

移動販売における販売地点の選択 と巡回経路最適化に関する研究

---顧客の利用割合が販売地点との距離に応じて変化する場合---

東京理科大学工学部第一部経営工学科

沼田研究室

4409070 福島達也

目次

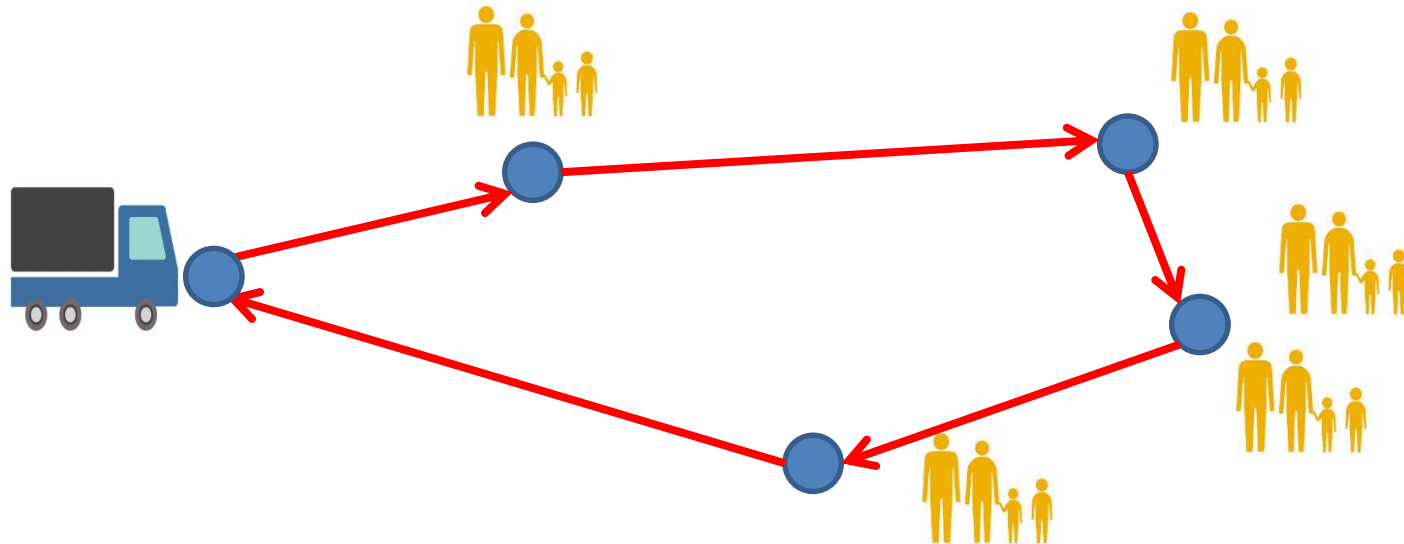
1. はじめに
2. 本研究で取り扱う問題
3. 記号の定義と定式化
4. 解法
5. 数値実験
6. まとめ

1.はじめに

1.1 移動販売とは

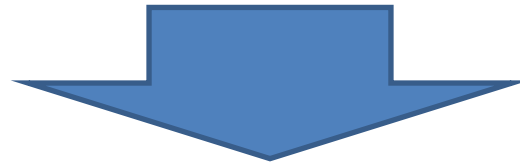
移動販売車が複数の販売地点で商品の販売をしては順次移動する小売業の一形態である。

例. コンビニ, 灯油, 物干しざお.



1.2. 問題提起

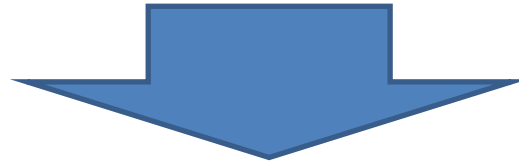
車両維持費，燃料費が負担となる.



できるだけ多くの人に物品を購入してもらえよう
移動しつつ燃料費を節約することが重要である.

1.3本研究の目的

移動販売地点と顧客住居との距離は移動販売の利益に大きく影響する.



