

交通管理運用策による道路システムの所要時間信頼性向上効果

Travel Time Reliability of Road Networks with Traffic Management

若林拓史*・飯田恭敬**

Hiroshi WAKABAYASHI and Yasunori IIDA

Travel time reliability is considered. In this study, link reliability is assumed to be the results of variations in link flow. Two methods are developed. One is based on the assumption that the variations of link flow are independent. The other is based on the assumption that the variations of link flow are correlated. Although the latter assumption reflects the actual traffic flow, the calculation is complicated. As the results of the comparison of these two methods, it is found that there is not much difference between the results of two methods. This article also demonstrates the increase in travel reliability with traffic management of one way scheme on the actual network. A prospect of the traffic control with the risk management is also considered.

Keywords: Travel time reliability, road network performance, traffic management

1. はじめに

経済活動の高度化に伴って道路網に対して質の高いクオリティ、すなわち需要の変動や突発的な事故発生も考慮したサービスの安定性への要請が最近高まってきている。すなわち、自然災害や交通事故等でネットワークの一部が機能を失っても、ネットワーク全体としては機能する道路網づくり、ジャストインタイム輸送からの信頼性の高い道路網づくりへの要請がその事例である。したがって今後は、道路網の質的水準を明示的に定義・記述して新たなサービス水準の指標とする必要があると考えられる。いいかえれば、交通需要と交通施設パフォーマンスとの相互作用でもたらされるサービスの水準および

その安定性の評価方法や、道路網をネットワーク論的に捉えた評価方法を、今後積極的に考える必要があると考えられる。

本論文では、道路網における所要時間の信頼性に焦点を当て、固定的な道路管理運用策と時間信頼性の向上効果について考察する。さらに、動的な制御を行う場合を想定し、ある制御(Action)に対する応答(Reaction)およびその応答が生じる確率からリスク分析的に最も効果の大きい(危険の少ない)制御パターンを選択する方法論構築について考察を加える。

時間信頼性とは、所与の時間で目的地へ到達できる確率あるいは、ある確率で到達可能な走行所要時間の上限値(最大許容所要時間)である。この信頼性は、所要時間の安定性を示す指標であり、道路利用者に対し所要時間の正確性と迅速性の情報を提供する。時間信頼性は連結信頼性ととも、道路網のサービス水準を評価するための重要な指標である。

本研究では、信頼性が交通量の変動に起因すると仮

キーワード：道路網、所要時間信頼性、交通管理運用
* 正会員 工博 大阪府立工業高等学校 助教授
(〒572 寝屋川市幸町26-12)

** 正会員 工博 京都大学工学部 教授
(〒606 京都市左京区吉田本町)

定し、所要時間の信頼性を考察する。その際、リンク間での交通量変動が独立な場合と相関をもつ場合とを想定し、両者の結果を比較する。さらに、ネットワークに一方通行策を導入した場合の信頼性向上効果を考察する。

2. 交通量変動の記述と所要時間変動への変換

本研究では、リンクフローの需要変動が平均 $\bar{v}_a$ 、分散 σ^2_a の正規分布 $N(\bar{v}_a, \sigma^2_a)$ に従うと仮定する。また、分散が簡単に算出可能であれば有用であるため平均フロー $\bar{v}_a$ で標準化された変動係数を被説明変数とする次のような負の指数型の関係式を用いる¹⁾。

$COV = \sigma_a / \bar{v}_a = \alpha \cdot \exp\{-(g + \delta) \cdot \beta\} + \gamma \cdots (1)$
ここに、COV：変動係数、 g ：混雑度（交通量 $\bar{v}_a$ /交通容量 C_a ）、 α 、 β 、 γ 、 δ ：パラメータである。

次に、交通量の変動を所要時間の変動へと変換する。所要時間は、B.P.R.関数で与えられる。

$$t = t_0 \cdot \{ 1 + r \cdot (\bar{v}_a / C_a)^k \} \cdots \cdots \cdots (2)$$

ここに、 t ：所要時間、 t_0 ：自由走行時所要時間、 r 、 k ：パラメータである。所要時間の確率密度関数は、同じ交通状態での交通量に関する確率と所要時間に関する確率とが等しいという条件から、

$$g(t) = f(x) \frac{dx}{dt} \cdots \cdots \cdots (3)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{C^\beta}{\alpha \cdot t_0 \cdot \beta \cdot v^{\beta-1}} \cdots \cdots \cdots (4)$$

$f(x)$ ：リンクフローの確率密度関数、
 $g(t)$ ：所要時間の確率密度関数
によって得られる。

3. 所要時間信頼性の評価法

本研究では時間信頼性を、「ある確率で到達できる所要時間の最大値」と定義する。本研究では、交通量変動はリンク単位で与えている。信頼性解析では、リンク間での独立性を前提に議論した方が取扱いが容易である。一方、現実の道路網では、交通量変動はリンク間で相関性があるのが一般的である。そこで本研究では、経路上のリンク間の交通量変動に独立性を仮定した場合と、完全な相関性を仮定した場合とを比較する。対象ネットワークは、図-1に示す京都市道路網（1985年時点）である。

