

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H05320・20K20339

研究課題名（和文）生成的帰納演繹循環アプローチによる心の科学の新しい探求パラダイムの開拓

研究課題名（英文）A new research paradigm in the science of mind through a generative inductive-deductive circular approach

研究代表者

三輪 和久（Miwa, Kazuhisa）

名古屋大学・情報学研究科・教授

研究者番号：90219832

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 20,000,000円

研究成果の概要（和文）：認知モデルと行動モデルという性質の異なる2つのモデルを統合することで、生成的帰納演繹循環アプローチと呼ぶ、人間の心の科学の新しい探求の枠組みを開拓することを試みた。本研究では、高速道路における自動車の合流場面を取り上げた。ACT-Rアーキテクチャを用いて、自動車運転ドライバの認知モデルを構築し、そのモデルをデータ生成装置として用いて、様々な状況における視線行動、運転行動、自動車の挙動のデータを生成した。生成データの検討の結果、本アプローチの有効性が認められた。また、ドライビングシミュレータを用いた実験において収集された行動データに基づくロジスティック回帰モデルを用いた検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、人間の認知機構に関わる理論に基づき構築される認知モデルが、行動データ生成装置として機能する。人間の認知特性をダイレクトに反映した高性能な認知モデルを構築することができれば、構成的に、リアリティの高い様々な条件における行動データを生成できるようになる。さらには、まれにしか起きない状況や危険な状況における行動や、さらにはある特殊な認知特性を持った人間の行動などを、組織的に収集することができる。多様な高度認知的機能が必要とされる自動車運転という領域で、このような手法の可能性を検証することができたことは、心の科学の領域において、一定のインパクトを与えるものである。

研究成果の概要（英文）：By integrating two models of different nature, a computational cognitive model and a behavioral model, we attempted to pioneer a new framework of inquiry in the science of the human mind, which we call here the generative-inductive-deductive circular approach. In this study, we took an automobile merging scene on a highway, constructed a computational cognitive model of automobile drivers, and used the model as a data generator to examine eye-gaze behavior, driving behavior, and automobile behavior in various situations. In addition, a logistic regression model based on behavioral data collected in experiments using a driving simulator was examined.

研究分野：認知科学

キーワード：認知モデル 行動モデル データ生成装置

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

伝統的な心の科学において、人間の「認知機構」の探求は、実験室における統制された実験において、組織的に収集された「実験データ」に基づき行われてきた(図1の左側)。

本プロジェクトの挑戦は、認知モデルと行動モデルという性質の異なる2つのモデルを統合することで、ここで生成的帰納演繹循環アプローチと呼ぶ、人間の心の科学の新しい探求の枠組みを開拓することである(図1の右側)。本アプローチの基本戦略は、認知モデルが生成するデータに(演繹ブリッジ)、大規模行動観察データを組み込んで行動モデルに学習させ、その行動モデルに抽出された特徴変数を認知モデルにフィードバックする(帰納ブリッジ)という形で、自己生成的な探求ループを作り上げることにある。

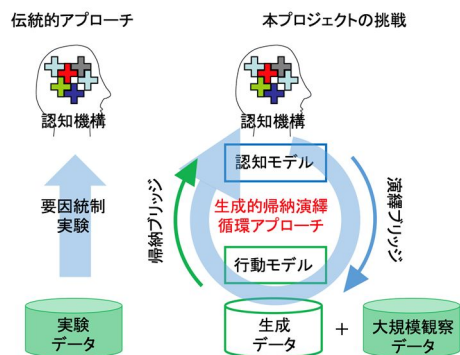


図1 研究のフレームワーク

自動車運転におけるドライバの認知機構を研究対象として、ここで提案する生成的帰納演繹循環アプローチの有用性を、ドライバ運転支援技術の開発に援用することで検証する。

### 2. 研究の目的

#### (1) 演繹ブリッジ：モデルベース研究

交通においては多種多様な人がそれぞれ自身の意図に従って行動している。そのため、円滑な交通の実現においては、交通参加者がお互いの意図を推定し、それに基づいて自身の行動を調整することが重要である。特に合流場面は時間的・空間的な制約が厳しく、どちらが最終的に前方または後方に位置するか、両ドライバは素早い行動選択が求められる。その行動選択を適切に実施するため、他車の挙動を観察し、他者の意図を推測する必要がある。

