

④ 自然教育園内の深度別地温観測 (2010年～2016年)

村田智吉*・川井伸郎**・渡邊眞紀子***

Vertical distributions of soil temperature in the Institute for Nature Study
(2010 - 2016)

Tomoyoshi Murata*, Nobuo Kawai**, Makiko Watanabe***

はじめに

現在、地球上の人口の約半数近くが都市域で暮らしていると言われている（国立社会保障・人口問題研究所 2017）。このような状況の中、都市化の進行にともなうヒートアイランド現象は地球環境問題の一つにとりあげられるほど、近い将来人類が克服しなくてはならない重大な課題となっている。都市のヒートアイランド化は、地表面被覆の人工化や人工排熱の増加がその主たる要因と考えられている（環境省 2012, 三上 2013）。自然教育園は、東京の都心にあつて比較的これらの要因を免れている貴重な森といえる。特に人工被覆がなされていないことは、大気と土壌間の自然的な水・熱の交換を可能にしている。

地中の熱は本来太陽からの放射が源となっている。したがつて、風雨など自然のメカニズムに委ねていれば、適切な熱のサイクルとそれに伴う規則的な地温変動を示すことが予想される。また、土に蓄えられた熱は、土壌水分の蒸発に伴う潜熱輸送により大気中へ移動する。つまり、土壌が水分を含んでいるということが極めて重要な意味を持つ。この他にも、土壌には洪水緩和機能や渇水緩和機能があり、降雨を土壌に一旦貯留してゆっくり流出させる機能を備えている。

都市緑地の機能を理解するための一環として、筆者らは園内の気温や地温、土壌水分状況などの科学的データの取得を行っている。前回（村田ら 2012）、園内の土壌表層 5cm および 50cm 深の地温の連続観測を行った結果について報告した。今回は、地温の観測深度を増やすとともに 2010 年の観測開始以降 2016 年までの地温観測結果を得たので報告する。

*国立研究開発法人国立環境研究所, National Institute for Environmental Studies

**株式会社クレアテラ, Createrra Inc.

***首都大学東京, Tokyo Metropolitan University

観測地点と観測方法

観測地点

自然教育園内の観測地点は、サンショウウオ沢付近の台地部に設置した(図1)。植物構成はミズキ、イイギリ、ウワミズザクラ、ヒサカキ、シロダモ等にアオキ、シュロが混じる雑木林である。観測地点の土壌断面図は図2にしめした。観測地点の土壌の詳細については既に村田ら(2012)に記載した。観測は2010年1月より開始し、2012年より地温観測深を二点追加した。

観測方法

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、センサー部位は園芸用の支柱に結束バンドを用いて巻きつけた後、センサー先端が土壌鉍質層表面から5cmの深さになるように挿入した。また、10、30および50cm 深の観測には、センサー部位が金属シースで保護されたものを用い、10cm 深用にはサーミスタ温度計(T&D RTR-52A)、その他は白金抵抗温度計(T&D RTR-52Pt)を用いて土壌鉍質層表面

