土木学会論文集D3 (土木計画学), Vol.68, No.5 (土木計画学研究･論文集第29巻), I_363-I_374, 2012.

中心市街地の空間構成と歩行者回遊行動の分析フレームワーク

溝上　章志[1]・高松　誠治[2]・吉住　弥華[3]・星野　裕司[4]

[1]正会員　熊本大学教授　大学院自然科学研究科（〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1）
E-mail: smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp
[2]正会員　スペースシンタックス・ジャパン株式会社（〒160-0004 東京都新宿区三矢6-13-5）
E-mail: s.takamatsu@spzce-syntax-japan.com
[3]正会員　ジェイアール東日本コンサルタンツ株式会社（〒151-0053 東京都渋谷区代々木2-2-6）
E-mail: yoshizumi@jrc.jregroup.ne.jp
[4]正会員　熊本大学准教授　大学院自然科学研究科（〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1）
E-mail: hoshino@gpo.kumamoto-u.ac.jp

本研究では，空間構成指標やアクセシビリティ指標，沿道土地利用指標，および来街者回遊行動などのデータを収集して管理し，これらを組み合わせて歩行者通行量を予測するモデルの構築や歩行者動線の改善施策が及ぼす効果を総合的に評価することができるGISを用いた分析フレームワークを提供した．また，上記の指標と歩行者通行量や入込者数との関係を明らかにした．その結果，街区や街路網の空間構成，主要な施設の適正配置，沿道床利用の適正化など，来街者による回遊行動の活発化に寄与する施策をデザインする必要性を提言した．

Key Words : *space syntax theory, pedestrian movement, excursion behavior, city center*

1.　はじめに

居住機能や商業活動の郊外化を主原因とした地方都市の中心商店街の衰退は著しい．熊本市においても，中心商店街の歩行者通行量や小売販売額の減少，低・未利用地の増加など，都市活力の低下は顕著である．現在，歴史・文化・既存の都市施設を最大限に活かして中心市街地の新たな魅力と活力の創造を目指すた熊本市中心市街地活性化基本計画[1)]の策定や都心部花畑・桜町の再開発計画が進められている．しかし，本源的な活性化策は，個々の商店や施設そのものの魅力を向上させるだけでなく，来街者の回遊をさらに促すような街路や街区などの歩行空間の再構成を図ることであろう．

本研究では，街路や沿道土地利用といった市街地の空間構成と歩行者の回遊行動との関係を定量的に明らかにすることを目的に，これらを記述する指標やデータの有効な取得方法と両者の関係を効率的に分析するための分析フレームワークの開発を行う．分析対象エリアは，熊本市中心市街地活性化基本計画の対象エリアのうち，**図-1** に示すように，熊本駅周辺地区を除く熊本城地区，通町・桜町地区，新町・古町地区の 3 つのエリアである．熊本城地区は熊本のシンボルである熊本城や多くの歴史・文化施設があり，国内外からの多くの観光客で賑わうエリアである．通町・桜町地区は，上通り・下通といったアーケード街を中心に，周辺には狭隘ながら魅力的な裏通りとまちなみが形成されている商店街である．新町・古町地区は，熊本城築城当時の町割が残る旧城下町であり，明治から大正初期に建造された 400 棟以上の町

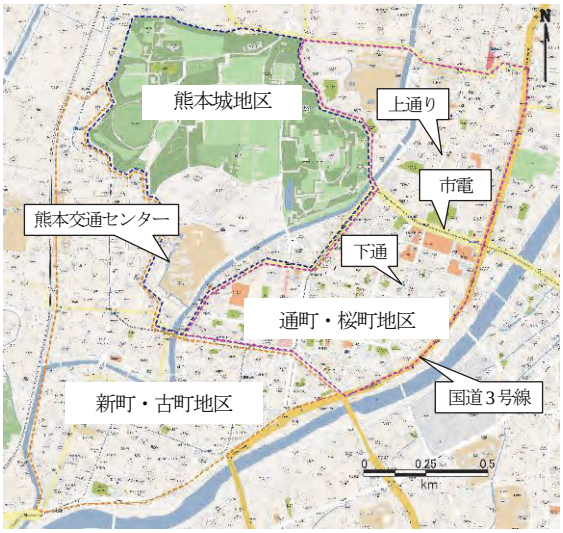

図-1　研究対象地

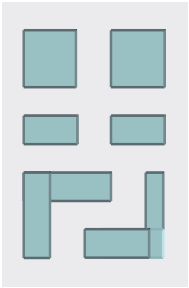

図-2(a)　街路と敷地

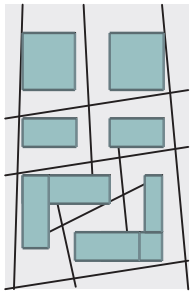

図-2(b)　Axial Map

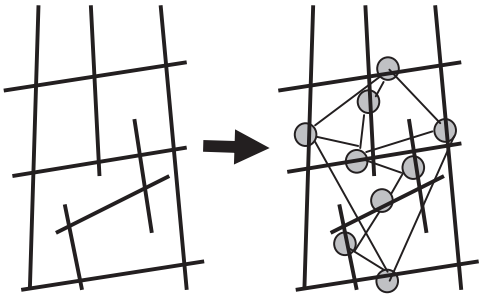

図-2(c)　Axial Line とグラフ

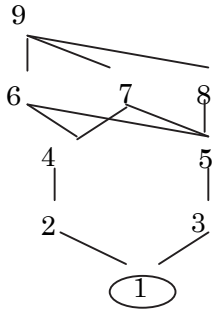

図-2(d)　Justified Graph

屋が現存するエリアである．

本研究では，空間構成を定量化する指標として用いたスペースシンタックス（以下では SS と記す）理論[2]によるインテグレーション値（*Int* 値）とネットワーク理論によるアクセシビリティ値（*Acc* 値），および沿道土地利用指標について，2.で簡潔に述べる．3.では，歩行者の回遊行動を把握するためのサンプルインタビューによる回遊ルート調査とゲートカウント法による歩行者通行量調査について述べる．4.では，回遊ルート調査の拡大方法を示し，それを用いた入込者数や未観測区間の歩行者通行量の推計を行う．5.では，各種の空間構成と歩行者通行量や入込者数との関係を明らかにする．さらに，街路空間構成の再構成が歩行者通行量に与える効果などについて検討する．

2.　空間構成の評価手法

(1)　空間構成の指標

空間構成とは物理的な街路網構成と沿道土地利用を指す．前者はSS理論とネットワーク理論を用いて定義した後述する*Int*値と*Acc*値で，後者は平成 14 年に熊本市から得た市街地現況図を元に，現地目視調査によって収集された床利用用途集積度である．これらの異なる指標を一つの共通基盤で管理するために，本研究ではGISソフトのMapinfoを用いた．以下では，それぞれの指標について述べる．

a)　スペースシンタックス理論に基づく*Int*値

SS 理論は，1984 年にロンドン大学 UCL の Bill Hiller 等により提唱された，グラフ理論を援用した空間相互の繋がり方を科学的に分析する手法である．この手法は，人の心理的空間認知は見えるか（視認可能）や真っ直ぐたどり着けるか（直線的移動可能）による影響が大きいという仮説の下，算出される *Int* 値によって，人が通りやすい空間構成と商業用途分布との関係[3,4]や犯罪の発生リスク[5]などを検討することができる．また，駅前のような同じような性格を持つ複数の地区を対象に，この理論を用いて地区の特性を説明しようという研究[6,7,8,9]など見られる．

