

滞在時間を考慮した回遊性向上施策の評価手法

関 信郎¹・越智 健吾¹・岩館 慶多²・菊池 雅彦³・
石神 孝裕⁴・茂木 渉⁴・石井 良治⁴

¹正会員 国土交通省都市局都市計画課都市計画調査室（〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3）

E-mail: seki-n2dq@mlit.go.jp, ochi-k8310@mlit.go.jp

²正会員 国土交通省道路局企画課道路経済調査室（〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3）

前 国土交通省都市局都市計画課都市計画調査室

E-mail: iwadate-k22aa@mlit.go.jp

³正会員 国土交通省大臣官房付(併)復興庁（〒100-8918 東京都千代田区霞が関3-3-1）

E-mail: masahiko.kikuchi.f3y@cas.go.jp

⁴正会員 一般財団法人計量計画研究所（〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9）

E-mail: tishigami@ibs.or.jp, w Mogi@ibs.or.jp, rishii@ibs.or.jp

従来、公共施設等の立地を検討する場合、人口分布や施設の立地状況等から概ねの位置を計画されており、地区内における人の動きを踏まえて、どこが最適かという観点からの計画手法は十分ではなかった。一方、近年、携帯電話のGPSやWi-Fi等を活用することにより、地区内における個人単位の行動データを把握することが可能となってきた。そこで、国土交通省都市局では、個人単位の行動データをもとに、人の動きをシミュレーションし、施策実施の効果を予測した上で、施設配置や空間形成、交通施策を検討する計画手法（スマート・プランニング）の開発を進めており、これまでオープンカフェによる人の移動経路の変化等が評価可能な仕組みを提案してきた。

本稿では、より広い場面でのスマート・プランニングの適用をめざし、多様な評価施策や評価指標に対応できるように回遊行動シミュレーションモデルを構築する。具体的には、滞在時間による評価をおこなえるようにモデルを拡張するとともに、再開発等の施策に対する適用可能性を検証する。

Key Words : probe person survey, pedestrian behavior, micro simulation, revitalization city center

1. はじめに

従来、教育文化施設（公民館、図書館等）や、医療福祉施設等の立地を検討する場合、人口分布や施設の立地状況等から概ねの位置を計画し、当該地区内については公有地や遊休地等の状況により検討されているのが実態であり、地区内のどこが最適かという観点からの計画手法は十分ではなかった。交通実態調査に関しても、パーソントリップ調査等に見られるように広域的な交通を対象として実施されることが多く、地区内の交通については、歩行量調査やアンケート結果等が活用されるに留まっている。

一方、近年、情報化が進み、例えば携帯電話の位置情報等を活用することにより、地区内における個人単位の行動データを把握することが可能となってきた¹⁾²⁾。このような、個人単位の行動データを分析する手法としては回遊行動シミュレーションがあり、日本においても既往研究³⁾⁴⁾⁵⁾が蓄積されているものの、行政分野における導入はほとんどされていない。

そこで、国土交通省都市局では、個人単位の行動データをもとに、人の動きをシミュレーションし、施策実施の効果を予測した上で、施設配置や空間形成、交通施策を検討する計画手法（スマート・プランニング）の開発を進めている⁶⁾⁷⁾。

これまでの研究⁸⁾では、中心市街地における人の回遊継続行動、目的地選択行動、経路選択行動をモデル化することで、施設配置や空間形成、交通施策を実施した場合の回遊行動をシミュレーションし、立ち寄り先や移動経路の変化を評価可能な仕組みを提案してきた。また、ケーススタディとしてオープンカフェを実施した場合の歩行者数の変化を評価をおこなった。しかし、より広い場面でのスマート・プランニングの適用をめざすためには、多様な施策や評価指標に対応できるように回遊行動シミュレーションを構築する必要がある。例えば、回遊性向上の施策としては、オープンカフェだけではなく、再開発等の施設配置の変化や歩道の整備などの歩行動線の形成等が考えられ、また、評価指標としては、歩行者数の増加だけでなく、滞在時間や立ち寄り箇所数の増加

といった指標が考えられる。

そこで、本稿では、回遊行動シミュレーションモデルに滞留時間の選択モデルを組み込み、各種施策による滞在時間の指標が算出できるようにモデルを拡張することで、多様な評価指標の算出に対応できるようにする。また、ケーススタディとして、再開発や歩道拡幅等を組み合わせた場合のシミュレーションをおこなうことで、多様な施策へ活用可能性の検証をおこなう。

2. 回遊行動モデルの概要

回遊行動モデルは、回遊継続選択モデル、目的地ゾーン選択モデル、目的施設選択モデル、経路選択モデル、滞留時間選択モデルの5つの段階からなる選択構造とする(図-1)。このうち、回遊継続選択と目的ゾーン選択は同時に意思決定することを想定しており、Nested Logitモデルによるモデル化を行っている。目的施設選択モデルは、現況のゾーン内の各施設の利用状況の比率で按分する手法を採用する。また、経路選択モデルは、施設間の複数経路を選択肢とするMultinomial Logitモデルを構築する。さらに、滞留時間選択モデルは生存時間解析手法(加速モデル)により構築する。

回遊行動モデルの構築はトリップ単位に区切られたデータを用いて行うが、シミュレーションの際に逐次的に回遊行動モデルを適用することで、中心市街地に入ってから中心市街地を出るまでの一連の動きを動的に表現できるようにする。これにより、施策実施による影響の評価を、歩行者数だけでなく立ち寄り箇所数や歩行距離、滞在時間の観点からも行うことが可能なシミュレーション

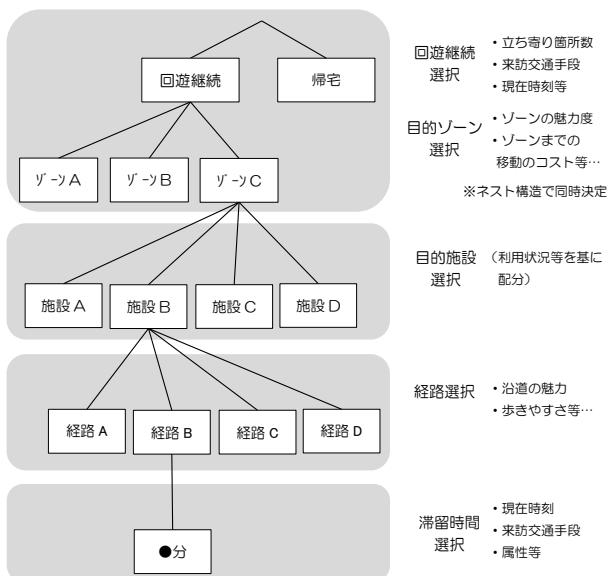


図-1 回遊行動モデルの構造

ンとなっている。シミュレーションの実施方法の詳細に関しては4章にて記述する。

3. プロブパーソン調査データの概要

本研究の回遊行動モデルの構築では、岡山市において平成27年に実施されたプロブパーソン調査(以下、PP調査)の結果を活用する⁹⁾。調査対象エリアを図-2、調査概要を表-1に示す。

