



中国气象局
China Meteorological Administration



国家卫星气象中心
National Satellite Meteorological Centre

FY-3E WindRAD海冰 参数产品

汇报人：翟晓春
国家卫星气象中心

2022. 6. 15 中国. 北京



目录

风云三号

极轨卫星

FY-3

CONTENTS

WindRAD海冰参数产品介绍

01

产品质量

02

产品格式说明及使用指南

03

产品应用潜力

04

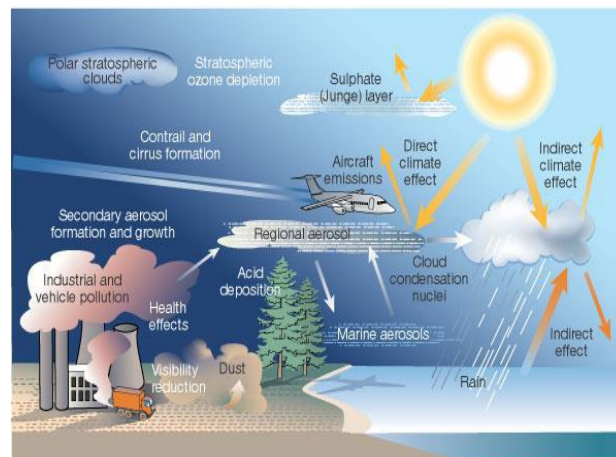
1.1 WindRAD海冰参数产品介绍

研究背景

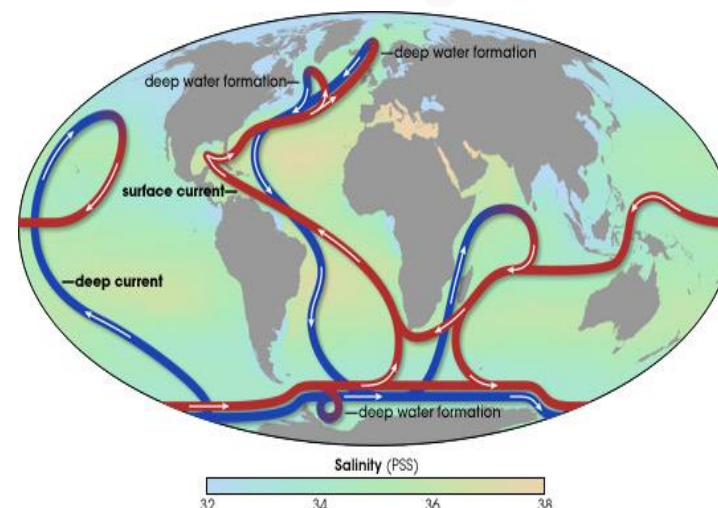
- 极地海冰是全球气候模型的重要输入和气候变化的敏感指示器。
- 南、北极作为全球冰冻圈的核心分布区域，是全球资源、能源开发潜在的战略储备区域。我国亟需发展极地立体探测技术，为国家海洋强国、“冰上丝绸之路”等国家重大战略需求提供技术支撑。



海冰反照率正反馈机制



物质与能量交换



热盐环流

- FY-3E是全球首颗晨昏轨道的业务气象卫星，其搭载的风场测量雷达 WindRAD，是全球首个双波段、双极化、扇形旋转波束探测体制的散射计；最初用于海面风场反演，但具备海冰探测能力。

