

公立図書館の図書返却ボックスの  
配置に関する研究  
—埼玉県新座市の図書館を例として—

東京理科大学工学部経営工学科

沼田研究室

4410066 永久保彩花

# 目次

1. はじめに
2. 問題
3. 定式化
4. 解法
5. 数値実験
6. まとめと今後の課題

# 1. はじめに

## 1.1 図書館とは

### 図書館：

文字や図表で記載された資料(図書)の  
収集, 整理, 保存, 提供を行う.



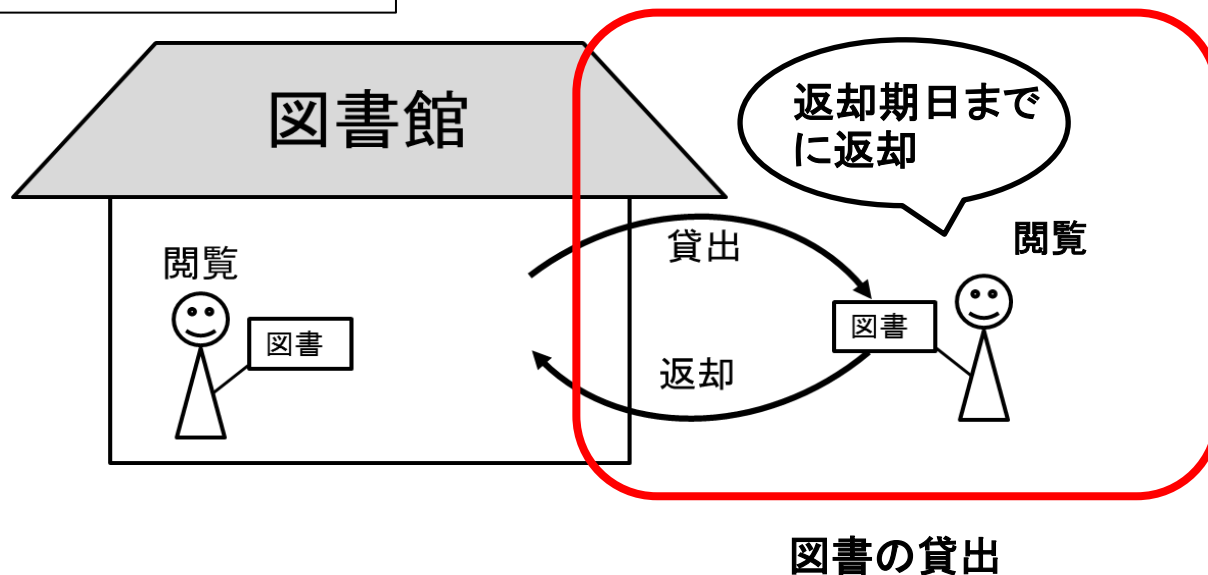
図書館は, 人々の学術研究・文化的生活を  
支えてきた.

# 1. はじめに

## 1.2 研究背景(1)

- 近年, 図書の電子化が進む
  - 図書館では著作権・予算の課題から導入の遅れ
- ➡ 紙媒体での図書の収集・提供が重要な業務

### 紙媒体の図書の提供



### 図書の貸出

# 1. はじめに

## 1.2 研究背景(2)

### 図書館の貸出業務における問題点

借りるとき: 遠くても図書館に行く.



返却するとき: 図書館へ行くのが面倒になり返却が遅れる.



返却期限を過ぎても次の人が図書館を借りられない



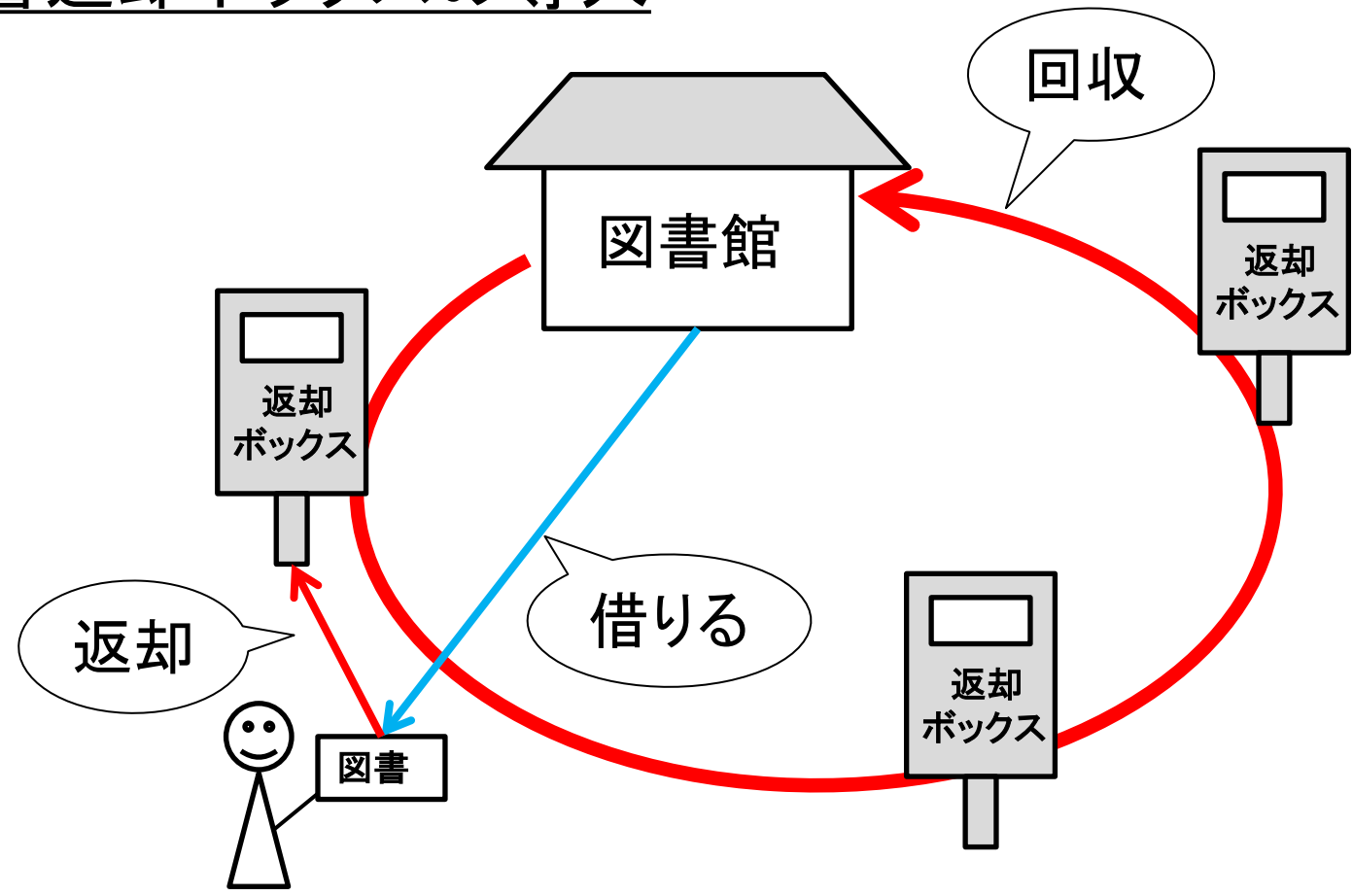
解決策:

