

平均分散モデルを用いた道路ネットワークにおける経路の所要時間評価に関する基礎的研究*

Evaluation of Route Travel Times of Urban Road Network with Mean-Variance Model*

安東直紀**・谷口栄一***・山田忠史**・岡弦太郎****

By Naoki ANDO**・Eiichi TANIGUCHI***・Tadashi YAMADA**・Gentaro OKA****

1. はじめに

近年、ビジネスは高度化・高速化の一途を辿っている。現代社会では非常に強い時間制約が日常的になっており、高水準で安定した輸送・移動の手段がますます求められている。そのため、道路における経路を評価する指標としても、従来から用いられている平均所要時間に加え、所要時間の変動を考慮することは意義があると考えられる。

既往の研究において、川本ら¹⁾は都市内における配車配送計画において、リンク所要時間の平均値に基づく最短経路を用いるケースと比べて、アンツルーティングにより得られる経路、すなわち、平均所要時間は大きくなるが、所要時間の分散が小さい経路を用いた方が、総配送コストの面で優れていることを示している。

そこで本研究では、道路リンクの平均所要時間と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用いて経路を評価する手法を提案する。また、実際の道路ネットワークにおける所要時間情報を用いて、提案した手法の評価を行うとともに、配車配送計画の解析結果との比較を行う。

2. 平均分散アプローチ

(1) 定式化

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²⁾における平均分散アプローチ³⁾を援用する。この手法は、ある投資対象が投資家に与える効用を期待収益率と収益率の分散の関数

*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)

***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)

****非会員、学士(工)、株ワークスアプリケーションズ

(東京都港区赤坂1-12-32 アーク森ビル19F、

TEL03-6229-1200、FAX03-6229-1201)

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。

道路ネットワークにおいて経路とは、リンクの組み合わせである。したがって、評価対象経路の所要時間、平均所要時間、所要時間の分散を、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。

$$\tilde{t}_p = \sum_{i=1}^n \tilde{t}_i \quad (1)$$

$$\mu(\tilde{t}_p) = \sum_{i=1}^n \mu(\tilde{t}_i) \quad (2)$$

$$\sigma_p^2 = \sum_i \sum_j \sigma_{ij} \quad (3)$$

ここに、

\tilde{t}_i : リンク i の所要時間

\tilde{t}_p : 経路 p の所要時間

$\mu(\tilde{t})$: 所要時間 \tilde{t} の平均所要時間

σ_p^2 : 経路 p の分散

σ_{ij} : リンク i とリンク j の所要時間の共分散

上部にチルダのついている変数は確率変数である。

本研究では、上記の式より、平均所要時間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、その関数値により経路の評価を行う。

(2) 経路の評価関数

経路評価のための関数を設定するに当たり、次のような仮定を設ける。すなわち「道路利用者は、平均所要時間 μ が同じであれば、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 σ が小さい経路を選好する」と想定する。

また、 μ と σ の限界代替率は、現状での充足度合によって変化すると仮定する。例えば、 σ を減らす代わりに、 μ が増えるケースを考えると、 μ が大きくなるにつれ、 σ の減少量は大きくなる。これにより、 $\mu - \sigma$ 平面上において、 μ と σ の無差別曲線は原点に対して凹性を示すと考えられる。さらに、道路利用者は、平均所要時間および標

標準偏差の小さい経路を選好するのが一般的である。

本研究では、これらの仮定を反映した式(4)を、評価関数として用いることとする。

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

ここに、

U_p : 経路 p の評価関数値

μ_p : 経路 p の平均所要時間

σ_p : 経路 p の所要時間の標準偏差

α : 標準偏差の影響の大きさを表す定数

式(4)の評価関数を三次元座標にプロットしたものを、図1に示す。

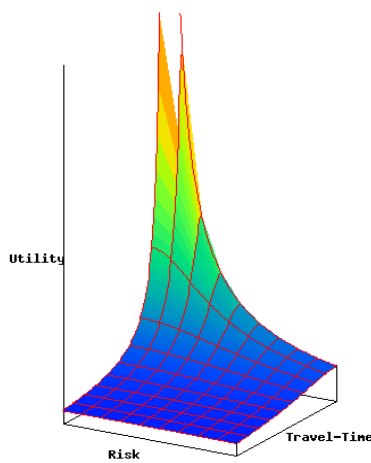


図1 評価関数の3次元プロット

先行研究では、種々の配車配送計画モデルにより得られた最適解を総コストの観点から比較・考察してきた、本研究では、配車配送計画モデルにより得られる最適解の経路を、式(4)を用いて評価し、配車配送計画モデルの目的関数である総コストと比較・考察を行う。