本研究では、合流場面において他者に対する意図推定がどのような効果をもたらすかを、ACT-R (Anderson, 2007) によるモデルシミュレーションを通して検証する[1]。具体的には、意図推定を行うモデルと行わないモデルが合流完了するまでの運転行動を比較した。

#### (2) 帰納ブリッジ：実験研究

他車に対する印象が、合流場面における意思決定にどのように影響するのかを検討した。なぜなら、合流場面で非協調的な運転を行った場合、交通状況の悪化や重大な事故を招くにもかかわらず[2]、ドライバーがどのような情報に基づいて合流を行っているのかが明らかになっていないからである。従来の研究では、ドライバーは、車間距離などの客観情報に基づいて合流の意思決定をしていると主張されてきた[3]。しかし、インタラクションを伴う運転場面において、客観情報以外に、協調相手の行動から形成される印象に基づいて意思決定を行う可能性も示唆されているため[4]、本研究で直接的にそれを検討する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 演繹ブリッジ：モデルベース研究

意図推定のプロダクションルールを実装したモデル (Estimative model) と、それを実装しないモデル (Control model) を構築した。Estimative model では、自車-他車間の速度差を参照することで他者の意図を推定し、それをもとに自身の意思決定の傾向を調整するようにした。例えば、自車速度のほうが高い場合は「他者は後方を選択しようとしているので、自身は先行を選択してさらに速度を上げたほうが良い」と捉える。そこで、自身が先行を選択しやすく、後行を選択しにくくなるよう自身の意思決定傾向を調整する。この調整は繰り返し行われるため、時間経過によって徐々にいずれか片方の意思決定がされやすくなる。

また、ドライバの意思決定の積極性を示す意思決定傾向パラメータが設定された。これにより、両ドライバがともに意思決定をなかなか行わない消極的な low-decisive pair、すぐに意思決定を行う積極的な high-decisive pair、中庸的な mid-decisive pair の3ペアを設けた。

今回の合流モデルは、認知アーキテクチャ ACT-R 上に実装された (Anderson, 2007)。ACT-

Rには視覚、記憶などの各種モジュールが実装されており、人間と同じようにモデルに課題を解かせることで、課題遂行中の心的過程や行動をシミュレートできる。実際、多くの先行研究で人間ドライバの運転行動の再現が行われ、運転中のボタン操作などのサブタスク実施によって、走行がふらつく様子が確認されている。

モデル比較を行う際の指標として、以下の3つを用いた。すなわち、(1) 他者の観察に当てた視覚認知資源の量を示す他者への視線割合、(2) 合流遂行の円滑さを示す合流完了時間、(3) ステアリング・ペダル操作などメインタスクのエラー放置の程度を示す横方向ふらつきであった。

## (2) 帰納ブリッジ：実験研究

自動車運転免許を持つ24人（平均年齢44歳）を対象に、実験を2回実施した。そのうち、1回目の実験を「Day 1 実験」、2回目の実験を「Day 2 実験」と呼ぶ。Day 1 実験では、参加者は、他車に対して印象を操作されない状態で課題に取り組んだ。そして、参加者はDay 1 実験に参加した2ヶ月後に、Day 2 実験に参加した。Day 2 実験では、参加者の他車に対する印象が操作され、Day 1 実験と同様の課題に取り組んだ。

