

確率利用者均衡を用いた道路網の時間信頼性評価*

Reliability of Travel Time in a Network through Stochastic User Equilibrium*

井上博司**・飯田祐三***・岸野啓一****・長谷川哲郎*****

By Hiroshi INOUE**・Yuzo IIDA***・Keiichi KISHINO****・Tetsuro HASEGAWA*****

1. はじめに

将来の道路網を計画しこれを評価するに際して、従来は当該道路網が交通需要を処理する能力や、当該道路網の経済性、周辺の都市・地域環境に及ぼす影響などを主体とした分析がなされてきた。しかし利用者に対して、道路の利用のし易さを適切な指標によって評価し、これを道路網計画に組み入れることが、必ずしも十分になされてきていない。道路網が整備されるにともない、利用者の欲求はさまざまな道路交通情報の利用によって、より確実かつ経済的な方法によってトリップを完遂するという方向に変わりつつある。一方道路の管理者にも道路網の整備にともない、道路をネットワークとして管理・運用することが可能となり、利用者に確実かつ経済的な交通サービスを提供することが要請されるようになりつつある。このため道路の利用に対する評価に、確実性、信頼性という見方を導入する必要性が増大している。

ところで道路網の信頼性という概念は、我が国の自然災害の多い国情から、かなり以前から提唱されてきている。初期の研究の多くは、地震、豪雨、豪雪等自然災害時にライフラインを確保するため、自然災害に強いネットワークづくりを目的として、自然災害時におけるネットワークの連結性を指標化し

たものであった。そのようなものに、震災時におけるネットワークの連結性を取り扱った小林^{1),2)}、榎谷³⁾、異常気象、降雪時における道路網の信頼性を指標化した深井等⁴⁾、岡田等⁵⁾、河上⁶⁾などがある。また森津⁷⁾は、最適交通網構成の立場から災害時信頼性を取り扱っており、若林・亀田⁸⁾は、ロマ・ブリエタ地震の前後におけるサンフランシスコ湾岸地域道路網の交通サービスの分析を行っている。阪神・淡路大震災の経験などを通して、道路網は連結性が確保されているだけでは十分ではなく、災害時においてもある程度の機能性を有することが必要であり、またモデルに災害時における交通需要や交通行動の変化を考慮する必要性があるなど、今後課題が残されている。

自然災害は希な事象であり、平常時における信頼性のある安定した道路サービスの提供はより重要な政策目標であることから、平常時における交通サービスの信頼性を指標化する研究も精力的になされてきている。加藤・門田等⁹⁾は、定時性と連結性の面からノード間の信頼度を指標化しており、飯田・若林等^{10),11),12),13)}は、渋滞などによってリンクが閉塞する確率を与えたときに、ノード間で円滑な走行移動が保証される確率をノード間信頼度と定義し、これをシステム工学的な手法によって求める方法を提示している。また若林・飯田等^{14),15)}は、所与の時間で目的地に到達できる確率を時間信頼度と定義し、リンクフローの確率分布を仮定して、これを算定する方法を示している。一方朝倉等^{16),17)}は、OD交通量を確率変動させる、あるいはリンクの障害発生確率を与件とすることによって、道路網上の旅行時間の信頼性を算定する方法を示している。これらの研究においては、道路網上で交通流や旅行時間の確率変動のモデル化、信頼度の定義、大規模ネットワークでの計算方法などに改良の余地が残されている。

*キーワード：交通網計画、配分交通、ネットワーク交通流

**正員、工博、岡山大学環境理工学部環境デザイン工学科
(岡山市津島中 2-1-1, TEL086-251-8162, FAX086-253-2993)

***正員、中央復建コンサルタンツ株式会社企画室(大阪市淀川区西宮原 1-8-29, TEL06-393-1122, FAX06-393-1126)

****正員、同上 計画設計部(TEL06-393-1198, FAX06-393-1145)

*****正員、工修、同上 計画設計部

ところで、道路網上の交通流変動を巧みに記述した理論として、確率利用者均衡理論が知られている。確率利用者均衡理論では、経路選択の不確定性に基づいて道路網上の交通流変動をモデル化しており、時間信頼性分析を行う上で、交通流変動と旅行時間変動を適切に表現できるという利点がある。そこで本研究においては、道路網上の交通流が確率利用者均衡にしたがうことを前提として、道路網中の重要リンクの抽出や、道路網上の旅行時間の信頼性を指標化する。

