地温の上昇効果について

Kyôichi TAKEDA, Shigeru MOTOKI: The Temperature Rise of the Ground on the Leeward of a Forest

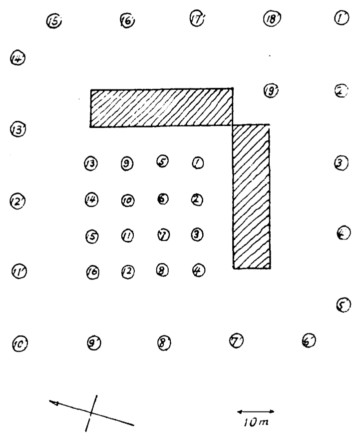
武田京一*
本木　茂**

§1. 緒　　言

防霧林の効果は種々考えられるが，そのうち防風林と同様に林の後方の風速を減少せしめそれによる地中からの熱の損失を防ぐ（結局他と比較して地温を上昇せしめる）効果は，林の後方の耕地の収量を増大するという実際問題に関連して重要なるものである。著者は今回の雛形林の試験において果してこの効果が存在するものであるかどうか，また存在するならばどの程度のものであるかを確かめようとした。

§2. 実験方法

雛形林を取り囲んで第1図に示すごとく 35 箇所の測定点を選んだ。このうち 16 箇所は雛形林によつて保護されると思われる区域内にあり，残りの19箇所は雛形林の外側にある。測定に使用した寒暖計は細い水銀寒暖計（全長約 10cm，水銀溜りの部分 2cm）でゾンデに使用されていたものと同形であるが，目盛範囲を $-30°\sim+30°$，最小目盛 1°C になるごとく特に製作したものである。これを用いて地中5cm 並びに地皮温度を測定した。もつともここにいう地皮温度とは寒暖計の水銀部分がちようど地中に没する深さの温度のことであり，水銀部分は上述のごとく 2cm の長さをもつているから地中 1cm の温度と云つた方がよいかも知れない。寒暖計は細いし，現地は礫などのない比較的水分を多く含んだ柔らかい土であつたから寒暖計を地中に差し込むことは別に困難ではなかつた。水銀糸が細いのでルーペで観測した。この寒暖計は時間の遅れが小さい（普通の曲管地中寒暖計に比して 1/5 くらい）ので1箇所の観測には数十秒でたりた。しかし1地点2箇所（地皮並びに地中 5cm）の測定を2人の観測者が雛形林の内側および外側それぞれ 16 および 19 回実施すると大体 30 分くらいかかつた。それで観測の時刻として 15 時