利用者の自宅の近くに図書館返却ボックスを設置

# 1. はじめに

## 1.2 研究背景(3)

### 図書返却ボックスの導入



## 1.3 研究目的

- 利用者の自宅から図書返却ボックスまでの距離をできるだけ短く抑え,
- 返却ボックスを最短で巡回したときの巡回経路長を最小化する

ようにボックスを配置する問題を考える.



この問題を数理計画問題として定式化し、  
解法を提案する.

# 2. 問題

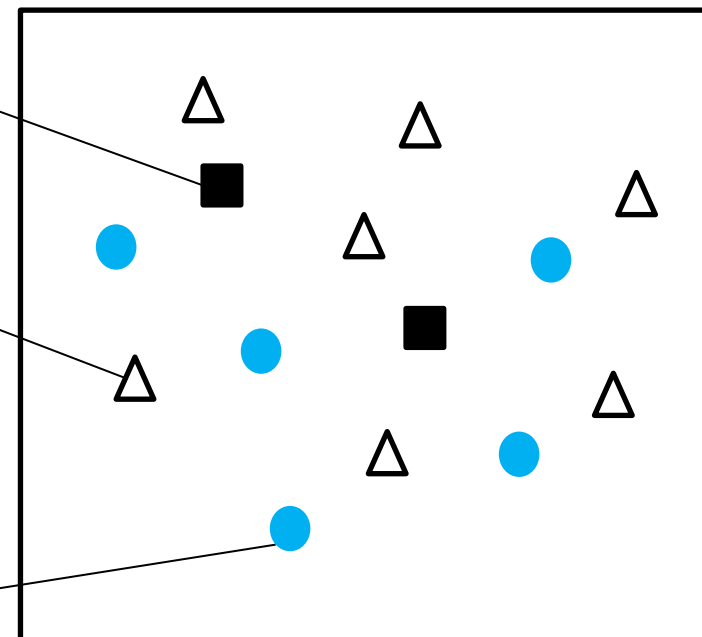
## 2.1 前提とする図書館のシステム(1)

