

都市内地下道路における多重衝突事故の発生メカニズムに関する研究

Factor Analysis of Multi-vehicle accident in Underground Urban Expressway

屋井研究室 04M30401 山口 晋弘 (Kunihiro Yamaguchi)

Keywords : 多重事故の発生メカニズム, 単独事故, 覚醒水準, MOVIC-T4

Keywords : Factor Analysis of Multi-vehicle accident, Single-vehicle accident, SPL, MOVIC-T4

1. 背景と目的

近年、特に都市部において、建設用地の不足や周辺環境への配慮等の理由により、地下構造での建設が検討されることが多い。都市内地下道路では、トンネル内の圧迫感や都市内地下道路特有の交通量の多さ、分合流部の存在などの心理的負担要因が存在する一方で、トンネル内の視覚刺激の単調性から覚醒水準の低下がおこることもある。本研究室における先行研究では、主に後者の視点から分析を行っており、独自に開発した小型可動式 2 軸ドライビングシミュレータ(以下 MOVIC-T4 と呼ぶ)を活用し、都市内地下道路における走行安全性を検討している。

本研究では、都市内地下道路の安全性を交通事故の低減という観点より検証することを前提としている。先行研究³⁾より、都市内地下道路では覚醒水準の低下現象がみられることが示唆されており、この覚醒水準が引き起こす事故を想定し、車両 1 台、2 台の事故よりも 3 台以上が絡む事故(多重衝突事故; 以下多重事故と呼ぶ)に着目した研究を行う。研究項目として、1) 本研究で想定する覚醒水準の低下が引き起こす多重事故発生のシナリオの選定を行い、2) MOVIC-T4 を活用した多重事故発生に関わる後続車両の運転挙動調査のための実験を行い、3) 得られたデータの分析より、多重事故の発生メカニズムについて考察を行う。また、都市内地下道路における走行条件、交通条件の違いによる覚醒水準の低下現象についての検証も行っている。

2. MOVIC-T4 のシステム概要

MOVIC-T4 では、走行画面をヘッドマウントディスプレイ(HMD)に表示し、頭部トラッキングセンサーにより運転者の顔の向きと走行画面を連動させて、360 度視界を

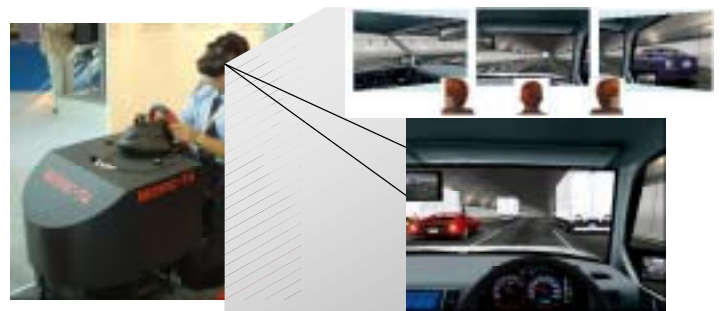


図1 MOVIC-T4の外観と走行画面

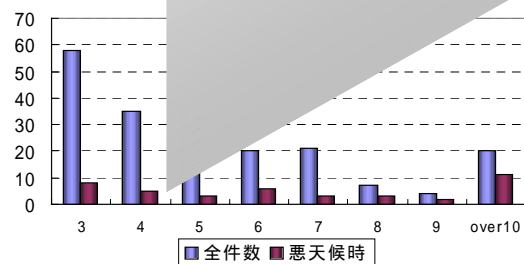


図2 当事車台数別事故件数

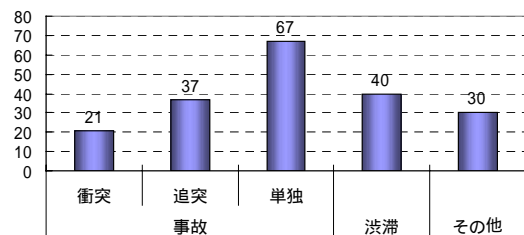


図3 多重事故要因別事故件数

再現している(図1)。また、走行時の体感加速度を小型の2軸モーションベースで再現している。本研究で再現している都市内地下道路は、約15kmの3車線地下道路であり、周辺走行車の台数、車種、走行特性を変化させ、様々な交通流のシナリオを自由度高く設定可能である¹⁾。