本研究では，SS の解析手法の一つであるアクシャル分析を用いる．アクシャル分析では，まず図-2(a)のような街路と敷地で構成される都市空間において，視覚的に見通せる範囲を，より長く，かつより少ない数の線（アクシャルライン）によって置き換える．アクシャルラインによって置き換えられた図-2(b)は Axial Map と呼ばれる．Axial Map はノードの集合に変換され，ノードを頂点，隣接関係を辺に対応させた図-2(c)のようなグラフで表される．この図は Unjustified Graph と呼ばれ，図-2(d)のように，任意の頂点（ここでは 1）から，位相距離である深さ（Depth）ごとに到達できるノード数が整理される．これを Justified Graph と呼び，これより平均深さ *MD*（Mean Depth）が求められる．この *MD* を用いて，式(1)から *RA*（Relative Asymmetry）が求められる．ここで，*k* は頂点の総数である．

$$RA = \frac{2(MD-1)}{k-2} \tag{1}$$

この *RA* 値が小さければ，その位相の視点からより中心に近いといえる．*RA* 値は規模を表す *k* の値に依存するので，規模による影響を取り除いて比較可能とした下記の *RRA*（Real Relative Asymmetry）を求める．

$$RRA = \frac{RA}{D_k} \tag{2}$$

$$D_k = \frac{2\left[k\left\{\log_2 \frac{k+2}{3} - 1\right\} + 1\right]}{(k-1)(k-2)} \tag{3}$$

さらに，数値をより感覚的に理解しやすいように，次式によって *RRA* 値の逆数であるインテグレーション値を求める．

$$Int = \frac{1}{RRA} \tag{4}$$

Int 値は，あるアクシャルラインから解析範囲内の他の全てのアクシャルラインへのグラフ上の位相距離の合計

に反比例する数値であるから，*Int* 値の高いアクシャルラインは他の空間からのアクセスが容易で，対象地域の中心的な役割を持つ賑やかな空間であり，歩行者も多いであろうと推察される．

上記のように，*Int* 値は空間の繋がり方の程度を示す指標であるが，その空間をどの程度の単位で記述するかは，検討する目的や規模に応じて決定する．本研究では，空間の認知のされやすさの観点から見た街路ごとの特性を分析するのに有用な認知モデルと，歩行空間の接続性の観点から見た街路ごとの特性等を分析するのに有用な動線モデルという 2 つのモデルを用いる．両者はアクシャルラインの作成方法が異なる．認知モデルでは，直線的に認知可能な最長の軸線を 1 つの空間の単位としてアクシャルラインを引くことから，認識としての空間の関係性が数値化される（図-3(a)参照）．これに対して，動線モデルでは，直線で移動可能な軸線を 1 つの空間とすることから，横断歩道や歩道の位置や形状，障害物の有無などの情報を考慮して空間を構成してアクシャルラインを引くため，実態としての歩行空間の関係性までも数値化できる（図-3(b)参照）．アクシャル分析では，作図したマップの周縁部の指標値が低くなることを避けるために，検討対象にバッファを設けた図-4 の範囲で分析を行う．認知モデルでは認知可能な最長の軸線を 1 つの空間とするため，そのバッファは動線モデルより広めに取る必要がある．

b)　ネットワーク理論に基づく *Acc* 値

街路網はノードとリンクとで構成されるネットワークであるが，アクシャルラインは道路区間の距離などのネットワーク抵抗値を考慮していない．そこで，本研究では，各リンクの両端ノードから全てのノードまでの最短距離の平均値を当該リンクの *Acc* 値と定義する．この指標は他の全てのリンクから当該リンクまでの距離的接近生を表し，この値はそのままで比較可能であり，小さいほど到達しやすいことを表す．*Acc* 値を計算する範囲は認知モデルの範囲と同じにした．

(2)　*Int* 値と *Acc* 値の比較分析

認知モデルでは 3972 本，動線モデルでは 3742 本のアクシャルラインに対する *Int* 値（ただし，共に *Depth*=3）と，ノード数 3,465，リンク数 5,192 のネットワークに対する *Acc* 値の算出結果を図-5～図-7 に示す．

