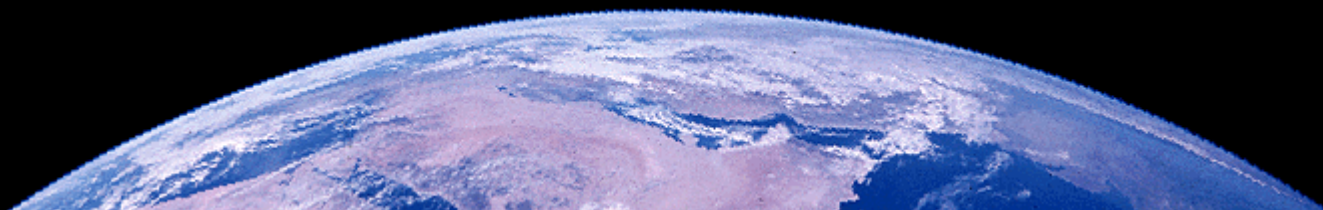


# 人工衛星からの 地球環境モニタリング

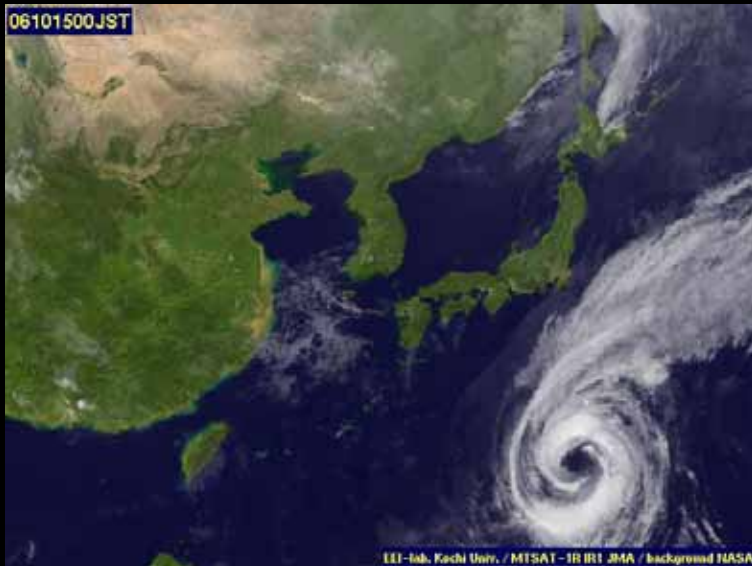
塩谷 雅人

(京大大学生存圏研究所)

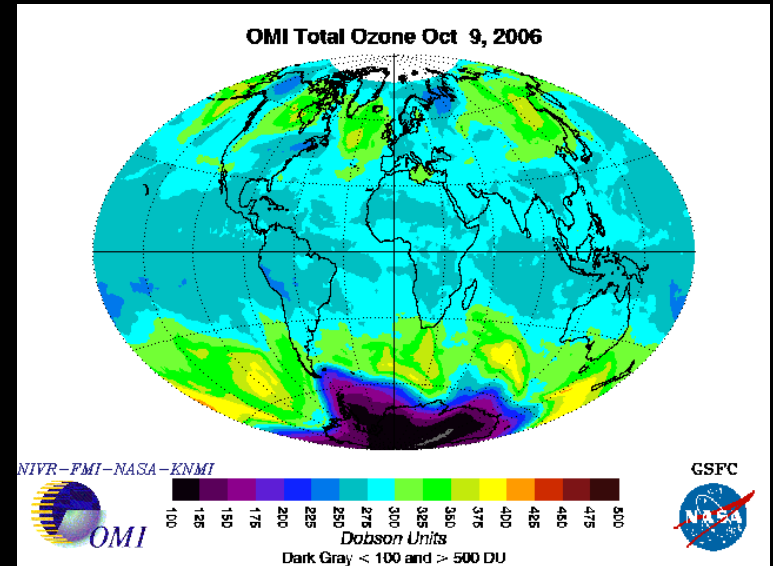


# 衛星からの地球観測 1

- 1957年 世界初の人工衛星
- 1960年 テレビカメラでの初の雲画像
- 1977年 日本最初の静止気象衛星(ひまわり)
- 1978年 Nimbus 7 号の打ち上げ(TOMS搭載)



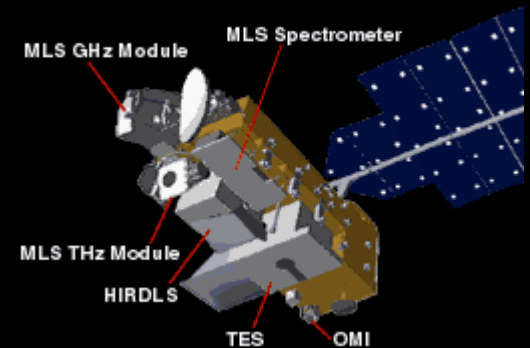
<http://weather.is.kochi-u.ac.jp/>



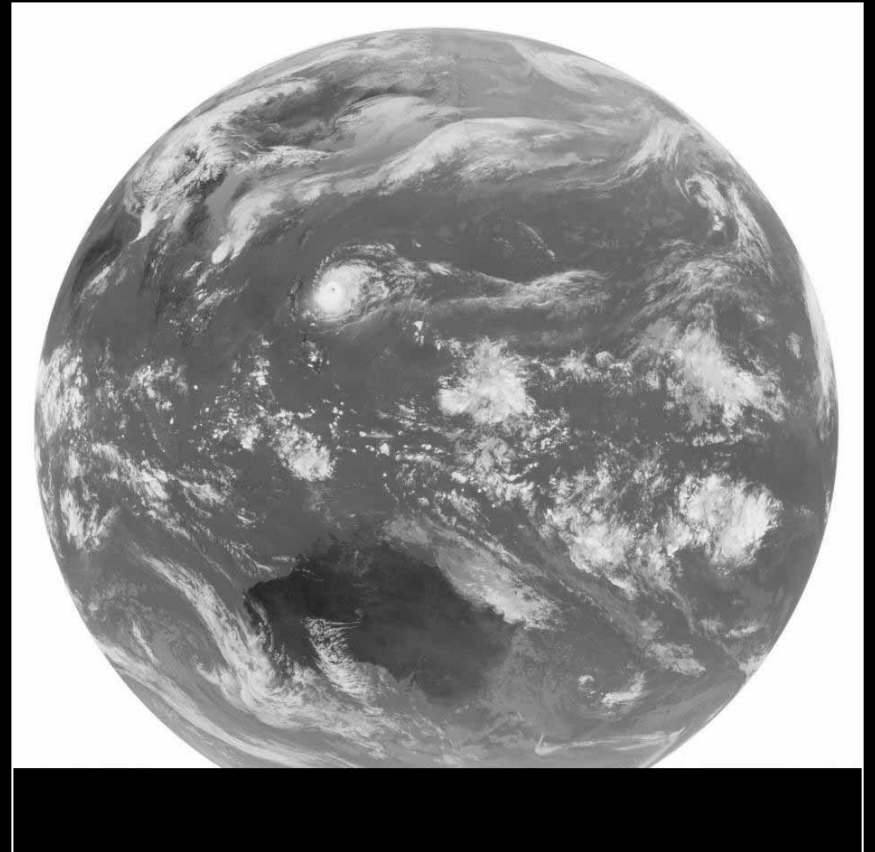
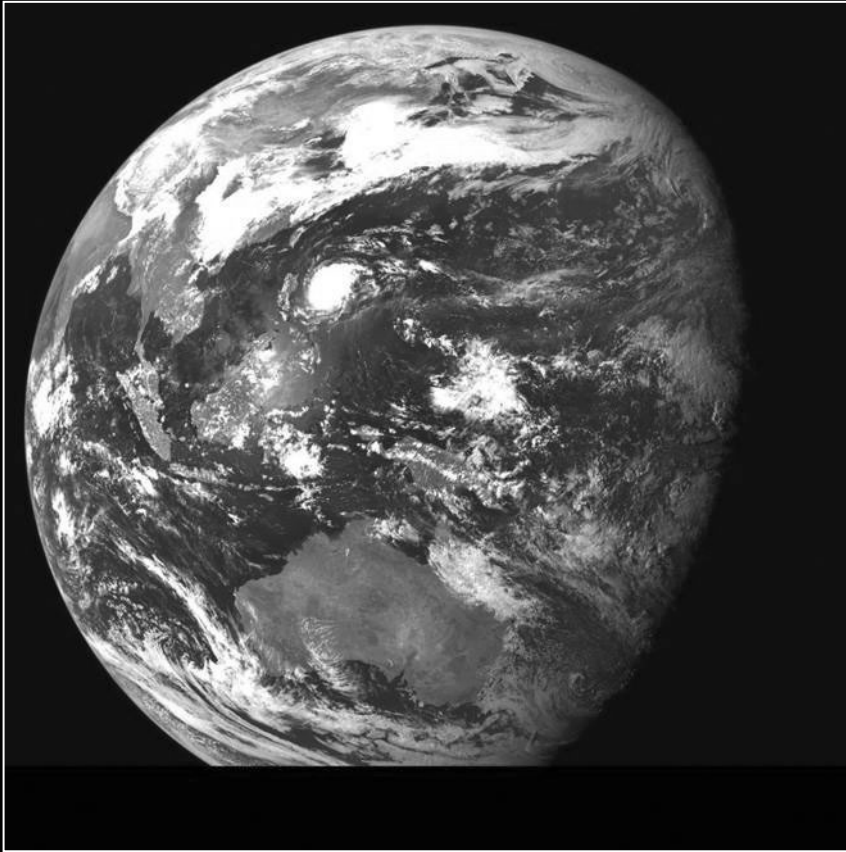
<http://toms.gsfc.nasa.gov/>

# 衛星からの地球観測 2

- 1991年 UARS: 高層大気観測衛星
- 1996年 ADEOS: 日本の地球観測衛星
- 1999年 TERRA: 大気や雲の放射の観測衛星
- 2002年 AQUA: 水循環(雲, 雨...)に関する観測衛星
- 2004年 AURA: 大気微量成分の観測衛星

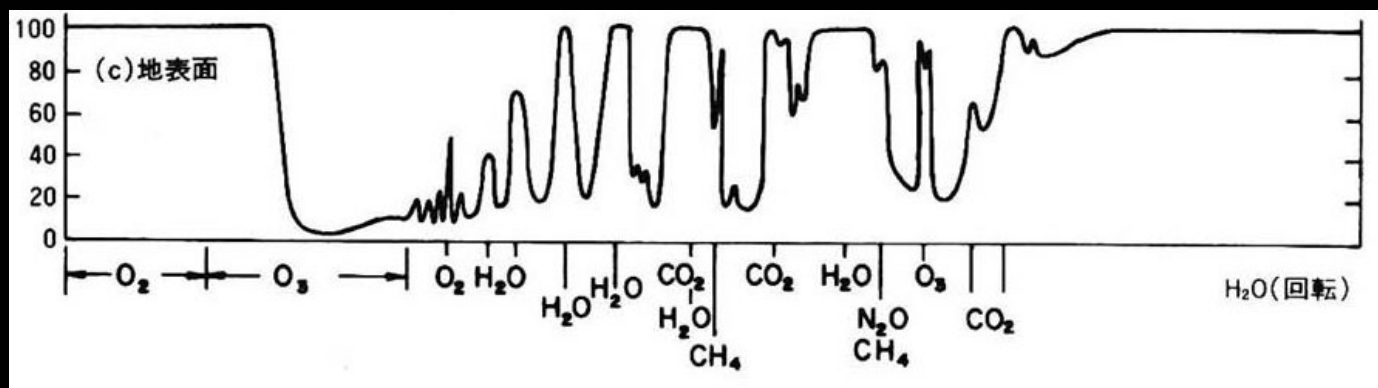
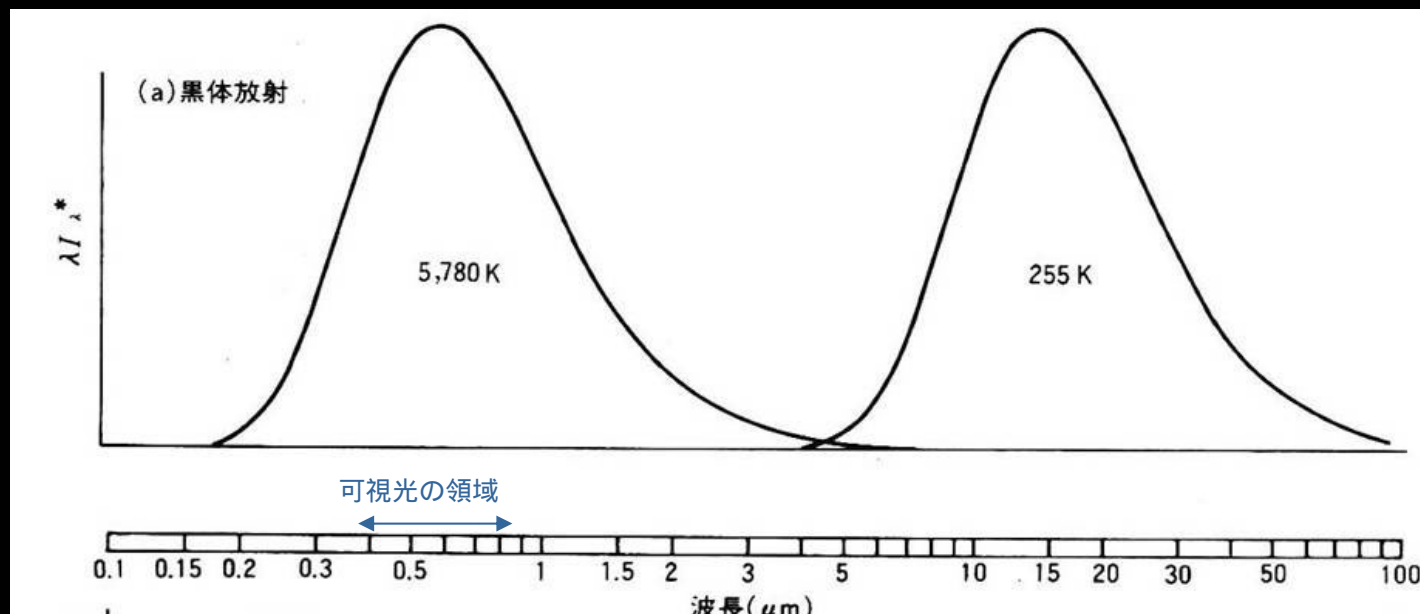


