

126. Walkability Index を用いた歩行空間整備前後の歩行活動量の分析枠組みに関する研究

—滋賀県草津川跡地公園による道路ネットワークの変化に着目して—

Analytical framework for analyzing physical activity before and after the improvement of walking space using Walkability Index
— with a focus on the change of the road network around Kusatsu River park, Shiga prefecture —

金井俊祐*・山田真実**・木村優介***

Shunsuke Kanai*, Mami Yamada** and Yusuke Kimura***

In this study, the authors analyze Walkability Index (WI), calculated using the geographical information system, and the amount of walking activity before and after the improvement of walking space by using questionnaire data. The authors aim to clarify the structure of the WI changes by the improvement of walking space and the appropriate framework for analyzing walking activity in the two periods. Through the analysis on the change of the road network around Kusatsu River park in Shiga Prefecture, the authors demonstrate that: (1) The changes of service areas around residences due to the improvement of walking space brought the changes of values of each geographical environment variable composing WI. (2) As for the analytical framework of logistic regression analysis, walking activity should be dealt with as walking time and how to determine the threshold value to evaluate presence of walking should be depend on a purpose of walking.

Keywords: Walkability Index, physical activity, walking space improvement, logistic regression analysis, GIS

ウォーカビリティ・インデックス, 歩行活動量, 歩行空間整備, ロジスティック回帰分析,
地理情報システム

1. はじめに

1-1. 研究の背景と目的

従来のモータリゼーションの進展や自動車優先の道路網の整備により, 都市内において交通渋滞や騒音, 交通事故に対する不安, 街の賑わいの低下などの問題が生じてきた. こうした都市問題のみならず, 現在では健康寿命の延伸や高齢化に伴う医療費の抑制が喫緊の課題となっており, 健康状態に関係があるといわれる歩行活動量の増加も重要な課題とされている¹⁾. すなわち, 安全・快適に歩行できるような都市空間とともに, 歩行活動を促す環境の設計が必要になっている.

このようなニーズに応える歩行空間を整備するためには, 当該施設の利用者数の増加だけではなく, 整備によって近隣全体の歩行活動を活発にすることも求められる. そのため, 歩行空間整備が周辺の歩行環境にもたらす効果について, 整備の箇所を含む広域のエリアを評価可能で, かつ整備箇所の代替案比較といった事前評価にも活用可能な指標の開発が必要であると言える.

以上の背景のもと, 本研究では Walkability という概念に着目する. Walkability は良好な地域コミュニティの形成, 車を使わない環境にやさしい生活, 身体的にも精神的にも健康なライフスタイルなどを可能とする, 歩く行為を促進するような生活環境全般を含む概念²⁾である. この Walkability を測る指標の一つに, Frank *et al.*³⁾によって開発された Walkability Index (以下, WI と略) がある. WI は Walkability に関連する複数の地理的環境変数を地理情報システム (Geographic Information System : GIS) によって算出し, 統合したものである. この WI に関する研究は数多く行われているが, いずれも同時期における複数の場所を取り上げ, アンケート調査等によって得た歩行活動量と WI

との関係を, ロジスティック回帰分析により比較分析したものとなっている. そのため, 都市施設である歩行空間の整備によって期待される WI の変化や歩行活動量の変化を既存の手法で分析することが可能か否か, またその分析に必要な枠組みについては明らかにされていない.

そこで本研究では, GIS を用いて算出される居住地の WI と, アンケート調査によって得られる居住者の目的別の歩行活動量・個人属性とを用いて, 歩行空間整備前後の WI と歩行活動量を分析し, 歩行空間整備によって変化する WI の構成と, 2 時期の歩行活動の分析に適切な枠組みを明らかにすることを目的とする. 具体的には, 歩行空間整備前後に直接的に変化する道路ネットワークに着目し, このネットワークの変化が WI に与える具体的影響とその要因を明らかにするとともに, WI と目的別の歩行活動量との関連を, 歩行活動量の設定方法に着目して分析する.

1-2. 研究の位置づけ

WI に関する既往研究として, Frank *et al.*³⁾は米国において歩行活動量と居住地周辺の WI との関連をロジスティック回帰分析により調査し, 1 日あたり 30 分以上の中程度の身体活動と WI との関係を明らかにした. Neville *et al.*⁴⁾はオーストラリアにおいて街区単位の WI と 1 週間あたりの通勤, 余暇に関する歩行の頻度との関係性を調べ, 通勤の頻度と WI に関係があることを明らかにした. また日本においては都市内の行政区域を対象として比較を行った加登ら⁵⁾の研究などがある. しかしこれらの分析は特定の時期に限定されており, 2 時期の評価やある空間の整備前後の影響を考慮した研究は見受けられない. また多様な歩行目的 (日常用務のための活動か余暇活動か) や歩行活動量の設定方法 (時間か頻度か) と WI との関係には分析の余地があり,

* 学生会員 京都大学大学院工学研究科 (Kyoto University)

** 非会員 西日本旅客鉄道株式会社 (West Japan Railway Company)

*** 正会員 京都大学大学院工学研究科 (Kyoto University)

その取扱いに関しても考慮する必要がある。

以上を踏まえた本研究の特徴として、WI を用いて 2 時期の歩行活動を分析する点が挙げられる。その上で、歩行活動量を目的別に分析し、歩行空間整備による影響をより詳細に把握すること、ロジスティック回帰分析を用いる上で適切な歩行活動量の設定の仕方を検討することといった、既往の研究で明らかにされてきた項目に関して適切な分析の枠組みを明らかにする点にも特徴がある。

1-3. 研究の対象地

研究対象地として滋賀県草津市の草津川跡地公園 (de 愛広場) とその周辺を取りあげる (図-1)。草津川跡地は、2002 年に新草津川が供用開始したことで旧草津川が廃川となった結果生まれた広大な空間である。草津川跡地利用基本計画 (2012 年 10 月策定) ⁹⁾ を基に、都市の価値を高める質の高い緑地空間をつくることを目的に整備が行われ、2017 年 4 月に草津川跡地公園として供用を開始した。整備前後の違いとして、出入り口の増加とともに、内部空間が自由に通行可能になったことによる回遊ルートの増加や、空き地から歩行者・自転車専用道への機能の転換が挙げられる (図-2)。

