■ 研究論文

受熱時に樹葉水分が温度上昇を抑制する効果の実証 ならびに樹葉の形状変化に関する実験

Controlling Effect of Rising Temperature by Water Content in Leaves and Form Shrinkage of Leaves in the Heating Experiments

岩崎 哲也*

Tetsuya IWASAKI

摘要：本研究では、樹木による防火効果に関連する2つの事項について実験による検証を行った。1点目として、樹葉の温度は上昇する過程において100℃付近で一時的に横ばいの傾向を示すことが明らかになり、100℃を超えるまでの時間は落葉広葉樹が比較的短く、常緑広葉樹は長く、タケ・ササ類は落葉広葉樹より長い傾向があることを確認した。また2点目として、受熱時の葉の形状変化は、樹種の違いによって著しく異なり、広葉樹では常緑樹と落葉樹とに差は見られないこと、針葉樹の形状変化は小さくタケ・ササ類は大きいこと、含水率と正の相関があり特に落葉広葉樹は含水率との正の相関が高いことが明らかとなった。

1. 研究の背景と目的

樹種別の防火効果に関する既往研究では、樹葉の含水率に着目したものが多く行われている。これらの研究^{1), 2), 3), 4), 5), 6), 7)}では、輻射熱に曝される際、樹葉中に含まれる水分が蒸散あるいは蒸発することによって、樹葉の温度上昇を防ぐ効果があると考えられている。しかし、こうした水分が示す効果を実証的に確認した研究は無く、樹葉の遮熱効果⁸⁾を裏付ける上で明らかにすべき課題であった。

また火熱に対抗して樹葉の形状が維持されなければ、樹葉の存在による遮熱効果が減少する。樹葉の多くは熱に曝されると変形し、タケ・ササ類などに代表されるように針状に細く丸まってしまうものがあるなど、その形状変化は樹種によって差異が大きいと思われる。しかし、この差異について詳しく報じた既往研究はなく、井上・中元による報告⁴⁾において、樹木の遮熱効果を検討するうえで樹葉の形状変化に配慮することの必要性が指摘されているのみである。このことから、樹種別の遮熱効果に関し、樹種間の差が大きい、葉の形状変化について実験により把握することは、火熱に対抗して遮熱効果を発揮する能力を樹種別に知るための一つの評価指標になると考えられる。一方、既往研究^{9), 10)}では樹冠空隙率が計測されており、この計測個体の値を代表例として用い樹木背後の輻射受熱量の計算に利用するなどの展開があったが、日照や風速などの環境条件や樹勢、樹齢、剪定などの管理状態等による個体差が大きいことが課題であった。そのため、個体差がより少ない、樹葉そのものの特性である形状の持

続性についても樹種別の遮熱効果を評価するための一つの指標としてとらえ、樹冠空隙率など樹木の特性、火災性状、周辺条件など他の評価指標とあわせて樹種別の遮熱効果を考えるうえでの資料となるよう整理しておきたい。

本研究では、上記2つの事項について実験による検証を行うことにより、樹葉の遮熱効果を樹種別に比較するための一助とする。

2. 樹葉中に含まれる水分による効果の実証 (1) 実験の着眼点

火災などの受熱時、樹葉中の水分は温度上昇とともに空气中に失われていくと考えられている。この過程の検証は、樹木に防火効果があることを実証するために必要であり、既往研究^{2), 5)}では受熱時の葉面や葉裏面の温度変化が計測されている。しかし、その推移において水分がどの時点で蒸発しているのか、これまでの研究では明らかでない部分があった。これら既往研究での計測は目視に基づくもので、その計測間隔は短くても10秒以上である。樹葉によっては60秒以内に500℃近くも温度が上昇するものがあることから、葉の水分が輻射熱によって蒸発し急速に失われていく状況が、10秒以上の測定間隔では捉えられなかった可能性がある。そこで本実験では、より短い間隔で温度の推移を計測することにより水分の効果について検証していくこととしたい。