市町村等が運営する公立図書館を考える。

図書館所在点：  
図書館の場所を表す点

設置候補点：  
返却ボックスを設置可能な点

利用者居住点：  
利用者である住民が住んでいる点



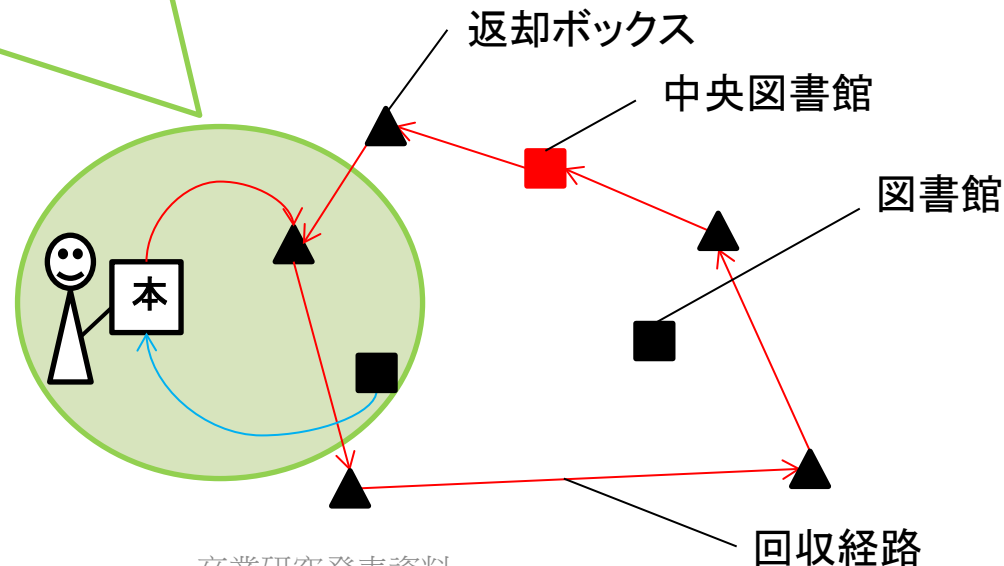
前提とする区域



### 2.1 前提とする図書館のシステム(2)

#### 返却の流れ

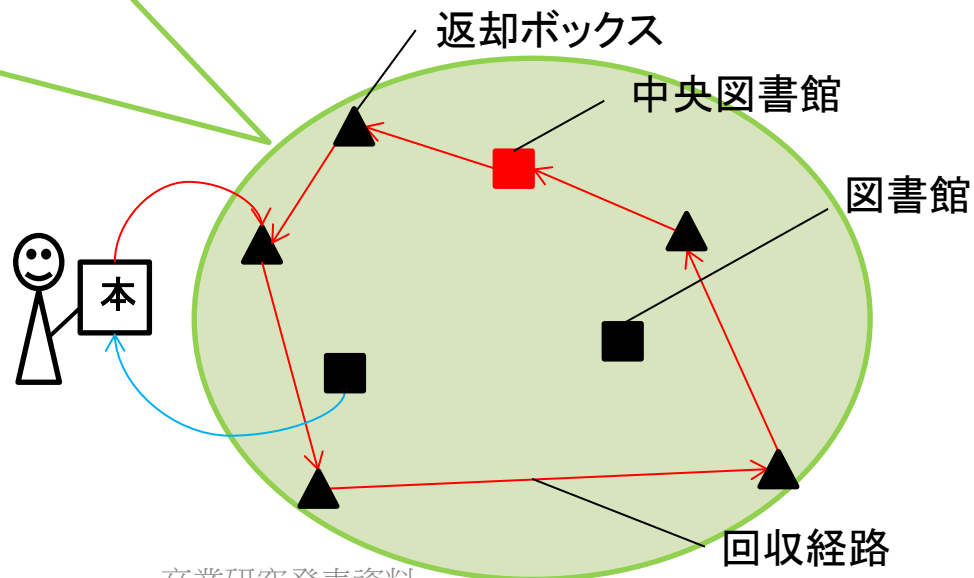
- 利用者は、図書館で図書を借り、最寄りの図書館又は返却ボックスへ返却。
- ボックスの容量は十分に大きい。  
(ボックスは複数の利用者で共用)



### 2.1 前提とする図書館のシステム(3)

#### 回収の流れ

- 返却図書の回収は1台の回収車が1巡回で行う。
- 巡回の出発点となる図書館を中央図書館と呼ぶ。
- 回収車は中央図書館を出発した後、全ボックスを1度ずつ訪問し、中央図書館へ戻る。  
(中央図書館以外の図書館は訪問しない)



### 2.2 返却距離

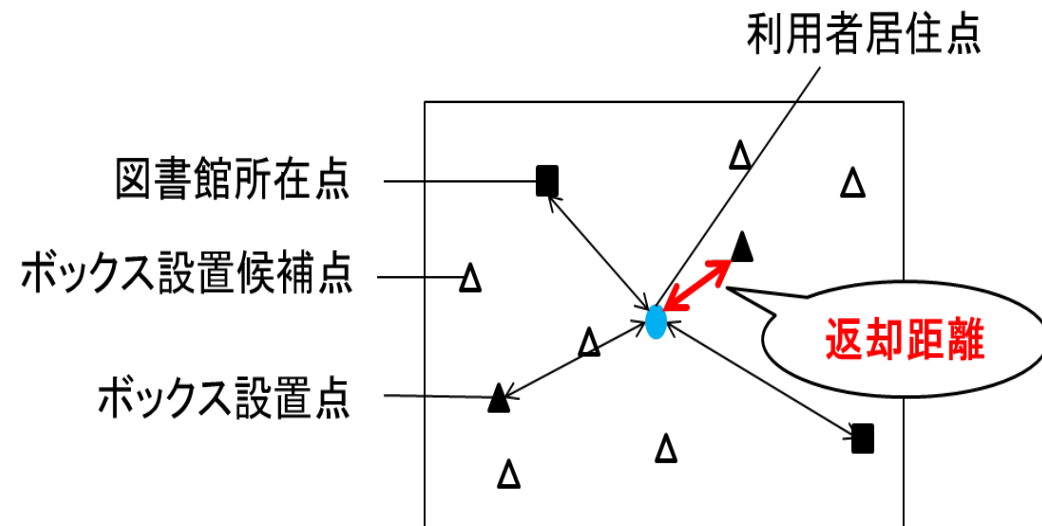
#### 返却距離:

利用者の居住点から最も近いボックスの設置された  
設置候補点又は図書館所在点までの距離



#### 利用のしやすさ

全利用者の返却距離が  
制限値 $\alpha$ (パラメータ)以下  
となるようにボックスを設置



### 2.3 目標

#### 利用のしやすさ

全ての利用者の返却距離が $\alpha$ (パラメータ)以下となるようにボックスを設置する.

#### 回収のしやすさ

設置された返却ボックスに対する最短巡回経路長が最小となるようにボックスを設置する.

# 3. 定式化

## 3.1 記号(データ)(1)

- $V = \{v_0, v_1, \dots, v_l, v_{l+1}, \dots, v_{l+m}\}$ : 図書館所在点とボックス設置候補点の集合
- $v_0$ : 中央図書館所在点
- $V_{lib} = \{v_0\} \cup \{v_1, \dots, v_l\}$ : 図書館所在点の集合
- $V_{box} = \{v_{l+1}, \dots, v_{l+m}\}$ : ボックス設置候補点の集合
- $V' = \{v_0\} \cup V_{box}$ : 訪問候補点の集合  
(中央図書館所在点とボックス設置候補点の集合)
- $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ : 利用者居住点の集合

### 3.1 記号(データ)(2)

- $d_{ij}$ : 訪問候補点  $v_i, v_j$  間の距離  
(  $v_i, v_j \in V'$  )
- $\delta_{jk} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ : 居住点  $w_k$  の利用者が点  $v_j$  に設置されたボックス又は図書館を返却距離  $\alpha$  以内で利用可能(1)か否か(0)  
    **➡ 返却距離の制限値  $\alpha$  をデータ化**

### 3.2 記号(変数)

$$y_j = \begin{cases} 1 : \text{設置候補点 } v_j \text{ に返却ボックスを設置する} \\ 0 : \text{それ以外} \end{cases} \\ (v_j \in V)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 : \text{訪問候補点 } v_i \text{ から } v_j \text{ へ回収車が直接移動する} \\ 0 : \text{それ以外} \end{cases} \\ (v_i, v_j \in V')$$

