

公共空間のクーリングスポット創成への霧利用 霧の蒸発による気温低減効果

環境工学科第4講座 村上 陽介

1 はじめに

1.1 本研究の背景

最近、人工霧の利用価値が高まってきている。ここでいう人工霧とは、特殊な噴霧ノズルから噴出された手に触れてもほとんど濡れないような極微粒の水滴である。そして、人工霧は現在、蒸発による冷却効果、視覚的效果、放射冷却の抑制効果といった目的のために利用されている。冷却効果とは、霧が大気中で蒸発する際に大気中から気化熱が奪われるために起こる現象である。この効果の用途としては、まず都市空間にクーリングスポット(微気象状態)を提供するという利用法、また、農業用での利用としてビニールハウス内の冷却といった利用法がある。

また、視覚的效果は霧独特の幻想的な雰囲気やすぐれた発色効果、さらには霧粒が非常に細かいため手に触れてもほとんど濡れないといった特徴を利用した空間演出のことである。具体的には、アミューズメントパーク、レジャーランド等のイベントで空間演出や、庭園等において人工滝に自然の霧の演出させたりするなどの利用が可能である。

最後に放射冷却の抑制効果とは、霧が赤外線を反射、吸収するという特徴を持っていることから夜間の放射冷却の抑制に利用できるということである。まだ実用化のレベルには至っていないが、この効果を利用することにより防霜が可能となる。

1.2 本研究の目的

蒸発による冷却効果のシミュレーションモデル[?]を構築するためには霧の蒸発過程の解明は重要な課題である。そのために、蒸発過程を調べる上で重要な水滴の粒径の計測を行うこと、モデル検証の充実のために風洞実験を行いデータを採取することを目的とする。

そのため、カメラ撮影した画像を処理することにより水滴径の計測を行った。また、霧の蒸発過程を一次的に理想化した風洞を製作し、温度・湿度を測定した。

2 霧の粒径計測

2.1 計測方法

今回用いた手法は、透過光による影を撮影して粒子の大きさを検出するという手法[?]である。この手法では、光源と撮影装置を向かい合わせに設置し、その間を通過してゆく粒子を捉える。粒子が小さいので、撮影レンズにペローズを組み合わせて拡大撮影する。実際に使用した計測装置を図-1に示す。視野の大きさは約 $3.2 \times 2.5 \times 3.0$ [mm] (幅×高×奥行) に設定した。照明には発光半値幅約 $5 \mu\text{sec}$ のストロボを用い、高速で移動する水滴の静止画像を得る。

撮影終了後、水滴画像を A/D 変換してコンピュータに取り込み、画像処理によって背景と水滴を分離し、水滴の等価円直径を求める。画像は 512×480 画素、モノクロ 256 階調であり、一画素の大きさは $5.4 \mu\text{m}$ である。

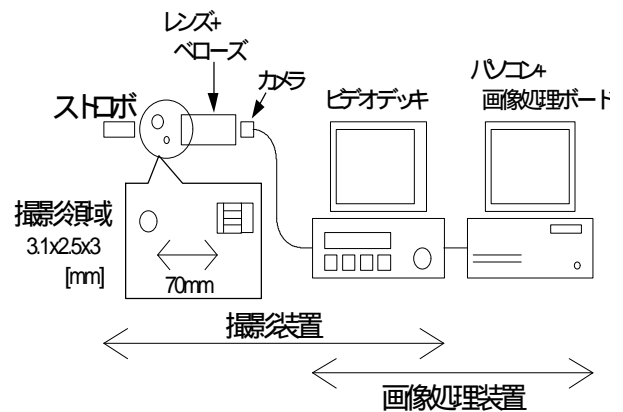


図-1:画像処理装置

画像処理の手順

1. 背景画像の減算。背景画像は何も写っていないため、照明ムラやレンズの汚れの影響を除くための処理である。この操作で原画像の明暗が反転する。
2. 二値化。画像から背景と粒子を分離するため二値化をおこなう。ここで検出された粒子を仮の粒子とする。仮の粒子の大きさが、 3×3 画素より小さい

