

# 道路ネットワークにおける所要時間の平均と分散を考慮した最適経路決定手法に関する研究\*

## A Route Choice Model Considering Mean Travel Time and Its Variance on Road Networks\*

安東直紀\*\*・有馬和輝\*\*\*・中村有克\*\*\*\*

・山田忠史\*\*・谷口栄一\*\*\*\*\*

By Naoki ANDO\*\*・Kazuki ARIMA\*\*\*・Yuki NAKAMURA\*\*\*\*

・Tadashi YAMADA\*\*・Eiichi TANIGUCHI\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

急速なIT技術の普及などにより、ビジネスは高度化、高速化の一途を辿っている。それに伴い、現代社会は非常に時間制約の強い社会となっており、公共交通機関や、貨物の配送業などにおいては、Just-in-Timeが原則であるといえる。したがって、道路利用時における所要時間の大幅な変動は重大な問題であり、いかにして遅刻も早着もすることなく、予定通りの時刻に目的地に到着するかということは、道路利用者にとって重要な関心事項の一つである。それゆえ、道路利用者にとって、所要時間変動を考慮した経路評価は経路を選択する際に有効であり、定量的に評価可能である評価手法の構築が必要であるといえる。

### 2. 本研究の位置付け

一般的に道路ネットワークにおいて、日々時々刻々と変動しているリンクの所要時間は、交通量と交通容量の関係により変化することが知られている。道路ネットワークを対象とした信頼性評価手法は多くの研究者により提案されているが、そのなかでも代表的なものとして、所要時間信頼性<sup>1)</sup>、容量信頼性<sup>2)</sup>、連結信頼性<sup>3)</sup>などが挙げられる。多くの所要時間に関する信頼性解析では、対象とする道路ネットワークは一定で、専ら交通量の変動により引き起こされる所要時

\*キーワード: 交通情報、経路選択、交通ネットワーク分析

\*\*正会員、博士(工学)、京都大学都市社会工学専攻

(京都市西京区京都大学桂C1、

TEL075-383-3231、FAX075-950-3800)

\*\*\*学生員、学士(工)、京都大学都市社会工学専攻

(京都市西京区京都大学桂C1、

TEL075-383-3231、FAX075-950-3800)

\*\*\*\*学生員、修士(工)、京都大学都市社会工学専攻

(京都市西京区京都大学桂C1、

TEL075-383-3231、FAX075-950-3800)

\*\*\*\*\*フェロー、工博、京都大学都市社会工学専攻

(京都市西京区京都大学桂C1、

TEL075-383-3231、FAX075-950-3800)

間の変動が分析の対象とされるが、本研究においても同様に固定的な道路ネットワーク上における交通量変動により生じる所要時間の変動を分析の対象とする。また、経路の所要時間に関する信頼性評価手法としては、変動係数を用いた解析<sup>4)</sup>や、累積頻度分布を用いた解析<sup>5)</sup>などがある。変動係数を用いた解析では、平均値と標準偏差が比例関係にある2つの経路を等価に評価してしまうという点が、累積頻度分布を用いた解析では経路を定量的に評価しにくいという点が問題点としてあげられている。また、アメリカFHWAにより提案されたPTI/BTI等の所要時間信頼性指標<sup>6)</sup>を用いた解析も実務ではよく用いられる。これらの研究は、いずれも好ましくない事象が発生する確率を考えたものであり、いわゆる工学的リスクの視点に基づく研究であるといえる。これに対し経済学では、ある事象の変動の大きさをリスクとして扱う。経路の所要時間を例にとると、指定時間帯に対する遅刻確率は工学的な視点から見たリスク指標と言え、経済学的な視点から見たリスク指標とは所要時間の分散を意味する(図1)。

