

苗畑の温度

—夏期の気温、地温の測定例—

安藤 信

1 はじめに

植物の生長に影響を与える環境要因の一つに温度条件がある。個々の種はその生育に最も適した温度範囲を有し、それはそれぞれの生育ステージで異なるものと思われる。樹木の育苗技術における温度管理の問題として低温害に対する対策は講じられてきたが、高温の熱害については日覆を掛ける程度で見逃されがちである。その原因として、高温時の植物にとって、土の乾きによる水分欠乏がさらに大きな生長抑制要因になること、稚苗への熱害は 50°C 以上の高温で顕在化すること⁴⁾、温度環境の測定が畑や森林内および裸地では多いが、苗圃での研究報告例が少ないことなどがあげられよう。本研究は、特に夏期の苗畑の地表近くの温度環境の稚苗の生長への影響について考察するものである。実験を行うにあたって、京都大学農学部附属演習林真鍋逸平先生をはじめ本部試験地、芦生演習林の教職員の方々にご協力いただいた。記して感謝の意を表する。

2 調査地の概況と測定方法

実験は京都大学農学部附属演習林本部試験地（京都市左京区北白川追分町）の苗畑で1986年5月から10月にかけて行った。本部試験地（1.7ha）は外周に国内外の見本樹が植栽され中心部に学生実習あるいは実験用の苗畑が小区画毎に分散する。地質は北白川扇状地の花崗岩質の砂層からなり、土性は砂質壤土である。基本になる本部試験地の気象観測は約 50m^2 の芝地に設けられた1号の大きさに匹敵する手製の百葉箱（底面積約 1m^2 ）内で、最高最低温度計、水銀棒状温度計、7日巻の温湿度自記記録計によって午前9時に定刻気温、湿度と最高最低気温を測定し、雨量測定は7日巻の転倒ます式自記記録計で行っている。また日中の雲量からその日の天気を快晴、晴、曇の3段階で記録している。参考に観測値から描いた温雨図を図1に示した。本部試験地の気象は年平均気温（9時観測）は 14.9°C 、年降水量は 1508mm となり、夏期は高温、多雨で、冬期は低温、少雨となる内陸性の気候を示している（最近15年間の集計より）^{8,9,10)}。

苗畑温度の測定箇所は苗畑の中央部にある学生実験による播種後3年目のアカマツ床替地（25本/ m^2 、平均樹高30cm）に設定し、その中心の比較的植栽密度が疎になった部分で地上と地下の高さ、深さ別の気温と地温を測定し、北側3m程後方に設けた3号の百葉箱（底面積約 0.27m^2 ）内で同時に苗畑気温を測定した。また西側約5mのカラマツの枝下に樹下測点も設けた。苗畑温度の測定箇所はできるだけ周囲の植栽樹木に陽光を遮られない場所を選んだが、南西から西側にはクスノキ、カラマツが存在し、太陽高度の低い季節には午後陽光の侵入が妨げられる。測定期間中の当苗畑の管理は夏期2回の除草が行われたが、灌水、日覆は行っていない。温度の測定は6打点式のサーミスター温度計（横河電機製作所 E R 186形打点記録計、エイワ電子計器製作所 6打点用温度変換器 $-5\sim 50^{\circ}\text{C}$ 、4.2秒で1点打点）で行い、サーミスターの感温部が日射や熱放射を受けてあたためられたり、冷やされたり、雨や露が付着するのを防ぐため塩化ビニ-

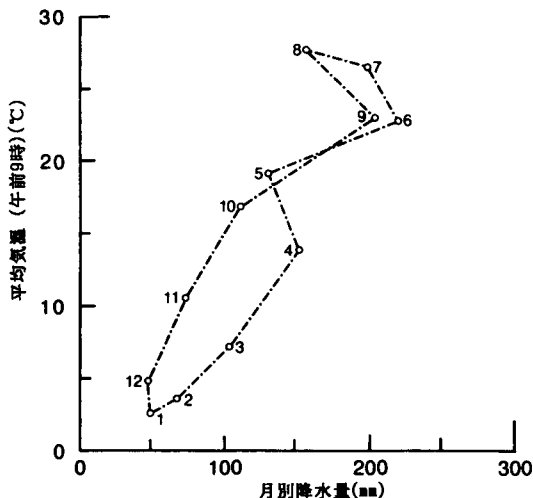


図-1 温雨図(本部試験地) 注: 図中の数字は月数

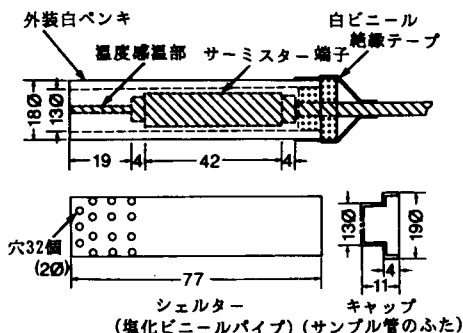


図-2 シェルターの構造(単位mm)

