

第97回

駅構内の旅客流動解析技術

はじめに

鉄道では、旅客の状況を的確に把握し、駅の計画や設計に反映する必要があります。旅客流動は鉄道を利用する旅客の流れを示しますが、鉄道ネットワークの駅間の移動を対象とする場合と、駅構内の移動を対象とする場合があります。ここでは、後者の駅構内の旅客流動にあたる、旅客の流れの状態に関して、解析技術の変遷と今後の展望を紹介します。

旅客流動解析技術の変遷

駅を具体的に設計する前段階において、駅の面積や通路幅員などを計画す

ることを規模算定といい、古くは、標準図とよばれる図面に基づいて、大まかな規模算定が行われていました。その後、旅客の増加にともない、旅客流動を考慮した規模算定の技術が必要になります。これを旅客流動解析技術といいます。これを旅客流動解析技術といい、はじめに算定式とよばれる手計算による解析技術が登場し、その後、コンピュータの発達にともないシミュレーションが登場します。ここでは標準図、算定式、シミュレーションの3つのキーワードで時代を大別し、旅客流動解析技術の変遷を紹介します。駅の歴史と解析技術の変遷を図1に示します。

(1) 旅客流動解析技術の黎明期：標準図

1872年に新橋 - 横浜間において日本で初めて鉄道が開業した後、1930

年代にかけて、次々と駅が新設されます。当時の鉄道は、都市間移動の利用が主で列車本数も少なく、駅舎に求められた機能は待合室と事務室などのシンプルなものでした。そのため当時は、標準図により大まかに定められた面積や図面に基づいて、駅の計画が行われていました。1930年に鉄道省工務局により示された標準図(図2)の例では、駅を1日の平均乗車人数でランク分けを行い、事務室や待合室、改集札口などの標準的な図面と面積が示されています。

