

# 幼稚園における送迎バスの運行経路に関する研究 停留ポイントと走行経路の決定

東京理科大学工学部経営工学科

沼田研究室

4401078 藤田洋平

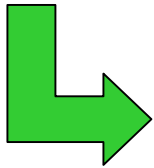
# 発表構成

1. はじめに
  2. 研究の目的
  3. 問題の設定
  4. 定式化
  5. 解法
  6. 数値実験
  7. 結果および考察
  8. まとめ
  9. 今後の課題
- 参考文献

# 1. はじめに

幼稚園において、より多くの園児を獲得するために送迎バスはなくてはならないサービスである。

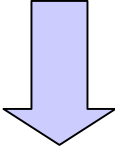
## 送迎バスの運行計画



- ・ 停留ポイントの設置場所
- ・ バスの走行経路

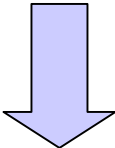
停留ポイント: バスが停車し, 園児が乗り降りする場所

## F幼稚園の運行計画作成の現状

- ・ バスの走行経路 ← - - 経験により、ある程度固定
- 
- ・ 停留ポイントの設置場所 ← - - - 変更

より良い運行計画を考えるならば

園児の位置を考慮し、停留ポイントを設け

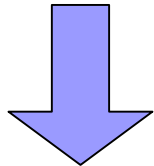


走行経路を考える必要がある。

## 2. 研究の目的

### 運行計画の作成法の提案

- 家から停留ポイントまでの距離が長い園児の移動距離が短くなるように停留ポイントを決める.
- バスの総送迎時間が短くするようにする.



F幼稚園のデータに適用し, 有効性を検証

# 3 . 問題の設定

## 問題を扱う上での前提条件

- ⊕ 停留ポイントは、あらかじめ候補地を与えておき、その中から選び出すものとする。
- ⊕ 送迎バスを使わない園児は予め除いて考える。
- ⊕ 停留ポイント、園児宅間の距離は直線距離とする。
- ⊕ 各送迎バスは幼稚園を出発し、園児を乗せ、幼稚園に戻る。また、バスには定員がある。
- ⊕ 一回の巡回ルートには時間の上限を設ける。
- ⊕ 停留ポイント間の移動時間は移動距離に依存するものとする(渋滞は考慮しない)。

# 4. 定式化

## 記号の定義

$t_{ik}$ : 停留ポイント  $i, k$  間の移動時間 ( $t_{ik} = t_{ki}$ )

$d_{ij}$ : 停留ポイント  $i$  から園児宅  $j$  までの距離 ( $d_{ij} = d_{ji}$ )

$S_i$ : 停留ポイント  $i$  で乗り降りする園児数

$c_i$ : 停留ポイント  $i$  での園児の乗降時間

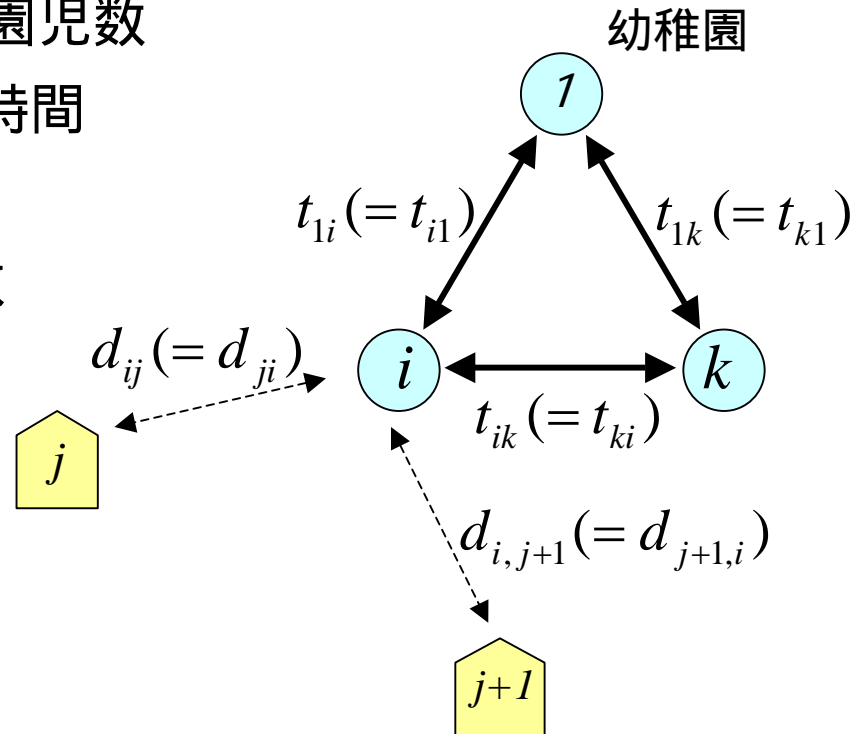
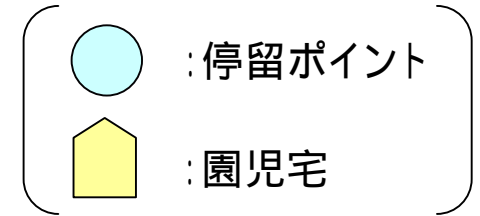
(停留ポイント 1 は幼稚園)

$n$ : 幼稚園を含む停留ポイントの数

$m$ : 園児の数

$L$ : 巡回ルート数

$q$ : 送迎バスの定員



## 決定変数

$$u_i = \begin{cases} 1: \text{停留ポイント } i \text{ を採用する} \\ 0: \text{それ以外} \end{cases}$$

$$x_{ikl} = \begin{cases} 1: \text{ルート } l \text{ において停留ポイント } i \text{ の直後に} \\ \quad \text{停留ポイント } k \text{ を訪れる} \\ 0: \text{それ以外} \end{cases}$$

$$y_{il} = \begin{cases} 1: \text{ルート } l \text{ において停留ポイント } i \text{ を訪れる} \\ 0: \text{それ以外} \end{cases}$$



# 目的関数

## 総送迎時間を最小化

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i,k} t_{ik} \sum_l x_{ikl} + \sum_i c_i \sum_l y_{il} \quad \dots(1)$$

停留ポイント  
間の移動時間

停留ポイントで  
の停車時間

## 園児の最大移動距離を最小化

$$\text{Minimize} \quad \max_j \left[ \min_i \{ d_{ij} u_i + M(1 - u_i) \} \right] \quad M \gg 1 \quad \dots(2)$$

