

多変量分散分析法を用いた交通環境からの事故因子の定量的な評価*

Quantitative Evaluation of the Accident Factor Due to the Traffic Environment by MANOVA*

洪 一基** 岩崎 征人***

1. はじめに

交通システムの安全性は人間(運転者)、車、道路環境における相互作用で決定される。運転者は交通システム中における中心的な存在であり、システムの信頼性に一番大きな影響を与える要素である。交通システムの相互作用における運転者の能力には限界があり、誤りやすい3つの機能(認知、注意、記憶)に頼らざるをえない。しかし、運転者の情報処理過程を直接観測することは不可能であるため、運転中に道路状況をどのように認知し、どのような判断をするかを定量的に評価(推測)することは非常に難しい。一般的に、交通システム状況が人間の能力を超えると事故が発生する。そのような状況を「ヒューマンエラー」という。Treat (1977)は交通事故の57%は運転者だけに原因があり、90%以上がヒューマンエラーと関係があると報告した^{5), 6)}。

平成16年、東京都内で発生した86, 118件の65%(55, 911件)が交差点及び交差点付近で発生した。そして、死傷者98, 262人の中で死者の73%(232人)、重傷者の82%(1, 118人)が交差点と関連している。また、死者の50%が横断歩道を横断していた歩行者又は自転車である¹⁾。そのため東京都には、死傷事故率が高く、死傷事故が発生している交差点や単路137箇所を事故危険箇所として指定し、死傷事故を約3割抑止することを目指して、警視庁と連携して集中的な対策を講じている¹⁾。

本研究は、危険箇所として指定された交差点の中で交通量が多く事故が多発している交差点を選定し、事故状況図と道路環境評価を用いて現場観測を行い、多変量分散分析の手法の1つである因子分析法を用いて観測データから事故因子と因子スコアを求め、事故当時の道路環境と運転者のヒューマンエラーと関係を定量的に評価するとともに、次に行われるドライビングシミュレーション実験による実験的な道路環境評価の基礎データを提供することを目的とした。

2. 研究方法

*キーワード: 運転者エラー、交通環境、交通事故

**学生員、工修、武蔵工業大学 都市基盤工学科
(東京都世田谷区玉堤1-28-1

TEL:03-3703-3111、FAX: 03-5707-1156)

***正員、工博、武蔵工業大学 都市基盤工学科

(東京都世田谷区玉堤1-28-1、

TEL03-3703-3111(内6525)、FAX03-5707-1156)

(1) 調査対象路線の選定及び特徴

本研究は危険箇所として指定されている交差点の中で、極端な道路環境からの影響を出来るだけ排除し一般的な道路環境での事故サンプルを収集するために駅周辺、商店街、観光地などを除いて、交通量が多く年間事故件数が60件を超える幹線道路間の交差点を対象とした。

調査対象路線として選択された交差点は、東京都内で一番交通量が多く、渋滞が激しい交差点として知られている瀬田交差点である。当交差点は、国道466(環八通り)の下に国道246(玉川通り)の中央部4車線が立体交差し、都道427と国道246の外側2車線が国道466と平面交差する。

交通統計によると都内で一番交通量が多く、渋滞が激しい道路区間で、年平均60件以上の交通事故が発生し時間交通容量は約1, 800台、平均渋滞距離1. 5kmで複雑な車両相互作用によるヒューマンエラーが起こりやすい環境である。車線は片側3車線(幅:3.5m/lane)で中央分離帯が設置されている。交差点は直進2車線、右左折専用車線を持つ4車線(幅:3.3m/lane)に変更される。

交差点の内部は車線のずれと複雑な車両挙動、信号制御、路面表示、道路標示などによる錯綜が起こりやすい。東名高速道路と首都高速道路の入口につながるため大型トラックの通行が目立つ。国466の西側を除いて歩道橋が設置されているが、歩道橋が設置されていない横断歩道へ自転車が集中するため、対車両事故が頻発している。都道427号から国道466へ進入する際、見通しが悪く道路標示や信号が複雑で判断ミスによる出会い頭事故が起こりやすい。平成16年8月に行われた交通流観測の結果、信号周期は160秒であった⁷⁾。