ルパイプ製の簡易シェルター(塩ビシェルター)(図2)を野外気温測定時に使用した^{11,12)}。また計算紙(白)をセロテープで巻きつけたさらに簡易なシェルター(紙シェルター)とシェルターを使わないものとの同時測定を行い、シェルターの是非を検討した。地温は直接サーミスター端子を地中に埋設して測定したが、地表面気温は端子を地表面に転がして測定し、シェルターは用いていない。6打点のサーミスターはそれぞれに測定温度範囲内で異なった温度特性値を示す。室内で恒温水槽と水銀棒状温度計を用いて6個のサーミスターの検定を行い、得られた推定式を用いて、測定値を補正して使用した。そのため補正值は50°Cを1~2°C越えるものもある。

尚、本文中に用いた天気表示は本部試験地気象観測で判定された天気の区分を採用し、降水量1mm以上の日は雨天とした。

3 結果および考察

1) シェルターの検討

苗畑内の地上1.3mの外気温の塩ビシェルターを用いた場合と用いない場合の違い、塩ビシェルターを用いた地上1.3mの苗畑と樹下の気温の違い、地上1.3mの塩ビシェルターと紙シェルターの測定気温の違いを示したのが図3である。

苗畑気温はシェルターを用いない場合、晴天日(快晴および晴)の最高気温は30~40°Cの温度範囲でやや高く、温度の上昇とともにさらに高い値を示したがその差はわずかであった。曇天日

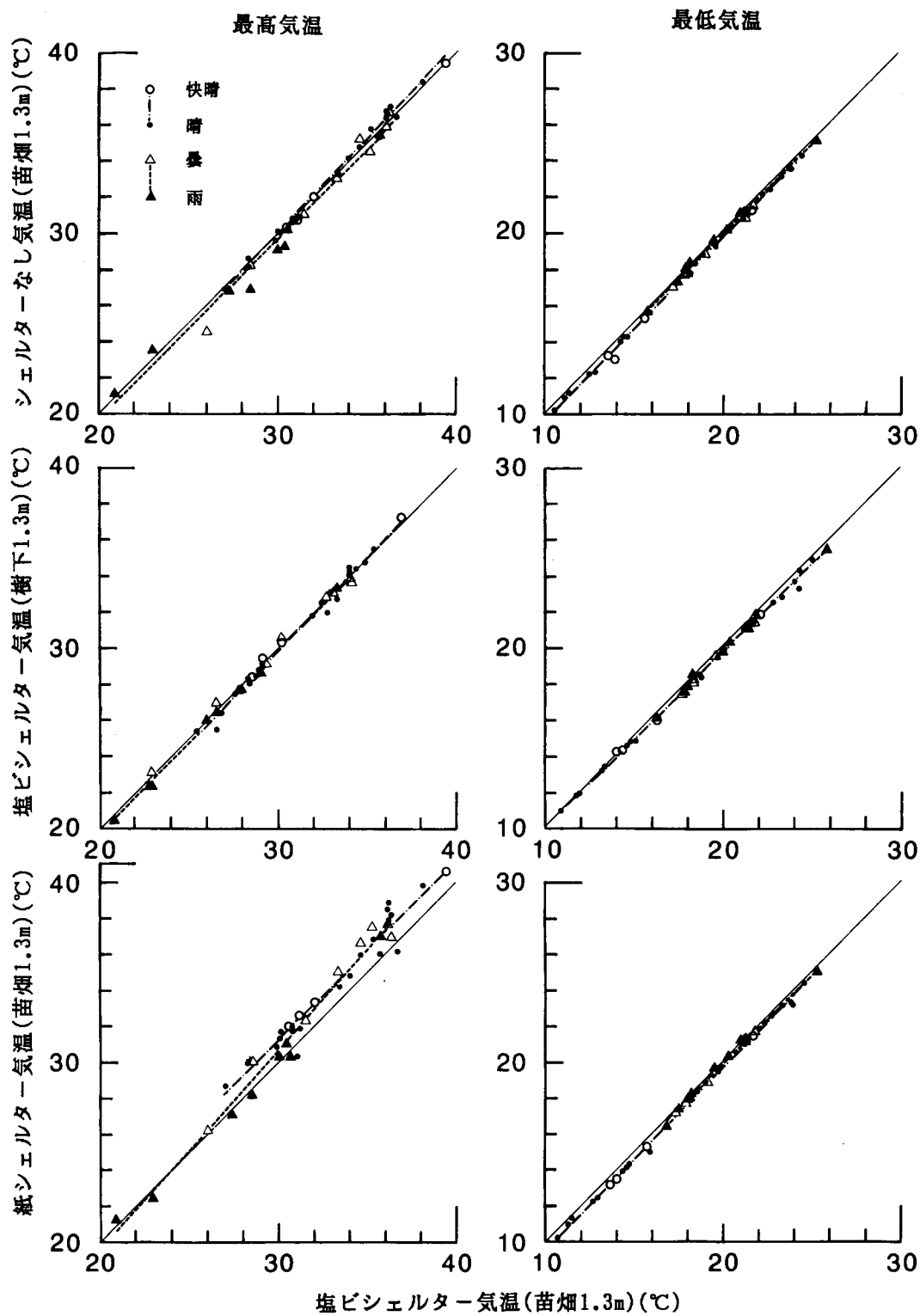


図-3 シェルター使用の温度比較

(曇および雨)の最高気温は20~35°Cの範囲でかえって低い値を示した。最低気温ではシェルターがないと低い測定値となる傾向がみられ、晴天日(10~25°C)は曇天日(15~25°C)に比べさらに低くなるようであった。このようにシェルターがないと晴天日の30°C以上の最高気温で高い値の測定値を示す以外はむしろ低い値となるが、測定温度範囲内では上昇、低下ともに0.5°C以上の大きな違いは認められなかった。

