

移動体通信機器を用いた都心歩行者回遊行動のモビリティ指標化に関する基礎的研究

A Study on the Evaluation Indices System for Measuring Pedestrian Mobility in the Central Urban Areas Using Personal Communication Tools

中嶋 康博* 牧村 和彦* 西山 良孝** 矢部 努*** 及川 潤*

By Yasuhiro NAKAJIMA, Kazuhiko MAKIMURA, Yoshitaka NISHIYAMA, Tsutomu YABE and Jun OIKAWA

1. はじめに

国土交通省では、まちづくり交付金を新設し、全国の都市の再生を効率的に推進することが謳われている（閣議決定：平成16年2月3日）。そこには、都市整備計画を作成し、事業中や事業後には計画目標の達成度合いをアウトカム指標にてモニタリング、評価を行うこととなっている。そこで、今後、フリンジ駐車場の整備やトランジットモール等の事後評価等は、都心の施設内外の歩行者回遊行動を正確に計測、評価を行い、事業計画にフィードバックさせていくことがより重要となってくる。

一方、これまで中心市街地における基本計画の立案や施設配置の事後評価を行う上では、歩行者の基礎的な行動特性を十分把握されているとは言い難い。従来の都心の歩行者回遊行動の把握には、アンケート用紙による記述式調査やヒアリング調査などが一般的に行われていた。これら調査を歩行者交通計画や施策の評価に活用するためには、立ち寄り先の情報のみならず、経路情報の把握も重要となる。しかし、これら情報を把握する場合には、被験者の調査負担や記入アンケートのコーディング、エディティング、パンチング等に多大な時間と費用が費やされる。そのため多くの実態調査では、経路情報等を把握することはほとんどなかった。

一方、近年のGPS (Global Positioning System) やPHS (Personal Handyphone System) 等に代表される移動体通信機器（以後、電子デバイス）の技術的発展はめざましく、歩行者の回遊行動を把握する試みが行われ始めている^{1,2)}。電子デバイスの利用は、それを所持するだけで立ち寄り施設や経路に関する歩行者回遊行動を、位置、時刻、施設ID等のデジタルデータとして把握できる特徴をもつ。そのため、都心内のミクロな回遊行動のみならず、自

宅を出発し帰宅するまでの一連のマクロ的な交通行動を把握することも可能である。ただし、都心内という比較的狭い地区を対象に電子デバイスを用いた歩行者回遊行動に関する指標の研究はない。

そこで本研究では、①都心部といった比較的狭域の地区を対象に、歩行者の回遊行動に着目した評価指標を提案し、②その指標算定に適切な電子デバイスを選定するために各種電子デバイスの基本特性を分析するとともに、③電子デバイスにより取得したデータを用いて、提案した評価指標の算定を試み、歩行者回遊行動調査への適用可能性を検討することを目的とする。

2. 新たなモビリティ指標の提案

都心来街者の一般的な歩行者回遊行動は、図-1に示すように、鉄道駅、バス停、駐車場等の都心との交通結節点から回遊行動が始まり、施設間、施設内を経由し、最後に再び交通結節点にて都心から離れる。ここでは、これら一連の歩行者回遊行動を再現し、時間の観点から新たな評価指標の提案を行う。

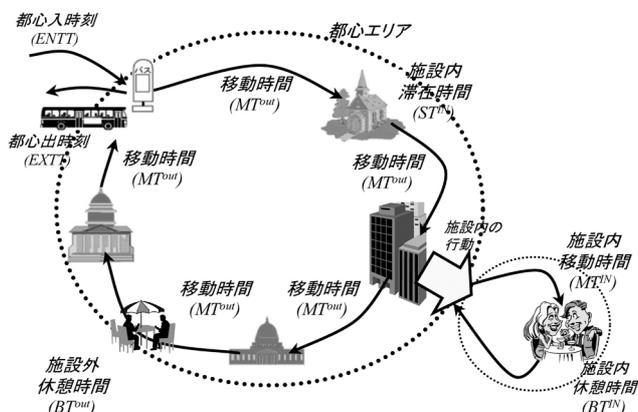


図-1 都心回遊行動のパターン化とモビリティ指標の概念図

* 交通研究室 ** 東北事務所 *** 横浜国立大学

従来の時間に関する評価は、ほとんどが都心滞留時間のみであった。これでは、その滞留時間が施設内、施設外、または移動中、休憩中なのかが不明であるため、都心を評価するための魅力を十分に再現できない。

そこで、本研究では都心の評価指標として、従来の都心内の滞留時間を施設内外で細分化した施設内滞留時間と施設外滞留時間を提案する。また、滞留時間を行動状態に細分化した移動時間と休憩時間として提案する。その式は式(1)~(3)に示す。

