

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360221

研究課題名(和文)脆弱性の概念によるロバストな道路ネットワークデザイン手法の開発とその実用性検証

研究課題名(英文)Robust Road Network Design Based on the Concept of Vulnerability

研究代表者

倉内 文孝(Kurauchi, Fumitaka)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：10263104

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 6,900,000円、(間接経費) 2,070,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、災害発生時に有効に機能しうる道路網をめざしたロバストネットワークデザインモデルの構築をめざす。まず、従来の道路整備評価に合算可能な防災機能の便益評価手法を提案する。具体的には、道路利用者の経済損失(災害時の迂回損失・機会損失)の軽減と、地域住民の孤立に対する平常時の心理不安の軽減に着目し、それぞれの便益評価手法を構築した。岐阜県飛騨圏域のネットワークで実用性検証を行った結果、新規道路建設により災害時に接続を確保することの便益を貨幣単位で評価することができた。さらに、提案した手法に必要な経路確保便益に関するパラメータをWebアンケート調査結果を基に同定した。

研究成果の概要(英文)：We propose a robust network design model which can contribute to construct a network which may function under an emergent situation. For this we first proposed a benefit evaluation method of disaster prevention capability of road network consistent with the conventional benefit evaluation method. In concrete, we define the benefit of disaster prevention capability of the road as a sum of reduction of economic loss by detouring and losing opportunity, and reduction of anxiety of being disconnected for local citizen. The proposed method is applied to the road network in Hida area of Gifu Prefecture, and the benefit of enhancing connectivity by new road construction is quantified by the monetary term. Then we carried out a web-based questionnaire survey to estimate a parameter for a reduction of anxiety of being disconnected.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木計画学・交通工学

キーワード：脆弱性 道路ネットワークデザイン 経済評価 地域耐災性

## 1. 研究開始当初の背景

災害発生時やその後の復旧復興時における道路網の重要性は平常時にもまして高まる。2008年に発生した岩手・宮城内陸地震では山間部における孤立集落の問題がクローズアップされた。岐阜県では中濃、飛騨の山間部を中心に、25市町村476集落が災害時に孤立する危険性があるといわれている。このように、現状の道路整備状況では発災時における道路の機能は心許ない。様々な状況に対してロバストな道路ネットワーク構築が喫緊の課題といえる。

災害に強い道路ネットワークの構築は、古典的かつ重要なテーマである。交通分野では、80年代よりノード間の連結性を示す連結信頼性の概念を用いた検討が実施されている。さらに、ネットワーク容量の確保可能な確率で評価する容量信頼性、ドライバーの交通情報への対応行動を加味した遭遇信頼性など様々な指標が提案されている。一般的に、信頼性解析手法においては、事象発生確率は与件とし、与えられた確率の元で生じうる期待損失により評価を試みている。しかしながら、災害発生確率が高精度を持って予測できるとはいえない。誤った機能低下確率の設定は誤った結論を導き出す危険性をはらむ。

信頼性解析と対照に、被災確率予測の不確実性を鑑み、被災確率を考慮せずに災害発生時におけるインパクトのみを対象とした方法論は脆弱性 (Vulnerability) 分析と呼ばれる。たとえば、D'Este and Taylor は、アクセシビリティ指標を用いた脆弱性評価分析を提案しており、道路網の中でその途絶がアクセシビリティに大きな影響を及ぼすリンクの抽出に適用している。これらは、事象発生確率を前提とするリスク分析と一線を画す考え方といえる。

## 2. 研究の目的

以上のような背景を元に、災害発生確率予測の不確実性を考慮した、ロバスト道路ネットワークデザイン方法について考究することが重要との考えに至った。また、脆弱性概念を適用することで災害発生予測の不確実性を考慮可能といえる。さらに、提案した手法の実際のネットワークにおける実用展開の側面からの検証および期待便益アプローチとの比較も可能となり、実用性の高いロバスト道路ネットワークのデザイン手法の構築が可能となると考えた。

