

# 夏季における通勤車両内の横流ファン送風の 影響を考慮した温熱快適性評価手法

遠藤 広晴\* 榎並 祥太\*\* 菊地 史倫\*\*  
吉江 幸子\* 伊積 康彦\*\*\* 野口 純#

Evaluation Method of Passenger Thermal Comfort Considering Effects of Airflow  
by Cross-flow Fan in Commuter Vehicles in Summer

Hiroharu ENDOH Shota ENAMI Fumitoshi KIKUCHI  
Sachiko YOSHIE Yasuhiko IZUMI Jun NOGUCHI

The purpose of this study is to propose a method for evaluating passenger thermal comfort in non-steady state thermal environments with airflow by cross-flow fans in commuter trains in summer. The proposed method is composed of a human thermoregulation model applicable to non-steady state thermal environments and a statistical model derived from the results of experiments conducted in commuter trains in summer. To evaluate the thermal comfort considering the influence of a cyclic wind by cross-flow fans, the proposed method converts the cyclic wind to a constant wind speed equal to the total amount of heat loss from the whole-body calculated by human thermoregulation model. Applying the proposed method to our previous research, it was confirmed that the observed data and predictions are agree well.

キーワード：通勤車両，車内温熱環境，横流ファン，快適性評価，被験者実験

## 1. はじめに

現在，都市部のほとんどの通勤車両には天井部に横流ファンが設置されており，車両内の空気循環の他，乗客への清涼感の提供という重要な役割を担っている。特に，夏季においては，横流ファンは冷房の補助として乗客の暑い不快感の低減に貢献していると考えられる。また，横流ファンによる風は寒い不快感の発生要因にもなり得るため，車載センサで捉えた気温・湿度・乗車率等の車内熱負荷に応じた風速調節を行うなど，横流ファン送風が乗客の快適性向上に寄与するよう様々な工夫がなされている<sup>1)</sup>。一方，通勤車両内の温熱環境に対する乗客からの不満の声は依然として多く寄せられている。より快適な車内温熱環境を実現するためには，横流ファン送風環境を含む現状の車内温熱環境を乗客の快適性の観点からの確かつ定量的に評価し，不快発生要因を把握することが重要である。しかしながら，通勤車両内の温熱環境，特に横流ファン送風環境下での温熱快適性に関する研究報告例は極めて少なく，当該環境下での乗客の快適性を定量的に評価する手法は未だ確立されていない。

本研究の目的は，通勤車両内の横流ファン送風環境に適用可能な温熱快適性評価手法を提案することである。本研究では，筆者らが提案している通勤車両内の温熱快適性評価手法<sup>2)</sup>(以後，「提案手法」)をベースに，横流ファン送風環境への適用方法を検討し，過去に実施した被験者実験結果<sup>3)4)</sup>との比較により予測精度の検証を行った。

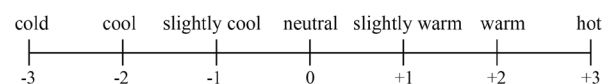
## 2. 温熱快適性評価手法

### 2.1 温熱指標 PMV・PPD

温熱環境と快適性の関係については，建築分野で古くから研究が行われており，集団の平均的な温冷感（以後，「平均温冷感」），および温熱環境に満足できない人の割合（以後，「熱的不満足者率」）を予測する指標として PMV (Predicted Mean Vote：予測平均温冷感申告)，および PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied：予測熱的不満足者率) が提案されている<sup>5)</sup>。PMV は表 1 に示す 7 段階尺度で平均温冷感を予測する。周囲温熱環境による人体の熱負荷量を熱平衡式により計算し，さらに，その熱負荷量と被験者実験での温冷感申告値とを結びつけた回帰式により計算される。人体の熱負荷量に影響を

\* 人間科学研究部 快適性工学研究室  
\*\* 人間科学研究部 人間工学研究室  
\*\*\* 構造物技術研究部 建築研究室  
# 東日本旅客鉄道株式会社

表 1 PMV 尺度



与える主要素には、環境側では気温、湿度、放射温度、気流速度（風速）、人側では、代謝量、着衣量の計6要素あり（以後、「温熱6要素」）、PMVはこれら全ての要素を用いて計算される。なお、PPDは被験者実験データを基に下式で定義されている。

$$PPD=100-95\exp\{-0.03353PMV^4+0.2179PMV^2\} \quad (1)$$

PMV・PPDは人の感覚量を直接予測する指標であるためわかりやすく、分野を問わず現在最も広く利用されている温熱指標の一つである。

PMV・PPDの適用範囲は、建物室内でみられるような定常的な温熱環境である。また、式(1)で示したPMVとPPDの関係式は、季節に関わらず成立すると仮定されている。一方、通勤車両内の温熱環境は、温湿度や風速の変動が大きい非定常的な温熱環境である<sup>2)</sup>。また、人工気候室を用いた実験により、温冷感と快適性の関係は季節により異なるという研究報告がある<sup>6)</sup>。筆者らが実施した夏季の通勤車両内での被験者実験においても、車内温度が上昇する状況において、PPDの予測誤差が最大で45pt（ptはパーセントの差の単位）程度と大きいことを確認している<sup>2)</sup>。