・滞留時間(施設外、施設内)

$$ST_{inj}^S = EXT_{inj}^S - ENT_{inj}^S \quad (1)$$

・移動時間(施設外、施設内)

$$MT_{inj}^S = ST_{inj}^S - BT_{inj}^S \quad (2)$$

・休憩時間(施設外、施設内)

$$BT_{inj}^S = \sum_k (EBT_{inj,k}^S - SBT_{inj,k}^S) \quad (3)$$

S : out 施設外、in 施設内

ST_{inj}^S : 来街手段 t 被験者属性 n 場所 j の滞留時間

EXT_{inj}^S : 来街手段 t 被験者属性 n 場所 j の出時間

ENT_{inj}^S : 来街手段 t 被験者属性 n 場所 j の入時間

MT_{inj}^S : 来街手段 t 被験者属性 n 場所 j の移動時間

BT_{inj}^S : 来街手段 t 被験者属性 n 場所 j の休憩時間

EBT_{inj}^S : 来街手段 t 被験者属性 n 場所 j 、 k 回目
休憩終了時間

SBT_{inj}^S : 来街手段 t 被験者属性 n 場所 j 、 k 回目
休憩開始時間

3. 電子デバイスの基本特性分析

2にて提案した新たな評価指標を算定するためのデータ把握は、電子デバイスの利用が有効な手段の一つであると考え。以下では、場所と時刻を同時に把握が可能である代表的な電子デバイスとして、GPS、PHS、gpsOne(GPS + 携帯電話) 対応型携帯電話、電波タグ(Radio Frequency Identification) の4つの電子デバイスを用いて、データ収集実験を行い、各種電子デバイスのデータ把握に関する基礎的特性の分析を行うとともに、都心地区への適用性について検証する。

(1) データ収集実験の概要

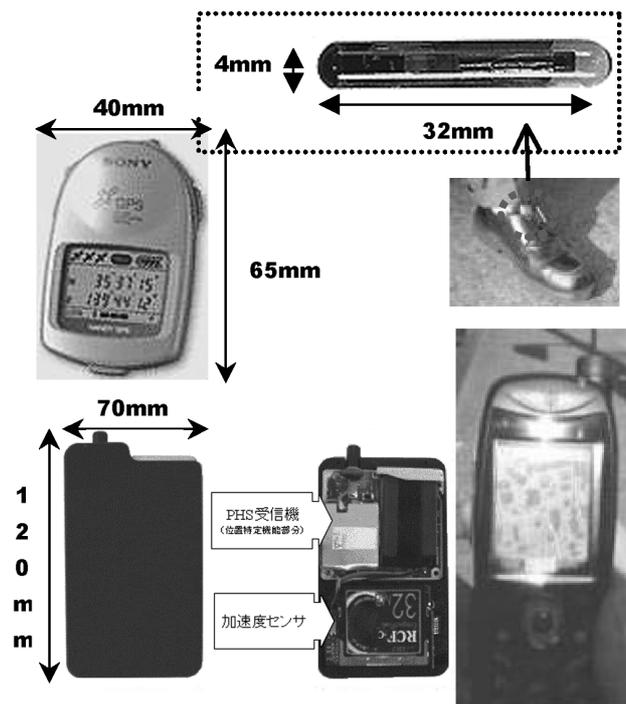
電子デバイスを用いたデータ収集実験は、福岡市天神地区、中洲川端地区にて行った。データ収集は、

屋外、屋内、ガード下、地下街等の場所別にルートを設定し、そのルートを4つのデバイスを所持した被験者が歩行回遊する方法にて行った。その概要を表-1、図-2、3に示す。

表-1 調査の概要

項目	内容
実施日	2002.2.2(土) 9(土)
被験者数	成人男性1名
利用機器	4つの電子デバイス GPS、PHS+加速度計 ¹ 、gpsOne 対応型携帯電話、電波タグ(パッシブタイプ) ²
データ取得間隔	・GPS:1秒、・PHS:15秒、・gpsOne:任意(施設到着・出発時に取得)・電波タグ:任意(受信機の設置箇所通過時に取得)
ルート	・A:西ルート、・B:東ルート(地上、屋内)・C:天神地下街ルート(地下)・Dルート:中洲川端ルート(地上)
備考	電波タグ、リーダの設置箇所 ・岩田屋 Z-side、・新天町商店街

1: PHS+加速度計はPEAMON(株) 都市交通研究所、(株)アイ・ティ・リサーチ社が開発した交通行動を把握する機器(PHSと加速度センサが内蔵、データ収集はオフライン形式))を利用。
2: 電波タグは、電波タグ受信機を設置した箇所を電波タグと所持した被験者が通過すると受信機側にデータが把握される機器。