(2) 解析技術の登場：算定式

その後、都市鉄道としての鉄道の役割が飛躍的に高まりを見せます。1930年代から高度経済成長期にかけ

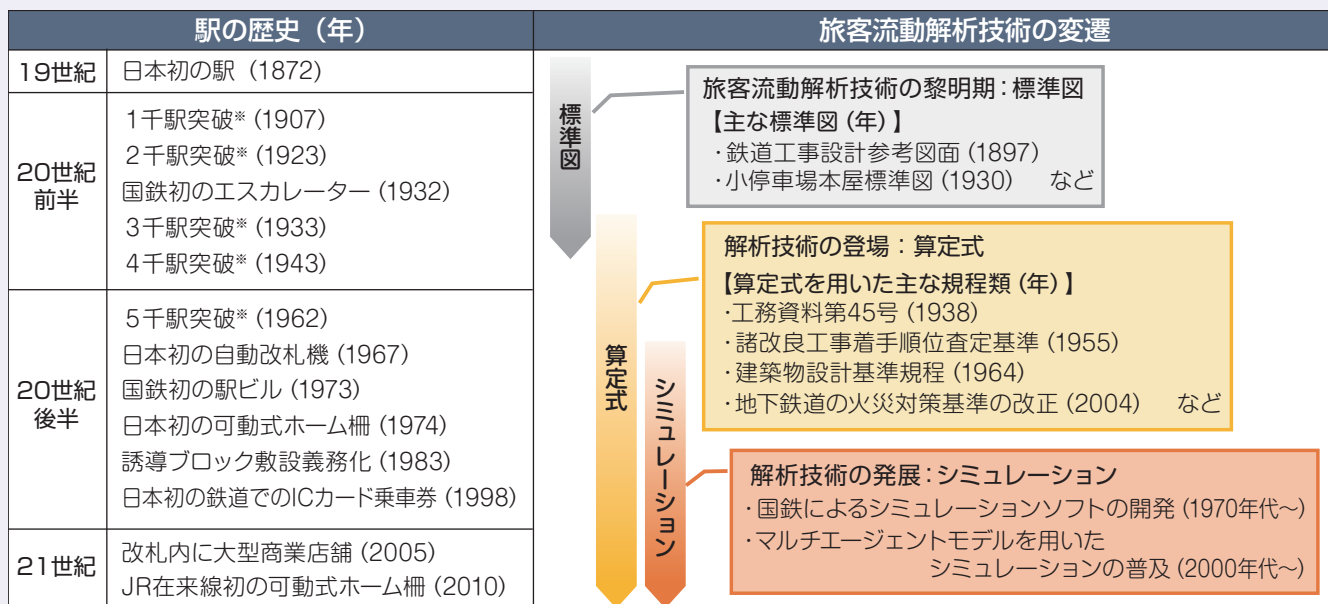


図1 駅の歴史と解析技術の変遷

一日平均乗車人数	30人以下	60人以下	100人以下	200人以下	400人以下	600人以下	800人以下	800人以上
本屋型式	待合所のみ	簡易型	一号型	二号型	三号型	四号型	五号型	特殊型
待合室面積	—	—	19.3m ²	25.5m ²	35m ²	48m ²	63m ²	—
総面積	—	—	84.5m ²	102.5m ²	124.5m ²	199.25m ²	236m ²	—