## 2.2 夏季の通勤車両内の温熱快適性評価手法<sup>2)</sup>

提案手法の全体像を図1に示す。温熱6要素を入力して人体が受ける熱負荷を計算し、次に、被験者実験データに基づく回帰式により平均温冷感・熱的不満足者率を予測する流れはPMV・PPDを踏襲している。これに加え、提案手法では「非定常温熱環境での生理状態を予測可能な人体熱モデル」、および「通勤車両内で夏季に実施した被験者実験データに基づく回帰式」を利用することで、PMV・PPDの予測誤差を改善している。

前半部の「非定常温熱環境の生理状態を予測可能な人体熱モデル」として、田辺らが開発した「65分割体温調節モデル」（以後、「65MNモデル」）のアルゴリズム<sup>7)</sup>を利用している。当該モデルは、人体が頭、胸、背中、腰、肩、腕、手、大腿、下腿、足（四肢は左右に分割）の

16部位に分割され、さらに各部位はコア、筋肉、脂肪、皮膚の4層に分割されている。同じ部位の4層は伝導により熱交換し、人体表面の皮膚層は周囲環境と対流、放射、蒸発による熱交換を行う。また、これら64部位と中央血液溜まりと呼ばれる65番目の部位の間では血流輸送による熱交換がなされる。体温調節系には発汗、血流量調節、震え産熱があり、これらは、部位ごとに仮定された中立温度と現状値との差を制御信号としたフィードバック制御として実装されている。

後半部の「通勤車両内で夏季に実施した被験者実験データに基づく回帰式」として、夏季に実施した被験者実験結果に基づいて導出した下式を利用している。

$$DyPMV=c+a_0 \cdot SET^* \quad (2)$$

$$DyPPD_c = \frac{100 \cdot \exp(a_c DyPMV + b_c)}{1 + \exp(a_h DyPMV + b_h) + \exp(a_c DyPMV + b_c)} \quad (3)$$

$$DyPPD_h = \frac{100 \cdot \exp(a_h DyPMV + b_h)}{1 + \exp(a_h DyPMV + b_h) + \exp(a_c DyPMV + b_c)} \quad (4)$$

$$DyPPD = DyPPD_c + DyPPD_h \quad (5)$$

$$[c = -12.3, a_0 = 0.49, a_c = -1.23, b_c = -3.27, a_h = 1.15, b_h = -1.28]$$

式(2)のSET\*（the New Standard Effective Temperature：標準新有効温度）は、65MNモデルで計算される皮膚温、発汗の程度を表す皮膚ぬれ率、および皮膚表面からの体熱放散量が同一となるような相対湿度50%の気温として定義される「体感温度」に相当し、人体熱モデル各部位で算出した部位別SET\*を部位表面積比で積み付け平均して導出している。同式(2)のDyPMVは乗客の平均温冷感を予測する指標であり、その数値は後述する被験者実験で使用した温冷感尺度に対応している

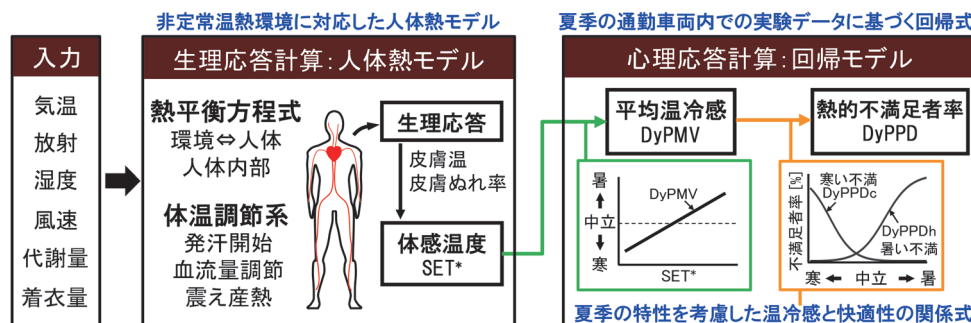


図1 夏季の通勤車両内の温熱快適性評価手法の全体像

(後掲の表3参照)。式(3)のDyPPDc, 式(4)のDyPPDhはそれぞれ車内温熱環境に対して「寒くて満足できない」「暑くて満足できない」と感じる乗客の割合を予測する指標である。式(5)で両者を加算したDyPPDは暑さと寒さの両者の原因を含む熱的不満足者率の予測値である。

