

追突シミュレーションを用いた高速道路における重大事故削減効果計測に関する研究\*

A Study on the Effect of Traffic Accident Reduction on the Expressway using Simulation Model for Rear-End Collision

柴谷大輔\*\*, 毛利雄一\*\*\*, 内山久雄\*\*\*\*, 中村武磨\*\*\*\*\*

Daisuke SHIBATANI, Yuichi MOHRI, Hisao UCHIYAMA and Takema NAKAMURA

1. はじめに

モータリゼーションの進展に伴い、我が国の交通事故件数も大幅に増加してきている。交通事故による死者数は、様々な安全対策により、近年1万人を下回り、わずかながら減少傾向にあるものの、依然として年間9千人以上の死者が存在している。また、総務庁により<sup>1)</sup>、平成5年に発生した交通事故による損失額は4兆3500億円と試算されており、渋滞対策、環境対策に合わせて、交通安全対策も重要な位置付けとなってきた。

なかでも高速道路は、自動車専用の道路であり、原則として往復分離されているため、高速道路における事故件数は、一般道路を含めた道路全体の事故件数と比較して少なく、事故率も低いと考えられる。しかし、表-1に示すように、昭和60年を基準とした事故件数の変化をみると、高速道路での事故件数の伸び率は、道路全体と比較してより高い増加傾向を示している<sup>2)</sup>。また、高速道路での事故は、各車両が高速で走行していることから一旦事故が発生すると多重衝突をはじめとして、重大事故に至る可能性が高い。さらに、高速道路における事故は、アクセスコントロールされていることから、事故当事者のみならず道路閉鎖に伴う渋滞等によって、他の自動車利用へ及ぼす影響も大きい。このような高速道路における抜本的な交通事故対策として、近年ITS技術を活用した対策がその実用化に向けて注目されてきている。なかでもAHS(Advanced Cruise-Assist Highway System)は、道路と車両間の様々な情報を通信し、それに対応した高度な車両制御を行って、事故警告、自動的な衝突の回避、さらには自動運転が可能となるシステムである。

本研究では、このようなITS技術を活用した交通安全対策の有用性を検討するため、高速道路を対象とした事故発生シミュレーションモデルを構築し、それを用いた実証的な事故軽減効果を計測することを目的とする。

表-1 交通事故件数の推移

年	道路全体				高速道路			
	事故件数	伸び率	死者数	伸び率	事故件数	伸び率	死者数	伸び率
昭和60年	552,788	1.00	690,607	1.00	4,741	1.00	8,333	1.00
昭和61年	579,190	1.05	721,647	1.04	5,129	1.08	9,023	1.08
昭和62年	590,723	1.07	731,526	1.06	5,811	1.23	10,224	1.23
昭和63年	614,481	1.11	763,189	1.11	6,636	1.40	11,536	1.38
平成元年	661,363	1.20	825,918	1.20	8,337	1.76	14,635	1.76
平成2年	643,097	1.16	801,522	1.16	9,060	1.91	15,647	1.88
平成3年	662,388	1.20	821,350	1.19	9,756	2.06	16,924	2.03
平成4年	695,345	1.26	855,454	1.24	9,785	2.06	16,106	1.93
平成5年	724,675	1.31	889,575	1.29	11,127	2.35	18,030	2.16
平成6年	729,457	1.32	892,372	1.29	11,628	2.45	18,721	2.25
平成7年	761,789	1.38	933,356	1.35	11,304	2.38	18,131	2.18
平成8年	771,094	1.39	952,145	1.38	11,673	2.46	18,669	2.24
平成9年	780,399	1.41	968,565	1.40	11,914	2.51	18,868	2.26
平成10年	803,878	1.45	999,886	1.45	12,029	2.54	19,625	2.36

(昭和60年を1.0とする)

2. 高速道路における重大事故発生シミュレーションモデルの構築

(1)シミュレーションモデルの概要

AHSをはじめとするITS技術の導入による交通事故軽減効果を計測するためには、現状の交通事故の状況を最大限反映できるモデルが必要となる。そのため、本研究では、個々の車両挙動を可能な限り現状の事故が再現され、それに伴う他の車両挙動をシミュレートできるモデル構築を行う。このような個々の車両挙動を反映できるシミュレーションモデルとして、これまで当大学で構築されてきた高速道路における工事規制時のシミュレーションモデル<sup>3)</sup>を追突による交通事故発生とその影響が把握可能なシミュレーションモデルへ拡張する。

これまで構築されてきたシミュレーションモデルは、道路条件を表現する道路モデルと個々の車両の走行挙動を表現する走行モデルから構成され、画面上の車線

Key Words: 交通事故、交通安全、ITS、シミュレーション

\*\* 学生会員 東京理科大学大学院理工学研究科  
(〒278-8510 野田市山崎 2641)

