

将来モビリティニーズ分析のための生活時空間シミュレータの開発*

Development of a Daily Activity Time and Space Simulator for Future Mobility Demands Analysis*

則竹茂年**・大森良太***

By Shigetoshi NORITAKE**・Ryota OMORI***

1. はじめに

自動車台数の世界的増加に伴う自然環境破壊や移動環境悪化への不安が広がる中、生活者の移動ニーズを満たしつつ、社会との調和を可能とするモビリティ技術を模索していくことは、自動車企業にとっても必須条件となりつつある。そのため、生活者のライフスタイル変化や、人口増加と構成変化、経済と都市の発展・衰退、意識変化など、様々な要因を考慮し、将来社会との親和性が高いモビリティ像を提案していくことが重要となる。

筆者らは、将来社会に関する様々なシナリオを考慮したサステナブルな生活モビリティ空間を提案するため、日常の生活行動を対象に、①クルマと公共モビリティとの最適バランスの評価、②モビリティ格差や過疎化への対策検討、③新モビリティの導入効果予測、を可能とするシミュレータの開発に取り組んできた。

本シミュレータでは、交通を生活行動に伴う派生需要と捉えるアクティビティアプローチ¹⁾の考えを取り入れ、将来のライフスタイル変化による移動需要への影響を詳細に分析し、必要とされるモビリティ像とその影響を評価する。交通に着目し生活行動を再現する既往研究は多数ある²⁾³⁾が、筆者らは、生活行動の背景にある活動ニーズに焦点を当て、生活者の居住環境とモビリティ環境との間の調整の結果、実際の生活行動スケジュールが決まるという仮定の下、性・年齢別活動ニーズの定式化を試みた。その結果、新モビリティ導入による交通環境変化や、将来のライフスタイル変化による活動内容 (OD) やトリップ回数の変化を含めた分析を可能とすることに力を置いた。

本論では、生活行動スケジュールの生成アルゴリズムを中心に、本シミュレータを説明し、最後に、簡単な実験結果を示す。

*キーワード：活動分析、発生交通、交通行動分析

非正員、博士 (工学) *正員、博士 (工学)

株式会社豊田中央研究所 社会環境システム領域

(愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41-1

TEL0561-71-7420、FAX0561-63-6507)

2. 開発したシミュレータの全体像

図1に構築したシミュレータの全体フローを示す。本シミュレータでは都市や地域内に、数千～数万の生活者を仮想的に発生させ、各生活者の性・年齢別活動ニーズに応じた日常的な生活行動スケジュールを生成する。

最初に、現状の教示データに合わせて活動ニーズ (関数) を同定 (図1左) した後、将来シナリオを反映した条件設定下での生活行動スケジュールを再生成し、それに伴う移動状況変化を分析する (図1右)。また、条件によっては、さらに活動ニーズへのフィードバックと生活行動スケジュールの再生成を繰り返し、変化過程を分析する。尚、今回、教示データとしては、総務省統計局が定期的に調査している社会生活基本調査結果を用いた。

3. 日常的な生活行動スケジュール生成方法

(1) アクティビティアプローチ

将来の都市構造変化や高齢社会、モビリティ格差、ライフスタイル変化等、様々な要因を考慮し、多面的な交通行動分析を行うには、交通行動のみに着目した分析手法では、データ上の相関関係を見出す以上の分析が難しく、より詳細な因果関係を議論することができない。

そこで、生活行動を主体に交通を捉えるアクティビティアプローチが有効と考えられる。一般的に、アクティビティアプローチには、1日の全生活行動を記録するアクティビティダイアリー調査が有効であり、その方法論に関する議論もなされている⁴⁾が、大規模で、民間利用が可能なデータは見当たらない。一方、既存のパーソン

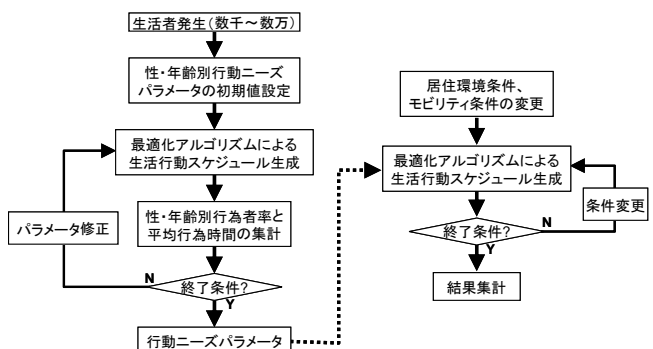


図-1 開発したシミュレータの全体処理フロー

トリップ調査では、移動目的に関する情報が乏しく、自宅内での活動情報も取得していない。本研究では、高齢社会やモビリティ格差、新モビリティ導入効果による、外出頻度変化を分析の主目的の一つとして考えているため、自宅内での活動内容を把握することが必須となる。

