

光ファイバーケーブルの敷設計画問題 に対するアルゴリズムの提案

東京理科大学工学部経営工学科
沼田研究室

4401050 工 保夫

発表の構成

I.	研究背景	.....	p.3-p.5
II.	研究目的	.....	p.6
III.	問題の設定	.....	p.7-p.8
IV.	問題の定式化	.....	p.9-p.11
V.	解法の概要	.....	p.12
VI.	解法の手順	.....	p.13-p.18
VII.	数値実験	.....	p.19
VIII.	実験結果と考察	.....	p.20-p.22
IX.	まとめ	.....	p.23
X.	今後の課題	.....	p.24
XI.	参考文献	.....	p.25

. 研究背景

近年、日本のインターネットのブロードバンド化が急速に進展

高速かつ安定した通信

光ファイバー

光ファイバーを利用したサービスの代表例



FTTH
(Fiber To The Home)

光ケーブルを一般家庭に引き込み
インターネットに接続するサービス

普及率上昇中

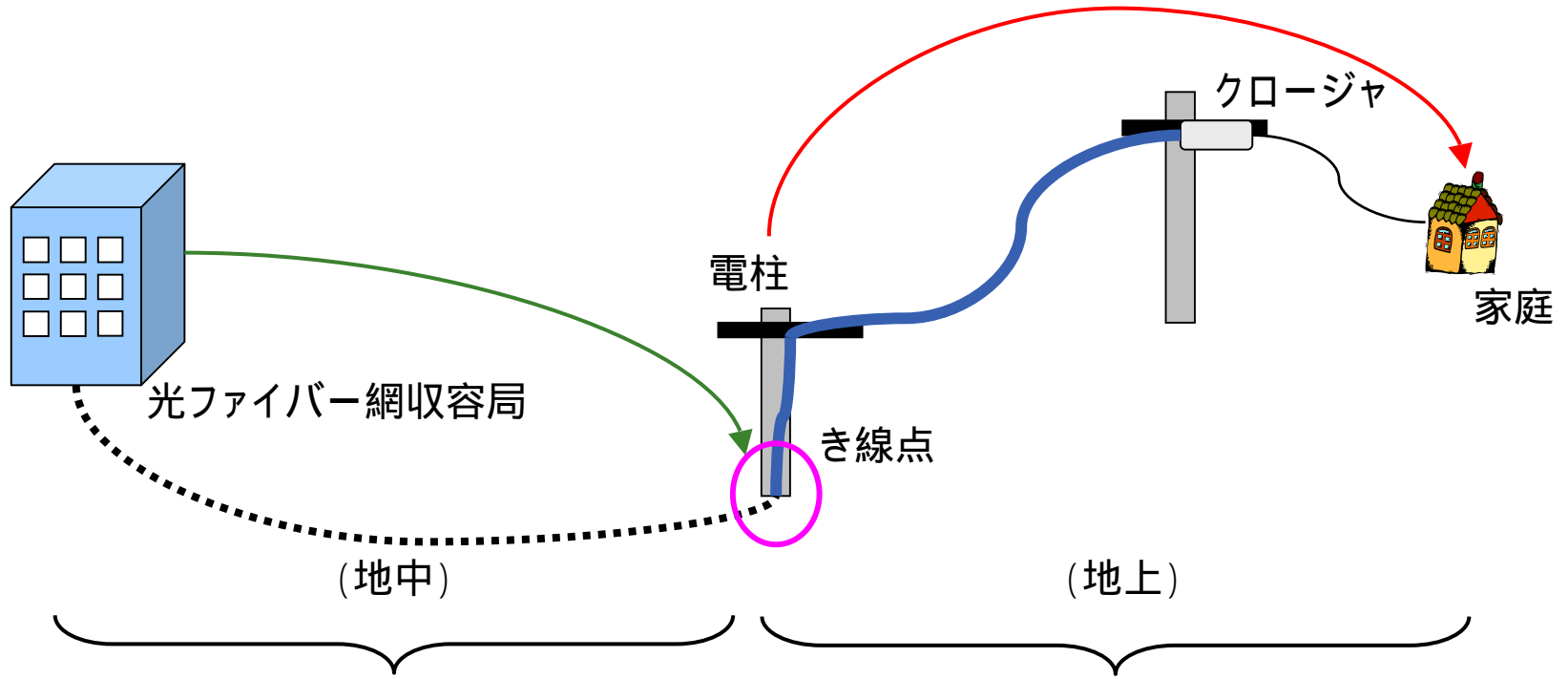
光ケーブルの家庭までの敷設は高額な費用がかかる



FTTHを提供する事業者は費用を少しでも抑えた敷設を目指している

研究背景

経路： 光ファイバー網収容局 ~ 家庭



光ファイバーケーブルはほぼ敷設済み

新たに敷設を計画するエリア

光ケーブルの敷設計画をこの部分に限定して考える

研究背景

経路： き線点 ~ 家庭

幹線: き線点およびクロージャを設置した電柱間を結ぶケーブル

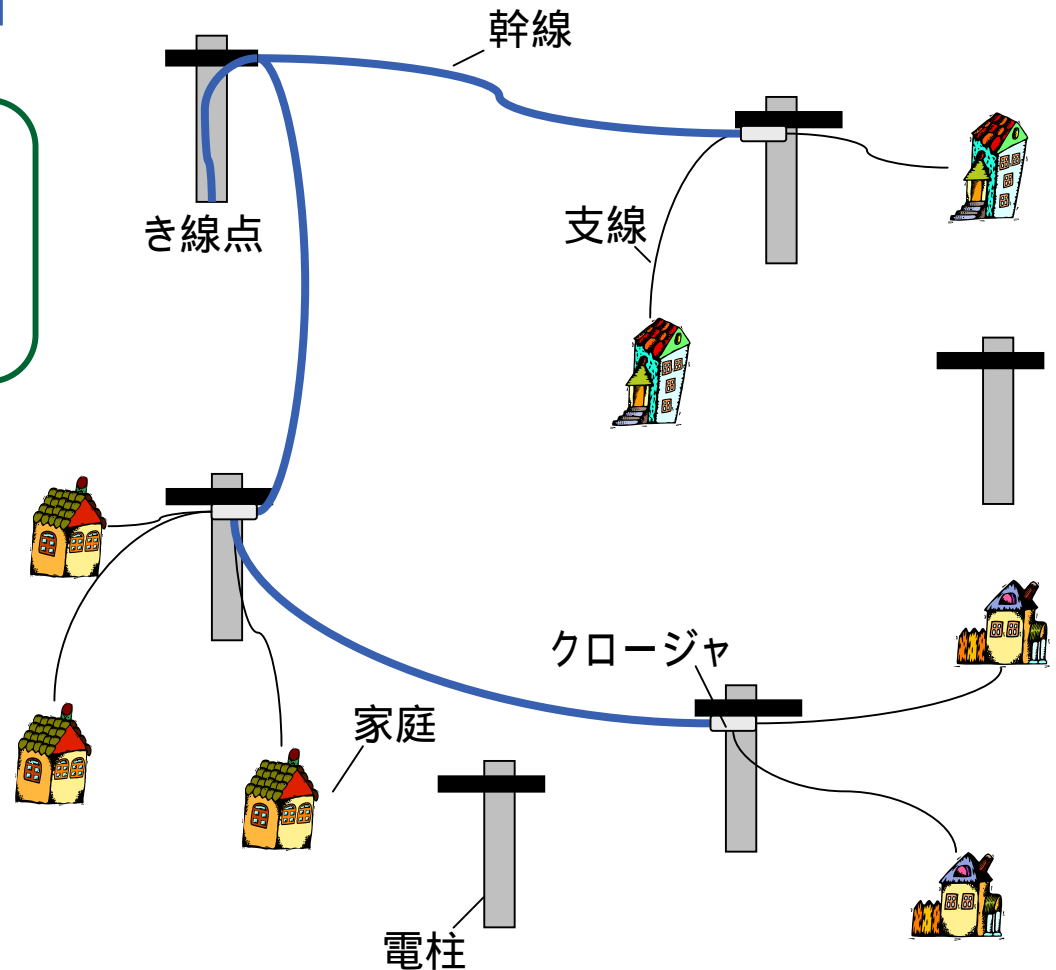
支線: クロージャを設置した電柱と家庭の間を結ぶケーブル

光ケーブルの敷設形態

幹線はツリー状、
