

ミストシャワーの効率的な活用法 V

学校法人角川ドワンゴ学園N高等学校

2年 飯塚 颯

1 研究の目的

猛暑日が増えているので冷房に頼りすぎない暑さ対策としてミストシャワーを多くの人に使ってもらいたいと考えている。観光施設などでミストシャワーが使われているが必要以上に噴霧している例が多いので、ミストシャワーの効果が及ぶ範囲や効果の持続時間、気温や湿度等の条件による効果の違いを調べ、ミストシャワーを効率よく活用した暑さ対策を提案する。



三島スカイウォーク
入場ゲート付近

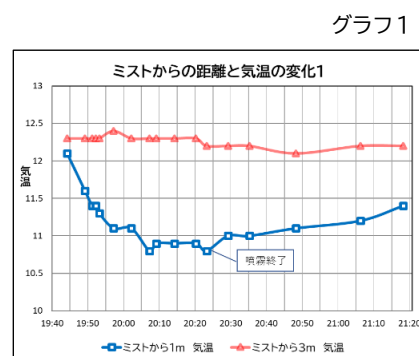
2 これまでの研究の結果と再考察 (2017～)

(1) ミストシャワーの効果の調査

① 調査1-1 ミストシャワーを使うとどのくらい気温が下がるのか

調査1-2 気温によってミストシャワーの効果に違いはあるのか

20 回ほどの計測では、 $-4\sim-7^{\circ}\text{C}$ の冷却効果が確認できた。 -7°C は、気温 37.1°C の特に暑い時間帯に記録していた。暑くてミストが気化しやすい状態であったことから、「気温が高い時の方が、ミストシャワーによる気温の下がり幅が大きくなる」(仮説1)と考えた。その検証として、気温 $37^{\circ}\text{C}\sim 11^{\circ}\text{C}$ の時の下がり幅を比較してみたが、ほとんどが仮説どおりのデータだった。仮説から外れるデータには湿度の違いが影響していると考え、調査2を行った。風の影響でうまく計測できず何日間も試みたが、思うようなデータがとれなかったため、風を遮れる車庫内での実験を試みた。(調査1-1, 2 屋内実験)

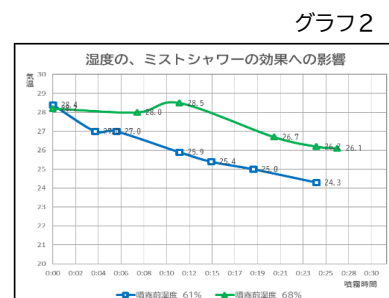


また、最大効果(最も低い気温)には噴霧開始から 20 分以内で到達することも確認できた。

② 調査2 湿度によってミストシャワーの効果に違いはあるのか

表1のC～Eの下がり幅は気温に着目した仮説1から少し外れるデータだったので、湿度のデータを加えて考察し直してみると、湿度の影響が認められた。ミストは湿度が低い方が蒸発しやすくなるが、Dの場合は快晴であったことも蒸発を速めるのに関係したと考えられる。これらの結果から「同じ気温ならば湿度が低い方が気温の下がり幅が大きくなる」(仮説2)と考え、近い気温で湿度が違うデータを比較した(グラフ2)。

ミストシャワーの効果と気温との関係										表1
	A 1	A 2	B	C	D	E	F	G	H	
周辺の気温	37.1	34.4	33.7	30.8	28.8	28.4	24.4	12.2	11.7	
ミスト中の気温	30.4	29.0	28.8	27.7	25.3	24.9	21.5	10.8	10.9	
下がり幅	6.7	5.4	4.9	3.1	3.5	3.5	2.9	1.4	0.8	
ミスト前の湿度	50	55	56	64	68	61	64	70	68	
ミスト中の湿度	71	77	65	75	81	75	72	90	77	



予想通り、湿度の低い日の方が噴霧後の気温が低かったといえる。噴霧直後から差が生じ、気温の動きが安定してからも2℃近い差が続いていたので、仮説2は立証された。今後は気化しにくい湿度での活用方法を見つきたい。

- ③ 調査3 ミストシャワーの効果はどこまで及ぶのか
 範囲：ミストシャワーの下と、その周辺の気温を計測。
 時間：ミストシャワー噴霧後の気温の変化を計測。
 目指す気温を保つための噴霧時間と間隔を見つける。