1.1 WindRAD海冰参数产品介绍

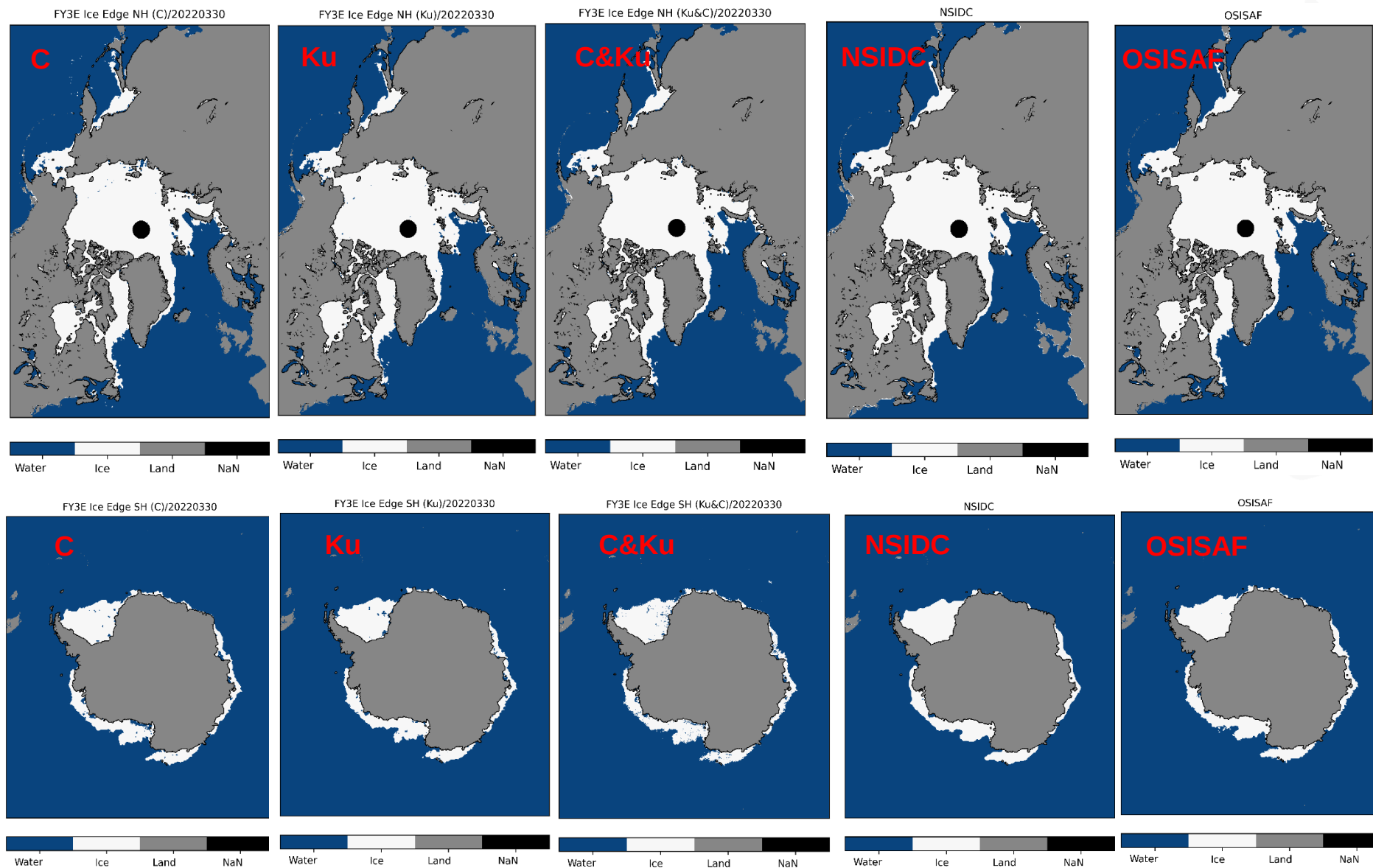
产品概述

- FY-3E WindRAD 海冰参数产品包括两个2级日产品，分别是**北极海冰参数日产品**和**南极海冰参数日产品**；
- 南、北极海冰参数产品内均包括**辅助信息、C波段、Ku波段、双频联合波段4个组的数据集**，C波段、Ku波段、双频联合波段的海冰参数均包括**海冰范围（sea ice edge）、海冰类型（sea ice type）及其对应的质量标识信息**；
- **海冰范围**定义为给定网格点的冰水类型，分为海水（标识为1）和海冰（标识为2）两类；
- **海冰类型**定义为给定网格点占主导数量的海冰类型，分为海水（标识为1），一年冰（标识为2，海冰密集度 $\geq 40\%$ 且海冰年龄 ≤ 1 ），多年冰（标识为3，海冰密集度 $\geq 40\%$ 且海冰年龄 > 1 ），模糊冰（标识为4，海冰密集度 $\geq 40\%$ 且预测概率 $< 50\%$ ）。

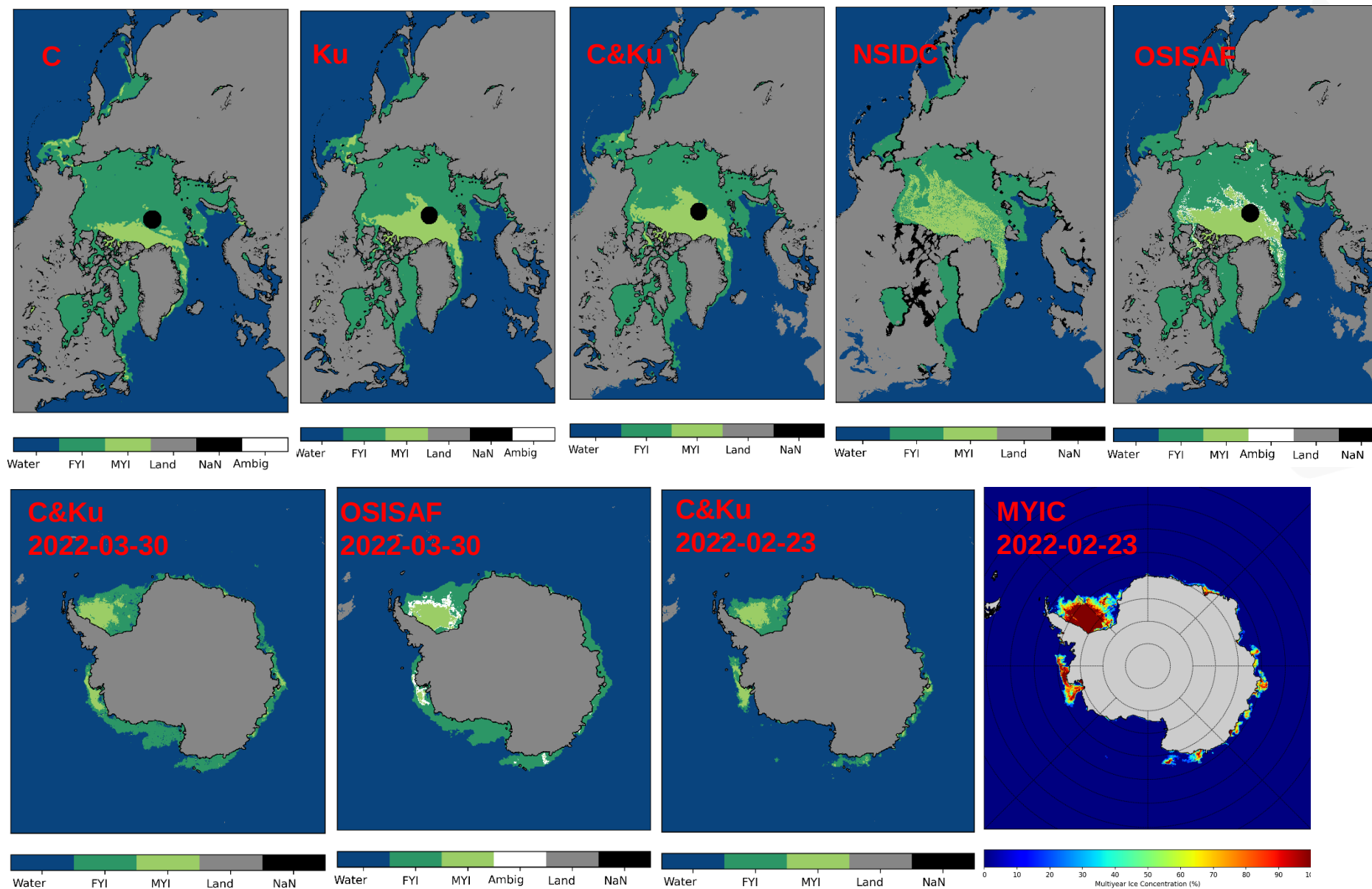
产品规格

产品名称	业务/试验	生成时效	产品类型	空间分辨率	投影方式	设计精度（误差）
北极海冰参数产品	业务	30分钟	日产品	10 km	极射赤面投影	海冰范围 ：最低精度和目标精度分别为与OSISAF海冰范围产品，海冰面积的相对误差绝对值 $< 20\%$ 、 $< 10\%$ ； 海冰类型 ：最低精度和目标精度分别为多年冰面积日差的月标准偏差 $< 2 \times 10^5 \text{ km}^2$ 、 $< 1 \times 10^5 \text{ km}^2$
南极海冰参数产品	业务	30分钟	日产品	10 km	极射赤面投影	

