

ベイジアンネットワークを用いた運転行動分析 に基づく高齢者の運転特徴把握

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 人間環境学専攻

高橋 翔

目次

■ 研究背景

- ✓ 高齢者の事故、高齢者の特性、高齢者の事故形態

- ✓ 従来研究

 - ベイジアンネットワークによる運転行動のモデル化に関する研究

■ 研究目的

■ 研究方法

- ✓ 研究概要説明、本研究で扱う指標の整理、研究フロー

- ✓ STEP1：データ収集

- ✓ STEP2：運転行動指標の設定

- ✓ STEP3：ベイジアンネットワークによる運転行動のモデル構築

- ✓ STEP4：高齢運転者の運転行動特徴の把握

■ 分析結果と考察

■ 結論と今後の課題

■ 参考文献

研究背景 | 高齢者による事故

高齢者による事故が社会問題となっており対策が必要である

■ 年齢層別死亡事故件数割合^[1]

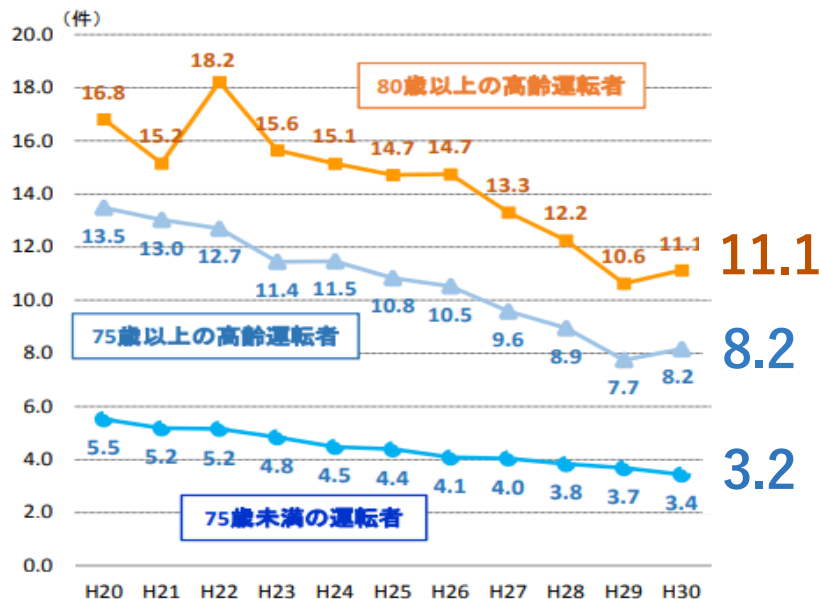


図1：高齢運転者による死亡事故件数
(免許人口10万人当たり) ^[1]

左図の統計によると…

- 高齢者の免許人口に対する事故件数の割合
 - **75歳未満の2.5倍以上**

- 少子高齢化に伴う高齢ドライバーの増加
 - 70歳以上の免許保有者は平成30年で**10倍**

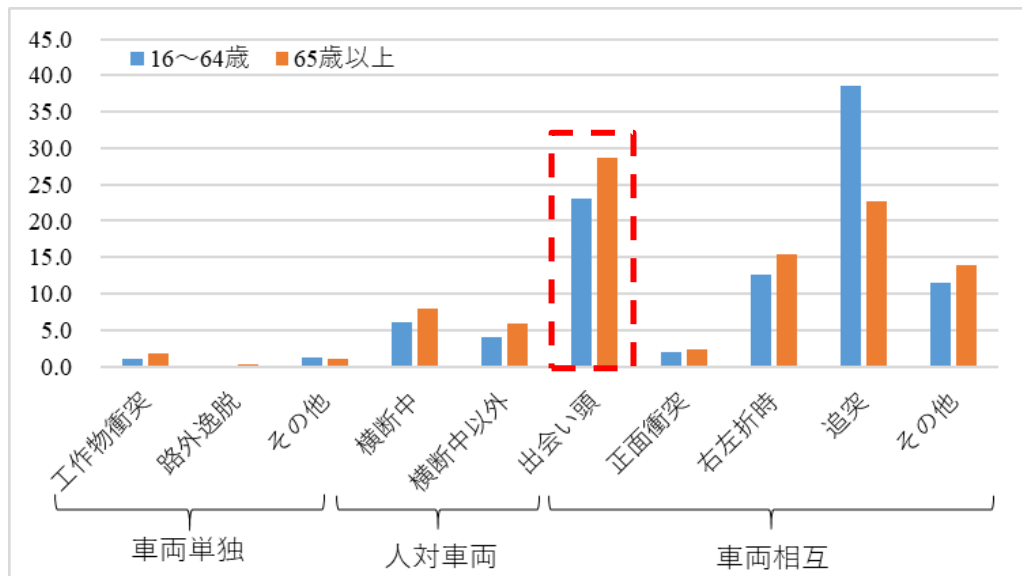
高齢者はこれからも増加するが、高齢者の不安全行動の抑止をすることが、今後の日本にとって重要な課題である

高齢者に運転支援を行うためには、
高齢者の運転行動特徴を把握する必要がある

研究背景 | 高齢者による事故の特徴

高齢者は一時停止規制がある非優先時の出会い頭事故が多い

■ 年齢別事故件数割合の比較^[2]



図：原付以上運転者（第1当事者）の事故類型別・年齢層別交通事故件数割合^[2]

左図の統計によると…

- 64歳以下の運転者では追突事故がもっとも多く全体の42%、出会い頭事故は23%を占める
- 高齢運転者では追突事故が24%と低く、**出会い頭事故が30%と相対的に高い**



高齢運転者は非高齢運転者と比較し、出会い頭事故を起こしやすい傾向

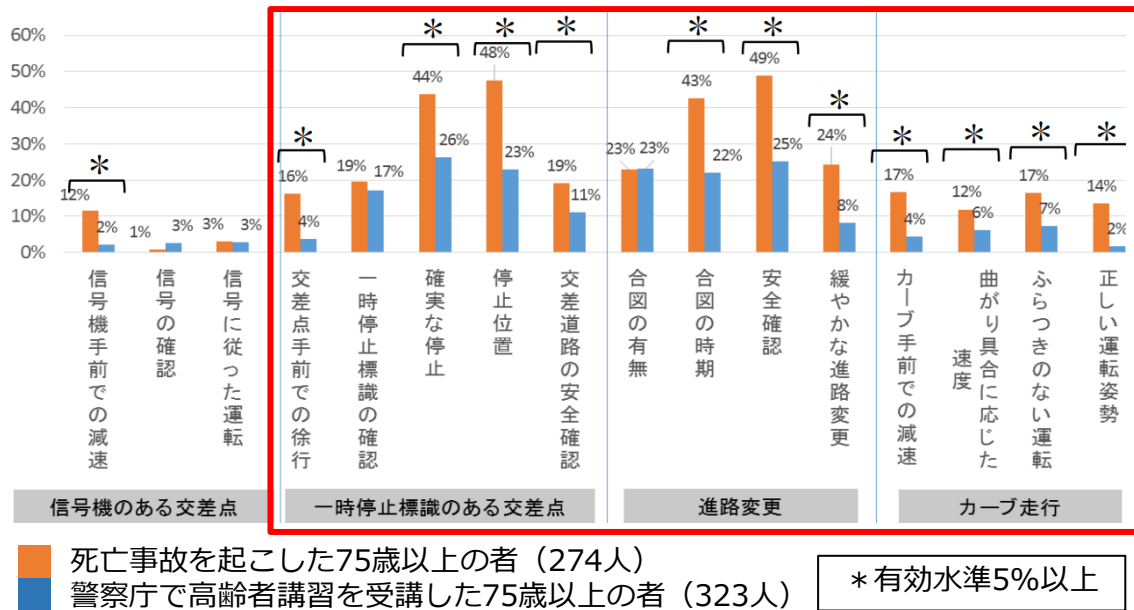
■ 道路形状別の暴露量を考慮した事故分析^[3]

- ✓ **高齢運転者は無信号交差点の暴露量が多く、自車に一時停止規制がある非優先時の事故率が最も高いことが明らかにされている**

研究背景 | 事故を起こした高齢者の特徴

実際に死亡事故を起こした高齢者は実車指導時に指摘を受ける割合が高い

■ 高齢者講習の実車指導時の課題ごとに指摘を受けた割合^[4]