屋外では風の影響で範囲の計測ができなかったため、屋内で実験を行った。屋内の実験では、次項のように、ミストシャワーは気温によって冷却効果が異なることや、効果の及ぶ範囲が明らかになった。



(2) 調査1～3を通しての考察

調査1-1・2、調査2（気温と湿度の効果への影響の調査）から

- ・気温が高い時の方が、ミストシャワーによる気温の下がり方が大きくなる
- ・噴霧から20分以内に最も低い気温(最大効果)になる
- ・同じ気温なら湿度が低い方が気温の下がり幅が大きくなる（天候が関係することもある）

調査3（風の影響を受けない条件下での効果の及ぶ範囲、効果の持続時間の調査）から

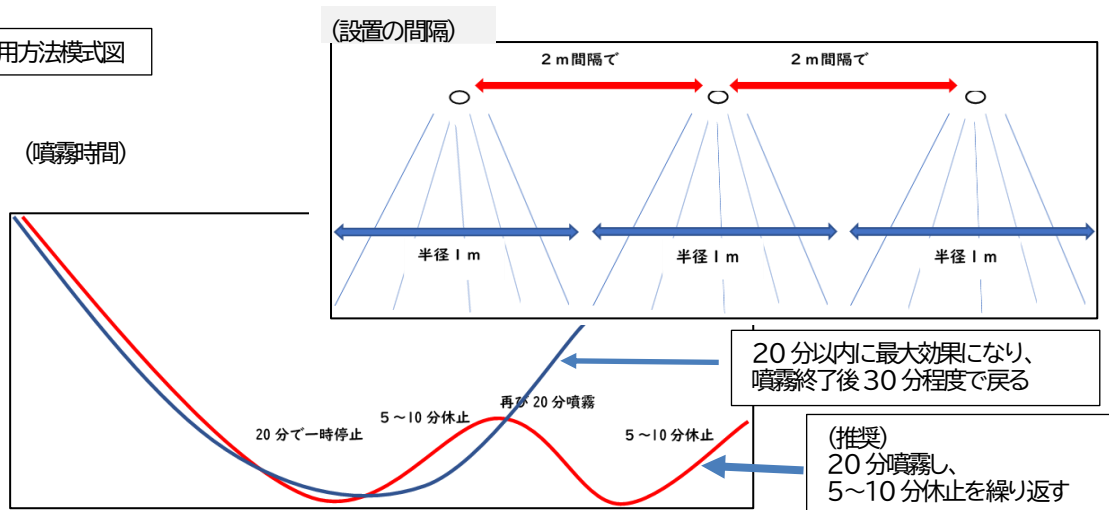
- ・ミストシャワーの冷却効果は半径1m程度で、3m離れると効果は見られない
- ・気温によって冷却効果の持続時間が異なり、夏は30分程度で噴霧前の気温近くまで戻る