本研究では草津川跡地公園から 800 m 到達圏内 (ネットワークバッファ内) を対象とする。範囲内に居住する居住者を対象にしたアンケート調査結果と、居住地周辺の WI を用いて分析を行う。

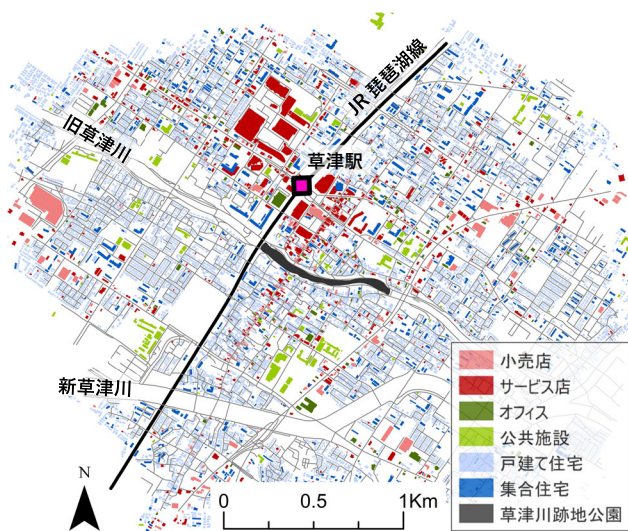


図-1 対象地周辺の現況と建物用途分布



図-2 草津川跡地公園の現況 (Google Maps に加筆)

2. Walkability Index の概要

Walkability は郊外スプロールと対をなす概念となっており、居住者の密度が高く、土地利用が多様で、道路網の接続性が高いような都市化した特徴を持つエリアにおいて Walkability の値が高くなる。姜ら²⁾によると、Walkability の増加とともに、そのエリアは車を使わない肉体的、精神的に健康な生活、交通事故や犯罪に対する不安感の減少、良好なコミュニティの形成などの特徴を持つことが明らかになっている。すなわち Walkability の向上により歩行における快適性や魅力が増加し、居住者の歩行活動量が多くなると言える。

この Walkability を測る指標の一つが Walkability Index (WI) である。WI は居住地周辺のエリアにおいて歩行活動に関連がある複数の地理的環境変数を、GIS により数量化して標準化を行ったのち、それらの総和を取るものである。本研究では Frank *et al.*³⁾ により提示された土地利用混合度、交差点密度、世帯密度の 3 つの地理的環境変数から構成されるモデルの中で、土地利用混合度の重み係数が 1 となる最も基本的な算出式を用いた (式(1))。

$$WI_k = z - LUM_k + z - ID_k + z - NRD_k \quad (1)$$

ただし、 WI_k : 対象エリア k における WI

$z -$: 平均 0, 分散 1 の標準化 (z スコア)

LUM_k, ID_k, NRD_k :

対象エリア k における土地利用混合度, 交差点密度, 世帯密度

各地理的環境変数は歩行活動に影響を与えるものとなっている。土地利用混合度 (Land Use Mix: LUM) は目的地となる土地利用 (建物用途) が多様であることによる歩行時間や歩行頻度の増加を表す (式(2), (3))。交差点密度 (Intersection Density: ID) は道路延長あたりの交差点の数、すなわち接続性の良い道路環境における歩行の安全性と快適性を表す (式(4))。世帯密度 (Net Residential Density: NRD) は人口が集中することによる都市としての機能や街の賑わいを表す (式(5))。

$$LUM_k = - \sum_{i=1}^n \frac{p_{k,i} \ln p_{k,i}}{\ln n} \quad (2)$$

$$p_{k,i} = \frac{A_{k,i}}{A_{k,all}} \quad (3)$$

ただし、 $A_{k,i}$: 対象エリア k 内の用途 i の建築面積 (m^2)

$A_{k,all}$: 対象エリア k 内の全建築面積 (m^2)

i : 建物用途の各分類 (戸建て住宅, 集合住宅, 小売店, サービス店, オフィス, 公共施設)

n : 建物用途の分類数 (=6)

$$ID_k = \frac{I_k}{L_k} \quad (4)$$

ただし、 I_k : 対象エリア k 内の総交差点数

L_k : 対象エリア k 内の道路総延長 (m)

$$NRD_k = \frac{H_k}{A_{k,resi}} \quad (5)$$

ただし、 H_k ：対象エリア k 内の総世帯数

$A_{k,resi}$ ：対象エリア k 内の全住宅面積 (m^2)

実際の地理的環境変数は表-1に示すデータを基に算出した。土地利用混合度については、建物用途の分類より作成した。基盤地図情報「建築物の外周線」に対して、ゼンリン電子住宅地図に記載の建築物の名称と詳細情報を使用し、戸建て住宅、集合住宅、小売店、サービス店、オフィス、公共施設の6つに建物用途を分類した⁽¹⁾ (図-1)。住宅地図から判断が困難な場合は、補足的にGoogle Mapsを用いた。

交差点密度については、国土地理院ベクトルタイルのデータを使用し、道路の端点が3点以上重なる点を交差点として抽出した。ただし工場、自動車学校など一般の人が自由に内部を通行できない箇所を元データから削除した上で使用し、立体交差は交差点から除外した。

世帯密度については、現在入手可能な世帯数データの最小単位が町丁目であるため (図-3)、対象エリア内の世帯数に換算した。具体的には、国勢調査のデータを使用して、町丁目全体の面積と対象エリア内に包含される面積の比によって各世帯の到達圏内の世帯数を算出した (式(6))。

$$H_k = \sum_{j \in N_k} h_j \frac{a_{k,j}}{a_j} \quad (6)$$

ただし、 N_k ：対象エリア k に重なる町丁目の集合

h_j ：町丁目 j の総世帯数

a_j ：町丁目 j の総面積 (m^2)

