

# 時空間制約下での交通行動理解のためのGISシステムの開発と授業への適用

大森 宣暁・原田 昇・太田 勝敏

## Development of GIS System for Understanding Travel Behavior under Space-Time Constraints and Its Application to a Graduate Class

Nobuaki OHMORI, Noboru HARATA and Katsutoshi OHTA

**Abstract:** Understanding travel behavior is essential for urban transportation planning. This paper presents the development of a GIS-based system for understanding individual travel behavior under space-time constraints and its application to the graduate course of environmental information system in spatial planning and policy. Required input data consist of activity schedules, transportation networks and activity opportunities. Potential Path Area (PPA) and the feasibility of participating in activities in space-time prisms can be simulated and represented on GIS, before and after changing constraints. The system is very useful for students to understand activity-travel behavior in urban space.

**Keywords:** 交通行動 (travel behavior), 時空間プリズム (space-time prism), ゲーミングシミュレーション (gaming simulation), 授業 (graduate class)

### 1. はじめに

都市交通計画において、都市空間における人の交通行動のメカニズムを理解することは必要不可欠の要素である。従来から、交通は、ある場所である活動を行うという本源的な需要を満たすための派生需要であると考えられており、生活活動との関係で交通行動を理解することが、交通政策や環境の変化による活動・交通パターンの変化を考察する上でも有効である。また、交通政策の目的の一つは、より多くの選択肢集合を、より公平な方法で市民に提供することにある (Burns, 1979)。よって、日常生活において人々が直面する様々な制約条件の下で、任意の場所における活動の実行可能性を評価することは重要であり、時空間制約下での活動パターンの実行可能性に関する研究が盛んに行われてきた。特に交

通政策においては、近年、交通需要管理 (TDM) や高度道路交通システム (ITS) などの評価に際して、一日の時間帯や曜日等、時間軸を考慮した交通行動の分析・評価手法が求められている。

一方、GIS は都市における諸施設、交通ネットワークおよび人の移動の空間要素を表現する上で非常に有効な道具であり、近年のソフトウェアの進化とデータ整備の進展により、交通の様々な分野において広く活用されている (原田, 1999; 日本交通政策研究会, 2001)。時空間制約下での活動・交通研究にも、近年 GIS が有効に利用されている。また、交通計画に携わる人々や交通計画を学ぶ学生にとっても、GIS を用いて人の活動パターンを視覚的に表現することは、交通行動のメカニズムと環境の変化や政策による個人や世帯の反応を理解する上で、有効な手法であるものと考えられる。

以上の背景から、本研究は、学生が都市空間において時間・空間の制約条件下での交通行動を理解するために利用可能な GIS システムを開発し、大学院の授業における適用結果とシステムの有効性および

---

大森：〒113-8656 文京区本郷 7-3-1  
東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻  
Department of Urban Engineering, School of  
Engineering, The University of Tokyo  
Tel: 03-5841-6232  
E-mail: nobuaki@ut.t.u-tokyo.ac.jp

改良の方向について考察することを目的とする。

## 2. システムの開発

### 2.1. ゲーミングシミュレーションと時空間制約下での活動・交通研究

Jones et al. (1983) は、Household Activity-Travel Simulator (HATS) と呼ばれるゲーミングシミュレーションツールを開発した。これは、地図上に一日の移動を、時間軸上に一日の活動を記録し、個人や世帯を取り巻く制約条件を明確に認識させた上で、ある政策が実施された場合の世帯の反応をシミュレートする道具である。当初は、主に政策評価のためのツールとして適用されたが、交通計画に携わる実務者や学生に、日常生活活動と交通行動との関係を理解させるための道具としても有効に活用された (Jones, 1982)。

