

清華園氣溫變化之分析

么 振 聲

引 言

作氣溫變化之分析，一方固須有多年之記錄，以得其標準數值 (Normal Value)，他方亦須有高空材料，以明空氣團 (air mass) 影響氣溫之概況，北平現只有一公里至四公里之風向，風力記錄，關於空氣團對於氣溫影響之分析，無從下手，至為遺憾。

統計材料皆得自1932—1934年之清華氣象季刊，統計不過三載，其結果或無若何價值。

此文共分三章，首作氣溫變化在理論上之分析，末就統計所得，述其變化之概況，並解釋其原因。

氣溫變化在理論上之分析

為討論方便起見，就各種影響氣溫變化不同之原因，分別分析之：

(1) 太陽輻射 (Solar radiation)：

大氣乃天然機器，太陽即此機器之原動力，太空中之空氣及水汽等即為其功作物質 (Working substance)，當熱能由太陽傳導至此機器之過程中，或有他種動力之影響，然不過暫時而已，太陽輻射之能量因季節緯度而有變更，每季每時之太陽輻射強度絕不一致，此外太陽輻射性質，地面反射力，及大氣組織尚與之有相當關係，地面氣溫既受太陽輻射之支配，故太陽輻射強度發生變化時，地面上之氣溫狀況亦即有種種之不同。

太陽輻射之性質是有變動性者，多少受太陽斑點週期之影響，而太陽斑點之多寡直接與太陽輻射發生很大之關係。

地面之反射力 (Albedo of the Surface) 視太陽輻射之傾斜度，及地面之性質而不同，如雪地之 reflection factor 爲 .7— .8，水面爲 .02— .71，草地爲 .1— .33，平均無雪之地面只爲 .1；但雪地既能大至 .7— .8，所以在華北一帶，如大雪之後復來寒潮時，則氣溫特別降低也。

太陽之外表幾乎可視爲溫度爲 5600°A . 之黑體，輻射皆限於 4μ — 1μ 之波長，稱爲短波輻射，雖大氣中之水汽，及氧氣等能在太陽光帶上造成數條吸收帶，但不是甚仄，卽是強度不高，故太陽輻射因吸收而損失者並不甚大。惟臭氧對於紫外光之吸收甚利，1cm. 之純臭氧層，在正常情形之下，只可使進入輻射之 10^{12} 分之一透出，其餘均被吸收，臭氧雖吸收紫外光如此利害，然整個太陽輻射損失甚少，不過 5% 而已。

總之太陽輻射經過大氣時並不受較大之損失。Fowle 說：在晴天，太陽在正上時，因大氣吸收損失之太陽輻射不過當射入之 6—8% 而已，所以在晴天時，大部分之太陽輻射能達於地面。

太陽輻射除去空氣分子及水汽之亂反射外，餘如雲霧灰塵亦皆能反射或亂反射太陽輻射，關於太陽輻射受空中灰塵之影響，在華北更屬顯著。

(2) 地面輻射 (terrestrial Radiation) :

地面及地面上空氣之溫度大概在 200° — 300°A 間，空中之氧，氮，氫在此溫度內並無輻射，故地面輻射之來源由 (a) 大地 (b) 水汽，二氧化碳，及臭氣等而來。

到地面之太陽輻射，一部分因反射或亂反射失之於太空，其餘卽被地面吸收；地面因接受太陽輻射，繼續加熱，本身亦依斯戴凡定律 (Stefan's Law) 向天空輻射，使地面上每日最低氣溫發現於早晨。

地面輻射皆限於 3μ — 100μ 波長之內，在此範圍之內，單純氣體無力吸收，惟臭氧在 9 — 10μ 地方有強烈之吸收光帶耳。二氧化碳亦

能在 4μ 及 $12-16.3\mu$ 地方有相當之吸收作用，不過此二種氣體吸收之數量太少，故其在分析氣溫變化之地位上，並不重要。因水汽除 $8-11\mu$ 外，對於 4.4 以上之輻射，皆有吸收作用，不過有輕重之分耳，地面輻射既皆限於 $3\mu-100\mu$ ，故大部之地面輻射皆被其吸收，然後水汽亦依其本身之溫度向上下輻射，頗如灰體然。地面雖有輻射作用，使夜間氣溫降低，然因有水汽之補償作用，亦不致降低過甚。