左図の統計によると…

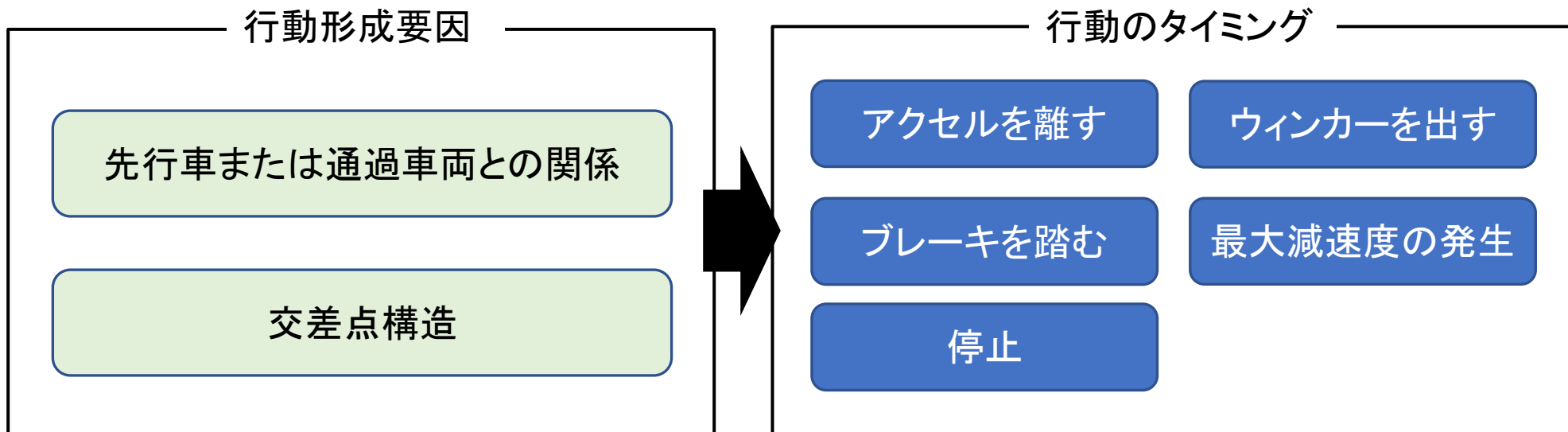
- 実際に死亡事故を起こした高齢者は、多くの課題で一般の高齢者よりも指導を受けた
- 「一時停止標識のある交差点」、「進路変更」及び「カーブ走行」における項目の多くは、有意水準5%で有意差がある

一時停止標識のある交差点は事故が多く、加齢による影響が大きい場面

本研究では、一時停止標識のある交差点を対象にして、高齢者の特徴的な運転行動を把握し、高齢者が不安全な運転行動に至る要因を明らかにすることを目的とする

ベイジアンネットワークを用いて運転行動をモデル化

- 一時停止交差点の減速から停止に至るまでの行動をモデル化^[5]