# ひまわりの雲画像



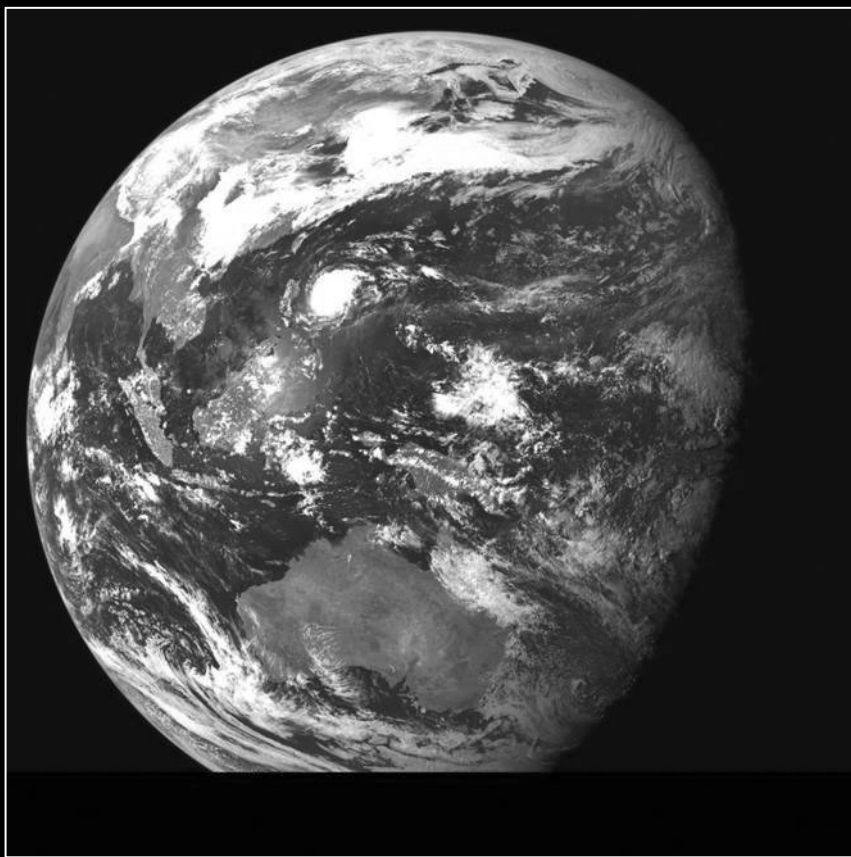
特定の色(波長)の光(電磁波)を観測することによって見え方が異なってくる  
(参考) <http://weather.is.kochi-u.ac.jp/>

# 地球大気による太陽放射の吸収

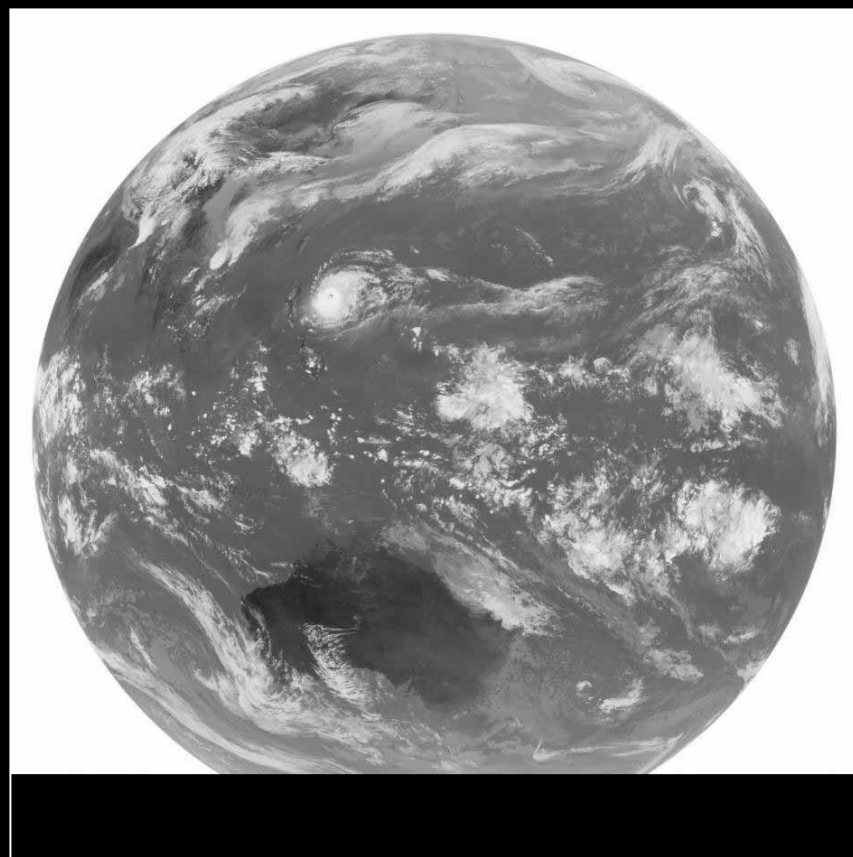




# ひまわりの可視画像・赤外画像

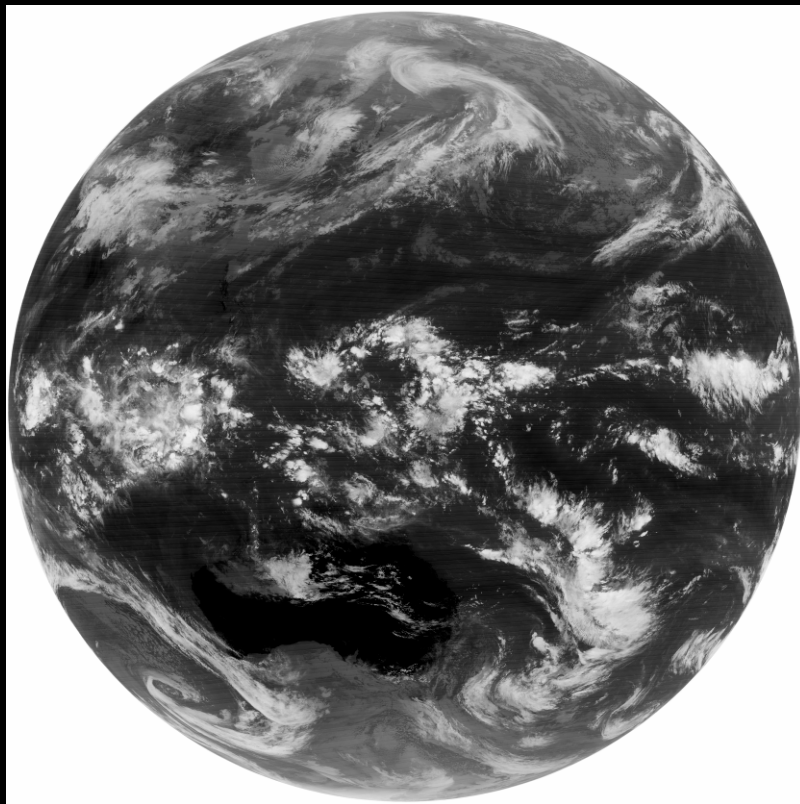


可視画像



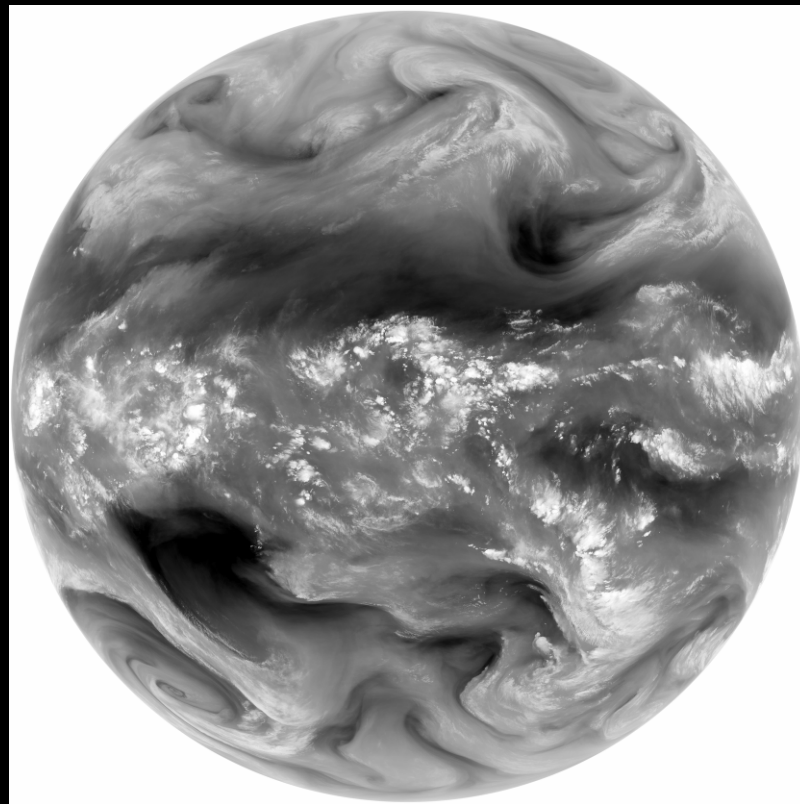
赤外画像

# もうひとつの赤外チャンネル



10.5 - 11.5  $\mu\text{m}$  / 11.5 - 12.5  $\mu\text{m}$

大気の窓領域(8 - 12  $\mu\text{m}$ )



6.5 - 7.0  $\mu\text{m}$

水蒸気による吸収帯

# 赤外線を感じるデジタルカメラ





# 赤外線で見える風景



元のカラー画像



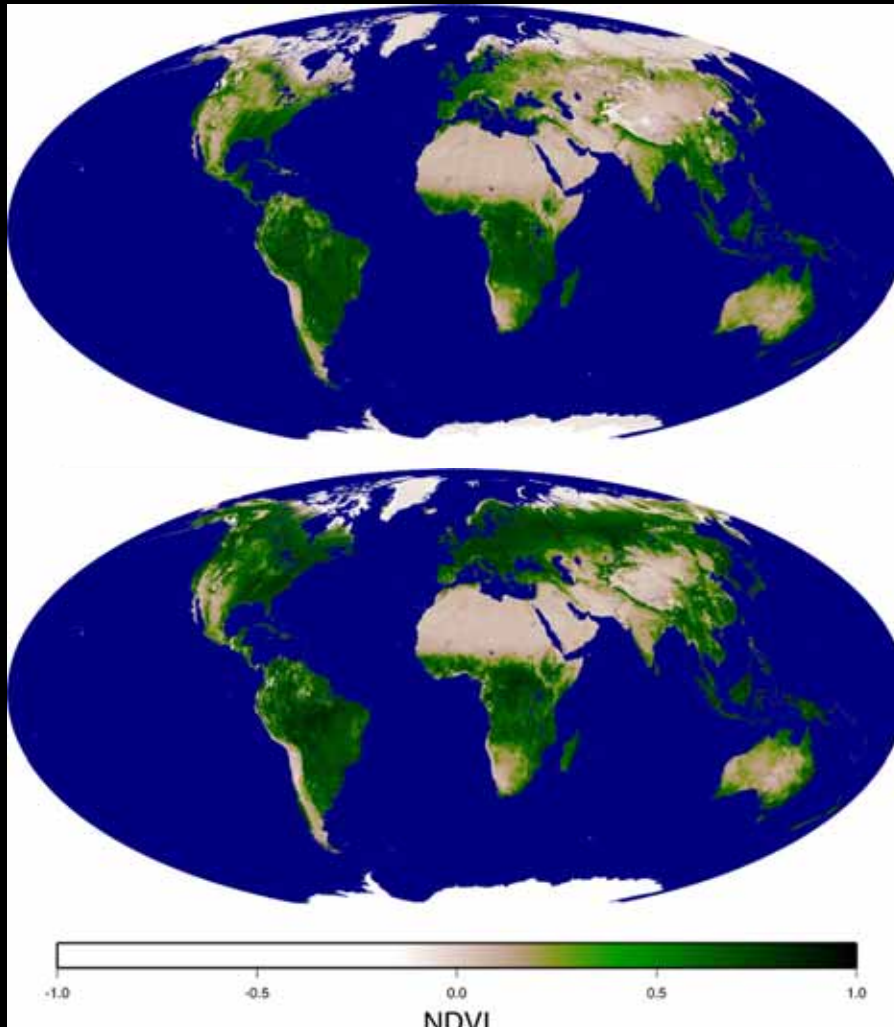
グレースケール化



赤外線画像

# 植生指数

(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)

