

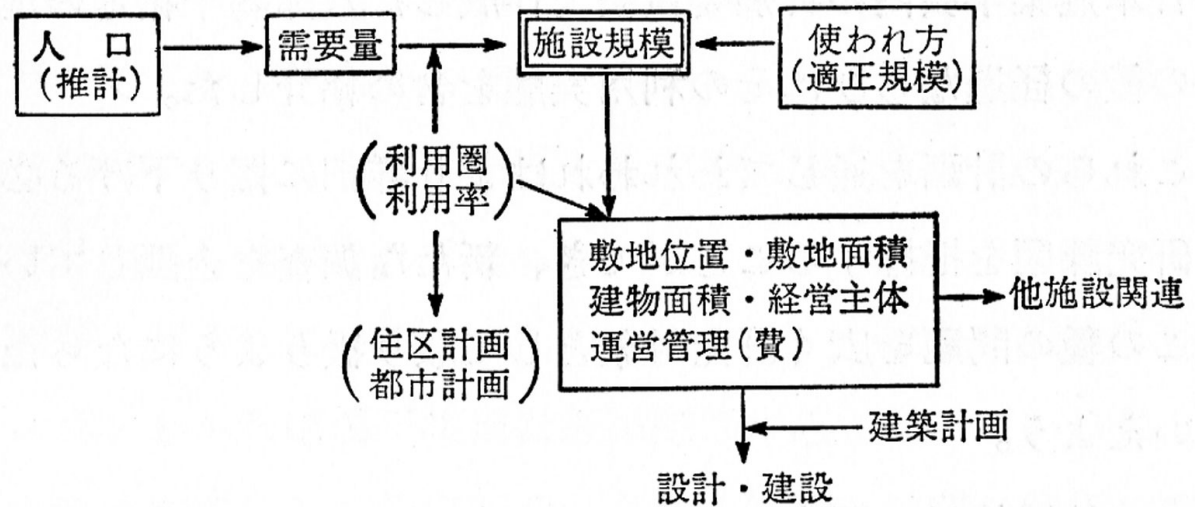
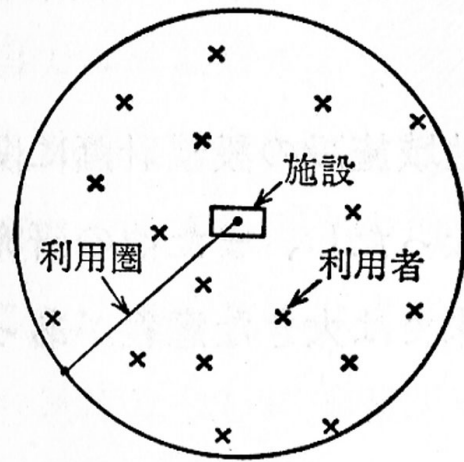
需要量の不確実性を考慮した 施設配置問題に関する研究

システム情報工学研究科
リスク工学専攻2年

200205205 窪田 順次

指導教官 鈴木 勉

研究の背景



(出典: 地域施設総論 吉武泰水編)



研究の背景

立地の評価に用いられる各種の指標

	指標名	定義	対象施設
1	総利用者数	当該地域における利用者の総数	なるべく多くの人に利用されるべき施設
2	平均利用距離	利用者の利用距離の平均値	施設全般
3	最大利用距離	利用者の最近隣距離で最大のもの	救急施設など
4	累積値利用距離	利用距離の累積頻度のある値における距離値	全人口を基準内でカバーできないもの
5	満足圏人口	満足圏に居住する人口	利便性が重要なもの
6	満足者数	利用距離を満足と評価している利用者の数	利用距離によって評価が異なる施設
7	重複圏人口	2施設以上の満足圏に含まれる地域人口	待ちが生じる施設
8	施設間格差率	施設間の利用者の格差を表すもの	施設が群として存在しているもの
9	地域間格差率	地域の利用者数の格差を表すもの	なるべく利用水準を等しくすべきもの
10	最小地域利用率	地域利用率の中で最小のもの	採算性が重要な施設
11	最小施設利用率	施設利用率の中で最小のもの	一定の利用水準が必要な施設
12	施設数	ある基準(平均利用距離等)を満たす施設数	予算に制約がある施設

(出典: 地域施設計画論 柏原士郎著)

施設配置における不確実性と政策変数

- 施設の利用に関する不確実な要因

- 各地域の利用者数

- 利用者の発生する時期 (Drezner and Wesolowsky(1991))

- 利用者の位置(Cooper(1974))

- 施設計画における決定事項(政策変数)

- 施設の位置

- 施設の規模

- 施設建設の時期 (Drezner and Wesolowsky(1991))

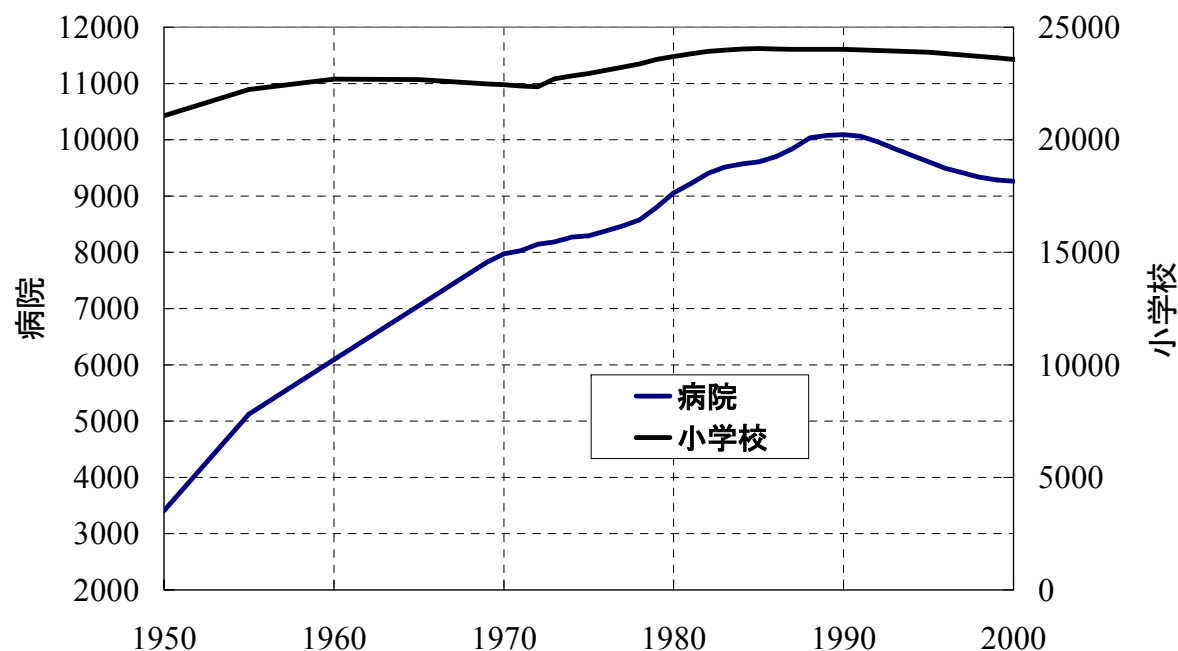
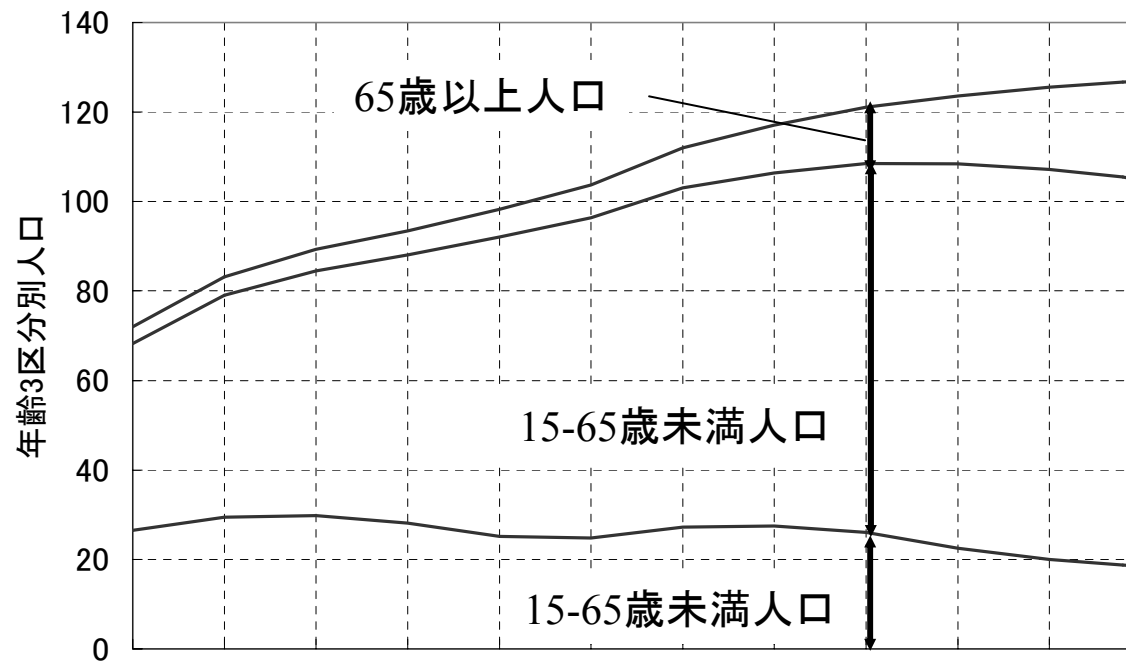
- 施設の利用圏

研究の背景

- 戦後は人口の急増と都市圏の拡大に伴い大量の施設の供給が行われた
- 人口:
**7.2億人→12.7億人
(1945年-2000年)**
- 人口集中地区面積:
**3865km²→12260km²
(1960年→2000年)**

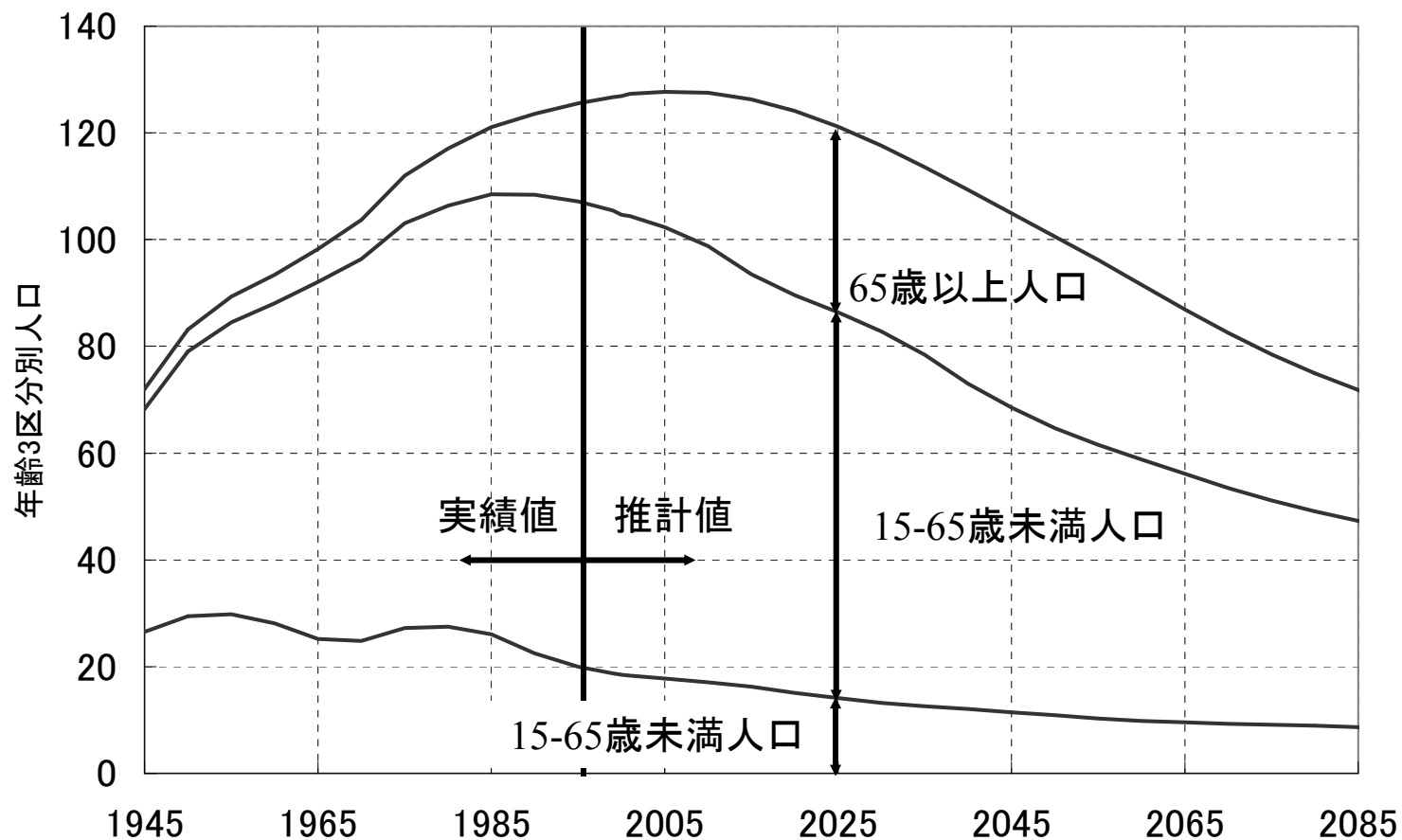
人口集中地区:

- ①原則として人口密度が4000人/km²以上の基本単位区等が市町村の境域内で互いに隣接して,
- ②それらの隣接した地域の人口が国勢調査時に5000人以上を有する地域



研究の背景

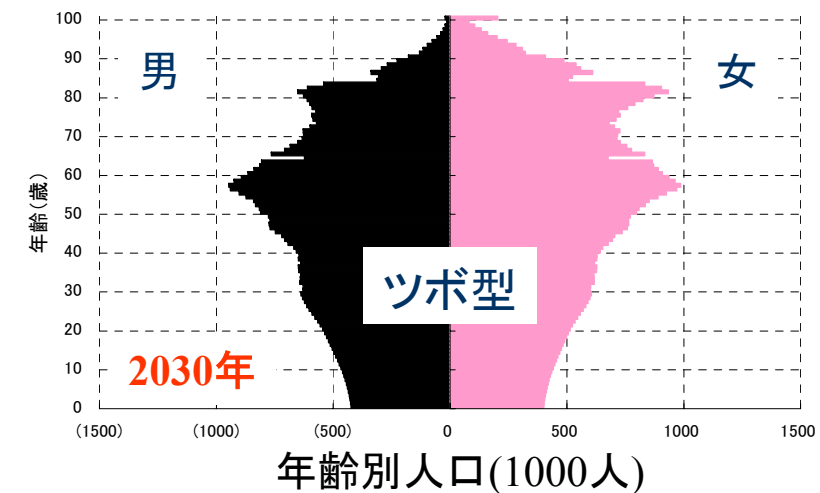
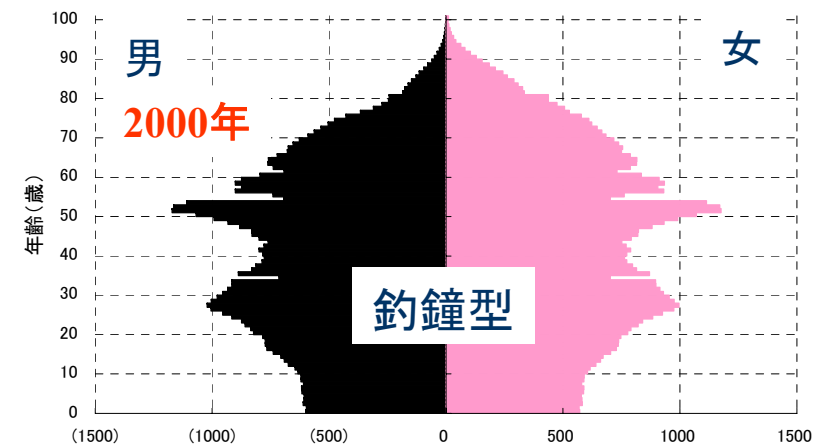
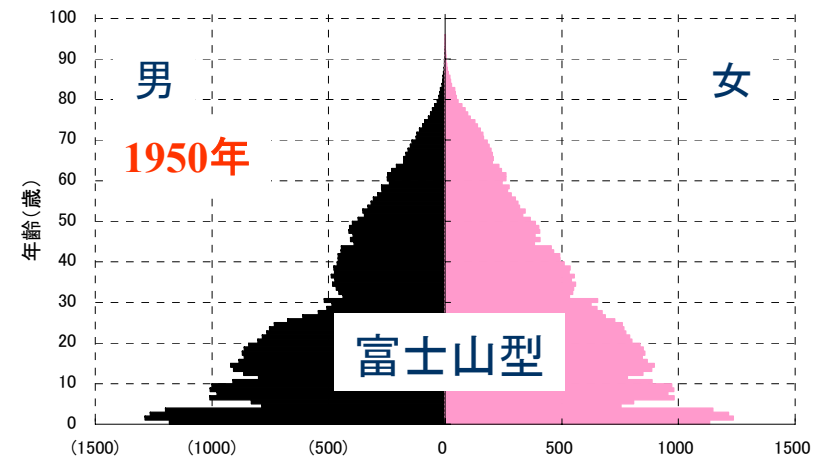
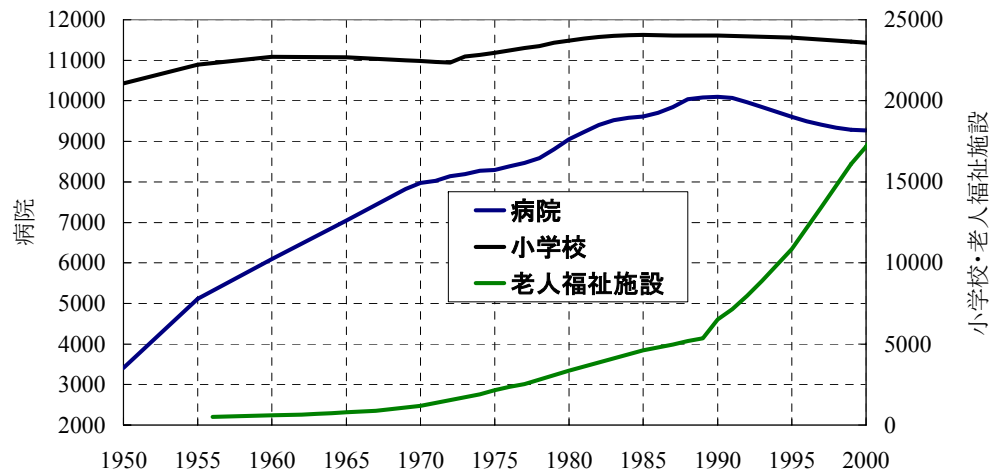
人口減少時代への移行



(出典:国勢調査報告, 日本の将来人口)

研究の背景

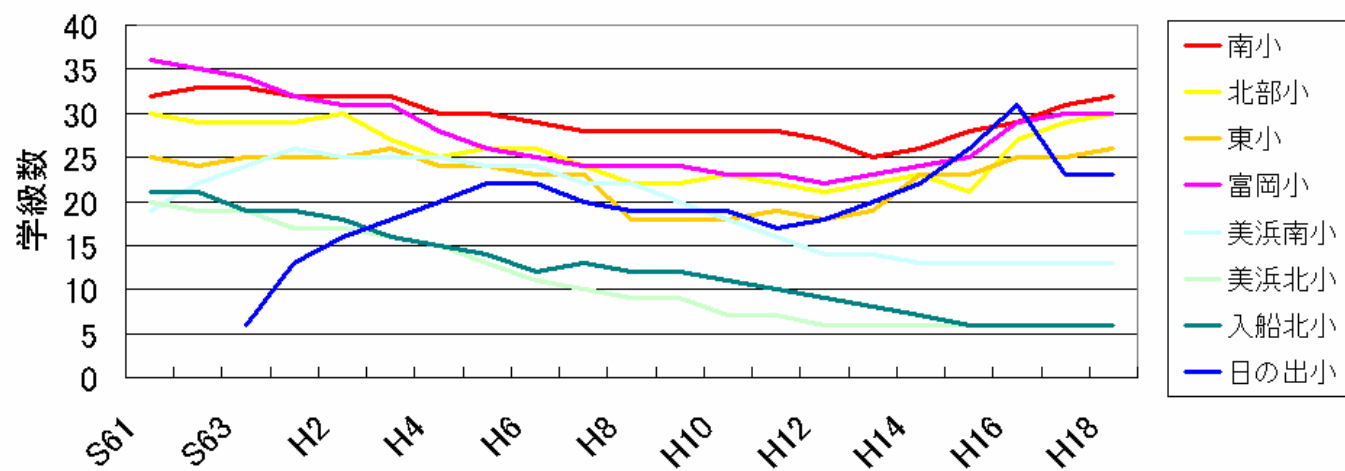
- 人口構造の変化
 - 富士山型からツボ型へ
 - 少子高齢化社会
- 施設計画における変化
 - 求められる施設の変化・多様化
 - 施設計画に対する厳しい評価
 - 需要予測の困難さ



