地形による負荷と年齢による身体能力の変化を勘案した 歩行換算距離の検討

—地形条件と高齢化を勘案した地域施設配置モデル その1—

INVESTIGATION OF CONVERTED WALKING DISTANCE CONSIDERING RESISTANCE OF TOPOGRAPHICAL FEATURES AND CHANGES IN PHYSICAL STRENGTH BY AGE

Model for location planning of regional facilities considering topographical condition and aging society Part 1

佐藤 栄治*, 吉川 徹**, 山田 あすか***

Eiji SATOH, Tohru YOSHIKAWA and Asuka YAMADA

The purpose of this study is to develop a method for location planning of regional facilities. To this end, this article aims at formulating converted walking distance considering resistance of topographical features as well as changes in physical strength by age. Two types of converted distance, one based on dynamics and the other based on consumption calorie, are compared with direct distance and route distance in terms of user distribution of a regional facility in Tama New Town. The result shows that the converted distance based on consumption calorie gives the best model among the four types of distance.

Keywords : Topographical Features, Physical Strength, Consumption Calorie, Converted Distance, Location Planning

地形, 身体能力, 消費カロリー, 換算距離, 配置計画

1. 研究の背景と目的

本稿の目的は、地形条件と移動者の身体能力を勘案した、地域施設を徒歩利用する際の移動負荷の指標を開発することである。

1.1 研究の背景

我が国が迎つつある成熟社会においては、地域施設が地域社会の維持に果たす役割はいよいよ大きくなると予想される。この際には後期高齢者の激増を配慮すると、自家用車や送迎に頼らずとも徒歩と公共交通機関の組み合わせによって容易に地域施設にアクセスできれば理想的である。したがって、今後の地域施設配置計画においては、徒歩によるアクセシビリティの詳細な定量化が重要になろう。

この時には次の要因を考慮する必要がある。まず実際の都市空間での移動においては、出発地点から目的地までの経路距離は、直線距離の1.3倍程度になることを腰塚ら¹⁾が指摘している。さらに近年高齢化が問題となっている郊外のニュータウン等によく見られる坂道は、平坦な道とは平面的な経路距離が同じでも移動負荷が異なる。また、加齢による身体能力変化によっても移動負荷が異なる。このことから、地域施設を計画する際に、地形条件や、居住者および利用者の年齢段階による身体能力の状態に応じて、利用可能距離を低減して設定することは、利便性の高い都市環境の実現の上で重要である。

地域施設配置計画に関する既往研究のうち以上の観点に関連するも

のとしては、まず実際の地域施設の利用圏構造の分析が挙げられる。最近の分析事例として、坊上ら²⁾は、高齢者デイサービスセンターの利用圏構造と利用者の類型化を行っている。しかしこの研究では、居住地として町丁または地区の重心を用い、施設への移動を直線距離で与えており^{注1)}、移動手段や経路の状況は考慮されていない。

また、最適施設配置に関する研究においては、経路距離を使用した研究例として、石崎³⁾による仮想的なネットワークを用いた研究や、古田ら⁴⁾による実市街地を用いた道路ネットワーク上の経路距離を用いた研究がある。しかし、徒歩移動を前提にした、地形条件、あるいは移動者の身体能力による移動の負担の相違に関しては、これまで最適施設配置研究においては研究例が見当たらない。

一方で、地域施設に限定しない徒歩経路の移動負荷に関する都市空間解析研究としては、前記の腰塚らを含めて経路距離を用いた分析が多く見られ、エレベータなど動力を用いた垂直移動を考慮した研究⁵⁾もある。しかし坂道の影響を組み込んだ研究は、溝口ら⁶⁾による、経路選択行動のアンケート調査に基づいて坂道の歩行抵抗を算出した研究など少数であり、また加齢による影響の分析例は見当たらない。さらに溝口ら⁶⁾は坂道の歩行抵抗の身体能力的要因を組み込んでいないため、加齢による身体能力変化を加味することが困難である。

そこで筆者らは、既報⁷⁾において地形条件を地形から受ける負荷に

* 首都大学東京大学院都市環境科学研究科
客員研究員・博士(工学)

日本学術振興会特別研究員(PD)
** 首都大学東京大学院都市環境科学研究科建築学専攻
准教授・博士(工学)

*** 立命館大学理工学部建築都市デザイン学科
講師・博士(工学)

Visiting Scholar, Department of Architecture and Building Engineering, Graduate School of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University, Dr. Eng. Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science
Assoc. Prof., Department of Architecture and Building Engineering, Graduate School of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University, Dr. Eng. Lecturer, Department of Architecture and Urban Design, College of Science and Engineering, Ritsumeikan University, Dr. Eng.