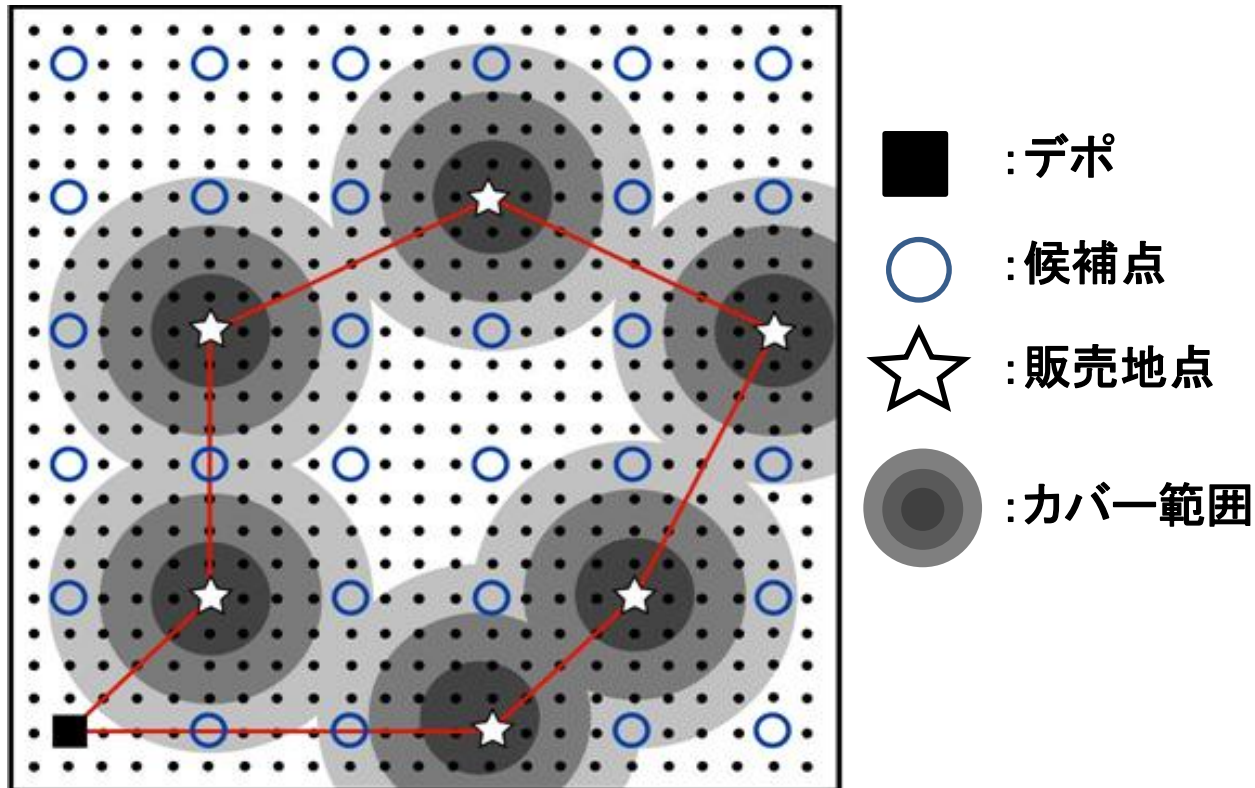
利用割合が販売地点と顧客住居の距離に応じて変化すると仮定し, 利益が最大となる販売地点の選択とそれらを巡る経路を求める.

2. 本研究で取り扱う問題

2.1 提案するモデル(1)

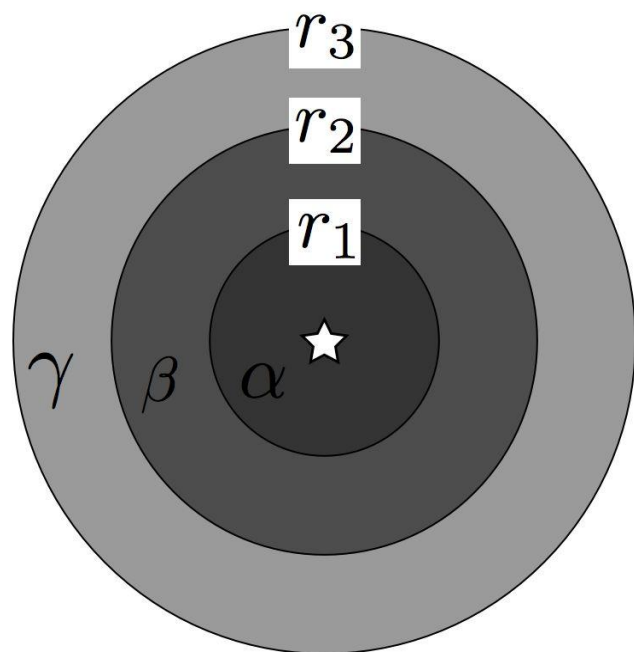
正方領域内

- 拠点(以下, デポ).
- 販売地点候補(以下, 候補点).
- 移動販売の利用者(以下, 需要点).