## 3. 定式化

### 3.3 ボックスの配置/巡回問題

$$\min. f(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sum_{i,j \in V'} d_{ij} x_{ij} \quad \dots(3.1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j \in V} \delta_{jk} y_j \geq 1 \quad (\forall w_k \in W) \quad \dots(3.2)$$

$$\sum_{h \in V'} x_{hi} = y_i \quad (\forall v_i \in V') \quad \dots(3.3)$$

$$\sum_{j \in V'} x_{ij} = y_i \quad (\forall v_i \in V') \quad \dots(3.4)$$

$$y_j = 1 \quad (\forall v_j \in V_{lib}) \quad \dots(3.5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (v_i, v_j \in V') \quad \dots(3.6)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad (v_j \in V) \quad \dots(3.7)$$

※部分巡回路除去制約は省略



### 3. 定式化

#### 3.4 目的関数と返却距離の制約条件

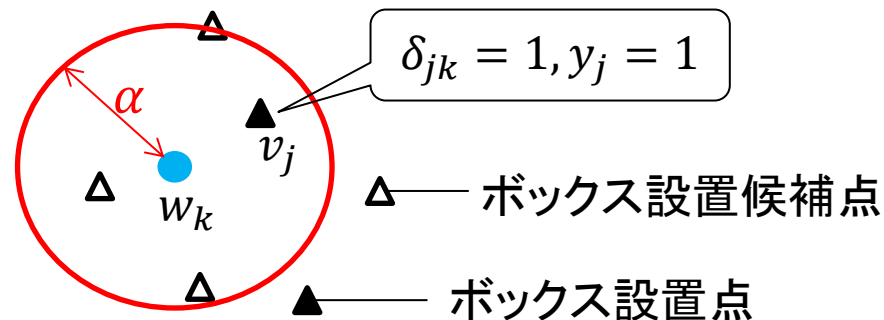
- 中央図書館から出発した回収車の巡回経路長を最小化

$$\text{minimize } f(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sum_{i,j \in V'} d_{ij} x_{ij} \quad (3.1)$$

- 全ての利用者が返却距離 $\alpha$ 以内で少なくとも1つの返却ボックス又は図書館を利用可能.

$$\sum_{j \in V} \delta_{jk} y_j \geq 1 \quad (\forall w_k \in W) \quad (3.2)$$

返却距離の制限値 $\alpha$   
を満たすか否か

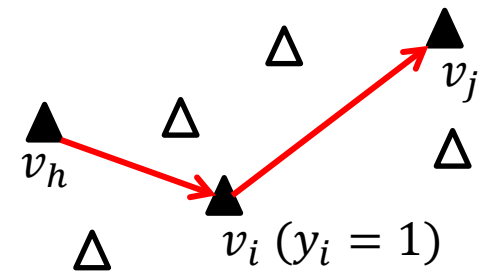


## 3.5 制約条件

- ボックス設置点と中央図書館所在点を必ず1回ずつ訪問する

$$\sum_{h \in V'} x_{hi} = y_i \quad (\forall v_i \in V') \quad (3.3)$$

$$\sum_{j \in V'} x_{ij} = y_i \quad (\forall v_i \in V') \quad (3.4)$$



- 図書館所在点では必ず図書の返却が可能

$$y_j = 1 \quad (\forall v_j \in V_{lib}) \quad (3.5)$$

# 4. 解法

## 4.1 厳密解法

定式化をもとに，厳密解を求める[4].

厳密解法の結果

	返却距離の 制限値 $\alpha$ (m)	巡回経路長 (m)	ボックス 設置個数
居住点数: 39 設置候補点数: 59	566	16160	12
	1265	8720	5
	1697	7200	4

利用者居住点数，設置候補点数  
が少ないときは，求解できる。



大規模な問題では，計算時間が  
長く，求解が困難。



発見的解法の  
構築が必要

### 4.2 提案解法

#### 提案解法の概要

##### ボックス設置個数に注目

- 返却距離の制限値 $\alpha$ を満たすのに必要な最小の設置個数を求める.
- 設置個数を1ずつ増やしながら探索.



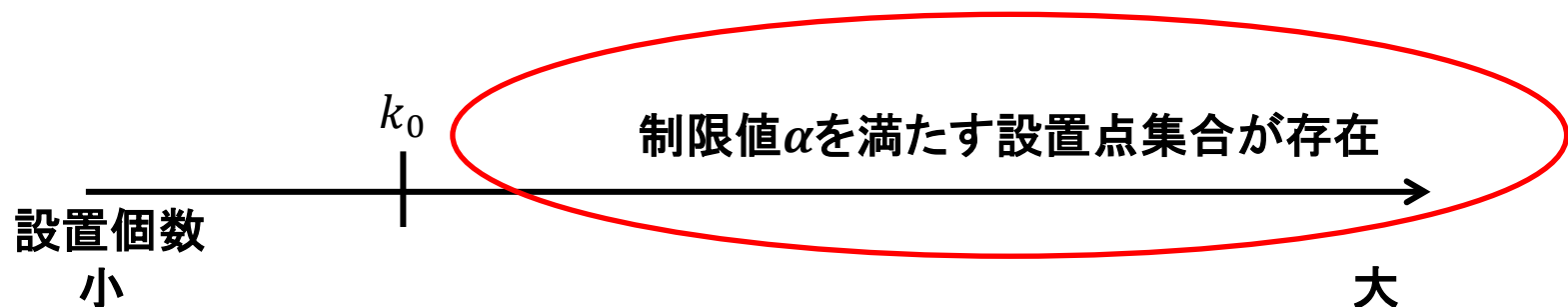
設置個数を固定することで探索し易くする.

## 4. 解法

### 4.3 初期解の構築

step0: 返却距離の制限値 $\alpha$ を満たすのに必要な,  
最小の設置個数 $k_0$ と設置点集合を求める.

step1: step0で求めた設置点集合に対する, 最短巡回  
経路を初期巡回路とする.