図-3(a)　認知モデル

図-3(b)　動線モデル

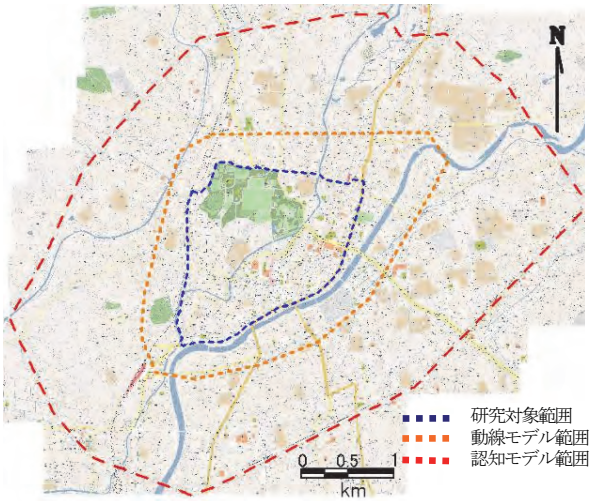

図-4　SS 分析の作図範囲

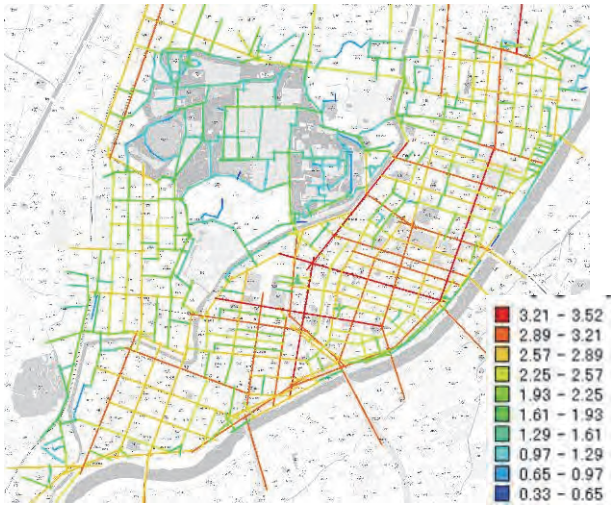

図-5　認知モデルによる *Int* 値の分布

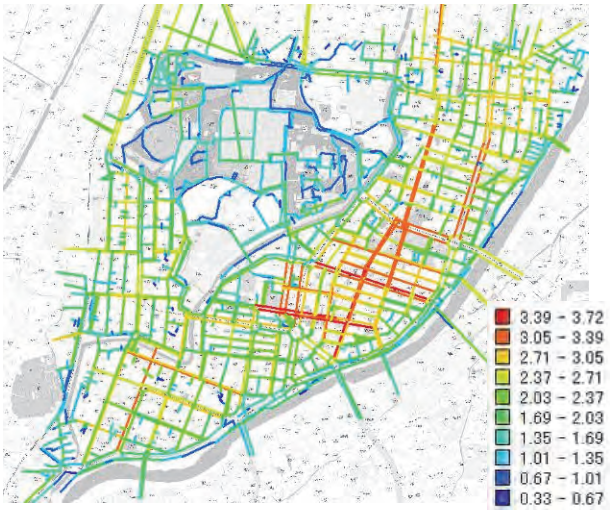

図-6　動線モデルによる *Int* 値の分布

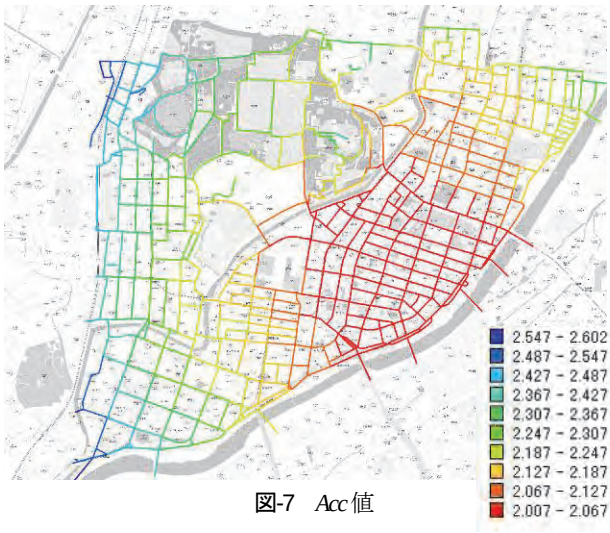

図-7　*Acc* 値

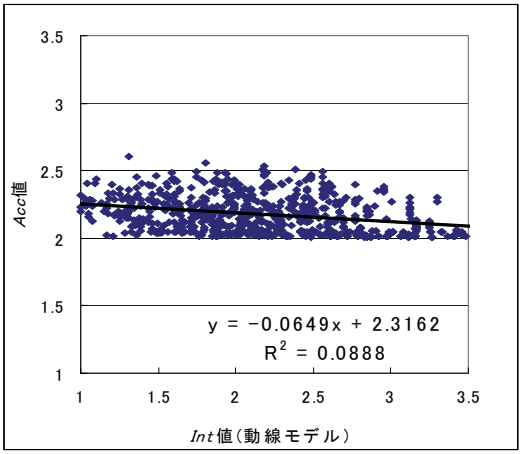

図-8　*Int* 値(動線モデル)と *Acc* 値の比較

認知モデルに比べて動線モデルの方が *Int* 値の高い空間の範囲が限定されている．これは，街路空間が直線的には見通せる範囲であっても，歩道形状が直線的でなかったり障害物があることで真っ直ぐに歩くことが不可能な場合は異なるアクシャルラインとして Axial Map を作成する動線モデルの特徴が表れている．両モデルで特に異なっているエリアは，熊本城地区と通町・桜町周辺地区の境界部分であり，動線モデルではこの部分で *Int* 値が急激に下がっている．ここは，片道 3 車線でかつ市電が通っている県道 28 号線によって歩行空間が分断されているためである．観光地として賑わう熊本城地区と上通り・下通の中心商店街を有する通町・桜町地区を一体的に結ぶことは，観光客の回遊を促進して中心市街地の活性化を図る上で極めて重要であるといえる．

一方，*Acc* 値はその性質上，中心部ほどその値は低く，距離的近接性は高い．**図-8** は同一道路区間上の動線モデルによる *Int* 値（動線モデル）と *Acc* 値をプロットしたものである．両者には負の相関があるが，R^2 値は 0.089 と相関は非常に低い．また，*Acc* 値が小さいにもかかわらず *Int* 値（動線モデル）は低い，つまり距離的近接性は高いにもかかわらず，位相幾何学的アクセス性は低い空間があることが分かる．このような 2 つの指標が相反する街路は，街路網の空間構成を評価する上で重要な場所といえる．

(3)　沿道土地利用指標

床利用用途面積は，対象地域の主要な地区である通町・桜町にある街路の沿道の全ての建物の床利用実態を現地調査によって調査し，以下の手順で作成されたものである．

1)　ベースマップを基に，街区 ID，建物 ID を振って調査用地図を用意する．

2)　現地調査により地図の建物の形が実際の建物の形と明らかに異なる場合には調査用地図に正しい建物の形を記入する．

3)　新築の建物はその形を地図に記入し，新たな建物 ID をその建物がある街区 ID とともに付ける．建物が滅失した場合はその建物を地図から削除する．

4)　更新された調査用地図を GIS データへ変換する．

5)　床利用用途面積は，マーケット調査等を参考にして，小分類 130 区分，中分類 28 区分，大分類 15 区分に分類する．

6)　地図上の建物のうち，ネットワークのリンクの両側に存在する建物を抽出する．

7)　抽出した建物の用途別床面積の総和を当該リンクの距離で除して，単位距離当たりの床利用用途面積を求め，これを集積度とする．

表-1　床利用用途データ概要

床利用用途	件数	構成面積比
食料品・日用品店	982	7.5%
衣料品店	2092	16.3%
専門小売店	598	5.1%
飲食店	924	5.8%
遊興飲食店	2414	5.8%
サービス業	5683	40.8%
駐車場・倉庫	508	9.0%
住宅	2871	6.2%
空家・空店舗	924	3.4%

表-2　*Int* 値，*Acc* 値と床利用用途集積度との相関

床利用用途	*Int* 値 (認知モデル)	*Int* 値 (動線モデル)	*Acc* 値
食料・日用品店	0.110	0.144	-0.208
衣料品店	0.102	0.158	-0.212
専門小売店	0.148	0.213	-0.263
飲食店	0.0809	0.147	-0.320
遊興飲食店	0.0724	0.222	-0.291
サービス業	0.151	0.0297	-0.221
駐車場・倉庫	0.0652	-0.0353	-0.176
住宅	-0.114	-0.0394	0.263
空家・空店舗	0.136	0.177	-0.262

本研究で用いる単位距離当たりの床利用用途面積は大分類ごとである．床利用用途集積度のデータの概要を**表-1** に示す．サービス業は，業務系施設や宿泊施設娯楽施設等小分類にして 43 区分，中分類にして 12 区分が含まれおり，このエリアでは最も多く面積を占めている．次いで，衣料品店や専門小売店といった商業施設が多い．一方で，駐車場・倉庫と空家・空店舗を合わせると，全体の約 12%を占める低・未利用地もある．

表-2 に床利用用途集積度と *Int* 値（動線モデル）と *Acc* 値の相関関係を示す．全体的に相関係数は小さく，床利用用途集積度と *Int* 値（動線モデル），*Acc* 値との間に有意な相関は見られないが，*Int* 値（動線モデル）よりも *Acc* 値の相関係数の方がやや高いことが分かる．用途別に見ると，衣料品店や専門小売店は，*Int* 値（動線モデル）が高く *Acc* 値が低いといった位相幾何学的に近く，かつ距離的にも近い場所に立地している傾向がある．衣料品店と専門小売店は全体に占める面積も多く，このような集客力の高い施設が街の中心に立地していることは望ましい．しかし，同様な傾向が空家・空店舗にも見受けられる．

以上より，建物床利用用途集積度と *Int* 値（動線モデル）と *Acc* 値には有意な相関は見られなかったが，これらと歩行者回遊行動には，何らかの関係があるものと思われる．

3. 歩行者回遊行動の把握

(1) 回遊行動の把握のための各種調査

商業機能の活性化やまちなか居住の推進と合わせて，市民や観光客などの来街者の数的増加とその回遊の活発化は中心市街地の活性化にとって重要な要素である．来街者の街区ごとの入込数や街路の歩行者通行量などの実数を直接，観測することは容易ではないが，これらのデータは都心部の街路網計画やテナントリーシングなどのエリアマネジメントにとって有用である．また，来街者がまちなかをどのように回遊しているのかを把握し，空間構成との関係を分析するためには，回遊行動データが必要である．しかし，これを観測するのも容易でない．本研究では，来街者サンプルに対して実施した聞き取りによる回遊行動データを歩行者通行量の観測データを用いて拡大することで，対象地域全体の歩行者の回遊行動を推計する．拡大方法については次章で述べることとし，ここでは，まず歩行者通行量の観測値を得るための商店街通行量調査とゲートカウント調査，および歩行者回遊行動調査について述べる．

a) 商店街通行量調査 [10)]

