

# 速達性と脆弱性のバランスを考慮した高速交通ネットワークの成長過程

安達修平・鈴木勉

## Growth process of high-speed transportation network in consideration of the balance between accessibility and vulnerability

Shuhei ADACHI and Tsutomu SUZUKI

**Abstract:** When evaluating a high-speed transportation network in national land level, there is a need to be evaluated from the point of view of redundancy as well as accessibility, against risks such as interruption due to disasters or bad weather. We introduce the indices representing the network accessibility and vulnerability calculated from an additional time required by interruption of the network linkage. By using indices above, we reveal that a variety of balance between accessibility and vulnerability is produced by the difference in the network of the growth process.

**Keywords:** 高速交通網(high-speed transportation network), 地域バランス(regional balance)

### 1. はじめに

国土レベルで高速交通網を評価するとき、アクセシビリティだけでなく、災害や天候不良による不通などのリスクに対するリダンダントなネットワーク形成の観点からも評価する必要があるが、その定量化方法や評価指標については必ずしも定まっていない。

オーストラリアの道路網のリダンダンシー評価を行った Taylor (2006)は、ノードの脆弱性をリンクの被災によるアクセシビリティの減少幅によって定義している。同様に、原田ら(2013)においてもアクセシビリティの変化から岩手県を対象にネットワークの脆弱性を評価しているが、災害時のリンク途絶を反映するために、代替経路の選定の際に連結信頼度に着目している。

このようにネットワークのリダンダンシー評価は、最短経路使用時とリンク途絶に伴う代替経

路使用時の所要時間の差によるものが多く、特に防災や医療の点から数多くの地域を対象に研究がなされてきた。

また、仮想ネットワークのリダンダンシー評価研究も多く行われており、近藤(2010)は格子状にリンクが配置された基本ネットワーク、中心のノードから放射状のリンクが整備された放射ネットワーク、環状のリンクが整備された環状ネットワークを構築し、各ネットワークの災害強度を示している。しかし、これらのリダンダンシー評価は、ネットワークの一時点の評価にとどまっている。ネットワークは形を変えながら完成形に近づくものである。そこで複数時点におけるネットワークの変遷とリダンダンシーの変化も着目する必要がある。渡辺ら(2007)は仮想都市空間上で2点間の平均所要時間を最小にする高速交通路のリンクを逐次的に敷設した場合のネットワーク形態の変遷を調べているが、ここではリダンダンシーは考慮されていない。

そこで本稿では、仮想都市空間を対象に、ネットワークの速達性を表す2点間の平均所要時間とともに、事故時や災害時にネットワークが部分的

安達修平 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

総合研究棟 B 722 号室

筑波大学大学院システム情報工学研究科

Phone: 029-853-5600(8203)

E-mail: s1520568@u.tsukuba.ac.jp

に不通になった場合の距離や所要時間の増大からネットワークの脆弱性を表す指標を算出する。これによりリダンダントな旅客・物流ネットワークの基本構成解明への応用によって、国土レベルの交通網形成の評価への展開可能性を示すことを目的とする。

## 2. 手法の概略

### 2.1 格子状道路の構築

本研究では5×5の格子状ネットワーク（リンク総数 40，ノード総数 25）を用い、高速ネットワークを1区間ずつ敷設したときのネットワーク全体の速達性および脆弱性の変遷を計測する（図1）。

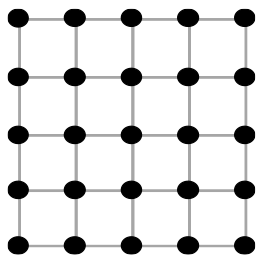


図1. 5×5の格子状道路

まず、ノード間の移動コストはすべてのリンクで10と仮定する。その後、高速ネットワークを敷設し、敷設が行われたリンクの移動コストは1となるよう設定する。これは平成22年度交通センサスにおける一般道の昼間12時間平均速度の約20km/hと東海道新幹線の東京～大阪間の平均速度の約200km/hと概ね対応している。

### 2.2 高速ネットワーク成長のルール

ノード間の移動は縦横方向のみ行われるものとし、高速交通網もノード間を縦横につなぐものとする。その後、高速ネットワークを延伸する形で成長させていく。このときノード上での分岐は許容する。

移動は全25点間に発生するものとし、2点間の移動は必ず最小時間経路を用いるものとする。

### 2.3 リンクの遮断

ネットワークの災害や事故におけるリスクに

対するリダンダンシーを評価するため、仮想空間に敷設した高速ネットワークのうち1区間が等確率で選ばれ、遮断されるとする。小規模のインシデントを想定しており、複数のリンクの同時遮断および一般道の遮断は発生しないとする。

