

夏季ヒートアイランド適応策としてのミスト噴霧運用の考察

課題責任者

杉山 徹 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 情報エンジニアリングプログラム

著者

杉山 徹*¹, 小田切 幸次*², 佐藤 玲子*², 石田 麻衣子*², 狭間 優哉*², 松田 景吾*³

*¹ 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 情報エンジニアリングプログラム, *² 横浜市環境科学研究所,

*³ 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 地球情報基盤センター

都市部における夏季の暑熱環境を改善する方法の一つとして、ミスト噴霧が行われている。しかし、風が強い日は気温が下がった空気塊が拡散してしまい効果が弱まるため、その運用を停止している。そこで、空気塊の拡散を積極的に抑制することで、どの程度の気温低減効果が現れるかを、LES シミュレーションを行うことで検討した。ミスト噴霧の周りの一部を垣根で囲むことにより、風を弱め拡散を抑制でき冷涼な空気を溜められることが分かった。垣根の葉面積密度を変えることで、風の減速効率を変えることができる。風速を8割から6割まで弱めることで、気温低減効果が発揮される。さらに、垣根の間を通して冷気が染み出すことにより、垣根で囲われた部分のみならず、その外部の気温も下げていることが確認された。

キーワード: ヒートアイランド, ミスト噴霧, LES シミュレーション, 拡散抑制, 適応策

1. はじめに

都市部の夏季暑熱環境は、地球規模の温暖化とヒートアイランド現象により快適とはいえない状況にある。その対応策の一つとして、潜熱を利用したミスト噴霧による気温低減効果が実施されている。実際、駅の出入り口など人の集まる場所で定常運用がなされている。ただし、ミスト噴霧による気温低減効果は、気象条件による違いがあり、高温（31℃以上）・低湿時（60%以下）で効果が大きくなる傾向がみられる[1]。一方、風速に対する結果は、定性的には風速が増すと効果が下がると言えるが、その定量的評価は報告により異なる。一般的に風速は変化しやすく、特に都市部においては建物の影響により風速分布の分散は大きくなるため、その差が生じているものと考えられる。これらのことから、ミスト噴霧の稼働に関して、気象条件を設定している場合が多い。数値は設置場所により異なるが、例えば2018年の熊谷駅では「気温28℃以上、湿度75%未満、風速3 m/s未満、降雨無し」としている[2]。日本の夏季は高温多湿と言われるが、多くの場合、気温と湿度は稼働条件を満たす一方で、風速が大きく稼働されない場合がある事が、ミスト噴霧稼働率を下げる原因となる。

風速が大きい時間帯にミスト噴霧による気温低減効果が下がる理由は明確で、ミスト噴霧により気温が低下した空気塊が拡散してしまうためである。その問題点を解決する方法の一つとして、ミスト噴霧装置の設置エリアサイズを広くすることがある。連続して多数のミスト噴霧装置を設置すれば、少なくとも水平方向の冷涼大気の濃度変化を抑制できる。実際、東京・大手町で行われたミスト噴霧実験では、のべ1 km以上の歩道上に連続してミスト噴霧装置を設置している[3]。しかし、多くの場合は、ミスト噴霧装置の設置エリアサイズは小さく、風

によるミスト粒子の拡散は好ましくない。そこで、本研究では、積極的な拡散防止機構をミスト噴霧域に施すことにより、風速が大きい日でもミスト噴霧による気温低減効果を得られる一つの方法を提案し、その効果をLESシミュレーションから解析した結果を報告する。なお、本研究は、JAMSTECと横浜市環境科学研究所との共同研究として実施した内容の一部であり、実街区での微気象観測も同時に実行している。その測定結果については地球シミュレータ利用報告書としては割愛し、ヒートアイランド学会発表に譲る。

