

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究状況報告書（FS研究対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）	所属	役職	
	やまもと 俊行 山本 俊行	名古屋大学エコトピア科学研究所	教授	
②研究 テーマ	名称	次世代モビリティ社会を踏まえた移動空間評価手法の開発研究		
	政策 領域	[主領域] 新たな行政システムの創造	公募 タイプ	タイプⅢ
	[副領域] 新たな情報サービスと利 用者満足度向上			
③研究経費（単位：万円） ※受託金額を記入。	平成26年度			
	10,000,000円（税込）			
④研究者氏名	（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）			
氏名	所属・役職			
○山本 俊行（研究代表者）	名古屋大学・教授			
森川 高行	名古屋大学・教授			
三輪 富生	名古屋大学・准教授			
金森 亮	名古屋大学・特任准教授			
薄井 智貴	名古屋大学・特任准教授			
佐藤 仁美	名古屋大学・特任講師			
安藤 章	名古屋大学・客員教授，日建設計総合研究所・ユニットリーダー			
児玉 健	日建設計総合研究所・グループリーダー			
金 希津	日建設計総合研究所・研究員			
筧 文彦	日建設計総合研究所・研究員			

⑤ 研究の目的・目標 (提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入。)

移動者の快適性やストレス等、従来は指標化と定量化が困難であった道路空間の質的側面の評価手法を開発し、道路事業の評価に活用することを目指している。具体的には、主観的評価(例:アンケートによる満足度や快適性等)、及び脈拍や脳波等の様々な生体现象等について、最適な指標の組み合わせを開発するとともに、政策立案者や評価者が感覚的に理解しやすい評価軸の開発を目指す。

当該年度は、生体情報の道路政策評価の適用可能性を検討するとともに、幾つかの生体情報指標のうち、道路交通政策の評価に適した指標を検討する。また、プレ実験として、実道でのドライバーを対象としたデータ収集と解析に着手する。

⑥ FS 研究の結果

平成26年度のFS研究の成果を以下に記述する。

(1) 運転ストレスに関する既往研究のレビュー

1) ストレスの定義と計測方法、及び妥当性について

・ ストレスの定義

ストレスとは、各種のストレス刺激に対する生体防御反応のことであり、自律神経系、内分泌系、免疫系に影響を及ぼすととともに、情報伝達の仕組みを通じて総合的に生体調節系として働いているとされている。なかでも、自律神経系の反応は、従来、交感神経活動の緊張と副交感神経活動の弛緩という比較的シンプルな構造で評価されてきたが、これは自律神経活動の平均的なレベルでいえることであり、個体差への依存や生体としての調節活動の影響が大きいことも指摘されている。しかし、自律神経機能の評価は、計測が簡便でわかりやすいことから、古くから一般的な方法として活用されてきた。

上記の外部要因による防御反応をストレスと考えるのであれば、道路交通環境におけるストレスとしては、身体的負荷(主に歩行、自転車走行等時の肉体疲労等)と心的負荷への大別が考えられるし、この心的負荷は、突発事象(例:他の道路上の移動体との錯綜等)、道路環境事象(道路構造や混雑状況、沿道環境等)、そして自然現象(例:日照、温度、風雨、災害等)による影響が想定される。

・ 計測可能な生体指標の種類と適応可能性について

本研究では、道路交通環境をストレス面で評価することを目的としているため、非侵襲的計測手法であること、そして運転等の移動環境下で計測可能な携行性を有することが必須となる。

そのような視点で、生体情報に関する既往研究をレビューし、各種生体情報の特徴と適用可能性を検討した(参照 表-1)。

既往の生体情報研究分野では、心拍変動指標に着目した研究事例が圧倒的に多く、また交通政策分野に限った場合でも同様の傾向である(逆に、心拍変動以外を扱った研究はほとんどない)。また、交通政策分野では、交通事故多発区間でのRRIの変化やLH/HFの値が大きくなる等の研究報告がなされているが、これらは主に大学生ドライバーを対象としたものが主であり、性・年齢等の個体差が十分に反映されていないことが課題としてあげられる。特に運転については、加齢による運転反応の衰えや女性ドライバーの性向等も影響することが考えられるため、今後の道路政策においても、このような個体の多様性観点から評価することも必要だと考える。

