

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

Development of GIS-based Gaming Simulation Tool and Its Application to Activity-Travel Analysis of the Elderly

大森 宣暁* 室町 泰徳** 原田 昇* 太田 勝敏***
Nobuaki OHMORI Yasunori MUROMACHI Noboru HARATA Katsutoshi OHTA

1. はじめに

交通は活動の派生需要であるという概念に基づいたアクティビティアプローチの視点から、個人の交通行動の意思決定構造を明らかにし、きめ細かな政策評価を行うことを目的とした研究が近年盛んに行われている。交通行動分析は、一般的に、行動決定を利用可能な選択肢集合の選定と、その中でベストチョイスの二段階プロセスで予測する¹⁾。この視点において、アクティビティベースの活動スケジュール決定モデルは、個人の詳細な制約条件を考慮できることが利点であり、次世代の交通需要予測モデルとしての期待が大きい¹⁾。ここで、個人の直面する制約条件のもとで、実行可能な活動パターンの選択肢集合を特定することは、政策評価において非常に重要である。また、意思決定の単位として世帯に着目し、政策に対する反応行動を世帯全員の行動調整の結果として捉えようとするゲーミングシミュレーションの手法が存在する²⁾。この手法は、世帯員間の制約いわば相互作用を詳細に考慮できるため、より現実的な回答を得ることが可能である。

ここで、高齢者の交通行動への制約を考えてみる。高齢者は非高齢者と比較して、身体的な制約により利用可能な交通手段が限定され、自動車を運転できないために家族による送迎に頼ることも多い。また、健康維持のためや長年の習慣により、規則的な生活パターンを送ること、さらに財政面での制約も強い。高齢者の生活活動と交通行動を考えた場合に、選択肢集合からのベストチョイスというプロセスよりも、実行可能な活動パターンの選択肢集合の選定プロセスで、選択肢集合が非常に限定されることが予想される。よって高齢者の生活活動と交通行動を分析する上では、制約条件を詳細に把握することが特に重要な視点であると考えられる。

本研究においては、まず、詳細なアクティビティダイアリーデータ、交通ネットワークデータ、活動機会データを利用し、個人の活動スケジュールや活動機会のサー

ビス時間帯などの時空間制約を導入して、活動パターンの選択肢集合を生成するモデルを構築する。このモデルは二人の活動スケジュール制約を明示的に考慮しており、モデルの適用例として高齢者の同乗可能性に関する分析を行う。さらに、このモデルを GIS (Geographic Information System) とリンクすることで、実際の活動パターンおよび代替活動パターンを地図上と時間軸上に表現し、応答型のゲーミングシミュレーションが可能なツールを開発する。このツールを用いて、高齢者世帯に訪問面接調査を行い、現状の活動パターンに影響を与えている様々な制約を把握し、制約条件の変化による活動パターンの変更可能性を検討する。

2. 既存研究のレビュー

活動交通分析の研究分野におけるゲーミングシミュレーション手法は、1970年代後半のオックスフォード大学交通研究所 (Transportation Study Unit(TSU)) の HATS (Household Activity-Travel Simulator) に起源を置く²⁾。ある政策による世帯の行動の変化を把握する調査手法として、単に「もし、こういう政策が実施されたらどうしますか?」という漠然とした質問だけでは、非現実的な回答を得てしまう可能性が高い。その原因として、個人や世帯を取り巻く環境、毎日の活動スケジュールの時空間制約や他の世帯員との連携を十分に考慮しないで回答することが考えられる。その点を改善するために、HATS は、調査対象とする個人や世帯に対して、地図と時間軸上に一日の行動パターンを表示することで、その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、制約条件の変化に対する行動の変更可能性を世帯全員の協議のもとで答えてもらおうという試みである (図1)。HATS 以外にも、Situational Approach、REACT、HIG などのゲーミングシミュレーション手法が 70 年代に開発された³⁾。この時代には、紙の地図上に一日の活動場所や移動の様子を記入し、木製の道具を用いて時間軸に活動内容を表現しており、論理性的のチェックも調査員の技量に依存していた。80年代以降は、パソコンの発展と普及により、パソコンを用いた応答型 SP 調査手法の開発と適用が盛んに行われた³⁾。近年では、CUPIG と呼ばれる自動車利用の意思決定に着目した手法や、GIS の利用可能性が検討され始めている⁴⁾。

Keywords 交通行動分析、自動車保有・利用、交通弱者対策

*正会員 工博 東京大学大学院新領域創成科学研究科

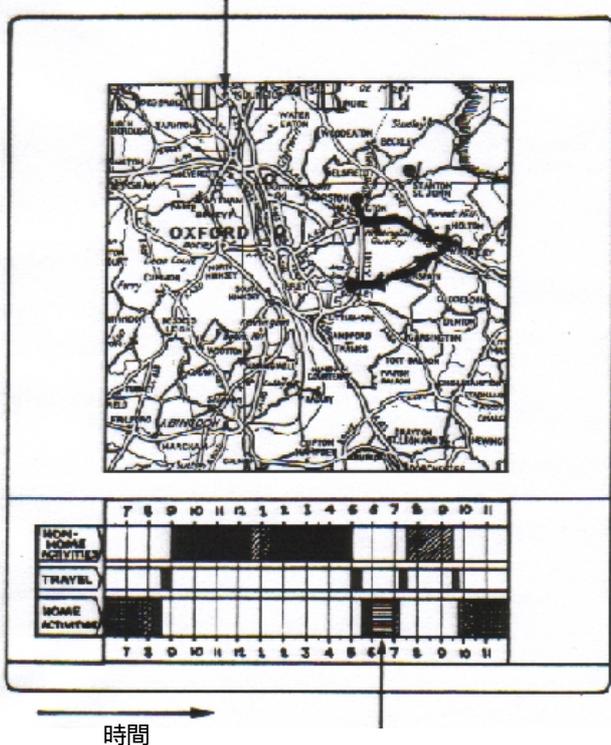
**正会員 工博 東京大学工学部付属総合試験所

***フェロー Ph.D 東京大学大学院工学系研究科

(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1、

TEL 03-5841-6234、FAX 03-5841-8527)

地図上に活動場所および
移動パターンを表示



時間軸上に活動内容を表示

図1 HATS ゲームボード

一方、制約条件の変化による活動パターンの変化を考慮する上で、個人や世帯の実行可能な活動パターンの選択肢集合（代替活動パターン）を明らかにすることが重要である。Hagerstrand の提案した時空間プリズム制約⁵⁾は、代替活動パターンを特定する上で非常に有効な概念である。PESASP⁶⁾は、時空間プリズム制約を明示的に考慮して、代替活動パターンを考察した最初のモデルである。TSU においても、HATS のアナログ的な面を克服するために、CARLA²⁾という代替活動パターン生成モデルを開発したが、このモデルはプリズム制約や移動時間を明示的に考慮したものではなかった。近年では、PESASP の概念を基に、瀬川⁷⁾が勤労主婦の保育施設へ子供を送迎する活動、大森ら⁸⁾が高齢者の総合病院への通院活動を対象に、GIS を用いて詳細なネットワークデータや活動機会データを用いた分析を行っている。しかし、いずれの分析も一人の個人の活動スケジュール制約のみを明示的に考慮しており、他の個人との活動スケジュールの調整などは考慮していない。Recker⁹⁾は、世帯内の二人の活動スケジュールから、同乗を含めた最適な自動車の利用パターンを算出するモデルを提案しているが、仮想的な活動スケジュールを仮定しての分析であり、自動車以外の交通手段による移動は考慮していない。

