

# 全国消防イメージキャラクター 愛称募集



平均対応時間短縮のための  
救急車の配備計画について

南山大学 稲川敬介

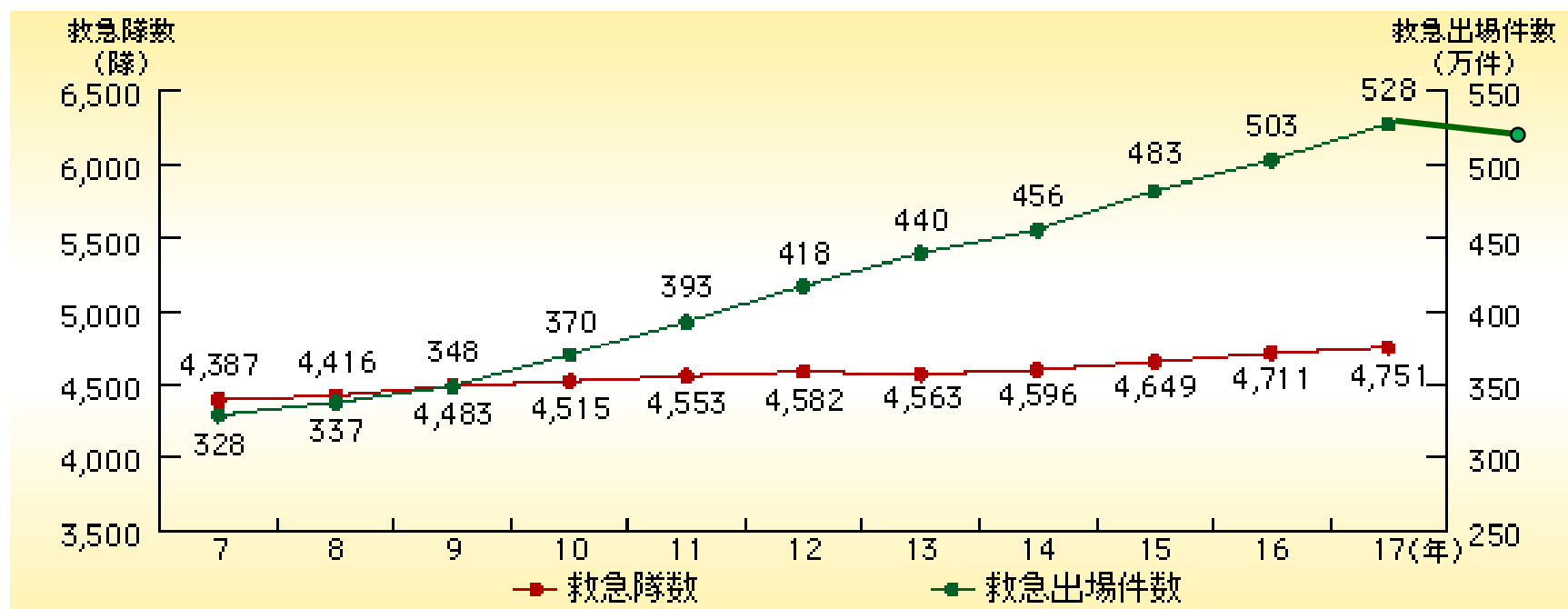
# 救急車の出動件数523万件、史上初の減少 消防庁調べ

2007年09月08日

06年の救急車の出動件数は約523万件で前年より約5万件少なく、史上初めて減少したことが7日、総務省消防庁のまとめでわかった。

第5図 救急出場件数と救急隊数の推移

消防白書（総務省消防庁）



# 問題解決の授業

中学生版



- ▶ **問題解決に役立つ手法(ツール)**
  - ▶ 分解の木(問題の細分化)
  - ▶ はい,いいえの木(原因追究,道筋の明確化)
  - ▶ 課題分析シート(解決に必要な行動の明確化)
  - ▶ 仮説の木(話の道筋を整理する)
  - ▶ マトリックス(効果的な手立ての見極め)
  - ▶ 実行プラン(問題可決のスケジュール)

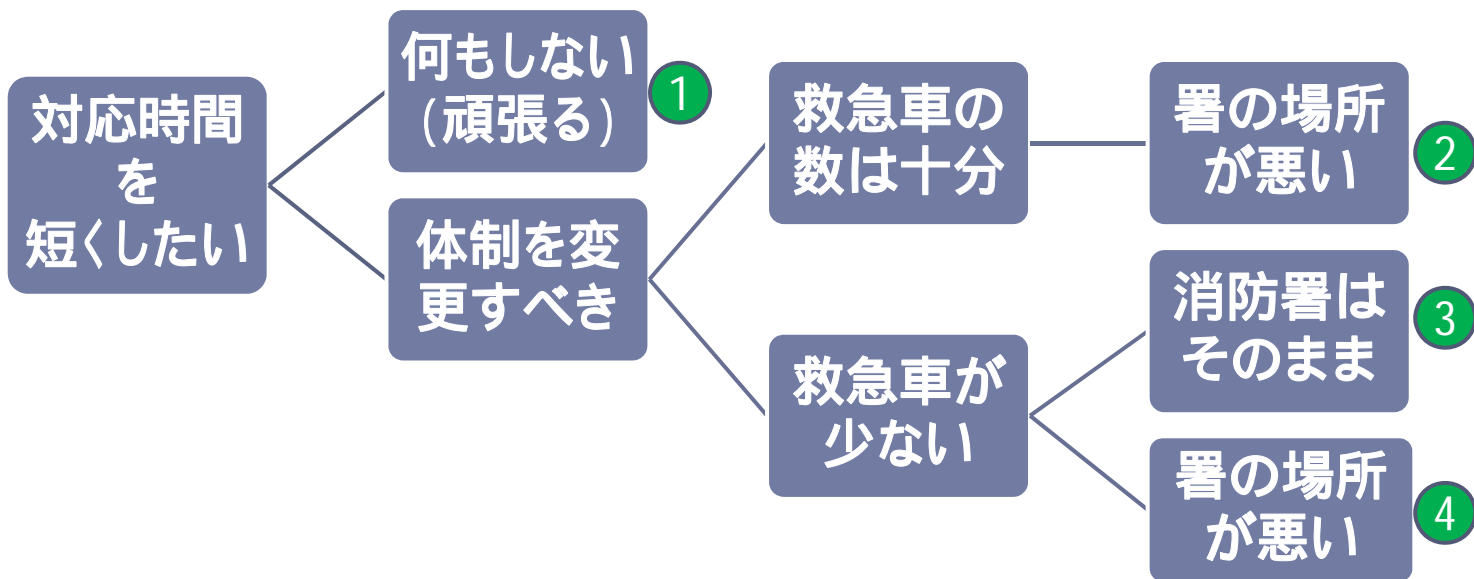
高校生以上

- ▶ **オペレーションズ・リサーチ (OR)**

# 分解の木

① 現状：  
費用なし

② 消防署を移転：  
建築費2億円



③ 救急車の増設：  
救急車代3000万円 + 人件費

④ 消防署と救急車の増設：  
建築費 + 救急車代 + 維持費



# 意思決定を支援

## ▶ 費用と効果

- ▶ 救急車の増設は消防署の移転より効果が小さいが、数十年後を考えると消防署の移転より費用がかかる。

## ▶ ORの手法: シミュレーション

- ▶ 詳細な情報による分析
- ▶ 科学的に将来を予測  
意思決定を支援

オペレーションズ・リサーチ (OR)

1	現状:
	費用なし
	対応時間はそのまま
2	消防署の移転:
	建築費2億円
	対応時間が平均20秒短縮
3	救急車の増設:
	救急車代3000万円 + 人件費
	対応時間が平均10秒短縮
4	消防署と救急車の増設:
	建築費 + 救急車代 + 維持費
	対応時間が平均30秒短縮

# OUTLINE

---

- ▶ はじめに
  - ▶ ORの紹介
- ▶ **救急車のモデル**
  - ▶ Markov連鎖モデル, シミュレーションモデル
- ▶ **救急車の配備計画**
  - ▶ 瀬戸市の例, シミュレーション
- ▶ **最適化手法を利用した配備計画**
  - ▶ メディアン, センター
- ▶ おわりに





