

2022 年度

タカタ財団助成研究成果報告書

長期観測運転データを用いた
高齢運転者の加齢に伴う危険運転行動
発生メカニズムの分析

-2022 年度タカタ財団助成研究論文-

ISSN 2185-8950

名古屋大学 未来材料・システム研究所

教授 山本 俊行

名古屋大学 未来社会創造機構

特任講師 姜 美蘭

名古屋大学 未来社会創造機構

特任准教授 島崎 敢

報告書概要

申請者らは、令和2年度に本研究助成の支援を受け、運転行動階層モデルに基づく高齢運転者の危険運転行動発生メカニズムに関する研究を実施し、高齢運転者の人間特性と安全態度が運転計画へ及ぼす影響を分析した。本研究は、引き続き、名古屋大学COIプロジェクトで収集された高齢者データベースにおける人間特性データと長期観測運転データを用いて、安全態度と運転計画が危険運転行動へ及ぼす影響を分析することで、高齢運転者の危険運転行動の抑制を図る。更に、長期観測運転データを活用し、人間特性データと危険運転行動の経年変化に関するパネルデータを取り入れた成長曲線モデルを構築し、中高年、前期高齢者、後期高齢者という各年齢層間の相違を分析するとともに、加齢に伴う経年変化の個人差も定量的に測ることで、個人特有の特性についても考察した。危険運転行動の指標としては、ドライブレコーダーから観測された急ハンドル、急ブレーキ、急加速行動の発生頻度を用いた。成長曲線モデルによるパネル分析の結果、危険運転行動の発生頻度は男女によって著しく違うこと、中高年と前期高齢者に比べ後期高齢者の経年増加率が大きいことが明らかになった。また、成長曲線モデルにおいて不等分散性を設定し分析した結果、同年齢層でも個人差のばらつきが大きいことが推定された。これらの研究成果は、個人特有の運転能力と危険運転行動について考察可能であるため、年齢で同視化するのではなく、個々人に適応した運転支援策と運転指導を見出すことに寄与する。

目 次

長期観測運転データを用いた高齢運転者の加齢に伴う 危険運転行動発生メカニズムの分析

第 1 章 はじめに

- 1.1 研究背景
- 1.2 研究内容と目的

第 2 章 安全態度と運転計画が危険運転行動へ及ぼす影響分析

- 2.1 運転行動階層モデルの概要
- 2.2 分析に用いたデータ概要
- 2.3 モデル推定結果
- 2.4 結果の考察

第 3 章 加齢に伴う危険運転行動発生に関する分析

- 3.1 経年観測データ概要
- 3.2 G-G ダイアグラムによる運転パフォーマンスの経年変化分析
- 3.3 成長曲線モデルと推定結果
- 3.4 分析結果の考察

第 4 章 安全態度と運転スタイルに関するアンケート調査分析

- 4.1 アンケート調査概要
- 4.2 調査データの基礎集計分析

第 5 章 まとめと今後の課題

参考文献

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景

高齢者人口割合の増加に伴い、高齢運転者(第 1 当事者, 65 歳以上)の事故件数は、令和 2 年度全事故件数の 53%に達している。特に、死亡事故においては、75 歳以上の後期高齢運転者の事故件数(免許保有者 10 万人当たりの死亡事故件数)が若者の件数を超えトップに立ち、交通事故削減における喫緊の課題となっている。

高齢運転者は加齢による身体機能の変化により、認知・判断・操作の運転能力が低下する特性が見られるが、高齢者自身は自らの身体能力の変化を十分に把握していないケースが多く、過信行動を取る危険が潜在している。申請者らは、令和 2 年度に本研究助成の支援を受け、運転行動階層モデルに基づく高齢運転者の危険運転行動発生メカニズムに関する研究を実施し(2020 年度タカタ財団助成研究論文 ISSN 2185-8950)、高齢運転者の人間特性と安全態度が運転計画へ及ぼす影響について分析した。本研究は、引き続き、これらの安全態度と運転計画が危険運転行動へどのような影響を及ぼすかを分析することで、高齢運転者の危険運転行動を抑制できる対策について知見を得ることを目指す。

更に、加齢に伴う危険運転行動の変化は各年齢層間で異なるとともに、同一年齢層内でも個人によるばらつきがあると考えられるが、これらの相違について定量的に分析した研究は筆者らが知る限り少ない。個々人の加齢に伴う経年変化を捉えるためには、同一人物において、長期観測したデータが必要であると同時に、蓋然性の高い一般的な知見を得るためには十分なサンプル数が必要である。必要なサンプル数とデータ量を確保するため、多くの研究が大量サンプルによる単一年度のクロス・セクション(横断面)データによる分析、若しくは、少量サンプルを多年度に渡り蓄積したプールド・データの分析に留まり、個々人の経年変化を分析することまでには至らなかった。本研究では、名古屋大学 COI 拠点活動の一環として、2015 年から現在に至るまで継続して収集した 100 名弱の高齢運転者の長期観測運転データを用いることで、高度なモデル分析に十分なパネルデータを確保することが可能であり、高齢運転者の加齢に伴う運転能力と危険運転行動変化について、年齢層間の相違及び個人差を定量的捉え、安全・安心に運転できる適切な運転年齢の診断と安全運転支援に資する知見を得ることを目指す。

1.2 研究内容と目的

本研究では、高齢運転者の 5 年以上に渡る視覚機能・認知機能などの人間特性データから、個人個人の健康状態・運転能力に関するパネルデータベースを構築し、加齢に伴う心身機能の経年変化を分析する。同時に、ドライブレコーダーの長期観測データから、走行速度と加減速度から危険運転行動を抽出し、各高齢運転者の危険運転行動の特徴と加齢に伴う経年変化を把握する。これらの分析結果を統合し、高齢運転者の健康状態・運転能力などの人間特性と安全態度、運転計画、危険運転行動の各階層間の関係を構造

方程式モデリングによって同定する。更に、人間特性データと危険運転行動の経年変化に関するパネルデータを取り入れた成長曲線モデル（**growth curve model**）を構築し、中高年、前期高齢者、後期高齢者という各年齢層間の相違を分析するとともに、加齢に伴う経年変化の個人差についても定量的に推定することを目的とする。

これらの分析により、加齢に伴う危険運転行動の発生メカニズムを明らかにすることで、高齢運転者の心身の健康状態と運転能力が交通事故に及ぼす影響について包括的な知見を得ることが期待される。また、各年齢層間の相違に加え、個人差のばらつきも推定することで、各年齢層における全般的知見だけでなく、個人に特有の知見も得られる。従って、個人個人の健康状態と運転能力に適した安全な運転計画の案内などにより、高齢運転者の交通事故リスクの削減、及び安全運転年齢の診断や運転支援策の考案などの社会課題において、年齢で同視化するのではなく、個人に着目した対策を検討できることを目指す。

第 2 章

安全態度と運転計画が危険運転行動へ及ぼす影響分析

2.1 運転行動階層モデルの概要

申請者らは、令和 2 年度に本研究助成の支援を受け、運転行動階層モデルに基づく高齢運転者の危険運転行動発生メカニズムに関する研究を実施し、高齢運転者の人間特性と安全態度が運転計画へ及ぼす影響について分析した。本研究は、引き続きこれらの安全態度と運転計画が危険運転行動へどのような影響を及ぼすかを分析する。以下図 2.1 にモデリングフレームワークを示す。「安全態度」については、社会心理測定質問紙によるアンケート調査より計測し、ドライブレコーダーによる長期観測運転記録データから一人一人の「運転計画」と「危険運転」行動を計測する。

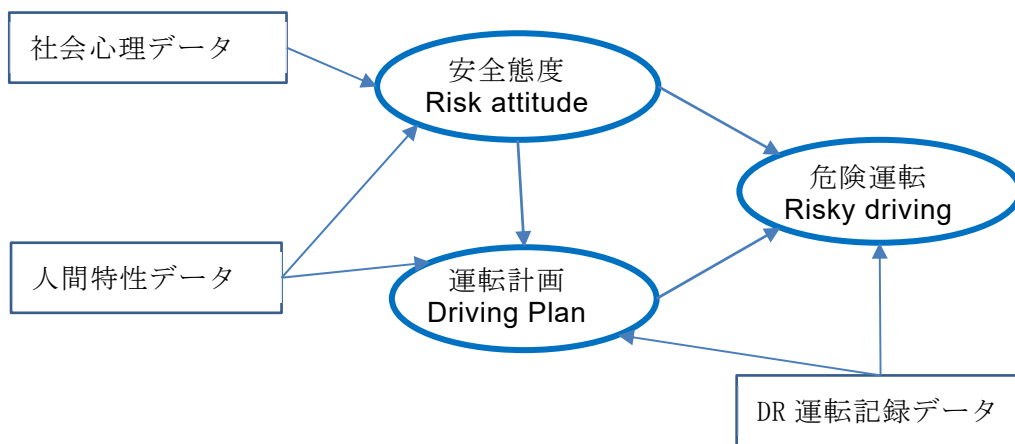


図 2.1 本研究のモデリングフレームワーク

2.2 分析に用いたデータ概要

本研究で使用したデータは、名古屋大学「革新的イノベーション創出プログラム (COI STREAM)」プロジェクトの高齢運転者データベースにより収集されたものである。本データベースの概要と、本研究で用いる社会属性データ、健康属性データ、運転行動データ、安全態度と心理的運転目的のデータなどについては、2020 年度タカタ財団助成研究論文 ISSN2185-8950「長期観測運転データを用いた運転行動階層モデルに基づく高齢運転車の危険行動発生メカニズムの分析」第 2 章で説明しているため省略する。

本高齢運転者データベースは、50～85 歳の 85 名の一般ドライバーから実験参加への了承を得て、普段の運転に使われている自家用車にドライブレコーダーを搭載し、日常運転記録データを収集している。85 名のうち、14 名は家族や他人が良く運転され本人の運転率が低かったため本研究の分析対象から外した。ほぼ本人が運転されている 71 名のうち、69 名が安全態度に関する質問に回答したため、これらの回答者を分析対象とした。図 2.1 は年齢層別（中高年は 50～64 歳、前期高齢者は 65～74 歳、後期高齢者は 75 歳以

上を示す), 性別毎の比率を表す.

