

自然教育園内における深度別地温の変動

村田智吉¹・田中治夫²・川井伸郎³・矢野 亮⁴・渡邊眞紀子⁵

Fluctuations in soil temperatures at different depth in the Institute for Nature Study

Tomoyoshi Murata¹, Haruo Tanaka², Nobuo Kawai³, Makoto Yano⁴
and Makiko Watanabe⁵

はじめに

我が国における地温観測は、気象庁の観測所を中心に1870年代から1960年代に深度別に実施された(農林水産省・気象庁, 1982など)。地温は、植物、土壤動物、土壤微生物などの生物活動や土壤生成を支配する重要な環境因子である。土壤微生物の活動という点では表層付近の地温が重要であるし、一方、植物根域の活性という点では100cm深位までが重要と考えられる。このような背景から、土壤分類では地温に関する分級システム(土壤温度区分)が設定されており、その観測深度は通常50cmで実施されている(Soil Survey Staff, 1999)。日本全域の土壤温度区分について、過去に幾度かの検討がなされているが(Kyuma, 1985; Takata *et al.*, 2011)、上記過去の気象データに基づいていることや、都市緑地の寄与などが反映されていないなどの課題が残されている。

近年、都市を中心としたヒートアイランドの顕在化が社会問題となるなか、都市における緑地の機能などが活発に議論されている(成田ほか, 2004; 菅原ほか, 2006; 武田ほか, 2006; 2007; 三上ほか, 2010など)。また、都市のヒートアイランド現象が地温に与える影響についてもいくつかの検証がなされてきた(三浦・尾島, 1985および1993; 玄地ほか, 1998)。

自然教育園内では1998年から1999年にかけて、季節ごとの90cm深における地温観測が実施され、園内緑地中心部では比較的低温、辺縁部では周辺市街地のヒートアイランドの影響を受け相対的に高温化していることなどが明らかにされた(山田, 2001)。

今回、園内の台地上と低地付近の2カ所、および比較対照地として東京都西部に位置する東京農工大学FM府中の林地において5cm深、50cm深の地温の連続観測を行った。また、地表面の植被が地温に及ぼす影響について、同FM府中内の林地-草地間で比較観測を行ったので、これら併せて報告を行う。

¹ 独立行政法人国立環境研究所, National Institute for Environmental Studies

² 東京農工大学, Tokyo University of Agriculture and Technology

³ 株式会社クレアテラ, Createrra Inc.

⁴ 国立科学博物館附属自然教育園, Institute for Nature Study, National Museum of Nature and Science

⁵ 首都大学東京, Tokyo Metropolitan University

観測地点と観測方法

観測地点 1 (自然教育園内)

自然教育園内の観測地点は、サンショウウオの沢付近の台地部と低地部にそれぞれ一か所ずつ設置した(図1)。両地点とも雑木林であり、植物構成は台地においてミズキ、イイギリ、ウワミズクラ、ヒサカキ、シロダモ等、低地はイロハモミジ、イイギリ、ヤブツバキ、アオキ等である。観測は2010年1月より開始した。

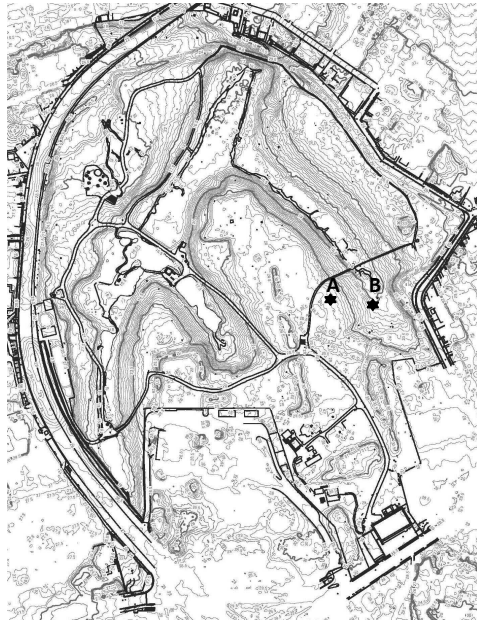


図1 観測地点 (自然教育園, A: 台地, B: 低地)

