

論文

ヒートアイランド現象の低減に関する樹木の生理的特徴

－ 高温・乾燥条件が 20 樹種の光合成・蒸散速度等に及ぼす影響 －

久野春子・新井一司

摘要：20 樹種の高温および乾燥条件下における生理学的特性を明らかにして、ヒートアイランド現象を低減する効果の大きい樹種について検討した。各樹種の個葉を挿入するチャンパー内の気温を 25℃、相対湿度を 60%とする条件を基準として、35℃、60%を高温条件、35℃、40%を高温低湿度条件とする 3 つの条件下でガス拡散速度を測定して比較した。スダジイを除いた高温、低湿度条件における 19 樹種の純光合成速度は基準値よりも低下したが、蒸散速度は増大する樹種や低下する樹種など多岐であった。気孔コンダクタンスは基準値とほぼ同様な値を示した樹種と減少する樹種など様々であった。そこで、純光合成速度、蒸散速度、気孔コンダクタンス、飽差の値を用いて階層的クラスター分析を行った結果、各樹種は 4 つのグループに分けられた。純光合成速度と蒸散速度の基準値が大きいグループⅢのコナラ、サンゴジュ、クスノキ、エノキとグループⅣのポプラ、クヌギは、高温条件と高温低湿度条件下において蒸散速度が増大したことから、これらのグループはヒートアイランド現象を低減する効果が大きいものと示唆された。

キーワード：高温、低湿度、ヒートアイランド現象、樹種、光合成速度、蒸散速度、飽差、樹形図

1. はじめに

近年、地球温暖化や都市化によるヒートアイランド現象などにより気温の上昇が問題となり、植物などへの影響が懸念されている。一方、環境改善を図るために、樹木が本来持っている蒸散機能などによる気温低下能力などの効用も期待されている。ヒートアイランド現象は、アスファルト舗装やコンクリート建造物などによる放射熱の増大、および工場や自動車などの燃焼機関からの熱の排出によると考えられて、冬季における気温の上昇という都市特有の現象であった。しかし、近年、巨大化した都市の特徴として、夏期におけるヒートアイランド現象として、熱帯夜の増加や昼間での気温の上昇および低湿度化が指摘されている¹⁴⁾。このような夏期における熱汚染を軽減するために、樹林地、公園、街路樹および屋上緑化などの樹木による効果^{9, 17, 18)}に寄せる期待が高まっている。環境と樹木の生理的特徴との関係について、光合成や蒸散速度の季節変動の特性^{6, 8)}、土壌水分条件

⁷⁾および自然条件下における特性^{5, 12, 13)}についての報告は多くある。一方、都市環境に生育する樹木に関して、Takagi ら¹⁵⁾は都市部と郊外の大気の温度と湿度などを比較して、都市におけるクロガネモチの光合成量の低下を報告している。しかし、多くの樹種は、高温、低湿度条件に対して生理的特性が十分に解明されていない。そこで、著者らは、前報告¹¹⁾で述べたように、チャンパー内空気の相対湿度を 60%として各温度条件を 20、25、30、35℃として、広葉樹 5 種の純光合成速度と蒸散速度を測定して比較した。その結果、スダジイは気温の上昇により変化しないが、他の 4 樹種は 35℃で低い傾向を示して、特にケヤキは 35℃でほとんど停止した。これらの報告に引き続き、今回は、都市化が進む東京の雑木林、公園、街路樹および屋上緑化などにみられるコナラ、ケヤキ、シラカシ、スダジイ、ポプラ、イチヨウなどの 20 樹種を用いて、高温(35℃)乾燥(40%)条件における各個葉のガス拡散速度や葉面温度などの生理的特性について研究を行った。そして、樹種のグル

表 1 試験に用いた 20 樹種の和名および学名

No.	和名	Scientific name	No.	和名	Scientific name
1	ポプラ	<i>Populus x euramericana</i> , cv. 'I45/51'	11	キョウチクトウ	<i>Nerium indicum</i> Mill.
2	コナラ	<i>Quercus serrata</i> Thunb.	12	クスノキ	<i>Cinnamomum camphora</i> Sieb.
3	クヌギ	<i>Quercus acutissima</i> Carr.	13	シラカシ	<i>Quercus myrsinaefolia</i> Blume
4	エノキ	<i>Celtis sinensis</i> Pers. var. <i>japonica</i> Nakai	14	スダジイ	<i>Castanopsis cuspidata</i> Schottky var. <i>sieboldii</i> Naka
5	ムクナギ	<i>Aphananthe aspera</i> Planch.	15	マテバシイ	<i>Pasania edulis</i> Makino
6	ケヤキ	<i>Zelkova serrata</i> Makino	16	ヤマモモ	<i>Myrica rubra</i> Sieb. et Zucc.
7	ヤシヤブシ	<i>Alnus firma</i> Sieb. et Zucc.	17	ヤブツバキ	<i>Camellia japonica</i> L.
8	オニグルミ	<i>Juglans ailanthifolia</i> Carr.	18	サンゴジュ	<i>Viburnum awabuki</i> K. Koch
9	トリカエテ	<i>Acer trifidum</i> Hook. et Arn.	19	シクリンバイ	<i>Raphiolepis umbellata</i> Makino
10	ハナミズキ	<i>Cornus florida</i> L.	20	イチョウ	<i>Ginkgo viloba</i> L.