3. 配車配送計画モデル

(1) 配車配送計画モデルのフレームワーク

本研究で用いる配車配送計画モデルは、図2に示す構造をしている。

まず対象とする道路ネットワークにおいて、設定した顧客ノード間の経路選択を行う。本研究では経路選択モデルとして、リンク所要時間の平均値を用いる最短経路探索と、経路学習手法の一つであるアンツルーティングにより経路選択を行うケースを用いる。

次に配車配送計画問題を解くことにより総コストが最小となる顧客訪問順序を決定する。その際、顧客間の経路の所要時間情報に平均所要時間を用いる確定論的配車配送計画問題(VRPTW-F: Vehicle Routing and scheduling Problems

with Time Windows - Forecasted)と所要時間分布を用いる確率論的配車配送計画問題(VRPTW-P: Vehicle Routing and scheduling Problems with Time Windows - Probabilistic)がある。本研究では、上記の経路選択モデル及び配車配送計画問題を組み合わせて得られる経路について、評価・考察を行う。

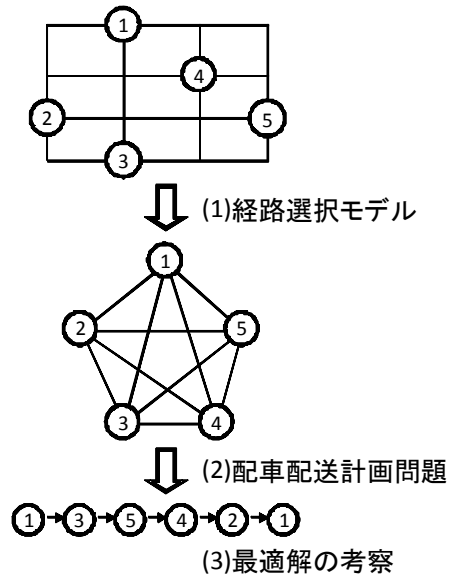


図2 配車配送計画モデルのフレームワーク

(2) アンツルーティングを用いた経路選択

本研究において経路選択モデルとして使用するアンツルーティングは強化学習を経路選択に応用した手法の一つである。アンツルーティングはアリの採餌行動モデルを利用した経路制御手法であり、アリが化学物質(フェロモン)によって巣と餌の間の最短経路を発見する方法を応用し、ノード間の最短経路を見つける経路選択学習手法である。この手法は確率的に良好な経路を選択するため、ある特定の状況の下で、最適な経路を常に保持しようとする手法に比べ、ネットワークの変化に対する適応力に優れている⁵⁰⁾。

図3にアンツルーティングのアルゴリズムを示す。

$$\Delta p = k / f(t) \quad k: \text{学習率(分)} \quad (5)$$

$$P_Y(S, X) = \frac{P_Y(S, X) + \Delta p}{1 + \Delta p} \quad (6)$$

$$P_Y(S, Z) = \frac{P_Y(S, Z)}{1 + \Delta p}, \quad Z \in \text{neighbor of } Y, Z \neq X \quad (7)$$