2. LES シミュレーション設定

風を止めるのではなく、弱めることにより拡散抑制を実現する目標から、ミスト噴霧箇所の周りに垣根を設置することで風速を弱め、拡散を弱めることを図る。本研究では、ミストが地面前から噴霧されている横浜市金沢区泥亀公園を対象とした。図1に実際のシミュレーション実行時に使用した1 m解像度での対象公園の土地利用分布を示す。格子が1 m間隔であり、各色で土地利用の違いを示す。図2にミスト噴霧地点の拡大図を示す。赤い■の5地点からミスト噴霧を行った。噴霧量は、総量で600[m³/min]とした。この量は、実際の公園での噴霧能力の50%に相当する。その周りに、高さ2 mの垣根をオレンジ色○の11地点にL字型に設置した。風速の減速率による気温低減効果を確認するため、葉面積密度(LAD [m²/m³])を変えた9ケース(0[垣根無]~∞[壁])の場合に対して計算を行った。共同研究内の微気象観測は、2020年8月25日に行ったため、LESシミュレーションも同日の気象条件に合わせて実行した。特に、風向が、おおむね南、南東風で安定していた11時~12時半のデータを解析に用いた。用いたコードは、海洋研究開発機構で開発され

ている大気海洋結合 MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geo-environment) モデルの大気部分である。この計算モデルでは、3次元放射モデル・樹木モデル[4]を使用し、日陰のみならず、木漏れ日の緑陰、樹間を抜ける風を考慮できる。ミスト噴霧効果を計算に取り入れる際には、噴霧の蒸発による潜熱を見積もり、噴霧された格子へ該当する熱量・水分量を追加することで表現する。また過飽和等への対応として雲微物理モデル[5]を導入している。外部気象境界条件は気象庁 MSM データを使用し、その境界条件の下で、3300m, 1000m, 320m, 100m の多段 2-way ネスト高解像度気象計算と、100m 解像度計算から、20m, 5m, 1m 解像度での 1-way 建物解像 LES ネスト計算を行った。建物解像微気象計算時に用いた土地利用データには平成 25 年度横浜市都市計画 G I S データを基本とし、現地付近の昨今の建築状況を反映させた形状を作成した。

3. 垣根による風速減速と気温低減効果

図 3 に、葉面積密度 (LAD) を $16 \text{ [m}^2/\text{m}^3]$ の場合とした場合の、垣根の 1 m 下流位置 (D 点) における風速 (W_D) と、4 m 上流位置 (U 点) における風速 (W_U) の関係を示す。各データ点は、高さ 1 m における 10 秒平均値である。U 点風速が 1 [m/s] を超えると減速が顕著に現れている。そのため、U 点風速が 1 [m/s] 以上の場合に対し、 W_D/W_U の値の平均値を求めたところ 0.44 であり、大きく減速していることがわかった。図中の 2 本の直線は、等速の場合と U 点での速度の 0.44 倍の場合の線である。図 4 にその減速率の葉面積密度依存性を示す。垣根無し (LAD=0) から垣根を風を完全に遮断する壁 (LAD= ∞) までの 9 つの異なるケースでシミュレーションを行い、図 3 と同様に U 点風速が 1 [m/s] 以上の場合に対し、 W_D/W_U の値の平均値を求め、誤差 (1σ) と共にプロットした。作図の便宜上、LAD=0 のケースを横軸 LAD=0.1 の位置に、LAD= ∞ のケースを LAD=40 の位置にプロットしてある。明らかに LAD の増加とともに風が遮られ減速していく様子がみられ、実街区形状においても樹木モデル[4]が期待通りに動作していることが確認できる。

