

ストレス指標を考慮した車線変更時における 運転意図と運転行動の関係分析

近藤 はるな¹・柳原 正実²・小根山 裕之³

¹ 学生非会員 東京都立大学 都市基盤環境学域 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail:kondo-haruna@ed.mu.ac.jp

² 正会員 東京都立大学助教 都市基盤環境学域 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail:yanagihara@tmu.ac.jp

³ 正会員 東京都立大学教授 都市基盤環境学域 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail:oneyama@tmu.ac.jp

運転をするとき、運転者は周辺の状況から次の運転方針を決め、その考えに基づき運転行動を行う。つまり、運転行動は「周囲の環境を鑑みて運転意図を発し、実際の運転行動に移す」という流れをたどっていると考えられる。運転時に運転者は自身の運転だけではなく周囲の車両の挙動にも気を配る必要があるため、運転は少なからず運転者にストレスがかかる行為と言える。このストレスが運転意図や運転行動に影響を与える可能性も考えられる。

このように一連の運転行動を捉えるうえで「運転行動」「運転意図」「周囲の状況」「ストレス」はお互いに影響を与えていると考えられる。本研究では特にストレスや周囲の状況が運転意図に与える影響について分析を行い、それらの関係性についての知見を得た。

Key Words: Driving behavior, Driving intention, Driving stress, Lane changing

1. 背景

運転をするとき、運転者は周辺の状況を踏まえて、例えば「そろそろ右車線に行こう」「もう少しスピードを上げよう」といった考えを持ち、その考えに基づき運転行動を行う。このような考えを運転意図とすると、運転は「周囲の交通状況を考慮して運転意図を発し、実際の運転行動に移す」という流れをたどっていると考えられる。運転行動は必ずしも運転者が行おうと思ったタイミングで行えるとは限らない。例えば車線変更をしようとしても、隣車線に自車が入れる空間がないと車線変更はできず、隣車線にいる別車両と位置をうまくずらす必要がある。同時に自車だけではなく周囲の車両との車間距離を十分に保ち、安全な運転を心掛ける必要もある。このように運転者は安全に運転行動をするために、周囲の車両の挙動にも気を配る必要がある。これは運転者にとって少なからずストレスがかかる行為であるといえる。

ストレスは日々の行動や環境、自身の精神状態に影響されるものであり、特に運転中に運転者にかかったストレスはタイミングによっては運転行動や運転意図に影響

を与える可能性もある。このように運転を考えるうえで「運転行動」「運転意図」「ストレス」「周囲の交通状況」はお互いに影響を与えていると考えられる。

日本では長距離ドライバーの疲労やストレスに注目が集まっていることから、「運転行動」と「ストレス」または「運転行動」と「運転意図」の関係を分析している文献は多い。「運転行動」と「ストレス」の関係は浜岡ら¹⁾が先行車両が低速走行の場合にドライバーにかかるストレス状態の変化を確認、「運転行動」と「運転意図」の関係は柳原ら²⁾がインタビュー調査を通じて外部刺激に対応した運転意図と運転挙動の変化を確認している。また「運転意図」と「生体反応」の関係は先行研究³⁾で車線変更時の運転意図の発現と生体反応の間に何らかの関係があることを示唆している。しかし、「運転行動」「運転意図」「ストレス」「周囲の状況」をすべての要素の関係を示したものは少ない。

車線変更行動について、越ら⁴⁾や牧野ら⁵⁾は交通渋滞や事故が発生しそうな臨界状態の交通流下で多発し、このことが直接的または間接的な渋滞の原因になっているとしている。

そこで、本研究では、比較的ストレスがかかりやすい行動であると考えられる車線変更時において「運転行動」「運転意図」「ストレス」「周囲の状況」がどのように相互作用しているのかを把握することを目指す。本稿ではまず、運転意図への「周囲の状況」と「ストレス」の影響の有無を把握することを目的とする。

