

消費者余剰を用いた道路整備のリダンダンシー効果の計量

Measuring Redundancy Effects in Roads Improvement by using Consumer Surplus

近藤 光男*, 清水 三智子**, 釣田 浩司***

By Akio KONDO, Michiko SHIMIZU and Koji TSURITA

1. はじめに

道路整備効果に関しては、時間短縮効果に代表される直接効果から各種の間接効果について整理された多くの文献があり、その計量方法が提案され、適用されている¹⁾。ところで、道路ネットワークの信頼度や代替性に基づく評価についてもいくつかの研究成果²⁾がみられるが、兵庫県南部大地震による被害を契機としてこの視点からの評価の必要性が再認識されている。そこで、本研究では、自然災害等によって道路ネットワークが被害を受けた場合に、ネットワークにおけるリンクの代替性の視点から計画された道路リンクの整備効果を計量する方法を提案し、事例分析を行う。計量方法は、計画リンクが存在しないときの被害額に対し、そのリンクが存在することによって軽減される被害額を算出するもので、消費者余剰を計量指標として用いている。

本研究の関連研究としては、まず、道路ネットワークの代替性の評価方法に関して、経路代替性指標を提案し、OD間の代替性を評価した研究³⁾、平常時に比べ災害時における走行時間の変化量からネットワークを評価した研究⁴⁾、災害時において特定の道路リンクの存在による走行時間の短縮および走行費用の軽減効果を計量した研究⁵⁾等がある。さらに、災害等によって被害を受けたネットワークに対して道路網を再構成あるいは復旧する方法に関して、ある一定の代替性をもつ道路網を最小費用で構成する最適化手法に関する研究⁶⁾、所要時間および道路網構成におけるノードの重要性から道路網の復旧システムを提案した研究⁷⁾がある。さらに、本研究で代替性の計量指標として適用した消費者余剰は道路の整備効果の計量指標として、従来からよく用いられている⁸⁾。

2. リダンダンシーの計量方法

2. 1 道路整備によるリダンダンシーの増大効果

ネットワークのある区間 l の整備効果をリダンダンシーの増大効果により計量する方法を説明する。

あるネットワークが何らかの理由により、状態Aから、より悪い状態Bに変化したとする。冒頭に述べたような自然災害によるリンクの通行不能などが1例としてあげられる。このときに、区間 l が整備されていない場合に比べ、整備されている場合には社会経済活動に及ぼす被害や損害の程度は小さくなると考えられる。特に、ネットワークの状態悪化の原因となる区間と区間 l が代替的な関係にあるときは、被害や損害の軽減に供する区間 l の貢献度は大きくなる。ここでは、この被害や損害の軽減の程度を区間 l の整備効果として計量する方法を説明する。そして、この効果をリダンダンシー効果と呼ぶ。

表-1には、区間 l の有無に対するネットワークの状態による評価値、およびその差を示す。まず、ネットワークの状態がAで区間 l が未整備のときの評価値を E_{A1} 、区間 l が未整備のまま状態がAより悪いBになったときの評価値を E_{B1} ($< E_{A1}$) とする。そして、状態AからBの変化による評価値の差を ΔE_1 とすると、 ΔE_1 は式(1)で表される。

$$\Delta E_1 = E_{A1} - E_{B1} (> 0) \quad (1)$$

一方、ネットワークの状態がAで区間 l が整備済のときの評価値を E_{A2} 、状態がBで区間 l が整備されたときのネットワークの評価値を E_{B2} ($< E_{A2}$) とする。このときの状態Aから状態Bへの変化による評価値の差を ΔE_2 とすると、 ΔE_2 は式(2)で表される。

$$\Delta E_2 = E_{A2} - E_{B2} (> 0) \quad (2)$$

例えば、ネットワークの状態AからBへの変化を自然災害によるものと考え、 ΔE_1 は区間 l が未整備のときの被害の量、 ΔE_2 は区間 l が整備されていた場合の被害の量と解釈でき、次の式(3)に示した ΔE_1 と ΔE_2 との差 ΔE は、区間 l の整備による被害の軽減量と考えることができる。

キーワード：リダンダンシー、消費者余剰、効果分析

* 正会員 工博 徳島大学大学院工学研究科
(〒770 徳島市南常三島町2-1, TEL. (0886) 56-7339)

