

旅客移動量に基づく駅ホームエレベーター配置の駅間相性評価

Evaluation of Station-to-Station Compatibility of Platform Elevator Layout Based on Passenger Movement

○新井 祐子*¹, 劉 俐伶*², 日下部 貴彦*³, 丹羽 由佳理*⁴, 本間 健太郎*⁵
Yuko ARAI*¹, Liling Liu*², Takahiko Kusakabe*³, Yukari Niwa*⁴ and Kentaro Honma*⁵

*1 東日本旅客鉄道株式会社, 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 博士課程, 修士(工学)

East Japan Railway Company, Grad. Student, Dept of Arch. Grad. Sch. of Eng. The Univ. of Tokyo, M.Eng.

*2 筑波大学理工情報生命学術院システム情報工学研究群リスク・レジリエンス工学学位プログラム 修士(工学)

M./D. Prog. in Risk and Res. Eng., Deg. Prog. in Sys. and Info Eng., Grad. Sch. of Sci. and Tech., Univ. of Tsukuba, M.Eng.

*3 東京大学空間情報科学研究センター 准教授 博士(工学)

Associate Professor, The University of Tokyo, Dr.Eng.

*4 東京都市大学環境学部 准教授 博士(環境学)

Associate Professor, Tokyo City University, Dr.Env.

*5 東京大学生産技術研究所 准教授 博士(工学)

Associate Professor, The University of Tokyo, Dr.Eng.

キーワード: 駅; ホーム; エレベーター; 配置; 相性; 車いす利用者

Keywords: Station; platform; elevator; layout; compatibility; wheelchair users.

1. はじめに

世界中において高齢化社会が到来し、高齢者や障がい者の自立した日常生活や社会生活を確保する重要性が増大している。世界に先駆けて高齢化する日本ではバリアフリー法等に基づき、公共交通事業者によるバリアフリールート整備が進められてきた。公共交通機関の中核的な役割を果たしている鉄道事業においては2020年3月末時点で大規模駅の段差解消率が91.8%に達する¹⁾など、バリアフリー整備は着実に進展してきたといえるが、依然として車いすでの鉄道利用には課題が多く残されている。国土交通省による車いす利用者への調査²⁾によると、日常的な鉄道利用時に「困った経験をした」あるいは「困ったと感じたことがある」回答者は91.9%に上る。「駅構内での移動に時間がかかった」という回答が多く、主要な要因の一つとして、エレベーターを基軸とするバリアフリールートが少なく、大回りを余儀なくされることが挙げられている。既存の駅にエレベーターを設置するには上下階の支障物の回避や通路幅員の確保等の多くの制約条件があり、エレベーターの配置は駅毎に検討されている。結果として、ホーム上のエレベーターの配置が路線で統一されておらず、乗車駅のエレベーターに近いのは先頭車両の扉であるが、降車駅のエレベーターに近いのは後方車両の扉であるような場合がある。このような場合、車いす利用者はホームの端から端までを移動しなければならないが、ホーム上には混雑や排水勾配、狭隘部等の困難があり、車いす利用者には重い負担であると考えられる。

駅ホームエレベーターの配置によって、車いす利用者が

ホーム上を長時間移動せざるを得ない状況を改善するためには、まずその時間と人数を定量評価し、全体的な把握をする必要がある。

そこで本稿はホーム上のエレベーターの配置を、乗車駅と降車駅の「相性」で評価する手法を提案する。具体的には、乗車駅と降車駅のエレベーターに最寄りの車両扉間の移動時間と旅客移動量を考慮した「駅間相性」という独自の指標を提案する。これを用いて、首都圏の駅ホームエレベーターの「駅間相性」を定量評価し、多くの車いす利用者がホーム上の長時間移動を余儀なくされている状況の全体把握をすることを目的とする。