経路の評価基準として所要時間の平均と分散を用いた基準はJackson and Jucker<sup>7)</sup>により提案されている。Jackson and Jucker<sup>7)</sup>は、道路利用者が複数の交通手段を用いた経路を決定する際に経路の平均所要時間と重み付き分散の和が最小となる経路を選択すると仮定し、分散の重みパラメータをSP調査により求めている。Lam<sup>8)</sup>は高速道路利用者のVOT (Value of Travel Time) / VOR (Value of Reliability)の計測を試みている。VORに関する研究の多くは、到着時刻制約下における出発時刻選択に関する研究<sup>9)</sup>として行われたものが多い。Polak<sup>10)</sup>は道路利用者の効用関数について、経済学における証券投資理論<sup>11)</sup>、<sup>12)</sup>の場合と同様に二次多項式を用いることで、期待効用を経路の所要時間の平均と分散の線形和で表されるとしている。また、現代ポートフォリオ理論<sup>13)</sup>の平均分散アプローチ<sup>14)</sup>を道路ネットワークに適用した研究としては、Sen<sup>15)</sup>らの研究があげられる。この中で、道路利用者の効用を所要時間の2次多項式で表せると仮定し、経路の接続条件を線形緩和した二次計画問題を解くことで最適経路となる候補を削減し、多目的最適化モデルによりVORとVOTの比から最適経路が変化する

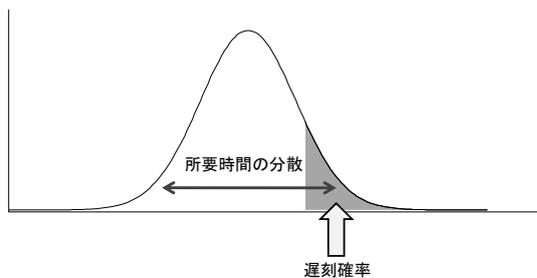


図1 所要時間を例としたリスクの概念

可能性があることを示している。また、Senna<sup>16)</sup>は、到着時刻制約の有無や通勤交通であるか否かなど、多様な条件下でのVOT/VORをSP調査により求める手法について検討している。

一方、川本ら<sup>17)</sup>による先行研究において、所要時間の不確実性を考慮した配車配送計画により配送を行う場合、所要時間の平均値を用いて得られた最短経路に比べ、経路学習により得られた経路を用いた方が、配送コストを削減できる可能性があることが示された。つまり、所要時間の平均値に基づく最短経路に比べ、所要時間の平均値は大きくなるが、標準偏差の小さい経路を用いた方が、総配送コストの面で有利になる可能性を示唆している。

そこで、安東ら<sup>18)</sup>は都市内道路ネットワークにおける経路を評価する際に、平均所要時間に加えて、所要時間の標準偏差に着目し、これら二つのパラメータを同時に用いて経路を評価する指標を提案している。

本研究では、安東らによって提案された平均所要時間と所要時間の標準偏差を考慮する指標を最適化する経路決定手法を構築する。また、ケーススタディとして実際の道路ネットワークに適用し、本手法の有効性について検討する。

### 3. 平均分散アプローチ

所要時間の平均値と分散という二つのパラメータを用いて経路評価を行うにあたり、本研究では、主に証券市場などで用いられている現代ポートフォリオ理論<sup>13)</sup>における平均分散アプローチ<sup>14)</sup>を援用する。

平均分散アプローチは、ある投資対象が投資家に与える期待効用を期待収益率と収益率の分散の関数として表現することで、その投資対象の評価を行うものである。ここで、投資対象の市場における価格が確率変数として表せるものとする。個々の投資対象を道路ネットワークにおけるリンクに、投資対象の組み合わせであるポートフォリオをリンクの組み合わせである経路に対応させることで、平均分散アプローチを道路ネットワークへ援用する。

投資においては、複数の投資対象を比較するときに、期待収益率が等しい場合、収益率の分散が小さい方が選択される。すなわち、投資家が危険回避型の行動をとると考えるのが合理的である。一方、交通行動を考えた場合、道路

ネットワークの各リンクにおける所要時間が確率変数であるとする、道路利用者の経路選択では、多様な評価基準が想定される。しかし、対象を都市内貨物集配に限定すると、道路利用者が目的地までの所要時間に関して、同じ平均所要時間であれば、分散は小さい方が好ましいと考えること、すなわち、危険回避型の評価基準を持つと仮定することには、合理性があると考えられる。

また、証券市場では、ポートフォリオに含まれる証券の保有比率は自由に決定可能であるが、道路ネットワークにおける経路を一つのポートフォリオとして扱う場合、ポートフォリオは複数のリンクの組み合わせで表されるが、ポートフォリオに含まれる各リンクは接続している必要がある。また各ポートフォリオには同一のリンクが複数含まれることはない。このように道路ネットワークを対象とした分析に平均分散アプローチを適用する場合、証券市場を対象とした解析で用いられる仮定以外の付加的な条件も考慮する必要がある。

