



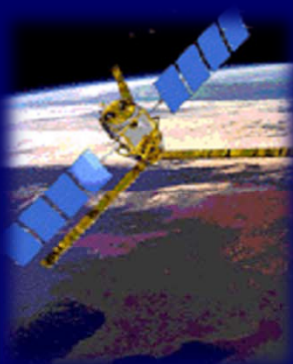
遥感科学国家重点实验室

中国科学院遥感应用研究所·北京师范大学

施建成

报告提纲

1. 本人简历和已取得的科研成果
2. 被动微波土壤水分定量反演
3. 被动微波植被遥感



地址：北京市朝阳区大屯路甲20号北 北京9718信箱（100101）

电话：86-10-64838048 传真：86-10-64838048

邮箱：jshi@irsa.ac.cn

网址：www.irsa.ac.cn

基本情况-工作、教育经历

1978-1982 兰州大学水文地质学及地质工程学学士

1982-1983 水利水电科学研究院助理工程师

1983-1985 中国科学院兰州沙漠研究所助理研究员

1985-1987 美国加州大学圣巴巴拉分校，地理学硕士

1987-1991 美国加州大学圣巴巴拉分校，地理学博士

1992-1999 美国加州大学圣巴巴拉分校 计算地球系统科学研究所 助理研究员

1999-2003 美国加州大学圣巴巴拉分校 计算地球系统科学研究所 副研究员

2003-今 美国加州大学圣巴巴拉分校 计算地球系统科学研究所 研究员

基本情况-工作、教育经历

2001.12-2009.3 中科院遥感所 特聘研究员 (每年 3 个月)

2003-2008 北京师范大学客座教授 (985二期首席科学家助理)

2009.3-今 在中科院遥感所成立遥感与地球系统模拟研究室 (主任) (每年 6 个月)

2009.12 国家特聘专家 (千人计划) (2010.3起每年 9 个月)

2011.11 遥感科学国家重点实验室主任

遥感科学国家重点实验室

已取得的科研成果

文章发表情况

发表论文190余篇，其中SCI收录论文80多篇和EI收录论文110余篇，在国际遥感顶级期刊发表SCI（影响因子大于2）的论文60篇，SCI总引用2450多次，其中SCI单篇引用大于100的有6篇。

主要代表性学术成就

主动微波积雪各种参数定量反演

主动微波土壤水分定量反演

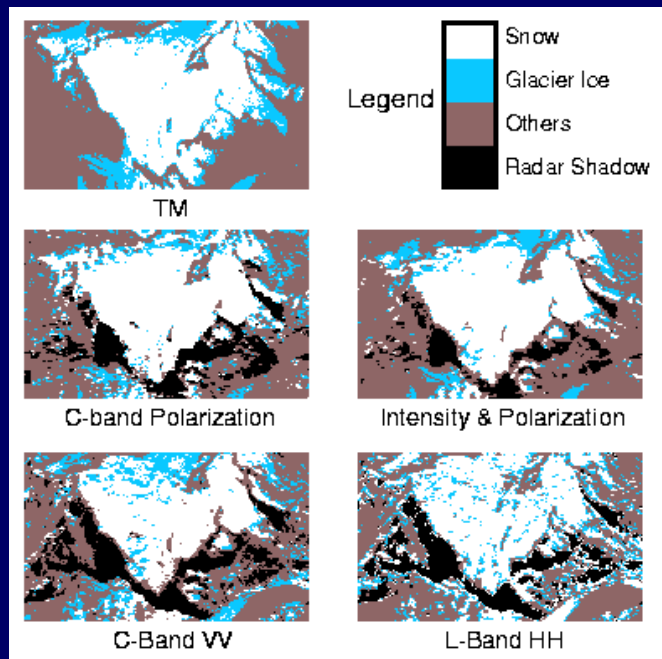
被动微波积雪当量定量反演

被动微波土壤水分定量反演

被动微波植被遥感

主动微波积雪识别能力研究

JPL/AIRSAR 1989 各种雷达积雪识别能力研究 SIR-C/X-SAR 1994



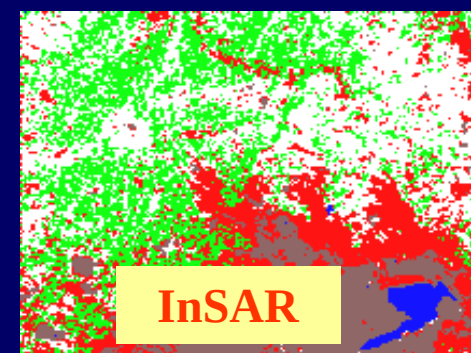
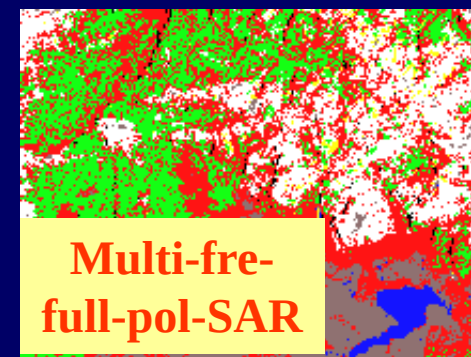
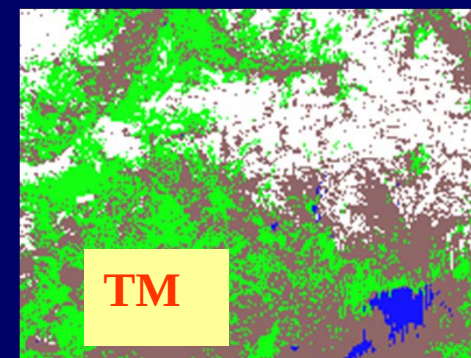
J. Shi, J. Dozier, and H. Rott, "Snow mapping in alpine regions with synthetic aperture radar", *IEEE Trans on Geosci and Remote Sensing*, 32(1):152-158, 1994.

J. Shi and J. Dozier, "Mapping Seasonal Snow with SIR-C/X-SAR in Mountainous Areas", *Remote Sensing of the Environment*, 66:1-12, 1997.

发展了针对各种雷达传感器的雪识别技术

系统地描述了积雪识别的机理以及各种卫星的识别能力

1. 单极化C波段只能识别湿雪
2. 全极化C波段可也不用山区校正能识别湿雪
3. 全极化多波段能识别干雪
4. L波段干涉SAR是最佳传感器，有能力识别干雪和湿雪

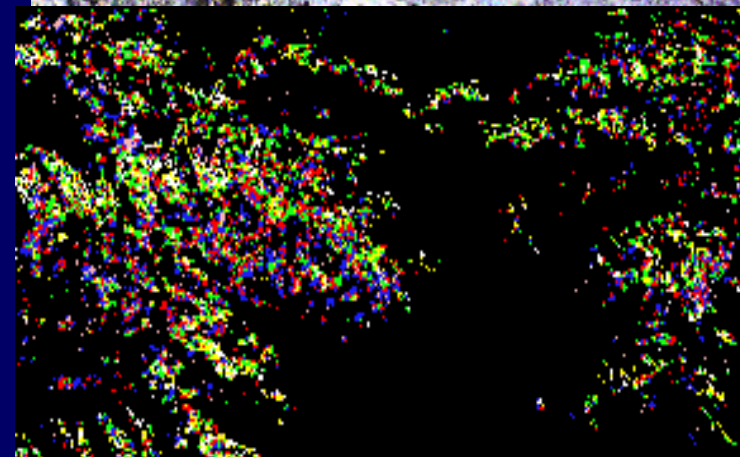
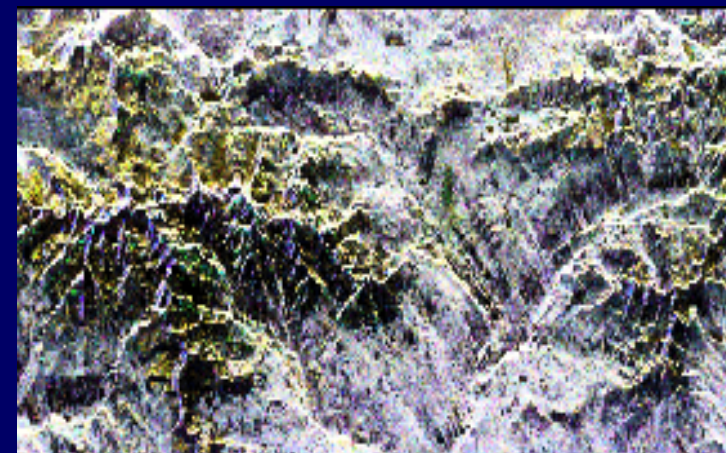
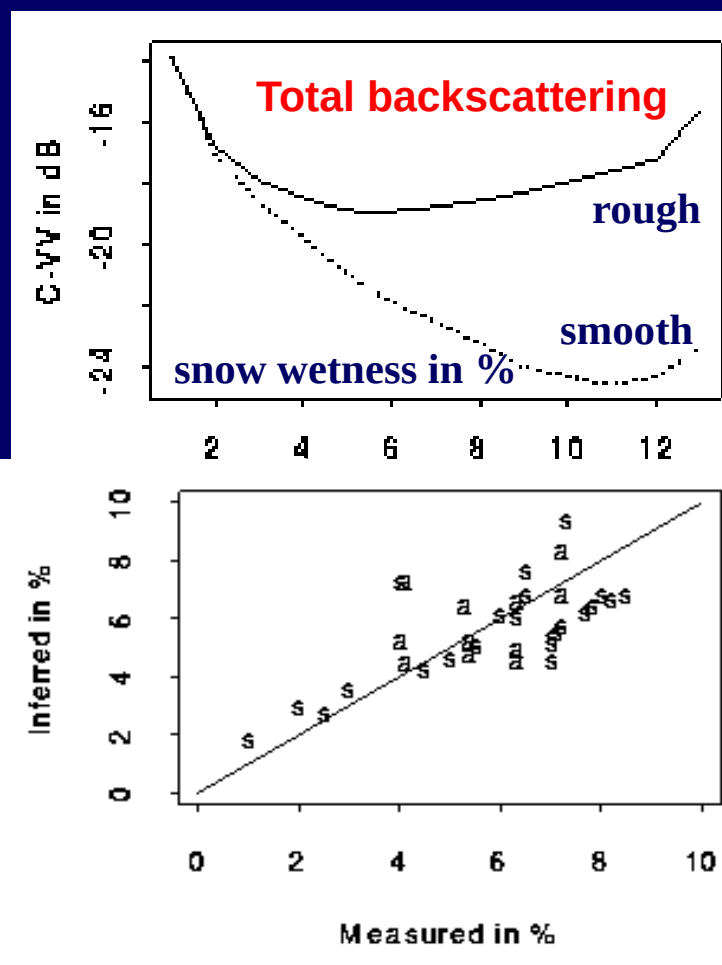


主动微波积雪湿度定量反演

J. Shi and J. Dozier, “Inferring snow wetness using SIR-C C-band polarimetric synthetic aperture radar”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(4):905-914, 1995.

系统地描述了积雪湿度及其它因子不同极化和入射对雷达观测的影响机理，发展了针对湿雪的雷达后向散射模型以及定量反演模型。

遥感科学国家重点实验室



主动微波雪当量定量反演

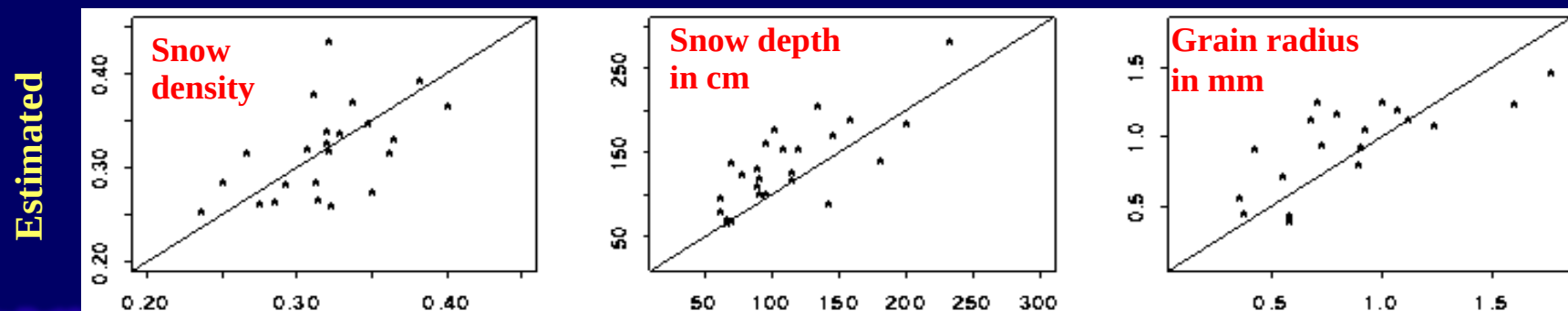
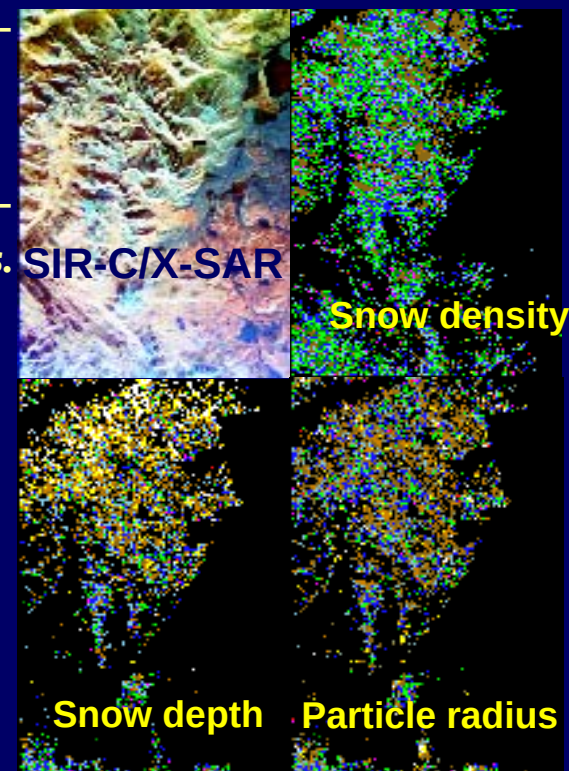
J. Shi and J. Dozier, “Estimation of Snow Water Equivalence Using SIR-C/X-SAR, **Part I**: Inferring snow density and subsurface properties”, *IEEE Trans. on Geosc. and Remote Sensing*, 38(6):2465-2474, 2000.

J. Shi and J. Dozier, “Estimation of Snow Water Equivalence Using SIR-C/X-SAR, **Part II**: Inferring snow depth and particle size”, *IEEE Trans. on Geosc. and Remote Sensing*, 38(6): 2475-2488, 2000.

系统地描述了积雪密度、厚度、颗粒及其它因子不同极化和入射对雷达观测的影响机理，发展了针对干雪的雷达后向散射模型以及定量反演模型

1. L-band: 积雪密度和下垫面粗糙度

2. C+X-Bands: 积雪厚度和颗粒大小



遥感科学国家重点实验室

Ground measurements

ESA新卫星计划—CoReH2O

CoReH₂O - COLD REGION Hydrology High resolution Observatory
三个在ESA's Earth Explore Program新卫星计划之一



CLPP

Working group - 1999

Sensor concept has been proposed to NASA Venture Program for airborne system

CoRe-H2O

– Proposed Aug. 2005
– Selected Feb. 2006
Currently in Phase A & to be evaluated in 2011

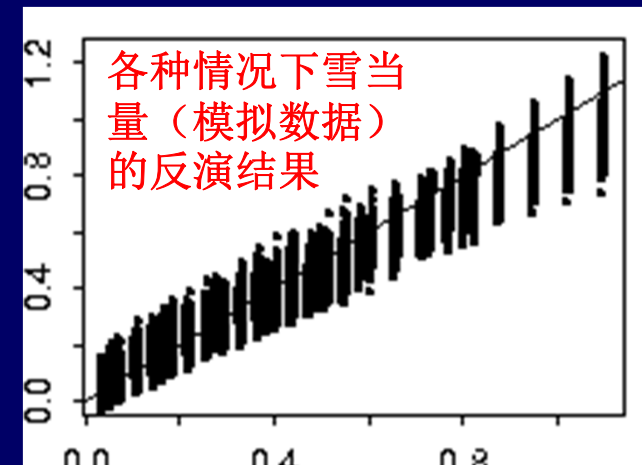
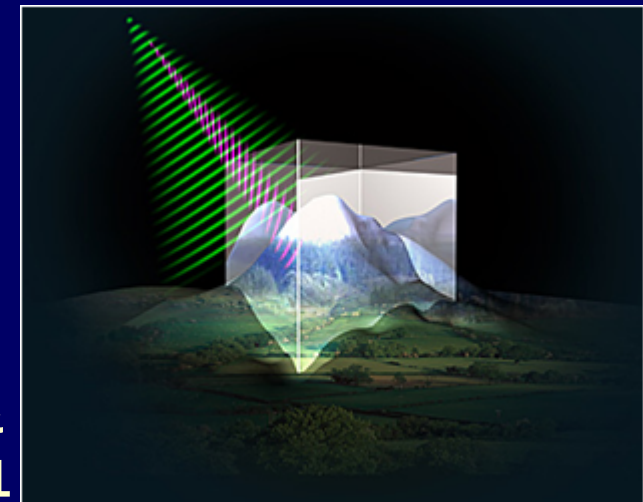
Dual-Pol (VV, VH) X- and Ku-band SAR

J. Shi, “Snow Water Equivalence Retrieval Using X and Ku band Dual-Polarization Radar”, Proceedings of IGRASS’06, July 31- Aug 4, Denver, Colorado, 2006.

