

ネットワーク外部性を考慮した安全 ITS の普及に関する

マルチエージェントモデル

芳賀 博英・金田 重郎

Multi-agent simulation model for diffusion of safety ITS

under network externality

Hirohide Haga / Shigeo Kaneda

ITEC Working Paper Series

13-01

March 2013

ネットワーク外部性を考慮した安全 ITS の普及に関する

マルチエージェントモデル

同志社大学 技術・企業・国際競争力研究センター
ワーキングペーパー13-01

芳賀博英, 金田重郎

同志社大学大学院理工学研究科 情報工学専攻

〒 610-0321 京田辺市多々羅都谷 1-3

Tel : (0774)65-6978

Fax : (0774)65-6978

E-mail: {hhaga, skaneda}@mail.doshisha.ac.jp

キーワード： ITS, 普及施策, シミュレーション, マルチエージェント

本文内容の専門領域： マルチエージェントシステム, 技術普及施策

著者の専門領域： 情報工学

要旨：

近年、自動車が広く普及し、日々の生活の便利さと快適さを提供している。しかし自動車の台数の増大に伴って、交通事故も増加し、社会問題になっている。この交通事故を防ぐための画期的な技術として"安全 ITS(Intelligent Transporting System)"技術が期待されている。安全 ITS は無線通信を使って、車同士あるいは車と道路の間で通信をして情報交換し、事故等を防ぐための技術である。安全 ITS では、車や道路に通信装置をセットする。これらの機器が相互に通信して情報を交換し、ドライバーが気づいていない情報をドライバーに提示する。これによって、事故等を未然に防ぐことを目標としている。

しかし安全 ITS の普及には主として2つの課題がある。一つは価格、もう一つはネットワーク外部性の問題である。これらを考慮して、普及のための主要因(dominant factor)を見いだすために、マルチエージェント・シミュレーション技術を使って、普及のシミュレーションを行った。その結果、広報の時期と量、広報の対象などの重要性を見いだした。

謝辞：

本論文の基礎データとなるシミュレーションの一部を実際に実行していただいた、本学大学院工学研究科情報工学専攻の川島秀人氏（現在日本電気株式会社）に感謝の意を表します。

なお、本研究は JSPS 科研費 21310099 の助成を受けたものである。

ネットワーク外部性を考慮した安全 ITS の普及に関するマルチエージェントモデル

芳賀博英, 金田重郎

1. はじめに

本論文では、安全 ITS(Intelligent Transport Systems)の普及要因を明らかにするために、安全 ITS の普及過程を表現する、ネットワーク外部性を考慮したマルチエージェントモデルを構築する。マルチエージェントモデルは属性と行動ルールを持った、エージェントと呼ばれる多数の自律的主体が、相互作用を行うモデルのことであり、本論文で採り上げる普及現象のように、相互作用の結果として現れる社会的な振る舞いを分析するために適したモデルである。作成したモデルでシミュレーションを行い、その妥当性を検討する。そしてシミュレーション結果より明らかになった普及要因から、安全 ITS の普及策を提示する。

現在、日本の自動車保有台数は 8,000 万台を超え、自動車は人々の豊かな暮らしにとって必要不可欠な要素となっている[1]。しかし、その保有台数の増加に伴い、交通事故発生件数および交通事故による負傷者数や死者数の増加が問題となっており、交通事故のない社会を目指した様々な対策が考えられている。

この交通事故問題を解決するうえで、注目を集めているのが ITS である。ITS とは、最先端の情報通信技術を用いて人と道路と車両の情報をネットワークで結合することにより、様々な道路交通問題の解決を目的に構築する新しい交通システムである[2]。ITS は 9 つの開発分野に分かれているが、その中でも安全運転を支援する ITS (以下安全 ITS と呼ぶ[3])としては、自動車の車載器間で通信を行う「情報交換型運転支援システム」および、道路に設置された路側機と自動車の車載器間で通信を行う「路側情報利用型運転支援システム」の活用が期待され、開発が進められている。

しかし、両システムが普及するためには 2 つの問題が存在する。1 つは両システムを利用するために車載器の購入および、路側機の整備が必要だということである、これに多額の費用がかかるため、車載器の普及および路側機の整備が進まず、システムの利用者数が停滞してしまう可能性がある。もう 1 つは両システムにはネットワーク外部性が存在することである[4]。ネットワーク外部性とは、加入者が増えれば増えるほど利用者の便益が増加する、という現象のことである。またこれとは反対に、加入者が増えるほど利用者の便益が減少するという現象も存在する。前者をプラスのネットワーク外部性、後者をマイナスのネットワーク外部性という。本論文で対象とする安全 ITS はプラスとマイナス両方のネットワーク外部性が存在するため、普及過程がより複雑になると考

えられる。このような複雑な現象を、従来のような数式中心のモデルで解析するのは、大きな困難がある。そこで、マルチエージェントモデルを利用して、解析を行うこととした。

以下、第2章では研究の背景として交通事故問題やITSの現状、ネットワーク外部性について説明する。第3章ではアプローチとしてマルチエージェントシミュレーションについて説明し、作成したモデルについて述べ、第4章でモデルの妥当性の検証および、普及要因を明らかにするために行ったシミュレーション結果について述べる。そして第5章にて考察し、第6章で結言を述べる。

2. 研究背景

本章では、まず交通事故の現状について説明し、交通事故問題を解決する手段として安全ITSを紹介する。そして、その普及における問題点及び、本論文の目的を述べる。

2.1 安全ITS

交通事故問題を解決するために注目されている技術として安全ITSがある。ITSとは、情報通信技術を用いて「人」「道路」「車両」の間で情報の受発信を行い、それらを一体として構築した新しい交通システムである。ITSは大別すると道路交通における「安全」「環境」「快適・利便」の3つを目的としている。また、VICS(Vehicle Information and Communication System)や、情報板などを通じて道路交通情報を提供するナビゲーションシステムの高度化、ETC(Electronic Toll Collection System)に代表される自動料金収受システムなど、表.1に示す9つの分野に分かれて開発が行われている。

表1：ITSの開発分野

9つの開発分野	サービス・システムの例
1. ナビゲーションシステムの高度化	VICS (道路交通情報通信システム)
2. 自動料金収受システム	ETC (ノンストップ自動料金支払いシステム)
3. 安全運転の支援	AHS(安全運転支援), ASV(先進安全自動車)
4. 交通管理の最適化	交通量の最適化, 交通事故時の交通規制情報の提供
5. 道路管理の効率化	特殊車両等の管理, 通行規制情報の提供
6. 公共交通の支援	公共交通利用情報の提供, 公共交通の運行・運行管理支援
7. 商用車の効率化	商用車の運行管理支援
8. 歩行者等の支援	経路案内, 危険防止
9. 緊急車両の運行支援	緊急時自動通報, 緊急車両経路誘導, 救援活動支援

安全 ITS（安全運転支援システム）はその中の「安全運転の支援」に当たり、車両から直接見えない範囲の交通情報を、無線通信により、必要に応じてドライバーに提供することで交通事故の削減を図るものである。現在では主に、自動車の車載器間で通信を行う「情報交換型運転支援システム（車車間通信）」及び、道路に設置された路側機と自動車の車載器で通信を行う「路側情報利用型運転支援システム（路車間通信）」の 2 種類の無線システムの活用が期待されている。

2.2 安全 ITS 普及における課題

本節では車車間通信システム及び路車間通信システムの普及を目指すに当たり、その課題になると考えられる 2 点について説明する。

2.2.1 車載器の導入及び路側機の整備における費用

安全 ITS では無線通信を行うための車載器が必要となる。この車載器はユーザメリット拡大やコストパフォーマンス向上などの観点から、車車間通信及び路車間通信の共用可能であるように開発が進められているが、それでも車載器価格は高額であり、さらに取付け費用も必要となるため、消費者は購入を躊躇すると考えられる。同様の例として ETC が挙げられる。ETC の場合もサービス開始当初は導入価格がネックとなり購入を躊躇する消費者が多く、サービス開始後 2, 3 年間は利用率が一桁台にとどまっている。しかし、助成金による車載器購入費用及び取付け費用の負担や、時間帯や曜日、用途などに応じた高速利用料金の割引を行うことで、急速に普及を促進することに成功し、現在では 8 割以上の利用率を達成している[6]。

安全 ITS においても同様の施策が有効であると言える。ただし ETC と比べ、安全 ITS はサービス利用によるメリットをユーザが感じる機会が少ないため、より徹底した施策が必要であると考えられる。また、サービス開始初期は車載器の普及率が低いことが予想されるため、路側機の整備によって車載器購入の便益を高めることで普及を促進させる必要がある。ETC の場合においても、サービス開始 10 年間で主要な料金所の 9 割以上に ETC レーンを整備したことが現在の普及状況の要因の一つであると考えられる。そのため路側機の整備にかかる費用も重要となってくる。

2.2.2 ネットワーク外部性の存在

車車間通信システムにおいて、車載器が普及して通信可能な自動車が増えることで、システムの価値が増加する。システムの価値が増加することでシステム未利用者が新たに利用する際に得られる便益も増加し、これにより利用者が

