

FY-4资料区域数值模式同化应用思路

丁伟钰

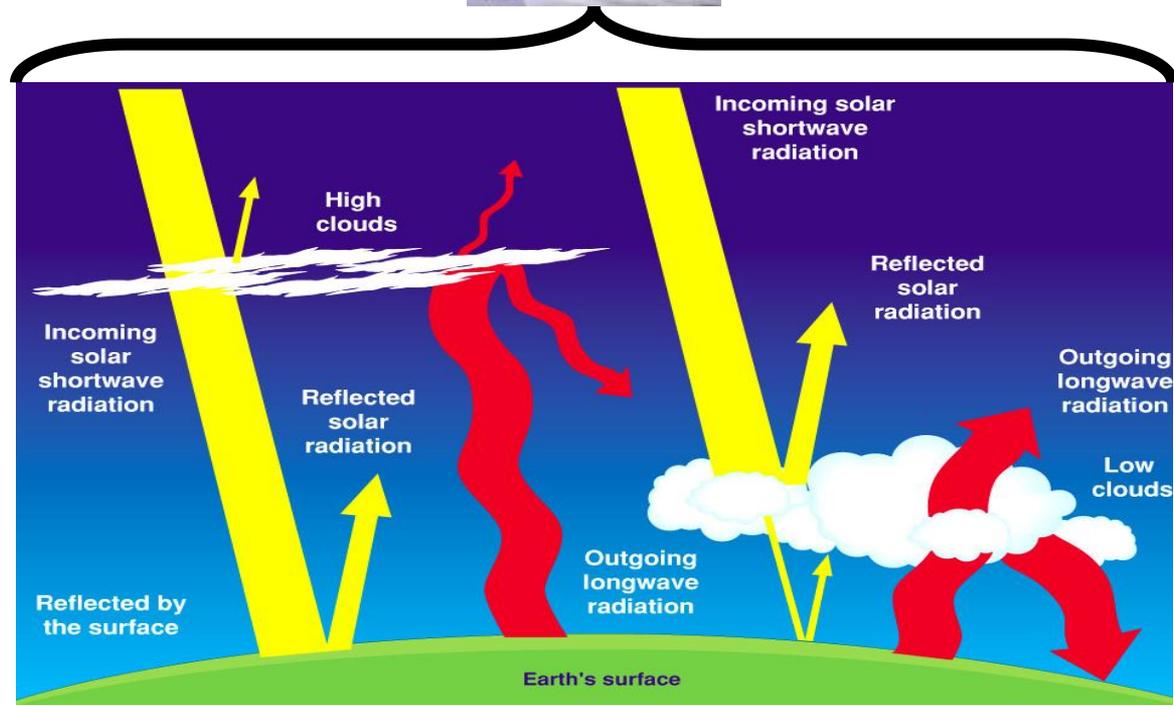
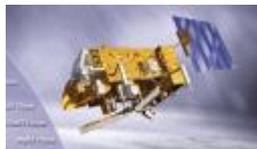
广州热带海洋气象研究所/区域数值天气预报
重点实验室

主要内容

- 背景知识
 - 星载仪器观测到了什么？
 - 大气辐射传输方程及简化
 - 如何实现大气的垂直探测
- 卫星资料同化的主要方案
 - 同化反演资料
 - 亮温资料直接同化
- FY-4在区域模式中同化应用思路

气象卫星观测到了什么？

星载仪器仅仅观测到了大气的向外辐射



没有直接
观测到温
度、湿度、
臭氧、风

星载仪器测量到了什么？

- 星载仪器测量到达大气层顶的指定频率 ν 的辐射 L
- 观测到的辐射与大气的地球物理参数（如温度、水汽、云、臭氧...）有关

辐射传输方程Radiative Transfer Equation

卫星测量值

我们对于大气辐射过程的描述

$$L(\nu) = \int_0^{\infty} B(\nu, T(z)) \left[\frac{d\tau(\nu)}{dz} \right] dz + \text{地表发射} + \text{地表反射和散射} + \text{云和雨的作用} + \dots$$

与温度有关的普朗克函数

大气的吸收

其他物理过程的贡献

辐射传输方程Radiative Transfer Equation



卫星测量值

我们对于大气辐射过程的描述

$$L(\nu) = \int_0^\infty B(\nu, T(z)) \left[\frac{d\tau(\nu)}{dz} \right] dz + \text{地表发射} + \text{地表反射和散射} + \text{云和雨的作用} + \dots$$

给定大气状态，求卫星观测的亮温

辐射传输方程Radiative Transfer Equation

给定卫星观测的亮温，求大气辐射状态

卫星测量值

我们对于大气辐射过程的描述

$$L(\nu) = \int_0^{\infty} B(\nu, T(z)) \left[\frac{d\tau(\nu)}{dz} \right] dz + \text{地表发射} + \text{地表反射和散射} + \text{云和雨的作用} + \dots$$

反问题

辐射传输方程Radiative Transfer Equation

← 正问题 (观测算子 $H(x)$)

卫星测量值

我们对于大气辐射过程的描述

$$L(\nu) = \int_0^\infty B(\nu, T(z)) \left[\frac{d\tau(\nu)}{dz} \right] dz + \text{地表发射} + \text{地表反射和散射} + \text{云和雨的作用} + \dots$$

→ 反问题 (求泛函的极小化)

