

鉄道駅プラットフォームの温熱環境の実態

飯野 秋成*

(平成 19 年 10 月 31 日受理)

Thermal environment on platforms of railway station

Akinaru IINO *

This report pointed out the importance of controlling thermal environment on railway platforms to construct comfortable spaces for passengers, and also to perform sustainable designing of large terminal railway stations in urban areas. Characteristics of air temperature, wind velocity and surface temperature distribution on platforms of a large terminal station located in Tokyo were lectured. And also the method to provide contour map of air temperature over some platforms were explained. It is important to accumulate the measurement data of thermal environment on present platforms for developing environmental design process of railway stations in near future.

Key words: Railway station, Platforms, Thermal environment, Measurement survey, Air temperature distribution

1. 鉄道駅の温熱環境研究の重要性

鉄道駅は、駅本来の交通機能を最大限に生かすことができるよう、機能面を最優先に考えた設計となっている。列車の乗降や駅構内の移動が多くの旅客にとって極端なストレスにならず、かつ列車の運行を阻害する要因もないことが第一の要件となっているわけであるが、近年では鉄道駅に付加価値を求める声も少なくない。例えば、ショッピング施設や宿泊施設などとの連携を重視して利便性に優れた駅とすること、さらには、プラットフォームを含む駅構内において比較的長時間となりやすい列車の待合い時の快適性にも配慮することを鉄道駅改修の重要な設計要件とするなど、各鉄道会社では旅客サービスの新たな価値観を求めて様々な取り組みがなされつつある。

プラットフォームの温熱環境に注目してみると、列車からの排熱、売店等の空調室外機からの排熱、そして多数の乗降客からの熱放散など、プラットフォーム上の気温分布に直接的に影響を与える排熱源は多様である。また、ポリカーボネートやスレート、折れ鉄板等で作られることの多いプラットフォームの屋根や、砕石やコンクリートで覆われている列車の軌道面の夏季日中の表面温度は相当に高くなることも予想される。さらに大規模なターミナル駅の場合には、周囲を構想の駅舎などで囲まれることにより気流が弱くなりやすい。小規模ながらも、まさにクリアな「ヒートアイランド」が形成されるエリアであるといえる。事実、列車待ちの長いターミナル駅において、夏季日中には「ホームが暑い」との苦情も多数駅に寄せられると聞く。

* 建築学科 教授 (Department of Architecture and Building Engineering, Professor)

開放型プラットフォームの温熱環境を快適に制御するためには、プラットフォームを密閉して内部を空調すればよいのではないかと、との考え方も成り立つ。しかしながら、プラットフォームという都市に多数存在する大規模空間こそ省エネルギー設計が求められるべきであり、プラットフォームの温熱環境形成のメカニズムの解明と温熱環境の改善のための建築的な視点から対策は重要と考える。

本報では、都心部のターミナル駅 A 駅における実測調査結果^{[1],[2]}を概説し、プラットフォーム上の気温分布、気流分布の形成要因を考察する。

2. プラットフォーム上の定点観測による気温・平均放射温度・気流分布の特徴

2.1 A 駅の特徴

A 駅は、東京都心部に位置するわが国最大の大規模ターミナル駅である。A 駅の平面・断面図をそれぞれ図 1、図 2 に示す。A 駅は東側の 13 階建て建物 D、西側の 3 階建て建物 S にはさまれた南北方向約 400m、東西方向約 190m の空間に、南北方向に伸びる 10 のプラットフォームが存在する。また、断面はプラットフォーム①と⑥～⑩が高架であるのに対し、②～⑤の床面は約 4m 低い。

夏季晴天日では、海陸風の影響、および移動性高気圧による風の流入によって、A 駅上空の風向は一般に東～南東となることが多い。また、A 駅のいずれのプラットフォームにおいても朝夕の通勤時間帯に特に発着回数