$a_{k,j}$ ：対象エリア k と重なる町丁目 j の面積 (m^2)

表-1 使用データの取得元と整備時期

データ名称	ソース	時期
基盤地図情報 (建築物の外周線)	国土地理院	2014
国土地理院ベクトルタイル 道路中心線	国土地理院	2006/11
平成 27 年国勢調査 小地域	e-Stat	2015
ゼンリン電子住宅地図 (草津)	ゼンリン	2016/11
ゼンリン電子住宅地図 (栗東)	ゼンリン	2016/12

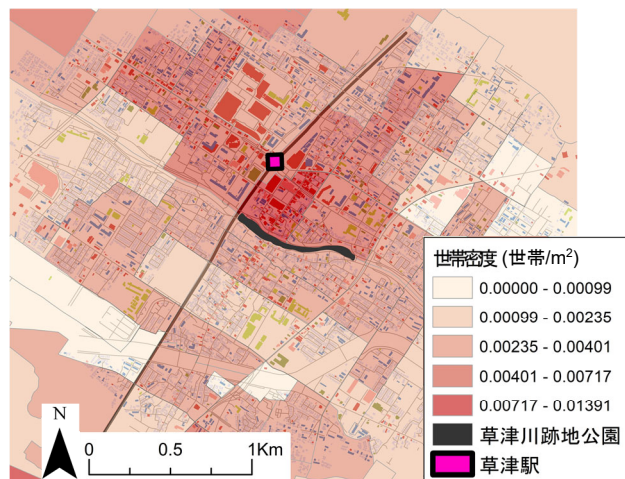


図-3 国勢調査に基づく町丁目ごとの世帯密度⁽²⁾

3. 分析手法

3-1. アンケート調査データの利用

本研究では、WI の検証用データとして 2017 年 10 月に行ったアンケート調査のデータを使用した。アンケート調査では、草津川跡地公園から 800m 到達圏内においてランダムに抽出した 1,100 世帯に調査用紙を 2 枚配布し、郵送によって回答を回収した。表-2 に本研究のデータに関連する設問内容を示す。設問には草津川跡地公園整備前の 2016 年と整備後の 2017 年における、居住地周辺での 1 週間あたりの目的別歩行活動 (日々の買い物や飲食の日常利用、散歩やランニングの余暇利用) の時間・頻度と個人属性、居住年数、1 年間の歩行活動量の差の理由を設定した。

配布した世帯のうち 538 世帯、765 人から回答が得られた (世帯回答率 48.9%)。回答が不十分なサンプルや不適切なサンプルを除くため、表-3 に示すデータクリーニングを行い、2017 年と 2016 年それぞれの歩行頻度と時間のデータを得た。回答者の属性を表-4 に示す。60 代以上の割合が半分以上を占め、20 代や学生の回答者の割合が少ないものの、30 代や 40 代の回答も一定見られること、性別においては男女の割合が同程度になっていることが確認できる。

表-2 アンケート項目とその詳細

アンケート項目	詳細
年齢	20 代/30 代/40 代/50 代/60 代/70 代以上
性別	男性/女性
婚姻状況	既婚/未婚
個人属性	健康状態 良い/まあ良い/どちらとも言えない/少し悪い/悪い
教育年数	12 年未満/12 年以上
職業	正規社員/非正規社員 (アルバイト・パート含む) /専業主婦・主夫/学生/無職
BMI	Body Mass Index : 体格指数
年	2016/2017
歩行活動量	目的 データ 時間 (分/週) /頻度 (回/週)
居住年数	1 年以上/1 年未満
1 年間の歩行活動量の差の理由 (その他を除く各 5 段階)	駅前の商業施設が増えた/草津川跡地公園ができた/健康のため意識して運動するようになった/車を購入した・手放した/その他

表-3 データクリーニングの内容と有効データ数

Step	処理内容	処理後のデータ数
(a)	個人属性に未記入がある回答、同世帯で同一人物が 2 通回答した可能性の高い回答を除去	665
(b)	歩行活動量が極端に多い (週 4000 分以上) の回答を除去	663
(c-1)	2017 年、2016 年の歩行頻度が全て 0 の回答を除去 (→2017 年の頻度データ)	641
(c-2)	(c-1)に対し、2017 年、2016 年の歩行時間が全て 0 の回答を除去 (→2017 年の時間データ)	638
(d)	(c-1)に対し、居住期間 1 年未満の回答を除去	608
(e-1)	2016 年の歩行頻度が全て 0 でかつ歩行量の差の理由が未記入の回答を除去 (→2016 年の頻度データ)	604
(e-2)	(e-1)に対し、2016 年の歩行頻度に記載があり、歩行時間に記載のない回答を除去 (→2016 年の時間データ)	601

表4 回答者の属性 (表3 (a)の段階, n=665)

個人属性		人数	割合(%)
年齢	20代	34	5.1
	30代	66	9.9
	40代	106	15.9
	50代	97	14.6
	60代	153	23.0
	70代以上	209	31.4
性別	男性	344	51.7
	女性	321	48.2
婚姻状態	既婚	512	77.0
	未婚	153	23.0
健康状態	良い	259	39.0
	まあ良い	287	43.2
	どちらともいえない	57	8.6
	少し悪い	52	7.8
	悪い	10	1.5
学歴	中学校卒・高校卒	266	40.0
	専門学校卒・短大卒・高専卒	129	19.4
	大学卒・大学院卒	270	40.6
雇用状況	正規社員	245	36.8
	非正規社員(アルバイト・パート含む)	111	16.7
	専業主婦・主夫	116	17.4
	学生	8	1.2
	無職	180	27.1
	その他	5	0.8
BMI	25.0 以上	117	17.6
	25.0 未満	548	82.4
居住年数	1 年以上	628	94.4
	1 年未満	32	4.8
	未記入	5	0.8

