

土地利用を考慮した 配車配送計画の最適化に関する研究

Vu Mai Phuong¹・谷口 栄一²・Ali Gul Qureshi³・中村 有克⁴・Joel S.E. Teo⁵
・内山 直浩⁶

¹学生会員 京都大学大学院 工学研究科都市社会工学専攻（〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂）
E-mail: vumaihuong@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

²フェロー 京都大学大学院教授（〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂）
E-mail: taniguchi@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学大学院准教授（〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂）
E-mail: qureshi.aligul.4c@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁴正会員 京都大学大学院助教（〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂）
E-mail: nakamura@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁵正会員 京都大学大学院研究員（〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂）
E-mail: joel.teo@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁶正会員 公共計画研究所（〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町）
E-mail: uchiyama@ppps.co.jp

経済の発展と共に、様々な道路交通問題が発生している。そのため、都市において環境や安全性などの改善が課題となっている。本研究では、大阪府で収集されたプローブデータを用いて、土地利用用途地域と貨物車両の行動との関係の分析を行った。また、住居地域を通過する走行距離を減らして、住居地域に与える悪い影響を抑えるために、土地利用を考慮した新しい配車配送計画モデルを開発する。

Key Words : Probe data, vehicle routing, city logistics, GIS

1. 背景

高度経済成長期に始まった自動車の普及は現在も進んでいる。自動車の普及やそれに伴う道路網の整備が進み、我々の暮らしが快適になる一方で、近年様々な道路交通問題が顕在化している。特に、都市圏においてはその傾向が強く現れており、道路交通問題の代表的なものとして交通事故や交通渋滞、さらには排気ガス等の環境問題が挙げられる。

都市内の道路交通では、貨物自動車交通が都市の経済活動を支える上で必要不可欠な存在である。そのため、貨物自動車に伴う道路交通問題を改善するために、最適な配車配送計画が求められる。また、土地利用用途地域区分別に応じる対応が必要である。特に、住居地域を通過する経路長を短縮することが期待される。

これまで、土地利用用途地域と貨物車両の行動との関係について研究があまりなかった。本研究では、大阪府で収集されたプローブデータとVRPSTWを用いて、それらのケースに応じて、土地利用用途地域区分別の走行経路と経路長を計算して、土地利用用途地域と貨物車両の行動との関係を分析する。さらに、土地利用を考慮した配車配送計画モデルを開発することを目的とする。

2. データ収集と分析

本研究では、プローブ技術を用いて、貨物車の実際の走行データを取得し、貨物車両の行動の分析を行った。一日2車両に協力いただき、2014年3月10日から3月14日まで（5日間）の各日対象トラックの運行開始から終了まで調査を実施した。データの収集と分析が以下のようなになる。

(1) データの収集

(a) 調査項目

配送トラック2台を対象に表-1のように調査を行った。

表-1 調査項目一覧

調査項目	調査方法
・配送トラックの経路	配送トラックのプローブ調査
・荷捌き駐車位置（緯度経度または住所）	貨物配送先調査
・駐車場所（路上（有料・無料）、路外の別）	

・顧客位置（緯度経度または住所）
・駐車開始時刻、出発時刻
・貨物の種類（段ボール、封筒（メール便）、その他（具体的に記載））
・配送個数

(b) 調査方法

配送トラックのプローブ調査と貨物配送先調査を同時に行う。

配送トラックのプローブ調査では、GPSプローブ機器を配送トラックに取り付けることにより、2秒ごとに経路の軌跡を緯度経度データで取得する。

貨物配送先調査では、調査員2名がバイクに乗り、配送トラックを追走していく。荷卸しのため駐車するたび、駐車開始時刻、駐車位置、顧客位置、配送貨物の種類と個数、発車時刻を調査票に記録する。データ内容は表-2のようになる。

表-2 貨物配送先調査のデータ内容

データ項目	内容
駐車開始時刻	荷卸しのため駐車した時分秒
駐車位置	駐車した場所の緯度経度、または住所
駐車場所	路上（有料・無料）、路外の別
顧客位置	貨物を配送した場所（建物の位置）の緯度経度、または住所
貨物の種類	段ボール（箱）、封筒（メール便）、その他（形状を記載）に分ける。
個数	トラックから降ろした個数、一カ所の顧客へ配送した数、トラックに積んだ個数を貨物の種類ごとにカウント
発車時刻	駐車場所を発車した時分秒

スマートフォンで緯度経度を取得する。電波が受信できない場合は、住宅地図で場所を調べて住所を記載する。顧客位置は、建物の位置とする。

- ・駐車位置の取得の際には、トラックの周辺に立って緯度経度を取得する。
- ・顧客位置は、建物の前に立って緯度経度を取得する。
- ・ビル、マンション名が分かる物は調査票に記載する。
- ・緯度経度が取得できない場合は、表札や配布する住宅地図で確認の上、住所を調査票に記載し、住宅地図に調査票の番号を記載する。