本実験は、ドライビングシミュレータを用いて実施した（図2）。本実験では、本車線と合流車線の2車線から成る道路を、参加者が運転する車（以降「自車」と）と、自車の隣車線を自動走行する車（以降「他車」と）の2台が走行する状況下で、参加者は次の2つの合流場面に取り組んだ（図3）。ひとつは、合流車線で自車を運転し、本車線を走行する他車を考慮しつつ、本車線に合流させるという場面だった。もうひとつは、本車線で自車を運転し、合流車線から合流してくる他車を合流させるという場面だった。ただし、0mから360m地点までは、壁が2車線を隔てており、参加者は他車を見たり、合流を開始したりすることができなかった。その間、参加者は自車を80km/hで走行するよう求められた。また、いずれの場面においても、他車の走行速度は一定して80km/hに設定された。

Day 1 実験では、参加者は、合流車線を走行し、最終的に本車線に自車を合流させる試行と、本車線を走行し、合流車線から合流してくる他車を合流させる試行の両方に取り組んだ。参加者は、上述の2条件で、それぞれ練習試行で5回、本番試行で25回走行した。自車が300m地点に到達したとき、他車の位置が5水準で操作された（自車から見て、他車が10m後方、5m後方、0m前方、5m前方、10m前方）。本番試行において、合流完了時に、自車が他車の前で合流したか、後ろで合流したかをデータとして取得し、各車線で他車の前で合流した割合（以降「Lead 確率」）を導出した。

Day 2 実験では、他車の印象を操作するため、参加者を無作為に Aggressive 条件か Cautious 条件に振り分け、以下のように教示と試行を追加した上で、Day 1 実験と同内容の課題に取り組んだ。Aggressive (Cautious) 条件では、実験実施前に、「これからあなたが運転するのは、飛ばし屋（のんびり屋）が多く利用する道路です」など、道路利用者に関する情報を教示した。さらに、他車が360m地点から500m地点を走行している間、他車は80km/hからおよそ20km/h加速（減速）する試行を追加した。速度に関する操作は、練習走行5試行のうち3試行、本番走行30試行のうち5試行行われた。



図2 ドライブシミュレータを用いた実験環境

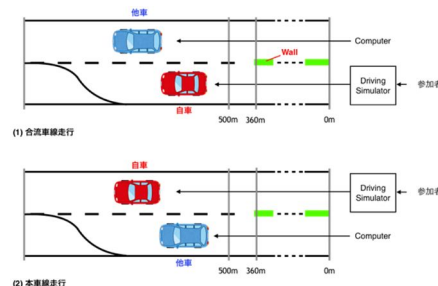


図3 本実験における合流場面

## 4. 研究成果

### (1) 演繹ブリッジ：モデルベース研究

他者への視線割合について Estimative model と Control model で比較した。そもそも意思決定に対して積極的な high-decisive pair では他者の意図を推定する必要がないため、Estimative model でも視線割合が増えることはなかった。一方、low-/mid-decisive pair では、Control model より Estimative model で他者に対して多くの視線を向けており、意図推定が行われていたことが明らかになった（図4参照）。

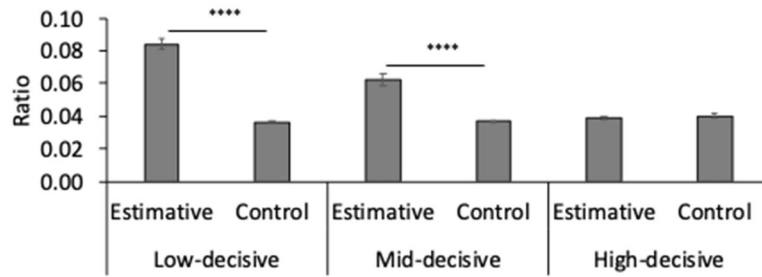


図4 視線行動

Low-decisive pair では、Control model に比べて Estimative model の合流完了時間が有意に短かった。これは意図推定によって膠着状態が解消され、円滑に合流が行われたことを示している。Mid-decisive pair においても、Low-decisive pair ほど顕著ではないにしろ同様の傾向が見られた。一方、High-decisive pair では、そもそも意図推定が行われていなかったため、当然ながら Control model との間に差は生じなかった（図5 参照）。

