

生活時空間シミュレータを用いた潜在的生活行動ニーズと将来モビリティニーズ分析*

Analysis of Potential Activity Needs and Future Mobility Demands using a Daily Activity Time and Space Simulator*

則竹茂年**・大森良太***

By Shigetoshi NORITAKE**・Ryota OMORI***

1. はじめに

将来の高齢社会や過疎化、ライフスタイル変化、経済と都市の発展・衰退、自然破壊への不安、エネルギー資源問題など、自動車を取り巻く様々な重要課題の下、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、自動車メーカーの責務であり、企業存続の必須条件となりつつある。

筆者らは、将来社会に関する様々なシナリオを考慮しながら、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、モビリティ格差や過疎化への対策検討など、様々な問題に対する新モビリティ評価を可能とするシミュレータを開発してきた¹⁾。

本シミュレータは仮想的に発生させた数千～数万の生活者の性・年齢に応じた活動ニーズから平日の日常的な生活行動スケジュールを生成する。その際、自由行動の実施と移動手段選択とのトレードオフを各自の効用関数で評価しながら、移動手段と行動内容を同時に決定する。すなわち、生活行動内容とモビリティ選択が相互に影響し合いながら、一日の生活行動スケジュール全体が決まるため、新モビリティの導入評価だけでなく、モビリティ格差の分析、ライフスタイル変化や高齢化の影響分析等、幅広い用途で多面的な評価・分析が可能になると期待できる。

本論では、将来の新モビリティ導入シナリオとして、環境に優しいマイクロカーを市場に普及させた場合の生活行動への影響を評価した事例を示す。さらに、今後の開発目標策定のため、マイクロカーの技術改良に関する様々なシナリオを入力し、モビリティ選択と生活行動の変化を評価した結果を議論する。

2. 開発したシミュレータと特徴

本シミュレータでは、実際の生活行動スケジュールが、潜在的な活動ニーズと生活者固有の居住環境、利用可能なモビリティ条件により決まるという仮定の下、時空間プリズム制約²⁾を考慮しながら、一日の生活行動スケジュールを生成する。その際、既公開の行動実績値を教示データとして、性・年齢別の活動ニーズ関数を逆推定した後に、推定した活動ニーズ関数を固定した上で、様々な居住環境やモビリティ環境（新モビリティ導入、インフラ整備）に関する様々なシナリオを設定し、生活行動スケジュールを再生成する。その結果から、生活行動やモビリティ利用状況の変化を分析する。すなわち、モビリティ環境変化による活動内容（OD）やトリップ回数への影響を分析できることが特徴である。

本アプローチは、交通は活動の派生需要であると考えられるアクティビティ分析³⁾に属するが、交通環境による活動内容への影響にも焦点をあてて分析を行う。このことは、公共交通機関の発達が十分でない地域では、外出自体が負担となり、宅外活動を制限することは珍しくないこと、また、生活者は各自の活動ニーズと交通環境とを照らし合わせ、実施する活動を決めることが多いこととも矛盾しない。

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スケジュールの生成とそのスケジュールへ至る原因の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、被検者に強い負担が大き過ぎる。特に、将来の高齢社会を考えると、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、信頼たる回答を、一般性を保証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、現実の実績データを教示データとし、その背景にある活動ニーズとして定義した効用関数の大きさと通減度合を表すパラメータを逆推定することを試みた。その際、行動選択の不合理性の介入を考

*キーワード：活動分析、発生交通、交通行動分析

**非正員、工博、株式会社豊田中央研究所

+ (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)

***正員、工博、株式会社豊田中央研究所

+ (愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41-1、
TEL0561-71-7007、FAX0561-63-6507)

慮し、同一の性・年齢では、各活動内容に対する活動ニーズがほぼ同じであるという仮定の下、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た。そのため、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充していく。

3. スケジュール生成方法

以下に具体的な生活行動スケジュールの生成方法について説明する。予め、仕事や病院（通院）、家事など、生活者毎に必ず実施する活動（以降、「必需行動」とする）を割り当て、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による時空間プリズム制約²⁾を満たす実行可能な活動（以降、「自由行動」とする）の中から、その活動ニーズの大きさに相当する正効用と移動に伴う負効用を各自の効用関数で評価しながら、効用が最大となる生活行動スケジュールを探索していく。但し、探索の途中、不可能な行動パターン（予め定義しておく）が見つければ、そのスケジュールを破棄し、再度、探索を続ける。尚、効用最大化には、遺伝的アルゴリズムとしミュレーテッド・アニーリング法を用意しておき、許容時間と居住者規模に応じて、使い分ける。

4. 活動ニーズ関数の定式化

まず、活動ニーズを表す効用関数について説明する。性(i)、年齢層(j)、自由行動(k)における活動ニーズに相当する効用関数(u_{ijk})を、

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

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。

次に、移動に伴う（負）効用関数について説明する。通常、移動に伴う効用として、「時間」と「コスト」を扱う場合が多いが、本シミュレータでは高齢社会の影響を考慮するために、「疲労」という要素を追加した。そこで、一日の移動回数をM、その中のp番目の移動に関する必要な時間 t_p と必要コスト c_p 、疲労 h_p とし、一日の全移動 ($p=1 \sim M$) に伴う時間の負効用 U_t とコストの負効用

U_c 、疲労の負効用 U_h を以下の関数で定義した。

$$U_T = \sum_{p=1}^M (-e^{t_p/T_0} + 1) \quad \dots (2)$$

$$U_C = -e^{\sum_{p=1}^M (c_p/C_0)} + 1 \quad \dots (3)$$

$$U_H = \sum_{p=1}^M (-e^{h_p/H_0} + 1) \quad \dots (4)$$

ここで、 T_0 は時間基準、 C_0 はコスト基準、 H_0 は疲労基準を表し、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に用いる。尚、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、移動の間の活動中に、気分的に軽減（回復）されるかどうかの違いからである。

式(1)～(4)より、性(i)、年齢層(j)に属する生活者の一日の生活行動スケジュールの効用 (U_{ij}) は、

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

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、

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

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

を満たしながら、個人毎にランダムに与えられる。式(5)の第2項は、コブ・ダグラス型の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状態は避けるようにした。式(5)の第3項の Pe はペナルティ項を表しており、時空間プリズム制約を満たしていない場合に、-1000を代入する。

次に、式(5)における A_{ijk} と b_{ijk} 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_{ijk} と b_{ijk} 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_{ijk} で、平均行為時間の差異を b_{ijk} へ反映、 A_{ijk} と b_{ijk} を補正し、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_{ijk} と b_{ijk} が収束するまで繰り返す。

一旦、 A_{ijk} と b_{ijk} を推定した後は、 A_{ijk} と b_{ijk} 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。

また、将来のライフスタイル変化のシナリオを考慮し、意図的に A_{ijk} と b_{ijk} の値を修正することで、様々なシナリオを反映した分析も可能となる。

5. 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4000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る。各生活者の居住値はランダムに与える。また、2006年末の免許統計の性・年齢別免許保有率に合わせて、各生活者に免許の有無を設定しておく。

配置する施設（店舗）の数に関しては、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。表2に本論文の実験での設定値を示す。また、配置に関しては、中心や郊外への集中配置やランダム配置等、色々な構造を設定できるが、本論では地域内に1つのみの施設は中心に、それ以外をランダムに配置した。尚、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しては、まず、歩行、自転車、バス、タクシー、自動車を考えて、活動ニーズを決めた後、新モビリティとして、マイクロカーを考える。各モビリティ手段の条件を表3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3に条件を追加する。

(2) 自由行動ニーズ曲線の推定結果

図1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。図は横1行が一人分の7時30分

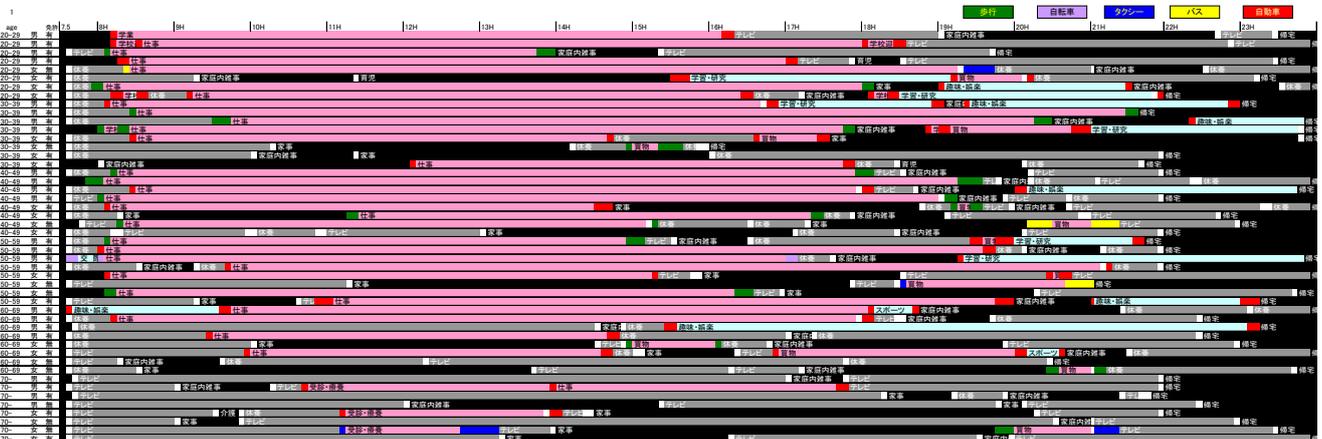


図-1 自動生成した生活行動スケジュールの抜粋

表-1 スケジュール項目

分類	活動項目	教示データ有無	場所	分類	活動項目	教示データ有無	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		無し (独自に設定)		宅外		
	買物				宅内		
	受診・療養				宅外		
	家事				宅内		
	介護	宅内					
	育児	無し (独自に設定)	宅外	勉強	固定	4	
	家庭内雑事		宅内	趣味・娯楽	任意	2	
	駅送		宅外	スポーツ	固定	2	
	駅迎		宅外	社会活動	固定	1	
学校送	宅外		交際	任意	5		
学校迎	宅外	テレビ	自宅				
			休養	自宅			

表-2 設定した施設数

必需行動			自由行動		
施設	利用施設	個数	施設	利用施設	個数
駅	固定	1	勉強	固定	4
学校	固定	1	趣味・娯楽	任意	2
仕事	固定	1	スポーツ	固定	2
学業	固定	4	社会活動	固定	1
買物	任意	6	交際	任意	5
病院	固定	3	テレビ	自宅	
家事	自宅		休養	自宅	
介護	自宅				
育児	自宅				
家庭雑事	自宅				

表-3 設定したモビリティ条件

移動手段	速さ(km/h)	コスト(円/km)	疲労(1/km)	待ち時間(H)	発乗り(円)	固定費(円)
歩行	4	0	30	0	0	0
自転車	8	0	25	0	0	8
バス	20	20	6	0.25	160	0
タクシー	30	80	1	0.25	600	0
自動車	30	8	3	0	0	1130
新モビリティ	15	1.6	3	0	0	565

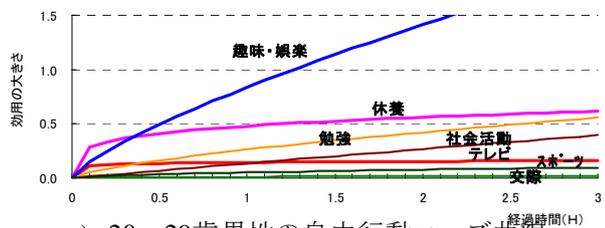
から24時までの生活行動スケジュールを表している。また、図2には、推定した活動ニーズ(効用曲線)を示す。どの世代においても共通して休養に関する効用が高くなった。また、若い(20~39歳)世代の男性は趣味・娯楽に関する効用が高く、高齢になるほど、テレビ視聴の効用が高くなった。女性においても、高齢になるにつれて、テレビ視聴の効用が高くなった。60歳以上の生活者は自由な時間が多いが、宅内活動の時間が長い分、テレビや休養等の宅内の自由行動ニーズが大きくなったと考えられる。一方、男女の差では、女性の方が自由行動に集中できる時間が少ないためか、継続時間に対する限界効用が小さくなった。