2. 既往研究と本稿の位置づけ

駅の通路幅員や改札位置等の施設配置に関する既往研究成果は、主に旅客流動への影響について分析されてきた。例えばMingwei (2017)はエージェントベースのシミュレーションによって旅客流動と施設レイアウトの相互作用を評価する手法を提案している。³⁾ これらの精緻な研究成果は、各駅的设计に活用されるものであるが、駅間の移動は対象としていない。またLahoorpoor (2020)は、駅に新たな改札を追加した場合のラストワンマイルのアクセシビリティを検証している。⁴⁾ 分析対象とする移動の起点と終点は、当該駅および周辺エリアであり、駅間の移動は取り扱われていない。本稿は車いす利用者がホーム上を長時間移動する主要因として、駅間の移動を対象とし、駅ホームエレベーター配置の新たな評価指標を提案するものである。

3. 駅ホームエレベーターの路線別駅間相性表

3.1. 駅間相性の定義

首都圏（東京駅までの鉄道所要時間が2時間以内の市区町村にある東日本旅客鉄道の）438 駅について、構内図と車両停止位置からホーム上の昇降設備と最寄りの車両扉の隣接リストを作成した。また車両寸法図から、特急列車を除く在来線の車両扉間の距離リストを作成した。以上の2つのリストを連結し、特定の車両扉から各駅のホーム上の昇降設備への距離リスト（以下、設備車扉間距離リスト）を作成した。

ここで、特定の路線の停車駅 $x (= 1, \dots, l)$ と $y (= 1, \dots, l)$ の「相性」について考える($x \neq y$)。乗車駅 x のホームに昇降設備 $i (= 1, \dots, m)$ が、降車駅 y に昇降設備 $j (= 1, \dots, n)$ が設置されているときに、 i と j の「駅間ホーム移動距離」を δ_{ij} [m]とおく (Fig.1)。駅間ホーム移動距離 δ_{ij} は、乗車駅で昇降設備 i を利用し、かつ降車駅で昇降設備 j を利用する乗客にとって、乗車駅ホーム・車両内・降車駅ホームの3か所で最低限移動する必要がある距離の和を意味し、設備車扉間距離リストから算出する。乗車駅ホーム・車両内・降車駅ホームのどこを移動しても、最短経路を進む限り移動距離の和は不変である。

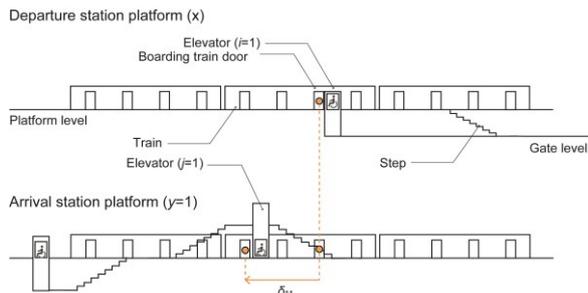


Fig.1 δ_{ij} : Station-to-Station Platform Travel Distance

なおユーザー属性により利用する昇降設備の種類に違いがある。本稿では、上下階移動にエレベーターしか利用できない属性を「車いす利用者」、上下階の移動にエスカレーターまたは階段を利用できる属性を「歩行者」という。公共交通施設でのマナーとして、歩行者が優先設備であるエレベーターを常用することは望ましくない。そこで本論では使用する昇降設備の種類を、属性別に設定する (Table1)。ここで昇降設備に通路や改札を含むのはホームに直接通路や改札が接続している場合である。

Table 1 Facility List

Facility	Wheelchair Users	Pedestrians
Aile	○	○
Escalator		○
Elevator	○	
Gate	○	○
Slope	○	○
Step		○

○ : Available

このとき、乗車駅 x から降車駅 y への「平均ホーム移動時間」 t_{xy}^r [秒]を下式で定める：

$$t_{xy}^r = \frac{1}{mv^r} \sum_{i=1}^m \min_{j=1, \dots, n} \delta_{ij} \quad (1)$$

「平均ホーム移動時間」 t_{xy}^r は(1)乗車駅においてホームにある全昇降設備が等頻度で利用され、(2)降車駅において乗車駅の昇降設備から「最寄り」の昇降設備が必ず利用される、という2つの前提に基づいたときの、乗車駅の昇降設備と降車駅の昇降設備の間の平均移動時間を意味する。ここでの「最寄り」は「電車移動を含んで最近隣」を意味し「 i から最寄りの j 」は「 i からの駅間ホーム移動距離が最短の j 」を意味する。なお v^r は水平移動速度である。 τ はユーザー属性を表す添字で、 $\tau = wh$: Wheelchair Users または $\tau = pe$: Pedestriansであり、各水平移動速度は $v^{\tau=wh} = 1.1$ [m/秒]⁵⁾、 $v^{\tau=pe} = 1.4$ [m/秒]⁶⁾と設定する。