提出了针对雪当量卫星设计的传感器参数以及

CoReH2O定量反演算法

遥感科学国家重点实验室

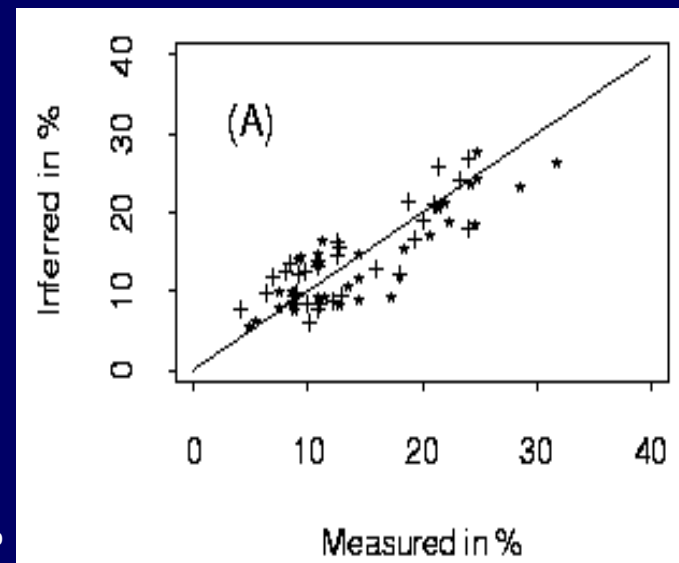
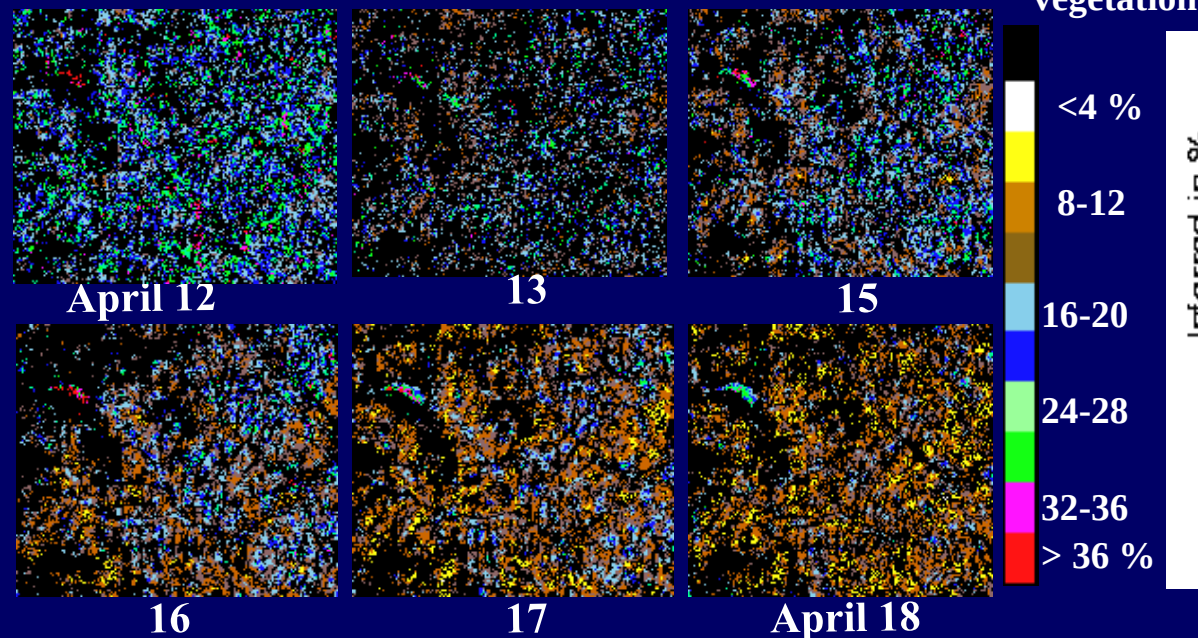


主动微波土壤水分定量反演

J. Shi, J. Wang, A. Hsu, P. O'Neill, and E. T. Engman,
“Estimation of bare surface soil moisture and surface
roughness parameters using L-band SAR image data”, IEEE
Trans. on Geosc. and Remote Sensing, 35(5):1254-1266, 1997

SCI引用127次,
是目前雷达土壤水分三个主要
反演算法之一

L-band SIR-C/X-SAR Derived Soil Moisture



利用积分公式模型描述了地表粗糙度因子在不同极化和入射对雷达观测的影响、机理和特征，发展了定量反演土壤水分和地表粗糙度的技术，并通过机载和航天飞机的实验得以验证。

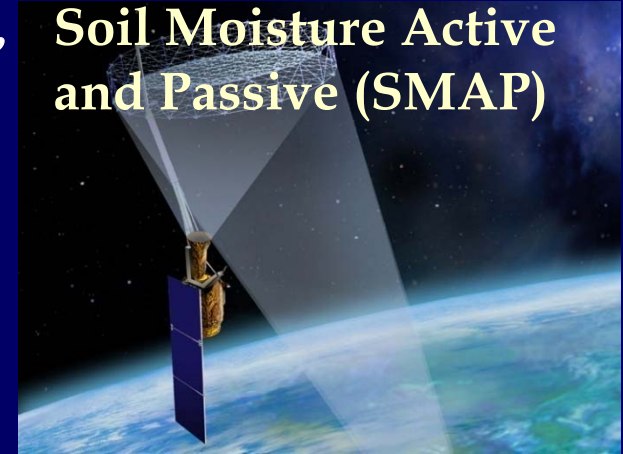
遥感科学国家重点实验室

NASA 主被动土壤水分卫星计划

NASA SMAP 卫星计划: 科学目标: 土壤水分和融冻过程, 2014年发射, 多极化L波段辐射计 (1.4 GHz 40km) and 雷达(1.26 GHz 1-3km), 采用 6 米共用天线技术, 入射角度 40°, 重访周期 3天。

1999-工作组成员, Co-I, 主要负责1) 雷达、2) 辐射计、和 3) 主被动联合的地表土壤水分定量反演算法。包括单次观测和时间序列观测条件的反演

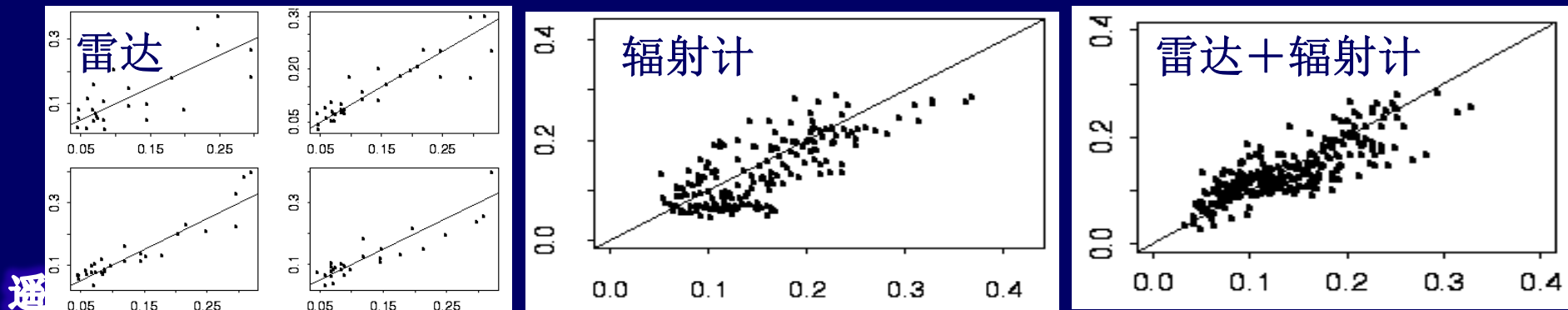
Soil Moisture Active and Passive (SMAP)



J. Shi, K. S. Chen, Q. Li, T. J. Jackson, P.E. O'Neill, and L. Tsang, "A parameterized Surface Reflectivity Model and Estimation of Bare Surface Soil Moisture with L-band Radiometer", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(12):2674-2686, Dec. 2002. 等共 8 篇文章

J. Shi, Kun-Shan Chen, Leung Tsang, Thomas Jackson, Eni Njoku, Jakob J. van Zyl, Peggy O'Neill, Dara Entekhabi, Joel Johnson, Mahta Moghaddam, Deriving Soil Moisture with the combined L-band Radar and Radiometer Measurements *Proceedings of IGARSS'10*, ISBN: 978-1-4244-9566-5, pp. 812-815, Honolulu, July 25-30, 2010

利用地表和机载实验: 地表土壤水分算法的地表验证

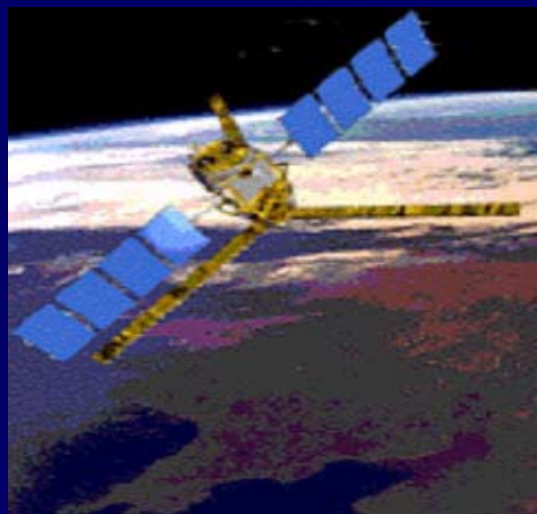




遥感科学国家重点实验室

中国科学院遥感应用研究所·北京师范大学

被动微波在土壤水分监测的研究进展



施建成

中国科学院遥感应用研究所

2012-6-11

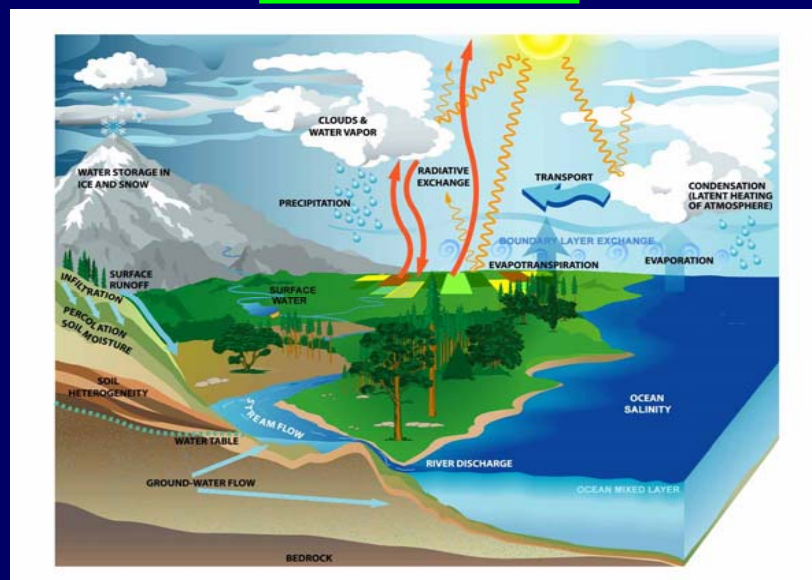
水循环的重要性

水循环与地球系统科学

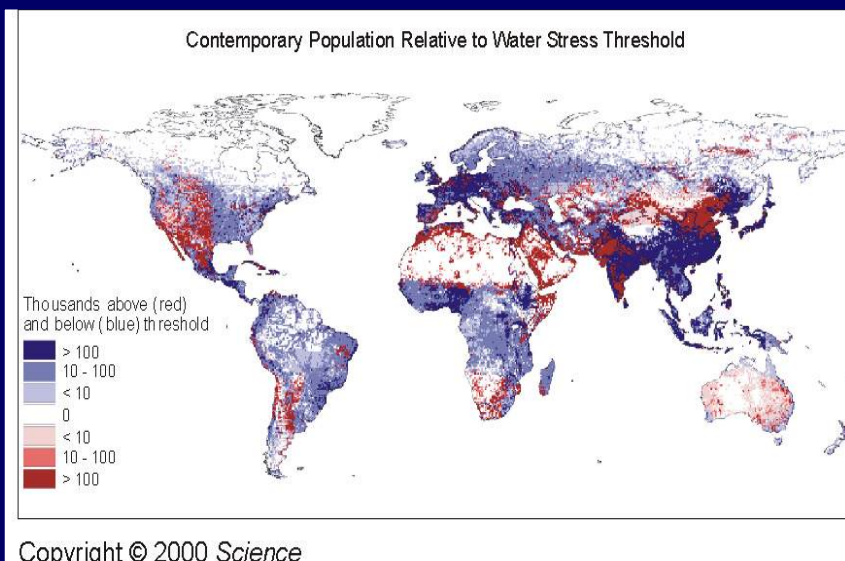
- 地球系统中的最重要的循环系统
- 影响气候敏感性关键反馈是水汽和云辐射过程
- 陆地水文过程影响气候
- 能量和水循环的特征（如降雨分布和强度）变化是气候变化最直接的指示器

水循环研究是水资源、气候变化、和天气等预报的基础和关键过程。

水循环系统

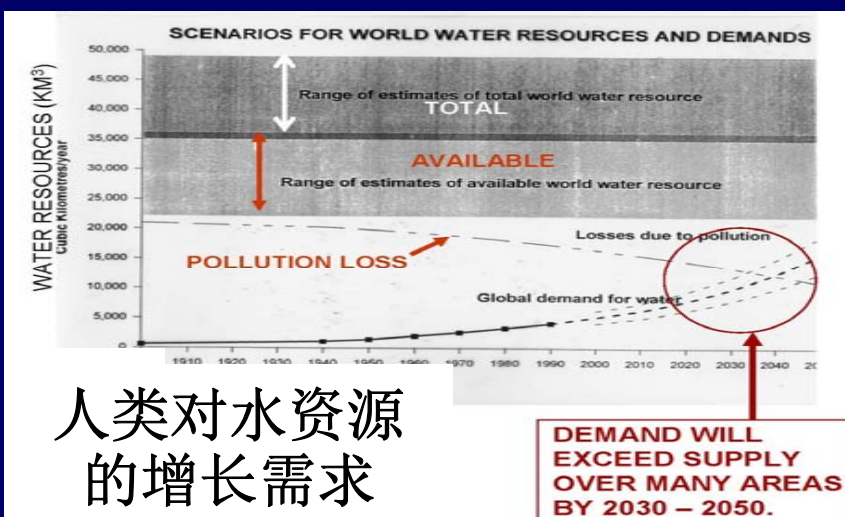


研究能量和水循环的重要性



国家重大需求 ➡ 关键科学问题

1. 能量及水循环的特征是如何变化及引起的原因？
2. 这些变化在全球和区域尺度上是否可预测？
3. 重大灾害的预警预报能力



人类对水资源的
增长需求

遥感科学国家重点实验室

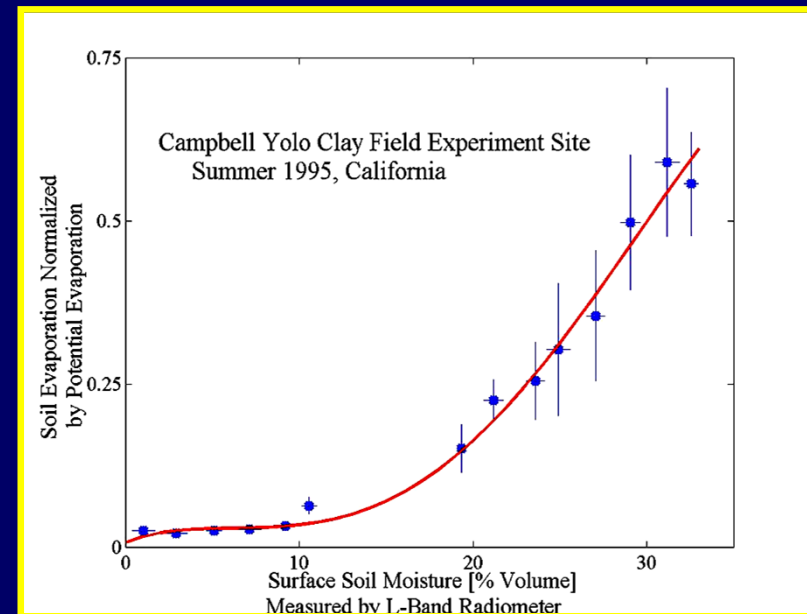
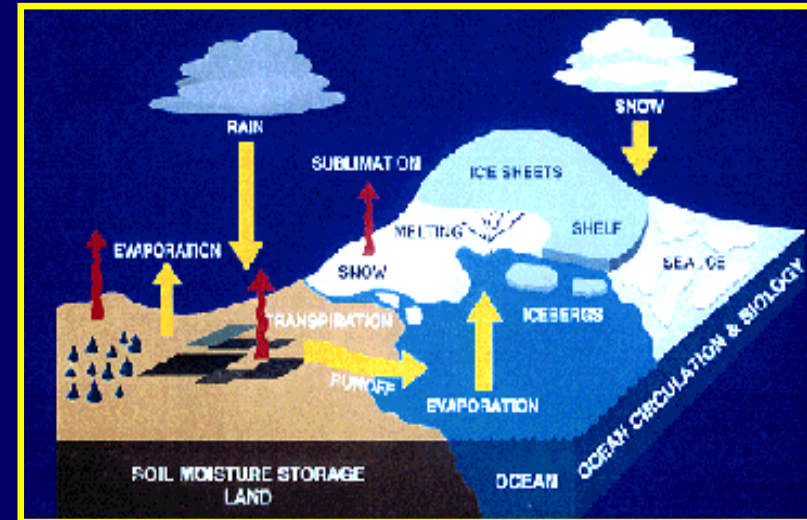


