

防犯パトロールカーの
巡回計画に関する研究
～江戸川区葛西地区を例として～

東京理科大学工学部第一部経営工学科
沼田研究室

4410085

森 俊輔

目次

1. はじめに
 2. 問題概要
 3. 定式化
 4. 提案解法
 5. 数値実験
 6. 結果・考察
 7. まとめと今後の課題
- 参考文献

1. はじめに

1.1. 背景(1)

- ・防犯パトロールとは、**防犯活動**の一つの方法である.
- ・防犯パトロールカーで、地域内を**繰り返し巡回する事**により
 - ・犯罪を抑止し、発生を未然に防ぐ
 - ・周囲の住民に安心感を与える

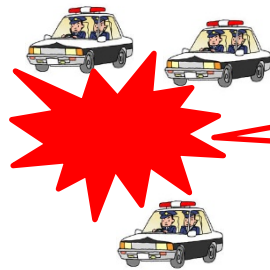


ことができる.

1. はじめに

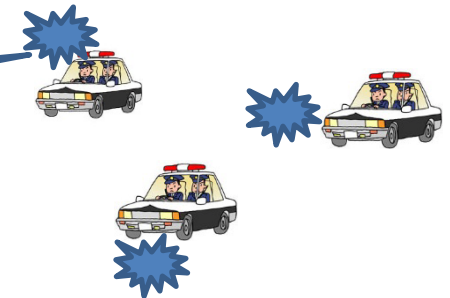
1.1. 背景(2)

防犯パトロールをする時



犯罪の多発している地点は頻繁に見回る.

犯罪の発生頻度の低い地点も見回る.



犯罪の多発している地点はより多く訪問する.

1. はじめに

1.1. 背景(2)

防犯パトロール問題は

与えられた地点を

制限時間内に出来るだけ多数回訪問する.



通常の巡回問題は

与えられた地点の訪問を出来るだけ短時間で行う.

1.2.本研究の目的

防犯に有効なパトロールの条件

- ①. 犯罪の発生頻度が高い地点をより頻繁に訪問する.
- ②. 与えられた地点を全て網羅する.
- ③. 訪問地点数を最大化する.

数理計画問題としてどのように捉えるか

二つのモデルを提案し, 得られる解を比較する事によって, 適切なモデルを検討する.

2.1. 本研究で扱う問題(1)

共通の問題設定 ● ……出発点(江戸川区役所)



- ・江戸川区葛西地区の防犯パトロールをモデルとする(図1).
- ・江戸川区が民間の警備会社に委託して行っている、青パトロールカーによる巡回パトロールを想定する。

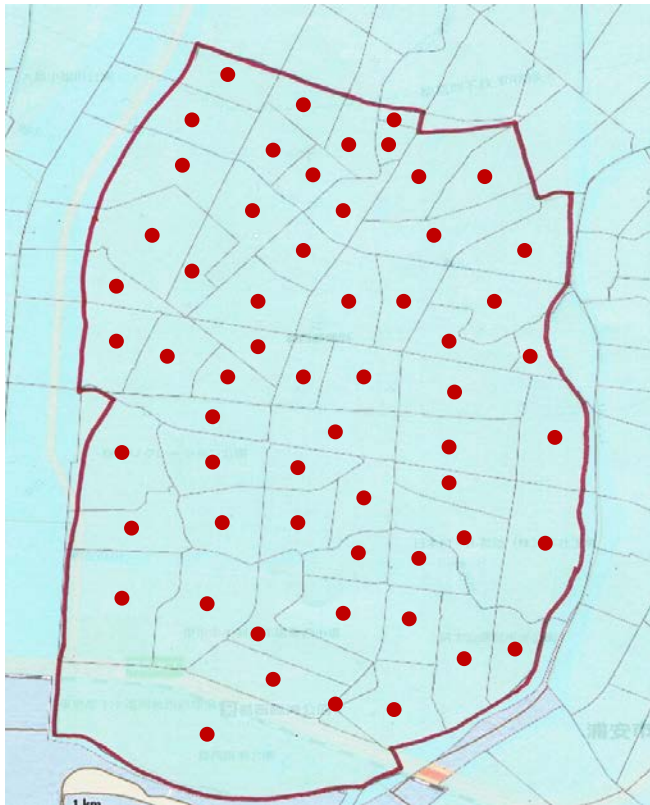
(巡回時間は18:00～翌5:00)



図1. 江戸川区葛西地区のモデル(赤枠内)

2.1. 本研究で扱う問題(2)

共通の問題設定 ●・・・巡回候補点



- ・巡回範囲を町・丁目単位の区域に分割する.
- ・区域の中心点を巡回候補点とし, 中心点を結んだ距離を区域間の移動距離とする.
- ・巡回候補点間の移動時間は把握している.