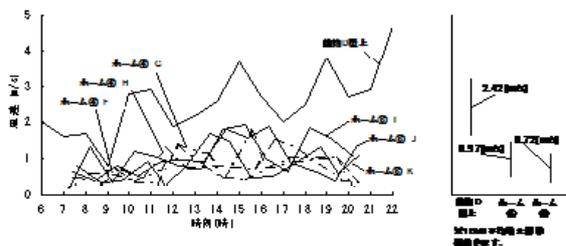


図 4 A 駅上の風速 (2000/8/22)¹⁾

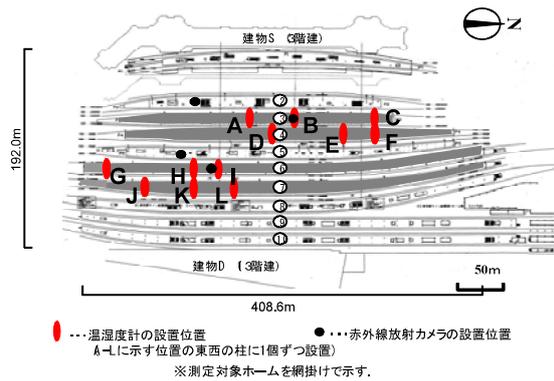


図 1 A 駅平面図および実測機器の設置場所

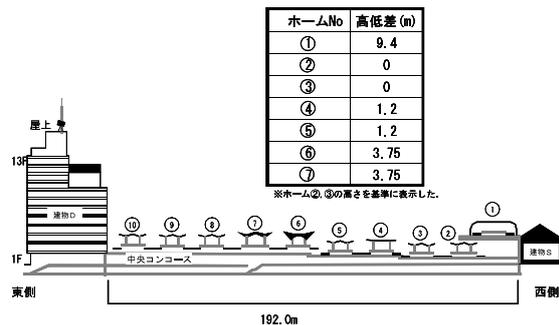


図 2 A 駅断面図

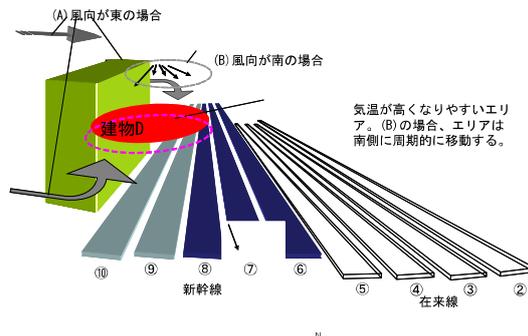


図 3 A 駅における気温・気流の概念図

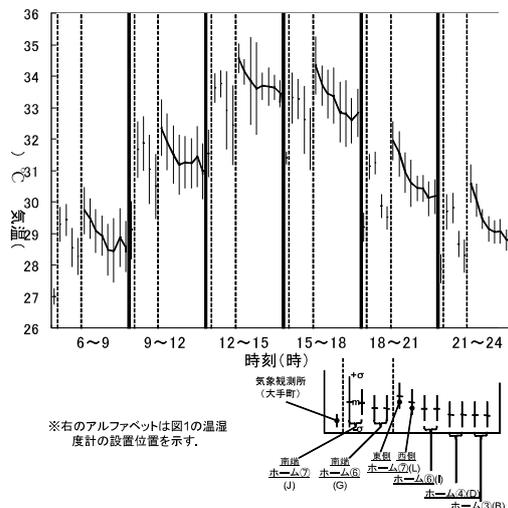


図 5 プラットフォーム床上 1.5m 高さの気温の日変化 (2000/8/22)¹⁾

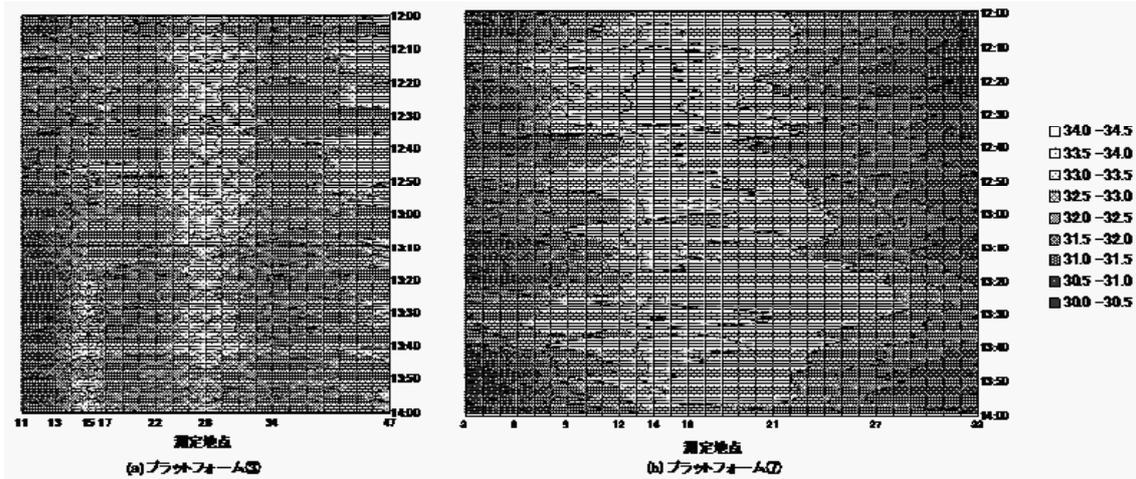


図6 風向が北の場合の気温分布 (2002/8/20 12:00 ~ 14:00)²⁾

が多くなるが、プラットフォーム②、③は他に比較して、1日を通じ列車の発着回数が多い。駅売店や待合室などの空調室外機が、売店上やプラットフォーム下の通路などに置かれている。