図 5 に、垣根の有無によりミスト噴霧地点の周辺における高さ 1 m の気温の空間分布をカラーコンターで示す。気温データは、計算期間の最終の 20 分間平均値である。左から右に、LAD=0 (垣根無し)、 $8.0 \text{ [m}^2/\text{m}^3]$ 、 ∞ (壁) の 3 ケースを示し、上部はミスト噴霧無しの場合、下部にミスト噴霧を行った場合を示す。左下の白抜き部分は建築物 (歩道橋) が存在する場所である。各パネル中央付近に垣根が L 上にあり白抜きで示されている (左の垣根無しを除く)。まず、上下のパネルを各ケースで比較することで、ミスト噴霧により噴霧地点を中心に気温が大幅に低下していることが分かる。ミスト噴霧地点から右上の気温が高い場所は、ゴムチップ (Rubber) のため地面温度が高くなっている個所であり、そのために気温も高くなっている。LAD= $8.0 \text{ [m}^2/\text{m}^3]$ のケースでは、ミストを噴霧してなくても、垣根の北側は気温が低下している。一方、ミスト噴霧を行うと、垣根によりミスト粒子の拡散が抑

制され気温低下した空気塊が溜まり、垣根の無い時に比べてミスト噴霧付近で気温が低下している領域が広がっている。いわゆるクールスポットが作り出されている。さらに、垣根は完全に空気塊を留める事は無いため、一部の冷涼な空気塊が垣根を通して北側に流れ出ている様子が確認できる。そのため、垣根の北側もより広範囲で気温が低下している領域が確認できる。一方、垣根を風を通さない壁にした場合は、冷涼な空気塊が壁で囲まれた領域に強く抑制されている様子が確認できる。加えて、一部壁の周り (西側や上部) を通じて染み出している様子も確認できる。このように、空気塊の拡散を抑制することにより、気温低下が確認できる領域が広がり、何も策を施さずにミストを噴霧する場合に比べ、効率良く気温低減効果が得られている。

4. まとめ

ミスト噴霧による気温低減効果を、より効果的に発揮させるために、積極的な拡散抑制機構をミスト噴霧域に施すことが有効であることが、LES 数値シミュレーションにより示された。今回は、垣根を用いた実験であったが、実際に拡散防止機構として用いる場合は、景観や可搬性も考慮した物を用意する必要がある。プランター栽培された垣根や、風をある程度通過させる目隠しフェンス、等が候補として考えられるであろう。その際の選定基準としては、垣根やフェンスを通して風速をどの程度減速させられるかが基準となり、今回の調査から、風速を 6 割～8 割程度減速できると気温低減効果がより効率化されることが示された。

謝辞

横浜市建築局には、都市計画基礎調査データを提供頂きました。土地利用データの作成には、SI-CAT (気候変動適応技術社会実装プログラム) において開発されたツールを使用しました。

文献

- [1] 林啓紀, 児玉奈緒子, 辻本誠, 奥宮正哉, 原田昌幸, 一瀬茂弘, 奥山博康, 進藤義一「ドライミスト散布によるヒートアイランド抑制システムの開発 (その 1) ミスト散布条件, 気象条件と気温低下の関係」日本建築学会学術講演梗概集 (北海道) 2004 年.
- [2] <https://www.city.kumagaya.lg.jp/atsusataisaku/history/appare/reikyakumisuto.html>
- [3] <https://www.marunouchi.com/event/detail/28506/>
- [4] Matsuda, K. et al., "Tree-crown-resolving large-eddy simulation coupled with three-dimensional radiative transfer model", J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 173(2018), pp. 53-66.
- [5] Reisner, J. et al., "Explicit forecasting of supercooled liquid water in winter storms using the MM5 mesoscale model", Q. J. R. Meteorol. Soc., 124 (1998), 1071-1107 .