さらに、これらマイクロデータを扱う調査法の共通課題として、被調査者への負担が大きく記入漏れや調査時の天候の影響など、いくつかの問題も指摘されている⁹⁾。

(2) 潜在的活動ニーズの顕在化

アクティビティアプローチは、交通は活動の派生需要であるという立場を取るが、実際には、交通環境によって活動自体が制限されることも少なくない。特に、公共交通機関の発達が十分でない地域では、宅外活動を制限された人も多い。即ち、各自の活動ニーズと交通環境とを照らし合わせた結果、生活行動が決まると考えられる。

そこで、生活者の活動ニーズを明確化し、交通環境とトレードオフを経て生活行動スケジュールを生成する過程をモデル化することは、より現実的な生活行動の再現とその原因把握のために重要となる。しかしながら、生活者が持つ活動ニーズは潜在的であるため、アンケート調査等で直接的に顕在化することは困難であり、被検者に強い負担も大きい。特に、将来の高齢社会を鑑みると、高齢者の活動ニーズを顕在化させることはかなり重要な意味を持つが、信頼性と一般性を保障するサンプル数だけ集めることは、ほぼ不可能である。

そこで、本研究では、現実の生活行動結果から、その背景にある活動ニーズを（間接的に）取得することを試みた。その際、各活動内容に対するニーズは性・年齢層毎に同じであると仮定し、行動選択の不合理性の介入を考慮し、性・年齢層別の集計値から活動ニーズを顕在化した。尚、比較する実データとして、大規模調査で信頼性が高い総務省の社会生活基本調査結果を用いるため、対象とする活動単位を社会生活基本調査の行動内容とほぼ同じとした。具体的な項目を表1に示す。但し、朝夕の日常生活圏移動で無視できない家族の駅送迎や学校送迎移動に関しては、独自に項目を追加した。現状、参考データがないため、アンケート調査等で補完していく。

予め、生活者毎に必ず実施する活動（以降、「必需行動」とする）を与え、必需行動の開始時間、実行時間、実行場所を変更しないことを制約条件とする。そして、必需行動間の空き時間に、Hägerstrandの時空間プリズム制約⁶⁾を満たしつつ、実行可能な行動（以降、「自由行動」とする）をその活動ニーズから計算される効用値により評価し、実行する行動内容を決定する。

一方、自由行動の実行時間に関して限界効用逓減の法則が当てはまることが従来研究⁷⁾⁸⁾で示されている。本研究で扱う自由行動にも、性・年齢層、活動内容に応じ

表-1 スケジュール項目

分類	活動項目	数示データ有無	場所	分類	活動項目	数示データ有無	場所
必需行動	仕事	有り (社会生活基本調査に同じ項目)	宅外	自由行動	テレビ	有り (社会生活基本調査に同じ項目)	宅内
	学業				休養		
	買物				学習・研究		
	受診・療養				趣味・娯楽		
	家事				スポーツ		
	介護		社会活動		宅外		
	育児		交際				
	家庭内雑事						
	駅送						
	駅迎						
学校送	無し (独自に設定)	宅外					
学校迎							
学校送							

たニーズの大きさと逓減度合を仮定し、効用関数の係数として定式化した。即ち、性(i)・年齢層(j)、自由行動(k)における効用(u_{ijk})を、

$$u_{ijk} = A_{ijk} \times T_{ijk}^{b_{ijk}} \quad (0 \leq b_{ijk} \leq 1) \quad \dots (1)$$

と定義した。ここで、 T_{ijk} は自由行動の実行時間の長さを表す。また、 A_{ijk} は性(i)、年齢層(j)に属する生活者の自由行動(k)に関する効用の大きさを表す係数、 b_{ijk} は時間長 T_{ijk} に関する効用の増加度合を表す係数を示す。