Markowitzの平均分散アプローチ<sup>14)</sup>が期待効用理論と整合するためには以下の2つの条件のいずれかを満たす必要がある。

1. 効用関数が2次多項式で表せる場合
2. 確率変数が多変量正規分布に従うと仮定できる場合

投資家の効用関数が2次多項式で表せる場合、期待効用は平均と分散の1次結合で表すことができる。すなわち平均分散基準は直線で表される。一方、道路ネットワークを対象とした場合、リンクの接続性に関するポートフォリオの制約から、ポートフォリオの平均・分散は離散的な値をとることとなる。したがって、平均分散基準が直線の場合、効率的フロンティアに存在する複数の経路が無差別となる可能性がある(図2におけるA)。

一方、すべての確率変数が多変量正規分布に従う場合、任意の危険回避型効用関数に関して、平均分散基準は期待効用理論と等価になる。すなわち、任意の効用関数 $U$ について、平均値が $\mu$ で標準偏差が $\sigma$ である正規分布に

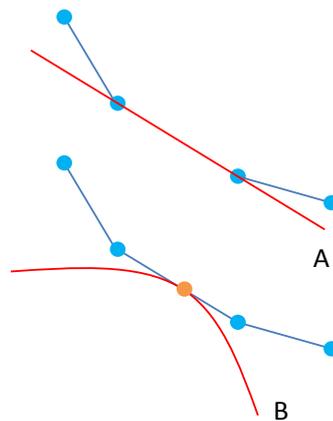


図2 効率的フロンティアと平均分散基準

従う確率変数を  $y$  とすると、その確率分布は  $\mu$  と  $\sigma$  によって完全に記述されるので、期待効用  $E(U(y))$  も  $\mu$  と  $\sigma$  の関数となる。すなわち、

$$E(U(y)) = f(\mu, \sigma) \quad (1)$$

と書ける。

道路ネットワークを対象とする場合、 $U$  が危険回避型であれば、 $f(\mu, \sigma)$  は  $\mu$  と  $\sigma$  に関して単調減少となる。ここで、すべてのリンクの所要時間が多変量正規分布に従う確率変数であるとする、所要時間分布が独立でない場合においても、これらのリンクの所要時間に関する任意の1次結合は、ある平均と標準偏差を持つ正規確率変数となる。この結果、これらのリンクから構成される経路の所要時間は正規分布に従う。したがって、ポートフォリオ問題は、すべての可能な組み合わせの中から関数  $f(\mu, \sigma)$  を最大化するものを選択する問題と等価になる。危険回避的な効用関数に対しては、与えられた平均に対して分散を最小化する解を求めることとなる。

上述の通り、道路ネットワークにおけるリンクおよび経路の所要時間を正規分布であると仮定することで、期待効用を任意の関数形で表すことが可能となる。直線以外の平均分散基準を用いる利点は、道路ネットワークにおける離散的な効率的フロンティアに対し、2経路の線形結合からなる効率的フロンティアと平均分散基準の接点から、最適解を求めることができることにある(図2-におけるB)。本研究ではこの利点は用いていないが、以降の検討では所要時間が正規分布であるという仮定を用いることとする。

評価対象経路の所要時間の平均値と分散を、経路に含まれるリンクの所要時間から計算する。それらは以下の式で計算される。

$$\tilde{t}_p = \sum_{i \in I_p} \tilde{t}_i \quad (1)$$

$$\mu_p(\tilde{t}_p) = \sum_{i \in I_p} \mu(\tilde{t}_i) \quad (2)$$

$$\sigma_p^2 = \sum_{i \in I_p} \sum_{j \in I_p} \sigma_{ij} \quad (3)$$

ここに、

- $I_p$  : 経路  $p$  に含まれるリンクの集合
- $\tilde{t}_i$  : リンク  $i$  の所要時間(確率変数)
- $\tilde{t}_p$  : 経路  $p$  の所要時間(確率変数)
- $\mu_p(\tilde{t})$  : 経路  $p$  の平均所要時間
- $\sigma_p^2$  : 経路  $p$  の所要時間の分散
- $\sigma_{ij}$  : リンク  $i$  とリンク  $j$  の所要時間の共分散