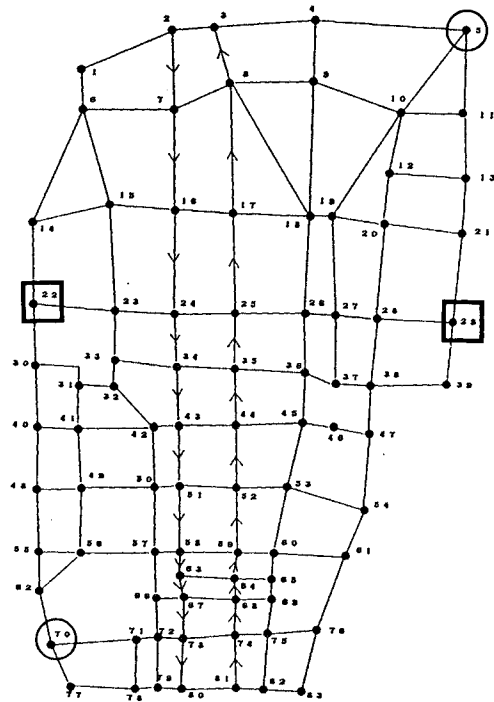


図-1 対象ネットワーク・ODペアと一方通行策の導入

(1) リンク間での交通量変動が独立である場合

ODペア ij 間の所要時間は、経路上のリンク所要時間の線形和で表される。リンク間での交通量変動に独立性を仮定でき、かつリンクの所要時間の確率密度関数が正規分布で近似できる場合には、OD間所要時間の確率密度関数も正規分布で近似できる。この方法では、各リンクの所要時間の平均と分散が求められれば、正規分布の線形結合でOD間所要時間の確率密度関数を求められるという計算上の利便性がある。そこで、本研究では、種々のODペアを対象に、最短経路および上位数個の n 番目最短経路を取出し、それぞれのリンクの所要時間の分布を正規確率紙を用いて検討した。その結果、交通量が交通容量を大きく上回らない場合には所要時間の分布は正規分布と近似してよいことがわかり、本計算ケースでは対象とする全リンクに正規分布性を適用できることがわかった。この方法によって、図-1に示すODペア(5,70)の最短経路に対する所要時間－確率曲線をプロットしたのが、図-2である。

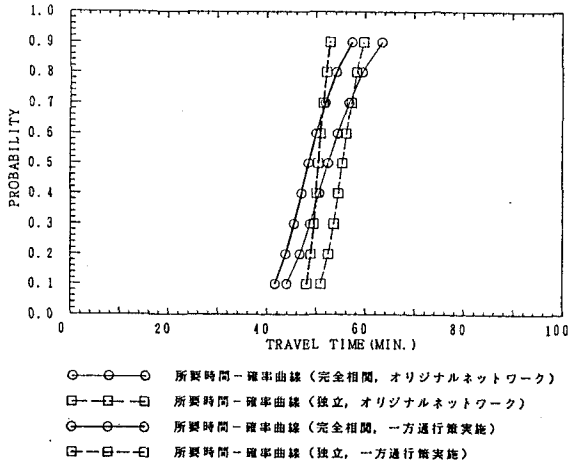


図-2 ノードペア(5,70)の最短経路の所要時間信頼性

(2) リンク間での交通量変動に完全な相関性がある場合

現実には交通量は、リンク間である程度の相関をもって変動していると考えられる。ここでは、リンク間での交通量変動に完全な相関性がある場合を仮定し、独立性の仮定による結果と比較する。

計算方法は、経路上のリンク毎に、「確率 p で到達できる所要時間の最大値」を離散的に計算し ($p = 0.1, \dots, 0.9$)、 p 毎の線形和で OD 間の所要時間-確率曲線を求めた。

(1)の結果と比較すると、独立性の仮定による結果の方が所要時間の分散が小さく算出されている。これは、正規分布の線形和を計算する際の計算上の特性によるものである。図-1で対象としたノードペアでは、到達確率が0.1の場合には、完全相関を仮定した所要時間は約44分であり、独立性を仮定したときの約51分よりも7分小さな値である。また、到達確率が0.9の場合には、前者は約64分であり、後者の約59分よりも5分大きく算出されている。このように両者の差は、最大約16%である。両者の所要時間が一致するのは確率0.5よりも大きいところであるが、これは、近似計算に起因する誤差であると考えられる。他のODペアおよび n 番目経路に対する誤差もほぼ同様、あるいはそれ以下であった。このように、上記程度の誤差あるいは絶対差であれば、実用上(1)と(2)の差は小さく、独立性を仮定した計算の利便性を追求しても、所要時間の信頼性解析は可能であると考えられる。