(3) 移動に伴う負の効用

本シミュレータにおける移動手段として、歩行や自転車、バス、タクシー、自動車などを考える。一般的に移動自体を楽しむこともあるが、本研究は日常的な生活行動に伴う移動を対象とするため、移動に伴う時間と費用と体力に関する対価（負の効用）のみを考慮することとする。一般的に、外出行動を制約する要因として、時間的な損失は勿論のこと、交通に振り向けられる費用と体力に関する制約が考えられる。そこで、本研究では、移動に伴う負の効用として、必要な時間とコストと疲労を取り上げた。具体的には、時空間プリズム制約下で選択可能な自由行動の中から、活動ニーズに応じて得られる正の効用と、新たに費やす負効用との和がより大きくなる自由行動を選択し、各自の効用が最大となる生活行動と移動手段の選択を繰り返した結果、生活行動スケジュールが生成されるとし、アルゴリズム化した。

但し、予め決められた免許非保有者に関しては、自動車を移動手段として選択できないものとした。

各自の効用を関数として定式化するために、移動に必要な時間(t)に関する負効用(U_t)と必要コスト(c)に関する負効用(U_c)、疲労(h)に関する負効用(U_h)を、以下の関数で定義した。

$$U_t = \sum (-e^{t/T_0} + 1) \quad \dots (2)$$

$$U_c = -e^{\sum (c/C_0)} + 1 \quad \dots (3)$$

$$U_h = \sum (-e^{h/H_0} + 1) \quad \dots (4)$$

ここで、 T_0 、 C_0 、 H_0 はそれぞれ所要時間とコストと

疲労の値を規格化するための基準定数である。また、所要時間と疲労は1回毎の移動に対する効用の和とし、コストは全ての移動コストの和に対する効用としたのは、一般的に、移動の間の活動時間中に、感覚（効用）として軽減（回復）を期待できるかどうかの違いからである。

(4) 一日の生活行動における効用関数

一日の生活行動スケジュール全体に関する効用は、自由行動から得られる効用と移動に伴う負効用の和で表されるため、式(1)～(4)より、性(i)、年齢層(j)に属する生活者の生活行動スケジュール全体の効用 (U_{ij}) は、

$$U_{ij} = \sum_{k=1}^N \{A_{ijk}(T_{ijk} + 1)^{b_{ijk}} - 1\} + U_T^\alpha U_C^\beta T_H^\gamma + Pe \cdot (5)$$

となる。ここで、Nは全自由行動の数を表す。また、 α 、 β 、 γ は時間とコストと疲労へのウェイトに関する個人異質性を表す定数であり、

$$\alpha + \beta + \gamma = 1 \quad \dots (6)$$

$$0.2 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 0.8 \quad \dots (7)$$

を満たしつつ、個人毎にランダムに設定する。式(5)第2項は、コブ・ダグラス型関数の考えを踏襲し、時間とコストと疲労の1要素でも著しく悪い選択を避けるようにした。式(5)第3項のPeはペナルティ項であり、時空間プリズム制約を満たさない場合に-1000を代入する。

(5) 生活行動スケジュールの生成

1日の生活行動スケジュールの生成方法について説明する。生活行動を割り付けるのは全員7時30分から24時までとし、それ以外の時間は睡眠を含む宅内行動とする。予め、各生活者は総務省の社会生活基本調査から平日の必需行動に属する各行動の性・年齢別行為者率と行為時間分布と一致するように必需行動を割り付け、式(5)を計算する（自由行動がないため、値は負となる）。但し、行動内容毎に開始時間や終了時間に関する制約（例えば、学業は9時までに出発、19時まで終了）を予め設定しておき、その制約範囲内で割り付ける。次に、空き時間にランダムに自由行動を挿入し、式(5)の値が高くなる場合に生活行動スケジュールを更新する。

以上の処理を繰り返すことで、式(5)で計算される効用値がより高くなる生活行動スケジュールを見つけていくが、スケジュールの更新順により局所解に陥る可能性があるため、シミュレーテッド・アニーリング法や遺伝的アルゴリズムなど局所解回避手段を持つ最適化手法を用い、より最適な生活行動スケジュールを見つけていく。