この調査は，熊本市と熊本商工会議所によって，昭和 43 年から毎年（平成 9 年度から平成 15 年度までは 3 年毎に）8 月の日曜と平日に実施されている．本研究では平成 21 年度（21 日（金）と 23 日（日）の 8:00～20:00）に実施されたデータを用いる．歩行者通行量は上通り・下通アーケード街，特にびぷれす熊日会館前やパルコ前といった通町筋側入り口周辺が最も多く，外縁部へ行くほど少なくなっていく．しかし，この調査の調査地点は市内 36 地点だけであり，本研究の対象地域内のポイントは通町・桜町地区内の 26 地点だけのため，中心市街地全体の歩行者の動向を把握するには十分とは言えない．

b) ゲートカウント調査

この調査は，平成 21 年 11 月 5 日（木）と 7 日（日）に「熊本城桜の馬場飲食物販施設設置事業（(株)まちづくり熊本）」[11)] からの委託事業として，本研究でもその実施に協力した一種の歩行者通行量調査である．桜の馬場は熊本城の眼下に位置して熊本城地区と通町・桜町地区を繋ぐ重要な地区にあり，観光交流施設の湧々座（2,104m^2）と飲食物販施設（2,420m^2）から成る桜の馬

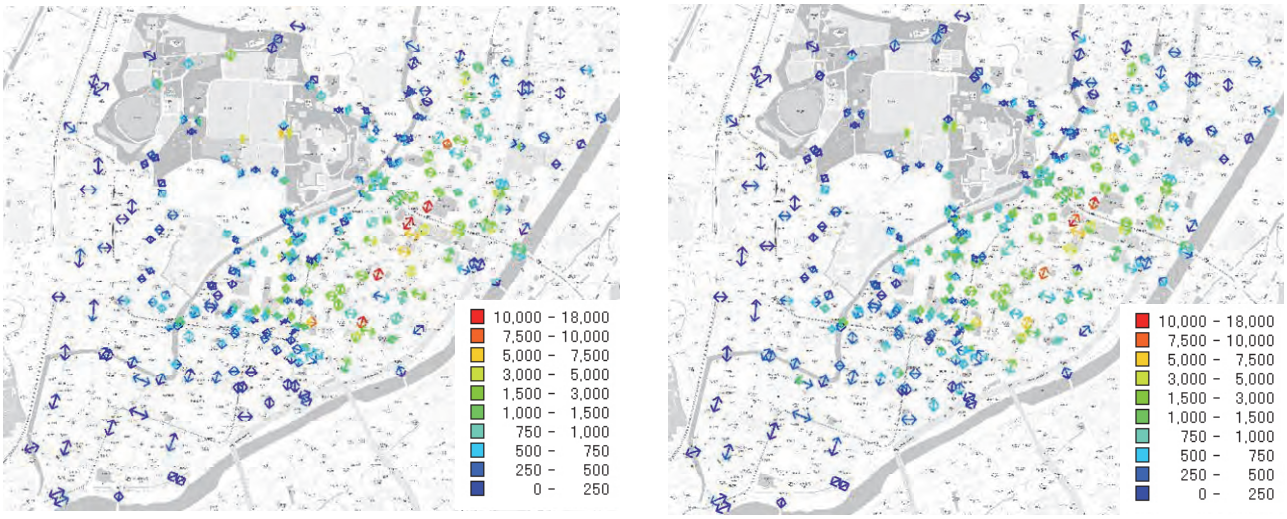

図-9 ゲートカウント調査による歩行者通行量（左が平日，右が休日）

場城彩苑が 2011 年 3 月にオープンする予定である．この調査は，中心市街地における歩行者数の現状を把握するとともに，今後，桜の馬場を拠点とした回遊ネットワークを強化する街路網構成や交流施設の導線計画に寄与する基礎資料を収集することを目的としている．そのため，調査地点は桜の馬場を中心にして，通町・桜町地区だけでなく，熊本城地区，新町・古町地区にも高密度に，周縁部に近づくにつれて低密になるよう設定された．重点的検討エリアにおいては，横断歩道や歩道橋などにも調査地点を設定している．

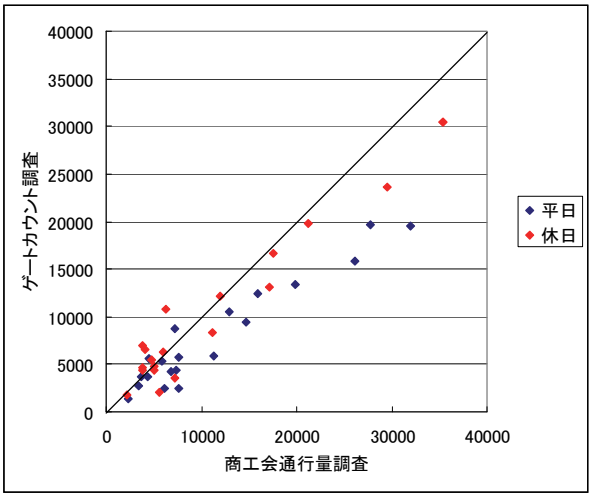

図-10　調査の違いによる歩行者通行量の比較

図-11　回遊調査の調査地点とゾーン区分

前述した商店街通行量調査は全数調査であるため，観測地点の数と同じかそれ以上の調査員が必要となり，費用の割に少ない観測点数の情報しか得られない．これに対して，ゲートカウント調査では，精度は高くなくても，できるだけ多くの地点の観測データを得るために，全数調査ではなく，調査員が一定時間（今回の調査では 5 分）ごとに順次，観測地点を変えながら，その間の通行量を観測するサンプリング調査である．そして，ある時間帯のうちの 5 分間の観測値と次の時間帯の 5 分間のそれの平均を 12 倍することによって，当該時間帯の歩行者通行量とする．今回は，両日とも 28 人の調査員により 1 時間を 1 ラウンドとして，一人約 10 ヶ所の全 279 地点で観測を行った．

図-9 はそれぞれ平日と休日のゲートカウント調査の結果を 8:00～20:00 に換算したものである．商業施設が並ぶ上通り・下通アーケード街と，熊本城と二の丸駐車場を結ぶ頻当御門周辺の 2 極だけに歩行者が集中している一方で，桜町や新町・古町地区にまでは広がっていないこと，歩行者通行量の多い地点と少ない地点が空間的に分離していることや，これらの空間の境界周辺の歩行者通行量も少ないことなどが分かる．

図-10 は商店街通行量調査とゲートカウント調査で同一の観測地点 20 ヶ所の 8:00～20:00 の通行量を，平日と休日別に比較したものである．調査月が異なることや商店街通行量調査は自転車も歩行者としてカウントしていることなどのため，ゲートカウント調査による推計値はやや過小になっているものの，相関係数は平日 0.96，休日 0.98 と非常に高い．このことからもゲートカウント調査の有用性が確認できる．

