

- (3) 水産資源及びその開発に関連した海洋及び気象の情報を集めるための体制を組織し、且つこれを維持し、この情報の概要を準備し且つ刊行することを計画する。
- (4) 水産の諸問題に関連した海洋調査技術の特別な問題点の研究を促進し、その研究の結果マニュアルや技術情報を用意するように努める。
- (5) 加盟国の海洋学者、海洋水産の従事者及び水産機関とFAOとの関連を深めることを援助する。FAOの政府間技術会議並びに専門家の会議を計画、組織し、その実施を援助する。これらの会議の結果、必要となつた仕事を計画し推進する。
- (6) 国連技術拡大援助計画、国連の特別基金、飢餓解放運動の計画等に関連ある技術援助計画、並びに専門家、研究者の全般的の状況把握、トレーニングセンターの指導等に関連のあるような技術援助計画に対してFAOの連絡職員としての仕事をする。
- (7) 水産科学及び漁業面の情報や文献を作成する場合生物部門の仕事を援助する。
- (8) その他関連のある専門事項を行う。

アドレス

Dr Kazuhiko Terada
Fisheries Oceanographer
Biology Branch, Fisheries Division
Food And Agriculture Organization
Via Delle Terme Di Caralla
Rome Italy

5 Oceanographic Slide Rule について

Margaret F. Culbertson:

An Oceanographic Slide Rule For Computing Temperature,

Depth, And Salinity: Transactions, American Geophysical Union から使用方法を続取り検討したものです。

上原 進、藤本 実 (東海区水産研究所)

(1) はじめに

この Rule は考案者 Culbertson 氏に因んで Culbertson's Slide Rule として販売されている。Rule は防圧および被圧温度計の読取りに与える更正值、両温度計からの深度算出、さらに水温と電気伝導度からの塩分の算定などを Rule 上で容易に求めようとするものである。いわば海洋観測資料整理用の計算尺といえる。すでに、カナダ (ナナイモ生物研究所の海洋関係者) では研究者の間で広く使われている。

私共は最近、この Rule を購入し、その使用法や精度について実用になるかどうかの点を検討したところ、能率の点では、従来のように温度計ごとに総更正図を作ることもなく深度計算に要する計算の手間も大幅に短縮できることがわかつたので、わが国でもこの Rule が広く使われて、資料整理に費される、ルーチンを少しでも短期間に処理出来ればと考えるので、ここにその概要を紹介して見た。

(2) Rule の概要

Rule の大きさは、直径 $8 \frac{3}{8}$ インチの乳白塩化ビニール製の円板で作られている。一面では防、被両温度計の読取り更正值、および、深度計算を行なう。この面には円板の中心を軸として回転する長短 2 本の arm があり、短い方は単独で動くが、長い方は、これを動かすと短い arm も一緒に動き、2 本の arm のなす角を一定に保たせるように工夫されている。他面は水温と電気伝導度から塩分値を求めるスケールで、

一本の巾広い arm が付属する。

Rule の取扱い方を述べるまえに、使用書による記号 (Rule の記号に同じ) を説明する。

(3) 記 号

C : 防圧温度計の熱膨脹による更正值

V_0 : 水温が零度において、温度計を転倒したときに切断した水銀系の容積を $1\text{ }^\circ\text{C}$ に相当する水銀系の容積を単位として表わした値 (検定書に記載)

T' : 防圧温度計の読み

t : 防被圧両温度計の副温度計の読み

K : 温度計を構成する硝子の材質で決る。水銀の見掛上の熱膨脹係数の逆数 (検定書に記載)

Cu : 被圧温度計の更正值

Tw : 防圧温度計更正済の水温

C' : 被圧温度計の更正值を求める際に Rule 操作の途中で求まる値

D : 深 度

Tu : 被圧温度計の更正済の値

m : 平均密度

Q : 被圧温度計の圧力係数 ($^\circ\text{C}/0.1\text{ Kg}/\text{cm}^2$)

(4) Rule の使用法

i) 防圧型転倒温度計の更正值

Rule 面は才 1 図のように、外側から深度算出用の Depth (meters) $\approx 100(T_u - T_w)$ 、(対数目盛)、次に Q スケール、内側に $T_w - t'$ 、 $T' - t$ (等分目盛) の円周スケールがある。