2. 使用データ

本研究では実験で得られた走行ログデータと生体反応データと運転意図データを用いた。被験者車両のみが必然的に車線変更を行う状況をドライビングシミュレータで作り実験を行った⁶⁾。具体的には、長距離の2車線道路上で被験者以外の追越車線の車両は95km/h~130km/hで走行し、走行車線の車両は初速を70km/h~110km/hで

走行させた。このとき、走行車線の被験者の前方にいる車両は速度を徐々に減速させ、被験者に追いつくための車線変更を促した。一方で追越車線の車両は高速で走行し、被験者の自由な車線変更を抑制する状況を作り出した。

また、本研究では走行車線から追越車線への車線変更を対象として分析を行った。

(1) 走行ログデータ

走行ログデータとして、被験者の走行速度、左路肩からの距離、走行車線を走行する前方車との車間距離、走行車線を走行する前方車の走行速度、追越車線を走行する前方車との車間距離、追越車線を走行する前方車の走行速度、追越車線を走行する後方車との車間距離、追越車線を走行する後方車の走行速度を使用する。左路肩からの距離は被験者の車両の水平方向の位置を表す。(図-1)

(2) 生体反応データ

生体反応データとして、被験者の心電、筋電、発汗、皮膚温のデータを使用する。

(3) 運転意図データ

実験中にドライビングシミュレータの映像と被験者の運転の様子が分かるようにビデオ撮影をし、実験終了後に被験者にビデオを見ていただきながらその時の運転に関する気持ちをボタンで示していただいた。ボタンには「加速したい・減速したい」「右に行きたい・左に行きたい」「現状維持」の5種類の運転意図があり、その時一番強く思っていた意図をボタンを押してもらうことで示していただいた。

(4) 車線変更行動における基準時点の設定

運転者によって車線変更に要する時間が異なるため、車線変更を行う際の運転者及びその周りの環境で同一状況を抽出するための5つの基準時点(図-2)を設定した。車線変更が始まる時点から終わる時点に加え、実験中に多く観測された、車線変更前に追越車線の車両に追いつ