図2. 江戸川区葛西警察署の管轄内のモデル(赤枠内)

2.1. 本研究で扱う問題(3)

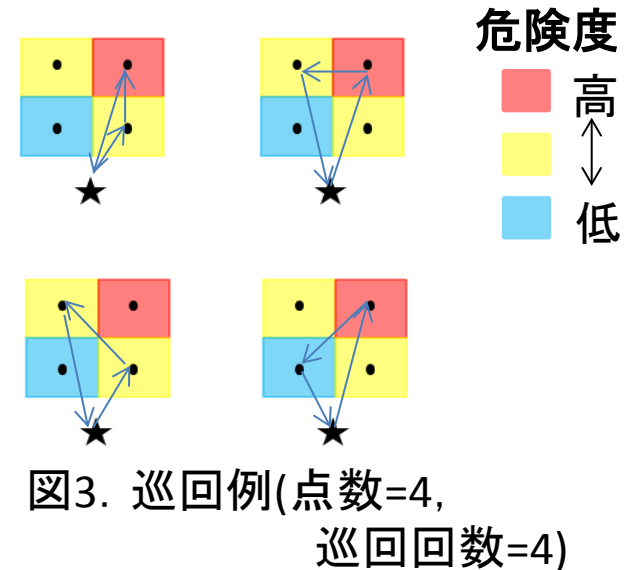
共通の問題設定

- ・巡回候補点には, 1度の訪問で要する使用時間が与えられている.
- ・1度の巡回はT時間であり, 出発点(江戸川区役所)を出発した青パトは時間内に出発点に戻る.
- ・1日(K回)の巡回で全巡回候補点を**最低1回は訪問**しなければならない.
- ・同じ巡回候補点を1度の巡回で2回以上訪問しない.

2.2.モデル1

訪問回数の逆転を許さないモデル

- ・巡回候補点には、**危険度のパラメータ**が与えられている。
- ・訪問回数が
危険度**低** < 危険度**高**
となる。



延べ訪問地点数を最大化する。

2. 問題概要

2.2.モデル2

ポイント獲得モデル

- ・巡回候補点には、**防犯ポイント**が与えられている。

防犯ポイント小:危険度低
防犯ポイント大:危険度高



1日で得られる防犯ポイントを
最大化する。

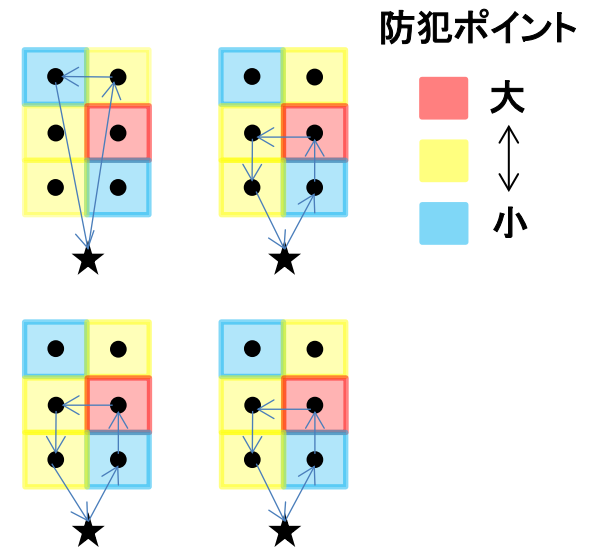


図4. 巡回例(点数=4,
巡回回数=4)

3.1. 記号の定義 (定数)

- ・ i, j : 巡回候補点 ($i, j = 0, 1, \dots, m$) (0は出発点)
- ・ t_{ij} : 点 $i \leftrightarrow j$ 間の移動時間
- ・ C_i : 点 i での使用時間
- ・ T : 1度の巡回時間の上限
- ・ K : 1日の巡回回数
- ・ n_i : 点 i における危険度のパラメータ
- ・ ω_i : 点 i における防犯ポイント

3.2.記号の定義(変数)