某地方一年中，地面之比熱及(Conductivity)隨季節而有變化，故其輻射速度亦因季節而各異，如春季因地面濕潤，輻射速度最緩，使每日最大氣溫發現較晚是也。

水汽在空中之含量亦因季節，時間而不一，故其影響地面輻射，以及地面溫度之變化，亦時時不同。

(3) 平流(advection):

某地當有旋風(Cyclone)來時，因熱量向水平方向傳導，故有很大很急之溫度變化。低氣壓並非一年中盛行不斷，普通冬春二季最多，熱季最少，故在冬春二季影響氣溫之變化甚大，而熱季則較小。

又如我國為季風區域；冬為乾冷之西北風，夏為暖溼之東南風所控制。

風除機械式傳導熱量外，尚可變更渦動之程度，加強蒸發之速度，使氣溫間接發生變化。

(4) 垂直對流作用(Vertical convection):

垂直對流作用有二：(a) 熱渦動(Thermal Turbulence) (b) 機械渦動(Mechanical Turbulence)，二者皆能使空氣互相混合，使熱量發生傳導作用，此外在渦動之際，因動力作用及水汽變態作用，氣溫亦發生變化。

關於熱渦動或對流，能造成積雲，並無相當規律，至於機械渦動則發生之機會很多，對於氣溫變化之影響亦較重大，故討論亦較詳盡。

大氣下層常渦動甚烈，蓋地面多崎嶇不平，摩擦力甚大也，渦動之強弱視風速，風速因高度之變化，及垂直溫度差 (Lapse rate) 而不同，如垂直溫度差比絕熱溫度差小時，則大氣穩定，所發展之渦動只限於地面薄層之內。

討論因渦動傳導熱量時，必須顧及垂直溫度差，當垂直溫度差比絕熱溫度差小時，即大氣穩定，則渦動向下傳熱，如大時，則渦動向上傳熱。換言之，當垂直溫度差比絕熱溫度差小時，則渦動所帶上之空氣，恆比四周者冷，所以要向四外吸收熱量；如大時，則所帶上之空氣其溫度恆比四周者大，所以能給出一部分熱量。因為渦動能帶其熱量由原來之地位到其他新地位，到達新地位之後即將其熱量分散，故地面上氣溫之變化，與渦動之強弱有相當關係。

以上所述影響氣溫變化之原因，最重要者，莫若太陽輻射，及地面輻射二種，其次要者，即為平流。暖寒氣團雖盛衰有定，然興替無常，故影響氣溫有不規則之變化，此外使華北一帶冬季過冷者，固無地形之利以阻寒潮之南襲，然附帶原因，恐係空中多灰塵耳，因沙塵之直徑小於地面輻射波，而大於太陽輻射波，故不阻止地面輻射之損失，厥能妨礙太陽輻射之射入，故清華園附近，每當西北風偕黃沙至時，氣溫則異常降低。

清華園氣溫變化之實況

清華園北近蒙古高原，東南則遠臨渤海，適位於華北大平原之邊緣地方，緯度為 $40^{\circ}0'16''N$ ，經度之 $116^{\circ}21'42''E$ 。

年平均氣溫為 $11.03^{\circ}C$ ，平均有霜日期為177天，初霜平均於十月十六日發現，終霜平均在四月十一日，但霜最早可於十月九日出現，終霜最晚可出現於四月二十一日，故植物安全時間只有171天。

(1)年變化：

第一圖乃由每連續五日之平均數所繪，為整齊起見，第一組即由一月一日至五日，第十二組不論閏月與否，概由二月二十五日到三月一日，蓋如是則末一組恰為十二月二十七日至三十一日。

由圖中考察之結果，以7月10—14日之平均溫度為一年中之最高者，以1月6—20日為一年中之最低平均溫度。蓋受太陽輻射及地面輻射之影響也。

年氣溫曲線以三，四，五，六，月變化最多最烈，以十一月，及十月次之，八月變化雖不烈，然變化不能謂之不多，至於一，二，七及十二月變化既不多，又不烈，惟九月氣溫曲線頗為平直，極少變化。