** 学生員 徳島大学大学院工学研究科

*** 正会員 工修 (株)中央復建コンサルティング

表－1 区間ℓの有無に対するネットワークの状態
による評価値とその差

区間ℓ の有無	ネットワークの状態		ネットワークの状態による 評価値の差
	A (良)	B (悪)	
無	E_{A1}	E_{B1}	$\Delta E_1 = E_{A1} - E_{B1}$
有	E_{A2}	E_{B2}	$\Delta E_2 = E_{A2} - E_{B2}$

$$\Delta E = \Delta E_1 - \Delta E_2 \quad (3)$$

この ΔE を区間ℓの整備によるリダンダンシーの効果とする。

2. 2 消費者余剰によるリダンダンシーの計量方法

ネットワークの評価値の計量方法について説明を行う。この評価指標には、例えば総走行時間や走行費用が考えられる^{4) 5)}が、本研究では、評価値を貨幣単位で表すことのできる消費者余剰を用いる⁶⁾。そこで、区間ℓが未整備でネットワークの状態がAのときの任意の2ゾーン間の一般化費用を G_{A1} 、状態がBになったときの一般化費用を G_{B1} とする。また、ネットワークの状態がAのとき区間ℓが整備された場合とネットワークの状態がBのとき区間ℓが整備された場合のそれぞれの一般化費用を G_{A2} と G_{B2} とする。

これらの変数を用いると、式(1)と式(2)で表される評価値の差は、式(4)と(5)のように表現することができる。ところで、式(4)と(5)における CS_{A1} 、 CS_{B1} と CS_{A2} 、 CS_{B2} は、表－2に示すように、区間ℓの有無、ネットワークの状態に対する消費者余剰を表しており、これらの式の内容は、図－1のように示される。ただし、図－1における関数 $x = f(G)$ は、一般化費用にGに対する交通需要曲線である。

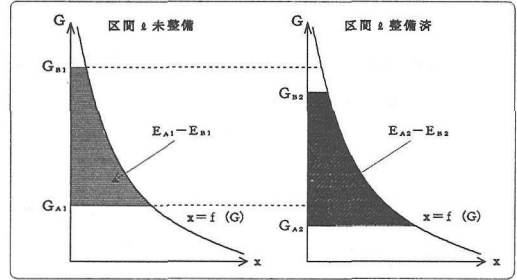
$$\begin{aligned} \Delta E_1 &= E_{A1} - E_{B1} \\ &= CS_{A1} - CS_{B1} \\ &= \int_{G_{A1}}^{G_{B1}} f(G) dG \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Delta E_2 &= E_{A2} - E_{B2} \\ &= CS_{A2} - CS_{B2} \\ &= \int_{G_{A2}}^{G_{B2}} f(G) dG \end{aligned} \quad (5)$$

以上により、ネットワークの状態がAからBに悪化したときに、区間ℓが整備されたことによる任意の2ゾーン間のリダンダンシー効果は、式(6)で算出することができる。

表－2 区間ℓの有無とネットワークの状態
による消費者余剰とその差

区間ℓ の有無	ネットワークの状態		ネットワークの状態による 消費者余剰の差
	A (良)	B (悪)	
無	CS_{A1}	CS_{B1}	$CS_{A1} - CS_{B1}$
有	CS_{A2}	CS_{B2}	$CS_{A2} - CS_{B2}$



図－1 消費者余剰によるネットワークの評価

$$\begin{aligned} \Delta E &= \Delta E_1 - \Delta E_2 \\ &= \int_{G_{A1}}^{G_{B1}} f(G) dG \\ &\quad - \int_{G_{A2}}^{G_{B2}} f(G) dG \end{aligned} \quad (6)$$

いま、区間ℓの整備効果が及ぶ圏域がn個のゾーンから構成されているとすると圏域全体からみた区間ℓの整備によるリダンダンシー効果TRは、式(7)で算出できる。ただし、式(7)における R_{ij} はゾーンi j間の区間ℓの整備によるリダンダンシー効果であり、ゾーンi jに関する式(6)に示した ΔE の値である。

$$TR = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij} \quad (7)$$

2. 3 災害等によるネットワークの出現確率を考慮したリダンダンシー

これまではネットワークの状態が状態Aから状態Bに悪化した場合を取り上げた。ところで、災害などに起因して新しく現れるネットワークは必ずしも1種類とは限らない。特に、自然災害による状態の変化は、災害の程度によって大きく左右される。そこで、ここでは災害等によって現れるネットワークの出現確率を考慮してリダンダンシーを計量する方法について説明する。

