

新宿御苑のクールアイランド効果の実測

Measurement of Cool Island Effect of Shinjuku Gyoen Park

本條 毅*・菅原広史**・三上岳彦***・成田健一****・桑田直也***

Tsuyoshi HONJO, Hirofumi SUGAWARA, Takehiko MIKAMI,

Kenichi NARITA and Naoya KUWATA

要旨：都市内のクールアイランドといえる緑地について、その微気象の実態を把握するために、新宿御苑において、気温、湿度分布、地温プロファイル、表面温度などの測定を行った。気温の測定より、新宿御苑がクールアイランドであり、風下側への冷氣移流が明らかであることがわかった。地温の測定からは、御苑内の中心部が低温であることが確認された。表面温度測定から熱フラックスを計算し、ビル街の顕熱フラックスが非常に大きく、樹冠・芝生から潜熱フラックスが大きいことがわかった。

キーワード：都市気候、ヒートアイランド、クールアイランド、都市緑地、新宿御苑

abstract: Urban green area is considered as a cool island in an urban heat island. We made micrometeorological investigation at Shinjuku Gyoen Park, which is one of large green areas in the center of Tokyo area. We measured special distributions of temperature and humidity, profiles of ground temperature and surface temperature by infra-red thermography. As a result, cool island effect of the park is obvious and cool air flows to the surrounding urban area. At the center of the park, low soil temperature was observed, which indicates low temperature at the park for long term trend. Heat balance calculations indicate that high sensible heat flux from the surrounding urban area and high latent heat flux from the park.

Keywords: Urban Climate, Heat Island, Cool Island, Urban Green Area, Shinjuku Gyoen

はじめに

夏季に都市環境の悪化をもたらす都市気候について、これを改善する有効な手段は非常に少ない。都市内の緑地は、植物の蒸散による潜熱放出が大きいと、高温乾燥化を緩和する機能を持つと考えられる。緑地の存在は、都市内のクールアイランドとして、都市の高温化に対する数少ない対策の一つであると言える。

都市緑地の微気象の測定例は、気温、湿度分布の測定(浜田・三上、1994、成田・清田、1998、本條ら、1998)、熱収支の測定(Oke、1979、本條・高倉、1984)、リモートセンシングデータによる地表面温度の解析(本條・高倉、1986)などの例があり、いずれも緑地と周囲の都市部の熱環境が大きく異なり、緑地が低温であることや潜熱輸送量が大きいことを明らかにしている。しかし、低温な緑地の影響がどの程度の範囲まで及ぶかについては不明な点が多い。

本研究では新宿御苑を対象として、気温、湿度分布、地温プロファイル、表面温度測定などの、都市緑地の気象観測を総合的に行った。

緑地近傍の気象要素は空間的に大きく変動することが多く、緑地の影響を測定するためには、短い間隔で測定点を配置する必要がある。そこで本研究では、気温、湿度などの分布を多数の測器で計測し、緑地の影響が及ぶ範囲を推定した。

また本研究では、従来の地上部を中心とした測定に加えて、従来測定例が少ない地下部の温度分布にも着目した。地温は深ければ深いほど、地上温度を平均化した値となるため、長期の気温の影響をある程度推定することが可能である。

この観測と同時期に、新宿都庁屋上から放射温度計により表面温度測定も行った。このデータをもとに、緑地内外の熱フラックスの推定を行った。

*千葉大学大学院自然科学研究科

**防衛大学校地球海洋学科

***東京都立大学大学院理学研究科

****日本工業大学工学部

以上のような観測から、興味深い結果が得られたので、以下に報告する。

1 観測方法

1.1 測定日時、場所

観測は、図1に示す東京都新宿区の新宿御苑とその周辺の都市部について行った。新宿御苑は、面積 9.1ha で都内有数の大規模緑地である。御苑内の大部分は草地、樹林地で占められており、一部に水面、建物がある。

測定は、1999年8月15日から8月18日まで行った。測定期間内は、ほぼ晴天であったが、測定前日は雨天であったため、十分に湿った状態からの測定となった。

測定中の主風向は、南方向からで一定であった。

1.2 温湿度、地温プロファイル観測

温湿度の測定点は、図1に示したように、御苑の主風向である南北に沿って23箇所(御苑北側7箇所、御苑内10箇所、御苑南側6箇所)配置した。測定間隔は、1分ないし2分であった。気温、湿度は、それぞれサーミスタ温度センサー、高分子膜湿度センサー(タバイエスペック、RS-10、RS-11、佐藤計量器製作所、SK200TH)により測定し、温湿度計のセンサー一部は、地上2mの日陰に取り付けた。

