



通所介護施設における 最適送迎車ルートの研究

沼田研究室

4403006 石橋 聡子



発表構成

1. はじめに
2. モデル
3. 定式化
4. 提案モデルの検証
5. まとめと今後の課題
6. 参考文献

1.1 研究背景(1)

日本社会は高齢化が急速に進行しており、2015年に国民のおよそ4人に1人が65歳以上という超高齢者社会を迎える[2]。現在でも、高齢者の約半数は夫婦のみ又は単独で暮らしており、介護サービスのニーズは大きい[1]。

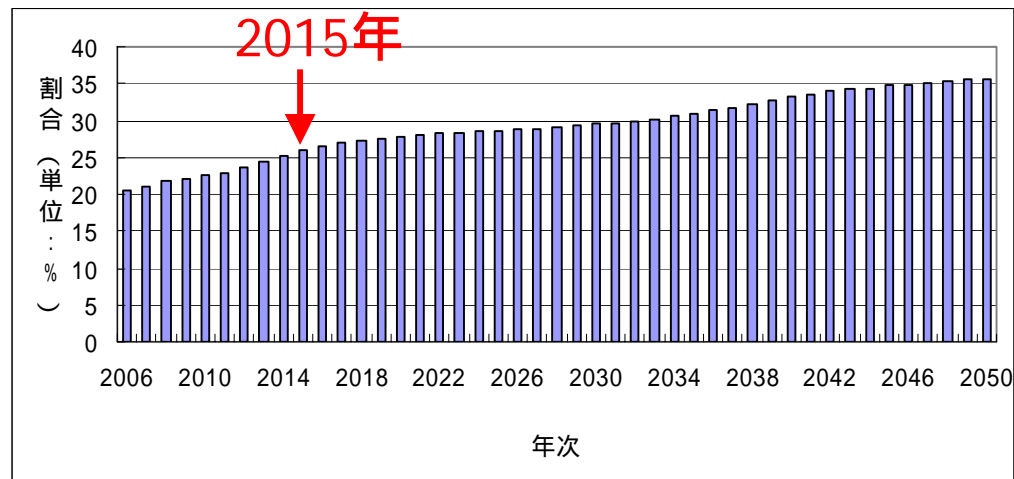
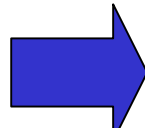


図1 65歳以上の人口の割合
卒業研究

1.1 研究背景(2)

介護サービスを必要とする人は、その程度に応じて7段階の区分に認定される。  要介護認定

高
↑

↓
低

要介護5	} 介護保険の介護 サービス対象者
要介護4	
要介護3	
要介護2	
要介護1	
要支援2	} 介護保険の介護予防 サービス対象者
要支援1	

1.1 研究背景(3)

- 介護サービス
 - 大きく分けて、施設サービスと在宅サービスの2種類に分けられる。
 - 在宅サービスは施設サービスよりも利用者数の伸びが著しい[1]。
 - ➡ 在宅サービスの1つである**通所介護施設**に着目する。

1.2 通所介護施設の現状(1)

■ 通所介護施設が提供するサービス

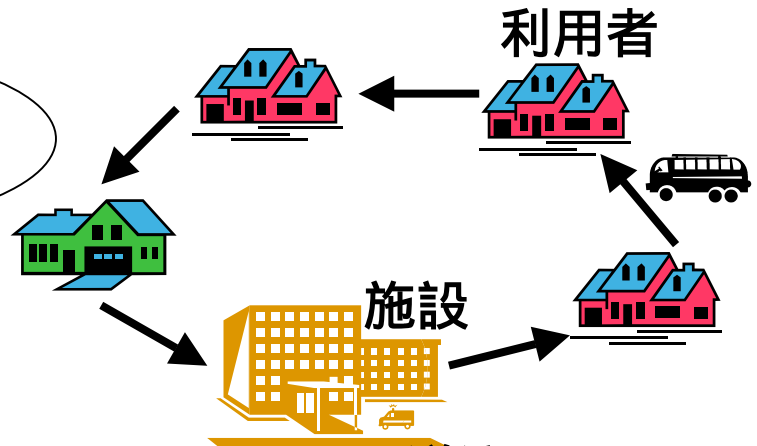
■ デイサービス

- 食事
- 入浴介助
- レクリエーション等

■ 送迎サービス

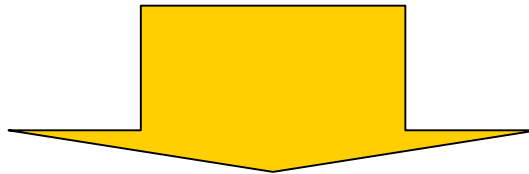
- 複数台の送迎車で時間差送迎
- 送迎車に長時間乗車不可能な利用者に関しては、**乗車時間を出来るだけ少なくしている。**

長時間乗車不可能な利用者



1.2 通所介護施設の現状(2)

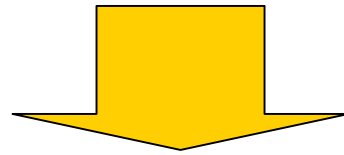
長時間乗車可能な利用者に関しては、優先度などは設けずに直感的に乗車順を決めている。



要介護度の高い利用者が長時間乗車していることがある。

1.3 本研究の目的

通所介護施設利用者が送迎車乗車中に感じる負担の度合いは各人により異なる。



施設利用者の送迎車乗車中の負担を考慮した上で、送迎車の総移動距離が最小となる送迎ルートを求める方法を提案する。

2.1 本研究で扱う問題(1)

1つの通所介護施設が n 人の利用者を送迎する場合の最適送迎ルートを求める。

- 利用可能な送迎車は m 台とし, 乗車定員は Q 人.
- 送迎ルートは施設を始点とする巡回路.
- 利用者を送るルートと迎えに行くルートは等しいと考え, 利用者を自宅まで迎えに行くことのみを考える.

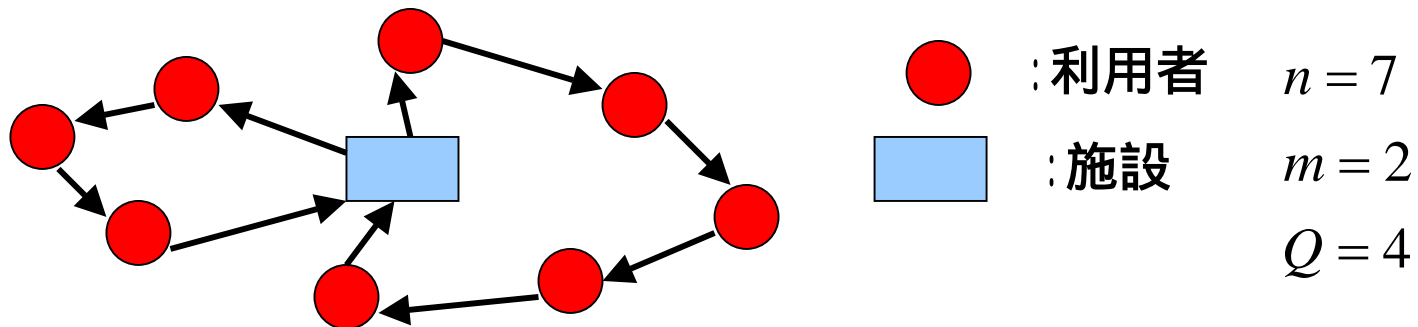


図3 送迎ルート

2.1 本研究で扱う問題(2)

- 利用者と施設の集合を $N = \{0, 1, \dots, n, n+1\}$ とする.
- 送迎車の集合を $M = \{1, 2, \dots, m\}$ とする.
- 利用者 i と利用者 j 間の距離を d_{ij} とする.