式(5), (6), (7)に従い確率更新は行われる。

(3) 配車配送計画問題

本研究において、物流企業における最適な配車配送計画とは総コスト(固定コスト、運行コスト、遅刻・早着ペナルテ

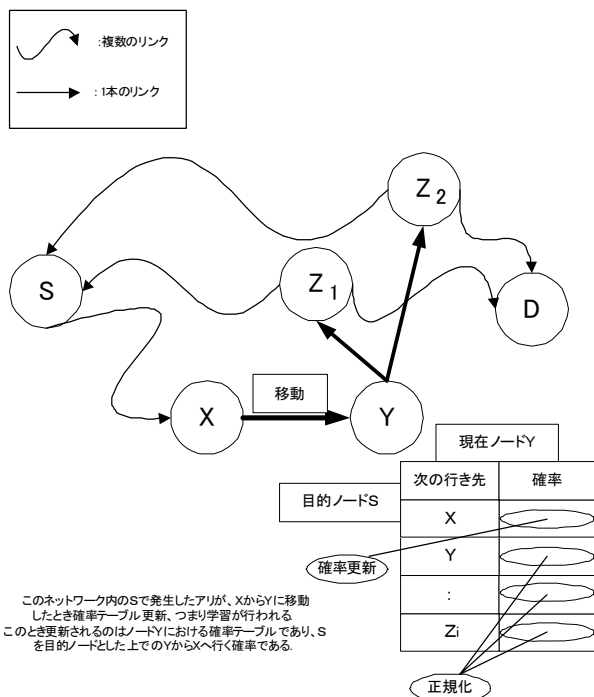


図3 アンツルーティングのアルゴリズム

イ)を最小化するものと考え、谷口ら⁴⁾が定式化した配車配送計画問題を用いて解析を行う。

【配車配送条件】

- a) トラックは一日に複数回の巡回を行うことができる。
- b) 顧客はトラックの配送ルートのもれかには必ず割り当てられ、貨物はトラックの一回の訪問で全て集荷あるいは配送される。
- c) 一つの配送ルートの貨物重量の合計はトラックの積載容量を超えることが出来ない。
- d) 所定のトラック運行可能時間を設定する場合はそれを超えてトラックを運行することは出来ない。

このモデルではトラックの出発時刻、顧客の配送ルートへの割り当て、顧客の訪問順序を決定する。なお各顧客が集配トラックに配送してほしい指定時間帯(time window)をもち、トラックがその指定時間帯より早着・遅刻した場合にもペナルティを支払うことで配送を続けることが出来るものをソフトタイムウィンドウ、遅刻を許さないものをハードタイムウィンドウと呼ぶ。本研究ではソフトタイムウィンドウを採用し、総コストには遅刻・早着ペナルティを含むものとする。

4. 平均所要時間と所要時間の標準偏差の計算

図4に本研究で用いた道路ネットワークを示す。道路ネットワークは225ノード、789リンクより構成される。所要時

間情報の確保のため、全てVICSリンクより構成される道路ネットワークとした。仮想に配置した24箇所の顧客に対して配送計画を行うこととする。経路選択モデルとしてアンツルーティング及び最短経路探索を、配車配送計画問題としてVRPTW-F及びVRPTW-Pを用いて、以下の条件の下で訪問順序・経路を求める。

使用トラックは2tトラック3台、デポの稼働時間帯は8:30～17:00、顧客の時刻制約は10:00～11:30, 11:00～14:00, 14:00～15:00のいずれかをランダムに設定した。

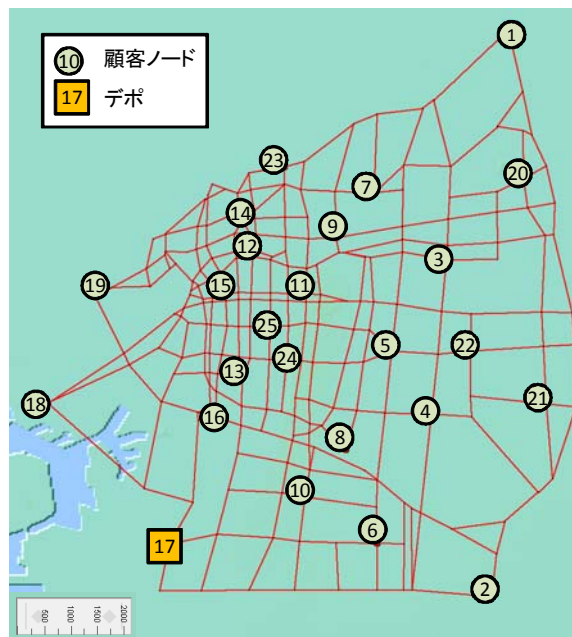


図4 大阪中央部ネットワーク

道路ネットワークの所要時間情報として平成16年10月1日から11月16日までの期間にVICSより得られた所要時間情報を用いて、所要時間の平均値と分散に関する計算を行う。評価対象の経路として、下記の3経路に着目する。

- 経路A: 経路選択モデルにアンツルーティングを用いてVRPTW-Pにより得られた最適解
- 経路B: リンク所要時間の平均値に基づく最短経路探索手法を用いてVRPTW-Pにより得られた最適解
- 経路C: リンク所要時間の平均値に基づく最短経路探索を用いてVRPTW-Fにより得られた最適解