3-2. 歩行空間整備前後の2時期の Walkability Index の表現

本研究では各居住地の対象エリアを居住地から 800m (徒歩約 10 分圏) の到達圏 (ネットワークバッファ) の範囲とし、当該エリア内の地理的環境変数を用いて WI を算出した³⁾。はじめに対象地域全体における WI の地理的な分布を求めた。アンケート配布世帯 (1,100 世帯) のうち、集合住宅の居住者で位置情報が重複し、かつアンケートの回答がなかった世帯を削除した。この結果得られた 896 世帯に対して到達圏を求め、各地理的環境変数を算出し標準化を行い、それぞれの居住地の WI を算出した。この標準化は 2017 年と 2016 年に対して個別に行なった。

続いて 896 世帯で算出された WI を四分位化し、居住地の有する歩行環境を WI の四分位によって表した。これにより居住地が対象地域全体の内でどの程度の WI を有しているかを相対的に把握することができる。ここで歩行空間整備の影響を把握するため、歩行空間整備後の 2017 年の WI の四分位化の閾値 (四分位数) を整備前の 2016 年の四分位数と同じとした。このことにより、歩行空間整備前後の WI の四分位の変化を把握することができるようになる。

なお 2016 年と 2017 年のデータはいずれも表-1 のものを使用しているが、2017 年における草津川跡地公園内部については、入口と出口とを結んだ線を道路中心線のデータに追加し、さらに道が交わる箇所を交差点としてデータを整備した (図-4)。すなわち歩行空間整備前後の違いとして、

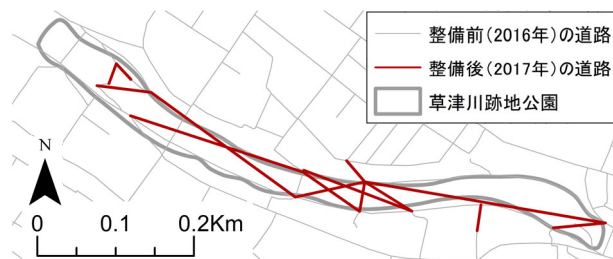


図4 草津川跡地公園内の2時期の道路ネットワークデータ

まず草津川跡地公園内部の道路ネットワークの変化と交差点密度の変化があり、さらにこの道路ネットワークの変化によって周辺の各居住地の到達圏が変化し、最終的には各エリア内の地理的環境変数の値が変化することが期待される⁴⁾。

3-3. ロジスティック回帰分析を用いた検証

ロジスティック回帰分析は、ある現象の発生確率を、複数の因子の組み合わせとそれらの程度からモデル化する方法である。特に目的変数が二値の場合に用いられる分析方法であり、回帰モデルは以下の式(7)で表される。

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n \quad (7)$$

ただし、 p : 歩行活動量が閾値以上である確率

$p/(1-p)$: 歩行活動量のオッズ

β_0 : 定数項

x_j : 説明変数 (個人属性, WI)

β_j : 説明変数 x_j に対する偏回帰係数

ロジスティック回帰分析を用いて、歩行活動量に影響を与える要因の分析を行った。目的変数として歩行活動量、説明変数として各居住地の有する WI と居住者の個人属性とを与え、それらの説明変数がどの程度歩行活動量のオッズに影響を与えるかを把握した。解析にはオープンソースの統計解析ソフトウェアである R を用いた。これにより、各説明変数の偏回帰係数と有意確率である p 値が求められる。本研究では p 値の有意水準として 5%、10%を設定した。

具体的目的変数として、既往研究で用いられている歩行時間や歩行頻度を用いるが、その際にアンケートデータの歩行時間や歩行頻度の中央値を閾値として、閾値を超える歩行時間や歩行頻度を「歩く」(=1)、閾値以下の時間・頻度を「歩かない」(=0)として二値化した。この閾値の設定方法として、本研究では、対象とする目的の1週間あたりの歩行時間が0分のデータを除いたもの、すなわち歩行している人のみを対象に中央値を算出した net のデータと、歩行していない人も含めた全員を対象に中央値を算出した gross のデータの2通りを準備した。

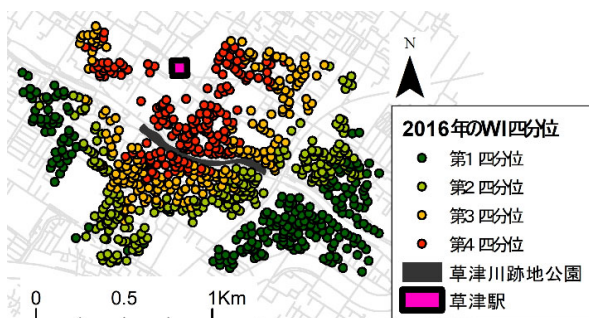
連続値の説明変数に対する偏回帰係数は、その説明変数以外の値を変化させない状態で、当該変数を1だけ増加させたとき、目的変数がどの程度増減するのかが示している。さらに、その偏回帰係数を自然対数の底 e の指数としたも

のがオッズ比となる。BMI, 年齢以外の連続値ではない個人属性のデータと四分位化されたWIについては、基準となる変数を定め、その変数に対する偏回帰係数が求められる。具体的には、性別では男性、婚姻状況では既婚、健康状態では良い、教育年数では12年未満、職業では正規社員、WIでは第1四分位が偏回帰係数の基準の変数とした。連続値と同様、偏回帰係数を自然対数の底eの指数とすることで、基準と分析対象となる変数のオッズの比が求められる。例えば、性別であれば男性の歩行時間や歩行頻度に関するオッズと女性の歩行時間や歩行頻度に関するオッズの比が求められ、女性は男性に対してどの程度歩行活動量のオッズが高いのかを判断することができる。

