ヤマザクラ (*Prunus jamasakura*) の活力度診断指標に関する研究

里村明香¹⁾・今西純一²⁾・森本幸裕²⁾・小島愛一郎³⁾

1) 京都大学大学院農学研究科 Grad. Sch. of Agric., Kyoto Univ.

2) 京都大学大学院地球環境学堂 Grad. Sch. of Global Environmental Studies, Kyoto Univ.

3) サン・アクト株式会社 Sun Act Company

摘要: ヤマザクラ *Prunus jamasakura* の活力度判定指標に関する定量的な知見は未だほとんどなく、衰退木の判断が適切に行われず、不健全な個体が目立つ事例も多い。そこで、本研究では活力度判定指標開発の第1段階として、指標の候補を絞り込むことを目的とした研究を行った。京都市内2箇所において良好木と衰退木の間で様々な指標について測定を行った結果、葉緑素計値、芽鱗痕数、樹幹内温度の日較差、葉面積、光飽和時の純光合成速度に樹木間に有意な差を見出すことができた。また、自動連続計測が可能なヒートパルス速度、幹の肥大生長量も、活力度の有効な診断指標の候補であることが示された。

キーワード: ヤマザクラ, 水ストレス, 活力度, 樹木診断, 樹液流動

SATOMURA, Asuka, IMANISHI, Junichi, MORIMOTO, Yukihiro and KOJIMA, Aiichiro: A study of diagnostic indices of vitality of *Prunus jamasakura*

Abstract: Quantitative data are currently extremely limited regarding diagnosing vitality of *Prunus jamasakura*. It is a reason of inadequate management of unhealthy trees at many places. Therefore a study to obtain candidates of indices for diagnosing *Prunus jamasakura* was conducted as the first stage of the diagnosis system development. Various indices were compared between excellent and declined trees at two sites in Kyoto city. As a result, there were significant differences between excellent and declined trees in chlorophyll meter values, bud scale scars, daily differences of sap wood temperature, leaf areas and net photosynthetic rates at saturation. Additionally, it was indicated that heat pulse velocity and stem growth which can be automatically and continuously measured were also likely to be the candidates of effective diagnostic indices.

Key words: *Prunus jamasakura*, water stress, vitality, tree diagnosis, sap flow

1. はじめに

現在、植栽現場においては、樹木の外観・生育環境等により活力度を経験的に判定することが多く、調査研究においては「4ランク評価法」²⁾及びその変法を用いることが多い。しかし、いずれも熟練度等の相違による個人差が生じ、衰退木の判断が適切に行われない原因となっている。そのため、定量的測定による客観的で簡易な樹木活力度の判定方法の開発が望まれている^{3,6)}。

これまでに森本ら(1991)は樹液流速速度、光合成・蒸散速度、樹冠温度画像を調べ、活力度診断への可能性を検討している³⁾。また、活力度を知る手段として、太田ら(1992)と吉田ら(1997)は樹幹表面温度と気温の差を^{6,11)}、宮ヶ原ら(1998)はクロロフィル蛍光を⁴⁾、矢吹ら(2001)は樹幹内温度と樹幹表面温度の差を用いることが有効と報告している⁹⁾。しかし、

活力度判定方法として確立されているものは未だ少なく、サクラ類に関して報告しているものはない。サクラ類は日本の街路樹の中でイチョウに次いで多いが、管理が不適切なために不健全な個体が目立つ事例も多い。研究対象地とした山科の疎水沿いもその例外ではなく、サクラ類197個体(うちヤマザクラ46個体)のうち衰退の著しい個体は32.4%(ヤマザクラのみでは32.6%)を占めた¹⁰⁾。

本研究ではサクラ類の中でも日本の国花であるヤマザクラ(*Prunus jamasakura*)を取り上げた。ヤマザクラの活力度判定に関する定量的、客観的な指標はほとんどないため、活力度判定指標開発の第1段階として、指標の候補を絞り込むことを目的とした研究を行った。

