

空間分担の科学 — テリトリーデザインの視点 —

2026年1月27日

専修大学経営研究所第4回定例研究会

専修大学経営学部 塩野直志



空間分担（Territory Design）

- 小さな地理的地域（基本的な単位）を、定めた基準に適合するよう、より大きな地理的クラスターである地区にまとめること。
- 英語ではterritory design, districting, territory alignment, zone design, sector designなど。
- 国内実務では「エリア分け」と呼ばれることが多いが、地区編成、区割り、地区割、領域分割、空域分割、商圈設計、ブロック化など分野により異なる言葉を使用。
- Management science分野では空間分担を行う問題をDistricting problems, Territory design problemsと呼ぶ。

空間分担（Territory Design）

小さな地理的地域（基本的な単位）を、定めた基準に適合するようより大きな地理的クラスターである地区にまとめること

基本的な単位：小地域

顧客，通り，番地，町丁目，郵便番号

定めた基準：主に三基準

- (1) バランス性(balance)：対象者数が均等など
- (2) 地理的連続性(contiguity)：飛び地がないこと
- (3) コンパクト性(compactness)：区域形状が凸であること



出典：Kalcsics (2020)

空間分担（Territory Design）

Territory Designの一例

分野	目的
選挙	選挙区を設定し有権者が投票
郵便配達・ごみ収集	職員が施設から住戸を巡回
物流・配送	配送員がデポから顧客を巡回
空域	航空機運航時の管制
営業	営業マンが営業拠点から顧客を巡回
公立学校	学生が住戸から学校に登下校
消防・警察・救急	職員が施設から住戸を訪問
公共サービス	住民が住戸から公共施設を訪問

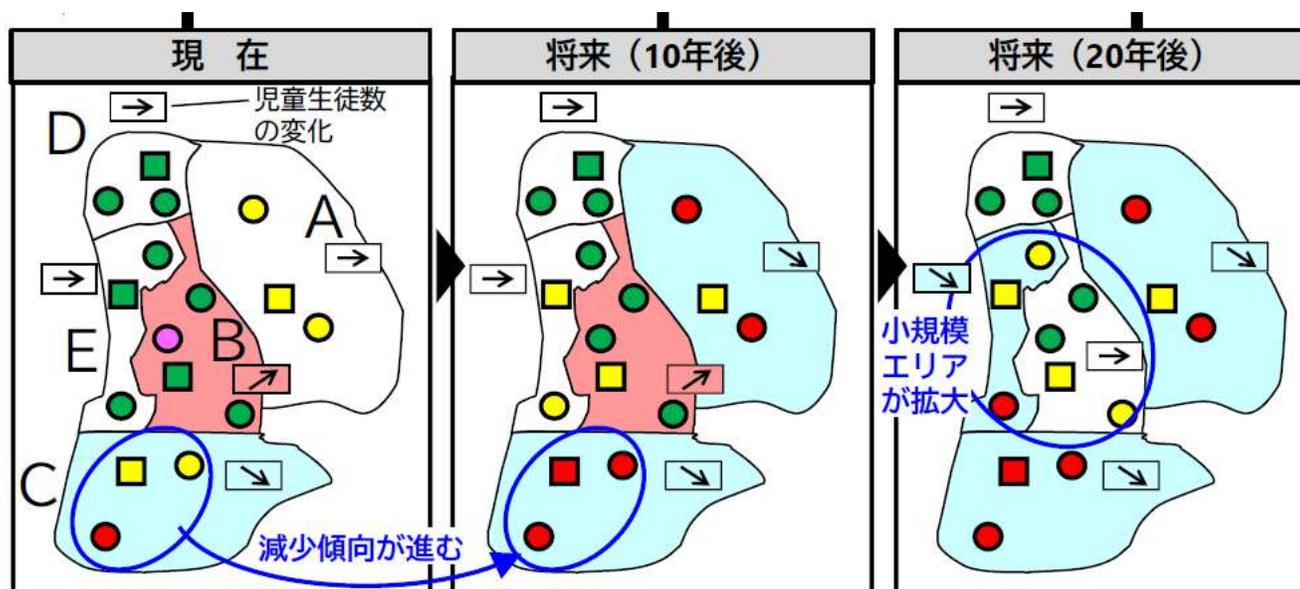
空間分担 (Territory Design)