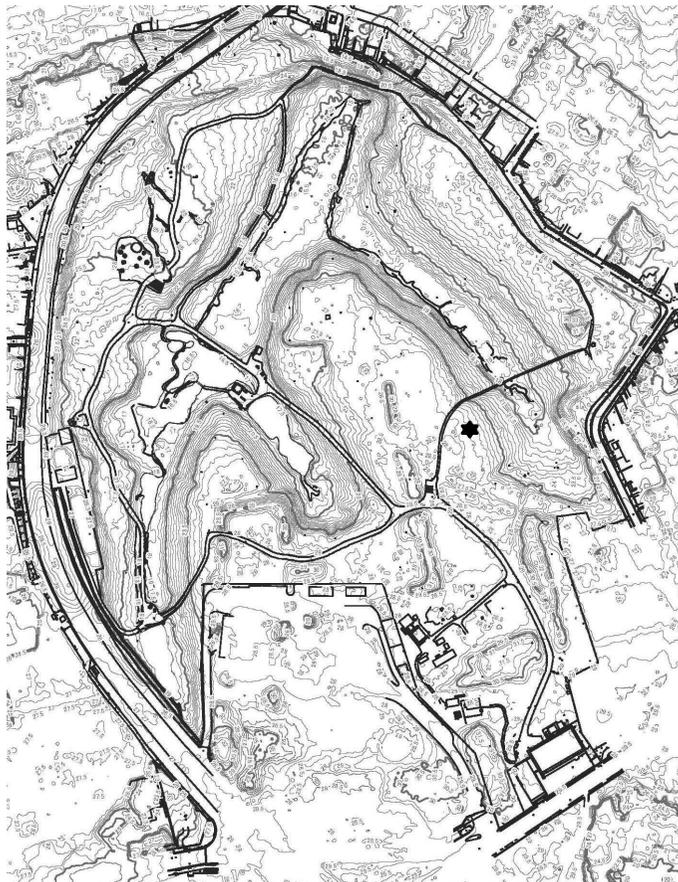


図1 観測地点



図2 観測地点の土壌断面図

からそれぞれの深さにセンサー先端が到達するよう垂直に挿入した。掘削してセンサーを埋設する方法では、センサー設置付近の土壤構造を大きく破壊してしまい、その後の熱伝導にも影響がおよぶ可能性があるため、このようなセンサー挿入方法を用いた。センサー設置深は図2の土壤断面柱状図からわかる通り、5および10cm深は有機物を多く含む黒土層中（A層）に、30および50cm深は有機物が少なく気相率の小さい赤土層（ABおよびB層）に設置した。地温観測用のロガー部位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。参考として気温観測用温湿度計（T&D RTR-53A）も同ボックス内に格納・設置した。いずれの温度センサーも測定誤差は $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ である。なお、各々30分のインターバルでデータ取得を行った。

結果および考察

気温、相対湿度および深度別の地温について、観測開始時の2010年2月から2016年12月までのおよそ7年間分のデータを表1に示した。残念ながら、鳥類によるセンサーの破損等もあり、欠損部分が生じてしまった。また、都内の参考値として気象庁が公表している大手町の観測地の月別平均気温と相対湿度についても併記した。なお、大手町の観測値は2014年11月分までであり、12月以降は皇居外苑北の丸地区に移転した後の値である。

図3には2014年から2015年にかけての気温および深度ごとの地温の日平均値をプロットした。地温が示す季節変化については、すでに村田ら（2012）でも報告した通りであるが、表層に近い地温ほど気温の変動と良く連動し、下層の変動に比べ振幅の大きい変動を示していた。また、気温や表層付近の地温の推移に対し、特に50cm深の地温は時間的な遅れを伴って推移していた。これは、大気中や表層土付近に加えられた熱が徐々に熱伝導により下方に移動している様子や徐々に放熱している様子を示していると考えられる。この時間的な地温変化のずれは熱伝導によるものではあるが、その様子は土壤の構造にも起因している面がある。魚井ら（2012）が行った園内での研究結果から、土壤は下層ほど気相率が減少し、固相はより緻密化し、土壤硬度も増大することが明らかにされている。つまり、下層ほど、有機物含量が減り、より固相が無機質になるとともに緻密化し固相率も高くなることで、土壤が温まり難く、且つ、冷えにくくなる要因にもなっていると考えられる。因みに、土壤の質が異なれば熱伝導率も異なることはこれまでも数多くの事例が報告されている（粕淵 1998）。

図3に示した期間における気温と地温の日平均値の差は、絶対値で5cm深が平均 1.6°C 、10cm深が 2.0°C 、30cm深が 3.3°C 、50cm深が 4.1°C と深くなるにつれて大きくなった。一方、3月上旬から4月中旬ごろにかけて、そして8月下旬から9月中旬ごろにかけては、日平均気温を含め表層付近から50cm深までの温度差が最も小さくなる時期であった。つまり、この時期は大気環境から地表下50cm深までがほぼ同程度の温度であるということである。特に、前者の時期に、さまざまな植物の芽吹きや生物の活動が活発化することは非常に興味深い点である。

地中の温度は土壤微生物活動の活性と密接な関係があることが園内で調査された結果からも認められている（宮島ら 2016）。生物反応の温度依存性については、 10°C 上昇した際の増加率（ Q_{10} ：キューテン）でしばしば表現され、平均的な生物反応（例えば酵素活性など）では 10°C 上昇当たり2～3倍程度活性が高まると言われている。月平均値の最高値と最低値の差を見ると（表1）、5cm深では最高値を示す8月と最低値を示す1月または2月の間の差がおよそ 20°C 程度であり、生物の反応速度にして4倍～6倍程度の変動が年間に存在することがわかる。一方、50cm深ではその