- ✓ 各操作行動のタイミング間の相互関係を明らかにした
- ✓ 行動形成要因と操作行動のタイミング間の相互関係を明らかにした

運転者の特性（年齢や認知機能など）は考慮されていない

本研究の目的

本研究における目的は以下の通りである

■ 本研究の目的

ベイジアンネットワークを用いて、一時停止交差点における運転行動分析を行う

■ 研究目的

① 一時停止交差点における運転行動を表現する

- 一時停止交差点における運転行動とを表現
- 不安全な運転にいたる要因を明らかにする

↳ 本研究では「不安全な運転」を高齢者講習時の運転指導で指導されるような運転と定義した

② 高齢者の運転行動の特徴を明らかにする

- 高齢者の運転の特徴を明らかにする
- 認知機能が低下したドライバの運転の特徴を明らかにする

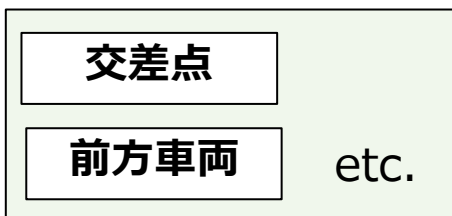
■ 活用方法

✓ 高齢者の運転支援への活用（運転教育や支援システムの開発）

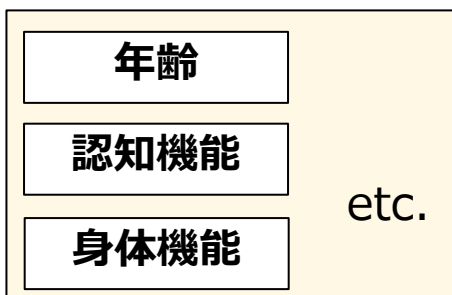
本研究で扱う指標の整理

異なる交差点や周辺に交通参加者の有無で運転行動は変化する

周辺環境

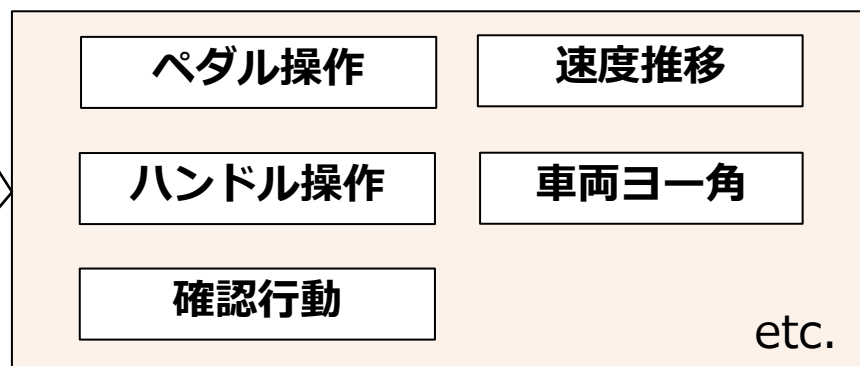


運転者の特性



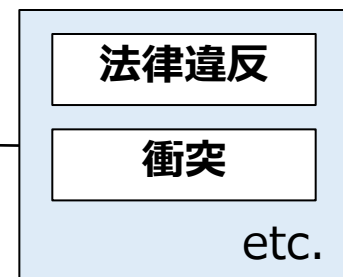
操作を行った位置や速度などの指標を設定する

運転行動



事故に繋がるような運転や法律違反が考えられる

不安全な運転



運転には加齢の影響や個人の身体機能や認知機能の影響がある

本研究は、一時停止交差点を対象にして上図の関係をベイジアンネットワークを用いて表現し、高齢者の運転行動特徴を分析する

研究方法 | 本研究の方針

Step1 データ収集

- ✓ 教習所で運転データを取得する実験を実施
- ✓ 比較対象として非高齢者のデータも取得

Step2 指標の設定

- ✓ 一時停止交差点における運転行動指標を設定
- ✓ 「不安全な運転」を評価する指標を設定

Step3 BNによる構築

- ✓ どういう運転行動の流れで不安全な運転に至るのか
ベイジアンネットワークで表現
- ✓ 不安全な運転に至りやすい運転行動を把握する

Step4 高齢者に特徴的な 運転行動の把握

- ✓ 確率推論を用いて、高齢者に特徴的な運転行動を把握する
- ✓ 認知機能が低下した運転者に特徴的な運転行動を把握する

Step1 | 教習所での運転データ収集の実施

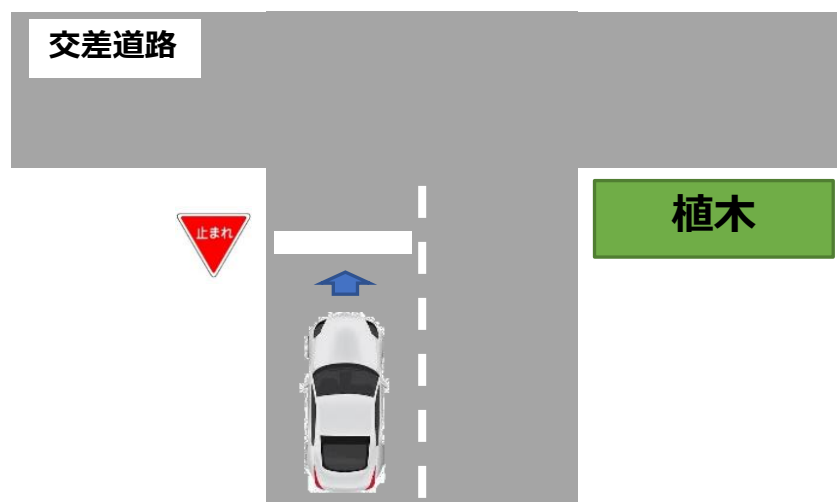
■ 自動車学校にて運転データ収集実験を実施

✓ 非高齢者 14名

✓ 高齢者19名（認知機能が低下している高齢者※ 9名、健常高齢者 10名）

※高齢者講習^[6]受講時に認知機能の低下の恐れありと診断され、第2分類に属する高齢者

■ 一時停止交差点通過時のデータを取得



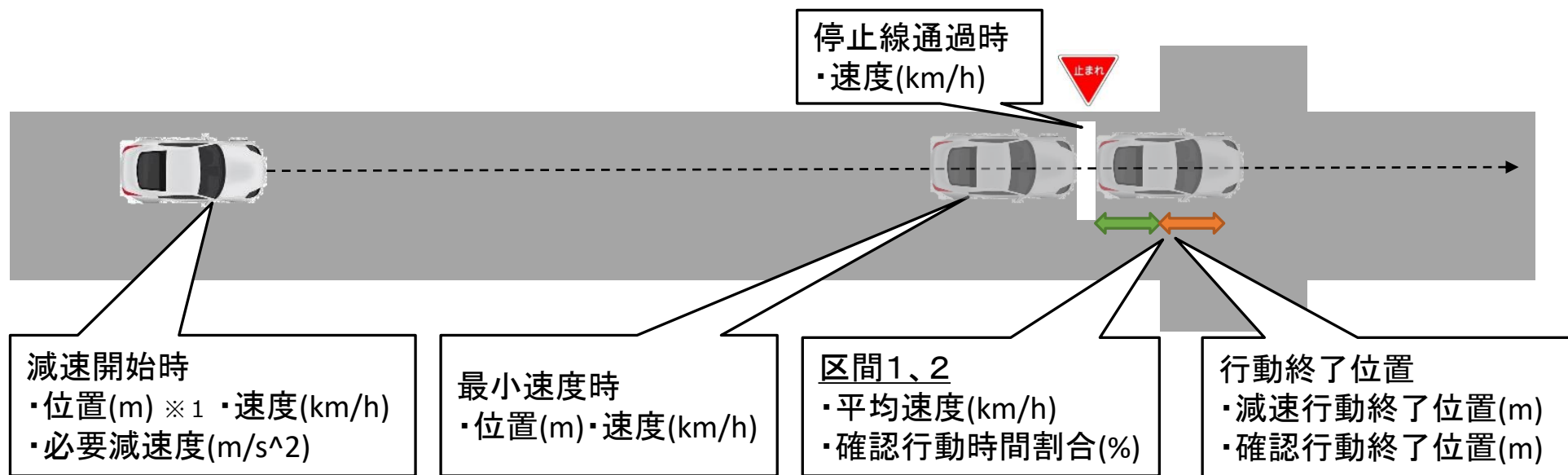
図：一時停止交差点の模式図

取得したデータ

自車の位置、車速度，アクセル開度，ブレーキ液圧，ハンドル操舵角、一時停止線からの距離，ドライバの顔向き etc.

Step2 | 運転行動指標の設定

運転行動指標は先行研究^{[7][8]}を参考にして設定した



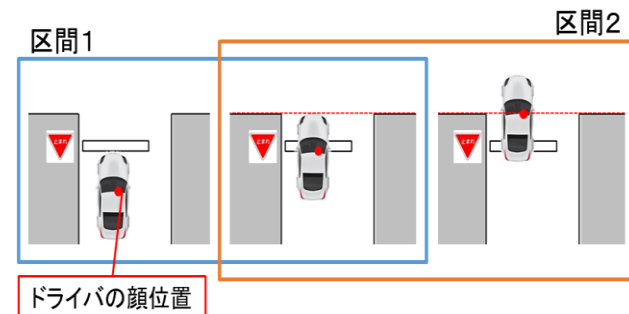
※1 各指標の位置は停止線からの距離を示しており、手前をマイナス、交差点側をプラスと設定した

※2 必要減速度・・・停止線で停止するために必要な減速度

$$\text{必要減速度} = (\text{減速開始時の速度})^2 / (2 * \text{減速開始時の位置})$$

※3 確認行動時間割合 = (各区間において交差点を確認した時間) / (各区間の通過時間)

- ✓ 区間1・・・車両先端が停止線から交差点入口まで
- ✓ 区間2・・・交差点入口から死角が消失するまで



Step2 | 不安全な運転を評価する指標の設定

高齢者講習時の指摘項目に対し、運転行動指標を設定した

高齢者講習時の指摘項目

対応する運転行動指標

不安全な運転

減速行動

✓ 確実な停止



✓ 最小速度



最小速度が0でない

✓ 停止位置



✓ 最小速度時の位置



位置が停止線を越えている

交差点通過時

✓ 交差点手前での徐行



✓ 区間 1 の平均速度
✓ 区間 2 の平均速度



平均速度が高い

✓ 交差道路の安全確認



✓ 区間 1 の確認時間割合
✓ 区間 2 の確認時間割合



時間割合が小さい

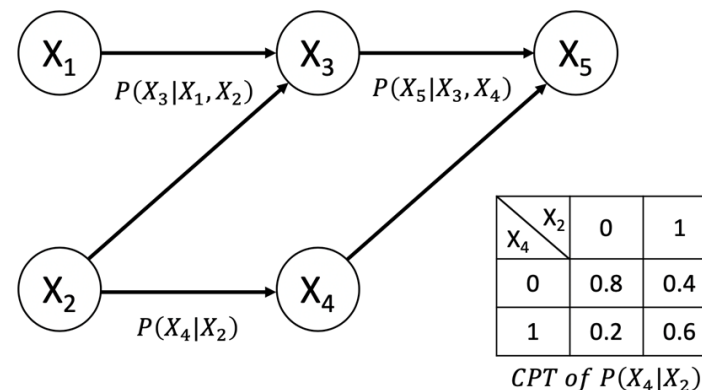
✓ 一時停止標識の確認 . . .

大まかな顔向きは取得できているが注視点まで取れてないので、今回は除外する

Step3 | ベイジアンネットワークによるモデル構築

■ ベイジアンネットワーク (BN)

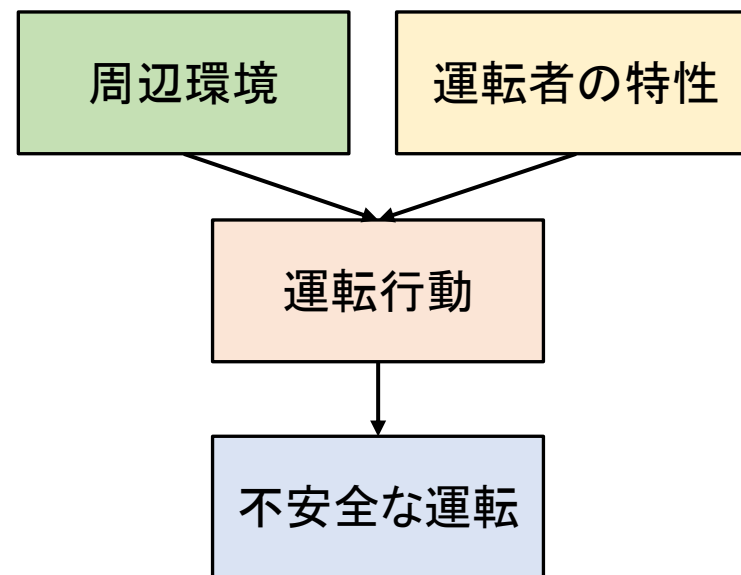
- ✓ 因果関係を確率で表現するグラフィカルモデルの一つ
- ✓ 複雑な因果関係の推論を**有向非循環グラフ** (Directed Acyclic Graph)(DAG)で表す
- ✓ 個々の変数の関係を条件付き確率で表せる



本研究では...