一方で、Hägerstrand (1970) により提案された時空間プリズム制約と活動機会の制約を強調して活動パターンの代替案を評価する研究が、Lenntorp (1978) の PESASP モデル以来行われている。時空間プリズムは、一日を時間と場所が固定された活動に制約される固定時間帯と、それ以外の自由時間帯に分類した時に、自由時間帯で実行可能な時空間パスの集合を表現するものである。Burns (1979) は、プリズムの概念に基づいて時空間でアクセシビリティを考察し、時空間アクセシビリティに影響を与える要因を体系的に整理した。近年、GIS を利用することで、より現実の都市空間を反映した詳細で具体的な分析を行い、分析結果を視覚的にもわかりやすく表現することが可能となった。我が国では、PESASP モデルを応用して、保育施設への子供の送迎の問題を扱った研究 (谷貝, 1989; 瀬川・貞広, 1996; 宮澤, 1998; 武田, 1999 など) や、高齢者の総合病院への通院に着目した研究 (大森ほか, 1998) などが行われている。また、Kwan (1998) や Miller (1999) は、GIS を用いて複数の時空間アクセシビリティ指標を提案し、それらの比較を行っている。

著者らは、既に高齢者世帯の交通行動に影響を与える制約条件の理解と環境の変化や政策に対する反

応を把握するために、図 1 に示すような GIS ベースのゲーミングシミュレーションツール Simulation Model for Activity Planning (SMAP) を開発し、地方都市において適用している (大森ほか, 2000)。一日の活動パターンを自宅内活動、自宅外活動、移動の 3 つに分類し、活動の時空間制約別に色分けして時間軸上に表示し、移動パターンを地図上に表示する。時空間プリズム制約を考慮して自由時間帯における代替活動パターンを計算し、表示することが可能である (図 1 の時間軸上の矢印は、施設のサービス時間帯を表す) 複数日での活動パターンの評価や、同時に 2 人の活動スケジュール制約を考慮して自動車同乗という交通手段を明示的に扱うことも可能である。適用の際には、システムの操作手順が少々複雑であること、対象が高齢者であることなどから、調査員がシステムを操作することで、面接調査を行った。

### 2.2. システムの概要

本研究で開発したシステムは、時空間プリズム内の活動機会 (潜在経路域, PPA) および時空間プリズムにおける活動の実行可能性をシミュレーションできることを要件としている。大森ほか (2000) で開発したシステムをベースに、時空間制約下での交通行動を具体的に理解するための教育用システムを念頭に、利用者自身でシステムを操作できるように改良を加えたものである。また、活動場所と、活動機会での活動時間を変更できるように拡張している。



図 1 GIS ベースのゲーミングシミュレーションの実行画面の例 (大森ほか, 2000)

時空間プリズム制約下での活動の実行可能性に着目する点は、Lenntorp (1978) や瀬川・貞広 (1996) などのシミュレーションモデルと共通だが、本システムは仮想的な活動プログラムを用いたシミュレーションではなく、個人の実際の活動パターンに関するデータを利用して活動プログラムを設定できることをはじめ、システム利用者が独自にシナリオを設定してシミュレーションを行える点が特徴である。また、ある地域の住民の行動を集計した居住地の評価ではなく、個々人の交通行動を評価する点が異なる点である。

GIS ソフトウェアは MapInfo を、カスタマイズ用ソフトウェアとして MapBasic を利用して、MapInfo 上に専用のメニューバーを作成し、そのメニューからシミュレーションを行う際の一連の操作を行うように設計した。

図 2 に示すように、入力データは、活動スケジュールデータ、交通ネットワークデータ、活動機会データから構成され、これらのデータを用意できれば、いかなる都市においても適用可能である。活動スケジュールデータは、アクティビティダイアリーと呼ばれる、朝から夜までに行った活動の内容（睡眠、食事、授業、買い物など）および移動した場所、利用交通手段を、時間を追って記録したデータに、各活動の時空間制約（時刻、場所、継続時間の固定性）

に関する情報を付加したものである。また、場所と継続時間は固定だが、開始時刻にはある程度の自由度がある活動を考慮して、時空間プリズムの概念を拡張している（大森ほか、2000）。現時点では、PHS データは行動軌跡を表示するためだけに利用している。交通ネットワークデータは、今回は首都圏に居住し日常的に利用している交通手段が徒歩と鉄道である利用者を対象としたため、独自に作成した乗換リンクや駅間標準速度などの属性を有する鉄道ネットワークデータを利用した。なお鉄道の利用可能な時間帯は、簡便のため全路線一律 5:00～24:00 としている。施設間の移動時間は、ネットワーク上での最短時間経路とする。ただし、施設～駅間のアクセスおよびイグレス手段は徒歩とし、施設～駅間の直線距離の 1.3 倍を徒歩速度 4km/h で割った時間をアクセスおよびイグレス時間と設定した。活動機会データは、施設の立地場所のポイントデータでサービス時間帯の属性を有する。入力データから、自由時間帯における時空間プリズムの特定と活動の実行可能性判定のために、固定活動場所と駅および施設間の所要時間等を計算するモジュールは、C でプログラミングされており、MapInfo のカスタマイズされたメニューから呼び出す構造としている。

