

暖房による温室内の気温の変化について

中原 孫 吉

(第2工作研究室)

Magokichi NAKAHARA: Temperature Distribution in the Greenhouse.

1. ま え が き

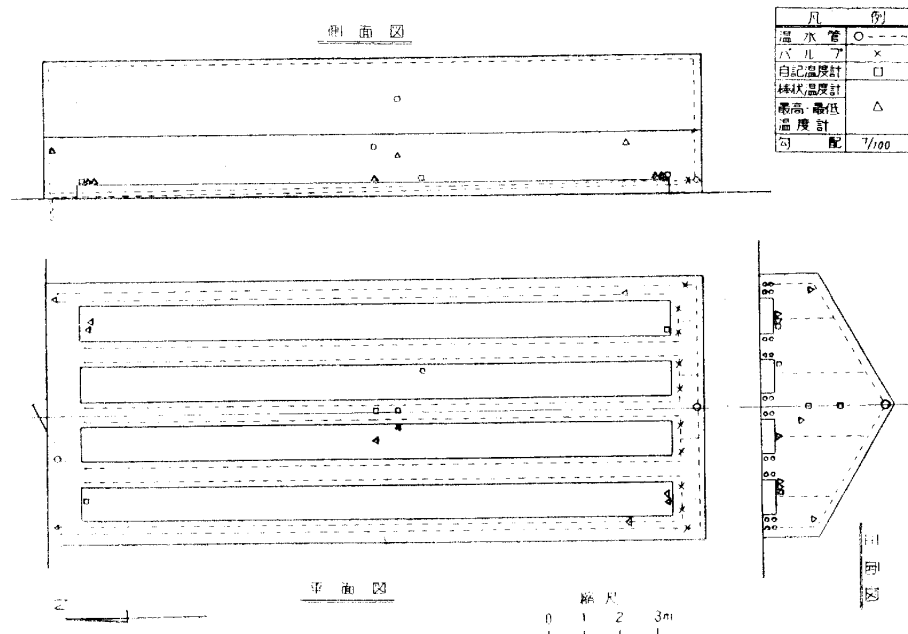
温室は農業において Air-Conditioning されている唯一のものであるが、果して実際の作物栽培の利用面に当り有効に利用されているか否かも、問題として俎上にあがってくるだろう。今日我国の温室の Air-Conditioning といえば、暖房のみに限られているが、筆者はかねて暖房時の温室内の気温がどんな状態にあるかが関心にあつた。ところが今回石炭とコークスの手焚き比較試験が、本学園芸学部農場の温室で行われたので、この好機を利用して温室内の気温の水平及び垂直分布を調査したから、これを報告したい。

2. 調査条件及び方法

測定した温室は千葉大学園芸学部附属農場にある6号温室であり、その面積128.5平方メートルの鉄骨ガラス張りのものである。なおこの温室は昭和30年秋修理したもので気密度も良好とみなされるものである。測定は昭和31年2月21日夜より24日朝にかけて行つたが、この時室内には菊苗(約10種位のもの)が栽培されていた。

暖房に使用されているボイラーは高砂400, 12-S 温水ボイラーで、火格子面積2.0 m²、伝熱面積21.18 m² のものである。

温室内の気温測定は主として19時より翌朝7時までであるが、暖房には21日夜より翌22日早朝までは石炭専焼により、22日夜より翌23日早朝及び23日夜より翌24日早朝まではコークス専焼の焚焼管理に



第1図 温室の見取図

Fig. 1. Plan, elevation and side view of the greenhouse used in our observations.

