

台湾东侧黑潮区域海水的 $T-\sigma_t$ 关系 及其在动力计算中的应用*

刘 举 平

(中国科学院海洋研究所)

迄今为止的调查研究表明,海洋中的海流,特别是那些流速较大的强流,大都以地转流为其主要成份。因此,可以根据地转关系,应用观测所得的海水质量分布(即温、盐度或密度分布)计算出与实际较为相符的流速流量。这种过程就是海流的动力计算。

但是,由于温度资料比盐度资料精确且易得,因此,人们在根据海水质量分布计算海流时,曾进行了种种简化,试图只根据温度分布及变化来研究海流。这大致可分为下列两方面:

其一,认为海水密度分布主要决定于温度,如果仅欲求得海流分布变化的粗略结果,可以不考虑盐度,直接根据单一的温度分布来计算流速流量。近年来,国内外所开展的一些工作,已为这种简化提供了初步的但较有力的证据。例如, Bryden (1974) 通过对中大洋动力实验 (MODE) 区域两个锚锭站的温度和海流实测资料的分析,得出了水平流速的垂直切变和温度水平梯度的垂直积分之间颇为一致的关系^[2]。管秉贤在研究通过苏澳-与那国岛断面的黑潮的变异时,找到了 100—200 米水层处的温度水平梯度最大值与流量之间较好的关系^[3]。

其二,为了求得较为精确的结果,引入了平均的 $T-S$ 关系曲线来考虑盐度分布对密度的影响。例如, Emery 和 Wert (1976) 曾利用太平洋上每 10° 方格海域中的平均 $T-S$ 曲线,对大量的温度断面进行了动力高度计算。所得结果,除了个别区域外,与用温盐资料算得的动力高度相比,误差都比较小^[3]。另外,在中大洋动力实验中,对许多只有温度而没有盐度资料的观测站,也是应用该海区的平均 $T-S$ 曲线进行动力计算的。

本文应用国际黑潮合作调查 (CSK) 资料,对台湾东侧黑潮区域的水温 (T) 和条件密度 (σ_t) 进行比较,得出了这一区域的 $T-\sigma_t$ 的相关关系式。运用这一关系式对该海区的温度断面进行动力计算,所得流速与用经典的动力计算方法得到的地转流速相比,其方向和量级都是一致的。另外,对东海的黑潮区域的海水,也用本关系式进行了讨论。

一、 $T-\sigma_t$ 关系式

根据 CSK 资料报告 No. 31 (1966 年 1 月), No. 39 (1966 年 5 月), No. 54 (1966 年 7 月) 和 No. 67 (1966 年 10 月), 将台湾东侧 23°N 附近东西方向断面上的海水温度

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 672 号。本文得到管秉贤先生的热情指导,特此致谢。

收稿日期: 1981 年 2 月 17 日。

T 和条件密度 σ_t 的对应值点到一张图上, 就会发现, 两者的关系极为密切。这些资料的观测日期, 代表着一年四季中四个季节的典型月份, 由此得出, 在台湾东侧的黑潮水中, 温度和密度之间的关系是长年稳定的。

对这些 T, σ_t 的观测值进行回归分析, 得出了如下的关系式:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_t' &= 27.9340 - 0.1468 \times T \quad (T \leq 15.5^\circ\text{C}) \\ \sigma_t' &= 27.1034 + 0.0110 \times T - 0.006718 \times T^2 \quad (T > 15.5^\circ\text{C}) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

关系式(1)表明, 当 $T \leq 15.5^\circ\text{C}$ 时, 海水的温度和条件密度之间存在着直线关系; 当 $T > 15.5^\circ\text{C}$ 时, 两者的关系是一段抛物线 (图 1)。这两段线相接于 $T = 15.51, \sigma_t = 25.66$ 处。图 1 中的曲线是关系式(1)的曲线, 点、加号、圆和星号分别代表 1 月、5 月、7 月和 10 月份台湾以东 23°N 断面上的 T, σ_t 的观测值。

