

夏期に森林・水面が果たす気候緩和効果に関する実測と その周辺域への影響伝達機構に関する数値解析による検討

Field Observation and Numerical Experiments on the Effect of Plant and Water Surface
on Urban Meteorological Environment

神田 学*, 稲垣 聡**, 日野 幹雄***

by Manabu KANDA, Satoshi INAGAKI and Mikio HINO

The cooling effect of plant(forest) and water surface(lake) on the thermal environment in urban area was studied by the field observations and numerical experiments. At first, field observations were carried out at the three sites, that is, around a single tree, the Senzokuike Pond and the Meiji shrine. In all the cases, the cooling effect of forest or pond was shown remarkable, and the cooling ratio per the unit area decreased in proportion to their scales. Secondly, 3D numerical experiments were performed to investigate the heat and momentum transfer from the water surface. The results show that the differences of roughness height between water surface and surrounding area have much effect on the mechanism of heat and momentum transfer.

Key Words: cooling effect of plant and water surface, heat and momentum transfer,
climate moderation, numerical experiment on climate

1 はじめに

ヒートアイランド等に代表されるように都市内の熱環境が急激に悪化している現在、その対応策として公園緑地等の植生・水面が果たす気候緩和機構の物理的解明とその工学的応用がより重要視されてきている。植生・水面の気候緩和作用の研究については、よりよい住環境を追求する目的からおもに建築学の分野で行われてきた。その内容はほとんどが実測であり（例えば西田¹⁾、丸田²⁾）、最近ではリモートセンシング等も利用されてきている（梅干野³⁾）。これらのケーススタディーの結論を総合すると、緑地や水域が周辺市街地に対して気候緩和作用を持つことは明らかである。しかしながら、気候緩和量やそれがおよぼ影響範囲等を流体力学・熱力学的に説明しうる段階には至っていない。本研究では一般風の影響がほとんど無視できる微風時において、スケールが大きく異なる3箇所（一本の木の周囲、洗足池、明治神宮）で森林・水面の気候緩和作用の実測を行い、既存の研究結果や簡単な熱収支解析とあわせて緑地・水面規模と気候緩和の絶対量および影響範囲との関連性について議論する。また、水面効果の周辺域への影響伝達について著者らの3次元乱流モデルを用いて行った計算と検討について述べる。

* 学生会員 工修 東京工業大学博士課程 工学部土木工学科

** 学生会員 東京工業大学4年 工学部土木工学科

*** 正会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科

(〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)

2 森林・水面が果たす気候緩和効果に関する実測

2-1 測定概要 空間スケールの異なる3箇所で実測を行った。温湿度の測定は2重筒通風式の温・湿度計を移動測定用（サーミスタ使用）と定点測定用（熱電対使用）の2種類自作し使い分けた。この際、ノイズの乗りやすい日中の測定であることを考慮し、熱電対の先端はパラフィンでコーティングして感度を鈍らせた。また日除け付の2重筒通風構造により放射誤差等は最小限（ $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ）と思われるが、測定点は全て‘ひなた’において行った（緑地内でも）。風速は現地用熱線微風速計（カノマックス製）により計測した。

1) 一本の樹木の周囲での測定 まず一本の木が自然状態でどれくらいの気候緩和効果を持つのかを把握するために東京工業大学内にある一本の桜の木の周囲で計測を行った（図-1）。木の周囲半径10m程度には他の木や構造物はなく孤立木と見なせる。測定日1990.7.30, 7.31。

2) 洗足池における測定 水面による気候緩和効果の例として、東京都大田区にある洗足池の周辺において実測を行った（図-3）。この池の大きさは、南北約300m、東西約150m程度である。周囲には植生も多少存在するが、その外側は住宅・商店が密集する地域である。測定日1990.7.31。

3) 明治神宮における測定 明治神宮は、南北約1.5km、東西約1kmの都心部の中では大規模な植生地域を形成している。地表面近くの温度・湿度の移動測定を行った（図-6）。測定日1990.8.30。

