

駅空間の夏季温熱環境改善に関する研究

Mitigation of Summer Thermal Environment in Railroad Stations



池田 佳樹* 坂本 圭司*

The purpose of this study is to analyze the thermal comfort in urban train station and to set forth guidelines for the effective improvement. From the survey results, average daily fluctuation patters of indoor and outdoor temperature difference were categorized into 4 types: The mount type, the valley type, the other type1(constant), and the other type2(elevate in evening). First, the mount type is affected largely by solar radiation and can frequently be found at bridge type of structure above the track , such as overpass. The valley type can be found at crowded concourse at which ventilation is poor and it depends on rush-hour when people gathered. More importantly, survey results show that the unacceptable thermal conform time decreases at well-ventilated area, such as near the large windows and the place where the point of measurement is close to the outside.

As a result, we reached the conclusion that there must be useful guidelines to improve thermal comfort. This guideline considers characteristics of the number of users, because users can experience higher improvement effect at crowded stations during unacceptable thermal comfort time. Therefore, this guideline helps you to diagnose the problem easily and to repair stations by passive method as possible.

●キーワード：駅、半屋外環境、実測調査、温湿度、温熱環境

1. はじめに

2012年度に実施した首都圏17駅における温熱環境実測調査¹⁾では、橋上駅コンコースおよび跨線橋における内外気温差の挙動に大きく3つのパターンがあることを示し、温熱環境悪化要因や改善手法の検討を行った。2013年度は、未実測であった高架下駅を含めた首都圏駅を対象に、駅社員や旅客の意見から暑さの顕在化した14駅の実測を行った。二か年の実測結果を併せて整理することで、温熱環境改善の必要性の高さや有効な改善手法の判断に資する指針を構築することを目的とする。本指針は、簡易に問題を診断し、駅舎改修による構内温熱環境のボトムアップツールとして位置づけられる。改善手法としては、極力空調設備を用いず、建築的に屋外風や日射などの自然エネルギーを制御するパッシブ手法を前提としている。

2. 実測調査概要

首都圏において、複数駅で温熱環境の実測調査を行った。実測は2012、2013年度の8月～1月に行った。

2.1 調査対象駅舎

調査対象は、首都圏の規模や形状等がそれぞれ異なる31駅（2012年度17駅、2013年度14駅）とした。駅舎のうち、線路直行方向の移動を目的とした部分を「跨線橋（15件）」とし、それ以外の部分を「コンコース（45件）」とした。空間の構成（天井高、形状等）が変わる位置で区切り、一つのゾーンとして割り当てた。同駅舎内で特性が異なることが予想され

る空間を複数有する駅では、一つの駅で複数ゾーンを設定し測定した。（表1）

2.2 温湿度測定

31駅60ゾーン（2012年度17駅30ゾーン、2013年度14駅30ゾーン）において、各ゾーン1点の温湿度経時変化を10分間隔で記録した。測定位置は、ゾーン中央付近の代表的な温熱環境になると想定される位置とした。測定機器（espec Thermo Recorder RSW-20）は駅案内サイン（床上約3.0m）または壁面（床上約0.5m）に固定しセンサー部は器具から15cm以上離れた。外気温は各駅舎最寄りの気象台²⁾における10分間隔の測定値を参照した。