- 減速行動
- 交差点通過時

の2つでモデル構築し、不安全な運転に至る運転行動の時系列の流れを表現する



Step3 | ベイジアンネットワークによるモデル構築

■ 使用ソフトウェア

- ✓ BayoLinkS (NTTデータ数理システム社製)

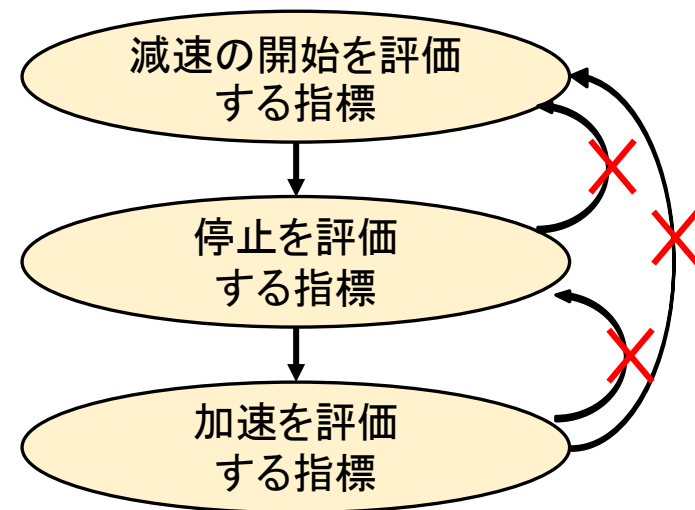
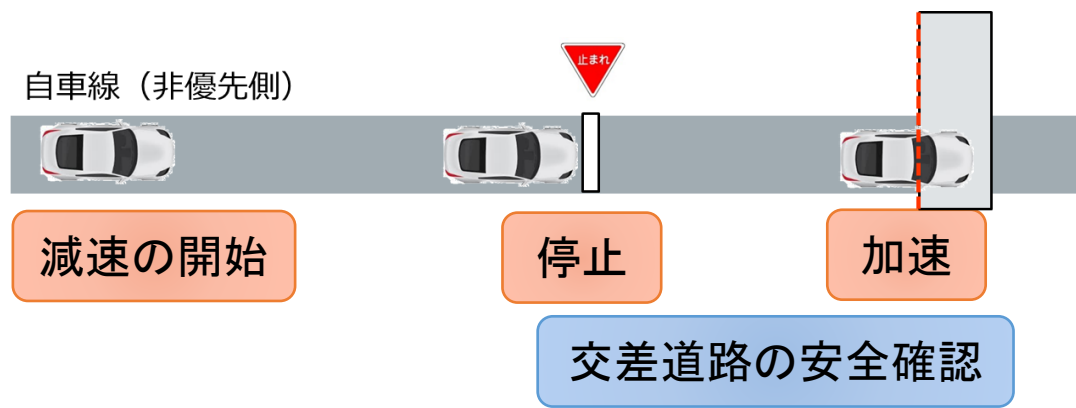


■ グラフ構造の探索

- ✓ 構造学習アルゴリズム：欲張り法 (Greedy Strategy)
- ✓ 評価基準：ML (最大対数尤度) ←データ数が少ない

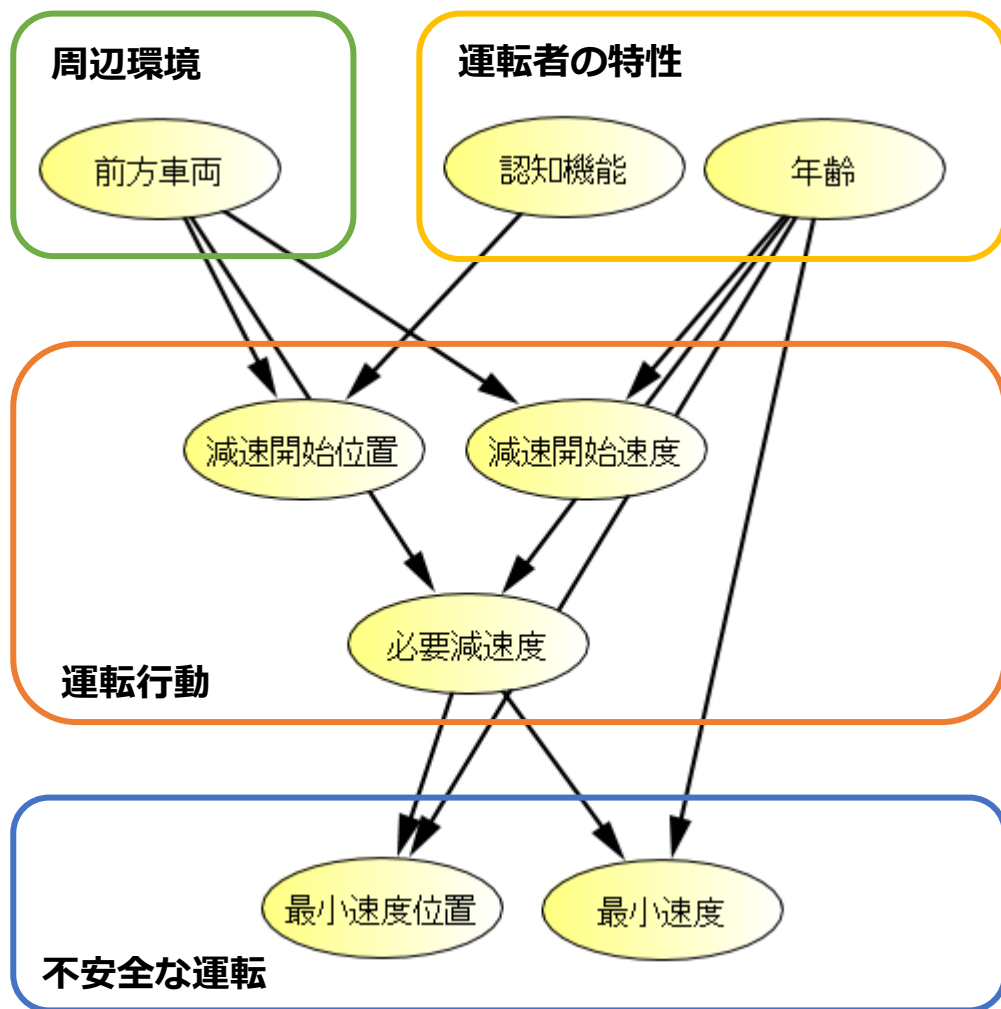
■ 構造探索時の制約条件

- ✓ 運転行動の時系列が逆転しない



図：運転行動の順序

Step3 | モデル構築結果 (減速行動)



情報量規準	ML
スコア	197.885

“必要減速度”, “年齢”が
不安全な運転直接影響している

- 不安全に至る運転行動
- 加齢や認知機能の低下による影響を分析する

Step3 | “停止位置”に影響を与える要因

“停止位置”は減速開始時の状態の影響が大きい

不安全な運転に影響を与える指標を感度分析・確率推論によって、明らかにする

■ “最小速度位置”の相互情報量と“停止線を超える”の場合の確率の差分

確率の差分 (“最小速度位置” = “停止線を超える”)

相互情報量	
変数名	相互情報量
必要減速度	0.208
年齢	0.053
前方車両	0.009
減速開始速度	0.007
減速開始位置	0.001

変数名 ⇒ 値	差分	リフト値
必要減速度 ⇒ 「高」	0.38	1.91
年齢 ⇒ 「高齢者」	0.15	1.34
減速開始時の速度 ⇒ 「高」	0.08	1.19
前方車両 ⇒ 「なし」	0.04	1.10
減速開始位置 ⇒ 「近」	0.01	1.03
減速開始位置 ⇒ 「中」	0.01	1.03

