

筑波実験植物園における土壤温度について

矢野義治*・岩田ひさえ*

YANO, Yoshiharu* and Hisae IWATA*: Soil Temperature Records
at the Tsukuba Botanical Garden

植物にとって地表面や土壤中の温度は、根の伸長や種子の発芽に直接影響するほか、根からの塩類吸収や水や酸素の吸収速度を左右し、土壤微生物や地中動物の活動にも影響をおよぼすものと考えられる。土壤温度は大気温度、大気中および土壤中の水分、大気中の湿度、風などの気象要素のほか、植物による被覆の状態、土壤の性質など種々の要因の影響を受けて変化する。また、土壤温度は上層の気象状態や地表面の気象要素の影響は小さく、植物による被覆の状態や土壤の諸性質、構造、粒径組成や固体の量の影響を強く受けると言われている。したがって、土壤温度は植物により被覆された状態と露出された状態に区分して議論されることもある (Mohr and Vanbaren 1959)。気象官署では観測条件を同一にするために、芝生を約 6 cm に刈取った状態で観測している。

我が国における土壤温度の観測は、1888年から鉄管地中温度計をもちいて開始された。観測開始当時は観測時刻や観測深度に関する統一されたものは無かったようである。観測深度に関しては、1929年になって 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm, 1 m, 2 m, 3 m, 5 m と定められ、1940年には 5 cm を追加している。1949年には観測すべき深さが 10 cm, 20 cm, 50 cm, 1 m と定められたが、他の深さの観測は観測署の目的により適宜追加してもよいとされている。1970年には、気象官署での観測が中止された。しかし、後述するように関係式から算出するにしても多くの熱収支項を測定せねばならず、簡単に出来るものではない。それに植物の生育にとって重要な土壤温度は根の活動部位の土壤温度であり、これを計算式から求めるのはより困難である。同一地点の土壤温度でも土壤の堆積状態や生育している植物の種類、被覆の状態などにより様々に変化する。このように土壤温度は微気象的要素が強く、必要とする地点、深度においてできる限り多く観測することが望ましい。

当園は日本中部の植物相を再現しようとして植栽を進めており、樹木の生長に伴ない年々各区画の生態系も変化している。これらの変化を具体的に数値で記録しておく目的で、土壤温度から始めた。今回は土壤条件の違いによる土壤温度の変化を観測したが、順次観測網を拡大して、常緑広葉樹林、温帯性針葉樹林、暖温帯落葉広葉樹林、冷温帯落葉広葉樹林でも観測を行ない、土壤温度と被覆植物の関連を明らかにして行く予定である。

観測地点および観測方法

本園は東経 140 度 7 分、北緯 36 度 6 分に位置し、標高は平均 25 m である。園内における観測地点は山地草原 (高地性) と砂礫地 (海岸性) の 2 地点で、いずれも観測期間は地表面を裸地状態に保った。山地草原の土壤は、淡色黒ボク土褐色壤質型の未攪乱土層である。しかし、原土の A 層は植栽基盤造成の時に削剝されており、表層から褐色壤土質 (B 層) の堅密土層となっている

* 国立科学博物館 筑波実験植物園 Tsukuba Botanical Garden, National Science Museum, Ibaraki Prefecture 305.

