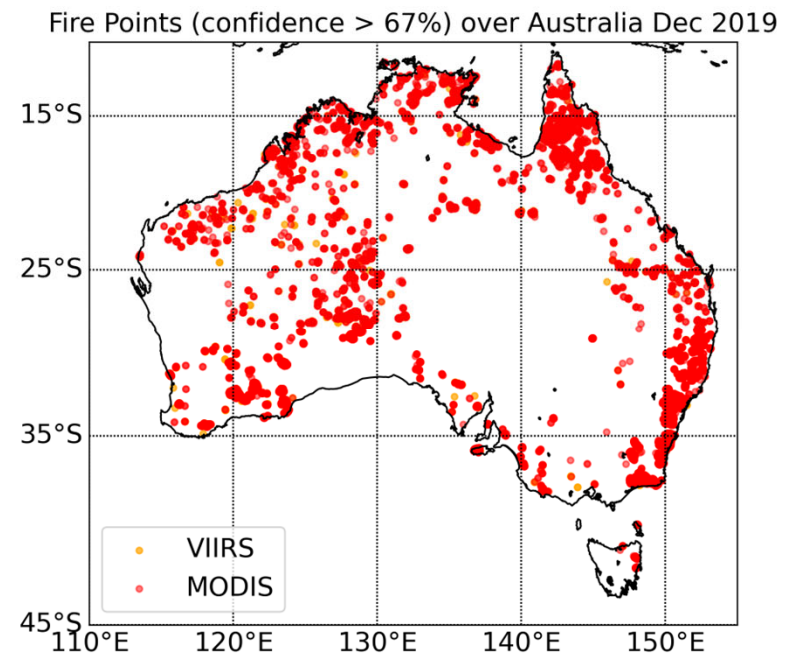
GOSAT-2 TANSO-FTS-2 (TIR)

【 ギ酸: 気柱平均 HCOOH 濃度 】

GOSAT-2_TIR



Fire points (MODIS, VIIRS)



森林火災とギ酸濃度が良い相関にある

(Xin et al., AGU-FM24, 2024)

目次

赤外サウンダの開発の歴史

- ・気象・温室効果ガス観測の歴史
- ・日本の温室効果ガス観測衛星

次期ひまわり搭載赤外サウンダに関連する研究

- ・赤外サウンダの基本性能に関連する検討事項
- ・赤外サウンダの運用に関連する事項
- ・予報業務への利用に関係するその他の課題
- ・温室効果ガス、その他微量成分の解析
- ・線上降水帯予測のための赤外サウンダ利用
 - どこを観測すべきか？(水蒸気の供給源)
 - 雲の影響(雲タイプ毎の解析の可否)
- ・OSSEにおける情報量についての一考

【基本性能に関連する検討事項】

- ・装置関数、SNR(Signal to noise ratio)の打ち上げ前評価、黒体射出率評価
- ・アポダイジングの適用の可否
- ・黒体校正頻度、内部放射評価

【運用に関連する事項：観測モードと観測の優先領域】

- ・観測モード：1) ディスク観測、2) 日本域観測、3) 機動観測の3パターン？
- ・一定時間に観測可能なサウンディング数が限られる場合の優先度
 - a) **線上降水帯**や**台風**などの周辺部を優先
 - b) GHMIで**晴天**と判別された点を優先
 - c) 気象予報の**事前推定誤差が大きい地点**を優先

【予報業務への利用に関係するその他の課題】

- ・4D-Varの**線形な観測演算子**による計算と Full Physicsのiterationによる**非線形性補正の効果**との違い
- ・4D-Varの気温、水蒸気、地表面状態に関する**共分散行列の最適化**の結果と、Full Physicsにおける **Sequential Retrieval** 結果との比較

温室効果ガス、その他微量成分の解析

【GHG観測に関する潜在的なユーザー要求】

- ・環境省などによるGHG観測への期待

【微量気体成分】

- ・IRS/MTG-Sを用いた微量気体成分の解析:ESAやパリ大学のグループによる詳細な研究
- ・欠測波長域($1095\text{-}1689\text{cm}^{-1}$) → 水の同位体(HDO)に感度無し

【スペクトルデータの公開、観測要求の可否】

- ・そもそもスペクトルデータが公開されるのか？
- ・気象用に情報量を減らしたスペクトルで微量成分の情報が残っているのか？
- ・観測要求(要望)を受け付けてもらえるのか？
- ・受け付けて貰える場合、最初の交渉のみ？ or イベント対応も？
- ・FTSの装置関数(ILSF)は公開されるのか？

※観測立案やユーザー要求に関する議論を行う場を、是非、設けて頂きたい！

目次

赤外サウンダの開発の歴史

- ・気象・温室効果ガス観測の歴史
- ・日本の温室効果ガス観測衛星

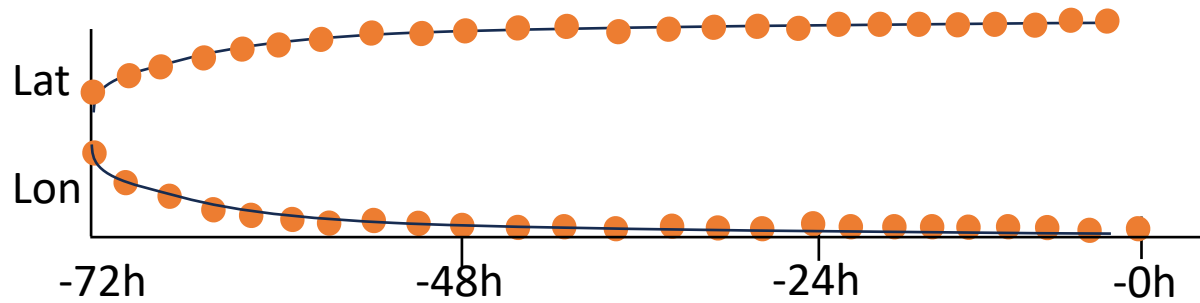
次期ひまわり搭載赤外サウンダに関連する研究

- ・赤外サウンダの基本性能に関連する検討事項
- ・赤外サウンダの運用に関連する事項
- ・予報業務への利用に関係するその他の課題
- ・温室効果ガス、その他微量成分の解析
- ・**線上降水帯予測のための赤外サウンダ利用**
 - どこを観測すべきか？(水蒸気の供給源)
 - 雲の影響(雲タイプ毎の解析の可否)
- ・OSSEにおける情報量についての一考