■ : 減速開始時の指標

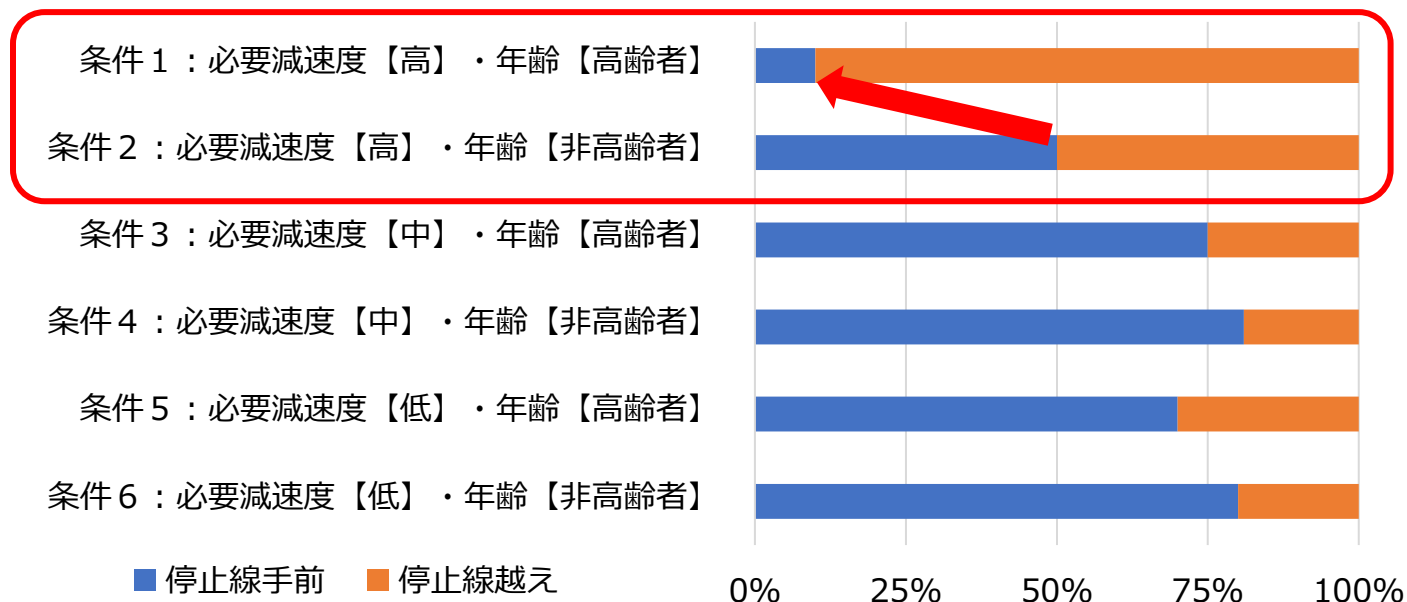
✓ “必要減速度”と“年齢”の影響が大きい

- 必要減速度が大きくなればなるほど停止線で停止するためには急減速が必要になるため、停止線を越えてしまう傾向になる
- 加齢に伴う影響について考える必要がある

Step3 | “停止位置”に影響を与える要因

高齢者は非高齢者と比較して、停止線を越えやすい傾向がみられる

■ “必要減速度” と“年齢”を考慮した場合の“最小速度位置”との関係



- ✓ “必要減速度”が【高】の時、非高齢者では半数が停止線で停止できているのに対して、高齢者はほとんど停止線を越えて停止している

高齢者では筋力が低下することによって減速時のブレーキの踏み込みが小さくなり、停止線を越えてしまうことが考えられる

Step3 | “確実な停止”に影響を与える要因

“確実な停止”は減速時の状態と加齢の影響が大きい

■ “最小速度”の相互情報量と“不停止”の場合の確率の差分

相互情報量

変数名	相互情報量
必要減速度	0.073
年齢	0.052
減速開始速度	0.001

必要減速度 : 減速開始時の指標

確率の差分 (“最小速度位置” = “停止線を超える”)

変数名 ⇒ 値	差分	リフト値
必要減速度 ⇒ 「Nan」※	0.26	1.79
年齢 ⇒ 「高齢者」	0.12	1.36
必要減速度 ⇒ 「高」	0.10	1.31
減速開始時の速度 ⇒ 「高」	0.04	1.13
減速開始時の速度 ⇒ 「Nan」	0.01	1.03

※“必要減速度”, “減速開始時の速度”の「Nan」は減速をしなかったことを示す

✓ “必要減速度”と“年齢”の影響が大きい

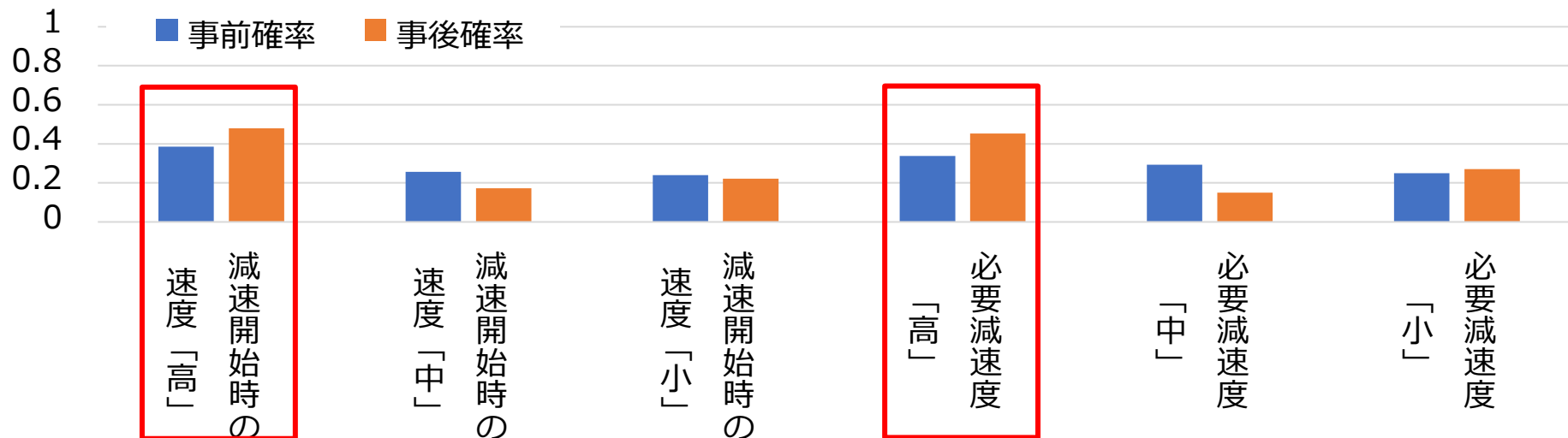
- 減速開始時の状態が不適切な人が停止線を越えて停止しやすい
- 高齢者は一時停止標識の見逃しなどにより不停止になりやすいと考えられる

Step4 | 高齢者の運転行動特徴（停止行動）

高齢者は減速開始時の状態が不適切になる傾向にある

■ “高齢者”はどういう運転の傾向になるのか？

エビデンス：“年齢” = 【高齢者】



✓ 減速開始時の速度が高くなり⇒必要減速度が大きくなる傾向がみられた

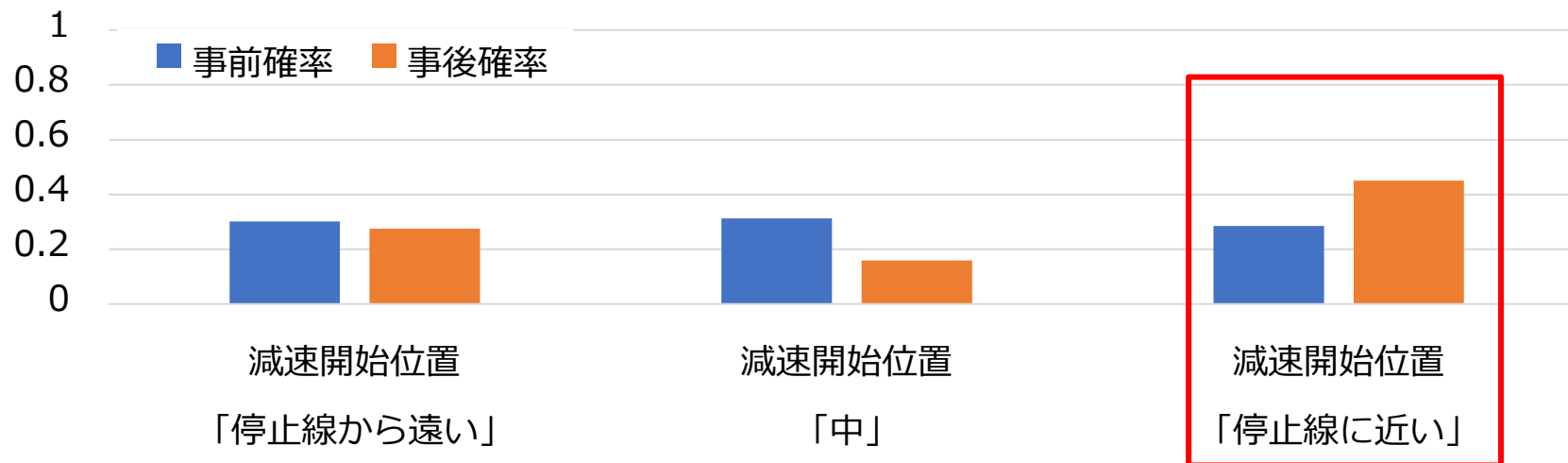
高齢者は減速開始時が高くなったことから、必要減速度が大きくなり、停止線を越えて停止する傾向がある

