

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：13701

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H06842

研究課題名(和文)道路縮約施策を含む道路網整備戦略に関する研究

研究課題名(英文)Research on road network maintenance strategy including road elimination

研究代表者

杉浦 聡志(SUGIURA, Satoshi)

岐阜大学・工学部・助教

研究者番号：30648051

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文):本研究は劣化した道路構造物の維持管理費用の増大,人口減少による税収減に対応するための道路縮約施策の一方策を検討したものである。道路機能を網羅的に整理し,それらの機能を考慮可能なネットワークデザイン問題を複数構築した。ネットワークデザイン問題を階層的に適用することで,災害時の両者において必要な道路は残存させ,通常時の道路利用者の効用と費用の両者を吟味した道路の整備戦略を導出する方法を提案した。また,これまで都市計画で土地利用誘導に一般的に用いられてきた土地利用規制について,現在まで生じさせた実態を分析し,今後の縮約施策のための基礎的知見を得た。

研究成果の概要(英文):This study provides one way for planning of road elimination to cope with an increase in maintenance cost of degraded road structures and tax revenue reduction due to a declining population. We organized road functions and proposed two network design problems that can take into consideration road functions. And I proposed the method that can consider utility and cost of road users in normal period and in the case of emergency transportation by hierarchically applying the two network design problem. In addition, I gained some knowledge for in urban planning for smart shrinkage by analyzing the actual land use conditions that have been made up to the present on the land use induction.

研究分野：土木計画学

キーワード：道路維持管理 スマートシュリンク ネットワークデザイン問題 防災

1. 研究開始当初の背景

今後のわが国では劣化した道路構造物の維持管理費用の増大、人口減少による税収減を踏まえれば、すべての道路を管理し続けることは困難なものとなるだろう。したがって、管理する量を減じる道路縮約施策の議論を進めることが必要になると考える。しかしながら、道路縮約施策はこれまで一般に用いられていない。この原因の1つとして、道路ネットワークには多様な目的を持った利用者があり、道路の果たす機能が多様であることが考えられる。たとえば経済合理性など単一的な評価に基づいてむやみに道路縮約施策を実行すれば特定の利用者の生活、経済活動に著しい影響を与える可能性もある。そのため道路縮約施策の実施においては各道路の持つ多面的な機能を整理し、統廃合施策の実施後に残る道路網で現有機能を十分に代替可能であることが示される必要がある。

一方で、労働人口の減少を踏まえればこそ、経済活動を支える輸送の効率化のために必要な道路は整備する必要があると考える。特に高規格な道路が整備されれば、周辺の道路交通需要の転換が図られる。このとき、需要が小さくなった道路については道路縮約施策が実施可能となる場合も生じうる。このように、新規道路建設と道路縮約施策はフローの転換において密接に関係するため、同時に検討される必要があると考える。

2. 研究の目的

現状供用されている道路においては各道路リンクで道路縮約施策を含めた維持管理の方針を新規建設道路の建設是非とともに決定する最適道路網形状を評価する方法論の構築を目指す。

3. 研究の方法

(1) 道路機能の網羅的整理

最適道路網形状を評価するモデルを構築するために、道路の価値について整理する。そのために、これまでの道路価値の評価に用いられている道路機能の整理、および道路管理者が暗黙的に認知する道路の機能をヒアリング調査により網羅的に調査し、それらを階層的に整理する。

(2) 最適道路網整備戦略決定モデルの構築

(1)で整理した機能に基づいて、道路リンクに維持管理方針、新規投資を含む最適な整備戦略を与える手順を検討する。各道路リンクの整備方法は離散的な戦略として定義できる。例えば、道路縮約施策であれば、継続的に利用できるように維持管理・更新投資する戦略や、劣化が進行し更新が必要になったときに廃止する戦略、大型車の通行を制限することで延命化を図る戦略などが考えられる。新規投資であれば交通容量や走行速度を道路規格と整合するような離散的な戦略で与えられる。このように、道路網が有すべき機能をインプ

ット、整備戦略をアウトプットとする決定手順を構築する。構築した手法をネットワークに適用し、モデルの挙動を確認するとともに、結果の妥当性を確認する。

(3) 道路縮約施策を実現するための土地利用規制に関する基礎的知見の整理

道路近隣に居住する利用者が多数あれば、多様に道路機能を求められることから道路縮約施策の実施は困難となる。したがって、縮約施策の実現のためには道路利用が疎な地域において居住の誘導が必要になると考えられる。そのため、これまで都市計画において居住誘導の基本的手法である土地利用規制が、これまでどのような土地利用の実績を生じさせたのかを明らかにすることにより、基礎的な知見を獲得する。