表1 測定ゾーン概要

2012年度実測				2013年度実測			
測定点	駅形状	測定場所	改札通過者数(人/日)	測定点	駅形状	測定場所	改札通過者数(人/日)
T-1	橋上	跨線橋	68,000	KM-1	橋上	跨線橋	88,100
T-2	橋上	跨線橋	68,000	KM-2	橋上	コンコース	130,300
T-3	橋上	コンコース	25,200	KM-3	橋上	跨線橋	88,100
U-1	橋上	跨線橋	24,600	OI-1	橋上	コンコース	85,400
U-2	橋上	跨線橋	24,600	OI-2	橋上	コンコース	97,600
U-3	橋上	跨線橋	24,600	OM-1	橋上	コンコース	106,500
I-1	地上	跨線橋	45,400	OM-2	橋上	コンコース	61,200
MJ-1	橋上	コンコース	60,100	SH-1	橋上	コンコース	222,400
MJ-2	橋上	コンコース	60,100	SH-2	橋上	コンコース	106,800
NP-1	橋上	跨線橋	25,200	SH-3	橋上	コンコース	329,200
NP-2	橋上	跨線橋	66,500	TM-2	橋上	コンコース	248,400
SJ-1	橋上	跨線橋	47,200	TM-3	橋上	コンコース	120,800
SJ-2	橋上	跨線橋	28,700	YR-1	高架	コンコース	132,500
C-1	橋上	跨線橋	20,700	YR-2	高架	コンコース	48,400
Y-1	掘割	コンコース	54,900	YR-3	高架	コンコース	37,200
Y-2	掘割	コンコース	95,400	AK-1	橋上	コンコース	-
O-1	橋上	コンコース	100,800	AK-2	橋上	コンコース	-
O-2	橋上	コンコース	100,800	AK-3	橋上	コンコース	-
O-3	橋上	コンコース	82,300	AK-4	橋上	コンコース	-
SG-1	橋上	コンコース	121,500	KA-1	高架	コンコース	67,200
MG-1	橋上	コンコース	101,100	KS-1	橋上	コンコース	78,100
SN-1	橋上	コンコース	48,800	KS-2	橋上	コンコース	21,300
NS-1	橋上	コンコース	20,300	KS-3	橋上	コンコース	21,300
NS-2	橋上	コンコース	20,300	TA-1	高架	コンコース	130,700
SS-1	橋上	コンコース	71,600	KE-1	高架	コンコース	89,100
SS-2	橋上	コンコース	71,600	OG-1	橋上	跨線橋	42,300
K-1	橋上	コンコース	53,300	OG-2	高架	コンコース	108,300
K-2	橋上	コンコース	53,300	NO-1	高架	コンコース	82,100
H-1	橋上	跨線橋	69,900	E-1	橋上	コンコース	148,400
MK-1	橋上	コンコース	125,700	E-2	橋上	コンコース	97,800

2.3 二酸化炭素濃度測定

駅舎内換気状況の通風特性把握を目的として、二酸化炭素濃度を測定した。測定は2012年度のみ行った。

2.4 改札通過者数

各駅の利用実態、駅の利用者数と測定ゾーン温熱環境の関係の把握を目的として、測定ゾーン最寄りの改札通過者数を分析した。各年度において、9月の平日(木曜日)、休日(日曜日)1日ずつのデータを使用した。

2.5 分析対象期間

東京気象台における日平均気温が25℃を上回っていた2012年8月1日から9月20日、2013年8月1日から9月22日を夏季とし、分析した。なお、2012年度と2013年度の夏季晴天日における外気温の平均経時変化がほぼ同様であったことから、各年度を等価な屋外環境に対する温熱環境とし、分析を行った。

3. 駅空間における温熱環境特性

対象期間の平日晴天日における同時刻の構内空気温度と外気温を平均し、構内外の空気温度および温度差の変動傾向を抽出した。既往研究¹⁾の結果も踏まえ、各構内温熱環境パターンの定義付けを行った。表2に構内外気温差パターン特性と定義、図1に平日晴天日の構内空気温度および構内外気温差の平均経時変化を示す。

既往研究¹⁾において、「山型」の測定点は日中の構内外気温差が大きく、天井材が無く屋根材が露出しており、空間容積の比較的小さい跨線橋が多く分類された。「谷型」の測定点は朝方および夜間に構内外気温差が大きく、利用者が多いコンコースに多く見られた。今回、新たに実測した高架下駅は主に谷型に分類された。また、「その他」に分類された測定点を、構内外気温差より以下の二つに分類した。