表-3　回遊調査の実施地点

バス● （バス停）	熊本城稲荷神社前＋郵政局前 通町筋(びぶれす前) 通町筋(手取教会前) 通町筋(鶴屋前) 水道町 交通センター
自動車● （駐車場）	パスト 24PARCO パーキング パスト 24 水道町本店 鶴屋百貨店駐車場 パスト 24 銀座プレス パスト 24 辛島公園 市営地下駐車場
市電● （電停）	水道町駅 通町筋駅 辛島町駅
熊本電鉄●（駅）	藤崎宮前駅
自転車● （自転車駐輪場）	草場町駐輪場 藪の内駐輪場 鶴屋駐輪場 市営地下駐輪場
徒歩● （コードンライン）	並木坂入口 草場町通り入口 大甲橋 船場橋

表-4　歩行者回遊行動調査概要

調査日	H20年9月25日(木),28日(日)
調査時間	1.12:00～13:00 2.14:00～15:00 3.16:00～17:00 4.18:00～19:00
調査地点	図参照
調査内容	1.属性(性別，年齢) 2.来街目的 3.来街手段 4.訪問先(訪問場所,滞在時間) 5.回遊ルート

(2)　歩行者回遊行動調査

中心市街地を訪問した来街者が域内をどのように回遊し，どのような施設に立ち寄り，何を買ってどれほどの消費をしているのかなど把握したい．そこで，来街者が中心市街地から帰宅する地点で，調査日一日の回遊行動をヒアリングによって調査した．調査は平成 20 年 9 月 25 日（木）と 28 日（日）に実施した．調査地点は，**図-11** の●で示す中心市街地から帰宅する際に使用されるバス停や電停，駐車場や自転車駐輪場，徒歩による主要な出口などの全 24 地点であり，詳細な地点名は**表-3** に示す．サンプル数は，平日が 625，休日が 610 である．

調査内容を**表-4** に示すが，訪問先については立ち寄った施設と滞在時間と消費金額を，回遊ルートについては地図上に歩いたルートを記入してもらっている．これらのデータより，入込者数については前者のデータを**図-11** の青線で示す通町・桜町地区 43 ゾーンと熊本城地区 2 ゾーンの全 45 ゾーンに分けて集計する．回遊ルートについては，*Acc* 値を算出した街路網ネットワークのリンク番号の連続で表す．

(3)　歩行者回遊行動データの拡大

回遊行動データはサンプル調査であるので，何らかの方法で拡大する必要がある．性別・年齢階層別などの属性や発地などによって拡大することもできるが，母集団がはっきりしない．そこで，観測されている歩行者通行量をできるだけ再現するように，サンプルベースの回遊数を拡大する拡大係数を推定するという最も単純な拡大方法[12]を採用した．

まず，定式化に用いる変数の説明を行う．

f_k^{rs} ：発生ノード r から発生し，終点 s に至る回遊のうち，k 番目のルートを利用するサンプルベースの回遊数

$\delta_{k,a}^{rs}$ ：発生ノード r から発生し，終点 s に至る回遊のうち，k 番目のルートが断面 a を含むとき 1，そうでなければ 0

v_a^r ：発生ノード r から発生したサンプルベースの回遊のうち，断面 a を訪れる数であり，$v_a^r = \sum_s \sum_k \delta_{k,a}^{rs} f_k^{rs}$

V_a^* ：断面 a の歩行者通行量の観測値

R : 発生ノードの総数（$r=1,2,\cdots,R$）

A : 歩行者通行量の観測断面の総数（$a=1,2,\cdots,A$）

基本的には，個々の f_k^{rs} に固有の拡大係数 α_k^{rs} を求めるのが良いが，変数の数が極めて大きくなるため，現実的な方法ではない．そこで，1)サンプル全体を拡大する方法と，2)発ノード別に拡大する方法を考える．ここでは 2)について概説する．

発ノード r に固有の拡大係数を α_r としたとき，拡大後の断面 a の歩行者通行量の推定値 V_a は下記となる．

$$V_a = \sum_{rs} \sum_k \alpha_r \delta_{k,a}^{rs} f_k^{rs} = \sum_r \alpha_k \left[\sum_s \sum_k \delta_{k,a}^{rs} f_k^{rs} \right] = \sum_r \alpha_k v_a^r \tag{5}$$

拡大後の歩行者通行量の推定値が観測された断面交通量にできるだけ一致するように発ノード別の拡大係数 α_k^{rs} を求めるために最小自乗法を適用すると，次のように表現できる．

$$\text{Min: } S = \sum_{a \in A} \left(V_a - V_a^* \right)^2 = \sum_{a \in A} \left(\sum_r \alpha_r v_a^r - V_a^* \right)^2 \tag{6}$$

この最適性の条件は下記となる．

$$\sum_{a \in A} \alpha_r \left(\sum_r \alpha_r v_a^r \right) - \sum_{a \in A} V_a^* v_a^r = 0 \quad \text{for } r=1,2,\cdots,R \tag{7}$$

となり，これを行列表示すると次のようになる．

$$^t DD\alpha = {}^t DV^* \tag{8}$$

ここで，行列 D，ベクトル α，ベクトル V^* は，以下の通りである．

$$D = \begin{bmatrix} v_1^1 & v_1^2 & \cdots & v_1^R \\ v_a^1 & v_a^2 & \cdots & v_a^R \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ v_A^1 & v_A^2 & \cdots & v_A^2 \end{bmatrix}, \quad \alpha = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_r \\ \vdots \\ \alpha_R \end{bmatrix}, \quad V^* = \begin{bmatrix} V_1^* \\ V_a^* \\ \vdots \\ V_A^* \end{bmatrix} \tag{9}$$

これを α について解くと下記となる．

$$\alpha = \left[{}^t DD \right]^{-1} DV^* \tag{10}$$

これらは，発ノード r から発生したサンプルベースの回遊のうち，断面 a を通過するサンプル数 v_a^r を説明変数，断面 a の歩行者通行量の観測値 V_a^* を被説明変数をとした重回帰モデルに他ならず，拡大係数 α_r（$r=1,2,\cdots,R$）はその重回帰係数に相当する．

このように，回遊行動サンプルの拡大係数推計は簡便な重回帰分析に帰着するが，拡大係数に対応する重回帰係数は必ずしも非負条件を満足するとは限らない．推定結果が負になった場合は，いくつかの発ノードを一つの発ノードに集約して，説明変数の組み合わせを変えるな

どの工夫が必要である．また，周知のように，データ行列 D の列ベクトルが 1 次独立でない場合は解が一意に求められない．これは，たまたま 2 つ以上の異なる発ノードから発生した回遊が全く同じ回遊ルートをとった場合に生じる．その場合にも，これらの発生ノードを集約することが求められる．さらに注意すべき点は，発生ノード数＞観測点数の場合には拡大係数の推定は不能である．つまり，発生ノード数は観測点の数よりも少なくなるように集約しておく必要がある．

歩行者通行量の観測データとして，商店街通行量調査とゲートカウント調査によるデータがある．ここでは，観測地点として 1)商店街通行量調査の 26 地点のうち回遊行動データを記録したネットワークに一致する 22 地点，2)ゲートカウント調査 279 地点のうち商店街通行量調査と一致する 20 地点，3)ゲートカウント調査 279 地点のうち回遊行動データを記録したネットワークに一致する 75 地点を用いた 3 種の拡大係数を推定した．