各園児が最も近い停留  
ポイントを選ぶ

SubjectTo

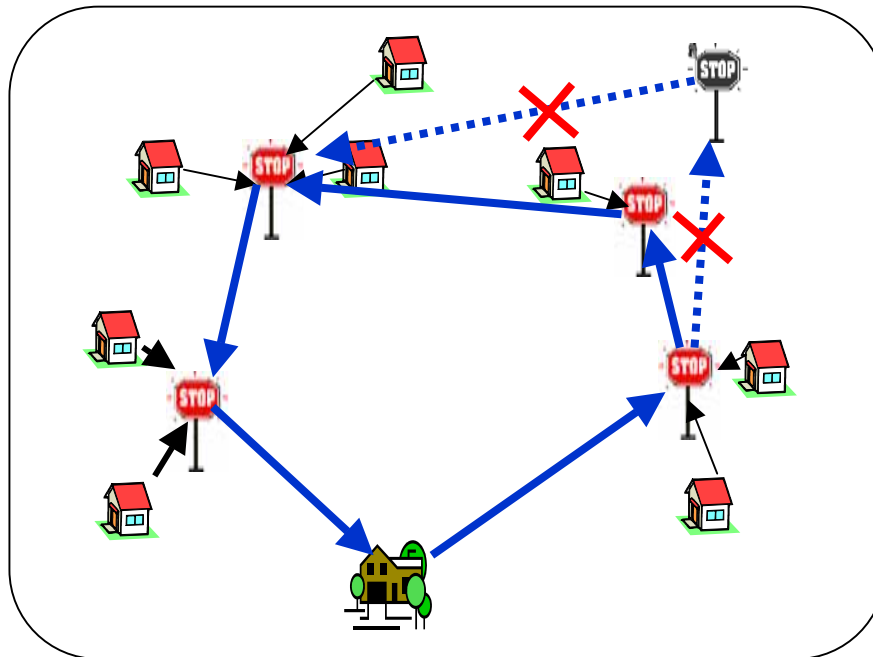
$$\left[ \frac{S_i}{q} \right] u_i = \sum_l y_{il} \quad i = 2, \dots, n \quad \dots(3)$$

$$u_1 = 1 \quad \dots(4)$$

$$y_{il} = 1 \quad l = 1, \dots, L \quad \dots(5)$$

$$\sum_{k,l} x_{ikl} = u_i \left[ \frac{S_i}{q} \right] \quad i = 1, \dots, n \quad \dots(6)$$

$$\sum_{i,l} x_{ikl} = u_k \left[ \frac{S_k}{q} \right] \quad k = 1, \dots, n \quad \dots(7)$$



-  : 園児宅
-  : 停留ポイント
-  : 幼稚園

SubjectTo  
(続)

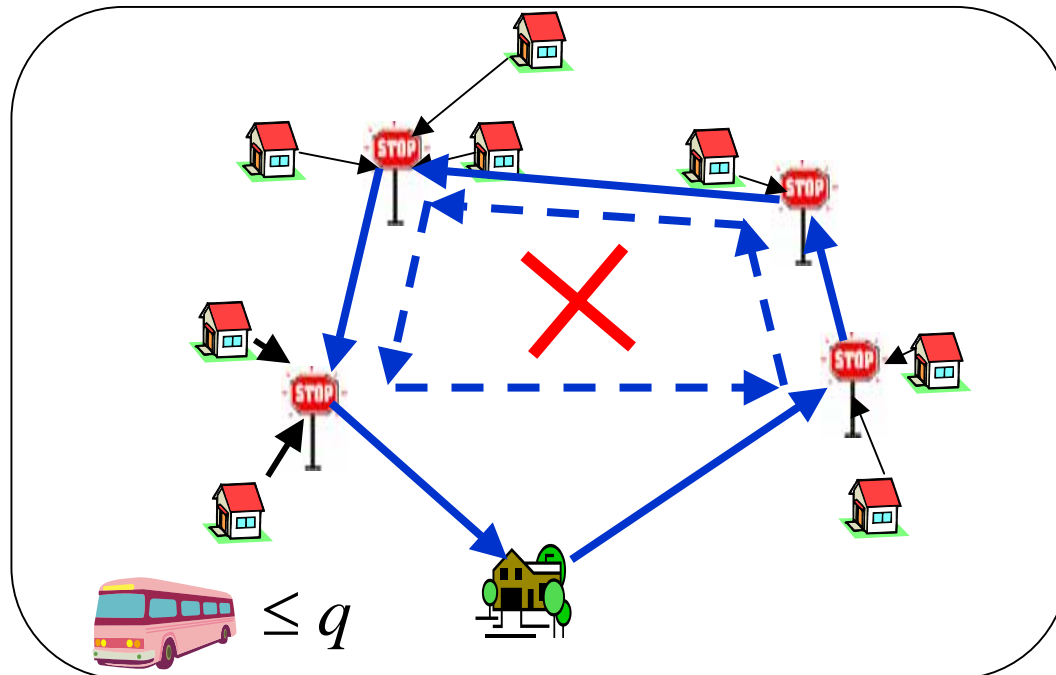
$$\sum_{i,k \in H} x_{ikl} \leq |H| - 1 \quad \forall H \subseteq \{2, \dots, n\} \quad l = 1, \dots, L \quad \dots(8)$$

$$\sum_k x_{ikl} = \sum_k x_{kil} = y_{il} \quad i = 1, \dots, n \quad l = 1, \dots, L \quad \dots(9)$$

$$\sum_i \frac{S_i}{\lceil S_i/q \rceil} y_{il} \leq q \quad (S_i \neq 0) \quad l = 1, \dots, L \quad \dots(10)$$

$$\sum_{i,k} t_{ik} x_{ikl} + \sum_i c_i y_{il} \leq T \quad l = 1, \dots, L \quad \dots(11)$$

$$u_i, x_{ikl}, y_{il} \in \{0,1\} \quad i, k = 1, \dots, n \quad l = 1, \dots, L \quad \dots(12)$$



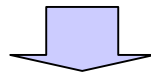
# 5 . 解法

停留ポイントの選定

+

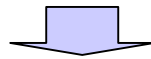
経路の決定

停留ポイントの候補地数が約80 , 停留ポイント選定数約60



解を全列挙して , 厳密解を出すことは困難

(計算時間が大)