- (1) 「他(一定)」 構内外気温差が常に一定であったゾーンが該当し、跨線橋とコンコース両方のタイプが分類された。日により構内外気温差の経時変化が異なっており、山型と谷型の日が混在していた。それらを平均した結果、傾向として一定となっていた。構内外気温差が常に3℃以上となっているゾーンと1℃以下となっているゾーンが見られた。一日の利用者数が多く、膜屋根およびトップライトを有している駅舎に多く見られた。
- (2) 「他(夕上)」 構内外気温差が15時以降に大きくなっているゾーンを分類した。夕方以降外気温が下がっても構内温度が高く維持されるのは谷型と同様であるが、深夜から早朝にかけて構内外気温差が小さくなることから、夜間の換気が谷型より行われている可能性がある。

表2 構内外気温差パターン特性と定義

パターン	特性	定義	測定点数
山型	構内外気温差が 早朝及び夜間において <small>小さく</small> 、 日中に <small>大きい</small>	(AとBの平均)-C ≥1.0	12
谷型	構内外気温差が 早朝及び夜間において <small>大きく</small> 、 日中に <small>小さい</small>	(AとBの平均)-C ≤1.5	24
その他	他(一定)	一日を通じ、 構内外温度差が一定	19
	他(夕上)	構内外温度差が 15時以降 <small>大きく</small>	

A: 早朝(4:30~5:00)における構内外気温差の平均
B: 深夜(1:00~1:30)における構内外気温差の平均
C: 日中(12時台)における構内外気温差の平均

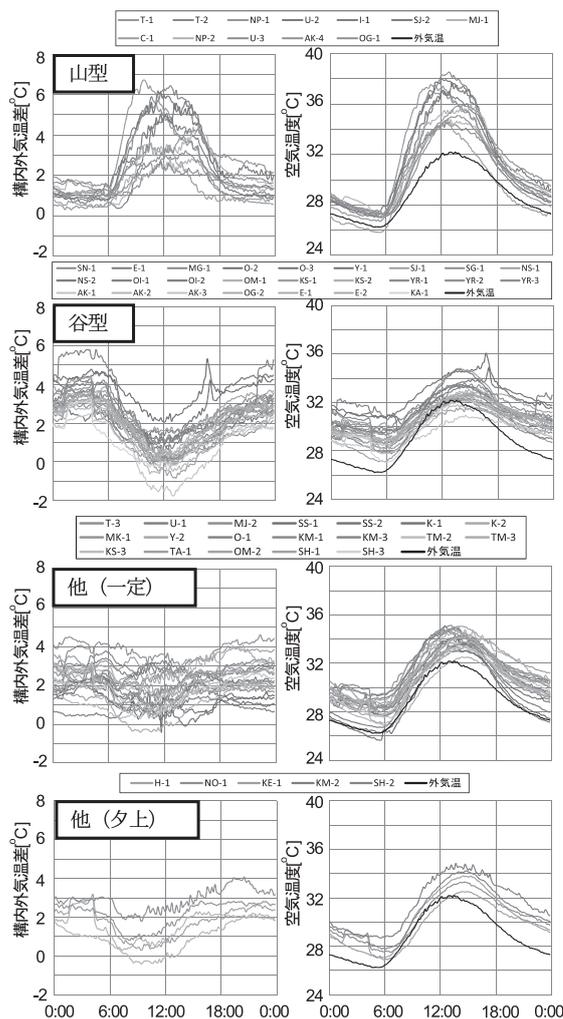


図1 構内外気温差(左)・空気温度(右)の平均経時変化

4. 駅の温熱環境レベルの評価

同パターンでも構内外気温差の大きく異なる駅舎が混在しており、優先的に温熱環境改善の必要な駅舎の抽出には何らかの判断基準が必要になるといえる。本稿では駅利用者の温熱環境許容限度を示す「熱的受容域」により評価を行うこととした。中野³⁾が実測調査より得た非空調駅におけるSET*と非受容申告者率の回帰曲線から、首都圏駅における熱的受容域は18.5~32[℃]であるとされ、今回夏季の非空調