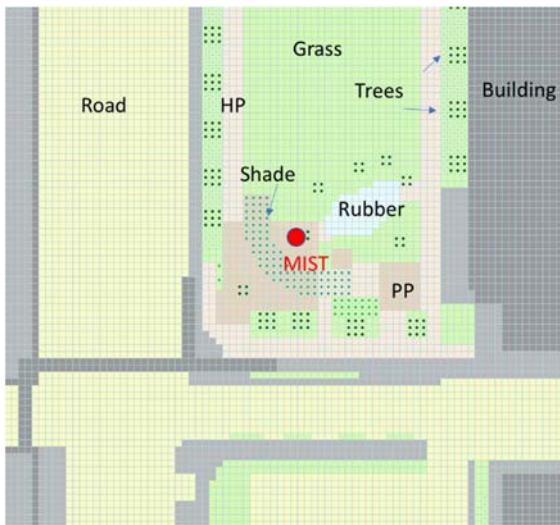


図1 計算に用いた実街区の略図 (実際の LES シミュレーションに用いた土地利用分布によって表現). 色により土地利用の違いを表現している. 格子が計算の空間解像度を示しており, 図は今回の最高解像度である 1 m に相当する. 赤点付近にミスト噴霧地点がある. PP: 保水性舗装. HP: 透水性舗装.

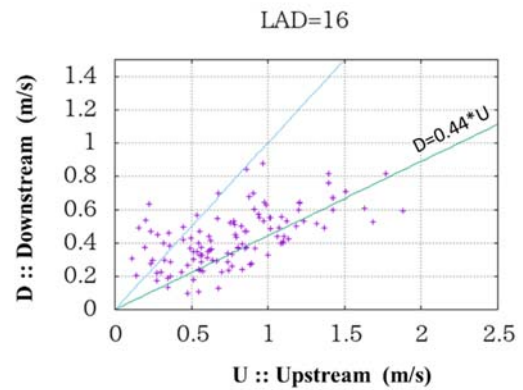


図3 垣根の風上側 (U点) における風速 (W_0) と, 風下側 (D点) における風速 (W_D) の関係を LAD=16 のケースについて示す. 2本の直線は, 等速の場合とU点での速度の 0.44 倍の場合の線である. U点風速が 1 [m/s] 以上の場合に, 約 44% まで減速している.

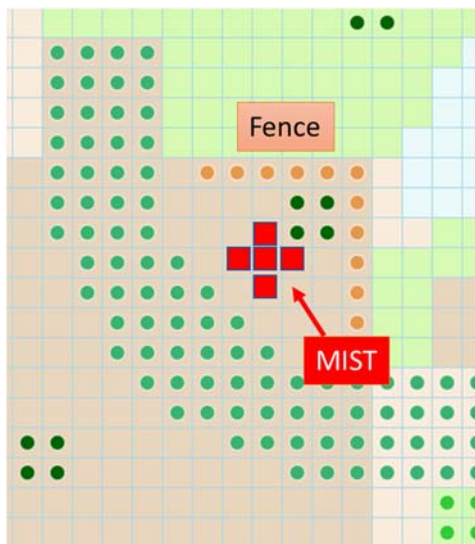


図2 ミスト噴霧付近の拡大図. 赤い■の 5 地点からミストを噴霧させた. オレンジ色○の 1 1 地点に高さ 2 m の垣根を L 字型に設置した. 濃い緑と薄い緑の●地点は, それぞれ, 街路樹の設置場所, shade の設置場所である.

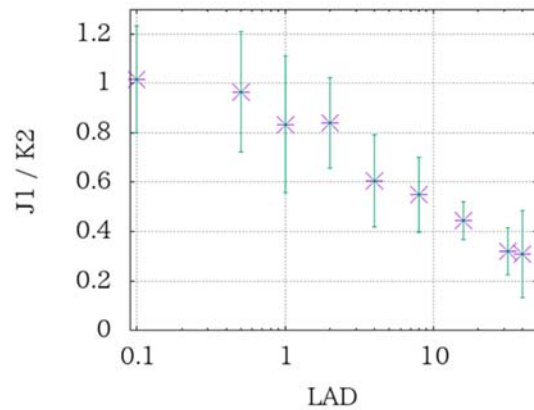


図4 風速の減衰率を, LAD に対してプロット. 作図の便宜上, LAD=0 のケースを横軸 LAD=0.1 の位置に, LAD=∞ のケースを LAD=40 の位置にプロットしてある. LAD の増加とともに風が遮られ減速していく様子がみられ, LAD=32 と ∞ のケースがほぼ同じ値になっている事から, それ以上の LAD における計算は行っていない. LAD=1 ~ 10 で風速が 6 ~ 8 割まで弱まることがわかる.