本モデルにおいては、時間信頼度にサービスレベルの概念を導入し、また実用的な大規模ネットワークにも適用できるよう計算方法を考えている。本モデルを阪神地域の道路ネットワークに適用し、リンクの被災や新規路線の整備による時間信頼度の変化を分析している。本モデルは平常時における道路網の交通サービスを旅行時間信頼性という面から評価することを目的としたものであるが、災害時におけるネットワークや交通需要を想定することにより、災害時における道路網の信頼性の評価にも適用することが可能である。

2. 確率利用者均衡を用いた重要区間の抽出

(1) 確率利用者均衡の概要

本研究においては、道路網上の交通流の変動を確率利用者均衡を用いて記述する。確率利用者均衡が道路網上の利用者の交通行動を適確に表現しているかどうかは多少疑問の余地があるが、経路選択を確率的に取り扱っている点で、確定的利用者均衡よりも合理的なモデルであると考えられる。確率利用者均衡の概念は Daganzo & Sheffi¹⁸⁾によって提唱されたものであり、利用者の旅行時間に対する認知が利用者によって一定ではなく確率変動することを前提として、利用者が認知旅行時間を最小にするように経路選択するときに現出するフローの平衡状態を確率利用者均衡と定義している。認知旅行時間が正規分布に従うことを仮定したときプロビット型、ガンベル分布に従うことを仮定したときにはロジット型の選択問題となる。確率利用者均衡が次の最適化問題と等価であることが Sheffi & Powell¹⁹⁾、Daganzo²⁰⁾等によって示されている。

$$\min_x z(x) = - \sum_{rs} q_{rs} E[\min_{k \in K_{rs}} \{C_k^{rs}\} | c^{rs}(x)] \\ + \sum_a x_a t_a(x_a) - \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega \quad (1)$$

ここに、 x_a ：リンク a の交通量、 c^{rs} ：起終点 rs 間の実行旅行時間、 C_k^{rs} ：起終点 rs 間の経路 k の認知旅行時間、 $t_a(x_a)$ ：リンク a の旅行時間関数、 q_{rs} ：起終点 rs 間のOD交通量。

しかしこの最適化問題は期待値演算を含んでいるため、求解の計算に直接用いることは困難である。実用的な計算法として逐次平均化法 (Method of Successive Average) が有用であることが Sheffi & Powell²¹⁾によって示されており、プロビット型およびロジット型問題に対する解法が提案されている。

(2) 道路網の重要区間の抽出

道路網を構成する各リンクが、現実の道路交通条件下において、道路網全体の交通処理に果たしている役割の大きさを評価し、これより重要リンクの抽出を行うことを試みる。いま道路の利用者が確率利用者均衡にしたがうものとする。このとき交通流の平衡状態は最適化問題 (1) と等価である。

確率均衡下においては $\nabla z(x) = 0$ 、すなわち任意のリンク b に対して、

$$\frac{\partial}{\partial x_b} \{z(x)\} = [- \sum_{rs} \sum_k q_{rs} P_k^{rs} \delta_{bk}^{rs} + x_b] \frac{dt_b}{dx_b} = 0 \quad (2)$$

が成り立つ。ここに、 P_k^{rs} ：起終点 rs 間で経路 k が選択される確率、 δ_{bk}^{rs} ： rs 間の経路 k がリンク b を経由するとき 1、その他のとき 0、 t_b ：リンク b の実行旅行時間。

道路網は利用者に、その利用を通して旅行時間の負効用を提供していると考え、道路網が利用者に提供する総負効用は、

$$\bar{U} = \sum_{rs} q_{rs} c^{rs} \quad (3)$$

によって表現することができる。

このとき任意のリンクの総負効用に対する貢献を、その限界効用

$$M\bar{U}_b = \frac{\partial}{\partial x_b} \{\bar{U}\} = \frac{\partial}{\partial x_b} \left\{ \sum_{rs} q_{rs} c^{rs} \right\} \\ = \frac{\partial}{\partial x_b} \left\{ \sum_{rs} q_{rs} E[\min_k \{C_k^{rs}\}] \right\} \quad (4)$$

