

垂直速度の簡便算出法*

佐々木 良 一**

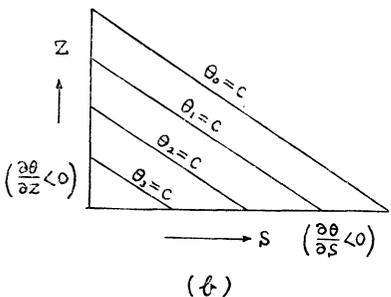
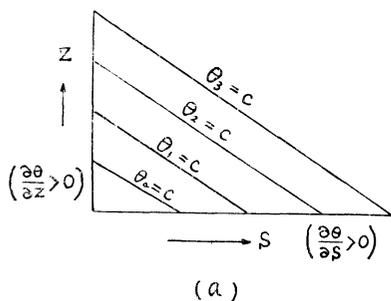
1. 緒言

気圧系を追跡する代りに等温線型とくに寒冷谷を追跡して天気予報に利用する方法は経験的にはかなり古くからわかっていたらしいが、最近では倉島の方法(1956~1957)がある。このような総観的手法の効果はコールド・ドームと垂直流の間に密接な関係が裏づけされているからである。

ここでは認容しうるほどの仮定を2, 3おいてこれらの関係を数量的につかみ、天気図解析から直接垂直速度を求める手順および算出表を示す。

2. 等温位面の勾配

第1図において等温位面の勾配の方向をSとすると、



第1図(a-b) 等温位面の勾配

* A Simplified Method the Computation of Vertical Velocity.

** Ryoichi, Sasaki 気象庁予報課
—1962年9月1日受理—

a) 大気が安定の場合 $(\frac{\partial \theta}{\partial Z} > 0)$ …… (第1 a 図)

等温位面の勾配 $-(\frac{\partial Z}{\partial S})_{\theta}$ は

$$-(\frac{\partial Z}{\partial S})_{\theta} = \frac{\partial \theta}{\partial S} / \frac{\partial \theta}{\partial Z} \dots\dots\dots(1)$$

b) 大気が不安定の場合 $(\frac{\partial \theta}{\partial Z} < 0)$ …… (第1 b 図)

$$-(\frac{\partial Z}{\partial S})_{\theta} = -\frac{\partial \theta}{\partial S} / -\frac{\partial \theta}{\partial Z} = \frac{\partial \theta}{\partial S} / \frac{\partial \theta}{\partial Z} \dots\dots\dots(2)$$

(1), (2)より

$$-(\frac{\partial Z}{\partial S})_{\theta} = \frac{\partial \theta}{\partial S} / \frac{\partial \theta}{\partial Z} \dots\dots\dots(3)$$

ただし、大気が安定の時は等温位面の勾配の方向は温位の水平勾配の方向に対して反対の向きをとり、不安定の場合は同じ向きをとる。

一般に等ゼオポテンシャル面と等圧面の交角は前者と等温位面の交角にくらべて小さいから、基準面として等圧面をとると、

$$\frac{\partial \theta}{\partial S} \approx (\frac{\partial \theta}{\partial S})_p = (\frac{1000}{p}) C_p (\frac{\partial T}{\partial S})_p \dots\dots\dots(4)$$

(3), (4)より

$$-(\frac{\partial Z}{\partial S})_{\theta} \approx (\frac{1000}{P}) C_p (\frac{\partial T}{\partial S})_p / \frac{\partial \theta}{\partial Z} \dots\dots\dots(5)$$

垂直速度を計算する範囲は一般に $p=1000\sim 500\text{mb}$ の間であるから、

$$(\frac{1000}{p}) C_p \approx 1$$

$$\text{故に } -(\frac{\partial Z}{\partial S})_{\theta} \approx (\frac{\partial T}{\partial S})_p / \frac{\partial \theta}{\partial Z} \dots\dots\dots(6)$$

3. 垂直速度

断熱変化を仮定すると、

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + C \frac{\partial \theta}{\partial S} + W \frac{\partial \theta}{\partial Z} = 0 \dots\dots\dots(7)$$