Step4 | 認知機能低下の影響（停止行動）

認知機能が低下すると、減速の開始が遅れる傾向にある

- “認知機能の低下”は運転行動にどのような影響を与えるのか？

エビデンス：“認知機能” = 【低下あり】

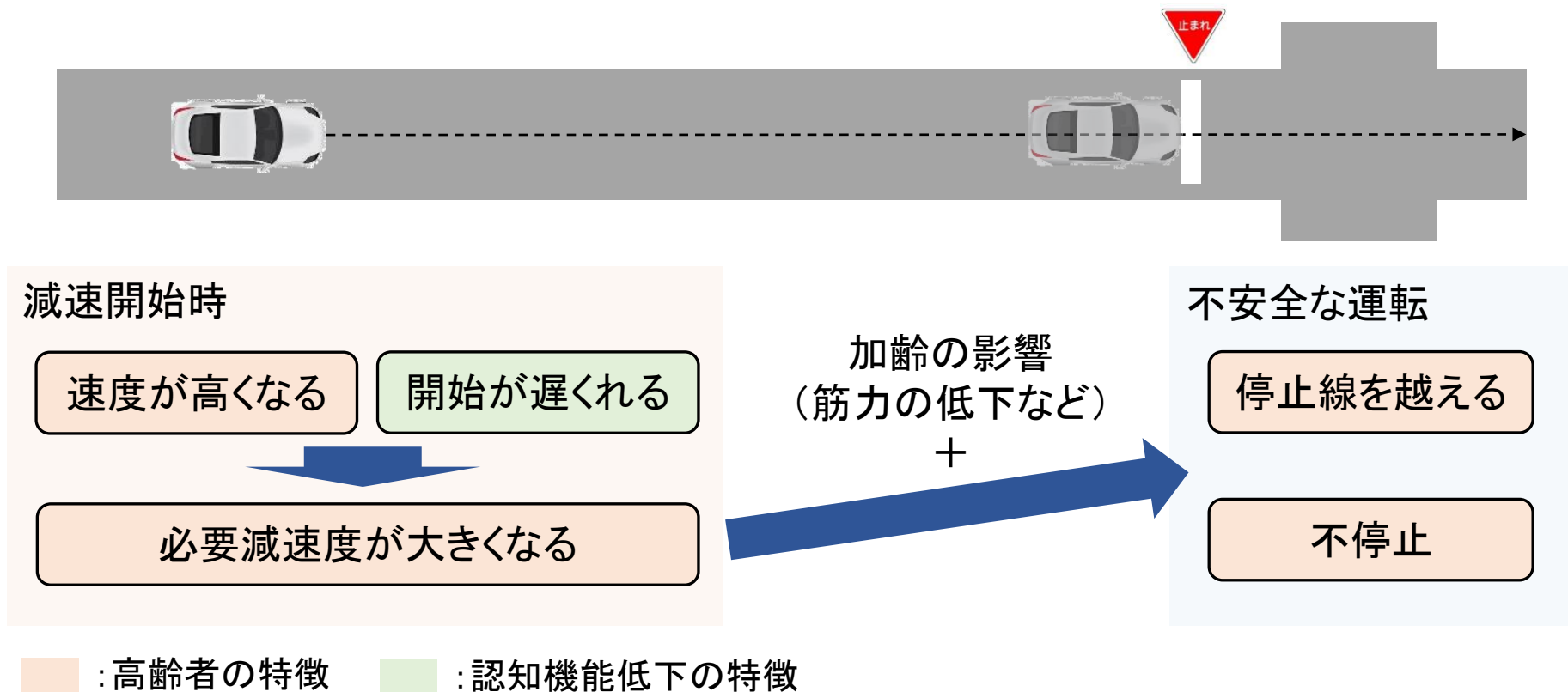


- ✓ 減速開始時の位置が停止線に近くなる傾向がみられた

認知機能が低下した高齢者は、一時停止標識の認識遅れや見逃しが生じ、減速開始時が遅れる傾向にあることが考えられる

Step4 | 分析結果まとめ・考察

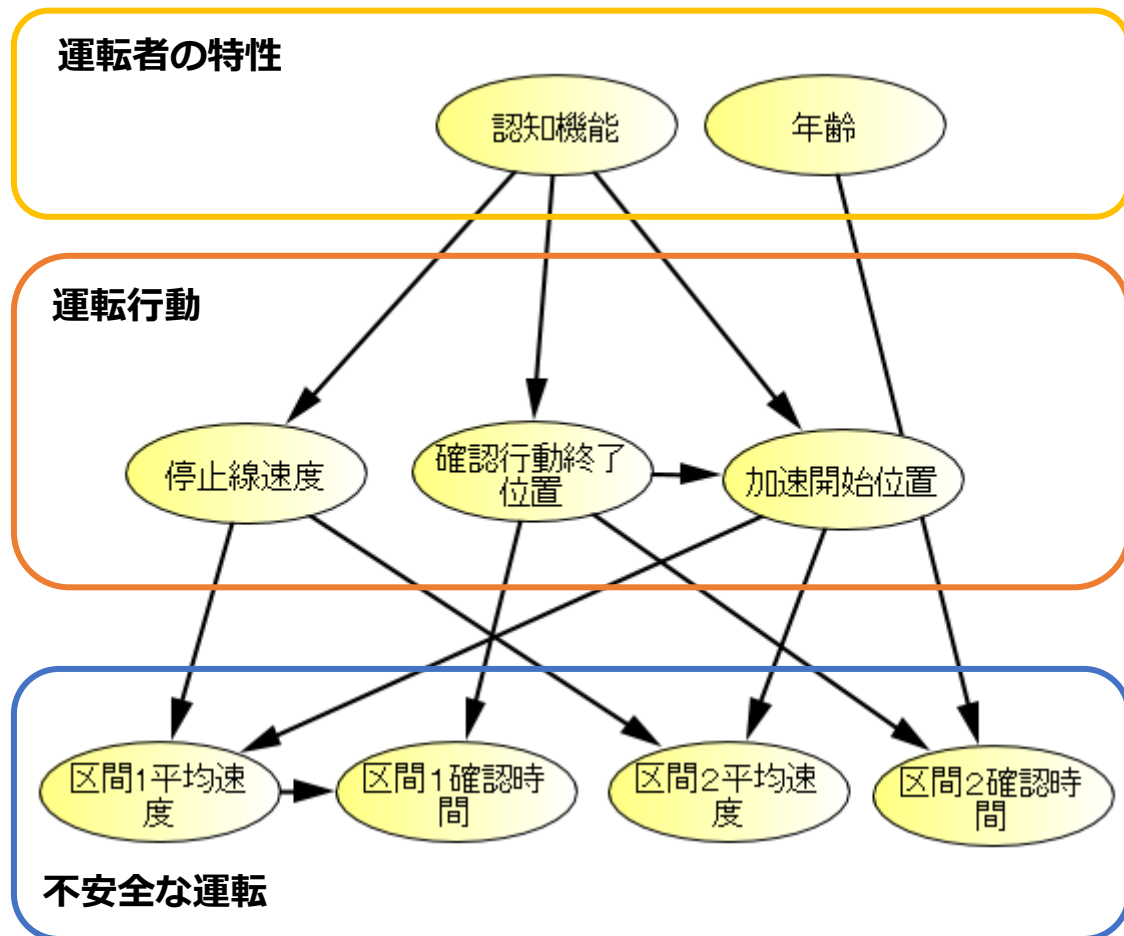
■ 減速行動の不安全な運転の要因と高齢者の運転行動特徴まとめ



■ 考察

- ✓ 注意機能や視機能は加齢に伴い低下することが知られている^[9]
- ✓ これらの機能低下が標識の発見の遅れや見落としに影響し、減速開始時の状態に影響している可能性がある

