

Title	マルチエージェントモデルを用いた安全ITS普及施策のシミュレーション
Author(s)	芳賀, 博英
Citation	年次学術大会講演要旨集, 28: 293-298
Issue Date	2013-11-02
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/11719
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

マルチエージェントモデルを用いた安全 ITS 普及施策のシミュレーション

○芳賀博英（同志社大学）

概要

数式等で記述することが困難な現象のシミュレーション法として、近年マルチエージェント・シミュレーション(MAS)という手法が注目されている。この方法は、系を構成するミクロな構成要素（エージェント）の間のインタラクションを記述することによって、系全体（マクロ）の挙動をシミュレートする手法である。本報告では、交通事故の防止策として導入が検討されている安全 ITS(Intelligent Transporting System)の普及状況をシミュレートするために、この手法を適用する。宣伝の間隔や頻度、あるいは補助金などの普及を支配する各種の要因を変化させたときの普及率をシミュレートし、新しい技術を迅速に普及させるための支配要因（Dominant Factors）を同定し、普及施策を提言することを試みる。

1. はじめに

新しい技術が開発された時に、いかにそれを普及させるかということは大きな課題である。普及のプロセスはさまざまな要因に支配されており、その数式モデルを作ることは容易ではなく、また仮にできたとしても、できあがった数式モデルは、線形方程式のように、扱いやすい数式なることは期待できない。そこで何らかのシミュレーションを実施して、普及のための施策を考えることが、必要となってくる。

シミュレーションの手法として、近年マルチエージェント・シミュレーション[1]という手法が注目されている。これは系を構成するミクロな構成要素（エージェント）の間のインタラクションを記述することにより、系全体（マクロ）の挙動をシミュレートする手法である。この手法を用いることによって、シミュレートの対象となる系全体を記述する必要がなくなり、シミュレーションモデルの構築が容易になることが期待できる。

本報告では、交通事故の防止のための新技術である ITS(Intelligent Transporting system)[2]の普及をシミュレートするためにこの手法を適用した結果を報告する。そして、これによって ITS 普及のための政策を提言する事を目標とする。

2. ITS について

ITS とは、先端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。ITS は 9 つの開発分野に分かれている[3]。その中で、安全運転を支援する ITS（以下安全 ITS と呼ぶ）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（車車間通信）」と、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（路車間通信）」の活用が期待され、開発が進められている。

しかし、システムが普及するためには 2 つの課題が存在する。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。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[4]。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。

3. 安全 ITS におけるネットワーク外部性

3. 1 ネットワーク外部性

ある経済主体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や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。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

イ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。上に述べたように、安全 ITS にもネットワーク外部性が存在するが、正の外部性（正のフィードバック）だけでなく、負の外部性（負のフィードバック）も存在する。

3. 2 安全 ITS における正の外部性

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。また、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、この場合に得られる便益は 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つまり、プラスのネットワーク外部性がある。

3. 3 安全 ITS におけるマイナスの外部性
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ともある。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、という負の外部性が存在する。前節で述べた「利用者に対する外部性」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」であると言える。

4. 安全 ITS のマルチエージェントモデル.

4. 1 マルチエージェントモデルの概要

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。

4. 2 モデルの構造

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。

（1）空間のモデル

本論文ではエージェントが相互作用を行う空間として、多数の個人が格子状の 2 次元平面に存在する人工社会を設定した。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る。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 1 に空間の属性を示す。

表 1 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

（2）エージェントのモデル

エージェントは個々の特性を持ち、その特性に従って、空間や他のエージェントとのコンタクトを行い、自らの特性を変化させていく。エージェントは一般的な消費者の行動モデルに従って、ある特定の商品に対して、外部の情報を集め、購買の意思決定を行う。一般的な消費者の行動モデルは、以下のステップからなる[5]。

- 問題認知：消費者がある特定の商品を知ることである。
- 情報探索：(a)で認知した問題に対して、それに関連する情報を探索することである。これによって、個々の消費者の中の「関心度」が徐々に変化してゆく。
- 評価：情報探索の結果変化した関心度に基づいて、対象となる商品の評価することである。
- 購買意思判断：評価の結果に基づいて、購買するかどうかを判定する事である。

(3) エージェントの関心度

消費者を表すエージェントが購買の意思決定を行ううえで、最も重要な役割を果たすパラメータが、個々のエージェントが持つ「対象商品に関する関心度」である。本モデルのエージェントの関心度は、以下の4つのパラメータに影響される。

