

2021 年度 卒業論文

低中階層施設における バリア度定量化手法の提案

文教大学
経営学部経営学科
根本研究室 24 期生

B8R11177 望月一樹

概要

多くの建築物では障害者等が利用しやすいようにバリアフリー化が進んでいる。特に、階層施設でのエレベータ設置や段差解消といった物理的な移動障壁を減らす施策が政策的に推進され、着実な進捗が図られてきた。しかし、物理的な移動障壁がないことが健常者と車いす利用者の移動を同等にしているわけではない。例えば、低中階層施設においては、健常者は階段やエスカレータ等を利用し最短で移動する一方で、車いす利用者はエレベータの利用をしなければならない。それぞれが利用できるネットワーク上の最短経路の違いから、移動に関する差異が生じてしまっている。物理的な移動障壁がない、俗にいうバリアフリーな施設であっても、施設内移動に関して健常者と障害者に差異が生じていると考えられる。物理的な移動障壁をなくす施策を「部分的な」バリアフリーと名付ければ、今後は移動の差異を減らす「(施設の)全体的な」バリアフリー化が重要な観点になってくると考えられる。そこで本研究ではこの「全体的な」バリアフリーに着目し、その定量化に向けた施設全体でのバリア度の定量化手法を提案する。導出に用いる手法は、施設全体の健常者/車いす移動ネットワークをまずは構築し、各々での全起終点間最短距離を算出し、各々の総和の比を用いた。この提案を検証するために、物理的な移動障壁は無いバリアフリーな低中階層施設である文教大学東京あだちキャンパスを対象にし、全体的なバリア度を具体的に導出した。その結果、まずは健常者と比較して車いすでの移動は5.20%の負担増があることを、つまり、バリア度を定量的に示すことができた。次に提案手法を応用し、施設全体でのバリア度を低減させるエレベータ配置の分析を行い、現状で最もバリアフリーに貢献していないエレベータ1基を明らかにした。さらに、その配置変更により、施設全体のバリア度を0.42%低減できることを明らかにした。物理的な障壁を無くす従来の部分的なバリアフリーの促進のみが注目されているが、施設全体でのバリアフリーが次の段階では重要な観点となり、その議論を支えるバリア度の定量化手法を提示することができた。

目次

第1節	はじめに.....	1
第2節	部分的から全体的なバリアフリーの重要性.....	2
2-1	日本のバリアフリー.....	2
2-2	物理的な移動障壁と移動の差異.....	3
第3節	施設全体のバリア度定量化手法の提案.....	3
3-1	先行研究とその問題点.....	3
3-2	施設全体でのバリア度の提案.....	4
3-3	移動ネットワークの作成.....	5
3-4	全体的なバリア度の算出.....	6
第4節	モデル施設でのバリア度定量化.....	7
4-1	モデル施設の選定.....	7
4-2	モデル施設のネットワーク作成.....	7
4-3	プログラミング言語を用いた全点間最短距離の算出.....	10
4-4	結果と考察.....	10
第5節	応用:よりバリアフリーなエレベータ配置の分析.....	12
5-1	現状分析.....	12
5-2	候補地の検討と分析方法.....	14
5-3	結果と考察.....	15
第6節	おわりに.....	17
謝辞.....		18
参考文献.....		18
付録.....		19

第1節 はじめに

現在、世界的にバリアフリー化が進められている。日本人障害者の中には、「初めての海外は驚きの連続でした。～(中略)～。帰国したとき、自分に障害があることを思い出しました。¹」と語る人もいるほどだ。バリアフリーや障害者という言葉を知り、東京 2020 パラリンピック競技大会を想起する人も多いただろう。開催された 2021 年のユーキャン新語・流行語大賞では、東京 2020 パラリンピック競技大会ボッチャ日本代表の杉村英孝さんが繰り出す正確なコントロール“スギムライジング”がトップテン入り²するなど、多くの人々がパラリンピック選手からも感動をもらった。その成功の裏で、多くの建築物では障害者等が利用しやすいよう、バリアフリー化が政策的にも進められた。特に、階層施設でのエレベータ設置や段差解消といった物理的な移動障壁を減らす施策が政策的に推進され、物理的障壁に代表される階段の解消率が 9 割を超える³など、着実な進捗が図られてきた。東京 2020 オリンピック・パラリンピック競技大会にあわせて建設された国立競技場は日本で最先端のバリアフリー施設と評価されるほどだ⁴。

しかし、物理的な移動障壁がないことが、健常者と車いす利用者の移動を同等にしているわけではない。物理的な移動障壁がない、俗にいうバリアフリーな施設であっても、施設内移動に関して健常者と障害者に差異が生じていると考えられる。物理的な移動障壁を無くす施策を「部分的な」バリアフリーと名付ければ、今後は移動の差異を減らす「(施設の)全体的な」バリアフリー化が重要な観点になってくると考えられる。

そこで本研究ではこの「全体的な」バリアフリーに着目し、その定量化に向けた施設全体でのバリア度の定量化手法を提案する。先行研究として、中本・島崎[1]が提案した手法がある。しかし、中本・島崎の提案手法は所与の一起点からの定量化で、移動発生の可能性のある全ての起終地点間の移動が考慮されていないなどの問題がある。そこで、本研究で導出に用いる手法は、施設全体の健常者/車いす移動ネットワークをまずは構築し、各々での全起終点間最短距離を算出し、各々の総和の比を用いた。この提案を検証するために、物理的な移動障壁は無いバリアフリーな低中階層施設である文教大学東京あだちキャンパスを対象にし、全体的なバリア度を具体的に導出した。その結果、まずは健常者と比較して車いすでの移動は 5.20%の負担増があることを、つまり、バリア度を定量的に示すことができた。また、中本・島崎の提案手法を用いた場合のバリア度は 103.98～105.06%であり、本研究で提案する手法で算出したバリア度 105.20%を下回る結果となった。つまり、全ての起終点間での移動を考慮した場合は、異なる値が出てくることが確認できた。次に提案手法を応用し、施設全体でのバリア度を低減させるエレベータ配置の分析

¹ NHK 解説委員室、『「日本と世界のバリアフリー事情」(視点・論点)』、<https://www.nhk.or.jp/kaisetsu-blog/400/437893.html> (2021/12/11)

² ユーキャン、『「現代用語の基礎知識」選 2021 ユーキャン新語・流行語大賞 年間大賞&トップ 10 発表!』、https://www.u-can.co.jp/company/news/1213962_3482.html (2021/12/11)

³ 国土交通省、『公共交通機関におけるバリアフリー化が着実に進捗!』、https://www.mlit.go.jp/report/press/sogo09_hh_000221.html (2021/11/18)

⁴ NHK、『目指せ!世界標準のバリアフリー 東京 2020 大会の先へ』、<https://www.nhk.or.jp/gendai/articles/4580/index.html> (2021/12/11)

を行い、現状で最もバリアフリーに貢献していないエレベータ 1 基を明らかにした。さらに、その配置変更により、施設全体のバリア度を 0.42% 低減できることを明らかにした。

本論文の構成として、2 節で低中階層施設における日本のバリアフリーとその問題点を指摘し、3 節で施設全体のバリア度を定量化する手法を提案する。4 節ではこの提案を検証するために、モデル施設での具体的なバリア度を導出したうえで、提案手法の結果と考察を述べる。5 章では提案手法を応用し、施設全体でのバリア度を低減させるエレベータ配置の分析を行い、その結果と考察を与える。さいごに、6 節で本研究のまとめと今後の課題について述べる。

第2節 部分的から全体的なバリアフリーの重要性

ここでは、日本におけるバリアフリーの定義と現状について説明する。その後、物理的な移動障壁を無くす従来のバリアフリーが、本研究で扱う低中階層施設内移動に与える問題点について紹介する。