TEL : 0471-24-1501 ext.4058 FAX : 0471-23-9766)

\*\*\* 正会員 (財) 計量計画研究所 経済社会研究室

\*\*\*\* フェロー 東京理科大学理工学部土木工学科

\*\*\*\*\* 正会員 (株) ランドブレイン

に個々の自動車を走行させることによって、その挙動を視覚的に捉えることができる。また大型車混入率や交通量をインプット条件として、それらの変数を変化させてそれぞれの状況下での交通流特性も把握できる。

道路モデルは、6000mの距離を10分割して並べて表示する事によって長い区間にわたり、シミュレートできる。今回の追突による事故発生モデルへの拡張においては、路面の摩擦係数とそれに伴うブレーキングによる制動距離の特性を追加し、天候等の影響も考慮できるようにした。

走行モデルには、車両の発生に関するものとして車両の発生間隔・速度、車両の走行性能に関するものとして加速度・減速度、一般走行に関するものとして追従走行や車線変更基準などのロジックが組み込まれている。

車両の発生間隔は、確率的に分布する車頭時間で車両を発生させる指数分布を用いる。

$$\text{指数分布: } f(t) = \frac{1}{t' - t_0} \exp\left(-\frac{t - t_0}{t' - t_0}\right) \quad (t \geq t_0)$$

$t'$  = 平均車頭時間  $t_0$  = 最小車頭時間  $t$  = 車頭時間

車両の発生速度は車両それぞれが自由に走行するときの希望速度を与える。車両は可能な限り希望速度で走行しようとし、希望速度は正規分布に従うと仮定する。正規分布はボックスミュラーの方法を用いて発生させる。

追従走行に関しては、先行車を意識して減速し始める車頭時間をこれまで検討されてきた結果より、普通車で5秒、大型車で4秒とした。また単路区間における追従走行のロジックは、最も単純な次式を用いる。

$$\ddot{x}_{n+1}(t) = \lambda \left\{ \dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t) \right\}$$

$\dot{x}_n$ : n番目の車両の速度

$\ddot{x}_n$ : n番目の車両の加速度

ここでのシミュレーションモデルにおいては、次に示す事故発生時における走行挙動に関するロジックを付け加えている。

## (2)事故発生時における走行挙動に関するロジック

事故発生時における車両の挙動は、通常時の挙動と明らかに異なることから、追突による事故発生時の挙

動がシミュレートできるモデルを付加していく必要がある。

運転者が危険を感じブレーキを書けなければならないと判断するまでは少なくとも約0.2秒かかると言われており、それからブレーキペダルに踏み変えてブレーキをかける事から、実際に制動力がかかり始めるまでには、約1秒かかるものとされている。従って制動距離に運転者の反応時間に対する車の空走距離を加えたものが停止距離になる。反応時間は天候による視界の影響も考慮できるように、変化できるものとする。

運転者が危険を感じ、実際にブレーキがかかり始め停止するまでの制動距離は、制動前の機械的エネルギーを制動力による消費エネルギーと等しいと仮定し、次式のようになる。

$$\frac{1}{2} \frac{W}{g} v^2 = F_0 \cdot s_0$$

$W$  = 車の重量  $g$  = 重力加速度  $v$  = 制動前の速度

$F_0$  = 車に加わる制動力  $s_0$  = 制動距離

また、制動力 $F_0$ はタイヤの路面に対する摩擦によって得られるので、次式のように表現される。

$$F_0 = \mu W$$

$\mu$  = タイヤと路面の摩擦係数

摩擦係数 $\mu$ は、タイヤトレッドの摩耗、路面の濡れ程度、タイヤのすべり率、接地面圧などによって変化するが、タイヤをロックして急停車した場合、制動中はほぼ一定と見なすことができる。従って、 $F_0$ も一定となり減速度(= $F_0/m$ )も一定となる。上の2式をまとめると、制動距離 $s_0$ は以下の式から求められる。

$$s_0 = \frac{v^2}{2\mu g}$$

実際の高速道路における重大事故の特徴をみると、事故の第1当事車両が道を塞ぎ、後続車がこれに次々と追突していく例が多くみられる。これらの状況を反映するため、事故発生のロジックを図-1、図-2に示すように設定する。

事故の発生ロジックは、まず事故車両(車両0)が発生し、スピンによる制動で停止するものとし、また、その事故に気がついた追従車①が事故を避けるために急減速を行うものとする。この現象は、後から走って

くる追従車にも伝播するが、事故車両から 300m くらい後ろに位置する車両は、事故発生当初から異常に気がついて減速するものとしている。ただし、この 300 m という距離は道路の視界も影響するので、変化できるものとする。