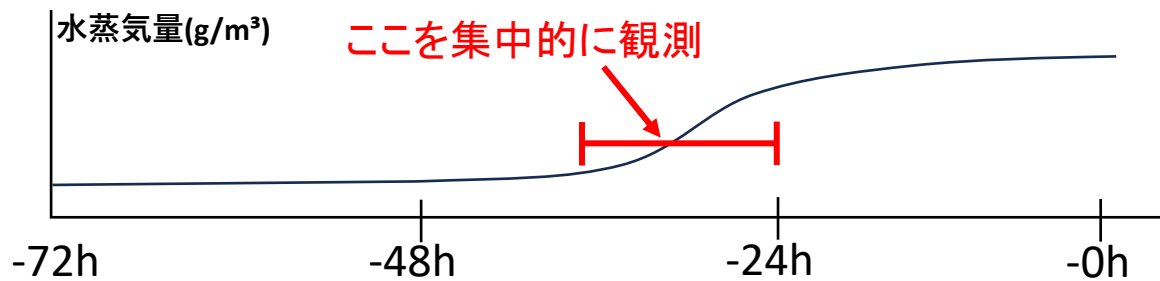
線上降水帯予測のための赤外サウンダ利用

- ・どこを観測すべきか？
(線上降水帯に供給される水蒸気はどこから？)
- ・どれくらい観測できるのか？
(雲の影響)
- ・どれくらいの精度で観測できるのか？
(絶対精度、鉛直分解能)
- ・どれくらい役に立つのか？
(線上降水帯の発生予測、降水量の予測)

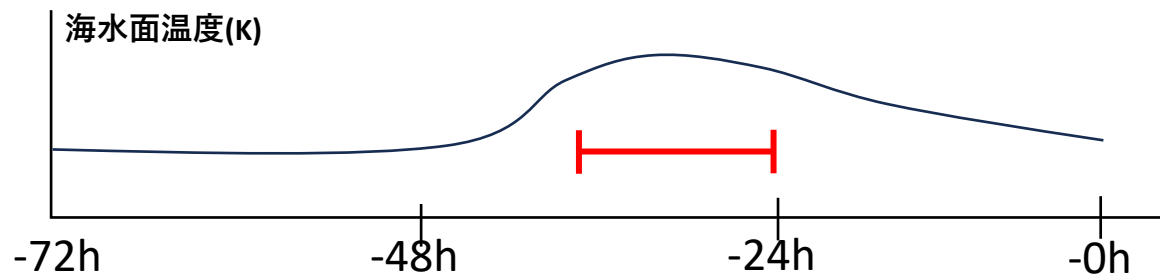
後方流跡線(トラジェクトリー)解析に基づく解析



流跡線上での気塊
の位置



気塊内の水蒸気量



(海面温度)



雲タイプ

Clear Ci Ci Clear Clear Clear Cs Cu Cb

流跡線上の気塊の位置で
の雲タイプ・雲量

→ 観測の可否、精度評価

(by 宮内桜羅, AORI)

「2023年7月に島根県東部で発生した線状降水帯」

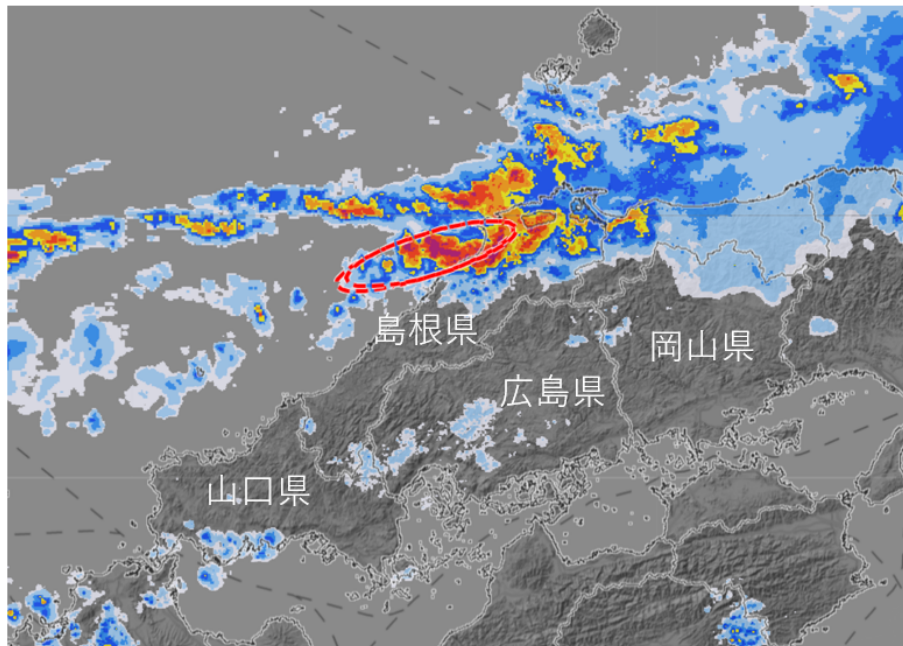
<https://www.bousai-top.com/entry2.html#number44>

