

外定标从红外云图解译海面温度场*

韩士鑫 沈建华

(东海水产研究所)

摘 要

本文介绍了利用船测温度外部定标解译卫星红外云图海面温度场及其简化应用的方法,其计算处理方程为:

$$T_e = T_1 + \alpha T_1^2 (D_e - D_1) - \beta T_1^2 \ln\left(\frac{\tau_e}{\tau_1}\right)$$

简化应用的方程为:

$$T_e = T_1 [1 + \alpha T_1 (D_e - D_1)]$$

诺阿卫星红外云图的水温解译图能够显示表面水温和黄、东海区冷暖系锋面及其流隔的时空变化。

在冬春季节,计算温度与船测表面温度比较。其结果是:

1. 总体均绝差 1.0°C 左右;
2. 相关系数 0.9 以上。

如果能够获得一系列晴空的云图和它的解译图,则对渔海况预报和渔场海洋学的研究及渔业生产具有很大的价值。

一、前 言

利用诺阿(NOAA)卫星和同步气象卫星(GMS等)提供的红外云图,开始渔业的应用研究及预报服务工作在美、日等国已进入实用阶段。日本渔业情报服务中心发布的黄、东海七天平均水温图及北海道周围海域的渔海况图,我国渔船上的传真机能够收到,这对渔业生产有着很大的参考价值。

我们考虑到渔业生产上的实际需要,提出利用船测温度作外部定标从 NOAA 卫星 AVHRR(改进的甚高分辨率辐射计)第四通道($10.5\sim 11.5\mu\text{m}$)的红外云图解译海面温度场的简易方法,经初步验证效果较好,且处理方便,所需仪器简单(CMT型透射密度计),可供使用参考。

二、解译方程的建立

我们选用 NOAA 卫星 AVHRR 的四通道的甚高分辨率云图的无云区域作为原始资

本文于1984年1月19日收到,8月份收到修改稿。

*参加本方法研究和海上试验工作的有渔业机械仪器研究所莫永生,上海技术物理研究所严蔚海,华东师大郑宇源,我所刘树勋、魏永康、王翔福等同志。

料。

1. 海水热辐射遥感方程

当卫星上的红外探测器扫描到海面上的某一小区域时, 仪器所接收到的光谱辐射亮度 $L_i(T)$ 为:

$$L_i(T) = \tau(\lambda) \cdot \varphi(\lambda) \cdot \frac{\alpha h c_2}{\lambda^5} \cdot \frac{E_s(\lambda)}{e^{hc/k\lambda T} - 1} + L_i'(T) \quad (1)$$

式中右边第一项为海面贡献项, 第二项为大气贡献项, 在我们所讨论的情况(晴空、比较干燥的大气条件)下, 第二项远小于第一项, 认为是可以忽略的, 于是有:

$$L_i(T) = \tau(\lambda) \cdot \varphi(\lambda) \cdot \frac{\alpha h c_2}{\lambda^5} \cdot \frac{E_s(\lambda)}{e^{hc/k\lambda T} - 1} \quad (2)$$

式中 C 为光速, h 为普朗克常数, λ 为波长, K 为玻耳兹曼常数, $E_s(\lambda)$ 为海水在波长 λ 处的辐射率, $\tau(\lambda)$ 为大气透过率, $\varphi(\lambda)$ 为仪器的透过函数。

在常温下, $e^{hc/k\lambda T} \gg 1$, 从而可以解出 T :

$$\frac{1}{T} = \frac{\lambda}{C_2} \ln \left(\frac{C_1 E_s(\lambda) \tau(\lambda) \varphi(\lambda)}{\lambda^5 L_i(T)} \right) \quad (3)$$

$$\text{式中 } C_1 = \alpha h C^2, \quad C_2 = \frac{hC}{k}$$

一般把用黑体作辐射源时对应的相同辐射亮度时的黑体温度 T_r 称为等效黑体温度或亮度温度。显然有:

$$L_i(T_r) = \tau(\lambda) \cdot \varphi(\lambda) \cdot \frac{C_1}{\lambda^5} e^{-C_2/\lambda T_r} \quad (4)$$

这样, 我们也可把海面温度用海面亮度温度表示:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_r} + \frac{\lambda}{C_2} \ln [E_s(\lambda) \cdot \varphi(\lambda)] + \frac{\lambda}{C_1} \ln \tau(\lambda) \quad (5)$$

