

バイオフィリック・デザインを適用した大規模商業施設の熱環境評価に関する研究

村松 風佳

1. はじめに

JR 熊本駅ビルでは、日常空間に自然を取り込み、過ごす人の生産性や幸福感を向上させ活動の活性化を促進するバイオフィリック・デザインを取り入れており、植物と滝で構成された地上から 7 階まで吹き抜ける屋内立体庭園が設けられている。

本研究では、この立体庭園を中心とした施設内の温熱環境の検証・評価を目的とし、2021 年冬期と 2022 年夏期に行ったアンケート調査と実測調査の結果の比較・分析を行い、立体庭園が施設内に与える体感的・心理的影響を検討する。

2. 対象建物

図 1、2 は対象建物の外観、立体庭園を含む断面および吹き抜けに設けられた滝の写真を示す。9 階の水盤を起点に、7 階を中心としたガラスや石壁を伝う壁泉や、3 階から地上階にかけて落ちる幅 10m、高さ 10m の滝などが設けられている。また、放射ルーバーや除湿機などの設備を用いて室内環境の調整を行っている。

3. 実測調査による温熱環境の実態把握

3.1 実測調査の概要

表 1 に調査時の気象条件と滝の水温を示す。アンケート調査の定点に温湿度計を設置し、各階の吹き抜け周辺の空気温度、相対湿度の測定を行った。また、吹き抜け周辺の放射環境の測定を行うため、アンケート調



図 1 対象建物の断面イメージ図¹⁾ 図 2 滝の外観²⁾

査を行った定点のうち水やガラス、緑の影響が他の定点に比べて大きいと考えられる 1 階の定点 1 と 7 階の定点 7 において、サーモカメラと魚眼レンズを用いて 6 方向(上下面、水平 4 方位)の撮影を行った。定点 1 は滝の正面に位置し、定点 7 は吹き抜け頂点の近くに位置する。撮影高さは撮影者の目線高さに近い約 1.5m とする。魚眼写真から求める形態係数と熱画像による各事物の表面温度から、冬期・夏期それぞれの面積加重平均温度および MRT(平均放射温度)を出し、放射環境の検証を行った。温熱環境の評価方法として PMV を用いた。

また冬期実測においては 11:00~11:15、12:00~12:15、13:00~14:00、15:00~16:00、夏期実測において 8 月 23 日は 13:30~14:30、8 月 24 日は 11:00~12:00、13:30~14:30 の時間帯に滝の運転を停止していた。³⁾

3.2 実測調査の結果と考察

3.2.1 冬期

図 3 に 12 月 14 日 9:00~16:30 の 1 階、3 階、5 階、7 階の代表定点と外気の温度、滝の水温、また同代表定

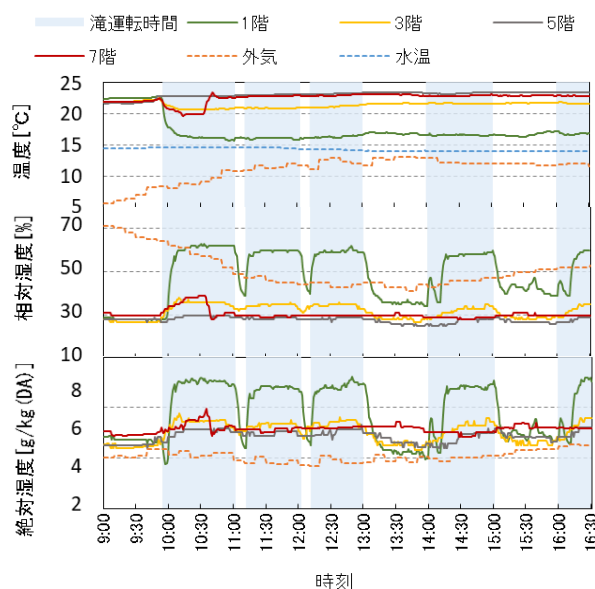


図 3 各階の温度、相対湿度、絶対湿度の経時変化(12 月 14 日)

表 1 調査時の気象条件と滝の水温(平均値)

	天気	外気		滝	
		温度[°C]	相対湿度[%]	水温[°C]	
冬期	2021年12月14日	晴れ時々曇り	11.9	47.1	14.3
夏期	2022年8月23日	曇り一時雨のち一時晴れ	31.1	63.4	22.3
	2022年8月24日	曇りのち時々雨	30.4	67.8	22.4

