

# マルチチャンネル・データロガー及び 新温度センサーによる樹木周辺温熱環境の把握

小澤徹三<sup>1</sup>・生原喜久雄<sup>2</sup>・桃井信行<sup>3</sup>・清宮浩<sup>4</sup>・森崎耕一<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 日本道路公団試験研究所緑化試験研究室長 (〒194 東京都町田市本町田 1-4-1)

<sup>2</sup>農博 東京農工大学農学部森林生態管理学教室教授 (〒183 東京都府中市幸町 3-5-8)

<sup>3</sup>日本道路公団東京第二管理局水戸管理事務所維持助役 (〒311-41 茨城県水戸市加倉井町 2206)

<sup>4</sup>日本道路公団技術部緑化推進課 (〒100 東京都千代田区霞ヶ関 3-3-2)

<sup>5</sup>建設省土木研究所環境部緑化生態研究室主任研究員 (〒305 茨城県つくば市大字旭 1)

樹木周辺の温熱環境を多測点、多種類、連続的、長期間にわたり測定するため、ほぼ無制限にセンサーやチャンネル数を追加可能な携帯式マルチチャンネル・データロガーを開発し、簡便な新温度センサーを試作した。この新温度センサーは、従来の百葉箱により測定した気温とほぼ同等の温度を主に直射日光の影響の少ない状態（曇天）で示した。また、マルチチャンネル・データロガーを用いて、地温、日射量等の測定を行ったところ、樹冠内外の方位及び深さによる地温較差が日射の直接的及び恒常的な影響のためであることが明らかとなった。

*Key Words*: tree, thermal environment, data logger, sensor, temp., micro-meteorology, insolation

## 1. はじめに

樹木には、環境保全、防災等の多くの効用があることが知られているが、その効果には、大別すると、植物の形態・周辺との位置関係等の存在すること自体によるものと植物と環境との相互作用により結果的に得られるものがある<sup>1)</sup>。

存在効果としては、宗教・美術・感覚等の人文的及び心理的なものが中心であり、現在のところ、客観的に計測される対象とはなっていない。しかし、環境との相互作用による効果については、近年の研究等の進展により、かなりの部分が明確になってきている。これらの主要なものは環境保全効果であり、防音、大気浄化、気象緩和を主体とし、おおよそ防音・大気浄化効果については評価・計測できる手法や考え方が明らかになりつつある<sup>2)</sup>。気象緩和については、衛星・飛行機等による都市内及び近郊の樹林を対象とした都市域における表面温度から見た熱環境緩和効果の計測による、かなりマクロ的な評価を中心としている。しかし、近年、単木を対象としたミクロ的な評価も行われつつあるところであるが、連続的かつ多測点の計測を実施した事例は、ほとんど見られないのが現状である<sup>3)-9)</sup>。これは、従来手法では、機器

設置、操作等の測定自体に手間がかかり、効率的な測定が困難であると考えられるからである。

そこで、樹木周辺の温熱環境を明らかにする一環として、樹木周辺温度や日射等を連続的且つ多測点に計測し、立体的に把握するため、携帯式マルチチャンネル・データロガーを開発し、簡易な新温度センサー<sup>10)</sup>を試作して、実際に測定を行ったところ、樹木周辺における温熱環境を把握できたので報告するものである。

## 2. 調査方法等

### (1) 調査対象

中央自動車道双葉SAの上り線の園地（芝生地）に生育しているケヤキ（樹高 10 m：胸高直径 79 cm：枝幅 7.1 m）に対し、平成 7 年 8 月 23 日～8 月 26 日の間の約 72 時間連続して、温熱環境の測定を Table 1 に従い行った。

### (2) 調査方法

各種センサーを Fig 1 のように配置し、マルチ・チャンネル・データロガー（以下、「ロガー」という）により、15 分に 1 回の間隔で自動測定した。温度センサーには半導体温度センサー（ANALOG DEVICES 社製、AD590 シ