□ 通学区域 → 学校配置の基準

● 学級数が、小学校及び中学校にあつてはおおむね十二学級から十八学級まで、義務教育学校にあつてはおおむね十八学級から二十七学級までであること。

● 通学距離が、小学校にあつてはおおむね四キロメートル以内、中学校及び義務教育学校にあつてはおおむね六キロメートル以内であること。

(義務教育諸学校等の施設費の国庫負担等に関する法律施行令)

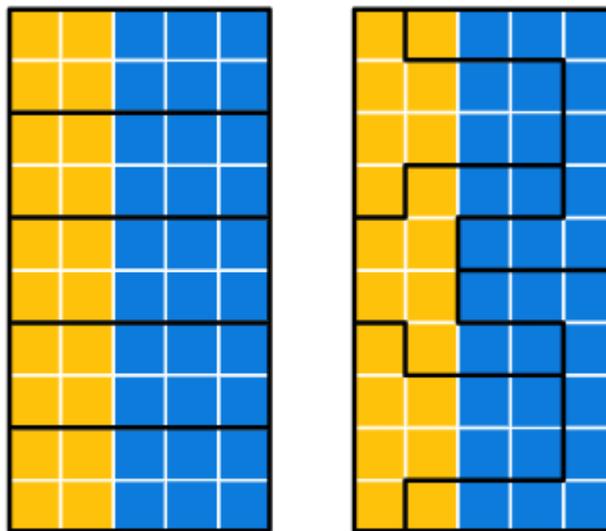


(出典：令和5年度 学校の適正規模・適正配置及びより良い教育環境の実現に向けた部局横断的な検討体制による学校施設に係る計画策定事例に関する調査報告書, 文部科学省, 2024)

空間分担 (Territory Design)

□ 選挙区割 : Gerrymandering (ゲリマンダー)

- 選挙区内の政党, グループ, または社会経済階級に有利になるように選挙区の境界線を政治的に操作すること
- 1812年のエルブリッジ・ゲリー知事の下で行われたマサチューセッツ州上院選挙区の再編成に起源
- 日本ではハトマンダー, ホソマンダーなど政治家の名前をもじって使用

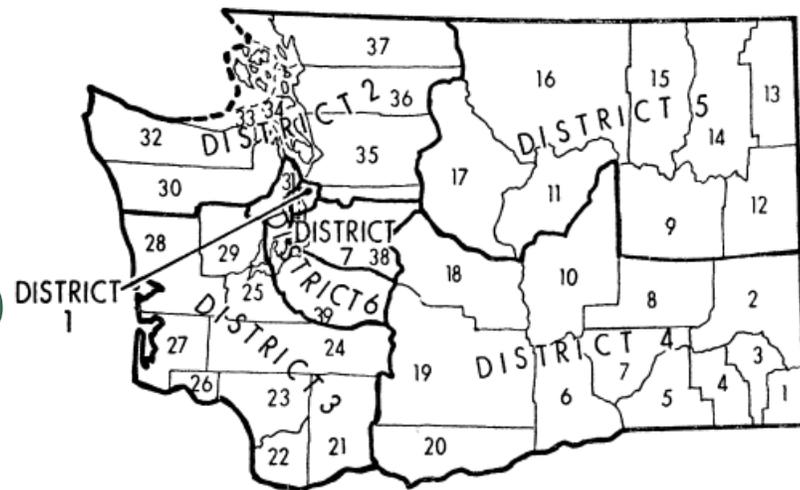


出典 : <https://en.wikipedia.org/wiki/Gerrymandering>

空間分担 (Territory Design)