よつた、コークスによる場合は火格子面積を $0.78\text{ m} \times 1.3\text{ m} = 1.0\text{ m}^2$ に狭めたものである。

供試燃料は次のようなもので、また工業分析の結果は次の組成のものである。

1. 燃料条件

石炭（九州炭）小城，多久中塊炭の混合炭，コークス 大森 R₁， 粒度 20~35 mm

2. 燃料の成分の組成及び発熱量

項目	組成	水分 (%)	揮発分 (%)	固定炭素 (%)	灰 (%)	発熱量 (Kcal)
石炭		5.2	38.3	35.5	21.0	5.913
コークス		0.7	1.6	84.1	13.6	6.806

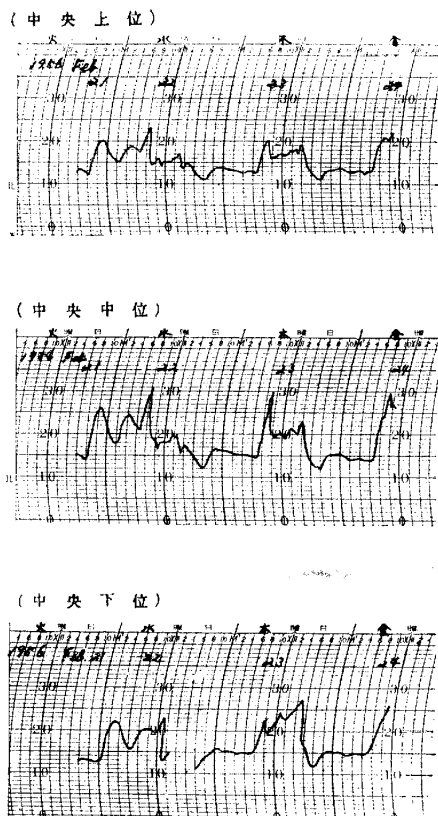
気象条件の測定は，中浅式風向風速計により室外の風条件を，携帯小型アスマン通風乾湿計により室内外の地上 1.2 m 高の気温を測定した。暖房による室内の気温の測定は第 1 図に示す位置に自記温度計，棒状温度計を備えつけたが，温室内の四隅及び中央に地上約 1.4 cm 高にシックス最高最低温度計を設置した。地温はボイラー出管及び同戻管附近の値を知るため南東及び北西隅に地表下 1 cm のところに曲管地中最高及び最低温度計各 1 組ずつをおいた。

気温の垂直分布を知るため中央に地上 1 cm に棒状温度計，10 cm，1.3 m，2.2 m 高に自記温度計及び棒状温度計をおいた。温度計は日中は輻射熱をさけるために錫箔を以て日よけをした。

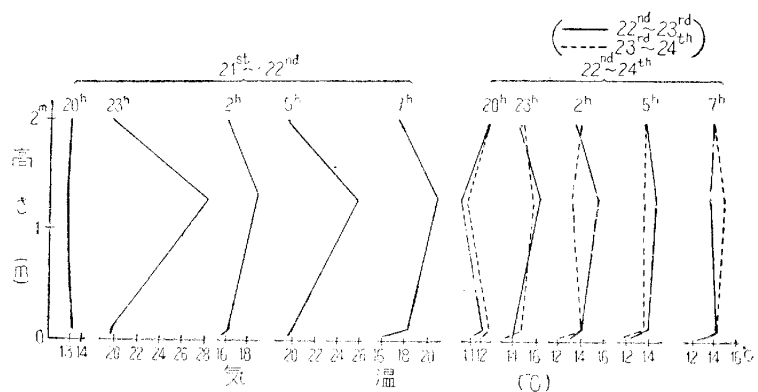
3. 得られた成果及び考察

3 日間に行つた観測成果を纏めれば次表のようになるが，中央部位に設置した自記温度計の記象紙を第 2 図に参考のため掲げよう。

まず気温の垂直分布を考察してみよう。これは中央部位における分布であるので，温室内全般的にいえるとは限らないが，大体のことはこれによつて推知されよう。気温の垂直分布は表 1 及び 2 より判明するが，更らに見易くするために第 3 図を掲げよう。これは 0.01 m，0.03 m，1.3 m 及び 2.2 m の 4 つ



第 2 図 温室中央部位の気温変化
Fig. 2. Temperature recording at the central part of greenhouse.



第 3 図 温室内の気温の垂直分布
Fig. 3. Temperature distribution pattern with height during the night between February 21 and 24, 1956.