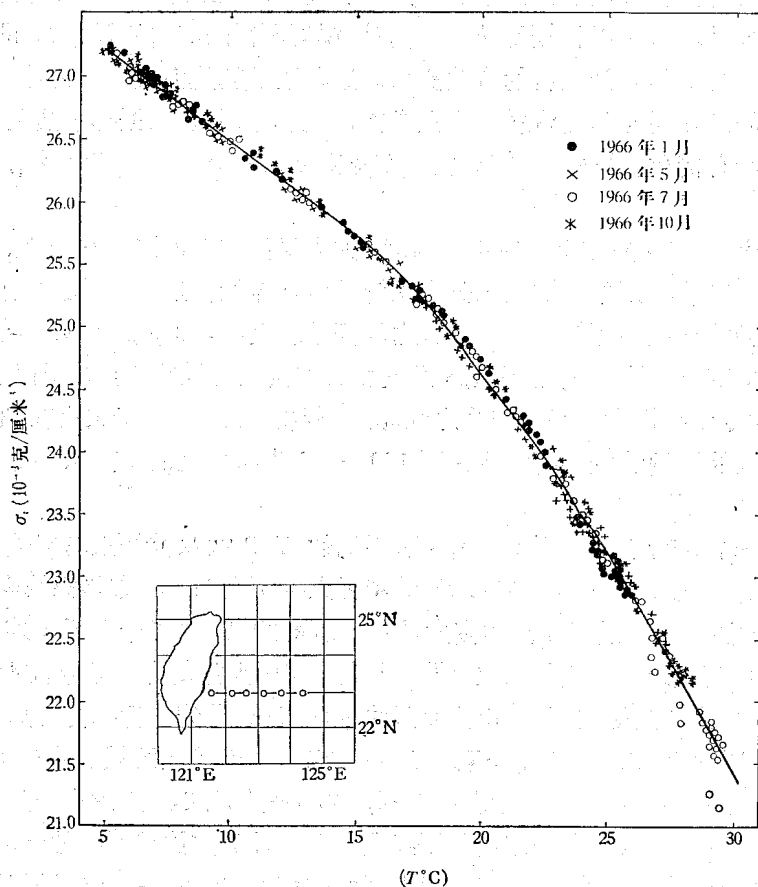
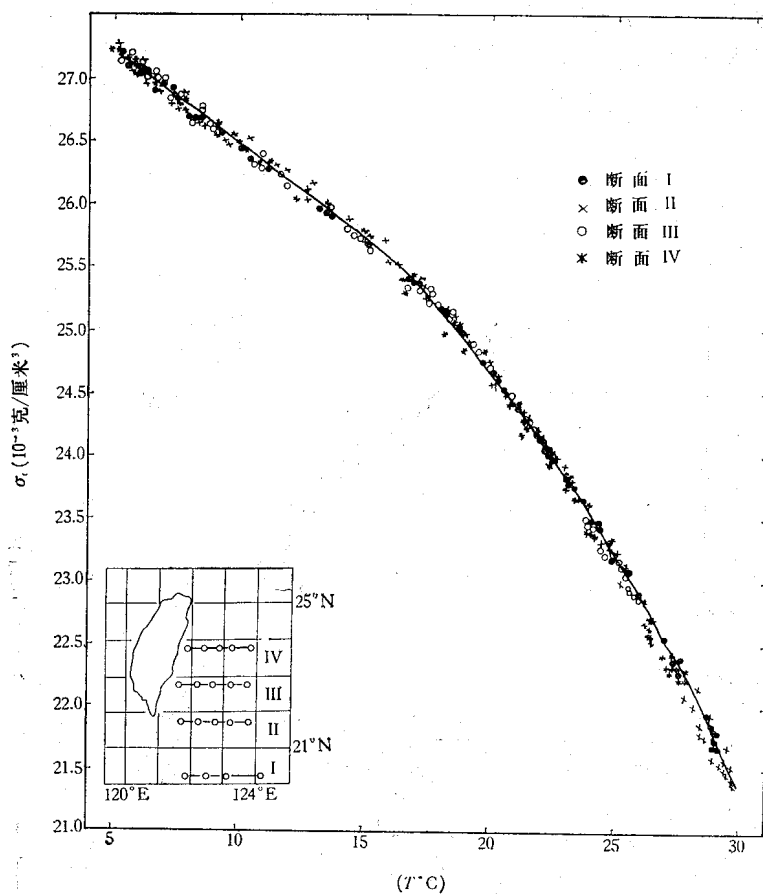