(2) 実験概要

試験装置は、独立行政法人 建築研究所（実験当時：建設省建築研究所）が保有する

コーンカロリメーター（東洋精機製作所製）を用いた。この装置は、コーンヒータ、排気フード、ダクト、架台、ガスサンプリング装置、ガス分析計、試験体ホルダーなどで構成され、電熱式のコーンヒータの直下に試験体ホルダーが設置される。試験体ホルダーは試験体の形状が変化しないよう固定が可能な構造で、コーンヒータおよび試験体ホルダーは開放型である。また、建築材料の燃焼速度計測のためのISO/TC92に準拠している。今回の計測では燃焼速度を求めないが、樹葉など小型の供試体に対する操作性、コーンヒータや熱流速計の安定性などから用いることにした。計測結果の比較は、この試験方法に準拠する場合において有効とするものである。加熱強度は20kW/㎡に設定し、各々の樹種について3回の試験を実施した。また、熱電対およびデータロガー（サーモダックE）を用い、2秒間隔で葉裏温度の計測を行った。供試体は、表-1に示す17種である。

(3) 葉裏温度の計測結果および考察

図-1にアオキ *Aucuba japonica*、図-2にサンゴジュ *Viburnum awabuki*、図-3にアジサイ *Hydrangea macrophylla*、の温度計測値のグラフを掲載する。また、この各々の100℃付近を拡大したものを図-4～図-6に示す。図-1～図-3それぞれ3回の試験の温度推移から、樹種ごとに類似した傾向があることが見て取れる。また図-4～図-6から、輻射熱に曝された樹葉裏面の温度は、試験開始直後から急速に上昇していくが、100℃付近に達すると一時的に横這いの傾向を示すことが分かる。こうし

* 町練馬区都市整備公社 Nerima Urban Development Corporation

た傾向は、水を加熱した場合の温度推移と同様である。また、その後しばらく 100℃付近を維持したのち再度上昇をはじめる。この傾向は、17 種全種全試験で確認された。

表－1 供試樹種（葉裏温度の計測）

樹種（採取・計測日：全て 1990）	
常緑広葉樹	アオキ <i>Aucuba japonica</i> (11/1), クスノキ <i>Cinnamomum camphora</i> (10/31), サンゴジュ <i>Viburnum awabuki</i> (10/31), シラカシ <i>Quercus myrsinaefolia</i> (11/1), スダジイ <i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>sieboldii</i> (10/31), トウネズミモチ <i>Ligustrum lucidum</i> (10/31), マテバシイ <i>Pasania edulis</i> (10/31), ヤブツバキ <i>Camellia japonica</i> (11/1)
落葉広葉樹	アカメガシワ <i>Mollotus japonicus</i> (10/30), アジサイ <i>Hydrangea macrophylla</i> (10/31), イチョウ <i>Ginkgo biloba</i> (10/31), ウメ <i>Prunus mume</i> (10/31), ケヤキ <i>Zelkova serrata</i> (10/30), ヤマザクラ <i>Prunus jamasakura</i> (10/31), ヤマモミジ <i>Acer palmatum</i> var. <i>matumurae</i> (10/31)
タケ・ササ類	アズマネザサ <i>Pleioblastus chino</i> (11/2), マダケ <i>Phyllostachys bambusoides</i> (11/2)

採取場所：つくば市立原

図－1 樹葉裏温度の経時変化（アオキ 輻射熱 20 kW/m²）

図－2 樹葉裏温度の経時変化（サンゴジュ 輻射熱 20 kW/m²）

図－3 樹葉裏温度の経時変化（アジサイ 輻射熱 20 kW/m²）

図－4 200℃に至るまでの樹葉裏温度の経時変化（アオキ *Aucuba japonica* 輻射熱 20 kW/m²）

図－5 200℃に至るまでの樹葉裏温度の経時変化（サンゴジュ *Viburnum awabuki* 輻射熱 20 kW/m²）

図－6 200℃に至るまでの樹葉裏温度の経時変化（アジサイ *Hydrangea macrophylla* 輻射熱 20 kW/m²）

これらの温度推移から、100℃付近より低い温度では輻射熱による温度上昇にともない樹葉内部に蓄えられた水分が蒸発あるいは蒸散している状態であり、樹葉中の水分による効果を示していると考えられる。また、100℃以下を維持する時間が長いほど、水分を保持することによる効果が大きいと考えられる。表－2に、100℃付近の横這い状態が終わるまでの時間の平均値を整理する。この時間は、温度上昇曲線の傾きが急変する点をグラフ上から読み取ったものである。

