

居住地周辺の歩行活動と街路構造の関連分析： Space syntax理論とWalkability Indexに着目して

東川 晃久¹・山田 真実²・木村 優介³

¹学生会員 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 修士課程
(〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C1, E-mail: higashikawa.akihiisa.34x@st.kyoto-u.ac.jp)

²非会員 西日本旅客鉄道株式会社

³正会員 博士(工学) 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 助教
(〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C1, E-mail: kimura.yusuke.8m@kyoto-u.ac.jp)

本研究では、Space Syntax理論に基づくIntegration値と、Walkability Index (WI) およびその構成要素の環境変数との関係性を明らかにし、歩行活動量に対するSpace Syntax理論の適用可能性を検証することを目的とする。居住地周辺の複数の圏域に対するIntegration値とWI、WIの構成要素との比較により、GlobalなIntegration値がWIと高い相関を有し、特にWIや「交差点密度+土地利用混合度」が代替指標となりうることを示した。またアンケート調査に基づく歩行活動量データとIntegration値による指標とを用いたロジスティック回帰分析により、居住地から身近な範囲のIntegration値による指標が向上するにつれて歩行活動の傾向が強まる結果が得られ、当指標が歩行活動を促進する環境変数として適用可能であることを示した。

キーワード: スペースシンタクス理論, ウォーカビリティ, 歩行活動量, ロジスティック回帰分析

1. はじめに

(1) 研究の背景と目的

近年の都市政策で重要な都市内の歩きやすさに関して、地域の歩行活動量のポテンシャルを定量的に表すWalkability Index (以下WI) が特に欧米で着目されている。WIでは土地利用の多様性や人口密度などの環境変数が構成要素となるが、各街路の使われやすさといった空間構造に起因する要素との対応関係は明確ではない。他方、Space Syntax理論 (以下SS理論) におけるIntegration値は、街路が使われるポテンシャルを表すことが知られている。Integration値は街路平面図から算出され、データ取得の容易性からWI、あるいはその環境変数の代替指標となることが期待できる。さらに、これらの指標の関係性を明らかにすることは、WIの新たな環境変数の開発や理論的考察にも重要である。

そこで本研究では、SS理論に基づく街路ネットワーク分析の指標と、WIおよびその構成要素である環境変数との関係性を明らかにし、歩行活動量に対するSS理論の適用可能性を検証することを目的とする。具体的には、3章において、各調査対象地点を中心とした複数の圏域に対するIntegration値の指標とWI、WIの構成要素とを比較し、Integration値による指標とWIとの具体的な関連を示す。さ

らに4章において、実際の歩行活動量データと個人属性、WIの構成要素、Integration値を用いたロジスティック回帰分析を行い、歩行活動量に關係するIntegration値の指標について考察する。

(2) 研究の位置づけ

本研究に関連する既往研究として、まずはSS理論による街路ネットワーク構造と歩行者交通量の関係に関するものがある。例えば、SS理論に基づく指標と道路の歩行者交通量に関して、Hillier¹⁾や荒尾ら²⁾はSS理論におけるIntegration値が歩行者交通量と高い相関を有することを示している。

このような街路の交通量ではなく、ある地域の居住者の歩行活動量やWalkabilityについて、SS理論に基づく指標との関連をみた研究としては、地域のIntegration値の平均値と総人口密度の和からなるSpace Syntax Walkability (SSW) という指標を考案したKoohsariら³⁾による研究があげられる。この研究において、Integration値とWI、Integration値とWIの構成要素との相関係数は算出されていたものの、その具体的な関係性については言及されていない。

また歩行活動量と環境要因との関連について、井上ら⁴⁾は歩きやすさに関連する歩行活動量を目的別で考える必要があるとしている。このように目的別に歩行活動

を扱っている研究のうち、SS理論を用いたものとして、Baranら⁵⁾の研究が挙げられる。居住地から直近のAxial LineにおけるIntegration値やControlなどの指標を用いて、それらが目的別の歩行活動回数に影響することを明らかにしている。本研究では、居住地直近だけでなく居住地周辺の複数の圏域設定を行うことで、SS理論で表される指標と環境要因、目的別歩行活動量の関係をより詳細に分析している点に特徴がある。

(3) 研究対象地

調査対象は滋賀県草津市の草津川跡地公園（区間 5）の周辺地域である。新放水路の供用により 2002 年に廃川となった旧草津川について、中心市街地に位置する一部区間（区間 5、延長約 900m）が公園として再整備された。この公園から 800 m 圏内（徒歩 10 分圏内）を対象地とした。歩行活動量などのデータは、対象地内で無作為抽出した 1,100 世帯へのアンケート調査により収集した。

2. Space Syntax理論およびWalkability Indexによる分析

(1) Space Syntax理論

Space Syntax理論（SS理論）は、ロンドン大学のBill Hillierらにより 1984 年に提唱された空間分析手法である¹⁾。グラフ理論によって個々の空間の特性を互いの関係性やつながり方から定量的に分析できる特徴があり、建築の内部空間や都市の街路ネットワークなど様々な空間を対象としている。

街路ネットワークを分析する場合においては、「視線の通る直線空間」であるAxial Spaceとして街路を分けて捉える分析（Axial Analysis）が用いられ、本研究でもその手法を用いている。Axial Analysisでは、まず都市の街路空間を「最小本数の視線の通る直線空間の軸線（Axial Line）」に置き換える（図-1 (a), (b)）。そのAxial Lineにより構成される地図がAxial Mapであり、Axial Mapにおける各空間（軸線）を頂点、軸線の交差を辺とする連結グラフとみなして解析することで指標を算出する。