屋根の構造は、プラットフォーム①～⑤と⑧～⑩はスレートの単板、⑥と⑦は厚さ1mの二重構造である。各プラットフォームの階段直上の天井は透明ポリカーボネートの天窓になっており、天窓からの日射の入射がある。床は、プラットフォーム②と③はアスファルト舗装仕上げ、その他は花崗岩仕上げである。

2.2 A 駅プラットフォーム上の風向と気温の特徴

A 駅上空の風とプラットフォームにおける排熱の様子を概念図として示すと図3のようになる。前述の通り、日中は東京湾からの海風（風向は東）が恒常的に吹くことが多いが、移動性高気圧下などでは北寄り、あるいは南寄りの風となることもある。

風向が東の場合、ホームの最北端、最南端では建物Dの影響によって風向がやや変化することが観測されるが、このとき各ホームで計測した風速と大手町気象観測所の風速を比較すると図4のようになる。風速比は平均 1/2 以下、中央近くでは 1/10

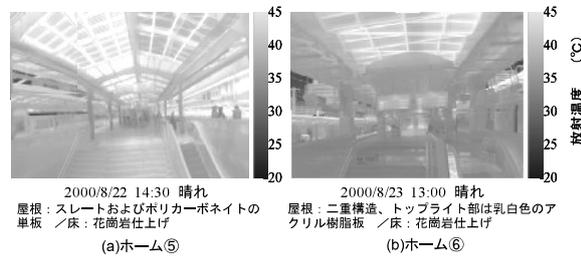


図7 プラットフォームにおける熱画像の例¹⁾

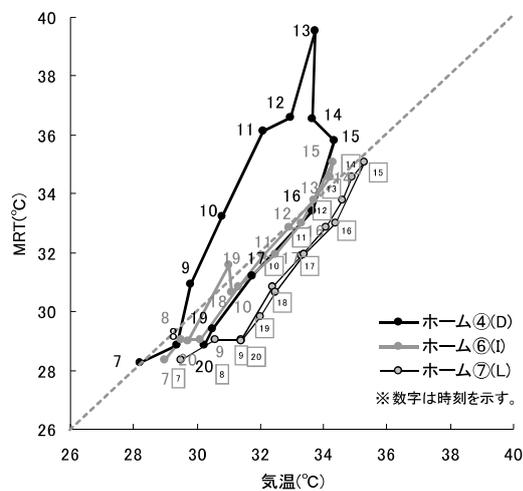


図8 プラットフォーム床上 1.5m 高さの気温と MRT との関係 (2002/8/20)¹⁾

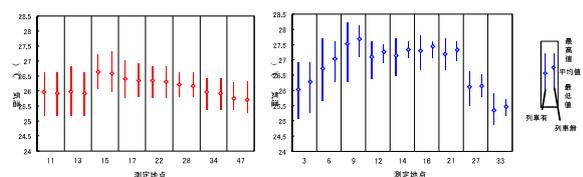


図9 列車の有無によるプラットフォーム上の各測定地点の気温 (2002/8/20)²⁾

以下となる場合もある。また、各プラットフォームにおいて、南北方向のほぼ中央で気温の長期計測を行った。図5に3時間毎の気温の平均値と標準偏差を示す。プラットフォーム③、④より⑥、⑦の方が1日中1～2Kほど高いことがわかる。気象観測所の気温と比較すると、その差は3Kとなる時間帯もある。恒常的にプラットフォーム上の気温が高いことがおわかりいただけるだろう。小都市における「ヒートアイランド」といえる状況である。

風向が北の場合、すなわち軌道に沿って吹いている場合には、プラットフォーム上の気温分布に周期的な変動がみられる。図6は、夏季12:00～14:00の気温変動をプラットフォーム③と⑦で比較したものであるが、③では気温の高いエリアはほぼ一定の場所にあるのに対し、⑦では測定地点No.14を中心に北側、あるいは南側に20～30分ごとに移動している様子を読み取れる。プラットフォーム上の「ヒートアイランド」は静的なものではなく、主風向の変化に鋭敏に反応していることがわかる。

2.3 プラットフォーム上の表面温度分布と平均放射温度

プラットフォーム⑤と⑥で収録した熱画像を図7に比較する。プラットフォーム⑥の屋根には焼け込みの影響は見られず35℃程度であるが、階段の直上など部分的にポリカーボネートの天井を用いている箇所は、屋根側の入射日射によって天井側が40℃を超えている。プラットフォーム⑤の屋根はスレート単板のため天井の表面温度が高く、平均約45℃程度である。プラットフォーム上の気流が前述の通り比較的弱いことを考えれば、プラットフォーム上の平均放射温度(Mean Radiant Temperature, MRT)は旅客の温冷感を考える上で無視できない。