それぞれの観測地点の土壌断面図は図2のとおりであり、いずれも火山噴出物を母材とするアロフェン黒ぼく土である。本研究で調査した黒ぼく土のA層は、現在または過去に表層であった時代に火山灰を母材として風化した無機質に腐植化した土壌有機物が混ざってきた層位で黒色である。B層は、火山灰が風化した無機質が主体となっている層位で、有機物の混入が少ないため褐色を呈している。両地点の断面形態は地温観測深の50cm程度までは大きな差異は認められないものの、低地の60cm深辺りから埋没したと考えられる過去のA層が認められる。さらに80cm深辺りから下の層は季節的な停滞水の影響により淡い色相(2.5Y)となったと考えられる土壌が認められた。

観測地点 2 (東京農工大学 FM 府中林内および草地)

都心の緑地に対する比較対照地として東京都西部の立川段丘面(台地)に位置する東京農工大学FM府中内(府中市)に観測地点を設定した。大学構内にはAMeDASの観測施設もあり(北緯35°41.0', 東経139°28.9'), その施設より北東に約200m離れた林内に観測地点を設定し、2009年12月よりデータ取得を開始した。また、2011年8月から林内との比較対照としてAMeDAS観測施設の

近傍の草地においても 5cm 深、50cm 深の地温観測を開始した。草は 2～3 週間に一度の割合で除草してある。

それぞれの観測地点の土壤断面図は図 3 のとおりであり、いずれも火山噴出物を母材とするアロフエン黒ぼく土である。

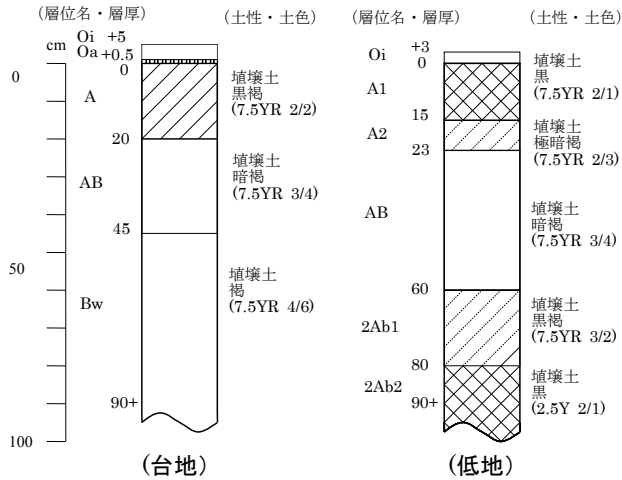


図 2 観測地点の土壤断面図 (自然教育園)

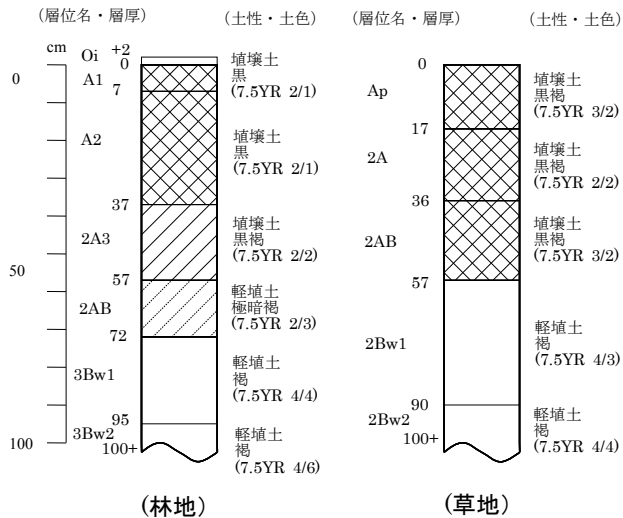


図 3 観測地点の土壤断面図 (東京農工大 FM 府中)

観測方法

気温および地温観測には、ロガー付き温度センサーを用いて連続観測を行った。5cm 深の観測には、サーミスタ温度計 (T&D RTR-52A) を用い、センサー部位を園芸用支柱に結束バンドを用いて巻きつけた後、センサー先端が土壤鉍質層表面から 5cm の深さになるように挿入した。また 50cm 深の

観測には、センサー部位が50cmの金属シースで保護された白金抵抗温度計（T&D RTR-52Pt）を用いて土壌鉍質層表面から50cmの深さにセンサー先端が到達するよう垂直に挿入した。地温観測用のロガー部位および気温観測用温度計（T&D RTR-53A）は地上部に設置したプラスチックボックス内（高さ約50cm）に格納した。いずれの温度センサーも測定誤差は±0.3℃である。なお、気温観測用温度計は自然教育園においては台地上のみ、東京農工大学FM府中内では林内のみを設置した。各々1時間のインターバルでデータ取得を行った。