直射光の当たらない樹下の気温は苗畑のものと比較して晴天日の最高気温は25~35°Cの範囲でほとんど差はみられず、曇天日は20~35°Cの範囲ではやや低い値となった。最低気温は10~25°Cの範囲で晴天日、曇天日ともに低い値を示した。また最高気温、最低気温ともに測定温度範囲内では0.5°C以下のやはり小さな温度差しか認められなかった。

紙シェルターを用いた場合、晴天日の最高気温は25~40°Cの範囲で1°C前後高い値となり、曇天日には20~35°Cの範囲では、30°C以下の場合には大きな違いは見られないが、30°C以上では晴天日同様に1°C前後高い値を示した。最低気温は10~25°Cの範囲で晴天日、曇天日ともに低い値を示したが、温度差は0.5°C以下であった。

このような結果からシェルターの是非を問うのはかなり問題があるが、特に夏期の苗畑の植物の生長を制限する高温部の温度環境という面から最高気温の測定値を重視して検討してみよう。まず晴天日の苗畑と樹下の最高気温の測定値がほぼ同様の値を示したことから明らかなように、塩ビシェルターはこの温度範囲内では日射による温度上昇をかなり防ぐことができるものと考えられる。それに対し、シェルターを用いない場合、紙シェルター使用の場合は気温が30°Cを越えると高い測定値になり、特に紙シェルターではその傾向が大きい。シェルターがない場合にはサーミスター感温部の金属部分が日射により異常に熱くなることが考えられるが、紙シェルターの場合は塩ビシェルターと比較して、材質の面で断熱効果が小さいことや通気穴を設けなかったため感温部付近に熱がこもったことも考慮にいれなければならない。最低気温では苗畑の塩ビシェルターの測定値がわずかであるが他の測定法に比べ高い値を示した。その原因としてやはり断熱効果が大きいことや樹下とほとんど裸地に近い苗畑との温度環境の違いなども考えられた。また雨天日にはシェルターを用いない場合にサーミスター感温部に雨滴が付着し、塩ビシェルター使用のものと比較して温度変化が遅れる傾向も観察され、吸水性の良い紙シェルターによる測定でも同様の現象がみられた。これらの点からサーミスター温度計を用いた外気温測定時の塩ビシェルターの使用はシェルターを使用しない場合、紙シェルターを使用した場合と比較して勝っているものと思われた。

2) 苗畑の温度

イ) 本部試験地観測気温と苗畑百葉箱気温との比較

5月下旬から10月初旬の測定期間中の本部試験地の観測地と苗畑に設置した百葉箱内の気温を比較したのが図4である。

9時の定刻気温を比較すると晴天日、曇天日ともに20~30°Cの範囲で、苗畑温度は0.5~1°C高く、天候による違いはほとんど認められなかった。最高気温では20~35°Cの範囲で晴天日は1~1.5°C、曇天日は0.5~1.5°C高い値を示し、曇天日は雨日の低温域で低く、30°C以上の高温域でやや高くなる傾向がみられた。最低気温では10~25°Cの範囲で晴天日は1.5°C前後、曇天日で1~1.5°C低い値を示した。

この結果から苗畑温度は天候にかかわらず最高気温は高く、最低気温は低いことが明らかであるが、その原因として気象観測が行われている芝地と苗畑の温度環境の違いや一般に容量の小さな百葉箱では最高気温は高く、最低気温は低い値となる¹¹⁾ことを考慮しなければならない。さらに本部試験地の観測方法と、苗畑の温度測定に使用した温度変化に対する反応の優れたサーミスタ

