

駅における人の流れ

青木 俊幸

研究開発推進室 (JR 課長)
前 構造物技術研究部 建築 研究室長

石突 光隆

構造物技術研究部
(建築 研究員)

山本 昌和

総務部
前 構造物技術研究部 建築 研究員



あおき としゆき



いしづき みつたか



やまもと まさかず

鉄道利用者の流れ

鉄道をご利用するお客様の移動全体を、旅客の「流動」と呼んでいます。多少失礼な言い方と思わないでもないのですが、流れが滞ると大問題となるので、この流れをスムーズにするために工夫をこらしているのが鉄道の特徴です。ここでは様々な特色をもつ鉄道における旅客流動について述べますが、前の記事にもあるように、「旅客流動」という言葉には2通りの意味があります。

①路線網のなかでの発着駅間の旅客数、つまり、A駅で乗ってB、C、D…各駅で降りる人数を指す場合。

②駅の構内での旅客の流れの状態。

本稿では②の駅構内の旅客の流れ(図1)について述べます。

駅構内の旅客流動

鉄道は大量輸送能力が持ち味の一つなので、流れを考えると、近所を流れている小川程度ではなく、黄河やナイル川の治水並みの注意が必要となってきます。

駅のなかでの流れは、非常に波があることが特徴です。つまり、流れの量自体が、短時間の間に極端に増減することです。

また、この流れが、ネックとなる箇所で停滞・滞留・よどむ場合があります。これは、一時

的に多くの流れがあるため通路の幅が狭くなったり、階段や改札など設備的に対応できない場所があるからです。

更に、その流れを詳細にみると、一定方向だけでなく、歩行者どうしが交錯した流れとなっていて、利用者にとっては、歩きにくくなっている箇所もあります。

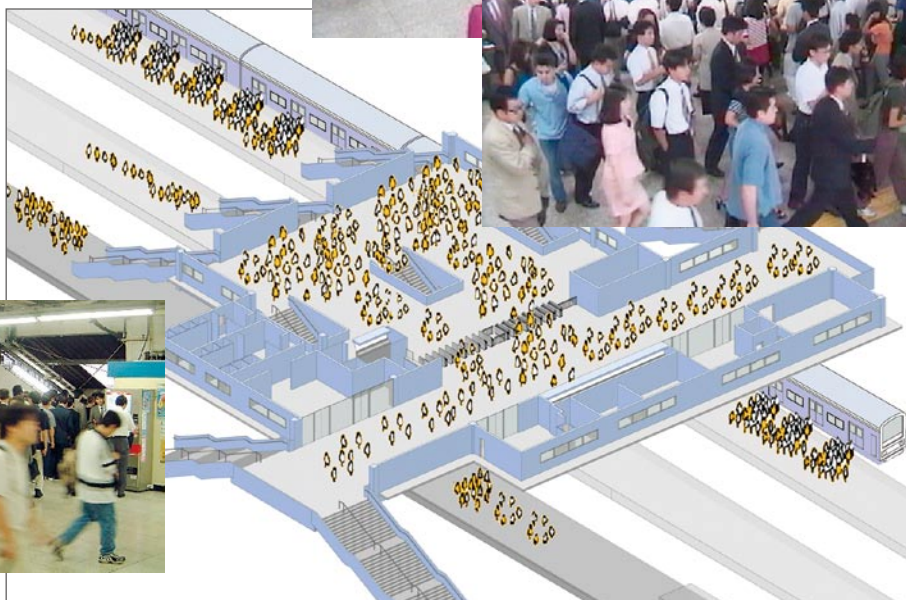
波動

駅の旅客流動を考える時に大切なことは、多くの旅客に利用されているだけではなく、利用のされ方に時間的・空間的な波がある、混雑が偏在するということです。

鉄道では利用客の増減に対応して、これを「波動」と呼び、



改札前の流動の波



コンコースの流動

図1 駅の旅客流動

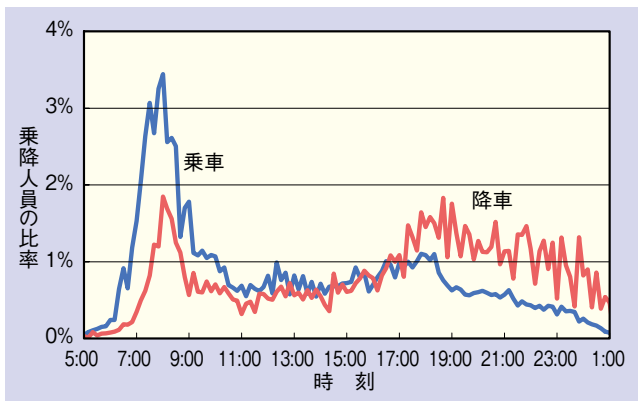


図2 駅利用者の時刻変動

「波動対応」, 「波動予備」といった考え方を形成してきました。臨時列車・季節列車等はその典型といえるものです。通常「波動」といえば, 長距離旅客では季節による増減, 近距離では野球等のスポーツ競技会・競馬・展示会等のイベントの来場者による増減が代表的なものです。