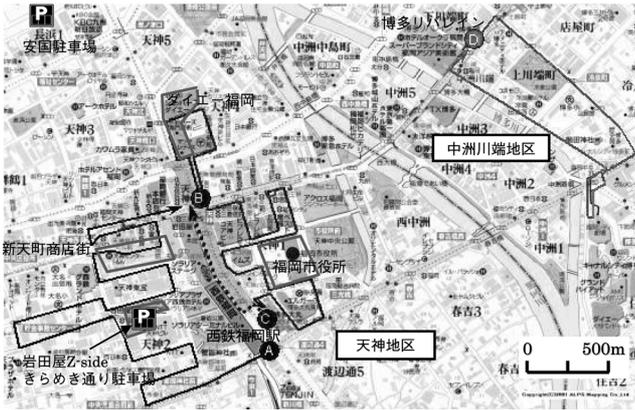


(左上:GPS 端末、左下:PHS、右上:電波タグ、右:gpsOne)

図-2 調査機器

(2) 電子デバイスのデータ把握に関する基礎分析

都心地区への適用可能性を検証するため、地上、屋内、地下等の計測場所別におけるデータ取得状況としてデータ取得率と位置特定誤差の2項目について分析を行う。



注)

- ・きらめき通り駐車場は岩田屋 Z-side 内にあり
- ・ルート A、ルート B、ルート C、ルート D は実際の移動経路
- ・電波タグ受信機は、「岩田屋 Z-side」と「新天町商店街」の出入り口等に設置

図 - 3 調査箇所

データ取得率とは、「取得ログ数を机上算定上、取得可能なログ数で除した値」であり、位置特定誤差とは、「取得出来たデータから実際に通過した道路上への垂線の距離」にて算定を行った。

1) データ取得率

データ計測場所毎の位置特定誤差の結果は、表 - 2 に示す。この結果より計測場所毎に電子デバイス間のデータ取得状況の特徴が明らかとなった。

GPS の取得率は、地上で 70% 程度であり、屋内や地下では把握出来ていない。これは屋内や地下街にて GPS 端末が衛星を把握することが困難なためである。gpsOne と電波タグは、どのような場所であっても 100% である。これは、天神地区が gpsOne 携帯電話の利用圏内であること、電波タグはリーダ設置箇所を通過すれば必ずデータが把握できるためである。PHS は、地上にて 85% 程度、屋内、地下等では地上より若干データ取得率が低下するものの、都心では、場所に関係なくデータの取得が可能であることがわかる。

2) 位置特定誤差

データ計測場所別の位置特定誤差の結果は、表 - 3 に示す。地上では、どの電子デバイスも位置特定誤差が 45~60 m 程度である。屋内・ガード下では、GPS は計測不可能であり、他の 2 つの電子デバイスは地上と同程度である。

表 - 2 計測場所別データ取得率

電子デバイス	項目	地上			地下	合計
		屋外	屋内	ガード下		
GPS	取得可能ログ数	4980	1380	720	900	7980
	取得ログ数	3519	9	387	0	3915
	取得率	70.7%	0.7%	53.8%	0.0%	49.1%
gpsOne	取得可能ログ数	25	2	3	14	22
	取得ログ数	25	2	3	14	22
	取得率	100%	100%	100%	100%	100%
PHS	取得可能ログ数	332	92	48	60	532
	取得ログ数	282	40	32	31	385
	取得率	84.9%	43.5%	66.7%	51.7%	72.4%
電波タグ	取得可能ログ数	-	25	-	-	25
	取得ログ数	-	25	-	-	25
	取得率	-	100%	-	-	100%