浦安市における小学校建設過程

児童・生徒数の変化

- 元町地域：微増
- 中町地域：減少
- 新町地域：急増



研究の背景

浦安市における小学校建設過程

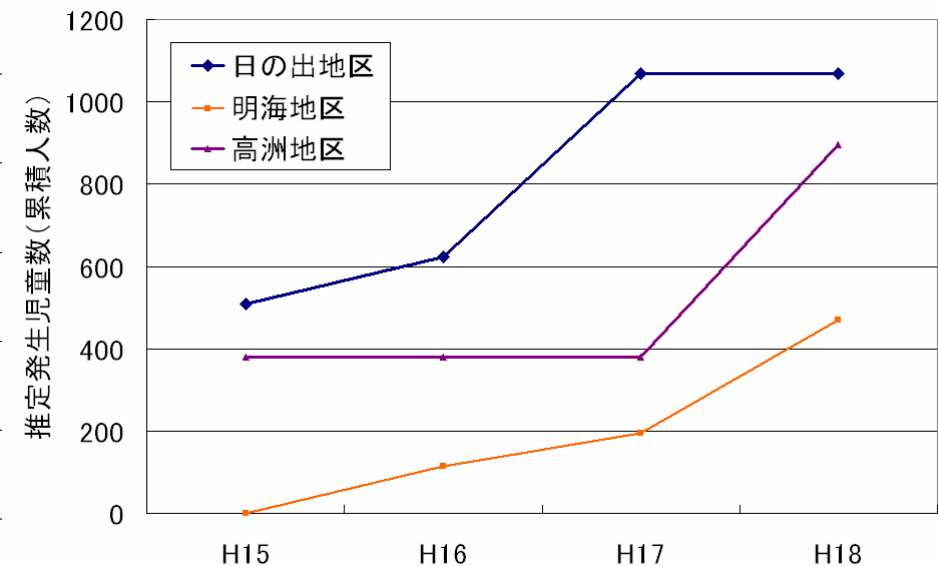
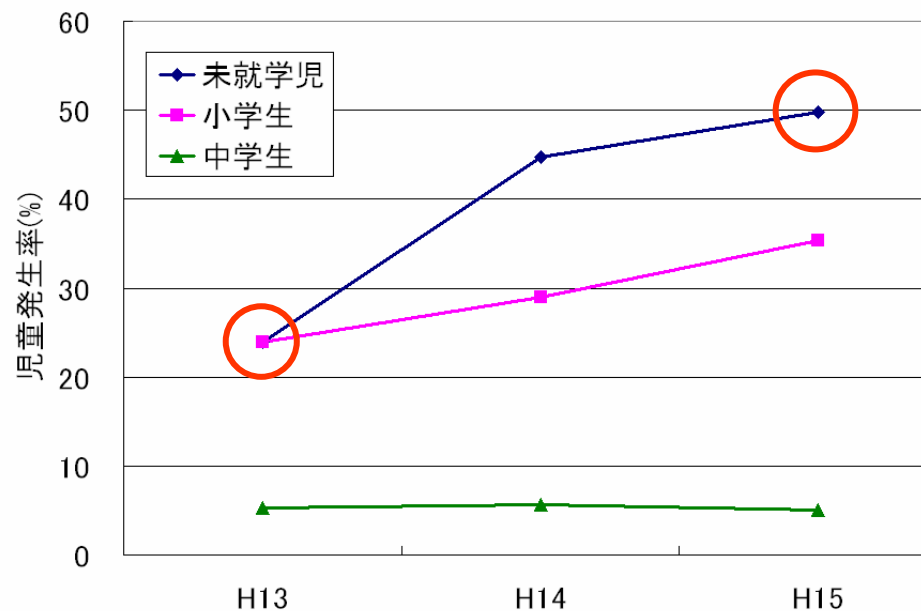
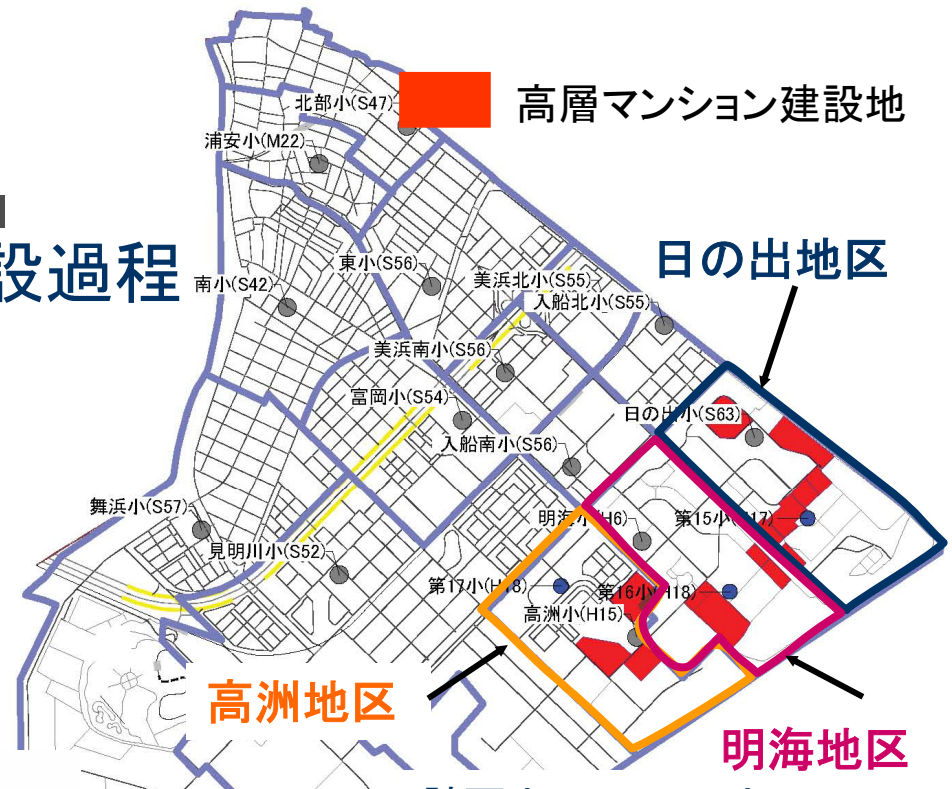
児童・生徒発生率の急増

✦ H13-H15: **24%→50%**

仮設教室の設置

✦ 日の出小で8室

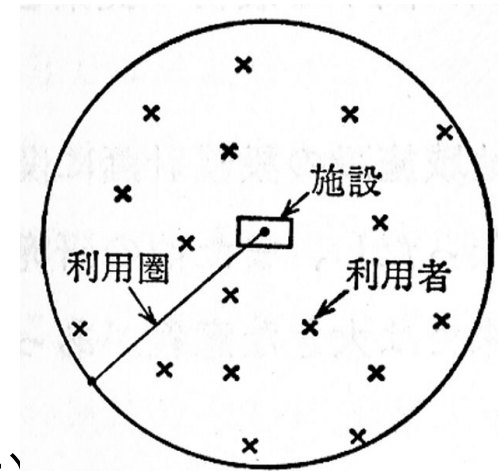
✦ 明海小で4室



研究の背景

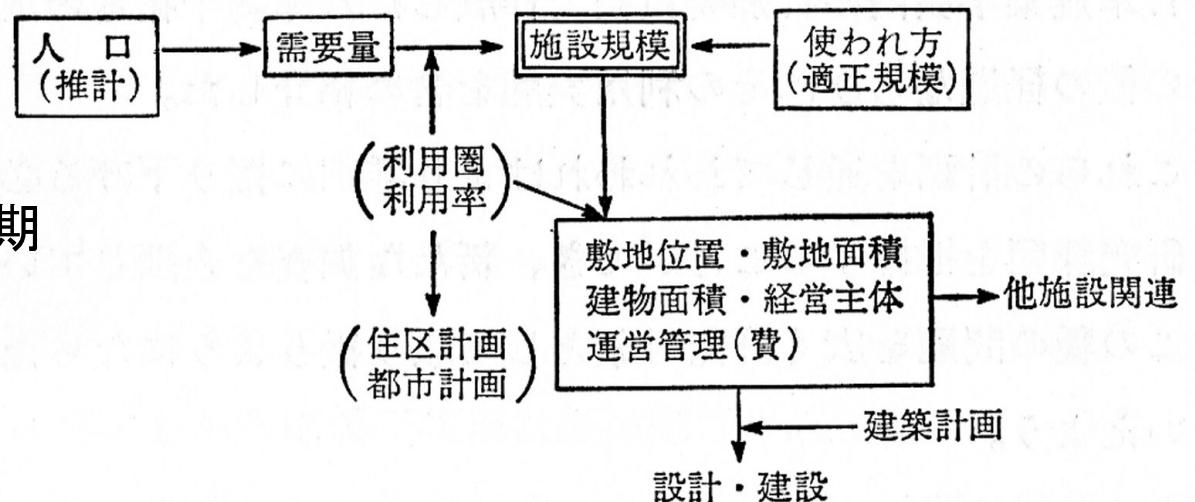
➤ 施設計画における需要予測

- 小・中学校・・・児童・生徒数
- 病院・・・患者数
- 消防署・・・出動件数



➤ 施設計画における決定事項(政策変数)

- 施設の位置
- 施設の規模
- 施設建設の時期
- 施設の利用圏



研究の目的

- ✦ 将来の需要量が不確実であるような状況下での単一施設配置問題を数理的なアプローチによりモデル化し、その性質を明らかにする
- ✦ 需要量不確実性下の施設配置における基礎的な性質
 - ✦ (1) 最適配置点の座標にどの程度空間的なばらつきが生じるのか
 - ✦ (2) 平均移動距離がどの程度の大きさで表れてくるのか
- ✦ 需要量の不確実性下における単一施設配置問題
 - ✦ (3) リグレットの概念を導入した施設配置の決定基準を含む6つの決定基準を定式化する
 - ✦ (4) 需要量の不確実性の程度と各決定基準による施設配置の関係を明らかにする

研究の構成

需要量の不確実性と 最適配置点, 平均移動距離の関係

- ・最適配置点座標の確率分布
- ・平均移動距離の密度関数

(1) scenario planning approach

シナリオSの実現確率 P^S

シナリオ $\rightarrow \infty$

(2) probabilistic approach

需要量の標準偏差 σ_i

需要点離散分布

一様分布

正規分布

需要点数 $\rightarrow \infty$ 需要点連続分布

需要量不確実下における 単一施設配置問題

決定基準の定式化

[指標]

(W) 平均移動距離

(R) リグレット

(R⁺) 非負リグレット

[決定基準]

(E) ミニサム型

(M) ミニマックス型

決定基準の適用

需要量の不確実性の程度と
各決定基準による施設配置点の関係

→ 需要量の不確実性に応じた施設配置

結

論

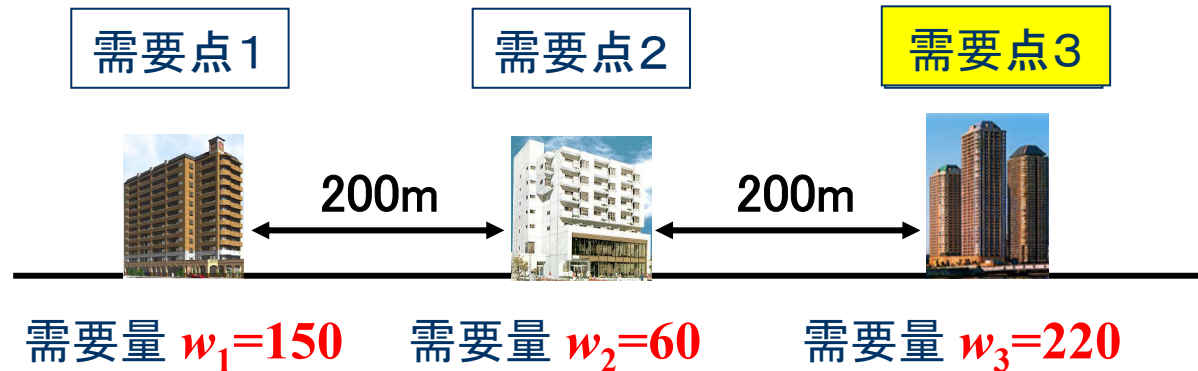
需要量既知の下での単一施設配置問題

✦ 仮定

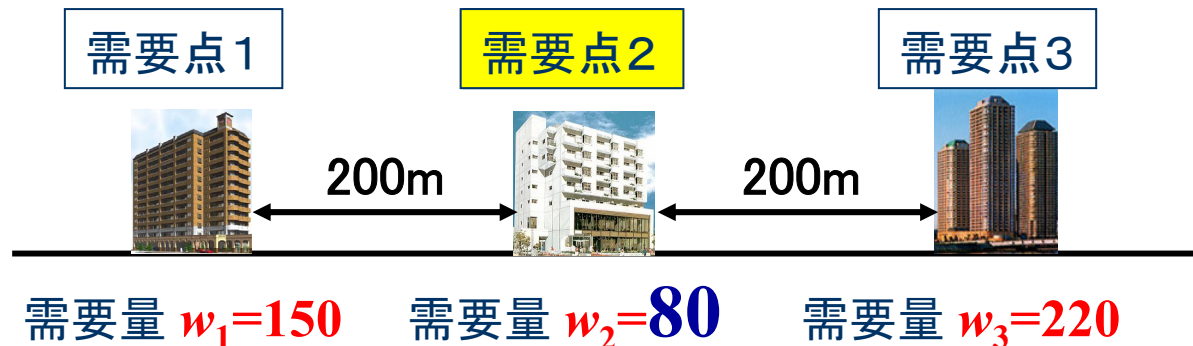
- ✦ 3需要点が一直線状に離散的に分布
- ✦ 各点の需要量は既知
- ✦ 移動距離は直線距離で測る
- ✦ 平均移動距離を最小にするような位置に施設を1つ配置する



