

# コンジョイント分析を用いた交通安全対策としての走行支援道路システム導入の経済評価\*

## Economic Evaluation of AHS to Reduce Traffic Accidents with Conjoint Analysis\*

武藤慎一<sup>\*1</sup>・橋田将季<sup>\*2</sup>・高木朗義<sup>\*3</sup>・秋山孝正<sup>\*3</sup>

By Shinichi MUTO<sup>\*1</sup>, Masaki HASHIDA<sup>\*2</sup>, Akiyoshi TAKAGI<sup>\*3</sup> and Takamasa AKIYAMA<sup>\*3</sup>

### 1. はじめに

これまで、様々な交通安全対策が実施されてきているが、依然として交通事故は大きな社会問題となっている。このような状況の中、国土交通省では、近年、急速に発展してきた高度情報技術を利用した走行支援道路システム(AHS)と呼ばれる交通安全対策の導入を検討している<sup>1)</sup>。AHSとは、道路や自動車上のセンサーから収集した道路情報や交通情報を運転者に提供したり、あるいは直接自動車走行の制御を行ったりすることによって、自動車の走行支援を行うことを目的とする。AHSの導入により、交通事故被害が軽減するとともに、危険感や不安感の軽減といった心理面での効果が生まれることも期待されている<sup>2)</sup>。しかし、心理面での効果は、一般には市場が存在しないため、その評価には困難を伴う。

これに対し、筆者ら<sup>3),4)</sup>は、コンジョイント分析を適用し、心理的效果を含むAHS導入効果の評価を行ってきた。しかし、そこで適用した効用関数は線形であったため、複数のAHSを導入した場合の相乗的な効果あるいは相殺的な効果といったものが評価できないとの問題が残されていた。また、いくつかあるAHSにおいて、それらが実際の交通事故抑制に果たす効果には違いがあるにも関わらず、そのようなAHS間の属性の違いが十分考慮できていなかった。本研究では、これまで既往研究でのコンジョイント分析における効用関数に対し、非線形関数を適用することにより、複数AHS導入による相乗的あるいは相殺的な効果の評価を行うことを目的とする。それに加え、既往モデルでは、AHSの導入という事象をダミー変数で扱っていた部分に、各AHSの実際の交通事故抑止効果を反映させることにより、AHS間の属性の違いを考慮しようという試みも行う。なお、以上の拡張を、実際のアンケート結果を用いて分析することにより、現実に整備が進められよう

としているAHSを、実証的な観点から評価することが最終的な目的である。

### 2. 走行支援道路システム(AHS)の概要

AHSは、道路や自動車に取り付けられたセンサーにより、交通事故の原因となる情報を収集して、自動車運転者に提供し注意喚起や警報を与える。さらに、場合によっては、ブレーキやハンドルの操作等、交通事故回避のための操作支援を行うシステムである(図-1)。国土交通省では、AHSを2003年以降順次実用化することを目指しており、実用化にあたっては、次ページの表-1のような7種類のAHSを対象とすることとされている<sup>1)</sup>。

事象/運転者挙動

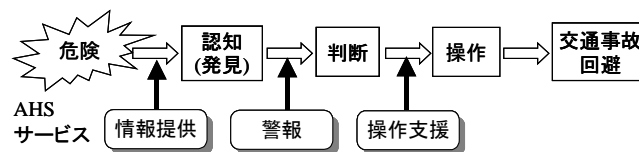


図-1 運転者挙動とAHSサービス

なお、本研究では、アンケート回答者の負担を考え、表-1の7種類のAHSのうち、(1)前方障害物衝突防止、(2)車線逸脱防止、(3)出会い頭衝突防止、(4)横断歩行者衝突防止の4種類のAHSに絞り、コンジョイント分析による支払い意思額の計測を行うこととした。

### 3. コンジョイント分析によるAHS導入の経済評価

#### (1) コンジョイント分析の概要

コンジョイント分析とは、一連の属性によって構成されるプロファイルと呼ばれるカードを回答者に提示してその効用を尋ね、属性別の価値を評価するものである<sup>5)</sup>。交通安全対策としてのAHSの導入効果を評価するにあたり、ここではAHS利用の有無を属性として有する自動車を想定し、その購入についてのアンケート調査を行い、各AHSに対する価値を評価することとした。具体的には、図-2のようなプロファイルを作成した。本プロファイルは、AHS利用の可否と、その導入に必要な負担金によって構成される。回答者には、このようなプロファイルを二種類提示し、そのうちのどちらが望ましいか、ある

\*キーワード: 整備効果計測法, 相乗効果・相殺効果, AHS

\*1 正会員 博(工) 大阪工業大学工学部都市デザイン工学科 (大阪市旭区大宮 5-16-1, TEL: 06-6954-4203,

FAX: 06-6957-2131, E-Mail: muto@civil.oit.ac.jp)

\*2 学生員 岐阜大学大学院工学研究科土木工学専攻

\*3 正会員 工博 岐阜大学工学部社会基盤工学科

(岐阜市柳戸 1-1, TEL: 058-293-2445, FAX: 058-230-1248)