また、既往研究では、心拍以外の生体反応の研究事例は少なく、あったとしてもドライビングシミュレータによる解析が中心であり、実道環境下での検証が望まれる。また、各種生体反応の相互関係を解明することで、ストレス要因を解明することも重要な課題である。

さらに、近年、注目される脳反応は、自律神経系反応の中核的な機能を司るものであり、多くの情報量が包含される（特に脳血流では部位とその機能の関係がわかるため）ことから、ストレス要因の解明に寄与する知見が得られることも期待できるが、その解明は未だ研究途上であり、今後の進展が期待される場所である。

以上の点を踏まえ、本研究で採取する生体情報を表-1のように整理した。

表-1 既往研究からみた計測可能な生体情報の種類と本研究への適用可能性

	概要と特徴	本研究での適用可否
心拍変動(RRI)	ストレス刺激を負荷すると心拍数が増加する現象を示し、心拍のR波とR波の間隔を示すものであり、一般的なストレス指標として古くから活用されている。計測機器も小型化されたものが多く販売されている。	古典的な手法として、本研究においても採取する。
呼吸活動	ストレス負荷時には呼吸が荒くなる等の傾向がみられるものの、適用事例はあまりない。但し、呼吸は血圧等に影響を及ぼす相互性があるため、その適用には様々な問題がある。歪みバンド等で簡易に計測できる。	計測が容易であるとともに、心拍等に影響を及ぼす点が指摘されているため、参考データとして採取する。
皮膚電気活動(発汗)	発汗には温熱性発汗と精神性発汗があり、精神性発汗が皮膚電気活動(EDA)であり、交感神経の緊張や覚醒水準の高さを示すとされている。EDA活用の有効性は期待できるが、従来の交通政策研究分野における適用事例はない。	有効な新しい指標として採取する。
皮膚温	様々な内的、外的要因が敏感に反応するといわれており、ストレス度が増すと交感神経を興奮させ、血管収縮がおきることが指摘されている。但し、外気温等の影響も受けやすいことから、計測方法にはサーミスタやサーモグラフィ等の高度な機器が必要である。	サーミスタやサーモグラフィには携行性、測定部位に運動を伴う時の限界等が指摘されており、現状では適用困難と判断する。
眼球運動	瞳孔検査、瞬目がある。感覚、知覚、認知臨床として多く適用されており、交感神経が有意な場合は瞳孔が拡張する現象も確認されている。まばたきは、精神的に緊張している時に減少し、リラックス時に増加する。	計測には瞳孔検査機が必要で、実験室レベルでの実験しかできないため、本研究の適用対象外とする。
尿検査	ホルモン、酵素、蛋白質により、各々情動活動に関する指標(カテコールアミン)、胃中酵素の排泄(ウコペプシン)、肉体負荷がわかるムコ蛋白等があるが、簡便性、即時性に欠ける。	採取せず。
唾液検査	非侵襲性、随時性、簡便性に優れている。コルチゾル、アミラーゼ、クロモグラニン等の成分があり、このなかでもアミラーゼ、クロモグラニンは反応が速やかであることが指摘されている。但し、何れも急性ストレスが対象であり、慢性の計測ができないこと、また時系列的な計測もできない点が課題である。	反応が良く、簡便に計測できるため、本研究では採取する。
脳波計測	脳波中枢神経計測を行う最も一般的な方法で、心理状態の連続変化、刺激に対する生体活動の微細な変化を捉えることができる。個人間、固体内の差異を偏することもでき、情報量も豊富で最近急速に研究が進む。但し、体動下での計測が困難な点は課題。また目を閉じた状態での計測となる。	体動、目を閉じる等の条件が必要なため、運転環境を計測することは困難。そのため、採取せず。
脳血流計測(NIRS)	脳血流が活発な部位を遠赤外線により計測する方法で、近年脳研究の進展に伴い、活動部位から個体の状態を計測することが可能になってきた。脳波同様に多くの情報量を含み、新たな研究領域として期待される。	新規研究分野であり、今後の展開が期待できるため、採取する。