日時: 2023年7月8日 7:39

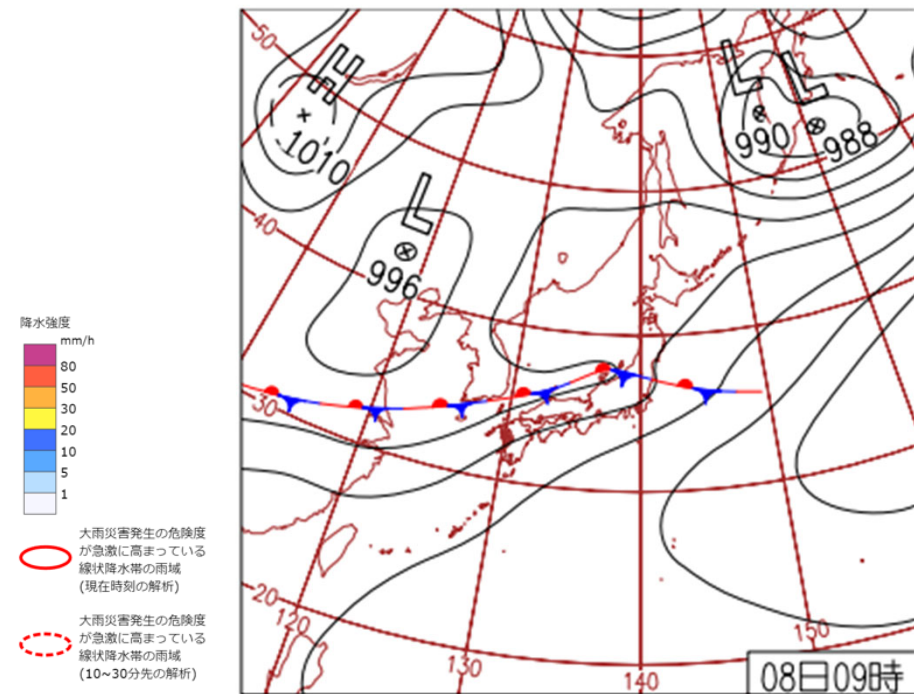
場所: 島根県東部

原因: 山陰沖の梅雨前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込み大気が不安定

雨雲の動き 2023年7月8日07時45分



2023年7月8日の雨雲レーダー(気象庁)



2023年7月8日の天気図(気象庁)

(by 宮内桜羅, AORI)

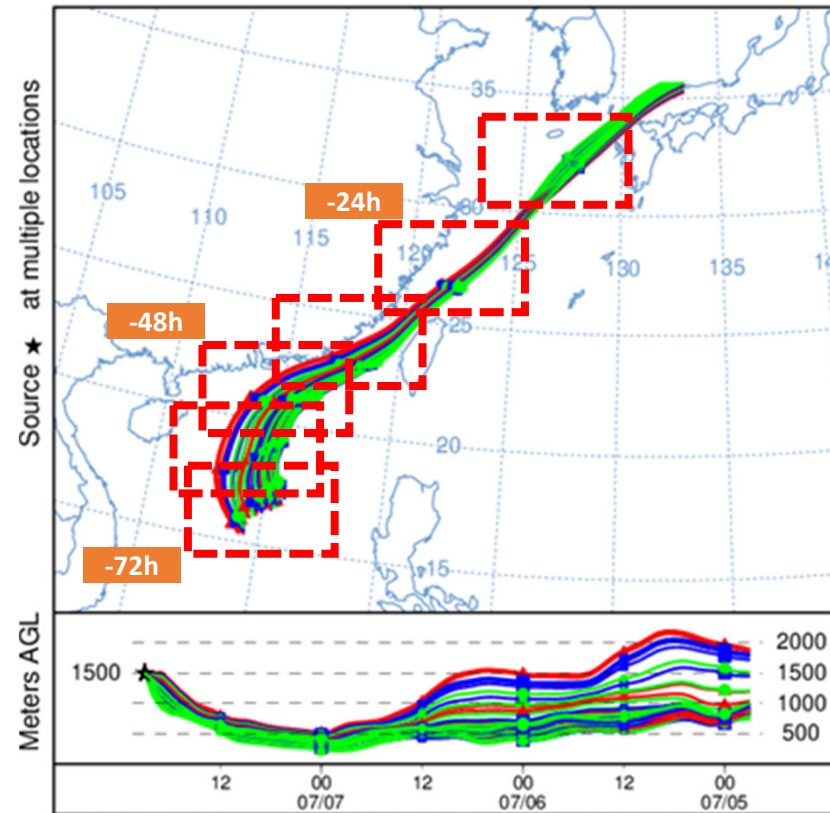
後方流跡線解析

使用ツール: HYSPLIT (NOAA)

使用データ: GDAS

解析時間 : 72時間(12時間毎にマッピング)

出発点高度: 500m、1000m、1500m、2000m



1500m高度における後方流跡線解析結果

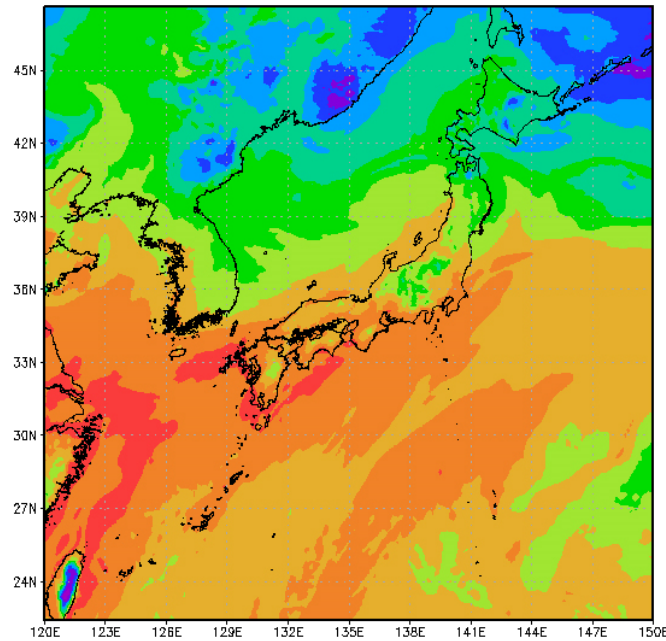
(by 宮内桜羅, AORI)