图 1 台湾东侧 23°N 断面四次观测的 T, σ_t 值和关系式(1)曲线

为验证关系式(1)的可靠性和适应范围, 选取从巴士海峡到奄美大岛之间, 横过黑潮的八条断面进行比较。这八条断面, 是由五条不同的调查船在不同时期观测的, 所以, 具有较普遍的意义。

I—IV 和 V—VIII 断面的 T, σ_t 值及关系式(1)曲线分别如图 2 和图 3 所示。点、加号、圆和星号在图 2 中分别代表断面 I, II, III 和 IV 上的 T, σ_t 的观测值, 而在图 3 中, 它

图2 I—IV 断面上的 T , σ_t 观测值和关系式(1)曲线表1 横贯黑潮的八个断面上 σ_t 的均方根误差 (10^{-3} 克/厘米³)

断面号	资料及站号	观测日期	调查船	计算 σ_t 个数	σ_t 均方根
I	CSK, No. 50 TA66050—TA66053	1966.7	Takuyo	68	0.06
II	CSK, No. 135 21—25	1967.9	Yang Ming	85	0.06
III	CSK, No. 31 Vo1—Vo5	1966.6	Chofu Maru	84	0.06
IV	CSK, No. 67 8—12	1966.9	Yang Ming	78	0.06
V	CSK, No. 102 4—7	1967.4	Yang Ming	50	0.15
VI	CSK, No. 48 26—31	1966.3	Shunyo Maru	42	0.07
VII	CSK, No. 54 Y ₁ —Y ₄	1966.7	Chofu Maru	41	0.05
VIII	CSK, No. 186 C ₀₂ —C ₀₆	1968.8	Tenyo Maru	75	0.10

们又分别代表断面 V, VI, VII 和 VIII 上的 T, σ_t 的观测值。为区别起见, 用 σ_t 代表原始资料中用温度和盐度值, 按克纽森公式计算出的条件密度, 用 σ'_t 表示从关系式(1)得到的条件密度。 σ'_t 对于 σ_t 的均方根误差列入表 1 中。

