

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VR研究*

VR Analysis of Multi-vehicle accidents in Underground Urban Expressway*

山口晋弘**・平田輝満***・屋井鉄雄****

By Kunihiro YAMAGUCHI**・Terumitsu HIRATA ***・Tetsuo YAI ***

1. はじめに

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。この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。筆者らの先行研究では、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大規模事故の防止という観点より分析する。先行研究¹⁾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いる。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）に着目した研究を行う。研究項目を以下に挙げる。

- ・本研究で想定する多重衝突事故の発生シナリオを、実際の多重衝突事故に関する調査を参考に選定；
- ・MOVIC-T4を活用した複数被験者の同時走行実験を実施し、多重衝突事故に関わる運転挙動データを収集；
- ・得られたデータを分析し、多重衝突事故の発生メカニズムについて考察。

2. MOVIC-T4のシステム概要

MOVIC-T4（図-1）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度視界を再現している。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

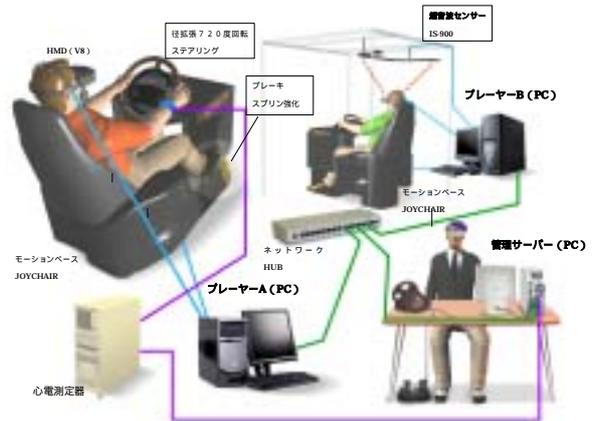


図-1 MOVIC-T4のシステム概要図

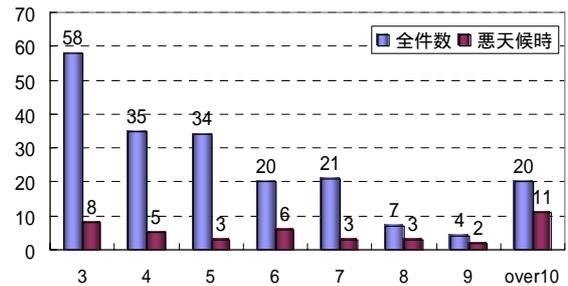


図-2 当事車台数別事故件数

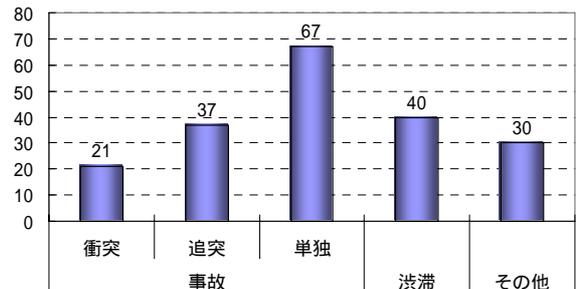


図-3 多重衝突事故要因別事故件数

で再現している都市内地下道路は、全長約16km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²⁾（図-5）。

3. 多重衝突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衝突事故のシナリオを決定するために、まず、高速道路における多重衝突事故の特徴の把握を行った。既往研究³⁾に倣い、特徴把握に当り、

*キーワード：多重衝突事故，都市内地下道路，VR

**正員，修士（工学），日本工営株式会社
（東京都千代田区麹町5丁目4番地，
TEL03-3238-8217，FAX03-3262-4451）

***正員，博士（工学），運輸政策研究所
（東京都虎ノ門3丁目18番19号）

****正員，工博，東京工業大学 総合理工学研究科
（神奈川県緑区長津田町4259）

表 - 1 実験項目

実験名	実験仕様	運転条件	速度	走行車線	事故発生場所	事故車両
実験A	ネットワーク走行 (前…前方被験者、 後…後方被験者)	前方被験者…AI車両を追従 後方被験者…前方被験者が運転する 車両を追従	90km/h	追越車線	運転開始後およそ10km地点	単独事故
実験B	ネットワーク走行 (前…前方被験者、 後…後方被験者)	前方被験者…指定速度内での走行 後方被験者…前方被験者が運転する 車両を追従	80～100km/h	追越車線	運転開始後およそ10km地点	ハザード停止車両
実験C	非ネットワーク走行	各被験者ともにAI車両を追従	90km/h	追越車線	インシデントの発生はなく、およそ16km地点まで追 従走行を行う。	