如何简化辐射传输方程，
以便用于数值预报领域？

通道选择

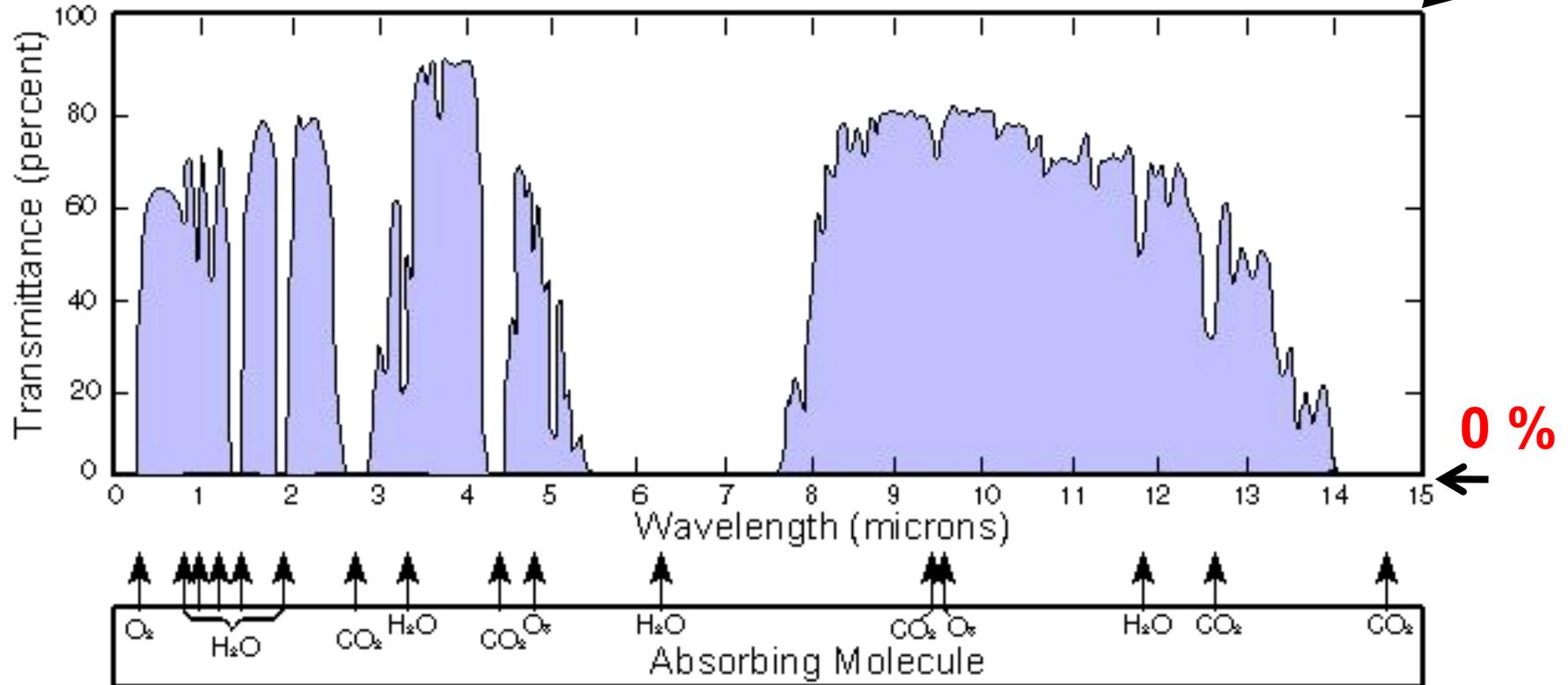
卫星不同通道（频率）观测的亮温具有不同的特征

- 根据观测的需求，选择特定的通道（频率）
- 通常情况下，数值预报使用3类通道
 - 大气探测通道（被动式观测仪器）
 - 地表观测通道（被动式观测仪器）
 - 大气或地表观测通道（主动式观测仪器）

一般情况下，卫星上的观测仪器会有多个通道，对大气和地表进行综合观测

例如：红外波段

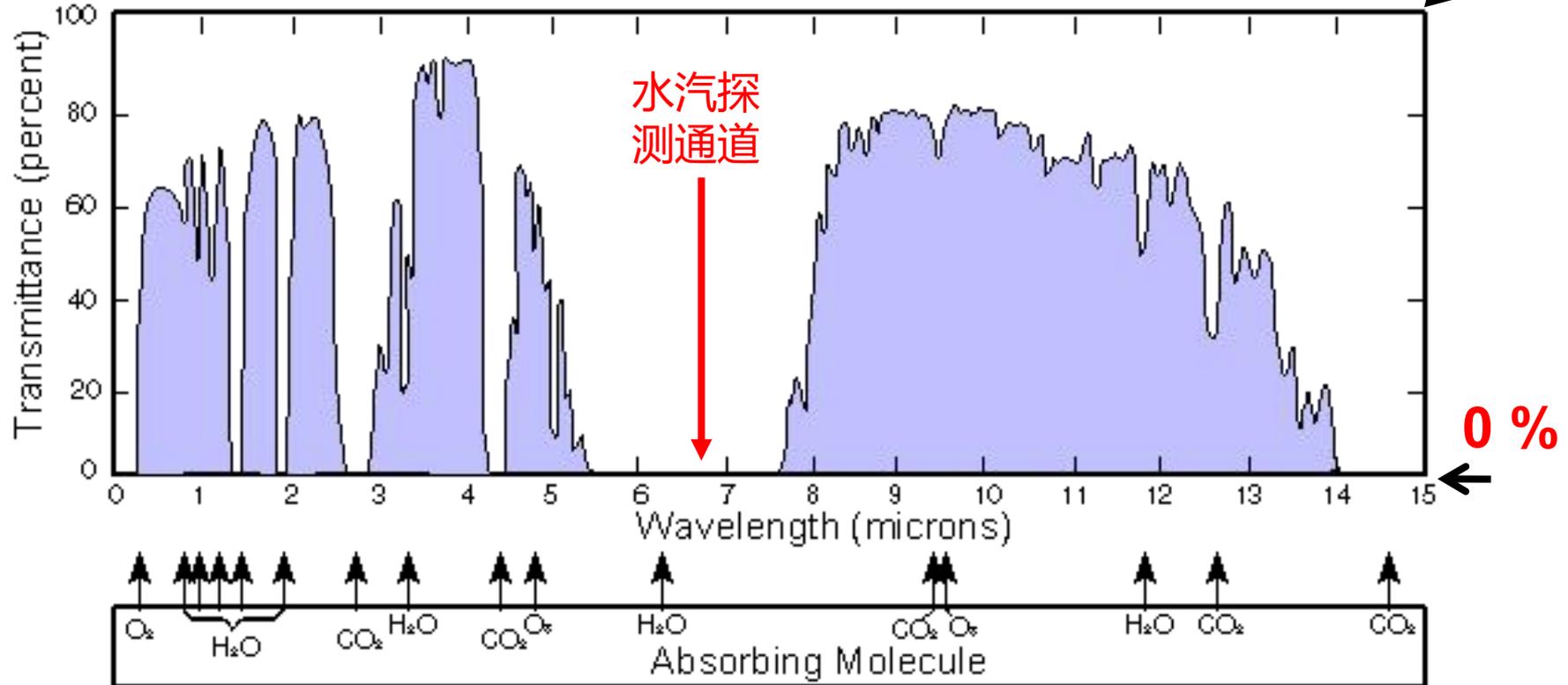
absorption of infrared radiation in the atmosphere **100 %**