対象となる中心市街地において、「買い物」及び「散歩・回遊」を目的とした「徒歩」トリップを抽出し、これを用いて回遊行動モデルを構築する。推定に使用したサンプル数は、各モデルの推定結果に記載する。



図-2 岡山市PP調査の対象エリア

表-1 岡山市PP調査の概要

調査方法	<ul style="list-style-type: none"> ①一般市民の中から調査モニターを募集 ②PCもしくはスマートフォンによりWEB経由で参加登録を行い、アプリを起動するためのIDとパスワードを取得 ③調査モニターは、自分のスマホに調査用アプリをインストール ④調査期間中にアプリを操作することで移動の軌跡等の情報を収集
対象者	モニター登録時点で16歳以上の一般市民
調査日	10月10日(土)～10月25日(日)の間の土日 ※10月10日及び11日には回遊性向上社会実験を実施
調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・移動の起終点位置 ・出発到着時刻(1分単位) ・移動経路(1秒間隔) ・移動目的(「出勤・登校」「帰宅」「帰社・帰校」「業務」「送迎」「買い物」「食事」「娯楽」「散歩・回遊」「その他」) ・交通手段(「自動車(運転・同乗)」「電車」「地下鉄」「バス」「バイク・原付」「タクシー」「自転車」「徒歩」「その他」) ・個人属性
調査結果	<ul style="list-style-type: none"> ・調査人数は2,446人日 ・取得したトリップ数は6,384トリップ

4. 回遊行動モデルの推定

(1) 回遊継続・目的地選択モデル

a) モデルの定式化

回遊継続選択モデルでは「中心市街地での回遊を継続する」もしくは「帰宅する」の二つを選択肢として、モデルを構築する。次に、ある個人がどの場所へ移動するかを選択する目的地選択行動をモデル化する。選択肢としては、中心市街地を24のゾーンに区切ってゾーン単位で目的地を選択する方法を採用する。回遊継続選択モデルと目的地選択モデルはNested Logitモデルで同時決定するようにモデル化する。これにより、ゾーンの魅力度などの目的地選択の説明変数が変化した場合に、立ち寄り箇所数などの回遊継続の指標が変化するようにするため、独立なモデル構造と比較して、多様な評価指標によって施策の検討を行うことが可能となる。

回遊継続選択モデルの説明変数は、中心市街地に来訪してからのトリップ数、現在時刻、自動車による中心市街地への来訪者のダミー、目的地ゾーン選択モデルのログサム変数とする。時間制約、移動が増えることによる負担、自動車による滞在は駐車料金の増加となり早く帰宅したくなること等を加味して回遊を継続するかどうかを判断することを念頭においたモデルとなっている。ただし、中心市街地に来訪した直後に帰宅を選択することは起こり得ないと仮定し、第1トリップの回遊行動選択においては、帰宅の利用可能性をなしとしている。なお、説明変数における現在時刻は、藤井ら¹⁰⁾によって開発された生活行動シミュレータ：PCATSで用いられている時刻表現と同様に、時刻を分単位に換算して設定するものとする。具体的には、午前3時ならば180、翌午前3時ならば1,620と設定する。

目的地ゾーン選択モデルの説明変数は、店舗数、大規模施設数、公共施設ダミー、繁華街ダミー、大規模施設ダミー、ゾーン間アクセシビリティ、ゾーン内々ダミー、ゾーン面積とした。店舗数や各種ダミー変数が目的地ゾーンの魅力度を表し魅力が高い場合には選択されやすくなっており、アクセシビリティは目的地までの移動抵抗を表し距離が長い場合等には選択されにくくなっている。また、ゾーン面積を考慮しているのは、同じ魅力度のゾーンであっても、面積が大きい方が、面積が小さいゾーンよりも多くのトリップが集まることを表現するためである。

なお、目的地ゾーン選択モデルにおいては、選択肢集合を絞ることは行わず、全てのゾーンを選択肢集合として設定する。

b) モデル推定のためのデータ整備

回遊継続選択モデルの説明変数である「中心市街地に

来訪してからのトリップ回数」及び「現在時刻」に関しては、PPデータの実績よりデータを作成した。また、「自動車による中心市街地への来訪者のダミー」は、PPデータの実績より中心市街地にアクセスしたトリップの代表交通手段が自動車の来訪者が1となるよう設定した。

目的地ゾーン選択モデルの説明変数である「店舗数」に関しては、ゾーン内に立地する飲食・物販店舗数を集計した。店舗数の集計においては、株式会社ゼンリンが提供する建物ポイントデータを活用した。ただし店舗数には夜間に開業する飲食店も含まれており、これらの店舗数は日中の回遊行動に与える影響は少ないと考えられるため、該当地区には「繁華街ダミー」を設定することで加味をした。「公共施設ダミー」に関しては、ゾーン内の公共施設件数が10件以上のとき1となるように設定し、「大規模施設ダミー」に関しては、集客力の高い岡山駅前、天満屋、イオンモール、イトーヨーカドーが立地するゾーンに設定した。

また、ゾーン内外の移動コストに相当する「アクセシビリティ」指標については、ゾーンごとに代表施設を1つずつ設定し、その代表施設間の経路選択モデルの期待最大効用を用いることとした。このようにすることで、歩道の拡幅等により目的ゾーンまでの移動抵抗が減少することで、目的地が選ばれやすくなることを表現している。

c) パラメータ推定結果

パラメータ推計結果を表-2に示す。回遊継続選択モデルに関しては、符号条件を満たしており、中心市街地に来訪してからのトリップ数が少ない方が回遊継続しやすく、また自動車以外の交通手段で来訪する人が回遊継続しやすく、現在時刻が早いほうが回遊継続しやすいという結果となっている。ただし、トリップ数に関しては値が低く有意に効いていない点には留意が必要である。