ープ化を試みて、高温と乾燥に対する耐性を有し、ヒートアイランド現象に軽減効果をもつと考えられる樹種について考察した。

2. 材料と方法

2.1 植物材料

植物材料は、ポプラ挿し木苗 (*Populus deltoides* x *euramericana* clone I45/51, 1年生苗)、コナラ実生苗 (*Quercus serrata* Thunb., 4年生苗)、クヌギ実生苗 (*Quercus acutissima* Carr., 4年生苗)などの落葉広葉樹 10 種、スダジイ実生苗 (*Castanopsis cuspidata* Schottky var. *sieboldii* Nakai, 5年生苗)、シラカシ実生苗 (*Quercus myrsinaefolia* Blume, 4年生苗)、サンゴジュ (*Viburnum awabuki* K. Koch) などの常緑広葉樹 9 種およびイチョウ (*Ginkgo viloba* L.)の落葉針葉樹 1種の合計 20 樹種を用いた。これらの樹木の和名および学名を表 1 に示した。苗木は、培養土 (黒ボク土:ピートモス:砂=3:1:1) 12 L と下部に火山灰土のゴロ土 2.5L を詰め、1/2000 a ワグネルポットに、1 ポットあたり 1 個体を移植したものである。肥料はポット当たり液肥を N 0.5 g、P₂O₅ 0.25 g、K₂O 0.4 g (住友 2 号、10、5、8%) と化学肥料 N 1.0 g、P₂O₅ 0.25 g、K₂O 0.85 g (ロング 180、13、3、11) を与えて、自然光型ガラスハウスの浄化空気室内¹⁰⁾ で育成した。本装置は、野外の空気を浄化して室内に送り込むものであり、気温等はほとんど野外と同じ状態になっている。9 月中旬から 9 月末にかけて、樹種毎に 2

個体から主茎に着葉している中位葉の 1 個葉を選んで、各樹種 2 個葉について、ガス交換速度を測定した。

2.2 ガス交換速度の測定

本試験には、光合成蒸散測定装置 (KMC-2004 形)¹⁰⁾ を用いた。本装置は個葉用チャンバー、外気処理、導入空気制御、H₂O、CO₂ 計測、プロセス入力、人工光照射、冷熱源、システムコントロールの 8 つのユニットからなっている。本装置の測定方式は解放形測定系 (通気法)、系統数は 2 系統である。各樹木の着生葉は、透明アクリル製個葉用チャンバーへ挿入して、チャンバー内空気温度と相対湿度、葉面温度、チャンバー面光量子量の測定およびチャンバーの入口と出口の、空気中 CO₂ 濃度と H₂O 濃度を計測して、飽差 (*D*)、純光合成速度 (*A*)、蒸散速度 (*E*)、気孔コンダクタンス (*G_{TP}*)、細胞間隙 CO₂ 濃度 (*C_i*) および葉内コンダクタンス (*G_{LC}*) を演算¹⁰⁾ した。なお、葉内コンダクタンス (*G_{LC}*) は純光合成速度を細胞間隙 CO₂ 濃度 (*C_i*) で割った計算式 ($G_{LC} = A / (C_i - C_{chl})$)、*C_{chl}*: 葉緑体表面における CO₂ 濃度は 0 μmol mol⁻¹、と仮定) を用いた。以下に、計算方法を記述する。

$$A (\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ sec}^{-1}) = (C_{in} - C_{out}) \cdot [F \cdot 273.16 / 22.4 (273.16 + T_{amb}) \cdot 60] \cdot 10^4 / L_a$$

$$E(\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{sec}^{-1})$$

$$= (W_{\text{out}} - W_{\text{in}}) \cdot (F \cdot 273.16 / 22.4 (273.16 + T_{\text{air}} \cdot 60)) \cdot 10^4 / L_a$$

$$G_{\text{TH}}(\text{mmol m}^{-2} \text{sec}^{-1}) = E / (W_{\text{leaf}} - W_{\text{out}})$$

$$G_{\text{TC}}(\text{mmol m}^{-2} \text{sec}^{-1}) = G_{\text{TH}} / 1.52$$

$$C_i(\mu \text{mol mol}^{-1}) = C_{\text{out}} - [(A / G_{\text{TH}}) \cdot 1.52]$$

$$G_{\text{LC}}(\text{mmol m}^{-2} \text{sec}^{-1}) = A / (C_i - C_{\text{chl}})$$

C_{in} : チャンバーの入口における空気中 CO_2 濃度 ($\mu \text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)

C_{out} : チャンバーの出口における空気中 CO_2 濃度 ($\mu \text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)