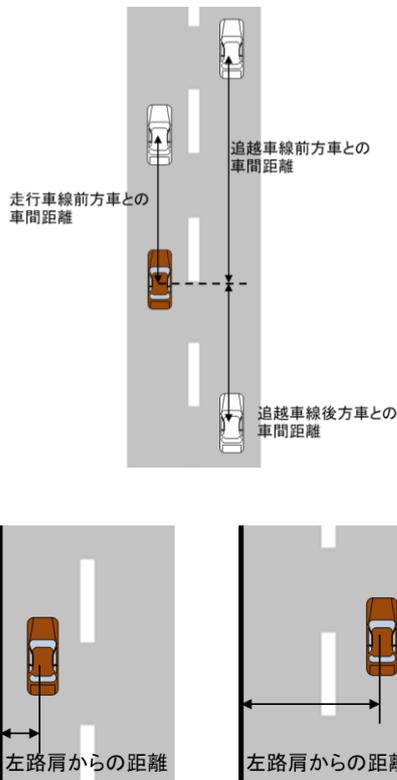


図-1 走行ログデータの模式図

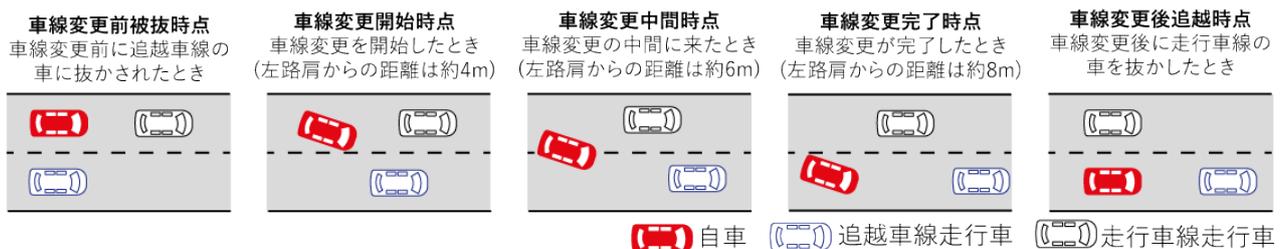


図-2 車線変更行動に関する基準時点

された時点と車線変更後に走行車線の車両を追い越した時点を中心時点とした。

3. ストレス指標

(1) ストレスの定義⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾

Walter Bradford Cannon は寒冷、運動、出血、低酸素、低血糖のようなストレスがホメオスタシス（生体恒常性;homeostasis）を乱し、生体に歪み strain を生じさせることを指摘し、刺激側をストレス、反応側をストレインと区別した。一方、Hans Selye はストレスを生体に対するあらゆる要求への非特異的の反応とし、刺激側のことをストレス因子（ストレッサー）、反応側をストレスと区別している。このように医学的にもストレスという言葉は定義があいまいである。そのため本研究におけるストレスの定義を「何らかの刺激によって引き起こされた生体反応」と定め、交感-副交感神経のバランスを示す LP 面積を用いた指標を本研究におけるストレス指標とする。また、「ストレスを誘発する外部からの刺激」をストレッサーと定義した。

(2) ストレス指標の導出¹¹⁾

本研究では医学的なストレスの評価法の一つである LP 面積を採用した。LP 面積は心拍間隔から算出されるもので被験者の心電データをもとに作成した。LP 面積は土木分野、交通分野でもストレスを評価するために利用されており、その値が大きいとストレスが小さく、値が小さいとストレスが大きいということが知られている。LP 面積は複数の連続した心拍間隔の分散から求めるため、ある時間幅を持ったデータに対して一つの面積を求めることになる。既往研究¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾ではその時間幅が 10 秒～数十分と研究内容によってさまざまであった。そこで、本研究では統計的に妥当な心拍間隔の分散値が得られる間隔として、時間幅を 10 秒間と設定した。

先行研究⁹⁾では、LP 面積の相違に関して車線変更以外の要因によるバイアスを取り除くために、基準時点からの変化量に基づいた式(1)に示すストレス指標を用いた。

$$\ln \frac{LPA(t)}{LPA(0)} \quad (1)$$

ここで $LPA(t)$ は基準時点からの時点 t ($-20 \leq t \leq 20, t \in Z$) における LP 面積であり、 $LPA(0)$ は基準時点における LP 面積である。この時点 t における LP 面積とは時点 $t-5$ から時点 $t+5$ までの 10 秒間の時間幅の LP 面積である。したがって、このストレス指標は基準時点の何倍の LP 面積であるのかを示す指標であり、個人間及び、その時々車線変更以外の要因によるバイアスを取り除いた値として用いている。

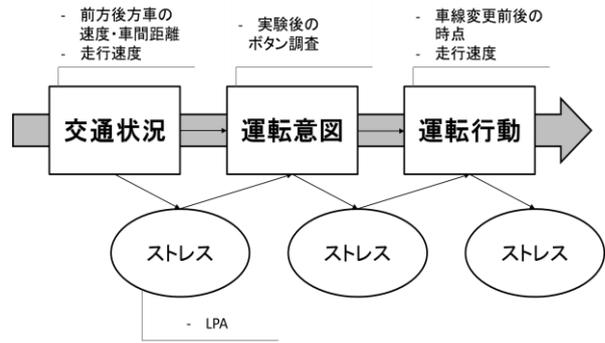


図-3 運転中のストレスの影響の模式図

4. ストレス指標を考慮した運転意図と運転行動の関係分析

(1) 運転中のストレスの影響

運転者は運転をするときに周辺の交通状況を考慮しつつ次に行いたい動きを決め、安全にその動きができると判断した時に運転を実行すると考えられる。図-3はこれらの運転者の考えや行動を模式化させたものである。ここで「交通状況」とは例えば前方車に追いつきそう、後方車が十分離れているから車線変更できそうといった周囲の車両の速度や車間距離によるその瞬間の交通環境のことである。また「運転意図」とは車線変更したい、加速したいといった運転者が近い将来の運転方針を決める考えのことである。「運転行動」とは例えば車線変更を実行するといった運転者が考えた「運転意図」に従って運転行動を起こすことである。この一連の運転行動において、それぞれ「ストレス」が運転者には発生し、そのストレスも何らかの影響を運転行動に及ぼしていると仮説を立てた。