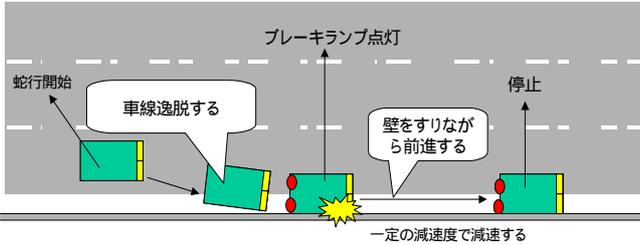


図 - 4 単独事故のシナリオ

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、多重衝突事故を『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に多重衝突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)多重衝突事故は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)多重衝突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)多重衝突事故には大型車両(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

次いで、MOVIC-T4上で再現させる事故挙動のシナリオの決定を行った。(1)の調査結果をもとに作成したシナリオ(図-4)に関して、実際に起こりうる事故形態であるのかどうかを、交通事故調査に携わっている企業・機関(計4社)へのヒアリング調査で伺った。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) 本研究における多重衝突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単独事故が発生し、同様に覚醒水準が低下している後続車が衝突し、多重衝突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

本研究では、多重衝突事故の発生メカニズム分析にあたり、MOVIC-T4を2台用いた実験(ネットワーク走行)を行う(図-6)。被験者2名が同じVR道路空間を同時

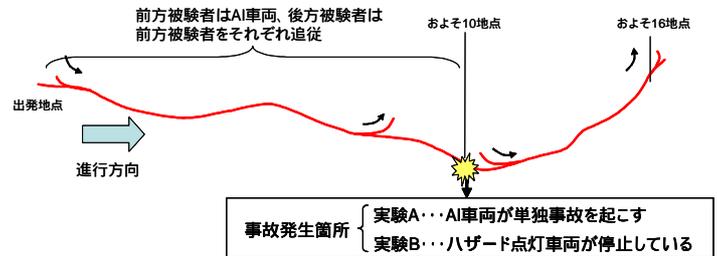


図 - 5 走行簡略図



図 - 6 MOVIC-T4を2台用いた実験風景

走行する実験を行うことで、3台の多重衝突事故の再現が可能となる。また、2台同時走行により、1台で行う実験に比べて、より現実に近い走行空間をつくることができると考えられる。

(1) 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、前方走行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。また、比較実験として、前方にハザード停止車両が現れた場合の運転挙動分析も行っている(表-1)。

b) 被験者

被験者は、学生を79名、高齢者を61名集めている。

c) 実験条件・手順

被験者2名がペアとなり実験を行う。実験項目は表-1に示すとおり、実験A(単独事故車両が発生)、実験B(ハザード停止車両が発生)、実験C(インシデント発生なし)の3項目あり、実験Aのみ被験者の追従順序を入れ替えて2回行う。実験順序はランダムに行う。手順は、表-1に示す運転条件に従って追越車線を縦列走行(前を走る車両を前方被験者、その後を走る車両を後方

被験者と呼ぶ)を行う。スタート地点より追従走行を続け、ある一定区間に来ると各実験項目のインシデントが発生するように予め設定している(図-5)。インシデント発生時の前方被験者、後方被験者の運転挙動を観察を行う。また、学生と高齢者の組合せ(前後の組合せで4ケース)による事故パターンの違いも調査している。

d) 評価指標
 評価指標として、反応遅れ時間(前方車両が反応をしてから後方車両が反応をするまでの遅れ時間)、その時の車両速度、車頭距離、停止する(衝突する)までの平均減速度、衝突速度、停止位置(停止したときの車頭距離)を利用する。

e) 実験結果
 表-2、表-3に実験A、Bによる事故別属性組合せ別集計結果を示している。

事故別に見ると、実験B(ハザード停止車両)に比べ、実験A(単独事故)の方が多重衝突事故へ発展する割合が高いことが窺える。3章の事故調査において単独事故が起因する多重衝突事故が多いことを示したが、その傾向を支持する結果とも解釈できる。前方事故を知覚する時間に比較的余裕のない実験Aの方が後続車を巻き込む多重衝突事故に発展しやすいと考えられる。また、上記の評価指標を用いて事故別に検証すると、車頭距離を大きく取る場合において、事故を回避できるという一般的に考えられる傾向を窺うことができた(図-7)。