置き換え、同時に移動者の身体能力を勘案した「力学的換算距離」による地域施設までの移動距離の分析を行った。その結果から、身体能力が低下している後期高齢者にとっては、徒歩での移動可能領域がこれまで用いられてきた計画手法に基づく利用想定距離に比して、極端に狭まるであろうと予測された。一方でそこで開発した「力学的換算距離」には、特に階段などの歩行負荷を条件として付与しきれないことに加えて、実際のデータに基づく検証が行われていないという課題が残った。

1.2 研究の目的

以上に鑑みて本研究は、実際の都市空間での施設利用の実態調査に基づいて、地形条件と身体能力を勘案した歩行負荷の指標としての「換算距離」の再検討と検証を行うとともに、当該指標を用いた施設配置計画モデルを構築することを最終的な目標とする。このうち、本稿ではまず「換算距離」の再検討と検証を行うことを目的とする。

本稿ではまず、1) 既報⁷⁾で提案した「力学的換算距離」(定義は後述)に加え、地形条件を坂道歩行時に消費する代謝エネルギーを指標とする負荷に置き換え、かつ移動者の身体能力を勘案した「代謝的換算距離」(定義は後述)を導入する。これより、2) 「力学的換算距離」および「代謝的換算距離」について、実際の現象に対する説明力を比較し、歩行時の地形による負荷をどのように定義すべきか、詳細な検討を加える。なお、以上の分析過程において、利用距離圏と利用者数の関係を説明するモデルと、このモデルに施設利用頻度を説明するモデルを作成して両者を比較することによって、より現実の事象に近接させることを試みる。

本研究の成果は、新規の地域施設の構築手法としてのみならず、都市空間における機能の再配置を検討する、ひいては既存の都市を再構築する際にも有用であると期待される。また本研究では特に、身体能力に低下が想定され移動に一定の配慮を必要とすると考えられる、壮年期～高齢期の居住者に焦点を当て、論を展開する。

2. 研究の手法

2.1 調査対象地概要

調査対象地として、東京都郊外部にある多摩市の多摩ニュータウン地域の一部を選定した(図1)。ここは、丘陵地を切り開いて1960年代から段階的に住宅供給が行われた我が国最大のニュータウンの最初期開発地である。この地域は高低差が大きく、また目的地に到着するためにはたびたび迂回が必要であるなど経路が複雑である。さらに、初期供給団地ではすでに急速な高齢化が起きている。このため、地形条件、経路の設定、移動者の身体能力などによる地域施設配置計画論の再構築を志向する本研究の調査対象地として適当である。

2.2 研究の手法

対象地域の一地域施設に着目し、まず1) 利用者の居住地とその他の利用施設および利用頻度をアンケート調査によって把握した。その結果から、2) 居住者の各施設への移動経路をGISを用いて分析し、換算距離の検証を行った。それぞれの詳細な手法を以下に示す。

1) アンケート調査

アンケート調査は、高齢者の自発的な外出先となっている、NPO法人が運営する軽食・喫茶の店「福祉亭」⁸⁾の利用者、計76名(有効回答者数60名、有効回答率78.9%)を対象とした。福祉亭は、高齢者の社会参加等を検討する市民懇談会の中から誕生した施設であ

図1 多摩ニュータウンと調査対象地

表1 アンケート調査の内容と結果の概要

調査項目		基本属性の集計結果			
公共施設の利用	公共施設の利用	属性	年齢	15-49	5
	設定した公共施設の中で利用するものを選択	性別	50-64	19	
			65-74	19	
			75-	17	
	多摩市役所	住まい	諏訪	16	
	多摩市図書館		永山	42	
	永山公民館		貝取	2	
	戸田公民館	居住階数	1	25	
	バルテノン多摩		2	9	
	総合体育館		3	8	
対象地区内の公共施設	アクアブルー多摩	移動手段・頻度	4	6	
	総合福祉センター	それぞれの設間に対し移動手段、頻度を選択方式で記入	5	4	
	永山児童館	移動手段	6	0	
	諏訪児童館		7	1	
	諏訪老人福祉館		8	2	
	諏訪地区市民ホール		9	1	
		頻度	10	1	
			11	1	
			戸建て	3	
			エレベータ	あり	10