目的地ゾーン選択モデルに関しても符号条件を満たしており、店舗数が多いゾーンほど目的地として選択されやすく、またゾーン間のアクセシビリティが高い方が選択されやすく、繁華街（開業時間が遅い店舗が多い地域）でない方が選択されやすく、大規模商業施設が立地しているゾーンが選択されやすいという結果となっている。

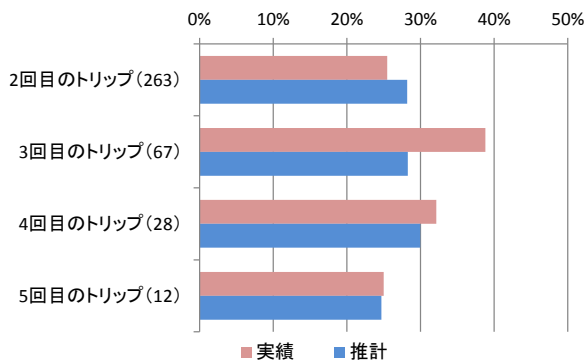
d) 現況再現性の検証

各トリップ回数における回遊継続の選択確率を確認すると、中心市街地に来訪してから2回目のトリップの際には、実績と比較して帰宅をやや選択しやすいモデルとなっている。3回目以降は回遊継続を選択しやすいモデルとなっている（図-3）。

表-2 回遊継続・目的ゾーン選択モデルパラメータ推定結果

	説明変数	パラメータ	t値
回遊継続 選択 モデル	トリップ数	-0.0009	-0.01
	交通手段(自動車)	-0.5060	-2.06
	現在時刻	-0.0034	-5.12
	ログサム	0.6006	1.54
	ln(対象店舗数+1/面積)	0.5341	2.62
	ln(大規模施設数+1/面積) 【10000 m ² 以上】	0.6243	3.47
	公共施設ダミー	0.9492	1.66
	繁華街ダミー	-0.6135	-1.30
目的 ゾーン 選択 モデル	大規模施設ダミー【岡山駅前】	2.9731	8.32
	大規模施設ダミー【イオンモール】	0.7215	2.75
	大規模施設ダミー【イトーヨーカドー】	0.6301	1.30
	駅西側ダミー	-1.3537	-2.18
	アクセシビリティ (内外のみ)	0.4695	7.55
	内々ダミー	0.6385	3.23
	面積(m ²)	1.0000	—
	初期対数尤度	-965	
	最終対数尤度	-657	
	対数尤度比	0.320	
	サンプル数	427	

※第1トリップは帰宅の利用可能性なし



※括弧内の数値はサンプル数

6回目以降のトリップはサンプル数が少ないため省略

図-3 回遊継続選択確率の再現結果

目的地ゾーン選択モデルの検証として、ゾーンの集中量の実績と推計値を比較した結果が図-4である。相関係数は0.978と高く、集中量の多いゾーンを中心として比較的整合がとれている。また、トリップ長分布の実績値と推計値を比較すると、250～500m等では若干の乖離が見られるが、概ね実績データとの整合は図られていることが確認できる(図-5)。

(2) 経路選択モデル

a) モデルの定式化

経路選択モデルでは、出発施設から目的施設までの複数経路を選択肢とする。経路選択モデルの説明変数は、

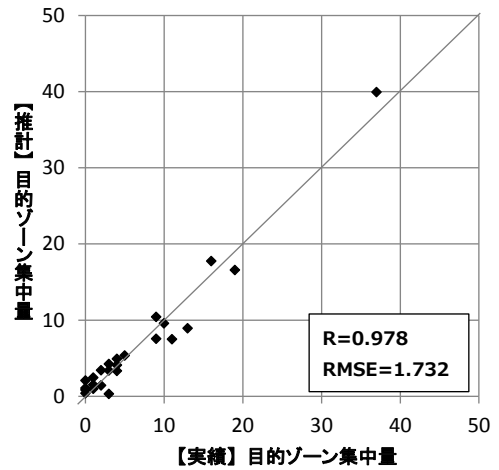


図-4 ゾーン集中量の再現結果

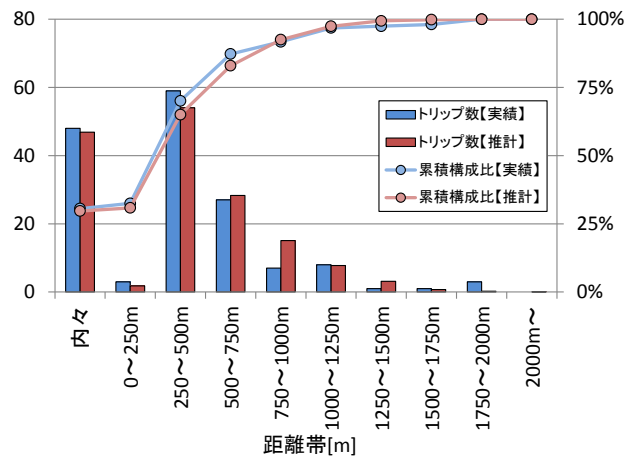


図-5 トリップ長分布の再現結果

経路長、右左折回数、歩きやすい歩道の比率、沿道の店舗の状況、商店街の比率とした。経路長と右左折回数は大きい場合にはその経路が選択されにくくなり、歩きやすい歩道、沿道店舗の数、商店街があることは、その経路が選択されやすくなる動機となると考えたモデルとなっている。

施設間が一定以上離れると、経路の選択肢は無数に存在してしまうため、経路選択肢モデルにおいては、選択肢集合を適切に絞り込むことが必要となる。本研究では、以下のようにリンク長を重み付けした6つのリンクコストを用いて、それぞれ最短経路探索を行い、選択肢集合を生成する。

【選択肢集合の生成におけるリンクコストの設定方法】

- ①重み付けなしリンク長
- ②車線数が4車線以上のリンクのリンク長を1/100としたコスト
- ③車線数が2車線以上のリンクのリンク長を1/100としたコスト

- ④歩道ありのリンクのリンク長を1/100としたコスト
- ⑤「沿道の店舗密度」が「2」のリンク長を1/100としたコスト（沿道の店舗密度の設定は後述）
- ⑥商店街のリンク長を1/100としたコスト