この表の樹種を見る限り、落葉広葉樹は比較的水分保持時間が短く、常緑広葉樹は長い。タケ・ササ類はアズマネザサ *Pleioblastus chino* とマダケ *Phyllostachys bambusoides* のみの試験のためさらに多くの樹種について検証が必要と思われるが、落葉広葉樹より水分保持時間が長い。

3. 受熱時の樹葉の形状変化に関する検証

(1) 実験の着眼点

既往研究⁵⁾では、輻射受熱時、樹木の最前面の葉が遮熱効果を発揮することにより、その背後にある葉は長時間緑色を保つことが実験により確認されている。したがって、最前面の葉が熱によって変形もしくは落葉しても、その次の葉が新たな遮熱効果を発揮し、その葉が失われてもさらに次の葉が新たな遮熱効果を発揮するというのである。しかし、樹木

は樹冠の表層が最も強い太陽光を受けるため樹冠内部は葉の密度が疎になっていることが少ない。また、都市における多くの住宅地の庭や小公園では樹木が豊かに枝葉を伸ばせるスペースは限られており、幾重にも葉が重なり合うことが期待できない場所が多い。このように、都市の屋外居住空間においては樹冠全体よりも一枚一枚の葉が樹種別の指標性を持つ場合がある。

一方、樹葉は水分が無くなるとともに萎れ、変形することが経験的に知られており、樹種によっては遮熱効果があまり発揮できないと思われるものもある。その様子は、スルメを焼いた時のように同じ方向に丸く変形することから、その程度は葉の形質の違いに影響されることが予想される。したがって、樹種ごとに特徴を持つと仮定される。

こうしたことから、受熱時の葉の形状変化を測定しその特性を整理することにより、樹種別の遮熱効果を評価するための一助としたい。

(2) 実験概要

供試体とした樹種は、表－3の55種であり、各樹種について6枚の当該年に展開した葉を採取した。これらは、公園や庭など屋外居住空間において一般的に植栽されていると思われる樹種を選定したものである。樹葉の採取は2001年および2002年の6月から9月に行った。採取場所は、主として東京都港区

芝公園周辺である。

そして、恒温乾燥炉（島津製作所製）を用いて強熱減量を避けるため110℃にて加熱し、水分減少が確認されなくなるまで炉乾を行った。恒温乾燥炉の熱源は、前述のコーンカロリーメーターと同様に安定して熱を発生する電熱式である。

(3) 形状変化率の測定

前項の加熱実験の前および後に形状変化率（本研究では、樹葉の最大投影面積の縮小比を形状変化率とする。）の測定を行った。

(4) 形状変化率に関する実験結果の整理と考察

実験の結果、例えば、図－7に示すカナメモチ *Photinia glabra* のようにほとんど形状が変化しないものがある一方、図－8キョウチクトウ *Nerium indicum* のように著しく萎縮変形する樹種があり、この2図に示す12枚の樹葉の形状変化からその割合は樹種によって特性づけられているように見受けられる。そこで、55種それぞれの試験の標準偏差（n=6）を計算すると、表－4にあるように全体の約85%である47種について変動係数が30%以内と比較的小さい。

特に、イチョウ *Ginkgo biloba*、ハナズオウ *Cercis chinensis*、マダケ、フヨウ *Hibiscus mutabilis*、ヤマモミジ *Acer palmatum* var. *matumurae* などは値のばらつきと変動係数がともに小さく、形状変化

