

駅における移動時間をより短くする

山本 昌和
構造物技術研究部
(建築 副主任研究員)

石突 光隆
同
(同 研究員)



やまもと まさかず



いしづき みつたか

はじめに

待合わせに遅れないように電車の時間を調べて出掛けたのに駅が混んでいて乗ろうと思っていた電車やバスに乗れなかった、という経験はないでしょうか。

都市部の鉄道では、毎朝多くの人々がラッシュ時間帯に集中して、電車や駅の中は混雑します。これは都市の構造にも原因があり、鉄道だけではなく高速道路やバスでも同じようなことが言えます。

ただ、鉄道の場合、輸送力（一度に運べる人の数）が大きいため、混雑の波（波動）も大きくなる傾向があります。しかし、この波動を受け止める駅や電車の数や大きさにも限界があるため、待ち時間がない状態を保つのはとても難しいことです。

では、このような混雑を少しでも緩和することはできないのでしょうか。流体や人の流れを扱う学問では、流れを滞らせる原因の一つとしてボトルネックと呼ばれる部分の

存在があると言われています。瓶の口を指すこの言葉は、流れが急に悪くなる場所という意味も持っています。駅の中にも、このボトルネックにあたる場所がいくつかあります。混みあった電車のドア、ホームの階段、改札口、券売機には、一度にたくさんの人が集中してしまうと混雑が起きやすいと言われています（図1～4）。図5にもあるように、駅には電車を降りるときから、駅を出るまでに数々のボトルネックがあると考えられます。

駅の中での移動時間を短くするためには、これらのボトルネックをいかに早く通過できるかが問題となります。ここでは、色々なボトルネックをスムーズに通るための仕組みについて紹介します。

階段の増設による効果

ホームから出るときの混雑を緩和するには、「①階段の幅を広くする」「②階段の数を多くする」の2つの方法があります。しかし実際には、階段の幅を広げるだけのホームの幅がない場合が多いので、ここでは最も現実的な②について考えます。では、駅の階段を増やすとどのような効果があるのか、コンピュータ・シミュレーションの結果で違いを見てみます。



図1 階段前での混雑



図2 エスカレータでの混雑



図3 改札口での混雑



図4 券売機前での混雑

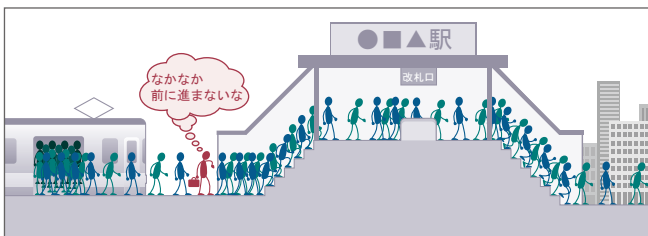


図5 駅の中で起きる混雑

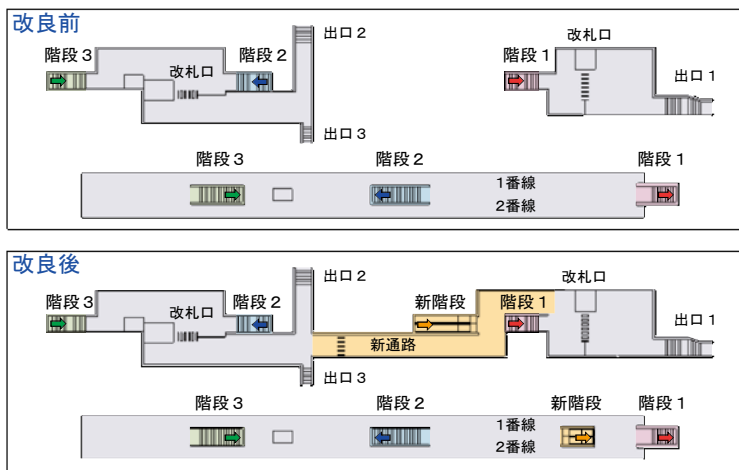


図6 駅の改良計画

図6上のような駅があったとします。改札口は2つ、コンコースは分かれており、出口1に行きたい人は階段1を利用するしかなく、移動の選択肢も限られています。次に図6下のような改良案を考えます。

改良前と改良後での移動時間の違いを、階段前で混雑が起きていた時間で見てみます。表1の斜線で塗りつぶした部分が混雑している状態を表します。改良前でも改良後でも、電車が着いた直後に階段前が混雑しはじめるのですが、改良前では、次の電車が着くまでに混雑が解消しないため、斜線の部分がつながってしまう様子がわかります。一方、改良後では、斜線の部分にすき間ができています。これは混雑の時間が少しだけ短くなっていることを意味しています。このように階段を増やしたことと通路を作ったことで経路の選択肢が広がり、階段前や出口の前での混雑が分散し、混雑が続く時間も短くなることが視覚的にわかります。