## 3. 研究の方法

本研究では、災害発生時に有効に機能しうる道路網をめざした道路デザイン手法の構築を進める。中山間地域を分析対象とし、最悪の事態が生じる場合を評価指標として考える脆弱性の概念を適用し、正確に予測できない

災害発生に対してできる限り対応可能な道路ネットワークを構築する方法論を考究する。研究期間内の具体的な目標としては、以下の2点をあげる。

### (1) 脆弱性概念によるロバスト道路ネットワークデザイン手法の構築

脆弱性概念の適用事例として、D'Este and Taylor<sup>5)</sup>は、アクセシビリティ指標を用いた脆弱性評価分析を提案し、途絶がアクセシビリティに大きく影響するリンクを抽出している。また、筆者らは、ノード間の非重複経路数を元に算定される接続脆弱性指標を定義し、これを用いた重要リンク探索方法を提案している。しかし、接続脆弱性はあくまで連結性という事象を評価した指標であり、道路区間の機能低下による機会の損失を量的に評価できているわけではない。また、金銭的価値への換算に関しては議論が十分でなく、最悪ケースを想定するため過剰投資の危険性も懸念される。接続脆弱性の考え方を、地域全体の耐災性評価につながるような概念に拡張すること、そしてその経済的価値を検討するための考え方を整理することにより、ロバスト道路ネットワークデザイン手法を確立することが本研究の第1の目標である。

### (2) 実道路ネットワークでの適用を通じた実用性検証と期待便益アプローチとの差異の整理

ロバスト道路ネットワークデザイン手法を岐阜県の道路ネットワークで適用することで提案した手法の実用性を検証するとともに、期待便益アプローチとの際を検証した。

## 4. 研究成果

### 4.1 災害時の便益評価の考え方

『公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針 (共通編)』によれば、防災事業の便益評価には、「期待被害額の軽減」の他に「心理的不安感の軽減」も評価すべきとされており、本研究もそれに準じて検討を進めた。道路網における期待被害額の軽減効果は、道路利用者に帰着する経済損失の軽減効果と考えられる。すなわち、長大な迂回・深刻な渋滞による「時間損失」と、トリップ中止による「機会損失 (機会費用)」である。現行の道路整備評価では、走行時間短縮効果は、短縮した総走行時間 (台分) に、自動車1台あたりの時間価値の原単位 (円/分) を乗じることで貨幣換算している。災害時における道路利用者の被害額は、平常時に比べ遅延した総走行時間 (台分) に時間価値を乗じることで算出できる。心理的不安感の軽減について、道路網整備について防災投資の観点から考えたとき、整備によって災害時の影響に対する不安感の減少効果は発生する。たとえば、新規道路整備によって集落の孤立が解消されるならば、孤立への不安感は減少するだろう。そのため、地域住民に帰着する経路確保の便益を心理的不安感の軽減便益とする。

本節で述べた便益項目（心理的不安の軽減・交通損失の軽減）は、上田らが示した道路整備の便益帰着構成表と整合する。本研究で取り上げる心理不安の軽減便益は、代替経路確保の便益と解釈でき、この便益項目は従来評価において算出されていないため、時間損失など従来型の損失計算値と合算が可能であることが確認できた。さらに、便益帰着構成表によれば、代替経路確保の便益は地域住民に帰着するが、道路利用者には、代替経路確保の便益は帰着しない。これは、走行時間など道路利用とは別の側面から評価がなされる項目であるためと解釈できる。これらの議論を踏まえ、期待被害額の軽減便益として、道路利用者の経済損失、すなわち迂回・渋滞による時間損失および、目的地へ到達できなかった機会損失の軽減を評価する。また、心理的不安の軽減便益として、経路途絶に対する地域住民の不安感の軽減を評価することが可能である。

#### 4.2 経済損失軽減便益

##### (1) 道路利用者

道路利用者の損失は時間損失とトリップ取りやめによる機会損失の2つを考慮する。時間損失は、利用者均衡配分を行うことで、迂回と交通渋滞の影響を考慮できる。利用者均衡配分によって得られたリンク所要時間とリンク交通量を用いることでネットワーク全体の総走行時間が得られ、災害発生による増加を持って評価可能である。機会損失は、長大な所要時間であるためトリップを取りやめることを考慮することで、経路の途絶とトリップの中止を取り扱う。