(3) 式和 (5) 式可称为海面热辐射遥感方程。当遥感输出量为接收辐射亮度时 (3) 式可直接表示, 当遥感输出量为亮度温度时可用 (5) 式表示。(5) 式表示海面真实温度的倒数可表示为亮度温度的倒数加上海面辐射率、仪器透过率, 带宽等引起的差额, 以及由大气衰减影响的修正项。

2. 辐射亮度与云图密度值 D 的关系

当认为仪器接收的辐射亮度向地面的传输是不失真的, 其与成象传真机输出的辐照度 H 成正比关系, 且对于一张云图, 不计印象材料和印制条件的不均匀时, 其乳胶的曝光量 $E = H \cdot t \propto H$ 。对于其中任意两点则有,

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{L_{i2}}{L_{i1}} \quad (6)$$

而在胶片的宽容度范围内, 反差系数 r 为:

$$r = \frac{D_2 - D_1}{\lg E_2 - \lg E_1} \quad (7)$$

$$\text{或 } D_2 - D_1 = r \lg \left(\frac{E_2}{E_1} \right) = r \lg \left(\frac{L_{i2}}{L_{i1}} \right) \quad (8)$$

利用(4)式有:

$$D_2 - D_1 = r \lg e^{-\frac{C_2}{\lambda} \left(\frac{1}{T_{r2}} - \frac{1}{T_{r1}} \right)} \quad (9)$$

改写后得到:

$$\frac{1}{T_{r2}} - \frac{1}{T_{r1}} = -\alpha (D_2 - D_1) \quad (10)$$

式中 $\alpha = \frac{\lambda}{C_2 r \lg e}$, 这里, 亮度温度已直接对应于胶片密度。

3. 海面温度解译方程

利用(5)式可以写出海面任意一点的真实温度和遥感得到的亮度温度的关系为:

$$\frac{1}{T_k} = \frac{1}{T_{rk}} + \frac{\lambda}{C_2} \ln \tau_k + \frac{\lambda}{C_2} \ln [E_s(\lambda) \cdot \varphi(\lambda)]$$

任意两点的水温倒数差是:

$$\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_1} = \frac{1}{T_{ri}} - \frac{1}{T_{r1}} + \frac{\lambda}{C_2} \ln \left(\frac{\tau_i}{\tau_1} \right) = -\alpha (D_i - D_1) + \beta \ln \left(\frac{\tau_i}{\tau_1} \right) \quad (11)$$

上式中的 K、l 为任取的采样点序号, 另一点取较特殊的 1 并不影响结果。由于假定了仪器成象的稳定, 所以(11)式不再含仪器的特定参数的影响部份。在该式中还作了

$\beta = \frac{\lambda}{C_2}$ 的代换。

如果把 T_1 取为海面上某一特定点的温度, 那末

$$T_i = \left[\frac{1}{T_1} - \alpha (D_i - D_1) + \beta \ln \left(\frac{\tau_i}{\tau_1} \right) \right]^{-1} \quad (12)$$

对(12)式用 T_1 展开取一次项得:

$$T_i = T_1 + \alpha T_1^2 (D_1 - D_i) - \beta T_1^2 \ln \left(\frac{\tau_i}{\tau_1} \right) \quad (13)$$

方程(13)表示求取海面任意处的绝对温度可由求取与某已知点水温的差来实现, 而这个差则由红外云图上该两点的密度差和两处大气传输系数的商所决定。系数 α 与反差 r 成反比, 若要从理论式求取 α , 必须有精确的 r 值。需要在云图接收时打一组标准密度灰阶, 这在目前尚有困难。在实际使用时可根据所选择的两合适点的海面温度 and 该两点处光程的大气传输系数从(13)式求取。

4. 简化应用:

按(13)式计算海面水温, 必须对每一光程的大气传输有定量的了解。在我们所取的波段 (10.5~11.5 μm), 大气的衰减主要由水气吸收引起, 而要对海面上空大量的卫星过境时的水气资料计算是相当繁琐, 不能适应海洋渔业生产快速简便和推广应用的要求。为此, 我们分析了黄、东海区的水汽含量及其分布状态, 在冬春季节(10月到翌年3月)总的趋势是由北