4. 研究成果

(1) 道路機能の網羅的整理

a) 事業評価カルテの調査

国土交通省が公開している事業評価カルテを調査することで、新規建設において考慮されている道路の機能を把握した。定量的に把握が可能でありモデルとして導入可能な項目と、導入不要な、あるいは困難な項目に整理した。例としてモデルとして新たに考慮する必要がないと判断した項目を以下に示す。例えば評価基準を定義困難な指標は道路のみの機能に限らず、他の施策や環境に大きく依存するものであり、特定のリンクを対象とした評価が困難と判断したものである。

表-1 事業評価カルテから抽出した道路機能のうち、モデル導入の対象としないもの

評価基準を定義困難な指標	<ul style="list-style-type: none"> ・都市再生プロジェクトを支援する ・地域高規格道路の位置づけあり ・中心市街地内で行う事業である ・関連する大規模道路事業と一体的に整備する必要あり
3 便益と重複する指標	<ul style="list-style-type: none"> ・現道等の年間渋滞損失時間
歩行者・自転車に関する指標	<ul style="list-style-type: none"> ・歩道がないまたは狭小な区間に歩道が設置される ・自転車空間の整備により、当該区間の歩行者、自転車の快適性、安全性が保障される
アクセス時間に関する指標	<ul style="list-style-type: none"> ・三次医療施設へのアクセス向上 ・新幹線、特急停車駅へのアクセス向上
複数経路確保の指標	<ul style="list-style-type: none"> ・災害による1,2箇所の道路寸断で孤立する集落を解消
交通量と便益原単位の乗算で容易に計測可能な指標	<ul style="list-style-type: none"> ・環境改善便益 ・交通不能区間の解消 ・旅行速度の改善

モデルで考慮可能な項目としては、主要な施設へのアクセス時間の改善、孤立解消に関する項用をあげた。

b) 道路統廃合を実施した道路管理者へのヒアリング

橋梁統廃合を既に実施した道路管理者へヒアリング調査した。調査内容は、統廃合した橋梁に関する情報、統廃合意思決定時に考慮した条件、今後の橋梁統廃合に関する見通し、とした。調査対象は山形県南陽市、山形県鶴岡市である。いずれの管理者においても統廃合した橋梁の条件や今後の見通しは同様であった。まず、廃止した橋梁はごく少数であった。廃止した対象は近隣にバイパス等で機能代替可能な橋梁が新設され、旧道となったものであった。旧道となったことで極めて交通量が小さくなり、構造物の劣化が進行して更新が必要となったときに廃止していた。今後の見通しとしては同様の条件の橋梁が生じれば検討するに留まり、それ以外の条件において積極的に推進することはないとのことであった。したがって、対象とした2市に限定されるが、統廃合を実施した管理者が統廃合時に考慮した道路の機能は通行機能のみであった。

未だ道路統廃合を検討した道路管理者は少なく、本調査では近隣住民への影響を考慮した事例は見当たらなかった。今後の統廃合事例の蓄積が進み、それらについて追加調査することで住民、管理者が考慮する道路機能について明らかにできるものと思われる。

(2) 最適道路網整備戦略決定モデルの構築

a) 定式化

ネットワーク上のフローに UE (User equilibrium) を仮定したネットワークデザイン問題のうち、道路統廃合を考慮できるように拡張したモデルを構築した。このモデルには、主要な施設へのアクセス時間を満足するかどうかを評価する項と、災害時の孤立危険性解消に関する効用を評価する項が追加されている。すなわち、UE 均衡を制約条件とし、維持管理費用と総走行時間と時間価値を乗じた値の和を最小とするネットワーク形状を求める問題である。この問題は、混合線形計画問題で記述でき厳密解の求解が可能となる。

$$\min_{x,y,f,\pi,t,\sigma,\xi} Z(x,y,\pi) = \sum_{w \in W} \rho \cdot q^w \cdot \pi^w + \sum_{k \in K} g_k y_k \quad (1)$$

$$- \sum_{\varphi \in \Phi} v_\varphi \psi_\varphi - \sum_{w \in W} h_w \gamma_w$$