第1図　地温測定点の分布図

---

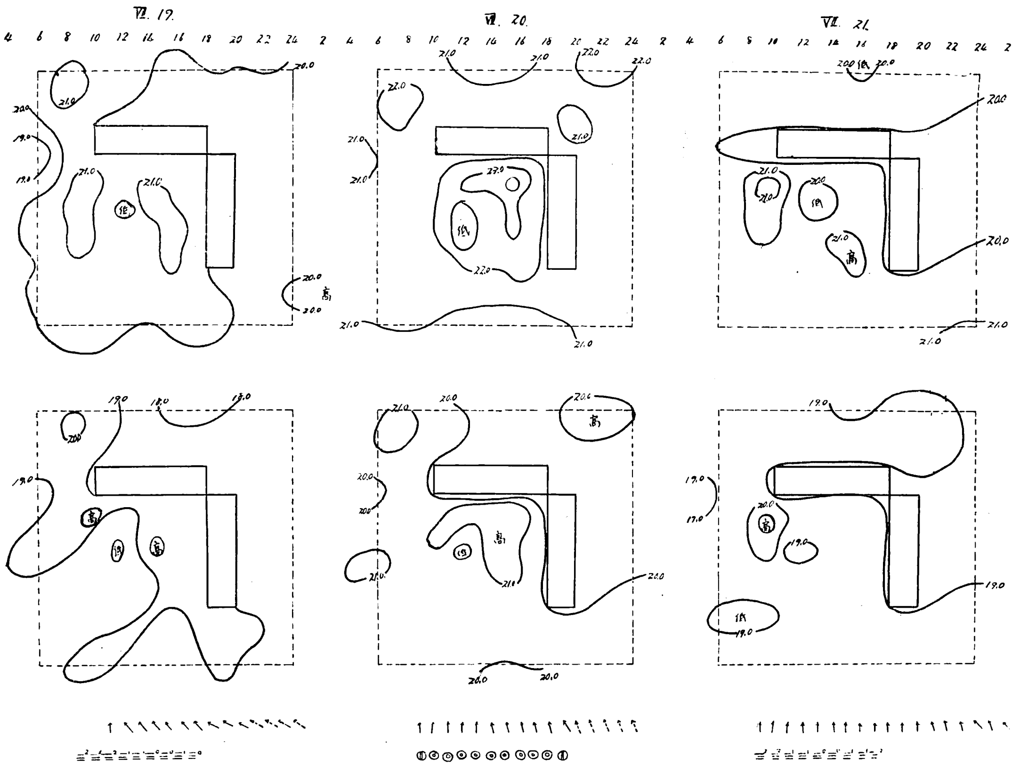
* 九州大学農学部教授　　** 農林省林業試験場浅川分室気象および風害研究室

30分から16時の間を選んだ。これはこの時刻には地中温度が大体最高となり，時間的変化が一番小さくなると思われたからである。しかし地皮温度の方は気象（主として日射）の変化の影響を受けやすく，上述の30分の間に果して定常であつたとは思われない場合もあつた（24日）のでそれについては適当な補正を施した。

