

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22760390

研究課題名（和文） 経路ポートフォリオを用いた都市内配送の効率化に関する研究

研究課題名（英文） Improving efficiency of urban delivery with route portfolio

研究代表者

安東 直紀 (ANDO NAOKI)

京都大学・大学院工学研究科・特定准教授

研究者番号：20432362

研究成果の概要（和文）：

本研究では、構築した経路ポートフォリオを用いた配車配送計画問題（以後、経路ポートフォリオ配送計画）の定式化を、実際の都市内道路ネットワークと、VICSにより得られる所要時間履歴情報を適用したケーススタディを実施し、効果の検証及び考察を行った。その評価を行うに当たり、熟練した配送係の配送モデル（以後、配送係の再現モデル）も構築した。その結果、本研究で用いた都市内道路ネットワークと実際の所要時間の履歴情報及び時間帯指定の条件では、確率論的配送計画により配送を行うケースと、経路ポートフォリオ配送計画を用いて配送を行うケースでは、配送の安定選好度  $\alpha$  が中程度の場合に、微少ではあるが経路ポートフォリオ配送計画の方が安定して安価な配送を実現することが確認できたが、時間帯指定の条件によっては確率論的配送計画と経路ポートフォリオ配送計画では配送コストに全く差が無くなることが明らかとなった。いずれのケースにおいても、確率論的配送計画・経路ポートフォリオ配送計画共に配送係の再現モデルよりも良好な配送を実現した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, Vehicle Routing Problems with Route Portfolio (VRPRP) is developed and its effect is examined by conducting the case studies applied to actual urban road network and its travel time history provided by VICS. For its evaluation, Expert Dispatcher Replication Model (EDRM) is also developed. Under conditions of actual urban deliveries, it was found that VRPRP realizes slightly more stable and cheaper deliveries compared to the Probabilistic Vehicle Routing Problem (PVRP) when delivery stability preference  $\alpha$  was moderate. However, no differences were found between the total cost of VRPRP and that of PVRP under certain conditions of customer's time windows. Both VRPRP and PVRP realized better deliveries than EDRM in any cases.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
22年度	1,200,000	360,000	1,560,000
23年度	1,200,000	360,000	1,560,000
24年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

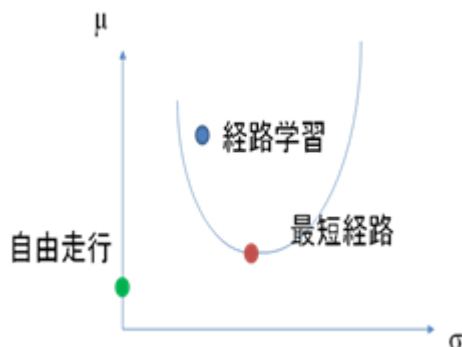
科研費の分科・細目：土木工学、土木計画学・交通工学

キーワード：物流・シティロジスティクス

### 1. 研究開始当初の背景

都市内のトラック交通が  $\text{CO}_2$ ・ $\text{NO}_x$  等の排出や渋滞に与える影響は大きい。一方で経済活動における国際的な競争からコスト削減に対する要求は高く、効率性の向上と環境負荷削減の両立が求められている。すなわち都市全体として効率化を目指す City Logistics の重要性について谷口らは指摘している。安東らは数理計画問題における代表的な問題である配車配送計画問題を用いて都市内における貨物車の配送行動の最適化に関する研究において、トラックの経路選択では最短経路を用いる場合と比べ、経路学習を用いる方が安定した配送を実現可能であることを明らかにしている。すなわち遅刻・早着を考慮した都市内配送を検討する際に、経路の期待所要時間のみならず所要時間の標準偏差(リスク)も考慮することで、より効率的な配送を実現可能であることが判明した(図-1)。