増加する。このようにある経済主体（ここでは消費者）の意思決定が他の経済主体に対して影響を与える性質を「外部性」という。特に、ネットワークの特性を持つ製品・サービスにおけるこの性質をネットワーク外部性という。この性質にはプラスの影響とマイナスの影響が存在する。前者の性質を持つ製品・サービスとしてよく挙げられる例としては電話や FAX, インターネットなどがあり、後者の例としては VICS が挙げられる。

ネットワーク外部性が存在する製品・サービスは、利用者が増えれば増えるほどその価値が高まるため、さらに利用者が増えるという正のフィードバックが発生する。また、ネットワーク外部性が存在する製品・サービスには、普及率が一気に跳ね上がるための分岐点となるクリティカルマスと呼ばれる普及率が存在するとされており、このクリティカルマスを超えることでその製品・サービスは自律的に普及するとされている。しかし、普及初期の段階で利用者が少ない場合には市場に委ねただけではその製品・サービスの価値は増加せず、未利用者が新たに利用に踏み切らないため、利用者数は増加しない。そのため、ネットワーク外部性が存在する市場では、早期にクリティカルマスを超える利用者を獲得することが普及の決め手となる。

安全 ITS においてもネットワーク外部性が存在するため、普及初期における利用者獲得のための施策が重要となる。しかし、安全 ITS には、上で述べた正のフィードバックが発生するネットワーク外部性のほかに、負のフィードバックが発生するネットワーク外部性が存在するため、より普及過程がより複雑になると考えられる。

安全 ITS におけるネットワーク外部性に関しては次節にて詳しく述べる。

2.3 安全 ITS に働くネットワーク外部性

2.3.1 プラスのネットワーク外部性

自動車同士で情報のやり取りを行う車車間通信システムでは、路側機などのインフラ設備を必要としないため、場所を選ばずシステムを利用することが可能である。ただし、システムを利用するためには、無線通信を行う車載器が必要である。たとえ自車が車載器を搭載していても、他車が車載器を搭載していなければ車車間通信システムは機能しないため、これを利用することで得られる便益は 0 である。しかし、車載器が普及して通信可能な自動車が増加することで、システム利用者が得られる便益も増加する。これにより、未利用者が新たに利用に踏み切った際に得られる便益が増加するため、より車載器の普及が進む。そしてシステム利用者が増加することでさらに便益が増加する。このように車車間通信システムにおいては車載器の普及により働く正のフィードバックを、プラスのネットワーク外部性という。

また、路車間通信システムに関しても、路側機の整備が進むほど、自車が車載器を搭載した際に得られる便益が増加するため、プラスのネットワーク外部

性が働くと言える。システム運用開始初期の車載器の普及を考えるうえで、路側機の整備によるプラスのネットワーク外部性が重要であると考えられる。

これらのプラスのネットワーク外部性は、システム利用者に働くため、「利用者に対する外部効果」とも言える[3]。

2.3.2 マイナスのネットワーク外部性

前節で車載器の普及及び路側機の整備が進むことによりプラスのネットワーク外部性が働くことを述べた。しかし、それと同時にシステム未利用者が新たに利用に踏み切るのを躊躇させる効果が働くと考えられる。これは車載器及び路側機の普及が進むことで、自車が車載器を搭載していない状態でも、他車が自車を検知して避けることで、システム未利用者も便益が得られるためである。このシステムの普及により働く負のフィードバックを、マイナスのネットワーク外部性という。

前節で述べた「利用者に対する外部効果」に対し、このマイナスのネットワーク外部性は「未利用者に対する外部効果」と言える[3]。

2.4 ネットワーク外部性に関する既存研究

ネットワーク外部の概念は Libenstein が提唱した「バンドワゴン効果」と「スノブ効果」が最初である[7]。前者はプラス、後者はマイナスのネットワーク外部性に相当する。そして後に Rohlfs によって、ネット加入者が通信サービスから得る効用はネット加入者の数が増えれば増えるほど増加する性質「通信需要の相互依存性」として定式化された[8]。

Katz と Shapiro はネットワーク外部性が働く産業特有の 2 つの問題、「既得基盤」及び「互換性誘因」を取り上げた[9,10]。また、ゲーム理論的モデル化を通じてネットワーク外部性を「水平的ネットワーク外部性」と「垂直的ネットワーク外部性」の 2 つに分類した。Farrell と Saloner は、既得基盤の存在により、効率的な新技術の採用が非効率的な旧技術に妨げられる「過剰慣性」と、新技術よりも旧技術のほうが効率的であるにも関わらず、非効率的な新技術が将来普及すると予想され、効率的な旧技術が廃れてしまう「過剰転移」という、ネットワーク外部性が存在する場合の 2 つの市場の失敗を取り上げた[11]。

ネットワーク外部性に関する研究は近年数多く登場しているが、上記ではその中で画期的であるとされているものを紹介した。安全 ITS のネットワーク外部性の解析については Miyoshi と Kii が行っている[12,13]。ここでは普及過程を扱っていないが、クリティカルマスの存在や車車間システムと路車間システムの相違などがまとめられている。ただし、この文献の解析は静学的解析に留まっており、本論文が目指す動学的解析は行っていない。

2.5 研究目的

ここまでで述べたように、交通事故問題を解決するために、安全 ITS と呼ばれる技術の活用が期待されている。しかし、車載器の導入及び路側機の整備に必要な費用や安全 ITS に働くネットワーク外部性の影響により、市場に委ねただけでは望ましい普及率を達成することは困難だと考えられる。そこで本稿では車載器普及のための施策を提示することを目的とし、安全 ITS の車載器の普及過程を表現するモデルを作成して、その普及過程のシミュレーションを行う。

3. 安全 ITS の普及モデル

本章では、まずマルチエージェントによるアプローチについて説明し、安全 ITS の普及をシミュレートするマルチエージェントモデルについて述べる。

3.1 マルチエージェントモデルによるアプローチ

3.1.1 マルチエージェントモデル

属性を持ち、一定の行動ルールに従い空間上で自律的に行動する主体のことをエージェントと呼ぶ。マルチエージェントモデルとは、このエージェントと呼ばれる主体が多数存在し、相互作用するモデルのことである。また、マルチエージェントモデルによるシミュレーションをマルチエージェント・シミュレーションと呼ぶ。マルチエージェント・シミュレーションの概念を図 1 に示す。

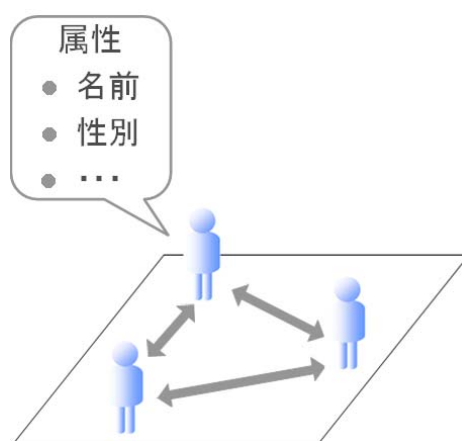


図 1：マルチエージェント・シミュレーションの概念

マルチエージェントモデルでは局所的な相互作用に関するモデルを作成し、コンピュータでシミュレーションを実行することで、大域的な状態が創発され

る。創発された状態がエージェントに何らかの影響を与え、エージェント同士が相互作用することで再び大域的な状態が創発される。このように、主体の相互作用に焦点を当てたボトムアップ・アプローチにより秩序が創発され、その秩序がボトムダウン・アプローチにより主体に影響を与える。これは「マイクロ・マクロリンク」と呼ばれる。

またマルチエージェントモデルでは、エージェントを集中的に管理するものは存在せず、空間の情報や空間上に存在する他のエージェントの情報を取得し、その情報をもとに各エージェントが行動ルールの範囲内で次を取る行動を決定する。これらの性質から、近年、マルチエージェントモデルによるアプローチを人工社会や人工市場と捉え、現実の社会や市場で起こる現象を表現・理解するための手法として注目されている。

3.1.2 マルチエージェントモデルの既存研究

マルチエージェントモデルの「マイクロな相互作用からマクロな状態・秩序が創発する」という特徴から、現実社会に起きる現象の表現、または再現することで、その現象の仕組みを理解しようとする動きが活発である。例えば、ロコミをモデル化した例では、直接対面して情報を伝える対面伝播と、メールのようにネットワーク上を情報が拡散していくネットワーク伝播によるロコミについて、後者のほうが効率的に情報を伝えられることを示した[14]。また、災害時における避難シミュレーションも盛んであり、災害時の避難状況を表現し、災害時に個々の動きがその集団全体の動きに対して与える影響を調べている[15]。