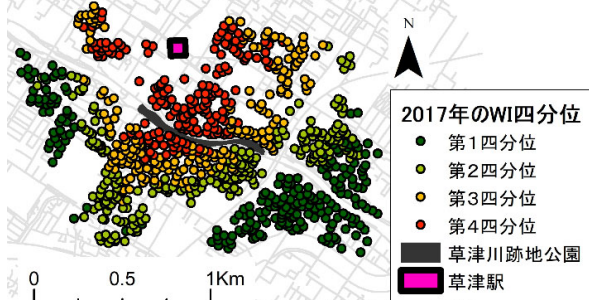
以上の分析を通じて、日常歩行、余暇歩行に対してWIがどの程度の説明力を持っているのか、歩行活動量は時間と

表-5 草津川跡地公園整備前後の居住地のWIの変化

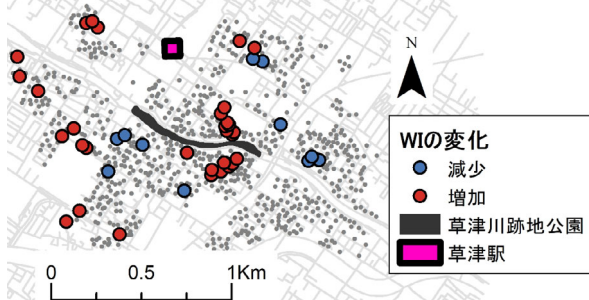
WI 四分位	2016 年	2017 年
WI 第1 四分位に属する居住地の数	224	219
WI 第2 四分位に属する居住地の数	224	223
WI 第3 四分位に属する居住地の数	224	218
WI 第4 四分位に属する居住地の数	224	236



(a) 歩行空間整備前 (2016 年) の分布



(b) 歩行空間整備後 (2017 年) の分布



(c) 歩行空間整備前後の変化

図-5 歩行空間整備前後のWI四分位分布と変化

頻度のいずれのデータを用いるのが適切なのか、閾値の設定方法はgrossとnetでどちらが適当なのかを検証した。

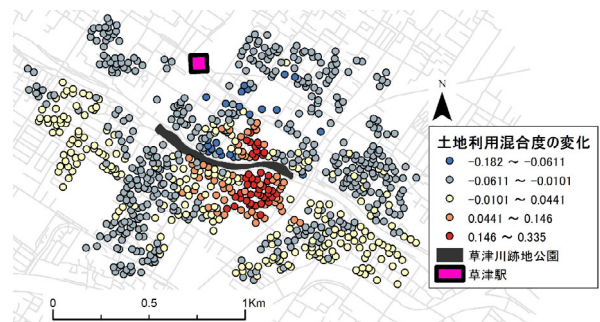
4. 分析結果

4-1. 歩行空間整備前後の2時期のWalkability Index

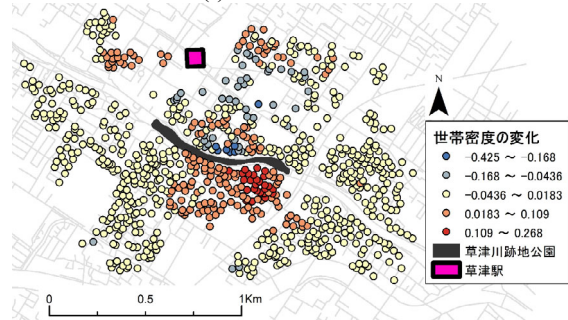
草津川跡地公園の整備前後のWIの四分位の数を表-5に示す。2017年においてWI第4四分位に属する居住地の数のみが増加し、その他は減少しており、WIの上昇がWI下位四分位の減少とWI第4四分位の増加として現れている。

また整備前後のWIの四分位分布を図-5に示す。図-5(c)の結果より、WIの変化した居住地は対象地域全体に分布しているものの、WI四分位が増加を示した居住地が草津川跡地公園周辺に集中して現れている⁶⁾。

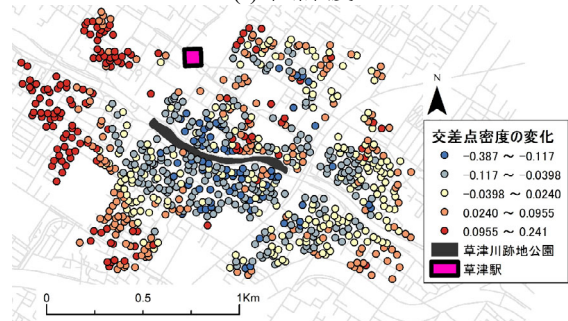
続いてそれぞれの地理的環境変数の変化に関連して、各時期において標準化した地理的環境変数の差を取り、図示したものが図-6である。図-6(a),(b)より、土地利用混合度、世帯密度の増加した居住地が草津川跡地公園の周辺において多く現れており、特に南東部において変化の度合いの大きい居住地が分布している。一方、交差点密度は草津川跡



(a) 土地利用混合度



(b) 世帯密度



(c) 交差点密度

図-6 歩行空間整備前後の標準化した各地理的環境変数の変化。赤色が経年で増加、青色が経年で減少を表す。

地公園の周辺で低下するという逆の傾向を示している⁽⁶⁾。

4-2. ロジスティック回帰分析の結果

1) 日常歩行

まず日常歩行について、歩行活動量を二値化した際の閾値を表-6に示す。さらに2016、2017年の歩行時間と歩行頻度、grossとnetの各設定に対する計8パタンのロジスティック回帰分析の結果を表-7に示す。頻度のデータについては、grossとnetで閾値が2時期で同じ値を示したことから、表-7もgrossとnetで同じ結果となった。

表-7より、WI第2四分位においてはp値が有意となる組み合わせが確認できなかったものの、第3四分位、第4四分位において複数のパターンにおいてp値が有意となった。第3四分位、第4四分位のp値が同時に有意なパターンに着目すると、いずれも第4四分位のWIのオッズ比が第3四分位のWIのオッズ比より大きい。よってWIが上昇するとともに歩行活動量の多いグループに属する確率が上昇すると判断できる。