Table 1 Measured items and points

Items	Height (cm)	Direction	Sum of Sensors
Stem surface temp	10, 70, 120, 170	N, NE, E, SE, S, SW, W, NW	32
Insolation on stem	70, 120	N, S	4
Insolation inside crown	120	N	1
Insolation outside crown	120	N	1
Earth temp inside crown	-10, -20, -50	N, E, S, W	12
Earth temp outside crown	-10, -20, -50	N, E, S, W	12
Temp inside crown	70, 120	N, E, S, W	8
Temp outside crown	70, 120	N, E, S, W	8
Total			78

リーズ)を用い、地中用・接触用にはステンレス製、樹木周辺温度測定用には自然対流・間接測定式のカバーを製作のうえ使用した。また、日射センサーにはシリコンフォトセル(小糸工業(株), IKS-35 同等品)を用いた。

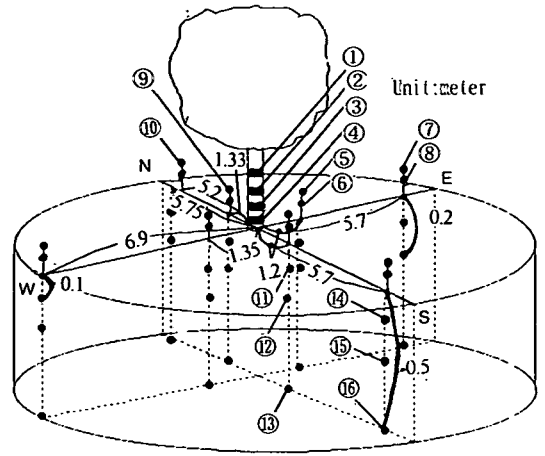
(3)測定装置

今回、幾つかの測定装置等を考案したので、その概要を次に示す。

a) マルチ・チャンネル・データロガー

本ロガーは、野外の無電源環境下で、不特定多数のチャンネルのデータを長時間にわたって測定するために開発したものである。これは、128~512KBのRAMカードを搭載し、単三乾電池6本で約3カ月間使用可能であるロガー本体、数本(通常は4本)のセンサーと一体となったリモートユニット(以下、「ユニット」という)からなる。ユニットはネットワーク状に継ぎ足していくことにより基本的には無制限に接続することが可能である。1ユニットには1~8個のセンサーが接続可能であり、センサー1個に約0.1秒程の測定時間が必要と仮定すると、1,000個のセンサーを接続することにより、最初のセンサーから最後のセンサーまで測定すると約2分弱のタイムラグが生じることになる。データのバックアップも考慮したロガーの2重配置等の使用方法の提案も含め、新型ロガーの開発を行う予定である。

Fig. 2に、実際に各種のセンサーの接続を行った時の概要図を示す。今回は、地温、樹木周辺温度、樹幹表面温



- ① : 1.7m height
- ②⑤⑦⑨⑩ : 1.2m height
- ③⑥⑧ : 0.7m height
- ④ : 0.1m height
- ⑪⑭ : 0.1m depth
- ⑫⑮ : 0.2m depth
- ⑬⑯ : 0.5m depth
- ①②③④ : Stem temp. in 8 bearings
- ②③ : Stem insolation in 2 bearings
- ⑤⑥⑨ : Temp. of crown inside
- ⑦⑧⑩ : Temp. of crown outside
- ⑨ : Insolation of crown inside
- ⑩ : Insolation of crown outside
- ⑪⑫⑬ : Earth temp. of crown inside
- ⑭⑮⑯ : Earth temp. of crown outside

Fig. 1 Measured points around the tree

(underground indicated with magnified scale)

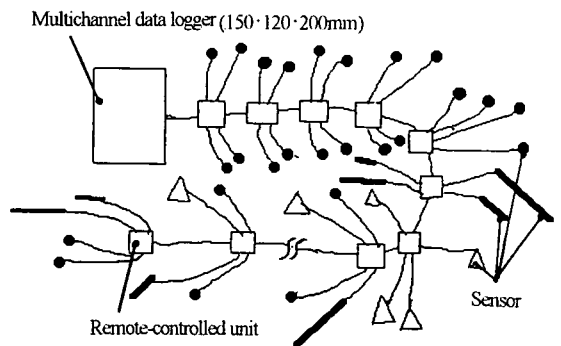


Fig. 2 A multichannel data logger and many connected sensors

度、日射量に関するセンサーを取り付けた。今回使用したものは、センサーをユニット内基板に直付けしているが、コネクタ接続にすることも可能である。また、ロガーとユニット及びユニット同士は、安価なコネクタとケーブルであるRJ-11 モジュラーケーブル(電話ケー