場合は排除する。

3. 輪郭抽出。前段階で抽出した物体について、二値化前の画像を求め、等価円直径を算出し物体の径とする。

検証実験

ガラスビーズを用いて検証を行った。ガラスビーズは規格でその粒径が決まっている。また、蒸発しないので簡単に別の手段で粒径が測れる。よって、撮影による手法の検定には非常に都合がよい。

2.2 計測結果

画像処理結果を図-2 に示す。上が原画、下が二値化画像である。二値化像は白黒反転したものである。図-3 は画像処理から得た粒径分布である。

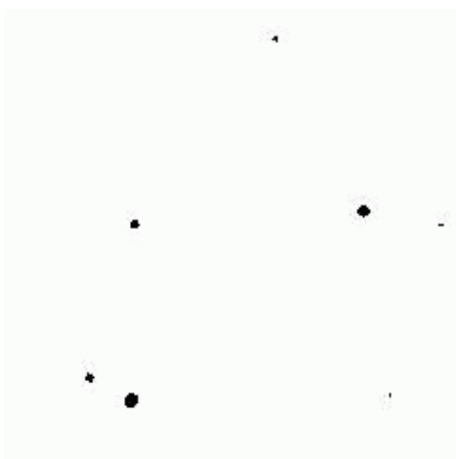
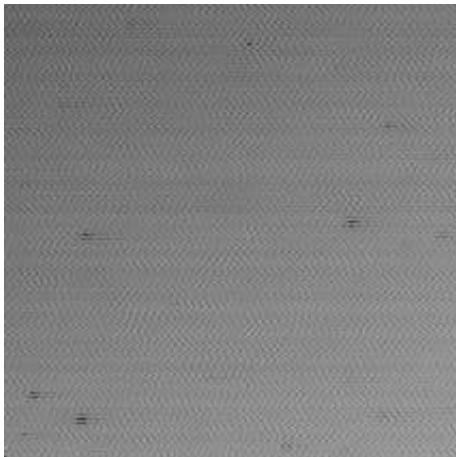


図-2:画像処理結果

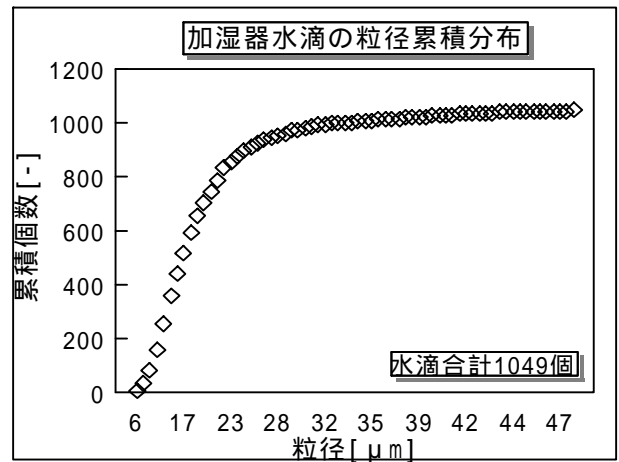
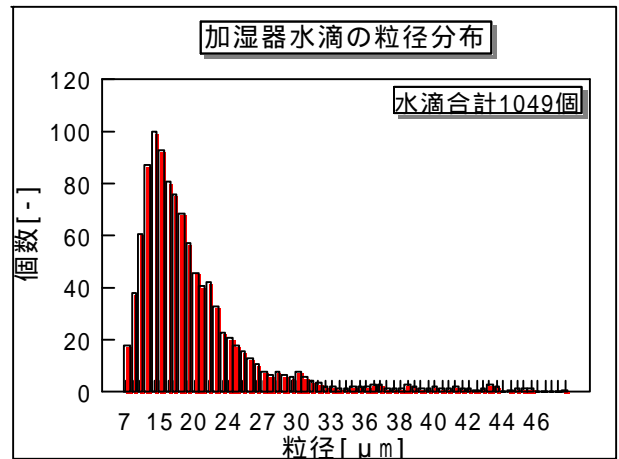


