

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 22 日現在

機関番号：13903
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2011 ～ 2012
 課題番号：23760480
 研究課題名（和文）幹線街路の計画・設計・運用のための歩車QOS評価と道路空間の再構築に関する研究
 研究課題名（英文）Study on QOS Evaluation and Restructuring of Road Space on Arterial Street Using Road Users Stress
 研究代表者
 鈴木 弘司（SUZUKI KOJI）
 名古屋工業大学・工学研究科・准教授
 研究者番号：30362320

研究成果の概要（和文）：本研究では、利用者視点での幹線街路のQOS評価を行うことを狙いとして、自転車歩行者道における走行調査を行い、まず、心拍データから得られるLP面積を用いて、幹線街路における自転車利用者のストレスを分析し、その要因を自動車との関係性や歩行者との関係性を考慮した上で明らかにした。次に、アンケート調査から、幹線街路に対する主観評価に関する影響要因を重回帰分析により示した。さらに、これらのモデルを用いて、自転車利用者の客観評価と主観評価に関する比較を行い、客観評価と主観評価では評価項目の特性に差が見られることや共通する外部要因の存在を明らかにした。以上より得られたストレスレベルを用いた指標にもとづき、対象道路リンクのQOS現況評価を行うことができた。

研究成果の概要（英文）：In this study, we conducted field surveys at shared use sidewalks and quantified the cyclist's stress caused by road structures and traffic situations by using Lorentz Plot, in order to discuss the evaluation for arterial road from the viewpoint of bicyclists. In addition, we clarified the factors of cyclist's stress on sidewalks and streets, separately. As the result, both the numbers of passing intersection and road width have an impact on the users' stress. And we defined the stress-level point which is regarded as a QOS index, estimated the object road sections by the development model and examined the effect of road structures improvement by sensitivity analyses. On the other hand, we collected the subjective assessment of bicyclists for the geometries and environments on both sidewalks and streets at arterial road through questionnaire and analyzed the relationship between users' evaluation and road situation by the multiple regression models.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：国土計画・交通工学

キーワード：QOS評価、ストレス、幹線街路、自転車利用者

1. 研究開始当初の背景

昨今の厳しい財政事情の下では、インフラを効率的に計画・設計・運用・維持管理していく方策を検討することが重要視される。一方、安全で円滑な交通社会を実現させるためには、これまで以上に、都市内の主たるイン

フラである道路の持つ性能を發揮させることが必要である。そのためには、道路の交通機能とされるトラフィック機能、アクセス機能を再度整理し、自動車交通だけでなく歩行者・自転車を考慮した上で道路空間のあり方を見つめ直す時期にある。特に、今後人口減

少も予測される中、都市の様々な活動を支える幹線街路の機能について、利用者評価の視点から検討を行う必要性は高いといえる。

2. 研究の目的

本研究では、幹線街路の計画・設計・運用・維持管理の際に、有用な評価指標となり得る利用主体別のサービスの質（Quality of Service, QOS）に着目し、利用主体別 QOS と、道路構造や交通量、制御条件などの各種要因との関係性を明らかにすること、特に、走行空間の取り扱いがこれまで曖昧であった自転車利用者の視点から評価を試みることで、利用者全体の影響を考慮可能な QOS 計量手法を提案する。また、構築したモデルを用いて、現在提供されているサービスレベルを評価し、道路空間の再配分策について検討する。将来的には、手段別の交通需要のバランスを考慮したネットワーク構成、効率的運用、維持管理方策等が検討可能な枠組みの基礎を構築することを研究の狙いとしている。

3. 研究の方法

(1) 研究の着眼点

本研究では、自転車利用者の視点から、客観的に幹線街路を評価するために、心拍変動から示される利用者が受けるストレスに着目する。幹線街路走行時に、道路状況や交通状況などの外部要因がストレスに及ぼす影響を分析する。さらに同時に、アンケート調査を実施することで、自転車利用者の主観評価を取得し、客観的指標によるストレス評価との関係性を分析することで、利用者の視点から幹線街路における自転車走行空間を定量的に評価する。