□ 選挙区割

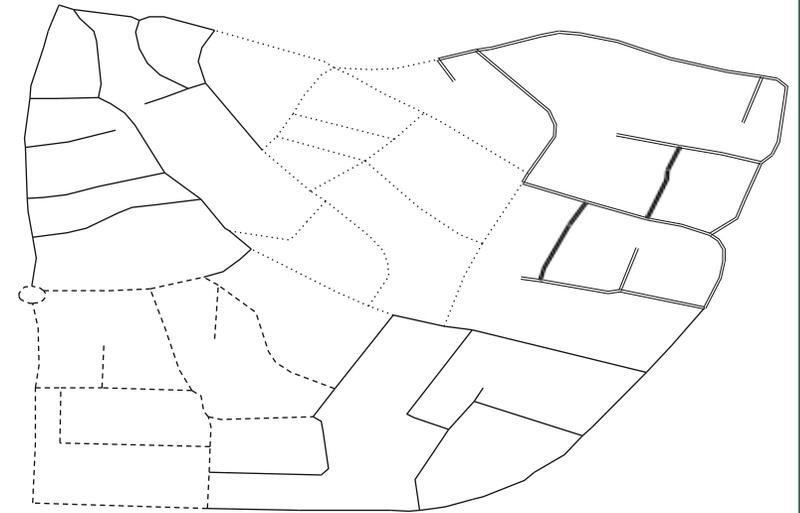
- 1965年：政治的意図を排し，数理アルゴリズムによって非党派的に選挙区割りを行えるかを研究(Hess et al., 1965).
- 1970年：効率的なアルゴリズムを提案(Garfinkel and Nemhauser, 1970)
 - ✓ 人口均等性やコンパクト性を考慮して提案.
 - ✓ Territory Designは政治問題ではなく計画問題・最適化問題であることを提示.
- 選挙区割りは現在も世界的に研究が行われており Territory Designの代表的な問題.



空間分担（Territory Design）

□ 郵便配達・ごみ収集・検針などのTerritory Design

- ほぼすべての区画に顧客が存在。
 - 交差点をどのように区切ってTerritoryを作るかという問題。
 - 事業の違いとして
 - ✓ 郵便配達は平日
 - ✓ ごみ収集は週一回（週二回）
 - ✓ 電力やガスの検針は月一回
- であるがTerritory Design問題の定式化は同じ。



出典：Kalcsics(2020)

空間分担 (Territory Design)

□ 郵便配達・ごみ収集・検針などのTerritory Design

- 1992年：繰り返し算法による検針区域の分割方法を提案。Southern California gas社に適用し，年間87万ドルのコスト削減を実現 (Wunderlich et al., 1992)



空間分担（Territory Design）

Territory Designの多くは施設配置問題に帰着

分野	目的	
選挙	選挙区を設定し有権者が投票	→Territory Design問題
郵便配達・ごみ収集	職員が施設から住戸を巡回	→実務上経験則で十分
物流・配送	配送員がデポから顧客を巡回	→本日の話
空域	航空機運航時の管制	
営業	営業マンが営業拠点から顧客を巡回	
公立学校	学生が住戸から学校に登下校	→施設配置問題
消防・警察・救急	職員が施設から住戸を訪問	
公共サービス	住民が住戸から公共施設を訪問	

国内物流のTerritory Design

□ Territoryを設けている理由

- (1)顧客満足度(Customer Satisfaction)の維持
 - 顧客から同一配送員による配送のリクエスト
 - 家の中に立ち入るという安全性
- (2)配送員満足度(Employee Satisfaction)の向上
 - 土地勘ある場所での継続的な配送
- (3)配送員生産性(Employee Productivity)の向上