通勤旅客を対象とするときは, 波動と言うより「ピーク時」という言い方をします。朝の通勤時が特にご利用が多いので, そこを中心に考えるわけです。図2に都心近郊駅の一日の乗降人員を10分単位の比率で示します。このような通勤駅では, 乗員人数が最大となるのが朝通勤時であるのは当然ですが, 駅によって乗車が多いか降車かという違いがあります。この駅では, 朝に乗車が多くなっていますが, 都心のターミナルでは降車が多くなりますし, 都心部でも乗換駅などでは, 乗車が多くなることもあります。

列車乗降の波

もう少し細かく駅のなかの流れを見てみましょう。人の流れは, 乗車と降車に大きく分けることができます。そして, 乗車と降車では, だいぶ性質が異なります。一般的に降車流動の方が波が大きくなります。これは列車の到着と同時に, 降車した旅客全員が駅構内に突如出現するからです。これに対し乗車客は, 徒歩・バス等で比較的なだらかな時間分布で駅構内に到着するので, 波としては大きくはないのが通常です。図3はある都心通勤駅のホーム階段での乗降人員を1分単位で調査したものです。なだらかな乗車流とピークをもつ降車流が読みとれます。

一般的に乗車流動の波は大きくはないので, 通路や階段での混雑はあまり大きくならず, 階段の通行区分も, 乗車側は1~2人分の幅の位置に設置されることが多くなっています。

駅の流動の特色

ここまでで, 駅における旅客の流れを特徴づけるものの背景をお分かり頂けたと思います。つまり, ラッシュ時間

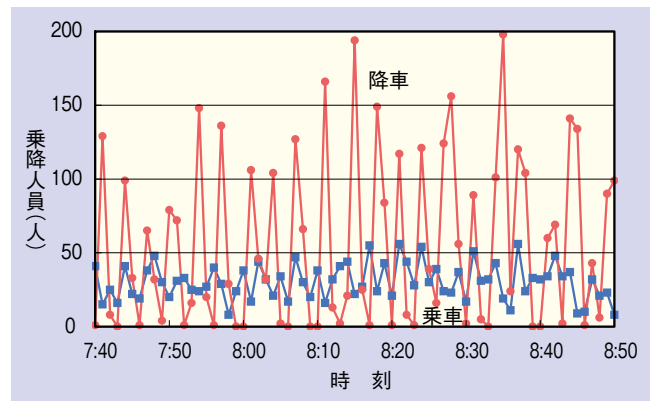


図3 ホーム階段での乗降波動

帯を中心に, 大量の旅客が短時間に利用することにより, 通常の施設ではまれな混雑状態が日常的に発生し, 場合によっては, 流動が停滞し滞留状態が発生するので, 旅客流動への配慮が重要となるのです。

歩行行動においては, 混雑によって歩行速度が低下することが実測によって求められています。また, 階段や改札といった流動に制限を及ぼす設備があり, ここで滞留が発生することが多くなっています。

旅客流動シミュレーション

波のように, 細かな増減をもつ流動が, ホーム~階段~コンコース~改札というように駅のなかを移動していく時には, そのようすを単純化することは困難です。いろいろな場所からの流動の波がどんなタイミングで動いているかを把握する必要があるからです。

そこで, 駅のなかの各地点で大きな混雑は起こらないか, よりスムーズに移動できるようにするには, どこを改善すればよいかを検討するために, 鉄道総研では「旅客流動シミュレーションシステム」を用いてこうした複雑な旅客流動を再現できるようにしています。

