

# 对流云中夹卷率的估算及风云卫星 资料的可能应用

陆春松<sup>1</sup>,

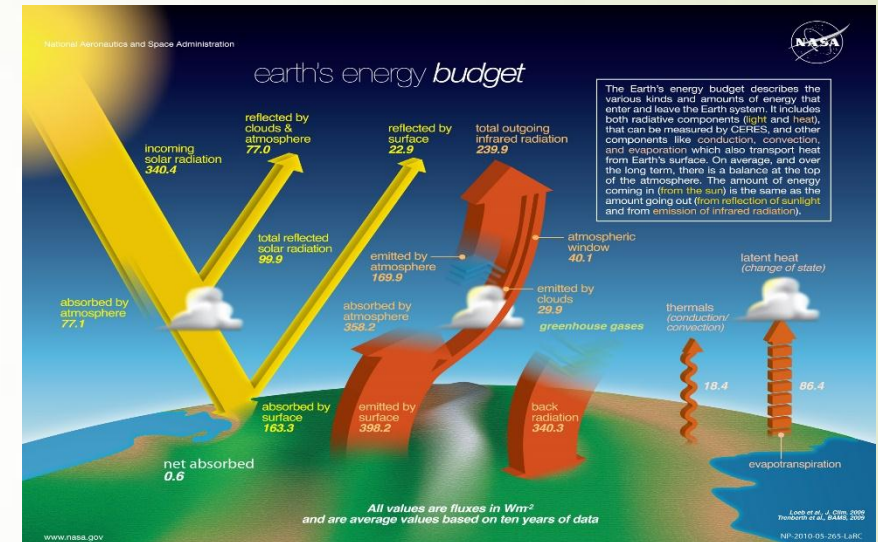
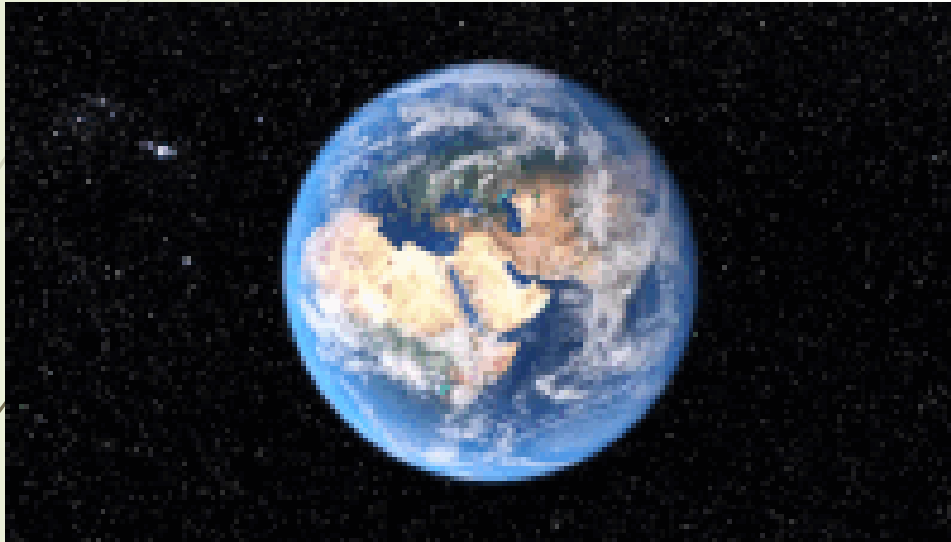
岳治国<sup>2</sup>, 李君俊<sup>1</sup>, 吕晶晶<sup>1</sup>, 刘延刚<sup>3</sup>, 牛生杰<sup>1</sup>, Seong Soo Yum<sup>4</sup>



1. 南京信息工程大学
2. 陕西省气象局
3. 美国布鲁克海文国家实验室
4. 韩国延世大学



# 云的重要性



<https://giphy.com/search/cloud>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Earth%27s\\_energy\\_budge](https://en.wikipedia.org/wiki/Earth%27s_energy_budge)