また、HATS の適用事例では、活動スケジュール、移動パターン、交通ネットワークと活動機会を、それぞれ地図上に描いた複数の透明シートを用意し、それらを重ね合わせることで、都市空間における活動・交通パターンを表現したが（図 3）、本システムにおける GIS の各レイヤーは、まさにこのシートを代替するものと考えられる（図 4）。

### 3. システムの授業への適用

#### 3.1. 授業の流れ

東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学専攻における平成 13 年度の授業「環境空間情報学演習」において、本システムを適用した。本演習は、講義「環境空間情報学」の内容を、演習を通して理解を深めるという位置付けで、特に環境空間情報と人の活動パターンの相互関係を理解することをねらいとしており、表 1 に示すようなスケジュールで

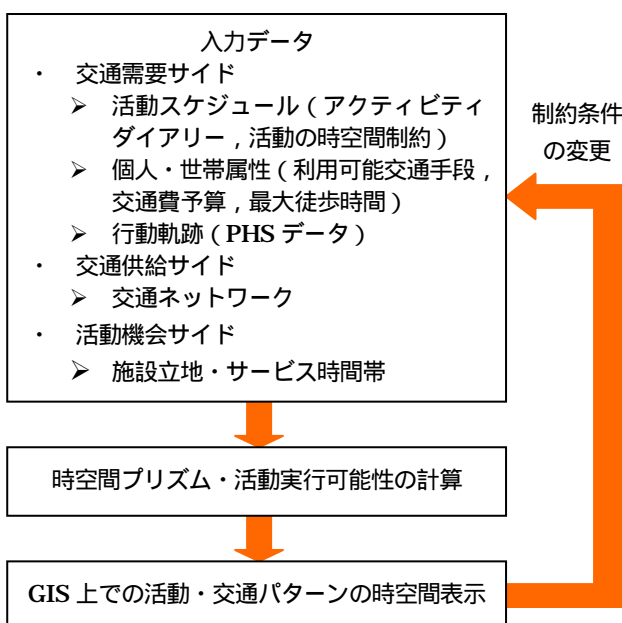


図 2 システムの概要

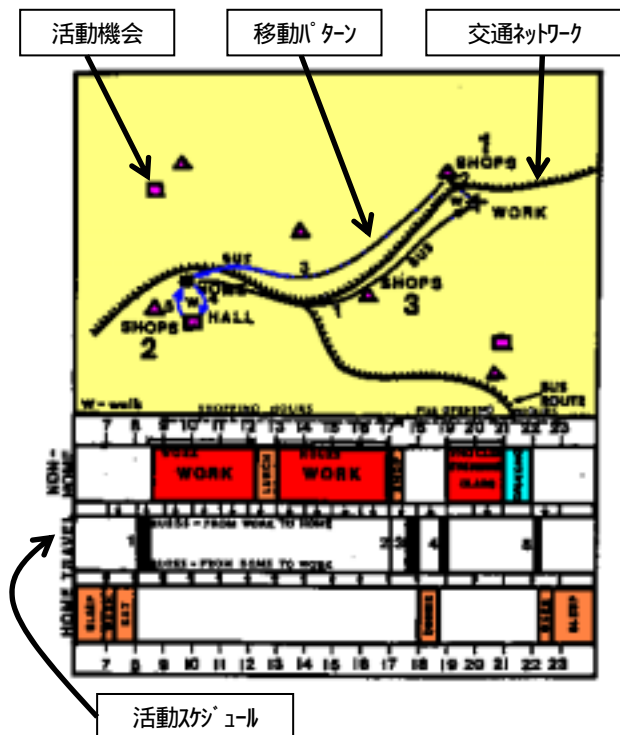


図3 HATS ゲームボード (Jones, 1982)