次いで、属性組合せ別に見ると、学生、高齢者の属性の組合せによる事故の割合に大きな違いはなく、属性によって多重衝突事故の発生可能性に差があるとは一概に言えないことが分かる。一般に、学生は速度超過、短い車間距離での運転、高齢者は身体能力の低下による反応遅れ、広い車間距離での運転が一般的特徴であり、その意味では両者とも事故を起こしやすいといえる。図-8に実験Aにおける前方被験者の属性別評価指標の平均値及び標準偏差を示す。反応遅れ時間は、学生に比べ、高齢者の方が遅い(10%有意)。高齢者の事故要因の1つとして、この反応遅れ時間が考えられる。また、平均減速度と最大減速度をみると、高齢者は学生に比べ、高い減速度で止まるうとする傾向がみられ、後続車両の追突要因として考えられる。対して、学生に関しては、実験条件上、学生の運転特徴を打ち消すかたちとなり、高齢者と違い特徴的な傾向が見られないが、車両に衝突する直前の速度である衝突速度において、高齢者より高い値を示している。学生は、一度事故を起こると重大事故となる恐れがあることを本実験において示唆された。

(2) 多重衝突事故の発生メカニズム分析

本章(1)においては、事故別、属性組合せ別、評価指標別と、個々の比較によって、多重衝突事故の発生要因の抽出を行った。しかし、実際には、さまざまな要因が

表-2 実験A(単独事故)の集計結果

AI車両	前方被験者	後方被験者	前		後		前		後	
			学生	学生	学生	高齢者	学生	高齢者	学生	高齢者
全事故件数			15/20組 (75.0%)		19/22組 (86.4%)		19/25組 (76.0%)		12/18組 (66.7%)	
多重衝突事故	collision - collision		10/20組 (50.0%)		12/22組 (54.5%)		9/25組 (36.0%)		7/18組 (38.9%)	
	not collision - collision		1/20組 (5.0%)		4/22組 (18.2%)		4/25組 (16.0%)		2/18組 (11.1%)	
追突事故			4/20組 (20.0%)		3/22組 (13.6%)		6/25組 (24.0%)		3/18組 (16.7%)	
無事故			5/20組 (25.0%)		3/22組 (13.6%)		6/25組 (24.0%)		6/18組 (33.3%)	

表-3 実験B(ハザード停止車両)の集計結果

AI車両	前方被験者	後方被験者	前		後		前		後	
			学生	学生	学生	高齢者	学生	高齢者	学生	高齢者
全事故件数			8/16組 (50.0%)		5/13組 (38.5%)		6/12組 (50.0%)		7/14組 (50.0%)	
多重衝突事故	collision - collision		1/16組 (6.3%)		0/13組 (0.0%)		3/12組 (25.0%)		1/14組 (7.1%)	
	not collision - collision		2/16組 (12.5%)		6/13組 (30.8%)		0/12組 (0.0%)		4/14組 (28.6%)	
追突事故			5/16組 (31.3%)		6/13組 (7.7%)		3/12組 (25.0%)		2/14組 (14.3%)	
無事故			8/16組 (50.0%)		6/13組 (61.5%)		6/12組 (50.0%)		7/14組 (50.0%)	

車頭距離(m)

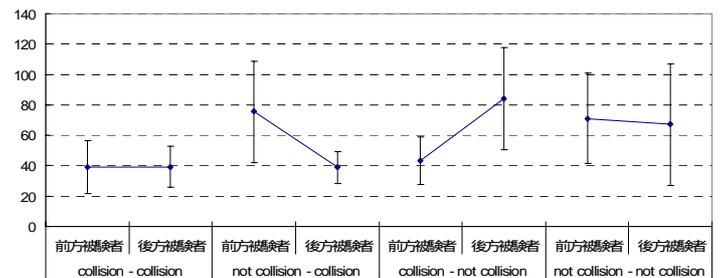


図-7 前後被験者の事故形態別車頭距離(実験A)