极端事件：洪水与干旱

土壤水分的研究意义

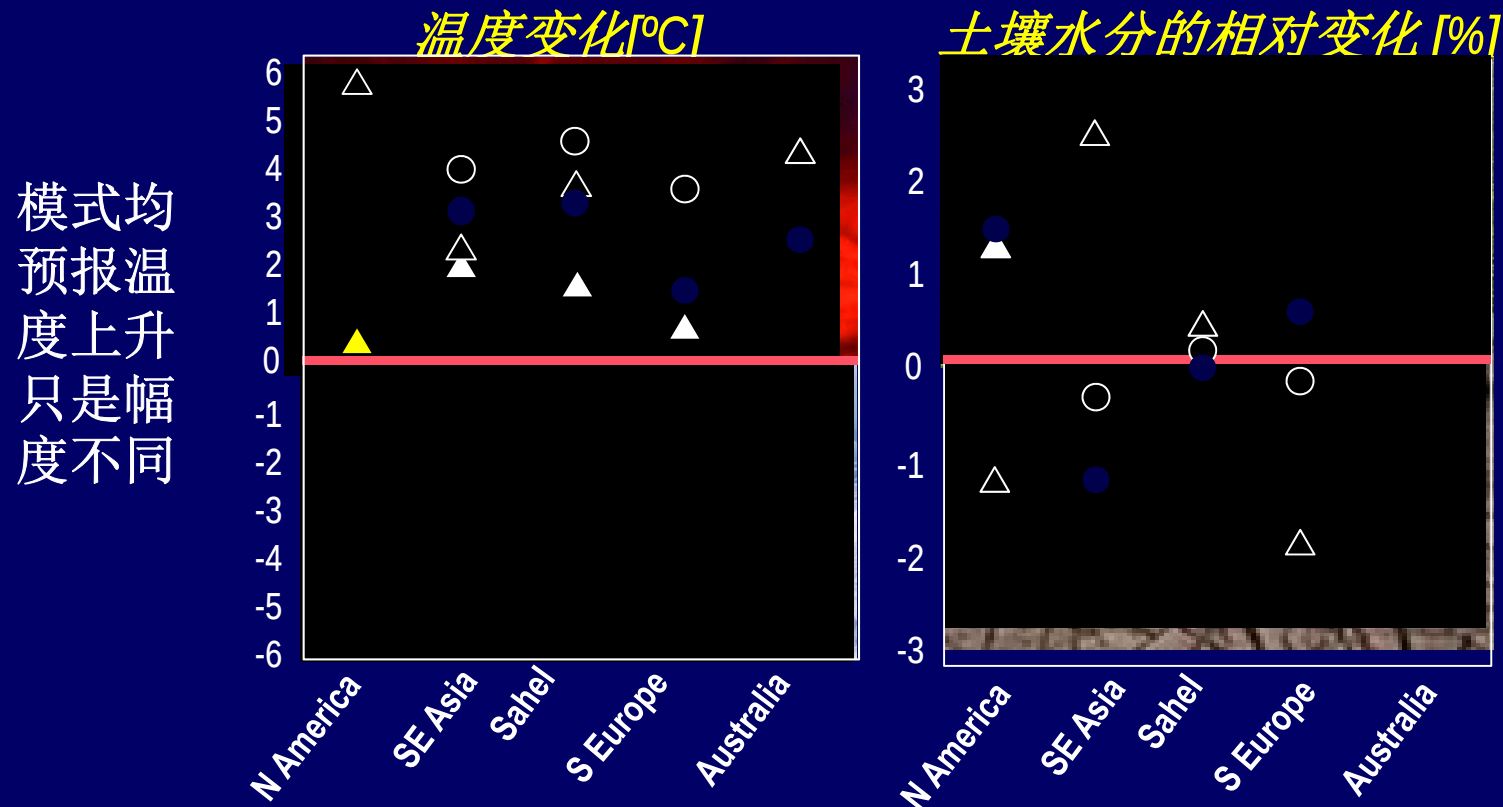
土壤水分是水循环的重要参数

- 物理特性: 是地表蒸散发的主要因子
- 边界状态: 天气与气候建模 (50 km)
- 应用: 水文、农业、洪水预报



气候变化及水资源影响

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) AR4 气候模式分区预报比较:



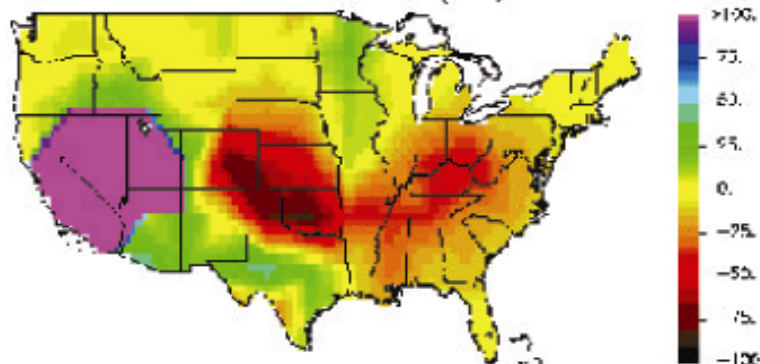
Li et al., (2007): Evaluation of IPCC AR4 soil moisture simulations for the second half of the twentieth century, *Journal of Geophysical Research*, 112.

模式预测及卫星观测比较

LARGE CLIMATE MODEL DIFFERENCES IN WET PROCESSES

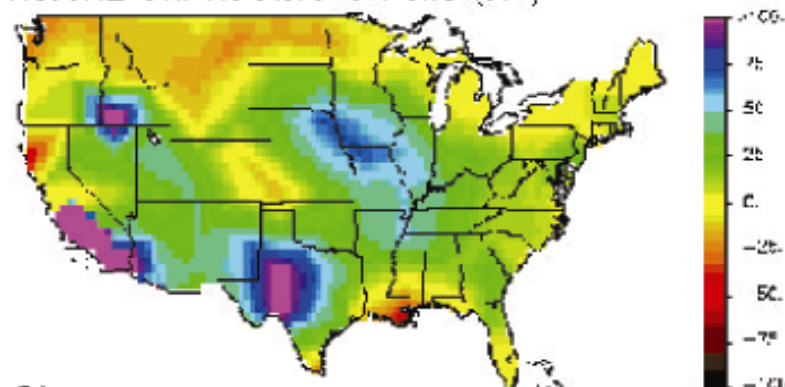
(See article beginning on page 1)

CGCM1 Soil Moisture % Trend (JJA)

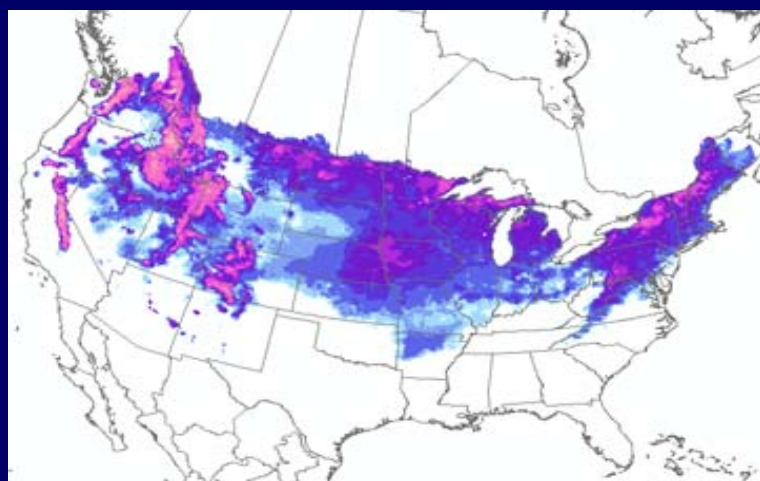


(a)

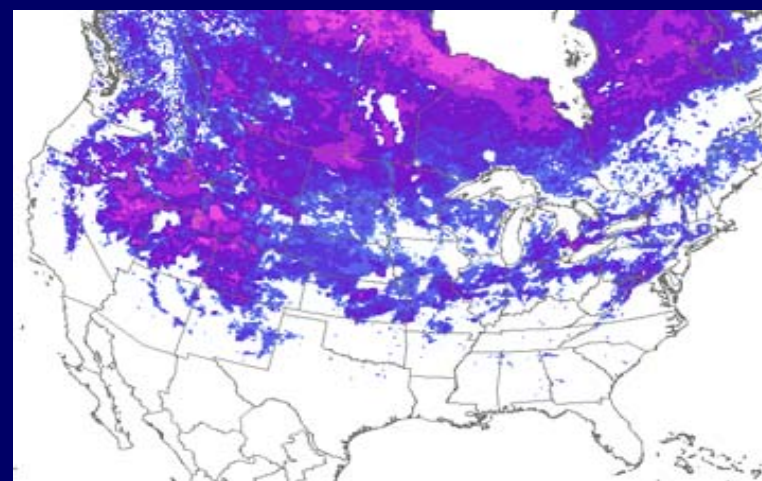
HadCM2 Soil Moisture % Trend (JJA)



(b)

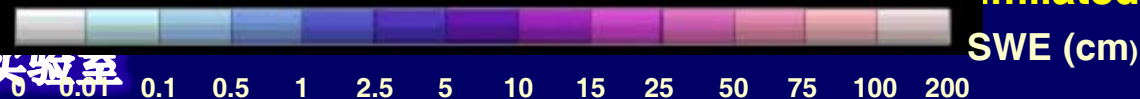


AMSR 12-km SWE from 12-km Footprints



Modeled/Assimilated SWE (NSA)

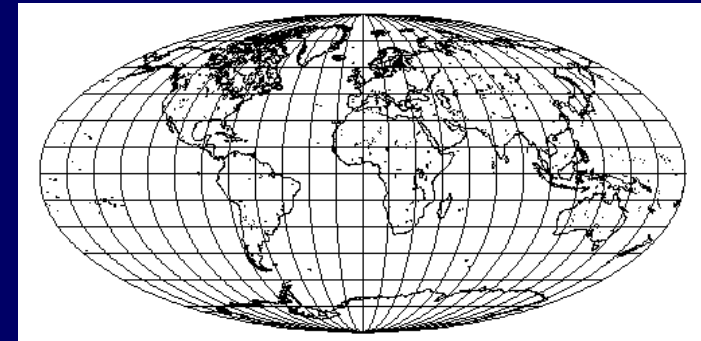
遥感科学国家重点实验室



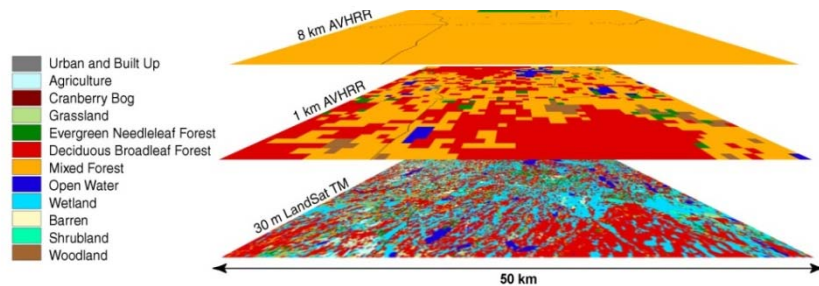
SWE (cm)

模式需求与目前观测系统的局限性

1. 模型中的格点代表不同地球生物及物理过程...
2. 代表该尺度上的“平均”状况



Vegetation Maps from Satellite Images
at three resolutions



能量和水循环过程在很小区域范围内变化很大

目前方法：基于点源的参数化方案有很大不确定性



1. 地面的观测方法基于点位测量，地表参数的观测点分布稀少
2. 站点观测得到的数据与预测模式的尺度不一致
3. 需要时空分布信息 ← 遥感

遥感科学国家重点实验室

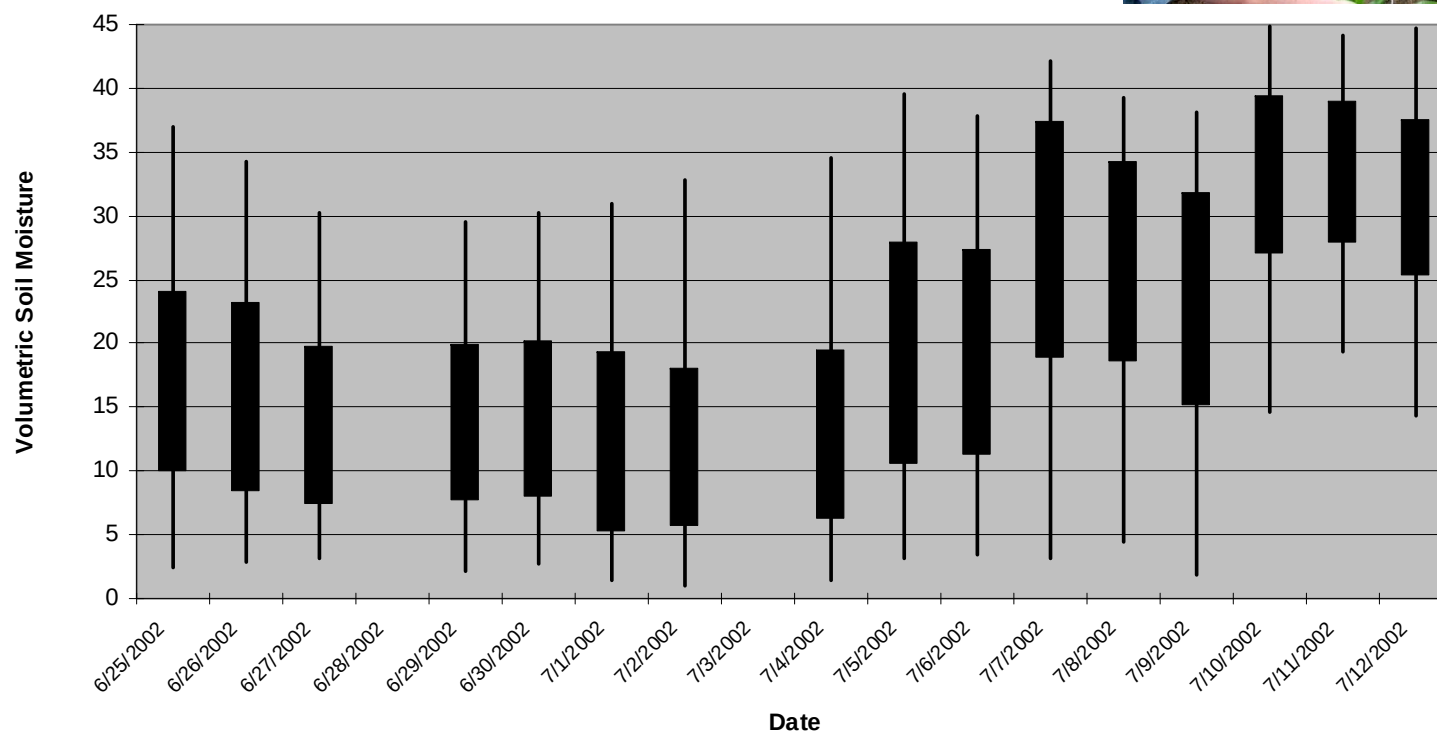


土壤湿度的大尺度变异性



土壤水分分布
(25 km x 25 km像元尺度)

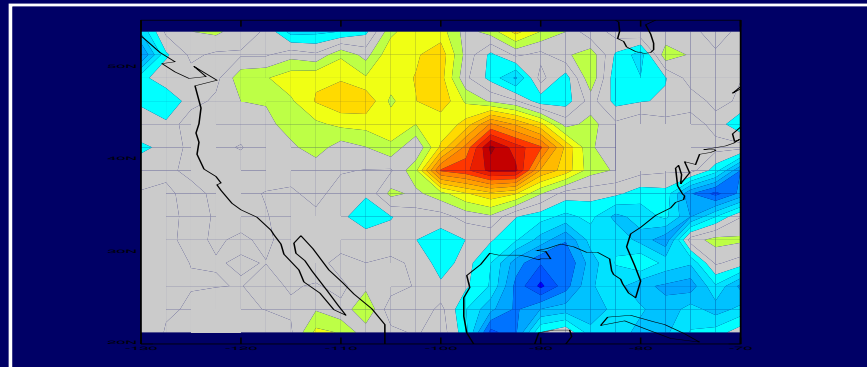
Regional Sites Range and One Standard Deviation



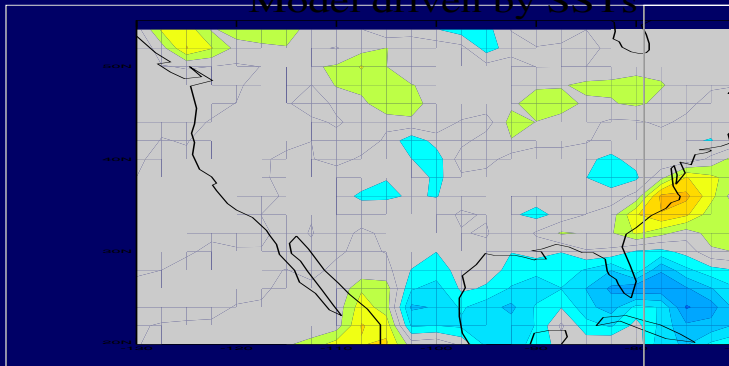
土壤水分对降雨预报的影响

SUMMER 1993 RAINFALL MINUS SUMMER 1988 RAINFALL

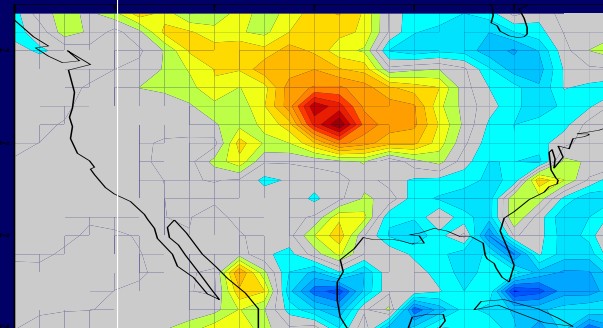
Observations



Model driven by SSTs



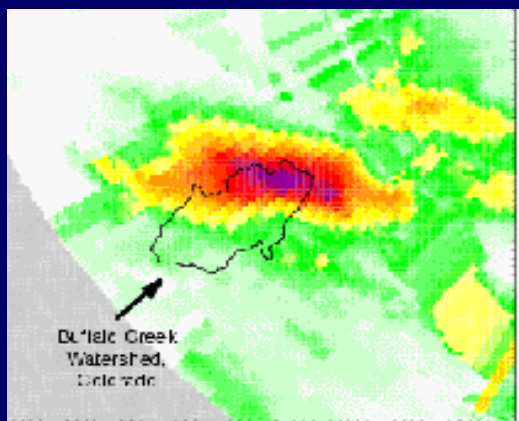
Model driven by SSTs
and soil moisture



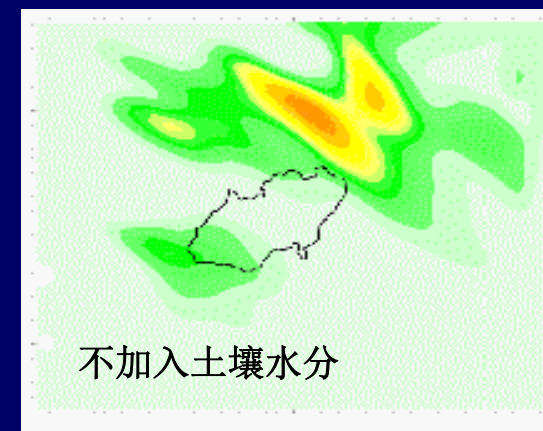
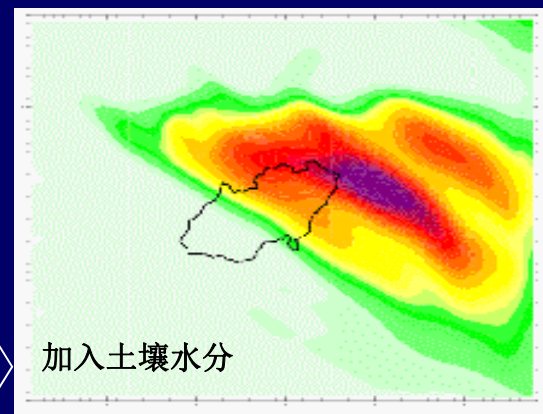
5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 (mm/day)