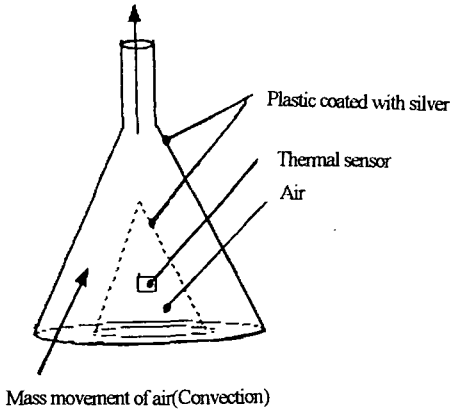


Fig. 3 A new thermal sensor

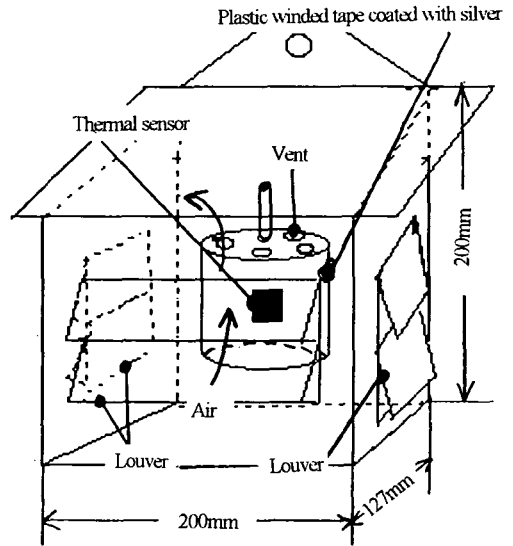
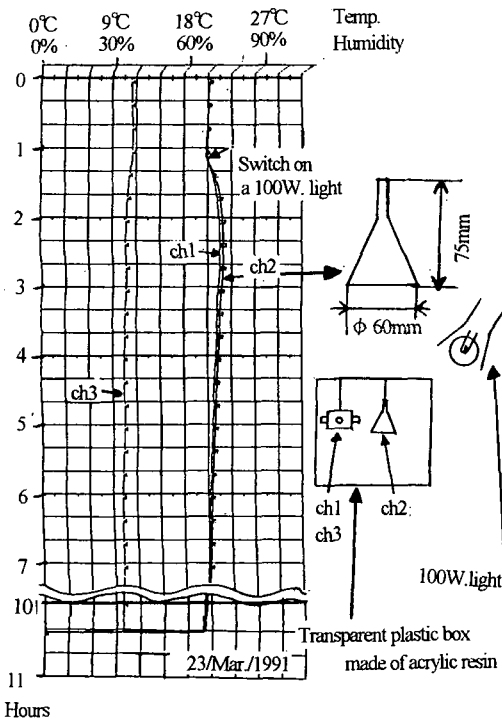


Fig. 5 The thermometer screen structure(hanging type)



- ch1 : Ventilated thermometer
- ch2 : New thermal sensor
- ch3 : Ventilated hydrometer

Fig. 4 Results of the indoor test about a new thermal sensor  
(23/Mar/1991, measured at intervals of 1 minute)

ブル) を使用したため、屋外使用ではビニル袋等の防水措置が必要となる。RAM カードリーダーと読み取りソフトウェアにより CSV 形式のファイルに変換するため、表計算ソフト等でのデータ加工が可能である。