「2023年7月に島根県東部で発生した線状降水帯」

<https://www.bousai-top.com/entry2.html#number44>

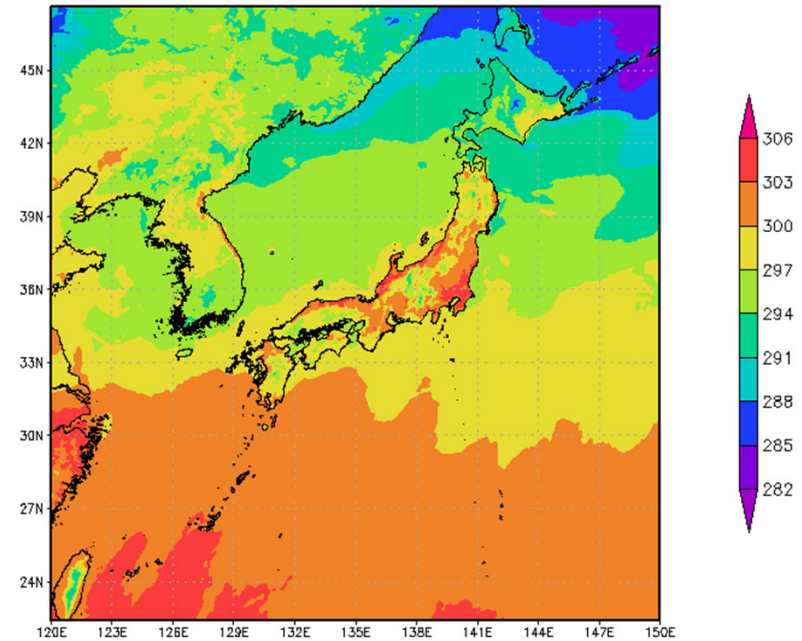
水蒸気量 (地表)

vapor mass(g/m³) 2023.07.08 00:00(UTC)



海面(地表面)温度

Surface Temperature 20230707 21:00(UTC)



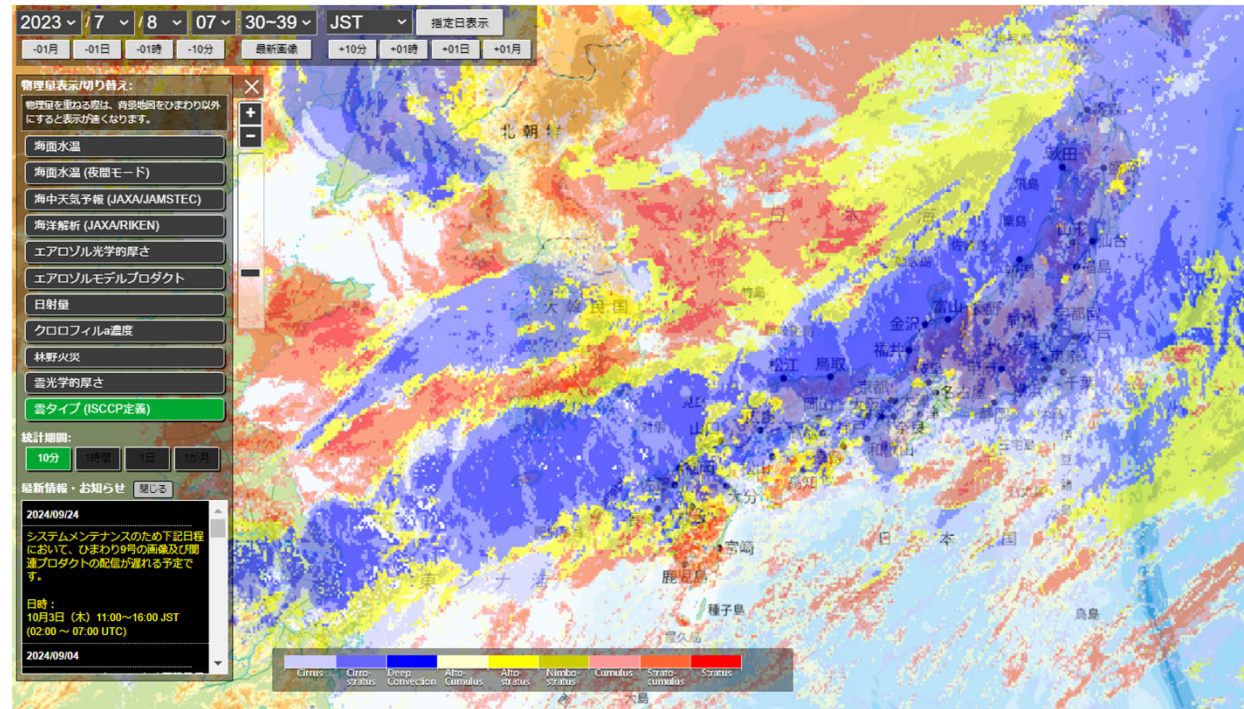
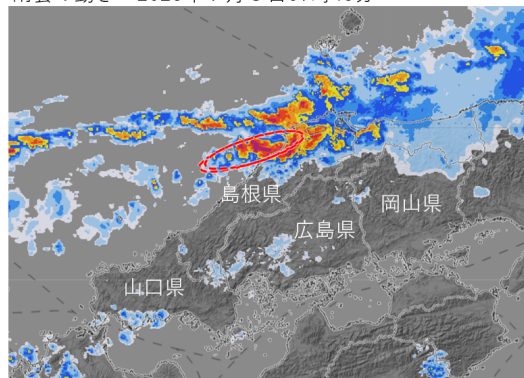
「2023年7月に島根県東部で発生した線状降水帯」