2.2 提案するモデル(2)

需要量の獲得



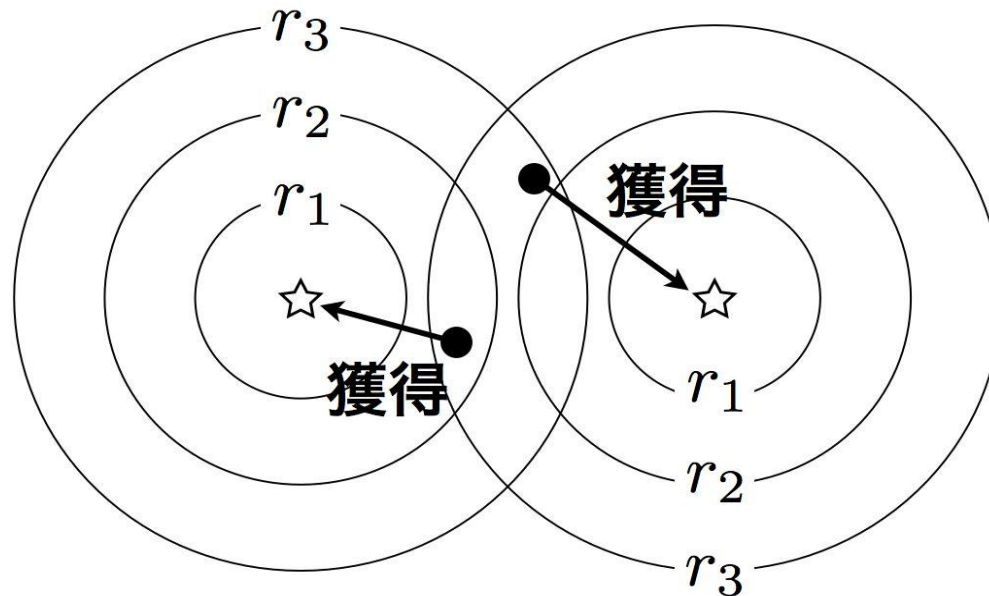
利用割合

距離 $\leq r_1$ \rightarrow α
 $r_1 <$ 距離 $\leq r_2$ \rightarrow β
 $r_2 <$ 距離 $\leq r_3$ \rightarrow γ
($\alpha > \beta > \gamma$)

2.3 提案するモデル(3)