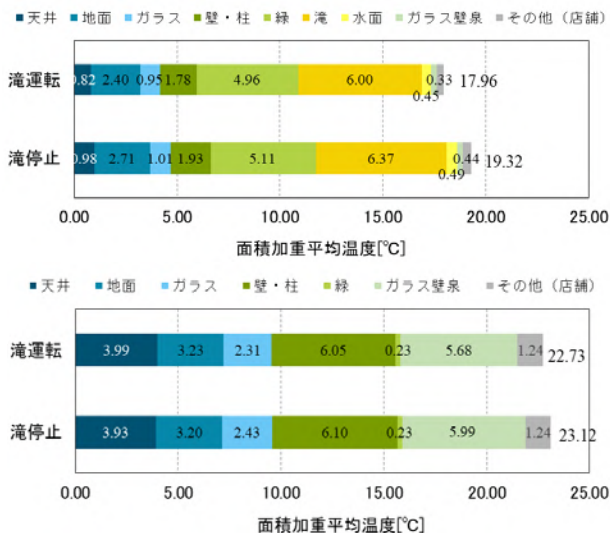


図4 雨運転・停止時の面積加重平均温度
(12月14日、上:1階、下:7階)

点と外気の相対湿度および絶対湿度を示す。1階では雨運転時に空気温度が0.5-1.0℃下がり、相対湿度は13-18%上昇、絶対湿度は2-2.5g/kg(DA)上昇した。一方で3階では相対湿度が3-5%の上昇、絶対湿度は0.5-1g/kg(DA)の上昇が見られた程度であり、5階、7階においては空気温度、相対湿度および絶対湿度に雨による明確な変化は見られなかった。

図4に雨正面での魚眼写真から算出された形態係数とサーモカメラで撮影した熱画像の表面温度を用いて求めた1階の雨に面した方位(SE方位)と7階のガラス壁泉に面した方位(NE方位)の面積加重平均温度の計算結果と内訳を示す。1階では雨運転時に放射温度が約1.4℃下がっており雨による冷放射が確認できる。7階では1階ほど大きな変化は見られなかった。

表2に1階と7階における雨運転時と停止時の測定結果から算出したPMVの計算結果を示す。1階においては雨の停止によりPMVの値は少し上がったものの、雨運転時・停止時ともに涼しいという結果となった。7階では雨の有無に関わらず快適である。

3.2.2 夏期

図5に8月24日の9:00~16:30の1階、3階、5階、7階の代表定點と外気の温度、雨の水温、また同代表定

点と外気の相対湿度および絶対湿度を示す。雨の運転によって1階の温度が1-2℃下がり、相対湿度が15-20%、絶対湿度は0.5-3g/kg(DA)上昇した。一方で、3階以上では空間の温湿度と雨の運転状況に明確な関連性があるとはいえない結果となった。

図6に雨正面における1階の雨に面した方位(SE方位)と7階のガラス壁泉に面した方位(NE方位)の面積

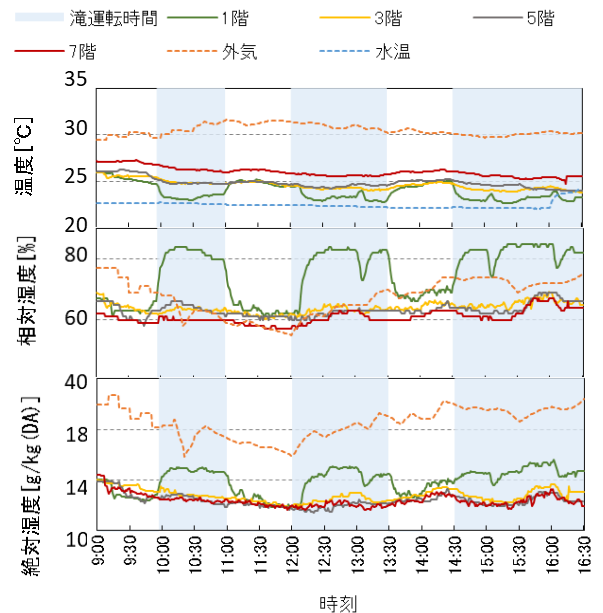


図5 各階の温度、相対湿度、絶対湿度の経時変化(8月24日)