表1 気温, 相対湿度および地温 (5, 10, 30, 50cm深) の月別平均値

	自然教育園					大手町*		
	気温	湿度	地温				気温	湿度
			5cm深	10cm深	30cm深	50cm深		
2010年								
2月	5.0	80	5.6			9.1	6.5	60
3月	8.0	75	7.9			9.7	9.1	61
4月	11.0	76	10.3			10.3	12.4	62
5月	17.1	72	15.6			13.0	19.0	60
6月	21.5	81	19.8			15.5	23.6	67
7月	25.6	90	24.1			19.1	28.0	70
8月	27.4	83	25.5			20.8	29.6	67
9月	23.4	83	22.4			21.2	25.1	68
10月	—	—	17.4			18.8	18.9	68
11月	—	—	12.3			15.6	13.5	56
12月	8.0	72	9.1			13.3	9.9	50
2011年								
1月	3.7	48	5.0			10.5	5.1	36
2月	5.8	61	6.0			9.2	7.0	52
3月	6.9	59	6.6			8.9	8.1	47
4月	13.5	59	11.7			10.5	14.5	50
5月	16.8	75	15.6			13.4	18.5	63
6月	20.8	86	19.6			15.9	22.8	71
7月	25.3	80	23.5			18.7	27.3	67
8月	25.6	91	24.3			20.2	27.5	71
9月	—	—	22.5			20.9	25.1	68
10月	—	—	17.4			18.7	19.5	61
11月	13.0	84	13.6			16.6	14.9	58
12月	5.7	74	7.4			13.0	7.5	48
2012年								
1月	—	—	4.5	5.8	6.9	10.0	4.8	43
2月	—	—	4.7	5.4	6.1	8.4	5.4	49
3月	7.4	70	6.9	7.0	7.3	8.4	8.8	59
4月	13.1	72	11.6	11.3	11.3	10.3	14.5	63
5月	17.6	80	16.3	15.9	14.7	13.9	19.6	65
6月	19.6	84	18.5	18.1	16.7	15.7	21.4	73
7月	24.2	90	22.8	22.0	19.7	18.3	26.4	75
8月	26.7	83	24.8	24.0	21.6	20.2	29.1	69
9月	23.8	87	23.0	22.7	21.7	20.8	26.2	73
10月	17.4	79	17.3	17.8	18.7	18.9	19.4	65
11月	10.6	74	11.3	12.2	14.4	15.4	12.7	58
12月	5.3	65	6.5	7.5	10.4	11.8	7.3	52

表1 (つづき) 気温, 相対湿度および地温 (5, 10, 30, 50cm深) の月別平均値

	自然教育園						大手町*	
	気温	湿度	地温				気温	湿度
			5cm深	10cm深	30cm深	50cm深		
2013年								
1月	3.5	58	4.4	5.2	7.7	9.2	5.5	47
2月	4.7	53	4.9	5.4	7.3	8.4	6.2	48
3月	10.9	59	9.5	9.4	—	9.3	12.1	55
4月	13.6	64	—	11.9	—	11.4	15.2	55
5月	17.9	68	—	15.3	—	13.2	19.8	61
6月	20.9	84	—	19.0	—	16.0	22.9	74
7月	25.0	87	—	22.6	20.2	18.7	27.3	73
8月	26.6	88	—	24.3	22.1	20.7	29.2	70
9月	23.0	87	22.1	22.2	21.9	21.1	25.2	69
10月	17.9	88	17.6	18.1	18.8	19.0	19.8	72
11月	11.3	76	11.7	12.7	14.9	15.9	13.5	55
12月	6.2	68	7.3	8.5	11.3	12.8	8.3	52
2014年								
1月	4.5	55	5.0	6.0	8.5	10.0	6.3	45
2月	4.2	60	3.9	4.6	6.9	8.3	5.9	52
3月	9.1	59	7.8	8.0	8.2	8.5	10.4	52
4月	13.8	62	12.2	12.0	11.6	11.1	15.0	56
5月	18.4	73	17.6	15.7	14.7	13.5	20.3	62
6月	21.4	88	19.7	19.4	18.4	16.9	23.4	75
7月	24.5	92	22.5	22.0	21.7	19.0	26.8	74
8月	25.6	87	23.8	23.4	23.3	20.7	27.7	74
9月	21.2	84	20.4	20.5	20.4	20.0	23.2	68
10月	17.0	85	17.1	17.4	18.2	18.2	19.1	67
11月	12.2	78	13.1	13.7	15.5	15.9	14.2	63
12月	5.4	71	7.9	8.7	12.6	12.6	<u>6.7</u>	<u>55</u>
2015年								
1月	4.6	61	6.1	6.7	9.9	10.0	<u>5.8</u>	<u>52</u>
2月	4.8	64	5.6	6.2	9.0	8.7	<u>5.7</u>	<u>59</u>
3月	9.5	64	8.5	8.7	10.9	9.4	<u>10.3</u>	<u>57</u>
4月	13.8	77	12.3	12.2	—	11.3	<u>14.5</u>	<u>71</u>
5月	19.7	71	16.9	16.5	—	14.2	<u>21.1</u>	<u>62</u>
6月	20.6	89	18.9	18.7	17.5	16.4	<u>22.1</u>	<u>75</u>
7月	24.6	94	22.5	22.0	20.2	18.8	<u>26.2</u>	<u>80</u>
8月	25.4	90	23.7	23.4	22.1	20.8	<u>26.7</u>	<u>78</u>
9月	21.3	94	21.0	21.0	21.0	20.4	<u>22.6</u>	<u>79</u>
10月	17.2	80	17.3	17.7	18.7	18.7	<u>18.4</u>	<u>66</u>
11月	13.0	87	14.2	14.7	16.4	16.6	<u>13.9</u>	<u>74</u>
12月	8.4	70	9.9	10.6	12.7	13.6	<u>9.3</u>	<u>57</u>