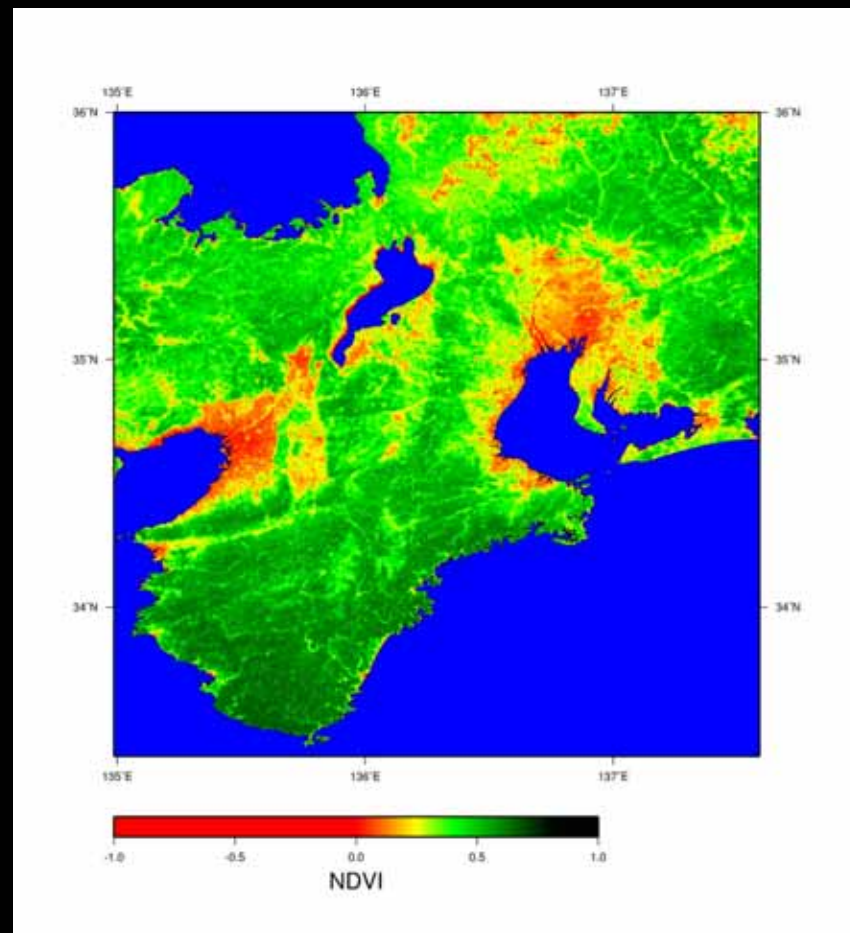
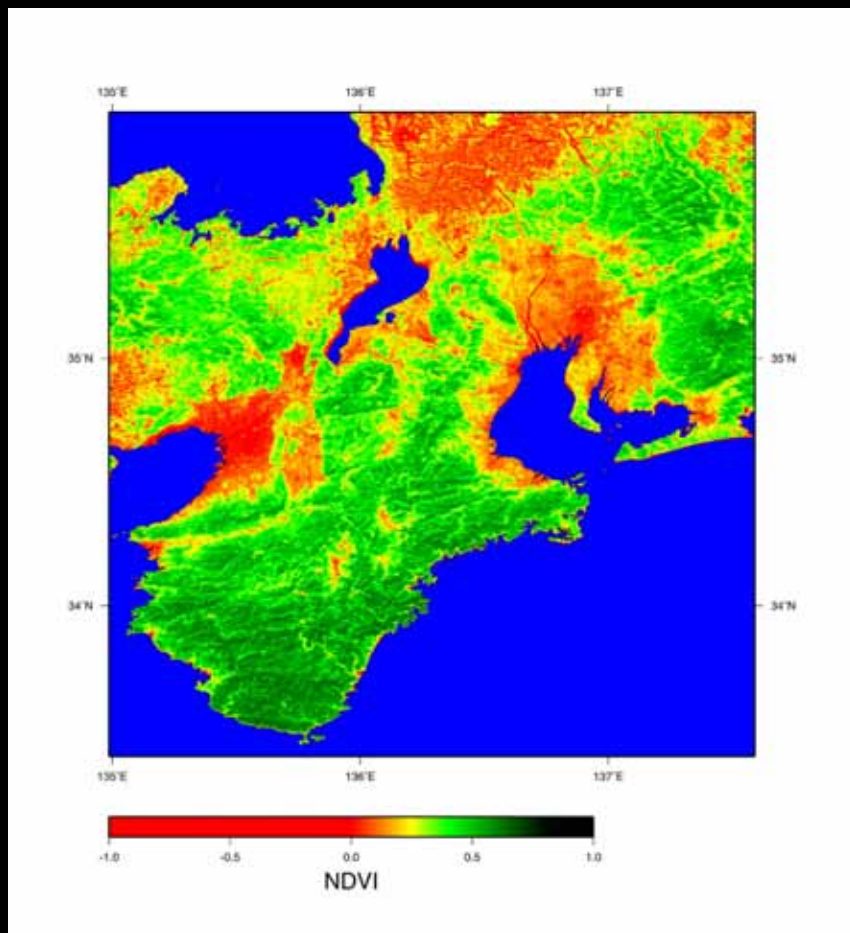


- 植物の緑葉は青領域と赤領域の波長(R)を吸収し、近赤外線領域(IR)の波長を強く反射する性質を利用して植生指数(NDVI)を求める。  
$$NDVI = (IR - R) / (IR + R)$$

上が2003/4/7-4/22 , 下が  
2003/5/25-6/9の植生指数

<http://www.eorc.nasda.go.jp/>

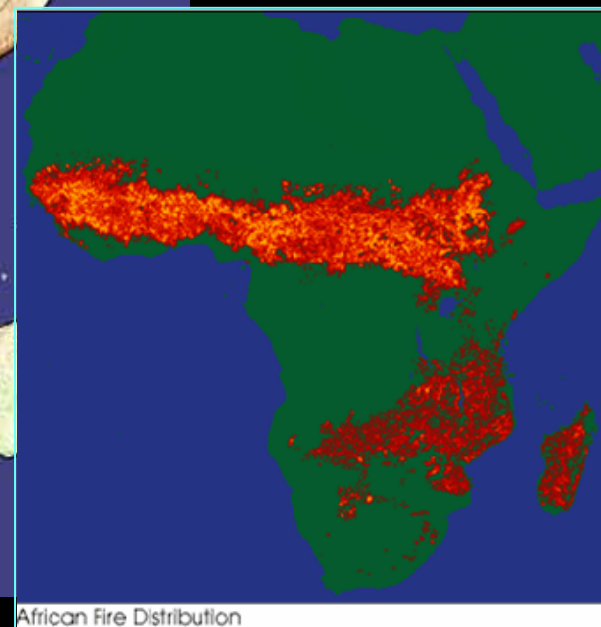
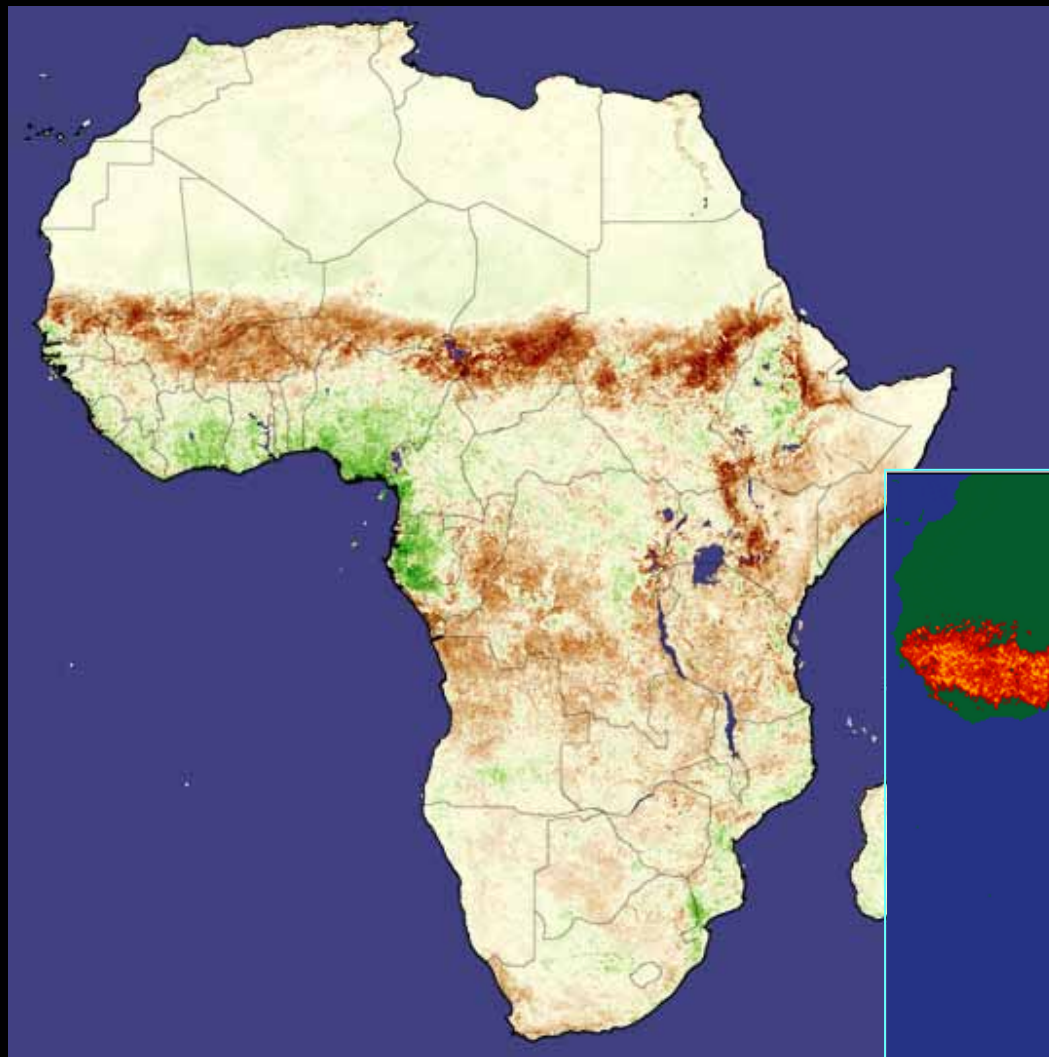
# 関西付近の植生指数



左が2003/2/7と右が2003/4/17の植生指数 (<http://www.eorc.nasda.go.jp/>)



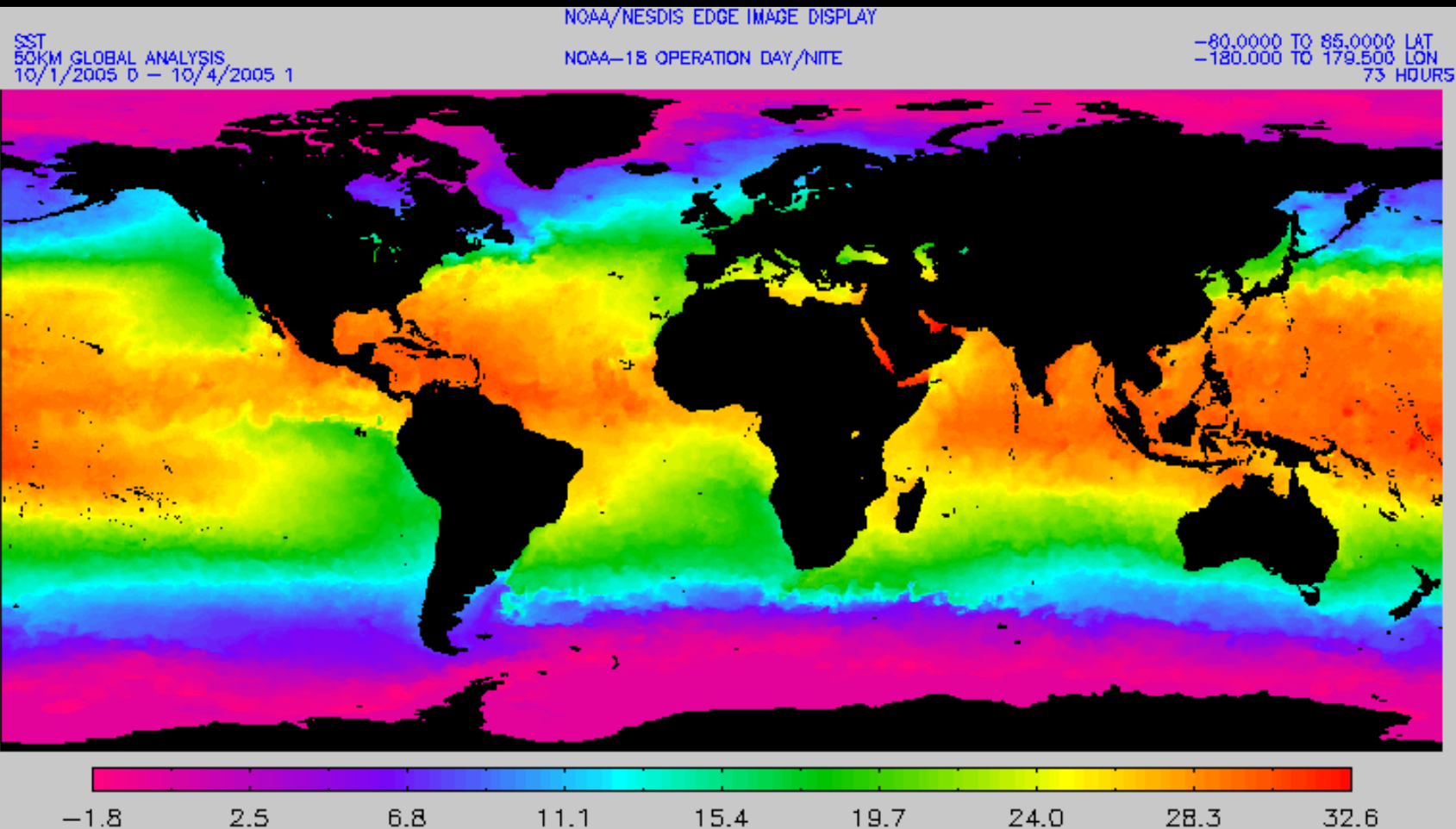
# 旱魃の指標としてのNDVI



African Fire Distribution

1984年8月アフリカのNDVI偏差 (<http://earthobservatory.nasa.gov/>)