図4にこのシミュレーションの一例を掲げます。

①図は改札口がある地下2階と地下3階のホーム階を表示

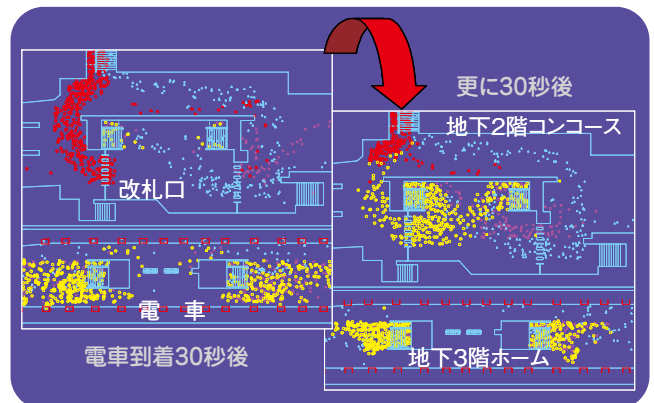


図4 旅客流動シミュレーション

し、○印や△印が1人の旅客を表しています。ここでは電車到着30秒後と更に30秒後の出力を掲げています。

- ②この駅の降車流動は、図中上方の階段及びエスカレータへ向かうものが主流で、将来の輸送量の増加を考えると、この階段の容量不足が予想されます。
- ③輸送量を増加したシミュレーションにより、この階段の手前で、1本前の電車の降車客(赤い○印)に、今度の電車からの降車客(黄色い○印)が追いついてしまい、階段かエスカレータを増やすことが必要ということが分かります。

交錯流動の評価

これまで駅では、ラッシュ時の歩行に要する時分や流動の密度を基準に計画がなされてきましたが、快適な歩行環境を追求するにあたっては、流動状態を定量的に評価する手法により、歩行環境の改善効果を適切に評価する必要があります。そこで、旅客の歩行の向きと密度に着目した歩行環境の評価手法を検討しています。

旅客の歩行方向の定量化

歩行の向きの関係を図5のように表します。

- ・方向ベクトル \vec{A}, \vec{B} : 各旅客の歩行方向前方を向いた単位ベクトル。
- ・旅客のなす角度 θ : 2人の旅客の方向ベクトルがなす角度。このとき、方向ベクトル \vec{A}, \vec{B} の内積 δ は下式のようになります。

$$\delta_{ab} = \vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \cos \theta = \cos \theta$$

ある旅客と、もう一人の旅客の方向ベクトルが、同方向→垂直→対向と変化した時、内積の値は、 $[\delta = 1] \rightarrow [\delta = 0] \rightarrow [\delta = -1]$ と変化します。旅客が同じ方向を向いているときは、2つの方向ベクトルのなす角度 θ は $-90^\circ < \theta < 90^\circ$ なので、 δ はプラスの値をとり、対向している場合は、 δ はマイナスの値をとります。

ある領域内に n 人の旅客がいる場合、各旅客の方向ベクトル全ての組み合わせによる内積を平均した値 d は、下記のように表せます。

$$d = \frac{\sum_{ij=1}^n \delta_{ij}}{n(n-1)}$$

このときの d は、1と-1の間の値を取り、 d の値が1に近いほど、旅客は同一方向を向いており、-1に近いほど旅客は対向もしくは交差する方向を向いていることとなります。

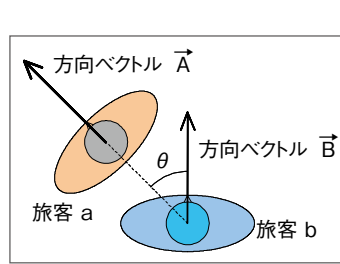


図5 歩行の向きの関係

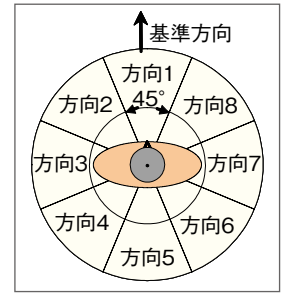


図6 歩行の方向

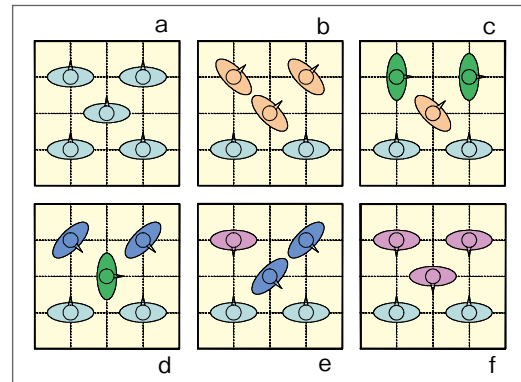


図7 複数旅客の歩行の向き関係の例

表1 歩行の向き関係と内積の平均

領域	方向(人)								内積 d
	1	2	3	4	5	6	7	8	
a	5								1.00
b	2							3	0.82
c	2						2	1	0.48
d	2					2	1		0.06
e	2				1	2			-0.14
f	2				3				-0.20

交錯の例

このことを例を示してみます。歩行方向の角度を図6のように旅客を中心に8等分し、基準方向を含む 45° の範囲を方向「1」、順に反時計回りに方向「2」～方向「8」とします。図の向きの旅客は方向「1」に分類されます。