3.2 モデル構造

マルチエージェントモデルにおけるモデル構造は空間とエージェントで構成される。

3.2.1 空間

本論文では、エージェントが相互作用を行う空間として、ある程度の人数の個人が格子状の 2 次元平面に存在する人工社会を想定した。この空間は上端と下端、左端と右端とがつながっているトーラス状になっている。この設定により地理的な要因による情報伝播の違いなどは考慮されなくなるが、全エージェントに同様の意思決定モデルを適用可能となり、また、普及過程を視覚的にわかりやすく表現することができる。また、本論文ではミクロ的ではなくマクロ的な影響を与える要素を空間の属性としている。表 2 に空間の属性を示す。

表 2：空間の属性

宣伝量	一度に投入する宣伝の量
宣伝間隔	一度宣伝を投入してから次に投入するまでの間隔
宣伝効果の減衰率	1 ステップごとに減衰する宣伝効果の割合
車載器導入費用	車載器を導入するために必要となる費用
全エージェントの関心度の平均値	全エージェントの関心度の平均値
車載器の普及率	車載器の普及率
路側機の普及率	路側機の普及率

3.2.2 エージェント

エージェントとして、車載器の購買行動を行う消費者を設定した。各属性については 3.3 節で詳しく説明する。

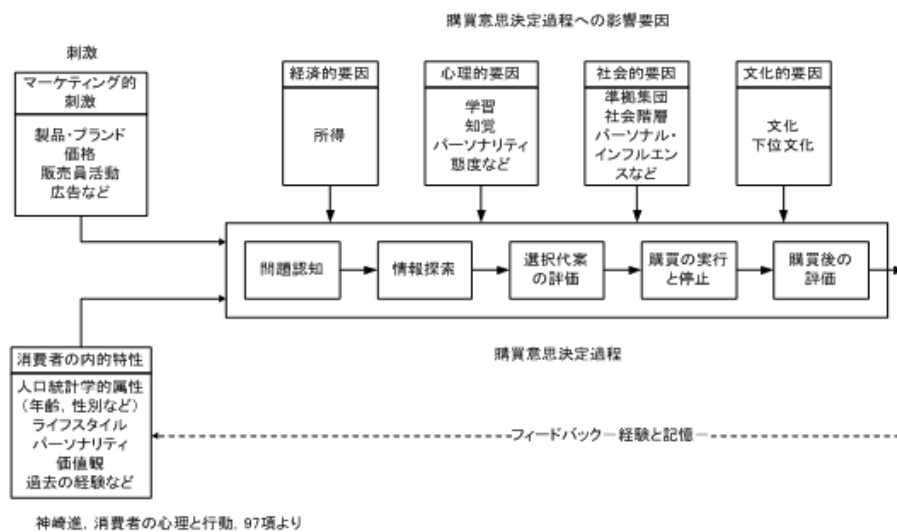


図 2：一般的な消費者行動論のモデルの全体像

3.3 エージェントモデル

消費者エージェントの購買行動をモデル化するに当たり、一般的な購買意思決定過程を参考にする。図 2 に一般的な消費者行動論のモデルの全体像を示す。この図からわかるように購買意思決定過程は問題認知から始まり、問題認知が問題解決のための情報探索を引き起こす。そして、対人コミュニケーションや

マスメディアなどを情報源として情報探索を行い、選択代案を評価し、その結果から購買するかどうかを決定する。そして購買が実行された後に、他の消費者にフィードバックされ、購買後の評価が行われる。

本論文では、この購買意思決定過程の「購買後の評価」及び「購買・中止」の「中止」は行わず、「問題認知」「情報探索」「評価」「購買」の部分に関してモデル化を行う。

3.3.1 問題認知

本論文における問題認知とは、消費者に対して、安全 ITS 及びその有効性を認知してもらうことである。ITS 無線システムの高度化に関する研究会の報告書の「普及に向けた推進方策」にもその必要性が記載されている[5]。そこで本論文ではマクロ的な宣伝を用い、その接触回数によって消費者に安全 ITS を認知させる。ここでは消費者が宣伝に 7 回接触することで安全 ITS の存在を認知したとする。この 7 回という回数は、セブンヒッツ理論[16]に基づき決定した。宣伝への接触回数が 7 回未満である場合は周囲の消費者エージェントと相互作用を行わず、接触回数が 7 回に達したところで周囲との相互作用を開始し、情報探索に移る。

3.3.2 情報探索

問題を認知した消費者エージェントは次に情報探索を行う。本論文では、安全 ITS のシステム利用に関する指標として「関心度」を定義する。消費者エージェントは情報探索により自身の安全 ITS への関心度を変化させ、閾値を超えることで、安全 ITS に対して十分な関心を持っているとみなされた消費者エージェントから次の段階の評価を行うことになる。

本論文で定義した関心度は次の 4 つの要素で構成されている。

1. 各消費者エージェント固有の関心度
2. 周囲の消費者エージェントの影響
3. 社会全体の影響
4. マスメディアの影響

これらの要素について上から順に説明する。その際、関心度を I とする。

(1) 各消費者エージェント固有の関心度：固有の関心度とは、シミュレーション開始時に設定される消費者エージェントの関心度の初期値である。関心度の初期値 I_0 は、Rogers の革新性に基づいた採用者カテゴリーを参考に設定した[17]。具体的には、正規乱数によって発生させた 0 から 1 の値が図 3 に示す割合で分

布するようにした。ただし正規分布の性質上すべての値を 0 から 1 の間に分布させることは不可能であるため、1000 回に 1 回の割合で 0 から 1 以外の値が出るように設定した。

$$I_t \sim N(0.5, 9.152^2) \quad \dots \text{式(1)}$$

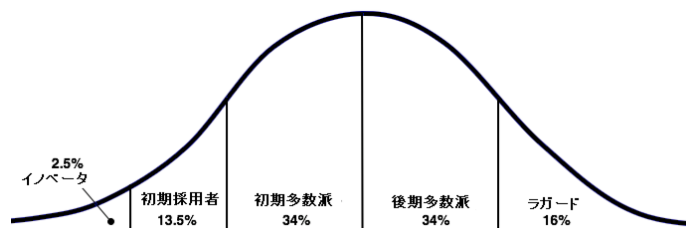


図 3：革新性に基づいた採用者カテゴリー

(2) 周囲の消費者エージェントの影響：周囲の消費者エージェントの影響とは、当該消費者エージェントの視野内に存在する他の消費者エージェントと相互作用することで受ける影響のことである。ここで言う「視野」は消費者エージェントの属性である。図 4 に示すように視野が 1 である場合には自身の周りの 8 人、視野が 2 である場合にはもう一回り外側のエージェントも含めた 24 人が当該消費者エージェントが相互作用する周囲の消費者エージェントということになる。

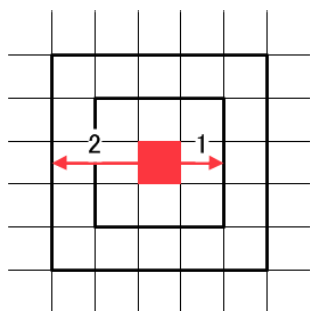


図 4：消費者エージェントの視野

視野の広さは各消費者エージェント固有の関心度と関連しており、固有の関心度が大きいほど視野も広がっている。これは本論文において固有の関心度が Rogers の革新性に相当するものとしているためである。

表 3 は本論文で用いるエージェントの属性である。表 3 にあるように、各消費者エージェントは「人からの影響の受け易さ」という属性を持っており、こ

の値が大きいほどより知人や友人，家族の意見に左右され易い人となる．また，「勧誘の上手さ」という属性により，この値が大きい消費者エージェントが他の消費者エージェントにより大きな影響力を持つことになる．

表 3：エージェントの属性

エージェントを一意に識別する ID
位置 (X 座標, Y 座標)
固有の関心度
周囲の影響
人からの影響の受け易さ
交通事故の影響
マスメディアの影響
マスメディアからの影響の受け易さ
視野
現在の状態を表す色
マスメディアに接触した回数をカウントするカウンタ
勧誘の上手さ
交通事故減少便益
視野内における車載器の普及率

実際に消費者エージェント i が受ける影響 $E_{i,neighbor}$ は式(2)のように定義した．

$$E_{i,neighbor} = S_{i,agent} \times \left(\frac{1}{m} \sum_{j=0}^{m-1} (I_j \times Ind) - I_i \right) \times P \quad \dots \text{式(2)}$$

図 3 において，普及初期に積極的にイノベーションを採用しようとするイノベータや初期採用者，また，大多数の人が採用するまでなかなか採用に踏み切らないラガードに属する人々は，他の人々と比べて人からの影響を受けにくいと考えられる．よって， S_{agent} は，イノベータ，初期採用者，ラガードに属する消費者エージェントは小さく，残りのカテゴリーに属する消費者エージェントは大きい値になるように， I_i の値に基づき決定する．また，勧誘の上手さは，他者への影響力が最も高いとされるオピニオンリーダーと呼ばれる初期採用者に属する消費者エージェントが最も大きくなるよう，残りのカテゴリーに属する消費者エージェントは革新性の高いものほど影響力が高くなるように設定した．