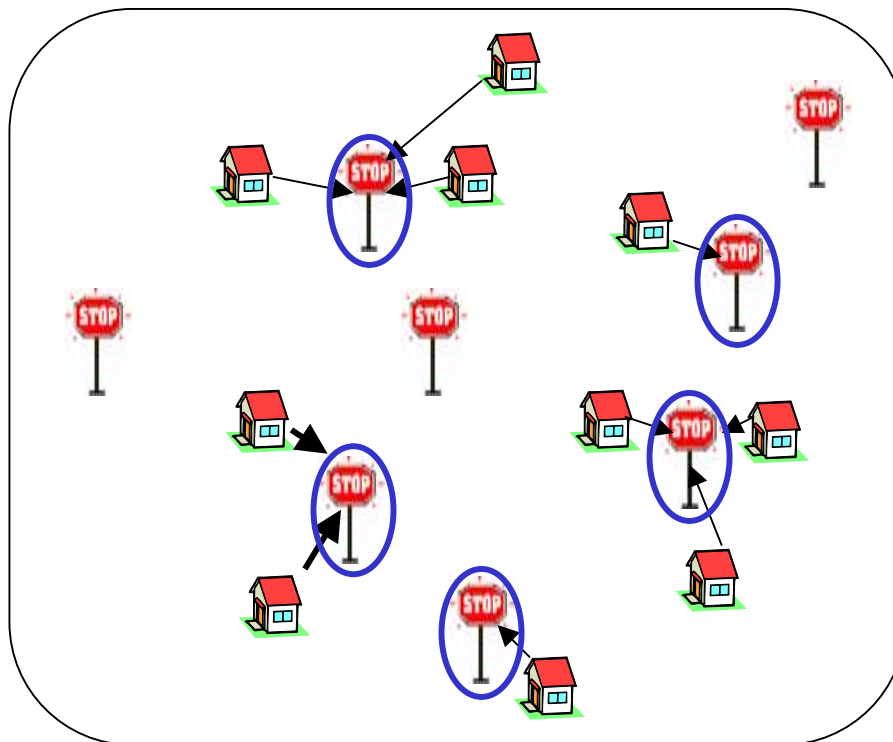
近似解法の利用

ランダム多スタート局所探索法

タブーサーチ

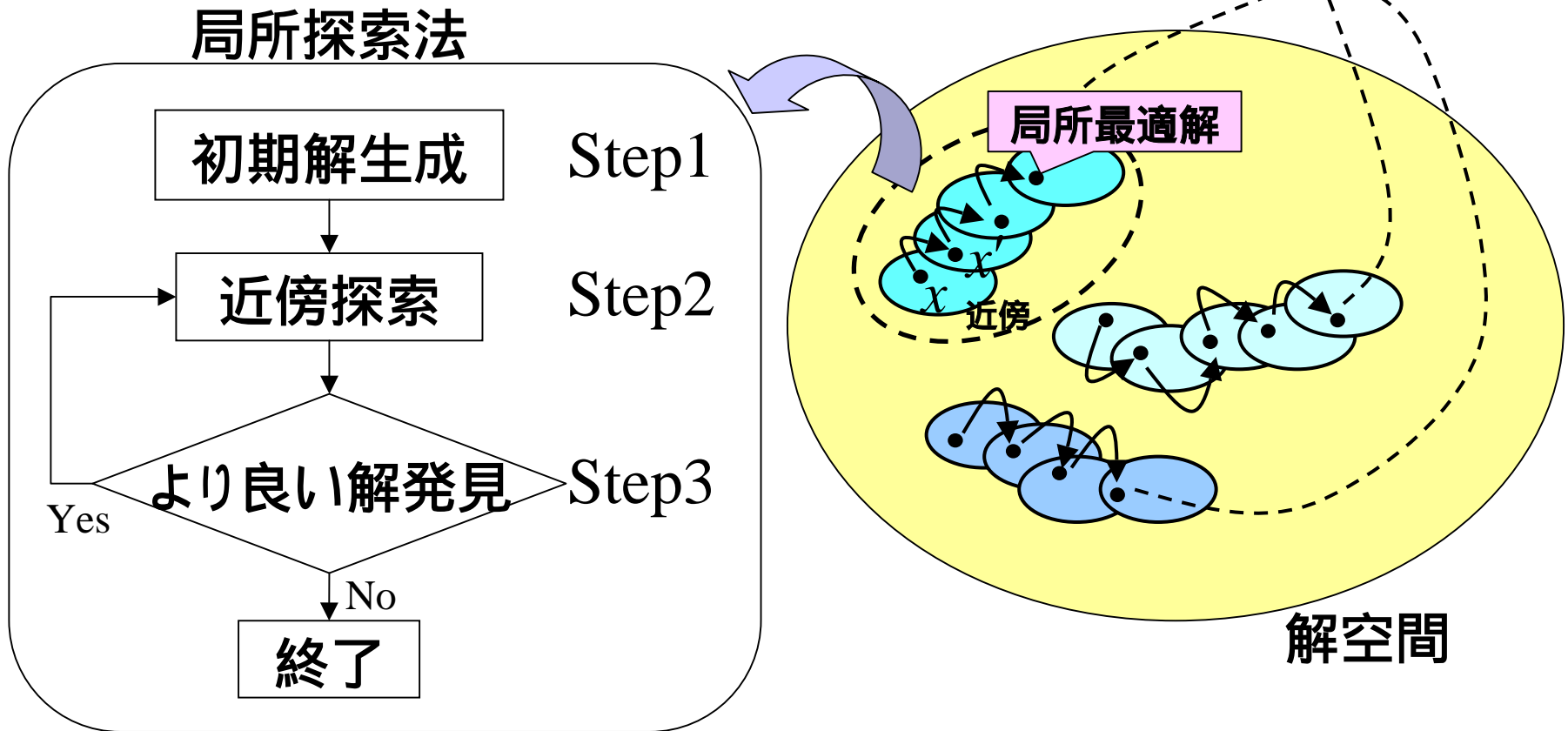
# 停留ポイントの選定

Step0: 停留ポイント候補地をすべて使えりと仮定し, 各園児が最も近い停留ポイントを選んだとき, 選ばれた停留ポイント数が停留ポイント選定数( $a$ )以下であれば, 終了する. そうでなければStep1へ.



# ランダム多スタート局所探索法

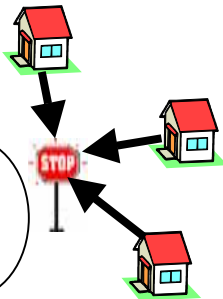
初期解をランダムに与え, 何度か局所探索を行うことにより, その中から最も良い解を(準)最適解とする方法



Step1: 停留ポイントの候補地からランダムに $a$ 個を選び, その集合を初期解とする. このとき, 各園児の最短移動距離を長い順に並べたリストを目的関数リストとする.

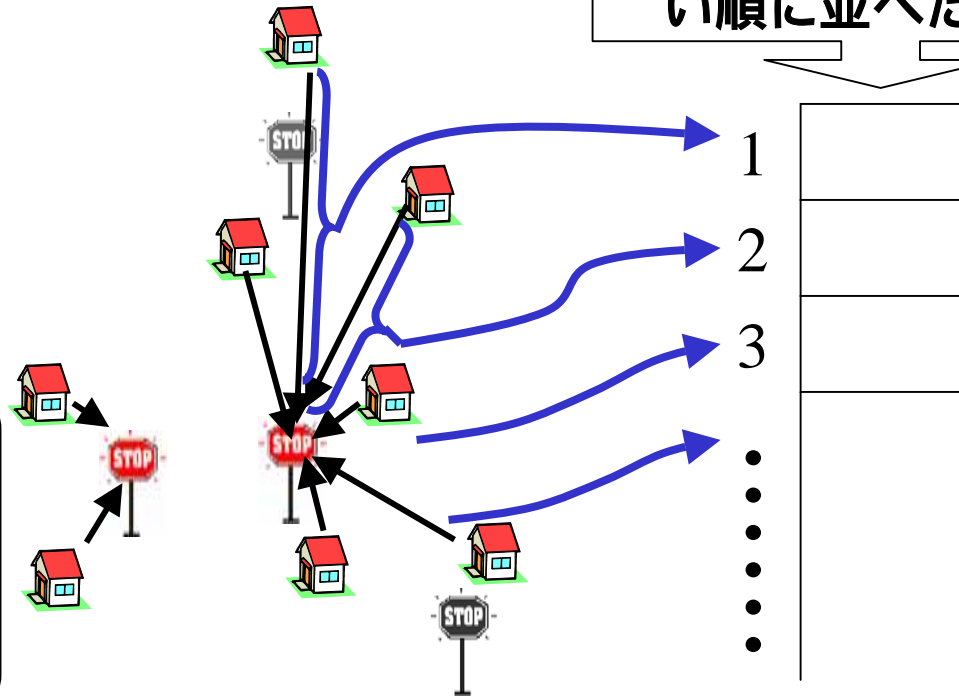
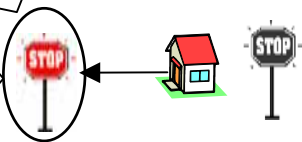
どの園児にも使用されていない