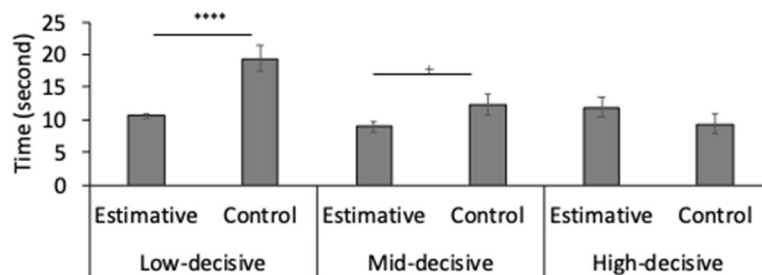


図5 合流完了時間

横方向のふらつきに関しては、Mid-decisive pair においてのみ、Control model に比べて Estimative model が小さいことが分かった。High-decisive pair は、視線割合・完了時間と同様、Estimative model においても意図推定が行われなかったため、差が生じなかった。一方、low-、mid-decisive pair では、意図推定が繰り返し行われるため Estimative model にふらつきが生じやすいと予測されたが、low-decisive model では確認されず、mid-decisive model では逆に Estimative model の方がふらつきが大きかった（図6 参照）。

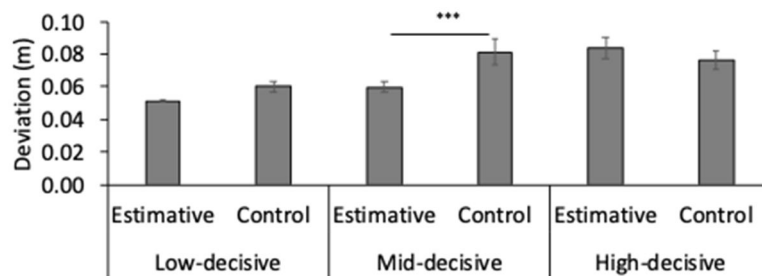


図6 ふらつき行動

Low-decisive model では意図推定が多く行われていたにも関わらず、それによりふらつきが大きくなることはなかった。これは、今回の意図推定の手続きは、すでに保持されている情報を参照だけで行うことができたためだと考えられる。

一方、mid-decisive model では、意図推定を行うことによりむしろふらつきが小さく、逆に意図推定を行わない方がふらつきが大きかった。その原因は、意図推定を行わない場合、先行・後行の選択・取り消しが繰り返し行われ、それに伴う加減速も繰り返し行われたことであった。言い換えれば、意図推定によって、先行・後行の選択回数が抑えられ、それにより加減速回数も減少し、横方向のふらつきが抑制されていた。

以上より、意図推定の効果は、ドライバーの意思決定の積極性を示す意思決定傾向により異なるも

の、全体としては有益に生じることが示された。直接的に検証しづらい意図推定の効果をそのドライバの個人特性を含めて検証した点は、ACT-R シミュレーションの強みを活かした本研究の大きな成果と言える。

## (2) 帰納ブリッジ：実験研究

他車に対する印象が、Lead 確率に影響するかどうかを検討するために、2 (印象: Aggressive 条件、Cautious 条件) × 2 (走行車線: 本車線、合流車線) の4条件に分けて、それぞれ分析を行った。具体的には、印象を操作されていない Day 1 実験の Lead 確率をベースラインとして、そのデータと比べて、印象を操作された Day 2 実験の Lead 確率が有意に変化するかどうかを検討した。なお、他車の印象を操作するために他車の速度を変更した5試行は分析から除いた。