(2) 調査の概要

心拍変動（RRI (R-R Interval)）データを取得するため、2012年10月と11月に、名古屋市内の幹線街路において、合計4回、6人の被験者で走行調査を実施した。被験者はすべて20代男性である。本走行調査は全日、日中の時間帯（朝：10時～12時、夕：15時から17時）に実施した。なお、起床前後に生じる一過性の血圧上昇に伴う交感神経活性の亢進を考慮し、走行調査は起床後3時間以降に行っている。コースは、2ゾーン計8リンク（千種ゾーン内道路3リンク、御器所ゾーン内5リンク）を設定し、1走行につき1ゾーンを、各リンクにつき1往復ずつ走行させる。千種ゾーンは全長約1.5km、御器所ゾーンは全長約2.6kmのコースであり、これは過去のパーソントリップ調査の自転車の平均トリップ長を勘案して決定している。なお、すべてのリンクの歩道部は自転車歩行者道である。歩道部の幅員は1.8mから4.5m、路肩幅員は0.5mから1.0m、車線数は片側1

車線から3車線まで、制限速度も40-60km/時の特徴を有しており、幾何構造の影響を考慮したモデル構築ができるように路線選定している。特に、本調査では被験者に往路・復路と分けて走行位置を指定し、1走行で車道と歩道の両方を走行するようにした。これにより、歩道上での自転車と歩行者、車道上での自転車と自動車といった道路利用者間との関係性をみることが出来る。

自転車走行中のRRIを取得するため、被験者の胸部に小型のスポーツ用心拍計を取り付け、また、走行中の周辺環境と走行特性を取得するため、自転車にカメラとGPSデータロガーを取り付ける。さらに、自転車利用者の主観評価を得るため、表-1に示す内容のアンケート調査を行う。なお、アンケート記入はリンクごとに、各リンクの終点にて被験者自身で行う。

表-1 アンケート内容

	項目*	質問内容*	回答欄の形式 (7段階評価)
質問1	車両交錯	沿道施設・交差点を出入りする自動車に対する危険度	1「安全」 →7「危険」
質問2	構造・障害物	歩道（車道）上の構造物・障害物による走りづらさ	1「走りやすい」 →7「走りにくい」
質問3	歩行者・自転車（自動車）	歩道（車道）上に存在する歩行者・自転車（自動車）に対する走りづらさ	1「走りやすい」 →7「走りにくい」
質問4	段差・振動	路面舗装・段差から生ずる振動による走りづらさ	1「走りやすい」 →7「走りにくい」
質問5	総合評価	リンクの総合評価（項目1-4は考慮せず評価すること）	1「良い」 →7「悪い」

*：（ ）は車道走行時の質問内容

(3) 心拍データの取り扱い

LP面積は1分を単位として算出するため、本調査で用いるデータはすべて1分ごとに区切り取得、解析している。また、信号交差点における停止の影響を排除するため、信号停止時と信号停止に伴う加減速挙動時のデータは分析対象から除外している。

LP面積を用いてストレスを評価するため、走行調査にて得た心拍データを用い、1分ごとにLP面積を算出する。しかしながら、生体データであるRRIから算出されるLP面積は、被験者ごとの個人差が大きくなるため、LP面積をそのまま用いて被験者間のストレスを定量的に評価することはできない。したがって、その個人差をなくすため、本研究では、個々の被験者のLP面積をその走行全体に対する位置のパーセント値（パーセンタイル順位、Percentile rank）を1から減じたものをストレスレベル（以下、SLvとする）として定義する。なお、SLvは0超1未満の範囲をとる数値であり、0に近づくほどストレス量は低く、1に近づくほどストレス量が多いことを示す。ここで、SLvについて、LP面積を5パーセンタイルずつプロットしたものを縦軸に、降順のパーセンタイルを横軸とした分布を検証したところ、グラフの傾きが

ほぼ等しいことなど、被験者間でのパーセントイル値の分布に特異的傾向が見られないことが確認できたため、本指標をストレス評価指標として扱うこととした。

4. 研究成果

(1) ストレスレベル推計モデルの構築

SLv を目的変数とし、ストレスレベル推計モデルを構築し、ストレスに影響を与える外部要因を明らかにすることで自転車利用者の幹線街路における客観的な評価の取得を試みる。なおモデルは、車道走行時と歩道走行時を分けて構築し、その結果を表-2に示す。