エスカレータの高速化

近頃では、どこの駅でもエスカレータを見かけるようになりました。元々は階段の上り下りを楽にするために設置されたエスカレータですが、条件によっては分速30～45mまで速さを変えることができます。

では、エスカレータの速さが変わるとどのような効果があるのでしょうか。表2は、ある駅で朝ラッシュの時間帯に調べたエスカレータの輸送能力です、立止まりとはエスカレータの片側に立って乗っている人、歩行とは片側を歩いている人を表しています。この合計値でエスカレータの輸送能力を表すことにします。分速30mと分速40mとで0.38人/秒の差があることがわかります。

表2 エスカレータの速度による輸送能力の違い

ESCタイプ		輸送能力 (人/秒)
普通 (30m/分) 運転時	立止まり	0.94
	歩行	1.33
	合計	2.28
高速 (40m/分) 運転時	立止まり	1.17
	歩行	1.48
	合計	2.64

表1 改良前と改良後の混雑時間の違い

時間(秒)	列車	改良前						改良後							
		ホーム	階段1	階段2	階段3	出口1	出口2	出口3	ホーム	階段1	階段2	階段3	出口1	出口2	出口3
0															
15															
30															
45	2番線到着														
60															
75															
90															
105	1番線到着														
120															
135															
150															
165															
180															
195															
210															
225															
240															
255															
270															
285	1番2番到着														
300															
315															
330															
345															
360															
375															
390															
405															
420															
435															
450															
465	1番線到着														
480															
495															
510															
525	2番線到着														
540															

斜線は混雑がおきていることを表す

10分間に換算すると約228人多く運べることを表し、エスカレータの速さを変えることで輸送能力が上がり、混雑の時間を短くできることを意味しています。

ただ、速いエスカレータには良い面ばかりではなく、子供やお年寄りが乗り降りするときに転んだりする危険もあります。最近では意図的に速さを遅くしているエスカレータも見かけます。使う人・場所・時間帯を考えて速さを決めることが何よりも大切です。

IC改札機による効果

ここ数年、IC化したきっぷ(IC券)が急速に普及しており、定期入れで改札機をタッチして通過する人の姿も珍しいものではなくなりました。駅員さんがきっぷを確認していた時代には、改札口での混雑は現在とは比べものにならなかったと言われていたのですが、その後、自動改札機が導入され、全国の駅で混雑が緩和されました。そして現在、き