トラックから降ろして台車に載せた数、一カ所の顧客に配送した数、台車からトラックに積んだ数をカウントする。ただし、台車を用いて複数の顧客に配送した場合は、顧客毎に配送した個数の把握が困難な場合がある。

図-1が調査票のサンプルで、この調査票を用いて調査を実施した。

図-1 調査票

(2) データの分析

このセクションの分析はArcGIS 10.2ソフトウェアのESRIと基本的なジオプロセッシング ツールを使用した。大阪市の土地利用データは、2011年のArcGISデータコレクションスタンダードバックに基づいている。表-3に示すように、12カテゴリーの日本の土地利用用途地域がある。詳細については、国土交通省に記載されている⁽¹⁾。

表-3 日本の土地利用用途地域

1	第一種低層住居専用地域	7	準住居地域
2	第二種低層住居専用地域	8	近隣商業地域
3	第一種中高層住居専用地域	9	商業地域
4	第二種中高層住居専用地域	10	準工業地域
5	第一種住居地域	11	工業地域
6	第二種住居地域	12	工業専用地域

一つの完全なパスのプローブデータを分析して、図-2が土地利用用途地域を通過する走行経路を示す。図-3が土地利用用途地域区別の経路長を示す。この分析結果から、住居地域を通過する距離が一番長いことが明らかになった。この原因の一つとして、顧客の一部が住居地域に位置しているためと考えられる。



図2 土地利用用途地域を通過する走行経路

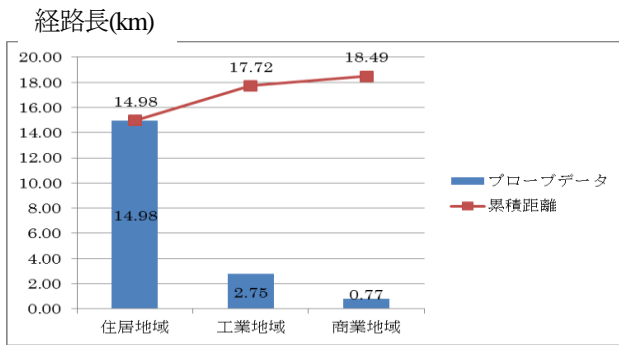


図3 土地利用用途地域区分別の経路長

3. モデリング

このセクションでは、VRPSTWを用いて、新しい走行経路を構築する。それから、土地利用用途地域区分別の経路長を計算して、プローブデータで得られた結果と比較する。

(1) 定式化

配車配送計画モデルが⁽²⁾を参照して、以下のように設定する。

配車配送計画問題は最適化問題であり、そこには目的関数が存在する。ここでは、配車配送計画の目的関数がトラックの運行費用と設定する。

また、遅延ペナルティは、顧客のタイムウィンドウと実際の到着時間との差を金額的な損失に置き換えたものであり、遅延が生じた顧客に対して物流事業者が支払うべき費用として位置づけられる。このように顧客の実際の配送希望時間帯の前後にある程度の遅延をペナルティという形で許容したものを特にソフトタイムウィンドウという。逆に、このような遅延を許容しないものをハードタイムウィンドウという。

トラックkによる運行費用 c_j^k は顧客jへの到着時刻

s_{jk}^k によって変わり、以下のように表わされる。

$$c_{ij}^k = \begin{cases} c_{ij}, & \text{if } a_j \leq s_{jk}^k \leq b_j \\ c_{ij} + c_l(s_{jk}^k - b_j), & \text{if } b_j < s_{jk}^k \leq b_j' \end{cases}$$

a_j : 顧客jにおける到着指定時間帯開始時刻

b_j' : 顧客jにおいて許容される限界の遅延時刻

b_j : 顧客jにおける到着指定時間帯終了時刻

c_{ij} : 顧客iから顧客jへ移動する際に必要な費用

i, j : 顧客番号, 0は物流事業者の配送拠点を表す

c_l : 単位時間あたりの遅延ペナルティ

本研究で用いるソフトタイムウィンドウ付きの配車配送計画モデルは次のように定式化できる。

$$\min z = \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij}^k x_{ijk} \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in V} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in C \quad (2)$$

$$\sum_{i \in C} d_i \sum_{j \in V} x_{ijk} \leq q \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ik} - \sum_{j \in V} x_{hjk} = 0 \quad \forall h \in C, \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ik} = 1 \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$a_i \leq s_{ik} \leq b'_i \quad \forall i \in V, \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$s_{ik} + t_{ij} - s_{jk} \leq (1 - x_{ijk})M_{ijk} \quad \forall (i,j) \in A, \quad \forall k \in K \quad (8)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad (i,j) \in A, \quad \forall k \in K \quad (9)$$