## 救急車のモデル

Markov連鎖モデル, シミュレーションモデル

# 救急車に関する業務

確率を伴う、  
不確定な作業  
を繰り返す業務

帰署：  
準備、待機

覚知：  
呼出しの発生

出場：  
救急車の選択

確率モデル

現着：  
現場での処置

搬送：  
病院へ搬送

搬送は必  
要ないか  
もしれない

いつどこで  
起こるかわ  
からない

近い救急車  
は出場中か  
もしれない

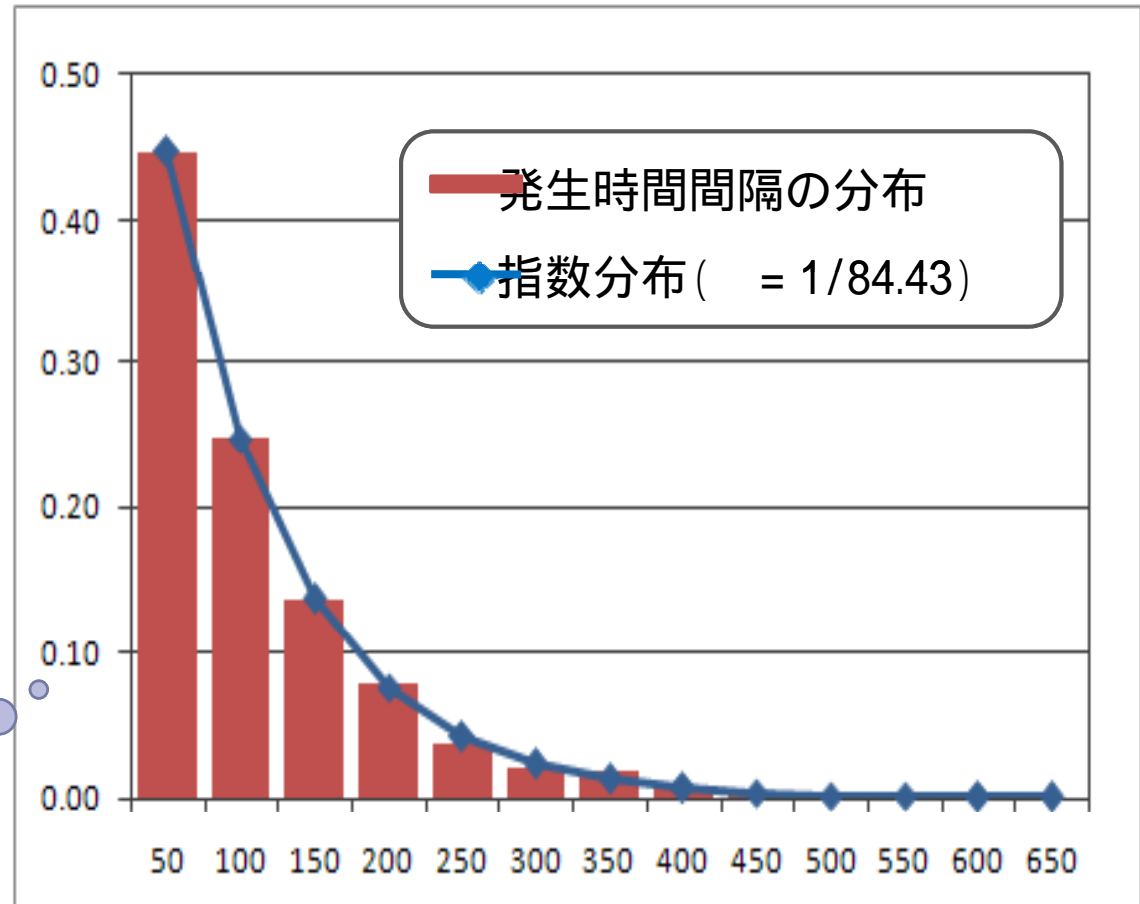




# 発生時間間隔

- ▶ 平成15年, 8:00 ~ 22:00 の間に発生した出場要請の発生時間間隔分布.
- ▶ 縦軸: 確率(頻度)
- ▶ 横軸: 分
- ▶ 平均 84.43 分
- ▶ 指数分布

「でたらめ」  
という  
「規則」



# 救急車モデル

	Markov 連鎖モデル	Simulation モデル
発生時間分布	指数分布	一般 (指数分布)
サービス時間分布	指数分布	一般 (指数分布)
救急車の台数	1 ~ 4 台	任意 (1 ~ 12 台+)
系内滞在		ム)

Simulation モデルの長所:

- わかりやすい, どんな仮定もできる

Simulation モデルの短所:

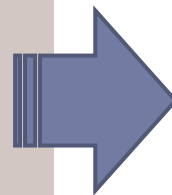
- 値が不安定

## ▶ 基本的な

- ▶ 平均発生時間間隔, 平均サービス時間, 平均準備時間, 呼損費用

## ▶ 需要量 (町丁目人口)

## ▶ 移動時間行列



- ▶ 住民が救急車を呼んだしてから, 救急車が現場に到着するまでの平均時間

## ▶ 呼損率

- ▶ すべての救急車が出場中であるため, 呼出しに対応できない率

# シミュレーションLOG

id	Time	IthOrder	Ambulance	Node	ResponseTi	ServiceTime
LOG101	9275.17	1	1	1012	5.9276	10.7742
LOG102	9338.03	1	1	828	2.3916	41.8942
LOG103	9362.83	1	4	1205	4.8378	50.8163
LOG104	9380.18	1	4	2107	5.5362	2.6558
LOG105	9398.41	1	3	512	5.3975	15.6839
LOG106	9546.58	2	2	1021	5.1907	25.9254
LOG107	9552.34	1	3	1110	4.3767	66.5096
LOG108	9592.35	1	1	2005	3.4639	113.0853
LOG109	9681.42	4	4	1113	14.4680	143.1240
LOG110	9913.11	1	1	2015	3.8746	24.8141
LOG111	10016.54	1	3	505	4.3284	22.2375
LOG112	10156.42	1	4	1263	4.7441	70.2920
LOG113	10215.50	1	4	1225	8.5440	12.3265
LOG114	10228.54	1	3	1117	3.8927	67.9657
LOG115	10354.04	1	1	721	4.9663	58.8770
LOG116	10387.51	1	4	2307	5.5051	6.0407
LOG117	10392.90	1	3	1109	4.6667	23.5314
LOG118	10402.66	2	1	306	7.6584	12.3259

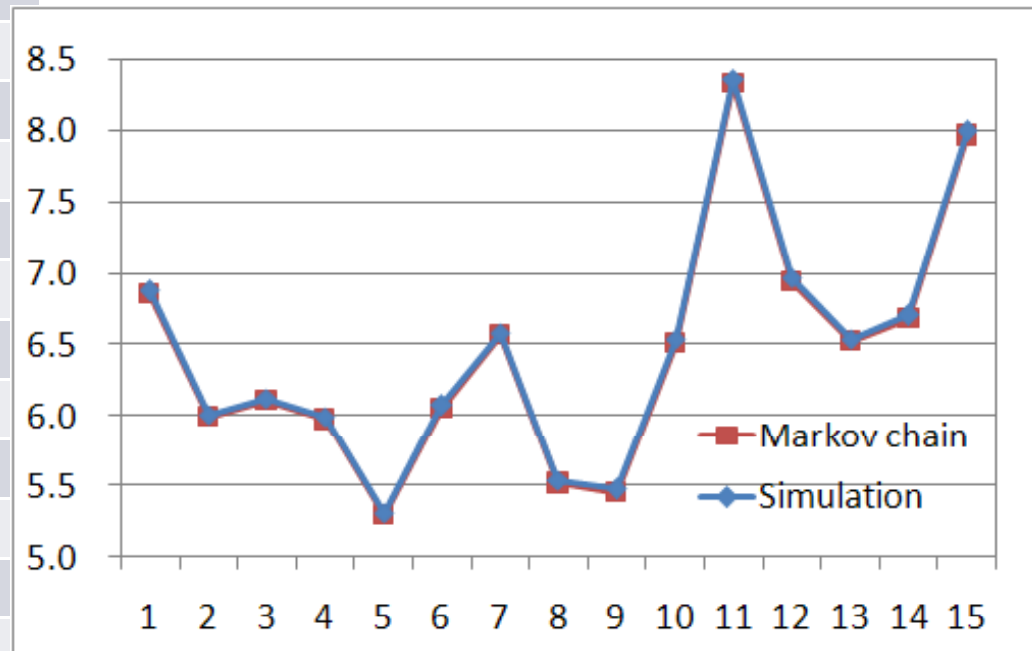
立て続け  
に発生!!

# Markov 連鎖モデルとシミュレーション

ある配置を与えたときの平均  
対応時間の比較

平均対応時間	Markov連鎖	シミュレーション
{ 1, 1, 1, 1 }	6.8543	6.8763
{ 1, 1, 1, 2 }	5.9946	6.0086
{ 1, 1, 1, 3 }	6.1087	6.1227
{ 1, 1, 2, 2 }	5.9759	5.9935
{ 1, 1, 2, 3 }	5.2952	5.3081
{ 1, 1, 3, 3 }	6.0563	6.0727
{ 1, 2, 2, 2 }	6.5669	6.5788
{ 1, 2, 2, 3 }	5.5170	5.5354
{ 1, 2, 3, 3 }	5.4559	5.4727
{ 1, 3, 3, 3 }	6.5128	6.5357
{ 2, 2, 2, 2 }	8.3256	8.3518
{ 2, 2, 2, 3 }	6.9452	6.9669
{ 2, 2, 3, 3 }	6.5232	6.5396
{ 2, 3, 3, 3 }	6.6871	6.7029
{ 3, 3, 3, 3 }	7.9638	7.9945