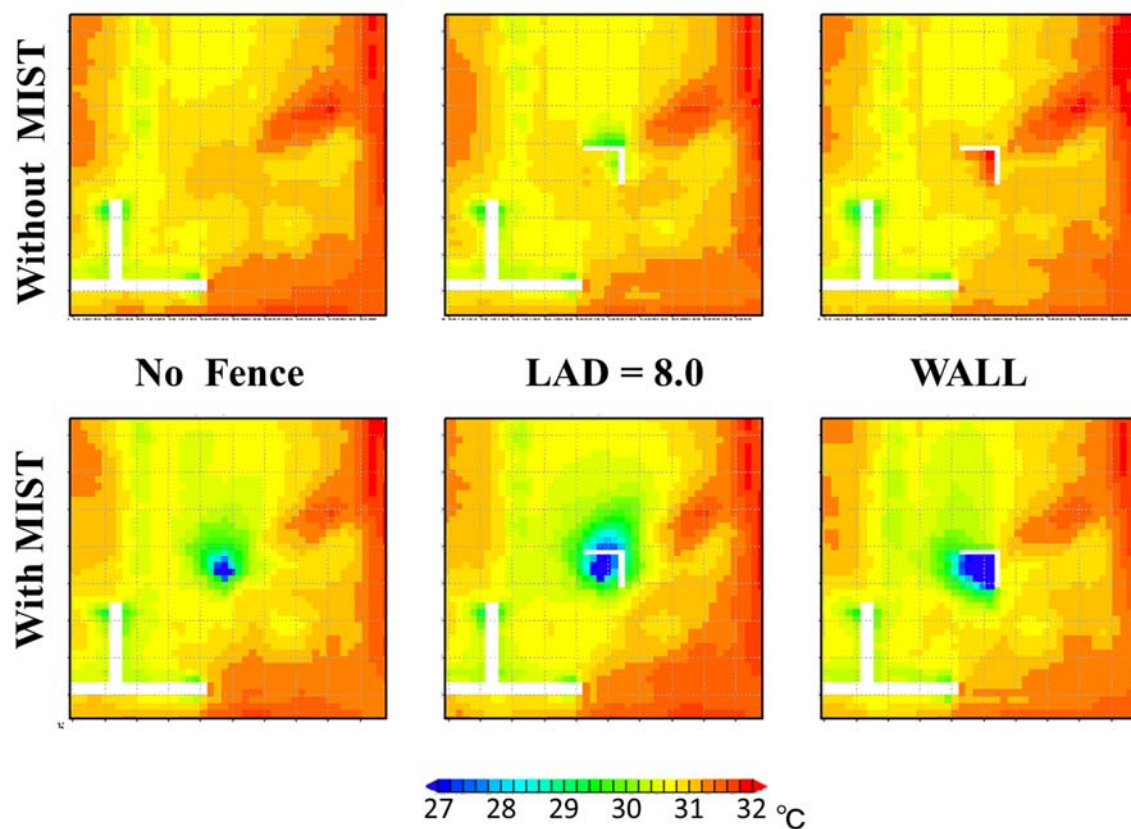


図5 垣根の有無によりミスト噴霧地点の周辺における高さ1mの気温の空間分布をカラーコンターで示す。上部3パネルがミスト噴霧無し、下部3パネルがミスト噴霧した場合である。垣根で囲まれた部分に、冷涼な空気塊が溜まっている様子が、LAD=8と壁のケースで確認でき、クールスポットが出来ている。また、LAD=8のケースでは、垣根を超えた部分に冷気が染み出しており、垣根が無い場合に比べて、気温が低下している領域が広がっている。