図2 力学的換算距離と歩行速度の定義、再掲^{文7)}

る。店舗は喫茶、軽食のほか、囲碁や将棋などを行う場、歓談の場として開放されており、1日の利用者は20～70名程度である。

調査は2005年11月24～27日の、平日2日、週末2日の計4日間に行った。調査項目は主に下記の2項目で、調査主旨を利用者一人ひとりに対して説明した上で調査への協力を依頼し、本人にその場で記入してもらう形式とした。

- a. 利用者本人と住宅の概況に関する基本属性：年齢、居住地、居住階数、エレベータの有無
- b. 「福祉亭」を含む利用施設への移動方法と利用頻度：日常生活で利用する、買い物をする場所、食事をする場所、公共施設、駅

アンケート調査の内容と結果の概要を、表1に示す。なお、本稿ではこの結果のうち、「福祉亭」利用者の居住地分布について分析する。また、分析にあたっては、1章で述べた本研究の目的に鑑みて、本稿では移動の基礎となる「徒歩」による移動のみを対象とした。

2) GISによる経路距離の設定と換算距離算出のプロセス

アンケート結果から「福祉亭」利用者の居住地を地図上にプロットし、居住地と「福祉亭」の間の直線距離(a)を求めた。またその2点を結ぶ平面上の最短経路を求めて、その距離を経路距離(b)とした。次に、求めた最短経路の高低差を地形条件として付与し、3次元の「地形距離」を算出した(c)。さらに、個々人の年齢階層による負荷を勘案し、「力学的換算距離(d)」と「代謝的換算距離(e)」を算出した。

2.3 「換算距離」の定義

本稿での分析に用いた各「換算距離」の詳細な定義は以下の通りである。文中の記号a～eは、前節および次節以降の説明に対応している。

- a. 直線距離：居住地と外出先の2点間の直線距離。
- b. 経路距離：出発点と目的点の間の平面的最短経路距離。高橋ら⁹⁾や狩野¹⁰⁾によると、地形条件の悪い坂道や階段のある経路は迂回される傾向にある。しかし本研究の対象地は、迂回はしたいが迂回する経路自体のない地域である¹¹⁾。よって本研究では経路距離に出发点と目的点の最短経路を採用した。経路の設定には東京都都市計画基本図を用い、歩道がある場合は歩道中心線、ない場合は道路中心線を経路としてGIS(株式会社インフォマティクスのSIS)によって最短経路を決定した。また道路の横断に関しては、地図上で確認した横断歩道、および歩道橋を経路に反映させた。
- c. 地形距離(地形条件を付与した経路距離)：GISを用いて、5mメッシュの標高ポイントデータ(株式会社キャドセンターによる)から対象地区の1mごとの等高線を作成し、経路距離に地形の傾斜を反映した距離。なお、移動者の住居の条件に基づき、エレベータのない集合住宅の居住者の経路には、地上から居住階までの階段の上り下りを平均した移動負荷を加算している。
- d. 力学的換算距離：cの地形距離を計算する際に求めた1m毎の等高線で区切られた経路の各部分に、既報⁷⁾にて定義した、力学的な傾斜の負荷と、基準歩行速度[4km/h]に対する年齢階層ごとの歩行速度の比の逆数を移動負荷として乗じた距離(図2)。

斜路を歩行する場合と水平路を歩行する場合の大きな違いは、斜面方向にかかる荷重であると考えられる。この荷重により、身体を鉛直に保とうとすると、身体には常に荷重と同等の反力を加え続けなければならない。この反力を坂道歩行時の負荷と捉え指標化した。この指標の性質として、負荷が斜路角度θにのみ影響を受けるため、斜路の上り、下りが同等に評価されることがあげられる。また、年齢階層ご

表2 消費カロリー算定式と代表的なエネルギー代謝率(RMR)

消費カロリー算出基本式			
$E = (RMR + 1.2) \times BMR \times W \times T$			
E：代謝エネルギー，RMR：エネルギー代謝率 BMR：基礎代謝率，W：体重，T：時間			
歩行速度	RMR値	坂道歩行(80m/min)	RMR値
50m/min	1.5	-9%	1.3
60m/min	1.9	-5%	1.7
70m/min	2.4	5%	3.8
80m/min	3.2	10%	5.4
90m/min	4.0	15%	7.2
100m/min	5.0	20%	9.4
110m/min	6.4	階段上り	10.0
120m/min	8.5	階段下り	2.5