第 2 表

日 時 刻		温 室 内 の 気 象					外気温 と室内 温との 差(°C) (9)~(1)	温 水 管 温 度 (°C)					
		中央部の気温(°C)			気 温 (°C)			ボイラー		温室入 管温度	温室戻 管温度		
		(12) 地 上 0.01m	(13) 地 上 0.1m	(14) 地 上 2.2m	(15) 南東部 地 上 0.03m	(16) 北西部 地 上 0.1m							
第 一 日	19 ^h 30 ^m	13.0	13.0	13.5	10.8	13.2	5.0	20					
	20	13.0	13.0	12.9	10.2	13.1	5.6	32	18				
	20 30	13.8	13.0	12.9	12.8	12.8	6.3	50	21				
	21	15.5	15.0	15.3	17.8	15.2	11.9	70	36	61	49		
	21 30	17.5	17.4	17.5	22.9	17.9	18.2	78	49	69	56		
	22	19.5	19.0	18.8	27.3	20.0	22.4	80	51	69	55		
	22 30	20	19.7	19.7	27.3	20.2	23.8	80	54	68	51		
	23	19.5	19.7	19.7	27.3	20.1	24.0	72	53	65	45		
	24	18.2	18.3	18.6	23.5	19.8	22.1	50	43	53	38		
日	22日	1	16.6	17.7	17.4	20.4	17.8	19.2	56	39	44.5	31	
		2	15.8	16.4	15.8	17.8	16.2	16.6	45	33	38.5	26	
		3	16.0	15.7	15.5	19.1	16.3	16.6	66	38	58.5	25	
		4	18.5	17.7	18.0	24.8	19.0	24.1	73	48	65	53	
		5	19.0	19.7	18.8	26.0	19.0	24.8	68	48	64	55	
		6	18.8	19.0	18.0	23.5	18.9	24.3	68	44	60	49	
		7	16.0	18.3	17.4	22.3	18.5	21.6	53	40.5	48	45	
平 均		16.9	17.0	16.9	20.9	17.2	17.9	60	41	58.7	45		
第 二 日	23日	19	12.5	14.0	13.2	10.9	16.2	10.1	17	12	17	16	
		19 30	11.4	11.6	12.4	9.6	15.6	8.6	23	12	16.2	14.5	
		20	11.2	12.0	12.4	9.6	13.2	8.6	30	14	15	15	
		20 30	11.5	12.0	12.4	10.9	13.0	8.6	37	18	34	23	
		21	12.2	12.0	12.1	13.4	12.9	9.6	48	26	41.5	30	
		21 30	12.8	12.3	12.9	15.4	13.0	12.2	53	32	48.5	37	
		22	13.5	13.8	14.1	16.5	13.4	15.6	53	35	46	40	
		22 30	13.5	14.0	14.4	16.5	13.8	17.1	50	33	44.5	40	
日	23日	23	13.2	14.0	14.7	16.5	14.0	17.1	45	32	41.5	38	
		24	13.2	14.0	14.7	16.0	14.0	16.7	43	30	38.4	34.5	
		1	13	14.0	14.1	15.3	13.9	16.9	43	29	37	33	
		2	13	14.0	13.5	14.8	13.9	16.6	43	29	37.5	32	
		3	12.5	14.0	13.5	14.6	13.9	15.6	47	28	40	32	
		4	12.5	14.0	13.5	15.3	14.0	15.6	45	29.5	40	34	
		5	12.5	14.0	13.5	14.6	13.9	15.6	48	29.5	41.5	35	
平 均	23日	6	12	14.0	13.5	14.6	13.9	15.6	48	26.5	37	34	
		7	12.5	14.0	13.5	13.4	13.9	11.4	45	26	32	30	
	平 均		12.5	13.4	13.4	14.0	13.9	13.6	42	26	36.2	30	
	第 三 日	23日	19	12.6	13.3	12.4	10.2	14.4	8.7	18	14	16	16
			19 30	12.5	13.3	12.7	9.6	13.9	9.0	23	11.5	18	15
			20	12.0	13.3	12.7	9.8	13.5	8.4	35	11.5	24.4	14.9
			20 30	12.7	12.3	12.4	13.4	13.5	9.2	45	19	40	29
		21	13.2	12.6	12.7	14.7	13.5	11.0	50	29	41	33	
		21 30	14.0	13.3	13.5	15.0	13.5	13.1	48	33	41.8	35	
		22	14.1	13.0	14.1	15.3	13.5	14.1	50	32.5	42	35	
		22 30	13.2	14.0	14.7	15.4	13.5	14.1	50	33	41.4	34.8	
日	23日	23	13.0	14.3	14.8	15.4	13.5	14.6	50	33	42.4	35.6	
		24	13.0	14.7	14.9	15.4	13.5	15.6	50	33	42	35	
	24日	1	12.5	14.3	14.7	14.6	13.5	16.1	48	32	38.8	32	
			2	12.0	14.0	13.5	15.2	13.5	15.2	50	32	38.5	31
			3	12.0	14.0	13.6	15.2	13.4	15.9	50	33	42.5	34.5
			4	11.9	14.0	13.5	14.7	13.4	16.4	48	33	41.2	34
			5	11.7	13.8	13.5	14.5	13.4	15.9	48	32	41	32
		6	11.8	13.6	13.5	15.9	13.4	15.9	48	33	48	34	
		7	12.5	13.8	13.5	16.2	13.2	16.1	44	31	38.1	32	
平 均		12.6	13.6	13.6	14.1	13.5	13.5	44	28.0	37.5	30.2		