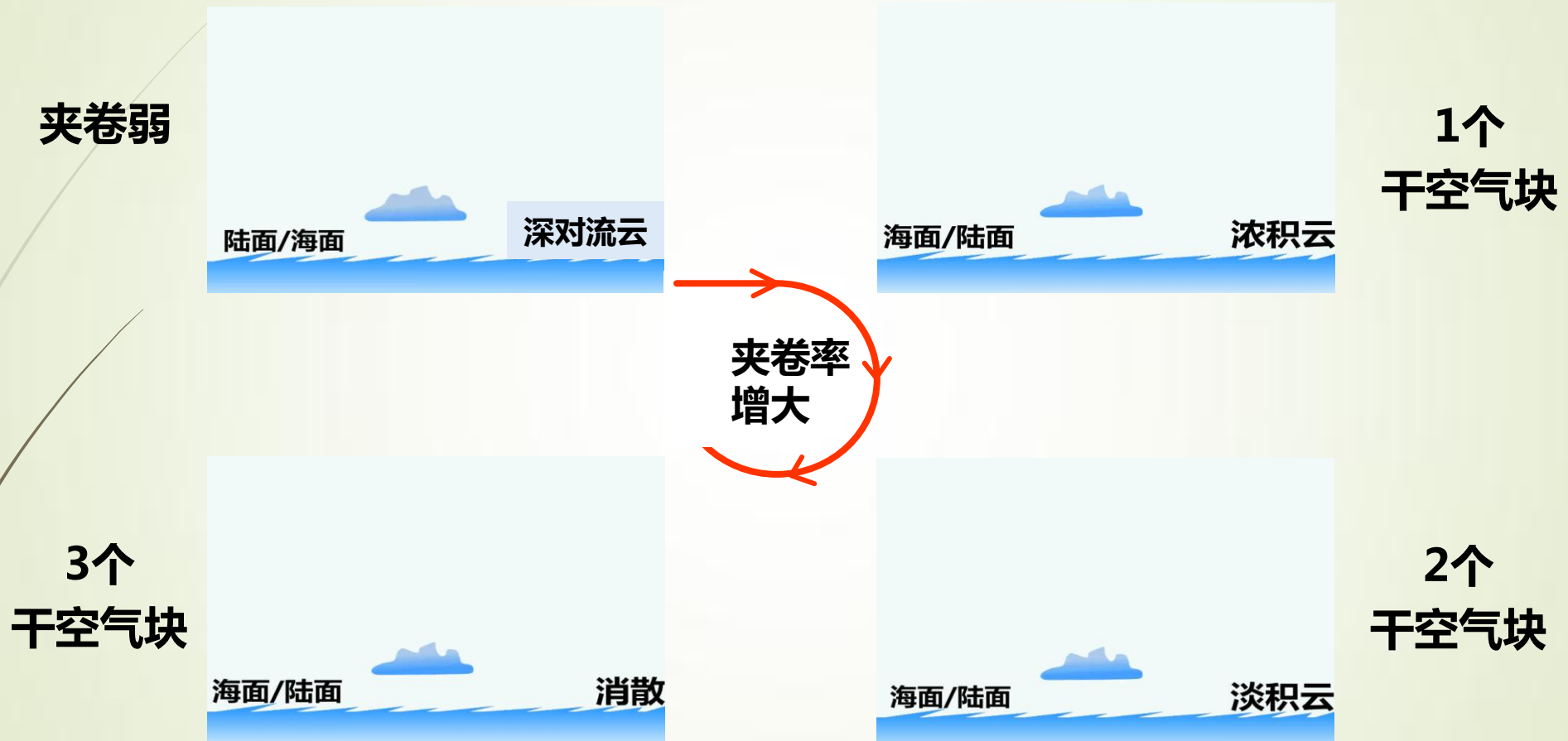
云在地气系统中扮演着重要的角色。



夹卷显著影响着大气运动多时空尺度相互作用及预报预测！

夹卷与湍流紧密相关，尺度小，观测难，给参数化带来巨大的挑战！

# 夹卷率是积云参数化方案中的重要参量



夹卷率显著影响着云的发展，从而影响不同尺度的大气过程。  
哪些因子在影响夹卷率，如何参数化？



# 浅对流



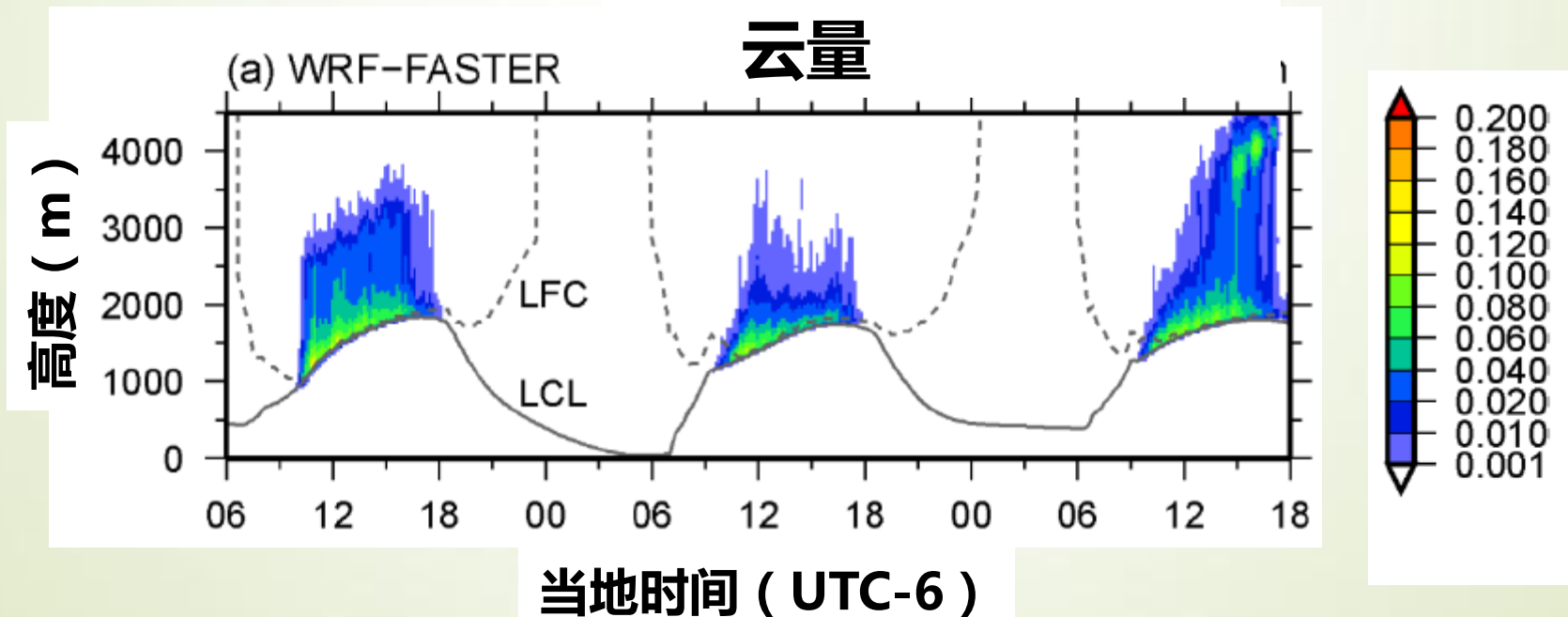
# 浅对流的观测资料-RACORO

2009年美国南部大平原的积云飞机观测资料（RACORO）；  
云滴谱用云气溶胶粒子探头（CAS）观测获得，频率为10 Hz。



# 浅对流的大涡模拟结果

- **模拟个例：** RACORO项目2009年5月22、23和24日。
- **模式：** WRF-FASTER (Endo et al., JGR, 2015)。
- **模拟区域：**  $9.6 \times 9.6 \text{ km}^2$ 。
- **分辨率：** 75 m (水平)、约40m (垂直)。