C_{chl} : 葉緑体表面における CO_2 濃度 ($0 \mu \text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ と仮定)

W_{in} : チャンバーの入口における水蒸気分圧 ($\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$)

W_{out} : チャンバーの出口 (チャンバー内) における水蒸気分圧 ($\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$)

W_{leaf} : 葉温における飽和水気圧 ($\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$)

F : チャンバーにおける空気流量 ($\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$)

T_{air} : チャンバーにおける気温 ($^{\circ}\text{C}$)

L_a : 葉面積 (cm^2)

空気中の高温、低湿度状態の植物個葉への影響を明らかにするために、チャンバー内の気温 25°C 、相対湿度 60% を基準条件として、高温条件を 35°C 、60%、高温・低湿度条件を 35°C 、40% の 3 水準を設けた。各水準下における温度と湿度以外の環境状態は、一定として、光量子量は $600 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、 CO_2 濃度は 350 ppm に設定して行った。樹木は一度暗条件下に置いた後、人工照射の光条件に約 30 分間置いてから葉をチャンバー内に挿入して、まず、チャンバー内の気温は 25°C 、相対湿度は 60% として開始して、各個葉のガス交換速度の値が安定したことを確認してから 32 分間 (チャンバーは 2 系統のため 4 分毎に測定値が表示される。) 継続して測定した後、 35°C 、40% で同様に測定してから、 35°C 、60% への設定を行い、それぞれ、値が安定してから 32 分間測定し、2 個体の平均値を求めた。

2.3 統計処理

25°C 、60%、 35°C 、60% および 35°C 、40% の測定条件における 20 樹種のガス交換速度の特性をグループ化するために、3 水準における個葉の純光合成速度、蒸散速度、気孔コンダクタンス、飽差の 4 項目を用いて、階層的クラスター分析を行い、標準化ユークリッド平方距離によるウォード法により樹形図を作成した。これらの解析には SPSS を用いた。

3. 結果および考察

3.1 20 樹種の成育中の気温と夏期における野外の気象

樹木を生育したときの温度条件と光合成速度との関係については、Hikosaka *et al.* (1999)⁹ がシラカシを 15°C と 30°C で育て、その後、光合成を測定する実験を行って、光合成速度が温度に依存することを記述している。そこで、本実験を行なった 20 樹種を育成した浄化空気室内の 7、8 月の気温をみたところ、日最高気温が 30°C 以上であった日数は、月当たり 25.8 日、 35°C 以上の日数は 21.3 日であった。すなわち、本実験の 20 樹種は成育中の 7、8 月に高い気温にさらされていたことから、本測定時での 35°C というチャンバー内の温度でのガス交換速度の測定値は有効であると考えられる。一方、気象庁の気象データ¹⁰ を用いて、猛暑であった 1995 年 8 月の気象をみると、都心から郊外までの東京、練馬、府中および八王子の 4 測定地点における 30°C 以上の日数は各々 29、30、29、29 日であり、 35°C 以上は各々 10、19、10、11 日であった。また、2001 年 7 月では 30°C 以上の日数は各々 27、28、26、24 日、 35°C 以上は各々 7、13、11、10 日と高温になる日が多かった。実際の野外に存在している樹木は土壌水分の減少なども加わって、個葉のガス交換速度に対して複合的な影響⁷ を受けているものと思われるが、大都市東京における夏期の高い気温が、樹木へ与える生理的影響は大きい¹⁰ と思われる。次に、気象庁の測定地点の東京における日最低相対湿度をみると、