1.2 WindRAD海冰参数产品示例：海冰范围



1.2 WindRAD海冰参数产品示例：海冰类型



1.3 WindRAD海冰参数产品算法：概况

- 物理机制：**主要是基于观测下垫面物理结构、盐分、温度等差异，并结合后向散射信号强度、极化方式和扫描模式等特点，提取**有效特征参数**，实现海冰范围与海冰类型反演。
- 特别指出，南、北半球各波段使用的特征参数以及分类方法均有不同：**从Ku波段和C波段各提取了5个特征参数，双频结合提取4个特征参数，**共14个特征参数**。分类方法包括**基于随机森林的监督分类算法+基于K-means的无监督分类算法**。

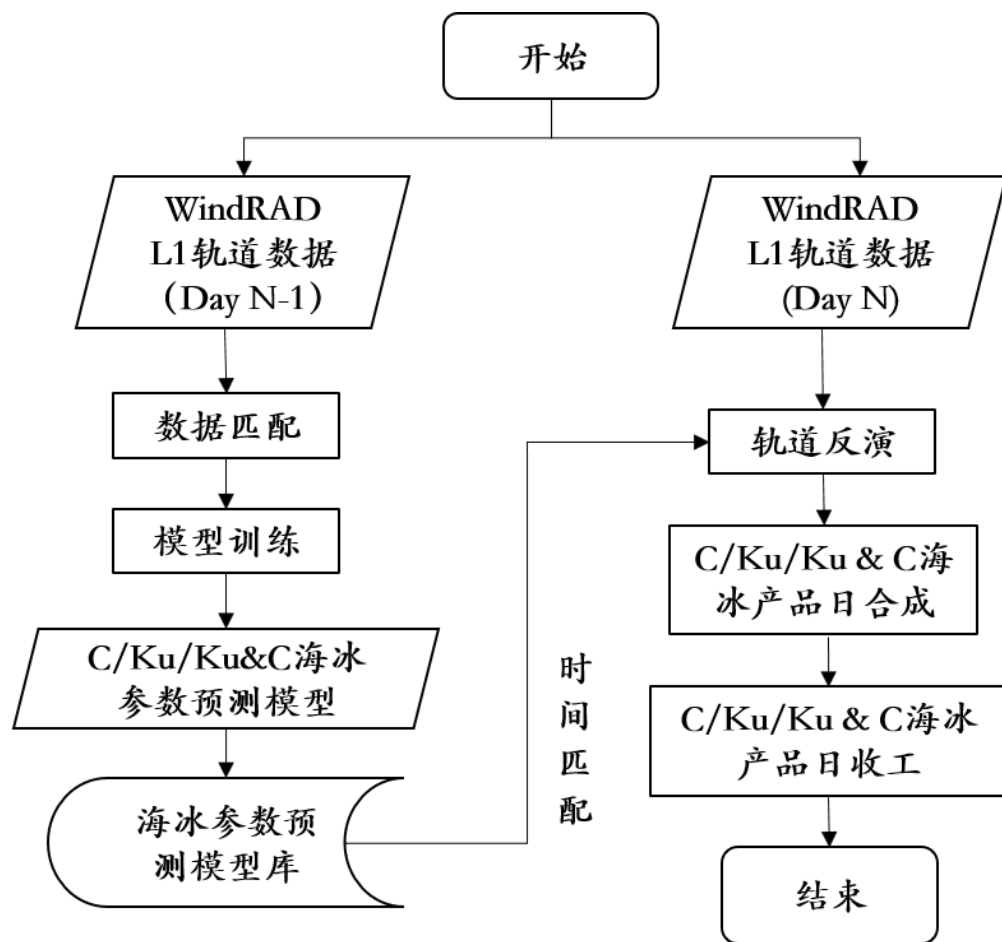
	北极	南极
C 波段	基于随机森林分类方法的海冰范围+类型 $[\bar{\sigma}_{hh,C}, \bar{\sigma}_{vv,C}, \Delta\sigma_{hh,C}, \Delta\sigma_{vv,C}, \gamma_C]$	基于随机森林分类方法的海冰范围 $[\bar{\sigma}_{hh,C}, \bar{\sigma}_{vv,C}, \Delta\sigma_{hh,C}, \Delta\sigma_{vv,C}, \gamma_C]$
Ku 波段	基于随机森林分类方法的海冰范围+类型 $[\bar{\sigma}_{hh,Ku}, \bar{\sigma}_{vv,Ku}, \Delta\sigma_{hh,Ku}, \Delta\sigma_{vv,Ku}, \gamma_{Ku}]$	基于随机森林分类方法的海冰范围 $[\bar{\sigma}_{hh,Ku}, \bar{\sigma}_{vv,Ku}, \Delta\sigma_{hh,Ku}, \Delta\sigma_{vv,Ku}, \gamma_{Ku}]$
Ku&C 波段	基于随机森林分类方法的海冰范围+类型 $[\bar{\sigma}_{hh,C}, \bar{\sigma}_{vv,C}, \Delta\sigma_{hh,C}, \Delta\sigma_{vv,C}, \gamma_C,$ $\bar{\sigma}_{hh,Ku}, \bar{\sigma}_{vv,Ku}, \Delta\sigma_{hh,Ku}, \Delta\sigma_{vv,Ku}, \gamma_{Ku}]$	基于随机森林分类方法的海冰范围 $[\bar{\sigma}_{hh,C}, \bar{\sigma}_{vv,C}, \Delta\sigma_{hh,C}, \Delta\sigma_{vv,C}, \gamma_C,$ $\bar{\sigma}_{hh,Ku}, \bar{\sigma}_{vv,Ku}, \Delta\sigma_{hh,Ku}, \Delta\sigma_{vv,Ku}, \gamma_{Ku}]$ 基于 K-means 分类方法的海冰类型 $[GR_{hh}, GR_{vv}, WR_{hh}, WR_{vv}]$

$$\bar{\sigma}_{hh,X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma_{hh,i,X}(\theta_{i,X}, \phi_{i,X}), \quad \bar{\sigma}_{vv,X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma_{vv,i,X}(\theta_{i,X}, \phi_{i,X}), \quad \gamma_X = \frac{\bar{\sigma}_{vv,X}}{\bar{\sigma}_{hh,X}}$$

$$\Delta\sigma_{hh,X} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\sigma_{hh,i,X}(\theta_{i,X}, \phi_{i,X}) - \bar{\sigma}_{hh,X}]^2}, \quad \Delta\sigma_{vv,X} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\sigma_{vv,i,X}(\theta_{i,X}, \phi_{i,X}) - \bar{\sigma}_{vv,X}]^2}$$

$$GR_{hh} = \frac{\bar{\sigma}_{hh,Ku} - \bar{\sigma}_{hh,C}}{\bar{\sigma}_{hh,Ku} + \bar{\sigma}_{hh,C}}, GR_{vv} = \frac{\bar{\sigma}_{vv,Ku} - \bar{\sigma}_{vv,C}}{\bar{\sigma}_{vv,Ku} + \bar{\sigma}_{vv,C}}, WR_{vv} = \frac{\bar{\sigma}_{vv,C}}{\bar{\sigma}_{vv,Ku}}, WR_{hh} = \frac{\bar{\sigma}_{hh,C}}{\bar{\sigma}_{hh,Ku}}$$