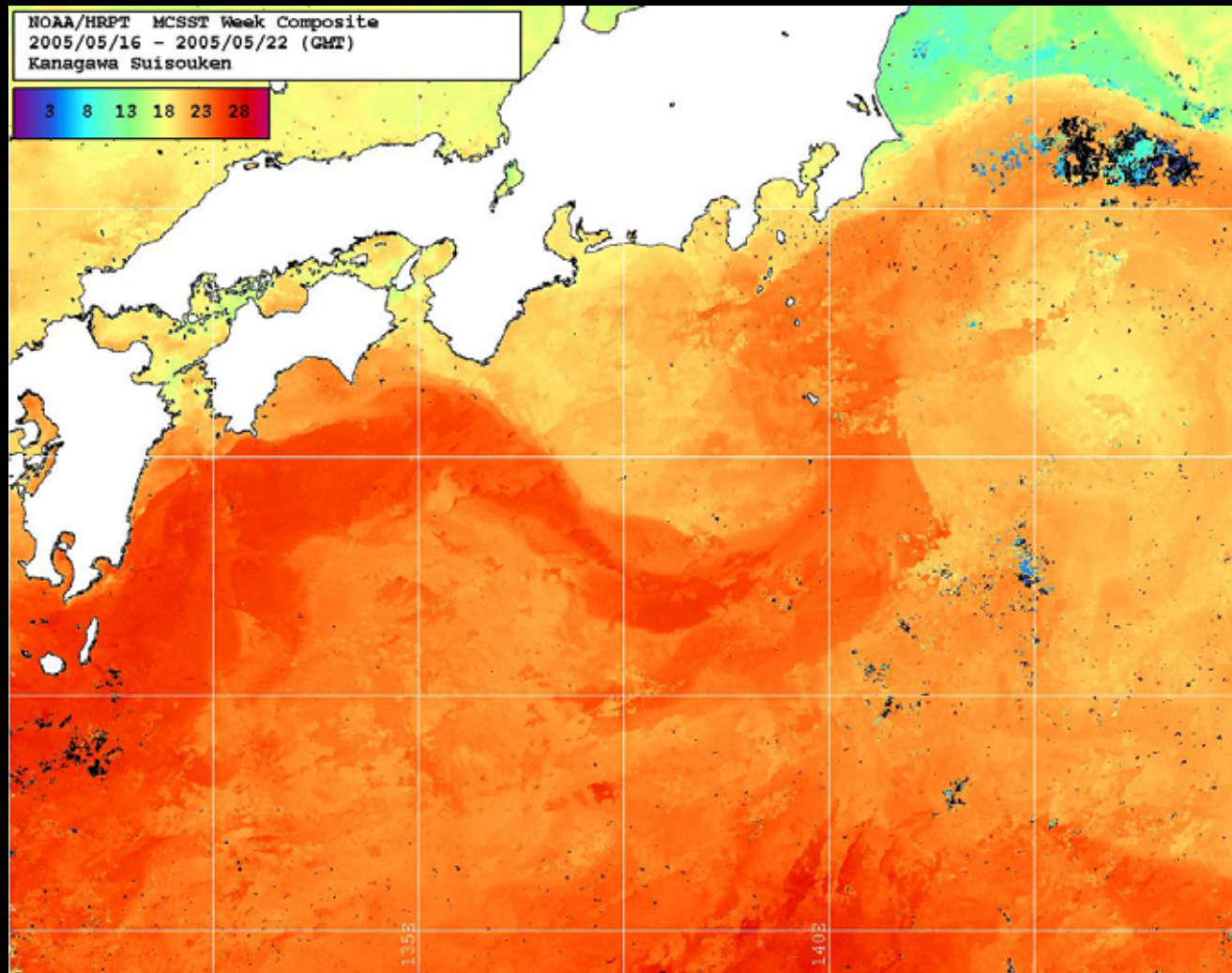
# 衛星から見る海面水温の分布



<http://www.osdpd.noaa.gov/PSB/EPS/SST/SST.html>

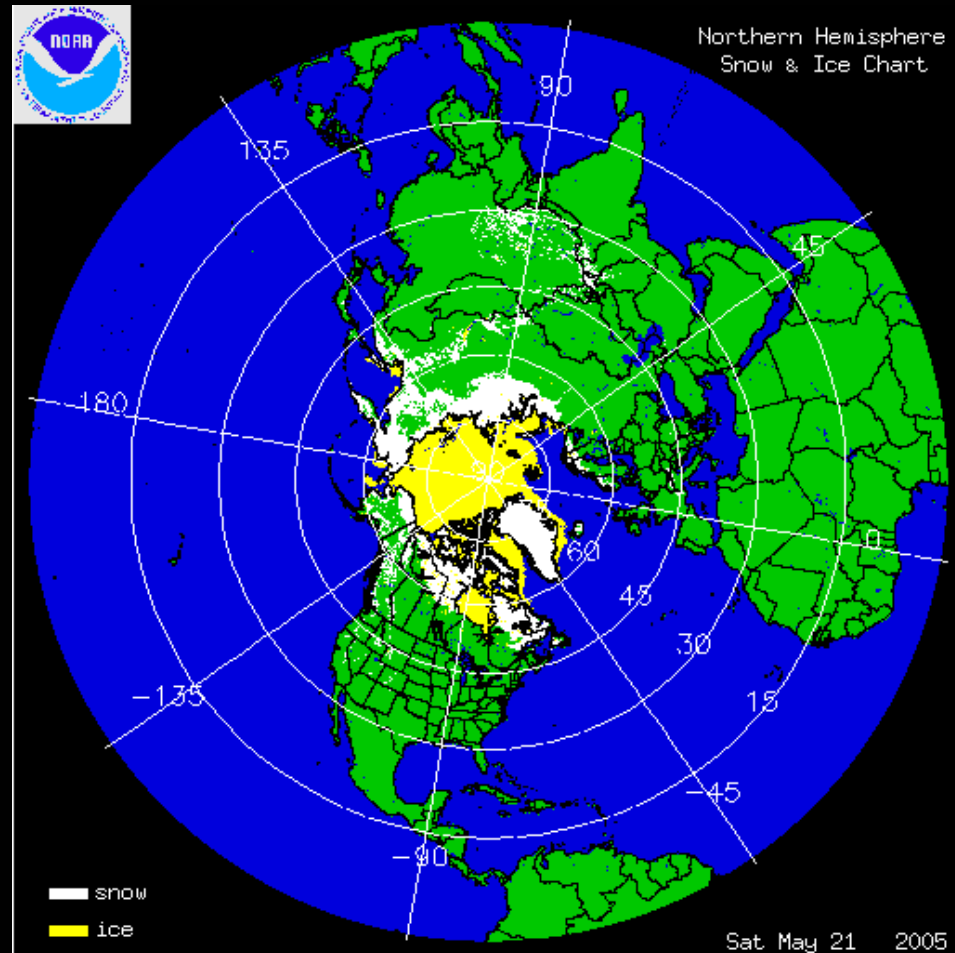


# 黒潮の大蛇行



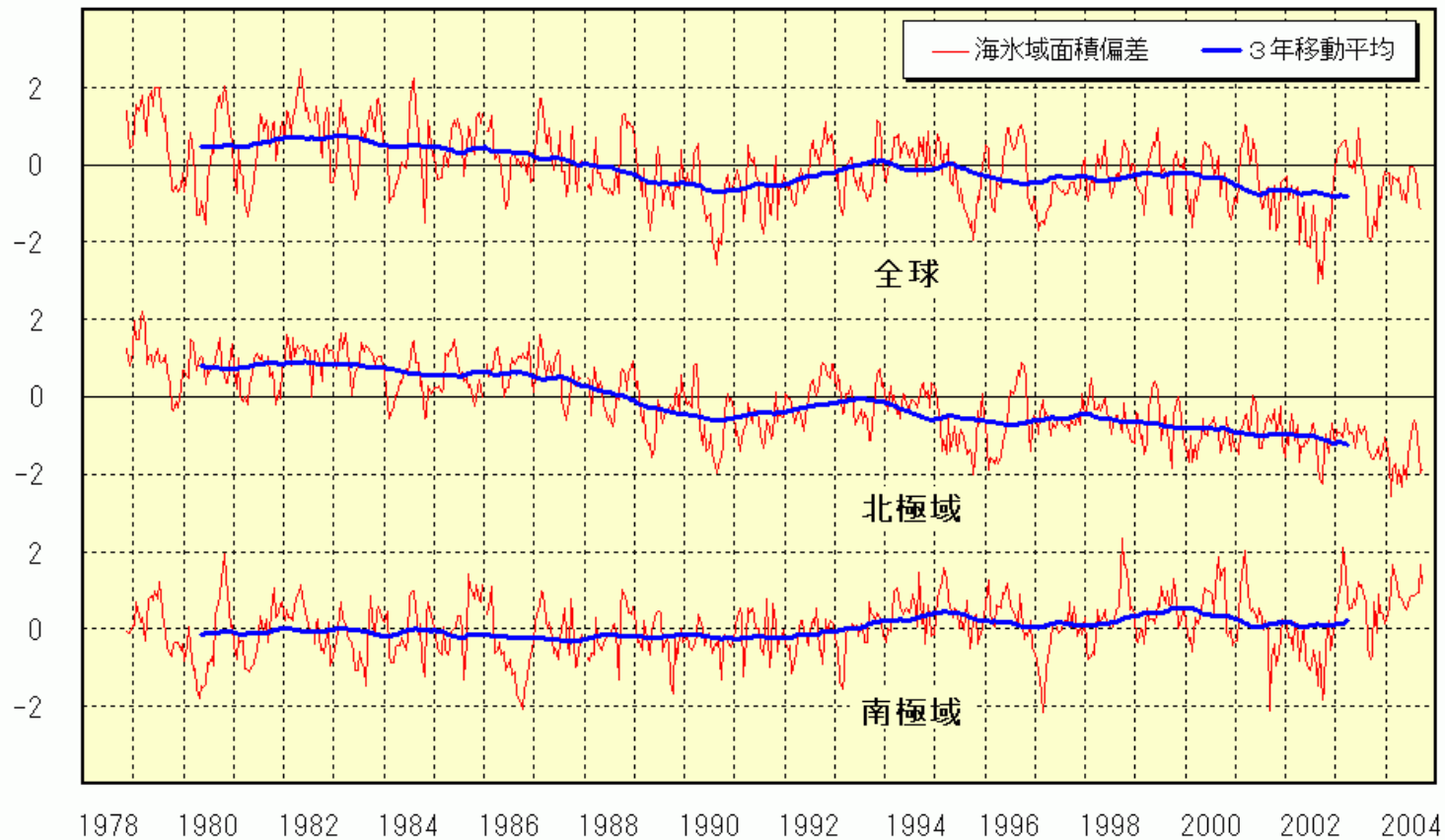
<http://www.agri.pref.kanagawa.jp/suisoken/noaa/noaa.asp>

# 雪被覆データ

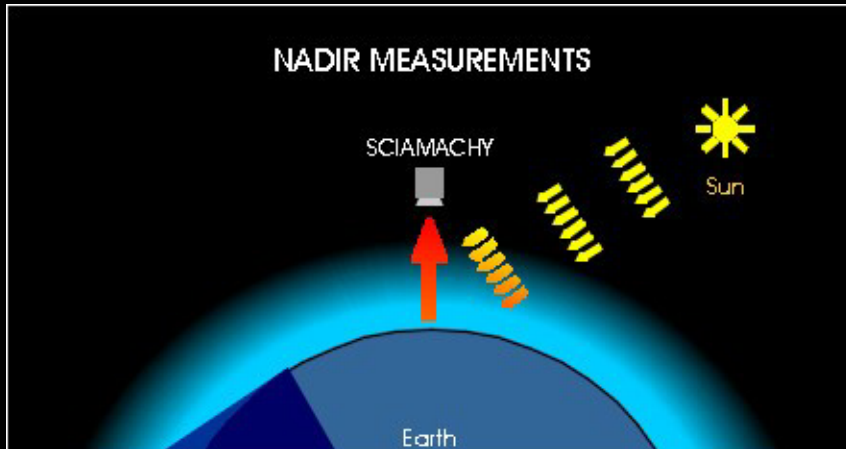


<http://www.ssd.noaa.gov/PS/SNOW/>

# 極域の海水域面積の変動

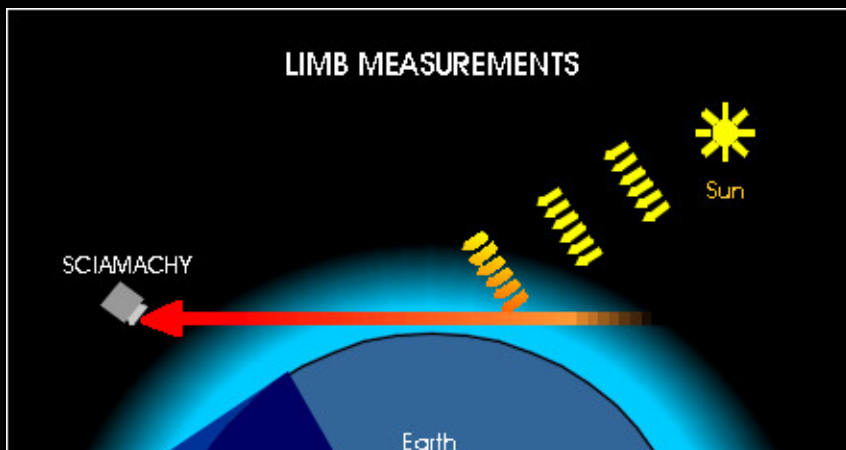


# 衛星からの地球大気の眺め方



大気を上から観測する

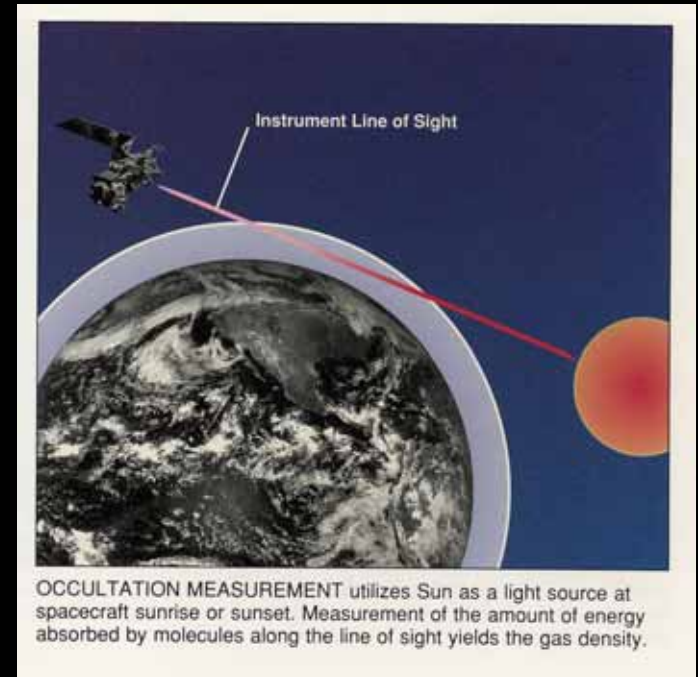
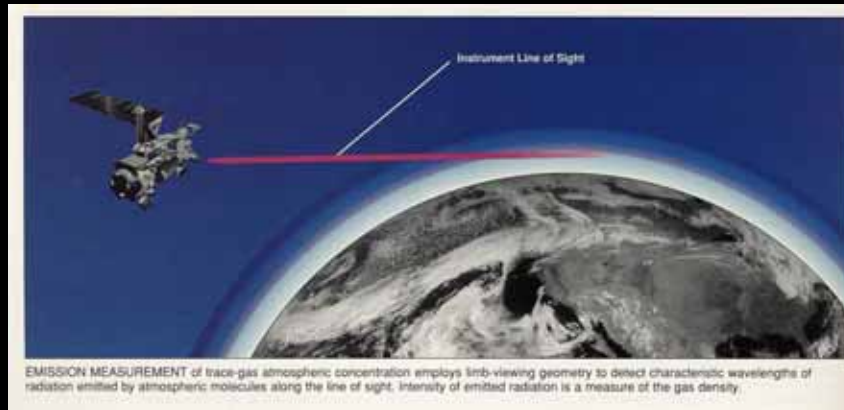
- ▶ 水平分解能はよいが、鉛直方向の構造はよくわからない



