樹木植栽地における夏季間の微気象調節機能に関する研究

稲 葉 孝 己*
竹 村 文 男*
香 川 信 子*

Study on the Micrometeorological Control with Woods during Summer

Takami INABA
Fumio TAKEMURA
Nobuko KAGAWA

摘要：樹林のもつ微気象調節機能を知るために、小規模な樹木植栽地を対象として、夏季間の微気象の総合的な観測を実施した。観測結果から、林冠の内と外では日射量の差異から温湿度だけでなく、地表面の土壌水分の変動にも差異が生じ、風速も林冠内では相当減速される傾向があった。林冠内の垂直方向についても、日射量や気温の変動に差異があり、風速の変動には樹冠の形態に起因する特徴的な差異がみられた。

1. はじめに

緑地およびその構成材料のひとつである樹木がもつ重要な機能のなかに、微気象調節効果がある。最近、緑地の微気象調節機能に関する調査研究報告も数多くなされるようになったが、気象学的要素の複雑さもあって、究極的な解明がなされたとは言い難い。

本研究では、緑地のひとつのモデルとして小樹林とも言うべき樹木植栽地をとりあげ、この樹林内外において日射をはじめとする総合的な気象要素の観測を実施し、これら盛夏期の観測結果から、この樹林内外の気象環境の差異を調べ、小樹林のもつ微気象調節効果を具体的に把握することを目的とした。

2. 調査地及び調査方法

1983年8月1日～14日、8月19日～31日に、千葉大学園芸学部内実験圃場（千葉県松戸市）のスギ（平均樹高約4m）、ヒノキ（平均樹高約4m）、トウネズミモチ（平均樹高約4m）、マサキ（平均樹高約1.5m）の4樹種から成る樹木植栽地（面積約120㎡、Fig.1参照）と、その南側に隣接する裸地を調査対象地とした。この植栽地内と裸地に4mと2mの観測用ポールを設置して、気象観測を実施した。

観測は、測定項目により1時間間隔の測定と自動記録計を用いた連続測定の2つに分けて実施した。なお、8月12日～13日（晴天日）と8月27日～28日（曇天日）については各測定項目を24時間連続測定した。

①温湿度の測定：アスマン通風乾湿計を用いて、地上高27cmの乾湿球温度を植栽地内（林内区）と裸地（林外区）の各々について測定し、気温と相対湿度を求めた。

②土壌水分の測定：テンションメーターを用いて、林内区と林外区（対照区）の両方について地下10cmの土壌水分を吸引圧〔pF〕で測定した。

③樹液流速の測定：樹液流速計（林電工社製・HP-1型）を用いて、林内の観測用ポールに近接する1本の樹高約4mのヒノキ（Fig.1参照、樹冠位置を平面図内に円で表示）の樹液流速の測定を行なった。

④気温及び地温の測定：熱電対温度計（千野製作所製、EH100-12型）を用いて、対照区（林外区）では、地上高1.37m、地下0.05m、地下0.5mの3箇所、林内区では、地上高4.0m、地上高2.53m（8月1日～14日）地上高1.37m、地下0.05m、地下0.5mの5箇所について、気温ならびに地温を自動記録計により連続測定した。

⑤日射量の測定：全天日射計（英弘精機社製ネオ日射計MS-4型、エコ-日射計MS-61型）を用いて、対照区（林外区）は地表面に、林内区は地上高4.0mと地表面の2箇所に設置して日射量の連続測定を行なった。

⑥風向・風速の測定：光電式微風向風速計（牧野応用観測研究所製、AF-750S型、VFO-16型）を用いて風向センサーは林内区の地上高4.0mの位置に設置し、風速センサーは、対照区では地上高1.37mに、林内区では地上高4.0m、2.53m（8月1日～14日）、1.37mの3箇所に設置して、風向および風速の連続測定を行なった。