注) PHS は PEAMON (PHS + 加速度計) を指す。

表 - 3 計測場所別電子デバイス別の位置特定誤差

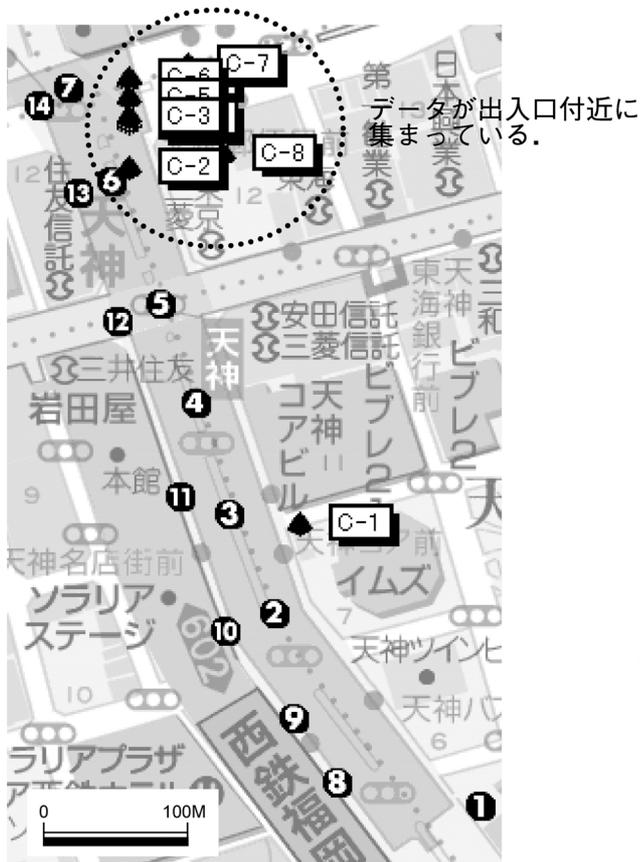
	電子デバイス	サンプル数	平均値 (m)	標準偏差 (m)
地上	GPS	10	56.2	37.1
	gpsOne	25	45.2	19.5
	PHS	10	59.8	37.5
	計	45	50.9	29.5
屋内・ガード下	GPS	-	-	-
	gpsOne	5	58.1	25.2
	PHS	5	47.3	29.0
	計	10	52.7	27.7
地下	GPS	-	-	-
	gpsOne	14	169.2	93.0
	PHS	4	42.9	20.7
	計	18	141.1	97.9

注) 電波タグは、リーダを設置した場所がデータ取得位置であるため、位置特定誤差 0 m となる。

地下では、屋内等と同様に GPS は計測不可能である。PHS の平均は 42.9 m であるのに対し、gpsOne は 169.2 m と約 4 倍も精度が低下している。これは、gpsOne を地下で利用する場合、GPS 衛星による位置把握が出来ないため、cdma 方式⁴⁾のみにて位置特定が行われるからである。また、地下街は、コンクリート等に囲まれているため、電波がマルチパスにより遠くまで伝わりやすくなっている。そのため、携帯電話のアンテナ数の設置が地上に比べると少なくなり、位置の特定も地下街の出入り口付近にあるアンテナに集中する。つまり、遠くのアンテナのみでデバイスの位置を把握し、実際の位置と把握されたデータ位置とでは大きな誤差が発生す

る(図-4)。また、特に PHS と電波タグには、施設内のフロアまで位置の特定ができることに特徴がある(図-5)。これは、PHS の場合、基地局の電波の通信距離が短いため、基地局が施設のフロア毎に取り付けられているからである。

さらに、パワーアンテナ等の簡易アンテナの設置



注)
 ・ 数字は gpsOne にて計測した実際の場所。数字は計測順番号
 ・ は実際に取得したデータ。丸数字に対応する計測順番号が c - * にて記載

図 - 4 地下街における gpsOne の位置の測定状況

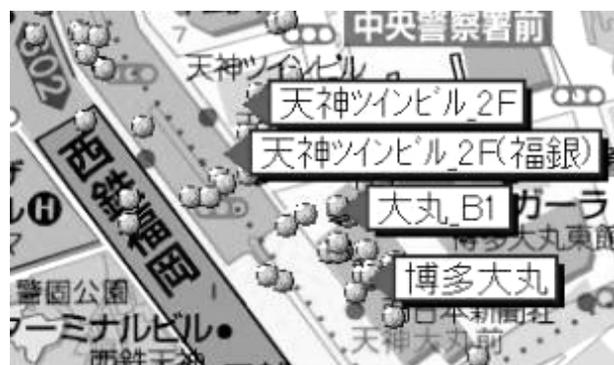


図 - 5 PHS による被験者の施設内のフロア把握状況

や、個々の施設が独自に設置している業務用無線アンテナを利用することにより、その位置特定精度の向上が把握できる⁶⁾。電波タグは、受信機を各フロアの出入り口等に設置することで把握可能となる。

3) 電子デバイスの適用性の検証

都心の歩行者回遊行動調査への電子デバイスの適用を考えると、データ取得率が高く、位置特定誤差が小さく、施設の出入りの時刻が正確に把握できるデバイスは適用性が高いと言える。

1) 及び 2) の結果より、データ取得率の観点からは、GPS では、高層ビルの中の狭い路地、地下街の影響より平均約 49% となり十分なデータ取得を行うことができない。一方、gpsOne、電波タグは 100% であり、どのような場所でもデータの取得が可能である。PHS は電波が十分に捉えられない箇所以外では、若干データ取得率は小さいものの全体としては約 72% が把握可能である。

位置特定誤差の観点からは、gpsOne は地下街にて精度が地上屋内の約 3~4 倍も著しく低くなってしまふ欠点があり、PHS はどの場所でも 40~60 m 程度の誤差をもつが、施設内に基地局アンテナが設置されているためにどの施設にいるのか把握可能である。電波タグは、データ把握の方法から位置特定誤差が発生しない。