2-2 測定結果と考察

(a) 観測結果

1) 一本の樹木の周囲 図-1で示したような点での気温・湿度・風速の測定結果を示す。図-2中のハッチ部分は木から十分に離れた（約10m）基準点と測定点の間の気温低下量ならびに湿度上昇量をあらわす。全体的な傾向として風速変動に伴う多少の変動はあるものの木からの距離に対応した気候緩和作用（気温の低下・湿度の上昇）が観測されている（図-2(1)~(4)）。細かくみると（例えば図-2(2)）、風速の吹き出しに対応して水蒸気を含んだ空気が木から放出されている様子がわかる。木の真下（図-2(6)）よりもむしろ外縁部（図-2(1)）の温度低下・湿度上昇が大きい、これは移流の影響であると考えられる。影響範囲は約半径4~5m程度であるが、気温で最大 2°C 弱低下・湿度で $1.5(\text{g}/\text{m}^3)$ 上昇している。また鉛直方向では地面近傍よりも上方が気候緩和の大きい傾向がある（図-2(5)(6)(7),(8)(3)(9)）。

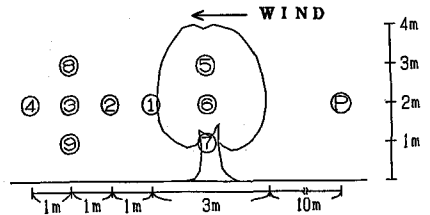
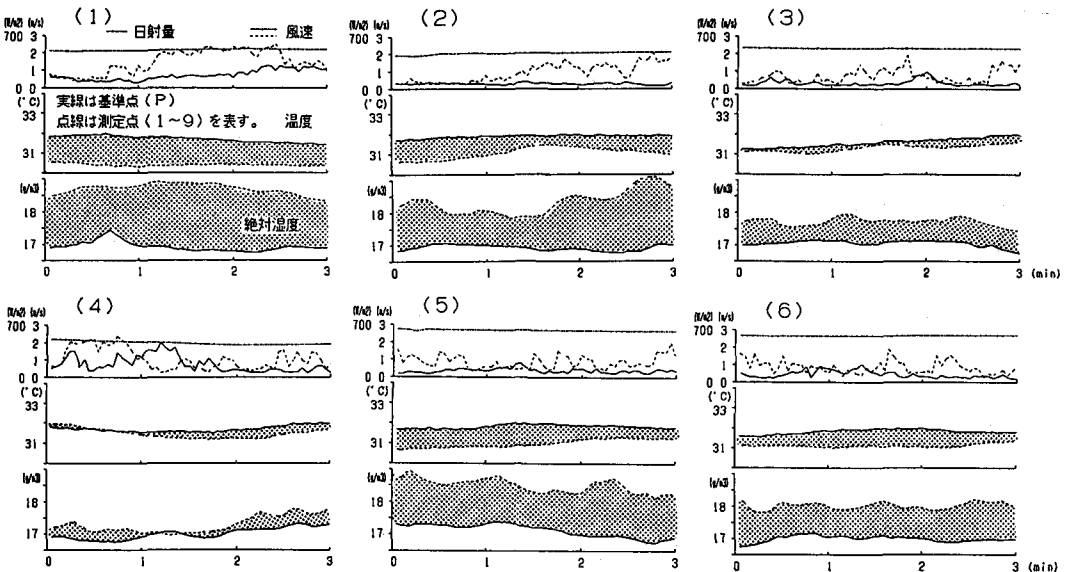


図-1 木の周囲の測定点概要



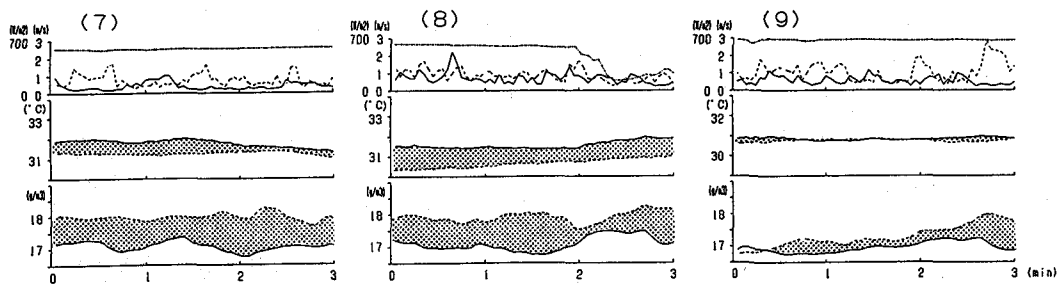


図-2 木の周囲の測定結果(日射・風速・湿度・気温)

