

## ヒトの想像温度の形成プロセスに関する考察

正会員 同 ○ 齊藤 雅也\*  
辻原 万規彦\*\*熱環境 適応 想像温度  
記憶・経験温度 温熱履歴 共分散構造分析

## 1. はじめに

筆者らは、熱的な快・不快感、熱環境適応<sup>1)</sup>の評価尺度の一つとして、住まい手が“今、何℃であるか?”と想像する「想像温度<sup>2)</sup>」に着目している。図1は、ヒトの熱環境適応プロセスと想像温度の関係を示した図である<sup>3)</sup>。

これまでの研究で、想像温度はヒトの潜在意識下にあり、寒暑感や熱的な快・不快感と関係があること、特に熱的な不快限界となる閾値が地域・季節によって異なることが確認されている<sup>3)</sup>。また、住まい手に潜在する想像温度を意識させ、表出させることで、環境に対する感覚が涵養され、住まい方にも好影響を与える可能性が示唆されている<sup>4)</sup>。

本研究では、札幌・熊本の小学生・大学生を対象とした2009～2015年の夏季の調査結果<sup>5)</sup>を用いて、まず想像温度の特性を整理した。次に調査データを用いて想像温度の形成プロセスを予想し、それを共分散構造分析により検証した。具体的には、想像温度が屋外・室内環境要素から受ける影響と、毎日の天気情報の蓄積から成る「記憶・経験温度」から受ける影響を示した。

## 2. 想像温度の特性

図2と3は、2009～2015年夏の札幌・熊本の小学校教室での児童の想像温度と、「これ以上我慢できない暑さ」とする暑熱不快感の発生率（以下、暑熱不快感率）の関係である。各年度の想像温度を窓側・廊下側に分けて、ロジスティック曲線で年度別に示した。暑熱不快感率が50%の時、札幌の想像温度は25～27℃にある。熊本の想像温度は調査年によるばらつきはあるが概ね27～34℃である。夏季の想像温度と暑熱不快感の相関は高く、「我慢できない暑さ」となる想像温度の範囲は札幌・熊本で異なり、想像温度と暑熱不快感には地域特性があると言える。

図4～7は、札幌・熊本の通風された教室での室温と想像温度、外気温の分布と各平均値である。調査はいずれも夏休み明けに開始し、期間は札幌が8月下旬から9月上旬、熊本が9月上旬から中旬である。