- ・ $x_{ij}^k \in \{0,1\}$: k 回目の巡回で点 i から j へ直接移動するならば1, そうでないなら0をとる.
- ・ $y_i^k \in \{0,1\}$: k 回目の巡回で点 i を訪れるならば1, そうでないなら0をとる.
- ・ f_{ij}^k : k 回目の巡回で点 i から j に移動する時のフロー量

3.3.定式化

モデル1

目的関数

延べ訪問地点数を最大化する

$$\max : \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^m y_i^k \quad \dots (1)$$

制約式

訪問回数の逆転を禁止する

$$(n_i - n_j) \left(\sum_{k=1}^K y_i^k - \sum_{k=1}^K y_j^k \right) \geq 0 \quad (i, j = 1, \dots, m) \quad \dots (2)$$

モデル2

目的関数

獲得する防犯ポイントを
最大化する

$$\max : \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^m \omega_i y_i^k \quad \dots (3)$$

3.3. 定式化(2)

- ・ k 回目の巡回時の巡回候補点の使用時間と移動時間の合計は T 時間以内である

$$\sum_{i=1}^m c_i y_i^k + \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^m t_{ij} x_{ij}^k \leq T \quad (k = 1, 2, \dots, K) \quad \dots (4)$$

- ・ k 回目の巡回時において、出発点からは1つの点を訪問し、また1つの点から出発点へ戻る

$$\sum_{j=1}^m x_{0j}^k = 1 \quad \sum_{h=1}^m x_{h0}^k = 1 \quad (k = 1, 2, \dots, K) \quad \dots (5), (6)$$

3.3. 定式化(3)

- ・ k 回目の巡回時において, 点 i からは1つの点を訪問し, また点 i へは1つの点から訪問される

$$\sum_{h=0}^m x_{hi}^k = y_i^k \quad \sum_{j=0}^m x_{ij}^k = y_i^k \quad \dots (7), (8)$$

$$(i = 1, 2, \dots, m, \quad k = 1, 2, \dots, K)$$

- ・ 点 i の訪問回数は, 1回以上である

$$\sum_{k=1}^K y_i^k \geq 1 \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad \dots (9)$$

3.3. 定式化(4)

部分巡回路除去制約

$$f_{ij}^k \leq mx_{ij}^k \quad (i, j = 0, 1, \dots, m, \quad k = 1, 2, \dots, K)$$

$$f_{ij}^k \leq \sum_{g=0}^m y_g^k \quad (i, j = 0, 1, \dots, m, \quad k = 1, 2, \dots, K)$$

$$f_{ij}^k \geq 0 \quad (i, j = 0, 1, \dots, m, \quad k = 1, 2, \dots, K)$$

$$\sum_{j=0}^m f_{ij}^k - \sum_{h=0}^m f_{hi}^k = y_i^k \quad (i = 1, 2, \dots, m, \quad k = 1, 2, \dots, K)$$

$$\sum_{i=1}^m f_{i0}^k = \sum_{g=0}^m y_g^k - 1 \quad (k = 1, 2, \dots, K)$$

$$\sum_{j=1}^m f_{0j}^k = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, K)$$

4.1. 求解の方針

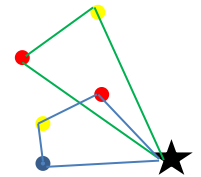
江戸川区葛西地区のモデル($m = 59$)では全ての巡回パターンを列挙して、厳密解を求めることは困難



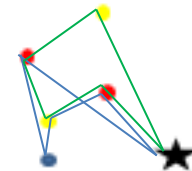
近似解を求める

全点を網羅する事を目的とした、
初期巡回路の作成

共通



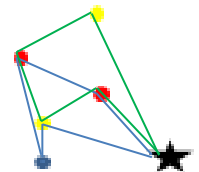
改善法を用いて、点の追加・交換



局所最適解が求まるまで繰り返す。

交換法(2-opt法, Cross-opt法, Or-opt法,
挿入法)を用いた総巡回時間の改善

共通



4.2. 初期解の構築

全点を網羅する事を目的とした初期巡回路の作成

- Step1. 最も危険度の高い点で, 出発点から遠い点から順番に, 出発点を往復する巡回路を作成する.
- Step2. 未訪問点の中で, 危険度の高い点から順に, 挿入した時の増加時間が最も最小となる巡回路に挿入する.
- Step3. 全ての候補点が訪問されるまでStep2を繰り返す.