駅における利用者の熱的受容上限をSET*32[°C]とした。SET* (Standard New Effective Temperature) とは、空気温度、放射温度、気流速度、湿度、代謝量 (活動量)、着衣量の6要素から求められる体感温度である。表3にSETの算出条件を示す。

表3 SET*算出条件

空気温度	放射温度	相対湿度	気流速度	代謝量	着衣量
実測値	空気温度と同じとした	実測値	0.1[m/s]	1.6[met]	0.5[clo]

本分析では主に以下の二つの観点により分析を行った。

- (1) 非受容者の割合 駅による利用者数の変動特性を考慮するため、SET*32[°C]を上回っている非受容時間帯の利用者数を求め、各駅の日利用者数で割り標準化した。
- (2) パッシブ有効指数 外気温湿度が高い時間帯は、通風による構内環境改善が見込めない。そこで、外気と構内の温湿度が等しくなると構内SET*が32°Cを下回る時間帯の非受容者数 (=A) と一日の非受容者数 (=B) の比率をパッシブ有効指数 (=A/B) とした。パッシブ有効指数が大きい駅舎ほど、外気 (屋外風) を利用した駅舎の通風性能改善が有効であると言える。図2に各測定点における非受容時間帯の利用者割合、およびパッシブ有効指数を示す。

非受容時間帯の利用者割合が50%を越えていた測定点は天井材が付加されていない簡易な構造・建築仕様の跨線橋の測定点を除くとO-2、SJ-1、O-3、MK-1、H-1、SN-1およびE-1であった。これらは谷型およびその他に分類されていた。また、一部の測定点を除き、非受容時間帯の利用者割合が大きい測定点は、パッシブ有効指数も大きくなっていた。一方、非受容時間が0%となっている測定点付近は駅構内の通風開口面積が大きい、測定点から屋外までの距離が短い等、換気が促される駅形状であった。

5. 温熱環境悪化要因の分析

5.1 日射の影響

図3に平日晴天日、平日曇天日の最大構内外気温差および晴天・曇天日の差を示す。晴天・曇天日の差が1.5[°C]以上の測定点は7件あり、山型かつ跨線橋の測定点に多く見られ

た。天井材が無く屋根面が露出しているため、日射の影響を大きく受けていたと考えられ、改善手法として日射遮蔽や天井材の付加が挙げられる。

5.2 換気量不足の影響

図4に構内二酸化炭素濃度と非受容時間割合の相関を示す。主に谷型、その他に分類されたコンコースの測定点において、構内二酸化炭素濃度が大きい測定点ほど、非受容時間割合が大きくなっていた。換気が不十分であるゾーンは構内に熱滞留が生じている可能性がある。

6. 改善手法の検討

中野ら³⁾により都内駅舎周辺における屋外卓越風向は線路方向が多いことが示されている。そこで、線路方向に対し垂直な壁面において外気に接している開口面積を通風開口面積とし、相対する2面で重なっている部分を「有効通風開口面積」とした。また有効通風開口面積をその壁面積で除したものを「有効通風開口率」とした (図5)。有効通風開口率と非受容時間割合の相関分析を行い、駅形状と構内温熱環境の関係を分析した。図6に、有効通風開口率と非受容時間割合の相関を示す。有効通風開口率が0%とその他を別系列で示している。橋上駅の跨線橋およびコンコースの測定点において、有効通風開口率が大きくなるほど非受容時間割合が小さくなる傾向が見られた。有効通風開口率が高い測定点では換気が促され、構内の熱滞留が解消されたためと考えられる。高架駅コンコースおよび有効通風開口率が0%の測定点においては、あまり相関がみられなかった。これらの測定点は向かい合う開口部に測定点がない駅や、測定点付近に壁面がない大規模な駅であった。有効通風開口率により、橋上駅の跨線橋およびコンコースの開口で挟まれた部分において、改善の傾向が把握できると考えられる。