表-1 7種類の AHS の概要

AHSサービス名	対象地点	機能・役割		効果
		道路インフラ→車両	車両→運転者	
前方障害物衝突防止	カーブ等見通し不良地点	故障車・落下物等の障害物の検知, 車両への伝達.	情報提供, 警報(注意喚起), 減速等の操作支援	障害物への追突事故の削減
カーブ進入危険防止	カーブ手前	カーブまでの距離, カーブ形状の車両への伝達	情報提供, 警報(注意喚起), 減速等の操作支援	カーブでのすれ違い衝突, 車線逸脱事故の削減
車線逸脱防止	直線道路	レーンマーカ等を用いた車線内横位置情報の提供	車線逸脱の可能性のある際に, 警報, 操作支援を行う	直線のすれ違い衝突, 車線逸脱事故の削減
出会い頭衝突防止	交差点	交差点までの距離情報を車両へ伝達	情報提供, 警報(注意喚起)	出会い頭事故の削減
右折衝突防止	交差点	対向車両の位置, スピードの検知, 右折車両への情報伝達	情報提供	右折時衝突事故の削減
横断歩道歩行者衝突防止	交差点	横断歩道上の歩行者を検知, 右左折車両への伝達	情報提供	横断歩行者事故の削減
路面情報活用車間保持等		路面状況(凍結, 水膜, 積雪等)の検知, 車両への伝達	情報提供, 警報(注意喚起)	追突事故の削減

いはどちらも望ましくないかを尋ねる。

図-2の例のとおり, AHS 導入に対しての負担金は, 自動車購入時に車体価格に上乗せして支払われるものとした。よって, 本分析から得られる支払い意思額は, 対象を自動車購入者すなわち自動車運転者としていると言える。なお, 実際のアンケートでは, 一つの AHS に対する負担金が, 15~55 万円/台程度となるようにアンケート設計を行っている。

コンジョイント分析において支払い意思額を導出するためには, まずプロフィールの選択確率を定式化する必要がある。それには, ロジットモデルが用いられるのが一般的である。すなわち, プロファイル A の選択確率は以下のように表される。

$$P_A = \frac{\exp(\theta V_A)}{\exp(\theta V_A) + \exp(\theta V_B)} \quad (1.a)$$

$$V_j = V_j [h^k(x_k), Z_j] \quad (1.b)$$

ただし,  $P_A$ : プロファイル A の選択確率,  $V_j$ : プロファイル j (j=A, B) を選択したときの効用,  $h^k(\cdot)$ : AHS k の導入による交通事故削減効果を 0~1 に基準化して表したもの,  $x_k$ : AHS k の導入の有無を表すダミー変数(導入あり:  $x_k = 1$ , 導入なし:  $x_k = 0$ ),  $Z_j$ : プロファイル j の負担金,  $\theta$ : ロジットパラメータ( $\theta=1$ )。

式(1.b)中の  $h^k(\cdot)$  は, 既存モデルでは AHS 導入ダミー  $x_k$  で表現されていた AHS 導入の影響を, 実際の交通事故削減効果の違いとして考慮するために, 本モデルで新たに導入したものである。

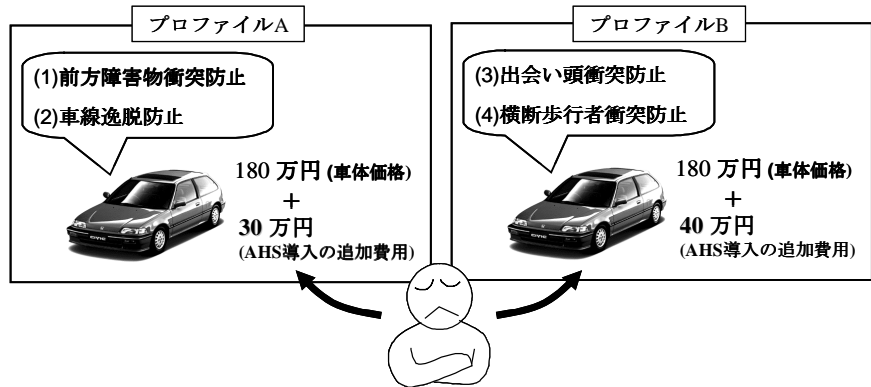


図-2 本研究で用いたプロフィール【例】

支払い意思額は, 式(1.b)の効用関数を展開することにより求められる。すなわち, 効用関数  $V_j$  の両辺を全微分すると,

$$\sum_k \frac{\partial V_j}{\partial h} \frac{\partial h^k}{\partial x_k} dx_k + \frac{\partial V_j}{\partial Z_j} dZ_j = dV_j \quad (2.a)$$

となる。本式において, 効用水準を固定( $dV_j = 0$ )し, さらに導入対象とする AHS k 以外の AHS 導入ダミー  $x_l$  も固定( $dx_l = 0, l \neq k$ )とすると,

$$\frac{\partial V_j}{\partial h} \frac{\partial h^k}{\partial x_k} dx_k + \frac{\partial V_j}{\partial Z_j} dZ_j = 0 \quad (2.b)$$

が得られる。これを整理することにより, 限界支払い意思額(MWTP: Marginal Willingness to Pay)が求められる。

$$MWTP_k = \frac{dZ_j}{dx_k} = - \left( \frac{\partial V_j}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial x_k} \right) / \frac{\partial V_j}{\partial Z_j} \quad (2.c)$$

これに対し, 複数の AHS が導入された場合の支払い意思額は, 通常の補償的偏差 CV を導出する方法に基づき求めることが可能である。すなわち,

$$V_j [h(x_k = 0), Z_j] = V_j [h(x_k, x_l = 1), (Z_j + WTP)] \quad (3)$$

に基づき WTP 値を導出すればよい。なお, 式(3)に

よる定義も、単一 AHS のみを対象とする際には、式(2.c)と一致することには注意されたい。

式(3)の左辺は、何も AHS が導入されていない状況として、全 AHS に対し  $x_k = 0$  を代入した場合の効用水準を表す。右辺には、AHS  $k$  と  $l$  を導入するとして、 $x_k, x_l$  に  $1$  を代入する。さらに、右辺の負担金  $Z_j$  に対し追加的な負担  $WTP$  を加えており、これが AHS 導入に対する支払い意思額と解釈できる。