プラットフォーム内の放射温度の計測結果からMRTの時刻変化を求め、図8に各プラットフォームのMRTと気温との関係を示した。プラットフォーム⑥では気温とMRTは一日中ほぼ等しいが、プラットフォーム④では、13:00に屋根面から天井面への焼け込みの影響によりMRTは40℃まで上昇し、気温より6K高くなっている。プラットフォーム⑦は、屋根構造は⑥と同じであるが、前述のように他のプラットフォームより気温が高く、結果的にMRTより気温の方が0.5～1K高い。

以上をまとめれば、スレート単板の屋根構造は日中のMRT上昇に大きく寄与するが、2.2に示したとおり、プラットフォーム⑦の気温上昇分もこれに相当するほどのものとなっている。

2.4 プラットフォーム上の気温と気流に対する列車の影響

プラットフォーム③と⑦の気温を、列車の有無で分けてみた。図9はよれば、いずれの測定箇所においても列車の存在する場合に気温が高くなる傾向がみられている。さらに、プラットフォーム上で33℃以上となるエリアの軌道方向の長さを1分ごとに求め、1分間の気温と対応させたのが図10である。この時間帯では、軌道方向でみると最南端より中央の方が約2K程度高いが、特にプラットフォーム⑦では列車有の場合33℃以上の高温域が広がる。プラットフォーム⑦は新幹線ホームであるため列車の停車時間が③に比較して長く、列車排熱がよりこもりやすい状況が計測されている。

このことは風速の実測結果にも表れている。図11は列車入線後(列車有)と列車発車後(列車無)のそれぞれについて、気温と風速の時刻変化を示している。列車の入線後まもなく約34.4℃かつ風速1.0m/s以下で一定であるが、列車発車後はすぐに33.7℃程度まで気

温は低下し、風速は最大 2.5m/s を示す。

このように、プラットフォームに列車が停留している状況下では、列車の排熱と風の侵入を防ぐ効果との相乗効果によって、プラットフォームの気温は上昇しやすい。

3. プラットフォーム上の気温分布の移動計測と時刻補正

プラットフォーム上の気温の面的な分布を把握することは、旅客の待合い空間における温熱環境を向上させるための基礎データの取得という意味で重要である。ただし、プラットフォームは一般に南北方向 300～400m 以上あり、また都心のターミナル駅ではプラットフォームは 5～10 本程度は存在する。温湿度計や風速計を多数設置することは、コストの面でも、また設置場所の確保や旅客の安全性という面でも多々難しいところがある。すなわち、都市のヒートアイランドの実測調査で用いられる方法と同様、プラットフォーム上での定点計測と移動計測を適切な方法で実施することが求められる。

既に述べたとおり、特に軌道に沿った風向の場合、プラットフォーム上の気温の空間分布は風向・風速の時刻変動の影響を受ける。プラットフォーム上を徒歩で数 m 間隔ごとに移動計測するとすれば 1 回の計測サイクルに必要な時間は 30～40 分となるが、各計測点での測定ごとに主風向・主風速は異なるため、時刻補正にはやや工夫が必要となる。

ここでは A 駅プラットフォームで実施した移動計測と時刻補正の方法を紹介する。

3.1 温度勾配の考え方

図 12 に移動計測の方法を示す。気温測定装置は、デジタル式温湿度計のセンサをアルミ板で作成した二重の通風管に入れ、ファンにより周囲空気を吸引するものとした。計測はプラットフォーム床 150cm であり、風向（北）に向けて吸引させる。測定点は約 5m 毎とし、各点で 30 秒間の吸引の後安定した値を読みとっている。

まず、プラットフォーム③とプラットフォーム⑦の定点観測のデータを使って、気温の高温域周辺の測定地点と気温変動の小さい最北端地点における 10 分間隔と 60 分間隔での温度勾配の日変化を図 13 に求めてみた。10 分間隔では各測定地点とも変動が大きく、時刻補正の時間間隔としては短すぎる。60 分ではプラットフォーム③の測定地点 15 とプラットフォーム⑦の測定地点 33 でやや変動が大

