

サーモグラフィによる 街路樹(仙台市ケヤキ並木)の診断

大政謙次*・田島 彰**・宮坂佳代子***

(* 国立公害研究所
** 仙台市公園管理事務所
*** NHK 仙台放送局)

Diagnosis of Street Trees by Thermography:
Zelkova Trees in Sendai City

Kenji OMASA*, Akira TAJIMA** and Kayoko MIYASAKA***

(* The National Institute for Environmental Studies, Tsukuba 305, Japan)
(** The Parks Section of Sendai City, Sendai, Miyagi 980, Japan)
(*** NHK Sendai Broadcasting Station, Sendai, Miyagi 980, Japan)

Thermography, which is a method for obtaining surface temperature, was used to diagnose street trees. Leaf temperature provides physiological information about processes such as stomatal movement, transpiration, CO₂ uptake, and air pollutant absorption under steady-state thermal environments. Actually, the effect of environmental stress on zelkova trees on Aobadori St. in Sendai city was evaluated from the difference between temperatures of trees. Also, the recovery after pruning branches, and painting with mud and injecting nutrition to the trunk of a damaged tree was diagnosed from the spatial difference of leaf temperature. The use of both thermography and portable porometer makes a precise diagnosis of street trees possible.

Key words: Diagnosis, Environmental stress, Leaf temperature, Street tree, Thermography.
キーワード: 街路樹, 環境ストレス, サーモグラフィ, 診断, 葉温

1. 緒 言

街路樹の診断は、専門家の目視による診断の他、樹高、幹径、葉面積、光合成量、葉の色素含有量など、生長に関係した客観的な測定データに基づいて行われる(例えば、吉岡, 1975; 飯泉, 1980, 1986)。また、土壌・根系分析や生理生化学機能分析などを加えると、より正確な診断ができる(街路樹根系調査委員会, 1982; 大政ら, 1988)。しかし、これらの方法は多大な労力を必要とするので、可視から近赤外の波長域(0.5~0.9 μm)に感度をもつ赤外カラー写真による活力度診断と併用する機会が多い(中島, 1973; Colwell, 1983; 箱根町教育委員

会, 1984)。この波長域において得られる生体情報は、植物葉の含有色素量、即ち色調の変化であり、赤外カラー写真による活力度診断とは、可視障害の診断に他ならない(Colwell, 1983; Aoki *et al.*, 1986; 大政ら, 1988)。

最近、赤外カラー写真以外にも植物診断を目的とした種々の画像計測・リモートセンシング技術が開発されてきている(大政, 1984; Omasa and Aiga, 1987; 大政ら, 1988)。サーモグラフィ装置による熱画像計測では、気温、湿度、放射量、気流などの熱環境要因が一定の条件下で、赤外カラー写真では得られない植物葉の気孔反応、蒸散能力、光合成能力、大気汚染吸収能力に関する情報の得られることは知られているが(大政ら, 1981; Omasa *et al.*, 1981 a, b; Hashimoto *et al.*, 1984; 井

上, 1987), 街路樹の生理生態機能診断に適用した例は見あたらない。そこで, 仙台市のケヤキ並木の診断にこの手法を適用し, その有効性を確かめた。

2. ケヤキ並木の特徴と調査方法

今回, 調査対象とした青葉通りは, 仙台市の中心にあり, 仙台駅前から西公園まで東西約 1.5 km の交通量の多い道路である。両側の歩道と中央分離帯には, 樹齢約数十年のケヤキ並木がある。仙台市では, その保護のために, 定期的な調査を実施し, 対策を講じている(吉岡, 1975; 飯泉, 1980, 1986; 街路樹根系調査委員会, 1982)。そして, 並木のそれぞれのケヤキに番号がつけられ, 履歴が保存されている(Fig. 1)。一般に, 交通量が多く, 高層ビルが密集している仙台駅周辺のケヤキに生育異常が見られ, また, 中央分離帯のケヤキに比べて, 歩道側のケヤキの生育が悪いことが知られている。特に, 生育異常が認められるケヤキについては, その程度に応じて, 剪定, 薬剤注入, 泥巻きなどの処理が施されている。

調査は, 1988年8月の曇天で, 微風の日を選んで実施した。この年は, 仙台市でも長雨による日照不足と冷夏により, ケヤキに異常落葉が見られた。調査に用いたサーモグラフィ装置(日本電子 JTG-3210)の性能は, 観測波長域, 温度分解能, 画像解像度が, それぞれ, 8~13 μ m(HgCdTe, 液体窒素冷却), 0.05 $^{\circ}$ C, 300H \times 230V画素であった。また, PC-9801との接続により, 現場で, 温度表示や簡単な画像処理を行った。調査では, サーモグラフィによるケヤキの葉温画像計測と同時に, ポロメーター(LI-COR Model LI-1600)により, ケヤキ葉の気孔拡散抵抗の他, 気温と光強度を測定した。なお, 測定は, 健全なケヤキの気孔が十分に開く午前10時から午後2時の間に行った。

3. 結果及び考察

都市の街路樹は, 一般に根系の発達が十分でないので, 路面の舗装に伴う地下水位や周辺湿度の低下により, 水ストレス障害を起こす。また, 日照不足による障害や生態系としての物質循環が舗装により切断されるために養分欠乏による障害も頻繁に発生する。これに, 自動車の排ガスによる影響が加わる。これらの障害は, 枝条枯死, 異常落葉, 病虫害として現れる。障害の程度が軽微な場合にも気孔閉鎖や光合成機能低下などの不可視障害が生じ, 生長が阻害される。サーモグラフィによる診断は, この不可視障害を葉温画像の変化から診断するものであり(Omasa and Aiga, 1987; 大政ら, 1988), 同時に, 大気汚染の浄化機能などの情報も得ることができる(大政, 1979; 大政ら, 1981; Omasa *et al.*, 1981 a, b)。

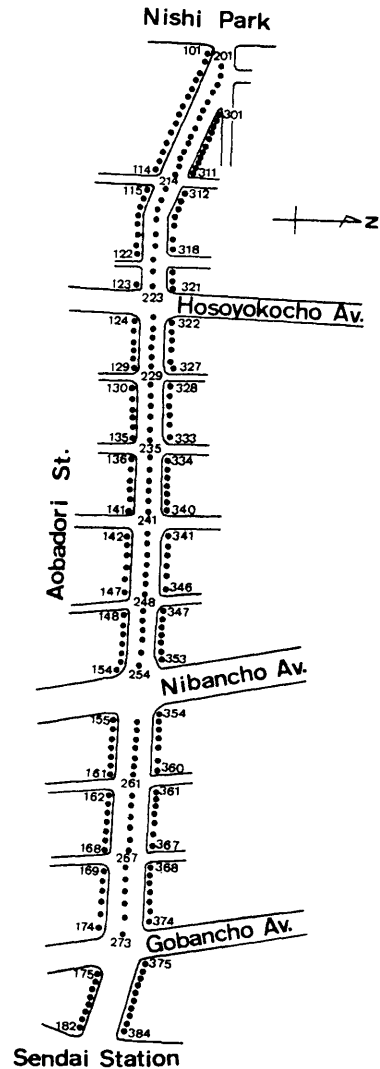


Fig. 1. Layout of numbered zelkova trees on Aobadori St. in Sendai city (modified from Yoshioka (1975)).