2. 方法

表-1 測定項目と測定機器, 測定部位

Table 1 Items, equipments and positions of measurement

測定項目	測定機器	測定部位
芽鱗痕数	—	樹冠頂部の枝
夜明け前の水ポテンシヤル	プレッシャーチャンバー	樹冠頂部の葉
P-V曲線	プレッシャーチャンバー	樹冠頂部の葉
葉緑素計値	ミノルタ製SPAD-502	樹冠頂部の葉
光合成速度	LI-COR社製 LI6400	樹冠頂部の葉
葉面積	スキャナー, NIHImage	樹冠頂部の葉
SLA	スキャナー, NIHImage, 乾燥機	樹冠頂部の葉
樹幹内構造	Sibert社製デジタル・マイクロプロブ, テラテック社製PICUS	胸高の幹
ヒートパルス速度	白山工業社製樹液流測定セット	胸高の幹
樹幹内温度	白山工業社製樹液流測定セット	胸高の幹
肥大生長量	自作(アルミバンド式デンドロメータにLVDT型変位計を取付け)	胸高の幹

* 肥大生長量, 光合成速度は上賀茂試験地でのみ測定

①は夏期のみ重点的に測定した項目

②は年間自動計測項目

2.1 対象木

葉量, 枯損枝数等から判断して相観的に明らかに差異の分かるヤマザクラの良好木と衰退木の組みを, 京都市山科区の疎水沿いと京都市北区の京都大学上賀茂試験地に1組ずつ選出し, 測定を行った。対象木の概要は以下の通りである。

山科の2本は約50年生で小道を挟んで生育している。良好木, 衰退木はそれぞれ樹高10.9 m, 8.5 m, 胸高直径 0.46 m, 0.36 mである。衰退木は2000年度に疎水沿いに転落防止柵を設置するために幹から約1 mのところの根を切断され, その影響で衰退したと言われている。上賀茂試験地の2本は道沿いの同じ側に約11 m離れて生育しており, 双方とも約50年生である。良好木, 衰退木はそれぞれ樹高15.7 m, 8.9 m, 胸高直径 0.51 m, 0.30 mである。衰退木は土壌条件が悪い場所で生育しており, 長年に亘り衰退している。

2.2 測定方法

樹木の衰退の影響が現れやすいとされる夏期の水ストレスを経験する時期に, 表-1に示す指標について重点的に測定を行った。山科では2003年7/6-7, 8/2-3, 8/31-9/1, 上賀茂では2004年7/13, 8/23, 9/17の各3回調査を行った。P-V曲線と光合成速度の測定では, 切断後直ちに水切り処理を行い, 一晚ビニール袋で覆って十分に給水させた切り枝を用い, 翌日計測を行った。

また上賀茂では2004年2/1-12/14に肥大生長量とヒートパルス速度 (HPV), 樹幹内温度の自動連続計測を行った。なお, HPVと樹幹内温度は形成層から10 mm深さで測定を行った。

2.3 分析方法

測定場所やストレス経験年数が異なっても同様の傾向を示すか検証するため, 上賀茂と山科の2箇所において良好木と衰退木の間で各指標の測定値の比較を行い, 樹木間で有意差が生じるか検討した。さらに, 夏期水ストレス経験前後で指標値に差が生じるか検討した。検定にはMann-WhitneyのU検定, あるいはWilcoxon の符号付き順位検定を用いた。

図-1 2003年夏期のAPI

Fig. 1 API in summer 2003

図-2 2004年夏期のAPI

Fig. 2 API in summer 2004

3. 結果

3.1 測定期間の気象条件

樹木に与える水ストレスを, 先行降雨を考慮に入れた先行降雨指標API(mm)で評価した。APIは次式で示され, 大谷ら⁷⁾によって山火事発生予測のための森林の表層土壌(A₀層)の含水率の指標として考察され, さらに中村⁸⁾によって植栽地の土壌乾燥状態や植栽樹木の生育状態の指標となることが考察されている。