# 浅对流夹卷率计算方法

$$\lambda \equiv \frac{1}{m} \frac{dm}{dz}$$

$\lambda$ : 夹卷率  
 $m$ : 云的质量  
 $z$ : 高度



夹卷  
混合

$$\lambda = \frac{\ln \frac{m(z)}{m(z_0)}}{z - z_0} = \frac{-\ln \chi}{h}$$

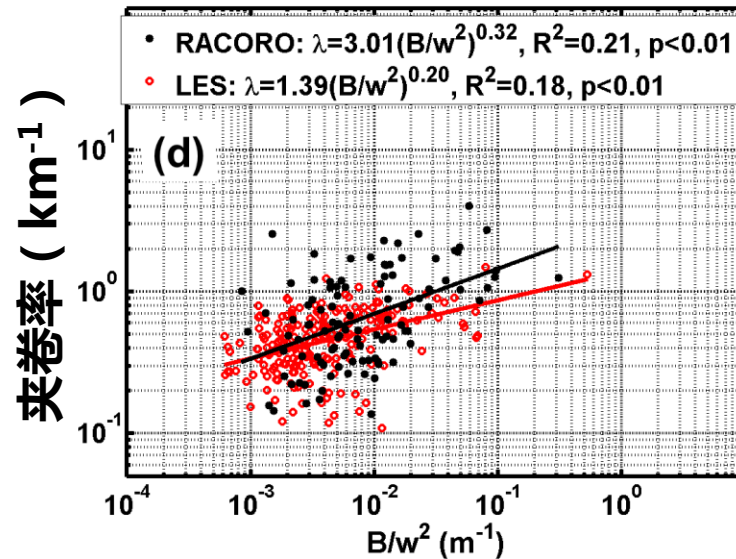
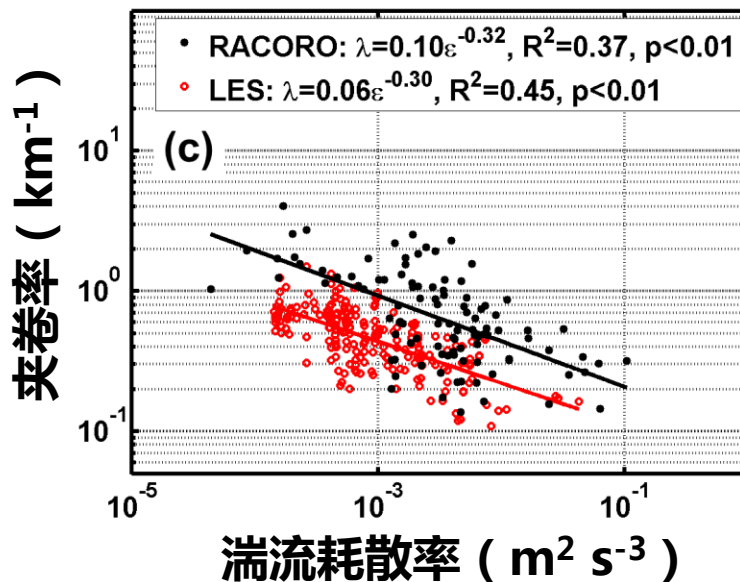
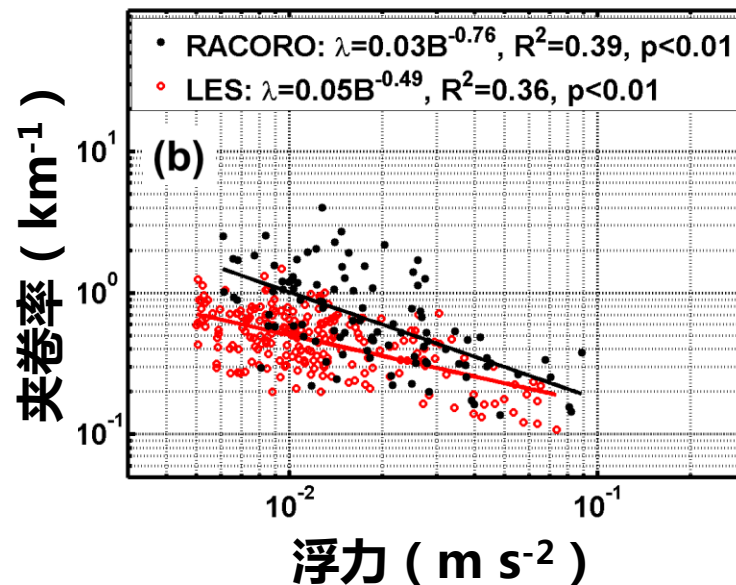
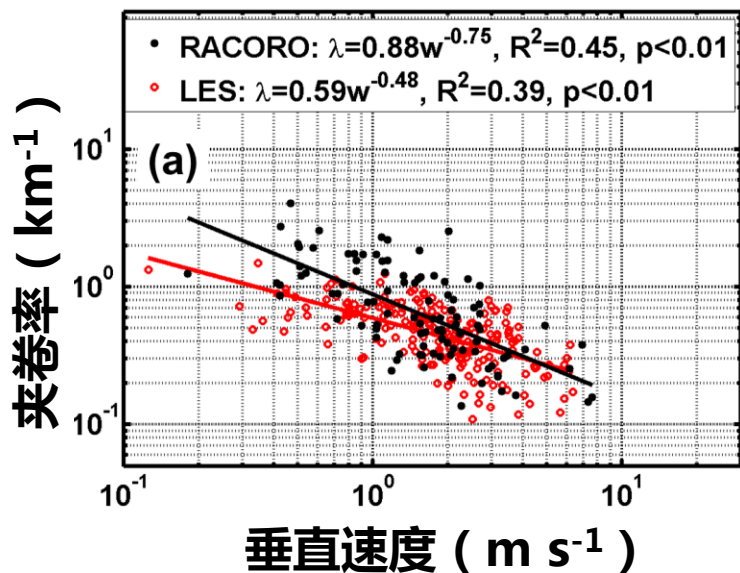
$$h = z - z_0$$