次に乗車駅 x から降車駅 y へ移動する人数の総和 w_{xy} [人]を、第12回大都市交通センサスの「線別駅間移動人員」⁷⁾から定める。集計期間は2015年10月～11月であり、集計対象は定期券利用区間である。そのとき乗車駅 x から降車駅 y への「総ホーム移動時間」 f_{xy}^r [人秒]を下式で定める：

$$f_{xy}^r = \begin{cases} \alpha w_{xy} t_{xy}^r, & \tau = wh \\ w_{xy} t_{xy}^r, & \tau = pe \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 α は駅間の総移動人数 w_{xy} に占める車いす利用者の比率とする。乗車駅と降車駅の組み合わせ毎に車いす利用率にバラツキはなく、 α は乗車駅と降車駅の組み合わせに依存しない定数とする。また総移動人数 w_{xy} は、 α に対して十分に大きく $1 - \alpha \approx 1$ とみなす。このとき「総ホーム移動時間」 f_{xy}^r は、乗車駅 x から降車駅 y へ移動する総移動人数の、乗車駅ホーム・車両内・降車駅ホームでの移動時間の総和を近似的に表している。また便宜的に $x = y$ のとき $t_{xy}^r = w_{xy} = 0$ とする。なお一般に $d_{xy} \neq d_{yx}$ かつ $w_{xy} \neq w_{yx}$ であるため、当然に $f_{xy}^r \neq f_{yx}^r$ である。このとき、乗車駅 x を行、降車駅 y を列とした、総ホーム移動時間 f_{xy}^r の表を「路線別駅間相性表」という。

3.2. ケーススタディ

ここで例として在来 Y 路線の路線別駅間相性表をみてみる。Table2 は Y 路線の属性別の路線別駅間相性表であり、左が車いす利用者、右が歩行者である。各表において、Y 路線 29 駅のホームが停車駅順に並べられている。Y 路線のホームは各駅に1面または2面あり、Y01-1 から Y29-2 までの駅ホーム ID で表している。駅ホーム ID は、路線を表すアルファベット 1 字と駅を表す数字 2 桁および各駅のホーム番号を表す数字 1 桁から構成する。Y01-1 は Y 路線の 01 駅の 1 番ホームである。データ構築を行った2019年10月時点で、車いす利用者が利用できるエレベーター等の昇降設備が設置されていないホームが1面ある

ため、歩行者の路線別駅間相性表は47×47であるのに対し、車いす利用者の路線別駅間相性表は46×46である。Y路線は環状線であり、方向1は時計回りで各表の右上半分、方向2は反時計回りで各表の左下半分である。表中の色付けは総ホーム移動時間 f_{xy}^r の長短に対応しており、赤みを帯びているほど f_{xy}^r が長く、青みを帯びているほど f_{xy}^r が短い。式(2)の定義より、 f_{xy}^r の長短は、乗車駅 x から降車駅 y への平均ホーム移動時間 t_{xy}^r が長く、かつ駅間の総移動人数 w_{xy} が多いことを意味している。なお、車いす利用者と歩行者の総ホーム移動時間 f_{xy}^r に及ぼす昇降設備配置の影響を分析しやすくするため、便宜的に $\alpha = 1$ とした。