<https://www.bousai-top.com/entry2.html#number44>

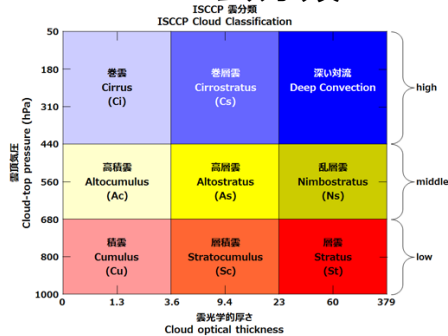
JAXAひまわりモニタ 分野横断型プロダクト提供システム(P-Tree)

https://www.eorc.jaxa.jp/ptree/userguide_j.html

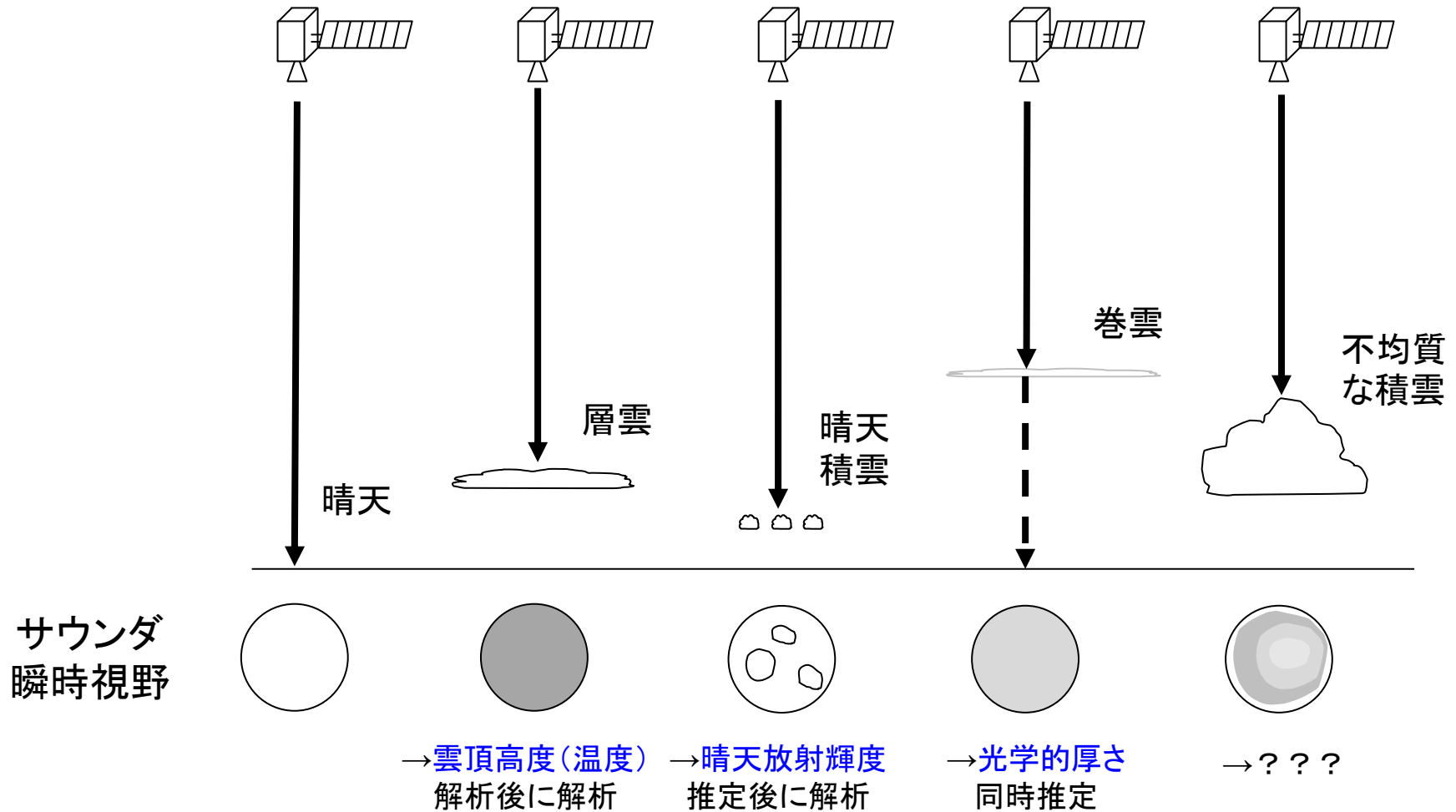
雨雲の動き 2023年7月8日07時45分



ISCCP雲分類



サウンダ視野内の雲タイプに応じた気温、水蒸気量の解析方法

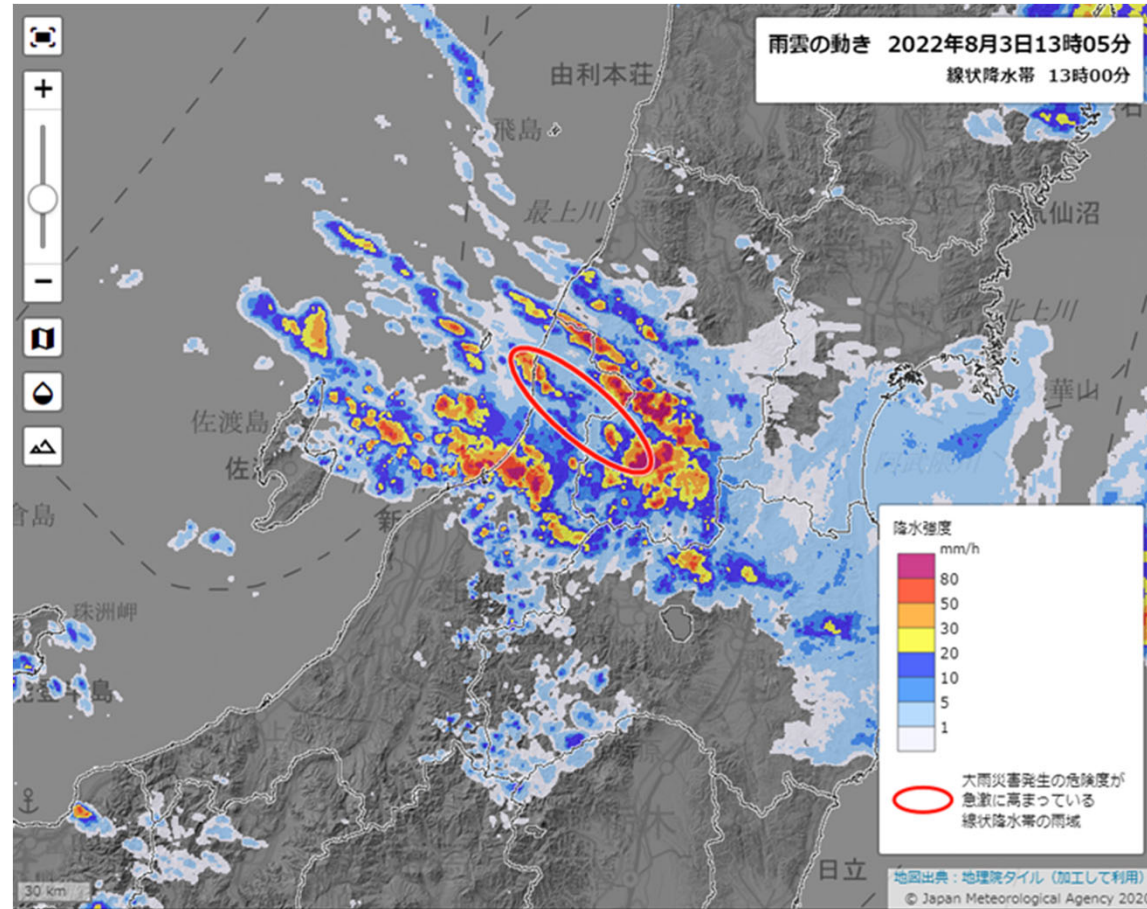


