

移動エネルギーおよび意識抵抗を考慮した地下鉄駅のエレベーター配置計画

Location Planning of Elevators in the Subway Station
Considering Transfer Resistance Based on Kinetic Energy and User's Senses

北海道大学大学院 ○正 会 員 岸 邦宏 (Kunihiro KISHI)
都市基盤整備公団 正 会 員 加藤 昌樹 (Masaki KATOH)
北海道大学大学院 フェロー 佐藤 馨一 (Keiichi SATOH)

1. はじめに

平成12年11月に「高齢者、身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律(交通バリアフリー法)」が施行され、高齢者や身体障害者に代表される移動制約者の利便性、安全性の向上が促進されている。駅施設においては、駅出入口からプラットホームへ通じる経路について、エレベーターおよびスロープにより高低差を解消するように基準が示されている。しかし、多くの駅施設においてエレベーター(以下EV)あるいはエスカレーター(以下ES)の整備が進められているが、どこに設置しなければならないかという基準までは示されていない。そのため、エレベーターが設置されていても非常に遠い場所にあり、遠回りして利用することで逆に利用者の負担が大きいといった事例も少なくない。一方で事業者もエレベーターの配置に際して、空間的制約や費用から主要動線のすぐ近くに配置することは難しく、利用者の許容範囲の中でいかに近くに設置するかが課題となってくる。

本研究は駅施設のエレベーター配置の指針を提案することを目的とする。札幌市営地下鉄の駅を対象に、エネルギー消費量の観点から利用者が地下鉄からバスに乗り換えるまでの移動において、エレベーターの配置の評価を行う。そして、「遠い」「近い」という意識抵抗の観点を組み合わせることにより、エレベーター配置基準を示すものである。

2. ES・EVの利用に関する意識調査

(1)意識調査の概要

地下鉄駅のES、EVの利用に関して、札幌市内で平成13年1月10日～13日に意識調査を行った。調査方法は調査票の直接配布・回収で、回収票数は194票であった。回答者の属性を65歳以上の高齢者、30～64歳の中高年、20歳代の学生に分類して分析を行った。それぞれの回収票数は高齢者100票、中高年39票、学生55票であった。

(2)ES・EVの利用状況

ES、EVの利用について、どちらを日常的に利用するかをたずねた(図1)。階段を利用すると答えた人が高齢者、中高年で20%を超えた。どちらも「健康のために階段を利用する」と答えた人が多く見られた。ESとEVを比較すると、いずれの属性においてもESを利用する人が多い。調査対象がEVの整備が進んでいない札幌市営地下鉄南北線沿線で行ったことも原因として考えられ

るが、学生では、EVは移動制約者のためのものであり使ってはいけないと考えている人も多い。

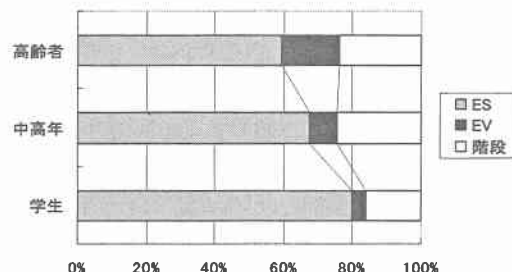


図1 ES・EVの利用の度合い

次に、利用者の多いESと階段について利用するときには怖いと感じるかたずねた(図2・3)。

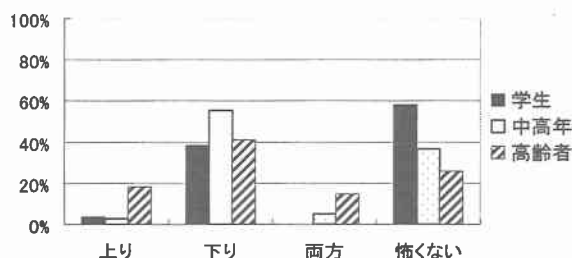


図2 階段利用時に怖いと感じるか

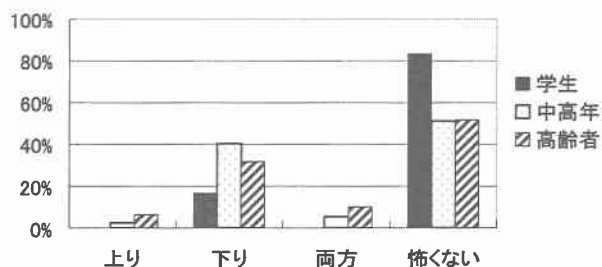


図3 ES利用時に怖いと感じるか

図2より階段利用時には、高齢者・中高年ともに「両方」を含めると過半数が「下り」での利用時に怖いと感じている。この心理的負担は、ESの利用によって低減されている(図3)。つまり、ESは階段と比較して、体力の消費といったエネルギー抵抗だけでなく心理的抵抗の低減にも効果があるといえる。

(3)EV配置計画の必要性

階段と比較してESは心理的負担の低減に寄与しているが、一方で図3より約5割がESの利用に際して怖い

と感じている。EV では利用の際に怖いと感じることもなく、エネルギー消費の低減からも設置の効果は大きい。しかし現状では ES よりも整備が進んでおらず、また利用するには遠い場所にあるために EV が十分に機能していないところが多い。今後は「遠い」と感じる意識抵抗も考慮しながら、EV の配置計画を進めることが重要であると言える。

3. 札幌市営地下鉄駅の移動エネルギー抵抗分析

(1)エネルギー消費量に基づく乗換抵抗算定式

移動エネルギー消費量の観点から乗り換えを評価する手法として、日本鉄道建設公団では労働科学の分野で用いられているエネルギー代謝率によって移動エネルギー消費量を求め、水平距離で歩いた場合に換算して、(1)式のように乗換抵抗算定式を定義している¹⁾。

$$E = X_1 + 0.636X_2 + 1.418N_1 + 0.831N_2 + 0.564N_3 + 0.424N_4 + 0.291N_5$$

E : 乗換抵抗(m)

X_1 : 水平移動距離(m)

X_2 : 動く歩道の水平距離(m)

N_1 : 上り階段数(段)

N_2 : 下り階段数(段)

N_3 : 標準 ES(段)

N_4 : 高速 ES(段)

N_5 : EV(階段に相当する段数)

(2)札幌市営地下鉄駅の移動エネルギー抵抗値の算出

(1)式を用いて、札幌市営地下鉄の 10 駅を対象に、地下鉄駅ホームから、バスターミナルまでの移動エネルギー抵抗値を算出した。各駅の断面図、縦断面図をもとに地下鉄プラットホーム中央からバスターミナルまでの階段、ES、EV の手段別に最短経路を求め、水平移動距離、高低差を算出した。また現地踏査にて階段の段数の確認を行った。なお、ES、EV の利用において、ES、EV が整備されていない部分は階段を利用するものとする。

各駅の移動エネルギー抵抗を小さい順に並べたものが表 1 である。各ターミナルの現状を考察するにあたって、偏差値で表した。偏差値の値が高いほど移動エネルギー抵抗が小さくなるようにしている。ただし、真駒内駅は地上駅であり、バスターミナルと地下鉄改札口が同一階にあるなど、他の駅と構造が異なるため、参考にとどめた。

表 1 地下鉄駅移動エネルギー抵抗値

階段			ES		EV			
	乗換抵抗 (m)	偏差値	乗換抵抗 (m)	偏差値	乗換抵抗 (m)	偏差値		
琴似	240.1	57.1	琴似	176.9	環状通東	159.4	58.4	
環状通東	267.2	54.9	新札幌	187.7	57.1	栄町	187.4	55.2
北24条	268.8	54.8	環状通東	209.1	55.0	新札幌	193.5	54.5
新札幌	275.7	54.2	大谷地	265.1	49.7	琴似	207.4	52.9
大谷地	319.2	50.8	栄町	278.3	48.5	大谷地	224.1	51.0
栄町	348.3	48.5	宮の沢	315.0	45.0	北24条	266.0	47.3
麻生	353.5	48.1	麻生	327.9	43.8	宮の沢	290.8	43.3
福住	442.6	41.1	福住	336.8	42.9	福住	343.7	37.3
宮の沢	449.6	40.5	北24条			麻生		
平均	329.5		平均	262.1		平均	232.8	
分散	16043.2		分散	11073.3		分散	7578.3	
標準偏差	126.7		標準偏差	105.2		標準偏差	87.0	
真駒内	139.5	65.0	真駒内	97.7	65.6	真駒内	60.6	69.8

(3)ES・EV の整備効果

表 1 の結果をもとに ES と EV の整備効果を分析する。

本研究では低減率、整備率を(2)、(3)式のように定義する。

$$\text{低減率} = \left(1 - \frac{\text{ES 及び EV 利用時の乗換抵抗}}{\text{階段利用時の乗換抵抗}}\right) \times 100$$