式(1)で定義されたPPDは、暑くも寒くもない中立の温冷感(PMV=0)において最小となり、寒い側(PMV<0)と暑い側(PMV>0)とで同様の増加傾向となる対称形を仮定している(後掲の図6(b)参照)。一方、提案手法では、寒さによる不満足者の発生と暑さによる不満足者の発生を分けた形で表される多項ロジスティック回帰モデル(式(3), 式(4))を採用し、夏季の被験者実験データに基づいた曲線形状を得ている(後掲の図6(a)参照)。結果として、DyPMVが-1(温冷感尺度で「やや涼しい」)付近でDyPPDが最小値を取る関係式となり、既往研究<sup>6)</sup>とも整合している。

提案手法により、夏季の通勤車両内の温熱快適性をPPDよりも精度よく予測できることが確認されているが<sup>2)</sup>、横流ファン送風環境への適用可能性についてはこれまで未検討であった。

## 2.3 横流ファン送風環境への提案手法の適用方法

ここでは、提案手法を横流ファン送風環境に適用する方法について述べる。通勤車両内で横流ファンが稼働している状況では、横流ファン付近に立っている乗客は、ファンの回転周期に応じた周期的変動風を受ける。現状では、横流ファンは15秒程度の周期で往復回転しており<sup>1)</sup>、横流ファン付近の乗客の温冷感は15秒程度の周期で変動していると考えられる。この瞬時的な感覚変動が生じる一方で、横流ファンからの風を一周期以上体感したうえで判断される総合的な感覚もあると考えられ、乗車して暫く時間が経過すると、総合的な感覚により快/不快の判断がなされるものと推察される。本研究では、乗客が継続して周期的変動風を受ける状況を想定し、一周期以上体感したうえで判断される総合的な温熱感覚・快適性を評価対象とする。この総合的な温熱感覚を評価するためには、その感覚に結びつく体感温度を導出する必要がある。

本研究では、風速以外の温熱要素は実環境と同一という条件で、人体熱モデルにより計算される体熱放散量が周期的変動風受風時と同等となる一定風速を「体熱放散等価風速」と定義する。横流ファン送風環境に対する温熱快適性評価(図1)を行う際は、実測風速を体熱放散等価風速に変換してうえで入力する。これにより、周期的変動風を一周期以上体感した際の総合的な温熱感覚に結びつく体感温度の導出が可能になると考えられる。実環境値を体熱放散量の等価性(人への熱的影響の等価

性)に基づいて変換する操作は、従来の体感温度型の温熱指標の計算概念に整合する。なお、実際の車内環境では、横流ファンの設定強度が同一でも、様々な外乱により周期的変動風の風速ピーク値や平均値が変動する可能性がある。これに対応するために、移動平均処理と同じように、事前に設定した区間長(本研究では60秒に設定)を切り出して体熱放散等価風速を計算する、という処理を時間軸上で移動しながら繰り返す方法により、全評価対象時刻に対する体熱放散等価風速を得る。体熱放散等価風速の計算手順の詳細は文献8を参照されたい。

## 3. 提案手法の精度検証方法

### 3.1 検証に使用する被験者実験の概要<sup>3)4)</sup>

提案手法の精度検証は、式(2)~式(4)の回帰式導出とは別に実施した被験者実験データを基に行う。これら実験の概要を以下に述べる。

#### 3.1.1 実施時期、被験者、混雑条件

実験時期、被験者属性、混雑条件を表2に示す。表2中の混雑率は $0.35\text{m}^2/\text{人}$ を100%と定義している。実験は2015年および2017年の夏季に実施し、いずれの実験も、首都圏にある鉄道事業者の車両基地内に通勤車両を留置した状態で実施した。被験者および測定センサ配置の概要を図2に示す。実験1では混雑率100%未満条件(図2(a)に示す横流ファン付近に被験者を配置)、実験2では混雑率120%条件(図2(b)の領域1と領域2に15名程度の被験者を配置)および180%条件(図2(b)の領域1に30名程度の被験者を配置)を実施し、各混雑条件で横流ファンを停止した条件(以後、「横流ファン停止条件」)および横流ファンを稼働した条件(以後、「横流ファン稼働条件」)を実施した。車内気温に関しては、空調制御を手動操作し、通勤車両内で観測された気温が上昇・下降する状況<sup>2)</sup>を模擬した。なお、実験2は、異なる被験者で2日間実施した。

被験者は評価開始5~10分前に隣接車両から実験用車両に移動し、通勤車両内の所定の位置に立って温熱環境を体感した。評価終了後は、被験者は隣接車両で着座休憩した。着衣量を被験者間で統一するため、被験者の服装は下着以外同一とし、実験1では長袖シャツ、半袖下着、長ズボン、軍足とし、実験2では半袖Tシャツ、長ズボン、軍足とした。実験中の様子を図3に示す。なお、被験者には、実験の目的、内容を十分に説明し、インフォームドコンセントを得た。

#### 3.1.2 主観評価方法

被験者は、実験1では1.5分間隔、実験2では2分間隔で温冷感、発汗感、満足度等に関する主観評価を行った。主観評価項目とその評価尺度の例を表3に示す。主観評価にあたり、被験者には音やにおいの温熱環境以