図-1 (c)のように、あるAxial Lineに着目した際、他のAxial Lineへの位相距離を深さ（Depth）と定義する。あるAxial LineのIntegration値の算出にあたっては、他のAxial Lineに対する深さを平均化したMean Depth: MDからRelative Asymmetry: RAを求める（式(1), (2), (3)）。

$$TD = \sum_i i \times a_i \quad (1)$$

ただし、 i : ある Axial Line からの Depth

a_i : 深さ i の Axial Line の本数

$$MD = \frac{TD}{\kappa - 1} \quad (2)$$

$$RA = \frac{2(MD - 1)}{\kappa - 2} \quad (3)$$

ただし、 κ : Axial Line の総数

さらに、分析範囲の規模に依存しないよう相対化した Real Relative Asymmetry: RRA の逆数を取り、周辺からの近接性・分析範囲の中心性を表す Integration 値が導かれる（式(4), (5), (6)）。

$$RRA = \frac{RA}{D\kappa} \quad (4)$$

$$D\kappa = \frac{2\{\kappa(\log_2 \frac{\kappa + 2}{3} - 1) + 1\}}{(\kappa - 1)(\kappa - 2)} \quad (5)$$

$$Integration Value = \frac{1}{RRA} \quad (6)$$

Integration値を算出する上で、一般的にあるAxial LineからDepth=3 までのAxial Lineに分析範囲を制限して算出したものをLocalなIntegration値、Depthによる分析範囲の制限なしに算出したものをGlobalなIntegration値と表現する。Localな値は歩行者交通量と、Globalな値は自動車交通量と関連があることが知られている¹⁾。対象地周辺のAxial Map上にIntegration値を示したものは図-2 となる。

(2) Walkability Index

a) Walkabilityの概念とその分析

Walkability Index (WI)とは、あるエリアの歩きやすさ（Walkability）を表す指標であり、欧米において肥満問題の解決などの健康促進の観点から研究が進められている⁶⁾。今日では歩行者の賑わいがもたらす経済効果や高齢化による社会構造の変化を背景に、「歩行活動を促進す

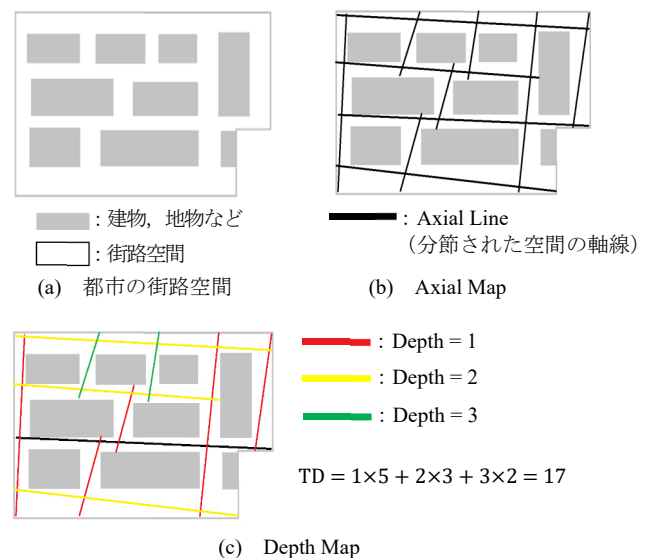


図-1 Axial AnalysisにおけるAxial LineとDepthの概念

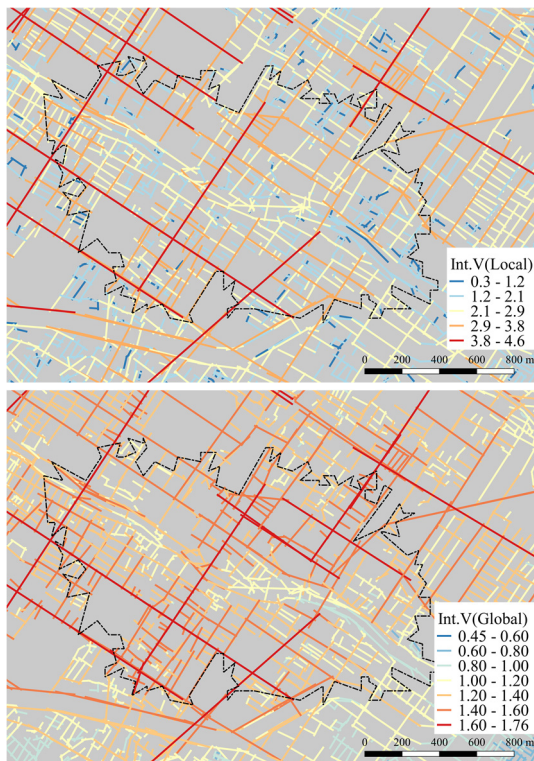


図-2 Integration値で階級分けした対象地周辺のAxial map
上：Integration値(Local)，下：Integration値(Global)，
1点破線は公園から800mネットワークバッファを示す

る歩きやすい環境」は都市計画においても重要な観点となっている。そのため、歩きやすさという主観的な対象を物理的環境要素に基づき客観的にかつ定量的に評価するWIの考え方も重要なものである。

歩行活動を促進する歩きやすい環境を端的に表す概念として、Walkabilityの3D⁷⁾がある。3Dとは、土地利用の多様性 (diversity)、歩行者にやさしいデザイン (design)、人口密度 (density) の3要素を表す。土地利用の多様性は歩行圏内に多数の目的地が存在することが歩行につながることで、歩行者にやさしいデザインは歩道や街灯の整備された接続性のよい道路環境が歩行者の安全性と快適性を保つこと、人口密度は都市の活気や都市整備を担保し、前述の2つの要素の基となることから要素として考えられている。これらに対応する具体的な環境変数の算出方法が研究されており、変数の最適な組み合わせによって歩行活動をより精緻に推定する指標が作成されうる。

b) Walkability Indexの構成要素

WIについては種々の算出式が開発されているが、本研究ではFrankら⁹⁾により提示された式(7)を用い、ある対象エリア内の土地利用混合度、世帯密度、交差点密度を構成要素としてWIを算出した。各構成要素の値を対象エリアごとに算出した後、構成要素ごとに全エリアの値を標準化 (zスコア化) し、各エリアのWIを求めた。

$$WI_k = z-LUM_k + z-RD_k + z-ID_k \quad (7)$$

ただし、 WI_k ：対象エリア k 内の walkability index

LUM_k ：対象エリア k 内の土地利用多様性

RD_k ：対象エリア k 内の世帯密度

ID_k ：対象エリア k 内の交差点密度

$z-$ ：複数エリアの平均と分散による標準化

土地利用混合度 (Landusemix:LUM) は、あるエリアの土地利用の多様性を表す値である。LUMが大きい場合、目的地となりうる場所がエリア内に多数存在することを意味する。既往研究をもとに、以下の式を採用した。

$$LUM_k = - \sum_{i=1}^n (p_{k,i} \ln p_{k,i}) / \ln n \quad (8)$$

$$p_{k,i} = \frac{TA_{k,i}}{TA_{k,all}} \quad (9)$$

ただし、 $TA_{k,i}$ ：対象エリア k 内の土地利用 i の面積 (m²)