除八月外，氣溫變化情形皆與低氣壓之盛衰有很密切之關係：例如低氣壓於三，四，五，六月最多，而氣溫變化亦以此時期內變化最多而最烈。次多低壓之月份為十，十一月故溫度雖有變化，然不如前數月內者甚，低氣壓以九月為最少，故氣溫曲線變化亦以九月內為最平直。

八月西伯利亞高壓息影少見，甚或消滅，同時低氣壓亦為一年中最少之月份，惟此月北太平洋高壓正在強大之時，華北一帶常受其楔端之影響，當此高壓伸入時，常有霧之形成，蓋地面較由海洋上來之氣團冷故也。

項目	月份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
三年內每月有霧之日數		2			2	3	10	9	11	4	11	3	6

霧對於氣溫變化之影響甚小，故此月雖多霧恐與氣溫變化無大關係，此月氣溫變化甚多者，蓋因記錄時間甚為短近，恰好每年降雨時期皆巧遇一起故也。

1933年每日平均氣溫在 0°C 或以下之日數88日在 -12°C 以下之日數有2日，在 30°C 以上者有一日，1932年及1934年，夏季每日平

均溫度無超過 30°C 者，冬季亦無 -12°C 以下者。故三年來以1933年，趨於寒冷氣候。

	氣溫在 0°C 或以上 之日數	氣溫在 -12°C 以下 之日數	氣溫在 30°C 以上 之日數
1932	83	0	0
1933	88	2	1
1934	71	0	0

每連續五日之平均氣溫

日 期	氣溫	日 期	氣溫	日 期	氣溫
1月1日—1月5日	-3.1	5月1日—5月5日	16.9	8月29日—9月2日	21.4
1月6日—1月10日	-4.9	5月6日—5月10日	19.5	9月3日—9月7日	22.1
1月11日—1月15日	-6.2	5月11日—5月15日	21.4	9月8日—9月12日	23.5
1月16日—1月20日	-5.7	5月16日—5月20日	19.7	9月13日—9月17日	19.3
1月21日—1月25日	-3.2	5月21日—5月25日	21.5	9月18日—9月22日	18.0
1月26日—1月30日	-3.9	5月26日—5月30日	20.3	9月23日—9月27日	17.3
1月31日—2月4日	-4.2	5月31日—6月4日	20.6	9月28日—10月2日	15.5
2月5日—2月9日	-2.1	6月5日—6月9日	21.5	10月3日—10月7日	14.3
2月10日—2月14日	-0.9	6月10日—6月14日	21.2	10月8日—10月12日	13.1
2月15日—2月19日	-2.2	6月15日—6月19日	24.4	10月13日—10月17日	11.3
2月20日—2月24日	-2.1	6月20日—6月24日	23.3	10月18日—10月22日	11.1
2月25日—3月1日	-2.0	6月25日—6月29日	23.7	10月23日—10月27日	7.7
3月2日—3月6日	0.8	6月30日—7月4日	24.7	10月28日—11月1日	8.6
3月7日—3月11日	2.0	7月5日—7月9日	25.4	11月2日—11月6日	5.9
3月12日—3月16日	-0.2	7月10日—7月14日	27.1	11月7日—11月11日	6.0
3月17日—3月21日	4.6	7月15日—7月19日	27.0	11月12日—11月16日	3.4
3月22日—3月26日	5.2	7月20日—7月24日	25.9	11月17日—11月21日	3.4
3月27日—3月31日	5.7	7月25日—7月29日	24.8	11月22日—11月26日	3.2
4月1日—4月5日	10.6	7月30日—8月3日	24.7	11月27日—12月1日	-0.9
4月6日—4月10日	9.0	8月4日—8月8日	25.7	12月2日—12月6日	0.7

4月11日—4月15日	10.4	8月9日—8月13日	23.2	12月2日—12月6日	-0.1
4月16日—4月20日	13.8	8月14日—8月18日	24.7	12月12日—12月16日	-1.6
4月21日—4月25日	13.8	8月19日—8月23日	22.1	12月17日—12月21日	-1.7
4月26日—4月30日	16.1	8月24日—8月28日	22.5	12月22日—12月26日	-2.4
		12月27日—12月31日	-3.5		