表2 実験時期, 被験者属性, 混雑条件<sup>8)</sup>

実施日	被験者数		平均年齢 (SD)		混雑条件 [%]
	男性	女性	男性	女性	
実験1 2015/7/3	12	11	35.8 (10.7)	30.8 (8.0)	100%未満
実験2-1 2017/8/22	15	16	29.4 (9.3)	32.9 (8.7)	120%, 180%
実験2-2 2017/8/28	15	16	32.5 (9.5)	33.5 (11.2)	120%, 180%

表3 主観評価項目と尺度の例<sup>8)</sup>

温冷感	寒い	やや寒い	涼しい	やや涼しい	中立	やや暖かい	暖かい	やや暑い	暑い
発汗感	感じない		やや感じる	感じる	非常に感じる				
満足度	“満足できる”		“満足できない”		☐ 寒くて   ☐ 暑くて				

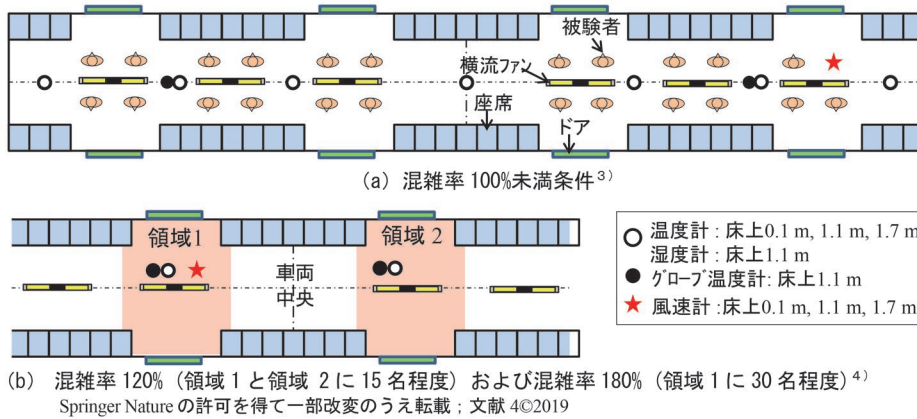


図2 実験車両内での被験者・測定器配置 (上面図)

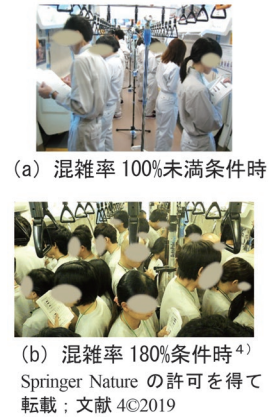


図3 被験者実験の様子

外の要因を評価対象にしないよう教示した。また、満足度評価に関しては、「通勤車両内の温熱環境として」満足できるかできないかを回答するよう教示した。

### 3.2 入力設定

提案手法での65MNモデルへの入力に関しては、気温と風速は、床上0.1mでの測定値を足および下腿に、床上1.1mでの測定値を大腿、腰、腕、手に、床上1.7mでの測定値を胸、背中、肩、頭に入力した。なお、風速は、横流ファン停止・稼働条件に関わらず、全条件で前述した「体熱放散等価風速」への変換を行ったうえで入力した。湿度は床上1.1mの測定値を全16部位に入力した。放射温度は以下に示すベッドフォードの式(6)に基づいて算出し、全16部位に入力した。

$$T_r = T_g + 2.37 \sqrt{v} (T_g - T_a) \quad (6)$$

ここで、 $T_r$ : 平均放射温度 [°C],  $T_g$ : 床上1.1mのグローブ温度 [°C],  $T_a$ : 床上1.1mの気温 [°C],  $v$ : 床上1.1mの風速 [m/s] であり、風速は60秒間の移動平均を施したうえで式(6)に適用した。

被験者の代謝量は立位安静時に相当する1.2met (metは単位体表面積あたりのエネルギー消費量の単位で1met = 58.2W/m<sup>2</sup>) とし、着衣量は、花田らの衣服重量から推定する式<sup>9)</sup>を利用し、実験1は0.59clo、実験2は0.45cloと設定した (cloは衣服の熱抵抗の単位で1clo = 0.155°C

m<sup>2</sup>/W)。

PMV・PPDの計算はISO7730のプログラムを使用した。気温と風速は床上0.1m, 1.1m, 1.7mでの測定平均値を入力として使用し、風速は更に60秒間の移動平均処理を施した。その他の入力項目である湿度、放射温度、着衣量、代謝量は上述した提案手法の入力値と同一とした。

### 4. 提案手法の適用結果

混雑率100%未満条件と180%条件を例に、温熱環境の測定結果および主観評価結果を図4に示す。同図の温熱環境の測定結果には体熱放散等価風速を、主観評価結果にはPPD, DyPPDc, DyPPDhを併せて示した。