表-5 は，発ノードに固有の拡大係数を推定する場合に設定した発ノードであり，歩行者回遊調査のデータのスタート地点としてサンプル数が多かった 11 地点（**図-11** 参照）を抽出している．**表-6** と**表-7** にそれぞれの回帰分析の検定結果を示す．参考のために，全サンプルを一律に拡大する拡大係数の推定結果も示している．当然のことながら，一律の拡大係数よりも発ノードごとの拡大係数による現況再現性は高い．一律の拡大係数を推定する場合，R^2 値だけから判断すると，3)の R^2 値が最も低ノードごとの拡大係数の t 値は 3)の方が全体的に高くなり，信頼背は高い．以後の分析では，3)のゲートカウン

表-5　発ノード地点名

ノード No.	ノード地点
1	くまもと阪神周辺
2	水道町周辺
3	熊本城周辺
4	白川公園周辺
5	並木坂周辺
6	熊電周辺
7	壺井周辺
8	新町周辺
9	辛島電停周辺
10	銀座通り周辺
11	パルコ周辺

表-6　拡大係数推定結果(平日)

		1)		2)		3)
拡大係数(ｔ値)	一律	132.99(13.87)	一律	90.09(11.30)	一律	86.16(15.81)
サンプル数		22		20		75
修正済みR^2		0.854		0.818		0.758
拡大係数（t値）	1 8	22.15(0.08)	1 9	61.53(0.89)	1 9	7.30(0.47)
	2 11	13.66(0.33)	2 11	41.42(1.37)	2 4	22.58(0.60)
	3	1350.43(2.49)	3 7	433.40(0.99)	3	363.01(3.18)
	4	129.01(0.81)			5 6 7	85.22(1.92)
	5 6 7	45.09(0.41)	4 5 6	79.17(1.01)		
					8	333.25(3.07)
	9	205.07(0.82)	8	500.92(0.63)	10	143.88(2.33)
	10	471.65(2.62)	10	268.25(1.36)	11	127.37(4.97)
サンプル数		22		20		75
修正済みR^2		0.868		0.801		0.825

注）拡大係数の左の 1～11 の数字は**表-5** のノード No.に対応する．

表-7　拡大係数推定結果(休日)

		1)		2)		3)
拡大係数(ｔ値)	一律	113.09(14.13)	一律	97.19(11.55)	一律	93.98(17.66)
サンプル数		22		20		75
修正済みR^2		0.857		0.823		0.799
拡大係数（t値）	1 9 10	112.38(1.74)	1 9 10	71.07(1.05)	1 8 9	45.29(3.25)
	2 4	21.16(0.23)	2 4	74.17(0.76)	2 11	171.13(4.33)
	3 5 6 7	77.98(1.98)	3 5 6 7	57.65(1.39)	3	506.80(1.65)
					4 6	6.19(0.28)
					5 7	229.91(3.38)
	8	461.61(0.46)	8	902.79(0.86)		
	11	200.44(3.29)	11	147.24(2.15)	10	1053.24(1.13)
サンプル数		22		20		75
修正済みR^2		0.852		0.801		0.836

注）拡大係数の左の 1～11 の数字は**表-5** のノード No.に対応する．

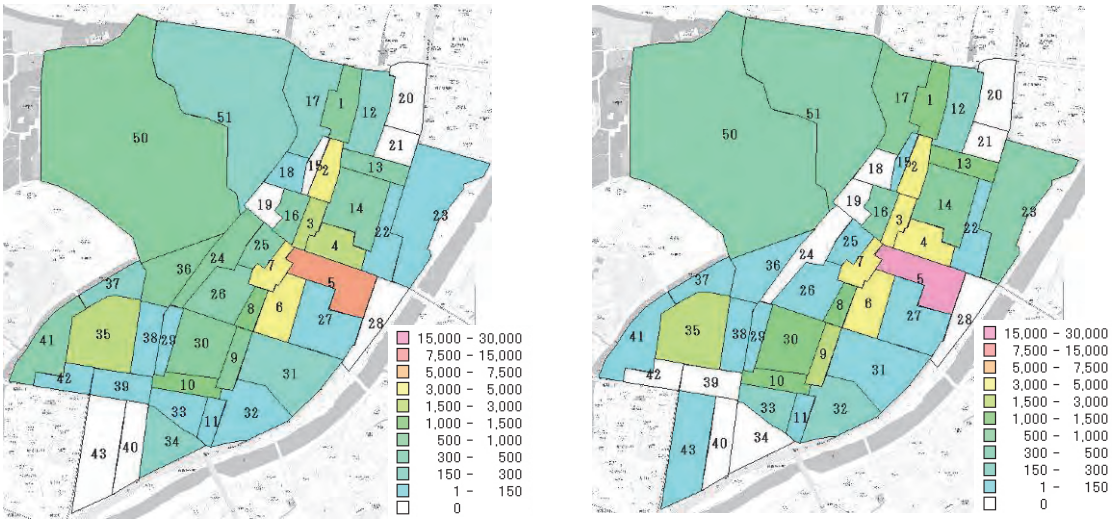

図-12　ゾーン別入込者数の推計値（左は平日，右は休日）

ト調査 75 地点を用いて推定した拡大係数を用いることとする．

推計した拡大係数によって 1 日の入込者数を推定した結果を**図-12** に示す．サンプルを拡大したものなので，入込者のサンプルが 0 のゾーンは 0 のままである．平日と休日で最大人数の違いはあるが，どちらもゾーン 5 のパルコや鶴屋本館・東館を含むゾーンやゾーン上通りや下通アーケード街に入込者数が集中していることが分かる．また，平日は市役所や銀行・保険会社などのオフィスビルが並ぶゾーンに広がりを示しているが，休日はゾーン 12 や 13 の上の裏通りといった商業施設が多いゾーンに入れ込み者の広がりが見られる．この傾向は常識的に受け入れられる結果である．また，拡大係数を用いて分析対象地域への総入れ込み者数を推計したところ，平日 27,000 人，休日 45,000 人となった．総入込者数を実測することは困難な中，推計値とはいってもこれらの情報は非常に有用である．

次章では，ここで推計されたゲートカウント調査の歩行者通行量，入込者数をそれぞれの空間構成指標を用いて推定するモデルを構築し，両者の特性を分析する．

表-8　空間構成と歩行者回遊行動の相関

			歩行者回遊行動			
			歩行者通行量		入込者数	
			平日	休日	平日	休日
空間構成	街路網構成	*Int* 値(認知モデル)	0.0714	0.0564	0.158	0.270
		Int 値(動線モデル)	0.425	0.425	0.209	0.165
		Acc 値	-0.311	-0.248	-0.298	-0.224
	沿道土地利用	Acc_{MT} 値	-0.314	-0.279	-0.506	-0.460
		Acc_{park} 値	-0.367	-0.315	-0.373	-0.298
		食料・日用品店	0.168	0.165	0.891	0.902
		衣料品店	0.193	0.201	0.899	0.909
		専門小売店	0.403	0.366	0.908	0.863
		飲食店	0.195	0.162	0.770	0.744
		遊興飲食店	0.0617	0.0358	-0.0539	-0.0609
		サービス業	-0.0724	-0.100	0.327	0.637
		駐車場・倉庫	-0.0820	-0.0864	0.538	0.618
		住宅	-0.154	-0.0976	-0.181	-0.141
		空家・空き店舗	0.191	0.188	0.107	0.0575