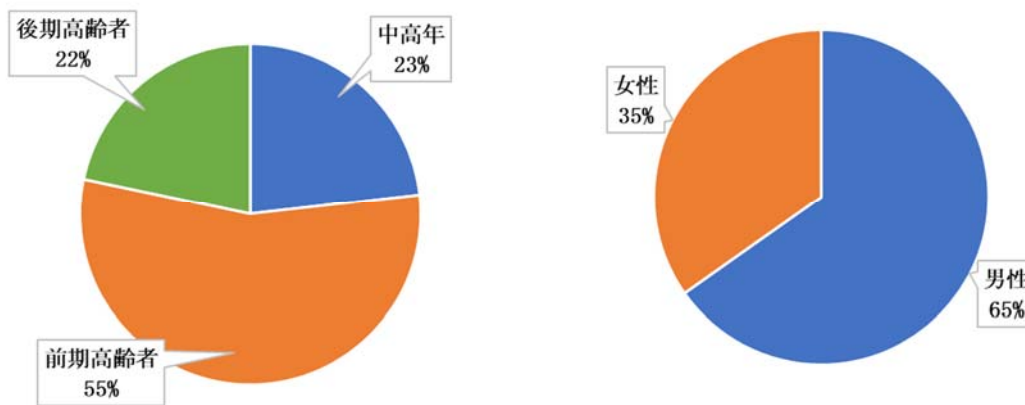


図 2.1 年齢層別・性別毎のサンプル比率

安全態度の指標として, 衝動性-感覚追及 (Impulsive-Sensation Seeking, ImpSS と略) 尺度を活用した. この尺度の高得点者は, 物事を行うに当たり, 計画性がなく, 深く考えずに行動する傾向が強い. ImpSS 尺度は, 危険運転などの危険な行動を確認する上で重要な役割を果たしている (Zuckerman and Aluja, 2015). ImpSS は全 19 項目の質問で構成され, 「衝動性」(IMP) (計画的ではなく衝動的に行動しやすい)と「感覚追及」(SS) (危険なことをしたがる) の 2 つの下位尺度に分けられる. 日本語訳は Shiomi et al. (1995, 1996)を参考に作成した. もう一つの社会心理学的評価指標として, 心理的運転目的尺度 (Psychosocial Purpose of Driving Scale, PSPD と略) を活用した. PSPD 尺度は若者の危険運転行動の研究に良く使われる尺度である (Scott-Parker et al., 2015). PSPD 尺度は 7 項目の質問で構成されている. 本研究では, 高齢者の危険運転においても心理的要因が多く関係すると考え, 同様の調査項目を適用した. ImpSS 尺度と PSPD 尺度では 1 から 4 までの Likert 尺度 (1=まったくそう思わない, 4=非常にそう思う) を用いた.

本研究で用いた高齢者運転データベースでは, 実験参加者の認知機能テストとしてミニメンタルステート検査 (MMSE) を実施している. MMSE は, 認知障害の測定に広く用いられ, スコアが高いほど認知機能が高いことを表す. 25 点未満のスコアの場合, 認知障害があることを示す (Pezzotti et al., 2008). 本研究で用いたデータでは, MMSE スコアの最小値が 24 点で 1 件しかなかったため, 認知障害有無のダミー変数の代わりに, MMSE スコア値を使用して認知機能の影響を推定した.

表 2.1 にて, 分析に用いた社会心理データと認知機能データの年齢層ごとのスコアの分布を示す. SS スコアは年齢層間で大きな違いがなかったが, Imp スコアは, 前期高齢者がその他の年齢層に比べはるかに高い値を示した. PSPD スコアは, 後期高齢者のスコアが高くなっており, 後期高齢者になるほど運転目的に心理的要因が大きく関係することが考えられる. 一方, MMSE スコアは, 後期高齢者の平均値が小さくなっており, 加齢に伴う認知機能の低下を表していた.

表 2.1 社会心理データと認知機能データ概要

	中高年		前期高齢者		後期高齢者	
	平均値 (標準偏差)	最小値 最大値	平均値 (標準偏差)	最小値 最大値	平均値 (標準偏差)	最小値 最大値
SS	27.75 (6.13)	16 38	26.55 (5.82)	14 37	26.53 (5.07)	19 35
Imp	0.63 (2.19)	-4 4	1.16 (2.64)	-3 6	0.27 (1.94)	-2 5
PSPD	17.25 (3.51)	9 22	17.87 (3.15)	9 25	18.79 (4.30)	11 26
MMSE	28.88 (1.09)	27 30	28.32 (1.58)	25 30	27.4 (1.59)	24 30

運転計画性をあらわす変数として、走行経路特性、走行時間帯特性と走行距離特性の三つの指標を用いた。表 2.2 は分析対象者 69 名の運転記録データから得られた運転計画特性データの概要を示す。

表 2.2 運転計画データ概要

	中高年 平均値 (標準偏差)	前期高齢者 平均値 (標準偏差)	後期高齢者 平均値 (標準偏差)
走行経路特性 route choice			
左折頻度	0.83 (0.22)	0.83 (0.46)	0.73 (0.19)
右折頻度	0.76 (0.21)	0.75 (0.47)	0.65 (0.19)
細街路走行率	12.82% (5.29%)	11.82% (9.54%)	10.68% (6.03%)
走行時間帯特性 driving time			
朝ピーク時走行率	18.58% (8.38%)	11.79% (6.11%)	11.53% (8.49%)
夕ピーク時走行率	5.86% (5.69%)	2.44% (2.43%)	3.87% (4.54%)
走行距離特性 driving distance			
長距離連続運転率	18.67% (12.49%)	15.76% (9.90%)	18.75% (13.58%)
長距離日運転率	11.39% (7.05%)	12.57% (10.35%)	11.18% (11.34%)

ここで、細街路は道路幅が 3.0m~5.5m の道路を対象とする。朝ピークは 7:00~10:00、夕ピークは 16:00~20:00 の時間帯として定義する。長距離連続運転率は 10 分以上運転を中断することなく連続して 10 km以上走行したトリップ率を示す。長距離日運転率は日走行距離が 50 km以上の運転日の割合を示す。走行経路特性から見ると、後期高齢者は、左折頻度、右折頻度、細街路走行率が低いことが分かる。これより、加齢に伴い危険回避を意識している可能性がある。走行時間帯特性は、ピーク時の走行率が加齢に伴い減る傾向を示し、特に夕ピーク時の走行率の減少は視力の低下などに伴うリスクを回避していることが一つの原因として考えられる。但し、走行距離特性については、加齢に伴う走行距離の減少は確認できなかった。その理由としては、高齢になるほど自動車による移動に頼っていることが考えられる。

本実験で搭載したドライブレコーダーは加速度センサーなどの情報から急発進・急ブレーキ、急ハンドルなどのイベントを検知し、1秒単位で記録している。複数のイベントが同時発生した場合は、発生したすべてのイベントが記録される。本研究では、これらのイベントの発生頻度（1走行キロ当たりのイベント数）を危険運転行動の分析に用いた。また、ドライブレコーダーによる走行速度と3軸加減速度のデータから危険速度の発生頻度を計算し分析に用いた。表 2.3 にこれらの危険運転行動データについて年齢層別の分布を示す。それぞれの指標において、後期高齢者は危険行動の発生頻度が増加することが分かる。

表 2.3 年齢層別危険運転行動発生頻度

	中高年 平均値 (標準偏差)	前期高齢者 平均値 (標準偏差)	後期高齢者 平均値 (標準偏差)
急発進・急ブレーキ発生頻度	0.054 (0.066)	0.072 (0.096)	0.149 (0.186)
急ハンドル発生頻度	0.004 (0.010)	0.003 (0.009)	0.013 (0.043)
危険速度発生頻度	0.003 (0.011)	0.004 (0.017)	0.052 (0.152)

2.3 モデル推定結果

本研究では、共分散構造分析モデリングを用いて、個人属性、安全態度、運転計画と危険運転行動の関係性を分析する。モデルの構造としては Multiple Indicator Multiple Cause (MIMIC) モデルを用い、サンプルサイズが少ないケースにも適用できる(Olsson et al., 2000)一般化最小二乗(Generalized least square)により推定した。モデルの適合度検定結果は、 $\chi^2/df = 1.77$, RMSEA = 0.078, CFI = 0.93, TLI = 0.92 であり、モデルが適合していることを示した。

モデルの推定結果を表 2.4 と表 2.5 に示す。表 2.4 は運転計画特性に属する三つの潜在変数、危険運転行動の潜在変数、観測変数との測定方程式 (measurement model) の推定結果を示す。表 2.5 は潜在変数と外生的観測変数との構造方程式 (structural model) の推定結果を示す。表 2.6 は各変数が危険運転行動へ影響を及ぼす直接効果、間接効果、

総合効果を計算した結果である。

表 2.4 測定方程式の推定結果

潜在変数		coefficient
走行経路特性	左折頻度	0.980*
	右折頻度	1.000*
	細街路走行率	0.902*
走行時間帯特性	朝ピーク時走行率	0.886*
	夕ピーク時走行率	0.663*
走行距離特性	長距離連続運転率	1.000*
	長距離日運転率	0.833*
危険運転行動	急発進・急ブレーキ発生頻度	0.993*
	急ハンドル発生頻度	0.849*
	危険速度発生頻度	0.891*