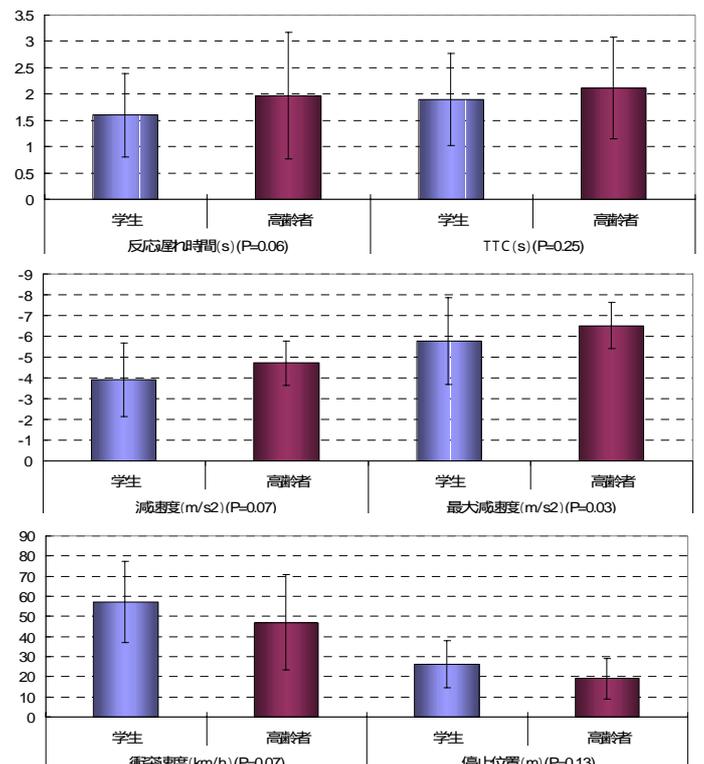


図-8 前方被験者の属性別評価指標(実験A)

絡み合っ事故が発生している。図-9に単独事故車両(AI車)に対する前方被験者の反応遅れ時間と車頭距離の散布図を示す(追突・非追突を異なる色でプロット)。前方の単独事故車の挙動が一定であるため、単純にこの2つの指標により概ね事故を起こす走行状況を把握することができる。一方で、図-10に示すように、後方被験者の場合は、前方被験者の挙動も追突可能性に影響を与えるため、自身の走行状況だけでは説明できない。前後車両の挙動のインタラクションに関してこのような自由度の高いデータが取得できたことも本実験の特徴である。続いて、どのような要因が多重事故の発生に影響しているのかを把握するため、様々な指標(走行データ)を説明変数、衝突したか、しなかったかを非説明変数とするロジスティック回帰分析を行った。

表-4に実験Aのみの結果を示す(紙面の都合上)。前方被験者に関しては、図-9の通り、反応遅れ時間と車頭距離が影響を与えていることが確かめられた。後方車両に関しては、自車の走行状況だけでなく、前方車両の平均減速度(衝突による減速も含む)、つまり前方車両の停止挙動(表-5)の影響も受けていることがわかる。本研究では、非常に簡易なモデル分析にとどまっているが、後続車の位置や挙動が先行車に影響を与えている可能性も十分にあることや、多重衝突事故に発展させないためには事故車両の後続車(本実験では前方被験者)がどのように止まるか(止めるか)が重要であることなど、今後そのような視点も含め、より詳細な分析を行う予定である。

表-4 パラメータの推計結果

(式-1)ロジスティック回帰式

$$P(V) = \frac{1}{1 + \exp(-V)} \quad \dots (式-1)$$

(式-2)前方被験者(N=85) R=0.62
衝突するかしないか(する 1, しない 0)

$$V = 1.38[\text{反応遅れ時間}(s)] \quad \dots (式-2)$$

$$+ (-0.15)[\text{車頭距離}(m)] + 5.28$$

(t= 0.43) (t=3.79)