(3) 将来モビリティ導入評価

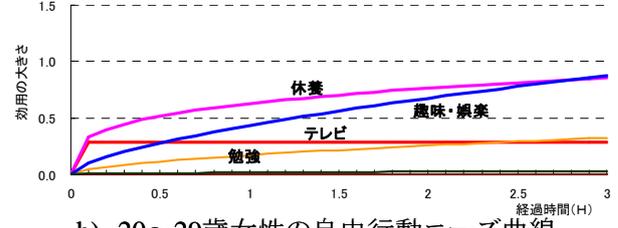
次に、将来モビリティ導入シナリオの評価事例とし

て、自動車に比べ固定費用（”初期費用+維持費”）を日割りし、自動車移動選択者に追加）60%、燃費2倍、平均速度50%のマイクロカーを2030年までに市場に導入した場合のモビリティ選択への影響をシミュレーション分析した。但し、本シミュレーションは普及過程まではモデル化しておらず、2030年までに新モビリティ（マイク

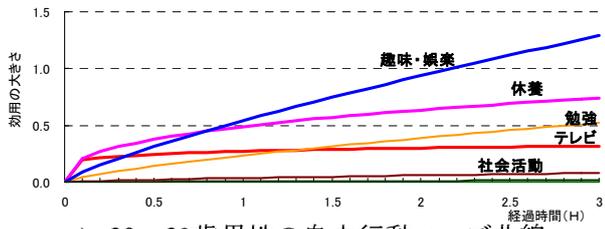
ロカー）が普及し終えたと仮定した結果である。ここで、「普及し終える」というのは、新モビリティの選択により効用が高くなる人は既に新モビリティを購入済みである状態を意味しており、新技術の普及仮定で見られる信頼性不安や法規制の遅れ、既保有自動車の買い替えサイクル等による買い控えはないという意味である。