*千葉大学園芸学部緑化植物学研究室

Fig. 1 Scheme of the meteorological observation

以上、①～③の測定項目については本調査期間の7：00～19：00の各時刻に1時間間隔で観測し、④～⑥の測定項目については本調査期間を通じて自動記録計を用いた連続測定を実施した。

3. 結果及び考察

(1) 日射量の変動

晴天日（8月12日～13日）の樹木植栽地内外での時間積算日射量の変動をFig. 2に、曇天日（8月27日～28日）の樹木植栽地内外での時間積算日射量の変動をFig. 3に示した。晴天日の各観測点における全天日射量：K↓についてみると、林内区の地表面〔0 m〕では 15.0 cal / cm²・day、林内区の地上高 4 m点では 414.53 cal / cm²・day、対照区の裸地表面〔0 m〕では 440.96 cal

/ cm²・day であった。従って、林内地表面の全天日射量は、対照区の3%、林冠上部にあたる地上高 4 m点の4%程度であった。曇天日の各観測点における全天日射量は、林内区の地表面〔0 m〕では 5.15 cal / cm²・day、林内区の地上高 4 m点では 236.23 cal / cm²・day、対照区の裸地表面〔0 m〕では 219.41 cal / cm²・day であった。従って、林内地表面の全天日射量は、対照区の2%、地上高 4 m点の2%程度であった。林内地表面の全天日射量は、明らかに樹木群の林冠の影響により、著しく減少していることがわかる。そして、この全天日射量の変動が、当然の如く他の気象要素を大きく左右し、樹林の持つ微気象調節機能に大きな影響を与える。

(2) 気温及び地温の変動

各時間の平均気温および平均地温の変動を、晴天日(8

月12日～13日)と曇天日(8月27日～28日)について、Fig. 2, Fig. 3 にそれぞれ示した。これらの変動から日較差を各測定点毎に求め、これらを比較することによって樹林による温度緩和効果を考えた。まず、同一の高さ毎に、林内区の日較差値から対照区の日較差値を差し引くと、+1.37 mでは、晴天日：-5.4℃，曇天日：-3.4℃であり、-0.05 mでは、晴天日：-8.4℃，曇天日：-4.4℃であり、-0.5 mでは、晴天日：0℃，曇天日：0℃であった。ここで算出した日較差値の差の絶対値が大きいほど、1日間の温度の変動範囲が対照区よりも小さいことになる。これを樹林の存在による温度緩和効果の一指標と考えると、かなりの温度緩和効果があると考えられるのは、晴天日の-0.05 m地点と+1.37 m地点である。-0.5 mでは、この日較差値の差による比較からすると林冠による温度緩和効果はないが、地温

そのものを比較すると明らかに樹林内の方が低い値を示している。また、この日較差値の差による比較からすると、曇天日より晴天日の方が林冠による温度緩和効果が大きいことになる。次に、晴天日の+1.37 mにおける各時間の平均温度を林内区と対照区と比較すると(Fig 2参照)，13:00～14:00において林内区は対照区よりも5.4℃低く、逆に、2:00～5:00においては林内区の方が対照区よりも0.2℃高い温度を示した。これらのことから、樹林の存在によって、日中の気温の昇温と夜間冷却が抑制されることが理解できる。

(3) 温湿度・樹液流速・土壌水分の変動

林内区および対照区(裸地)における地上高27cmでの各時刻の乾球温度と相対湿度を、晴天日および曇天日について、Fig. 4, Fig. 5 にそれぞれ示す。乾球温度の変動は、上述した時間平均気温の全体的な変動と同様の

Fig.2 Diurnal variations in air temperature, earth temperature [by thermocouple], and solar radiation at the inside and outside of woods on clear day.

Fig.3 Diurnal variations in air temperature, earth temperature [by thermocouple], and solar radiation at the inside and outside of woods on cloudy day.