によって定義することができよう。

確率均衡下においては式(2)が成り立つので、

$$M\bar{U}_b = \left[\sum_{rs} \sum_k q_{rs} P_k^{rs} \delta_{bk}^{rs} \right] \frac{dt_b}{dx_b} = x_b \frac{dt_b}{dx_b} \quad (5)$$

となる。このことより、道路網の提供する交通サービスに対する任意のリンクの貢献を、そのリンク交通量とリンク旅行時間関数の微係数との積によって表現することができる。この値は、そのリンクの容量1単位が道路網全体の交通サービスにどれだけ寄与しているかを表わすものであり、道路網中の重要リンクを抽出する際の一つの指標とすることができよう。

3. 確率利用者均衡を用いた時間信頼性評価

(1) 時間信頼度の定義

道路網上の交通流が確率利用者均衡にしたがうものとして、OD間旅行時間の信頼度を定義する。

いまOD交通量 $\{q_{rs}\}$ が与えられたとき、確率利用者均衡条件は、

$$f_k^{rs} = q_{rs} P_k^{rs} \quad \forall r, s, k \quad (6)$$

$$P_k^{rs} = \Pr(C_k^{rs} < C_{l \neq k}^{rs}, \forall l \neq k \in K_{rs}) \quad (7)$$

で表される。ここに、 C_k^{rs} : rs 間の経路 k の認知旅行時間、 f_k^{rs} : rs 間の経路 k の交通量、 P_k^{rs} : rs 間の経路 k の選択率、 q_{rs} : rs 間のOD交通量、 K_{rs} : rs 間の経路集合。

また当然次式が成り立たなければならない。

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r, s \quad (8)$$

$$C_k^{rs} = \sum_a T_a \delta_{ak}^{rs} \quad \forall r, s, k \quad (9)$$

$$t_a = t_a(x_a) \quad \forall a \quad (10)$$

ここに、 T_a : リンク a の認知旅行時間、 t_a : リンク a の実旅行時間、 $t_a(x_a)$: リンク a の旅行時間関数。

プロビット型モデルでは、認知旅行時間 T_a は平均値が実旅行時間 t_a に等しく、分散が βt_a の正規分布にしたがうと仮定される。プロビット型モデルでは、IID 特性²²⁾などのロジット型モデルの欠点を是正することができるので、本研究ではプロビット型モデルを採用する。

ここで rs 間の経路 k の実旅行時間は、

$$c_k^{rs} = \sum_a t_a \delta_{ak}^{rs} \quad \forall r, s, k \quad (11)$$

である。起終点間の旅行時間は各経路によって異なるので、任意に1トリップを抽出するとき、その旅行時間は離散的確率変数とみなすことができる。

rs 間の任意のトリップの実旅行時間を c^s とすると、その確率密度は、

$$f(c_k^{rs}) = \Pr(c^s = c_k^{rs}) = P_k^{rs} \quad (12)$$

となる。

いまそれぞれのODペアについて、基準となる旅行時間を外生的に与える。rs 間の旅行時間の基準値を c^{rs*} とすると、rs 間の任意の1トリップの旅行時間が、基準値 c^{rs*} を上回らない確率

$$F(c^{rs*}) = \Pr(c^s \leq c^{rs*}) = \sum_{k, c_k^{rs} \leq c^{rs*}} P_k^{rs} \quad (13)$$

を求めることができる。この確率をOD間旅行時間の信頼度と定義する。またこの確率を全ODペアについて、OD交通量による加重平均をとった値

$$R = \sum_{rs} q_{rs} F(c^{rs*}) / \sum_{rs} q_{rs} \quad (14)$$

を道路網の時間信頼度と定義する。この値は、任意の1トリップがOD間の旅行時間の基準値を上回らない確率を表している。

(2) 基準旅行時間の設定

ここで各OD間の旅行時間の基準値をどのように設定するかが問題である。従来の研究ではこの点に関する明解な見解が示されていない。旅行時間の基準値を、例えばある区間速度に対応する旅行時間と定義することもできるが、この場合区間速度をいくりにするか明解な基準がない。そこで本研究では、サービスレベルという概念を用いて、旅行時間の基準値を、ある基準となる交通流状態に対して相対的に定義する。いまOD交通量 $\{q_{rs}\}$ が、基準となる道路網 N^* 上に流れて確率利用者均衡の平衡状態となったときの、それぞれの起終点間の旅行時間の平均値および標準偏差を μ^{rs*} , σ^{rs*} とする。このとき、 μ^{rs*} , $\mu^{rs*} + \sigma^{rs*}$, $\mu^{rs*} + 2\sigma^{rs*}$, ……をそれぞれサービスレベルA, サービスレベルB, サービスレベルC……での基準旅行時間とする。