第 3 表

日		時刻	燃 焼 関 係 条 件					投 炭 操 作		
			ドラフト圧 mm Aq.	第一次空気 ダンパー開 度 (%)	煙道ダン パー開度 (%)	排気温度 (°C)	排 ガ ス CO ₂ 分析 (%)			
第 一 日	21日	19 ^h 30 ^m	7	30	100		6.5	↑ 19 ^h 30 ^m ↓ 23 ^h 47 ^m	350 kg	
		20	7	30	100	250	5			
		20 30	7	30	100	300	8.5			
		21	7	30	100	370	5.5			
		21 30	7	30	100	250	4.5			
		22	7	30	100	180	3			
		22 30	7	30	100	200				
		23	7	30	25	60				
	24	0	0	25						
	22日	1	0	0	25			↑ 1 ^h 35 ^m	150 kg 50 kg 50 kg	
		2	7	30	70	65	1.5	↓ 3 ^h 30 ^m		
		3	7	30	70	300	7.5	↑ 4 ^h 30 ^m		
		4	7	30	70	250	6	↓ 6 ^h		
		5	7	30	70	220	3.5			
6		7	30	70	200	4				
7		7	30	30		0				
平 均										
第 二 日	22日	19						↑ 19 ^h 30 ^m ↓ 20 ^h 00 ↓ 20 ^h 30 ↓ 21 ^h ↑ 21 ^h 20 ^m ↓ 22 ^h 30 ^m	40 kg 60 kg 35 kg 13 kg 20 kg	
		19 30	3	50	100					
		20	5	50	50	50	5			
		20 30	6		100	7				
		21	8	50	70	220	4			
		21 30	7		160	6				
		22	5	50	160	5.5				
		22 30	2		70	4				
	23日	23	2	50	35	25	2.5	↑ 2 ^h ↓ 3 ^h 50 ^m ↓ 8 ^h	30 kg 20.5 kg	
		24	2	50	35	20	4			
		1	1	30	35	20	4			
		2	1	30	40	30	3.5			
		3	2	30	40	60	4.5			
		4	2	50	50	45	4			
5		2	50	50	65	3				
6	2	50	50	15	1					
7	1	50	50	10	1					
平 均										
第 三 日	23日	19	3	80	100			↑ 19 ^h 20 ^m ↑ 19 ^h 30 ^m ↑ 20 ^h ↑ 21 ^h	20 kg 51 kg 28 kg 50.5 kg	
		19 30		80	100	50	2			
		20	3	50	50	100	7			
		20 30		30	50	135	9			
		21	3	20	30	75	6			
		21 30		15	15	60	9			
		22	3	15	15	20	7			
		22 30				20	7			
	24日	23	3	15	15	20	4	↑ 24 ^h 20 ^m ↑ 1 ^h 40 ^m ↓ 2 ^h 50 ^m ↑ 4 ^h ↑ 6 ^h 15 ^m ↑ 7 ^h 45 ^m	20 kg 29.8 kg 20 kg 30 kg 4 kg	
		24	3	15	15	10	3			
		1	3	15	15	10	2			
		2	3	15	15	40	9			
		3	3	15	15	40	3			
		4	3	15	15	20	3			
5		3	15	15	20	5				
6	3	15	15	35	4					
7	3	15	15	40	3					
平 均										