向南递增, 但相对来说水汽含量较小, 且分布比较均匀(例见附表 1)。因此, 在实际解译冬春季节红外云图时, 可将大气修正项省略, 得到准定量的简化应用方程:

$$T_1 = T_1 [1 + \alpha T_1 (D_1 - D_1)] \quad (14)$$

表 1 1982.12.29. 黄、东海区沿岸(岛屿)台站大气水汽含量及透过率($\lambda_c = 11.0 \mu\text{m}$)

海 域 及 台 站		地面(海面)		1.5km左右高空		3.0km左右高空	
		水汽含量 mm/km	透 过 率	水汽含量 mm/km	透 过 率	水汽含量 mm/km	透 过 率
39°N—34°N (自北至南)	北 隍 城	3.8	0.950	—	—	—	—
	成 山 头	2.8	0.963	1.43	0.981	0.37	0.996
	仁 川	3.8	0.951	2.71	0.970	0.55	0.994
	千 里 岩	3.8	0.951	—	—	—	—
	青 岛	3.8	0.951	1.14	0.987	0.99	0.988
	朝 连 岛	4.4	0.947	—	—	—	—
	石 臼 所	3.6	0.956	—	—	—	—
34°N—28°N (自北至南)	射阳河口	4.3	0.944	2.04	0.974	0.66	0.992
	济 州 岛	6.6	0.922	—	—	—	—
	福 岗	5.6	0.933	4.06	0.952	0.86	0.990
	鹿 儿 岛	4.7	0.944	3.35	0.960	1.76	0.980
	上 海	4.7	0.944	2.60	0.969	0.28	0.997
	花 鸟	5.0	0.940	—	—	—	—
	嵎 泗	4.3	0.948	—	—	—	—
	定 海	4.7	0.944	—	—	—	—
	石 浦	5.2	0.938	—	—	—	—
	29°09'N 122°38'E	6.8	0.919	1.26	0.984	0.35	0.996
	大 陈	5.7	0.932	—	—	—	—
28°N—24°N (自北至南)	奄美大岛	9.2	0.892	3.55	0.958	0.71	0.990
	冲 绳	9.0	0.894	4.73	0.945	0.77	0.989
	彭 佳 屿	10.4	0.879	—	—	—	—
	基 隆	10.4	0.879	2.7	0.970	1.39	0.980
	官 古 岛	10.3	0.880	—	—	—	—

应用方程(14), 只要用密度计测量云图中无云遮掩海域的密度值, 然后利用同期海上若干点实测水温选择两个合适点水温作定标, 即可计算出海面温度, 通过转绘和分析就能获得海况解译图。

三、简化应用的效果检验

1. 应用方程(14)曾对1980年冬—1981年春的红外云图和同期水文资料进行解译验证,得到的结果是:解译温度与实测温度的总体均绝差在 1°C 左右,相关系数均在百分之九十以上(见附表2-4)。

表2 1980.11.17. 船测与计算温度对比

经 度		123	124	125	126	127
纬 度	温 度					
31	船 测	18.10	19.62	19.70	20.80	21.20
	计 算	18.71	19.18	18.40	19.79	21.65
32	船 测	18.82	18.40		19.48	21.65
	计 算	17.78	18.40		19.33	21.65
33	船 测	17.20	17.70			
	计 算	17.78	18.55			
34	船 测	16.90	17.35			
	计 算	16.08	16.38			
35	船 测	15.20	14.20			
	计 算	15.62	15.93			
总体均绝差0.69℃			相关系数0.91			

表3 1981.1.12. 船测与计算温度对比

纬度	经度	温度	122	123	124	125
28		船 测	14.90	17.75	17.32	
		计 算	16.58	17.75	17.05	
29		船 测		15.50	15.50	
		计 算		17.28	17.52	
30		船 测		14.75	14.90	
		计 算		15.64	15.41	
31		船 测		9.70	12.10	11.20
		计 算		11.90	12.61	11.90

续表 3

经 度		122	123	124	125
纬 度	温 度				
32	船 测	10.20	9.80		
	计 算	9.33	9.80		
33	船 测	8.95	10.80		
	计 算	8.16	8.87		
34	船 测				
	计 算				
35	船 测				
	计 算				
总体均绝差1.01°C			相关系数0.04		