表-2より、重相関係数から分析の精度は高いとはいえないものの、F値からモデルの説明変数の統計的有意性は確認することができる。ここで、車道走行時と歩道走行時のモデルを比較すると、交差点から受けるストレスは歩道走行の方が大きく、幅員から受けるストレスは車道走行の方が大きいことが読み取れる。これは、歩道走行の方が交差点の見通しが悪く、接続する道路に近い位置を走行していることや、交差点部の歩車道境界における段差から生ずる振動に影響していること、車道走行の方が利用者の近くを走行する他主体の速度が高く、より幅員に鋭敏に反応することなどが推測できる。

表-2 ストレスレベル推計モデル

説明変数	A.歩道走行		B.車道走行	
	非標準化係数	標準化係数	非標準化係数	標準化係数
車線数	0.275*	0.828	-	-
高頻度利用駐車場数[箇所]	0.143**	0.166	-	-
制限速度40km/hダミー	0.400*	0.620	-	-
交差点頻度2以上3未満ダミー	0.114**	0.189	-	-
交差点頻度3以上ダミー	0.178**	0.229	0.114**	0.202
走行位置幅員[m]	-0.039***	-0.135	-0.166*	-0.290
第一車線車両交通量[台]	-	-	0.030*	0.268
3車線ダミー	-	-	0.214*	0.363
車道交通量12台以上ダミー	-	-	0.161***	0.156
(定数)	-0.244		0.465*	
サンプル数	239		116	
重相関係数	.377		.506	
F値	6.413*		7.564*	

*:1%有意, **:5%有意, ***:10%有意

※高頻度利用駐車場数：コンビニエンスストア駐車場の出入り口を通過した回数／制限速度 40km/h ダミー：車道の制限速度が 40km/h=1／交差点頻度ダミー：200m で n 箇所以上の交差点があるリンク=1／3 車線ダミー：車道が片側 3 車線である道路を走行=1／車道交通量 12 台以上ダミー：被験者と同進行方向の車道上を 1 分間に 12 台以上の車両が被験者の存在する断面を通過=1。

(2) 自転車利用者の主観評価分析

走行調査から得られたアンケート結果より、自転車利用者の主観評価と外部要因の関係性を明らかにするため重回帰分析を行う。なお、分析に際して、7段階のアンケート評点を系列間隔法により定量化し、100点満点の間隔尺度に変換する。系列間隔法による定量化の結果を図-1に示す。また、本章で用いるすべての回帰モデルにて、変数間の共線性がないことを確認している。

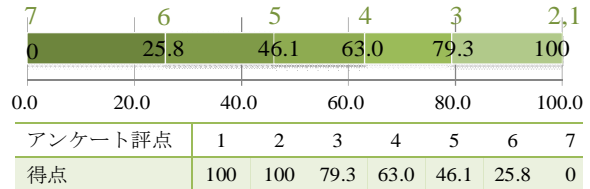


図-1 系列間隔法によるアンケート評点の定量化

まず、アンケートの各評価項目（質問 1～質問 4）から総合評価（質問 5）を説明する重回帰分析を行い、構築したモデルの結果を表-3に示す。これより、重相関係数から分析の精度は高く、F値からもモデルの統計的有意性は十分示されている。

表-3 走行位置別のアンケート総合評価推計モデル

説明変数	A.歩道走行		B.車道走行	
	非標準化係数	標準化係数	非標準化係数	標準化係数
質問1「車両交錯」	0.174*	0.168	0.227*	0.224
質問2「構造・障害物」	0.270*	0.306	0.405*	0.546
質問3「歩行者・自転車」「自動車」	0.314*	0.388	0.311*	0.399
質問4「段差・振動」	0.316*	0.316	-	-
(定数)	-4.928			
サンプル数	118		71	
重相関係数	.920		.904	
F値	155.608*		99.623*	