この調査では、教室内に設置した空気温湿度センサーの表示部分を隠した状態で児童に想像温度を回答してもらった。図4と5は、想像温度の回答後に実際の室

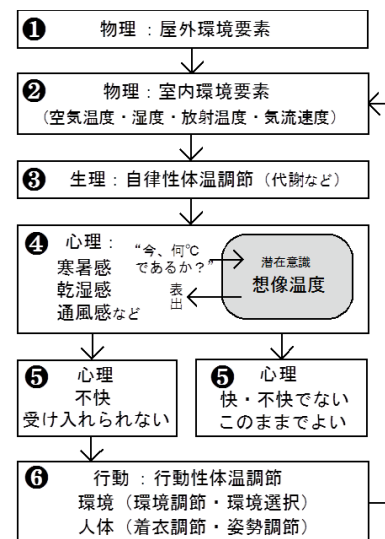


図1 ヒトの熱環境適応プロセスと想像温度

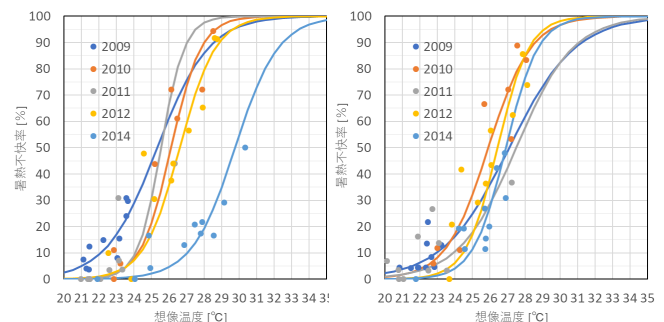


図2 札幌の想像温度と暑熱不快感率（左：窓側・右：廊下側）

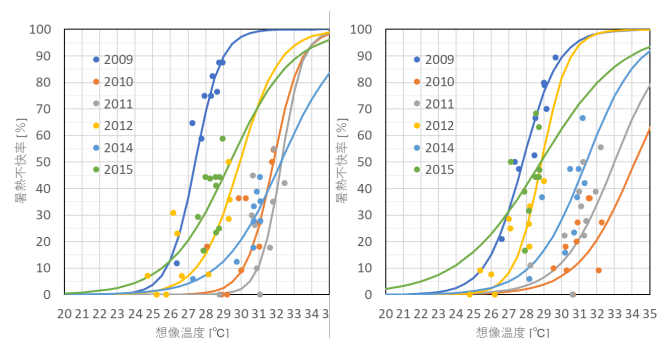


図3 熊本の想像温度と暑熱不快感率（左：窓側・右：廊下側）

温を確認しなかった2009～2012年の結果である。一方、図6と7は、想像温度の回答直後に担任教員が窓側・廊下側で計測中の実際の空気温度を発表し、自らの想像温度と比較してもらった2014,15年の結果である。

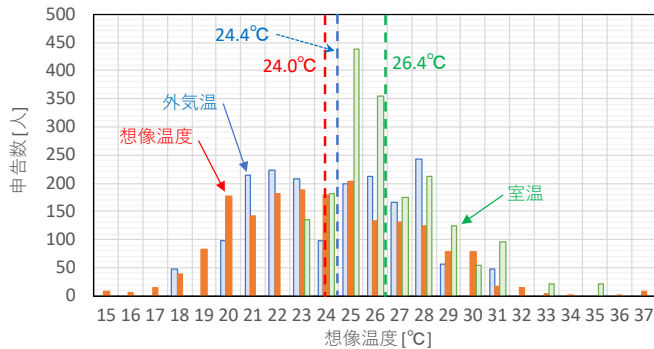


図4 札幌の外気温・室温・想像温度の分布と平均値  
(実際室温の確認なし：2009～2012夏)

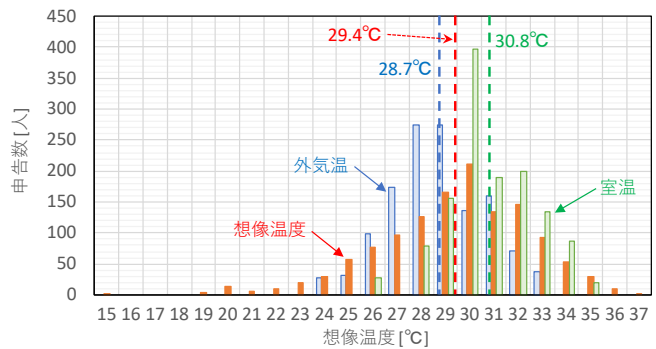


図5 熊本の外気温・室温・想像温度の分布と平均値  
(実際室温の確認なし：2009～2012夏)

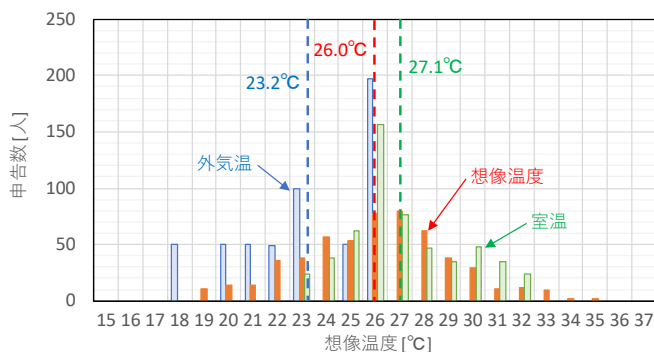


図6 札幌の外気温・室温・想像温度の分布と平均値  
(実際室温の確認あり：2014夏)