結果および考察

1. 自然教育園内の気温および地温の月平均値と年平均値

気温および地温(5cmおよび50cm深)については2010年2月から2011年9月までのデータを示す。表1にはそれぞれの月平均値および年平均値(2010年9月~2011年8月期内で算出)を示し、対照地として設定した東京農工大学FM府中内の林地の気温と地温、草地の気温および東京管区気象台(大手町)の気温を合わせて示した。また、図4には自然教育園内の気温と地温の変動を半月毎の平均値で示した。

表1 気温、地温(5cmおよび50cm深)の月別平均値と年平均値

	自然教育園					農工大(FM府中)				大手町
	台地		低地			林地		草地	気温*	
	気温	地温	地温		気温	地温	気温*			
	5cm深	50cm深	5cm深	50cm深	5cm深	50cm深	50cm深	気温*		
2月	5.0	5.6	9.1	5.7	8.6	7.3	5.9	9.6	5.4	6.5
3月	8.0	7.9	9.7	8.3	9.7	7.8	8.0	10.1	8.3	9.1
4月	11.0	10.3	10.3	10.5	10.9	11.0	9.9	10.5	11.7	12.4
5月	17.1	15.6	13.0	15.9	14.3	17.4	15.2	—	18.1	19.0
6月	21.5	19.8	15.5	19.9	17.0	21.9	19.6	—	22.9	23.6
7月	25.6	24.1	19.1	24.3	20.6	26.2	23.9	19.8	27.2	28.0
8月	27.4	25.5	20.8	25.7	22.1	27.9	25.4	21.7	28.7	29.6
9月	23.4	22.4	21.2	22.7	22.3	23.5	22.3	21.5	24.3	25.1
10月	—	17.4	18.8	17.6	19.2	17.2	17.4	18.8	17.9	18.9
11月	—	12.3	15.6	12.3	15.3	11.0	12.1	16.0	11.6	13.5
12月	8.0	9.1	13.3	9.1	12.7	7.1	9.0	13.0	7.9	9.9
1月	3.7	5.0	10.5	4.8	9.8	3.0	5.4	10.6	3.3	5.1
2月	5.8	6.0	9.2	5.8	8.5	5.0	5.7	9.3	5.8	7.0
3月	6.9	6.6	8.9	6.6	8.7	6.3	6.6	9.2	6.9	8.1
4月	13.5	11.7	10.5	11.6	10.8	13.0	10.9	10.8	13.5	14.5
5月	16.8	15.6	13.4	15.9	14.2	17.0	15.3	13.7	17.7	18.5
6月	20.8	19.6	15.9	19.6	16.8	21.3	19.3	16.4	22.2	22.8
7月	25.3	23.5	18.7	23.6	19.7	25.9	23.4	19.6	26.8	27.3
8月	25.6	24.3	20.2	24.4	21.3	25.6	24.1	21.2	26.8	27.5
9月	—	22.5	20.9	22.8	21.9	23.2	22.3	21.4	24.1	25.1
年平均値	14.5	14.7	14.5	15.0	14.7	14.7	14.3	15.0	15.4	16.5

*:気象庁(AMeDAS)の観測値
 ..:データ欠損

5cm深の地温は気温の変動と極めて良く連動している一方、50cm深の地温については気温の変動に対してタイムラグが認められた(表1および図4)。図4の半月平均値による結果からみると、夏季の最高値で半月程度、冬季の最低値で1カ月程度タイムラグが認められた。玄地ほか(1998)も50cm深の地温は地表面に比べピークが約2週間程度遅れて現れることを報告している。また、山田(2001)が行った自然教育園内の90cm深における地温観測でも、12月、1月よりも4月により低い値を示したことを報告している。また、年間の最高値と最低値間の較差は、気温>地温(5cm深)>地温(50cm深)の順に小さくなり、気温で35.1℃、5cm深の地温で24.4℃および25.3℃、50cm

深の地温で13.6℃および15.3℃だった。また、山田(2001)の90cm深の地温分布図から、同地域での年較差はおよそ5～9℃程度と推定される。すなわち、下層に向かうにつれ温度の振幅が小さくなるとともに、タイムラグが現れることが確認された。