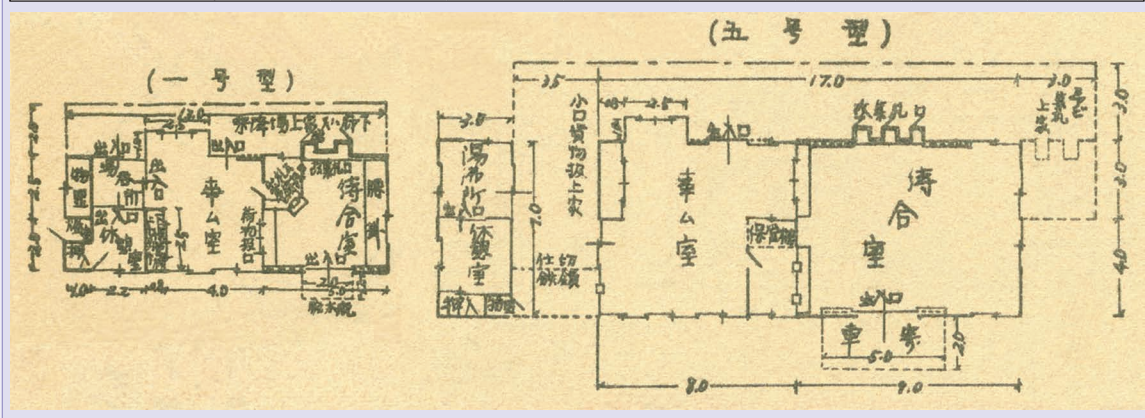


図2 小停車場本屋標準図¹⁾

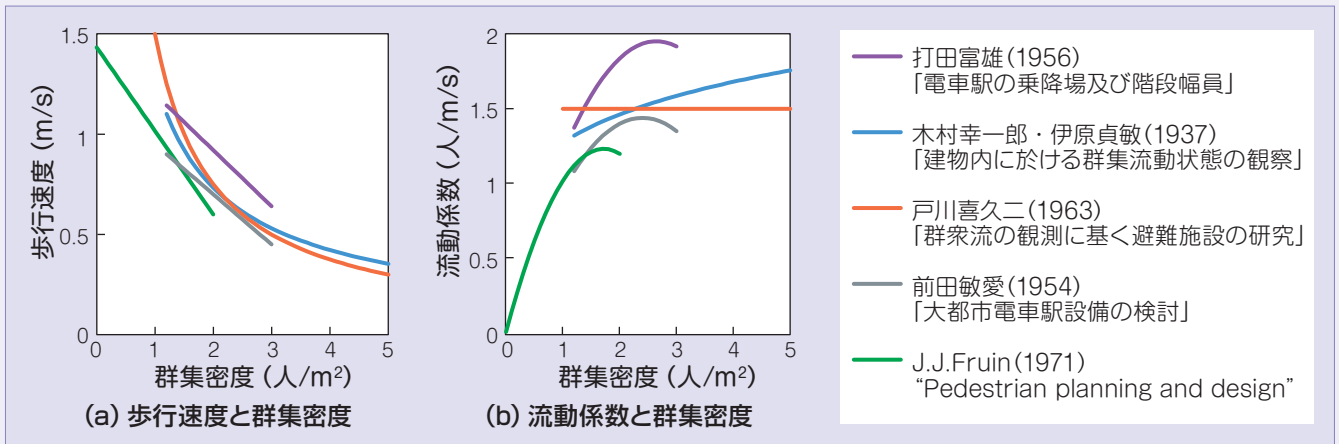


図3 実測調査から得られた関係式²⁾

て、郊外の開発とともに都市部の駅における鉄道利用者は大幅に増加しました。とくに通勤ラッシュにおいて駅が非常に混雑し、旅客流動が時間帯によって大きく変化するようになりました。極端な混雑は重大な群集事故を引き起こす可能性があるため、それぞれの駅の旅客流動に応じた計画を行い、安全を確保する必要がありました。これらを背景に1938年には鉄道省工務局の工務資料第45号として、それまで用いられていた標準図による計画に代わって、計算によって面積などを求める算定式が示されます。これにともない、混雑のピークに対応するため、1日の利用者数を用いて規模算定を行うのではなく、1時間や1列車当たり

の利用者数など、より細かいデータを用いることが多くなりました。以後、算定式を用いて駅の計画を行うことが多くなり、現在でも用いられることがあります。

(3) 解析技術の発展：シミュレーション

算定式では、局所的な滞留などを数値で把握することはできませんが、駅全体の状態はわかりませんでした。それに対し、コンピューターの発達にともない、国鉄では1970年代にシミュレーションによる解析技術を開発し、時々刻々の旅客流動を駅全体で計算し、かつ視覚的に表現できるようになりました。そのため近年では、ターミナル駅のようにダイヤが過密で多くの旅客が複雑に錯綜する駅で、設計の良し悪し

を判断するために、シミュレーションによる解析が普及しています。

算定式による解析技術

算定式による解析技術について改めて紹介します。算定式の背景となる考え方として流動係数があります。流動係数は単位時間、単位幅あたりに何人が通過できるかを表すもので、流動係数が2人/m/sであれば1秒間に1m幅当たり2人が通過できることになります。

流動係数は群集密度や歩行速度と関連するものであり、1930年代から1970年代にかけて、その関係性について多くの実測調査が行われました。その結果の一例を図3に示します。図3(a)

は群集密度と歩行速度の関係を示しており、群集密度が大きくなるほど歩行速度が遅くなるのがわかります。

図3 (b) は群集密度と流動係数の関係式を示しています。流動係数は、ある密度 ρ の群集が歩行速度 v で単位時間に進んだ人数($\rho \times v$)として表せるので、図3 (b) は、図3 (a) の縦軸を変換したのになっています。このグラフから流動係数は群集密度2~3人/m²で最大となる場合や、一定の場合など、調査された場所や時代により関係が異なるのがわかります。また、流動係数を用いた研究の展開として、J.J.Fruin はサービス水準³⁾ (表1) という評価指標を提案しています。これは、群集密度や流動係数を用いて、サービスの観点から旅客流動を評価するものです。実際の駅の通路などにおいては、調査しやすい流動係数を実測し、現状の旅客流動を評価することがあります。

流動係数を用いた実際の算定式の例を図4に示します。これは旅客通路の所要幅員を求める算定式で、1955年の国鉄の諸改良工事着手順位査定規程において示されているものです。この算定式では旅客を降車客、乗車客、乗換客に分けて所要幅員を算出し、それぞれの所要幅員を足し合わせることで

通路全体の所要幅員を算出しています。たとえば、降車客に対しては、1列車当たりの降車人数 S を、通路からの降車客排出時間 T で除して、1秒当たりの通過人数(流動量)を算出し、流動係数1.5で除することにより、降車客に対する所要幅員を算出します。