(6) 活動ニーズパラメータの同定

式(1)における $A_{i,jk}$ と $b_{i,jk}$ の同定方法について説明する。社会生活基本調査から平日の性・年齢層別の各自由行動

の行為者率と平均行為時間を教示データとし、適当に与えた $A_{i,jk}$ と $b_{i,jk}$ の初期値から生成した各生活者の生活行動スケジュールの性・年齢層別の集計値（行為者率と平均行為時間）を教示データと比較する。教示データとの行為者率の差異を $A_{i,jk}$ で、平均行為時間の差異を $b_{i,jk}$ へ反映し、 $A_{i,jk}$ と $b_{i,jk}$ を逐次的に補正した後に、全員の生活行動スケジュールを再生成する。以上の処理を $A_{i,jk}$ と $b_{i,jk}$ が収束するまで繰り返す。

一旦、 $A_{i,jk}$ と $b_{i,jk}$ を推定した後は、 $A_{i,jk}$ と $b_{i,jk}$ の値を固定し、検討条件となる生活環境やモビリティ環境を変化させ、再生成される生活行動スケジュールの変化と、モビリティ利用状況の変化状況を分析する。

4. 基礎実験

(1) 実験条件

教示データとする社会生活基本調査が全国集計の平均値であること、さらに、筆者らの目的が一部地域での現象ではなく、全国平均的な現象の把握であることから、仮想的な都市で平均的な条件を設定して基礎実験を行った。勿論、データを揃えれば、特定の地域でも簡単に適用可能である。

まず、対象地域として、半径10km四方の仮想的な地域を考え、その中に5000人の仮想生活者を2006年末の全国の性・年齢構成と一致するように発生させた。各生活者の居住値はランダムに与えた。また、2006年末の免許統計の性・年齢別免許保有率に合わせ、各生活者に免許の有無を設定した。

次に、配置する施設と店舗の数と場所であるが、施設（店舗）数に関しては、全国の平均的な数（総務省定住自立圏構想の資料）を参考に設定した。また、場所に関しては、中心集中配置や郊外集中配置、ランダム配置等、様々な構造を設定するが、実験では地域内に1つの施設は中心に、それ以外はランダムに配置した。尚、各施設、店舗、居住地の間の移動距離はマンハッタン距離とする。

選択可能なモビリティ手段と条件を表2に示す。入力する条件は、速度(km/h)、コスト(円/km)、疲労(1kmあたりの数字で表現)、待ち時間(1回の利用毎に平均的に待つ時間《時》)、初乗りコスト(1回の利用毎に必要な最初の費用《円》)、保有費(1度でも利用すると必要となる償却費《円》)である。尚、新しいモビリティの導入効果を評価する場合は、表2に条件を追加する。

(2) 実験結果

表-2 設定した移動条件

移動手段	速度(km/h)	コスト(円/km)	疲労(1kmあたり)	待ち時間	発乗り	保有費
歩行	4	0	30	0	0	0
自転車	8	0	25	0	0	8
バス	20	10	6	0.25	160	0
タクシー	30	80	2	0.25	600	0
自動車	30	8	3	0	0	1130
新Mobility	-	-	-	-	-	-