表－2 樹葉の水分保持時間（輻射熱 20kW/㎡）

樹 種	水分保持時間(秒) ^{a)}	標準偏差
ヤマモミジ <i>Acer palmatum</i> var. <i>matumurae</i>	20.7	4.6
ケヤキ <i>Zelkova serrata</i>	24.0	6.9
アカメガシワ <i>Mellotus japonicus</i>	41.3	11.0
ヤマザクラ <i>Prunus jamasakura</i>	44.7	34.5
マテバシイ <i>Pasania edulis</i>	52.7	5.8
アズマネザサ <i>Pleioblastus chino</i>	52.7	21.4
シラカシ <i>Quercus myrsinaefolia</i>	54.0	–
アオキ <i>Aucuba japonica</i>	56.0	5.7
クスノキ <i>Cinnamomum camphora</i>	62.0	8.0
ウメ <i>Prunus mume</i>	80.0	20.8
スダジイ <i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>sieboldii</i>	81.3	22.0
イチョウ <i>Ginkgo biloba</i>	84.7	17.5
トウネズミモチ <i>Ligustrum lucidum</i>	94.0	17.1
ヤブツバキ <i>Camellia japonica</i> spp.	101.3	8.1
アジサイ <i>Hydrangea macrophylla</i>	106.7	5.8
サンゴジュ <i>Viburnum awabuki</i>	121.3	31.9
マダケ <i>Phyllostachys bambusoides</i>	130.0	14.0
平均	71.0	
常緑樹平均	77.8	
落葉樹平均	57.4	
タケ・ササ類平均	91.3	

※ アオキは2回、シラカシは1回、それ以外は3回の試験

表－3 供試樹種（葉の形状変化率）

生活・形態	樹 種
常緑 広葉樹 (26種)	アオキ <i>Aucuba japonica</i> 、アラカシ <i>Quercus glauca</i> 、ウバメガシ <i>Quercus phillyraeoides</i> 、オオムラサキツツジ <i>Rhododendron pulchrum</i> var. <i>speciosum</i> 、カクレミノ <i>Dendropanax trifidus</i> 、カナメモチ <i>Photinia glabra</i> 、カロライナジャスミン <i>Gelsemium sempervirens</i> 、キョウチクトウ <i>Nerium indicum</i> 、キンモクセイ <i>Osmanthus fragrans</i> var. <i>aurantiacus</i> 、クスノキ <i>Cinnamomum camphora</i> 、クチナシ <i>Gardenia jasminoides</i> f. <i>grandiflora</i> 、サザンカ <i>Camellia sasanqua</i> 、サンゴジュ <i>Viburnum awabuki</i> 、シャリンバイ <i>Rhaphiolepis umbellata</i> 、スダジイ <i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>sieboldii</i> 、チャノキ <i>Thea sinensis</i> 、トウネズミモチ <i>Ligustrum lucidum</i> 、トベラ <i>Pittosporum tobira</i> 、ヒイラギナンテン <i>Mahonia japonicus</i> 、ビワ <i>Eriobotrya japonica</i> 、ヘデラ・ヘリックス <i>Hedera helix</i> 、マサキ <i>Euonymus japonicus</i> 、マテバシイ <i>Pasania edulis</i> 、マメツゲ <i>Ilex crenata</i> f. <i>bullata</i> 、ヤブツバキ <i>Camellia japonica</i> 、ヤマモモ <i>Myrica rubra</i>
落葉 広葉樹 (23種)	アキニレ <i>Ulmus parvifolia</i> 、アジサイ <i>Hydrangea macrophylla</i> 、アメリカヤマボウシ <i>Cornus florida</i> 、イチョウ <i>Ginkgo biloba</i> 、ウメ <i>Prunus mume</i> 、エドヒガン <i>Prunus pendula</i> f. <i>ascendens</i> 、エノキ <i>Celtis sinensis</i> var. <i>japonica</i> 、ケヤキ <i>Zelkova serrata</i> 、シナレンギョウ <i>Forsythia viridissima</i> 、セイヨウハコヤナギ <i>Populus nigra</i> var. <i>italica</i> 、ソメイヨシノ <i>Prunus yedoensis</i> 、ツタ <i>Parthenocissus tricuspidata</i> 、トウカエデ <i>Acer buergerianum</i> 、バージニアツタ <i>Parthenocissus quinquefolia</i> 、ハコネウツギ <i>Weigela coraeensis</i> 、ハナズオウ <i>Cercis chinensis</i> 、ハリエンジュ <i>Robinia pseudo-acacia</i> 、フヨウ <i>Hibiscus mutabilis</i> 、ムクノキ <i>Aphananthe aspera</i> 、ムラサキシキブ <i>Callicarpa japonica</i> 、ヤマグワ <i>Morus bombycis</i> 、ヤマブキ <i>Kerria japonica</i> 、ヤマモミジ <i>Acer palmatum</i> var. <i>matumurae</i>
針葉樹 (3種)	カイヅカイブキ <i>Juniperus chinensis</i> cv. <i>Kaizuka</i> 、サワラ <i>Chamaecyparis pisifera</i> 、シノブヒバ <i>Chamaecyparis pisifera</i> 'Plumosa'
タケ・ササ類 (3種)	アズマネザサ <i>Pleioblastus chino</i> 、オカメザサ <i>Shibataea kumasaca</i> 、マダケ <i>Phyllostachys bambusoides</i>
合計 55 種	