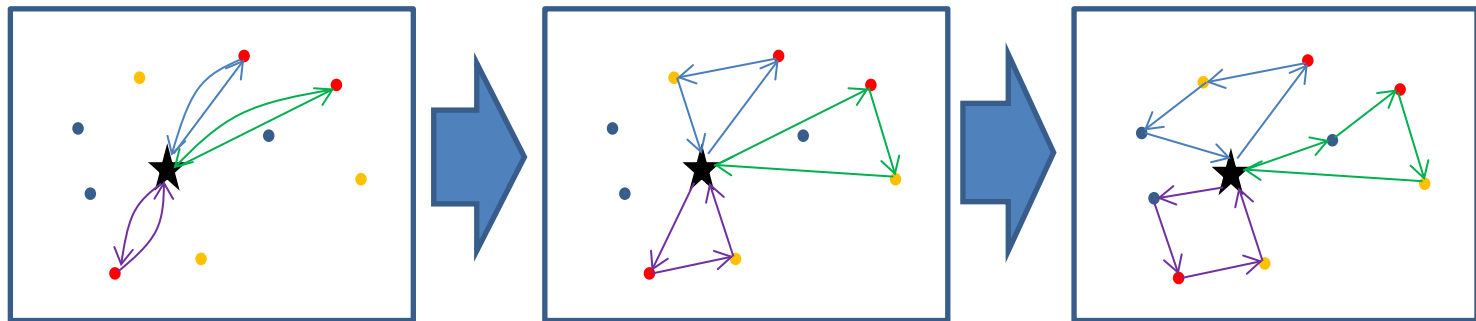


図5. 初期巡回路の作成例

4.3. 局所探索法 改善法

延べ訪問回数(獲得防犯ポイント)の改善操作

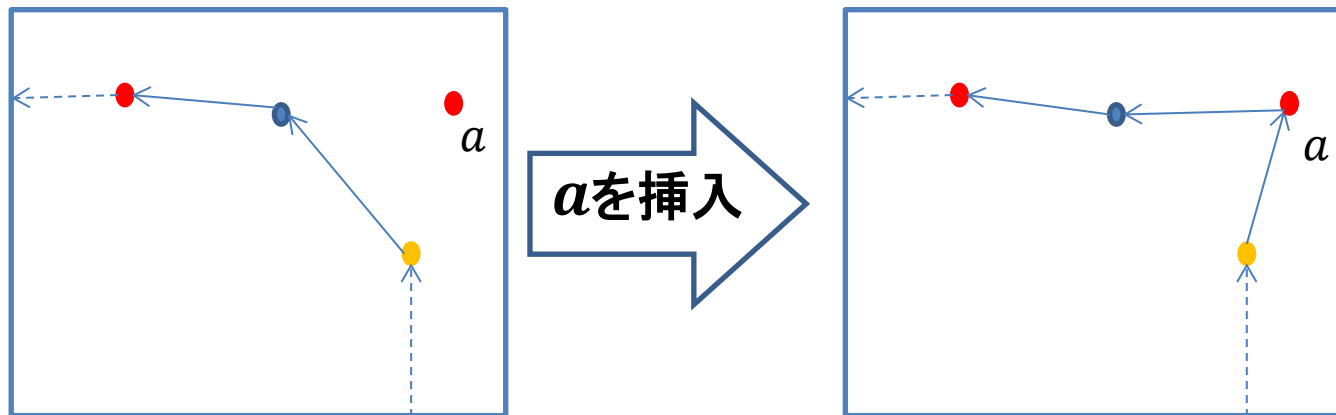


図6. 点の挿入例

モデル1: 危険度の大きな点から訪問回数の逆転が
起こらないように挿入する.

モデル2: 獲得できる防犯ポイントの大きな点から挿入する.

