

熱帯降雨林温室における温度制御について

橋本 保*・沼尻仁一*・古結好美*

HASHIMOTO, Tamotsu*, NUMAJIRI, Jinichi* & KOKETSU, Yoshimi*:
On the temperature control of the Tropical Rain Forest House

1. はじめに

筑波実験植物園の熱帯降雨林温室は昭和56年10月に完成し、ほぼ同時に植栽を開始した。

この温室は地球上の赤道を中心に分布する高温多雨の熱帯降雨林（熱帯雨林）の環境を人工的に作り、そこに生育する植物を植栽しつつ植物分類学的研究を行ない、あわせて一般に公開して社会教育に役立てようという目的を持つものである。

従来この種の大形温室、すなわち植物園などにあるいわゆる conservatory 内の環境調節の実態は、建物引渡しの前後に施行者側が調査を行うことがあったが、一般には公表されず、しかも調査記録の期間が短かった。そのため新しく大形温室を企画する場合は、もっぱら施行者（および設計受注者）側の限られたデータを基にした技術と、温室植物栽培にかかわってきた人の個人的な経験と見聞および想像力にまかせていた。

そこで我々としては熱帯降雨林温度使用期間中における環境調節と継続的観測の結果の一部をまとめ、その成果を検討し、今後の運用に役立たせたいと考えた。またこれを公表することによって、今後の大形温室計画の参考の一端としたいと考えた。

建築の概略規模は次の通りである。

温室本体

構造	鉄骨造	アルミガラス外装	平屋建
面積	550 m ² (27.5 m×20 m)		
高さ	17.6 m (有効室内高 15 m)		
容積	5500 m ³		
ガラス表面積	1645 m ²		

機械室

温室制御盤	マイコン
面積	12 m ²

エネルギー・センター内設備

温室ボイラー（セクショナル・ボイラー）灯油焚 温室循環ポンプ

2. 温度制御の基本方法

温度制御の基本方法について記す。

* 国立科学博物館筑波実験植物園 Tsukuba Botanical Garden, National Science Museum, Ibaraki Prefecture.

I. 低温季の加温はボイラーによって 80°C に温めた水を循環ポンプを用いてフィンチューブ型放熱器内を通す。室温が設定温度に達するまで三方弁の開度が調節され、設定温度に達すると弁が閉じる。低温季でも日中晴天の時は室温が高温になり過ぎることがある。その時は次の高温季の方法で換気によって室温を調節する。

II. 高温季は換気によって室温を調節するが、その順序と自動開窓面積のおおよそは次のとおりである。1. 天窗 (Fig. 4 に示される上方2段の引窓) 15 m^2 → 2. 高窓 (Figs. 1 & 2 に示される上方の引窓) 4.8 m^2 → 3. 東西の側窓 (Figs. 1 & 2 に示される下方の引窓) 49 m^2 → 4. 南北の側窓 (Fig. 3 に示される引窓と Fig. 4 に示される下方の引窓) 30.8 m^2 。設定室温より低くなるとこの逆の順序で閉じる。開閉の動作はダイヤルによって時間(秒)設定を行い、マイクロコンピュータによって1分間に1回送られてくる指令を受けて、窓のスライド回数と時間を調節する。したがっ

