



基于 FY-3 微波成像 仪的海冰密集度和冰盖冻融探测研究

王星东、王成



2018年11月13日

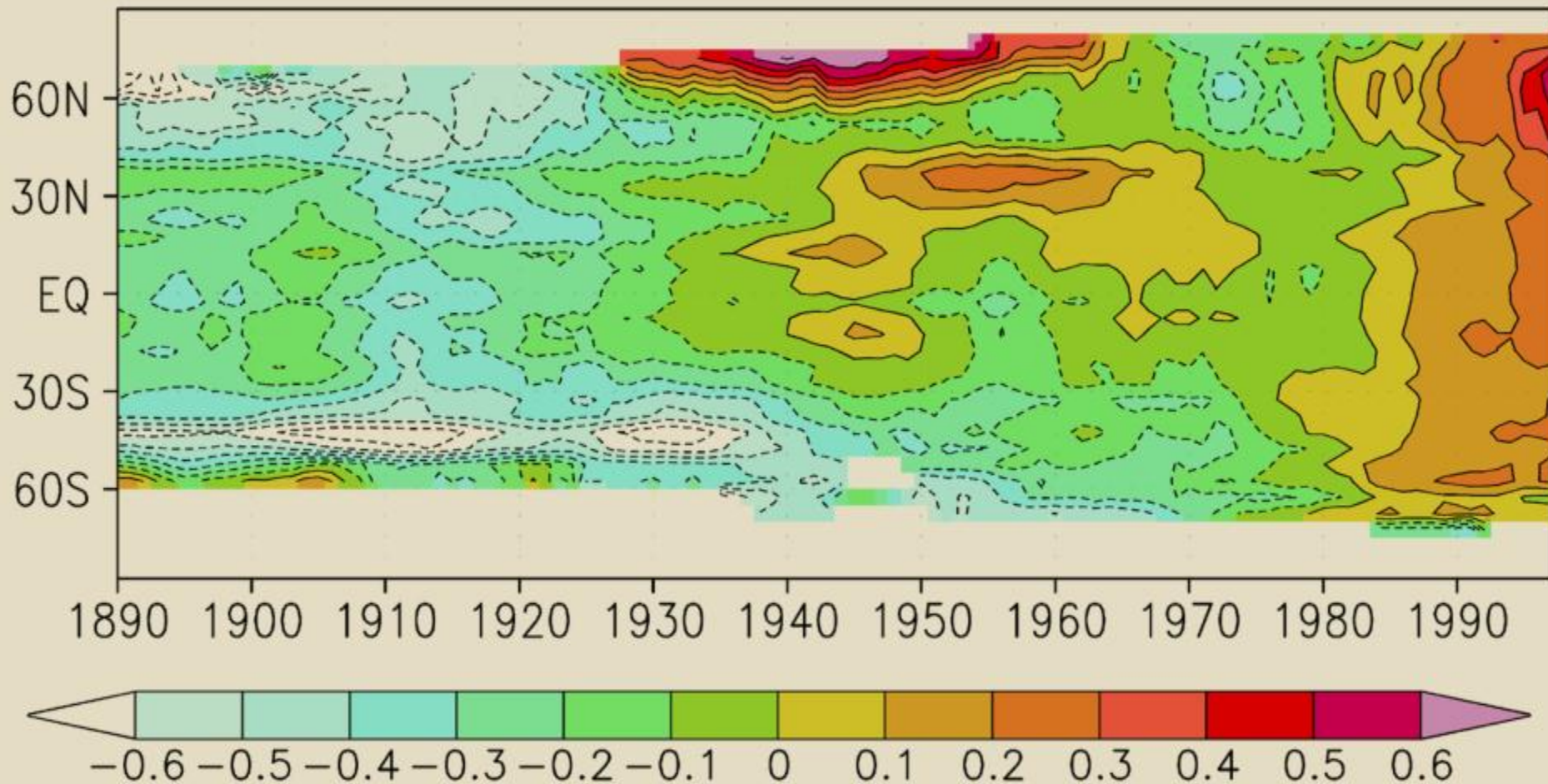


报告提纲

- 研究意义
- 研究现状
- 海冰密集度反演
- 冰盖冻融探测
- 结论和展望



1. 研究意义

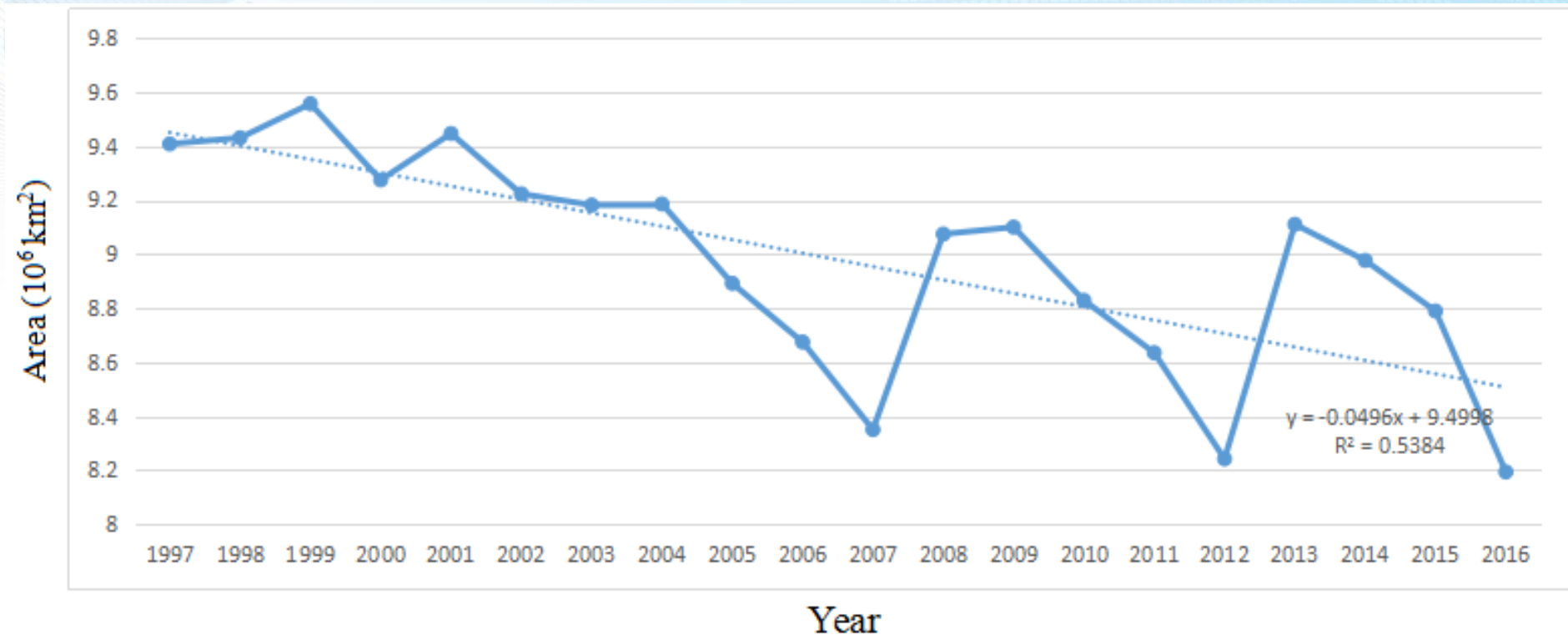