A Mist Spray Operation as a Summer Heat Island Adaptation Measure

Project Representative

Toru Sugiyama Information Engineering Program, Research Institute for Value-Added-Information Generation, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Authors

Toru Sugiyama^{*1}, Koji Otagiri^{*2}, Reiko Sato^{*2}, Maiko Ishida^{*2}, Yuya Hazama^{*2}, Keigo Matsuda^{*3}

^{*1}Information Engineering Program, Research Institute for Value-Added-Information Generation, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ^{*2}Yokohama Environmental Science Research Institute,

^{*3}Center for Earth Information Science and Technology, Research Institute for Value-Added-Information Generation, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Mist spraying is used as one of the methods to improve the hot summer environment in urban areas. However, on a windy day, the cool air diffuses, resultantly the effect of the mist be weakened, so its operation is stopped. Here, we have investigated how much the temperature reduction effect would appear by actively suppressing the diffusion of air, by performing LES simulations. We found that by surrounding a part of the mist spray with a green wall fence, the wind can be weakened and diffusion can be suppressed, and cool air can be stored. By changing the leaf area density of the fence, the deceleration efficiency of the wind can be changed. The temperature reduction effect is exhibited with the wind speed from 80% to 60%. Furthermore, the temperature outside the fence gets also low as well as the temperature outside the fence due to the pulling of cold air through the fence.

Keywords : Mist Spray, Heat Island, LES simulation

1. Introduction

The hot summer environment in urban areas is not comfortable due to global warming and the heat island phenomenon. As one of the countermeasures, the temperature reduction effect by mist spraying using the latent heat is implemented. We propose a method to obtain the temperature reduction effect by mist spraying even on windy days by applying an active diffusion prevention mechanism to the mist spraying area, and report the result of analyzing the results from LES simulation.

2. LES simulation settings

From the purpose of suppressing diffusion by weakening the wind instead of stopping it, we introduce to install fences. By installing them around the mist spraying point, the wind speed is weakened and the diffusion is also weakened. In order to confirm the temperature reduction effect by the deceleration rate of the wind speed, the calculation has been performed for 9 cases in which the leaf area density (LAD [m^2/m^3]) is changed. The model used in our study is MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geo-environment) model. The external meteorological boundary condition is the Japan Meteorological Agency MSM data, and under the boundary condition of MSM data, we have performed the multi-stage nested high-resolution meteorological calculation of 3300m, 1000m, 320m, 100m and the building solution at 20m, 5m, 1m resolution from the 100m resolution calculation. The 2013 Yokohama City GIS data is used for the land use used when calculating the building resolved microscale meteorology.

3. Results

Figure shows the spatial distribution of the air temperature at a height of 1 m around the mist spraying point with color contours depending on the presence or absence of fences. The temperature data is a 20-minute average value. From left to right, the results from the three cases of LAD = 0 (without fence), 8.0 [m^2/m^3], and ∞ (wall) are shown, and the upper part shows the case without mist spraying and the lower part shows the case with mist spraying. When mist spraying is performed, the diffusion of mist particles is suppressed by the fence, and air masses whose temperature has dropped are accumulated, and the area where the temperature is low is wider than when there is no fence. Furthermore, since the fence does not completely retain the air parcel, some cool air parcels are flowing to the north through the fence. Therefore, it is possible the area where the temperature is decreasing in a wider area on the north side of the fence. On the other hand, when the rigid wall case that does not allow air to pass through, the cool air parcel is strongly suppressed in the area surrounded by the wall. By suppressing the diffusion of air parcels, the area where the temperature drop can be confirmed is expanded, and an efficient temperature reduction is obtained compared to the case of without taking any measures.

Acknowledgement

The Housing and Architecture Bureau of Yokohama City provided the basic survey data for city planning. The tools developed in SI-CAT were used to create land use data.