5000件の呼出しに対応するシミュレーションを100回繰り返し、その平均を値とする。



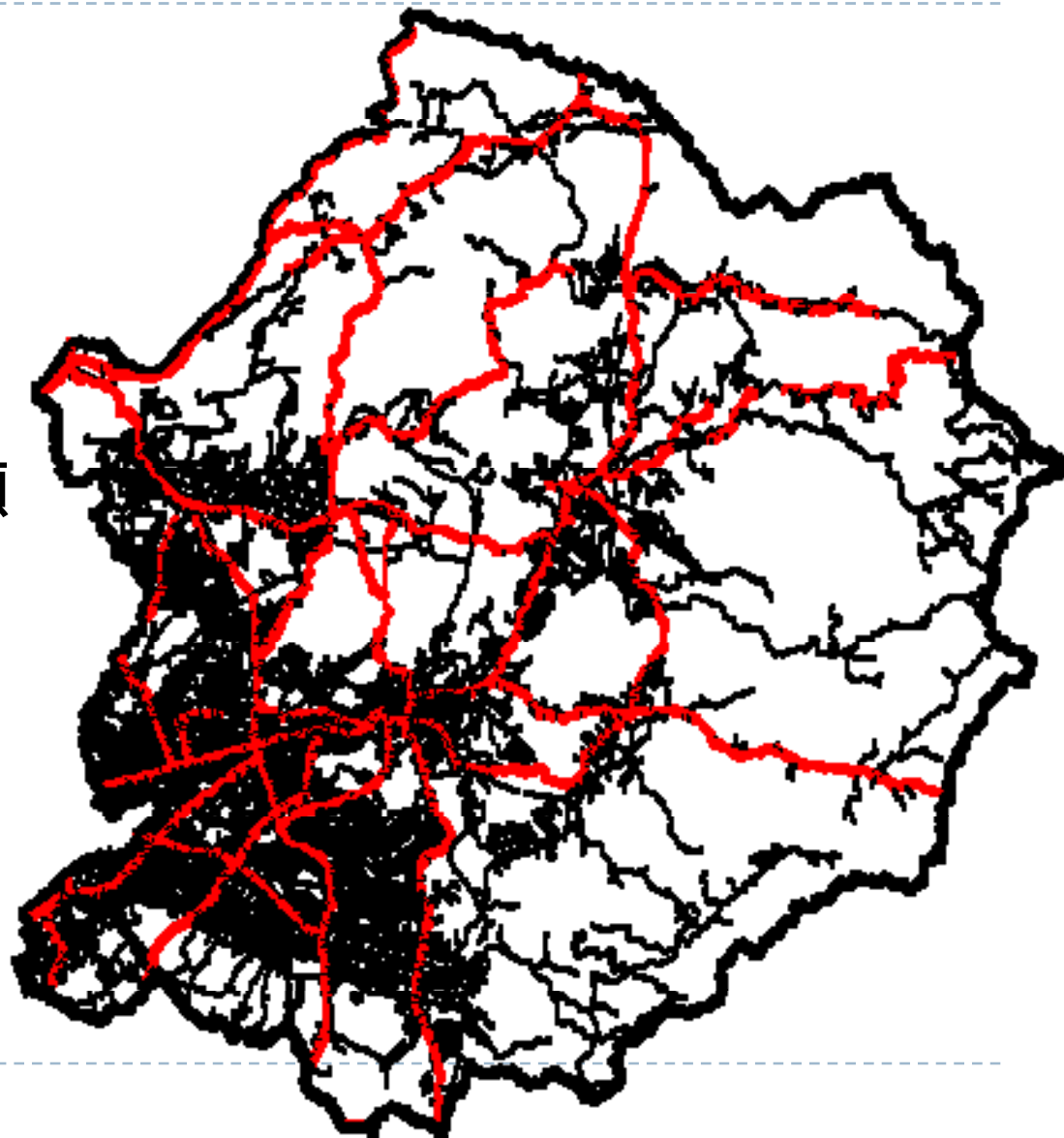
# 救急車の再配備計画

瀬戸市の例

# 一般道路と幹線道路

---

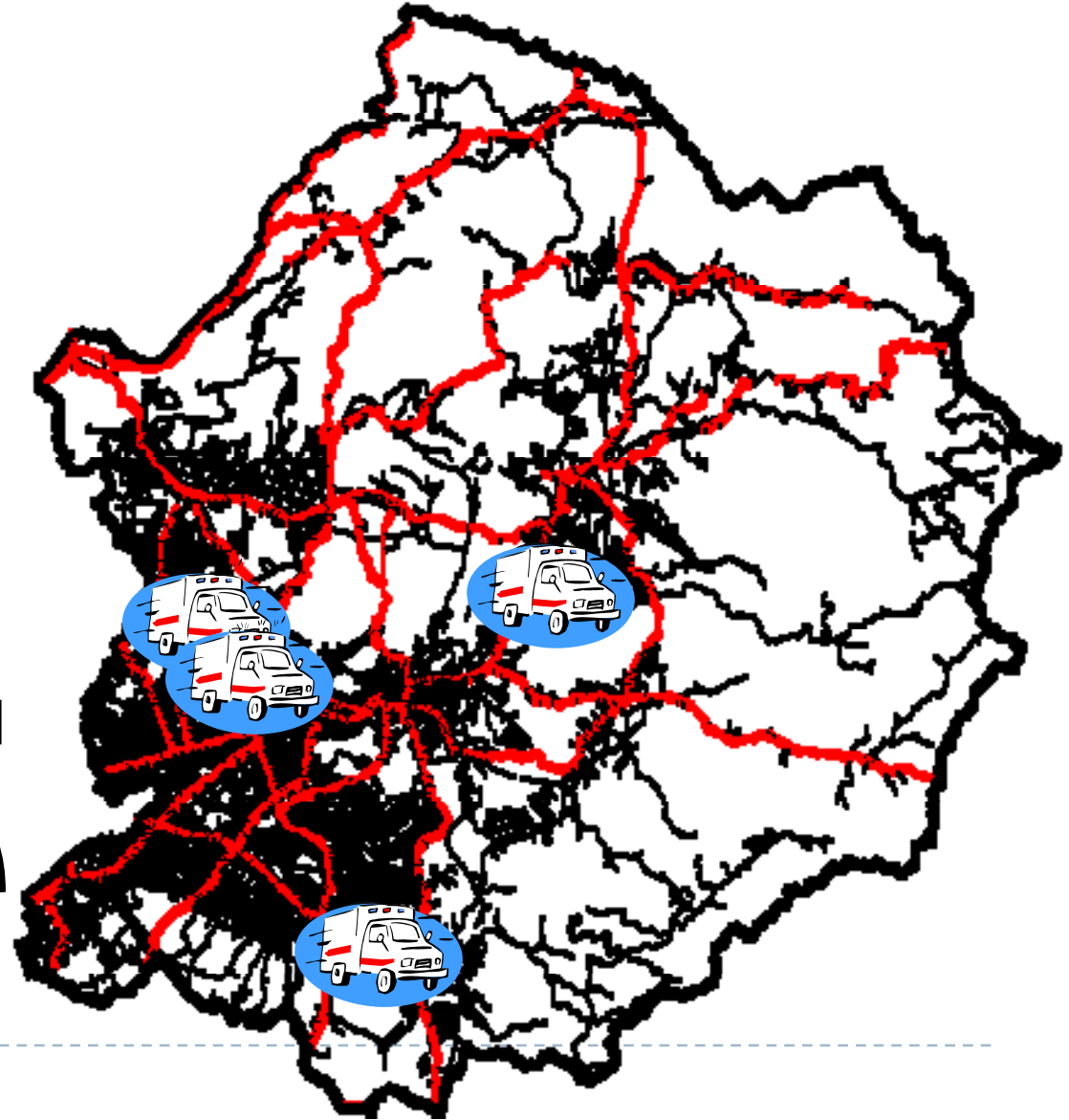
- ▶ 瀬戸市
  - ▶ 人口13万人
- ▶ 数値地図2500
  - ▶ 国土地理院
- ▶ 平成13年から15年の瀬戸市救急データから回帰分析
- ▶ 速度
  - ▶ 一般道 : 28.7 km/時
  - ▶ **幹線道** : 43.5 km/時



## 現状の配備場所

---

- ▶ ●は消防署
- ▶ 実際の配備：  
{1,1,2,3}
- ▶ 署1に2台
- ▶ 署2に1台
- ▶ 署3に1台
- ▶ 救急車の配備を変更してシミュレーション実験をおこない、より良い配備について考える



# シミュレーション実験

---

現状

実験 1 :	現在保有する施設のみを利用する場合
実験 2 :	新たに1箇所の消防署(救急車の格納施設)を建設可能な場合
実験 3 :	新たに1台の救急車を購入可能な場合
実験 4 :	新たに1箇所の消防署(救急車の格納施設)の建設と, 1台の救急車を購入可能な場合

---





# 実験1の結果

配備	平均対応時間	呼損率
{1,1,2,3}	5.3081	0.0031
{1,2,3,3}	5.4727	0.0032
{1,2,2,3}	5.5354	0.0033
{1,1,2,2}	5.9935	0.0034
{1,1,1,1}	6.8763	0.0035
{3,3,3,3}	7.9945	0.0038
{2,2,2,3}	6.9669	0.0037



# シミュレーション実験

---

実験1:	現在保有する施設のみを利用する場合
実験2:	新たに1箇所の消防署(救急車の格納施設)を建設可能な場合
実験3:	新たに1台の救急車を購入可能な場合
実験4:	新たに1箇所の消防署(救急車の格納施設)の建設と, 1台の救急車を購入可能な場合