本研究においては、個人の制約条件を入力することで、自動車同乗を含めた代替活動パターンを自動的に生成するモデルを GIS とリンクして、GIS ベースのゲーミングシミュレーションツールを開発する。

3. 代替活動パターン生成モデル

(1) モデルの概要

(a) スケジュール変更を考慮した時空間プリズムにおける外出活動の実行可能性

本研究では、ある活動機会における外出活動を実行する際に、交通手段、時刻、日に対する代替活動パターンを生成できるモデルを開発する。本モデルは、個人の活動スケジュールの時空間プリズム制約を明示的に考慮して、プリズム内における外出活動の実行可能性を判定することで、代替活動パターンを生成する。また、二人の活動スケジュール制約を考慮して同乗という交通手段を明示的に扱っている。さらに、毎日の活動スケジュール制約を、より現実的に表現するために、従来の時空間プリズムの概念を拡張し、「スケジュール変更を考慮した時空間プリズム」の概念を用いる^{8), 10)}。

一般的な時空間プリズムの概念は、個人の活動スケジュール制約に関して、一日を固定時間帯と自由時間帯の2つに分類した時に、自由時間帯において実行可能な時空間パスの集合を表現するものである。つまり、一日の活動を開始時刻、継続時間、場所の全てが固定している活動と、それら全てが固定されていない活動に分類している。しかし、実際の日常生活においては、継続時間と場所は固定されているが、開始時刻については自由度がある活動というものが多いものと考えられる。例えば、家事という活動は、自宅である一定時間行わなくてはならないが、開始時刻についてはある程度自由度があるものと考えられる。外出活動を行う時には、そのような活動の開始時刻を調整することで、活動機会のサービス時間帯に合わせたり、他人のスケジュールに合わせたりという行動は頻繁に行われていると考えられる。

よって、本研究では、アクティビティダイアリーデータに表れる個人の一日の活動を、時空間制約の違いによって以下の3種類に分類する。

活動(a)...その活動を行う開始時刻・継続時間・場所が固定

活動(b)...その活動を行う継続時間・場所が固定

活動(c)...その活動を行わなくても良く、行う場合は開始時刻・継続時間・場所ともに自由(活動(a)、活動(b)以外)

個人の毎日の活動スケジュールには、あらかじめ行うことが決定されている活動(活動(a)と活動(b))と、そうでない活動(活動(c))が存在するものと仮定する。時空間上で活動(a)を固定とし、ある活動(a)と次の活動(a)の範囲で、その間に挟まれた活動(b)の開始時刻を調整可能とし、活動(c)および移動に割り当てられる時間をひとまとめにした時に、利用交通手段の速度に応じてプリズムが決定されるものとする⁸⁾。このプリズム制約のもとで、ある外出活動を、ある交通手段を利用して実行可能かどうかを判定する。

表1 代替活動パターン生成モデルの入力データ

交通需要 サイド	交通手段の利用可能性 活動スケジュール
交通供給 サイド	道路ネットワーク時間帯別交通手段別所要時間 バスネットワーク時間帯別所要時間（バス停間）
活動機会 サイド	活動機会立地 活動機会サービス時間帯

入力データを表1に示す。ネットワーク所要時間については独自にネットワークデータを作成して計算した値を用いている^[1]。数式で表現するために、まず以下のように各変数を定義する。ここでは、ある一日の時間軸上で n 番目の活動(a)の終了時刻を n 番目のプリズム開始最早時刻、 $n+1$ 番目の活動(a)の開始時刻を n 番目のプリズム終了最遅時刻と呼ぶことにする。

- $TS_{n_x}^X, TE_{n_x}^X$: 個人 X の第 n_x 番目のプリズム開始最早時刻、終了最遅時刻
- L_i^X, L_j^X : 個人 X の第 n_x 番目のプリズム開始場所、終了場所
- L_k : 活動機会 k の場所
- $\sum AT_{b,n_x}^X$: 時刻 $TS_{n_x}^X \sim TE_{n_x}^X$ 間の個人 X の活動(b)の時間の和
- $t_{m,ij}$: 交通手段 m での場所 i から j への移動時間
- T_k : 活動機会 k での活動時間
- OS_i^k, OE_i^k : その日 i 回目の活動機会 k のサービス開始時刻、終了時刻
- $Trip_Start_Time_{n_x}^X$: 個人 X の第 n_x 番目のプリズムにおける移動開始時刻

以上の変数のうち、 $Trip_Start_Time_{n_x}^X$ 以外は、入力データとしてあらかじめ与えられる。そして、以下の式(1)～(5)の制約条件を満たす $Trip_Start_Time_{n_x}^X$ が存在する時に、個人 X の n_x 番目のプリズムにおいて、交通手段 m を用いて、活動機会 k での外出活動が実行可能であると判定する。

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X \leq TS_{n_x}^X \quad (1)$$

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X + t_{m,L_i^X L_k} \leq OS_i^k \quad (2)$$

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X + t_{m,L_i^X L_k} + T_k \leq OE_i^k \quad (3)$$

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X + t_{m,L_i^X L_k} + T_k + t_{m,L_k L_j^X} \leq TE_{n_x}^X \quad (4)$$

$$TE_{n_x}^X - TS_{n_x}^X - \sum AT_{b,n_x}^X \leq t_{m,L_i^X L_k} + T_k + t_{m,L_k L_j^X} \quad (5)$$

($TE_{n_x}^X - TS_{n_x}^X - \sum AT_{b,n_x}^X$) は、外出活動に利用可能なプリズム時間を表している。式(1)、(4)はプリズム i の開始・終了時刻制約、式(2)、(3)は活動機会のサービス時間帯制約、式(5)はプリズム時間制約である。 $TS_{n_x}^X$ に移動を開始して活動機会の開始時刻 OS_i^k よりも早く到着する場合には、プリズム開始場所に滞在して活動(b)または活動(c)を行い、活動機会の開始時刻に合わせて移動を開始するものと仮定している。

(b)二人の活動スケジュール制約を考慮した同乗可能性
ここで、個人 X の交通手段として同乗を考慮するためには、同乗を供給する運転者の活動スケジュール制約も考慮する必要がある。個人 X を同乗を享受する側、個人 Y を同乗を供給する側と考え、個人 Y に関わる変数を以下のように定義する。

- $TS_{n_y}^Y, TE_{n_y}^Y$: 個人 Y の第 n_y 番目のプリズム開始最早時刻、終了最遅時刻
- L_i^Y, L_j^Y : 個人 Y の第 n_y 番目のプリズム開始場所、終了場所
- $\sum AT_{b,n_y}^Y$: 時刻 $TS_{n_y}^Y \sim TE_{n_y}^Y$ 間の個人 Y の活動(b)の時間の和
- $Trip_Start_Time_{n_y}^Y$: 個人 Y の第 n_y 番目のプリズムにおける移動開始時刻

同乗による活動の実行可能性の判定には、個人 X のスケジュール制約に加えて、個人 Y のプリズム時間制約とプリズム開始・終了時刻制約を考慮する必要がある。以下では、