本研究では「交通状況」には車線変更前被抜時点の走行車線前方車及び追越車線走行車の走行速度と被験者との車間距離、被験者の走行速度を、「運転意図」には車線変更前被抜時点の運転意図データ（加速・減速・左・右・現状維持）を、「運転行動」には車線変更開始時点から車線変更後追越時点の被験者の走行速度を、「ストレス」にはそれぞれの時点における、3章(2)節で示したストレス指標を要素として設定した。

(2) 運転行動のストレスへの影響

先行研究⁹⁾では、一連の車線変更行動とストレス指標の関係分析を行った。その結果、車線変更をする際に図-2のうち、車線変更完了時点から車線変更後追越時点の間で一番運転者にストレスが増加すること、またそのストレス要因は車線変更開始時点の前で生じている可能性があること示唆され、図-3の「運転行動」と「ストレス」の関係が明らかになっている。

(3) 交通状況とストレスの運転意図への影響

「交通状況」と「ストレス」から「運転意図」の関係
を正準判断分析を用いて判断する。正準判断分析は判別
する群と群の境界線である判別式を算出する線形判断分
析と群の重心とのマハラノビス距離が最小になる群を選
ぶ非線形判断分析の 2 種類がある。どちらの方法を用い
るかを定める前処理として等分散性の検定である BOX
の M 検定を行った。表-1 はその結果を示し、p 値は有効
数字を考慮した。p 値が 0.05 より小さく、説明変数の群
の分散共分散行列は異なるといえるため、マハラノビス
距離を用いた非線形判断分析で判断分析を行う。

表-2 は車線変更前被抜時点の 20 秒前から車線変更前
被抜時点の間での、時点 $t-\Delta t$ の走行ログデータを用いた
ときのマハラノビス距離と判別ごとの分散と平均値を示
したものである。ここで t は車線変更前被抜時点を基準
時点として被験者が運転意図を示した時点である。また、
 Δt は被験者が運転意図を示した時点と分析に用いた速度
などの走行ログデータが観測された時点との差分を示し、
値が大きいほど、より以前の走行ログデータによる運転
意図の判別となっている。また、表-2 の値が大きいほど
マハラノビス距離が大きい、つまり分類がしやすいこと
を示す。太字の数字は各運転意図間における、各 Δt の
判別の中で最もマハラノビス距離が大きい結果を示して
いる。

加速と減速、左と右の判別はそのほかの判別と比べて
マハラノビス距離が大きい結果になった。加速と減速の
判別では前方車との車間距離が十分にあるときに加速
することはあっても減速することは考えにくい。一方前
方車との車間距離が小さくなったときには減速すること
はあっても加速することは考えにくい。左と右の判別で
は走行車線走行中に走行車線前方車との車間距離が小さ
くなったときに右車線へ車線変更したいと考え、追越車
線走行中に走行車線前方車と十分な車間距離があると認
められたときに左車線へ車線変更したいと考える。つま
りどちらの判別も着目している走行ログデータの値の大
小が異なり判別がしやすいと考えられる。

また、減速と左の判別でもマハラノビス距離が大き
くなった。表-3 は 15 秒前の時点での分析に用いた、減
速の運転意図と左の運転意図が表明されたときの走行ロ
グデータの各要素の平均値である。これより周囲の車両
との車間距離は左の運転意図を示したときのほうが大き
いことが分かる。つまり減速の運転意図が表明されたとき
と左の運転意図が表明されたときで走行ログデータが大
きく異なるため、減速と左の判別がしやすいと言える。
これは左に行きたいと考えるときは周囲の車両との車間
距離を十分にとろうとしている、減速したいと考える
ときは周囲の車両との車間距離が小さくなっているため
減速することで衝突を回避する、または減速して隣車線