ここに $C = u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y}$

等圧面上における温位の局所変化は主として温位系の

水平移動によって生ずると仮定すると*

$$\left(\frac{\partial\theta}{\partial t}\right)_p = -C_\theta \left(\frac{\partial\theta}{\partial S}\right)_p$$

等圧面の傾斜による偏倚は小さいと仮定しているから、

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = -C_\theta \frac{\partial\theta}{\partial S} \dots\dots\dots(8)$$

ここに C_θ は等圧面における温度系の水平移動速度 (7), (8)より

$$\begin{aligned} W &= -(C-C_\theta) \frac{\partial\theta}{\partial S} / \frac{\partial\theta}{\partial Z} \\ &= -C_r \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_p / \gamma_d - \gamma \dots\dots\dots(9) \end{aligned}$$

ここに

C_r : 移動する温度系に相対的な風速の水平成分

$-\left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_p$: 等圧面上における気温の水平勾配

γ_d : 乾燥断熱減率

γ : 気温減率

4. 垂直速度の計算法

a) $\gamma_d - \gamma > 0$

いわゆる静的に安定な場合に相当する。とくに地表面付近をさけ成層を適当に深くとれば、ほとんどの場合がこの状態にあるといえるだろう。この場合は(9)式によると、等温位面の勾配の方向と等圧面上における水平温度勾配の方向とは相反するから、相対風 (C_r) が寒域に向う時は上昇流を、暖域に向う時は下降流を表わし、相対風と等温線が平行する時は垂直流は存在しない。つまり、シノプティックには等温線に対するクロス・カレントが重要な意義を有する。次に計算例を示すと、第2図において

C (実測風) = S, 30m/s

C_θ = 東へ 10m/s

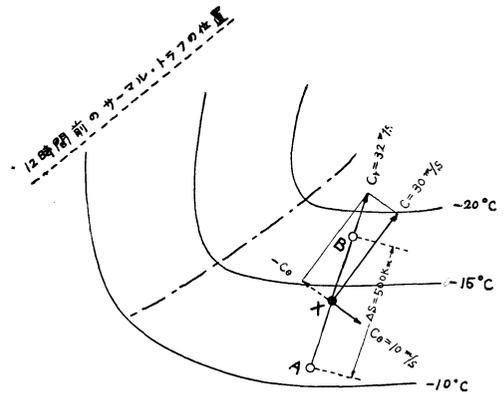
C_r = 北北西へ 32m/s

垂直速度を求めようとする場所X点をはきんで、 C_r の方向に図の如く $AB = AS = 500\text{km}$ をとり、

$$-\Delta T = -(T_B - T_A) = 7^\circ\text{C}$$

を続みると、 γ については、X点付近のゾンデ観測値からほぼ 850-500mb の平均として $0.6^\circ\text{C}/100\text{m}$ を得たとすれば、 $\gamma_d - \gamma = 0.4^\circ\text{C}/100\text{m}$ をうる。これらの数値から付表によって

* 実際に等圧面上で等温線を追跡すると、広域スケールではこの仮定は許されそうである。(本庁週間予報資料のうち短波追跡法の一つとして寒気追跡法または構成図法があり、ルーチン業務として藤井幸雄予報官が担当している)



第2図 X点付近の気温分布 (Wの計算基礎)

$$|W| = 12\text{cm/s}$$

この場合は大気は安定で、相対風は寒冷谷に向っているから $W > 0$ すなわち

$$W = +12\text{cm/s (上昇流)}$$

b) $\gamma_d - \gamma = 0$

この場合はいわゆる成層が中立の時で垂直速度は定まらない。

c) $\gamma_d - \gamma < 0$

この場合はいわゆる静的安定度が絶対不安定に相当するケースである。一般に地面付近のごく限られた層を除いては現われたい状態である。したがってかなりの厚みについて平均するとき $\gamma_d - \gamma < 0$ となることはきわめてまれであろう。