2-1 日本のバリアフリー

日本では、バリアフリーについて障害者基本計画の中で次のように定義されている。

『障害のある人が社会生活をしていく上で障壁(バリア)となるものを除去するという意味で、もともと住宅建築用語で登場し、段差等の物理的障壁の除去をいうことが多いが、より広く障害者の社会参加を困難にしている社会的、制度的、心理的なすべての障壁の除去という意味でも用いられる。⁵⁾』

つまり、バリアフリーと聞いてよく想起されやすい物理的障壁の除去だけではないということである。そして、「高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律施行令の一部を改正する政令(以下、改正バリアフリー法)」が令和 3 年 4 月 1 日に施行された。この法改正においては、物理的障壁を除去するハード面の整備よりも、心理的障壁を除去する心のバリアフリーのようなソフト面の整備に重きをおいた内容になっている。特に、階層施設でのエレベータ設置や段差解消といった物理的な移動障壁を減らす施策が政策的に推進され、物理的障壁に代表される階段の解消率が 9 割を超えるなど、着実な進捗が図られてきた。このように、物理的障壁の除去が進みハード面が充実してきたことで、それらを最大限活かすためのソフト面に注力することは重要である。

しかし、そのような潮流の中、本研究では敢えてハード面である物理的な移動障壁について議論する。それは、物理的な移動障壁を無くすことだけが、健常者と障害者、特に車いす利用者との移動を同等にしているわけではないからだ。

⁵⁾ 総務省、『バリアフリーとユニバーサルデザイン』,
https://www.soumu.go.jp/main_content/000546194.pdf, (2021/06/09)

2-2 物理的な移動障壁と移動の差異

物理的な移動障壁を無くすことだけが、健常者と車いす利用者の移動を同等にしているわけではないということを次の例を用いて説明する。

例えば、まず、1階層のみの施設内における移動だ。1階層のみであれば、従来考えられてきた段差などのバリアを解消することで健常者と車いす利用者の最短経路は同じになるため、移動経路に差異は生じない。次に、6階層以上の高階層施設内においても、階層移動はともにエレベータによる移動が基本になると考えられるため各々の最短経路は同じになり、この場合も差異は生じない。さいごに、2階層以上5階層以下の低中階層施設内における移動だ。ショッピングモールや学校などがイメージしやすいだろう。低中階層施設内における移動の場合、健常者は階段やエスカレータ等を利用し最短で移動する一方で、車いす利用者はエレベータを利用しなくてはならない。それぞれの利用できる移動ネットワーク上の最短経路の違いから、移動に関する差異が生じる。このように、物理的な移動障壁がない、俗にいうバリアフリーな施設であっても、施設内移動に関して健常者と障害者に差異が生じていると考えられる。

物理的な移動障壁を無くす施策を「部分的な」バリアフリーと名付ければ、今後は移動の差異を減らす、「(施設の)全体的な」バリアフリー化が重要な観点になってくると考えられる。そこで本研究ではこの「全体的な」バリアフリーに着目し、その定量化に向けた施設全体でのバリア度の定量化手法を提案する。

第3節 施設全体のバリア度定量化手法の提案

ここでは、全体的なバリア度の定量化に関する先行研究の紹介とその問題点を指摘する。その後、その問題点を解決した本研究の提案手法について説明する。

3-1 先行研究とその問題点

部分的ではないバリア度の定量化に関する先行研究として、中本・島崎[1]が提案した手法がある。中本・島崎の手法で定義されているバリア度を式(1)で示す。ここで、 w_i は所与となるある基準点から目的地*i*までの車いす利用者最短距離、 k_i は基準点から目的地*i*までの健常者最短距離を表している。 n は目的地の数である。

$$\text{中本・島崎が提案したバリア度}(b) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{w_i}{k_i}\right)^2}{n}} \dots \text{式(1)}$$

中本・島崎は、地方都市の駅前地域を想定し平面でのバリア度を定量化する目的で研究されているが、階層構造をもつ施設でも利用できるという旨の記述がある。しかし、中本・島崎の手法

は特定の一点を基準としてエリア毎のバリア度を算出するため、施設全体のバリア度を定量化するには2つの問題が生じる。1つは、どこを基準にするかによって各エリアのバリア度が変化する可能性があることだ。すべての目的地は移動の終了地点であると同時に移動の開始地点にもなる。そのため、施設内移動においてある1か所のみを移動の開始地点に設定することは合理的ではない。また、場合によってその数値が変化してしまうことは、数値の信頼性を欠くことにもつながる。もう1つは、本来、移動発生の可能性がある全ての目的地間の移動が考慮されていないことだ。移動発生の可能性のあるすべての移動が考慮されていないことは、移動の差異が増減しやすい移動パターンを見逃すことにつながる。

以上の理由から、中本・島崎の手法で施設全体のバリア度を表現するには不十分であることが分かる。本研究では、これらの問題点を解決したバリア度定量化手法を提案する。

3-2 施設全体でのバリア度の提案

ここでは、本研究で提案する施設全体でのバリア度について説明する。前述の先行研究を参考にし、本研究でのバリア度とは、「健常者と車いす利用者間でどの程度、移動に関する差異が生じているかを表現したもの」、とする。ここで、先行研究には車いす利用者を比較対象に採用した理由の記載がなかった。そこで、障害者の内訳に関する調査・推論を行い、3つの理由から改めて車いす利用者を比較対象に採用した。1つ目に、2018年における身体障害・知的障害・精神障害の3区分について、障害者全体の46.9%を身体障害者が占めている⁶こと。2つ目に、2018年における身体障害者の障害種類別内訳のうち、車いす利用の可能性がある肢体不自由者が全体の50.6%を占めている⁷こと。3つ目に、2014年から2018年の5年間で肢体不自由者の増加数は13,000人であるのに対し、同じく2014年から2018年の5年間における電動車いす国内出荷台数は109,311台⁸であることだ。3つ目に関しては、出荷されたすべての電動車いすが肢体不自由者の私的利用に用いられるとは考えにくいものの、肢体不自由者が電動型を含めた車いすを利用する可能性は高いと判断した。なお、車いす利用者数に関わる公開データは見当たらなかったため、このような推論を行った。以上の理由から、障害者3区分で最も割合の高い身体障害者のうち過半数を占める肢体不自由者が車いすを利用している可能性は高いと考え、車いす利用者を障害者の代表として比較対象に採用した。

本研究で定義したバリア度を式(2)に示す。

⁶ 内閣府ホームページ、『令和元年版 障害者白書(全体版) 参考資料 障害者の状況』,
https://www8.cao.go.jp/shougai/whitepaper/r01hakusho/zenbun/siryu_02.html,
(2021/12/26)

⁷ 文部科学省ホームページ、『学校卒業後における障害者の学びの推進に関する有識者会議(第4回) 配付資料3』,
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shougai/041/shiryo/_icsFiles/afieldfile/2018/06/21/1406219_3.pdf, (2021/12/26)

⁸ 電動車いす安全普及協会、『出荷台数の推移』,
<https://www.den-ankyo.org/society/transition.html>, (2021/12/26)

$$\text{バリア度} = \frac{\sum_{i,j \in P} w_{ij}}{\sum_{i,j \in P} k_{ij}} \quad \dots \text{式(2)}$$

