

# 運転ストレス最小化に向けた レーンレベル経路探索・誘導効果の検証

田代 むつみ<sup>1</sup>・塚本 健太郎<sup>2</sup>・三輪 富生<sup>3</sup>・森川 高行<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 名古屋大学特任講師 未来社会創造機構 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

E-mail:mutsumi@civil.nagoya-u.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 三井不動産株式会社

<sup>3</sup>正会員 名古屋大学准教授 未来材料・システム研究所

E-mail:miwa@nagoya-u.jp

<sup>4</sup>正会員 名古屋大学教授 未来社会創造機構

E-mail:morikawa@nagoya-u.jp

本研究では、「所要時間」を最小化とする従来の経路探索手法に対し、新たに「運転ストレス」最小化の概念を導入すると同時に、道路構造や交通状況から個々のドライバーに発生し得る運転ストレスを事前に推定することにより、個々のドライバーが苦手な運転シーンを回避する経路をレーン単位で探索・誘導する、新しい交通マネジメントシステムの提案を目指した。運転ストレスは、最も簡易に測定できる生体指標の1つである「心拍数」により定義し、走行実験から抽出されたストレス要因と心拍数の関係をモデル化した。さらに、レーンレベルネットワークによるストレス最小化経路探索を実施し、走行実験により本提案手法の有効性を検討した。

**Key Words :** route search, lane-level navigation, driving stress, heart beat, driving experiment

## 1. はじめに

従来、カーナビゲーションにおける経路探索では、所要時間や移動費用といった経済的・効率的な要素が指標とされてきた。しかし、人口減少に伴う総交通量の減少、急速な高齢者割合の増加が続く現在の我が国においては、経済効率性指標に加えて、個々の運転者の快適性や安全・安心など、心理的・生理的な要素の指標化が期待されている。

運転時の快適性や安全・安心の向上は、裏返して言えば、運転疲労・運転ストレスを削減することになる。ISO6385 (作業システム設計のための人間工学の原則)<sup>1)</sup>の定義に基づけば、ドライバーの心理的、生理的状态を乱すような外的条件及び要求 (運転負荷) が作用することで、ドライバーの個人特性に応じて異なる内的反応 (運転負担) が現れ、それが過度な場合に現れる病的ではない状態 (急速すれば完全に回復できるもの) を「運転疲労」と呼ぶことができる。一方、ハンス・セリエの学説を起源とするストレス理論に基けば、運転中の外部環境からの刺激 (ストレッサー) によって、ドライバー

に現れる非特異的な生体反応を「運転ストレス」と定義できる。本研究ではこの両者を対象に、運転中にドライバーに現れる生体反応 (運転ストレス指標) と、その要因となる外部環境 (運転ストレス要因) に着目して、議論を進める。

運転ストレス指標については、既往研究において、血圧、心電、呼吸、表面皮膚温度、発汗、眼球運動、唾液など、多種多様な生体反応が走行中に観測されており、定量的・客観的なストレス指標としての有効性が確認されている<sup>(例えば2)5)</sup>。また、測定機器の軽量化・小型化に伴い、複数のストレス指標を同時計測し、総合判断する研究も行われている<sup>(例えば6)7)</sup>。指標による反応時間の差や、計測環境による影響などもあり、生体反応と運転ストレスの関係は複雑であるが、特に運転のような特殊な動的情況下では、安全で容易に計測できるストレス指標が求められている。

一方、運転ストレス要因については、ヒヤリハットマップの作成でも導入されているように、加速度等のプローブデータから、ストレス要因箇所を推定する研究も行われている。また、同一の運転環境であっても、ドライ

バーの受け止め方が異なることから、運転中の申告や運転後のアンケート等、ドライバーの主観的判断に基づき、ストレス要因を抽出する研究も行われている。金森ら<sup>8)</sup>は、名古屋市内の走行実験から得られた複数生体データとCANデータ、道路構造、ドライバーの主観的判断を機械学習させることで、生体データから運転ストレス区間の判別モデルを構築した。