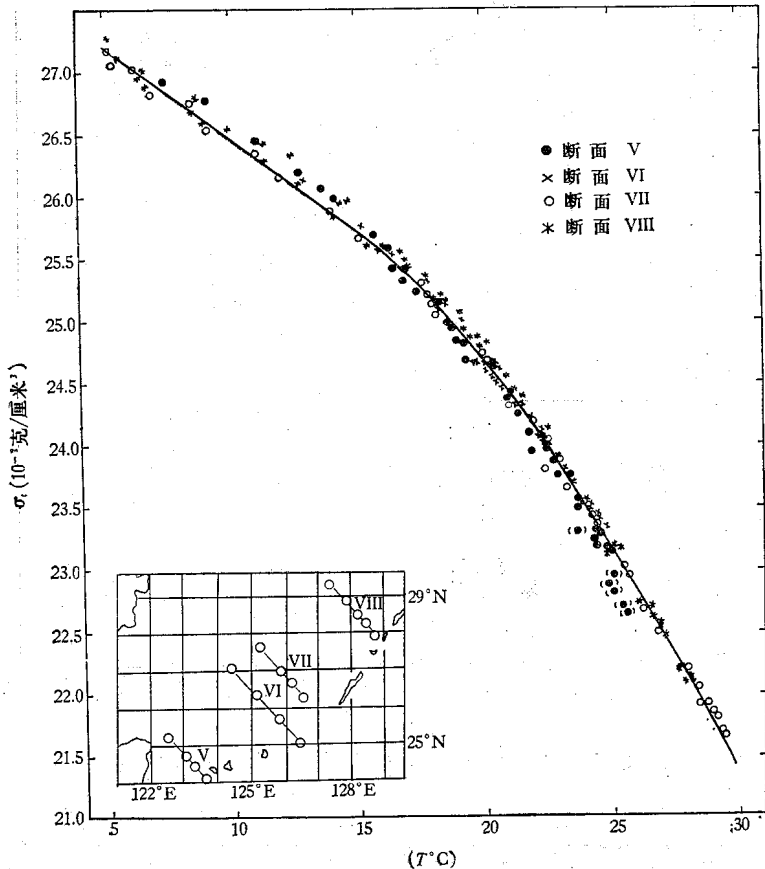


图 3 V—VIII 断面上的 T, σ_t 观测值和关系式(1)曲线

从图 2 中可以明显地看出, 断面 I—IV 上的 T, σ_t 对应点比较集中地分布于关系式(1)曲线的附近, 这四个断面上的 σ'_t 的均方根误差都是 0.06×10^{-3} 克/厘米³。再从图 3 中来看, 断面 V—VIII 上的 T, σ_t 对应点与关系式(1)曲线大部分也比较接近, 但少数点的离散程度较大, 这四个断面上的 σ'_t 均方根误差平均值为 0.09×10^{-3} 克/厘米³。从图中可以看到, 这八个断面覆盖了从巴士海峡到奄美大岛的黑潮路径, 所以, 黑潮水的温度和密度之间的回归关系, 不仅是长年稳定的, 而且在它流经的一个相当大的范围内基本上都是适用的。从表 1 中看出, 在苏澳-与那国岛之间的海脊以南的黑潮流域, 关系式(1)的准确性较大, 而在海脊以北的东海黑潮流域中, 其准确性较差。但在图 3 中, 与关系式(1)曲线离散程度较大的点(用圆括号标出), 多是各断面左端(面向黑潮去向)观测站在 100 米以内的上层水的观测值, 这些点的盐度值小于 34.30‰, 实际上已不具有黑潮水的特征了。位于黑潮主轴附近的观测站上, T, σ_t 的对应点仍然比较集中地分布于关系式(1)曲线附近, 这说明靠近黑潮主轴处, 关系式(1)仍然比较准确。由此看出, 海脊以北关系式(1)准

确性较差的原因,可能是由于黑潮左侧受到来自大陆架上的低盐水的影响。在黑潮主轴左侧的混合水中,关系式(1)不成立。

二、只用温度推算出的地转流

这里所说的只用温度推算地转流,比经典的动力计算方法大为简化。本文计算动力深度的方法是:先用关系式(1)求出海水的条件密度 σ'_t ,再求

$$\Delta'_{\sigma_t} = 0.02736 - \frac{10^{-3} \times \sigma'_t}{1 + 10^{-3} \times \sigma'_t} \quad (2)$$