Subject to

$$\sum_{p \in R_w} f_p^w = q^w \quad (2)$$

$$L \cdot \xi_{a,n} \leq x_a - K_{a,n} \leq U \cdot (1 - \xi_{a,n}) - \varepsilon \quad (3)$$

$$\zeta_{a,n} = \xi_{a,n+1} - \xi_{a,n} \quad (4)$$

$$L \cdot (1 - \zeta_{a,n}) \leq t_a - (b_n^a x_a + c_n^a + U \cdot (1 - y_{k(a)})) \leq U \cdot (1 - \zeta_{a,n}) \quad (5)$$

Where

$$b_n^a = \left. \frac{\partial t_a}{\partial x_a} \right|_{(K_{a,n})}$$

$$c_{n,m}^a = t_a(K_{a,n}) - K_{a,n} \cdot \left. \frac{\partial t_a}{\partial x_a} \right|_{(K_{a,n})}$$

$$L \cdot \sigma_p^w + \varepsilon \leq f_p^w \leq U \cdot (1 - \sigma_p^w) \quad (6)$$

$$L \cdot \sigma_p^w \leq d_p^w - \pi^w \leq U \cdot \sigma_p^w \quad (7)$$

$$d_p^w - \pi^w \geq 0 \quad (8)$$

$$x_a = \sum_{w \in W} \sum_{p \in R_w} \delta_{ap}^w f_p^w \quad (9)$$

$$d_p^w = \sum_{p \in R_w} \delta_{ap}^w \cdot t_a(x_a) \quad (10)$$

$$x_a \geq 0, y_k = \{0,1\}, \pi^w \geq 0, \quad (11)$$

$$f_p^w \geq 0, t_a \geq 0, \sigma_p^w \geq 0, \delta_{ap}^w \geq 0$$

$$\sum_{a \in Out(o_\varphi)} s_{\varphi a} = 1 + \psi_\varphi, \quad \sum_{a \in Out(d_\varphi)} s_{\varphi a} = 0 \quad (12)$$

$$\forall \varphi \in \Phi$$

$$\sum_{a \in In(o_\varphi)} s_{wa} = 0, \quad \sum_{a \in In(d_\varphi)} s_{\varphi a} = 1 + \psi_\varphi \quad (13)$$

$$\forall \varphi \in \Phi$$

$$\sum_{a \in In(n)} s_{\varphi a} - \sum_{a \in Out(n)} s_{\varphi a} = 0 \quad (14)$$

$$\forall n \in N, n \neq o_\varphi, n \neq d_\varphi, \varphi \in \Phi$$

$$s_{\varphi a} \leq y_{k(a)} \psi_\varphi = \{0,1\} \quad \forall \varphi \in \Phi, a \in A \quad (15)$$

$$\forall a \in A, w \in W, k \in S, p \in R \quad (16)$$

$$(\rho_w - \pi^w) - \gamma_w \cdot U \leq 0 \quad (17)$$

$$(\pi^w - \rho_w) - (1 - \gamma_w)U \leq 0 \quad (18)$$

変数は以下のとおりである。

A	:	リンクの集合
W	:	OD ペアの集合
R	:	経路の集合
S	:	道路区間の集合. 各道路区間は複数のリンクで定義される.
x_a	:	リンク a の交通量 (未知変数)
y_k	:	区間 k を維持するならば 1, そうでなければ 0 をとる変数 (未知変数)
π^w	:	OD ペア w 間の所要時間 (未知変数)
ρ	:	時間価値

- q^w : OD ペア w の OD 交通量
- g_k : 道路区間 k のライフサイクルコスト
- f_p^w : OD ペア w , 経路 p における交通量 (未知変数)
- $\xi_{a,n}$: リンク a が区分線形化された BPR 関数の区間 n に該当すれば 1, そうでなければ 0 を取る変数 (未知変数)
- $K_{a,n}$: リンク a に関する BPR 関数の区分線形化における n 番目の閾値
- t_a : リンク a の所要時間 (未知変数)
- d_p^w : OD ペア w , 経路 p の所要時間 (未知変数)
- σ_p^w : OD ペア w において経路 p が使用されれば 0, そうでなければ 1 を取る変数 (未知変数)
- δ_{ap}^w : OD ペア w , 経路 p にリンク a が含まれるときに 1, そうでなければ 0 をとる変数
- L : 十分に小さい負の値
- U : 十分に大きい正の値
- ε : 微小な数値
- $s_{\varphi a}$: リンク a を通過する OD ペア φ の経路数を示す正の整数 (未知変数)
- Φ : 複数経路を確保することで効用が生じる OD ペアの集合.
- ψ_{φ} : OD ペア φ に 2 本目の経路が存在するかを示す未知変数である.
- γ_w : OD ペア w のアクセス時間による効用を生じるか否かを示す 2 値変数 (0,1) である.
- h_w : アクセス向上効用を考慮する必要がある OD ペアにのみ CVM などで推計された正の値, そうでないものは 0 となる数値