Courtesy of Tom Delworth, GFDL



www.radi.ac.cn

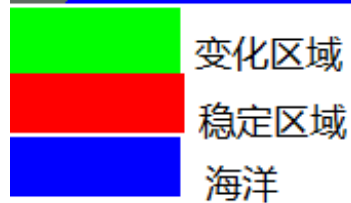
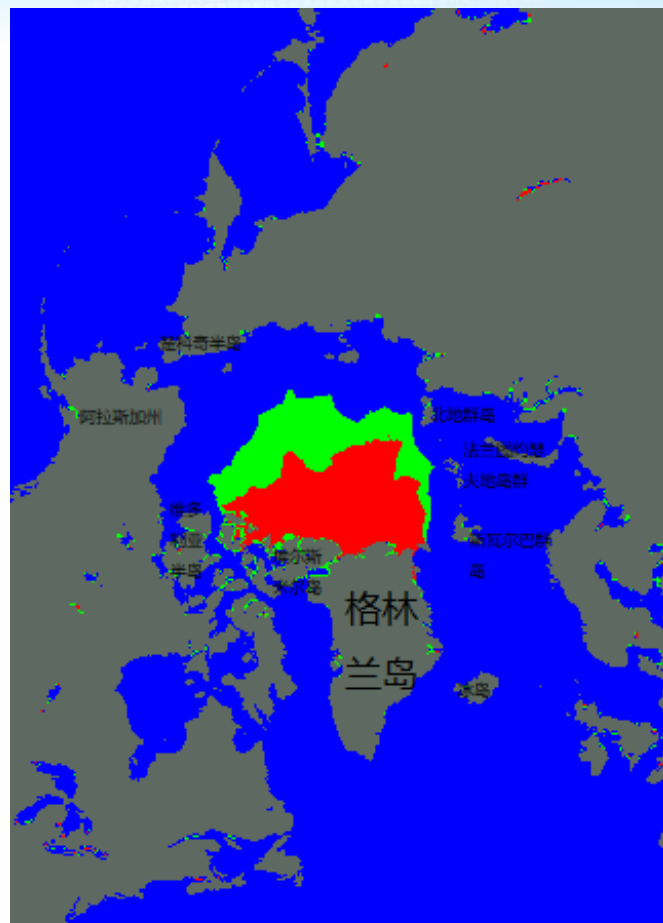
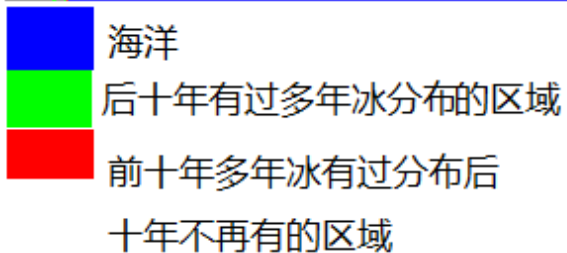
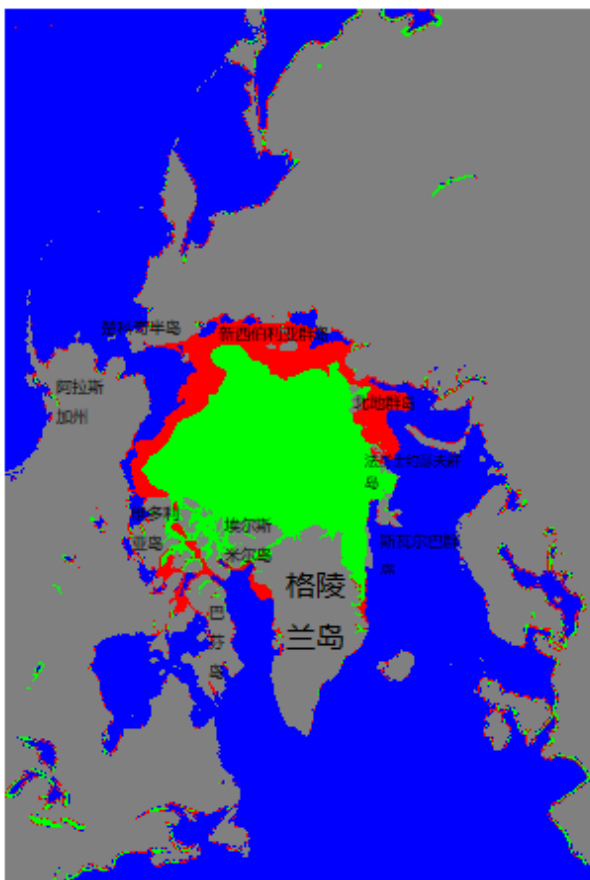
1. 研究意义