1.3 WindRAD海冰参数产品算法：处理流程图



FY-3E WindRAD海冰产品处理流程图

FY-3E WindRAD南、北半球海冰参数反演流程图如左图所示，包括数据匹配模块、模型训练模块、轨道反演模块、C/Ku/Ku & C海冰产品日合成模块、日收工模块共5个子模块，具体介绍如下：

- 1) **数据匹配模块**是海冰参数模型训练模块的预处理模块。根据现有算法对训练模型的更新频率设置，需每日进行数据匹配和模型训练处理；
- 2) **模型训练模块**基于数据匹配模块输出的匹配文件，基于随机森林分类方法，分别针对南、北半球各波段（C/Ku/Ku&C）的海冰参数（海冰范围、海冰类型）进行模型训练和存储；
- 3) **轨道反演模块**基于观测的轨道数据进行特征参数计算，利用海冰参数预测模型库中对应的模型进行海冰参数反演；
- 4) **C/Ku/Ku & C海冰产品日合成模块**主要包括两方面处理，第一是基于轨道反演结果实现C/Ku/Ku & C特征参数、海冰参数的日合成，第二是针对Ku/C双波段特征参数日合成结果，利用K-means无监督分类算法，实现南半球海冰类型反演；
- 5) **C/Ku/Ku & C海冰产品日收工模块**将海冰产品日合成模块输出数据作为输入，通过对各波段反演结果进行整合、参数再定义，生成最终产品发布的南、北半球海冰参数产品及图像。



目录

风云三号

极轨卫星

FY-3

CONTENTS

WindRAD海冰参数产品介绍

01

产品质量

02

产品格式说明及使用指南

03

产品应用潜力

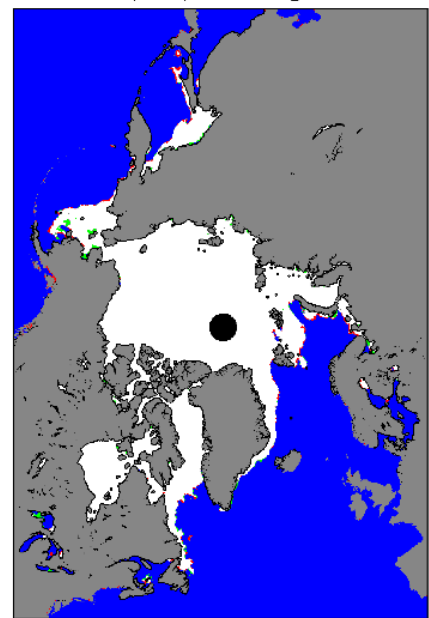
04

2.1 WindRAD海冰范围产品质量

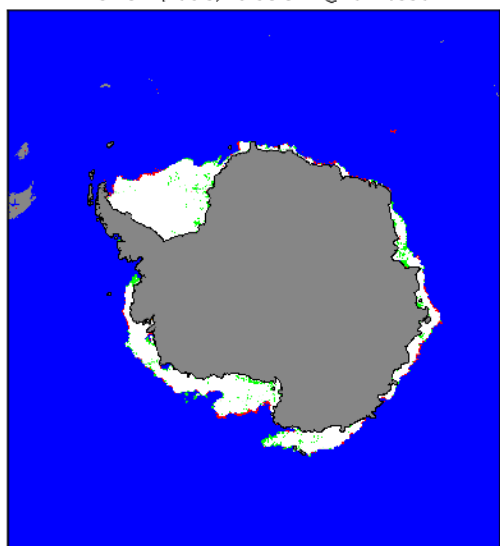
2. 海冰范围逐像元匹配比对分析 (2022.01.26-2022.03.30)

1. 海冰范围空间分布差异 (2022.03.30)

