

ソヴェトの夜間最低気温予想法

—(A. S. ズヴェレフより)—

當 舎 万 壽 夫

は し が き

ソヴェトで行われている最低気温予想法については増山元三郎氏が紹介されている〔1〕,〔2〕。これには、ソヴェトで行われている種々の実験式が述べられていて、農業気象的にみて重要な目安になるものと考えられる。本文には、近着のソヴェト雑誌でA・S・ズヴェレフ(Zverev)〔3〕のものを入手したのでこの中に引用されているゲ・ゲ・オ〔4〕のノモグラムによる予想法とズヴェレフ自身が作ってレニングラード水理気象研究所で実験しているノモグラムをのべよう。我が国で用いる場合には条件が異なるのでそのまま使えるかどうかは疑問であるが、統計的補正量を作っておけば可成り有効なものと思われる。ソヴェトは広範囲な地域であるのでこれからのべるノモグラムにその土地によって補正項を加減して用いている。

1. ゲ・ゲ・オの方法

これはM・E・ベルリヤンド(Berliand)のものにD・L・ライホトマン(Laikhtman)が手を加えたものらし

い。Δθ は観測時の地面温度から最低地面温度までの降下量、ΔT は百葉箱(高さ2m)内の観測時から最低気温までの降下量であって、これらは

$$\Delta\theta = AB - CD \tag{1}$$

$$\Delta T = K\Delta\theta \tag{2}$$

で表わされる。ここでA、C、Kなる値は第1表、第2表から求められる。Dは地面から地中への温度差に相当するもので、θ₀、θ₁、θ₂を夫々観測時の地表温度、深さz₁、z₂の地中温度とすると

$$D = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} - \theta_0 \tag{3}$$

で表わされる。z₁、z₂は最低温度の現われる夜間の予報時間に関係するもので、ソヴェトでは普通6〜8時間先の最低温度を予想するのに、z₁=5cm、z₂=20cmにとっている。

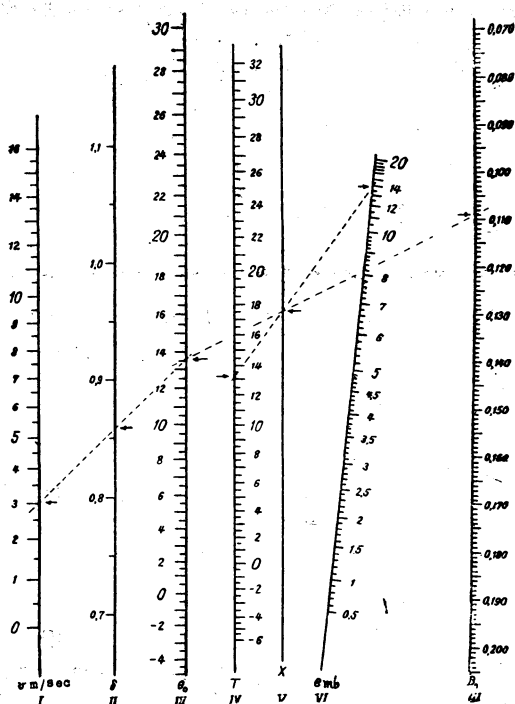
観測時の気温をTとする。T>θ₀ならば、(2)にT-θ₀を加えねばならない。即ち

$$\Delta T = K\Delta\theta + (T - \theta_0) \tag{4}$$

(1)のBは夜間輻射に関係する項で、雲のない夜間の有

第1表 地中(z₁とz₂)及びA、Cの係数値
(A—上の行、C—下の行)

予報期間(時)	s	土										壤										予報期間(時)			
		乾					燥					僅か湿っている					よく湿っている						完全にぬれている		
		0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	0.7	0.9	1.1						
4	{ 3.5 15	85	78	73	68	64	67	64	60	57	55	53	50	48	46	44	40	37	34	4					
5	{ 5 15	91	82	77	72	68	71	68	63	60	57	56	54	52	49	47	43	40	38	5					
6	{ 5 20	93	85	79	74	69	76	71	67	63	60	60	57	54	52	50	46	42	39	6					
7	{ 5 20	96	88	81	75	70	78	71	69	64	61	63	60	56	54	51	47	44	42	7					
8	{ 5 20	98	90	83	76	72	81	76	71	88	62	64	61	59	56	53	50	46	44	8					
9	{ 7.5 70	100	91	84	77	72	84	78	73	68	64	68	64	61	57	55	51	48	44	9					
10	{ 7.5 25	101	93	85	78	73	86	80	74	70	66	70	66	62	59	56	54	50	45	10					
12	{ 7.5 25	104	95	87	80	74	89	83	77	72	68	74	69	64	61	58	57	52	48	12					
14	{ 7.5 30	107	97	88	82	76	92	85	78	73	68	76	71	67	64	60	54	50	46	14					
16	{ 10 30	108	99	90	83	77	95	88	81	74	70	79	72	70	65	62	63	57	52	16					