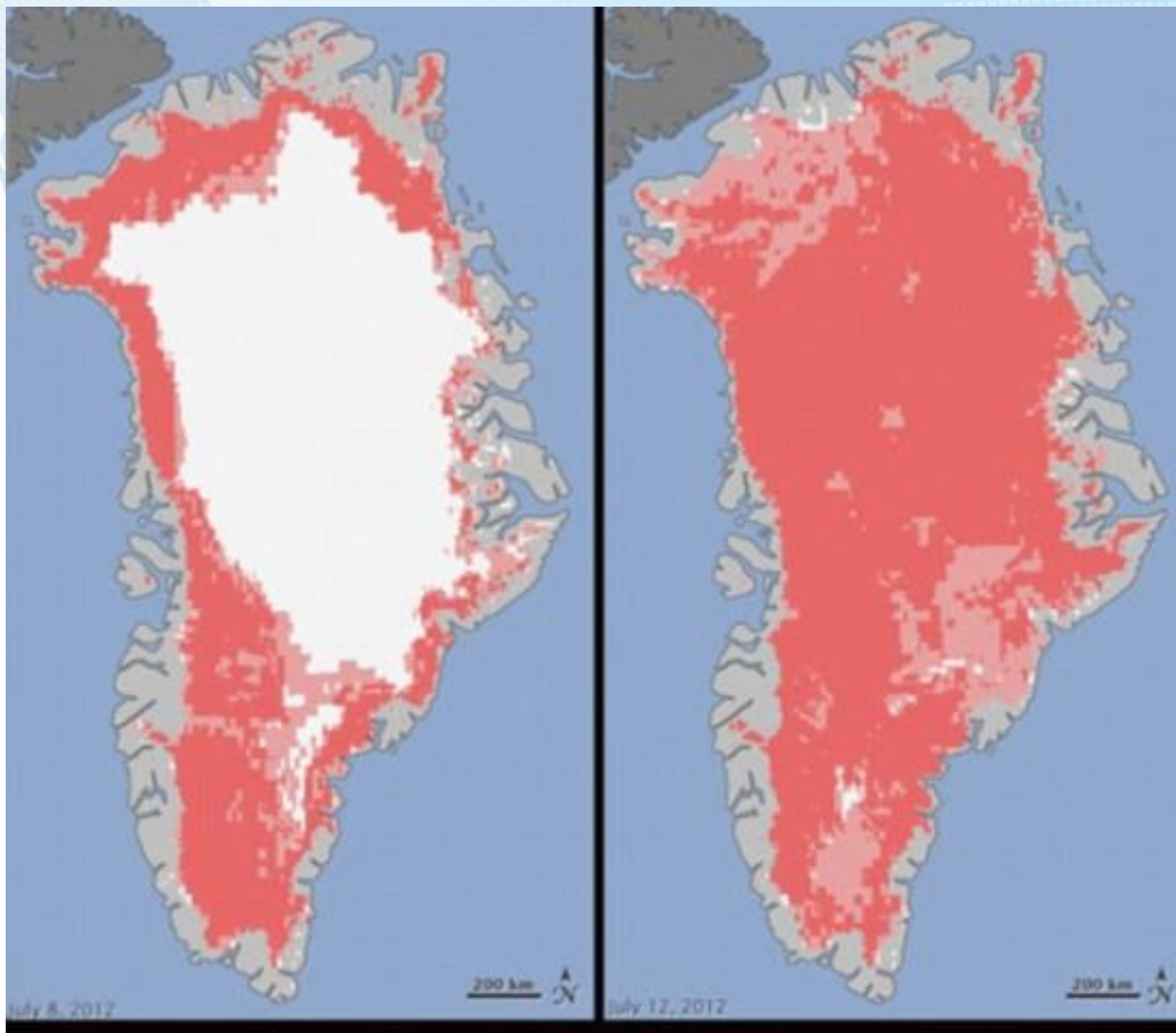
整体海冰面积



1. 研究意义



1. 研究意义



2012年7月25
日，美国宇航
局发布了格陵
兰岛的卫星照
片，照片上的
融冰情况

© Nicolo E. DiGirolamo, 9641/NASA GSFC, and Jesse Allen, NASA Earth Observations/NASA GSFC / Jesse Allen