本研究では、上記の式(1)~(3)により、経路所要時間の平均値と所要時間の標準偏差を求め、それら二つの値を

パラメータに持つ関数を仮定し、この関数の値により経路の評価を行うこととする。

#### 4. 経路の評価関数

経路  $p$  の平均所要時間  $\mu_p$  と所要時間の標準偏差  $\sigma_p$  をパラメータに持つ評価関数を定めるため、次のような仮定を設ける。道路利用者は、平均所要時間  $\mu_p$  および所要時間の標準偏差  $\sigma_p$  の小さい経路を選好する。また、平均所要時間  $\mu_p$  が等しい場合、所要時間変動によるリスクを小さくするために、より所要時間の標準偏差  $\sigma_p$  が小さい経路を選好すると考えられる。さらに、 $\mu_p$  と  $\sigma_p$  の限界代替率は、現状での充足度合いによって変化すると考えられるので、無差別曲線は原点に対して凹性を示す。これらの仮定を反映した式(4)を経路の評価関数とする。

$$U_p = (\mu_p^2 + (\alpha \sigma_p)^2)^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

ここに、

- $U_p$  : 経路  $p$  の評価関数値
- $\alpha$  :  $\sigma_p$  が評価関数に与える影響の大きさを表す正のパラメータ

式(4)の評価関数を三次元座標にプロットしたものを、図3に示す。図からも分かるように平均所要時間と所要時間の標準偏差が共にゼロに近づく時、評価関数値は無量大となる。また、平均所要時間と所要時間の標準偏差のいずれか一方がゼロの時、評価関数は双曲線となる。

式(4)における  $\alpha$  は、道路利用者の標準偏差に対する影響度を表しているが、例えばこれまでの変動係数を用いた解析では、所要時間の平均と分散の比をもって所要時間の信頼性を評価していたのに比べ、 $\alpha$  を明示的に与えることで経路の評価における所要時間の平均と分散の影響を道路利用者のニーズに応じて変化させることが可能となる。この性質を利用して、安東ら<sup>18)</sup>は都市内配送実験の結果より  $\alpha$  の範囲を  $11 < \alpha < 14$  程度と推定している。

#### 5. 最適経路決定手法

全リンクの所要時間の平均値と標準偏差が既知である道路ネットワークにおいて、適当な出発地と目的地の2地点を定めた場合、2地点を結ぶ経路は多数存在するものと考えられる。

これらの経路の中から、所要時間の平均と標準偏差を考慮した最適な経路を決定するため、式(4)の評価関数値が最大となる経路を求める。その手順は以下の通りである。

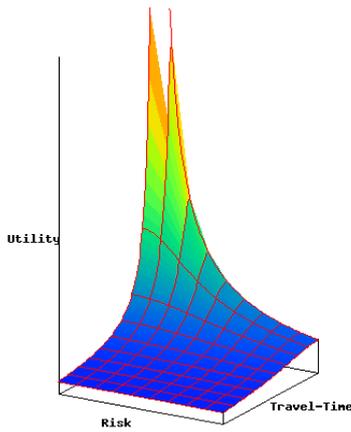


図3 評価関数の3次元プロット

[最適経路決定手順]

- まず, Eppstein<sup>19)</sup>によるk-最短路問題を解くアルゴリズムを用いて, 出発地と目的地を結ぶ経路について所要時間の平均値の小さいものから順に探索を行う.
- 得られた各経路について, 所要時間の標準偏差を求め,  $\mu - \sigma$  平面上にプロットする.
- 各経路の  $\mu$ ,  $\sigma$  をプロットした散布図に, 評価関数値が等しい  $\mu$ ,  $\sigma$  の組み合わせの集合である無差別曲線を描く.
- 複数ある無差別曲線のうち, 最も大きな評価関数値を示す無差別曲線に含まれる経路が評価関数値最大経路となる.

得られた評価関数値最大経路を最適経路とする. 上述の最適経路を決定する手法に関して, 経路の散布図と無差別曲線の概念図を図4に示す. 最適経路を与える無差別曲線(図4中の実線)において,  $\sigma = 0$ としたときの  $\mu_*$  を超える  $\mu$  を持つ経路が得られるまでk-最短路問題により経路を求めることで, 得られた経路が最適経路となることが保証される. なぜなら  $\mu_*$  を上回る経路では仮に  $\sigma = 0$  となっても最適経路以上の評価関数値を持つことがないためである.

式(4)における  $\alpha$  は, 所要時間の標準偏差が評価関数に与える影響の大きさを表すパラメータであるが, 無差別曲線はこの  $\alpha$  の値によって変化する. したがって,

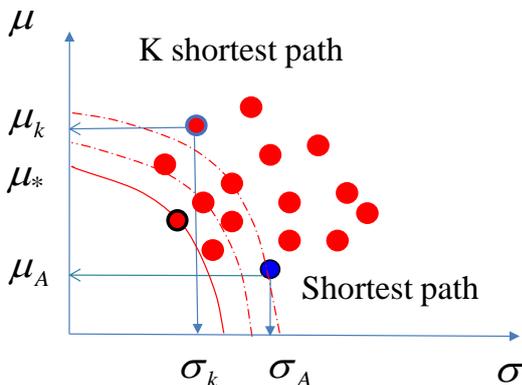


図4 経路の散布図と無差別曲線

$\alpha$  の値が0のときには, 所要時間の標準偏差を考慮しない, すなわち, 平均所要時間に関する最短路が最適経路となる. また,  $\alpha$  の値が大きいほど, 所要時間の標準偏差の小さい経路が最適経路として決定される. したがって, 経路選択を行うものが自ら持つ所要時間の標準偏差の重要度に応じて  $\alpha$  の値を設定することで, 平均所要時間の最短路とは異なる最適経路を探索することが可能となる.

## 6. ケーススタディ

### (1) 対象道路ネットワーク

上述の手法の有効性を検討するために, 実際の道路ネットワークに本手法を適用する.

全てVICSリンクで構成された大阪中心部の道路ネットワークの一部を対象ネットワークとする. ノード数は225, リンク数は789である. 対象ネットワークを図5に示す. リンクの所要時間は, 平成16年10月1日から11月16日までの平日30日間における各日15時台のVICSデータを用いた. VICSでは5分ごとにリンク所要時間を出力しており, それぞれのリンクについて30日間で合計450個の所要時間データが得られる. このデータを用いて道路ネットワーク上の全リンクの平均所要時間および所要時間の分散を求めると共に, 全てのリンクペアに関する共分散を求めた. 一般に所要時間の分散と交通量あるいは混雑度の間には正の相関があるとされるが, 本研究で用いたVICSデータは所要時間情報のみであり, 交通量に関するデータがないため, 所要時間の分散と交通量との関係に関する分析は本研究では行っていない.

### (2) 最適経路の決定

図5のネットワークにおいて, 出発ノードを16番, 目的ノードを1番とする経路について考察する. このOD間の各経路について, 各リンクの所要時間情報から, 所要時間の平均  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  を算出する. 図6に, その散布図を示す.

上述の手法に従って, 評価関数値が最大となる経路を探索した. 図6の各経路の散布図のうち, A~E(図7)の経路が  $\alpha$  の値により評価関数値最大経路となり得ることがわかる. また隣接する経路(例えばA・BあるいはC・Dなど)の評価関数値が等しくなるときの  $\alpha$  を求めることで, それぞれの経路が評価関数値最大経路となる  $\alpha$  の値の範囲を求めることが出来る. 得られた  $\alpha$  の範囲を表1に示す. また, 同様に, 出発ノードを11番, 目的ノードを13番とした際の最適経路を図8に, 出発ノードを14番, 目的ノードを5番とした際の最適経路を図9に示す.

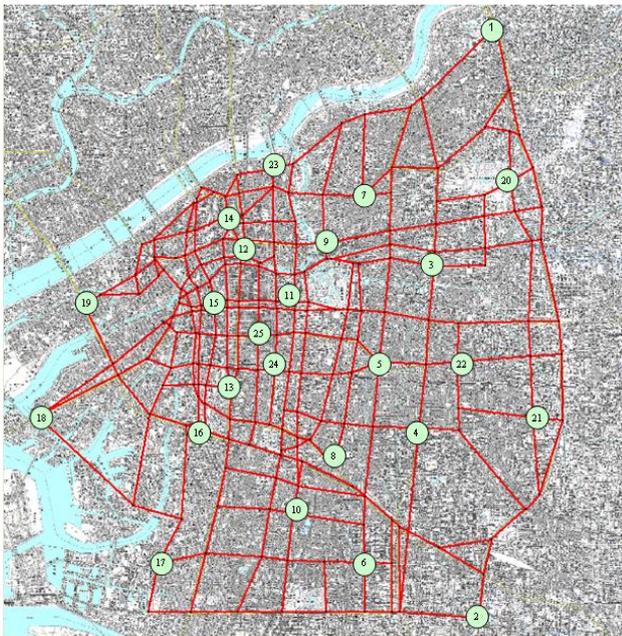


図5 計算対象道路ネットワーク(大阪中心部)