また、衝突するか否かの判断については、車両 0 の制動距離  $S_0$ 、および車両 0 と車両 ① の車間距離  $L_1$  の和「 $L_1 + S_0$ 」と車両 ① の制動距離  $S_1$  を比較し、「 $L_1 + S_0$ 」のほうが大きければ衝突しない、その反対であれば衝突するという判断を行う。

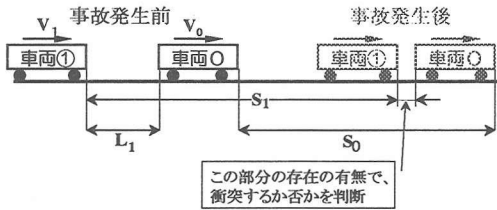


図-1 衝突の判断

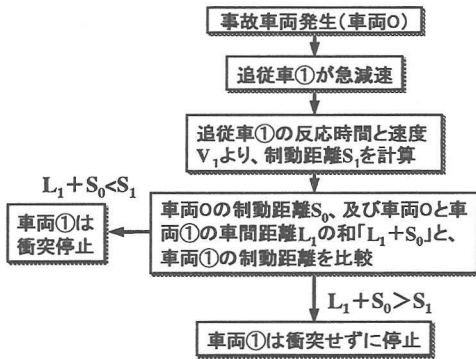


図-2 事故発生のロジック

### (3) シミュレーションモデルの検証

構築された事故発生のシミュレーションモデルを用いて実際の高速道路における事故を再現し、実際の衝突台数<sup>4)</sup>と比較する。シミュレーション結果の平均と実際の事故とを比較したものが表-2 であるが、ある程度の再現性のあるモデルが構築できたと言える。但し、交通流と交通事故を関連付けたデータが整備されていないことから、厳密な意味でシミュレーションの妥当性の検証はできず、今後のより詳細なデータ整備に基づく検証は今後の大きな課題である。

表-2 実測値とシミュレーションの値の比較

場所	天候	明暗	大型車混入率 (%)	交通量 (台/h)	衝突台数	
					JH資料	シミュレーション結果
中央道	曇	昼光	20.8	2754	6	5.5
中央道	晴れ	昼光	20.8	2102	13	11.0
中央道	雨	昼光	20.3	1870	5	4.8
中央道	雨	暗がり	20.3	1823	8	7.2
中央道	晴れ	暗がり	31.0	1362	11	10.2
中央道	晴れ	暗がり	20.3	3265	5	5.5
常磐道	雪	昼光	30.8	3002	5	5.4
常磐道	雨	暗がり	30.8	2560	5	6.0
常磐道	晴れ	暗がり	30.8	2235	14	15.5

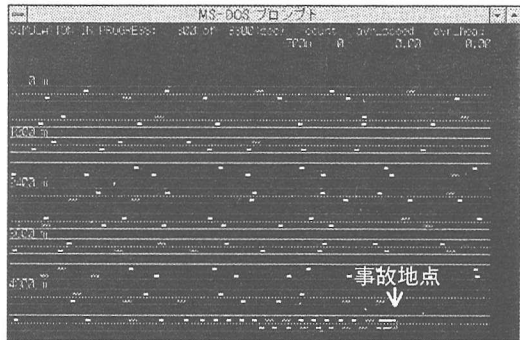


図-3 シミュレーション画面

### 3. シミュレーションによる交通事故対策の検討

本研究では、ITS の技術として AHS を想定し、次の 2 つのレベルを設定した。レベル 1 は先行車との車間距離を一定に保つ事ができる技術とし、目標とする車頭時間は 1.8 秒、車間距離は 50m (100km/h 走行時) とする。レベル 2 はレベル 1 の技術に加えて、先行車が急ブレーキをした場合自動的に急制動を行なうものとする。また 2 つのレベルそれぞれについて 3 段階の普及率 (30%、60%、90%) を設定し、シミュレーションを行った。その結果を表-3 に示す。レベル 1 においては、車間距離が短い事やブレーキ操作が運転者に委ねられていることから、普及率が上昇しても多少の衝突台数減少が見られるものの大きな効果は見られない。しかし、レベル 2 においては、事故発生時に自動的に急制動がかかるため、衝突台数に大きな減少効果が見られるという結果が得られた。なおサンプル No.①及び No.②の時間交通量は 3002(台/h)、2100(台/h)であり、大型車混入率はそれぞれ 30.8%、20.3%である。

表-3 ITSの普及による事故台数の違い (台数)