(2) 調査方法^{2), 3)}

事故現場における道路環境調査は瀬田交差点の中心から半径50m以内で2年間(平成15、16年)発生した事故の中で死亡事故と資料不十分の事故を除いた91件の事故を対象に行った。まず、調査対象区間に対して一般交通量調査を行い車両挙動に関する理解を高めた上で事故類型別道路環境分析表を作成した。次に、玉川警察署の協力を得て交通事故分析管理システム(KOA/TBS)の情報を取得し、道路環境分析表による現場調査及び評価を行った。

事故現場分析表は、道路環境の評価項目を道路の幾何構造、障害物・横断施設、交通規制・制御、交通流などに分類し、事故との関連性を定量化するために関連性が非常に低い場合1点、関連性がややある場合3点、関連性が高い場合5点の評価値を与えた。安全の問題で十分な評価ができない視距などの評価では、国道交通省から取得した道路図面、航空写真などを基に作成した3次元 VR モデルを用いて評価した。

(3) 分析方法

収集されたデータは、多変量分散分析法の1つである因子分析法を用いて事故類型別に事故の原因になったと考えられる共通因子(Common Factor)を抽出した。分析ツールは統計分析で幅広く使われている SPSS を用いた。因子分析の方法は共通因子を抽出方法として主因子分析(PRIN)、各因子と評価項目との支配関係を調べるためにバリマックス回転法 (Varimax Rotation)を行った。

3. 結果

(1) 事故類型別のヒューマンエラーの分類

事故当時に運転者が意図した行為とヒューマンエラーの特徴を調べるために、運転行動を信号待ちのための減速停止、左折、右折、追従走行、車線変更追い越しなどに分類した。そして、各々の事故の原因と考えられるヒューマンエラーを次のように分類した⁵⁾。

- a) 省略(Omission): やるべき行為が行われなかった。
- b) 侵入(Intrusion): 行為系列の中に全く関係のない行為が入り込まれた。
- c) 置換(Replacement): 行為系列の中のある行為が別の行為に入れ替えられた。
- d) 遅延(Delay): 行為が必要とされる時行われなかった。
- e) 未熟(Premature action): 必要とされた時、行為が行われなかった。