#### b) 新温度センサー

気温の測定には、百葉箱（ガラス温度計）、アスマン通風乾湿計等が基準的に用いられているが、設置や測定に手間がかかる、通風用動力が必要で長期間の連続測定が困難である等の問題がある。そこで、設置や測定が容易で動力（通風等）を必要とせず、長期間の連続測定を考慮した新温度センサーを試作した（Fig. 3 参照）<sup>10)</sup>。

恒温恒湿槽に通風式標準温度測定装置（ジョン・フルーク社製、タイプ 52）を設定し、新温度センサーと同時に測定を行った室内試験結果を Fig. 4 に示す。標準温度測定装置とは  $\pm 0.05^\circ\text{C}$  のズレが見られ、途中でランプ直射を行ってその変化状況を調べたところ、 $\pm 0.2^\circ\text{C}$  内程度の誤差で一致した。そこで、1991 年 9 月 21~23 日に茨城県つくば市の建設省土木研究所内で、新温度センサーに使用したものと同一の半導体温度センサーを百葉箱（いすゞ 12 号型改、片流れ、壁掛型）に入れて測定した気温（Fig. 5 参照）と、地上 1.2 m 高の直射日光下に設置した新温度センサーでの測定結果を比較したところ、Fig. 6 に示すように、直射日光等により 2~3°C の差が生じたが、曇り等の場合はおおよそ  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  内に入っており、直射日光の影響の少ない条件の下では（樹冠下等）、簡易な気温測定に使用しうるものと考えられた<sup>11)</sup>。ただし、本センサーにより測定された温度は、樹木周辺温度、樹冠内温度または樹冠外温度とし、本報告においては気温と区別するものとする。

Table 2 Differences of air temp. by Kofu meteorological observatory and temp. by a new thermal sensor

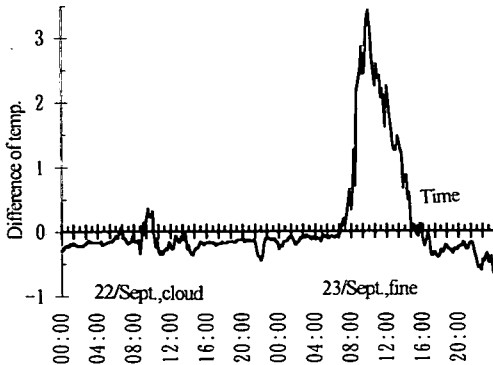


Fig. 6 Difference of temp. between a new thermal sensor and a screen (22/Sept.-23/Sept./1991,cloud,fine)

### 3. 測定結果及び考察

#### (1) 新温度センサーの特性

最奇りの甲府気象台のデータと比較したのが Table 2 である。日最高温度(14:00 頃)では、樹冠内温度が気温とほぼ同じであり、樹冠外温度は晴れの場合約4℃高く、曇り等の場合約1℃高くなる傾向が見られた。日最低温度(5:00 頃: 照明灯有り)では、樹冠内温度は約3℃、樹冠外温度では約2℃気温より低めになるとともに、樹冠内温度は樹冠外温度より約1℃低くなる傾向が見られた。これらについては、さらに厳密な調査が必要である。

人間に対する熱ストレス等の測定(ISO7243,7730)には、グローブ温度計等を用いて、気温、湿度、輻射熱や気流等の要素を利用した値が使用されており<sup>12),13)</sup>、植物の光合成活動も同様に気温、湿度、放射や気流等の影響を受ける<sup>14)</sup>。新温度センサーも、気温、輻射熱、気流等の影響を主に受けると考えられるため、改善の余地のあるセンサー仕様や生物を考慮した新しい温度指標の検討を行う予定である。

#### (2) 地温変化状況

夏の晴天日におけるケヤキの北及び南側での樹冠内外の地温変化を Fig. 7 に示す。

北側の10, 20, 50cm 深では、樹冠内外による温度較差が顕著で、同様な変化状況を示し、50cm 深地温は樹冠外で26.5℃、樹冠内で23.5℃でほぼ一定であった。また、10cm 深では6:00 が最低で14:00~15:00 で最高となるように推移し、20cm 深で最高地温になるのは0:00 であり、10cm 深と比較すると約10時間のズレが生じていたが、較差は約3~3.5℃の範囲にあった。50cm 深では太陽移動に伴う