$$API = \sum_{i=0}^{30} (ra^i \cdot P_i) \quad (3-1)$$

ra: 減衰を与える定数, P_i: i日前の日降水量(mm/day)であり, 大谷ら⁷⁾と中村⁸⁾は, ra=0.87として計算している。本研究でもra=0.87を用いた。2003年のAPIは, 樹木に水ストレスが生じるとされる10 mm以下⁸⁾を示さなかったが, 8/2-3がAPIの最も小さい時期であった。そこで, この時期を最も水ストレスのかかっていた時期と位置づけた (図-1)。一方, 2004年のAPIは7/26-8/4まで10 mm以下を示し (図-2), 十分に水ストレスがかかっていたと考えられる。7/13の調査時を夏期水ストレス前, 8/23, 9/17を夏期水ストレス経験後と位置づけた (図-2)。

3.2 各測定項目の結果

3.2.1 肥大生長量

幹の周囲長生長率P (%) は次式により求めた。

$$P(\%) = \Delta D / D_0 \times 100 \quad (3-2)$$

ΔD は測定開始時からの周長の変化量 (μm) , D_0 は測定開始時の周囲長 (良好木は $1.502 \times 10^6 \mu\text{m}$, 衰退木は $0.935 \times 10^6 \mu\text{m}$) を示す。上賀茂の場合、衰退木は良好木に比べて半月程遅れたパターンを示し、生長量も少なかった (図-3)。良好木の生長は5月初旬に始まり、5月中旬から6月後半にかけて旺盛な生長を示した後、7月から8月にかけて生長量が減少し、9月には生長が停止した。衰退木では、データに欠損はあるが、6月後半から7月にかけて旺盛な生長を示した後、9月後半に生長が停止した (図-3)。良好木では、大きな生長時期が5月中旬から6月の後半にかけて3回あり、この時期の生長量は雨量と密接に関係していた (図-3)。一方、衰退木は雨が降っても、幹の生長量は多くなく、雨の降らない日が続いても緩やかに生長を続けた (図-3)。

3.2.2 ヒートパルス速度

本来、HPVの測定値をその樹木の樹液流速とと考え樹木間で比較してはならない^{1,5)}。しかし、今回の測定では、センサーを挿入する深さを形成層から10 mmに揃えたので、HPVの測定値はそれぞれの樹木における樹液流速の最高値を示す

と仮定して樹木間で比較を行った。上賀茂、山科ともに、夏期重点調査を行った水ストレス状態の異なる3期間 (以降、3期間と言う) とも衰退木の方が日中のHPVが低く、日射への反応が鈍かった (図-4に代表的な日のHPVと日射量の日変動を示す)。また、上賀茂では開葉とともに日最大HPV (HPV_{max}) が上昇を始め、展葉を終えるとHPV_{max}は年間の最高値付近を示し、落葉を始めるまでその値を保った (図-5)。衰退木においてよく晴れた日のHPV_{max}と葉量との関係を回帰式で表したところ次式で表され、決定係数 r^2 は0.839であった。

$$y = 95.67 - 419.33 / \text{HPV}_{\text{max}} \quad (3-3)$$

ここで葉量 y とは図-5の各画像内に占める見かけの葉の面積の割合 (%) のことである。また、良好木よりも衰退木の方が、HPV_{max}が急激に上昇する時期が遅く、急激に減少する時期や3月と同水準の値に落ち着く時期が早かった (図-5)。降水量の少ない日が続いた6月中旬と7月には、衰退木では大きくHPV_{max}が減少し、次の降雨後も元の水準に戻らなかったが、良好木ではわずかな減少にとどまり、次の降雨後に元の水準に戻った (図-5)。

3.2.3 樹幹内温度

図-3 周囲長生長率と降水量の年変動 (上賀茂)

Fig. 3 The annual changes of growth rates of girth and rainfall (Kamigamo)

図-4 HPV 日変動 (山科)

Fig. 4 The daily change of HPVs (Yamashina)

図-5 日最大ヒートパルス速度 (HPV_{max}) と雨量、衰退木の葉の様子 (上賀茂)

Fig. 5 Daily maximum heat pulse velocities (HPV_{max}), rainfall and declined tree's leaf pictures (Kamigamo)

