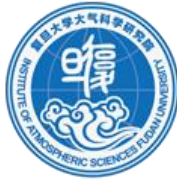


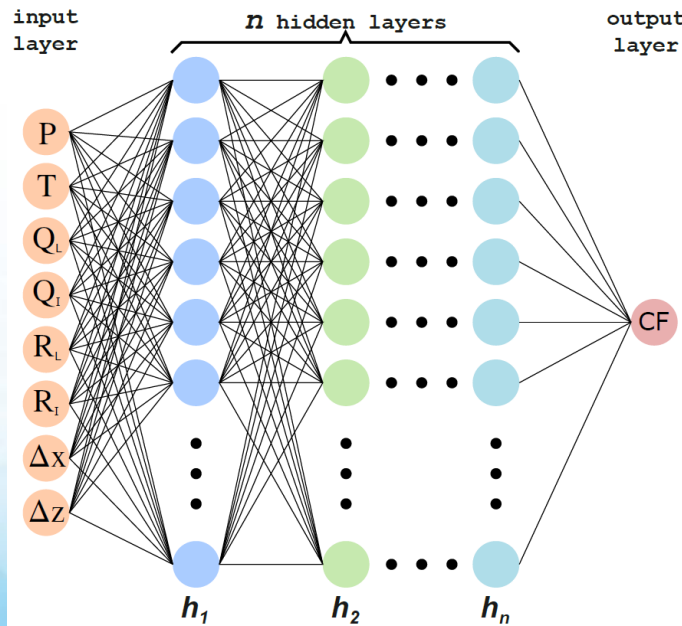


復旦大學 大气与海洋科学系
DEPARTMENT OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY



復旦大學 大气科学研究所
INSTITUTE OF ATMOSPHERIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY

基于神经网络的尺度自适应云量 参数化方案

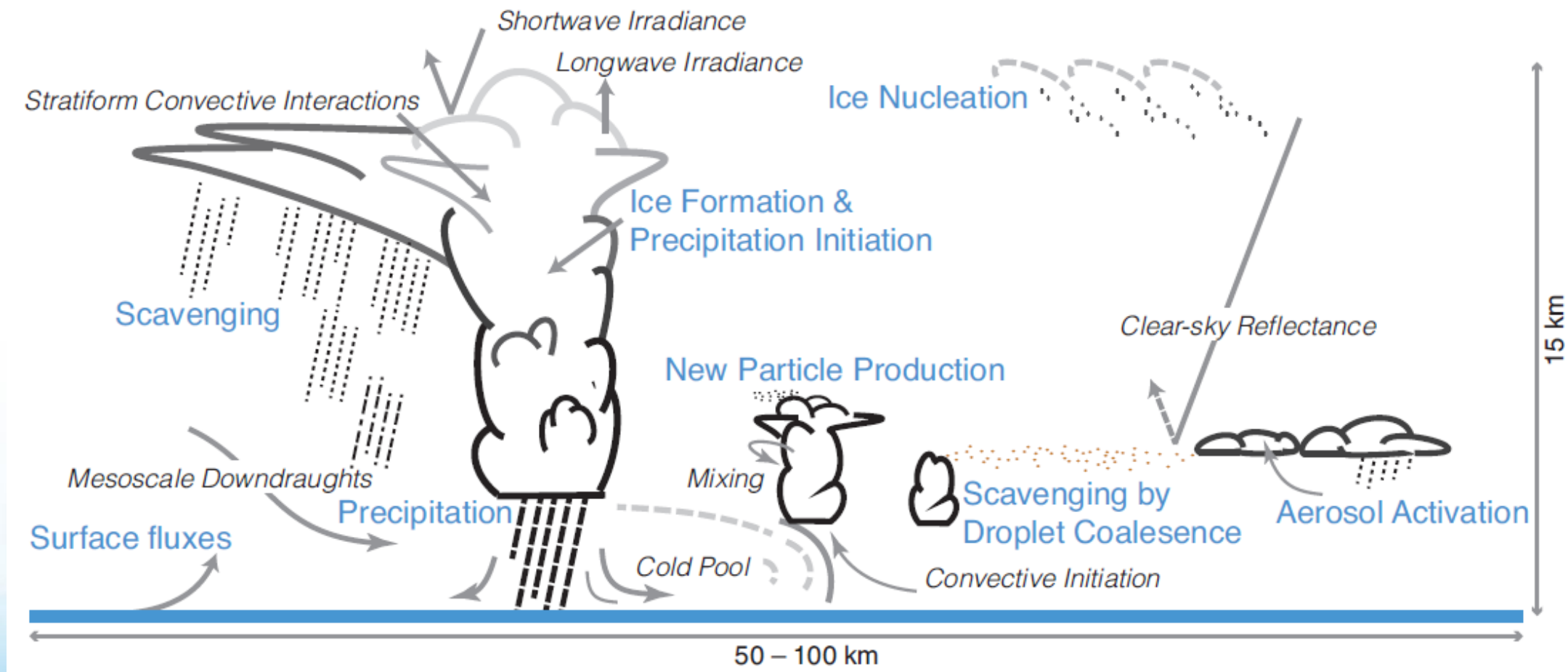


陈国兴

2023.08.11

Chen G, Wang W-C, Yang S, Wang Y, Zhang F, Wu K. 2023. A neural network-based scale-adaptive cloud-fraction scheme for GCMs. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 15(6): e2022MS003415. <https://doi.org/10.1029/2022MS003415>.

云在地球气候系统中的作用



水循环、大气辐射、对流混合、大气化学、湿沉降

研究背景

方法

主要结果

总结



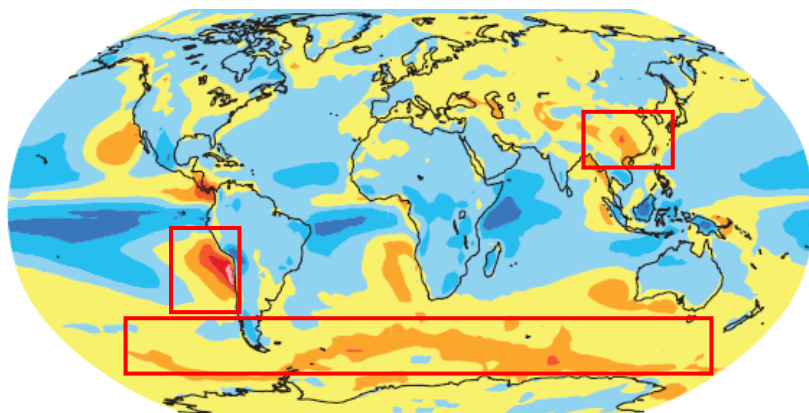
復旦大學
DEPARTMENT OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY



復旦大學
INSTITUTE OF ATMOSPHERIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY

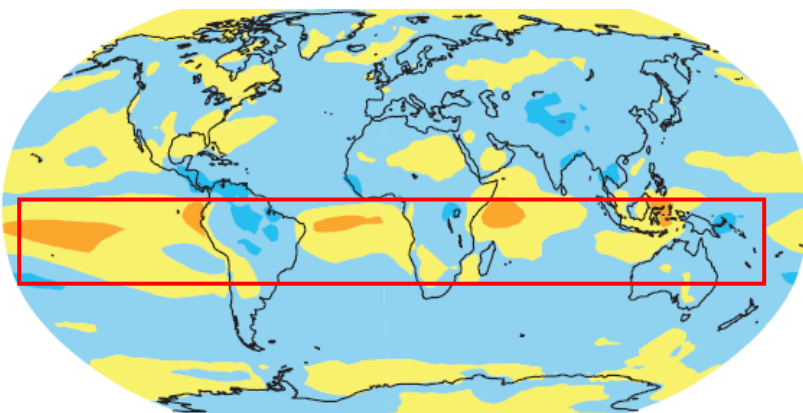
大气数值模式在云辐射效应方面普遍存在较大误差

Δ SWCRE

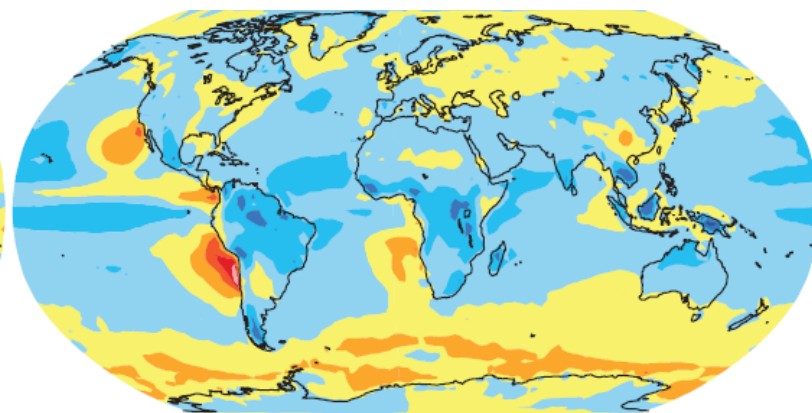


MOD - OBS

Δ LWCRE



Δ NCRE



IPCC AR5

(W m⁻²)