一方で、計画や設計の場面では、すでに設定された幅員のよし悪しを判断しなくてはならない場合もあります。その場合には、通路幅員と流動係数から、算定式を使って通過にかかる時間を求めることもあります。たとえば、降車客の階段の通過にかかる時間を求め、次列車の到着までの時間と比較することで、設定された幅員に対する評価を行うことがあります。

以上のように、算定式の登場により、混雑のピークに対応して、旅客流動の実態に合った設計ができるようになりました。また、算定式は利用が簡便であるため、時代とともに改良され現在も用いられています。

シミュレーションによる解析技術

シミュレーションによる解析技術について改めて紹介します。シミュレー

ションの登場により、時々刻々と変化する駅全体の流動状況を自動で計算できるようになりました。これにより、算定式では一定値としていた流動係数や歩行速度の値を、群集密度に合わせて変化させることが可能になり、より正確な流動状況を再現・予測することが可能になりました。

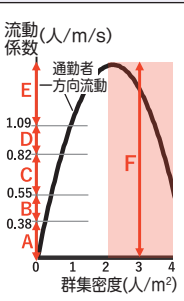
旅客流動解析に用いられるシミュレーションは、歩行者の移動を解析するもので、駅に限らず用いられています。このようなシミュレーションには大きく分けて、ネットワークモデル、セルオートマトンモデル、マルチエージェントモデルの3種類の手法があります。それぞれの概念図を図5に示します。

ネットワークモデルは、対象空間をリンクとノードのネットワークで表現するものです。空間をネットワークで表現するため、歩行者の相互の関係を正確に分析するのは困難ですが、動線の設定を明快に行えるなどの利点があります。

セルオートマトンモデルは対象空間を格子状のメッシュに分割して、旅客の移動をメッシュの人数の時間変化として表現するものです。メッシュ間の移動をルール化し全体に適用することで、群集のモデル化や広い範囲のシ

表1 歩行路のサービス水準³⁾

水準	適用	流動係数
A	ピークや空間的制約のない公共建築や広場	1.09
B	交通ターミナルやあまりきびしくない程度のピークが時々発生する建物	0.82
C	面積が制約されており、厳しいピークが生じるような交通ターミナル、公共建築、オープンスペース	0.55
D	最も混雑する公共空間	0.38
E	スポーツ・スタジアムや鉄道駅施設において、短時間に大量の人間が退場しようとする時	
F	歩行路の設計に適用するべきではない	



※流動係数から評価する際は、群集密度も把握することで、水準A~Eなのか、水準Fなのかを判断する。

【旅客通路の所要幅員の算定式】

所要幅員 (m) : $B=B1+B2+B3$

$B1$: 降車客に対する幅員 $B1 = (S/T) / 1.5$

$B2$: 乗車客に対する幅員 $B2 = (n \times V) / 1.5$

$B3$: 乗換客に対する幅員 $B3 =$ 降車客と同様に扱う

n : 改札口数

V : 改札口通過速度 電車駅1 (人/s)

汽車駅0.4 (人/s)

S : ラッシュ時30分間帯における1列車当たりの降車客数

T : 降車客排出時間

列車間合い3分以内 $T=100$ (s)

列車間合い3~5分 $T=120$ (s)

列車間合い5分を超える $T=150$ (s)

図4 算定式の例

ミュレーションが比較的容易に行えることに利点があります。

マルチエージェントモデルは旅客一人ひとりを個別の点であるエージェントとして計算するもので、エージェントが任意の空間内を、設定した行動ルールに基づいて移動します。たとえば、行動ルールには、他のエージェントや障害物からの反発力によって、エージェントの歩行速度や移動方向を変えるものなどがあります。マルチエージェントモデルは歩行者相互の詳細な関係も解析できるため、細かな設計の分析にも適しており、コンピューターの発達とともに2000年代からさまざまなソフトが普及してきました。