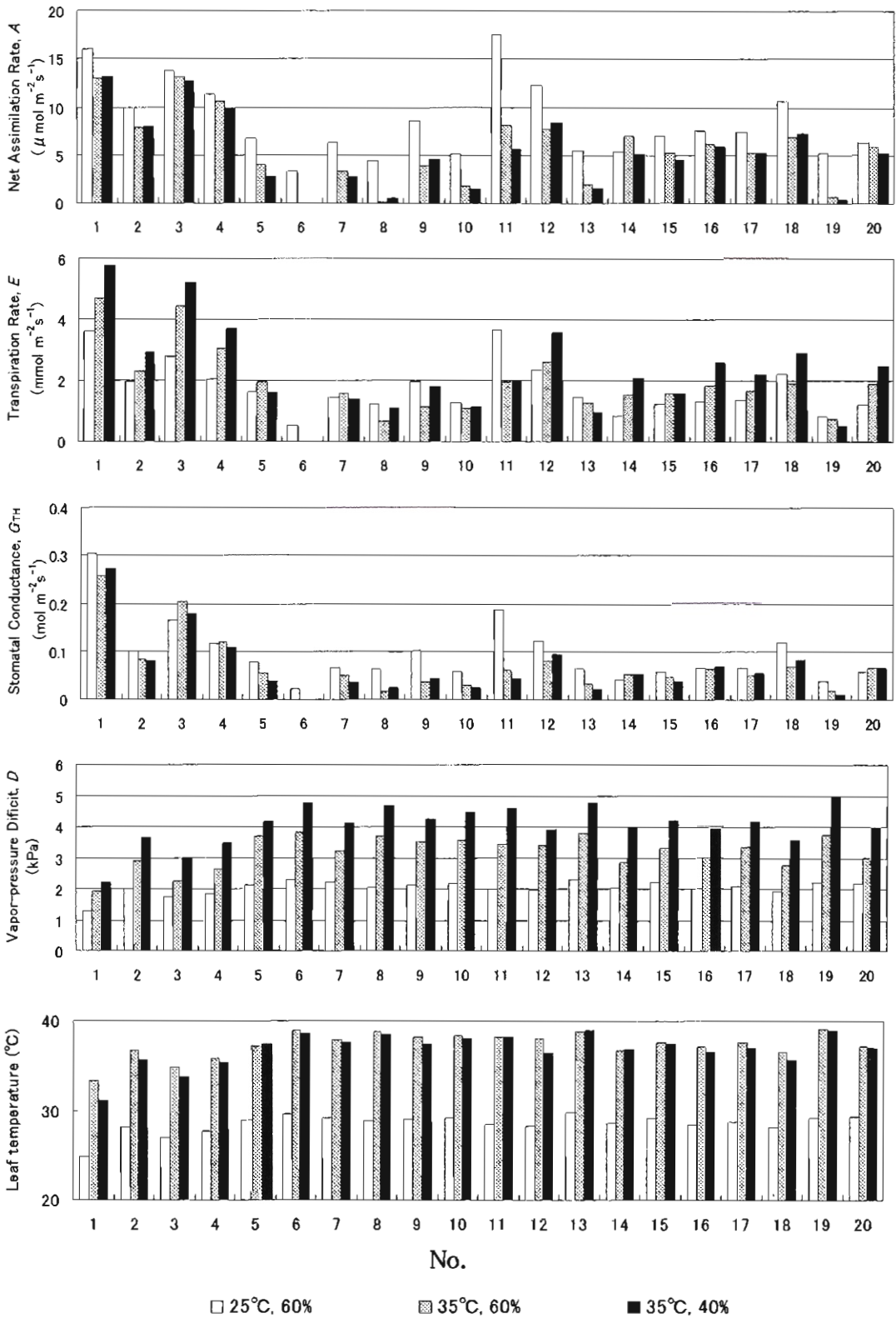


図1 基準条件(25°C、60%)、高温条件(35°C、60%)および高温低湿度条件(35°C、40%)における20樹種の純光合成速度(A)、蒸散速度(E)、気孔コンダクタンス (G_{TH})、飽差(D)および葉面温度($^{\circ}\text{C}$)
No.は、表1を参照

35℃以上の日最高気温が多く発生した 2001 年 7 月には、日最低相対湿度 50%以下の日数は 21 日、40%以下の日は 6 日であり、高温の生じた日は相対湿度も低下していた。以上の気象データより、本実験で策定した 35℃、60%を高温条件、35℃、40%を高温低湿度条件として定義したことは妥当であると思われる。

3.2 3 測定条件における 20 樹種のガス交換速度の特徴

25℃、60%、35℃、60%および 35℃、40%の 3 つの測定条件毎に、20 樹種の各個葉における純光合成速度、蒸散速度、気孔コンダクタンス、飽差および葉面温度の値を図 1 に示した。基準とした 25℃、60%(以下、基準条件と略す)における純光合成速度は、最高値はキョウチクトウ(No.11)の $17.5 \mu\text{mol mol}^{-1}$ であり、最低値はオニグルミ(No.8)の $4.37 \mu\text{mol mol}^{-1}$ であり、樹種により大きな差がみられた。35℃、60%(以下、高温条件と略す)や 35℃、40%(以下、高温低湿度条件と略す)における純光合成速度は、スダジイ(No.14)を除いた 19 樹種が基準条件よりも低い値を示した。その内のクヌギ(No.3)、エノキ(No.4)およびイチョウ(No.20)の純光合成速度は僅かに低くなる傾向の樹種であったが、ケヤキ(No.6)、オニグルミ(No.8)、シャリンバイ(No.19)は著しく低下した。残りの 14 樹種の純光合成速度は、高温条件と高温低湿度条件において中程度低下した。純光合成速度と温度の関係について、古川²⁾は C_3 植物の最適温度が 20~30℃であると記述している。また、丸山・風間¹²⁾はシラカシのポット苗の純光合成速度を自然条件下で測定して、約 15~35℃の範囲内で気温が高くなるにつれて純光合成速度は低下することを報告している。著者らは、前報¹¹⁾において、スダジイ以外の 4 樹種の 35℃、60%条件における光合成速度は、20、25、30℃条件の値と比較して、低下傾向をみている。本研究に用いた樹種は暖帯や温帯に属する種であり、これらの光合成速度は気温 35℃においては、光合成速度が減少することが示唆された。