この問題は y_k にすべての道路区間の整備戦略が最適解として与えられる. したがって, 既設道路であれば, g_k に想定する期間の維持管理費用を入力し, 新設計画道路であれば想定する期間にかかる新設コストを含む費用を入力すれば, 新設, 既設の両者を考慮した整備計画が立案可能である.

b) ネットワークへの適用

前章で示したモデルの挙動を確認するために, 図-1 に示す仮想ネットワークを対象に試算した. 図中青丸で示す出発地ノードである 4 つの居住地, 赤丸で示す目的地ノードである 3 つの商業立地を配置する. 各リンクは, 赤いリンクを交通容量・維持管理費用ともに大きな幹線道路, 外郭に設置した青いリンクを次に大きい準幹線道路, その他の黒いリンクを一番小さい生活道路というように区別をつけて設定する. 試算は 3 ケースとする. ケース 1 は目的関数に維持管理費用と総走行時間に時間価値を乗じた値 (以下, 総走行時間項という) を設定したベースケースである. ケース 1 の条件に, 各出発ノードからノード

6 へのアクセス時間に関する指標 (以下, アクセス効用という) を付加し, アクセス指標の効果を確かめるものをケース 2 とする. ケース 3 は, ノード 1 からノード 6 の OD に複数経路を確保したときの効用を評価する項を追加したものである.

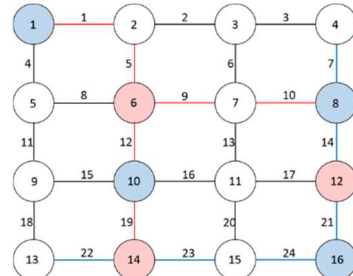


図-1 対象ネットワークの形状

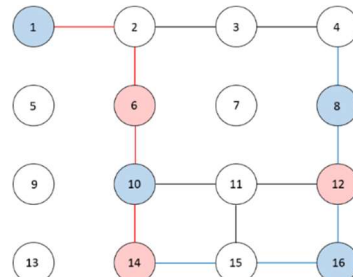


図-2 ケース 1 の試算結果

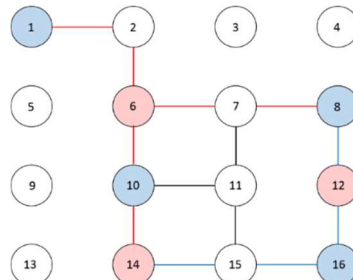


図-3 ケース 2 の試算結果

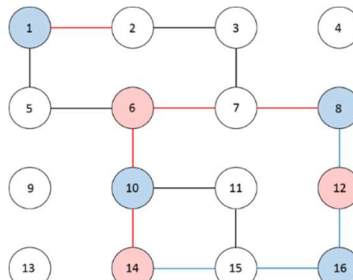


図-4 ケース 3 の試算結果

ケース 1 では大きな交通需要を処理するために交通容量の大きい幹線道路を整備し, コストを低減させるために生活道路を整備しないという結果になった. ケース 2 ではアクセス性の効用を加えたため, ケース 1 よりもさらに幹線道路を多く残し, 生活道路の整備量が小さくなっている. ケース 3 はノード 1 から他のノード 6 までリンクを重複しない経路を 2 つ以上確保すると効用が生じるため, 他のケースにはなかったノード 1 周辺に循環路