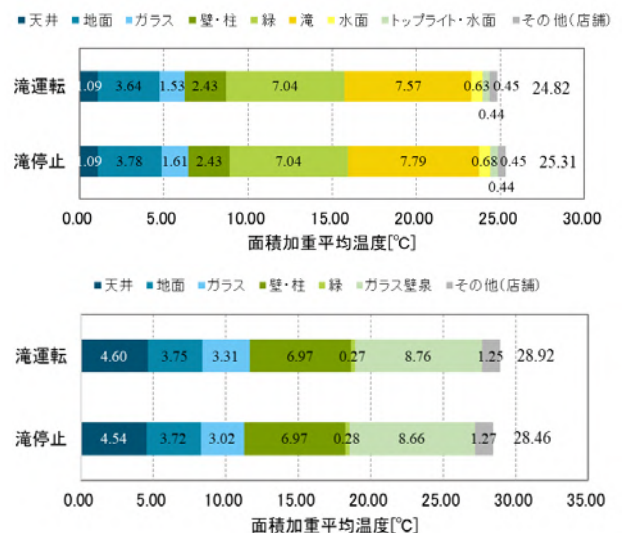


図6 雨運転・停止時の面積加重平均温度(8月24日)
(上:1階、下:7階)

表2 1階と7階のPMV計算結果(冬期)

階	雨運転状況	乾球温度 [°C]	放射温度 [°C]	相対湿度 [%]	風速 [m/s]	着衣量 [clo]	活動量 [met]	PMV [-]
1階	運転	16.18	18.26	56.42	0.59	1.10	1.1	-1.76
	停止	16.79	19.02	35.67	0.26	1.10	1.1	-1.33
7階	運転	22.93	23.51	29.61	0.15	1.10	1.1	0.09
	停止	22.97	24.42	29.73	0.15	1.10	1.1	0.18

加重平均温度の計算結果とその内訳を示す。1階において滝により約0.2℃放射温度が下がり、夏期における滝の放射環境緩和効果が確認できた。また、緑化された壁面は緑化なしの壁面に比べて表面温度が約1℃低く、ガラス壁泉は水の流れていないガラス面と比較して表面温度が約1.5℃低くなっていたため、同じく放射環境緩和効果が見られた。7階では滝停止時の方が放射温度は高くなっている。ガラスやトップライトの面積が大きいため、滝の運転状況より天候によって放射温度が変化すると考えられる。

表3に8月24日の1階と7階のPMVを示す。1階では滝運転時に涼しく、滝停止時に快適という結果になった。7階は滝の運転状況に関わらず快適と感じる範囲内であるとわかった。冬期・夏期を通して1階は滝が停止することでPMVの値が高くなっている。滝の停止によって風速が下がることが理由としてあげられる。

4. アンケート調査による利用者の温熱感覚の把握

4.1 アンケート調査の概要

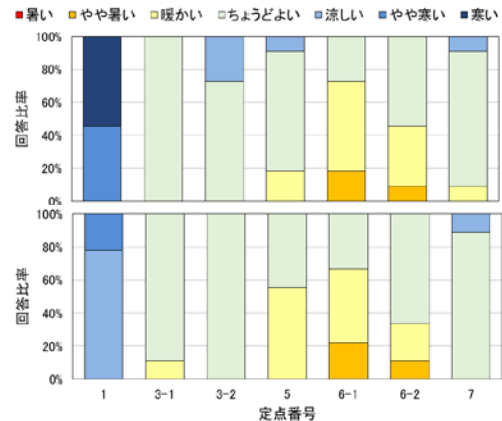
温湿度などの実測調査の分析結果と人々の施設滞在時の体感を比較することを目的とし、アンケート調査を行った。滝を中心として1階に定点1、3階に定点3-1と3-2、5階に定点5、6階に定点6-1と6-2、7階に定点7、合計7つの定点を設けた。同時刻において各定点に被験者が滞在するように被験者は7つの定点を25分ごとに順に回り、各定点で申告用紙への書き込みを10分おきに合計3回行った。冬期は2021年12月14日の1日、夏期は2022年8月23、24日の2日間にわたり調査を実施した。冬期では合計192件、夏期では合計384件の回答を得た。なお、アンケート調査中被験者は椅子に座り、スマホ・PC操作程度の活動を行っていた。