各パターンに着目すると、歩行時間をnetの設定で目的変数とした場合、WI第3四分位、第4四分位両方でp値がいずれも5%、10%未満となった。さらに歩行時間を目的変数とする場合、netの設定は第3四分位においても説明力を持っており、この条件では2016年、2017年ともにオッズ比に変化がほとんどなかった。よって日常歩行では、2時期において同等にWIが説明力を示した歩行時間のnetのデータを目的変数として用いることが適切であると言える。

このパタンのうち、2017年の歩行時間をnetの条件で二

値化し、ロジスティック回帰分析を行った結果を表-8に示す。年齢、BMI、性別、健康状態（まあ良い）、仕事（非正規社員、主婦・主夫、無職）においてオッズ比が大きくなっており、比較的余剰時間のある人において日常歩行活動量が多いことから、結果の妥当性が確認できる。

2) 余暇歩行

次に余暇歩行について、日常歩行と同様に、歩行活動量を二値化した際の閾値を表-9に示す。さらに2016、2017年の歩行時間と歩行頻度、grossとnetの各設定に対する計8パタンのロジスティック回帰分析の結果を表-10に示す。表-10より、WI第2四分位においては日常歩行と同様にp値が10%未満のものは存在しないことに加えて、第3四分位、第4四分位においては日常歩行に比べてp値が有意なパターンが少なく、特に2016年の結果はいずれも有意ではなかったことが確認できる。

2017年の結果をみると、grossの歩行時間を目的変数として用いた場合にp値が有意な結果が得られている。このパタンの値に着目すると、余暇歩行は日常歩行と異なり、WI第4四分位のオッズ比がWI第3四分位のオッズ比よりもほぼ同じかやや小さい。これはWIがある一定の値を超えると余暇歩行が抑制される方向に働くことを意味する。

この2017年のgrossの歩行時間を目的変数として用いたロジスティック回帰分析の結果を表-11に示す。年齢、女性、健康状態（まあ良い以外）、職業（主婦・主夫、無職）が個人属性として余暇歩行の歩行活動量に影響を与えている。余暇目的の歩行活動量は退職した後の余剰時間のある高齢者や主婦・主夫で多いことが確認できる。

表-6 日常歩行活動量の二値化の閾値（中央値）

歩行活動量		2016年	2017年
時間（分/週）	gross	90	90
	net	120	120
頻度（回/週）	gross	3	3
	net	3	3

表-7 日常歩行における閾値別のWIのオッズ比

（上：2016年、下：2017年、**p<0.05、*p<0.10）

歩行活動量		WI（2016年）のオッズ比（95%信頼区間）		
		第2四分位	第3四分位	第4四分位
		1.220 (0.7225-2.066)	1.275 (0.7549-2.1645)	1.961** (1.177-3.293)
時間	gross			
	net	1.381 (0.7910-2.430)	1.599* (0.9184-2.812)	2.366** (1.381-4.116)
頻度	gross	1.399 (0.8115-2.431)	1.679* (0.9770-2.913)	2.420** (1.430-4.155)
	net	1.399 (0.8115-2.431)	1.679* (0.9771-2.913)	2.420** (1.430-4.155)
歩行活動量		WI（2017年）のオッズ比（95%信頼区間）		
		第2四分位	第3四分位	第4四分位
		1.089 (0.6475-1.835)	1.453 (0.8785-2.416)	1.948** (1.191-3.214)
時間	gross			
	net	1.088 (0.6218-1.913)	1.782** (1.052-3.053)	2.277** (1.357-3.879)
頻度	gross	1.492 (0.8723-2.576)	1.554 (0.9209-2.653)	2.903** (1.749-4.899)
	net	1.492 (0.8723-2.576)	1.554 (0.9209-2.653)	2.903** (1.749-4.899)

表-8 日常歩行時間に対するロジスティック回帰分析結果
（2017年、netデータ、**p<0.05、*p<0.10）

説明変数	オッズ比（95%信頼区間）
定数項	0.0224** (0.004934-0.08985)
年齢	1.2422** (1.062-1.458)
性別	女性(男性基準) 2.3326** (1.504-3.637)
婚姻状況	未婚(既婚基準) 1.1084 (0.7080-1.725)
健康状態	まあ良い 0.6527** (0.4359-0.9731)
(良い基準)	どちらともいえない 0.9943 (0.5031-1.935)
	少し悪い 0.9147 (0.4465-1.850)
	悪い 0.9477 (0.1756-4.588)
教育年数	12年以上(12年未満基準) 1.0434 (0.6907-1.582)
職業 (正規社員基準)	非正規 1.7104* (0.9853-2.964)
	主婦・主夫 2.3351** (1.284-4.276)
	学生 0.7371 (0.03630-5.158)
	無職 1.8919** (1.089-3.308)
	その他 0.7608 (0.03669-5.887)
BMI	1.0488** (1.006-1.101)
WI (第1四分位基準)	第2四分位 1.0880 (0.6218-1.913)
	第3四分位 1.7822** (1.052-3.054)
	第4四分位 2.2767** (1.357-3.879)

表-9 余暇歩行活動量の二値化の閾値（中央値）

歩行活動量		2016年	2017年
時間（分/週）	gross	30	30
	net	120	120
頻度（回/週）	gross	1	1
	net	3	2.75

表-10 余暇歩行における閾値別の WI のオッズ比
(上: 2016 年, 下: 2017 年, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$)

		WI (2016 年) のオッズ比 (95%信頼区間)		
歩行 活動量		第 2 四分位	第 3 四分位	第 4 四分位
		1.392	1.476	1.371
時間	gross	(0.8360-2.327)	(0.8864-2.471)	(0.8330-2.268)
	net	(0.6002-1.995)	(0.5573-1.874)	(0.5696-1.884)
頻度	gross	1.282	1.531	1.173
		(0.7606-2.171)	(0.9094-2.593)	(0.7018-1.971)
	net	1.167	1.242	0.930
		(0.6250-2.203)	(0.6646-2.349)	(0.4945-1.763)