図3 エネルギー代謝率(RMR)の算定式

図4 福祉亭利用者の分布

との歩行速度は、図2中下段の運動能力平均指数を用いて算出した。

- e. 代謝的換算距離：cの地形距離を計算する際に求めた1m毎の等高線で区切られた経路の各部分に、坂道歩行時に消費する代謝エネルギーを指標とした傾斜の負荷と、基準歩行速度[4km/h]に対する年齢階層ごとの歩行速度の比の逆数を移動負荷として乗じた距離。代謝エネルギーは表2中に示す算定式により求まる^{12), 13), 14)}。

表2中のエネルギー代謝率(RMR)の値は、様々な動作時の消費エネルギーの基礎代謝に対する比率であり、実際には、詳細な移動形態や歩行速度、調査対象者個々人の体型、年齢に大きく関わってくるものである。本研究においては、代謝エネルギーを算出する数式、およびエネルギー代謝率(RMR)の値は、主に人間工学の分野で算出されている代表的なものを使用した¹⁴⁾。数式およびエネルギー代謝率

(RMR) の扱いを以下に述べる。

歩行時の代謝エネルギーEによる相対的な負荷は、表2中でEの算出基本式中の前半にある(エネルギー代謝率(RMR) + 1.2)の値の比率により示すことができる。式後半にある基礎代謝率(BMR) × Wは基礎代謝量をあらわし、各個人の体型や筋肉量が関係する値であるため、本研究ではこの値を一定として扱うこととする。また時間Tも比率で算出するため本研究では考慮しない。

坂道に関連するエネルギー代謝率(RMR)は、代表的な値をグラフ上にプロットして求めた近似式である、図3に示す値をとることとした。このエネルギー代謝率(RMR)は坂道の勾配が大きいほど増加し、小さいほど減少する。高齢者の歩行を考える場合、高齢者を対象とした実験路・横断歩道での実験⁹⁾から、ゆるやかな坂道では高齢者にとっても、上りには抵抗があり、下りは楽となるが、勾配が-11%を下回る下り坂は、意識して速度を落として歩行しなければならず、抵抗感を感じる坂となる。このため、高齢者の移動に対しては、勾配が-11%を下回る下り坂は、同じ勾配の上り坂と同等の負荷を与えることとする。

階段は、上りについては表2のエネルギー代謝率(RMR)10を採用する。さらに高齢者にとつての階段は、高齢者を対象としたアン

ケート調査⁹⁾から、「移動しづらい」ことを考慮し、下りにも同等の負荷を与えることとする。経路上の階段の有無に関しては、本稿の分析対象面積は狭小であり、踏査して対象地区内の階段の現状を確認し把握することも可能である。しかし、本研究の目的は、さらに広域な対象地区を開発した指標により分析し、都市の再構築手法への知見を得ることにある。そのため、経路上の階段の有無の判定は、図3中の算出式よりエネルギー代謝率(RMR)が10を超える25%以上の勾配を有する傾斜を階段であるとした。

身体能力低下により高齢者の歩行速度は下がるため、エネルギー代謝率(RMR)も減少する(図3)。しかし身体能力低下により代謝エネルギーが減ることで歩行は楽にならない。そこで本稿では、水平歩行と坂道・階段の代謝エネルギー比が歩行負荷を示すと考えた。ここで分速80m以外の坂道歩行におけるエネルギー代謝率(RMR)が不明であるため、全年齢階層で分速80mにおける水平歩行と坂道歩行のエネルギー代謝率(RMR)を使用した。これを補完するため、身体能力が低下し歩行速度が遅くなることは距離すなわち移動時間Tに反映させた。つまり基準速度[4km/h]を各年齢階級で除した数値を距離に乗じることで距離の増加として扱う。

なお、代謝的換算距離は、往路、復路により歩行に対する勾配の影

図5 距離帯別利用者数

響が異なる。このため往路、復路の2経路の代謝的換算距離の平均値を分析に用いることとする。

3. 「福祉亭」の利用構造分析による「換算距離」の検証

3.1 「福祉亭」利用者の居住地分布

アンケート調査の結果に基づき、「福祉亭」利用者の居住地を図4にプロットした。図4には、2章にて定義した直線距離(a)と後期高齢者の身体能力指標を乗じた代謝的換算距離(e)による2つの距離を、福祉亭を中心とした200mごとに併せて表示している。多摩ニュータウン初期開発地区は、丘陵地の地形を生かし徹底した歩車分離が行われていることなどが影響し、地図上の距離と経路距離との相違が大きい。このことから、その地形による負荷や後期高齢者の身体能力指標を乗じた代謝的換算距離による利用距離帯は直線距離による利用距離帯に対して著しく縮小して歪んだ形状となる。