細横丁から西公園に向かってのケヤキ並木の写真と温度画像を Fig. 2 に示す。この区域のケヤキは, 高層ビルが少なく, 交通量も比較的小さいので, 健全なケヤキが多い。特に, 右側のケヤキ(321番)は生育が良い。これは, 歩道を挟んだ宅地側が, 空き地になっており, 水分の供給が十分で, 日照状態が良いためと考えられる。しかし, 反対側の 123 番のケヤキは, 歩道側にガソリンスタンドがあり, 日照状態が比較的良好にもかかわらず生育が悪い。葉温を比較すると, 123 番のケヤキの方が 321 番のケヤキよりも葉温が高く, 蒸散や光合成の機能が低下していることがわかる。この原因については正解にはわからないが, 水分や養分の欠乏の他, ガソリン類

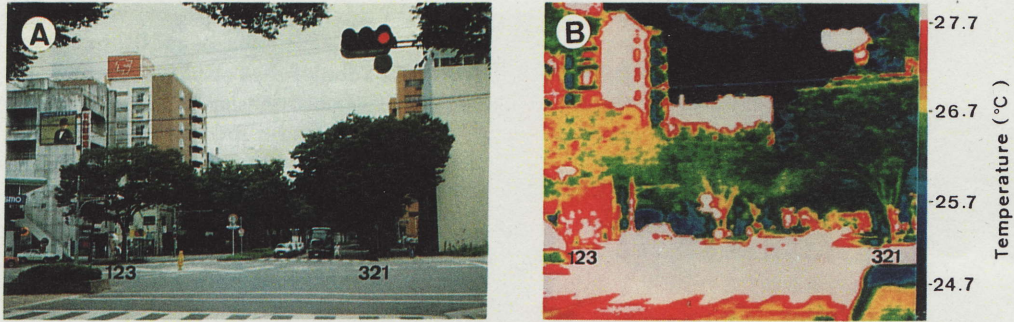


Fig. 2. Photograph (A) and thermal image (B) of zelkova trees growing under different environments. A tree on the left (123) was high in leaf temperature because of stomatal closure caused by gasoline and water stress, although the damage was not visible. Environmental conditions: air temperature, 26.5°C; light intensity, ca. 500 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

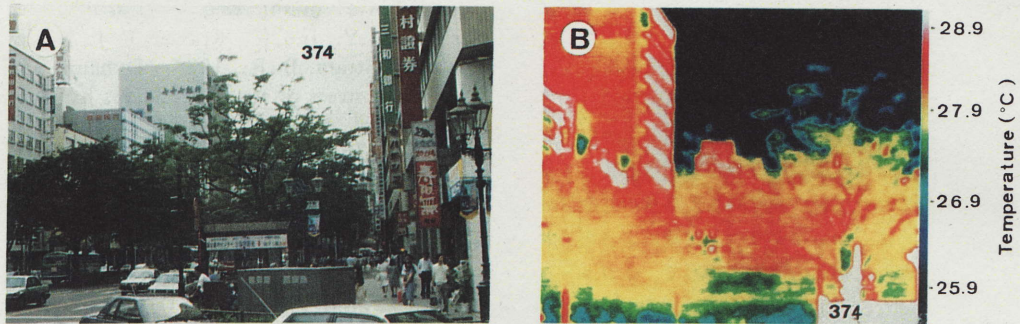


Fig. 3. Photograph (A) and thermal image (B) of a damaged tree. The recovery after pruning branches, and painting with mud and injecting nutrition to the trunk of the tree was diagnosed from the spatial difference of leaf temperature. Environmental conditions: air temperature, 27.5°C; light intensity, ca. 500 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

等による影響も考えられる。

一方、仙台駅周辺は、高層ビルが密集し、交通量も多い。このため、日照不足、水分や養分の欠乏、汚染ガスなどの複合影響により、生育の悪いケヤキが多くなる。五番町との交差点の374番のケヤキは、春先の芽生えの時期に異常が見つかり、剪定、薬剤注入、泥巻きなどの処置が施された。その後の回復状態が、葉温画像により診断できる (Fig. 3)。374番のケヤキの左下の部分の葉は、その他の部分の葉に比べて葉温が高いので、気孔が閉鎖し、蒸散能力や光合成能力が低いと診断される。また、先端の若い葉は、他の葉に比べて葉温が低く、蒸散・光合成能力が高いと診断される。このことは、ポロメーターを用いた気孔拡散抵抗測定の結果とも一致した。ケヤキは、葉の裏面のみに気孔を有しているので、蒸散や光合成などによる水蒸気や炭酸ガスの交換は、裏面の気孔を介して行われる。374番のケヤキで、裏面の気孔拡散抵抗は、蒸散能力が高い葉で $0.5 \sim 1.5 \text{ cm}^{-1}$ 程度、蒸散能力の低い葉で $1.5 \sim 4.0 \text{ cm}^{-1}$ 程度の値であった。

