

夏季の微気候を対象にした想像温度に基づく設計用線図の提案

正会員 ○齊藤 雅也¹⁾
同 ○中谷 航平²⁾

想像温度 屋外空間 熱環境
微気候 色相分析 放射エクセルギー

1. はじめに

微気候とは、地表面から1.5m以内で、水平方向に約100m以内の接地気層を指し、夏季においては植栽や水辺などを計画することによって熱的なストレスを緩和させる例が見られる。しかしながら、ヒトの温熱感覚を反映した微気候の設計用資料は全くない。

ところで、筆者らによる想像温度(今、何℃と思うか)の一連の研究に拠ると、想像温度は熱的快適性や調整行動と相関があり、地域性・季節性を有することが確認されている^{1)~3)}。また、想像温度は人体が受けとる冷・温放射エクセルギーからも影響を受ける^{4)・5)}。そこで本研究では、夏季の微気候を対象として、ヒトの想像温度との相関が高かった、屋外空間の構成要素と冷放射エクセルギーに基づく設計用線図の提案を目的とした。

2. 夏季屋外空間の実験概要

2018年8月2~7日(計4日間)13:00~15:00に、札幌芸術の森(札幌市南区)の樹林や池、芝生などのある空間でヒトの想像温度・寒暑感・快適感を収集した。定点観測場として「日陰+水辺」・「日陰」・「日なた+水辺」を滞在空間として設け、被験者3人/日(計12人)に10分間の滞在と7分間の移動を繰り返して想像温度などを申告してもらった。その際、被験者周囲で空気温湿度・グローブ温度・微風速を計測した。3定点では水平面照度を計測し、赤外線放射カメラで被験者周囲の熱画像、魚眼レンズ(等距離射影)で360°画角(2面)を撮影した。

3. 想像温度と空間構成要素

図1は、3定点の魚眼写真と形態係数(2面で100%)、図2は、3定点での寒暑感別の想像温度・実際の空気温度である。「日陰+水辺」、「日陰」、「日なた+水辺」の想像温度(4日間平均)は、22.7℃、21.2℃、24.4℃だった。「日陰+水辺」の形態係数は、芝生42.8%、樹林26.6%、空23.9%が大半を占め、池の対岸にある建物や石段の表面温度は約50℃だったが、0.9%で温放射が小さい。一方、芝生の表面温度は18℃、空は-9℃で、特に空からの冷放射が想像温度に強く影響したと考えられる。「日陰」は、樹木が直射日光を遮っているが、空からの冷放射も遮ぎっていて樹林や地面

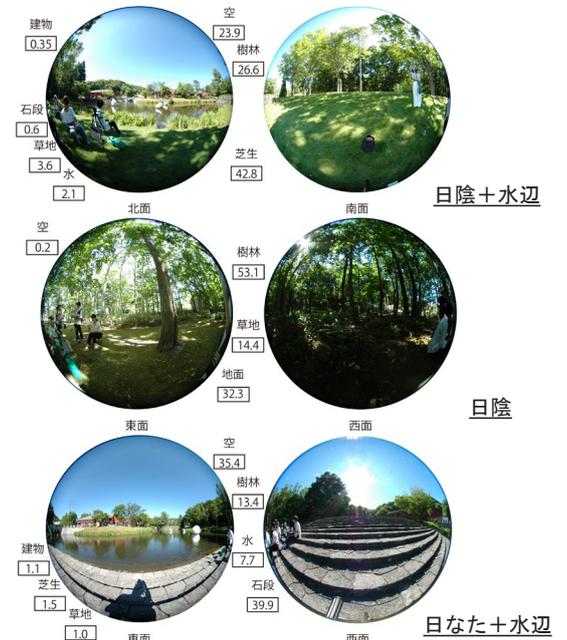


図1 3定点の魚眼写真と形態係数(%)