算定した6つの経路のうち、同一リンク列となる経路が存在した場合には、ユニークになるように経路を削除し、選択枝集合を構成する。また、算定した6つの経路のうち、①の最短経路長から1.5倍以上となる経路を削除することで、極端に遠回りする経路が選ばれないようにし、選択枝集合を構成する。

b) モデル推定のためのデータ整備

経路選択モデルの説明変数である「経路長」及び「右左折回数」に関しては歩行者ネットワークデータより作成した。本研究においては、デジタル道路地図をベースとして、公園の通り抜けや岡山駅の自由通路の動きを表現するために歩行者用のリンクを追加するかたちで歩行者ネットワークを作成した。「歩きやすい歩道の比率」の説明変数は、歩行者と自転車・自動車が分離されている道路のリンク長の合計の経路長に対する比率を算出した。具体的には、歩道が設置されており自動車と分離されている状態を、かつ歩道幅員4m以上で自転車とも分離されている道路を選定した。選定にあたっては、地図及び目視で確認を行った。「沿道の店舗の状況」は、飲食・物販店舗の密度を以下で分類し、経路長に対するリンク長さの比率により加重平均を行った値を指標として用いた。飲食・物販店舗密度の算出にあたっては、目的地ゾーン選択モデルのデータ整備で使用した建物ポイントデータを活用した。

【沿道の店舗密度の分類】

- 2：単位長さの飲食・物販店舗数が0.2以上
- 1：単位長さの飲食・物販店舗数が0.1以上0.2未満
- 0：上記以外

「商店街の比率」の説明変数に関しては、商店街のリンク長さの合計の経路長に対する比率を算出した。商店街の確認は地図及び目視により行った。

パラメータの推定にあたっては、起点から終点までの経路の実績データが必要になるため、点列で取得されているPPデータから経路情報の作成が必要となる。そのため、取得された点列データを歩行者ネットワークのリンクに紐付けるマップマッチングを行った。しかし、マップマッチング後のデータでは、途中の緯度経度情報が取得されていない等の理由により起点から終点までの一連の経路を把握できていない場合や、同じ場所を回遊している場合があり、そのままパラメータ推計用の実績データとして使用することは難しいデータがある。そのため本研究では、起点と終点から経路の選択枝集合を作成

し、選択枝集合の中で最もマッチングデータとの一致率が高い経路をパラメータ推計用の実績データとして取り扱うこととした。

c) パラメータ推定結果

パラメータ推計結果を表-3に示す。モデルは男女別にパラメータ推定している。パラメータはいずれも符号条件を満たしており、経路長が短く右左折回数が少ない経路ほど選択されやすい。また、経路上に歩きやすい歩道、沿道に店舗が集積している道路、商店街が多い経路の方が選択されやすいという結果となった。

d) 現況再現性の検証

パラメータ推計用の実績データから算出したリンク交通量と推計リンク交通量を比較したものが図-6である。相関係数は0.99程度と大きく、相関が高いことが確認できる。

(3) 滞留時間選択モデル

a) モデルの定式化

滞留時間選択モデルでは、目的施設において何分間留

表-3 経路選択モデルパラメータ推定結果

説明変数	男性		女性	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値
経路長 (m)	-0.0044	-3.6122	-0.0033	-3.6203
右左折回数 (回)	-0.0594	-0.9948	-0.1598	-2.9645
歩きやすい歩道の比率 (%)	0.3437	0.6246	0.7697	1.8746
沿道の店舗の状況	0.4213	1.1156	0.5132	1.6809
商店街の比率 (%)	1.5586	1.8875	1.9840	2.7899
初期対数尤度		-185		-274
最終対数尤度		-170		-252
対数尤度比		0.080		0.078
サンプル数		162		253

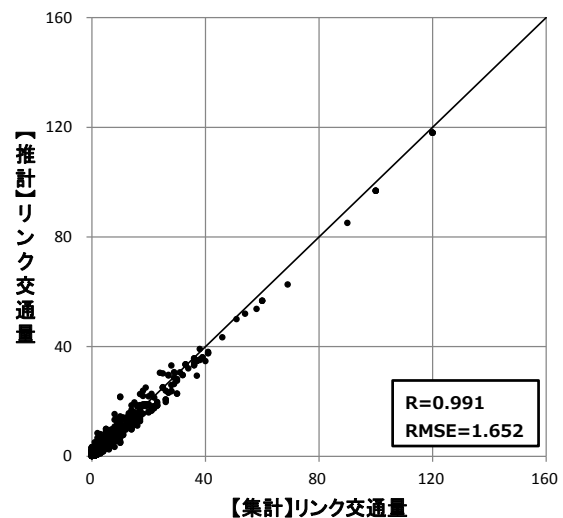


図-6 リンク交通量の現況再現結果

まるかを実数値で推計する。滞留時間選択モデルの説明変数は、現在時刻（目的施設に到着した時刻）、自動車による中心市街地への来訪者のダミー、中心市街地内滞在時間、女性ダミー、大規模施設ダミーとする。自動車による中心市街地への来訪者のダミーに関しては、長時間滞在は駐車料金の増加につながるため、施設の滞留時間が短くなることを想定し、説明変数として加えている。

b) モデル推定のためのデータ整備

滞留時間選択モデルの説明変数である「現在時刻」や「中心市街地内滞在時間」に関しては、PPデータの実績よりデータを作成した。また、「自動車による中心市街地への来訪者のダミー」は、PPデータの実績より中心市街地にアクセスしたトリップの代表交通手段が自動車の来訪者が1となるよう設定した。「女性ダミー」は回答者の性別が女性であれば1となるように設定し、「大規模施設ダミー」については、トリップの目的施設が特定の大規模施設であれば1となるように設定した。

c) パラメータ推定結果

パラメータ推定結果を表-4に示す。パラメータは符号条件を満たしており、現在時刻が遅いほど、また、中心市街地内滞在時間が長いほど、滞留時間が短くなる傾向となっている。来訪交通手段が自動車であることも滞留時間が短くなる傾向となる。また、男性よりも女性の方が滞留時間が長く、目的施設が大規模施設であることも滞留時間が長くなる要因となっている。

d) 現況再現性の検証

生存時間解析では滞留時間を連続値として扱うため、単純には現況再現推計をすることはできない。そこで、いくつかの説明変数を固定して、特定の属性による滞留時間の感度を表現できているかについて確認する。具体的には、女性ダミーによる男女間の滞留時間に違いを確認するため、その他の説明変数について、表-5のように固定する。