これらのことから、ミストシャワーを効率よく使う方法として、次のように考えた。

「2m間隔で設置して、『20分噴霧し、5～10分休止する』を繰り返す」と、効率よく冷却効果が維持できる（仮説3）

再開後は20分以内に最大効果が期待できるが、同じ間隔の方が実用的であると考える。

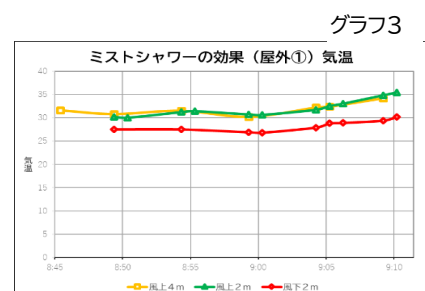
推奨運用方法模式図



(3) 調査4 屋外（風のある状況下）での仮説3の検証

屋外で次の項目を測定した。（三島スカイウォークにて）

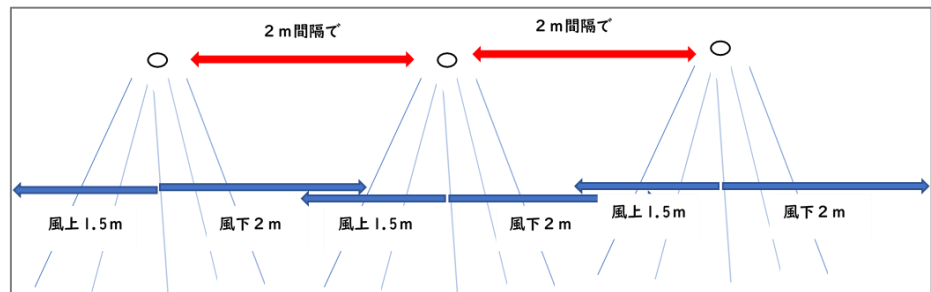
- 調査4-1 風上と風下での効果の違い
 調査4-2 風下での距離による効果の違い
 調査4-3 屋外での効果の限界を確かめる



2日間の実験から、自然の状況下ではミストが風に運ばれるため、「風下なら2m、風上だと1.5m程度の範囲で冷却効果が期待できる」とわかったが、風により3mでも効果が見られることや1.5mでも効果が小さくなるなど、自然な環境下での効果のブレを見ることができた。風向きが乱れた状況でも風下1.5m地点が常に最も涼しかったのは、「ミストが当たらなくても効果は持続する」ということが影響していると考えられる。風向きが頻繁に変わることは自然な環境ではごく当たり前のことなので、「風向きや風速が安定しない」ということを条件に研究していく必要があると感じた。

推奨運用方法模式図

(屋外での設置の間隔)



(4) 調査5 高圧噴霧式微粒子ミストシャワーの効果はどのくらいか

高圧噴霧式微粒子ミストシャワーを設置している名古屋大学医学部構内にて測定した。連続して設置されている噴霧口のうち、風の影響を受けにくい箇所、距離を変えて冷却効果、効果が及ぶ範囲、最大効果までの時間、噴霧後の効果の持続時間を測定した。濡れないミストシャワーなので、直下での効果も測定できた。

- ① 効果が及ぶ範囲と冷却効果について
直下では効果が認められるが、噴霧口から離れると効果が安定せず、2.5m地点では効果が見られない場合と、 -2.7°C の効果が出た場合とがあった(表2)。微粒子のため風の影響を受けやすいためだと考える。

高圧噴霧式微粒子ミストシャワーの冷却効果が及ぶ範囲 表2

	調査①	調査②	調査③
ミスト直下	○	○ -3.4°C	○ -4.5°C
ミストから1m	Δ (直下 $+1.3^{\circ}\text{C}$)		
ミストから2.5m		×比較値と同じ	○ -2.7°C
ミストから3m	×効果なし		

※ 比較値(ミストの影響を受けない10m以上離れた場所での数値)

- ② 最大効果までの時間について

協力していただいた高圧噴霧式微粒子ミストシャワーは水の粒子を非常に細かくして気化の速度を速め、通行する人の頭部あたりで気化することをねらっているため、①の結果のように、冷却効果にも風の影響が大きく表れる。一般的なミストシャワーでは20分で最低値になったが、今回は30分で最低値になったのも粒子が浮遊して周囲に拡散してしまい、時間がかかったとも考えられる。測定日は 38°C の猛暑日で台風直前という気象状況や建物の間という測定条件も関係しているのかもしれない。噴霧後の気温は直下ではすぐに上昇しているが、ミストから2.5mでは、噴霧終了後に 0.3°C 下がっていることから、風の影響を受けて効果に時間差が生まれたと考えられる。

- ③ 湿度の効果への影響

予想したとおり、湿度はミスト直下が最も高く、離れていくほど低かった。しかし、通路での測定のため、人が通行したことで数値に乱れが生じていた。これはミストの粒子が大変細かい高圧噴霧式微粒子ミストシャワーならではの現象であると考えられる。人の通行で起こる対流の影響が確認でき、2.5m地点での冷却効果に差があったことの説明がついた。



10 : 26 撮影

13 : 47 撮影

また、湿度に着目すべき現象も見られた。左の2枚の写真を比較すると目に見えるミストの量から気化する速度が異なっていることがわかる。研究者の方によると、人の頭部あたりでの気化を目指して開発されたもので、右のような状態は好ましくないとのことだった。高温多湿な環境が多くなり、気化しにくくなっている。別の噴霧場所では地上近くまでミストが見えていた。微粒子ミストシャワーは都心部での設置例が多いそうだが、ビル風やヒートアイランド化に加えて、湿度も高くなっ