Item		Kofu meteorological observatory		Futaba service area	
		Air temp. (°C)	Temp. 1 (°C) ※3	Temp. 0 (°C) ※4	
24/Aug./1997 Fine ※1 2.4m/s ※2 70%	Highest	35.7	35.6	40.1	
	Average	29.2	28.0	29.6	
	Lowest	25.0	23.4	24.2	
25/Aug./1997 Fine ※1 2.5m/s ※2 69%	Highest	36.4	36.1	40.7	
	Average	29.6	28.5	30.0	
	Lowest	26.1	23.4	24.2	
29/Aug./1997 Cloud ※1 2.6m/s ※2 57%	Highest	32.5	32.0	32.7	
	Average	27.4	25.9	26.8	
	Lowest	24.3	22.0	22.7	
30/Aug./1997 Cloud ※1 2.1m/s ※2 68%	Highest	32.2	32.3	33.5	
	Average	26.4	25.4	26.3	
	Lowest	22.8	20.9	21.6	
2/Sept./1997 Cloud ※1 1.9m/s ※2 64%	Highest	31.5	32.3	32.4	
	Average	25.4	24.1	25.0	
	Lowest	21.3	19.0	20.0	
3/Sept./1997 Cloud ※1 1.2m/s ※2 70%	Highest	27.4	27.3	27.8	
	Average	24.6	22.8	23.7	
	Lowest	22.0	20.3	21.2	

※1 Air velocity average (m/s)  
 ※2 Relative humidity average (%)  
 ※3 Temp. 1: Temp. crown inside (°C)  
 ※4 Temp. 0: Temp. crown outside (°C)

直接的な日射の影響はほとんど見られなかった。

南側の10, 20, 50cm 深では、樹冠内外による温度較差があまり認められず、50cm 深地温は樹冠外で26.3℃、樹冠内で25.5℃でほぼ一定であった。また、10cm 深では6:00 ~7:00 が最低で14:00~15:00 で最高となるように推移し、20cm で地温が最大になるのは18:00~19:00 であるので、北側と比較するとズレの間隔が短かった。50cm 深の地温較差は北側で約3℃、南側では約0.5℃となりほぼ一定であった。周辺の物体(構造物や樹木等)、土壌の相違や各種誤差の影響等もあると思われるが、次のような傾向が認められた。

- ①北側は樹冠内地温が低いため、少量の日射でも樹冠内外による地温較差に与える影響が大きい。
  - ②南側は樹冠内地温が高いため、日射が強いにも拘わらず、樹冠内外による地温較差に与える影響は小さい。
- 直射日光による直接的影響は少なくとも20cm までは認められると同時に、日射や気温等の恒常的な影響と考えられるものは、南北の50cm 深における樹冠内地温で差が生じていることから明らかとなった。