が形成されている。これらの試算により CVM 等で効用の単価が明らかになり、値が無視できない場合には最適なネットワーク形状が変化することを示すことができた。

本試算ではこの 16 ノードの格子状ネットワーク以外にも実ネットワークでの適用を試みた。しかしながら、実用可能と思われる計算時間で完了しなかったため、検討する道路ネットワークを縮約するなどの工夫を要するか、解の厳密性が失われるが、ヒューリスティクスによる解法が必要になるものと思われる。

c) 階層的なネットワークデザインのための緊急輸送道路整備計画立案手法の構築

最適道路網整備戦略決定モデルは利用者均衡下において総走行時間、総整備費用、アクセス性の効用、孤立危険性の解消に関する項を考慮した道路網のデザインを実行可能である。したがって、多くの日常的な道路利用に関する交通機能を考慮することができる。しかしながら、災害時の経路を確保するための道路網の必要性は通常時の効用のみで測るべきでなく、災害等により甚大な被害が生じたとしても接続が可能となるような整備が必要となるだろう。したがって、災害時において確保する必要がある道路は通常時での検討に優先して維持管理継続の意思決定がされるべきであろう。

広域災害時の物資や救急搬送など緊急輸送のため、橋梁の補強等の施策が実施される緊急輸送道路は、冗長性を持つように指定される。以上の問題意識より、階層別の道路網のデザインのために、災害時を想定した緊急輸送道路の整備計画立案手法を構築した。以下に概要を示す。

提案するモデルは以下の要件を持つものとする。緊急輸送道路の指定においては接続が必要な OD ペアに対して、任意の複数経路を確保する。道路の整備方法には 2 つのレベルの強化を考慮する。緊急輸送道路に指定された道路は構造物の供用期間中に発生する可能性が高いレベル 1 地震動に対応する耐震化等の整備を実施する（以下 Level-1 整備リンクという）。非重複条件を緩和する Level-2 整備リンクは Level-1 整備リンクに比べて、より耐災性の強い整備が必要となる。各リンクにおいて整備レベルごとの整備費用は事前に調査されており、既知であるとする。費用最小とするためには、緊急輸送道路に指定するリンクは少ない方が有利であることから、接続が必要な全ての OD を同時に考慮することで異なる OD での共有を図る。あまりに冗長な経路は緊急輸送の目的を鑑みれば不適切であると考え、経路の所要時間上限も設ける必要がある。道路ネットワーク上のリンクは全て有向リンクで定義する。リンク a はその集合 A において $a \in A$ で定義する。耐震化整備では上下線が分離されず共有された道路の場合、

上下線を同時に施工されると想定される。そのため、該当する道路においては上下線を同期させた、区間として整備の是非を判断する必要がある。そこで、複数のリンクを含む道路の区間 k を定義し、その集合 K において $k \in K$ で表現する。この定義において、 $k(a)$ はリンク a が存在する道路区間 k のことを指す。緊急輸送道路整備計画立案モデルは道路区間 k における整備戦略を示すデザイン変数 y_k^r 、OD ペア w における経路を検討するためのデザイン変数 x_{wa} の 2 つを定義する。定式化にあたって必要となる変数を以下に示す。

- x_{wa} : リンク a を通過する OD ペア w の経路数を示す正の整数（未知変数）
- t_a : リンク a の所要時間
- y_k^r : 区間 k にレベル r の強化整備をするのであれば 1, そうでなければ 0 をとる二値変数（未知変数）
- c_k^r : 道路区間 k をレベル r 対応に強化するための費用
- P_w : OD ペア w の必要経路数
- W : 接続すべき OD ペアの集合
- T_w : OD ペア w における目標到達平均時間
- S_{wa} : リンクの重複可否を示す変数
- H : 十分に大きい数
- n : 道路ネットワーク上のノード
- N : ノードの集合
- K : 道路区間の集合
- A : リンクの集合
- o_w : OD ペア w の出発地ノード
- d_w : OD ペア w の目的地ノード
- $In(n)$: ノード n に流入するリンクの集合
- $Out(n)$: ノード n から流出するリンクの集合

