

青岛近海表皮温度和表层温度之差的 观测及模糊数学分析*

杜 勇 吕红民 董申甫 凌铁军

(青岛海洋大学海洋学系 青岛 266003)

提要 1993.11.23.9:00—11.28.9:00 随“东方红”号海洋考察船,采用“走航式海面遥感参数自动观测系统”在青岛近海进行了5个昼夜的连续观测。根据所得资料,首先对表皮水温 and 表层水温之差与各因子之间的关系进行了分析,然后利用模糊数学方法对所获数据进行了计算。结果表明,海洋表皮水温与表层水温之差(δT)和海面风速、气温与水温之差及太阳辐射等均有明显关系。但此关系难以用传统数学方法准确表述。应用模糊推理方法对 δT 值的预测取得了良好的结果, δT 主要预测值的正确率达80%以上。

关键词 表皮水温 表层水温 模糊数学

学科分类号 P731

卫星遥测技术的发展为海洋学研究提供了大量的宝贵资料。其中,遥测海面温度只有通过对面辐射的测量来得到。海面的红外辐射是由海面表皮的水分子发出的,从而只有海面水分子的温度直接与红外辐射性质有关,并决定着星载传感器所接收到的亮度温度。实际上,与辐射有关的分子层厚度是随着辐射波长不同而变化的。对于红外辐射来说,表面分子层的实际厚度小于0.1mm。因此,空间测量所得到的海面温度只代表海面表皮分子层($< 0.1\text{mm}$)的温度(或称表皮水温)。表皮水温与传统海洋学研究所使用的表层(水深1m左右)水温有相关关系,要想使卫星遥测海温对海洋学研究有更大贡献,就必须搞清楚表皮水温与表层水温之间的关系,从而可以由卫星遥测资料直接反演得到传统的海洋表层水温。为此,许多学者先后对该问题进行了一系列的研究(Anding *et al*, 1970; Hill, 1972; Paulson *et al*, 1972, 1981; Brower *et al*, 1976¹⁾; Grassl, 1976; Schooley, 1977; Katsaros, 1977; Robinson *et al*, 1984)。但研究的结果基本上都是给出了表皮水温与传统表层水温之差在不同情况下的具体值。

本文根据模糊数学原理,将表皮水温与表层水温之差(δT)看作为模糊变量,采用模糊推理方法对 δT 值进行预测,并将风速,水温与气温之差以及观测时间等作为影响因子。根

* 国家“八五”攻关课题资助项目,85-903-08-01号。杜勇,男,出生于1956年12月,博士,教授。duyong@lib.ouqd.edu.cn

1) Brower *et al*, 1976. NOAA Techn. Memorandum. Wash., D.C. NESS

收稿日期:1996-06-04, 收修改稿日期:1998-08-01

据预测结果,可以断定 δT 作为模糊变量的合理性及模糊数学分析的有效性,为 δT 值的分析和预测提出一个新的途径,为进一步提高卫星遥测海面水温的精度做出贡献。

1 海面热微结构原理

理论研究表明(Saunders, 1967) δT 值主要与海面热通量 Q_N 及海面风的摩擦速度 U^* 有关。假设皮层以下发生的混合过程是由风生湍流引起,而不是在风平浪静的条件下由对流不稳定引起的,则其关系式为:

$$\delta T = \frac{\lambda^* Q_N \nu}{KU^*} \quad (1)$$

式中: K 是海水分子热传导系数, ν 是动力粘滞系数, λ^* 是待定常数。许多研究者(Robinson, 1985)试图通过观测或实验求得 λ^* ,但其结果有很大差异,取值范围从2.2到15。说明(1)式并不完满。在风速很小的情况下,尤其是这样。但(1)式仍具有一定的意义,说明 δT 与诸多气象因子有关,如风速。而又因为 Q_N 与海面气温和水温有关,使 δT 与海面气温及水温的变化范围有联系。在实际应用中,通过大量的现场温度(包括气温、水温和 δT)及气象因子的观测,找出 δT 与各主要因子之间的统计关系,从而可以结合卫星视场范围内的现场气象条件(一般要求精度不必太高,因而容易从气象预报中获取),对卫星遥测温度的反演进行订正,提高反演精度。