除く



使用する園児が一人で, その園児にとって, より近い停留ポイントが存在する

除く

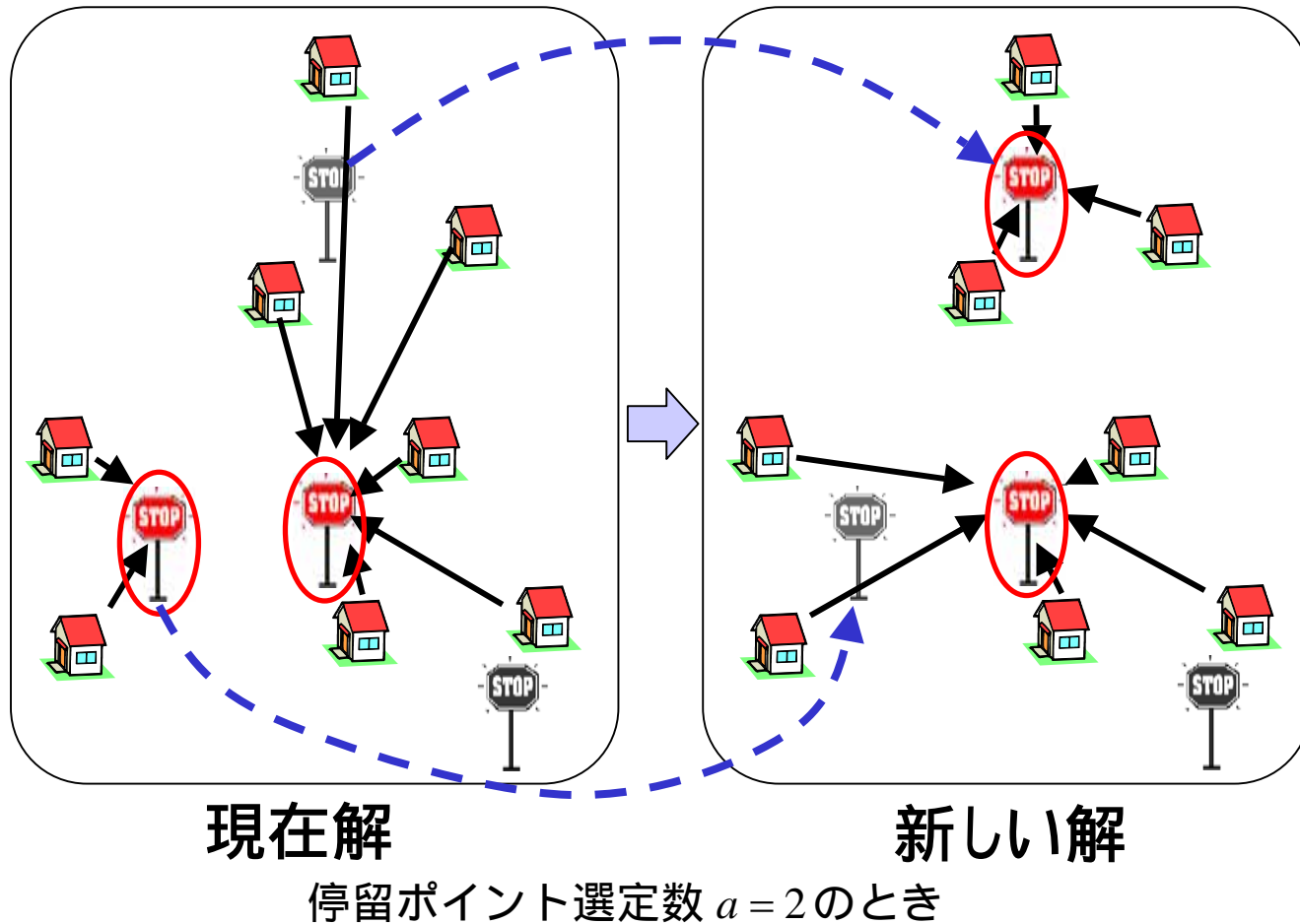


各園児の移動距離を長い順に並べたリスト

停留ポイント選定数  $a = 2$  のとき

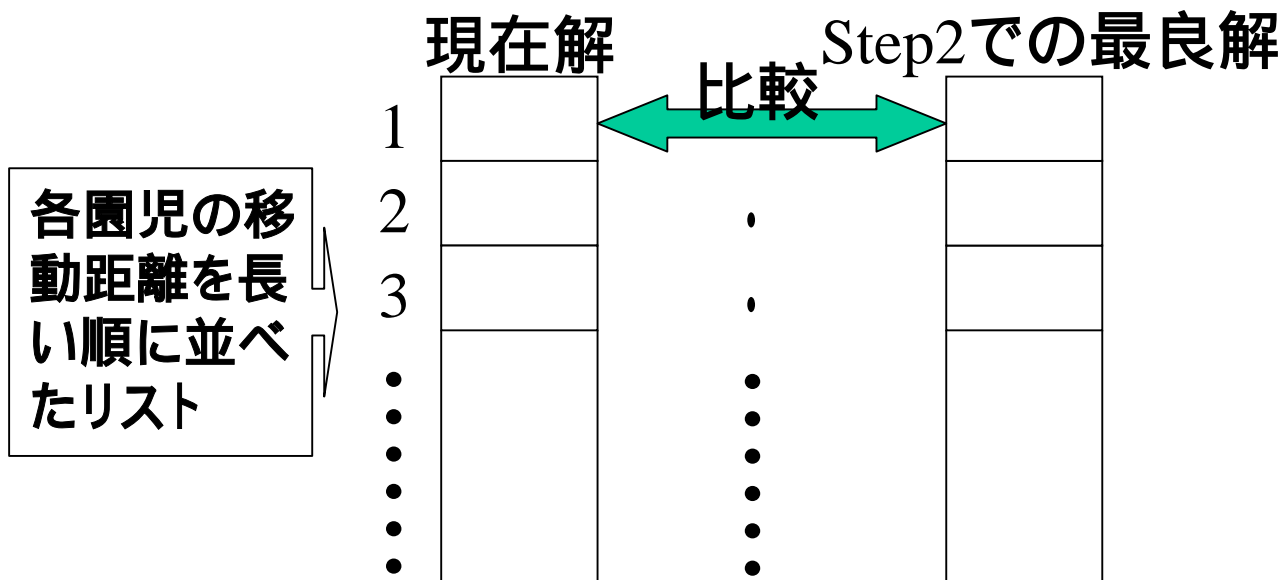
Step2: 選定されるポイントと選定されないポイントの入れ替えを  
近傍とし, この中で最良の解を選択する.