本研究は、経路探索・誘導に「運転ストレス」最小化の概念を導入し、個々のドライバーの事故の危険や運転に伴うストレスを軽減できる、新しいナビゲーションシステムの開発を目的とした。この実現のため、今回は最も簡易に測定できる生体指標の1つである「心拍数」により運転ストレスを定義し、道路構造や交通状況、運転行動など、走行実験から抽出されたストレス要因との関係のモデル化を試みた。そして、発生し得る運転ストレスを事前に推定することにより、運転ストレス最小化経路探索を行うと同時に、走行実験により本提案手法の有効性を検討した。運転ストレス要因の定義には、道路の車線数や走行車線位置、車線変更など、「レーンレベル」の概念が必要であることから、車線の接続・隣接なども考慮したレーンレベルのネットワークデータを作成し経路探索を行った。

## 2. 運転ストレスの定義と要因の抽出

### (1) 運転時の生体反応計測実験の概要

金森ら<sup>8)</sup>は、運転時のストレスを把握するため、被験者に生体反応計測機器を装着し、名古屋市内の90分弱の指定コース（商店街、バスレーン、住宅街、山道を含む）において走行実験を実施した。被験者は健康な20代の男子学生3名であり、運転に関する属性は表-1の通りである。実験は2014年12月～2015年2月の天候の良い昼間に実施した。被験者には事前に指定コースを覚えてもらい、走行中はナビゲーションや、同乗者（後部座席）との発話は行っていない。コースのみを指定し、車線変更のタイミング等は、道路状況に応じて被験者の自由意思で行った。

表-1 被験者属性

項目	被験者A	被験者B	被験者C
自家用車の有無	有り	有り	無し
自動車運転歴	6年	6年	5年
運転頻度	高	中	低
運転の自信	有り	有り	無し

本走行実験では生体反応として脳血流、心電図、呼吸、顔面皮膚温、発汗（左足底）、筋電図（腹、背中、左足）を計測した。同時に、実験車両（トヨタプリウス）

からのCANデータ、GPSによる車両位置データ、車両前後と被験者の運転風景の動画データを取得した。さらに被験者には、運転中の押ボタンスイッチと、実験終了後の動画データ確認により、主観的な運転ストレス区間も申告してもらった。金森らの分析の結果、ドライバーによる運転ストレス申告区間と生体反応には一定の関係性が確認された。

本研究では、この金森らの実験で計測されたデータを利用し、運転ストレス要因の抽出と運転ストレス推定モデルの作成を行った。

### (2) 心拍数による運転ストレスの定義

運転ストレス指標としての有効性が認められる生体反応のうち、比較的計測が容易で被験者の負担も少ない「心拍変動」に着目して、運転ストレスの定量化を試みた。心拍変動を利用した指標としては、心拍間隔(RRI)や、LF/HFなどがあるが、本研究ではストレスの増減に伴う変化がイメージしやすい「心拍数(=60s/RRI(回/min))」を運転ストレス指標として扱うことにした。

図-2に、被験者A～Cの運転時、平常時の平均心拍数を示す。心拍数には個人差があるが、どの被験者も運転時には平常時より心拍する傾向が確認できる。

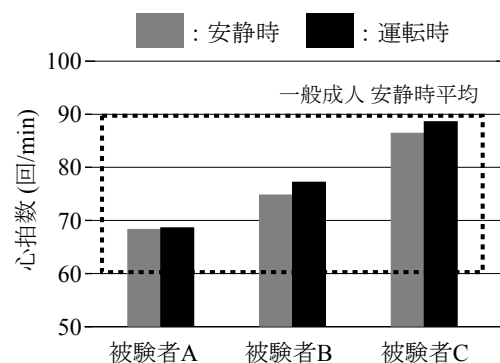


図-2 被験者の平均心拍数

### (3) 走行実験による運転ストレス要因の抽出

運転中のドライバーにストレスを与える要因としては、交差点の有無や幅員、カーブ等の道路構造に起因した「静的」要因と、車速や渋滞・路上駐車車両の有無、走行車線など、周辺の交通状況や運転行動に起因した「動的」要因の大きく2つに分けられる。本研究では、指定コースの道路地図データと走行実験中に撮影した動画データ、および被験者の主観的申告をもとに、運転ストレス要因となり得る項目を、表-2に示す通り抽出した。

表-2 走行実験から抽出した運転ストレス要因の候補

運転ストレス要因の候補	
静的要因	交差点, T字路, カーブ, 横断歩道, 信号の有無, 一時停止線, 分岐, 合流, 右左折専用, 幅員, 車線数, 歩道の有無, バスレーン, 中央分離帯
動的要因	渋滞, 路上駐車, 車線変更, 工事, 歩行者, 停止中, 対向車, 走行車線, アクセル, ブレーキ,