イメージャーとの複合利用が重要

(Imasu et al., 気象学会秋季, 2023)

「令和4年8月、山形県、新潟県で発生した線状降水帯」

<https://www.bousai-top.com/entry2.html#number13>

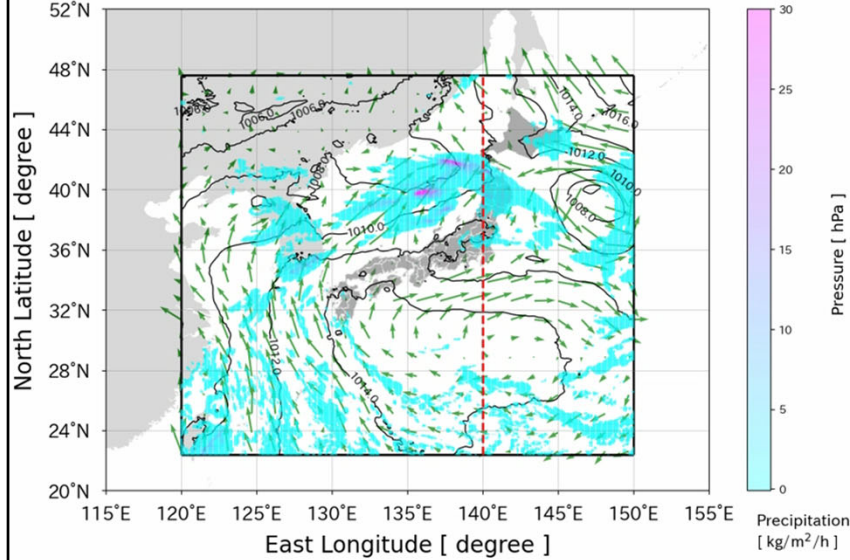


- ・水蒸気の流れをどれだけ把握できるか
- ・大気安定度をどれだけ推定できるか

「令和4年8月、山形県、新潟県で発生した線状降水帯」

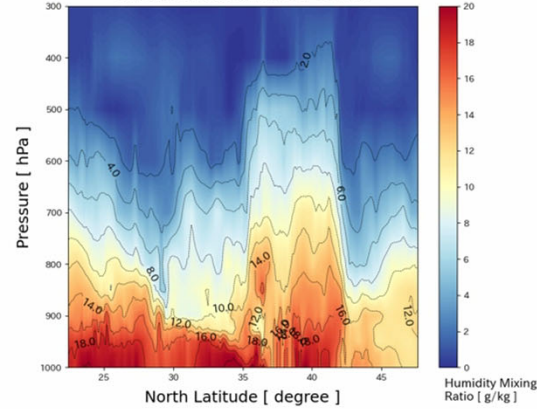
<https://www.bousai-top.com/entry2.html#number13>