$TA_{k,all}$ ：対象エリア k 内の全土地利用面積(m²)

i ：土地利用の各分類

n ：土地利用の分類数

仮にエリア内の全ての土地利用が同じ面積となる場合、LUMの値は1で最大となり、単一の土地利用のみの場合、その値は0で最小となる。土地利用の分類について、本研究では表-1に示す6分類を用いた。

表-1 土地利用分類の詳細

分類 i	土地利用
1. 戸建住宅	
2. 集合住宅	マンション、アパート、長屋
3. 店舗(モノ)	スーパーマーケット、精肉店、洋服店、薬局等
4. 店舗(サービス)	大型商業施設、レストラン、郵便局、銀行、病院等
5. オフィス	事務所、作業所等
6. 公共施設	教育施設、保育施設、集会所、公民館等
その他	空き家、倉庫、寺社仏閣

世帯密度 (Residential Density: RD) は、あるエリアの単位住宅面積あたりの世帯数を表す (式(10))。世帯数について、対象とするエリアがデータの集計単位の一部を含む場合には、その部分の面積とデータの集計単位の面積との比率を用いて、包含する部分に含まれる換算世帯数を算出した。また住宅面積には前述の土地利用の戸建住宅と集合住宅との面積の和を使用した。

$$RD_k = \frac{NH_k}{TRA_k} \quad (10)$$

ただし、 NH_k ：対象エリア k 内の総世帯数

TRA_k ：対象エリア k 内の総住宅面積 (m²)

交差点密度 (Intersection Density: ID) は、単位道路延長あたりの交差点数で表現され、あるエリアの道路の接続性

を表す (式(11)). 交差点密度が大きいエリアは, 道路が密に接続し, 地点間を短時間で移動することができる.

$$ID_k = \frac{NI_k}{TRL_k} \quad (11)$$

ただし, NI_k : 対象エリア k 内の総交差点数

TRL_k : 対象エリア k 内の道路総延長 (m)

c) 使用データ

各構成要素の算出にあたっては, 草津市・栗東市のゼンリン住宅地図, 国勢調査, 国土地理院ベクトルタイル (道路中心線) を使用した. これらのデータと, 歩行活動量の把握のためにアンケート調査を実施した世帯 (対象地点) をArcGIS上に整理し, 各対象地点から 800m (徒歩 10 分) のネットワークバッファをその対象地点のエリアと定めてWIを算出した.

3. Integration ValueとWIの関連分析

(1) 分析手法

本章ではWIとIntegration値, およびWIの構成要素とIntegration値との関わりを分析する. 分析にあたっては, 2つの指標の分析単位を考慮する必要がある. 前述の通り, WIは各対象地点を中心とした 800 mのネットワークバッファ内で算出されるが, Integration値は各Axial Line, つまりは街路という線的空間に与えられる. WIという面的空間に対する指標と比較する上で, あるエリアに存在するAxial LineのIntegration値の平均値を指標とする既往研究³⁾の手法を参考とし, 居住地である対象地点周辺の面的空間で比較を行うこととした. このことにより, 町丁目単位の分析よりも精度を向上させることが可能となる.

各対象地点に対するIntegration値による指標として, 各対象地点からのユークリッドバッファの範囲に重なるAxial Lineを抽出し, それらのIntegration値の平均値を算出した. その際, ユークリッド距離として 200 m, 400 m, 800mを設定した. さらに, 各対象地点の直近のAxial LineのIntegration値も指標として用意し, GlobalとLocalについて, 圏域ごとに2パターン, 合計8パターンを設定した (図-3). これらの距離の設定について, 対象地点から 200 mのバッファ範囲は, 同一方向の幹線道路を含まないような街区とその周辺の街区程度の範囲を表し, 400 mと 800 mのバッファ範囲はそれぞれ対象地点から徒歩5分圏と10分圏における歩行環境を表す. また直近のAxial Lineは各調査地点 (居住地) に面する街路の特徴を表す.

以下では, Integration値に関する圏域ごとの指標と, WIとその構成要素との関連分析により, 指標の関連を圏域に着目して分析するとともに, 散布図から関連に依らない関係性を明らかにする.

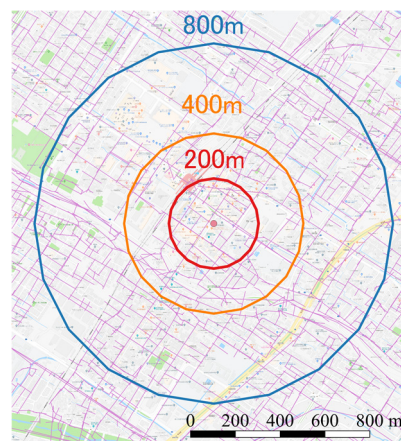


図-3 対象地点のIntegration値の圏域設定 (Google mapに加筆)

(2) 結果と考察

a) 相関関係

対象地点からの各圏域 (直近, 200mバッファ, 400mバッファ, 800mバッファ) のIntegration値 (GlobalまたはLocal) の指標と, 対象地点に対するWIとWIの構成要素との相関分析結果を表-2に示す.

LocalなIntegration値の分析結果において, 直近のAxial LineのIntegration値に対してはWIも世帯密度も高い相関係数を持つことはなく無相関という結果が得られた. 200mバッファの値に対しては, 土地利用混合度とは無相関であったが, 世帯密度, 交差点密度とは弱い相関を示し, WIとは中程度の相関が見受けられた. また世帯密度において 800 mの方がより高い相関を示す点を除き, 400 mバッファと 800 mバッファの相関は同程度となり, いずれも土地利用混合度とは弱い相関を示し, 交差点密度およびWIとは中程度の相関が見受けられた.