## (2) 効用関数の特定化

ここでは、既往研究で用いてきた線形効用関数の特定化をまず行った後、非線形効用関数の特定化について示す。なお、非線形化関数には、CES 型とファジィ積分型を適用した。さらに、ファジィ積分には、菅野積分とシヨケ積分の二種類の適用を行った。

### 線形効用関数

線形関数は、操作性に優れているために、これまでのコンジョイント分析でも多く用いられてきたようである。線形効用関数は、以下のように表される。

$$V_j = \sum_k \alpha_k h^k(x_k) + \beta Z_j \quad (4)$$

ただし、 $\alpha_k, \beta$  : アンケート結果から推定されるパラメータ。

線形効用関数を仮定した場合、AHS 導入に対する限界支払い意思額  $WTP_{(L)}$  は、以下のように求められる。

$$WTP_{(L)} = -\frac{1}{\beta} \sum_k \alpha_k h^k \quad (5)$$

ただし、ここでの  $k$  は導入対象とした AHS を表す。また、 $h_k$  : AHS  $k$  の導入による交通事故削減効果を  $0 \sim 1$  に基準化した数値。

既往研究で用いた線形効用関数であるが、当該関数を用いた場合、既に述べたように複数の AHS を導入した際の評価が適切になされないとの問題が存在する。例えば、横断歩行者衝突防止と出会い頭衝突防止とを同時に導入した場合、両者を別々に導入した場合以上の相乗的な効果が発現するかもしれない。また、逆に、両者の導入は互いに効果を打ち消し合い、相殺的な効果となる可能性もある。いずれにしても、線形効用関数を用いた場合には、そのような相乗的な効果あるいは相殺的な効果を計測することができないのである。このような効果を把握することは、実際に AHS を導入していく段階で、非常に重要となると考えられる。

そこで、本論文では、相乗的な効果あるいは相殺的な効果が把握可能な非線形効用関数の適用も試みることにする。用いた非線形関数は、CES 型とファジィ積分型である。

## CES 型効用関数

CES 型効用関数は以下のように表される<sup>6)</sup>。

$$V_j = \left[ \sum_k \alpha_k^{\frac{1}{\rho}} h^k(x_k)^{-\rho} \right]^{-\frac{1}{\rho}} + \beta^{\frac{1}{\rho}} Z_j \quad (6)$$

ただし、 $\alpha_k^{\frac{1}{\rho}}, \beta^{\frac{1}{\rho}}$  : 関数形を CES 型とすることによって、改めて推定が必要となるパラメータ、 $\rho$  : 代替の弾力性を表すパラメータ。

式(6)では、AHS の導入に関わる部分のみを非線形化しており、支払い意思額を表す  $Z_j$  は線形のままとしている。CES 型関数を特徴づける  $\rho$  は、各 AHS 間の弾力性を規定するパラメータである。なお、 $\rho = -1$  のとき、線形関数と一致する。また、 $\rho > -1$  のとき相乗的な効果が現れ、 $\rho < -1$  のとき相殺的な効果が現れる。

CES 型効用関数を仮定した場合には、AHS 導入に対する支払い意思額  $WTP_{(N-L)}$  は以下のとおりに求められる。

$$WTP_{(N-L)} = -\frac{1}{\beta^{\frac{1}{\rho}}} \left[ \sum_k \alpha_k^{\frac{1}{\rho}} h_k^{-\rho} \right]^{\frac{1}{\rho}} \quad (7)$$

ここでも、 $k$  は導入対象とした AHS を表す。

### ファジィ積分型効用関数<菅野積分>

ファジィ積分とは、いくつかの評価項目を挙げて、それらの重要度を一対比較等に基づき比較した上で、その総合評価値を決定するものである。その際、各項目間の相乗的な効果や相殺的な効果も計測可能とされている。ここでは、通常ファジィ積分における総合評価値を効用とみなすことにより、複数の AHS 導入に伴う相乗的な効果あるいは相殺的な効果の計測を試みる。ファジィ積分には、現在いくつかのタイプが提案されているが、ここでは菅野積分とシヨケ積分を適用することとした。

菅野積分は、まず線形効用関数における AHS に対する重みパラメータ  $\alpha_k$  を単調性の条件のみを有するファジィ測度  $g$  によって表す。AHS を  $x_1$  から  $x_k$  まで導入した場合のファジィ測度は以下のように表される<sup>7)</sup>。

$$g_{\lambda} \left( \bigcup_{k=1}^n x_k \right) = \frac{1}{\lambda} \left[ \prod_{k=1}^n \{1 + \lambda g(x_k)\} - 1 \right] \quad (8)$$

ただし、 $\lambda$  : 複数の AHS 間の加法性を規定するパラメータ。 $\lambda > 0$  : 優加法性(相乗的)、 $\lambda = 0$  : 加法性、 $\lambda < 0$  : 劣加法性(相殺的)。

式(8)のファジィ測度  $g$  を用いて、菅野積分型効用関数は以下のように表される。

$$V_j = \bigvee_k [h(x_k) \wedge g_{\lambda}(x_k)] + \beta^{\frac{1}{\rho}} Z_j \quad (9)$$

ただし、 $X_k = \{x_1, \dots, x_k\}$ ,  $\wedge, \vee$  : それぞれ最大値、最

小値,  $h^k(x_k)$  は  $0 \leq h^1(x_1) \leq h^2(x_2) \leq \dots \leq h^k(x_k) \leq \dots \leq 1$  の関係を満たすものとする。