ここで移動の起終点となる地点の集合を P とし、 $i \in P$ は始点、 $j \in P$ は終点、 k_{ij} および w_{ij} は健常者ネットワークおよび障害者ネットワークでの ij 間最短距離を表すとする。また、各ネットワークでの全起終点間最短距離の総和を、それぞれの総移動距離と呼ぶこととする。バリア度の導出に用いる手法は、あらかじめ、施設全体の健常者および障害者の移動ネットワークを構築する。そのうえで、式(2)を利用してバリア度を算出する。具体的には、それぞれの総移動距離にどれだけ差があるかを比で表したものをバリア度として用いた。これにより、中本・島崎が提案した手法の問題点を解決し、偏りのない施設全体の移動距離に関する差異を定量的に表現することを可能にした。次小節 3-3 から 3-4 では、具体的な導出手段を 2 段階に分けて提示する。

3-3 移動ネットワークの作成

施設全体のバリア度を導出するためには、施設全体での対象毎のネットワーク作成が必要である。ここでは、その構築方法を示す。

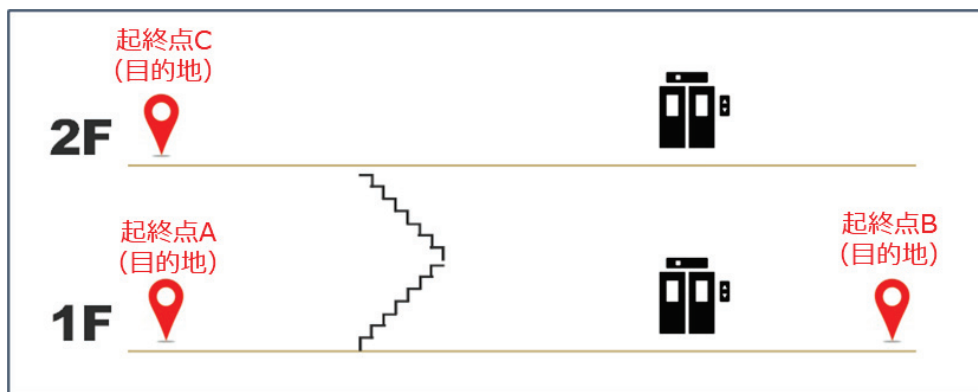


図 1 2 階層の施設の例

まず、施設全体がわかるマップを用意する。そして、移動の起終点となる場所(点)を確定する(図 1)。次に、起終点と通路の分岐点(以下、通過点)となる場所に点を打つ。このとき、すべての点に一意的な番号を割り振るが、起終点と通過点とで判別しやすいようにすることを推奨する。また、起終点に出入り口となるドアなどが設置されている場合、ドアの正面にあたる通路部分を通過点として設定し点を打つ。

次に、対象者毎で利用できる通路に枝を繋げ、マップ形式での健常者ネットワークと車いすネットワークを作成する(図 2)。作成したすべての枝はその実際の距離を測定する。このとき、階段やエスカレータ、エレベータ等の昇降設備にあたる枝の測定は、実際に昇降に要する時間を測定し、各対象者の平均移動速度で乗算した換算距離を用いる。

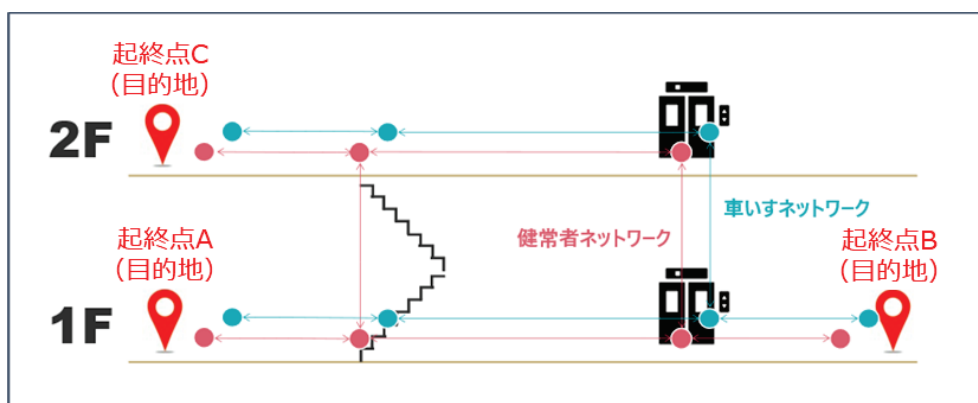


図 2 各ネットワークの作成例
(赤:健常者ネットワーク, 青:車いすネットワーク)

さいごに、マップ形式の各ネットワークをもとに、重み付き隣接行列を作成し、ネットワークをデータ表現する。隣接行列とは、「有限グラフを表わすために使われる正方行列⁹」、のことである。ここでは隣接行列の基本的な作成方法については割愛する。このとき、エスカレータなどの一方通行路がある場合は、一方からしか利用できない有向グラフであることに、特に注意する。この、作成した各隣接行列上にて、「1」で表現されるところが枝を繋いであるところである。ここに各枝の実際の距離を乗算することで隣接行列に重みを付け、各ネットワークを表現する。また、通路上に段差や坂などの物理的な移動障壁がある場合は、距離換算した重みを与えることで表現する。

3-4 全体的なバリア度の算出

ここでは、前小節にて作成した各ネットワークの隣接行列をもとに、ネットワーク毎の全点間最短距離を算出する方法を示す。まず、作成した各隣接行列から、ワーシャルフロイド法などを利用して全点間最短距離を算出する。ワーシャルフロイド法とは、「重み付き有向グラフの全ペアの最短経路問題を多項式時間で解くアルゴリズム¹⁰」、である。なお、ワーシャルフロイド法に関する基本的な説明は割愛する。実際にバリア度定量化の際は、プログラミング言語である Python を用いて算出を自動化した。Python でのコーディングについては次節で説明する。次に、算出したそれぞれの全点間最短距離のうち、起終点間の最短距離のみを抽出する。これは、本研究での施設内移動は起終点間にのみ発生するとしているため、通路上も含めた全点間ではなく起終点間の最短距離のみの総和を求める。さいごに、バリア度を算出する。ネットワーク毎の全起終点間最短

⁹ Wikipedia, 『隣接行列』,
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%9A%A3%E6%8E%A5%E8%A1%8C%E5%88%97>,
(2022/1/8)

¹⁰ Wikipedia, 『ワーシャルフロイド法』,
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%AF%E3%83%BC%E3%82%B7%E3%83%A3%E3%83%AB%E2%80%93%E3%83%95%E3%83%AD%E3%82%A4%E3%83%89%E6%B3%95>, (2021/12/15)

距離の総和を求め、車いすネットワーク下の総和を健常者ネットワーク下の総和で除算し、これをバリア度とする。

第4節 モデル施設でのバリア度定量化

ここでは、提案の検証として、物理的な移動障壁がないバリアフリーな施設を対象に、バリア度を具体的に導出する。

4-1 モデル施設の選定

ここでは、検証を行うモデル施設の選定について説明する。本研究では、物理的な移動障壁がない、俗にいうバリアフリーな施設であっても生じる施設全体的な移動の差異を定量化したい。しかし、一言でバリアフリーな施設といえども、エレベータの設置基準やスロープ傾斜角度は何度までか、通路の幅はどのくらいかなど、バリアフリーな施設であることの基準が不明瞭である。そこで、バリアフリーに関して最も新しい法律である改正バリアフリー法に準拠していることを、バリアフリーな施設の条件とした。なお、改正バリアフリー法における施設の具体的なバリアフリー基準¹¹についての説明は省略する。そのうえで、モデル施設には文教大学東京あだちキャンパスを採用した。このキャンパスは、改正バリアフリー法に準拠して2020年11月末に完成した。最大5階建ての低中階層施設であり、改正バリアフリー法に準拠して設計・建設されたという大学関係者の話より採用した。