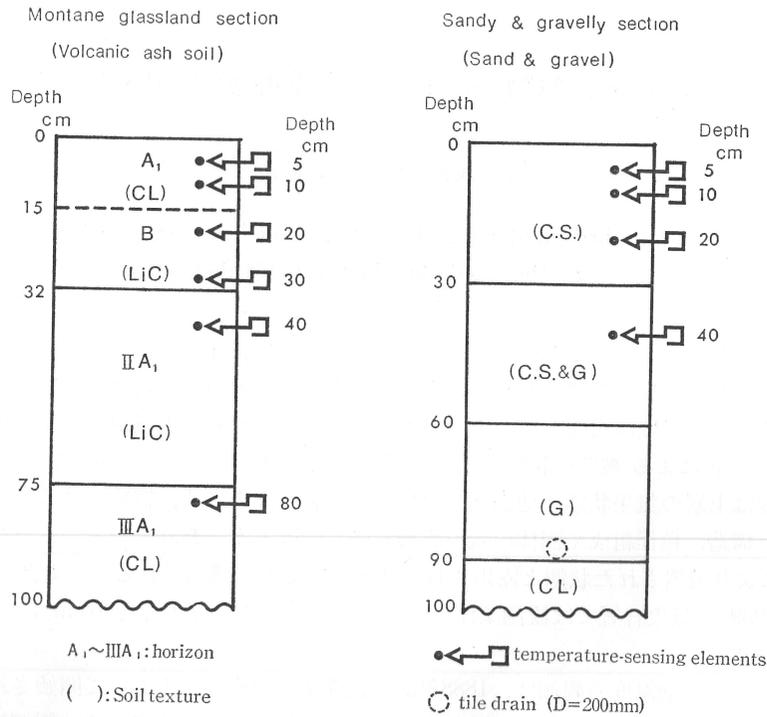


Fig. 1. Soil profiles and sensor positions.

る。砂礫地は砂と礫で深さ 90 cm まで置換して造成した人工土壤である。土層断面は表層から 30 cm までを砂土で、30 cm から 60 cm までを砂土および碎石（直径 40 mm）の 1:1 混合土で、60 cm から 90 cm までを碎石でそれぞれ構成している (Fig. 1)。

センサー部は地表面と水平に深さ 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 80 cm に埋設した。ただし、砂礫地における深さは 5 cm, 10 cm, 20 cm, 40 cm の 4 点である。観測器は自記地中温度計（水銀プルトン管）を使用した。土壤温度は自記記録用紙から 1 日の 3 時, 9 時, 15 時と 21 時の 4 回の値を読み取り、これを平均して日平均温度とした。また、日最高温度および日最低温度も記録した。観測期間は昭和 59 年 1 月 1 日から昭和 59 年 12 月 31 日である。

土壤温度推定に関する 2, 3 の数式

土壤温度の推定方法としては、過去の地温観測から得られた値を統計的に処理して経験式を導く方法と、物理的モデルを考えて理論式を組立てる方法がある。経験式から土壤温度を予測する場合、荒川・東 (1951), Toy *et al.* (1978), Meikle and Treadway (1979) などの方法がある。理論式から求める方法は多くあり、これらに関しては専門書を参考にされたい。

日本における土壤温度を気温との関連で調べた荒川・東は、日本各地の深さ 1 m の年平均温度 T_s と年平均気温 T_a との間に次のような式を見いだした。

$$T_s = 3.4 + 0.89T_a \quad (1)$$

この式により、日本各地の年平均気温がわかれば、深さ 1 m の年平均の土壤温度が計算できる。さらに荒川・東は T_s と緯度 φ との関係を調べ、次の式を得た。

$$T_s = 45.4 - 0.84\varphi \quad (2)$$

この式は $20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ における海拔 500 m 以下の土地に適用できるものである。

上記の(1), (2)式から得られた値と、当園の観測値を比較すると、(1)式からは 15.6°C , (2)式からは 15.2°C の値が得られ、深さ 80 cm における実測値の 15.5°C と 0.3°C 内外の差であった。日本各地の観測値と上式からの計算値においても 0.4°C 内外の範囲で数値が得られている(荒川・東 1951)。したがって、土壌温度の観測を欠く地方でも、上記の式により深さ 1 m の土壌温度を知ることができる。

宮沢・金野 (1976) は十勝平野の火山灰土の地温、土面蒸発量、作物の蒸発量などの熱収支項の研究において、地温に関するパラメータとこれから誘導される関係式を示すとともに、実測値をあげて、これらの式の正しい事を示した。