第1図 ゲ・ゲ・オのノモグラム

効放射を B_0 とすると

$$B = B_0(1 - m), \tag{5}$$

$$m = (K_{LN}n_L + K_M n_M + K_H n_H)n \tag{6}$$

$$n = n_L + n_M + n_H$$

$$K_L = 0.80, \quad K_M = 0.65, \quad K_H = 0.25$$

n_L, n_M, n_H は夫々下層雲, 中層雲, 上層雲の雲量を表わす。 n は全雲量で, 雲量は全天曇りを1としてとる。基本式(1), (2)の係数を求めるのに, ゲ・ゲ・オのグラフ表が使われる。第1図は, ゲ・ゲ・オのノモグラムである。このノモグラムを使うのに先ず次のような観測を行わなくてはならない。観測者は明朝の最低気温を予想するために, 観測時刻を日没後にとる。しかして野帳に i) 気温(百葉箱内の温度計読み) T 。ii) 地面温度 θ_0 。iii) 所定の深さの地中温度 θ_1, θ_2 。iv) 風速 v 。v) 雲量, 雲形 vi) 土の状態(乾燥地か湿地かを記す)。計算によって水蒸気張力 e (mb) と露点 τ が求められるように

第2表 係数 K の値

v m/sec	予 報 期 間 (時)				
	4	5-6	7-9	10-13	14-16
0	0.66	0.70	0.74	0.78	0.80
1	0.74	0.78	0.81	0.84	0.86
2	0.78	0.81	0.84	0.87	0.88
3-4	0.82	0.84	0.87	0.89	0.90
5-9	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92
10-14	0.90	0.90	0.92	0.93	0.94

付加観測をしておく。

第1図の風速スケール (m/sec) と地面温度スケールより δ を求め, 第1表を用いて予想時間と土の性質を加えて A と C の値を知る。(3)より D を求め, 更に, 又第1図より気温, 水蒸気張力を結び, 別なスケールに VX の点を求め, この点と地面温度から B_0 の値を知る。(5), (6)を用いて B の値が求まり, (1)から $\Delta\theta$ が決まる。風速と予想時間によって第2表から K が求まり, (2)から ΔT を知る。最低気温を M , 最低地面温度を M_0 とすると

$$M = T - \Delta T \tag{7}$$

$$M_0 = \theta_0 - \Delta\theta. \tag{8}$$

$T > \theta_0$ では, (4)より

$$M = \theta_0 - K\Delta\theta. \tag{9}$$

$M < \tau$ ならば潜熱の放出があるから, 補正項として

$$\delta T = \frac{\tau - M}{1 + \frac{10}{e}} \tag{10}$$

を(7)に加えねばならない。但し e は mb で表わす。すると

$$M = T - \Delta T + \delta T \tag{11}$$

2. ゲ・ゲ・オの方法の使用例。

例として次の観測が得られた場合の翌日の最低気温等の予想値を求めること。

8月7日, 20時の観測。 $T = 13.2^\circ\text{C}$, $e = 13.9$ mb,

$v = 3$ m/sec, $\tau = 11.9^\circ\text{C}$, $\theta_0 = 13.7^\circ\text{C}$, $z_1 = 5$ cm,

$\theta_1 = 15.3^\circ\text{C}$, $z_2 = 20$ cm, $\theta_2 = 15.9^\circ\text{C}$, $n = 9$, $n_L = 2$

(積雲), $n_H = 7$ (巻雲)。夜間時間 = 8時間, 土の性質 = 乾燥地

予想法は第1図の点線に従って, 先ず I, III から II の δ を求め, $\delta = 0.85$ をうる。第1表の $z_1 = 5$ cm, $z_2 = 20$ cm, 乾燥地, 予想時間 = 8時間より, $A = 86$, $C = 0.27$ をうる。(3)より $D = \frac{15.3 + 15.9}{2} - 13.7 = 1.9$ 。又, 第