(2) 每月變化：

平均以七月氣溫最高，為 27.7°C ，一月氣溫最低為 -4.9°C ，此乃溫帶大陸之普通現象也，三年來七月之平均最高為 31.9°C ，一月之平均最低為 -10.8°C ，絕對最高(Absolute Max)為 38.5°C ，發現於1932年7月7日下午4時，絕對最低(Absolute Min)為 -17.1°C 發現於1934年1月22日上午6時，故清華園平均年溫差(Mean Annual Range)為 30.6°C ，絕對年溫差(Absolute Annual Range)為 45.6°C

每月平均氣溫

年 \ 月	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
1932	-1.9	-3.5	3.3	13.0	20.3	23.3	25.6	24.3	19.5	11.6	4.0	-1.3
1933	-6.5	-2.8	1.9	12.4	19.7	21.4	25.6	23.6	19.6	11.5	3.2	1.7
1934	-6.2	-0.3	3.5	11.6	19.9	22.7	26.0	23.2	18.5	11.3	3.6	-1.3
平均	-4.9	-2.9	2.9	12.3	20.0	22.6	25.7	23.7	19.2	11.5	3.7	-1.4

極端氣溫

項目 \ 月	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
平均最高	1.1	3.8	8.7	18.8	26.7	28.6	30.9	29.4	25.6	18.9	10.8	4.2
平均最低	-10.8	-7.9	-2.2	4.8	12.2	16.4	21.3	18.7	13.4	4.4	-2.3	-6.4
絕對最高	11.7	14.2	21.3	27.9	34.5	34.9	38.5	36.0	33.4	26.9	22.6	11.5
絕對最低	-17.1	-14.5	-13.4	-3.2	4.0	8.9	16.5	12.7	3.8	-4.0	-9.9	-14.0

每月氣溫與平均值之差數(departure)

年 \ 月	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
1932	3.0	-0.6	0.4	0.7	0.3	0.7	0.1	0.6	0.3	0.1	0.3	0.1
1933	-1.9	0.1	-0.1	0.1	-0.3	-1.2	-0.1	-0.1	0.4	0.0	-0.5	-0.3
1934	-1.3	2.6	0.6	-0.7	-0.1	0.1	0.3	-0.5	-0.7	-0.2	-0.2	0.1

以1933年冬季最冷，以1934年夏季最熱。

(3) 每日變化：

每日最高溫度，發現之時間，視各季而不同。在夏，秋，冬各季發現較早，約在下午三點，春季則發現較遲，約在下午三—四點間，吾人皆知地濕時其比熱比乾時大，故一樣吸收能量，濕地之溫度要增高較少，而乾地之溫度則較多，且二者之Conductivity也不同。濕地之溫度既比較低，故輻射亦較小。而此地之春季當地面解凍之後，且太陽輻射還不甚強烈，蒸發較少，故地面在在濕潤，使地面輻射之速度比各季皆慢，每日最高溫度亦因之出現較慢也。

平均每日最低氣溫，約發生於太陽出現之時，亦即太陽輻射起始影響地面上空氣溫度之時也，11，12，1，及2月最低在上午7點；3，4，8，9，10月最低在上午6點；5，6，7月最低在上午5點即出現。

每日氣溫曲線之形狀，視日溫差 (Daily range) 之大小而不同，而日溫差之大小又因季節，天氣狀況而各異，清華園之日溫差以7，8月為最小；12，1，2月次之，以4，5，10，11，諸月為較高。

空中之水汽，能使每日最大溫度減小，最小溫度加大，故地面之日溫差因之減小，最大氣溫之所以減低者，乃因太陽能力經過他時，有一部分消耗，且水汽蒸發時需要一部分熱量，此熱量非從附近吸收不可，故地面氣溫減小，最低氣溫所以加高者，乃因水汽很易吸收地面輻射，而向下輻射之，使地面輻射不致消耗於太空，且水汽因溫度降低凝結為露霜時，能放出相當熱量，故能將最低氣溫升高許多，因為6，7，8月為多雨之時，空中水汽甚多，故日溫差不但不高，反為一年中之最低月份，5月空中水汽較少，故最大日溫差竟發現於此月也。