表-3 走行車線による平均心拍数の違い

走行車線	被験者 A	被験者 B	被験者 C
安静時	68.4	74.9	86.5
左端車線	69.5	77.5	89.4
中央車線	67.9	77.0	87.9
右端車線	68.4	77.4	88.3

### 3. 心拍数と運転ストレス要因との相関関係分析

#### (1) 基礎集計

表-2に挙げた運転ストレス要因に対し、動画データから各要因が実際に発生している時間帯を抽出し、その間の心拍数の平均値を求めた。代表的なものとして、カーブ、交差点、渋滞、路上駐車、歩行者、車線変更について、被験者A, B, Cの平均心拍数を図-3に示す。道路構造や周辺交通状況の変化に伴い、安静時の平均心拍数よりも心拍数が上昇しており、被験者により各要因の影響の仕方が異なることが確認できる。

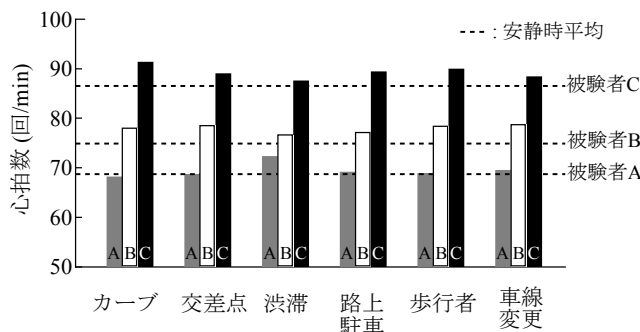


図-3 運転ストレス要因発生時の平均心拍数

続いて、走行車線による被験者の心拍数への影響を表-3に示す。ここでは、第1車線を走行している場合を「左端車線」、片側2車線以上ある道路を走行中、最も右の車線を走行している場合を「右端車線」、左端でも右端でも無い車線を走行している場合を「中央車線」と整理し、各車線を走行中の心拍数の平均を求めた。いずれの被験者も、右・左端車線を走行時に比べて中央車線を走行時の方が平均心拍数が小さく、比較的落ち着いて運転していることが確認できる。左端車線では路上駐車や左側からの他車両の合流、前方車両の左折待ち車両列に巻き込まれること、また右端車線では車速が大きくなることや対向車線と近いこと、右折待ち車両列に巻き込まれることにより、ドライバーが運転ストレスをより感じやすいことが予想できる。

#### (2) 運転ストレス要因を用いた心拍数推定モデル

運転時のドライバーの心拍数  $HR$  (回/min)を被説明変数とし、表-2に挙げた運転ストレス要因を説明変数  $x_i$ 、回帰係数を  $\beta_i$  とする重回帰モデル式(1)を考える。

$$HR = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (1)$$

運転時のストレス要因や、それによる心拍上昇の程度は、個人によって異なるため、本来であれば被験者毎にモデルを作成することが望ましい。しかし、本研究ではより一般的な知見を得ることを目的として、被験者3人分の走行実験データをまとめて取扱い、被験者ダミーにより平均的な心拍数の個人差を考慮した。心拍数は、走行実験で計測された心拍変動をスプライン補間することにより、0.2秒毎の等間隔のデータとして取扱った。分析の結果、運転中の心拍数の推定に有意となった説明変数と、推定結果をそれぞれ表-4、表-5に示す。

表-4 運転中の心拍数推定モデルにおける説明変数

項目	単位	概要
カーブダミー	—	ハンドルを切ったところから戻すまでを1, それ以外を0
片側車線数	車線	走行中の道路の片側車線数
歩道の有無	—	左端車線走行中、その道路に歩道があれば1, 無ければ0
バスレーンダミー	—	走行中の道路、または他車線にバスレーンがあれば1, 無ければ0
渋滞ダミー	—	一度の青信号でその信号を超えられない状態を1, それ以外を0
路上駐車数	台	左端車線走行中に一度に通過した駐車車両の数
車線変更ダミー	—	車線変更しようとした時点から他車線に移るまでを1, それ以外を0
定数項 (左端車線)	—	第一車線を走行している場合を1, それ以外を0
定数項 (右端車線)	—	車線数が2以上であり、最も右の車線を走行している場合を1, それ以外を0
定数項 (中央車線)	—	左端, 右端車線以外を走行している場合を1, それ以外を0
速度	km/h	走行速度
被験者ダミー	—	被験者 B, Cのみ

