

# 主観的地震発生確率を用いた交通網におけるリダンダンシー評価\*

An Evaluation of Redundancy in the Road Network using the Subjective Probability of Failure

寺田 健児\*\*・青山 吉隆\*\*\*・松中 亮治\*\*\*\*

by Kenji TERADA, Yoshitaka AOYAMA and Ryoji MATSUNAKA

## 1. 研究の背景と目的

阪神・淡路大震災に代表される大災害の経験から、現在、道路などの交通網計画において、リダンダンシーの確保が急務とされている。しかし、簡便でなおかつ実用的なリダンダンシーの評価法については、客観的なものが定着していないのが現状である。

そこで、本研究では、交通網のリダンダンシー効果を評価するための指標を明確に定義し、道路網に限らずフェリーなどの各種交通モードを含んだネットワークにおけるリダンダンシー効果の評価法や、既存の地震発生確率の概念とは異なる、主観的な地震発生確率を用いたリダンダンシー効果の便益計測手法の構築を目的とする。

## 2. 本研究の基礎理論

### (1) ODパフォーマンス関数

本研究では、1つのODを結ぶネットワークに対するリダンダンシーの評価指標として、「時間信頼度」の概念（特定のノード間において、所与の時間内に目的地に到着できる確率）を利用し、さらに、この概念に、ODパフォーマンス関数の手法を組み込むことを提案する<sup>1)</sup>。このことにより、本手法は交通量配分および物資輸送のための諸条件を考慮に入れた上で、道路網・交通網のリダンダンシーを簡便に評価できるという特徴を持っている。

ODパフォーマンス関数は、図-1に示すように、等時間原則配分によるワードロップ均衡時の全交通量と所要時間の関係を表したものとして定義される

関数であり、ネットワーク内のリンクが破壊されるとその形状が変化する、という性質を持っている。なお、この関数は、特にOD間が直列・並列結合のみで表現できるネットワーク構造で結ばれている場合、各リンクのパフォーマンス関数の足し合わせで求めることが可能である。さらに、図-2のように、所要時間と需要交通量の関係を表す交通需要関数と併用することによって、所要時間と交通量の需給均衡値を求めることができるため、OD間の各リンクが災害時に破壊される確率を与えれば、ODパフォーマンス関数のシフトにより、需給均衡値も確率的

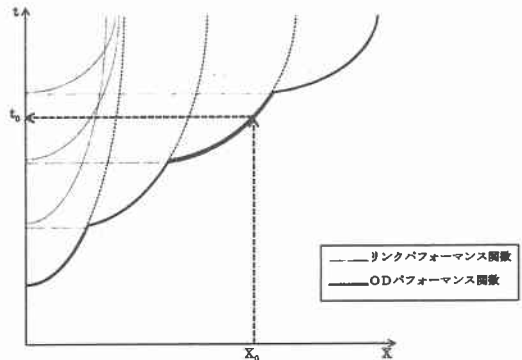


図-1 ODパフォーマンス関数の形状

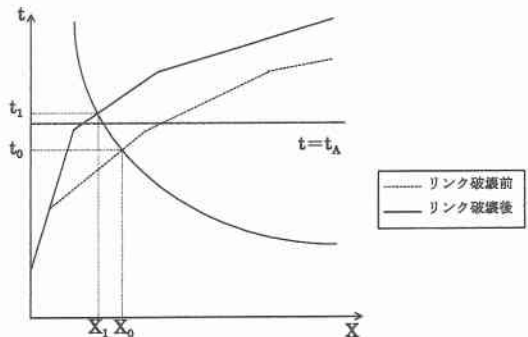


図-2 ODパフォーマンス関数と交通需要関数の均衡値

\* Keywords : 防災計画、配分交通、道路計画  
 \*\* 正員 工修 株式会社野村総合研究所  
 \*\*\* フェロー 工博 京都大学大学院工学研究科  
 \*\*\*\* 正員 工修 京都大学大学院工学研究科  
 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町 075-753-5139)

に変動することになる。この性質を用いた上で、時間制約条件を設けたとき、その条件を満たしている範囲に需給均衡値が含まれる確率として、「時間信頼度」が定義される。すなわち、「時間信頼度」とは、基準となる時間( $t_A$ )以内に目的地に到着できる確率( $t \leq t_A$ となる確率)を表す指標である。