交通損失の軽減便益は、整備前後での災害発生時の時間損失及びトリップ取りやめ損失の軽減量を持って評価する。

##### (2) 地域住民

地域住民に帰着する経路確保便益は、経路確保の水準に対する効用を計測することで評価する。すなわち、ある個人の効用関数に代替経路確保の水準に対する選好を定義し、被災状態  $i$  における経路確保の水準  $n$  の低下を効用の低下と表現することで計測する。式(1)の効用関数では、財消費量  $x$  による効用  $f(x)$  と経路確保の水準  $H$  により効用が計算でき、水準  $H$  の低下により効用低下を表現できる。また、代替経路確保の水準  $n$  は、先行研究で提案された指標「非重複経路数」を用いる。

$$U_{iw} = f(x) \times H_{iw} \quad (1)$$

ここで、 $x_k$ : 財  $k$  の消費量、 $H$ : 被災状態  $i$ ・整備  $w$  における経路確保の水準、 $f(x)$ : 効用関数。

#### 4.3 災害時道路網機能の便益評価手法

##### (1) 交通損失軽減による便益

需要変動型の利用者均衡配分を適用することで、機会費用を考慮した総走行時間を算出

し、道路利用者の時間損失と機会損失を求める。総走行時間の計算方法は、長江らを参考にした。配分計算には Frank-Wolfe 法を用いる。

##### (2) 代替経路確保の便益

災害時に経路が確保される便益は、防災投資の便益評価を参考にし、便益定義の1つ、等価的偏差  $EV$  (受取補償額) を用いて算出する。 $EV$  はプロジェクトをあきらめるために必要な最小の補償額であり、式(2)の等号を満たす  $EV$ 、すなわち整備なしの期待効用と整備ありの期待効用とがつり合う補償額と定義される。式(2)の間接効用関数  $V(\cdot)$  は所得  $\Omega$  と財価格  $m$  と環境  $H$  (生活環境を表現する状態変数) の場合に得られる最大効用を意味する。

$$\sum_i P_i V(H_{io}, m_{io}, \Omega_{io} + EV) = \sum_i P_{iw} V(H_{iw}, m_{iw}, \Omega_{iw}) \quad (2)$$

ここで、 $o$ : 整備なしの場合(without)、 $w$ : 整備ありの場合(with)を示す記号。 $P_i$ : 災害  $i$  の発生確率、 $V(\cdot)$ : 間接効用関数、 $H$ : 環境水準、 $m$ : 財・サービスの価格、 $\Omega$ : 所得、 $EV$ : 全災害シナリオに対し一つ定まる補償額。

等価的偏差  $EV$  を用いることは、道路整備を実施した場合と等価な補償額は、道路整備の価値を表すと仮定していることになる。環境水準  $H$  の低下による効用低下を心理的不安の増加と解釈したとき、 $EV$  は心理不安の軽減便益を表す。本研究では、環境水準  $H$  に含まれる様々な要因のうち「代替経路確保の水準」に着目する。環境水準  $H$  は、災害時の拠点となりえる場所までの代替経路確保の水準、非重複経路数  $n$  の関数とする。

$$H_{iw} = f(n_{iw}) \quad (3)$$

ここで、 $i$ : 被災状態を表す添え字で  $i=0$  のとき平常時を表す。 $w$ : 整備案を識別する記号で  $w=0$  のとき整備なしを表す。 $f(\cdot)$ : 代替経路に対する評価関数、 $H$ : 環境水準。