www.radi.ac.cn

1. 研究意义

- **北极**：全球气候变化指示器（温度增幅是其它地区的**2倍**）
- **北极航线**：新的海上战略通道（a. 改变全球航运格局；b. 可拉近同欧洲市场距离，可规避苏伊士运河及马六甲海峡的拥堵和海盗；c. 国家新的海上战略通道）
- **北极海冰密集度反演**：开拓北极航线、全球气候变化研究提供基础素材和依据
- **冰盖冻融探测**：高纬度、第三极的雪融-径流水文模拟及全球气候变化研究提供研究基础
- **卫星遥感**：北极自然环境状况监测的首选手段
- **FY-3微波成像仪**：高空间分辨率、高灵敏度、地面重复周期短



2. 研究现状

海冰密集度

- NASA-Team
- Bootstrap
- NASA-Team2
- Lomax
- SEA LION
- ASI
- ASI+天气滤波器
- 改进的ASI+天气滤波器

ASI算法与其它近85GHz算法相比具有不需要其它数据源的优点且跟利用其它通道的海冰密集度算法具有相似的结果



2. 研究现状

冰盖冻融

- 边缘检测：小波变换方法、改进的小波变换法、TIMESAT方法
- 物理模型（阈值法）、改进的物理模型（阈值法）
- XPGR（阈值法）、改进的XPGR（阈值法）、XPGR+小波变换法
- 图像处理（阈值法、分类法）
- 主被动协同法



3. MWRI数据的海冰密集度研究

ASI算法

- 拟合从0%到100%的海冰密集度

$$C = d_3 p^3 + d_2 p^2 + d_1 p + d_0$$

$$P = T_{bv} - T_{bh} \quad T_{bv} \text{ 垂直极化亮温} \quad T_{bh}$$

- 代入纯冰与纯水的系数点值P0、P1，得出求解上式系数的四元一次线性方程组

$$\begin{bmatrix} P_0^3 & P_0^2 & P_0 & 1 \\ P_1^3 & P_1^2 & P_1 & 1 \\ 3P_0^2 & P_1 & 1 & 0 \\ 3P_1^2 & 2P_1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_3 \\ d_2 \\ d_1 \\ d_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ -1.14 \\ -0.14 \end{bmatrix}$$

$$C = 6.45714 \times 10^{-6} P^3 - 6.05256 \times 10^{-4} P^2 - 9.22521 \times 10^{-3} P + 1.10031$$

$$C = 1.640 \times 10^{-5} P^3 - 1.618 \times 10^{-3} P^2 + 1.916 \times 10^{-2} P + 0.9710$$

吴展开, 王星东, 王成. 基于FY-3 MWRI数据的北极海冰密集度反演研究. 冰川冻土 (录用)



3. MWRI数据的海冰密集度研究

天气滤波器

- 过滤到云中液态水的影响，使用36.5GHz和18.7GHz的梯度率

GR(37/19)

$$GR(37/19) = \frac{T_b(37V) - T_b(19V)}{T_b(37V) + T_b(19V)} \geq 0.045 \rightarrow C = 0$$

- 去除水面上大量水蒸气的影响，使用23.8GHz和18.7GHz的

梯度率GR(23/19)