防圧温度計の更正值は、Sverdrup による理論式

$$C = (V_0 + T') (T' - t) / K - (V_0 + T'') - (T' - t)$$

にもとづいて作られ、 $(V_0 + T)$ と $(T' - t)$ の組合わせにより C を Rule 上で求めようというものである。

いま、 $(T - t)$ スケール上に T' , t いずれか小さい値に短い arm (中心線がある) を合わせ、長い arm を大きい値にセットする。次に長い arm を使つて短い arm を $(T' - t)$ スケールの 0°C 目盛まで、もつていくと、等分目盛なので、長い arm の示す $T' - t$ 上の目盛値が $T' - t$ の値を示す。 $(V_0 + T')$ スケールは長い arm 上に radial 方向に目盛つてある。長い arm は $T' - t$ 上の値を示す位置にあるので、次に、その arm 上で $V_0 + T'$ の位置の直下の円板に縞状に描かれた C のグラフの値を読みとれば、これが求むる更正值 C である。この操作はきわめて容易にできる。得られた C の正負は $(T' - t)$ の正負にて決る。

なお、この Rule は水銀の温度による更正值を与えるのみであるので、総更正值としてはこの C の値に主温度計の器差を加えることはいうまでもない。

Rule 一つで、一切の処理が行なえるよう便利に作られている。

注 意

一般に前述の更生式中の T' , t は器差補正をほどこした値であるが、Rule の使用にあつては能率という点で説明書中には単に読取值としている。

もつとも Rule ということでなく、Sverdrup の転倒温度計の更正理論の報告には、器差が 0.1°C 以内ならば T' でよいとしている。(Scripps Inst. Contri. 1947)

また、Rule は $K = 6100$ によつて構成された値 C である。

$K = 6300$ の場合は得られた値の3%減を使えばよいとしている。

たとえば、 $C = 0.16 \sim 0.47C$ の場合でも $0.01C$ 以内におさまるような値である。

ii) 被圧型転倒温度計の更正值

この更正值は Sverdrup の理論式

$$C_u = (V_0 + T') (T'w - t) / K - (Tw - t)$$

に依る。ここに、 $V_0 + T' = A$, $Tw - t$, $T' - t = B$ とおくと、

$$\text{防圧型では } C = A \cdot B / K - A - B$$

$$\text{被圧型では } C = A \cdot B / K - A \quad \text{となる。}$$

Rule は防圧型の式で構成されているため、被圧の場合は、これを次のような手順で行なう。

まず、 $V_0 + T' = A$, $Tw - t = B$ とおいて、

$C' = A \cdot B / K - A - B$ を Rule 上で防圧型と同じ方法で求める。そこで、新しく

$B - C'$ を一つの変数としてとり入れて、 $C'' = A(B - C') / K - A -$

$(B - C')$ の形を考えてみる。この形で求めた値が、求める C_u とどの程度の誤差があるか。つまり、ほぼ等しい値になれば、防圧型と同じ方法で、被圧更生ができるわけである。これは、次のようにして考える。

$$C'' = A(B - C') / K - A - (B - C')$$

$$= A(B - AB / K - A - B) / K - A - (B - AB / K - A - B)$$

$$= \frac{AB - A^2B / K - A - B}{K - A - B + AB / K - A - B}$$

$$= [AB(K - A - B) - A^2B] / (K - A - B)^2 + AB$$

$$= AB(K - B - 2A) / (K - B - A)^2 + AB$$

$$= [AB / K - B] \frac{(K - B - 2A)}{K - B - 2A + (A^2 + AB) / K - B}$$

$$= C_u \cdot \frac{1}{[1 + (A^2 + AB) / K^2 - 2BK - 2AK + B^2 + 2AB]}$$

右辺の分母が2項はきわめて小さい値となり、たとえば、

$$(V_0 + T^1) = 160^\circ\text{C}, (T_w - t_0) = -30^\circ\text{C} \text{ と置いた場合}$$

$$C'' = C_u [1 + 20800 / 35615300] = 0.78303 (1 / 1.000584)$$

$$= 0.78257 \text{ となり}$$

C_u と C'' の差は 0.0005°C より小さい。だから 0.01°C 程度の値を問題とする吾々の操作には、 C'' を求めることでまず十分というのである。