表-4 滞留時間選択モデルパラメータ推定結果

説明変数	パラメータ	t値
切片 (μ)	4.3437	12.17
尺度 (σ)	0.8608	16.61
来訪交通手段(自動車)ダミー	-0.0717	-0.50
現在時刻(分)	-0.0008	-1.87
中心市街地内滞在時間(分)	-0.0011	-0.86
女性ダミー	0.5593	4.01
大規模施設ダミー (施設 B)	0.3631	1.71
最終対数尤度		-218
サンプル数		157

実績の男女別滞留時間分布は図-7のとおりであり、女性の方が明らかに滞留時間が長い傾向にあることがわかる。これに対して、推定されたパラメータを用いて、表-5の設定値を代入して計算した男女別滞留時間分布は図-8であり、女性ダミーによって女性の滞留時間が長くなる傾向が反映できていることが確認できる。

5. 回遊行動シミュレーション

(1) 回遊行動シミュレーションの概要

中心市街地への来訪者を発生させて回遊行動モデルを適用することで、拠点内での人の回遊をシミュレートする。前述した「回遊継続選択」、「目的ゾーン選択」、「目的施設選択」、「経路選択」、「滞留時間選択」の5段階の回遊行動モデルを、図-9のような流れで適用し、シミュレーションを実施する。

表-5 滞留時間選択モデルの感度確認のための設定値

説明変数	設定値
来訪交通手段(自動車)ダミー	1
現在時刻(分)	600
中心市街地内滞在時間(分)	30
大規模施設ダミー (施設 B)	0

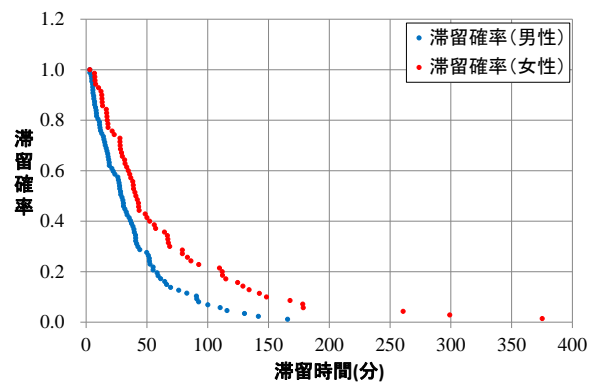


図-7 男女別滞留時間分布 (実績値)

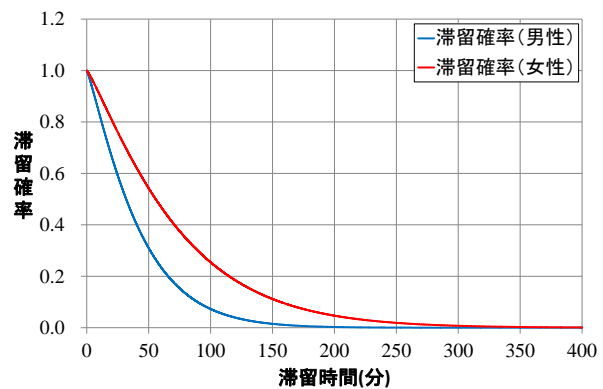


図-8 男女別滞留時間分布 (推定値)

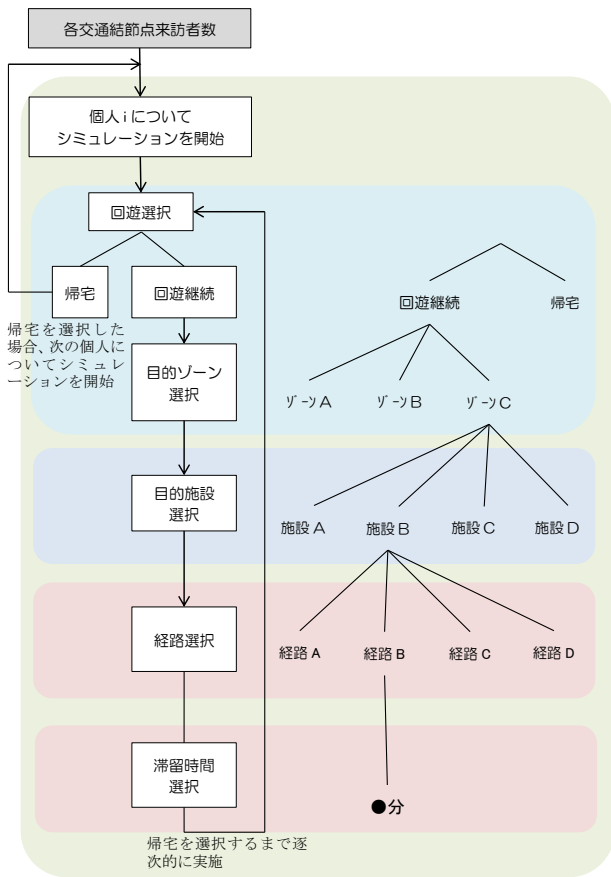


図-9 回遊行動シミュレーションのフロー

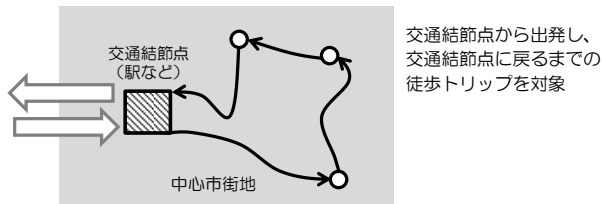


図-10 対象とする歩行回遊のイメージ

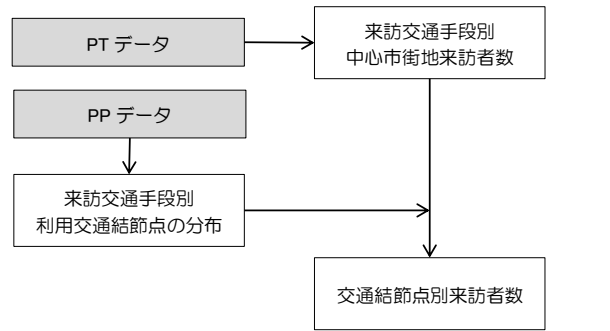
本研究では、簡便にシミュレーションを実施するために、駅等の交通結節点から中心市街地に来訪した人は、最初に来訪した交通結節点に戻って帰宅するという回遊行動を想定しシミュレーションを実施する(図-10)。