また、低地は台地に比べ、50cm深の地温の季節変動幅が若干大きかったものの、地温の変動パターンについては両地点間で差異は認められなかった。

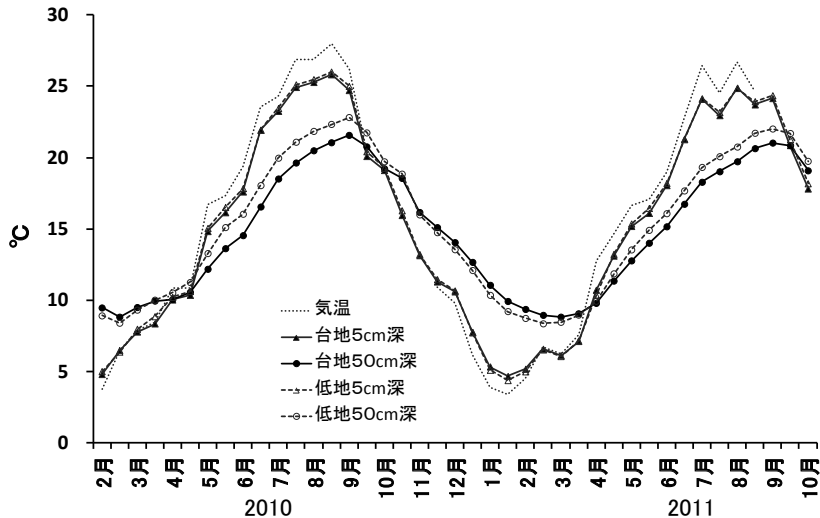


図4 気温および深度別地温(5cmおよび50cm深)の季節変動(自然教育園)(それぞれ半月毎の平均値をプロットした。)

2. 土壌温度区分から見た自然教育園内の地温

土壌分類においては、50cm深の年平均地温を用いた分類カテゴリーが設定されている(Soil Survey Staff, 1999)。日本国内にあてはまるものを挙げると、夏期(6～8月)と冬季(12～2月)の平均土壌温度の差が5℃以上で、かつ年平均値が8℃未満をフリジッド(frigid)、8℃以上15℃未満をメシク(mesic)、15℃以上22℃未満をサーミック(thermic)、22℃以上をハイパーサーミック(hyperthermic)の概ね4種がある。表1に示した50cm深の年平均地温は自然教育園内台地上が14.7℃、低地が15.0℃と、本カテゴリーにおけるメシクとサーミックの境界付近に位置することがわかった。また、東京農工大学FM府中の林地においても50cm深の年平均地温は15.0℃であり自然教育園内とほぼ同じ値を示した。玄地ほか(1998)が行った都内での地温観測では、中央区のアスファルト舗装地(小学校跡地)の地下50cm深の年平均地温が21.0℃、東大田無農場内のコンクリート舗装地の同年平均地温が16.7℃と、いずれも人工改変地は高い値を示した(いずれも1996～1997年観測)。また、過去の気温、地温の観測結果をもとに、現在の気温や標高などの条件を加え、モデルシミュレーションから求めた土壌温度区分図が公開されている(農業環境技術研究所, http://agrimesh.dc.affrc.go.jp/soil_db/index.phtml)。これによると自然教育園内は平均地温17.6℃のサーミックと推定されている。ただし、気象庁の観測所による結果をもとにしているため、土地利用形態は林地ではなく、芝生草地であると思われる。いずれにしても、自然教育園内が林地として保全されていることで、周辺の地温とくらべかなり低く(1.7～6℃程度低く)維持されていると推察される。

3. 自然教育園内の気温および地温の季節ごとの変動

図5～8には季節ごとの気温、地温の日平均値の変動パターンを示した。5cm 深の地温は概ね気温の変動とよく連動しているが、50cm 深の地温は気温の変動に連動しているものの、その反応はかなりタイムラグが存在する。例えば、図5の2010年4月下旬から5月6日にかけて気温が上昇し、最高 20.7℃に達したが、その影響と思われる50cm 深の地温上昇による最高値は約1週間後の5月13日～14日に現れていた(図に↑で表示)。因みに、5cm 深の日変化(時間変動)も気温の変動とよく連動していたが、50cm 深の地温については日変化が認められなかった。