*:1%有意, **:5%有意

結果より、歩道走行に関するモデルでは、すべての質問項目が、車道走行に関するモデルでは、質問 4 以外の質問項目が総合評価と関係性があることがわかる。また、両モデルとも質問 2 と質問 3 の標準化係数が大きく、道路の構造や障害物、交通量に対する走りづらさが特に総合評価に与える影響が大きいことがわかる。車道走行時の質問 4 では有意性が得られなかったことから(p=0.28)、車道走行における総合評価を行うとき、自転車利用者は段差や振動を考慮していないことが考えられる。これは、車道走行では交差点部の歩車道境界の段差を通過しないこと、歩道に比べ走行性の高い舗装がされていることなどが影響していると考えられる。

次に、走行位置別のアンケート総合評価推計モデルにて有意であった評価項目を目的変数とし、アンケート評価項目回帰モデルを構築する。分析結果について歩道走行時を表-4、車道走行時を表-5に示す。

表-4 アンケート評価項目回帰モデル（歩道走行時）

説明変数	質問1		質問2		質問3	
	非標準化係数	標準化係数	非標準化係数	標準化係数	非標準化係数	標準化係数
車両流出回数	-9.05*	-0.237	-	-	-	-
第一車線交通量 (交通量調査) [台]	-0.058*	-0.335	-	-	-	-
歩道交通量12台 以上ダミー	-9.32***	-0.160	-15.80*	-0.232	-18.31**	-0.247
走行速度レンジ [m/s]	-	-	-4.15**	-0.297	-	-
理想走行速度[m/s]	-	-	13.60*	0.424	-	-
走行位置幅員[m]	-	-	-	-	10.48*	0.385
歩行者自転車計[人] (定数)	-	-	-	-	-1.40*	-0.532
重相関係数	.489		.387		.561	
F値	11.967*		6.683*		17.480*	

N=118 *:.1%有意, **:5%有意, ***:10%有意

車両流出回数: 被験者の前方にて車両が駐車場或いは接続道路に流入した回数

歩道交通量 12台以上ダミー: 歩道上を1分間に[人 or 台]以上の歩行者或いは自転車被験者の存在する断面を通過=1

走行速度レンジ: 1秒単位で取得した1分間の走行速度の5パーセンタイル値から95パーセンタイル値までの範囲

理想走行速度: 1秒単位で取得した1分間の走行速度の85パーセンタイル値

表-5 アンケート評価項目回帰モデル（車道走行時）

説明変数	質問2		質問3	
	非標準化係数	標準化係数	非標準化係数	標準化係数
路上駐車台数[台]	-3.43**	-0.241	-	-
第一車線幅員[m]	39.78*	0.434	-	-
理想走行速度[m/s]	-5.66*	-0.278	-	-
走行位置幅員[m]	-	-	52.47*	0.408
第一車線交通量 (交通量調査) [台]	-	-	-0.101*	-0.589
第二, 三車線交通量 (交通量調査) [台]	-	-	-0.035**	-0.409
(定数)	-35.137	-	49.705*	-
重相関係数	.555		.430	
F値	9.945		5.075	

N=71 *:.1%有意, **:5%有意

これらより、重相関係数から分析の精度は高いとはいえないものの、F値からモデルの説明変数の統計的有意性が確認できる。また、車道走行時と歩道走行時のモデルを比較すると、それぞれ走行する位置での交通量など、街路での他者とのすれ違いが主観評価に大きく影響していることが考えられる。また歩道走行時では車道に関する変数も有意であることから、歩道を走行する自転車利用者はより多くの外部要因から影響を受けていることが推測できる。また、どちらも区間を通して理想的な走行ができたかどうか、自転

車利用者が主観評価をする上での一つの指標となっていることがわかる。なお、歩道走行時の質問4と車道走行時の質問1は有意な説明変数が得られなかった。路面性状や振動に関する変数などの詳細な検討が今後必要といえる。

(3) ストレスレベル推計モデルを用いたリンク得点の算出と比較分析

ここで、4(1)で構築したストレスレベル推計モデルを用いて現在の調査対象リンクの評価に得点を求める。ここでリンク得点 P_{ij} は、得点が高い程客観評価が高くなるように次の式(1)を用いて100点満点で算出し、その結果を表-6に示す。

$$P_{ij} = (1 - SLV_{ij}) \times 100 \quad (1)$$

ここで、 P_{ij} : リンク得点, SLV_{ij} : ストレスレベル推計モデル式から算出した SLV , i : リンク名, j : 走行位置 (歩道, 車道)。