GlobalなIntegration値の分析結果において, Localの結果とは異なり, 直近のIntegration値に対して世帯密度と交差点密度は無相関であったものの, WIおよび土地利用混合度とは弱い相関があるという結果が得られた. 200mバッファの値に対しても, 世帯密度は弱い相関のままであるが, 交差点密度とWIに加えて, Localでは無相関であった土地利用混合度で中程度の相関が見受けられた. また 400 mバッファと 800 mバッファについては, Localの結果と同様に両者の相関は同程度となった. 具体的には, 交差点密度に対する相関係数はGlobalの場合の方が低い値となったが, 土地利用混合度およびWIに対する相関係数はGlobalの方が高い値となった.

これらの相関分析の結果から, LocalとGlobalのいずれの場合も, 交差点密度や世帯密度については相関の度合いがバッファの取り方によって変わっていたが, WIや土地利用混合度に対しては, Globalな分析におけるIntegration値の方がより相関が高いことが示された. このことから, GlobalなIntegration値の分析結果の方がWIの代替指標となりうると考えられる.

表-2 圏域別のIntegration値の指標とWI・その構成要素との相関係数（直近： $p < 0.1$ ，固定バッファ： $p < 0.001$ ）

	直近		200 m 平均値		400 m 平均値		800 m 平均値	
	Local	Gloabl	Local	Global	Local	Global	Local	Global
土地利用混合度	0.0616	0.266	0.180	0.402	0.381	0.490	0.321	0.499
世帯密度	0.0767	0.127	0.266	0.236	0.389	0.325	0.479	0.530
交差点密度	0.0360	0.180	0.390	0.445	0.491	0.455	0.513	0.474
WI	0.0880	0.289	0.422	0.546	0.636	0.641	0.662	0.759

b) 散布図の分布にみる関連性

まず世帯密度に関して，GlobalなIntegration値の指標との散布図を図-4に示す．400 mや800 mの結果を見ると，Integration値の平均値が小さい場合はまとまって分布しているのに対し，大きい場合は広がって分布している．この理由として，Integration値が周辺からの近接性・分析範囲の中心性を表すことから，中心性をそれほど有していない奥まった場所にはマンションなどの集合住宅が存在せず世帯密度が低くなり，中心性をある程度有している場所では集合住宅の立地の偏りにより世帯密度の分散が大きくなることが考えられる．

次に交差点密度に関して，GlobalなIntegration値の指標との散布図を図-5に示す．直近の結果では全体的に分散が大きい分布となっているが，圏域が大きくなるにつれて，Integration値の平均値（横軸）の小さい領域の分散が小さくなる傾向が見受けられる．これは交差点密度が高ければIntegration値の平均値が自ずと高くなることから，Integration値の平均値が低く交差点密度が高い領域に対象が存在しないと考えられるからである．一方で400 mや800 mの結果を見ると，高い交差点密度にIntegration値の平均値が対応できておらず，Integration値の平均値の高い領域では分散が大きくなっており，相関していると一概には言えないことが見て取れる．

さらに土地利用混合度に関して，GlobalなIntegration値の指標との散布図を図-6に示す．図の200 m以上の結果を見ると，Integration値の平均値が1.2までの領域では分布が線形で，1.2以上の高い領域では土地利用混合度の分散が大きくなる形状であり，特に400 mの結果で顕著な傾向が見られる．そこで400 mの結果において図示した(a),(b),(c)の領域の対象地点について詳細な立地を確認した．その結果，傾向として以下のような特徴が見受けられた．

- (a) 駅から遠い河川沿線周辺の対象地点
- (b) 駅から近い中心市街地の周辺の対象地点
- (c) 旧草津街道など大通り（Axial Lineが長く通る道）周辺の住宅地の対象地点

(b)や(c)の特徴から，Integration値が高くとも必ずしも商業施設や公共施設が立地するわけではないこと，商業施設や公共施設が増加すれば土地利用混合度が増加するという単純な関係ではないことが判断でき，分布の視覚的形狀同様に相関関係を議論することが難しいと考えられる．

以上の各構成要素を合算したWIに関して，GlobalなIntegration値とLocalなIntegration値の200 m以上の指標との散布図を図-7に示す．Integration値の平均値が高い領域において，WIの分散が各構成要素のそれと比べて小さくなっているため，データ分布が直線系に近づいており，相関を有していると考えられる．