如不考虑海水的比容压力订正项,则

$$\Delta D' = \int_0^P \Delta'_{\sigma_t} dP \quad (3)$$

式中积分下限“0”表示海面。 $\Delta D'$ 为用本方法计算出的 P 深度处的动力深度(实际上是动力深度的距常值,但习惯上简称为动力深度)。

表2 V_1-V_2 站之间流速 V' 和 V 的比较

水深 (米)	V_1 站 ($121^{\circ}39'E$ $23^{\circ}00'N$)			V_2 站 ($122^{\circ}08'E$ $23^{\circ}00'N$)			V' (厘米/秒)	V (厘米/秒)
	T ($^{\circ}C$)	Δ'_{σ_t} (10^{-3} 厘米 ³ /克)	$\Delta D'$ (动力米)	T ($^{\circ}C$)	Δ'_{σ_t} (10^{-3} 厘米 ³ /克)	$\Delta D'$ (动力米)		
0	29.30	616	1.740	29.20	612	1.963	79	82
10	28.98	604	1.679	29.16	611	1.901	78	83
20	27.93	567	1.621	29.11	609	1.840	78	84
30	27.77	562	1.564	29.00	605	1.780	77	83
50	26.81	529	1.455	26.86	531	1.666	75	82
75	25.69	492	1.328	25.51	487	1.539	75	83
100	21.59	372	1.220	24.60	458	1.421	71	79
150	19.53	320	1.047	22.07	385	1.210	58	66
200	17.59	276	0.898	20.23	337	1.030	47	57
300	12.99	199	0.660	16.05	245	0.739	28	39
400	10.23	161	0.480	12.23	189	0.522	15	23
500	8.31	134	0.333	9.96	157	0.349	6	12
600	6.85	114	0.209	7.59	124	0.208	0	5
700	6.11	104	0.100	5.99	102	0.095	-1	1
800	5.48	95	0.000	5.00	88	0.000	0	0

Yoshida 和 Tsuchiya (1958)^[4] 曾用北太平洋的观测资料证实,相对于 600 分巴面作为零面的动力高度值,考虑与不考虑比容压力订正项,结果仅相差 1 动力厘米左右。所以,由(3)得出的动力深度不会有很大的误差。特别是对于计算地转流所用的两站之间的

动力深度差,更是如此。

为对本方法加以检验,从日本气象厅《海洋气象观测资料》No. 40 上选取台湾东侧 23°N 线上的一个断面资料(由调查船 Chofu Maru 于 1966 年 7 月观测),断面长约 150 海里。取 800 分巴为零面。应用上述方法计算出的各站之间的流速值绘于图 4 上,记该流速值为 V' 。图 5 中绘出了该断面上用经典动力计算方法得到的流速值,记为 V 。图 4 和图 5 的上方标出的流速值(厘米/秒),是断面观测时用电磁海流计(GEK)测得的表面流速在该断面上的正交分量,正值表示北向流,负值表示南向流。表 2 列出了该断面最西端两站之间的流速 V' 的计算过程。这两站相距 26.7 海里。为便于比较,表中还列出了根据经典动力计算方法得出的地转流速 V 。表中两种流速的绝对误差平均值约为 6 厘米/秒。

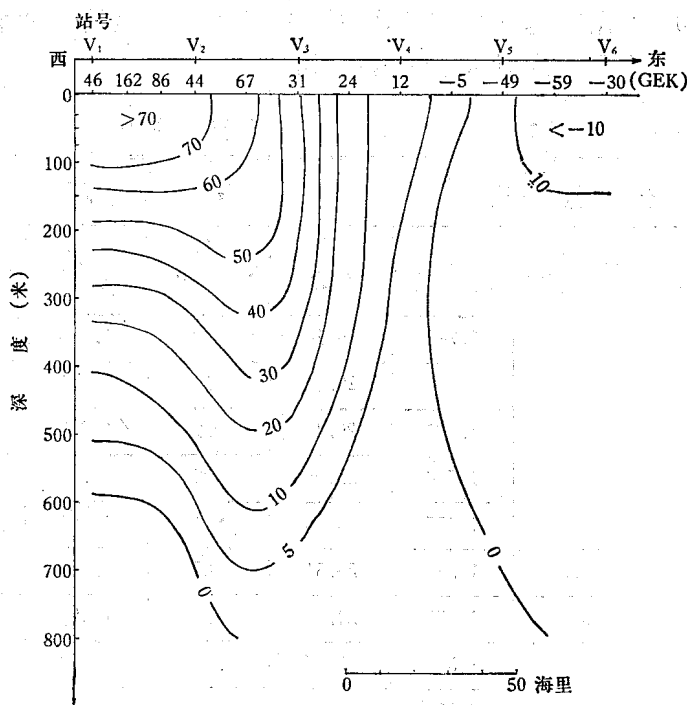


图 4 台湾东侧 23°N 断面的地转流速 V' 分布和同步 GEK 值(厘米/秒)