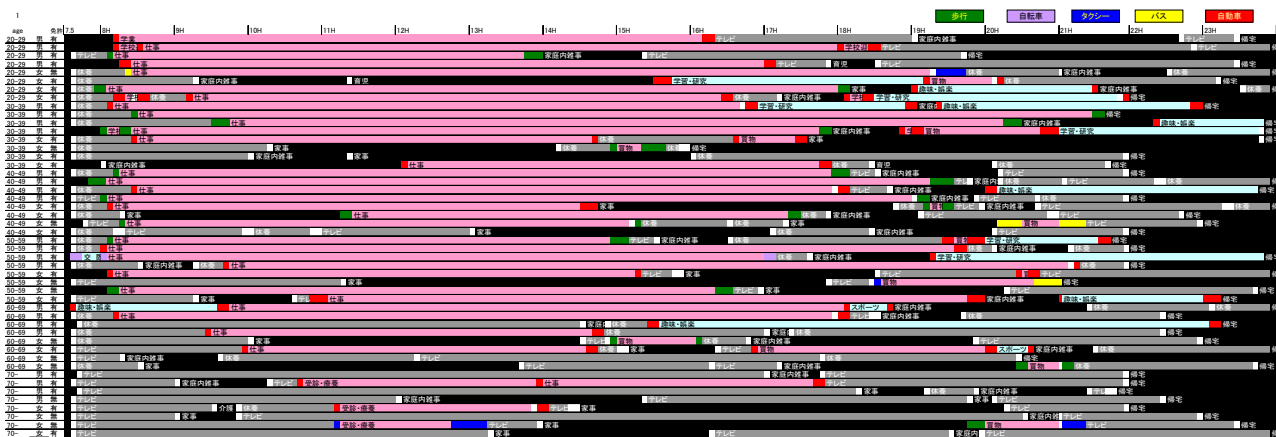


図-2 自動生成した生活行動スケジュールの抜粋

図2に構築したシミュレータで出力する生活行動スケジュールの抜粋を示す。図は各1行が一人の7時30分から24時までの生活行動スケジュールを表している。また、図3には、70歳以上男性における同定した活動ニーズ曲線を示す。趣味・娯楽の活動ニーズは強く、継続時間に対する限界効用逓減の度合いが小さくなった。

次に、本シミュレータを用い、バスの料金と機関分担率の関係を図4左上に、2030年後の人口構成での同結果を図4右上に、さらに、将来シナリオとして、2030年までに、40歳代の免許保有率を維持することを可能とする高齢者対応自動車を導入した場合の結果を図4右下に、それぞれ示す。高齢化による自動車利用の減少、及び、高齢対策者による自動車利用の増加の現象を確認できた。

5. おわりに

生活行動スケジュールを再現するとともに、そのトリガーとなる活動ニーズを起点に様々なモビリティ利用環境下での生活行動変化とモビリティ利用状況変化を分析するシミュレーションを開発した。

今後は、本シミュレーション結果の検証と実都市での評価、不足要素の追加を繰り返しながら、日常的な生活行動の視点から都市（街）の構造とモビリティニーズとの関係を分析し、理想的なモビリティ像を追求していく。

参考文献

- 1) McNally, M. G.: The activity-based approach. In Hensher, D. and K. J. Button eds., Handbook of Transport Modelling, Pergamon, pp. 53-69, 2001.
- 2) Ettema, D., A. Borgers and H. Timmermans: SMASH (Simulation Model of Activity Scheduling Heuristics): some simulations, Transportation Research Record 1551, pp. 88-94, 1996.
- 3) 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 14, pp. 643-652, 1997.

- 4) 大森宣暁: 高齢者・障害者の生活活動・交通行動分析のための手法とデータ需要, 土木計画学研究・講演集25, CD-ROM, 2002.
- 5) 荒井良雄, 他: 都市の空間と時間 ー生活活動の時間地理学, 古今書院, 1996.
- 6) Hägerstrand, T.: What about people in regional science?, Papers of the Regional Science Association, 24, pp. 7-21, 1970.
- 7) 黒田勝彦, 他: 時間制約を考慮した観光地周遊モデルの開発と道路整備の評価, 土木計画学研究・講演集, vol. 16, No. 1, pp. 293-298, 1993.
- 8) 藤池浩二, 他: 目的地滞在時間が短いクリエーションの行動の時刻決定モデルの作成, 土木学会論文集, IV-16, No. 440, pp. 177-180, 1992.

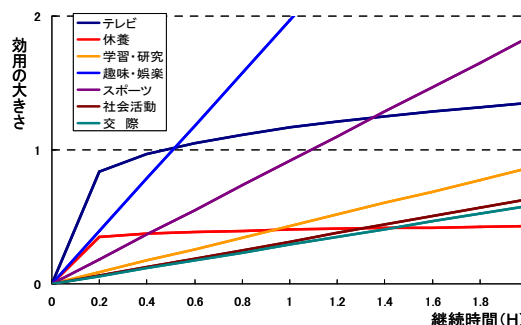


図-3 70歳以上男性性の活動ニーズ曲線

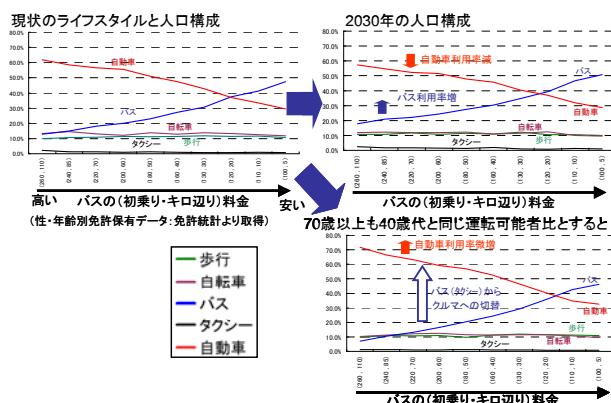


図-4 機関分担率変化シミュレーション結果