このようにすると、基準道路網に対して新たな路線の整備やリンクの付加が行われた場合、あるいは災害等によりリンクや路線の通行が不可能となった場合に、特定のOD間や道路網全体で旅行時間の信頼度がどのように変化するかを求めることができる。これによって、計画道路網や新規路線の評価、道路防災計画の評価等における1つの評価指標とすることができよう。

(3) 計算法

与えられたOD交通量と道路網に対する時間信頼度を計算するためには、まず確率利用者均衡を求める必要がある。これにはいくつかの方法があるが、プロビット型モデルでは乱数を用いたモンテカルロ・シミュレーションと逐次平均化法が実用的な方法である。通常大規模な道路網の配分計算においては、経路を明示的に取り扱うことは許されないの、経路選択率は明示的には算定できない。そこで確率利用者均衡が求められた後、再度モンテカルロ・シミュレーションを反復して、OD間旅行時間の標本値を生成する。その後OD間時間信頼度を求め、道路網全体の時間信頼度を算定する。この計算過程は次の通りである。

Phase 1：乱数を用いた確率的負荷（インナーイテレーション）を入れ子とした逐次平均化（アウトターイテレーション）を規定回反復し、与えられたOD交通量と道路網に対する確率均衡交通量を計算する。

Phase 2：Phase 1 で得られた均衡交通量に基づいて認知旅行時間を生成し、起終点間の認知旅行時間が最小となる経路の実旅行時間を求める。これを規定回反復して、OD間旅行時間の標本値をサンプリングする。

Phase 3：OD間旅行時間の標本値より、各サービスレベルに対応する時間信頼度を算定する。さらにこれより道路網全体の時間信頼度を計算する。

以上の計算においては、基準ネットワークでの時間信頼度評価を初めに行い、次いでこの結果を用いて、リンクや路線が付加または削除された場合、あるいは需要交通量が変化した場合などの時間信頼度評価を行う必要がある。

4. 阪神地域道路ネットワークへの適用

(1) 適用の概要

阪神・淡路大震災では、交通施設の受けた被害によって、市民生活や企業活動に様々な影響が及んだ。その中で企業物流に着目すると、高速道路をはじめ幹線道路が被災したことにより、被害地域外の企業に対しても輸送時間の増加やルート変更・輸送手段変更などの影響が広範囲にわたって及んだことが明らかにになっている。

その際、道路網の被害が最小限に食い止められれば影響の程度は軽減されたと容易に想像でき、道路網の信頼性を高めることは今後の防災対策を考える上での重要課題の一つと考えられる。そこで、阪神地域の道路網を対象に重要なリンクを抽出し、そのリンクの被災の有無による影響の違いを試算することなどを通じて、ネットワークやリンクの信頼性の評価を試みた。

適用対象とした道路網は、神戸市、芦屋市、西宮市を中心として、これに隣接する周辺都市を含む阪神地域の道路ネットワークである。まず基準道路網を、現状の道路網に第11次道路整備5カ年計画でオーソライズされている新規路線を加えた阪神地域の幹線道路網体系とした。コーディングを行った結果、ノード数571、リンク数843、セントロイド数98のネットワークとなった。対象道路網を図-1に示す。OD交通量は、諸資料より推計した98×98ゾーンペア自動車OD交通量を用いた。