徒歩による利用想定地域は、下記より800mと設定した。コンパクトシティを目指す各種計画提案の中では、「日常生活圏の大きさとして、公共交通指向開発(TOD)では600m、伝統的近隣開発(TND)では400m、英国のアーバンビレッジは800m、アーバンルネサンスでは500m」¹⁵⁾が設定されている。あるいは紙野は、「歩速の

平均的な値としては1.4メートル/秒すなわち84メートル/分ぐらいが目安とされている。この速さで歩くと、駅まで5分というのは420メートル前後ということになり10分であれば840メートル程度となる。確かに前者はバスストップなどの利用距離としては標準的な数値であり、後者は、近隣住区における公共施設の利用距離としてはほぼ限界に近い数字である。」¹⁶⁾と記している。

これらを踏まえ、徒歩による利用想定地域の上限として800mと設定した場合、従来の分析によく用いられる施設を中心とした直線距離による利用距離帯800m圏と、後期高齢者の身体能力指標を乗じた代謝的換算距離の利用距離帯800m圏とを利用者の居住地分布と比較すると、直線距離帯は大きな範囲で多くの利用者を包含しているのに対し、代謝的換算距離による距離帯は、範囲が小さく、800m利用圏域外の後期高齢者が多いものの、徒歩圏域の形状に即した分布傾向が見られる。

3.2 距離減衰分析による「換算距離」の検証

2章の定義に基づき算出した、直線距離(a)、経路距離(b)、力学的換算距離(d)、代謝的換算距離(e)の4種の距離の分析を行う。

1) 分析の距離帯

距離の2乗が等間隔になるように10段階の距離帯(2乗距離帯)

表3 近似曲線値

距離	実人数に基づく距離帯別利用者数および近似曲線				頻度を勘案した距離帯別利用者数および近似曲線				
2乗距離(m ²)	人数(人)	予測値	二乗誤差	係数	頻度	予測値	二乗誤差	係数	
120000	22	21.84656653	0.023541829	α	246.25	244.9093278677	1.7974017664	α	直線距離 (a)
240000	11	10.65244442	0.120794883	44.80403282	152	127.8791252020	581.8166010193	469.0412041983	
360000	4	5.194160459	1.426019203	β	22	66.7719388429	2004.5265077530	β	
480000	3	2.532686567	0.218381845	0.0000059855	33	34.8648914340	3.4778200605	0.0000054150	
600000	1	1.234944761	0.055199041	square_error	1	18.2046631529	296.0004342057	square_error	
720000	2	0.602162377	1.953950022	4.842548016	8	9.5055440267	2.2666628163	2933.9140055398	
840000	0	0.293615989	0.086210349	相関(人数一予測)	0	4.9633089327	24.634355613	相関(頻度一予測)	
960000	0	0.143167944	0.02049706	0.994763729	0	2.5915860778	6.7163183985	0.9791205542	
1080000	0	0.069809073	0.004873307	R^2	0	1.3531937040	1.8311332004	R^2	
1200000	1	0.034039091	0.933080477	0.989554876	4	0.7065685435	10.8466907584	0.9586770597	
2乗距離(m ²)	人数(人)	予測値	二乗誤差	係数	頻度	予測値	二乗誤差	係数	経路距離 (b)
170000	20	20.17169029	0.029477556	α	242	232.6575403454	87.2815523981	α	
340000	13	10.45322479	6.486063949	38.92550837	156.25	131.0364094092	635.7251504809	413.0877160296	
510000	1	5.416993173	19.50982869	β	16	73.8017799267	3341.0457626925	β	
680000	4	2.807154311	1.422880839	0.0000038669	19	41.5663306474	509.2394278864	0.0000033770	
850000	1	1.454702834	0.206754668	square_error	16	23.4108153652	54.9201843770	square_error	
1020000	3	0.75384539	5.045210531	34.01773563	9	13.1853417785	17.5170858028	4687.6569923899	
1190000	1	0.390652207	0.371304733	相関(人数一予測)	4	7.4261931976	11.7387998274	相関(頻度一予測)	
1360000	0	0.20244091	0.040982322	0.957731449	0	4.1825495565	17.4937207928	0.9670086328	
1530000	0	0.104907437	0.01100557	R^2	0	2.3556781149	5.5492193811	R^2	
1700000	1	0.05436436	0.894226764	0.917249529	4	1.3267552019	7.1462377508	0.9351056960	
2乗距離(m ²)	人数(人)	予測値	二乗誤差	係数	頻度	予測値	二乗誤差	係数	力学的換算距離 (d)
360000	22	21.80197433	0.039214168	α	246.25	242.5364993204	13.7900872974	α	
720000	11	10.60377822	0.156991701	44.82610582	149	126.6929315804	497.6053014781	464.3033574867	
1080000	4	5.157336248	1.339427192	β	22	66.1801376593	1951.8845635946	β	
1440000	3	2.508362268	0.241707659	0.0000020022	21	34.5702839611	184.1526067862	0.0000018038	
1800000	1	1.21998663	0.048394117	square_error	4	18.0583567128	197.6373934646	square_error	
2160000	0	0.593362209	0.352078711	6.065788084	0	9.4330797957	88.9829944329	2962.8007115254	
2520000	2	0.28859227	2.928916417	相関(人数一予測)	8	4.9275244613	9.4401059360	相関(頻度一予測)	
2880000	0	0.140361987	0.019701487	0.99343059	0	2.5739734893	6.6253395235	0.9795895449	
3240000	0	0.06826755	0.004660458	R^2	0	1.3445574092	1.8078346267	R^2	
3600000	1	0.033203138	0.934696172	0.986904338	4	0.7023516886	10.8744843855	0.9595956764	
2乗距離(m ²)	人数(人)	予測値	二乗誤差	係数	頻度	予測値	二乗誤差	係数	代謝的換算距離 (e)
350000	22	21.9058059501	0.0088725190	α	246.25	234.7058909933	133.2664527596	α	
700000	10	10.4956360021	0.2456550466	45.7203674201	133	128.7959104584	17.6743688737	427.7065558	
1050000	5	5.0287296135	0.0008253907	β	38	60.6773335795	1067.8081298682	β	
1400000	3	2.4093939158	0.3488155467	0.0000021023	21	38.7845038257	316.2885763274	0.0000017146	
1750000	1	1.1544026996	0.0238401936	square_error	16	21.2831704427	27.9118899265	square_error	
2100000	0	0.5531040749	0.3059241177	4.9065123321	0	11.6792352463	136.4045359389	1726.6281083616	
2450000	2	0.2650064122	3.0102027497	相関(人数一予測)	8	6.4090327288	2.5311768582	相関(頻度一予測)	
2800000	0	0.1269713996	0.0161217363	0.9950076260	0	3.5169854577	12.3691867096	0.9888290202	
3150000	0	0.0608352688	0.0037009299	R^2	0	1.9299615454	3.7247515667	R^2	
3500000	1	0.0291477446	0.9425541018	0.9900401759	4	1.0590750549	8.6490395327	0.9777828312	