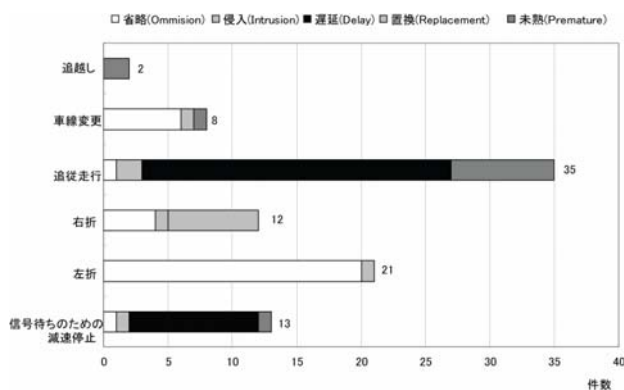


図-1 運転行動別のヒューマンエラーの分類

図-1は瀬田交差点で発生した91件に対する事故当時の運転挙動とヒューマンエラーを表している。特に、瀬田交差

点のように交通流が多い信号交差点は追従走行中に信号停止する先行車の動きに対する遅れと左折時に後ろから来る二輪車又は横断歩道の安全確認をしないための事故が多い。

(2) 因子分析による事故因子の抽出

a) 主因子分析法による道路環境からの共通因子抽出

事故類型別に作成された事故現場分析表を用いて3段階に定量化されたデータは、各々の評価項目を変数として主因子分析を行った結果、追突事故(42件)と出会い頭事故(9件)から5つの共通因子が抽出することができた。他の事故類型はサンプルが少ないため有意な結果が得られなかった。表-1は追突事故現場分析表の評価項目から抽出された5つの共通因子が追突事故の約80%(累積率)を支配していることを意味する。表-1と2は追突事故及び出会い頭事故の現場分析表の評価項目から抽出された5つの共通因子を表す。しかし、主因子分析では各因子と各々の評価項目との関係が分からないため因子回転を行い各因子と評価項目との支配関係をしらべる必要があるため、次に説明する因子回転法を用いた。

表-1 追突事故における共通因子と寄与率

成分	初期の固有値			抽出後の負荷量平方和		
	合計	分散の%	累積%	合計	分散の%	累積率
1	4.27	28.48	28.48	4.27	28.48	28.48
2	2.79	18.58	47.06	2.79	18.58	47.06
3	2.01	13.43	60.49	2.01	13.43	60.49
4	1.66	11.05	71.54	1.66	11.05	71.54
5	1.21	8.05	79.60	1.21	8.05	79.60*

表-2 出逢い頭事故における共通因子と寄与率

成分	初期の固有値			抽出後の負荷量平方和		
	合計	分散の%	累積%	合計	分散の%	累積率
1	6.947	34.735	34.735	6.947	34.735	34.735
2	4.463	22.315	57.050	4.463	22.315	57.050
3	3.342	16.711	73.761	3.342	16.711	73.761
4	2.311	11.553	85.315	2.311	11.553	85.315
5	1.676	8.379	93.694	1.676	8.379	93.694

b) バリマックス回転法による共通因子の支配関係分析

事故類型別に作成された事故現場分析表を用いて3段階に定量化されたデータは、各々の評価項目を説明変数として主因子分析を行い、追突事故と出会い頭事故から5つの共通因子が抽出することができた。しかし、正面衝突、歩行者事故からは事故サンプルが少ないため統計的に有意な結果が得られなかった。表1と表2は、主因子分析で抽出された5つの共通因子に対してバリマックス回転を行い、各因子と評価項目との支配関係を調べた結果を表す。

事故別に抽出された共通因子が事故にどれほど影響を与えたかを示す指標として各因子の寄与率を求めた。各事故類型別の評価項目における各共通因子への寄与率を求める時に、一般的には因子負荷量0.4以上と基準とする。今回は追突事故を0.5、出会い頭事故は追突事故よりサンプルが少ないことから0.6と設定した。以下の式を用いて寄与率を求めた³⁾。

$$XC_i = \sum_{j=1}^m b^2_{(i,j)} \quad \text{式 (1)}$$

$$FC_j = \sum_{i=1}^p b^2_{(i,j)} / k \quad \text{式 (2)}$$

ここで、XC_i=評価項目に対する説明分散

FC_j= 因子 j に対する寄与率

B_{ij}=各共通因子における因子負荷量

(i = i 番目の評価項目、j = j 番目の共通因子)

k = 因子付加量 |0.5|又|0.6|以上の評価項目数

表ー3、4は追突事故及び出会い頭事故に対するバリマクス回転によって得られた各因子と評価項目との支配関係を表す。説明分散は各評価項目の因子負荷量を二乗した値の合計で、因子の支配力を表す。

例えば、因子1の説明分散 3.52 (|−0.063 |²+|0.706|²+…+|−0.05|²+|0.000|² = 3.52) は約 4 個分の評価項目を支配できる強さを表す。寄与率は全体のデータ変動(評価項目)に対する各因子の説明分散の割合(3.53/15=0.23;23%)である。即ち、因子1の寄与率は、因子1を構成する道路環境評価が追突事故の23.9%を支配していることを言える。