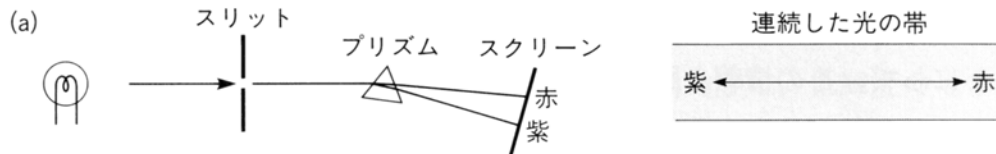
大気を横から透かして観測する

- ▶ 鉛直構造を把握できるが、水平分解はよくない

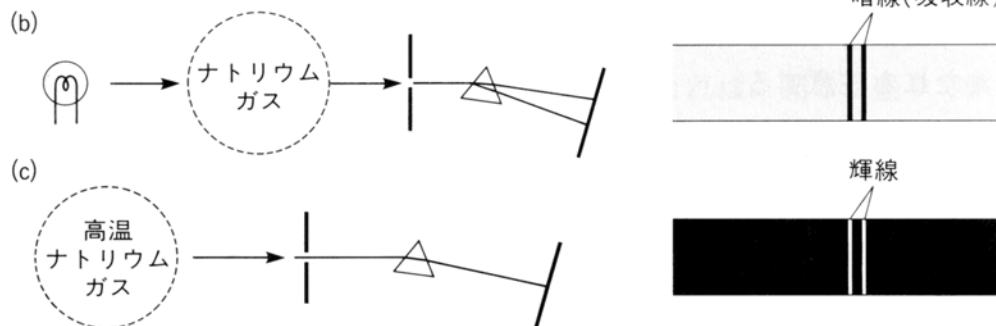
# 2種類のリム観測



## 連続スペクトル



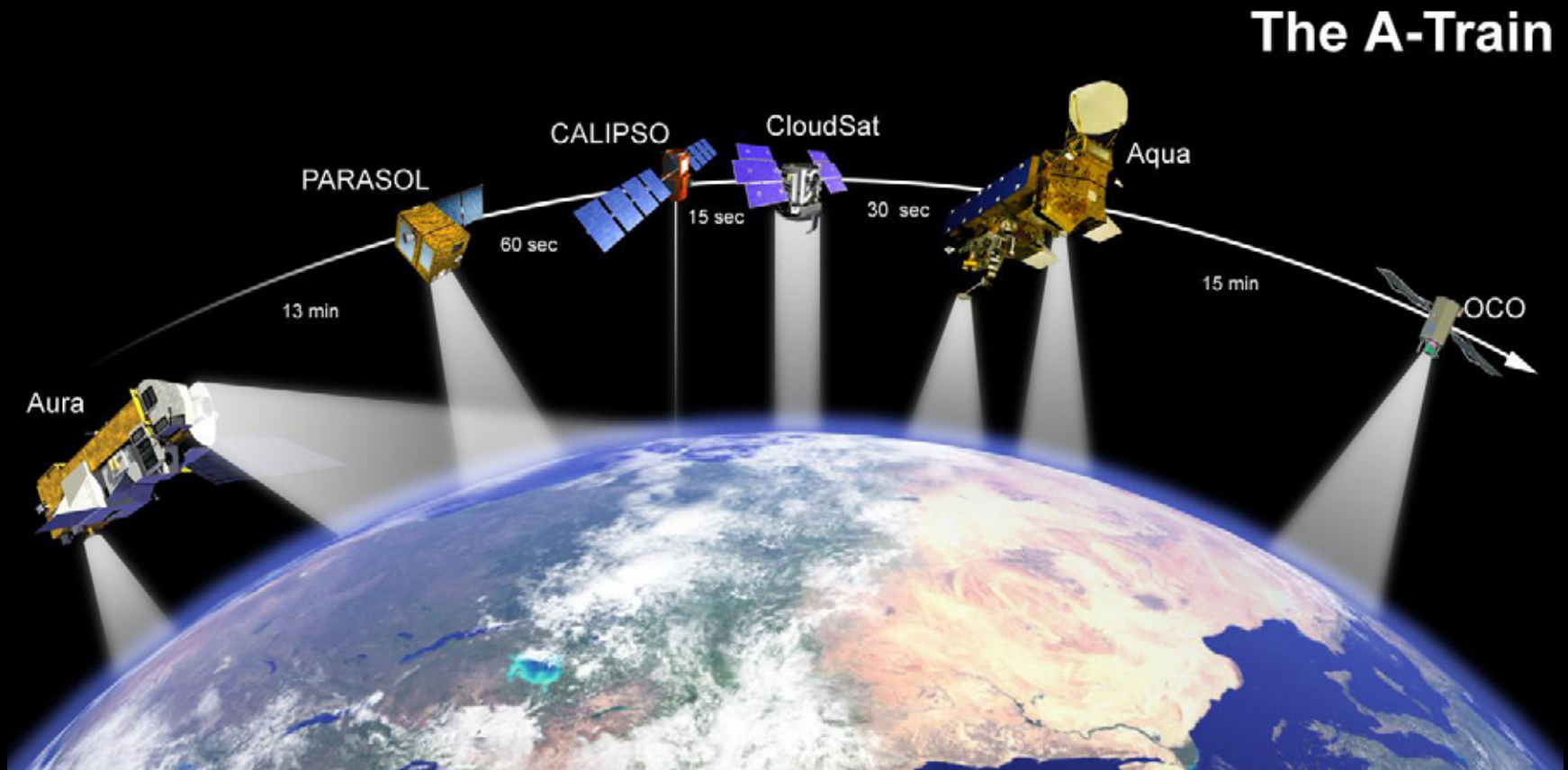
## 線スペクトル



(左上:大気の周縁からの放射を観測する; 右上:太陽を背景として吸収を観測する)



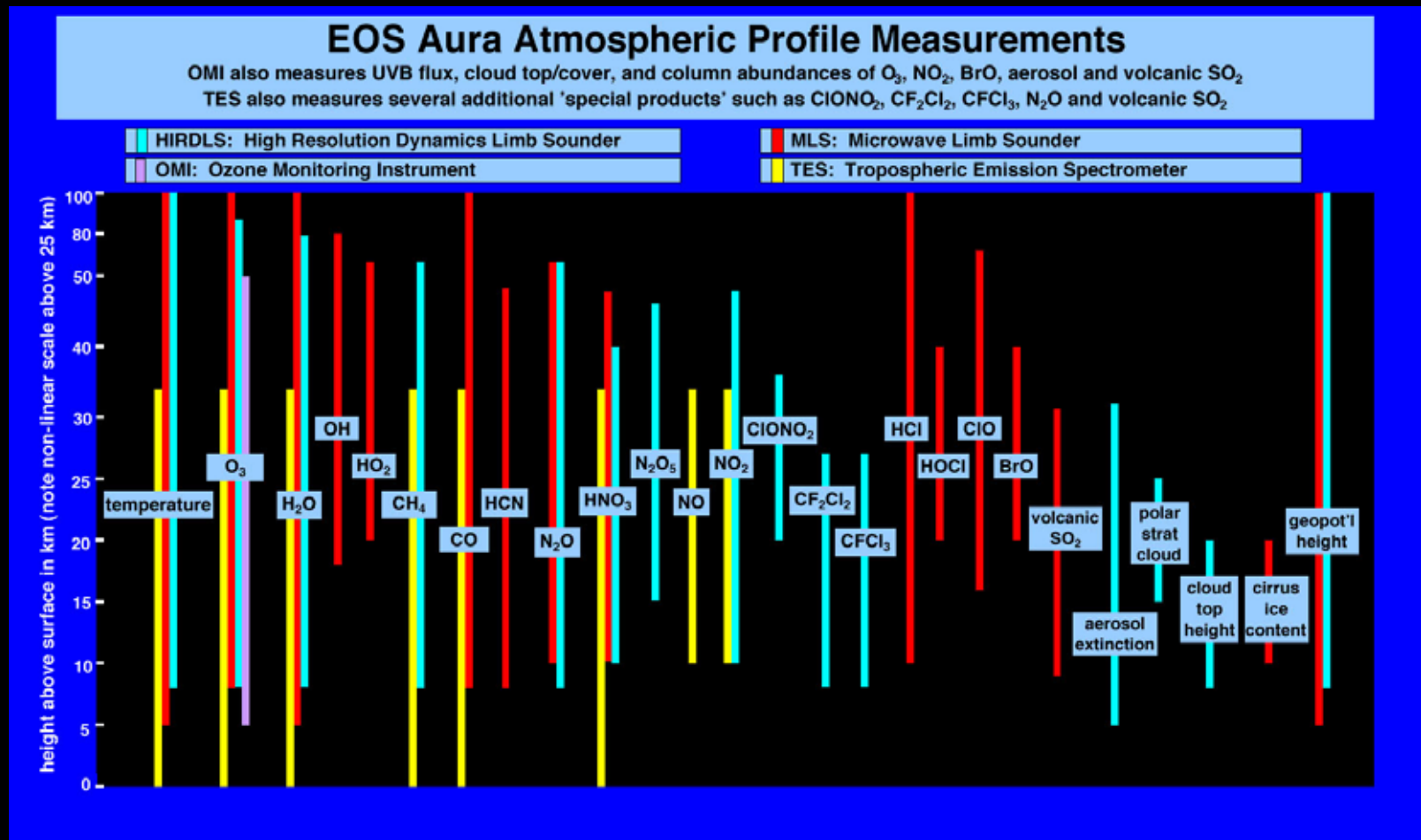
# A-Train Constellation



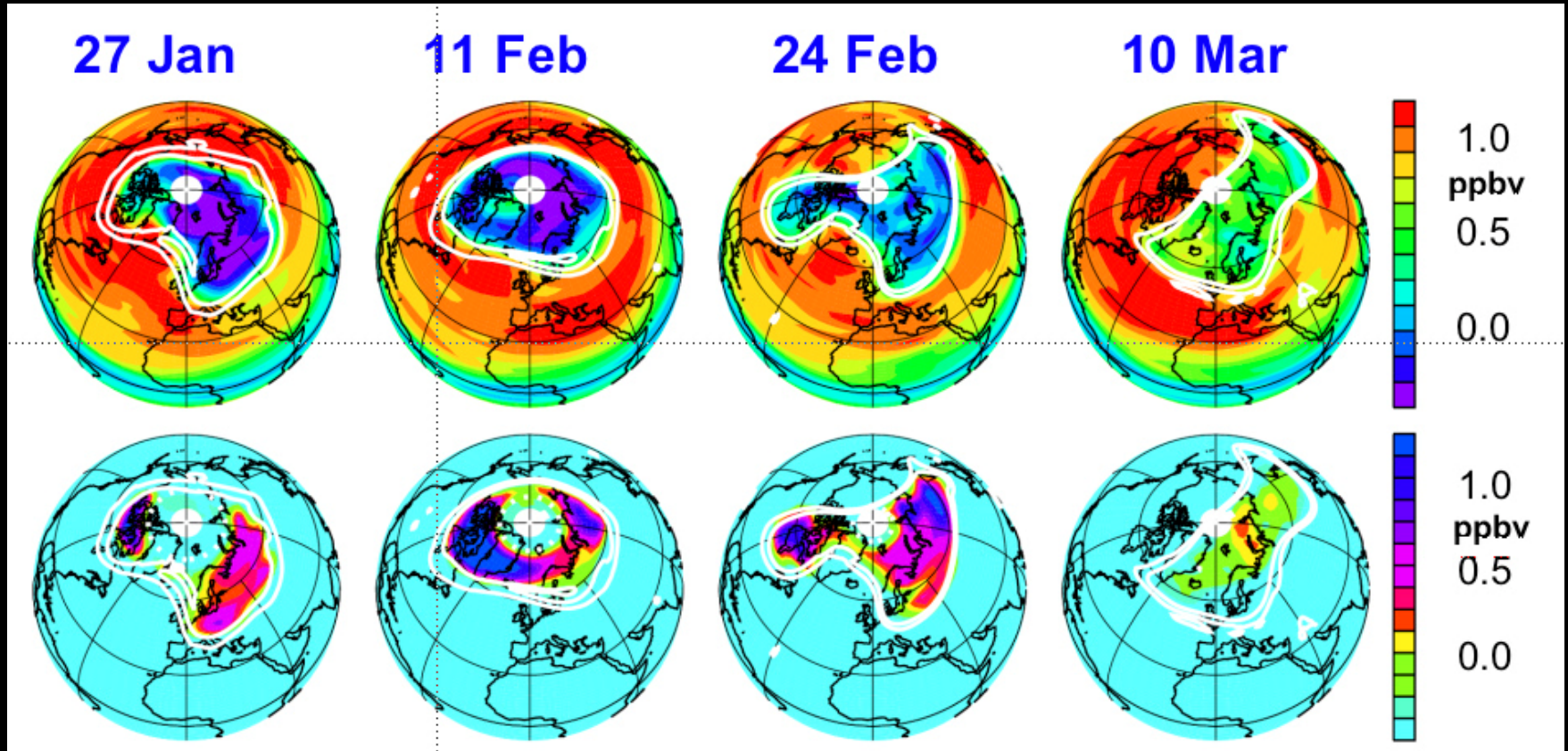
Formation flying will provide better data to understand climate