飽差は、20 樹種とも 25℃、60% < 35℃、60% < 35℃、40%の順に値が高くなったが、樹種毎の値に違いがみられ、特に高温低湿度条件においては、基準値の 2 倍以上に増加した樹種や、ポプラ(No.1)とクヌギ(No.3)のように、他種に比べて基準値が低いうえにその値の約 1.7 倍という低い飽差が認められた。

蒸散速度は、11 樹種が 25℃、60% < 35℃、60% < 35℃、40%の順に高くなり、飽差の増大と一致した。しかし、3 測定条件であり変らない種や高温条件と高温低湿度条件において半減したキョウチクトウ(No.11)、また、完全に停止したケヤキ(No.6)があり、種によって大きく異なっていた。

20 樹種の葉面温度は、基準条件では 24.9~29.7℃の低い範囲にあり、高温条件は 33.3~39.1℃また高温低湿度条件では 31.2~39.0℃の高い範囲であったが、湿度 40%と 60%の違いでは、葉面温度の差はあまりみられなかった。なお、高温条件と高温低湿度条件で蒸散速度が低下したケヤキ(No.6)、オニグルミ(No.8)、シラカシ(No.13)およびシャリンバイ(No.19)は、葉面温度が各条件で 38.8~39.1℃と 38.5~39.0℃と高い温度に達していた。気孔コンダクタンスは、基準値と高温条件と高温低湿度条件の値がほぼ同様であったスダジイ(No.14)、クヌギ(No.3)、エノキ(No.4)、ヤマモモ(No.16)およびイチョウ(No.20)を除くと、他の 15 種は高温条件と高温低湿度条件で低下し、特にケヤキ(No.6)は完全に停止した。Forseth ら¹⁾は、湿度が低下すると気孔が閉鎖すると報告しているが、本研究では、ムクノキ(No.5)、ヤシャブシ(No.7)、シラカシ(No.13)およびシャリンバイ(No.19)の気孔コンダクタンスは高温条件よりも高温低湿度条件で低下する傾向はみられたが、他の樹種にはみられなかった。ポプラ(No.1)とクヌギ(No.3)は、3 測定条件とも気孔コンダクタンスが高く、高温条件と高温低湿度条件の蒸散速度も高く、葉面温度が各条件でポプラは 33.3℃と 31.2℃、クヌギは 34.7℃と 33.8℃と他の 18 樹種よりも低い値を示していたことから、気孔開度面積が大きい種であることが示唆された。したがって、土壌水分が欠

落しないかぎり、高温、乾燥時に他の樹種よりも気化熱を多く奪う特性がある樹種であると思われる。一方、キョウチクトウ(No.11)の純光合成速度と蒸散速度の基準値はポプラ(No.1)よりやや高い値であるが、高温条件と高温低湿度条件では純光合成速度、蒸散速度および気孔コンダクタンスは半分以上に減少した。インド、ペルシア産であり暖地の海岸乾燥の砂地を好む⁴⁾キョウチクトウは、高温や乾燥状態になると蒸散を防ぐために気孔を閉じて、その結果、光合成速度が低下することが考えられる。

純光合成速度と細胞間隙 CO₂ 濃度との関係については、基準とした25℃、60%測定条件での値は、細胞間隙 CO₂ 濃度が約 120 ppm から約 270 ppm の範囲内で純光合成速度は約 3~18 μmol m⁻² s⁻¹ の幅広い値を示した。一方、高温条件、高温低湿度条件では、図 2 に示すように、ポプラ(No.1)とクヌギ(No.3)を除くと、細胞間隙 CO₂ 濃度

が高くなるにしたがい、純光合成速度が低くなる傾向であった。特に、ケヤキ(No.6)、オニグルミ(No.8)およびシャリンバイ(No.19)の高温条件における純光合成速度が各々-0.10、0.17、0.68 μmol mol⁻¹ であり、高温低湿度条件では各々-0.39、0.57、0.37 μmol mol⁻¹ と低い値であり、細胞間隙 CO₂ 濃度は 290ppm から 400ppm へと高くなった。Ishikawa ら⁵⁾は葉面温度と純光合成速度、蒸散、気孔コンダクタンスおよび細胞間隙 CO₂ 濃度との関係をもて、温度が高くなるにつれてガス交換速度が顕著に低くなる *Carex kobomugi* は、細胞間隙 CO₂ 濃度が急上昇すると報告している。高温条件と高温低湿度条件における葉内コンダクタンスと純光合成速度との関係について、図 3 に示した。2 測定条件ともほぼ同様の回帰直線に乗り、高い相関関係(各々 r=0.914***、r=0.955***)が得られた。通常の大気中 CO₂ 濃度の時の光合成速度を細胞間隙 CO₂ 濃度で割って求めた葉内コンダクタンス