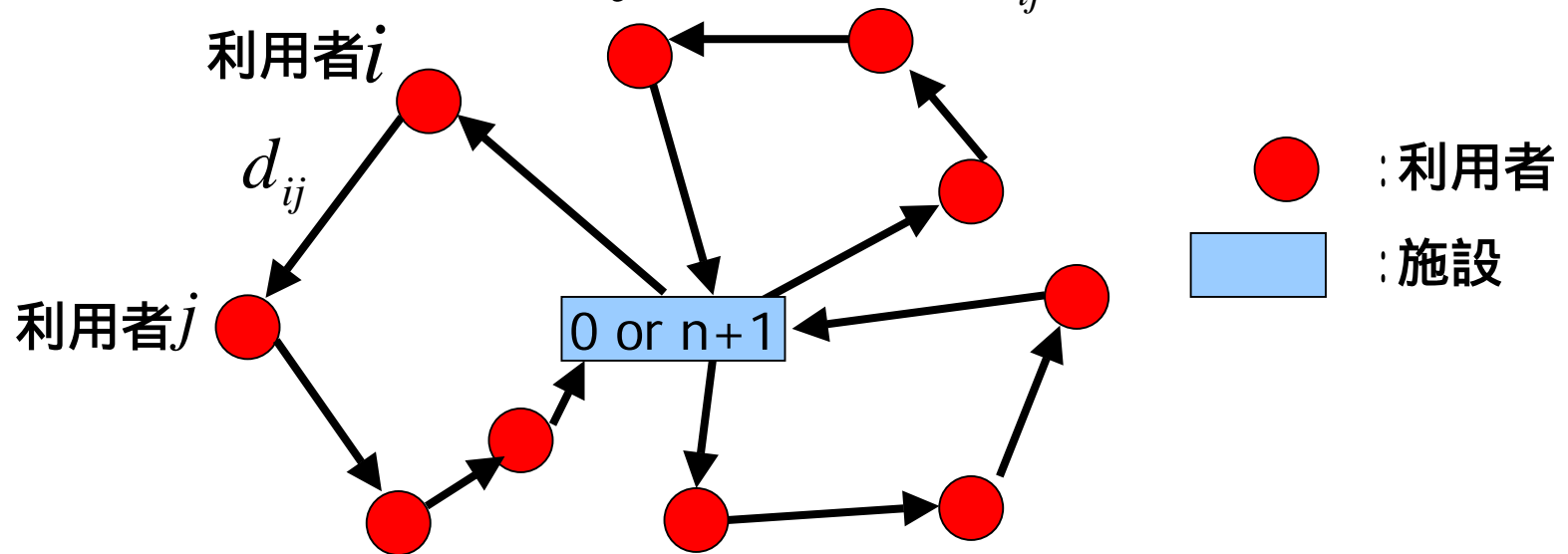


図4 送迎ルート

2.2 最適送迎ルート(1)

- 最適送迎ルート
 - 送迎車の移動距離
 - 送迎車の総移動距離が最小である。
 - 利用者の乗車順
 - 各送迎車における利用者の乗車順は乗車負担考慮度の小さい人から順番に乗車する。

2.2 最適送迎ルート(2)

- 利用者の送迎車への配分
 - どの利用者も、自分より乗車負担考慮度が小さい人の(その人が乗車する送迎車での)乗車順より早い順番で乗車しない。

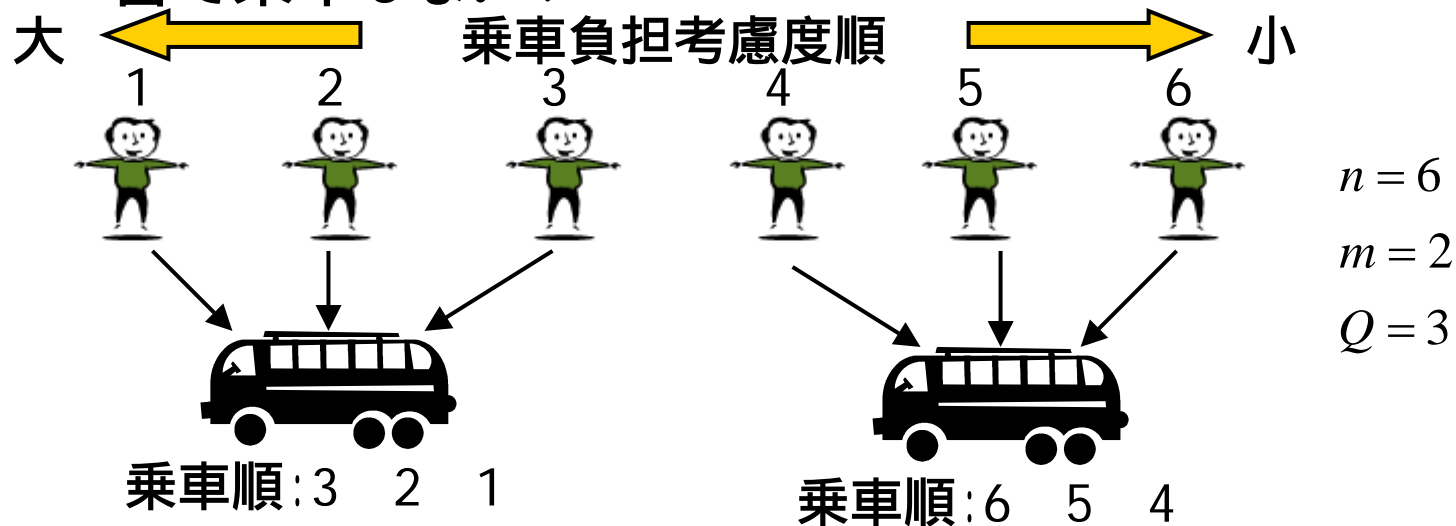


図5 望ましくない配分の例

2.3 施設利用者の乗車負担考慮度の設定方法(1)

利用者 i の乗車負担考慮度(以下, 考慮度)を w_i と表し, 以下のように設定する.