図-6 樹幹内温度と気温の日較差の月別平均 (上賀茂)

Fig. 6 Monthly mean of daily difference in sap wood and air temperatures (Kamigamo)

図-7 夜明け前の水ポテンシャル

Fig. 7 Pre-dawn water potentials

上賀茂における月別平均の樹幹内温度の日較差は良好木よりも衰退木が常に大きかった (図-6)。良好木と衰退木の樹幹内温度における日較差の差は、5～9月にかけて大きく、7月の衰退木の日較差は良好木の日較差の月別平均値の2.9倍であった (図-6)。また、山科での樹幹内温度の日較差も3期間を通して常に衰退木の方が大きかった (表-2)。良好木と衰退木の差が最大であったのは水ストレス中であり、良好木の日較差が1.9℃であるのに対し、衰退木の日較差は2.9℃と1.5倍であった (表-2)。

3.2.4 芽鱗痕数

枝には基本的に1年で1つの節 (芽鱗痕) ができるため、1つの芽鱗痕と次の芽鱗痕の間隔は1年の枝の生長量をおおよ

表-3 P-V曲線による葉の水分特性値

Table 3 Leaf water property derived from P-V curve

		$\Psi_{0 \text{ sat}}$ (-Mpa)		$\Psi_{w \text{ thp}}$ (-Mpa)		ϵ (Mpa)	
		水ストレス前	水ストレス後	水ストレス前	水ストレス後	水ストレス前	水ストレス後
上賀茂	良好木	0.87	1.48	2.74	2.70	0.32	(2.72)
	衰退木	1.04	0.81	2.78	2.88	0.52	0.15
山科	良好木	1.18	1.43	2.85	3.23	0.74	1.00
	衰退木	1.12	0.83	2.76	2.46	0.71	0.42

図-8 P-V曲線 (山科)

Fig. 8 P-V curves (Yamashina)

そ表している。したがって、枝の先端から一定の範囲内に含まれる芽鱗痕数が多ければ枝の生長が遅いと考えられる。300 mmまでの芽鱗痕数は、上賀茂、山科ともに衰退木の方が良好木よりも多かった (表-2)。

3.2.5 夜明け前の水ポテンシャル

1回の調査につき1樹木2サンプルずつであったため、樹木間においても季節間においても有意差を検出できなかった。しかし、夜明け前の水ポテンシャルは、上賀茂、山科ともに衰退木の方が良好木よりもわずかに低く、水ストレス前、水ストレス中よりも水ストレス後の方が高い傾向を示した (図-7)。これはAPI値の大小と一致していた (図-1, 図-2)。

3.2.6 P-V曲線

P-V曲線の測定は再現性があると言われているが、1時期につき、1個体の測定を1サンプルずつしか行えなかった。水ストレス後の良好木では、細胞壁が硬くなるとともに給水能が高まり、非常に低い水ポテンシャルPwの値まで圧ポテンシャルPpを維持していた (図-8)。しかし、水ストレス後の衰退木では良好木とは逆に体積弾性率 ϵ が低く細胞壁が柔らかく

表-2 測定結果

Table 2 Results of measurements

指標	上賀茂 (2004年)			山科 (2003年)		
	水ストレス前	水ストレス後1	水ストレス後2	水ストレス前	水ストレス中	水ストレス後
HPVmax (cm/hour)	☆ 図6			—	—	—
樹幹内温度の日較差 (°C)	☆ 図9			1.8(n=1)	1.9(n=1)	2.2(n=1)
300 mmまでの芽鱗痕数(個)	☆ 6.4(n=8)	☆ 23.3(n=6)		3(n=1)	10(n=1)	
SPAD	*37.8(n=98)	*35.3(n=60)	*32.0(n=20)	43.0(n=10)	42.1(n=10)	*39.0(n=40)
葉面積(mm ²)	*1625.2(n=60)	*1471.0(n=60)	—	*2473.3(n=40)	*2130.5(n=41)	—
SLA(mm ² /g)	92.7(n=6)	91.0(n=6)	—	102.5(n=4)	*120.4(n=41)	—
DmPの平均回転数 (回/s)	*19.0(n=4062)	*23.8(n=2946)	—	*25.7(n=4151)	*87.0(n=20)	—
	上段: 良好木, 下段: 衰退木			*12.0(n=3137)		