需要点の重複カバー

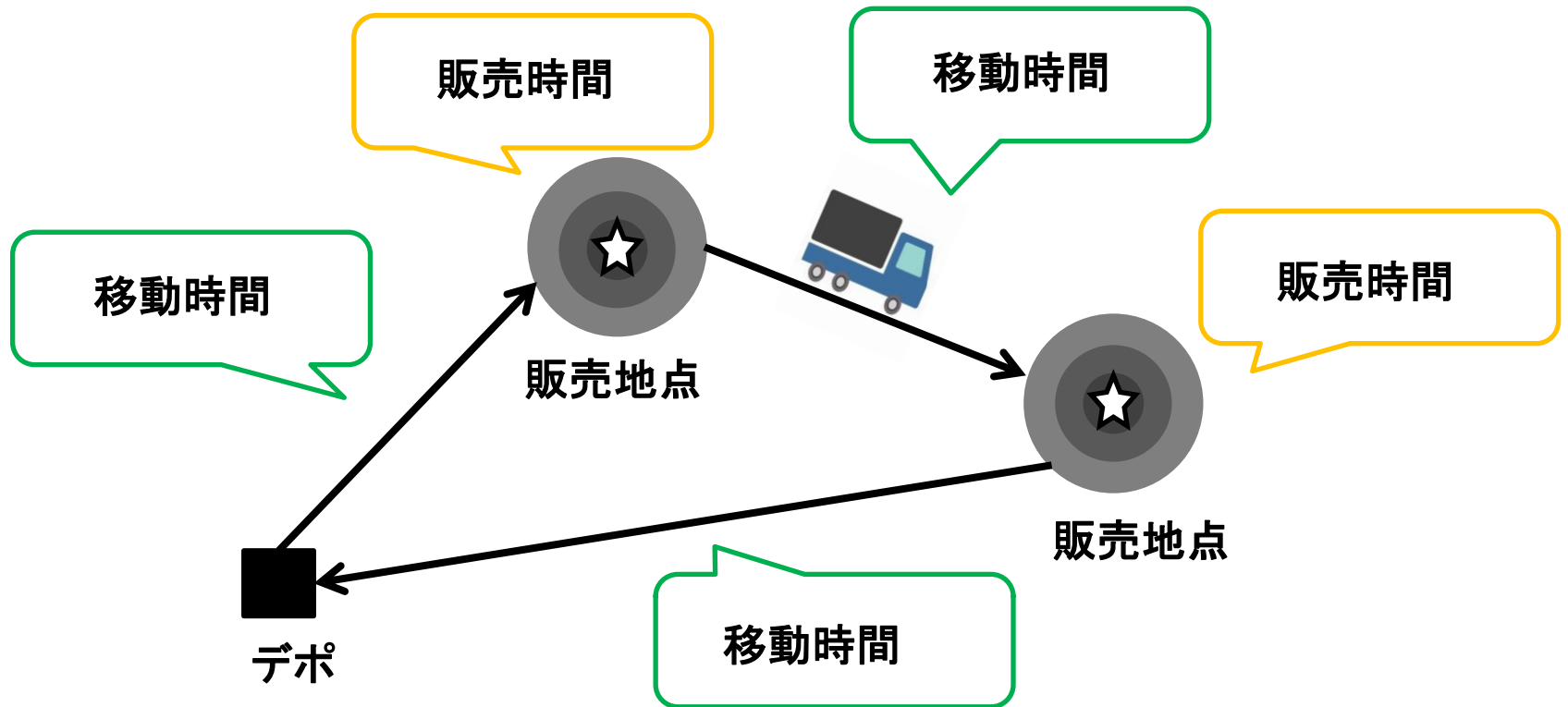
- 顧客が一番近い販売地点で購買する。



2.4 提案するモデル(3)

時間

- デポを出発してから戻るまでの時間に限度がある。
- 販売時間は一定とする。



3.記号の定義と定式化

3.1 記号の定義(1)

データ

- $i (i \in M, |M| = m)$:候補点(デポは $i = 1$)
- $k (k \in N, |N| = n)$:需要点
- q_k :需要点 k の需要量
- t_{ij} :候補点 i から j まで移動時間
- d_{ik} :需要点 k から候補点 i までの距離
- S :各販売地点でかかる販売時間
- D :デポを出発してからデポに戻る時間の上限

3.2記号の定義(2)

データ

d_{ik} が r_1, r_2, r_3 以内にあるか, 否かを示す定数.

$$c_{ik}^l \begin{cases} c_{ik}^1 : \text{需要点}k\text{と候補点}i\text{の距離}d_{ik}\text{が}d_{ik} \leq r_1\text{であるか(1)否か(0).} \\ c_{ik}^2 : \text{需要点}k\text{と候補点}i\text{の距離}d_{ik}\text{が}r_1 < d_{ik} \leq r_2\text{であるか(1)否か(0).} \\ c_{ik}^3 : \text{需要点}k\text{と候補点}i\text{の距離}d_{ik}\text{が}r_2 < d_{ik} \leq r_3\text{であるか(1)否か(0).} \end{cases}$$

需要点と販売地点の距離に応じて,獲得できる需要量の割合.

$$g^l \begin{cases} g^1 = \alpha \\ g^2 = \beta \\ g^3 = \gamma \end{cases} \quad (\alpha > \beta > \gamma)$$

3.3記号の定義(3)

変数

x_{ij} : 候補点*i*から候補点*j*に直接移動するか(1)否か(0)

y_i : 候補点*i*を販売地点に選択するか(1)否か(0)

u_{ik}^l : 需要点*k*がレベル*l*($l = 1, 2, 3$)の範囲内で販売地点*i*でカバーされるか(1)か否か(0)

3.4定式化(1)

$$\text{maximize } \sum_{i \in M} \sum_{k \in N} \sum_{l \in L} q_k g^{(l)} u_{ik}^{(l)} \dots (1)$$