式(3)を計算するため、地域の代表的個人の消費行動に、一般的な効用関数(式(4))を仮定する。交通サービス(財1)と合成財(交通サービス以外の財・サービスをまとめた財2)の2つを考える。所得のうち割合  $\phi$  だけ交通サービスを利用する。 $\gamma$  は、環境  $H$  による不安感が、効用に与える影響の大きさを意味するパラメータである。

$$U = x_1^\phi x_2^{(1-\phi)} H^\gamma \quad (4)$$

ここで、 $x_1$ : 交通サービスの消費量、 $x_2$ : 合成財の消費量、 $\phi$ : 交通サービスの消費割合、 $\gamma$ : 環境水準に対する重み。 $m_1$ : 交通サービスの価格、 $m_2$ : 合成財の価格。式(4)の対数をとって、予算制約付き効用最大化問題として式(5)を定式化し、ラグランジュ未定乗数法により、式(6)の需要関数が求められる。

$$\begin{aligned} \max V &= \ln U \\ &= \phi \ln x_1 + (1-\phi) \ln x_2 + \gamma \ln H \end{aligned} \quad (5)$$

$$s.t. \quad m_1 x_1 + m_2 x_2 = \Omega$$

$$x_1 = (\phi/m_1)\Omega, x_2 = \{(1-\phi)/m_2\}\Omega \quad (6)$$

式(6)を式(5)に代入し次式を得る。

$$V = \ln \Omega + \gamma \ln H + C \quad (7)$$

ただし、交通サービス価格 $m$ と消費割合 $\phi$ は、道路利用者の便益との二重計測を避けるため、災害前後・整備有無によらず一定と仮定し、定数項 $C$ にまとめている。この仮定は、代替経路確保の効果のみに着目し、他の値を固定していると解釈する。式(7)を式(2)に代入し $EV$ について解くと、次式を得る。

$$EV = \left[ \left\{ \prod_i \left( \frac{H_{iw}}{H_{io}} \right)^{P_i} \right\}^\gamma - 1 \right] \Omega \quad (8)$$

これにより、環境水準 $H$ と状態 $i$ の生起確率 $P_i$ と所得 $\Omega$ で表される便益評価式を導出できた。式(8)は、整備による地域住民1人あたりの受取補償額であり、心理不安の軽減分を意味する。所得 $\Omega$ により金銭単位に変換されている。 $EV$ は所得 $\Omega$ に比例して大きくなる。これは所得が大きいほど式(2)の期待効用は高い水準にあるため、式(2)の等式を満たすために多くの補償額が必要であることを意味する。

代替経路確保の状況は地域ごとに異なるため、それぞれの地域について式(8)を適用する。各地域の世帯数と世帯あたりの受取補償額との積和により、代替経路確保の便益が算出できる。

$$B_{resident} = \sum_r (G_r \times EV_r) \quad (9)$$

ここで、 $B_{resident}$ ：地域住民の代替経路確保の便益、 $G_r$ ：地域 $r$ の世帯数、 $EV_r$ ：地域 $r$ の1世帯の受取補償額(円)。ここで、式(9)を計算するため、経路確保の水準 $H$ について、式(8)の関数を定義する。最寄りの拠点への非重複経路数 $n$ の対数をとって評価逓減を表現し、途絶日数 $k$ で重みづけしている。

$$H_{iw} = \kappa_i \ln(n_{iw} + 1) + 1 \quad (1)$$

ここで、 $n$ ：拠点までの非重複経路数、 $\kappa$ ：途絶日数。

### (3) 最尤被災パターン法の適用

災害を考慮した適用計算を行う場合、まずはあるレベルの災害が発生する確率を考慮するとともに、その災害が発生した際の各構造物の被災確率を考慮し、最終的な被災パターンを考えるのが一般的である。しかしながら、このような方法をとれば、1つの災害シナリオについて多くの計算を実行する必要があり、多大な計算時間を要する。本研究では、長江ら<sup>9)</sup>が提案した最尤被災パターン法の考え方に基づき、ある災害シナリオ $i$ の発生により、最も発生する確率の高いリンク途絶パターンが生じると仮定する。すなわち、1つの災害シナリオについて、1つの途絶シナリオを考えることで膨大な被災パターンを省略し、災害時の影響を近似する。