土壌温度分布の特性

山地草原(高地性)と砂礫地(海岸性)の夏期と冬期における土壌温度の深度別日変化を Fig. 2 から Fig. 5 に示した。

土壌温度の日変化は、地表面で最も大きく深くなるにしたがって小さくなる。最高温度に達する時刻も地表面が最も早く、深くなるにしたがい順次遅れてくる。山地草原では深さ 30 cm から、砂礫地も深さ 40 cm から日較差はほとんど零度となる。砂礫土は火山灰土に比較して日較差が大きく、最高温度に達する時刻も早い。これは砂礫土が単粒構造であり、粗孔隙も多く保水力が小さい。そのために乾燥しやすく、熱伝導率が小さくなり下層への熱の伝達が減少するためである。これに対して山地草原の火山灰土は、粗孔隙量も $10\sim 14\text{ vol } \%$ であり(矢野 1985)、表層部の乾燥に対しては下層から毛管作用により水分を上層に供給できる土壌構造であり、表層の乾燥の程度も砂礫土に比べて小さい。このように土壌の物理性の違いが日較差に現われ、Fig. 2 および Fig. 3 に示すように、夏期の日較差が砂礫土の場合深さ 5 cm で 15°C であるのに対

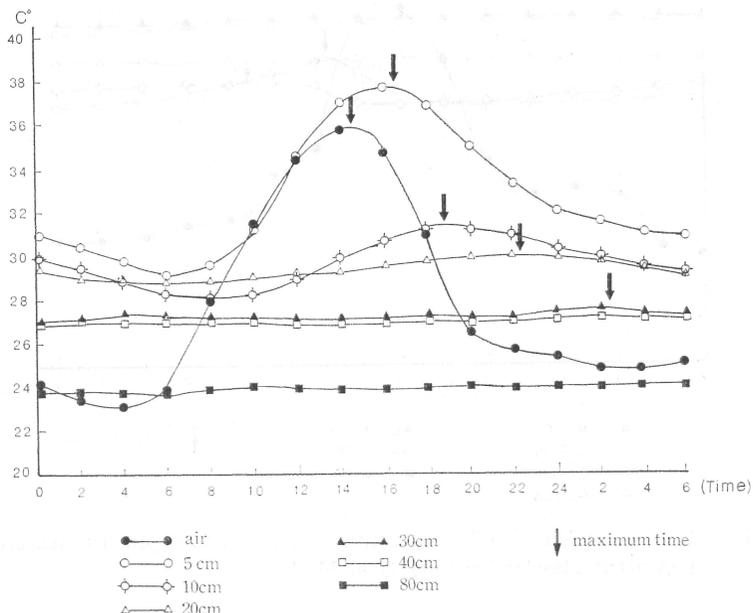


Fig. 2. Fluctuation of soil temperature in relation to depth, as measured at montane glassland section (Aug. 7, 1984).

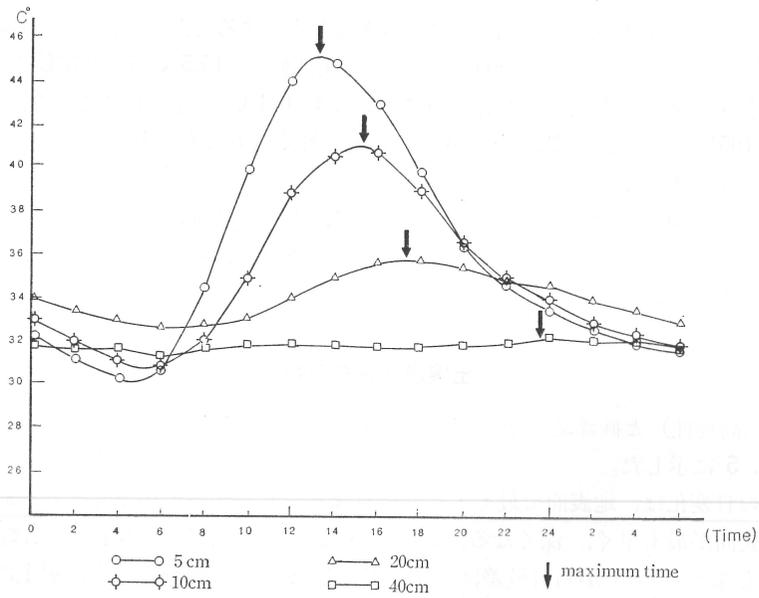


Fig. 3. Fluctuation of soil temperature in relation to depth, as measured at sandy and gravelly section (Aug. 7, 1984).