率は樹種によって特性づけられていると考えられる。

また、図－9 に主な樹種の2階調化画像を例示する。この図にあるように、樹種によって変化が大きいものと小さいものがある。さらに、生活・形態別の形状変化率の平均値を表－5 に示す。今回実験を行った55 種に限定する限り、常緑広葉樹(26 種)と落葉広葉樹(23 種)の平均値には差がなく、常緑針葉樹(3 種)の形状変化率は低く、タケ・ササ類(3 種)は高い。

また、図－10 に生活・形態別に整理した形状変化率のグラフを示す。このグラフにあ

るように、形状変化率の低い樹種は、常緑広葉樹ではカナメモチ、キンモクセイ *Osmanthus fragrans* var. *aurantiacus*, マテバシイ *Pasania edulis*, ヘデラ・ヘリックス *Hedera helix*, マサキ *Euonymus japonicus* など、落葉広葉樹はアキニレ *Ulmus parvifolia*, トウカエデ *Acer buergerianum*, ムクノキ *Aphananthe aspera*, ハナズオウなどであり、常緑針葉樹はいずれも形状変化率が低い。一方、タケ・ササ類、アラカシ *Quercus glauca*, キョウチクトウ, カクレミノ, *Dendropanax trifidus*, ヤマモミジ, ケヤキ, ヤマグワ

Morus bombycis, ハリエンジュ *Robinia pseudo-acacia* などは形状変化率が高く、とりわけタケ・ササ類は原形の3 割以下にまで萎縮することが分かる。

これらは、比較的葉の厚い樹種は形状変化率が低く、葉の薄い樹種は形状変化率が高い傾向があるように見受けられるが、ヘデラ・ヘリックスが低くキョウチクトウが高いなど、一概には言えない。そして、タケ・ササ類やキョウチクトウのように、多数の側脈が平行する樹種や、ヤマモミジやヤマグワのように葉の切れ込みが深い樹種は比較的形状変化率が高い。

表－4 形状変化率に関する標準偏差および変動係数
(樹葉6枚当たり)

樹 種	形状変化率			樹 種	形状変化率		
	平均 (%)	標準偏差	変動係数		平均 (%)	標準偏差	変動係数
イチヨウ <i>Ginkgo biloba</i>	46.1	1.1	0.02	アラカシ <i>Quercus glauca</i>	61.8	6.3	0.10
ハナズオウ <i>Cercis chinensis</i>	22.0	1.9	0.09	ヤマモモ <i>Myrica rubra</i>	54.6	6.4	0.12
マダケ <i>Phyllostachys bambusoides</i>	77.3	2.4	0.03	ヤマブキ <i>Kerria japonica</i>	39.2	6.5	0.17
フヨウ <i>Hibiscus mutabilis</i>	53.6	2.8	0.05	パーヅニアツタ <i>Parthenocissus quinquefolia</i>	49.2	6.7	0.14
ヤマモミジ <i>Acer palmatum</i> var. <i>matsumurae</i>	66.7	3.1	0.05	カナメモチ <i>Photinia glabra</i>	12.1	6.9	0.57
キンモクセイ <i>Osmanthus fragrans</i> var. <i>aurantiacus</i>	16.7	3.2	0.19	サザンカ <i>Camellia sasanqua</i>	43.3	6.9	0.16
マサキ <i>Euonymus japonicus</i>	21.2	3.2	0.15	オカメザサ <i>Shibataea kumasaca</i>	72.2	7.2	0.10
ツタ <i>Parthenocissus tricuspidata</i>	31.6	3.2	0.10	トベラ <i>Pittosporum tobira</i>	56.4	7.6	0.13
マメツグ <i>Ilex crenata</i> f. <i>bullata</i>	28.8	3.6	0.12	カクレミノ <i>Dendropanax trifidus</i>	60.6	7.7	0.13
アズマネザサ <i>Pleiochloa chinensis</i>	75.1	3.7	0.05	ウメ <i>Prunus mume</i>	51.2	7.8	0.15
シノブヒバ <i>Chamaecyparis pisifera</i> 'Plumosa'	23.5	3.7	0.16	ヤマグワ <i>Morus bombycis</i>	58.2	7.9	0.14
アジサイ <i>Hydrangea macrophylla</i>	40.2	3.8	0.09	スダジイ <i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>sieboldii</i>	42.4	8.0	0.19
アメリカヤマボウシ <i>Cornus florida</i>	35.2	4.2	0.12	ウバメガシ <i>Quercus phillyraeoides</i>	34.0	8.1	0.24
ヘデラ・ヘリックス <i>Hedera helix</i>	20.2	4.3	0.21	ハコネウツギ <i>Weigela coraeensis</i>	45.6	8.5	0.19
カイヅカイバキ <i>Juniperus chinensis</i> cv. <i>Kaizuka</i>	20.5	4.5	0.22	クチナシ <i>Gardenia jasminoides</i> f. <i>grandiflora</i>	30.4	8.8	0.29
ソメイヨシノ <i>Prunus yedoensis</i>	34.0	4.5	0.13	エドヒガン <i>Prunus pendula</i> f. <i>ascendens</i>	30.5	8.9	0.29
ヒイラギナンテン <i>Mahonia japonica</i>	48.0	4.6	0.10	ビワ <i>Eriobotrya japonica</i>	34.5	9.3	0.27
ケヤキ <i>Zelkova serrata</i>	59.0	4.7	0.08	ヤブツバキ <i>Camellia japonica</i>	30.4	0.1	0.33
ムラサキシキブ <i>Callicarpa japonica</i>	51.9	4.7	0.09	アキニレ <i>Ulmus parvifolia</i>	16.3	0.8	0.66
マテバシイ <i>Pasania edulis</i>	19.9	4.7	0.24	シャリンバイ <i>Rhaphiolepis umbellata</i>	38.5	0.8	0.28
セイヨウハコヤナギ <i>Populus nigra</i> var. <i>italica</i>	28.8	4.9	0.17	ムクノキ <i>Aphananthe aspera</i>	21.5	10.9	0.51
サワラ <i>Chamaecyparis pisifera</i>	26.0	5.3	0.20	クスノキ <i>Cinnamomum camphora</i>	53.1	11.6	0.22
ハリエンジュ <i>Robinia pseudo-acacia</i>	58.0	5.4	0.09	カロライナジャスミン <i>Gelsemium sempervirens</i>	50.2	12.1	0.24
サンゴジュ <i>Viburnum awabuki</i>	57.4	5.6	0.10	シナレンギョウ <i>Forsythia viridissima</i>	33.3	12.4	0.37
アオキ <i>Aucuba japonica</i>	50.6	5.9	0.12	チャノキ <i>Thea sinensis</i>	29.3	12.7	0.43
トウネズミモチ <i>Ligustrum lucidum</i>	33.9	6.0	0.18	エノキ <i>Celtis sinensis</i> var. <i>japonica</i>	30.3	13.0	0.43
トウカエデ <i>Acer buergerianum</i>	17.9	6.0	0.34	キョウチクトウ <i>Nerium indicum</i>	62.7	16.8	0.27
オオムラサキツツジ <i>Rhododendron pulchrum</i> var. <i>speciosum</i>	35.1	6.1	0.17				