以上の結果は、このケヤキが、剪定、薬剤注入、泥巻きなどの処置により春先の異常状態から脱し、徐々にガス交換の機能を回復していることを示している。なお、翌年には、春先の芽生え異常もなくなり、葉の量も多くなった。

実際にサーモグラフィ装置により葉温を計測する場合、葉の放射率が測定精度に影響を与える。葉の放射率は、植物の種類や生育状態などにより異なるが、感度波長として $8 \sim 13 \mu\text{m}$ のセンサー (HgCaTe) を用いれば 0.95 ~ 0.99 の値が得られている (Fuchs and Tanner, 1966; Omasa *et al.*, 1980)。例えば、植物と周囲環境の温度差を 20°C とし、放射率が 1 の場合と 0.95 の場合を比較すると約 1°C の計測誤差が生じる。しかし、周囲環境からの放射強度を調節する機能をもつサーモグラフィ装置を用いれば 0.1°C の精度で計測することができる (Omasa *et al.*, 1980)。葉が繁っている場合には、個々の葉の放射率の指向特性を考慮する必要があるが、多重反射の効果により平均放射率は一般に上がる。また、曇天下では、

路面やビルの壁面の温度上昇が小さいので誤差は小さくなる。

サーモグラフィ装置を街路樹の葉温計測に適用した例としては、街路樹の微気象緩和機能を評価した井上ら(1988)の報告がある。一般に、葉温は、気温、湿度、放射、気流などの熱環境状態と葉からの蒸散により変化する。樹木の蒸散能力が高ければ、蒸発の潜熱により葉温が低下し、街路樹の周辺の微気象を緩和することになる。この場合、葉温から蒸散能力等の生理生態機能に関する情報を得るといよりは、葉温低下の微気象への影響が問題とされる。

一方、街路樹の生理機能、例えば、気孔反応とそれに伴う蒸散能力や光合成能力の変化などの生理生態機能を診断する場合には、葉温と生理生態機能との関係が問題になる。微気象の変化は、正確な診断を妨げるが、その都度、正確な微気象状態を計測することは困難であり、また、余り意味をもたない。微気象データを利用して、熱収支解析をしたり、統計的な推定による方法は、労力を必要とする割には誤差が大きく、街路樹のような孤立木で、局部的に異なる生理生態機能の診断を必要とする場合には余り役に立たない。実際的な街路樹の診断には、ここで述べたように、サーモグラフィ装置により得られた葉温画像を観察しながら、実際に現場で、ポロメーターを用いて、正確な気孔拡散抵抗や蒸散速度、光合成速度などを測定し、確認していく方法が有効である。その際、直射日光や風の影響を避けるために、曇天で、微風の日を選べば、葉温への微気象の時間的、空間的変化の影響が少ないので、ポロメーターによる測定の回数を減らすことが可能で、街路樹の生理生態機能診断を比較的容易に行える。ただし、余り日射量が少ないと、光量不足による気孔閉鎖や光合成機能低下を引き起こすので注意する必要がある。なお、健全なケヤキでは、 $500 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 程度の光強度で、サーモグラフィで計測可能な表層葉の気孔拡散抵抗値は、 $0.5 \sim 1.5 \text{ s cm}^{-1}$ であり、気孔が十分に開いた状態にあるといえる。今後、街路樹の調査へのサーモグラフィ装置の導入により、調査の省力化がはかれ、また、より正確な診断が可能になる。