## 近傍の取り方





Step3: Step2での最良解の目的関数リストと現在解の目的関数リストを辞書的に比べ、より良い解が発見されれば、更新し、そうでなければ、終了する。

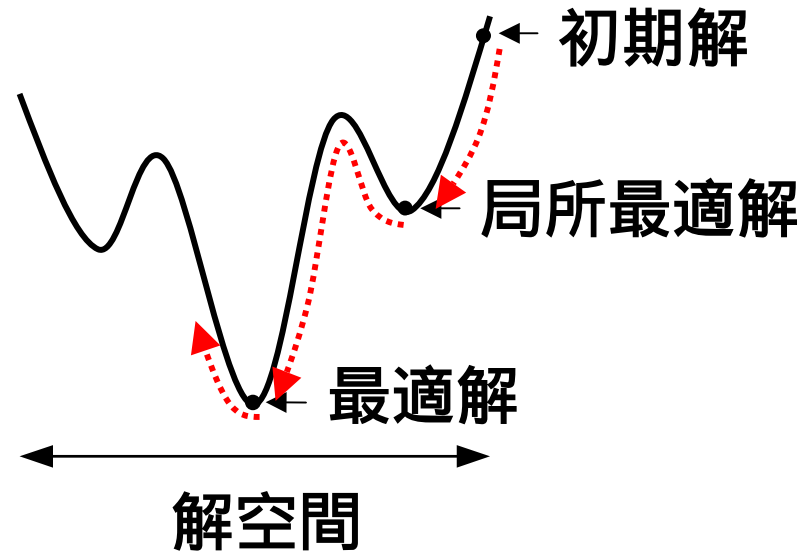
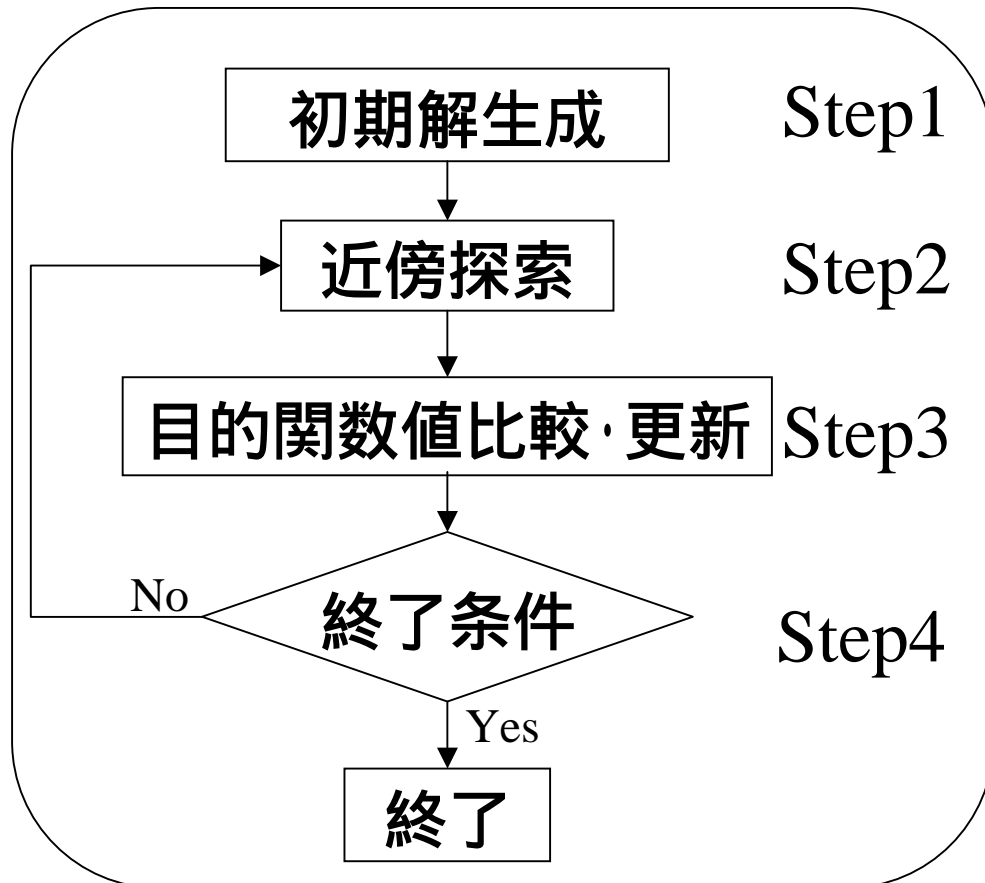