図-1：所要時間の平均と分散の関係



都市の道路ネットワークにおける信頼性解析では、信頼性グラフ理論を適用して、接続性・容量・所要時間などについて、研究が行われてきた。これらの研究では、一定以上の所要時間となる事象が発生する確率をもって、当該リンクの接続性が損なわれたとし、そのようなリンクが存在するネットワークについて、信頼性を検討する手法について述べている。一般に道路ネットワークの信頼性解析においては、特定の OD もしくはネットワーク全体の信頼性について定量的な評価が試みられてきた。一方昨今の都市内配送においては1台のトラックは複数の顧客を順に訪問することが一般的となっているが、それぞれの配送先において独自の到着時間帯指定を設定する Just In Time 輸送が恒常化しており、この様な状況下では指定時間帯に対する遅刻の発生のみならず、早着についても抑制することが求められるが、従来の信頼性解析手法では、多数の顧客間の経路の安定性

に関する解析を取り扱ったものはない。本研究では配送経路の安定性に関する優劣を定量的に評価する手法として、経済学における現代ポートフォリオ理論に着目した。

これまで道路ネットワークに対し、現代ポートフォリオ理論を適用した研究は、VOT (Value Of Time)・VOR (Value Of Reliability) の算出理論及び実際の VOT・VOR 計測と出発時刻選択への適用に関するものが主流であり、いずれも単一の経路を対象に考察した研究であり、現代ポートフォリオ理論を、複数の顧客に対する都市内配送に対して適用を試みた例はない。

### 2. 研究の目的

既往の都市内配送の効率化に関する研究では、実際の都市道路ネットワークを対象とした配送を評価する際に、顧客間などの OD に対する配送経路として、最短経路探索などの経路決定手法により得られる経路が用いられてきた。本研究では、都市内配送における各 OD に対し、複数の経路からなる経路ポートフォリオを用いる配送を提案し、この経路ポートフォリオを用いる都市内配送の効率化手法の構築に取り組む。また提案する経路ポートフォリオを用いた都市内配送の効果について、実際の都市道路ネットワークにおいて検証を試みる。

### 3. 研究の方法

本研究ではまず、①経路ポートフォリオを用いた配車配送計画問題の定式化を行い、次いで②経路ポートフォリオの最適化手法の構築、並びに経路ポートフォリオを用いた配車配送計画の最適解求解手法を構築する。構築した手法及び従来の配車配送計画のパフォーマンスを検証するための比較対象として③熟練した配送係の再現モデルを構築する。さらに④大阪市中央部を対象に、VICSにより得られる実際のリンク所要時間の履歴情報を用いて、最短経路探索・経路学習等の経路選択手法により得られる経路を用いた従来の配車配送計画と構築した手法、及び熟練した配送係の再現モデルを、配送コスト等の観点から比較評価を試みる。

### 4. 研究成果

本研究では、構築した経路ポートフォリオを用いた配車配送計画問題(以後、経路ポートフォリオ配送計画)の定式化を、実際の都市内道路ネットワークと、VICSにより得られる所要時間履歴情報を適用したケーススタ

ディを実施し、効果の検証及び考察を行った。本研究で用いた都市内道路ネットワークを図-2に示す。この図に示されるリンクは全てVICSリンクであり、所要時間情報は蓄積されており、これを各リンクの所要時間情報として用いた。