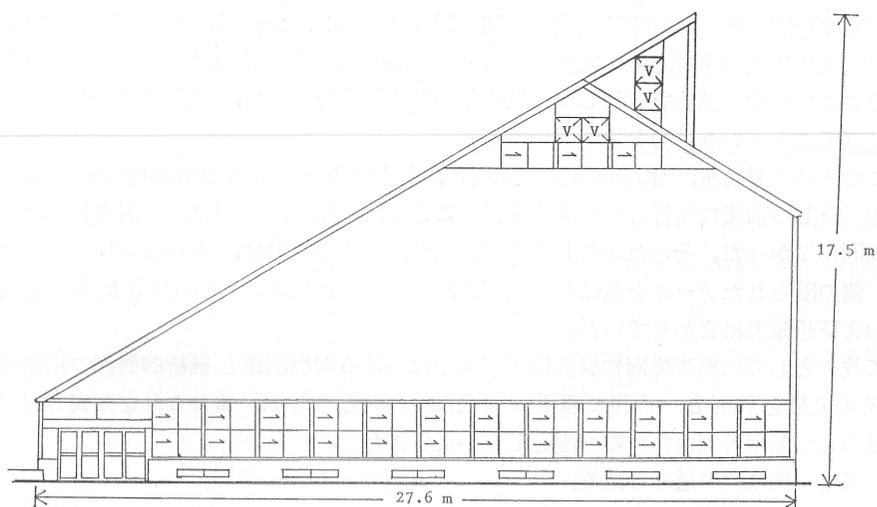


Fig. 1. Eastern profile of the Tropical Rain Forest House, showing the location of ventilation windows and ventilators (V).

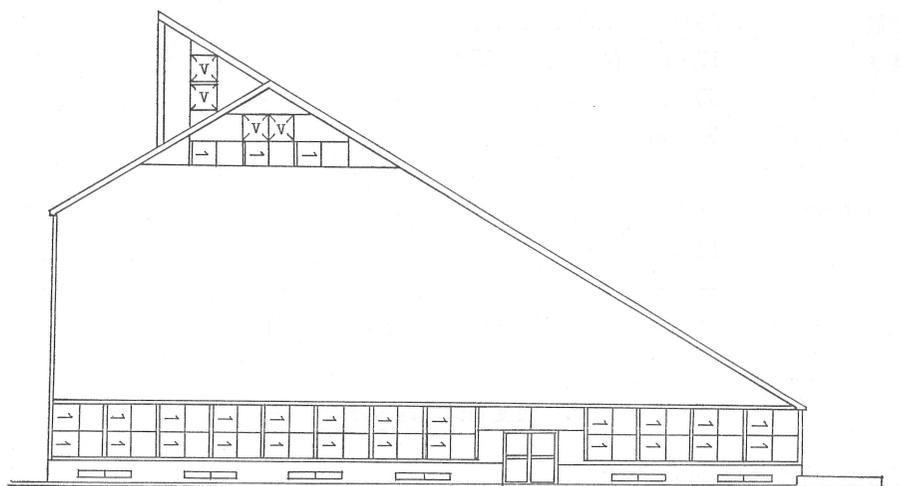


Fig. 2. Western profile of the Tropical Rain Forest House, showing the location of ventilation windows and ventilators (V).

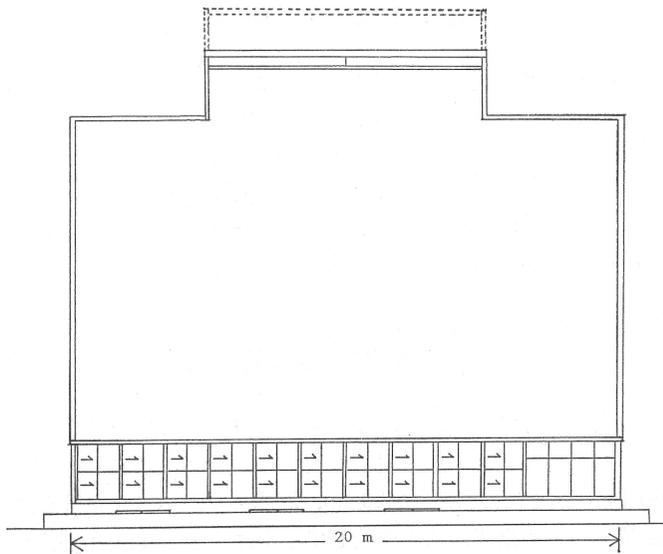


Fig. 3. Front view of the Tropical Rain Forest House, showing the location of ventilation windows.