- 要介護度に応じて

- 要支援1 α_1
- 要支援2 α_2
- 要介護1 ~ 要介護5 $\alpha_3 \sim \alpha_7$

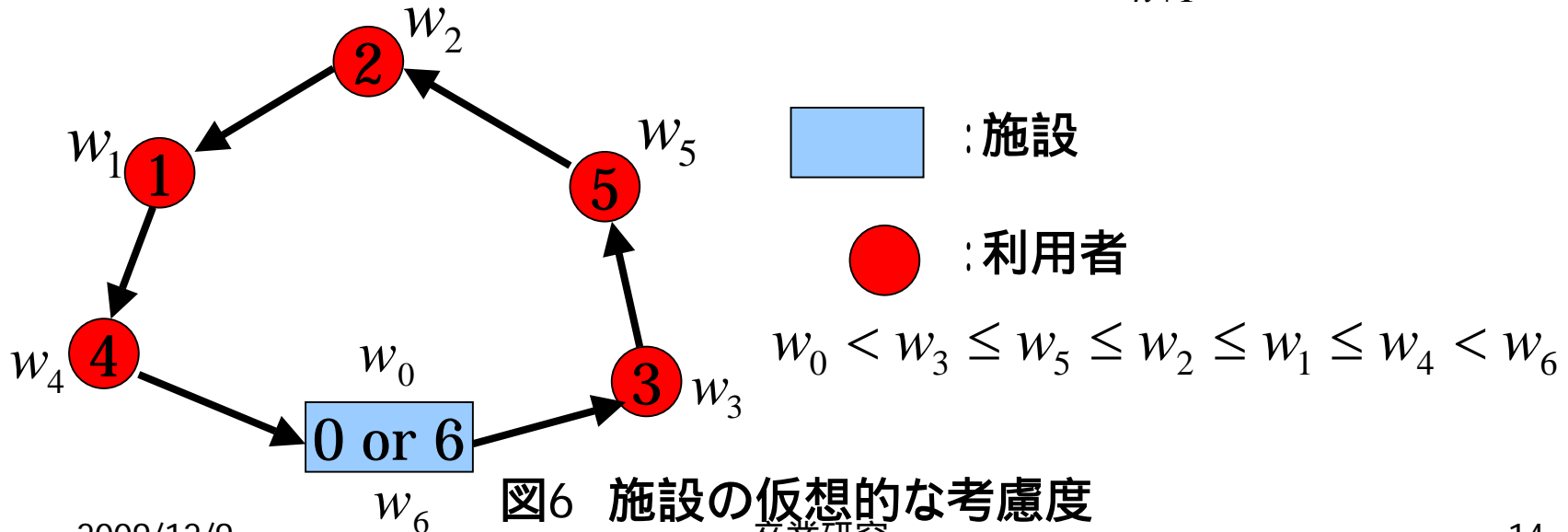
$\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_4 < \alpha_5 < \alpha_6 < \alpha_7$ となる値を割り当てる.

- 長時間乗車不可能な利用者に関して

- 要介護度に応じた値に β という値を加えて, その人の考慮度とする.

2.3 施設利用者の乗車負担考慮度の設定方法(2)

- 施設を表わす点を利用者の点と同様に扱うために、施設にも「仮想的な考慮度の値」を設定する。
 - 送迎ルート of 始点である施設の考慮度 $w_0 = 0$ とする。
 - 送迎ルート of 終点である施設の考慮度 $w_{n+1} = \infty$ とする。



3.1 目的関数

各送迎車の移動距離の総和を最小にする。

$$\min z = \sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^{n+1} \sum_{j=0}^{n+1} d_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

d_{ij} : 利用者 i と利用者 j 間の距離

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & : \text{送迎車 } k \text{ が利用者 } i \text{ の直後に利用者 } j \text{ を迎えに行く} \\ 0 & : \text{それ以外} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & : \text{送迎車 } k \text{ が利用者 } i \text{ を迎えに行く} \\ 0 & : \text{それ以外} \end{cases}$$

3.2 制約式

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=0}^{n+1} x_{jik} = \sum_{j=0}^{n+1} x_{ijk} = y_{ik} \quad (i=1,2,\dots,n \quad k=1,2,\dots,m) \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{0,jk} = \sum_{i=1}^n x_{i(n+1)k} = 1 \quad k=1,2,\dots,m \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = 1 \quad i=1,2,\dots,n \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n y_{ik} \leq Q \quad k=1,2,\dots,m \quad (5)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad (\forall S \subseteq \{1,2,\dots,n\} \quad k=1,2,\dots,m) \quad (6)$$

$$(w_j - w_i)x_{ijk} \geq 0 \quad (i, j=0,1,\dots,n+1 \quad k=1,2,\dots,m) \quad (7)$$

$$\left\lfloor \frac{|P_h|}{m} \right\rfloor \leq \sum_{j \in P_h} y_{jk} \leq \left\lceil \frac{|P_h|}{m} \right\rceil \quad (P_h = \{j \mid w_j \geq w(h)\} \quad h=1,2,\dots,l \quad k=1,2,\dots,m) \quad (8)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad (i, j=0,1,\dots,n+1 \quad i \neq j \quad k=1,2,\dots,m) \quad (9)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \quad (i=1,2,\dots,n \quad k=1,2,\dots,m) \quad (10)$$

3.2 制約式(2)

$$\sum_{j=1}^n x_{jik} = \sum_{j=1}^n x_{ijk} = y_{ik} \quad (2)$$

利用者 i を送迎車 k が迎えに行くならば,送迎車はある利用者から利用者 i にやってきて,別の利用者へ向かう

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} = \sum_{i=1}^n x_{i(n+1)k} = 1 \quad (3)$$

送迎車は必ず施設を出発し,施設に戻ってくる

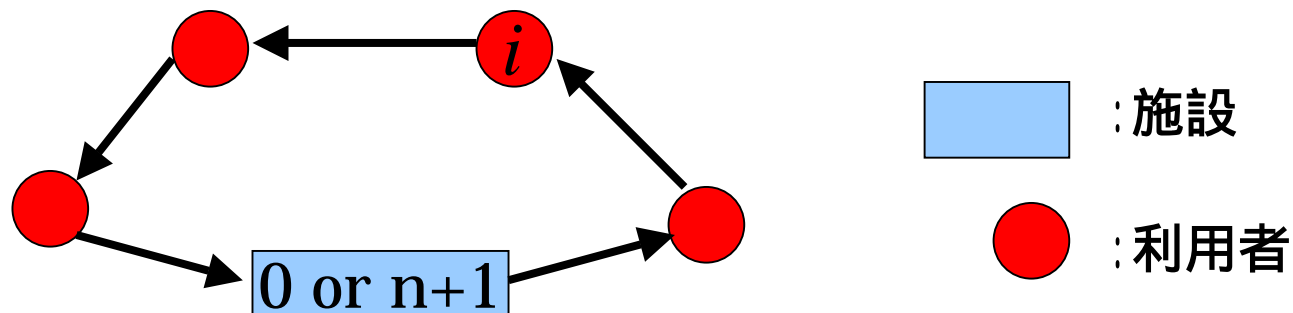


図7 送迎ルート

3.2 制約式(3)