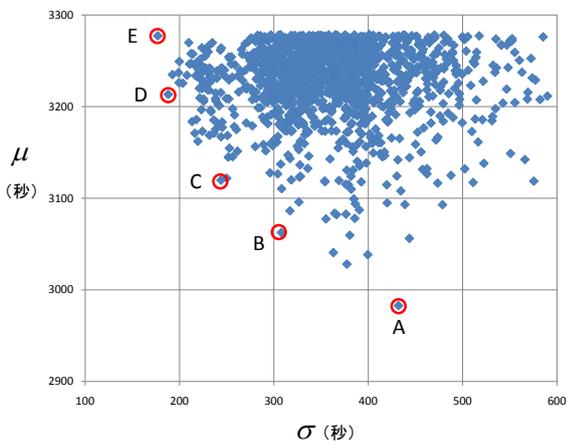


図6 各経路の所要時間の平均値と標準偏差  
(出発ノード16, 目的ノード1の場合)

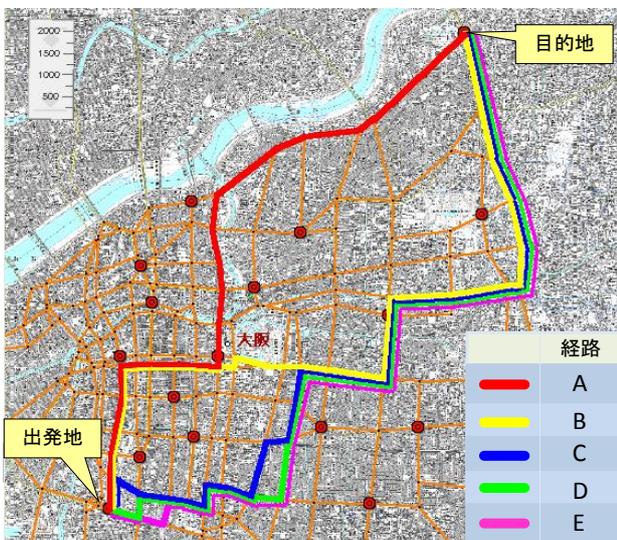


図7 評価関数値最大経路(出発ノード16, 目的ノード1)

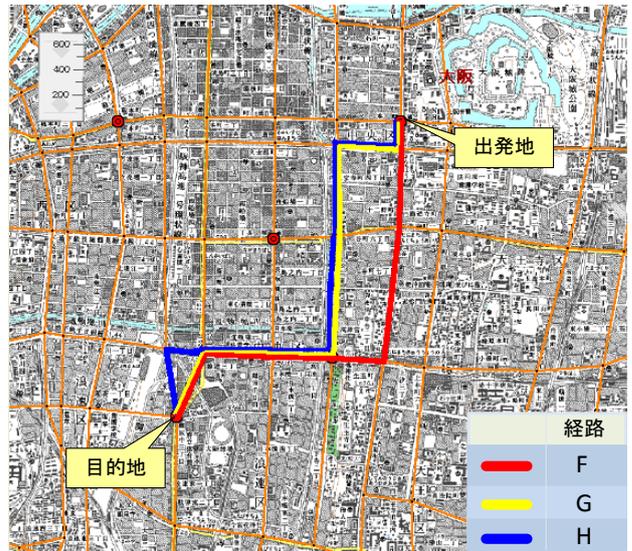


図8 評価関数値最大経路(出発ノード11, 目的ノード5)

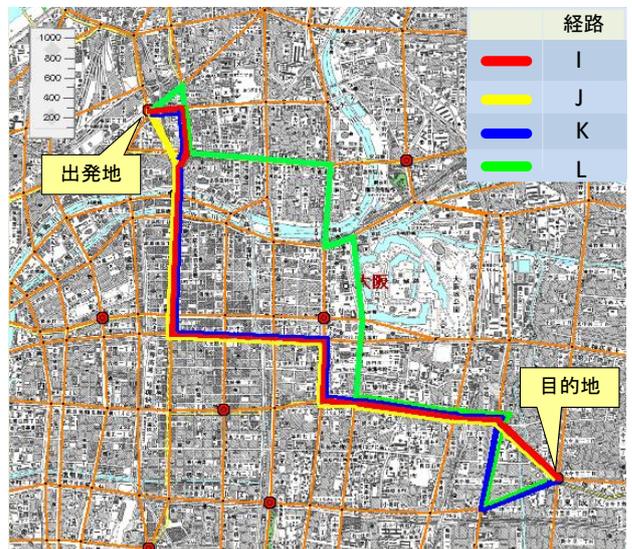


図9 評価関数値最大経路(出発ノード14, 目的ノード5)