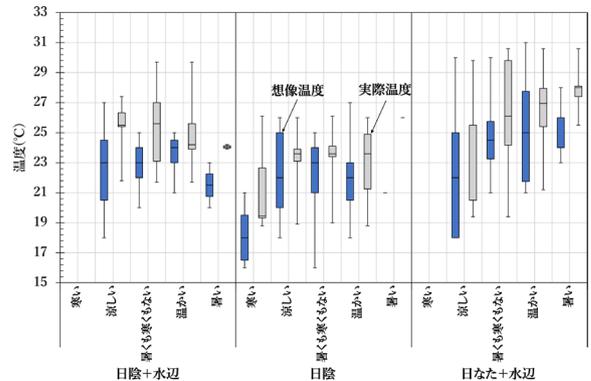


図2 3定点での寒暑感別の想像温度・実際の空気温度などの表面温度は18℃だった。「日なた+水辺」は、-9℃の空が35.4%であるが、50℃の石段が39.9%と空よりも大きい。よって、想像温度が24.4℃で最も高く、「暑い」の申告数が最大だったと考えられる。

4. 想像温度と空間の色相・放射エクセルギー

図3は、3定点の魚眼写真の色相(RGB)分析⁶⁾の結果である。青系(B)・緑系(G)の合計割合は「日陰+水辺」が86%で最大である。「日陰+水辺」での申告は、涼しさ感や爽やか感が最も多く得られていたので、青・緑系は、涼しさ感や爽やかさ感をもたらす色相と考えられる。

図4は、3定点での水平面照度と周囲表面から被験者が受けとる冷・温放射エクセルギーである。冷・温放射エクセルギーの値は、空間の構成要素（面積）と外気温に対する各要素の表面温度の関係で決まる。

「日陰+水辺」では、水平面照度が平均 21,500lx、温放射エクセルギーが平均 70mW/㎡、冷放射エクセルギーが平均 1,300mW/㎡（空からは最大 1,230mW/㎡）である。冷放射エクセルギーは温放射エクセルギーの約 20 倍に相当する。これは、南側にある樹木が日射を遮へいたことによって温放射エクセルギーの放出を低く抑えていたと言える。

「日陰」では、温放射エクセルギーが平均 5mW/㎡、冷放射エクセルギーが平均 30mW/㎡で微小である。これは、外気温≒ MRT（平均放射温度）のためである。

「日なた+水辺」では、水平面照度が平均 55,000lx、温放射エクセルギーが平均 1,600mW/㎡、冷放射エクセルギーが平均 2,200mW/㎡得られ、冷放射が温放射よりも大きい。温放射は冷放射の約 7 割を占める（石段から温放射 1,500mW/㎡、空から冷放射 2,170mW/㎡）。日なたで高い照度であることから、冷放射エクセルギーの値ほど涼しさ感は得られず、想像温度（24.4℃）が最も高かったと考えられる。

5. 想像温度に基づく設計用線図の提案

図5は、夏季（札幌）の想像温度に基づく設計用線図である。図5の上図は冷放射エクセルギーに対する想像温度、下図は冷放射エクセルギーに対する「外気温 - MRT」である。今回は温放射エクセルギーと想像温度に相関がなかったため、冷放射エクセルギーとの相関を示した。図中に「日陰+水辺」と「日なた+水辺」を示したが、「日なた+水辺」は温放射エクセルギーの影響により想像温度と冷放射エクセルギーに相関がなかった。「日陰」は、外気温≒ MRT で微小な冷放射エクセルギーで表記できなかった。

「日陰+水辺」では、涼しさ感申告時の平均想像温度が 23℃であった（図2）。上図の縦軸の想像温度が 23℃の時、回帰直線との交点から 1,000mW/㎡の冷放射エクセルギーが得られることが判る。次に下図から 1,000mW/㎡の冷放射エクセルギーを得るには、MRT が外気温より 7℃低い必要があることが確認できる。

以上より、夏季の微気候を対象にした想像温度に基づく設計用線図を提案できた。図5は、今回の「日陰+水辺」のように、ほどよい明るさと涼しさ・爽やか感が得られる微気候の計画に有用と考えられる。また、本研究は札幌で実施したが、外気温が異なる他の地域でも同様に設計用線図を提案できると考えられる。