## 4. 解法

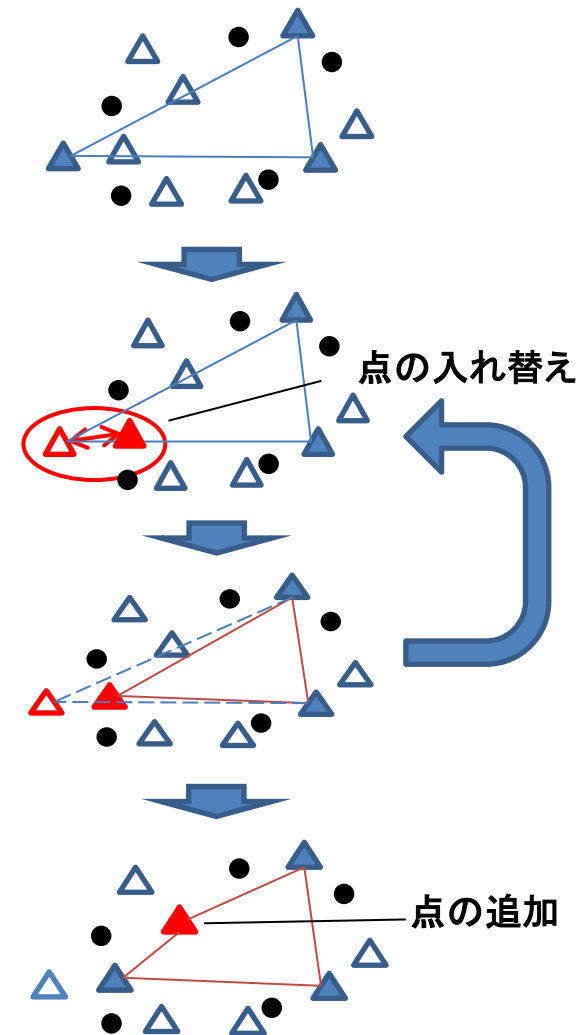
### 4.4 解の改善法

step1: 返却距離の制限値 $\alpha$ を満たすようにボックス設置点と未設置点を入れ替える.

step2: 入れ替え後の巡回経路長を計算し, 巡回経路長が短くなれば解を更新.

step3: 探索中の設置個数で更新ができなくなれば, 設置個数を1増やし, step1へ.

設置点数を増やしても解の更新ができなければ終了.

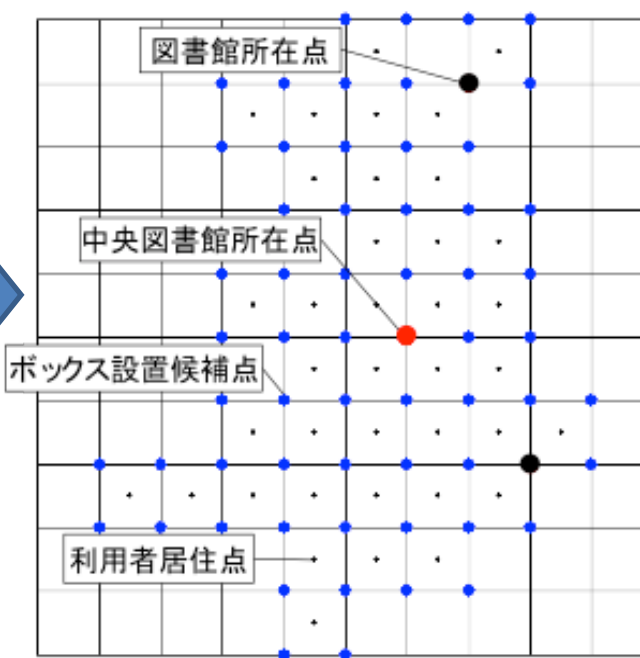


# 5. 数値実験

## 5.1 設定(1)

埼玉県新座市をもとに問題例を作成

長径8kmを10, 15, 20等分にした格子でマス目状に分割



マスの中心:  
利用者居住点  
(人口密度は考慮しない)