Table2より、車いす利用者と歩行者の路線別駅間相性表に共通する特徴として、方向2の総ホーム移動時間 f_{xy}^r が方向1より長い傾向がある。また車いす利用者の総ホーム移動時間 $f_{xy}^{r=wh}$ は歩行者より長い傾向がある。Table2の凡例が示すように、 $f_{xy}^{r=wh}$ の95%は0~267,866[人秒]の範囲であるが、残り5%は200万人秒以上と特に長く、車いす利用者の駅間相性表にのみ見られる。車いす利用者の路線別駅間相性表を詳しくみても、総ホーム移動時間 $f_{xy}^{r=wh}$ が200万人秒を超えているのは、Y12-1駅ホームからY15-2駅ホーム(2,057,034[人秒])、Y19-1駅ホームからY15-1駅ホーム(2,326,449[人秒])、Y15-1駅ホームからY11-1駅ホーム(2,215,754[人秒])の3組である。これらの4駅のホーム昇降設備の配置図(Fig.2)と数値表(Table3)を確認する。Table3は、首都圏の駅区間の総ホーム移動時間 $f_{xy}^{r=wh}$ の上位14位までの数値表である。このとき上述の3区間の総ホーム移動時間 $f_{xy}^{r=wh}$ は首都圏で3~5位の長さであり、type a:平均ホーム移動時間 $t_{xy}^{r=wh}$ が比較的長い区間とtype b:駅間総移動人数 w_{xy} が比較的多い区間に大別される。

Table3より、Y15-1駅ホームからY11-1駅ホームへの平均ホーム移動時間 $t_{xy}^{r=wh}$ は144.25秒と14区間中3番目に長い。

またY12-1駅ホームからY15-2駅ホームへの総移動人数 w_{xy} は27,063人、Y19-1駅ホームからY15-1駅ホームへの w_{xy} は40,231人であり、14区間中2,1番目に多い。このように路線別駅間相性表は、駅ホーム昇降設備の配置と旅客移動量を考慮して、多数の車いす利用者がホーム上を長時間移動している区間の把握に有用である。表の形で一覧でき、各路線全体の駅間相性を俯瞰できる。また、車いす利用者がホーム上の長時間移動を余儀なくされている状況を定量的に把握でき、客観的評価が可能となる。なお、路線別駅間相性表において総ホーム移動時間 $f_{xy}^r = 0$ が多いのは、重みづけに使用している駅間総移動人数 w_{xy} がサンプル調査を基にした拡大補正值であり、少数の駅間移動人員は捕捉できないためである。少数の駅間移動人数を考慮する必要がある場合には留意が必要である。

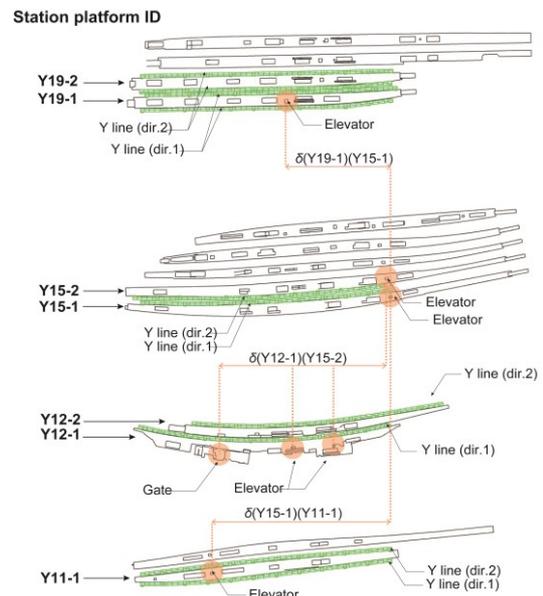
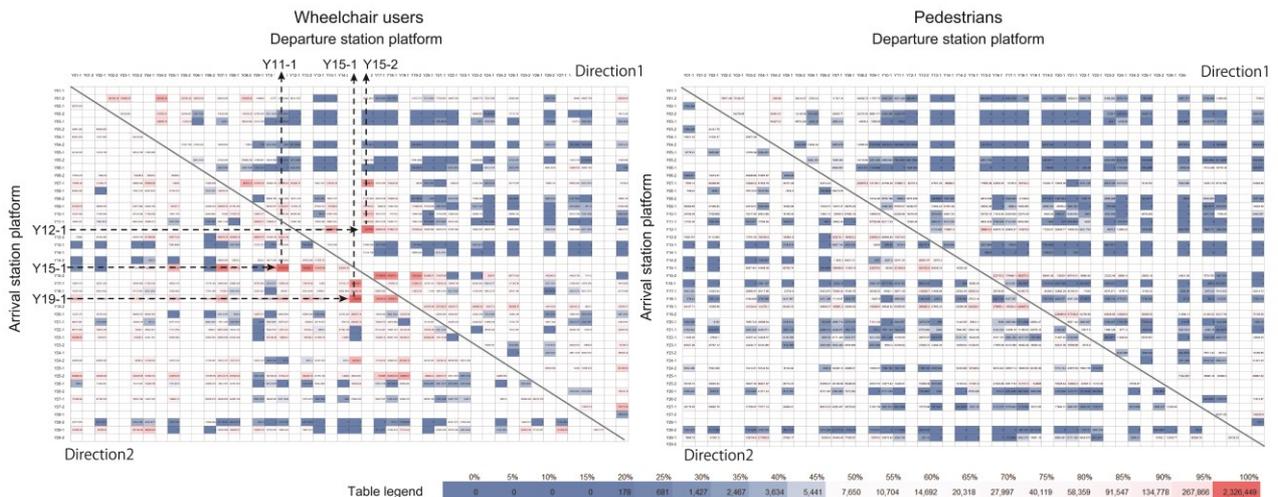