☆ 7月の1カ月の平均を表す

* 同時期において良好木と衰退木の間に有意差が生じたもの ($p < 0.05$)

図-9 光飽和時の純光合成速度と気孔コンダクタンスの関係(上賀茂)

Fig. 9 Relationships between net photosynthetic rate at saturation and stomata conductance (Kamigamo)

なり、水分含量の低下に対するPwの低下は緩やかで給水能が低くなっていた。また比較的高いPwの値でPpがゼロになっていた(表-3, 図-8)。

3.2.7 葉緑素計値

上賀茂では水ストレス前から後にかけて減少傾向にあり、3調査期間を通して常に衰退木の方が小さかった ($p<0.01$) (表-2)。そして、水ストレス前から直後の葉緑素計値の低下の割合は衰退木の方が大きかった(良好木93.4%, 衰退木75.5%)。最も樹木間で差が生じたのは水ストレス経験直後であり、良好木に対し衰退木の割合は58.4%であった。

山科では $n \geq 40$ ならば衰退木の方が有意に小さかった ($p<0.01$) が、水ストレス前と水ストレス中ではサンプル数が少なく有意な差は検出できなかった(表-2)。

3.2.8 光合成速度

光飽和時の純光合成速度Pn maxは気孔コンダクタンスの大きさが同じであれば衰退木よりも良好木の方が大きかった(衰退木の平均/良好木の平均=0.67, $p<0.01$) (図-9)。

3.2.9 葉面積

上賀茂、山科ともに、葉面積は衰退木の方が良好木よりも調査期間を通して有意に小さかった ($p<0.01$) (表-2)。

3.2.10 SLA

SLAは山科の水ストレス中以外には有意差を検出できず、特定の傾向も見られなかった(表-2)。

3.2.11 樹幹内構造

上賀茂では、衰退木の方が良好木に比べて、樹幹内が硬いことが分かった。PICUSでは黒色が濃いとその部分は硬いことを示しており(図-10)、マイクロプローブ(DmP)では回転数が多いと幹が硬いことを示す(表-2)。DmPでは地上から140 cm高さにおける回転数(回/s)の平均は良好木で19.0、衰退木で23.8と衰退木の方が1.3倍硬かった ($p<0.01$)。山科では回転数(回/s)の平均は良好木で25.7、衰退木で12.0と衰退木の方が2.1倍柔らかかった ($p<0.01$) (表-2)。

4. 考察

4.1 肥大生長量とHPV

良好木では、生長期に雨が降ると幹は大きく生長し、雨が降らない日が続くと生長が停止、さらには幹が収縮した。9月に生長が停止してからは、雨量と生長量の間に関係が見られないことから、これは樹皮が水分を含んだことにより膨張したのではないと言える。一方、衰退木では生長期の雨に対する生長量の反応は鈍かった(図-3)。

6月中旬と7月中旬に衰退木ではHPVmaxが急激に減少したことより、この時期に水ストレスを強く受けたと言えるが、良好木ではそれほど水ストレスを受けなかった(図-5)。衰退木で6月末の生長量が少なかったのは、6月中旬に受けた水ストレスの影響と考えられる。

4.2 樹幹内温度の日較差

樹幹内温度の月別平均日較差は良好木よりも衰退木が年間を通して大きかった(図-6)。葉のない時期には、樹幹内温度の日較差の差は樹木間で表れにくい、蒸散を始めると樹幹内に水移動が生じ、日中、土壌内の冷たい水が樹液流により運ばれるため、樹液流速が速い樹木ほど樹幹内温度が低くなると考えられる。衰退木では強い水ストレス下にさらされると、樹液流速が遅くなりやすい。したがって、衰退木では土壌内の水を上部に運ぶ過程で気温によってその水は温められ、樹幹内温度も高くなると考えられる⁹⁾。また、衰退木では葉量が少ないため、樹幹に直射日光が当たりやすいのでその影響もあると考えられる。