FY3E SIE (Ku&C) vs OSISAF @20220330



FY3E SIE (Ku&C) vs OSISAF @20220330



Water Over Under Ice Land NaN

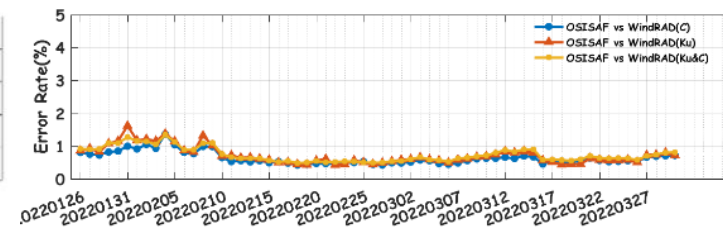
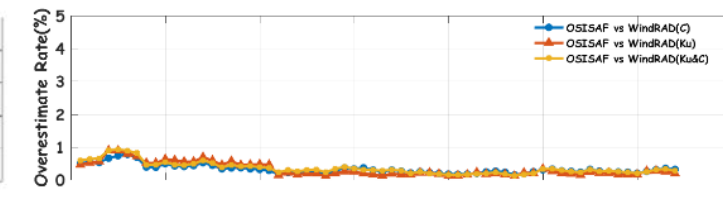
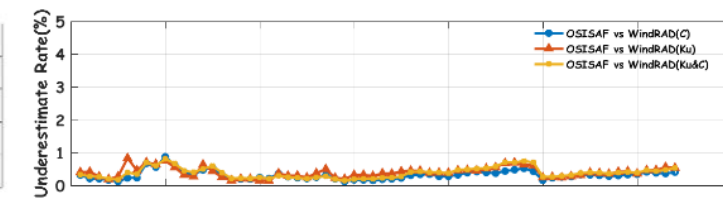
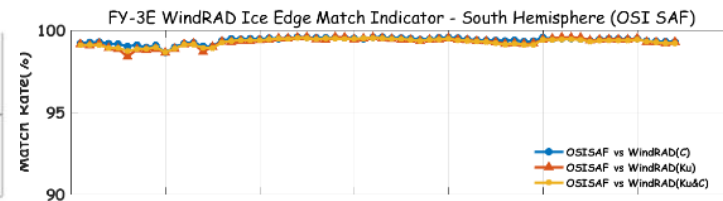
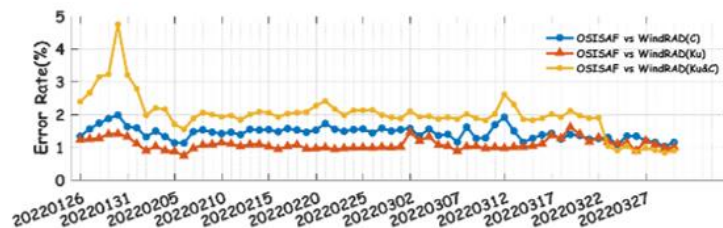
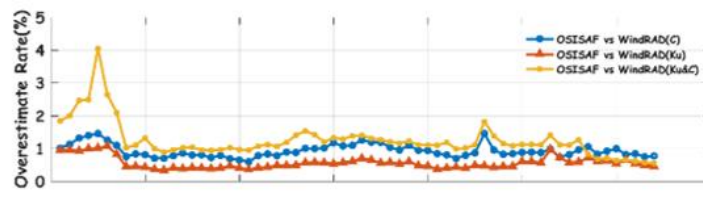
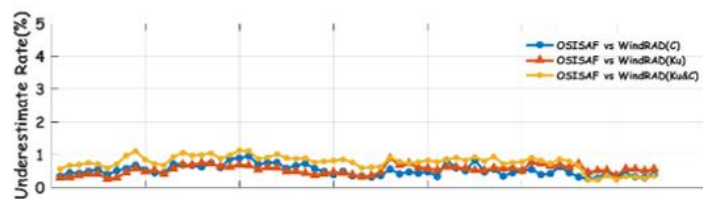
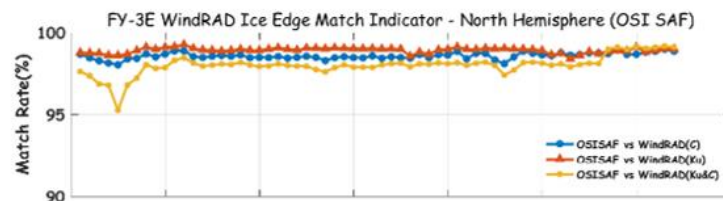
北半球 (左图)、南半球 (右图) WindRAD Ku & C
波段与OSISAF海冰范围比较

匹配率

低估率

高估率

错误率



北半球 (左图)、南半球 (右图) WindRAD与OSISAF 海冰范围逐像元匹配比对分析

2.1 WindRAD海冰范围产品质量

3. 海冰面积长时间序列比对分析 (2022.01.26-2022.03.30)

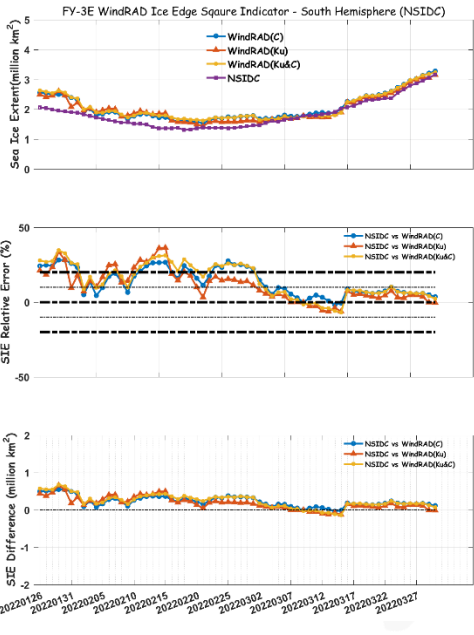
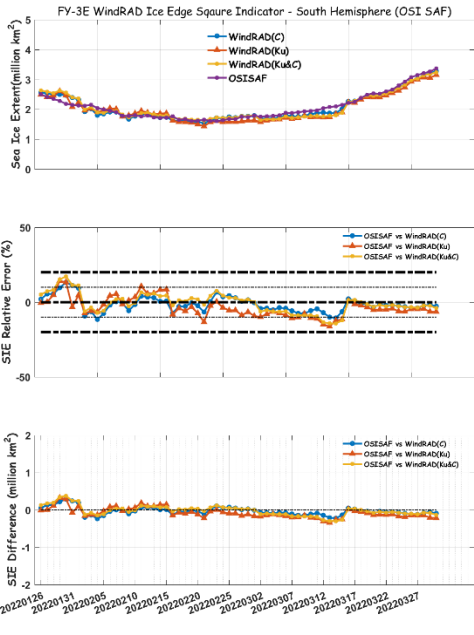
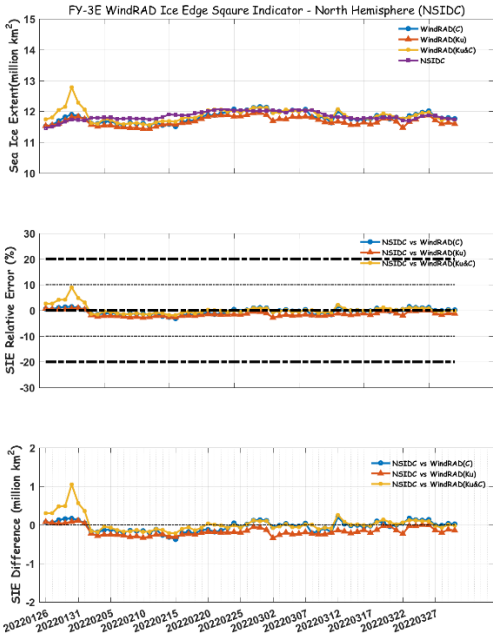
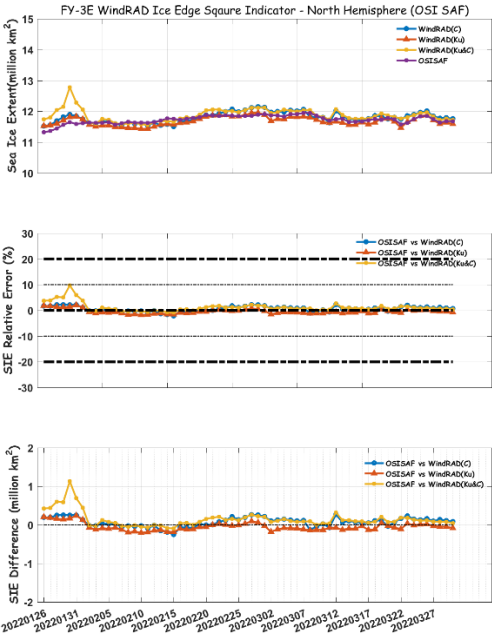
海冰面积