各月每月小時之平均氣溫

月	時	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
一		-7.5	-7.7	-8.0	-8.1	-8.4	-8.5	-8.5	-8.4	-6.2	-3.8	-2.3	-1.1	-0.3	0.2	0.3	-0.2	-1.4	-3.2	-3.9	-4.7	-5.5	-6.1	-6.6	-7.2	
二		-4.8	-5.0	-5.4	-5.7	-6.0	-6.3	-6.4	-5.7	-3.1	-1.1	0.3	1.2	2.2	2.8	3.1	2.8	2.3	0.5	-1.0	-2.0	-2.8	-3.5	-4.0	-4.3	
三		-0.4	-0.9	-1.5	-1.7	-1.9	-2.2	-2.1	-0.1	2.1	3.5	5.1	6.1	7.0	7.7	8.2	8.2	7.8	6.8	5.0	3.8	3.0	2.5	1.6	0.7	
四		8.7	8.2	7.5	6.8	6.3	6.0	7.6	10.0	11.9	13.5	14.8	15.9	16.9	17.4	17.9	17.9	17.6	16.8	15.4	14.3	12.5	11.7	10.9	10.4	
五		16.1	15.4	14.5	14.0	13.5	14.2	16.4	18.4	20.1	21.5	22.7	23.7	24.6	25.3	25.6	25.6	25.2	24.3	22.8	21.2	19.8	18.8	18.0	17.1	
六		19.1	18.5	18.0	17.7	17.4	18.4	19.9	21.4	22.8	23.8	24.8	25.7	26.4	26.8	27.2	27.3	26.9	26.0	24.8	23.0	22.0	21.1	20.4	19.8	
七		23.5	23.2	22.9	22.6	22.4	22.9	23.8	25.0	26.4	27.2	28.2	29.4	29.9	29.9	29.9	29.9	29.8	29.3	28.4	27.5	26.2	25.2	24.7	24.2	23.8
八		20.9	20.6	20.3	20.0	19.9	19.8	21.0	22.2	23.4	24.5	25.6	26.7	27.7	28.1	28.1	27.8	27.2	26.6	25.4	24.6	23.2	22.4	22.0	21.5	21.1
九		16.0	15.6	15.3	15.1	14.9	14.7	15.7	17.9	19.8	21.2	22.3	23.4	24.4	24.6	24.8	24.8	24.5	23.6	22.6	22.4	22.2	22.4	22.0	21.5	21.1
十		7.5	7.5	7.1	7.0	6.7	6.4	6.7	7.6	12.3	14.1	15.5	16.7	17.4	17.8	18.0	17.5	15.8	13.0	11.7	10.7	9.9	9.0	8.3	7.8	
十一		0.9	0.6	0.3	0.2	-0.2	-0.3	0.9	3.7	5.6	7.2	8.2	8.9	9.4	9.5	8.9	6.9	5.1	4.1	3.1	2.4	1.8	1.3	0.8	0.8	
十二		-3.3	-3.7	-3.9	-4.1	-4.4	-4.5	-4.5	-4.5	-2.3	-0.6	1.1	2.2	3.1	3.4	3.4	2.7	0.8	0.4	-1.3	-1.9	-2.5	-2.8	-2.9	-3.2	