国内物流のTerritory Design

□ Territoryを設けている理由

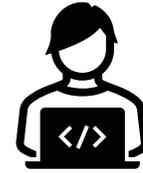
(3) 配送員生産性(Employee Productivity)の向上

- ・ 配送先の特定
- ・ 駐車場所の確認
- ・ 重量容器の搬送
- ・ 敷地内手押し搬送

国内物流のTerritory Design

□ 研究の動機

数理的にTerritoryを作れないか？



- ・ 現在は(実質)ルールがない

- ・ 管理者/配送員が”何となく”で策定



- ・ (検針区域同様)作り方で大きな差はないという現場認識

研究内容

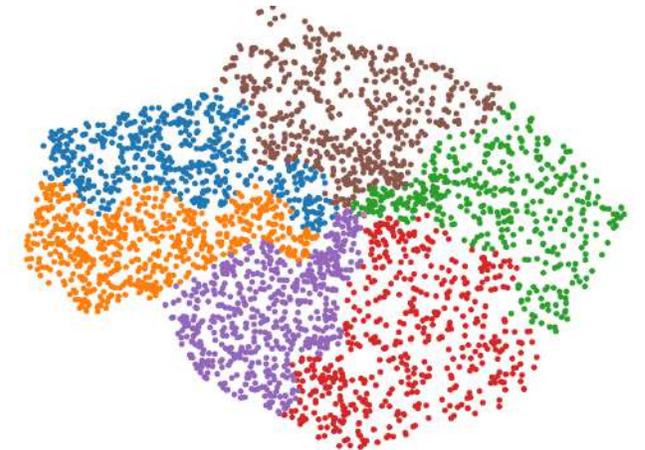
研究 1. 物流事業におけるTerritory Design問題の解法研究

研究 2. 物流事業のTerritory Designにおけるコンパクト性の評価

研究 3. 事業者間連携を伴うTerritory Design ←進行中

研究 1 : Territory Design問題解法研究

- 配送の特徴
 - 日々同じ顧客を配送するわけではない
- Territory Designとして考えられる方法：クラスタリング
 - ・ 各データが「一番近い代表点」に属するよう分割する方法
 - 一番近い代表点
 - 重心：k-means法
 - ある需要点：p-median法
 - ・ どちらもデポ（配送拠点）の位置を無視しているためよいTerritoryができる保証はない
- 丸山他(2022), Toki and Shiono(2026)などの研究



研究内容

研究 1. 物流事業におけるTerritory Design問題の解法研究

研究 2. 物流事業のTerritory Designにおけるコンパクト性の評価

研究 3. 事業者間連携を伴うTerritory Design ← 進行中

研究 2 : Territory Designにおけるコンパクト性

□ Territory Designの基準

- (1) バランス性(balance), (2) 連続性(contiguity),
- (3) **コンパクト性(compactness)**

正方形・円のような形状をしたTerritoryの方が
総移動距離が小さいのでは？

顧客がTerritory内にランダムに
存在するとして計算し
Territoryの形状によりどの位
総移動距離が変化するか考察



研究 2 : Territory Designにおけるコンパクト性

前提

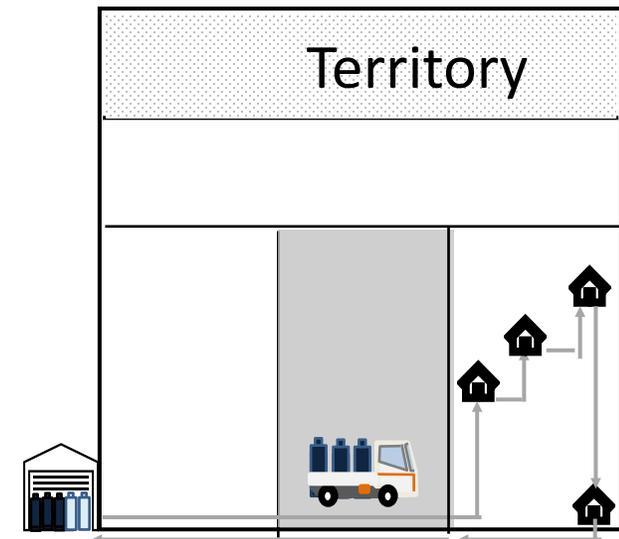
- ・ 矩形のエリアを m 個の Territory に分割
- ・ 各 Territory 内にランダムに n 顧客存在
- ・ デポからすべての Territory を周回
- ・ 移動距離は直交距離

テリトリー内の周回距離の期待値

$$f(\lambda, n, S) = 0.88 \left(\sqrt{n+1} + \frac{\lambda}{\sqrt{n+1}} + 1 \right) \sqrt{S}$$

λ : 縦横比, S : テリトリー面積, n : 顧客数

(Hasegawa and Shiono, 2025)



研究 2 : Territory Designにおけるコンパクト性

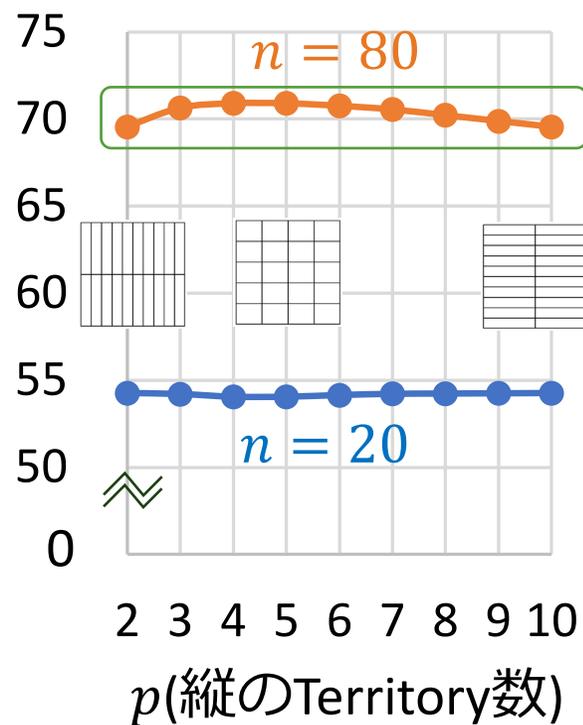
結果 : 移動距離は形状によって大きく変わらず (Shiono and Hasegawa, 2025)