4-2 モデル施設のネットワーク作成

まずは、モデル施設のネットワークをマップ形式で構築する¹²。作成したモデル施設ネットワークの一部を図3～図6に示す。各図中での青色の点が起終点、赤色の点が通過点、赤線が通路をそれぞれ表している。このモデル施設では、起終点237か所、通過点449か所、合計686個の点が打たれた。なお、各点間を繋ぐ枝の距離は明示していないが、実際にはすべての枝の距離を一つひとつ手作業で測定した。また、健常者および車いす利用者の平均移動速度については、健常者が67m/分¹³、車いす利用者が66m/分[2]である。なお、モデル施設のネットワークを作成するとき、マップ形式での車いすネットワークは作成していない。はじめは健常者ネットワークのみ

¹¹ 改正後のバリアフリー法に関する詳細は下記 URL 参照のこと。
(国土交通省ホームページ、『バリアフリー法施行令 本文(令和3年10月1日施行分までを反映)』、<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/barrierfree/content/001428355.pdf>, (2022/1/8))

¹² なお、本研究で用いたモデル施設に関わる一部のみのデータ公開とした。全データは文教大学根本研究室で管理しており、問い合わせがあった場合にのみデータ配布を検討する。

¹³ 健康長寿ネット、『運動強度とエネルギー消費量』、<https://www.tyoju.or.jp/net/kenkou-tyoju/undou-kiso/undou-energy.html>, (2021/11/18)

を構築し、後述の隣接行列への変換後に、車いす利用者が移動できない通路の点や枝を健常者ネットワークの隣接行列から削除することで車いすネットワークの隣接行列を作成した。

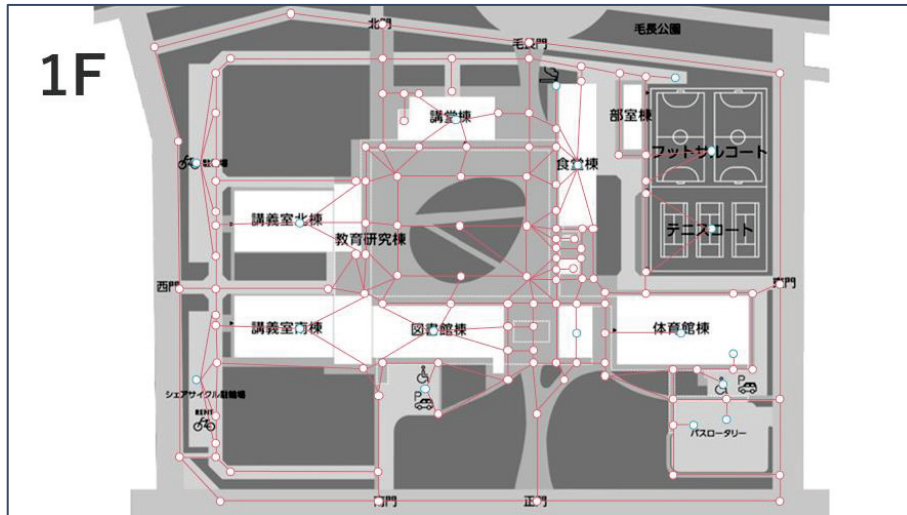


図 3 モデル施設全体を簡易的に表現したネットワーク

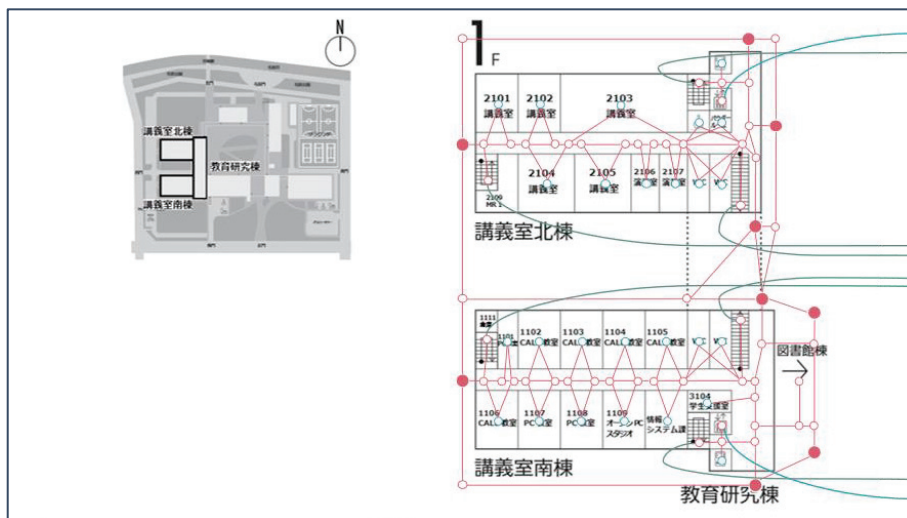


図 4 モデル施設の建物内ネットワーク(1)

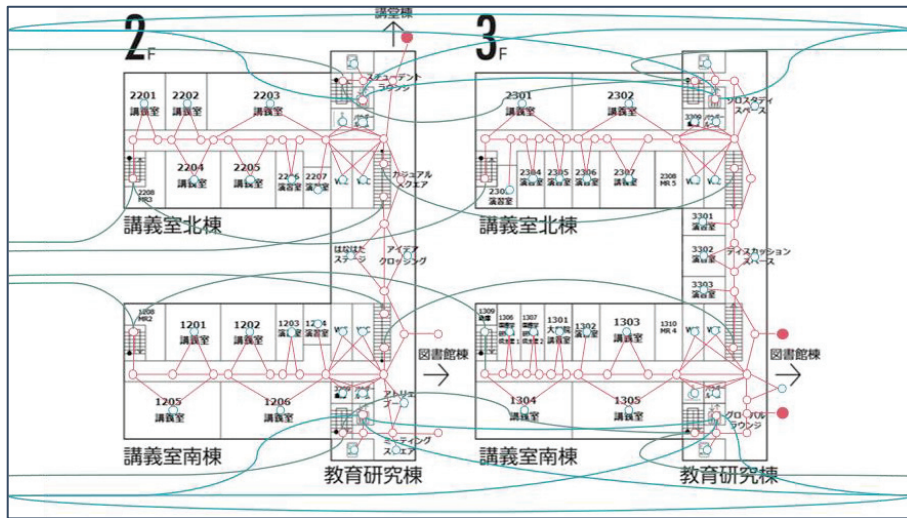


図 5 モデル施設の建物内ネットワーク(2)

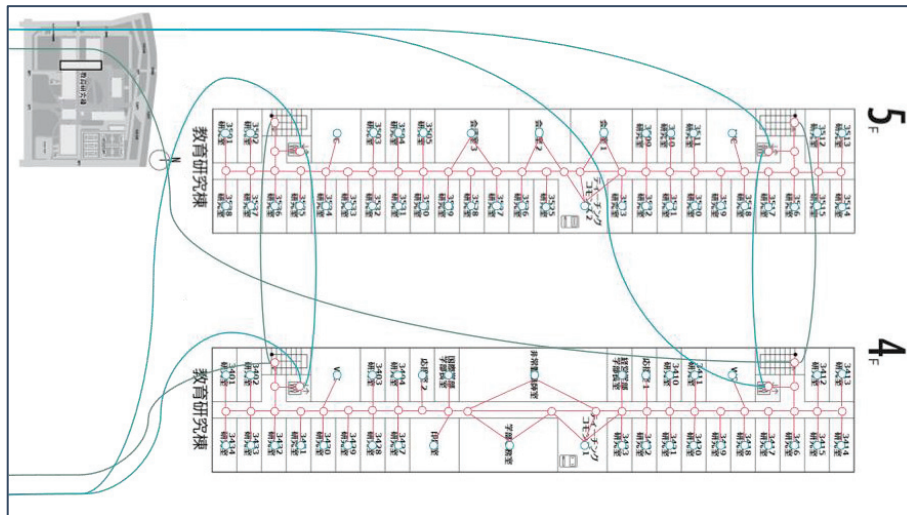


図 6 モデル施設の建物内ネットワーク(3)