- 全球气候模式在云辐射效应方面普遍存在较大误差
 - 低估东南太平洋、南大洋、东亚等地区的短波辐射效应
 - 高估热带地区的长波辐射效应

研究背景

方法

主要结果

总结



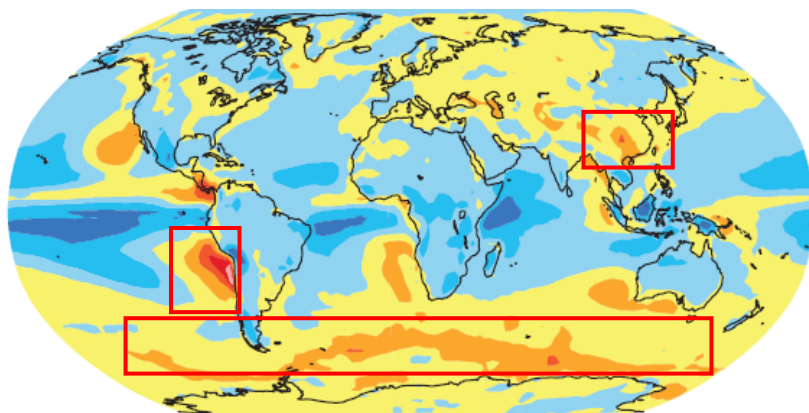
復旦大學大气与海洋科学系
DEPARTMENT OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY



復旦大學大气科学研究院
INSTITUTE OF ATMOSPHERIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY

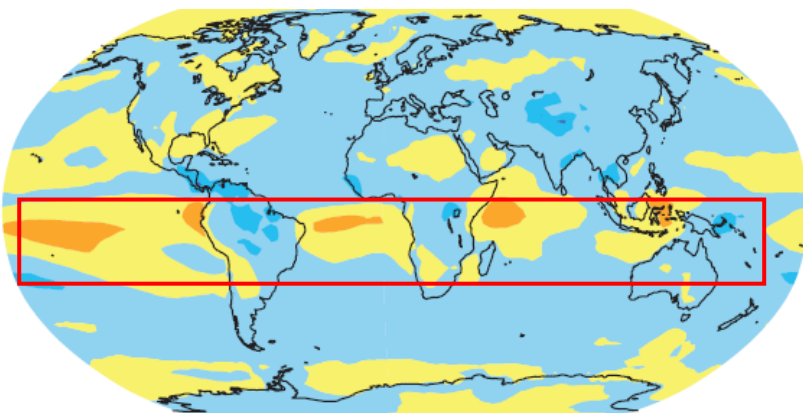
大气数值模式在云辐射效应方面普遍存在较大误差

Δ SWCRE



MOD - OBS

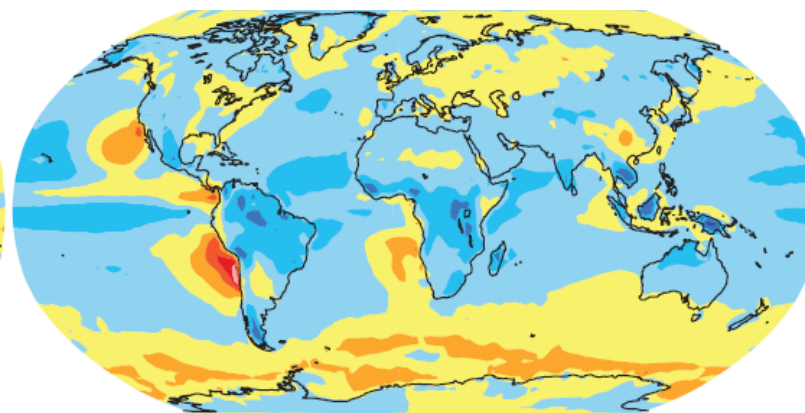
Δ LWCRE



(W m⁻²)



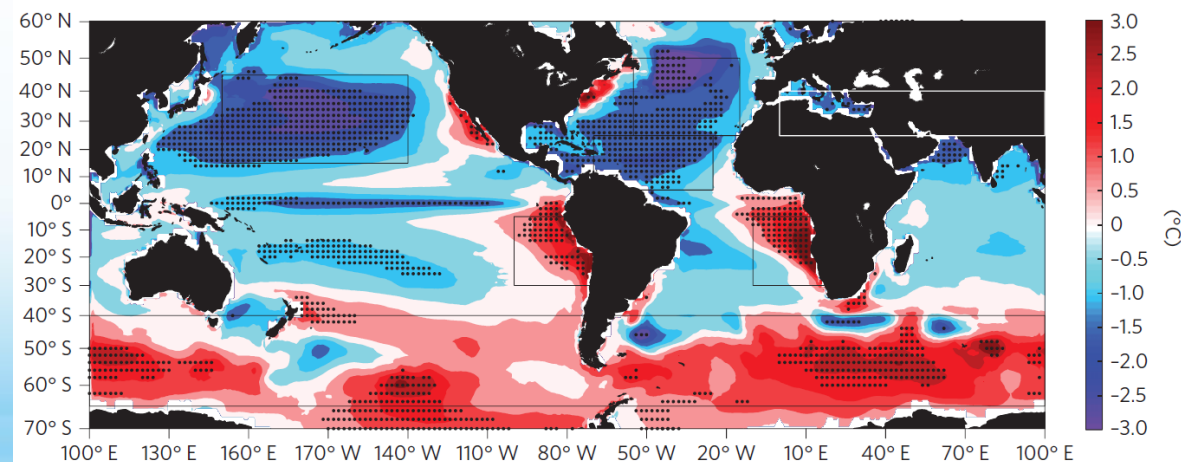
Δ NCRE



IPCC AR5

- 全球气候模式在云辐射效应方面普遍存在较大误差
- 低估东南太平洋、南大洋、东亚等地区的短波辐射效应
- 高估热带地区的长波辐射效应
- 地表辐射收支和温度的模拟误差

Wang et al., 2014



研究背景

方法

主要结果

总结

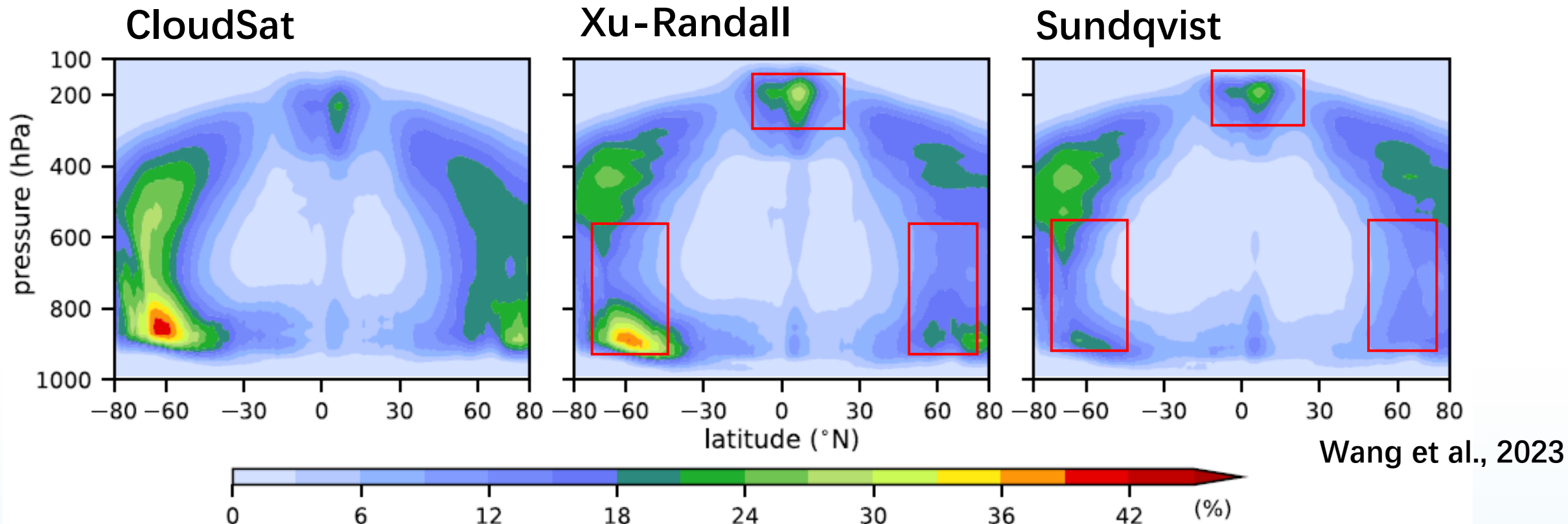


复旦大学大气与海洋科学系
DEPARTMENT OF ATMOSPHERIC AND OCEANOGRAPHIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY



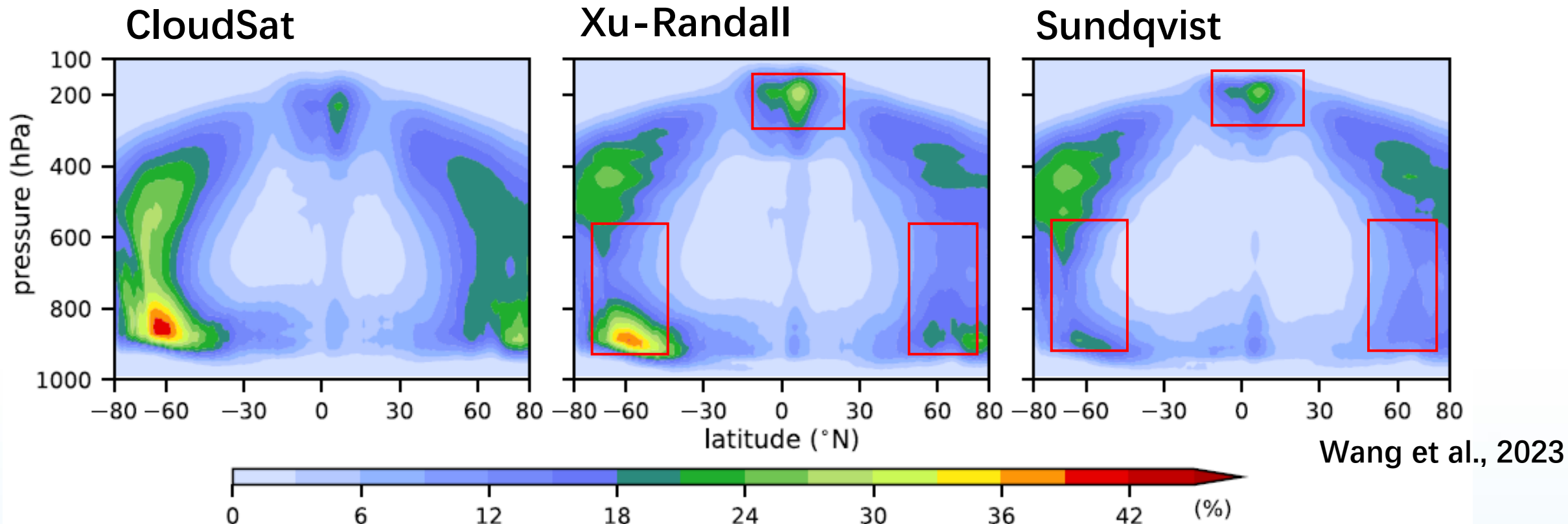
复旦大学大气科学研究所
INSTITUTE OF ATMOSPHERIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY

传统云量参数化方案的误差特征



- 基于CloudSat数据的离线评估：排除耦合模式中其他模块误差的干扰
 - 两种方案均可得到大致的云量空间分布
 - 高估热带地区高云云量 vs. 低估南北纬 60° 附近的中云和低云云量