2010年8月は観測史上過去最高の月平均気温を示した月であった。東京管区气象台(大手町)では月平均気温 29.6℃、過去30年の平均値 27.4℃に比べ約2℃高かった。自然教育園内の台地上の気温についても 27.8℃と2011年8月の月平均気温 25.6℃と比べ大きく上回っていた。50cm 深の2010年8月の月平均地温においても、台地で 20.8℃、低地で 22.1℃に対し、2011年8月の月平均地温は、台地で 20.2℃、低地で 21.2℃といずれも2010年が高い値を示したが、この2年間の差異が如何なる意味を持つものなのかは今後の継続的な観測結果をもとに再度検討したい。

また、2010年8月11日～9月7日にかけては降雨量が少なく、月の総降雨量が 1.5mm、その間の平均気温は 27.8℃という状況であった。その後、9月8日に1日の総降雨量 92mm、日平均気温 22.8℃という急激な変化がおとずれた。図7上の↓を付した時期の地温変動パターンをみると、急激に日平均気温および5cm 深の日平均地温が低下するなか、50cm 深の日平均地温は 0.6～0.7℃の急激な上昇を見せた。図は割愛するが、1時間毎のデータをみると、主に降雨量の多かった時間帯とも重な

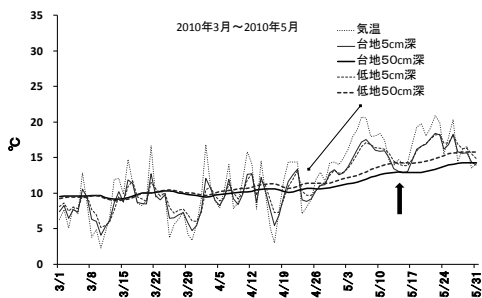


図5 気温、地温(日平均値)の変動(自然教育園:春季)

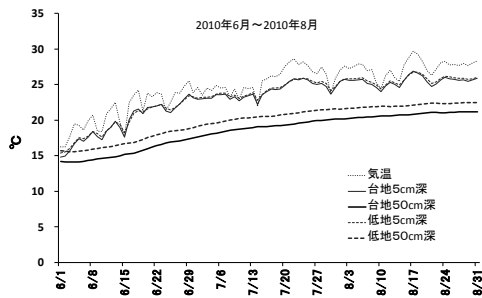


図6 気温、地温(日平均値)の変動(自然教育園:夏季)

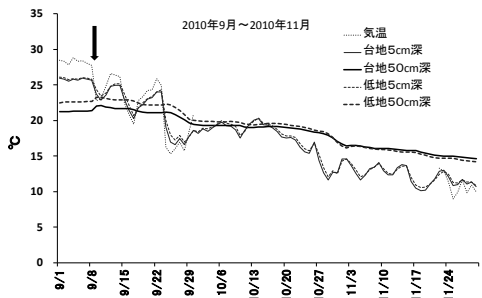


図7 気温、地温(日平均値)の変動(自然教育園:秋季)

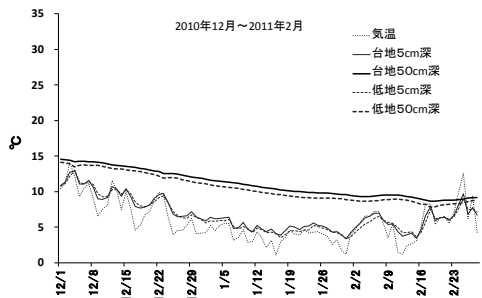


図8 気温、地温(日平均値)の変動(自然教育園:冬季)

る14時～16時の間に急激な地温上昇を示していた。これらは50cm以浅に蓄熱されていた熱が大量の降雨浸透とともに下方に対流した影響と考えられる。しかし、年間を通してみれば、このような対流による急激な地温変動は稀なケースと考えられる。

4. 自然教育園内の気温と地温の相関関係

図9および図10に気温と地温との相関関係を示した。表層付近ほど気温との相関は高く、50cm深の地温は気温変化に比べてタイムラグがあるため相関は比較的低くなった。そこで、気温に対する1