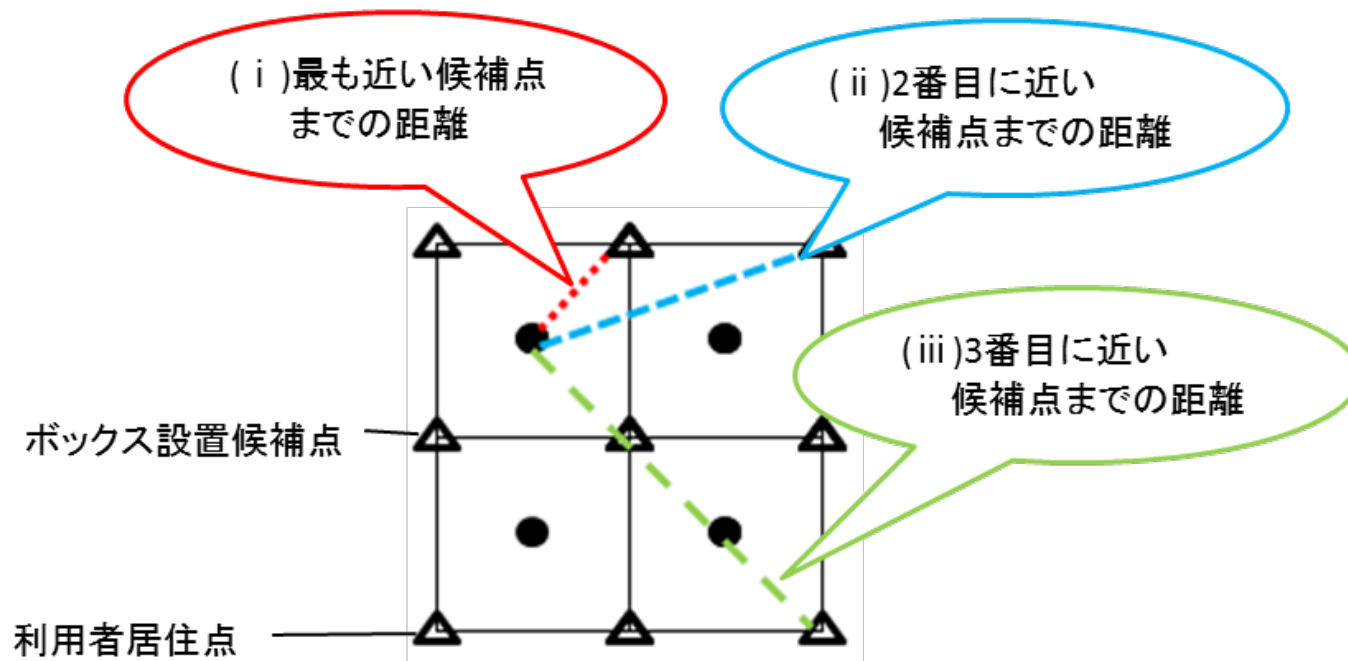
格子点:  
ボックス設置候補点  
又は  
図書館所在点

新座市の長径を10等分にしたときの例

## 5.1 設定(2)

### 返却距離の制限値 $\alpha$

利用者居住点からボックス設置候補点又は、  
図書館所在点までの距離を基準に3段階に設定。

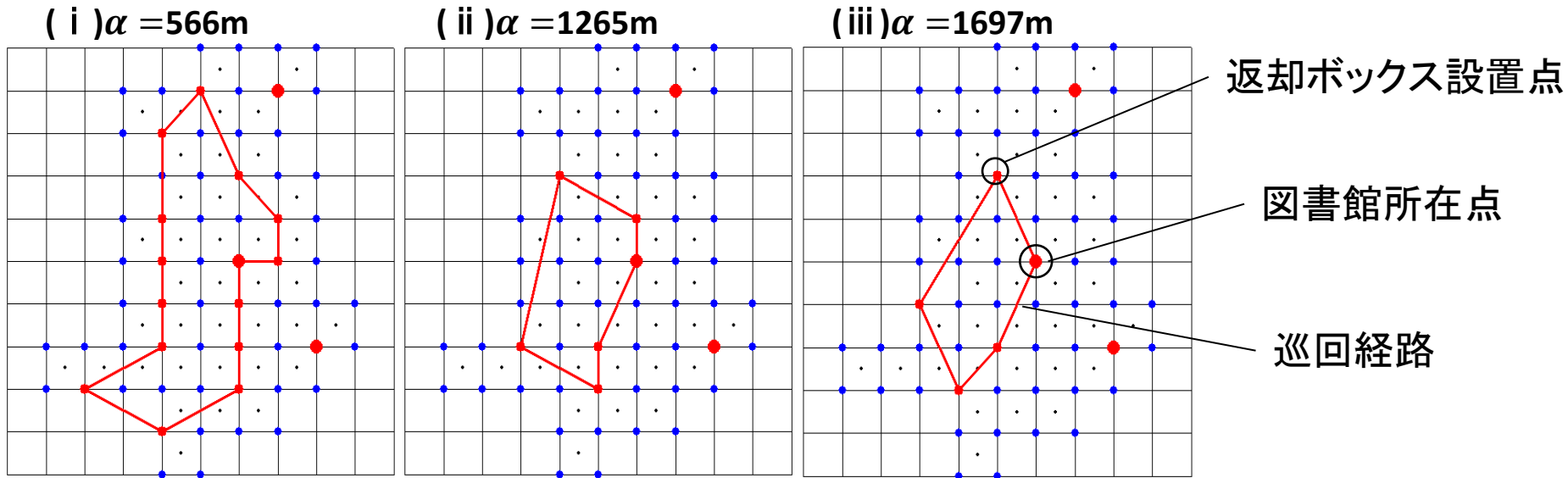




# 5. 数値実験

## 5.2 結果(1)

### 長径の分割数10のとき



長径の分割数	返却距離の制限値 $\alpha$ (m)	巡回経路長(m)	ボックス設置個数
10 [ 居住点数: 39 設置候補点数: 59 格子の間隔: 800m ]	( i ) 566	17280	14
	( ii ) 1265	10160	5
	( iii ) 1697	9280	4

# 5. 数値実験

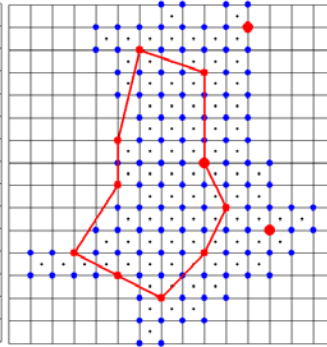
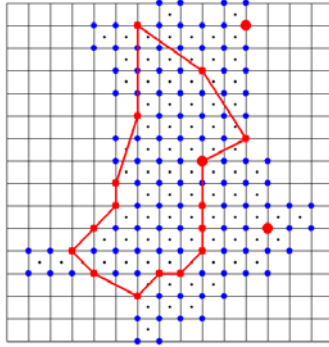
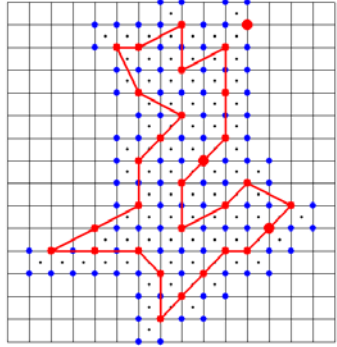
## 5.2 結果(2)