支線はスター状に敷設する

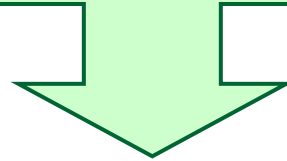
ケーブルの敷設にかかる費用

支線敷設費用
幹線敷設費用
クロージャ設置費用



. 研究目的

FTTH提供事業者が敷設にかかる費用
= 支線敷設費用 + 幹線敷設費用 + クロージャ設置費用



出来るだけ小さくなるように、
支線・幹線の敷設経路 および クロージャの設置箇所
を決定するアルゴリズムを提案



数値実験によりその有効性を検証

. 問題の設定

文献[1]からの変更点

簡略化



文献[1]

家庭ごとに異なる
光ファイバーの芯数(1)

理由: 家庭1軒ごとの設定するのは、現実問題に適用しづらい
通常、クロージャから割り当てられる光回線は、1家庭に1本である

収容能力の異なる3種類

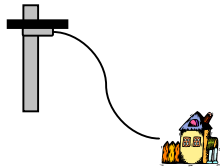
理由: 3種類からの選択を許すと問題が飛躍的に難しくなる
クロージャの費用格差は相対的に小さく、1種類としても不都合はない

本研究

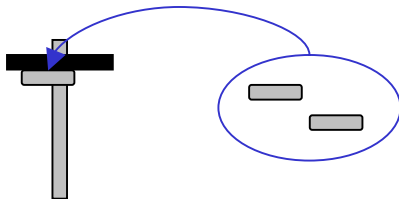
1家庭に光回線1本

収容能力が同一の1種類

a. 家庭に割り当てる支線:



b. クロージャの種類:



1: 光ファイバーの芯数...光ケーブル内部の非常に細かいファイバーの本数

. 問題の設定

前提条件

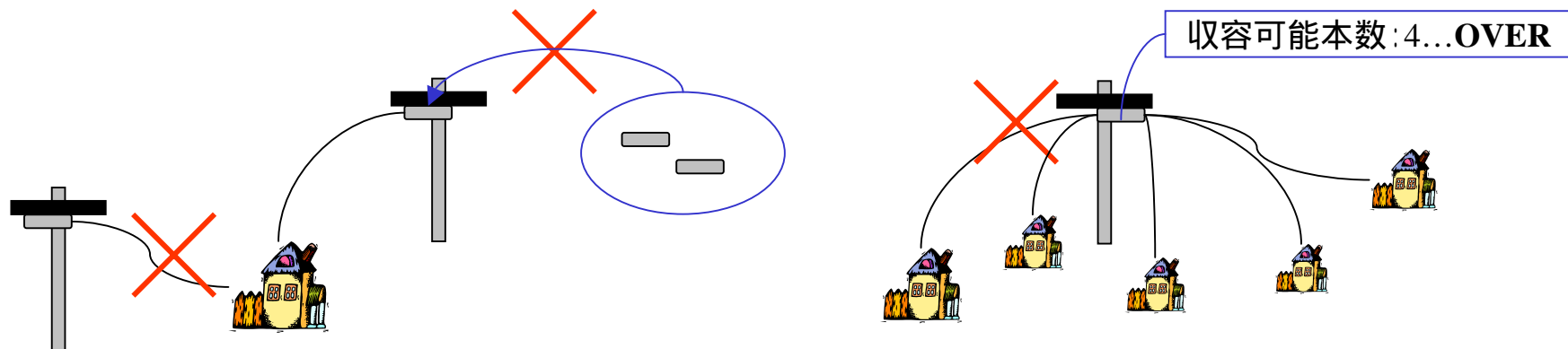
家庭1軒が接続できる電柱は1本だけである

クロージャ1つに收容する家庭からの光ケーブルの総数は、
クロージャの收容可能本数(2)を越えない

幹線は、クロージャを設置した電柱、およびき線点を端点として
ツリー状に敷設する

電柱に設置できるクロージャは1つとする(設置しない電柱もある)