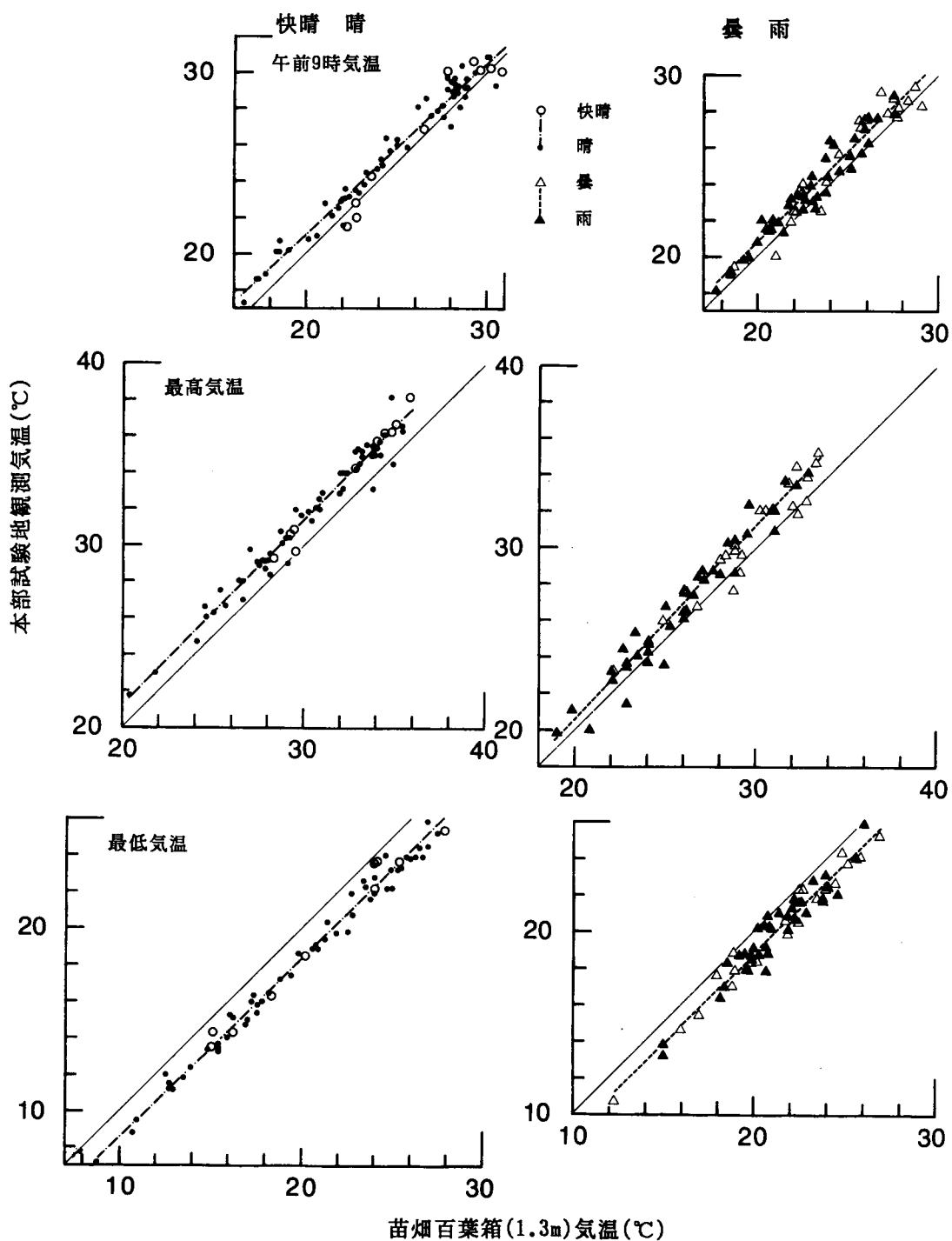


図-4 本部試験地観測気温と苗畑百葉箱(1.3m)気温の比較

一では、気温が上昇途中にある9時の定刻測定、温度変化の著しい日中の気温の比較は難しいことが予測された。

以下の議論の中では苗畑に設置した百葉箱の測定値を基準に検討することにした。

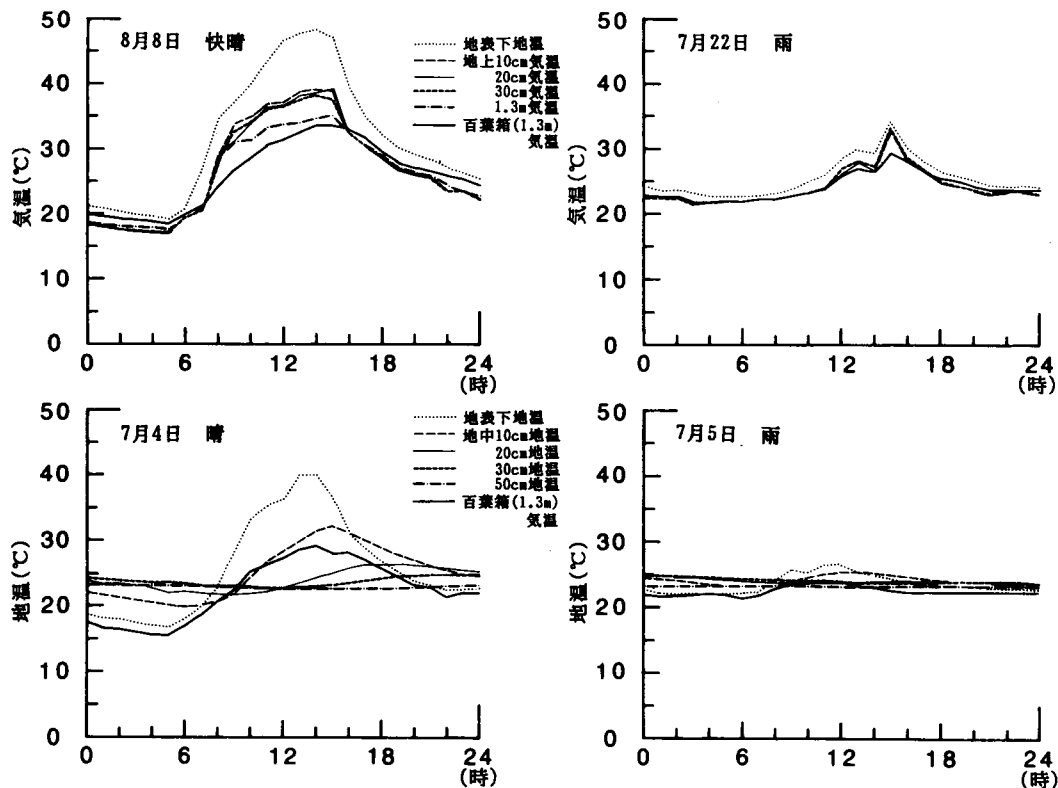


図-5 気温 地温の日変化

ロ) 気温, 地温の日変化 (図5)