図7のようなa～fの領域を例にします。各領域内の人数は、全て5人です。歩行の方向は図6と同様とします。このときの各領域における旅客の方向と内積の平均 d は、表1のようになります。a～fにおける旅客の方向性は、aから順に、(同一)→(交差)→(対向)のように配置していますが、 d の値も、 $[d = 1] \rightarrow [d = 0.48] \rightarrow [d = -0.2]$ となっていて、旅客の方向性が、内積の平均値 d を用いて表現できることがわかります。

交錯箇所における歩きやすさの指標

流動の密度 ρ と内積の平均 d による、流動状況の定量値と、その流動内を歩行する時に、旅客が感じる歩きやすさ



図8 評価実験

との関係を調べるため、模擬旅客を用いた交錯歩行実験を実施しました。

実験の概要は、図8のように八角形の各辺から被験者を出発させ、中央付近で交錯状態となるように歩き、中央部通過時の歩きにくさについて、4段階での評価を質問したものです。

質問：「歩きにくいと感じるか」

1：全く感じない	2：ほとんど感じない
3：少し感じる	4：大いに感じる

各辺からの歩行者の人数を変えた試番ごとの、被験者による評価の平均値と各変数との関係を図9、図10に示します。

今回の実験では、同方向流動および対向流動を再現した試番では、密度の高い場合でも評価が良くなる傾向がありました。これは、同方向や対向流動では、歩行者が列を形成して歩行・交錯するため、密度の割に評価が良くなるものと考えられます。そこで、同方向流動、対向流動とそれ

以外の流動状況を分けて扱うことにしました。

図を見ると分かるように、交錯時の密度が高いほど評価値は大きくなり、内積の平均 d が1.0に近づくほど評価値は小さくなる傾向があります。これは、密度が高く、流動の方向性が不揃いになるほど、旅客は歩きにくく感じていることを示しています。また同じ密度でも、前後方向の交錯より、横方向の交錯の方が、旅客に歩きにくさを感じさせることが分かりました。

この3つの変数を用いて、内積の平均 d と密度 ρ を説明変数、歩きやすさの評価 E を目的変数とする重回帰分析を行い、高い相関が得られることが分かりました。これにより、交錯箇所を含む歩きやすさの評価 E を、密度 ρ と内積の平均 d の2変数で表す評価式を作成しました。今後実際の駅などでの試験を経て、よりの確な評価ができるようにしていく予定です。

交錯箇所の評価式

同方向・対向流動の場合

$$E = -0.390d + 0.687\rho + 1.113$$

それ以外の場合

$$E = -0.557d + 0.838\rho + 2.072$$

E ：歩きやすさの評価値
 d ：内積の平均
 ρ ：密度(人/m²)

おわりに

今後鉄道にとって、ユニバーサルデザインや快適性がより重要となってくると考えられます。そうした意味からも、より流動しやすい駅を目指した研究開発を続けていきます。

RRR

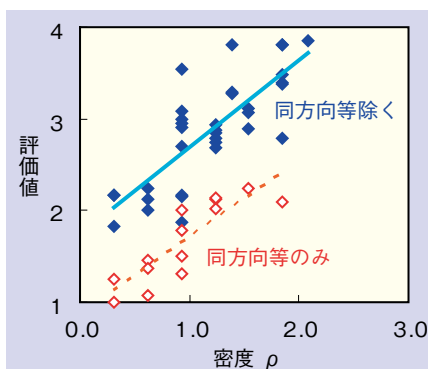


図9 密度と評価値

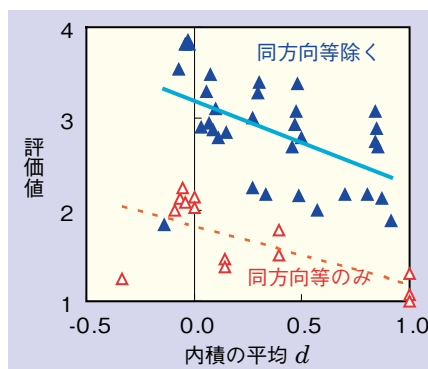


図10 内積の平均と評価値

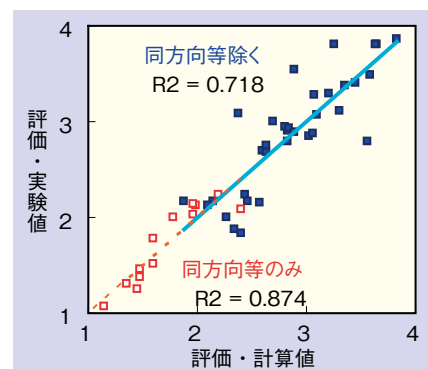


図11 計算値と実験値の比較