$\chi = m(z_0)/m(z)$ : 绝热云所占的混合比例

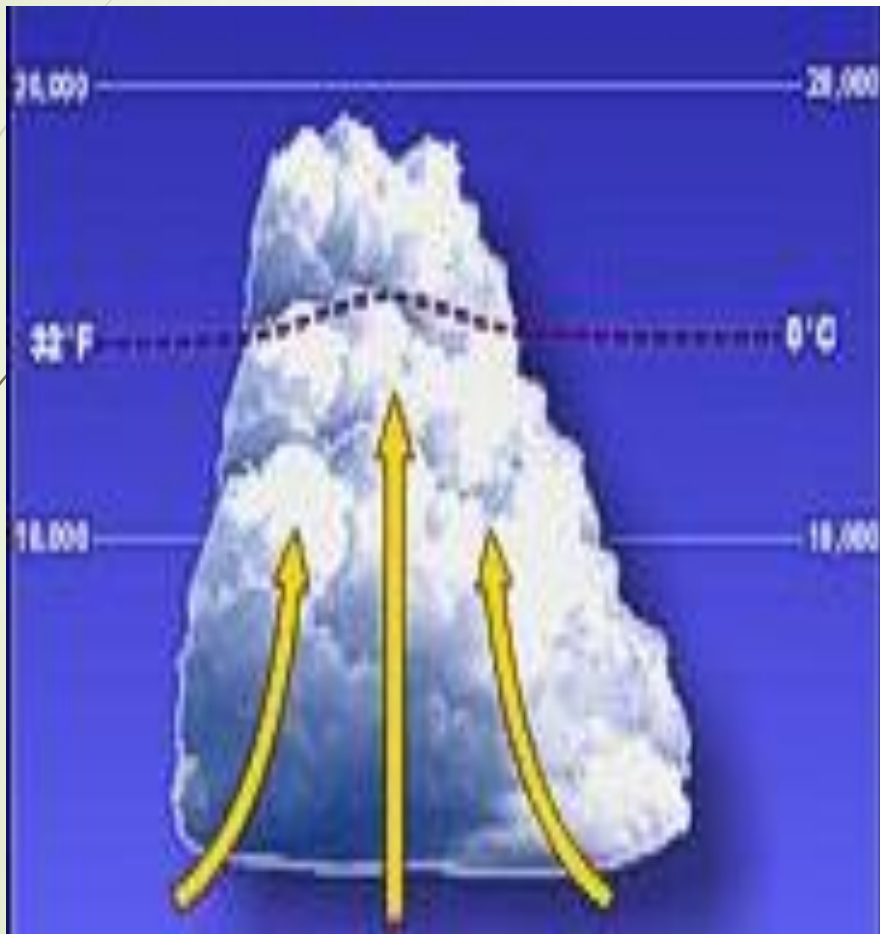
Lu et al., GRL, 2012



# 夹卷率与热力和动力之间的关系



# 机理 (1)



## 机理 (2)

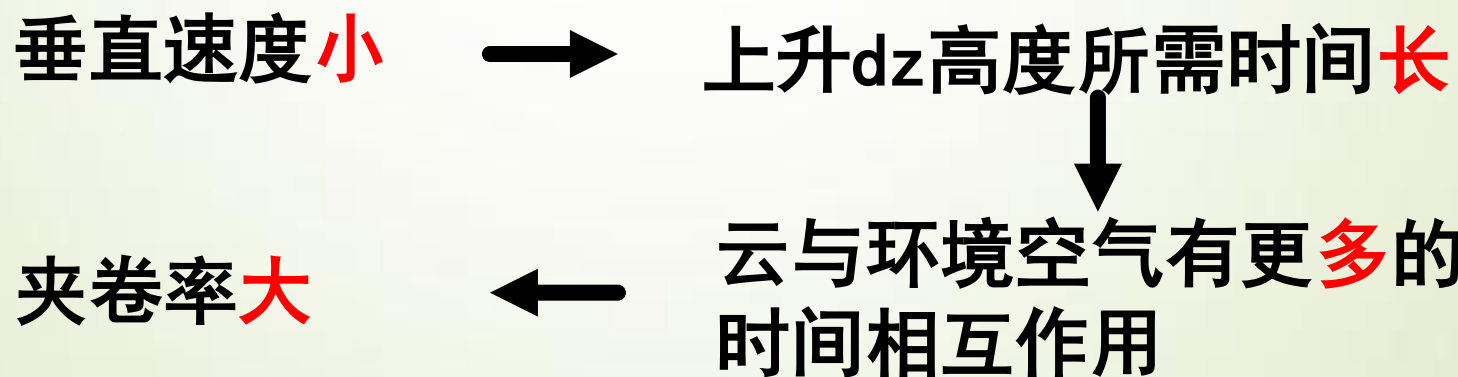
夹卷率代表云抬升单位高度后，夹卷进入云内的干空气的质量与云本身的比值。

$$\lambda \equiv \frac{1}{m} \frac{dm}{dz}$$

$\lambda$ : 夹卷率

$m$ : 云的质量

$z$ : 高度





# 深对流

# 深对流夹卷率计算方法

$$\lambda = \frac{-\partial h_c / \partial z + S}{h_c - h_e}$$

$h_c$ : 云内湿静力能MSE

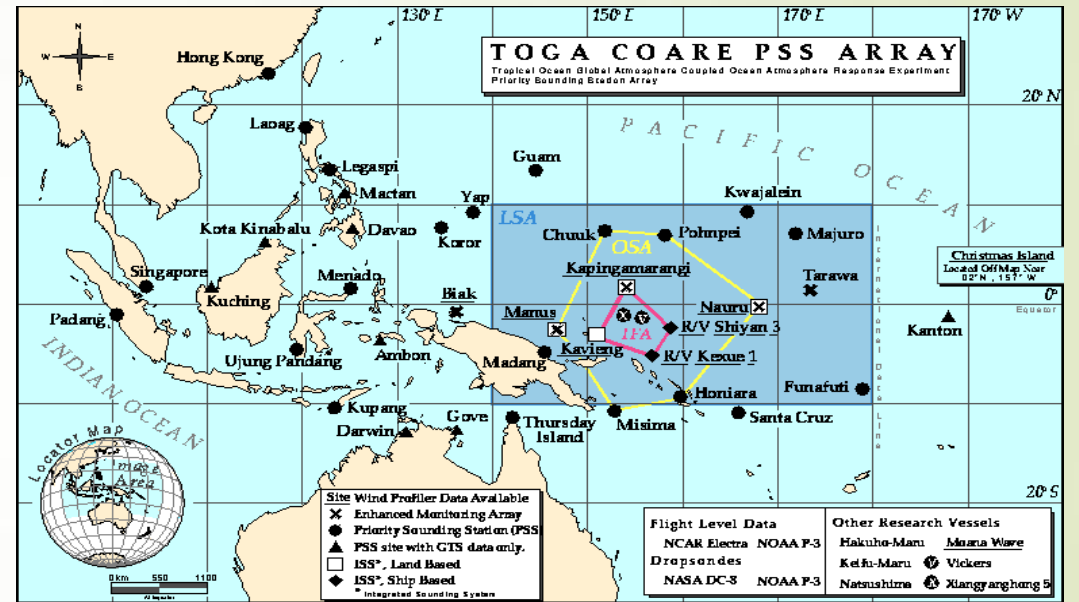
$h_e$ : 环境MSE

$S$ : MSE的源汇项 (冰相的潜热释放)