## 新施設の候補地

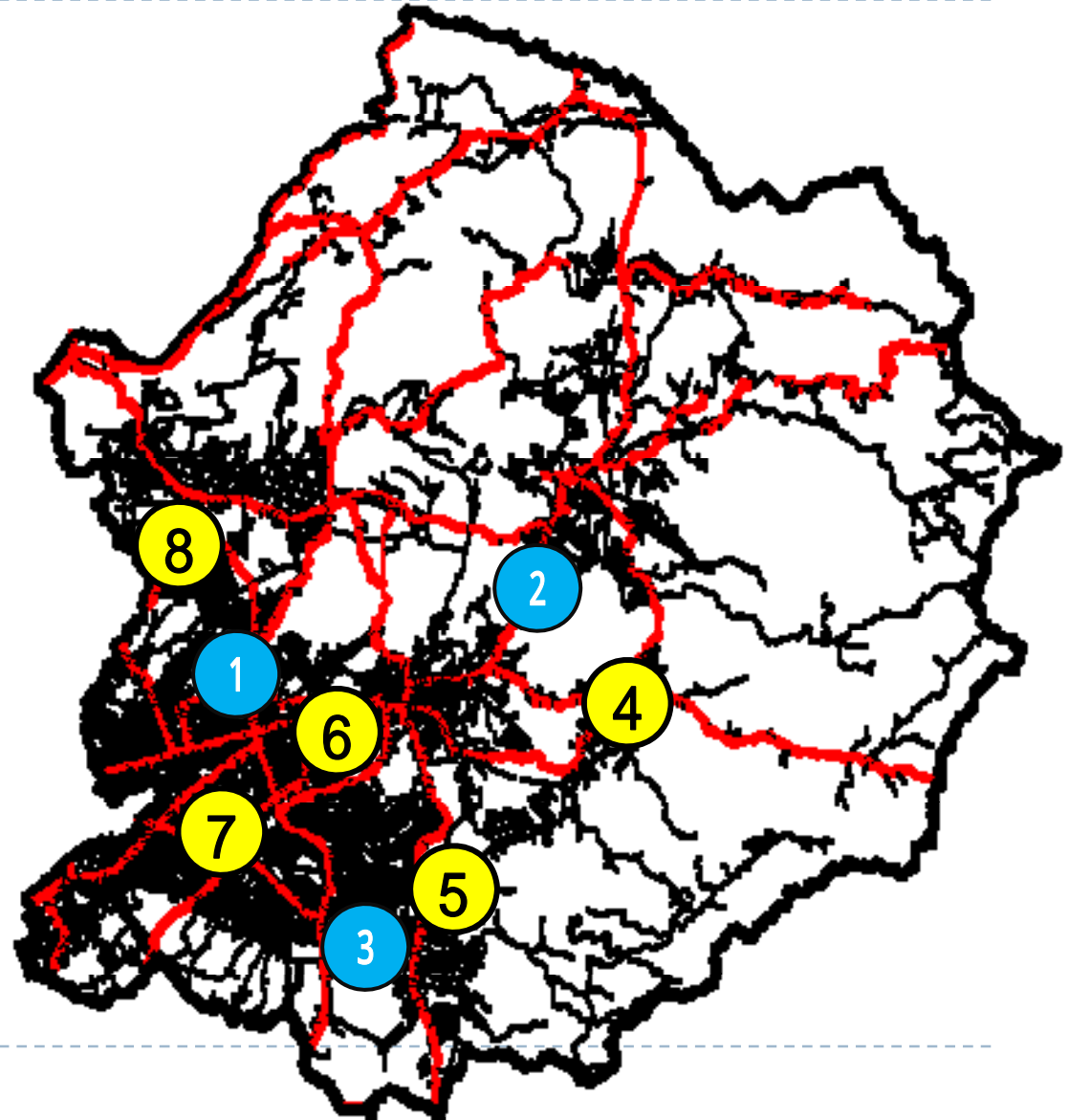
---

▶ 現有施設 [水色]

▶ 候補地 1,2,3

▶ 病院など [黄色]

▶ 候補地 4,5,6,7,8

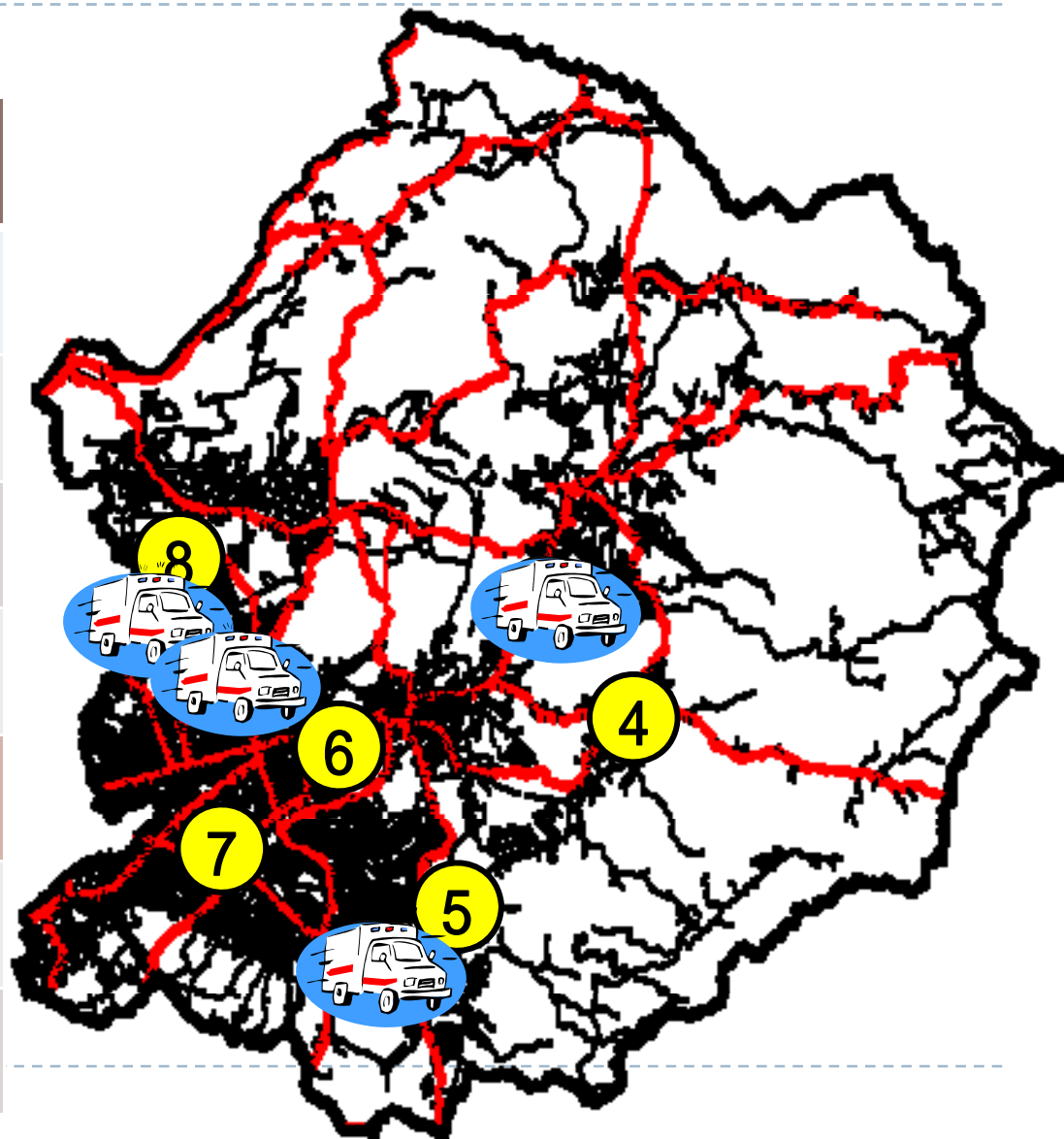


現状より  
約22秒  
の短縮

果

配備	平均対応時間	呼損率
{1,2,3,6}	4.9358	0.0033
{1,2,3,7}	5.0838	0.0034
{1,2,3,8}	5.2069	0.0032
{1,2,3,5}	5.2610	0.0033
{1,1,2,3}	5.3081	0.0031
{1,2,3,4}	5.4744	0.0036

現状



# シミュレーション実験

---

実験1:	現在保有する施設のみを利用する場合
実験2:	新たに1箇所の消防署を建設可能な場合
実験3:	新たに1台の救急車を購入可能な場合
実験4:	新たに1箇所の消防署(救急車の格納施設)の建設と, 1台の救急車を購入可能な場合

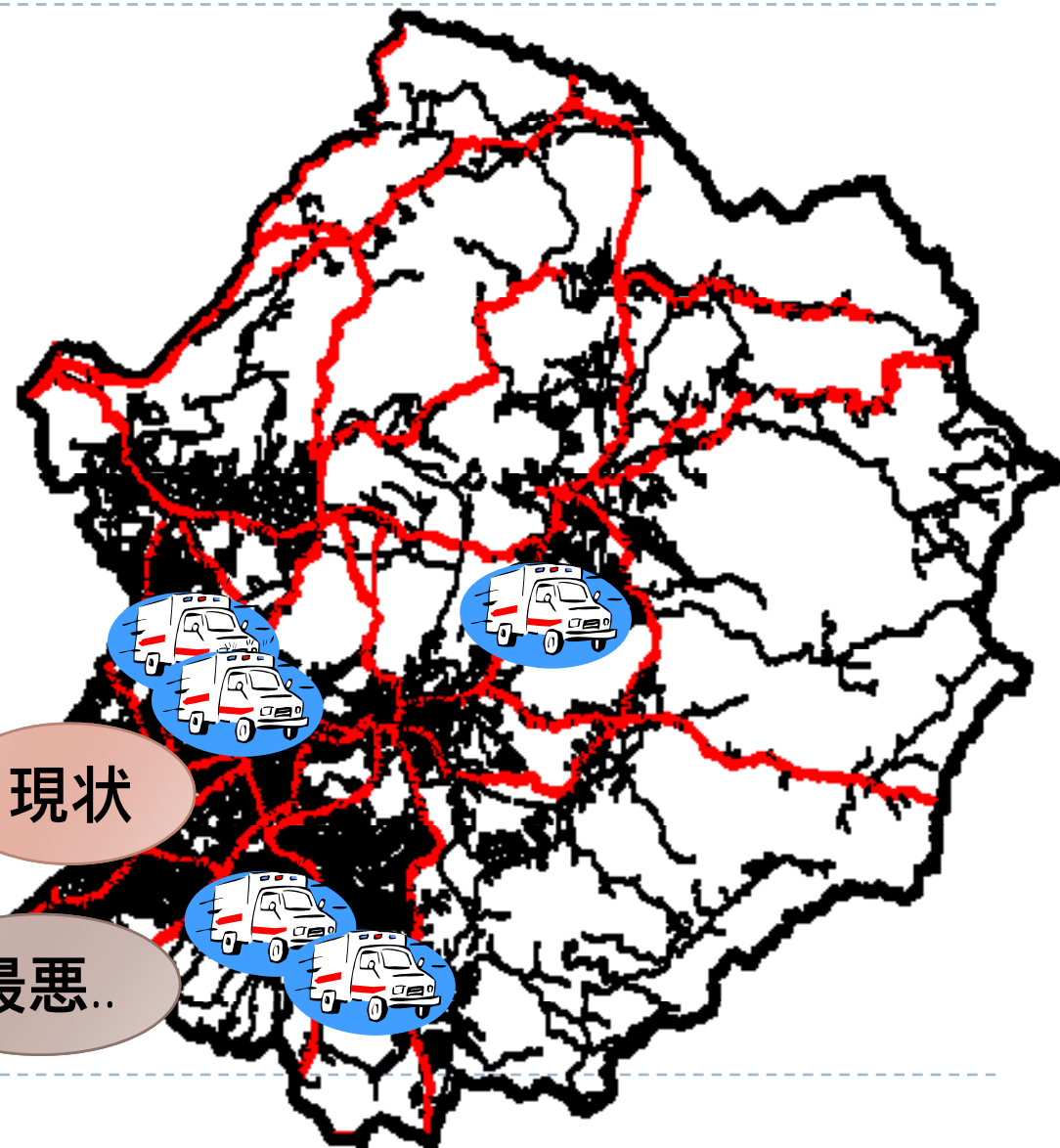
消防署は建設できない



現状より  
約10秒  
の短縮

果

配備	平均対応時間	呼損率
{1,1,2,3,3}	5.1281	0.0004
{1,1,2,2,3}	5.1499	0.0004
{1,1,1,2,3}	5.2225	0.0004
{1,1,2,3}	5.3081	0.0031
{1,1,1,2,2}	5.8331	0.0004
{3,3,3,3,3}	7.9571	0.0005
{2,2,2,2,2}	8.3226	0.0006