いま、災害等によって出現すると考えられるネットワークの状態を m 種類、状態 k が出現する確率を p_k 、状態 k における区間 l の整備によるリダンダンシー効果を $TR(k)$ とすると、 m 種類のネットワークの出現に対する区間 l の整備によるリダンダンシー効果の期待値 AR は、式(8)で表すことができる。

$$AR = \sum_{k=1}^m p_k \cdot TR(k) \quad (8)$$

なお、ここではネットワークの状態 k が出現する確率を p_k を所与としているが、この値は災害の規模や道路リンクの長さ、幅員、地盤状況などに基づいて別途算定する必要がある。

3. 事例分析

3.1 前提条件

(1) 対象地域とゾーン設定

事例分析の対象地域として、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県の近畿地方の4府県および徳島県、香川県、愛媛県、高知県の四国地方の4県、合計8府県から成る地域を設定した。ゾーンは市町村を単位とし、移動におけるゾーンの起終点は市役所、町村役場所在地とした。図-2に対象地域を示す。

(2) 道路網

道路網は、高速道路、国道、県道および地方道から構成されており、上で設定した市町村ゾーンを連結するネットワークとなっている。また、近畿と四国間のフェリールートもネットワークに含めている。高速道路は、高速自動車国道および一般国道自動車専用道路の計画区間、すなわち四全総による14,000kmの高規格幹線道路網が出来上がった時点のネットワークを想定している。図-2に道路網のうち、1995年現在および14,000kmの高規格幹線道路完成時の高速道路網を示す。

(3) ネットワークの状態

リダンダンシー効果の計量の対象路線として、紀淡海峡ルートを取り上げた。また、ネットワークの状態として、通常時は上で述べた道路網、状態が悪化したときの道路網としては神戸-鳴門ルートの神戸市と淡路島間が通行できなくなったときの道路網を想定した。

(4) ゾーン間の一般化費用

一般化費用はガソリン代および高速道路利用料金からなる費用 c と所要時間 t に自動車1台当たりの時間評価値 μ を考慮した式(9)によって算出した。

$$G = c + \mu \cdot t \quad (9)$$

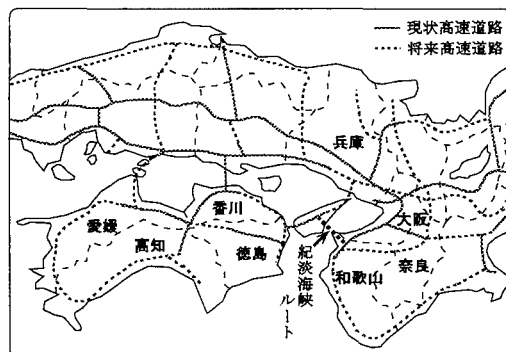


図-2 事例分析の対象地域と高速道路網

なお、時間評価値 μ は、所得法を用いて推定した対象地域における1人当たりの時間価値に、自動車利用交通における1台当たりの平均乗車人員1.3人乗じて求めた。その結果、1990年価格で3,060円/時間となった。また、ゾーン間の旅行における一般化費用は、式(9)で算出される一般化費用が最小となる経路の値を用いた。すなわち、ゾーン間の道路交通は一般化費用が最小の経路を用いて行われることを前提としている。なお、道路網上の旅行時間および費用は道路時刻表、日本道路公団年報等を参考にして計測した。

3.2 需要曲線の推定

需要曲線の関数に重力モデルを仮定し、対象地域における自動車利用交通の市町村間の一般化費用と交通量から推定した。推定結果は式(10)に示すとおりである。市町村間交通量には平成2年の自動車OD交通量調査のデータを、そのときの一般化費用は同年の道路網における値を用いた。

$$x_{ij} = \exp(7.338) \cdot P_i^{0.304} \cdot P_j^{0.296} \cdot \exp(1.783 \delta_K) \cdot \exp(1.941 \delta_S) \cdot G_{ij}^{-1.339} \quad (R^2=0.780) \quad (10)$$

ただし、 x_{ij} : 市町村 i j 間の自動車交通量(台/日)

P_i : 市町村 i の人口(人)

P_j : 市町村 j の人口(人)

δ_K : 近畿ダミー(市町村 i 、 j がともに近畿内ならば1、それ以外は0)

δ_S : 四国ダミー(市町村 i 、 j がともに四国内ならば1、それ以外は0)

G_{ij} : 市町村 i j 間の一般化費用(円)

表－3 リダンダンシー効果の計量事例

(単位：千円／日)