4.3 樹幹内構造

一般に衰退木の生長は遅く、年輪幅が狭い。これが原因で、上賀茂にある衰退木の幹は硬かったと考えられる。山科では逆に良好木の幹の方が硬かった(表-2)。これは山科の衰退木は慢性的にストレスを受けて衰退しているのではなく、調査の3年前に根が切断され衰退を始めた樹木であることが原因となっているのかもしれない。つまり、山科の衰退木では3

表-4 活力度判定に有効である可能性のある指標とその時期

Table 4 Potentially effective indices for diagnosis and the suggested period of the measurement

指標	最も差が生じる時期			衰退木の示すこと	
	5-6月	水ストレス前	水ストレス中		水ストレス後
肥大生長量 (μm)					生長期において降水・乾燥に対する肥大生長の膨張・収縮の反応が鈍い。
HPVmax (cm/hour)					日中のHPVmaxが低い。無降雨日が続くと大きく低下する。
樹幹内温度の日較差 (℃)					夏期水ストレス時期にHPVが低下するため樹幹内温度の日較差が大きい。
300 mmまでの芽鱗痕数 (個)					芽鱗痕数が少ない。1年の枝の伸長量が少ない。
夜明け前の水ポテンシャル (-MPa)					夜明け前になっても葉の水ポテンシャルが回復せず低い。
P-V曲線					夏期水ストレス経験後、水ストレス経験前に比べて耐乾性が低下する。
葉緑素計値					夏期水ストレス経験直後に水ストレス経験前と比べ、大きく低下する。
飽和時の純光合成速度 (μmol m ⁻² s ⁻¹)					光飽和状態で、気孔コンダクタンスが同じであっても純光合成速度が低い。
葉面積 (mm ²)					短枝の割合が増え、葉面積が小さい。

* 水ストレス中は夏期にAPIが10mm程度に下がる時期とする

Fig. 10 Results of PICUS(Kamigamo)

図-10 PICUSの結果(上賀茂)

年前までの年輪幅はまだ狭くないと考えられた。

4.4 評価指標の有意性について

上賀茂および山科に生育する良好木と衰退木の間で有意な差を生じ、同一の傾向を示した評価指標は、葉緑素計値、樹幹内温度の日較差、300 mmまでの芽鱗痕数、葉面積であった(表・2)。ただし、これらの指標は場所により測定値に大きな差があるため、現段階では異なる環境条件下のものを単純に比べることはできない。また、 Pn_{max} は上賀茂でのみの測定となったが、樹木間で有意差が生じた。気孔コンダクタンスが同じであっても、有意差が生じたことから良好木と衰退木では葉の光合成特性が異なると考えられる。 HPV_{max} 、夜明け前の水ポテンシャル、P-V曲線のパラメータに関してはサンプル数が少なく、有意差を検出できなかった。しかし、良好木と衰退木の間で違いが見られ、上賀茂と山科の間で一定の傾向を示したことから、サンプル数を増やす、より詳細な研究を行うなどして再度検討することが必要である。一方、SLAについては樹木間で有意差が見られず、樹幹内の硬さについては上賀茂と山科で逆の結果となった。しかし、樹幹内の硬さは衰退し始めてからの年数が影響している可能性も考えられた。

5. 結論

上賀茂、山科の測定結果からは、ヤマザクラ活力度診断指標の候補を得ることができた(表・4)。まず、年間を通して、HPVが幹の肥大生長量の自動連続計測調査を行えば、次の診断基準により衰退木であると診断できる可能性がある。1) 無降雨が続いた後、 HPV_{max} が大きく減少し、次の降雨後も HPV_{max} が元の水準に戻らない。2) 降水・乾燥に対する肥大生長の膨張・収縮の反応が鈍い。3) 5月中旬から7月中旬にかけて、良好木で見られる降雨ごとの大きな生長が見られない。