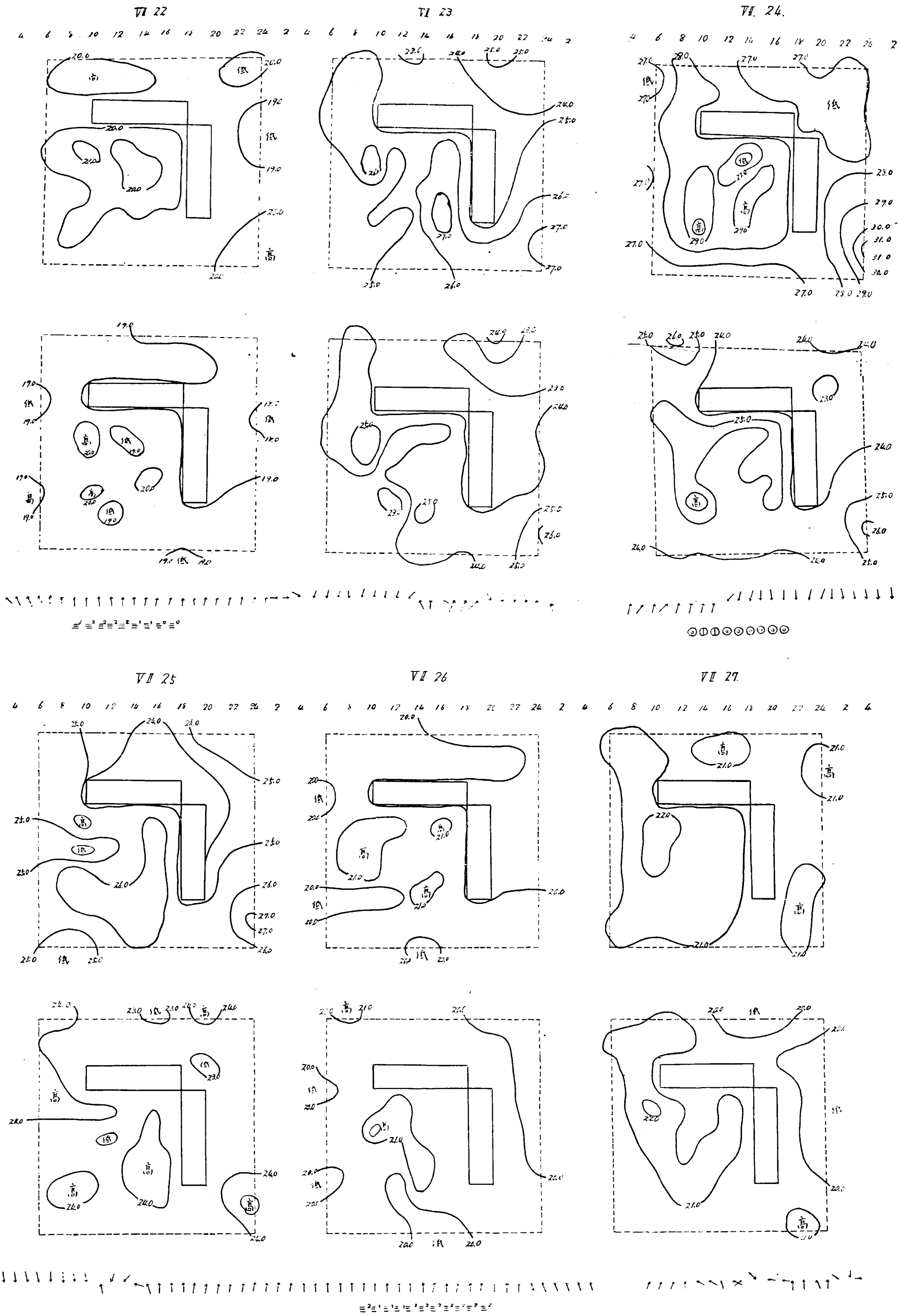
§3. 実験結果

各地点における観測結果を第2図に示す。これによると雛形林によつて保護された地域内は日によつて（たとえば20日）確かに地皮温度も地中温度も昇つている（地皮温度で2°Cくらい，地中温度で1°Cくらい）ようにみえるが場所的変動が大きく予想されるほど明瞭でない。実際，観測してみて気付くことは現地はクサイチゴ，オウバコ，アヤメ等の比較的均一な草原ではあるが局地的にはかなりの差違があり場所的には他より乾燥していると思われるところがあることである。したがつてかかる場所の地温は他より高くなる傾向があるように思われた。

雛形林の地温上昇効果が思つたほど明瞭でなかつた1つの大きな原因は，風向が必ずしも林の向きに適当なものではなかつたためであると考えられる。すなわち晴天で林による地温上昇効果が最も明瞭に現われるべき日（例えば23日および24日）には風向が種々変化し，また霧のきた日には風向は一定ではあつたが日射が弱くて地温があまり上昇しなかつたのである。



第2図　(1)　地温の分布　　上段は地皮温度，下段は地中 5cm の温度



第２図　（２）　地温の分布　　上段は地皮温度，下段は地中 5cm の温度

§4. 考　　察

雛形林の後方において風速が弱くなるにしたがい地熱の損失も減少し，したがつて林の後方では他に比して地温が高くなると考えられるが，これが実際にどの程度のものであるか以下簡単な考察を試みよう。

今，空気中および地中の熱伝導が次式で表わされるとする：

$$\frac{\partial T_a}{\partial t}=K\frac{\partial^2 T_a}{\partial z^2},\qquad \frac{\partial T_s}{\partial t}=\nu\frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2}\cdots\cdots\cdots(1,\ 2)$$

ただし T_a は気温，T_s は地温，t は時間，z は高さ（地温の場合は深さ），K は渦動伝導度，ν は土の温度伝導度である。K は高さ，気層の安定度および風速の函数であるがここでは簡単のため ν と同様常数と考える。それでも大体の傾向は分るであろう。水分の凝結，蒸発の影響は無視し，地表面において輻射が週期的変化をするとすれば境界条件は

$$R\equiv A\sin mt=-\rho_a c_a K\left(\frac{\partial T_a}{\partial z}\right)_0-\rho_s c_s \nu\left(\frac{\partial T_s}{\partial z}\right)_0 \text{ および } (T_a)_0=(T_s)_0\cdots\cdot(3)$$

で表わされる。ただしここに ρ_a，c_a および ρ_a，c_s はそれぞれ空気および土の密度および比熱，$(T)_0$，$\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)_0$ はそれぞれ T，$\frac{\partial T}{\partial z}$ の $z=0$ における値とする。(3) を満足する $z\to\infty$ で有限な (1)，(2) の解として次式を得る*：

$$T_a=T_0+Be^{-\mu z}\sin\left(mt-\frac{\pi}{4}-\mu z\right)\cdots\cdots\cdots(4)$$

$$T_s=T_0+Be^{-\mu' z}\sin\left(mt-\frac{\pi}{4}-\mu' z\right)\cdots\cdots\cdots(5)$$

ただし
$$\mu=\frac{1}{\sqrt{z}}\sqrt{\frac{m}{K}}$$
$$\mu'=\frac{1}{\sqrt{z}}\sqrt{\frac{m}{\nu}}$$
$$B=\frac{1}{\sqrt{m}}\cdot\frac{A}{(\rho_a c_a\sqrt{K}+\rho_s c_s\sqrt{\nu})}=\frac{1}{\sqrt{m}}\cdot\frac{A}{\rho_s c_s\sqrt{\nu}}\cdot\frac{1}{(1+E)}$$
$$m=\frac{2\pi}{24\times 60\times 60}$$

また T_0 は平均地皮温度である。ゆえに今雛形林の後方で渦動伝導度 K が小さくなるとすると地温変化の振幅 B が増大することは明瞭である。しかし K の変化は平方根で利いてくるし，しかも $\rho_a c_a\sqrt{K}$ の影響は $\rho_s c_s\sqrt{\nu}$ に対する関係すなわち $E\left(\equiv\frac{\rho_a c_a\sqrt{K}}{\rho_s c_s\sqrt{\nu}}\right)$ で利いてくるので，K は大きく変化しても B はそれほど変化しないかも知れない。これを調べるために実際の数値を代入してみよう。