2) プレ実験の概要

道路政策における生体情報適用の可能性を検討するため、名古屋市，及び豊田市での自動走行による各種生体情報の取得を行った。

- 取得した生体情報

既往研究のレビュー，及び専門家及び生体情報計測機器メーカーへの聞き取り調査の結果，本研究では，下記の機器による生体情報取得を行った。

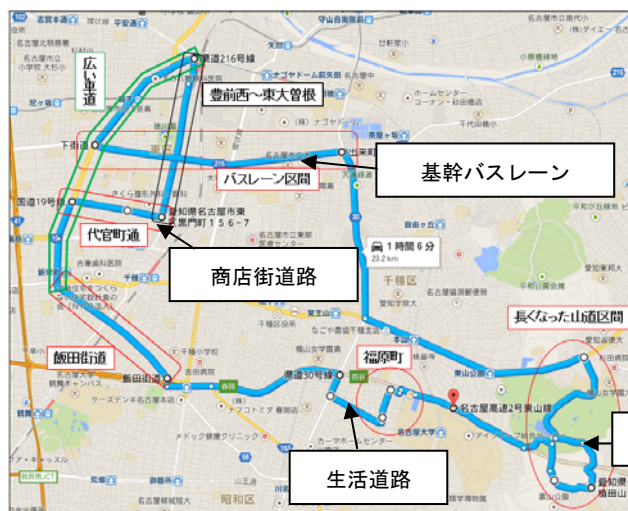
機器	測定項目	実験地区
多チャンネルテレメーターWEB7000 (日本光電製)	①心拍，②呼吸数，③発汗 (SPR)， ④皮膚温度	名古屋
OMEGA SPO2 (Spectratech社製)	⑤脳血流	名古屋
唾液アミラーゼモニター (ニプロ社製)	⑥唾液	名古屋・豊田
ポラールV800 (Polar社製)	⑦心拍	豊田

- 道路・交通環境情報

CANプローブ，ドライブレコーダー (名古屋実験のみ)

- モニター数

実験地区	モニター数
名古屋 (2014年12月～1月)	大学院生 (男性20歳代3名)，高齢者 (男性60歳代3名)，外国人留学生 (男性20歳代1名)
豊田 (2014年11月)	26～73歳の男女25名



名古屋地区での走行ルート

走行ルートの特徴

都市内幹線道，商店街の歩車輻輳道路，基幹バスレーン，山道等を小区間ずつ織り込んだルート設定



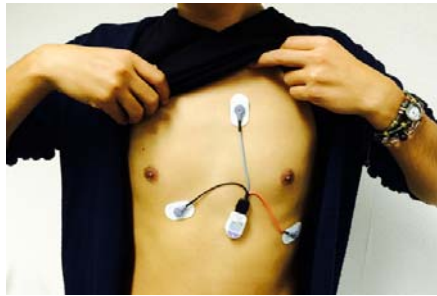
豊田地区での走行ルート

走行ルートの特徴

地方部の幹線道路と山道ルートを織り込んだルート

3) 名古屋市プレ実験の結果

比較的計測が容易な心拍に加えて、今後のセンシング技術によって多種多様な生体データ計測が可能となることを見越し、今回は自動車運転に支障をきたさない程度（車両保険適用範囲内）での複数生体データ計測として、①心電、②呼吸数、③皮膚温度、④発汗（SPR）、⑤脳血流、⑥唾液を計測した。なお、実験車両はCANデータ、前方・後方・ドライバ（顔）の動画も計測可能である。



心拍計測状態



呼吸数計測状態



顔面皮膚温度計測状態



左足裏発汗量計測状態



脳血流計測状態



計測時の運転姿勢

本実験は名古屋市内に90分程度の走行コースを設定し、同一個人に複数回走行してもらい、道路構造など静的要因と交通状況など動的要因による運転時のストレスについて主観的評価を行った。被験者は大学院生（男性20歳代3名）、高齢者（男性60歳代3名）、外国人留学生（男性20歳代1名）の計7名であり、3月中旬までに3～6回の走行実験を行う予定である。また、大学院生3名に対しては、基本的な運転挙動（右左折、発進・停止など）時の身体的負荷の計測を目的に、他車が存在しない自動車練習コースで運転を行っている。

ある被験者（大学院生、12/25（木）14:25～15:45）の走行時のストレス箇所の主観的判断と理由を整理したものが下図である。今回は10箇所・区間でストレスを感じており、歩行者や自転車、他の車両など動的要因が理由として挙げられている。一方、ストレス箇所の多くは、事前に想定した走行しづらい道路区間（A～D）で発生している。区間Aは住宅街で止まれの交差点が連続する区間、区間Bは商店街で歩車混合区間、区間Cは基幹バス専用レーンを有する変則的な区間、区間Dは見通しの悪い山道区間、となっている。