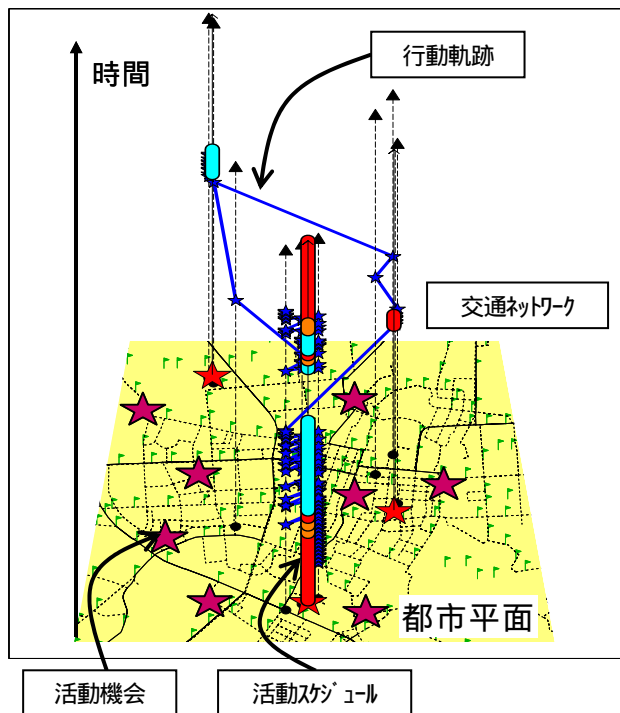


図4 本システムにおけるGISデータの利用概念

行われた。時空間プリズムやプリズム内での活動の実行可能性に影響を与える要因と、空間だけではなく時間軸を考慮してアクセシビリティの評価を行うことの重要性を理解することを、最も重要な学習事項と設定している。本演習では、まず受講者自身の

一週間の生活行動データのみを分析して、人の活動パターンの特徴を把握し(第1週~第6週),次に、時空間制約下での交通行動に関する講義を挟んで、交通ネットワークと活動機会を含めた多様な制約条件下で交通行動が行われていることについて、システムを利用してさらに理解を深める(第7週~第10週),という2段階で構成されている。

計17人の受講者の約半数は、それまでGISをほとんど利用したことがなかった。受講者は、第2週から第3週にかけて自分の一週間のアクティビティダイアリーを紙の調査票に記録する。うち4日間については、PHS位置情報システムの機能を有する小型端末PEAMON(岡本ほか,2000)を携帯することで、8:00~22:00までの1分間隔の緯度・経度、時刻といった行動軌跡データを収集した。その後、GISの使用法を学び、ダイアリーデータの入力と一週間のダイアリー調査期間に活動を行った全ての施設(活動機会)の場所をGIS上でポイントデータとして作成し、サービス時間帯を調べて属性データとして入力する。そして、個人の行動データのみを用いて一週間の生活行動を分析したレポートを作成する。続いて、時空間制約下での交通行動に関する講義を受講した後、本システムを利用したシミュレーションを行い第2回目のレポートを作成する。

表1 本演習のスケジュール

課題1	「環境空間情報データの収集・解析・作成」
第1週	GPS, PHSを用いた行動軌跡データの収集
第2週	一週間のアクティビティダイアリー調査とPHSデータの収集
第3週	MapInfo 使用法の習得, PHSデータの理解とMapInfoでの表示
第4週	アクティビティダイアリーデータの入力, MapInfoを利用した活動機会データの作成
第5週	交通行動データの理解, 活動パターンの時空間表現とダイアリーデータの分析
第6週	第1回レポート提出
課題2	「環境空間情報と人の交通行動の理解」
第7週	時空間制約下での交通行動に関する講義
第8週	交通ネットワークと活動機会に関する講義
第9週	システムを利用した一週間の生活行動の制約条件および交通行動の理解
第10週	第2回レポート提出