モデル施設のような大規模施設であっても、ネットワークの作成手順は 3 節で説明したとおりである。しかし、検討すべきことがいくつかあった。

まず、起終点でありながら通路としても利用されている空間の扱いだ。例えば、学食スペースなどがあたる。本研究では、起終点を通路として用いることは基本的にないものとしている。そのため、起終点となる場所の出入り口が 2 か所以上ある場合の起終点の点と起終点の出入り口前に作成した点間の距離は、出入り口前の点から最も近い別出入口前の点との最長距離を採用している。これにより、全点間最短距離を求める際の最短路に、起終点が通路として採用されないようにしている。しかし実際には、前述のように起終点でありながら通過点としても用いられている空間も存在する。この場合、起終点の出入口が屋内の通路および屋外の通路の両方に移動できるように設置されている場合のみ、起終点を通過点として利用できることとした。このときの起終点は起

終点空間の重心に作成し、出入り口前の点との距離は実際の点間距離を採用する。また、出入り口前の点同士にも枝を繋げ、実際の点間距離を測定する。

次に、枝を繋いだ通路上にドアが設置されている場合、その枝への重み付けを検討しなければならない。本研究では、ドアがあることでどの程度移動に負荷が生じるか、定量的に特定できなかった。そのため本研究では、枝上に設置されているドアによる重み付けは行っていない。

さらに、広場などの大規模空間への点の打ち方にも注意した。これは、人々が通路などに縛られず自由に移動できる大規模空間での移動をどう表現するか、ということである。そのような広い空間に対して 1 つだけ点を打った場合、実際の人々の移動とかけ離れたネットワークになってしまう危険性がある。一方で、数センチメートル四方ごとに細かく点を打った場合は、全起終点間最短距離の算出処理が膨大になってしまう。明確にどのような点の打ち方がよいか断言はできない。本研究では、モデル施設において自由な移動が可能な大規模空間(内庭)を 9 分割し、それぞれの重心に点を打つこととした。

マップ形式でネットワークを構築したあとは、それを隣接行列で表現する。モデル施設の点の数は全部で 686 個であるため、 686×686 の大きさの隣接行列を作成した。

4-3 プログラミング言語を用いた全点間最短距離の算出

本研究では、全点間最短距離の算出に、プログラミング言語である Python を用いた。全点間最短距離を算出するプログラミングコードは、プログラミングのテキスト^[3]および情報サイト¹⁴を参考にして作成した(コード内容は付録 1 を参照のこと)。

コード実行後の処理は大きく 3 段階に分けられる。まず、Python にワーシャルフロイド法を用いる隣接行列のデータを読み込ませ、それを `csr_matrix` 形式で疎行列の生成・変換を行う。このとき、隣接行列の読み込みは 1 行ずつデータをコード上で定義する必要があるが、モデル施設のような膨大なデータをコード上で定義しようとする処理が遅くなるおそれがある。そのため、各ネットワークの隣接行列を Excel で作成し、Python から直接 Excel データを読み込ませることで PC への負荷を軽減した。次に、`csr_matrix` 形式に変換したデータの全点間最短距離を、ワーシャルフロイド法を用いて解かせる。コード中の「d」には全点間最短距離の値が入力される。そしてさいごに、「d」に入力された値を出力させる。しかし、Python 画面上で出力しようとする処理が遅くなるおそれがある。そのため、csv ファイルとして出力することで解決した。

4-4 結果と考察

各ネットワークでの全点間最短距離から全起終点間最短距離を抽出し、各ネットワークの総移動距離とそれらを比較したバリア度の結果を表 1 に示す。健常者ネットワークでの総移動距離は 7,761,672.6m であるのに対し、車いすネットワークでは 8,165,567.9m であり、車いす利用

¹⁴ note.nkkm.me, 『SciPy でグラフの最短経路を算出(ダイクストラ、ベルマンフォードなど)』, <https://note.nkkm.me/python-scipy-shortest-path/>, (2021/11/18)

者の負担は 5.20%増加していた。つまり、施設全体のバリア度を定量的に示すことができた。

表 1 モデル施設のバリア度と最長距離の増加割合

	総移動距離(m)	バリア度(%)	最長距離(m)	増加割合(%)
健常者ネットワーク	7,761,672.6	-	329.70	-
車いすネットワーク	8,165,567.9	105.20%	338.00	2.52%

また、中本・島崎の提案した手法を用いた場合のバリア度を表 2 に示す。このときの区域分割は図 7 で示すとおりである。中本・島崎の研究では、基準点を対象域の中心にある目的地に設定していた。しかし、本研究のモデル施設ではその中心に起終点はないため、中心に限りなく近い通過点である pa452 を仮の起終点とし、基準点に設定した(図 7 参照)。分割した区域のバリア度平均値は 105.06%、分割せずに区域一括で算出したバリア度は 103.98%であり、どちらも本研究で提案する手法で算出したバリア度 105.20%を下回る結果となった。つまり、全ての起終点間での移動を考慮した場合は、異なる値が出てくることが確認できた。

表 2 中本・島崎の提案した手法により算出したバリア度

	バリア度
本研究の提案手法	105.20%
中本・島崎(区域平均)	105.06%
中本・島崎(区域一括)	103.98%

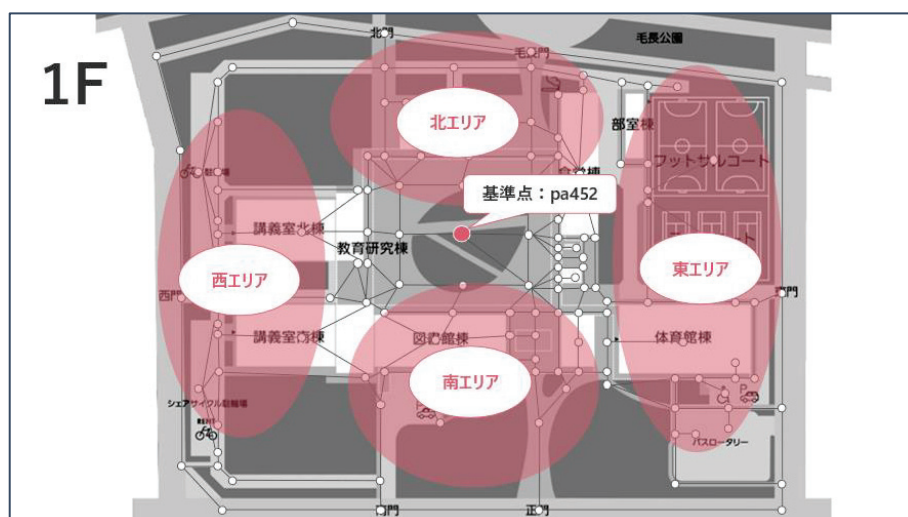


図 7 モデル施設を分割したエリアマップ

第5節 応用:よりバリアフリーなエレベータ配置の分析

ここでは提案手法を応用し、モデル施設全体のバリア度を低減させるエレベータ配置の分析を行う。分析は 3 段階で行う。まず、現状で最もバリアフリーに貢献していないエレベータを特定する。次に、そのエレベータを移設する候補地を検討する。そして最後に、その中からパレート最適な候補地をみつけ、エレベータ移設後と現状とのバリア度の比較を行う。