### 長径の分割数15のとき

( i )  $\alpha = 377\text{m}$

( ii )  $\alpha = 843\text{m}$

( iii )  $\alpha = 1131\text{m}$



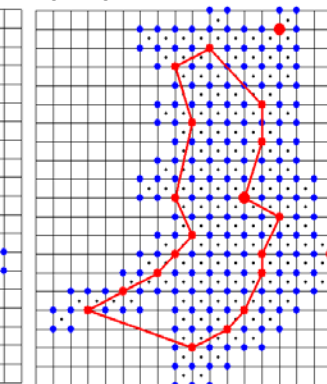
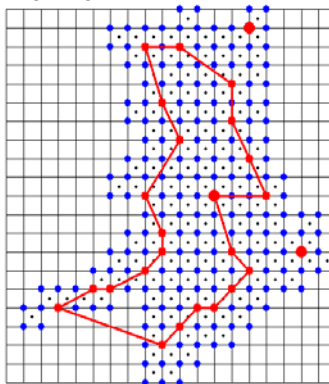
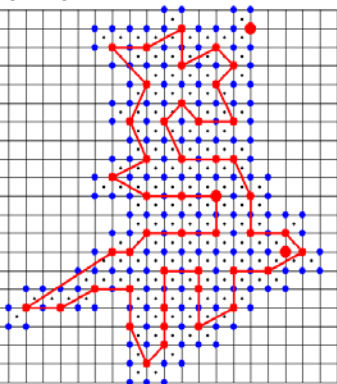
長径の分割数	返却距離の制限値 $\alpha$ (m)	巡回経路長(m)	ボックス設置個数	
15	居住点数: 87 設置候補点数: 117 格子の間隔: 533m	( i ) 377	27183	27
		( ii ) 843	16949	15
		( iii ) 1131	15191	9

### 長径の分割数20のとき

( i )  $\alpha = 283\text{m}$

( ii )  $\alpha = 632\text{m}$

( iii )  $\alpha = 849\text{m}$



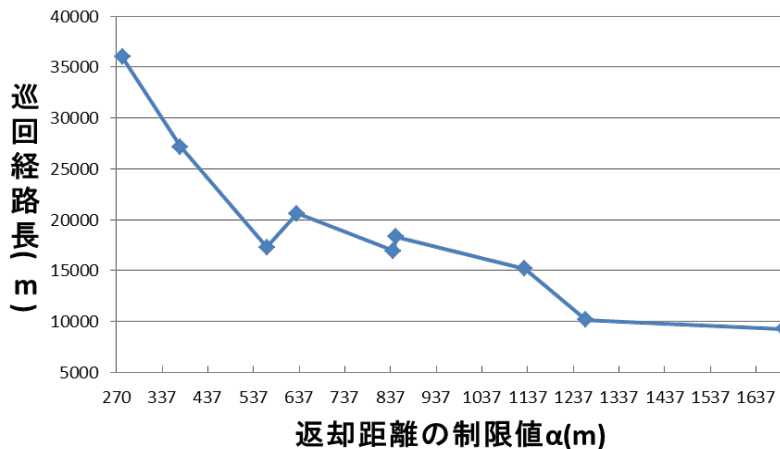
長径の分割数	返却距離の制限値 $\alpha$ (m)	巡回経路長(m)	ボックス設置個数	
20	居住点数: 152 設置候補点数: 198 格子の間隔: 400m	( i ) 283	36000	45
		( ii ) 632	20600	22
		( iii ) 849	18320	17

# 5. 数値実験

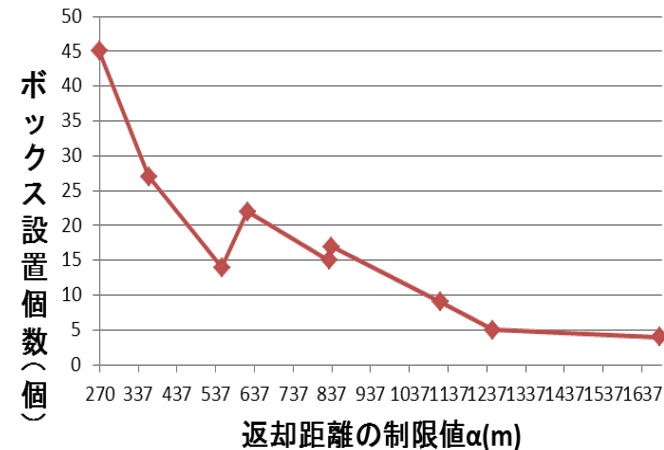
## 5.3 考察(1)

### 返却距離の制限値 $\alpha$ と巡回経路長, ボックス設置個数の関係

巡回経路長の変化の様子



ボックス設置個数の変化の様子



返却距離の制限値 $\alpha$ の値が小さいほど,  
ボックスの設置個数が増え, 巡回経路長が長くなる.

➡ 利用のしやすさと回収コストのつり合いのとれる制限値 $\alpha$ を選択する必要がある.

## 5.3 考察(2)

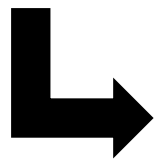
### 厳密解と近似解の比較(長径の分割数10のとき)

長径の分割数	返却距離 の制限値	巡回経路長(m)		ボックス設置個数		
		提案解法	厳密解	提案解法	厳密解	最小個数
10 [ 居住点数: 39 設置候補点数: 59 ]	(i) 566	17280	16160	14	12	11
	(ii) 1265	10160	8720	5	5	4
	(iii) 1697	9280	7200	4	4	3

- 近似解の方が設置点数が多い
- 巡回経路長の差は10%以下

- 設置点数は一致
- 巡回経路長の差は最大29%

返却距離の制限値 $\alpha$ の値が大きくなると、厳密解との差が広がる。



原因:

制限値 $\alpha$ の値が大きいと、ボックス設置個数が少なく、解の更新が十分に行えない。

# 6. まとめと今後の課題

## 6.1 まとめ

利用のしやすさと回収のしやすさを満たすボックスの配置を求める問題を定式化, 発見的解法を提案.

- 提案解法では, 大規模な問題に対して高速に解を求められた.
- 返却距離の制限値 $\alpha$ の設定により, 利用のしやすさと回収のしやすさが変化.
- このモデルは, 今後の返却ボックス導入計画に役立つと考えられる.