以上のように、本研究で比較検証した 4 つのデバイスのうち、データ取得率と位置特定誤差の 2 つの観点から都心の歩行者回遊行動調査にて適用性が高い電子デバイスは、PHS または電波タグが考えられる。今回は 4 種類の電子デバイスに限定し比較検証を行ったが、GPS や gpsOne は今後電子基準点を利用した位置補正やシュードライド (pseudolite) 等の位置補正技術の向上が期待されるデバイスであるため、今後の開発動向に注目したい。

4. 電子デバイスを用いた評価指標の算定

本章では、都心に適用性の高かったデバイスの中で電波タグデータを対象に指標の算定を行う。手順は、最初に 2 章にて提案を行った指標を試算し、次に都心への来街者の交通手段別 (自動車と地下鉄) の都心回遊行動の違いの把握を行う。

データは、前者が 2002 2 2(土)、3(日)、9(土)、10(日) に福岡市の天神地区まで自動車て来た約 600 名の被

験者データを用い、後者は2002.11.2(土)、3(日)、9(土)、10(日)に地下鉄や自動車にて来た490名のデータを用いる。尚、電波タグの受信機は図-6に示すようにマットタイプと簡易設置タイプの2つがあり、2月データではマットタイプ、11月データは簡易設置タイプにてデータの取得を行っている。

(1) モビリティ指標の試算

モビリティ指標の試算は、電波タグ受信機を設置した新天町商店街及び、岩田屋 Z-side にて行った(場所は図6参照)。

尚、今回の試算は、施設内滞留時間(岩田屋 Z-side、新天町商店街)と施設内移動時間(新天町商店街の入出時間と移動経路)について行った。それは受信機の設置が個々の施設(例えば喫茶店)の入出時刻を把握しておらず、正確な施設内移動時間や休憩時間の検証を行うことができないためである。

1) 施設内滞留時間

ここでは、岩田屋 Z-side と新天町商店街の両方に立ち寄った40歳代の女性2人組と30歳代の家族連れ4名の被験者データを用いて、式(1)より施設内滞留時間の算定を行った。

算定結果は、図-7に示す。各施設の滞留時間は、両属性とも新天町商店街よりも岩田屋 Z-side の方が高く、属性毎の比較では、ファミリーの方が女性2人組よりも岩田屋 Z-side に滞留している時間割合

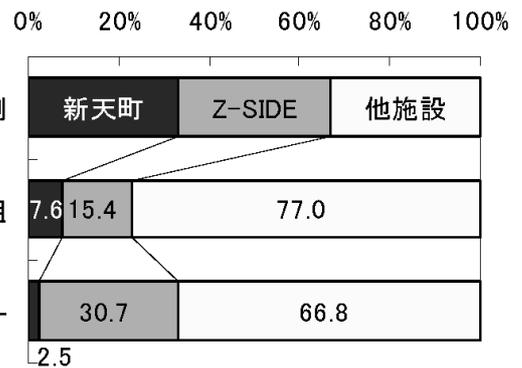


図-7 各施設の滞留時間比率

備考：滞留時間比率とは都心滞留総時間に占める個別施設の滞留時間割合

が高いことがわかる。

2) 施設内移動時間

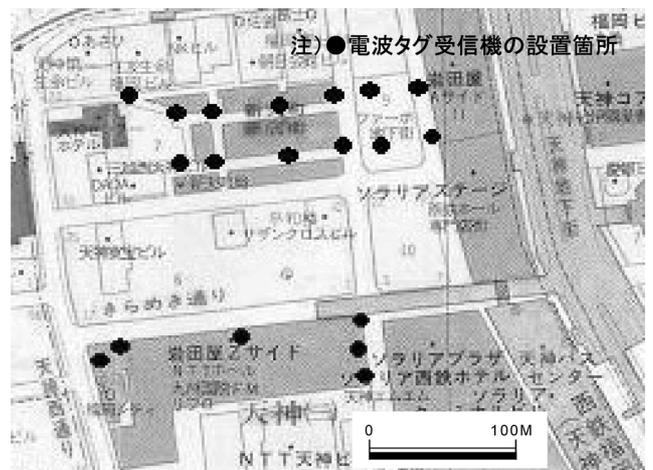
施設内移動時間は、移動経路も把握できる新天町商店街に立ち寄った60歳代の家族連れ4名の被験者データを用いて式(2)より算定を試みる。

この被験者は、新天町商店街に13時15分に入り、13時53分に出て、約38分間商店街の中を移動していたことになる(図-8)。これは、設置した受信機に蓄積されたデータを統合し、被験者のID情報から被験者毎の行動データを生成し、任意の受信機ID(ここでは新天町商店街の全ID)を指定することで算定したものである。