5-1 現状分析

モデル施設には、5 基のエレベータが設置されている。それぞれ E1～E5 とナンバリングをし、その現状の配置を図 8 に示す。この 5 基の中から、現状で最もバリアフリーに貢献していないエレベータ 1 基を特定する。特定には、各エレベータを仮想的に 1 基ずつ利用できなくし、他の 4 基で構成されたネットワーク下での総移動距離および起終点間最短距離における最長距離(以下、最長距離)の変化を観察し、その増加割合を用いた。それぞれの値が大きくなればなるほど利用できなくなったエレベータの重要度が高く、バリアフリーへの貢献度が高いと判断する。ここで、エレベータを利用不可にするとは、エレベータ部分に繋がった枝や点を削除することで表現した。つまり、第 4 節で作成した隣接行列においてエレベータ部分に該当する点の行および列を削除することで、各隣接行列を再構築した。

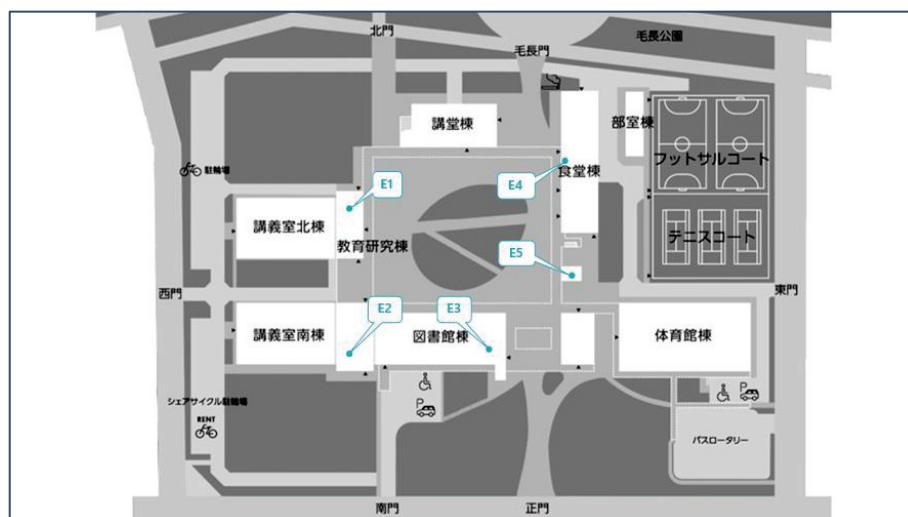


図 8 モデル施設における現状のエレベータ配置

各エレベータ利用不可時の総移動距離および最長距離の増加割合を図 9, 図 10 に示す。図 9 は健常者ネットワーク、図 10 は車いすネットワークでの値である。健常者ネットワークでは、E3, E4, E5 の値がともに 0%に近く、E3, E4, E5 は健常者の移動への貢献度が低いことが分かる。しかし、車いすネットワーク下での E5 は最長距離の増加割合が高い。E5 は、車いす利用者の最

長距離抑制に役立っていることが考えられる。一方で、車いすネットワーク下においても E3, E4 の値はともに低い。しかし、E3 の総移動距離の増加割合は、実際にはマイナスの値を示した。ネットワークを確認したところ、E3 が利用できなくなると、車いす利用者が到達できない起終点が発生していたことが分かった。

以上の結果から、総移動距離および最長距離の増加抑制への貢献度が最も低く、施設全体のバリアフリーへの貢献が最も低いと考えられるのは、E4 エレベータであった。そこで次に、この E4 エレベータの移設を検討することとした。

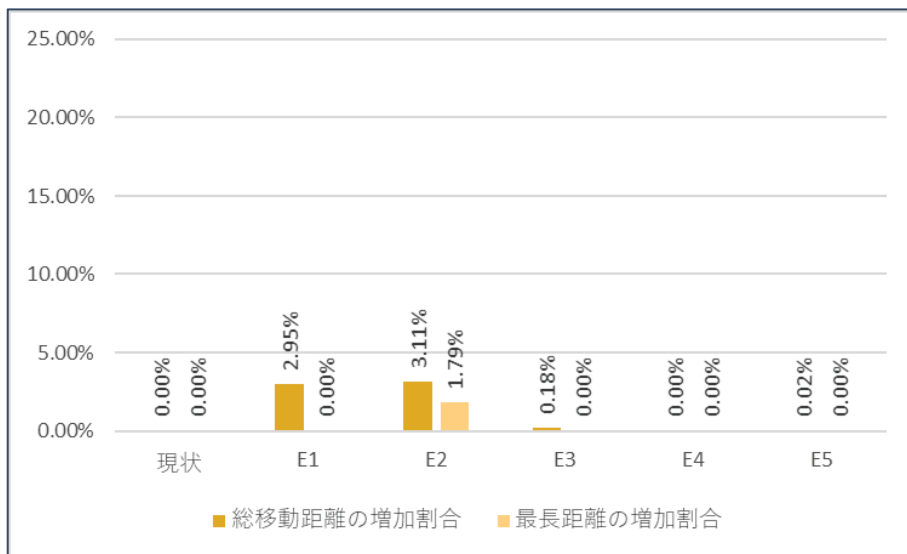


図 9 健常者ネットワークでの総移動距離および最長距離の増加割合

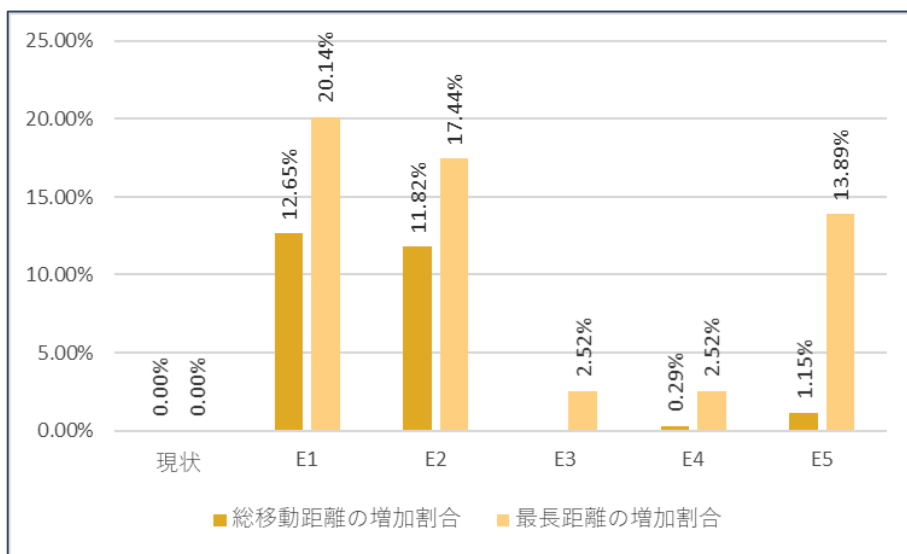


図 10 車いすネットワークでの総移動距離および最長距離の増加割合

5-2 候補地の検討と分析方法

移設を検討するE4エレベータの移設先として候補地E6～E16を選定した。その配置を図11に示す。候補地への移設には、建物への負荷を考慮する必要がない自立式エレベータを用いることとする。また、実際には新たに設置するエレベータを既存の通路に接続する必要がある。そのため、本研究では、デザイン性のあるものを除いた、既存の階段部分にエレベータを設置することでこれを候補地とする。ここで、「デザイン性がない階段」に特別な基準は設けなかったが、ビルや病院などで非常用階段として利用されるようなサイズや形の階段を判断し、候補地として採用した。