図-3:粒径分布

3 風洞実験

図-4 が本研究で用いた実験装置である。この実験装置は、大きく分けると実験風洞の部分と、外気条件規定のための装置の部分に分けることができる。

3.1 実験風洞

まず実験風洞であるが、風洞上部の超音波加湿器から発生する霧は、1本につき5個穴をあけた塩ビ管4本により20等分されて風洞断面全体に送り込まれる。なお、風洞の断面は200mm × 200mmの正方形であり、霧は外気を送り込むプロワーによって外気と混ざりながら送り込まれ、その際に起こる霧の蒸発過程を5つの測定穴から観察できるようになっている。また、風洞内には外気の流れを整える整流格子を取り付けてある。整流格子は段ボール状の構造のパネルを重ねて作成した。風洞上部に横から入る外気が偏りなく風洞内を流れるように整流

格子の前にフィルターを取り付けると共に、風洞に入る外気の流量を二分するように導流板も設けた。

さらに、整流格子だけでは霧が外気と均一に混ざらないため、整流格子の下部において外気と霧が一緒に混ぜ合わせるための乱れを作り出す乱流格子を設置した。本実験では1.5mmの竹ひごを1.5mm間隔で井げた状に組み合わせたものを乱流格子として用い、整流格子の下端から約15cmのところを設置した。そしてその直下において霧を吹き出し、ここではじめて外気と混合されるようにした。その後混合部を抜けた空気は測定部へと入って行く。その測定部は高さが1mで、測定用に測定部の上端から、0.1m、0.2m、0.3m、0.5m、0.8mの位置に

径が7cmの穴をあけてある¹。測定部下部にも流れの乱れをなくすために径が5mm、長さが20mmのストローを並べて作った整流格子を設置した。

また、風洞の壁からの熱の流出入を防ぐため、風洞の壁には厚2cmのスタイロフォームまたは厚1cm

のスチレンボードで断熱を施している。

3.2 外気条件の規定

この風洞実験においては、実験結果の信頼性を高めるためにデータの重ね合わせを行うこと目指している。しかし、外気の温度・湿度条件は、気候の変動によって一定ではなく霧の蒸発量や温度低減効果に影響し、データの重ね合わせができない。そこで、外気条件を一定に保つ必要がある。以下の装置で外気の比湿・温度を規定する。

まず、外気を14℃まで冷却し飽和水蒸気量に達することによってその水分量を規定する。比湿の低い冬期に外気を14℃で飽和に達するようにするために、実験装置全体をビニールシートでビニールハウス状に覆い、ビニールハウス内を電気ストーブと加湿器を用いて加熱・加湿することにより温度・湿度共に高い状態を実現している。

図-4:実験装置

¹以下、この測定穴は順に1,2,3,4,5番の測定穴と表現する

その上不足する水分はブロワーの取り込み口に接続した装置で補う。この装置(装置 A)は、内側に熱を反射するようにアルミ箔を張った木製の箱の内部に、400W の電熱線を 1 本設置しており、加熱された後加湿器で霧を送り込んで湿度を上げる。この冷却は冷水式クロスフィンコイルによっておこなう。チラーで冷やされた水は 7 ~ 11 で推移するので、一旦バッファータンクに入った後冷水タンクにサイフォン方式で送られる。冷水タンクの水はポンプによってバッファータンクに戻る。

14 で飽和に達して水分量を規定された外気は、装置 B で加熱され、これで温度を規定する。装置 B には電熱線 400W × 2 本を取り付けた。こうして温度・湿度を規定された外気は風洞の入り口へと送り込まれる。