大气探测通道

absorption of infrared radiation in the atmosphere

100 %



大气探测通道

选择那些地表没有贡献的通道。

卫星测量值

我们对于大气辐射过程的描述

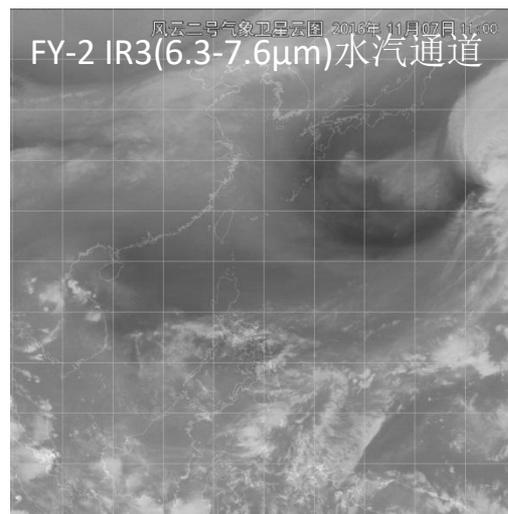
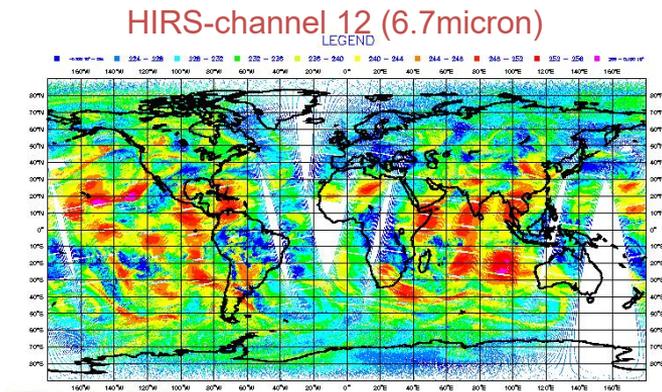
$$L(\nu) = \int_0^{\infty} B(\nu, T(z)) \left[\frac{d\tau(\nu)}{dz} \right] dz + \text{地表发射} + \text{地表反射} + \text{散射} + \text{云和雨的作用} + \dots$$

大气探测通道

这些通道观测的辐射值来自**大气**，因此辐射传输方程可以简化为：

$$L(\nu) \approx \int_0^{\infty} B(\nu, T(z)) \left[\frac{d\tau(\nu)}{dz} \right] dz$$

这样能够避免地面和云雨的影响，一般用于大气**温度**、**水汽**或者其他吸收气体（如**O₃**）的观测



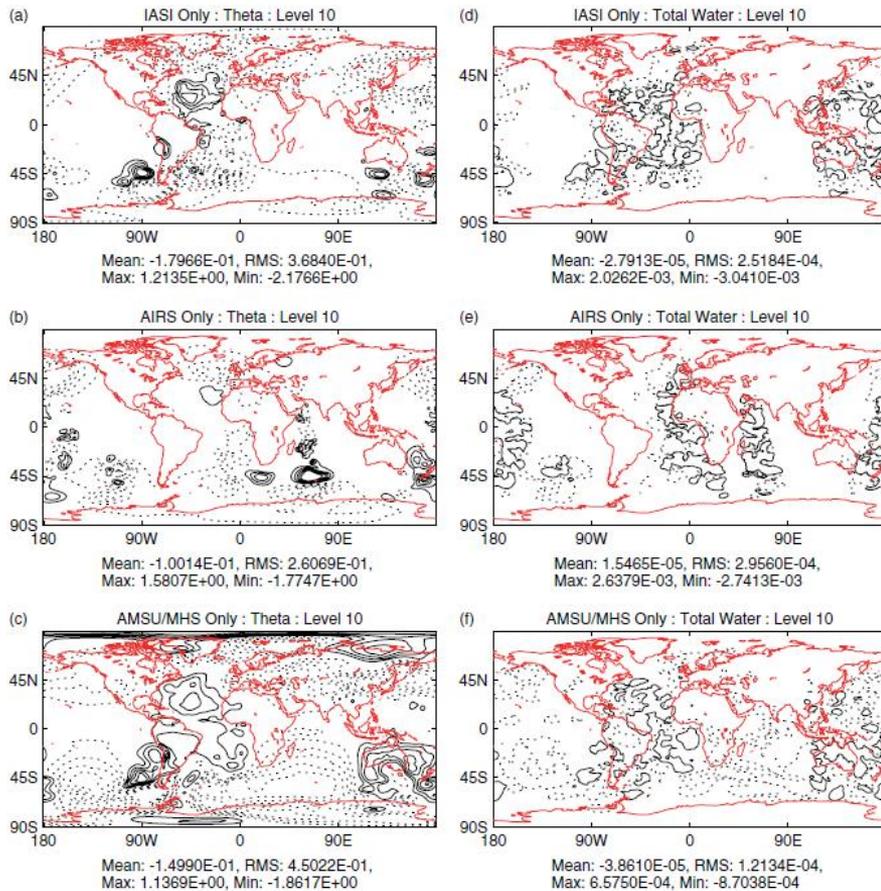


Figure 8. 4D-Var analysis increments for model level 10 (2 km) theta and total water for IASI, AIRS and MetOp AMSU/MHS. Solid contours are positive, dashed contours are negative. Theta contours are at 0.2 K intervals, total water at 0.1 g/kg intervals. This figure is available in colour online at www.interscience.wiley.com/journal/qj

