

京都大学大学院 学生会員 ○藤原 満教 京都大学大学院 正会員 小林 潔司
株式会社ニュージック 正会員 安野 貴人 京都大学大学院 正会員 秀島 栄三

1. 研究の目的

近年、自動車の安全装置の開発が進展しているがその効果は明らかでない。例えば、エアバッグは補助的に乗員を拘束するためのものであるが、一方でドライバーのオフセット行動を引き起こすことが指摘されている。オフセット行動とは、本来は事故の危険に直面したドライバーの損害を軽減するための安全装置が、かえって運転中における彼らの過度の安心を生み、危険な運転を招くことをいう。結果、より多くの交通事故を誘発するというオフセット効果が生じ、エアバッグ本来の乗員保護効果を完全に相殺する影響力を持つならば、エアバッグの装備は道路交通の安全性向上には結びつかない結果となる。米国ではエアバッグに限らず安全規制の強化の是非が問われ、実証研究の蓄積もある。本研究では、オフセット行動の比較静学分析と、オフセット仮説の検定モデルを提案し、エアバッグと交通事故の生起確率の相関を分析する。

2. オフセット行動の比較静学分析

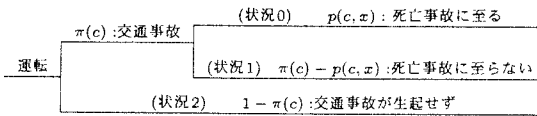


図1 ドライバーの運転と交通事故確率

交通事故という不確実な環境を図のように表現する。ドライバーが運転中、事故に遭う確率をドライバーの危険回避注意水準 c の関数 $\pi(c)$ で表す。また、死亡事故に至る確率を c とエアバッグの質的水準 x の関数 $p(c, x)$ で表す。ただし、 π と p は互いに独立であるとし、 $d\pi/dc \geq 0, d^2\pi/dc^2 \geq 0, \partial p/\partial c \leq 0, \partial p/\partial x \leq 0, \partial^2 p/\partial c^2 \geq 0, \partial^2 p/\partial c \partial x \geq 0$ を仮定する。さらに、ドライバーの危険回避型（等号の場合は危険中立型）を仮定する。このとき互いに排他的な3つの状況が生じうる。状況0, 1, 2が生起する確率 $q_i (i=0, 1, 2)$ はそれぞれ $q_0=p, q_1=\pi-p, q_2=1-\pi$ と表すことができる。状況 $i (i=0, 1, 2)$ がそれぞれ生起した時の富 W_i を次式で表現する。

$W_0=0, W_1=Y-c-rx-L, W_2=Y-c-rx$ (1)
 Y はドライバーの富の保有量、 L はドライバーが運転前に認識する非死亡事故による損害、 r はエアバッグの質的水準あたりの価格である。ただし、状況0が生起した場合（死亡事故に至る）の効用水準を0に規格化している。安全規制によりエアバッグの標準装備が義務づけられ、質的水準が一様な $\bar{x}$ に決められたとする。個々のド

ライバーは期待効用を最大化するように注意水準 c を選択する。期待効用最大化行動は次式で表現できる。

$$\max_c EU(c, x) = \max_c \sum_{i=0}^2 q_i(c, x) U(W_i) \quad (2)$$

次に安全規制の強化によりエアバッグの質的水準 x が向上する場合を考える。 Y, L, r が一定であれば、包絡線定理より、エアバッグの質的水準の上昇がドライバーの危険回避注意水準に及ぼす影響は次式で評価できる。

$$\frac{dc}{dx} = - \frac{\frac{\partial^2 EU(c, x)}{\partial c \partial x}}{\frac{\partial^2 EU(c, x)}{\partial c^2}} \quad (3)$$

右辺が負ならばオフセット行動が生じていることを示す。しかし、式(3)の右辺は具体的に展開しても符号を決定できない。なお、エアバッグの質的水準の向上が π や p に及ぼす影響はそれぞれ次式で評価できる。

$$\frac{d\pi}{dx} = \frac{\partial \pi}{\partial c} \frac{dc}{dx}, \quad \frac{dp}{dx} = \frac{\partial p}{\partial c} \frac{dc}{dx} + \frac{\partial p}{\partial x} \quad (4)$$

しかし、(3)式のオフセット行動の符号が決まらないために、エアバッグの質的水準の向上がそれぞれの確率に及ぼす影響に関しても符号を確定できない。このように、エアバッグがもたらすドライバーのオフセット行動の符号は理論的には確定できず、経験分析に頼らざるをえない。