1図を用いて, 点線に従って $B_0 = 0.109$ をうる。(6)より, $m = 0.8 \times 0.2 + 0.25 \times 0.7 \times 0.9 = 0.3$,

$$B = B_0(1 - m) = 0.109 \times 0.7 = 0.076, \quad (1) \text{式から,}$$

$$\Delta\theta = 86 \times 0.076 - 0.27 \times 1.9 = 6.0 \text{ (}^\circ\text{C)}, \quad \text{第2表から } K = 0.87, \text{ 故に } \Delta T = 0.87 \times 6.0 = 5.2 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$T < \theta_0$ であるから(4)は必要ない。露を分離する補正は(10)より約 2°C だから, $\delta T = 2^\circ\text{C}$ で

$$M = T - \Delta T + \delta T = 13.2 - 5.2 + 2.0 = 10.0^\circ\text{C}$$

以上が図表を用いた数量的予想であるが, $v = 3$ m/sec で上層雲の存在は露を生じ難いと考えられるので, δT の補正量を加えないで(農業気象的には安全度も見込んで)

$$M_0 = 13.7 - 6.0 = 7.7^\circ\text{C}$$

$$M = 13.2 - 5.2 = 8.0^\circ\text{C}$$

と決める。予報値 M_0 と M の観測値からの偏差の系統的な表を作っておけば, 更に予想精度を高めるのに役立つものと思われる。 z_1, z_2 が第1表の中のない深さであ

れば、表より内挿法で求めればよい。

3. スヴェレフの実験式

これはズヴェレフが後にノモグラムを作る基礎となった実験式であって、チャリコフの実験式〔1〕、ミハレフスキーの実験式〔2〕には風速を考慮していないのでズヴェレフはこれを考えに入れた。晴れた静穏の夜では、観測時から最低気温までの降水量 ΔT_0 は

$$\Delta T_0 = a(T - \tau) + b. \tag{12}$$

故に

$$M = T - \Delta T_0 = T - [a(T - \tau) + b] \tag{13}$$

a, b は常数で、ソヴェトでは $a = \frac{1}{2}$ となっている所が多い。故に

$$M = \frac{1}{2}(T + \tau) - b \tag{14}$$

b は観測時刻で変化する常数で、13時の観測では $b \approx 6$ 、19時の観測では $b \approx 4$ 、冬の -15°C 以下の温度で乾燥雪が積っておれば、13時で $b \approx 8$ 、19時で $b \approx 6$ 、夜に風が吹くと考えられる場合には(12)の ΔT_0 に次の実験補正 c を乗数として用いる。

$$c = e^{-a'v} + b'v \tag{15}$$

ここで、 e は自然対数の底 $= 2.718$ 、 v は夜に期待せられる平均風速 (m/sec) である。故に、風のある場合の気温降下 ΔT は

$$\Delta T = c\Delta T_0 = [a(T - \tau) + b]c. \tag{16}$$

雲のある場合は、ゲ・ゲ・オの方法(6)と同じような方法を用いる。

4. スヴェレフの計算図表

1943年にズヴェレフは輻射霧の発生時刻予想にグラフ

を作った。これには I. G. ルテルシュタイン (Liuter-shtein) と A. F. チュドノフスキー (Chudnovskij) の実験式を用いた。後に B. V. キリュヒン (Khriukhin) がルテルシュタインとチュドノフスキー及びズヴェレフのを根拠としてゲ・ゲ・オのスケールを作った。ズヴェレフは上述のものを更に簡単にして、レニングラード水理気象研究所 (水理気象業務技術者を養成している所と思われる) で点検されている。

a) 輻射冷却の局地的予想

13時又は19時の観測で、気温、湿度を知れば、第2図、第3図で最低気温になるまでの温度降下量 ΔT_0 を求められる。これは土地によって偏差をもつので、 ΔT_0 と実際の降下量 ΔT_r とを予め調べておく必要がある。