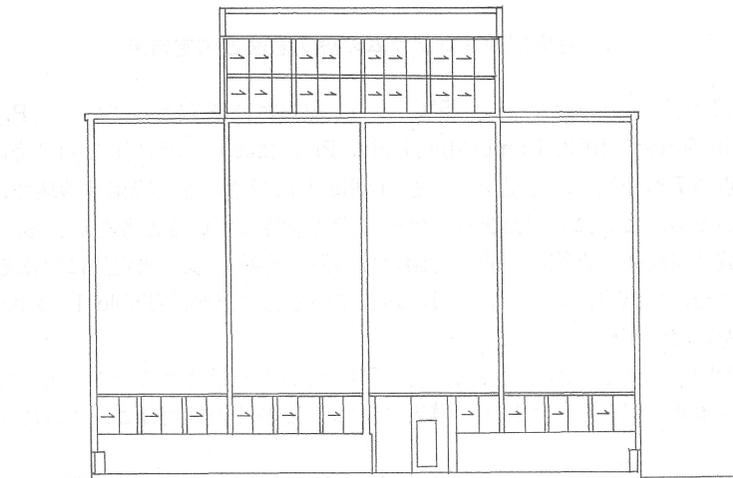


Fig. 4. Rear view of the Tropical Rain Forest House, showing the location of ventilation windows.

てスライドの途中で室温が設定温度になれば次のスライドは行われない。なお強風時は、開いている換気窓はすべてが同時に閉じ、室温が上限設定温度に達すると高窓よりも上方にある8台の緊急換気扇が作動し、排気する。その際、北面を除く温室下部に設置された15個の空気取入口が自動的にスライドし、外気を導入する。これらの緊急換気装置は温度感知によって作動する。そして換気窓全開の場合は初め4台、次に4台が作動する。またセンサーが感知できるほどの雨が降ると、天窗と高窓は閉じる。

温度制御は各種センサーによって電氣的に制御盤を用いて行うが、制御盤に対する温度関係の指令はマイクロコンピューター（菱化温室農芸ロスノー24型改）を用いている。

3. 温度制御のための設定数値

マイクロコンピュータには次の設定温度をダイヤル上にセットした。

暖房による維持室温	21°C
換気窓開き始め温度	26°C
緊急換気扇作動	24°C 以上
低温警報	15°C
高温警報	35°C

4. 地中熱交換装置

暖房費の節約と地中温度を維持する目的で、この温室は地中熱交換システムを採用してある。すなわち 1. 高温時（実際には晴天の日中）の室内の空気を、そのために設置された5個の送風扇により、地下 1 m（管の中心部）に敷設した径 20 cm, 20本のプラスチック管を通して送風し、土を暖め、蓄熱する。低温時（ふつう夜間）にも作動して土中に貯えられた熱を室内に放出する。このシステムの作動指令は制御盤で行い、次のような設定をして運用している。

蓄熱開始温度	27°C	（蓄熱停止 22°C）
放熱開始温度	19.5°C	（放熱停止 22°C）

5. 温度制御プログラムの設定意図と測定結果

地球上の熱帯降雨林の分布は年平均 25°C の等温線内にはほぼ取まっている。P. W. Richards: The tropical rain forest (1952, Cambridge Univ. Pr.) によって示された熱帯降雨林地帯の中に位置する観測地点の7つを選び、気温データを Table 1 に示す。熱帯降雨林地帯では年間を通して気温の変化が少いため、ここにあげたデータは充分意味を持っていると考えられる。

熱帯降雨林地帯の気温条件と筑波実験植物園の外気温と比較して、決定的に異なるのは寒冷期の低温である。このために温室に暖房装置が設けられているわけだが、Table 1 の平均最低気温と絶対最低気温の値を特に重視することにした。

従来国内の植物園温室のほとんどは最低温度 15°C 程度を維持するよう努力していた。一般的な観賞用または標本栽培用としてこれまで導入されていた多くの植物はこれでほぼ栽培可能であっ

Table 1. Temperature in °C of selected stations in the tropical rain forest zone.
Source from M. J. Müller: Selected climatic data for a global set of standard station for vegetational science (1982).

Locality	Latitude	Height above sealevel	Mean annual	Mean daily minimum	Absolute maximum	Absolute minimum
Aparri, Philippines	18°22'N	4 m	26.3	22.8	38.9	14.8
Kingston, Jamaica	17°58'N	35 m	27.1	21.7	35.5	13.9
Sandakan, Malaysia	5°50'N	46 m	27.4	23.9	37.2	21.1
Douala, Cameroon	4°03'N	11 m	25.8	23.0	36.0	19.0
Singapore, Singapore	1°18'N	10 m	27.2	23.3	36.1	18.9
Libreville, Gabon	0°27'N	12 m	26.0	23.0	35.0	16.0
Manaus, Brazil	3°08'S	48 m	26.9	23.9	38.6	17.6