傾向を示し、日中は林内区の方が対照区よりも低い気温であり、この気温差は晴天日の方が曇天日よりも大きいものであった。相対湿度〔R.H.〕は次式で示される。

$$R.H. = e/E \times 100 (\%)$$

ここで、 e は水蒸気圧(mb)、 E はその時点の乾球温度における飽和水蒸気圧である。従って、この算出式からもわかるように温度によって変化する飽和水蒸気圧を含むことから、相対湿度の変動は、乾球温度の変動によって大きく左右される。この観測結果にみられる林内区および対照区の相対湿度も、ほとんど乾球温度の変動に応じて変化していると考えられ、晴天日の日中においては林内区の方が対照区よりも高い傾向にあった。また、曇天日においては林内区と対照区の差がほとんどなくなる傾向を示した。樹林内の湿度に影響を与えられとされる樹木の蒸散量の変動の指標として測定したヒノキの樹

液流速についてみると (Fig. 4, Fig. 5 参照)、晴天日では $2.27 \sim 9.91 (\text{cm}/\text{h})$ 、曇天日では $2.94 \sim 9.38 (\text{cm}/\text{h})$ であり、予測した値よりも低いものであった。これは、測定対象としたヒノキの樹冠そのものが密植された状態のなかで日射を十分に受けられなかったためと考えられるが、調査対象地である樹木植栽地における樹木の蒸散量の指標としては弱いものになってしまい、この樹液流速の変動から、樹木の蒸散量が樹林内の湿度に与える影響を把握するのは困難であった。

土壌水分の林内区および対照区での変動を Fig. 4, Fig. 5 に示す。晴天日の地下10cmにおいては、対照区の裸地における変動が激しいのに対し林内区ではその変動があまりなく、日中では明らかに林内区の方が pF 値が低く土壌水分が多いことを示している。これに対し、曇天日の地下10cmでは、対照区の裸地の pF 値が全体的に低く

Fig. 4 Diurnal variations in air temperature, relative humidity [by Assmann psychrometer], soil moisture, and velocity of sap flow at the inside and outside of woods on clear day.

Fig. 5 Diurnal variations in air temperature, relative humidity [by Assmann psychrometer], soil moisture, and velocity of sap flow at the inside and outside of woods on cloudy day.

なり林内区の土壤水分の変動とほとんど差異がなくなった。従って、前述した地温の場合と同じく比較的浅い地下深度では、土壤水分の変動も樹林の存在によってかなり影響を受けることがわかる。

(4) 風速の変動

風速の変動を比較するにあたっては、8月13日を取りあげ、この日の樹冠上部〔+4.0 m〕で主風向を1時間単位で調べ、これから得られた1日の主風向：東～南南東に合致する時間帯を選び出し、これら各時間帯での時間平均風速を林内の3地点〔+4.0 m, +2.53 m, +1.37 m〕と対照区の1地点〔+1.37 m〕の合計4地点についてFig. 6に示した。そして、対照区〔+1.37 m〕の風速〔 V_C 〕に対する林内区の各地点の風速〔 V_W 〕の比率から風速の減少率〔 D 〕を次式から算出すると、

$$D [\%] = (1 - V_W / V_C) \times 100$$

林内区+4.0 mでの風速の減少率は、15%～24%であり、林内区+2.53 mでの減少率は、73%～86%であり、そして、林内区+1.37 mでの減少率は、65%～71%であった。これらの結果から林内区+2.53 mでの風速の減少率が大きいのは、林冠の内でのこの高さの附近の枝葉密度が高いためと考えられる。また、この減少率が

らみると、林冠上側にあるはずの林内+4.0 m区の風速が対照区よりも遅くなっているのは、測定用ポールと対照区の間にあるトウネズミモチの徒長枝が数多く存在したためと考えられる。