4.3. 局所探索法(2)

改善法

点の交換操作

モデル1: 危険度の高い点の訪問回数を多くしたい

モデル2: 防犯ポイントをより多く獲得したい

訪問済みの点を取り除き、未訪問の点で、
より**危険度(獲得防犯ポイント)の大きい**点を挿入

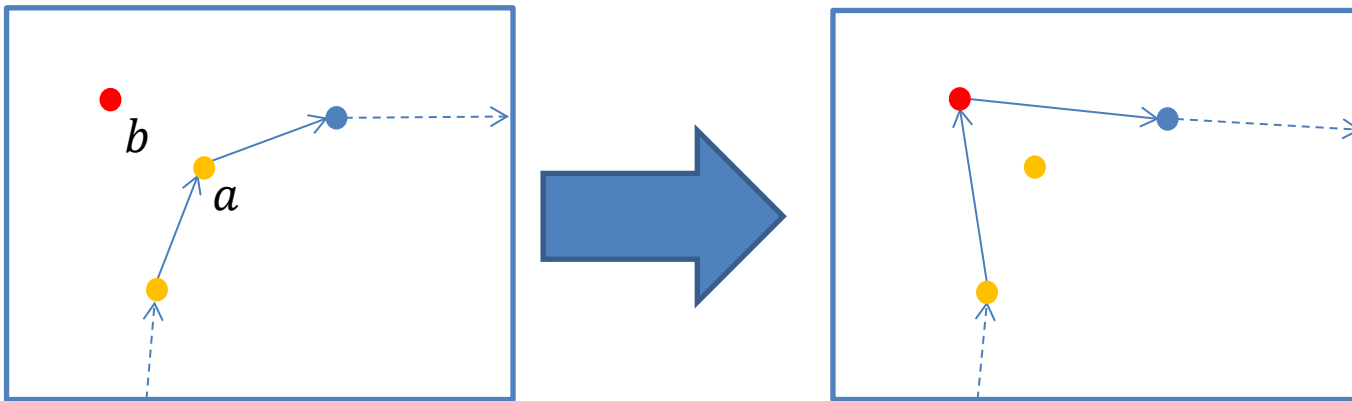


図7. 点の交換例

4.3. 局所探索法(3)

総巡回時間の改善操作

2-opt法, Cross-opt法, Or-opt法, 挿入法を用いる.

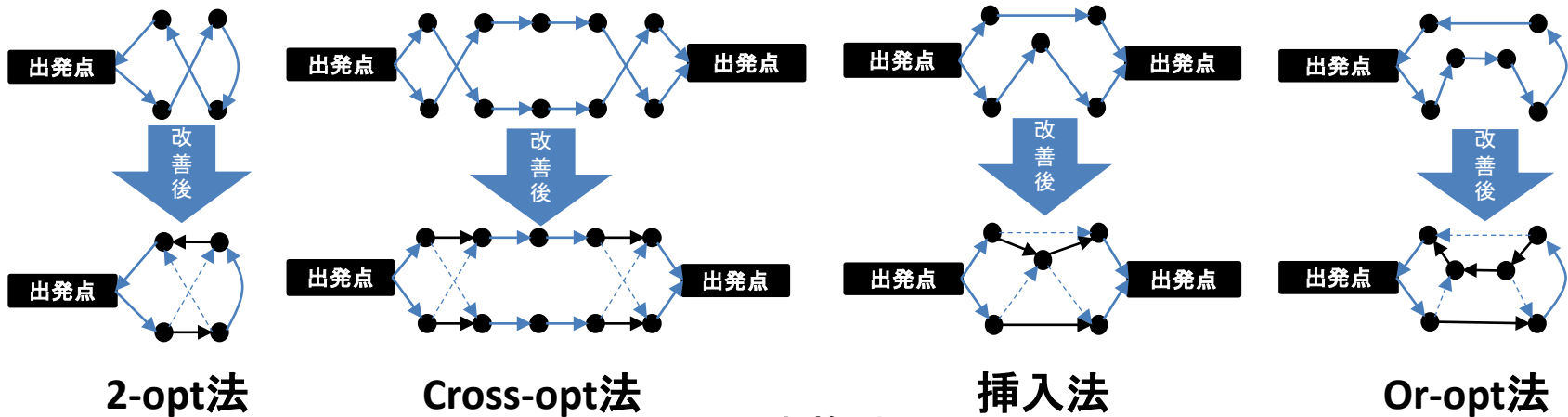


図8. 交換法

延べ訪問回数, 獲得防犯ポイントの改善操作
点の交換操作
総巡回時間の改善操作

局所最適解が求まる
まで操作を繰り返す.