表-6 リンク得点 P_{ij}

走行位置 j	リンク i	千種ゾーン			御器所ゾーン				
		1	2	3	1	2	3	4	5
歩道 走行	往路	47.7	62.1	52.4	36.9	69.7	46.1	63.9	48.1
	復路	47.7	67.1	41.0	49.7	69.7	52.5	52.5	48.1
車道 走行	往路	38.8	46.4	39.9	-	35.1	36.3	50.6	-
	復路	46.1	54.2	40.9	-	33.3	47.0	49.4	-

表-7 リンク得点のランク分け

走行位置 j	リンク i	千種ゾーン			御器所ゾーン				
		1	2	3	1	2	3	4	5
歩道 走行	往路	C	C	C	D	B	C	B	C
	復路	C	B	D	C	B	C	C	C
車道 走行	往路	D	C	D	-	D	D	C	-
	復路	C	C	D	-	D	C	C	-

ランク: A($79.3 \leq P_{ij} \leq 100$), B($63.0 \leq P_{ij} < 79.3$),
C($46.1 \leq P_{ij} < 63.0$), D($25.8 \leq P_{ij} < 46.1$), E($0 \leq P_{ij} < 25.8$)

なお、本モデルは1分間の走行における交通量を使用しているため、交通量調査から得られた1時間の交通量を60で割り使用する。

ここで、表-6で得られた結果を自転車利用者視点からランク分けするため、本稿では次章の図-1の主観評価で得られる評価値の間隔を用いてAからEの5段階でリンク得点を評価する。ランク分け後のリンク得点とランクの閾値を表-7に示す。このAからEまでのランクが利用者評価を加味したサービス水準といえる。

これらより、千種3や御器所2の車道において現況では評価が低いことがわかる。

(4) 感度分析に基づいた道路空間再配分の検討

次に、構築した表-2のモデルについて、リンクごとの構造特性を変化させる感度分析

を行い、道路空間再配分（横断面構成）について検討する。

リンク得点のランクを求めた結果を表-8に示す。なお本分析では、幹線街路の総幅員は変化させず、一方向の道路空間内で幅員を再配分することでのリンク得点の変化を見る。シナリオ1は車道一車線あたり0.25[m]幅員を狭め、歩道部の幅員を広げる施策、シナリオ2は、車道部を再配分し、一車線あたり0.25[m]幅員を狭め、路肩を広げることで自転車の車道での走行空間を創出する施策、シナリオ3は、図-2に示す御器所1において歩道部を再配分し、自転車走行空間を1.6[m]拡大する施策である。これより、シナリオ1では千種2にて、シナリオ2では千種3にてそれぞれランクの改善が見られた。また、千種3では歩道部よりも車道部のランクが良いという結果が得られた。これより、今後自転車の車道利用を促す政策を推し進める上で、車道空間に比較的余裕のあるリンクでは車道部の道路構造の再配分が効果的であると考えられる。

表-8 感度分析によるランクの変化

リンクi		千種ゾーン			御器所ゾーン					
		1	2	3	1	2	3	4	5	
シナリオ1	歩道 走行	往路	C	B	C	D	B	C	B	C
		復路	C	B	D	C	B	C	C	C
シナリオ2	車道 走行	往路	D	C	C	-	D	D	C	-
		復路	C	C	C	-	D	C	C	-
シナリオ3	歩道 走行	往路	-	-	-	D	-	-	-	-
		復路	-	-	-	C	-	-	-	-