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = 1 \quad (4) \quad \Rightarrow \quad \text{各利用者は必ずいずれかの送迎車に迎えに来てもらう}$$

$$\sum_{i=1}^n y_{ik} \leq Q \quad (5) \quad \Rightarrow \quad \text{各送迎車に乗る人数は送迎車の乗車定員以下}$$

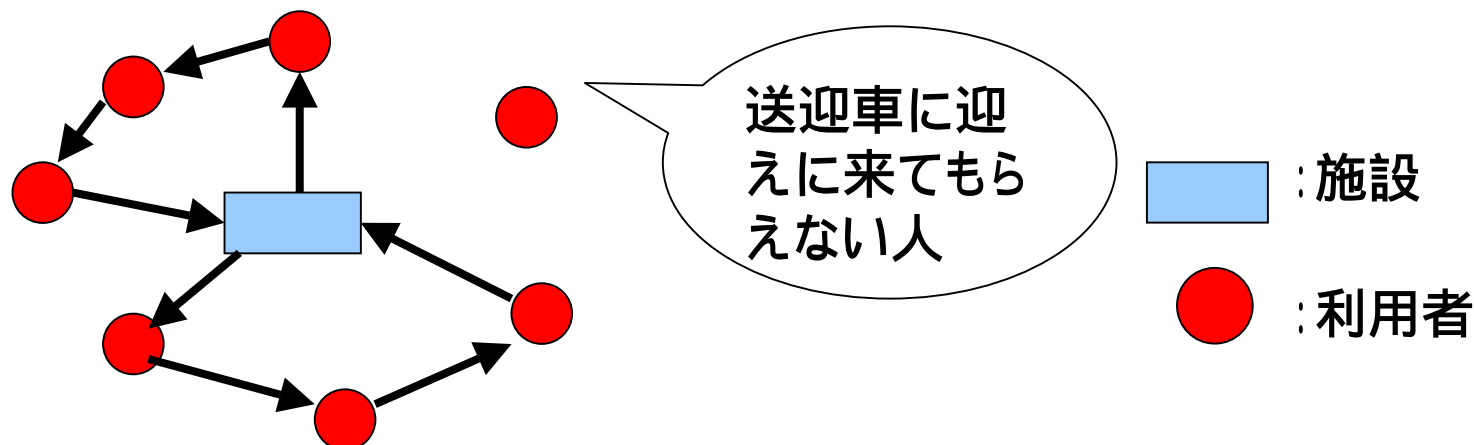


図8 送迎車に乗れない利用者がある送迎ルート

3.2 制約式(4)

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad (6) \quad \Rightarrow \quad \text{施設を含まない巡回路(部分巡回路)を禁止する}$$

$$(w_j - w_i) x_{ijk} \geq 0 \quad (7) \quad \Rightarrow \quad \text{各送迎車において考慮度が小さい人から順番に乗車する}$$

部分巡回路

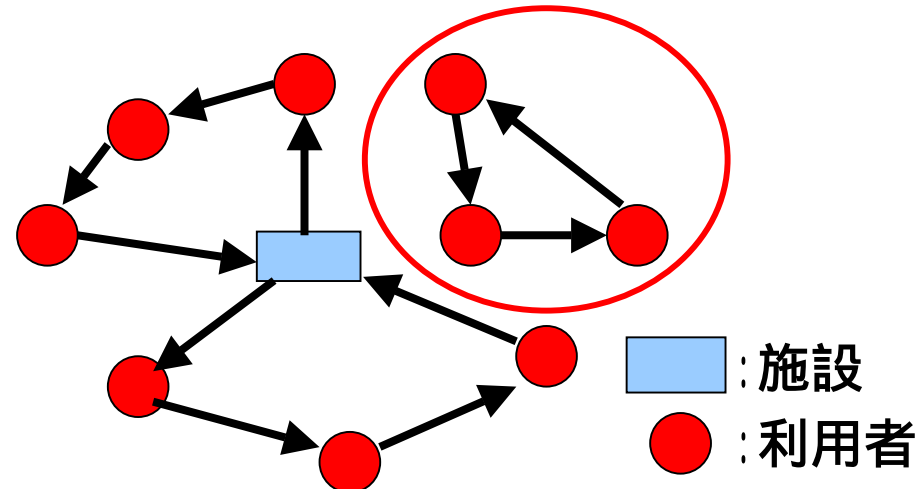
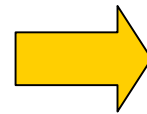


図9 部分巡回路

3.2 制約式(5)

$$\left\lfloor \frac{|P_h|}{m} \right\rfloor \leq \sum_{j \in P_h} y_{jk} \leq \left\lceil \frac{|P_h|}{m} \right\rceil \quad (8)$$



考慮度が同程度の利用者が
同一送迎車に乗車すること
を禁止する

P_h : 考慮度が大きい方から h 番目までの人の添え字の集合

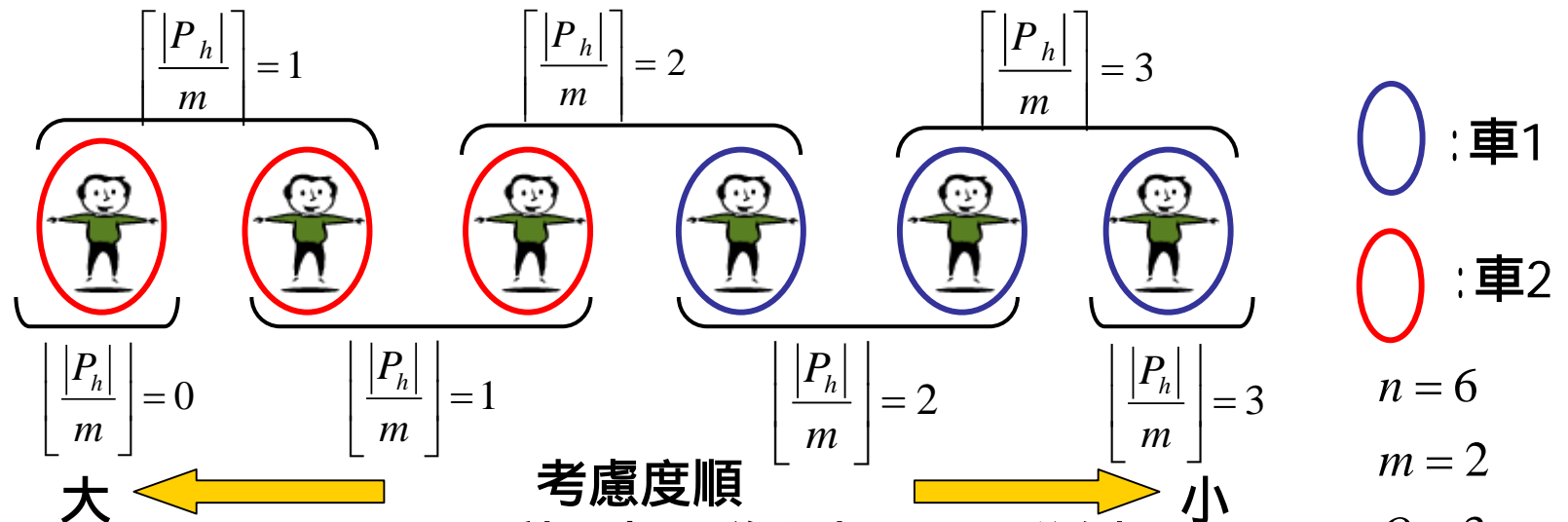


図10 利用者の送迎車への配分例

4. 提案モデルの検証

4.1 例題

20人の施設利用者を乗車定員6人の送迎車4台で送迎するときの最適送迎ルートを提供モデルに基づく方法と、現状の方法の2通りで求める。このとき $\beta = 7$ とし、利用者間の距離は直線距離で測る。