相对误差

面积差

北半球

南半球



	WindRAD (C)	WindRAD (Ku)	WindRAD (Ku&C)
OSI SAF	0.99±0.67	0.84±0.51	1.35±1.65
NSIDC	0.96±0.68	1.51±0.77	1.12±1.42

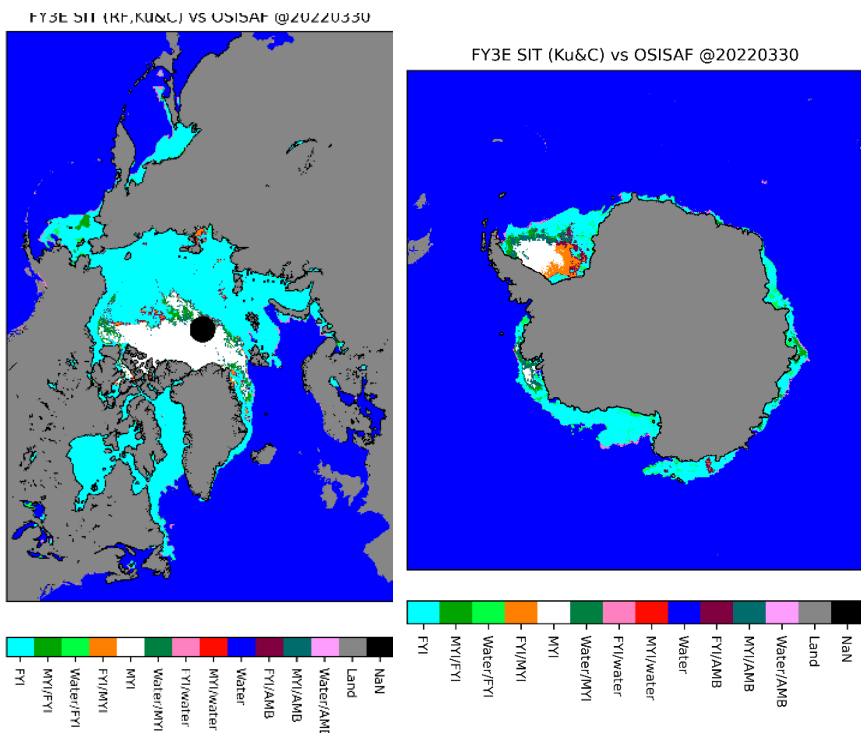
	WindRAD (C)	WindRAD (Ku)	WindRAD (Ku&C)
OSI SAF	4.32±3.16	6.44±3.76	5.18±4.10
NSIDC	13.73±8.99	12.10±9.66	15.23±10.17

注：NSIDC海冰面积定义为海冰密集度≥40%的区域面积总和

南、北半球各波段海冰范围均满足目标精度（最低精度和目标精度分别为与OSI SAF海冰范围产品，海冰面积的相对误差绝对值<20%、<10%）。

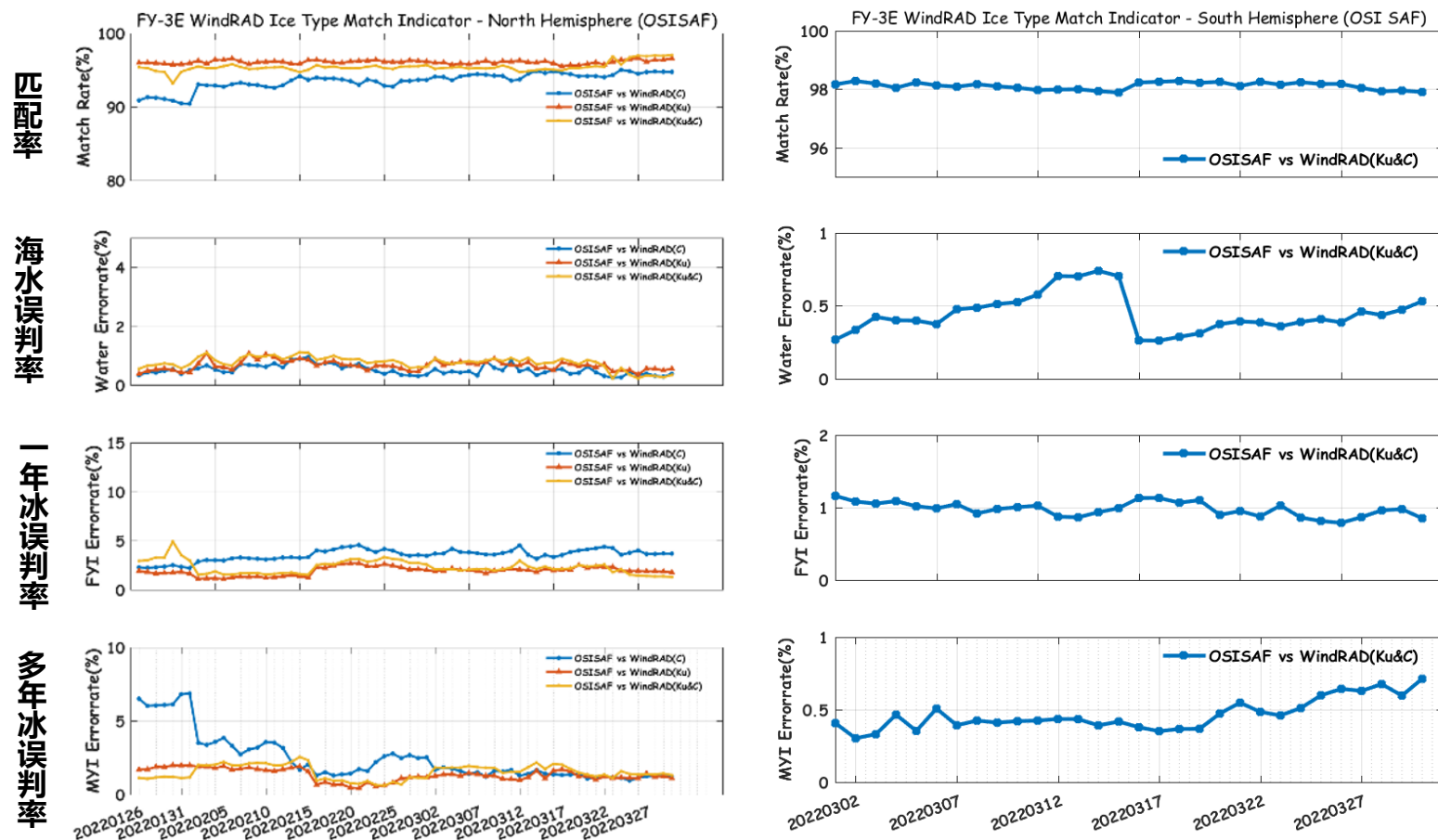
2.2 WindRAD海冰类型产品质量

1. 海冰类型空间分布差异 (2022.03.30)