いずれの混雑条件でも、横流ファン停止条件と比較して、横流ファン稼働条件では気温上昇時の平均温冷感がより低くなり(涼しい側となり)、発汗感率と暑さによる不満足者率の増加が抑制されている。提案手法による予測時系列DyPPDhは、この横流ファン送風による暑い不快感の抑制効果をよく捉えていることが確認できる。また、混雑率100%未満・横流ファン稼働条件(図4(a-2))の評価終了付近では、気温低下により寒さによる不満足者率が上昇を開始する傾向にあるが、DyPPDcはその傾向を捉えていることが確認できる。なお、横流ファン稼働条件でも、気温29°C、湿度80%程度の温湿度が高い状況では、暑さによる不満足者率が70%付近に達するが(図4(a-2))の評価開始後15分~20分付近

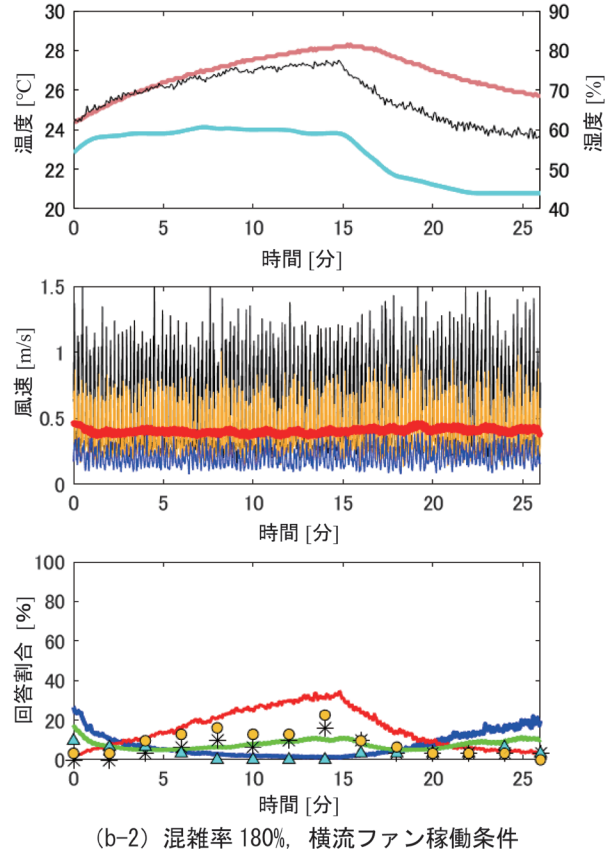
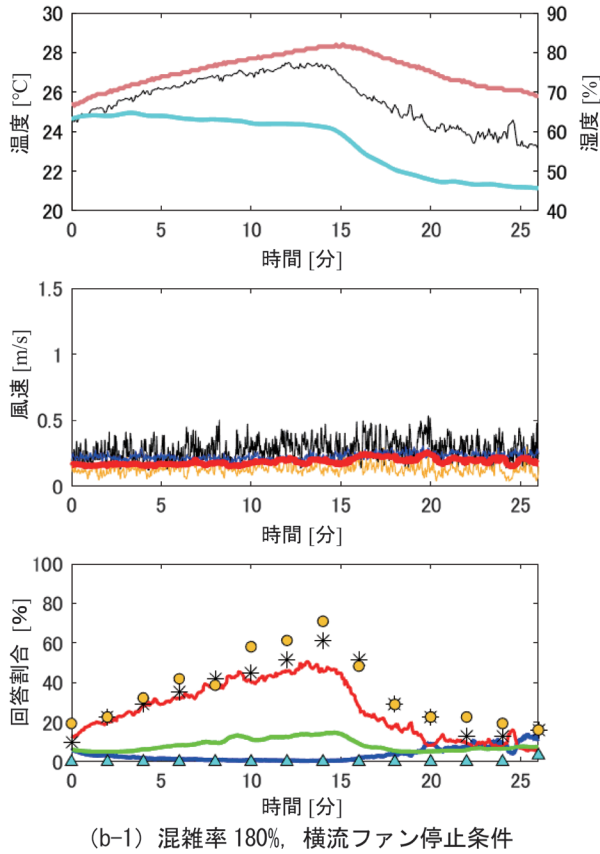
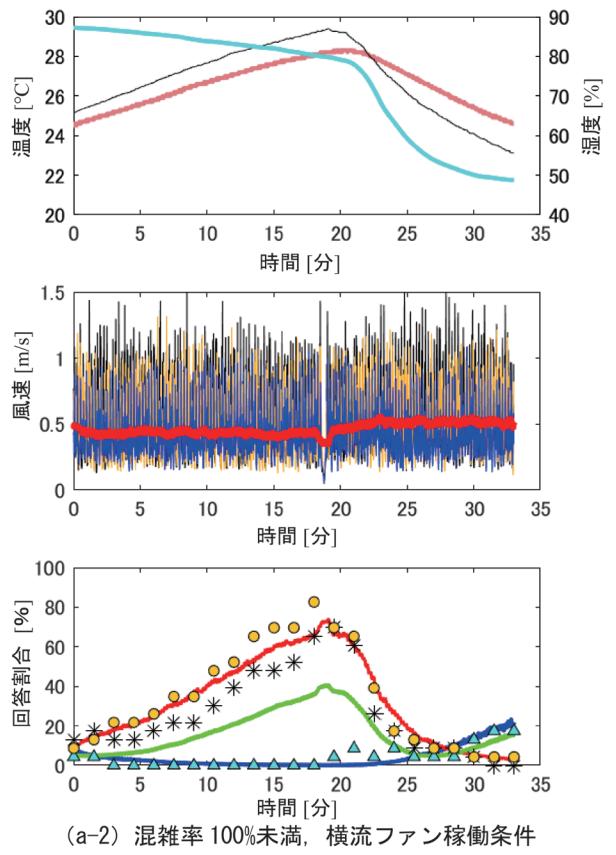
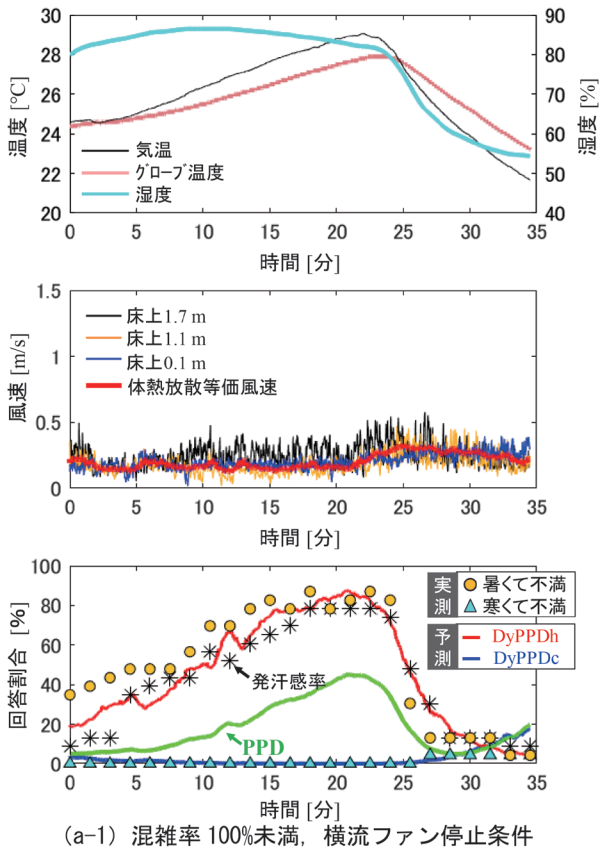


