

# 地形条件の交通手段選択への 影響に関する基礎的研究 —高低差・勾配に着目して—

早内 玄<sup>1</sup>・中村 文彦<sup>2</sup>・田中 伸治<sup>3</sup>・有吉 亮<sup>4</sup>・三浦 詩乃<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生会員 横浜国立大学 都市イノベーション学府 (〒240-8501横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

E-mail : hayauchi-gen-hr@ynu.jp

<sup>2</sup>正会員 横浜国立大学 理事・副学長 (〒240-8501横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

E-mail : nakamura-fumihiko-xb@ynu.jp

<sup>3</sup>正会員 横浜国立大学 都市イノベーション研究院 准教授 (〒240-8501横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

<sup>4</sup>正会員 横浜国立大学 都市イノベーション研究院 特任准教授 (〒240-8501横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

<sup>5</sup>正会員 横浜国立大学 都市イノベーション研究院 助教 (〒240-8501横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

高低差・勾配がモビリティに影響を及ぼすことが明らかになりつつある一方、これを考慮した交通計画手法は確立されていない。本研究では、高低差・勾配を考慮した交通計画手法の確立に向け、その核の1つとなる、交通手段選択への影響を明らかにすることを目的とする。独自取得した交通行動データを用いて、離散選択モデルの構築を中心に、高低差・勾配の交通手段選択への影響を検証する。併せて、往復など、場合による手段の使い分けへの影響を明らかにする。加えてこの過程において、高低差、勾配値、代謝エネルギーなどの地形条件評価手法を複数検証し、分析上の特性などを明らかにする。本稿では高低差・勾配とモビリティに関する既往の知見、及び今後実施する交通行動調査の概要について述べる。

**Key Words** : slope, elevation, topography, discrete choice model, mode choice, built environment

## 1. はじめに

### 1.1. 本研究の着眼点

地形条件、特に高低差や勾配が交通手段選択に及ぼす影響に焦点をあてる。2地点の標高差を意味する高低差と、単位長さ当たりの高低差を意味する勾配は異なる指標であり、本研究ではこれら指標の分析上の特性についても検証を行うことから、以降、地形条件を高低差・勾配と総称する。

### 1.2. 本研究の社会的背景

世界諸都市の傾斜地に住宅が形成され、高低差・勾配のある地区における、日常的な移動が生じている。都市空間に限りがあり、かつ地形の改変は必ずしも容易ではないことを鑑みると、今後も傾斜地への居住は行われると考えられる。

一方、既往研究などを通じ、高低差・勾配がモビリティ(移動のしやすさ)に影響を及ぼすことが明らかになりつつある。例えば、松中ら(2013)<sup>1)</sup>は町丁目単位の地区特性と全国パーソントリップ調査結果を用いた、交通身体活動量に関する多母集団パス解析により、地区の標高標準偏差が交通身体活動量に負に働く、つまり、起伏の大きい地区において、徒

歩や自転車を選択されにくい可能性があることを指摘している。また、寺山ら(2014)<sup>2)</sup>は、自動車を持たないことによるアクセシビリティの低下が、傾斜の大きい地区、またその中でも高齢者においてより顕著であることなどを明らかにしている。

特に、傾斜地における高齢化とモビリティの課題が散見される我が国においては、生活利便性の課題と同時に、外出頻度の低下に伴う健康上の課題や、居住継続の可能性、ひいては空き家増加などに伴う、地区の持続可能性にも影響を及ぼしうる、重要な課題と考えられる。例えば、金ら(2016)<sup>3)</sup>は勾配や階段の歩行への影響を消費エネルギーに換算し、空き家・空き地の発生に影響を与えることを明らかにしている。

以上を鑑みると、交通計画においても高低差・勾配を考慮する必要があると考えられる。既往の取組みとしては、公共交通サービス提供の優先順位付けに勾配の指標を組み込んだ、奈良県生駒市の地域公共交通総合連携計画(2011)<sup>4)</sup>が挙げられる。一方、このような例は僅かであるとともに人々の選択メカニズムに基づいてはならず、高低差・勾配を考慮した交通計画手法は確立されていないといえる。将来の確立に向け、その基盤となる学術的知見が求められる一方、次節に示すようにその蓄積には不十分な点が存在する。