以上の要件を踏まえると、緊急輸送道路整備計画立案モデルは 2 つのレベルの整備戦略をもつネットワークデザイン問題で記述でき、次のような混合整数線形計画問題（Mix Integer Linear Programming Problem）で定式化できる。

$$\min_{y,x} \sum c_k^r y_k^r \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{a \in A} \frac{x_{wa} t_a}{P_w} \leq T_w \quad \forall w \in W \quad (2)$$

$$\sum_{a \in \text{Out}(o_w)} x_{wa} = P_w, \quad \sum_{a \in \text{Out}(d_w)} x_{wa} = 0 \quad \forall w \in W \quad (3)$$

$$\sum_{a \in \text{In}(o_w)} x_{wa} = 0, \quad \sum_{a \in \text{In}(d_w)} x_{wa} = P_w \quad \forall w \in W \quad (4)$$

$$\sum_{a \in \text{In}(n)} x_{wa} - \sum_{a \in \text{Out}(n)} x_{wa} = 0 \quad (5)$$

$$\forall n \in N, n \neq o_w, n \neq d_w, w \in W$$

$$x_{wa} \leq H y_k^2(a) + y_k^1(a) \quad (6)$$

$$\forall w \in W, a \in A$$

$$x_{wa} = \{0, 1, 2, \dots\}, y_k = \{0, 1\} \quad (7)$$

$$\forall a \in A, w \in W, k \in K$$

この問題の求解により、広域災害時のために必要となる要求水準を満足し、整備費用が最小となる緊急輸送道路が指定される。指定された道路を最適道路網整備戦略決定モデルで $y_k = 1$ の制約を付加することで、優先的な整備を表現でき、階層的な道路の機能に基づく整備戦略の検討が可能となる。

(3) 最適道路網整備戦略決定モデルの構築

岐阜県の 8 都市計画区域を対象に、人口増加期、人口減少期の違いに着目し、汎用性のある国土数値情報、国勢調査を用いて都市の中心性、各土地利用規制、同都市計画区域における開発許可権限の所在、都市農地の土地利用の変化を検証した。本研究の分析で得られた知見を以下にまとめる。(1) 都市の中心性との関係において、DID (1995) の人口の流出は依然として続いているものの、その傾向は人口減少により小さくなること、世帯数は部の地域を除き人口増加期に比べ人口減少期の増加率は減少しているものの、現在も増加傾向であること、建物用地の変化においては、DID (1995) 内でランダムに建物用地の減少がみられ、従来の空家のランダムな減少とは異なるが、スポンジ化に似た現象が確認できた。(2) 土地利用規制との関係においては、人口増加期において 5 都市において市街化区域で人口が大きく増加していたものの、全ての都市において農振青地での人口の増加が正であり、3 都市において最も伸び率が大きいこと、人口減少期において全ての地域における農振青地の人口の減少が市街化区域や用途指定地域に比べ、下げ幅が小さいことが確認できた。(3) 都市計画区域と開発許可権限の所在との関係においては、開発許可権限が原因とは断定できないものの、同都市計画区域内での開発の違いが確認できた。(4) 都市農地の土地利用の変化においては、人口減少期において、全ての都市の市街化区域内、用途指定地域内において、DID 内外共に宅地化の傾向が近年弱まったことが確認できた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

- 1) 遠山直高, 杉浦聡志, 高木朗義: スマートシュリンクを念頭においた土地利用規制とその帰結に関する基礎的研究, 土木学会中部支部平成 29 年度研究発表会講演概要集, pp.331-332, 2018. (査読無)
- 2) 御村まゆ, 杉浦聡志, 高木朗義: 道路縮減のためのネットワークデザイン問題における評価基準の一考察, 土木計画学研究・講演集, Vol.55, 33-03, 2017. (査読無)
- 3) 森啓明, 杉浦聡志, 高木朗義: リスク評価に基づく道路施設の普及版維持管理計画モデルの試行と検証, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント) Vol.72, No.4, I_142-I_152, 2017. (査読有)
- 4) 竹内一稀, 杉浦聡志, 高木朗義: 戦略的スマートシュリンクのための道路ネットワークデザインモデル, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 463-464, 2017. (査読無)
- 5) 事故軽減と安心感・負担軽減を区別した運転支援機能の社会的価値: 服部佑哉, 杉浦聡志, 小野剛史, 梶 大介, 高木 朗義, 第 36 回交通工学研究発表会論文集, pp.361-367, 2016. (査読有)

[学会発表] (計 1 件)

- 1) Sugiura, S., Kurauchi, F., and Takagi, A., Design method of emergency links and reinforcement sections to secure connectivity among disaster prevention bases, 7th International Symposium on Transport Network Reliability, 2018.1.17-19.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉浦 聡志 (SUGIURA, Satoshi)

岐阜大学・工学部・助教

研究者番号: 30648051