写真-1 指定コースの走行中のストレス箇所と理由



写真-2 指定コース内の走行しづらい道路区間A~D

また走行しづらい区間前後に唾液アミラーゼにてストレス度合い（ストレス度が高いと値も高くなる傾向にある）を簡易に計測した。その結果、A区間：13→5KIU/L、B区間：11→13KIU/L、C区間：11→8KIU/L、D区間：8→7KIU/Lとなり、今回はB区間を除いて予想される結果とはなっていない。今後、同一個人の複数回の実験結果にて、手法の妥当性・有効性を判断する必要がある。

さらに、B区間内のストレス箇所（地図内の赤○：同一方向の高齢者の自転車に注意しながら直進）における①心拍（RRI：負荷が大きいと値が大きくなる）、②発汗（SPR：精神性発汗により値が変動する）、③脳血流の酸素飽和度（見かけSpO2：負荷が大きいと値が大きくなる）について、ストレスと判断した前後10秒を含む区間を抽出した。下図から、RRI、SPR、SpO2ともにストレスを感じている区間は生理的に期待される反応を示していることが確認できる。これより主観的なストレス区間は生体データから定量的・客観的に計測できる可能性があり、被験者の個人特性、交通状況などの影響を精査するため実験データを蓄積し、道路評価の質的指標の妥当性・有効性について検討していく必要性が高い。また、発汗（SPR）は反応速度が速いように見受けられ、ストレスの理由に応じて反応する生体データの差異も検討することが望まれる。

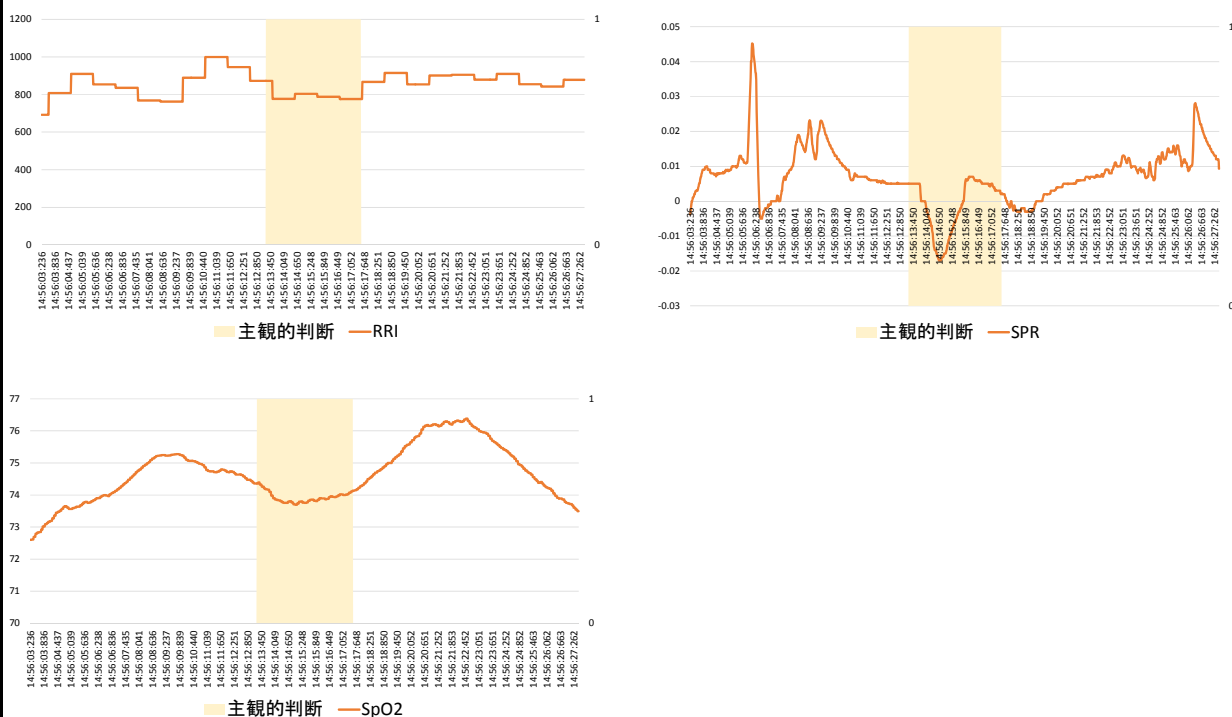


図-1 各種生体情報の出現傾向

4) 豊田市プレ実験の結果

豊田市プレ実験では、主にRRIに着目し、走行環境との関連性に関する分析を行った。

- ・マクロ的な特性（参照 図-2）

走行区間の全体的なRRI特性として、次の点が指摘できる。なお、この分析では、LF/HF \geq 5の場合を“緊張時間”と捉えている。

- 往路に比べ、復路の方が緊張時間が短くなる可能性が高い。
- 緊張時間は、個人差が大きいことが予想される。
- 窓関数幅が大きいほど、緊張時間が短くなる可能性が高い