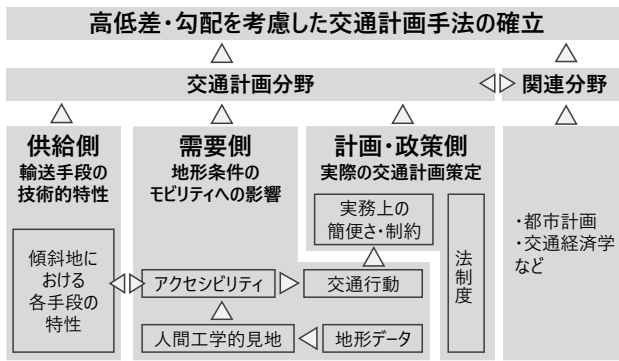


図-1 高低差・勾配を考慮した交通計画の確立に向けた枠組み

### 1.3. 本研究の学術的背景

高低差・勾配を考慮した交通計画手法の確立に向けては、概ね図-1に示す枠組みで知見を得る必要があると考えられる。

この中で、地形条件のモビリティへの影響に関する知見が既往研究の多くを占めている。図-1に示すように、他の視点との関連が強い、あるいは他の視点による議論の基盤となりうることから、本稿ではこの視点による既往研究の整理を行う。

高低差・勾配のモビリティへの影響はこれまで、人間工学、アクセシビリティ、交通行動を中心に研究がなされてきた。

歩行、自転車利用、車いす利用への物理的負担は主に人間工学分野で議論され、例えば杉山ら(1981)<sup>6)</sup>は勾配変化に伴い歩行時のRMR (Relative Metabolic Rate: エネルギー代謝率)が増大することなどを明らかにしている。勾配とRMR値の関係は、人間工学基準数値数式便覧(1992)<sup>7)</sup>などにも示されており、モビリティの議論をする上では、物理的負担に関する知見は概ね得られていると考えられる。

アクセシビリティの分野においては、前節に述べた寺山ら(2014)<sup>2)</sup>のほか、先述のRMRを用いた代謝的換算距離によって高齢者の福祉施設利用状況をよりよく説明できることを明らかにした佐藤ら(2006)<sup>8)</sup>の成果が代表的である。代謝的換算距離の手法は勾配も考慮したバス停アクセシビリティ指標による公共交通アクセシビリティ評価手法を提案した喜多ら(2012)<sup>9)</sup>をはじめとする、後の複数の研究に応用されている。

交通行動分析の分野においては、経路選択に関する研究が多くなされてきた。例えば溝口ら(2001)<sup>10)</sup>は歩行者の経路選択に勾配が影響を及ぼすことや街路単体の勾配に加えて、地区全体の地形も影響を及ぼし得ることを明らかにしている。加えて、近年ではGPS等によって実経路データの取得が可能となっており、Broach et al(2012)<sup>11)</sup>のように、これを用いて、高低差・勾配の自転車経路選択への影響を明らかにした研究が確認される。なお、Broach et al(2012)<sup>11)</sup>はこの過程において、高低差や勾配と比較して、ある勾配以上の区間が占める割合が、より高い説明力をもつことも明らかにしている。

目的地選択に関する知見は多くは確認されないが、到着地の勾配が徒歩トリップの目的地選択に影響を及ぼすことを明らかにしたClifton et al(2016)<sup>12)</sup>などの知見が得られている。

また近年の、シェアサイクルをはじめとする都市内での自

転車利用促進の傾向からか、標高の高い位置に存するポートが返却場所として利用されにくい傾向などを明らかにしたMateo-Babiano et al(2016)<sup>13)</sup>のように、シェアサイクル利用と高低差・勾配の影響に関する知見が複数得られている。

これに対して、手段選択に関する知見は限られている。この中で重要な役割を果たすのがRodriguez et al(2004)<sup>14)</sup>による研究である。これは米国の交通行動データを用いて、地形を含むBuilt Environmentと手段選択の関係を離散選択モデルの構築により分析したものであり、勾配が徒歩、自転車の選択に負の影響を及ぼすことが明らかとなった。