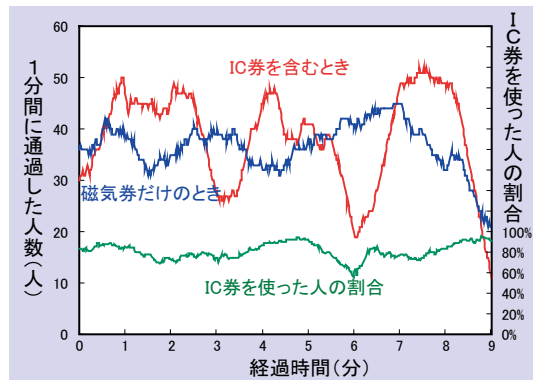


図7 磁気券とIC券による通過人数の違い



図8 IC専用改札機のある改札口

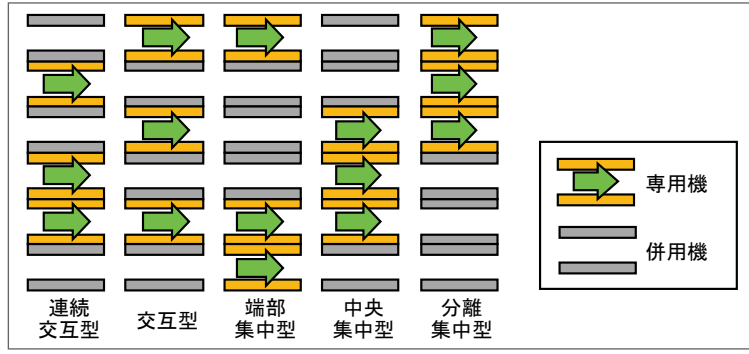


図9 IC専用改札機の配置パターン

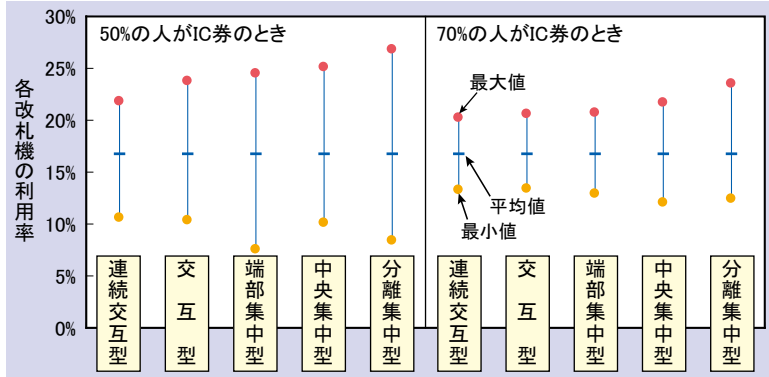


図10 配置パターンによる利用率のばらつき

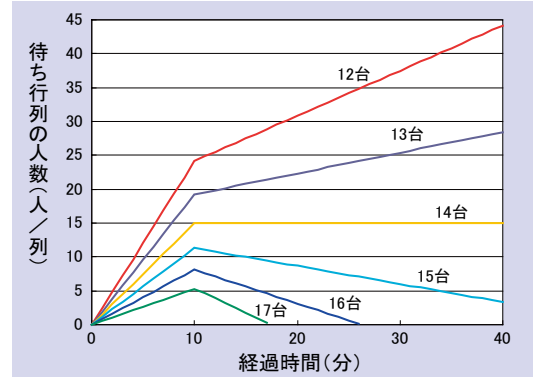


図11 券売機の台数による待ち人数の予想

ぶを改札機に通す動作も必要なくなり、改札口での待ち時間は確実に短くなりました。図7に示したのは、あるIC券の利用者が多い駅の改札機における1分間の通過人数を表したものです。従来のきっぷ(磁気券)では1分間に約45人通過するのが限界だったのに比べ、IC券の場合では1分間に50人近くが通過できるようになっています。

最近ではIC券専用の改札機(専用機)(図8)も見かけるようになりしました。これは磁気券とIC券の両方が使える改札機(併用機)に比べ、故障が少ないなどの利点があることから導入される場合が多いようです。しかし、磁気券を持つ人が専用機を利用することはできないため、多くの駅では、改札口全てを専用機にしてしまうのではなく、併用機と専用機の両方を設置しています。

この専用機と併用機の最適な配置方法を調べるため、実験を行いました。図9のような5つのパターンで専用機と併用機を配置した場合の改札機の利用率を表したのが図10です。改札機の利用率の差が小さいほど、改札口全体を効率よく利用していることになり、混雑が緩和できることを意味します。結果としては、一箇所に固めて配置しない方が利用率の差を小さくできることが分かりました。

その他にも、専用機の存在を目立たせることは、IC券を持つ人の利用率を高めるだけでなく、磁気券を持つ人が間違えて入ってしまうのを防止するため、混雑の緩和に効果があると考えられています。

券売機の必要台数算定

図4は、あるイベントが終了した直後に駅の券売機に並ぶ人々の様子です。主に通勤通学で定期券を使う人が多い駅と違い、大規模なイベントが開催される集客施設の最寄り駅では、十分な台数の券売機を用意することが混雑の緩和につながります。ただ、全員の待ち時間をゼロにするには莫大なコストとスペースが必要になるため、どの程度までなら待ってもらえるか、という点が重要になります。そこで、観察調査によって、予想される待ち時間を計算する方法を紹介します。

まず、次のように定義します。全て目で見えて調べられる値です。

- n : 券売機台数(台), L : 平均行列長さ(人/列)
- T : 継続時間(分), m : 平均行列になるまでの時間(分)
- s : 券売機の利用速度(人/分)

これらから来場者数と購入者数を計算すると次のように表せます。

$$(1分間の来場者数) = s \times n + (L + n) \div m \quad (0分 \sim m分まで)$$

$$(1分間の来場者数) = s \times n \quad (m分 \sim m + T分まで)$$

$$(1分間の購入者数) = s \times n$$

これらの各時刻の累積来場者数から累積購入者数を引けば、購入待ちの人数が算定できるので、購入待ちの人数を券売機の台数(n)で割ることで各時刻の待ち行列の人数が図11のように予想できます。