なお、もし $(V_0 + T^1)$ の値が大きくて、 $V_0 + T^1$ の値がスケール上に求まらない場合は、 C のグラフの巾は Radial 方向にほぼ const であるので、 $1/2 (V_0 + T^1)$ の場合をだして、後で2倍する方法をとればよい。

iii) 被圧型温度計からの深度決定

Q : $^\circ\text{C}/0.1\text{Kg}/\text{cm}^2$ を単位にとると、

防被両温度計を使つての深度算出式は、

$$D = (T_u - T_w) / \rho_m Q \text{ である。}$$

Rule は ρ_m, Q が const として構成されており、 m の値は 1000m 層における平均密度、 1.0294 を用いている。この値は Wüst に依る北大西洋の平均値である。

深度決定には、 Q スケールと外側の対数スケール $\text{Depth} \approx 100 (T_u - T_w)$ を使う。

Rule の使用法は、まず短い arm を使い、被圧温度計の圧力係数の値を Q スケール上に合わせると、外側スケール ($\text{Depth} \approx 100 (T_u - T_w)$) 上に $\frac{1}{\rho_m Q} = \frac{1}{1.0294 Q}$ の値が簡単に求まる。

この場合、長い arm は外側スケールの目盛1にセットしておく。このスケールは対数スケールであるので $t_u - t_w \times \frac{1}{mQ}$ の値は、長い

arm を $t_u - t_w$ に合わせることにより、短い arm の示す外側スケール上に D が求まる。 D の算出は、従来の方法から比べると、はるかに便利である。

しかし、ここでは、 ρ_m に 1.0294 の値を用いて Rule が作られているが、実際は深さで m が異なる。 D を m を所定層の平均密度の時の深さ、 D' を Rule の値とすると、

$$T_u - T_w = \int_m Q D = 1.0294 Q D'$$

$$D = (1.0294 / \rho_m) D'$$

$$D - D' = \left(\frac{1.0294}{\rho_m} - 1 \right) D'$$

となり、理論式との差は上記関係で示される。従つて、1000m 以浅では Rule の値より若干大きいし、1000m 以深では、マイナスの補正で値を加えるべきである。前者の場合は、200~800m で僅か 1m 程度であるが、後者の場合に対応するように、外側スケールに深さに応じた補正值を書き込んである。

参考までに黒潮、親潮の平均密度を表に示してみると、次の通りである。(海洋観測指針 P. 49)

深さ (m)	0-250	0-500	0-1000	0-2000	0-3000
黒潮	1.025	1.026	1.028	1.030	1.032
太平洋親潮	1.025	1.027	1.029	1.031	1.033

たとえば、黒潮域での 1000, 2000m における観測資料の場合には、

$$D - D' = (1.0294 / 1.038 - 1) D' \quad (1000m)$$

$$= (1.001 - 1) D' = 0.001 \times D'$$

$$D - D' = (1.0294 / 1.030 - 1) D' \quad (2000m)$$

$$= (0.999 - 1) D' = -0.001 \times D'$$

となり前者はほぼ +1m、後者は -2m 程度の誤差のあることがわ

かる。そのために Rule をそのまま使う場合、Rule 上に記入してある補正值は各海域で若干修正して使つた方がよいであろう。

また、100m 以浅の場合には繰り出したワイヤーの長さ l にワイヤー傾角の余弦を乗じて求めることもできる。外側スケール $Depth \approx 100$ ($T_u - T_w$) の目盛上に余弦角が目盛つてある。

iv) 電気伝導度と水温を知つて塩分を求めること、

これを取り扱うのは Rule の今一つの面で、Thomas Thompson と Utterback の研究 (海洋観測常用表 P.90) に基づいて構成されている。

用いるスケールは円板に刻まれた $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$: (夫々の温度線の上に電気伝導度が目盛つてある) の三つの温度線 (以下かんたんに A 線とよぶ) と巾広い arm 上に刻まれた温度線 (B 線とよぶ) および塩分を目盛つた円周スケールである。