Zhang et al., CD, 2015

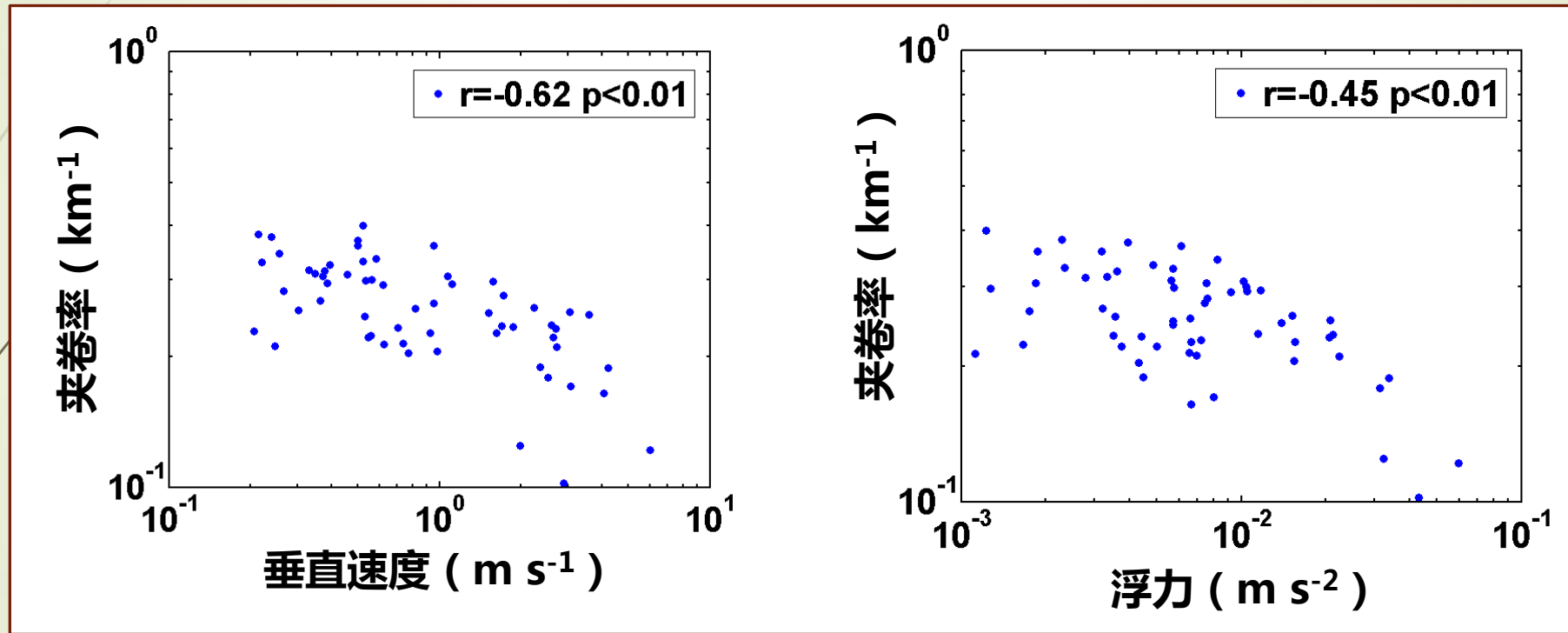
# 深对流的观测资料——TOGA-COARE

- ✓ **项目:** TOGA-COARE
- ✓ **时间:** 1992年11月 – 1993年2月
- ✓ **地点:** 西太平洋
- ✓ **飞机:** NCAR的Electra
- ✓ **仪器:** 云滴谱(FSSP-100, 1 Hz)  
水汽(T-Electric hygrometer, 1 Hz)  
温度(Ophir III radiometer, 1 Hz)





# 夹卷率与热力和动力之间的关系



$$\lambda = 0.15w^{-0.14}B^{-0.10} \quad (R^2=0.47, p<0.01)$$

# 深对流的数值模拟

模式: WRFv3.8.1

时间: 1999.8.19.0000~8.20.1200UTC

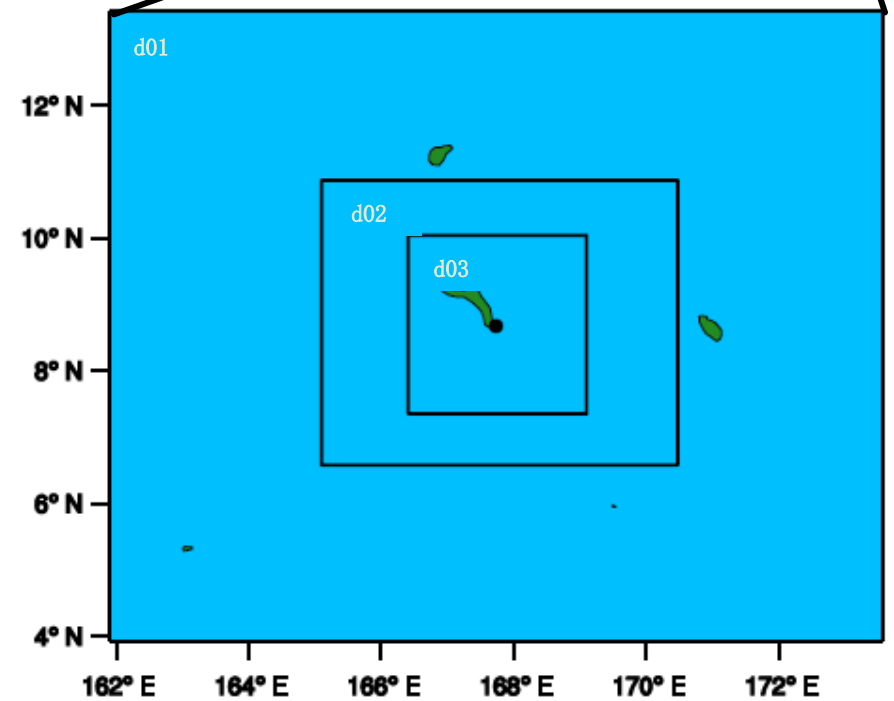
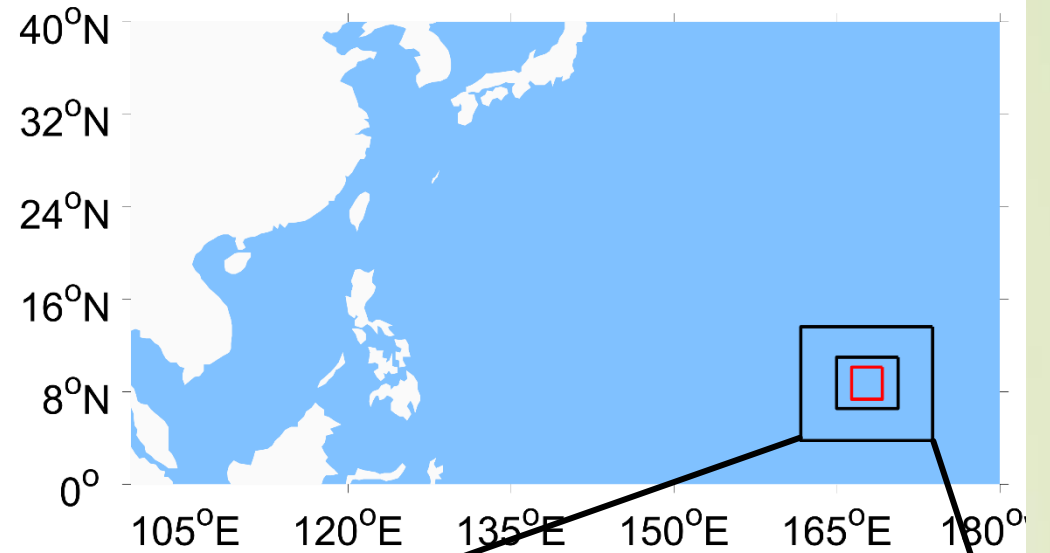
分辨率: 12km, 2.4km and 0.48km

微物理: Morrison

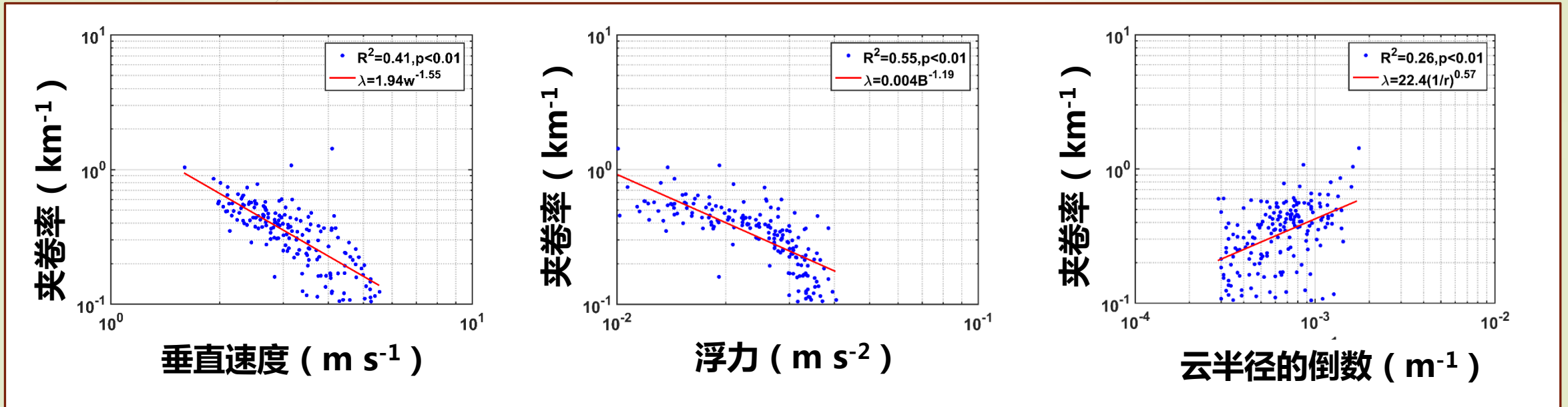
边界层方案: YSU

辐射: RRTMG

对流: Kain-Fritsch(only for d01)



# 夹卷率与热力和动力之间的关系



$$\lambda = 0.89w^{-0.69}B^{-0.55}\left(\frac{1}{r}\right)^{0.3}$$



# 如何利用卫星资料？

# 卫星资料的应用

$$\lambda = \frac{-\partial h_c / \partial z + S}{h_c - h_e}$$

$h_c$ : 云内湿静力能MSE

$h_e$ : 环境MSE

$S$ : MSE的源汇项 (冰相的潜热释放)

需要的变量:

云顶和云底高度和温度  
云内的温度廓线  
云内的固态含水量  
云外的温湿廓线

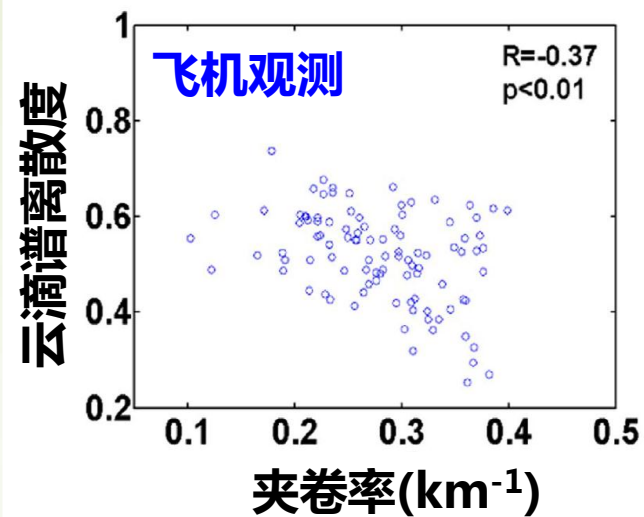
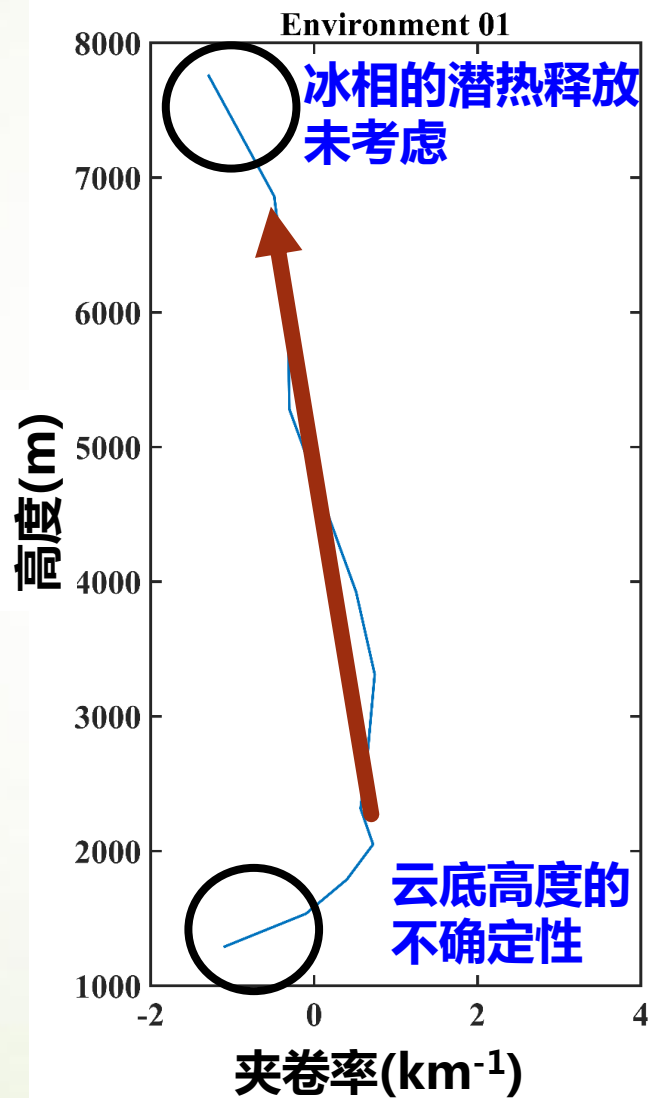
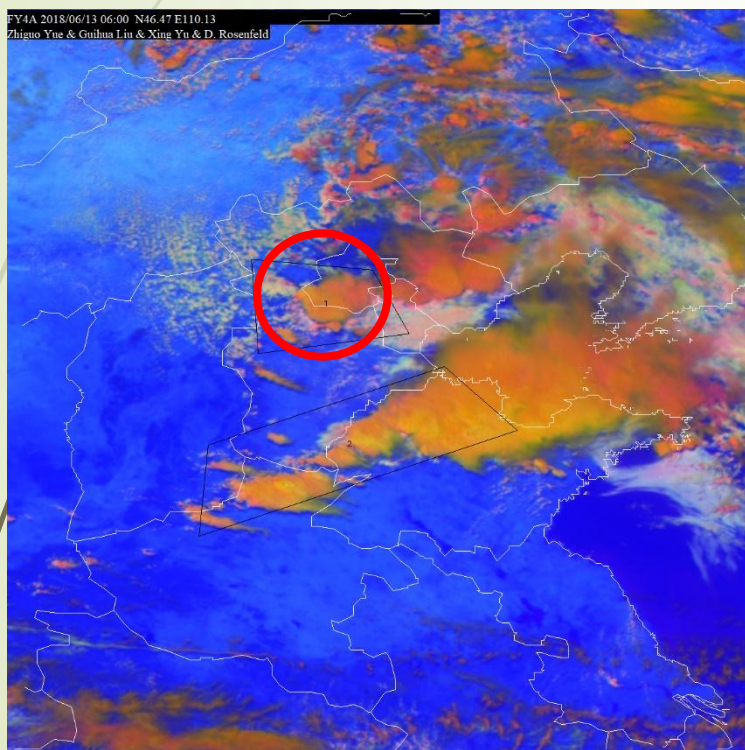
理想状态: 全部取自  
卫星产品