(1)は目的関数。

$$\text{subject to } u_{ik}^1 \leq c_{ik}^1 y_i \quad \forall i \in M, \forall k \in N \dots (2)$$

$$u_{ik}^2 \leq c_{ik}^2 y_i \quad \forall i \in M, \forall k \in N \dots (3)$$

$$u_{ik}^3 \leq c_{ik}^3 y_i \quad \forall i \in M, \forall k \in N \dots (4)$$

(2),(3),(4)は設置した販売地点*i*で需要点*k*がレベル*l*の範囲でカバーされるか、されないかを判定。

$$\sum_{i \in M} \sum_{l \in L} u_{ik}^{(l)} \leq 1 \quad \forall k \in N \dots (5)$$

(5)一つの販売地点かつ一つのレベル獲得できないようにする。

3.5 定式化(2)

$$S(\sum_{i \in M} y_i) + \sum_{i,j \in M} x_{ij} t_{ij} \leq D \dots (6)$$

(6)時間の合計の和が時間上限以下であること.

$$\sum_{h \in M} x_{hi} = y_i \quad \forall i \in M (i \neq h) \dots (7)$$

$$\sum_{j \in M} x_{ij} = y_i \quad \forall i \in M (i \neq j) \dots (8)$$

(7),(8)は巡回路であること.

$$\sum_{i \in M} x_{1i} = 1, \sum_{i \in M} x_{i1} = 1 \dots (9)$$

(9)はデポを出発し, デポに戻る.

3.6定式化(3)

$$\sum_{j \in M} f_{ij} - \sum_{h \in M} f_{hi} - y_i = 0 \quad (i = 2 \dots m) \quad \dots(10)$$

$$\sum_{j \in M} f_{1j} = 0 \quad \dots(11)$$

$$f_{ij} \leq m \cdot x_{ij} \quad \forall i, j \in M \quad \dots(12)$$

(10),(11),(12)は部分巡回路除去制約式。

4. 解法

4.1 厳密解法

厳密解法

問題の規模が大きくなると求解できない。



発見的解法を提案し、性能を評価する。

定式化を汎用MIPソルバーGurobi[3]に定式化を入力して厳密解を求めた。

4.2 発見的解法

提案解法の流れ

- 初期解を構築する.
- 2-opt法, 交換法により, 解を改善する.
- 早期に局所最適解に収束する事を防ぐため, タブー探索法を用いる.

巡回路は販売地点が変わるたびに
2-opt法を用いて改善する.

4.2.1 初期解の構築

Step1

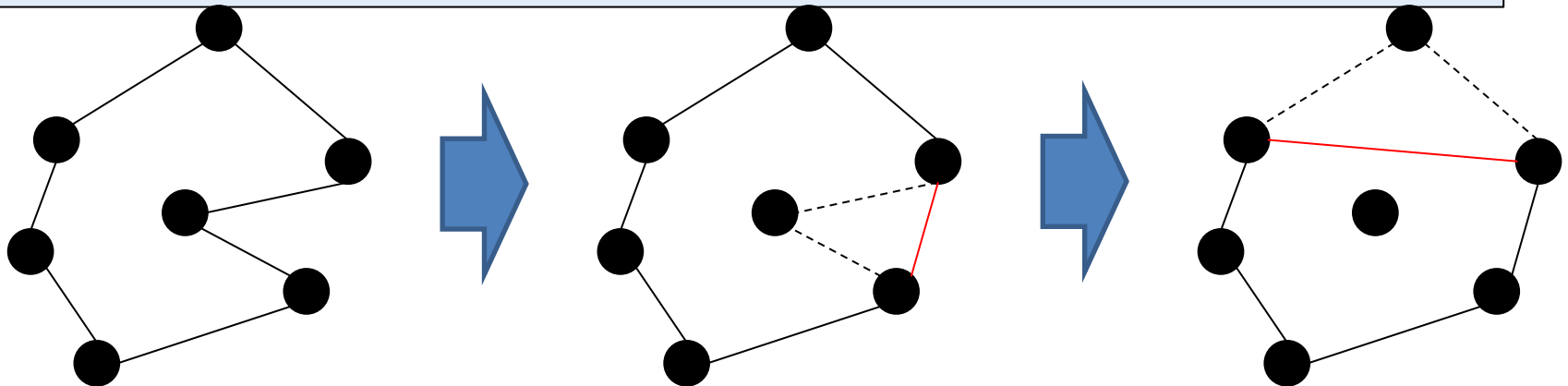
全ての候補点を販売地点とし巡回路を作り, 2-opt法を用いて巡回路を求める.