- 個人 X の実際のトリップにおける同乗可能性
- 個人 X の n_x 番目のプリズムにおいて往路同乗、復路交通手段 m による活動機会 k での外出活動の実行可能性
- 個人 X の n_x 番目のプリズムにおいて往路復路とも同乗による活動機会 k での外出活動の実行可能性
- 個人 X の n_x 番目のプリズムにおいて往路交通手段 m 、復路同乗による活動機会 k での外出活動の実行可能性

の4つの場合について説明する(図2-1～2-4に概念図を示す)。同乗の場合、往路と復路で交通手段が異なることも多いため^[11]、往路と復路別に考慮している。ここで、交通手段 m が自動車(個人 X の同乗、個人 Y の運転)の場合は、添え字を car と記述する。

個人 X の実際のトリップにおける同乗

実際のトリップにおいて同乗が可能かどうかの判定は、外出活動を全て活動(a)(開始時刻、継続時間、場所が固定されている活動)と考えることで対応する。以下の式(6)～(11)の制約条件を満たす $Trip_Start_Time_{n_x}^X$ と $Trip_Start_Time_{n_y}^Y$ が同時に存在する時に、同乗可能と判定する。

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X \leq TS_{n_x}^X \quad (6)$$

$$Trip_Start_Time_{n_y}^Y \leq TS_{n_y}^Y \quad (7)$$

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X + t_{car,L_i^X L_j^X} \leq TE_{n_x}^X \quad (8)$$

$$Trip_Start_Time_{n_y}^Y + t_{car,L_i^Y L_i^X} + t_{car,L_i^X L_j^X} + t_{car,L_j^X L_j^Y} \leq TE_{n_y}^Y \quad (9)$$

$$TE_{n_x}^X - TS_{n_x}^X - \sum AT_{b,n_x}^X \leq t_{car,L_i^X L_j^X} \quad (10)$$

$$TE_{n_y}^Y - TS_{n_y}^Y - \sum AT_{b,n_y}^Y \leq t_{car,L_i^Y L_i^X} + t_{car,L_i^X L_j^X} + t_{car,L_j^X L_j^Y} \quad (11)$$

式(6)、(8)は個人 X のプリズム開始・終了時刻制約、式(7)、(9)は個人 Y のプリズム開始・終了時刻制約、式(10)は、個人 X のプリズム時間制約、式(11)は、個人 Y のプリズム時間制約である。

個人 X の n_x 番目のプリズムにおいて往路同乗、復路交通手段 m による活動機会 k での外出活動の実行可能性

実際のトリップではなく、他の時間帯のプリズムや他の日のプリズムにおいて、活動機会 k での外出活動の実行可能性を判定する。以下の式(12)～(19)の制約条件を満たす時に実行可能と判定する。

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X \leq TS_{n_x}^X \quad (12)$$

$$Trip_Start_Time_{n_y}^Y \leq TS_{n_y}^Y \quad (13)$$

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X + t_{car, L_i^X L_k} \leq OS_l^k \quad (14)$$

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X + t_{car, L_i^X L_k} + T_k \leq OE_l^k \quad (15)$$

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X + t_{car, L_i^X L_k} + T_k + t_{m, L_k L_j} \leq TE_{n_x}^X \quad (16)$$

$$Trip_Start_Time_{n_y}^Y + t_{car, L_i^Y L_k} + t_{car, L_i^X L_k} + t_{m, L_k L_j} \leq TE_{n_y}^Y \quad (17)$$

$$TE_{n_x}^X - TS_{n_x}^X - \sum AT_{b, n_x}^X \leq t_{car, L_i^X L_k} + T_k + t_{m, L_k L_j} \quad (18)$$

$$TE_{n_y}^Y - TS_{n_y}^Y - \sum AT_{b, n_y}^Y \leq t_{car, L_i^Y L_k} + t_{car, L_i^X L_k} + t_{m, L_k L_j} \quad (19)$$

式(12)、(16)は個人 X のプリズム開始・終了時刻制約、式(13)、(17)は個人 Y のプリズム開始・終了時刻制約、式(14)、(15)は活動機会 k のサービス時間帯制約、式(18)は個人 X のプリズム時間制約、式(19)は個人 Y のプリズム時間制約である。

往路復路とも同乗による活動機会 k での外出活動の実行可能性

以下の式(20)～(27)の制約条件を満たす時に実行可能と判定する。

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X \leq TS_{n_x}^X \quad (20)$$

$$Trip_Start_Time_{n_y}^Y \leq TS_{n_y}^Y \quad (21)$$

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X + t_{car, L_i^X L_k} \leq OS_l^k \quad (22)$$

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X + t_{car, L_i^X L_k} + T_k \leq OE_l^k \quad (23)$$

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X + t_{car, L_i^X L_k} + T_k + t_{car, L_k L_j} \leq TE_{n_x}^X \quad (24)$$

$$Trip_Start_Time_{n_y}^Y + t_{car, L_i^Y L_k} + t_{car, L_i^X L_k} + T_k + t_{car, L_k L_j} + t_{car, L_j L_j} \leq TE_{n_y}^Y \quad (25)$$

$$TE_{n_x}^X - TS_{n_x}^X - \sum AT_{b, n_x}^X \leq t_{car, L_i^X L_k} + T_k + t_{car, L_k L_j} \quad (26)$$

$$TE_{n_y}^Y - TS_{n_y}^Y - \sum AT_{b, n_y}^Y \leq t_{car, L_i^Y L_k} + t_{car, L_i^X L_k} + T_k + t_{car, L_k L_j} + t_{car, L_j L_j} \quad (27)$$

往路交通手段 m 、復路同乗による活動機会 k での外出活動の実行可能性

以下の式(28)～(35)の制約条件を満たす時に実行可能と判定する。

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X \leq TS_{n_x}^X \quad (28)$$

$$Trip_Start_Time_{n_y}^Y \leq TS_{n_y}^Y \quad (29)$$

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X + t_{m, L_i^X L_k} \leq OS_l^k \quad (30)$$

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X + t_{m, L_i^X L_k} + T_k \leq OE_l^k \quad (31)$$

$$Trip_Start_Time_{n_x}^X + t_{m, L_i^X L_k} + T_k + t_{car, L_k L_j} \leq TE_{n_x}^X \quad (32)$$

$$Trip_Start_Time_{n_y}^Y + t_{car, L_i^Y L_k} + t_{car, L_k L_j} + t_{car, L_j L_j} \leq TE_{n_y}^Y \quad (33)$$

$$TE_{n_x}^X - TS_{n_x}^X - \sum AT_{b, n_x}^X \leq t_{m, L_i^X L_k} + T_k + t_{car, L_k L_j} \quad (34)$$

$$TE_{n_y}^Y - TS_{n_y}^Y - \sum AT_{b, n_y}^Y \leq t_{car, L_i^Y L_k} + t_{car, L_k L_j} + t_{car, L_j L_j} \quad (35)$$