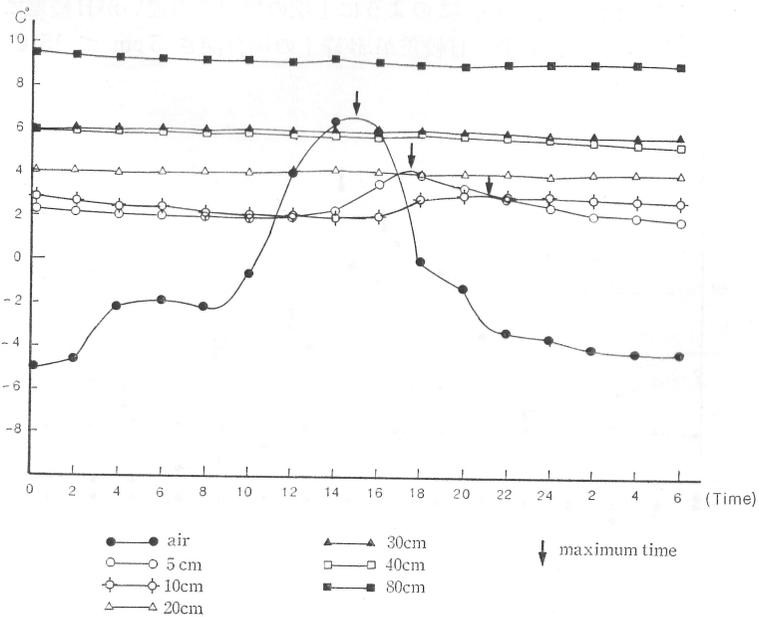


Fig. 4. Fluctuation of soil temperature in relation to depth, as measured at montane glassland section (Jan. 14, 1984).

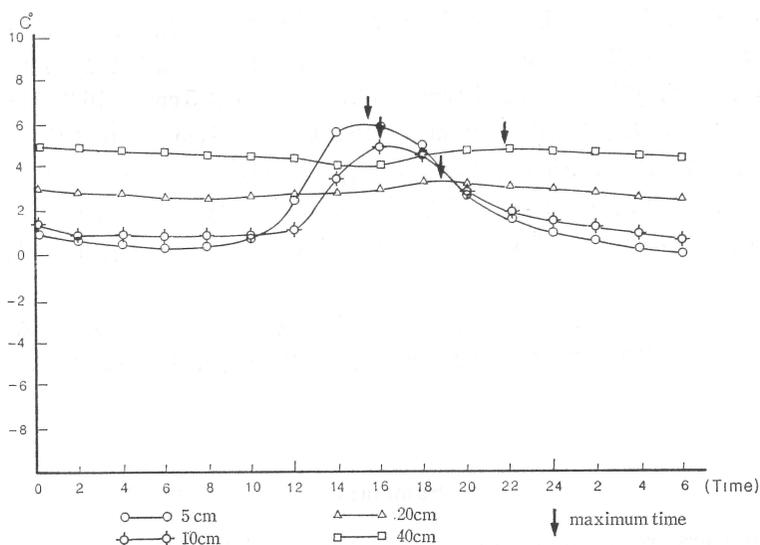


Fig. 5. Fluctuation of soil temperature in relation to depth, as measured at sandy and gravelly section (Jan. 14, 1984).

Table 1. Soil temperature as related to depth, at the Tsukuba Botanical Garden (1984)

Site	Depth cm	Yearly means °C	Monthly mean		Yearly absolute		
			Highest °C	Lowest °C	Max. °C	Min. °C	Difference °C
Montane glassland section	5	16.2	30.8	2.9	37.8	1.3	36.5
	10	14.7	28.2	2.7	31.3	1.0	30.3
	20	15.2	28.2	3.4	29.9	1.1	28.8
	30	15.0	26.7	4.3	27.7	1.1	26.6
	40	15.0	26.9	4.5	28.0	3.8	24.2
Sandy and gravelly section	5	16.8	33.5	1.9	45.0	-1.7	46.7
	10	16.2	32.9	1.5	40.8	-0.3	41.1
	20	16.6	32.7	2.5	36.0	0.7	35.3
	40	16.2	31.2	2.8	33.2	1.0	32.2