Step2

巡回路から[削除後の総獲得需要量]/[削除後の巡回路長]が最大になる販売地点を1点削除していく.

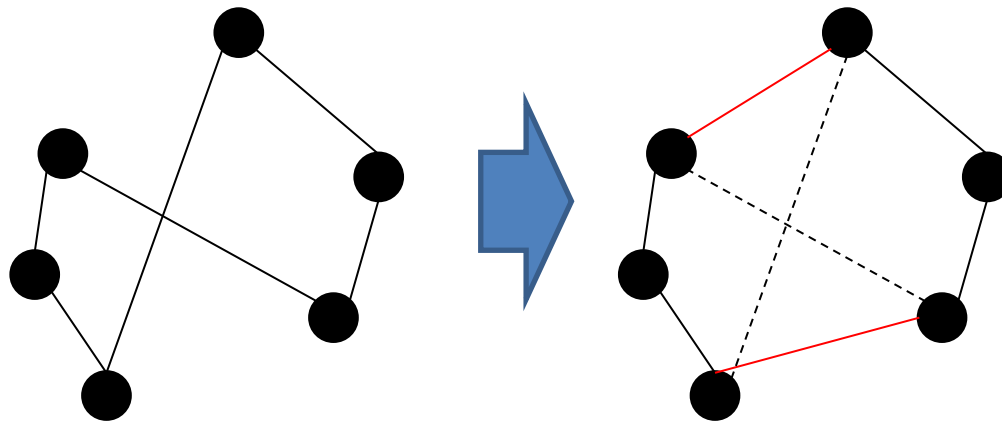
Step3

制限時間以下になるまでStep2を繰り返す, 販売地点数を決定する.



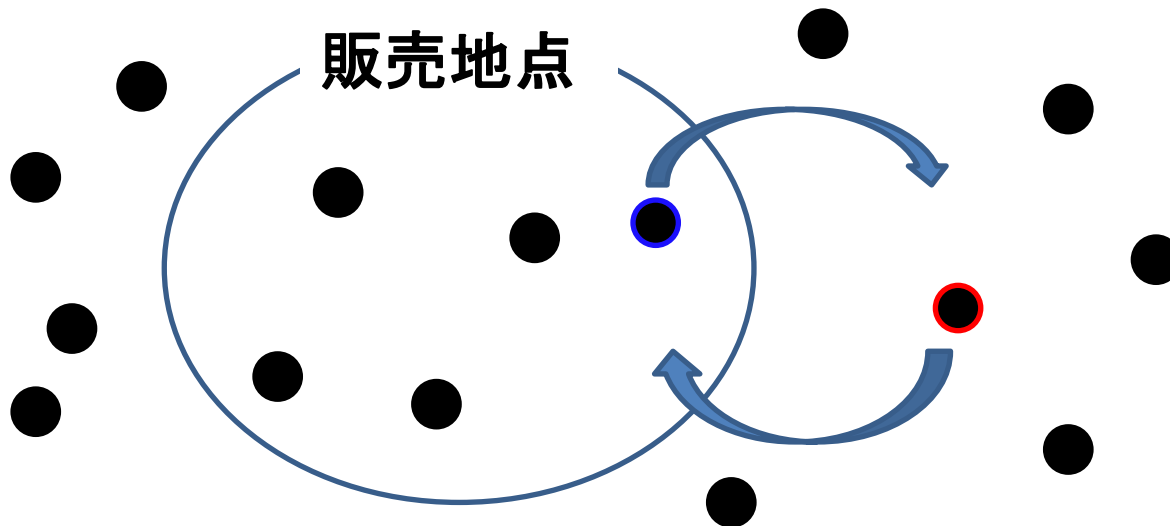
4.2.2 2-opt法[1,2]

- 巡回路中の適当な2本の枝を削除し，新たに2本の枝を追加.
- 巡回路長が短くなったら解を更新.
- 更新されなくなるまで繰り返す.



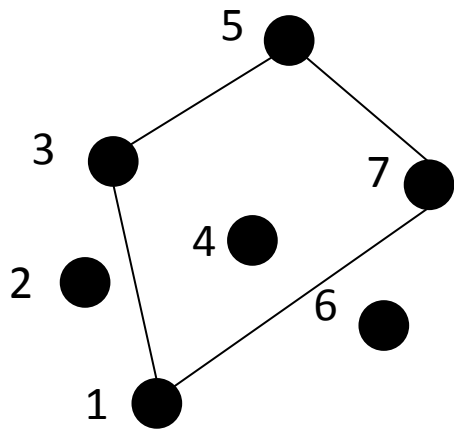
4.2.3 交換法

- 巡回路中の販売地点と候補点を交換し、解が更新されれば交換する.
- 追加する候補点は制限時間Dを満たす候補点とする.