## 4.4 ケーススタディ

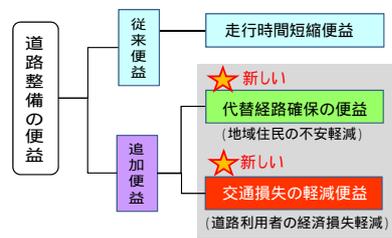
### (1) 計算条件

構築した評価手法を岐阜県飛騨圏域に適用する。岐阜県飛騨圏域は岐阜県北部に位置する中山間地域であり、斜面の落石崩壊や集中豪雨発生時の土砂災害の危険性の高い場所が数多く存在する。降雨時に落石や法面崩壊などの恐れがある区間について通行規制区間が定められている。ケーススタディにおいて、豪雨災害を想定し、過去21年間の豪雨履歴により豪雨発生エリアおよび豪雨発生確率を設定する。岐阜県の雨量規制箇所には、時間30mm以上や2時間60mm以上といった基準が設けられているが、簡単のため、豪雨の定義を時間降水量50mm以上とし、豪雨が発生した場合は、1日の通行止めが行われるとする。

過去21年で発生した豪雨(時間降水量50mm以上の降雨)を15種類に分類し豪雨シナリオを作成した。計算ネットワークは2005年の道路交通センサスに基づいており、2030年の将来ネットワークより2012年1月現在に供用しているリンクを追加している。経路確保の便益を算出するために必要な「非重複経路数」は、数値計算ソフトウェアのMATLABを用いる。リンク数27,076、ノード数9,474のネットワークで非重複経路数の最大化問題を解く。交通損失の軽減便益を算出するために必要な「リンク所要時間」と「リンク交通量」は、交通需要予測パッケージJICA STRADAを用いる。リンク数17,345、ノード数11,443のネットワークで交通量配分を行う。

代替経路確保の便益は、評価対象地区について、自都市の拠点(市役所)までの非重複経路数を用いて、心理的不安の軽減分を計算する。世帯あたり所得は、総務省の全国消費実態調査から、世帯数は、国勢調査から設定する。交通損失軽減便益は、広範囲に及ぶと考えられるため、飛騨圏域だけでなく岐阜県全体の道路利用者を対象とする。収束判定の基準は、リンク交通量の誤差を5%とする。

図1は、本ケーススタディで計算する便益評価の全体像を示している。従来の走行時間短縮便益に加えて、新しい便益として、代替経路確保の便益と交通損失の軽減便益を算出し、数値計算例を示す。



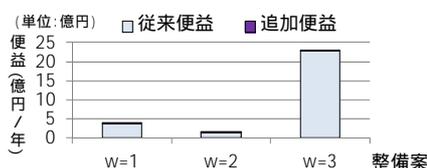
本来、従来便益には、走行経費減少と交通事故軽減が含まれるが、簡単のため、本研究では省略した。

図1 評価の全体像

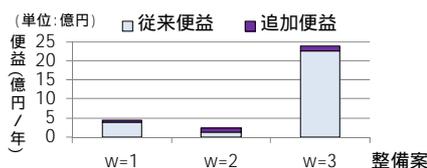
### (2) 評価結果

図2は異なる $\gamma$ に対する従来便益、追加便益の値を、図3は追加便益の内訳を示している。今回は、 $\gamma=1, 10$ について計算を行ったが、 $\gamma$ が1の場合は、追加便益の大きさは、従来便益に比べ小さく、 $\gamma$ の値を大きくすると従来評

価と同程度の便益となることが確認できた。また、追加便益について、経路確保便益が支配的であることが確認できた。



(a)  $\gamma=1$



(b)  $\gamma=10$

図2 便益評価結果



(a)  $\gamma=1$



(b)  $\gamma=10$

図3 追加便益の内訳

#### 4.5 経路確保便益パラメータの推定

4.4では、経路確保便益に対するパラメータ $\gamma$ を1, 10と指定して計算を行った。ここではこの値を同定するために、アンケート調査を実施した。本研究では住民が孤立に対して不安感を抱く原因となる災害の発生頻度や災害が発生した際に使用できる道路の本数といった要因を評価したい。そのため、複数の評価が可能なコンジョイント分析を採用する。なお、アンケート調査にあたり、受け取り補償額を質問すると過大評価となる可能性が指摘されており、ここでは支払意思額を質問している。また、これにより式(8)も若干変更されているが、紙面の都合上ここでは省略する。