提高天气预报精度

Observed Rainfall
0000Z to 0400Z 13 July
1996 (Chen 2001)



24小时天气预报模型
的预报结果



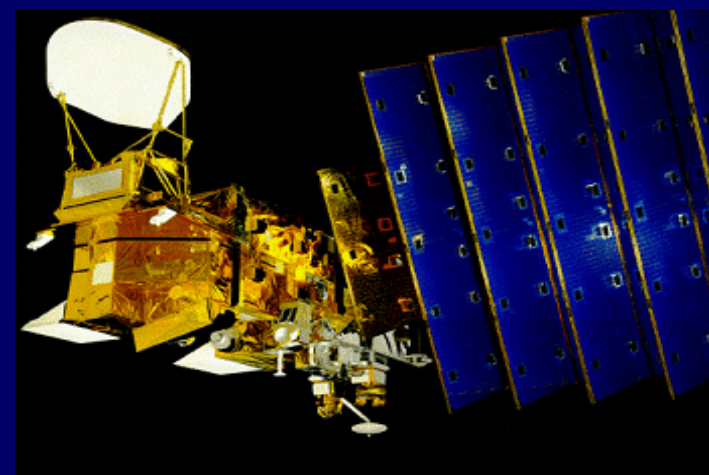
通过提供地表初始状态和边界条件，
提高**NWP**的预报精度

被动微波观测的特点



AMSR-E: Advanced Microwave Scanning Radiometer for the Earth Observing System

1. 观测尺度与天气，气候，及区域陆面模型一致；
2. 具有不受天气和时间影响的观测能力；
3. 对水非常敏感



地表

大气

Frequency (GHz)	Polarization	Sensitivity (K)	Mean Spatial Resolution (km)	Swath (km)
6.925	V, H	0.3	56	1445
10.65	V, H	0.6	38	1445
18.7	V, H	0.6	21	1445
23.8	V, H	0.6	24	1445
36.5	V, H	0.6	12	1445
89.0	V, H	1.1	5.4	1445

MWRI/FY-3与AMSR-E/AQUA

MWRI: Microwave Radiometer Imager

搭载于FY-3卫星之上，于2008年发射升空

MWRI

Frequency (GHz)	Polarization	Sensitivity (K)	Mean Spatial Resolution(Km)	Swath (Km)
10.65	V, H	0.3	51x85	1400
18.7	V, H	0.3	30x50	1400
23.8	V, H	0.3	27x45	1400
36.5	V, H	0.2	18x30	1400
89	V, H	0.4	9x15	1400

- 5频率，双极化，10通道
- 入射角 53°
- 太阳同步轨道
- 当地时间10:30 过境(降轨)

AMSR-E

Frequency (GHz)	Polarization	Sensitivity (K)	Mean Spatial Resolution (km)	Swath (km)
6.925	V, H	0.3	56	1445
10.65	V, H	0.6	38	1445
18.7	V, H	0.6	21	1445
23.8	V, H	0.6	24	1445
36.5	V, H	0.6	12	1445
89.0	V, H	1.1	5.4	1445

- 6频率，双极化，12通道
- 入射角55°
- 太阳同步轨道
- 当地时间1:30 过境(降轨)

遥感科学国家重点实验室

被动微波遥感辐射模型

$$T_{Bp} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5$$

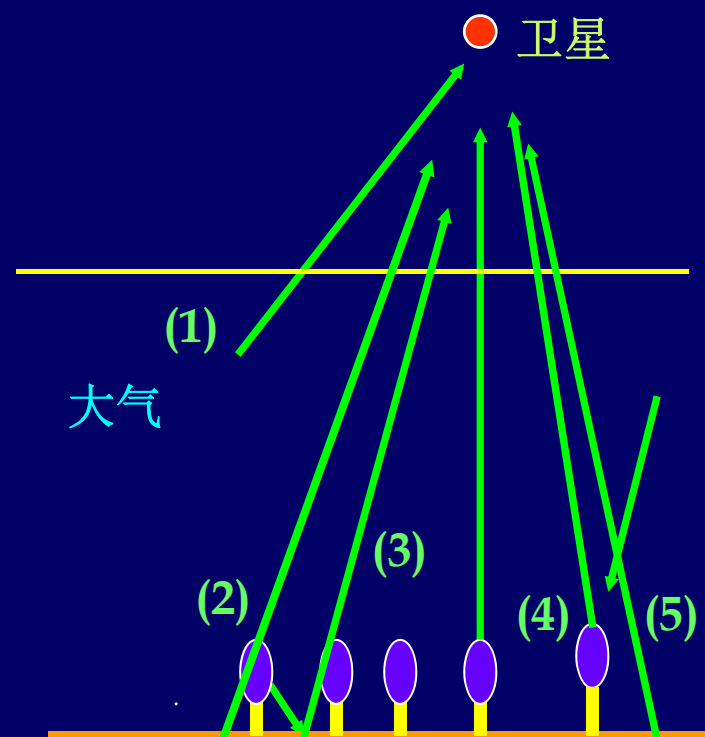
T_1 - 大气上行辐射项

T_2 - 地表发射经植被和大气衰减项

T_3 - 植被下行辐射经土壤反射再经
植被和大气衰减项

T_4 - 植被上行辐射经大气衰减项

T_5 - 大气下行辐射经地表反射项



地表对观测亮温 T_b 的贡献



观测亮温 (T_b) 依赖于

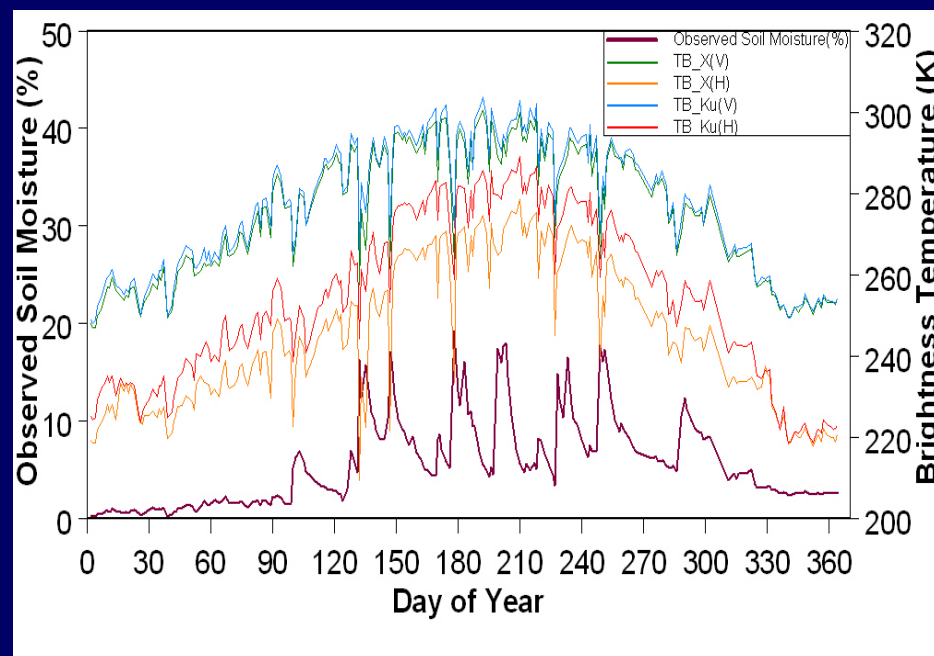
— 地表发射率

- 表面介电常数 $\leftarrow$ 土壤湿度
- 表面温度
- 土壤类型
- 表面粗糙度

— 植被属性

- 光学厚度 – 植被含水量, 高度, 密度, 散射体大小和朝向
- 散射源反照率 – 植被含水量, 散射体大小和朝向
- 植被温度

— 大气属性



现有的土壤水分反演算法

	Jackson(USDA)	Paloscia (Italy)	Koike (JAXA—产品)	Njoku(NASA—产品)
物理基础	6.6GHz下H极化菲涅尔反射率	利用了土壤水分在6.6GHz的极化依赖性和10.7GHz下植被的影响	土壤水分和植被影响的频率和极化依赖性	利用SMMR的前六个通道（6.6-18GHz，H&V）和地表分类数据，建立辐射传输方程
反演方法	输入植被参数和土壤质地等辅助信息，利用决策树方法	利用观测数据建立回归关系	利用前向模型模拟，建立查找表，进行反演	利用迭代算法获取数值解
输入数据	SMMR 6.6GHz数据以及NDVI, 温度, 土壤质地和地表覆盖类型等辅助数据	SMMR 6.6GHz和10.7GHz下的H&V极化数据	SMMR 6.6GHz和18GHz下的H&V极化数据	SMMR 6.6GHz,10.7GHz和18GHz下的H&V极化数据和土壤质地、植被类型、地表类型、大气温度、可降水量和DEM
输出数据	土壤水分	土壤水分	土壤水分、植被含水量和地表温度	土壤水分、植被含水量和地表温度

目前微波辐射计估算土壤水分的方法与问题

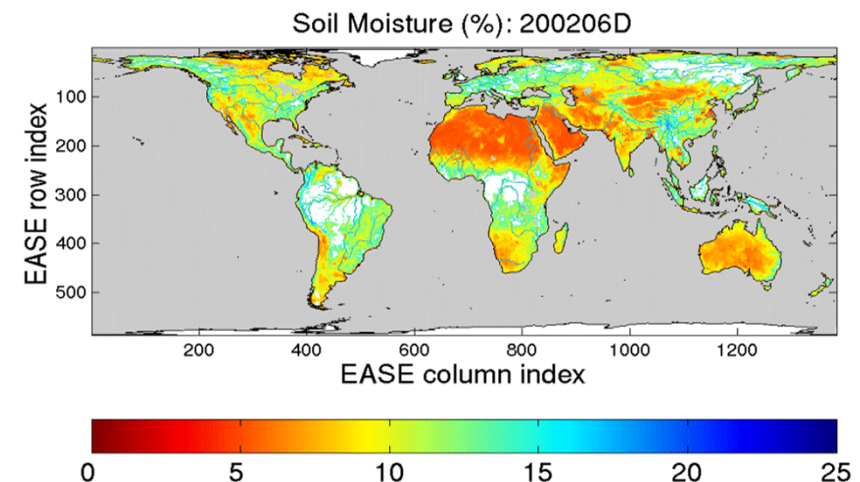
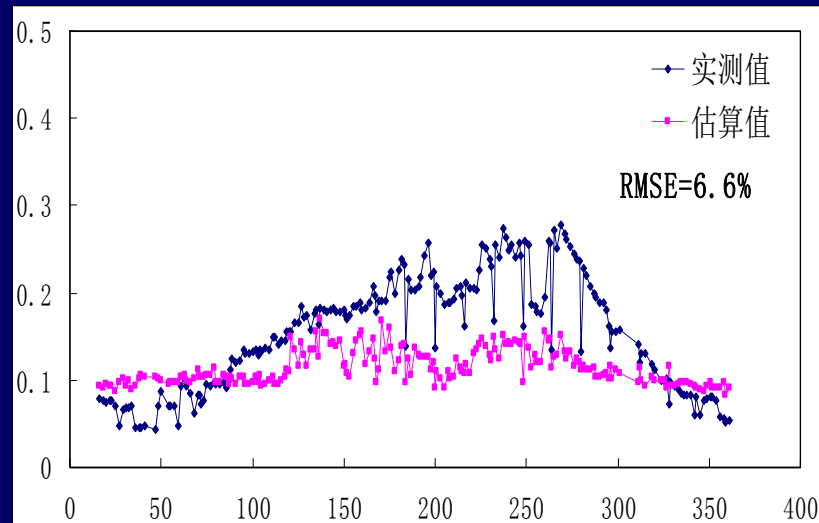
四种算法: Enjoku (NASA-产品), Jackson (USDA), Koike (JAXA-产品), and Palascia (Italy)

共同特征

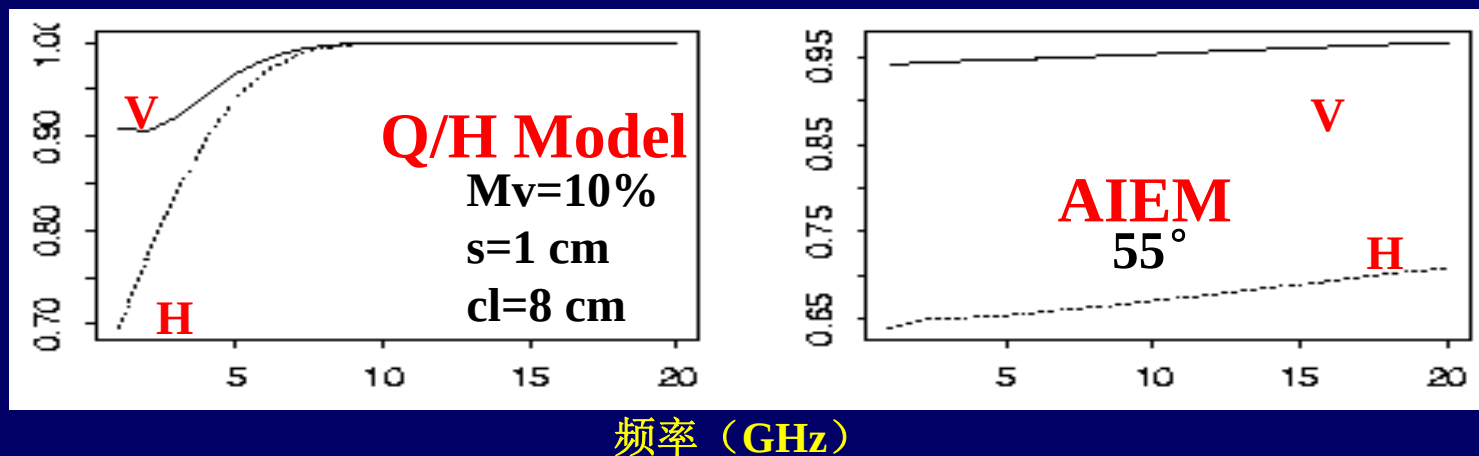
- 土壤地表辐射的Q/H模型
- 假设均匀植被
- 借助地表覆盖数据

缺点与不足

1. 需要辅助数据 (NDVI)及辅助数据配准、转换带来的误差
2. 没有很好利用多频率和双极化传感器优势
3. 模型本身存在的问题



半经验土壤地表发射率模型 Q/H方法



Q/H 模型

$$R_p^e(\theta) = [Q \cdot r_q(\theta) + (1 - Q) \cdot r_p(\theta)] \cdot H(\theta)$$

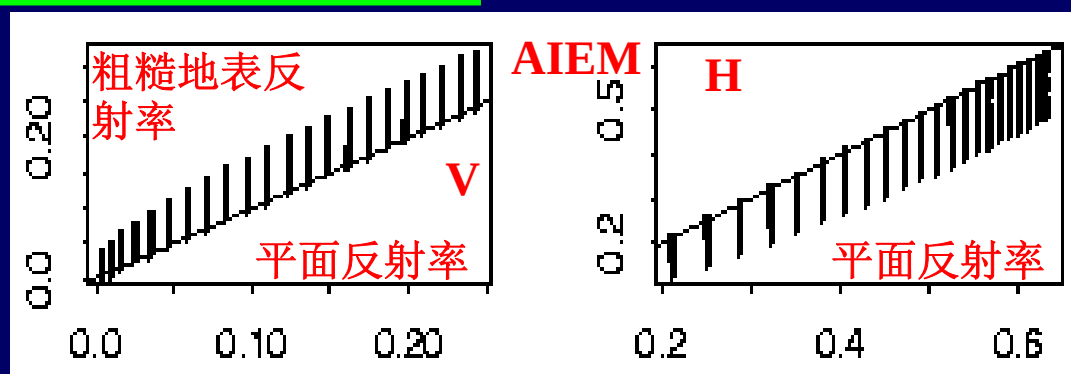
$$Q = 0.35 \cdot [1 - \exp(-0.6 \cdot s^2 \cdot f)]$$

$$H = \exp[-(2 \cdot ks \cdot \cos(\theta))^2]$$

存在问题:

- 1) 地表粗糙度参数: Q/H 模型中所用的 $\neq$ 地表可观测的物理参数
- 2) Q/H 模型中所描述的地表粗糙度对发射率影响与极化无关, 与理论模型不一致