# シミュレーション実験

---

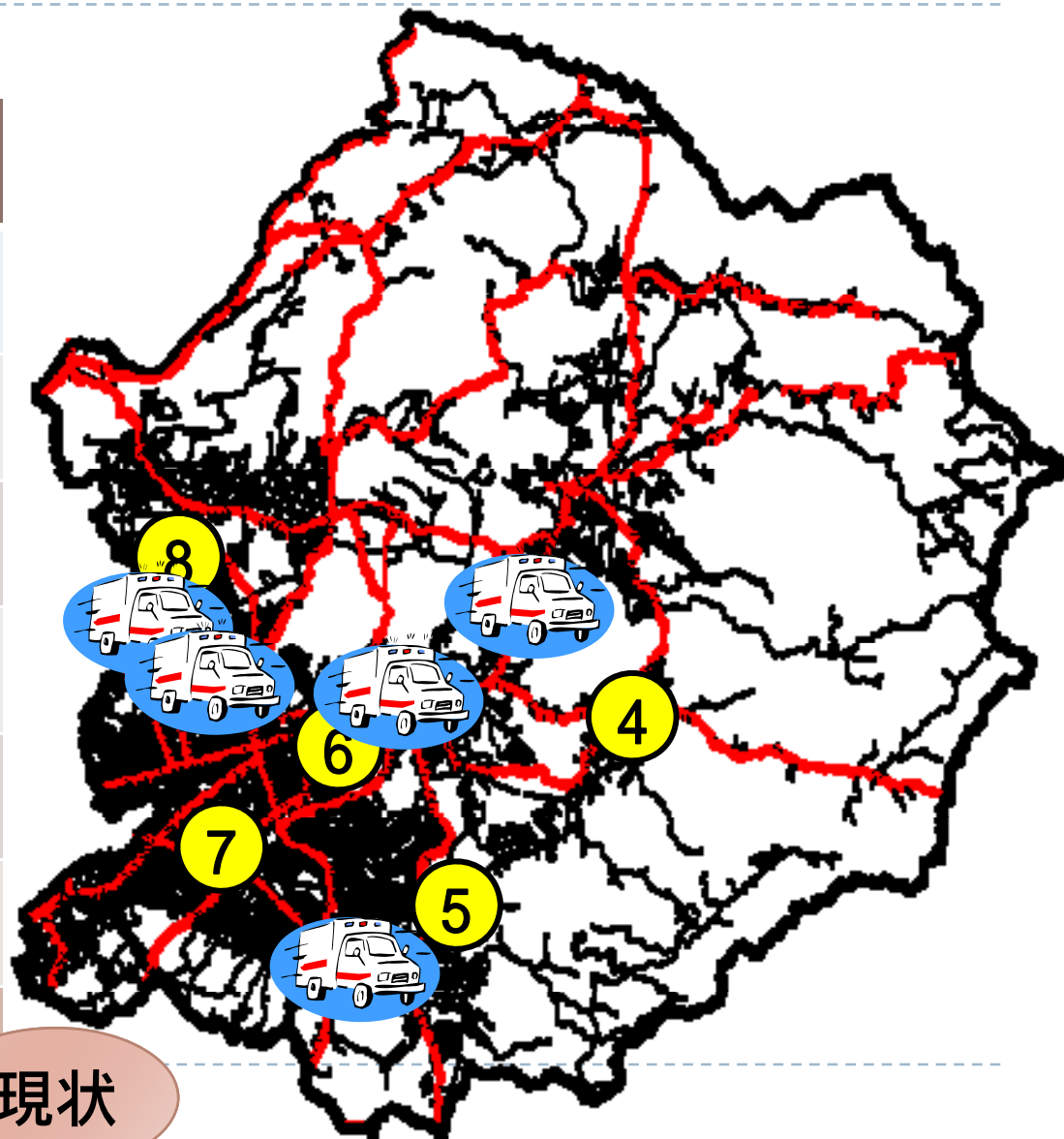
実験 1 :	現在保有する施設のみを利用する場合
実験 2 :	新たに1箇所の消防署(救急車の格納施設)を建設可能な場合
実験 3 :	新たに1台の救急車を購入可能な場合
実験 4 :	新たに1箇所の消防署(救急車の格納施設)の建設と, 1台の救急車を購入可能な場合



現状より  
約33秒  
の短縮

果

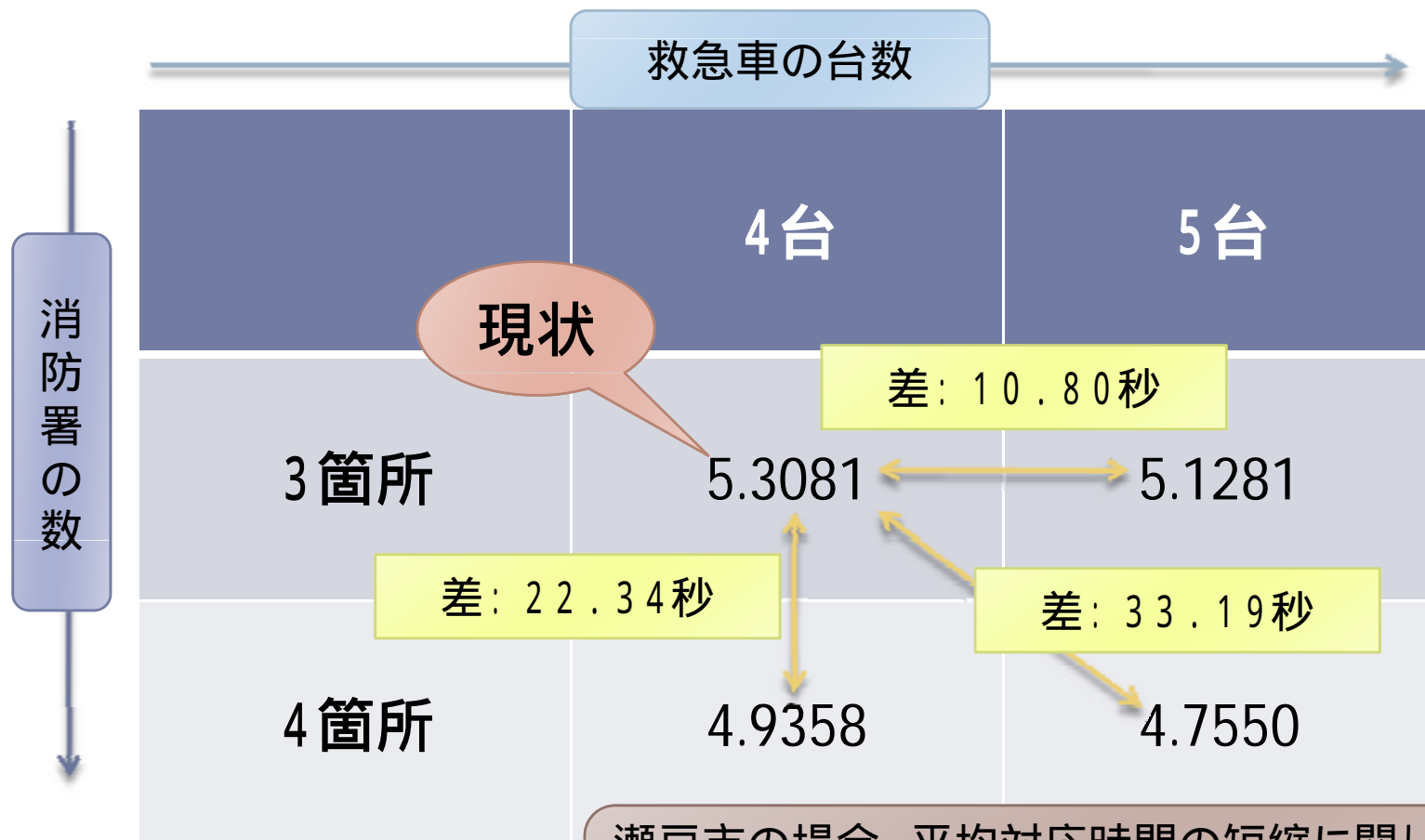
配備	平均対応時間	呼損率
{1,2,3,6,6}	4.7550	0.0004
{1,1,2,3,6}	4.7899	0.0004
{1,2,3,3,6}	4.8260	0.0004
{1,2,2,3,6}	4.8427	0.0004
{1,1,2,3,5}	4.9139	0.0004
{1,1,2,3,7}	4.9161	0.0004
{1,1,2,3}	5.3081	0.0031