即ち

$$\delta T = \Delta T_r - \Delta T_0.$$

又は

$$K = \frac{\Delta T_r}{\Delta T_0}$$

なる補正を作っておけば、計算上の補正 ΔT は

$$\Delta T = \Delta T_0 + \delta T \tag{17 a}$$

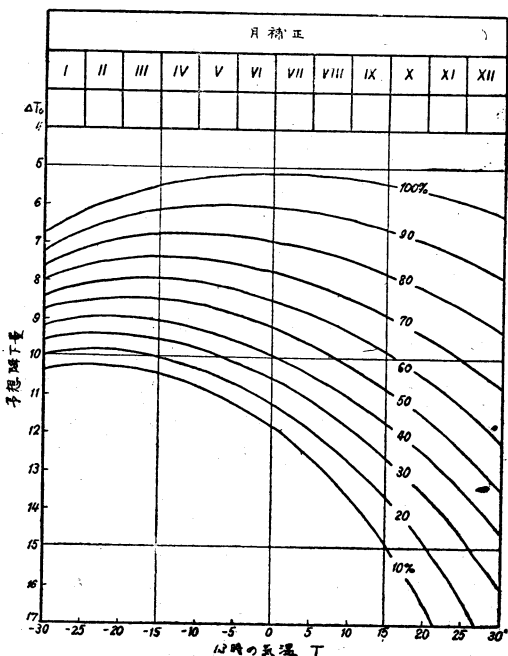
又は

$$\Delta T = K\Delta T_0. \tag{17 b}$$

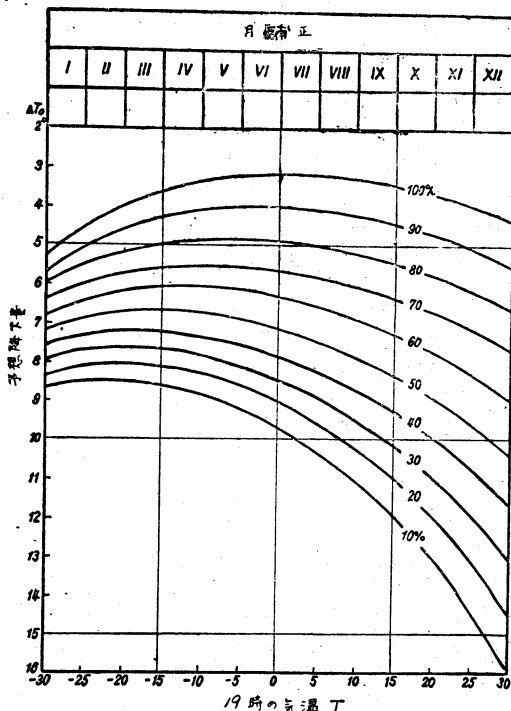
として、第2図又は第3図のグラフが使用できる。第2図又は第3図のグラフは次の実験式から作られている。

即ち(12)で $a = \frac{1}{2}$ 、 $b \approx 4$ (19時)、 $b \approx 6$ (13時) であるから

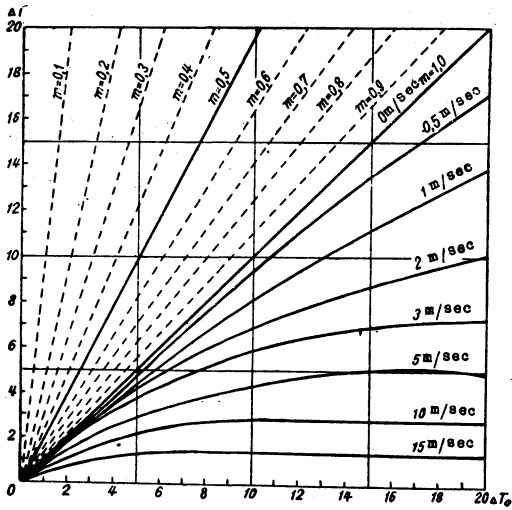
$$\Delta T_0 = \frac{1}{2}(T - \tau) + 4 \tag{19時}$$