を設定し、分布する利用者を集計した。2乗距離帯を使用するのは、施設を中心に居住者の分布は同心円上に広がることから、分布を集計する距離帯ごとの面積を一定にするためである。また、こうして面積を一定にすることにより、集計値は一定面積中の利用者数、すなわち、利用者の密度を表現することになり、分析が容易となる。

2) 近似曲線

定義を検証する近似曲線は、様々な種類があるが、本分析においては2乗距離の指数関数を採用した。これは吉武¹⁷⁾が日常利用施設の利用率の距離減衰関数として用いた関数である。さらに青木¹⁸⁾は、人口密度分布における距離減衰に関して、中心における連続性や中心を巡る等方性などに関わる仮定からこの式を導出している。本分析の近似曲線算定式は以下の通りである。

$$y = \alpha \cdot e^{(-\beta \cdot d^2)}$$

α, β : 係数, e : 自然対数の底, d : 距離

式の算定にあたっては、利用人数と予測値および利用頻度と予測値の二乗誤差の総和(表3中の square_error)を最小にする係数 α, β を数値計算によって求めた(表3)。

3) 利用頻度

アンケート調査では、利用者の居住地のほか施設の利用頻度について回答を得ている。居住地が近い人ほど多く利用する、または居住地が遠い人ほど利用頻度が低下する、などの傾向が想定されるため、利用頻度による重み付けを行った。