以上の菅野積分では,  $g, \lambda$  および  $\beta^2$  が未知パラメータであり, これらがアンケート結果から推定される。なお, 支払い意思額  $WTP_{(FI-S)}$  は, 以下のように求められる。

$$WTP_{(FI-S)} = -\frac{1}{\beta^2} \cdot \int_k [h^k(x_k) \wedge g_\lambda(X_k)] \quad (10)$$

ここでも,  $k$  は導入対象とした AHS である。

### ファジィ積分型効用関数<ショケ(Choquet)積分>

ショケ積分は, 菅野積分と似た形をしている。ショケ積分を用いた効用関数は, 以下のように表される<sup>8)</sup>。

$$V_j = \int g_\lambda(X_k) dh + \beta^3 Z_j \quad (11)$$

$g_\lambda$  は, 菅野積分で求めたものと同じである。

ショケ積分を仮定した場合には, 支払い意思額  $WTP_{(FI-C)}$  は以下のように表される。

$$WTP_{(FI-S)} = -\frac{1}{\beta^3} \cdot \int g_\lambda(X_k) dh \quad (12)$$

ここでも,  $k$  は導入対象とした AHS である。

### (3) 支払い意思額の計測結果

続いて, 前項で特定化した関数形ごとに支払い意思額の計測結果を示す。なお, 支払い意思額の計測にあたり実施したアンケートは, 平成 13 年 12 月に岐阜大学の学生 155 名に対し行ったものである。図-2 に示したプロフィールを, 一人 10 とお選びしてもらった。その結果, 有効回答が 1,221 サンプル(有効回答率 78.8%)得られた。

また, 本研究で新たにモデル化した, AHS 導入による交通事故削減効果を表す  $h^k$  は, 次のようにして求めた。まず, 交通事故削減効果は, AHS の導入に伴う交通事故被害費用の減少額と定義した。そこで, 現状での交通事故被害費用の推計を行う。その推計は, 「交通事故統計年報」を用いて, AHS が削減対象とする交通事故類型ごとに, 現状の交通事故発生状況を分類し, 交通事故被害費用の原単位を乗じることにより行った。その上で, AHS 導入に伴い交通事故件数が 25%削減されると仮定し, 交通事故軽減

表-2 交通事故軽減効果の算定結果

交通事故軽減効果	
前方障害物 ( $h_1$ )	0.211
車線逸脱 ( $h_2$ )	0.044
出会い頭 ( $h_3$ )	0.624
横断歩行者 ( $h_4$ )	0.120

効果を算定した。さらに, 得られた AHS ごとの交通事故削減効果を, 0~1 の値に基準化を行い  $h^k$  とした。その結果を, 表-2 に示す。

### 線形効用関数

得られたアンケート結果を用いて, 式(4)の線形効用関数のパラメータ推定を行った結果が表-3 である。

表-3 パラメータ推定結果(線形)

	推定結果
$\alpha_1$	1.612 (9.938)
$\alpha_2$	0.605 (0.502)
$\alpha_3$	0.622 (4.812)
$\alpha_4$	5.003 (9.603)
$\beta$	-0.016 (-4.116)
( )内 t 値	
的中率	58.0%
尤度比	0.0957

また, 得られた

パラメータを用いて単一の AHS 導入に対する支払い意思額を算出したものが図-3 である。この結果を見ると, ④横断歩行者衝突防止への支払い意思額が 38.3[万円/台]と突出している。次いで, ③出会い頭衝突防止, ①前方障害物衝突防止の順となっている。また, ②車線逸脱防止に対する支払い意思額は最も低く, その額も他に比べ非常に小さくなっている。

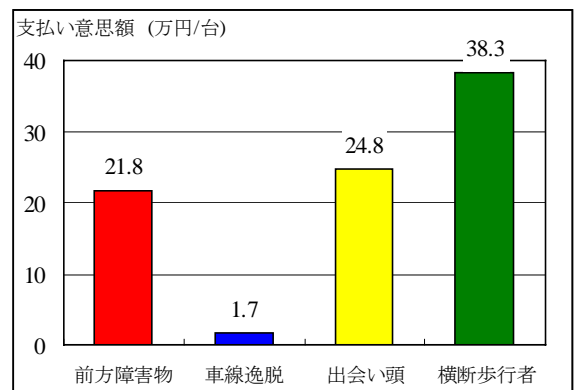


図-3 単一 AHS 導入への支払い意思額 (線形)

### CES 型効用関数

CES 型効用関数を用いた場合のパラメータ推定結果を表-4 に示す。ここでも, パラメータ推定には, 最尤推定法を用いた。推定された代替の弾力性を表すパラメータ  $\rho$  より, 複数の AHS の導入に対しては, 相乗的な効果が得られることがわかる。

得られたパラメータを用いて, 単一の AHS に対する支払い意思額を導出したものが図-4 である。この結果を, 線形効用関数による結果と比較すると, 前方障害物衝突防止と横断歩行者衝突防止は, 若干数値に違いが見られるものの, 全体的には似たような結果が得られている。

続いて, 二種類の AHS を同時に導入した際の支払い意思額の計測結果を示す(図-5)。図-5 において, 塗りつぶしたものが, CES 型関数を用いて導出した結果である。また, 斜線で示したものは, 単一の AHS 導入に対する結果を基に, その単純和によって二種類の AHS 導入への支払い意思額を比較のために算

表-4 パラメータ推定結果(CES 型)

	推定結果
$\alpha_1$	1.612 (12.460)
$\alpha_2$	0.609 (0.339)
$\alpha_3$	0.643 (4.462)
$\alpha_4$	5.031 (35.258)
$\beta$	-0.016 (-0.639)
$\rho$	-0.927 (-9.998)
)内 t 値	
的中率	51.6%
尤度比	0.0719