遥感科学国家重点实验室

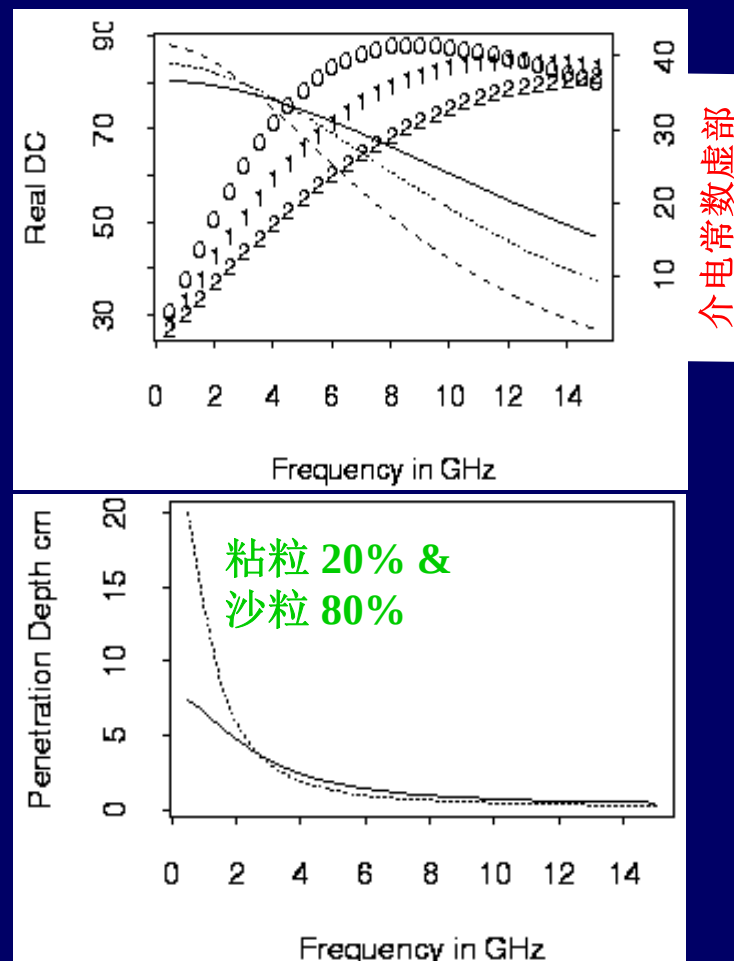
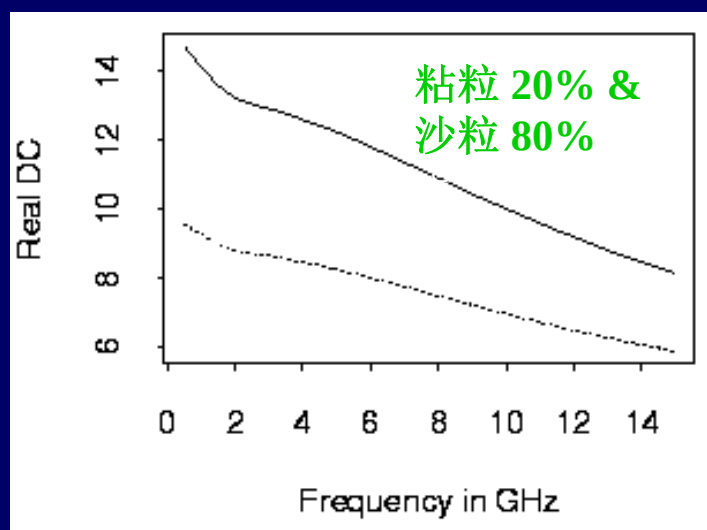


土壤的介电特性

土壤颗粒介电常数 - 4.7

水分 - 频率和温度

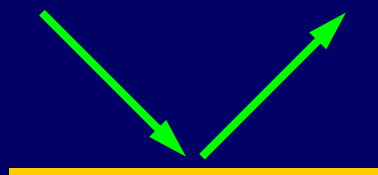
土壤 - 频率, 水分, 温度, 质地



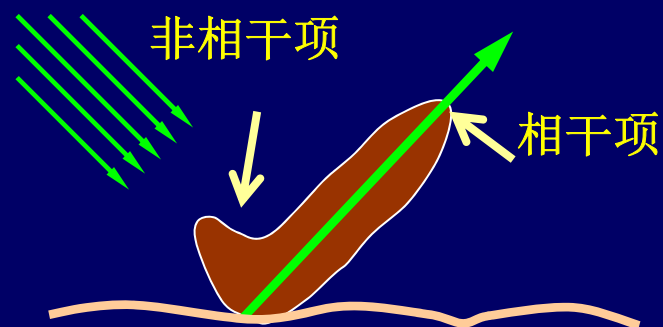
地表粗糙度的影响

入射波

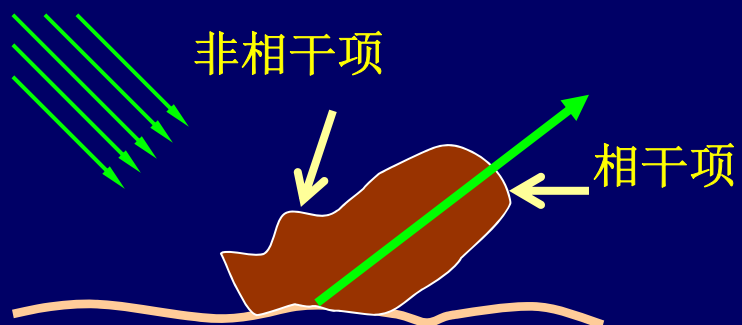
镜面方向反射



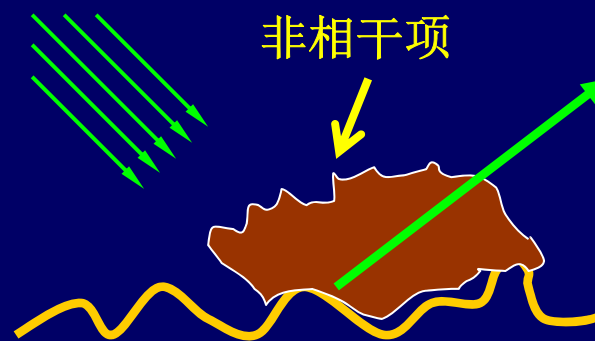
(a)



(b)



(c)



(d)

地表粗糙度特性

- 随机粗糙地表： 相关函数
- (高斯、指数)
- 几个参数：

- 均方根高度

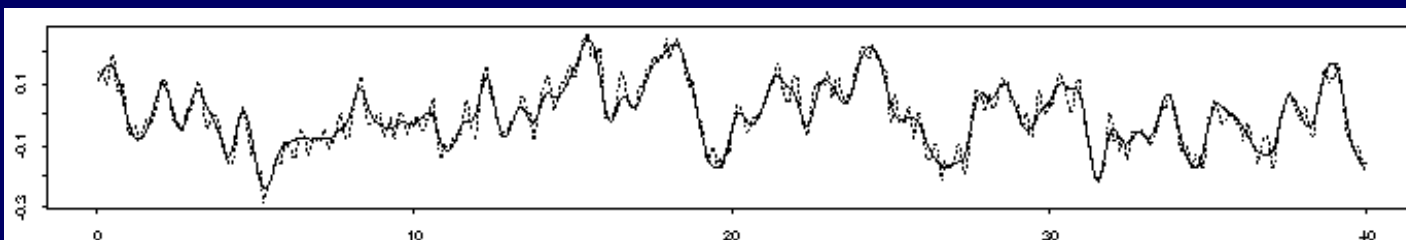
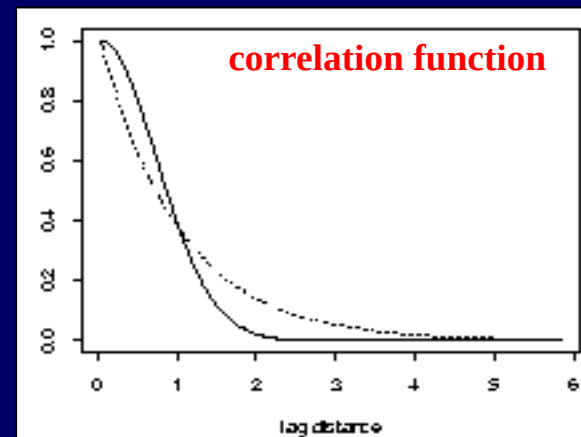
$$s = \left(\overline{z^2} - \bar{z}^2 \right)^{1/2}$$

- 相关长度

$$\rho(l) = e^{-1}$$

- 相关函数

$$\rho(\xi) = \frac{\int z(x)z(x+\xi)dx}{\int z^2(x)dx}$$



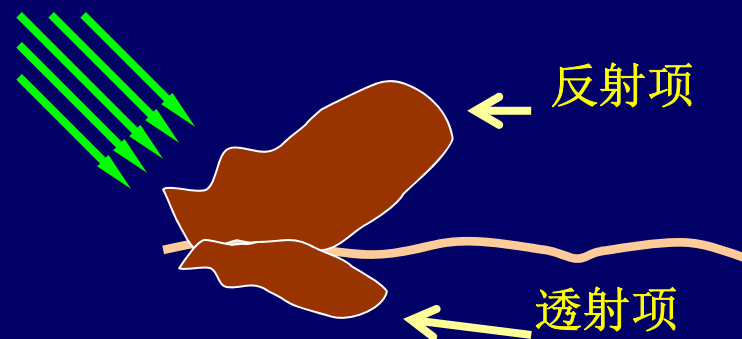
地表发射模型

$$E_p(\theta) = 1 - R_p^{coh}(\theta) - \frac{1}{4\pi \cos(\theta)} \iint_{\Omega} (\sigma_{pp}^s(\theta, \theta_s, \phi_s) + \sigma_{pq}^s(\theta, \theta_s, \phi_s)) d\Omega$$

$$E_p(\theta) = T_p^{coh}(\theta) + \frac{1}{4\pi \cos(\theta)} \iint_{\Omega} (\sigma_{pp}^t(\theta, \theta_s, \phi_s) + \sigma_{pq}^t(\theta, \theta_s, \phi_s)) d\Omega$$

能量守恒

$$R_p^{total}(\theta) + T_p^{total}(\theta) = 1$$



现有的表面散射模型

表面散射和辐射物理模型

- 传统的物理模型
 - 小扰动模型
 - 物理光学模型
 - 几何光学模型
- 积分方程模型
- 蒙特卡洛模型

改进的积分方程模型 (AIEM)

$$E_p = 1 - R_p^e = 1 - R_p^{inc} - R_p^{coh}$$

E_p – 发射率

p – 极化方式

R – 反射率

$$R_p^{inc} = \iint (\sigma_{pp} + \sigma_{qp}) \cdot d\Omega$$

$$R_p^{coh} = r_p \cdot \exp(-(2 \cdot ks \cdot \cos(\theta))^2)$$

AIEM模型中，散射系数用基尔霍夫项、交叉项和补偿项表述，如：
交叉项

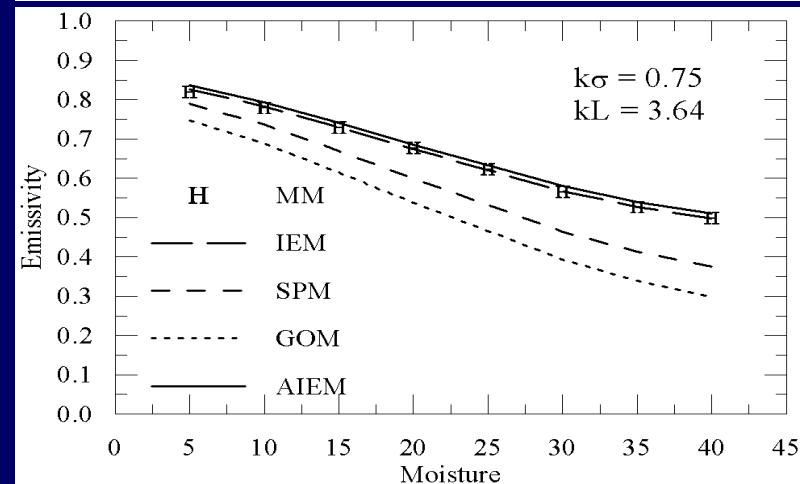
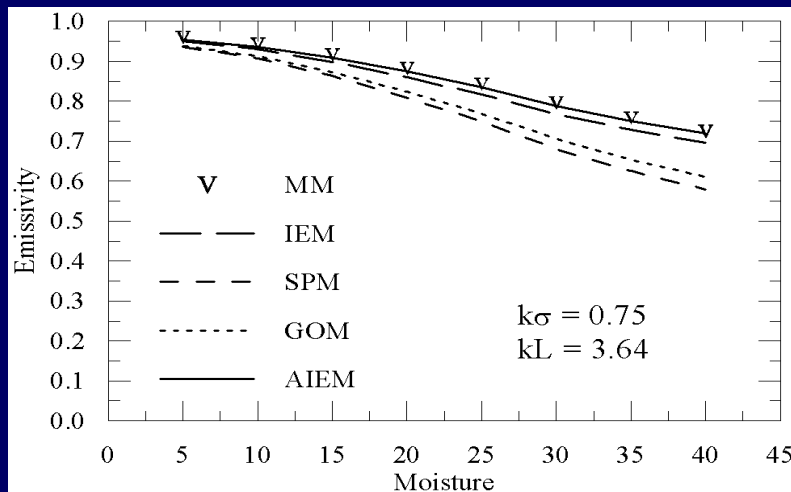
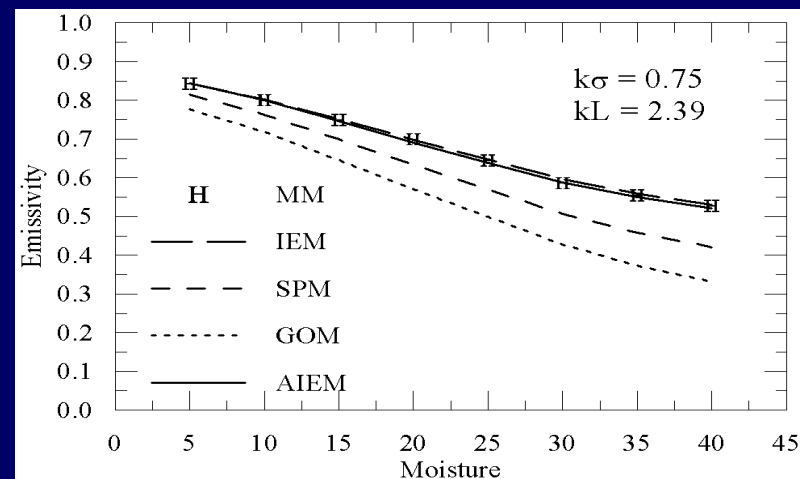
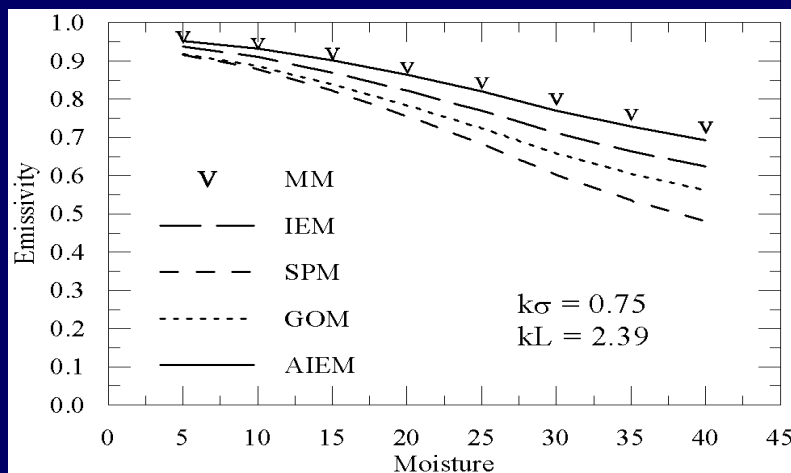
$$\sigma_{qp}^0 = \sigma_{qp}^k + \sigma_{qp}^{kc} + \sigma_{qp}^c$$

. Chen, K. S., T. D. Wu, L. Tsang, Qin Li, **J. Shi** and A. K. Fung, "The Emission of Rough Surfaces Calculated by the Integral Equation Method with a Comparison to a Three-Dimensional Moment Method Simulations", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(1):90-101, Jan. 2003.

$$\begin{aligned} \sigma_{qp}^{kc} = & \frac{k^2}{4} \operatorname{Re} \left\{ \exp[-s^2(k_z^2 + k_{sz}^2 + k_{sz}k_z)] \exp[-s^2(q^2 - qk_{sz} + qk_z)] f_{qp} * \right. \\ & \left[F_{qp_up}(-k_x, -k_y) \cdot \sum_n \frac{[s^2(k_{sz} - q)(k_z + k_{sz})]^n}{n!} W^{(n)}(k_{sx} - k_x, k_{sy} - k_y) \right. \\ & \left. \left. + F_{qp_up}(-k_{sx}, -k_{sy}) \cdot \sum_n \frac{[s^2(k_z + q)(k_{sz} + k_{sz})]^n}{n!} W^{(n)}(k_x - k_{sx}, k_y - k_{sy}) \right] \right\} \\ & + \frac{k^2}{4} \operatorname{Re} \left\{ \exp[-s^2(k_z^2 + k_{sz}^2 + k_{sz}k_z)] \exp[-s^2(q^2 + qk_{sz} - qk_z)] f_{qp} * \right. \\ & \left[F_{qp_dn}(-k_x, -k_y) \cdot \sum_n \frac{[s^2(k_{sz} + q)(k_z + k_{sz})]^n}{n!} W^{(n)}(k_{sx} - k_x, k_{sy} - k_y) \right. \\ & \left. \left. + F_{qp_dn}(-k_{sx}, -k_{sy}) \cdot \sum_n \frac{[s^2(k_z - q)(k_{sz} + k_{sz})]^n}{n!} W^{(n)}(k_x - k_{sx}, k_y - k_{sy}) \right] \right\} \end{aligned}$$