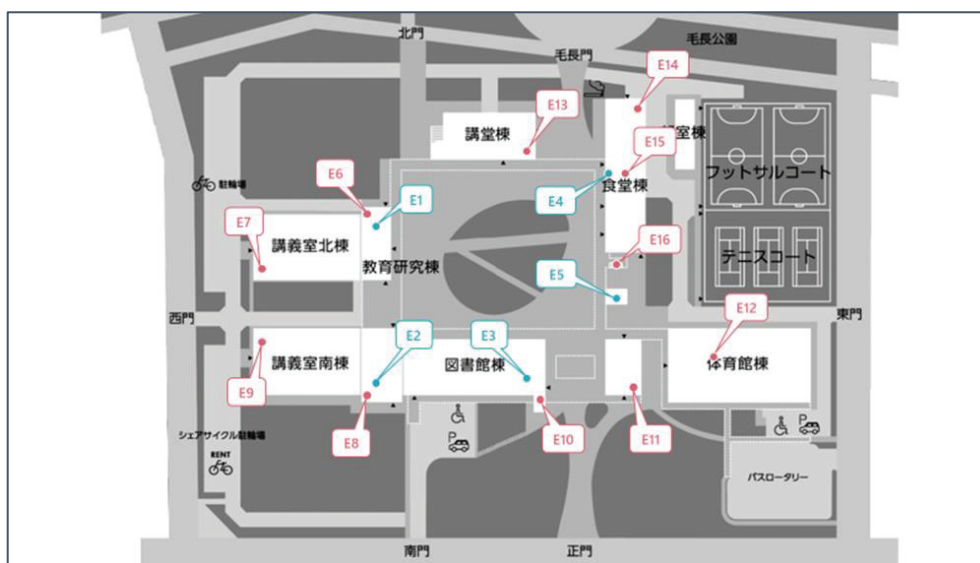


図 11 現状のエレベータ配置と移設候補地

移設先の決定にはパレート最適な施設配置モデルを用いる。パレート最適とは、『多目的最適化問題において「少なくとも『全ての目的関数において現状より良い解』は存在しない」という状態を表す最適性の条件』¹⁵、のことである。また、パレート最適な施設配置に関する研究[4]および資料¹⁶を参考にして、「施設-エレベータ間最短移動時間の総和」と「施設-エレベータ間最短移動距離の最大値」の2軸を採用した。

¹⁵ Numerical Optimizer, 『数理計画用語集』,
https://www.msi.co.jp/nuopt/glossary/term_7580c4cca4683182e67c9dce181ec128022b6271.html, (2022/1/4)

¹⁶ 鈴木貴晴, 『道路距離を加味した公共施設の最適な配置モデル』,
<http://www.isc.meiji.ac.jp/~ikedalaboratory/pdf/2019/suzuki.pdf>,
(2021/11/18)

5-3 結果と考察

候補地 E6～E16 に対するパレート分析の結果を図 12 に示す。図 12 においてパレート最適な候補地は E6(276.0, 19,935.7)と E13(234.4, 33,773.2)の 2 か所であることが分かった。しかし、E6 に移設した場合、総移動距離の増加が確認された。確認したところ、E6 は既存エレベータ付近の候補地であり、同様に既存エレベータ付近の候補地に移設した場合、ほとんどの候補地で総移動距離の増加が確認された(図 13 参照)。そのため、E6 などの既存エレベータ付近の候補地は除外して、再度分析を行った。

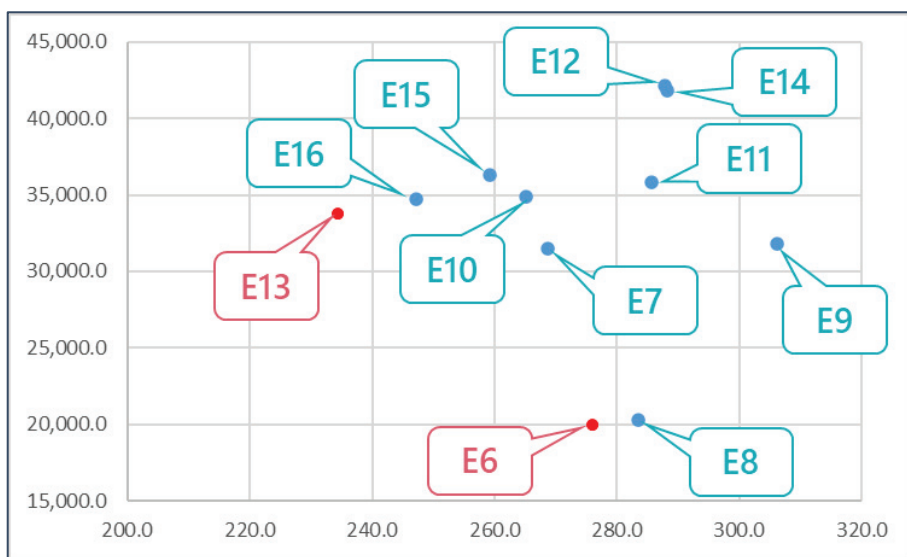


図 12 全候補地でのパレート分析結果

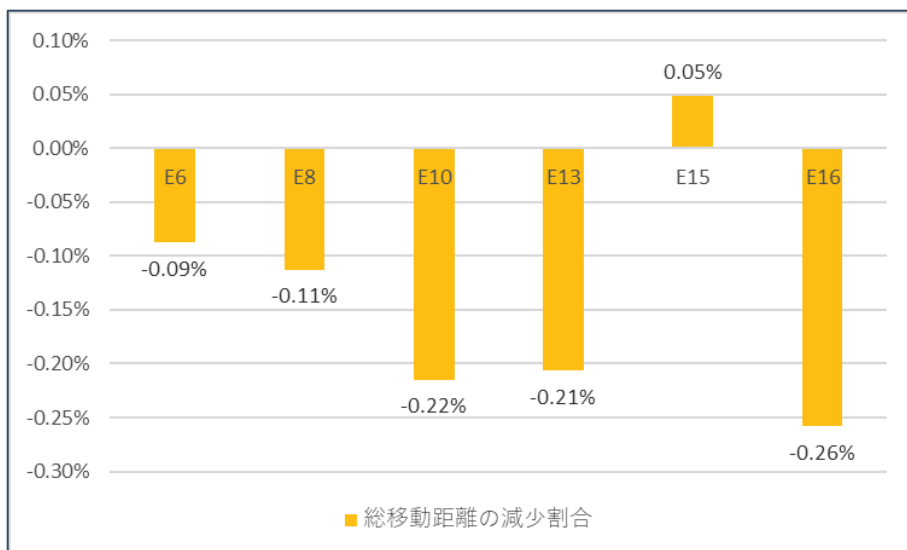


図 13 現状と比較した総移動距離の減少割合
(既存エレベータ付近の候補地への移設時)

除外作業後の候補地 E7, E9, E11, E12, E13, E14 におけるパレート分析の結果を図 14 に示す。図 14 においてパレート最適な候補地は、E7(268.7, 31,459.5)と E13(234.4, 33,773.2)の 2 か所であることが分かった。