また、APIが10mm程度に下がる水ストレス期の前後2回、同樹木において葉緑素計値あるいはP-V曲線による耐乾性の測定を行えば、以下の基準で衰退木を判断できる可能性がある。1) 夏期水ストレス経験前に比べて経験後に葉緑素計値が75%未満程度に減少している。2) 耐乾性が低下している。

年1回の測定では、芽鱗痕数により活力度を診断できる可能性がある。サンプル樹木数が限られており、一般的な基準とは言えないが、日のよく当たる北側以外の主枝を300 mm採取し、約10個以上の芽鱗痕が含まれていれば、その樹木は衰退していると判断できるかもしれない(表・4)。ただし10個の芽鱗痕があれば10年分の枝の伸長を示すと考えられるので、この指標は衰退を始めてから長期間経った樹木にのみ適用できると考えられる。

葉面積、 Pn_{max} 、夜明け前の水ポテンシャル、樹幹内温度の日較差に関しては山科と上賀茂で数値が大きく異なったことから、基準木が設定できる場合に限り、活力度の診断を行うことができる可能性がある。

本研究により、ヤマザクラの活性度診断指標の候補となる項目をいくつか抽出することができた。また、山科のように比較的短期間の間に衰退したものと上賀茂のように慢性的に衰退しているものとは異なる結果となる指標があることも分かった。今後は、これらの診断指標を精査するとともに、サンプル数を増やし、一般的に適用が可能な基準を作成することが必要である。

本論文の作成にあたり人間環境大学 小橋澄治教授、京都菌類研究所 山中勝次所長、京都大学大学院農学研究科 小杉緑子助手、松尾奈緒子氏、大阪府立大学大学院農学生命科学研究科 中村彰宏助手、サン・アクト株式会社の皆様に協力していただき、貴重なデータ、ご意見、ご批評をいただいた。紙面の都合上その他ここに名前を挙げられなかった皆様にも厚く感謝申し上げる。

引用文献

- 1) 服部剛幸・坂本圭児・吉川賢(1997) 樹液流速の樹体内分布について、日本緑化工学会要旨集 28: 343-344.
- 2) 科学技術庁資源調査会(1976) 勧告第26号「高密度地域における資源利用と環境保全の調和」、102-120.
- 3) 森本幸裕・武居二郎・小南裕志・花山秀文・三輪賢志(1991) 街路樹ケヤキの活性度診断、日本緑化工学会誌 17(1): 9-15.
- 4) 宮ヶ原太郎・宮崎敏孝・山寺喜成(1998) 樹木の活性度測定に関する研究—クロロフィル蛍光法の利用—、日本緑化工学会要旨集 29: 254-257.
- 5) Nadezhda Nadezhkina, Jan Cermak and Reinhart Ceulemans (2002) Radial patterns of sap flow in woody stems of dominant and understory species: scaling errors associated with positioning of sensors, Tree Physiology 22: 907-918.
- 6) 太田敬之・丹下健・佐々木恵彦・松本陽介・小澤徹三(1992) 樹木活性の判定方法の検討、日本緑化工学会誌 17(2): 18-24.
- 7) 大谷義一・玉井幸治・後藤義明・森澤猛(1988) 乾燥指標としてのAPIと林野火災発生、日林論99: 601-602.
- 8) 中村彰宏(2004) 都市緑化における環境評価手法—環境変動と植物の反応—、都市緑化技術 52: 20-25.
- 9) 矢吹綾子・吉川賢・長谷川秀三・小澤徹三(2001) 樹幹内温度に対する樹木周辺温熱環境の影響、日本緑化工学会誌 27(1): 300-303.
- 10) 山中勝次(2004) 山科疏水のサクラ樹勢衰退調査報告、未発表
- 11) 吉田裕介・小林達明・林美恵子・田中隆文・川九邦雄・小澤徹三(1997) ケヤキ植栽木樹幹表面の熱収支解析、日本緑化工学会要旨集 28: 337-339.

(2005.6.18 受理)