

人にとって快適な水の温度とは？

研究背景

夏に水に触れると、冷たく（心地よい冷たさ）冬に水に触れると凍るように（不快な冷たさ）感じてしまう。これは、外気温との関係を見出しているものとなっている。先行研究では、空気中において各人の快適な気温について基礎代謝量、外気温、風向、風量、湿度、着衣量から考えていた。そのため、本研究では「水」においてはどのようになるのかについて考える。

目的

人によって平熱や基礎代謝量などが大きく異なる。このことに着目し、これらの要素によってどの程度、快適な水温に影響を与えるのかについて考え、モデル式を求める。

快適の定義

そもそも快適とは、心身に不快な要素がなく、心地よさや気持ちよさを感じられる状態をさす。快適度というものは人の感覚に基づくため、数値の裏付けをすることが難しい。そのため、本研究では快適とは**不快（=痛み）でない状態**とする。

仮説 人にとって快適な温度は、その人の**平熱、基礎代謝量、普段の運動量、手の温度**が変化すれば、変化する。そして**季節（=気温・湿度）**によっても変化する

実験方法



(1) アンケート調査
被験者の初期状態を調べるために用いる。アンケートは、平熱、基礎代謝量、部活（METsの算出）、感覚的に耐えられる水温という項目で聞いた。

(2) 実験

- 実験では、アンケート結果をもとに行う。
- ①部屋の気温、水道水の温度、被験者の額・手のひらの温度を計測する。（初期条件の計測）
 - ②被験者に氷、10°Cの水、15°Cの水、20°Cの水に触れてもらう（氷は握り、水に浸す）
 - ③触れる前後の手のひらの温度の変化と、痛覚・感覚が麻痺するまでの時間を計測する。

計算方法

快適な水温を算出する際に「熱流束量」を参考に考えた。

$T_{water,comfort}$ 快適な水温

$$\frac{dT_{skin}}{dt} \approx \frac{\Delta T_{skin}}{t_{numb}}$$

$$\bar{q}_{limit} \approx -\frac{C_{hand}}{A} \cdot \frac{\Delta T_{skin}}{t_{numb}}$$

$$\bar{q}_{limit} = h \cdot (T_{skin,ref} - T_{water,comfort})$$

t_{numb} 無感覚時間 [s]

ΔT_{skin} 皮膚温の低下量 [°C]

\bar{q}_{limit} 限界熱流束量 [W/m²]

$T_{skin,ref}$ 基準皮膚温 [°C]

h 対流熱伝達率 (100) [W/m²]

C_{hand} 手の質量 (0.4kg) × 比熱 (4kJ/kg・g)

A 浸水面積 [m²]
男子:140 cm²、女子:120 cm²

考察

今回の実験から人にとって**快適な水温についてのモデル式**を算出することができた。このことより**気温、平熱、基礎代謝量、METs、実験時の人の手・額の温度**と快適な水の温度についての関係がわかる。P値に着目すると、**基礎代謝量と実験時の手の温度**が有意な値をとっている。それ以外に関しては有意な値は取っていない。しかし、METsは他の項目と比べて比較的P値が小さい。これは算出する際に体重の値が必要であったため、本来の個人のMETsとは異なったものを見せていると考えられる。また、気温などその他の項目に関しては、その増減幅が狭いため、傾向が出にくいのではないかと考えられた。結果からは重決定R2値が0.6487、補正R2値が0.5082となっていることからモデル式の関係が説明されている。また、この項目のうち有意だとみられる項目を重回帰分析にかけると、両方の数値が大きくなったことがわかった。

まとめ、今後の展望

今回の実験では、「**不快**」でない状態を「**快適**」**だ**とし不快の感覚の指標として痛覚などに着目した。痛覚を感じる時間の計測をした結果としてモデル式を算出できた。重回帰分析をし、重決定係数や補正R2値、P値を読み取り、**目的変数と説明変数の関係を表すことができたと思われる**一方で説明変数の中で有意ではないものも含まれている可能性も分かった。このことから、仮説のうち、基礎代謝量とMETs、手の温度が人にとって快適な水温に影響を与え、それを式にすることで求められることも分かった。今後の展望としては、この実験では、10°Cの水、15°Cの水、20°Cの水に手を浸してもらっていったが、細かい数値でも快適度の数的処理を行い、**より正確なモデル式を算出したい**。また、この結果を用いることで様々な人にとって過ごしやすい環境をつくることができると考える。

参考文献



吉田篤正、杉岡真宏
『屋外空間における人間の温熱快適性』
伝熱 44 巻 185 号
2005 年



河田匡祐、坂野裕洋
『寒冷刺激における末梢血流速度・神経伝導速度等の経時的な変化』
2013 年



生活活動のメッツ表
厚生労働省
2025 年 12 月 8 日



下和弘、鈴木重行
『熱流束および総熱量を指標とした冷覚および痛覚の定量的感覚検査の試み』
2011 年



基礎代謝計算機
～国立健康・栄養研究所の式とハリスベネディクトの比較～ 2025 年 12 月 8 日

実験結果

回帰統計	
重相関 R	0.8052
重決定 R2	0.6483
補正 R2	0.5655
標準誤差	1.638
観測数	22

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	4	84.12	21.03	7.833	0.0009043
残差	17	45.64	2.685		
合計	21	129.8			

	係数	標準誤差	t	P 値	下限 95%	上限 95%
切片	48.63	28.12	1.729	0.1018	-10.69	107.9
基礎代謝量	0.01015	0.002564	3.959	0.001012	0.004741	0.01556
METS	-0.000307	0.0002435	-1.262	0.2240	-0.0008211	0.0002065
手の温度	-0.7715	0.2117	-3.644	0.002007	-1.218	-0.3248
額の温度	-0.2898	0.7879	-0.3678	0.7175	-1.952	1.373

Model Formula

最終的なモデル式

$$y = 48.63105 + 0.010151x_1 - 0.00031x_2 - 0.7715x_3 - 0.28984x_4$$

y: 快適な水温, x_1 : 基礎代謝量, x_2 : METs, x_3 : 手の温度, x_4 : 額の温度

$$y = 45.70765 - 0.01555x_1 + 0.133794x_2 - 0.01007x_3 - 0.0003x_4 - 0.77131x_5 - 0.33164x_6$$

y: 快適な水温,
 x_1 : 気温, x_2 : 平熱, x_3 : 基礎代謝量 x_4 : METs, x_5 : 手の温度, x_6 : 額の温度