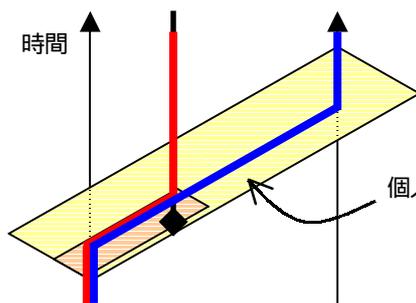


図2 - 1 実際のトリップで同乗が可能な例

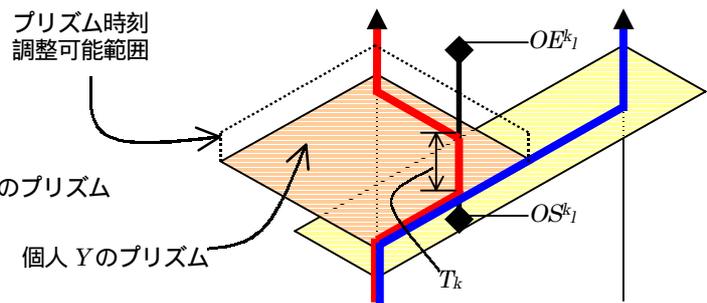


図2 - 2 プリズム内で往路のみ同乗が可能な例

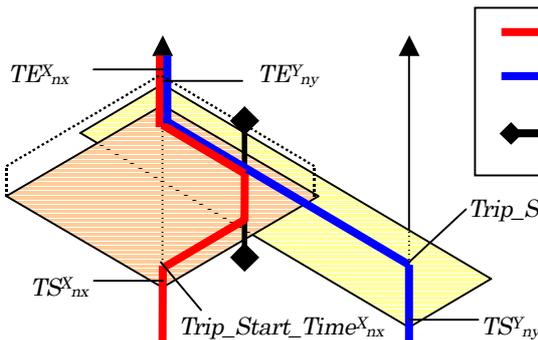


図2 - 3 プリズム内で復路のみ同乗が可能な例

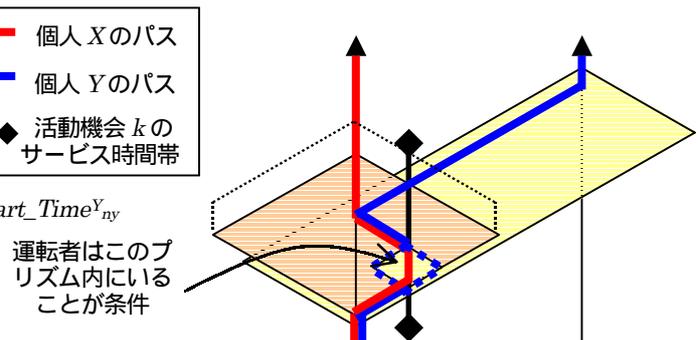


図2 - 4 プリズム内で往路復路とも同乗が可能な例

以上のように、個人 Y による同乗を含んだ各交通手段による活動機会 k での外出活動の実行可能性を判定し、個人 X と個人 Y の代替活動パターンを生成する。

(2) 高齢者の同乗交通への適用

(a) 調査概要

平成 11 年 2 月 22 日(月)～2 月 28 日(日)の一週間、秋田市内に居住する 65 歳以上の無職高齢者のいる 13 世帯、30 人(無職高齢者 20 人、高校生以上の非高齢者 10 人)を対象に、活動日誌調査とトリップ調査を組み合わせ合わせた調査を行った。活動日誌では自宅内での活動についても記入してもらっている。世帯構成による活動パターンの違いを見る目的で、単身世帯 4 世帯、夫婦世帯 4 世帯、同居世帯 5 世帯を対象とした。本調査においては、できる限り正確で詳細な時空間データを得るために、同時に PHS の位置情報システムも活用し¹²⁾、活動場所については具体的な建物名を記入してもらい、不明な場所については後日訪問して、活動場所を確認した。

調査データの外出特性について概観する。高齢者と非高齢者とを比較すると、高齢者の方が外出日数、サイクル数、トリップ数ともに小さいという一般的な傾向が見られる(表 2)。また、自動車を運転できない高齢者について全トリップに対する交通手段が同乗の割合は、同居世帯 22%、夫婦世帯 11%、単身世帯 4%となった。

本章においては、活動スケジュールに関しては、回答結果をもとに以下のように活動を分類した。

活動(a)...睡眠、食事、仕事

活動(b)...家事、雑用、身の回りの用事

活動(c)...活動(a)と活動(b)以外の活動

表 2 調査データの外出指標

	外出日数 (日/7日)	サイクル数 (/日)	トリップ数 (/日)
高齢者	5.0	1.0	2.5
非高齢者	6.1	1.4	3.5

(b) 同乗可能性と実態

本モデルを適用し、日常生活でどのくらい同乗の可能性が存在するのかを確認し、その上でどのくらいの割合で実際同乗を利用しているかを分析する。ここでは、家族間での同乗に限定し、夫婦世帯または同居世帯の高齢者の中で、自動車を運転できず、かつ世帯内に自動車を運転できる人(以下運転者と呼ぶ)がいる場合を対象とする。使用データの中で、このような状況にある高齢者は 7 人、運転者は 9 人存在し、同一世帯内の高齢者と運転者との組み合わせは 10 組ある。

まず、実際のトリップに対して同乗が利用可能であったかどうかを判定した結果を表 3 に示す。トータルでは 75%のトリップで同乗が可能であると判定された。しかし、同乗が可能な状態で実際同乗を利用しているのは、35%である。それ以外の交通手段を利用した場合につい

表 3 実際のトリップに対する同乗可能性と実態

高 齢 者	運 転 者	運 転 者 続 柄	運 転 者 職 業	同乗可能 トリップ [°]	同乗利用 トリップ [°]	同乗利用 / 同乗可能
P1	D1	配偶者	無職	100%	43%	43%
P2	D2	配偶者	無職	0%	0%	
P2	D3	子供夫婦	通勤者	100%	0%	0%
P2	D4	子供夫婦	通勤者	100%	0%	0%
P3	D5	子供夫婦	通勤者	63%	25%	40%
P4	D6	子供夫婦	通勤者	0%	0%	
P5	D7	配偶者	無職	100%	60%	60%
P6	D7	配偶者	無職	100%	0%	0%
P7	D8	子供夫婦	自営業	82%	18%	22%
P7	D9	子供夫婦	自営業	55%	18%	33%
計				75%	35%	35%

注) 同乗可能トリップ...全トリップに対する同乗可能と判定された割合
同乗利用トリップ...全トリップに対する同乗を利用した割合
同乗利用/同乗可能...同乗利用トリップ/同乗可能トリップ

てみると、徒歩が 38%と多く、外出場所が近い場合は同乗を利用しない傾向が伺われる。また、遠い外出場所の場合はタクシーやバスを利用しているが、これは高齢者と運転者ともに時空間制約以外の要因のために同乗が選択されなかったものと考えられる。

また、トリップ単位ではなく、往復の 1 サイクルに着目すると、往路のみ同乗で復路は違う交通手段を利用しているケースがいくつか見られる。本モデルによる出力結果においても、往路または復路のみ同乗を利用可能であると判定された場合もあった。この結果は、既存研究¹¹⁾において帰宅時に他の交通手段を利用している人が半数以上いると報告されている要因の一つが、高齢者と同乗者の時空間制約が合わないことであることを示唆する。また、高齢者が実際行った外出活動で、他の時間帯や他の日に行ってもよい活動については、実際トリップを行ったプリズムにおいては同乗が利用できなくても、他の時間帯や他の日に行えば全て同乗が利用可能であったという判定となった。

表 4 同乗の可能性のある全てのトリップで同乗が可能となった場合の高齢者の一般化乗車時間と運転者の運転時間の変化(分)