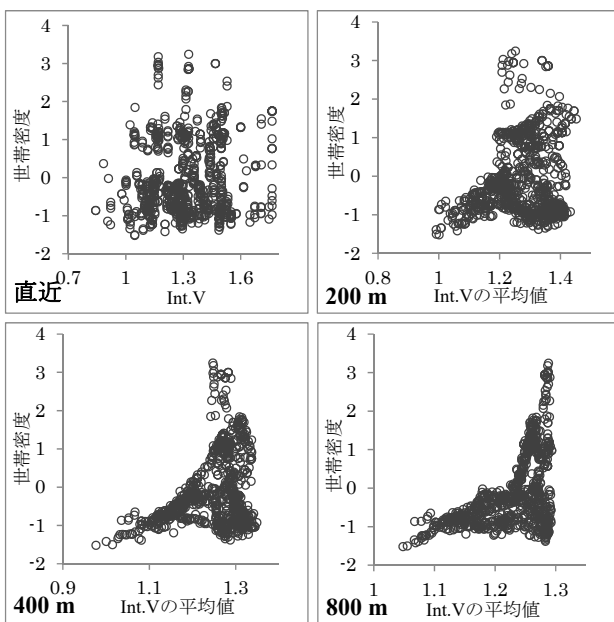


図-4 各圏域のGlobalなIntegration値の平均値と世帯密度の分布

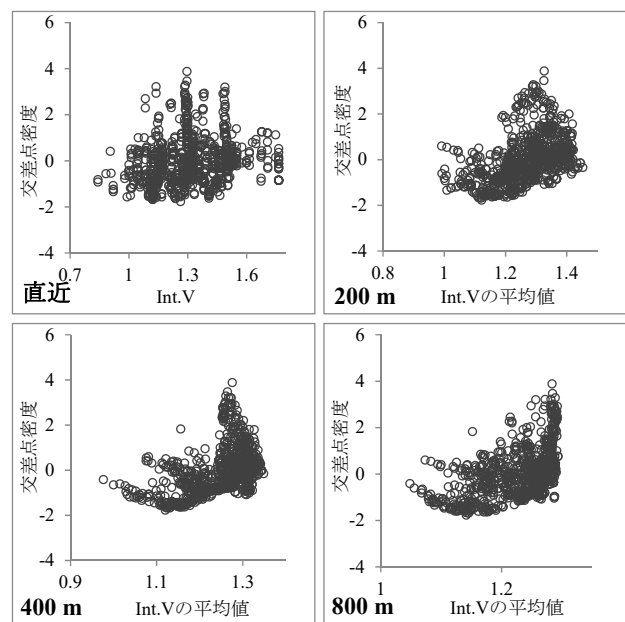


図-5 各圏域のGlobalなIntegration値の平均値と交差点密度の分布

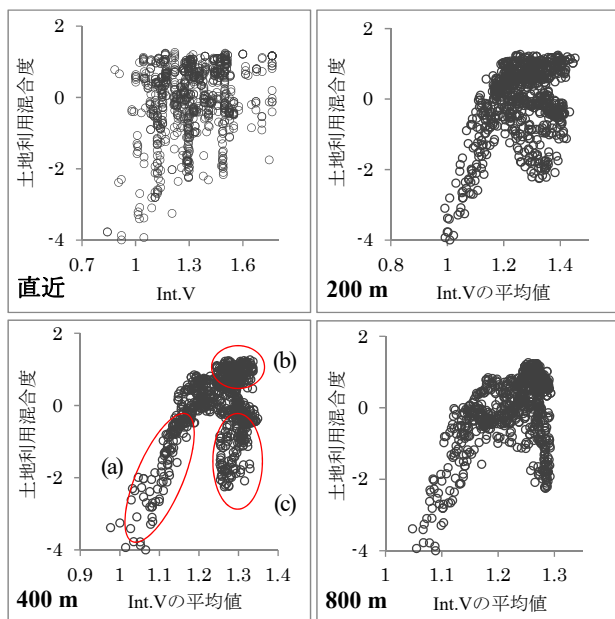


図-6 各圏域のGlobalなIntegration値の平均値と土地利用混合度の分布

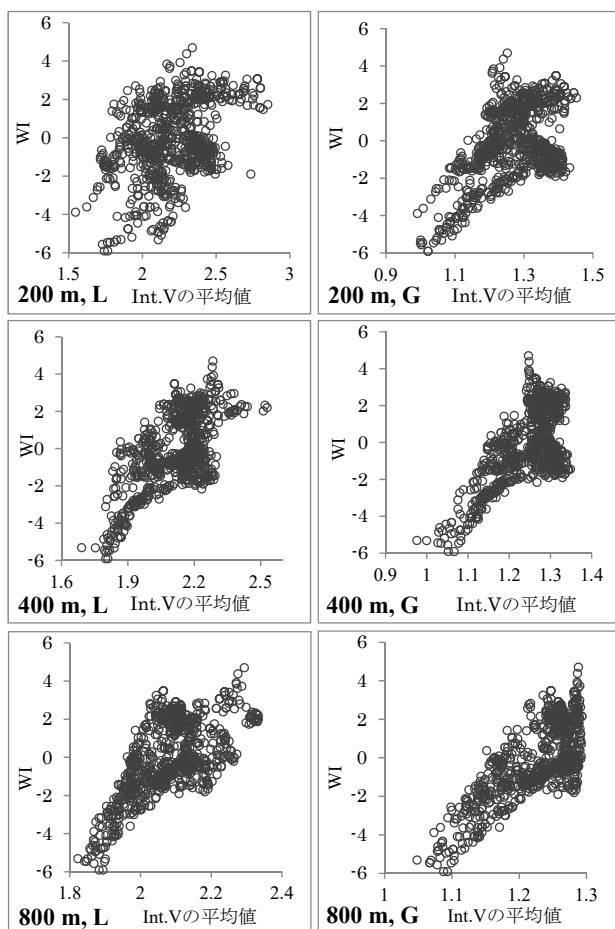


図-7 各圏域のIntegration値の平均値とWIの分布 (左: Local, 右: Global)

同じく構成要素を合算するという観点から、交差点密度と土地利用混合度の和をIntegration値の平均値で代替しようと仮定した既往研究³⁾を参考に、200mから800mバッファのLocalおよびGlobalなIntegration値とそれとの関係を

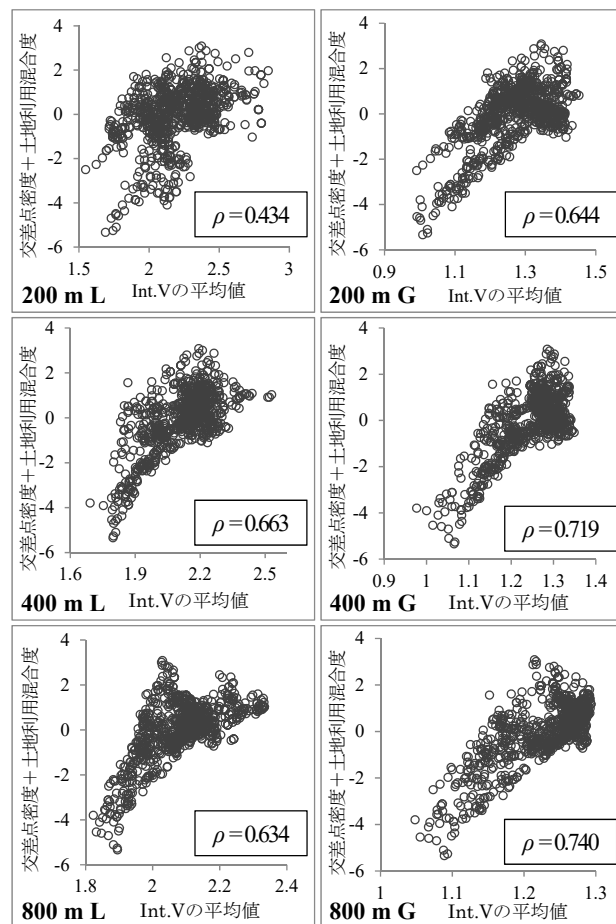


図-8 各圏域のIntegration値の平均値と「交差点密度と土地利用混合度の和」の分布 (左: Local, 右: Global)

図-8に示した. いずれのバッファ範囲においても合算する前より高い相関係数を示しており、データ分布もWIの場合より直線形に近づいている. またLocalとGlobalの比較という観点では、相関係数の大小に着目すると、交差点密度と土地利用混合度の和についてもGlobalなIntegration値の方が代替指標となりうると考えられる.