サンプルNo.	現状	レベル1 (車間を保つのみ)			レベル2 (車間を保ちかつ急制動も行う)		
		車頭時間1.8秒 (車間距離50m)			車頭時間1.8秒 (車間距離50m)		
		ITS普及率			ITS普及率		
		30%	60%	90%	30%	60%	90%
①	5	4.7	3.8	3.4	3.5	1.8	1.6
②	13	12.2	11.5	10.9	5.3	4.0	1.3

表-3 から得られた結果に基づき、その ITS 導入効果を計測する。計測する項目は、人身損失、物損、渋滞による損失とし、これら 3 つの合計値の損失額を ITS 導入前の現状と各レベルでの導入後それぞれについて算出し、その差を効果とする。それぞれについての試算方法を以下に示す。

- ① 人身損失…総務庁資料<sup>1)</sup>および日本損害保険協会のデータを参考にして、死亡・3000 (万円/人)、負傷・500 (万円/人) とした。事故による死亡者数及び負傷者数は、衝突台数に死亡・0.2 (人/台)、負傷・1.6 (人/台) という係数を掛け四捨五入した値とする。
- ② 物損…総務庁資料を参考に、衝突台数 1 台当り 44.7 (万円) として計算を行う。
- ③ 渋滞による損失…重大事故発生時の滞留台数は JH 事故データ<sup>2)</sup>を分析した結果から「規制時間 (分) = 15.2 × 衝突台数」という式を仮定し、「滞留台数 = 事故後の交通量 (台/分) × 規制時間 (分)」として求める。なお事故地点の上流のインターチェンジまでは十分な距離があると仮定する。求めた滞留台数について乗用車と大型車それぞれの台数を導き出し、乗用車および大型車それぞれの時間評価値、乗用車 (56 円/台・分)、大型車 (101 円/台・分) を滞留台数に掛け、その合計を渋滞による損失とする。

表-4 に人身損失、物損、渋滞による損失とその合計損失額を示す。また、表-5 に ITS が導入された際の被害総額の差から算出される軽減効果を示す。

表-4 損失額 (万円)

損失項目	No.	現状	レベル1 ITS普及率			レベル2 ITS普及率		
			30%	60%	90%	30%	60%	90%
			人身損失	①	7,000	3,500	3,000	2,500
	②	16,000	15,500	15,000	14,500	7,000	3,000	1,000
物損	①	224	210	170	152	156	80	72
	②	581	545	514	487	237	179	58
渋滞	①	2,019	1,784	1,166	933	989	262	207
	②	8,910	7,847	6,972	6,264	1,481	843	89
合計	①	9,242	5,494	4,336	3,585	3,646	1,342	1,278
	②	25,491	23,892	22,486	21,251	8,718	4,022	1,147

表-5 ITSによる事故被害軽減効果 (万円)

No.	レベル1			レベル2		
	ITS普及率			ITS普及率		
	30%	60%	90%	30%	60%	90%
①	3,748	4,906	5,657	5,597	7,900	7,964
②	1,598	3,004	4,240	16,773	21,468	24,343

衝突台数によって大きな差がみられるが、No.②の ITS 導入前における衝突台数が 13 台発生した状況の損失額約 2 億 5 千万円に対し、レベル 2 の ITS 導入後 (普及率 90%) では約 1 千万円となり、その効果は約 2 億 4 千万円とかなり大きいと言える。

#### 4. おわりに

本研究では、高速道路における重大事故発生シミュレーションを構築し、ITS 導入段階をいくつかのレベルに分けて事故被害の軽減効果の計測を行った。その結果、ITS 導入がかなりの事故軽減効果に有益であることを示すことが可能となった。

今後は交通流と事故を関連付けたデータ整備と蓄積を行い、より再現性の高いシミュレーションモデルの構築へ改良していくことが重要となる。特に、今回のシミュレーションモデルでは「ハンドル操作による事故回避を考慮していない」「路肩の有無による事故回避行動の違い」など、より詳細なドライバーの事故回避行動を明確にするとともに、それらのモデルへの反映が課題である。

#### 【参考文献】

- 1) 総務庁長官官房交通安全対策室：交通事故の発生と人身障害及び社会的・経済的損失に係る総合分析に関する調査研究報告書、1997
- 2) 柴谷 大輔, 内山 久雄, 邑上 裕, 星 健一：合流挙動のシミュレーションモデルの構築と AHS による渋滞解消効果、第 54 回土木年次学術講演会講演概要集 第 4 部、pp. 366-367、1999
- 3) (財)交通事故分析センター：交通事故統計年報、1998 年
- 4) 交通統計：日本道路公団東京第 3 管理局、1999 年
- 5) 石葉 泰久：交通事故 誰でもできる損害計算、(財) 経済調査会、1995 年