3. 多重事故発生のシナリオ選定

(1) 一般高速道路における事故調査

本研究における多重事故のシナリオを決定するために、

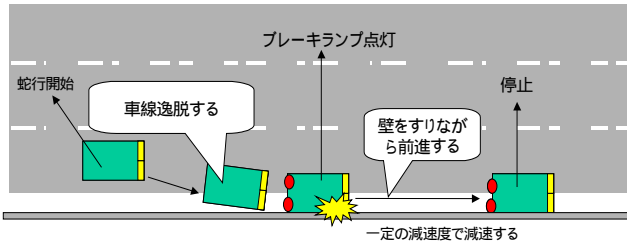


図4 単独事故のシナリオ

まず、高速道路における多重事故の特徴の把握を行った。既往研究⁴⁾に倣い、特徴把握に当たり、朝日新聞の記事467件(2003,1,1~2005,5,31)より集計調査を行った。本研究では、多重事故を『安全な停止車両を挿まない3台以上の連なった事故』、渋滞を『安全な車両を含む停止(徐行)車両群』と定義し、図2に当事車台数別事故件数、図3に多重事故要因別事故件数を示している。以上を基に、事故調査をまとめると、1)多重事故は3台~5台での事故になることが多く、10台以上になると悪天候が大きく起因していること、2)多重事故の要因として渋滞より単独事故から発展する場合が多いこと、3)多重事故には大型車両(2t以上)が関与している場合が多いことがわかった。

(2)再現させる事故挙動の調査

MOVIC-T4上で再現させる事故挙動のシナリオの決定を行う。予め作成していたシナリオ(図4)に関して、実際に起こりうる挙動であるのかどうかの確証を得るために、交通事故の調査に携わっている企業・機関(計4社)を訪問し、ヒアリング調査を行った。訪問した全社から、本研究におけるシナリオは実際に起こりうること、また、このような事故挙動はタイヤのパンクや居眠り運転からおこる場合が多いという意見を頂き、本研究で想定している覚醒水準低下による事故の発生と合致したシナリオであるといえる。

(3)多重事故発生のシナリオ

以上の調査結果より、都市内地下道路では、覚醒水準の低下が誘発する居眠り運転による単独事故が起こり、同様に覚醒水準が低下している後続車(被験者)が衝突し、多重事故となる可能性が考えられる。

4. 多重衝突事故の発生メカニズム分析

多重事故の発生メカニズム分析にあたり、本研究では、MOVIC-T4を2台用いた実験を行う。同じシミュレーション上で被験者2名による走行実験を行うことで、3台の多重事故の再現が可能となる。また、2台同時走行によ

条件	交通量	速度	大型車混入率
追従(a;前方被験者,b;後方被験者)	大	90km/h	大
非追従(a;前方被験者,b;後方被験者)	小	80~100km/h	小
自由走行	小	走り易い速度	小

交通量 大:2994台/h & 小:2579台/h
 大型車混入率 大:31% & 小:23%

共に東名高速道路の交通量調査(混雑時、緩和時)に基づく

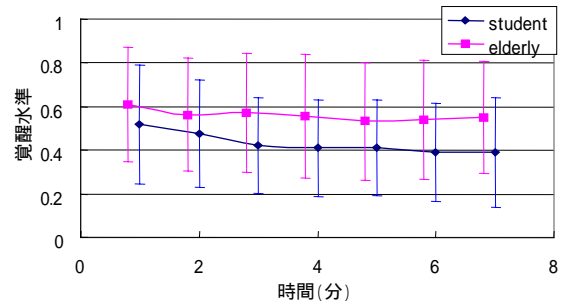
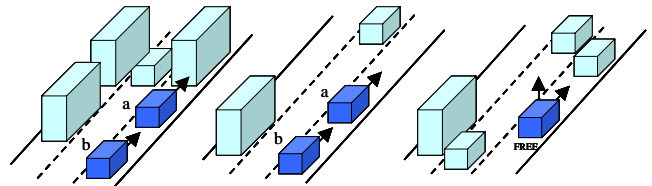


図5 基準化SPL (- b; 追従走行)

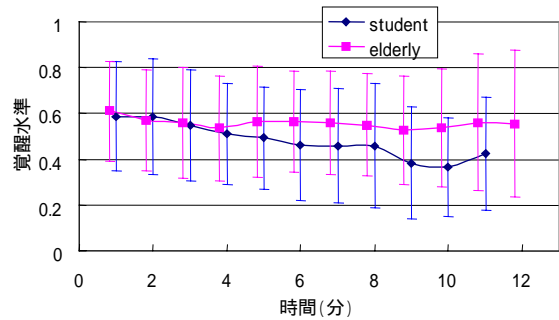


図6 基準化SPL (; 自由走行)