## 3. 評価指標の決定

構築した格子状ネットワークの速達性とリダンダンシーを評価するため、以下の2つの指標を作成する。

### 3.1 速達性の評価指標

既存研究の多くでネットワークの速達性指標として平均所要時間を用いており、本研究でも平均所要時間を用いてネットワークの速達性を表すこととする。

ここで*i*を起点ノード、*j*を終点ノードと定義すると、ネットワーク全体の平均所要時間 $T_{ave}$ は以下の式で表される。

$$T_{ave} = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}}{N}$$

$t_{ij}$ : ノード*i*からノード*j*への所要時間

$N$ : リンクの総数

この値が低ければ低いほど速達性が高いことを示す。

### 3.2 リダンダンシーの評価指標

リダンダンシー（冗長性）や脆弱性を明確に定義したものは少ないが、Kurauchi(2007)はリンク途絶によるネットワークの容量の減少が大きなものを重要なリンクとする容量脆弱性を、原田ら(2013)はリンクの途絶の有無による到達の可否を示す接続脆弱性を提案している。また、Taylor(2006)はリンク途絶による迂回のため余分にかかる所要時間の大きさそのものをリンクの脆弱性としている。

本研究では、OD交通量は一定であり、交通容量の変化は考慮しない。また、高速交通網のリンクは途絶する可能性がある一方、一般道のリンクの途絶は発生しないとしているので、ある地点に

において到達が不可能となることはない。これらより高速交通網のリンク途絶による所要時間の变化に着目した Taylor(2006)による脆弱性を用いる。2.3 で示した手法で高速交通網のリンクを遮断させ、これによる迂回時間を算出する。この値は0に近ければ近いほど脆弱性が低い、すなわちリダンダンシーが高いと評価される。

#### 4. ネットワークの形成過程の考察

##### 4.1 放射路優先敷設と環状路優先敷設の比較

高速交通網が全く敷設されていない時点をも  $l=0$  と表し、その後、 $l=1,2,\dots$ と時間が経過するたびにリンクを1区間ずつ敷設する。

$l=0$  のとき、ネットワーク全体の速達性は32.0である。 $l=4$  のとき、ネットワークのパターンは例えば以下の4つが考えら、それぞれの速達性・脆弱性を合わせて表記する (図2)。

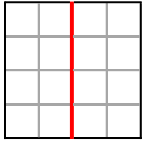
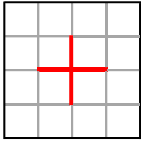
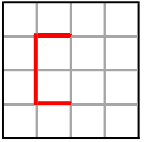
	A	B	C
			
速達性	21.63	24.40	22.68
脆弱性	2.82	0.86	2.48

図2.  $l=4$  のときのネットワーク

この3つのネットワークのうち最も速達性が高く評価されるものはネットワークAであり、脆弱性が低く (リダンダンシーが高く) 評価されるものはネットワークBである。以上の手順でネットワークを延伸させていき、 $l=16$  のときのネットワークの形成過程における2つの指標の推移をみる (図3)。

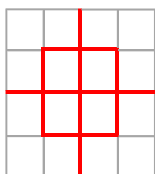


図3.  $l=16$  におけるネットワーク

このネットワークは放射路線と環状路線の2つの

路線から構成されており、 $l=16$  において図3の状態となるには複数の形成過程が存在する。

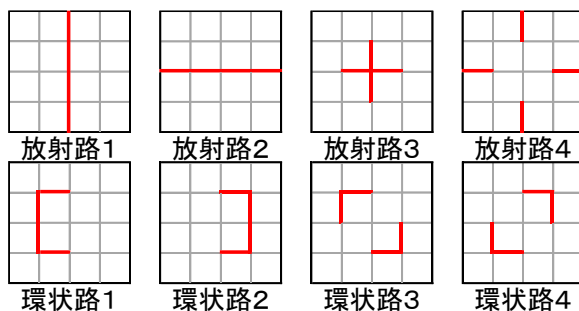


図4. 放射路線と環状路線

図4で示した各4路線・計8路線の放射路・環状路を基準としてこれらの組み合わせにより、形成される順番の違いによる速達性および脆弱性の推移を示す (図5)。ネットワークが整備されるにつれ脆弱性、速達性ともに減少方向に向かう。