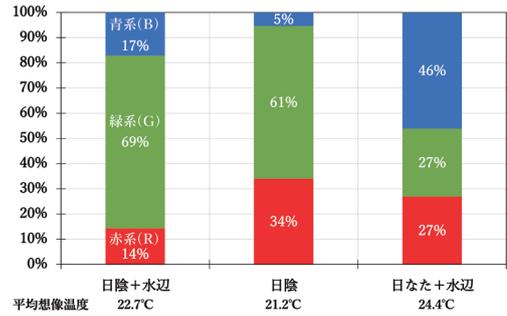


図3 3 定点での魚眼写真の色相 (RGB) 分析

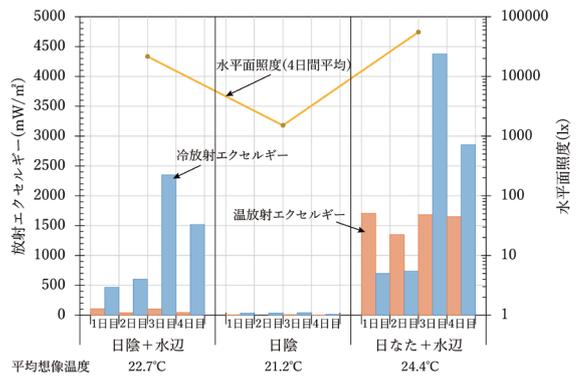


図4 3 定点での放射エクセルギーと水平面照度

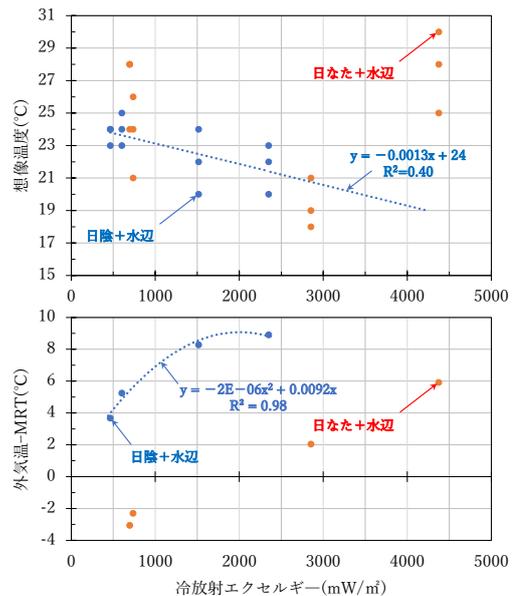


図5 夏季（札幌）の想像温度に基づく設計用線図

参考文献 1) 齊藤雅也：ヒトの想像温度と環境調整行動に関する研究 夏季の札幌における大学研究室を事例として、日本建築学会環境系論文集 第74巻 第646号, pp.1299-1306, 2009.12. 2) 佐々木優二・齊藤雅也：ヒトの想像温度尺度による熱的快・不快感の評価に関する研究 冬季の放射・対流暖房でのヒトの想像温度の考察、日本建築学会環境系論文集 第86巻 第783号, pp.517-525, 2021.5. 3) 齊藤雅也・辻原万規彦：ヒトの想像温度と季節感の特性、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.225-228, 2019.9. 4) 永井倫人・リジャル H.B・宿谷昌則：長期の熱的履歴と人体の涼しさ感・エクセルギー収支に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.309-310, 2016.8. 5) 津野柚衣・佐々木優二・齊藤雅也：夏季の適応的快適性をもたらす放射エクセルギーと想像温度、日本建築学会大会学術講演会, pp.9-12, 2017.8. 6) 大淵一博・宮内博実：色彩分析ソフトウェア群『HTMX Suite』の開発、第11回日本感性工学会大会、CD-ROM(1F3-5), 2009.

1) 札幌市立大学デザイン学部 教授・博士 (工学)
2) 清水建設株式会社 修士 (デザイン学)

1) Professor, Sapporo City University, Dr. Eng.
2) Shimizu Corp., M. Design