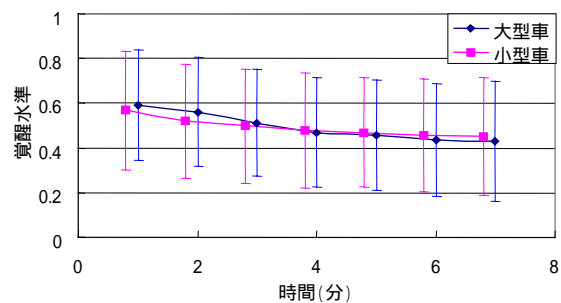


図7 基準化SPL (- aと - b; 前方車両の違い)

り、1台で行う実験に比べて、よりリアリティに近い走行空間をつくることができると考えられる。そこで、まず、平常走行時における覚醒水準変化を新たに検証し、その後に、多重事故の発生メカニズムについて論じる。

(1)平常走行時の覚醒水準変化

a)実験目的

走行条件(追従、非追従)や交通条件(前方車両、交

通量，大型車混入率)の違いを既存の高速道路のデータをもとに幾つか設定し，生体反応データ(SPL)から都市内地下道路での覚醒水準低下について分析を行う。

b)被験者

被験者は，一般ドライバーとして学生が 30 サンプル，高齢者ドライバーが 20 サンプルである。

c)実験条件・手順

十分な練習走行を行った後，一般ドライバー，高齢ドライバー共に，表 1 に示す条件を 追従は 2 回 (a,b を入れ替えて 1 回ずつ)，非追従，自由は各 1 回ずつの計 4 回の実験をランダムに走行させた (各走行後に十分な休憩を入れる)。各走行条件のサンプル数は重複も併せて，追従で一般が 30，高齢が 20，非追従で一般が 15，高齢が 10，自由走行で一般が 30，高齢が 20 である。被験者は 3 車線あるうちの右車線で走行し，自由走行に限り車線変更の選択を可能とした。

d) 実験結果

図 5~7 に各走行条件・交通条件における基準化 SPL (覚醒水準の最大値を 1，最小値を 0 として基準化したもの)の時間変動を，被験者群別に平均した結果を示す (紙面の都合上一部の結果のみ)。SPL が小さいほど覚醒水準が低下していることを示す。図 5,6 より一般ドライバーは走行開始後，単調に覚醒水準が低下する傾向が見られる (5%有意：反復測定分散分析)。一方，高齢ドライバーは追従走行，自由走行共に覚醒水準の低下は見られない。視覚的な単調性より空間的圧迫感の方が，高齢者に大きく影響を与えていると推測される。また，各交通条件間の差を見ると，さほど大きな差はないものの，

追従走行の条件下における前方車両の違い (- a, - b ; 図 7) において，時間変化の傾向に違いが見られた (5%有意：同上 (交互作用検定))。前方車両が大型車の場合の方が小型車の場合に比べ，覚醒水準の低下の度合いが大きくなっている。前方車が大型車両であることが，前方視界を遮り，視界刺激の抑制による効果が，覚醒水準の低下度合いの一因となっている可能性が考えられる。

(2)インシデント発生時の後続車両の運転挙動分析

a)実験目的

本実験では，すでに選定した単独事故のシナリオ (図 4) を MOVIC-T4 上で再現し，前方車が単独事故をおこした場合の後続車両の運転挙動分析を行う。本稿では，表 2 の 追従走行の実験における結果内容を示す。

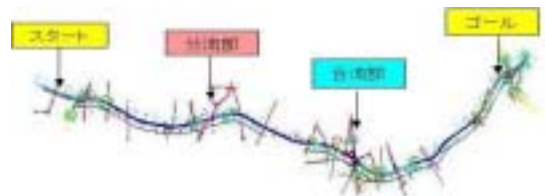


表 2 インシデント発生時の走行条件と交通条件

条件	交通量	速度	大型車混入率	事故発生場所	事故距離
追従	大	90km/h	大	事故ケース2(合流部付近)	短い(-0.7G)
				事故ケース1(分流部付近)	長い(-0.5G)
非追従	小	80~100km/h	小	事故ケース2(合流部付近)	短い(-0.7G)
				事故ケース1(分流部付近)	