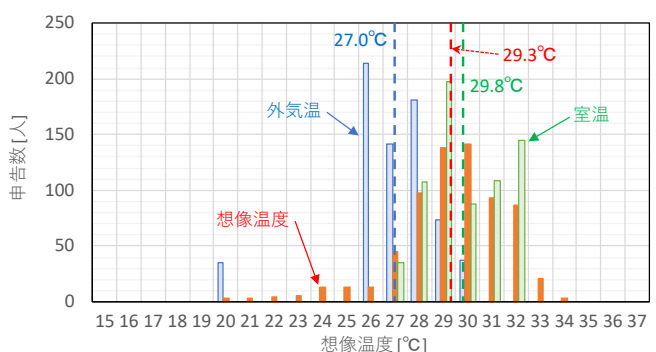


図7 熊本の外気温・室温・想像温度の分布と平均値  
(実際室温の確認あり：2014, 2015夏)

図4と5の「実際室温の確認なし」の札幌・熊本の想像温度の分布は、外気温の分布に概ね重なっている。札幌では、想像温度の平均値が外気温の平均値よりも $0.4^{\circ}\text{C}$  ( $= 24.4 - 24.0$ ) 高く、熊本では $0.7^{\circ}\text{C}$  ( $= 29.4 - 28.7$ ) 高い。一方、札幌では室温の平均値が想像温度よりも $2.0^{\circ}\text{C}$  ( $= 26.4 - 24.4$ ) 高く、熊本では $1.4^{\circ}\text{C}$  ( $= 30.8 - 29.4$ ) 高い。毎日、実際の室温が何 $^{\circ}\text{C}$ であることを確認しない場合は、児童の想像温度は外気温の影響を強く受けていると考えられる。

図6と7の「実際室温の確認あり」の札幌・熊本の想像温度の分布は、外気温よりも室温の分布に概ね重なっている。毎日同じ時間帯に実際の室温を確認し、自らの想像温度との比較によって、実際の室温から受ける影響が強まったと考えられる。

### 3. 想像温度と外気温

図8と9は、札幌・熊本の調査日の想像温度と、“調査日より遡った日数分の平均外気温(最高・平均・最低)”の相関係数である。この遡った日数分の平均外気温は、児童が曝されていた屋外環境の温熱履歴(以下、外気温履歴)に相当すると考えられる。

札幌では、想像温度と外気温履歴(最高・平均)の相関係数が調査日当日に最大(約0.8)になる。以降、相関係数は増減しながら下降する。しかし、調査日より25日前と35日前の2点で相関係数は再び0.7になる。札幌では年最高気温を迎える時期が7月後半から8月

前半で、相関係数が再び上昇するのは丁度この時期に当たる。札幌の想像温度は、当日の外気温に加えて、7月後半～8月前半から9月末までの外気温履歴を参照して形成されと考えられる。

熊本では、想像温度と外気温履歴(最高)の相関係数が調査日より9日間前に最大(約0.8)になる。調査日より9日間遡った外気温履歴が想像温度の決定に大きく寄与すると考えられる。調査時期の9月の天候は晴天日が多く、 $30^{\circ}\text{C}$ を超える外気温の日が続き、当日の外気温が想像温度に与える影響は小さかったと考えられる。さらに、調査日から75～85日間遡った時の相関が約0.5になる。熊本の想像温度は、直前9日間と、6～9月までの外気温履歴を参照して形成されと考えられる。

図10と11は、札幌・熊本の外気温とそれぞれの地域の大学生の想像外気温である。棒グラフは「札幌、熊本らしさを強く感じる時期」の人数である。本調査では、「春の気配が感じられるとき」、「暑さがもっとも極まるころ」などの二十四節気をイメージする短文を無作為に提示し、短文から想像される月(前半・後半)とその時の外気温が何 $^{\circ}\text{C}$ であるか?(想像外気温)を回答してもらった。