たが、筑波実験植物園で試みようとする真の熱帯降雨林植物の植栽には、さらに最低温度を上げてやる必要があることが Table 1 によって理解できた。燃料費との兼ね合いもあって、寒冷期の室温を 20°C に設定し、差を ±2.5°C ていどにすることが許容最低温度条件とするよう考慮された。しかし56年10月引渡しを受けて以来の温室使用の経験からコンピューターのダイヤルを少し高い温度に合わせておくのが安全と考えられたので3で記したように実際には 21°C にセットした。

Table 2. Monthly data of temperature in °C in fiscal year 1982, observed at A (see Figs. 5 & 6).

	JAN*	FEB*	MAR*	APR*	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV*	DEC*
Mean monthly maximum temperature	25.7	26.4	25.6	27.4	28.7	27.4	28.2	30.6	26.5	26.5	26.3	25.4
Mean monthly minimum temperature	18.4	18.4	19.0	19.3	18.4	18.4	20.5	23.2	19.5	17.6	19.1	18.6
Absolute maximum temperature	27.0	27.0	28.3	30.8	31.0	30.0	31.8	33.2	30.3	29.3	28.1	27.0
Absolute minimum temperature	17.8	17.5	18.5	18.5	13.0	16.0	16.8	21.5	16.5	14.0	18.0	14.4

* The boiler operated through month.

Table 3. Monthly data of temperature in °C fiscal year 1982, observed at H (see Figs. 5 & 6).

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
Mean monthly maximum temperature	8.4	8.3	11.1	18.1	26.1	25.6	27.0	31.4	24.8	20.6	15.8	10.9
Mean monthly minimum temperature	-3.5	-2.8	1.1	6.0	13.3	15.0	17.5	21.6	16.6	10.1	7.2	0.9
Absolute maximum temperature	13.5	12.3	17.5	25.5	31.0	31.5	33.5	35.0	33.5	25.1	22.0	18.2
Absolute minimum temperature	-9.6	-8.0	-6.8	-2.0	6.5	12.5	12.0	19.0	13.0	2.6	-4.6	-4.3

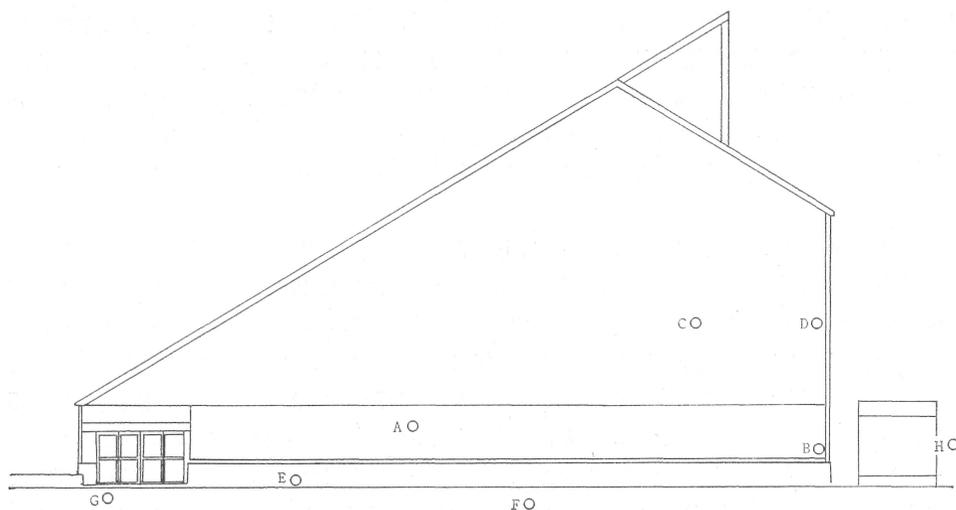


Fig. 5. Location of electrical temperature sensors, a profile.