一方、ここでの勾配評価には、上り勾配のみに対し、所要時間増分を加算する方法がとられている。これ以降、先述のように代謝エネルギーを用いる方法や、勾配区間延長の割合を用いる手法などが提案されているが、交通手段への影響を評価する上で、これら手法の検証は未だ行われていない。また、ここでは対象起終点間の移動に最も頻繁に用いる交通手段を尋ねており、複数手段の組み合わせについては、以降の研究を含めて議論されていない。傾斜地においては同経路でも往復の勾配が逆転することから、複数手段の組み合わせ、特に往復での手段の使い分けに関する分析が求められると考えられるが、これまでに行われていない。

我が国を対象とした、交通手段選択に関する研究としては、寺山ら(2014)<sup>2)</sup>によるものが挙げられる。ここではパーソントリップ調査データを用いて、目的地・交通手段選択モデルを構築しており、その中で、出発地ゾーンの傾斜が緩やかであるほど自転車の効用が高まることを明らかにしている。

一方、ここでは徒歩、自転車、自動車のみを手段選択肢としており、公共交通が含まれていないこと、自動車利用は自ら運転することを想定しているといえ、同乗などの行動を考慮できていないこと、地形の影響を起終点間ではなく出発地のみにおいて変数化しているなど、明らかになっていない点や精緻化の余地を残している。

加えて、これらはある1日のトリップ、あるいは最も頻繁に用いる手段をもとにモデル構築を行っている。実際には日常での手段の使い分けが行われると想定されるが、この点に言及したものは確認されない。

このほかにも高低差・勾配とモビリティの関係に言及したものとして、全ら(2016)<sup>15)</sup>によるものなどが挙げられる。ここでは、傾斜地において年齢階層が高くなるほど社会活動の減少傾向があることなどが明らかにされている。同時に、高齢者予備層(50~64歳)において、日常的に傾斜地で生活を送ることが身体的活動を高め、社会活動に正の影響を及ぼす可能性が言及されており、交通行動の分析において居住年数に代表される、傾斜地での生活経験を考慮することの必要性が示唆されている。

## 2. 研究の概要

### 2.1. 本研究の目標と目的

前章を踏まえ、本研究は高低差・勾配を考慮した交通計画手法の確立に資する知見を得ることを目標とする。

その中で、高低差・勾配の我が国における交通手段選択への影響に解明や精緻化の余地があること、分析における高低差・勾配の評価手法が十分に検証されていないこと、手段選択の慣性や組合せへの影響が明らかにされていないことを踏まえ、以下の3点を明らかにすることを目的とする。

- 我が国における高低差・勾配の公共交通を含む交通手段選択への影響を明らかにすること。
- 高低差・勾配の評価手法を検証し、分析上の特性を明らかにすること
- 個人の中での、手段選択の慣性や使い分けへの影響を明らかにすること

なお、高低差・勾配は徒歩、自転車に代表される非動力系手段の選択に影響すると考えられ、本研究ではこれらが選択されない場合に、どのような手段が選択されるかにも言及するため、全手段の選択行動に着目している。この知見は、新たな移送システム検討など、傾斜地のモビリティ改善において重要な役割を果たすことが期待され、高低差・勾配を考慮した交通計画の確立においても核の1つをなすと考えられる。

### 2.2. 研究手法

交通行動分析の分野においては、離散選択モデルによるアプローチに、前章に示す既往研究を含めて実績がある。

離散選択モデルでは個人、環境に係る様々な要因を変数とした非集計分析が可能であり、環境要因の一つである高低差・勾配の影響を検証する手法として適している。また、環境要因の変数化にあたり、複数手法を検証可能であることから、高低差・勾配の評価手法に関する知見を得るうえでも適した手法といえ、本研究における分析手法の核となりうる。

離散選択モデルによる非集計分析においては、詳細な交通行動データが求められる。本研究では徒歩、自転車による移動など、比較的短距離のトリップについても分析対象となる一方、このようなトリップは、パーソントリップ調査などの既存調査では、しばしばゾーン内々トリップとなり、本研究に必要な交通行動データを取得することが困難である。