		WI (2017 年) のオッズ比 (95%信頼区間)		
歩行 活動量		第 2 四分位	第 3 四分位	第 4 四分位
		1.488	1.696**	1.693*
時間	gross	(0.8895-2.501)	(1.027-2.819)	(0.9979-2.680)
	net	1.311	1.403	0.973
		(0.7273-2.388)	(0.7907-2.521)	(0.5443-1.757)
頻度	gross	1.456	1.662*	1.514
		(0.8616-2.474)	(0.9960-2.795)	(0.9167-2.523)
	net	1.251	1.815**	1.562
		(0.6944-2.275)	(1.035-3.235)	(0.8925-2.778)

表-11 余暇歩行時間に対するロジスティック回帰分析結果
(2017 年, gross データ, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$)

説明変数		オッズ比 (95%信頼区間)
定数項		0.2261** (0.06719-0.6861)
年齢		1.243** (1.073-1.443)
性別	女性 (男性基準)	0.6330** (0.4149-0.9623)
婚姻状況	未婚 (既婚基準)	0.9000 (0.5864-1.378)
	まあ良い	0.6992 (0.4761-1.022)
健康状態	どちらともいえない	0.4119** (0.2104-0.7885)
(良い基準)	少し悪い	0.3876** (0.1910-0.7743)
	悪い	0.08842** (0.004533-0.5580)
教育年数	12年以上 (12年未満基準)	1.105 (0.7440-1.649)
	非正規	0.9889 (0.5804-1.677)
職業	主婦・主夫	2.150** (1.205-3.857)
(正規社員基準)	学生	0.3624 (0.01821-2.430)
	無職	2.538** (1.501-4.332)
	その他	4.707 (0.6441-95.51)
BMI		1.008 (0.9771-1.04)
WI	第2四分位	1.488 (0.8895-2.501)
(第1四分位基準)	第3四分位	1.696** (1.027-2.819)
	第4四分位	1.629* (0.9979-2.680)

5. 考察

5-1. 歩行空間整備による Walkability Index の変化

図-5 (c)で示した草津川跡地周辺の WI の増加の要因について、2016 年、2017 年の標準化後の地理的環境変数の変化 (図-6) に着目して考察する。まず土地利用混合度は、整備後に特に草津川跡地に近接する南東、北東部の居住地において顕著に増加した (図-6(a))。これは草津川跡地公園内に道ができたことで、草津川跡地の北側に位置する駅周辺の商業区域まで到達圏が拡大し、それにより当該居住地周辺の土地利用の多様性が増加したためだと考えられる (図-1)。また土地利用混合度が減少したエリアが広く存在するのは、上記の値の増加により標準化の分布が変化し、値が変化しなかった居住地の z スコアが相対的に減少したためと判断できる。

次に世帯密度に関しては、土地利用混合度と同様、整備

によって特に草津川跡地に近接する南東部の居住地において値が顕著に増加した (図-6(b))。ただし土地利用混合度とは異なり、対象地域全体で世帯密度の減少がほとんど見られなかった。具体的には、標準化前の値の変化として、896 世帯中 527 世帯で居住地周辺の世帯密度が増加していた。これらの点について、草津川跡地公園を境にして町丁目の世帯密度が異なることが要因と考えられる (図-3)。すなわち、草津川跡地の南東部の多くの居住地では、駅周辺の世帯密度の高い町丁目まで到達圏が拡大したことで、世帯密度が増加傾向を示したものと考えられる。一方、草津川跡地中央に近接する北部の複数の居住地で世帯密度が低下したのは、草津川跡地の南側の世帯密度の低い町丁目まで到達圏が広がったためであると考えられる。

最後に交差点密度については、他の 2 つの変数とは異なり、整備後に草津川跡地周辺で減少、草津川跡地から遠ざかるにつれて増加するという傾向を示した (図-6(c))。2 時期の違いは草津川跡地公園内に道ができた点のみであることから、これによって交差点密度が減少した、すなわち草津川跡地公園内部の道路延長に対して交差点数が少ない状況になったと判断できる。この傾向は、草津川跡地に近いほど草津川跡地内部のネットワークを含み、遠ざかるにつれてそれを含まなくなることからも説明しうる。

さらに草津川跡地公園から離れた場所において交差点密度が上昇した点について、土地利用混合度と同様、標準化の分布が変化し、値が変化しなかった居住地の z スコアが相対的に増加したためと考えられる。もともと交差点密度が移動のスムーズさを表すことを踏まえれば、内部が自由に通行可能な歩行者・自転車道である草津川跡地公園においてその値が他の場所より小さくなるのは不適切だと考えられる。したがって、本研究で行なった公園内部の道路ネットワークの作成 (入口と出口とを結んだ線を道路中心線のデータに追加し、さらに道が交わる箇所を交差点としてデータを整備。図4 参照) に改善の余地があることが考えられる。

以上より、歩行空間整備後に交差点密度が減少した一方、到達圏の増加による土地利用混合度と世帯密度の上昇がそれを上回ったため、特に草津川跡地周辺の複数の居住地において WI が向上したと判断できる。つまり、2 時期のデータに大きな変化がなくとも、歩行空間整備による到達圏の増加により、WI の変化を表現しうることが示された。

5-2. 歩行活動量の設定と分析枠組み

ロジスティック回帰分析における歩行活動量の二値化の閾値に関して、歩行活動の目的ごとに考察する。日常歩行では歩行時間を net の設定、すなわち歩いている人の中央値で区分する方法が 2 時期ともに最も説明力を有していた (表-7)。「時間と頻度」の比較に関して、日常歩行では毎日の買い物に代表される日々のルーチン化された行動が想定される。そのため、仮に Walkability の向上による影響を受けたとしても、歩行頻度ではなく、1 回の外出の歩行時

間が増えるような差が生じることが期待される。したがって時間を用いる方が適切な結果が得られたと考えられる。

さらに時間に対する「net と gross」の比較に関して、具体の閾値に着目すると（表-5）、gross では90分であった中央値が net では120分となっている。これは歩行の有無を判断する閾値をより高くするほうが好ましいことを意味する。またこれらを1日あたりの歩行時間に換算すると、gross で約13分、net で約17分となる。1日あたり約4分、距離に換算して約300mの違いであることが見て取れる。