* 5% 有意

表 2.5 構造方程式の推定結果

		運転計画			危険運転 行動
		走行経路	走行時間帯	走行距離	
個人属性	前期高齢ダミー	-	-0.570*	-	0.511*
	後期高齢ダミー	-	-0.593*	-	0.781*
	女性ダミー	-	0.299*	-	-
	高校以上学歴ダミー	-0.286*	-	-	-
	50年以上の運転歴ダミー	0.164	-0.414*	-	-
	同居者人数	-	-	0.336*	-
認知機能	MMSE	-0.223*	-0.363*	0.256*	-
社会心理 属性	SS	0.280*	-0.160	-0.166	0.196*
	Imp	-	-	0.376*	-
	PSPD	-0.166	-	0.407*	0.205*
運転計画	走行経路特性	-	-	-	-0.012
	走行時間帯特性	-	-	-	0.673*
	走行距離特性	-	-	-	-0.287*

* 5% 有意水準

表 2.6 危険運転行動への各変数の効果

	変数	直接効果	間接効果	総合効果
個人属性	前期高齢ダミー	0.511	-0.384	0.127
	後期高齢ダミー	0.781	-0.399	0.382
	女性ダミー	-	0.201	0.201
	高校以上学歴ダミー	-	0.003	0.003
	50年以上の運転歴ダミー	-	-0.281	-0.281
	同居者人数	-	-0.096	-0.096
認知機能	MMSE	-	-0.315	-0.315
社会心理 属性	SS	0.196	-0.063	0.133
	Imp	-	-0.108	-0.108
	PSPD	0.205	-0.115	0.09

2.4 結果の考察

これらの推定結果より、高齢者の危険運転行動には以下のような要因が影響を及ぼすことが分かる。

1) 個人属性の影響

中高年に比べ、前期高齢運転者と後期高齢運転者はピーク時の運転を控えている傾向がある。これは、高齢に伴う夜間視力の低下などにより薄暗い時間帯の運転を積極的に避けていると考えられる。そのため、走行時間帯運転計画特性により危険運転行動を緩和する間接効果がある。一方、前期高齢者と後期高齢者の両者とも危険運転行動を起こしやすい傾向があり正の直接効果を持っている。年齢から危険運転行動への総合効果を計算したところ、走行時間帯特性によるリスク回避があるにもかかわらず、前期高齢運転者は0.127、後期高齢運転者は0.382という総合効果を持っており、いずれも中高年より危険運転を起こしやすいとともに、後期高齢者のほうが前期高齢者より危険運転行動を起こしやすいことが分かる。

女性運転者は危険運転行動への直接効果は推定されなかったが、男性運転者に比べ、ピーク時の運転が多く、走行時間帯特性により危険運転が発生する可能性が高くなっていった。これにより、女性運転者はピーク時の運転を避けるように運転計画を立てることが危険運転削減につながる事が考えられる。

また、推定結果より高校以上の学歴を持つドライバーほど右左折や細街路などの危険なルートを避けていること、運転歴が長いほどピーク時の走行を控えることで危険回避につながっていることが分かった。この結果は、Song et al. (2021)による運転経験が多いほどドライバーのリスク認知が高いという研究結果と一致する。

家族構成の影響については、同居者人数が多いほど、長距離の運転が多かった。ただし、走行距離特性は危険運転行動へ負の直接効果を持っており、長距離運転が多いほど危険であるとは限らなかった。

2) 認知機能の影響

MMSE スコアは危険運転行動に直接影響することはないが、すべての運転計画特性に有意に働き、認知機能が高いほど長距離運転が多いが、右左折や細街路を避け、ピーク時の運転を控えるなど危険回避を意識していることが分かる。MMSE スコアから危

険運転行動への総合効果は-0.315で、スコア（認知機能）が高いほど危険運転行動が少ないという結果であった。

3) 社会心理属性の影響

衝動性-感覚追及指標のうち、感覚追及指標 SS スコアは走行経路特性と有意に関係付けられ、感覚追及傾向が高いほど右左折や細街路が多いルートを走行する傾向がある。また、SS スコアが高いほど危険運転行動を起こしやすい。衝動性指標 Imp は走行距離特性に対して有意に働き、衝動的であるほど、長距離運転が多い傾向を示したが、危険運転行動については有意な影響が推定されなかった。社会心理的運転目的 PSPD スコアは走行距離特性と危険運転行動両方ともに有意に働き、総合効果を算出したところ PSPD スコアが高いほど危険運転行動が多い傾向であった。

4) 運転計画の影響

本研究では、走行経路特性、走行時間帯特性、走行距離特性の三つの運転計画特性と危険運転行動との関係性について分析した。その結果、走行経路特性は危険運転行動に有意な効果がなかった。一方、走行時間帯特性は正の有意な結果を示し、ピーク時ほど危険運転行動が多く発生することを示した。また、走行距離特性は、負の有意な結果を示し、走行距離が長いほど危険運転行動が少ないことを示した。その理由としては、認知機能が高く健康である高齢者ほど長距離運転をすることや、運転に慣れている人ほど長距離運転が多いなどが考えられる。但し、長距離運転は疲労や注意散漫を起こしやすいことから今後更なる検討が必要である。

第3章

加齢に伴う危険運転行動発生に関する分析

3.1 経年観測データ概要

本高齢運転者データベースにおいて、ほぼ本人が運転されている71名のうち、2年以上の運転データが記録されている50名を対象に運転者の個人特性（年齢、性別、健康状態、運転機能など）、及びドライブレコーダーの運転観測データを整理してパネルデータベースを構築した。本実験では、健康状態や運転機能が毎年観測されていたため、パネルデータとして活用可能で、50名のサンプルが得られ、統計分析や高度なモデル構築に活用可能であった。図3.1は2年以上の運転記録データを保有している50名の性別、年齢層、運転記録年数の分布を示す。

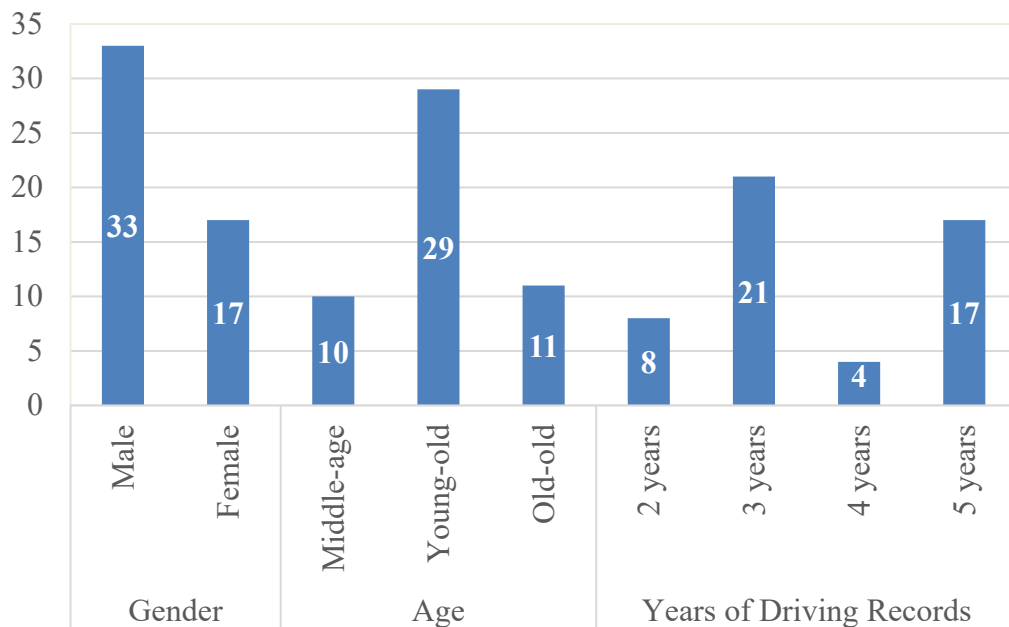


図 3.1 2年以上の運転記録保持者の概要

図3.2に性別と年齢層のクロス集計結果を示す。男性と女性それぞれにおいて、中高齢、前期高齢者、後期高齢者の運転者の運転記録が確認され、男女別、年齢層別の経年変化分析が可能である。

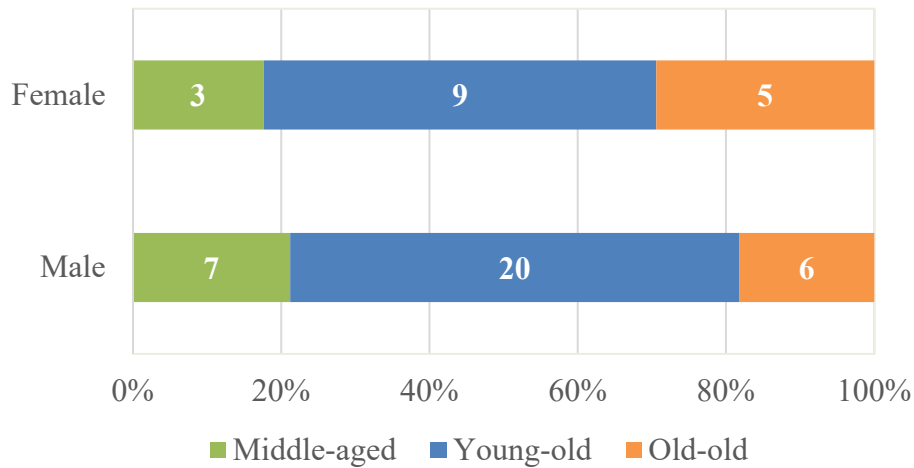


図 3.2 性別と年齢層のクロス集計

本研究では、危険運転行動の指標として、急発進・急ブレーキ・急ハンドルなどの急加速行動イベントの発生頻度を用いた。これらの総イベント数の走行 1000 kmあたり件数について 1 年毎に集計した結果を図 3.3 と図 3.4 に示す。図 3.3 は各ドライバーの急発進・急ブレーキ発生件数の経年推移を年齢層毎にプロットしたものである。図に示した通り、前期高齢者と後期高齢者は中高年に比べ発生件数が多いことが観測され、一部のドライバーにおいては 50 件以上の件数が観測されている。図 3.4 のグラフで、0 件は当年イベント発生件数が 0 件であったドライバーの数を表し、1～5 件は当年イベント数が 1 件以上 5 件以下のドライバーの数を示す。その他の凡例も同様の意味を表す。