(3) 社会全体の影響：社会全体の影響は，自身の周辺だけでなく，人工社会を構

成する全消費者エージェントから受ける影響である。一般的に考えて、社会の構成員全員の影響を受けるといことは考えにくい。しかし、現在の風潮として、多数の意見により作り出される雰囲気が消費者の購買行動に大きな影響を与えていると考えられる。現在のエコへの意識の高まりはその典型的な例であると言える。ここではその社会全体が作り出す雰囲気から消費者エージェント i が受ける影響 $E_{i,all}$ を式(3)で定義した。

$$E_{i,all} = S_{i,agent} \times \left(\frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} I_j - I_i \right) \times P \quad \dots \text{式(3)}$$

(4) マスメディアの影響：我々は日常生活で非常に多くの情報に接しているため、その情報を通じた新製品・サービスの認知や購買意欲の促進は非常に効果的である。これは、そういったテレビや新聞、雑誌、インターネットなどの宣伝全般が与える影響を表すものであり、消費者エージェント i がマスメディアから受ける影響を式(4)のように定義した。

$$E_{i,media} = S_{i,media} \times AD \times \lambda \times P \quad \dots \text{式(4)}$$

但し、

- $S_{i,media}$: マスメディアからの影響の受けやすさ
 - AD : 宣伝量 (宣伝効果)
 - λ : 減衰率
- である。

宣伝の量や効果は常に一定ではなく、宣伝が行われた時点から徐々に減衰していく。式(4)の λ は宣伝の量や効果の減衰する割合である。これは様々な研究者による 100 近くの調査をメタ分析した結果から、期間を月に換算した場合の λ の平均値は 0.775 になることがわかっている[18]。今回はこの値を日に換算し、 λ の値は 0.991 としている。

以上が関心度を構成する 4 つの要素である。式(2)、式(3)、式(4)の P は調整用のパラメータである。

消費者エージェント i の関心度 I_i は上記の 4 つの要素を用いて式(5)のように表せる。この関心度が閾値に達した消費者エージェントから次の評価及び購買の実行・停止に移る。

$$I_i = I_{i,I} + (E_{i,media} + E_{i,neighbor} + E_{i,all}) \times P_I \quad \dots \text{式(5)}$$

P_I は調整用のパラメータである。

3.3.3 評価及び購買の実行

上記の情報探索で関心度が閾値に達した消費者エージェントは次に評価を行い、実際に購買行動を起こすかどうかを決定する。ここで評価の基準となるのは安全 ITS のシステムを利用し、交通事故に遭う確率が減少することによって得られる便益である。これを本論文では交通事故減少便益と呼ぶ。車載器導入費用が便益ではかることができるとすると、交通事故減少便益が車載器導入費用以上、つまり評価がマイナスでなければ、消費者エージェントは車載器の購買を実行する。逆の場合は購買は停止する。消費者エージェント i の交通事故減少便益 U_i は式(6)で定義する。

$$U_i = U_{i,0} + (U_{i,0}f_{t,c} + U_{i,0}f_{t,r} + (1 - U_{i,0})(1 - f_{t,c}f_{t,r})) \times P_U \quad \dots \text{式(6)}$$

ここで

- $U_{i,0}$: 消費者エージェント i 固有の交通事故減少便益
- $f_{t,c}$: t 期における車載器の普及率
- $f_{t,r}$: t 期における路側機の普及率

である。式(6)の各項について以下に説明する。

- $U_{i,0}$: この項は、消費者エージェント固有の交通事故減少便益である。一般的に先にイノベーションの採用に踏み切った人のほうが高い便益を有するため、 f を普及率とすると、固有の便益が一様分布に従うと仮定して $1 - f$ と表現する場合が多い。しかし現実社会ではその人が始めから持っている興味や関心、革新性なども影響すると考えられる。そこで本論文では各消費者エージェント固有の関心度を乗じることで、より現実社会近い状態を表現した。

以下の3つの項はネットワーク外部性のモデル化である。ネットワーク外部性は、同じ製品を購入した集団の規模の増加関数で表されると考えられる。本論文では Katz and Shapiro[9,10]をはじめとした多くの既存研究に習い、その集団における製品の普及率を集団の規模の代理変数として用いる。ここでは車載器の普及率 $f_{t,c}$ 及び路側機の普及率 $f_{t,r}$ を用いる。

- $U_{i,0}f_{t,c}$: この項は、固有の便益に便益車載器の普及率を乗じることで、車載器が普及することで働くプラスのネットワーク外部性を表現している。車載器の普及率が上昇することで、より多くの自動車との通信が可能になり、得られる便益が増加する。
- $U_{i,0}f_{t,r}$: この項は、路側機が普及することで働くプラスのネットワーク外部性を表現している。路側機が普及することで、他車に車載器が搭載されて

いなくても、安全 ITS のシステムを利用できる機会が増えるため、路側機の普及率の上昇によって得られる便益が増加する。

- $(1 - U_{i,0})(1 - f_{t,c}f_{t,r})$: この項は、車載器と路側機が普及することによるマイナスのネットワーク外部性を表現している。車載器と路側機が普及することで、安全 ITS のシステム未利用者が交通事故に遭う確率も低くなるため、システムを利用することによって得られる便益のうち、実際に評価される割合が小さくなっていく。路側機のみが普及したとしても、車載器を持っている人が少なければ、システム未利用者の交通事故に遭う確率はあまり下がらないように、これは車載器と路側機の両方の普及率に依存するため、上記のように定義した。

ここで交通事故減少便益に関するネットワーク外部性のモデル化を行ったが、前項で説明した関心度も車載器及び路側機の普及率に影響を受けると考えられる。そこで式(5)を式(7)のように再定義し、関心度の算出には式(7)を用いる。

$$I_i = I_{i,I} + (E_{i,media} + E_{i,neighbor} + E_{i,all}) \times (1 + f_{t,c})(1 + f_{t,r})(1 - f_{t,c}f_{t,r}) \times P_I \quad \dots \text{式(7)}$$

また、交通事故に遭った場合、普通の人よりも安全に対する意識が高まり、安全 ITS のシステム利用に踏み切る可能性が高くなる。この交通事故の影響をモデル化するため、毎ステップ開始時に交通事故に遭うかどうかの判定を行う。交通事故に遭ったと判定された場合は情報探索や評価を行わず、車載器を購入するようにした。なお、交通事故に遭う確率は、総人口と年間の交通事故発生件数をもとに算出した。

4. シミュレーション

4.1 設定

本論文では、以下の表 4 に示す設定でシミュレーションを行う。路側機の普及率 $f_{t,r}$ は ETC の料金所の普及率の推移を参考に、ゴンペルツ曲線で近似したものである [5]。シミュレーションにはマルチエージェント・シミュレータ `artisoc academic 2.6` [19] を使用する。

表 4：シミュレーションのパラメータ

設定項目	内容
シミュレーション対象	安全 ITS 車載器普及率
エージェント数	2500 (50 × 50)
シミュレーション時間	3650 ステップ (1 ステップは 1 日に相当. 約 10 年)
宣伝量 (効果) の減衰率 λ	0.99
路側機の普及率 : $f_{t,r}$	$95.1 \times 0.64^{0.39 \left(\frac{2012 + \frac{t}{365} - 2014}{2012 - 2014} \right)} \times \frac{1}{100} \quad (t = \text{STEP})$

4.2 モデルの妥当性

本論文で作成したモデルの妥当性を検証する。総務省の ITS 無線システムの普及予測によると、導入開始から 10 年目の普及率は、普及促進策の実施により普及が早く進む場合は 48.1%、普及促進策がなく普及が進む場合は 13.1%となっている[5]。そこで、本論文では、普及促進策を行った場合と、行わなかった場合の車載器普及率のシミュレーション結果が報告書の普及予測に近ければ、作成したモデルは妥当であると判断する。

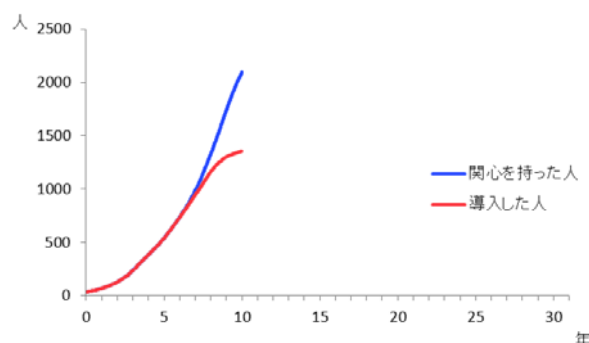


図 5：普及促進策あり

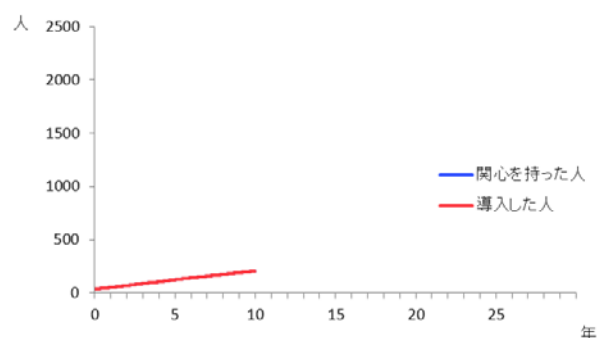


図 6：普及促進策なし

シミュレーション結果を図7に、総務省 ITS 研究会の普及予測を図8に示す。また、各パラメータ及び結果として得られた数値を表5に、そして各普及率の比較を表6に示す。

総務省 ITS 研究会の普及予測は、以下のような前提で予測がされている。

- (1) ITS と類似の普及過程を持つと思われるサービス・機器として、ETC と VICS を取り柄あげる。これは普及のための条件や環境が、以下の点で ITS システムと類似しているからである。
 - (a) 利用可能な範囲の拡大が、普及条件として必要なこと（利用する場所が限られていると、そのメリットを十分に享受できないため、利用範囲の拡大が普及には必須）。
 - (b) 様々な普及施策が普及率の向上をもたらしていること（サービス／機器の普及が事故率の低減や環境改善などに結びつくため、保険や税制上の優遇措置、購入補助等が有効である）。
- (2) ITS は 2012 年に普及を開始する。
- (3) ITS システムの普及速度は VICS よりも早く、ETC よりは遅いと仮定する。これは以下の理由からである。
 - (a) ETC は車種にかかわらず明確で直接的な利用メリットがあり、また普及促進に向けた多くの施策が実施された。
 - (b) VICS は付加的なサービスが中心で、カーナビ装着の比較的高級な車種から普及が始まった。
 - (c) ITS システムは、得られるメリットは VICS よりも明確だが、それを感じる機会は ETC よりも少ないため。

本論文で採用したマルチエージェントモデルでも、基本的には上記の前提にしたがっている。具体的には、例えば路側機の普及率をゴンベルツ曲線で近似したときのパラメータとして、ETC の料金所の普及率の推移に基づいて、パラメータを設定している。従って結果的に ETC の普及モデルを暗黙的に採用することになる。図7は上記のような仮定の下でおこなったシミュレーションの結果である。

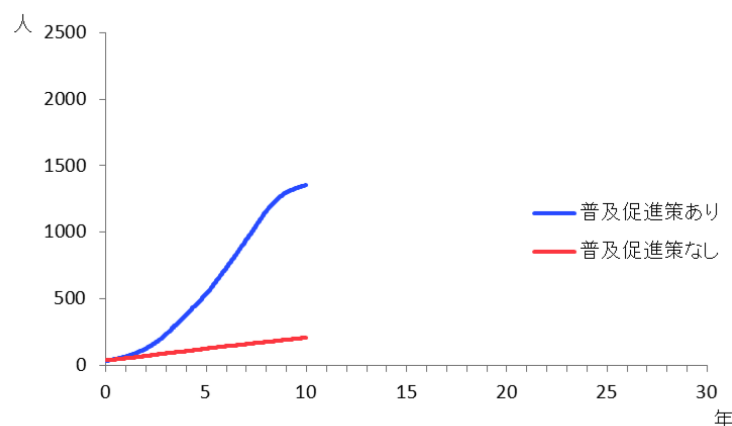


図7：シミュレーション結果

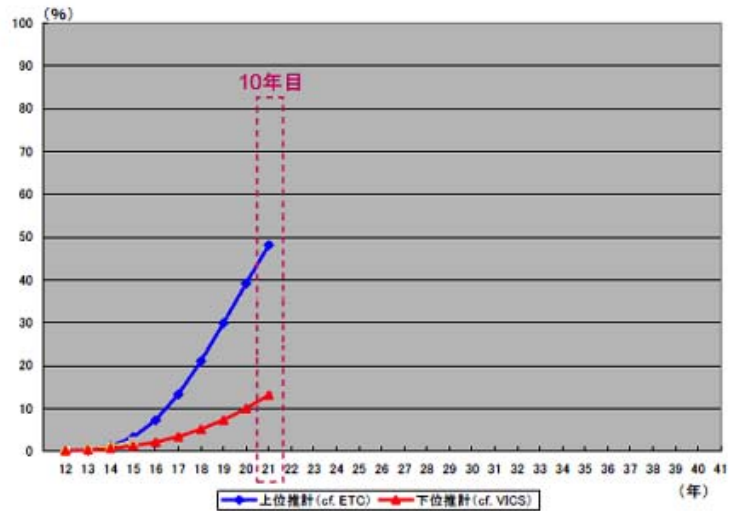


図 8：普及予測（ITS 研究会）

表 5：検証のパラメータ及び数値結果

	宣伝量	宣伝間隔	車載器 導入費用	車載器 導入者数	関心を持っ た人数
普及促進策 あり	0.9	14	0.6	1355.7	2096.2
普及促進策 なし	0.6	182	0.9	205.9	205.9

表 6：普及率の比較

	シミュレーション結果	ITS 研究会の普及予測
普及促進策あり	0.542	0.481
普及促進策なし	0.082	0.131

表 6 から、普及促進策ありの場合はシミュレーション結果のほうがやや高く、普及促進策なしの場合はシミュレーション結果のほうがやや低い普及率となっていることがわかる。しかし、図 7 と図 8 を比較すると、図 7 のシミュレーション結果は図 8 の普及予測と近い形の曲線を描いていることがわかる。また、この結果を導いた前提は、比較対象とした総務省のモデルの前提を暗黙的に取り入れているので、両モデルの前提条件に大きな違いは無いと考えられる。こ

のことから、本論文で作成したモデルは妥当性があると判断する。ただし、本論文のモデルには、多くのパラメータが存在し、これらのパラメータが結論に及ぼす影響を考察することは簡単ではない。特に予測期間が長期になると、一種のバタフライ効果あるいはカオス効果で、結果が大きくずれる可能性を否定できない。そこで、比較的信頼できると思われる、10年間の結果を基に妥当性を判断した。本論文のモデルと ITS 研究会による普及予測との値の違いについては次章の考察で述べる。

4.3 シミュレーション条件の変更

本論文の目的である、安全 ITS の普及要因を検証するため、シミュレーション条件を変更して実験を行う。まず、宣伝間隔がどのような影響を与えるか検証するために、表 5 の普及促進策ありで用いたパラメータにおいて、宣伝間隔を変更してシミュレーションを行った。ただし、より一般的な状況にするため、車載器導入費用は、普及促進策なしとの中間となる 0.75 を用いる。その結果を図 9 から図 11 に示す。

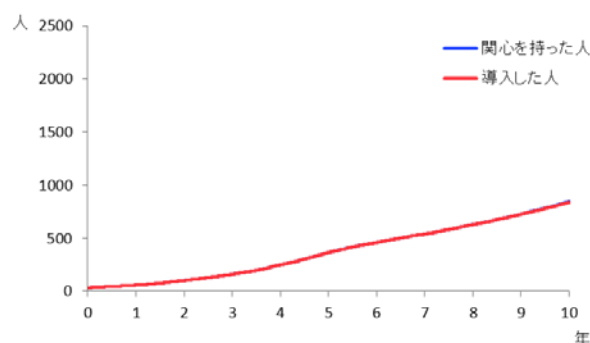


図 9：宣伝間隔：30

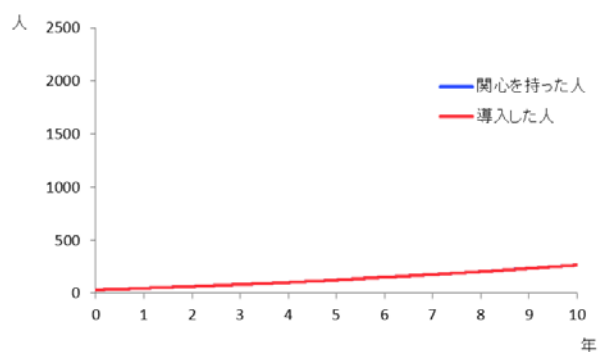


図 10：宣伝間隔：80

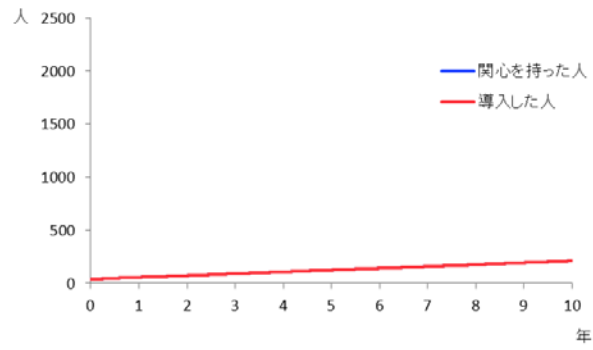


図 11 : 宣伝間隔 : 180

次に、宣伝量の変化がどのような影響を与えるか検証するために、宣伝量のみを変化させ、宣伝間隔は 14、車載器導入費用 0.75 のまま固定してシミュレーションを行った。その結果を図 12 から図 14 に示す。