第2図 13時用ダイアグラム



第3図 19時用ダイアグラム



第4図 風速・雲の補正図

$$\Delta T_0 = \frac{1}{2}(T-r) + 6 \quad (13時)$$

となり、露点を温度で表わして作られる。しかしこれは晴れた静かな夜の場合であって、土の性質は考慮されていないので (17a) (17b) の δT と K を各々の場合について統計的に表を作っておかねばならない。

b) 風の影響の考察

このノモグラムは第4図の右斜下半分であって、横軸は、前の第2図又は第3図で求められた ΔT_0 で、風速のためにも生じる補正後の値 ΔT が縦軸に示される。風の影響は10で、 $a' = 0.1$, $b' = 0.01$ とすると割に一致する。但し v は m/sec で表わす。すると、

$$c = e^{-0.1v} + 0.01v$$

故に

$$\Delta T = c\Delta T_0$$

これがノモグラム第4図のグラフを画く基となっている。(12)を基礎にする場合には、13時、19時観測で、 $T-r$ を横軸にとって夜間風速を想像して第5図又は第6図が画かれる。この補正をすませた降水量 ΔT より

$$M = T - \Delta T$$

c) 雲量、雲形の影響考慮

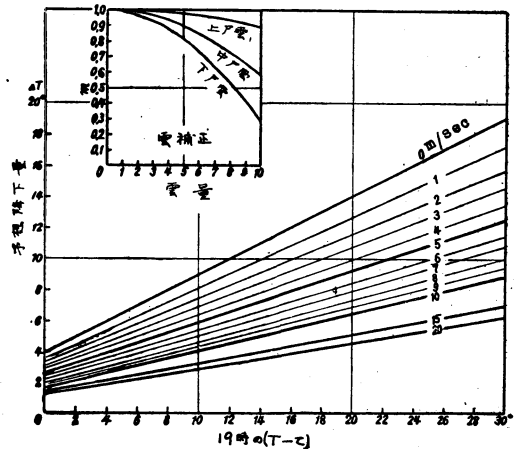
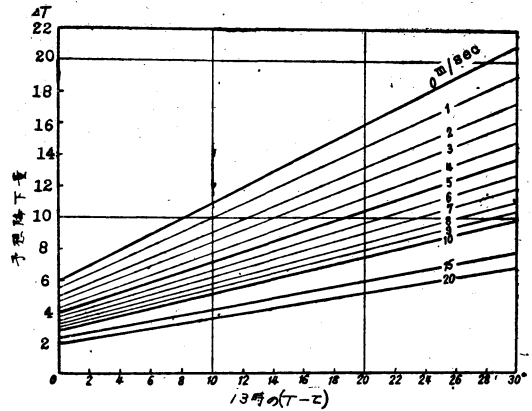
これには(6)を用いている。ここでは $K_L = 0.85$, $K_M = 0.5$, $K_H = 0.2$ の値とする。夜の雲を予知することは困難であるので、近似的に

$$m = 1 - Kn \quad (18)$$

n は雲量、 K は雲の係数、最近は

$$m = 1 - Kn^2 \quad (19)$$

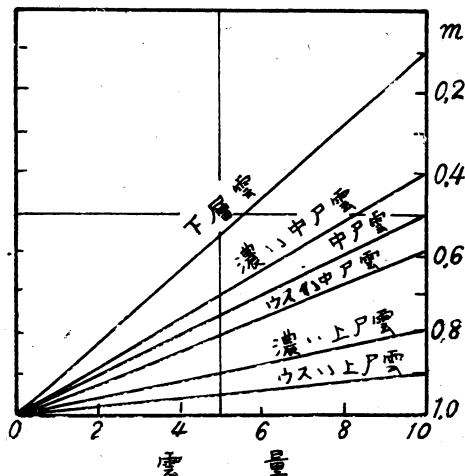
の方が実験式としてはよい。雲の予報は、天気予報で最もむづかしい要素であるから、雲の影響をしらべることは複雑である。(18)より作られたダイアグラムは第7図に、(19)より作ったのは第6図の上部にのせてある。但しこの場合に $K_L = 0.7$, $K_M = 0.4$, $K_H = 0.1$ としてある



(上) 第5図 13時のダイアグラム

(下) 第6図 19時のダイアグラム

m の値が求まると、雲による補正をした量が必要となる。これには第4図の左斜上半分のグラフを用いる。即ち、風や雲の影響を考慮した ΔT を横軸にとり、垂直に上って対角線との交点から、決まった m の値にまで、水平に左へ移り、その交点から下へ引き、対角線との交