リンクパフォーマンス関数は、BPR関数

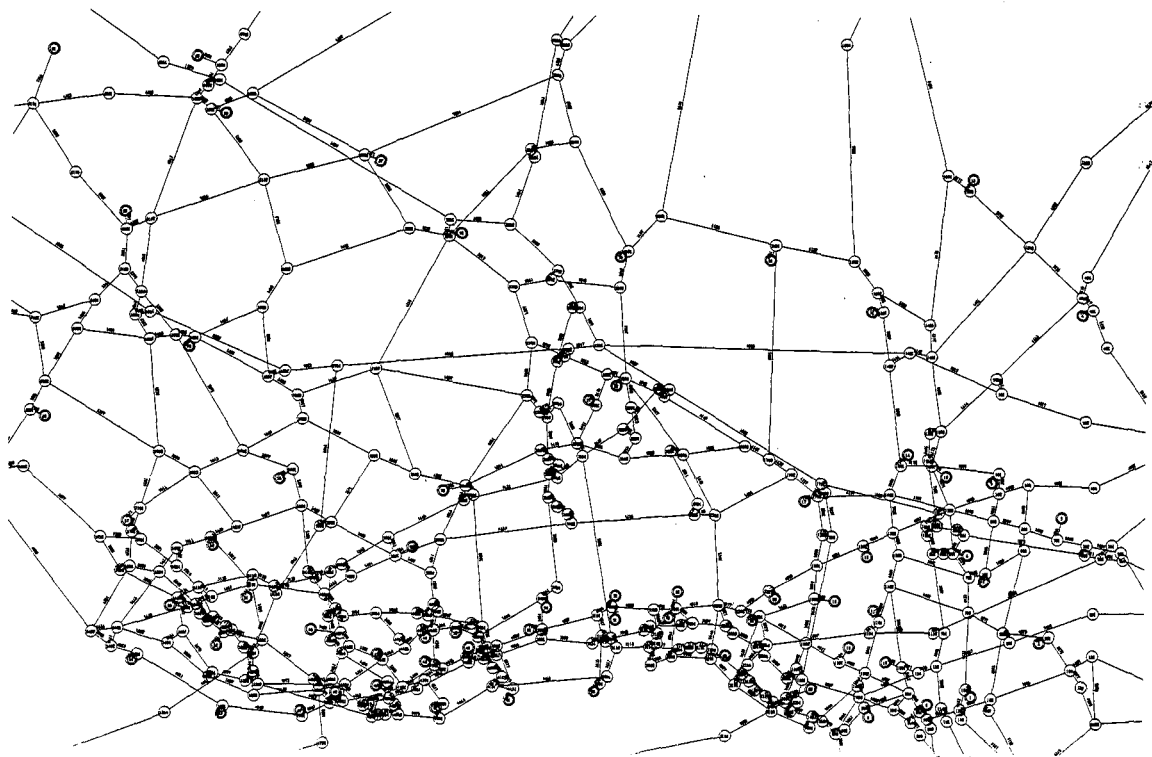
$$t_a(x_a) = t_{0a} \{1 + 2.62(x_a/c_a)^4\} \quad (15)$$

を用いた。ここに、 c_a ：リンクaの交通容量、 t_{0a} ：リンクaのゼロフロー時の所要時間。

高速道路の料金は、既存の道路については現状の値を用い、新規路線については料金率などにより推定して、時間価値を52円/分として時間換算した。

(2) リンクの被災による時間信頼性の変化

基準ネットワークにおいて交通サービスを提供する上で重要ないくつかのリンクを、リンク交通量の大きさと総負効用に対する限界効用の大きさによって選択した。これらの重要リンクが災害や事故等に



図一1 分析対象ネットワーク

より通行が不可能となった場合を想定し、時間信頼度がどのように変化するかを算定した。

計算は次の手順で進めた。まず基準ネットワークにおける確率利用者均衡 ($\beta=0.5$) を、インナーイテレーション1回、アウターイテレーション100回の逐次平均化法によって求め、これに基づいてOD間所要時間を生成して、その平均値および標準偏差を算定した。次に、リンクが通行不可能となった場合の確率利用者均衡を基準ネットワークにおけると同様に求め、この確率利用者均衡時におけるOD間の実所要時間を、認知旅行時間についてのモンテカルロ・シミュレーションに基づいて、それぞれ50個標本値をサンプリングした。その上で、各サービスレベルに対応する時間信頼度を算定した。

阪神地域内々トリップに対する基準ネットワークでの時間信頼度、ならびに選択した重要リンクが通行不可能となった場合を想定した時間信頼度の計算結果を表一1に示す。基準ネットワークにおける時間信頼度は、サービスレベルAで0.789、サービスレベルBで0.926、サービスレベルCで0.979となっており、OD間の旅行時間はほぼサービスレベル