5. 数値実験

概要

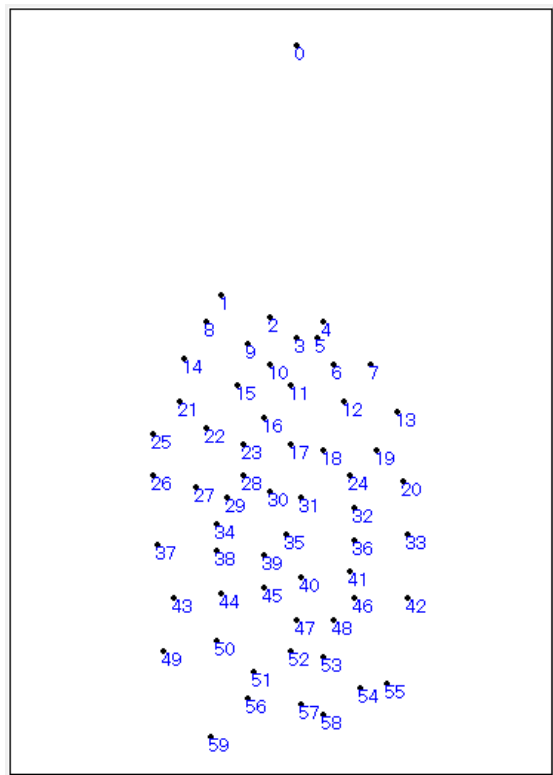


図9. 候補点の分布
(0は出発点)

m 59
 T 60分
 K 11回

モデル1

n_i 4, 3, 2, 1の四段階

モデル2

ω_i $\begin{bmatrix} 1000000 \\ 10000 \\ 100 \\ 1 \end{bmatrix}$ の四段階

※犯罪情報マップ[2]参照

t_{ij} は2点間のユークリッド距離を青パトの移動速度時速30kmで割って求めた.

7.まとめ

防犯パトロールカーの巡回計画に対して二つのモデルを提案し、江戸川区葛西地区を対象に求解実験を行った。

防犯ポイント獲得モデル

可能な限り多くの点を訪問する実践的なモデル



防犯ポイントの与え方が重要

訪問回数の逆転を許さないモデル

危険度に応じて複数回訪問するという
防犯パトロールの原則に忠実な基準解を得られる。

7.1. 今後の課題

実際には・・・

各地点での犯罪の発生しやすさは時間帯によって変化する.



時間帯によって防犯効果のある巡回路
を選択する必要

参考文献

[1]沼田一道:

汎用MIPソルバによる巡回セールスマン問題の求解-多項式オーダ本数の部分巡回路除去制約. オペレーションズ・リサーチ:経営の科学56(8),pp.452-455. (2011)

[2]警視庁, 犯罪情報マップ,

<http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/toukei/johomap/johomapp.htm>,

(最終閲覧日:2013/12/25).

[3]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)

ご清聴

ありがとうございました

付録

表2. 各地点の座標

番号	地区名	x座標	y座標	番号	地区名	x座標	y座標
0	江戸川区役所	3.2	14	30	中葛西四丁目	2.7	5.6
1	船堀一丁目	1.8	9.3	31	中葛西三丁目	3.3	5.5
2	船堀四丁目	2.7	8.9	32	東葛西五丁目	4.3	5.3
3	船堀五丁目	3.2	8.5	33	東葛西四丁目	5.3	4.8
4	一之江町	3.7	8.8	34	西葛西六丁目	1.7	5
5	二之江町	3.6	8.5	35	中葛西五丁目	3	4.8
6	春江町五丁目	3.9	8	36	東葛西六丁目	4.3	4.7
7	西瑞江五丁目	4.6	8	37	清新町一丁目	0.6	4.6
8	船堀二丁目	1.5	8.8	38	西葛西七丁目	1.7	4.5
9	船堀三丁目	2.3	8.4	39	中葛西六丁目	2.6	4.4
10	船堀六丁目	2.7	8	40	中葛西八丁目	3.3	4
11	船堀七丁目	3.1	7.6	41	東葛西七丁目	4.2	4.1
12	江戸川六丁目	4.1	7.3	42	東葛西九丁目	5.3	3.6
13	江戸川五丁目	5.1	7.1	43	清新町二丁目	0.9	3.6
14	北葛西一丁目	1.1	8.1	44	西葛西八丁目	1.8	3.7
15	宇喜田町	2.1	7.6	45	中葛西七丁目	2.6	3.8
16	北葛西五丁目	2.6	7	46	東葛西八丁目	4.3	3.6
17	中葛西一丁目	3.1	6.5	47	南葛西一丁目	3.2	3.2
18	中葛西二丁目	3.7	6.4	48	南葛西二丁目	3.9	3.2
19	東葛西一丁目	4.7	6.4	49	臨海町一丁目	0.7	2.6
20	東葛西三丁目	5.2	5.8	50	臨海町二丁目	1.7	2.8
21	北葛西二丁目	1	7.3	51	臨海町三丁目	2.4	2.2
22	北葛西三丁目	1.5	6.8	52	南葛西三丁目	3.1	2.6
23	北葛西四丁目	2.2	6.5	53	南葛西四丁目	3.7	2.5
24	東葛西二丁目	4.2	5.9	54	南葛西六丁目	4.4	1.9
25	西葛西一丁目	0.5	6.7	55	南葛西七丁目	4.9	2
26	西葛西二丁目	0.5	5.9	56	臨海町四丁目	2.3	1.7
27	西葛西三丁目	1.3	5.7	57	臨海町五丁目	3.3	1.6
28	西葛西四丁目	2.2	5.9	58	南葛西五丁目	3.7	1.4
29	西葛西五丁目	1.9	5.5	59	臨海町六丁目	1.6	1

