

南极海冰密集度多源数据的交叉检验

赵 羲¹ 苏昊月^{1,2} 石中玉¹ 庞小平¹

1 武汉大学中国南极测绘研究中心,湖北 武汉,430079

2 国家知识产权局专利局专利审查协作湖北中心,湖北 武汉,430070

摘 要:通过研究交叉检验船测样点上的 7 种不同尺度的海冰密集度数据,发现相同时间和相同空间尺度的海冰密集度值吻合度最高,不同时间不同尺度的海冰密集度值的相关性较弱。由数据获取时间不同引起的密集度差异在高分辨率数据上体现明显。真实船测点与伪船测点之间的吻合度不高,受观测者主观因素、天气条件、影像处理质量和伪船测点提取方法的影响。虽然伪船测点方法在海冰边界研究中具有快速、大面积提取边界点的优势,但需要控制提取算法中的误差传播。

关键词:海冰密集度;AMSR-E;MODIS;海冰边界

中图分类号:P228.41; TP751 **文献标志码:**A

南极海冰区是影响全球气候环境变化的重要区域和敏感区^[1]。它通过改变大洋表面的辐射平衡和能量平衡,隔离海洋与大气间的热交换和水汽交换,以及影响大洋温、盐流的形成和强度,来直接作用大气、海洋环境^[2],其覆盖范围及季节和年际变化规律是研究全球气候变化的重要线索^[3]。遥感卫星观测为定量分析海冰范围和变化提供了不可替代的数据来源。其中,微波辐射仪的长波穿透能力,解决了区分云和海冰,以及极夜时期海冰连续探测等问题,使被动微波影像成为长时间、大尺度研究南极海冰分布变化的首选数据^[4]。利用同样的卫星微波遥感影像分析南极海冰长期的变化趋势,不同的研究得到的趋势和变化率都不一致。导致结论差别的原因一方面是研究者采用了不同的海冰密集度(sea ice concentration, SIC)反演算法,例如文献[5-10]对比了不同反演方法在不同类型数据上进行密集度提取的结果差别。另一方面是采用了不同的海冰边界位置提取方法。国内外的研究者大多数都采用 15% 的密集度作为阈值来区分有冰区和无冰区^[6],也有一些研究采用其他阈值,例如 20%^[11]。

被动微波遥感影像上提取的海冰边界与航行中目测的海冰边界的位置一直受到关注和比较。

Worby 和 Comiso^[6]利用 1989 年至 2000 年南极海冰过程与气候计划 ASPeCt(Antarctic sea ice processes and climate)收集的不同航次的海冰观测数据,同时期的雷达数据,高分辨率光学影像上提取的冰缘位置,与被动微波影像 SMM/I 提取的密集度 15% 确定的冰缘位置进行比较,结果发现在海冰生长期的一致度要高于消融期的一致度。Ozsoy-Cicek 等^[12]通过比较 2007 年国际极地年获取的航船海冰观测数据,美国国家冰雪数据中心冰缘数据(NIC ice edge)和 AMSR-E(advanced microwave scanning radiometer for the earth observing system)影像提取的密集度数据也得到相似的结论。在冬季海冰生长期,被动微波影像上 15% 密集度的位置和实测或高分辨率影像观测的冰缘位置大致相符。在夏季海冰消融期的不一致主要源于很多开阔水域和海冰交界地带的薄冰或者表面正在融化的冰,反射率低而不容易与海水区分,致使实测的冰缘位置与 15% 密集度甚至是 0.1% 密集度的界线相比纬度更高。席颖等利用第 26 次中国南极科学考察期间收集的海冰密集度船基观测资料以及由 Landsat-7 ETM+ 得到的海冰密集度来验证 AMSR-E 海冰密集度产品的精度^[13]。然而在南极,船测数据受到航行路线

收稿日期:2015-04-21

项目来源:国家自然科学基金青年科学基金资助项目(41301463);高等学校博士学科点专项科研新教师类基金资助项目(20130141120009);国家海洋局海洋大气化学与全球变化重点实验室开放研究基金资助项目(GCMAC1305);南北极环境综合考察与评估专项基金资助项目(CHINARE2015-04-07)。