てきていて、効果が出にくくなっている地域もあるそうだ。暑さ対策でミストシャワーを利用しても気化しにくい湿度では、噴霧することでかえって湿度を上げることになってしまうので、適した条件を追究していきたい。

4 湿度センサーによる噴霧制御 (2021. 1～)

「噴霧後 20 分で最大冷却効果に到達する」ととらえてきたが、その時間の中で気化しにくい湿度に至っているのではないかと考え、時間による制御ではなく、気化しにくい湿度になったら、噴霧を中断できるようなセンサーを装備すれば過剰噴霧を避けられると考えた。

(1) 湿度と冷却効果の関係を検証し直す

① 方法と内容

これまでの「朝顔のしぼむ時刻と湿度の関係の実験」「屋内での調査」「屋外での調査 (三島スカイウォークにて)」「高圧噴霧式微粒子ミストシャワーでの調査 (名古屋大学医学部構内にて)」と、今年度場所を提供していただいた「静岡市立清水第三中学校通路」でのデータから冷却効果が上限に達した湿度を割り出し、さまざまな条件下での湿度の影響を見つける。

② 検証結果と考察

高温多湿な状況が増えて気化しにくくなっていることから湿度に着目し、冷却効果の上限が明らかなデータの湿度を拾い出した(表2)。湿度 75%～83%と差が見られるが、使用した温湿度計の誤差が± 5 %なので、誤差の範囲内であると考えられる。そのため精密な値ではないが、80%程度で冷却効果は上限に達すると結論づけることとした。今後もデータを集め精度を高めていきたい。

この結果から 80%以上での噴霧は多湿を招き、気化を妨げるため、噴霧を中断することで、噴霧再開後の冷却効果を得やすくなると考えられる。そこで、これまでの「20 分以内に冷却効果の上限に達する」という結論に加えて「湿度 80%」という条件を加えて噴霧時間を制御すれば、過剰噴霧を防ぐことができると仮説をたてた。

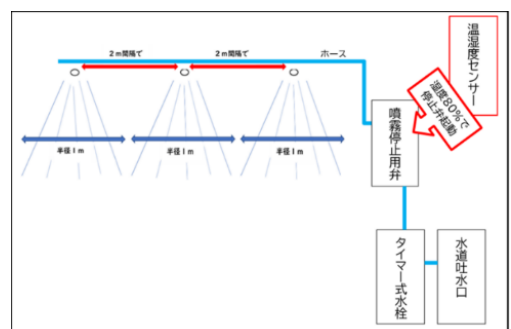
表3

効果上限時の気温湿度	
気温	湿度
11.1	79
23.5	77
24.9	75
25.8	81
27.2	83
27.7	75
27.8	81
28.0	80
28.0	79

(2) 湿度センサーによる噴霧制御

(1)から得られた結果をプログラミングしたセンサーを接続し、噴霧を制御する仕組みを作り、自動で過剰噴霧を防げるようにする。

今年度は夏季に実験が行えなかった。そのため機器の検討で留まっており、人工的に高温多湿な環境を作り出しての実験も検討しながら、より適切な機器や仕組みを模索している。



(3) 湿度と冷却効果の関係の検証

① 方法と内容

自動制御に向けて、湿度を測定しながら手動で噴霧を中断して、仮説を検証する。

湿度 80%程度でミストが気化しにくくなり、冷却効果が上限に達するため、80%で噴霧を中断し、噴霧終了後の湿度が 70%になる、もしくは 5～10 分経過後に噴霧を再開するのを繰り返すと最大冷却効果が持続する。(仮説4)

② 結果

実験が行えるタイミングの気温、湿度が低く、数日実験を行ったが、湿度 80%での噴霧中断による影響を調べることはできなかった。

(4) 費用対効果についての考察

湿度の測定ができなかったので、消費水分量に着目して、1分間当たりの噴霧量を測定した。測定時には1噴霧口ごとに約100ml/分の水が噴霧されていることを確認した。噴霧口が60cm間隔で11個ついている装置で実験させていただいたので、最大効果に至る20分間の噴霧で合計22,000ml程度の水を消費していることになる。