z : 総運行費用

i, j, h : 顧客番号, 0は配送拠点を表す

N : 顧客の集合

d_i : 顧客iにおける需要量

K : 配送トラックの集合

k : 配送トラック番号

A : リンクの集合

s_k^k : 配送トラックkが顧客iに到着する時刻

s_k : 配送トラックkが顧客iにて貨物を引き渡す時刻

c_{ij}^k : 顧客iから顧客jへ移動する際の運行費用

x_{ijk} : 配送トラックkが顧客i-j間を移動するときは1, それ以外のときは0をとる

変数

V : 顧客及び配送拠点の集合

S : V の部分集合

q : 配送トラックの積載容量

式(1)は目的関数であり、全ての顧客に貨物を配送するのに必要な運行費用である。式(2)は、各顧客は必ず1台の配送トラックによって貨物が届けられることを意味する制約である。式(3)は、配送トラックの積載容量に関する制約条件である。式(4)は、顧客へ向かう配送トラックは必ず配送拠点から出発することを意味し、逆に式(6)は顧客へ向かった配送トラックが必ず配送拠点を終着点とすることを意味する制約である。式(5)は、顧客に到着した配送トラックは、必ず他の顧客または配送拠点へ移動するという収束条件を意味する。式(7)は、貨物の引き渡しを行う時刻に関する制約であり、顧客の希望する到着指定時間帯開始時刻より早く到着した場合でも必ず待機し、到着指定時間帯開始時刻以降に貨物の引き渡しを行うという意味である。式(8)は、トラックが顧客*i*から*j*へ訪問する際に、顧客*j*での貨物の引き渡し時刻が顧客*i*での貨物の引き渡し時刻より前になることを禁止する時間枠に関する制約条件である。式(9)は、 x_{ijk} が0-1の整数変数であることを示している。

本研究では、解法として遺伝的アルゴリズム (GA)²⁾を利用した。

(2) 結果

VRPSTWを適用して、土地利用用途地域区別の走行経路と経路長を計算、結果を図4と図5に示す。

この結果から、実際の運行（プローブデータ）より、VRPSTWを用いることで、総経路長が減少した。しかし、住居地域を通過する距離が依然長いことが明らかになった。この後、配車配送計画モデルを改善し、より良い結果を提供できると期待する。

4. 終わりに

本研究では、大阪府で収集されたプローブデータとVRPSTWを用いて、それらのケースに応じて、土地利用用途地域区別の走行経路と経路長を計算して、土地利用用途地域と貨物車両の行動との関係の分析を行った。その結果、住居地域を通過する距離が一番長いということが明らかになった。最終的に、この問題を改善するた

めに、土地利用を考慮した配車配送計画モデルを開発することを目的とする。

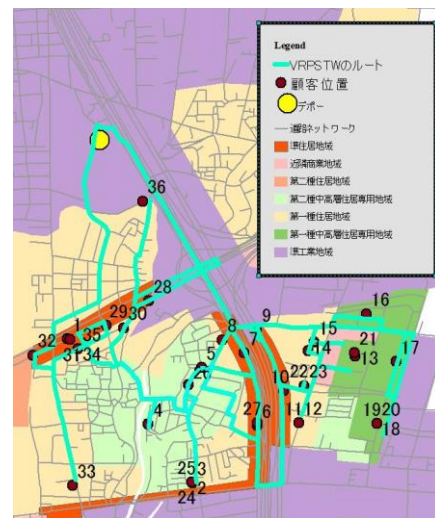


図4 土地利用用途地域を通過する走行経路

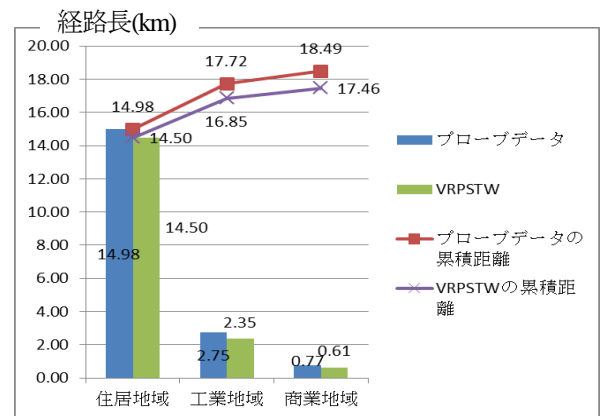


図5 土地利用用途地域区別の経路長

参考文献

- 1) 国土交通省: <http://www.mlit.go.jp/common/000234477.pdf> (参照 2014年7月1日)
- 2) Qureshi, A.G., E. Taniguchi and T. Yamada, Exact Solution for Vehicle Routing Problem with Semi Soft Time Windows and its Application, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2010, Vol. 2, Issue 3, pp. 5931-5943

(2014.8.1受付)

Optimization of vehicle routing problems considering land use

There are many road traffic problems because of the development of economy. It is necessary to improve the air quality, safety and healthier lives of the residential communities. This research analyzed the relationship between freight activities and the existing land use zones, then developed a new routing model with land use consideration to reduce negative environment impacts within the residential zones.