现实情况: 卫星+再分  
析资料

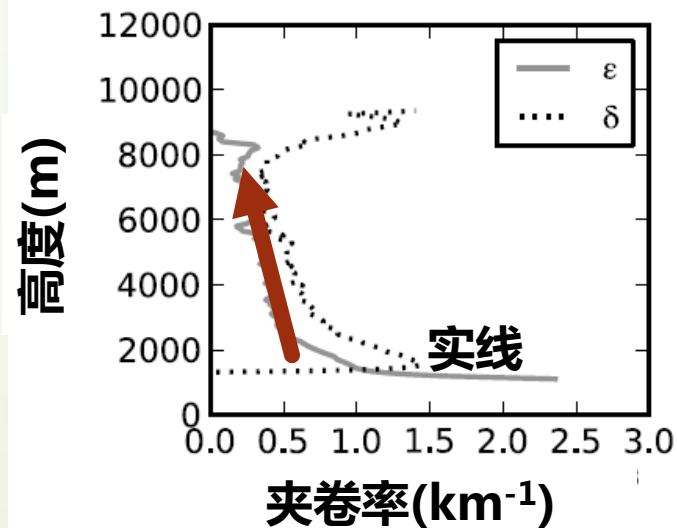
# 卫星资料的应用

风4, 2018年6月13日14时

北京



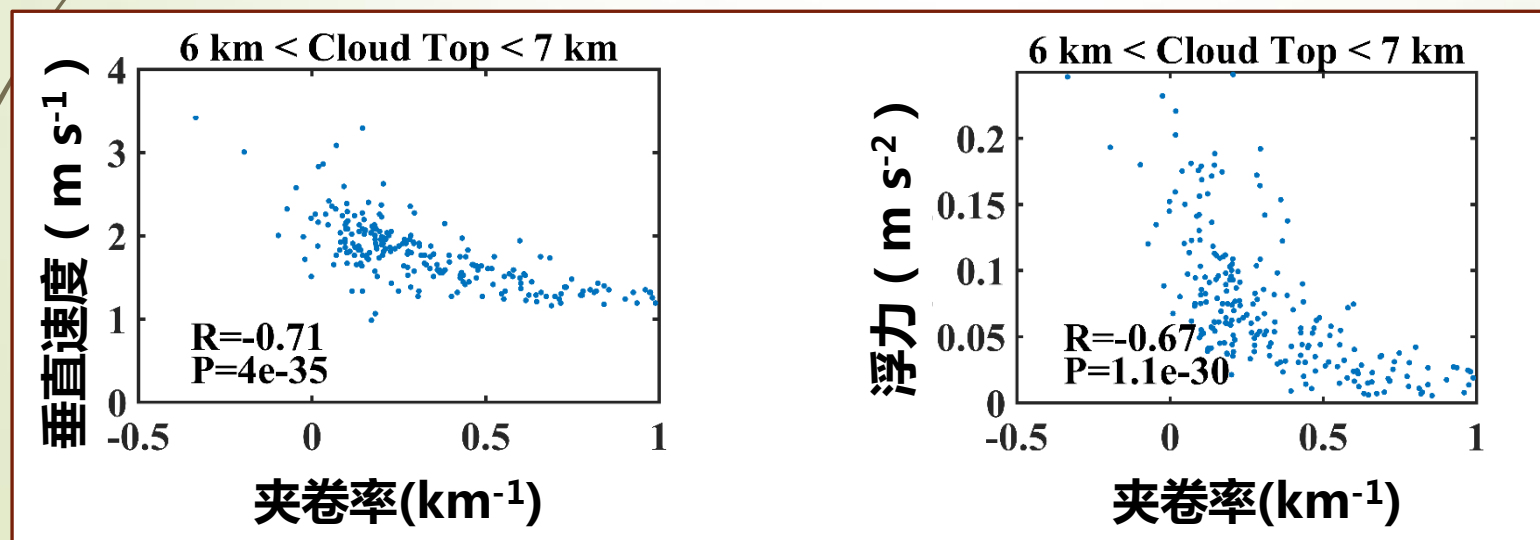
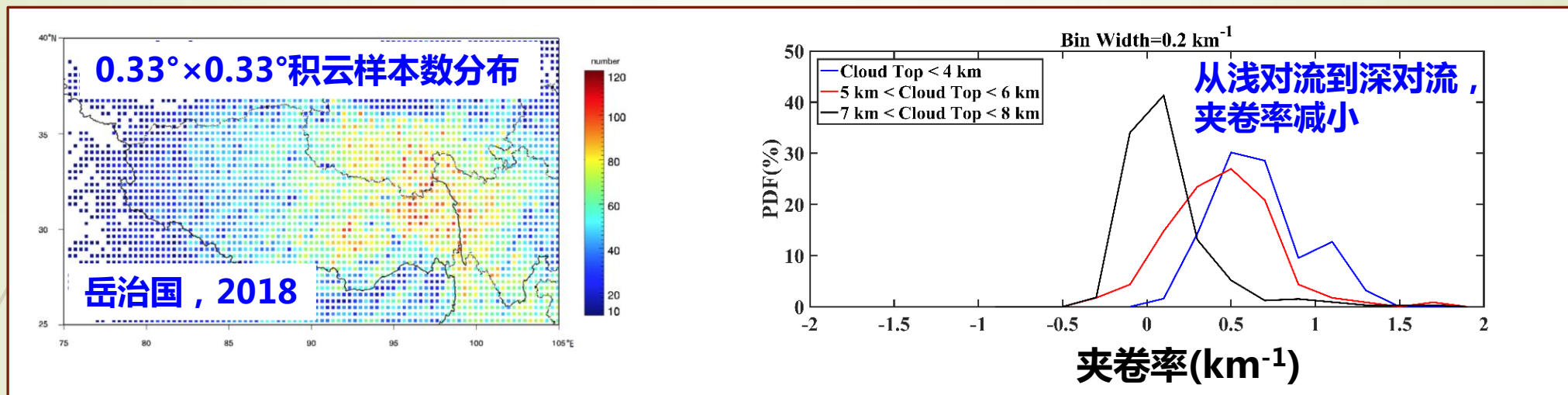
Guo, Lu et al., AR, 2018