传统云量参数化方案的误差特征



□ 基于CloudSat数据的离线评估：排除耦合模式中其他模块误差的干扰

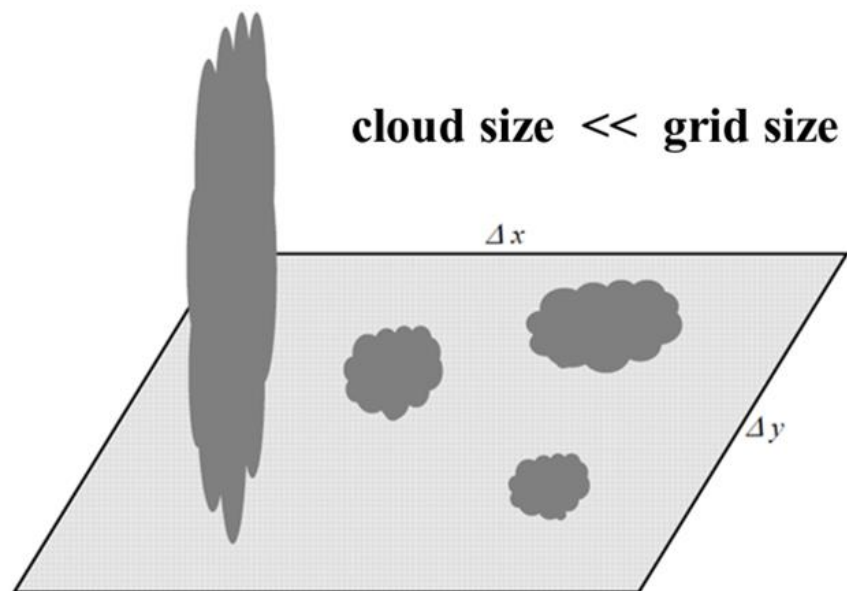
➤ 两种方案均可得到大致的云量空间分布

➤ **高估热带地区高云云量 vs. 低估南北纬 60° 附近的中云和低云云量**

→ 与全球模式中云辐射效应误差分布特征一致

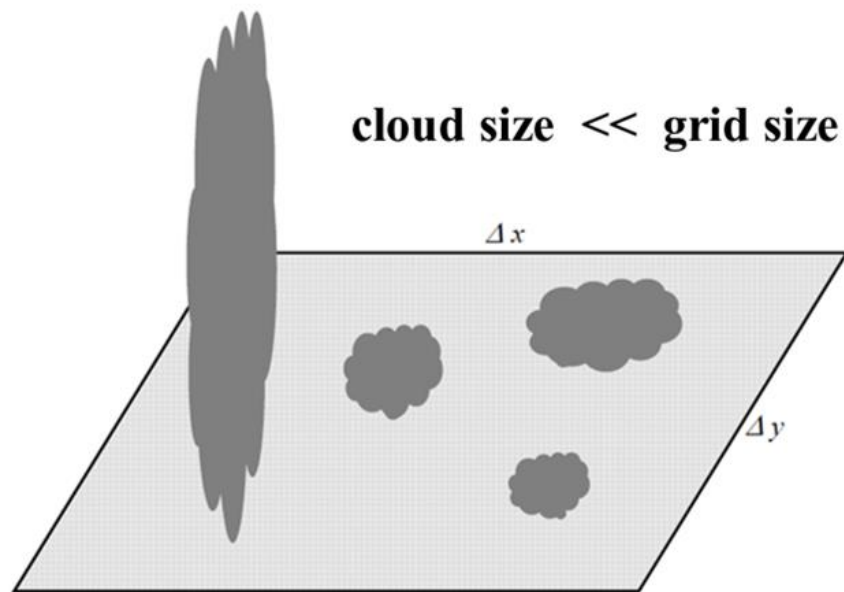
→ 改善云垂直结构的模拟有助于减少云辐射效应的模拟误差

云量参数化的难点

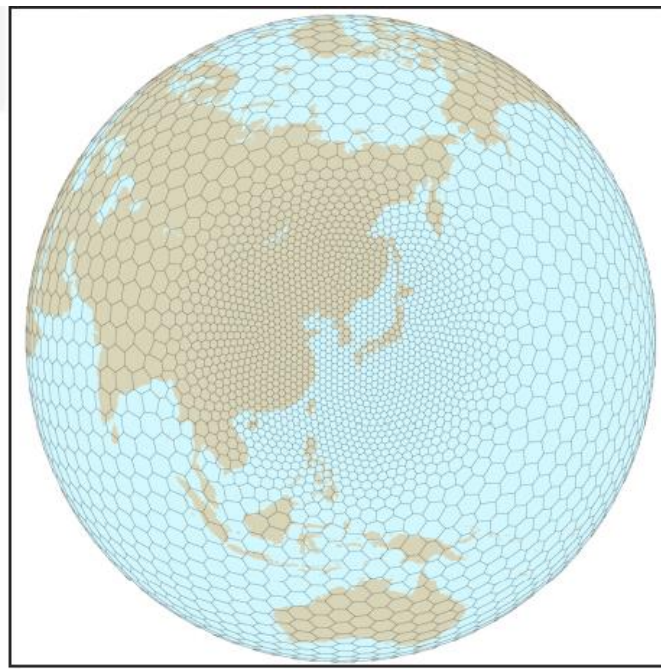


- 云量参数化不确定性来源
 - 次网格物理过程不清楚

云量参数化的难点

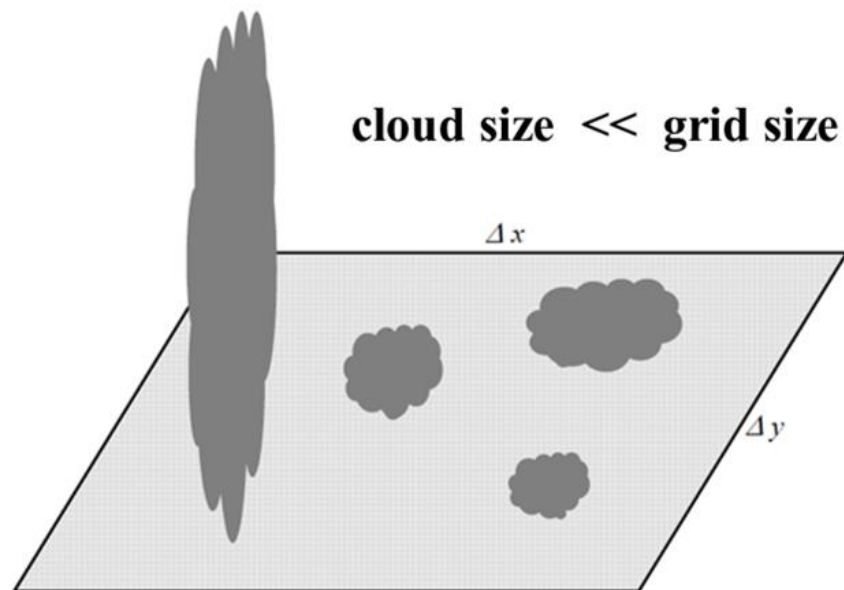


Different horizontal resolutions



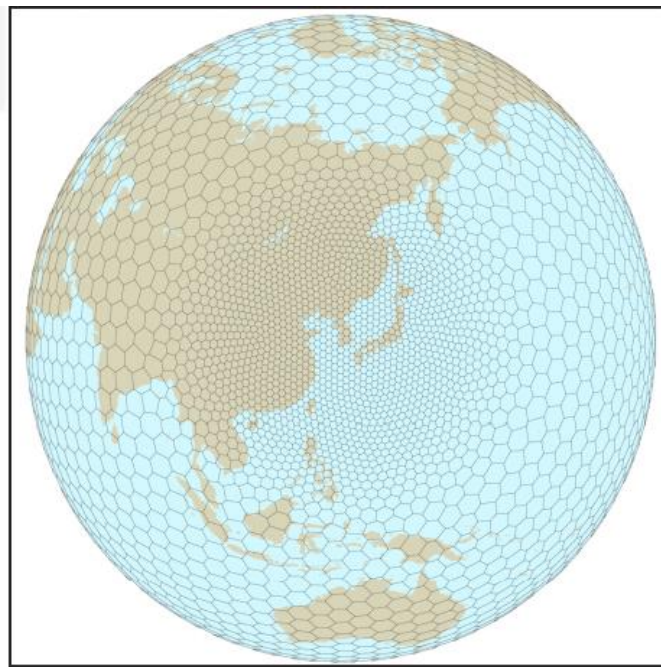
- 云量参数化不确定性来源
- 次网格物理过程不清楚
- 水平分辨率

云量参数化的难点



- 云量参数化不确定性来源
- 次网格物理过程不清楚
- 水平分辨率
- 垂直分辨率

Different horizontal resolutions



varying vertical resolution

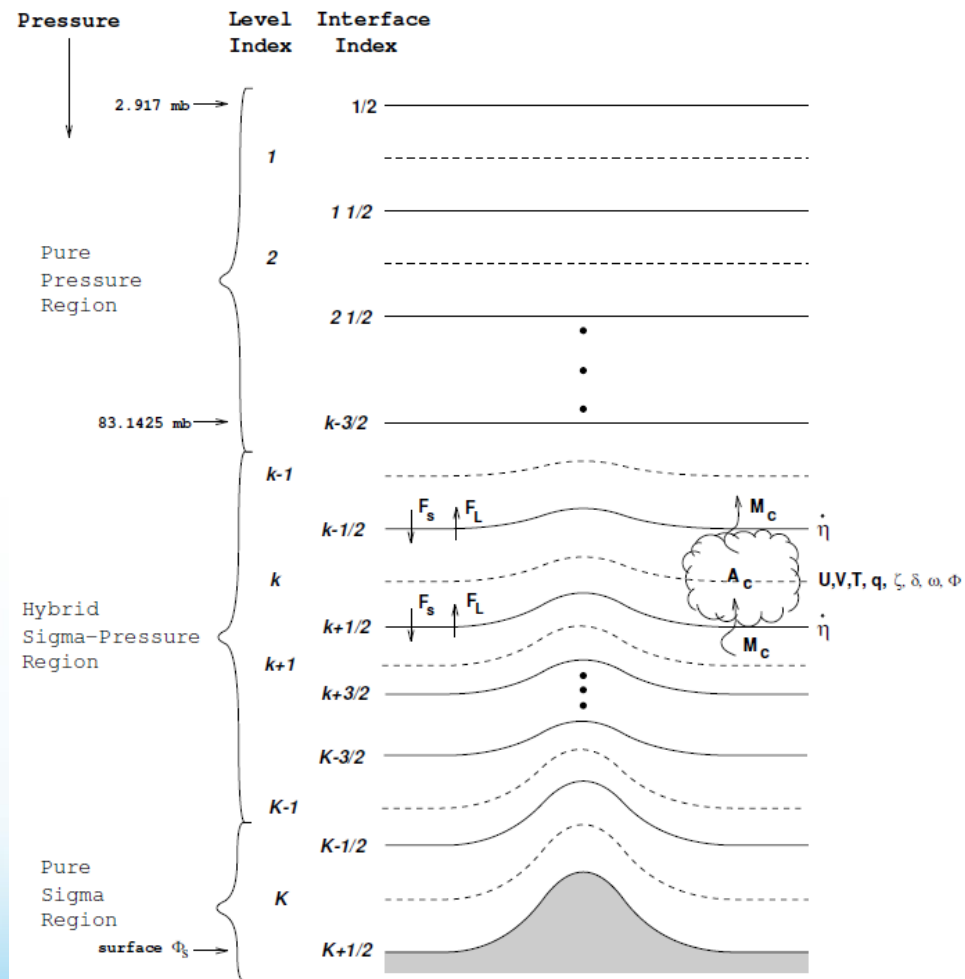
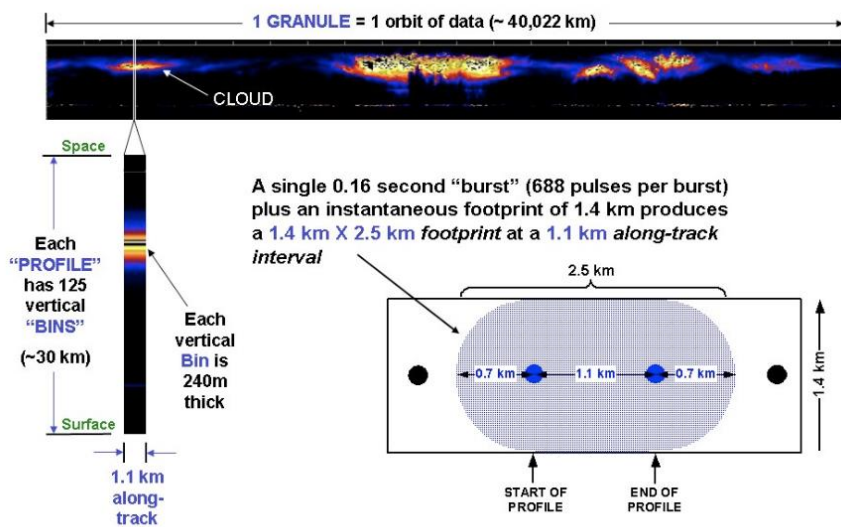


