

VR 走行実験データを活用した多重事故発生時の運転挙動に関するモデル分析

Model analysis of Multi-vehicle accidents behavior using Virtual Reality driving experiments data

屋井研究室 05M30410 林 和史 (HAYASHI, Kazuhito)

Keywords : 多重事故 , ドライビングシミュレータ , 都市内地下道路 ,

Keywords : Multi-vehicle , Driving Simulator , Underground Urban Expressway

1. はじめに

近年において著しい、世界情勢や技術革新、情報化社会、環境意識の高まりは、道路の走行環境においても新しい変化を見せ始めるようになってきている。特に都市部においては、建設用地の不足、周辺環境への配慮などの理由を主な原因として、地下に道路を設ける都市地下道路の建設が進んでいる。しかし、今後さらに増加すると考えられる都市内地下道路では、空間的な圧迫感や単調な視覚刺激により覚醒水準が低下するといったトンネル空間の持つ特徴に加えて、都市特有の交通量、分合流部の多さ等により、事故危険性や心理的負担も大きくなると考えられる。これまでの先行研究では、都市地下道路におけるこれらの安全性について、主に覚醒水準の低下現象に関する検証、を行ってきた。さらに都市地下道路内においては、交通量の多さから追従走行状態となり安い環境にあり、単独事故が多重事故につながる怖れがある事や、そういった事故時には、救助や避難が困難であると考えられる事から、被害の甚大化につながりやすいという問題がある。そこで多重事故に着目した走行実験、基礎分析を行い、多重衝突にメカニズムに関する挙動分析を行う事とした。

本研究では、昨年度に実施した多重衝突事故に関するシミュレータ実験を多数の被験者に対してさらに実施し、統計的信頼性を十分に高めるために大量のサンプルを取得した。その後、取得データを活

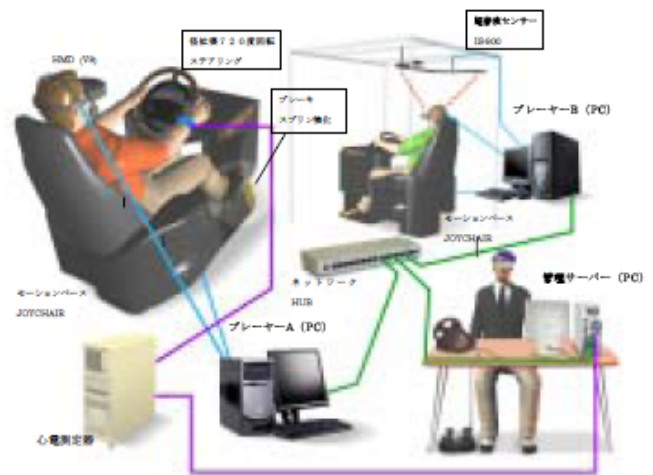


図1 : MOVIC-T4 のシステム

用し、多重衝突事故の発生時の運転挙動に関するモデル分析を行った。

2. ドライビング シミュレータ(MOVIC-T4)概要

都市内地下道路のような、近年建設されるようになった次世代型の道路においては、実例も少ないことから安全性の検証は難しい。しかし近年のCG技術の進歩により、再現性の高い仮想空間での走行実験、安全性検証が可能になって来ている。また、実走実験と異なり、周辺走行環境に関するデータや、刹那の詳細な挙動データを取得する事が容易に出来る。本研究の実験で使用するDS(MOVIC-T4:図1)は、ヘッドマウントディスプレイ(以下HMD)に走行画面を表示し、頭部トラッキングセンサーにて被

験者の顔の向きを捉え、360度の視界を再現している。また、走行時の体感加速度を2軸のモーションベースで再現する事が出来ている。本実験での走行空間は現在建設中の都市内地下道路を再現したものであり、全長約16km、3車線の仮想道路空間を構築している。また、周辺走行車台数や車種、走行特性を変えることにより、自由度の高いシナリオ設定が可能となっている。また、DSを2台使用しネットワーク走行を行う事で2名の被験者が同じVR空間を同時に走行する事が可能となっており、相互の影響を考慮した詳細な走行データを取得する事が可能となっている。