2:收容可能本数...家庭からの光ケーブルを收容できる限界本数
全クロージャに共通



問題の定式化 (記号の定義)

M, N : それぞれ電柱、家庭の集合

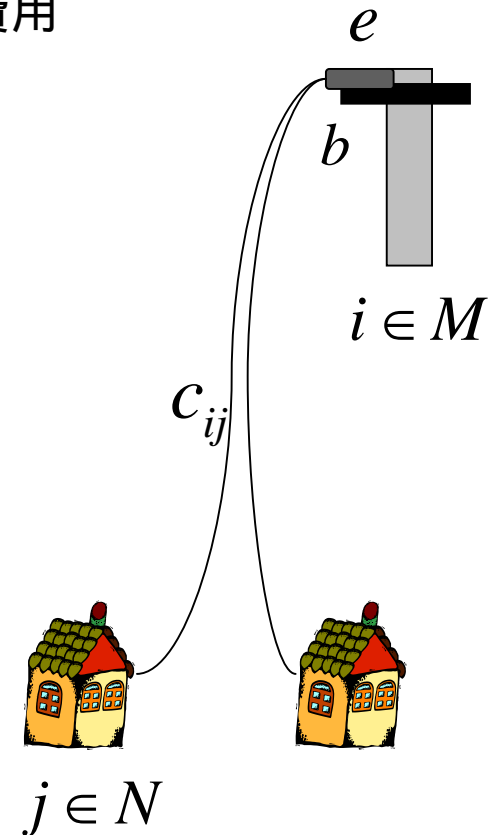
C_{ij} : 電柱 $i \in M$ から家庭 $j \in N$ へ支線を敷設する費用

e : 電柱にクロージャを設置する費用

b : クロージャの収容可能本数

$$x_{ij} = \begin{cases} 1: \text{電柱 } i \text{ から家庭 } j \text{ へ支線を敷設する} \\ 0: \text{その他} \end{cases}$$

$$z_i = \begin{cases} 1: \text{電柱 } i \text{ にクロージャを設置する} \\ 0: \text{その他} \end{cases}$$



. 問題の定式化 (記号の定義)

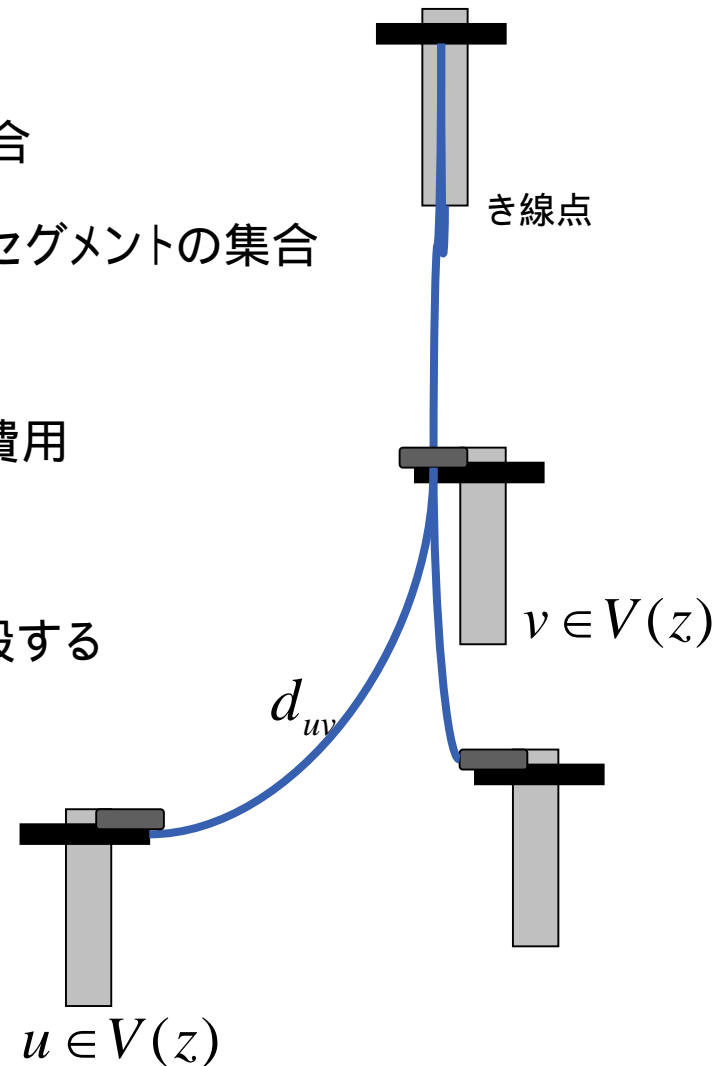
$V(z)$: クロージャを設置した電柱とき線点の集合

$E(z)$: 電柱 $u, v \in V(z)$ を端点とする幹線候補セグメントの集合

$G(z)$: $V(z)$ と $E(z)$ からなる完全グラフ

d_{uv} : 電柱 u と電柱 v の間に幹線を敷設する費用

$$y_{uv} = \begin{cases} 1: \text{電柱 } u \text{ から電柱 } v \text{ の間に幹線を敷設する} \\ 0: \text{その他} \end{cases}$$



. 問題の定式化

支線敷設費用

幹線敷設費用

クロージャ設置費用

$$\text{minimize } \sum_{i \in M} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ij} + \sum_{(u,v) \in E(z)} d_{uv} y_{uv} + e \sum_{i \in M} z_i \quad \dots(1)$$

$$\text{subject to } \sum_{i \in M} x_{ij} = 1, j \in N \quad \dots(2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij} \leq b z_i, i \in M \quad \dots(3)$$

$$(V(z), \{(u, v) \in E(z) \mid y_{uv} = 1\}) \text{ は、} \quad \dots(4)$$

$G = (V(z), E(z))$ の木

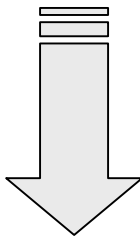
$$x_{ij}, y_{uv}, z_i \in \{0,1\}, i \in M, j \in N, (u, v) \in E(z) \quad \dots(5)$$