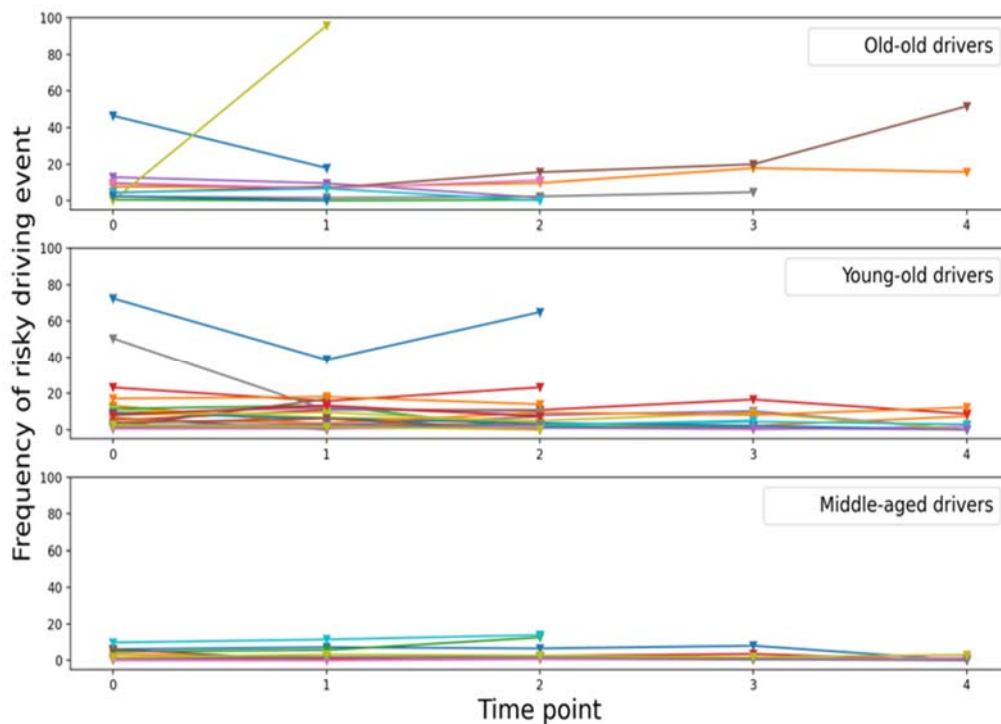


図 3.3 急発進・急ブレーキ発生件数の分布

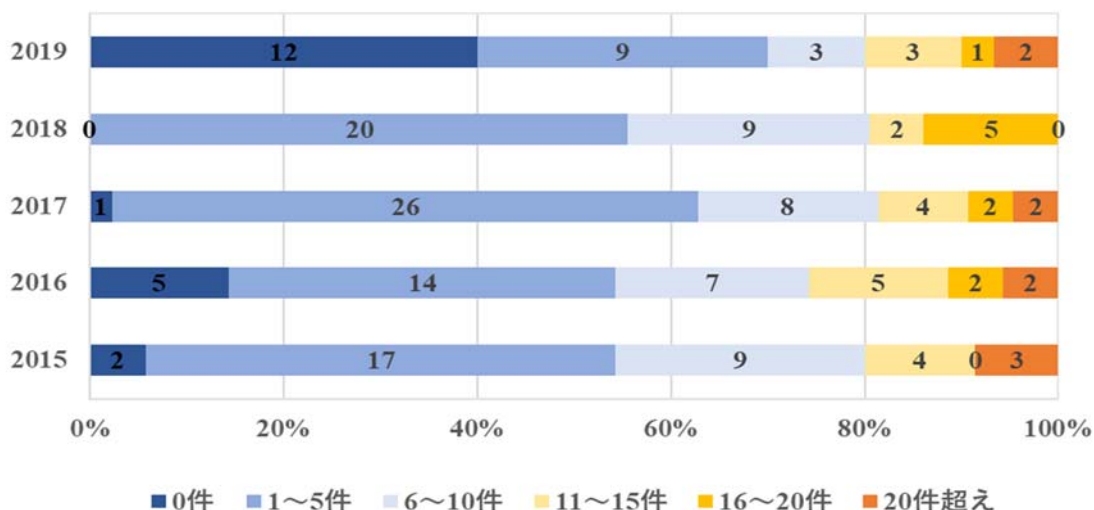


図 3.4 危険運転行動イベント件数の分布

3.2 G-G ダイアグラムによる運転パフォーマンスの経年変化分析

運転行動分析において、加速・減速行動は危険運転行動を表す最も重要な指標である。横方向・縦方向の加減速度行動を全体的に表現する手法の一つとして、横方向加速度を X 座標、縦方向加速度を Y 座標とする G-G ダイアグラムがある。G-G ダイアグラムは車両とドライバーのパフォーマンスを測定する有効な指標として用いられ、熟練したドライバーと初心者の判別 (Hisaoka et al., 1999), 安全運転者と危険運転者の判別 (Vaiana et al., 2014) などの研究に活用されている。本研究では、ドライブレコーダーの加減速度データにより高齢運転者の G-G ダイアグラムを作成し、加減速運転行動 (acceleration driving style, ADS と略) を分析した。

ドライブレコーダーによる運転記録データは 1 秒単位で常に記録されているため、データ量が膨大であり、データ処理に時間がかかる。本研究では、機械学習手法のアイソレーションフォレストアルゴリズム (isolation forest algorithm) を適用して、ADS ダイアグラムを効率的に抽出し、以下のような五つの指標を算出してドライバーの運転パフォーマンスを評価した。1) 左ステアリング時の最大加速度, 2) 右ステアリング時の最大加速度, 3) 縦方向の最大加速度, 4) 縦方向の最大減速度 (ブレーキング), 5) 慣性 (Inertia)。1) と 2) はドライバーの横方向操作のパフォーマンスを評価し, 3) と 4) は縦方向の操作を評価する。5) 慣性は、各データポイントからすべてのプロットの重心までの平均距離を表す。これらの指標によりドライバーの走行安定性を評価することが可能である。指標の値が大きいほど、日常運転において加速度の変動が大きく不安定な運転操作が多い傾向を表す。

以下に幾つかの例を示す。図 3.5 と図 3.6 に示すドライバーは、加齢に伴いブレーキングと左ステアリング操作において加速度の変化範囲が狭くなり、運転操作が鈍くなっているか、危険回避のため運転操作が慎重になっている可能性がある。本ドライバーの危険運転行動データと比較してみると、急発進・急ブレーキの発生頻度は 2015 年以降大きく減少しているが、急ハンドルの発生頻度は 2018 年に増えており、ハンドル操作の問題があることが考えられる。このようなケースにおいては、運転を控えることや、ハンドル操作時に細心の注意をかけるように運転指導が必要であると考えられる。

図 3.7 と図 3.8 に示すドライバーは、同じく前期高齢者で男性ドライバーであるが、運転パフォーマンスの特徴が前例と異なる。本ドライバーは運転パフォーマンスにおける経年変化が観測されず、急ハンドル件数は毎年 0 である。一方、急発進・急ブレーキの発生件数は多い。このようなケースにおいては、本人自ら危険回避に十分気付いていない可能性が高く、アクセルとブレーキ操作に注意するよう注意喚起が必要であると考えられる。