盛夏の晴天日の気温の日変化は5時頃にその日の最低値を示し、14時頃最高値を示す。8月8日は気温の変化も安定した快晴日で、8月の測定中で最も大きい 15.8°C の日較差を示した。地表下地温は日の出とともに上昇し最高温度は 48.0°C になり夜間は温度が急激に低下するが、感温部が地中にあるためか地上気温より高かった。地上10~30cmの気温はほぼ同様の温度変化を示し、地表下地温の上昇から約1時間遅れて7時頃から急激な上昇を始め、 40°C 前後の最高気温を示した。地上1.3mの外気温も10~30cmの気温と同時に上昇するが、10~15時の日中の高温時にはやや低い値となり最高気温は 35.6°C を示した。また同じ高さの百葉箱内気温と比較すると、温度の上昇、低下の変化は急で最高気温は高く、夜間の最低気温は低い値となった。

7月22日の雨日の気温変化は降雨と日射の影響で外気温は微妙に変化するが、地表下地温、地上10cm~1.3mの気温、百葉箱内気温の差は小さかった。

7月4日の晴日の最高気温は14時頃 29.6°C になり、最低気温は5時頃 15.4°C を示した。地中の地温の最高値は深くなるにつれて低く、時間的なずれが生じ、地表下地温はやはり14時頃 40.2°C 、地中10cmでは15時頃 32.1°C 、地中20cmでは18~19時頃 26.3°C 、地中30cmでは22~23時頃 24.8°C 、地中50cmでは日較差はほとんど認められないが、次の日の明け方にピークがあらわれるようであった。最低温度も同様に時間的にずれ、深くなるにつれて高い値を示し、地表下地温は5時頃 16.6°C 、地中10cmでは6時頃 19.9°C 、地中20cmでは9時頃 21.7°C 、地中30cmでは11~12時頃 22.6°C 、地中50cmでは15~18時頃 22.7°C を示した。このように地温は気温や地表近くの温度に比べ、最高、最低温度を示す時刻は地中10cmで1時間、20cmで4~5時間、30cmで6~