英国气象局自2007年开始同化 IASI资料

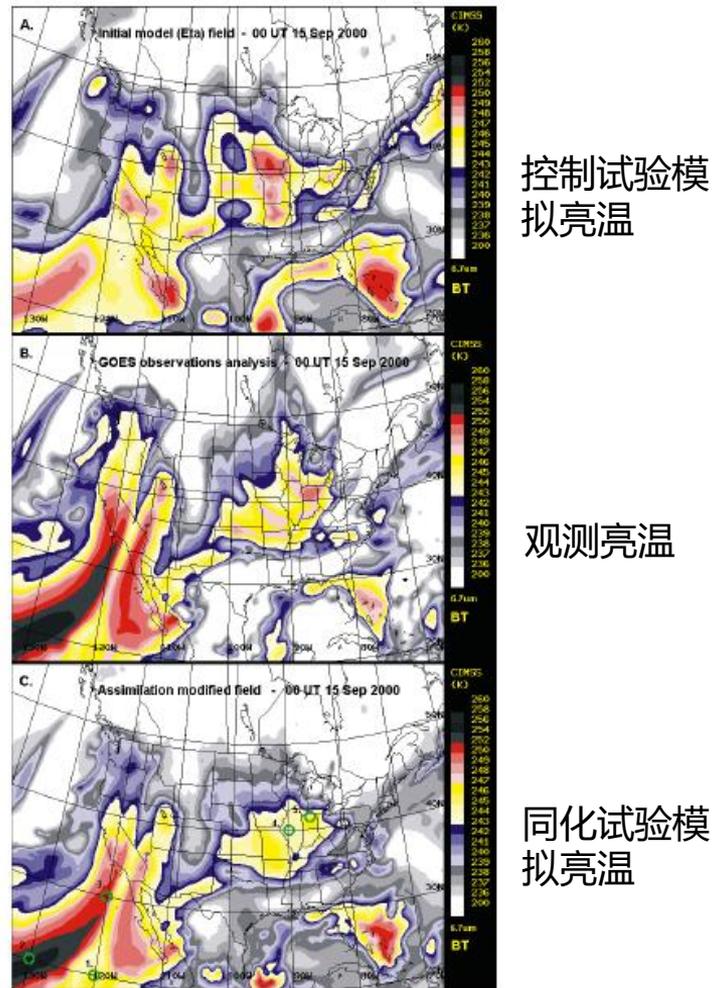
评估认为：IASI仪器的作用相当于一个AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit-A) 和一个MHS (Microwave Humidity Sounder)

FY-4将有类似的仪器

Hilton, F., N. C. Atkinson, S. J. English, and J. R. Eyre, 2009: Assimilation of IASI at the Met Office and assessment of its impact through observing system experiments. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 135, 495-505.

- GOES卫星6.7 μm 水汽通道仅对大气中的水汽敏感
- 同化6.7 μm 水汽通道资料可以改进数值模式高层的水汽场
- 分析场及其预报的模拟亮温更接近实况

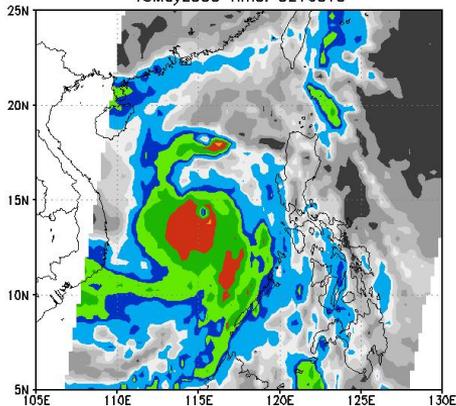
Raymond, W. H. and G. S. Wade and T. H. Zapotocny, 2004: Assimilating GOES Brightness Temperatures. Part I: Upper-Tropospheric Moisture. *Journal of Applied Meteorology*, 43, 17-27



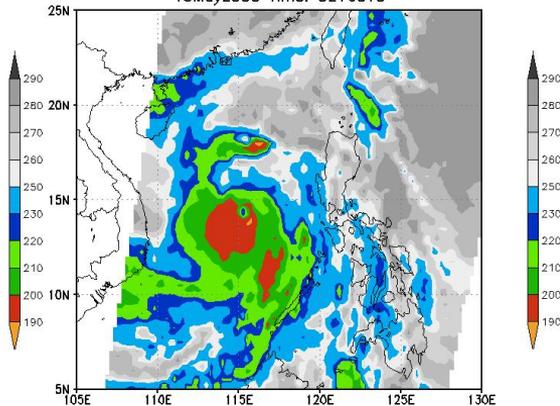
有云条件下辐射亮温的模拟——珍珠台风

观测

NOAA-17 HIRS Channel 8 Brightness Temperature (K)
15May2006 Time: 0216UTC



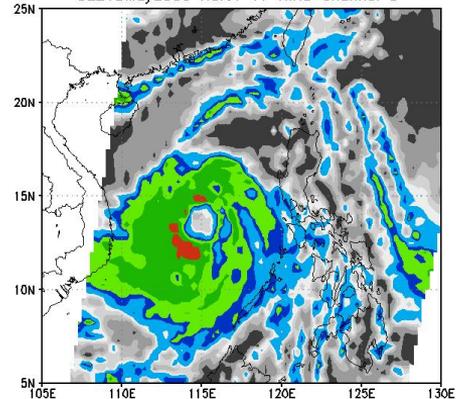
NOAA-17 HIRS Channel 10 Brightness Temperature (K)
15May2006 Time: 0216UTC