3. 多重衝突事故の現状

高速道路における事故に関する事故統計を調査した結果では、過去3年間(2003年1月-2006年4月)で見つかった事故件数は637件で、そのうちトンネル内で発生している事故件数は89件(14%)、また、そのうちの41件(46%)は3台以上が関係する多重衝突事故に発展しているものであった。トンネル内の事故件数は地上部とトンネル部の距離の割合から考えても多いと考えられ、さらに半分近くのケースにおいて多重衝突事故に発展している事が分かる。トンネル空間では、車線、照明などの単調なリズムや注意力の低下、操作量の減少などにより、運転者が眠気を引き起こし易いと言われている。また、都市地下道路においては、加えて交通量の多さから追従状況に陥り易い事もあり、速度間も失いやすい。これらの状態時において前方で事故が発生した場合、運転者は判断が遅れ、事故につながる危険性が高くなると考えられる。

4. 多重衝突実験

4-1 実験目的

本実験の目的は、追従走行時の前方車の急な事故に対して、後続車や、さらにその後続車がどのような挙動を行っているかを調査するもので、多重衝突事故の要因や相互関係を明らかにする事にある。事故を起こした車両の後続2台の挙動を分析する事で、追従時に発生するインシデントに対して行う回避運転挙動が後続車に対して及ぼす、もしくは後

続車から及ぼされる相互影響の関係性を明らかにしていく事が出来ると考えている。

4-2 実験概要とシナリオ

実験は2名の被験者A,BにDSに乗ってもらい、それぞれに前方車を追従するように指示を出した。2名の被験者は同VR空間を運転し、被験者Aは事故を起こすように設定された制御車(大型車)を、被験者Bは被験者Aの運転する走行車(乗用車)を追従する設定としている。実験シナリオとしては制御車が追い越し車線を時速90kmで走行し、実験開始約7分後、蛇行をした後、右側壁に衝突、ハザードを点灯しながら停止するというものである(図2)。インシデント発生時には制御車と2名の被験者が運転する走行車との合わせて3台の追従状態にあり、制御車が事故を起こした後の後続車2台の挙動データを取得している。

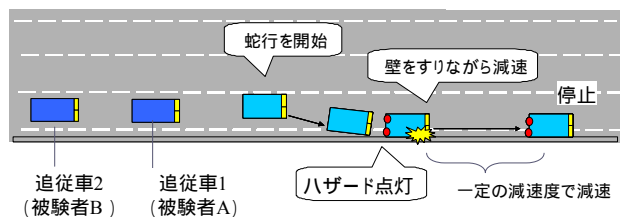


図2：本実験のシナリオ

4-3 実験成果

4-3-1 実験期間

2005年12月-2006年7月までに計3回に分けて行った。

4-3-2 実験被験者

実験被験者は学生113名、高齢者99名を対象に行い、それぞれ異なる属性の組合せで計212組の走行データを取得できている。

4-3-3 取得データ

DSにより取得した走行データ、分析に使用するデータは表1のようになっている。

表1：本研究で使用するデータ

取得した走行データ	分析に使用するデータ	
走行時間(s)	反応時間(s)	停止距離(m)
走行距離(m)	反応時速度(km/h)	停止時間(s)
走行横位置(m)	反応時車間距離(m)	停止車間距離(m)
走行速度(km/h)	前方車反応時車間距離(m)	反応時横位置(m)
ブレーキ踏み量	最大減速度(m/s ²)	終了時横位置(m)
アクセル踏み量	平均減速度(m/s ²)	衝突回避結果
ハンドル回転量	反応時減速度(m/s ²)	ハンドルを切った切らない
覚醒水準(SPL値)	反応時ブレーキ踏み量	仮想停止車間距離(m)
	反応時速度(km/h)	仮想停止距離(m)
	衝突速度(km/h)	

5 . 結果と考察

5-1 再現性のあるデータの整理

実験は DS による VR 走行にて行ったため、いくつかの点において再現性のないデータ、挙動結果等が存在している。そこで分析にあたり取得データの使用の可否、取り扱い方について検討を行い、実際に起こりうると思われる挙動パターンデータのみを分析に使用する事とした。以下にその検討方法の幾つかを挙げる。

前方車（制御車、被験者 A 運転者）反応時（ハザード点灯時）の車間距離が 150m を超えるサンプルや、反応時間が 6 秒を超えるサンプルは除外した（シミュレータ画面の解像度の問題等）

ハンドル 衝突データについては直前でハンドルを操作したもので、衝突までの挙動自体はブレーキ 衝突と同じであると判断し、同じケースとして扱う事とした。ハンドル操作による回避に関しての分析ではそのまま分析を行う。

車線変更による回避を行ったが、車幅間隔のずれから衝突してしまっているケースについては、回避データとして扱う（但し、後方車の分析においては前方車衝突と判断）

前方車が減速中に後方車が高速度で衝突してしまうケースについては、衝突した時点で前方車の挙動に影響を与えているため、前方車の結果が正確に収集できていないと判断し、分析対象からはずし