アンケート調査の概要を表1に示す。対象者は、岐阜県、新潟県、長野県に居住する20歳以上の方である。Webアンケート調査方式を採用し、予備調査で回答者が災害時に孤立危険性のある地域に居住するかどうかを聞くことで、孤立予想集落に居住する住民を重点的に抽出した。そのうえで、孤立予想集落に居住している人と、それ以外の地域の人とでサンプルの割り付け回収を行い、孤立予想集落に居住する人のサンプル数を全体の6割を確保した。

本調査は、災害発生時に失われる道路の接

続性と道路整備にかかる負担金を示し、その道路整備の政策が賛成か反対かを聞くことで集落の孤立に対する心理的不安の定量化を行うことを目的とする。本調査におけるシナリオは、評価モデルの中から $\gamma$ の推定に必要なものを抽出し、表2のように設定した。災害発生確率、途絶日数、整備を行わない場合の災害発生時の残存経路数を2水準、負担金を8水準とし、実験計画法L16の直交表に当てはめて16パターンの質問項目を作成した。

表1 アンケート概要

対象地域	岐阜県, 新潟県, 長野県	
調査方法	Webアンケート調査	
実施期間	2013年12月19日 ~ 12月20日	
有効サンプル	孤立予想集落	516サンプル
	それ以外の地域	310サンプル
	合計	826サンプル

表2 属性と水準

属性	災害発生頻度	途絶日数	整備なしの経路数	金額	
水準	5年に一度	1日	0本(孤立)	500円	1000円
	100年に一度	1週間	1本	5000円	1万円
				3万円	5万円
				10万円	15万円

表3は、孤立予想集落に居住しているかどうかによって年間所得に関するパラメータを個別に設定しモデルを推定した結果である。まず、パネルデータに起因する系列相関を考慮するために導入した分散が有意であることより、パネルデータバイアスの考慮が必要であることが確認された。また、全てのパラメータが統計学的に有意となっている。さらに、 $\beta_1=\beta_2$ の帰無仮説によるパラメータ推定値の差の検定も併せて行ったところ、 $t$ 検定量が-3.07となり、有意水準5%で統計的に有意となった。これより、 $\gamma$ の値については、孤立予想集落の $\gamma$ の値はそれ以外の地域の $\gamma$ の値のおよそ3倍の値になることという結果となった。以上のことから、孤立予想集落の住民にとっては、その他の地域より約3倍大きく $\gamma$ を評価しているといえる。なお、この調査で得られた $\gamma$ の値は0.02, 0.007と非常に小さかった。推定方法について今後さらに検討を加える必要があるといえる。

表3 居住地域別の推定結果

説明変数	係数
尤度比	0.122
$\alpha$ (環境水準)	3.57 **
$\beta_1$ (年間所得: 孤立集落)	168 **
$\beta_2$ (年間所得: その他の地域)	483 **
分散	1.37 **
$\beta_1-\beta_2$ の差	0.0416 **
$\gamma_1$ (孤立集落)	0.02125
$\gamma_2$ (その他の地域)	0.00739

#### 4.6 成果と課題

本研究では、脆弱性概念を活用したロバス

トネットワークデザイン手法の開発を行った。まずは、災害時の経路確保便益および時間短縮便益を新たに追加すべき便益項目と見据え、それらの計量方法について検討を加えた。また、岐阜県飛騨地域のネットワークを用い、それらの便益が平常時の便益と比較してどの程度の大きさを持つのかをケーススタディを通じて明らかとした。さらには、経路確保便益評価に必要なパラメータ $\gamma$ について、Webアンケート調査を用いて道程を試みた。その結果、孤立の不安を解消できる経路確保便益を考慮した新たな道路整備便益評価手法を開発することができたと考える。今後の課題としては、 $\gamma$ の推定方法の再検討があげられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計12件)