第10週以降、別途課題3が行われる。



本演習におけるシステムの具体的な利用方法を以下に記す。受講者全員の一週間のアクティビティダイアリーデータ、PHS 行動軌跡データ、交通ネットワークおよび活動機会データを、ネットワークサーバー等に用意する。はじめに、MapInfo 上で MapBasic プログラムを起動し、対象個人を選択し、交通手段の利用可能性、交通費予算、最大徒歩時間などの制約条件を設定する（交通手段の利用可能性と交通費予算の制約は、今回の演習への適用においては反映されていない）。次に、対象日を選択し、その日の各活動の時空間制約を設定する。その後、プリズム特定のための所要時間を計算するメニューを実行し、現状および制約条件変更後のプリズムとプリズムにおける活動の実行可能性をシミュレートする。図5のように、プリズム内の活動機会の指標として、プリズム内の駅を、そこでの活動可能時間別（30分間隔）に色分けして表示し、同時に集計した駅数も表示する。また、図6のように、特定のプリズムにおいて対象期間中に活動を行った特定の施設で、任意に設定した時間の活動が実行可能かどうかを判定できる。

受講者は、対象期間中の適当な一日を選んで、プリズムおよび活動の実行可能性に直接影響を与える表2の項目に着目し、以下の2点についてシミュレーションを行い、結果に対する考察およびシステムに対する感想を記したレポートを作成した（以下の文中の～は、表2および図7に対応する）。

- ・ ある一日の複数のプリズムの大きさの違いを確認し、「自由時間」、「固定活動場所間の距離」を変化させた場合の「プリズムの大きさ」の変化をシミュレーション。
- ・ ある一日のあるプリズムにおいて、ある場所での活動の実行可能性、および「プリズムの大きさ」、「活動時間」、「活動場所」、「サービス時間帯」を変更した場合の活動の実行可能性をシミュレーション。

なお、できるだけ現実的なシナリオに基づいたシミュレーションを行うように指導した。

### 3.2. レポート内容から考察されるシステムの効果

と改良の方向性

第1回目のレポートでは、「移動時間の長さに驚いた」、「睡眠時間の長さに気付いた」、「生活を振り返るのに有効である」、「日々の活動パターンの違いを認識した」、「毎日自宅と大学の往復のみである」、

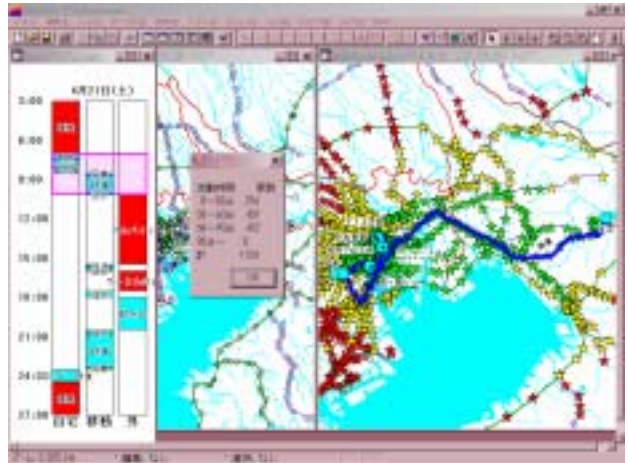


図5 プリズム内の活動機会（鉄道駅）の表示例

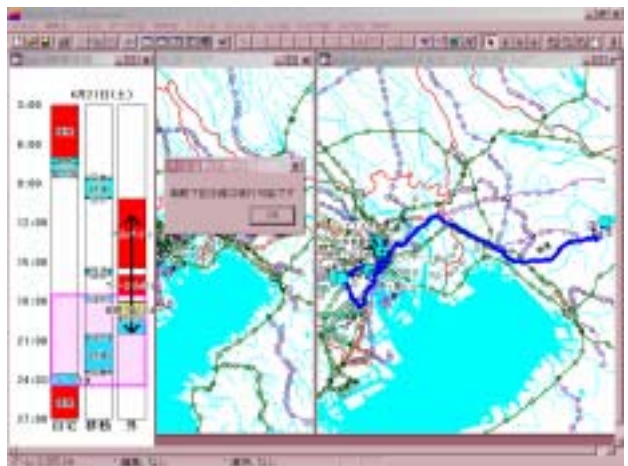


図6 プリズムにおける活動の実行可能性の表示例

表2 プリズムの大きさ、活動の実行可能性に直接影響する変数とシステム上での操作

	変数	システム上での操作
プリズムの大きさ	自由時間	各活動の時空間制約の分類を変更
	固定活動場所間の距離	固定活動場所を GIS 地図上で移動
活動の実行可能性	活動時間	直接入力（単位：分）
	活動場所	活動機会を GIS 上で移動
	サービス時間帯	開店・閉店時刻等を分単位で直接入力、一日2箇所（昼間と夜間など）