每月之平均日溫差

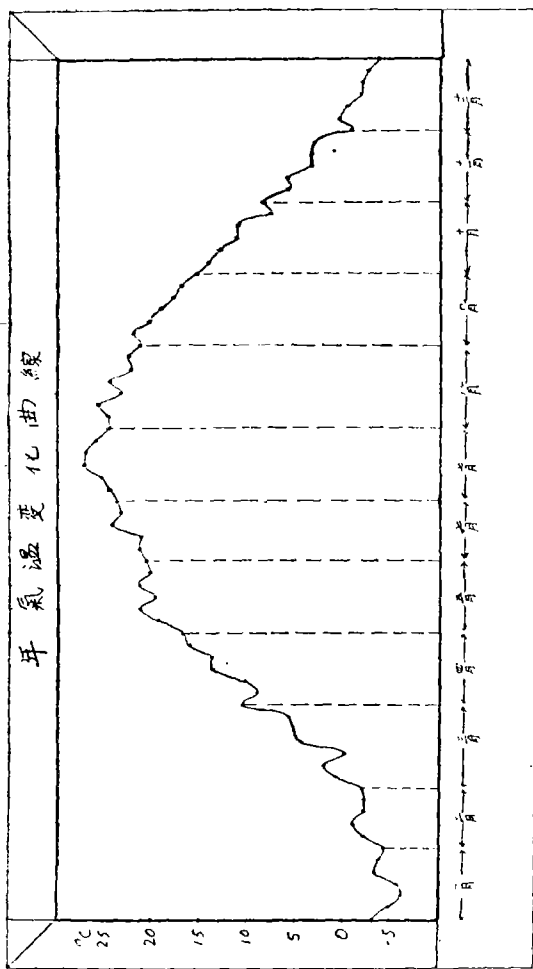
年 \ 月	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
1932	12.9	12.0	14.0	15.2	14.2	13.1	10.0	11.5	10.4	15.5	14.4	11.1
1933	11.0	11.4	12.7	13.7	15.0	10.6	9.2	10.7	13.7	13.6	11.9	9.1
1934	11.4	11.8	10.8	13.0	14.2	13.0	9.7	10.0	12.5	14.4	12.7	11.7
平均數	12.5	11.7	11.1	14.0	14.5	12.2	9.6	10.6	12.2	14.5	13.0	10.6

清華園在地形上無特殊地方，故氣溫變化較諸北平並無特出之處，惟環境則二地各異，北平爲人多物繁之大都市，而清華則爲樹多烟稀之曠野，故北平年平均氣溫比此地高 3.7°C ，年溫差大 1.3°C ，清華園冬季氣溫比北平約低 1.9°C ，而夏季則約低 2.2°C ，故清華園之氣溫比較北平冬不甚冷，而夏季則甚涼爽。同理每日氣溫變化恐亦較北平爲小，因未作正式比較，故未得其確實之差數也。

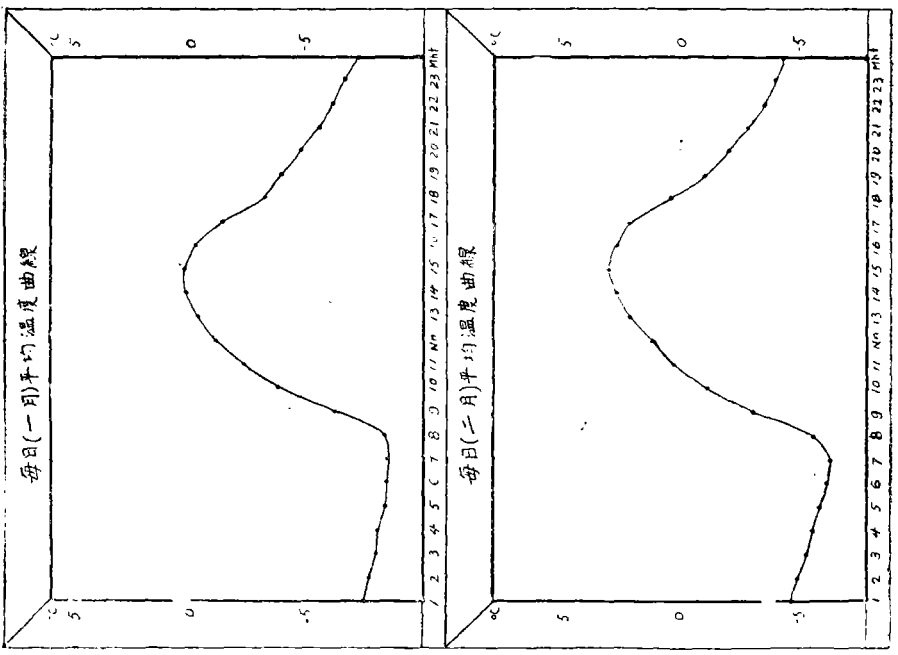
引用書藉

1. Brunt: Physical and Dynamical Meteorology.
2. Shaw: Manual of Meteorology
3. Humphreys: Physics of the Air
4. Kendrew: Climate
5. Milham: Meteorology
6. M. W. Rev. 63, 1935—Dust storms, November 1933 to May 1934.
7. Douglas: Summer Thunderstorm—Met. Mag. 68, 1933.
8. 沈孝鳳: 東亞溫帶低氣壓之分類及性質——氣象集刊第三號
9. 趙九章: 中國東部氣團之初步分析——氣象集刊第六號
10. 呂炯: 平流層與天氣——科學廿卷三期
11. 盧蔭: 民國二十四年五月初旬之寒流與線陣——氣象雜誌十一卷六期

