

# 非重複経路を用いた道路網の冗長性比較分析

Comparative analyses of road network redundancy based on connectivity vulnerability

野見山 祥吾\*

Shogo NOMIYAMA

\*交通マネジメント講座 交通情報工学分野

## 1. はじめに

日々の生活において多くの人や物が道路を利用しており、道路交通はもはや我々にとって必要不可欠なものである。我が国では需要追従型の道路整備が進められてきたが、必ずしもネットワーク性能の改善がなされているとは限らない。ネットワーク性能には、例えば冗長性がある。冗長性とは、システムを構成する要素・部品に予備や回避手段を付加することで、その一部に故障などがあっても全体としては停止することなく所定の要求機能を果たし続ける性質のことである。本研究では、道路網の冗長性に着目し、非重複経路半数、リンク重要度を用いて、我が国の過去と現在、我が国と欧州3カ国とで比較分析を行った。

## 2. 比較分析について

本研究では、比較分析によって我が国の道路網を冗長性の観点から評価する。具体的には、まずは国内比較として、我が国の平成18年と平成24年の道路網で、比較分析を行う。その目的は、我が国の道路整備が道路網の冗長性に反映されているかどうかを確認することにある。なお、平成18年以降に整備された道路として、新東名高速道路、新名神高速道路、圏央道などがあげられる。次に、国際比較分析として、我が国と、ドイツ、フランス、イギリスとの比較分析を、国全体の道路網で行う。その目的は、整備方針や、整備水準が異なる他国との比較によって、冗長性の面から我が国全体の傾向をとらえることにある。なお、道路網の国際比較においては、これまで主に単位あたり道路延長による議論に留まっており、詳細なネットワークデータを用いたネットワーク性能の比較分析は行われていない。

## 3. 評価指標

本研究では、「道路網内の各ODペア間にリンク重複のない経路がN本存在する時、N-1本のリンク途絶時にも全てのODペア間は連結している」という情報通信分野のN-edge-connected networkを道路に援用した非重複経路本数 $n_{rs}$ <sup>1)</sup>によって冗長性を評価する。非重複経路本数 $n_{rs}$ は以下の式(1)によって算出する。 $\alpha$ はサービスレベルの上限を設定する定数であり、これを用いて、「全非重複経路の平均所要時間が最短経路所要時間の $\alpha$ 倍以内」となるように非重複経路数を算出する。

また、本研究では道路網を構成する個々のリンクに対し、新たにリンク重要度 $G_a$ を式(2)のように定義する。リンク重要度は、「そのリンクがより多くのODペアの非重複経路を構成しているほど重要なリンク」かつ「そのリンクが非重複経路を構成しているODペアの非重複経路本数がより少ないほど重要なリンク」であると解釈することができる。したがって、重要度が高いリンクの機能低下及び機能不全は道路網全体の機能低下及び機能不全に繋がりがやすいと考えられる。

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } n_{rs} \\
 & \text{subject to} \\
 & \sum_a c_a X_a^* \leq \alpha c_{rs}^* n_{rs} \\
 & X_a^* = \arg \min_x \sum_a c_a x_a \\
 & \text{subject to} \\
 & \sum_{a \in \text{out}(r)} x_a = n_{rs} \\
 & \sum_{a \in \text{in}(s)} x_a = n_{rs} \\
 & \sum_{a \in \text{in}(i)} x_a - \sum_{a \in \text{out}(i)} x_a = 0 \quad i \in V, i \neq r, s \\
 & \begin{cases} x_a = 0 & \text{if } a \notin E_{rs}, a \in \text{in}(r), a \in \text{out}(s) \\ x_a = 1 & \text{if } a \in E_{rs} \end{cases} \\
 & G_a = \sum_r \sum_s \frac{x_a}{n_{rs}} \tag{2}
 \end{aligned}$$

## 4. 比較対象

高速道路を「主に都市間の長距離高速交通を担う道路でアクセスコントロールされた道路」、一般国道を「都市間の交通を担う道路」と機能分類し、この2種類の道路について非重複経路の算出を行う。ドイツ、フランス、イギリスについても、定義した機能分類に該当する道路を用いて非重複経路の算出を行う。

また、ネットワーク上で主要な拠点として各国ともに人口上位から10都市を発着地として設定し、全45のODペア間の非重複経路をもって国全体のネットワ

ークの評価とする。以上の設定基準による定まった我が国の分析対象道路網と分析対象都市を図1に示す。ただし、本州との複数個所での接続がない北海道、九州のネットワークは非対象としている。