λ : 領域の縦横比

m : Territory数

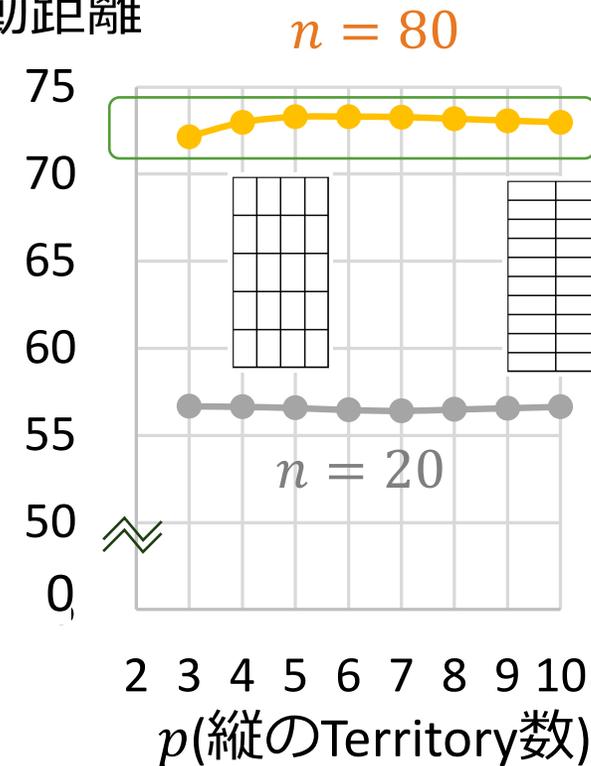
n : 顧客数

総移動距離



$\lambda = 1$, $m = 20$

総移動距離



$\lambda = 2$, $m = 20$

研究 2 : Territory Designにおけるコンパクト性

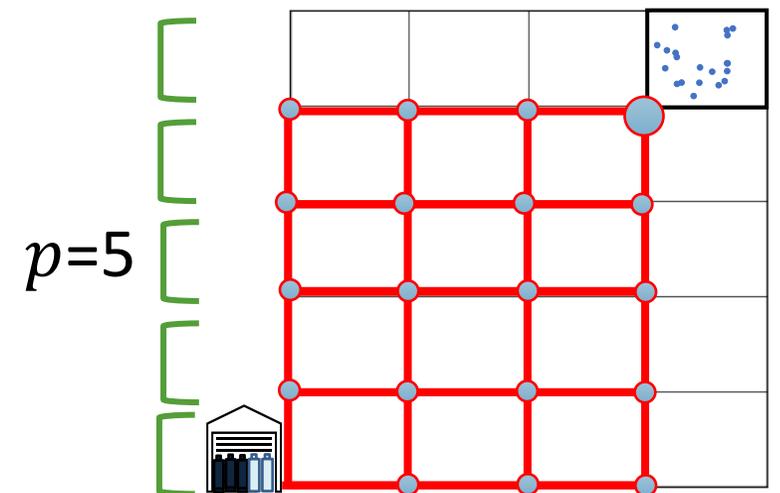
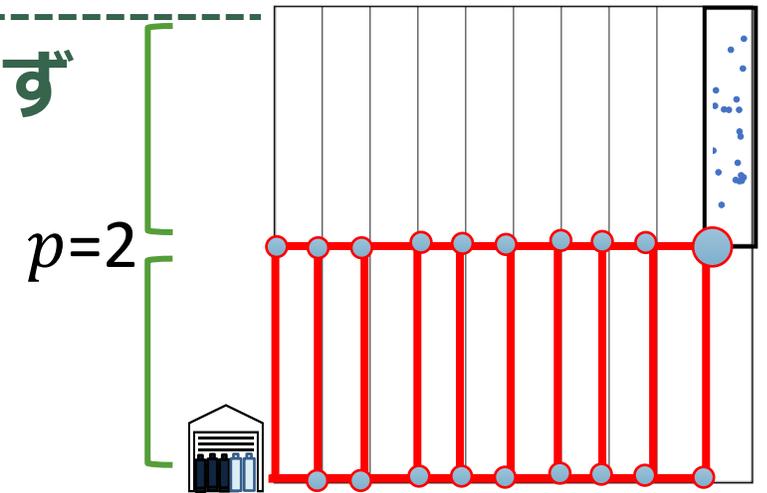
結果 : 移動距離は形状によって大きく変わらず