需要量既知の下での単一施設配置問題



平均移動距離=167m

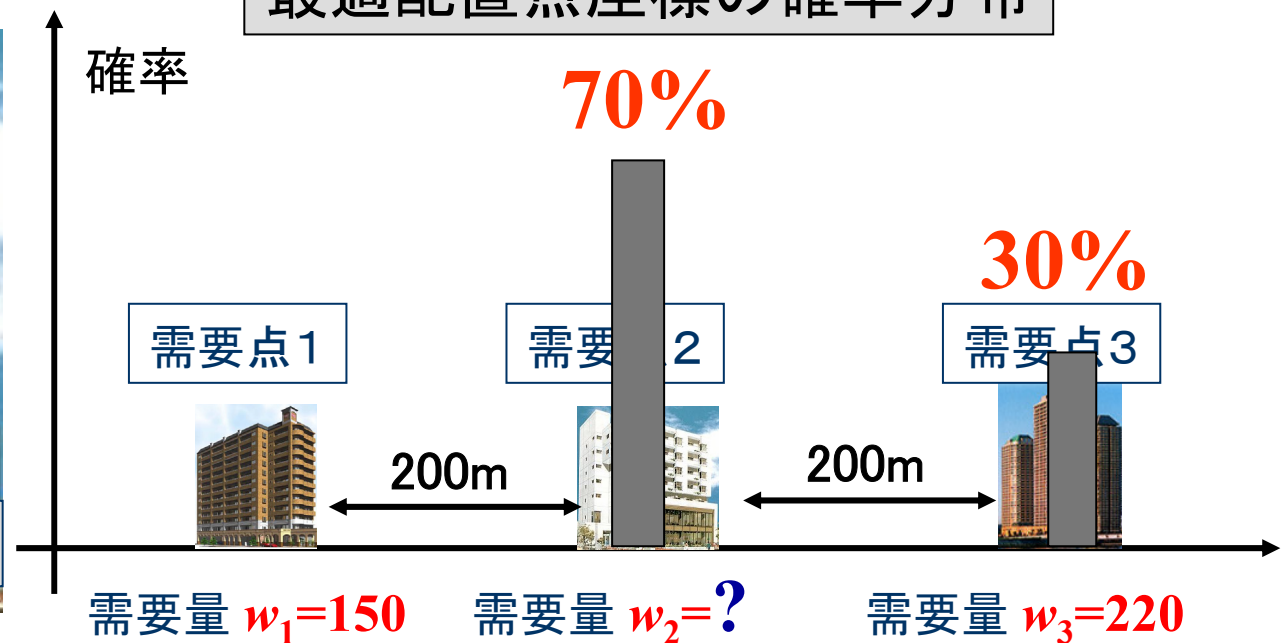


平均移動距離=164m

需要量の不確実性のモデル化

- 例えば、需要点2のマンションから発生する将来児童発生数を想定する時、

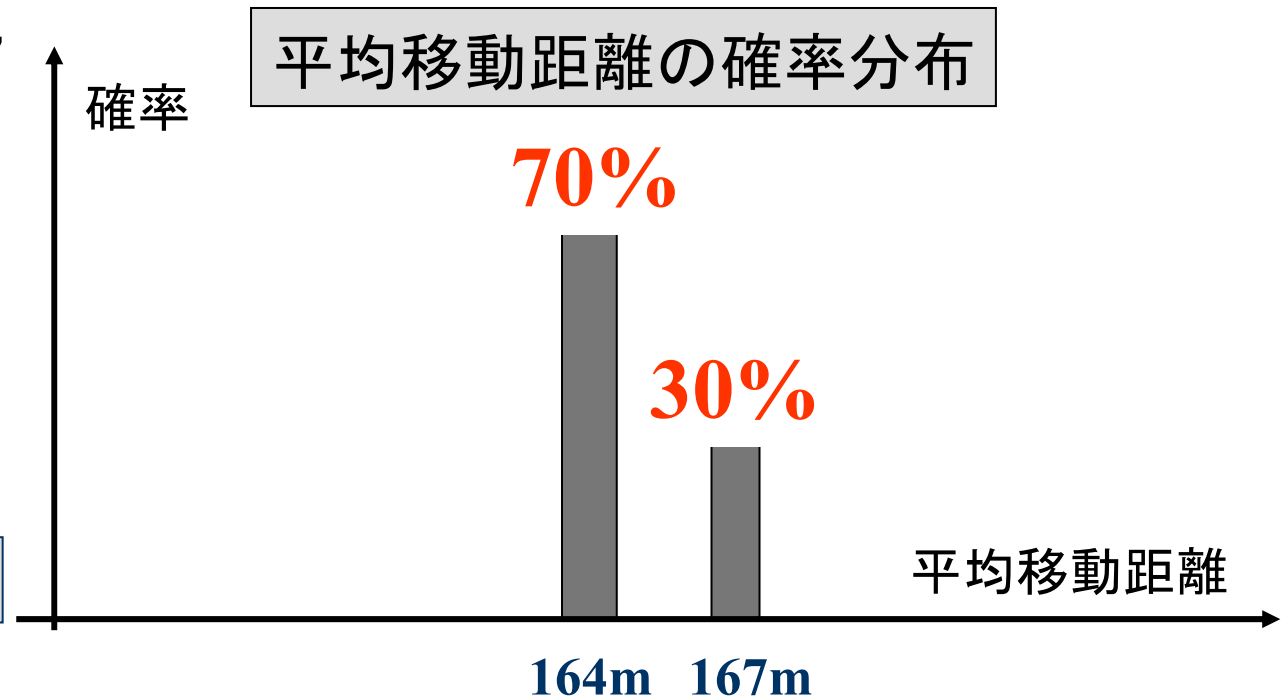
最適配置点座標の確率分布



60人発生する確率:30%
80人発生する確率:70%

需要量の不確実性のモデル化

- 例えば、需要点2のマンションから発生する将来児童発生数を想定する時、



60人発生する確率:30%
80人発生する確率:70%

一次元都市上に需要点が分布する場合

- ✦ 仮定

- ✦ 各点の需要量は $[1-c_k, 1+c_k]$ ($k=1,2,3$)上の
一様分布に従う確率変数とする

- ✦ 需要量の不確実性を表す指標 **変動幅 c_k**

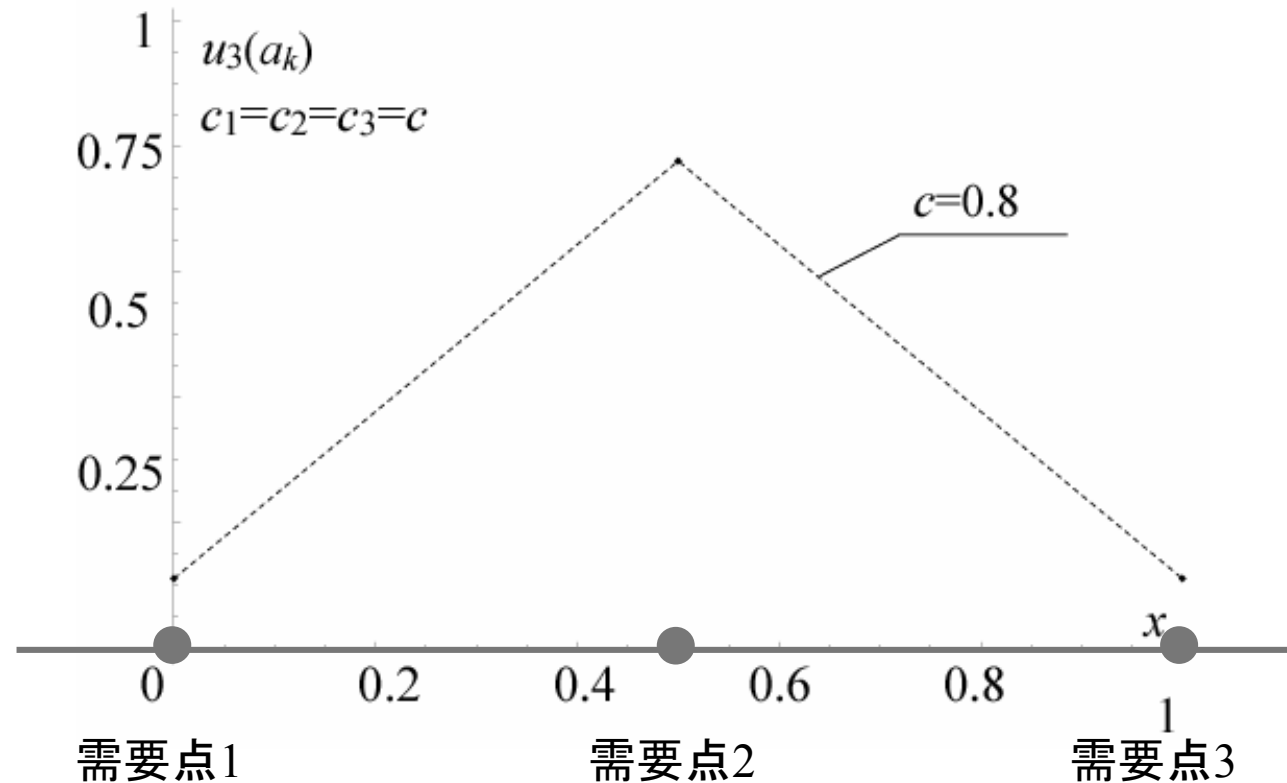


- ✦ case1: 需要点1,2,3 とともに不確実
- ✦ case2: 需要点1,2 は不確実, 需要点3は既知

一次元都市上に需要点が分布する場合

➤ 最適配置点座標の確率分布

➤ 各需要点が最適配置点座標と一致する確率



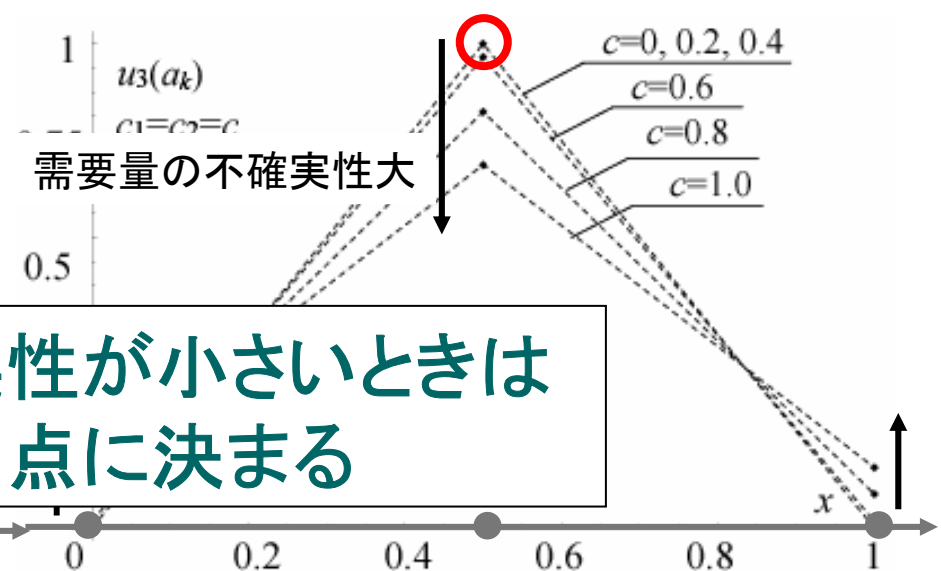
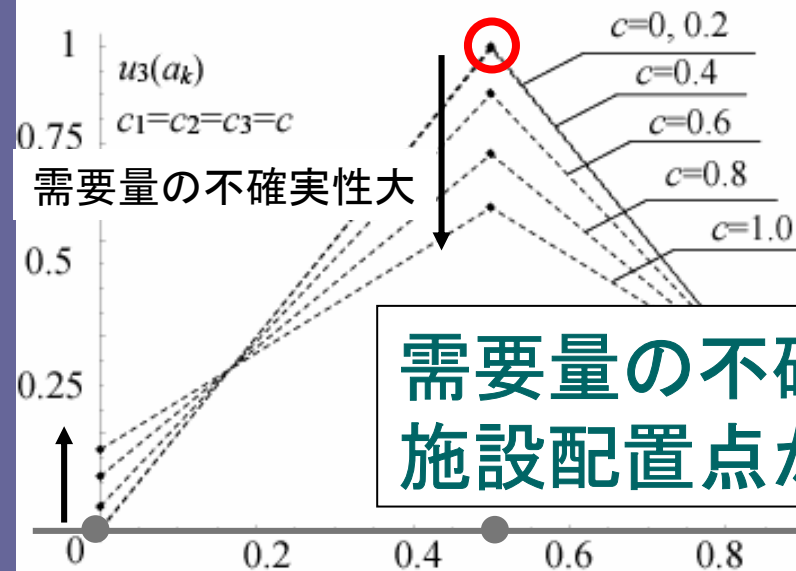
一次元都市上に需要点が分布する場合