表-5 パラメータの推定値

説明変数	推定値	t値
カーブダミー	0.71	8.20 **
片側車線数	0.79	31.26 **
歩道の有無	-1.20	-12.96 **
バスレーンダミー	2.29	30.13 **
渋滞ダミー	0.53	7.26 **
路上駐車数	0.26	3.80 **
車線変更ダミー	0.34	1.96 *
定数項 (左端車線)	67.59	673.27 **
定数項 (中央車線)	65.65	492.97 **
定数項 (右端車線)	66.72	532.19 **
速度	0.038	29.03 **
被験者 B ダミー	8.63	152.91 **
被験者 C ダミー	19.96	336.79 **
サンプル数	74976	
修正済み決定係数	0.61	

\*5%有意, \*\*1%有意

被験者は必ず、左端・中央・右端のいずれかの車線に存在するため、これら車線別の定数項を導入した。推定結果の符号は、いずれも直感に合致するものとなっている。また、左端・右端車線定数項に比べ、中央車線定数項の推定値が小さいのは、表-3の基礎集計の結果と一致しており、中央車線ほど運転中の注意を必要とせずストレスが少ない走行が可能であるためと考えられる

#### 4. ストレス最小化経路探索と評価走行実験

##### (1) レーンレベルネットワークデータの作成

本研究が目指す、ストレス最小化ナビゲーションシステムでは、道路の車線数や走行車線位置、車線変更など、「レーンレベル」の運転ストレス要因を考慮する。しかし、出発地から目的地まで全てをレーンレベルで経路探索するのではなく、リアルタイムの周辺交通状況と、数10秒先の交通状況の推定値を使って、例えば次に右左折をする地点までなど、数リンク先までの経路探索をレーンレベルで取り扱うことを想定している。

このため、本研究では、より単純で短い、複数車線から成る経路を対象にして、レーンレベルネットワークの作成を行った。図-4に、作成したネットワークを示す。片側が常に3車線以上あり、比較的交通量が多く、路上駐車車両や渋滞などの運転ストレス要因が発生しやすい経路として、名古屋市内の約2500mの直線経路（広小路通りの本山交差点から今池交差点まで）を対象とした。

始めに、各種ストレス要因を経路上に埋め込むために、車線を長さ5m（自動車1台分が収まる長さを想定）のポリゴンに分割した（ポリゴン総数：1727）。その後、道路地図データと衛星写真データから、車線数や歩道の有

無など、道路構造から決まる静的な要因を抽出して、該当するポリゴンに与えた。動的な要因については、今回は簡単のため、ネットワーク上の全ての車線を事前に複数回走行し（走行時間帯は、後から行う評価走行実験と同じ）、路上駐車数の期待値および渋滞は観測された割合（発生確率）で、速度は交差点間の平均速度により与えた（渋滞は無し）。そして、式(1)を用い、ポリゴン*i*における心拍数 $HR_i$ の推定値（回/min）をそれぞれ算出した。

さらに、各ポリゴンの前方への接続と、車線変更禁止区間以外における斜め前方への隣接関係を与え、ポリゴン中心間の距離と平均速度から、ポリゴン間の所要時間を算出した。

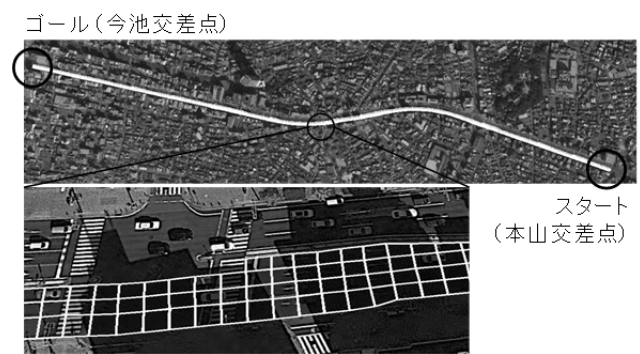


図-4 作成したレーンレベルネットワークの例

##### (2) 運転中の総心拍回数最小化経路探索

レーンレベル経路探索には、Dijkstra法を用いた。ポリゴン*i*から*j*に移動する際のコストは、式(1)で求めたポリゴン*i*で発生する心拍数 $HR_i$ （回/min）と、ポリゴン*i, j*間の所要時間 $t_{ij}$ （min）の積とし、以下の式を満たす「運転中の総心拍回数最小化レーンレベル経路」を求めた。

$$\min \sum_{ij \in E} HR_i t_{ij} x_{ij} \quad (\text{回}) \quad (2)$$

$$\sum_{j:ij \in E} x_{ij} - \sum_{j:ji \in E} x_{ji} = \begin{cases} 1 & (i = o: \text{起点}) \\ -1 & (i = d: \text{終点}) \\ 0 & (i \in N - \{o, d\}: \text{起終点以外}) \end{cases} \quad (3)$$