A 線上の電気伝導度は、塩分スケールとの対応で目盛つてある。arm 上の各線 (B 線) は、 0° を中心に左に -4° まで 4 線、右に 10° まで 10 線がある。

電気伝導度測定時の水温が A 線の温度、たとえば 10° ($0^\circ, 20^\circ$) の場合には arm 上の 0° 線を 10° ($0^\circ, 20^\circ$) 線の上に目盛つてある電気伝導度の必要値に合わせ、塩分スケールを読めば塩分値が求まる。

arm 上の各線 (B 線) は $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ の間の温度および $20^\circ < 0^\circ$ の場合に適用される。

たとえば、 14° で 0.030 の電気伝導度をもつ場合には arm 上の 4° 線を 10° 線の 0.030 に合わせ、arm 上の直線 0° 上の塩分スケール上に値が求まる。つまり、Rule は、arm 上の 4° と 10° A 線の交わる 0.030 Mho の点から arm 上の 0° までの距離を丁度 10°

14℃ の塩分差を示す点に置かれるようにしてある。この方法で 10℃ A 線のみを使つて、6° ~ 20℃ までの水温範囲に適用でき、A 線 (0°, 10°, 20℃) を用い、同じ手順により -2° ~ -30℃ までの水温をもつ電気伝導度からの塩分値算出が可能であり、電気伝導度は 0.014 ~ 0.050 の範囲で読みとれる。

(5) 精度

最後に Rule と計算値 (理論値) をある温度計について比較検討した結果を参考までに示してみると、次の通りである。その精度はまず問題ないと言える。

被圧温度計 No. 7464, $K=6300$, $v_0=134^\circ\text{C}$

$T_w - t$		T'	0	5	10	15	20
$T_w - t = 10$	Rule	0.02	0.10	0.11	0.09	0.07	
	計算値	0.01	0.09	0.10	0.09	0.07	
	差	+0.01	+0.01	+0.01	0.00	0.00	
$T_w - t = 5$	Rule	-0.09	-0.02	-0.01	-0.03	-0.04	
	計算値	-0.09	-0.02	-0.02	-0.03	-0.05	
	差	0.00	0.00	+0.01	0.00	+0.01	
$T_w - t = 0$	Rule	-0.20	-0.13	-0.13	-0.15	-0.17	
	計算値	-0.20	-0.13	-0.13	-0.15	-0.17	
	差	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
$T_w - t = -5$	Rule	-0.31	-0.26	-0.25	-0.27	-0.30	
	計算値	-0.31	-0.24	-0.24	-0.27	-0.29	
	差	0.00	0.02	-0.01	0.00	-0.01	
$T_w - t = -10$	Rule	-0.43	-0.37	-0.38	-0.41	-0.42	
	計算値	-0.41	-0.35	-0.39	-0.39	-0.41	
	差	-0.02	-0.02	+0.01	-0.02	-0.01	

計算値は日高公式

防圧温度計 No. 6743, K=6300, $v_0 = 119^\circ\text{C}$

T'		0	5	10	15	20	25
$T' + I$		-0.06	4.94	9.93	14.95	19.90	24.88
$t=0$ $t+i=0.2$	Rule	-0.06	0.04	0.15	0.29	0.36	0.48
	計算値	-0.06	0.04	0.14	0.28	0.35	0.47
	差	-0.00	0.00	+0.01	+0.01	+0.01	+0.01
$t=5$ $t+i=4.8$	Rule	-0.16	-0.06	0.04	0.17	0.25	0.36
	計算値	-0.15	-0.06	0.04	0.17	0.24	0.35
	差	-0.01	0.00	0.00	0.00	+0.01	+0.01
$t=10$ $t+i=9.8$	Rule	-0.26	-0.16	-0.07	0.06	0.13	0.24
	計算値	-0.25	-0.16	-0.07	0.06	0.13	0.24
	差	-0.01	0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00
$t=15$ $t+i=14.7$	Rule	-0.36	-0.27	-0.18	-0.05	0.02	0.12
	計算値	-0.34	-0.26	-0.17	-0.04	0.02	0.12
	差	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00
$t=20$ $t+i=19.7$	Rule	-0.46	-0.37	-0.29	-0.16	-0.10	0.00
	計算値	-0.44	-0.36	-0.27	-0.15	-0.10	0.01
	差	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	-0.00	-0.01
$t=25$ $t+i=24.7$	Rule	-0.55	-0.47	-0.39	-0.27	-0.22	-0.12
	計算値	-0.53	-0.46	-0.38	-0.26	-0.21	-0.12
	差	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00