(2) シミュレーションの母数データの作成

a) 作成方法

シミュレーションの実施にあたっては、来訪者数のデータを用意する必要がある。本研究の回遊行動モデルでは、中心市街地内の各交通結節点(駅、バス停、駐車場、駐輪場)から回遊が発生していると仮定しているため、各交通結節点を利用した中心市街地の来訪者数をパーソントリップ調査データ(以下、PT調査データ)から算出する。具体的な作成は図-11のフローに従う。

来訪交通手段別の来訪者数は鉄道・路面電車、バス、



※私用目的の来訪者のみを抽出

図-11 シミュレーション母数データの作成フロー

表-6 PTデータから作成した中心市街地来訪者数

来訪交通手段	来訪者数
鉄道・路面電車	6,938
バス	3,750
自動車	41,751
自転車	6,158
徒歩	5,093

自動車、自転車、徒歩の5区分で作成した。本研究での対象都市では、休日におけるPTデータが取得されているため、休日の来訪者数のデータを作成した。作成結果は表-6に示すとおりである。

なお、徒歩来訪者に関しては、中心市街地の境界を発生点とすることも考えられるが、今回は簡単のためシミュレーションでは扱わないこととし、徒歩来訪者を除いた58,597人を母数として、シミュレーションを実施する。

6. 施策評価のケーススタディ

(1) 評価する施策と評価指標

現況の道路状況及び施設立地状況をインプットとしてシミュレーションを実施した結果と、施策実施後の道路状況及び施設立地状況をインプットとしてシミュレーションした結果を比較することで、施策実施の影響を評価する。

本研究では、駅周辺で再開発が実施された場合の効果(再開発ケース)と再開発に加えて歩道拡幅及びオープンカフェを同時に実施した場合の効果(再開発+歩行者施策ケース)の検証をおこなう。再開発に合わせて回遊を促す施策が実施された場合、再開発の効果がどのように波及するかを、滞在時間や回遊距離、立ち寄り先の変化や歩行者数の変化から評価する。

なお、各施策の回遊行動シミュレーション上での表現に関しては、再開発は該当ゾーンの店舗数および大規模施設数が増加するとして設定した。また、歩道拡幅に関

しては該当リンクを歩道幅員4m以上で自転車とも分離された「歩きやすい歩道」のリンクに設定し、オープンカフェに関しては該当リンクが商店街と同様に沿道に施設があり歩行しやすい空間が創出されると想定し、「商店街」のフラグをたてることとした。

(2) 施策の評価結果

a) 延べ滞在時間・立ち寄り回数・回遊距離

施策実施前後の延べ滞在時間、立ち寄り回数および回遊距離の変化を比較したものが表-7である。滞在時間及び立ち寄り回数に関しては、再開発のみの実施でも若干の増加がみられるが、歩道拡幅とオープンカフェの回遊性向上施策を併用することで、大きく伸びていることが確認できる。また、回遊距離に関しては、再開発のみケースではほとんど変化が見られないが、歩行者施策をセットで実施することで増加することが確認できる。

b) 立ち寄り先の変化

施策の実施前後で100mメッシュ単位での集中量の変化を比較すると、再開発のみを実施した際には、再開発実施箇所周辺のいくつかの100mメッシュ集中量のみが増加していることが確認できる(図-12)。一方で、歩道拡幅とオープンカフェの回遊性向上施策を併用したケースでは、複数の100mメッシュでの集中量が増加しており、立ち寄り増加の効果が広い範囲に波及していることが確認できる(図-13)。

c) 歩行者数の変化

施策の実施前後で各リンクの歩行者交通量を比較すると、再開発のみを実施した際には、中心市街地全体の傾向は大きく変わらないことが確認できる(図-14)。一方で、再開発と回遊性向上施策を併用したケースでは、全体として歩行者数が増加しているリンクが多数存在することが確認できる(図-15)。一部では、歩行者数が減少するリンクも見られるため、利用経路の転換がおき

表-7 延べ滞在時間・立ち寄り回数・回遊距離の変化

		再開発ケース	再開発+歩行者施策ケース
延べ滞在時間(時間)	施策前	93,737	
	施策後	94,128	94,845
	変化分	391	1,108
延べ立ち寄り回数(回)	施策前	90,252	
	施策後	90,583	91,027
	変化分	331	775
延べ回遊距離(km)	施策前	94,059	
	施策後	94,058	95,016
	変化分	-1	958

ていることが想定される。よって、オープンカフェおよび歩道拡幅を実施したエリアを中心に、歩行者の軸が形成される傾向にあると推察される。

7. おわりに

本稿では、個人単位の行動データに基づく新たな計画手法であるスマート・プランニングの幅広い適用を目指して、回遊行動シミュレーションに滞在時間の概念を取り入れ、拡張をおこなった。また、ケーススタディとして、再開発や歩道拡幅を実施した際の回遊行動をシミュレーションするとともに、評価指標として滞在時間や回遊距離などの指標を算出し、施策の効果が評価できる仕組みであることを示した。