Step3 | 結果 (交差点通過)



情報量規準	ML
スコア	165.9

- ✓ 平均速度には“停止線での速度”, “加速開始位置”が直接影響する
- ✓ 確認時間には“確認行動終了位置”が影響し, 区間1は“速度”, 区間2は“年齢”が直接影響する

- 不安全に至る運転行動
- 加齢や認知機能の低下の影響を分析する

Step3 | “交差点手前での徐行”に影響を与える要因

“交差点手前での徐行”は加速を開始する位置の影響が大きい

- “区間 1 の平均速度”, “区間 2 の平均速度” の相互情報量

区間 1 の平均速度

変数名	相互情報量
加速開始位置	0.076
停止線速度	0.041
区間 1 確認時間	0.032

区間 2 の平均速度

変数名	相互情報量
加速開始位置	0.130
停止線速度	0.043
確認行動終了位置	0.010

✓ “加速開始位置”と“停止線速度”の影響が大きい

- “平均速度”が“高”の場合の確率の差分

区間 1 の平均速度

変数名 ⇒ 値	差分	リフト値
加速開始位置 ⇒ 「停止線付近」	0.16	1.49
停止線速度 ⇒ 「中」	0.10	1.29
加速開始位置 ⇒ 「減速なし」	0.06	1.17

区間 2 の平均速度

変数名 ⇒ 値	差分	リフト値
加速開始位置 ⇒ 「付近」	0.17	1.49
停止線速度 ⇒ 「中」	0.15	1.42
区間 1 の平均速度 ⇒ 「高」	0.05	1.14

✓ 停止線近くで加速を開始するほど、平均速度が高くなる傾向がみられた

加速を開始するタイミング早いドライバほど交差点手前で速度が高くなる

Step3 | “交差点の安全確認”に影響を与える要因

“交差点の安全確認”は確認行動を終了する位置の影響が大きい

- “区間 1 の確認行動時間割合”, “区間 2 の確認行動時間割合” の相互情報量

区間 1 の確認時間割合

変数名	相互情報量
確認行動終了位置	0.144
区間1平均速度	0.033
加速開始位置	0.010

区間 2 の確認時間割合

変数名	相互情報量
確認行動終了位置	0.236
加速開始位置	0.019
年齢	0.015

✓ “確認行動終了位置”の影響が大きい

- “確認時間割合”が“小”の場合の確率の差分

区間 1 の確認時間割合

変数名 ⇒ 値	差分	リフト値
確認行動終了位置 ⇒ 「停止線付近」	0.30	1.89
加速開始位置 ⇒ 「停止線付近」	0.07	1.21
区間 1 の平均速度 ⇒ 「高」	0.06	1.17

区間 2 の確認時間割合

変数名 ⇒ 値	差分	リフト値
確認行動終了位置 ⇒ 「停止線付近」	0.19	1.28
確認行動終了位置 ⇒ 「中」	0.19	1.28
加速開始位置 ⇒ 「停止線付近」	0.10	1.14

✓ 確認行動終了位置が停止線に近いほど、確認行動が少なくなる傾向がみられた

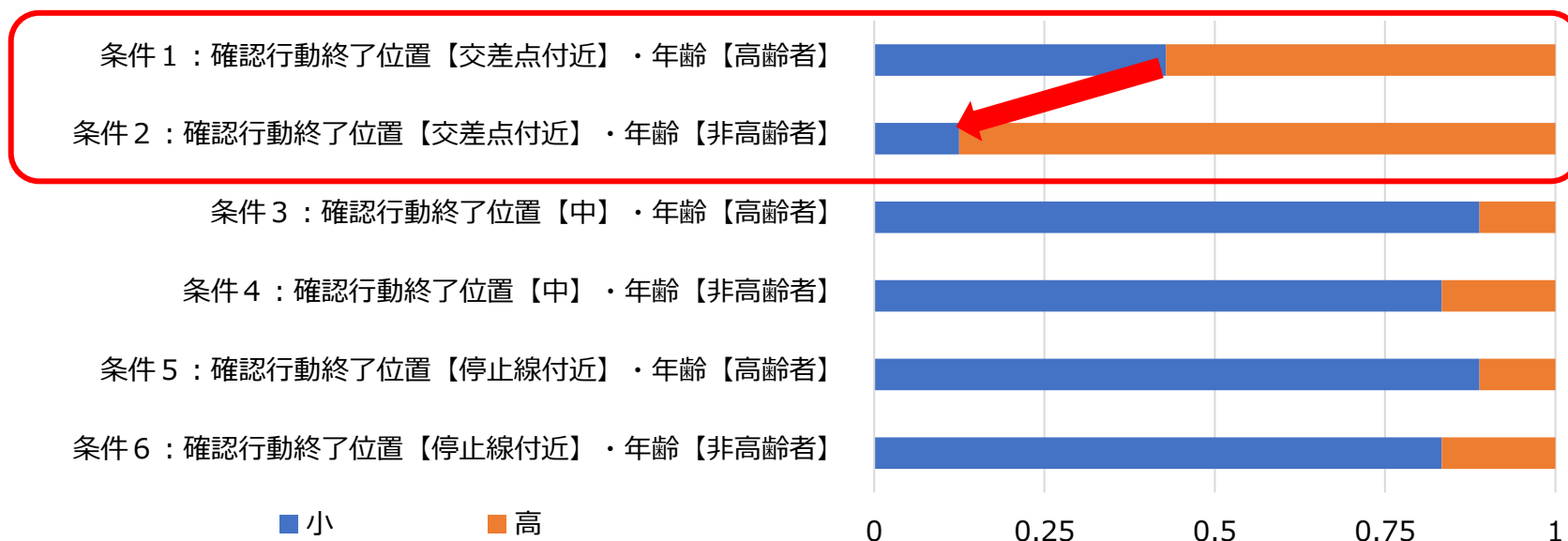
確認行動を終えるタイミングが早いドライバーほど安全確認が少なくなる

Step4 | 高齢者の運転行動特徴（交差点通過）

非高齢者と比較して確認行動が少なくなる傾向がある

■ “高齢者”はどのような運転の傾向になるのか？

“確認行動終了位置”と“年齢”を考慮した場合の“区間2の確認時間割合”との関係



✓ “非高齢者に比べて高齢者は確認行動時間が小さくなる傾向がある

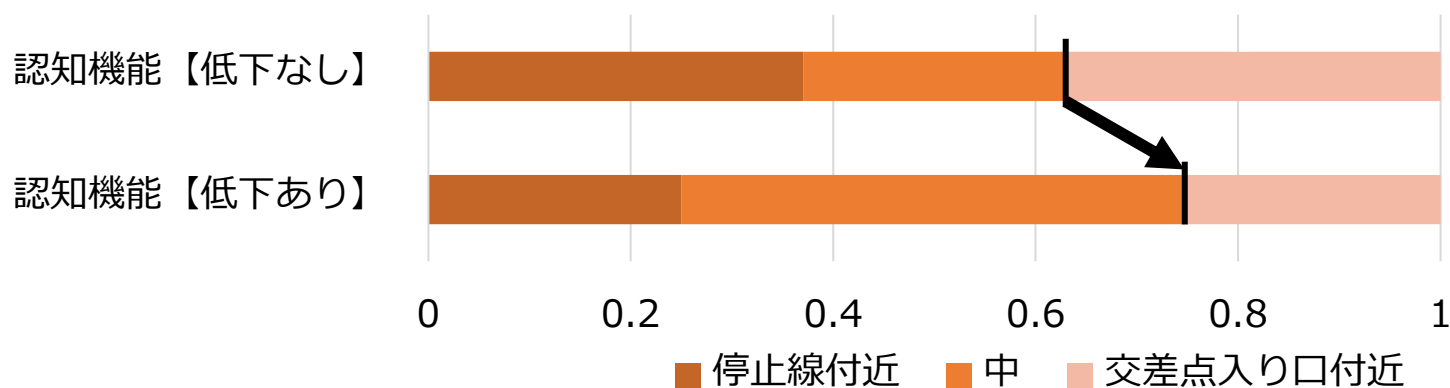
加齢に伴う頸部運動機能の低下などの影響により確認行動が少なくなったと考えられる

Step4 | 認知機能の低下の影響（交差点通過）

認知機能が低下すると確認行動終了位置が早くなる傾向がある

■ 認知機能の低下が運転行動に与える影響は？

“確認行動終了位置”と“認知機能の関係”