2) 洗足池 この場合も周辺域との間で顕著な気候緩和作用

(気温最大2・5低下・湿度最大4%上昇)が観測されている。

この日は2(m/s)弱の弱い南西風が存在し、南北断面(図-5 A)東西断面(図-5 B)の気温・湿度分布で見ると風上側の温度勾配の方が急激である。池から等距離で比較した場合、湿潤冷気が移



図-3 洗足池測定概要

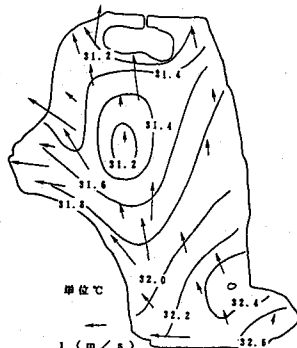


図-4 池上の気温・風速

流されているために若干風下側の温度は低く、湿度は高くなっている。図-4は池上の気温分布・風速分布であるが池の中央ほどまた風下側ほどの温度が低下している傾向がわかる。中央部で気温が低いのは水深・濁度との関係が考えられるであろう。また風速は相対的に池の風上側が弱く、風下側が強くていることが確認される。これは、池中央から周囲への冷気の弱い吹き出しと一般風が重なり合ったためだと考えられる(3章参照)。

もう一つ注目したいのは、植生の存在する地点(図-5 A中矢印②で記した)は、水面周辺の中でも気候緩和効果がやや大きめにでている点である。図-5 Aの矢印②(植生あり)は矢印①(植生なし)に比して湿度が低いにもかかわらず温度も低い。このことは潜熱効果の他、植生による日傘効果⁴⁾を想起させる。

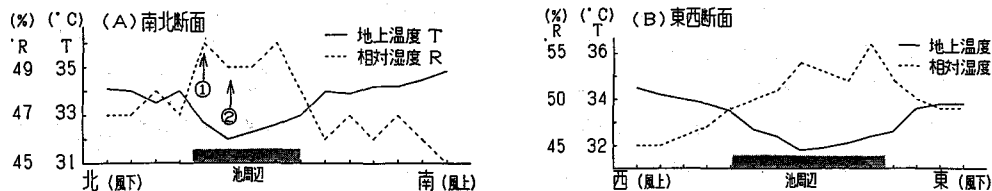


図-5 洗足池周辺の気温・湿度変化

3) 明治神宮 植生面積が大きいいため気温で4℃、湿度で3.0(g/m³)と大きな気候緩和作用が観測された(図-7)。このデータの熱収支解析(図-8)については2-3で述べる。



図-6 明治神宮測定点概要

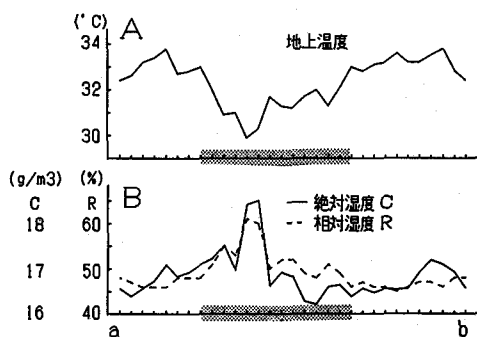


図-7 明治神宮周辺の気温・湿度変化

(b) 気候緩和の影響範囲と絶対量について 今回の観測および既存の観測結果を整理して緑地・水面の規模と気候緩和の影響範囲と絶対量の関係を調べた。

まず絶対量でみた場合(図-9)、1 (km²)の森林で約4℃なのに対し、単木ですでに2℃低下しており、スケールに対する気候緩和量の増加率はきわめて小さい。図-10に緑地・水面の規模で無次元化された影響範囲を示す。ここで影響範囲とは冷源と周囲域の温度差の90%地点までとした。無次元化影響範囲は緑地・水面のスケールとともに減少していく様子がわかる。このことは逆に言えば単木でもかなりの気候緩和効果が期待できることをしめしている。と同時に、同面積の緑地を配置するのであれば分散させた方が効率的であることを示唆していると考えられる。