7. 駅空間における温熱環境設計指針の作成

各測定点における温熱環境レベルの評価と構内外気温差のパターン分析の結果を受け、駅空間に温熱環境改善指針 (診断フロー、図7) を作成した。

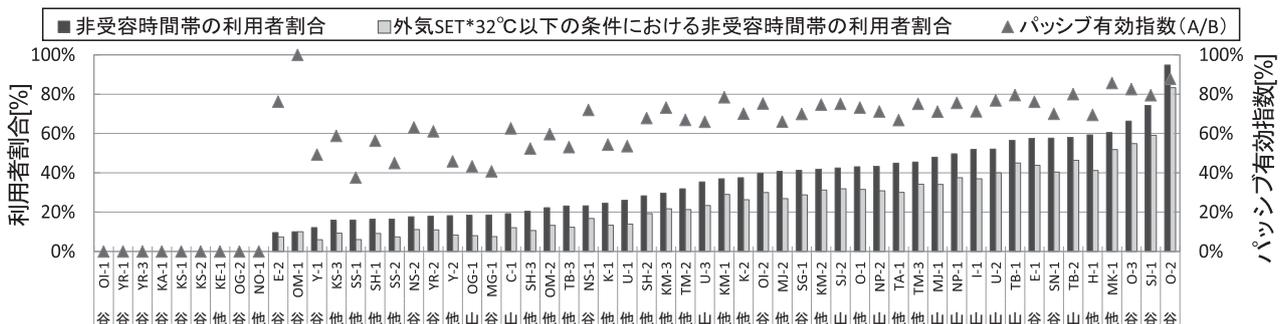


図2 各測定点における非受容時間帯の利用者割合

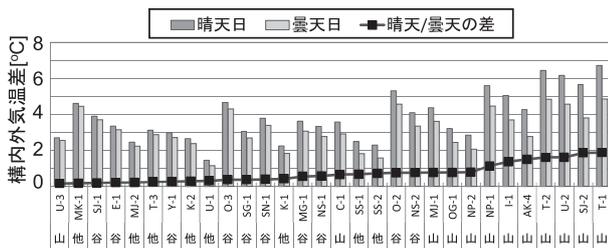


図3 晴天/曇天日における最大構内外気温差

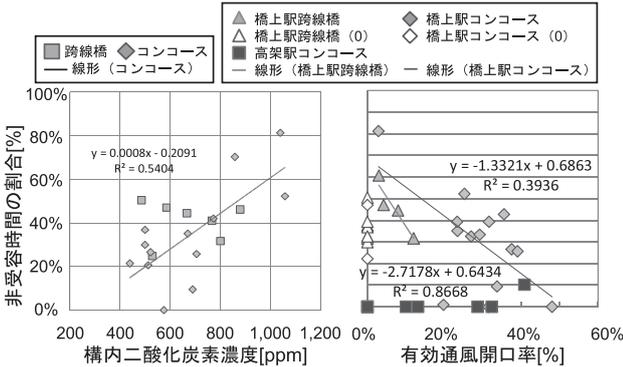


図4 構内二酸化炭素濃度と非受容時間割合の相関

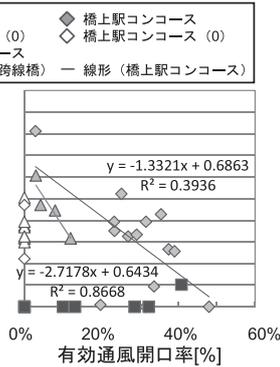


図6 有効通風開口率と非受容時間割合の相関

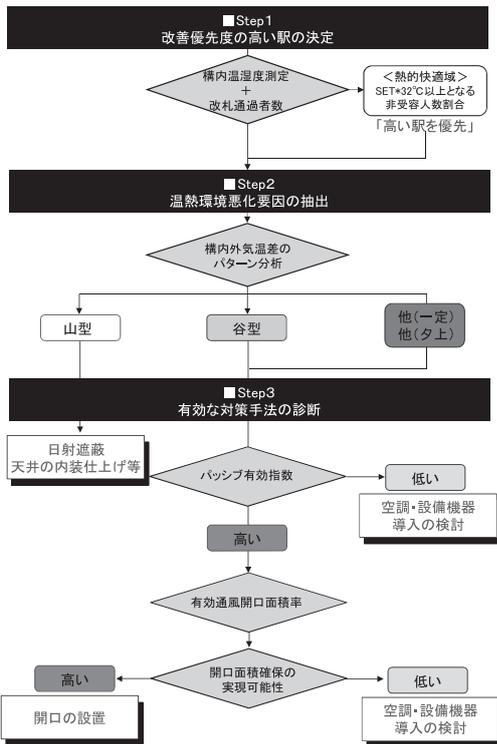


図7 駅空間における温熱環境改善指針（診断フロー）

Step1: 構内温湿度測定と改札通過者数データより温熱環境が問題となる駅舎を抽出する。

Step2: 構内外気温差のパターン分析により、温熱環境悪化要因の抽出を行う。各パターンにおいて日射および換気量不足が最も大きな悪化要因として挙げられる。

Step3: 対策手法の診断を行う。山型では日射遮蔽と天井材等の付加、谷型・その他ではパッシブ有効指数が高

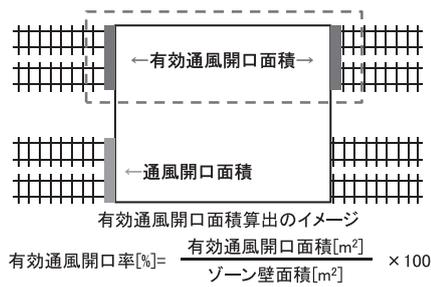


図5 有効通風開口面積算出のイメージ

い駅舎に対しては有効通風開口率の増加、低い駅舎に対しては空調・設備機器の導入を改善手法として挙げた。

8. まとめ

首都圏の複数駅における温熱環境実測調査を行い、構内温熱環境のパターン分類を行った。その結果、構内外気温差は大きく4つに分類できることがわかった。