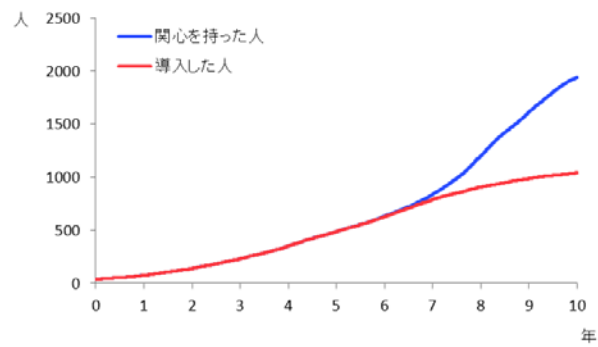


図 12 : 宣伝量 : 0.9

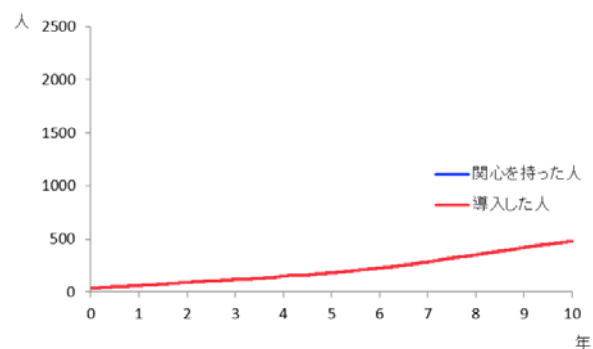


図 13 : 宣伝量 : 0.8

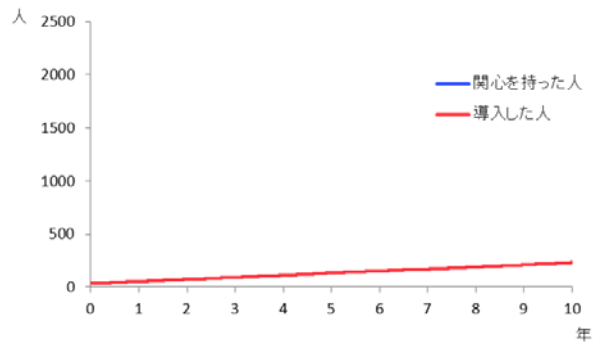


図 14 : 宣伝量 : 0.7

次に、宣伝量と宣伝間隔を同時に変化させてシミュレーションを行った。車載器導入費用は 0.75 のままである。宣伝量が小さいほど宣伝効果が小さいが、宣伝間隔が小さいほど効果が減少しすぎる前に次の宣伝が始まるため、宣伝効果が大きい。これを同時に変化させてその影響を検証した。その結果を図 15 から図 17 に示す。

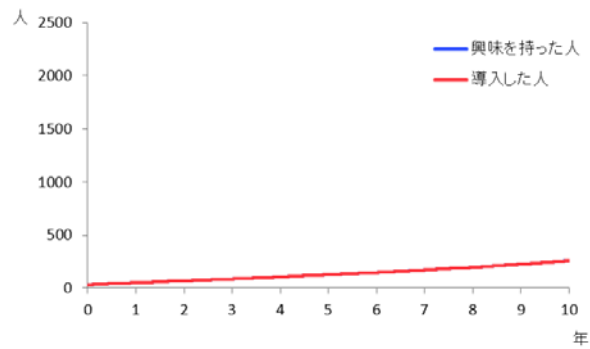


図 15 : 宣伝量 : 0.9, 宣伝間隔 : 30

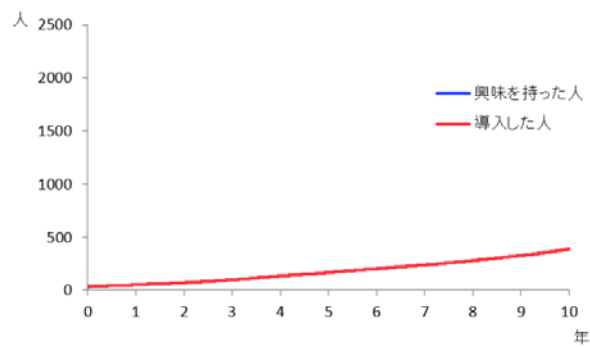


図 16 : 宣伝量 0.8, 宣伝間隔 : 14

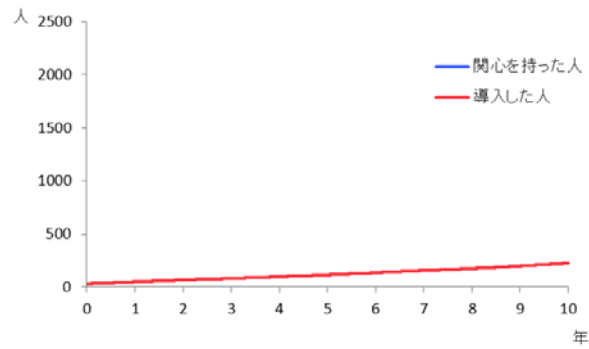


図 17：宣伝量 0.7，宣伝間隔：7

次に、普及を促進させるために、初期配布を行なった場合を想定してシミュレーションを行った。具体的にはシミュレーション開始時に、消費者エージェントに対してランダム、もしくは一部分に集中して、50、150、250の3通りに分けて配布を行った。ランダムに配布した場合の結果を図 18 から図 20 に、集中して配布した場合の結果を図 21 から図 23 に示す。また、各場合の車載器導入者人数を表 7 に示す。各パラメータの値は図 16 と同じ値を用いる。