3日間の測定中、この装置での最大冷却効果は気温25.6℃の時の-1.9℃であった。協力していただいた静岡市立清水第三中学校では運動時の熱中症対策として、実験時よりも多めに噴霧しており、噴霧口も60cm以下の間隔で4m幅に11個ついている。-1.9℃の冷却効果を得るために22,000ml以上の水を消費するのは、気化による冷却効果から考えると過剰噴霧であるといえる。ここまでの研究で得た「2m間隔」の噴霧で効果が得られることを当てはめて考えると、4m幅では噴霧口は3つで済むので、現在の噴霧量で使用しても300ml/分で、20分間の噴霧では6,000mlの消費となる。コストの面でも効率よく冷却できることになるが、過剰噴霧は多湿につながり、気化しにくい環境を作り出すので、適正な噴霧量に留める方がよいと思う。そのためにも、噴霧時間や適正湿度で制御することが望ましいので、早急に制御の効果を検証したい。



5 噴霧間隔の違いによる視覚的效果と体感気温の差の検証

観光施設での噴霧は視覚的に涼感を得る効果も求めており、結果として過剰噴霧となっている。そこで、噴霧口の間隔の違いによって体感的なミストシャワーの冷却効果にどのような違いが生まれるのかを調査したいと考えた。その結果をもとに、視覚的な影響も踏まえた効率的な活用方法を提案したい。

(1) 推奨間隔と過密間隔での噴霧による視覚的效果への影響

① 研究内容と方法

・推奨間隔と過密間隔での噴霧の視覚的な影響をアンケート調査により分析する。

ア 隣り合った環境に、A：推奨間隔（2m間隔）、B：過密間隔（60cm間隔）でそれぞれ5つ噴霧口を設置する。

イ 噴霧状況を見て、それぞれ周辺気温を予想してもらう。（次頁のアンケートを実施）

ウ 回答の気温差を比較し、視覚的な影響を数値化する。

※実用的な環境での活用を考慮し、風の影響を受ける環境での調査とした。

※環境の異なるデータを得るため、複数日調査した。

※静岡市立清水第三中学校に協力していただき、ミストシャワーを設置し、生徒へのアンケートを

5日間行った。(継続中・配慮事項を下記に記載)

調査に使用したアンケート用紙



() 年 男 ・ 女

A 左側のミストシャワー	B 右側のミストシャワー
近づく前の予想気温 ℃	近づく前の予想気温 ℃
ミスト近くでの体感温度 ℃	ミスト近くでの体感温度 ℃

ご協力ありがとうございました。

② 仮説

Bの過密間隔での噴霧の方がミストがまとまって見えるため、より涼しいと感じる人が多いと予想される。施設などでも1m未満での設置が多いのも同様の理由からだと考える。

ここまでの研究から－3℃程度で涼感を強く実感すると考えられるので、A・B共に噴霧していることで、それより小さい値の差であるがBの方が涼しいと判断する人が多いと考える。

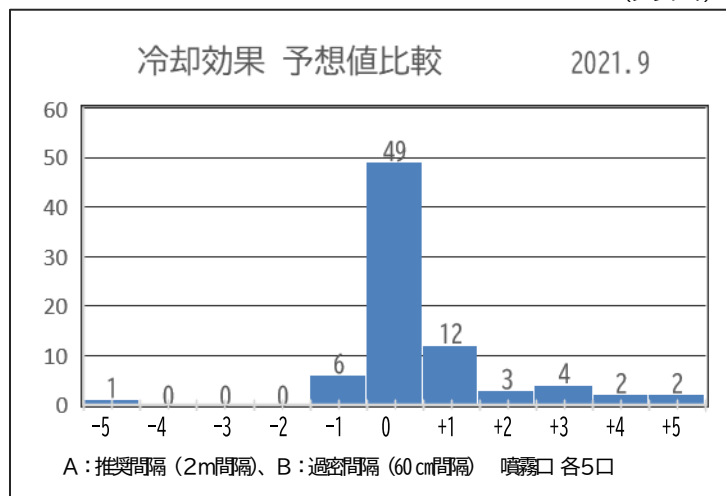
③ 結果と考察

調査対象 静岡市立清水第三中学校 1年生～3年生有志 (5日間 のべ79名)

(表4)

冷却効果 予想比較	
予想の差 (A-B) °C	人数
-5	1
-4	0
-3	0
-2	0
-1	6
0	49
1	12
2	3
3	4
4	2
5	2

(グラフ4)