ここに、 $N$ はポリゴンの集合、 $E$ はポリゴンを結ぶ対の集合であり、 $x_{ij} \in \{0,1\}$ である。ポリゴン*i*から*j*の移動に車線変更を伴う場合は、 $HR_i$ に車線変更による心拍の増加分が加算される。

作成したレーンレベルネットワークにおいて、少なくとも1回は車線変更を伴う経路を探索させるため、起点と終点を異なる車線上に指定し、以下の2つの組合せを分析対象とした。

- ・ ケース1 起点：本山交差点第1車線  
終点：今池交差点第4車線
- ・ ケース2 起点：本山交差点第3車線  
終点：今池交差点第1車線

経路探索結果を、図-5に示す。式(1)の重回帰モデルでは、被験者の違いをダミー変数でのみ表現しているため、探索されるレーンレベル経路は、全ての被験者で同じ結果となった。

比較のため、所要時間を最小化する探索結果も併記するが、総心拍回数最小化経路と比較すると、一部異なるのみで、ほとんどの経路が同じ結果となった。これは、式(2)から明らかなように、所要時間が短ければ走行中の心拍数も小さくなるためである。

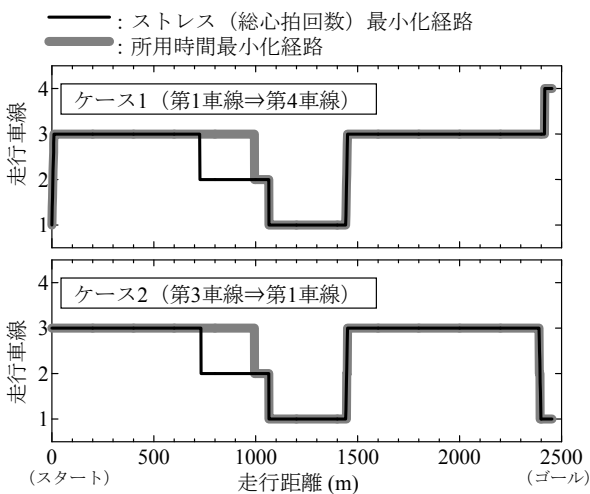


図-5 経路探索結果 (全被験者共通)

表-6 探索経路における所要時間と総心拍回数の算出値 (運転ストレス=総心拍回数と定義)

ケース	経路探索コスト	被験者A		被験者B		被験者C	
		所要時間 (sec)	総心拍回数 (回)	所要時間 (sec)	総心拍回数 (回)	所要時間 (sec)	総心拍回数 (回)
1	ストレス	217.05	255.31	217.05	286.79	217.05	327.51
	所要時間	216.85	255.41	216.85	286.86	216.85	327.55
2	ストレス	201.94	237.65	201.94	266.94	201.94	304.83
	所要時間	201.75	237.76	201.75	267.02	201.75	304.87

表-6は、ストレス (総心拍回数) 最小化経路と、所要時間最小化経路における、所要時間と総心拍回数を算出した結果である。いずれも

所要時間： 所要時間最小化経路<ストレス最小化経路 (4)

総心拍回数：ストレス最小化経路<所要時間最小化経路 (5)

という、期待した傾向は得られたが、起終点間の距離が短いこともあり、その差は非常に小さい結果となった。

### (3) 評価走行実験

作成した運転ストレス最小化経路探索モデルの有効性を評価するため、図-5の探索経路を実際に被験者が走行し、運転中の心拍数と所要時間を計測した。また、走行後に被験者にアンケートを実施し、主観的ストレスとの比較を行った。

評価走行実験は、2016年1月中旬の天候が良い日の、比較的道路が混雑していない時間帯 (13~16時) に、被験者B, Cにより実施した (被験者Aは降雪のため中止)。実験用車両は、金森ら<sup>8)</sup>と同様にトヨタプリウスを用い、GPS内蔵のビデオを設置して、前方風景の撮影および車速の計測を行った。被験者の心拍の計測には、計測バンドを胸部に取り付け、腕時計型の計測機器と同期することで1秒間隔の心拍数 (回/min) を計測した。