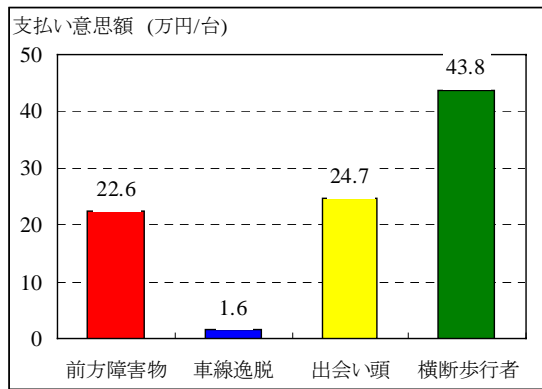


図-4 単一 AHS 導入への支払い意思額 (CES 型)

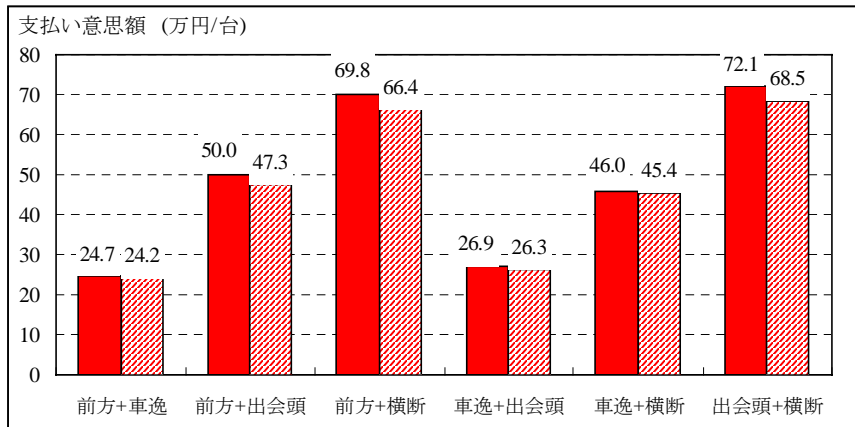


図-5 複数 AHS 導入への支払い意思額 (CES 型)

表-5 パラメータ推定結果(菅野積分)

$g_1$	0.343
$g_2$	0.028
$g_3$	0.391
$g_4$	0.602
$\beta$	-0.013
$\lambda$	-0.033
的中率	52.4%
尤度比	0.0417

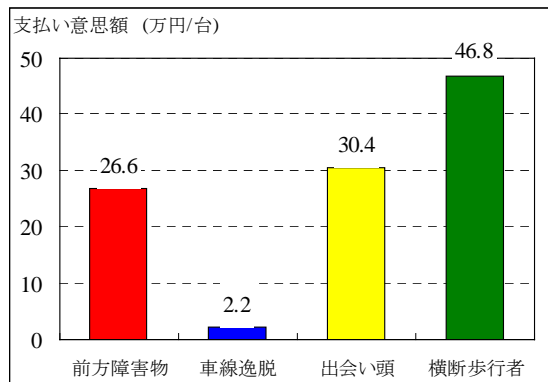


図-6 単一 AHS 導入への支払い意思額 (菅野積分)

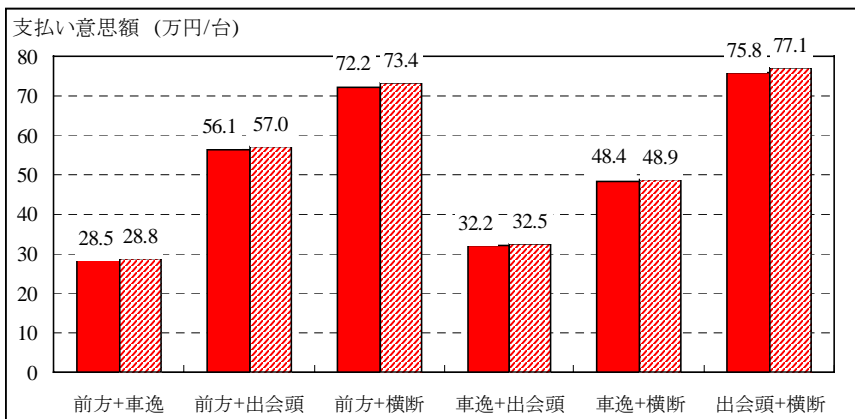


図-7 複数 AHS 導入への支払い意思額 (菅野積分)

出したものである。この結果から、二種類の AHS 導入においては、単一の AHS 導入によって得られた効果の単純和以上に相乗的な効果が生じることがわかる。

図-5 より、単一の AHS の導入効果が小さい車線逸脱は、それを含んだ複数 AHS の導入における相乗効果の量も、1 万円未満と小さい。一方、前方障害物、出会い頭衝突、横断歩行者については、いずれの組合せにおいても、3~4 万円ほどの相乗効果が生まれている。

### ファジィ積分型効用関数<菅野積分>

続いて、菅野積分を用いた結果を示す。菅野積分型効用関数のパラメータも、最尤推定法に基づき推定した。その結果が表-5 である。得られたパラメータから支払い意思額を求めた結果、単一の AHS 導入に対する支払い意思額は、図-6 の結果となった。線形効用関数との結果と比較すると、支払い意思額の絶対額は菅野積分によるものの方が若干高めであるものの、評価の順位を含めた相対的な関係は同じ傾向にあることがわかる。