アンケートでの頻度に関する設問は、以下の通りである。

a: たまに, b: 月に1~3回, c: 週に1回, d: 週に2回以上

このうち、a: たまに, b: 月に1~3回, および, d: 週2回以上、の頻度係数に関しては、アンケート表に選択肢はないものの、アンケート調査時にaに関しては年に何回利用するか、bに関しては月に何回利用するか、dに関しては週に何回利用するかを回答者から確認している。これらから、それぞれの頻度の利用回数平均を求めた結果、a: 3.263/年, b: 1.312/月, d: 3.625/週となった。このため、aは年3回の利用, bは月1回の利用, dは週4回の利用とした。これより、計算上の頻度に関する係数は、月に1回を基準として以下のように設定される。

a: 0.25, b: 1, c: 4, d: 16

これらの係数を、乗算し、頻度として利用回数を求めた。この結果を、頻度を勘案しない実人数による結果と比較する。

3.3 分析結果

利用者数の2乗距離帯における分布および指数系による近似曲線を図5に、また近似曲線の算出課程を表3に示す。

決定係数 R^2 値による距離の説明度の高さは、

利用者数: 代謝的換算距離>直線距離>力学的換算距離>経路距離

利用回数: 代謝的換算距離>力学的換算距離>直線距離>経路距離

となっている。

1) 「福祉亭」利用者の年齢構成と換算距離の効果

2章に記したように、「福祉亭」利用者の多くは、高齢者であり、アンケート回答者の割合は60%が高齢者である。回答者の構造が高齢者に傾倒していることから、年齢による身体能力の変化を指標化して距離に反映させたことが相対的に大きな変化をもたらさないことも懸念されたが、図4、図5、表3から判断する限り、この方法による換算距離の算出には一定の効果があると推測できる。

2) 2乗距離帯と指数関数

本分析に使用した2乗距離帯による分析は、施設に近く面積が小さい距離帯での密度の不安定性を緩和する効果もあり、また頻度がそのまま密度になることから、簡便に距離減衰関数の当てはまりを判断できることがわかる。また近似曲線として2乗距離の指数関数を当てはめた結果として、決定係数が極めて高い近似式が得られた。ただし、「福祉亭」が小規模な施設であり、かつ「常連」が多く利用者総数が少ないため、得られた有効回答数が小さい。このことによって、安定した密度分布を得るために2乗距離帯を10区分と少なくせざるを得なかったため、決定係数の高さをそのままモデルの説明力の高さに結びつけることには問題が残っている。

3) 経路距離の劣位性と代謝的換算距離の優位性

決定係数がどの分析でも高い中でも特筆すべきこととして、利用者数による分析および利用回数による分析ともに、経路距離が劣位であり、代謝的換算距離が優位であることが挙げられる。直線距離と経路距離には地形と年齢による身体能力の変化が反映されていないが、その中では実態に近いと一般的に考えられている経路距離の当てはまりが悪いことは常識に反する結果である。地形と年齢による身体能力の変化を反映した力学的換算距離はほぼ直線距離と同じ当てはまりを示し、さらに代謝的換算距離が優位にある。代謝的換算距離が4種の距離の中で最優位になっている理由としては、他の方法では取り扱いが困難であった、階段等の特に高齢者が苦手とする経路上の負荷をより適切に距離に反映することができていることが推測される。

4) 頻度を勘案した利用者数(利用回数)のモデルの決定係数の低さ

経路距離以外は利用回数のモデルの方が実人数のモデルに比べて決定係数が低い。このことは、利用回数が距離の単純な減少関数ではないモデルで表す必要があることを示唆している。

4. 結論

本稿では、徒歩移動に関して、経路、地形条件、移動者の身体能力、移動の頻度を勘案する「換算距離」について、既報⁷⁾で提案した「力学的換算距離」に加えて新たに「代謝的換算距離」を開発し、実際の地域施設の利用者の居住地分布に関して直線距離、経路距離を含めて詳細に比較分析した。この結果、歩行移動に対する負荷を消費する代謝エネルギーを指標として経路及び地形条件を付与した「代謝的換算距離」は、従来使われてきた直線距離及び経路距離に比して、また既報⁷⁾で提案した力学的換算距離より利用者の施設利用行動をよりの確に説明できる可能性があることが示された。

また前述の通り、本研究の最終的な目標は、「換算距離」などを用いてより現実に近い地域施設配置計画モデルを構築すること、ひいては都市空間解析における距離構造の研究に資することにある。本稿の結果をふまえると、今後の課題として次の2点が挙げられる。

1) 目的別の距離構造

本稿においては「福祉亭」という単独施設の利用行動を分析した。実際には移動可能性が比較的限定されている高齢者といえども、地域に暮らす人々は様々な目的で様々な施設へ移動する。移動距離の構造には移動の目的に応じて必然的に差異が生じると予想される。このため、表1に示したアンケート結果に基づき、移動先(移動の目的)の別による移動距離の構造のちがいを分析する必要がある。

2) 機能配置モデルの構築

本稿の結果及び前記1)の結果をもとにして、地形条件や移動者の年齢構成を勘案し、実態に即した都市機能の利用しやすさ、アクセシビリティに基づいた都市空間、都市の機能配置、地域施設配置モデルの構築が可能になると期待される。