謝 辞

本調査に協力していただいた日本電子(株)サーモビューアグループと貴重な資料をいただいた東北大学の青葉通り調査グループに感謝の意を表する。

引用文献

- Aoki, M., Yabuki, K., Totsuka, T. and Nishida, M., 1986: Remote sensing of chlorophyll content of leaf (1) Effective spectral reflection characteristics of leaf for the evaluation of chlorophyll content in leaves of dicotyledons. *Environ. Control Biol.*, **24**, 21-26.
- Colwell, R. N. (ed), 1983: *Manual of Remote Sensing*. Second Edition. Vol. 11. Amer. Soc. Photogrammetry. 2111-2324.
- Fuchs, M. and Tanner, C. B., 1966: Infrared thermometry of vegetation. *Agronomy J.*, **58**, 597-601.
- 街路樹根系調査委員会(編), 1982: 仙台市街路樹根系調査報告書. 仙台市. 77 p.
- 箱根町教育委員会, 1984: 箱根旧街道杉並木保護対策事業調査報告書. 箱根町. 28 p.
- Hashimoto, Y., Ino, T., Kramer, P. J., Naylor, A. W. and Strain, B. R., 1984: Dynamic analysis of water stress of sunflower leaves by means of a thermal image processing system. *Plant Physiol.*, **76**, 266-269.
- 飯泉 茂(編), 1980: 街路樹保護総合調査報告書. 仙台市. 75 p.
- 飯泉 茂(編), 1986: 街路樹保護総合調査報告書. 仙台市. 108 p.
- 井上君夫・久米信夫・奥山富子, 1988: 市街地道路における街路樹の微気象緩和機能 — モデル街路実験 —. 農業環境技術研究所報告, **4**, 89-103.
- 井上吉雄, 1987: 作物群落の生産機能および状態の非破壊非接触診断に関する研究. 第4報 野外条件下における光合成速度と蒸散速度の定量的関係. 日作紀, **56**, 474-481.
- 中島 巖, 1973: 赤外カラー写真による環境と樹木活力の診断. 農業及び園芸, **48**, 195-200.
- 大政謙次, 1979: 植物群落の汚染ガス着着機能 — 現象の解明とそのモデル化. 国立公害研究所報告, **10**, 367-385.
- 大政謙次, 1984: リモートセンシング. 新農業システム総合技術. (高辻正基, 橋本 康, 三澤正愛編). R & Dプランニング. 459-483.
- 大政謙次・安保文彰・相賀一郎・橋本 康, 1981: 大気汚染環境下の植物の画像計測 — 熱赤外画像に含まれる生体情報の定量化について —. 計測自動制御学会論文集, **17**, 657-663.
- Omasa, K., Abo, F., Hashimoto, Y. and Aiga, I., 1980: Measurement of the thermal pattern of plant leaves under fumigation with air pollutant. *Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud.*, **11**, 239-247.
- Omasa, K. and Aiga, I., 1987: Environment measurement: Image instrumentation for evaluating pollution effects on plants. In *Systems & Control*

- Encyclopedia* (ed. by M. G. Singh), Pergamon Press, Oxford, 1516–1522.
- Omasa, K., Hashimoto, Y. and Aiga, I., 1981a: A quantitative analysis of relationships between SO₂ or NO₂ sorption and their acute effects on plant leaves using image instrumentation. *Environ. Control Biol.*, **19**, 59–67.
- Omasa, K., Hashimoto, Y. and Aiga, I., 1981b: A quantitative analysis of the relationships between O₃ sorption and its acute effects on plant leaves using image instrumentation. *Environ. Control Biol.*, **19**, 85–92.
- 大政謙次・近藤矩朗・井上頼直(編), 1988: 植物の計測と診断. 朝倉書店. 239 p.
- 吉岡邦二(編), 1975: 街路樹保護総合調査報告書. 仙台市. 128 p.