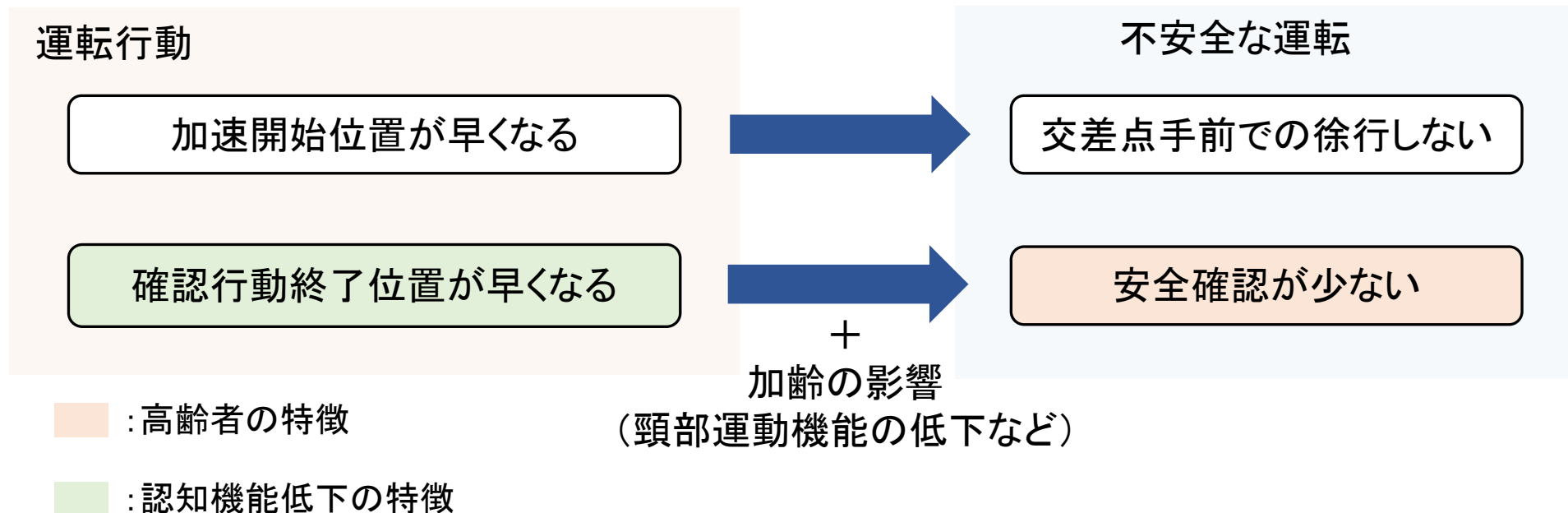


✓ 確認行動終了位置が交差点付近よりも手前になる傾向がある

- 認知機能の低下と交差点死角指摘率に負相関があり、認知機能が低下すると潜在リスクの感度が低下することが示唆されている^[10]
- 本研究の実車の運転においても先行研究と同様の傾向がみられた

Step4 | 分析結果まとめ・考察

■ 交差点通過時の不安全な運転の要因と高齢者の運転行動特徴まとめ



■ 考察

- ✓ 高齢者の安全確認が少なくなる要因として、加齢に伴う頸部運動機能の低下などが考えられる
- ✓ 認知機能が低下したドライバーの確認行動終了位置が早くなる要因として、認知機能が低下することで潜在リスクの感度が低下することが考えられる

得られた知見

■ 高齢者の運転行動特徴まとめ

✓ 停止行動

- 減速開始時の速度が高くなり、**必要減速度が大きくなり、停止線を越えて停止**する
- 減速せず、停止線付近で**停止しない**人が一定数存在する
- **認知機能が低下**すると**減速開始が遅くなり**、必要減速度が大きくなる

✓ 交差点通過時

- 交差点の**安全確認が少なくなる**
- **認知機能が低下**すると**交差点の安全確認を早く終える**

- 研究目的**
- ① 一時停止交差点の運転行動を表現する
 - ② 高齢者の運転行動特徴を明らかにする

- 本研究ではベイジアンネットワークを活用して、一時停止交差点の運転行動のモデル化を行い、不安全な運転に至る行動を示せた
- 感度分析や確率推論を用いて、高齢者と認知機能が低下したドライバーの運転行動特徴を示せた



本研究の成果より

- ✓ 不安全な運転をしているドライバーに対して、どういう運転行動を改善すれば、より安全な運転をすることができるのか示すことができる
- ✓ 高齢者や認知機能が低下したドライバーが気を付けるべき運転時のポイントを示すことができる

今後の展望

■ 異なる交差点におけるモデル構築

本研究

- ✓ 教習所内の限定された環境下でデータを収集
- ✓ いち交差点における運転データでモデル化



実環境や異なる交差点においても同様の結果が得られるのか調査が必要である

■ 高齢者の認知特性や身体的特性の詳細な分析

本研究

本研究では変数として、非高齢者・高齢者、認知機能の低下あり・なしを含めて分析を行い、高齢者に特徴的な運転行動特徴を把握した



加齢や認知機能のどういう部分が運転行動に影響したのか調査が必要である

頸部の柔軟性、有効視野、ワーキングメモリ、分割的注意機能等は事故率や事故歴との相関が示唆されており^[11]、これらが影響していると考えられる

提供してくださいました, BayoLinkSによって,
本研究での分析を円滑に進められました.
NTTデータ数理システム様に心より感謝申し上げます.

本研究でデータ収集に協力していただいた南福岡自動車学校様及び
実験協力者の方々には, 貴重なデータを頂き, 厚く御礼申し上げます.

本研究は修士研究として取り組みました.
ご指導くださいました小竹先生・吉武先生に心より感謝申し上げます.

参考文献

1. 警察庁交通局. 平成30年における交通死亡事故の特徴等について. 2019.
2. 警察庁. 令和2年中における交通死亡事故の発生状況及び道路交通法違反取締り状況等について. 2020.
3. 桑田佳奈, 高齢ドライバの頻出事故分析手法の検討, 自動車技術, Vol.69, No.1, pp.90-95, (2015).
4. 警察庁. 高齢者の特性等に応じたきめ細かな対策の強化に向けた運転免許制度の在り方等に関する調査研究. 2019.
5. Akamatsu, Motoyuki, Yasuo Sakaguchi, and Masayuki Okuwa. "Modeling of driving behavior when approaching an intersection based on measured behavioral data on an actual road." Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. Vol. 47. No. 16. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, 2003.
6. 警察庁. 「認知機能検査と高齢者講習（75歳以上の方の免許更新）」
<https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/menkyo/koshu/koshu/over75.html>（最終閲覧2021年11月26日）
7. 佐藤桂, 竹中邦夫, and 永井正夫. "模擬市街路における無信号交差点通過行動のデータ解析—熟練ドライバと高齢ドライバの比較—." 自動車技術会論文集 45.2 (2014): 425-430.
8. 細川崇, et al. "高齢運転者の実運転場面に基づく一時停止規制のある無信号交差点での不安全行動分析." 自動車技術会論文集 45.3 (2014): 553-558.
9. 石松一真, and 三浦利章. "高齢者の視機能と視覚的注意." 光学 37.9 (2008): 518-525.
10. 島崎 敢ら, " 補償行動を測定可能なハザードパーセプションテストの開発 -運転寿命延伸を目指したドライバ運転特性研究 (32) -", 自動車技術会2021年秋季大会学術講演会講演予稿集, (2021), No.129-21, 20216219, 1-6.
11. Eby, David W., Lisa J. Molnar, and Paula S. Kartje. Maintaining safe mobility in an aging society. CRC Press, 2008.