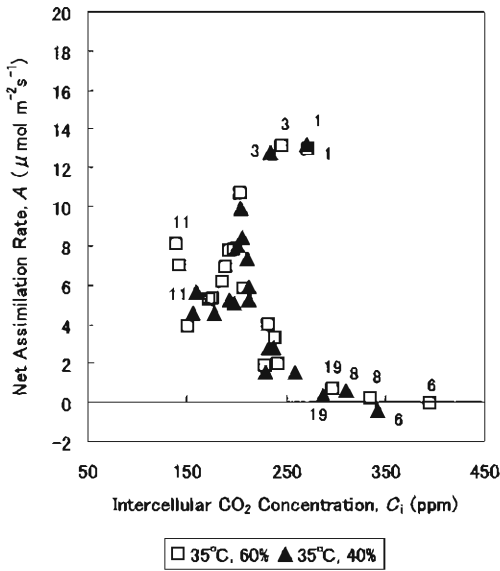


図 2 高温条件(35℃、60%)と高温低湿度条件(35℃、40%)における 20 樹種の純光合成速度(A)と間隙 CO₂ 濃度(C_i)との関係
図中の数字は各樹種の No.を示す。
No.は、表-1 を参照。

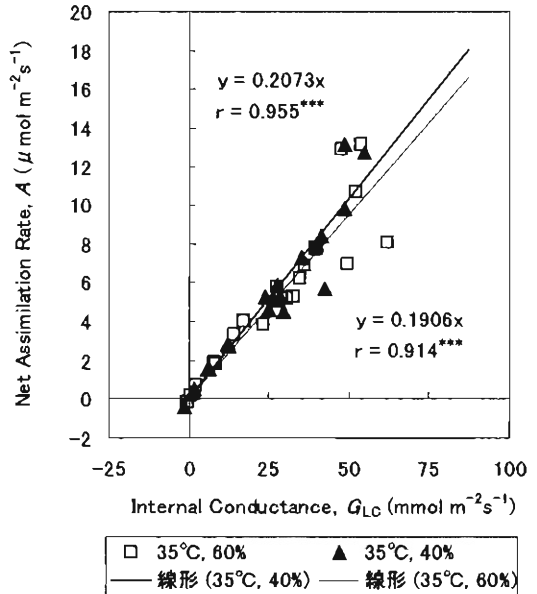


図 3 高温条件(35℃、60%)および高温低湿度条件(35℃、40%)における 20 樹種の純光合成速度(A)と葉内コンダクタンス(G_{LC})との関係

は、葉緑体の光合成活性の程度を意味する。したがって、高温条件と高温低湿度条件でみられたる純光合成速度の低下は、葉緑体でのリブローズ 1.5-ビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ (Rubisco) の活性および含有量の低下や呼吸の増加によること³⁾が考えられる。小杉ら(1994)⁶⁾は数種温帯広葉樹における光合成や蒸散速度の日変化と季節変化の結果から、夏期の日中に光合成速度が低下する現象は、高温等の原因による光合成活性の直接の低下等によるものと推測している。本研究においても、ケヤキ(No.6)、オニグルミ(No.8)およびシャリンバイ(No.19)の3種が、特に高温時に蒸散速度が低くなることから、葉の温度等が影響して、葉緑体でのリブローズ 1.5-ビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ(Rubisco)の活性が低下したのではないかとと思われる。

3.3 3 測定条件における 20 樹種のグループ化

3 測定条件に対する 20 樹種の純光合成速度、蒸散速度、気孔コンダクタンスおよび飽差の 4 項目を用いて、統計処理を行って、グループ化して得られた樹形図を図 4 に示した。4 つに分けられたグループについてみると、グループ I は、ヤマモモ(No.16)、イチヨウ(No.20)、ヤブツバキ(No.17)、スダジイ(No.14)、ヤシヤブシ(No.7)、マテバシイ(No.15)、ムクノキ(No.5)、トウカエデ(No.9)の 8 種であり、これらは基準値の純光合成速度が他種よりも低い値を示す樹種であった。高温条件と高温低湿度条件においては、スダジイ(No.14)を除くと、純光合成速度が基準条件の値より低下する傾向であった。また、蒸散速度をみると、飽差の増大と同様に、ヤシヤブシ(No.7)とムクノキ(No.5)以外は、増加の傾向を示す特徴を持つグループであった。グループ II は、ハナミズキ(No.10)、シラカシ(No.13)、オニグルミ(No.8)、シャリンバイ(No.19)およびケヤキ(No.6)の 5 種であり、純光合成速度の基準値が前者の 8 種と同様に低い値を示していた。そして、高温条件と高温低湿度条件になると、基準値よりも顕著に低い値を示した。本実験では多くの樹種が基準条件よりも蒸散速度は増大したが、