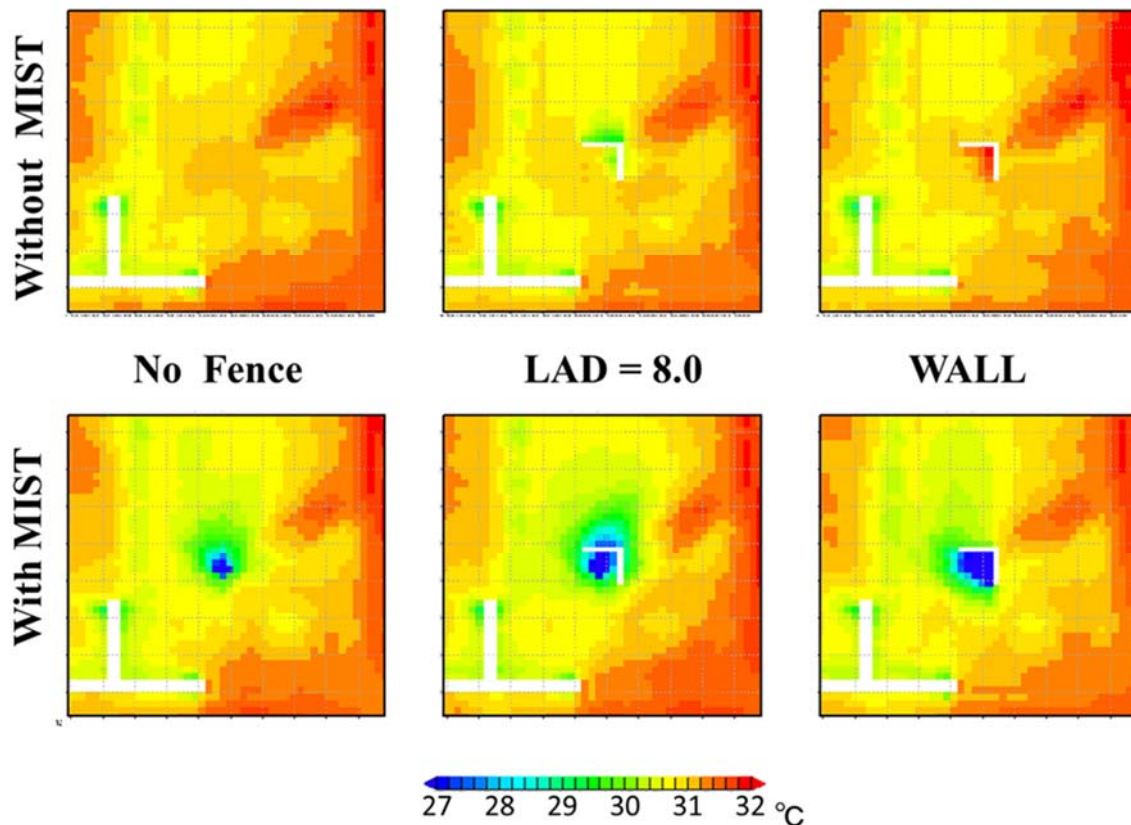


Figure The spatial distribution of the temperature at a height of 1 m around the mist spraying point is shown by color contour depending on the presence or absence of a fence. The upper 3 panels are cases for without mist and the lower 3 panels are sprayed cases. It can be confirmed that in the case of the wall (right) and LAD = 8 (middle), a cool air parcel is accumulated in the part surrounded by the fence. In addition, in the case of LAD = 8, cool air seeps out beyond the fence, and the area where the temperature is low is wider than when there is no fence.

References

- [1] Matsuda, K. et al., "Tree-crown-resolving large-eddy simulation coupled with three-dimensional radiative transfer model", *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 173(2018), pp. 53-66.
- [2] Reisner, J. et al., "Explicit forecasting of supercooled liquid water in winter storms using the MM5 mesoscale model", *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 124 (1998), 1071-1107 .