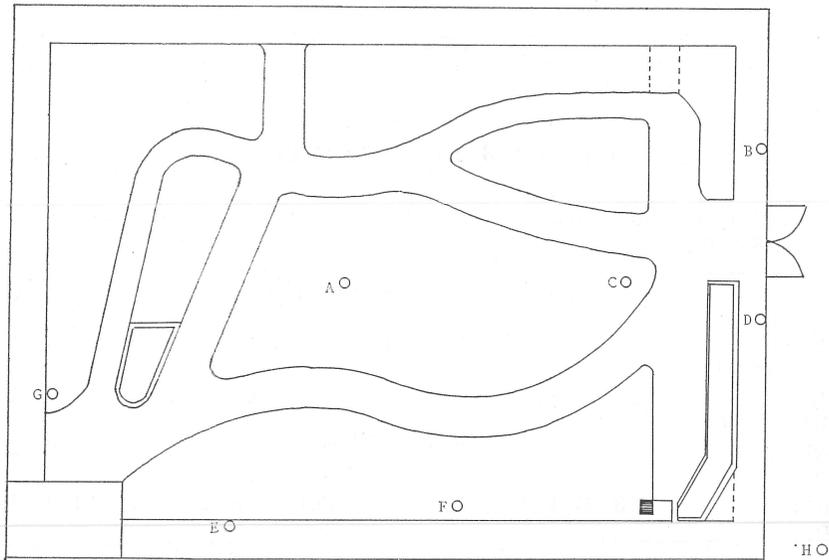


Fig. 6. Location of electrical temperature sensors, a top view.

Table 2 は1982年4月1日から翌年3月末日までの熱帯降雨林温室中央センサー (Figs. 5 & 6 のA位置) による室内温度記録のまとめである。比較のために Table 3 に外気温の記録を示す。この記録は打点記録計 (横河電機製作所 ER 187 型) を用いた。またセンサーは Figs. 5 & 6 に示す場所に設置した。これらのセンサーの中から室内中央 1.7 m—A, 室内地上 5.5 m—C, 室外地上 1.4 m—H によって得た記録を要約して Fig. 8 (1982年8月11日, すなわち室外最高気温観測日) および Fig. 7 (1983年1月23日, すなわち室外最低気温観測日) に示した。

6. 考 察

四季を通して外気温の変化が大きい筑波地区であるが、熱帯降雨林温室では年平均最低気温 19°C であり、熱帯降雨林地域のそれよりやや下廻ったが、ほぼ満足できる室温を維持できたといえよう。またボイラー運転期間の最低室温の記録は12月に1度 14.4°C があったが、これは消毒のために日中換気窓を開放せざるを得なかったためで、その他の月は 17.5°C 以上であり、この結果は Table 1 に例示した熱帯降雨林地域の測定記録と比べると解るように、ほぼ満足すべきものであった。もっともボイラー運転休止期間における室温低下に関する対策は改めて検討する必要がある。

ボイラー運転期間における温度の日変化を Fig. 7 で見ると、外気が -9.5°C になった時は設定温度より 3.5°C 低い値を示し、外気が $-3\sim-7.5^{\circ}\text{C}$ の時に室温 20°C を示している。この事実で熱帯降雨林温室における寒冷時の温度制御の実際の運用法が明らかにされた。また Fig. 7 の日は日中が晴天のため、9時から15時までは室温が 20°C を大きく上廻った。この間温水の循環は停止しているが、地上 5.5 m の C センサーの位置では地上 1.7 m の A センサーの位置よりも 5.5°C 高い値を記録した。12時を過ぎて急激に降下したのはスプリンクラーによる灌水のためである。C センサーの位置、おそらくその高さの辺りは、A センサーの位置に比べて日中は高温、夜間は低温になることが解った。この傾向はボイラー運転休止期間も同様であるから、この温室内の高所は低所よりも外の環境による影響を受け易いことが解った。