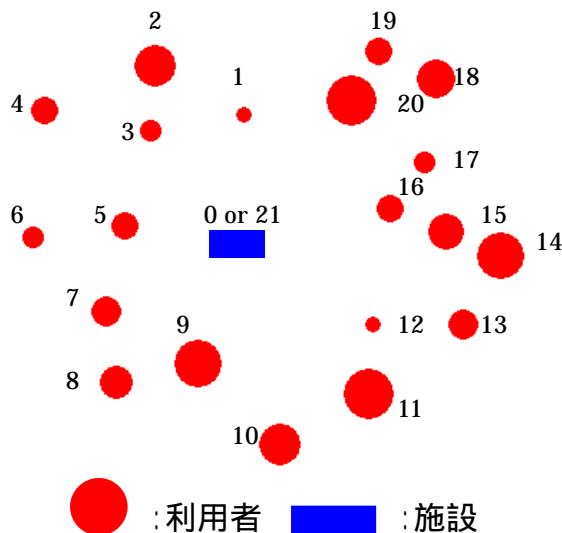


図11 施設・利用者の配置

表1 要介護度に応じた考慮度

	要支援1	要支援2	要介護1	要介護2	要介護3	要介護4	要介護5
負担	1	2	3	4	5	6	7

表2 各利用者の考慮度

利用者	要介護度	考慮度
1	要支援1	1
2	要介護5	8
3	要支援2	2
4	要介護1	3
5	要介護1	3
6	要支援2	2
7	要介護2	4
8	要介護3	5
9	要介護1	10
10	要支援1	8
11	要介護2	11
12	要支援1	1
13	要介護2	4
14	要介護1	10
15	要介護4	6
16	要介護1	3
17	要支援2	2
18	要介護5	7
19	要介護1	3
20	要介護2	11

4.2 現状の方法

通所介護施設Aでは、長時間乗車不可能な利用者の乗車順は出来るだけ最後にし、それ以外の利用者に関しては優先度などは設けずに乗車順を決めている。

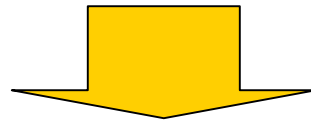


本研究では次のような方法で代用する。

- Step1 長時間乗車不可能な利用者の各送迎車への配分は直感的に決め、乗車順は出来るだけ最後にする。
- Step2 長時間乗車可能な利用者の各送迎車への配分と乗車順をランダムに決めるという作業を100回繰り返す。
- Step3 送迎車の総移動距離が最小となる送迎ルートを最適送迎ルートとして採用する。

4.3 解法

定式化した問題をソルバー (NUOPT_[4]) に入力するとき, (6)式(部分巡回路除去制約)は送迎車1台につき 2^n 本の式に対応する.



(6)式を外した緩和問題をソルバー (NUOPT_[4]) に与えて, 実行可能解が得られるかを試す.

実行可能解が得られない場合は, 部分巡回路を作る可能性のある利用者, つまり考慮度の値が重複している利用者だけに(6)式を適用する.

4.4 結果・考察(1)

- 提案モデルに基づく方法で得られた最適送迎ルート
 - 送迎車の総移動距離は510.31.
 - 送迎車の移動距離に差がある.
 - 考慮度が同程度の利用者が同一送迎車に乗車することなく、バランスよく各送迎車に配分されている.

表3 各送迎車における利用者の乗車順

送迎車 \ 評価項目	乗車順					移動距離
1	6	5	8	10	11	128.93
2	1	17	19	18	20	109.15
3	3	4	7	2	9	159.27
4	12	16	13	15	14	112.96

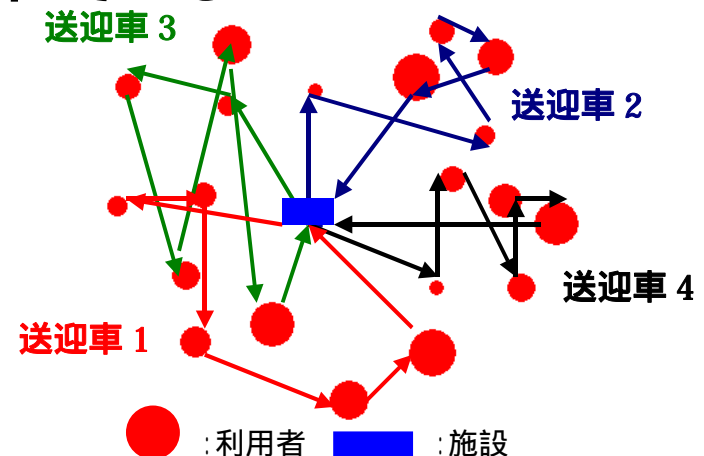


図12 最適送迎ルート

4.4 結果・考察(2)

- 現状の方法で得られた最適送迎ルート
 - 送迎車の総移動距離は626.08.
 - 提案モデルに基づく方法で得られた最適送迎ルート
の総移動距離よりも多くなっている.