地温プロファイル測定点は、図1に示すように御苑の南北の外縁と中心部に配置した。いずれも、樹木に覆われた日陰に設置した。ハンドボーリング器により、直径約2cm、深さ2m弱の穴を掘り、地中の深さ0、10、20、40、80、150cmの位置に温度センサ(熱電対)を設置した。データは、データロガー(キャンベル、CR10X)に記録した。図1では、御苑南縁の測定点をG1、G2、中心部のG3、G4、御苑北縁の測定点をG5、G6とした。

1.3 表面温度観測およびフラックスの推定

東京都庁屋上に、サーモグラフィ(NEC三栄、TH3100)を設置し、御苑およびその周辺の表面温度観測も行った。測定したサーモグラフィの画像から、市街地(ビル街)、御苑の樹冠、御苑の芝生、市街地の屋根の4点の表面温度値を抜き出して、LOWTRAN7による大気補正を行った。

また、以下の方法でビル街、樹冠、芝生の熱フラックス(日平均値)の推定を行った。

1) ビル街の顕熱フラックス

放射収支の残差とした。ビル街なので潜熱フラックスはゼロ、日平均なので地中伝導熱もゼロと仮定した。

$$H = (1-a) \times S + e \times L - e \times \sigma \times T_s^4$$

ただし、 H : 顕熱フラックス、 S : 日射量、 L : 下向き長波放射量、 T_s : 地表面温度(K)、 a : 地表面のアルベド、 e : 地表面の射出率、 σ : ステファンボルツマン係数である。

S 、 L は都庁屋上で測定値を使用した。

2) 樹冠の顕熱フラックス

以下のバルク式を使用した。

$$H = C_p \times \rho \times C_h \times U \times (T_s - T_a)$$

ただし、 C_p : 乾燥空気の定圧比熱、 ρ : 空気の密度、 C_h : バルク係数(顕熱に対する輸送係数)、 U : 風速、 T_s : 地表面温度、 T_a : 気温である。 C_h は、0.005とした(近藤、1994)。

3) 芝生の顕熱フラックス

樹冠と同様にバルク式を使用した。 C_h は次式で表される。

$$C_h = 1.5 * (0.0027 + 0.0031 * U)$$

ただし、 U は風速である。(0.027+0.0031Uは裸地の式で、1.5倍しているのは粗度が大きいための補正值。)

4) 樹冠の潜熱フラックス

$$IE = I \times \rho \times \beta \times C_h \times U \times (Q_{sat}(T_s) - Q_a)$$

ただし、 IE : 潜熱フラックス、 I : 蒸発の潜熱(2.56E6 J kg⁻¹)、 β : 蒸発効率(0~1)、 C_h : バルク係数(顕熱に対する輸送係数)、 U : 風速、 $Q_{sat}(T_s)$: 温度 T_s (地表面温度) に対する飽和比湿、 Q_a : 空気中の比湿である。 C_h は、0.005とし、 β は水面と比較して地表からどの程度蒸発可能かを示す指標であり、熱収支が合うように決定し、おおよそ0.2-0.3の値とした。樹冠のアルベドは0.3とした。