## (2) リダンダンシー効果の評価フレーム

本研究では、以上の基礎理論に対して、各種補完理論・応用理論を加えることにより、図-3に示すようなリダンダンシー効果の評価フレームを構築した。

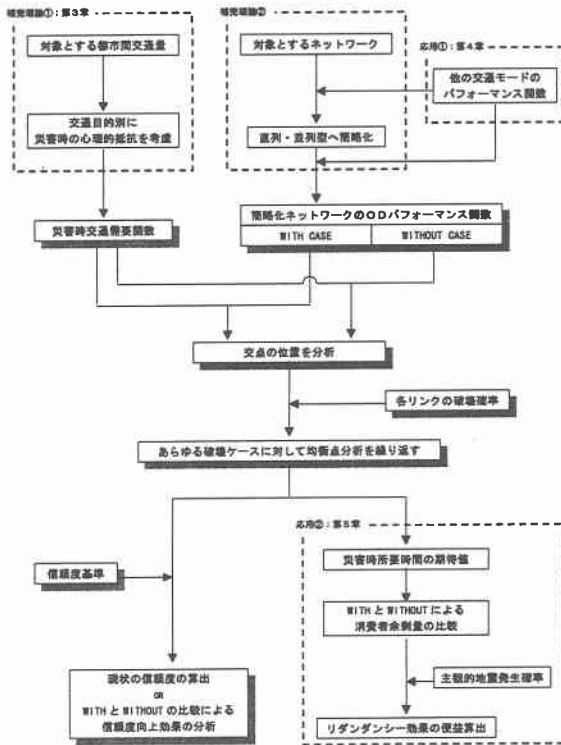


図-3 リダンダンシー効果の評価フレーム

## 3. 災害時交通需要関数の推定

災害時の交通需要関数の形状は、平常時とは異なるものと考えられる。本研究では、高速道路を走行しているドライバーに対して、災害時を想定した交通行動に関するアンケートを実施し、災害時交通需要関数の推定を行った。その結果、大阪～徳島間におけるネットワークの需要関数は、図-4のように推

定された。一般に、災害時の需要関数は平常時と比較して所要時間に対する需要交通量の弾力性が小さいため、OD間の所要時間が大きい場合は、平常時よりも需要交通量が多くなる。なお、本研究で推定した需要関数には、災害時ゆへの行動目的(安否確認等)は考慮されていない。

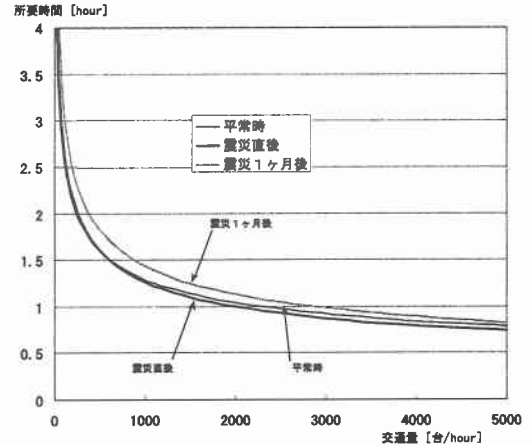


図-4 大阪～徳島間の災害時交通需要関数

## 4. マルチモーダルODパフォーマンス関数

道路網に限らず、自動車交通以外の交通モードにおけるパフォーマンス関数を設定することにより、マルチモーダルなODパフォーマンス関数を作成することが可能である。本研究では、フェリーのパフォーマンス関数を図-5のように設定した上で、明石海峡大橋の有無による時間信頼度の変化を求めた。対象としたのは、図-6に示す大阪～徳島間の簡略化したネットワークである。なお、ここでは、安否確認・物資輸送等、災害時特有の交通目的により需要が大きく膨れ上がった場合も想定し、需要交通量が10倍となった需要関数(震災直後)を使用した場合