図4 被験者実験での温熱環境測定結果および主観評価結果の例 (各図共通の凡例は (a-1) に掲載)<sup>8)</sup>

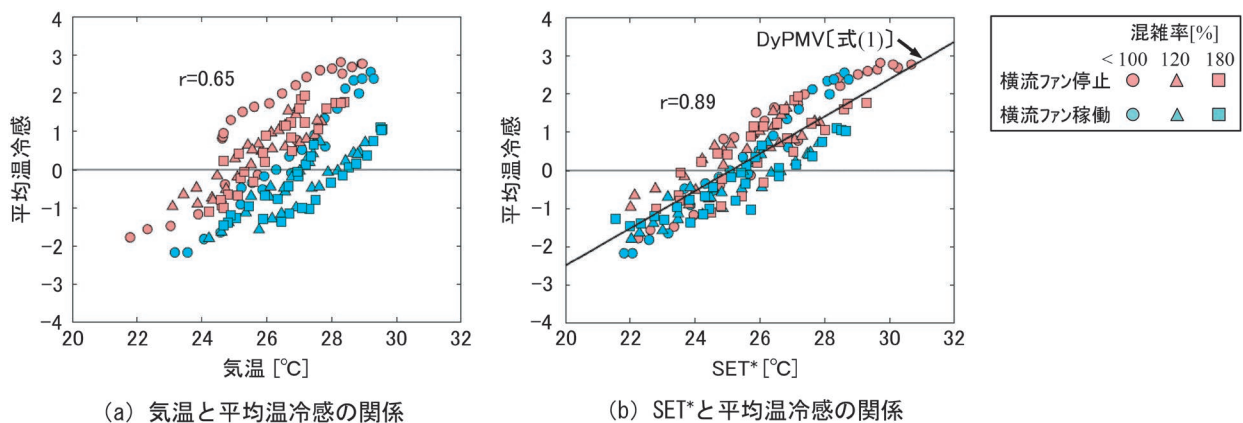


図5 気温、SET\*と平均温冷感の関係<sup>8)</sup>

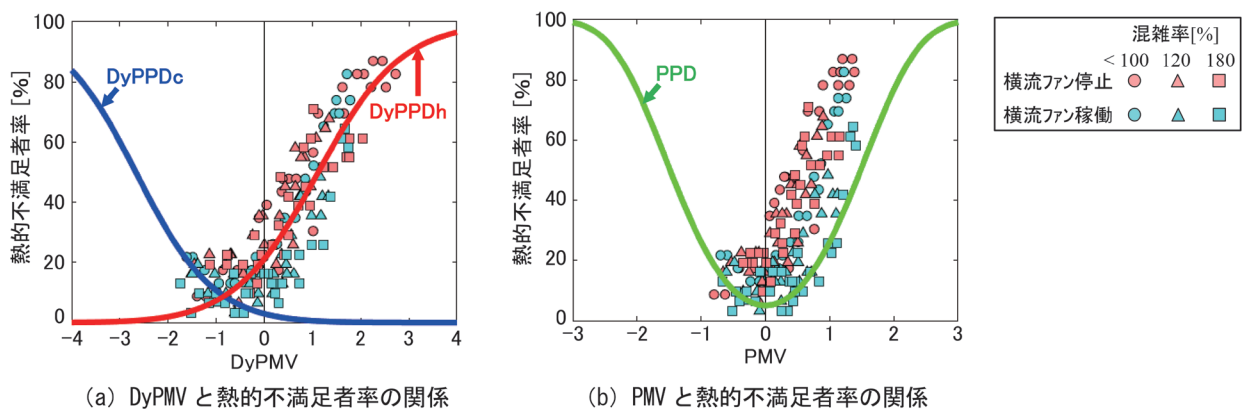


図6 DyPMV、PMVと熱的不満足者率の関係<sup>8)</sup>

に相当), DyPPDhはこの横流ファン送風による暑い不快感の抑制効果の限界も捉えていることが確認できる。

図5に気温およびSET\*と平均温冷感の関係を示す。気温と平均温冷感の関係は、横流ファン停止条件と稼働条件とで明らかに異なるのに対し、SET\*と平均温冷感の関係は両条件で同様であった。また、SET\*と平均温冷感との相関係数 ( $r=0.89$ ) は、気温と平均温冷感の相関係数 ( $r=0.65$ ) より有意に大きかった ( $p<0.01$ )。提案手法で算出したSET\*は、温湿度変動環境かつ横流ファン送風環境下での温熱感覚に結び付く体感温度として適切であるといえる。

図6(a)にDyPMVと熱的不満足者率との関係を示す。DyPMV=-1付近を中心に凹型に分布する傾向がみられ、式(2)~式(4)で定義される予測曲線(DyPPDc/DyPPDh曲線)はその傾向をよく捉えていることが確認できる。

表4にDyPPDの平均絶対誤差を示す。横流ファン稼働条件では、混雑率条件が高いほど誤差が大きくなる傾向にあるが、平均絶対誤差は全ての条件で15pt以内に収まっており、全条件を総合した平均絶対誤差は10pt以内に収まっていた。

表4 DyPPDおよびPPDの平均絶対誤差<sup>8)</sup>

混雑率条件	DyPPDの平均絶対誤差[pt]			PPDの平均絶対誤差[pt]		
	横流ファン停止	横流ファン稼働	全体	横流ファン停止	横流ファン稼働	全体
100%未満	9.4	4.5	7.0	34.0	22.1	28.2
120%	8.2	10.0	9.1	24.6	8.0	16.3
180%	7.3	13.2	10.2	25.4	6.0	15.7
全体	8.3	9.5	8.9	27.7	11.4	19.6

## 5. 提案手法の精度検証とPMV・PPDとの比較

表4で確認したように、DyPPDの全条件を総合した平均絶対誤差は8.9ptであった。これは先行研究<sup>2)</sup>で精度検証した際の平均絶対誤差7.9ptと同程度であった。精度検証に用いた被験者実験データは、提案手法の回帰モデル構築に使用していないことから、提案手法の予測精度の再現性が確認されたといえる。なお、提案手法の回帰モデルは9月上旬に実施した被験者実験データに基づいていること<sup>2)</sup>、本研究で検証に用いた被験者実験の実施時期が7月上旬および8月下旬であることを考慮すると、提案手法は少なくとも7月~9月上旬において、平均絶対誤差15pt以内で横流ファン送風環境を

含む通勤車両内の温熱快適性予測・評価が可能と考えられる。当該期間以外の予測精度の検証・改善は今後の課題である。

提案手法の予測誤差の主な特徴として、混雑率が高く、かつ横流ファンが稼働している状況で相対的に誤差が大きく、予測値が実測値よりも大きい傾向がみられた(図4(b-2)参照)。この主な原因として、混雑領域に設置した風速計の測定誤差が考えられる。混雑率120%および180%条件では、風速計の近くに立っていた被験者が壁となって風速センサに到達する風が減衰し、これら被験者が受けた風よりも風速が低く測定された可能性が考えられる。混雑率100%未満条件では、横流ファン稼働条件に対する提案手法の平均絶対誤差は5pt程度と低かったことから、被験者周囲の風速を正確に捉えた入力ができれば、混雑状況においても横流ファン停止時と同等の予測精度が確保できると推察される。高混雑時の乗客周囲のより正確な気流分布の把握は今後の課題である。