(2)

$$\text{整備率} = \frac{\text{EV or ES が占める階段段数分}}{\text{階段段数}}$$

(3)

低減率は、EV 利用時、ES 利用時に階段を利用したときと比較して、どの程度移動エネルギー抵抗が低減できたかを示す。低減率が大きいほど、EV、ES の整備効果が高い。また整備率は階段を使わなくても移動できる割合を示す。計算結果を表 2 に示す。

表 2 ES・EV の整備率および移動エネルギー抵抗値の低減

ES/階段			EV/階段		
	ES整備率	低減率		EV整備率	低減率
新札幌	100%	31.9%	真駒内	100%	56.0%
真駒内	100%	30.0%	栄町	100%	46.2%
宮の沢	100%	29.9%	環状通東	100%	40.3%
琴似	100%	26.3%	宮の沢	55%	35.3%
福住	100%	23.9%	新札幌	29%	29.8%
環状通東	60%	21.7%	大谷地	28%	29.8%
栄町	67%	20.1%	福住	23%	22.4%
大谷地	100%	17.0%	琴似	100%	13.6%
麻生	34%	7.2%	北24条	40%	4.8%
北24条	0%		麻生	0%	

ES を見ると、大谷地駅が整備率は 100%であるにも関わらず、低減率は小さい。EV に関しては琴似が整備率は 100%だが、その低減率は低い。これらの原因としては、ES、EV 利用時に、階段利用時に比べて大きく迂回しなければならないことが挙げられる。また、全体的に EV の方が ES よりも低減率は高い中、福住駅、琴似駅は ES の低減率が高い。これも EV の配置場所が非常に遠いことが反映されている。ES、EV とともに配置場所によっては、効果が大きく異なることが明らかになった。

4. EV の意識抵抗距離の評価

(1)EV の意識抵抗距離

3.においてエネルギー消費の観点から移動抵抗を分析したが、体力的な面とは別に、「遠いから利用しない」という EV までの距離が意識的に抵抗となる場合もある。

本研究では EV までどのくらいまでの距離なら近いと感じるか、どのくらいの距離なら遠すぎて使わないかといった意識抵抗距離を求める。分析手法はロジット型価格感度測定法(Kishi's Logit PSM; KLP)²⁾を適用することとする。

(2)KLP の意識抵抗距離評価への適用

KLP は、ある商品に対して「安いと感じる」、「高いと感じる」、「高すぎて買わない」、「安すぎて買わない」という 4 つの価格を消費者に問い、回答された価格から相対累積度数グラフを導出し、その交点から評価指標を求める手法である。ここで相対累積度数をロジットモデルで回帰している。

KLP は価格が「安い」、「高い」という個人の主観的評価を「安いと感じる」人が「高いと感じる」人よりも「多い」、「少ない」という客観的評価にすることを可能とするところに特長がある。一方、距離における「近い」、「遠い」と

いう評価も個人の主観的評価である。意識抵抗距離は主観的評価であるが、「近いと感じる」人が「多い」、「少ない」とすることによって客観的評価が可能となる。そこで KLP の価格を距離に置き換えて、EV の意識抵抗距離の評価に適用することとした。

本研究では表 3 のように、KLP における「安い」を「近い」、「高い」を「遠い」、「買う」を「EV を利用する」として分析を行う。

ただし「近すぎて利用しない」については、EV は近くにあることが望ましいので質問項目からはずしている。

表 3 意識抵抗距離評価の質問項目

- ①どのくらいの距離に EV があれば、近いと感じて利用しますか。
- ②どのくらいの距離に EV があれば、遠いと感じて利用しますか。
- ③どのくらいの距離に EV があれば、遠すぎて利用しないと感じますか。

それぞれの距離についてロジットモデルで相対累積度数を回帰することにより、図 4 が得られ、次のような評価指標を得る。

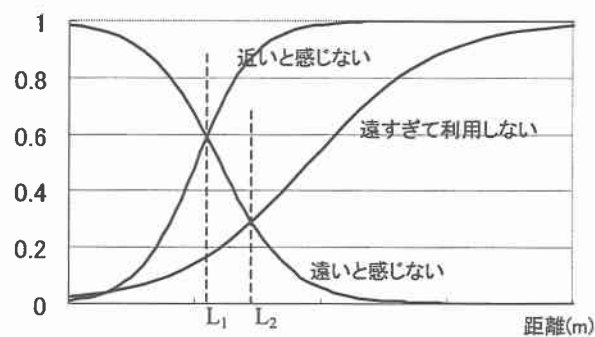


図 4 意識抵抗距離の評価指標

- a) L_1 : 上限距離
この距離を越えてしまうと、遠すぎて EV を利用しないという人が多くなる、利用者の受け入れる上限の距離。
- b) L_2 : 基準距離
「近いと感じない」人と「遠いと感じない」人が同数となる点。この点を境に EV までの距離が近いか遠いかを利用者全体から判断する基準となる距離。