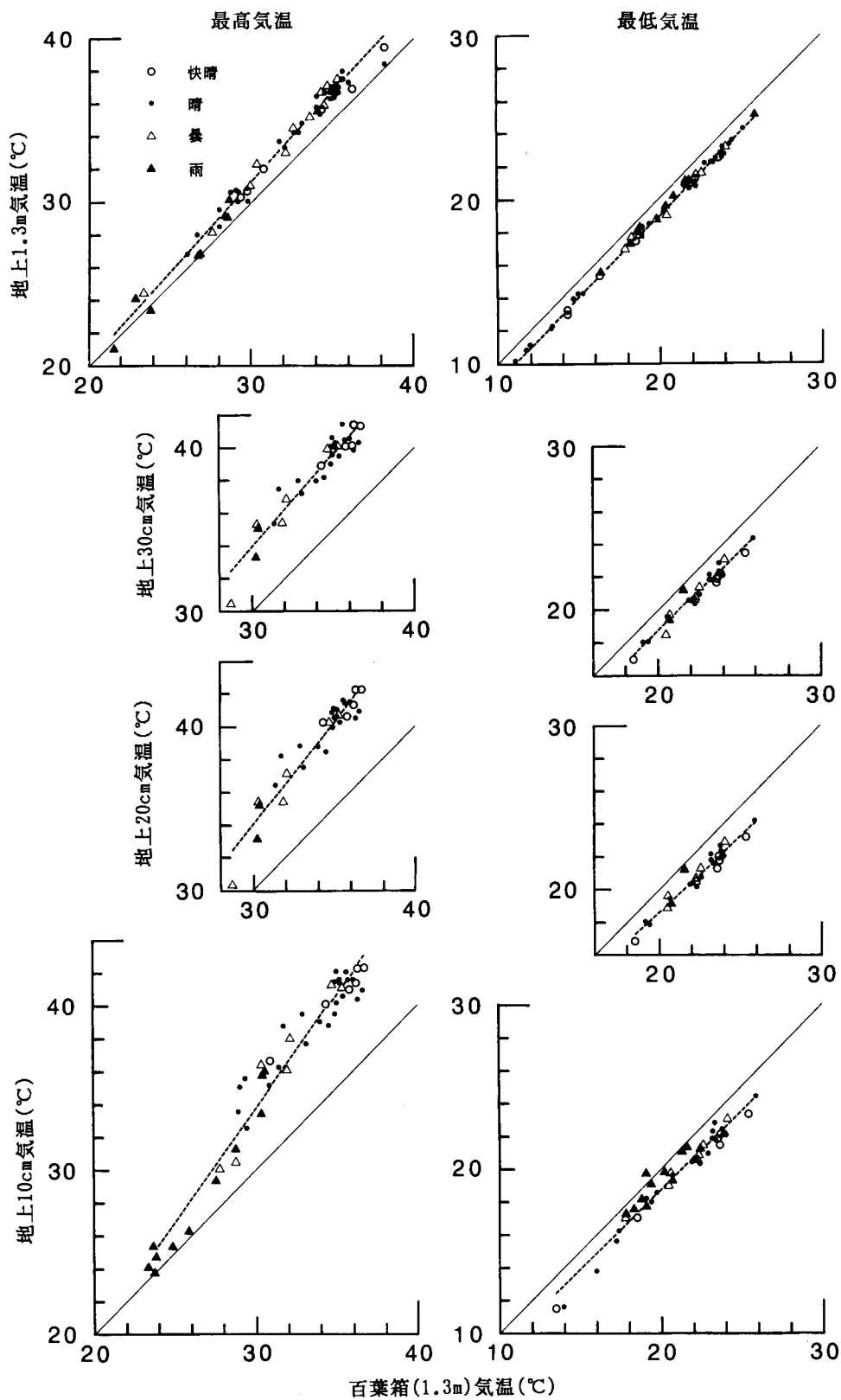


図-6 高さ別の気温変化

9時間、50cmでは外気の直接の影響は少ないが半日からそれ以上遅れるようで、特に最高温度にその傾向が強いように思われた。

7月5日の雨日の最高気温は24.4°C、最低気温は21.0°C、日較差は3.4°Cで小さい。日中に日射がはいり、気温と地表下および地中10cmの地温がいくらか上昇したが、地中20、30、50cmの地温は1日を通じてほとんど変動はみられなかった。

以上盛夏4日間の気温、地温の日変化について述べたが、気温、地温の日変化は天候により大きく異なり、雨日は気温、地温ともに地表面からの高さ、深さの違いによる差が小さいが、晴天日には地表面付近の大きな温度変化を中心に垂直方向の温度分布が時間の経過とともに激しく変化することが明らかになった。

ハ) 気温の高さによる違い

苗畑百葉箱の最高、最低気温と苗畑中央の地上気温の最高、最低値を比較したのが図6である。

苗畑の最高気温は、百葉箱最高気温が30~40°Cの範囲で、百葉箱の温度が上昇するにつれさらに上昇する傾向がみられ、また地表面に近くなるほど温度上昇は大きいようであった。すなわち地上1.3mではこの温度範囲内で1~2°C程度の上昇であったが、地上30cm、20cm、10cmでは百葉箱気温が30°Cのとき4°C前後の上昇を示し、40°Cではそれぞれ5、6、7°Cあるいはそれ以上上昇し、夏期の苗畑の地表面付近では40°Cを越える日が多いことが明らかになった。この傾向は、最高気温が30°C以下の雨日の場合に上昇が鈍いようであるが、30°C以上に達する日には天候にかかわらずこのような大きな温度上昇がみられた。最低気温は外気温の方が低く、地上1.3mでは1°C以下、地上10cm、20cm、30cm、では1°C以上低い値となった。天候による差は小さかったが、雨日の地上10cmでは百葉箱の気温に近い値を示した。これは地表面に近いため雨滴のはね返りによって、土壌や雨水が感温部に付着した影響と考えられる。

ニ) 地表温度 (図7)

地表面付近の温度測定は日射による温度測定装置の温度上昇などもあり極めて困難である。本実験では主にサーミスターの感温部(約2cm)のみを地中に差し込んだ状態の測定(地表下地温)で代表させ、シェルターをつけずにサーミスター端子を地表面に転がした状態で測定したもの(地表面気温)で補足した。

地表下地温の最高温度は前述の気温変化に比べてばらつきが大きく、百葉箱内の最高気温がほぼ同様の晴日であっても、測定日によって10°C近い温度差が生じた。温度上昇傾向は天候によって異なり、百葉箱内の最高気温が25°Cでは晴天日で8~9°C、曇天日で3~4°C、35°Cでは晴天日に11~12°C、曇天日に7~8°C前後の違いがみられ、曇天日のうちでも雨日は温度の上昇が鈍かった。また測定期間中に百葉箱内では37°C近い最高気温が記録されたが、地表では50°C以上になった日が数日みられた。地表面気温は地温と比較してさらに高温時の温度上昇は激しく、測定期間中には使用サーミスター温度計の測定範囲を越えて60°Cに近い日もあったものと予測された。

地表下地温の最低温度は、百葉箱内最低気温の10~25°Cの温度範囲では、気温と比較して晴天日、曇天日ともに0~1°C高く、気温が上昇するにつれ、その差が小さくなるようで、雨日は特にその傾向が著しかった。それに対し、地表面気温は10~20°Cの範囲で0~1°C低く、やはり雨日は百葉箱気温との差が小さかった。この二点の測定位置は極めて至近であるが、百葉箱気温と比べて、地温は高く、気温は低いといった特徴が地表付近でもみられた。

ホ) 地温の深さによる違い

地温の最高、最低温度は地中10cm、20cm、30cm、50cmと深くなるにつれ外気温の影響が小さくなり、50cmでは影響がほとんどみられなかった。最高温度は地中10~50cmのすべての深さで、