現状



# 実験 1 ~ 4 の平均対応時間の比較

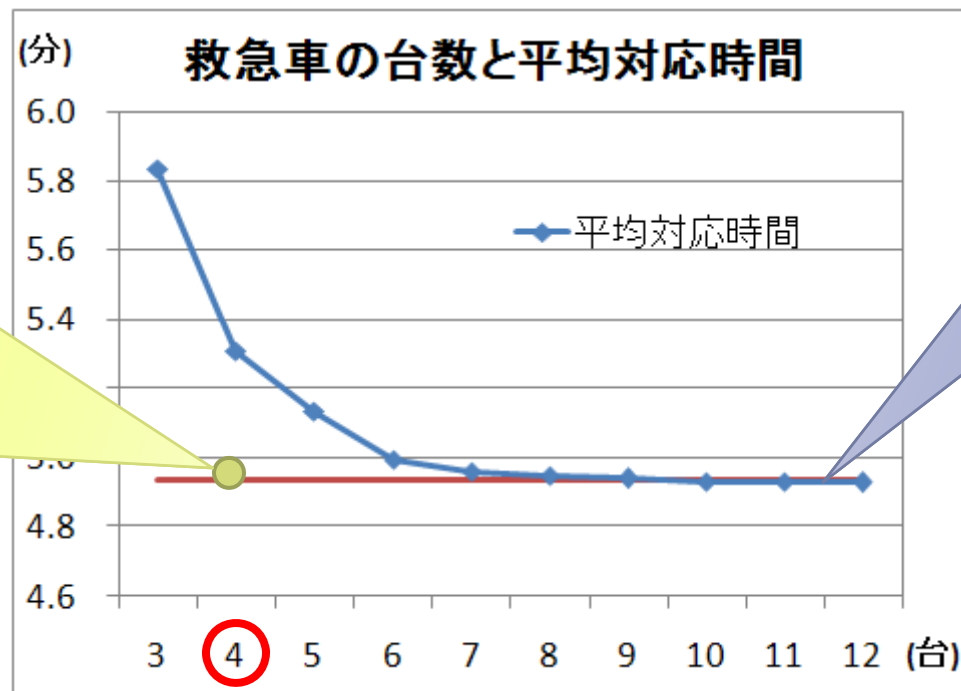


瀬戸市の場合、平均対応時間の短縮に関しては、救急車の台数を増やすよりも、消防署を増やす方が効果的

# 救急車の台数に関する考察

- ▶ 救急車の台数を増やす効果と、消防署を増やす効果の関係

配備場所を{1,2,3,6}にする場合, 4台の救急車を利用して平均対応時間は **4.9358** となる.



候補地を{1,2,3}のみに限定する場合, 平均対応時間が **4.9347** より小さくなることはない.

# 意思決定を支援

## ▶ 費用と効果

- ▶ 救急車の増設は消防署の移転より効果が小さいが、数十年後を考えると消防署の移転より費用がかかる。

## ▶ ORの手法: シミュレーション

- ▶ 詳細な情報による分析
- ▶ 将来の予測

意思決定を支援

オペレーションズ・リサーチ (OR)

1	現状:
	費用なし
	対応時間はそのまま
2	消防署の移転:
	建築費2億円
	対応時間が平均20秒短縮
3	救急車の増設:
	救急車代3000万円 + 人件費
	対応時間が平均10秒短縮
4	消防署と救急車の増設:
	建築費 + 救急車代 + 維持費
	対応時間が平均30秒短縮

# 最適化手法を利用した配備計画

メディアン，センター

# 新規の再配備計画

---

## 古典的な施設配置問題

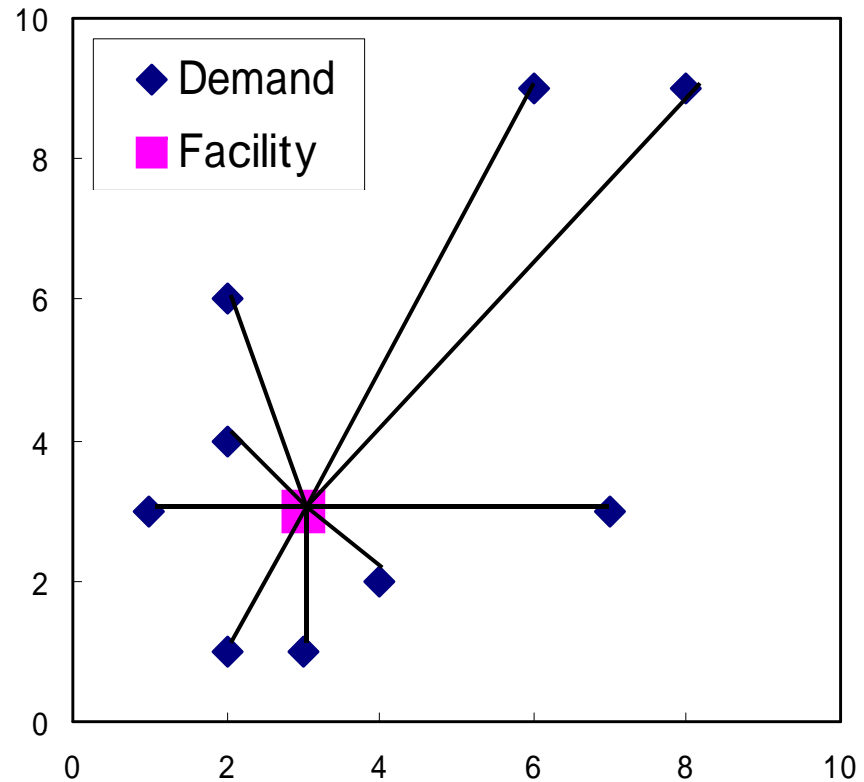
- ▶ **メディアン**:それぞれの需要点から最も近い施設までの総(平均)移動費用(距離)を最小にする点
  - ▶ 全体の移動距離を少なくする
- ▶ **センター**:それぞれの需要点から最も近い施設までの最大移動費用(距離)を最小にする点
  - ▶ 最も遠い需要点までの移動距離を短くする