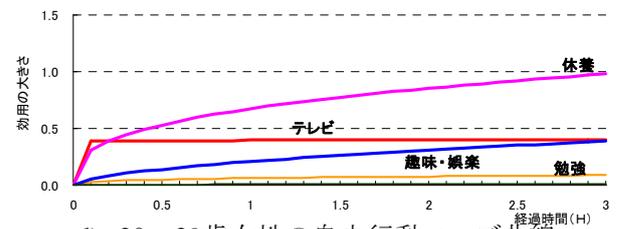
a) 20～29歳男性の自由行動ニーズ曲線



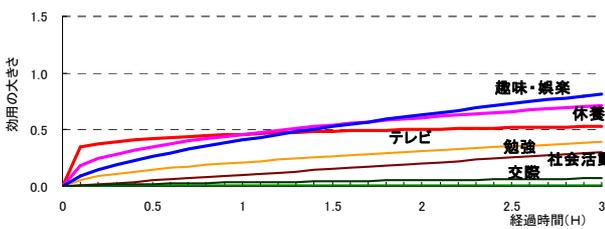
b) 20～29歳女性の自由行動ニーズ曲線



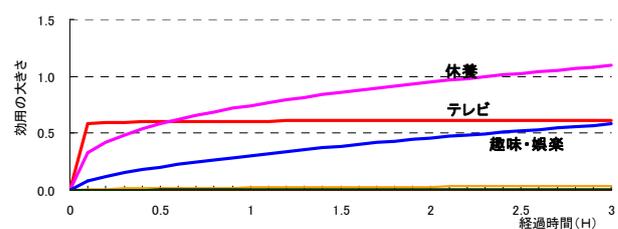
c) 30～39歳男性の自由行動ニーズ曲線



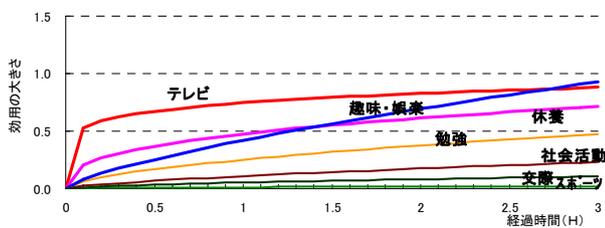
d) 30～39歳女性の自由行動ニーズ曲線



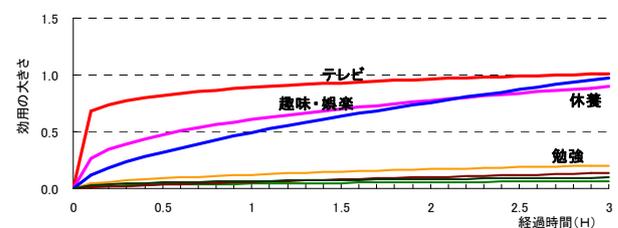
e) 40～49歳男性の自由行動ニーズ曲線



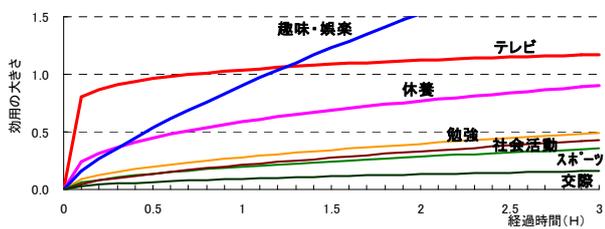
f) 40～49歳女性の自由行動ニーズ曲線



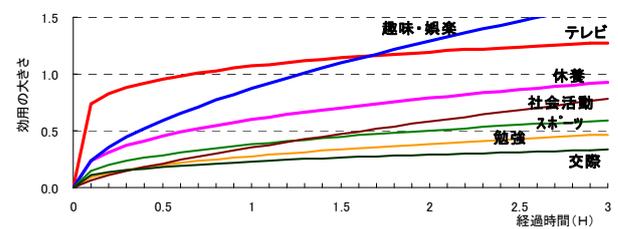
g) 50～59歳男性の自由行動ニーズ曲線



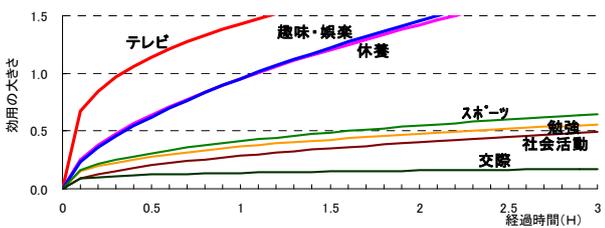
h) 50～59歳女性の自由行動ニーズ曲線



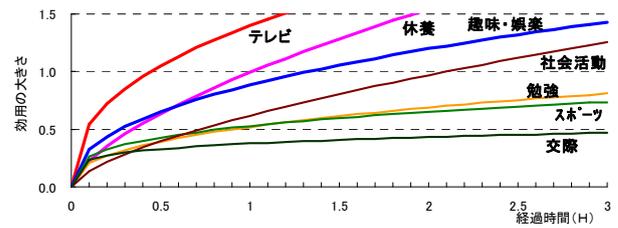
i) 60～69歳男性の自由行動ニーズ曲線



j) 60～69歳女性の自由行動ニーズ曲線



k) 70歳以上男性の自由行動ニーズ曲線



l) 70歳以上女性の自由行動ニーズ曲線

図ー2 学習した自由行動ニーズ曲線（効用関数）

図3にシミュレーション結果を示す。図3の縦軸はモビリティ選択率、すなわち、街内の全トリップ回数に占める各モビリティ手段の選択回数の割合を表す。また、横軸はシミュレーションの条件の違いを表している。具体的には、左端は2008年の（性・年齢に関する）人口構成比で、（マイクロカーを導入していない）現状の移動手段選択肢（自動車、バス、タクシー、自転車、歩行）における結果を、左から2番目は現状の移動手段選択肢で2030年の人口構成比になった場合の結果を示している。2030年に高齢化が進み、運転免許を持っていない高齢者が増える分、自動車の選択率が減少していることわかる。次に、左から3つ目の結果は、2030年までに前述のマイクロカーを導入した時のモビリティ選択率を示している。マイクロカーに関して、自動車からの移行がほとんどであるが、バスやタクシー、自転車、歩行からも少しずつ移行した。