Step1からStep3の流れを何度か繰り返し最も良い解を(準)最適解とする。

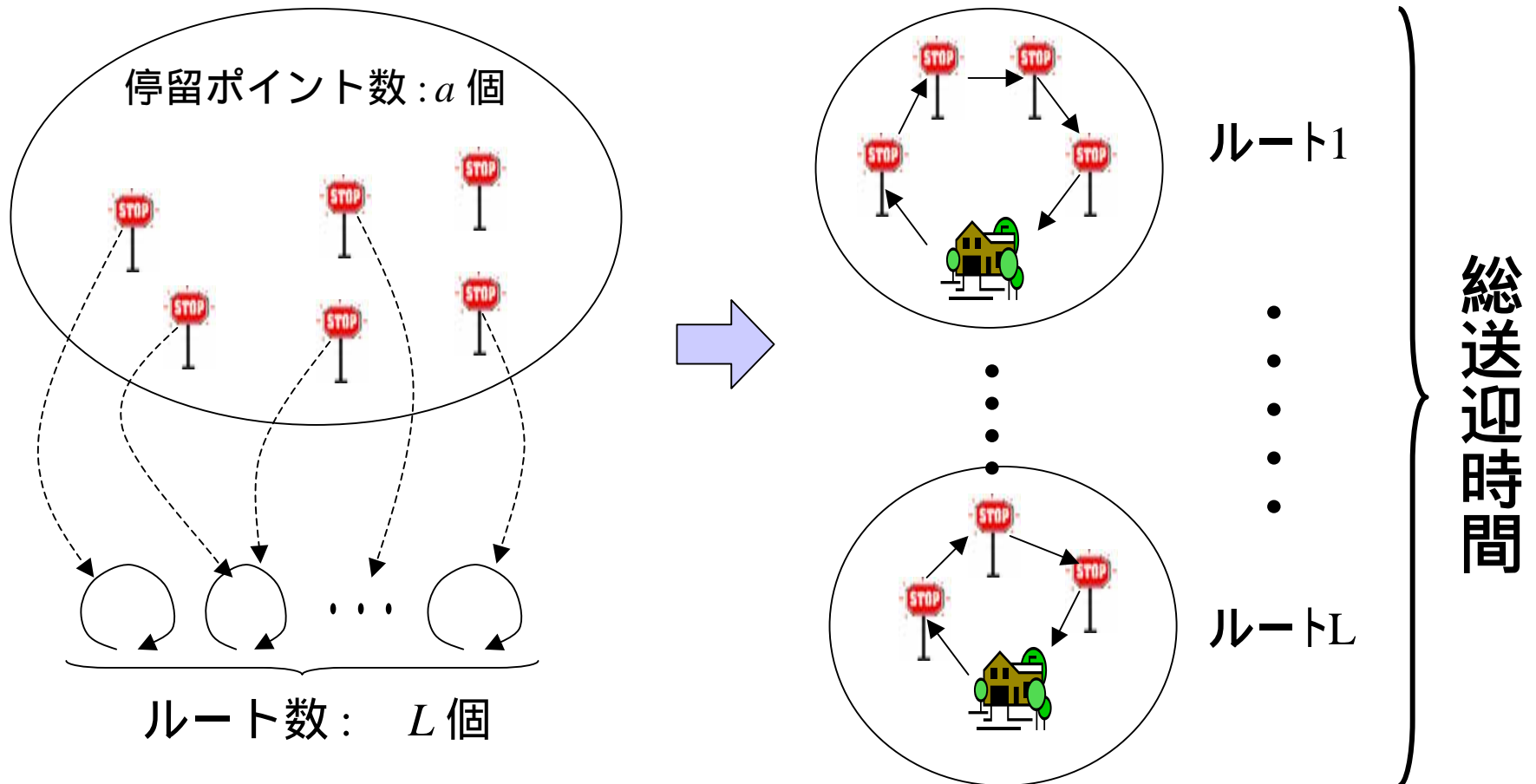
# 経路の決定

## タブーサーチ

- ・改悪を許すことにより, 局所最適解から脱出する.
- ・タブーリストを用い, 循環を防いでいる.