上記の検討を行うために、印象操作の有無 (Day 1 実験、Day 2 実験) と相対距離 (-10m、-5m、+0m、+5m、+10m) を固定変数とし、個人差を変量変数、Lead 確率を従属変数とし、Binomial GLMM を適合させた。その結果、他車の印象が Lead 確率に与える影響は、ほとんどの条件下で見られなかった ( $p_{all} > .050$ )。ただし、Aggressive 条件下で、かつ合流車線を走行する時のみ、印象の影響が見られた ( $\chi^2 = 5.165$ ,  $z \text{ value} = 2.273$ ,  $p = .023$ ; 図7(c))。具体的には、印象項の係数の推定値が正の値 ( $Estimate = 0.736$ ) だった。したがって、参加者は、印象を操作しなかった Day 1 実験と同環境下で運転したにも関わらず、合流車線走行時、他車に対して Aggressive な印象を抱いた場合のみ、他車の後方で合流する傾向があった。この結果は、参加者、自身が走行している合流車線が規範的に非優先であるため、他車の挙動に従属的に運転する必要があると判断したことを示唆している。その際、他車の印象をもとに、他車がどのように動くかを予測し、その予測を考慮して、Lead もしくは Follow の意思決定を行っていたと考えられる。他車の印象が Aggressive である場合、他車は、加速して、自身の前で合流する傾向にあると言える。そのため、参加者は他車に道を譲り、他車の後ろに合流した方がスムーズな合流を実現できると判断した可能性がある。