表 4 1981.3.7. 船测与计算温度对比

经 度		122	123	124	125	126
纬 度	温 度					
28	船 测		17.68	15.90	15.85	20.40
	计 算		17.87	15.60	16.35	18.63
29	船 测		12.00	14.60	14.72	16.25
	计 算		12.32	15.60	16.86	17.11
30	船 测		12.20	13.50	11.10	12.30
	计 算		10.05	11.81	12.07	12.07
31	船 测		9.60	10.70	9.50	11.20
	计 算		8.53	10.80	9.79	11.56
32	船 测		8.50	8.60	8.30	10.00
	计 算		8.03	7.52	9.79	8.78
33	船 测		7.35	7.60		
	计 算		8.03	7.52		
34	船 测	6.19	8.75	6.20		
	计 算	7.76	7.77	7.77		
35	船 测		8.20			
	计 算		9.04			
总体均绝差0.92°C				相关系数0.95		

2. 1982年12月末利用我所“东方号”调查船走航式表面温盐自记仪等设备在浙江外海进行了海上对照试验,同时收集了同期海洋水文观测资料及渔船的水文与渔情资料作配合验证,其结果和前面相近(详见附表5)。

表 5 中 T_s 表示实测水温, D 为红外云图上对应点的密度值, T_{s1} 是根据接近卫星过境时间的二个合适船测温度作定标值, 由方程(14)所计算得到的水温值, T_{s2} 是根据同期“东方号”记录温度作定标值, 由方程(14)所算得到的水温值, T_{s3} 是根据同期 25 个实测水温值

表5 1982年12月29日海上对照试验结果

序 号	站 位		T _S	D	T _{S1}	T _{S2}	T _{S3}
	N	E					
1	31°00′	122°00′	7.9°C	0.79	7.9°C	8.3°C	8.7°C
2	"	30′	11.8	0.73	10.5	10.7	11.0
3	"	123°00′	17.0	0.57	17.6	17.2	17.2
4	"	30′	17.8	0.60	16.3	16.0	16.0
5	30°30′	122°45′	14.7	0.65	14.0	13.9	14.1
6	"	123°00′	16.8	0.57	17.5	17.2	17.2
7	"	123.30′	17.6	0.59	16.7	16.4	16.4
8	30°00′	122°30′	12.1	0.70	11.9	11.9	12.2
9	"	123°00′	16.9	0.54	18.8	18.5	18.4
10	"	30′	17.8	0.54	18.8	18.5	18.4
11	"	124°00′	18.3	0.60	16.3	16.0	16.0
12	"	10′	17.5	0.60	16.3	16.0	16.0
13	"	125°00′	16.7	0.62	15.4	15.1	15.3
14	29°30′	122°30′	11.5	0.71	11.4	11.5	11.8
15	"	123°00′	16.8	0.54	18.8	18.4	18.4
16	"	30′	17.2	0.57	17.6	17.2	17.2
17	29°00′	122°15′	11.4	0.68	12.7	12.7	12.9
18	"	30′	12.0	0.68	12.7	12.7	12.9
19	"	123°00′	17.2	0.56	18.6	17.0	17.6
20	"	30′	18.2	0.56	18.0	17.6	17.6
21	29°09′	123°31′	18.0	0.56	18.6	17.0	17.6
22	28°30′	122°30′	13.8	0.65	14.0	13.9	14.1
23	"	123°00′	18.5	0.50	20.6	20.0	19.9
24	28°00′	122°00′	13.0	0.63	14.9	14.7	14.9
25	"	123°30′	18.8	0.56	18.0	17.6	17.6

均绝差: $\sum \Delta T_{S1} / 25 = 0.956^{\circ}\text{C}$
 $\sum \Delta T_{S2} / 25 = 0.932^{\circ}\text{C}$
 $\sum \Delta T_{S3} / 25 = 0.948^{\circ}\text{C}$

统计分析所建立的回归方程计算得到的水温值。它们与实测水温 T_s 的均绝差分别为 $\Delta T_{s,1} = 0.956^\circ\text{C}$, $\Delta T_{s,2} = 0.932^\circ\text{C}$, $\Delta T_{s,3} = 0.948^\circ\text{C}$ 。相关系数都在 0.9 以上。

