

都市内緑地の可能蒸発量の推定値と葉温の関係に関する研究

中央大学大学院 学生員 ○手計太一
中央大学理工学部 正会員 山田 正

中央大学理工学部 正会員 志村光一
中央大学総合政策学部 正会員 日野幹雄

1. はじめに

都市の気温は年々上昇しつつあり、都市の微気象は変化しつつある。1999 年夏には、東京で集中豪雨が多発し、市民生活に多大な影響を与えた。都市内の水蒸気量の発生源の解明として、都市内緑地における微気象の観測や研究は非常に重要である。1999 年 8 月、東京都文京区にある小石川後樂園において微気象観測を行った。さらに 2 つの手法を用いて可能蒸発量を推定し、赤外放射温度計で観測した葉温との関係の解明を試みた。

2. 観測概要

1999 年 8 月の 1 ヶ月間、断続的に観測を行った。本研究では、8 月 20 日から 31 日までの 12 日間のデータを解析対象とした。観測対象は東京都文京区にある小石川後樂園である。園内では、気温・相対湿度（通風式乾湿球計）、二酸化炭素濃度（赤外線吸収法）、正味放射量を観測した。園外では、園内の観測地点から 30m 離れた中央大学校内にて、気温・相対湿度（通風式乾湿球計）、日射量、雨量の観測を行った。さらに、赤外放射温度計を用いて、小石川後樂園の樹木の葉温を観測した。

3. 観測結果

図-1 は園内の気温、園外の気温と葉温の関係である。園内の気温と葉温はほとんど同じであることがわかる。園外の気温の上昇とともに葉温は気温よりも低くなる傾向にある。このことは、葉が日射を受けているものの気温以上には上昇しないよう、潜熱発生が行われているためであろう。図-2 は気温と（気温 - 葉温）の関係である。気温 25 以上の範囲において気温よりも葉温の方が低い傾向にあることがわかる。そして気温 30 以上に範囲ではその傾向がより強くなる。図-3 は日射量と葉温の関係である。日射量の上昇とともに葉温も上昇することがわかる。図-4 は二酸化炭素濃度と葉温の関係である。図中の直線は最小二乗法で回帰したものである。葉温が高くなるにつれて二酸化炭素濃度は低くなる傾向にある。このことから気温の上昇とともに光合成も活発化しているためと考えられる。このような傾向は、観測期間中の晴