条件(p.8)
~
に
対応

解法の概要

二階層型の問題

二つの問題を結ぶ



クロージャを設置する電柱の選び方が問題を効率良く解くための鍵

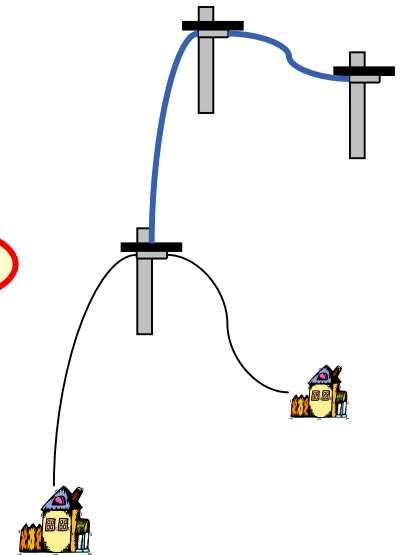
局所探索法を適用

光ケーブル敷設計画問題

幹線敷設計画問題

クロージャを設置する電柱

支線敷設計画問題



解法の手順

Step1-1

支線の敷設

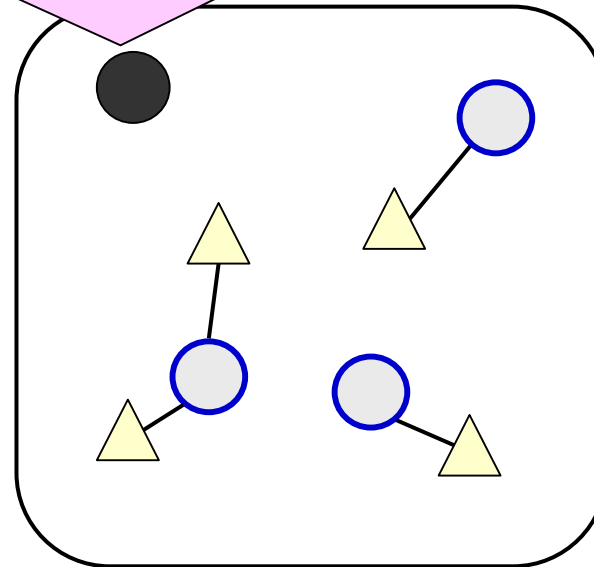
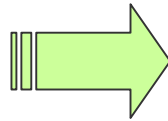
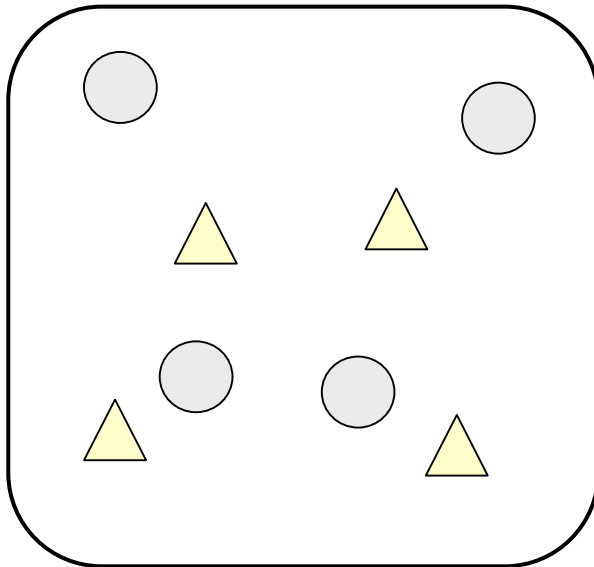
Hitchcock型輸送問題として解く

供給地: 全家庭、需要地: 全電柱
供給量: 家庭に引き込む光ケーブル
需要量: クロージャの収容可能本数
輸送費用: 家庭と電柱間の距離

暫定支線敷設経路... 家庭と接続する電柱

= クロージャを設置する候補

今後の探索でクロージャ設置候補に
選ばれないよう(永久使用禁止)にする



- △ : 家庭
- : 電柱
- (blue) : ク設候補
- (black) : 永久禁止

. 解法の手順

Step1-2

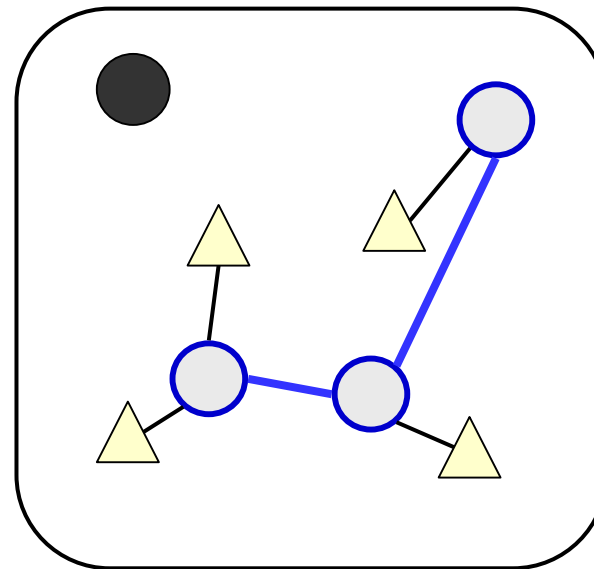
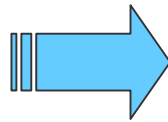
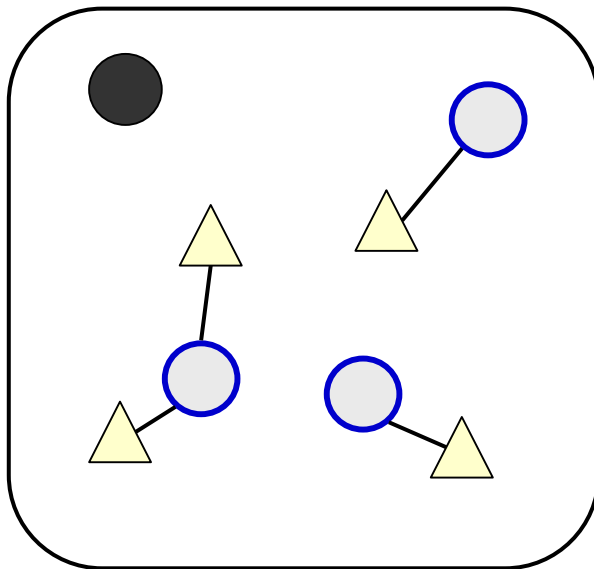
幹線の敷設