Boing et al., GRL, 2012



# 卫星资料的应用

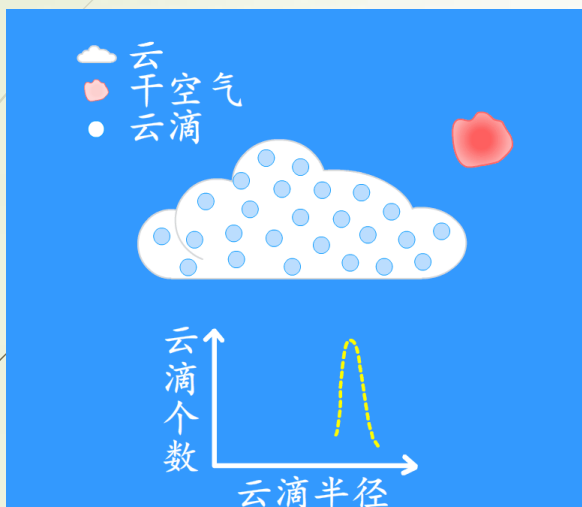


所有的结果都与  
飞机观测资料和高  
分辨率的模拟结果  
一致。

# 我能为卫星反演做什么？

均匀机制

湍流强



含水量

=

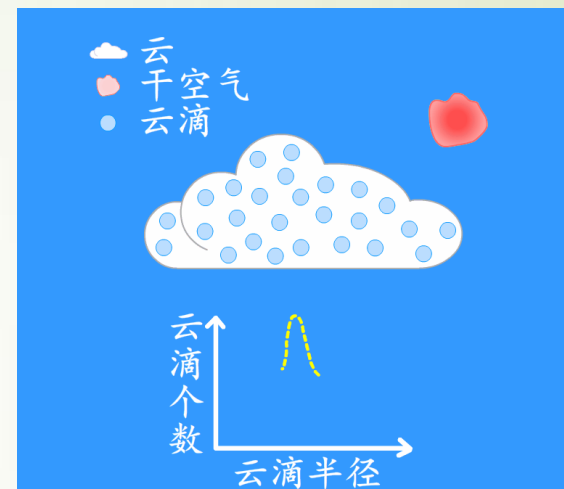
云滴半径

<

数浓度

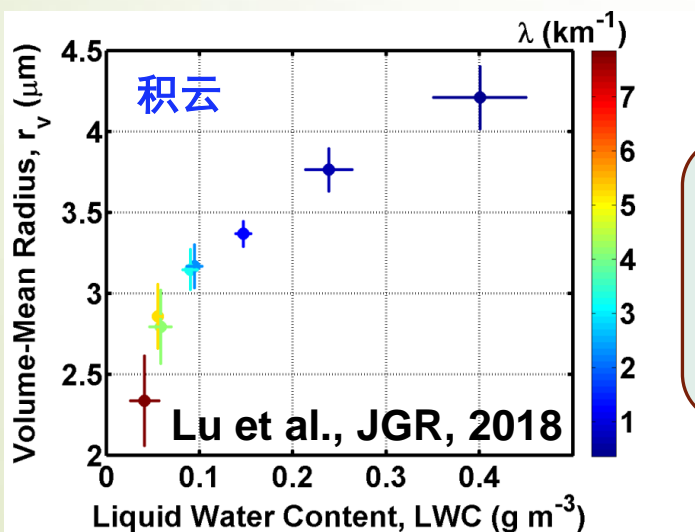
>

Baker et al., 1984

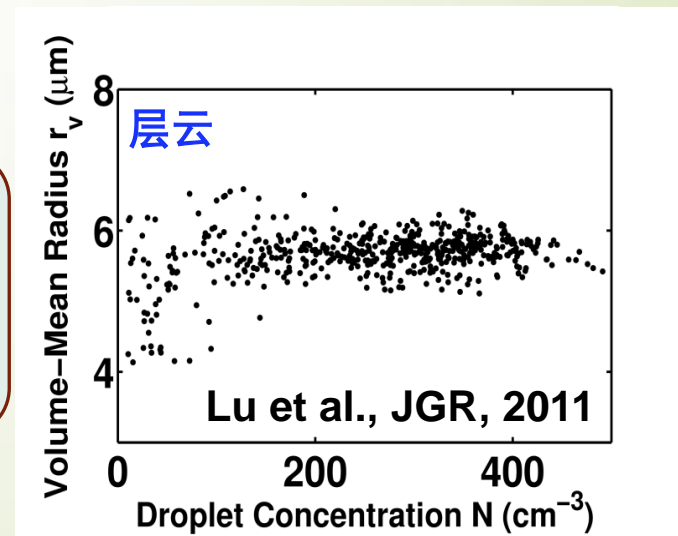


极端非均匀机制

湍流弱



为卫星反演云有效半径和数浓度提供参考。



## 小结

- 浅对流中夹卷率比深对流小一个量级。
- 夹卷率与浮力、垂直速度等负相关。
- 卫星资料具备研究对流云夹卷过程的巨大潜力！



谢谢！