の高さから出されたもので、時刻は 20 時、23 時、2 時及び 5 時の値である。

第 3 図より垂直分布には特徴が認められるようである。即ち燃料別にみるとコークスによるものと石炭によるものとは 1 米附近における気温逆転の相違が顕著であつて、この差異は燃料の種類及びその焚焼管理の差に基くものと考えられる。コークスを燃料に用いた 2 日間の気温には差異がないようであつて、これをさらに知るために、20 時、23 時、2 時、5 時及び 7 時の 5 回の気温の垂直分布について分散分析を行つたところ次の表を得た。

第 4 表

処 理 別	SS	Df	Ms
高 さ (H)	1587.8	3	529.27**
時 間 (T)	3282.1	4	820.53**
日 別 (D)	12.1	1	12.1
T × D	245.65	4	61.41*
H × T	1468.7	12	122.39**
H × D	74.9	3	24.9
H × T × D	184.35	12	15.36

* 危険率 5% で有意差が認められるもの

** " 0.1% "

高さ及び時間的变化については危険率 0.1% で有意差が認められ、また H と T の交互作用項についても同様なことがいえ、T と D の交互作用項については 5% で有意差が認められるが、同じコークスを用いての日による相違は認められなかつた。

さらに燃料別の差異を同じくするため第 1 日と第 2 日についての同表同様な時刻及び高さについて分散分析を行つたところ、次のようになった。

第 5 表

処 理 別	SS	Df	Ms
高 さ (H)	6167.67	3	2055.56**
時 刻 (T)	16465.86	4	4116.47**
日 別 (D)	21390.62	1	21390.62**
T × D	5489.49	4	1372.37**
H × T	3280.94	12	273.40
H × D	2207.48	3	735.83*
H × T × D	946.91	12	78.91

* 危険率 1% で有意差があるもの

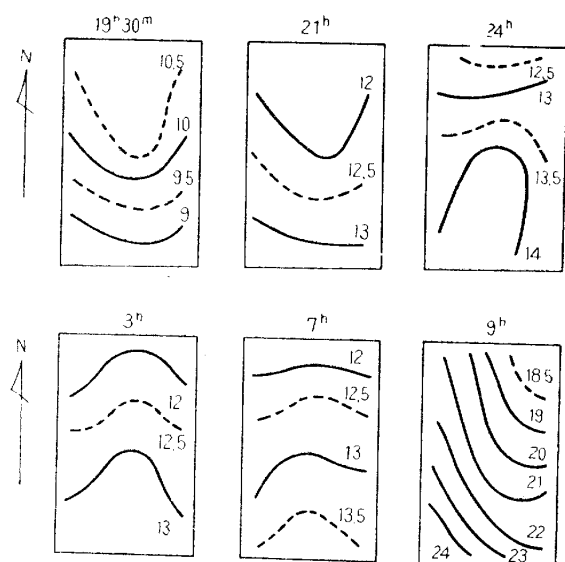
** " 0.1% "