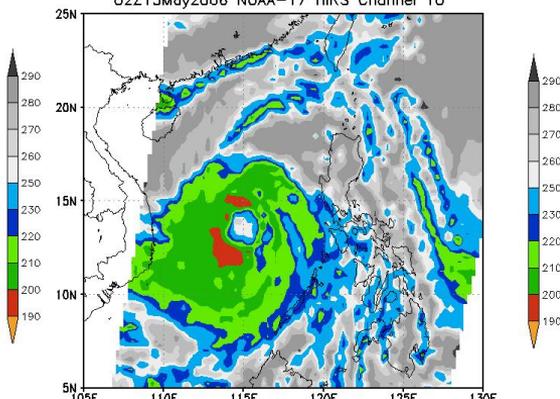
2006年5月15日
0216UTC

模拟

Simulated Brightness Temperature (K)
02215May2006 NOAA-17 HIRS Channel 8



Simulated Brightness Temperature (K)
02215May2006 NOAA-17 HIRS Channel 10



Channel 8

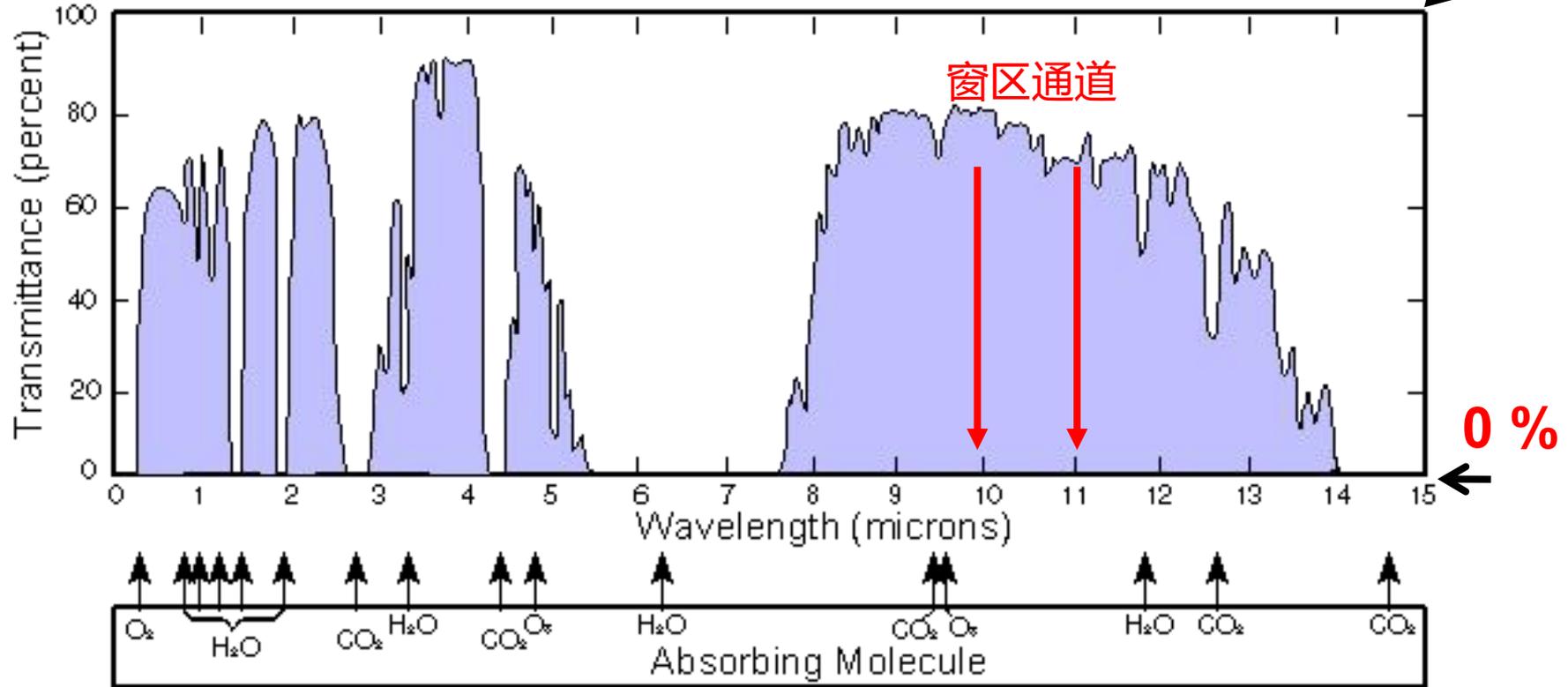
Channel 10

丁伟钰等 (2008)

地面观测通道 (被动)

absorption of infrared radiation in the atmosphere

100 %

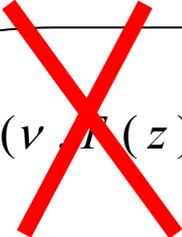


地面观测通道（被动）

选择那些大气没有贡献的通道。

卫星测量值

我们对于大气辐射过程的描述

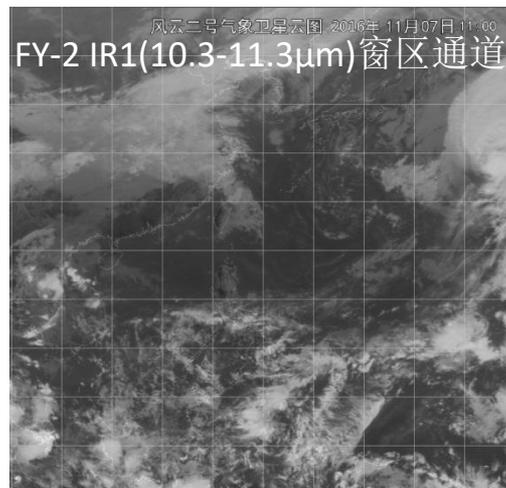
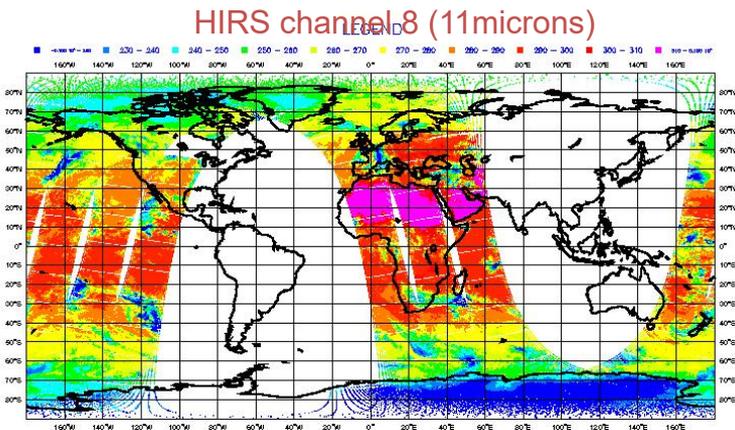
$$L(\nu) = \int_0^{\infty} B(\nu, T(z)) \left[\frac{d\tau(\nu)}{dz} \right] dz + \text{地表发射} + \text{地表反射和散射} + \text{云和雨的作用} + \dots$$


