

デポと配送領域の平均距離に着目した連続近似モデルによる配送距離推定

02503220	東京大学	*長谷川大輔	HASEGAWA Daisuke
01508070	東京大学	本間 裕大	HONMA Yudai
01207300	神奈川工科大学	塩野 直志	SHIONO Naoshi
非会員	東京ガス株式会社	土岐 爽真	TOKI Souma

1. はじめに

配送計画問題（VRP）は、ある拠点から顧客に対して複数の車両を用いた輸送コストを最小化する問題であり、物流分野のみならず、次世代の相乗りサービスの普及から公共交通分野でもその重要性が高まっている。昨今のソルバーの性能向上によって解ける問題は増加しているものの、求解が困難な大規模な問題や、需要が未確定な状況においては、配送距離を連続近似モデルによって推定するアプローチが取られている。これらは Beardwood et al. (1959)[1]によって提案された定理を起源とし、需要数、配送領域の面積、領域の縦横比、デポと需要点との平均距離等が入力として用いられる。しかし、この平均距離の導出については、実際の需要点から数値的に求めた平均距離や、デポと配送領域の重心点、最近隣点が多いことが多く、配送領域の形状や、デポとの位置関係が考慮されたものとは言い難い。

そこで本研究では、デポ-配送領域間の平均距離を連続近似モデルによって導出した値を用いることで、VRPの推計値の精度を向上させることを目的とする。

2. モデルの概要

矩形領域内に一様に発生する需要に対し、単一、もしくは複数車両がデポから出発し、すべての需要を拾ってデポに戻る際の合計配送距離を VRP を対象とした連続近似モデルによって求める。本研究では、デポ-配送領域間の平均距離を用いた Daganzo(1984)[2]のモデル、

$$D_1 = k_1 \sqrt{nS} + k_2 rm \quad (1)$$

および Figliozzi (2008)[3]のモデル

$$D_2 = k_1 \frac{n-m}{n} \sqrt{nS} + k_2 rm \quad (2)$$

を用いる。ただし、

- r デポ-需要点間の平均距離
- m 車両数
- n 巡回地点数
- S 配送領域の面積
- k_1, k_2 距離逓減に関するパラメータ

である。両式の第一項は領域内の巡回距離を推定する項、第二項はデポと顧客の平均距離を考慮する項であり、Daganzo(1984)[2]ではデポが領域に含まれる場合は $r = 0.382\sqrt{S}$ を、含まれない場合はデポと領域の重心距離が用いられている。

ここで、点と面の平均距離を求める連続近似モデルとして、栗田(2013)[4]において、以下の点と直角三角形の平均距離の近似式が示されている。

$$r^* = \frac{1}{3} \left(\beta + \frac{\alpha}{\sqrt{\beta^2 - \alpha^2}} + \ln \frac{\beta + \sqrt{\beta^2 - \alpha^2}}{\alpha} \right) \quad (3)$$

ただし、 α は鋭角と直角頂点を結ぶ辺の長さ、 β は直角三角形で最も長い斜辺の長さである。

例として、図1に示すデポ O から離れた矩形 ABCD への平均距離の算出方法を示す。まず、O から三角形 OFC, OGC, OFD, OHD への r^* を求め、太枠で示す矩形 CDHG への平均距離を求める。同様に斜線で示す矩形 ABHG 間への平均距離を求め、それぞれの面積を乗じた値で除き、ABCD の面積で除すことで導出できる。そして、図2に示すように、デポと領域の位置関係によって I, II, III, IV の場合分けをすることで、図3に示すようにデポと配送領域の位置関係を任意に変更