2022/08/03 00:00 (JST)
MSM-GPV surface data



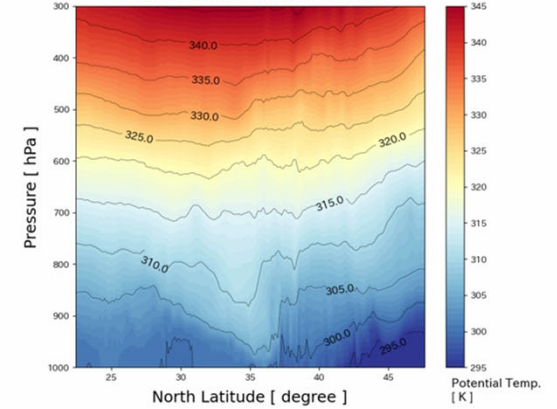
水蒸気混合比

2022/08/03 00:00 (JST)
CROSS SECTION: LON=140.0

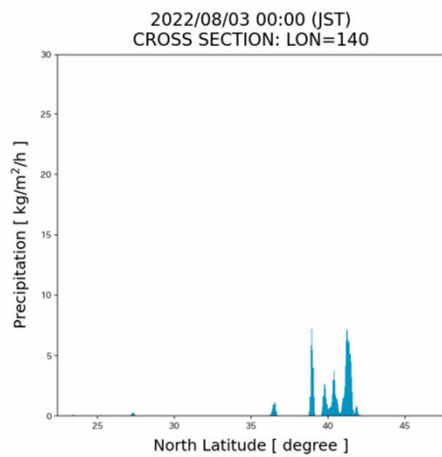


温位

2022/08/03 00:00 (JST)
CROSS SECTION: LON=140.0

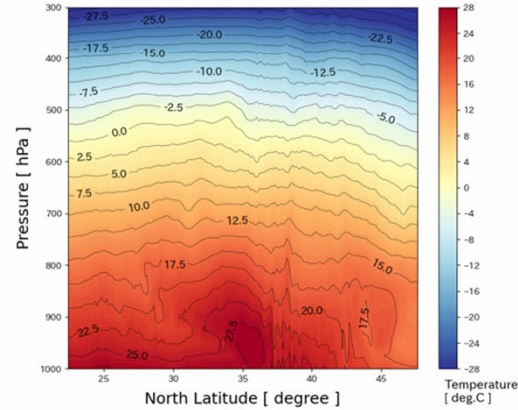


降水量



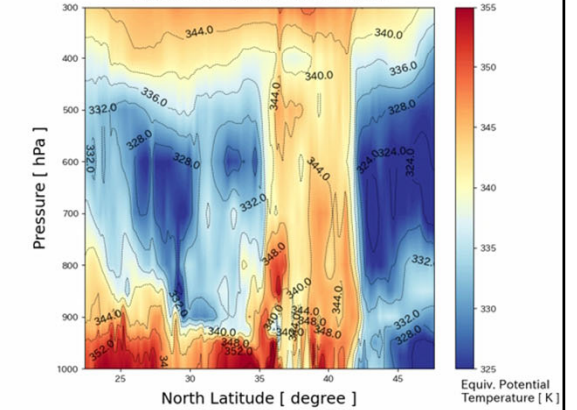
気温

CROSS SECTION: LON=140.0



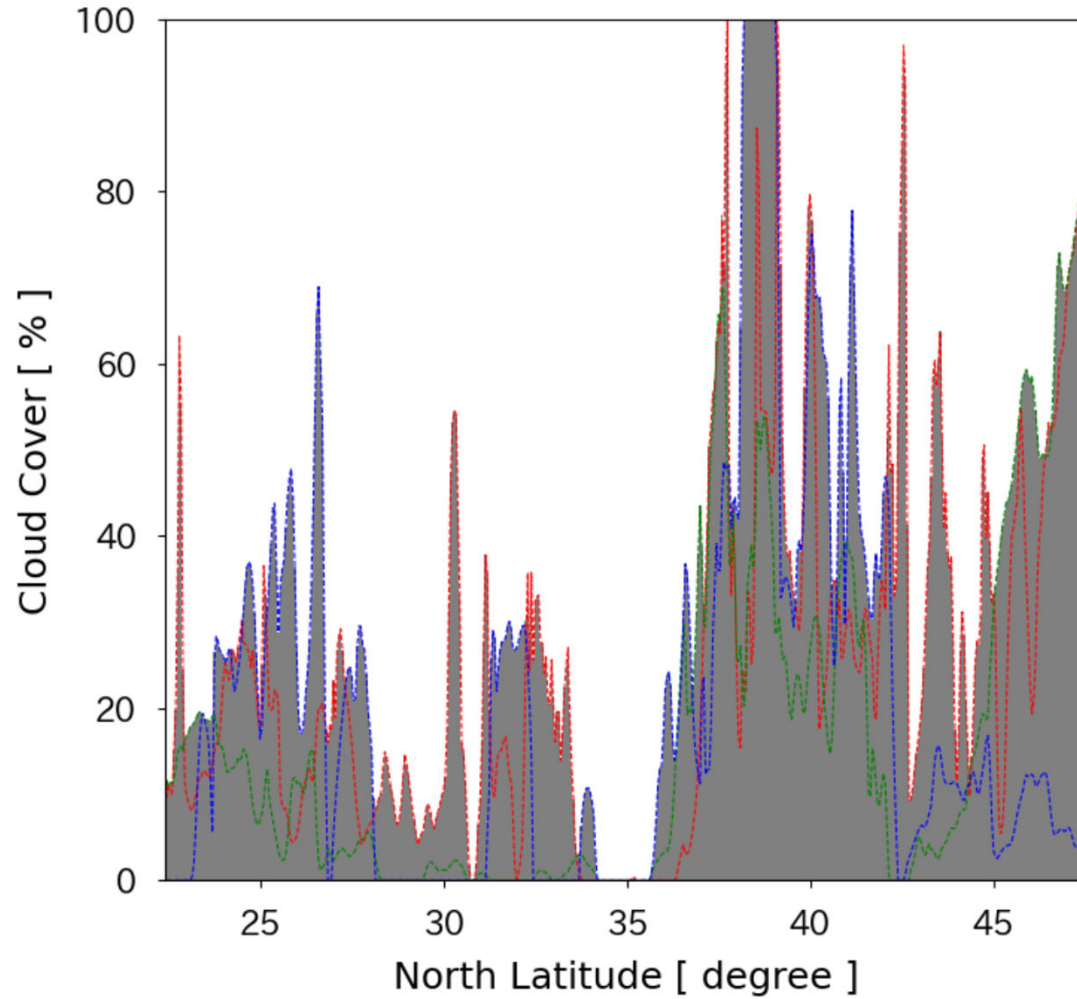
相当温位

CROSS SECTION: LON=140.0



雲の被覆率

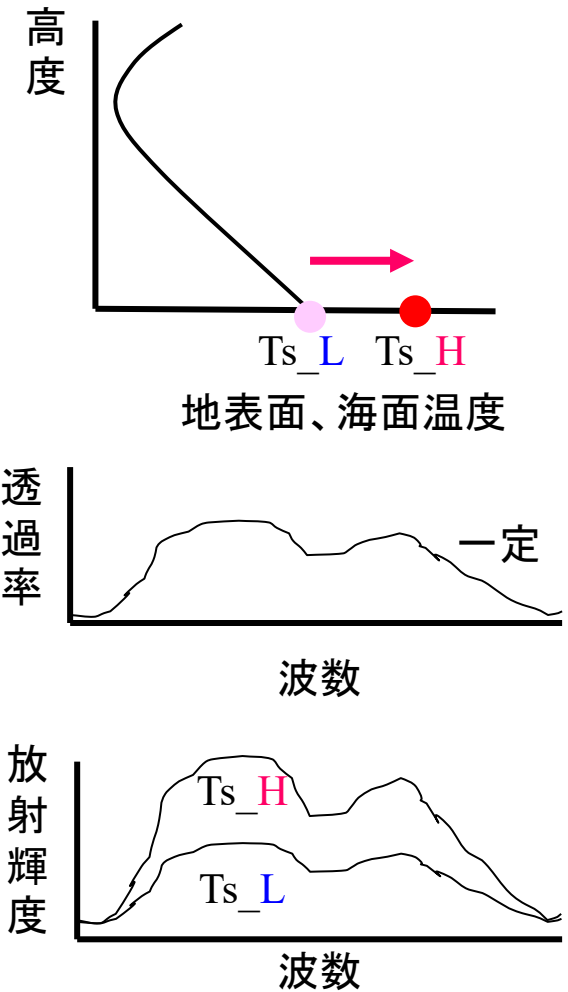
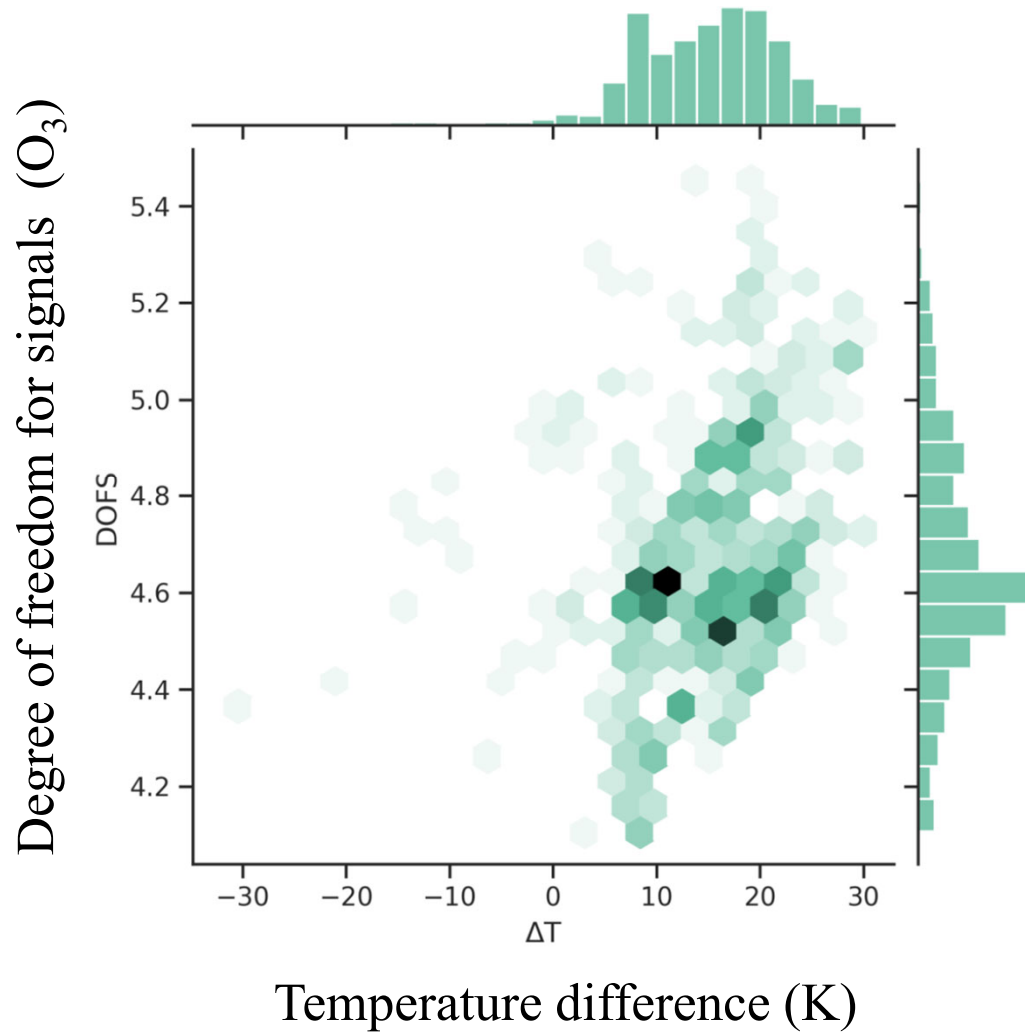
2022/08/03 12:00 (JST)
CROSS SECTION: LON=140



(by 新井豊, AORI)

Thermal contrast effect

背景となる地面、海面の温度が大気より高い場合、掩蔽的な効果が強くなり、情報含有量が増す効果



(Li and Imasu, AGU-FM24, 2024)

OSSE (Observing System Simulation Experiment)
における情報量についての一考

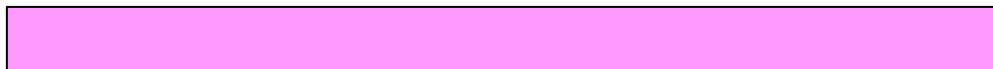
線上降水帯予報に必要な情報量



赤外サウンダで観測される情報量



OSSEで、赤外サウンダにより観測される量として用いられた”ECMWF-ERA”の持つ情報量



現状の気象庁の同化システム
に入力される情報量



A

B

A: 大和田他のOSSEで赤外サウンダが有用としたときの情報

B: 本来のOSSEでシミュレートすべき情報

・ここで言う”情報量”とは:

物理量の種類、領域・解像度、高度・鉛直分解能、期間・頻度

・Aがなぜ存在するかは別問題