- (a) 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。初期値は、Rogers の革新性に基づいて、正規乱数によって発生させた 0 から 1 の値を用いる。
- (b) 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」とは、一つの消費者エージェントが、どの程度他の消費者エージェントを認識できるかという、属性である。視野が広いと、多くの他のエージェントの意見を参考にして意思決定を行える。また関心度が高いほど、視野も広がる。
- (c) 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うことは考えにくい。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は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が受ける影響を考慮した。
- (d) 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がマスメディアから受ける影響を考慮した。但しこの影響は一定期間を経て、徐々に減衰してゆくことと想定している。これは PR 効果が徐々に薄れてゆくことに相当している。この減衰の度合いを示す値を減衰率と呼び、以下では λ で記述する。

(4) 評価および購買行動の決定

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（交通事故減少便益）である。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 は以下のように定義することができる。

$$U_i = U_{i,0} + (U_{i,0}f_{i,c} + U_{i,0}f_{i,r} + (1 - U_{i,0})(1 - f_{i,c}f_{i,r})) \times P_U$$

ここで $f_{i,c}$, $f_{i,r}$ はそれぞれ次のような意味である。

- ・ $U_{i,0}$ ：消費者エージェント i 固有の交通事故減少便益
- ・ $f_{i,c}$ ： t 期における車載器の普及率
- ・ $f_{i,r}$ ： t 期における路側器の普及率
- ・ P_U ：消費者エージェントに対する調整パラメータ

カッコの中の3つの項のうち、最初の2つの項はプラスのネットワーク外部性、最後の1つの項はマイナスのネットワーク外部性を意味している。

5. シミュレーション

これまでの議論に基づき、以下のパラメータでシミュレーションを行った。

- ・ エージェント数：2500
- ・ シミュレーション時間：3650 ステップ（1 ステップが1日に相当する。つまり約10年）
- ・ 宣伝効果の減衰率 λ ：0.99

シミュレーションには構造計画研究所のソフトウェアツールである artisoc[1]を利用した。

5. 1 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。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。

シミュレーション結果を図1に、総務省 ITS 研究会の普及予測を図2に示す。また、各普及率の比較を表2に示す。

表2 普及率の比較

	シミュレーション	総務省予測
普及促進策有り	54.2%	48.1%
普及促進策無し	8.2%	13.1%

表2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1と図2を比較すると、図1結果は図2の普及予測と

近い形の曲線を描いていることがわかる。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 年間の結果に基づいて、モデルの妥当性を判断した。

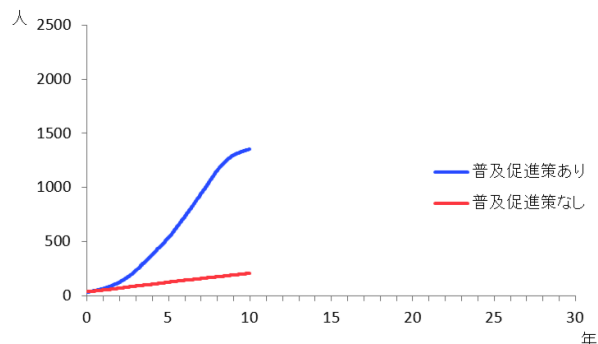


図 1 シミュレーション結果

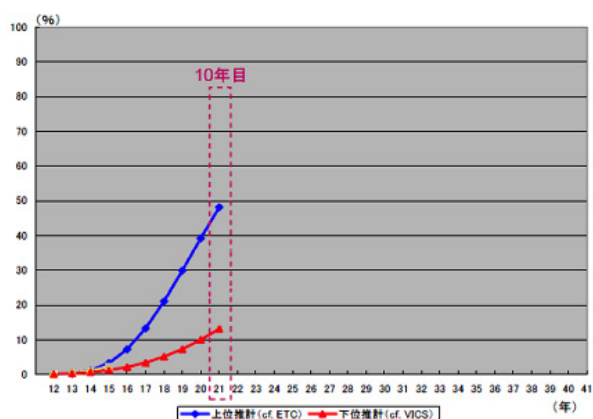
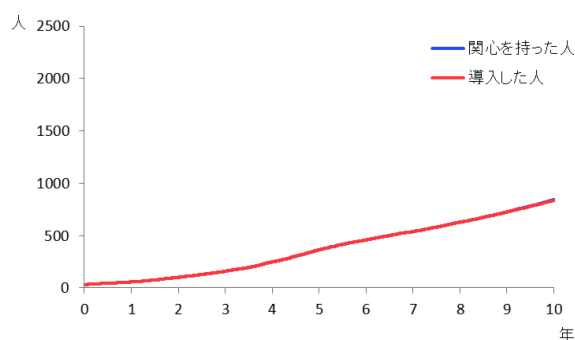