2 现场观测及数据采集

为了揭示海洋皮层温度与表层温度之间的关系,本研究完成了“走航式海面遥感参数自动观测系统”(吕红民等, 1993)。为了保证观测精度,对红外测温度采用了自校设计,使仪器长期使用所造成的输出值飘移而产生的误差减少到最小。另外,采用磨光黑体内壁箱体,屏蔽消除了大部分来自船体的辐射。而对所测数据作时间平均,尽可能滤掉随机因素造成的误差。在热敏电阻的白热飘移,绝对定标方面也做了尽可能周全的考虑。

1993.11.23.9:00—11.28.9:00 随“东方红”号海洋考察船在青岛近海观测了5个昼夜,对海面皮层温度、海表层温度及风速、风向和海面气温等因子进行了同步观测。数据采集时,红外辐射温度(表皮水温)和表层水温(水深1m左右)每1分钟取值一次。风向、风速和气温均为每半小时取值一次。

数据经初步整理后,分别画出了过程曲线(图1)。

3 表皮水温与表层水温关系的模糊数学分析

从图1中可以看出风速、水温和气温之差以及通过观测时间反映的太阳辐射的变化对 δT 都有一定的影响。在此,选风速、时间及水温和气温之差作为综合因子,采用模糊数学方法建立相应的模式对 δT 的取值进行预报。将风速和时间分成相应级别(表1)。按照模糊推理原理(张跃等, 1992)可以发现,在图1所显示的实测资料中(实测数据略) δT 的预测因子风速、水温与气温之差以及时间的各级别 P_i (风)、 Q_i (水温-气温)和 R_i (时间)与预测对象 δT 的值的各级别之间有某种联系,体现为:若...则...的形式,因此可将 δT 取值的预测看成是一个模糊推理问题,具有近似推理的特征。

3.1 模糊蕴涵式语句的归并规则

遵照下列所得的与 δT 取值有关的资料,化为一组模糊蕴涵式语句。

(1) 若两个模糊蕴涵式语句相同则只选一个;