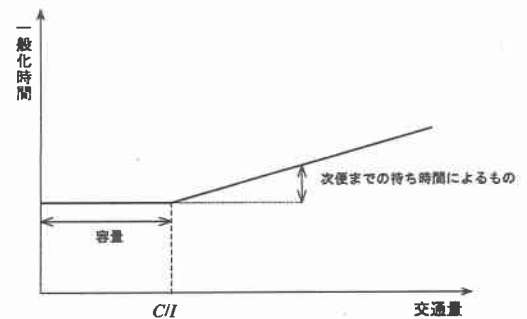


図-5 フェリーのパフォーマンス関数

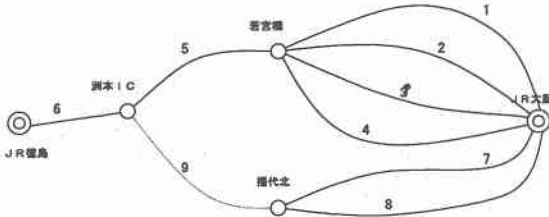


図-6 大阪～徳島間の簡略化ネットワーク (WITH CASE)

表-1 大阪～徳島間のネットワークにおける時間信頼度

需要関数の形状	ケース	信頼度基準 [hour]				
		3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
1倍	WITH	63.00%	63.00%	88.63%	88.63%	88.63%
	WITHOUT	0.00%	62.97%	88.63%	88.63%	88.63%
10倍	WITH	62.97%	62.97%	62.97%	88.63%	88.63%
	WITHOUT	0.00%	0.00%	62.97%	88.63%	88.63%

についても同様の解析を行っている。算出した大阪～徳島間の時間信頼度を表-1 に示す。

## 5. リダンダンシー効果の便益計測

### (1) 消費者余剰減測度による便益計測

本研究では、前章までのODパフォーマンス関数と災害時交通需要関数を利用し、消費者余剰減測度を用いてリダンダンシー効果の便益を計測した。

これは図-7を用いて次のように説明できる。まず、平常時の交通は、どのリンクも破壊されていない状態のODパフォーマンス関数と平常時交通需要関数に従っているため、交通量および所要時間がその交点(図の点A)で均衡する。しかし、災害が発生した場合、ODパフォーマンス関数はネットワークの破壊状況に応じてシフトし、交通需要関数も災害時のものにシフトするため、その均衡値は災害時需要関数上の1点で表すことができる。このとき、ODパフォーマンス関数が確率的に変動するという仮定から、災害時における均衡時所要時間には期待値が存在し、そのときの交通の状況も同様に災害時需要関数上の1点で表すことが可能である。この需要関数上の点は、WITH CASE (点B)とWITHOUT CASE (点C)のそれぞれについて求めることができ、そのときに得られる消費者余剰の期待値についても算出で

きる。なお、交通施設整備の場合、通常はWITH CASEの方が、WITHOUT CASEと比較して均衡時所要時間の値は小さくなる。このとき、WITHOUT CASEの場合に得られる消費者余剰額は、WITH CASEと比べると、図の斜線部の分だけ少ないことがわかる。これは、交通施設が整備されていなければ失うことになかった余剰分であり、整備されていなかったことによる損失額と捉えることができる。よって、WITHOUT CASEがWITH CASEに変化することによって得られるリダンダンシー効果の便益も、この斜線部の面積を用いて表すことが可能となる。最終的には、リダンダンシー効果の便益は、次の式によって算出されるものと考えられる。

$$(\text{便益}) = (\text{1回の地震が発生することによる消費者余剰減少量の総額}) \times (\text{地震の発生確率})$$

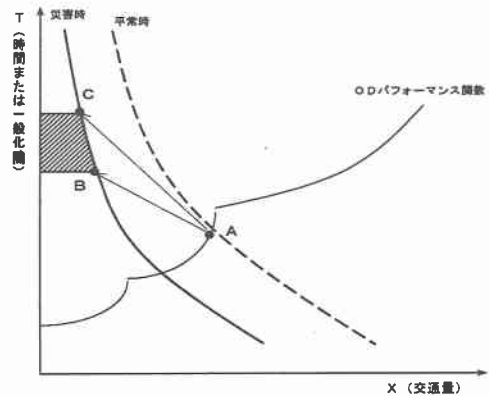


図-7 消費者余剰減測度による便益の計測

### (2) 主観的地震発生確率を用いたリスク分析

上記のように、リダンダンシー効果の便益を計測する場合、通常は災害の発生確率を用いるため、その値は、平常時の時間短縮効果等と比較すると非常に微量なものになる。しかし、実際のリダンダンシーの価値は、災害が発生したときのみ生じるものではなく、安心感の向上という形で平常時にも生じていると考えられる。