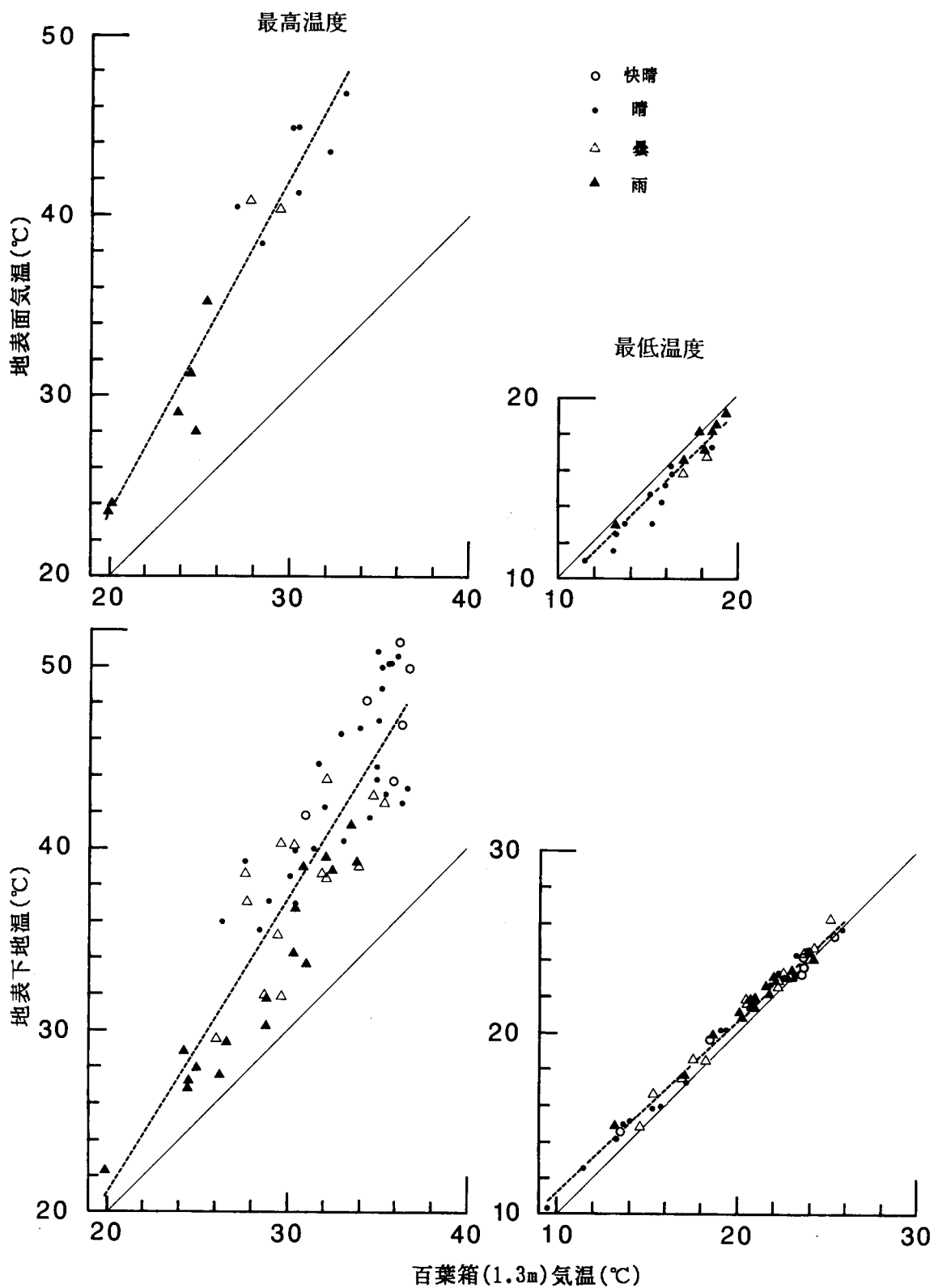


图-7 地表温度变化

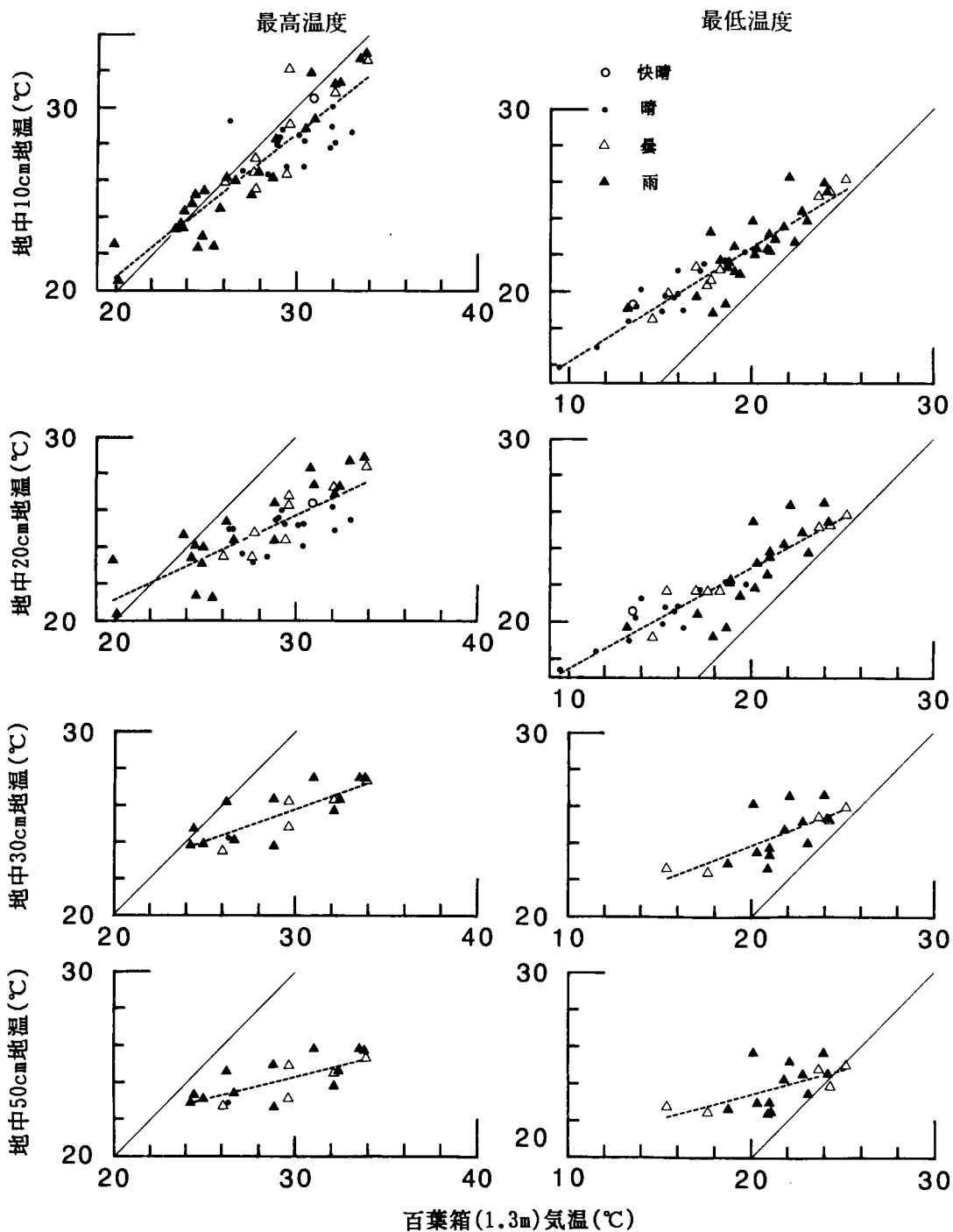


図-8 深さ別の地温変化

22~24°Cを境に外気温がそれ以上の日は地温が低く、それ以下では地温の方がむしろ高い値となり、気温がさらに上昇、低下すると地温との差は大きくなった。最低温度についても、百葉箱内の最低気温が24~26°Cでは地温の最低温度との違いはないが、さらに最低気温が低下すると

地温の方が高く、気温の低下とともにその差が大きくなった。この24°C前後に最高、最低温度となる日は夏期においては曇天日、そのうちでも雨日である場合が多かった。また全体的に晴天日に比べ、雨日の気温と地温の差は最高、最低温度ともに小さく、地表に近い地中では雨水の流入によりその差がさらに小さくなるものと思われた。

以上の結果から夏期の本部試験地の地温は24°C前後を中心に変動し、地中50cmではほとんど変化がみられないが、地表面に近づくにしたがい天候による温度変化あるいは日較差が大きくなり、外気温の影響が大きくなることが明らかになった。この測定は6~7月行ったが、地温と気温の最高、最低温度の差が小さくなる24°C前後の温度は測定場所、季節により変動するものと予想された。

4 ま と め

一般に植物の生育に適した最適温度は光合成と呼吸速度の温度変化から検討され、C₃植物で20~30°C、C₄植物で35°C³⁾とされる。育苗の対象になるアカマツ、スギ、ヒノキの場合は夏期の光合成の最適温度は20°C前後となり、40°C以上になると光合成はほとんど行われず、呼吸速度が増大し生長は停止する²⁾。また稚苗の熱害については土壌表面が50~60°Cの高温になると、稚苗の地際部の形成層が障害をうけ枯死することがある⁵⁾とされる。