周回距離の式 λ : 縦横比, n : 顧客数

$$f(\lambda, n, A) = 0.88 \left(\sqrt{n+1} + \frac{\lambda}{\sqrt{n+1}} + 1 \right) \sqrt{S}$$

顧客が増えるほど形状の影響が弱まる

n	p	デポ間距離	周回距離	合計
20	2	-3.0(28.0	3.3(26.3	54.3
	5	31.0	23.0	54.0
80	2	-3.0(28.0	1.6(41.5	69.5
	5	31.0	39.9	70.9



研究 2 : Territory Designにおけるコンパクト性

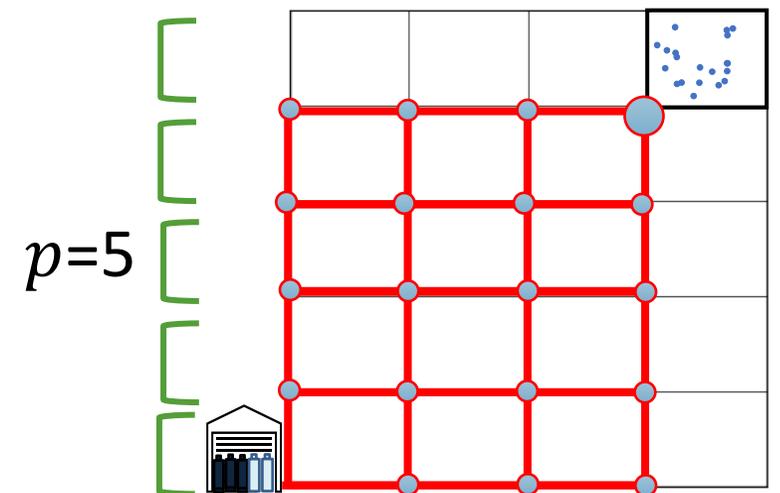
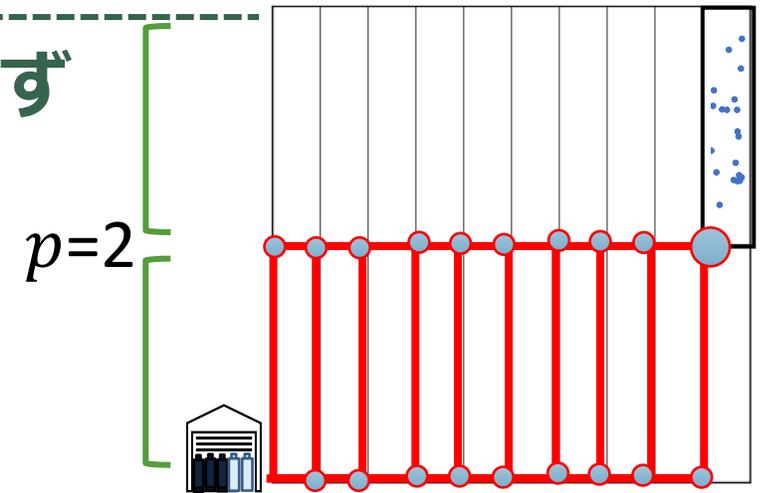
結果 : 移動距離は形状によって大きく変わらず

周回距離の式 λ : 縦横比, n : 顧客数

$$f(\lambda, n, A) = 0.88 \left(\sqrt{n+1} + \frac{\lambda}{\sqrt{n+1}} + 1 \right) \sqrt{S}$$

顧客が増えるほど形状の影響が弱まる

提言 : 日に多くの顧客を訪問する配送において,
コンパクト性は大きな要素ではない。
(むしろ配送管理をしっかり行った方がよい)