表-1 往路・復路別のRRI値

no.	年齢	往路(LF/HFが5以上)			復路(LF/HFが5以上)			復路-往路				
		時間(s)	60s	90s	120s	時間(s)	60s	90s	120s	60s	90s	120s
1	48	2400	776	798	840	2583	622	604	578	-154	-194	-262
2	70	2520	1226	1290	1405	2941	879	776	736	-347	-514	-669
3	72	2520	527	485	455	2460	335	297	249	-192	-188	-206
4	67	3006	1565	1585	1532	2280	1424	1547	1595	-141	-38	63
5	68	2580	341	221	158	2426	286	231	184	-55	10	26

・ 走行中のストレス要因の特定化

本実証では、実走行時に、ドライバーがストレスと感じた場合に、発話により助手席の調査員に伝えることを行った。このようにして得られるドライバーの認知ストレス区間とRRIから算定したLF/HFとの関連性を分析したところ、それらの間に一定の関連性を見出すことができた。

但し、実験走行中にドライバーが会話をすることで、ストレス値に影響を及ぼすような特性もあるようであった。

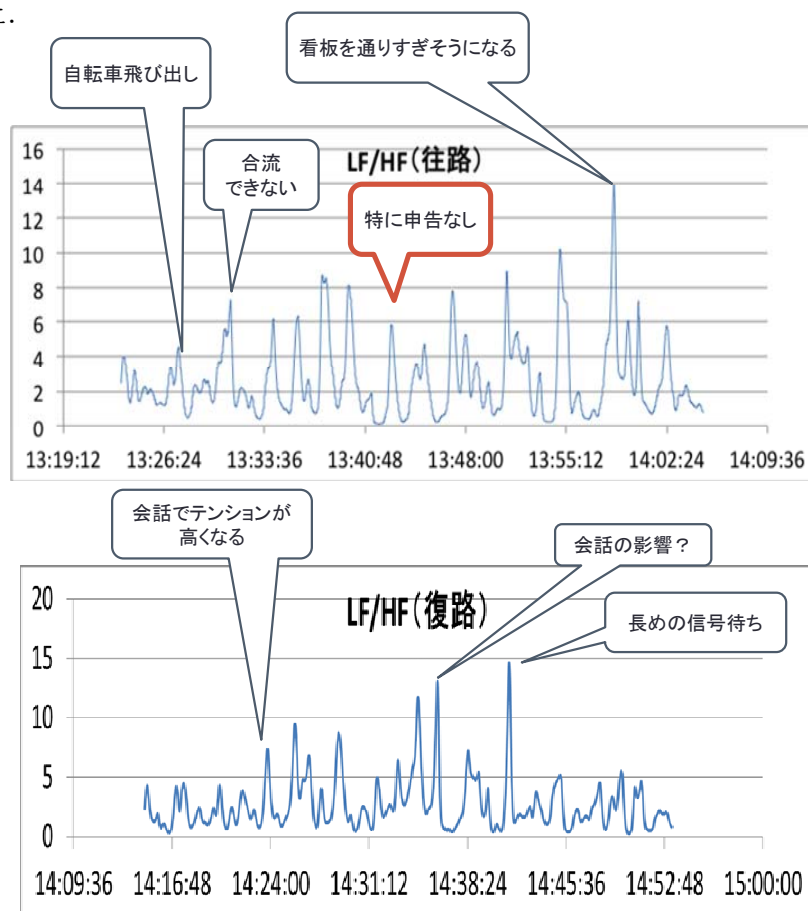


図-2 LF/HFと走行環境の関連性分析

*プレ実験時



長めの信号待ち



前方車両の動きに戸惑い



車線変更がうまくいかずイライラ



トラックで前が見えない

写真-3 豊田市実験でストレスと計測された交通事象

4)FS調査から得られた知見

本FS調査の結果から得られた知見は以下の通りである。

・実道の走行環境下における生体反応情報の有効性

本研究は、実際の道路走行環境下において起こりうる様々な事象（例：歩行者や自転車の飛び出しや混在、路上駐車等の走行環境阻害、山道等の道路構造影響 等）に対し、ドライバーの生体情報は明確な反応を示し得ることを立証し、道路交通政策分野における当該指標の適用可能性を示すことができた。特に、本研究では、若年ドライバーのほか、高齢者や性差等を加味した多様な主体を対象とし、それらの個体差が道路環境ストレスに異なった反応を示すことも示された。