府 県	神戸市－淡路島間通行不能時の消費者余剰減少額		リダンダンシー効果額
	紀淡ルート未整備	紀淡ルート整備済	
大阪府	76,320	70,740	5,580
兵庫県	309,100	297,541	11,559
和歌山県	847	596	251
徳島県	31,310	29,668	2,142

3. 3 リダンダンシーの計量

事例分析では、ネットワークの状態変化の確率は考慮しておらず、また出現する状態も1種類とした。すなわち、神戸－鳴門ルートの中神戸市と淡路島間が通行できなくなったときの紀淡ルートのリダンダンシー効果を算出したものである。

効果の算出は大阪湾を取り巻く4府県について行った。表－3に、その結果を示す。なお、神戸市と淡路島間が通行できなくなったときには、その間のフェリーも利用できないことにした。また、自動車交通量については、各ゾーン間の一般化費用の変化に基づき需要関数を用いて交通量を推定した後、発生・集中交通量を現在のままの値に固定して、ゾーン間交通量の修正を行った。

表－3の結果をみると、兵庫県は、神戸市と淡路島間が通行できなくなったときに受ける消費者余剰の減少額は、紀淡海峡ルートが未整備の場合、整備済の場合ともに大きく、これらの値の差として算出されるリダンダンシー効果は4府県中最大となっている。大阪府と徳島県には消費者余剰の減少額は、兵庫県に比較して小さいが、それに対するリダンダンシー効果は兵庫県に比べて比率的に大きいことがわかる。これは、兵庫県に比べ、大阪府や徳島県の発着の交通が、神戸市と淡路島間が通行できなくなったときに紀淡海峡ルートの存在によって、比率的により被害を免れることの表れである。さらに、リダンダンシー効果は小さいものの、この傾向は地理的にみて紀淡海峡ルートにもっとも関連のある和歌山県において強く現れている。

この事例におけるリダンダンシー効果額の算出では、市町村間の移動において交通の混雑現象を考慮していないこと、大阪府および和歌山県と徳島県とのフェリールートをもそのまま残していることといった問題点を含んでいる。また、今回の事例では、対象地域以外

の本州の都府県と四国の間の交通を無視しているが、精緻な計算を行うときにはそれを含める必要があろう。

4. おわりに

本研究では、道路ネットワークにおけるリンクの代替性の視点から、自然災害等によって道路ネットワークが被災した場合に、計画された道路リンクの整備効果を計量する方法を提案し、事例分析を行った。その結果、計算結果の詳細な検討は今後の課題として残されているが、方法論の提案と適用いう点においては一応の成果が得られた。

本研究では、災害時の道路ネットワークが与えられたという前提条件で方法論を展開しているが、この前提条件の設定が非常に困難な問題として残されている。特に、自然災害の発生やその規模の予測は困難であり、今後の重要な課題となる。また、事例分析では、交通の混雑による移動の時間遅れを無視しているが、災害時の重要な問題の1つであり、この点を考慮に入れた効果の計量が必要である。

《参考文献》

- 1) 例えば、中村英夫、清水英範、林家彬：道路整備効果に対する考え方の変遷，土木計画学研究・講演集，No. 8，pp. 243-250，1986.
- 2) 例えば、若林拓史：地震災害時の道路網連結信頼性と確率重要度による重要区間の評価，土木計画学研究・講演集，No. 18(2)，pp. 613-616，1995.
- 3) 南正昭，高野伸栄，佐藤馨一：道路網における代替ルートの整備水準の一評価法に関する研究，土木学会論文集，No. 530/IV-30，pp. 67-77，1996.
- 4) 嶋田喜昭，加藤哲男，本多義明：自然災害を考慮した道路網評価に関する基礎的考察－福井都市圏におけるケーススタディー，日本都市計画学会学術研究論文集，No. 30，pp. 97-102，1995.
- 5) 矢部浩規，佐藤馨一，田村亨：代替機能からみた道路ネットワークの評価に関する研究，土木学会第43回年次学術講演会概要集IV，pp. 240～241，1988.
- 6) 南正昭：災害時に代替性をもつ道路網の構成手法，土木計画学研究・講演集，No. 16(1)，pp. 387-394，1993.
- 7) 堀井雅史，武山泰，福田正：大震災後の道路ネットワーク復旧システムに関する研究，土木計画学研究・講演集，No. 15(1)，pp. 767-774，1992.
- 8) 例えば，金本良嗣：交通投資の便益評価・消費者余剰アプローチ，日交研シリーズA-201，1996.