最小木問題を解く

端点: クロージャ設置候補の電柱、き線点
辺の重み: 端点間の距離

⇒ 最小全域木 = 暫定の幹線敷設経路

⇒ 暫定の総費用



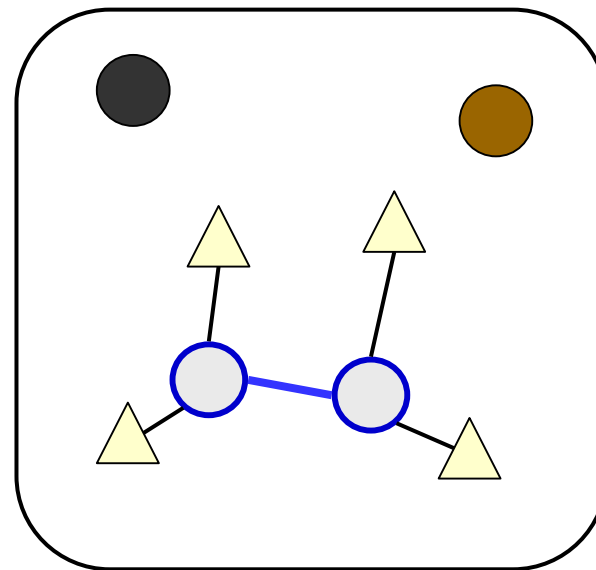
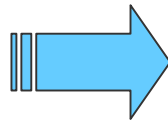
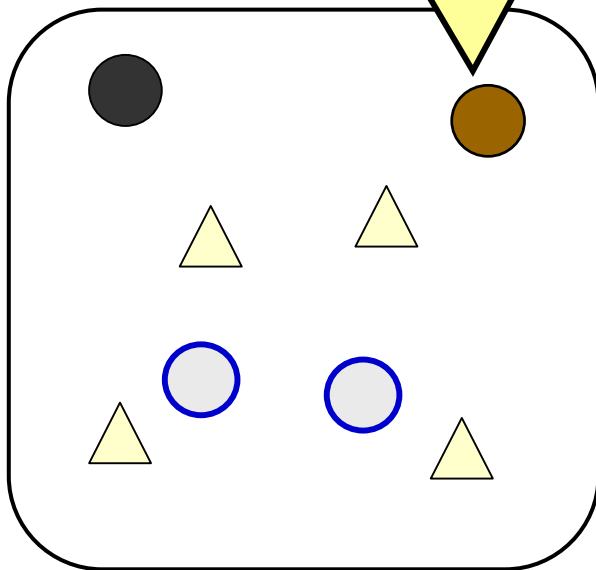
- △ : 家庭
- : 電柱
- (blue) : ク設候補
- (black) : 永久禁止

解法の手順

Step2-1

前のStepで決めたクージャ設置候補
一時的に候補に選ばれないようにする
(一時的使用禁止)

⇒ 暫定の総費用

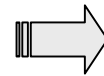
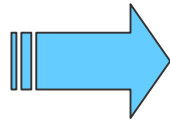
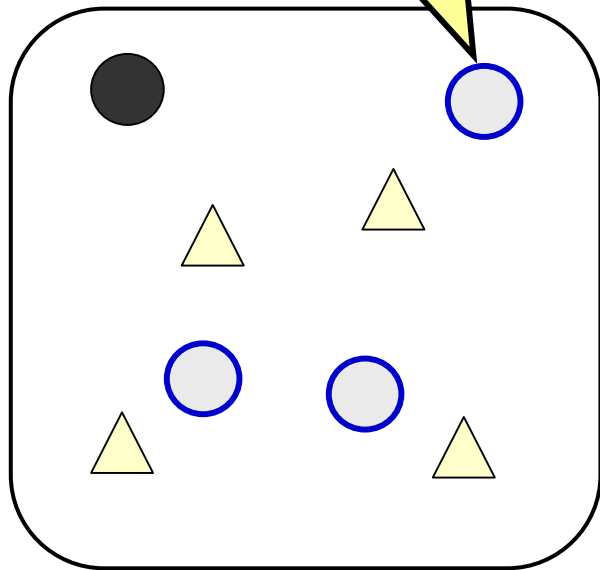