第一作者:赵羲,博士,讲师,主要从事极地海冰遥感和空间数据不确定性方面的研究。E-mail:xi.zhao@whu.edu.cn

通讯作者:庞小平,博士,教授。E-mail:pxp@whu.edu.cn

和出航时间的制约,采样点的数量非常有限,并且位于海冰边界的样点数量更加稀缺。因此,Zhao 等^[14]提出了一种生成伪船测点的方法,从具有高空俯瞰效果的 MODIS(moderate-resolution imaging spectroradiometer)光学影像上,根据 ASPeCt 船测方法提取大量伪船测点位置上的海冰密集度,作为被动微波遥感影像海冰边界的验证、样点数据。但伪船测点方法获得的海冰密集度在该文中并没有和真实船测数据进行比对。本文选取了 2002 年至 2007 年间的 ASPeCt 船测数据,从对应 MODIS 影像上提取伪船测点,对采样点上 7 种不同尺度不同时间的密集度数据做了交叉验证,并比较分析了位于海冰边界的少量真实船测数据。

1 数据与方法

由于本研究采用的被动微波遥感影像 AMSR-E 的成像时间在 2002-06~2011-10,因此,选择了在此时间段内国际公开发布的 ASPeCt 船测海冰归档数据和中等分辨率的光学遥感影像 MODIS。从 6 幅无云 MODIS 影像范围内提取出 27 个采样点,统计对比了每个采样点上来自 4 种数据源的 7 种海冰密集度值,包括 AMSR-E(ascending NT2、ascending BBA、daily NT2、daily BBA)、MODIS 海冰密集度、实际船测密集度(RSO)、伪船测密集度(PSO)。并比较了海冰边界上的实际船测数据与 AMSR-E 密集度产品的差异。

1.1 ASPeCt 船测海冰归档数据

国际公开发布的 ASPeCt 船测海冰归档数据是 1980 年到 2005 年期间来自各国的 83 次航行和两次直升机飞行中对海冰的观测记录。ASPeCt 船测海冰标准是以观测船为中心,对周围

1 km 内的区域每小时观测一次,记录海冰密集度、海冰类型、海冰厚度、浮冰尺寸等信息,将最北纬出现的海冰密集度大于等于 10% 的位置定义为海冰边界^[6]。为了与被动微波遥感影像 AMSR-E 的获取时间相匹配,本文选取了 2002 年至 2005 年的航线数据(http://aspect.antarctica.gov.au/data/ASPECT_Allvoys_obs_mindist6.txt)和 2007 年的一条国际极地年测的航线数据(SIMBA September-October 2007^[12])。在这些实测的 1 781 个船测点中,只有 81 个具有 10% 的海冰密集度(图 1 中海冰密集度为 10% 的船测点用黑色虚线标出),而符合海冰边界定义的只有 8 个点。所有船测点中只有 27 个点在无云 MODIS 影像的覆盖范围内,而其中海冰边界点仅两个。

1.2 AMSR-E/Aqua 海冰密集度产品

被动微波传感器 AMSR-E 搭载在 NASA EOS Aqua 卫星上,提供了 2002~2011 年的 6 个频率的双极化数据,空间分辨率为 5~50 km。本研究采用的 AMSR-E/Aqua Daily L3 12.5 km Brightness Temperature, Sea Ice Concentration, & Snow Depth Polar Grids (AE_SI12)数据,下载自美国国家冰雪数据中心(National Snow & Ice Data Center, <https://nsidc.org>)。AE_SI12 格网数据包含了亮温值,以及日平均(daily averaged)、上升轨(ascending averaged)和下降轨(descending averaged)平均海冰密集度值,空间分辨率为 12.5 km,极方位投影。该产品提供的海冰密集度来自两种最通用的反演算法:NASA Team2 (NT2)^[16]和 Bootstrap Basic Algorithm (BBA)^[17]。本文中选用了 4 种 12.5 km 分辨率的海冰密集度值,分别为 ascending NT2、ascending BBA、daily NT2、daily BBA。

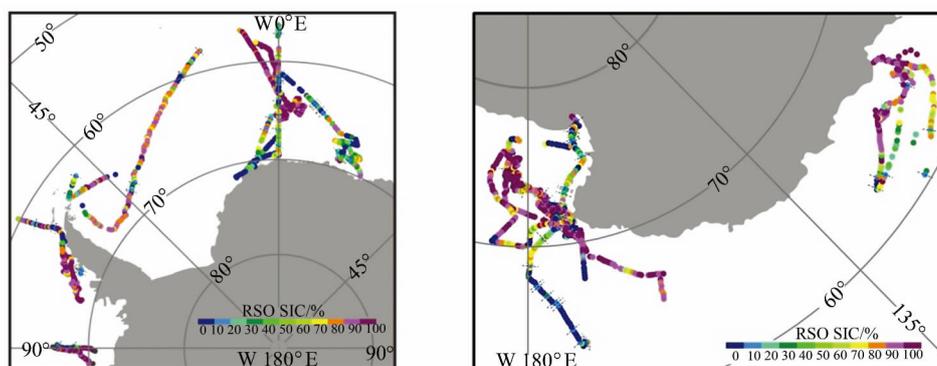


图 1 ASPeCt 船测海冰归档数据的位置图(2002~2005,2007)

Fig. 1 Track of ASPeCt RSO in 8 Cruises Between 2002-2005 and 2007

1.3 MODIS/Aqua 影像提取海冰密集度

中分辨率影像辐射计 MODIS 搭载于 Terra 和 Aqua 两颗极轨卫星上,提供 $0.4\sim 14.5\ \mu\text{m}$ 之间的 36 个离散波段,空间分辨率为 250 m、500 m 或 1 000 m,视场宽度为 2 330 km。由于 AMSR-E 搭载在 Aqua 卫星上,研究选择了 MODIS/

Aqua 影像来减少与 AMSR-E 影像获取的时间差。受南极地区极夜和恶劣天气的影响,与 AS-PeCt 船测数据同步的无云 MODIS/Aqua 在 2002~2005 和 2007 几年间,只搜索到了 6 景,涵盖了 27 个船测数据的坐标,6 景 MODIS 影像的空间分布如图 2 所示。

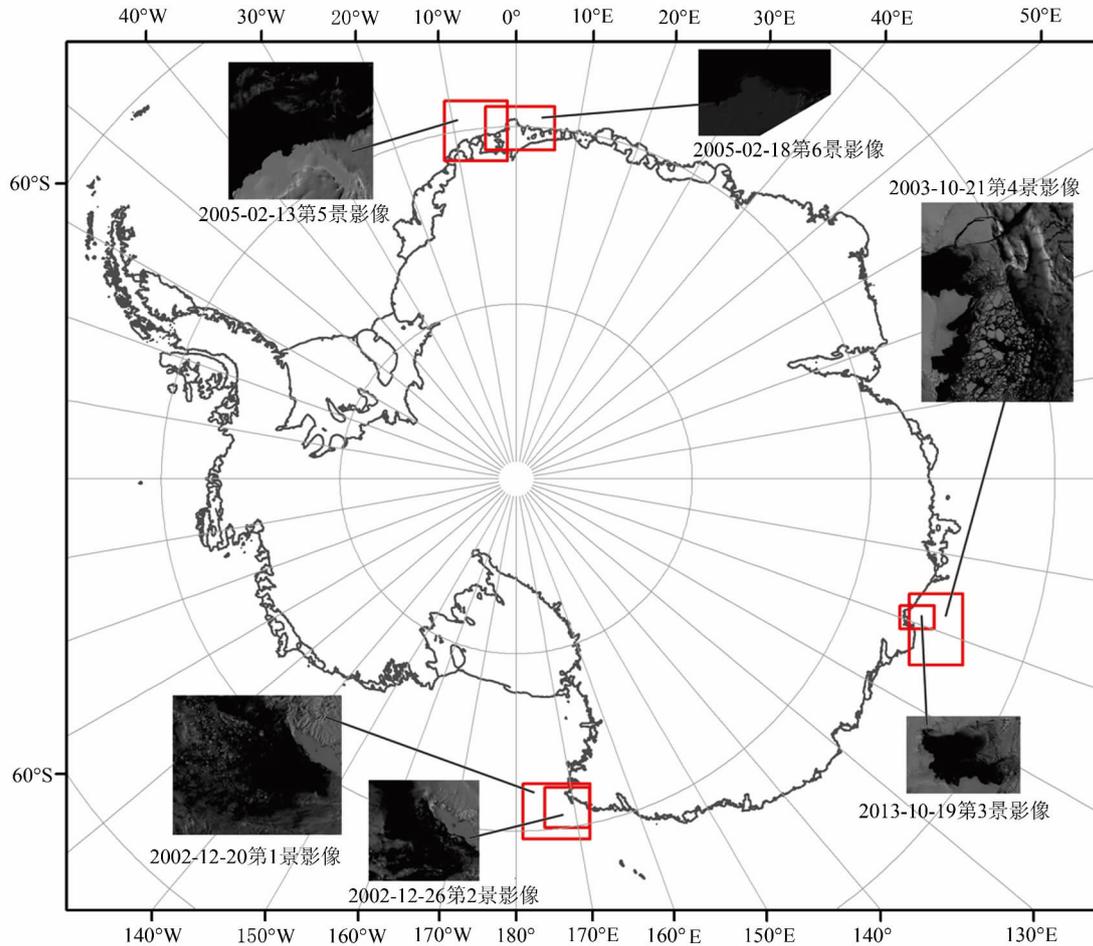


图 2 6 景 MODIS/Aqua 影像的无云区域在南极大陆的位置及获取时间

Fig. 2 Locations of the Six MODIS/Aqua Scenes in the Antarctic

为了尽量保证 MODIS 影像的空间分辨率,研究选用了 L1B 级的数据 MYD 02 Level-1B Calibrated Geolocation Data Set,下载自 Atmosphere Archive and Distribution System (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov>)。但是 MODIS/Aqua 的第 6 波段由于信噪比太高,往往无法使用,所以无法采用文献[14,15]中的多阈值法进行海冰分类。本文通过计算可见光波段(1、3、4 波段)的反照率,利用海冰和海水在可见光的反照率差别进行分类。具体步骤如下。

1) 根据 MODIS 地理定位文件,对波段 1 ($0.620\sim 0.670\ \mu\text{m}$)、波段 3 ($0.459\sim 0.479\ \mu\text{m}$) 和波段 4 ($0.459\sim 0.479\ \mu\text{m}$) 进行太阳角纠正,并

转成极方位投影。波段 3 和波段 4 分辨率统一重采样到 250 m,得到 3 个波段的大气顶部反射率;