表1 評価関数値最大経路と $\alpha$ の関係

評価関数値最大経路	$\alpha$
A	$0 \leq \alpha \leq 2.29$
B	$2.29 < \alpha \leq 3.75$
C	$3.75 < \alpha \leq 4.87$
D	$4.87 < \alpha \leq 10.13$
E	$10.13 < \alpha$

### (3) 結果・考察

表2にA~Eの各経路についての平均所要時間と所要時間の標準偏差を示す。平均所要時間に関する最短経路、つまり経路Aの所要時間の平均は49.7分、標準偏差は約6.4分であるのに対し、経路Eの経路の場合、平均が54.6分、標準偏差が約3.0分であることから、平均値はおよそ5分所要時間が大きい、経路Eは所要時間信頼性の高い経路であるといえる。このように、所要時間

表2 評価関数値最大経路の所要時間特性

	平均所要時間 (分)	標準偏差 (分)
A	49.71	6.43
B	51.04	5.13
C	52.85	3.60
D	53.56	3.13
E	54.62	2.95

の標準偏差を考慮する度合いに応じて $\alpha$ の値を調整することにより、道路利用者のニーズに応じた最適な経路を決定することが可能であるということが、本手法の特徴である。

また効率的フロンティア上の各経路A~Eについて、平均所要時間と標準偏差の和は56.14~57.57と非常に狭い範囲に収まることが明らかになった。このような性質が他のODペアでも成立するか否かについては詳細な分析が必要であるが、もしこのような性質が他のODペアでも成立するならば、 $\mu + \sigma$ などで表されるような遅刻確率を対象とした検討では、複数の経路が分析の対象となり得る可能性があると考えられる。しかし既存の所要時間信頼性に関する解析手法では、例えば最短経路を求め、得られた経路の平均所要時間と標準偏差の線形結合を持って遅刻確率を論じるような取扱いをされることが見受けられるが、本研究で提案する手法により、対象とするODペアにおいて同程度の遅刻確率を持つ経路が、効率的フロンティア上に複数存在する可能性が示された。この点からも本研究で提案した手法は、既存の所要時間信頼性に関する解析手法に対して一定の優位性があると考えられる。

## 7. 結論

本研究では、所要時間の平均値と標準偏差をパラメータに持つ経路の評価関数を用いて、評価関数値が最大となる経路の決定手法の構築を行った。さらに実際の道路ネットワークに適用し、 $\alpha$ の値を調整することによって所要時間変動の小さい経路を決定することが可能であることを示した。本手法の特徴として、比較的容易に経路を定量的に評価することができ、さらに、所要時間変動に関して道路利用者のニーズに応じて最適経路を決定できるという点が挙げられる。しかし、出発地と目的地の異なる経路について、評価関数値を比較することができないという欠点もある。

提案した最適経路決定手法において、評価関数における所要時間の標準偏差の影響の大きさを決める $\alpha$ の値が重要である。したがって、道路利用者が経路を選択する際に、所要時間のばらつきをどの程度考慮しているのかをアンケート調査等により調べることが、今後の課題として挙げられる。

また、本研究では、道路ネットワーク全体の所要時間情報として、特定の時刻における所要時間情報を用いたが、今後は時間の経過を考慮した経路の所要時間により比較・検討を行うことで、さらに精緻な評価が可能になると考えられる。