(調査・分析の際の留意事項)

この調査では、ミストシャワーA・Bの冷却効果が等しいことが前提となる。ここまでの研究で同等の冷却効果が期待できることは確認できているが、毎回の調査で、冷却効果が期待できる半径2m以内の1.5m地点でデータを測定し、同等の冷却効果が得られていることを確認しながら進めた。

また、晴天ではあっても調査日によって風量や気温に差があったが、気温による回答の偏りは見られなかったため、有効な回答として5日間の合計で処理した。ミストシャワーの冷却効果について予備知識を伝えていない中学生を調査対象としたため、大きな差での回答も見られたが、同じ対象者で行った体感気温の回答でも同様の回答であるため外れ値とせず集計した。



予想ではミストが密集しているBの方が涼しいと判断する人が多いと考えていたが、「A・Bの差はない」という双方同じ予想気温の回答が62.0%と最も多く、「Aの方が涼しい」に分類される回答は29.1%であった。

この結果から、ミスト噴霧の密集度合いの視覚的な情報が涼感に影響するのは3人に1人以下で、過密なミスト噴霧間隔が涼感に大きくつながるとはいえない。

(2) 推奨間隔と過密間隔の噴霧状況の違いから生じる体感気温の差

① 研究内容と方法

- ・推奨間隔と過密間隔の噴霧の体感気温をアンケート調査により分析する。

ア (1) の調査に続き、A：推奨間隔（2m間隔）、B：過密間隔（60cm間隔）の噴霧口の1.5m～直下の地点で、それぞれ体感気温を回答してもらう。

イ 回答の気温差を比較し、設置間隔の違いによる体感的な影響を数値化する。

※双方とも風の影響によってミストが体にかかる場合もあったが、実用的な環境での活用を考慮し、有効な回答とした。

※その他の配慮事項は(1)と同様である。



② 仮説

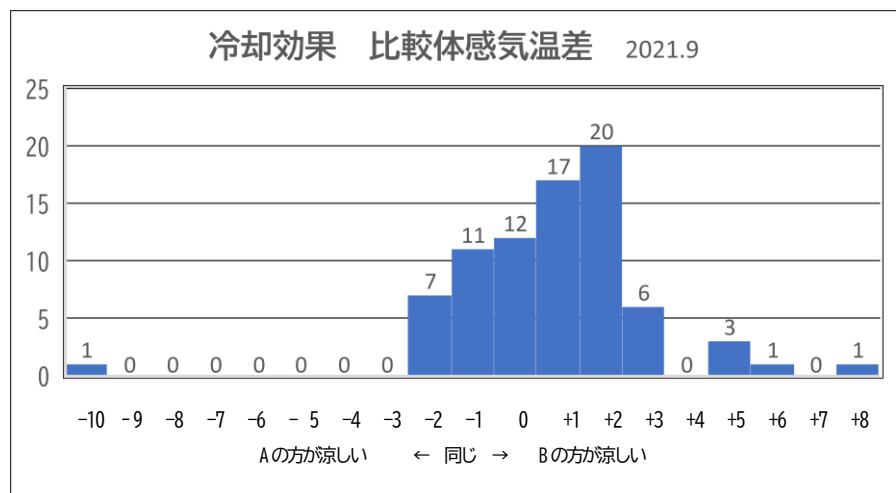
この調査の前提としてA・B共に同等の冷却効果を得ているが、(1)の場合と同様に、Bの過密間隔での噴霧の方がミストがまとまって見えることに加え、ミストに近い所での判断になるため、ミストの密度により涼感を強く感じ、Bの方が涼しいと回答する人が多いと予想した。

③ 結果と考察

(表5)

冷却効果	体感比較
体感の差 (A-B)°C	人数
-10	1
-9	0
-8	0
-7	0
-6	0
-5	0
-4	0
-3	0
-2	7
-1	11
0	12
1	17
2	20
3	6
4	0
5	3
6	1
7	0
8	1

(グラフ5)



(1)と同じ対象者の回答であるが、(1)では最頻値が「同じ」(62.0%)であったのに対して、ミストに近づいた(2)の調査の最頻値は「Bの方が2℃程度涼しい」(25.3%)であった。「Bの方が涼しい」と分類される回答は60.8%、「同じ」15.2%、「Aの方が涼しい」24.1%（小数点以下第二位を四捨五入）となっていた。