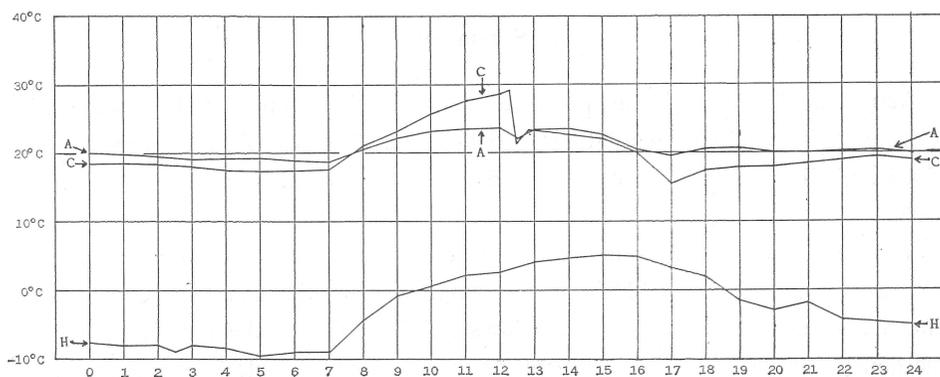


Fig. 7. Daily march of temperature in °C on Jan. 23, 1983. Data observed at A, C, H indicated in Figs. 5 & 6.

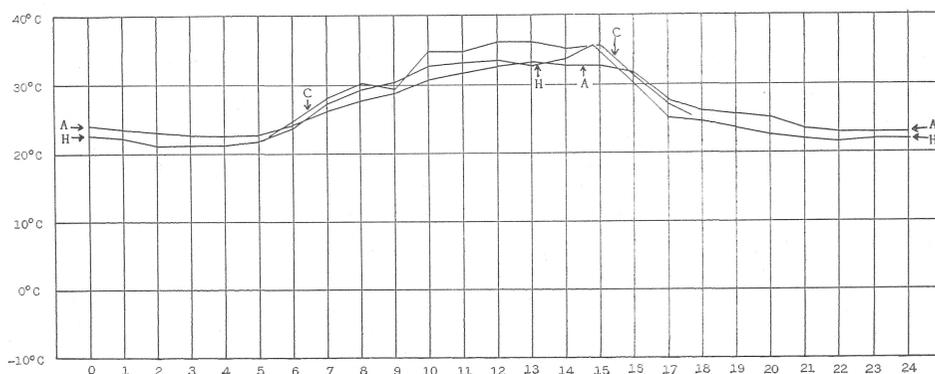


Fig. 8. Daily march of temperature in °C on Aug. 11, 1982. Data observed at A, C, H indicated in Figs. 5 & 6. C accords with H between 0 to 5 and 18 to 24 hrs.

Fig. 8 で見られるように、ボイラー運転休止期間、とくに夏季高温時に、Aセンサーの位置は夜間常に外気温より $1\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 高い。しかし日中の最高温時は逆に 3°C ほど低い。これは通気と緊急換気扇、さらに日中1回の灌水の効果によるものと思われる。Cセンサーの位置も最高温はAセンサーの位置と同じ値を示していることは、特に緊急換気扇の効果が大きい事を示唆している。Cセンサーの位置では夜間、すなわち Fig. 8 でみる $0\sim 5$ 時および $18\sim 24$ 時は外気温と同じ値を示した。このため同図では図示を省略してある。

最後に地中熱交換装置に関してだが、これに関するデータの集積は現在充分とはいえない。ただし地中管 10 cm 上、すなわち地表下 80 cm の所に F センサー、地中管の無い場所の地表下 80 cm の所に G センサーを設置してある。これらの記録から見ると、これらの位置での温度の日変化は少く、F で約 1°C 、G で約 2°C である。ただし季節的なおおまかな変化はあり、各月 1 日 0 時の比較において F の場合 19.8°C (3月) $\sim 25^{\circ}\text{C}$ (9月) の間をゆっくりと上下している。観測地点植栽工事の都合で、G センサーによる温度測定結果は、今回比較検討のデータとして用い得なかった。

謝 辞

この報告は筑波実験植物園黒川造園長の指導によって行われた。また同園故板倉昭育成主幹の発案によって打点記録計を設置することができた。ここに感謝の意を表したい。

Summary

Actual condition on the temperature control of the Tropical Rain Forest House by a hot water boiler and the ventilation system in the Tsukuba Botanical Garden is briefly described and discussed on the basis of a document, recorded from April 1, 1982 to March 31, 1983.

In order to reproduce climate condition of the tropical rain forest, we set dials of the control panel as follows: 21°C for the temperature in the house, 26°C and up for the functional temperature of ventilation windows, 24°C and up for the functional temperature of emergency ventilators. The temperature thus obtained (Table 2) is essentially similar to that in tropical rain forest.