図12 ホーム柵

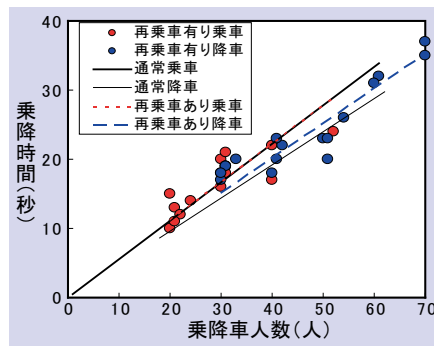


図13 ホーム柵を使った乗降実験の結果



図15 駅の混雑情報案内イメージ

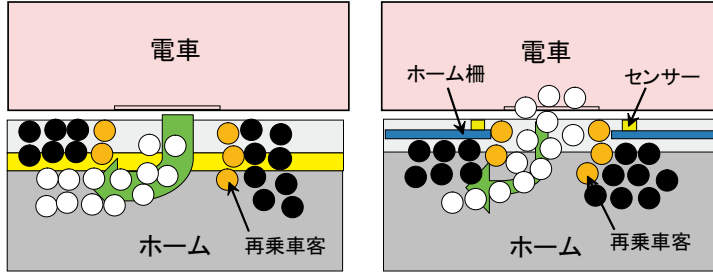


図14 ホーム柵の有無による違い

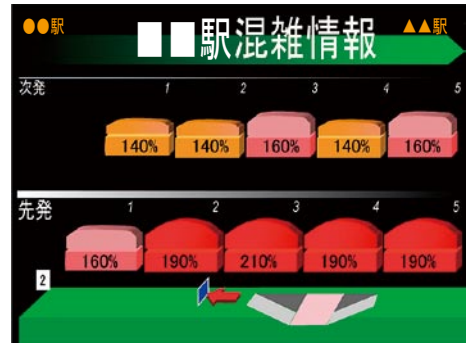


図16 電車の混雑情報案内イメージ

ホーム柵による影響

駅のホームで図12のようなものを見かけることが多くなりました。これはホーム柵（可動式ホーム柵）と呼ばれるもので、人がホームから落ちたりするのを防ぐ目的で設置されるものですが、実は、このホーム柵がボトルネックの原因となってしまう可能性があります。

電車から降りる人の中には、ドアの近くに乗っていた人で、降りる人のため一度電車を降りて出口を譲ってあげる人もいます（ここでは再乗車と呼びます）。ホーム柵があるときには、この再乗車の人が乗り降りの時間を長くしてしまうと言われています。図13はホーム柵を使って電車から乗り降りする実験をした結果です。再乗車の人がいるとき、降りるのにかかる時間が長くなっていることがわかります。一方、乗るのにかかる時間はほとんど変わっていません。これは図14のようにドアの近くで進路を塞ぐ現象が起きているためと考えられます。ホーム柵がないときは、再乗車の人がいっても降りる人の進路を塞ぐことはないのですが、ホーム柵があるときは、自然と電車の出口を少しだけ狭くすることになってしまい、結果的に全員が乗り降りするのにかかる時間が長くなってしまったと考えられます。ホーム柵があるときに限りませんが、電車の出口付近では、進路を広く空けてあげて、全員の乗り降りをスムーズにすることが大切です。

乗り降りがスムーズでないと駅で乗り降りする人だけでなく、路線全体にも悪影響が出ると考えられています。電車は、全員が乗り終わらなければ出発できません。例えば、ホーム柵が新たに設置された路線のいくつかの駅で乗

降車時間 (秒)	= 0.35 × 降車人数 (人)	+ 2.59 × 到着時乗車率 (%)	+ 0.31 × 再乗車人数 (人)	+ 4.82
乗車時間 (秒)	= 0.45 × 乗車人数 (人)	+ 3.06 × 発車時乗車率 (%)	+ 0.01 × 再乗車人数 (人)	+ 5.06

式1 ホーム柵があるときの乗降時間の計算式

り降りに数秒ずつ余計に時間がかかった場合、全体では数分～十数分の遅れにつながることもあります。そこでホーム柵がない駅で導入の検討をするときには、式1のような計算式を参考に、乗り降りにかかる時間が今よりも長くなるのか、ダイヤを作り直す必要があるのか、など慎重に計画が進められています。

おわりに

今回、駅の中で起きやすい混雑やその対策について紹介しましたが、近い将来には、鉄道を利用する人が前もって混雑が起きそうな場所を知ること、それを避けられるようなシステムができるかもしれません。例えば図15のように、駅の中で混雑が予想される場所を避けるように案内をすることができるようになったり、図16のように、次に来る電車の混み具合を事前に知らせることで、どの電車に乗るかを決める際の参考にしてもらうことも考えられています。

今後も様々なデータや技術を活用して、駅で感じる不満を少しでも解消できるような研究開発を進めていきたいと考えています。[RRR]