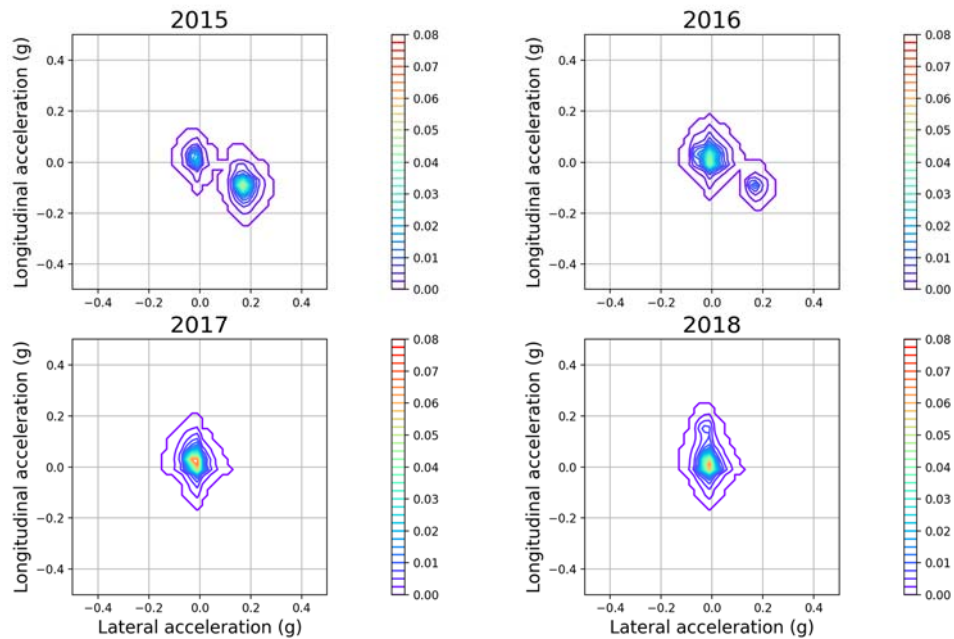


図 3.5 ADS ダイアグラム（前期高齢運転者：男性，2015 年 69 歳）

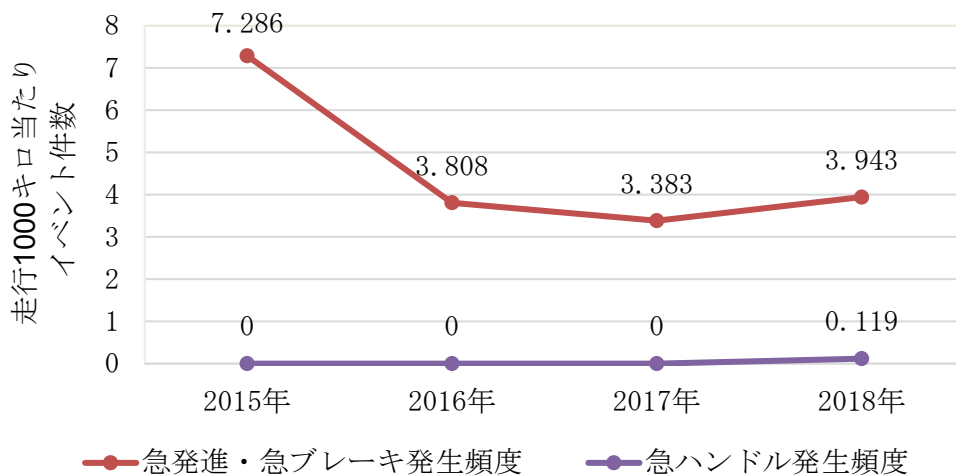


図 3.6 危険運転行動の経年変化（前期高齢運転者：男性，2015 年 69 歳）

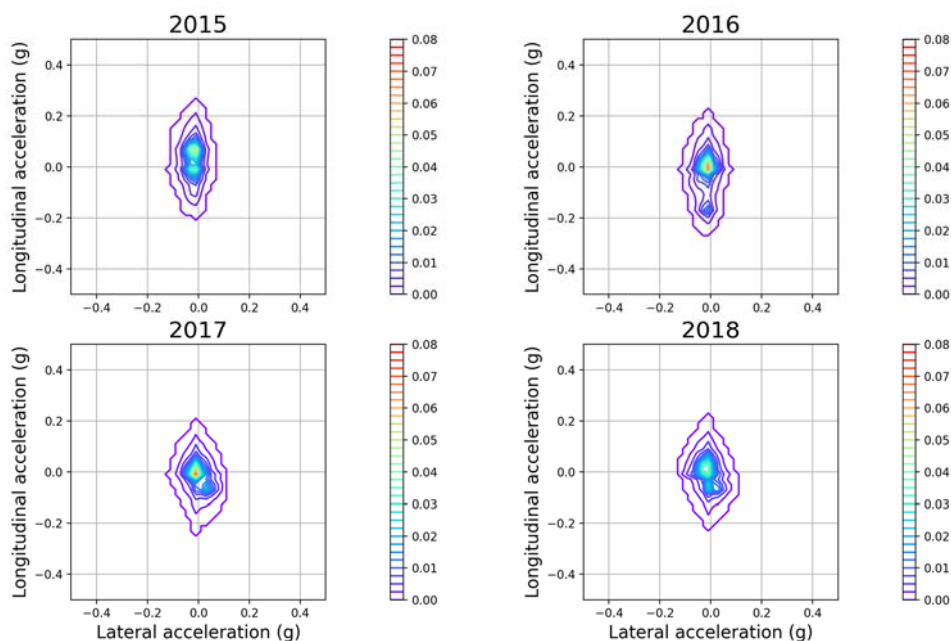


図 3.7 ADS ダイアグラム（前期高齢運転者：男性，2015 年 72 歳）

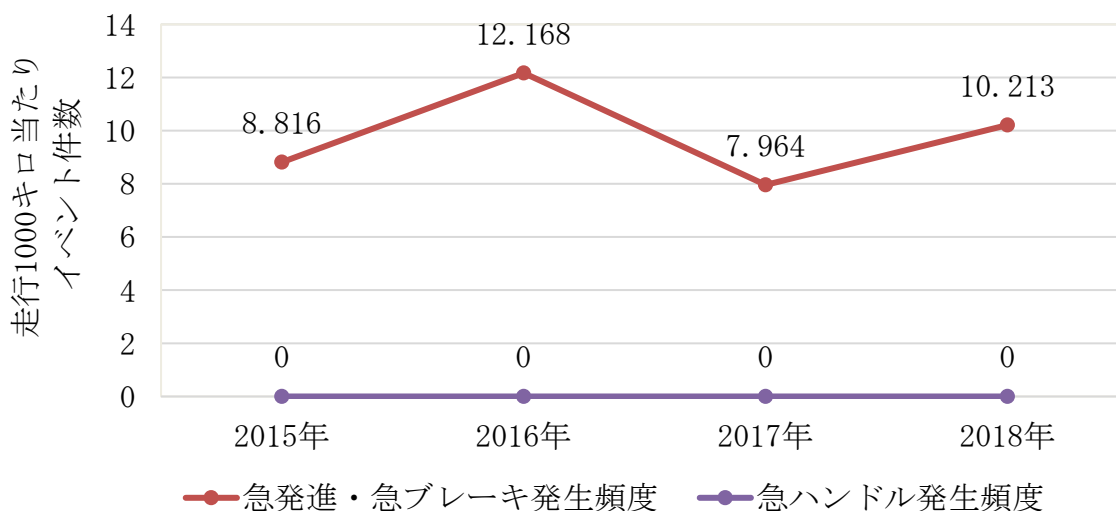


図 3.8 危険運転行動の経年変化（前期高齢運転者：男性，2015 年 72 歳）

3.3 成長曲線モデルと推定結果

上記の基礎分析に基づき，加齢に伴う個々人の危険運転行動を定量的に把握するため，パネルデータ分析モデルとして成長曲線モデルを構築した．個人特性としては，性別，安全態度などを時不変変数として扱い，1 年毎に計測している TMT など健康特性データを時変変数として用いた．危険運転行動については，急発進・急ブレーキ，急ハンドルの発生頻度（走行 1000 キロ当たりの総発生件数）を用いた．

成長曲線モデル（growth curve model）は，マルチレベル線形モデル（multilevel linear model）の一つとして，レベル 1 は個人における経年変化（intraindividual differences）を表すことができ，レベル 2 は個人間の相違（interindividual differences）を表すことができ

る (Raudenbush and Bryk, 2002). 一般的な成長曲線モデルの式を以下に示す.

$$y_{ip} = \beta_{0p} + \beta_{1p}t_i + \varepsilon_{ip} \quad (1)$$

y_{ip} : 個人 p における i 年の危険行動発生件数

β_{0p} : 運転記録を始めた初年度 (0 と設定) の初期状態 (initial status at time 0)

β_{1p} : 成長軌跡 (growth trajectory)

t_i : 時間軸 (time dimension)

個人間の相違も分析するため, 本研究では以下のようなレベル 2 モデルを適用した.

$$y_{ip} = (u_0 + \gamma_0 x_p + \zeta_{0p}) + (u_1 + \gamma_1 x_p + \zeta_{1p})t_i + \varepsilon_{ip} \quad (2)$$

ε_{ij} : 誤差項 $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

ζ_{0p} : ランダム定数項 (Random intercept) $\zeta_{0p} \sim N(0, \tau_0^2)$

ζ_{1p} : ランダム係数 (Random slope) $\zeta_{1p} \sim N(0, \tau_1^2)$

x_p : 個人属性などの説明変数

u_0, u_1 : 初期状態と成長における切片 (Intercept)

γ_0, γ_1 : 初期状態と成長における傾き (slope)

分析に用いた変数の概要を表 3.1 に示す.

表 3.1 分析に用いた変数の概要

	最小値	最大値	平均値	標準偏差
被説明変数				
危険行動発生件数	0	96	7.22	12.32
説明変数				
TMT-A スコア	17	90	35.05	12.86
女性ダミー	0	1	0.28	0.45
前期高齢ダミー	0	1	0.58	0.50
後期高齢ダミー	0	1	0.19	0.39

モデルの基本構造は以下の図 3.9 の通りである. FRD (Frequency of risky driving) は被説明変数である急発進・急ブレーキ・急ハンドルのイベント発生頻度を表す. TMT-A スコアについては, 平均値を引いた値をモデル推定に用いた.