5) 芝生の潜熱フラックス

樹冠と同様に、4)と同様のバルク式を用いた。ただし、芝生のアルベドは0.23とした。

2 結果および考察

2.1 風速

図2に、W2点で測定した観測期間中の風速分布を示す。観測期間中は、主に南風が主に吹き、風速は夜間に弱く、日中強まる傾向を示した。

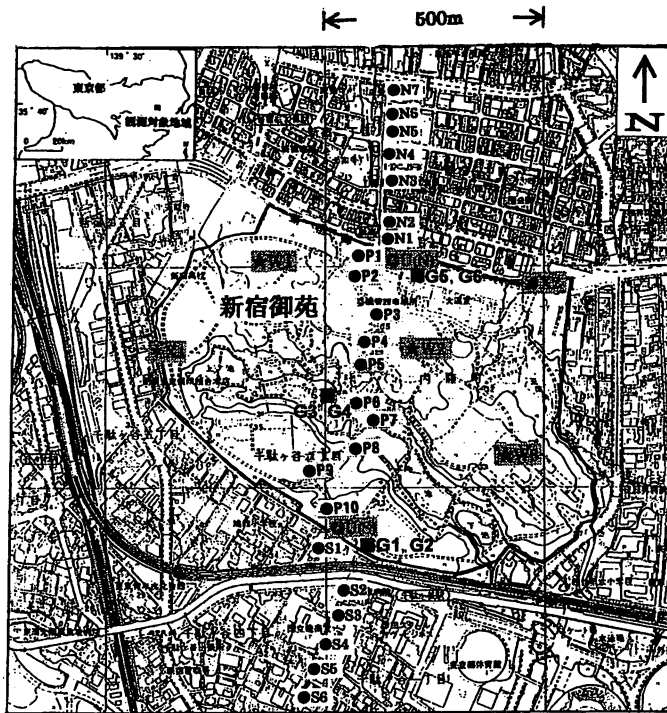
2.2 クールアイランドの強度

クールアイランドを、都市の測定点(S1、S2、S4、S6、N4、N5、N6、N7)の気温の平均値から、公園内の測定点(P7を除く)の気温の平均値を差し引いた値で定義した。図3にクールアイランドの強度を示す。いずれの日も、午前中から午後にかけて強度が強まり、夜間から早朝にかけては強度が弱まる傾向があった。

2.3 緑地から都市部へかけての気温、湿度変化

気温、湿度の連続的な変化を計測することにより、緑地から都市部へかけての温湿度の変化を把握した。

図4に弱風時の、図5に強風時の気温の測定例を示す。



- : 地温測定地点
- : 気温測定地点
- ★ : 風向・風速測定地点
- ⊙ : 超音波風速気温計設置地点
- * : 風向判別地点

図1 観測場所と測定ポイント

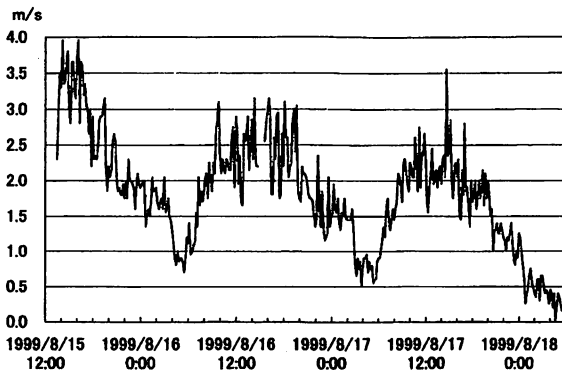


図2 観測期間中の御苑内の風速

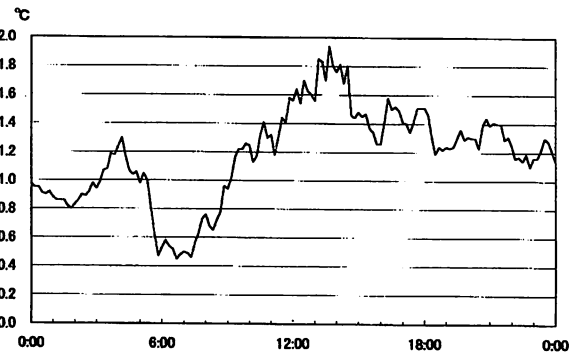


図3 クールアイランド強度の日変化(8月17日)