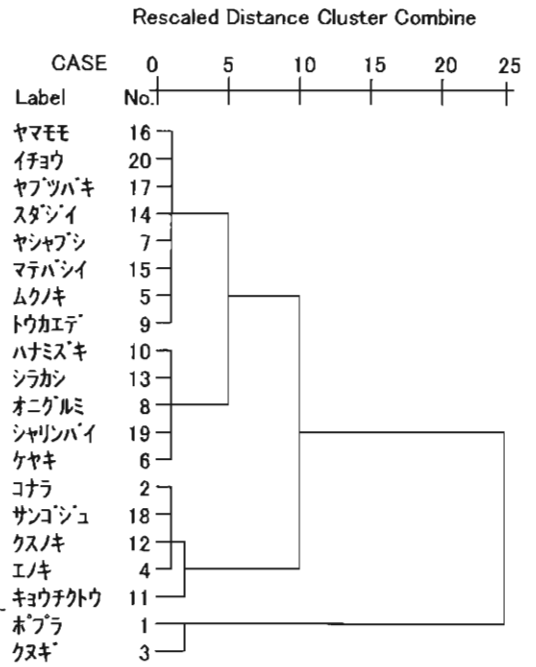


図 4 基準条件 (25℃、60%)、高温条件 (35℃、60%) および高温低湿度条件 (35℃、40%) における 20 樹種の純光合成速度、蒸散速度、気孔コンダクタンスおよび飽差の 4 項目より分類した樹形図

グループ II は低下するという異なる特性を示した。したがって、これらの樹種は高温、乾燥に対して、生理的に耐性のない樹種であると思われる。グループ III のコナラ(No.2)、サンゴジュ(No.18)、クスノキ(No.12)、エノキ(No.4)およびキョウチクトウ(No.11)の 5 種は、基準条件における純光合成速度がグループ I とグループ II よりも高い値を示し、高温条件と高温低湿度条件になると低くなるが、蒸散速度はキョウチクトウ(No.11)を除いて増大したグループであった。グループ IV のポプラ(No.1)とクスノキ(No.3)は、基準条件での純光合成速度がキョウチクトウ(No.11)を除く他の樹種よりも高い値を示して、高温条件と高温低湿度条件においてはやや低くなる傾向であった。一方、蒸散速度は著しく増大して、気孔コンダクタンスも他の 18 樹種と比較して、高い値を示す特徴がみられた。なお、これらのグループ化の内容に、落葉広葉樹と常緑

表 2 4 グループの樹種による基準条件(25℃、60%)、高温条件(35℃、60%)および高温低湿度条件(35℃、40%)における生理的特性

グループ No.	樹種名		基準条件	高温条件	高温低湿度条件
グループ I	ヤマモモ, イチョウ, ヤブツバキ, スダジイ マテバシイ, クスノキ, ヤシヤブシ, トウカエデ	純光合成速度	小	低下	低下
		蒸散速度	小	やや増大	やや増大
グループ II	シラカシ, シャリンバイ ハナミズキ, オニグルミ, ケヤキ	純光合成速度	小	著しく低下	著しく低下
		蒸散速度	小	低下	低下
グループ III	サンゴジュ, クスノキ, (キョウチクトウ)* コナラ, エノキ	純光合成速度	大	低下	低下
		蒸散速度	大	増大	増大
グループ IV	ホップラ, クヌギ	純光合成速度	大	やや低下	やや低下
		蒸散速度	大	著しく増大	著しく増大

* キョウチクトウについては、基準条件の蒸散速度は高いが高温条件と高温・低湿度条件での蒸散量は増大しない。

広葉樹における特性はみられなかった。

以上の結果をまとめて、20樹種の高温条件と高温低湿度条件における生理機能の特性を、表 2 に示した。夏期の昼間に生じやすい高温、乾燥化した気象条件に対応できる生理機能をもつと考えられる樹種は、グループⅢのコナラ(No.2)、サンゴジュ(No.18)、クスノキ(No.12)、エノキ(No.4)、キョウチクトウ(No.11)とグループⅣのポプラ(No.1)、クヌギ(No.3)である。これらの樹種はもともと蒸散能力が大きいうえに、高温、乾燥化したときも蒸散量が増大することから、土壌水分が十分にある環境下においては、気化熱を大量に奪うことにより気温を低下させる働きがあると思われる。したがって、著しいヒートアイランド現象を起こして夏期の昼間にも高い気温を生じる地域において、気温の低下を促進するための緑化に適した樹木であると考えられる。一方、土壌水分が少ない環境条件の場合、グループⅠのヤマモモ(No.16)、イチョウ(No.20)、ヤブツバキ(No.17)、スダジイ(No.14)、ヤシヤブシ(No.7)、マテバシイ(No.15)、ムクノキ(No.5)、トウカエデ(No.9)のように、元々、蒸散量そのものは少ないが、高温、乾燥化した条件において蒸散速度はやや増大して、光合成も行う生理的特性を持った樹種が適していることが示唆された。

謝辞

本研究をとりまとめるにあたり桜美林大学の

喜多敏一名誉教授にご指導いただき、また、東京都農業試験場環境部の方々、東京農工大学大学院の細木大輔氏、則行雅臣氏に多大なるご協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