最適配置点座標の確率分布

変動幅 c を0から1.0まで0.2刻みで変化させる

case1

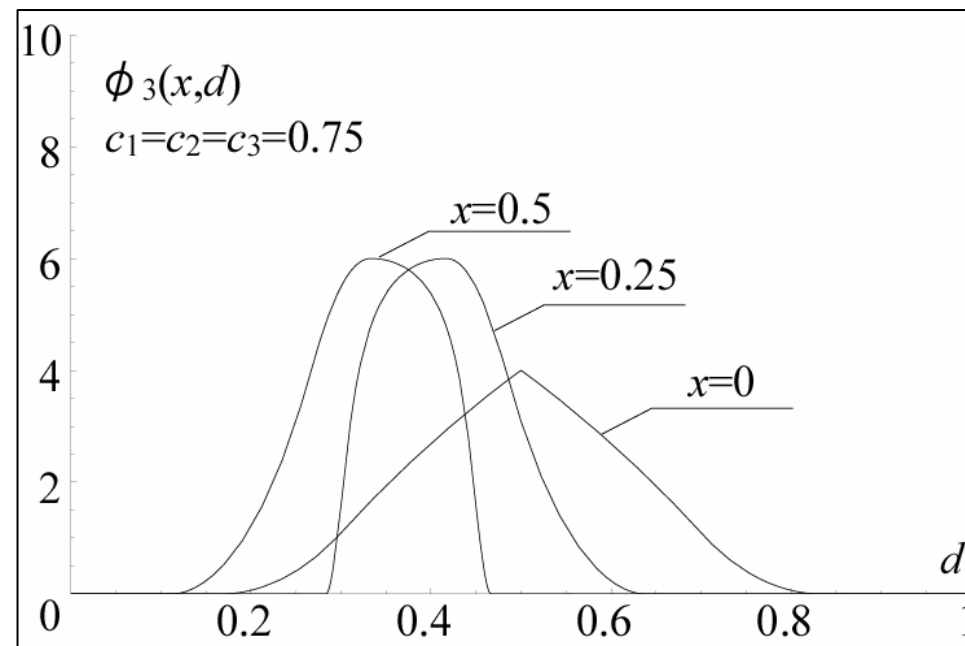
case2



需要量の不確実性が小さいときは
施設配置点が一点に決まる

一次元都市上に需要点が分布する場合

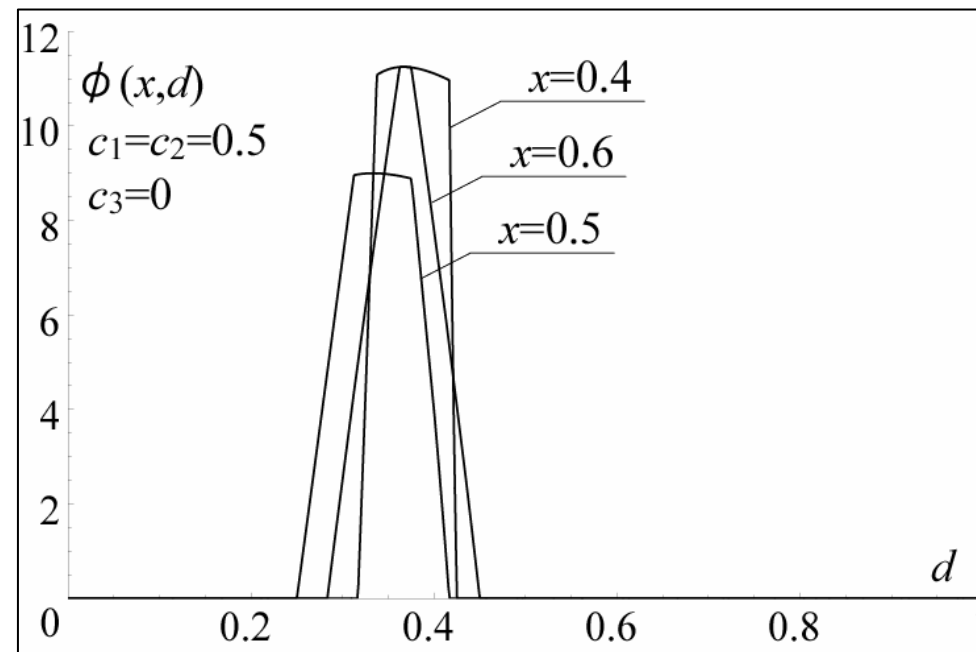
平均移動距離の密度関数 (case1)



施設配置点 $x=0.5$ が平均的に短い. 但し,
 $x=0, x=0.25$ でも短くなる可能性はある

一次元都市上に需要点が分布する場合

平均移動距離の密度関数 (case2)



ケース1と比較して平均移動距離
の分布はほぼ同じである

二次元平面上に需要点が分布する場合

✦ 仮定

- ✦ 各点の需要量は $[1-c_k, 1+c_k]$ ($k=1,2,3$) 上の一様分布に従う確率変数とする

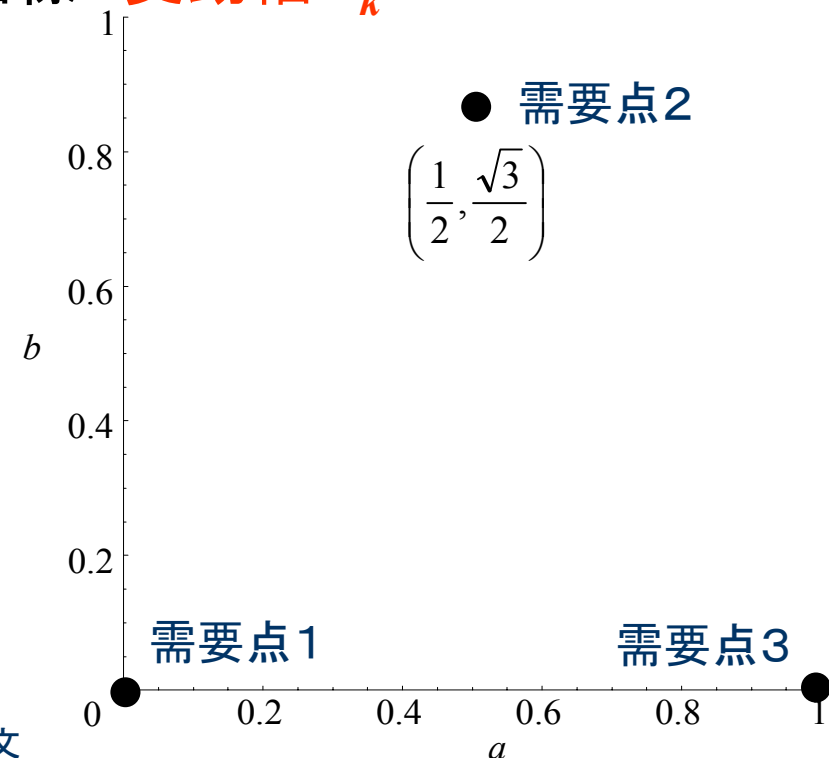
✦ 需要量の不確実性を表す指標 変動幅 c_k

✦ case3

需要点1,2,3 ともに不確実

✦ case4

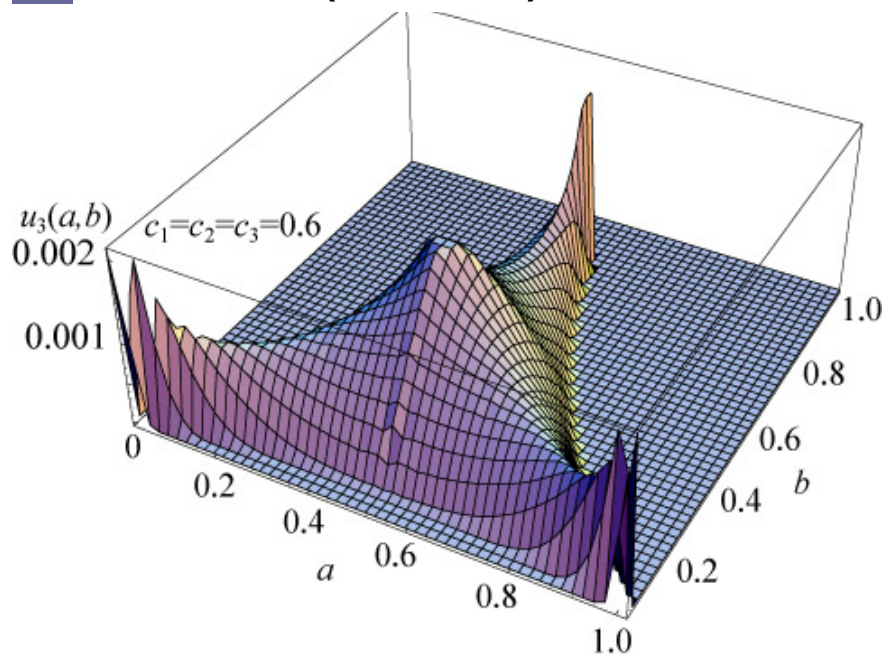
需要点1,2は不確実,
需要点3は既知



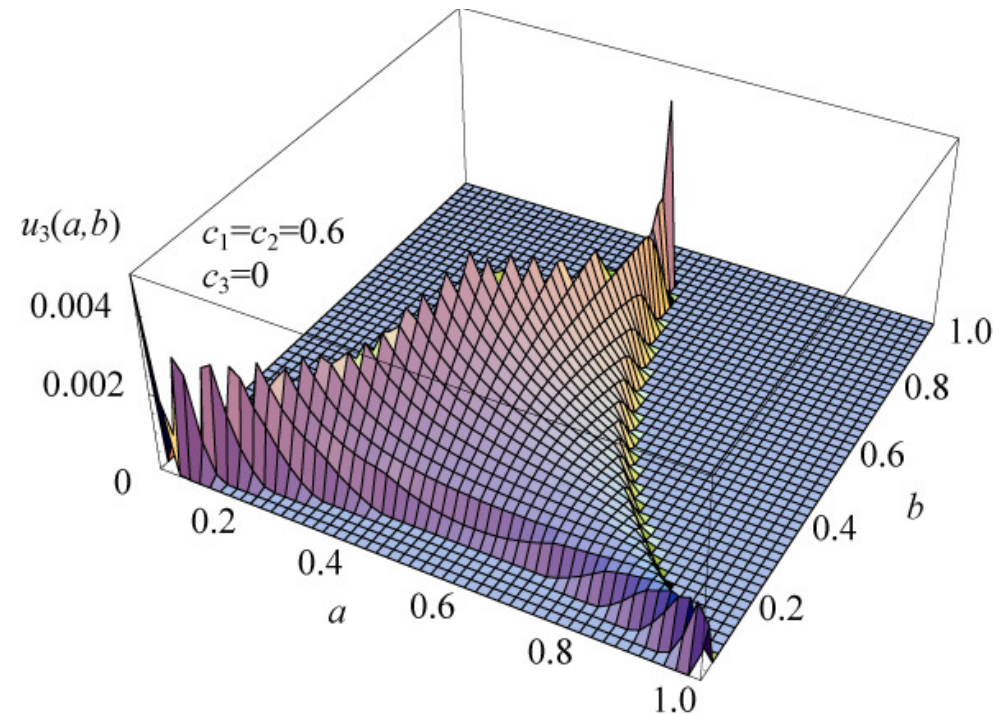
二次元平面上に需要点が分布する場合

➤ 最適配置点座標の密度分布

case3 ($c=0.6$)



case4 ($c=0.6$)



研究の構成

需要量の不確実性と 最適配置点, 平均移動距離の関係

- ・最適配置点座標の確率分布
- ・平均移動距離の密度関数

(1) scenario planning approach

シナリオSの実現確率 P^S

シナリオ $\rightarrow \infty$

(2) probabilistic approach

需要量の標準偏差 σ_i

需要点離散分布

一様分布

正規分布

需要点数 $\rightarrow \infty$ 需要点連続分布

需要量不確実下における 単一施設配置問題

決定基準の定式化

[指標]

(W) 平均移動距離

(R) リグレット

(R⁺) 非負リグレット

[決定基準]

(E) ミニサム型

(M) ミニマックス型

決定基準の適用

需要量の不確実性の程度と
各決定基準による施設配置点の関係

→ 需要量の不確実性に応じた施設配置

結

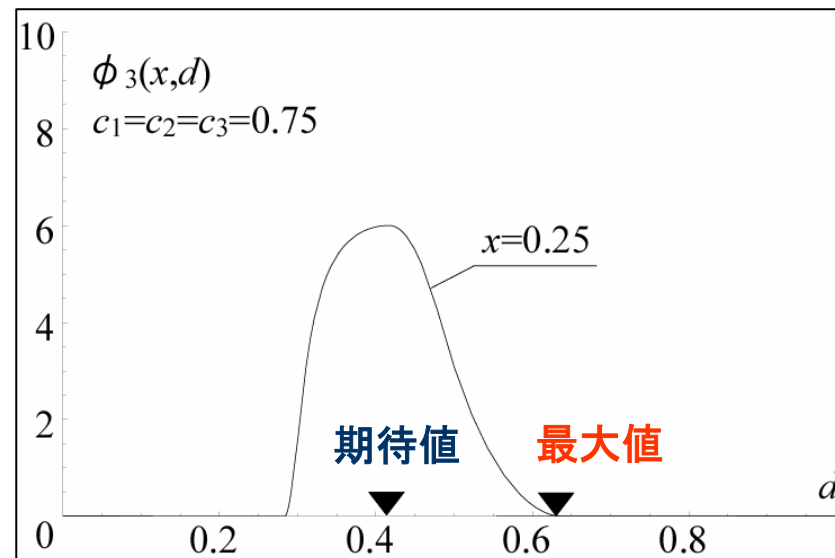
論

決定基準の定式化: 立地を評価する指標

- ✦ 立地を評価する指標
(不確実な状況下での施設配置をどう評価するか)
 - ✦ 平均移動距離
 - ✦ 利用者の利用距離の平均値
 - ✦ 平均リグレット
 - ✦ 最適配置点との違い(ギャップ)
(むしろ便利になった利用者も含む)
 - ✦ 平均非負リグレット
 - ✦ 最適配置点との違い(ギャップ)
(不便になった利用者に特に着目して)