今後の課題や発展可能性としては以下が挙げられる。

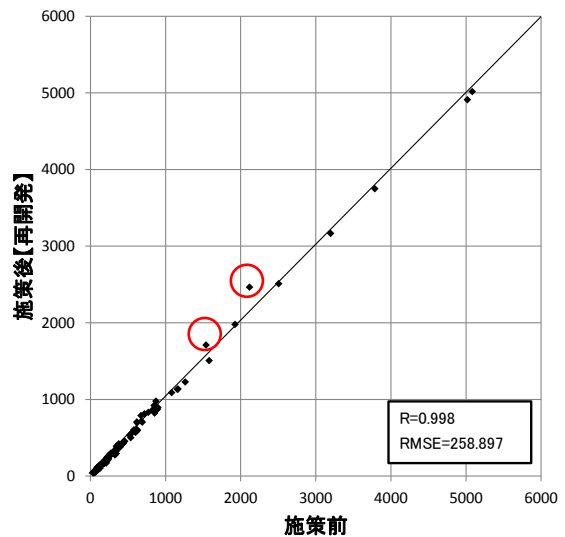


図-12 再開発ケースのメッシュ集中量の変化

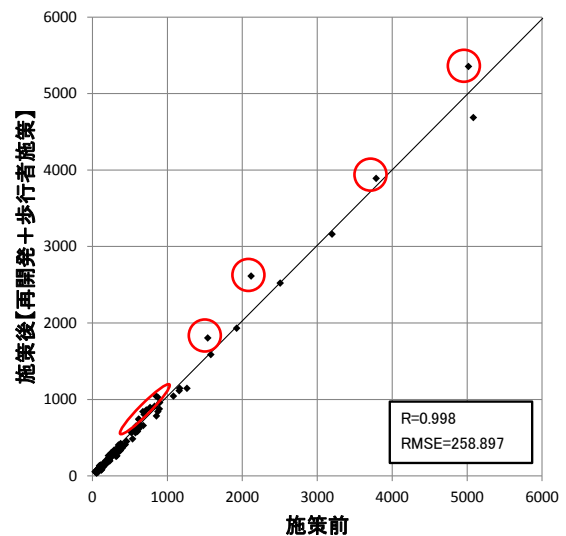


図-13 再開発+歩行者施策ケースのメッシュ集中量の変化

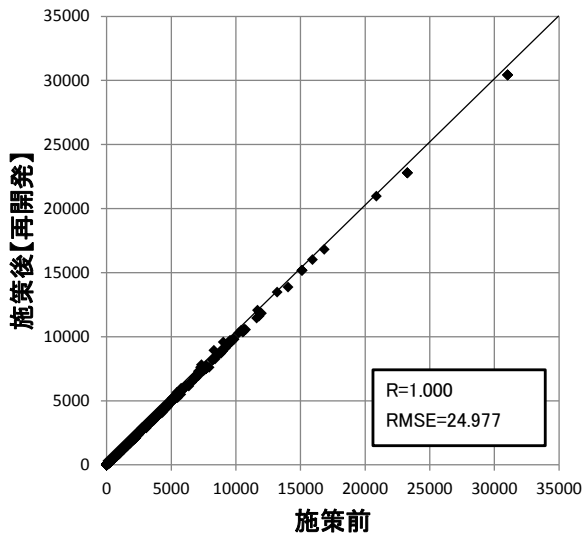


図-14 再開発ケースのリンク交通量の比較

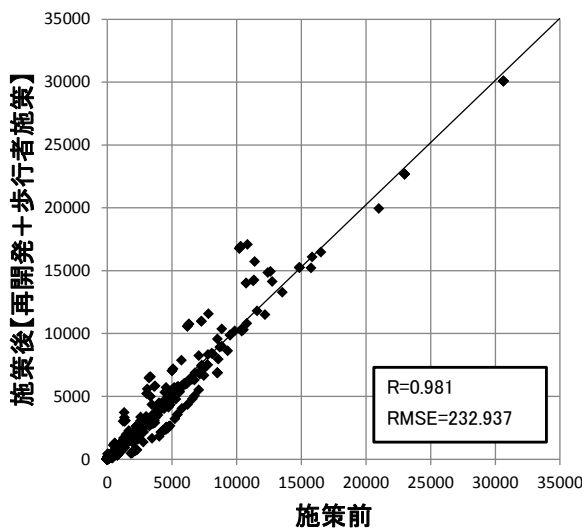


図-15 再開発+歩行者施策ケースのリンク交通量の比較

1) 検討可能な施策の充実

本研究では、再開発や歩道拡幅及びオープンカフェ実施による中心市街地の回遊性向上を主眼とした仕組みを提案した。今後は、福祉施設や保育施設など主要都市施設の立地による高齢者や子育て世帯の行動変化をシミュレーションし、最適な施設配置を評価できるようにすることが考えられる。

また、歩行者の回遊だけで完結するのではなく、駐車場の配置や路面電車等の回遊交通手段のサービス向上等の施策評価を行えるようにすることが考えられる。

2) 回遊行動シミュレーションモデルの改善

性別や年齢等の個人の属性により、行動パターンは異なるため、施策の影響も違った形で表れると想定される。本研究では、モデルの一部に性別の変数を加味したのみであるが、より多様な属性を変数として加味し属性別の

回遊行動をシミュレーションできるようにすることが重要である。

本研究では、来訪者数は所与として回遊行動シミュレーションを実施し、中心市街地内の行動を推計していたが、中心市街地の魅力が向上することで中心市街地への来訪者数自体が増加することも考えられる。その際には、回遊行動シミュレーションモデル側から四段階推定法へフィードバックするなどして、来訪者数の変化を想定できるようにモデルを拡張することが考えられる。

付録 滞留時間選択モデルの詳細

本研究における滞留時間の選択には、生存時間解析手法を用いている。生存時間解析手法のうち、共変量（説明変数）のモデル化の代表的なものとしては、比例ハザードモデル（proportional hazard model）と加速モデル（accelerated-failure time model）の2つがあるが、これらのモデルは生存時間分布にワイブル分布を仮定すれば、数理的に等価となるため、どちらを用いても結果に変わりはない¹¹⁾¹²⁾。本検討では、時間を直接モデル化しており、推定されるパラメータの解釈等がしやすいことから、加速モデルをベースにモデル構築を行うこととした。

以下に、本検討で用いた加速モデルの定式化について示す。

(1) ワイブル分布の関係式

生存時間解析におけるワイブル分布の式の記述方法としては、いくつかのバリエーションがあるが、本稿では Collett¹³⁾に従った記述を用いる。

a) 確率密度関数

$$f(t) = \lambda \gamma t^{\gamma-1} \exp(-\lambda t^\gamma) \quad (t > 0) \quad (I.1)$$

b) 確率分布関数

$$F(t) = \int_0^t f(\tau) d\tau = 1 - \exp(-\lambda t^\gamma) \quad (t > 0) \quad (I.2)$$

c) 生存関数

$$S(t) = \int_t^\infty f(\tau) d\tau = 1 - F(t) = \exp(-\lambda t^\gamma) \quad (t > 0) \quad (I.3)$$

d) ハザード関数

$$h(t) = \frac{f(t)}{S(t)} = \frac{\lambda \gamma t^{\gamma-1} \exp(-\lambda t^\gamma)}{\exp(-\lambda t^\gamma)} = \lambda \gamma t^{\gamma-1} \quad (t > 0) \quad (I.4)$$

e) 尤度関数

$$L = \prod_{i=1}^n f(t_i)^{\delta_i} \cdot S(t_i)^{1-\delta_i} \quad (I.5)$$

f) 対数尤度関数

$$LL = \sum_{i=1}^n [\delta_i \cdot \ln f(t_i) + (1 - \delta_i) \cdot \ln S(t_i)] \quad (I.6)$$