高 齢 者	運 転 者	高齢者 一般化乗車時間(分)		運転者 運転時間(分)	
		現状	可能な トリップは 全て同乗	現状	可能な トリップは 全て同乗
P1	D1	141	49	142	152
P2	D2	163	21	89	117
P2	D3	163	21	454	482
P2	D4	163	21	6	34
P3	D5	44	32	193	203
P4	D6	132	132	236	236
P5	D7	41	9	28	35
P6	D7	24	1	28	29
P7	D8	207	32	224	235
P7	D9	207	32	0	6

注) 高齢者の単位はバス着席時間に換算したものの

(c) 同乗が可能となった場合の一般化乗車時間の評価
次に、利用交通手段別の身体抵抗を表す等価時間係数²⁾を用いて、高齢者の実際のトリップの一般化乗車時間と、同乗の可能性のある全ての高齢者のトリップ（他の時間帯や他の日に行ってもよい外出活動に対するトリップを含む）で同乗を行った場合との一般化乗車時間との比較を行う。また、運転者については実際のトリップの運転時間と、全ての高齢者のトリップに対して同乗を供給した場合の運転時間を算出した。計算結果を表4に示す。当然のことだが、高齢者の一般化乗車時間は大きく減少することになる。一方、運転者は同乗を供給することで迂回をしたり、追加的にトリップを行うことになり運転時間が増加することになる。両者の値は単純には比較はできないが、運転者の運転時間の増加分と比べて、高齢者の一般化乗車時間の減少分が大きく、高齢者と運転者の移動抵抗の合計は減少することが予想される。

4 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適用

(1) ツールの開発

本章では、3章で開発した代替活動パターン生成モデルをGISとリンクした、ゲーミングシミュレーションツールを開発する。本ツールはSimulation Model for Activity Planning(SMAP)と名づける。SMAPの特徴として、以下の3点が挙げられる。

GISをプラットフォームとしている。

世帯員間の相互作用を考慮している。

複数日単位での活動パターンを考慮できる。

まず、GISをプラットフォームとしてこのようなツールを開発するメリットとしては、以下のような点が挙げられるものと考えられる。

- ・地図への記入、修正が自由自在であり、活動パターンの変更を瞬時に表現することが可能で、必要な情報のみを表示できる。
- ・地図の拡大縮小が自由自在であり、必要に応じた縮尺で移動軌跡や空間情報を確認することができる。さらに、時間軸の拡大縮小も可能であり、一日全体または特定の時間帯など時間スケールを自由に表示できる。

そして、3章で開発した代替活動パターン生成モデルをリンクすることで、個々人の制約条件を面接調査中に入力あるいは変更することで代替活動パターンをGIS上に表示でき、さらに一連の回答結果がパソコンに自動的に保存されるという利点もある。

次に、世帯員間の相互作用を考慮しているとは、二人の活動スケジュールの時空間制約を入力することで、同乗の利用可能性を明示的に考慮した代替活動パターンを出力できる点である。従来の同乗を扱ったモデルでは、具体的にスケジュール制約を考慮したものはない¹³⁾。

最後に、複数日単位での活動パターンを考慮できると

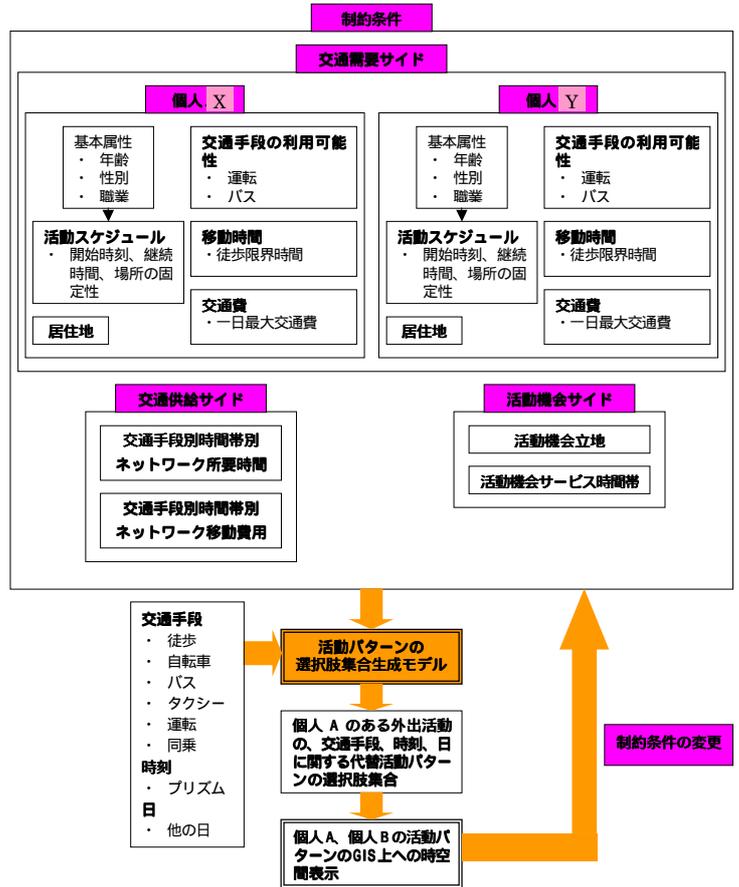


図3 SMAPモデル概念図

は、ある日の外出活動に対して、他の日の活動スケジュール制約を入力することで、他の日におけるその外出活動の代替案を考慮できる点である。高齢者は外出率が低いため、複数日単位で外出行動を考慮できることは有効であると考えられる。

SMAPは、GISソフトウェアMapInfoのカスタマイズ用プログラミング言語MapBasicを用いてプログラムした。また、3章に記した代替活動パターン生成モデルはC言語で作成しており、MapBasic上で呼び出す構造とした。SMAPの概念図を図3に示す。現状の活動パターン、および制約条件から生成される代替活動パターンをGIS上で地図と時間軸上に表示する。さらに制約条件としての入力変数を変更することで、制約条件の変化による活動パターンの選択肢集合の変化を表示でき、調査対象者に選択してもらう。また、最後に一連のプロセスを出力するテキストファイルを作成する。

(2) 高齢者世帯への適用

(a) 調査概要

平成11年11月上旬、3章で記した平成11年2月に一週間のダイアリー調査を行った13世帯20人の高齢者中、12世帯18人に対して、訪問面接調査を行った(1人は病気のため療養中であり、1人は平成11年3月以降に逝去のため調査不可能だった)。