4. Integration Valueと歩行活動量の関連分析

(1) 分析手法と歩行活動データ

本章ではアンケートによる実際の歩行活動量とIntegration値の関係について、クラスター分析による対象者の分類を行ったのち、ロジスティック回帰分析を用いてIntegration値の算出方法について考察する. 本研究では、目的別の歩行時間として日常利用と余暇利用に着目した. 日常利用とは日々の買い物や飲食のための歩行活動、余暇利用とは散歩やランニングのための歩行活動である.

歩行活動量のデータについて、本研究では居住者に対するアンケート調査の結果を用いた. 対象地内に居住する世帯を無作為に1,100世帯抽出した上で、1世帯あたり調査票を2部配布し、郵送により回答を得た. 2017年10

月に実施し、有効回答は 664 件であった。なお本調査は草津川跡地整備前後の歩行活動量の変化の把握を目的として、2016 年と 2017 年の 2 時期の歩行活動量を調査しているが、本研究では 2017 年の歩行活動量のみを使用する。

(2) クラスター分析による対象者の分類

以降の解析の精度を高めるため、まずはアンケート結果のクラスター分析を行った。具体的には個人属性（性別、年齢（6 段階）、配偶者の有無、健康状態自己評価（5 段階）、学歴、雇用状況（5 分類）、自転車および車の使用状況（3 段階）、自宅周辺に対する歩きやすさの印象（5 段階）の 9 項目を用いて、クラスター分析の代表的な手法の一つである k-means 法を適用した。クラスター数を 3 とした結果、以下の分類が得られた。

- (a) 健康状態がよいとは思っていない 60 代以上の群
- (b) (a)を除く 60 代以上の専業主婦・主夫とパート社員、および全年齢の無職を含む群
- (c) 無職と正規社員以外を除く群

(a)と(b)に分類された群の活動量と、Integration 値による複数の指標の関係を散布図で確認すると、以下のような特徴が見受けられた。(a)は健康状態がよいとは思っていない高齢者のため、Integration 値による指標に関係なく歩行活動量が低い。(b)では時間余裕があると想定される無職の方や高齢者であるため、歩行環境の指標に関わらず活動量の分散が大きく、むしろ個人の選好に依ることが推測された。以降の分析ではクラスター(c)を対象とする。

(3) ロジスティック回帰分析

a) 歩行活動量（目的変数）の 2 値化

ロジスティック回帰分析は、被説明変数が 2 値の質的変数の場合に用いられる分析手法である。本研究では、ある閾値となる時間以上の歩行活動をするか否かによって、「歩く」を 1、「歩かない」を 0 で表し、それらの発生確率を予測するモデルを構築する。このことにより、特定の個人属性をもち、ある環境に居住する人について、説明変数を与えることで「歩く」か「歩かない」かの傾向を推測することが可能となる。ここでの傾向とは一般的に発生確率が 0.5 以上で発生する (=1)、発生確率が 0.5 未満で発生しない (=0) と判断される。

具体的なモデルは下記の式で表され、式中の歩行活動量のオッズが 1 より大きいと、発生確率が 0.5 より大きく、「歩く」傾向にあると判断する。閾値として、クラスターごとに歩行している人の歩行時間の中央値を用いた。

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \cdots + b_nx_n \quad (12)$$

ただし、 p ：歩行量が閾値以上である確率

$p/(1-p)$ ：歩行活動量のオッズ

b_i ：説明変数 i に対する偏回帰係数

x_i ：説明変数（個人属性、Integration 値等）

b) 説明変数の選択

歩行活動量に影響する説明変数を特定するために、統計ソフトウェアの R を用いて、ロジスティック回帰分析に用いる変数をステップワイズ法により選択した。ステップワイズ法とは、AIC（赤池情報量規準、観測データがモデルにどの程度一致するかを表す指標）が最小となるよう変数を増減させる変数選択法である。

本研究において用いる変数として、個人属性（性別、年齢（6 段階）、配偶者の有無、健康状態自己評価（5 段階）、学歴（3 分類）、雇用状況（6 分類）、自転車および車の使用状況（3 段階）、WI の 3 つの構成要素、対象地点からの各圏域の Integration 値に関する指標がある。アンケート結果における性別などのカテゴリデータについては、「男性：1」、「女性：0」というダミー変数とすることで、女性を基準とした男性の歩行活動量のオッズ比を分析することが可能となる。

Integration 値に関する指標としては、前述の平均値のほか、最大値と中央値についても歩行環境を表す可能性があるものと考え組み入れた。しかし以下のような指標間の相関は高いため、変数選択において多重共線性の影響を与える結果となる。

- ・ 同じ圏域に対する Local の指標と Global の指標
- ・ 同じ圏域に対する平均値と中央値
- ・ 直近と 200m、200m と 400m、400m と 800m という近接した圏域に関する指標の組み合わせ

多重共線性とは、互いに高い相関を持つ変数を共に説明変数とすることで生じる現象で、回帰モデルの推計に悪影響をもたらす。全ての変数を用いた場合に多重共線性が生じるため、分析では用いる変数の場合分けを行った。まず平均値を用いる場合と中央値を用いる場合を分け、それぞれに Local な指標と Global な指標を用いる場合を設定した。これらの 4 つの場合で分析を行い、未だ多重共線性が生じていると考えられる際には、最大値や近い範囲の組み合わせの一方を除くなどにより条件を追加した。