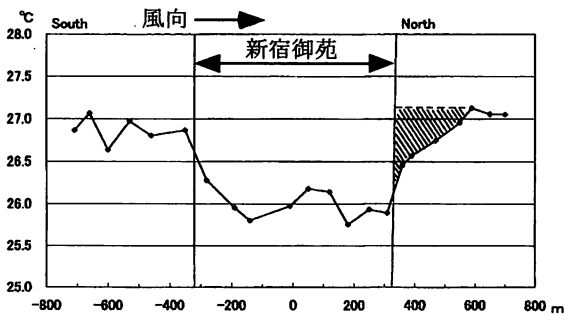


図4 弱風時(0.5~1.0m/s)時の気温断面図
斜線部が風下側の気温低下を示す

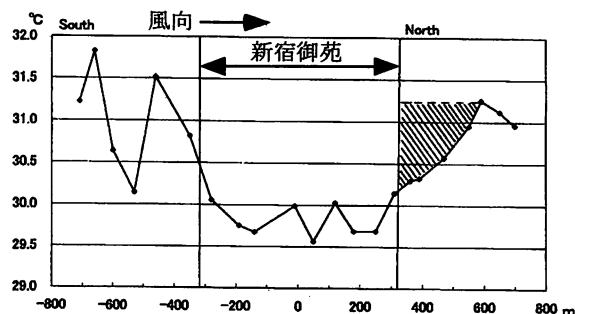
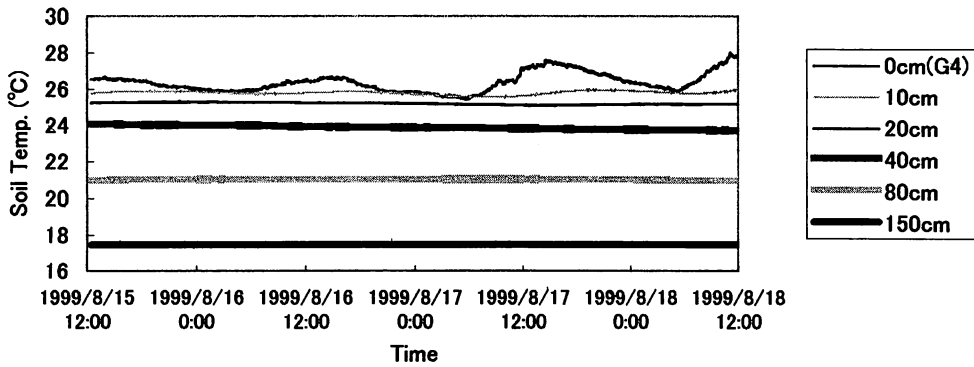


図5 強風時(3.5~4.0m/s)時の気温断面図
斜線部が風下側の気温低下を示す

(a)G4点での深度別地温変化



(b)G6点での深度別地温変化

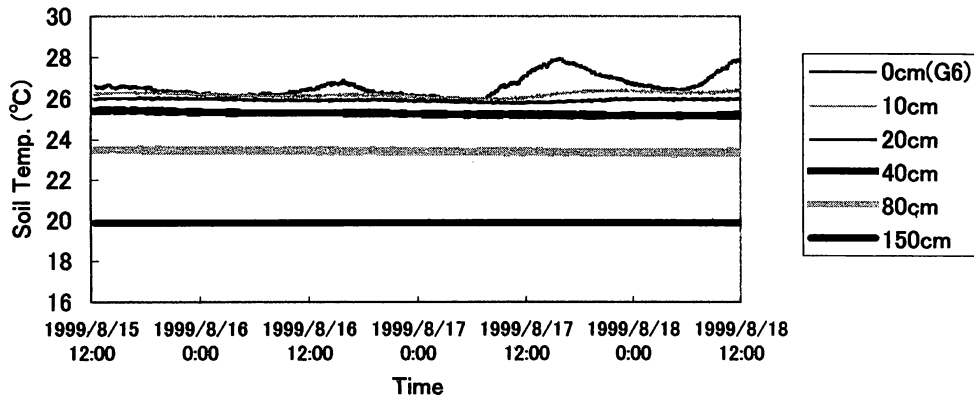


図6 緑地中心部と外縁部の深度別地温の経時変化

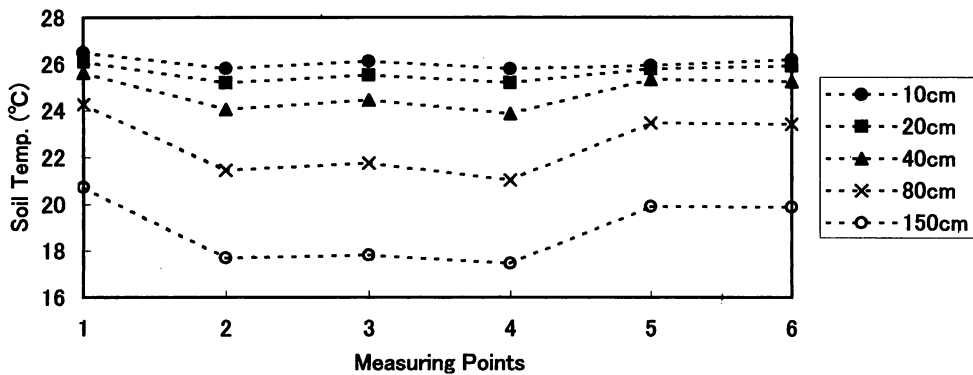


図7 各測定点での平均地温
 (1はG1点、2はG2点(御苑南縁)、3はG3点、4はG4点(御苑中心)、
 5はG5点、6はG6点(御苑北縁)を表す。)