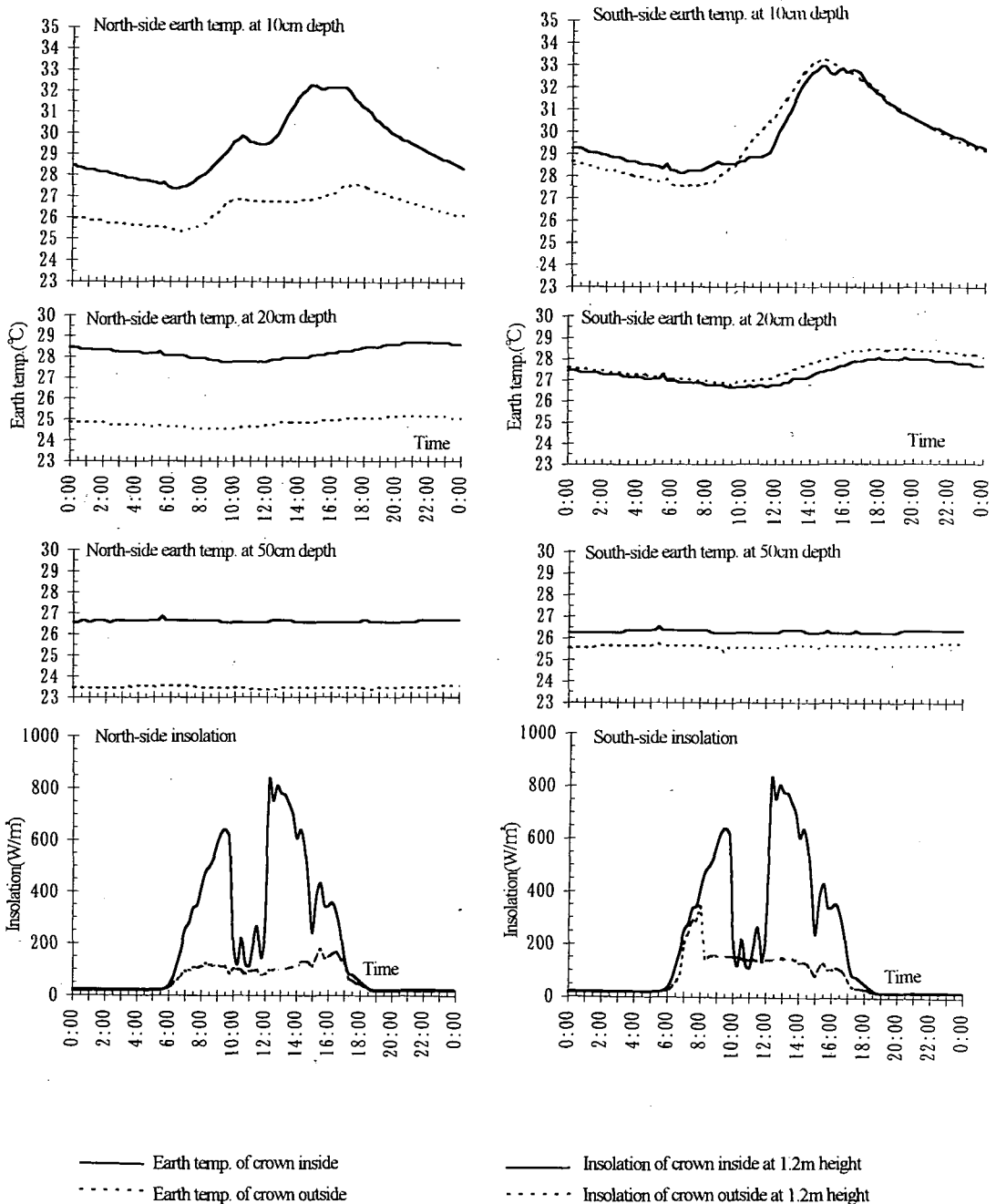


Fig. 7 Diurnal variations of earth temp. and insolation about crown inside and outside at north-side and south-side of "Zelcova" (25/Aug/1995, fine)

### (3) 樹木周辺の温熱環境

葉による蒸散作用により、樹冠の日射による温度上昇が抑制されると共に、日陰になるという相乗的な緑陰効果のため、地温が2~6℃程度低くなっており、同じ深さでは樹冠内の方が温度変化が小さく地温が低く安定し

ていることが分かった。地温は土壤水の温度にほぼ等しく、水分の吸収根が浅く樹冠による被陰の程度の低い樹木は夏期における高温の影響を受け易くなる。

樹冠の被陰等により地表面温度や土壤水温度が低下すると、吸収された水分が導管内を上昇し樹木自体の温度

が上がり難くなるので、樹冠の被陰の程度が比較的強くて日射の影響を受け難く、全体的に光合成活動が盛んで且つ生育良好な樹木ほど周辺温度が下がることが推測された。また、方位により特徴的な温度分布傾向を示すため、樹木の温熱環境緩和効果を示すには、樹木に対する相対的な測定位置(方位)を明記する必要がある。