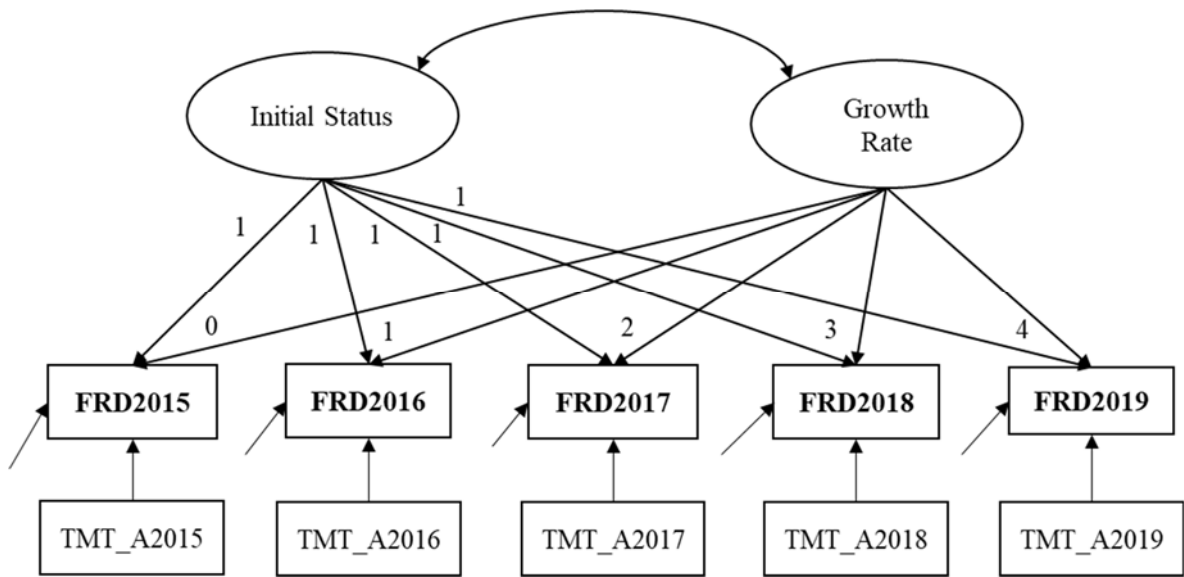


図 3.9 成長曲線モデルの基本構造

推定結果を表 3.2 に示す.

表 3.2 モデルの推定結果

Effect	Estimates			
	Model1	Model2	Model3	Model4
Intercept	7.84*	5.12*	1.34	2.78
Slope	0.12	-0.02	-0.03	-0.43
Var(intercept)	89.43	78.56	89.43	113.85
Var(slope)	0.41	0.78	0.02	0.11
R (intercept and slope)	-0.29	-0.36	-0.48	-0.15
<i>Initial status</i>				
female	-	7.85*	8.20*	7.56*
young-old	-	-	4.85	3.94
old-old	-	-	3.57	0.16
<i>Growth trajectory</i>				
female	-	0.82	-0.15	-
young-old	-	-	-0.65	-
old-old	-	-	3.92**	4.97**
<i>FRD on TMT-A</i>				
TMT_A				0.17*
Number of observations	180	180	180	166
AIC	1374.124	1364.173	1347.345	1248.823
BIC	1393.281	1389.717	1385.660	1283.055
RMSE	7.316	7.268	7.152	6.641

* 5% 有意水準

3.4 分析結果の考察

モデル1は、危険運転発生件数の平均値が7.84件で、毎年0.12ポイントずつ増えることを意味する。Slopeの推定値は有意ではなく全体的成長率はほぼ0に近いと見なすことができる。Interceptの分散は大きく、個人間の違いが大きいことが分かる。モデル2は、女性ダミーを時不変変数として初期状態と成長率を推定した結果、初期状態の危険運転発生件数は女性のほうが男性より有意に多いことが判明したが、成長率については男女で有意な違いが推定されなかった。モデル3は、性別に加え、前期高齢者と後期高齢者の年齢層の影響を推定している。その結果、初期状態の危険運転発生件数については、年齢層間で有意な違いはなかった。但し、成長率については、後期高齢者ダミーは正の有意な結果を示し、危険運転発生件数が毎年3.92ポイントずつ増えることを示した。この結果は、後期高齢運転者は加齢に伴う危険運転行動の増加が大きいことを示す。モデル4は、精神運動速度を測る指標であるTrail Making Test A (TMT-A)の効果を追加した。TMT-Aはスコアが高いほど注意力が低下していることを示す。分析結果より、TMT-Aスコアが高いほど危険運転行動の発生件数が多いことが判明した。

本研究での成長曲線モデルによる分析の結果、危険運転行動の発生頻度は男女によって著しく違うこと、注意力の低下が危険運転行動の発生につながっていること、中高年と前期高齢者に比べ後期高齢者の経年増加率が著しいことが判明した。また、危険運転行動発生件数の定数項の分散は非常に大きく、同年齢層でも個人差が大きいことが分かる。今後は、上記の成長曲線モデルを用いて、もっと多様な変数を取り込み、人間特性、認知機能、安全態度などの個人特性が危険運転行動の経年変化に及ぼす影響を把握することが必要である。

第4章

安全態度と運転スタイルに関するアンケート調査分析

4.1 アンケート調査概要

本研究の実験対象者は実験への同意が得られた中高年から高齢の方で構成され、完全な無作為抽出ではない。そのため、全国の50代から70代の運転免許保有者に対して、ランダム抽出によるアンケート調査を実施し、年齢層間の相違とこれまでの章で分析した実験対象者との相違を把握することで、分析結果の適応性を検討した。

アンケートは調査会社に委託しウェブアンケートで実施した。調査項目としては、性別、年代などの個人属性、運転頻度、運転距離、運転経歴などの普段の運転スタイル、衝動性-感覚追及（Impulsive-Sensation Seeking, ImpSS と略）などの安全態度、社会心理的運転目的などを含む。収集したデータの概要を以下に示す。

収集されたデータのサンプル数は500で、男性55%、女性45%で全国の運転免許保有者の男女割合に沿って収集された。年代ごとのサンプル割合は図4.1に示すとおりである。

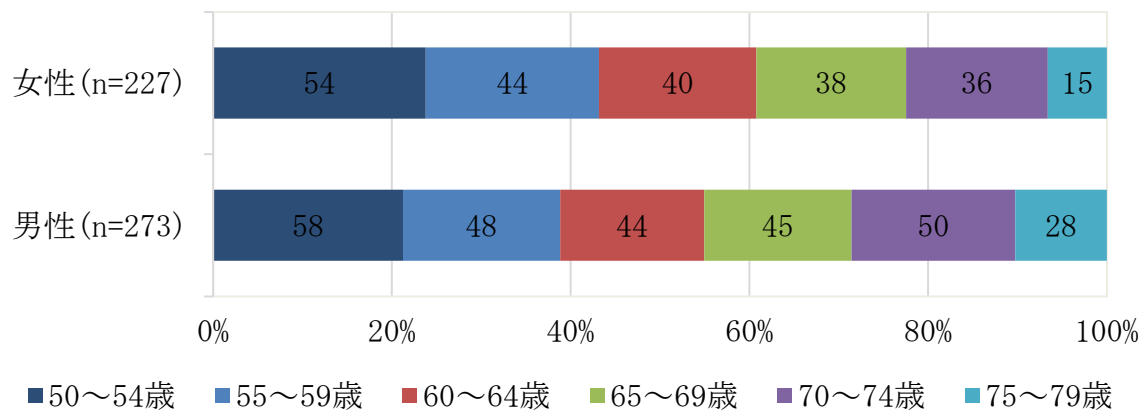


図 4.1 男女別年代ごとの運転免許保有者割合

社会属性データの概要は表4.1に示す通りであり、運転免許取得平均年齢は本研究に参加された実験者の平均年齢より小さく、若いうちに免許取得した方が多かった。

表 4.1 社会属性データの概要

	中高年層	前期高齢者	後期高齢者	
サンプル数	288	169	43	
免許取得平均年齢	21.8	23.4	29.2	
性別	男性	150	95	28
	女性	138	74	15

4.2 調査データの基礎集計分析

運転頻度について尋ねたところ、ほとんど毎日運転される方が 29.4%，47.6%が週 3～4 以上の頻度で運転していた。

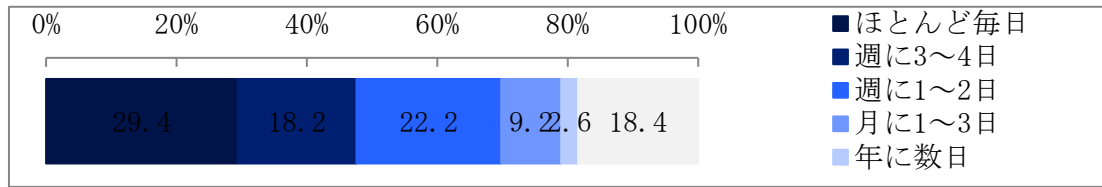


図 4.2 運転頻度

最も多く運転する日を聞いたところ、年齢が増えるとともに休日よりは平日によく運転することが分かる。後期高齢運転者は全員平日運転が多いと回答していた。

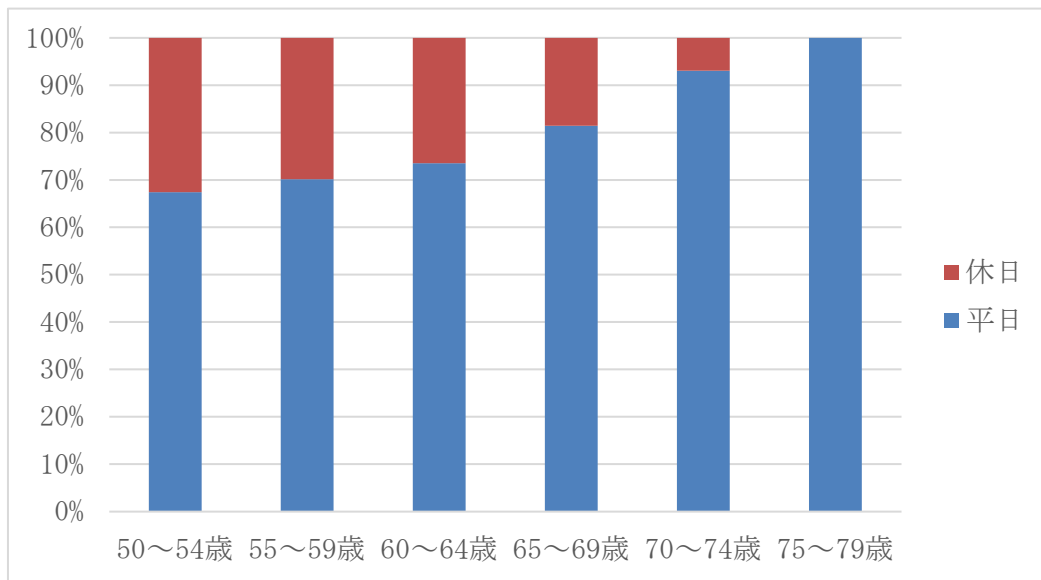


図 4.3 最も多く運転する日

一日の運転で、どのぐらいの距離を運転することが多いかを聞いたところ、全体の 48.8%が 10 km以下であり、80.4%が 30 km以下であった。年代毎の分布をみると、高齢になるほど短距離運転が多い (図 4.5)。