表1 (つづき) 気温, 相対湿度および地温 (5, 10, 30, 50cm深) の月別平均値

	自然教育園						大手町*	
	気温	湿度	地温				気温	湿度
			5cm深	10cm深	30cm深	50cm深		
2016年								
1月	4.8	64	6.8	7.5	9.7	11.1	<u>6.1</u>	<u>55</u>
2月	6.3	63	7.0	7.5	9.0	9.7	<u>7.2</u>	<u>56</u>
3月	9.4	70	8.8	9.0	10.5	10.0	<u>10.1</u>	<u>61</u>
4月	14.7	77	13.1	12.9	12.9	11.9	<u>15.4</u>	<u>67</u>
5月	18.9	77	16.9	16.5	15.8	14.6	<u>20.2</u>	<u>66</u>
6月	20.9	87	19.4	19.0	18.1	16.8	<u>22.4</u>	<u>[75]</u>
7月	24.0	89	22.2	21.7	20.6	19.0	<u>25.4</u>	<u>80</u>
8月	25.6	89	24.1	23.5	22.7	21.1	<u>27.1</u>	<u>78</u>
9月	23.3	95	22.8	22.7	22.5	21.6	<u>24.4</u>	<u>86</u>
10月	17.6	87	18.3	18.9	20.0	—	<u>18.7</u>	<u>72</u>
11月	10.5	85	12.0	13.1	15.0	—	<u>11.4</u>	<u>71</u>
12月	7.5	73	9.1	10.2	12.0	—	<u>8.9</u>	<u>59</u>