表3. 各地点における使用時間と危険度/防犯ポイント

番号	地区名	使用時間	危険度/獲得ポイント	番号	地区名	使用時間	危険度/獲得ポイント	番号	地区名	使用時間	危険度/獲得ポイント
0	江戸川区役所										
1	船堀一丁目	2	3/10000	21	北葛西二丁目	3	2/100	41	東葛西七丁目	2	1/1
2	船堀四丁目	2	3/10000	22	北葛西三丁目	1	2/100	42	東葛西九丁目	3	4/1000000
3	船堀五丁目	2	1/1	23	北葛西四丁目	2	2/100	43	清新町二丁目	2	2/100
4	一之江町	1	1/1	24	東葛西二丁目	2	2/100	44	西葛西八丁目	3	2/100
5	二之江町	1	1/1	25	西葛西一丁目	1	1/1	45	中葛西七丁目	2	2/100
6	春江町五丁目	3	2/100	26	西葛西二丁目	2	2/100	46	東葛西八丁目	3	2/100
7	西瑞江五丁目	4	2/100	27	西葛西三丁目	2	3/10000	47	南葛西一丁目	2	1/1
8	船堀二丁目	3	2/100	28	西葛西四丁目	1	3/10000	48	南葛西二丁目	3	2/100
9	船堀三丁目	3	3/10000	29	西葛西五丁目	3	4/1000000	49	臨海町一丁目	1	1/1
10	船堀六丁目	2	1/1	30	中葛西四丁目	2	2/100	50	臨海町二丁目	1	2/100
11	船堀七丁目	3	2/100	31	中葛西三丁目	2	3/10000	51	臨海町三丁目	1	1/1
12	江戸川六丁目	3	2/100	32	東葛西五丁目	4	3/10000	52	南葛西三丁目	2	2/100
13	江戸川五丁目	4	1/1	33	東葛西四丁目	4	2/100	53	南葛西四丁目	2	2/100
14	北葛西一丁目	3	1/1	34	西葛西六丁目	3	4/1000000	54	南葛西六丁目	3	2/100
15	宇喜田町	2	1/1	35	中葛西五丁目	3	3/10000	55	南葛西七丁目	2	1/1
16	北葛西五丁目	2	1/1	36	東葛西六丁目	4	3/10000	56	臨海町四丁目	1	1/1
17	中葛西一丁目	4	2/100	37	清新町一丁目	2	3/10000	57	臨海町五丁目	1	1/1
18	中葛西二丁目	3	2/100	38	西葛西七丁目	3	2/100	58	南葛西五丁目	3	2/100
19	東葛西一丁目	4	2/100	39	中葛西六丁目	3	2/100	59	臨海町六丁目	2	2/100
20	東葛西三丁目	2	1/1	40	中葛西八丁目	2	2/100				