個人Aの一日の活動パターンの時間軸上への表示

個人Bの一日の活動パターンの時間軸上への表示

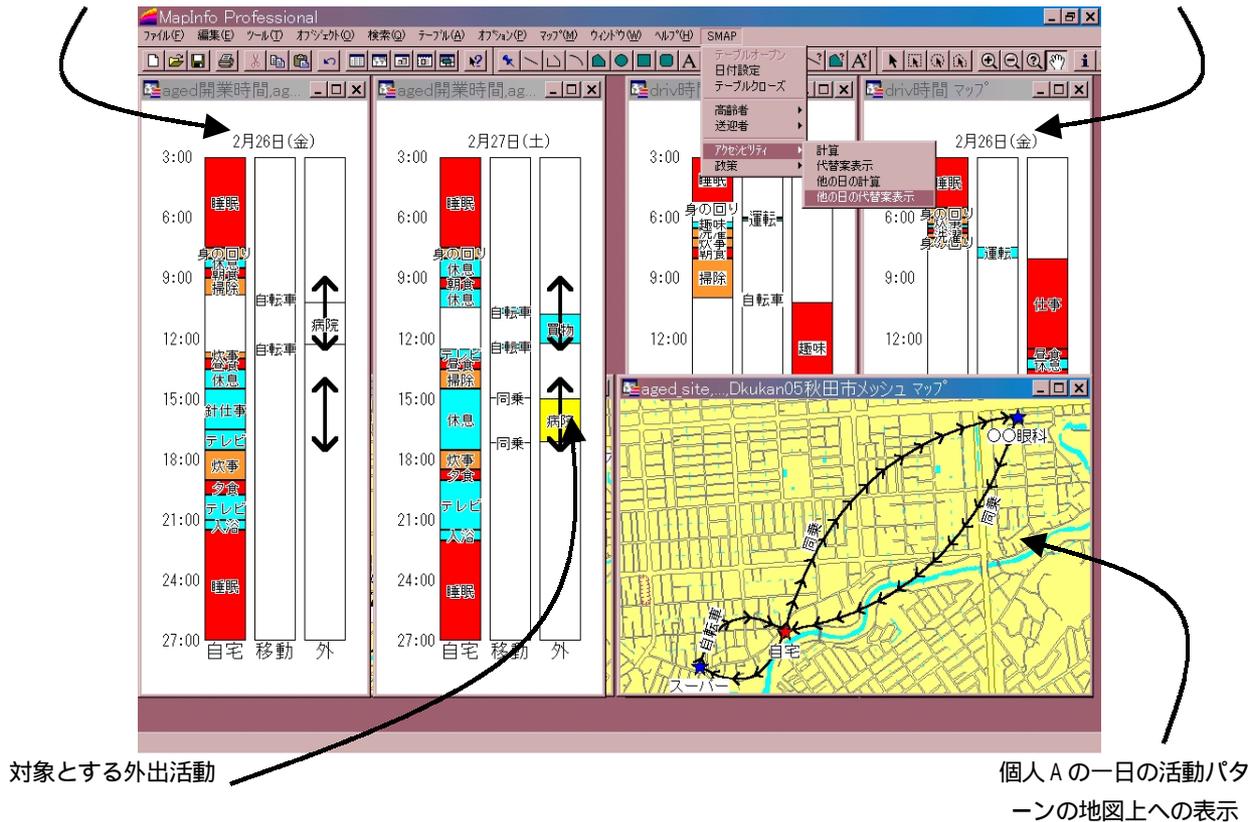


図4 SMAP 画面例 (金曜日の自転車での通院活動を、土曜日に同乗で行う場合)

SMAP 調査の手順としては、まず対象とする高齢者の利用可能な交通手段、徒歩で何分までの場所であれば徒歩で外出するか、一日に交通費にいくらまで使えるかを質問し入力する。次に一週間の外出状況を示し、評価対象とする日を選択する。評価対象日の一日の活動が時間軸上に、移動が地図上に表示され、3章に記した時空間制約に応じて各活動を3種類に分類する。世帯内に送迎してくれる人がいる場合には、送迎者の活動も表示し、同様に活動ごとに時空間制約を入力する。そして、代替活動パターン生成モデルを実行し、代替活動パターンの選択肢集合を特定する。次に、評価対象とする一つの外出活動を選択し、その活動の時空間制約パターン(日・開始時刻・継続時間・場所が固定、日・継続時間・場所が固定、継続時間・場所が固定のいずれか)を入力すると代替案が提示される。ここで、高齢者に一つの代替案を選択することを求める。高齢者が同乗を選択した場合に、送迎者の活動パターンには高齢者を送迎するという余分なトリップが加わることになり、それを含めて送迎者に自身の活動パターンを選択するか否かの回答を求める。二人の選択結果が一致した場合に、その活動パターンが二人の活動パターンデータとして保存されることになる。今回の調査では、まず、活動パターンの意思決定構造を理解することを目的に、現状の活動パターンと代替案を提示し、現状の活動パターンを行った理由を質問した。その後で、制約条件の変化に対する活動パターン

の変更意向を質問した。今回の調査では、高齢者対策および高齢者に起こりうる制約条件の変化の代表的な例として、

コミュニティバスの導入

加齢による運転断念、または普通の自動車を運転できない高齢者にも運転可能な高齢者用自動車を利用可能

活動機会のサービス時間帯の延長、休日営業

の場合について、個人や世帯はどのような変更意向を示すかを質問した。最後に、本調査に対する感想を聞いた。いわゆるデプスインタビュー調査であり、一世帯あたり約1~1.5時間の調査時間を要した。同時に調査中の被験者の様子を録画し、発言や会話を録音するためにビデオ撮影も行った。図4にSMAPの画面の例を示す。

(b)制約条件の詳細把握と制約条件の変化による活動パターンの変更意向

本調査によって、高齢者の交通行動に対する個別の詳細な制約条件を汲み取ることができ、制約条件の変化による興味深い活動パターンの変化の可能性が示されたサンプルの例を以下に挙げる。図5、図6は、左図がサンプルの現在のプリズム制約と、ある外出場所への外出活動の様子を、右図が制約条件の変化によるプリズム制約と外出活動の変更意向を時空間座標上に表現したものである。

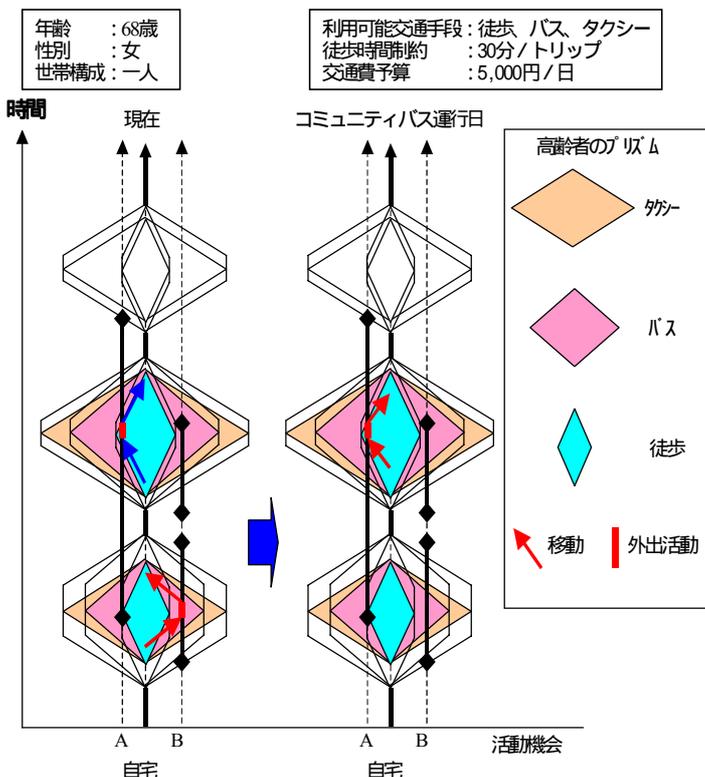


図5 週一日コミュニティバスが運行する場合

コミュニティバスが週一日決まった曜日に運行する場合(図5)