C ($\mu+2\sigma$) までの範囲内に収まっていることがわかる。選択した重要リンクが通行不可能となった場合には、時間信頼度はサービスレベルAで10～13%程度、またサービスレベルBで10%程度低下している。とくに影響の大きいのは、名神、中国道、第2名神であり、サービスレベルAで13～16%、サービスレベルBで12～16%程度信頼度の低下をきたしている。ついで阪神高速神戸線、湾岸線がサービスレベルAで13%、サービスレベルBで10～13%程度、国道2号、国道171号がサービスレベルAで11～13%、サービスレベルBで10～16%程度低下している。これらは地域道路網の骨格をなす路線であり、その一部が通行不可能となることによって影響が道路網の広い範囲に及び、時間信頼性の大きな低下をきたすことがわかる。

(3) 路線整備による時間信頼性の変化

今回適用対象とした道路網は、現状の道路網に第11次道路整備5箇年計画でオーソライズされている新規路線を加えた将来の阪神地域幹線道路網体系であるが、新規路線がどのようなプロセスで整備され

表―1 リンク被災時の時間信頼度の変化

リンク番号	路線名	基準ネット での交通量 (pcu/h)	基準ネット での旅行時間 (分)	全ODペア の平均旅行時間 (分)	時間信頼度		
					サービス レベルA	サービス レベルB	サービス レベルC
	基準ネット	—	—	37.1	0.789	0.926	0.979
1061	名神	202,900	3.27	38.7	0.641	0.772	0.850
1063	名神	150,900	15.93	37.6	0.666	0.808	0.884
1023	中国道	149,100	6.06	38.1	0.629	0.783	0.859
1025	中国道	102,800	7.65	37.8	0.658	0.805	0.876
9015	第2名神	99,800	13.13	38.5	0.621	0.770	0.844
9019	第2名神	50,800	9.13	37.4	0.680	0.822	0.887
3087	第2神明	101,900	7.90	37.8	0.690	0.827	0.884
2001	加古川BP	109,400	5.90	37.5	0.707	0.833	0.895
3053	阪高神戸線	92,100	3.08	37.4	0.673	0.810	0.886
3055	阪高神戸線	103,200	3.01	37.4	0.662	0.818	0.895
3097	阪高湾岸線	188,600	1.62	38.1	0.662	0.789	0.865
9411	阪高湾岸線	72,800	6.25	37.4	0.662	0.822	0.883
3137	北神戸線	94,300	2.55	37.1	0.694	0.837	0.894
9473	南北線	135,700	11.65	37.8	0.661	0.784	0.857
9457	神崎川線	195,600	12.81	37.7	0.658	0.800	0.874
4027	国道2号	92,000	6.30	37.8	0.687	0.825	0.885
4049	国道2号	106,600	18.67	38.4	0.681	0.806	0.848
4095	国道171号	135,900	15.55	38.2	0.655	0.765	0.823
4171	国道173号	36,400	13.50	37.2	0.684	0.831	0.896
4253	国道175号	49,800	39.94	38.0	0.708	0.863	0.910

表―2 新規路線整備による時間信頼度の変化

路線名	基準ネット での旅行 時間 (分)	全ODペア の平均旅行 時間 (分)	時間信頼度			
			サービス レベルA	サービス レベルB	サービス レベルC	サービス レベルD
基準ネット	—	55.9	0.615	0.889	0.969	0.989
第2名神	25.14	59.6	0.474	0.766	0.885	0.923
北神戸線	15.54	57.0	0.491	0.807	0.910	0.949
神崎川線	62.82	58.8	0.427	0.708	0.835	0.904
南北線	16.37	57.5	0.489	0.765	0.895	0.942
神戸山手線	12.05	58.4	0.457	0.756	0.855	0.900
東神戸線	11.37	57.1	0.497	0.805	0.903	0.943
湾岸線延伸	21.79	57.1	0.454	0.796	0.905	0.949