計算値は日高公式

I は主温度計の器差

更正値計算にあつては

$T' + I$ を使用し、Rule では

読取値 T' のまま使用した。

(6) 文 献

- i) H.U. Sverdrup: Note on the Correction of Reversing Thermometers. Scripps Inst. Oceanography Contr. 1947
- ii) 日高孝次: 転倒式深度寒暖計示度の更正に関する新公式について
海洋気象台彙報 才61号(昭和8年)

参 考

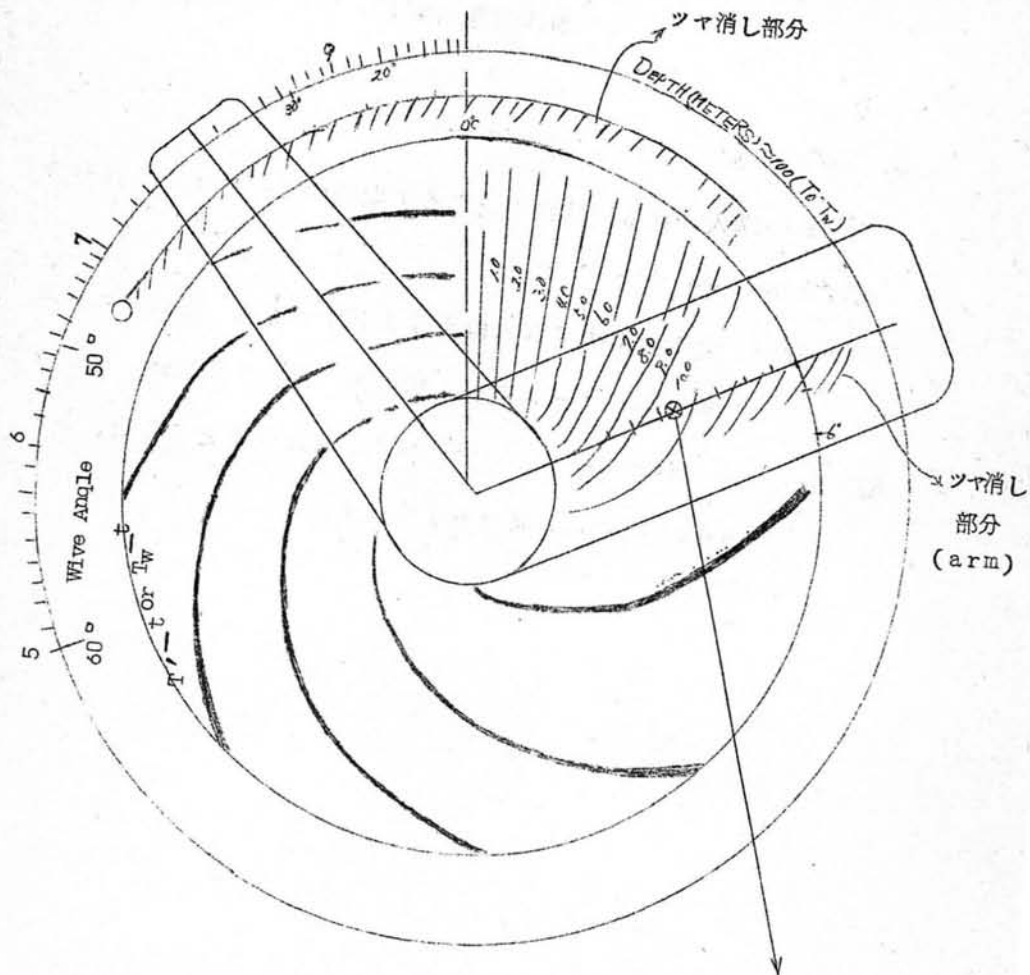
Rule を購入されるには次のところで取扱つていますので御参考までにお知らせします。