表4. 各点における訪問回数

候補点番号	巡回候補点	防犯ポイント/危険度	モデル1 訪問回数	モデル2 訪問回数	候補点番号	巡回候補点	防犯ポイント/危険度	モデル1 訪問回数	モデル2 訪問回数
29	西葛西五丁目	1000000/4	10	9	40	中葛西八丁目	100/2	1	1
34	西葛西六丁目	1000000/4	9	11	43	清新町二丁目	100/2	1	1
42	東葛西九丁目	1000000/4	10	9	44	西葛西八丁目	100/2	1	1
1	船堀一丁目	10000/3	9	8	45	中葛西七丁目	100/2	1	1
2	船堀四丁目	10000/3	7	7	46	東葛西八丁目	100/2	1	1
9	船堀三丁目	10000/3	6	5	48	南葛西二丁目	100/2	1	1
27	西葛西三丁目	10000/3	6	7	50	臨海町二丁目	100/2	1	2
28	西葛西四丁目	10000/3	8	10	52	南葛西三丁目	100/2	1	1
31	中葛西三丁目	10000/3	7	7	53	南葛西四丁目	100/2	1	1
32	東葛西五丁目	10000/3	2	1	54	南葛西六丁目	100/2	1	1
35	中葛西五丁目	10000/3	5	5	58	南葛西五丁目	100/2	1	1
36	東葛西六丁目	10000/3	1	1	59	臨海町六丁目	100/2	1	1
37	清新町一丁目	10000/3	4	4	3	船堀五丁目	1/1	1	1
6	春江町五丁目	100/2	1	1	4	一之江町	1/1	1	3
7	西瑞江五丁目	100/2	1	1	5	二之江町	1/1	1	3
8	船堀二丁目	100/2	1	1	10	船堀六丁目	1/1	1	1
11	船堀七丁目	100/2	1	1	13	江戸川五丁目	1/1	1	1
12	江戸川六丁目	100/2	1	1	14	北葛西一丁目	1/1	1	1
17	中葛西一丁目	100/2	1	1	15	宇喜田町	1/1	1	1
18	中葛西二丁目	100/2	1	1	16	北葛西五丁目	1/1	1	1
19	東葛西一丁目	100/2	1	1	20	東葛西三丁目	1/1	1	1
21	北葛西二丁目	100/2	1	1	25	西葛西一丁目	1/1	1	1
22	北葛西三丁目	100/2	1	5	41	東葛西七丁目	1/1	1	1
23	北葛西四丁目	100/2	1	1	47	南葛西一丁目	1/1	1	1
24	東葛西二丁目	100/2	1	1	49	臨海町一丁目	1/1	1	1
26	西葛西二丁目	100/2	1	1	51	臨海町三丁目	1/1	1	1
30	中葛西四丁目	100/2	1	2	55	南葛西七丁目	1/1	1	1
33	東葛西四丁目	100/2	1	1	56	臨海町四丁目	1/1	1	1
38	西葛西七丁目	100/2	1	1	57	臨海町五丁目	1/1	1	1
39	中葛西六丁目	100/2	1	1					

各モデルの定式化を汎用MIPソルバGurobiに入力して
厳密解を求めた.

表5. モデル1の実行時間の推移

点数m	平均(秒)
11	5.5825
12	57.7475
13	64.2575
14	1137.728

表6. モデル2の実行時間の推移

点数m	平均(秒)
11	1.2825
12	3.55
13	46.295
14	213.88
15	19935.23

表7. モデル1の厳密解と提案解法の誤差率

		巡回候補点数m			
		11	12	13	14
系列1	厳密解	40	41	43	44
	提案解法	40	40	42	43
	誤差率(%)	0	2.439	2.326	2.273
系列2	厳密解	39	40	40	42
	提案解法	39	39	38	40
	誤差率(%)	0.000	2.500	5.000	4.762
系列3	厳密解	40	40	40	43
	提案解法	39	38	39	40
	誤差率(%)	2.500	5.000	2.500	6.977
系列4	厳密解	40	40	40	43
	提案解法	40	40	40	41
	誤差率(%)	0.000	0.000	0.000	4.651

表8. モデル2の厳密解と提案解法の誤差率

		巡回候補点数m				
		11	12	13	14	15
系列1	厳密解	42016	42412	42811	82806	82907
	提案解法	42016	42412	42712	82510	82807
	誤差率(%)	0	0	0.231	0.357	0.121
系列2	厳密解	42015	42411	42806	82606	82705
	提案解法	42015	42313	42609	82408	82408
	誤差率(%)	0.000	0.231	0.460	0.240	0.359
系列3	厳密解	42016	42412	42810	82805	82705
	提案解法	42016	42312	42610	82309	82508
	誤差率(%)	0.000	0.236	0.467	0.599	0.238
系列4	厳密解	42016	42412	42808	82706	82907
	提案解法	42016	42412	42709	82508	82808
	誤差率(%)	0.000	0.000	0.231	0.239	0.119