注）網掛けは他の変数と比較して相関係数が高いことを示す

4.　空間構成と歩行者回遊行動の関係分析

(1)　空間構成と歩行者回遊行動の相関

歩行者通行量とゾーン入込者数の予測モデルを構築する前に，両者と空間構成指標との関係について分析する．**表-8** にゲートカウント調査によって拡大された歩行者通行量，および歩行者回遊行動調査と拡大計数により推計されたゾーン別入込者数と空間構成指標との相関係数を示す．Acc_{MT} 値と Acc_{park} 値とは，主要な公共交通機関の停車場 10 ヶ所，駐車場 6 ヶ所から各リンクまでの距離の平均値である．ゾーン内には複数のリンクが含まれるため，入込者数に対する Acc_{MT} 値と Acc_{park} 値はそれらをさらに平均したゾーン単位の値にしている．歩行者通行量との相関を見ると，平日と休日ともに認知モデルの *Int* 値との相関係数はほとんどゼロに等しいのに比して，動線モデルのそれは全ての変数の中で最大の 0.425 となっている．歩行者通行量は視覚的に見通せることよりも，真っ直ぐに歩けることを示す指標との関係性が高いことから，歩行者通行量の予測には認知モデルよりも歩行空間の接続性の観点から見た個々の街路の繋がりを表すことができる動線モデルを用いる方が良いと考えられる．また，*Acc* 値といったネットワーク全体での距離的近さ，および Acc_{MT} 値や Acc_{park} 値といった公共交通機関や駐車場までのアクセシビリティ指標とも，0.3 程度の相関があることが分かる．床利用用途集積度に関しては，専門小売店の相関が高いが，その他の床利用用途集積度との相関は決して高いとは言えない．

一方，ゾーン別入込者数との相関を見ると，一転して床利用用途集積度との相関が高くなっている．特に食料・日用品店や衣料品店，専門小売店といった商業施設全般との相関が高い．Acc_{park} 値との相関係数は 0.3 程度

表-9　歩行者通行量，入込者数モデルの推定結果

	歩行者通行量予測モデル				入込者数予測モデル			
	平日		休日		平日		休日	
	回帰係数	t値	回帰係数	t値	回帰係数	t値	回帰係数	t値
Int 値	0.249×10^{4}	5.49	0.354×10^{4}	5.10	0.765×10^{3}	1.53	0.166×10^{3}	0.818
AccMT 値	-0.574×10^{4}	-3.12	-0.896×10^{4}	-3.17	-0.216×10^{4}	-1.14		
衣料品店							0.782×10^{-1}	11.2
食料・日用品店					0.115	9.15		
専門小売店	0.563	2.93	0.762	2.58				
飲食店								
サービス業	-0.374×10^{-1}	-1.96	-0.647×10^{-1}	-2.21				
駐車場・倉庫								
サンプル数	93		93		31		29	
修正済みR2	0.595		0.514		0.805		0.821	

表-10　空間構成，沿道土地利用指標の比較

	36地点	全地点
Int 値(動線モデル)	2.038	2.600
AccMT 値	0.610	0.608
専門小売店	276.690	808.189
サービス業	12278.493	9277.635
駐車場・倉庫	276.845	1427.709

であるのに対して，Acc_{MT}値との相関係数は 0.5 程度であり，公共交通機関の主要駅からのアクセシビリティが入れ込み者数に与える影響は大きい．*Int* 値は，歩行者通行量ほど認知モデルと動線モデルに差はなく，相関は小さい．

(2)　歩行者通行量と入込者数の予測モデル

歩行者通行量と入込者数の予測モデルの推定結果を表-9 に示す．歩行者通行量予測モデルは R^2値が 0.5 程度でやや低いものの，平日と休日ともに空間構成指標の *Int* 値（動線モデル），およびアクセシビリティ指標の Acc_{MT} 値，沿道土地利用指標としての専門小売店，サービス業の床利用用途集積度が有意な変数となっている．

入込者数予測モデルでは空間構成至指標の *Int* 値（動線モデル）やアクセシビリティ指標の Acc_{MT} 値の *t* 値は低い．一方で，重共線性が高い理由で複数の沿道土地利用指標を説明変数に導入できない者の，平日では食料・日用品店，休日では衣料品店の床利用用途集積度だけで，R^2 値が 0.8 程度の信頼性の高い予測モデルを得ることができる．

(3)　歩行者回遊行動活発化のための施策

空間構成指標やアクセシビリティ指標，沿道土地利用指標，および各種歩行者通行量のデータを GIS 上で管理し，歩行者通行量や入込者数の予測モデルを構築した．このシステムはは中心市街地における回遊行動を活発にするような街路網構造や沿道土地利用，業態業種の配置を考えるためのプラットフォームとしての役割を担う．これらから，熊本城地区と通町・桜町地区は共に歩行者通行量が多いにもかかわらず，電車通りがバリアとなって訪問する地区が二極化していることが明らかとなっている．熊本城を訪問した観光客や来街者を通町・桜町地区に導くためには，そのバリアを解消することが重要と思われる．ここでは，図-13 に示すような熊本城地区と通町・桜町地区の境界付近のゲートカウント調査を実施した 36 地点の空間構成指標と沿道土地利用指標の平均値を，通町・桜町地区内全地点の平均値とを比較した．表-10 にその結果を示す．動線モデルによる *Int* 値については，有意水準 5%で両地域の平均値に差が見られた．動線モデルによる *Int* 値は，歩行者通行量予測モデルの

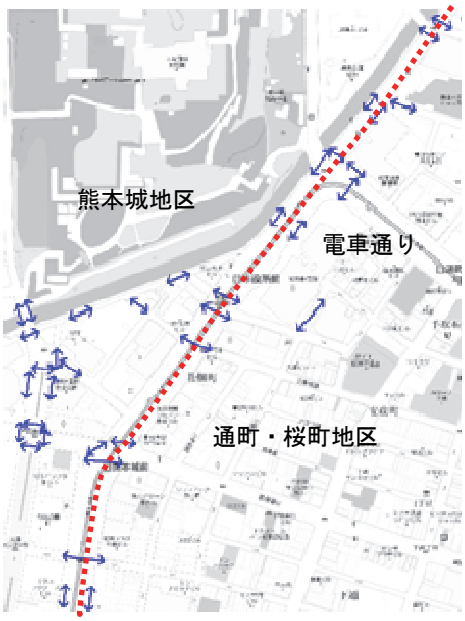

図-13　二極化の境界エリア

重要な説明変数の一つであり，このエリアの *Int* 値（動線モデル）が高くなるような街路網を整備することは，歩行者通行量の増加に繋がると思われる．

そこで，歩道から屈折して設置された横断歩道や階段の昇降を必要とする歩道橋がある図-14 の 3 つの横断施設を，直線的に移動できる横断歩道に変更すると仮定した．同図には変更前・後の動線モデルによる *Int* 値も示しているが，周辺区間で *Int* 値（動線モデル）が格段に上がることが分かる．図-15 は改善後の歩行者通行量の予測値を現況と比較したものである．大半の道路区間で歩行者通行量は増加することが分かる．特に，(2)うまや橋周辺や，(3)銀座通りと市電が通る県道 28 号線との交差点周辺で歩行者通行量の増加が期待できる．このように，本システムは，中心市街地における来街者の回遊行動の現状の課題を明らかにすることができるだけでなく，歩行者動線の改善施策の効果を空間構成や歩行者通行量の視点から総合的に評価するツールとして用いることができる．

5.　結論

本研究では，空間構成指標やアクセシビリティ指標，沿道土地利用指標，および各種歩行者通行量などのデータを管理し，歩行者通行量の予測モデルの構築や歩行者動線の改善施策の効果を総合的に評価することを可能にする GIS を用いた分析フレームワークを提供した．以下に本研究の研究結果を列挙する．