ている。（しかし、事故ケースとしては考えられるため、別途分析を行っていく）

これらのデータ整理を行った結果、分析に使用可能と判断したデータは全 212 サンプル中 137 サンプルとなった。

5-2 実験結果の分析

1) 分析手法について

分析の手法として、それぞれの指標、散布図や衝突 回避結果より傾向を読み取る基礎分析と、衝突したケースにおいても、衝突しなかった場合の停止距離（仮想停止距離：m）を算出し、重回帰分析により影響要因の関係性を調べる手法の 2 つの分析を行った。

基礎分析

まず、実験結果から読み取れる傾向を示す。2 台の追従者を前方追従車、後方追従車、事故を起こす車両を制御車と定義する。前方車、後方車の運転挙動のケース別（ハンドル操作を行ったかどうか、衝突したかどうか）のサンプル数とそれぞれの前方車反応時（前方走行車がブレーキを踏んだ瞬間）反応時（自車ブレーキ時）などにおける各指標の平均値を表 1 に示している。ここでは、前方車がブレーキ停止を行ったケースについては、後方車もブレーキ停止を行う傾向が見られる。また、前方車がブレー

前方車挙動	反応時車間距離による場合分け	サンプル数	反応時横方向位置(m)	終了時横方向位置(m)	反応時減速度(km/h)	反応時間(s)	反応時速度(m/s ²)	前方車反応時の車頭距離(m)	反応時間内移動距離(m)	最大減速度(m/s ²)	衝突時速度(km/h)	衝突考慮減速度(m/s ²)	停止時間(反応停止)(s)	停止距離(反応停止)(s)
ハンドル回避	0m-40m	4	-0.067	-1.026	-3.124	1.149	88.665	41.446	7.830	-6.543	66.524	14.397	2.009	42.681
	40m-60m	10	0.168	-1.196	-3.033	1.419	89.770	58.840	9.502	-4.653	43.454	15.599	2.965	56.042
	60m-150m	6	-0.091	-1.473	-3.043	1.390	89.523	91.016	11.634	-5.253	42.267	9.856	3.993	80.815
ブレーキ衝突	0m-30m	30	0.367	0.427	-4.236	1.525	88.011	32.013	10.245	-5.641	65.023	139.739	1.417	27.734
	30m-40m	24	0.346	0.242	-4.025	1.544	88.036	37.676	10.209	-5.795	60.815	97.802	1.749	34.280
	40m-60m	36	0.162	-0.028	-3.118	2.260	87.086	69.590	19.829	-6.419	42.501	33.205	2.821	49.832
ブレーキ回避	60m-150m	3	0.505	0.278	-2.467	2.283	93.078	97.561	23.285	-6.320	34.051	23.821	4.035	73.400
	40m-60m	15	0.126	0.067	-4.454	1.351	84.011	57.193	6.362	-6.943	--	18.956	4.456	53.039
	60m-150m	16	0.308	0.379	-3.722	1.897	85.928	99.336	17.399	-6.911	--	17.702	5.224	63.224
前方車挙動	後方車挙動	車間距離による場合分け	サンプル数	反応時横方向位置(m)	終了時横方向位置(m)	反応時減速度(km/h)	反応時間(s)	反応時速度(m/s ²)	相対速度(km/h)	前方車反応時の車頭距離(m)	反応時間内移動距離(m)	最大減速度(m/s ²)	衝突考慮減速度(m/s ²)	停止時間(反応停止)(s)
ハンドル回避	ハンドル回避		5	0.231	-1.531	-2.472	1.992	86.734	78.965	49.237	3.605	-4.928		3.111
	ブレーキ衝突		6	0.319	-0.393	-2.532	1.346	92.610	84.841	45.088	1.801	-5.512	12.758	2.985
	ブレーキ回避		9	0.023	-0.350	-3.288	2.466	83.570	75.801	77.585	14.718	-6.876	16.040	5.354
ブレーキ衝突	ハンドル回避		8	0.179	-1.041	-2.900	1.835	90.848	83.080	76.625	17.644	-4.972		2.863
	ブレーキ衝突	0m-40m	36	0.303	0.369	-4.047	1.779	87.271	79.502	42.602	14.862	-5.971	15.315	1.985
	ブレーキ衝突	40m-60m	27	0.163	0.043	-4.030	2.130	90.859	83.091	70.274	21.223	-6.730	17.468	2.883
ブレーキ回避	ブレーキ回避		23	0.122	-0.250	-4.028	1.331	86.892	79.124	77.810	8.201	-6.595		5.235
	ハンドル回避		1	0.192	-1.682	-3.552	1.121	86.096	78.327	63.545	2.297	-6.708		4.851
	ブレーキ衝突		6	0.272	0.361	-3.528	2.425	86.605	78.836	58.599	18.519	-6.243	16.354	2.926
	ブレーキ回避	0m-40m	9	0.143	0.121	-4.231	1.010	81.919	74.150	34.290	2.298	-7.111	16.963	5.130
	ブレーキ衝突	40m-60m	6	0.106	0.129	-3.700	1.496	79.233	71.464	56.676	4.683	-6.734	17.314	4.801
ブレーキ回避	0m-150m	9	0.413	0.331	-2.691	2.669	82.298	74.530	115.556	17.653	-5.858	11.968	7.741	