図 2 総務省の ITS 普及予測

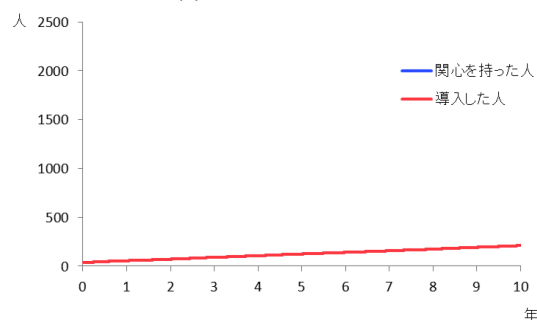
5. 2 シミュレーション条件の変更

本論文の目的である、安全 ITS の普及のための支配要因を見いだすために、パラメータを変更してシミュレーションを実施した。変更したパラメータは宣伝間隔、宣伝量、初期配布の形態である。以下にそれぞれの結果を示す。

(1) 宣伝間隔：間隔を 30 と 180 にした結果を図 3 に示す。この時、宣伝量は共通 (0.8) である。



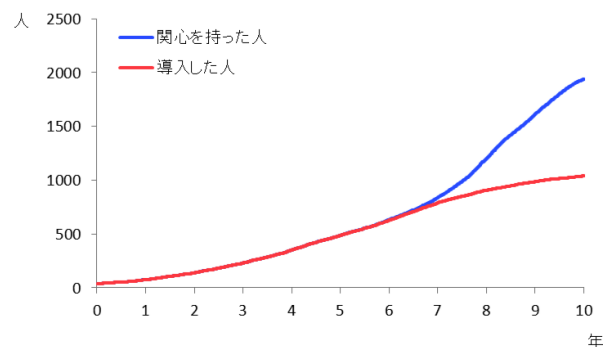
(a) 宣伝間隔 30



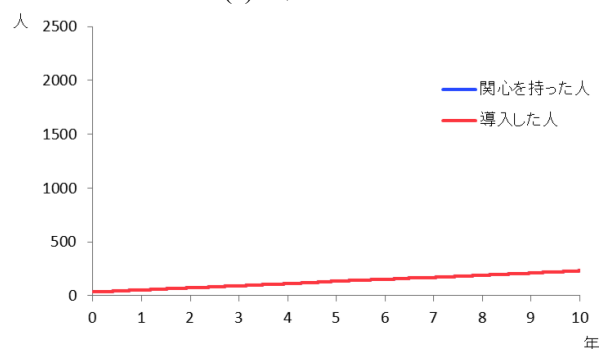
(b) 宣伝間隔 180

図 4 宣伝間隔を変化させたときの結果

(2) 宣伝量：宣伝量を 0.9 と 0.7 としたときのシミュレーション結果を図 4 に示す。ここで宣伝間隔はともに共通 (14) である。



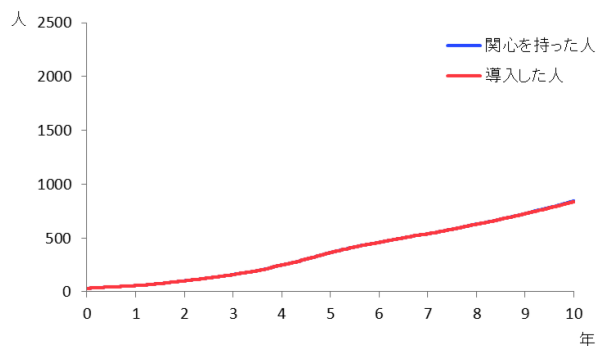
(a) 宣伝量 0.9



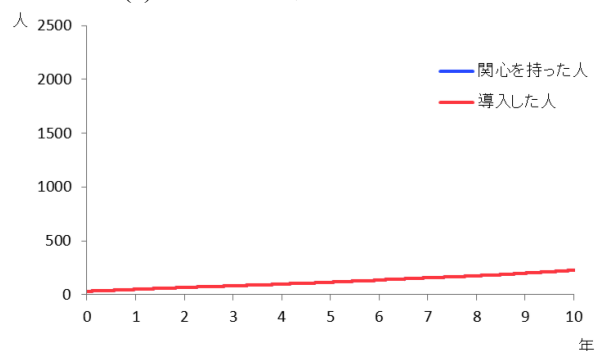
(b) 宣伝量 0.7

図 4 宣伝量を変化させた時の結果

(3) 宣伝量と宣伝間隔を同時変化させた結果：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。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。この結果を図5に示す。