このサンプルは、一人暮らしであり、利用可能な交通手段は徒歩、バス、タクシーである。もし、コミュニティバスが週一日だけ決まった曜日に運行する場合、現在徒歩を利用しているスーパーAへの買い物については、コミュニティバスが運行する日に合わせて、そこへ行く日を変更する可能性がある」と答えた。しかし、現在バスを利用している病院Bへの通院については、担当医が診察する曜日が決まっているため、コミュニティバスの運行日に合わせることはできない。また、夕食後はバスの運行時間帯を過ぎており、バスのプリズムは存在しない。しかし、夜は暗いため外出しないことにしており、徒歩、タクシーのプリズム内でも外出活動の選択肢は存在しないと考えられ、事実上プリズムは存在しないものと考えられる。

活動機会が休日も利用できる場合(図6)

このサンプルは、子供夫婦と同居しており、同乗を利用できる可能性がある。しかし、身体的な制約によりバスが利用できないため、利用可能な交通手段は徒歩、同乗、タクシーに限定されている。平日は、運転者が日中会社Cに通勤しているため、同乗成立可能性は非常に低い。病院Bは、平日のみ診察可能なため、現在は平日にタクシーを利用して通院している。ここで、もし病院Bが日曜日も診察を始めた場合、運転者のスケジュール制約から高齢者を自動車で送迎することが可能であり、高齢者は日曜日に同乗を利用して通院すると答え、運転者もそれを了解した。夕食後は外出しないことにしており、

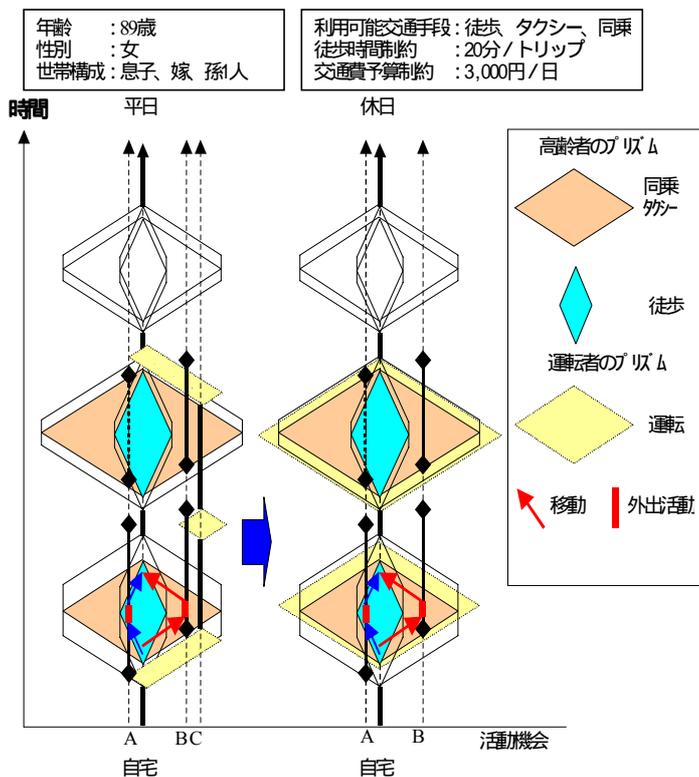


図6 活動機会が休日も利用できる場合

プリズム内での外出活動の選択肢は存在しないものと考えられる。また、病院Aは平日の午後にも診察可能だが、仲の良い友人も午前中に病院Aに通院しているため、午前に行くことに決めている。

ここで挙げた2サンプル以外にも、興味深い制約条件を汲み取ることができた例を以下に記す。

交通手段に関する制約

- 健康のために、できるだけ歩くことにしているが、行きも帰りも徒歩は体力的につらく、行きか帰りのどちらかは徒歩で、どちらかは別の交通手段を利用する。
- 買物の量が少ない時は自転車だが、多い時は自動車を利用する。
- 駅前に自転車で行くのは危険であるので、他の交通手段を利用する。
- 駐車場が込んでいたり、狭いために駐車しにくいいため他の交通手段で行く。

時刻に関する制約

- その日の用事は午前中に済ませることにしており、外出は大抵午前中に行い、午後は自宅でゆったり過ごす。
- 逆に、午前中は自宅での用事を行うため外出しないことが多い。
- 家族による同乗が利用可能な午前中に外出する。
- スーパーの開店時刻に合わせて外出し、特売の商品を狙う。
- 病院の空いている午前中に行く。

また、調査の最後にSMAPを用いた一連の調査に対する感想を質問した。調査時間が長いにもかかわらず、調査中は非常に興味深くパソコンの画面を覗き込み、質問

にも熱心に答えてくれた。調査後の感想から、今後のシステムの改良点や発展性に関する事項として、以下の結果が得られた。

- ・地図は見やすいが、時間軸は少々見にくく、理解できていない人もいたため、時間軸の表現をより工夫する必要がある。
- ・毎日の生活活動と交通行動を振り返ることができ、非常に勉強になったという意見や、日常の行動範囲の狭さに驚いたという意見も多く、個人が自分の活動パターンを評価し、活動計画の意思決定支援ツールとして利用するなどの方向に役立つ可能性が示唆される。

5. 結論と今後の課題

本研究では、詳細なアクティビティダイアリーデータ、交通ネットワークデータ、活動機会データを利用し、二人の活動スケジュールや活動機会のサービス時間帯などの時空間制約を明示的に考慮して、ある外出活動に対する交通手段に同乗を含んだ代替活動パターンを生成するモデルを構築した。モデルの適用例として、高齢者世帯全員の一週間のアクティビティダイアリーデータを利用することによって、複数日単位での外出活動のトレードオフを考慮し、実際のトリップだけではなく、他の時間帯や他の日における同乗を利用した外出活動の実行可能性を分析した。時空間制約からみた同乗の成立可能性と比較して、実際に同乗を行っている割合はかなり低いことが確認できた。また、同乗が可能と判定されたトリップに対して全て同乗を利用した場合には、高齢者の一般化移動時間は大きく減少し、同乗を供給する運転者の運転時間の増加分を上回るものと考えられる結果となった。

さらに、このモデルを GIS とリンクすることで、実際の活動パターンおよび代替活動パターンを地図上と時間軸上に表現し、時空間制約、世帯員間の相互作用、複数日単位での活動パターンを考慮できる応答型のゲーミングシミュレーションツール SMAP を開発した。このツールを用いて、一週間のアクティビティダイアリー調査を行った高齢者世帯に対して訪問面接調査を行うことで、活動スケジュールの時空間制約、活動機会のサービス時間帯制約、徒歩時間制約、交通費予算制約などのモデルであらかじめ考慮されていた制約以外の、詳細な個人特有の制約条件を把握することができた。また、制約条件の変化による活動パターンの変更可能性に関して、従来の調査や分析モデルでは把握することや表現することが困難である、世帯員間の相互作用や複数日単位での外出活動のトレードオフを考慮した活動パターンの変更可能性に関して有益な考察ができた。

本研究で開発したような GIS ベースのゲーミングシミュレーションツールの特徴を生かすと、高齢者の活動交通分析以外にも広範囲の適用分野が考えられる。特に、複数人の活動スケジュール制約を考慮できることから、