Figure 3.1: Vertical level structure of CAM 3.0

NSA云量参数化方案

Network-based Scale-Adaptive (NSA) cloud fraction scheme



- 2B-GEOPROF
- 2B-CWC-RO
- EMMWF-AUX

CloudSat
高分辨率
(准) 观测数据

研究背景

方法

主要结果

总结



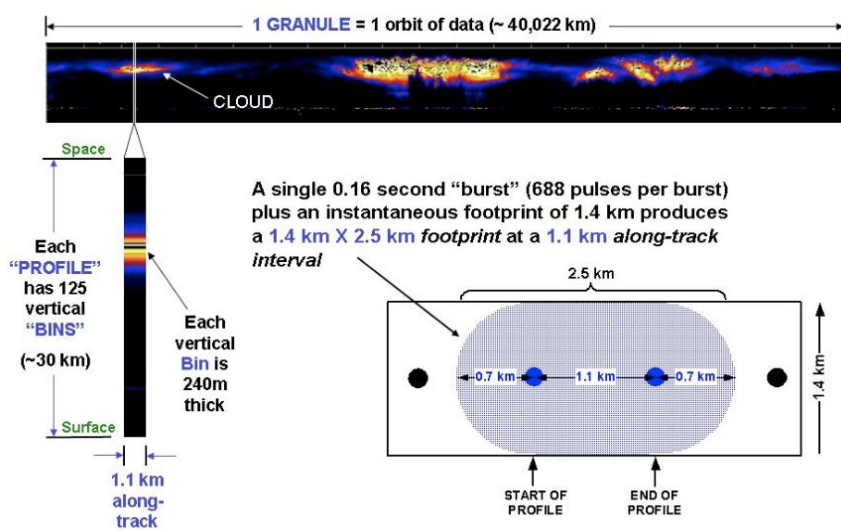
復旦大學大气与海洋科学系
DEPARTMENT OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY



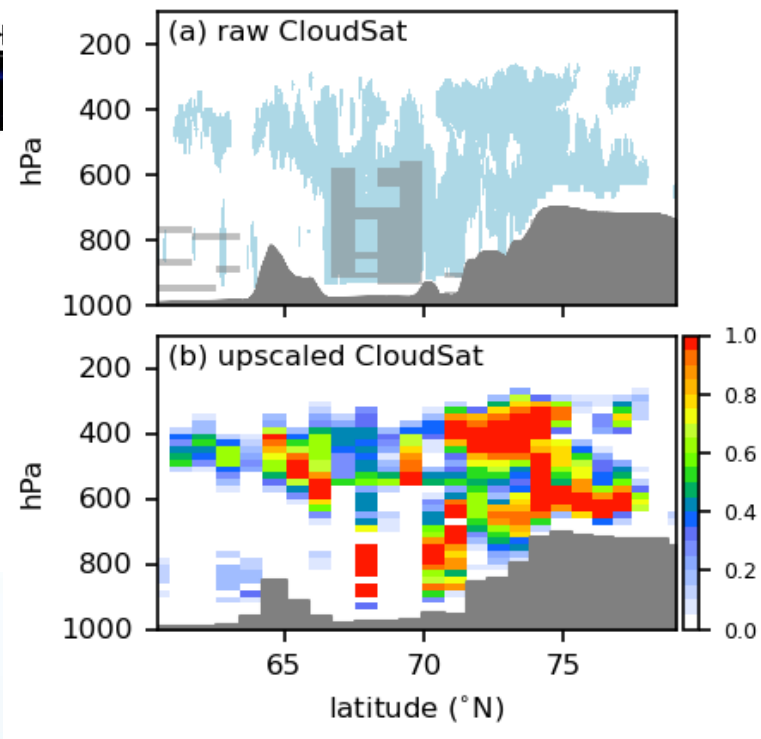
復旦大學大气科学研究院
INSTITUTE OF ATMOSPHERIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY

NSA云量参数化方案

Network-based Scale-Adaptive (NSA) cloud fraction scheme



- 2B-GEOPROF
- 2B-CWC-RO
- EMMWF-AUX



CloudSat
高分辨率
(准) 观测数据

升尺度
整理

“格点平均”的大气
属性和次网格云量

研究背景

方法

主要结果

总结



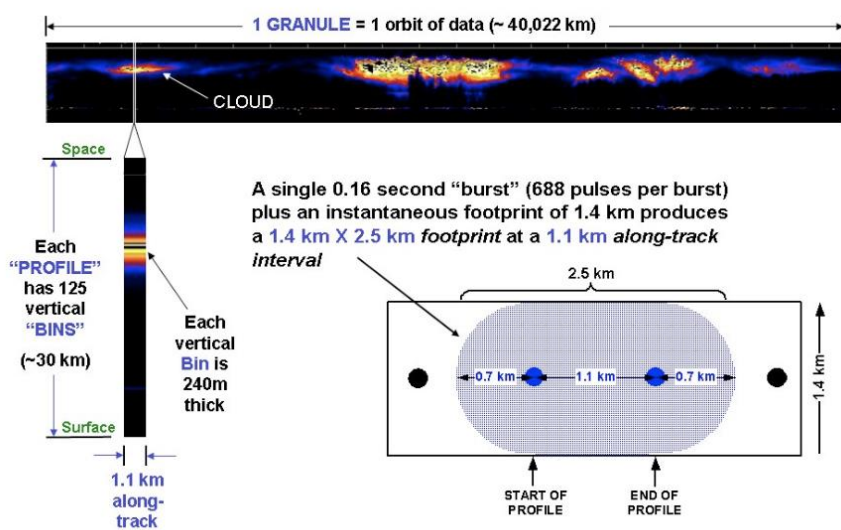
復旦大學大气与海洋科学系
DEPARTMENT OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY



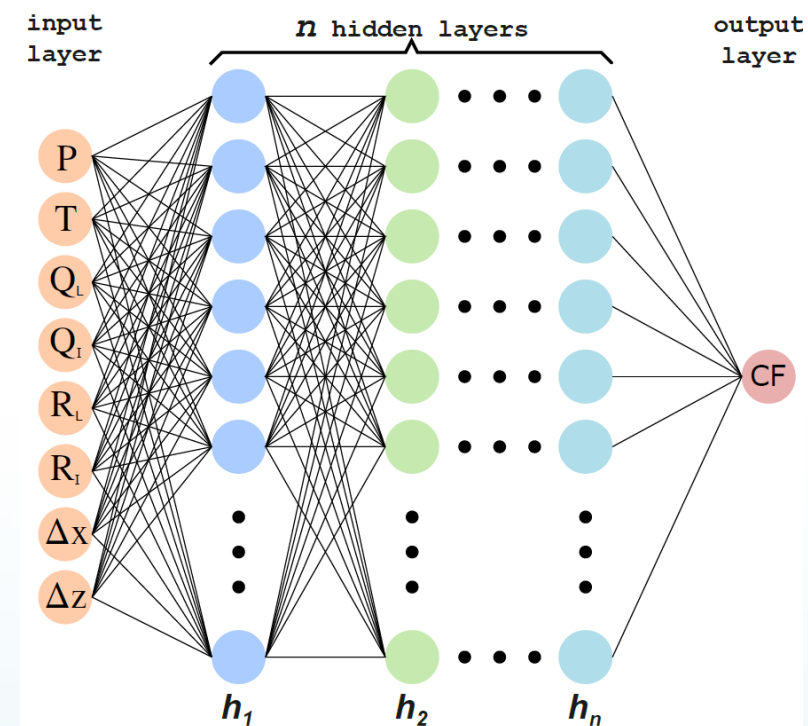
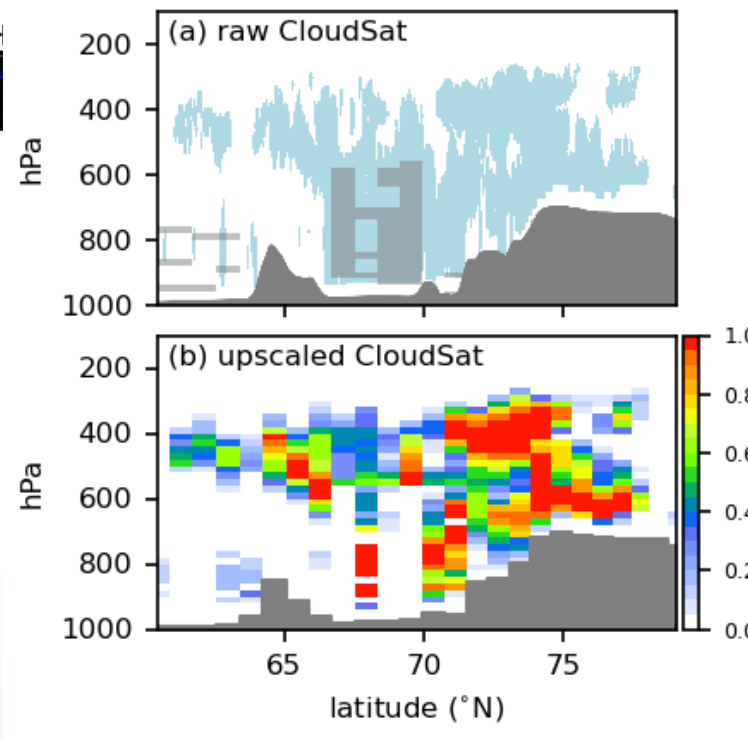
復旦大學大气科学研究院
INSTITUTE OF ATMOSPHERIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY

NSA云量参数化方案

Network-based Scale-Adaptive (NSA) cloud fraction scheme



- 2B-GEOPROF
- 2B-CWC-RO
- EMMWF-AUX



CloudSat
高分辨率
(准) 观测数据

升尺度
整理

“格点平均”的大气
属性和次网格云量

神经网络
深度学习

NSA
云量参数化
方案

仅使用2015年数据训练和评估模型，其他年份数据用于离线应用测试

研究背景

方法

主要结果

总结



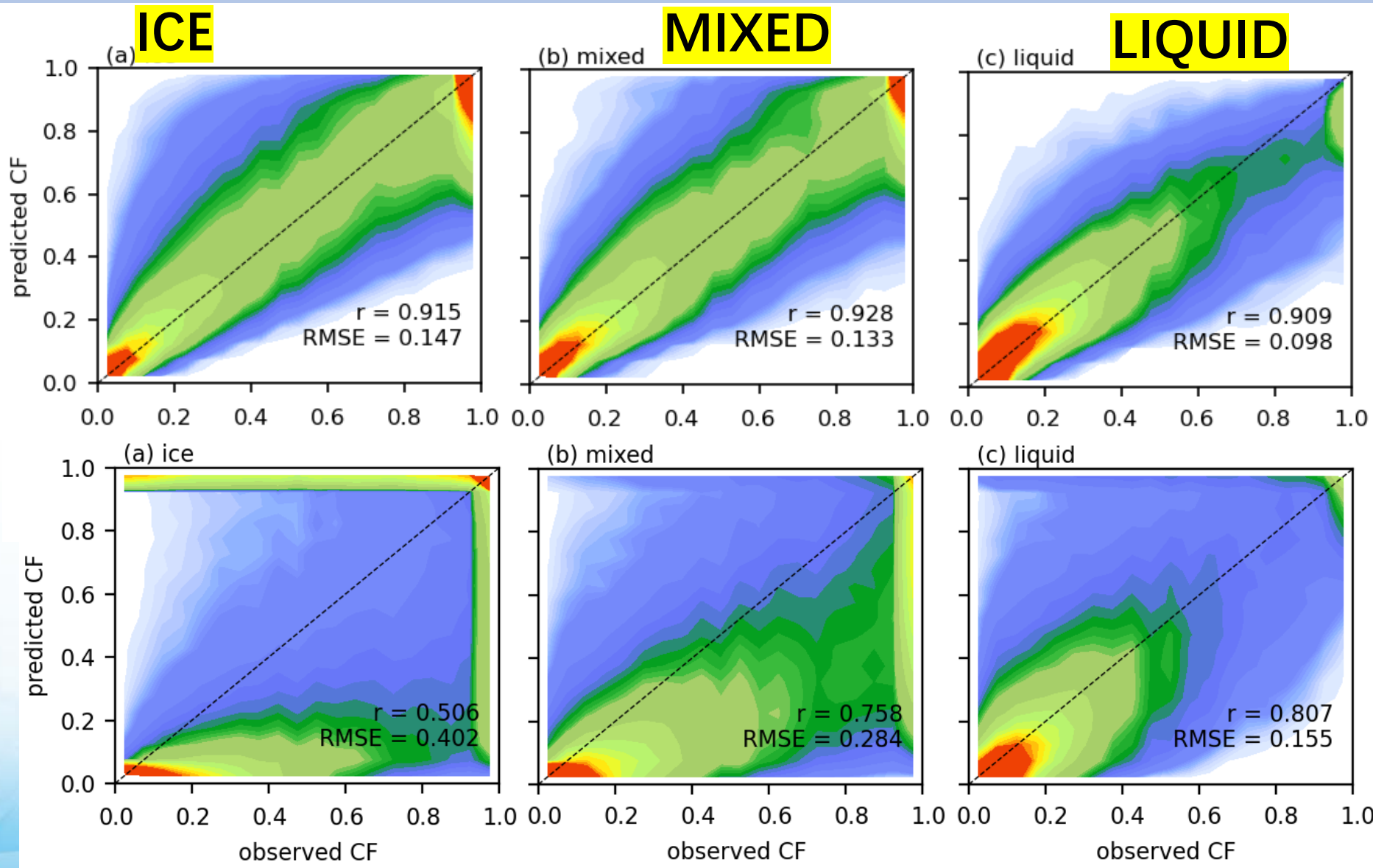
复旦大学大气与海洋科学系
DEPARTMENT OF ATMOSPHERIC AND OCEANOGRAPHIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY



复旦大学大气科学研究所
INSTITUTE OF ATMOSPHERIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY

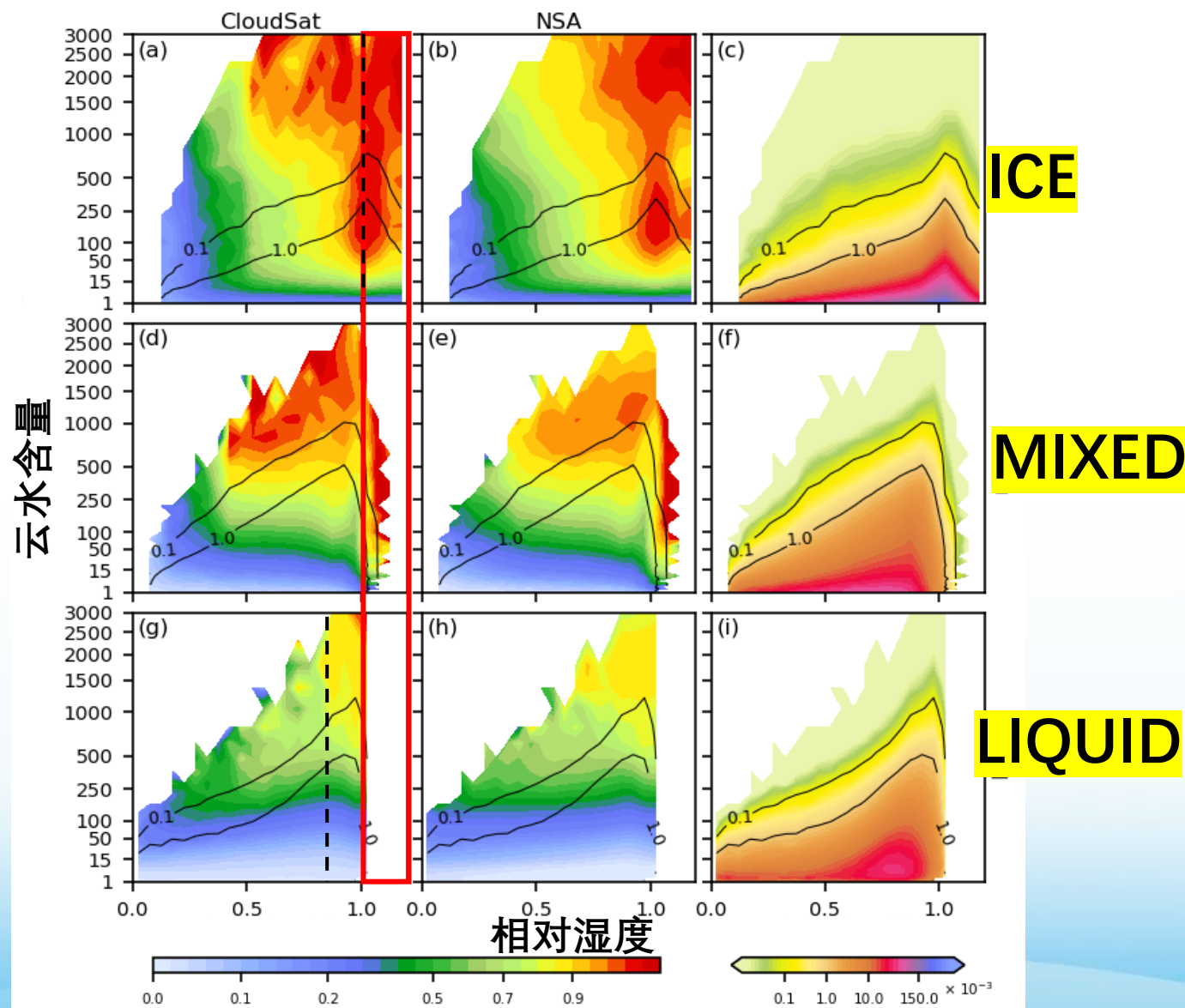
模式评估 (2015)