続いて、菅野積分を用いて、二種類の AHS を導入した場合の支払い意思額計測結果を示す(図-7)。本図の凡例の意味は、図-5 の CES 型関数と同様である。この結果を見ると、菅野積分を用いた場合には、二種類

の AHS 導入に対しては、相殺的な効果が現れていることがわかる。しかし、相殺されて減少する効果量は、それほど大きくはなく、0.3~1.3 万円程度である。

### ファジィ積分型効用関数 <ショケ積分>

最後に、ショケ積分による結果を示す。ショケ積分型効用関数も、最尤推定法によりパラメータ推定を行った。その結果を、表-6 に示す。そして、得られたパラメータを用いて、ショケ積分値を求め、式(12)に示す支払い意思額を算出した。なお、ショケ積分値を実際に計算するにあたっては、ファジィ測度に対して評価値を積み上げて作られる長方形の面積として計算される<sup>9),10)</sup>。

ショケ積分を用いた支払い意思額の計測結果は、図-9, 10 のとおりである。図-9 が、単一 AHS の導入に対する支払い意思額の計測結果、図-10 が二種類の AHS 導入に対する支払い意思額の計測結果である。この結果を見ると、ショケ積分によるものも菅野積分によるものと同様、二種類の AHS 導入に対しては、相殺的な効果を有することがわかる。なお、その相殺による効果の減少量は 0~1.8 万円と、菅野積分と比べ若干幅が広がっている。

## 4. AHS 導入の社会経済的評価

続いて、前章で得られた AHS 導入に対する支払い意思額の計測結果に基づき、AHS 導入の社会的評価を試みる。また、その結果を 1)線形関数、2)CES 型関数、3)菅野積分、4)ショケ積分の 4 種類の関数形について比較することにより、関数形の違いが結果に与えた影響を明らかにする。

まず、前章の結果から日本全国を対象とした年間総支払い意思額を導出する。その方法は、まず本プロファイルにおいて購入すると想定した自動車について、その使用期間を 7 年間と仮定する。そして、社会的割引率を 4%として年間支払い意思額への換算を行った。それが、一台あたりの年間支払い意思

表-6 パラメータ推定結果(ショケ積分)

$g_1$	0.343
$g_2$	0.028
$g_3$	0.391
$g_4$	0.602
$\beta$	-0.029
$\lambda$	-0.149
的中率	55.7%
尤度比	0.0720

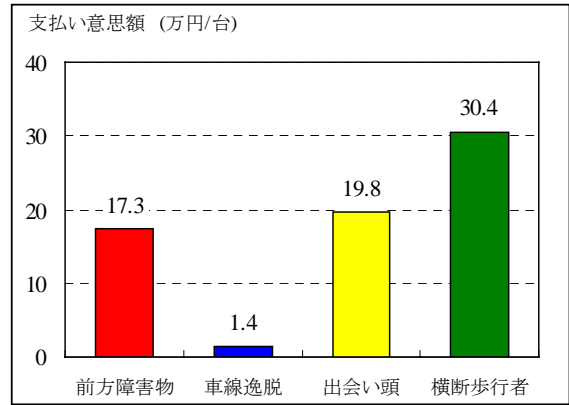


図-9 単一 AHS 導入への支払い意思額(ショケ積分)

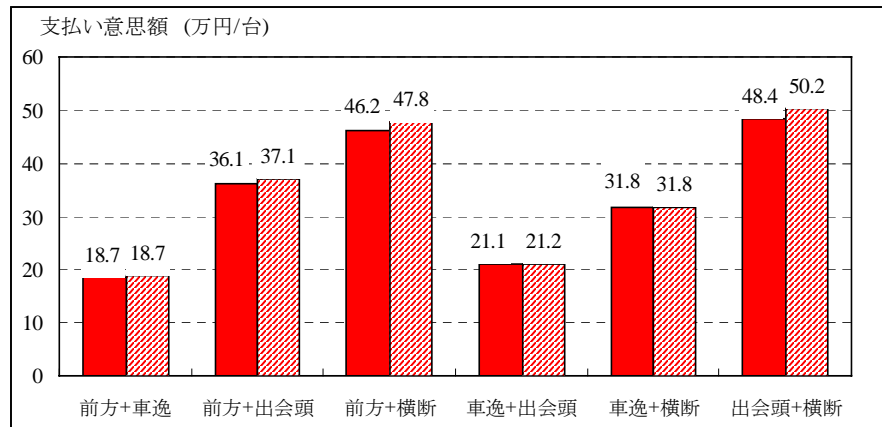


図-10 複数 AHS 導入への支払い意思額(ショケ積分)

額となる。その額に全国の自動車保有台数<sup>12)</sup>を乗じることにより、日本全国での総支払い意思額が導出可能となる。

こうして導出した日本全国の年間総支払い意思額について、単一の AHS 導入効果の結果を、各関数についてまとめて示したものが図-11 である。また、図-12 には、二種類の AHS 導入効果の結果について示した。

この結果から、まず単一の AHS 導入に伴う年間の総便益額は、最も大きい横断歩行者衝突防止で、4 兆円から 5.5 兆円程度であり、前方障害物、出会い頭衝突防止は、2 兆円から 3.5 兆円程度となっている。また、関数形ごとの比較という観点から見ると、菅野積分による結果が最も大きく、ショケ積分による結果が最も小さくなっている。そして、それらの数値のほぼ中間に、同程度の値で、線形と CES 型が位置している。

また、二種類の AHS 導入に伴う年間総支払い意思額の計測結果は、CES 型関数によるものは相乗的效果が生じる結果となり、ファジィ積分によるものは、菅野積分、ショケ積分ともに相殺的效果になるという結果であった。このように、両関数形において反する結果が得られた理由は、慎重に検討する必要が