图 1 是根据 $T_{s,2}$ 定标转绘的海水表面温度分布图, 图 2 是试验海区实测表层水温分布图。

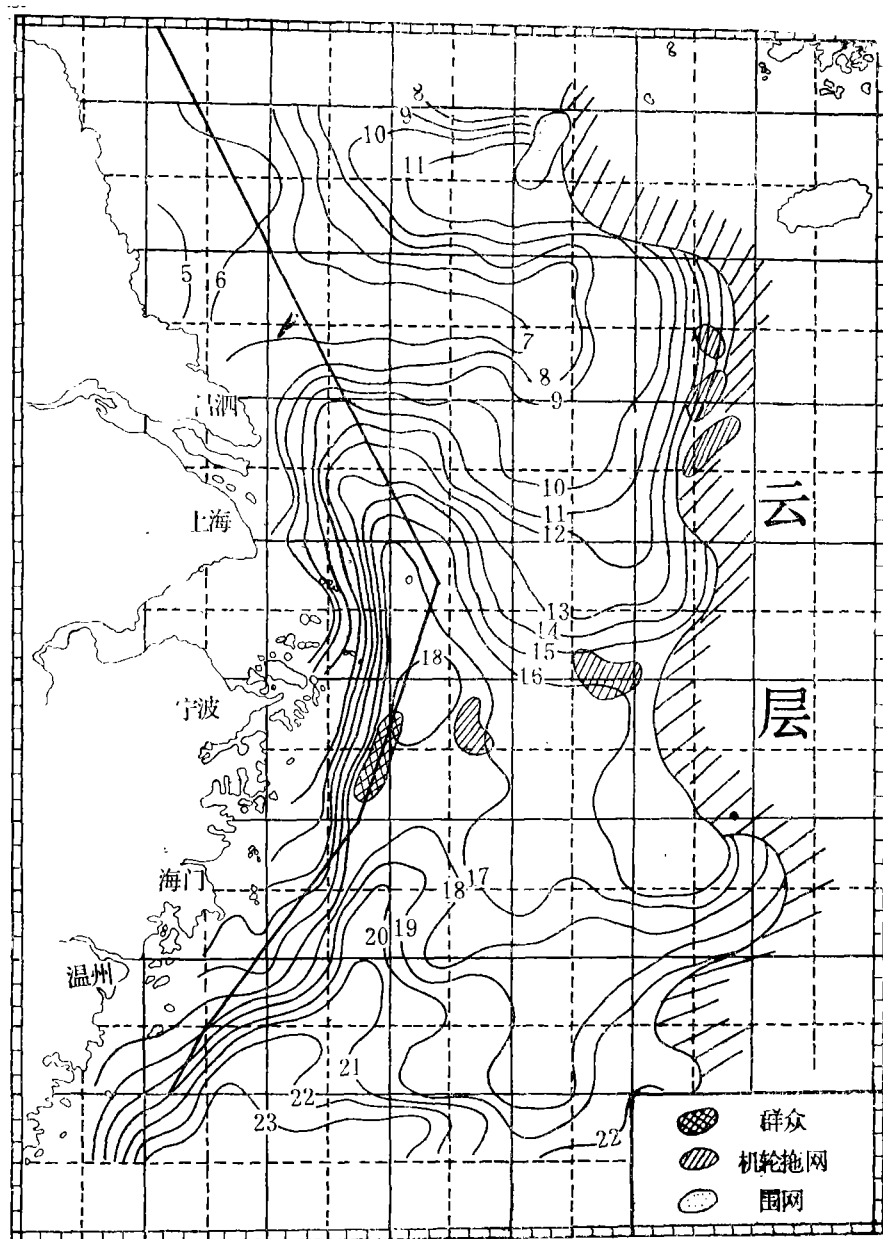


图 1 海表水温解译图(1982.12.29. 红外云图)