## 参考文献

- 1) Bell, M.G.H. and Iida, Y.: Transportation network analysis, pp.179-192, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997.
- 2) Chen, A., Yang, H., Lo, H.K. and Tang, W.H: Capacity related reliability for transportation networks, Journal of Advanced Transportation, Vol. 33, Issue 2, pp.183-200, 1999.
- 3) Asakura, Y., Kashiwadani, M.: Road network reliability caused by daily fluctuation of traffic flow, 19th PTRC Summer Annual Meeting, Proceedings Seminar G, pp. 73-84, 1991.
- 4) 小松良幸, 中山晶一朗, 高山純一: リンクレベルでの渋滞変化を考慮した時間信頼性指標に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.35, CD-ROM, 2007.
- 5) 宇野伸宏, 倉内文孝, 嶋本寛, 山崎浩気, 小笹浩司, 成田博: ETCデータを用いた都市間高速道路の旅行時間信頼性分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.35, CD-ROM, 2007.
- 6) Federal Highway Administration: Traffic congestion and reliability: Linking solutions to problems, 2009. ([http://ops.fhwa.dot.gov/congestion\\_report\\_04/congestion\\_report.pdf](http://ops.fhwa.dot.gov/congestion_report_04/congestion_report.pdf))
- 7) Jackson, W.B. and Jucker, J.V.: An empirical study of travel time variability and travel choice behavior, Transportation science, Vol.6, No.4, pp.460-475, 1981.
- 8) Lam, T.C. and Small, K. A.: The value of time and reliability: measurement from a value pricing experiment, Transportation Research Part E: Logistics and transportation Review 37(3), pp231-251, 2001.
- 9) Polak, J.: A more general model of individual departure time choice, PTRC Summer annual meeting, Proceedings of seminar C, 1987.
- 10) Noland, R.B. and Small, K. A.: Travel-time uncertainty, departure time choice, and the cost of morning commutes, Transportation Research Record 1493, pp.150-158, 1995.
- 11) Tobin, J.: Liquidity preference as behavior towards risk, The economic studies, XXV, pp.65-86, 1957.
- 12) Sinn, H.W.: Economic decisions under uncertainty, North-Holland, 1983.
- 13) たとえば日本証券アナリスト協会編, 榊原茂樹, 青山讓, 浅野幸弘: 証券投資論, 第3章, pp110-160, 1991.

- 1 4) H. M. Markowitz : Portfolio Selection, Wiley, 1959.
- 1 5) Sen, S., Pillai, R., Joshi, S. and Rathi, A. K.: A mean-variance model for route guidance in advanced traveler information systems, Transportation Science, Vol.35, No.1, pp.37-49, 2001.
- 1 6) Senna, L.A.D.S.: The influence of travel time variability on value of time, Transportation, 21, pp.203-228, 1994.
- 1 7) 川本宗由, 谷口栄一, 山田忠史 : アンソルーティンクを活用した配車配送計画手法の効果分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.32, CD-ROM, 2005.
- 1 8) 安東直紀, 谷口栄一, 山田忠史, 岡弦太郎: 平均分散アプローチを用いた経路の所要時間評価に関する研究, 第28回交通工学研究発表会論文報告集, pp.173-176, 2008.
- 1 9) Eppstein D : Finding the k Shortest Paths, SIAM Journal on Computing, Vol.28, No.2, pp652-673, 1998.

## 道路ネットワークにおける所要時間の平均と分散を考慮した最適経路決定手法に関する研究\*

安東直紀\*\*・有馬和輝\*\*\*・中村有克\*\*\*\*・山田忠史\*\*・谷口栄一\*\*\*\*\*

本論文では、道路ネットワーク上のリンクの所要時間が正規分布に従うと仮定した上で、現代ポートフォリオ理論の平均分散アプローチを援用し、所要時間の平均と分散をパラメータにもつ経路の評価関数を提案した。この評価関数を用いて、出発地から目的地までの経路の中から最適な経路を決定する手法を構築した。ケーススタディでは、実際の道路ネットワークにおいて出発地と目的地を設定し、最適経路を探索した。その結果、評価関数のパラメータ値を調整することで、道路利用者のニーズに応じた最適経路の決定が可能であることを示した。

### **A Route Choice Model Considering Mean Travel Time and Its Variance on Road Networks\***

By Naoki ANDO\*\*・Kazuki ARIMA\*\*\*・Yuki NAKAMURA\*\*\*\*・Tadashi YAMADA\*\*・Eiichi TANIGUCHI\*\*\*\*\*

In this paper, we propose an evaluation function with two parameters, of mean travel time and its variance, by applying the mean-variance approach of modern portfolio theory to the road network analysis under the assumption that link travel times follow the normal distribution. Furthermore, we also propose a method for determining the optimal route using this evaluation function. In our case study, the optimal route is identified by setting an OD-pair in an existing road network. The result indicates that it is possible to find the optimal route which satisfies the needs of road users by controlling the parameter used in the model.