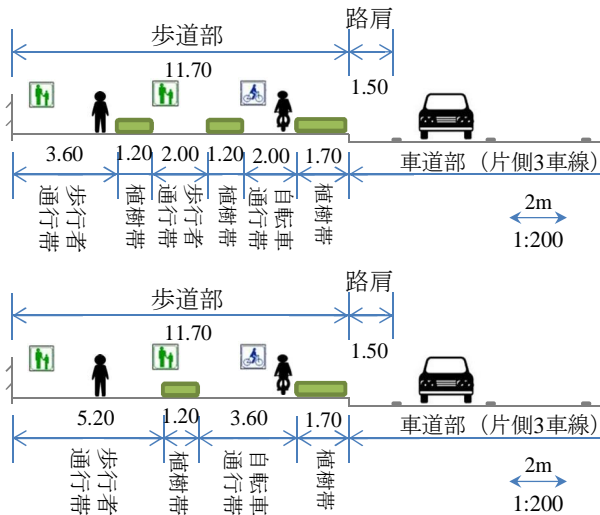


図-2 御器所1断面図

(上：現在，下：歩道空間再配分案)

(5) 自転車利用者の客観評価と主観評価に関する比較分析

今回の走行調査におけるデータ取得の単位は、客観評価が1分、主観評価が1リンク(1分~5分)であること、また客観評価は

時々刻々の心拍データから算出されることに対し、主観評価では1リンクを通した評価をすることから、客観評価は瞬間的な評価を、主観評価は区間的な評価に相当すると考えられる。これは、「走行速度レンジ[m/s]」や「理想走行速度[m/s]」などの区間を通した理想的な走行に関する変数が主観評価のみで有意であることから説明できる。

また、客観評価では車線数や交差点頻度、駐車場など構造的な変数が多いのに対し、主観評価では、理想走行速度や交通量、路上駐車など交通状況の変数が多い結果となっている。これより、客観評価では走行中の構造的な要因を、主観評価ではリンク走行全体を通しての他者からの影響要因を多く反映していることが推測できる。このようなことから、主観評価では有意でなく、客観評価のみで有意である外部要因については、被験者自身がその要因から受ける影響や危険性を無意識に許容していることが考えられる。よって、両者の違いや特性を考慮した上で主観、客観の両面からの街路評価が必要であると考えられる。

さらに、幅員に関する変数は主観、客観評価ともに有意であり、本稿の多くのモデルにて採択されていた。これらは既存研究の知見と相違のない傾向であり、よって本研究のアプローチの妥当性が示されたともいえる。今後、主観評価と客観評価を同時に表現するモデルを構築する上で、幅員に対する主観評価と客観評価の差や重みを比較検討することで、両者の差や評価の傾向をより詳しく説明できると考えられる。

(6) まとめ

本研究では、利用者視点での幹線街路のQOS評価を行うことを狙いとして、自転車歩行者道における走行調査を行い、まず、心拍データから得られるLP面積を用いて、幹線街路における自転車利用者のストレスを分析し、自転車利用者が受けるストレスの要因を明らかにした。また得られたストレスレベルを用いた指標にもとづき、対象道路リンクの現況に関するQOS評価を行った。他方、アンケート調査から、幹線街路に対する主観評価について、総合的な評価に結びつく評価項目と各評価項目の評点に影響を与える外部要因を明らかにした。さらに、これらのモデルを用いて、自転車利用者の客観評価と主観評価に関する比較分析を行い、客観評価と主観評価では評価項目の特性に差が見られることや共通する外部要因の存在を示した。

今回、自転車利用者を中心として他者の影響を考慮可能なQOS評価の枠組みを構築し、モデルの感度分析と限定的ではあるものの道路空間の再配分の検討結果の一例を示すことができたといえる。

しかし、交差点部の影響への考慮やモデルの精度向上、様々な交通状況下での QOS 検証と様々な課題が残っている。交通状況の影響についてはシミュレーションによる分析を準備しており、これらの点については、継続して研究を進めていき、成果を公表する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

(1)今井克寿, 鈴木弘司, 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分析, 土木計画学研究・講演集 Vol. 45(CD-ROM) (査読無), 6 ページ, 2012.

〔学会発表〕(計 2 件)

(1)今井克寿, 鈴木弘司, 藤田素弘: 心拍変動を用いた幹線街路における自転車利用者のストレス状態分析, 平成 23 年度土木学会中部支部研究発表会, 平成 24 年 3 月 8 日.

(2)今井克寿, 鈴木弘司, 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分析, 第 45 回土木計画学研究発表会(春大会), 平成 24 年 6 月 3 日.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 弘司 (SUZUKI KOJI)
名古屋工業大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 30362320

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし