Advances in Geosciences 地球科学前沿, 2016, 6(5), 432-442
Published Online October 2016 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/ag
http://dx.doi.org/10.12677/ag.2016.65045

Primary Experiments of Detecting Snow and Ice by Using Himawari-8 Imagery

Chien-Ben Chou

"Central Weather Bureau", Taipei Taiwan
Email: chou227@gmail.com

Received: Oct. 9th, 2016; accepted: Oct. 28th, 2016; published: Oct. 31st, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

Abstract

The normalized difference snow index (NDSI) has been used to detect sea ice and snow cover on the Earth. NDSI is calculated by using channel 0.51 μm and 1.6 μm on board geostationary satellite Himawari-8. The pixel is defined as ice/snow when the value of NDSI is higher than 0.6. However, the value of NDSI is higher than 0.6 for some type of cloud either. A primary type of this cloud is the thick cloud with ice top. In order to distinguish this type of cloud, following tests have been adopted to achieve this goal. First, we use the value of 1.6 μm minus 2.3 μm albedo as a parameter to distinguish between the ice/snow on Earth surface and the thick cloud with ice top because we found that the value of 1.6 μm minus 2.3 μm is positive for ice/snow on Earth's surface and negative for thick cloud with ice top. Second, the pixel is not considered as ice/snow on Earth's surface when the value of 7.3 μm minus 6.2 μm is smaller than a setting threshold. Third, the pixel did not define as ice/snow on surface of Earth if the value of 10.4 μm minus 6.2 μm is smaller than a setting threshold. The second and third tests are able to remove thick cloud with ice top by the fact that top of this kind cloud is higher than snow/ice on the Earth. Comparison of ice/snow map from NDSI with tests to snow-fog RGB image shows a relevant consistency between them.

Keywords

NDSI, Value of 1.6 minus 2.3 Micron, Albedo, Himawari-8, Satellite, Ice/Sonw, Cloud Layer

以向日葵8号卫星观测侦测冰雪的初步实验

周鉴本

"中央气象局"气象卫星中心，台湾 台北

文章引用: 周鉴本. 以向日葵 8 号卫星观测侦测冰雪的初步实验[J]. 地球科学前沿, 2016, 6(5): 432-442.
http://dx.doi.org/10.12677/ag.2016.65045

Email: chou227@gmail.com

收稿日期：2016年10月9日；录用日期：2016年10月28日；发布日期：2016年10月31日

摘　要

本文以NDSI (normalized difference snow index)进行雪地与海冰的侦测，以地球同步卫星向日葵8号的0.51微米与1.6微米频道计算NDSI，当NDSI大于0.6时视为海冰或雪地。但因有些种类的云，其NDSI值亦大于0.6，主要为云顶发展至高层的冰相云顶深厚云层，为区分此类与海冰/雪地光学性质类似的云，我们采用下列测试，以分辨地面冰雪覆盖区与此类的云。第一个测试：以1.6减2.3微米反照率的差值为判断标准，因为发现1.6微米减2.3微米的差值对于冰相云顶深厚云层时小于0，而对冰雪地面覆盖区时其值大于0。第二个测试：当7.3微米减6.2微米亮度温度小于设定阈值时视为冰相云顶深厚云层。第三个测试：当10.4微米减6.2微米亮度温度小于设定阈值时视为冰相云顶深厚云层。第二与三个测试是利用冰相云顶深厚云层为发展较高的云，而7.3微米减6.2微米或10.4微米减6.2微米亮度温度的差值随云顶高度的增加而减小。实验结果与红绿蓝三色合成的日间雪－雾影像产品比对，个案实验发现目前方法提供合理的冰雪侦测结果。

关键词

NDSI，1.6减2.3微米反照率的差值，反照率，向日葵8号，卫星，冰雪，云层

1. 引言

陆地覆雪与海冰是地球表面上会随时间季节变化的地貌特征之一。在北半球冬季时期，全球陆地约40%为冰雪覆盖，而海冰在任何季节约占海面的 5%到 8%的面积。北半球 1 至 2 月冰雪覆盖最大时可达约 46 百万平方公里，至夏季 8 月缩小至约 4 百万平方公里，冰雪的热传导低，因此在大气与陆地表面或海表面形成有效的隔绝，使大气与陆地或海面的热量与化学物质的交换减缓[1]，并且由于冰雪对太阳辐射的反照率较一般陆地或海洋为大，故冰雪可改变地球辐射能量的收支，使其成为影响气候的重要参数之一，例如[2]研究大气环流的趋势与北极海冰变化的关连。

由于冰雪的覆盖范围广阔，地面测站密度相对不足，因此使用卫星观测是一不错的选择，卫星观测可以微波频道或可见光/红外光频道来侦测冰雪。以卫星微波频道(被动式或主动式微波观测仪器)侦测冰雪的优点在于：日夜都能使用，且不受非降雨云层的阻挡。但被动式微波观测对于冰雪上有融化的水时并不适用[3]，而且其空间分辨率相较于见光/红外光观测频道为差，目前常用的被动式微波观测仪器有Advaced Microwave Scanning Radiometer for EOS (AMSR-E)。至于主动式微波观测仪现有 synthetic aperture radar (SAR)，虽然它具有较佳的空间分辨率，但扫描带宽甚窄[4]。而以可见光/红外光频道侦测海冰雪地，相较于微波频道而言，可见光/红外光频道的优点在于具有较高的空间分辨率，但其缺点为只限于白天使用，且受云层的阻挡。目前绕极轨道卫星与地球同步卫星都有以可见光/红外光频道侦测海冰雪地，举例而言，如 Earth Observing System (EOS)的 Terra 与 Aqua 绕极轨道卫星上所搭载的 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)观测仪器[5]与[6]，或地球同步卫星 Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES)上的可见光及红外光呈像仪[7]。

因为大部分地表的光学特性与雪地或海冰的光学特性不同，雪地或海冰在可见光波段具较高的反射；在近红外波段具较大的吸收，因此要区分地球表面冰雪覆盖区与非冰雪覆盖区并不困难，但部分型态的

云(例如：冰相云顶深厚云层)亦具类似的光学特性，因此在侦测雪地与海冰的问题上，如何将雪地或海冰与冰相云顶的深厚云层分辨出来是一个必需处理问题[8]。本文提出简易而有效的分辨方法，并将之运用于日本向日葵 8 号卫星观测影像中。

2. 方法

地球表面冰雪覆盖地区的光学特性，在可见光具较高的反照率；而在近红外线具较低的反照率。[5]利用这个特性定义 NDSI 作为侦测地球表面冰雪的依据，其公式如下：

$$\mathrm{NDSI} = \left[\mathrm{ch02}(0.51\mu\mathrm{m}) - \mathrm{ch05}(1.6\mu\mathrm{m})\right] / \left[\mathrm{ch02}(0.51\mu\mathrm{m}) + \mathrm{ch05}(1.6\mu\mathrm{m})\right] \tag{1}$$

公式中 ch02(0.51μm)与 ch05(1.6μm)分别代表向日葵 8 号卫星上的频道 2 与频道 5，当 NDSI 大于 0.6，且 0.85 微米反照率大于 0.11 和 0.51 微米反照率大于 0.10 时判断为冰雪覆盖地区。由于有些冰相云顶深厚云层的 NDSI 的值也超过 0.6，因此加入 3 个判断式将此类云种滤出。

第一个判断：式利用 1.6 微米减 2.3 微米反照率的差值为判断标准，因为 1.6 微米减 2.3 微米反照率的差值于冰相云顶深厚云层时小于 0，而对地球表面冰雪覆盖区其值大于 0，因此定义筛选参数 CH1 如下：

$$\mathrm{CH1} = \left[1.6\mu\mathrm{m} - 2.3\mu\mathrm{m}\right] / \left[1.6\mu\mathrm{m} + 2.3\mu\mathrm{m}\right] \tag{2}$$

当 CH1 小于设定阈值时判定为冰相云顶深厚云层。对海与陆地阈值的设定皆为 10^{-6}。

第二个判断式：利用 7.3 微米减 6.2 微米亮度温度的差值作为判断的标准，因为冰相云顶深厚云层之云顶发展至离地面较高的地方，故观测到此种云的像元，两个观测频道的权重函数峰值会随云顶高度增加而接近，因此 7.3 微米减 6.2 微米的亮温差值较观测到海面或低海拔陆面的像元值为小。因此定义筛选参数 CH2 如下：

$$\mathrm{CH2} = (7.3\mu\mathrm{m} - 6.2\mu\mathrm{m}) \tag{3}$$

当 CH2 小于设定阈值时判定冰相云顶深厚云层。这个阈值分陆上与海上两种。在海上阈值定义为：25cos(θ)，在陆上阈值定义为：(25-6.5Hf)cos(θ)，θ 为纬度，H 为观测像元的地表高度度(单位为公里)，f = 0.4，这个筛选判断式只用于南北纬 80 度内。阈值乘上 cos(θ)是考虑热带云发展的高度较温带为高，陆上阈值减 6.5Hf 的修正是考虑不要将高地的覆雪区滤除。

第三个判断式：其原理与第二个判断式类似，但改为 10.4 微米减 6.2 微米亮度温度的差值作为判断的标准，同理冰相云顶深厚云层的云顶处于离地面较高的地方，会造成观测到此云的像元 10.4 微米减 6.2 微米的亮温差值，较观测到海面或低海拔陆面的像元值为小，因此定义筛选参数 CH3 如下：

$$\mathrm{CH3} = (10.4\mu\mathrm{m} - 6.2\mu\mathrm{m}) \tag{4}$$

当 CH3 小于设定阈值时判定为冰相云顶深厚云层。这个阈值分陆上与海上两种。海上阈值定义为：50cos(θ)，而陆上阈值定义为：(50-6.5Hf)cos(θ)，其中 θ 为纬度，H 为观测像元的地表高度度(单位为公里)，f = 0.4。这个筛选判断式也只用于南北纬 80 度内。

对于海上另外再加上第四个判断式：即 0.51、0.64 与 0.86 微米的反照率需落于 0.2 到 0.6 之间，这个判别式用于滤除，经一至三判别式滤剩后，极少数残留被误判为海冰的像元，这些像元常存在于低云与海面之间。另外一个需考虑的问题是太阳斜射地面的问题，当太阳天顶角大于 75~80 度时目前的方法无法处理。

以下叙述制作一般红绿蓝三色合成影像时，红、绿、蓝各分量将各自选取物理量转成 0 到 255 色阶的方法，如下列公式：

$$\mathrm{BYTE} = 255 * \left[(\text{物理量} - \mathrm{MIN}) / (\mathrm{MAX} - \mathrm{MIN})\right]^{1/\mathrm{GAMMA}} \tag{5}$$

以此公式我们制作日间雪－雾及自然色红绿蓝合成影像。制作日间雪－雾红绿蓝合成影像时，公式(5)中各参数设定列于表 1。在合成影像中冰相云顶深厚云层显现橘/红色，雪地及海冰显现红色，而低层云/雾呈白色。另外制作亦可侦测冰雪的自然色红绿蓝三色合成影像，参数设定列于表 2。自然色影像中，海洋为黑色，陆地植被区为绿色，裸土为褐色，色灰白色代表水云，青色为陆面积雪或冰云，但冰云看起来比较平滑可为区分。

3. 资料

次实验使用日本卫星向日葵 8 号的先进向日葵影像(Advanced Himawari imager) 16 个频道中 0.51、0.64、0.86、1.6、2.3、3.9、6.2、7.3 及 10.4 微米等 9 个频道，其水平分辨率均为 2 公里的数据，观测时间为 2016 年 5 月 29 日 5 点 0 分。另外两个辅助数据文件，分别为海陆分布表及地形高度数据。向日葵 8 号的先进向日葵影像(Advanced Himawari imager) 16 个频道的特性列于表 3。

Table 1. The parameters in formula (5) using to create day snow-fog RGB imagery. In table star mark (*) means only reflectance from solar in 3.9 μm channel
表 1. 公式(5)用于制造日间雪雾红绿蓝三色合成影像的各个参数设定，表中*为只取反射阳光部分

分量	物理量	MIN	MAX	GAMMA
红	0.86 微米频道反照率	0	100	1.7
绿	1.60 微米频道反照率	0	70	1.7
蓝	3.90 微米频道反照率*	0	30	1.7

Table 2. The parameters in formula (5) using to create natural color RGB imagery
表 2. 公式(5)用于制造日间自然色红绿蓝三色合成影像的各个参数设定

分量	物理量	MIN	MAX	GAMMA
红	1.60 微米频道反照率	0	100	1.
绿	0.86 微米频道反照率	0	100	1.
蓝	0.64 微米频道反照率	0	100	1.

Table 3. The parameters of 16 channels in Advanced Himawari imager. Channels have been used in this experiment are marked by * in first column
表 3. 日本向日葵 8 号各个频道基本参数，频道序号栏中*代表本次实验使用的频道

频道序号	中心波长(微米)	分辨率(公里)	扫描像元数
1	0.46	1	11,000
2*	0.51	1	11,000
3*	0.64	0.5	22,000
4*	0.86	1	11,000
5*	1.6	2	5500
6*	2.3	2	5500
7*	3.9	2	5500
8*	6.2	2	5500
9	7.0	2	5500
10*	7.3	2	5500
11	8.6	2	5500
12	9.6	2	5500
13*	10.4	2	5500
14	11.2	2	5500
15	12.3	2	5500
16	13.3	2	5500

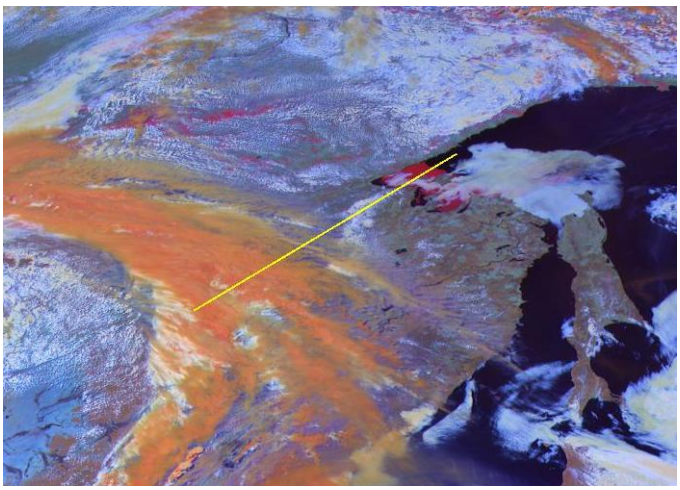
4. 实验结果

由于海冰雪地与冰相云顶深厚云层的 NDSI 值皆大于 0.6，因此我们利用 Himawari-8 卫星上的频道对海冰雪地与此类云种的观测的差异，找出分离海冰雪地与冰相云顶深厚云层的方法。图 1(a)是日间雪－雾红绿蓝三色合成影像，图中红色区块为位于库页岛西方鄂霍克次海的海冰位置，而大范围橘红色为冰相云顶深厚云层所在位置。图 1(b)是沿图 1(a)中黄线选取的 2 至 6 频道的反射率，图 1(c)为 8、10 及 13 频道的亮度温度。横坐标约 0 至 100 为冰相云顶深厚云层，横坐标约 235 至 250 为海冰所在位置。由图 1(b)曲线图中可以发现：对海海冰而言 1.6 微米反照率大于 2.3 微米反照率，而冰相云顶深厚云层则显示与海冰的情形相反。海冰 1.6 微米与 2.3 微米反照率小于 0.05，而冰相云顶深厚云层反照率于 1.6 与 2.3 微米均大于 0.1。海冰于 0.51、0.64 与 0.86 微米反照率小于 0.5，而冰相云顶深厚云层于 0.51、0.64 与 0.86 微米之反照率大于 0.5。由图 1(c)曲线图中，可以发现 6.2 与 7.3 微米的水汽频道在海冰上时，亮度温度相差较在冰相云顶深厚云层时为大。10.4 微米与 6.2 微米的亮度温度相差亦于海冰上时为大。以上观察到的海冰与冰相云顶深厚云层对这些频道反应的差异，是第 2 节中将海冰雪地与此类云种分离判断式的依据。

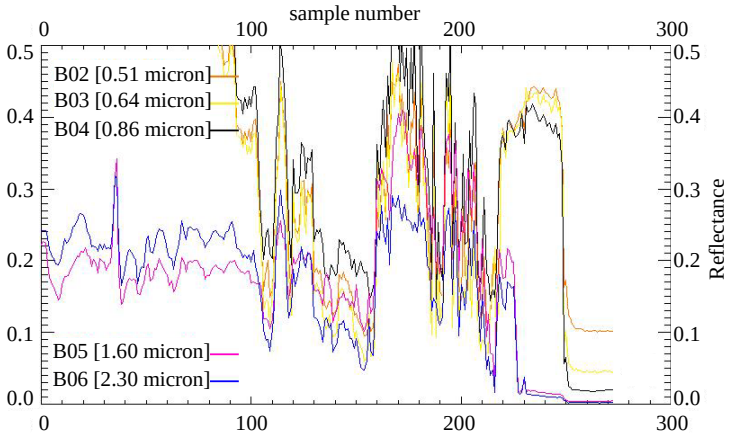
在此我们比较，使用 2 节所述，分离海冰雪地与冰相云顶深厚云层的判断式，在滤除该类云种之前与之后的海冰雪地产品。使用前的结果显示于图 2(b)，使用后的结果显示于图 2(c)，图 2(b)与图 2(c)中黄色部分为 NDSI 大于 0.6 的像元，图 2(a)是日间雪－雾红绿蓝三色合成影像图。由比对图 2(a)与图 2(b)可发现许多 NDSI 大于 0.6 的像元是落在冰相云顶深厚云层上。例如由日本南部经东海到华南的云带中发展为深厚的对流云云的地方，即图 2(a)中颜色为橘红色部分，在图 2(b)中许多 NDSI 大于 0.6 的像元落于此区中；这个现像亦存在于太平洋/印度洋中及南洋诸岛上的对流云；即便在高纬地区此现像也会发生，如图中东北三省北方俄罗斯境内的气旋云带亦可发现。观察图 2(c)可以发现，2 节所述分离海冰雪地与冰相云顶深厚云层的判断式，可有效将这些云滤掉，得到较合理的离海冰/雪地，比对图 2(a)与图 2(c)，图 2(a)中的红色部分与图 2(c)中的黄色部分契合。

接下来我们以局部放大图，观察陆地覆雪与海冰的侦测结果。首先观察贝加尔湖东北方的积雪，其侦测结果显示于图 3 中。图 3(c)与图 3(d)黄色部分为 NDSI 大于 0.6 的像元，但图 3(d)是以分离海冰雪地与冰相云顶深厚云层的判断式，滤掉此类云种的结果。比对日间雪－雾红绿蓝影像图 3(a)中代表覆雪的红色分布，与自然色红绿蓝影像图 3(b)中代表覆雪的青色分布，于图 3(d)中可以看到贝加尔湖东北方的积雪被保留下来。而经由比较图 3(c)与图 3(d)发现，图 3(d)中被滤除的黄色像元落于雪－雾红绿蓝影像图 3(a)中代表冰相云顶深厚云层的橘红色云系中，这些像元也位于自然色红绿蓝影像图 3(b)中代表冰云的青色云系中。另外局部放大观察海上浮冰侦测情形，位于库页岛西方鄂霍克次海的海冰显示于图 4 中，由比对经判断式修正前与后的海冰影像；即图 4(c)与图 4(d)，我们可以发现判断式将冰相云顶深厚云层滤除，而保留大部分侦测到的海冰。以目前验实结果而言，我们使用的分离海冰雪地与冰相云顶深厚云的判断式具一定程度的可靠性。

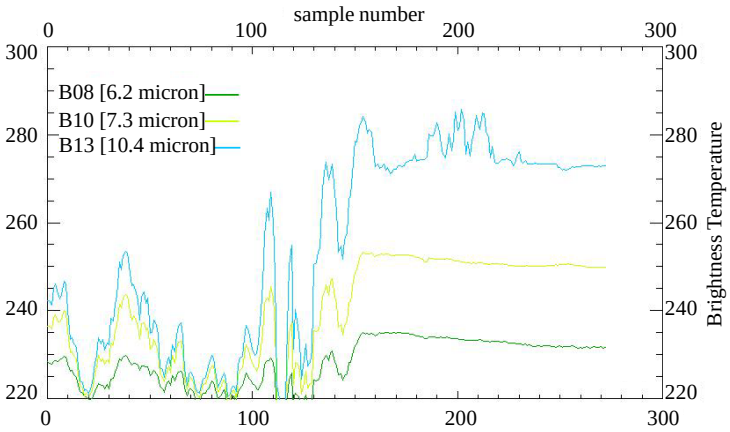
最后需注意的是定义 NDSI 值大于 0.6 判定为雪地的设定，阈值 0.6 是一个比较保守的设定，如此将非雪地误判为雪地的机会减小，但同时将雪地误判为非雪地的机会增加。图 5 将 NDSI 值大于 0.6 的像元以黄色表示，而将 NDSI 值介于 0.4 到 0.6 的像元以青色表示，如图 5(a)、图 5(c)所示，比对日间雪－雾红绿蓝合成影像图，青色的像元对应到日间雪－雾红绿蓝合成影像图中红色地区，但未如黄色像元对应的红色鲜明，这些较不鲜明的红色我们猜测是薄云盖于雪地之上或半覆雪的像元所致，但也可能是其他因素，因此若要以此数据后续制作一日或一周冰雪分布地图，在未能对其他因素充分了解之前，应以保守的设定为宜。



(a)



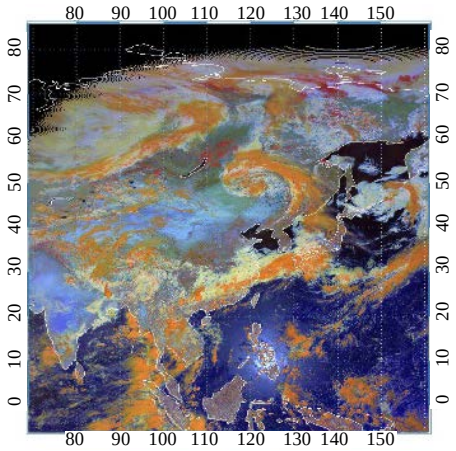
(b)



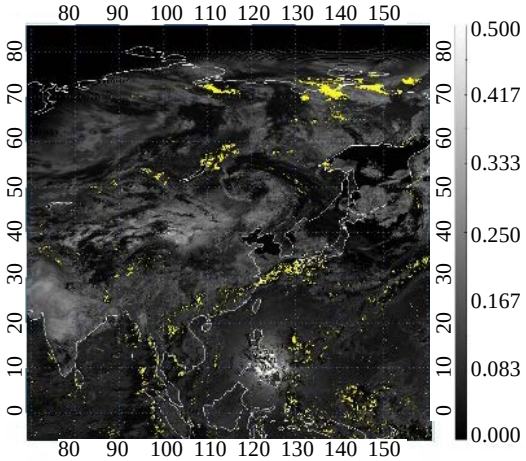
(c)

Figure 1. (a) The snow-fog RGB combination imagery has been shown and we collected the satellite data along the yellow line, (b) Reflectance of channel from 2 to 6 along the yellow line, (c) same as (b) but for brightness temperature of channel 8, 10 and 13

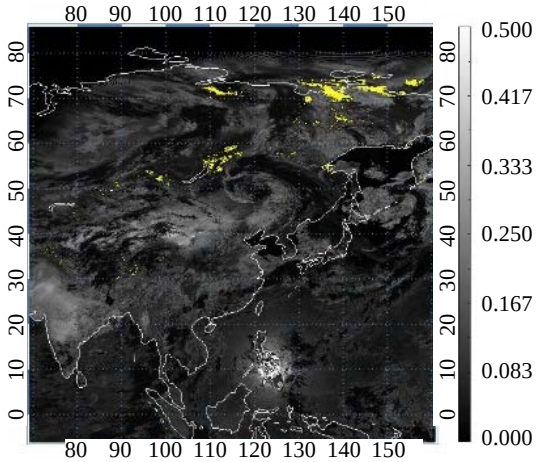
图 1. 图(a)是雪雾红绿蓝三色合成影像，我们沿图中黄线选取卫星观测数据。图(b)是沿黄线选取的 2 至 6 频道的反射率，图(c)为沿黄线选取的 8、10 及 13 频道的亮度温度



(a)



(b)



(c)

Figure 2. (a) The snow-fog RGB combination imagery, (b) pixels of NDSI > 0.6 are shown in yellow color, (c) same as (b) but use the tests to remove the pixels of thick cloud with ice top. The (b) and (c) background image is the reflectance of 3.9 μm. The observation time at 0500UTC 29 May 2016

图 2. 图(a)是日间雪－雾红绿蓝三色合成影像，图(b) NDSI 大于 0.6 的像元以黄色标示，图(c) NDSI 大于 0.6 的像元以黄色标示，但经文中方法滤除冰相云顶深厚云层而得的冰/雪区。图(b)与(c)的影像是 3.9 μm 的反照率。观测时间为 2016 年 5 月 29 日 5 时

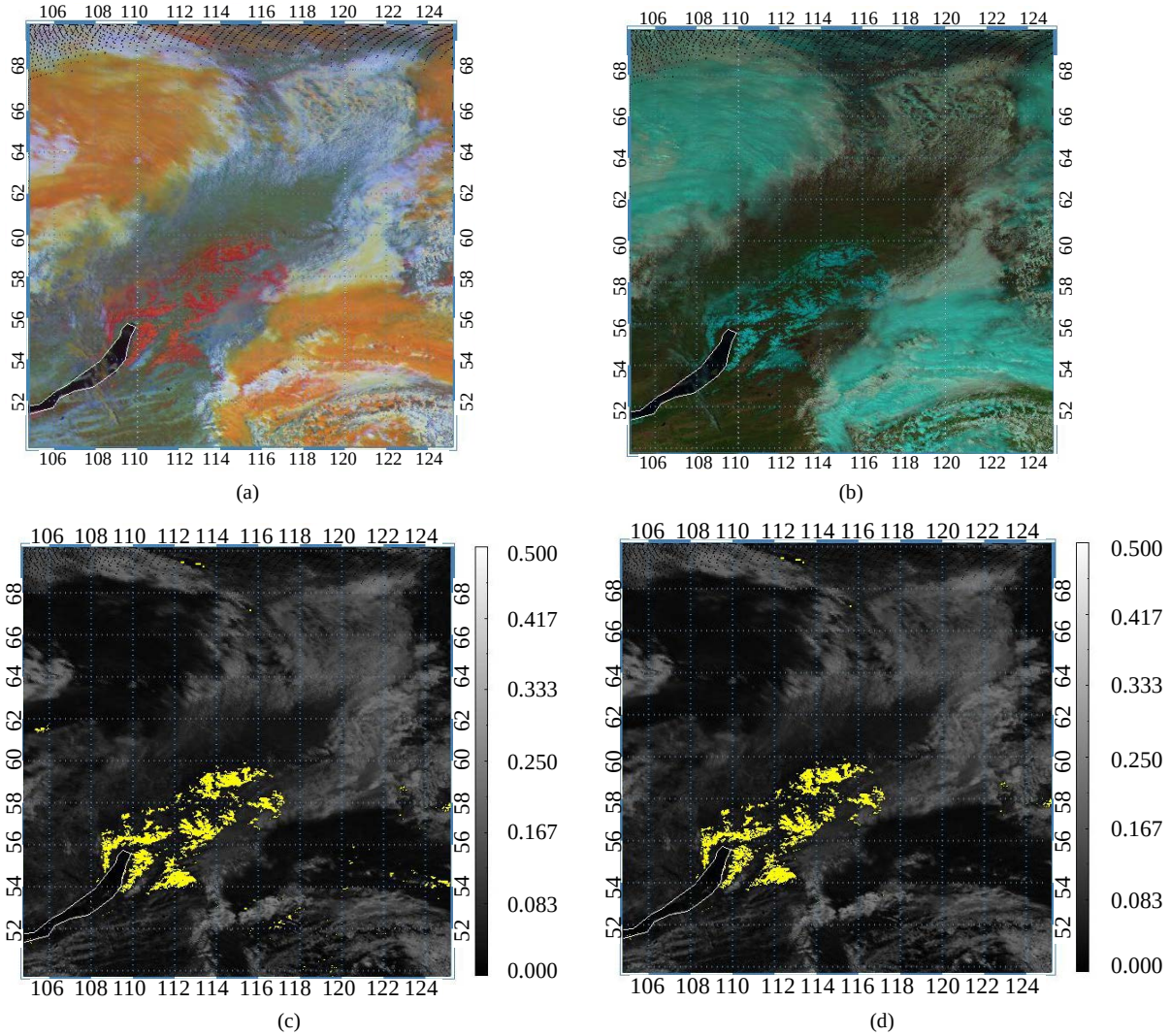


Figure 3. (a) The snow-fog RGB combination imagery, (b) the natural-color RGB combination imagery, (c) pixels of NDSI > 0.6 are shown in yellow color, (d) same as (c) but use the tests to remove the pixels of thick cloud with ice top. The (c) and (d) background image is the reflectance of 3.9 μm

图 3. 图(a)是日间雪－雾红绿蓝三色合成影像，图(b)是自然色红绿蓝三色合成影像，图(c)是 NDSI 大于 0.6 的像元以黄色标示，图(d)是 NDSI 大于 0.6 的像元以黄色标示，但经文中方法滤除冰相云顶深厚云层而得的冰/雪区。图(c)与(d)的影像是 3.9 μm 的反照率

5. 结论

由于向日葵 8 号地球同步卫星上具有由可见光至红外光频谱的 16 个频道，而且每 10 分钟一次的东半球大范围扫描，使之成为侦测亚州区域重要气候参数冰雪分布的观测数据源之一。因此我们以向日葵 8 号上的 0.51 微米与 1.6 微米频道计算 NDSI，并提供陆上 3 个及海上 4 个判断式，以分离为 NDSI 判定为海冰雪地的冰相云顶深厚云层，得到真实的地球表面冰雪像元，以两种可以凸显冰雪分布的红绿蓝三色合成影像(日间雪－雾与自然色影像)加以比对，个案显示无论是陆上覆雪或海上浮冰都有合理的结果。但对于以向日葵 8 号地球同步卫星侦测地球表面冰/雪的问题上仍有需改进的地方，例如对于高地上的积雪，目前使用分离冰相云顶深厚云层与雪地的第二、第三判断式中，虽有考虑地表高度的因素，但未来仍可由较仔细的统计资料分析或仿真结果来设定更合理的阈值，另外地球同步卫星对靠近高纬地区的扫

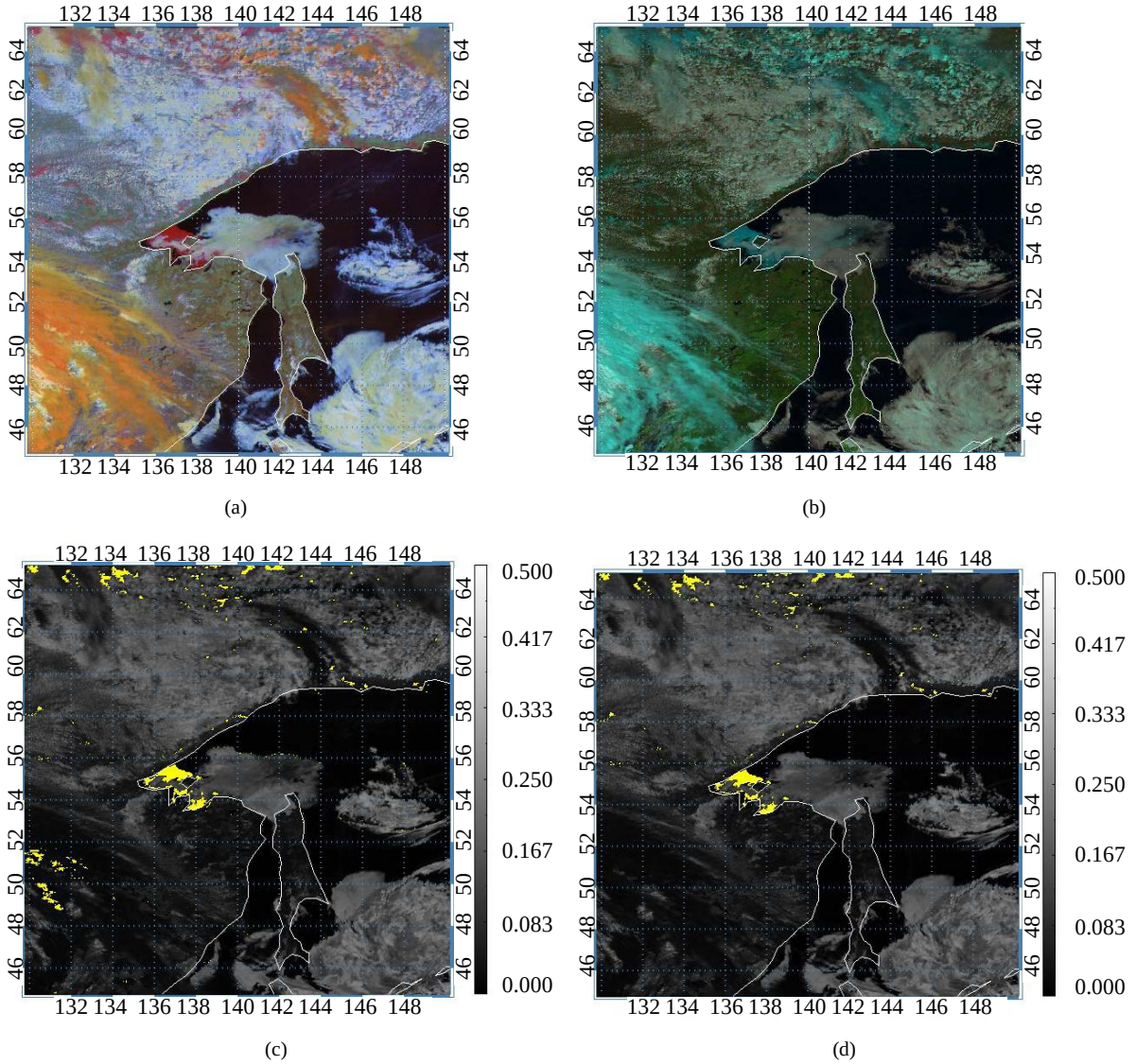


Figure 4. (a) The snow-fog RGB combination imagery, (b) the natural-color RGB combination imagery, (c) pixels of NDSI > 0.6 are shown in yellow color, (d) same as (c) but use the tests to remove the pixels of thick cloud ice top. The (c) and (d) background image is the reflectance of 3.9 μm

图 4. 图(a)是日间雪－雾红绿蓝三色合成影像，图(b)是自然色红绿蓝三色合成影像，图(c) NDSI 大于 0.6 的像元以黄色标示，图(d) NDSI 大于 0.6 的像元黄色标示，但经文中方法滤除冰相云顶深厚云层而得的冰/雪区。图(c)与(d)的影像是 3.9 μm 的反照率

描时，卫星天顶角变大；同时水平分辨率变低，也需要进一步分析以确定这个因素对侦测海冰雪地的可能影响。

除了上述针对此次向日葵 8 号实验结果，提出未来需继续进行的测试外，在此列出一些学者指出以卫星观测侦测冰雪时，可能造成误差的因素与有助改进的参数，以为后续发展工作考虑的参考。例如：森林雪地的问题，在森林雪地上 NDSI 的值可低于一般空旷雪地 NDSI 的值，因此以 NDSI 判断冰雪的阈值于森林区须考虑植被指数[9]。此次实验冰相云顶深厚云层可为文中所设判断式滤除，此判断式等于专为侦测冰雪所设计的云遮，至于如何制作更完备的云遮或使用其他云遮产品也是需继续进行的方向，例

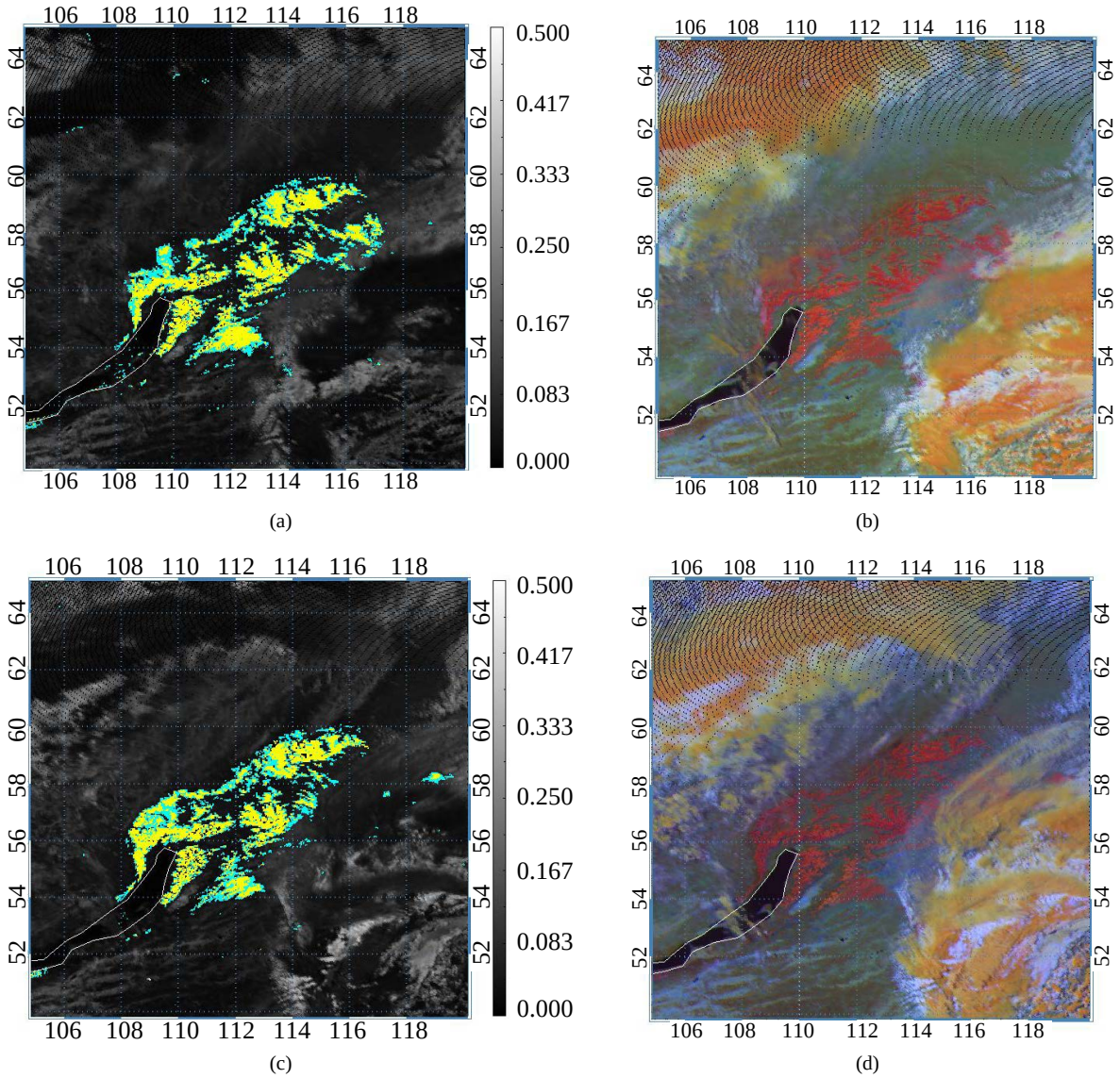


Figure 5. (a) Pixels of NDSI > 0.6 are shown in yellow color, pixels of 0.4 < NDSI < 0.6 are shown in cyan, and use the tests to remove the pixels of thick cloud with ice top. Background image is the reflectance of 3.9 μm, observation time at 0500UTC 29 May 2016 (b) the day snow-fog RGB combination imagery. (c) and (d) are same as (a) and (b) but time at 0800UTC 29 May 2016

图 5. 图(a) NDSI 大于 0.6 的像元显示黄色；NDSI 大于 0.4 且小于 0.6 的像元显示青色，且经文中方法滤除冰相云顶深厚云层而得的冰/雪区图，(b)是日间雪－雾红绿蓝三色合成影像，观测时间为 2016 年 5 月 29 日 5 时。图(c)、(d)与(a)、(b)相同但时间为 2016 年 5 月 29 日 8 时。图(a)、(c)背景影像是 3.9 μm 的反照率

如增加分辨于冰雪之上的薄雾或薄卷云等。地表温度是一个可以用来增进冰雪判断的参数，当地表温度大于摄氏 3 度时为非冰雪区[10]，也是可加入实验的参数。

参考文献 (References)

[1] Qu, J.J., Gao, W., Kafatos, M., Murphy, R.E. and Salomonson, V.V. (2006) Earth Science Satellite Remote Sensing: Science and Instruments. Tsinghua University Press, Beijing, 418 p.

[2] Deser, C., Walsh, J.E. and Timlin, M.S. (2000) Arctic Sea Ice Variability in the Context of Recent Atmospheric Circulation Trends. *Journal of Climate*, **13**, 617-633.

http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<0617:ASIVIT>2.0.CO;2

[3] Ulaby, F.T., Moore, R.K. and Fung, A.K. (1986) From Theory to Applications. Vol. III, Microwave Remote Sensing, Active and Passive, Addison Wesley, 1097 p.

[4] Koskinen, J.T., Pullianen, J.T. and Hallikainen, M.T. (1997) The Use of ERS-1 SAR Data in Snow Melt Monitoring. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **35**, 601-610. http://dx.doi.org/10.1109/36.581975

[5] Hall, D.K., Riggs, G.A. and Salomonon, V.V. (1995) Development of Methods for Mapping Global Snow Cover Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Data. *Remote Sensing of Environment*, **54**, 127-140. http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(95)00137-P

[6] Hall, D.K., Riggs, G.A., Salomonson, V.V., Di Girolamo, N.E. and Bayr, K.J. (2002) MODIS Snow-Cover Products. *Remote Sensing of Environments*, **83**, 181-194. http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00095-0

[7] Romanov, P., Gutman, G. and Csiszar, I. (2000) Automated Monitoring of Snow Cover North America with Multispectral Satellite Data. *Journal of Applied Meteorology*, **39**, 1866-1880. http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(2000)039<1866:AMOSCO>2.0.CO;2

[8] Ackerman, S.A., Strabala, K.I., Menzel, P.W.P., Frey, R.A., Moeller, C.C. and Gumley, L.E. (1998) Discriminating Clear Sky from Cloud with MODIS. *Journal of Geophysical Research*, **103**, 141-157. http://dx.doi.org/10.1029/1998jd200032

[9] Klein, A.G., Hall, D.K. and Riggs, G.A. (1998) Improving Snow-Cover Mapping in Forests through the Use of Canopy Reflectance Model. *Hydrological Processes*, **12**, 723, 774. http://dx.doi.org/10.1002/(sici)1099-1085(199808/09)12:10/11<1723::aid-hyp691>3.3.co;2-u

[10] Niilo, S. and Otto, H. (2011) New Geostationary Saellite-Based Snow-Cover Algorith. *Journal of Applied Meteorological and Climatology*, **50**, 1275-1290. http://www.goes-r.gov/resources/Scipubs/docs/2011/2010JAMC2568.pdf

Hans汉斯

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：http://www.hanspub.org/Submission.aspx
期刊邮箱：ag@hanspub.org