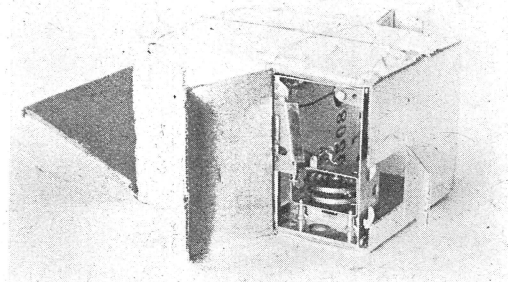
第7図 補正用ダイアグラム

世界のゾンデ (フランス)

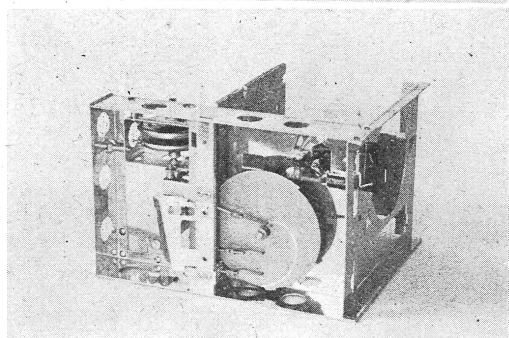
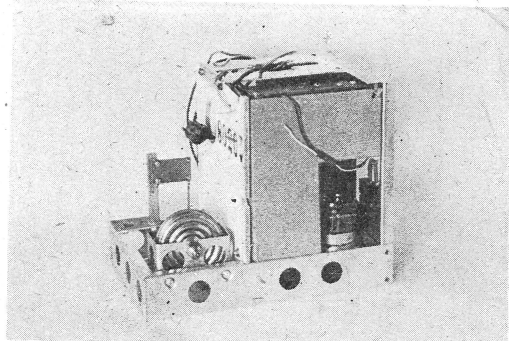
関 口 理 郎

フランスのゾンデは外面に白い紙を貼った段ボールで作られた長方形 (80×135×175mm³) の箱の中に収められているが、この箱は1部分が通風筒を兼ねている。即ち飛揚の際には第1図の様にして蓋を開けて (動かないように止めておく) 通風を計る。左側の蓋は計器の取出口で飛揚の際には閉じてある。空盒の左上にある細いアルミニウム片は湿度計の保護片である。第2図は計器を取り出した所で、左側が気象計器部で、空盒の後上に長方形のバイメタルがアルミニウムの角柱に固定してある。湿度計は空盒の蔭にあるので見えない。右側の発信器部分との間は木材で区切ってあるだけで熱絶縁はしていない。第1図と見比べれば分るように上昇時には箱の蓋はこの部分の上下両面が開いて風を通す。

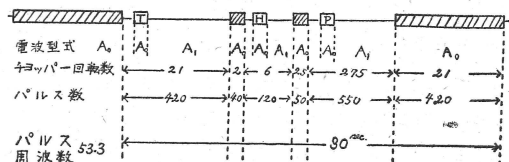
気圧計は外径54mm厚さ5.5mmの空盒2つを使用し、その動きを指針の回転に換えている。温度計は厚さ0.42mm巾20mm³長さ32mmの角板のバイメタルで、ペークライ



第1図



(上) 第2図 (下) 第3図



第4図

(前頁より続く)

点の縦軸を読めば、それが雲の影響を考慮せる降下量となる。最低温度は以上の補正をして得た降下量 ΔT を求めて

$$M = T - \Delta T$$

最低地面温度 M_0 は最低温度より 2~3°C 低いから

$$M_0 = M - 3 = T - \Delta T - 3.$$

風速を考慮しているから、輻射以外に移流による冷却と考えねばならないが、風速が余り大きくなければ、この影響は、輻射冷却に較らべて少い。例えば、風速5 m/sec で地域的温度勾配が1°C/100km あっても、夜間を10時間としても1.8°C位の違いである。

結 語

1955年9月

我が国で実用するには無理な点もあらうと思われるが、統計的に補正項を作っておけば、簡単に気温予想が出来るから便利と思う。

参 考 文 献

- [1] 増山元三郎; チャリコフ氏夜間最低気温予想法 天気と気候, 5(8) 400-401, 1938.
- [2] 増山元三郎; 降霜予報法概観, 天気と気候 6 (1) 28-31, 1939.
- [3] A. S. Zverev; Tumany i ikh predskazanie. Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, Leningrad, 1954. (霧とその予報)
- [4] 当合万寿夫; ソヴェトの科学機関 天気 2 (1) 29, 1955. (気象研究所)