表ー3 追突事故における評価項目と各因子の寄与率

回転後の成分行列(a)						
評価項目	主成分					累積率
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	
X4	−0.06	−0.28	0.07	0.82	−0.04	0.76
X5	0.71	−0.43	0.14	−0.39	−0.09	0.87
X6	−0.18	−0.07	0.05	0.86	−0.08	0.78
X7	−0.47	−0.28	0.34	−0.13	0.59	0.78
X8	0.33	0.75	−0.08	0.09	0.05	0.70
X9	−0.18	0.81	−0.17	−0.25	−0.13	0.80
X10	0.08	0.18	−0.26	0.04	0.85	0.83
X11	0.28	0.88	−0.08	−0.09	0.01	0.86
X12	0.93	0.05	0.12	−0.04	0.05	0.89
X13	−0.22	−0.23	0.35	−0.19	0.62	0.65
X14	0.94	0.11	−0.09	−0.05	−0.05	0.91
X15	0.85	0.12	−0.25	−0.12	−0.21	0.85
X16	−0.17	0.66	0.13	−0.22	−0.04	0.53
X18	−0.06	−0.04	0.91	−0.02	0.06	0.83
X19	0.00	−0.04	0.94	0.15	−0.04	0.91
説明分散	3.52	2.90	2.18	1.78	1.55	11.94
寄与率	23.49	19.35	14.55	11.88	10.34	79.60

(注) 評価項目の詳細は省略

表ー4 出会い頭事故における評価項目と各因子の寄与率

回転後の成分行列(a)						
評価項目	主成分					累積率
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	
X1	0.86	0.18	−0.17	0.03	0.44	0.99
X4	−0.13	0.25	0.56	0.05	0.76	0.97
X5	−0.23	0.09	−0.22	0.20	0.92	1.00
X7	0.36	0.07	0.84	0.28	0.23	0.98
X8	0.15	−0.18	−0.73	0.00	0.03	0.60
X9	−0.41	0.14	−0.05	−0.64	−0.53	0.89
X11	0.94	−0.33	−0.03	0.08	−0.08	1.00
X12	0.94	−0.33	−0.03	0.08	−0.08	1.00
X14	−0.10	−0.19	−0.92	0.16	0.14	0.94
X15	−0.75	0.38	0.38	−0.30	−0.06	0.95
X16	−0.33	0.92	0.12	−0.11	−0.12	0.99
X17	−0.14	0.90	0.15	0.21	0.14	0.92
X18	0.87	−0.18	0.33	−0.16	−0.19	0.97
X21	0.87	−0.18	0.33	−0.16	−0.19	0.97
X22	0.56	0.00	0.11	−0.59	0.56	0.99
X23	−0.16	0.33	0.11	0.91	0.15	0.99
X24	−0.14	0.65	0.23	0.52	0.25	0.82
X25	−0.58	−0.47	0.48	−0.01	0.30	0.87
X26	−0.14	0.90	0.15	0.21	0.14	0.92
X27	0.53	0.24	−0.36	0.72	−0.04	1.00
説明分散	6.10	3.91	3.34	2.78	2.61	18.74
寄与率	30.50	19.53	16.72	13.92	13.03	93.69

(注) 評価項目の詳細は省略

c)各因子の命名

最終段階では、各因子と強い支配関係を持つ道路環境の評価項目を用いて各因子の特性を表す名前をする必要がある。因子の命名は各因子に対する因子負荷量を見て決める。できるだけ大きな値に決めるのが望ましいが、普通標本抽出誤差や測定誤差を補償するために|0.4|以上を基準とする。本研究では、追突事故に対して|0.5|、出会い頭事故に対して|0.6|を基準にした。表3、4の中で基準値を超える因子負荷量にマーキング(下線、太字)されている。

例えば、表3の因子1でマーキングされた追突事故に対する評価項目はX5、X12、X14、X15はある。統計処理のために変数名を付けたが事故現場分析表の評価項目に戻すと次のようになる。