Fig.2 Layout of station platform facilities

Table 2 Compatibility table between stations by line



4. 首都圏 16 路線の総ホーム移動時間 f_{xy}^r

首都圏の 16 路線の総ホーム移動時間 $f_{xy}^{r=wh}$ のパーセンタイル値の散布図を確認する (Fig.3)。95 パーセンタイル以上に総ホーム移動時間 $f_{xy}^{r=wh}$ が極端に長い区間がみられる。それらの区間の各数値を Table3 で確認すると、最も総ホーム移動時間 $f_{xy}^{r=wh}$ が長い C01-1 駅ホームから C03-1 駅ホームへの移動では、駅間ホーム移動距離 $t_{xy}^{r=wh}$ が 147.70 秒もかかる。駅間総移動人数 w_{xy} も 16,081 人であり、多くの車いす利用者がホーム上の長時間の移動を余儀なくされている区間であることが読み取れる。また、上位 14 区間中 8 区間が Y 路線であり、すべて Y15 駅を含んでいることがわかった。Y15 駅の 2015 年度 1 日平均乗車人員は 760,043 人で、利用者の特に多い駅である。それに加えて、データ構築を行った 2019 年 10 月時点では、駅の構造上の制約からエレベーターの配置が南側に偏っており、駅間ホーム移動距離 δ_{ij} が 100m を超える区間が複数あることが、総ホーム移動時間 $f_{xy}^{r=wh}$ が特に長い要因だと考えられる。

Table 3 Variables of 14th top of $f_{xy}^{r=wh}$

no.	i	j	$\delta_{ij}^{r=wh}$	$t_{ij}^{r=wh}$	α	w_{ij}	$f_{ij}^{r=wh}$
1	C01-1	C03-1	162.47	147.70	1.00	16,081	2,375,164
2	C03-1	C05-1	130.12	118.29	1.00	19,193	2,270,357
3	Y12-1	Y15-2	83.61	76.01	1.00	27,063	2,057,034
4	Y19-1	Y15-1	63.61	57.83	1.00	40,231	2,326,449
5	Y15-1	Y11-1	158.67	144.25	1.00	15,361	2,215,754
6	B26-2	B22-2	147.31	133.91	1.00	16,600	2,222,966
7	J05-2	J02-1	84.94	77.22	1.00	25,592	1,976,168
8	K09-1	K10-1	88.55	80.50	1.00	21,717	1,748,219
9	Y15-1	Y07-1	113.49	103.17	1.00	17,138	1,768,174
10	Y15-1	Y12-2	98.67	89.70	1.00	21,693	1,945,862
11	Y17-1	Y15-1	118.67	107.88	1.00	15,128	1,632,036
12	Y15-2	Y17-1	133.49	121.35	1.00	14,609	1,772,869
13	Y15-2	Y18-1	212.16	192.87	1.00	8,296	1,600,072
14	S01-1	S04-1	83.67	76.06	1.00	19,752	1,502,409