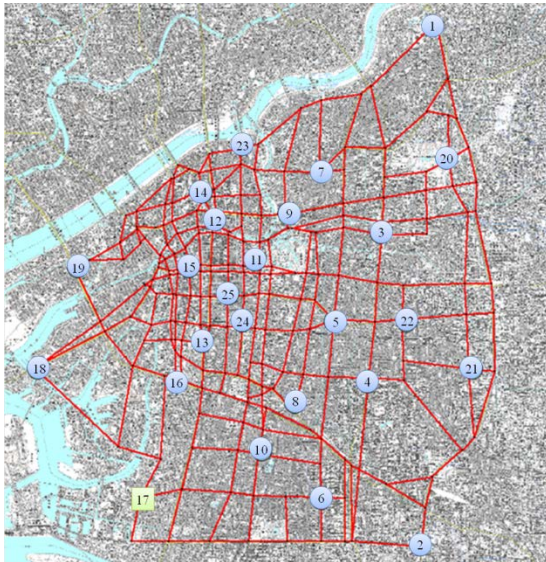


図-2：経路ポートフォリオの例

経路ポートフォリオでは、同一のODに対し、平均最小経路と分散最小経路の複数の経路を用いた経路選択を行う。具体例として、図-3、図-4を示す。

図-3におけるOD間の平均最小経路は図-4より経路Qとなり、分散最小経路は同様に経路Uとなる。このようにして各ODペアに対して求めた複数の経路を用いた配車配送計画問題を解くことで、配送計画が得られる。

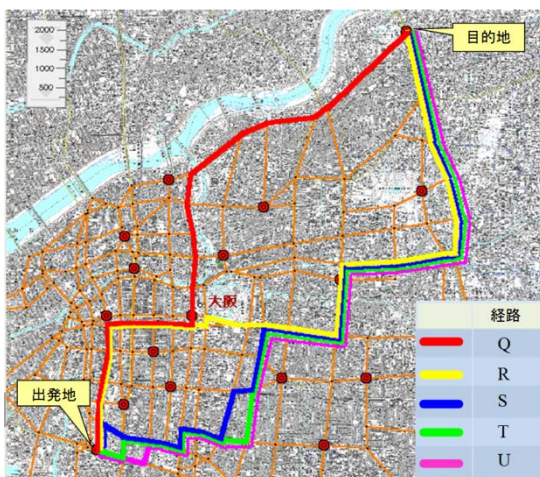


図-3：経路ポートフォリオの例

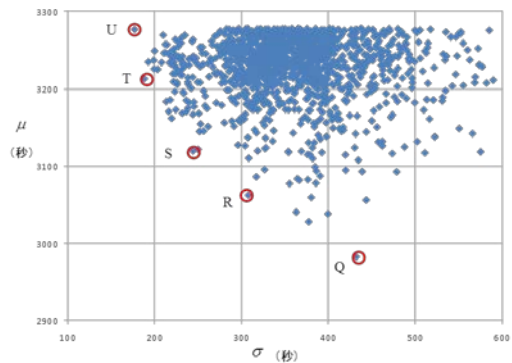


図-4：経路の平均-分散

経路ポートフォリオ配送計画の効果を検証する比較対象として、熟練した配送係の再現モデル（以後、配送係の再現モデル）を構築した。その際、熟練した物流事業者の配送係に対し、本研究で用いた都市内道路ネットワークにおける配送と使用する経路についてヒアリングすると同時に、都市内配送における時間帯指定についてもヒアリングを行い、その条件を本研究のケーススタディでは用いた。

配送係の再現モデルで用いる経路推定モデルとして、多項ロジットモデルを用いたモデル、ニューラルネットワークを用いたモデル、プロスペクト理論の価値関数を用いたモデルを比較した結果、価値関数を用いた経路推定モデルを採用した。プロスペクト理論では参照依存性、損失回避性、感応度低減性を記述することが可能であるが、本研究で構築したモデルにおいては、参照点を内生的に決定する構造とした。これによりロジットモデルを用いた経路推定モデルの的中率 37.5%に比べ、価値関数を用いた経路推定モデルでは的中率が 66.7%と大幅に向上させることが可能となった。この経路推定モデルと配送順序決定モデルとしてPVRPを用いた配送係の再現モデルを構築した。