被験者には事前に探索した経路を、運転開始前に説明した上で、経路案内者が助手席に同乗し、車線変更地点の300, 100, 50m手前でナビゲーションを行った。経路案内以外の発話は行っていない。各被験者は、起終点の異なるケース1, 2に対し、それぞれストレス (総心拍回数) 最小化経路と、所要時間最小化経路を走行した。走行順序については、探索コストの使用が偏らないように設定した。

図-6に評価走行実験結果の一例を示す。速度が大きい区間では心拍数が上昇し、逆に赤信号による停止中は心拍数が下がり、安静時の平均心拍数よりも低い値となる様子が、いずれの被験者、経路においても、観測された。これより、単に速度が大きく所要時間が短い経路を走り続けるよりも、多少所要時間が長くても運転車が不安を感じない程度の速度で走行する方が、運転者のストレスを軽減できる可能性が示唆される。

車線変更については、同乗者により車線変更を促された後から実際に車線変更をするまでの間に心拍数が上昇し、車線変更直後にピークに達する傾向が、全ての被験者で確認された。運転ストレスモデルの作成に利用した金森ら<sup>8)</sup>の走行実験では、被験者の自由意思で車線変更を行ったのに対し、今回の評価走行実験では、事前の経路探索結果に従い、被験者に車線変更を強制的に促している。このため、周辺状況から車線変更が思うようにできないことへの苛立ちや緊張による影響が、より顕著に現れたことが予想される。

表-7に、評価走行実験から得られた各被験者の所要時間、総心拍回数、平均心拍数、心拍数分散、および実験終了後のアンケートによる被験者の主観的ストレスの程度 (「何も感じなかった」を1、「非常に強く感じた」を7とする7段階評価) を示す。ただし、信号停止時間が

走行ごとに大きくばらついていたため、停止中の心拍回数を除外して比較するために、停止中および停止前後5秒間のデータは除外して評価した。所要時間については、式(4)に示す期待した傾向が得られたが、運転ストレス（総心拍回数）については、所要時間が長い経路では総心拍回数も必然的に大きくなってしまふことから、式(5)の傾向は得られなかった。一方、平均心拍数については、すべての走行実験において、以下の期待した傾向を得ることはできた。

平均心拍数：ストレス最小化経路 < 所要時間最小化経路 (6)

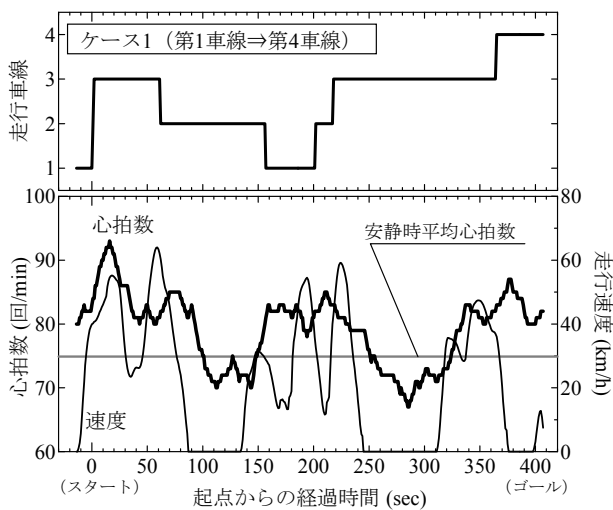


図-6 評価走行実験結果

(被験者B, ケース1, ストレス (総心拍回数) 最小化経路)

表-7 探索経路における評価走行実験結果  
(運転ストレス=総心拍回数と定義)

ケース	経路探索コスト	所用時間 (sec)	総心拍回数 (回)	平均心拍数 (回/min)	心拍数分散	ストレス程度 (1-7)
<b>【被験者B】</b>						
1	ストレス	234	318.55	81.68	81.16	1
	所用時間	211	307.52	87.45	60.20	3
2	ストレス	202	275.18	81.74	7.45	6
	所用時間	198	277.75	85.03	27.50	4
<b>【被験者C】</b>						
1	ストレス	229	351.77	90.75	10.66	3
	所用時間	222	337.22	91.14	5.11	4
2	ストレス	181	278.55	89.93	9.88	2
	所用時間	172	258.85	90.30	3.59	4