ていくのか明確ではない。そこで計画されている新規路線が、阪神地域の道路網の交通サービスにどのように貢献するのかを、時間信頼度の面から分析し評価してみた。

分析の方法として、現状の道路網に任意の新規路線が単独で整備された場合や、組み合わせられて整備された場合などを想定して、整備の前後における時間信頼度の変化を算定する方法が考えられる。しかし将来これらの新規路線が既存道路網と一体的に機能するよう計画されているものであることを考慮して、新規路線全てが整備された場合を基準ネットワークとした。この基準ネットワークにおける新規路線の機能を、基準ネットワークでの信頼度と基準ネットワークから各新規路線を削除したときの時間信頼度とを比較することにより分析することにした。なお需要交通量は、新規路線の整備の有無により変化しないものとした。

対象地域での通過交通を除く全トリップに対する平均旅行時間および各サービスレベルに対応する時間信頼度の計算結果を表一2に示す。基準ネットワークでの数値が表一1の場合と若干異なるのは、阪神地域内外トリップをも対象としているためである。基準ネットワークでの時間信頼度は、サービスレベルCで0.969であり、旅行時間はほぼ $\mu + 2\sigma$ の範囲に収まっていることがわかる。新規路線の削除により時間信頼度が最も低下するのは神崎川線であり、サービスレベルAで18.8%、サービスレベルBで18.1%低下している。次いで神戸山手線がサービスレベルAで15.8%、サービスレベルBで13.3%、湾岸線延伸部がサービスレベルAで16.1%、サービスレベルBで9.3%、第2名神がサービスレベルAで14.1%、サービスレベルBで12.3%低下している。北神戸線、南北線、東神戸線はいずれもサービスレベルAで12%程度、サービスレベルBで8~12%程度の低下となっており、時間信頼度の低下はやや小さい。これらより対象道路網において、時間信頼度の面で最も貢献の大きいのは神崎川線であり、次いで神戸山手線、湾岸線延伸部であると考えられる。第2名神の時間信頼度への貢献がこれらの路線よりもやや小さいのは、第2名神が国土幹線であり、ローカルな交通よりも通過交通が主体となるためであると考えられる。

5. おわりに

確率利用者均衡を用いた道路網の時間信頼性評価の方法について述べた。このモデルでは、道路網上の交通流の不確定性を確率利用者均衡によって表現している。その上で、旅行時間が基準となる旅行時間を上回らない確率を時間信頼度と定義し、OD間および道路網全体での時間信頼度を算定する方法を示した。本モデルでは基準旅行時間にサービスレベルの概念を導入しており、基準となる交通流状態からネットワークや需要交通量が変化したとき、これにともなう時間信頼度の変化をサービスレベルに対応して算定することができるという特徴がある。この方法を阪神地域での道路ネットワークに適用し、大規模な実地的なネットワークにおいても十分に計算可能であることを実証した。またリンクの被災による信頼性変化、新規路線整備による信頼性変化などのシミュレーションにおいて、いくつかの興味ある事実が示された。本モデルによる時間信頼度を、計画道路網や新規路線の評価指標として用いることができるよう、検討を進めていきたいと考えている。

本モデルは未だ研究途上であり、今後さらに道路網での交通流の実態に即してモデルを改良していく必要がある。たとえばOD交通量自体の確率変動や、利用者の道路交通情報に対する反応を考慮することなどが考えられる。これらについては今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 小林正美：道路網・ネットワークシステムの信頼度解析法に関する研究，都市計画別冊，No.15，pp.385-390，1980。
- 2) 小林正美：道路交通網の地震時信頼度解析に関する研究，都市計画別冊，No.16，pp.205-210，1981。
- 3) 梶谷有三：震災時における道路網の機能性能の評価法，交通工学，Vol.19，No.5，pp.3-17，1984。
- 4) 深井俊英，建部英博，林寿郎：異常気象時における道路網の信頼性評価手法について，土木学会第41回年次学術講演会講演概要集第4部，pp.13-14，1986。
- 5) 岡田憲夫，後藤忠博，田中成尚：降雪期における道路ネットワーク・システムの信頼性評価法に関する研究，土木学会第41回年次学術講演会講演概要集第4部，pp.15-16，1986。
- 6) 河上省吾：道路網の災害時信頼性の指標化について，第16回日本道路会議特定課題「論文集」，pp.25-27，1985。
- 7) 森津秀夫：最適交通網構成手法に関する基礎的研究，京