代理店 東京都中央区日本橋通り2丁目2番地 加藤ビル4階

株式会社エース商会 機械部 電話千代田(四) 7460、8977

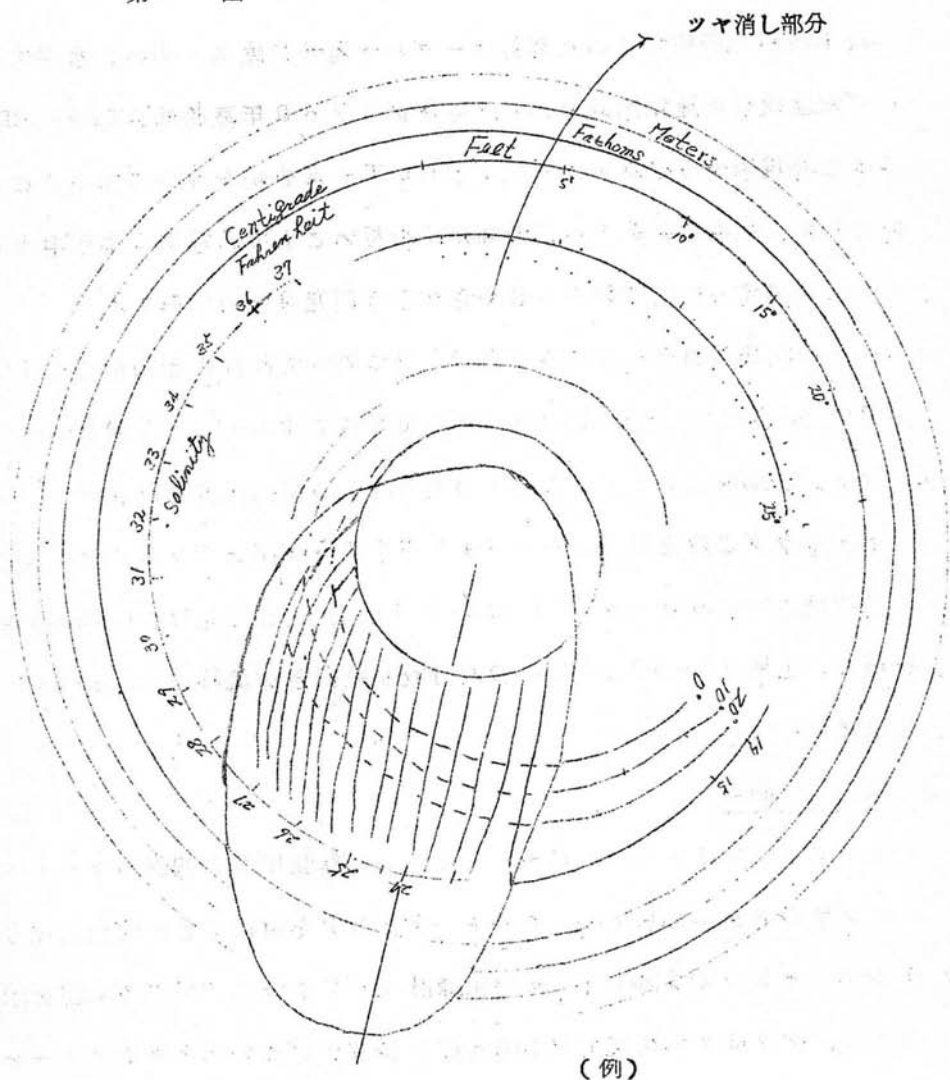
価 格 1ヶ25,000円ぐらいですが10ヶ程度まとまると、1ヶ15,000円ぐらいになるようです。

第 1 図



(例) $T' - t = 5.2^{\circ}\text{C}$
 $V_0 + T' = 15^{\circ}\text{C}$
 $C = 0.11$

第 2 図



20° 0.034Mh. 24.00‰(Salinity)