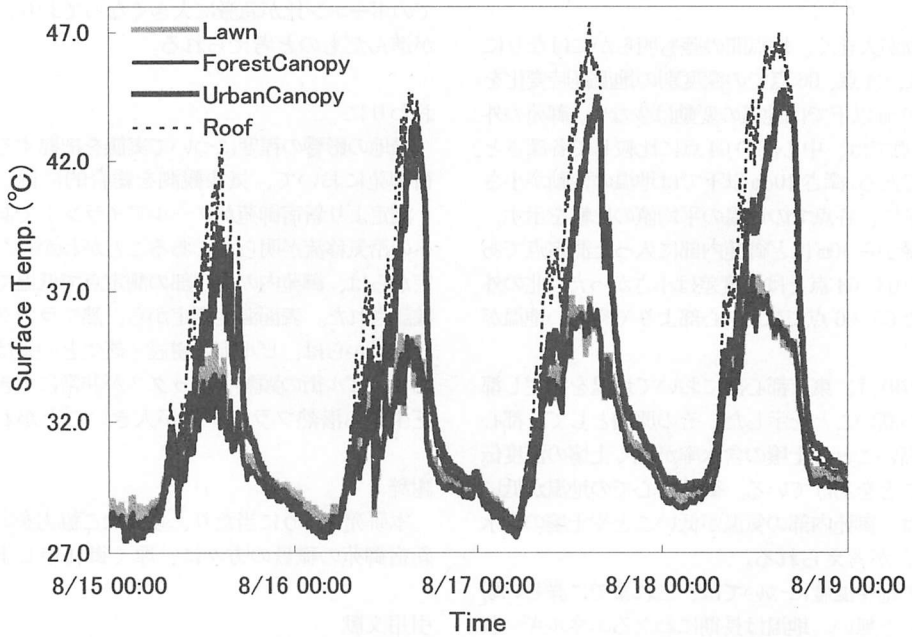


図8 都庁屋上から見たビル街、屋根面、樹冠、芝生の表面温度

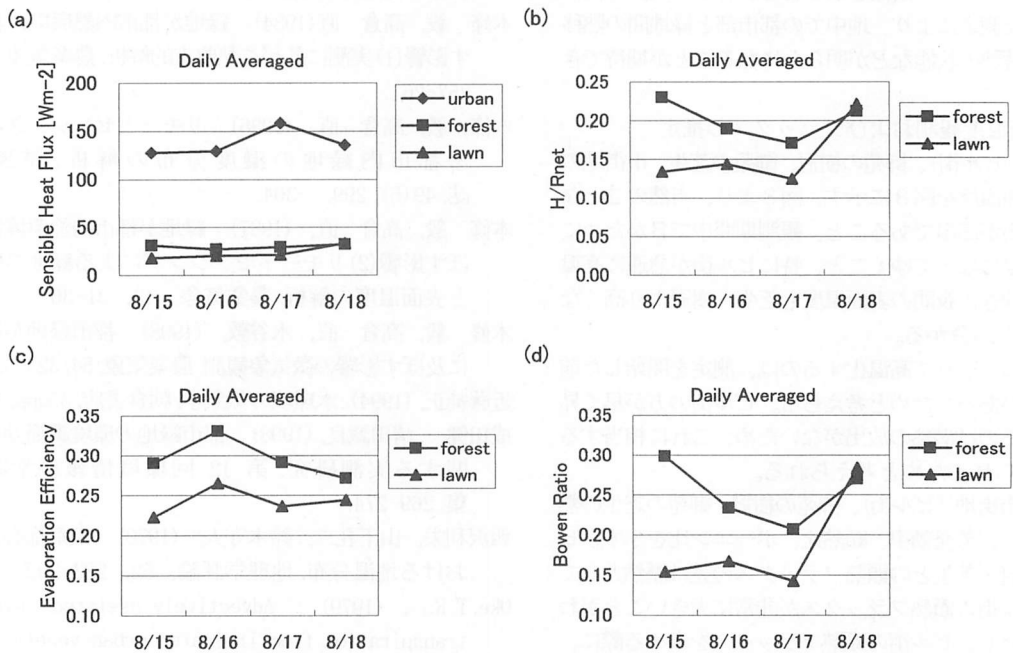


図9 ビル街、樹冠、芝生の熱フラックスなどの推定値

気温測定点は南北に配置したため、南北断面目の気温分布となる。強風時に、風下側への冷氣移流が明瞭であり、また、気温低下も大きいことがわかる。

2.4 地温

気温は変動が大きく、地点間の差も明らかにはなりにくい。図6は、G4点、G6点での深度別の地温経時変化を示す。深さ10cm以下では地温の変動は少ない。御苑の外縁であるG6点では、中心部のG4点に比較して各深さとも常に高温である。深さ10cm以下では地温の変動が小さいため、図7に、各点での地温の平均値の比較を示す。G2点は、外縁から10mほど御苑内部に入った測定点であり、中心部のG3、G4点とは温度差は小さかった。北の外縁に設置したG5、G6点では、中心部よりやや高い地温が測定された。