ここに、 t : 滞留時間
 γ : 形状パラメータ
 λ : 尺度パラメータ
 δ_i : 打ち切り情報

ここで、生存時間解析における打ち切りとは、調査途中で追跡不能となることをいい、 $\delta_i = 0$ が打ち切りデータ、 $\delta_i = 1$ がイベントありデータを表している。ただし、滞留時間モデルの場合には打ち切りは存在しないため、すべてイベントありデータ ($\delta_i = 1$) と見做す。

(2) 加速モデルの定式化

加速モデルの生存関数は、基準 ($\mathbf{z}_i = \mathbf{0}$) となる生存関数を S_0 としたとき、次式で表現される。

$$S(t, \mathbf{z}_i) = S_0(\exp(-\boldsymbol{\beta}^T \mathbf{z}_i) \cdot t) \quad (I.7)$$

ここに、 $\boldsymbol{\beta}$: パラメータベクトル
 \mathbf{z}_i : 共変量ベクトル

最尤推定法を用いて加速モデルによるパラメータ推定を行うため、次のような変数変換^{12),13)}を施す。

$$w = \ln t - \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{z}_i, \quad \sigma = \frac{1}{\gamma}, \quad \mu = -\sigma \ln \lambda \quad (I.8)$$

これらを確率密度関数(I. 1)や生存関数(I. 3)に代入すると、以下のような変数 w に関する確率密度関数や生存関数を得られる。

a) 確率密度関数 (変数変換)

$$f(w) = \frac{1}{\sigma} \exp\left(\frac{w-\mu}{\sigma}\right) \exp\left[-\exp\left(\frac{w-\mu}{\sigma}\right)\right] \quad (I.9)$$

b) 生存関数 (変数変換)

$$S(w) = \exp\left[-\exp\left(\frac{w-\mu}{\sigma}\right)\right] \quad (I.10)$$

従って、以上を代入した対数尤度関数を最大化すれば、加速モデルの推定パラメータ $\mu, \sigma, \boldsymbol{\beta}$ が得られることになる。

$$LL = \sum_{i=1}^n [\delta_i \cdot \ln f(w_i) + (1 - \delta_i) \cdot \ln S(w_i)] \quad (I.11)$$

(3) シミュレーションにおける滞留時間の計算式

マイクロシミュレーションにおいては、発生させた乱数を用いて、生存関数により滞留時間を計算することになる。変数変換(I. 8)式を生存関数(I. 10)に代入して t について解くと、次式が得られるので、乱数 S を発生させることにより、生存時間 t が計算できる。

$$t = \exp\{\sigma \cdot \{\ln(-\ln S)\} + \mu + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{z}_i\} \quad (I.12)$$

参考文献

- 1) 山崎恭彦, 橋本浩良, 高宮進, 矢部努, 今井龍一, 塚田幸広, 山王一郎, 石田東生: スマートフォンアプリを活用した交通行動調査手法に関する基礎的研究〜つくば市におけるプローブパーソン調査を通して〜, 土木計画学研究・講演集, Vol.49, 2014
- 2) 佐藤貴大, 円山琢也: スマホ・アプリ型回遊調査データによる熊本都心部回遊行動圏の分析, 都市計画論文集, Vol.50-3, pp.345-351, 2015.
- 3) 荒木雅弘, 溝上章志, 円山琢也: まちなか回遊行動の詳細分析と政策シミュレーションのための予測モデル, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.71, No.5, pp.I.323-I.325, 2015
- 4) 伊藤創太, 福山祥代, 三谷卓摩, 羽藤英二: 都心回遊モデルを用いた都市空間改変効果の分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.45, 2012
- 5) 福山祥代, 羽藤英二: 都市空間での行動分布特性を考慮した歩行者経路選択モデルの構築, 交通工学研究発表会論文集, Vol.34, 2014
- 6) 国土交通省都市局都市計画課: 立地適正化計画作成の手引き (平成 29 年 4 月 10 日版), 2017. < http://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/toshi_city_plan_tk_000035.html >, (最終アクセス 2018.3)
- 7) 国土交通省都市局都市計画課: コンパクト・プラス・ネットワークモデル都市 (平成 29 年 5 月 12 日), 2017. < http://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/toshi_city_plan_tk_000039.html > (最終アクセス 2018. 4)
- 8) 岩館慶多, 菊池雅彦, 井上直, 是友修二, 石井良治, 茂木渉, 石神孝裕: プローブパーソン調査データを用いた回遊性向上施策の評価手法の検討, 土木計画学研究・講演集, Vol.55, 2017
- 9) 安藤亮介, 石井良治, 是友修二: 歩行者のための公共空間創出による中心市街地の回遊行動変化の基礎的分析—岡山市を事例として—, 土木計画学研究・講演集, Vol.54, 2016
- 10) 藤井聡, 大塚祐一郎, 北村隆一, 門間俊幸: 時間的・空間的制約を考慮した生活行動軌跡を再現するための行動シミュレーションの構築, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp.643-652, 1997.
- 11) J.P.クライン, M.L.メッシュベルガー(著), 打波守(訳): 生存時間解析, 丸善出版, 2012.
- 12) 大橋靖雄, 浜田知久馬: 生存時間解析—SASによる生

- 物統計, 東京大学出版会, 1995.
- 13) David Collett: Modelling Survival Data in Medical Research, Second Edition (Chapman & Hall/CRC Texts in Statistical Science), 2003.
- 14) 伊藤要二: NLMIXED プロシジャを用いた生存時間解析, 2013 SAS ユーザー総会 アカデミア/テクノロジー&ソリューションセッション論文集, pp.73-82, 2013.
- (2018. 4. 27 受付)

EVALUATION METHOD FOR MEASURES TO IMPROVE WALKABILITY
CONSIDERING DURATION TIME

Nobuo SEKI, Kengo OCHI, Keita IWADATE, Masahiko KIKUCHI,
Takahiro ISHIGAMI, Wataru MOGI and Ryoji ISHII