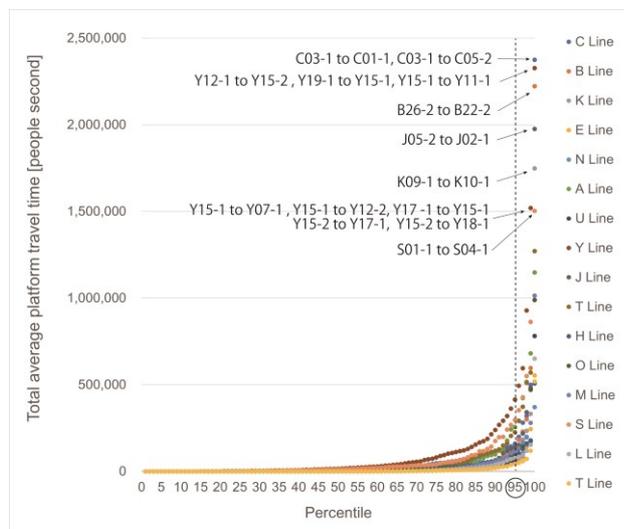


Fig.3 Plot of $f_{xy}^{r=wh}$

5. まとめ

車いす利用者のホーム上の移動時間が長くなる主要因として、駅間の移動に着目し、駅ホームエレベーター配置と駅間総移動人数を考慮した定量評価指標として、駅間相性を定義した (2 節)。そして路線別駅間相性表を作成し、各路線の駅間相性を一覧で把握できることを示した (3 節)。更に、首都圏 16 路線の総ホーム移動時間 $f_{xy}^{r=wh}$ の比較分析を行った。95 パーセンタイル以上で、総ホーム移動時間 $f_{xy}^{r=wh}$ が極端に長くなる区間があることがわかった。また $f_{xy}^{r=wh}$ の上位 14 区間中 8 区間は Y 路線にあり Y15 駅を含む区間であることがわかった (4 節)。

以上より、駅間の移動に着目して、駅ホームエレベーターの駅間相性による定量評価を行うことで、車いす利用者のホーム上の移動時間を全体的に把握することができた。駅間相性を用いることで、より多くの車いす利用者が長時間の駅間移動を余儀なくされている区間を把握することができ、今後、改善検討を行う際に役立てられ得るものと考えられる。

謝辞

本研究は東日本旅客鉄道から資料提供を受けました。また JEPS 科研費 20H02327 の助成を受けたものです。

【参考文献】

- 国土交通省 (2020). 「令和元年度末 鉄軌道駅における駅の段差解消への対応状況について」. <https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/barrierfree/content/001373602.pdf>, (参照 2021/9/23)
- 国土交通省 鉄道局鉄道サービス政策室 (2018). 「鉄道における車椅子利用環境改善に向けた調査報告書」平成 30 年 3 月: pp. 33-37. <https://www.mlit.go.jp/common/001257132.pdf>, (参照 2021/9/23)
- Hu, M., 2017. A high-fidelity three-dimensional simulation method for evaluating passenger flow organization and facility layout at metro stations. Simulation 93, 841-851. <https://doi.org/10.1177/0037549717715107>
- Lahoorpoor, B., Levinson, D.M., 2020. Catchment if you can: The effect of station entrance and exit locations on accessibility. J. Transp. Geogr. 82. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102556>
- 国土交通省 (2021). 「公共交通機関の旅客施設に関する移動円滑化整備ガイドライン」バリアフリー整備ガイドライン旅客施設編, p102. <https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/barrierfree/content/001396978.pdf> (参照 2021/9/25)
- Tsukada, Y., Kono, T., Tanaka, Y., Morota, K., 2006. Evaluation Method for Convenience of Transport Nodes Based on Generalized Time. Tech. note Natl. Inst. L. Infrastruct. Manag. 297., p96 <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0297.htm> (参照 2021/9/25)
- 国土交通省 (2017). 「平成 27 年度 大都市交通センサス」線別駅間移動人員. https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transport_tk_000035.html (参照 2021/9/23)