地面观测通道（被动）

这些通道位于红外和微波的窗区，在这些频率大气的贡献很小，因此辐射传输方程可以简化为：

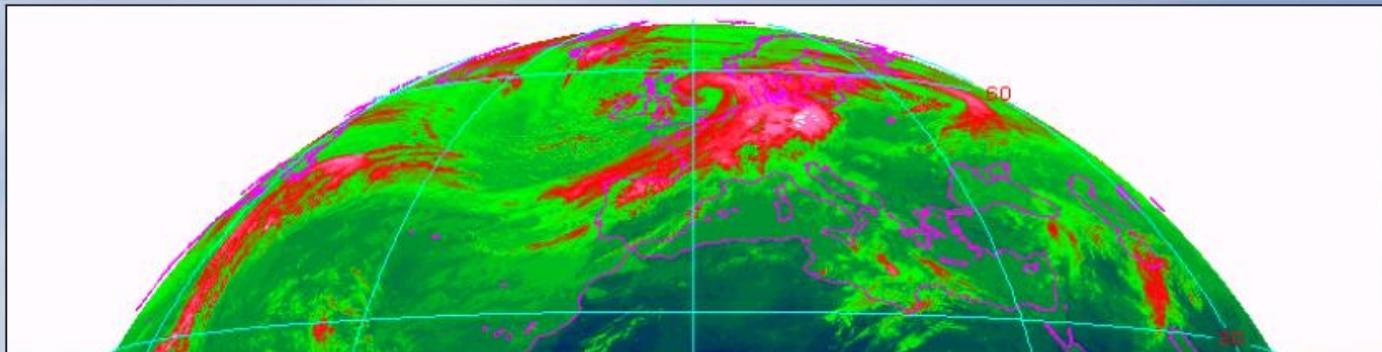
$$L(\nu) \approx B[\nu, T_{\text{surf}}] \epsilon(u, \nu) \quad (\text{i.e. surface emission})$$

可以获取地面温度，以及影响地表发射率的因子，如地表类型、云雨、风（根据云的移动）

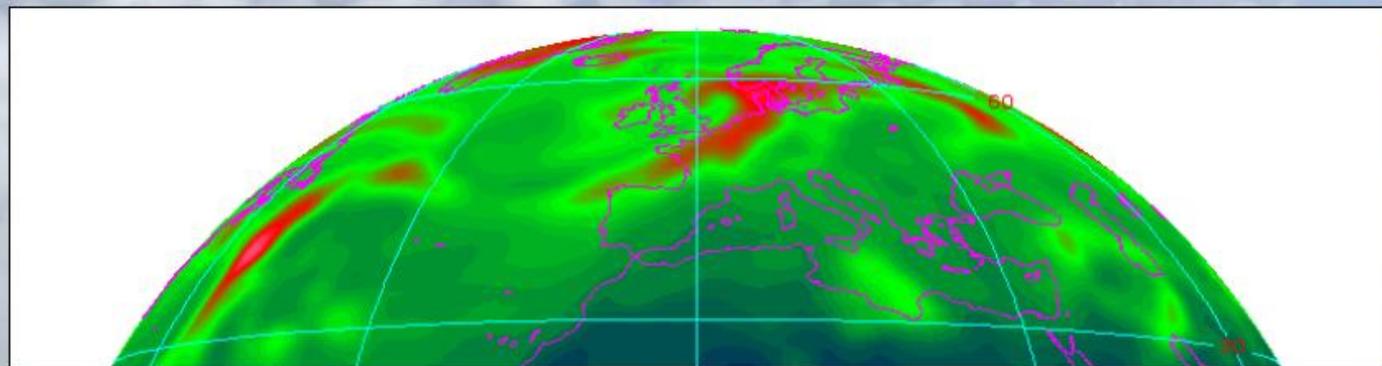


Meteosat-7 11 μ m image

30/10/2000 12UTC



Meteosat-7 11 μ m image simulated with operational ECMWF 12H FC



Chevallier and Kelly (2002)