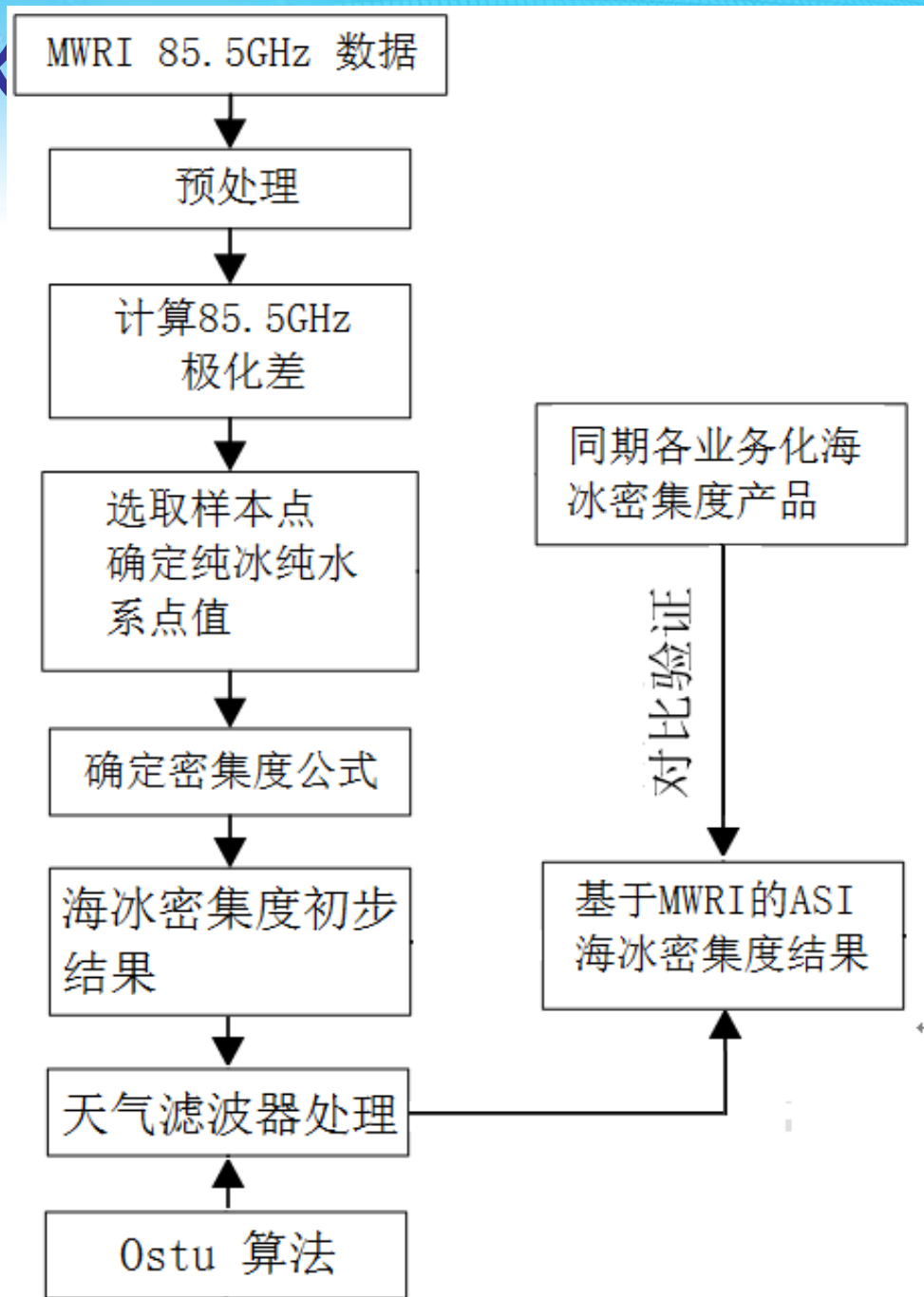
$$GR(23/19) = \frac{T_b(23V) - T_b(19V)}{T_b(23V) + T_b(19V)} \geq 0.04 \rightarrow C = 0$$



3. MWRI数据的海冰

思路 and 流程

- 选取典型海域的样本点，确定纯水与纯冰的系数点值，得到基于MWRI数据的海冰密集度的计算公式
- 采用大津法（Otsu）确定MWRI数据的天气滤波器阈值



3. MWRI数据的海冰密集度研究

➤ **数据预处理**：大气校正、几何校正、配准、图像镶嵌与裁剪、辐射定标、掩膜等

➤ **确定纯水与纯冰的系数值**：选取**典型海域**（加拿大群岛以北多年冰区域、格林兰海冰外缘线以南区域）作为样本点确定海水、海冰的系数值

$P_0=47.6K$ 、 $P_1=10.8K$

$$\begin{bmatrix} P_0^3 & P_0^2 & P_0 & 1 \\ P_1^3 & P_1^2 & P_1 & 1 \\ 3P_0^2 & P_1 & 1 & 0 \\ 3P_1^2 & 2P_1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_3 \\ d_2 \\ d_1 \\ d_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ -1.14 \\ -0.14 \end{bmatrix}$$

$$C = 1.29 \times 10^{-5} P^3 - 1.28 \times 10^{-3} P^2 + 1.01 \times 10^{-2} P + 1.02$$



3. MWRI数据的海冰密集度研究

➤ 天气滤波器（Otsu算法）

$$GR(37/19) = \frac{T_b(37V) - T_b(19V)}{T_b(37V) + T_b(19V)} \geq 0.08 \rightarrow C = 0$$

$$GR(23/19) = \frac{T_b(23V) - T_b(19V)}{T_b(23V) + T_b(19V)} \geq 0.076 \rightarrow C = 0$$

➤ **验证：**美国冰雪数据中心（NSIDC）基于Bootstrap算法结果、德国不莱梅基于Bootstrap算法结果、NSIDC基于MASA TEAM算法结果、德国不莱梅基于ASI算法结果



1. MWRI数据的海冰密集度研究

Otsu算法

➤ 根据图像数据值之间的方差选取阈值

➤ 假设阈值具有L级数据的图像划分为两类 C_0 和 C_1 的概率分别为

$$w_0 = p_r(C_0) = \sum_{i=0}^T p_i = w(T) \quad w_1 = p_r(C_1) = \sum_{i=T+1}^{L-1} p_i = 1 - w(T) \quad p_i = \frac{n_i}{N}$$

➤ C_0 和 C_1 类的均值分别为

$$u_0 = \sum_{i=0}^T \frac{ip_i}{w_0} = \frac{u(T)}{w(T)} \quad u_1 = \sum_{i=T}^{L-1} \frac{ip_i}{w_1} = \frac{\bar{u} - u(T)}{1 - w(T)}$$