表－5 生活・形態別の形状変化率

生活・形態別	形状変化率 [※]		
	平均 (%)	標準偏差	値の範囲 (%)
常緑広葉樹 (26 種)	39.5	15.1	12.1～62.7
落葉広葉樹 (23 種)	39.5	13.9	16.3～66.7
常緑針葉樹 (3 種)	23.3	2.8	20.5～26.0
タケ・ササ類 (3 種)	74.9	2.6	72.2～77.3

※値は、今回測定した55 種のみの傾向である。

図－7 カナメモチの葉の加熱前(左)と加熱後(右)

図－8 キョウチクトウの葉の加熱前(左)と加熱後(右)

図-9 主な樹種の2階調化画像例

また含水率¹¹⁾との相関係数はそれぞれ下記の通りで、広葉樹については含水率と正の相関がある。落葉樹は比較的含水率が高い¹¹⁾ことから、これら含水率が高い樹種は大きな形状変化を示す傾向があると考えられる。

含水率との相関

- ・常緑広葉樹 $r=0.45$ ($p<0.05$)
- ・落葉広葉樹 $r=0.65$ ($p<0.05$)

4. まとめ

本研究では、これまで不明だった、樹葉中の水分が受熱時の温度上昇を防ぐ効果を確認した。それにともない下記の点が明らかになった。

- ・落葉広葉樹は、常緑広葉樹と比較すると水分保持時間が短い。
 - ・タケ・ササ類は、落葉広葉樹より水分保持時間が長い。
- また樹葉の形状変化率の計測実験により、つぎの点が明らかになった。
- ・葉の形状変化率は、樹種によって著しく異なる。
 - ・49種の測定に限り、広葉樹では、常緑

樹(26種)と落葉樹(23種)との差は見られない。

- ・6種の測定に限り、針葉樹(3種)の形状変化率は低く、タケ・ササ類(3種)は高い。
- ・形状変化率は含水率と正の相関があり、特に落葉広葉樹は含水率との正の相関が高い。

これらの点から、樹葉一枚ごとの遮熱効果の持続性は樹種によって著しく異なると考えられる。また、生活・形態別には常緑広葉樹の水分保持時間が長く、遮熱効果を持続する能力が高いと思われる。一方、形状変化率からは、常緑針葉樹の葉は今回測定した3種類に限り形状がほ

とんど変化せず、遮熱効果を持続する能力が高いと考えられる。また、常緑広葉樹26種の中ではカナメモチ、キンモクセイ、ヘデラ・ヘリックス、マサキなど、落葉広葉樹23種ではアキニレ、トウカエデ、ムクノキ、ハナズオウなどがそれぞれ遮熱効果の持続性が高いと考えられる。しかし今回の樹種の実験結果を見る限り、落葉広葉樹をはじめとする広葉樹は、含水率が高いほど形状変化率が高い傾向がみられること、落葉広葉樹は常緑広葉樹と比較すると水分保持時間が短いことから、含水率が高いことと葉一枚の遮熱効果の持続性とは一致しない部分がある。また、常緑針葉樹は既存の研究において防火力が劣ると言われる場合も多いが、輻射受熱限界位置よりも離れた位置に用いるなど、配植計画上の配慮により遮熱力を発揮する能力を有すものと思われる。

5. 今後の課題

今回の実験では、形状変化率を計測するための樹葉の採取は6月から9月に実施したが、この間の季節や気象の変化にともなう樹種ごとの葉の組織の発達や老化などの生理変化が実験結果へどのように影響しているかについ