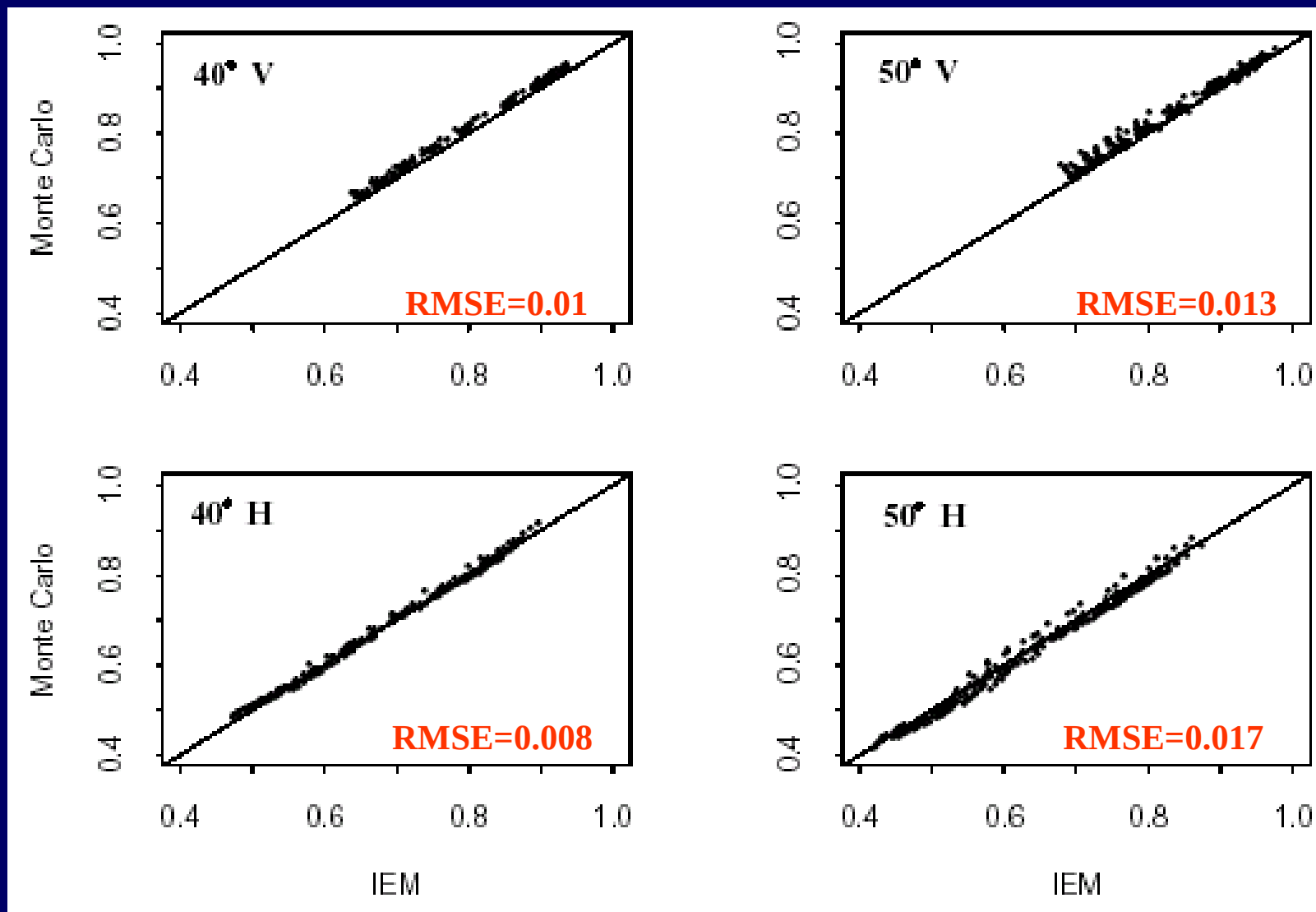
AIEM与蒙特卡洛方法的比较

(中等粗糙度, 入射角 30°)



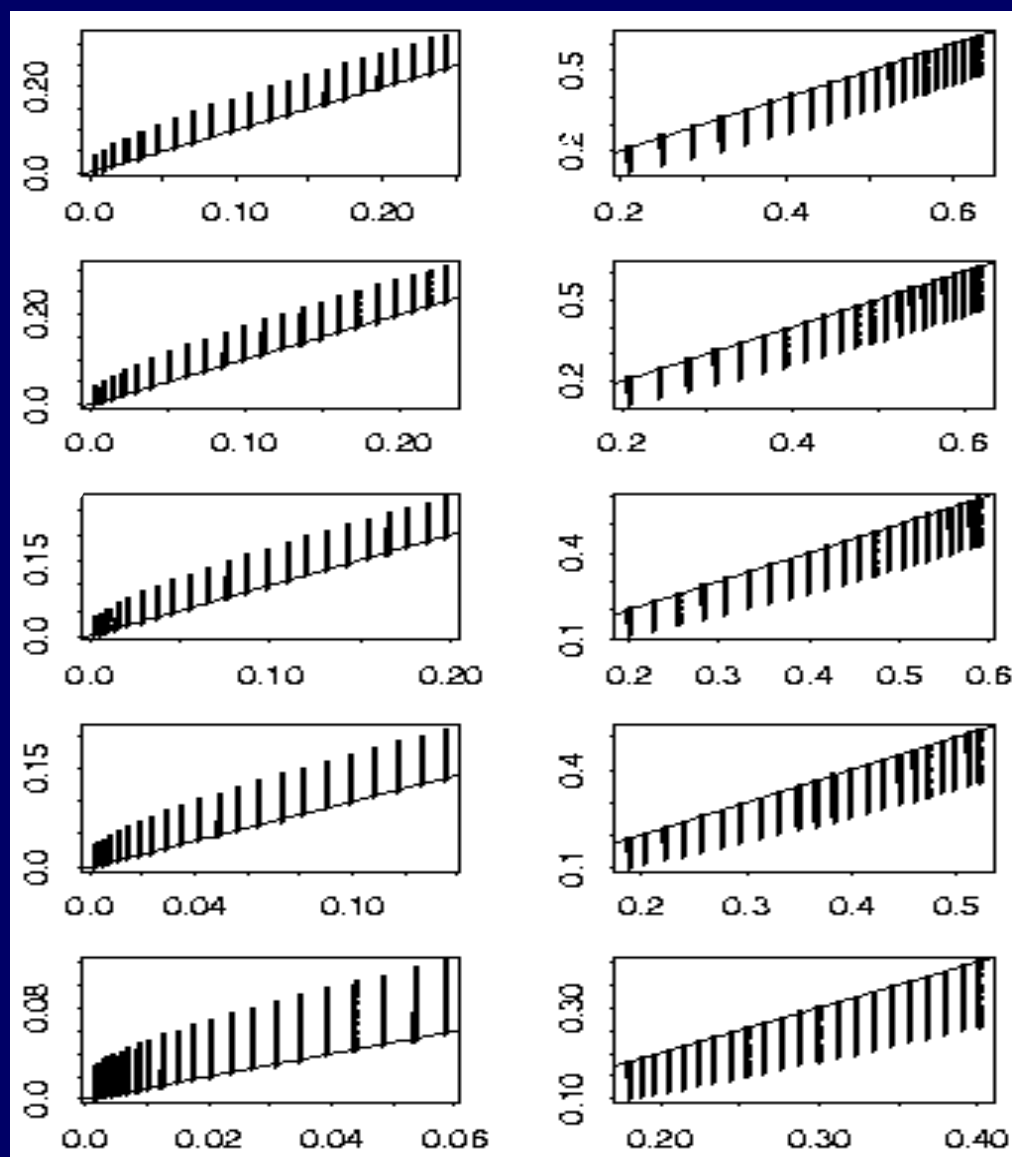
GOM 和SPM的模拟效果较差. IEM 和AIEM 在H极化的模拟值很接近 但是V极化的模拟值差别较大. AIEM 模拟效果最好.

通过AIEM模型使用蒙特卡洛方法验证发射率



在AMSR-E的观测频率下AIEM的模拟结果

1. 在AMRS-E的观测频率下，地表粗糙度影响的模拟效果较好
2. 无需shade function
3. 地表粗糙度对H和V极化的影响不同

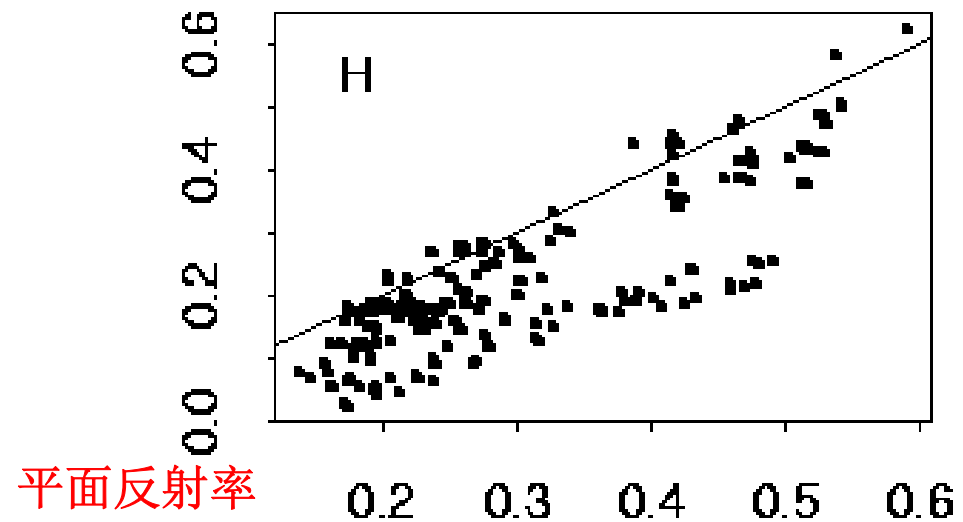
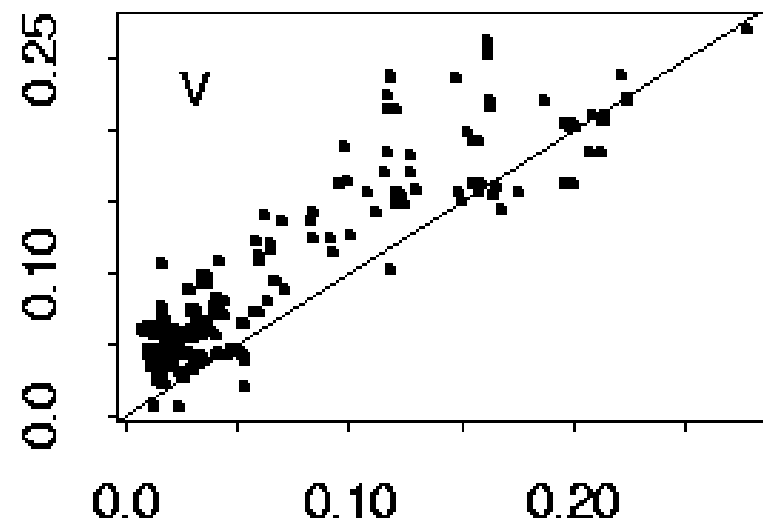




用野外观测数据表征不同极化方向上粗糙度的影响

50° 入射角下，INRA'93 地面多频率 (5.05, 10.65, 23.8, and 36.5 GHz) 和极化 (V & H) 辐射计试验数据

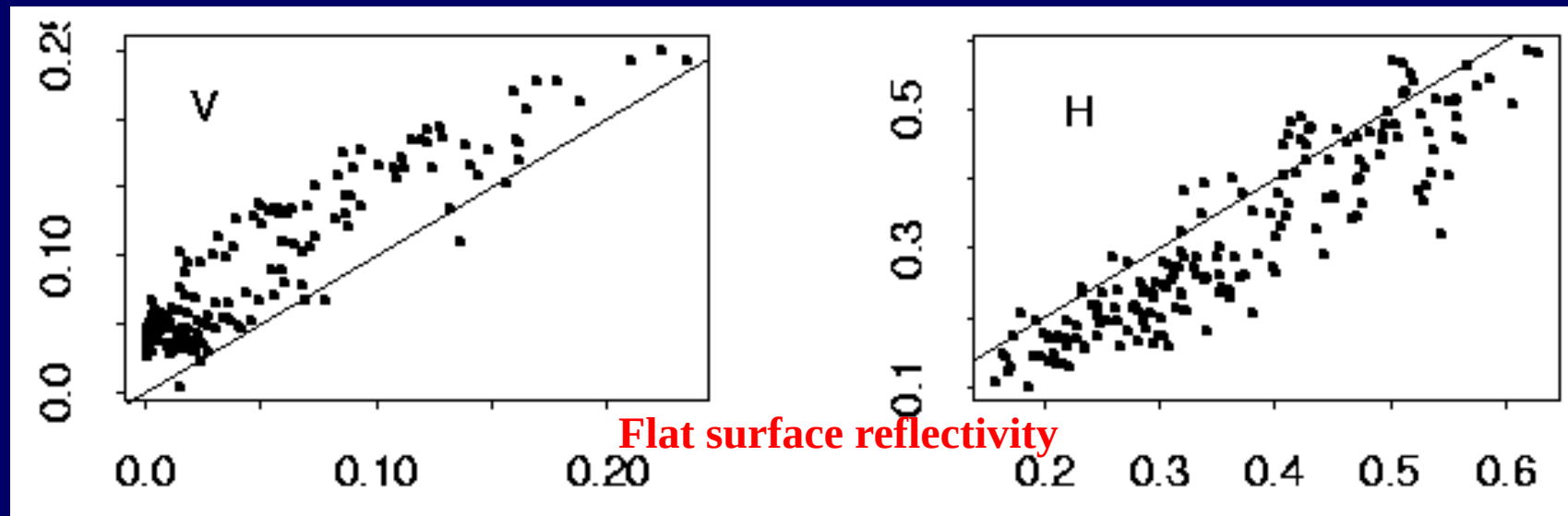
不同极化方向上有效反射率对粗糙度的影响



用野外观测数据表征不同极化方向上粗糙度的影响

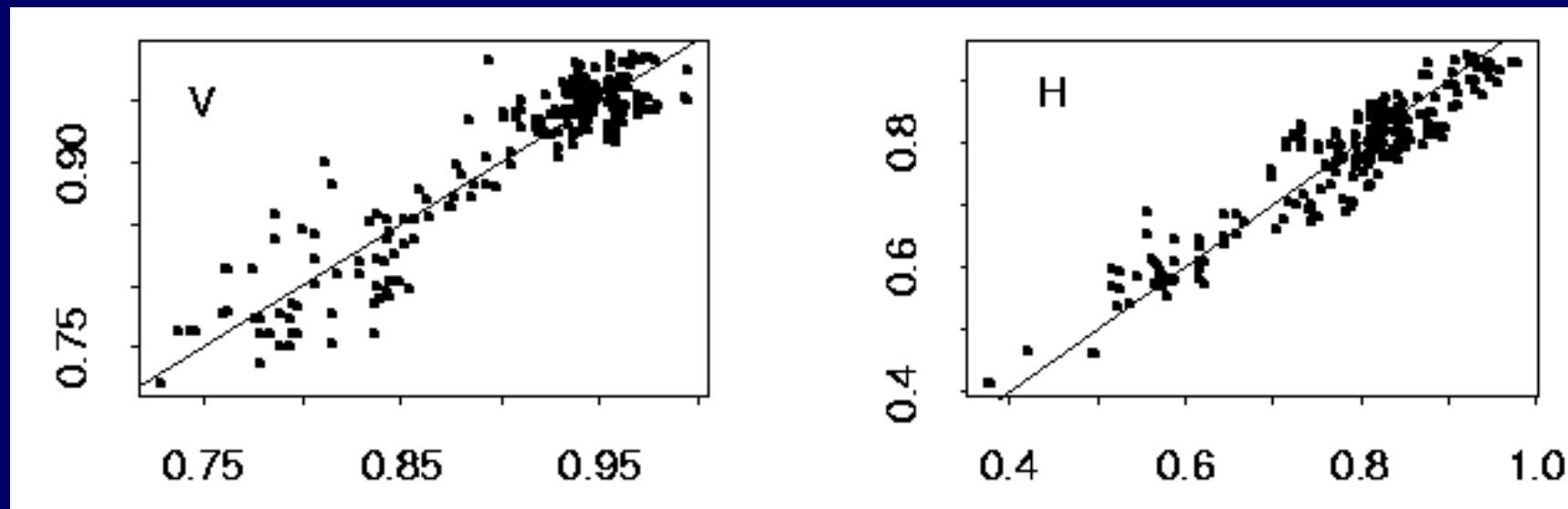
50° 和60° , USDA BARC 地面多频率 (5.0, and 10.7 GHz)
和极化(V & H) 辐射计试验数据

不同极化方向上有效反射率对粗糙度的影响

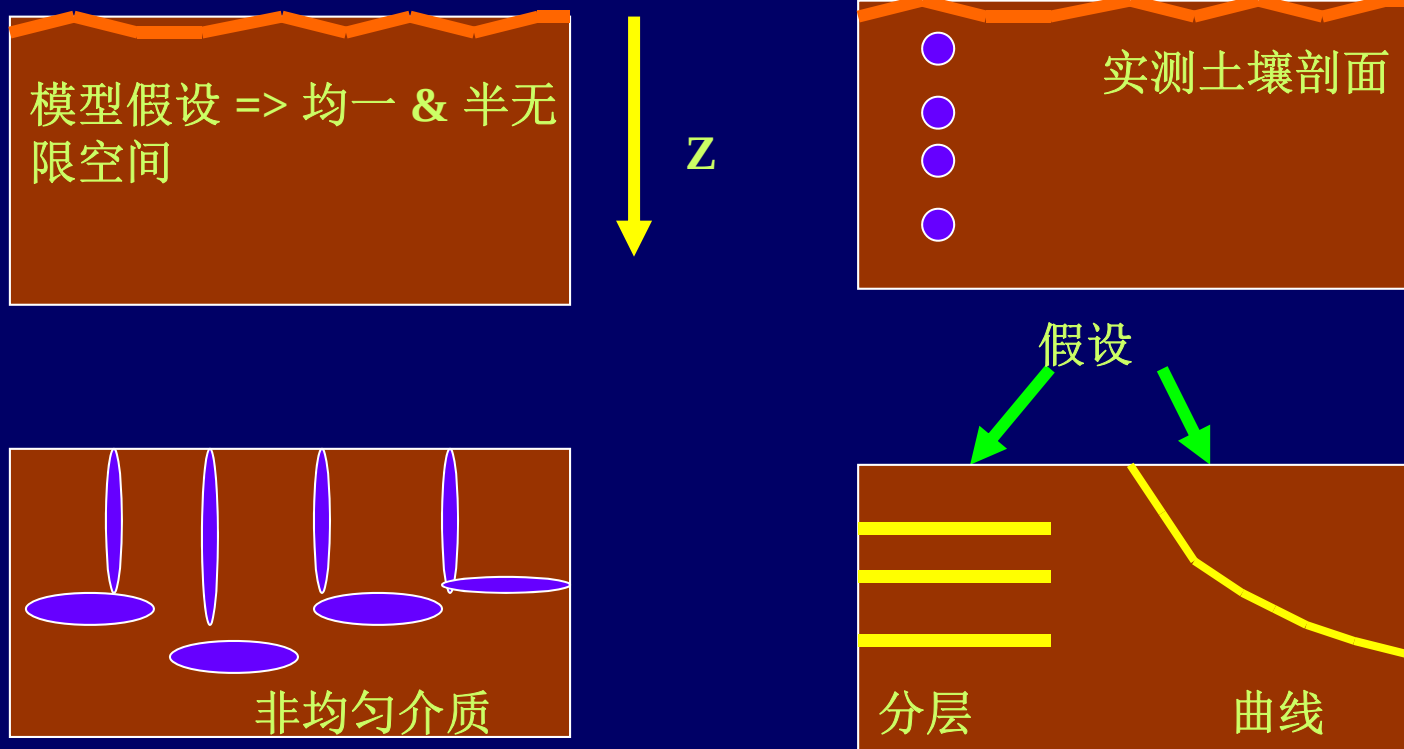


实验数据验证AIEM模型

50° 入射角下, INRA'93 地面多频率 (5.05, 10.65, 23.8, and 36.5 GHz) 和极化 (V & H) 辐射计试验数据



土壤水分和土壤温度剖面的不确定性



简单的地表发射模型选择

1. **AIEM**非常复杂且计算量大- 全球尺度的分析需要一个简单的模型
2. 一个简单的模型可以直接用于土壤水分的估算
3. 简单的模型可以作为边界条件服务于其它陆表和大气领域的研究



