

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

列車内の温熱快適性を測る

通勤列車内は、オフィス空間とは異なり複雑な温熱環境が形成されています。既存の環境実験施設では、この通勤列車特有の温熱環境の再現は困難です。そのため、列車内の温熱快適性を対象とした実験研究はこれまでにあまり行われていません。そこで、通勤用車両そのものを利用した体感実験を実施しました。ここでは、条件の統制が難しい実車を使った実験で工夫した点などについてご紹介します。



遠藤 広晴
Hiroharu Endoh
人間科学研究部
人間工学研究室
副主任研究員
[専門分野] 人間工学

はじめに

皆さんは通勤列車に乗車した際、車内が暑くて、または寒くて不快だと感じたことはありませんか。車内空調に関する乗客からのクレームは毎年多く発生していますが、乗客がどのような状況で不快と感じているかは、まだよくわかっていません。

列車内の温熱環境と乗客の快適性に関する知見を空調制御に活用することで、快適性の向上が期待できますが、列車内の温熱快適性を対象とした実験研究はあまり行われておらず、基礎データが極めて少ないのが現状です。通勤列車内は、混雑率の変化や駅停車時の外気侵入などが頻繁に生じるため、一般室内空間とは異なる独特の温熱環境が形成されていますが、そういった環境を既存の環境実験施設で再現することは困難です。

そこで、私たちは、通勤用車両そのものを実験装置として利用することで、列車内の温熱快適性に関する基礎データを取得の試みを行いました。実験の流れとしては、まず「事前環境実験」で車内の温湿度分布・風速分布の測定を行い、次に「フィールド調査」で営業列車運転中の温湿度を測定し、それらの結果を踏まえて、通勤用車両を使った「体感実験」で、車内の温熱環境と乗客の快適性に関するデータを取得しました。ここでは、これら一連の実験での実験方法の工夫などについて紹介します。なお、今回の実験対象は、夏期の通勤列車内の温熱環境としました。

空調設備の概要

実験で利用した通勤用車両が採用している空調設備の概要を図1に示します。冷却空気は屋根上に配置された空

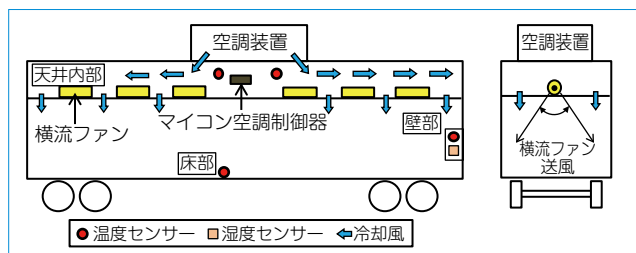
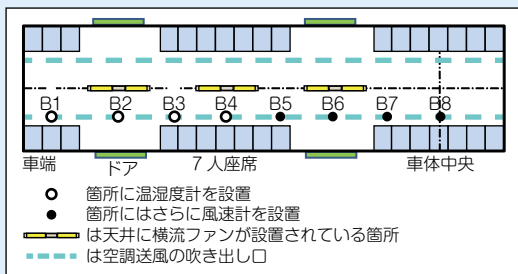
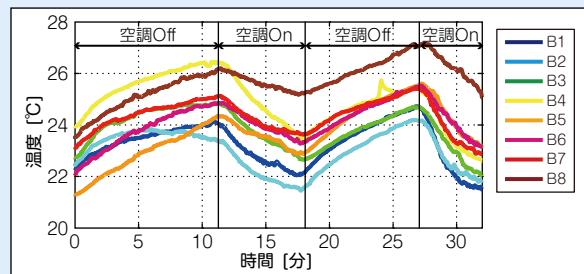