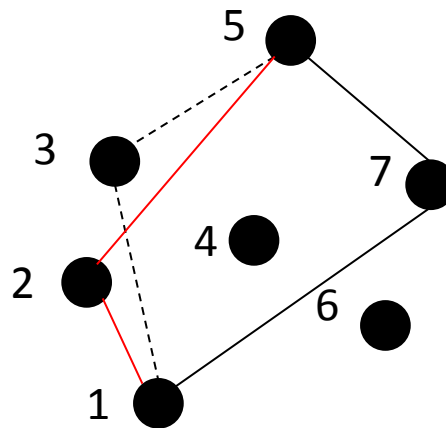


4.2.4 タブー探索法[1]

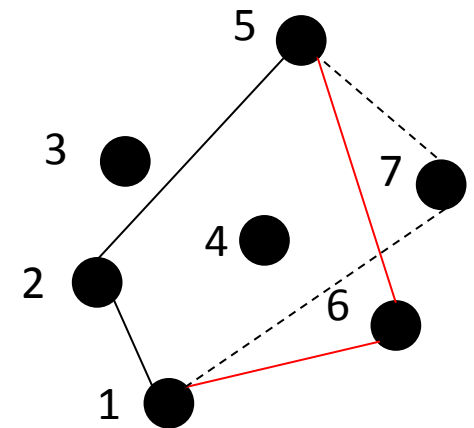
- 解の改悪を許し, 早期に局所最適解に収束する事を防ぐ.
- 一度選ばれた解の再選択を一定期間禁止.
 - タブーリスト... 選択された解を記憶するリスト.
 - タブー期間... 解を記憶している期間.
- 解の更新をs回行う.



削除			
追加			



削除	3		
追加	2		



削除	3	7	
追加	2	6	

4.2.5 求解手順

Phase1

初期解を生成

Phase2

Step1

2-opt法, 交換法を用いて巡回路長, 獲得需要量の改善を行う. 改善操作は局所最適解が求まるまで実行し, 局所最適解が求めたらStep2へ.

Step2

終了条件(交換法による改善操作を s 回実行する)を満たすまで, タブー探索を実行する.

Step3

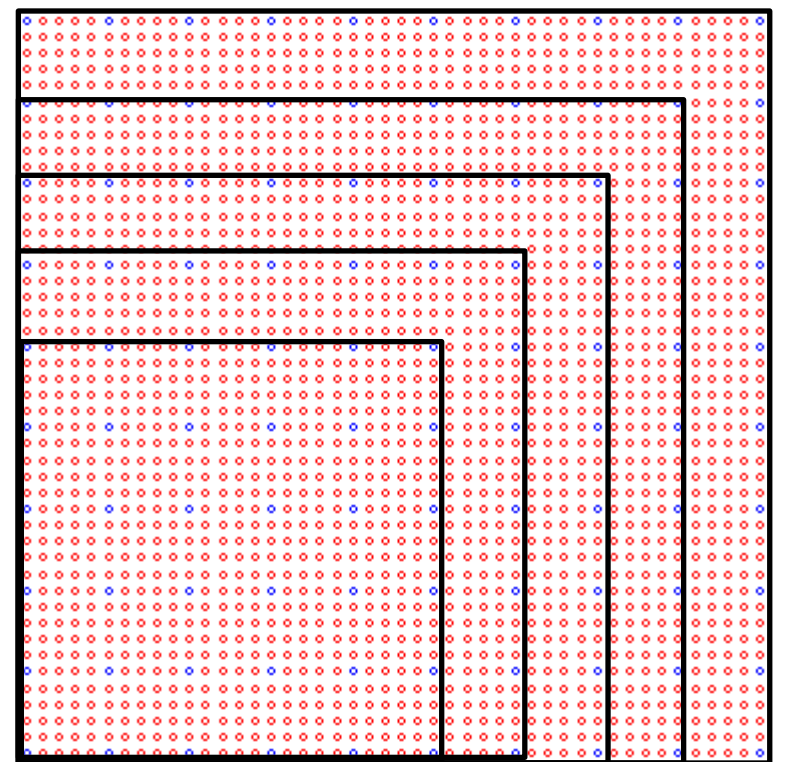
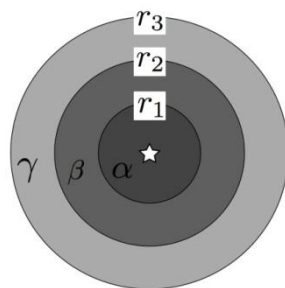
探索過程で得られたその中で最良解を出力する.