# NW-メディアアン

- ▶ それぞれの需要点から最も近い施設までの総移動距離を最小にする点
- ▶ 全体の移動距離を最小にする

$$F(X_p) = \sum_{j=1}^n \min_i \{d(x_i, v_j) : x_i \in X_p\}$$

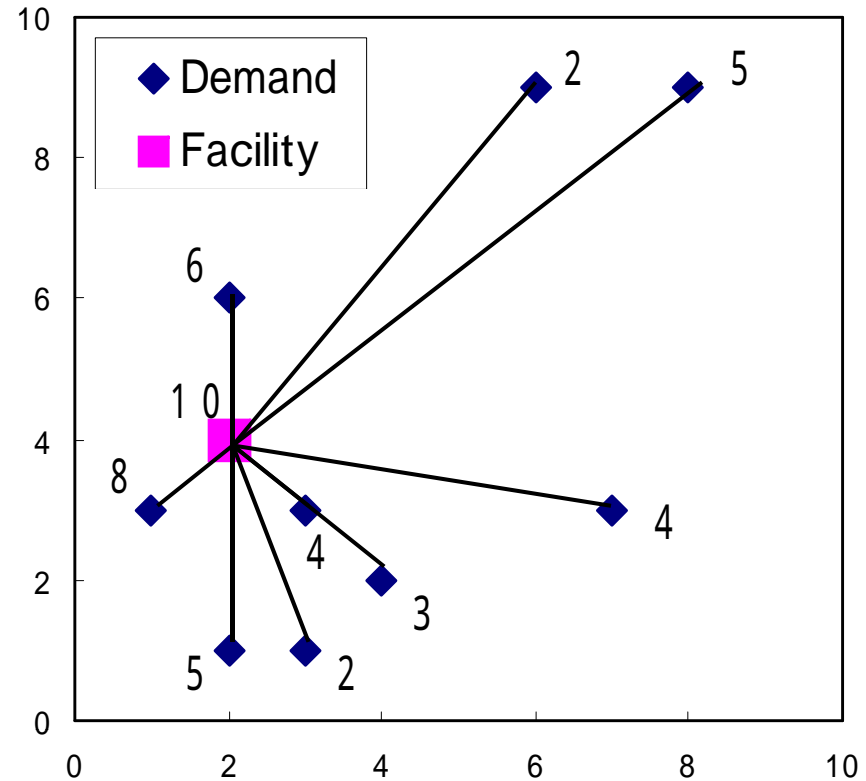


# メディアン

- ▶ それぞれの需要点から最も近い施設までの総移動距離を最小にする点
- ▶ 全体の移動距離を最小にする

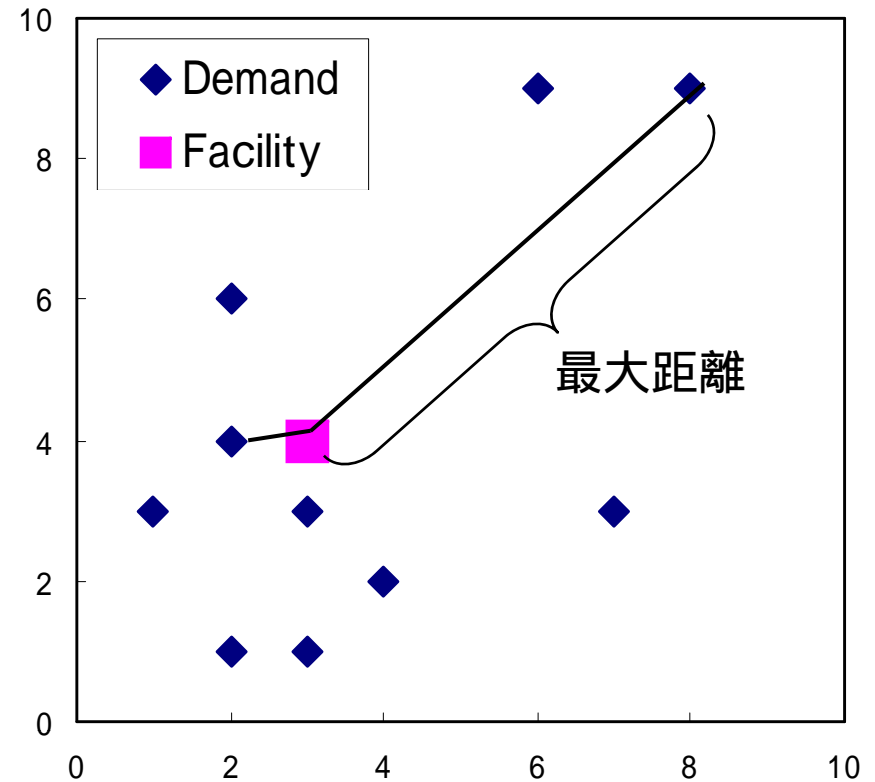
$$F(X_p) =$$

$$\sum_{j=1}^n h_j \min_i \{d(x_i, v_j) : x_i \in X_p\}$$



# センター

- ▶ それぞれの需要点から最も近い施設までの最大距離を最小にする点
  - ▶ 最も遠い人までの距離を最小にする

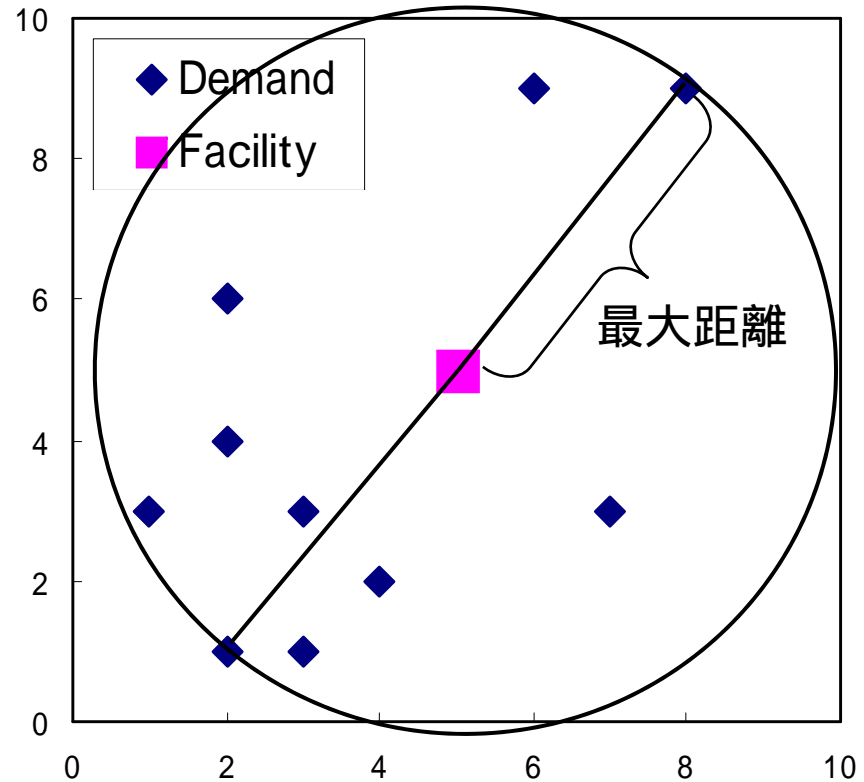




# センター

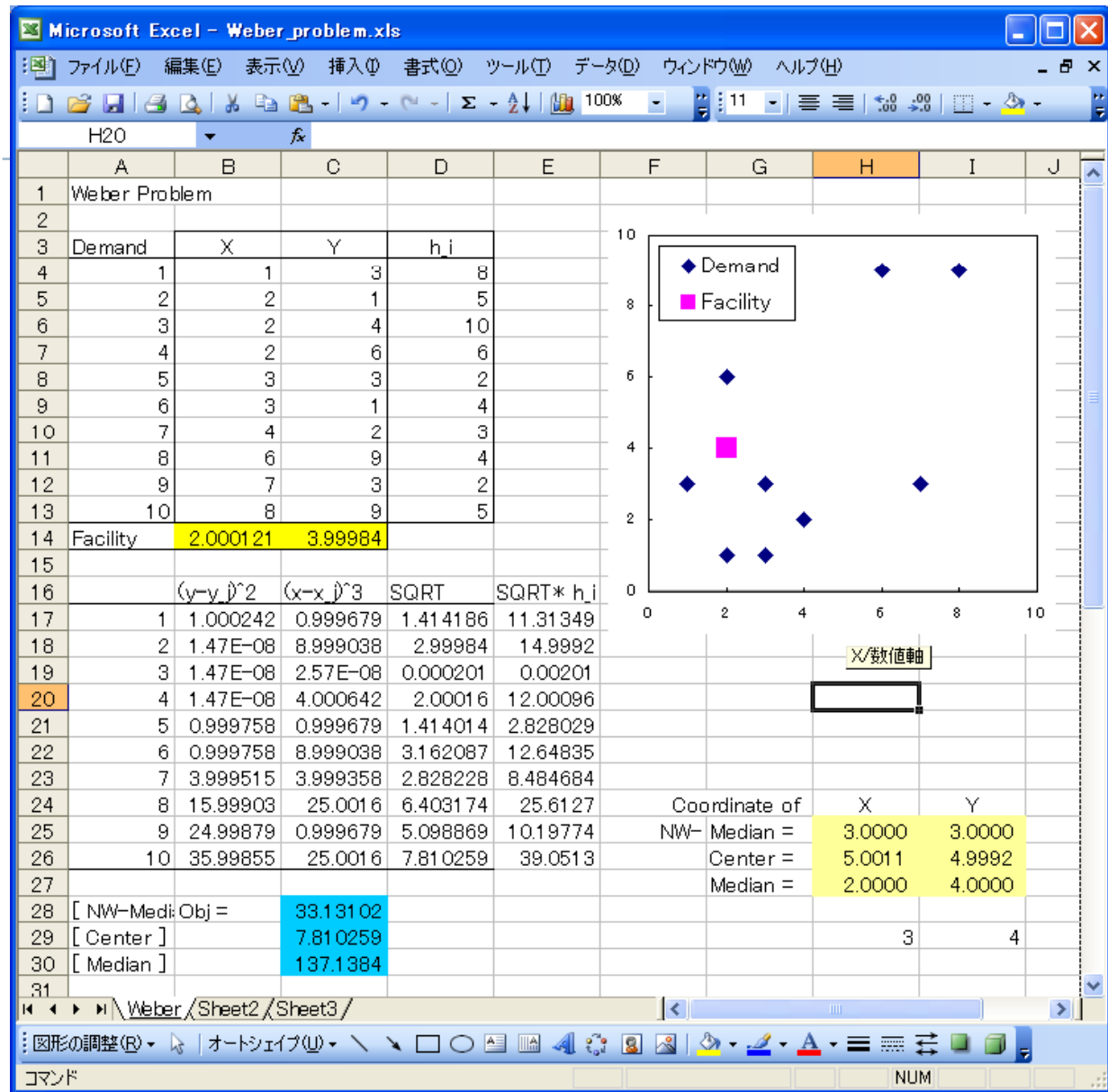
- ▶ それぞれの需要点から最も近い施設までの最大距離を最小にする点
  - ▶ 最も遠い人までの距離を最小にする