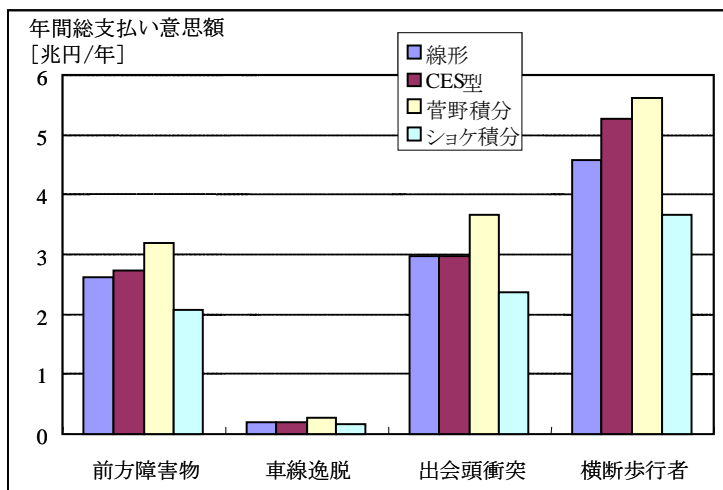


図-11 単一 AHS 導入に伴う年間総支払い意思額計測結果

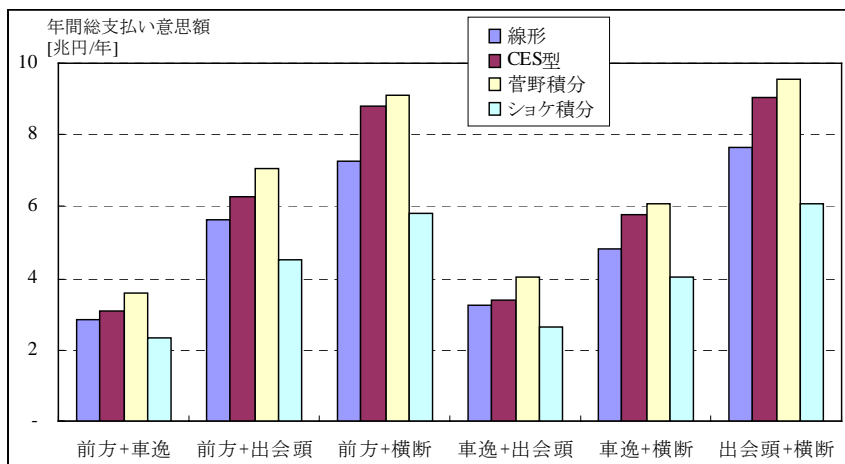


図-12 二種類の AHS 導入に伴う年間総支払い意思額の計測結果

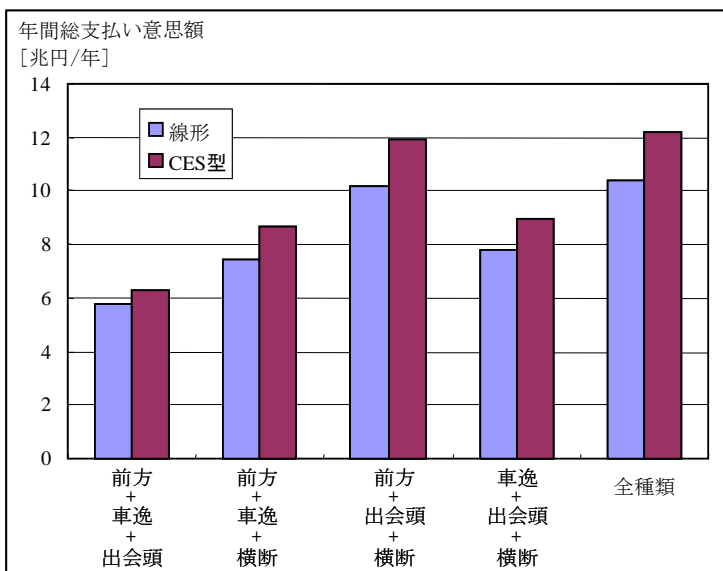


図-13 二種類以上の AHS 導入に伴う年間総支払い意思額の計測結果

あるが、ファジィ積分では、ファジィ測度の説明で触れたように、直接的に相乗的か相殺的かが導出される。一方、CES 型関数は、代替弾力性  $\rho$  が間接的に効いているあたりに違いがあるのではないかと考えられる。いずれにしても、詳細な分析については今後の課題としたい。

## 5. おわりに

本研究では、最新の高度情報技術を利用して交通安全対策を図る走行支援道路システム(AHS)について、その導入効果を経済的に評価した。そこでは、AHS の導入がもたらす心理面での効果の計測も行うことを目的に、コンジョイント分析による評価を

なお、図-12 の二種類の AHS 導入効果の結果において、菅野積分が相殺的效果を発揮しているにも関わらず、その値が最も大きくなっているのは、菅野積分の単一 AHS 導入効果が最も大きかったためである(図-11 参照)。相殺効果以上に、元の数値が大きかったものと考えられる。一方、ショケ積分は、単一 AHS 導入効果が最も小さい上に、相殺的な効果も生じるため、図-12 の結果では非常に低い値となっている。例えば、横断歩行者衝突防止を見ると、前方障害物衝突防止や出会う頭衝突防止との導入においては、CES 型関数による結果と比較すると、約 4 兆円弱の開きがある。この意味では、複数の AHS 導入においては、発現する効果を正確に見極め、導入を慎重に検討する必要があることが明らかとなったと言える。