決定基準の定式化：平均移動距離

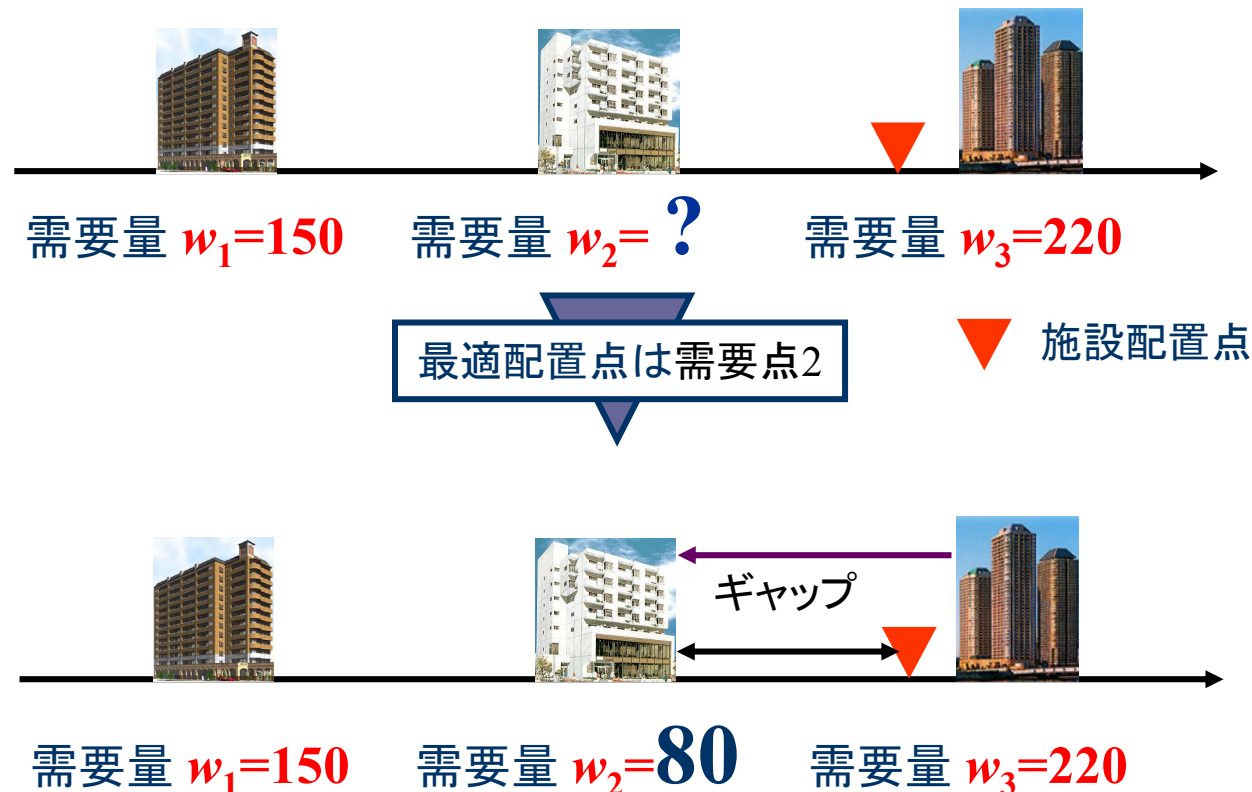
- (W) 平均移動距離を指標とした決定基準
 - (EW) 期待平均移動距離最小化
 - 平均的なケースを想定（ミニサム型）
 - (MW) 最大平均移動距離最小化
 - 最も損失が大きい状況（ワーストケース）を想定（ミニマックス型）



決定基準の定式化：平均リグレット

➤ (R) リグレット

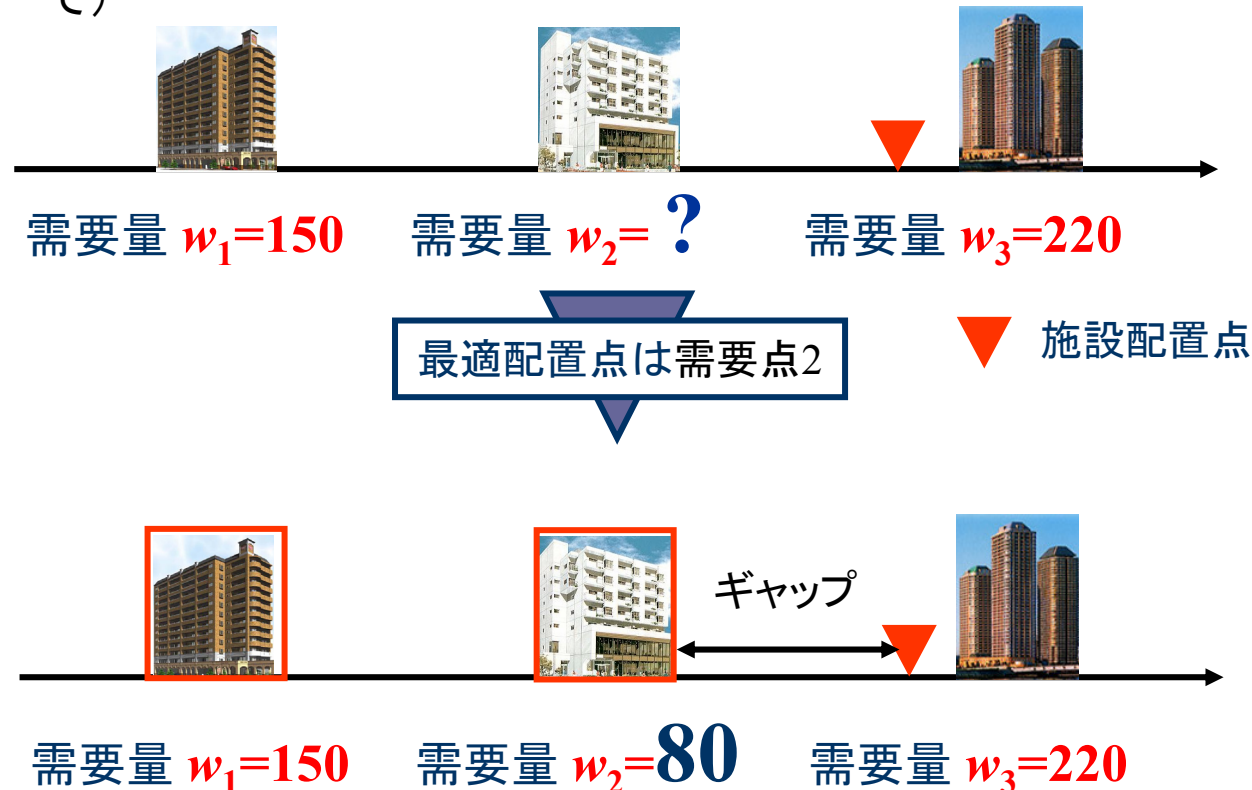
- 最適配置点との違い（ギャップ）（むしろ便利になった利用者も含む）



決定基準の定式化：平均非負リグレット

➤ (R⁺) 非負リグレット

- 最適配置点との違い(ギャップ), (不便になった利用者に特に着目して)



決定基準の定式化:リグレット・非負リグレット

- (R)リグレット・(R⁺)非負リグレットを指標とした決定基準
 - (ER) 期待平均リグレット最小化
 - (ER⁺) 期待平均非負リグレット最小化
 - 平均的なケースを想定 (ミニサム型)
 - (MR) 最大平均リグレット最小化
 - (MR⁺) 最大平均非負リグレット最小化
 - 最も損失が大きい状況(ワーストケース)を想定(ミニマックス型)

決定基準の定式化

- 決定基準 D による施設配置点を $x^*(D)$ とする

		ミニサム型 (E)	ミニマックス型 (M)
平均移動距離	(W)	EW	MW
リグレット	(R)	ER	MR
非負リグレット	(R ⁺)	ER ⁺	MR ⁺

一次元都市上での単一施設配置問題

需要量が一様分布に従う確率変数の場合

✦ 仮定

- ✦ 各点の需要量は $[1-c_k, 1+c_k]$ ($k=1,2,3$) 上の一様分布に従う確率変数とする
- ✦ 需要量の不確実性を表す指標 **変動幅 c_k**