(4) 結果と考察

a) 総歩行時間

結果として、Integration 値による指標は選択されなかった。また WI の構成要素も選択されず、個人属性や自転車の使用状況のみが選択された。WI の構成要素を WI に置き換えて行った結果も同一のものとなり、総歩行時間に対しては環境に関する要素が説明変数として選択されなかった。理由としては、既往研究が示すように歩行時間を目的別に扱っていないことや、一般的に WI に関する研究においてロジスティック回帰分析に用いられる分位値を

採用せず、連続値を用いたことが考えられる。

b) 日常利用の歩行時間

説明変数の4つの場合分けの各結果を表-3に示す。これら全ての場合に共通して、200mバッファにおけるIntegration値による指標と世帯密度、年齢・性別及び自転車・車の日常的な使用が説明変数として選択されている。

環境に関する変数のオッズ比について着目すると、200mバッファにおけるIntegration値の平均値あるいは中央値が、日常利用の歩行時間と関係すると推測される。すなわち居住地周辺の徒歩5分、10分圏内(400m, 800mバッファ)よりも、より身近な圏域における街路の歩行環境が影響していると考えられる。また世帯密度のオッズ比が1を超えることについて、WIの構成要素であることや、街の活気や整備状況と世帯密度との感覚的な関連

表-3 日常利用目的のロジスティック回帰分析結果

(a) Localの平均値を入力した場合

選択された説明変数	OR	95%CI
定数項	0.0539*	0.00393-0.688
日常的な車の利用(非利用基準)	0.660†	0.410-1.06
日常的な自転車の利用(非利用基準)	2.13**	1.26-3.64
年齢	1.03**	1.01-1.05
男性(女性基準)	0.264***	0.154-0.444
正規社員(学生・主婦基準)	0.680	0.403-1.15
世帯密度	1.26*	1.00-1.59
Int.Vの平均値(200m圏内, Local)	2.89*	1.02-8.26

(b) Globalの平均値を入力した場合

選択された説明変数	OR	95%CI
定数項	0.00985**	0.00028-0.314
日常的な車の利用(非利用基準)	0.468*	0.247-0.874
日常的な自転車の利用(非利用基準)	2.97***	1.58-5.72
時々車を利用(非利用基準)	0.587	0.301-1.13
時々自転車を利用(非利用基準)	1.51	0.863-2.67
年齢	1.03**	1.01-1.05
男性(女性基準)	0.228***	0.139-0.365
世帯密度	1.26*	1.00-1.58
Int.Vの平均値(200m圏内, Global)	22.0*	1.64-318

(c) Localの中央値を入力した場合

選択された説明変数	OR	95%CI
定数項	0.0714*	0.00708-0.678
日常的な車の利用(非利用基準)	0.646†	0.403-1.03
日常的な自転車の利用(非利用基準)	2.19**	1.30-3.72
年齢	1.03**	1.01-1.05
男性(女性基準)	0.223***	0.138-0.357
世帯密度	1.25†	0.996-1.58
Int.Vの中央値(200m圏内, Local)	2.36†	0.950-5.95

(d) Globalの中央値を入力した場合

選択された説明変数	OR	95%CI
定数項	0.0324*	0.00079-0.542
日常的な車の利用(非利用基準)	0.656†	0.409-1.05
日常的な自転車の利用(非利用基準)	2.26**	1.34-3.85
年齢	1.02**	1.01-1.04
男性(女性基準)	0.221***	0.137-0.353
世帯密度	1.26*	1.01-1.58
Int.Vの中央値(200m圏内, Global)	12.2*	1.04-150

***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05, †p<0.1

からも妥当なものと考えられる。

続いて個人属性に着目すると、いずれも年齢で1以上のオッズ比、男性で1以下のオッズ比が得られた。女性の方が買い物などの用事を行うことが多いこと、歳を重ねるにつれて健康を意識して歩行することや、歩行速度の低下により時間を要することが一般的と考えられ、性別と年齢のオッズ比の大小は妥当である。車の使用状況に関しては、日常的な車の利用で1以下のオッズ比が得られ、一般に車の利用が増えれば歩行活動が低下すると考えられる点からも妥当である。対して、日常的な自転車の利用で1以上のオッズ比が得られており、自転車の利用と歩行活動が一体の行動であることが推測される。

c) 余暇利用の歩行時間

説明変数の場合分けのうち、Globalな指標を用いた結果について表-4(a)に示す。ここでは直近のIntegration値と400mバッファでのGlobalなIntegration値の最大値という2つの指標が選択されているが、それらの相関係数は0.398であり、仮に片方を意図的に除外した変数選択においてももう一方が残ったため、多重共線性について問題はないと判断できる。

Localな指標を用いた場合、日常利用と同様に200mバッファの指標が選択される結果が得られた(表-4(b))。表-4(a)と(b)の結果に関しては選択された変数に差異があるが、AICは表-4(a)の方が小さいため、Globalの指標を用いた結果を最適なモデルと考える。ただし、表-4(a)における直近のIntegration値と、表-4(b)における200mバッファの指標とがともに1以上のオッズ比であることから、日常利用の歩行時間と同様に身近な街路の歩行環境が歩行活動に正の影響を与えることが推測される。

表-4(a)の環境に関するその他の変数に着目すると、400mバッファ内のIntegration値の最大値が1以下のオッズ比となり、余暇の歩行活動を抑制する結果となっている。これに関して、GlobalなIntegration値が高いことは街の中心(本研究の範囲ではJR草津駅周辺)に近いことを意味し、そうした駅周辺のようににぎわいのある場所の近辺に居住する人は、交通量の多い環境によりランニング等の余暇活動を行いにくいことが推測できる。一方、GlobalなIntegration値が低い、街の中心からある程度離れた場所に居住する人は、街の中心を目的として散歩等をする際に、比較的長時間の歩行を行う余地があること、また街の中心より交通量の少ない環境にすることで、ランニング等の余暇の歩行が促進されることが考えられる。