この結果からは、同等の冷却効果の状況下でも、ミストが至近距離で噴霧されていると涼感をより強く感じる人が多いことが明らかになった。

(3) 噴霧間隔の違いによる視覚的效果への影響と体感気温の差

(1)の結果から過密なミスト噴霧間隔が涼感に大きくつながるとはいえないことがわかり、観光施設などで多く見られる過密な間隔での噴霧は実際の冷却効果としても、視覚的な効果としても有効である

とはいえない。しかし、(2)のミスト近くでの体感気温の比較では、同等の冷却効果が得られているのに、ミストの間隔が狭いBの方が涼しいと回答している人が多かった。(1)と(2)の違いは対象者が判断する際のミスト噴霧位置からの距離の違いから生じると考えられる。それを踏まえると、ミストシャワーの冷却効果が及ばない距離ではミストの噴霧間隔は涼感に大きな影響を与えないが、ミスト噴霧口近くでは同等の冷却効果が得られている場合でもミストが密集して噴霧されている方がより涼感が得られるといえる。このことを考慮して、設置場所の特性や目的に見合った噴霧間隔での設置を提案したい。ミストで濡れることなく冷却効果だけを求める場面では、2mの推奨間隔で設置し、体にかかる前にミストが拡散する高い位置からの噴霧が、効率よく冷却効果を得られ費用対効果から見ても望ましいと考えられる。(具体的な設置方法については、「5 全体を通しての考察と今後の研究」に記載)

ミストが噴霧されていることは涼感につながるが、今回の調査では2m以上離れた距離では密集度合いは涼感に大きく影響しないことがわかったので、密集して設置する場合より、噴霧口の間隔を推奨する2mにすることで、実質的な冷却効果をより広域にもたらすことができることを提言していきたい。

また、4人に1人はAの方が涼しいと感じているという結果も出たので、データ数を増やして要因を追跡していきたい。

5 全体を通しての考察と今後の研究

調査を重ね、数年前よりもミストシャワーの話題を耳にする機会が増えたと感じる。東京オリンピックの際にJR三島駅では観客をおもてなしするためのミストシャワーが設置された。しかし、一般に設置されているものでは、過剰噴霧である場合が多い。使用水量に目を向けた実験を清水三中の設備で行ったが、予想以上に過剰な噴霧であった。

これまでの研究からわかった2m間隔での設置で冷却効果は十分に得られることを広めていこうと考えているが、研究者の方とのお話で過剰に噴霧することで視覚的にも涼しく感じられる可能性を指摘された。費用対効果から考えると必要ではない過剰な噴霧の有効性を確かめるために、今年度は視覚的な効果についても調査した。今回の研究から、過剰に噴霧されていても、冷却効果が得られない離れた場所からでは、視覚的に涼感を得られてはいないことがわかった。しかし、ミスト噴霧口1m以内では、同等の冷却効果が出ている推奨間隔のミストより涼しいと感じる人が多かった。このことから、過剰噴霧で得られる体感的な効果があることが確かめられた。噴霧口の間隔の違いによる特性を考慮し、設置場所の条件や目的に適した間隔での噴霧を提言していきたい。

レジャー施設などの、ミスト噴霧口に近づいたり濡れることを楽しんだりすることを想定して設置する場面では、費用対効果を度外視して、密集しての過剰噴霧でより強い涼感を与える設置方法を採用することも目的には適していると思われる。その場合は、高い位置からの噴霧ではなく、目線の高さ程度からの水平方向への噴霧がミストを視覚で捉えやすく、涼感を得るのに適していると考えられる。

高温多湿で気化熱の効果も通用しなくなりかけている都市部の状況についても根本を見つめて対応していかなければならないと思う。

このミストシャワーの研究を通じて、多くの方に御指導、御協力いただき、とてもありがたく感じる。違う領域の研究の話でも自分の研究の手掛かりになることも多かったため、今後もいろいろな方の話を伺い、勉強していきたい。

6 謝辞

本研究は静岡倶楽部様(2017~19)、公益財団法人 山崎自然科学教育振興会様(2020~)に助成していただいています。

これら多くの方々の協力のもとに、本研究が行えていることをここに謹んでお礼申し上げます。