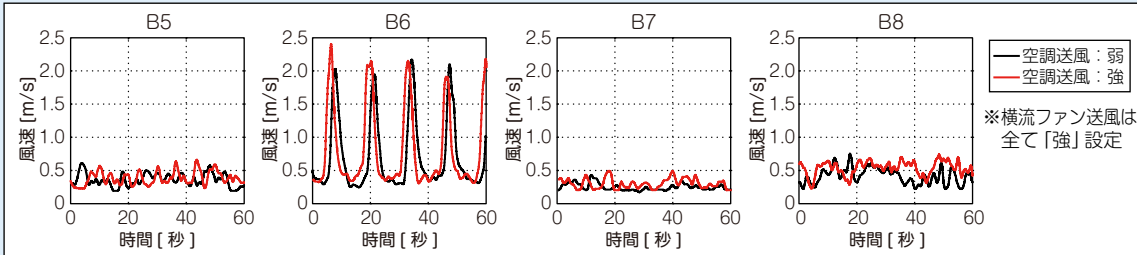
図1 通勤列車の空調設備の概要



(a)測定点の配置図 (測定は車両半分を使用)



(b)温度変動の測定結果例 (測定高さ1.1m)



(c)風速変動の測定結果例 (測定高さ1.7m)

図2 事前環境実験の概要

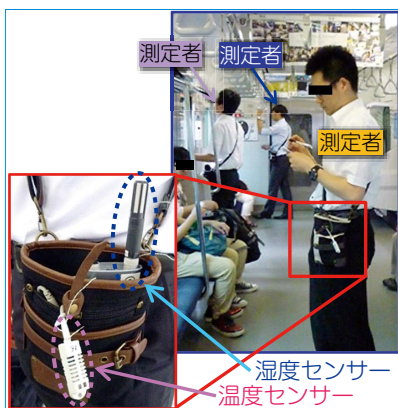


図3 携帯型温湿度計

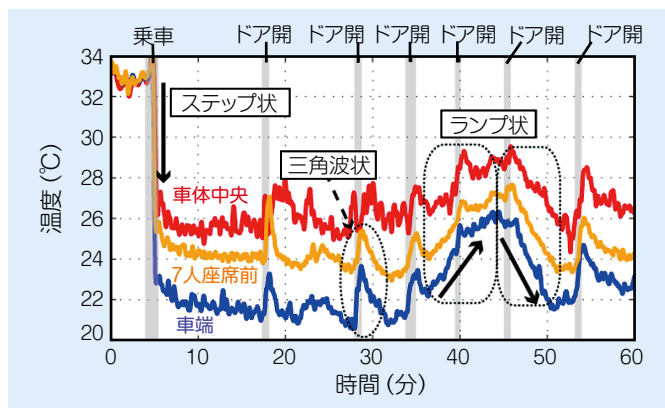


図4 フィールド調査での測定結果例

調装置から天井内のダクトを車両長手方向(レール方向)に流れ、客室内に吹き出されます。また、天井部には計6箇所、一定周期で往復しながら送風を行う「横流ファン」が設置されています¹⁾。

事前環境実験

今回の体感実験では、通勤用車両がいわば実験装置となるので、その装置の特性を把握しておく必要があります。特に、車内の温度分布や風速分布を把握しておくことは、被験者配置や測定方法を計画する上で重要です。そこで、前述の車内空調設備のレイアウトを考慮し、図2(a)に示すような車内温熱環境の多点測定を実施しました。温度分布を把握するための条件は、空調On(設定温度25℃)条件と、空調Off条件の繰り返しとし、実際の営業運転中に起こり得る変動

環境下での温度分布が形成されるようにしました。風速分布を把握するための条件は、横流ファン送風の強度設定(「微」,「中」,「強」)と空調送風の強度設定(「弱」,「強」)の組み合わせとしました。

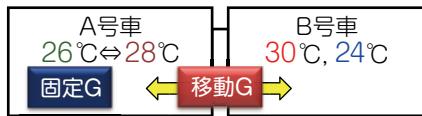
測定結果例を図2(b), (c)に示します。変動する状況の中で、車内には3℃程度の温度差が継続して生じていました。また、風速は場所によって大きく異なり、横流ファン直下の領域では、風速ピーク値が2.0m/s程度の周期的な風速がみられましたが、それ以外の領域では目立った風速はみられませんでした。以上より、実車を利用した体感実験の実施にあたっては、同一車内でも3℃程度の温度差や、2.0m/s程度の風速差が生じ得ることを念頭に置いて、被験者配置や測定方法を計画する必要がありますといえます。