1)　空間構成指標である *Int* 値と *Acc* 値を用いて中心市街地の街路網の評価を行った．その結果，熊本城地区と通

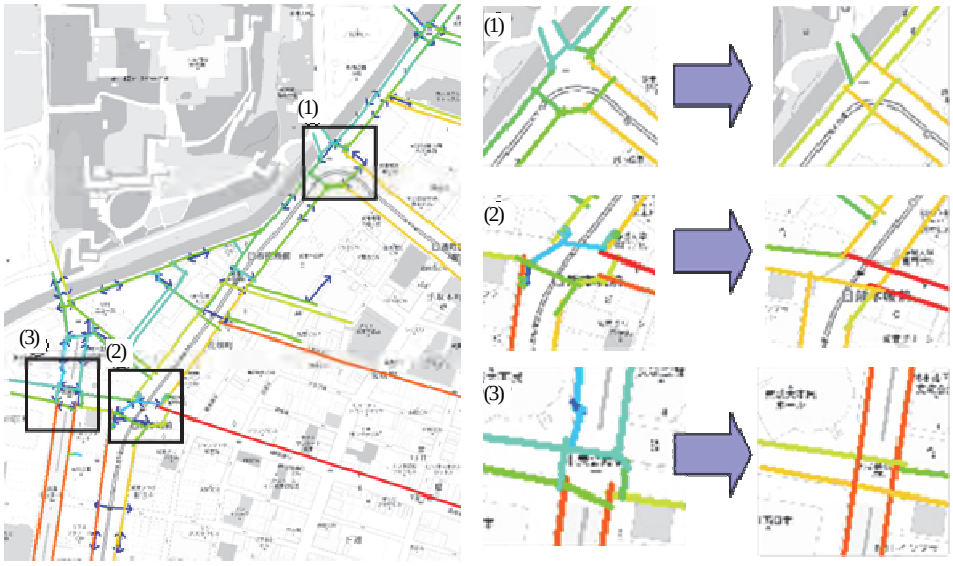

図-14　歩行環境の改善による *Int* 値（動線モデル）の改善

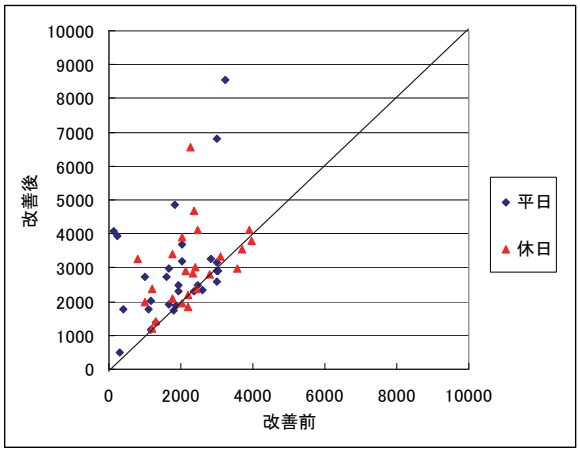

図-15　歩道環境改善前・後の歩行者通行量の変化

町・桜町地区の境界によって歩行空間が分離されていることや，距離的近接性が高いにもかかわらず位相幾何学的アクセス性は低い空間があることが分かった．

2) 中心市街地 279 地点において，ゲートカウント調査を実施した．また，その結果と商店街通行量調査の結果を比較したところ，相関係数が非常に高く，ゲートカウント調査の有用性が確認できた．

3) ゲートカウント調査のデータを用いて回遊ルートサンプルデータを拡大し，各ゾーンへの入込者数を推計する方法を提案した．これにより，入込者数は上通り・下通アーケード街に集中しているが，その他のエリアに広がりが見られず，人通りの二極化が明らかとなった．

4) 空間構成指標やアクセシビリティ指標，沿道土地利用指標と歩行者通行量，入込者数との関係を明らかにした．その結果，歩行者通行量は動線モデルの *Int* 値や公共交通機関からの距離と相関があり，入込者数は主に商業施設の床利用用途集積度と高い相関がある．

5) 歩行者動線の改善によって，歩行者通行量の増加や回遊の促進を図ることが可能となる．

6) 街区や街路網の空間構成，主要な施設の適正配置，沿道床利用の適正化など，来街者による回遊行動の活発化に寄与する方策をデザインし，総合的に評価するための各種データベースの管理と計画手法の開発が求められる．

参考文献

1) 熊本市中心市街地活性化基本計画：https://www.mlit.go.jp/crd/index/case/pdf/0708kumamotocity.pdf

2) Hillier, B. and Hanson, J.: *The Social Logic of Space*, Cambridge University Press, 1984.

3) Hillier, B. and Iida, S.: Network and Psychological Effects in Urban Movement, LNCS3693, pp.475-490, 2005.

4) 高山幸太郎，中井検裕，村木美貴：商業集積地における空間の「奥行」に関する研究―下北沢を対象として―，日本都市計画学会学術研究論文集，Vol.37，pp.79-84，2002.

5) 永家忠司，外尾一則，猪八重拓郎：スペースシンタックス理論に基づく都市空間のアクセシビリティと機会犯罪の発生および警察の犯罪リスク認知関係について，日本都市計画学会，都市計画論文集，No.43-3，pp.43-48，2008.

6) 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.

7) 木川剛志，古山正雄：スペース・シンタックスを用いた「京都の近代化」に見られる空間的志向性の分析―京都都市計画道路新設拡築事業における理念の考察―，

都市計画学会論文集，No.40-3，pp.139-144，2005.
8) 木川剛志，古山正雄：都市エントロピー係数を用いた都市形態解析手法―パリの歴史的変遷の考察を事例として―，都市計画学会論文集，No.39-3，pp.823-828，2004.
9) 木川剛志，古山正雄：スペース・シンタックスを用いた地方都市の近代化に伴う形態変容の考察―滋賀県大津市における近代化プロセスを事例として―，都市計画学会論文集，No.41-3，pp.229-234，2006.
10) 熊本商工会議所，商店街通行量調査：http://www.kmt-cci.or.jp/investigation/shopstreet.php
11) 熊本城桜の馬場飲食物販施設設置事業：http://www.city.kumamoto.kumamoto.jp/Content/Web/Upload/file/Bun_30339_22insyoku_youryou_0401.pdf
12) 朝倉康夫，溝上章志，古市英士，安藤勲：観光周遊行動データの拡大方法に関する一考察，第 19 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.149-152，1999.

（2012. 2. 25 受付）

ANALYSIS PLATFORM OF THE SPATIAL STRUCTURE AND PEDESTRIAN MOVEMENT IN KUMAMOTO CITY CENTER

Shoshi MIZOKAMI, Seiji TAKAMATSU, Mika YOSHIZUMI and Yuji HOSHINO

In recent years, the decline in the center city by suburbanization of a resident and a commercial activity is pointed out in the local city. Similarly, the decline of city vitality by decrease of the amount of pedestrian traffic and undeveloped is worried about in Kumamoto city center. So improvement of the walking space to which migration of town visitor is inspired is desired. In this study, the spatial structure of street is estimated by *Integration Value* from Space Syntax theory, *Accessibility Value* from Network theory and indicator of building-use along the street. Therefore the purpose of this study is to make model which reflects relation between these indicator and the amount of the pedestrian traffic, and to obtain suggestion that the spatial structure of street where migration is inspired and plan for improvement of spatial quality.