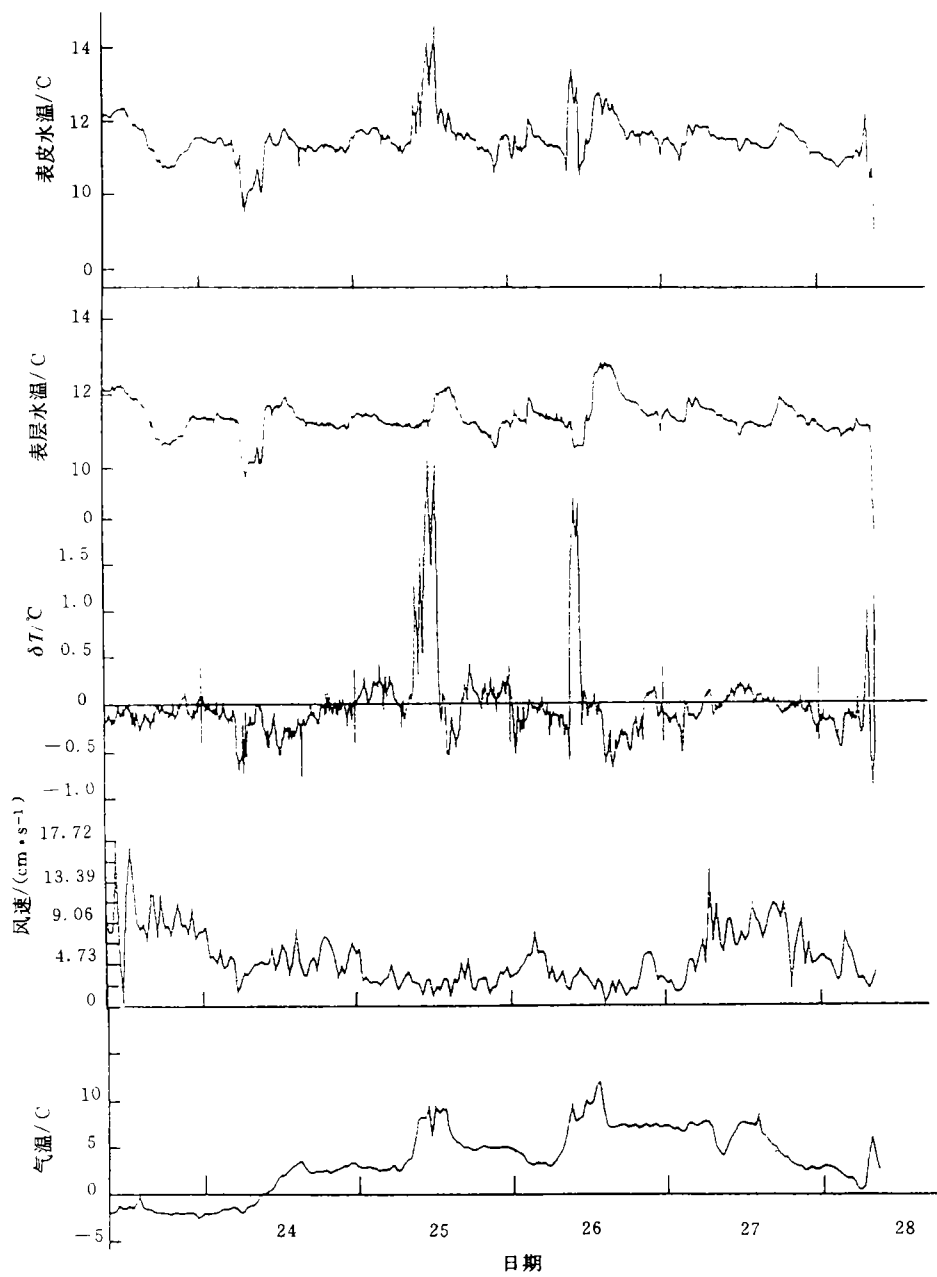


图1 现场观测的海面参量曲线

Fig.1 The observed on-the-spot curves of sea surface parameters

- (2) 若有模糊蕴涵式语句“若 P_i 则 S_k ”; “若 Q_j 则 S_k ”, 表示为“若 P_i 且 Q_j 则 S_k ”; 式中 $i = 1, 2, \dots, 12$; $j = 1, 2, \dots, 10$; $k = 1, 2, \dots, 6$.
- (3) 若有“若 P_i 且 Q_1 则 S_k ”; “若 P_j 且 Q_1 则 S_k ”, 则表示为: “若 P_i 或 P_j 且 Q_1 则 S_k ”;
- (4) 若有“若 P_i 且 Q_j 则 S_1 ”; “若 P_i 且 Q_j 则 S_k ”, 则表示为: “若 P_i 且 Q_j 则 S_k 或 S_1 ”。

表1 风速(a) (m/s)和时间的分级(b) (h)

Tab.1 The grades of wind speed (a) (m/s) and time (b) (h)

a							
风级	风速	风级	风速	风级	风速	风级	风速
0	0—0.2	1	0.3—1.5	2	1.6—3.3	3	3.4—5.4
4	5.5—7.9	5	8.0—10.7	6	10.8—13.8	7	13.9—17.1
8	17.2—20.7	9	20.8—24.4	10	24.5—28.4	11	28.5—32.6

b							
等级	时间	等级	时间	等级	时间	等级	时间
0	6—10	1	11—14	2	15—18	3	19—5

3.2 建立δT取值预测的模糊蕴涵式语句

按照 3.1 的归并规则可将分级后的资料进行模糊蕴涵式语句的归并。根据规则可得出下列实际δT取值预测的模糊蕴涵式语句：

“若 P_1 且 Q_1 且 M_1 则 S_1 ”
.....

3.3 确定模糊蕴涵关系 (R)

设: $U = \{P_1, P_2, \cdots, P_n\}$, $V = \{Q_1, Q_2, \cdots, Q_n\}$;
 $W = \{M_1, M_2, \cdots, M_n\}$, $X = \{S_1, S_2, \cdots, S_n\}$.

对δT取值预测的模糊蕴涵式语句进行归纳,可得到一般的δT取值预测的模糊蕴涵式语句:“ $\underline{P}$ 且 $\underline{Q}$ 则 $\underline{S}$ ”是 U, V, X 间的一个模糊关系 $\underline{R} = (\underline{P}$ 且 $\underline{Q}$ 则 $\underline{S})$,
其隶属函数为:

$r_{(i,j,k)1} = \underline{R}(P_i, Q_j, S_k) = [\underline{P}(P_i) \cdot \underline{Q}(Q_j)] \vee \underline{S}(S_k)$