在数值预报模式中哪种通道更重要？

大气探测通道

对于大气探测通道的辐射传输方程：

$$L(\nu) = \int_0^{\infty} B(\nu, T(z)) \left[\frac{d\tau(\nu)}{dz} \right] dz$$

定义：

$$H(z) = \left[\frac{d\tau}{dz} \right]$$

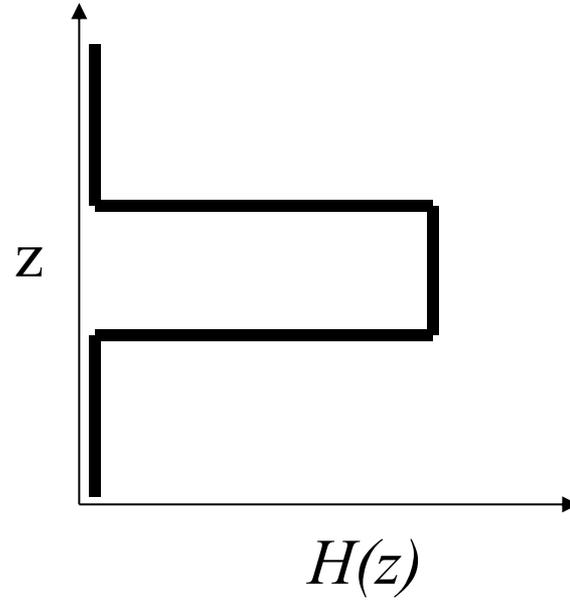
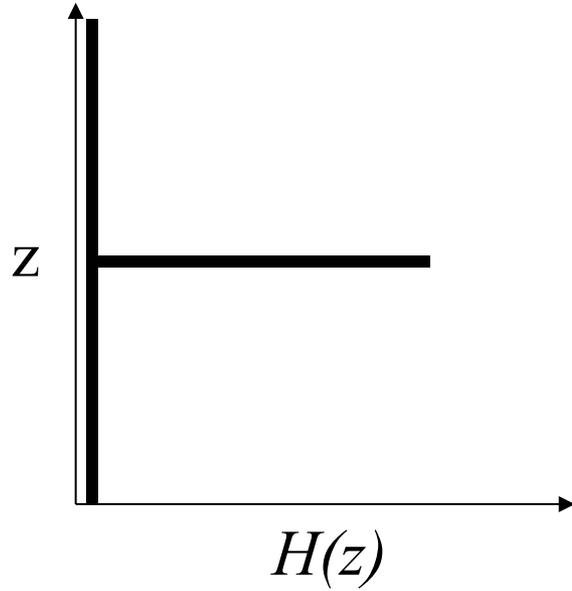
$H(z)$ 为权重函数

可以改写成：

$$L(\nu) = \int_0^{\infty} B(\nu, T(z)) H(z) dz$$

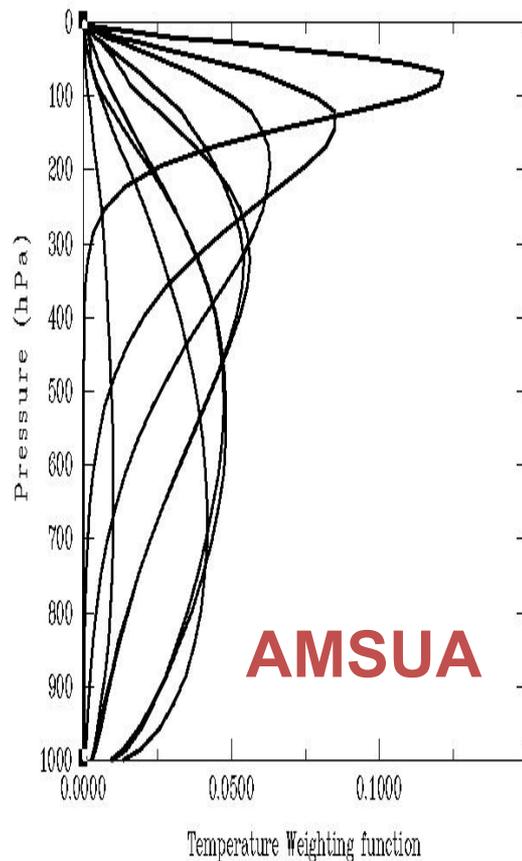
可见：**卫星接收的辐射值是温度廓线的加权平均**

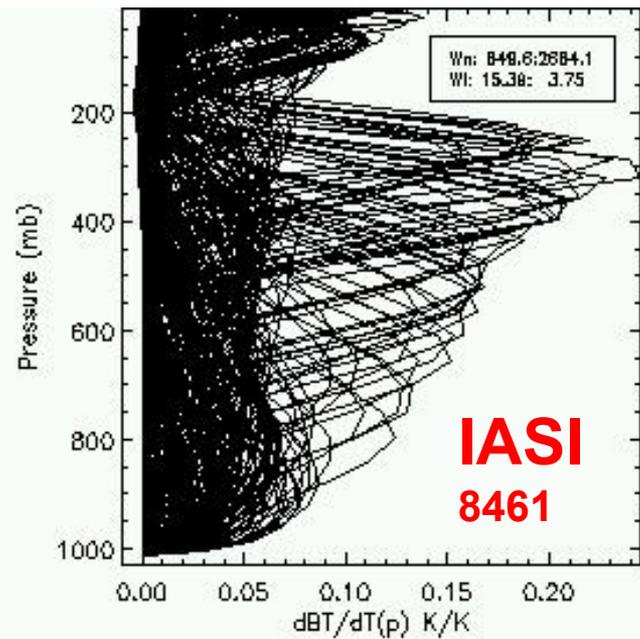
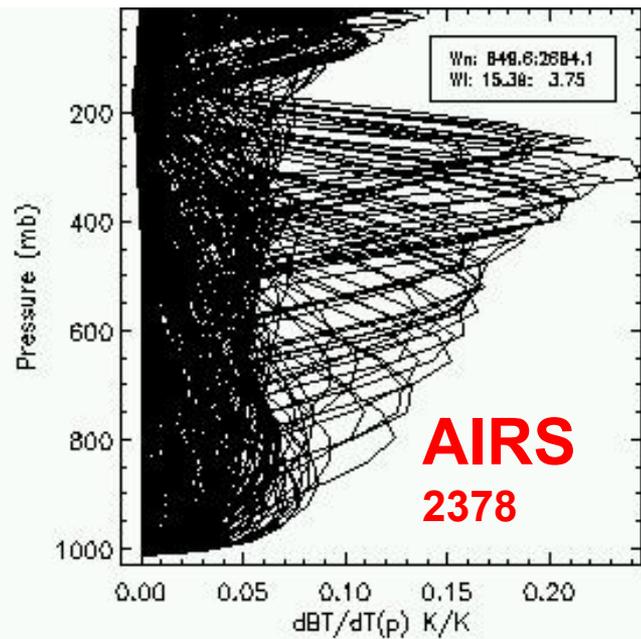
理想的权重函数