3.3 結果と考察

温度・湿度の計測結果を図-5.1、5.2 に示す。

この温度・湿度の変化の様子を見ると、3 番の測定穴以後ではそれまでに比べて変化が小さくなっていることが分かる。これは、3 番目の穴以後では霧の蒸発が盛んでないことをあらわしている。その上、測定部の温度の変化全体を見ても霧による冷却効果は 1.5 から 2 しか見られない。これは、この実験風洞では霧の蒸発現象全体の終わりの一部分しか観察できないためである。

風洞最上部の入口で 40 あった外気は風洞壁面への伝熱で霧と混合される直前では 38 になり、比湿は 14 で相対湿度 100% の時と同じで 10g/kg である。霧と混ぜ合わさると 1 番の測定穴までの 10cm のあいだに比湿が 16g/kg 近くまで達し、8 以上温度が下がって 30 以下になってしまう。加湿器の加湿能力と風洞を流れる空気量から算出した比湿の上限は 16.3g/kg であるからこの時点で霧はおおかた蒸発しきってしまいほとんど残らないことから、蒸発現象のほんの一部分しか観測できていないことはよく分かる。

4 まとめ

水滴の粒径計測では、検証のためにガラスビーズを撮影した結果、カメラ撮影し画像処理によって検出された粒径分布は十分に信頼できるものであ

た。したがって、この水滴の粒径計測技術は確立できていると言えるが、風洞実験については今回の結果を受けて、風洞内全体で蒸発過程を観測するのに十分な霧の量が確保できるように装置の改良を行う必要がある。

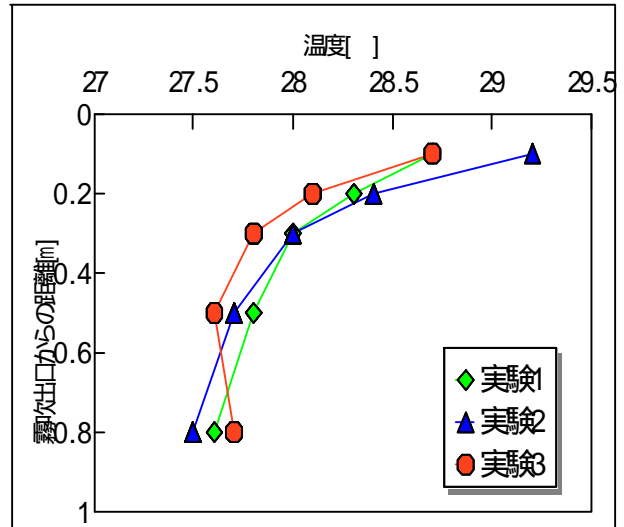


図-5.1:実験結果(温度の変化)

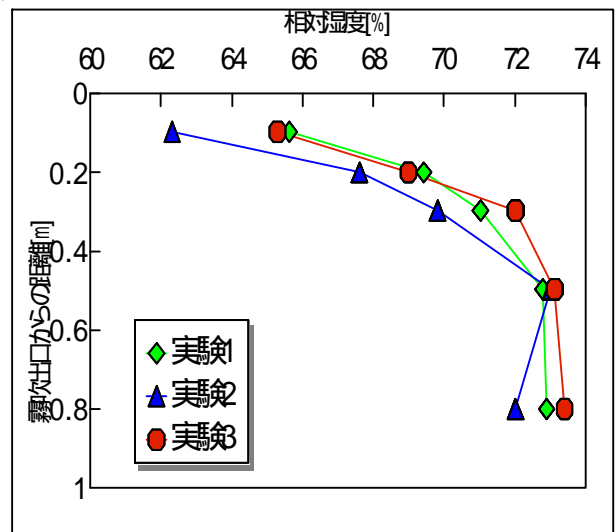


図-5.2:実験結果(湿度の変化)

参考文献

- [1] 齋木謙太郎; 噴水の冷却効果, 大阪大学修士論文 (1993)
- [2] 堺宣晴; 噴水の微気象影響予測モデルの開発, 大阪大学修士論文 (1997)