北半球 (左图)、南半球 (右图) WindRAD Ku & C 波段与OSISAF海冰类型比较

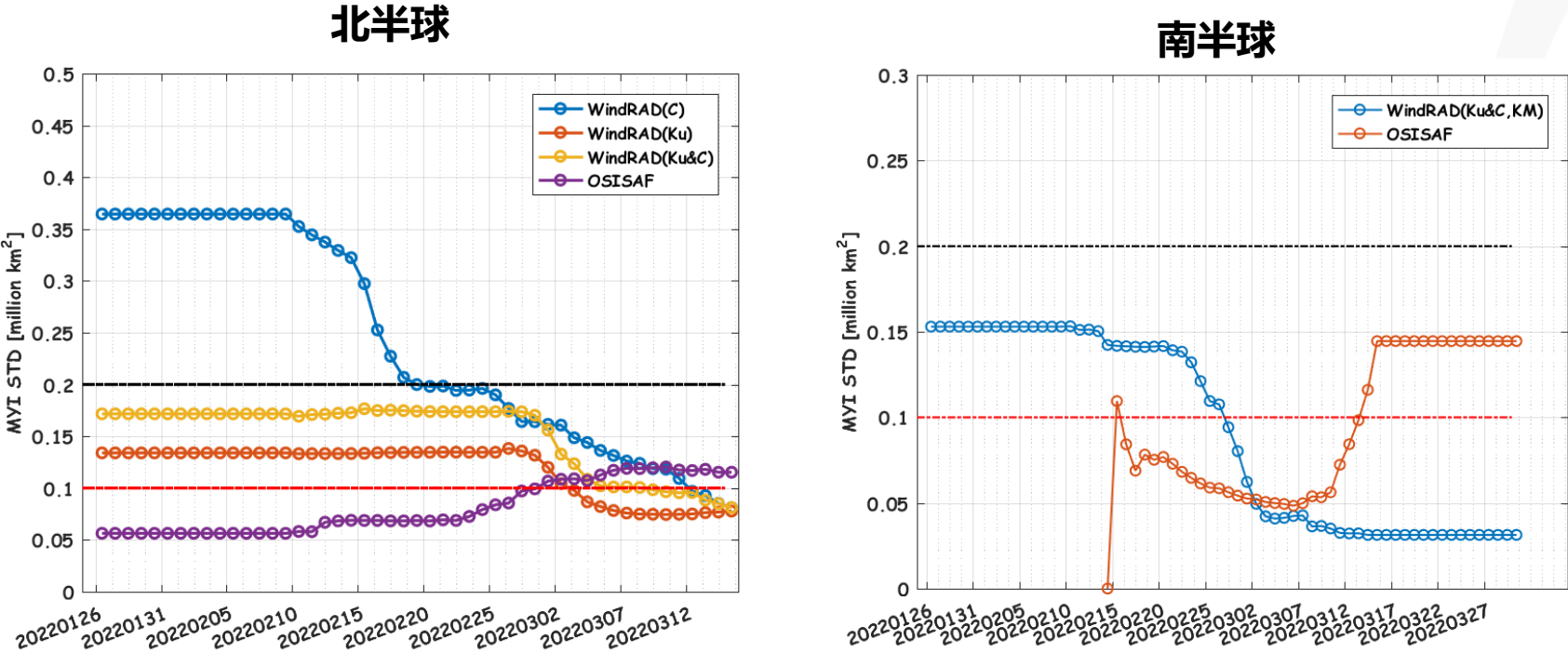
2. 海冰类型逐像元匹配比对分析 (2022.01.26-2022.03.30)



北半球 (左图)、南半球 (右图) WindRAD与OSISAF 海冰类型逐像元匹配比对分析

2.2 WindRAD海冰类型产品质量

3. 多年冰面积滑动月标准偏差长时间序列比对分析 (2022.01.26-2022.03.30)



参数	区域	WindRAD (C)	WindRAD (Ku)	WindRAD (Ku & C, RF)	WindRAD (Ku & C, KM)	OSISAF
MYI STD (10 ⁵ km ²)	NH	2.4±1.1	1.2±0.2	1.5±0.3	/	0.8±0.2
	SH	/	/	/	0.9±0.5	0.9±0.4

除北半球C波段海冰类型反演结果在2022-01-16至2022-02-20不满足指标精度外，其他反演结果均满足最低精度（最低精度和目标精度分别为多年冰面积日差的月标准偏差 $<2\times10^5\text{ km}^2$ 、 $<1\times10^5\text{ km}^2$ ）

2.3 产品存在问题及改进计划

- 产品存在问题及改进计划

1. 目前南半球Ku波段、C波段海冰类型设为模糊冰 → 评估冰况图等数据源作为先验信息的可靠性，进一步优化算法；
2. 目前产品检验源主要是OSISAF海冰范围和类型，以及NSIDC的海冰密集度和海冰年龄产品 → 需要利用冰况图、高空间分辨率SAR影像等多源数据开展系统性比对分析，进一步完善产品质量评估；
3. 目前产品分辨率为10km → 拟采用分辨率增加技术提升产品空间分辨率至2.5km。

- 应用场景中需要注意的事项

1. 基于目前海冰范围分类与质量评估结果，南、北半球各波段反演结果均满足指标要求，且具有很好一致性，用户可根据个人需求对不同波段分类结果进行自主选择；
2. 基于目前北半球海冰类型分类与质量评估结果，建议使用Ku和双频反演结果，不建议使用C波段分类进行科学分析。