(c) 緑地と水面の違い 図-9で明らかにように同スケール程度の水面と緑地を比べた場合、緑地の気候緩和度が意外に高いことがわかる。これは緑地が蒸発散による潜熱の放出と同時に日射の遮蔽を行っているためだと考えられる。また水面と緑地では空気力学的粗度がかなり異なるから都市域との粗度のギャップも異なるはずである。この点が気候緩和の伝達範囲に影響を及ぼしていることは十分考えられるであろう(3章数値解析参照)。

2-3 簡単な熱収支解析と見かけの気温低下効率

スケールに応じて2~4℃の気候緩和量が見込めることが観測された。ここではきわめて簡単な熱収支解析によって、気温を1℃温度低下させるのに実際どの程度の潜熱が利用されているのかを見積もってみたい。計算は、我々の明治神宮における観測と東京都の環境データを用い、都市域では潜熱の放出がないものと仮定して行った。なほ、地上データは1.5mのものであり、植生上で測ったわけではないから、あくまで人間の高さの気温の低下量に用いられる見かけの熱収支量である。その結果を図-8に示す。これを見ると最低気温を示す地点では見かけの潜熱・顕熱比が約1.2になっている。すなわち都市域の顕熱量の約6割弱の熱量が潜熱に有効に置き換えられることによってようやく4℃の気温低下が達成されるわけである。1℃気温を低下させるには1.5割が潜熱に変換されなくてはならないことになる。

ハッチは明治神宮内を意味する

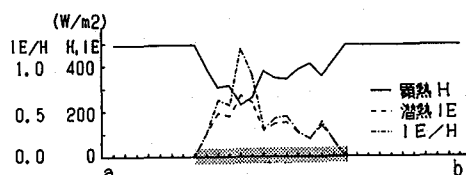


図-8 明治神宮周辺の熱収支解析

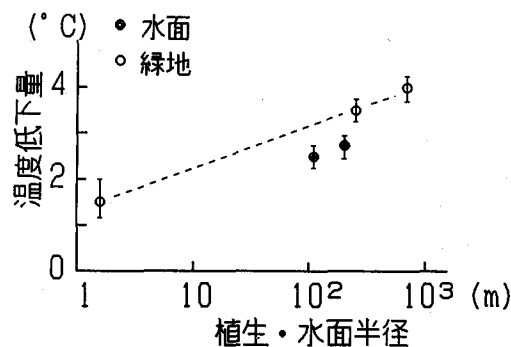


図-9 冷源規模と気温低下量

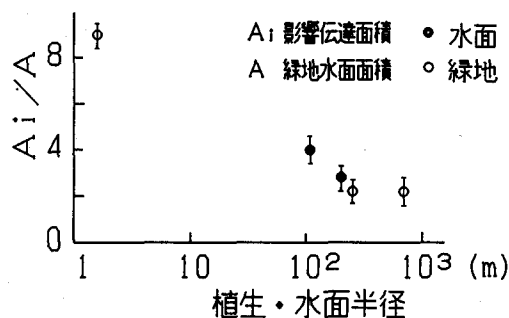


図-10 冷源規模と無次元影響範囲

3 水面効果の周辺域への伝達に関する数値解析的検討

3-1 計算概要 気候緩和(クールアイランド)構造に関しては線形の理論解析(kimura⁵⁾)や層流を仮定した2次元計算(堤⁶⁾)などがある。しかしながら、実際の現象と比較した場合、

1)乱流状態であること、2)冷源と温源で地表面粗度のギャップが存在すること、3)地表面から顕熱・潜熱の供給があることなどに対する検討は今までのところほとんどなされていない。本計算では以上の点をすべて考慮した大気-土壌数値プログラムにより気候緩和の影響範囲等について検討を行う。モデルは文献⁷⁾を参照されたい。計算対象は8(km)x8(km)x4(km)の3次元領域で地表面中央に図-11のような半径1.0(km)の水面のある領域を設定する。計算は1)周辺域の地表面粗度と2)弱い一般風の影響に着目し、表-1のような3ケースについて計算を行った。主な計算条件は表-2に記す。一定の日射条件のもとで場が定常状態になるまで計算を行い検討を行った。