➤ C_0 和 C_1 类的类间方差为

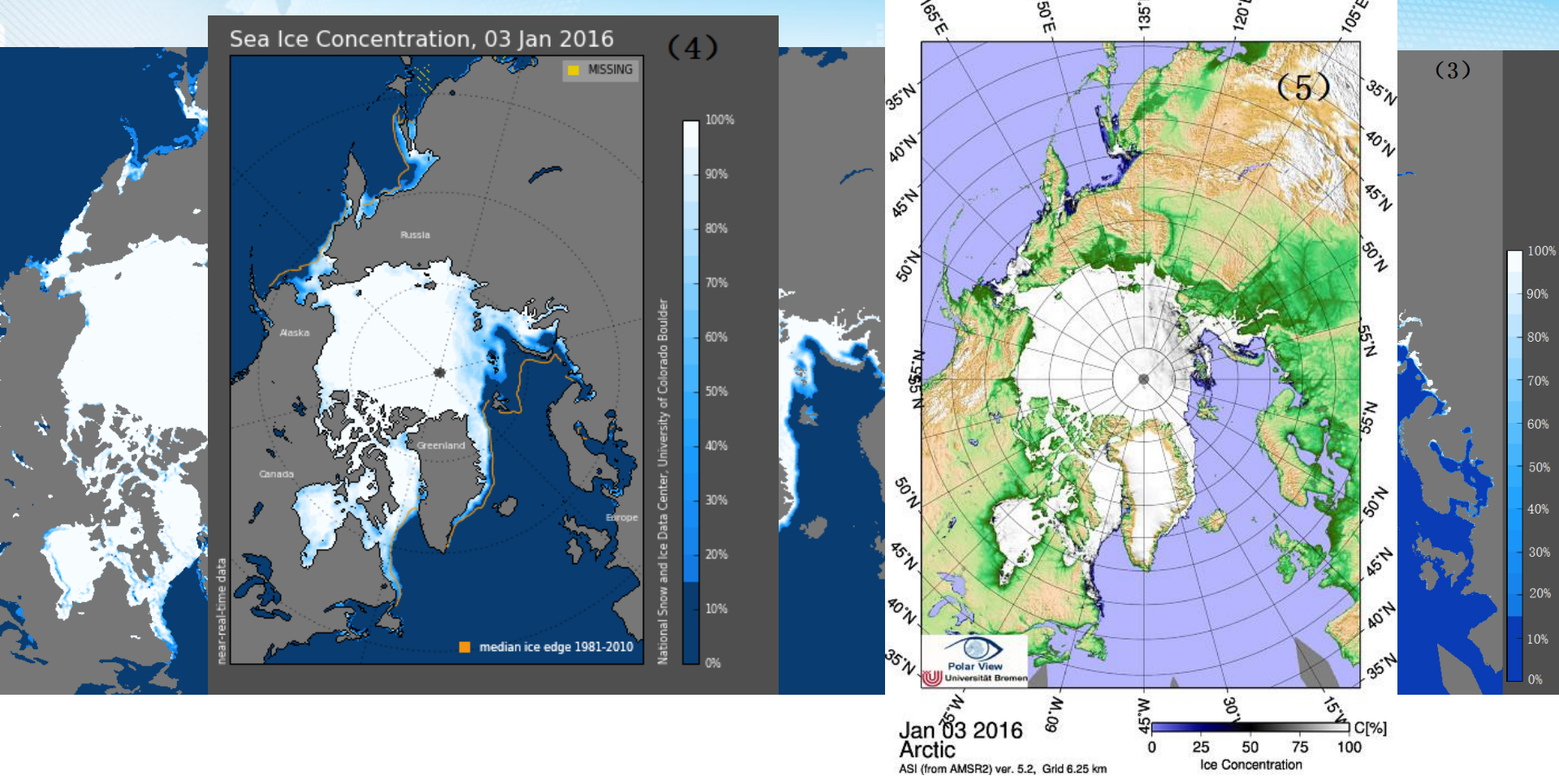
$$\sigma_g^2 = w_0 w_1 (u_1 - u_0)^2$$

➤ 海冰和海水的最佳分类阈值 T^* 应使类间方差最大

$$T^* = \arg \max_{0 \leq T \leq L-1} \sigma_g^2$$



3. MWRI数据的海冰密集度研究



(1) 本算法 (2) NSIDC基于Bootstrap算法 (3) 德国不莱梅基于Bootstrap算法 (4) NSIDC基于MASA TEAM算法 (5) 德国不莱梅基于ASI算法

3. MWRI数据的海冰密集度研究

	FY-3MWRI ASI	NSIDCNASA TEAM	NSIDCBootStrap	不莱梅ASI	不莱梅BootStrap
平均密集度	0.9262	0.8539	0.9294	0.9273	0.9275
海冰面积 (10 ⁶ km ²)	11.0533	11.2053	12.0325	11.4541	12.0529
密集度误差		7.81%	-0.35%	-0.12%	-0.14%
海冰面积误差		-1.36%	-8.13%	-3.49%	-8.29%

本算法得到的结果与德国不莱梅ASI算法结果相近，海冰密集度两者仅相差**0.12%**，海冰面积相差**3.49%**



4. MWRI数据的冰盖冻融探测研究

	SSM/I					MWRI				
搭载卫星	DMSP					FY-3				
频率 (GHz)	19.3	22.3	37	85.5	10.6	18.7	23.8	36.5	89	
空间分辨率(Km)	25	25	25	12.5	51x85	30x50	27x45	18x30	9x15	
极化方式	V/H	V	V/H	V/H	V/H	V/H	V/H	V/H	V/H	
轨道高度(Km)	833					836				
幅宽(Km)	1394					1400				
视角(°)	53					45				

王星东, 潘少华, 王成. 基于FY-3的格陵兰岛冰盖表面冻融探测方法研究. 极地研究, 2017, 29 (3): 420-426.