# AURAが観測する大気微量成分

2004年7月に打ち上げられたEOS-Auraの例



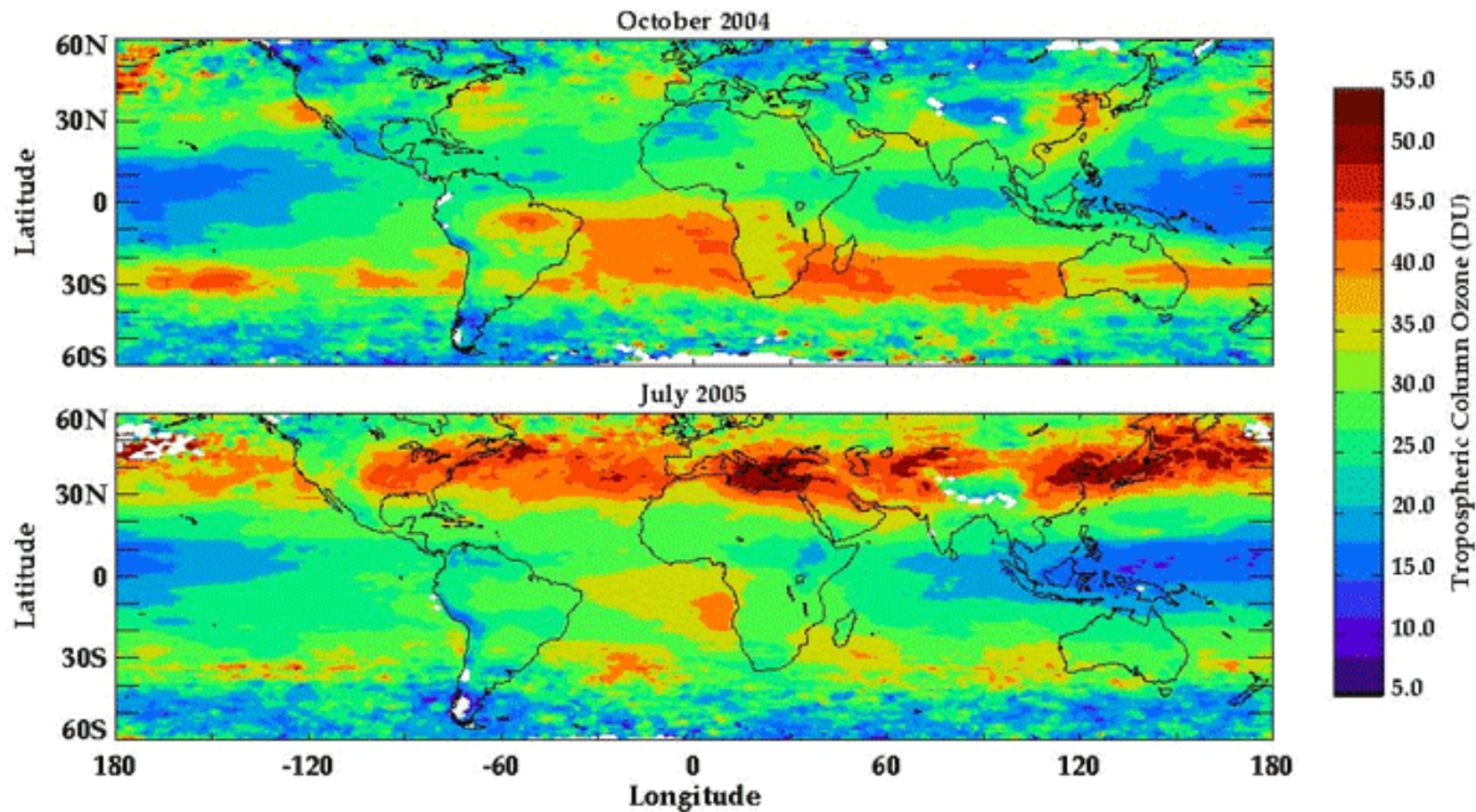
# 北半球のオゾンホール



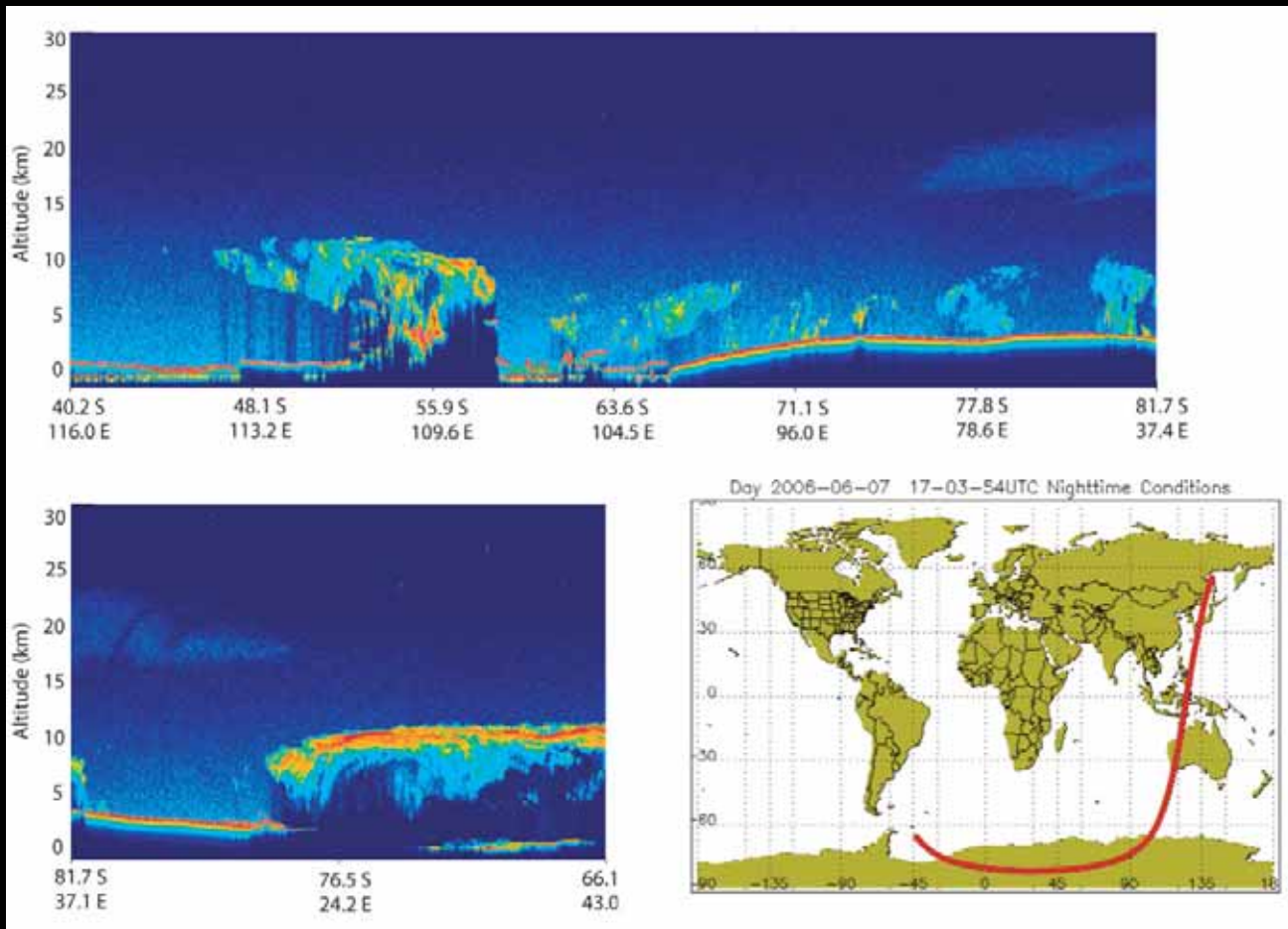
2004-2005年北半球冬季のオゾンとCIO分布



# 対流圏オゾンの全球分布



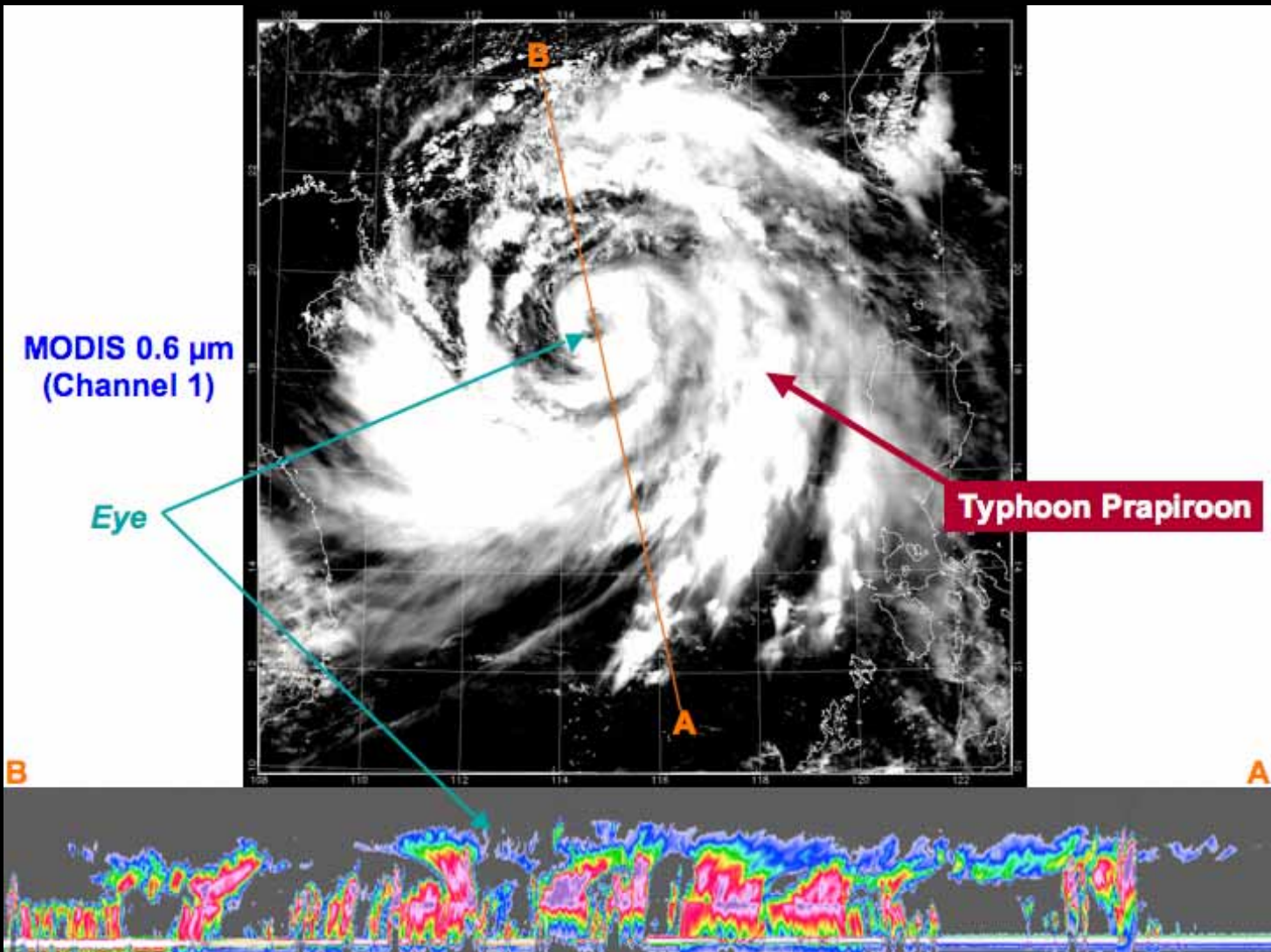
# CALIPSOからの初画像



<http://www-calipso.larc.nasa.gov/>

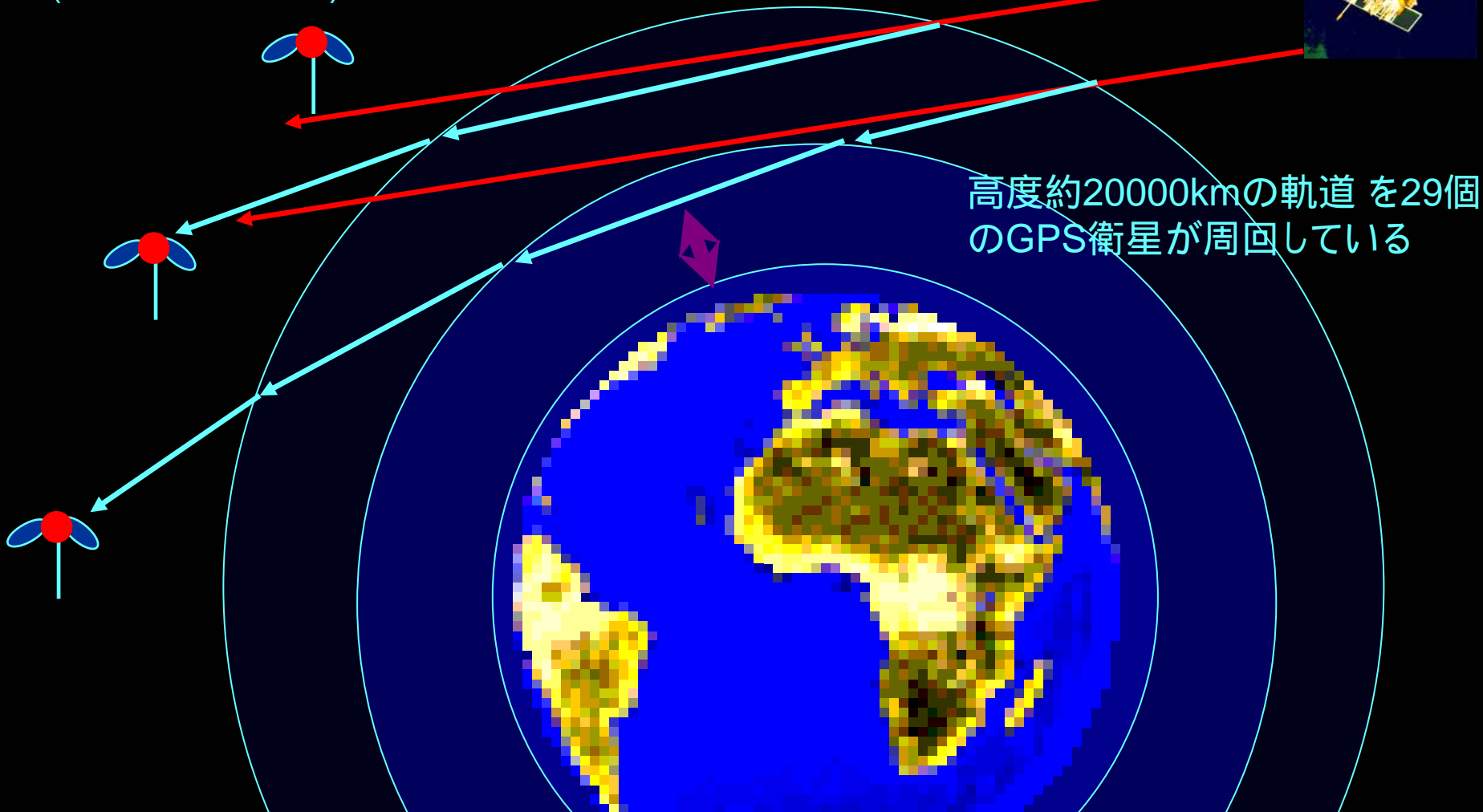
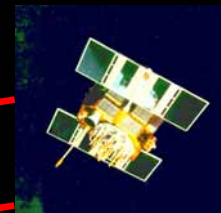