このように電波タグは施設の出入り時刻を正確に



図-6 電波タグ受信機(2種類)と受信機設置箇所



把握できるため、特定施設内の移動時間は受信機に蓄積したデータを統合するだけで推計可能である。また、商店街には、各街路の交差となる箇所に電波タグ受信機を設置しているため、被験者がどの経路を通過したのかを把握することも可能である。さらに、商店街中の個々の店舗やベンチ等休憩施設の出入口等に電波タグ受信機を設置することにより、正確な施設内の移動時間と休憩時間を把握が期待できる。



図 - 8 施設内移動時間と経路

(2) 都心モビリティの計測

本節では、電波タグを用いて都心に来街する交通手段の違い（地下鉄と自動車）による都心での行動パターンの違いを次表に示す指標にて試みた。

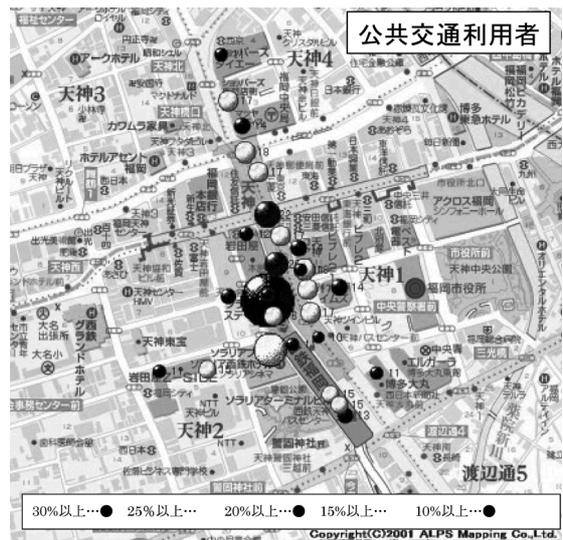
尚、詳細については参考文献 8 を参照されたい。

表 - 4 本節にて算定したモビリティ指標

- ・施設間トリップの発生集中量
- ・トリップ分布
- ・平均立ち寄り施設数
- ・施設別の立ち寄り率
- ・都心滞留時間（施設内外）

1) 施設間トリップの発生集中量、トリップ分布

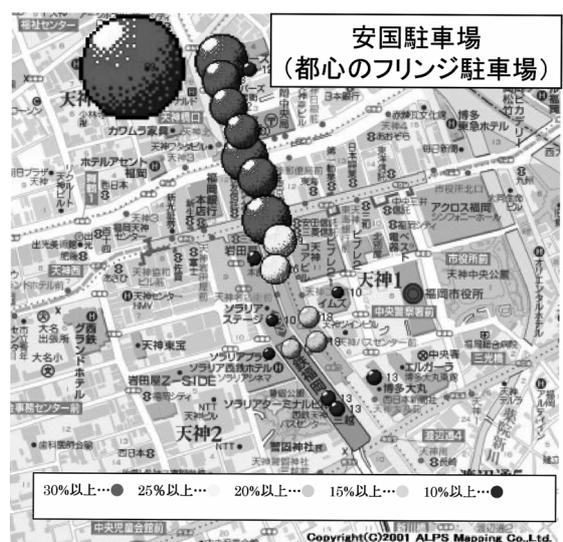
来街手段別の施設間トリップの発生集中量とトリップ分布（図 - 9 a , b）を見ると、歩行者の歩行圏域は地下鉄利用者が一番大きいことがわかる。また、自動車利用でも都心とフリンジに駐車する場合は、フリンジ駐車場の方が歩行圏域が広くなり、都心に駐車する歩行者は、近接する商業地のみを利用する傾向にあることがわかる。