目录

风云

极轨卫星

FY-3

CONTENTS

产品介绍

01

产品质量

02

产品格式说明及使用指南

03

产品应用潜力

04

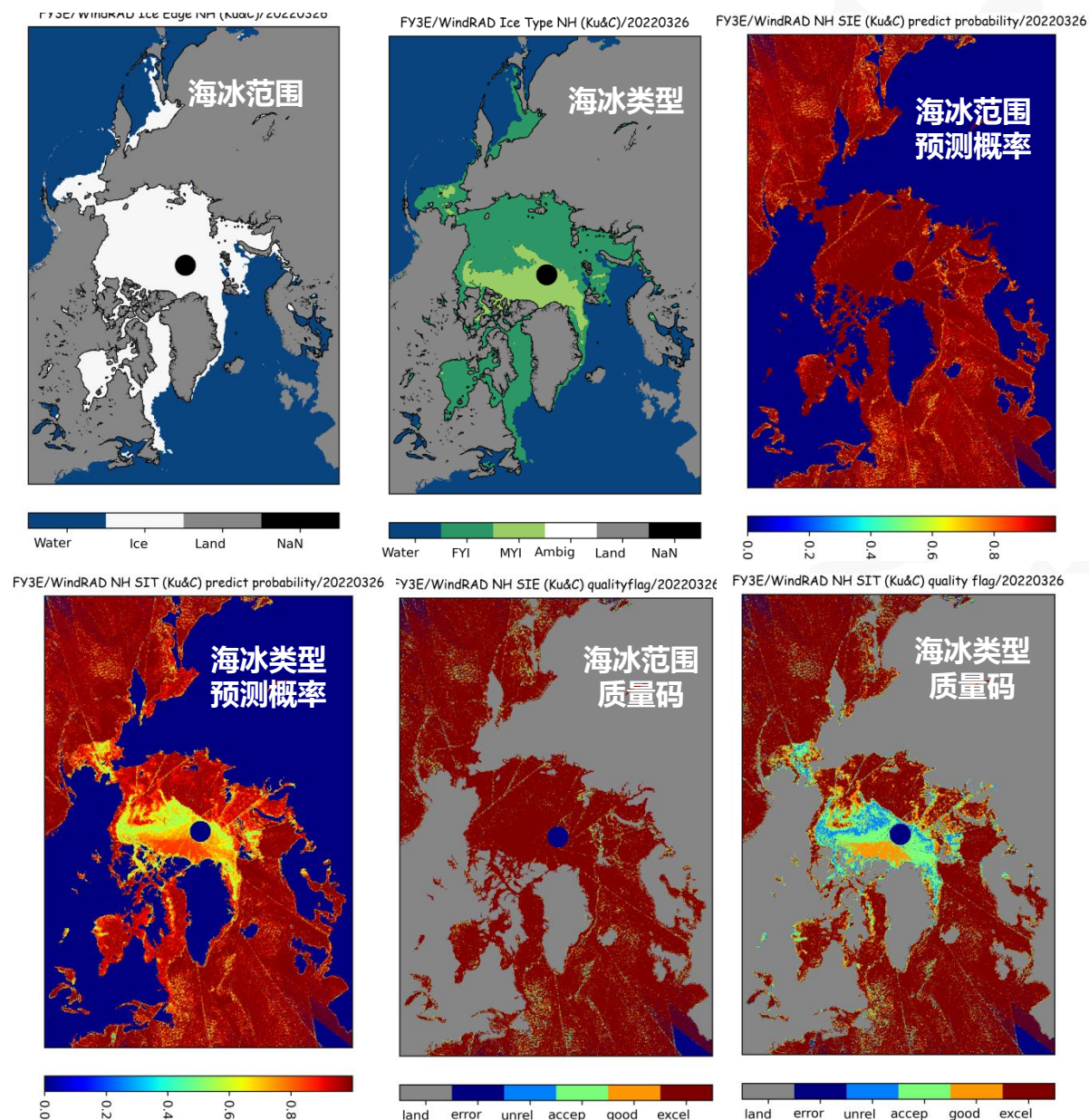
3、产品格式说明及使用指南

Name	Long Name	Type
▼ FY3E_WRAD_NPOL_L2_SIP_M... FY3E_WRAD_NPOL_L2_SIP_MLT_PSG..		Local File
▼ AuxiliaryInformation	AuxiliaryInformation	—
FY3D_SIC	North pole sea ice concentrati..	Geo2D
landseamask	Land Sea Mask	Geo2D
latitude	Latitude in WGS84	Geo2D
longitude	Longitude in WGS84	Geo2D
x	x coordinate of projection (ea..	1D
y	y coordinate of projection (no..	1D
▼ C_band	C_band	—
ice_edge	sea ice edge at C band	Geo2D
ice_type	sea ice type at C band	Geo2D
predict_prob_SIE	sea ice edge prediction probab..	Geo2D
predict_prob_SIT	sea ice type prediction probab..	Geo2D
qualityflag_SIE	quality flag for sea ice edge ..	Geo2D
qualityflag_SIT	quality flag for sea ice type ..	Geo2D
▼ Dual_band	Dual_band	—
ice_edge	sea ice edge at Dual band	Geo2D
ice_type	sea ice type at Dual band	Geo2D
predict_prob_SIE	sea ice edge prediction probab..	Geo2D
predict_prob_SIT	sea ice type prediction probab..	Geo2D
qualityflag_SIE	quality flag for sea ice edge ..	Geo2D
qualityflag_SIT	quality flag for sea ice type ..	Geo2D
▼ Ku_band	Ku_band	—
ice_edge	sea ice edge at Ku band	Geo2D
ice_type	sea ice type at Ku band	Geo2D
predict_prob_SIE	sea ice edge prediction probab..	Geo2D
predict_prob_SIT	sea ice type prediction probab..	Geo2D
qualityflag_SIE	quality flag for sea ice edge ..	Geo2D
qualityflag_SIT	quality flag for sea ice type ..	Geo2D

FY-3E WindRAD北半球海冰参数产品格式

质量码定义

1. Error (prediction probability < 50%);
2. Unreliable (prediction probability 50%-60%);
3. Acceptable (prediction probability 60%-80%);
4. Good (prediction probability 80%-90%);
5. Excellent (prediction probability > 90%)





目录

产品介绍

01

产品质量

02

产品格式说明及使用指南

03

产品应用潜力

04

CONTENTS

4、产品应用潜力

1. FY-3E WindRAD海冰参数产品可**进一步完善我国自主卫星的长时间序列海冰数据集，为后续气候模式和极端气候事件监测等应用提供基础数据；**
2. FY-3E WindRAD海冰参数产品可直接作为其他产品（如FY-3E/WindRAD 海面风矢量产品）的**辅助信息**，通过质量控制（海冰标记），提高其他产品精度；
3. FY-3E WindRAD为全球首部双波段（Ku、C）、双极化、旋转扇形扫描体制的散射计，多波段（C单波段、Ku单波段、Ku&C双频联合波段）海冰参数产品可为**研究不同波段微波信号与海冰相互作用的机理研究提供主要数据源。**

**欢迎应用FY-3E WindRAD海冰参数产
品，提出宝贵反馈意见**

**联系方式：翟晓春 010-68400907
邮箱：zhaxc@cma.gov.cn**