4.4 結果・考察(3)

考慮度が中程度以上の利用者に関しては、現状の方法よりも、提案モデルに基づく方法で得られた最適送迎ルートの方が、利用者の実移動距離が短くなっている。

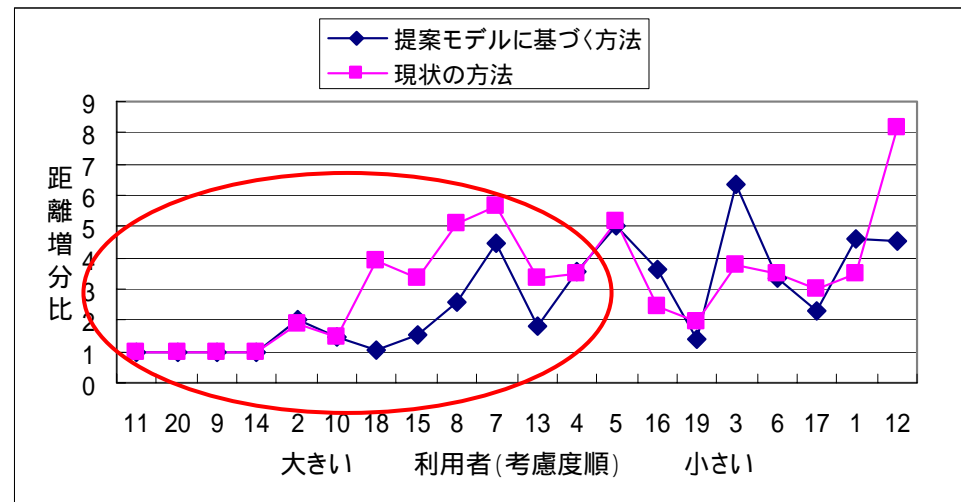


図13 各利用者の距離増分比

5. まとめと今後の課題

- 施設利用者の送迎車乗車中の負担を考慮した上で、送迎車の総移動距離が最小となる送迎ルートを求める方法を提案した。
- 提案した方法によって、施設と施設利用者の両者にとって望ましい送迎ルートが得られることがわかった。
- 各送迎車の移動距離の上限や移動距離の差を考慮した定式化を考える必要がある。



6. 参考文献

- [1] 国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口」, <http://www.ipss.go.jp/>, 最終アクセス日 2006/10/9
- [2] 介護支援研究会:「ケアマネジャー基本問題集'06」, 晶文社(2006)
- [3] 久保幹雄, 田村明久, 松井知己:「応用数理計画ハンドブック」, 朝倉書店(2002)
- [4] 株式会社 数理システム(2006):「NUOPT/SIMPLE マニュアル」