- △ : 家庭
- : 電柱
- (blue) : ク設候補
- (black) : 永久禁止
- (brown) : 一時禁止

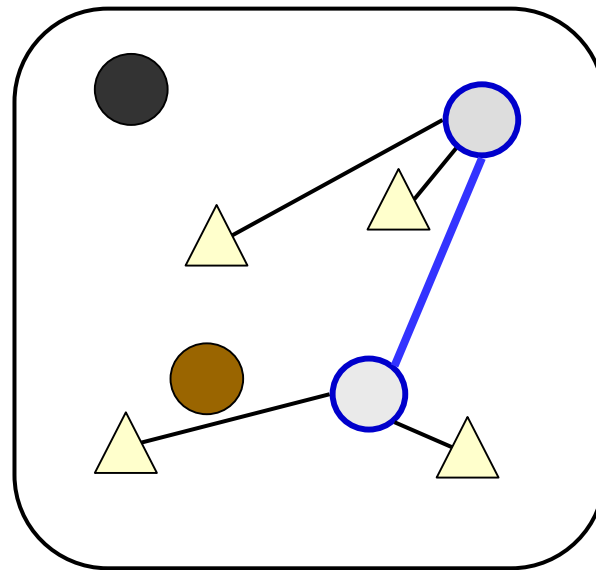
解法の手順

Step2-2

一時的使用禁止 禁止解除



全てのクロージャ設置候補について
同様の操作



- △ : 家庭
- : 電柱
- : ク設候補
- : 永久禁止
- : 一時禁止

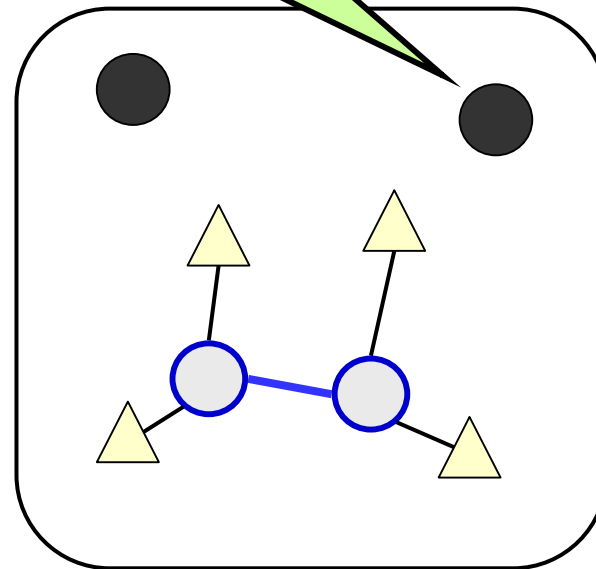
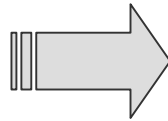
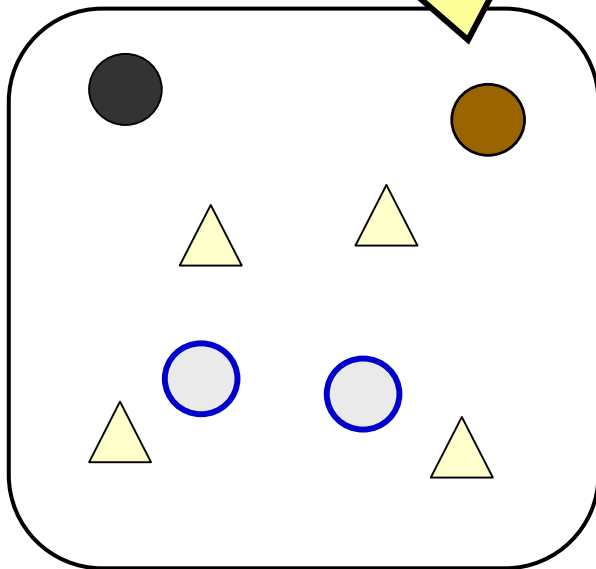
解法の手順