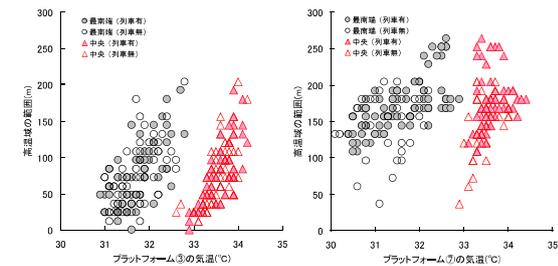


図 10 プラットフォーム上の気温と 33℃以上の高温域の範囲²⁾

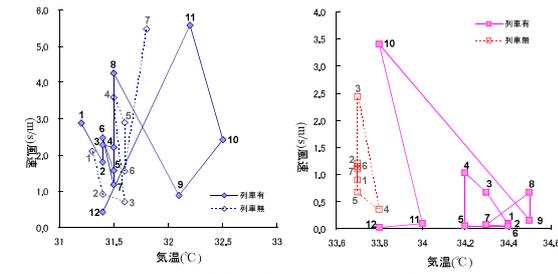


図 11 列車入線後と発車後のプラットフォーム上の気温²⁾

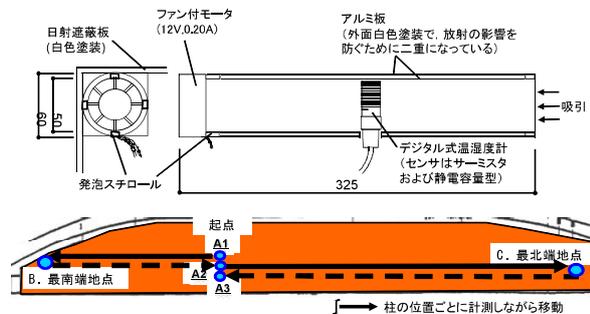


図 12 移動計測の方法と測定機器

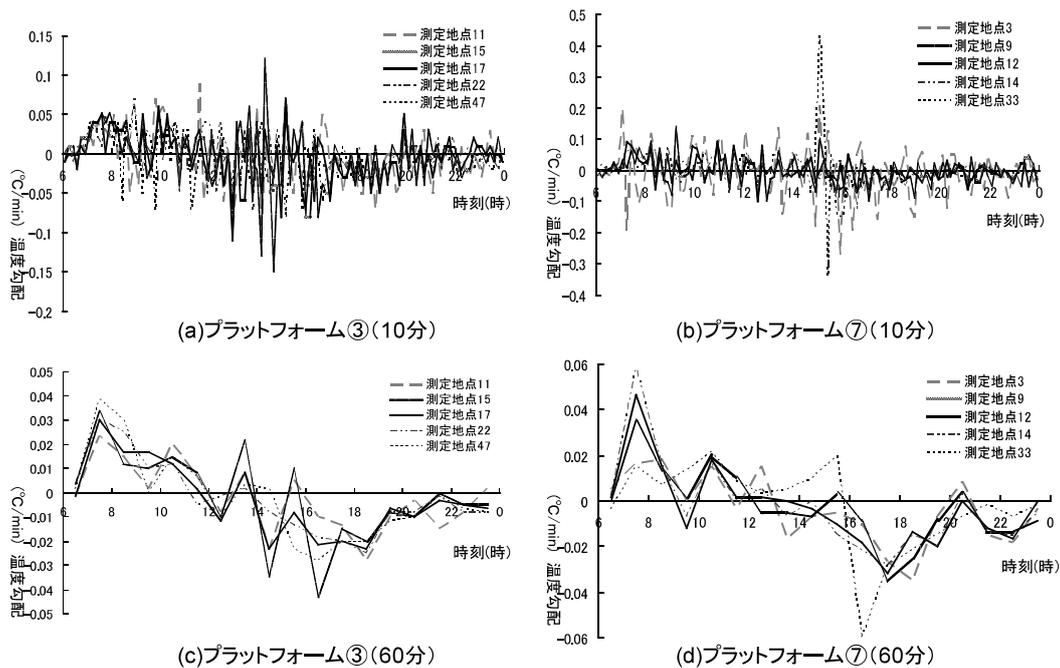


図 13 各測定地点の温度勾配の時系列変化²⁾

きくなるが、他の測定点の温度勾配は小さく安定している。

図 14 でプラットフォーム③とプラットフォーム⑦の気温の高温域周辺の測定地点と気温変動の少ない最北端地点における温度勾配の正の値、および負の値の割合を、温度勾配を計算する時間間隔ごとに示す。午前中は 60 分以上の間隔では温度勾配の正の値が 70% 以上と高い。午後は、10 分では正の値、負の値ともに 40% となる測定点があるが、60 分以上の間隔では温度勾配の正の値が 30% 以下となる。温度勾配の値の割合の変化をみると、午前、午後ともに 60 分以上になると変化が小さくなる。すなわち、60 分間隔による移動計測のデータの時刻補正を行うことによって、プラットフォーム上の時間平均的な気温分布を表現できると考えられる。このとき、温度勾配は 1 つのプラットフォームにおける気温の測定位置ごとに異なっており、例えば測定開始地点における温度勾配を同じプラットフォーム上の他の測定地点にあてはめる、といった時刻補正の方法は適当ではないことがわかる。