～ は図7に対応。

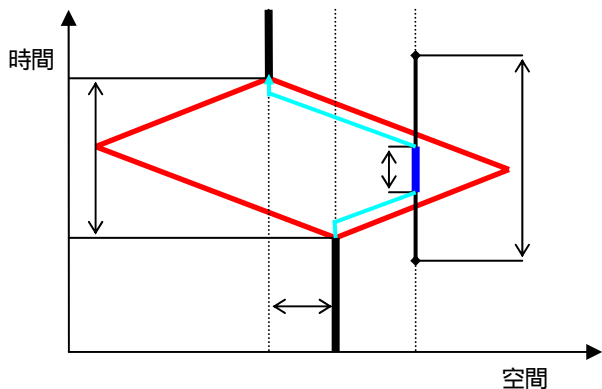


図7 時空間プリズム，活動の実行可能性とシミュレーションにおける操作変数

「移動経路が初めてわかった」などの感想が多く，自分自身の一週間の活動パターンの分析が，日常生活を省みる機会となることが明らかとなった。

一方で，システムを利用して交通ネットワークと活動機会データを加えて時空間プリズムと活動の実行可能性をシミュレートすることで，個人の行動データだけでは把握することが困難な時空間制約を理解できることになる。以下では，第2回目のレポート内容を分析し，本システムを利用した一連のシミュレーションの有効性を考察する。

### 3.2.1. プリズムの大きさに関するシミュレーション

「自由時間」の変更については，当初はある固定活動の直前・直後の自由活動を固定活動に変更する，あるいはその逆のを行うことで，プリズムの大きさを変化させることを意図していた。しかし，固定活動を自由活動に変更して，2つのプリズムを結合させたケース(授業やアルバイトを休むなど)や，逆に自由活動を固定活動に変更して1つのプリズムを2つに分割したケースをシミュレーションした学生が過半数であった。「固定活動場所」の変更については，自宅を移動させて大学近辺に引っ越しケースや，大学を別の場所へ移動させたシミュレーションを行った学生が多かった。自由時間が長いほどプリズムが大きくなり活動可能範囲が広がること，固定活動場所の変更はプリズムの形状を変化させ，自由時間の長さと同じでも固定活動場所間の距離が増加するほどプリズムの形状が交通ネットワーク構造に依存しながら楕円形に変化することなど，具体例を

経験することで基本的な理論についての理解が深まったことを表現する記述が，ほぼ全員の考察に記されていた。固定活動場所間を結ぶ地域に沿って活動可能時間が長い駅が存在すること，都心部と周辺部で駅数の密度が異なること，固定活動場所の変更により活動可能な範囲も変わることなどがわかったとの考察や，固定活動場所がその他の活動可能範囲を決定する重要な要素であり，居住地の郊外化はその他の活動場所の郊外化を必然的に伴うのではないかなどの深い考察も見られた。プリズムを視覚的に表現できることが，直感的な理解を助けるのに有効であったことが伺える。

### 3.2.2. 活動の実行可能性について

固定活動のスケジュール制約が小さく自由時間が比較的多い場合，サービス時間帯のみが制約となり活動が実行できないことを認識した学生や，逆に，スケジュール制約が厳しく，サービス時間を延長しても活動が実行できないことを認識した学生もいた。プリズム内の場所であっても，必要十分な活動時間を確保できなければ特定の目的の活動は実行できないことがわかったなど，プリズム以外にサービス時間帯や活動時間など活動機会側の制約が重要であることを理解した考察も見られた。また，一時帰宅が可能かどうかを判定するなど，興味深いシミュレーションを行った学生もいた。30分間の荷物を取りに行く活動であれば実行可能だが，60分間のレポートを書くという活動は不可能であるなど，同じ場所で異なる活動内容の実行可能性の違いを考察した学生もいた。