引用文献

- 1) Forseth, I.N. and Teramura, A.H. (1987) Field photosynthesis, microclimate and water relations of an exotic temperate liana, *Pueraria lobata*, Kudzu. *Oecologia* 71 : 262-267
- 2) 古川昭雄 (1991) 個葉の光合成と環境要因. *日生態会誌* 41 : 279-297
- 3) Hikosaka K, Murakami A, Hirose T (1999) Balancing carboxylation and regeneration of ribulose bisphosphate in leaf photosynthesis: Temperature acclimation in an evergreen tree, *Quercus myrsinaefolia*. *Plant, Cell & Environment*. 22 : 841-849
- 4) 飯島亮・安藤俊比古 (1987). 庭木と緑化樹 1 針葉樹・広葉樹. 誠文堂新光社 182-183
- 5) Ishikawa, S., Oikawa, T. and Furukawa, A. (1990) Photosynthetic characteristics and water use efficiency of three coastal dune plants. *Ecol. Res.* 5 : 377-391
- 6) 小杉緑子・小橋澄治・柴田昌三 (1994) 数種常緑樹の光合成・蒸散速度の日変化と季節変

- 化について. 日緑工誌 19 (4) : 245-255
- 7) Kosuge, Y., Nakamura, A., Tanaka, K. and Kobashi, S. (1997a) Characteristics of CO₂ and H₂O fluxes of leaves of trees under different seasonal and soil moisture conditions in a buffer green zone. J. Jap. Soc. Reveget. Tech. 22 (3) : 163-180
- 8) Kosuge, Y., Shibata, S., Matsui, K. and Kobashi, S. (1997b) Differences between deciduous and evergreen broad-leaved trees in the pattern of seasonal change of leaf-scale photosynthetic net assimilation rate and transpiration rate. J. Jap. Soc. Reveget. Tech. 22 (4) : 205-215
- 9) 久野春子 (1992) うるおいのある都市をつくるために農林地は不可欠. 現代農業. 1992年12月号. 農文協 330-335
- 10) 久野春子・新井一司 (2000) 都市近郊の大気環境下における樹木の生理的特徴 (1) 光化学オキシダントによる広葉樹 4 種のガス交換速度への影響. 日緑工誌 25 (3) : 208-220
- 11) 久野春子・新井一司 (2002) 温度・湿度条件が 5 樹種の純光合成・蒸散速度・気孔コンダクタンスに与える影響. 日緑工誌 27 (3) : 208-220
- 12) 丸山幸平・風間葉子 (1987) 光合成からみた広葉樹の生理生態的特性 (2)—晩夏のブナ稚樹の光合成・呼吸・蒸散の日変化—. 新潟大学演習林報告 20 : 101-113
- 13) 水越充治・山下修二 (1991) 気候学入門 (第 6 版). 古今書院 91-102
- 14) Takagi, M., Gyokusen, K. and Saito, A. (1998) Increase in the CO₂ exchange rate of leaves of *Ilex rotunda* with elevated atmospheric CO₂ concentration in an urban canyon. Int. J. Biometeorol. 42 : 16-21
- 15) 東京都管区気象台 (1990-2002) 東京都気象月報 平成 2 年～平成 14 年
- 16) 山田宏之・丸田頼一 (1990) 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) : 163-168
- 17) 山田宏之 (2002) 気象的環境の保全と形成. 緑の環境設計. エスジーティ出版 137-153.

Physiological characteristics of trees about capacity of reduction on heat island phenomenon

– Effects of high temperature and low humidity on gas exchange rates of twenty tree species –

KUNO Haruko, ARAI Kazushi

¹ Tokyo Metro. For. Exp. Sta. ² Formerly, Tokyo Metro. For. Exp. Sta.
2753-1, Hirai, Hinode-Machi, Tokyo 190-0182 JAPAN

Abstract : In order to understand the influence of high temperature and low humidity on gas exchange rates of leaves of twenty tree species, we measured net assimilation rates, transpiration rates, stomatal and internal conductances under standard condition (25°C, 60 %), high temperature (35°C, 60 %) and high temperature and low humidity (35°C, 40 %). Under 35°C, 60 % and 35°C, 40 %, net assimilation rates of 19 tree species except for *Castanopsis cuspidata* were decreased but transpiration rates were variable among species. The stomatal conductance of the species was almost the same as or lower than that of the 25°C, 60 % standard condition. To analyze the characteristics of gas exchange rates of the twenty tree species under the three conditions, we constructed dendrogram using hierarchial cluster analysis from net assimilation rates, transpiration rates, stomatal conductance and vapor pressure deficit. As a result, all species were classified into four groups. *Quercus acutissima* Thunb., *Viburnum awabuki* K. Koch, *Cinnamomum camphora* Mill, *Celtis sinensis Pers. var. japonica* Nakai in group-III and *Populus x euramericana*, cv, 'I45/51' and *Quercus acutissima* Carr. in group-IV, which showed high net assimilation rates and transpiration rates under standard condition, increased transpiration rates under high temperature and low humidity, so that these trees seemed to have capability of reducing heat island effect.

Key words : high temperature, low humidity, heat island, tree, net assimilation rate, transpiration rate, vapor-pressure deficit, dendrogram