第2図に示されたモデルの具現性に関する論議はさておいて、垂直速度算出のために必要な要素を再びここで使用すると、この場合は大気が不安定であるから例(a)の結果は符号が逆になる。すなわち、

$$W = -12\text{cm/s (下降流)}$$

5. 結 語

この方法は H.A.Panofsky(1947) および有住(1950)の方法を現業にむくように簡単化したものである。計算途中で導入した2つの仮定、すなわち— i) 等圧面と等ゼオポテンシヤル面との交角が小さい、 ii) 等圧面上における気温の局所変化はそのパターンの水平移動によってのみ生ずる—は実際面でかなり許容される場合が多いと思われるが、そのことによって生ずる誤差および影響については多くのケースについて調べてみなければならぬ。

$$W = -C_r \cdot \left(\frac{\Delta T}{\Delta S} \right)_p / \gamma_a - \gamma \text{ の算出表}$$

(cm/sec)

$\gamma_a - \gamma$ °C/100m	0.5						0.4						0.3					
	ΔT (°C)																	
C_r (m/s)	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
10	2	4	6	8	10	12	3	5	8	10	13	15	3	7	10	13	17	20
15	3	6	9	12	15	18	4	8	11	15	19	23	5	10	15	20	25	30
20	4	8	12	16	20	24	5	10	15	20	25	30	7	13	20	27	33	40
25	5	10	15	20	25	30	6	13	19	25	31	38	8	17	25	33	42	50
30	6	12	18	24	30	36	8	15	23	30	38	45	10	20	30	40	50	60
35	7	14	21	28	35	42	9	18	26	35	44	53	12	24	35	47	59	70
40	8	16	24	32	40	48	10	20	30	40	50	60	13	27	40	53	67	80
45	9	18	27	36	45	54	11	23	34	45	56	68	15	30	45	60	75	90
50	10	20	30	40	50	60	13	25	38	50	63	75	17	34	50	67	84	100
60	12	24	36	48	60	72	15	30	45	60	75	90	20	40	60	80	100	120
70	14	28	42	56	70	84	18	35	53	70	88	105	23	47	70	93	117	140
80	16	32	48	64	80	96	20	40	60	80	100	120	26	54	80	106	134	160
90	18	36	54	72	90	108	23	45	68	90	113	135	30	60	90	120	150	180
100	20	40	60	80	100	120	25	50	75	100	125	150	33	67	100	133	167	200
120	24	48	72	96	120	144	30	60	90	120	150	180	40	80	120	160	200	240
140	28	56	84	112	140	168	35	70	105	140	175	210	46	94	140	186	234	280
160	32	64	96	128	160	192	40	80	120	160	200	240	53	107	160	213	267	320
180	36	72	108	144	180	216	45	90	135	180	225	270	59	121	180	239	301	360
200	40	80	120	160	200	240	50	100	150	200	250	300	66	134	200	266	334	400

- (注) 1. 小数点以下の数値はすべて四捨五入。
 2. ΔS は相対風速 C_r の方向に 5×10^5 m とする。
 3. ΔT は ΔS 上の温度差。

おわりに、この論文作成に当って有効なご批判とご討論をいただいた仁科予報課長および毛利・有住の両先輩に厚く感謝します。

参考文献

- | | |
|---|---|
| <p>1) 倉島厚(1956): 広域天気型の研究 (第1報) 研究時報, 8, 438~442.</p> <p>2) 倉島厚(1957): 広域天気型の研究 (第2報) 研究時報, 9, 322~334.</p> | <p>3) 倉島厚(1957): 広域天気型の研究 (第3報) 研究時報, 9, 853~859.</p> <p>4) Panofsky, H.A. (1947): Method of Computing Vertical Motion in the Atmosphere. J. Met. 3, 45~49.</p> <p>5) 有住直介(1947): 垂直気流の図式計算法とそれによる低気圧進路の予報について, 研究時報, 1, 71~79.</p> |
|---|---|

日米科学合同委員会

(地球物理部門)の説明会について

春の日本気象学会総会で討論された日米科学合同委員会の、その後のくわしい経過を聞くために、次の様な説明会を行ないます。会員は振ってご参加下さい。

- | | |
|-------|----------------------------|
| 1. 日時 | 11月29日(木) 14時45分 |
| 2. 場所 | 気象大学校 東京教室 |
| 3. 講師 | 東京大学教授 坪井忠二
気象庁 長官 和達清夫 |