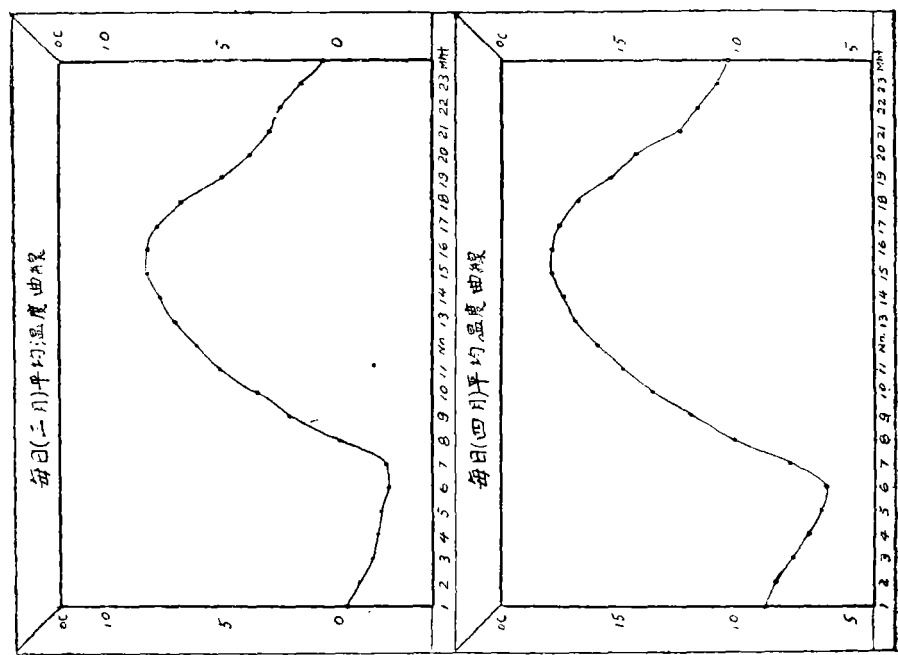
第一圖

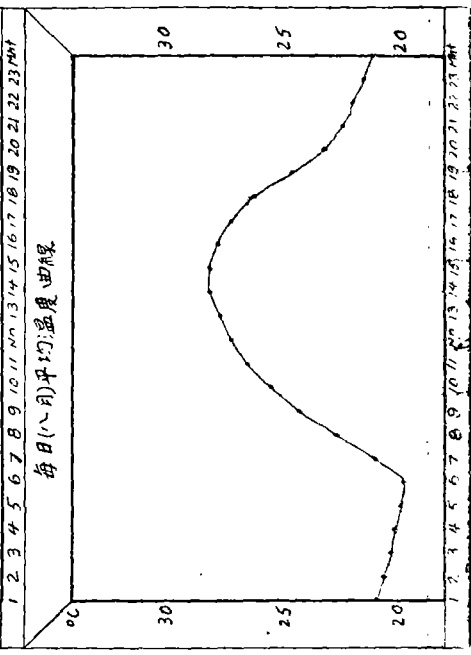
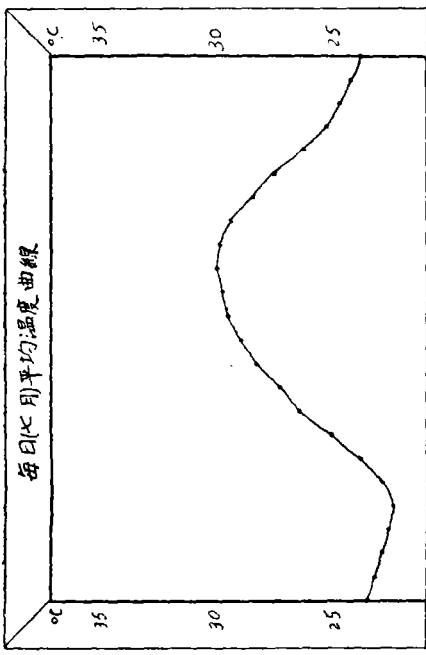