4. MWRI数据的冰盖冻融探测研究

XPGR算法

➤ 冰盖融化时，19 H与37 V的差值**最大**，和值**最小**（利用这两个通道的数据有利于冰盖冻融探测）

➤ XPGR:

$$XPGR = \frac{T_{b19H} - T_{b37V}}{T_{b19H} + T_{b37V}}$$

T_{b19H} 为19.3GHz水平极化的亮温值， T_{b37V} 为37.3V波段的亮温值

➤ 拟合实地观测数据的方法确定干湿雪分类的阈值（-0.0154）

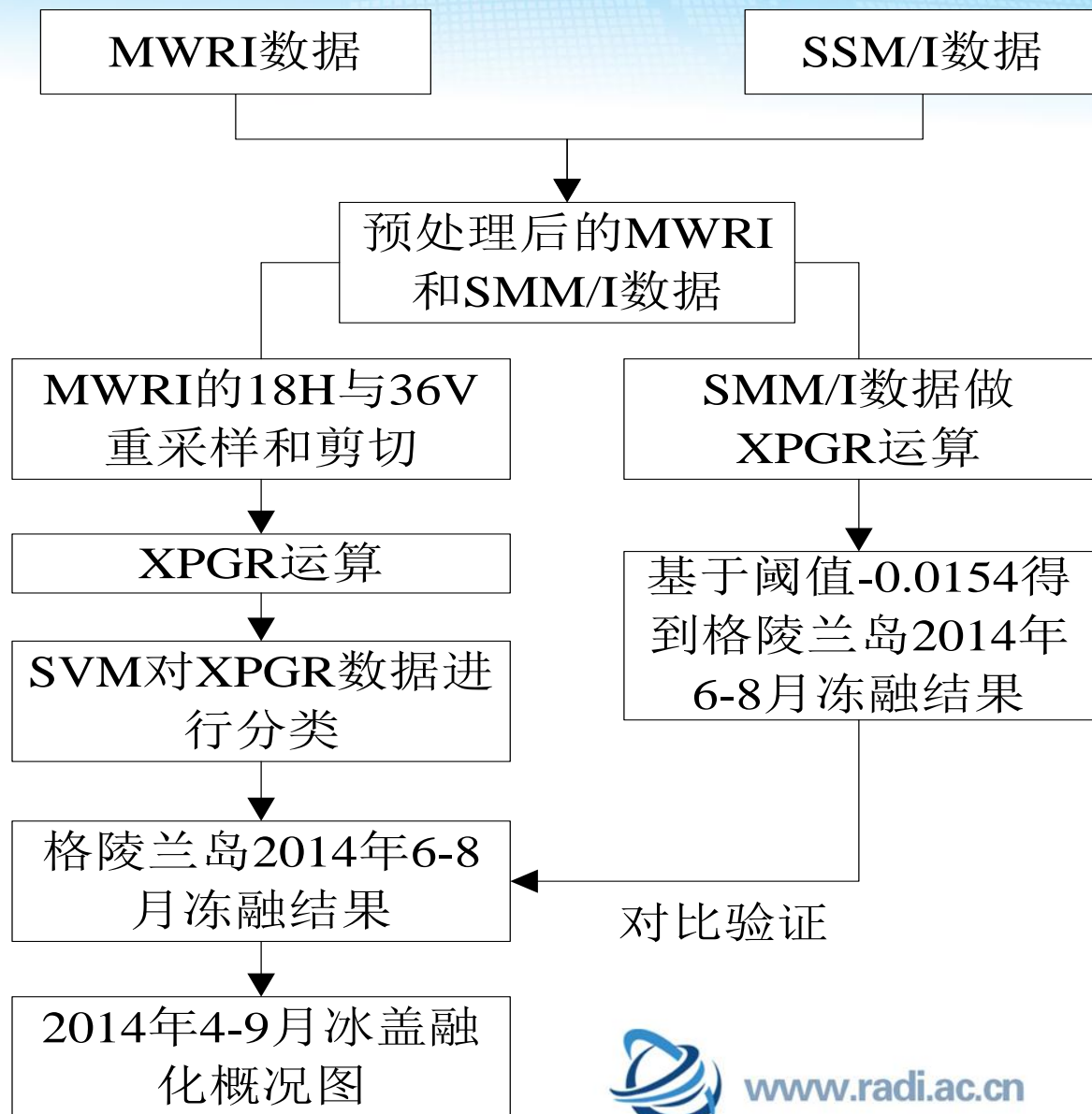
➤ 如果某个像元点的XPGR大于干湿雪分类的阈值，则冰盖表面发生了融化，否则冰盖处于冻结状态