4. 目前已有的半经验模型

- 一般是利用有限的实验数据得到的，具有很多不确定性
- 大多数模型都不能很好地描述地表粗糙度对大角度和高频情况下的微波信号的影响 (AMSR-E, SSM/I, SSM/R, WINSAT, CIMS)

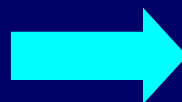
利用AIEM进行数值模拟

输入参数

	最小值	最大值	间隔	单位
土壤体积含水量	5.0	50.0	2.0	%
均方根高度	0.25	3.5	0.25	cm
相关长度	5.0	35.0	2.5	cm
入射角	50.0	60.0	1.0	度
相关函数	高斯相关			



AIEM

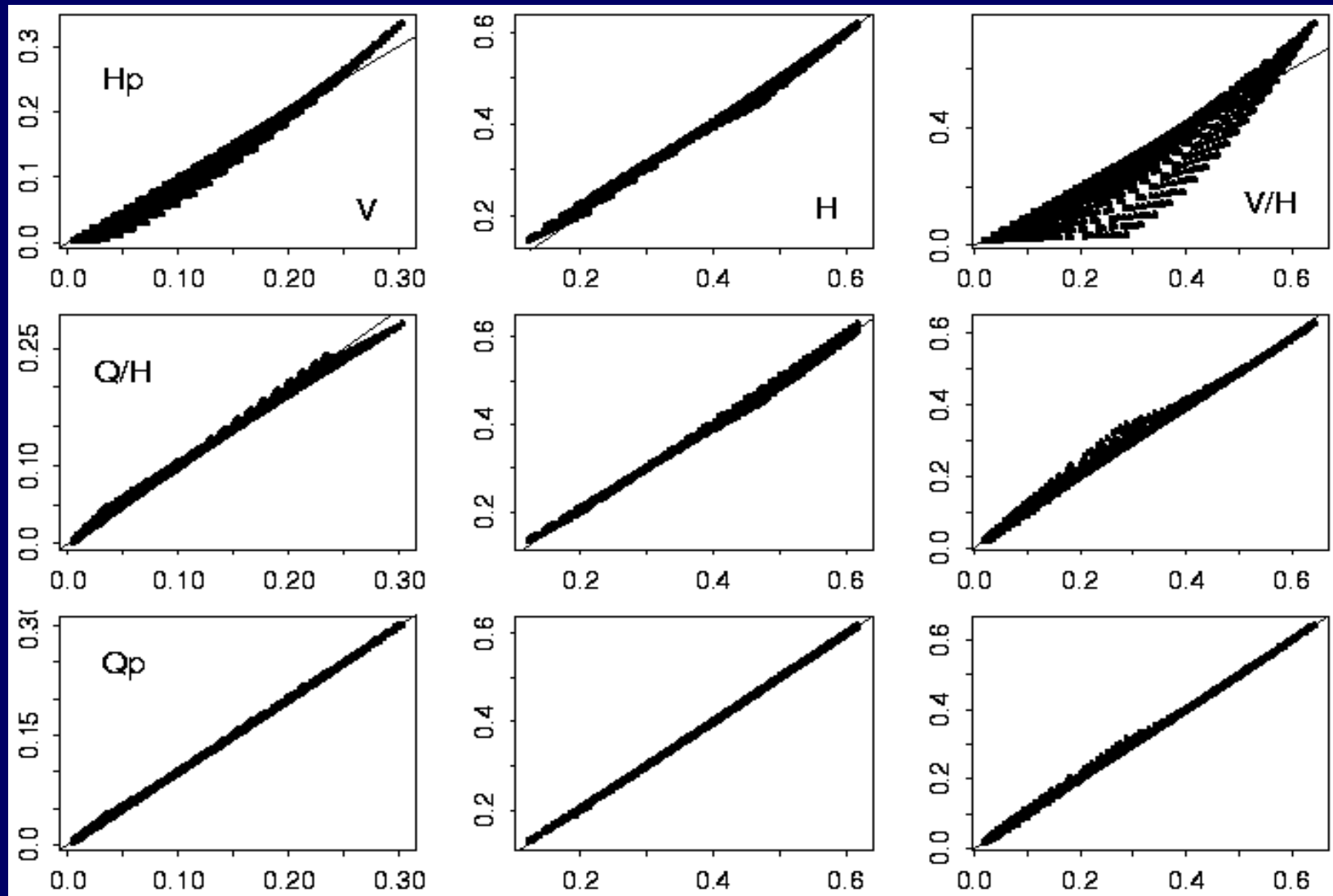


宽波段发射率数据库

半经验模型形式的选择

Q/H model	Hp model	New Qp model
$R_p^e = [Q \cdot r_q + (1 - Q) \cdot r_p] \cdot H$	$R_p^e = r_p \cdot H_p$	$R_p^e = Q_p \cdot r_q + (1 - Q_p) \cdot r_p$
Choudhury et al, 1979, Wang et al., 1981, 1983, Prigent et al., 2000.	Mo et al, 1987, Wegmuller, 1999, Wigneron, 2001	新发展的半经验模型
被用于AMSR-E官方算法 (Njoku and Koike) 以 及Paloscia的算法中	被用于Jackson 算 法中	
Q/H 参数 – 每个参数均 与极化无关	Q=0, Hp与极化 相关	H=1, Qp受极化 影响

不同形式的模型与AIEM的模拟结果比较



比较新的Qp模型和AIEM模型



新发展的 Qp 模型

Qp 是表面粗糙度参数

$$t_p = 1 - r_p$$

Fresnel's 反射率和透射率

$$R_p^e = (1 - Q_p) \cdot r_p + Q_p \cdot r_q$$

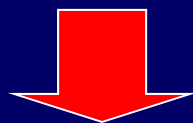
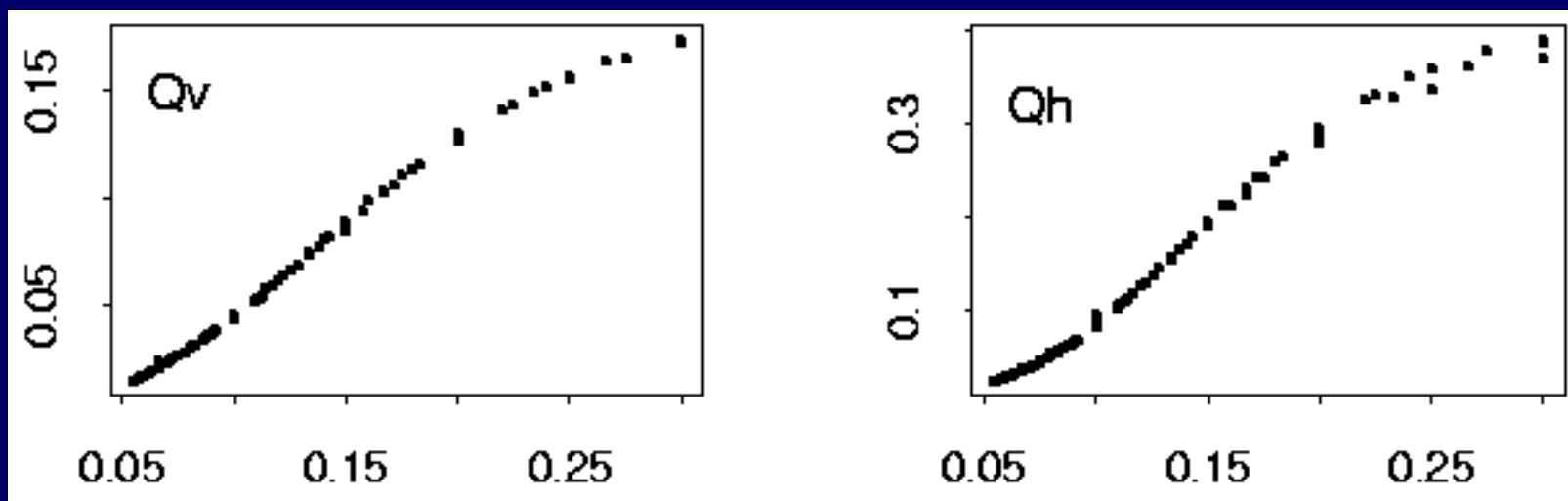
$$E_p^s = (1 - Q_p) \cdot t_p + Q_p \cdot t_q$$

Qp和AIEM间的RMSE

Frequency in GHz	6.925	10.65	18.7	23.8	36.5
V Polarization	0.0016	0.0012	0.0011	0.0011	0.0012
H Polarization	0.0023	0.0022	0.0017	0.0019	0.0016

Qp模型的表面粗糙度参数化

表面粗糙度参数Qp与rms高度-s和相关高度-l高度相关（与随机粗糙度斜率成比率）

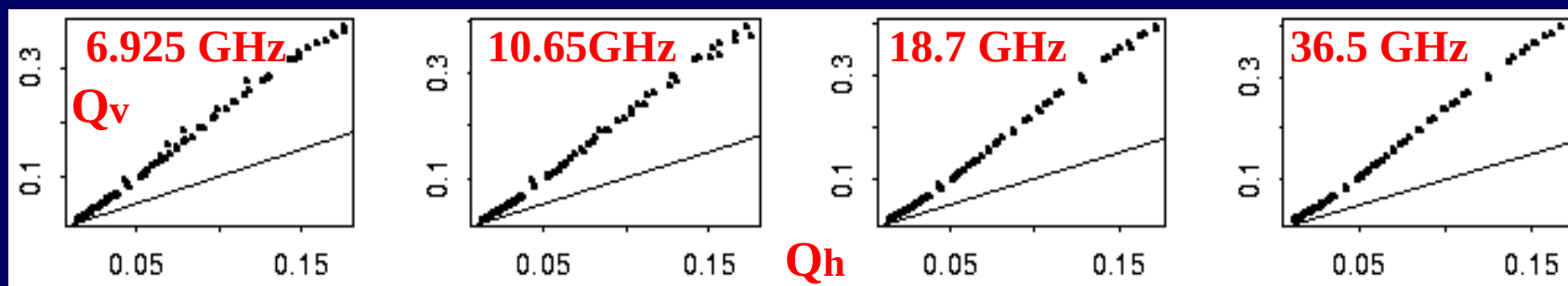


$$\log(Q_p) = a_p + b_p \cdot \log(s/l) + c_p \cdot s/l$$

Qp在土壤水分反演算法的应用



利用不同极化观测中地表粗糙度的特点,发展了以物理模型为基础的裸露地表的定量反演技术



不同频率的粗糙度参数Qv和Qh具有很好的相关性

$$Q_h(f) = a(f) + b(f) \cdot Q_v$$



$$\begin{aligned} R_p^e &= (1 - Q_p) \cdot r_p + Q_p \cdot r_q \\ E_p^s &= (1 - Q_p) \cdot t_p + Q_p \cdot t_q \end{aligned}$$

定量算法的发展

$$a \cdot E_v^s + E_h^s = b \cdot t_v + c \cdot t_h$$

新发展的Qp模型

公式左边的发射率和由观测数据得到

公式右边的部分仅与介电常数相关

遥感科学国家重点实验室

$$f(\text{left}) \Rightarrow f(\epsilon_r) \Rightarrow f(m_v)$$

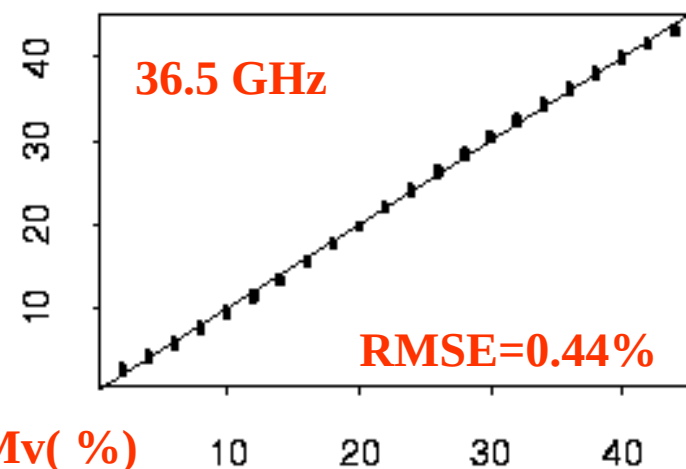
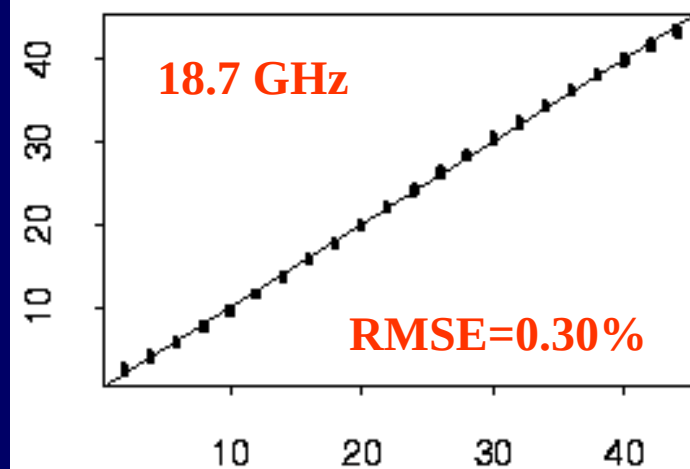
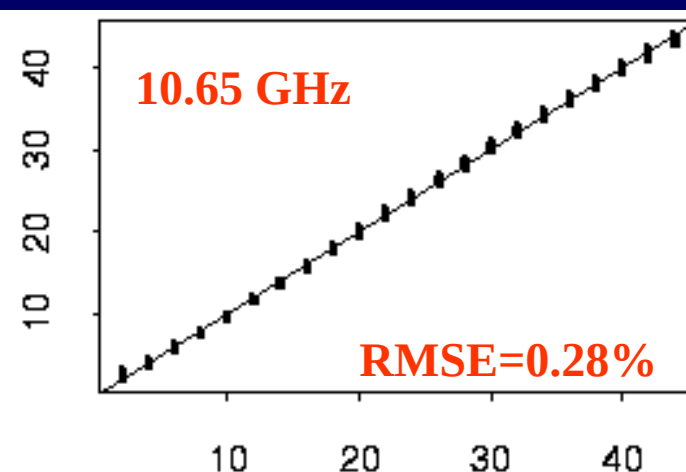
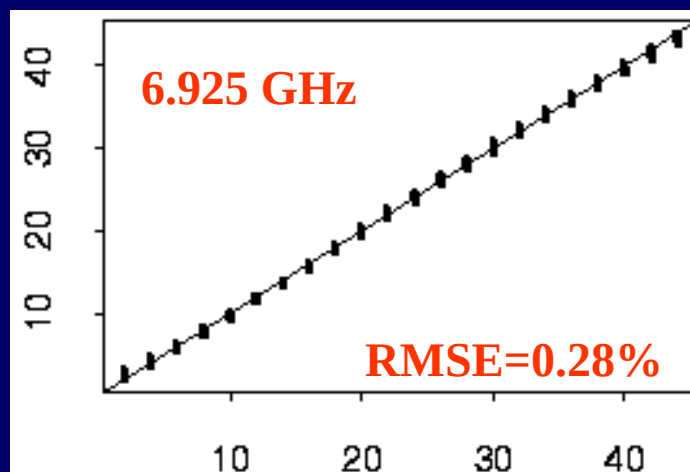


土壤质地

AIEM模拟数据的反演算法精度



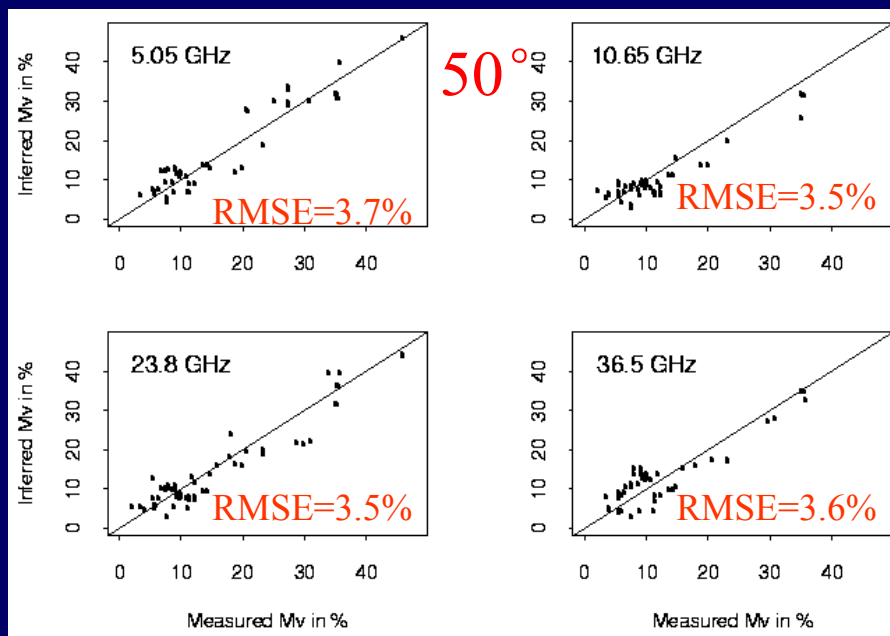
估计的 M_v (%)