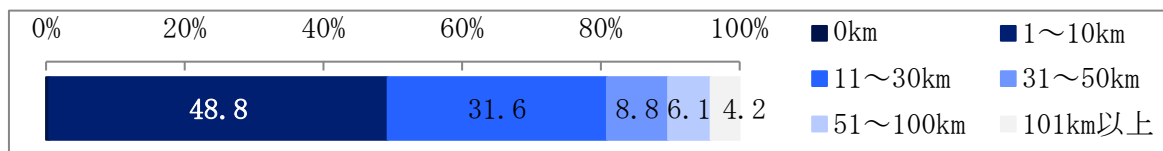


図 4.4 全年齢層の 1 日運転距離

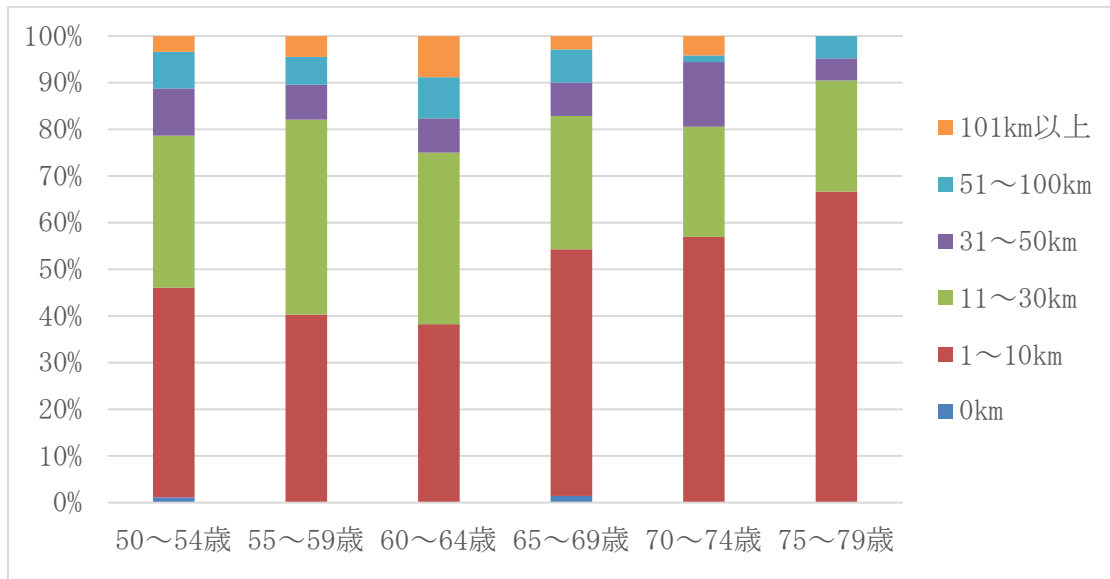


図 4.5 年代毎の1日の運転距離

交通事故歴については、8割以上が過去5年間事故に遭った経験がなかった。年代毎の交通事故歴を見ると、後期高齢運転者において事故歴がある人の割合が一番大きかった。

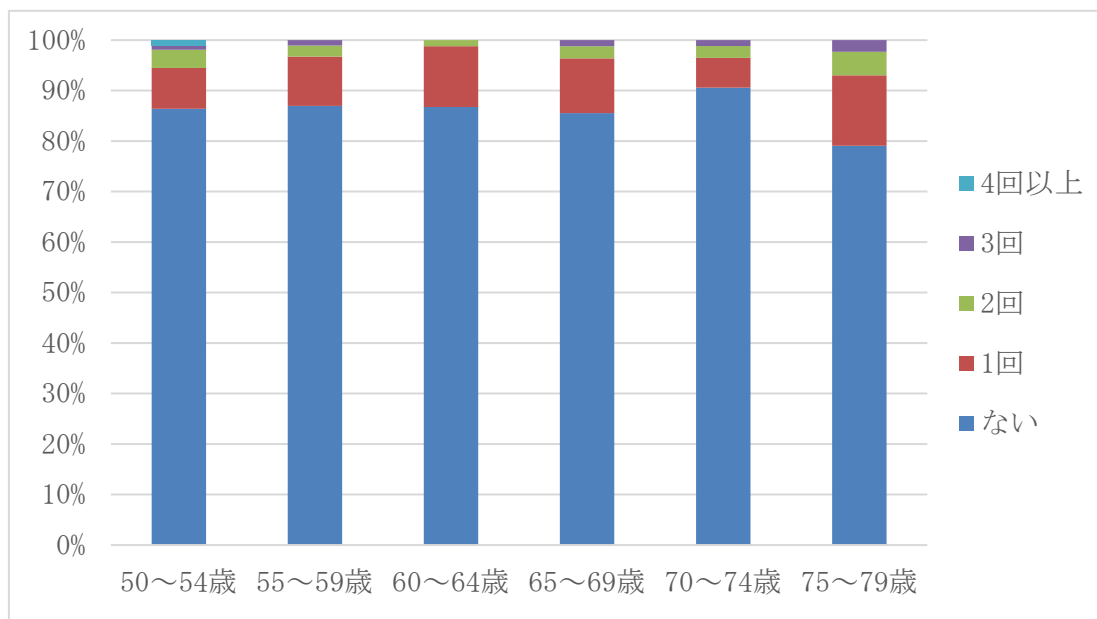


図 4.6 年代ごとの交通事故歴

良く運転する時間帯は、昼間の時間帯が一番多く、次に朝ピークと夕ピーク時であり、夜間の運転はほかの時間帯に比べ少ないことが分かった (図 4.7)。

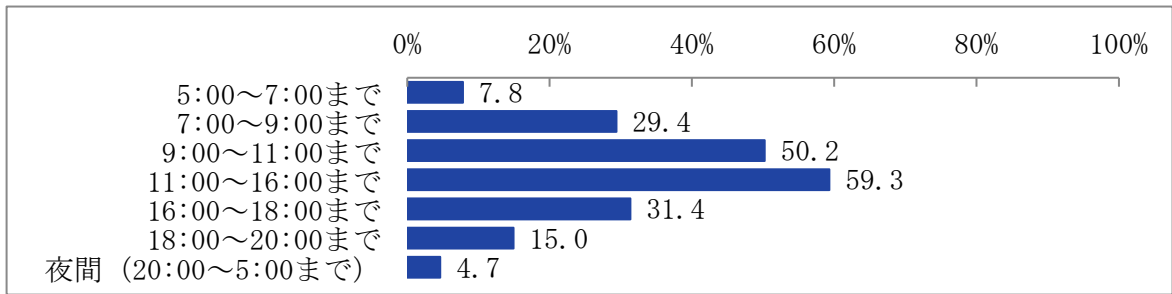


図 4.7 全年齢層のよく運転する時間帯

年代毎によく運転する時間帯分布をみると、高齢になるほど、昼間の時間帯 9:00～16:00 の間に運転する人が増えている。これらは本研究で用いた高齢運転者データベースと近い傾向を示している（図 4.8）。

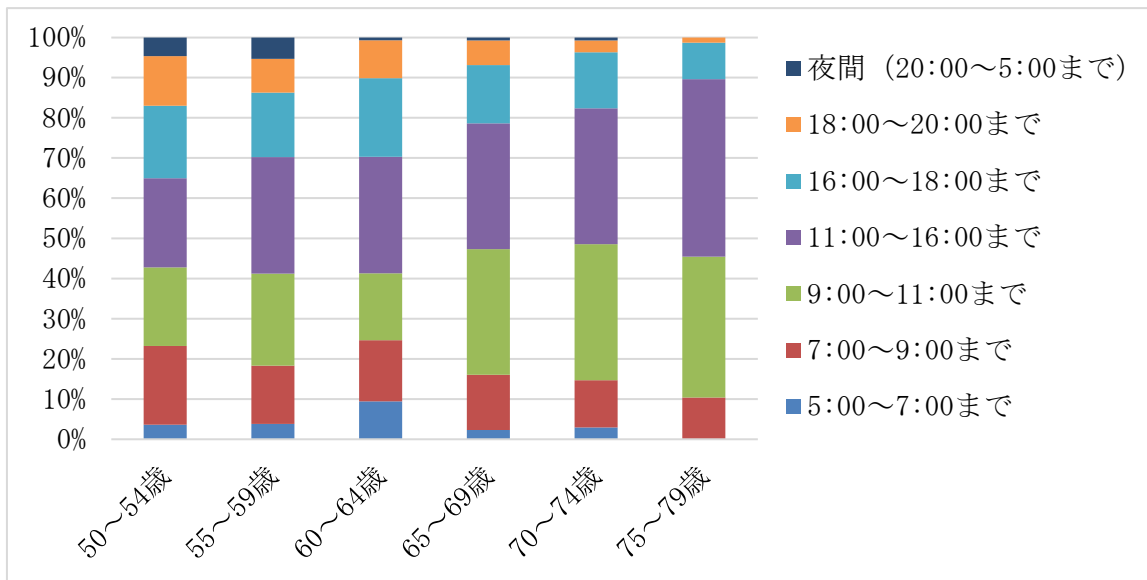


図 4.8 年代毎のよく運転する時間帯

次に社会心理データの概要を表 4.2 に示す。

表 4.2 社会心理データ概要

	中高年		前期高齢者		後期高齢者	
	平均値 (標準偏差)	最小値 最大値	平均値 (標準偏差)	最小値 最大値	平均値 (標準偏差)	最小値 最大値
SS	25.98	2	35.94	3	38.60	4
	11.31	74	12.19	54	11.24	52
Imp	0.99	-5	0.20	-5	1.59	-3
	2.40	9	2.48	5	2.77	7
PSPD	14.51	1	14.71	2	14.12	1
	5.52	27	5.32	28	6.27	25