札幌・熊本のいずれも年間を通しての大学生の想像外気温は、実際の外気温と概ね重なる。札幌の想像外気温は、2月後半から6月前半までは外気温よりも最

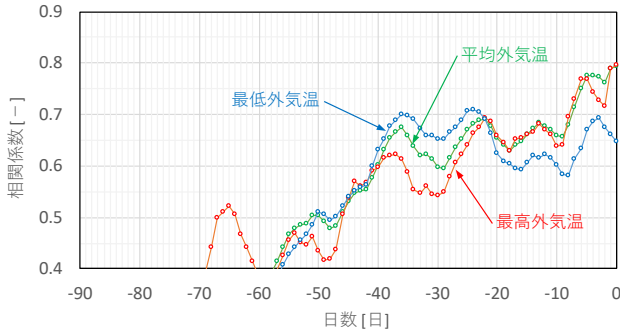


図8 札幌の想像温度と外気温履歴の相関

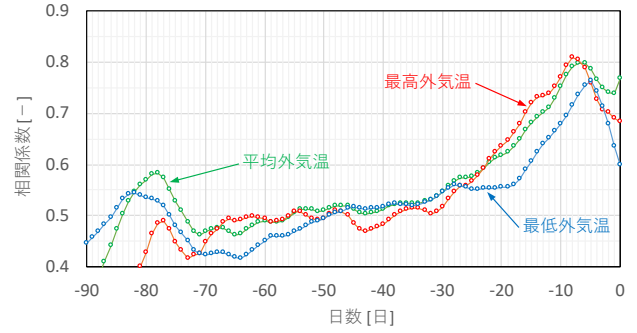


図9 熊本の想像温度と外気温履歴の相関

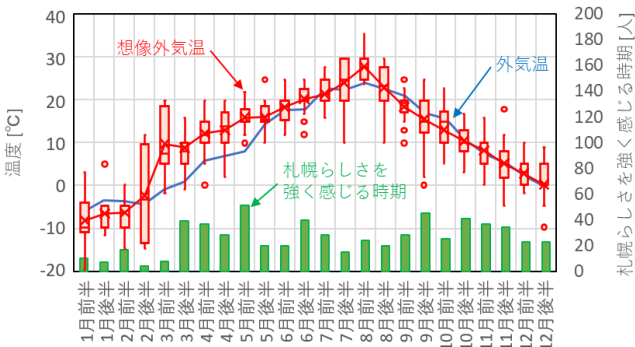


図10 札幌の外気温・大学生の想像外気温

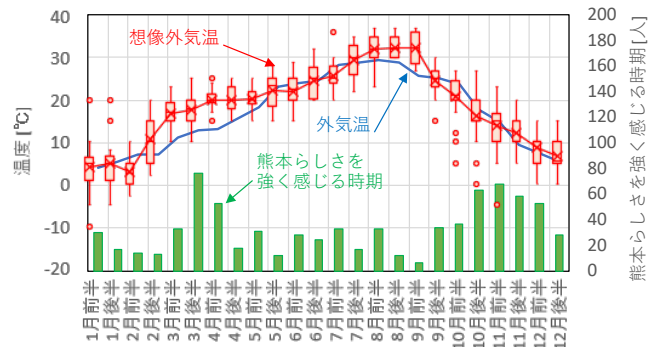


図11 熊本の外気温・大学生の想像外気温

大で10°Cほど高く、その後、7月前半までの1か月間は概ね等しくなり、再び8月後半までは外気温より5°Cほど高くなる。図8と図10を併せて考察すると、想像外気温と外気温が等しくなる6月前半～7月前半に、視床下部での体温調節中枢のための夏のセットポイントを形成し、想像温度は7月後半以降の外気温履歴の影響を受けて形成されると考えられる。

熊本の想像外気温も同様に、2月後半から6月前半までは外気温よりも最大で8°Cほど高い。その後、7月後半までの1か月半は概ね同じで、再び9月後半まで外気温より5°Cほど高くなる。図9と図11を併せて考察すると、熊本では夏のセットポイントを6月に形成し、想像温度は、それ以降から9月までの外気温履歴の影響を受けて形成されると考えられる。

#### 4. 想像温度の形成プロセス

図12は、以上の結果と考察に基づいて筆者らが想定した想像温度の形成プロセスである。想像温度は以下の二つのルートで形成されるとした。

図の左側に示す第1のルートは、毎日の天気(晴れ・曇り・雨など)と外気温の情報が蓄積して形成される「記憶・経験温度」を経て想像温度に至るルートである。図の右側に示す第2のルートは、屋外環境要素(日射・実効放射・雲・降水など)の影響、室内環境要素のMRT・室温・相対湿度などから影響を受けたヒト「暑熱不快感」を経て想像温度に至るルートである。