ては、追求できなかった。今後の詳しい検討が必要であろう。また樹葉の形状変化率について測定したのは55種であり、生活・形態別の傾向はこの55種に限定した結果にすぎず、都市空間に使われる樹種のみを考えても不足がある。今後のデータの蓄積が求められる。

謝辞

樹葉水分の効果に関する実験にあたり、吉田正志氏(独立行政法人 建築研究所)には試験に関する指導を戴いた。また、岩河信文氏、興水肇氏(明治大学)には、多年にわたり懇切なる指導鞭撻を賜った。また、倉本宣氏(明治大学)、斉藤庸平氏(兵庫県立大学)には、専門の立場から適切な詳しい助言を賜った。この場を借りて、謹んで感謝申し上げる。

補注および引用文献

- 1) 木村英夫(1947): 防火と樹木: 新都市 1(8), 7-9
- 2) 中村貞一(1948): 樹林防火力の研究—第1報 緑地用樹木の葉の含水率と脱水時間についての比較実験: 造園雑誌 12(1), 13-17
- 3) 木村英夫・加藤和男(1949): 樹木の防火性に関する研究: 造園雑誌 11(1), 11-15
- 4) 井上桂・中元六雄(1951): 樹葉の燃焼: 日本林学会誌 33(4), 125-131
- 5) 岩河信文(1982): 都市における樹木の防火機能に関する研究: 東京大学博士論文
- 6) 山下邦博(1987): 林内可燃物の火災危険について: 日本火災学会論文集 37(1), 21-32
- 7) 中村彰宏(1999): 樹木の葉の水分特性と耐火性および震災後の樹木の生育評価: ランドスケープ研究 62(3), 218-221
- 8) 樹木の遮熱効果は、枝葉や幹などの難透熱性にもつくものであり、本研究では樹葉裏面の温度計測を行ったことから、水分による効果を遮熱効果の一つとして位置づけた。
- 9) 斉藤庸平・岩河信文(1983): 樹木の防火機能に関する研究: 造園雑誌 46(5), 158-163
- 10) (財)都市緑化技術開発機構・公園緑地防災技術共同研究会編(2000): 防災公園技術ハンドブック, 290-310, 公害対策技術同友会, 東京, 329pp
- 11) 岩崎哲也(2005): 防火的視点からみた各種樹葉の含水率に関する研究: ランドスケープ研究 68(5), 525-528

図-10 受熱による樹葉の形状変化率

Summary : Controlling the effect of rising temperature in the water contained in leaves was performed by continuously measuring leaf temperature on the reverse side of the leaf at intervals of two seconds during the heating experiments. Time period to maintain nearly 100 degrees C or less at the reverse side of leaves for 17 species of trees was also shown as the water retention time. It was observed that trees such as *Phyllostachys bambusoides*, *Viburnum awabuki*, *Hydrangea macrophylla*, *Camellia japonica* spp., etc. had long water retention time, and *Acer palmatum* var. *matumurae*, *Zelkova serrata*, *Mellotus japonicus*, *Prunus jamasakura*, etc. had short water retention time.

Moreover, the form shrinkage of leaves by heat was measured in relation to the heat interception effect of a leaf. As a result of the heating experiments for 55 species of trees, it was found that the rate of shrinkage of leaves varies from one species of trees to another. It was also found that there is a high positive correlation between the ratio of water content and rate of shrinkage. As a result, it was established that, within the limits of this experiments, evergreen needle-leaf trees demonstrated the smallest shrinkage rate. Evergreen broad-leaved trees such as *Photinia glabra*, *Osmanthus fragrans* var. *aurantiacus*, *Pasania edulis*, *Hedera helix* and *Euonymus japonicus* and deciduous broad-leaved trees such as *Ulmus parvifolia*, *Acer buergerianum*, *Aphananthe aspera* and *Cercis chinensis* also show smaller shrinkage rate. It is clear that the higher the ratio of form shrinkage, the higher the ratio of water content in the broadleaf trees, especially in deciduous broad-leaved trees. In addition, an opposite relationship can be seen between high water content ratio and the high durability of heat interception in a leaf.

(2005.8.19 受付, 2006.11.6 受理)