3.2 時刻補正の方法

時刻補正の方法として、各測定地点の平均的な気温変動を把握するために 60 分の温度勾配を求めることができるように移動計測を行い、前後の 2 つの計測サイクルの測定値から、同じ測定地点における温度勾配を算出して補正したい時刻の気温を算出する方法を採用する。プラットフォーム上の気温分布を求めるときは、プラットフォーム⑦最南端地点の風速データを用い平均風速を基準として、風速が小さく気温の高いエリアが移動していない時刻に測定したデータを時刻補正した場合 (Case A) と、風速が大きくなり気温の高いエリアが南に移動している時刻に測定したデータを時刻補正した場合 (Case B) の 2 つの気温分布を求める。2 つの気温分布を求めるためのフローチャートを図 15 に示す。

時刻補正結果の妥当性を検討するため、図 16 に Case 分けを行わない場合と Case A、Case B について各プラットフォームの固定計測による 1 時間平均値の気温と時刻補正により求めた気温を比較した。いずれの場合も、固定計測による時間平均値と時刻補正によ

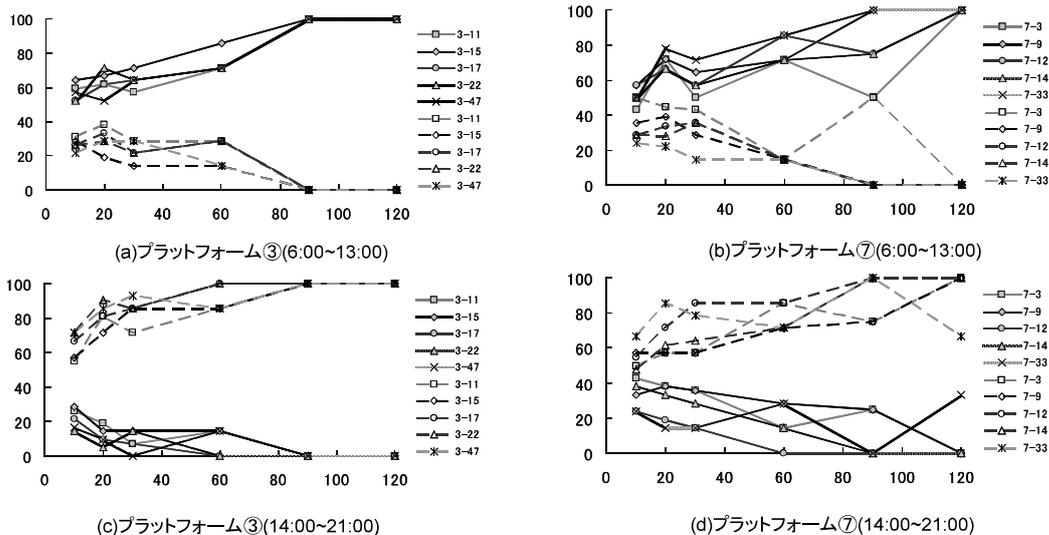


図14 プラットフォーム上の各測定地点における温度勾配の正負の値の割合²⁾

り求めた気温はほぼ対応している。一次回帰直線の係数で評価したところ、Case AはCase分けを行わない場合より若干一次回帰直線の係数が小さくなっているが、Case A, Case Bとも相関係数が0.9以上と高く、1時間ごとの平均的な気温変動を把握するには十分な精度である。

3.3 A駅プラットフォームの気温分布の特徴

図17(a), (b)に時刻補正をした値を用いて11:30の気温分布を求めた。なお、11:00~12:00の平均風速は3.0m/sであった。Case Aでは、プラットフォーム中央から南側20m~60mに気温の高温域があるプラットフォームが多い。Case Bでは、プラットフォーム⑤を除いてプラットフォーム中央から南側40m~80mの位置に気温が低くなるエリアが存在している。2つの分布を比較すると、プラットフォーム③とプラットフォーム④の南側で温度分布が異なるもののプラットフォーム②からプラットフォーム⑤の気温分布はほぼ同じである。図17(c)にCase BからCase Aの差を求めると、プラットフォームの軌道に沿って強い風が吹いたときに、隣接するプラットフォームに対してプラットフォーム床面が高く、風が吹き込みやすいプラットフォーム⑥を除いて、全体的にプラットフォームのやや南側の80m~120mのところまで気温の高温域が広がり、0.2~0.6K上昇している。すなわち、300~400mの地上型プラットフォームにおいて、軌道に沿ってプラットフォーム全体に3m/s以上の風が侵入している場合、気温の高温域は約60m長くなり、プラットフォーム⑦を除いてプラットフォーム中央付近の気温が低下する傾向がある。また、Case AとCase Bの各プラットフォームの中央から南側の気温の最高値と最低値の差を求めたと