本研究は小規模の実験苗畑における1シーズンの気温、地温の測定例から最高最低気温、温度を中心に考察してきたが、実験結果から日覆をしない苗畑では、苗が体感する地上30cmまでの気温が晴天日の日中には数時間40°C前後の高温になることが多く、地表付近では50°C以上に達し、夏期の苗畑の稚苗がその生長に厳しい温度環境に置かれていることが明らかになり、生産性を向上させる意味からも高温下での温度管理の重要性があらためて認識された。

引用文献

- 1) 宮崎綱・佐藤亨：苗木の育て方. 101~102, 地球出版社. 1959
- 2) Negisi, K.: Photosynthesis, Respiration and Growth in 1-year-old Seedlings of *Pinus densiflora*, *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa*. Bull. Tokyo Univ. Forest. **62**. 1~115, 1966
- 3) 田崎忠良：環境植物学. 63~74, 朝倉書店. 1978
- 4) サトータイシチロー：苗畑と水. 林業解説シリーズ. **57**. 2~34, 日本林業技術協会 1953
- 5) 四手井綱英：森林保護学. 朝倉書店. 14~29, 1976
- 6) 原田泰：森林気象学. 101~152, 朝倉書店. 1951
- 7) 京都大学農学部附属演習林：演習林概要. 14~15, 1985
- 8) 京都大学農学部附属演習林：演習林気象報告. **8**. 27~39, 1977
- 9) 京都大学農学部附属演習林：演習林気象報告. **9**. 27~39, 1981
- 10) 京都大学農学部附属演習林：演習林気象年報 昭和56~60年. 1981~1985
- 11) 日本農業気象学会：農業気象の実用技術. 432~450, 養賢堂. 1972
- 12) 根岸賢一郎：ナエの同化量をはかるためのかんたん同化箱. 日林誌. **43** (7). 261~262, 1961