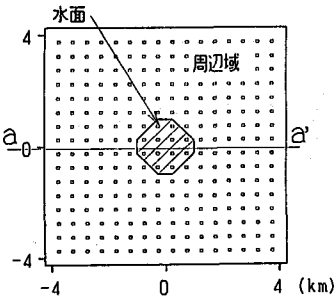


図-11 計算対象

表-1 計算概要

	水面粗度	周囲域粗度	一般風
case1	式(1)	1 (cm)	なし
case2	式(1)	1 (m)	なし
case3	式(1)	1 (cm)	1 m/s

表-2 計算パラメータ

領域	8x8x8(km)
mesh	18x18x18
日射量	800(w/m2)
気温減率	0.001(c/m)

$$Z_0 = 0.032 U_*^2 / g \quad (1)$$

ここでU、摩擦速度、g重力加速度

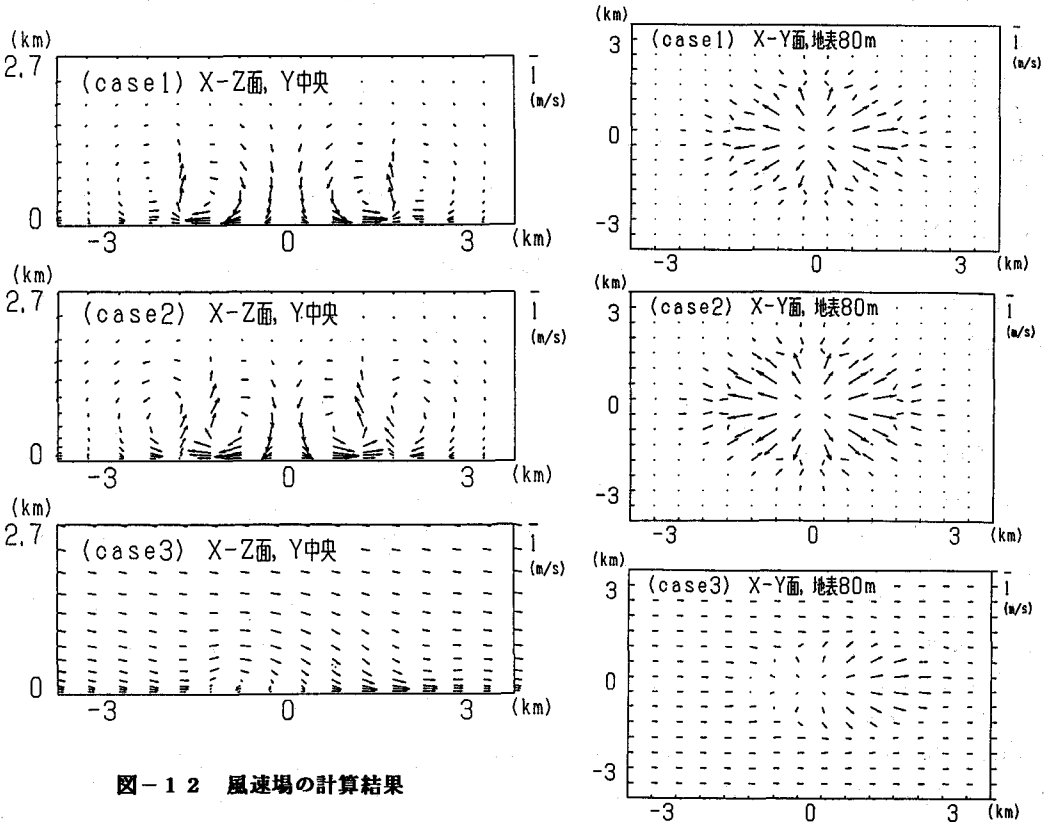


図-12 風速場の計算結果

3-2 計算結果と考察

(a) 地表面粗度の影響 (case1)(case2)はいずれも水面から吹き出す対流と、それとは逆向きに周辺から吹き込む対流が形成されている(図-12)。しかしながら吹き込み・吹き出しの強さや2種の対流の大きさ・形が粗度によってやや異なっている点が注目される。(case2)は周辺域の粗度が大きいことにより運動量・熱の交換が促進されるため、周辺域からの暖かい空気の吹き込みや、それとともなう対流が(case1)に比べて強めである。一方、水面から吹き出す冷風は、粗度のギャップによりブレーキをかけられると同時に周囲からの吹き込み風と衝突する。粗度ギャップが大きく吹き込みの強い(case2)はその傾向が顕著であり、そのため(case1)に比べて冷風の吹き出しが水面から短い距離にしか及ばず、吹き出しにともなう対流の水平規模も小さくなっていることが

わかる。図-11のaa'に沿った高さ80mの水平風速分布および温位分布を(case1)(case2)について図-13に示す。上で議論したように(case2)は水面の影響到達距離が短く、吹き込み・吹き出し風速が強い傾向が現れている。また吹き込み・吹き出しの衝突点付近は上昇域に対応し風速の淀み点となる(図-13中の矢印)ため熱・運動量交換が抑制される。従ってこの点の気温は周囲域より高温となっていることがわかる。