謝辞

本研究は首都大学東京21世紀COEプログラム「巨大都市建築ストックの賦活・更新技術育成」の一環として行われた。また研究推進にあたっては文部科学省特別研究員奨励費「利用者行動と立体都市空間構成を反映した都市再構築のためのアクセシビリティモデル」の援助を受けた。アンケートは「福祉亭」の元山隆氏、寺田美恵子氏を初め、利用者各位のご理解とご参加を得て行った。二乗距離の指数関数の適用に当たっては青木義次東京工業大学教授による議論を参考にさせていただいた。また、匿名査読者から有益な助言を受けた。ここに記して謝意を表する。

注

注1) 計測の詳細に関しては、東京都立大学大学院工学研究科建築学専攻2004年修士論文「多摩市における高齢者デイサービスセンターの運営プログラム・活動の実態と利用構造」, p.29に「2000年国勢調査基本単位区別集計に用いられた基本単位区別の人口重心の加重平均により、各町丁目の重心を求めた。利用距離の算定には、この人口重心を用いた」とある。

参考文献

- 1) 腰塚武志, 小林純一, 「道路距離と直線距離」, 日本都市計画学会学術研究発表会論文集, No.18, pp.43-48, 1983
- 2) 坊上南海子, 山田あすか, 上野淳, 「多摩市における高齢者デイサービスセンターの運営プログラム・活動の実態と利用構造」, 日本建築学会技術報

- 告集, 第22号, pp.409-414, 2005
- 3) 石崎研二, 「立地・配分モデル」, 杉浦芳夫編, 「地理空間分析」, 朝倉書店, pp.61-83, 2003
- 4) 古田社宏, 内田麻衣子, 稲川敬介, 鈴木敦夫「ネットワーク上における競合施設配置問題の新たな枠組みとその解法」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌, 49巻, pp.32-45, 2006
- 5) 腰塚武志・石井儀光, 「新宿高層ビル群における移動時間分布」, 日本都市計画学会学術研究発表会論文集, No.35, pp.1003-1008, 2000
- 6) 溝口秀勝, 山川仁, 「斜面住宅地における勾配を考慮した徒歩移動に関する研究」, 日本都市計画学会学術研究発表会論文集, No. 36, pp.841-846, 2001
- 7) Eiji SATOH and Tohru YOSHIKAWA, Accessibility to Community Facilities Considering Topographical Features and Changes in Physical Strength by the Age of Residents, *Proceedings of International Symposium on Urban Planning*, pp.207-218, 2005
- 8) 頼あゆみ, 松本真澄, 「計画住宅地における住民の"居場所づくり"について」, PRI Review, 国土交通省国土交通政策研究所, No.18, pp.18-25, 2005
- 9) 高橋徹, 林玉子, 「屋外における高齢者の歩行特性に関して」, 総合都市研究, No.39, pp.21-37, 1990
- 10) 狩野徹, 「高齢者・障害者の道路交通計画」, 秋山哲男編「高齢者の住まいと交通」, 日本評論社, p.235-255, 1993
- 11) 三谷豪, 杉浦芳夫, 山根拓「多摩ニュータウン諏訪・永山地区における高齢者の分布とその住環境評価に関する研究」, 総合都市研究, No.56, pp.5-35, 1995
- 12) 煤孫光俊, 大瀧保明, 鈴木明宏, 佐川貢一, 石原正, 猪岡光, 「移動形態と歩行速度を考慮した消費カロリーの無拘束推定」, 計測自動制御学会東北支部 第202回研究集会, 資料番号 202-11, 2002
- 13) 杉山允宏, 桐島日出夫, 平谷昭彦, 大八木達也, 「歩行のエネルギー消費」, 人間工学, VOL.17, No.6, pp.259-265, 1981
- 14) 佐藤方彦, 「人間工学基準数値式便覧」, 技報堂, p.204, 1992
- 15) 海道清信, 「コンパクトシティ 持続可能な社会の都市像を求めて」, 学芸出版社, p.63, p.168, 2001
- 16) 紙野桂人, 「人のうごきと街のデザイン」, 彰国社, p.132, 1980
- 17) 吉武泰水, 「建築計画概論(上)」, コロナ社, pp.79-82, 1967
- 18) 青木義次, 「よしづぐノート, 人口密度分布」, http://www.aakilab.arch.titech.ac.jp/lab/y_notes/index.htm, 2005

(2006年2月10日原稿受理, 2006年8月31日採用決定)