$$G(X_p) = \max_j \{ \min_i \{ d(x_i, v_j) : x_i \in X_p \} \}$$

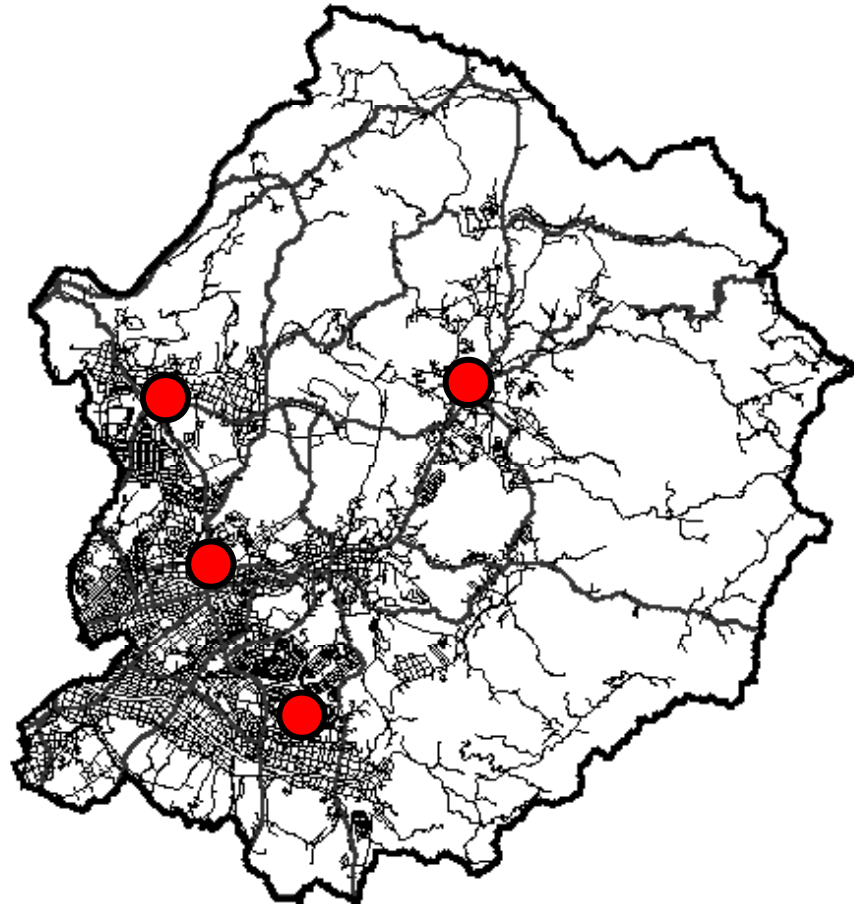


# Excel

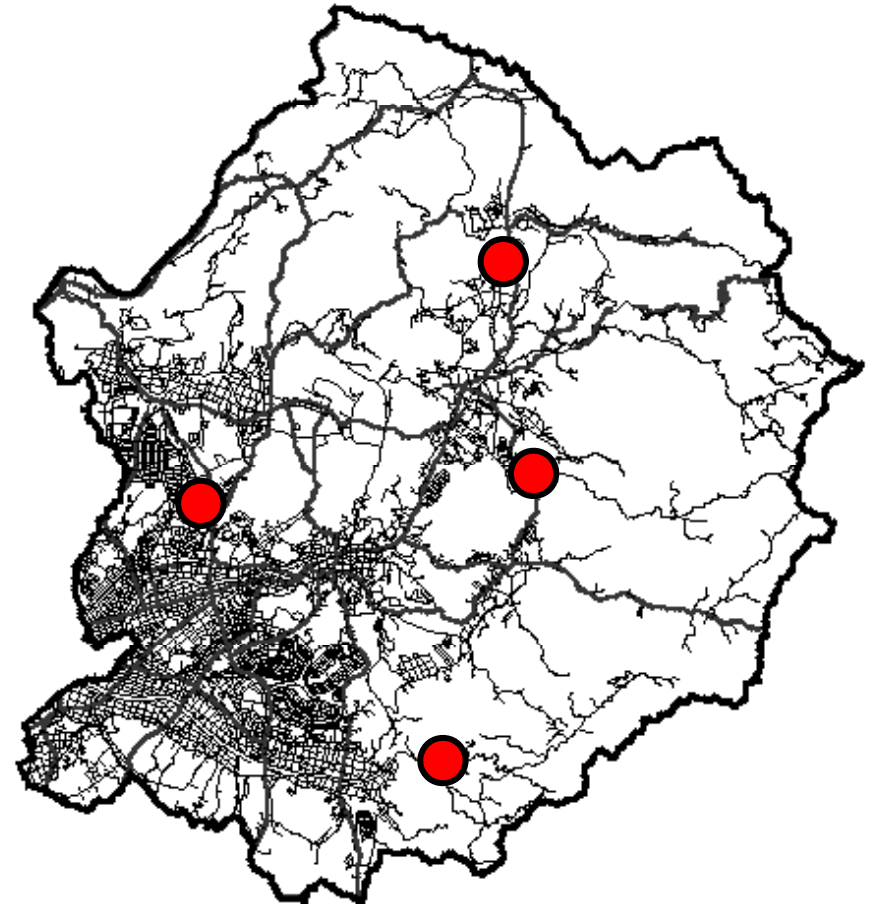
- ▶ Excel のソルバーを使って、計算できる
- ▶ ユークリッド距離
- ▶ 単一施設



# それぞれの配備



メディアン



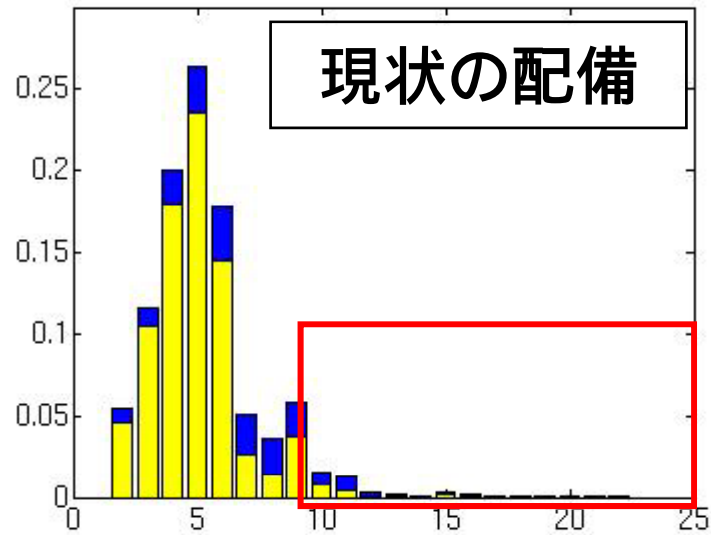
センター



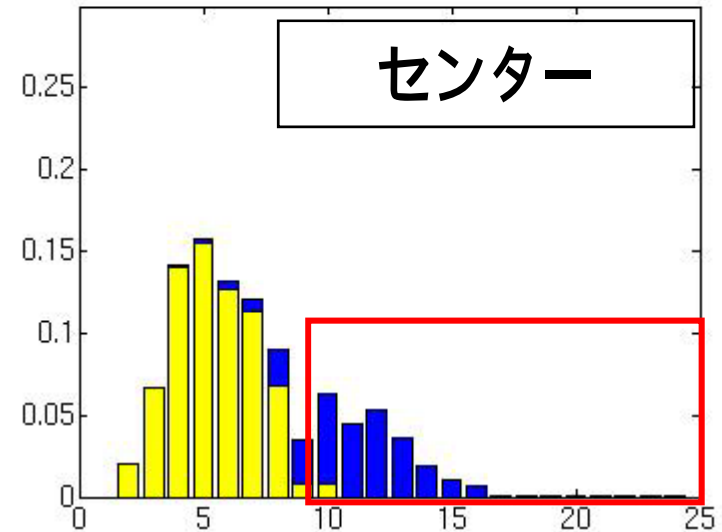
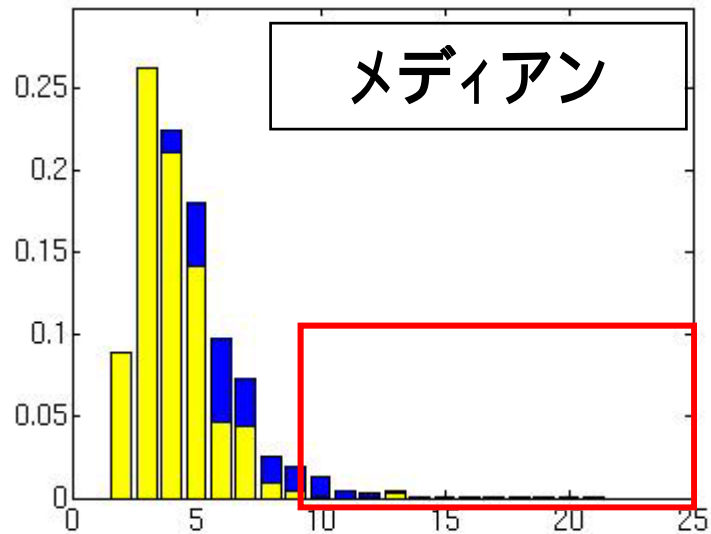
## 数値的な比較

	現状	メディアン	センター
対応時間	5.32 分	4.58 分	7.09 分
最も近い救急車が対応	0.8046	0.8110	0.7060
5分以内	0.6341	0.7562	0.5171
10分以上	0.0392	0.0264	0.2346
町丁目単位における分散	4.7458	4.5785	1.9874

# 対応時間分布

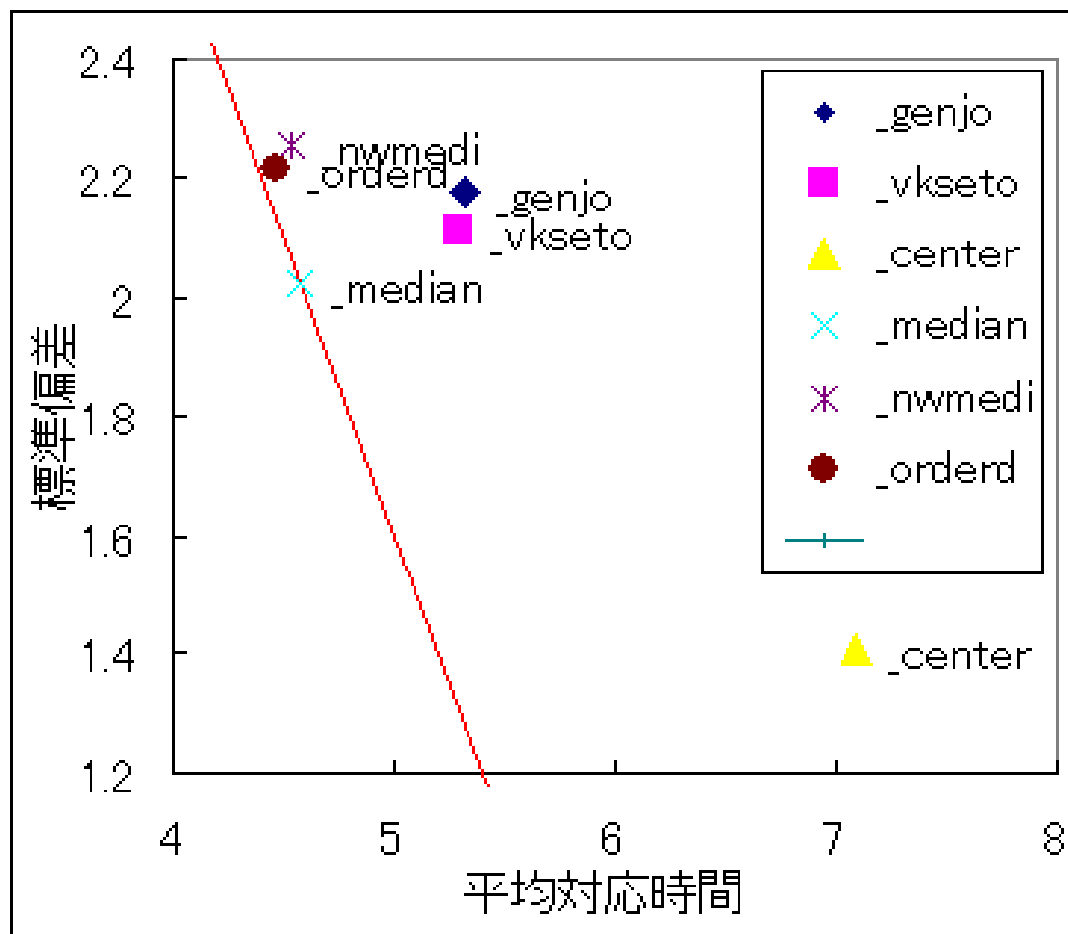


対応時間の期待値	
現状	5.32 分
メディアン	4.58 分
センター	7.09 分



# 平均対応時間と標準偏差

- ▶ 平均対応時間と標準偏差の両方を小さくしたい
- ▶ 重要さは等しい
  - ▶ 傾き -1の直線
- ▶ メディアンを選択



## おわりに

---

- ▶ **OR (オペレーションズ・リサーチ)**
  - ▶ テストの問題ではなく、現実の問題を解決する手法
- ▶ **ORの適用例: 救急車の配備計画**
  - ▶ Markov連鎖モデル, シミュレーション
  - ▶ 意思決定を支援するための具体例
- ▶ **計画立案のときには,**
  - ▶ 科学的な手法の利用
  - ▶ 研究機関である大学に相談