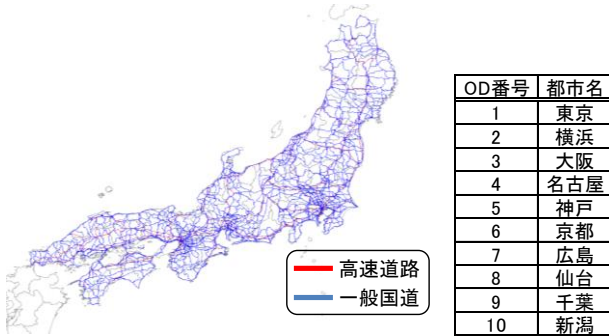


図1 我が国の分析対象道路網と都市

5. 比較分析

国際比較分析では、ODペアをその間の直線距離によって4つの距離帯に分類し平均非重複経路数の比較分析を行う。図2に300km-500kmの距離帯の算出結果、図3に500km以上の距離帯の算出結果を示す。図2と図3よりいずれの距離帯でも、我が国は所要時間を制限しない $\alpha = \infty$ の時にはドイツに次いで平均非重複経路数が多いが、所要時間の制限によって大きく下がり、 $\alpha$ の変化によって4カ国中で最も平均非重複経路数が少なくなる場合がある。したがって、我が国は道路形状のみで考慮するとフランス、イギリスよりも冗長性が高いが、最短経路に比べてサービスレベルの低い経路が多く、実用可能な道路で考慮した場合には冗長性が最も低くなる恐れがあるということが考えられる。

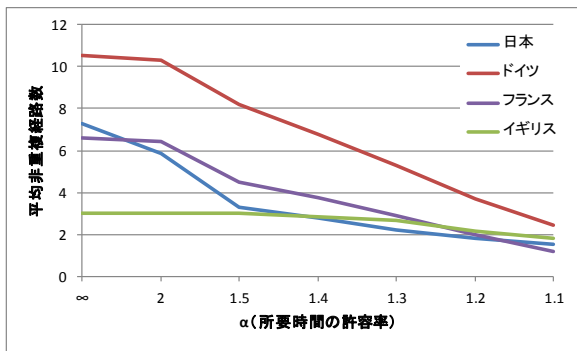


図2 300km-500kmのODペアの平均非重複経路

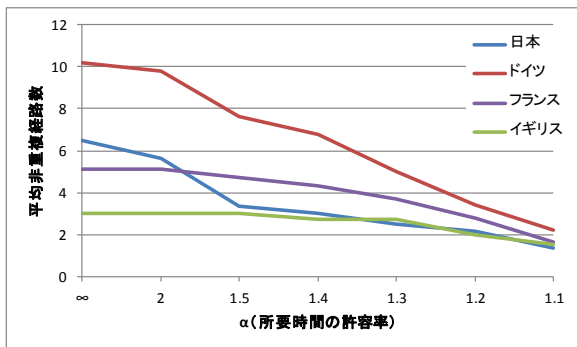


図3 500km以上のODペアの平均非重複経路

次に、図4に $\alpha = 2$ の時、図5に $\alpha = 1$ の時の、リンク重要度に該当するリンクの割合を累積分布で示す。図4より、ドイツ、フランスのグラフは我が国よりも常に左側に位置し、我が国はこの2カ国よりもリンク重要度が高いリンクの割合が高いということが分かる。また、図5では、我が国のグラフは常に最も右側に位置する。 $\alpha = 1$ の時、最短経路のみが考慮されているので、我が国の道路網において主要10都市間の最短経路に同じリンクが使用されている割合が高いと考えられる。以上より、我が国はドイツ、フランス、イギリスに比べて、あるリンクに機能低下及び機能不全が発生した場合、それがより多くのODペアの交通に影響を与える可能性が最も高いと考えられる。

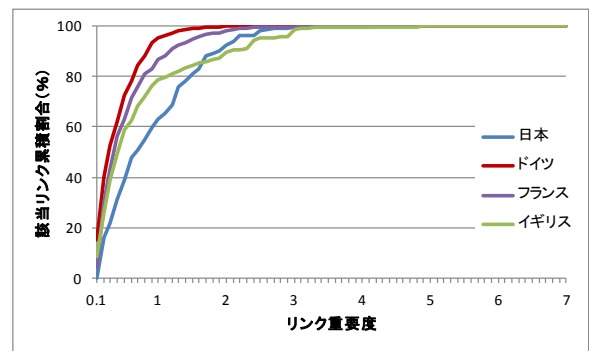


図4 リンク重要度別累積分布 ( $\alpha = 2$ )

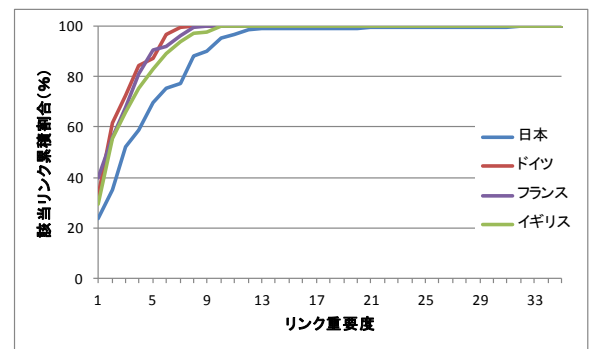


図5 リンク重要度別累積分布 ( $\alpha = 1$ )

6. おわりに

本研究では、非重複経路を用いて国内比較、国際比較を行い、我が国の道路網の冗長性を評価した。今後は、非重複経路構成リンクや重要度の高いリンクの空間的分析を行うことが求められている。

参考文献

1) 瀬戸裕美子, 倉内文孝, 宇野伸宏: 脆弱性の概念を用いた道路網接続性評価に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.37, CD-ROM, 2007

修士論文指導教員

宇野伸宏准教授, 中村俊之助教, 山崎浩気助教