---

* A. A. Dotodnitzyn (Zur Theorie des täglichen Temperaturverlaufs in einer Vermischungsschicht, Compt. Rend. (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS, (1941) Vol. XXX, No. 5, 412—416) は K が z の函数であることを顧慮して超幾何級数の解を得た。しかし K の時間に対する変化が不明であること，解の形の見通しの利かないこと，計算が簡単でないこと等の理由から，ここでは特にこの簡単な式を選んだ。

まず A としては理論から予想される大体の値として

$$A = 1.4\ \mathrm{cal./cm^2.\ min.}$$

をとり，さらに

$$\rho_a = 1.2\times10^{-3}\ \mathrm{g./cm^3},\quad c_a = 0.2\ \mathrm{cal./g.\ deg.}$$

$$\rho_s = 2\ \mathrm{g./cm^{3}}^{*},\quad c_s = 0.3\ \mathrm{cal./g.\ deg.}^{*}$$

$$\nu = 1.9\times10^{-3}\ \mathrm{cm^2./sec.}^{*}$$

を採用すると K の種々なる値に対して次のごとき E および B の値が得られる：

K (cm²/sec)	E	B (deg)
2000	0.052	12.65
5000	0.083	12.27
10000	0.117	11.90
20000	0.166	11.40
50000	0.261	10.53
100000	0.370	9.70
200000	0.522	8.73

考える雛形林に対してどの程度の大きさの K が作用しているか決定することはむづかしい問題である。しかし林のために K が 10000 から 2000 になつたと考えたのでは，これによる地温の振幅の変化が 1°C にも達せず実験にあわない。そうかといつて $K=100000\sim200000$ の値は大き過ぎる。ゆえに林のために K が 50000 から 10000 程度に低下したとすれば，これによる地温の振幅の変化は 1.5°C くらいとなり実際に近い。

今までは地表面において蒸発することによる熱の損失を考えなかつた。しかしこれがかなりの大きさの程度になることは Franssila[1] や Albrecht[2] の結果によるも明瞭である。蒸発の影響を顧慮すると B の値はもつと小となるであろう。今回は蒸発の観測をやらなかつたから，その影響がどのくらいのものであるかを見積ることは困難であるが，だいたいのところ晴天日の地温の振幅は林の有無で 1°C 程度の差を生ずると見なしてよいのではなかろうか。

上には単に1日の地温の変化を考えたに過ぎなかつたが，もし林の向きが適当であつて卓越風向に対して直角になつていれば林の累積効果の存在することが考えられる。すなわち，前日余計に加熱された地域は翌朝においてもなお温度高く，日中さらに余計に加熱されるためにますます温度が高くなるのである。実際問題としてこれが重要な要素であることは明らかであろう。

§5. 結　　語

今回の実験では風向が必ずしも雛形林の向きに対して適当でなかつたため，あまり明瞭では

---

* これらの値は吉田順五，藤岡敏夫，小林禎作，増田久夫：輻射と地温，昭和 25 年度防霧林に関する研究，北海道林務部，135～147 によつた。

なかつたが，それでも晴天日には林の後方かなりの範囲内に 1°C 程度の地温の高くなつている地域の存在することが確かめられた。さらに累積効果の存在する場合には林の後方の地温はもつと高くなると考えられる。著者は農耕地に対する防風林としての防霧林の機能を重要視するがゆえに，もし防霧林を設置するならば霧の日の最多風向よりもむしろ晴天日の最多風向に直角にすべきだと思う。

文　　　献

1) Franssila, M. (1936) : Mikroklimatische Untersuchungen des Wärmehaushalts. Mitt. des Met. Zentralanstalt, No. 20, Helsinki.

2) Albrecht, F. (1930) : Über den Zusammenhang zwischen dem täglichen Temperaturgang und Strahlungshaushalt. Gerl, Beitr. z. Geophys. 25, 1.

Résumé

Temperatures of the ground were measured at a number of points in an area surrounding an artificially planted forest. The temperatures of the ground surface were found to be 1 or 2°C higher on the leeward of the forest than on the windward on clear days. A theoretical discussion was made with the result that the forest must diminish the Austausch coefficient of air from 5×10^4 to 1×10^4 in order to make the temperature higher on the leeward by the above-mentioned magnitude.