ケーススタディでは、経路ポートフォリオ配送計画及び、経路選択モデルに最短経路探索を用いた確率論的配車配送計画モデル（以後、確率論的配送計画）、配送係の配送モデルとの比較を実施した。その結果、本研究で用いた都市内道路ネットワークと実際の所要時間の履歴情報及び時間帯指定の条件では、確率論的配送計画により配送を行うケースと、経路ポートフォリオ配送計画を用いて配送を行うケースでは、配送の安定選好度 $\alpha$ が中程度の場合に、微少ではあるが経路ポートフォリオ配送計画の方が安定して安価な配送を実現することが確認できた。次に仮想的に顧客の配送時間帯指定を極端に狭くした条件を設定したところ、確率論的配送計画と経路ポートフォリオ配送計画では配送コストに全く差が無くなること明らかとな

った。余りにも厳しい時間帯指定に対しては、経路ポートフォリオ配送計画でも $\alpha$ が最小とならざるを得ず、この場合は最短経路探索と変わらない経路を選択するためであることが判明した。またいずれのケースにおいても、確率論的配送計画・経路ポートフォリオ配送計画共に配送系の再現モデルよりも良好な配送を実現した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 糟谷賢一, Jan-Dirk Schmoecker, 安東直紀, 藤井聡、健康診断データを用いた交通行動と健康に関する基礎研究、第32回交通工学研究発表会論文集、査読有、32巻、2012、pp.283-288
- ② 岡林楠博, 中村有克, 安東直紀, 山田忠史, 谷口栄一、災害時における配送量の優先度を考慮した救援物資配送モデルの構築、土木学会論文集D3(土木計画学)、査読有、Vol.67 no.5、2011、pp.887-897
- ③ 安東直紀, 有馬和輝, 中村有克, 山田忠史, 谷口栄一、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、土木計画学研究・論文集、査読有、Vol.27 no.4、2010、pp.779-785

[学会発表] (計8件)

- ① 糟谷賢一, Jan-Dirk Schmoecker, 安東直紀, 藤井聡、健康診断データを用いた交通行動と健康に関する基礎研究、第32回交通工学研究発表会、2012.9.18、東洋大学
- ② Ando, N., Nomoto, S., Koh, S. and Imamura, Y., Healthy elderly people's concerns in rural Japan: from 'longer life' to 'movable life forever', International Conference on Aging, Mobility and Quality of Life, 2012. 6. 25, University of Michigan, USA
- ③ 酒井弘, 土井勉, 安東直紀、都心来訪者の交通行動及び消費行動の関係に関する研究、第44回土木計画学研究発表会、2011. 11. 26、岐阜大学
- ④ 西岡康, 安東直紀, 谷口栄一、スマートフォンを用いた交通モード判定モデルに関する研究、第44回土木計画学研究発表会、2011. 11. 25、岐阜大学
- ⑤ 西岡康, 安東直紀, 中村有克, 谷口栄一、GPS・加速度情報を用いた交通モード判定に関する研究、平成23年度土木学会関西支部年次学術講演会、2011.6.12、

関西大学

- ⑥ 小川翔吾, 安東直紀, 中村有克, 山田忠史, 谷口栄一: 貨物車走行経路の記述モデルにおける価値関数の適用に関する研究. 第42回土木計画学研究発表会、2010. 11. 21、山梨大学
- ⑦ Ando, N., Arima, K., Nakamura, Y., Yamada, T. and Taniguchi, E., Evaluating Routes on Urban Road Network Using Mean - Variance Approach, 4th International Symposium on Transport Network Reliability, 2010. 7. 23, University of Minnesota, USA
- ⑧ 小川翔吾, 安東直紀, 谷口栄一, 山田忠史: 価値関数を用いた貨物車走行経路の記述モデルに関する研究, 平成22年度関西支部年次学術講演会、2010. 6. 9、神戸市立工業高等専門学校

[その他]

ホームページ等

<http://kyoundb.iimc.kyoto-u.ac.jp/j/cE4sU>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

安東 直紀 (ANDO NAOKI)

京都大学大学院工学研究科・特定准教授

研究者番号: 20432362