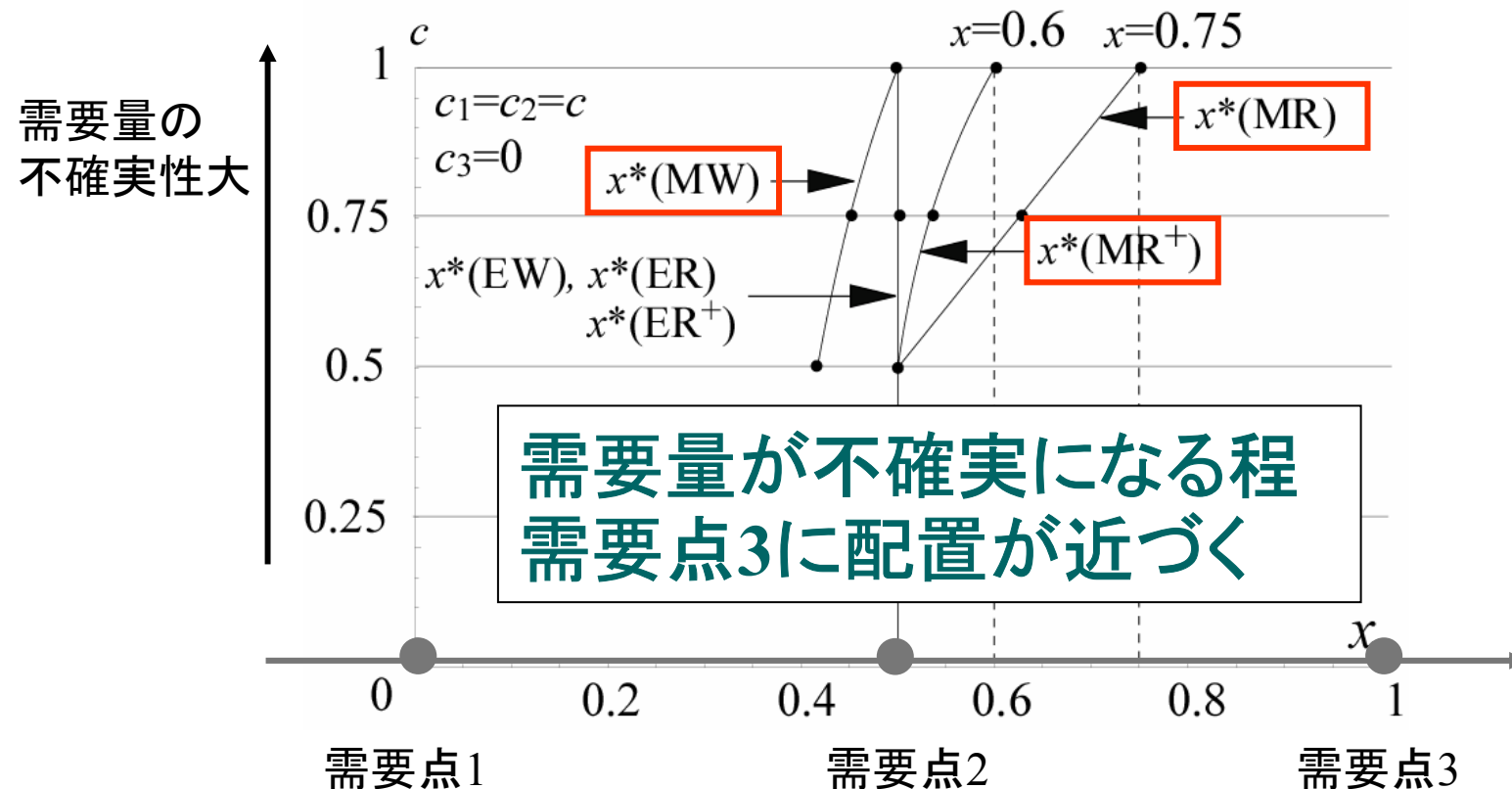
✦ case2

- ✦ 需要点1,2は不確実, 需要点3は既知

一次元都市上での単一施設配置問題

需要量が一様分布に従う確率変数の場合

- 決定基準(MW), (MR), (MR⁺)による配置では需要量の不確実性の増大に伴い施設の配置点が変化する



二次元平面上での単一施設配置問題

需要量が一様分布に従う確率変数の場合

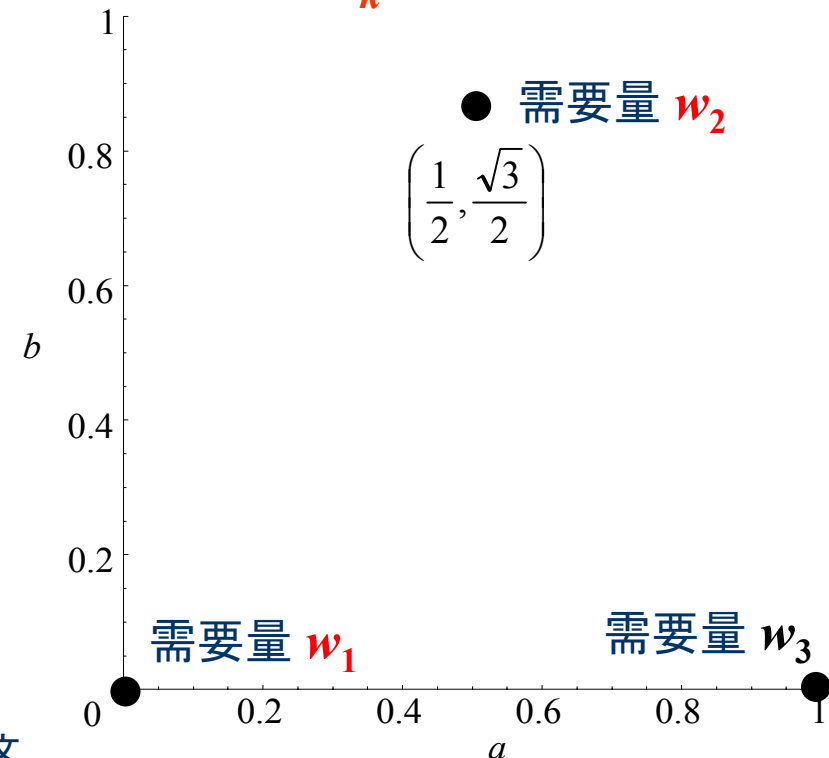
仮定

- 各点の需要量は $[1-c_k, 1+c_k]$ ($k=1,2,3$) 上の一様分布に従う確率変数とする

需要量の不確実性を表す指標 変動幅 c_k

case4

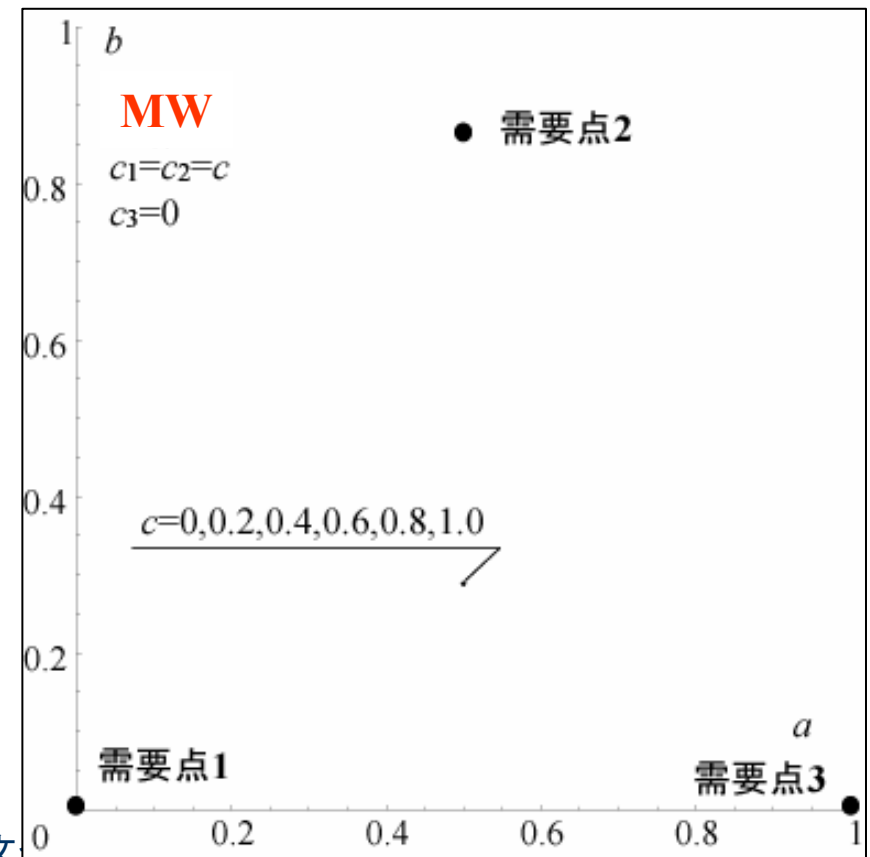
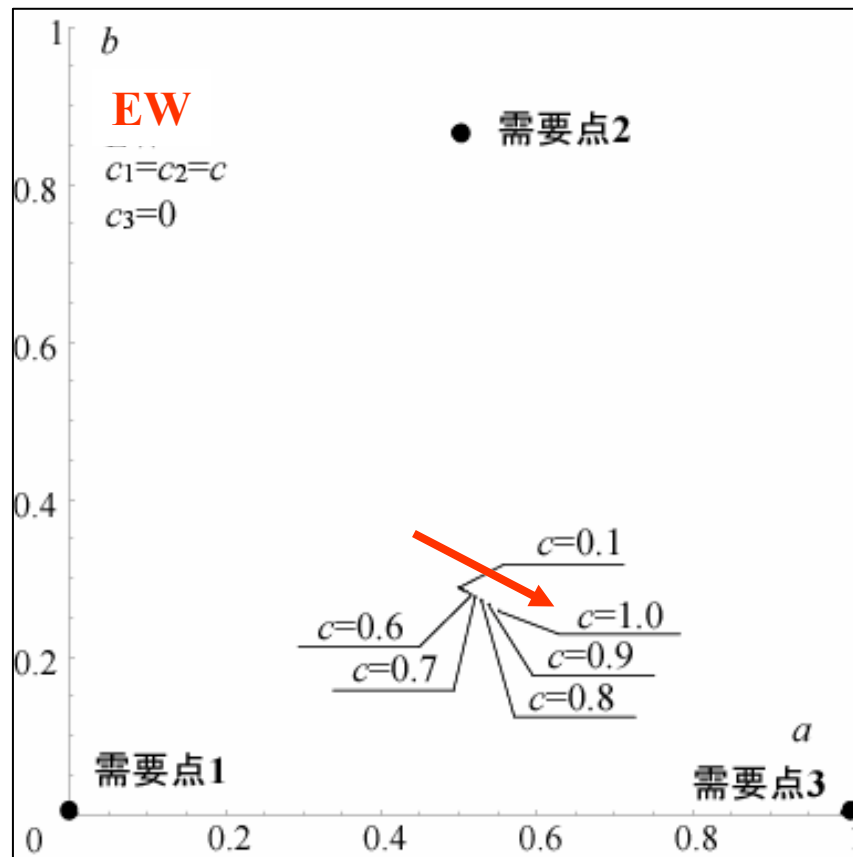
- 需要点1,2 が不確実
需要点3 は既知



二次元平面上での単一施設配置問題

需要量が一様分布に従う確率変数の場合

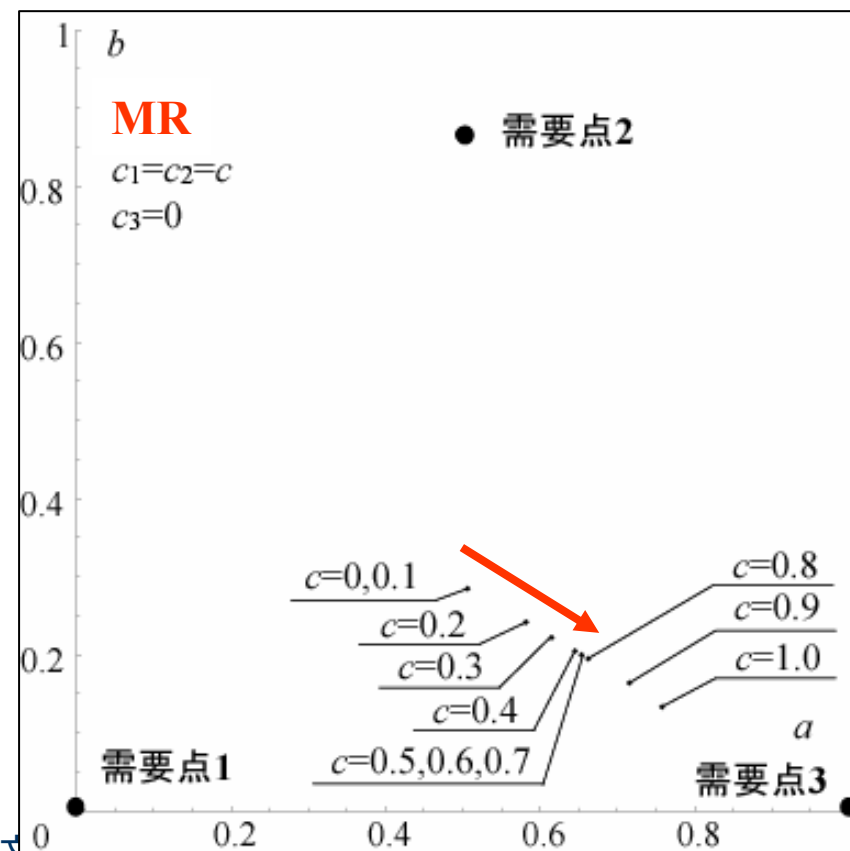
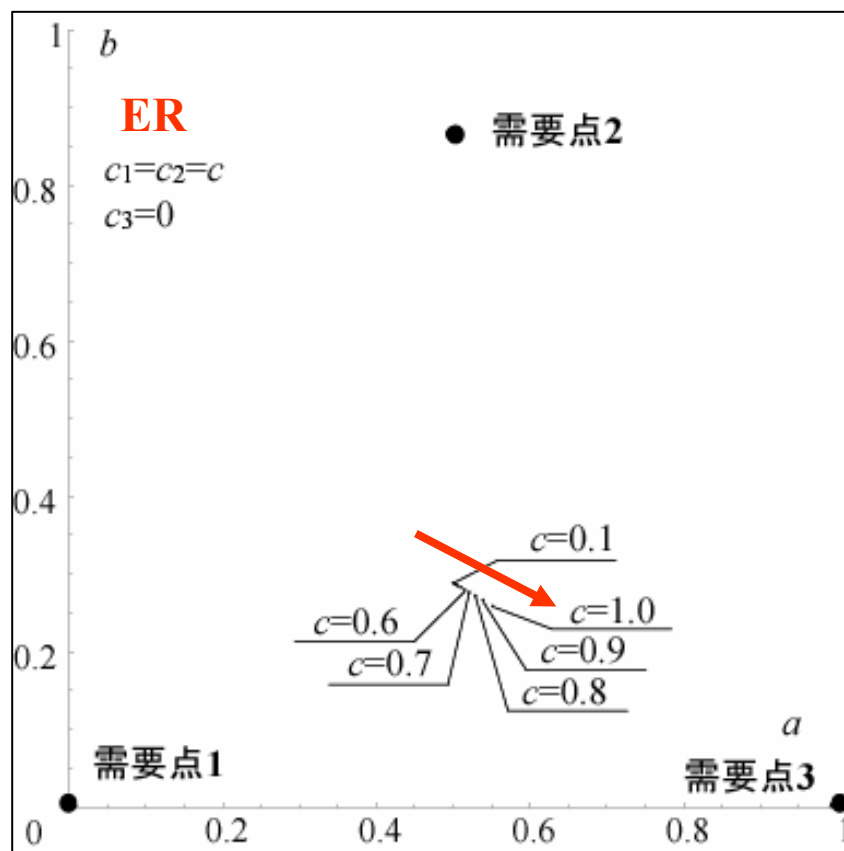
- 決定基準(EW): 施設配置点が需要点3の方向へ変化
- 決定基準(MW): 施設配置点は一点に決まる