1. 小野剛史, 倉内文孝, 高木朗義, 原田剛志, 道路ネットワーク評価のための孤立危険性軽減便益の定量化に関する研究, 土木計画学研究・講演集, 49, 2014 (査読なし)
2. 原田剛志, 倉内文孝, 高木朗義, リダンダンシーを考慮したアクセシビリティに基づく道路ネットワークの接続脆弱性評価, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 70, 76-87, 2014 (査読あり)
3. 倉内文孝, 井上祐花, 残存ネットワーク容量を考慮した緊急輸送道路デザインモデルの構築, 土木計画学研究・講演集, Vol. 47, 2013 (査読なし)
4. 定金乾一郎, 古市英二, 倉内文孝, 渡邊泰伴, 奈良県道路網の防災性能評価 ~ 接続脆弱性分析手法の実務的展開 ~, 土木計画学研究・講演集, Vol. 48, 2013 (査読なし)
5. 倉内文孝, 高木朗義, 原田剛志, 接続性確保を目的とした道路ネットワーク防災機能の便益評価, 交通工学, 48(2), 72-78, 2013 (査読なし)
6. Kondo and Kitaura, International Linkage of Inflation Rates in a Dynamic General Equilibrium, Journal of Economics, Vol. 107(2), pp. 141-155, 2012 (査読あり)
7. 山崎浩気, 嶋本寛, 宇野伸宏, 倉内文孝, 交通ネットワーク信頼性研究の展望, 土木計画学研究・講演集, 43, 2011 (査読なし)
8. 原田剛志, 倉内文孝, 高木朗義, 接続性確保に着目した道路ネットワーク防災機能の便益評価, 土木計画学研究・講演集, 47, 2012 (査読なし)
9. Luathep, Sumalee, Ho and Kurauchi, Large-scale road network vulnerability analysis: a sensitivity analysis based approach, Transportation, Vol. 38, pp. 799-817, 2011, 10.1007/s11116-011-9350-0 (査読あり)
10. 杉浦聡志, 金森吉信, 高木朗義, 倉内文孝, 森本博昭, リスク評価に基づいた道路施設の総合維持管理手法の開発, 土木学会論文集 F4

(建設マネジメント), Vol. 67(4), pp. I\_103-I\_112, 2011 (査読あり)

11. Kurauchi and Harada, Network Evaluation Based on Connectivity Vulnerability Considering Potential Accessibility, Proceedings of the 16th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, pp. 689-696, 2011 (査読あり)
12. Shiomi, Seto and Uno, Model for Location of Medical Facility and Evaluation of Vulnerability and Accessibility of Road Network, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2334, pp. 41-48, 2011, 10.3141/2234-05 (査読あり)

〔学会発表〕計(4)件

1. 小野剛史, 倉内文孝, 高木朗義, 原田剛志, 孤立危険性軽減便益の定量化に関する研究, 土木学会中部支部平成25年度研究発表会, 岐阜大学, 2014/3/7
2. 北浦康嗣, Public infrastructure, regional spillovers and economic growth, 帝塚山経済学ワークショップ, 帝塚山大学, 2013/12/4
3. 倉内文孝, 原田剛志, 道路ネットワークの脆弱性区間判定方法の開発, 第15回岐阜県建設コンサルタンツ協会技術発表会, 大垣市, 2013/7/8
4. 倉内文孝, ポテンシャルアクセシビリティを考慮した接続脆弱性概念に基づく道路ネットワーク評価, 第6回防災計画研究発表会, 京都大学防災研究所, 2011/9/22

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

倉内 文孝 (KURAUCHI, Fumitaka)  
岐阜大学・工学部・教授  
研究者番号: 10263104

(2)研究分担者

高木 朗義 (TAKAGI, Akiyoshi)  
岐阜大学・工学部・教授  
研究者番号: 30322134

宇野 伸宏 (UNO, Nobuhiro)  
京都大学・経営管理研究部・准教授  
研究者番号: 80232883

北浦 康嗣 (KITAURA, Koji)  
法政大学・社会学部・准教授  
研究者番号: 90565300