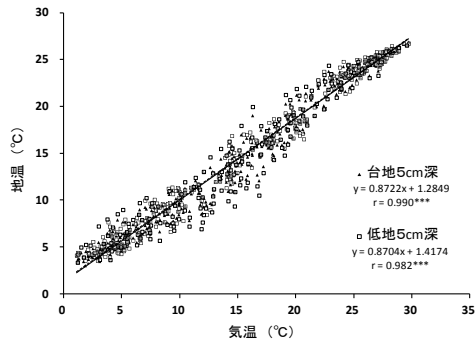


図9 気温と地温（日平均値）との相関性（5cm深）（自然教育園）

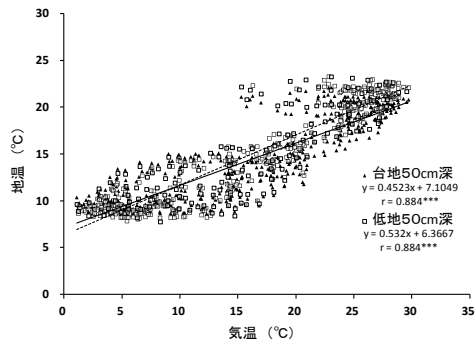


図10 気温と地温（日平均値）との相関性（50cm深）（自然教育園）

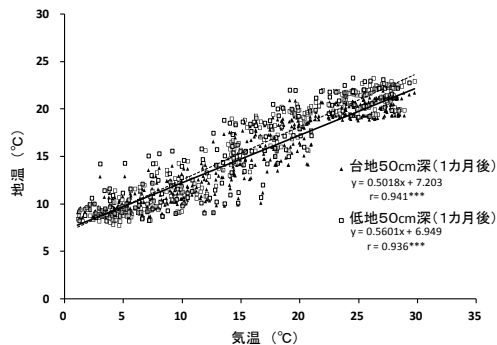


図11 気温と地温（1カ月後の日平均値）との相関性（50cm深）（自然教育園）

週間から1カ月後の50cm深地温との相関関係をみてみると、2週間から1カ月後の地温との相関が最も高く、直線性も高かった(図11:気温に対する1カ月後の地温との相関関係のみを図示)。計算結果の掲載は割愛するが同様の傾向は東京農工大学FM府中内の林地における気温と50cm深の地温との間にも認められ、1カ月後の地温との間に最も高い相関関係が認められた。

5. 土地利用別による日平均気温、日平均地温の変動(東京農工大学)

東京農工大学FM府中内の林地と草地において比較観測を行った結果について、夏季后半部(2011年8月4日~9月15日)の日平均値の変動を示した(図12)。気温については、両地点の変動パターンには顕著な違いは見られなかったが、林地のほうが平均で1.6℃低い値を示した。5cm深の地温については、両地点とも気温の変動とよく連動していたものの、常に草地が林地より高い値を示した。草地における5cm深の地温の高さは、おそらく地表面が受ける日射の影響によるものと考えられ、草地-林地間の地温差は日照時間(AMeDASの観測データより)にほぼ比例していた(両地点の5cm深の地温差 = $0.211 \times \text{日照時間} + 2.414$, $r=0.826^{***}$, $n=43$)。また、50cm深の地温についても、林地に比べ草地で平均3.4℃高い値を示した。50cm深の地温の変動パターンについても気温や5cm深の地温変化と連動していた。50cm深の地温の観測期間内における最高-最低値の較差は、林地で1.7℃、草地で2.7℃と植被の影響と考えられる差異が認められた。一般に、地温は土壌表面と大気間の熱収支および土壌中の熱伝導によって形成される。土壌中での主な熱輸送過程は熱伝導と考えられるが、土壌表面では日射の影響を受けることから、植被や堆積有機物層の有無の影響は大きい。植被、地況別の太陽輻射熱遮蔽率を測定した研究から、裸地を0%とした場合、草地で60%、林地で82%という報告がある(竹内・島, 1976)。

同比較観測は自然教育園内においても実施を検討したが、観測に適した裸地ないし草地が見当たらず今回は実施を見送った。

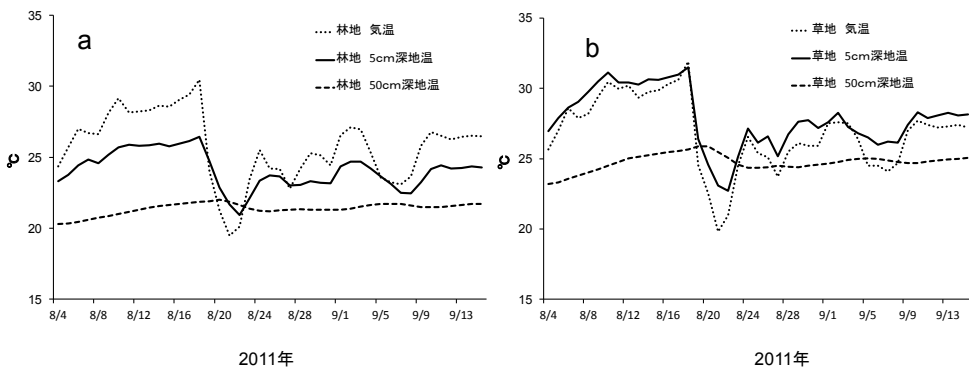


図12 土地利用別による日平均気温、日平均地温の変動(東京農工大FM府中)(aは林地,bは草地)