二次元平面上での単一施設配置問題

需要量が一様分布に従う確率変数の場合

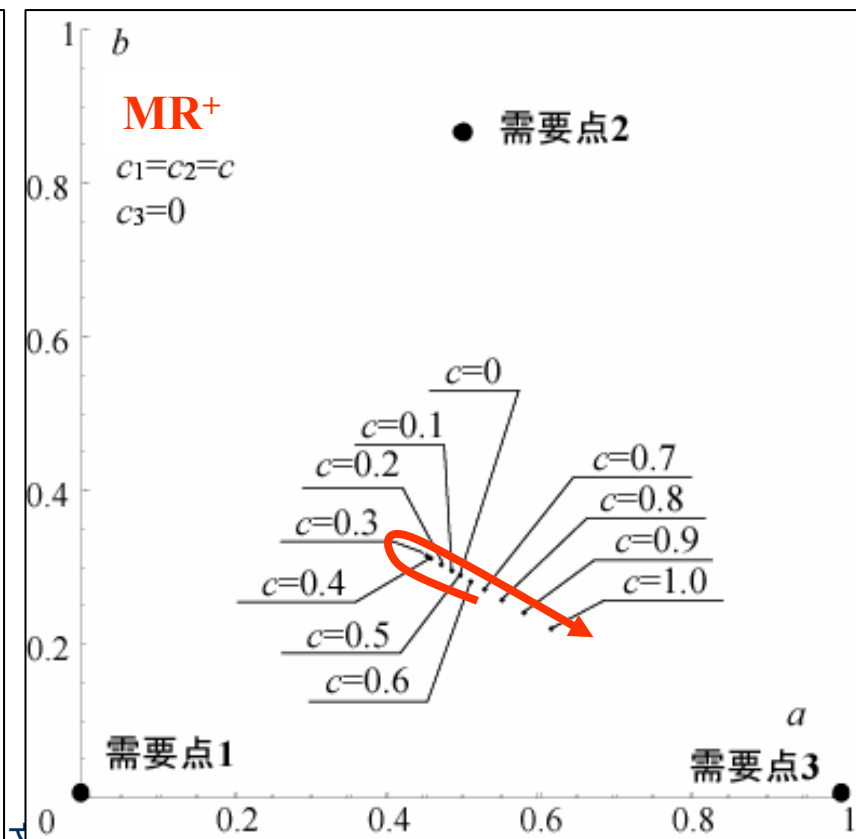
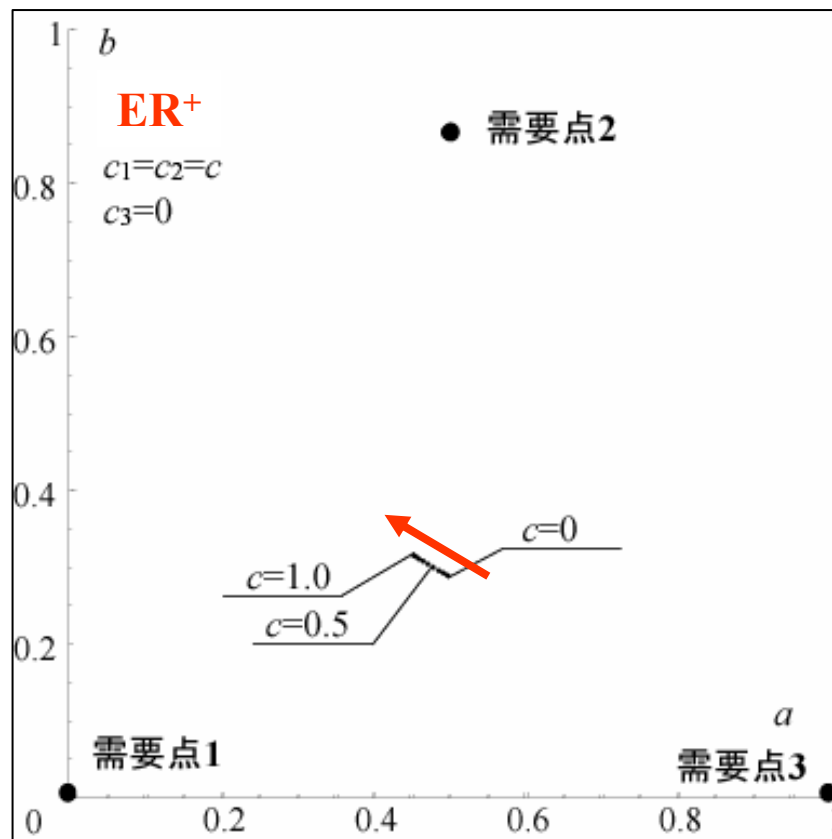
- 決定基準(ER), (MR):
 - 施設配置点が需要点3の方向へ変化



二次元平面上での単一施設配置問題

需要量が一様分布に従う確率変数の場合

- 決定基準(ER^+): 重心から需要点3とは逆方向に変化
- 決定基準(MR^+): はじめ需要点3とは逆方向に変化した後、 $c=0.3$ くらいから需要点3に近づく方向に変化する



まとめ

- 需要量の不確実性と最適配置点, 平均移動距離の関係
 - 利用者数の推定精度が高ければ施設配置が一点に決まる
 - ある地点が最適配置点となる確率は需要量の不確実性に対し, 単なる増加または減少傾向にあるとは限らない.
 - 需要量が不確実なほど需要点が最適配置となる確率が高い
- 需要量の不確実性と決定基準による単一施設配置問題
 - 決定基準による施設配置では, 需要量の不確実性に応じ, 施設配置点は変化する
 - 需要量の不確実性の程度が異なるにもかかわらず, 決定基準による施設の配置が一致する場合がある

今後の課題

1. 各地点に分布する利用者数に相関がある場合の施設配置の性質の解明
2. 複数の施設を同時または時期をずらして配置する際にはどのような分布で施設を配置することが不確実性に対し強いのかを明らかにする
3. 震災や景気の急激な変動など生起確率は小さいが都市構造や施設の利用形態に大きな影響を及ぼすような不確実性を考慮したときの施設配置の性質を明らかにする

参考文献

- [1] 阿藤誠:将来推計人口を考える, 将来人口推計の視点 日本の将来推計人口(平成14年1月推計)とそれを巡る議論, 36-37, ぎょうせい, 東京, 2002.
- [2] Averbakh, I. and Berman, O.: Minimax regret p-center location on a network with demand uncertainty, Location Science, 5(4), 247-254, 1997.
- [3] Canos, M. J., Ivorra, C. and Liern, V.: An exact algorithm for the fuzzy p-median problem, European Journal of Operational Research, 116, 80-86, 1999.
- [4] Cooper, L.: A random locational equilibrium problem, Journal of Regional Science, 14(1), 47-54, 1974.
- [5] Current, J., Ratick, S. and Revelle, C.: Dynamic facility location when the total number of facility is uncertain: A decision analysis approach, European Journal of Operations Research, 110, 597-609, 1997.
- [6] Daskin, M. S., Hesse, S. M. and Revelle, C. S.: α -reliable p-minimax regret: A new model for strategic facility location modeling, Location Science, 5(4), 227-246, 1997.
- [7] Drezner, Z.: Facility Location: A survey of Applications and Methods, Springer, New York, 1995.
- [8] Drezner, Z. and Hamacher, H. W.: Facility Location: Application and Theory, Springer, Berlin, 2002.
- [9] Drezner, Z. and Guyse, J.: Application of decision analysis techniques to the Weber facility location problem, European Journal of Operational Research, 116, 69-79, 1999.
- [10] Drezner, Z. and Wesolowsky, G. O.: Facility location when demand is time dependent, Naval Research Logistics, 38, 763-777, 1991.
- [11] Feller, W., 国沢清典監訳: 確率論とその応用II上, 紀伊国屋書店, 東京, 1969.
- [12] 林周二:基礎過程 統計および統計学, 東京大学出版会, 東京, 1988.
- [13] 猪木康裕:建設費と通学距離に着目した小学校設置過程の事後評価, 筑波大学第三学群社会工学類都市計画専攻平成14年度卒業論文, 2003.
- [15] 石原辰雄: 独立で非同質な分布に従う一様確率変数の和および積の分布, 日本応用数理学会論文誌, 12(3), 197-207, 2002.
- [16] 石神孝裕・黒川洸: ニュータウンにおける人口変動推計手法に関する研究, 日本都市計画学会学術研究論文集, 463-468, 2001.
- [17] 石川晃: 市町村人口推計マニュアル, 古今書院, 東京, 1993.
- [18] 国立社会保障・人口問題研究所編:日本の将来推計人口 -平成13年(2001)~62(2050)年-, 国立社会保障・人口問題研究所, 東京, 2002.

参考文献

- [19]厚生労働省大臣官房統計情報部人口動態・保健統計課保健統計室編: 医療施設・病院報告, 厚生統計協会, 東京, 2002.
- [20] 厚生労働省大臣官房統計情報部社会統計課編: 社会福祉施設等調査報告, 厚生統計協会, 東京, 2002.
- [21] 窪田順次・鈴木勉: 不確実な需要分布下でのリグレット最小化施設配置問題, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, 54-55, 2003.
- [22] 窪田順次・鈴木勉: 需要が不確実な場合の最適施設配置, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, 82-83, 2003.
- [23] 窪田順次・鈴木勉: 需要量の不確実下での一次元単一施設配置問題,(投稿中)
- [24] Louveaux, F. V.: Stochastic location analysis, Location Science, 1(2), 127-154, 1993.
- [25] 松富達夫・石井博昭: ファジィ概念を用いた非対称距離施設配置問題, 日本ファジィ学会誌, 8(1), 57-64, 2000.
- [26] 文部科学省生涯学習政策局調査企画課編: 学校基本調査報告書, 財務省印刷局, 東京, 2003.
- [27] 日本ファジィ学会編: ファジィとソフトコンピューティングハンドブック, 共立出版株式会社, 東京, 312-31, 2000.
- [28] 野坂正史・吉川徹: 通所型高齢者施設の配置計画に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 525, 201-208, 1999.
- [29] 岡部篤行・鈴木敦夫: 最適配置の数理, 朝倉書店, 東京, 1992.
- [30] Owen, S. H. and Daskin, M. S.: Strategic facility location: A review, European Journal of Operations Research, 111, 423-447, 1998.
- [31] Perez, J. A. M, Vega, J. M. M. and Verdegay, J. L.: Fuzzy location problems on networks, Fuzzy Sets and Systems, 1998.
- [32] 総務省統計局編: 国勢調査報告, 総務省統計局, 東京, 2000.
- [33] 渡辺俊一: 都市計画の概念と機能, 日本の都市法 I 構造と展開, 139-180, 東京大学出版会, 東京, 2001.
- [34] Weber, A.: Ueber den Standort der Industrien. Erster Teil. Reine Theorie der Standorte. Mit einem mathematischen Anhang von G.PICK. (in German). Verlag, J. C. B. Mohr, Tübingen, Germany, 1909(篠原泰三訳: 工業立地論, 大明堂, 1986).
- [35] Wesolowsky, G. O.: The Weber problem with rectangular distances and randomly distributed destinations, Journal of Regional Science, 17(1), 53-60, 1977.
- [36] Wesolowsky, G. O.: Probabilistic weights in the one-dimensional facility location, Management Science, 24(2), 224-229, 1977.
- [37] 吉武泰水編: 建築計画学1 地域施設 総論, 丸善株式会社, 東京, 1977.