その他，「限られた時間でも，実際にいかに多くの選択肢があるかを実感した」，「実行不可能と認識していた活動が実行できることに驚いた」，「他の日でも，その活動が実行可能であることがわかった」など，活動の実行可能性の評価および複数日の行動データを利用した利点を示す記述もあった。また，「本気で引越しを考えるようになった」という意見を延べ，数ヵ月後に実際に大学の近くへ引っ越した学生もいた。総じて，より深い考察を行ったのは都市交通計画研究室所属の学生であり，知識レベルの違いによるシステムの効果の違いが伺われる。

以上のように、本人の実際の生活活動に関するデータを利用することで、様々な要因が複雑に相互作用した時空間制約下で交通行動が行われていることを十分に理解できており、本システムは授業において有効に機能したことが明らかになったと言える。日常の移動を効率化することや居住地選択の際の意思決定支援ツールとして応用できる可能性も考えられる。また、学生の利用方法の多様性から、本システムが非常に広範囲のシナリオの評価に適用可能であることも示された。

### 3.2.3. システムの改良の方向性

一方で、本システムはプリズムを理解するための一通りの要素は考慮されているが、より現実性が高く実用的なシミュレーションを行う上で、システムの改良の方向性も示唆された。それらの意見と具体的な改善案を以下に記す。

交通ネットワークデータに関して

・「鉄道以外の交通手段を考慮できると良い」

複数の交通手段の選択肢を提供することは交通政策にとって重要である。道路ネットワークデータを導入することで、自動車、徒歩、自転車に関して、より現実的な所要時間を計算することが可能となる。パークアンドライドを考慮すると、駅までの末端交通手段としての自動車利用の評価も必要である。他の世帯員の制約を明示的に考慮することで、自動車同乗についても導入可能である。

・「所要時間の変動を考慮できると良い」

鉄道については、時刻表に基づくことで対応は可能であるが、データベースを独自に準備する必要がある。「駅すばあと」や「乗換案内」等の経路検索ソフトウェアのソフトウェア開発キット (SDK) を利用して本システムと統合する可能性はある。また、特に自動車の所要時間を扱う際には、ピーク時とオフピーク時や、日変動を考慮する必要がある。

活動機会データに関して

・「対象期間中に活動を行った施設以外の活動機会データがあると良い」

複数の活動機会の選択肢を提供することも政策的に重要である。現在、プリズム内の駅を活動機会の代替指標としているが、種類別に施設ポイントデ

ータの準備が望まれる。NTT タウンページデータベースなどの利用が考えられるが、サービス時間帯を設定する必要がある。

出力指標に関して

・「最大活動可能時間が表示できると良い」

活動時間を徐々に変更することで、最大活動時間を求めた学生が7人いた。ある活動機会で最大何分活動が可能か、次の固定活動に遅刻しないためには何時に出発すればよいか、などの情報を提示できるように改良することは有効であると考えられる。自由時間帯における活動の実行可能性の評価に着目するのであれば、30分以内の短時間の活動も多いことから、プリズム内の活動機会での活動可能時間の分類を自由に設定できる方が有効であろうとの意見もあった。

制約条件の設定に関して

・「活動スケジュールの設定が、より自由に行えると良い」

現時点では、ダイアリーデータにおける各活動に対して制約を設定しているため、特に、朝の最早自宅出発時刻と夜の最遅帰宅時刻の制約など、固定活動の開始・終了時刻を任意に設定できない。また、自宅などの固定活動場所の変更は、活動スケジュール自体の変更を伴う可能性が高いのではないかという考察もあった。この点を改良することで、より現実的なシミュレーションが行えるものと考えられる。

その他、正しい手順で操作を行わない時にエラーが起こりプログラムが終了することがある点など、できる限り操作性を向上させることも必要である。

## 4. まとめ

本稿は、都市空間における時空間制約下での人の交通行動を理解するためのGISシステムの開発と、大学院の授業への適用結果について記した。学生のレポート内容の分析から本システムの有効性が示され、さらなる機能の拡張により、より有効な道具として活用できることが期待される。

本システムの発展可能性を以下にまとめる。複数交通手段の評価や時間帯別の所要時間を考慮できる多手段交通ネットワークデータの利用、広範な活動機会データの導入等については、GISデータベース