2) 利用 MODIS 的云掩膜和第 7 波段的反射率,剔除被云覆盖的像元;

3) 根据公式 $\alpha = 0.331B_1 + 0.424B_3 + 0.246B_4$ [18],将 3 个波段的反射率 B_1 、 B_3 、 B_4 换算成可见光反照率 α ;

4) 本研究确定了 4 大类冰型,包括开阔水域,无雪覆盖的新冰(new ice, nilas),无雪覆盖的初期冰(young grey ice, young grey-white ice),一年冰及雪覆盖的冰型(first-year ice $< 0.7\text{ m}$, first-year ice $> 0.7\text{ m}$, 被雪覆盖的所有冰型)。依据文献[19]中实测的海冰反照率,4 种海冰类

型的划分阈值取自各类型反照率的中间值。例如开阔水域的典型反照率是 0.07, 新冰的典型反照率为 0.17, 则取 $(0.07+0.17)/2=0.12$ 为划分开阔水域和新冰的阈值。具体分类的阈值如下: 开阔水域 ($\alpha < 0.12$), 无雪覆盖的新冰 ($0.12 \leq \alpha < 0.24$), 无雪覆盖的初期冰 ($0.24 \leq \alpha < 0.46$), 一年冰及雪覆盖的冰型 ($0.46 \leq \alpha$)。

5) 将分类结果合并成海冰(赋值 1)和非海冰(赋值 0)的二值图像, 分辨率为 250 m。

6) 将对应 12.5 km 分辨率 AMSR-E 像元范围内的二值像元取平均值, 得到 12.5 km 分辨率的 MODIS 海冰密集度。

1.4 MODIS/Aqua 影像提取伪船测点 PSO

Zhao 等^[14]首次提出了结合 MODIS 影像和船测规则提取伪船测点的方法, 其主要思路是不受观测船航行位置的限制, 直接通过无云光学影像从高空俯瞰, 每一个 MODIS 像元都可以作为观测船的采样点, 通过计算 MODIS 像元周围 1 km 范围内的海冰密集度来模拟观察员在船上的肉眼观测。在之前的研究^[14]中, 是将 MODIS 海冰-非海冰二值图重采样到 2 km 分辨率, 与船测标准中的半径为 1 km 的观测圆大致相匹配, 但输出的伪船测数据 PSO 是 2 km 分辨率的方形网格。本研究对该方法进行了改进, 用更精确的滑动平滑算子(图 3 中, 观测船处在中心像元; 黑色像素赋值 1, 白色像素赋值 0), 计算每个海冰二值像元(250 m 分辨率)周围 1 km 半径的圆形区域的平均值, 作为 PSO 海冰密集度。

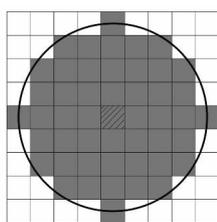


图 3 滑动平均算子模拟 1 km 半径的船测范围圆
Fig. 3 Moving Average Filter and the 1 km Radius Circle

2 结果与讨论

2.1 海冰密集度的多尺度交叉验证

针对 27 个采样点上的 7 种不同来源的海冰密集度, 包括 ascending NT2、ascending BBA、daily NT2、daily BBA、RSO、PSO 和 MODIS 密集度, 进行两两间的交叉验证。将比较的结果分成 4 种情况: 相同时间 & 相同空间尺度, 相同时间 & 不同空间尺度, 不同时间 & 相同空间尺度,

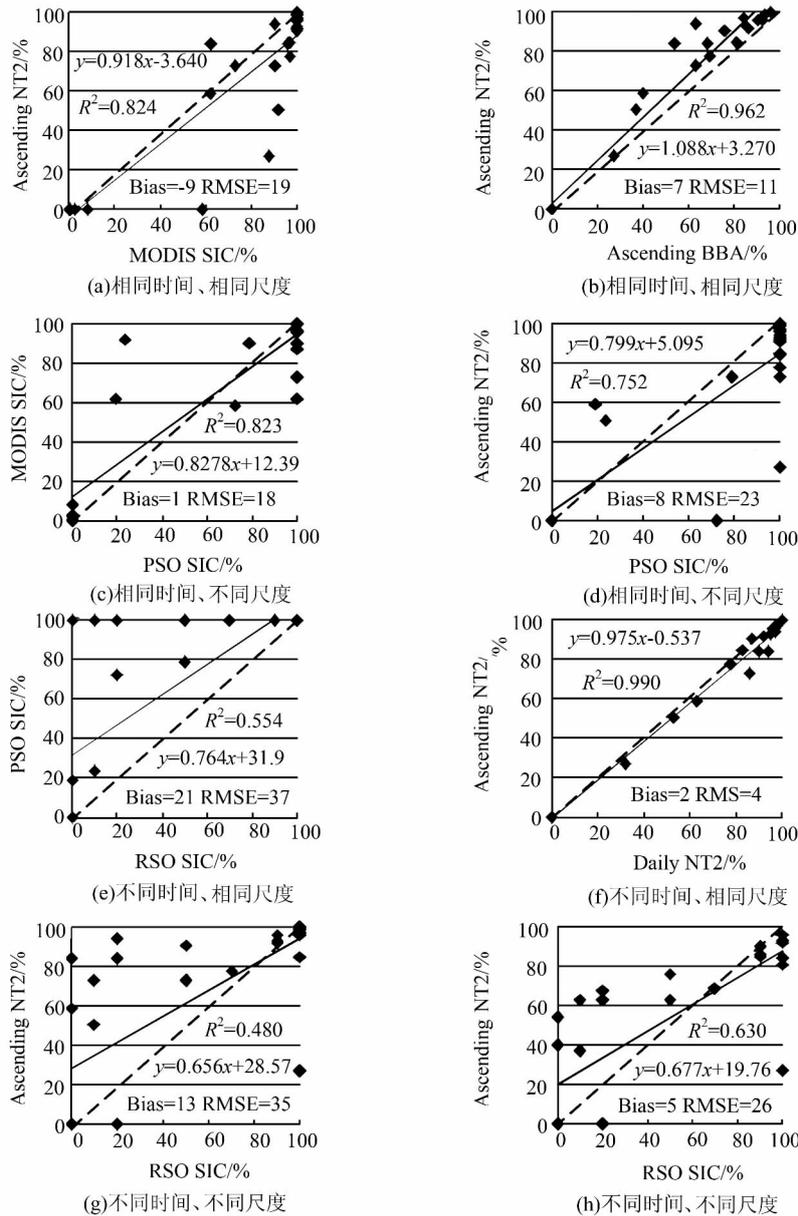
不同时间 & 不同空间尺度(散点图见图 4)。

图 4(a)和 4(b)是具有相同时间和空间尺度的两组数据, 其海冰密集度吻合度最高, 具有相对较高的相关性($R_a^2=0.82$ 和 $R_b^2=0.96$)。MODIS 海冰密集度与 AMSR-E NT2 算法反演的密集度相比有些高估, 平均偏差为 9%, 这与之前的研究结论一致^[14]。同样从 AMSR-E 影像上反演出的海冰密集度, BBA 算法比 NT2 算法得到的密集度值更高。查看 AMSR-E/Aqua Daily L3 产品的数据, NT2-BBA 的差值均大于 0, 平均偏差为 7%。

图 4(c)和 4(d)中的两组数据具有相同获取时间, 但空间分辨率不同。MODIS 海冰密集度和伪船测密集度 PSO 的计算同是基于 MODIS 影像, 因此, 它们之间的差值完全是由不同的空间测量尺度导致的。Ascending NT2 来自 AMSR-E 影像, 伪船测密集度 PSO 来自 MODIS 影像, 虽然两个传感器都搭载在 Aqua 卫星上, 但传感器成像原理的差别, 密集度计算方法的差别都会将两者密集度之间的差异扩大($R_c^2 > R_d^2$)。

图 4(e)和 4(f)中的两组数据相关性差别很大。上升轨的 ascending NT2 和日平均的 daily NT2 密集度一致性很高, 相关性高达 0.99, 均方根误差仅为 4%, 说明海冰密集度在一天之内的变化在大尺度的数据上(12.5 km)体现得不明显。在对被动微波遥感数据获取时间没有严格限制的情况下, 可以利用日平均密集度数据代替上升轨和下降轨的数据。同样是不同时间相同尺度的数据, 船测 RSO 和伪船测 PSO 的相关性不高, 可能的原因有以下两个: ① 船测 RSO 是每隔一个小时观测一次, 而 PSO 是从卫星过境的当地时间 13:30 左右获取的 MODIS 影像上提取的, 两组数据之间的时间差别最大可以达到 13 h。海冰在 13 h 的时间间隔内的移动很可能超过 2 km 的空间范围, 导致 RSO 和 PSO 密集度的不一致; ② RSO 和 PSO 的观测方式不同, 真实船测点的观测精度主要受观测者主观因素、天气条件、观测经验的影响, 而伪船测点的密集度提取则是受到 MODIS 影像质量、影像处理过程和伪船测点提取方法的影响, 两者虽然最后的空间分辨率一致, 但本文中的对比验证结果表明其相关性并不高。

图 4(g)和 4(h)中是具有不同时间和不同空间尺度的两组数据, 它们也是所有对比数据中相关性相对最低的。与 NT2 算法相比, BBA 算法反演得到的海冰密集度与实测船测数据吻合度更好 $R_h^2=0.63$, 这与文献[10]中的结论一致。



实线代表线性回归线;虚线代表 $Y=X$; R^2 为相关系数; Bias(%) 为平均偏差; RSME(%) 为均方根误差

图 4 船测采样点上的多源海冰密集度数据的交叉验证

Fig. 4 Correlations of Various SIC Derived from Different Data Sources at the Location of 27 RSO Sampling Points

2.2 海冰边界分析

在 1 781 个 ASPeCt 船测海冰归档数据点中,只有 8 个点符合海冰边界的定义。表 1 对这 8 个边界点的观测日期、经纬度坐标、对应 AMSR-E NT2 海冰密集度值以及该点到 15% AMSR-E NT2 阈值线的距离做了统计。在 8 个边界点中,其中 6 个点对应的 AMSR-E NT2 海冰密集度为 0,与船测的 10% 密集度相比存在低估现象,这与其他研究结论一致^[12,14]。可能的主要原因是被动微波遥感影像在海冰边界区域对密集度不高的海冰探测能力较弱,精度不高,特别是在冰面出现积水的情况下,低估现象更加明显。

表 1 出现在航线最北纬的不少于 10% 密集度的海冰边界点统计

Tab. 1 Statistics of Ice Edges Determined by the Northernmost Occurrence of 10% RSO SIC in the 8 Cruises

日期	海冰边界位置	NT2	距离/像素
2002-12-17	171.933°E, 63.76°S	0	1
2002-12-05	0.15°E, 57.183°S	58	3
2003-10-23	121.05°E, 60.417°S	0	2
2004-02-27	172.633°E, 71.96°S	0	4
2004-10-16	123.8°E, 62.467°S	0	1
2004-11-13	14.733°W, 57.95°S	9	1
2005-03-18	49.45°W, 62.2°S	0	2
2007-09-25	89.933°W, 68.76°S	0	4

在提取 2007 年 SIMBA 航线上的海冰边界点时,本文作了适当的调整。原始数据中最北纬出现 10% 的船测 RSO 点在 89.333°W , 66.967°S ,海冰类型为 frazil;而在之后连续观测的 3 个 RSO 点的密集度均为 0,直到 89.933°W , 68.767°S 才出现了密集度为 30% 的观测点,其中 Shuga 占 10%,frazil 20%。因此,剔除了观测到的孤立点,将海冰边界点的位置定为 89.933°W , 68.767°S 。实测海冰边界到 15% AMSR-E NT2 阈值线的最大距离为 50 km,平均距离为 28 km。这个数据与之前研究^[14]中提到的伪船测边界到 15% AMSR-E ASI 阈值线的平均距离 10 km 稍大,一方面是由于 AMSR-E NT2 数据的分辨率较 AMSR-E ASI 6.25 km 的分辨率大;另外,RSO 较 PSO 密集度与 AMSR-E 密集度的吻合程度低。

3 结 语

本文通过匹配 ASPeCt 船测海冰数据、AMSR-E 海冰密集度产品和无云 MODIS 影像,提取了 27 个采样点,对比分析了不同尺度和不同时间获取的海冰密集度的差异。相同时间和相同空间尺度的海冰密集度值吻合度最高,不同时间和不同尺度的海冰密集度值的相关性较弱。相同时间但不同分辨率的海冰密集度数据,来自同一个传感器比来自不同传感器的数据吻合度要好。当数据获取时间有差异时,对 12.5 km 的粗分辨率密集度产品的影响较小,但在 2 km 分辨率的尺度上,海冰密集度差异明显。真实船测点与伪船测点之间的吻合度并不高,一方面主要受到观测者主观因素、天气条件、观测经验的影响,另一方面受到 MODIS 影像质量、影像处理过程和伪船测点提取方法的影响。虽然通过实验发现伪船测点方法提取的海冰密集度和真实船测点的有差异,但由于落在海冰边界的真实船测点太少(1 781 个船测点中仅有 8 个),使伪船测点方法在海冰边界研究中具有快速、大面积提取边界点的优势。使用该方法时需要注意控制影像处理的质量,减少误差传播。

参 考 文 献

[1] Turner J, Bindshadler R A, Convey P, et al. Antarctic Climate Change and the Environment[M]. Cambridge: SCAR, 2009

[2] Kang Jiancheng, Tang Shulin, Liu Leibao. Antarc-

tic Sea Ice and Climate[J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20:786-793(康建成,唐述林,刘雷保. 南极海冰与气候[J]. *地球科学进展*, 2005, 20:786-793)

- [3] Ma Lijuan, Lu Longhua, Bian Lingen. Spatio-temporal Character of Antarctic Sea Ice Variation[J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2004, 16(1): 29-37(马丽娟,陆龙骅,卞林根. 南极海冰的时空变化特征[J]. *极地研究*, 2004, 16(1):29-37)
- [4] Xie Simei, Zou Bin, Wang Yi. Long-range Variation Trend of the Antarctic Sea Ice[J]. *Marine Forecasts*, 1996(3):21-29(解思梅,邹斌,王毅. 南极海冰的长期变化趋势[J]. *海洋预报*, 1996(3):21-29)
- [5] Lee H, Han H. Evaluation of SSM/I and AMSR-E Sea Ice Concentrations in the Antarctic Spring Using KOMPSAT-1 EOC Images[J]. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 2008, 46(7):1 905-1 912
- [6] Worby A P, Comiso J C. Studies of the Antarctic Sea Ice Edge and Ice Extent from Satellite and Ship Observations[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 92(1):98-111
- [7] Kern S, Kaleschke L, Clausi D A. A Comparison of Two 85-GHz SSM/I Ice Concentration Algorithms with AVHRR and ERS-2 SAR Imagery[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2003, 41(10): 2 294-2 306
- [8] Shokr M, Markus T. Comparison of NASA Team2 and AES-York Ice Concentration Algorithms Against Operational Ice Charts from the Canadian Ice Service[J]. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 2006, 44(8):2 164-2 175
- [9] Parkinson C L, Comiso J C. Antarctic Sea Ice Parameters from AMSR-E Data Using Two Techniques and Comparisons with Sea Ice from SSM/I[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, 113(C2):228-236
- [10] Beitsch A, Kern S, Kaleschke L. Comparison of SSM/I and AMSR-E Sea Ice Concentrations with ASPeCt Ship Observations Around Antarctica[J]. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 2015, 53(4):1 985-1 996
- [11] Cao Yajing, Liu Qinyu, Gao Guoping. The Interannual Variation of the Sea Ice Concentration at the Ice Edge and the Ekman Transport Driven by the Westerlies in Antarctica[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2005, 35(5): 703-706(曹雅静,刘秦玉,高郭平. 南极海冰边缘区密集度的年际变化与西风的 Ekman 输运[J]. *中国海洋大学学报:自然科学版*, 2005, 35(5):703-706)
- [12] Ozsoy-Cicek B, Ackley S F, Worby A, et al. Ant-

- arctic Sea-Ice Extents and Concentrations: Comparison of Satellite and Ship Measurements from International Polar Year Cruises[J]. *Annals of Glaciology*, 2011, 52(57):318-326
- [13] Xi Ying, Sun Bo, Li Xin. Assessment of AMSR-E ASI Sea Ice Concentration and Landsat-7 ETM+ Imagery[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2013, 17(3):520-526(席颖, 孙波, 李鑫. 利用船测数据以及 Landsat-7 ETM+ 影像评估南极海冰区 AMSR-E 海冰密集度[J]. *遥感学报*, 2013, 17(3):520-526)
- [14] Zhao Xi, Su Haoyue, Stein A, et al. Comparison Between AMSR-E ASI Sea-Ice Concentration Product, MODIS and Pseudo-Ship Observations of the Antarctic Sea-Ice Edge[J]. *Annals of Glaciology*, 2014, 56(69): 45-52
- [15] Zhang Xin, Zhou Chunxia, E Dongchen, et al. Monitoring of Antarctic Sea Ice Based on the Multichannel MODIS Data [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(10):1 194-1 198(张辛, 周春霞, 鄂栋臣, 等. MODIS 多波段数据对南极海冰变化的监测研究[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2014, 39(10):1 194-1 198)
- [16] Markus T, Cavalieri D. An Enhancement of the NASA Team Sea Ice Algorithm[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2000, 38(3): 1 387-1 398
- [17] Comiso J C. SSM/I Sea Ice Concentrations Using the Bootstrap Algorithm[C]. NASA Goddard Space Flight Center Reference Publication, Greenbelt, MD, 1995
- [18] Liang S, Shuey C J, Russ A L, et al. Narrowband to Broadband Conversions of Land Surface Albedo: II. Validation[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 84: 25-41
- [19] Brandt R, Warren S G. Surface Albedo of the Antarctic Sea Ice Zone[J]. *Journal of Climate*, 2005, 18: 3 606-3 622

Intercomparison of Multi-Sources Sea Ice Concentration Data in Antarctic

ZHAO Xi¹ SU Haoyue^{1,2} SHI Zhongyu¹ PANG Xiaoping¹

¹ Chinese Antarctic Center of Surveying and Mapping, Wuhan University, Wuhan 430079, China

² Patent Examination Cooperation Hubei Center of the Patent Office, State Intellectual Property Office, Wuhan 430070, China

Abstract: This study made comprehensive comparison of sea ice concentration derived from ship observations, optical and passive microwave images. Seven types of SIC derived from AMSR-E images and MODIS images were compared with RSO at 27 sample points between 2002 and 2007. The correlation between SIC derived from synchronous data observed at the same spatial scale had higher correlation coefficients than the others, whereas SICs observed at different times and scales displayed large inconsistencies. The correlation between SIC derived from data observed at the same spatial scale but at different times were affected by the spatial resolution. The RSO had considerably large differences with the PSO, the subjectivity in e visual estimation, weather conditions, quality of the image classification, and extraction method all attribute to their differences. Although the pseudo ship observation extraction method is helpful to generate large number of samples at the sea ice edges, error propagation must be controlled in the extraction process.

Key words: sea ice concentration; AMSR-E; MODIS; sea ice edge

First author: ZHAO Xi, PhD, specializes in polar sea ice remote sensing and uncertainty of spatial data. E-mail: xi.zhao@whu.edu.cn

Corresponding author: PANG Xiaoping, PhD, professor, E-mail: pxp@whu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41301463; the Specialize Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China, No. 20130141120009; the Fund of Key Laboratory of Global Change and Marine-Atmospheric Chemistry, SOA, No. GCMAC1305; the Chinese Polar Environment Comprehensive Investigation & Assessment Programmes, No. CHIN-ARE2015-04-07.