*: 気象庁(AMeDAS)の観測値。但し, 下線を付した2012年12月以降は観測地点移転後(北の丸)の観測値。

—: データ欠損

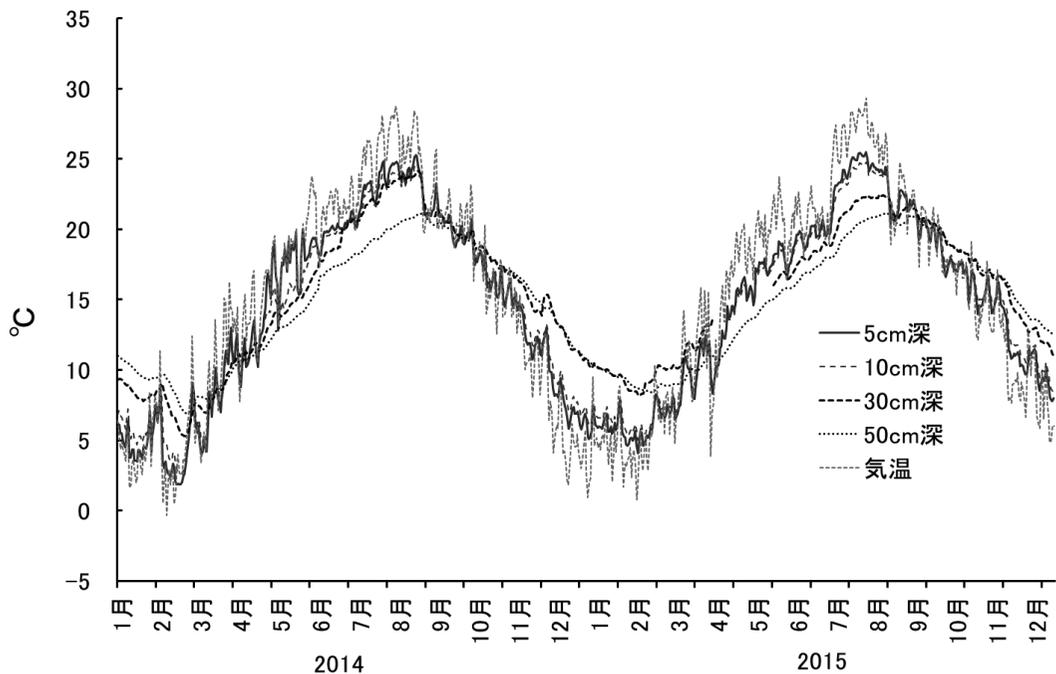


図3 気温および深度別日平均地温の季節変動 (2014 ~ 2015年)

差が平均 12℃ 程度なので、その速度は 2～3 倍程度と表層付近に比べてかなり穏やかであることがわかる。このように気温変化と連動性の高い表層付近の地温の季節変化は、種子の発芽や落葉の分解、そこからの養分放出（リサイクル）など、生態系のバイオリズムなどの季節変化に一翼を担っていることがうかがえる。一方、深層のように温度差が穏やかな領域では、変化の小さい安定な諸反応に有利に働いているだろう。

また、都市域の蒸発散面積率（緑地＋水面＋農耕地の面積率）が増大するにしたがい、ヒートアイランド強度が低下することが明らかにされている（福岡 1983）。この蒸発散面積率が 30% を超えるあたりで都市内外の気温差が 4℃ 程度に安定してくることから、主要都市部で潜熱交換を通して暑熱を緩和するためには蒸発散面積率を 30% 以上確保することが望ましいとされている（小宮・岡 1997）。こういった知見からもわかる通り、緑地の持つ熱環境改善機能は、緑の存在のみならず、そこに水分を含み、熱を下方に伝導したり、潜熱交換を通して大気へ拡散させる機能を有する土壌の存在が重要なのである。都市域においても、施されている人工被覆を剥がせば必ず土壌が存在している。今後の都市域における熱環境の改善に向けては、都市が本来持っている自然資源である足元の土壌をどのように活用していくかが重要になるだろう。

謝 辞

このような継続的な観測にご理解、ご協力をいただいております国立科学博物館附属自然教育園の関係者の皆様にこの場を借りて感謝の意を表します。

引用文献

- 魚井夏子・渡邊眞紀子・村田智吉. 2012. 自然教育園における鉛直方向の土壌硬度と土地利用履歴との関係. 自然教育園報告, (43) : 37-45.
- 粕淵辰昭. 1998. 土壌温熱, 根の事典編集委員会編, 根の事典, 252-254.
- 環境省. 2012. http://www.env.go.jp/air/life/heat_island/guideline/h24.html (2017年3月末現在).
- 国立社会保障・人口問題研究所. 2017. 表 9-19 世界の主要地域別都市人口割合: 1950～2050年—人口統計資料集(2016)—, 人口統計資料集 2016 年度版 http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Popular/P_Detail2016.asp?fname=T09-19.htm (2017年3月現在).
- 小宮英孝・岡建雄. 1997. 第 4 節 市街地緑化による熱環境の改善, 土壌の環境圏, 591-597, フジ・テクノシステム.
- 福岡義隆. 1983. 都市の規模とヒートアイランド, 地理, (28) : 34-42.
- 三上岳彦. 2013. ヒートアイランド現象と森のクールアイランド効果, 濱尾章二・松浦啓一編, 自然教育園の生物多様性と環境 国立科学博物館叢書 14, 124-135, 東海大学出版会.
- 宮島聖也・村田智吉・川東正幸・渡邊眞紀子. 2016. 自然教育園内の土壌呼吸の観測—都内緑地公園との比較—. 自然教育園報告, (47) : 61-70.
- 村田智吉・田中治夫・川井伸郎, 矢野亮, 渡邊眞紀子. 2012. 自然教育園内における深度別地温の変動. 自然教育園報告, (43) : 1-10.