- NSA方案对于不同相态云的云量都有很好的预测能力
- 液相云云量误差相对较大 ← CloudSat数据误差



模式评估 (2015)

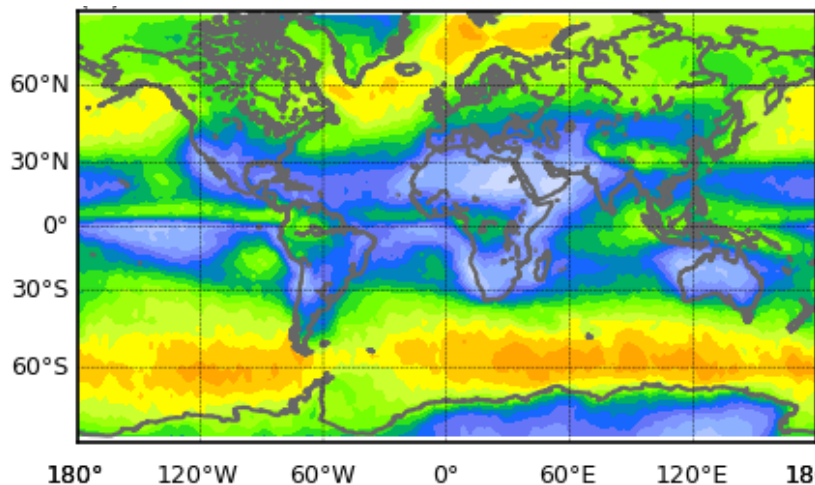
- NSA方案能够准确反映云量随相对湿度的非线性变化



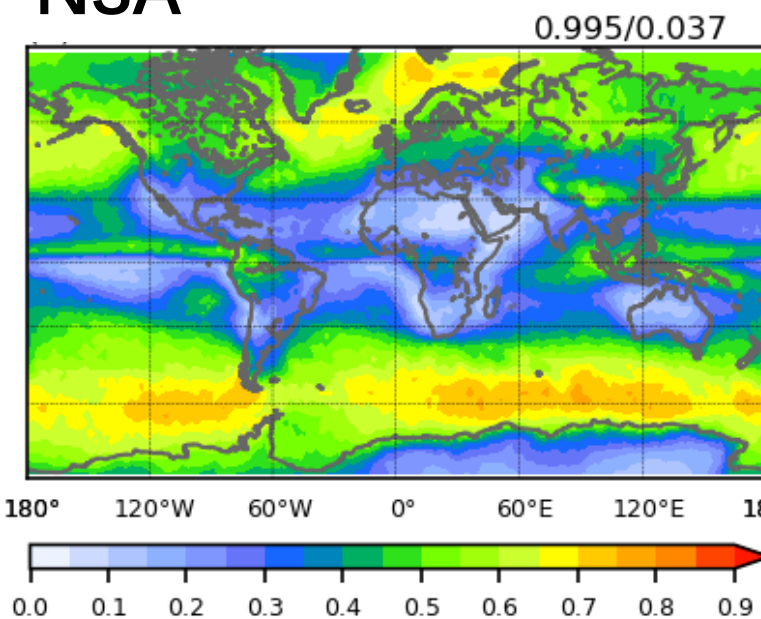
离线应用 (2006-2019)