# CloudSat と MODIS

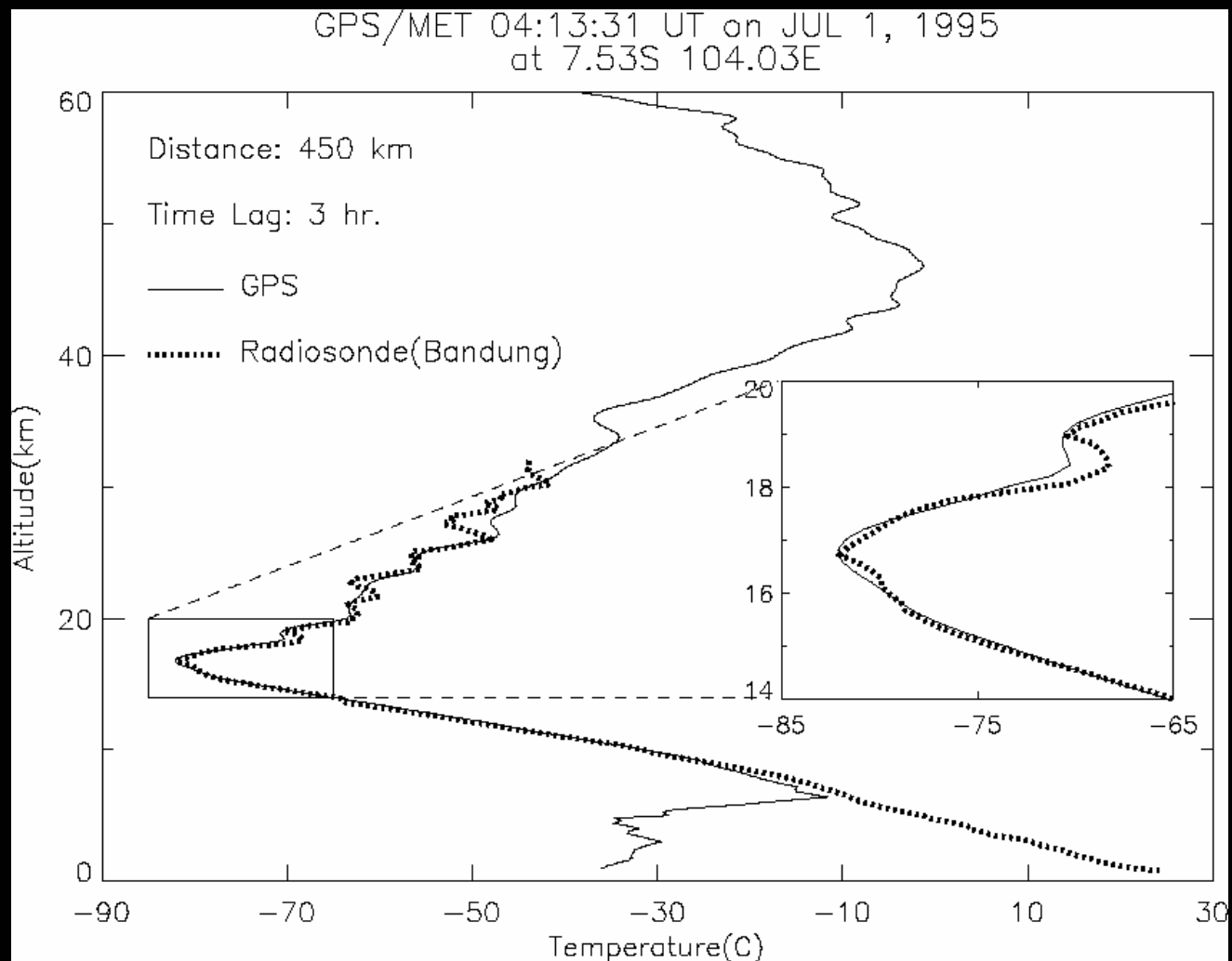


# GPS掩蔽法による大気観測

GPS受信機を搭載したLEO  
(Low Earth Orbit) 衛星

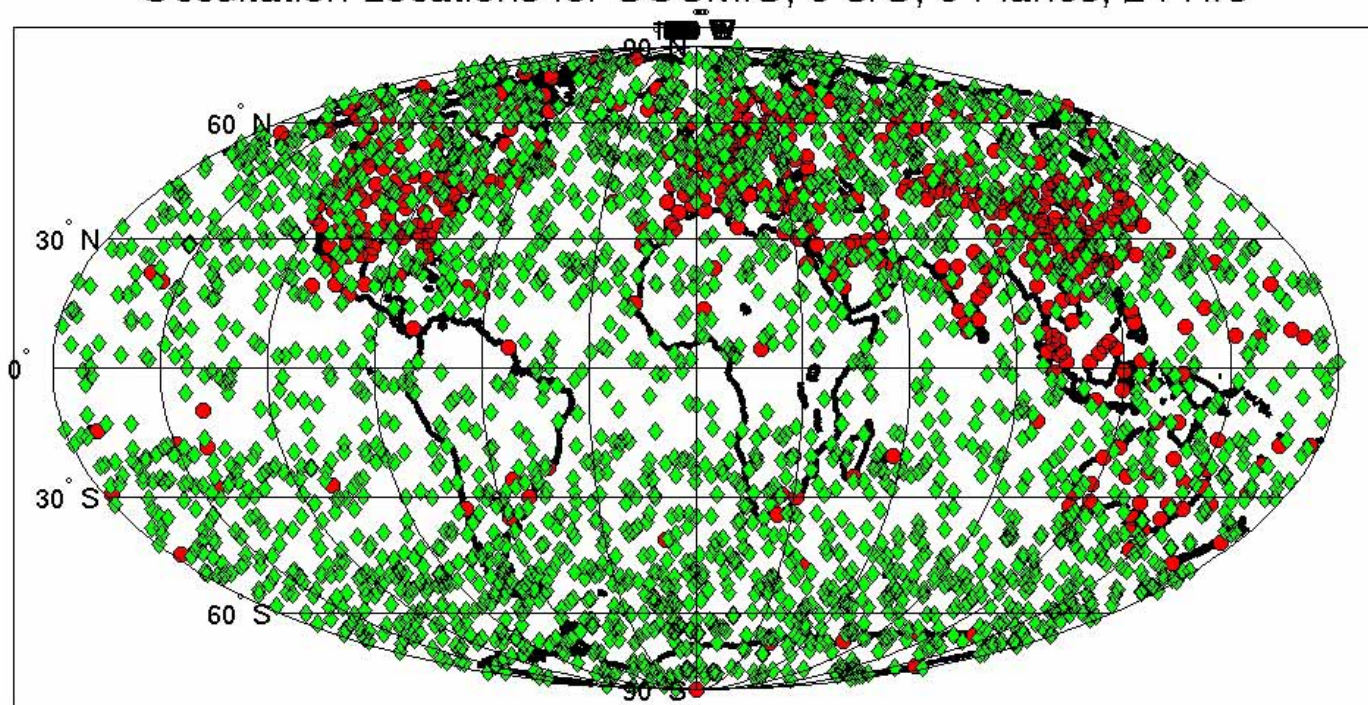


# 温度観測の例



# 観測点の分布

Occultation Locations for COSMIC, 6 S/C, 6 Planes, 24 Hrs



# 衛星データの長所

- グローバルな観測
- 時間的・空間的に均質な観測

神の眼ともいわれる俯瞰的な視点

でも本当に万能なの？

定点観測，現場観測的なものは必要なの？



# 衛星観測の短所？

- ディズニーのアニメ Beauty and the Beast から
  - Gaston: Hello, Belle.
  - Belle: Bonjour, Gaston.
  - (GastonがBelleの持っている本を取り上げる)
  - Belle: Gaston, may I have my book, please?
  - Gaston: How can you read this? There's no pictures.
  - Belle: Well, some people use their imagination.

あまりにも膨大な情報量が、想像力  
(imagination)を削いでしまう危険性！



# 南極昭和基地でのオゾン全量観測 (オゾンホールが発見?)

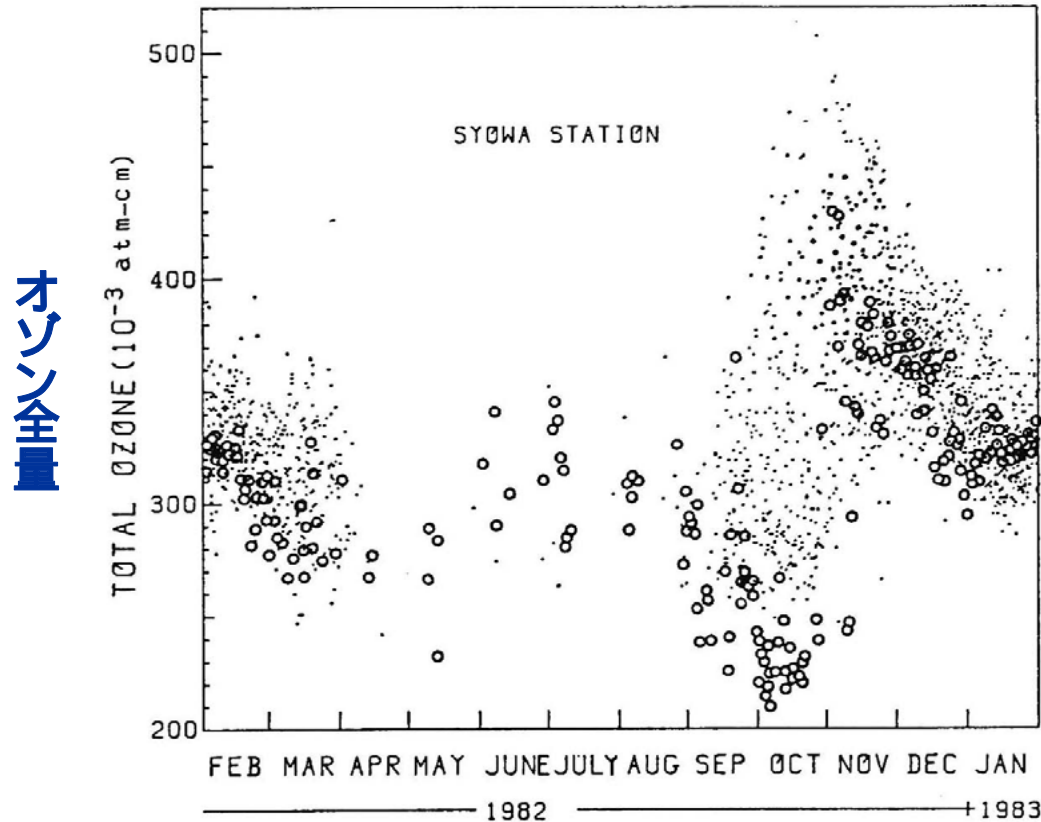
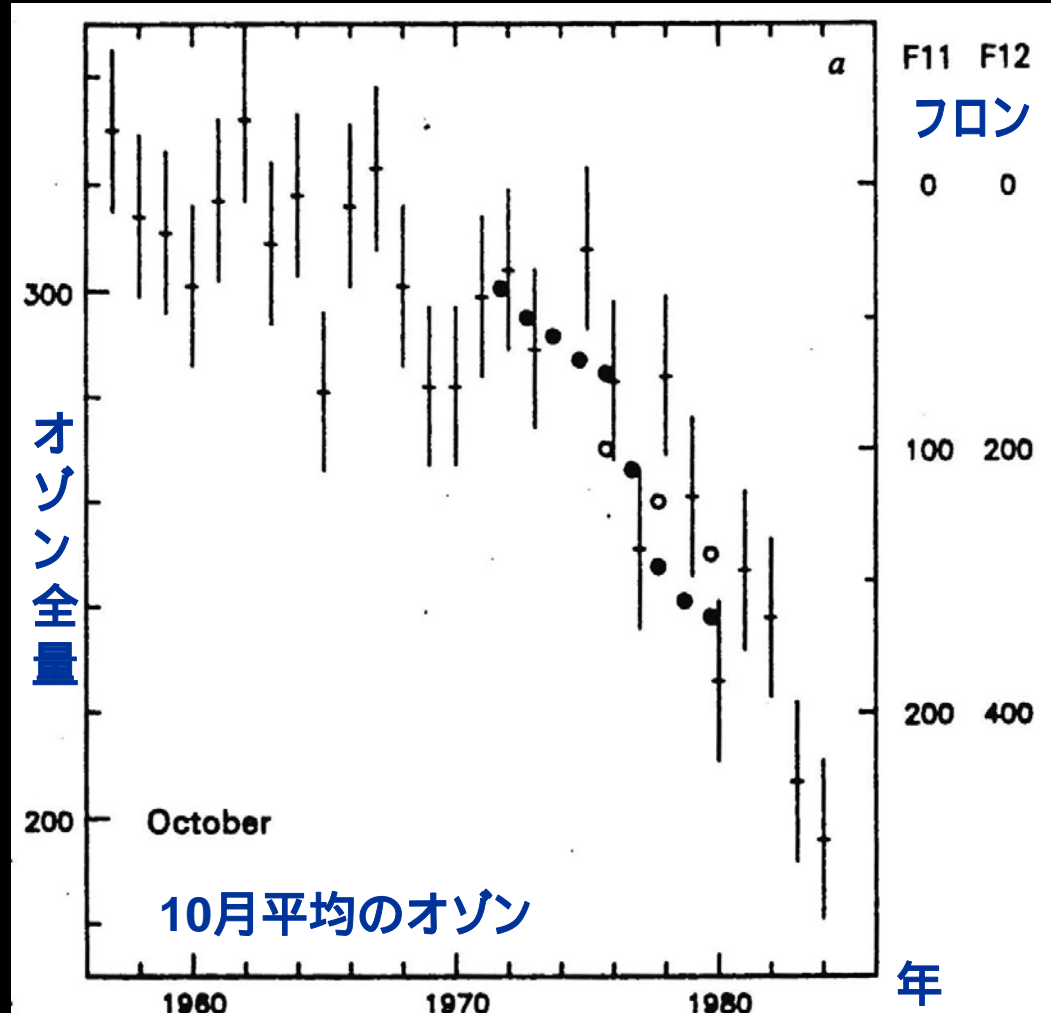


Fig. 4. Total ozone observed at Syowa Station from 1966 to 1980 (●) and from February 1982 to January 1983 (○).