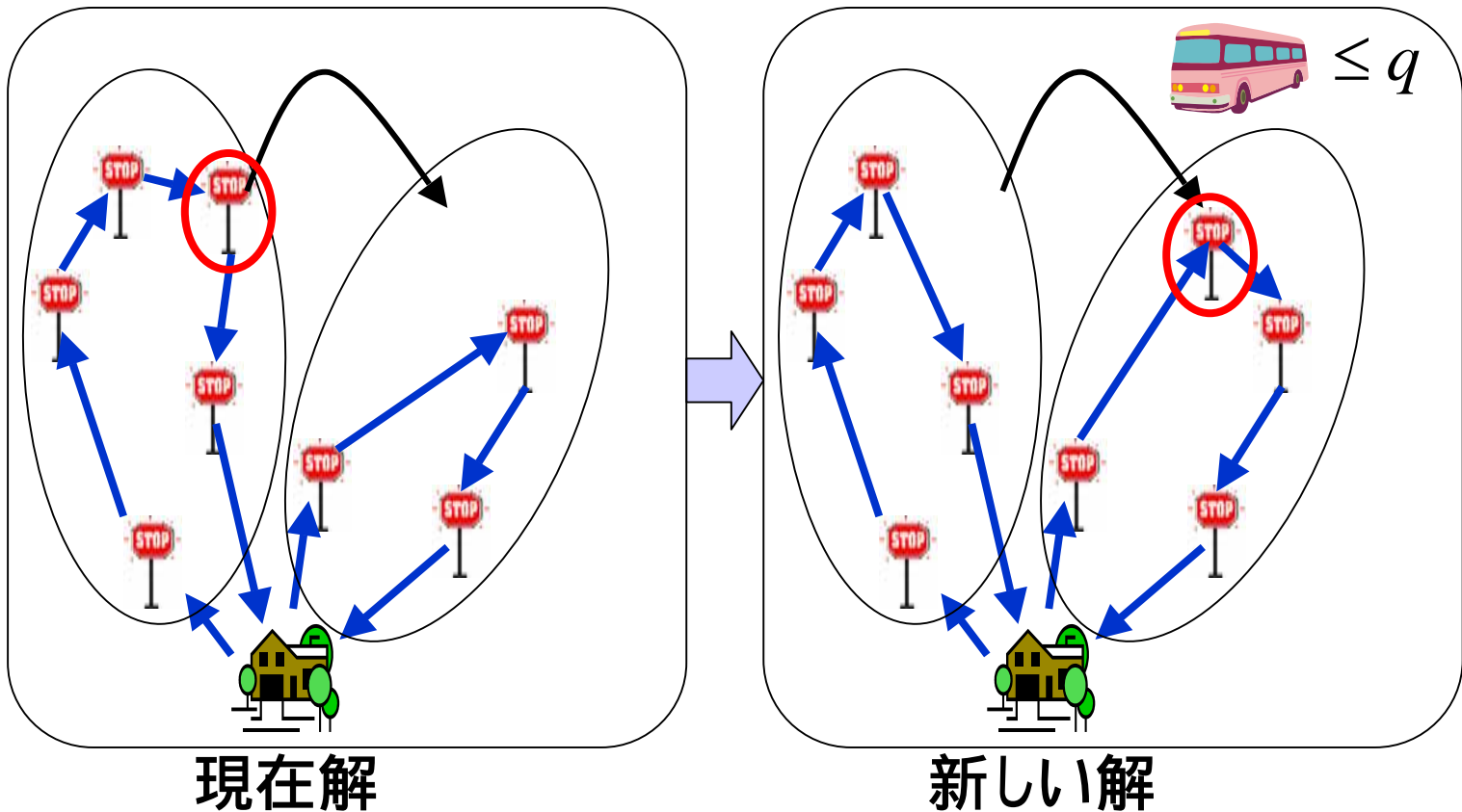


Step1: 停留ポイントをランダムに割り当て、初期解を生成する。  
各ルートの準最適な巡回順序を求め、総送迎時間を計算し、それを目的関数値とする。



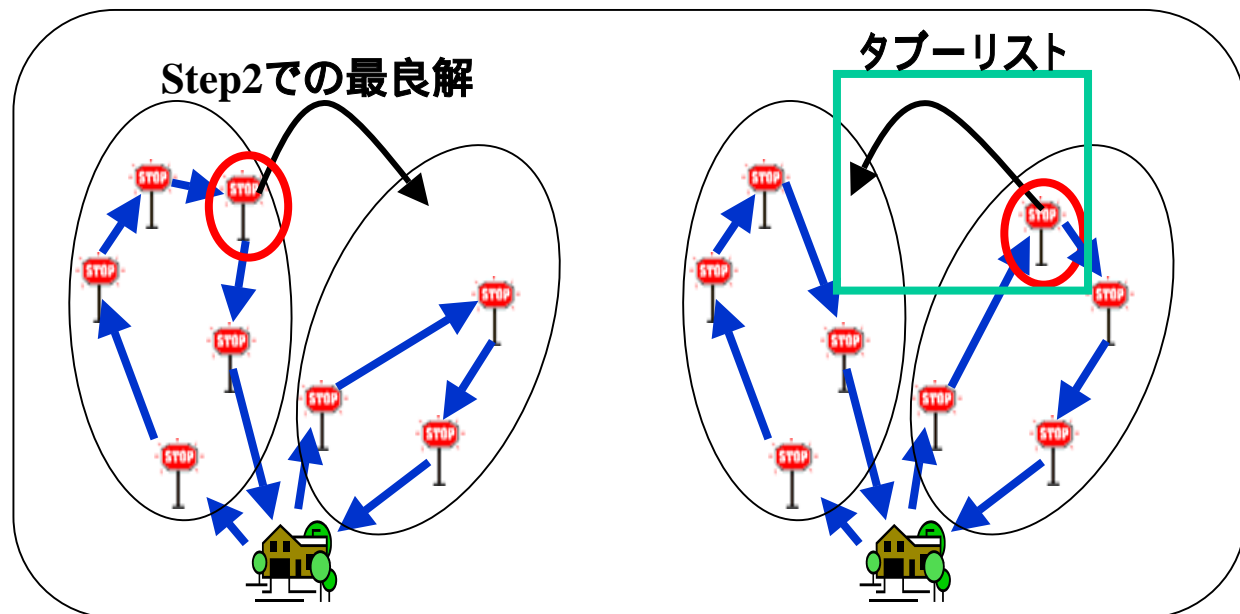
Step2: タブーリストに含まれていない停留ポイントの, 現在のルートから別のルートへの移動を近傍とし, その中で最良の解を選択し, 改悪でも更新する.

## 近傍の取り方



Step3: Step2での最良解が現在解より良ければ, それを準最適解とする.

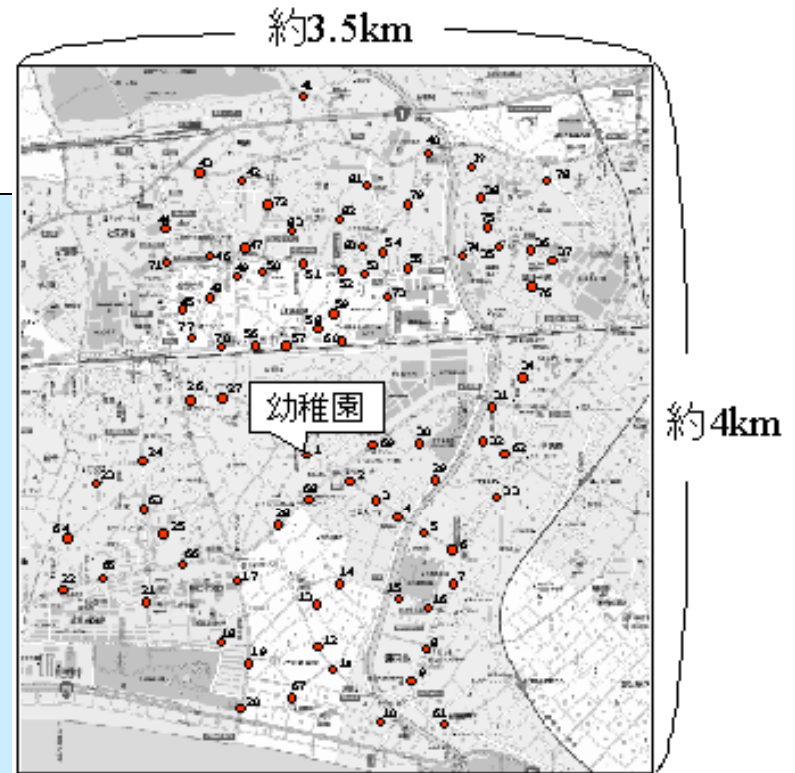
Step4: Step2,3を一定回数繰り返しても最良解が更新されなければ, 終了し, そうでなければ, タブーリストを更新し, Step2へ戻る.



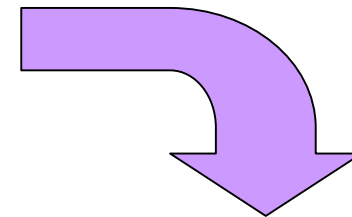
# 6. 数値実験

## F幼稚園のデータ

- ◇園児数:218人
- ◇バスの台数:2台
- ◇巡回ルート数:6ルート
- ◇停留ポイントの候補地:83個
- ◇停留ポイント選定数:62個
- ◇バスの定員:51人
- ◇各バスの送迎時間の上限:40分
- ◇バスの平均速度:時速30km
- ◇各停留ポイントでの停車時間  
= 60秒 + 園児人数 × 5秒



送迎計画の作成



現状との比較

# 7. 結果および考察

## 停留ポイントの選定

表1: 園児の移動距離の長い順  
(上位10人)

園児	現状(m)	準最適解(m)
1	236	226
2	226	198
3	225	191
4	216	176
5	198	176
6	191	176
7	188	176
8	176	176
9	176	176
10	168	176