また、実測結果を踏まえ、各測定点に対し温熱環境レベルの評価を行った。その際、非受容時間帯に利用者数の多い駅ほど利用者の体感的な改善効果が高いと考え、駅による利用者数変動特性を考慮した評価方法を実施した。

さらに、実測結果および構内温熱環境悪化要因の検討を踏まえ、駅空間における温熱環境改善指針（診断フロー）の作成を行った。指針は3段階で構成されており、可能な限りパッシブ手法による改善を行う事を前提としている。

9. おわりに

実務として駅の温熱環境の改善を図る際には、施工性や環境改善に必要な工事費・予算等との兼ね合いから本稿で作成した温熱環境改善指針（診断フロー）をそのまま適用することができないことも想定される。しかし改善の優先順位を決定するための検討材料として本指針を活用することは有効であると考え。今後、本稿の結果を温熱環境改善計画の策定を検討している東京支社に提言していく予定である。

本調査の実施および分析にあたり、東海大学工学部建築学科の中野淳太准教授、早稲田大学大学院建築学専攻修士課程の河又大起氏、海野賢氏、加藤駿氏、葛生恵理子氏、池田直樹氏から多大なるご指導を賜った。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 海野賢ら; 駅空間における夏季温熱環境改善に関する研究 (その1~2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, 2013
- 2) 気象庁: <http://www.jma-net.go.jp>
- 3) 中野淳太ら; 駅空間における熱的快適性実測調査 (その1~32) 日本建築学会大会学術講演梗概集D-2分冊 (2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010)