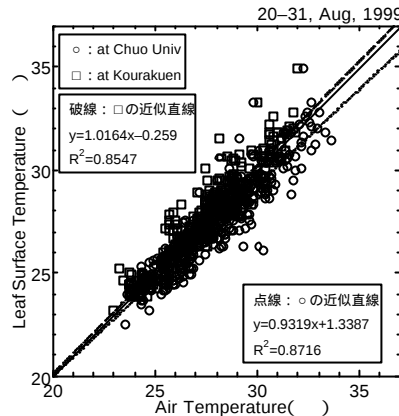


図-1 園内外の気温と葉温の関係

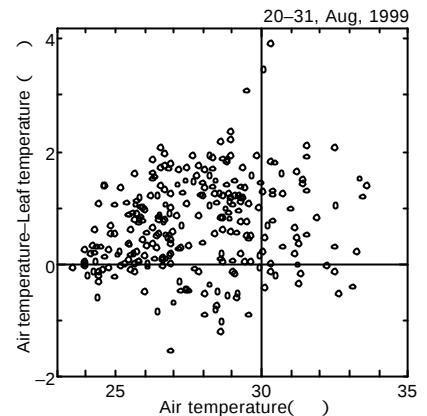


図-2 気温と（気温 - 葉温）の関係

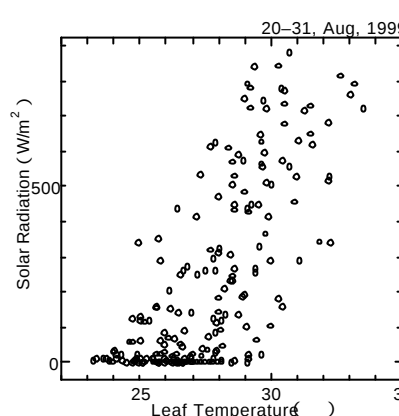


図-3 葉温と日射量の関係

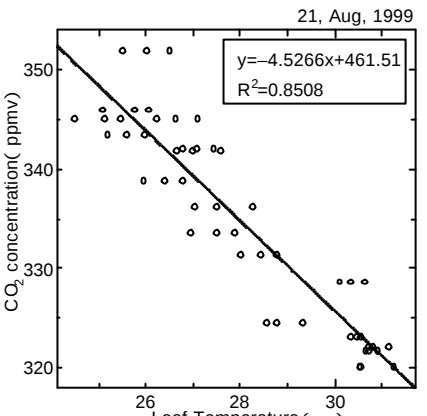


図-4 葉温と二酸化炭素濃度の関係

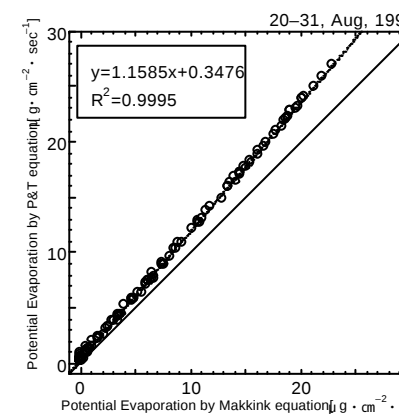


図-5 補完法と Makkink 法で推定した可能蒸発量の関係

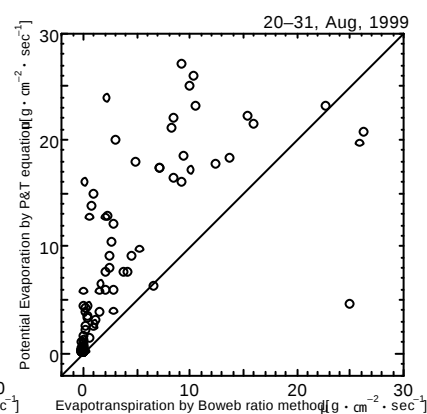


図-6 補完法と Bowen 比法で推定した蒸発散量の関係

キーワード：葉温，サーモグラフ，蒸発散

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 TEL03(3817)1805，FAX03(3817)1803

天日において毎日観測された。

4. 解析方法 4.1 長波放射量, 正味放射量の算定方法

長波放射量 ($R\downarrow$) は次式を用いて算定した (Holtslag et al., 1981)。

$$R\downarrow = \sigma T_a^4 + c(1 - \text{ref})R_s \quad (\text{ここで, } \sigma : \text{Stefan-Boltzmann's constant, } T_a : \text{地上の代表気温, } c : 0.07, \text{ref} : \text{albedo, } R_s : \text{日射量である。})$$

次に, 上式の長波放射量 ($R\downarrow$) から, 正味放射量 (R_n) を次式で算定した。

$$R_n = R_s(1 - \text{ref}) + \epsilon R\downarrow - \epsilon \sigma T_l^4 \quad (\text{ここで, } R_s : \text{日射量, ref} : \text{albedo, } \epsilon : \text{射出率, } \sigma : \text{Stefan-Boltzmann's constant, } T_l : \text{葉の表面温度である。})$$

4.2 可能蒸発量の推定方法

4.2.1 補完法 Priestley and Taylor equation

$$E = a \frac{\Delta}{\Delta + g} (R_n - G) \quad (\alpha : \text{Priestley and Taylor 係数 } (=1.26), \Delta : \text{飽和水蒸気圧 - 温度曲線の勾配, } \gamma : \text{乾湿計定数, } R_n : \text{正味放射量, } G : \text{地中熱流量である。})$$

蒸気圧 - 温度曲線の勾配, γ : 乾湿計定数, R_n : 正味放射量, G : 地中熱流量である。

4.2.2 Advection-aridity 補完法 Brutsaert and Stricker(1979)

による実蒸発散量は,

$$E_{ac} = (2a - 1) \frac{\Delta}{\Delta + g} (R_n - G) - \frac{g}{\Delta + g} \frac{r k U_* (q_s^* - q_a)}{[y_h(z_a) - y_h(z_{0h})]}$$

(ここで, κ : カルマン定数, U_* : 摩擦速度, ρ : 空気密度, q_a : 空気の比湿, q_s^* : 空気の飽和比湿, ψ_h : 普遍関数の積分である。) 上式は, これまでの補完法に風速を考慮したものである。本研究ではこの風速の項を考慮していないものの, この項がマイナスの項になっていることに注意したい。