表-1 Box の M 検定の結果

box's M test	7009.10
自由度	21
p 値	0.00

表-2 時点 $t-\Delta t$ の走行ログデータを用いた時の
マハラノビス距離

Δt	0sec	5sec	10sec	15sec
減速と左の判別	1.534	1.701	1.752	2.056
減速と現状維持の判別	1.241	1.262	1.230	1.185
減速と右の判別	0.462	0.477	0.535	0.508
減速と加速の判別	1.454	1.536	1.491	1.450
左と現状維持の判別	0.838	0.991	1.360	1.635
左と右の判別	1.362	1.415	1.593	1.897
左と加速の判別	0.963	1.081	1.421	1.655
現状維持と右の判別	1.045	1.057	1.073	1.062
現状維持と加速の判別	0.660	0.621	0.612	0.651
右と加速の判別	1.389	1.422	1.409	1.413

表-3 15 秒前の減速と左の運転意図が
表明されたときの走行ログデータの平均値

	減速	左
要素数[ケース]	118	89
走行速度[m/s]	23.99	29.38
左路肩からの距離[m]	4.10	4.31
15秒前の走行車線前方車の速度[m/s]	9.37	17.76
15秒前の走行車線前方車との車間距離[m]	260.49	356.11
15秒前の追越車線前方車の速度[m/s]	30.63	32.73
15秒前の追越車線前方車との車間距離[m]	34.63	79.63
15秒前の追越車線後方の速度[m/s]	30.74	32.83
15秒前の追越車線後方車との車間距離[m]	-35.34	-75.26

表-4 5 秒前の減速と左の運転意図が
表明されたときの走行ログデータの平均値

	加速	右
要素数[ケース]	742	573
走行速度[m/s]	29.64	25.23
左路肩からの距離[m]	4.17	4.24
5秒前の走行車線前方車の速度[m/s]	-93.29	15.40
5秒前の走行車線前方車との車間距離[m]	425.18	151.43
5秒前の追越車線前方車の速度[m/s]	33.20	31.15
5秒前の追越車線前方車との車間距離[m]	71.30	44.64
5秒前の追越車線後方の速度[m/s]	33.29	31.40
5秒前の追越車線後方車との車間距離[m]	-37.55	-31.76

車両と十分な間隔をとったうえで車線変更しようと考え
ていると考えられる。

一方で減速と右の判別ではマハラノビス距離が小さく、
減速の意図と右の意図が近いと考えられる。これは追
越車線へ車線変更する際に追越車線の前方を走る車両と

十分な車間距離をとるために少し減速をして車線変更をすることがあり、被験者によってその意図を減速と捉えるか右と捉えるかの違いがあるため、同一の状況におけるほぼ同一の意図であっても、異なる運転意図のデータが混在し、判別が難しくなっていると考えられる。

反対に右と加速の判別でのマハラノビス距離が大きくなった。表-4は5秒前の時点での分析に用いた、加速の運転意図と右の運転意図が表明されたときの走行ログデータの各要素の平均値である。これより5秒前の走行車線前方車との車間距離と追越車線前方車との車間距離は加速の運転意図を示したときのほうが大きいことが分かる。つまり加速の運転意図が表明されたときと右の運転意図が表明されたときで走行ログデータが大きく異なるため、加速と右の判別がしやすいと言える。これは実験時に被験者の前に速度の遅い車両が発生していることが多く、追越車線へ車線変更する際に追越車線の後方を走る車両と十分な車間距離をとるために加速をするという状況が少なく、右の運転意図と加速の運転意図が重なることがあまりなかったためであると考えられる。