4.2 アンケート調査結果と考察

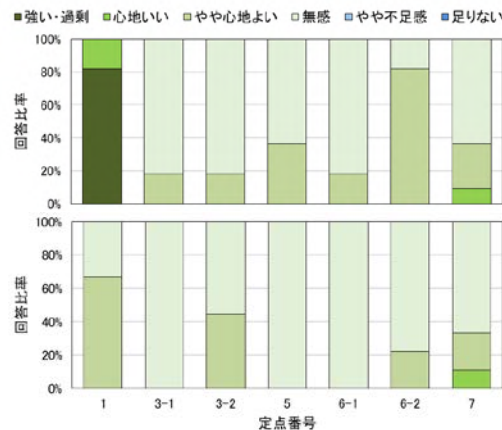
4.2.1 冬期

図7にアンケート調査の集計結果を示す。図7(1)から、滝停止時に比べ運転時は「寒い」「やや寒い」と感じるとわかる。特に1階においてその傾向が顕著である。図7(2)に示すよう、滝運転時の気流感に関して3～7階の定点においては「やや心地よく」、1階の定点では

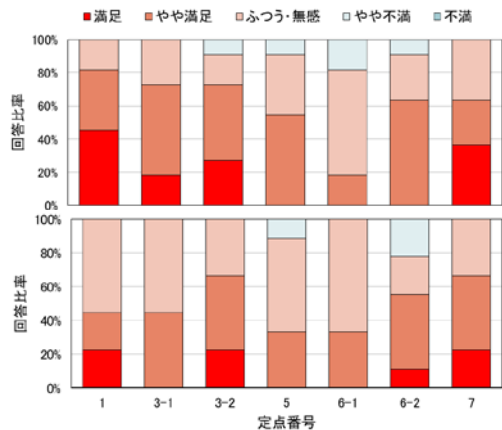
比較的「強い気流感」を感じると示される。図7(3)により、1階や3階では滝により活性感において「満足」「やや満足」の回答が約40%上がり、特に1階では気流感が強く寒いと体感した回答が多かったにも関わらず、「満足」「やや満足」が全体の80%を占めた。



(1) 温熱環境全般としての体感



(2) 気流環境全般としての体感



(3) 活性感評価

図7 アンケート調査結果

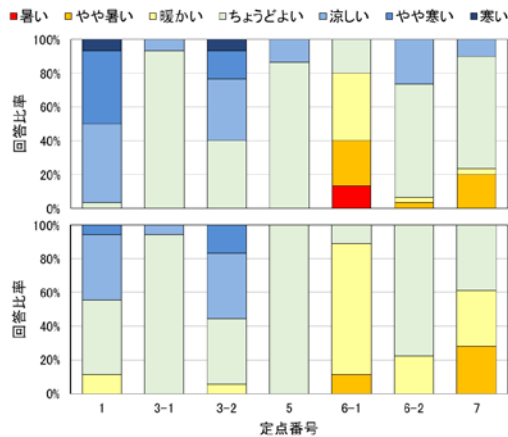
(上：滝運転時、下：滝停止時)

表3 1階と7階のPMV計算結果(夏期)

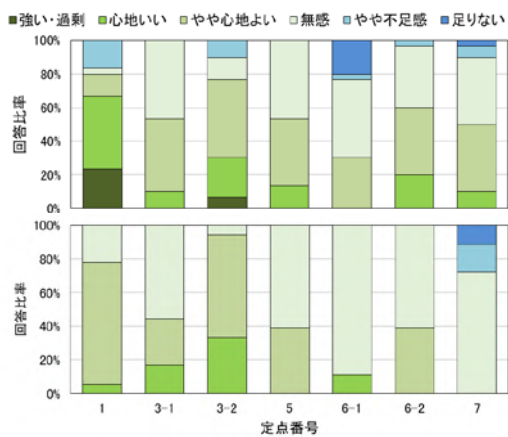
	滝運転状況	乾球温度 [°C]	放射温度 [°C]	相対湿度 [%]	風速 [m/s]	着衣量 [clo]	活動量 [met]	PMV [-]
1階	運転	23.24	25.46	81.22	0.55	0.50	1.10	-1.19
	停止	24.65	25.67	66.51	0.20	0.50	1.10	-0.28
7階	運転	25.66	27.77	61.53	0.15	0.50	1.10	0.35
	停止	26.02	27.56	59.76	0.15	0.50	1.10	0.38