抄録訂正

抄録 P100の図3 各利用者の距離増分比

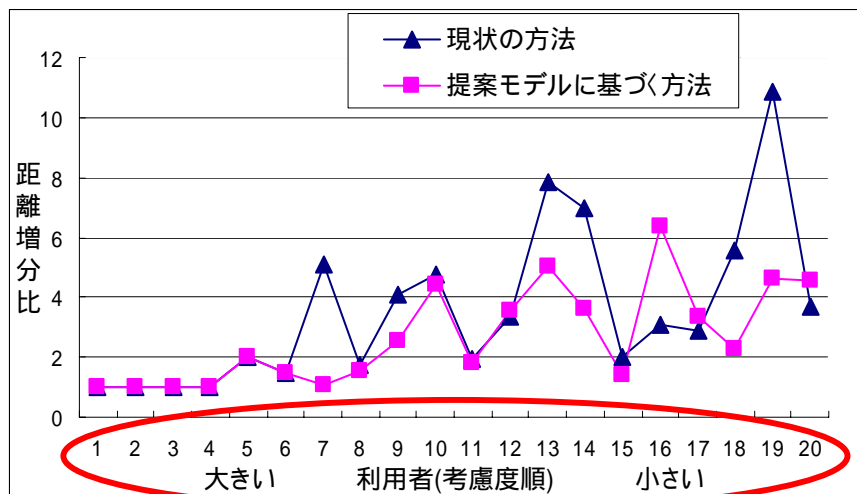


図3 各利用者の距離増分比

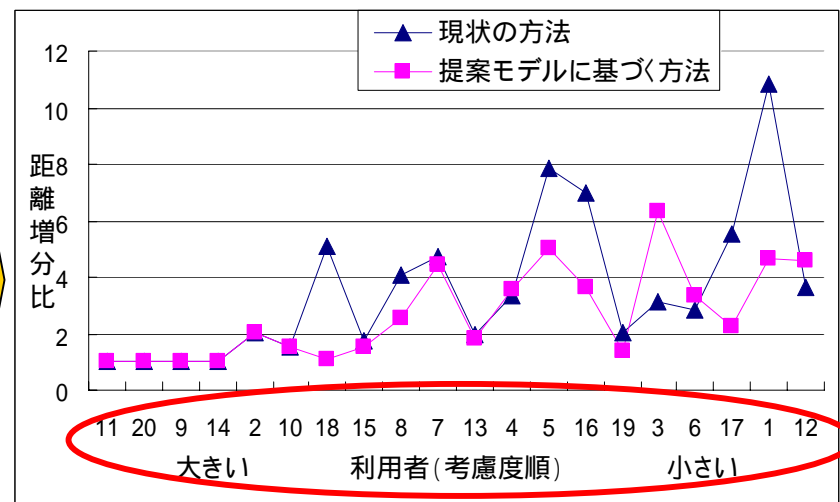


図3 各利用者の距離増分比

介護サービスの種類

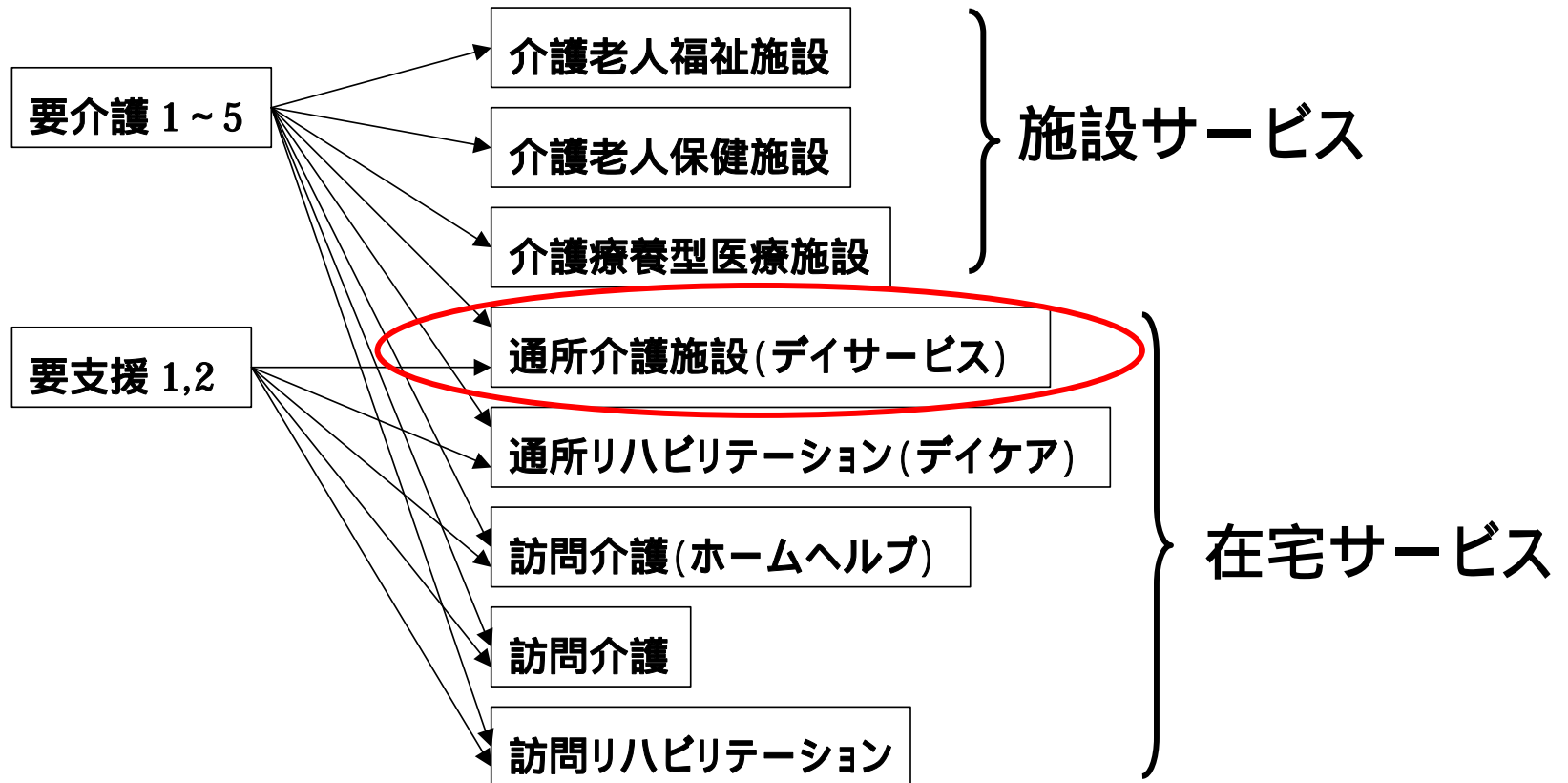


図14 介護サービス

部分巡回路を作る可能性のある利用者

$(w_j - w_i)x_{ijk} \geq 0$ という制約がある為、部分巡回路を作る可能性のある利用者は、考慮度が重複している利用者。

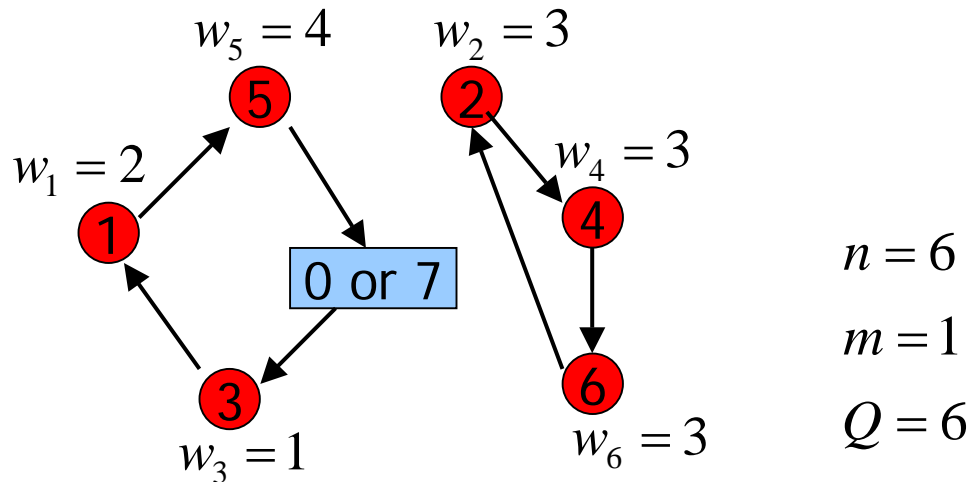
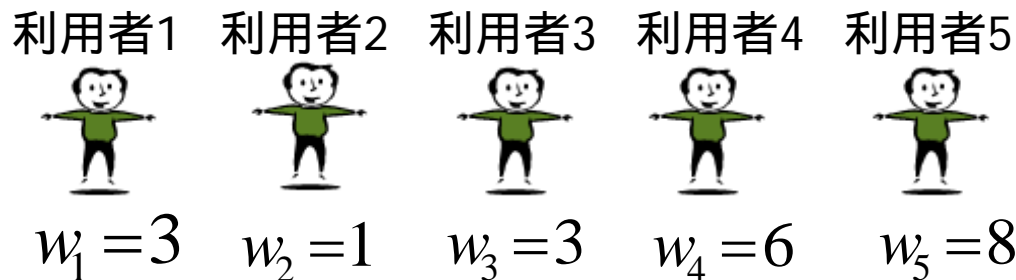


図15 部分巡回路

P_h の決め方



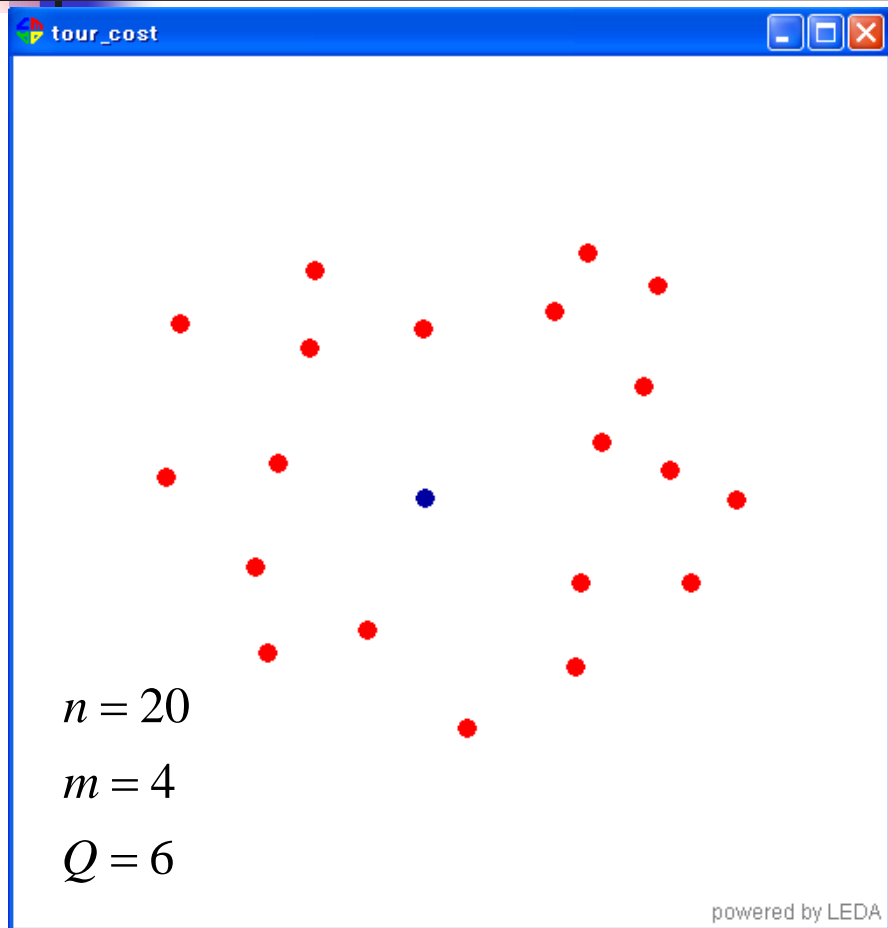
$P_1 = \{5\}$ 考慮度が1番目に大きい人

$P_2 = \{4,5\}$ 考慮度が大きい方から2番目までの人

$P_3 = \{1,3,4,5\}$ 考慮度が大きい方から3番目までの人

$P_4 = \{1,2,3,4,5\}$ 考慮度が大きい方から4番目までの人

例題 (提案モデルに基づく方法)



- (6)式を外した緩和問題をソルバーに与えたら, たまたま実行可能解が得られた.