比较图 4 和图 5 可以看出,两种流速的量级和符号都是一致的。有的(如 V_5-V_6 站)甚至流速值也基本上相等。另外,在该区域相对于 800 分巴用两种方法计算出的表层流,和用 GEK 测得的表面流方向是一致的,而且在黑潮主流区域,两者的量级也大体一致。但应指出,在黑潮东侧的逆流区,流速计算值与实际观测值的误差较大,这是一个值得注意的问题。

以上比较说明,在台湾东侧的黑潮流域中, $T-\sigma_\theta$ 关系颇为稳定,因而在横流方向上,不仅符合地转平衡条件,而且流速分布与该断面上的温度分布也颇相适应。所以,仅用温度分布推算得出的流速与用经典动力计算方法得出的地转流不会有很大的误差。

当然,黑潮区域的这种 $T-\sigma_\theta$ 相关关系在此之后是否成立,仍须用实测资料加以验

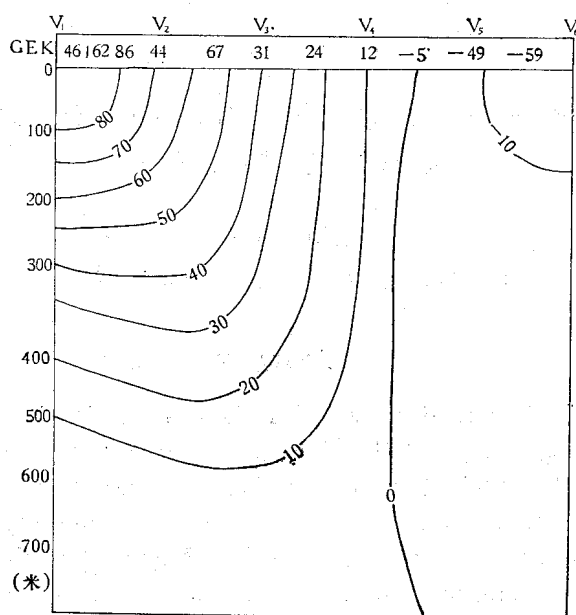


图5 台湾东侧 23°N 断面的地转流速 V 分布和同步 GEK 值(厘米/秒)

证,但如果经长期验证是正确的,则它为海水测温资料提供了一种充分利用的途径。特别当只有温度资料而没有盐度资料、或盐度资料质量较差的情况下,可用温度资料求得近似的密度值,且可仅用温度资料求得具有一定精度的地转流速。

参 考 文 献

- [1] 管秉贤, 1979. 苏澳-与那国岛断面上黑潮流速结构的特征及其季节变化. 海洋科学集刊 18:1—18 页。
- [2] Bryden, H. L., 1974. Geostrophic comparisons using measurements from a moored current and temperature meter. *Nature*, **251**(5474): 409—410.
- [3] Emery, W. J. and R. T. Wert, 1976. Temperature-salinity current in the Pacific and their application to dynamic height computation. *J. Phys. Oceanogr.* **6**(4): 613—617.
- [4] Yoshida, K. and M. Tsuchiya, 1958. Note on the thermocline anomaly. *Geophysical Notes*. **2** (1): 127—129.

T - σ_t RELATION OF THE KUROSHIO TO THE EAST OF TAIWAN*

Liu Juping

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

Applying statistical method to the CSK data, a relation between density (σ_t) and temperature (T) of sea water of the Kuroshio in the region to the east of Taiwan has been found. The data of eight hydrographic section across the Kuroshio in the region to the west of 130°E were chosen and calculated for examining this relation. The value of root-mean-square error of the density obtained by this relation is $0.06 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Through the comparison of the results of the dynamic calculation by this T - σ_t relation with those by classical T - S - σ_t relation, it was shown that the error of the current velocity by this relation is permissible. Therefore, it is possible to calculate the geostrophic current velocity simply from temperature, if only the rough current structure of the Kuroshio in the region is required.

*Contribution No. 672 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.