以上を踏まえ、本研究は以下の手法、構成をとる。

- ① 以下に挙げる条件をもとに、分析対象地を選定する。
  - 平坦な地区から傾斜地まで、地形条件が多様である
  - 分析上十分と考えられる程度の人口集積がある
  - 徒歩、自転車から路線バス、タクシーまで、現在利用可能な交通手段に十分な選択可能性がある
- ② 対象地において、住民を対象とする質問紙調査を実施し、空間的分解能、調査項目ともにパーソントリップ調査などと比較して詳細な交通行動データを取得する。

- ③ 並行して、対象地区内の詳細な空間データの取得を行う。これは既存道路ネットワークで十分に表現されない細街路や階段等と、道路面標高の情報を取得するもので、現地調査等によりGISデータとして格納する。
- ④ ②及び③で得たデータをもとに、離散選択モデルの構築を中心に、高低差・勾配の交通手段選択への影響に関する分析を行う。この過程においては、高低差・勾配の別を含む様々な評価手法毎にモデル構築を行い、分析上の優位性や特性も明らかにする。
- ⑤ 質問紙調査では、手段選択における慣性に関する項目を設けている。これをもとに、個人の慣性や、手段の使い分けに関する分析を行う。

## 3. 分析対象地の選定及び交通行動データの取得

### 3.1. 分析対象地の選定

前章に基づき、対象地として神奈川県横浜市金沢区富岡西地区、及び同富岡東地区のうち自治会を同じくする一部地区を選定した。当該地区は高度経済成長期頃に開発が始まった、京浜急行線沿線の住宅地であり、起伏のある地形である(図-2)。本調査は地区全体を対象とし、平成27年国勢調査<sup>1)</sup>によると、各丁目の世帯数及び人口は表-1の通りである。

当該地区では路線バス、タクシー、スーパーによる独自の送迎バスが運行されており、徒歩・自転車・二輪車・自動車(運転・同乗)・タクシー・バスが交通手段選択肢となりうる。

以上より、当該地区は地形条件、交通手段選択肢、人口集積のいずれの観点においても、対象地として適するといえる。

### 3.2. 質問紙調査項目

当該地区のうち、自治会の異なる一部を除き、全世帯対象の質問紙調査を実施する。調査票を各世帯2部配布し、世帯の代表者2名の記入及び記入後の投函を依頼する。

調査票は自治会との協議のもと、回答負担を抑えるよう設計し、表-2に示すように、①個人属性、②駅端末手段の選択慣性、③ある1日の行動を尋ねる3部構成をとっている。

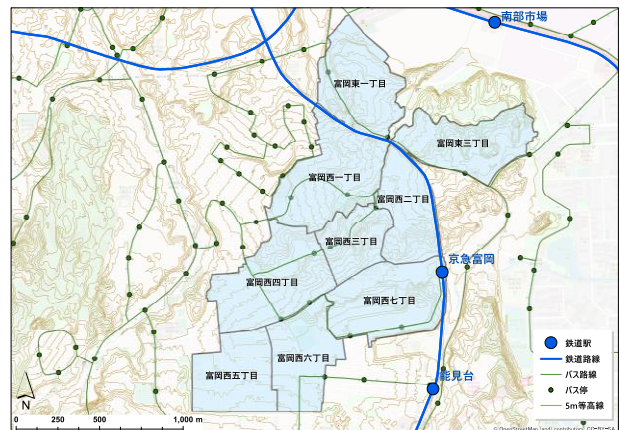


図-2 対象地区における地形、公共交通等条件の概況

表-1 対象地区各丁目の人口及び世帯数

町丁目	世帯数	人口
横浜市金沢区富岡西1丁目	1,114	2,910
横浜市金沢区富岡西2丁目	886	1,918
横浜市金沢区富岡西3丁目	838	2,056
横浜市金沢区富岡西4丁目	1,315	3,441
横浜市金沢区富岡西5丁目	640	1,565
横浜市金沢区富岡西6丁目	598	1,576
横浜市金沢区富岡西7丁目	1,374	2,955
横浜市金沢区富岡東1丁目	1,618	3,750
横浜市金沢区富岡東3丁目	858	2,048
計	9,241	22,219

表-2 質問紙調査項目の概要

<b>個人属性</b>
世帯の構成人数・世帯の車両保有状況・運転免許保有状況・居住年数・バス定期券保有状況・歩行の困難さ・性別・年齢階層
<b>駅端末手段の選択習慣性</b>
京急富岡駅・能見台駅の利用頻度・駅や駅周辺を訪れる目的と頻度・利用交通手段と頻度
<b>ある1日の行動</b>
各リンクトリップについて、目的地・アンリンク交通手段・乗継地点