表 7：初期配布と車載器導入者人数

	50	150	250
ランダムに初期配布	543	873	1018
集中して初期配布	515	852	1037

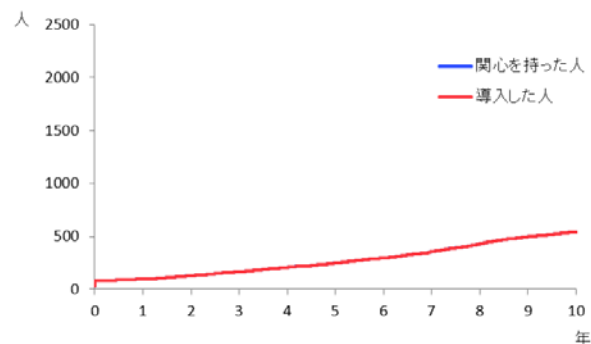


図 18：ランダム配布：50

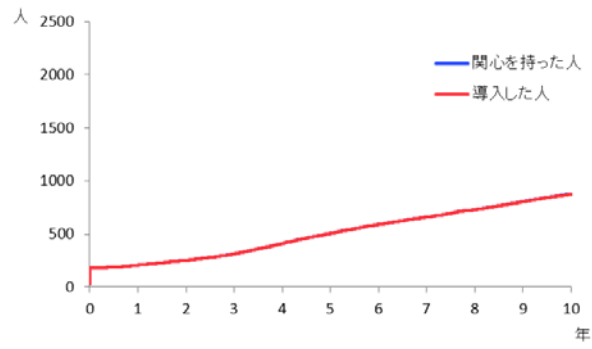


図 19：ランダム配布：150

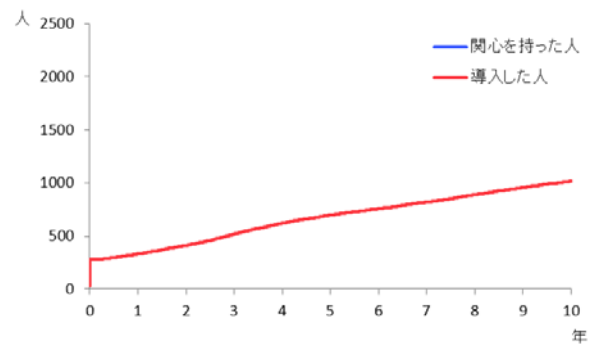


図 20：ランダム配布：250

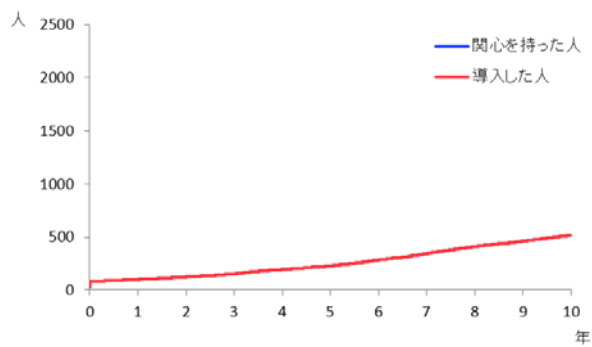


図 21：集中配布：50

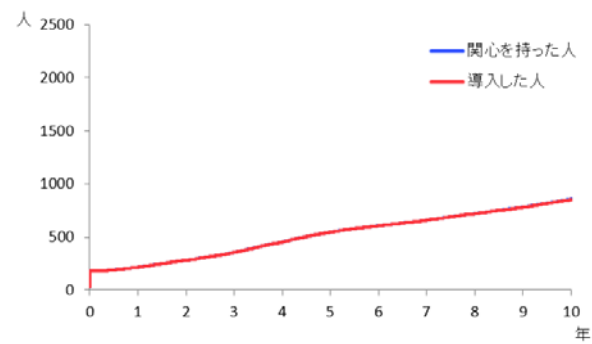


図 22：集中配布：150

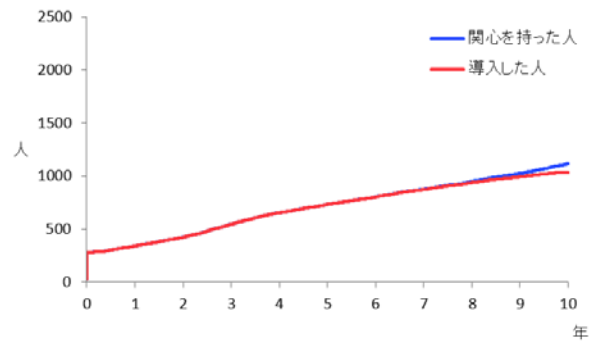


図 23：集中配布：250

最後に、図 5 をシミュレートした際の車載器の普及率、路側機の普及率、情報探索フェーズにおける外部性による影響を図 24 に示す。

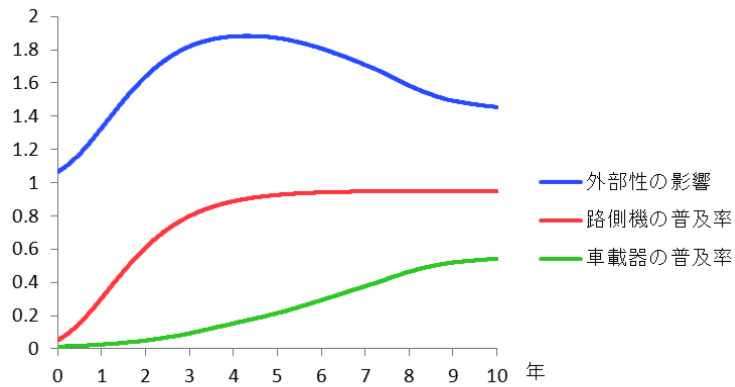


図 24：車載器・路側機の普及率および外部性の影響

5. 考察

本章では第 4 章のシミュレーション結果について考察し、安全 ITS 普及促進のための施策について述べる。

5.1 普及予測との差

4.2 節で行なったモデルの妥当性の検証ではグラフの概形が図 8 と近い曲線を描いているため、作成したモデルは妥当であると判断した。しかし、部分的には普及促進策ありのグラフもなしのグラフも普及予測と若干の違いが見られる。まず普及促進策ありの曲線では、9 年目から 10 年目にかけて、図 7 ではやや収束気味であるが、図 8 では収束せずに上昇している。これは車載器価格の影響

によるものと考えられる。通常、製品が普及するにつれて車載器の価格は下がるため、それに伴い買い控えていた消費者が購入に踏み切るため、普及率は上昇する。しかし、4.2節における検証では、車載器導入費用はシミュレーション開始時に設定し、終了時まで固定である。そのため、9、10年目辺りに購買評価を行った消費者にとって、開始時に設定した価格は、交通事故減少便益を上回ったと考えられる。ただし、この初期値はシミュレータのコントロールパネルから変更可能なため、モデルの変更なしに対応できる。また、普及促進策がない場合に関しては、本モデルでは交通事故被害による潜在的な採用者を考慮していないためであると考えられる。シミュレーション中に交通事故に遭い、それにより購買行動に至る場合はあるが、もともと交通事故の被害者で、安全 ITS に対して関心の高い人々までモデル化を行っていないため、その差が普及予測との差に表れたと考えられる。

これらのことから、本論文において妥当なモデルであるが、詳細な部分のモデル化により、より現実に近い振る舞いをさせることが可能である。

5.2 シミュレーション条件によるモデルの振る舞い

図 9, 図 10, 図 11 から、宣伝間隔が長くなるにつれて車載器導入者数が減少していくことがわかる。これははじめに宣伝量 0.9 であった宣伝効果が、 λ に従って減少していき、期間が長くなるほど宣伝量が小さくなっていくためである。ここで、図 11 と図 6 はどちらも宣伝間隔は 182 で同じだが、宣伝量が前者は 0.9、後者は 0.6 と大きく異なる設定での結果である。しかし、その宣伝量の差にもかかわらず、図 11 の車載器導入者数の平均は 210、図 6 の (b) は 206 であり、その差は非常に小さい。このことから、はじめに大きな宣伝を行ったとしても、宣伝効果の大きい初期で車載器導入者を獲得できず、その後の新たな宣伝までに間隔が空きすぎると、宣伝にかかる費用が無駄になることがわかる。

図 12, 図 13, 図 14 では、宣伝量が少なくなるにつれて車載器導入者数も減少していく。一般的に考えてこれは当然である。しかしこれら 3 つの図からは宣伝間隔が短いほど、消費者に与える影響は大きいことがわかる。ここで、14 という非常に短い宣伝間隔であっても図 14 では車載器導入者数は平均 232 であり、非常に少ない。このことに注目すると、たとえ、宣伝間隔が短くても、宣伝量が小さいと消費者への影響力は小さいと言える。

宣伝間隔と宣伝量を同時に変化させた場合には、図 15, 図 16, 図 17 の順に、宣伝量、宣伝間隔が両方とも小さくなるように設定している。これは宣伝量からみると量が少なくなっているため消費者へ影響力が小さく、宣伝間隔からみると、間隔が短くなっているため、影響力が大きくなっている。表 8 に示すように各宣伝間隔の最期の宣伝量は図 16 が最も大きくなっているが、図 15, 図 16, 図 17 から見る車載器導入者数は 2 倍近い違いが出ている。これらのことから、宣伝間隔が 30 程度であれば消費者への影響力は、間隔の長さよりも宣伝量

に大きく左右されることがわかる。

表 8：宣伝間隔の減衰

図 15 宣伝量：0.9 間隔：30	図 16 宣伝量：0.8 間隔：14	図 17 宣伝量：0.7 間隔：7
$0.9 \times \lambda^{30} = 0.686$	$0.8 \times \lambda^{14} = 0.705$	$0.7 \times \lambda^7 = 0.657$

宣伝の量や間隔について述べたが、もう一つ重要な要素がタイミングである。本論文のモデルは投入した宣伝の量や効果は徐々に小さくなり、一定間隔で再び宣伝を繰り返す。そのため、宣伝を投入した直後が最も宣伝の影響を受け易いと言える。しかし、シミュレーションの過程で、広告の最大値は変化していないにも関わらず、普及初期よりも、中期辺りに受ける宣伝の効果大きいことがわかった。その結果を図 25 に示す。曲線が若干波打っていることがわかる。この波の立ち上がり辺りがちょうど宣伝の最大値である。2000STEP 辺りまでとそれ以降を比較すると 2000STEP 以降のほうが波の立ち方が大きい。すなわち、同じ宣伝で、より多くの、車載器導入者を獲得していると言える。これは情報探索フェーズにおいて、ある程度安全 ITS への関心が高まっている消費者エージェントに対する後押し的な意味合いが強いため、このような影響力の差が出ると考えられる。これはリーセンサー効果と呼ばれ、購買の直前に接触した宣伝が購買行動に影響を与える効果のことである[20]。言い換えると、認知や態度が確立され、購買の準備段階が整った消費者に対して最後の引き金を引く効果である。

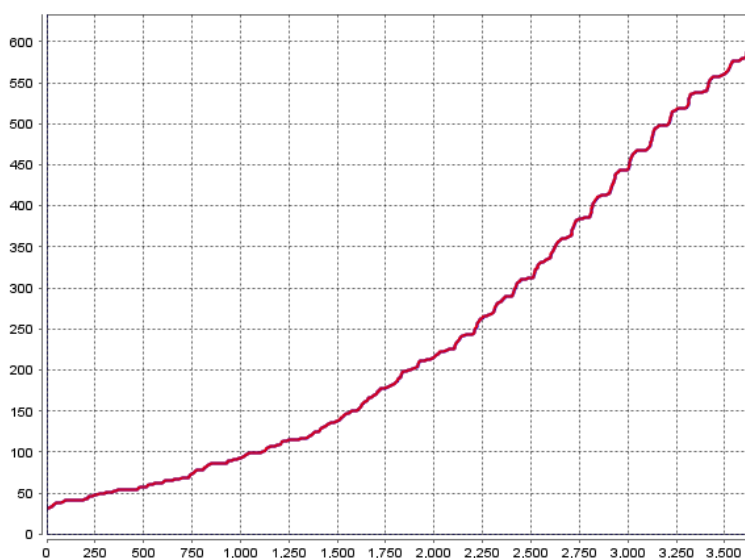


図 25：宣伝効果の違い

図 18 から図 23 では、初期配布数が多い順に車載器導入者数も増加していることがわかる。単に、初期配布分が増加したわけではなく、表 9 に示す通り、ほとんどの場合に初期配布分を差し引いても配布した際のほうが増加していることもわかる。これは、普及初期における車載器導入者が増加したことで、導入者からプラスの情報を得たことにより、情報探索のフェーズで安全 ITS に対する関心度が高まったためだと考えられる。また、本論文のモデルでは、ネットワーク外部性を考慮しているため、自身の周囲に車載器導入者がいない場合でも、社会全体の車載器普及率とその消費者エージェントにプラスのネットワーク外部性として働いたことも、車載器導入者が増加した要因であると考えられる。