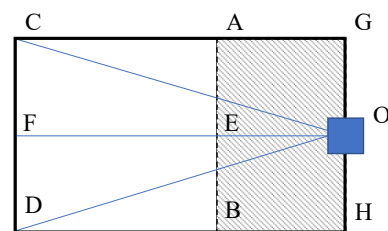


図1 デポ-配送領域間平均距離の導出

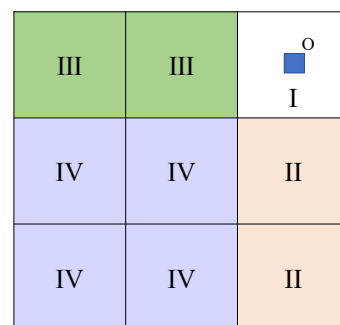


図2 デポと領域の位置関係による場合分け

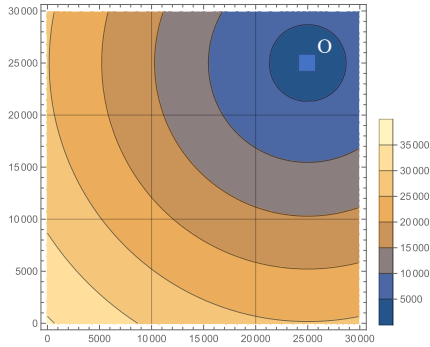


図3 領域の位置とデポへの平均距離 r^* の関係

した際の平均距離を求めることができる。

これより、式(1), (2)と、 r に対して r^* を代入した式(1-1), (2-1)における、合計配送距離の推定精度の比較を行う。

3. 数値実験による精度検証

図2で示す9つの領域、デポの配置において、各領域の一辺10000、右上の領域の中心にデポを配置した場合の合計配送距離を求める数値実験を行う。表1に実験条件の詳細を記載する。ここで、車両数が2以上の場合、車両1台あたりでカバーする需要量を統一するため、需要点は車両数に比例して増加させる。なお、CVRPの求解にはLocalSolver 9.5[5]を用い、パラメータ k_1 はDaganzo(1984)[2]で示された $k_1 = 0.57$ を全てのモデルで用い、 k_2 は(1), (2)では $k_2 = 2.0$ を、(1-1), (2-2)は数値実験の結果から最尤法によるパラメータ推定を行って得た $k_2 = 1.96$ を用いた。

表2に数値実験結果に対する、連続近似モデルでの推定した値の精度について、 R^2 値、平均二乗偏差(RMSE)、平均絶対パーセント誤差(MAPE)を示す。どのモデルも R^2 値が0.99以上、RMSEが5000以下であり、高精度に推計できている。ただし、式(1)と(1-1)に関しては、僅かであるものの後者の方が良好な R^2 値、RMSE値を示しており、平均距離の近似式による精度の向上が見られた。

次に、領域との位置関係による推定精度への影響を確認するために、式(1), (1-1)における領域別のデポからの平均距離 r 、および合計配送距離 D_1 のMAPE値の比較を図4に示す。 r については(1-

表1 数値実験条件

	Value
Area	((0,0), (10000,10000)),... ((20000,20000), (30000,30000))
Depot	(25000, 25000)
Demand	10,20,30,40,50 points per trucks
Truck	1,2,3,4,5
Instance	20

1)の方が低い領域が多く、高精度で推計されていることがわかる。一方で D_1 は、デポから離れた、 r の影響が大きい位置のみ精度が向上している。

4. おわりに

本研究では、配送距離を求める連続近似モデルにおける、デポと配送領域の平均距離の精緻化による、総配送距離の推定結果への影響を計測し、平均距離の長い、デポから離れた地域における精度向上が確認できた。本モデルは、配送エリアの分割が行われた際の巡回距離への影響など、実問題への応用も期待できる。今後は矩形の縦横比を変更した際の精度検証を進める予定である。

参考文献

- [1] Beardwood, J., J. H. Halton, and J. M. Hammersley. (1959): The Shortest Path Through Many Points. Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, Vol. 55, pp. 299–327.
- [2] Daganzo, C. F.(1984): The Distance Traveled to Visit N Points with a Maximum of C Stops per Vehicle: An Analytic Model and an Application. Transportation Science, Vol. 18, No. 4, pp. 331–350.
- [3] Figliozzi, M. A. (2008): Planning approximations to the average length of vehicle routing problems with varying customer demands and routing constraints. Transportation Research Record, Vol. 765, No. 2089, pp.1–8.
- [4] 栗田治.(2013): 都市と地域の数理モデル, 共立出版.
- [5] Capacitated Vehicle Routing (CVRP) -LocalSolver, <https://www.localsolver.com/docs/last/exampltour/vrp.html#capacitated-vehicle-routing-cvrp>, (2022/01/08 アクセス)

表2 分析結果

Model	R^2	RMSE	MAPE(%)
(1)	0.996	4667.495	3.822
(1-1)	0.997	4482.194	3.842
(2)	0.996	4557.744	4.199
(2-1)	0.996	4976.995	4.245

r	D_1	r	D_1	r	D_1
(1) 1.77	2.81	(1) 4.90	3.80	(1) 5.75	8.64
(1-1) 1.47	2.70	(1-1) 2.71	4.06	(1-1) 5.73	8.90
(1) 1.62	2.75	(1) 2.84	3.73	(1) 4.52	4.18
(1-1) 1.55	2.61	(1-1) 2.54	3.78	(1-1) 4.08	4.53
(1) 1.30	2.45	(1) 1.73	2.89	(1) 1.98	3.14
(1-1) 1.31	2.29	(1-1) 1.71	2.72	(1-1) 2.08	2.98

図4 領域別 r, D_1 のMAPE値