Step3-1

Step2で求めた暫定総費用が最小となるときに
一時的禁止にした電柱

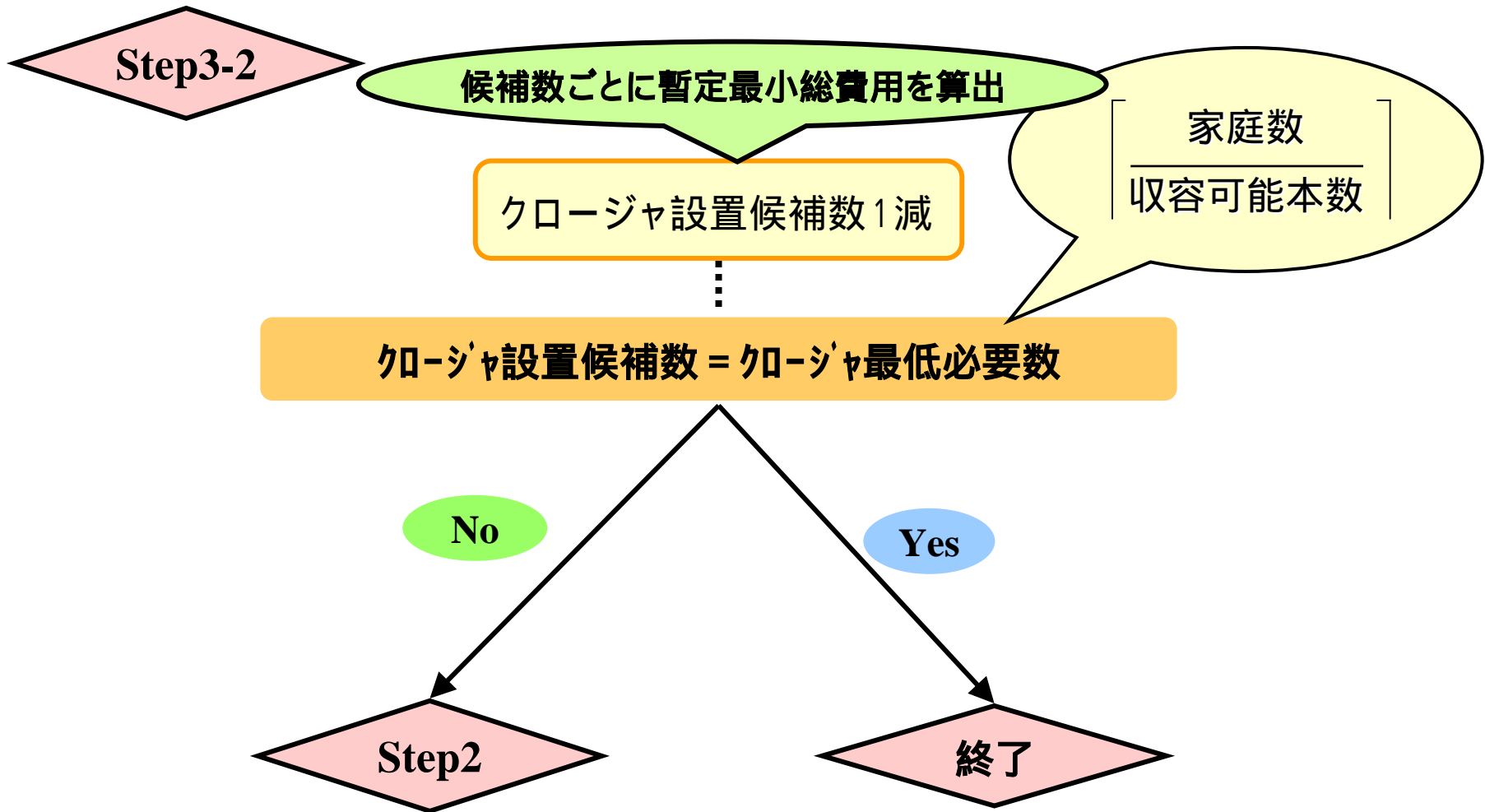
クロージャ設置候補数1減

永久に使用禁止



- △ : 家庭
- : 電柱
- (blue) : ク設候補
- (black) : 永久禁止
- (brown) : 一時禁止

. 解法の手順



数値実験

実験で用いたデータ

家庭数: 100、150、200

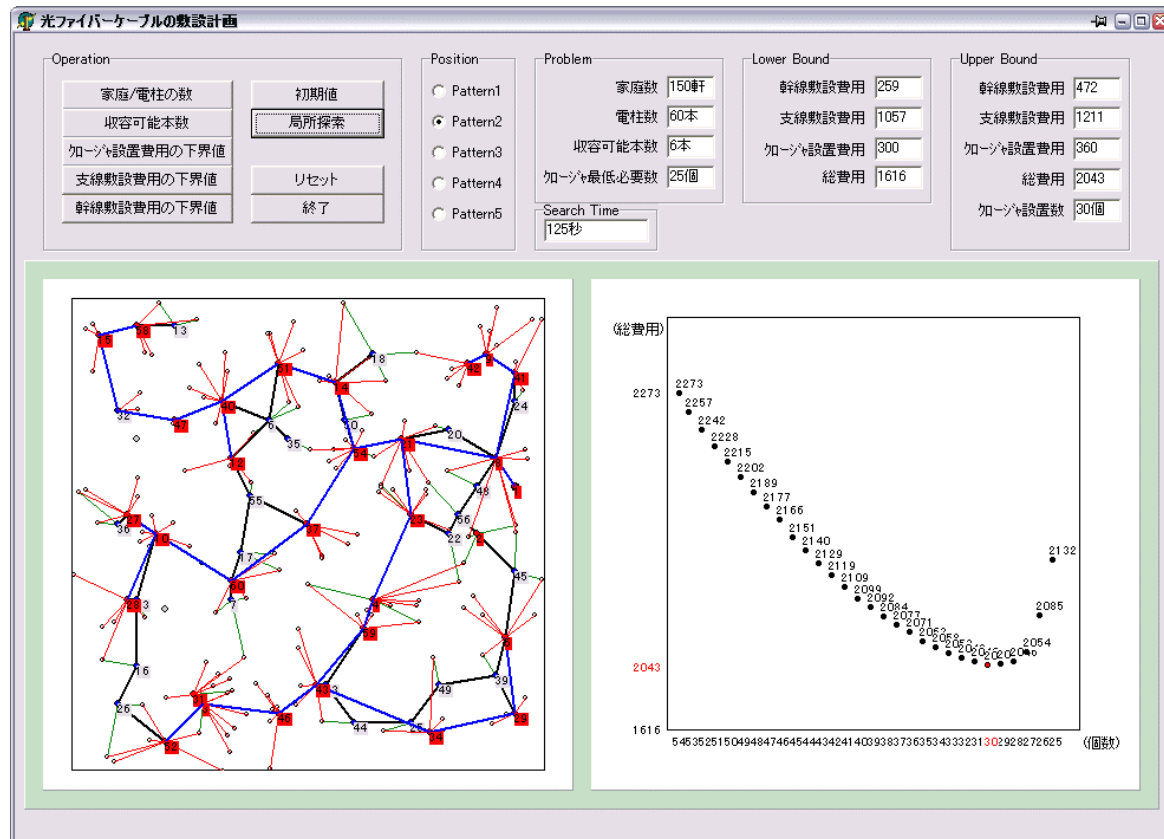
電柱数: 30、60

面積一定の敷設エリア内に
特定の乱数系列で発生

クージャの収容可能本数: 4、6

実験に用いたプログラム

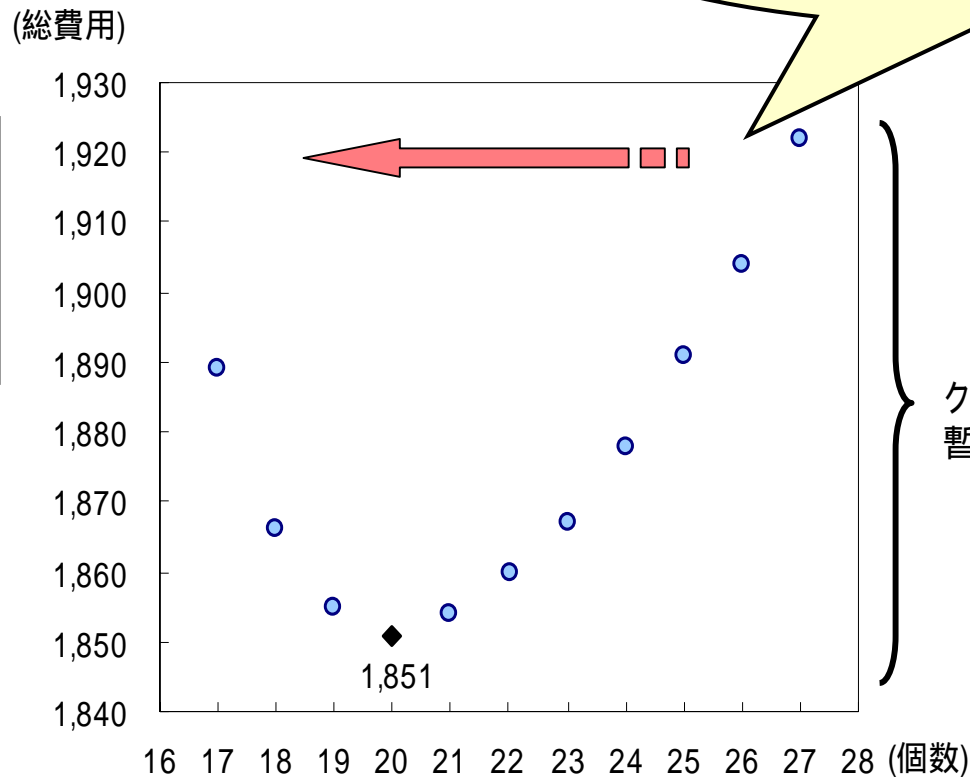
Borland社のDelphi6で作成



実験結果と考察

クロージャ設置候補数に対する暫定最小総費用の推移

家庭数:100
電柱数:30
収容可能本数:4
ク最低必要数:17



アルゴリズム的にはクロージャ設置候補数の減少方向(右 左)