他方、余暇歩行においては、2時期ともに説明力を有するパターンを明確化できなかったものの、歩行時間を gross の設定、すなわち歩行しない人も含む中央値で区分する方法が一部で説明力を有していた。日常歩行と異なった理由として、余暇歩行が生活するうえで必要不可欠なものではないため、歩行をする人としなない人に分けて考える、すなわち歩行量の閾値を低く設定することが重要であることが考えられる。この違いについては、既往研究²⁾で指摘されている歩行に対する選好の度合いが異なることによって生じているとも考えられる。

また余暇歩行において WI 第3四分位のオッズ比が WI 第4四分位のオッズ比よりやや大きかった（表-10）点について、WI の非常に高い地域においては余暇歩行が抑制される方向に働く可能性が示唆される。例えば頻度について、第3四分位のオッズ比のみが有意な結果となったことから同様に、WI の高さが必ずしも歩行活動量と一律に正の関係を有していない可能性が考えられる。

6. まとめ

本研究では、GIS を用いて算出される居住地の Walkability Index (WI) と、アンケート調査によって得られる居住者の目的別の歩行活動量・個人属性とを用いて、歩行空間整備前後に直接的に変化する道路ネットワークに着目して WI と歩行活動量を分析し、整備によって変化する WI の構成と、2時期の歩行活動の分析に適切な枠組みを明らかにした。得られた成果は以下の通りである。

- 歩行空間整備により道路ネットワークが変化したこと、交差点密度が減少した一方、到達圏の増加による土地利用混合度と世帯密度の上昇がそれを上回っていた。総じて、2時期のデータに大きな変化がなくとも、歩行空間整備による直接的な道路ネットワークの変化の影響により居住地からの到達圏が増加することで、WI の変化を表現しうることが示された。
- 目的別の歩行活動量に対して WI が説明力を有する分析のパターンが存在し、特に日常歩行では2時期ともに同じパターンで有意な結果が得られた。日常歩行では WI の増加に伴って歩行活動量のオッズ比が高くなる一方、余暇歩行では WI がある一定の値を超える、すなわち WI の高い都市化した地域において抑制される方向に働く可能性が示唆された。
- ロジスティック回帰分析を用いた分析の枠組みとして、

日常歩行では歩いている人のみを対象に閾値を設定（net の設定）して歩行時間を取り扱い、余暇歩行においては歩いていない人も含めて閾値を設定（gross の設定）で歩行時間を取り扱うことが適切と判断された。

引き続き、草津川跡地公園内部のネットワークを適切に表現しうる方法や、余暇歩行の分析枠組みのさらなる検証を今後の課題としたい。

謝辞

2017年10月のアンケート調査にご協力いただきました滋賀県草津市、滋賀県栗東市の皆様に厚く御礼申し上げます。またこの研究の一部は公益財団法人京都大学教育研究振興財団の助成により実施されたものです。

補注

- (1) 1階部分に店舗を有する集合住宅については、住宅と店舗の両方に分類した。
- (2) 図示した世帯密度は、町丁目の世帯数をその町丁目の区域面積で除したものであり、式(5)の算出式とは異なる。
- (3) 椎野ら⁷⁾によれば、高齢者の余暇歩行を縮小・消滅させないためには自宅から半径1km徒歩圏内の整備が重要とされている。
- (4) 図-2の通り、公園整備によって公園内に商業施設、公共施設が新設されたが、本研究では特に道路ネットワークの変化がもたらす影響に着目して2時期の土地利用（建物用途）を同じデータとしていることから、公園内の店舗については除外した。
- (5) 整備によって上位四分位へと変化した34居住地のうち、16居住地（47%）が草津川跡地公園から200m圏内（800m圏内に対して16分の1の面積）に存在していた。
- (6) 草津川跡地公園から200m圏内に存在する255居住地のうち、202居住地（79%）で整備後に交差点密度のzスコアが減少した。

参考文献

- (1) 厚生労働省、身体活動・運動、https://www.mhlw.go.jp/www1/topics/kenko21_11/b2.html、アクセス日：2019年4月16日。
- (2) 姜気賢、末吉祐樹、藤本慧悟、有馬隆文（2012）、「アンケート調査からみた「walkable neighborhood」に関する当事者意識」、都市・建築学研究 九州大学大学院人間環境学研究院紀要、No.22、pp.129-135。
- (3) Frank, L.D., Schmid, T.L., Sallis, J.F., Chapman, J., & Saelens, B.E. (2005): Linking objectively measured physical activity with objectively measured urban form: findings from SMARTAQ, *American Journal of Preventive Medicine*, Vol.28, pp.117-125。
- (4) Owen, N., Cerin, E., Leslie, E., duToit, L., Coffee, N., Frank, L.D., Bauman, A.E., Hugo, G., Saelens, B.E., & Sallis JF. (2007): Neighborhood Walkability and the Walking Behavior of Australian Adults, *American Journal of Preventive Medicine*, No. 33, pp.387-395。
- (5) 加登遼、神吉紀世子（2017）、「居住エリアのウォークアビリティに立脚した地域評価に関する指標の開発と検証-北大阪都市計画区域の茨木市におけるスマートシュリンキングに向けて-」、都市計画論文集、Vol.52-3、pp.1006-1013、日本都市計画学会。
- (6) 草津市、草津川跡地基本計画を策定しました、<https://www.city.kusatsu.shiga.jp/shisei/seisaku/shikeikaku/sangyotoshisuido/riyokiho/nkeikaku.html>、アクセス日：2019年4月16日。
- (7) 椎野亜紀夫、中村攻、木下勇、齋藤雪彦（2000）、「高齢期における余暇外出行動の空間特性に関する研究」、都市計画論文集、Vol.35、pp.829-834、日本都市計画学会。