3. オフセット仮説の検定

ドライバー全体の集合を母集団と考える。ドライバーの属性タイプを互いに排他的な $m+1$ 種類のベクトル $\xi_i = (\delta_i, \xi_{i1}, \dots, \xi_{iJ})' (i=0, 1, \dots, m)$ で表現する。 ξ_i はタイプ i のドライバーの属性を表すベクトルである。 $\delta_i = k (k=0, 1)$ はエアバッグの装備の有無を表す。エアバッグを装備している時を $k=1$ 、そうでない時に $k=0$ が成立すると考える。その他の安全装置の有無 $\xi_{ij} = l_j (l_j=0, 1; j=1, \dots, J)$ についても同様に表現する。ただし、タイプ $(i=0)$ の属性タイプを基準となるタイプ（何一つ安全装置を装備していない）とし

$\xi_0 = (0, \dots, 0)$ と定義する。このようにドライバーを基準タイプ $(i=0)$ とその他のタイプ $(i=1, \dots, m)$ の合計 $m+1$ 通りのタイプに分類する。いま、属性タイプ i に属するドライバーの総数を N_i と表す。また、各タイプに属するドライバーをある対象期間中に交通事故を起こしたグループ g_0 、交通事故を起こさなかったグループ g_1 に分類する。さらに各タイプに属するドライバーの内、交通事故を起こしたドライバー数を n_i^0 、起こさなかったドライバー数を n_i^1 で表す。 $n_i^0 + n_i^1 = N_i$ であ

る。基準となるタイプに属するドライバーに比べ、その他のタイプに属するドライバーの事故確率の方が高い場合、これを安全装置がもたらす事故確率へのオフセット効果と定義する。次に、グループ g_0 をさらに死亡事故を起こしたグループ g_{00} とそうでないグループ g_{01} に細分化する。グループ g_{00} に属するドライバーの数を n_i^{00} 人、グループ g_{01} に属するに属する個人の数を n_i^{01} とする。 $n_i^{00} + n_i^{01} = n_i^0$ である。基準となるタイプに属するドライバーに比べ、その他のタイプに属するドライバーの死亡事故に至る確率の方が高い場合、死亡事故に至る確率に関してオフセット効果は安全装置の乗員保護効果を上回っていると定義する。これらの定義の下に、エアバッグのオフセット仮説に関する仮説検定モデルを多属性ロジットモデルを用いて定式化する。何一つ安全装置をつけない基準ドライバー、少なくとも一つの安全装置をつけているその他のドライバーが事故を起こさない確率はそれぞれ次のように表現できる。

$$P(g_1|\xi_0) = \frac{1}{1 + \exp(\alpha)}, P(g_1|\xi_i) = \frac{1}{1 + \exp(\alpha + \phi_i)} \quad (i = 1, \dots, m) \quad (5)$$

α は基準ドライバーに関する定数パラメーター、 ϕ_i はその他のタイプに属するドライバーに固有のパラメーターである。この時、基準ドライバーよりもその他のタイプに属するドライバーの方が交通事故を起こしやすいという交通事故のオフセット検定仮説は

$$H_0; \phi_i \geq 0 \quad H_1; \phi_i < 0 \quad (6)$$

と定式化できる。また、基準ドライバー、少なくとも一つ安全装置をつけているドライバーが死亡事故に至る確率はそれぞれ次のように表現できる。

$$P(g_{00}|\xi_0) = \frac{\exp(\beta)}{1 + \exp(\beta)}, P(g_{00}|\xi_i) = \frac{\exp(\beta + \psi_i)}{1 + \exp(\beta + \psi_i)} \quad (i = 1, \dots, m) \quad (7)$$

β は基準ドライバーに関する定数パラメーター、 ψ_i はその他のタイプに属するドライバーに固有のパラメーターである。基準ドライバーよりもその他のタイプに属するドライバーの方が死亡事故に至りやすいという死亡事故のオフセット検定仮説は

$$H_0^{00}; \psi_i \geq 0 \quad H_1^{00}; \psi_i < 0 \quad (8)$$

となる。基準ドライバーが交通事故に遭うが死亡しないグループ g_{01} に属する確率は次のように表現できる。

$$P(g_{01}|\xi_0, \theta_0) = \frac{\exp(\alpha) - \exp(\beta)}{\{1 + \exp(\alpha)\}\{1 + \exp(\beta)\}} \quad (9)$$

同様に、タイプ $(i = 1, \dots, m)$ のドライバーがグループ g_{01} に属する確率は次のように表現できる。

$$P(g_{01}|\xi_i, \alpha, \beta, \theta_i) = \frac{\exp(\alpha + \phi_i) - \exp(\beta + \psi_i)}{\{1 + \exp(\alpha + \phi_i)\}\{1 + \exp(\beta + \psi_i)\}} \quad (10)$$