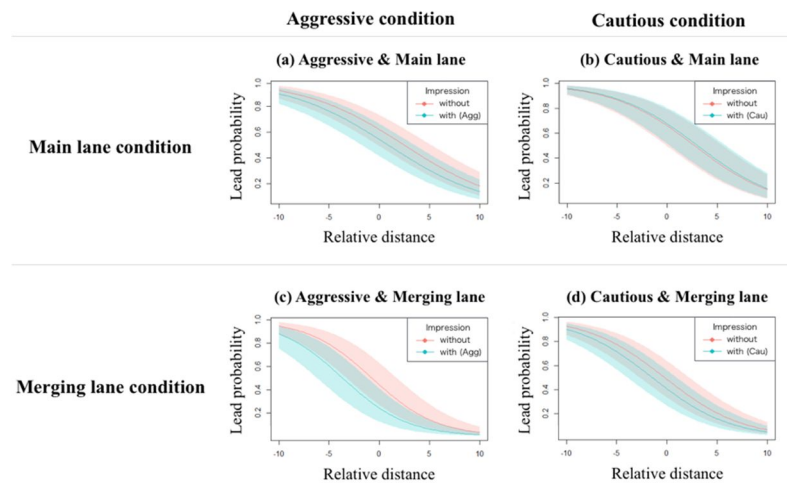


図7 他車の印象と相対距離が Lead 確率を予測するロジスティック回帰モデル

## Reference

- [1] Anderson, J. R. (2007). How can the human mind occur in the physical universe? New York: Oxford University Press.
- [2] Tang, J., Liu, F., Zhang, W., Ke, R., & Zou, Y. (2018). Lane-changes prediction based on adaptive fuzzy neural network. *Expert Systems with Applications*, 91, 452-463.
- [3] Yan, F., Weber, L., & Luedtke, A. (2015). Classifying Driver's Uncertainty about the Distance Gap at Lane Changing for Developing Trustworthy Assistance Systems. In *Proceedings of the 2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. 1276-1281.
- [4] Doob, A. N., & Gross, A. E. (1968). Status of frustrater as an inhibitor of horn-honking responses. *The Journal of Social Psychology*, 76(2), 213-218.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Matsubayashi, S., Miwa, K., Terai, H., Shimojo, A., Ninomiya, Y.	4. 巻 43
2. 論文標題 What is the Cooperative Behavior of Moving in Shared Spaces?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society	6. 最初と最後の頁 2444-2449
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Morita, J., Miwa, K., Maehigashi, A., Terai, H., Kojima, K., & Ritter, F.	4. 巻 11
2. 論文標題 Cognitive Modeling of Automation Adaptation in a Time Critical Task. Frontiers in Psychology	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	6. 最初と最後の頁 2149
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpsyg.2020.02149	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Matsumuro, M., Miwa, K., Okuda, H., Suzuki, T., & Makiguchi, M	4. 巻 74
2. 論文標題 Drivers' Driving Style and Their Take-Over-Control Judgment.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transportation Research: Traffic Psychology and Behavior	6. 最初と最後の頁 237-247
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Matsubayashi, S., Terai, H., & Miwa, K.	4. 巻 12213
2. 論文標題 Development of a Driving Model That Understands Other Drivers' Characteristics.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 LNCS (HCI 2020)	6. 最初と最後の頁 29-39
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimojo, S., Ninomiya, Y., Matsubayashi, S., Miwa, K., Terai, H., Okuda, H., & Suzuki, T.	4. 巻 12213
2. 論文標題 Decision-Making in Interactions Between Two Vehicles at a Highway Junction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 LNCS (HCI 2020)	6. 最初と最後の頁 104-113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsubayashi, S., Miwa, K., Yamaguchi, T., Suzuki, T.	4. 巻 ACHI 2019
2. 論文標題 Short- and Long-Term Effects of an Advanced Driving Assistance System on Driving Behavior and Usability Evaluation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings. of The Twelfth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 三輪和久	4. 巻 37
2. 論文標題 認知モデルに基づく人間・機械インタラクション研究アプローチ	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本ロボット学会誌	6. 最初と最後の頁 15-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 赤松幹之・小木津武樹・三輪和久・八木絵香・芳賀繁・篠原一光	4. 巻 45
2. 論文標題 自動運転が社会に受け入れられるために	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 応用心理学研究	6. 最初と最後の頁 144-172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松室美紀・三輪和久・原田悦子・須藤智・富田瑛智	4. 巻 25
2. 論文標題 自動車運転中の車載機器操作に高齢が与える影響：時間知覚と活性化拡散に着目したシミュレーションによる検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 認知科学	6. 最初と最後の頁 279-292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11225/jcss.25.279	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 前東晃礼・三輪和久・青木宏文・鈴木達也	4. 巻 25
2. 論文標題 高度運転支援システムのユーザビリティ評価要因に関する検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 認知科学	6. 最初と最後の頁 310-314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11225/jcss.25.310	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 松林翔太・三輪和久・山口拓真・神谷貴文・鈴木達也・池浦良淳・早川聡一郎・伊藤隆文	4. 巻 25
2. 論文標題 先進的運転支援システムにおける情報提示と行動介入の認知的・行動的影響に関する検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 認知科学	6. 最初と最後の頁 324-337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11225/jcss.25.324	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Matsumuro, M, and Miwa, K.	4. 巻 10926
2. 論文標題 Cognitive aging and in-car system operations: A proposal for an age-friendly system using a cognitive model-based approach.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 LNCS (HCI 2018)	6. 最初と最後の頁 325-334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-92034-4_25	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 Maehigashi, A., Miwa, K., Aoki, H., and Suzuki, T.	4. 巻 10906
2. 論文標題 Investigation of factors affecting the usability evaluation of an adaptive cruise control system	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 LNCS (HCI 2018)	6. 最初と最後の頁 445-456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-91122-9_36	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 松林翔太・三輪和久・寺井仁・下條朝也・二宮由樹
2. 発表標題 歩車混在空間における協調的行動
3. 学会等名 日本認知科学会第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 下條朝也・三輪和久・二宮由樹・寺井仁
2. 発表標題 合流のための行動調整に他車の印象が与える影響の検討
3. 学会等名 日本認知科学会第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松林翔太・前東晃礼・三輪和久・青木宏文・山口拓真・鈴木達也
2. 発表標題 先進的運転支援システムに対する評価手法の考察－ユーザビリティ評価の横断的分析－
3. 学会等名 日本認知科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前東晃礼・三輪和久・小島一晃・伊藤健太
2. 発表標題 人-人と人-自動化システムの協同におけるパフォーマンスの鋭敏性に関する実験的検討
3. 学会等名 人工知能学会第82回先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 松林翔太・三輪和久	4. 発行年 2021年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 9
3. 書名 先進運転システムとドライバのインタラクション（高齢社会における人と自動車）	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	鈴木 達也  (Suzuki Tatsuya)  (50235967)	名古屋大学・工学研究科・教授    (13901)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------