#### 4. おわりに

従来ほとんど調査されていなかった、方位及び深さによる樹冠内地温の差異が明白となり、日射の直接的及び恒常的な影響をかなり受けていることが明らかとなった。

樹木の温熱環境緩和効果は樹冠の質や量に左右され、被陰等の相乗的な作用により効果が維持されていることが推測された。それは、マルチチャンネル・データロガーを用いて植物周辺の温熱環境を多測点・多種類・長期間にわたり測定することにより、植物とその周辺環境との環境応答に関するデータを多方面から解析することから可能になるものと言える。しかし、メモリの大容量化等の課題が残っており、今後の改良を検討していきたい。今回使用した新温度センサーは、定法による気温、体感温度指標に用いられるグローブ温度との比較等により、その位置づけを明確にし、新しい温度指標としての検討を行う予定である。また、樹木周辺の温度分布状況をきめ細かく捉えるために有効なため、必要に応じて改良を加え、動力を必要とせず設定や測定が容易な簡易型センサーとしての活用を検討する予定である。

これらにより、年間を通じたデータ収集、様々な状態の樹木の同時測定を行っていききたいと考えている。

謝辞：本研究の実施に当たってご助言を得た、元東京農工大学農学部教授真下育久氏、ジオグリーンテック(株)長谷川秀三氏、川九邦雄氏に深謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 三澤彰：環境緑化工学，pp 36—58，(株)朝倉書店，1992。
- 2) 新田伸三，東集成，石井昭夫：環境緑化における微気象の設計，鹿島出版会，pp 30—51 pp 97—135，1981。
- 3) 梅千野晃：都市の緑と環境物理，日本建築学会大会(関東)環境工学部専門研究協議会「都市の緑とアメニティーどのような緑が必要なのか」，pp 1—36，1993。
- 4) 藤崎健一郎：微気象調査からのランドスケープ研究，ランドスケープ研究 58(3)，pp 320—321，1995。
- 5) 稲葉孝己，竹村文男，香川信子：樹木植栽地における夏季の間の微気象調節機能に関する研究，造園雑誌 47(5)，pp 141—146，1984。
- 6) 山田宏之，丸田頼一：樹木の日射軽減作用に関する研究，造園雑誌 51(2)，pp 84—94，1987。
- 7) 山田宏之，丸田頼一：小規模樹林内における夏季の気温の低減について：造園雑誌 53(5)，pp 163—168，1990。
- 8) 中山敬一，田畑貞寿，小林康平，三沢彰，田代順孝：緑陰の微気象と快適性に関する研究，造園雑誌 54(1)，pp 1—6，1990。
- 9) 藤崎健一郎，半田真理子：公園，街路等の植栽が微気象に及ぼす影響，造園雑誌 57(5)，pp 151—156，1994。
- 10) 吉岡松太郎，小木元，中村和男，岩井一幸，稗田哲也：住宅用地下室温熱環境の性能評価，通商産業省製品科学研究所報告 No. 126，pp 79—113，1992。
- 11) 建設省土木研究所道路部緑化研究室：樹木の生理生態に関する調査，pp 236—244，1992。
- 12) 新里寛英，古川良知：暑熱環境評価用 WBGT 測定器の開発，人間と生活環境 Vol. 1, No. 1, pp. 83—86，1994。
- 13) 鄭根元，堀越哲美，福岡真由美，水谷章夫：都市空間における人体への日射熱負荷の緑陰による緩和効果，人間と生活環境 Vol. 3, No. 1, pp. 20—28，1996。
- 14) 日本気象学会編：新しい農業気象・環境の科学，pp 149—173，(株)渡賢堂，1994。

(1997. 3. 25 受付)

## A STUDY OF THE THERMAL ENVIRONMENT AROUND A TREE WITH A MULTICHANNEL DATA LOGGER AND A NEW THERMAL SENSOR

Tetsuzo KOZAWA, Kikuo HAIBARA, Nobuyuki MOMOI, Hiroshi SEIMIYA  
and Kouichi MORISAKI

We invented a multichannel data logger and a new thermal sensor as a trial, because we want to measure the thermal environment around a tree over a long time, continuously, and variously. We think that this sensor will be used as a kind of air temperature sensors in a cloudy day. With this logger and sensors, we could understand the micro-meteorological control by a tree.