(b) 一般風の影響 (case3)では周囲からの暖かい一般風が水面近傍の重い流体を乗り越えていく様子がわかる(図-12)。水面近傍では、風上側の風速が弱く、風下側の風速が強くなっており、洗足池上の風速分布(図-4)を定性的に説明していると考えられる。

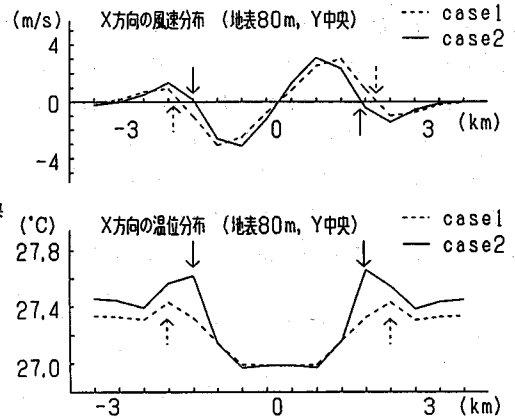


図-13 地表近傍の水平風速と温位分布
(図-11の断面aa')

4 結論

微風(無風)時に緑地・水面が及ぼす気候緩和効果について観測・検討し以下の結論を得た。

- 1) 孤立木でも植生幅の2~3倍の半径の同心円内まで影響が及び、気温で2℃・湿度で1.5(g/m³)程度の気候緩和効果が存在する。
- 2) 緑地・水面の規模の増加にともない気候緩和の絶対量・影響範囲の効率は著しく減少する。
- 3) 冷源と周囲域の粗度差をパラメータとした数値実験を行い、その結果、粗度のギャップが冷風の伝達距離や周囲域からの吹き込み風の強さに顕著な影響を及ぼすことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 西田・片山・石井・堤(1987): 周辺市街地の熱環境に及ぼす水面の効果, 日本風工学会誌, vol. 32, pp11-12
- 2) 丸田頼一(1974): 市街地の公園緑地の機能効果, 気象研究ノート, 119, pp65-70.
- 3) 梅干野晃(1981): リモートセンシングデータによる都市微細気象の解析, 日本国土海洋開発総合学術診断技術報告書, pp49-76.
- 4) 日野幹雄・神田学(1989): 風洞付ライシメータによる植生の気候緩和効果に関する基礎実験と解析, 水文水資源学会誌, vol2
- 5) Kimura, R(1975): Dynamics of steady convections over Heat and Cool Islands, J. Meteor. Soc. Japan, vol53, pp440-456.
- 6) 堤・片山・石井・西田(1987): 市街地風の予測のための数値解析法の適用, 風工学会誌, vol. 32, pp23-24.
- 7) 神田学・日野幹雄(1990): 3次元大気-土壌系気象モデルによる都市規模スケール気象の数値計算, 水文水資源学会研究発表要旨集, pp140-143.