- ・X1: 景色、看板、歩行者、周辺漏光などが視覚ノイズとなり、前方不注意
- ・X12: 交差点通過の焦りに起因する後方車の無理な交差点進入
- ・X14: 渋滞先詰まりによる後方車の無理な交差点進入
- ・X15: 横断歩行者需要とその車両との錯綜に起因する、後

方車の無理な交差点進入

即ち、事故現場における道路環境の評価項目 X1、X12、X14、X15 の特徴を表す因子名を「無理な交差点進入による前方不注」と命名した。そして、追突事故における因子1の支配度は約 23.5%と推定することができる。同様の方法で、抽出された全ての因子に対する命名を行った。

4. まとめ

各事故類型別の抽出された因子を構成する評価項目の特徴から命名された因子名と寄与率をまとめると次のようになる。

(1) 追突事故における交通環境からの主な事故因子

- a) 無理な交差点進入による前方不注、23.5%
- b) 道路表示不十分及び速度判断の誤り、20%
- c) 後続車の速度が速い場面での先行車の急停止、急な割り込み、15%
- d) 沿線構造物による前方車及び信号の視認性妨害、12%
- e) 沿線からの出入、駐車車両による急停止、10%

(2) 出会い頭事故の交通環境からの主な事故因子

- a) 車両の陰、道路障害物、幾何後続による対向車の視認性低下、31%
- b) 信号待ちや渋滞による焦りで無理な横断、20%
- c) 複雑な道路表示・標示による状況判断の遅れ、17%
- d) 交差量の増加による対向車の速度判断ミス、14%
- e) 道路幾何構造による対向車の進行方向や車両間隔の判断ミス、13%

以上の結果から、交通事故におけるヒューマンエラーは決して道路幾何などの静的な環境要因が原因ではなく、交通流の中での車両相互作用が複雑で動的な交通状況を生み出すのが原因であると考えられる。

また、交通事故におけるヒューマンエラーは交通流による交通環境の時間的な変化とそのときの判断ミスが主な原因である。即ち、静的な道路環境の完全だけでなく運転者が目の前の状況を迅速かつ的確に判断できるような交通環境を両立させることが事故防止鍵だと言える。

5. 今後の課題

本研究の過程で作成されたVRデータと抽出された事故因子を渋滞流の生成ができるドライビングシミュレータで再

現し、渋滞による複雑な車両相互関係と運転挙動の特性を調べる研究が進められている。

特に、若年者に比べて各種身体能力指数が低いと知られている高齢者が、道路環境をどのように認知し次の行動を決めるかを調べ高齢社会に適した交通環境を提案したい。

3. おわりに

本研究は現場調査を行った著者より、玉川警察署交通課から交通事故分析管理システム(KOA/TBS)から得られた事故の詳細図が重要な鍵だった。玉川警察署交通課のご協力と1ヶ月間に渡って現場調査をしてくれた後輩たちに感謝する。そして、未熟ながら本研究が交通事故の防止に少しでも貢献できたら望外の幸せである。

参考文献

- 1) 警察庁、平成15年度版交通統計、2004
- 2) 交通工学研究会、交差点事故対策の手引、丸善株式会社、Part 1-3、2003
- 3) 田中 敏、実践心理データ解析、新曜社、pp214-342、1996
- 4) (社)自動車技術会、「自動車の人間工学技術」、株式会社朝倉書店、第1・2章、1998
- 5) Erik Hollnagel, Human Reliability Analysis Context and Control, pp145-300, Academic Press, 1990
- 6) Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., Hume, R. D., Mayer, R. E., Stanisfer, R. L. and Castellan, N. J, Tri-level study of the causes of traffic accidents, No. DOT-HS-034-3-535-77, 1977
- 7) Transportation Research Board (TRB), Highway Capacity Manual 2000, Chapter 16, 2000
- 8) Japan society of Traffic Engineers, Traffic Planning and Design of At-grade Intersections, Chapter1-2-4, 19883)