それぞれの経路に対し、走行実験により得られた総コストは表1に示すとおり経路A<経路B<経路Cであった。

表1 各経路の総コスト

	平均総コスト (円)
経路A	39,116
経路B	61,715
経路C	77,942

式(2)と(3)を用いて、上記各経路の平均所要時間と所要時間の標準偏差を計算した結果を表2に示す。

表2 各経路の平均所要時間と標準偏差

経路	時刻	平均所要時間(秒)	標準偏差(秒)
A	15:00	29,298	2,006.1
	16:00	28,829	1,457.0
	17:00	27,521	1,738.8
B	15:00	27,246	2,238.3
	16:00	27,172	1,687.0
	17:00	25,613	1,952.7
C	15:00	28,946	2,128.9
	16:00	28,811	1,619.1
	17:00	27,562	2,051.6

ここで、式(4)に表2の値を代入し、 α を連続的に変化させた際の、経路A～Cの評価関数の α 値を観察すると、表3に示す α の範囲内において、評価関数の大小が、経路A～Cに対応する配車配送計画の最適解の優劣と整合することがわかった。

表3 既往の研究結果と整合する α の範囲

時刻	α
15:00	10.857 < α < 14.141
16:00	11.330 < α < 20.224
17:00	10.857 < α

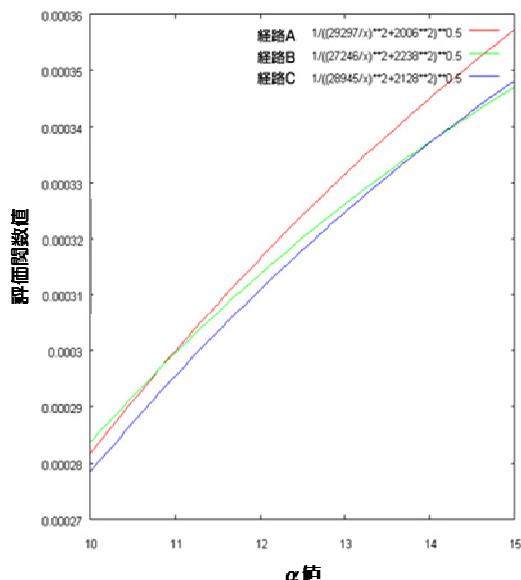


図5 α 値と評価関数値の関係(時刻:15:00)

5. 結論

本研究では、平均所要時間と所要時間の標準偏差を用

いて経路を評価する手法の構築を行った。さらに、実際の道路ネットワークにおける所要時間情報を用いて計算を行うことにより、評価関数の設定により、配車配送計画の総コストに関する比較結果と整合性を持つ結果を得ることが可能であることを示した。

今後の課題としては、より現実に即した評価関数の検討や、計算時間の短縮などが挙げられる。評価関数については他の経路を用いた検証や、アンケートなどを用いた標準偏差の重みに関する調査を行い、より適切な関数形について検討していく必要があると考えられる。また、本研究では、ネットワーク全体の所要時間情報を、特定の時刻におけるスナップショットにより表したが、今後はタイムスライスを考慮した経路の所要時間により比較・検討を行う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 川本宗由, 谷口栄一, 山田忠史 : アンツルーティング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.
- 2) たとえば日本証券アナリスト協会編, 榊原茂樹, 青山譲, 浅野幸弘 : 証券投資論, 第3章, pp110-160, 1991.
- 3) H. M. Markowitz : Portfolio Selection, Wiley, 1959.
- 4) 谷口栄一, 山田忠史, 柿本恭志: 「所要時間の不確実性を考慮した都市内集配トラックの確率論的配車配送計画」土木学会論文集No674/IV-51, pp49-61, 2001.
- 5) Matsuo, H. and Mori, K.: Accelerated ants routing in dynamic networks, 2nd international conf. on software engineering, artificial intelligence, networking & parallel/distributed computing, pp.333-339, 2001.
- 6) 齊藤亨, 松尾啓志: 動的な環境下における履歴情報を用いた確率的ルーティング, 電子情報通信学会研究会スペクトル拡散, SST2001-168, pp.289-296, 2002.