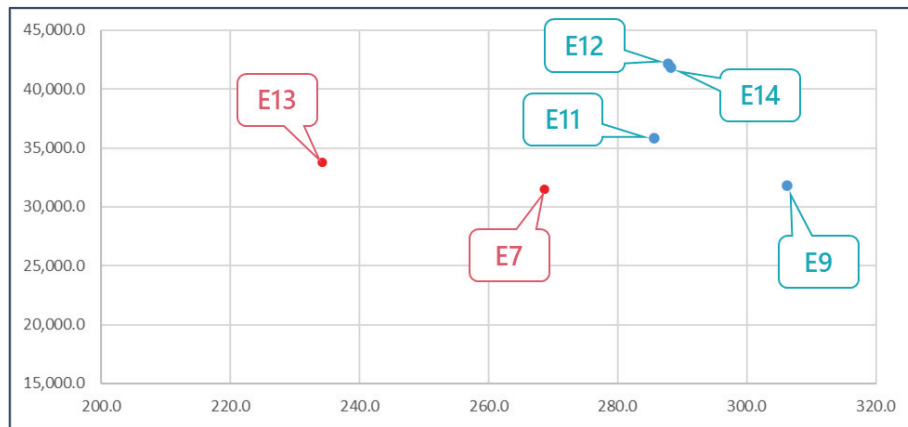


図 14 除外作業後の候補地でのパレート分析結果

候補地を 2 か所に絞ることができたが、移設するエレベータは E4 エレベータの 1 か所のみである。そのため、E4 エレベータを E7 または E13 に移設した車いすネットワーク下で、現状と比較した総移動距離および最長距離の減少割合を基に 1 か所に絞り込む。パレート最適な候補地へ移設時の総移動時間および最長距離の値を表 3 に、現状と比較したそれぞれの減少割合を図 15 に示す。E7 に移設した場合、健全者ネットワークと車いすネットワークの両方で総移動距離および最長距離がともに減少する。しかし E13 に移設した場合、ほとんどの値が増加してしまうことが分かった。

表 3 パレート最適な候補地へ移設時の総移動距離および最長距離

		現状	E7	E13
総移動距離(m)	健全者ネットワーク	7,761,673	7,755,383	8,172,715
	車いすネットワーク	8,165,568	8,124,527	8,182,422
最長距離(m)	健全者ネットワーク	329.70	327.70	337.20
	車いすネットワーク	338.00	337.20	337.20

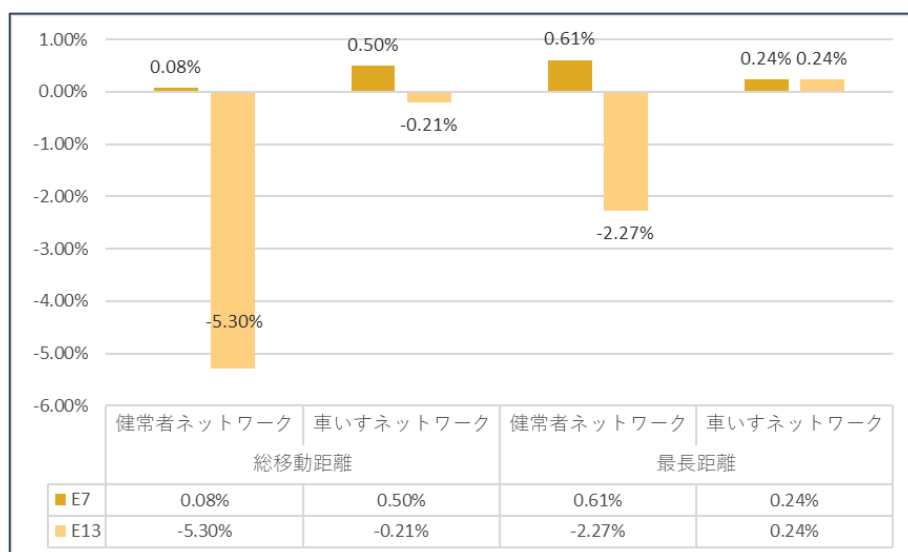


図 15 現状と比較した移設後の減少割合（総移動距離，最長距離）

以上により、E7 を E4 エレベータの移設先として適切であると考えられた。また、E7 に移設したときの健常者と車いす利用者とのバリア度は 104.76%であり、現状と比較して施設全体のバリア度を 0.42%低減できることを明らかにした。

第6節 おわりに

物理的な移動障壁を無くす従来の部分的なバリアフリーの促進のみが注目されているが、施設全体でのバリアフリーが次の段階では重要な観点となる。その議論を支えるバリア度の適切な定量化手法を本研究で提示することができた。

一方で、課題も残る。まず、バリア度の大きさに対する意味付けである。バリア度という指標の定量化手法を提示することはできたが、それがどのような値となると問題であるか、もしくはそうでないのかがはっきりしていない。この課題に対しては、バリア度増加に伴う消費エネルギーの増加や心理的負担などを用いて基準を設けるなどの手段が考えられる。次に、よりリアルな人流や移動コストを表現したネットワークの作成である。本研究ではすべての起終点間の需要は等しいものとして分析した。しかし、実際にはより人々に利用されやすい起終点や通路が存在すると考えられる。出入り口にドアがある場合も同様に、ドアの種類によって通路や起終点の利用頻度が同等ではない可能性がある。さらに、施設外からのアクセスの考慮も重要である。本研究では、施設内の分析を行ったため外部からのアクセス、例えば校門などの施設の出入口を起終点として設定していない。前述の課題に関連するところもあるが、よりリアルな人流を表現する場合、施設外からのアクセスの考慮も欠かせない。しかし、リアルな人流での分析への過度な要求は施設のバリア度を指標として用いる場合には逆に足かせとなり、バランスは重要である。このほかにも、別施設での提

案手法の検証やバリア度が購買機会などのビジネスに及ぼす影響なども興味深い課題と考える。また、移動ネットワークの効率的な作成なども技術的な課題であろう。

これまで社会全体として、全体的な視点でのバリアフリーやバリア度の定量化手法について多くの議論がなされてきたとはいえない。「全体的なバリアフリー」という観点での議論が進むことで、誰も不自由なく暮らせる社会の創造を推進させていくことを期待したい。

謝辞

本研究を行うにあたり、根本俊男教授をはじめ根本研究室のメンバーの皆さんにご指導いただきました。本研究にお力添え頂いた皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 中本英貴, 島崎敏一, バリアフリー度の定量的表現指標の提案, 日本大学理工学部学術講演会講演論文集, vol.46 (2002) pp.424-425
- [2] 松井祐介, 木村里志, 三星昭宏, 野村貴史, 駅ターミナル評価を目的とした車いす利用者の走行時における生理的応答に関する基礎的研究, 関西支部年次学術講演会公演概要集, (2003) IV-81-1-IV-81-2
- [3] 中嶋英勝, PythonでExcel、メール、Webを自動化する本, SBクリエイティブ(2020)
- [4] 本間雄大, 施設配置の数理 : 種々の最適化視点から見つめる都市 (特集 高校生に伝えるOR), オペレーションズ・リサーチ, vol.60 (2015) pp.517-520

付録

付録 1 : Python コード内容

```
#モジュールのインポート
import numpy as np
from scipy.sparse.csgraph import shortest_path, floyd_warshall, dijkstra, bellman_ford, johnson
from scipy.sparse import csr_matrix
import openpyxl

#Excelの読み込み
wb = openpyxl.load_workbook("隣接行列を作成したExcelファイルのパス")
ws = wb["シート名"]

#このリストに読み込んだデータをまとめる
row_list = []

#シートから1行ずつデータを読み込む
start_row = 1
for row in ws.iter_rows(min_row=start_row):
    if row[0].row > 3 and row[0].value is None:
        break
    value_list=[]
    for c in row:
        value_list.append(c.value)
    row_list.append(value_list)

#隣接行列の入力
l = row_list
print(l)

#csr_matrix形式で疎行列を生成・変換
csr = csr_matrix(l)
print(csr)

#形式の確認
print(type(csr))
print("-----")

#ワーシャルフロイド法（有向グラフ, 重み付き, 経路復元）で解く
d, p = floyd_warshall(csr, directed=True, return_predecessors=True)
print(d)
print(p)
print("-----")

#NumPyをCSV形式で出力
np.savetxt("C:/Users/skewe/Desktop/np_savetxt_最短距離.csv", d, delimiter=",")
np.savetxt("C:/Users/skewe/Desktop/np_savetxt_経路復元.csv", p, delimiter=",")
print("-----")
```