(a) 宣伝量 0.9, 宣伝間隔 30



(b) 宣伝量 0.7, 宣伝間隔 7

図5 宣伝量と間隔を同時に変化させた結果

(4) 初期配布の有無とその形態：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。その結果、車載器導入人数は表3のようになった。この時、宣伝量は0.8, 宣伝間隔は14とした。

表3 初期配布と車載器導入人数

	50	150	250
ランダム配布	548	873	1018
集中配布	515	852	1037

5.3 シミュレーション結果からの考察

シミュレーションの結果から以下のことが考察できる。

(a) 図3から、宣伝間隔が長くなるにつれて車載器導入人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、

減衰係数 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。ここで注目すべきは図1の「普及施策無し」の結果と、図3の(b)つまり宣伝間隔が180の結果である。10年後の車載器導入者数は、前者は206であり、後者は210である。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。

(b) 図4から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4の(b)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。

(c) 図5からは以下のようなことが考察される。図5では宣伝量、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の影響力が小さく、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。宣伝間隔と宣伝量と減衰定数から、各宣伝期間の最終段階での宣伝の効果 P を計算すると以下ようになる。

(i) 宣伝量 0.9, 宣伝間隔 30 : $P=0.686$

(ii) 宣伝量 0.7, 宣伝間隔 7 : $P=0.657$

(i)と(ii)は宣伝効果としてはほとんど変わらないが、最終的な結果としての車載器搭載車数から見ると、大きな差がでている。このことから、宣伝間隔がある程度短ければ、消費者への影響力は、間隔の短さよりも宣伝量に大きく左右されることがわかる。

(d) 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3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方が導入者数が多いことがわかる。これは、ランダム配布の方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。逆に集中配布した場合には、一部分に固まりすぎってしまうため、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結果が出たが、これ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。

5. 4 ネットワーク外部性についての考察

最後に、本論文のモデルにおける外部性について述べる。図 6 はネットワーク外部性と普及率を示したグラフである。

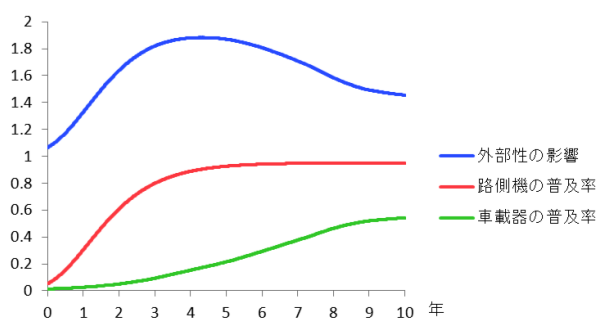


図 6 車載器・路側器の普及率と外部性の影響

図 6 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。これは先に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 6 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 6 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ことが想定できる。

6 普及のための施策の提言

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以下の知見が得られた。

(1) 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。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。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。

- (2) 初期の施策はもちろん、上で述べたように、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。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。
- (3) 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。しかし例えば、集中して配布した場所が関東や京阪神あるいは中部地区などの大都市圏であれば、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ことも考えられる。そのためには、たとえば、人口密度を考慮したシミュレーションが必要となる。これは今後の課題の一つである。

参考文献

- [1] 山影進, “人工社会構築 – artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門 改訂新版”, 書籍工房早山, 2008
- [2] 神尾寿, “自動車 ITS 革命!”, ダイヤモンド社, 2004
- [3] 国土交通省, “ITS とは?”, 国土交通省ホームページ, <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/h-html/whatsITS>
- [4] Katz, M.L., and Shapiro, C., Network Externalities, Competition and Compatibility,” *American Economic Review*, **75**(3), pp.242-440, 1985
- [5] 神崎進, “消費者の心理と行動・リスク知覚とマーケティング対応・”, 中央経済社, 1997