

消雪パイプ網を利用した打ち水による夏季熱環境改善技術の開発と効果の検証

資源エネルギー循環研究室 09328786 霜田 健太

指導教員 小松 俊哉 姫野 修司

1. 研究背景・目的

近年、都市部において人口排熱が増加し、閉鎖的空間の熱の滞留などが原因となって郊外に比べ気温が高くなるヒートアイランド現象が進行している。このヒートアイランド現象は、真夏日や熱帯夜の増加、局地的豪雨を引き起こし住民の生活や熱中症の原因など、健康にも影響を及ぼすことから問題視されている。近年ヒートアイランド抑制対策として注目されているのが、日本に昔からある「打ち水」という風習である。

長岡市には冬季の融雪を目的として道路に消雪パイプを敷設している。この消雪パイプは散水型の融雪装置であり、市内に約 850km にわたり設置されている。そこで本研究では、既存のインフラの有効活用として、消雪パイプによる打ち水の大規模な社会実験を 2011 年 8 月 2 日から 8 月 6 日に行った。その効果や環境影響をさまざまな観点から評価し、熱環境改善技術の開発を目指している。観測、評価を行う項目を表 1 に示す。

2. 長岡市の気温変化

図 1 に長岡の過去 20 年間の真夏日(日最高気温 30℃以上)及び猛暑日(日最高気温 35℃以上)の日数を 1992 年から 2011 年にかけて 5 年毎に平均した値を示す。20 年前から真夏日以上の日数が増加している。このことから長岡でも都市温暖化が進行していることがわかる。

3. 社会実験概要

2011 年 8 月に長岡花火の日程に合わせて本学、長岡市、地域住民などとの共同で『「涼」を届ける消パイ - 打ち水大作戦 -』と題し、社会実験(実証実験)を行った。社会実験は 8 月 2~3 日に日中に散水、8 月 4 日~6 日に朝・夕に散水を行った。散水道路の総面積は 2.5ha と広範囲にわたり、管長 3.7km の消雪パイプを利用した。図 2 に散水範囲を示す。測定項目として、気温、湿度、黒球温度、日射量、風向風速、サーモグラフィ撮影による路面温度を 2 地点(散水(A 地点)・

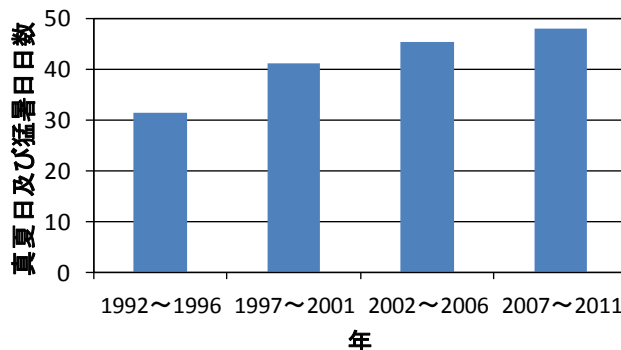


図 1 長岡市の真夏日以上の日数の増加(5年平均)

表 1 評価項目

基本項目	体感に関する項目	その他
気温	WBGT	散水量
湿度	SET*	地下水位
黒球温度	街頭アンケート	CO ₂ 排出量
風速		使用エネルギー量
路面温度		発電機の効率

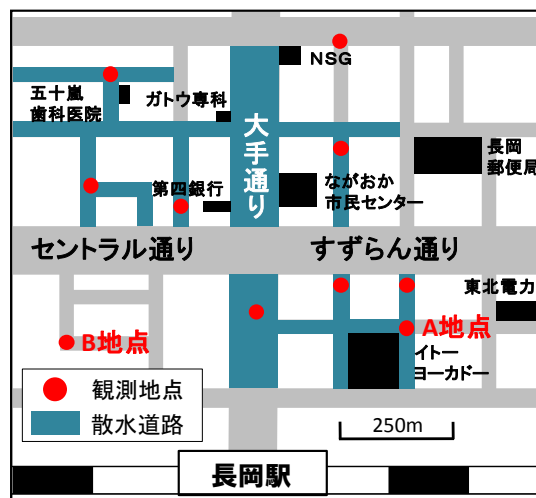


図 2 散水範囲

表 2 実験条件と実施日の最高気温

期間	散水間隔	1回の散水量[L/m ²]	散水回数	最高気温[℃]	
2011/8/2					
2011/8/3	11:30~15:30	30分間に1回10分間散水	3	8回	31.2
2011/8/4		30分間に1回10分間散水	3		32.6
2011/8/5	8:00~10:00	30分間に1回5分間散水	1.5	8回	33.9
2011/8/6	16:00~18:00	30分間に1回5分間散水	1.5	(朝4回, 夕4回)	34.9
2011/8/6		30分間に1回3分間散水	0.9		33.5

非散水(B地点)の重点観測地点)、気温、湿度のみを8地点で観測した。路面温度以外の各測定項目は地上150cmの高さで1分毎に観測を行った。また、散水をした結果を人がどのように感じるかを調べるために街頭アンケートを実施した。実験条件と実施日の最高気温を表2に示す。

8月6日は他の日程と比べ、気温の低下が低かったが、それ以外の日程では概ね効果を確認した。8月5日(朝)の気温変化を図3に示す。散水の効果により散水地点では気温の上昇を抑制できていることがわかる。散水地点では非散水地点と比べて約2℃の気温差を確認した。一方、湿度は約8%の上昇が見られた。

体感指標としてWBGTとSET*を算出した。WBGT(Wet Bulb Globe Temperature:湿球黒球温度)は人体の熱収支に影響の大きい、気温、湿度、黒球温度の3つを取り入れた指標として、熱中症の予防指数として広く使われる。表3にWBGTと熱中症の関係を表す指針を示す。31度以上を最も高い熱中症発生の危険レベルとして、それ以下28度~31度、25度~28度、21~25度、21度以下と警戒レベルが下がる指針が示されている。WBGTは以下の式から算出される。乾球温度は気温の実測値とし、湿球温度は気温、湿度の実測値や気象庁が観測している気圧から算出を行った。

$$WBGT = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{黒球温度} + 0.1 \times \text{乾球温度}$$

8月5日の観測結果から算出したWBGTの結果を図4に示す。非散水地点では31度以上が記録されているが、散水地点では31度を下回っている。散水地点、非散水地点のそれぞれの最高値は30.2度、32.1度となった。

SET*は(Standard Effective Temperature:標準新有効温度)は人体を深層部と皮膚層の2層モデルで表現し、深層部-皮膚層と皮膚層-外部との2段階の熱収支方程式によって、体感温度の算出を行うものである。SET*は温熱環境の6要素と呼ばれる、気温、放射温度、湿度、気流、着衣量、代謝量を反映させた値となっている。体感として35度以上が非常に不快、30~35度が不快、20~30度が快適温度と指標化されている。

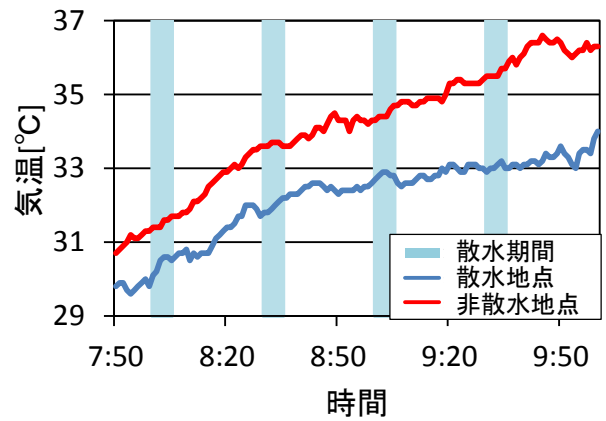


図3 8月5日朝における気温変化

表3 WBGTと熱中症の関係を表す指針

WBGT	レベル	熱中症予防のための運動指針
31度以上	運動は原則中止	特別の場合以外は運動を中止する
28~31度	厳重警戒	熱中症の危険が高いため激しい運動は避ける
25~28度	警戒	熱中症の危険が増すので、積極的に休憩をとり、水分補給をする
21~25度	注意	熱中症の兆候に注意
21度以下	ほぼ安全	通常は熱中症の危険性は小さい

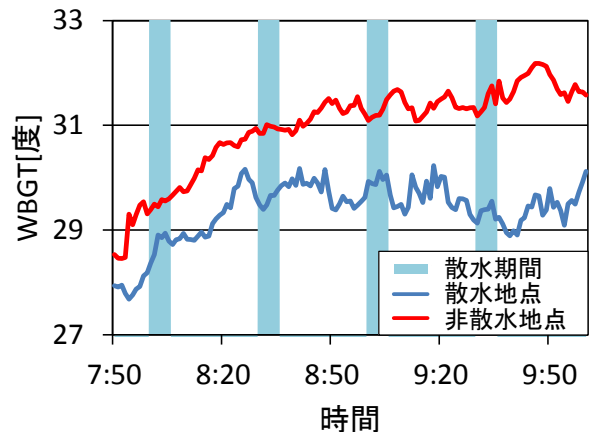


図4 8月5日朝におけるWBGT値の変化

表4 標準新有効温度 SET*の概要

用途	熱環境における作業評価
パラメータ	気温、湿度、放射、風、着衣、代謝
快適温度	20~30度
不快	30~35度
非常に不快	35度以上
メリット	熱環境4要素(気温、湿度、放射、風、湿度)、人体2要素(着衣、代謝)全て用いて評価できる
デメリット	算出にソフトを利用し、多くの実測値が必要