表 3 被験者組み合わせによる事故件数とハンドル操作の選択人数

	前		後		前		後	
	学生	学生	学生	高齢者	高齢者	学生	高齢者	高齢者
事故件数 (多重事故件数)	6(5)/10組		7(5)/10組		8(6)/10組		9(7)/10組	
追突人数	4/10人	5/10人	6/10人	5/10人	8/10人	6/10人	9/10人	8/10人
ハンドルを切った人数	5/10人	5/10人	4/10人	2/10人	0/10人	3/10人	1/10人	0/10人

表 3-1 追突人数とハンドル操作選択

	追突人数	ハンドルを切った人数
学生	21/40人	16/40人
高齢者	29/40人	3/40人
計	50/80人	19/40人

表 4 事故発生場所による違い (学生各 20)

	事故ケース1	事故ケース2	差の検定
反応時間	2.24	1.86	0.4
平均(m/s ²)	-4.7	-3.8	0.1
覚醒水準	0.47	0.39	0.35

反応時間...被験者のブレーキ(ハンドル操作)開始時間 - 前方車のブレーキ(ハンドル操作)開始時間

表 5 事故距離による違い (学生各 20)

	短い(-0.7G)	長い(-0.5G)	差の検定
反応時間	1.86	2.19	0.48
平均(m/s ²)	-3.86	-4.18	0.62
衝突速度	53.9	47.8	0.58

反応時間...被験者のブレーキ(ハンドル操作)開始時間 - 前方車のブレーキ(ハンドル操作)開始時間
衝突速度...前方車両に衝突した時の速度(短いIN=9, 長いIN=11)

b)被験者

被験者は，一般ドライバーとして学生が 30 サンプル，高齢者ドライバーが 20 サンプルである。

c)実験条件・手順

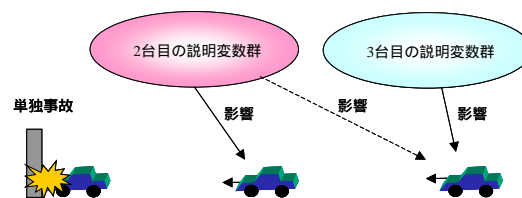
事故車は図 8 の分流部付近の左カーブ部 (事故ケース 1) と合流部付近の左カーブ部 (事故ケース 2) の 2 ケースを模擬し，各事故ケースの交通条件として表 1 の， の 2 ケースを設定した。 の追従走行では，追従している前方車両が事故ケース 1, 2 において，単独事故を起こし，その挙動に後続を走行している被験者，さらに後続の被験者が反応することになる。 の非追従走行では，事故ケース 1, 2 において，ハザードランプを点灯させた車両が停止しており，そのハザードランプに被験者が反

応し、その後続の被験者が反応することになる。また、
 の追従走行の事故ケース2においては、事故を起こす
 車両の壁面衝突から停止までの距離に変化(2 ケース)
 を与えており、その影響を検証している。さらに
 MOVIC-T4 を2台用いた実験であるため、被験者(一般ド
 ライバー、高齢ドライバー)の組み合わせ(前後の組み
 合わせで4 ケース)による事故の変化も調査している。
 d)実験結果

表3に表2の 追従走行(事故ケース2 短い(-0.7G))
 の実験による被験者の組み合わせ別の事故件数(多重事
 故件数)、追突人数、ハンドル操作の選択人数を示してい
 る。全体を通して、多重事故に発展しているケースが多
 く見られる。また、組み合わせに高齢者が含まれるにつ
 れて事故件数、多重事故件数が増加する傾向があること、
 前方車が高齢者である場合、後続車両の衝突回数が増加
 する傾向があることが考えられる。表3-1は表3の追突
 人数とハンドル操作の選択人数を一般ドライバー(学生)
 と高齢ドライバー別に集計したものであるが、追突回数
 に大きな差はみられないものの、一般ドライバーの方が
 危険時にハンドル操作を頻繁に行う傾向が見られた。表
 4,5 には、 追従走行の実験での条件(事故発生場所、
 事故距離)に変化を与えた場合の MOVIC-T4 から得られた
 インシデント発生時の走行データの一部を示し、各条件
 間の差の検定を行ったものである。各項目において有意
 な差が得られなかったが、衝突速度、覚醒水準に若干な
 がらの差があることが見受けられる。今後、高齢者ドラ
 イバーを含めた分析を行い、実験結果の精度を高める必
 要がある。