次に、マイクロカーの開発目標を検討するために、前述のマイクロカーの諸元をベース諸元とし、そのベース諸元から一つの諸元（条件）のみ改善させた場合のモビリティ選択の変化を図3グラフの右側に（4つ）追加した。ベース諸元からの変更内容は、図中右側4つのグラフの左側から順に、①固定費（初期費用＋維持費）60%減（自動車の36%）、②燃費2倍（自動車の10倍）、③平均速度2倍（自動車相当）、④免許不要（免許がない人や高齢者でも運転できる自動運転支援技術等を導入）である。

図3より、燃費改善（②）に関する影響はとても小さかった。これは、街内の移動では距離が短いため、燃費の差による一日辺りのコスト差が小さいことが原因と考えられる。次に、固定費削減（①）は”自動車選択率＋マイクロカー選択率”という点では選択率が少し大きくなったが、自動車からマイクロカーへの移行もかなり進む結果となった。さらに、速度改善（③）になると、マイクロカーが自動車と同程度の速度となり、固定費と燃費で優位であるため、本モデル上では自動車を選ぶ理由が無くなり、自動車を選択していた全員がマイクロカーへ移行するという自明の結果となった。最後に、免許不要（④）になった場合、免許がないためにタクシーやバイクを使っていた人の多くがマイクロカーへ移行した

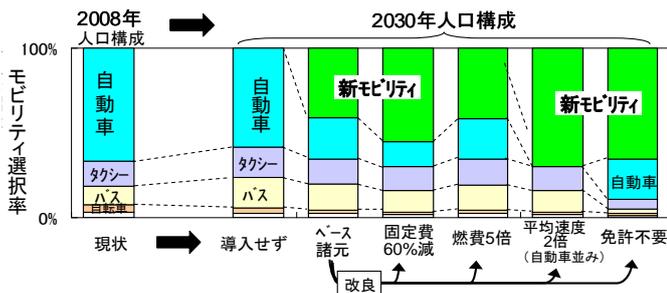


図-3 新モビリティ導入による移動手段選択の変化

ため、ほとんどの人が自動車かマイクロカーを選択するという結果となった。

次に、本シミュレータの特徴でもあるモビリティ条件による生活行動内容の変化を評価するために、図3で示した各シミュレーション条件設定下における自由時間内外出率（＝宅外自由時間÷全自由時間）の平均値を図4に示す。さらに、高齢社会を意識し、高齢者（70歳以上）のみで集計した結果も図4に併せて示している。図8の結果から、（右端の結果を除いて）自由時間内外出率の変化が大きくないことから、新モビリティを導入しても外出機会（頻度）という観点ではあまり変化がなく、もともと外出していた人の移動手段が変化したと解釈した方が良さそうである。但し、免許不要まで改善すると、外出を控えていた高齢者の外出機会が大きく増加し、生活行動内容そのものが変化することが分かった。

6. 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中心に、様々なモビリティ利用環境化での生活行動変化とモビリティ利用状況変化をシミュレーションすることで、街の活性度合の変化も含めた評価・分析を可能とするツールを開発した。

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、日常生活行動の視点から都市（街）の構造とモビリティとの関係を分析し、理想的なモビリティ像と諸元を追求していく。

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) Hägerstrand, T.: What about people in regional science?, Papers of the Regional Science Association, 24, pp.7-21, 1970.
- 3) 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.

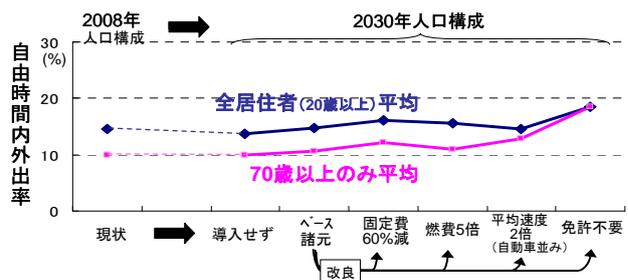


図-4 新モビリティ導入による外出率の変化