#### 4. おわりに

現在までに、対象地の選定、調査票の設計が完了し、当該地区自治会との最終調整を行っている。今後調査票を配布、回収し、2章に示す各分析を行う予定である。

**謝辞：**本研究は文部科学省・科学技術振興機構による「センター・オブ・イノベーション(COI)プログラム」によるものです。

#### 参考文献

- 1) 松中亮治・大庭哲治・中川大・井上和晃: 都市内の小地域特性を考慮した交通身体活動量の経年変化とその要因, 土木学会論文集 D3 Vol.69 No.3, pp.216-226, 2013.
- 2) 寺山一輝・小谷通泰: 目的地・交通手段選択モデルに基づく買い物交通のアクセシビリティの評価-既成市街地と郊外住宅団地の比較, 都市計画論文集 Vol.49 No.3, pp.429-434, 2014.
- 3) 金ドン均・有馬隆文・坂井猛: 歩行消費エネルギーからみた斜面市街地における空き家・空き地の発生要因に関する研究, 日本建築学会計画系論文集 第 81 巻 第 726 号, pp.1715-1722, 2016.

- 4) 生駒市: 生駒市地域公共交通総合連携計画, 2011.
- 5) 喜多秀行・岸野啓一・今井正徳・岡田敬: 地域公共交通計画策定の実証的研究～奈良県生駒市の例に基づく考察～, 土木学会論文集 D3 Vol.68 No.5, pp.I\_951-I\_960, 2012.
- 6) 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.
- 7) 佐藤方彦監修: 人間工学基準数値数式便覧, 技報堂, 1992.
- 8) 佐藤栄治・吉川徹・山田あすか: 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—, 日本建築学会計画系論文集 第 610 号 pp.133-139, 2006.
- 9) 喜多秀行・小野祐資・岸野啓一: 公共交通利用における身体的機能を考慮したアクセシビリティ指標の構築, 土木学会論文集 D3, Vol.68 No.5, pp.I\_983-I\_990, 2012.
- 10) 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, 第 36 回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.841-846, 2001.
- 11) Joseph Broach・Jennifer Dill・John Gliebe: Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data, Transportation Research Part A, Vol.46, pp.1730-1740, 2012.
- 12) Kelly J. Clifton・Patrick A. Singleton・Christopher D. Muhs・Robert J. Schneider :Development of destination choice models for pedestrian travel, Transportation Research Part A, Vol.94, pp.255-265, 2016.
- 13) Iderlina Mateo-Babiano・Richard Bean・Jonathan Corcoran・Dorina Pojani : How does our natural and built environment affect the use of bicycle sharing?, Transportation Research Part A, Vol.94, pp.295-307, 2016.
- 14) Daniel A. Rodriguez・Joonwon Joo: The relationship between non-motorized mode choice and the local physical environment, Transportation Research Part D, Vol.9, pp.151-173, 2004.
- 15) 全聖民・大原一興・李鎔根・藤岡康寛: 丘陵住宅地における高齢者の社会活動と環境条件に関する研究, 日本建築学会計画系論文集 第81巻 第726号, pp.1621-1629, 2016.
- 16) 国勢調査小地域集計2015年「男女別人口総数及び世帯総数」, 2017, <https://www.e-stat.go.jp/gis/statmap-search?page=1&type=1&toukeiCode=00200521> (最終アクセス: 2018/7/23)

(?)

## A Study on Influence of Topographical Factors to Mode Choice : Focusing on Altitude and Slope

Gen HAYAUCHI, Fumihiko NAKAMURA, Shinji TANAKA, Ryo ARIYOSHI and Shino MIURA

Influence of topographical factors to mobility has not been considered sufficiently in transportation planning so far. For the future establishment of planning method including topographical factors, this study aims to reveal the influence of altitude and slope to mode choice. Using travel data collected by authors, discrete choice modelling is applied. Also, this study focuses on difference of mode choice in round trips and characteristic of indices related to altitude and slope. In this paper, previous studies are reviewed and outline of data collection is explained.