この場合 H と T の交互作用項が危険率 5% で有意差が認められ、H と D の交互作用項が危険率 1% で有意差がある以外は残りの全部が 0.1% の危険率で有意差が認められている。これは明らかに石炭とコークスによる燃料差と焚焼関係によつて差異が生じたものと考察される。

時間的気温の垂直分布についての変遷状態はコークス、石炭共に認められるのは、焚焼及びボイラーの管理関係より派生したものであるが、第 3 図をみると地上高 1 米附近において気温の逆転層が認められ、石炭の場合非常に顕著であり、コークスの場合は左程顕著に認められなかつた。この層の顕著に出現する時刻も全く焚焼及び管理関係に原因するものと思考される。一般に温室における栽培作物の生態的面を考

慮すれば、温度の垂直分布としての逆転層の存在は熱経済よりして芳しくなくむしろ受熱型の気温の垂直分布の方が望ましいようである。こういう関係からしてコークスの場合が石炭の場合よりも温室の温度分布関係は良好のように考察される。

温室内の水平分布は第3日のコークス燃焼による場合を1例として掲記したい。その時間的な分布は大抵は地上1.4米高におけるものであるが、焚焼関係による影響を明らかに示しているようである。第4図



第4図 温室内気温の垂直分布

Fig. 4. Horizontal distribution pattern of the air temperature at 1.3 meter height above the ground during the night of February 23rd and the morning of the following day, 1956.

はこれを示したもので、19時30分、21時、24時、3時、7時及び9時の温度分布を掲げた。19時30分頃までは、パイプに温水が通っていないので温室内の分布は外気条件に支配されて他の温室に隣接した北側に高く南に低くなっているが、温水が通り始めた21時頃には南の方が高くなり、この傾向は7時まで継続するが、温水の循環が中止され、陽光に照射された9時頃には北側に低温が出現しその温度勾配は非常に大きいことが見られる。

我々は以上のような観測成果より、温室における気温分布特に石炭燃焼によるボイラーの熱管理状態より考察し、気温の分布に非常な無駄が生じているようである。栽培作物の表面部位が一番高いことが望まれるのは受熱型の温度分布であつて、これを夜間室温の保温にはつづけたいもので、作物より1米位上層において高温部を生ぜしめるのは熱経済の面よりみても甚だ面白くない現象のように筆者は考える。

このような場合温室内に気流の弱い流れを生ぜしめて、この気温の逆転層をなくすることが出来るが、それには小さい扇風機を取付けばよい。僅か1米以下の弱風でもこの気温逆転層の存在をなくするのに大いに役立つように思考される。

4. あとがき

今回の試みは一つの温室の熱管理状態の差異に基く、気温状態をみたが、なお外界との気温条件以外に風条件もいろいろ作用して非常に複雑のようである。我々は本報では風条件として弱風の場合のみを選び、温室よりの熱損失は度外視して考照した。しかし温室における熱損失は他の条件が同一の場合は室内外の温度差に比例することを考慮にいれて、温室の内外の温度差も一応参考のために掲記したものである。

温室における熱管理の問題は燃料それ自身についても多くの問題があるが、今回は石炭とコークスによる差異を観測したもので、温室の保温に関して一資料となれば幸甚である。

参考文献

1. GEIGER, R. (1950). The Climate near the Ground, Harvard Univ. Press.
1. SEARLE, S. A. (1954). Plant Climate and Irrigation, Chichester Press.

Summary

The heating arrangements in greenhouse is very significant problem among plant growers in our country.

As the first step to clarify the above problem, we have surveyed temperature distribution patterns in greenhouse, shown in Fig. 1, at the Horticultural College of Chiba University during the February 21st to 24th, 1956.

We have obtained by our observations different patterns of temperature distributions with height both vertical and horizontal, shown in Figs. 3 and 4.

In heated greenhouse under usual conditions, there was a visible indication of temperature inversion above the 1.3 meter high on the ground, which was not right climatic condition for the plants.

For good temperature control in greenhouses, we must pull down an appearance of temperature inversion layer by means of air current driven by a little fan.