・複数生体情報の総合的な把握

本研究の新規性として、従来の心拍変動だけでなく、皮膚電気活動（発汗）、唾液反応、脳血流等の複数生体情報を同期させて取得している点があげられる。このなかで、発汗作用は、明確な反応傾向を迅速に示しており、交通分野の新たな指標としての活用可能性が示された点は新たな知見といえる。また唾液（アミラーゼ）反応は、個体差が大きいですが、これも一応の反応を示す指標であることがわかった。一方で、脳血流反応についても期待通りの反応を示すことが確認されたが、次年度にさらに詳細な分析を行うことで、新たな政策指標につなげることを目指したい。

⑦本格研究の見通し

本FS調査では、実際の道路走行環境下で起こりうる様々な事象、及び走行環境条件（例：歩行者や自転車との混在、路上駐車等の走行阻害要因、山道等の道路構造の影響 等）が、ドライバーに与えるストレスを具体的に示すため、実道走行中のドライバーの複数の生体情報を取得する実証実験を行った。その結果、生体情報が走行環境の影響を受け、変化することが明示されるとともに、それらはドライバーの個体条件（例：性・年齢、運転経験、走行環境に対する慣れ 等）によっても異なることが確認できた。そのため、本研究は当初の予定通り本格実施しても問題ないと判断している。一方で、本研究を実務に耐え得るものにするには、今後以下の継続実施が必要と考える。

①生体情報の特性分析の深度化

今年度は、主に心拍変動や唾液成分、発汗作用に着目し、運転ストレスの分析を行い、その有効性と特性が把握できた。しかし、今後期待される脳血流等脳機能の分析は、データ取得のみで未達なため、脳機能に着目したストレス分析を引き続き行う予定である。

さらに、冒頭のストレス定義でも示したように、ストレスは個体の総合調節機能の結果として顕在化するものである（例えば、心拍変動等も呼吸との関係で変化するものである）。そのため、各種生体情報の相互関連性を解明するとともに、多様な情報を包含すると期待される脳血流分析を進めることで、生体反応と道路環境の因果関係の解明に繋げていきたい。

②生体情報サンプルの拡大

予算的制約もあり、今年度は学生3名（何れも都市部道路）、高齢者28名（うち、地方部道路で25名、都市部道路で3名）を対象とし、また限られた実験日数と道路ルートで実証実験を行った。今後は、高速道路部や観光交通、さらには外国人ドライバー等の多様な属性、走行ルートを対象にし、道路・交通環境事象と個体差のケーススタディを蓄積し、不特定多数の公共財である道路空間の評価に耐え得る分析結果が必要だと考える。

③道路の走行環境条件の詳細分析

ドライバーの生体反応は走行環境からの影響の表れであるため、本研究ではCANプローブ情報のほか、ドライブレコーダーによって、前後車間距離や道路空間環境（例：歩車混在の状態や道路構造等）、突発事象の発生等を記録した。これらのデータと一体的な生体データ分析を行うことで、道路環境によるストレス要因の特定化を行う必要がある。

以上の分析を、次年度以降も引き続き行うことで、最終的には道路政策の新たな指標として、運転ストレスや道路空間利用ストレス等の指標値を開発し、さらにこれらをマニュアル化することで、道路行政の新たな価値創出につなげていきたい。

⑧特記事項

脈波変動、皮膚電気活動（発汗）、唾液、呼吸、脳血流、さらにCANプローブ情報とドライブレコーダー情報を、実道の走行環境下で、総合的、かつ同時に、複数の個体から取得した研究は未だなく、本FS調査はデータストック面においても大変価値のあるものだと考える。引き続き、このデータの詳細分析によって、運転ストレスの要因解明を行うとともに、サンプルの拡大確保により、普遍性のある研究成果を出していきたい。