移動距離の長い園児  
ついて、移動距離を  
短縮できた

現状より移動距離が  
長くなった園児もいた



移動距離の長い園児を  
優先的に短くした結果

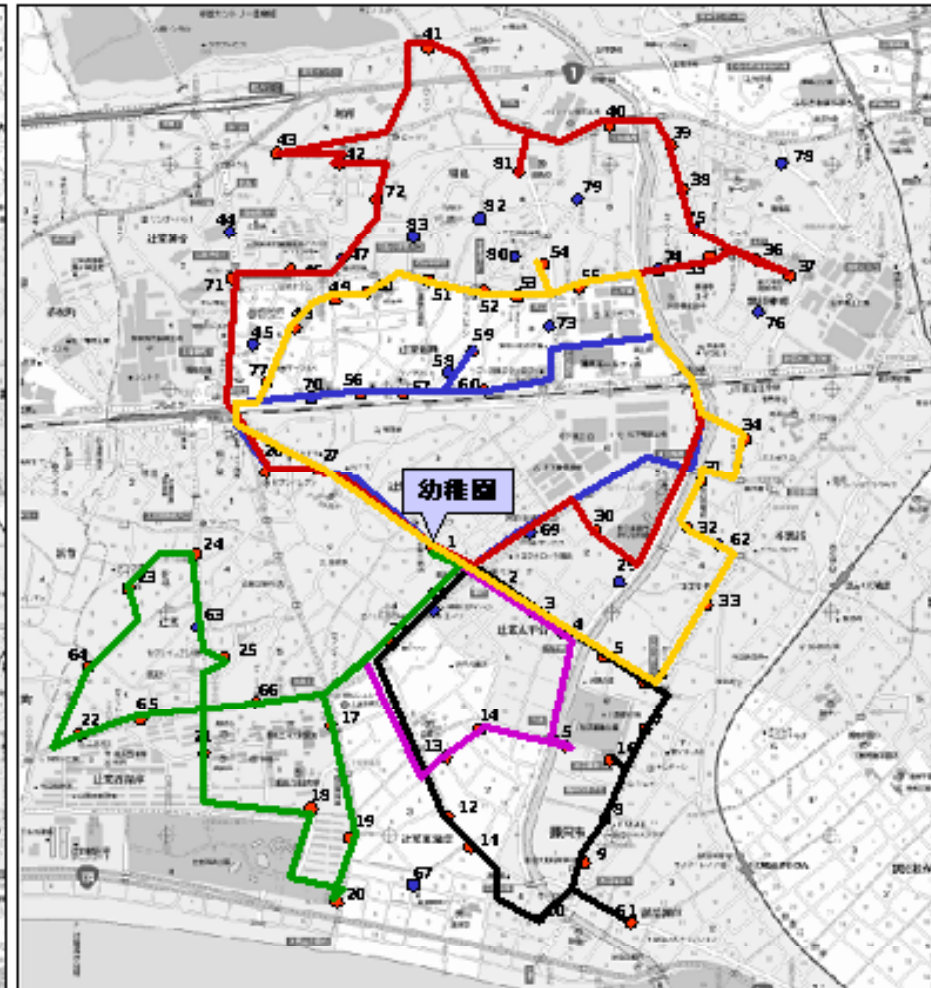
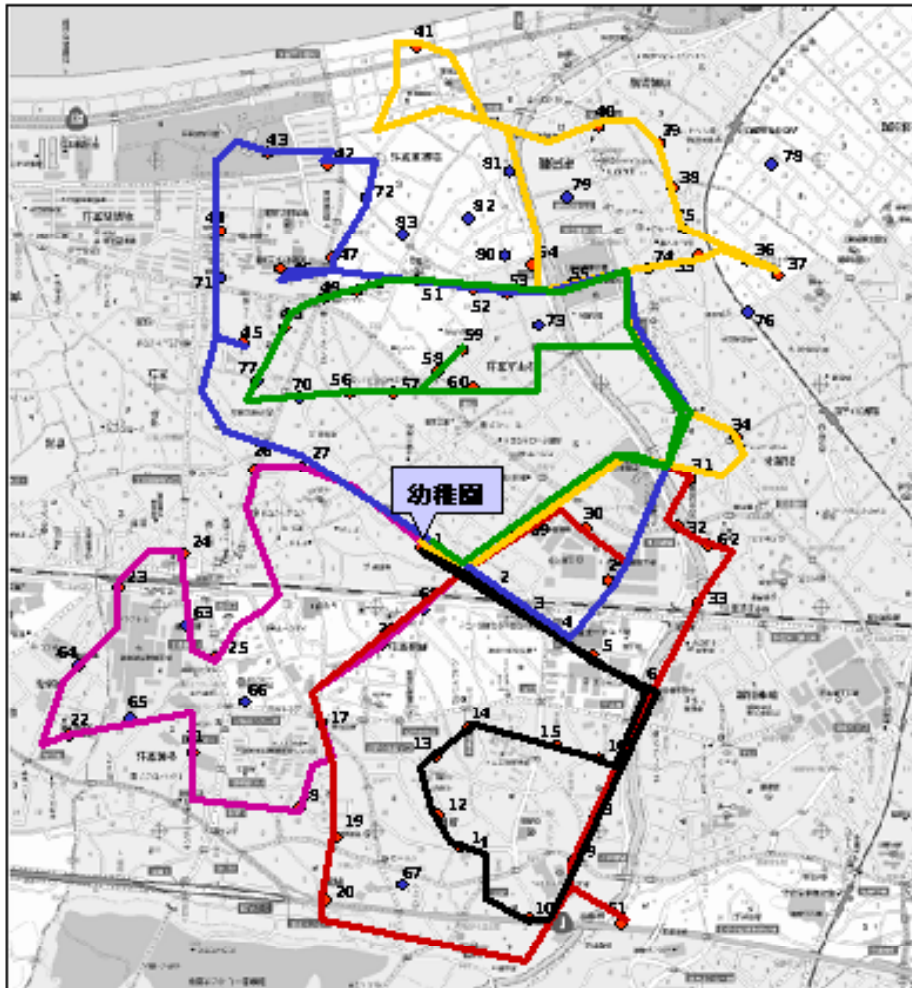


# 経路の決定

- 巡回ルート1
- 巡回ルート2
- 巡回ルート3
- 巡回ルート4
- 巡回ルート5
- 巡回ルート6

## 現状の経路

## (準)最適解の経路





# 経路の決定

総送迎時間を10分以上短縮できた

表2：送迎時間の比較

現状		準最適解	
総送迎時間	11210 秒 (約186分)	総送迎時間	10521 秒 (約175分)
バス A	5723 秒 (約95分)	バス A	5307 秒 (約88分)
ルート 1	1858 秒 (44人)	ルート 1	916 秒 (24人)
ルート 2	1960 秒 (49人)	ルート 2	2247 秒 (30人)
ルート 3	1905 秒 (27人)	ルート 3	2144 秒 (46人)
バス B	5487 秒 (約92分)	バス B	5214 秒 (約87分)
ルート 4	1837 秒 (38人)	ルート 4	1772 秒 (42人)
ルート 5	1940 秒 (29人)	ルート 5	1241 秒 (25人)
ルート 6	1710 秒 (30人)	ルート 6	2201 秒 (51人)

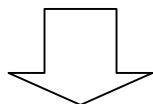
各ルートの送迎時間がばらついた

# 8. まとめ

## 送迎バスの運行計画

停留ポイントまでの移動距離が長い園児の距離を短縮できた。

送迎に費やす時間を短縮できた



経験に頼ることのない、送迎バスの運行計画の提案ができた

## 9. 今後の課題

- 本研究では現状と比較するため、停留ポイントの選定数、巡回ルート数を現状と同じ値に固定して実験を行ったが、これらの数を変え、実験を行うことにより、より良い運行計画の検討が必要である。
- 園児宅から停留ポイントまでの負担は考慮に入れたが、園児宅から幼稚園までの時間(負担)も考慮に入れる必要がある。

# 参考文献

- [1]岡本晃昌「不動産管理業務における定期点検作業の実施計画の作成」,平成14年度東京理科大学工学部経営工学科卒業論文
- [2]柳浦睦憲、茨木俊秀「組合せ最適化　メタ戦略を中心として」,朝倉書店、2001
- [3]生活地図サイト　マップファンウェブ  
<http://www.mapfan.com/>

# 付録

## 各ルートの準最適な巡回順序の求め方

### 局所探索法

3-opt近傍

隣り合わない3本の枝を巡回路から取り去り,別の3本の枝を付け加えて得られる巡回路全体の集合