フィールド調査

事前環境実験で、車内温熱環境の空間分布を把握しました。この他にも、車内温度に比較的大きな時間変動が生じていることが確認できます(図2(b))。

実際の営業運転中에서도、このような温度変化は生じているのでしょうか。これを確認するために、営業運転中の通勤列車に乗車し、車内の温湿度を測定しました。乗車した列車は、体感実験で利用する通勤用車両と同形式の空調設備を備えたものです。各測定者は、図3のような携帯型の温湿度計を所持し、その周囲の温湿度を測定しました。

測定結果の例を図4に示します。乗車中、比較的緩やかな温度勾配(以後、「ランプ状の変化」とする)や三角波状の温度変化が生じており、実際の営業運転中에서도車内に大きな温度変化



(a)固定グループ，移動グループの動き

試番	A号車	B号車
1	設定26°C 固定G 移動G	設定30°C
2	設定28°C 固定G	設定30°C 移動G
3	設定28°C 固定G 移動G	設定24°C
4	設定26°C 固定G	設定24°C 移動G
5	設定26°C 固定G 移動G	設定24°C

(b)設定温度と各グループの滞在号車

図5 設定温度と被験者の動き

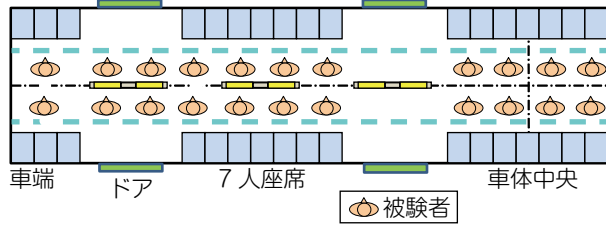


図6 被験者配置の例と体感実験の様子

が生じていることがわかります。また、ホームから列車への乗車時に、ステップ状の急激な温度変化が生じていますが、これは列車内の環境変化ではなく、乗客周囲の環境変化になります。したがって、より広い視点で乗客の温熱快適性を把握するためには、これらの温度変化を実験環境として実現し、快適性との関係を調べる必要があります。

体感実験

事前環境実験により通勤用車両の実験装置としての特性を把握しました。また、フィールド調査により、通勤列車利用時に体感し得る温度変化の特性を把握しました。これらの知見をもとに、通勤列車内の乗客の温熱快適性を明らかにするための体感実験を実施しました。日頃から通勤列車を利用している一般の鉄道利用者51名(男性31名、女性20名、平均年齢39.7歳)が、鉄道事業者Aの車両基地に留置された通勤用車両に被験者として乗り込みました。実施時期は8月上旬で、実験中の車外温度は31.8~37.1℃、車外湿度は40~45%で、典型的な真夏日でした。以下に、実験の概要をご説明します。

環境の実現

フィールド調査により、列車内の温熱快適性を考える上で、温度変化の影響

が重要な検討課題であることがわかりました。また、温度変化の種類として、ランプ状の変化、三角波状の変化、ステップ状の変化があることがわかりました。そこで、これらの温度変化について、ランプ状の変化を「車内設定温度の切替え」によって、三角波状の変化を「ドアの開閉」によって、ステップ状の変化を「異なる設定温度で制御された車両間の移動」によって実験環境として実現することにしました。また、被験者を、同一車両に滞在する「固定グループ」と車両間を移動する「移動グループ」に分け、グループにより体感する温熱環境の履歴が異なるようにし、その影響を検討できるようにしました。条件ごとの各号車の設定温度と被験者の動きを図5に示します。