5. 数値実験

5.1 概要

- 候補点: 2km 間隔
- 需要点: 0.4km 間隔
- 販売時間は $S = 30$ (分)
- $\alpha = 0.8, \beta = 0.6, \gamma = 0.4.$

- $r_1 = 0.4\text{km}$
 $r_2 = 0.8\text{km}$
 $r_3 = 1.2\text{km}.$



① ② ③ ④ ⑤

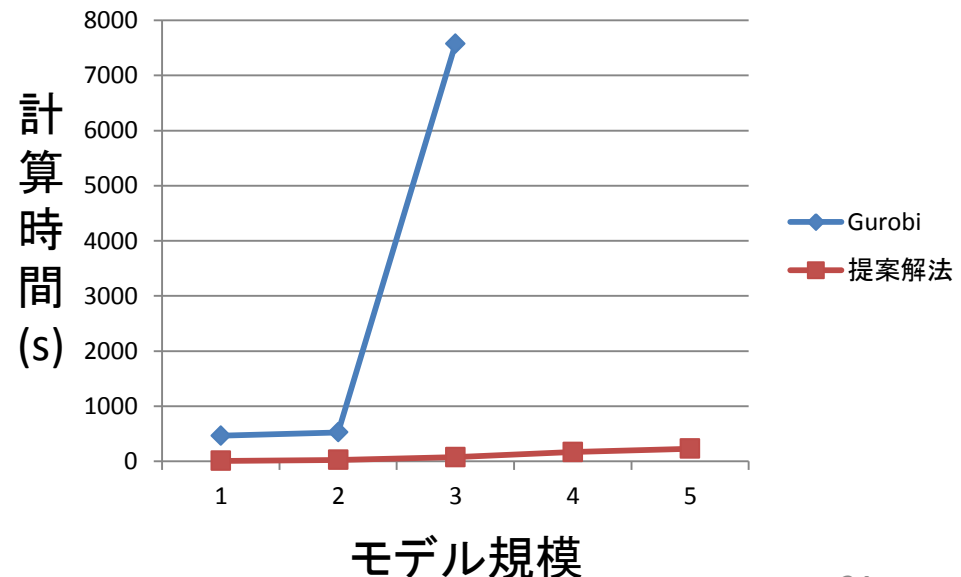
- 需要量 {
 - 0~100
 - 0~500
 - 0~1000

モデル規模(候補点数/需要点数)	① 36/676	② 49/961	③ 64/1296	④ 81/1681	⑤ 100/2116
制限時間(min)	360	420	480	540	600

5.2.結果と考察

- モデル規模が小さい場合，局所探索は有効.
- タブー探索を用いることで解が早期に局所最適解に収束する事を防ぎ，良好な探索を行なえている.
- 計算時間は厳密解法と比べ明らかに短い.

モデル規模			誤差率		
			①36-676	②49-961	③64-1296
需要 量 幅	乱数 0-100	局所探索	2.77%	0.51%	8.75%
		タブー探索	2.77%	0%	6.76%
	乱数 0-500	局所探索	0%	1.72%	3.49%
		タブー探索	0%	1.13%	0.41%
	乱数 0-1000	局所探索	0.22%	11.74%	16.73%
		タブー探索	0%	0%	0.01%



6.まとめ

- 移動販売における販売地点の選択とそれを巡る巡回回路の構成を最適化問題としてモデル化し、発見的解法を提案した.
- 提案解法では短時間かつ小さい誤差率で求解できた.

課題

- 連続的な利用割合の変化を検討すること.
- 利用割合の時間帯による変化を考慮すること.

参考文献

- [1]柳浦睦憲・茨城俊秀 (2001), 組合せ最適化-メタ戦略を中心として-, 朝倉書店, 237pp.
- [2]加藤直樹 (2008), 数理計画法, コロナ社, 221pp.
- [3]Gurobi, <http://www.gurobi.com> (2011.12.25).

ご清聴ありがとうございました。