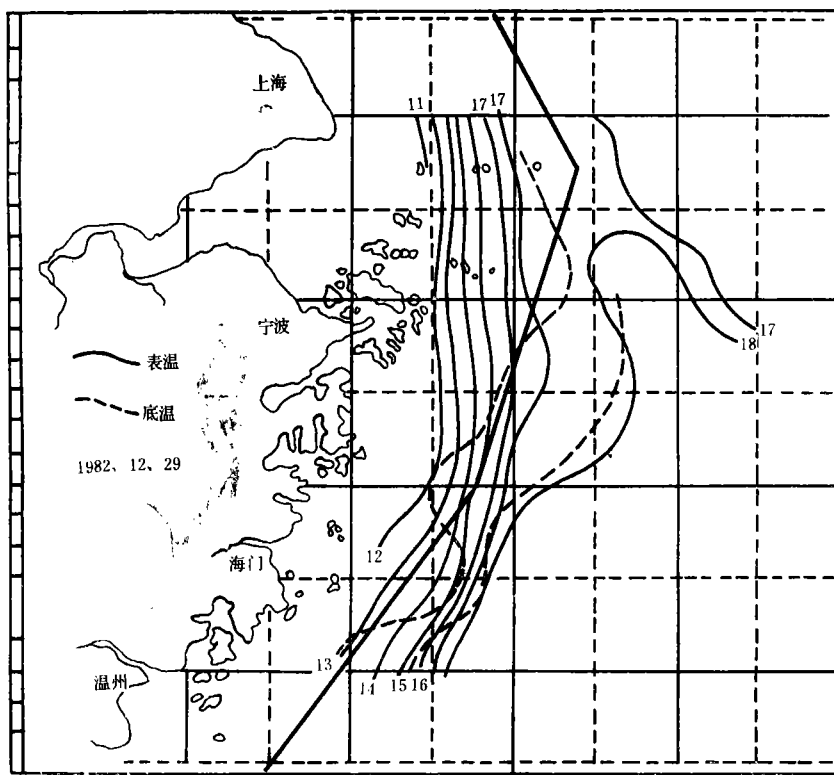


图 2 实测水温图

四、结 束 语

1. 本简化应用方法利用温度与对应云图密度值之间存在的一级近似的线性关系,以海上实测水温为定标点,以红外云图的密度为计算依据,实质上是求取海域的温度差。所得到的结果可近似地代表海面温度。

2. 虽然黄、东海区上空水汽含量相对来说比较均匀,但由于海域面积大,南北跨十多个纬度,因此水汽含量南北差异较大,为了减少误差宜选择需解译海区内的实测温度作定标值,且一次解译面积不宜太大。如果整个黄、东海区均需解译,则宜将整个海区分成北、中、南三块各选定标点进行计算,然后拼接成整图似乎较妥。

3. 在实用时,应注意选择温差较大,性质又较稳定的区域(避开流隔区)的两点水温作定标值,并注意海面上的实测点与云图上的对应点吻合,切不可稍有差错。

4. 方法简单,解译方便,易于推广,作为获取海况资料的手段可以弥补常规海洋调查方法的不足。对于需要实时海况资料的渔业生产部门可利用当地气象台提供的红外云图照片和作业渔船的海上测温数据,根据本方法即可解译得到近实时的海况资料,从而掌握海况动态而有利于探索中心渔场。

参 考 文 献

- [1] 本间弘一, 依田晴夫, 渔业遥感图像处理系统的开发, 日立评论, Vol. 65, No.4, 1983, (日文)
- [2] John, C. price, Analysis of some Methods for of Taining Sea Surface Temperature from Satellite of Serrations, NASA, TN. X, 66235.

THE METHOD OF INTERPRETING THE SEA SURFACE TEMPERATURE FIELD OF INFRARED CLOUD PICTURE USING OUTER CALIBRATION AND ITS STMPLE APPLICATION

Han Shixin

Shen Jianhua

(Fishery Research Institw te of the East ast China Sea)

Abstract

The present paper describes a method of interpreting the sea surface temperature field of infrared cloud picture using ship-measured temperature and its simple application. The complete equation for caculation can be expressed as follows,

$$T_1 = \alpha T_1^4 (D_1 - D_1) - \beta T_1^4 \ln\left(\frac{\tau_1}{\tau_1}\right),$$

and the simplified equation can be reduced to

$$T_1 = T_1 [1 - \alpha T_1 (D_1 - D_1)].$$

The interpretation charts of the NOAA satellite infared cloud picture show the distribution of SST and cold-warm fronts of water system of the Huanghai Sea and the East China Sea as well as the variation of the current with time and space.

Comparing the caculated temperature with the ship-measured SST in winter and spring, it was obtained that the overall mean absolute error was about 1.0°C and the correlation coefficients were 90 percent or more.

A series of cloud-free images and their interpretation charts, if they can be obtained, will be great value for the forecast of fishing-sea conditions, the research on fishery oceangraphy and the fishing operation.