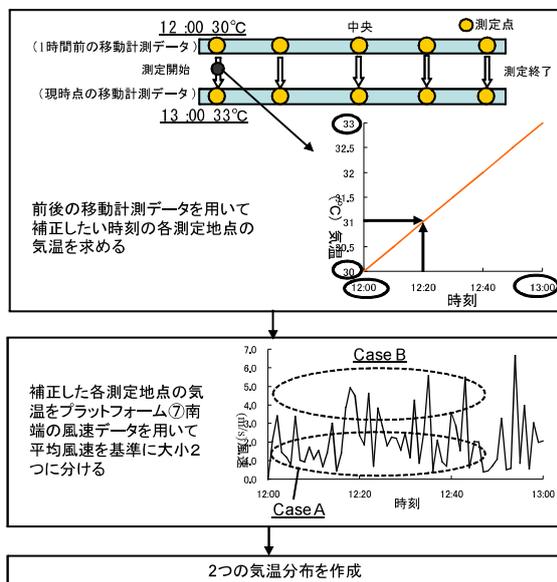


図15 移動計測による時刻補正と気温分布図作成のフローチャート

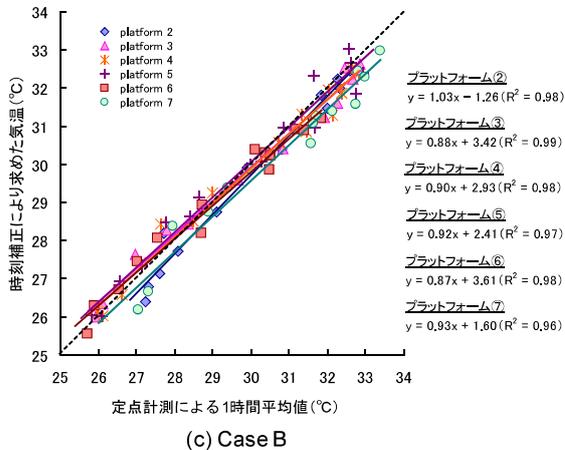
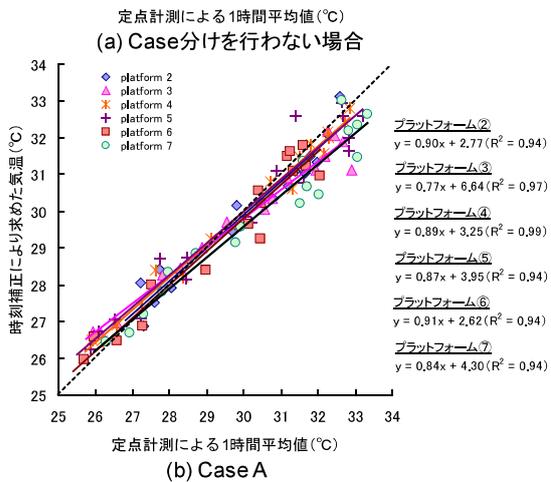
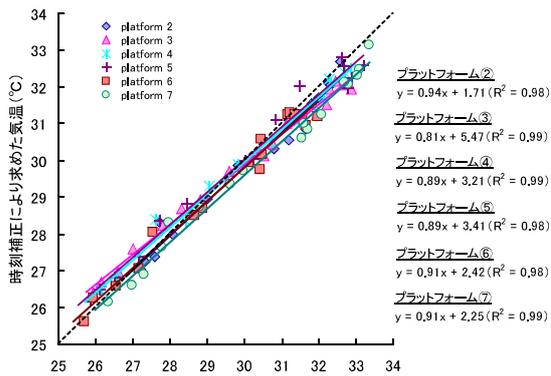


図16 定時計測による気温(時平均)と時刻補正後の気温との対応²⁾

ため、さらに場合分けをするなどの工夫もあり得るが、一方でラッシュ時に多数の乗降客の移動の妨げとならないように効率よく移動計測を行わなければならない難しさもあり、測定データ数とのトレードオフが生じるところである。