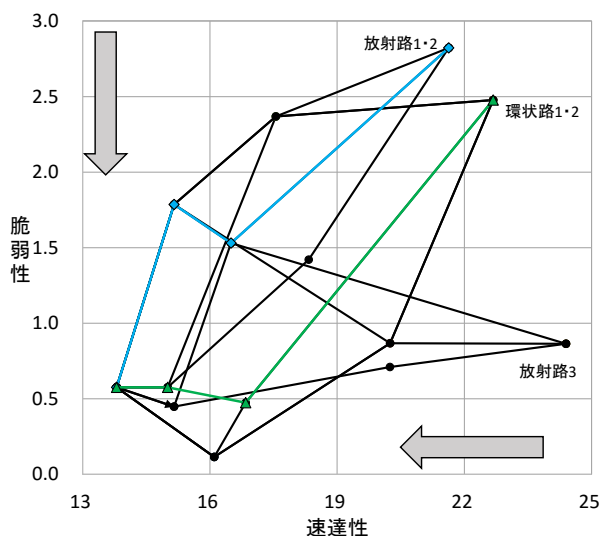


図5. 速達性と脆弱性の推移 (高速移動コスト1)

青色の線で示したグラフは放射路線を優先して敷設した場合 (図4の放射路線1→放射路線2→環状路1→環状路2) を示し、緑色の線で示したグラフは環状路線を優先して敷設した場合 (図4の環状路1→環状路2→放射路線1→放射路線2) を示している。

経過の比較を行うと、放射路線優先型では早い段階から速達性の向上効果が大きくみとれる

一方で、環状路線優先型では速達性の向上よりも脆弱性の押し下げ効果が強く表れる。このように最終形態が同一であっても、敷設する路線の順番の違いにより経過段階では速達性と脆弱性が大きく変わることが分かる。

#### 4.2 高速交通網の速度の違いによる比較

4.1 では高速交通網と一般道の移動コストを1:10とした。ここでこのコスト比を5:10に変更し、高速交通網の速度の違いによるネットワークの成長過程における速達性・脆弱性の推移の違いをみる(図6)。

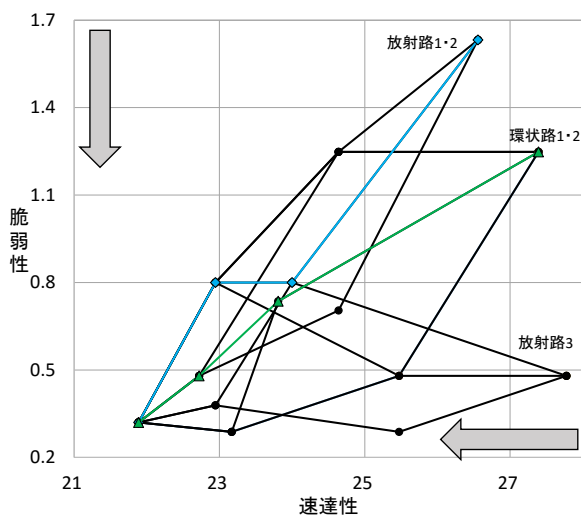


図6. 速達性と脆弱性の推移(高速移動コスト5)

コスト比が1:10のとき、経過時点が同じであれば放射路優先敷設型(青線)が環状路優先敷設型(緑線)に対し、脆弱性では劣るものの速達性では勝っていた。しかし、コスト比が5:10となると、環状路優先敷設型が放射路優先敷設型に対して脆弱性・速達性の両面で勝るケースが多くみられる。このように、高速交通網の速度による優位性が低下すると環状路や網目状にネットワークを成長させていく方が脆弱性だけでなく速達性においても効率的である。

#### 5. おわりに

速達性と脆弱性の2つの指標によりバランスの良いネットワークの形成について論じた。

本研究によりネットワークの最終形態が同一であっても成長過程が異なると形成過程において速達性と脆弱性の推移が大きく異なること、またこの推移は移動コストの比によって変わることが明らかとなった。

なお、本研究はJSPS 科研費 26560162 の研究成果の一部である。

#### 参考文献

- Taylor, M., Sekhar, S. and D'Este, G. (2006): Application of Accessibility Based Methods for Vulnerability Analysis of Strategic Road Networks, *Network and Spatial Economics*, **6**(3-4), 267-291.
- 原田慎也・栄徳洋平・戸根智弘・三木智・若林拓史 (2013): 道路の連結信頼性の実用的な評価方法の提案, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), **69**(5), I\_67-I\_74.
- 近藤竜平・塩見康博・宇野伸宏 (2010): アクセシビリティと連結信頼性を考慮した道路網・医療施設計画モデル, 土木計画学研究・論文集, **27**(3), 579-588.
- 渡辺泰弘・鈴木勉 (2007): 都市の形状と交通ネットワークの敷設過程, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, 184-185.
- Kurauchi, F., Sumalee, A., Tamura, H. and Uno, N. (2007): Bilevel programming problem for analysing capacity vulnerability in a transportation network under limited damage. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Network Reliability Analysis*.
- 国土交通省 (2015): 平成22年度 全国道路・街路交通情勢調査(道路交通センサス)一般交通量調査集計表, <http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/data/pdf/syuuukei04.pdf>, 2015.6.28 閲覧.