式中: $\underline{P}(P_i) = P_{ik}$; P_{ik} ——当预测因子为 P_i 时,预测结果为 S_k 的频率
 $\underline{Q}(Q_j) = q_{jk}$; q_{jk} ——当预测因子为 Q_j 时,预测结果为 S_k 的频率
 $\underline{S}(S_k) = S_{(i,j)k}$; $S_{(i,j)k}$ ——当预测因子为 P_i 且 Q_j 时,预测结果为 S_k 的频率。

计算R的过程为:

- (1) 输入现场观测资料δT、风、水温-气温、时间;
- (2) 将δT、风、水温-气温、时间等实测值转换为各自不同的级别;
- (3) 求 $|P|$, $|Q|$, $|M|$;
- (4) 求 $|H|_{pq}$, $|H|_{pm}$, $|H|_{qm}$
- (5) 求 $|H|_{pqm}$
- (6) 确定 $|R|$

各矩阵的元素分别为:

p_{ii} = 当风速 = p_i 时 δT_i 出现的次数/风速 = p_i 样本总数
 q_{ii} = 当水温-气温 = q_i 时 δT_j 出现的次数/水温-气温 = q_i 样本总数
 m_{ii} = 当时间 = m_i 时 δT_j 出现的次数/时间 = m_i 样本总数
 $h(p_i, q_j)k$ = 当 $p = p_i$ 且 $q = q_j$ 时 δT_k 出现的次数/ $p = p_i$ 且 $q = q_j$ 的样本总数
 $h(p_i, q_j, m_k)1$ = 当 $p = p_i$ 且 $q = q_j$ 和 $m = m_k$ 时 δT_1 出现的次数/ $p = p_i$ 且 $q =$

q_j 和 $m = m_k$ 的样本总数

$$r_{((i,j,k))} = p_{i,1} q_{j,1} m_{k,1} \vee H(p_i, q_j, m_k) 1 \vee H(q, m) 1 p_{i,1} \vee q_{j,1} H(p_i, m_k) 1 \vee m_{k,1} H(p_i, q_j) 1$$

3.4 δT 值的预测

用 $\underline{R}$ 可以进行模糊推理,并作出对 δT 取值的预报。如果已知风速 P_i 和水温与气温之差 Q_j 以及观测时间 M_k ,将它们转换成对应的级别 $P_i \in U, Q_j \in V, M_k \in W$ 。已知 $\underline{P}^* = P_i, \underline{Q}^* = Q_j, \underline{M}^* = M_k$,由 $\underline{R} = (\text{若 } \underline{P} \text{ 且 } \underline{Q} \text{ 且 } \underline{M} \text{ 则 } \underline{S})$,可推出预报结果:

$$\underline{S}^* = (S_1^*, S_2^*, S_3^*, \cdots)$$

式中, $S_i^* = r_i, r_{((i,j,k))}$; $r_i = (1/n) \sum_{i,j,k} r_{((i,j,k))}$; $n-i, j, k$ 的数目。

决策原则为:取隶属度最大者 S_i^* 对应的 δT 级别 δT_i 作为预报结果。如果 $S_i^* = \max(S_1^*, S_2^*, \cdots)$,则 δT 值的预报值应为 δT_i 。

3.5 预测精度的检验

将参与建立 $|\underline{R}|$ 的所有样本,重新代回进行预测检验(表 2a)。从上述结果来看,0.3 和 0.2 的样本数不足,无法得到正确的结果。而后又从每组样本中(除 0.3、0.2 和 -0.3 以外)各取出独立 5 个样本,利用由其它样本参与建立的 $|\underline{R}|$ 对 δT 进行预测,结果列入表 2b。

3.6 结果

从表 2 看出,模糊推理方法用于 δT 的预测是十分有效的, $\delta T = 0, -0.1$ 和 0.2 三个部分的数据都在 40 个左右。预测正确率可达 80% 以上,其它 0.1、-0.3 也在 55% 以上,独立样本的检验也令人满意。可以预计随着现场观测数据的增多和积累,将获得更准确反映 δT 与有关因子之间关系的模糊蕴涵关系式。

表2 δT 预测值的检验结果所有样本(a)和独立样本(b)