西沢ら(1979)は、東京都心部において地温を測定し都心ほど地温が高いことを示した。その原因として、都心部の気温が高いことと土壌の含水率が低く土壌の温度伝導率が高いことをあげている。御苑中心での地温が低い理由としては、御苑内部の気温が低いことや土壌の含水率が高いことが考えられる。

緑地内外の地中温度については、これまでに詳しい研究例がほとんど無い。地温は長期にわたるエネルギー収支の差が集約されたものであり、変動が少ないために、クールアイランドの指標となることがわかった。今後、より詳細な測定により、地中での都市部と緑地間の熱移動、長期蓄熱の状態などが明らかになることが期待できる。

2.5 表面温度観測およびフラックスの推定

市街地(ビル街)、御苑の樹冠、御苑の芝生、市街地の屋根の表面温度を図8に示す。図8より、当然のことながらビル街が高温であること、観測期間中で日がたつにつれて高温になってゆくこと、特にビル街が急速に高温になってゆき、夜間の表面温度も芝生・樹冠より高くなることなどが分かる。

日がたつにつれて高温化するの、測定を開始した前日に降雨があったためと考えらる。ビル街の方が早く昇温しているのは潜熱の放出がないため、これに相当する熱が蓄えられるためと考えられる。

図9に市街地(ビル街)、御苑の樹冠、御苑の芝生の熱フラックス、蒸発効率、顕熱比、ボーエン比を示す。ビル街と樹冠・芝生との顕熱フラックスの差は歴然としており、ビル街の顕熱フラックスが非常に大きいことがわかる。ただし、ビル街の顕熱フラックスを求める際に、日平均の地中伝導熱をゼロと仮定しているが、実際には蓄熱があり、現実の顕熱フラックスはこれよりも、やや小さい可能性もある。

熱収支が合うように決定した蒸発効率は15日以降小さくなる傾向がみられる。これは、晴天日が3日続いたために乾燥化しているためと考えられる。18日には芝生でのボーエン比が急激に大きくなっており、特に乾燥化が進んだものと考えられる。

おわりに

緑地の影響の程度について実態を把握するために、新宿御苑において、気象観測を総合的に行った。

測定より新宿御苑がクールアイランドであり、風下側への冷氣移流が明らかであることがわかった。地温の測定からは、御苑内の中心部の測定点で低温であることが確認された。表面温度測定から、熱フラックスを計算した結果からは、ビル街と樹冠・芝生との差は歴然としており、ビル街の顕熱フラックスが非常に大きく、樹冠・芝生から潜熱フラックスが大きいことがわかった。

謝辞

本研究を行うに当たり、多大なご協力をいただいた、新宿御苑の職員の方々に、厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 浜田崇, 三上岳彦, (1994) 都市緑地のクールアイランド現象. 地理学評論, 67, 518-529.
- 本條 毅, 高倉 直(1984) 緑地が都市内熱環境に及ぼす影響(1)実測に基づく熱収支的解析. 農業気象, 40, 257-261.
- 本條 毅, 高倉 直, (1986) リモートセンシングによる都市内緑地の温度分布の解析. 造園雑誌, 49(5), 299-304.
- 本條 毅, 高倉 直, (1987) 緑地が都市内熱環境に及ぼす影響(2)リモートセンシングによる緑地の抽出と表面温度の解析. 農業気象, 43, 31-36.
- 本條 毅, 高倉 直, 水谷敦, (1998) 都市緑地が周囲に及ぼす影響の微気象観測. 農業気象, 54, 323-328.
- 近藤純正, (1994) : 水環境の気象学. 朝倉書店, 350pp, 東京
- 成田健一, 清田誠良, (1998) 都市緑地の環境調節効果に関する実測研究. 第12回環境情報科学論文集, 269-274.
- 西沢利栄, 山下孔二, 鈴木守人, (1979) 東京都心部における地温分布. 地理学評論, 52, 283-292.
- Oke, T.R., (1979) : Advectively-assisted evapotranspiration from irrigated urban vegetation, *Boundary-Layer Meteorol.*, 17, 167-173.