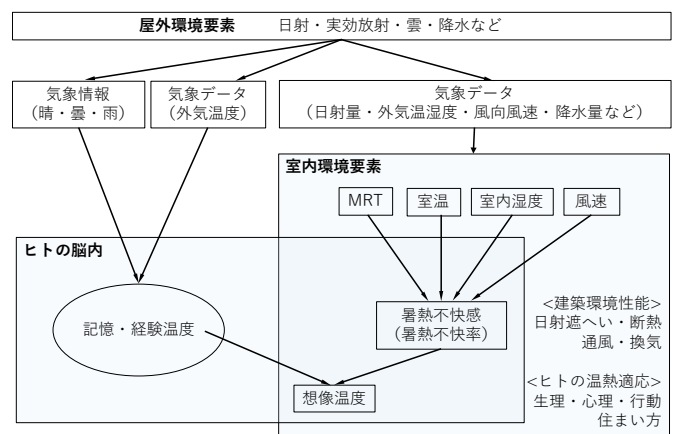


図12 本研究で想定した想像温度の形成プロセス

「記憶・経験温度」は、統計学では構成概念(現象を理解するために構成した概念)と呼ばれ、実際に測ることができない情報である。なお、図10と11で示した想像外気温は「記憶・経験温度」に当たると考えられる。ここでは、「記憶・経験温度」の存在を仮定した上で(図12が成立するか否かを)、実際に数値として得られている観測変数(気象情報・気象データ・室内環境データ・暑熱不快感と想像温度のデータ)を用いた共分散構造解析によって検証した。

表1に分析対象としたデータ数を示す。2010～2012年の札幌・熊本での調査日数・座席位置(窓側・廊下側)により、札幌50、熊本60データを対象とした。想像

温度は調査日毎の全児童の平均、暑熱不快率は調査日毎の全児童に対する不快申告児童の割合とした。

なお、分析に使用した天気（晴れ・曇り・雨など）は、札幌・熊本とも調査当日の気象情報（気象庁データ）とした。外気温は、札幌は調査当日（図8より）、熊本は調査日を含めた過去9日間（図9より）の日平均外気温を使用した。教室の室温・相対湿度は、調査日の窓側・廊下側の実測値を用いた。ただし、風速は実測データがなく、MRTは室温との多重共線性を回避するため、解析の対象外とした。着衣量・代謝量の影響も児童による差は少ないとして除いた。解析には、統計解析ソフトRのパッケージ“lavaan”を利用し、最尤推定法によって母数の推定を行なった。

図13と14に札幌・熊本の共分散構造分析の結果を示す。札幌は天気と教室の相対湿度以外、熊本は相対湿度と座席位置以外の係数（標準化推定値）に関して、5%水準で有意な結果が得られた。また適合指針は、札幌が、CFI=1.000、RMSEA=0.000、SRMR=0.016、熊本が、CFI=1.000、RMSEA=0.000、SRMR=0.016で十分な適合を示した。

札幌は、「記憶・経験温度」から想像温度への相関係数が0.45、「暑熱不快率」から想像温度への相関係数が0.69となった。熊本は、「記憶・経験温度」から想像温度への相関係数が0.90、「暑熱不快率」から想像温度への相関係数が0.26となった。札幌では当日の暑熱不快感が想像温度の決定に寄与し、熊本では当日の温熱環境よりも児童の「記憶・経験温度」が想像温度の決定に寄与すると考えられる。

ヒトの想像温度は、「記憶・経験温度」を基準にして、夏は暑熱不快感、冬は寒冷不快感の程度によって変化すると考えられる。この「記憶・経験温度」は、毎日の新聞・テレビ・インターネットなどから提供される気象情報（当日の天気・最高気温・降水確率など）や天気や気温に関する会話情報の蓄積から構成されると考えられる。したがって、想像温度は、地域や建築の熱環境性能、住まい方によって異なると予想される。