Tab.2 The test result of predicting δT all samples (a) and independent samples (b)

a							
$\delta T(^{\circ}\text{C})$	样本数	预测正确数	正确比(%)	$\delta T(^{\circ}\text{C})$	样本数	预测正确数	正确比(%)
0.3	4	0	0	-0.1	52	42	80.8
0.2	10	3	30	-0.2	39	33	84.6
0.1	27	15	56	-0.3	16	9	56.3
0.0	41	33	80.5				

b							
$\delta T(^{\circ}\text{C})$	样本数	预测正确数	正确比(%)	$\delta T(^{\circ}\text{C})$	样本数	预测正确数	正确比(%)
0.1	5	3	60	-0.1	5	5	100
0.0	5	2	40	-0.2	5	3	60

4 结语

精确的海上实际观测是分析表皮海温与表层海温之间关系的基本条件。本研究所采用的“走航式海面遥感参数自动观测系统”成功地获取了高精度的观测数据。虽然,目前还未达到足够长的资料系列,但从已获数据的分析过程中,指出了风对 δT 的重要影响。在

模糊数学的分析中,同样得到良好的结果。说明模糊推理方法应用于表皮水温与表层水温之差的预测中是合理和有效的。随着以后观测资料系列的增长,预测的精度将会进一步的提高。

参 考 文 献

- 吕红民, 杜 勇, 1993. 走航式海面遥感参数自动观测系统. 青岛海洋大学学报, 23: 165—171
- 张 跃, 邹寿平, 宿 芬, 1992. 模糊数学方法及其应用. 北京: 煤炭工业出版社, 348—402
- Anding D, Kauth R, 1970. Estimation of sea-surface temperature from space. Remote Sensing of Environment, 1: 1217—1220
- Grassl H, 1976. The dependence of the measured cool skin of the ocean on wind stress and total heat flux. Boundary-layer Meteorology, 10: 465—474
- Hill R H, 1972. Laboratory measurement of heat transfer and thermal structure near an air-water interface. J Phys Oceanog, 2: 190—198
- Katsaros K B, 1977. The sea surface temperature deviation at very low wind speeds: is there a limit? Tellus, 29: 229—239
- Paulson C A, Simpson J J, 1981. The temperature difference across the cool skin of the ocean. J Geophys Res, 86: 11044—11054
- Paulson C A, Parker T W, 1972. Cooling of a water surface by evaporation, radiation and heat transfer, J Geophys Res, 77: 491—595
- Robinson I S, 1985. Satellite Oceanography. New York: Ellis Horwood Limited, 211—215
- Robinson I S, Wells N C, Charnock G, 1984. The sea surface thermal boundary layer and its relevance to the measurement of sea surface temperature by airborne and spaceborne radiometers. Inter J of Remote Sensing, 5(5): 19—45
- Saunders P M, 1967. The temperature at the ocean-air interface. J Atmos Sci, 24: 269—273
- Schooley A H, 1977. The temperature of ocean skin related to cloud shadows. J Phys Oceanogr, 7: 186—187

OBSERVATION AND FUZZY MATHEMATICS ANALYSIS OF THE SKIN-BULK TEMPERATURE DIFFERENCE IN THE COASTAL AREA OF QINGDAO

DU Yong, Lü Hong-min, DONG Shen-fu, LING Tie-jun

(*Department of Oceanography, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003*)

Abstract Nov. 23—28, 1993 the continuous observation was made by using the underway sea surface remote sensing elements auto-collect system. The observation elements include sea skin temperature (infrared radiant, depth $< 0.1\text{mm}$), sea surface temperature (depth $> 1\text{m}$), wind speed, air temperature, time etc. Analysis of the observational data showed obvious correlation between the skin-bulk temperature difference (δT) and the wind speed, therefore, the wind speed is the main element affecting the variation of the δT value. Considering the complexity of the variation of the δT value, it is almost impossible that the relation between the δT and the other relevant elements is described accurately via a simple mathematics formulation. The fuzzy analysis of the relation between the skin-bulk temperature difference and the wind speed, the sea-air temperature difference and time is made by using the fuzzy reasoning method with the observation data. It is shown that the fuzzy reasoning method is suitable for analyzing the complex relation between the skin-bulk difference and the other elements. The correct prediction of the δT is over 80%. It is believed the accuracy will be improved further with the accumulation of observation data, and it will contribute to the improvement of the retrieval accuracy of the sea surface temperature from satellite.

Key words Sea skin temperature Sea surface temperature Fuzzy mathematics

Subject classification number P731