$\theta_0 = (\alpha, \beta)'$ 、 $\theta_i = (\phi_i, \psi_i)'$ とする。グループ g_{00}, g_{01}, g_1 に属する各ドライバー数 $(n_i^{00}, n_i^{01}, n_i^1)$ が観測可能であると仮定すると、尤度関数 L は次式で表現できる。

$$L = \prod_{i=0}^m P(g_{00}|\xi_i, \beta, \theta_i)^{n_i^{00}} P(g_{01}|\xi_i, \alpha, \beta, \theta_i)^{n_i^{01}} P(g_1|\xi_i, \alpha, \theta_i)^{n_i^1} \quad (11)$$

検定モデルを推計する場合、タイプ別の集計データ $(n_i^{00}, n_i^{01}, n_i^1, N_i)$ が必要となるが、現在のところ、属性タイプ別の事故者数 n_i^{00}, n_i^{01} 、エアバッグを装備した車両数 N_A 、及び j 番目の安全装置を装備した車両数 M_j に関する情報しか入手できない。一方、未知数 n_i^1 とこれらの観測値の間には次式が成立する。

$$\sum_{i|k=1} (n_i^{00} + n_i^{01} + n_i^1) = N_A \quad (12)$$

$$\sum_{i|k=0} (n_i^{00} + n_i^{01} + n_i^1) = \sum_{i=0}^m N_i - N_A \quad (13)$$

$$\sum_{i|j=1} (n_i^{00} + n_i^{01} + n_i^1) = M_j \quad (j = 1, \dots, J) \quad (14)$$

ただし、記号 $\sum_{i|k=1}$ はエアバッグを装備している属性タイプのための和をとることを、記号 $\sum_{i|j=1}$ は j 番目の安全装置を装備している属性タイプのための和をとることを表す。最尤推定問題は尤度関数に関する対数尤度関数 $\log L(\theta, n^1)$ を制約条件式(14)~(16)の下で最大にする問題として定式化できる。 $\theta = (\theta'_0, \theta'_1, \dots, \theta'_m)'$ 、 $n^1 = \{n_i^1; (i=0, \dots, m)\}$ である。推計した最尤推定量を $\hat{\theta}$ と表す。また、検定モデルのパラメーターの共分散行列 Σ の推定量は $\hat{\Sigma}(\hat{\theta}) = [-E(H(\hat{\theta}))]^{-1}$ となる。 $H(\hat{\theta})$ は対数尤度関数のヘシアン行列である。仮説 H_0 を対立仮説 H_1 に対して検定するための統計量は $t = \hat{\phi}_i / \sqrt{\sigma_{\phi_i}^2}$ と表せる。ここに $\sigma_{\phi_i}^2$ は共分散行列の推定量 $\hat{\Sigma}$ において ϕ_i に対応した対角要素を表す。仮説 H_0^{00} を対立仮説 H_1^{00} に対して検定するための統計量は $t = \hat{\psi}_i / \sqrt{\sigma_{\psi_i}^2}$ と表せる。

表1 検定結果

タイプ0	タイプ1	タイプ2	タイプ3
$\hat{\alpha}$	$\hat{\phi}_1$	$\hat{\phi}_2$	$\hat{\phi}_3$
-4.84	0.20	1.07	1.14
-	(9.6)	(3.0E+2)	(1.2E+2)
$\hat{\beta}$	$\hat{\psi}_2$	$\hat{\psi}_2$	$\hat{\psi}_2$
-9.00	1.04	-1.53	-0.88
-	(9.4)	(-3.3E+1)	(-4.7)
n_0^0	n_1^1	n_2^1	n_3^1
11,489,801	242,754	25,305,587	545,097

用いた集計データは我が国の平成7年の普通乗用車を対象としている。

() の値は t 統計量を表す。タイプ0は何もつけていないドライバー、タイプ1はエアバッグを装備するドライバー、タイプ2はシートベルトを着用するドライバー、タイプ3はエアバッグを装備し、さらにシートベルトを着用しているドライバーを表す。

4. 結語

本研究では、オフセット行動の比較静学分析を行うとともに、エアバッグ装備の有無別、シートベルト装着の有無別に集計した事故調査データを用いて、基準タイプとその他の3タイプの合計4タイプでオフセット仮説検定を行った。その結果、我が国の現状では、エアバッグのオフセット仮説は統計的に棄却できないと言える。しかし、死亡事故に至る確率に関して、シートベルトの補助手段としてのエアバッグのオフセット仮説は棄却できることが明らかになった。