

配送計画シミュレーションによる巡回担当エリアの最尤推定

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

1. はじめに

配送計画立案は現在の物流のあらゆるシーンに観察される重要なテーマの1つである[1]. 近年では、ソルバーの発展などにより以前より解を求めることが容易になったものの、現場の運用では、やはりその計算負荷は大きい. このような理由で、現場では配送担当エリアをあらかじめ決めておく方法がとられることが多いが、担当エリアが話し合いや勘、経験などで決められることが多く、非効率な配送計画となる場合も少なくない. これらの問題を解決するため、最適な巡回ルートをもとに担当エリアを最尤推定することによって、現場でも利用可能な、効率的な配送計画を実現できるのではないかと考えた.

そこで、本研究では、計算機実験を基に担当エリア分けを最尤推定するモデルの提案を行う. 具体的には、配送計画問題(VRP)を複数解くことで求めた巡回ルートをもとに、担当エリア分けを最尤推定する.

2. 分析の方針

本研究では、容量制約付きVRPを考える. 担当エリア分けの最尤推定は、計算機によって求められるある巡回ルートの需要点を極力少ないエリアでタグ付けすることに相当する. 本間ら[2]は遷移情報から圏域を推定する手法を定式化しており、これを応用してエリア推定を行う.

具体的には、はじめに300種類の需要点分布を発生させ、VRPを解くような計算機実験を行う. 計算機実験で得られた結果にできるだけ一致するようなエリア分け問題を定式化する. 本研究では、以下のような条件を満たすエリア分けを「できるだけ一致する」エリアであるとする.

1. 同じエリア内の任意の需要点を同じ車両で配送する確率を最大化
2. 異なるエリアの任意の需要点を同じ車両で配送する確率を最小化

3. 定式化

3.1 需要点を基にした定式化

本研究では、エリア分け問題を立式し、二次割り当て問題として解を得る.

〈添え字〉	〈パラメータ〉
i, j 需要点の添え字	s_{ij}^k 試行 k において需要点 i, j が同じ車両によって配送されたとき1, そうでないとき0
a エリアの添え字	〈決定変数〉
k 試行の添え字	z_{ia} 需要点 i がエリア a に属するとき1, そうでないとき0
〈集合〉	〈定数〉
I 需要点の集合	N 車両の総数
A エリアの集合	
K 試行の集合	
I_k 試行 k で周った需要点の集合	
〈集合→集合の関数定義〉	
$C(X)$ ある点集合 X から2つの需要点を取るあらゆる組み合わせを抽出した集合	

これらを用いて、条件1, 2を f_{in} , f_{out} として以下のように記述できる.

$$f_{in} = \frac{\sum_{a \in A} \sum_{(i,j) \in C(I_k)} \sum_{k \in K} s_{ij}^k \times z_{ia} z_{ja}}{\sum_{a \in A} \sum_{(i,j) \in C(I_k)} \sum_{k \in K} z_{ia} z_{ja}}$$

$$f_{out} = \frac{\sum_{a \in A} \sum_{(i,j) \in C(I_k)} \sum_{k \in K} s_{ij}^k \times (1 - z_{ia} z_{ja})}{\sum_{a \in A} \sum_{(i,j) \in C(I_k)} \sum_{k \in K} (1 - z_{ia} z_{ja})}$$

上記で定めた f_{in} , f_{out} を用いて問題は以下のように定式化できる.

$$\max \quad f_{in} - f_{out} \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{a \in A} z_{ia} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\left| \frac{|I|}{N} \right| \leq \sum_{i \in I} z_{ia} \leq \left| \frac{|I|}{N} \right| \quad \forall a \in A \quad (3)$$

$$z_{ia} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall a \in A \quad (4)$$

(1)式は、2つの条件を成立させるような目的関数である。(2)式は、需要点はいずれか1つのエリアのみに属することを、(3)式では、各エリアの需要点数がおおよそ同じになることを示している。

3.2 地域を基にした定式化

3.1の定式化に対し、5000点を超える二次割り当て問題はうまく解が得られなかったこと、実際の利用を考えると任意の町丁目内は同じ車両である方が便利であることなどから、地域という需要点集合を導入する。地域は、需要量が同じ程度になるように調整された需要点の集合であり、3.1では需要点を直接エリア分けしたが、3.2では地域をエリア分けし、間接的に需要点をエリア分けすることを考える。