世帯における同乗のみならず異なる世帯間での相乗り行動、複数日単位での活動パターンを考慮できることから、圧縮勤務やノーカーデーなどの政策評価や環境負荷の小さな自動車利用について考慮するトラベルプランディングなどへの適用が有望であると考えられる。また、GPS や PHS といった高度情報通信技術により得られる、詳細な行動データを直接 RP データとして用いる可能性も高い。例えば、時差出勤やフレックスタイム、ロードプライシングなどの TDM 施策や、トリップ前や移動中の情報提供などの ITS 技術が、出発時刻選択、経路選択、駐車場選択行動に与える影響を把握するために、GPS により収集された経路や速度を含めた詳細な行動データを RP データとして用いて、GIS ベースのゲーミングシミュレーションを適用することは非常に有効であるものと考えられる。

最後に、以上のような分野での適用可能性を高めるために、SMAP の今後の改良の方向性をいくつか挙げる。

- ・代替活動パターン生成モデルにおける活動スケジュールの時空間制約に関して、開始時刻、継続時間、場所の固定性の組み合わせを拡張する。
- ・個々人の制約をより詳細に考慮できるように、今回の調査により得られた情報をもとに、制約条件として導入できる変数を増やす。
- ・移動時間、移動費用、活動継続時間、開始時刻などの現在算出できる変数や、今回の調査により得られた情報をもとに、何らかの目的関数を設定して、活動スケジュール決定モデルをリンクする。
- ・3人以上の活動スケジュールを同時に扱えるように改良する。
- ・複数の活動機会における外出活動や、自宅での交通代替活動を含めた代替案を扱えるように改良する。

注

[1] 道路ネットワーク上の自動車の速度は DID 内 26km/h、DID 外 39 km/h として、2 地点間の最短所要時間の経路の移動時間を道路所要時間とした。バスの移動速度は、DID 内 20km/h、DID 外 30km/h とし、待ち時間、乗り換え時間を考慮して、さらに等価時間係数を用いて一般化乗車時間を計算し、バス停間の最小一般化乗車時間の経路の移動時間をバス所要時間とした。徒歩速度は 4km/h と設定した。

[2] 既存研究において求められた等価時間係数^{14), 15)}を参考に次の値とした - 高齢者バス着席 1.0、徒歩 2.4、乗り換え 5.2、待ち 1.9、同乗 0.8

[3] 交通費の計算は、以下のように算出した。

交通手段	費用
運転 ¹⁶⁾	$((356.9/V - 1.706V + 0.0128V^2 + 105.2) (\text{cc}/\text{km}) \times 0.095 (\text{円}/\text{cc}) \times \text{移動距離} (\text{km})) \text{円}$ V: 平均速度(km/時)
バス ¹⁷⁾	1.8km まで 140 円、1.8km 以上 $(140 + 39.3 \times (\text{運行距離} (\text{km}) - 1.8)) \text{円}$
タクシー ¹⁸⁾	1.5km まで 640 円、その後 295m ごとに 90 円加算

参考文献

- 1) 原田昇(1997) : 交通需要予測の今日的課題, 交通工学 Vol.32 増刊号, pp.4-9.
- 2) Jones, P. M., M. C. Dix, M. I. Clarke and I. G. Heggie (1983) : Understanding Travel Behaviour, Oxford Studies in Transport, Gower, Aldershot, England.
- 3) 鈴木聡, 原田昇(1988):パソコンベースの応答型意識調査手法に関する研究 - 通勤・通学の鉄道経路選択を対象として -, 土木計画学研究・論文集 No.6, pp.217-224.
- 4) Lee-Gosselin, M. E. H. and T. S. Turrentine(1997) : Investigating Past and Future Choice Sets of Car-Users, with Special Reference to Perceptions of Safty, Prepared for the 8th Meeting of the International Association of Travel Behaviour Research, Austin, Texas.
- 5) Hagerstrand, T.(1970) : What about people in regional science?, Papers of the Regional Science Association, 24, pp.7-21.
- 6) Lenntorp, B.(1978) : A time-geographic simulation model of individual activity programmes. Carlstein, T., Parks, D. and Thrift, N. eds., Timing Space and Spacing Time. vol.2, Human Activity and Time Geography, pp.162-180.
- 7) 瀬川祥子(1996):就業と育児の両立を図る施設計画の検討, 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻修士論文.
- 8) 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, pp.671-678.
- 9) Recker, W. W.(1995) : The Household Activity Pattern Problem: General Formulation and Solution, Transportation Research B, Vol.29B, No.1, pp.61-7.
- 10) Nobuaki OHMORI, Yasunori MUROMACHI, Noboru HARATA and Katsutoshi OHTA(1999) : A Study on Accessibility and Going-out Behavior of Aged People Considering Daily Activity Pattern, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.3, No.5, pp.139-153.
- 11) 今野速太, 清水浩志郎, 木村一裕, 五十嵐日出夫(1994) : 高齢者のモビリティ確保における送迎交通の実態, 第 29 回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.103-108.
- 12) 大森宣暁, 室町泰徳, 原田昇, 太田勝敏(1999) : PHS の位置情報サービスを用いた高齢者の一週間の交通行動調査, 第 19 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.113-116.
- 13) 小林潔司, 喜多秀行, 多々納裕一: 送迎・相乗り行動のためのランダム・マッチングモデルに関する研究, 土木学会論文集, No.536/ -31, pp.49-58, 1996.
- 14) 新田次次, 三星昭宏, 森康男(1995) : モビリティ確保の視点からみた高齢者対応型バス計画についての一考察, 土木学会論文集 No.518 / -28, pp.43-54.
- 15) 申連植(1997) : 移動制約者を考慮した公共交通システムとその評価に関する研究, 東京都立大学学位論文.
- 16) 建設省道路局・三菱総合研究所(1992) : 道路整備による効果の推計に関する調査報告書.
- 17) 秋田市交通局(1997) : 運賃表.
- 18) トラモンド社(1999) : Tramondo 新春特別号・別冊 '99 日本のバス・タクシー.

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

大森 宣暁, 室町 泰徳, 原田 昇, 太田 勝敏

超高齢社会に向けて、高齢者の交通行動を明らかにし、政策による生活活動パターンへの影響を的確に把握する必要がある。本稿では、一週間のアクティビティダイアリーデータを用いて、二人の活動スケジュールの時空間制約を考慮した同乗可能性、および複数日単位での外出活動のトレードオフを考慮できる代替活動パターン生成モデルを GIS とリンクして、GIS ベースのゲーミングシミュレーションツールを開発した。このツールを用いて訪問面接調査を行うことで、従来の調査や分析手法では把握することが困難な、個々人に特有の詳細な制約条件を把握することができ、制約条件の変化による活動パターンの変更可能性に関して有益な考察ができた。

Development of GIS-based Gaming Simulation Tool and Its Application to Activity-Travel Analysis of the Elderly

By Nobuaki OHMORI, Yasunori MUROMACHI, Noboru HARATA and Katsutoshi OHTA

For aged society, it is needed to understand travel behavior and the effects of transport policies to daily activity pattern of the elderly. In this paper, using one-week activity diary data, GIS-based gaming simulation tool linked with alternative activity pattern generator is developed, introducing pick-up mode considering space-time constraints of two people's activity schedules and trade-off of multi-day activities. By conducting depth interview surveys with this tool, detailed and particular constraints were understood and the possible new activity patterns to the change of constraints considering pick-up mode and multi-day activities were examined, which is difficult for the traditional questionnaire surveys.