4. ま と め

本研究では、樹木植栽地の内外において気象観測を実施し、小樹林がもつ微気象調節効果の具体的な把握を試みた。林内地表面の全天日射量は、裸地（対照区）地表面や樹林の林冠上部の日射量の2～4%であって、明らかに植栽樹木群による遮光の影響があった。この日射量の減少によって、樹林内の気温（+1.37 m）と地表温度（-0.05 m）の日較差値は、裸地における各々の日較差値よりも小さく、樹木群による温度緩和効果が確認できた。これらの結果は、住宅団地の植栽樹木の伐採前後で調査観測した稲葉ら（1981）の報告¹⁾と同様の傾向を示していた。また、晴天日の林内地下10cmの水分量は、裸地のそれよりも多く、しかもその変動が少ない傾向を示し、日射量の差異が明らかに影響していると考えられた。風速については、同一高度（+1.37 m）で林内の風速は風上側にある対照区の風速の65～71%にまで減少し、また、林内の各高度で比較すると枝葉密度が最も高いと予測される部位の風速が最も遅い傾向を示し、林冠による風速の減少が確認された。

以上、樹木植栽地における微気象の観測結果から、この樹林のもつ微気象調節機能について各気象要素毎に検討してきたが、ここで得られた樹林による微気象調節機能が人間の生活環境にどのような効果をどのくらいもたらすのか、その効果を人間の生活環境の立場から評価する方法・基準が現在のところ確立されていない。従って、例えば建築学等で室内環境に適用される新有効温度のようなレベルの評価方法並びに評価基準が、屋外環境でも確立されるなら、樹林のもつ微気象調節機能に対する理解もより深まるであろう。

なお、本研究を行なうにあたり、多くの観測機器の提供、また、貴重な御意見・御指導をいただいた千葉大学園芸学部農業気象学研究室の羽生寿郎先生、中山敬一先生、今久先生、ならびに緑化植物学研究室の沖中健先生、三澤彰先生に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 稲葉ら（1981）：住宅団地における植栽の微気象におよぼす影響に関する研究：昭和56年度日本造園学会秋季大会研究発表要旨、16-17
- 2) 井上宇市（1982）：空気調和ハンドブック：丸善、3-4
- 3) 近藤ら（1983）：樹木、芝生の微気象調節効果に関する実証的研究：造園雑誌、第46巻、161-175

Fig. 6 Profiles of wind velocity at the inside and outside of woods on 13. Aug. (1983).

- 4) 近藤・鈴木 (1983) : 表面温度からみた都市植生の存在効果に関する実証的研究 : 造園雑誌, 第 47 巻, 1 - 15
- 5) 堤・佐藤 (1978) : 樹木 : 文永堂, 145 - 167
- 6) 新田・東・石井 (1981) : 環境緑化における微気象の設計 : 鹿島出版会, 97 - 125

Summary : We observed the micrometeorology at the inside and outside of woods in order to investigate the micrometeorological control with woods. The results of this observation were summarized as follows :

- 1) The amount of the global solar radiation on the ground surface of the woods, above the canopy of the woods and on the surface of bare ground [CONT.] were 15.0, 414.53, and 440.96 [cal/cm² · day] , respectively.
- 2) The fluctuation of air temperatures and earth temperatures except for the earth temperature at the depth of 50 cm closely correlated with the amount of the global solar radiation both on clear day and on cloudy day. It seems that the temperature control with woods especially effected on the diurnal range of the earth temperature at the depth of 5 cm. The diurnal ranges of the air temperature of the inside were smaller than those of the outside at the same height on clear day.
- 3) In the soil moisture at the depth of 10 cm, the pF values of the inside were lower than those of the outside in daytime on clear day, but there were not significant differences in pF values on cloudy day.
- 4) In the velocity of sap flow of *Chamaecyparis obtusa*, which is the index of the transpiration by woods, the diurnal range of the velocity on clear day was a little larger than that of the velocity on cloudy day.
- 5) The profile of wind speed was changed significantly and the weaker region of wind speed was found at the height of 2.53 m.