表 1 : 前方車、後方車の挙動と反応時における各指標

キ操作を行った結果、衝突している場合は、後方車も衝突する割合が高く（67.0%）、回避した場合は、後方車も回避出来ている割合が高い（77.4%）ことが分かる。よって、2台目の衝突した、回避したという結果が後方車の衝突に大きく影響していると言える。多重衝突事故の3台目の衝突を防止する効果的な対策のひとつとして、2台目の衝突を防止することが重要であるとわかる。

また、表1の反応時間（前方走行車がブレーキを踏んでから自車がブレーキを踏むまでの遅れ時間）の指標では、車間距離が長くなるほど、反応時間も遅くなっている傾向が見られる。反応時間は運転者の状態によって大きく変化するヒューマンファクターであるため、事故回避において重要な指標であるが、車間距離によっても変化すると考える事が出来る。そこで、反応時間については車間距離や反応時速度などを説明変数とする重回帰分析を行った（表2）。その結果、前方車が事故などの急な挙動を起こした時の反応時間は車間距離が長いほど、速度が遅いほど遅くなっている事が分かる。

また、指標の一つとして、衝突速度から、衝突しなかった場合の仮定の停止車間距離を算出している（図3）。

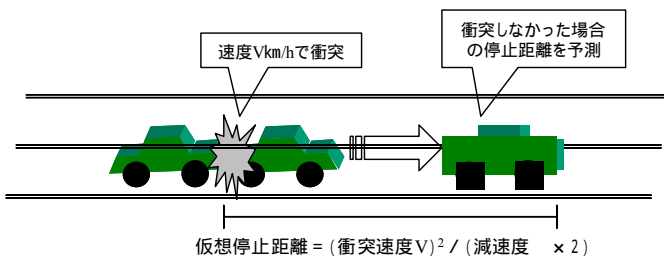


図3：仮定停止車間距離の算出

る（図3）。

衝突しなかったケースの停止時車間距離と合わせて反応時車間距離との散布図を作成したところ、図4のようになった。仮定停止車間距離の値は衝突したサンプルは負の値として算出されており、負の値が大きいほど、事故の衝突の規模、つまり事故の規模が大きかったことを示す指標となる。逆に正の値が大きいほど、停止に余裕があったと考える事が出来る。図4より、反応時の車間距離が40m以下で

あった場合にはすべてのサンプルが衝突しており、60m以上あった場合には多くのサンプルが回避出来ている事が分かる。反応時の車間距離40-60m間においては、衝突・回避のサンプルが混在しており、車間距離以外の異なる要因が影響していると考えられる。

表2：反応時間に関する重回帰分析結果

調整済み R2 乗	0.524	
従属変数: 反応時間(s)	パラメータ	t値
(定数)	3.746	3.832
反応時の速度(km/h)	-0.039	-3.568
前方車反応時の車頭距離(m)	.024	10.483

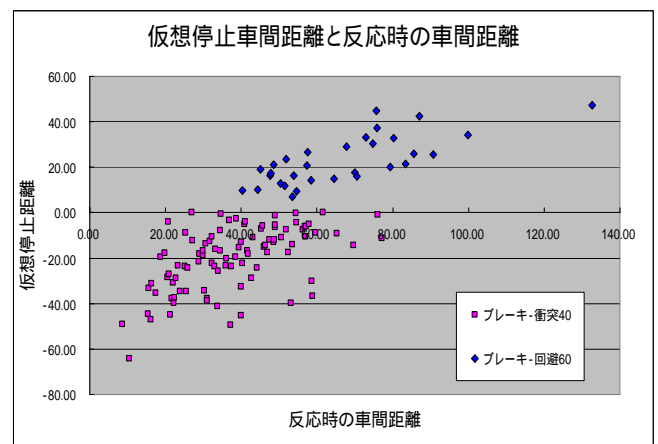


図4：仮定停止車間距離と反応時の車間距離グラフ

表4：運転挙動に関するモデル式の推定結果

調整済み R2 乗	0.820	
従属変数: 前・仮定停止車間距離	パラメータ	t値
前・前方車反応時の車頭距離(m)	0.863	20.530
前・反応時の速度(km/h)	-2.023	-12.609
前・反応時間(s)	-19.777	-15.843
前・反応時減速度(m/s ²)	-5.591	-8.871
(定数)	130.578	8.947