(Chubachi, 1984)

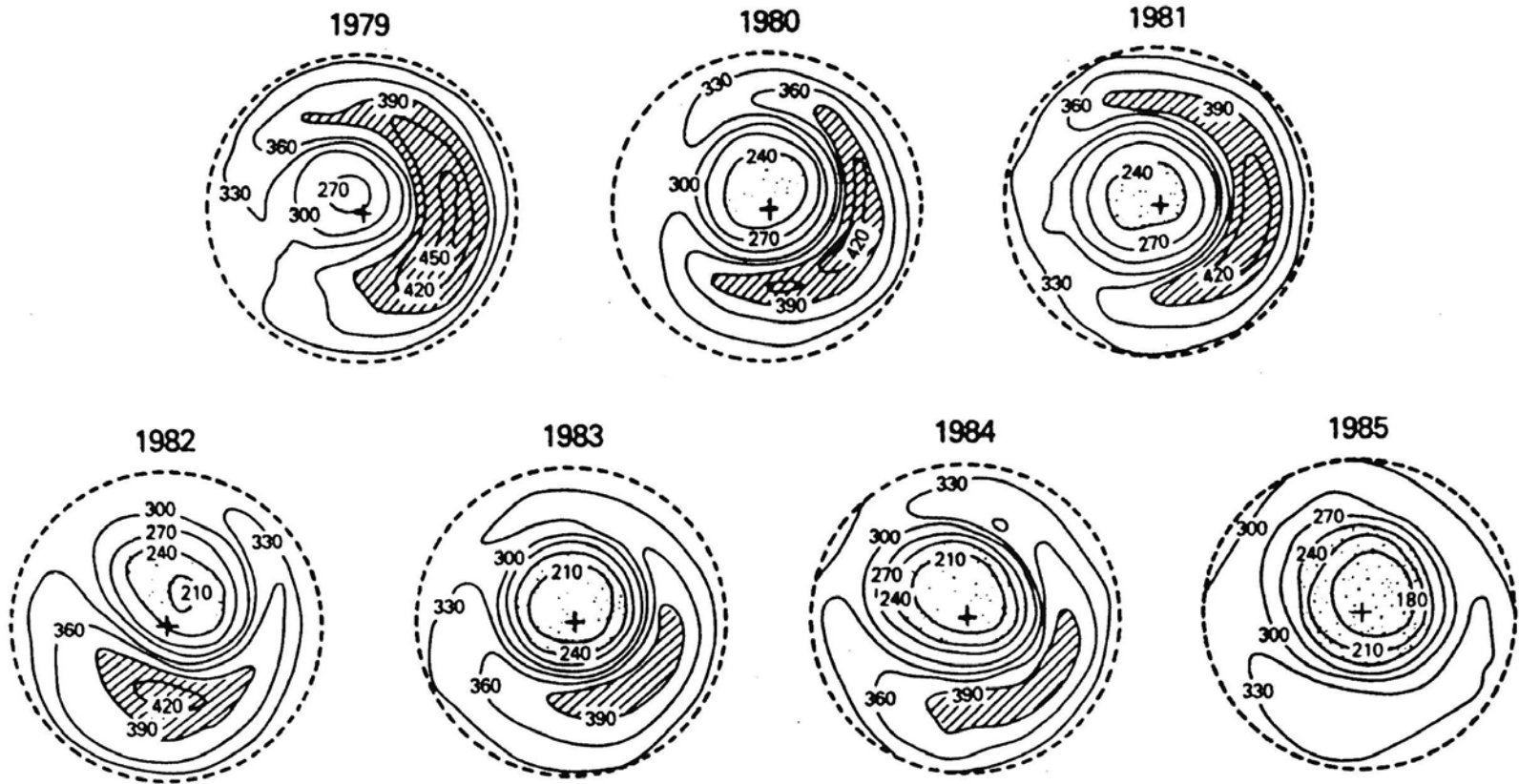
# 南極ハレーベイでのオゾン全量観測 (間違いなさそうだ！)



(Farman et al., 1985)

# TOMSによるオゾン全量観測

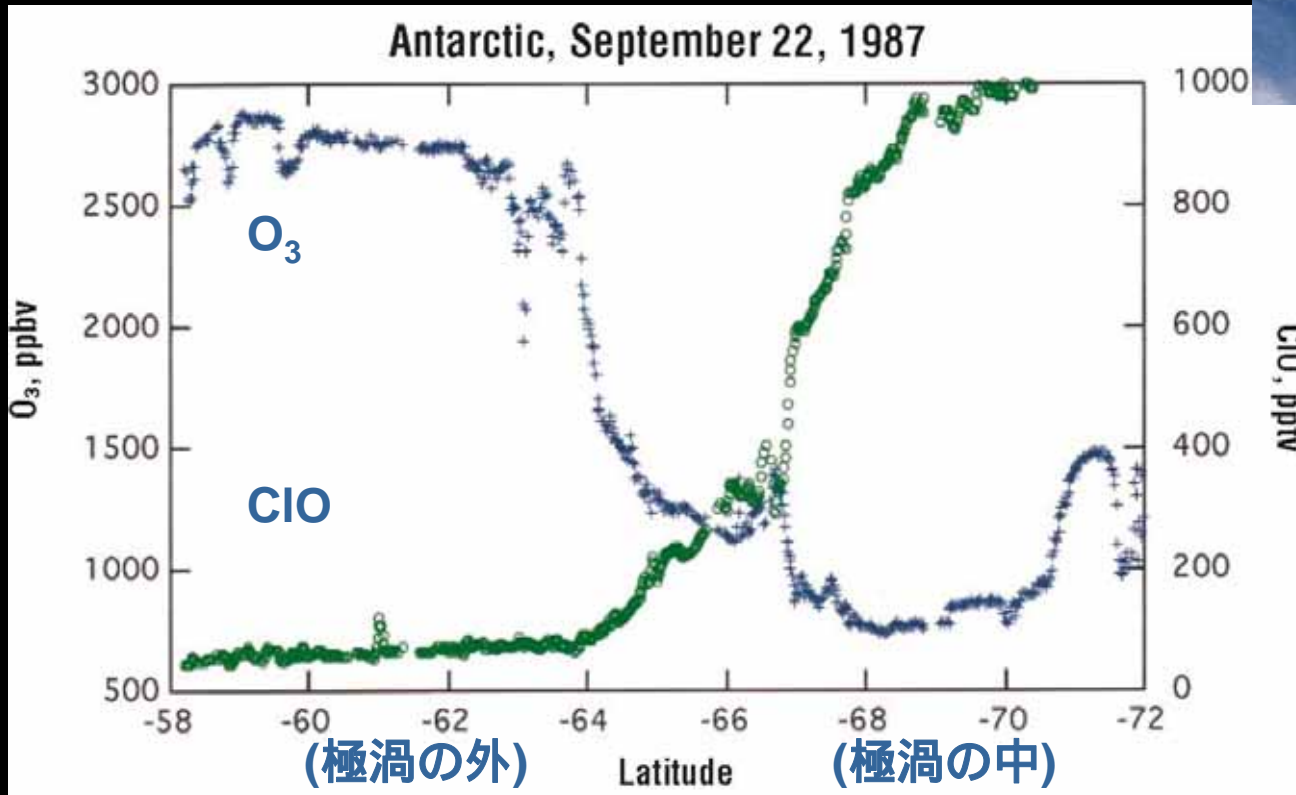
## (出遅れた衛星観測)



人工衛星(TOMS)からの南半球域10月平均オゾン全量の観測  
(Stolarski et al., 1986)

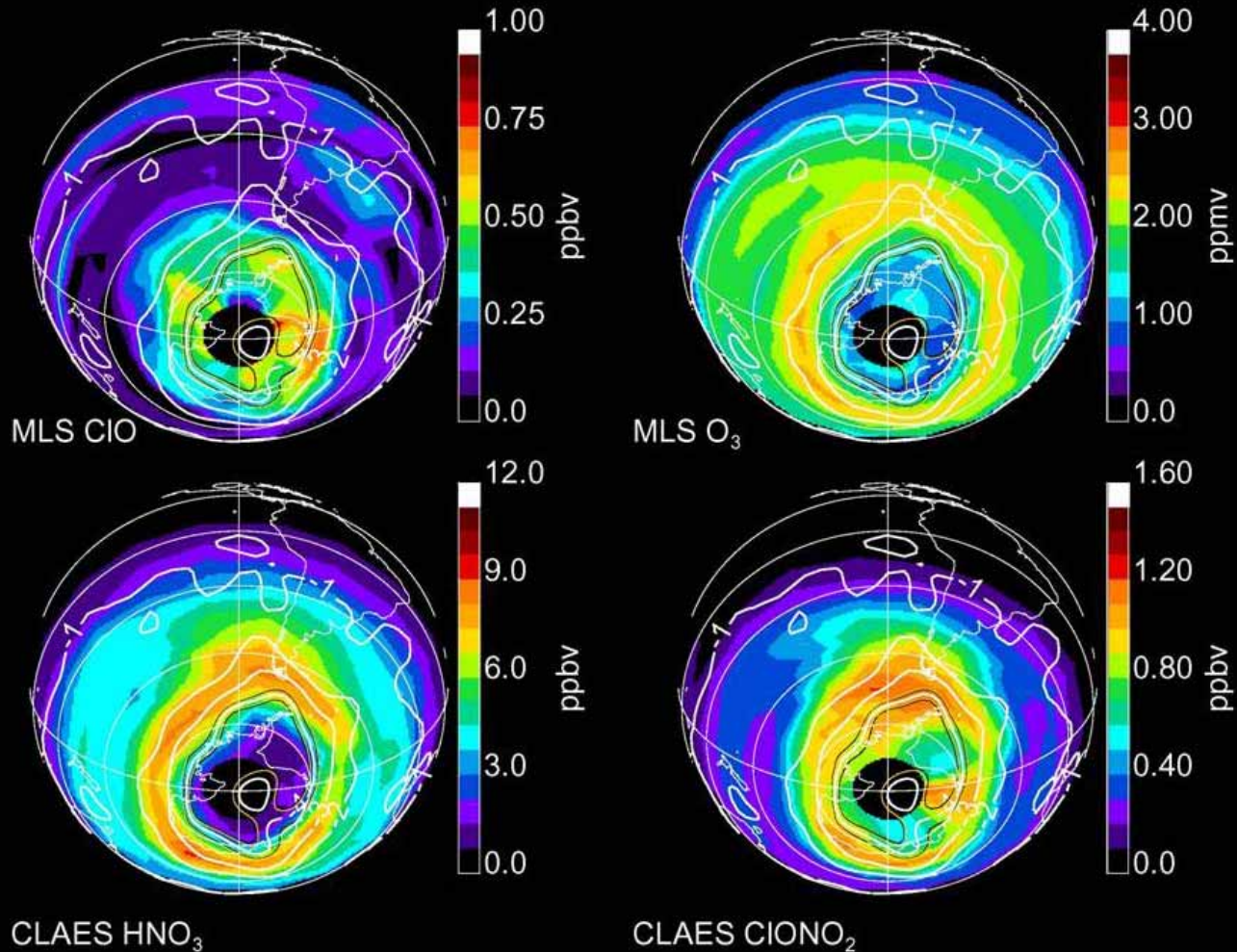


# 航空機によるオゾンホール観測

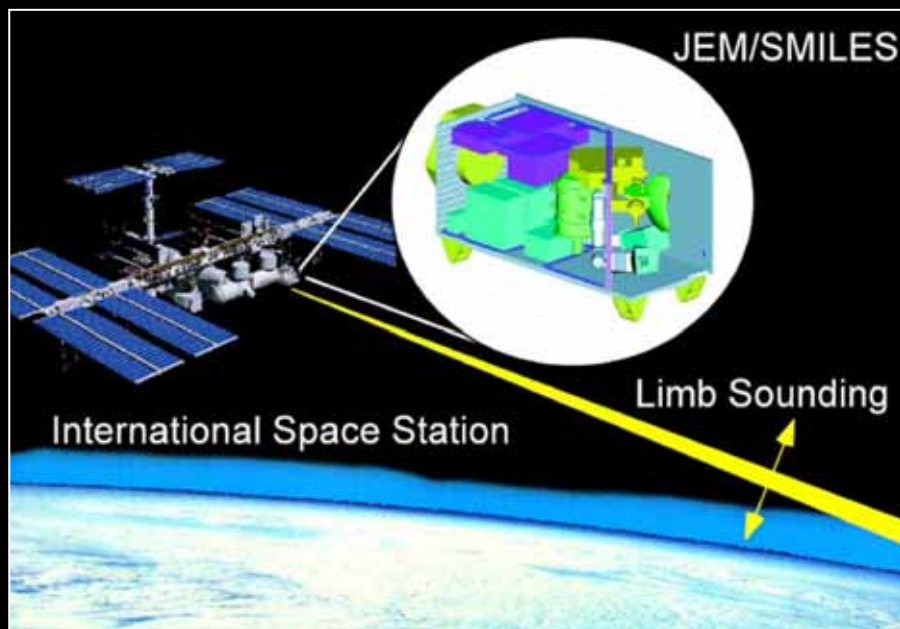


# 南半球の大気微量成分分布

UARS Data, Sept. 17 1992,  $\theta = 460\text{K}$



# 想像力(現場観測)と構想力(衛星観測)



国際宇宙ステーションからのグローバルな大気微量成分観測: SMILES  
(Superconducting SubMillimeter-wave Limb Emission Sounder)

熱帯域におけるオゾン・水蒸気ゾンデ観測:  
SOWER/Pacific (Soundings of Ozone and  
Water in the Equatorial Region)



# おわりに

- 衛星観測：圧倒的な情報量  
俯瞰的，分野横断的な理解・構想力
- 地上観測：高い精度・分解能  
少ない情報量の中でめぐらす想像力

この両者を相補的に組み合わせるはじめて，  
地球環境変化の把握とそのメカニズムの解  
明が可能となる。