クロージャ設置候補数ごとの暫定最小総費用

実験結果と考察

クロージャ設置候補数に対する暫定最小総費用の推移

減少部分

クロージャ設置費用と幹線敷設費用の減少

下に凸の部分 = 最適値

クロージャ設置費用と幹線敷設費用の減少

均衡

支線敷設費用の増加

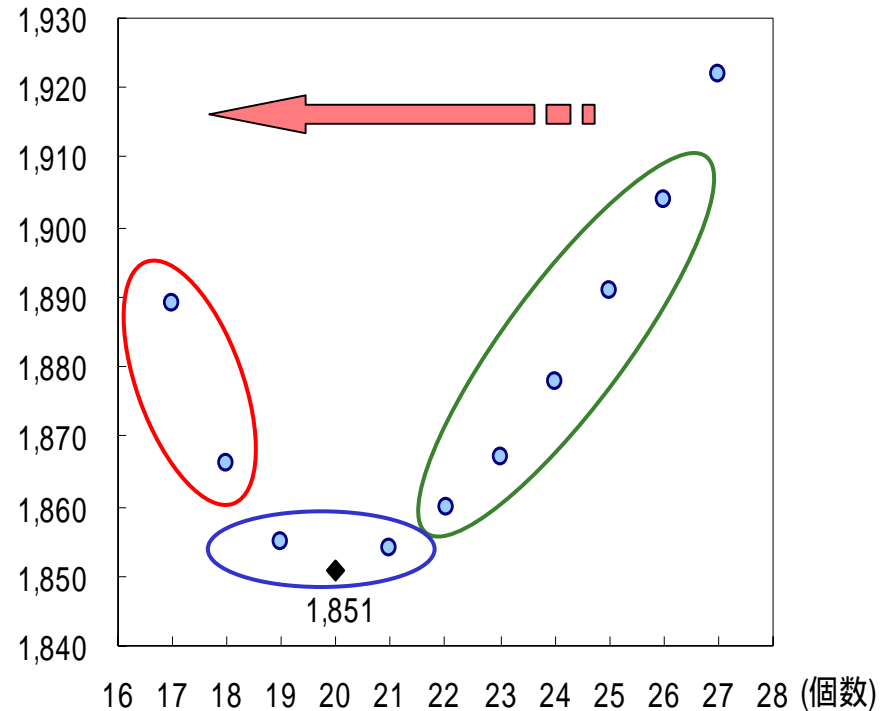
増加部分

支線敷設費用の急激な増加

支線敷設費用増加の原因

候補数の減少 ある時点から遠い電柱に接続する家庭が急増するため

(総費用)



実験結果と考察

家庭数に対する各費用の推移と内訳

各費用：家庭数にほぼ比例して増加

しかし

幹線敷設費用：他の費用に比べて
変化量が小さい

原因

敷設エリアにおける電柱の分布がほぼ均一であるため



家庭数の増加に伴いクロージャが増えても、
幹線の総経路長には大して差が出ない事がある

(費用)

3000

2500

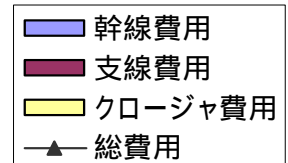
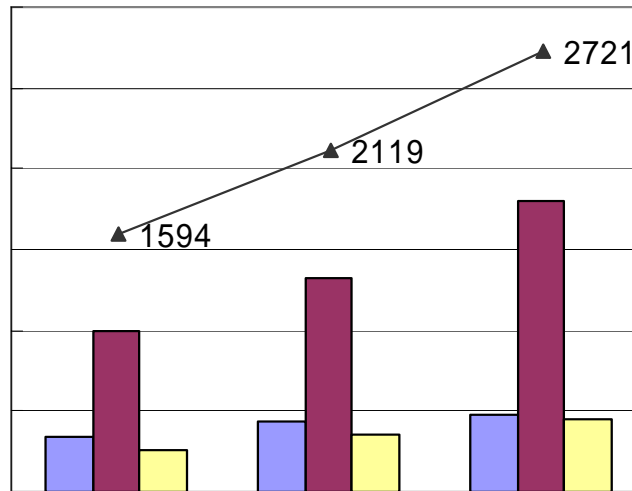
2000

1500

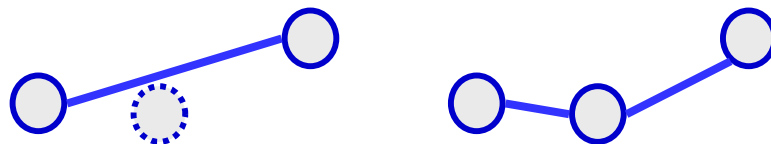
1000

500

0



(家庭数)



総経路長にあまり差が出ない

. まとめ

光ファイバーケーブルの敷設計画問題

モデルの簡略化

… 複雑と思われた文献[1]のモデルを一部簡略化

アルゴリズムの考案

… 簡略化したモデルに対するアルゴリズムの考案

数値実験

… 考案したアルゴリズムは有効であると考えられた

優れている点

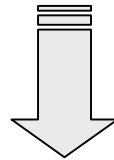
… 費用の傾向が簡単に把握できる

シンプルなモデルにより問題を高速に解く事ができる

今後の課題

本研究 : 幹線の敷設はクロージャを設置した電柱に限定

実際 : クロージャを設置しない電柱を経由する事がある



これを考慮したモデルの構築

XI. 参考文献

- [1]森山弘海,羽田隆男:ラグランジアン・ヒューリスティック法に基づく光ファイバーケーブルの敷設計画法,日本経営工学会論文誌, Vol.54, No.6, pp.374-381, 2004.
- [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]fromNTT東日本:2004年5月号
(http://www.ntt-east.co.jp/fromn-east/200405_1.html)
- [4]BizTech Special『FTTHの衝撃』:
(<http://premium.nikkeibp.co.jp/ftth/>)