各判別の中で一番マハラノビス距離が大きい Δt 、すなわち、判別に最も影響のある走行ログデータの得られた時点が運転意図の何秒前であったかに着目する。今回の分析対象が左車線（走行車線）から右車線（追越車線）への車線変更の前であることから、「左に行きたい」という運転意図は車線変更前被抜時点から一番速い15秒前に判別しやすくなっている。これは対象としている車線変更の1つ前の追越車線から走行車線への車線変更が影響している可能性が考えられる。そのほかの運転意図は0秒～10秒前の周囲の状況が影響していることが多い。現状維持の運転意図は左の運転意図との判別を除いて分散の値が小さく、全時点を通してあまり大きな変化はないとわかる。これは被験者によって現状維持と捉えるか別の意図と捉えるかの基準が異なり、同内容の運転意図であっても異なる運転意図が混在している可能性が考えられる。

表-5は車線変更前被抜時点の20秒前から車線変更前被抜時点の間での、時点 $t-\Delta t$ の走行ログデータに加えて時点 t のストレス指標を用いたときのマハラノビス距離と判別ごとの分散と平均値を示したものである。太字の数字は表-2同様、各運転意図間における、各 Δt の判別の中で最もマハラノビス距離が大きい結果を示している。マハラノビス距離の分散や値が最も大きくなる時刻は表-2の結果とあまり変化はないが、全体的にマハラノビス距離の値自体が大きくなった。これは走行ログデータだけではなく、運転者のストレスも運転意図に影響を及ぼした可能性を示していると言える。

表-2、表-5において、この時の判別モデルのF検定の結果におけるP値はそれぞれ0.00であり、重心間のマハ

表-5 時点 t のストレス指標と時点 $t-\Delta t$ の走行ログデータを用いた時のマハラノビス距離

Δt	0sec	5sec	10sec	15sec
減速と左の判別	1.571	1.766	1.819	2.122
減速と現状維持の判別	1.245	1.265	1.224	1.192
減速と右の判別	0.481	0.513	0.553	0.549
減速と加速の判別	1.460	1.549	1.486	1.464
左と現状維持の判別	0.950	1.137	1.512	1.762
左と右の判別	1.377	1.443	1.627	1.923
左と加速の判別	0.984	1.116	1.461	1.686
現状維持と右の判別	1.073	1.092	1.120	1.116
現状維持と加速の判別	0.706	0.682	0.690	0.733
右と加速の判別	1.389	1.422	1.406	1.413

表-6 説明変数にストレス指標を入れた場合と入れなかった場合のマハラノビス距離の差

Δt	0sec	5sec	10sec	15sec
減速と左の判別	0.037	0.065	0.067	0.066
減速と現状維持の判別	0.005	0.003	-0.006	0.007
減速と右の判別	0.019	0.036	0.017	0.042
減速と加速の判別	0.007	0.013	-0.005	0.014
左と現状維持の判別	0.112	0.146	0.152	0.127
左と右の判別	0.015	0.028	0.034	0.026
左と加速の判別	0.020	0.035	0.040	0.031
現状維持と右の判別	0.028	0.035	0.047	0.054
現状維持と加速の判別	0.045	0.061	0.078	0.082
右と加速の判別	0.000	0.000	-0.003	0.000
p値($\alpha = 0.05$)	0.021	0.012	0.023	0.005

ラノビスの距離に有意な差があると言える。また表-6は表-2と表-5の差分とt検定の結果を示したものである。ほとんどの項目間と Δt でストレス指標を用いたときのマハラノビス距離が大きくなり、すべての時間でその有意差が認められている。これらより説明変数として利用した「交通状況」に加えて「ストレス」も「運転意図」を説明する要因になっているとわかった。

5. 最後に

本研究では車線変更前に周囲の交通状況と運転者のストレスが運転意図に与える影響について、走行ログデータと運転意図データを用いた判別分析と、走行ログデータとストレス指標と運転意図データを用いた判別分析を行い、その結果に有効な差分があるかの確認を行った。運転者はある程度周りの状況を見た後に運転意図を出すと考えられるため、15秒前から1秒前までの走行ログデータを用いた回帰分析もそれぞれを行い、分析を行った。その結果、走行ログデータと運転意図データを用いた判別分析と走行ログデータとストレス指標と運転意図デー