シミュレーションは列車がホームに次々と到着する場合など、さまざまな状況に応じた駅全体の動的な旅客流動の分析を行うことができます。また、流動状況を視覚的に捉えることが可能になり、設計における合意形成のツールとしてもシミュレーションが利用されるようになってきました。最近では、ホーム柵導入時のホーム上の流動状況のシミュレーションなど新しい設備を導入する際の流動状況の検証にも利用されています。

今後の展望

標準図から算定式、そしてシミュレーションへと発展してきた旅客流動解析技術ですが、今後は快適性向上や混雑緩和のために、旅客流動の詳細な評価や制御も求められています。たとえば、マルチエージェントモデルを用いて、個々のエージェントに性別や年齢などの属性を組み込み、一連の移動に対して、快・不快の評価を行うことで、実際の旅客の主観に即した評価を行うことができると考えられます。

また、流動状況に応じてリアルタイ

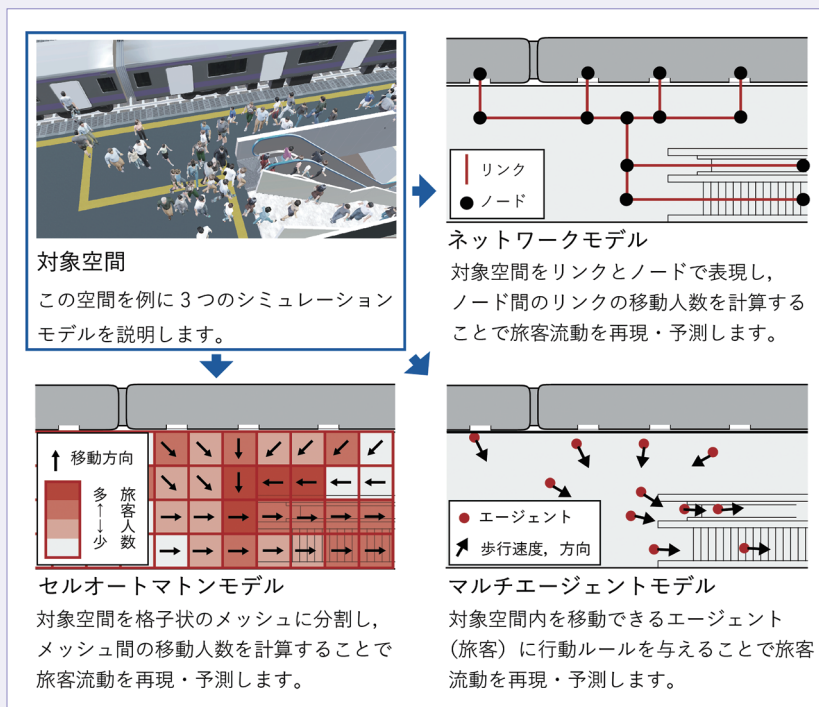


図5 シミュレーションのモデル



図6 AIを用いた画像解析の例 (OpenPose⁴)による人物骨格検出

ムに適切な案内や誘導を行うことで、旅客流動を制御し、より快適な旅客流動を実現できると考えられます。そのためには、精度よく常時実測を行うことができる計測技術が必要になります。鉄道総研建築研究室では、AIを用いた画像解析による人物検出技術 (図6)

やステレオカメラによる人物検出技術を応用して、流動状況を常時実測する手法の検討を行うなど、駅の快適性向上や混雑緩和に向けた技術開発を進めています。

(対馬銀河/構造物技術研究部
建築研究室)

文献

- 1) 伊藤滋：省線電車駅に於ける旅客施設の設計について、運輸省施設局、1947
- 2) 岡田光正、吉田勝行、柏原士郎、辻正矩：建築と都市の人間工学、鹿島出版会、1977
- 3) J.J.Fruin著、長島正充訳：歩行者の空間 理論とデザイン、鹿島出版会、1974
- 4) Zhe Cao, Tomas Simon, Shih-En Wei, Yaser Sheikh : Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields, 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2017