注) 凡例の%は全被験者に対して各施設へ立ち寄った被験者の割合



注) 凡例の%は全被験者に対して各施設へ立ち寄った被験者の割合



注) 凡例の%は全被験者に対して各施設へ立ち寄った被験者の割合

図 - 9 a 来街手段別の施設別発生集中量

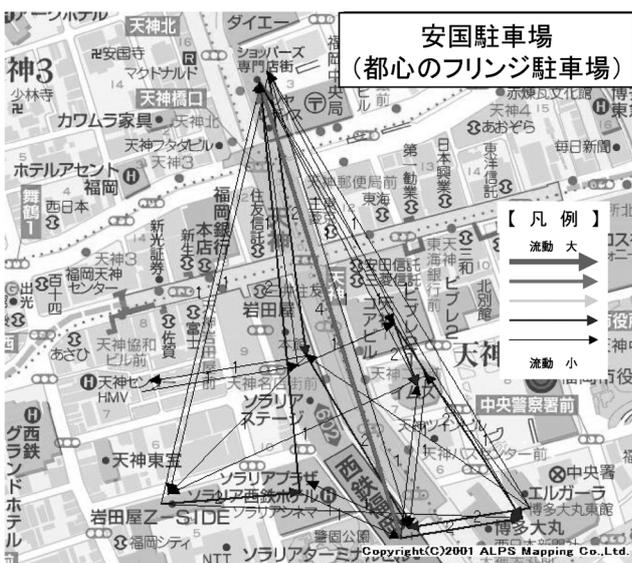
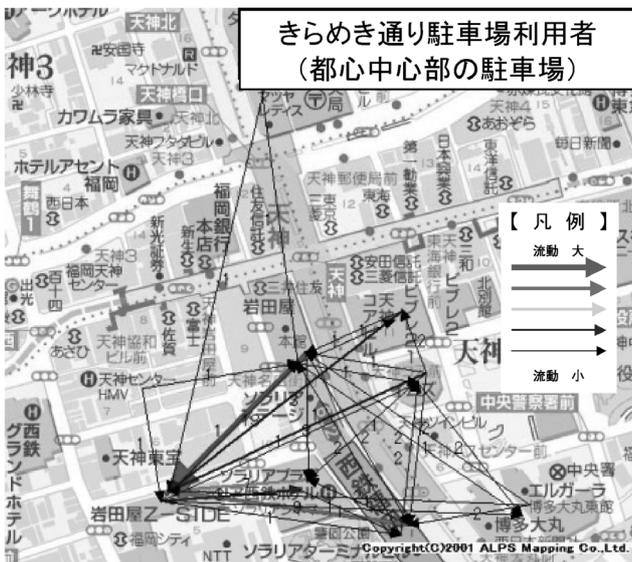
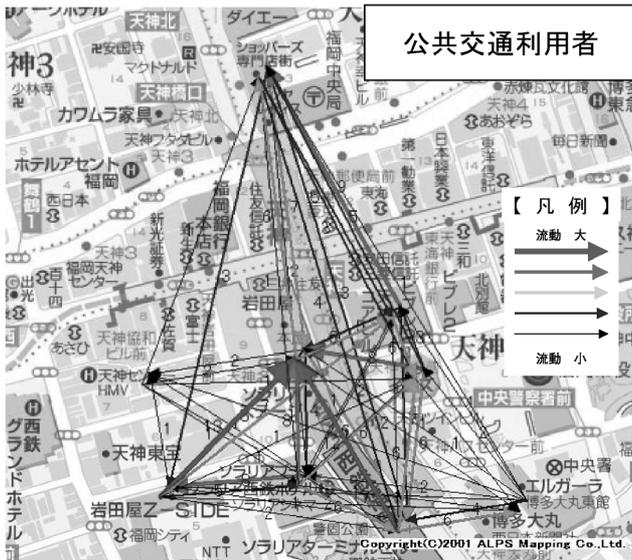


図 - 9 b 来街手段別のトリップ分布

2) 平均立ち寄り施設数

来街手段別の平均立ち寄り施設数は、公共交通利用者が約1.6施設、都心のきらめき駐車場利用者が約0.8施設、フリンジの安国駐車場が約1.2施設であり、立ち寄り施設数でも公共交通利用者が自動車利用者の1.3~2倍程度になっていることがわかる(図-10)。

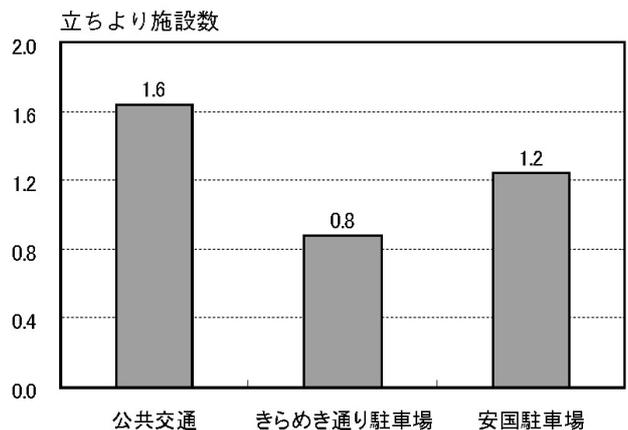
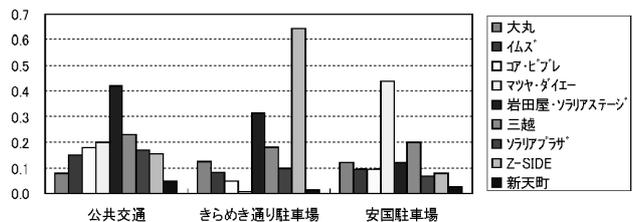