被験者による事後アンケートでは、他車両の割り込み等の突発的な要因の他に、信号が赤から青に変化するタイミングでの車線変更や、第1車線から第3車線までの車線変更を連続してを誘導された点が、大きなストレス要因となっていた。また、混雑せず快適に走行できている

のに、渋滞している車線への変更を誘導されるなど、経路探索時と評価走行実験時の動的要因（周辺交通状況）の相違に起因した不本意な経路誘導が、さらなるストレス増加となることが確認された。被験者の主観的ストレス程度からは、必ずしもストレス最小化経路の方が所要時間最小化経路よりも走りやすいと感じていないことが明らかとなった。

(4) 運転ストレスの再定義

～安静時からの心拍回数の差分を用いた経路探索～

経路探索および評価走行実験の結果、運転ストレスを「総心拍回数」と定義した場合には、従来の所要時間を探索コストとした場合に比べ、探索経路にほとんど差が現れないことが確認された。

そこで、続いて運転ストレスを再定義し、以下の式を満たす経路探索することとした。

$$\min \sum_{ij \in E} (HR_i - RHR_{ave}) t_{ij} x_{ij} \quad (回) \quad (7)$$

ここで、 $RHR_{ave}$ とは安静時平均心拍数(回/min)である。式(7)は「ドライバーの心拍数が安静時に比べて大きく上昇する瞬間を避ける経路」と言い換えることができる。

さらに、評価走行実験結果を踏まえて、以下の3点の変更点を加えた。

- ① 交差点内および交差点通過直後30m (6ポリゴン) では車線変更は禁止とする
- ② 車線変更時は、6つ先のポリゴン (30m先) へ接続する
- ③ 同乗者による車線変更の誘導は、「〇m前で車線変更して下さい」の様に局所的に行うのではなく、「次の信号交差点までに車線変更して下さい」のように、リンク単位で自由度を与えた誘導を行う。

図-7に、被験者Bの経路探索結果を示す。運転ストレスを、安静時からの心拍回数の差分と定義し直したことにより、ストレス最小化経路と所要時間最小化経路との違いが顕著となった。また、ストレス最小化経路の大部分は、第2車線を走行する結果となった。これは所用時間が長くなったとしても、中央車線が最も落ち着いて走行できることを意味しており、表-3からも、妥当な結果である。

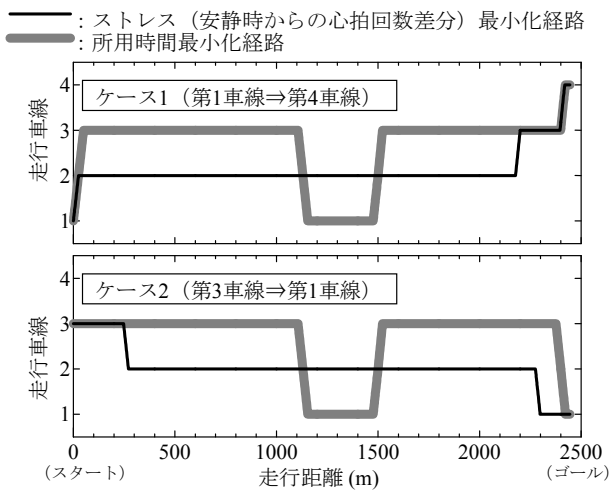


図-7 再経路探索結果 (被験者B)

続いて、表-8に、被験者 Bのストレス (総心拍回数) 最小化経路と、所要時間最小化経路における、所要時間と総心拍回数、安静時からの心拍回数差分を算出した結果を示す。式(4)に加え、以下の関係を満足している。

安静時との心拍回数の差分：

$$\text{ストレス最小化経路} < \text{所要時間最小化経路} \quad (8)$$

総心拍回数については、新たに探索したストレス最小化経路の方が、所要時間最小化経路よりも大きく算出されている (式(5)の関係は満たしていない) が、これは所用時間が大きいことによる。

表-8 再経路探索における所要時間と総心拍回数の算出値 (被験者B, 運転ストレス=安静時との心拍回数差分と定義)

ケース	経路探索コスト	所用時間 (sec)	総心拍回数 (回)	安静時との差分 (回)
1	ストレス	242.85	320.41	16.85
	所用時間	216.21	291.26	21.00
2	ストレス	227.48	299.60	15.25
	所用時間	202.33	272.57	19.66