- 都大学学位論文, pp.133-147, 1984.
- 8) 若林拓史, 亀田弘行: ロマ・プリエタ地震によるサンフランシスコ湾岸地域の交通サービスへの被害分析と交通運用策の評価, 土木計画学研究・論文集, No.10, pp.103-110, 1992.
 - 9) 加藤文教, 門田博知, 浜田信二: 道路の信頼性評価の簡便法, 土木計画学研究・論文集, No.4, pp.181-188, 1986.
 - 10) 飯田恭敬, 若林拓史: プール代数を用いた道路網ノード間信頼度の上・下限値の効率的算出法, 土木学会論文集, 第395号/IV-9, pp.75-84, 1988.
 - 11) 飯田恭敬, 若林拓史, 吉木務: ミニマルパス・カットを用いた道路網信頼度の近似計算法, 交通工学, Vol.23, No.4, pp.3-13, 1988.
 - 12) 飯田恭敬, 若林拓史, 福島博: 道路網信頼性の近似解析方法の比較研究, 土木学会論文集, 第407号/IV-11, pp.107-116, 1989.
 - 13) 若林拓史, 飯田恭敬, 井上陽一: シミュレーションによる道路網の交通量変動分析とリンク信頼度推定法, 土木学会論文集, 第460号/IV-19, 35-44, 1993.
 - 14) 若林拓史, 飯田恭敬: 交通管理運用策による道路システムの所用時間信頼性向上効果, 土木計画学研究・講演集, No.15(2), pp.99-102, 1992.
 - 15) 中川真治, 若林拓史, 飯田恭敬: n 番目最短経路探索を用いた簡便な道路網信頼性解析法とその交通運用管理策への適用, 土木計画学研究・論文集, No.13, pp.861-868, 1996.
 - 16) 朝倉康夫, 柏谷増男, 熊本仲夫: 交通量変動に起因する広域道路網の信頼性評価, 土木計画学研究・論文集, No.7, pp.235-242, 1989.
 - 17) 藤原健一郎, 朝倉康夫, 柏谷増男: 交通ネットワークにおける災害時のフローの変化を考慮したODペア間の信頼度の指標, 土木計画学研究・講演集, No.18(2), pp.737-740, 1995.
 - 18) Daganzo, C.F. and Aheffi, Y.: On stochastic models of traffic assignment, *Transportation Science*, 16(3), pp.253-274, 1977.
 - 19) Sheffi, Y. and Powell, W.B.: An algorithm for the Equilibrium assignment problem with random link times, *Networks*, 12(2), pp.191-207, 1982.
 - 20) Daganzo, C.F.: Unconstrained extremal formulation of some transportation equilibrium problems, *Transportation Science*, 16(3), pp.332-360, 1982.
 - 21) Sheffi, Y. and Powell, W.B.: A comparison of stochastic and deterministic traffic assignment over congested networks, *Transportation Research*, 15B(1), pp.53-64, 1981.
 - 22) Sheffi, Y.: *Urban Transportation Networks*, Prentice-Hall, pp.295-297, 1985.

確率利用者均衡を用いた道路網の時間信頼性評価

井上博司・飯田祐三・岸野啓一・長谷川哲郎

本研究では、確率利用者均衡を用いた道路網の時間信頼性評価の方法を提案している。道路網上の交通流の不確定性を確率利用者均衡を用いて表現し、旅行時間が基準旅行時間を上回らない確率を時間信頼度と定義して、OD間および道路網全体での時間信頼度を算定する方法を示した。基準旅行時間にサービスレベルの概念を導入しており、基準となる交通流状態から何らかの原因によってネットワークや需要交通量が変化したとき、これにともなう時間信頼度の変化を算定する。阪神地域での道路ネットワークに適用し、リンクの被災による信頼性変化、新規路線整備による信頼性変化などの計算を通して、大規模ネットワークにも使用可能であることを実証した。

Reliability of Travel Time in a Road Network through Stochastic User Equilibrium

by Hiroshi INOUE, Yuzo IIDA, Keiichi KISHINO and Tetsuro HASEGAWA

This paper deals with reliability of travel time in a road network through stochastic user equilibrium. The degree of travel time reliability is defined as the probability that the travel time does not exceed the standard time, on the basis that traffic flow in a road network follows stochastic user equilibrium. Travel time reliability between origin and destination and also overall reliability in a network are calculated in correspondence with service levels. This model was applied to Hanshin district road network to analyze the reliability of the network, which showed the usability of the model to large-scale networks.