続いて、図-13 には、参考までに二種類以上の AHS を同時に導入した際の年間総支払い意思額の計測結果を示す。ここでは、アンケートの設計上、ファジィ積分については、それらの評価ができなかったため、ここでは、線形関数と CES 型関数の結果を示す。本研究で取り上げた 4 種類の AHS すべてを導入した場合には、年間 10 兆円から 12 兆円程度の効果が生じる結果となった。なお、CES 型関数による結果では、相乗的な効果も加わっている点には注意が必要である。

行った。特に、筆者らの既往研究で適用したコンジョイント分析での効用関数に対し、非線形関数の適用を行っている点と、AHS間の属性の違いとして実際の交通事故の削減効果の違いを評価の中に取り入れた点が成果である。

非線形効用関数としては、CES型、菅野積分、シヨケ積分の3種類の関数形を用いて分析を行い、2種類のAHSを同時に導入した際に、相乗的な効果が得られるのか、あるいは相殺的な効果となってしまうのかを実証的に明らかとした。その結果、CES型効用関数を用いた分析では、相乗的な効果が発現することがわかり、菅野積分、シヨケ積分を用いた分析では、相殺的な効果となる結果となった。このような結果の違いが何故生じたのかは、今後検討していく必要があるが、ここでは、これまで線形関数のみで評価を行ってきた点に対し、特に複数のAHSの導入において、どの程度の幅で便益が変動しそうであるのかを明らかとできた点で、新たな知見を与えられたと考えている。

今後は、CES型とファジィ積分との間で、逆の結果となった点について、詳細に検討することがまず必要な課題と言える。また、今回は、4種類のAHSについてのみ評価を行ったが、他のAHSについても、どの程度の効果が期待できるのかを明らかにすることが、近い将来普及するであろうAHSにおいて重要な点となると考えられる。

## 謝辞

本研究は、土木学会・土木計画学研究小委員会「ITS社会に向けた交通事故分析」における研究課題「経済評価に基づく交通安全対策の組み合わせ最適化についての研究(代表：秋山孝正)」の研究成果の一部である。本研究に関して、ご意見をいただいた研究小委員会の各委員に感謝の意を表する次第である。

## 参考文献

- 1) 国土交通省道路局 ITS ホームページ：  
<http://www.its.go.jp/ITS/j-html/ahs/20010607-4.html>.
- 2) 川崎茂信・横地和彦(2001)：「走行支援システムの実証実験」『交通工学』Vol.36, No.6, 交通工学研究会, pp.23-29.
- 3) 橋田将季・武藤慎一・秋山孝正・高木朗義(2002)：心理的効果に着目した走行支援道路システム導入の経済評価, 第22回交通工学研究発表会論文報告集, pp.105-108.
- 4) 武藤慎一・秋山孝正・高木朗義(2002)：心理的効果を考慮した走行支援道路システム整備の経済評価, 交通学研究/2002年研究年報, pp.191-200.
- 5) 大野栄治(2000)：環境経済評価の実務, 勁草書房.
- 6) 土木学会(1995)：非集計行動モデルの理論と実際, 第3章, pp.59-62, 土木学会.
- 7) 菅野道夫, 室伏俊明(1993)：ファジィ測度, 日本ファジィ学会編, 講座ファジィ, 第3巻, 日本工業新聞社.
- 8) 浅居喜代治, C.V.Negoita 編著(1978)：あいまいシステム理論入門, 第7章, pp.135-146, オーム社.
- 10) 中島信之・竹田英二・石井博昭(1994)：ファジィ理論入門, 裳華房.
- 11) 村上周太監修, 九州産学官協力会議編(1992)：ファジィシステム演習問題集, 第5章, pp.87-111, 工業調査会.
- 12) 道路経済研究所・道路交通経済研究会(2001)：道路交通経済要覧, ぎょうせい.

---

## コンジョイント分析を用いた交通安全対策としてのAHS導入の経済評価

武藤慎一・橋田将季・高木朗義・秋山孝正

本研究では、最新の行動情報技術を利用して交通安全対策を図るAHSについて、その導入がもたらす心理面での効果まで含めた計測を行うため、コンジョイント分析を用いた評価を行った。特に、本研究では、これまで用いられてきたコンジョイント分析での効用関数に対し、非線形関数の適用を行うとともに、AHS間の属性の違いとして実際の交通事故削減効果の違いを評価の中に取り入れている。非線形関数としては、CES型、菅野積分、シヨケ積分の3種類適用しており、アンケート調査結果に基づく実証的評価の結果から、複数のAHS導入効果について、CES型関数を用いた分析では相乗的な効果が、一方、ファジィ積分を用いた分析では相殺的な効果が生じることがわかった。そのような異なる結果が得られた理由については、さらに分析を進める必要があるが、実証分析を通じて、AHSの導入便益がどの程度の幅を持って変動しうるのかを明らかとできた点が本研究の成果であると考えられる。

## Economic Evaluation of AHS to Reduce Traffic Accidents with Conjoint Analysis

By Shinichi MUTO, Masaki HASHIDA, Akiyoshi TAKAGI and Takamasa AKIYAMA

This paper provided the economic evaluation of AHS with conjoint analysis, in order to measure not only effect occurring from the reduced traffic accidents but also the impacts given to drivers' mental part. In this study, we applied the non-linear utility functions, CES type, Sugeno fuzzy integral and Choquet fuzzy integral, to the linear utility function in the precious conjoint analysis. From the results of mathematical simulation, we clarified that the onset effects for the introducing two type AHS are gotten by CES type analysis, and the offset effects are obtained by fuzzy integral type analysis. And we expressed the range of AHS introduced benefits through the simulation analysis.

---