(式-3)後方被験者(N=85) R=0.68
衝突するかしないか(する 1, しない 0)

$$V = -0.29[\text{前方車両の平均減速度(衝突減速含む)}(m/s^2)]$$

$$+ 1.45[\text{反応遅れ時間}(s)] + 0.13[\text{車両速度}(km/h)] \quad \dots (式-3)$$

$$+ (-0.13)[\text{車頭距離}(m)] + (-9.73)$$

(t= 3.26) (t=3.09) (t=2.84) (t= 4.23) (t= 2.39)

表-5 パラメータの推計結果(重回帰分析)

(式-4)前方被験者(N=85) R=0.68
Y:平均減速度(衝突減速含む)

$$Y = -1.92[\text{反応遅れ時間}(s)] \quad \dots (式-4)$$

$$+ 0.23[\text{車頭距離}(m)] - 17.76$$

(t= 2.97) (t=8.17) (t= 10.19)

(注)表 4, 5の反応遅れ時間と車頭距離は共に前方車両に対する値である。

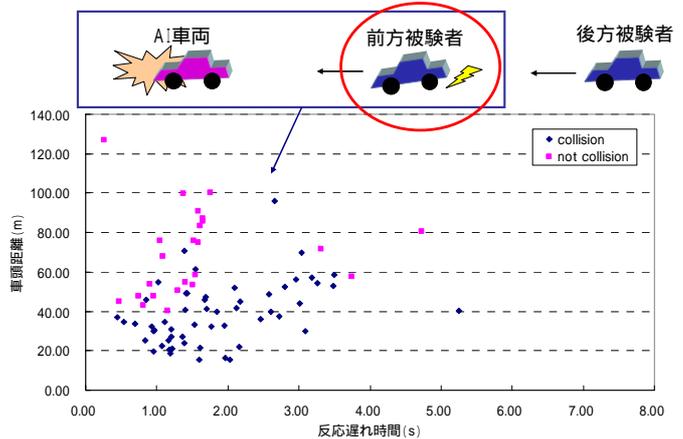


図-9 反応遅れ時間 - 車頭距離(前方被験者)

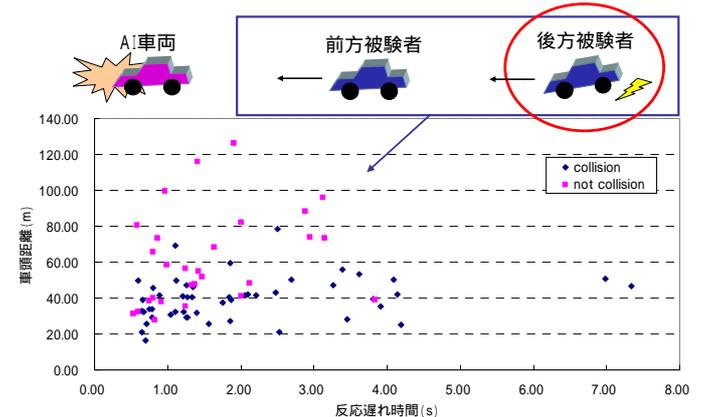


図-10 反応遅れ時間 - 車頭距離(後方被験者)

5. おわりに

本稿では、複数の被験者の同時走行実験から、後続車両の運転挙動に関して、よりリアリティの高いデータが得られ、これらのデータから多重衝突事故に関する基礎的な知見を得た。本研究においては、前方車両がAI車両という制御された実験と前方車両が被験者運転車両という制御されていない実験を同時に行っている点で特徴的である。今後は、関与する3台を取り込んだより詳細なモデル分析を行い、多重衝突事故へとつながる要因について分析を行う。

参考文献

- 1) 平田輝満ほか: MOVIC-T4を活用した都市内地下道路の走行安全性分析, 土木計画学研究・講演集, Vol. 31, CD-ROM, 2005.
- 2) 平田輝満ほか: 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.
- 3) 井上博司ほか: シミュレーションによる多重追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.
- 4) Machiko Hiramatsu, Hideo Obara :Rear-end collision scenarios categorized by type of human error, JSAE Review, vol.21, pp.535-541, 2000