以上の評価指標のうち、上限距離が利用者にとって利用できると感じる距離の限界であることから、これを意識抵抗限界値と設定する。

(3)EV の利用に関する意識抵抗距離の分析

①実験概要

EV への意識抵抗距離を調査する際に、インタビュー形式で被験者がイメージした距離を回答するのでは、回答した距離が実際に正しいとは言えないことから、本研究では実験により測定することとした。

平成 13 年 1 月 26 日に高齢者を対象として、北海道北広島市立大曲小学校の廊下を利用して実験を行った。被験者数は男性 7 名、女性 4 名の 11 名。いずれも 60 歳以上で、70 歳代が 7 名であった。

実験は、被験者は階段の前に立ち、仮想 EV とした目標物を徐々に遠ざけて、被験者に表 4 の質問内容について回答してもらう(図 5)。これを下り方向(実験 1)と上り方向(実験 2)の場合について行う。

実験終了後に被験者に、本実験の理解度を質問したところ、「ほとんどわからない」と回答した人はいなかった。

表 4 実験の質問内容

EV が徐々に離れていきますが、EV まで「近い」「遠い」「遠すぎて、階段を利用する」と感じる距離まで EV が離れていったら、その都度回答して下さい。



図 5 実験の様子

②実験結果

実験 1 と 2 の結果を表 5 に示す。基準距離も上限距離も「下り」の方が受け入れる距離が遠いことから、被験者は「上り」よりも「下り」のほうが EV の利用に依存する傾向が強いと考えられる。このことは図 2 で示したように階段の利用において「下り」の方が怖いとする利用者の意識を反映しているといえる。

表 5 実験の分析結果

	実験1(下り)	実験2(上り)
基準距離	13m	11m
上限距離	20m	15m

5. EV 配置計画のプロセス

(1)利用者と設置者の制約条件

利用者にとっては、EV は可能な限り主動線上に設置されることが望まれる。しかし、駅の空間は構造上の制約があり、その空間で多くの施設を配置するため、必ずしも利用者が満足できる近い位置に EV が配置できるとは限らない。つまり、利用者はどの程度まで主動線から外れても EV を利用するのか、また、設置者にとっては、どこまで主動線に EV を近づけて配置できるかが課題となる。そのためには、両者それぞれの限界点を求め、その解が重なる部分を求めることが重要である。このとき、利用者の制約条件にはこれまで分析した移動エネルギー抵抗と意識抵抗があり、設置者の制約条件には構造的制約、経済的制約があると考えられる。

(2)EV の適正配置距離

図 6 のように、a の範囲に設置者制約条件の限界値を得ることができた場合、EV の設置場所は、a かつ b の範囲でその時の状況に合わせて設置すればよい。

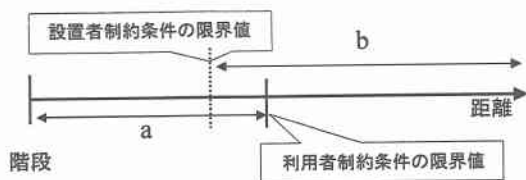


図6 利用者と設置者の制約条件の重なり

aの範囲に設置者制約条件の限界値を得ることができない場合は、その設置されたEVに利用者の抵抗低減は期待できなくなるので、設置者制約条件の限界値が、aの範囲内に存在するように再検討が必要になる。

(3) 利用者の制約条件限界値

利用者の制約条件限界値は、移動エネルギー抵抗、意識抵抗それぞれの限界値から求めることとなる。図7をもとにして利用者制約条件限界値を設定する。

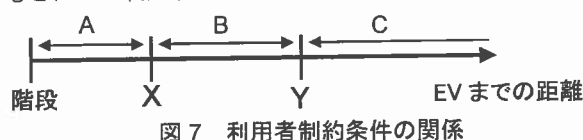


図7 利用者制約条件の関係

(パターン1) 意識抵抗<移動エネルギー抵抗
X: 意識抵抗限界値 Y: エネルギー抵抗限界値

上記の関係が成立した場合、Aの範囲ではエネルギー、意識双方の抵抗が低減される。Bの範囲では、エネルギー抵抗の低減しか期待できない。Cの範囲は、エネルギー抵抗も意識抵抗も低減効果は期待できない範囲である。