4.2.2 夏期

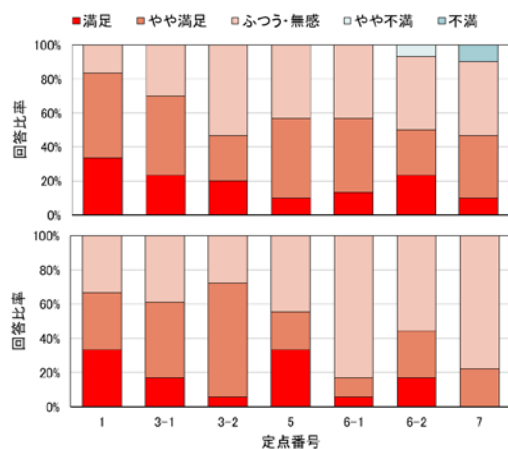
図 8 に滝運転時と滝停止時それぞれのアンケート調査の集計結果を示す。図 8(1)に示すように、滝運転時は「涼しい」「やや寒い」「寒い」と感じる事がわかる。図 8(2)により多くの定点では滝運転時の方が「心地よい」「やや心地よい」と感じる傾向がある。一方で、滝の正面である定点 1 と 3-2 では「強い気流感」を感じると示される。図 8(3)から、滝停止時に比べて運転時の



(1) 温熱環境全般としての体感



(2) 気流環境全般としての体感



(3) 活性感評価

図 8 アンケート調査結果

(上：滝運転時、下：滝停止時)

方が活性感において「満足」「やや満足」と感じる割合が増え、特に 1 階滝近傍においては 80%以上の回答が「満足」「やや満足」となり、滝による心理的効果が顕著であるとわかった。

5. まとめ

アンケート調査結果から、夏期・冬期を通して 3 階以上においては快適であり、1 階と 3 階滝正面では涼しく感じる傾向があるとわかった。滝の運転により空気温度が下がり、冷放射を感じ、気流感が強まったことが要因に挙げられる。

温湿度の測定結果により、1 階定点では温湿度は滝の影響を受け変化しているが、3 階以上では滝による明らかな変動は見られない。冬期において滝の運転によって湿度が約 60%に保たれており、空気の過乾燥を防ぐ効果がみられた。夏期においては滝近傍での空気温度が 2~3℃下がるため、滝による冷却効果が明らかである。また、夏期において緑化壁面やガラス壁泉は一般的な壁やガラスに比べて表面温度が低かったため、バイオフィリック・デザインによって放射環境は改善されていると考察できる。

PMV の計算結果から、1 階滝正面では夏期・冬期を通じて滝によってやや涼しいと予想される。しかし、1 階は利用者が連続して出入りする空間であり、屋外から入室する際に夏期は外気温より涼しく涼感を与え、冬期では外気温より空気温度が高いため、快適性につながる事が検討された。また、7 階では滝の運転状況に関わらず快適であることが確認できた。

6. むすび

屋内立体庭園の温熱環境を評価するため、中間期に引き続き冬期と夏期についてアンケート調査と実測調査を行った。1 階の滝周辺では寒いと感じる一方で、冬期における過乾燥の防止や夏期における冷却効果などによる庭園の周辺環境の改善や滝による心理的刺激が確認され、屋内立体庭園は全体として快適であるといえる。今後は、シミュレーションによる物理現象の再現を行い、より精細な分析を進め、温熱環境を検証する。

【参考文献】

- 1) 榎大林組ホームページ
<<https://www.obayashi.co.jp/thinking/det3il/project66.html>>
2022 年 1 月 20 日アクセス
- 2) ㈱日建設計ホームページ
<https://www.nikken.co.jp/ja/news/news/2021_06_03.html>
2023 年 1 月 20 日アクセス
- 3) 楊, 尾崎他. JR 熊本駅ビル内のバイオフィリック熱環境に関する研究, 日本建築学会九州支部研究発表会報告集, No.449, 2022.3.