(3)多重事故の発生メカニズム分析

上記(1),(2)より得られたデータを用い、事故車両発
 生時の後続車両(2台目;図9の)とその後続車両(3
 台目;図9の)の行動がどのような指標に影響を受け
 て各々行動をとっているのかを調べるために、本稿では、
 MOVIC-T4 より得られた走行データや標準化された覚醒
 水準値(基準化 SPL)を用いて、それらを説明変数とし
 た重回帰分析をおこなった。各後続車両の行動パターン
 として、衝突するのかもしれないか、ハンドルを切るかど
 うかを、それぞれダミー変数0,1を用いて表現し、それ
 らを被説明変数とした(衝突する 1, 衝突しない 0,
 ハンドル操作を行う 1, ハンドル操作を行わない 0,
 学生 1, 高齢者 0)。図9に重回帰分析に用いる変数と



<変数として利用した項目>

反応時間(s), 反応時の車速度(km/h), 反応時の車間距離(m), 前方車反応時の速度(km/h), 前方車反応時の加速度(m/s²), 前方車反応時の車間距離(m), 平均減速度(m/s²), 最大減速度(m/s²), 停止位置(m) (前方車との距離), 行動時間(s) (反応してから行動(車線変更, 車両停止)が完了するまでの時間(s), 行動距離(m), 推定希望速度(km/h) (表1の 自由走行より推測), 標準化されたSPL値, 衝突したか(ダミー変数:した 1, しなかった 0), ハンドルを切ったか(ダミー変数:切った 1, 切らなかった 0), 一般ドライバーか高齢ドライバーか(ダミー変数:一般 1, 高齢 0) 計16項目

図9 重回帰分析に用いる変数

表6 パラメータの推計結果

<2台目>			<3台目>		
車両のハンドル操作選択 (R=0.676)			車両の衝突するかもしれないか (R=0.618)		
説明変数	得られたパラメータ	t値	説明変数	得られたパラメータ	t値
最大減速度	0.295	2.62*	行動時間	-0.508	-4.82**
行動距離	0.713	4.37**	属性	-0.285	-2.71**
行動時間	-0.585	-3.39**			
属性	0.221	2.12*			
車両のハンドル操作選択 (R=0.643)			車両の衝突するかもしれないか (R=0.724)		
説明変数	得られたパラメータ	t値	説明変数	得られたパラメータ	t値
2台目のハンドル操作	0.517	4.824**	2台目の衝突	0.26	2.57*
平均減速度	0.252	2.349*	行動時間	-0.496	-4.97**
			ハンドル操作	-0.289	-3.1**

行動距離とは、反応(ブレーキ、ハンドル操作)してからその行動が終了するまでの距離のこと
 行動時間とは、反応(ブレーキ、ハンドル操作)してからその行動が終了するまでにかかった時間のこ

重回帰式の概念図を示す 図9の , が被験者であり、

の被験者は自車のデータのみの影響を受けており、
 の被験者は自車のデータだけでなく、前方車両である
 の被験者のデータや選択した行動に影響を受けると考え
 られる 変数間の共線性に注意しながら 変数を選定し、
 重回帰分析を行った結果を表6に示す。2台目において
 は、属性(一般ドライバーか高齢ドライバーか)が衝突
 可能性、ハンドル操作に影響を及ぼしている可能性がある
 こと、3台目においては、2台目がとった行動が3台目
 の行動に影響を与えている可能性があることを示唆して
 いる。例えば、2台目が高齢ドライバーであれば、衝突
 可能性が高まり、後続車両の属性に関わらず、多重事故
 への発展可能性が高くなることが考えられる。

5. おわりに

本稿では、MVIC-T4 を2台用いて単独事故が発生した
 場合の後続車両の運転挙動分析と得られたデータを用い
 て重回帰分析による多重事故の発生メカニズムの解明を
 おこなった。

参考文献

- 1) 平田他「ドライビングシミュレーションシステム Movic-T4 の開発とパフォーマンス評価」第24回交通工学研究発表会論文報告集, pp.17-20, 2004
- 2) 荒木他「バイオフィードバックによる居眠り運転防止方法の評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.29, CD-ROM, 2004
- 3) 馬原他「MVIC-T4 を活用した都市内地下道路の走行安全性分析」, 屋井研究室, 平成16年度修士論文
- 4) 井上博司, 尾上一馬, 飯田祐三「シミュレーションによる多重衝突の生起メカニズムの分析とその対策に関する研究」第37回土木計画学シンポジウム論文集, 2001年5月