環境測定および被験者配置方法

被験者が体感した温熱環境を把握するためには、実験中の温湿度や風速の測定が必要です。しかし、事前環境実験で実施したような定置型の多点測定(図2(a))は、今回のように多くの被験者が参加し、かつ移動を伴う場合は、被験者の安全面や、仮設にかかる時間の点からもあまりメリットはありません。とはいえ、車内には3℃程度の温度差があるため、少ない測定点では被験者が体感した正確な環境を把握する

ことができません。そこで、フィールド調査でも使用した携帯型の温湿度計により、実験中の被験者周囲の温湿度を測定しました。また、風速計に関しては、送風強度の同定用として1車両に1箇所設置するのみにしました。これは、事前環境実験で得た知見から、被験者と横流ファンとの位置関係がわかれば、被験者が受けた風速は図2(c)で特定できるからです。被験者配置の例と、体感実験の様子を図6に示します。

主観評価方法

主観評価項目とその尺度の選定は非常に重要な問題です。温熱快適性の研究分野でよく使用される主観評価項目には、温冷感と快適度(不快度)があり、どちらにもさまざまな尺度があります。それらの中から、研究目的や、比較したい先行研究との整合性を考慮して適切なものを選定します。今回の実験では、従来の温熱指標であるSET*⁽¹⁵⁾参照)と、温熱快適性との関係を調査した先行研究²⁾との比較を行うため、その研究で使用された尺度を採用しました。温冷感は「寒い」~「暑い」の9段階尺度、快適度は「不快でない」~「非常に不快」の4段階尺度です。これらの尺度を使い、主観評価を数分間隔で繰り返しました。