(パターン2) 意識抵抗>移動エネルギー抵抗
X: エネルギー抵抗限界値 Y: 意識抵抗限界値

パターン1と逆の関係が成立した場合、Aの範囲ではエネルギー、意識双方の抵抗が低減される。Bの範囲では、意識抵抗の低減しか期待できない。Cの範囲は、双方の抵抗の低減効果は期待できない範囲である。

利用者制約条件の限界値は、エネルギー抵抗、意識抵抗、双方の低減効果がある範囲の境界点、つまり、図7のXでなければならない。

(4) 移動エネルギー抵抗限界値の導出

プラットフォームから改札口まで図8のような構造を考えたとき、(1)式から(4)(5)式を得る。(4)(5)式の連立式から、起点から改札口までの、階段利用時とEV利用時のエネルギー消費量が等価になる距離 X_1 を算出できる。このエネルギー消費量が等価な地点を、移動エネルギー抵抗の限界値とする。

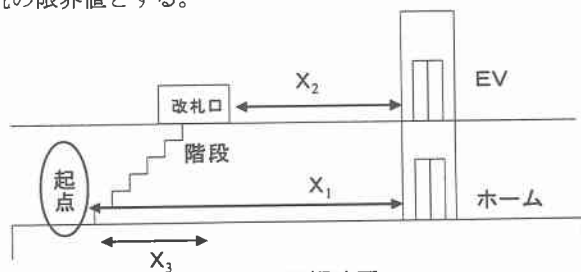


図8 駅概略図

階段利用時

$$E_1 = X_3 + 1.418 \times H \quad (\text{m}) \quad (4)$$

EV利用時

$$E_2 = X_1 + X_2 + 0.291 \times H \quad (\text{m}) \quad (5)$$

H: 階段段数(段)

(5) 意識抵抗限界値の導出

KLPの考え方を応用して求めた、意識抵抗の上限距離が意識抵抗限界値に相当する。

6. 移動エネルギー・意識抵抗を考慮したEV配置計画

4.の実験2の状況において、実験結果と(4)(5)式から算出される移動エネルギー抵抗の限界値から、図7のXとYに相当する値を求める。

実験結果から、意識抵抗限界値は15m。本実験での階段は30段であり、その場合の移動エネルギー抵抗限界値は約27mとなった。

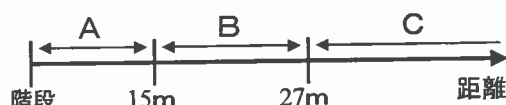


図9 実験におけるEVの利用者制約条件

この関係を図7に当てはめて考えると図9になる。ここでは移動エネルギー抵抗より意識抵抗の方が短い距離で限界が生じることがわかった。さらに、移動エネルギー抵抗の低減効果は生じるが、意識抵抗の低減効果はない範囲(図9のBの部分)が存在し、その範囲は階段から15m~27mである。また、設置してもその整備効果がない範囲(図9のCの部分)はEVまでの距離が27m以上である。

移動エネルギー抵抗と意識抵抗双方からEVの配置計画を考えると、階段から15m以内の範囲に設置することで、低減効果が生じると言える。したがって、30段の階段の場所にEVを配置する場合、階段から15m以内に、空間的制約、経済的制約の設置者制約条件の限界値が存在することが望ましい。

7. おわりに

本研究では移動エネルギー抵抗、意識抵抗を考慮したEVの配置計画のプロセスを提案した。また、実験を行うことによってケーススタディとして利用者にとって効果のあるEVの配置基準を示した。これまで明確に基準のなかったEVの配置場所について、このプロセスに従って利用者、EVの設置者双方の制約を考慮した配置をすることができると考える。

本研究の実験では意識抵抗距離の起点を階段とした。階段とEVとの様々な位置関係における配置基準について、今後検討していきたい。

参考文献

- 1) 日本鉄道建設公団東京支社: 交通結節点のあり方に関する研究、1~3、1993~1995
- 2) 岸邦宏・内田賢悦・佐藤馨一: 航空運賃に対する利用者の価格感度に関する研究、土木計画学研究・論文集16、pp187-194、1999