## 6.2 今後の課題

- より現実の問題に近いデータを用いた実験
- 提案解法の改善

# 参考文献

- [1] 浪川大輔「巡回型被覆問題についての発見的解法の研究」  
平成23年度東京理科大学大学院工学研究科経営工学専攻  
修士論文.
- [2] 日本図書館協会, <http://www.jla.or.jp/> (2013/12/24).
- [3] 新座市立図書館,  
<https://www.lib.niiza.saitama.jp/index.shtml> (2013/12/24).
- [4] Gurobi Optimizer, <http://www.gurobi.com/> (2013/12/24).

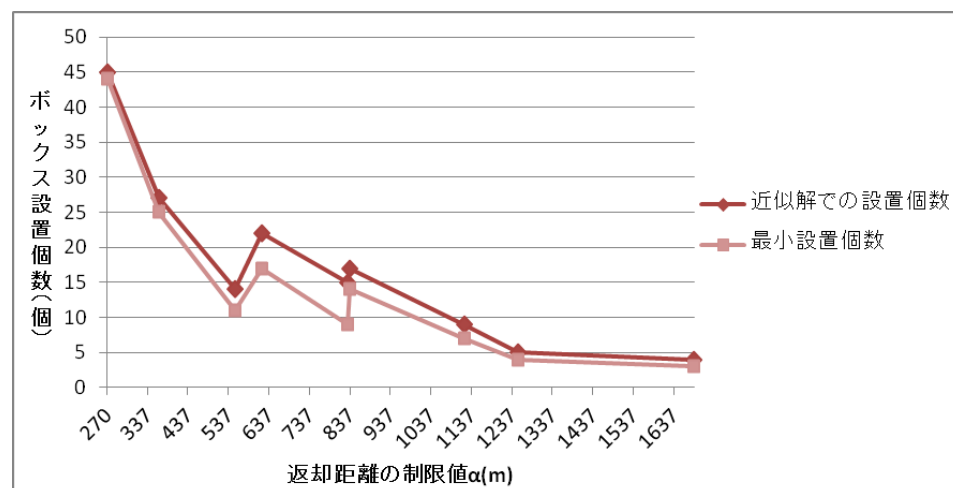
ご清聴ありがとうございました

# 付録



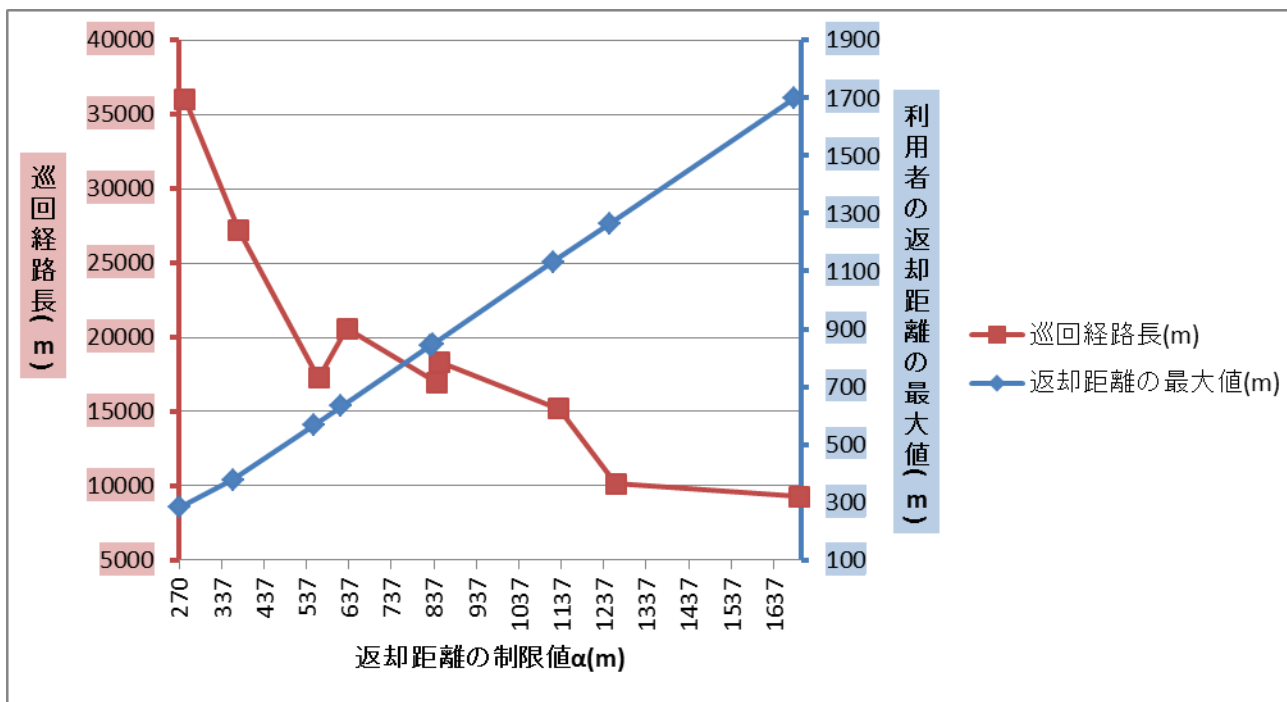
# 最小設置点数と近似解での設置点数

長径の分割数	返却距離 の制限値	ボックス設置個数	
		最小個数	提案解法
10 〔居住点数: 39 設置候補点数: 59〕	(i) 566	11	14
	(ii) 1265	4	5
	(iii) 1697	3	4
15 〔居住点数: 87 設置候補点数: 117〕	(i) 377	25	27
	(ii) 843	9	15
	(iii) 1131	7	9
20 〔居住点数: 152 設置候補点数: 198〕	(i) 283	44	45
	(ii) 632	17	22
	(iii) 849	14	17



- (最小設置個数) < (近似解での設置個数) となっている.
- 返却距離の制限値  $\alpha$  が 400 ~ 800m のとき, 設置個数の差が大きい.

# 利用のしやすさと回収のしやすさの関係



利用のしやすさ  
返却距離が短い



回収のしやすさ  
巡回経路長が短い