4.2.3 Makkink 法

$$E = k \frac{\Delta}{\Delta + g} \frac{R_s}{l} \quad (k : \text{経験定数 } (=0.8), \Delta : \text{飽和水蒸気圧 - 温度曲線の勾配, } \gamma : \text{乾湿計定数, } l : \text{水の気化潜熱である。})$$

1 : 水の気化潜熱である。

4.2.4 Bowen 比法

一般的な式を用いているのでここでは省略する。また, 今回の観測では Bowen 比法の使用に際し条件が整わなかったのが, 参考までに結果を記す。

5. 解析結果と考察

図-5 は, 補完法と Makkink 法で推定した可能蒸発量を比較した図である。両者の値は非常に良く一致しており, 定性的に評価できると考えられる。両者を比較すると, 補完法での推定値の方が Makkink 法での推定値よりも大きい。この要因として, 第一に両式にもある経験定数 (本論文中的 “ α ” と “ k ”) を一般的な値を用いて解析を行った。第二に補完法の風速の項を考慮していない。以上の二点が考えられる。図-6 は, Bowen 比法で求めた蒸発散量と補完法で推定した可能蒸発量を比較した図である。蒸発散量が大きい値のところで乱れているが, 補完法で推定した値の方が Bowen 比法で求めた値よりも大きく評価されている。図-7 は葉温と可能蒸発量との関係である。葉温が 25 以上の範囲で可能蒸発量は大きくなっている。図-8 は二酸化炭素濃度と可能蒸発量との関係である。二酸化炭素濃度が低いときに可能蒸発量は多い傾向にあることがわかる。

6. まとめ

1999 年 8 月の小石川後樂園における微気象観測の結果, 以下の知見が得られた。1) 園内の気温と葉温はほぼ同じである。さらに観測期間中, 園外の気温よりも葉温の方が低い傾向にあった。2) 日射量の上昇とともに葉温も上昇する。3) 葉温の上昇につれて二酸化炭素濃度が低くなるという傾向があった。これは気温の高い日中において光合成が活発化するためと考えられる。このような傾向は観測期間中の晴天日において毎日観測された。さらに, 小規模緑地において補完法と Makkink 法の 2 つの推定式を適用し, 可能蒸発量の推定を行った。この解析により得られた知見の以下に示す。4) 補完法と Makkink 法で推定した可能蒸発量を比較すると, 可能蒸発量の値は非常に良く一致した。定量的には今後改善する必要があるものの, 定性的には非常に良く評価できると考えられる。5) 可能蒸発量が高いときには, 二酸化炭素濃度が低い傾向にあることがわかった。謝辞: 今回の観測にあたり東京都東部公園緑地事務所の多大な協力を得た。ここに記して謝意を表す。<参考文献> 近藤純正 (1994): 水環境の気象学, 朝倉書店。Brutsaert, W., and Stricker, H. (1979): An advection-aridity approach to estimate actual regional evapotranspiration, Water Resources Research, 15(2), 443-450.

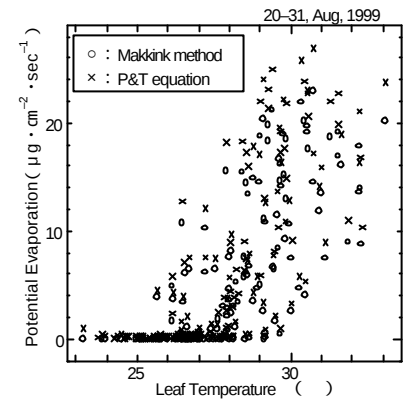


図-7 葉温と可能蒸発量の関係

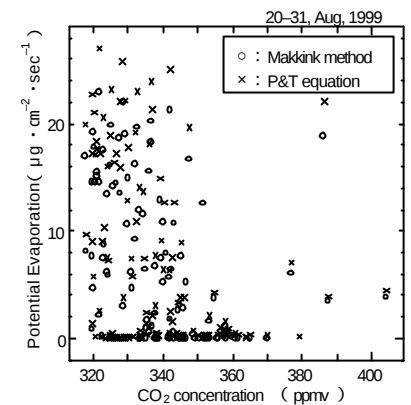


図-8 二酸化炭素濃度と可能蒸発量の関係