多くの場合は実行可能解が得られない.

- 計算時間は5.8秒

図17 施設と利用者20人の配置

2009/12/9

施設・利用者の配置と考慮度をランダムに決めた場合(1)

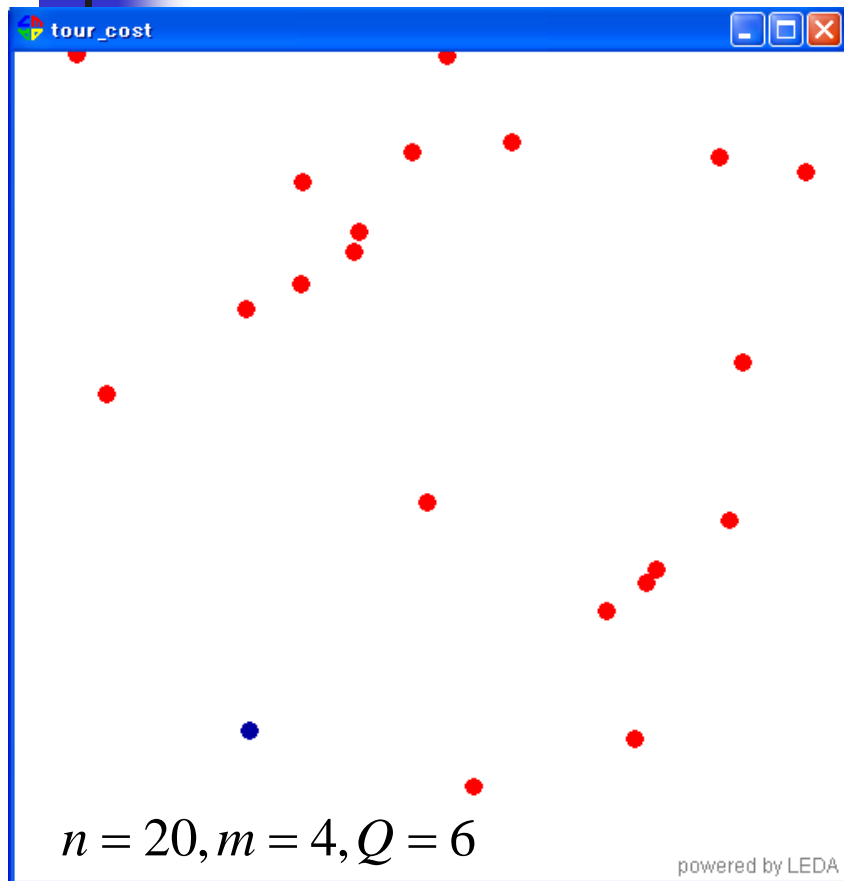


図18 施設と利用者20人の配置

2009/12/9

- (6)式を外した緩和問題をソルバーに与えると実行可能解が得られない.
- 考慮度が重複している利用者に関して(6)式を適用すると実行可能解が得られた.
- 計算時間は4.7秒.

施設・利用者の配置や考慮度の値に関わらず, 本研究の解法で実行可能解が得られる.

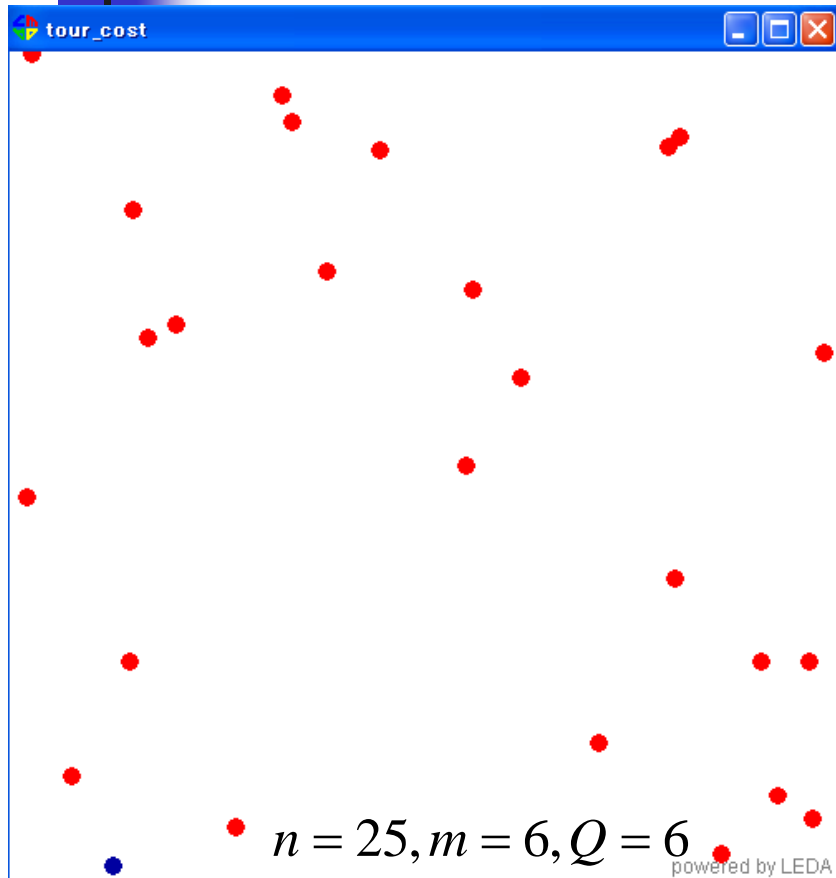
施設・利用者の配置と考慮度をランダムに決めた場合(2)

部分巡回路を考慮すべき利用者

- 利用者9, 18
 - 利用者6, 7, 17
 - 利用者1, 5, 12
 - 利用者16, 19
 - 利用者13, 15
 - 利用者4, 14
 - 利用者10, 20
- 3人と2人のそれぞれについて
(6)式を適用する \rightarrow ${}^3C_3 + {}^3C_2$ 本の式

全部で $13 \times 4 = 52$ 本の部分巡回路除去制約を入力する。

施設・利用者の配置と考慮度をランダムに決めた場合(3)



- (6)式を外した緩和問題をソルバーに与えると, 実行可能解は得られない.
- (6)式を考慮度が重複している利用者に適用すると($29 \times 6 = 174$ 本の(6)式を入力すると)実行可能解が得られる.
- 計算時間は107.8秒.

図19 施設と利用者25人の配置

2009/12/9

提案モデルの検証