ま と め

今回の観測結果から、地温は気温の変動に連動し、下層に向かうにつれ温度変化の振幅が小さくなるとともに、タイムラグをとまうことが確認された。

自然教育園内は林地として保全されていることにより、明らかに周辺地域の地温より低く維持されており、もし仮に園内が大規模に草地化や人工舗装などがなされれば、50cm 深の地温で最大で6℃程度上昇する可能性が推察された。また、同じ緑地であっても植被の違いにより地温に大きな変化を与えうることも東京都西部の東京農工大学 FM 府中での比較観測から示された。

この他、地温の上昇は、その地を生息地とする生物相（植物、動物、微生物）にも確実に影響を及ぼす。したがって、ヒートアイランド化が進む今日の都心において、規模の比較的大きい緑地の存在、特に、林地として保全される緑地は、クールアイランド効果のみならず生物多様性保全の観点からも価値は非常に高いと考えられる。

謝 辞

国立科学博物館附属自然教育園からは地温観測の機会をいただき感謝の意を表す。また、本研究の一部は平成 21 年度日本生命財団環境問題研究助成「環境との持続調和を可能とするための都市土壌環境に求められる機能の評価法構築に向けた基盤的研究」によって実施された。

引用文献

- 玄地 裕・大谷武弘・天野治男・小杉信明・長 豊・長本英俊・小宮山宏. 1998. 都市ヒートアイランド現象が地温に与える影響－東京都内における観測結果－. 天気, 45(9): 707-715.
- Kyuma, K. 1985. Soil temperature regime of Japanese soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 31(3): 463-468.
- 三上岳彦・菅原広史・成田健一・清水昭吾・萩原信介. 2010. 自然教育園におけるクールアイランド. 自然教育園報告, (41): 85-94.
- 三浦昌生・尾島俊雄. 1985. 東京における地中温度分布に関する実測調査研究. 日本建築学会計画系論文報告集, (348): 11-18.
- 三浦昌生・尾島俊雄. 1993. 95 地点の実測による都心と郊外の地中温度差について：東京における地中温度分布に関する実測調査研究 その 2. 日本建築学会計画系論文報告集, (454): 35-44.
- 成田健一・三上岳彦・菅原広史・本條 毅・木村圭司・桑田直也. 2004. 新宿御苑におけるクールアイランドと冷気のにじみ出し現象. 地理学評論, 77(6): 403-420.
- 農林水産省・気象庁. 1982. 地中温度等に関する資料. 農業気象資料, (3).
- 農業環境技術研究所. 土壌情報閲覧システム, 土壌温度区分図, http://agrimesh.dc.affrc.go.jp/soil_db/index.phtml.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey*, 2nd ed. USDA-NRCS. U. S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- 菅原広史・成田健一・三上岳彦・本條 毅・石井康一郎. 2006. 都市内緑地におけるクールアイランド強度の季節変化と気象条件への依存性. 天気, 53(5): 393-404.
- Takata, Y., Kuwagata, T., Kohyama, K. & Obara, H. 2011. Delineation of Japanese soil temperature regime map. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 57(2): 294-302.
- 武田美恵・渡邊真紀子・立花直美. 2006. 東京西部における都市公園土壌の特性と生成因子に基づく類型化. ペドロジスト, 50(1): 2-13.

- 武田美恵・渡邊眞紀子・立花直美. 2007. 都市土壌の持続的保全・管理に向けた類型化手法の適用性. 日本建築学会環境系論文集, (614): 93-98.
- 竹内篤雄・島 通保. 1976. 地況の地表面日射量および地温に与える影響について. 京大防災研究所年報, (19B-1): 351-370.
- 山田 勤. 2001. 自然教育園内における地温分布. 自然教育園報告, (33): 401-410.