今回のアンケート調査データでは、感覚迫及性を示す SS スコアは高齢になるほど高くなる傾向を示した。衝動性を測る Imp スコアは後期高齢者のほうが高く他の年齢層に比べ衝動的であることを示した。本研究で用いた高齢運転者データベースの対象者の社会心理データ概要は表 2.1 で示した通りで、前期高齢運転者のほうが高い Imp スコアを示していた。本アンケート調査の心理的運転目的を示す PSPD は、年齢層間の違いは小さいが、本研究データベースの対象者より低い値を示した。これらの指標について、年齢層間の相違が存在することは本研究データベースと一致しているが、それぞれの指標の平均値や年齢層間の差分などは異なっており、今後実用化を考える際には本研究での分析手法などを活用し、実用化対象者向けに再検証が必要であると考えられる。また、より一般的な知見を得るためには、ランダム抽出等による標本調査を実施し、同様な分析を行う必要がある。

第5章

まとめと今後の課題

本研究では、名古屋大学 COI プロジェクトで構築した高齢運転者データベースにおける人間特性データと長期観測運転データを用いて、高齢運転者の加齢に伴う危険運転発生メカニズムに関する分析を行った。

本研究では、ケスキネンの運転行動階層モデルにより、危険運転発生には安全態度と運転計画などの上位階層の要因が関係しているという考え方にに基づき、安全態度、運転計画、危険運転行動の三階層の関係について構造方程式モデリングを活用して推定した。安全態度についてはアンケート調査からデータを収集し、運転計画と危険運転行動についてはドライブレコーダーによる長期観測運転データを用いて抽出した。安全態度の指標としては、危険運転などの危険な行動を確認する際に重要な役割を果たす衝動性-感覚追及性 ImpSS 尺度を用いた。運転計画を表す指標としては、走行経路特性、走行時間帯特性、走行距離特性を用い、危険運転行動を表す指標としては、急発進・急ブレーキ発生頻度、急ハンドル発生頻度、危険速度発生頻度等を用いた。運転計画と危険運転行動の関係についての分析結果より、走行時間帯特性は危険運転行動に有意に影響し、ピーク時ほど危険運転が発生しやすいことを示した。安全態度と危険運転行動の関係についての分析結果は、感覚追及性 SS スコアが高いほど危険運転が発生しやすいことを示した。高齢運転者の健康特性として、認知機能 MMSE スコアについて分析したところ、危険運転行動への直接効果は推定されなかったが、運転計画に対して有意な影響が観測され、その結果、危険運転行動への総合効果としては、認知機能が高いほど危険運転が少ないことが分かった。これは認知機能が高いほど危険回避を意識した運転計画を立てていることが考えられる。この分析結果により、運転行動の最上階層である安全態度、人間特性が下位階層の運転計画に影響し、さらに最下位階層の危険運転行動に影響することが確認され、安全に対する意識の向上と、個人個人の運転能力に適した安全な運転計画により、高齢者の事故リスクを削減することが期待される。

更に、本研究では加齢に伴う危険運転行動の経年変化について、G-G ダイアグラムと成長曲線モデルによる分析を実施した。本研究では、膨大な運転観測データを機械学習アルゴリズムにより効率的に処理することで、個々人の G-G ダイアグラムの経年変化を容易に把握できる手法を開発した。これにより高齢運転者の加齢に伴う運転パフォーマンスの変化が把握でき、個人個人に適用した運転指導に活用可能である。危険運転行動の発生における各年齢層と個人間の相違を定量的に把握するため、成長曲線モデルを活用し、性別、年齢、健康特性などの影響を計測した。その結果、危険運転行動の発生頻度は男女によって著しく違うこと、注意力の低下が危険運転行動の発生につながること、後期高齢者の危険運転行動の経年増加率が大きいことが判明した。また、危険運転行動発生件数は、同年齢層でも個人差が激しいことが分かる。今後は、もっと多様な変数を取り込み、人間特性、認知機能、安全態度などの個人特性が危険運転行動の経年変化に及ぼす影響を明確にすることが必要である。

本研究成果により、高齢運転者の心身の健康状態と運転能力及びこれらの経年変化が危険運転行動に及ぼす影響について包括的な知見を得られることで、個人個人の健康状態と運転

能力に適した安全運転支援策の考案に役立つと考えられる。また、各年齢層間の相違に加え、個人差のばらつきも把握され、安全運転年齢の診断や運転支援策の考案などの社会課題において、年齢で同視化するのではなく、個人に特有した対策を講じることが可能となる。

本研究では、走行距離特性や走行経路特性は危険運転行動と直接関係することが確認されなかった。そのため、今後の課題としては、危険行動に関係性がある運転計画特性について更なる検討が必要である。例えば、悪天候・夜間の走行距離や道路構造を考慮した走行経路など多様な状況が考えられる。これらの状況を洗い出し、最も有効な運転計画指標を見つけ出すことが今後の課題としてあげられる。その上、危険運転行動として本研究ではドライブレコーダーによるイベント記録を活用しているため、全年齢層に対して同一指標を用いている。ただし、運転能力に応じて危険をもたらす運転操作許容範囲が異なることが考えられる。今後は G-G ダイアグラムによる安全な運転操作範囲と危険な運転操作範囲について検討し、個々人の運転パフォーマンスを考慮した危険運転行動許容範囲の分析が望ましい。更に、今後の展望としては、本研究の分析手法や知見を活用した社会的実装などの検討が考えられる。

参考文献

- 1) Da Lio, M., Biral, F., Bertolazzi, E. (2005). Combining Safety Margins and User Preferences into A Driving Criterion for Optimal Control-based Computation of Reference Maneuvers for An ADAS of The Next Generation. In Intelligent vehicles symposium, Las Vegas, USA, 2005, June 6–8.
- 1) Hisaoka, Y., Yamamoto, M., Okada, A. (1999). Closed-loop Analysis of Vehicle Behavior During Braking in A Turn. *JSAE Review*, 20, pp.537–542.
- 2) Liu, F., Ting, M., Zhou, Z. (2008). Isolation Forest. Eighth IEEE International Conference on Data Mining, pp.413-422.
- 3) Olsson, U. H., Foss, T., Troye, S. V., Howell, R. D. (2000). The performance of ML, GLS, and WLS estimation in structural equation modeling under conditions of misspecification and nonnormality. *Structural Equation Modeling*, 7(4), 557–595.
- 4) Pezzotti, P., Scalmana, S., Mastromattei, A., Di Lallo, D. (2008). The accuracy of the MMSE in detecting cognitive impairment when administered by general practitioners: a prospective observational study. *BMC Family Practice*, 9(1), 1–11.
- 5) Raudenbush S.W., Bryk, A. S. (2002). *Hierarchical Linear Models: Applications and Data Analysis Methods* (2nd ed.), Thousands Oaks, CA: Sage.
- 6) Scott-Parker, B., King, M.J., Watson, B. (2015). The psychosocial purpose of driving and its relationship with the risky driving behaviour of young novice drivers. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 33, 16–26.
- 7) Shiomi, K., Shigemori, Y. (1995). Constructing and evaluating a Japanese version of the Zuckerman-Kuhlman Personality Questionnaire. *Hyogo University of Teacher Education Journal*, 15, 1-12.
- 8) Shiomi, K., Kuhlman, D. M., Zuckerman, M., Joireman, J. A., Sato, M., Yata, S. (1996). Examining the validity and reliability of a Japanese version of the “Zuckerman–Kuhlman personality questionnaire” (ZKPQ). *Hyogo University of Teacher Education Journal*, 16, 1–12. (In Japanese)
- 9) Song, X., Yin, Y., Cao, H., Zhao, S., Li, M., Yi, B. (2021). The mediating effect of driver characteristics on risky driving behaviors moderated by gender, and the classification model of driver’s driving risk. *Accident Analysis & Prevention*, 153, 106038.
- 10) Vaiana, R., Iuele, T., Astarita, V., Caruso, M., Tassitani, A., Zaffino, C., Giofrè, V. (2014). Driving Behavior and Traffic Safety: An Acceleration-Based Safety Evaluation Procedure for Smartphones. *Modern Applied Science*, 8, pp.88-96.
- 11) Zuckerman, M., Aluja, A. (2015). Measures of sensation seeking. In *Measures of personality and social psychological constructs*, pp. 352-380, Academic Press.
- 12) Zhu, Y., Jiang, M., Yamamoto, T. (2022) . Development Of Driving Stability Scale With G-G Diagram and Isolation Forest Algorithm, 土木学会全国大会年次学術講演会