提案手法との比較として、PPDの時系列を図4に示す。また、図6(b)にはPMVと熱的不満足者率の関係と共に、PMV-PPD曲線を示した。図4、図6(b)より、PPDは暑さによる熱的不満足者率を過小評価する傾向にあり、特に気温上昇時の不快感の増大を的確に評価できないことが確認できる。四季のある日本では、夏季は暑熱順化により、他の季節と比較して発汗が生じやすくなることが知られている<sup>10)</sup>。発汗の増大は、体熱放散を促進して体温上昇を抑える効果がある一方で、皮膚が濡れることにより不快感を増大させる要因ともなる。PMV・PPDはこの暑熱順化による発汗機能の変化を考慮していないため、夏季では誤差がより大きくなると考えられる。なお、横流ファン稼働条件において、混雑率180%条件での予測誤差が小さい一方で、混雑率100%未満条件での予測誤差が大きい結果となったのは、前者に対して後者は湿度が高く、発汗がより生じやすい温熱環境であったことに因ると推察される。夏季の通勤車両内では、発汗が生じる程度の気温・湿度となる状況もあるため<sup>2)</sup>、PPDは乗客の体感に合った温熱指標としての要件を満たしていないと考えられる。

## 6. まとめ

本研究では、夏季の通勤車両を対象に、横流ファン送風環境に適用可能な温熱快適性評価手法を提案した。提案手法は、非常常温熱環境下での生理状態を予測する人体熱モデルと、夏季に通勤車両内で実施した被験者実験に基づく統計モデルから構成され、横流ファン稼働時にみられる周期性を持つ変動風に対しては、変動風受風時と体熱放散量が等しい一定風速に変換することにより、一周期全体に対する平均温冷感・熱的不満足者率を予測

する。本手法を夏季に通勤車両内で実施した被験者実験に適用した結果、人同士が接触しない程度の混雑環境までに関して、横流ファン停止時・稼働時共に、平均絶対誤差10pt程度で熱的不満足者率を予測可能であることを確認した。

本手法により、夏季における通勤車両内の温熱環境を対象に、横流ファン送風による暑さ感の緩和効果や快適性の改善/悪化効果を定量的に予測・評価することが可能となり、快適性の観点からの送風調節の検討等に活用できると期待される。

## 文献

- 1) 白石和彦, 酒井修: 車内環境向上を目指した空調システム, 三菱電機技報, Vol.81, No.10, pp.681-684, 2007
- 2) 遠藤広晴, 伊積康彦, 林伸明: 夏季の通勤列車内の温熱快適性予測手法, 鉄道総研報告, Vol.29, No.7, pp.27-32, 2015
- 3) 遠藤広晴, 榎並祥太, 吉江幸子, 伊積康彦, 林伸明: 通勤車両内の横流ファン送風が乗客の温熱快適性に及ぼす影響, 第23回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL2016)講演論文集, S5-1-1, 2016
- 4) Endoh, H., Enami, S., Izumi, Y., Noguchi, J., "Experimental study on the effects of air flow from cross-flow fans on thermal comfort in railway vehicles," Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018), Vol.VI: Transport Ergonomics and Human Factors (TEHF), Aerospace Human Factors and Ergonomics, Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol.823, Springer, pp.379-388, 2019.
- 5) ISO7730, "Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria," International Standard Organization, 2005.
- 6) 深井一夫, 後藤滋, 斎藤純司, 伊藤宏, 阿久井哲: 標準新有効温度(SET\*)と日本人の温熱感覚に関する実験的研究 第2報—冬季および夏季における温熱感覚の比較, 空気調和・衛生工学論文集, No.51, pp.139-147, 1993
- 7) 田辺新一, 中野淳太, 小林弘造: 温熱環境評価のための65分割体温調整モデルに関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.541, pp.9-16, 2001
- 8) 遠藤広晴, 榎並祥太, 菊地史倫, 吉江幸子, 伊積康彦, 野口純: 通勤車両内の横流ファン送風が乗客の温熱快適性に及ぼす影響の定量的評価, 日本機械学会論文集, vol.88, No.916, DOI:10.1299/transjsme.22-00171, 2022
- 9) 花田嘉代子, 三平和雄, 佐藤由美: 男子用下着類の熱抵抗の計測に関する研究, 繊維製品消費科学, Vol.24, No.8, pp.363-369, 1983

- 10) Nakamura, Y. and Okamura, K. "Seasonal variation of sweating responses under identical heat stress," Applied Human Science, Vol.17, No.5, pp.167-172, 1998.