〈添え字〉

p, q 地域の添え字

〈集合〉

P 地域の集合

〈パラメータ〉

t_{pq}^k 試行 k において訪問した需要点 I_k のあらゆる組み合わせ $C(I_k)$ のうち、片方の需要点が地域 p にあり、もう一方が地域 q にあり、かつ、それらが同じ車両でサービスされた組み合わせの数

n_{pq}^k 試行 k において訪問した需要点 I_k のあらゆる組み合わせ $C(I_k)$ のうち、片方の需要点が地域 p にあり、もう一方が地域 q にあるような組み合わせの数

〈決定変数〉

x_{pa} 地域 p がエリア a に属するとき1、そうでないとき0

これらの新たな変数を用いて、 f_{in} , f_{out} は需要点を地域に置き換えて以下のように記述できる。

$$f_{in} = \frac{\sum_{a \in A} \sum_{(p,q) \in C(P)} \sum_{k \in K} t_{pq}^k \times x_{pa} x_{qa}}{\sum_{a \in A} \sum_{(p,q) \in C(P)} \sum_{k \in K} n_{pq}^k \times x_{pa} x_{qa}}$$

$$f_{out} = \frac{\sum_{a \in A} \sum_{(p,q) \in C(P)} \sum_{k \in K} t_{pq}^k \times (1 - x_{pa} x_{qa})}{\sum_{a \in A} \sum_{(p,q) \in C(P)} \sum_{k \in K} n_{pq}^k \times (1 - x_{pa} x_{qa})}$$

同様にして、問題の定式化は以下である。

$$\max f_{in} - f_{out} \quad (1')$$

$$s.t. \quad \sum_{a \in A} x_{pa} = 1 \quad \forall p \in P \quad (2')$$

$$\left\lfloor \frac{|P|}{N} \right\rfloor \leq \sum_{p \in P} x_{pa} \leq \left\lceil \frac{|P|}{N} \right\rceil \quad \forall a \in A \quad (3')$$

$$x_{pa} \in \{0, 1\} \quad \forall p \in P, \forall a \in A \quad (4')$$

(1')式は、2つの条件を成立させるような目的関数である。(2')式は、地域はいずれか1つのエリアのみに属することを、(3')式では、各エリアの地域数がおおよそ同じになることを示している。

4. 計算結果

LocalSolver10.5[3]を用いて3.2で示した式の解を求めた。以下に、実験に用いたデータを車両台数6台と23台で巡回した場合の解を示す。需要点のエリア割り当てを、同じエリアが同じ色となるように示している。

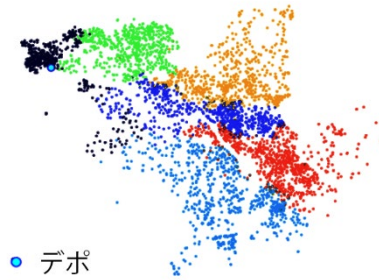


図 1. 6台の結果

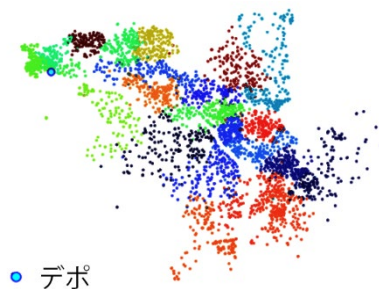


図 2. 23台の結果

5. おわりに

本稿では、行った定式化によってうまくエリア分けすることが可能であることを確認できた。一方で、求めたエリア分けの効率性を検証する必要がある。

参考文献

- [1] 久保幹雄, J.P. ペドロソ, 村松正和, A. レイス: あたらしい数理最適化 -Python 言語と Gurobi で解く- (第2版), 近代科学社 (2013).
- [2] 本間裕大, 白濱篤: 地域間流動データに基づく多層的な交流圏の推定手法 -人口移動ならびに物流データを用いた分析例-, 日本都市計画学会都市計画論文集 Vol. 55, No. 3, 475-481 (2020).
- [3] LocalSolver: <https://www.localsolver.com/> (2021年12月1日閲覧).