## 5. まとめ

- 1) 想像温度は暑熱不快率と相関が高く、地域性がある。
- 2) 札幌の想像温度はその日の外気温、熊本は過去9日間の外気温履歴の影響が大きい。次に札幌の想像温度は7月後半から、熊本は6月から9月までの外気温履歴の影響が大きい。
- 3) 想像温度は「記憶・経験温度」を基準にして、夏ならば暑熱不快感の程度によって変化すると考えられる。

\* 札幌市立大学デザイン学部 教授・博士（工学）  
 \*\* 熊本県立大学環境共生学部 教授・博士（工学）

表1 分析対象のデータ数

年度	地域	人数	調査日	調査日数	データ
2010	札幌	56	8/23~27, 9/1~3	8	窓/廊下
	熊本	33	9/6~10, 9/13~17	10	窓/廊下
2011	札幌	62	8/30, 31, 9/1, 2, 5~9, 12	10	窓/廊下
	熊本	38	9/5~9, 12~16	10	窓/廊下
2012	札幌	49	8/29~31, 9/4, 5, 18, 19	7	窓/廊下
	熊本	29	9/3~7, 9/24~28	10	窓/廊下
合計	札幌	167	-	25	2 50
	熊本	100	-	30	2 60

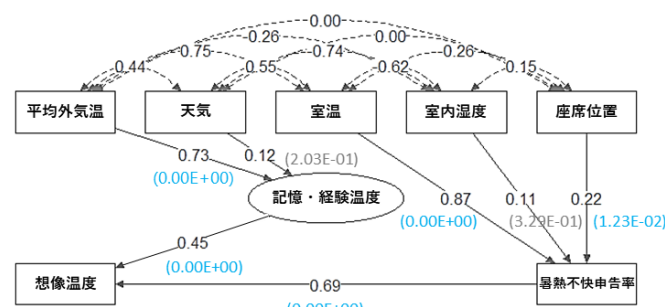


図13 札幌の共分散構造分析の結果

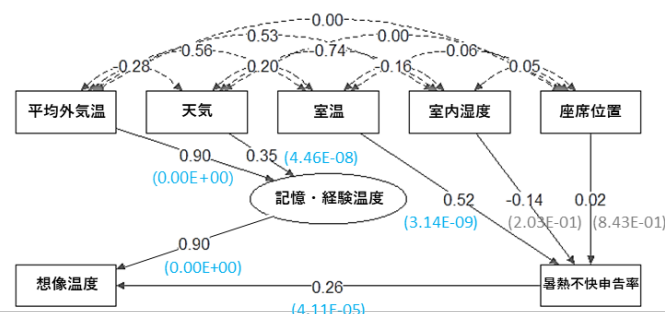


図14 熊本の共分散構造分析の結果

## 謝辞

図10と11の結果は、2014年度に札幌市立大学デザイン学部の学生として在籍された高橋亜希さんの卒業研究の成果に基づく。また、研究全体を通して宿谷昌則教授（東京都市大学環境学部）から貴重なご助言を頂いた。ここに記して謝辞とする。

## 参考文献

- 1) Humphreys, M. A. and Nicol, J. F. : Understanding the adaptive approach to thermal comfort, ASHRAE Transactions, 104(1b), pp.991-1004, 1998.
- 2) 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.
- 3) 齊藤雅也：住まい手の能動的な行動・高度な快をひき出す放射環境デザイン, エネルギー・資源 Vol.38 No.4, pp.208-212, エネルギー・資源学会, 2017.7.
- 4) 菊田弘輝・福家智大・齊藤雅也・松尾悠佑・羽山広文・森太郎：超高性能パッシブ換気住宅に関する実態調査 その1 夏期・冬期の室内環境評価, 日本建築学会大会学術講演会, pp.221-222, 2016.8.
- 5) 齊藤雅也・辻原万規彦：ヒトの熱環境適応と想像温度に関する考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.33-36, 2017.

\* Professor, Sapporo City University, Dr. Eng.  
 \*\* Professor, Prefectural University of Kumamoto, Dr. Eng.