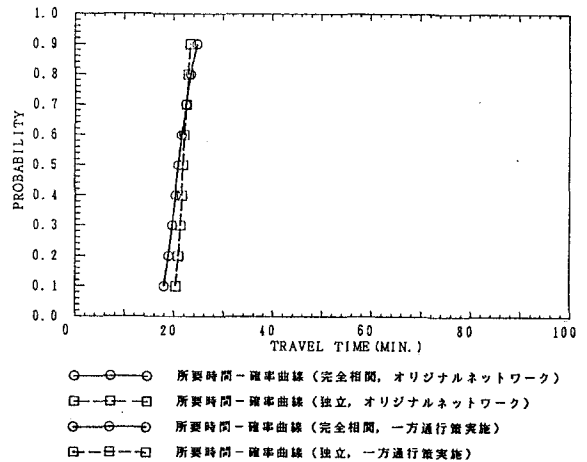


図-3 ノードペア(22,29)の最短経路の所要時間信頼性

4. 一方通行策導入による所要時間信頼性向上効果

本研究で開発した方法は、経路フローの変化にも対応できる方法である。そのため、代替案比較や予測にも利用できる。その一例として、同一道路網に一方通行策を導入した場合を計算してみた(図-2 太線)。ここでは、図-1におけるノードペア(5,70)を対象に最短上位3経路を比較する。このとき、一方通行策実施前後で n 番目最短経路が異なる場合もあるが、ここでは単純にそれぞれを比較している。

図-2から見られるように、一方通行策を実施することで、所要時間の短縮効果が見られる。このノードペアに関しては、一方通行策の導入によって4~5分の時間短縮効果が現われている。また、一方通行策導入後の所要時間-確率曲線が導入前に比べて直立していることから、所要時間の分布幅が小さくなり、所要時間の信頼性が向上したことがわかる。

一方、図-1におけるノードペア(22,29)に対する一方通行策導入前後における所要時間-確率曲線をみると(図-3)、導入前と後でほとんど変化がないことがわかる。これは、図-1では南北方向に一方通行策を導入した場合であるから、東西方向にはその影響が現われなかったことを表している。本研究では、この他に南北方向と東西方向にそれぞれ1ノードペアを分析したが、その傾向は上記の2ノードペアと同様であった。なお、一方通行策の導入に対しては、その効果がプラスに現われるノードペアと効果がマイナスとなるノードペアがあると予想される。実際

このように、本研究で開発した方法では、ネットワークの交通管理運用策による信頼性向上効果が評価でき、将来の交通計画に対して有用な情報を提供できると考えられる。

リスクマネジメントの目的の一つに、クオリティオブライフの向上がある。交通のクオリティを高めることは、量的にはある水準の達成が担保された状態を大前提として、さらにサービスの質や安定性を高めることである。このためには、達成される水準のブレ（変動）や分布を評価する必要がある。前節までの方法を基礎として、所与の所要時間で目的地への到達を可能とするような交通制御について考える。動的な制御を行う場合を想定し、ある制御(Acti on)に対する効果との関係を、リスクマネジメント的に捉える方法について考察する。

Figure 1 illustrates a traffic flow model. The model consists of a sequence of sections: SECTION $i-1$, SECTION i , SECTION $i+1$, and SECTION $i+2$. Above SECTION $i-1$, there is an ONRAMP j with an arrow pointing to it. Above each section, there are symbols representing traffic conditions (▲) and actions (▽). A legend at the bottom right defines these symbols: ▽: ACTION and ▲: TRAFFIC CONDITION. An arrow at the bottom indicates the direction of 'Traffic Flow' from left to right.

図-4 高速道路の道路区間

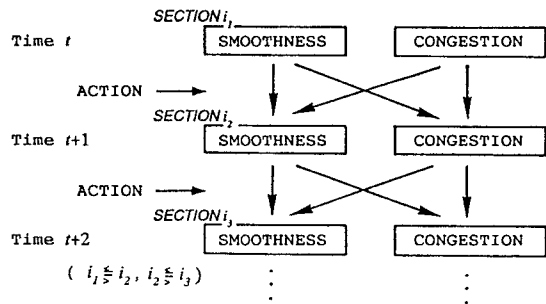


図-5 道路管理者のActionと交通状態の遷移

道路管理者の行動に対しての応答、すなわち危険事象の認識、危険事情および効果（プラス効果）の定量化、さらにその生起確率の推定、等の一連の過程がリスクマネジメントの手順であり、そのシステムの構築を目指したいと考えている。

1) 若林拓史・飯田恭敬・井上陽一：交通量変動に着目した道路網のリンク信頼度の推定法，土木学会第45回年次学術講演会概要集第4部，pp.116-117，1990.