他の変数について、就労者(正規社員、パート・アルバイト)のオッズ比が1以下となっている。学生や専業主婦などに比べて就業者は自由時間が少ないため、日常利用の歩行とは異なり、余暇利用の歩行については歩行活動が抑制されることが推測される。また余暇利用の歩行は必ずしも必要なものではないことから、日常利用で

は選択されなかった歩きにくいと感じているという要素も歩行活動の抑制に影響すると読み取ることができる。

表-4 余暇利用目的のロジスティック回帰分析結果

(a) Globalの指標を入力した場合

選択された説明変数	OR	95%CI
定数項	61.6	0.0894-48500
日常的な車の利用(非利用基準)	2.00*	1.09-3.75
時々車を利用(非利用基準)	2.09*	1.11-4.00
時々自転車を利用(非利用基準)	1.83**	1.18-2.86
自宅周辺をあまり歩きやすいと思わない(どちらとも思わない基準)	0.570	0.282-1.12
自宅周辺を歩きやすいと思わない(どちらとも思わない基準)	0.419	0.116-1.34
自己健康評価で調子がいい(どちらとも思わない・少し悪い基準)	1.51 †	0.965-2.38
正規社員(学生・主婦基準)	0.429*	0.214-0.842
パート・アルバイト(学生・主婦基準)	0.346**	0.156-0.755
年齢	1.03**	1.01-1.05
交差点密度	1.27 †	0.988-1.64
Int.Vの最大値(400 m 圏内, Global)	0.0104*	0.00017-0.578
Int.V(直近, Global)	4.62**	1.12-19.5

(b) Localの指標を入力した場合

選択された説明変数	OR	95%CI
定数項	0.0291**	0.00285-0.278
日常的な車の利用(非利用基準)	2.04*	1.11-3.82
時々車を利用(非利用基準)	2.13*	1.13-4.08
時々自転車を利用(非利用基準)	1.86**	1.20-2.89
自宅周辺をあまり歩きやすいと思わない(どちらとも思わない基準)	0.551 †	0.274-1.08
自宅周辺を歩きやすいと思わない(どちらとも思わない基準)	0.333 †	0.0932-1.04
自己健康評価で調子がいい(どちらとも思わない・少し悪い基準)	1.51 †	0.968-2.38
正規社員(学生・主婦基準)	0.485*	0.245-0.946
パート・アルバイト(学生・主婦基準)	0.374*	0.170-0.811
年齢	1.03**	1.01-1.05
土地利用混合度	0.810 †	0.641-1.02
Int.Vの中央値(200 m圏内, Local)	2.17 †	0.937-5.11

***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05, †p<0.1

5. 結論

本研究では、SS理論に基づく街路ネットワーク分析の指標と、WIおよびその構成要素である環境変数との関係性を明らかにし、歩行活動量に対するSS理論の適用可能性を検証した。得られた成果は以下の通りである。

Integration値とWIおよびその構成要素の関連について、歩行者に対する分析ではLocalなIntegration値が用いられがちだが、駅に代表される街の中心に近いほどWIが高い値をとるという特徴から、街の中心性を表すGlobalなIntegration値の方がWIと高い相関を持ち、代替指標としてもふさわしいと判断した。Integration値を算出する圏域との関連について、200 mから 800 mのバッファ範囲におけるIntegration値の平均値とWIおよびその構成要素は、程度

の差はあるが相関を有していた。ただし分布の特徴をふまえると、Integration値による指標と線形関係を有するとみなせるのは、400mバッファ以上のWIまたは「交差点密度+土地利用混合度」であった。Space Syntax理論において、Integration値は道路のアクセス性や土地利用を説明しうる指標とされていることから、交差点密度や土地利用混合度単体とそれぞれ相関を有することを想定したが、異なる結果が得られた。

Integration値と歩行活動量の関連について、アンケート調査で得られた対象者を個人属性等でクラスター分析した結果、無職や60代以上など自由時間を多く持つ人の群は、歩行時間が居住地周囲の歩行環境に影響されていなかった。またロジスティック回帰分析より、日常利用や余暇利用という目的に関係なく、居住地から身近な範囲のIntegration値による指標が向上するにつれて歩行活動の傾向が強まる結果が得られ、Integration値による指標は歩行活動を促進する環境変数として適用可能であることが明らかとなった。さらに余暇利用の歩行に対しては、自宅から 400 m圏内のIntegration値の最大値が高いほど歩行活動の傾向が弱まる結果が得られ、都市内の中心性の高い場所の近辺に居住することにより、余暇利用の歩行活動が抑制される可能性が示唆された。

謝辞：歩行活動に関するアンケート調査にご協力いただきました草津市、栗東市の皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Hillier, B. and Hanson, J.: *The Social Logic of Space*, Cambridge University Press, 1984.
- 2) 荒尾亮, 竹下輝和, 池添昌幸: スペースシンタックス理論に基づく市街地オープンスペースの特性評価, 日本建築学会計画系論文集, 589号, pp.153-160, 2005.
- 3) Koohsari, MJ., Owen, N., Cerin, E., Giles-Corti, B., Sugiyama, T.: Walkability and walking for transport: characterizing the built environment using space syntax, *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, Vol.13, 121, 2016.
- 4) Inoue, S., Murase, N., Shimomitsu, T., Ohya, Y., Odagiri, Y., Takiyama, T., Ishii, K., Katsumura, T and Sallis, JF.: Association of physical activity and neighbourhood environment among Japanese adults, *Preventive Medicine*, Vol.48, pp.321-325, 2009.
- 5) Baran PK., Rodríguez DA., Khattak AJ.: Space syntax and walking in a new urbanist and suburban neighborhoods, *Journal of Urban Design*, Vol.13, No.1, pp.5-28, 2008.
- 6) Frank, LD., Schmid, TL., Sallis, JF., Chapman, J. and Saelens, BE.: Linking objectively measured physical activity with objectively measured urban form: findings from SMARTRAQ, *American Journal of Preventive Medicine*, Vol.28, pp.117-125, 2005.
- 7) Cervero, R. and Kockelman, K.: Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design, *Transportation Research Part D -Transport and Environment*, Vol.2(3), pp.199-219, 1997.