- NSA与XR方案的总云量分布特征均接近于CloudSat观测数据
- NSA方案结果呈现较大空间相关系数、较小RMSE：热带地区云量略小、南大洋地区云量略大

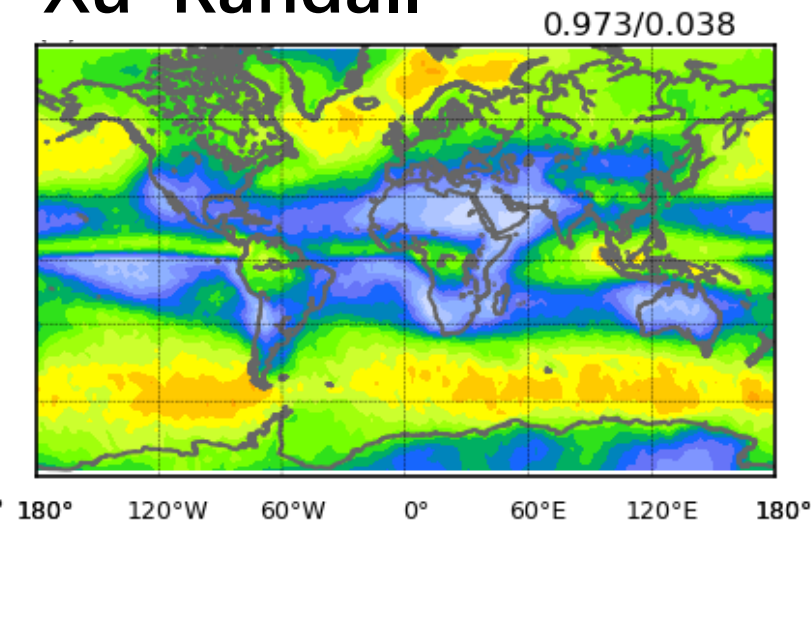
CloudSat



NSA

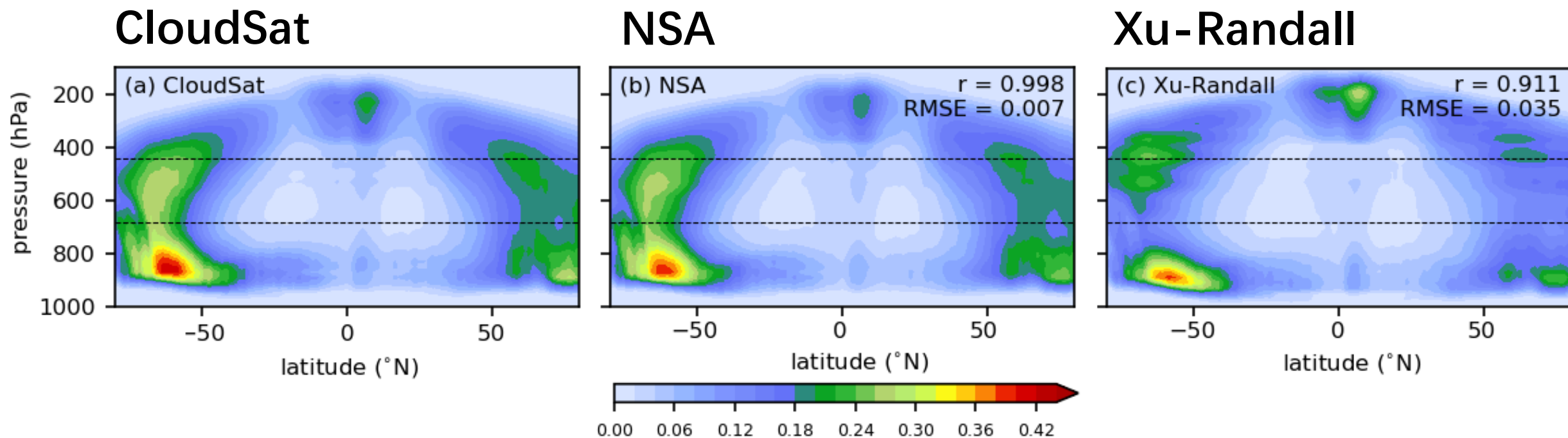


Xu-Randall



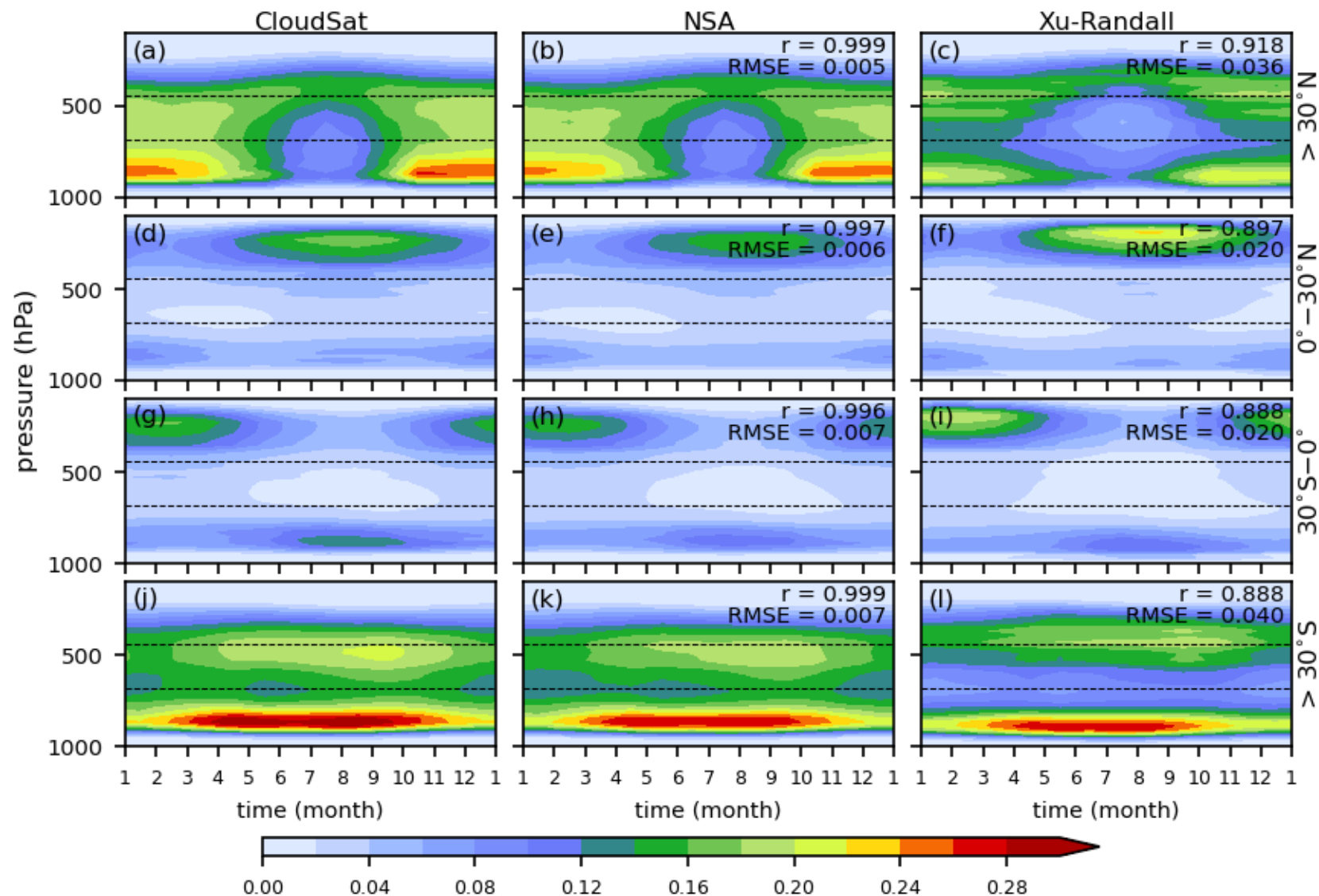
离线应用 (2006-2019)

- NSA与XR方案的总云量分布特征均接近于CloudSat观测数据
- NSA方案结果呈现较大空间相关系数、较小RMSE：热带地区云量略小、南大洋地区云量略大
- NSA方案结果明显改善云垂直结构→有希望改善云辐射效应的模拟



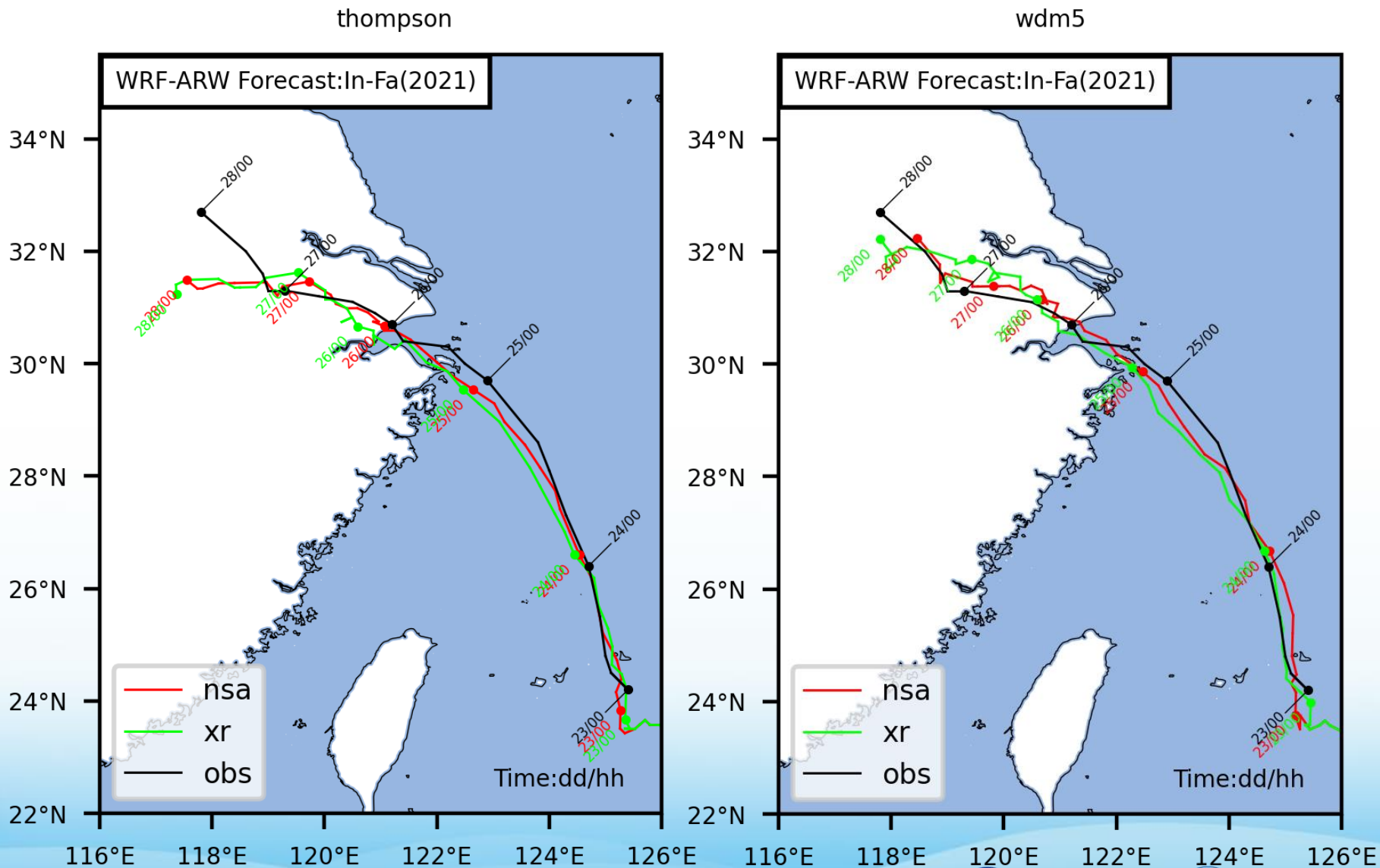
离线应用 (2006-2019)

- NSA方案在所有纬度、所有季节均能得到较好的云垂直结构



WRF应用

➤ 使用NSA云量方案可明显改善台风路径的模拟



总结

- 本研究利用CloudSat数据，提出了一种基于神经网络的云量参数化方案
 - 基于神经网络→避免了对函数形式的不合理假设
 - 基于CloudSat（准）观测数据→最大程度减少数据导致的误差
 - 考虑水平和垂直分辨率的影响→适用于变分辨率模式
- 新的方案能够准确反映格点平均的相对湿度和云水含量以及格点水平和垂直尺度等因素对次网格云量的影响，在不同气候区和季节都有比较好的表现。
- 相对于Xu-Randall方案，新的方案可以显著改善模式对于云垂直结构的模拟，减小Xu-Randall方案中高云偏多、中低云偏少的误差。
- WRF应用：有希望提高台风路径的模拟；计算效率较高。

谢谢!