が整備できるかどうか依存する。また、多様な出力指標の導入や柔軟なスケジュール制約の設定については、プログラミングとアルゴリズムに関する課題である。GPS や PHS を用いて得られる詳細な行動軌跡データを、経路の特定や代替案の評価に利用することも有効であると考え。一日の活動パターンの代替案を提示することにより、トラベルフィードバックプログラム(谷口ほか, 2001)など、環境にやさしい交通行動の代替案に関する情報提供を行う際の支援ツールとして利用できる可能性も高い。また、活動機会にインターネットや携帯電話を利用して実行可能な活動を含めることで、情報通信利用と活動スケジュールおよび交通行動との相互作用を理解するために応用できる可能性も考えられる。

#### 謝辞

本研究は、日本交通政策研究会から助成を受けた。鉄道ネットワークデータの作成に関しては東京大学円山琢也氏に、PEAMON の使用にあたっては(株)都市交通計画研究所の岡本篤樹氏のご協力を頂いた。ここに紙面を借りて謝意を表す。最後に、本演習を受講した学生諸君の将来に期待する。

#### 参考文献

大森宣暁・室町泰徳・原田昇・太田勝敏(1998)生活活動パターンを考慮した高齢者のアクセシビリティに関する研究～秋田市をケース・スタディとして～, 土木計画学研究・論文集, **15**, 671-678 .

大森宣暁・室町泰徳・原田昇・太田勝敏(2000)GISベースのゲーミングシミュレーションツールの開発と高齢者の活動交通分析への適用, 土木計画学研究・論文集, **17**, 667-676 .

岡本篤樹・鈴木明宏・李竜煥・田名部淳・朝倉康夫(2000)PEAMON (PErsonal Activity MONitor)の開発と機能実験, 土木計画学研究・講演集, **23(1)**, 659-662 .

瀬川祥子・貞広幸雄(1996)GISを利用した保育施設計画立案支援システムの開発, GIS - 理論と応用, **4(1)**, 11-18 .

武田祐子(1999)時空間プリズムを考慮した中継施設の立地・配分モデル, 地理学評論, **72A(11)**, 721-745 .

谷貝等(1989)時間地理学のシミュレーション・モデ

ル, 地理, **34(12)**, 44-50 .

谷口綾子・原文宏・村上勇一・高野伸栄(2001)TDMを目的とした交通行動記録フィードバックプログラムに関する研究 - 札幌市におけるトラベルブレンディングプログラムの実験 -, 土木計画学研究・論文集, **18(5)**, 895-902 .

日本交通政策研究会(2001)交通GISの高度活用に関する研究, 日交研シリーズ A-312, 日本交通政策研究会 .

原田昇(1999)交通GISの整備状況と今後の展開, 交通工学, **34 増刊号**, 13-17 .

宮澤仁(1998)東京都中野区における保育所へのアクセス可能性に関する時空間制約の分析, 地理学評論, **71A(12)**, 859-886 .

Burns, L . D . (1979) *Transportation , temporal , and spatial components of accessibility* , Lexington : LexingtonBooks .

Hägerstrand , T . (1970) What about people in regional science? , *Papers of the Regional Science Association* , **24** , 7-21 .

Jones , P . M . (1982) *'HATS' Educational manual : Studying travel in the context of household activity patterns* , Transport Studies Unit , Oxford University , Ref . 193/PR .

Jones , P . M . , Dix , M . C . , Clarke , M . I . and Heggie , I . G . (1983) *Understanding travel behavior* , Aldershot : Gower .

Kwan , M . -P . (1998) Space-time and integral measures of individual accessibility : A comparative analysis using a point-based framework , *Geographical Analysis* , **30(3)** , 191-216 .

Lenntorp , B . (1978) A time-geographic simulation model of individual activity programmes , In Carlstein , T . , Parks , D . and Thrift , N . eds . , *Timing Space and Spacing Time 2 , Human Activity and Time Geography* , London : Edward Arnold , 162-180 .

Miller , H . J . (1999) Measuring space-time accessibility benefits within transportation networks : Basic theory and computational procedures , *Geographical Analysis* , **31(2)** , 187-212 .