そこで本研究では、既存の災害発生確率のみを用いた便益計測手法を見直し、地震の発生確率に主観的要素を含めることを提案する。これは、既存のリスク分析手法に用いられる災害の発生確率に、実際の発生確率ではなく、個人がイメージする「主観的地震発生確率」を用いるという考え方である。なお、

ここでは、人々の安心感をオプション的な価値であると解釈している。このことにより、本研究の手法は、リダンダンシーに富んだ交通網が本来持っている価値を過小評価とならないように計測することを可能としている。

さらに、この考え方に基づいたとき、主観的地震発生確率を実際の地震発生確率で除した値から、「安心係数」を定義することが可能である。これは、すでに実際の発生確率を用いて計測されたリダンダンシーの便益を見直す場合に有効な考え方であり、従来のリダンダンシー効果の計測値に安心係数を掛け合わせることによって、これまで過小評価であった効果をより正確に捉えることが可能となる。

主観的地震発生確率を求めるための手法としては、さまざまなものが考えられるが、ここでは、地震保険の普及率を用いる場合の算出法について概説する。

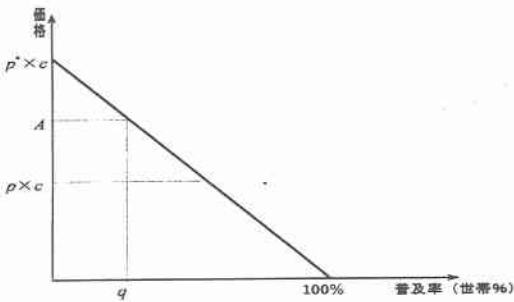


図-8 地震保険の需要関数

図-8は、地震保険の需要関数を表している。ここでの需要関数は、横軸に普及率(世帯%)、縦軸に価格(保険料)をとったものであり、便宜上、線形を仮定するものとした。ここで、

- $c$ : 保険金
- $A$ : 保険料
- $q$ : 実際の普及率
- $p$ : 地震発生確率×家屋全壊率
- $p^*$ : 主観的地震発生確率×家屋全壊率

である。つまり、この需要関数は、価格がゼロであれば全ての世帯が保険に加入するが、人々が今後得られるであろう保険金の期待額を価格が上回っているならば、どの世帯も加入することはない、ということの意味するものである。このとき、図より $q$ の値は次式のように求められる。

$$p^* = \frac{1}{1-q} \cdot \frac{A}{c}$$

この式をもとに、ここでは、主観的地震発生確率の値を50年に1回と設定した。ただし、 $p^*$ は、各世帯が想定する地震発生確率の最大値を意味し、計測される便益額の解釈には注意を要する。

震災後、ネットワークの復旧には3ヶ月必要であると仮定すると、大阪～徳島間のネットワークにおける、明石海峡大橋のリダンダンシー効果の便益は、表-2のように求められる。ただし、今回は大阪～徳島間という1つのODのみを対象とした分析であったが、この大阪発徳島着のOD交通量は、非常に小さく、算出された便益額も相当小さな値となっている。しかし、1つの明石海峡大橋が有している実際のリダンダンシー効果は、大阪～徳島間よりも、その近隣地域にこそ、より顕著に現れるはずである。従って、明石海峡大橋に関する全てのリダンダンシー効果の便益計測を行う場合は、その近隣に位置するあらゆるODに対して、上記の計測を繰り返し行う必要がある。

表-2 年間のリダンダンシー便益[万円/year]

ケース No.	①	②	③	④
需要関数の形状	1倍	1倍	10倍	10倍
所要時間の限度値	20時間	10時間	20時間	10時間
明石海峡大橋の便益 [万円/year]	42.9	90.7	549.6	1,024.3

## 6. 結論

簡略化したネットワークのODパフォーマンス関数と災害時交通需要関数から、簡便な時間信頼度の計測手法を構築したこと、そして、主観的な地震発生確率を用いて、人々の安心感までを反映させた、簡便なリダンダンシー効果の便益計測手法を構築したことは、本研究の大きな成果であると考えられる。

<参考文献> 1) 寺田健児・青山吉隆, 幹線道路網におけるリダンダンシーモデルと災害時対策評価法, 土木計画学研究・講演集, No. 20(2), pp487~490, 1997. 11