タを用いた判別分析でそれぞれで得られた各群のマハラノビス距離に有意差が認められたこと, またストレス指標を用いた判別分析のほうがマハラノビス距離が大きく, 2つの判別分析で得られたマハラノビス距離の差分にも有意差が認められたことから, 「交通状況」と「ストレス」は「運転意図」に影響を与えていることが分かった。

今後は「ストレス」と「運転意図」が「運転行動」に与える影響の有無の分析とその結果から「運転行動」「運転意図」「ストレス」「周囲の状況」がどのように相互作用しているのかの分析を行う必要がある。

参考文献

- 1) H. HAMAOKA, C. NEMOTO, K. SHIMIZU, “A study on the stress and driving behavior of drivers forced to travel at low speeds,” *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol.6, 2005.
- 2) 柳原正実, 宇野伸宏, 中村俊之, “運転意図に基づく外部刺激の影響分析手法,” *交通工学論文集*第 1 巻第 2 号, 2015.
- 3) 近藤はるな, 柳原正実, 小根山裕之, 相川太良 “車線変更に伴うストレス指標の時間変化に関する分析,” 第 75 回年次学術講演会, 土木学会, 2020.9.
- 4) 越正毅, 桑原正夫, 赤羽弘和, “高速道路のトンネル, サグにおける渋滞現象に関する研究,” *土木学会論文集* No.458, 1993.
- 5) 牧野浩志, 鈴木一史, 鹿野島秀行, 山田康右, 堀口良太, “車線変更行動に着目したサグ部渋滞発生要因の分析と渋滞対策アプローチ,” *土木学会論文集* Vol.71No.5, 2015.
- 6) 柳原正実, 近藤はるな, 小根山裕之, “車線変更時におけるドライバーのストレス指標の時間変化と要因に関する研究,” *土木計画学研究発表*, Vol.62, 2020, 11
- 7) 厚生労働省, “ストレスって何?,” https://www.mhlw.go.jp/kokoro/first/first02_1.html.
- 8) 尾仲達史, “ストレス反応とその脳内機構,” 2005.
- 9) 阿部恒之, ストレスと化粧の社会生理心理学, フレグランスジャーナル社, 2002.
- 10) 田中美史, 瓜本健助, 村山孝之, 関矢寛史, “プレッシャーが全身協応運動に及ぼす影響,” *スポーツ心理学研究*第 36 巻第 2 号, 2009.
- 11) 三宅晋司, 生理計測とデータ解析ノウハウ, 日本人間工学会 PIE 研究部会編, 2017
- 12) 鈴木弘司, 今井克寿, 藤田素弘, “心拍変動を用いた自転車利用者の幹線街路評価に関する研究,” *土木学会論文集* 69 巻 5 号, 2013.
- 13) 石田真二, 武田超, 白川龍生, 鹿島茂, “鉄道サービスにおけるストレス軽減効果の検証,” *運輸政策研究* 15 巻 2 号, 2012.
- 14) 石田真二, 鹿島茂, “心拍変動を用いた車いす使用者のストレス計測に関する研究,” *福祉のまちづくり研究* 18 巻 2 号, 2016.
- 15) 鈴木, 伊藤, “東京オリンピック・パラリンピック競技会場周辺地域の立ち寄りやすさの定量的評価,” 2018.
- 16) 鈴木弘司, 加藤明里, 山口佳起, “二段階横断施設における歩行者の心的負担と車両の譲り挙動に関する実証分析,” *交通工学論文集* 4 巻 1 号, 2018.

(2021.?? 受付)

ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN DRIVING INTENTION AND DRIVING BEHAVIOR DURING LANE CHANGE CONSIDERING STRESS

Haruna KONDO, Masami YANAGIHARA and Hiroyuki ONEYAMA