実験結果の例

被験者が体感した温度の測定結果を

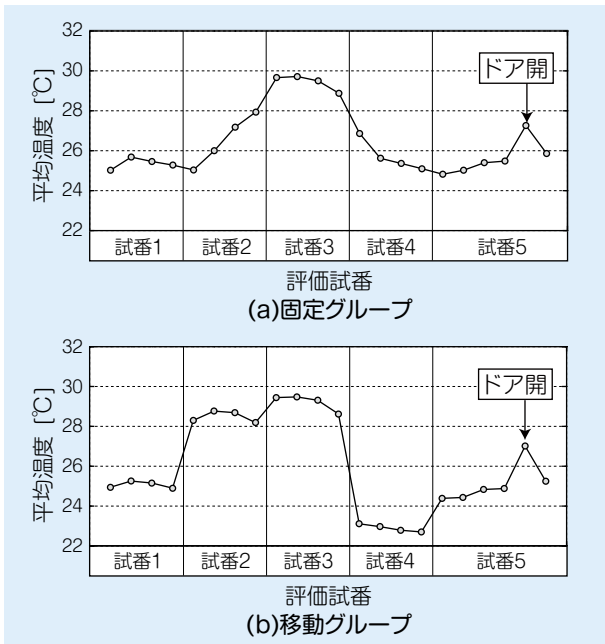


図7 被験者が体感した温度の測定結果

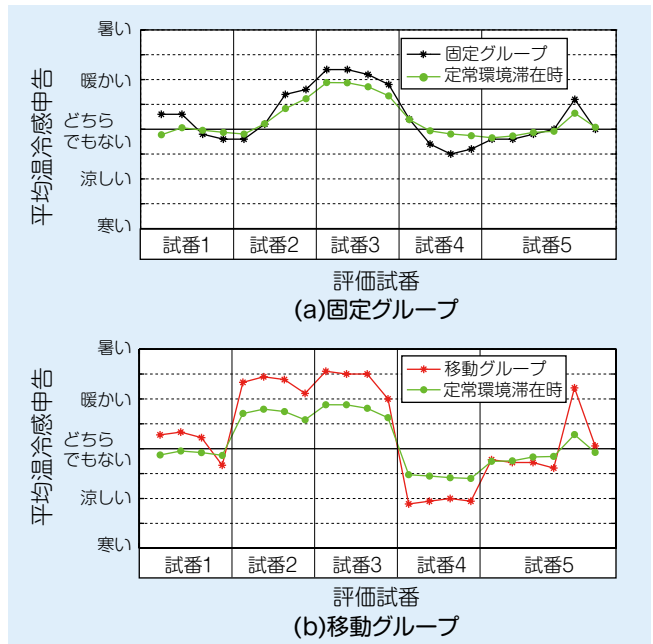


図8 温冷感の評価結果

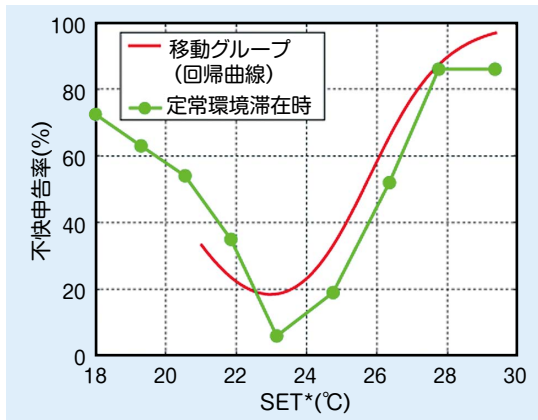


図9 SET*と不快申告率の関係

図7に示します。図7は、時間の流れに沿って示してあります。固定グループはランプ状の変化、移動グループはステップ状の変化を体感でき、また、両グループともドア開時に三角波状の変化を体感できたことがわかります。

同様に、温冷感の評価結果を図8に示します。図8には、先行研究²⁾で得られた知見に基づき、各評価時の温熱環境に60分間継続して滞在した場合

移動グループに関して、SET*と不快申告率との関係を図9に示します。本来SET*は定常環境に対する温熱指標ですが、ここでは仮に、主観評価時刻での環境測定値を用いてSET*を算出しました。また、図9に示した曲線の導出にあたっては、同一車内に温熱環境の相違があることを考慮し、各被験者周囲の温熱環境の測定値を使用しました。これにより、条件統制の難しい実車を利用した実験でも、

(以後、「定常環境滞在時」とする)の温冷感の予測値も併せて示しました。特に移動グループでは、急激な温度変化を体感した場合、定常環境滞在時よりも温冷感の感度が高くなり、より暑く感じたり、寒く感じたりしていることがわかります。

全データを活用して定量的な知見を得ることができます。なお、図9には、比較のために定常環境滞在時の不快申告率も併せて示しました²⁾。両者とも、不快申告率が最も低くなるSET*は23°C付近です。しかし、それ以上のSET*領域では、温度上昇を伴う環境下で評価を行った移動グループの方が不快申告率が高くなりました。

以上より、定常環境と変動環境とでは、瞬時の温熱環境が同一のSET*値となった場合でも、人の温冷感や不快度には違いがあると考えています。

おわりに

ここでご紹介した以外にも、実験で得たデータをもとに、変動性の大きさの影響や横流ファン送風の影響などのさまざまな知見を得ることができます。今後も、列車内の温熱快適性に関するさまざまな実験研究を重ね、評価方法を確立したいと考えています。[RRR]

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, 三菱電機技法, Vol.18, No.10, pp.27-30, 2007
- 2) 深井一夫, 他: 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), 空気調和・衛生工学会論文 文集, No.51, pp.139-147, 1993

☞ SET* (Standard New Effective Temperature, 標準新有効温度)

人の温熱感覚に影響を及ぼす要素には、環境側として「温度」、「湿度」、「気流 (風速)」、「放射温度」、人側として「着衣量」、「代謝量」があります。SET*は、人体と環境との熱交換プロセスを考慮して、これら6つの温熱要素から計算される温熱指標で、いわゆる体感温度 [°C] に相当するものです。例えば、無風で、放射熱の影響がない環境を仮定した場合、温度28°C、湿度50%の環境と温度26°C、湿度80%の環境はSET*が28°Cで同一となり、両者では同じ温熱感覚になると推定できます。なお、SET*は同一環境に60分間滞在直後の人体の生理状態に基づいて計算されるため、この間に大きな温度変化が生じるような環境はSET*の適用対象外となります。