図-7の再探索経路を評価するため、被験者Bにより再度走行実験を行った。所要時間最小化経路については、図-5, 7でほぼ同じ経路であることから、ケース1, 2のストレス最小化経路のみ、走行実験を実施した。実験の各種条件は、前述と同様である。

表-9に、評価走行実験時の各種計測値と被験者Bによる主観的ストレス程度を示す。表-7と同様、走行停止中および停止前後5秒間のデータは取り除いて整理している。安静時との心拍回数の差分を運転ストレスと再定義した結果、平均心拍数、心拍数の分散ともに、表-7の値を下回る結果となり、被験者が最も落ち着いた状態で走

行できたことが分かる。また、被験者のアンケート結果からも、経路誘導に伴うストレスを感じることなく走行できたことが確認された。

表-9 再評価走行実験結果 (被験者B, 運転ストレス=安静時からの心拍回数差分と定義)

ケース	経路探索コスト	所用時間 (sec)	総心拍回数 (回)	安静時との差分 (回)	平均心拍数 (回/min)	心拍数分散	ストレス程度 (1-7)
1	ストレス	232	312.65	21.40	80.51	12.22	1
2	ストレス	205	273.85	17.60	80.15	6.78	1

### 5. 結論

本研究では、最も簡易に測定できる生体指標の1つである「心拍数」により運転ストレスを定義し、道路構造や交通状況など運転ストレス要因との関係性をモデル化することにより、ドライバーの運転ストレスが最小となる経路をレーン単位で探索・誘導する、新しいナビゲーションシステムの提案を目指した。

一連の研究の結果、運転ストレスは、運転中の心拍数の「総和」ではなく、「安静時平均心拍数からの差分の総和」として定義することにより、従来の「所要時間」を最小化とする経路探索よりも、ドライバーにとって落ちついて走行できる経路を探索できることを確認した。また、今回対象とした3人の被験者の結果からは、中央車線が最も落ち着いた状態にあること、また単に速度が大きく所要時間が短い経路を走り続けるよりも、多少所要時間が長くても運転車が不安を感じない程度の速度で走行する方が、運転者のストレスを軽減できる可能性が示唆された。一方、渋滞や路上駐車を避けるために、ドライバーの自由意思に反した車線変更を誘導すると、かえって運転ストレスが増加することも確認できた。

今後は、性別・年齢など、個人属性の異なる被験者によるデータ蓄積・分析に加え、運転ストレス要因の多様化、心拍以外の生体反応も視野に入れた運転ストレスの指標の再検討、さらには、所要時間と運転ストレスのトレードオフについての検討が課題である。また、よりリアルタイムな周辺交通状況や、直前のドライバーのストレス状態を取り入れた、再現性の高いモデルの構築も行っていきたい。

謝辞：本研究は国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) の研究成果展開事業「センター・オブ・イノベーション (COI) プログラム」, およびJSPS科研費 26630240の助成を受け行われた。

## 参考文献

- 1) ISO 6385:2004 Ergonomic principles in the design of work systems.
- 2) 今村友弥, 坂本将吾, 鹿島茂: 心拍変動による自動車運転時の心理的負担の定量的評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.44, No.169, 2011.
- 3) 丸山篤司, 谷口栄一, 山田忠史, 安東直紀: 近赤外分光法を用いた脳血流動態測定による都市内道路の走りやすさ評価に関する研究, 交通工学研究発表会論文集(CD-ROM), Vol.30, No.70, 2010.
- 4) 山越 健弘, 松村 健太, 小林 寛幸, 後藤 雄二郎, 廣瀬元: 差分顔面皮膚放射温度を用いた運転ストレス評価の試み -単調運転ストレス負荷による基礎的検討-, 生体医工学, Vol.48, No.2, pp.163-174, 2010.
- 5) Malta, L., Miyajima, C., Kitaoka, N. and Takeda, K.: Analysis of Real-World Driver's Frustration, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 12, No. 1, pp. 109-118, 2011.
- 6) 荒木武蔵, 松田玲, 町田信夫: 自動車運転時の生体反応に及ぼす運転疲労の影響, 人間工学 51 (Supplement), S190-S191, 2015.
- 7) Healey, J. A. and Picard, R. W.: Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 6, No.2, pp.156-166, 2005.
- 8) 金森亮, 久保田穰, 安藤章, 山本俊行, 森川高行: 複数生体データ計測による運転ストレスに関する基礎的分析, 第51回土木計画学研究発表会, 2015.

(2016.4.21 受付)