次に、ランダムに配布した場合と一部分に集中して配布した場合に消費者エージェント及ぼす影響について考える。表 9 を見ると、配布数が 50 と 150 の時にはランダムに配布した場合のほうが導入者数が多いことがわかる。これは、ランダムに配布した場合のほうが社会全体の消費者エージェントと配布対象となった消費者エージェントが情報検索フェーズで接する可能性が高くなるためであると考えられる。逆に集中して配布した場合には、一部分に固まりすぎてしまうため、普及促進を目的とした初期配布としては非効率的になっているためだと考えられる。50 人の消費者エージェントに対して集中して初期配布を行った場合に、初期配布なしの場合よりも導入者数が減少しているのも、それが原因であると考えられる。ただし、250 人に配布した場合のみ、集中して配布した時のほうが導入者数が多い。これは集中配布した際の配布部分の形状によるものだと考えられる。250 人に配布した際には縦 10、横 25 の長方形に初期配布を行った。このため集中して配布したにもかかわらず、他の 2 通りと異なり、広い範囲に対して影響を及ぼし、ランダムに配布した場合よりも多くの導入者を獲得したのだと考えられる。

表 9：初期配布なしの場合との差（初期配布分も差引済み）

	50	150	250
ランダムに初期配布	13	243	282
集中して初期配布	-15	222	307

最後に、図 24 から本論文のモデルにおける外部性について述べる。図 24 を見ると路側機の普及とともに、プラスの影響を消費者エージェントに与えている。しかし、路側機の普及率がほぼ収束し、車載器が普及し始めることで外部性の影響が弱くなっていく。これは 2.3 節で述べたマイナスのネットワーク外部性の影響である。安全 ITS のシステム利用者が増加することで、システム未利用者

にとっても交通事故に遭う確率が低下する。これにより、未利用者が新たに利用に踏み切らなくなってしまう普及が滞ってしまう。図 24 では 1.8 辺りをピークに減少しており、10 年目までではグラフの開始時点の値よりも高いが、今後車載器の普及が進むにつれて開始時点の値よりも低くなる可能性もある。また、図 24 では路側機の普及に対して車載器の普及は非常に緩やかに進んでいる。これが普及促進策により、急激に上昇した場合、より早い時期にマイナスのネットワーク外部性が強く影響する。

5.3 安全 ITS の車載器普及における普及促進策

以上のことから、安全 ITS の車載器普及における普及促進策として重要となるのが、施策のタイミングと規模とターゲットであると言える。まず、タイミングに関しては、ネットワーク外部性の働く製品・サービスの普及は初期の普及促進が重要であるとされてきた[5]。確かに安全 ITS においても、システム運用初期での利用者獲得は、のちの普及を加速させるうえで非常に重要である。しかし、安全 ITS にはマイナスのネットワーク外部性が働き、ある程度普及が進むと、未利用者がシステム利用に踏み切らなくなるため、初期と同様、もしくはそれ以上に中期において十分な普及促進策をとる必要があると考えられる。具体的には、システム運用初期における車載器の無料配布及び、中期における宣伝や割引などが考えられる。初期の施策はもちろん、上で述べたリーセンサー効果のように、中期において、マイナスのネットワーク外部性の影響により買い控えている消費者にとって購買の引き金となるような施策が必要となる。次に施策の規模に関しては、中規模のものを複数回試行するよりも、非常に大規模な宣伝や割引などを行うほうが、買い控えている消費者を購買に至らせるために効果的であると考えられる。また、無料配布に関して、前節では集中して配布するよりも、広範囲に配布するほうが効果的であると述べた。しかし例えば、集中して配布した場所が東京や大阪、名古屋などの大都市であれば、ただやみくもに広範囲に広げるよりも、ターゲットを絞ることがより効果的であると言え、普及促進のための施策を提示できたと考えられる。重要なのは 1 つずつではなく、上記の 3 つを組み合わせた普及促進策を行うことである。

6. 結言

本論文では、安全 ITS の普及要因を明らかにし、普及促進のための施策を提示するという目的で、安全 ITS の普及に関するマルチエージェントモデルを作成した。作成したモデルをもとにマルチエージェント・シミュレーションを行い結果を分析することで、安全 ITS 普及のためには、「タイミング、規模、ターゲット」を考慮した宣伝や助成及び割り引き制度が効果的であることが判明し、

普及促進のための施策を提示できたと考える。

しかし、考察でも述べたが、本論文で作成したマルチエージェントモデルは、詳細な部分に関して、普及予測と異なる振る舞いをする。今後はより詳細なモデル化を行うことで、より現実に近い振る舞いを行うモデルの作成を検討したいと考えている。

参考文献

- [1] “自動車保有台数” (財) 自動車検査登録情報協会,
<http://www.airia.or.jp/number/pdf/01.pdf>, (参照 2013-3-2).
- [2] “ITS とは?”. 国土交通省道路局 ITS ホームページ,
<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/whatsITS/index.html>,
(参照 2013-3-2).
- [3] 三好博昭. “安全 ITS 普及に向けての政策”. 同志社大学 技術・企業・国際競争力研究センター, http://www.itec.doshisha-u.jp/j/03_publication/03_policy/08-06-Miyoshi-itecpb.pdf, (参照 2013-3-2).
- [4] 三好博昭. “ITS の外部性と最適普及水準－VICS の社会的便益と最適普及水準の計測－”, 同志社大学 技術・企業・国際競争力研究センター,
http://www.itec.doshisha-u.jp/03_publication/01_workingpaper/2004/ITECRPS0411.pdf, (参照 2013-3-2).
- [5] “「ITS 無線システムの高度化に関する研究会」報告書”, 総務省,
http://www.soumu.go.jp/main_content/000025421.pdf,
(参照 2013-3-2).
- [6] “ETC の利用状況”. 道路システム高度化推進機構,
<http://www.mlit.go.jp/road/yuryo/riyou.pdf>, (参照 2013-3-2).
- [7] Leibenstein, H. (1950), "Bandwagon, Snob, and Veblen Effects in the Theory of Consumers' Demand," *The Quarterly Journal of Economics*, Vol.64, No.2, pp.183-207, (1950)
- [8] Rohlfs.J(1974), "A Theory of Interdependent demand of a Communication Service," *The Bell Journal of Economics and Management Science*, Vol.42, no.9, pp.16-37, (1974)
- [9] Katz.M.L. and C.Shapiro(1985), "Network Externalities, Competition, and Compatibility," *American Economic Review*, Vol.75, no.3, pp.424-440, (1985)
- [10] Katz, M. and Shapiro, C. (1986), 'Product Compatibility Choice in a Market with Technological Progress', in D. Morris et al. eds, *Strategic Behaviour and Industrial Competition*, Oxford: Clarendon Press, pp.146-165, (1986)

- [11] Farrell, J. and G. Saloner (1985), "Standardization, Compatibility, and Innovation," *Rand Journal of Economics*, Vol.16, No.1, pp.70-83, (1985)
- [12] H. Miyoshi, and M. Kii, "Economics of Intelligent Transporting Systems: Crafting Government Policy to Achieve Optimal Market Penetration," in *Technological Innovation and Public Policy*, pp.105~125, Palgrave Macmillan (2011)
- [13] M. Kii and H. Miyoshi, "Market Penetration of Safety-Related ITSs", in *Technological Innovation and Public Policy*, pp.146~169, Palgrave Macmillan (2011)
- [14] 谷本淳, 藤井晴行. "マルチ・エージェント・シミュレーションによる情報伝播特性に関する一考察".
<http://ktlabo.cm.kyushu-u.ac.jp/j/theme/complex/tanimoto20010823.pdf>, (参照 2013-3-2).
- [15] 根岸 祥人, 加賀屋 誠一, 内田 賢悦, 萩原 亨, "マルチエージェントシミュレーションを用いた震災時避難の交通行動に関する研究," 第 28 回土木計画学研究発表会・講演集 Vol.28, (2003)
- [16] "セブンヒット理論とは". LPM サービスサイト.
<http://www.lpo-lpm.com/text/セブンヒット理論.html>,
(参照 2013-3-2).
- [17] Everett M. Rogers, "イノベーションの普及", 株式会社 翔泳社 2007 年
- [18] 国領 二郎, 野原 佐和子, "電子多対多メディアによるコミュニケーションに黙って参加している人たち(ROM)の情報行動," 経営情報学会誌, Vol.12, No.2, pp.37-46, (2003)
- [18] "MAS コミュニティ - artisoc 2.6 -". 構造計画研究所,
<http://mas.kke.co.jp/>, (参照 2013-3-2).
- [19] "購買行動とリーセンサーに関する調査". 株式会社ビーエムエフティー,
<http://www.bmft.jp/pages/works/resea/userc/001/index.html>,
(参照 2013-3-2).