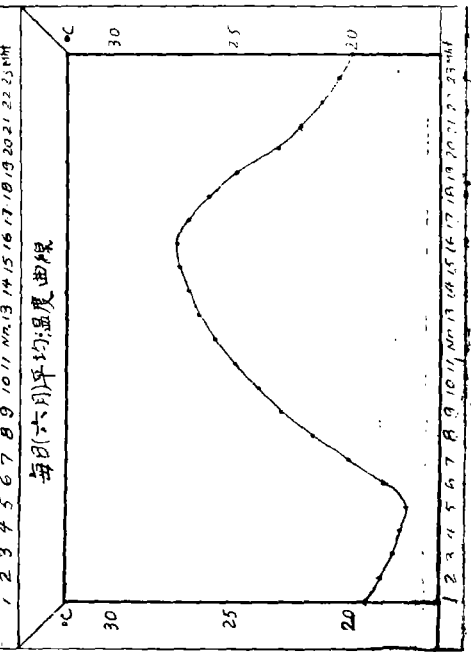
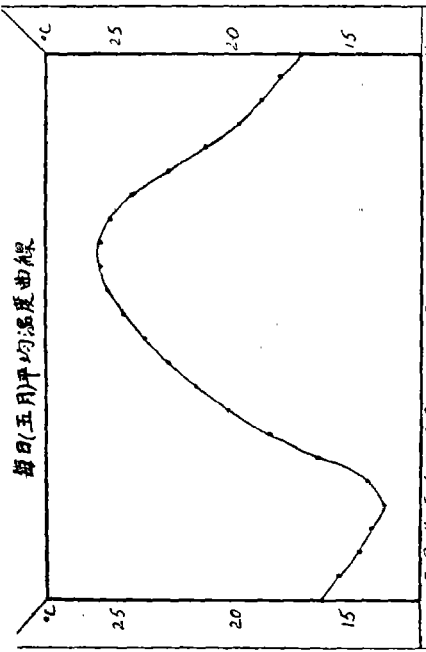


第二圖

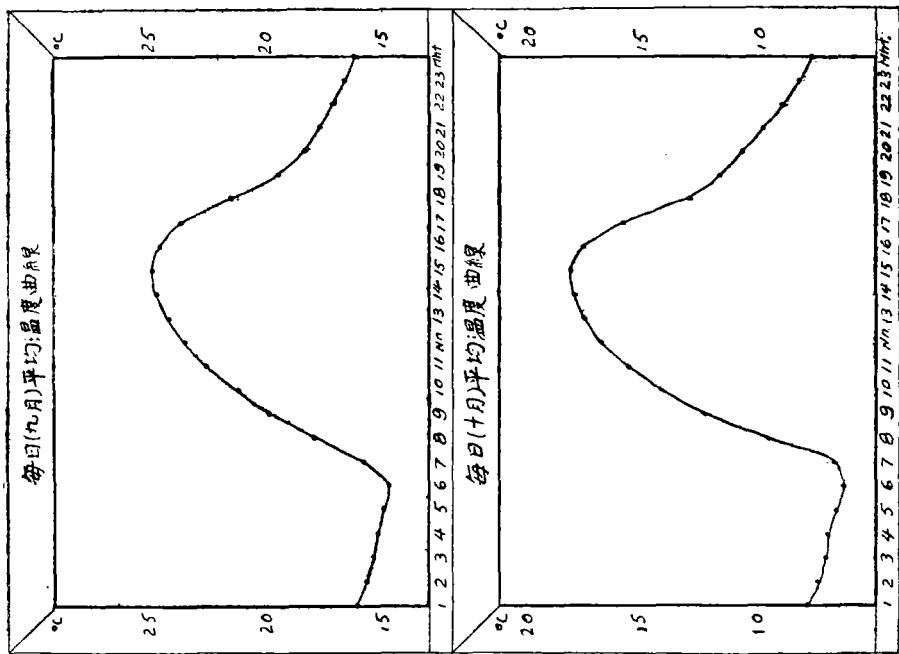


第三圖





第六圖



第七圖