して、火山灰土では 8.5°C と小さい値となっている。また山地草原の深さ 30 cm における温度が 40 cm より夏期は低く、冬期は高く経過する特徴を示している。これはこの層位に埋没腐植層 (II A₁) が観察されることなどから、腐植含量の違いが土壌構造や土壌水分に関与して、土層の深さの影響よりも火山灰の特性を強く反映した結果であると推測される。なお、この現象に関しては土壌水分含量の変化との関連で調査を継続する予定である。以上のように、土壌温度の日変化は観測地点の土壌の性質や土層の堆積状態によって特徴ある変化を示すことがわかった。

土壌温度の年平均、月平均の最高最低値および1年間を通じての最高最低値を Table 1 に示した。山地草原の 10 cm で年平均の最低を示したのが特徴的である。これは1月下旬から2月中旬までの降雪による影響が大きいと思われる。すなわち、日射を受けて融解した冷たい融雪水が下層に浸透し、これが丁度 10 cm 程度の土層に停滞し、この層位の土壌温度を著しく低下さ

せたと考えられる。事実、積雪状態では 5 cm よりも 10 cm で土壤温度が低く経過し、また最低温度の現われる時間も 12時から14時までの昼間で、他の期間と異なる変化を示した。山地草原の深度別にみた年平均の変化は、深さ 10 cm の 14.7°C から深さ 5 cm の 16.2°C とその差 1.5°C であるのに反して、砂礫地では深さ 10 cm で 16.2°C から 5 cm の 16.8°C とその差 0.6°C と小さい変動である。日変化や年変化における絶対値の変動幅は、砂礫地が山地草原より大であるにもかかわらず、年平均値では逆の数値となっている。砂礫地の深さ 5 cm の年間における最高温度は 45°C、最低温度は -1.7°C でその差は 46.7°C であった。一方、山地草原の年較差は 36.5°C であった。

本報告は土壤条件の異なる 2 地点で土壤温度の変化を観測した単年の結果である。土壤温度は土壤中の水分含量や地表面の被覆状態によって影響されるので、これら要素との関連調査を順次行なう予定である。

Summary

This is the first report of a series of studies on soil temperature at various depths throughout the year at montane grassland section and sandy and gravelly section in the Tsukuba Botanical Garden. The temperature-sensing elements were placed at depths of 5, 10, 20, 30, 40 and 80 cm. The elements were installed by digging a pit with one vertical wall and inserting the elements into the wall. The vertical hole was backfilled with original soil. The recording sites are all on level ground, well exposed to wind and sun. The recording site is located in lat. 36° 6' N. and long. 140° 7' E. The soil of montane grassland section consists of well weathered volcanic ash soil, chiefly of loam texture and that of the sandy and gravelly section of well-drained soil with sand and gravel which is artificial products layer of 90 cm in depth. The daily amplitude of the soil temperature are the highest being recorded at the surface of bare soil, and the highest of all on sandy and gravelly section. A maximum soil temperature at a depth of 5 cm below the surface was recorded 45°C on August 7, 1984. The diurnal variation of the surface at sandy and gravelly section is in the region of 15°C, although of course this variation decreases rapidly with depth.

引用文献

- 荒川 淳・東 晃, 1951. 日本列島における地温の分布. 科学 21: 144.
 粕淵辰昭, 1972. 土壤の熱伝導率におよぼす水分の影響 火山灰土壤, 沖積土壤, 洪積土壤について. 日本土壤肥科学雑誌 43: 437-441.
 Meikle, R. W. and T. R. Treadway, 1979. Mathematical method for estimating soil temperatures. Soil Sci. 128: 226-242.
 宮沢数雄・金野隆光, 1976. 十勝における褐色火山性土及び黒色火山性土の水・熱状態に関する比較研究. 北農試研報 114: 89-114.
 Mohr, E. C. T. and F. A. Van Baren, 1959. Tropical Soils, 18-19.
 Toy, T. J., A. J. Kuhaida and B. E. Munson, 1978. The prediction of mean monthly soil temperature from mean monthly air temperature. Soil Sci. 126: 181-189.
 矢野義治, 1985. 筑波台地表面層火山灰土の土壤水分特性に関する研究 I. 植被が土壤水分におよぼす影響. 筑波実験植物園研究報告 3: 27-34.