8月5日(朝)のSET*の変化を図5に示す。ワイシャツ姿の歩行者を想定し算出を行った。散水後には徐々に散水地点、非散水地点で差が開いている。最大で約2.6度の差が見られる。また、SET*の体感指標の目安として35度以上は非常に不快であると表すことができ、非散水地点は基本的に35度を上回っているが、散水地点では35度を下回る値が50%を占めている。

8月2日、8月3日に実施した社会実験を体感した長岡まつり来客者に対して街頭アンケートを行った。街頭アンケートは社会実験実施中の大手通を歩く人々を中心に回答していただいた。285人にこの意見を得ることができ、回答者年代割合は10代未満1.1%、10代17.2%、20代13.3%、30代31.2%、40代15.4%、50代7.4%、60代以上14.4%となった。また回答者の男女比は男性33%、女性67%となった。街頭アンケートの結果を図6に示す。回答年代別に傾向は見られないが、回答した8割の人が打ち水の実施により、涼しさを体感したと答えている。

4. 打ち水実施における散水量、電力量

8月2日、3日に実施した地下水位の測定では8月2日の実験時には翌日、8月3日の実験時には実験中に地下水位が散水前の状態まで地下水位が回復している。これらのことから今回の散水(2.6haの道路に約600m³)では1日で地下水位が回復することがわかった。8月5日の散水実験では30分に1回、5分間の散水を朝4回、夕4回実施した。

消雪パイプの夏季利用、冬季利用について表3に示す。冬季の値は2009～2011年度の12月～3月における気象庁観測を用いて解析した。消雪パイプの稼働条件は降雨があり、外気温が0.5℃以下とした。融雪時に比べ打ち水の散水量、使用電力は共に約1/5となるが、長岡市における夏季の真夏日以上の日数は約48日、冬季の降雪日数は約100日であるため、真夏日以上の日数で打ち水を実施した場合でも冬季利用に比べると夏季利用は約1/10の散水量、電力量となる。

5. 結論

消雪パイプの夏季利用として、冬季の1/10の散水量とエネルギー量によって約2℃の気温低下を引き起こし、散水量1.5L/m²で効果的であることがわかった。またWBGT、SET*やアンケート結果からも体感的な涼しさが確認された。

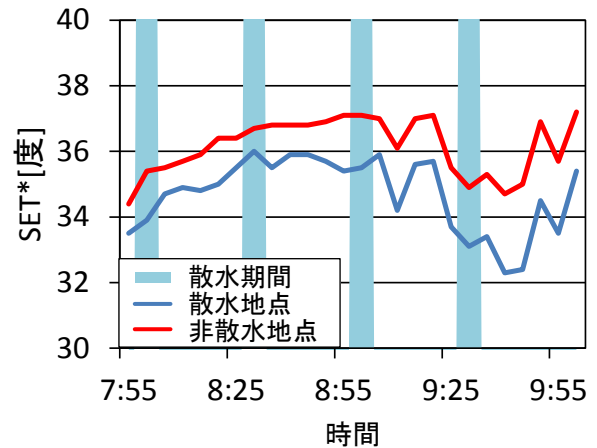


図5 8月5日のSET*の変化

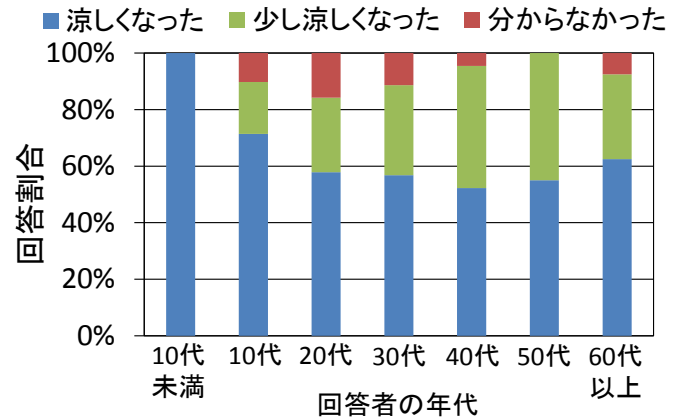


表3 消雪パイプの夏季利用、冬季利用

項目	夏季	冬季
1日当たりの使用時間	40分	209分
1日当たりの散水量	343m ³	1794.3m ³
1日当たりの電力量	61kWh	310.5kWh
消雪パイプ利用日数	真夏日以上 約48日	降雪日数 約100日