重回帰による分析

車両単独における事故の要因となっている指標を明らかにするために前方車の仮定停止車間距離を独立変数とした重回帰分析を行った。前方車の挙動要因を調査することで、車両単独の内的要因が事故の規模に対してどの程度影響を与えているのかを明らかにしていく。分析の結果は表4に示している。

この結果より、仮想停止車間距離、つまり事故の規模を小さく抑えるには、

- 前方車反応時の車間距離が大きいほど、
- 反応時の減速度が大きいほど、
- 反応時間が短いほど、
- 反応時の速度が小さいほど、

効果的であるという事が言える。

また、前方走行車が後方走行車に影響を与える要因を明らかにする目的で、後方車の仮想停止距離を独立変数とした分析に、前方車の仮想停止距離の推定値(表4で求めた回帰式に観測値を投入して算出したもの)を投入している。その結果が表5である。

表5：後方車の仮想停止距離の分析結果

調整済み R2 乗	0.729	
従属変数: 後・仮想停止車間距離(m)	パラメータ	t値
(定数)	84.057	7.111
後・前方車反応時の車間距離(m)	0.648	13.764
後・反応時の速度(km/h)	-1.314	-9.674
後・反応時間(s)	-13.988	-12.003
後・反応時減速度(m/s ²)	-4.637	-5.780
前・仮想停止距離推定値(m)	0.356	5.572

突した場合、後方車も衝突し、回避した場合、後方車も回避する確率が高いという考察結果と一致する。これらの分析の結果より、2台目、3台目の多重衝突事故の関係を式として表す事が出来た。

5-3 まとめ

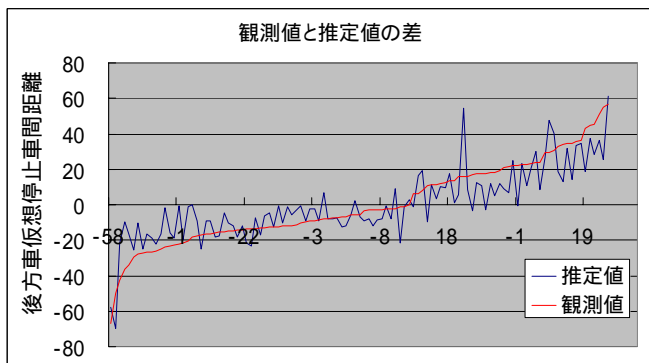
多重衝突事故の防止においては、3台目の衝突を防止する事が一つの目的であったが、2台目の衝突を防止する事で、3台目の衝突も高い確率で回避できることが分かった。

反応時間などの運転者のヒューマンファクターが、事故や挙動の要因として大きく関係している事を確認した。

追従時における前方車の急な事故に対する運転挙動の分析を行い、後方車の回避行動、衝突結果が、さらに後続車へ影響を与えていることが定量的に分かった。

6．終わりに

本研究では、多重事故を誘発させるであろう要因を見つけ、追従時の前方車インシデント発生時における、挙動の分析と、さらに後続へと影響を与える連鎖的な要因があることを見つける事ができた。本研究における実験は、前方を走行する制御車が起こす事故に対する後方車の回避判断挙動と、その自由度の高い挙動に対するさらに後続の走行車における挙動、相互影響を調査する事ができた。本研究では、制御車を合わせて3台の多重衝突事故実験であったが、2台目の車両が3台目に与える影響はさらに後続の4台目、5台目と相互に影響していくものであり、今後の多重衝突事故の防止に役立っていくと考える。



車間距離に有意に影響を与えていることがわかった。

図5：観測値と推定値の差

表5の分析結果によれば、後方車の仮想停止車間距離、つまり、後方車が衝突した場合の事故の大きさは、前方車の事故の大きさが大きいほど、大きくなる傾向がある事が言える。これは、基礎分析において、前方車が衝

- 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「MOVIC-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 年 5 月