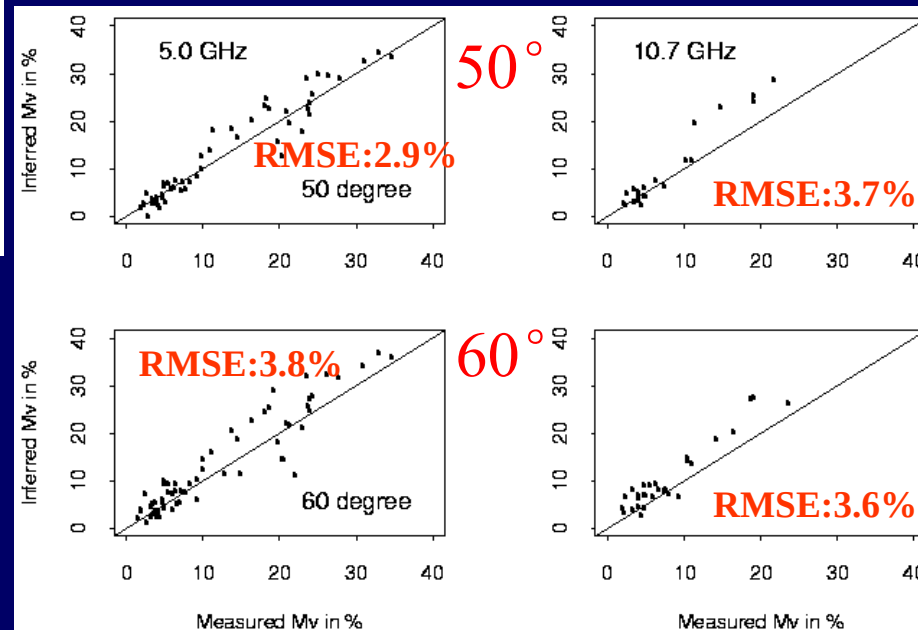
Qp土壤水分反演算法的验证



试验数据(法国INRA'93)



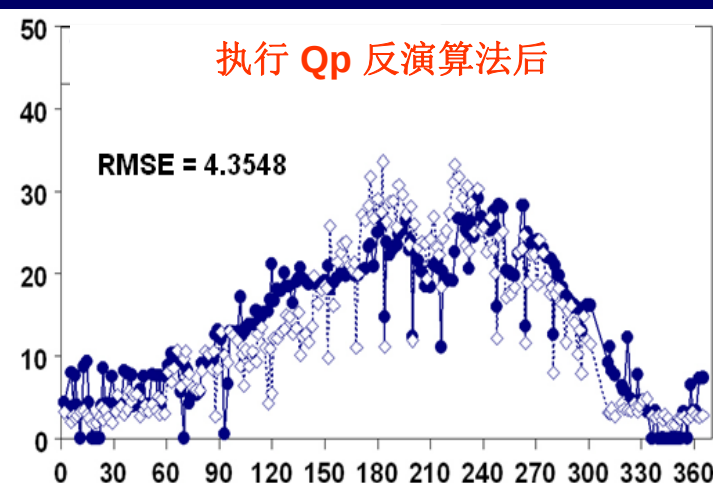
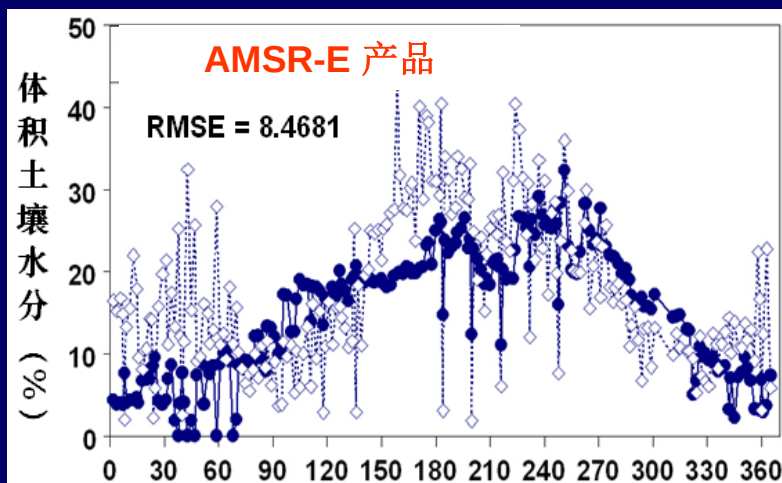
试验数据(美国BARC)



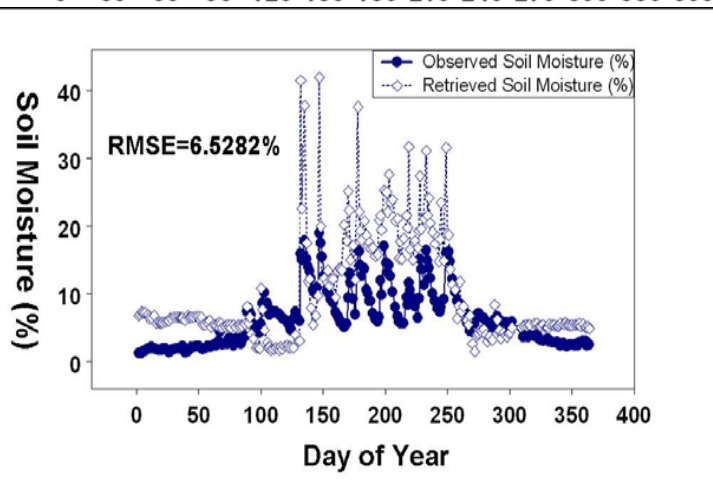
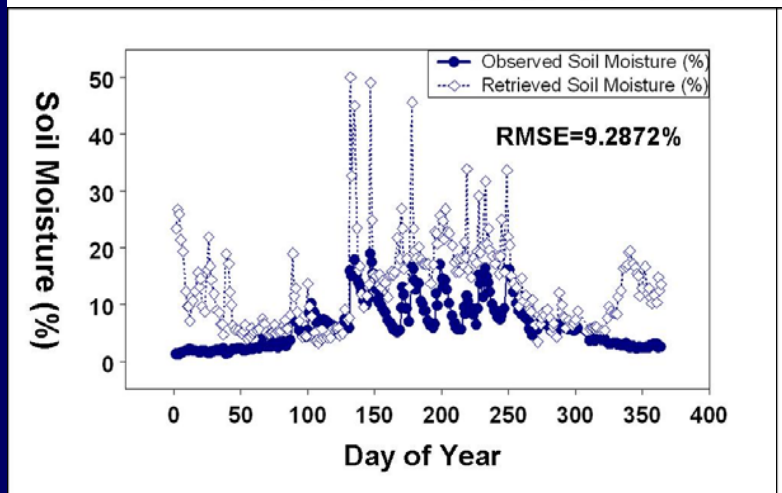
新算法与AMSR-E算法比较



青藏高原



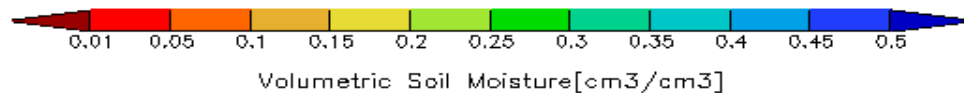
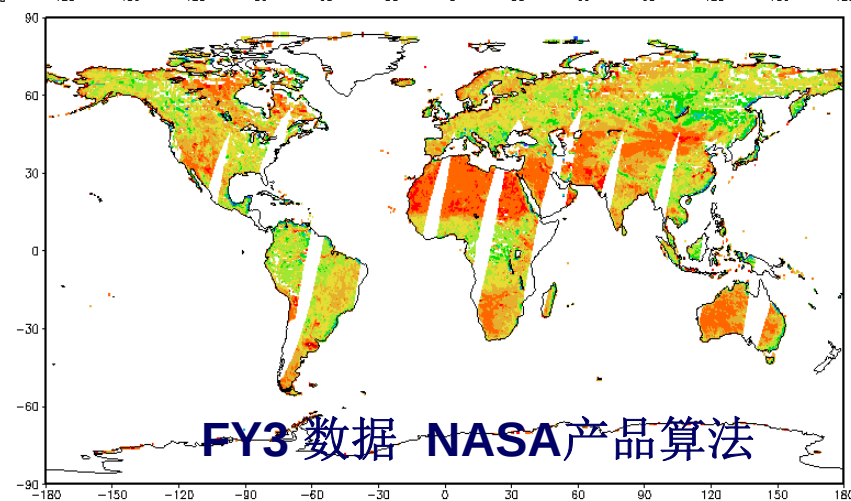
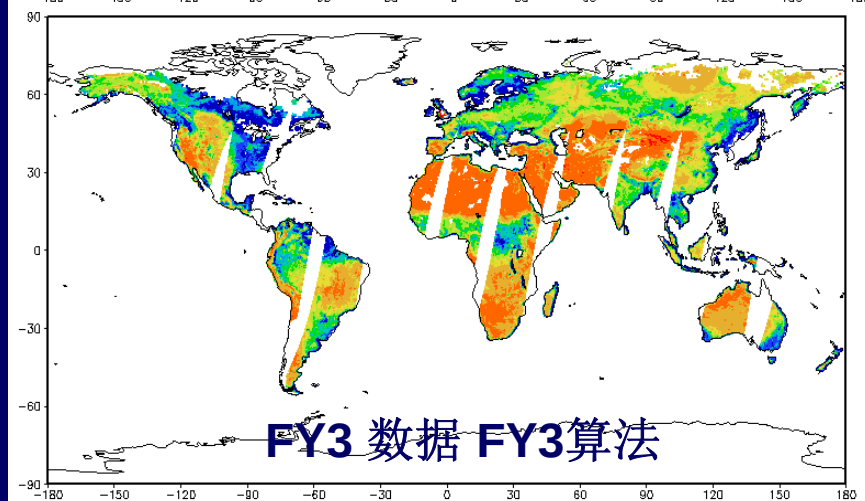
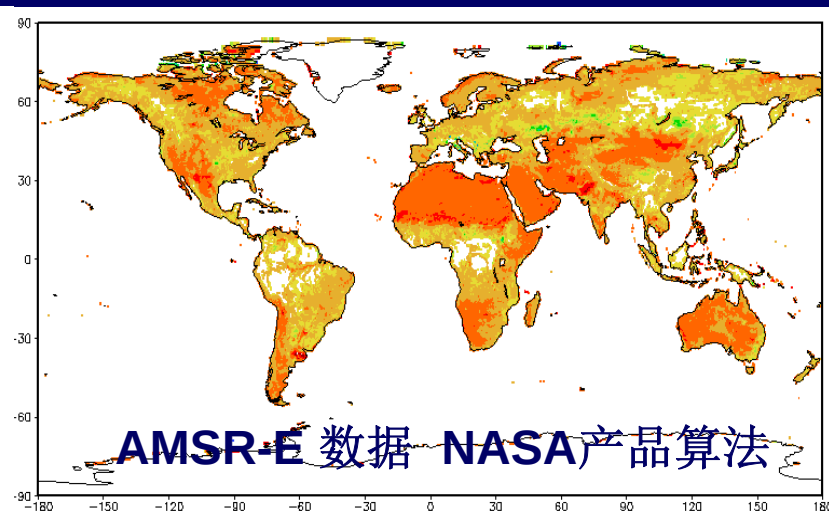
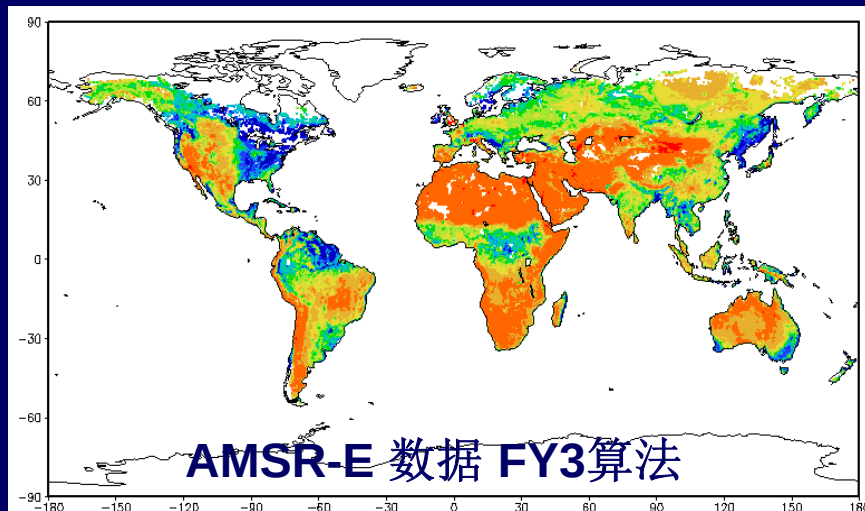
蒙古



来自于2003年的GAME/CEOP土壤湿度数据

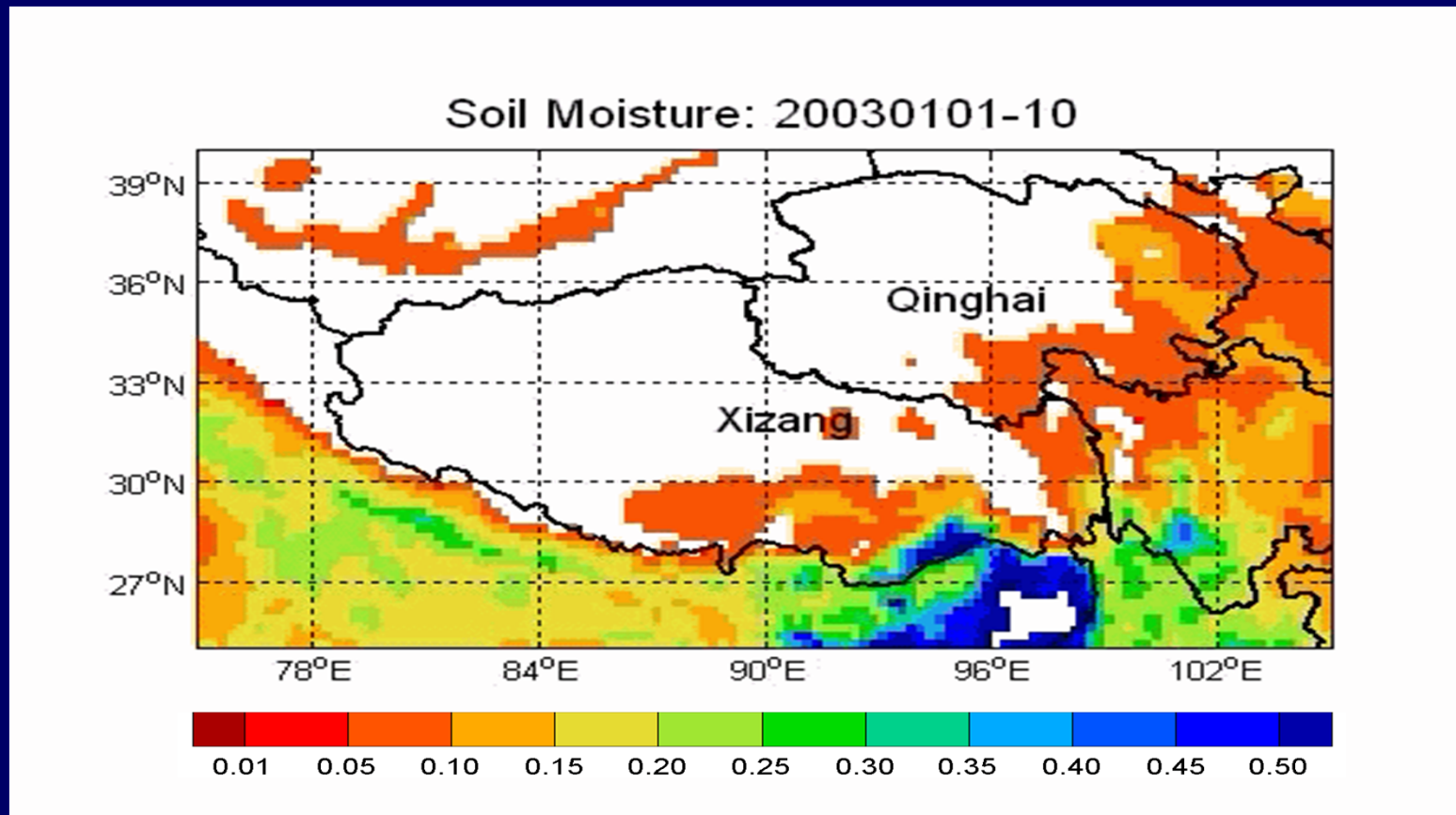
遥感科学国家重点实验室

新算法与AMSR-E算法比较



土壤水分产品

AMSR-E轨道亮温数据，生成了青藏地区25km分辨率的多年土壤水分数据集 (2002-2011)



针对现有卫星的裸土参数化Qp模型小结



1. 应用当前国际最先进的并经过广泛验证的理论模型(AIEM)来建立一个能覆盖自然地表各参数动态范围的模拟数据库，并用它来发展一种具有物理机制参数化Qp模型。

特点：1) 模型形式非常简单；2) 保持了与复杂的理论模型相当的模拟精度和物理意义；3)既可作为前向模型也可用作反演模型

2. 利用地表粗糙度参数坡度在不同极化波下的关系发展了定量反演技术；

3. 现有的各种验证结果都证明对AMSR-E土壤反演有很大改进；

4. 用于快速卫星数据模拟与同化；

5. 应用：被选为FY-3微波成像仪土壤水分产品的定量反演算法