これまで述べた測定結果から示唆されることは、プラットフォーム上の気温分布が上空の風向・風速に影響されやすいこと、すなわちプラットフォームに風を取り込むことによって気温の高いエリアを解消できる可能性のあることであろう。駅ビルや列車の停留はプラットフォームへの風の進入を遮るが、上空風を取り込む屋根のデザインや送風機の利用による排熱の拡散など、半開放空間であることのメリットを生かした建築的な解決策が求めら

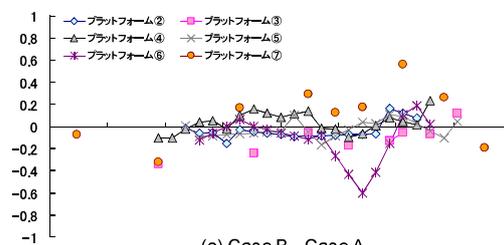
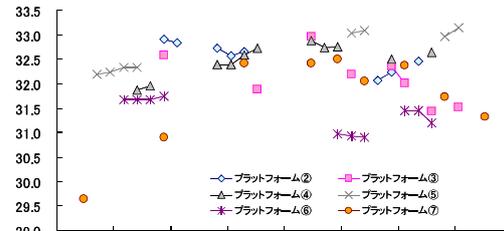
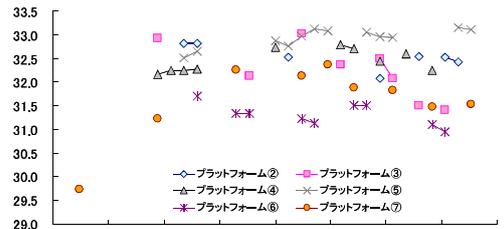


図17 2002/8/20 11:30におけるA駅プラットフォームの気温分布²⁾

ころ、軌道に沿って風が吹いたときに最大で0.2K小さくなった。

4. 鉄道駅の環境設計に向けて

筆者らのこれまでの鉄道駅の環境調査事例の中から、東京都心部に位置するA駅プラットフォームにおける温熱環境の測定データのいくつかを示すとともに、プラットフォーム上の気温の空間分布を求める方法を紹介した。厳密には、計測時点における列車の有無の影響なども受けているため、さらに場合分けをするなどの工夫もあり得るが、一方でラッシュ時に多数の乗降客の移動の妨げとならないように効率よく移動計測を行わなければならない難しさもあり、測定データ数とのトレードオフが生じるところである。

これまで述べた測定結果から示唆されることは、プラットフォーム上の気温分布が上空の風向・風速に影響されやすいこと、すなわちプラットフォームに風を取り込むことによって気温の高いエリアを解消できる可能性のあることであろう。駅ビルや列車の停留はプラットフォームへの風の進入を遮るが、上空風を取り込む屋根のデザインや送風機の利用による排熱の拡散など、半開放空間であることのメリットを生かした建築的な解決策が求めら

れるところであろう。

冒頭に述べたとおり，鉄道駅の新設や改修における環境設計は一つのトレンドになりつつある。しかしながら，都市域のターミナル駅は長期にわたって利用されてきた歴史のあるものが多く，その改修は決して簡単ではない。例えば，ホームの日射遮へいのために庇を取り付けたり，あるいは待合い空間にスポット空調を1つ取り付けようとするだけでも，駅の構造や既設設備との取り合いが多々生じ，改修設計に困難を生じることもあり得る。鉄道駅の改修計画において，環境設計のプロセスをどう取り込むべきかは，今後事例を蓄積していくべきポイントとなるところであろう。そのためには，ここに詳述したような駅空間の温熱環境測定の手法の確立だけでなく，改修後の温熱環境を，施工段階の設計変更などに柔軟に対応しながら予測できるシミュレーションツールの開発や，プラットフォーム上の旅客の温冷感の評価方法の構築など，今後進めるべき研究テーマは多い。筆者もいくつかの改修事例に関わりながら，「鉄道駅のサステイナブルデザイン」がどうあるべきなのかを模索している段階であるが，これまでに駅構内と周辺建物の全表面の熱収支解析やCFD解析を重ねることで，既にいくつかの興味深い結果も得ている^[3]。これらについては機会をあらためて報告したい。

文献

- [1] 飯野秋成，古賀和博：大規模鉄道駅ホームにおける夏季熱環境の実測調査，日本建築学会技術報告集，第15号，pp189-194，2002.6
- [2] 飯野秋成，古賀和博，塚本健二，伊藤 悟：開放型プラットフォームにおける気温分布の形成要因に関する考察，日本建築学会環境系論文集，第587号，pp.37-44，2005.1
- [3] 飯野秋成，塚本健二，富永禎秀：鉄道駅における列車の停留と周辺の高層建物がプラットフォーム上の風速と気温の空間分布に及ぼす影響，日本建築学会環境系論文集，第608号，pp.89-95，2006.10