図 - 10 来街手段別平均立ち寄り施設数

3) 施設別の立ち寄り率

施設別の立ち寄り率を見ると、どの交通手段でも乗り換え施設(駅, 駐車場)から最近傍施設にて最も立ち寄り率が大きくなっている(図-11)。



$$\text{立ち寄り率} = \frac{\text{施設立ち寄り数}}{\text{全サンプル数}}$$

図 - 11 来街手段別の施設立ち寄り率

4) 都心滞在時間(施設内外)

公共交通利用者の平均の都心滞在時間は3時間半を越え、自動車利用者を約1時間上回る。また、施設内滞在時間は男性が約30分、女性が約60分であり、2倍程度、女性の方が長く都心に滞在していることがわかる(図-12)。

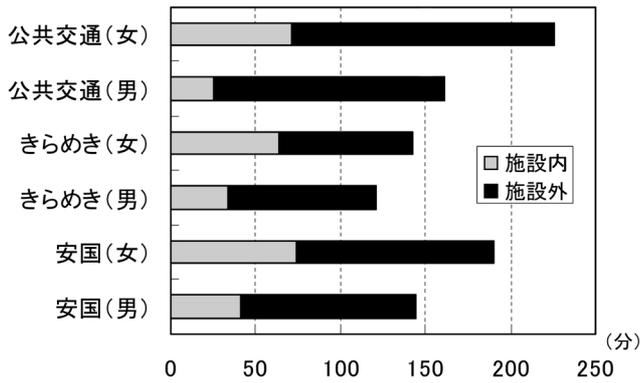


図 - 12 来街手段別性別の都心滞留時間

5 . 結論

本研究にて得られた知見は、次の通りである。

- ① 中心市街地の施設整備の計画立案や、事業の評価を行うためには、従来の施設外のみでの評価では都市の魅力を十分に把握できないため、施設内の行動を考慮し、更に移動時間と休憩時間とに分けて都心の評価指標を提案、定式化を行った。
- ② 都心地区の歩行者回遊行動調査にて利用する電子デバイスは、場所毎のデータ取得率、位置特定誤差等の関係から、特に単体の電子デバイス利用の場合、データ取得率が100%、位置特定誤差0mの電波タグが最も有効であり、PHSも、位置特定誤差が40~60m程度あるものの、施設内フロア毎に基地局アンテナが設置されているため、施設の出入りの位置把握に利用可能性が高いことが明らかとなった。
- ③ ①にて提案を行った新たな評価指標を電波タグのデータを用いて算定を試みた。その結果、電子デバイスは、指標を算定する際に有効なツールであることが確認できた。
- ④ 実際に交通手段別の都心モビリティを比較計測すると、“自動車利用者よりも公共交通の利用”、

“自動車でも駐車場が都心よりもフリンジ部”、“性別では男性よりも女性”の方が都心での滞留時間やトリップ数が多いことが把握できた。このように電子デバイスを携帯するのみで上述のような特性が把握できることは、今後、都心活性化に際しての基礎データとして活用できると考える。

最後に、本研究の実態調査は、国土交通省九州地方整備局福岡国道事務所殿、(株)都市交通研究所李竜煥様、岡本篤樹様、(株)アイ・ティ・リサーチ、鈴木明宏様、他関係者各位にご協力頂いた。ここに感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 岡本・近藤・朝倉・田名部：狭域調査におけるPHSシステムによる位置特定機能の利用可能性について，土木計画学研究・講演集 vol 24，2001
- 2) 牧村：高度情報機器を用いた歩行者モニタリングと移動支援，交通工学第35巻4号，2000
- 3) 木下・田雑・牧村・浅野：都心地区における歩行者回遊行動調査とその有用性に関する研究，土木学会論文集 No.625/IV-44，pp.161-170，1999.7
- 4) 羽藤・香川・富島・岡本・朝倉：都市内行動モデル検証のための電界基配列に基づく位置特定アルゴリズム，土木計画学研究・講演集 vol 24，2001
- 5) 羽藤・朝倉：時空間アクティビティデータ収集のための移動体通信システムの有効性に関する基礎的研究，交通工学第35巻4号，2000
- 6) 鈴木・西山・中嶋・牧村：PHSと自営アンテナを用いた位置補正に関する研究，土木計画学研究・講演集 vol 25，2002
- 7) 小西・柴崎：GPSとシュードライドの利用可能範囲シミュレーションに関する研究，GPSシンポジウムビギナーズセッション，2001.11
- 8) 福岡国道事務所・IBS：平成14年度高度情報通信技術を用いた都心モビリティ計測調査業務，平成15年3