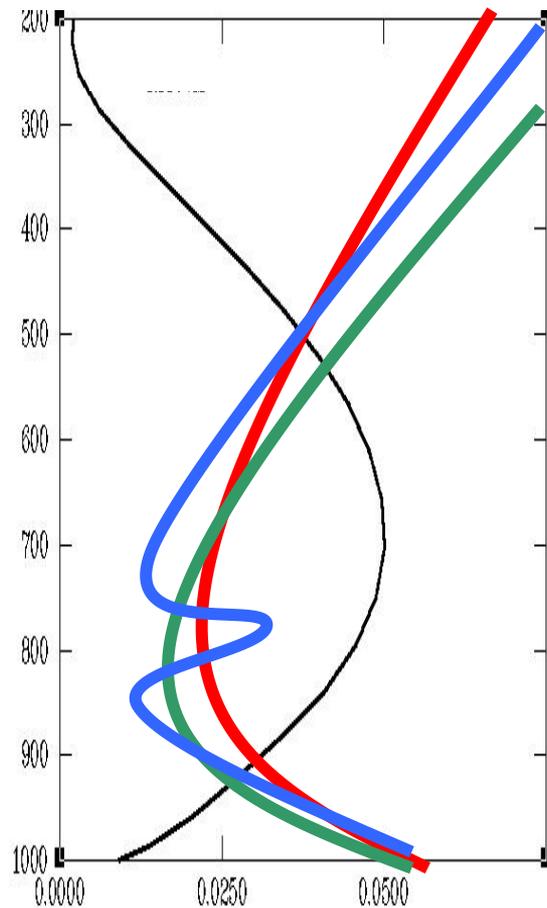
真实的权重函数

- 权重函数的分布与对应频率吸收气体的特性有关
- 选择**一定数量**的探测通道，可以对大气不同高度的温度进行采样





尽管有很多的观测通道，已知亮温求大气温
度廓线，仍然是不定解
问题



卫星资料同化的两个选择

同化反演资料

直接同化亮温资料

同化反演资料

- 线性同化方案如OI (Optimal Interpolation) 不能同化亮温产品, 只能将亮温转换为温度等产品, 再同化
- 不管哪种反演方法, 都是用了一定的先验信息, 以便求解反问题

直接同化亮温资料

- 变分方法 (3DVAR/4DVAR) 可以直接同化亮温资料
- 变分方法也提供了先验信息 (如背景场)
- 变分方法可以避免反演误差以及重复使用先验信息

$$J(x) = \underbrace{(x - x_b)^T \mathbf{B}^{-1} (x - x_b)}_{\text{3/4D 大气状态量}} + \underbrace{(y - \mathbf{H}[x])^T \mathbf{R}^{-1} (y - \mathbf{H}[x])}_{\substack{\text{卫星观测} \\ \text{“观测算子”} \\ \mathbf{H} = \text{radiative transfer equation}}}$$

变分方法直接同化亮温资料需要注意的问题

- 背景误差协方差矩阵 (B)
- 观测资料误差协方差矩阵 (R)
- 质量控制和偏差订正

FY-4在区域模式中同化应用思路

- 全球模式和区域模式都同化卫星资料，两者有什么差别？
- 区域模式同化思路

全球模式同化卫星资料具备一定的优势

- 范围大，更多的资料可以被同化进来
- 观测资料的时间窗口可以更大，获得更多的资料
- 可以更好的获得观测资料中的长波信息

所以全球模式：

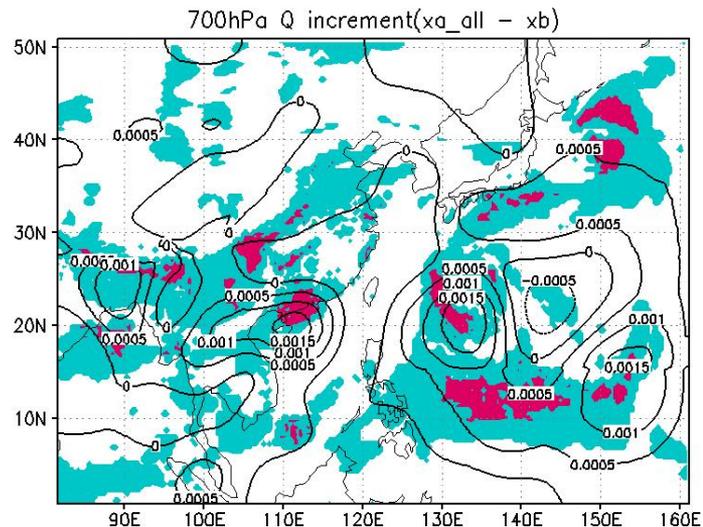
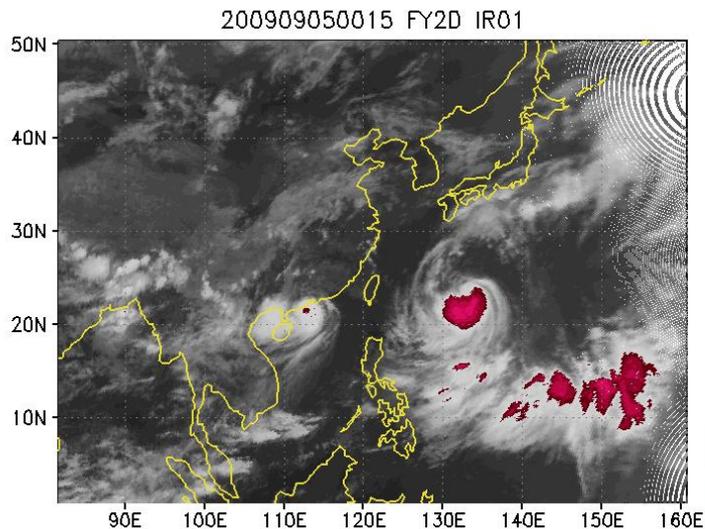
- ◆ 不用做高时间频率的循环同化
- ◆ 不用过于关注小尺度信息
- ◆ 可以只同化晴空区的卫星资料

区域模式卫星资料同化面临更大的挑战

区域模式卫星资料同化面临的问题及思路

- 中小尺度天气系统生命史短，需要更加及时的观测资料
 - 观测资料的同化时间窗口更加精细
 - 循环同化
- 台风、暴雨等天气系统与云密不可分，如果区域模式中只同化晴空区的卫星资料，那么能用的资料很少
 - 在辐射传输模式中增加云的影响，同化部分云区的资料

同化云区FY2亮温资料



注：涂色表示云覆盖，等值线表示比湿增量

谢谢

欢迎提问