4. MWRI数据的冰盖冻融探测研究

思路 and 流程

通过SVM的超平面对
XPGR值进行格陵兰岛
冰盖表面冻融探测



4. MWRI数据的冰盖冻融探测研究

- SVM通过寻求结构化风险最小来提高学习机泛化能力，实现经验风险和置信范围的最小化
- 分类面正确分类

$$y_i[\mathbf{w}\mathbf{x}_i + \mathbf{b}] - 1 \geq 0, i = 1, \dots, N.$$

- 满足上述公式且使 $\|\mathbf{w}\|$ 最小的分类面就是最优分类面
- 最终分类判别函数可表示为

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N \mathbf{a}_i \cdot \mathbf{y}_i (\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}) + \mathbf{b}$$

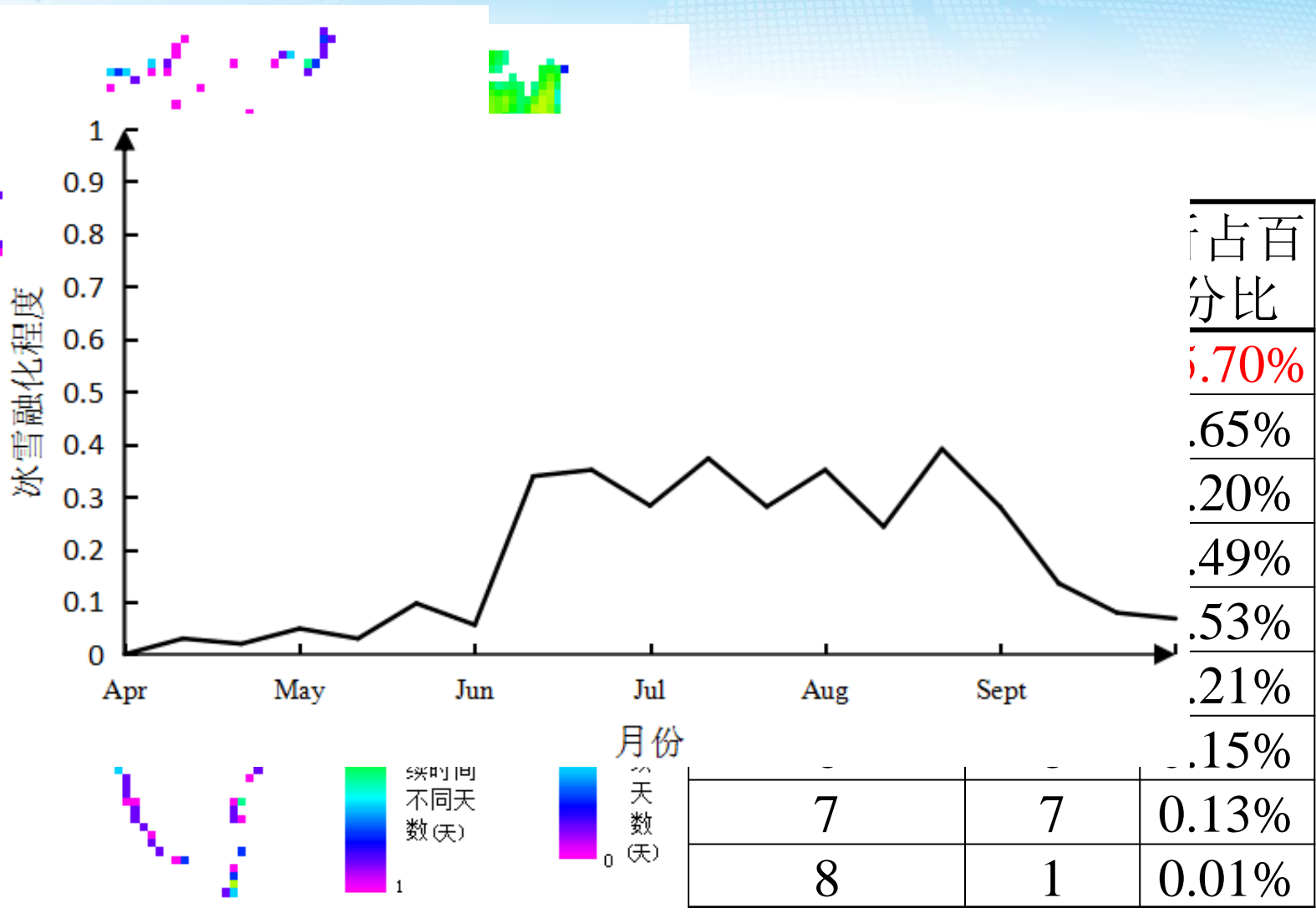
$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N \mathbf{a}_i \mathbf{y}_i K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}) + \mathbf{b}$$

- 高斯核函数构造多分辨率组合核函数

$$K(x_i, x) = \sum_{t=1}^M \lambda_t \exp\left(\frac{-\|x_i - x\|^2}{\delta_0 2^t}\right)$$



4. MWRI数据的冰盖冻融探测研究



5. 结论和展望

结论：

- FY-3微波成像仪基于ASI算法高精度地反演海冰密集度
- FY-3微波成像仪基于XPGR结合SVM方法精确地探测格陵兰岛冰盖冻融

展望：

- 低频修正部分高频的改进的ASI算法
- 多数据结合进行海冰密集度和冰盖冻融探测
- 高分辨率的海冰产品研究极地海冰变化
- 南北极海冰变化进行对比分析
- 南北极海冰和冰盖结合进行对比分析
- 南北极和第三极结合进行对比分析



谢谢！