研究内容

研究 1. 物流事業におけるTerritory Design問題の解法研究

研究 2. 物流事業のTerritory Designにおけるコンパクト性の評価

研究 3. 事業者間連携を伴うTerritory Design ← 進行中(塩野他,2026)

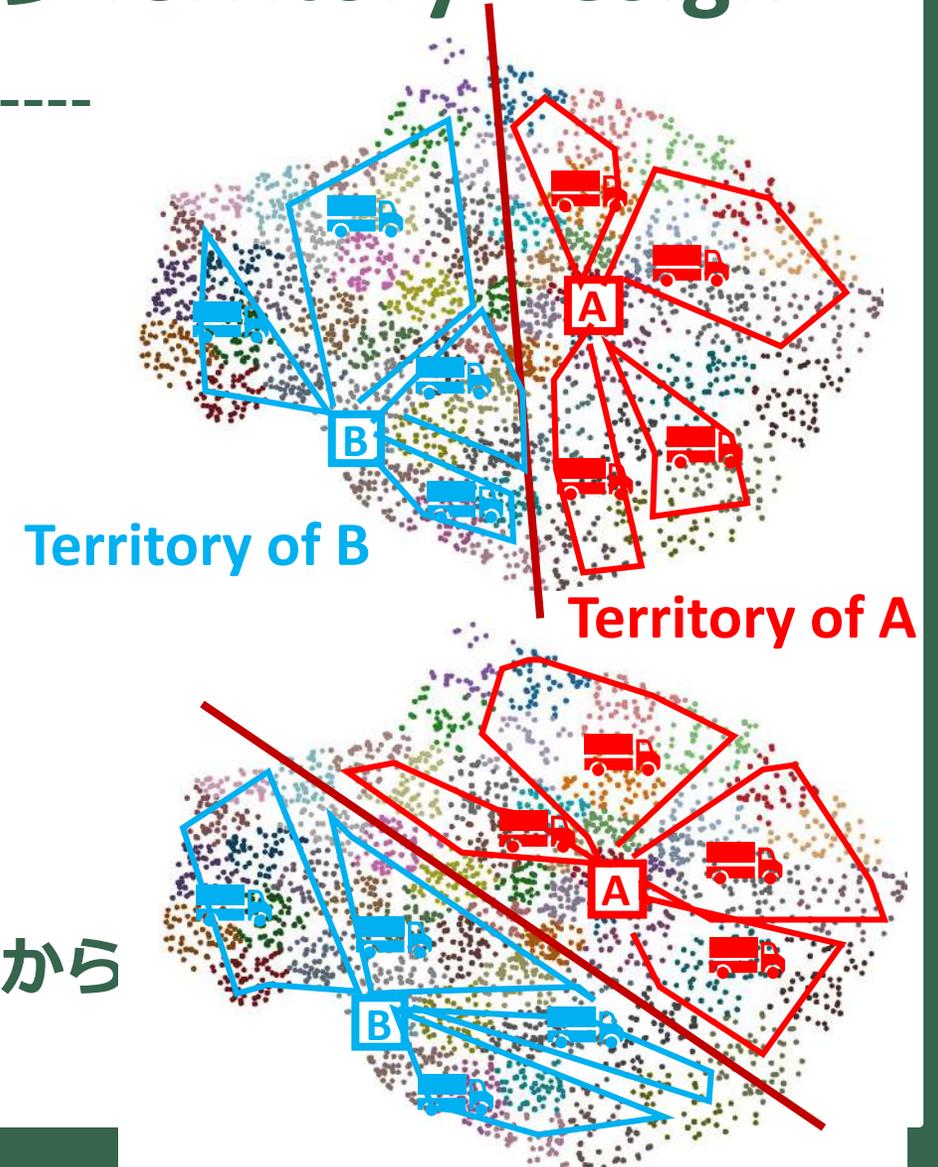
研究3. 事業者間連携を伴うTerritory Design

複数事業者が同じ領域で独立して配送。
事業者間連携を検討

- Territoryを設定
- 相互受委託の方式でTerritory内を配送

課題

- Territoryの作り方
→明確なルールは存在しない
- "ずれによる"清算有無
→件数のずれなどを清算するか否か
交渉の手間やコスト削減が可能であることから
清算を行わないことが多い



研究3. 事業者間連携を伴うTerritory Design

複数の事業者が同じ領域で独立して配送
事業者間連携を検討

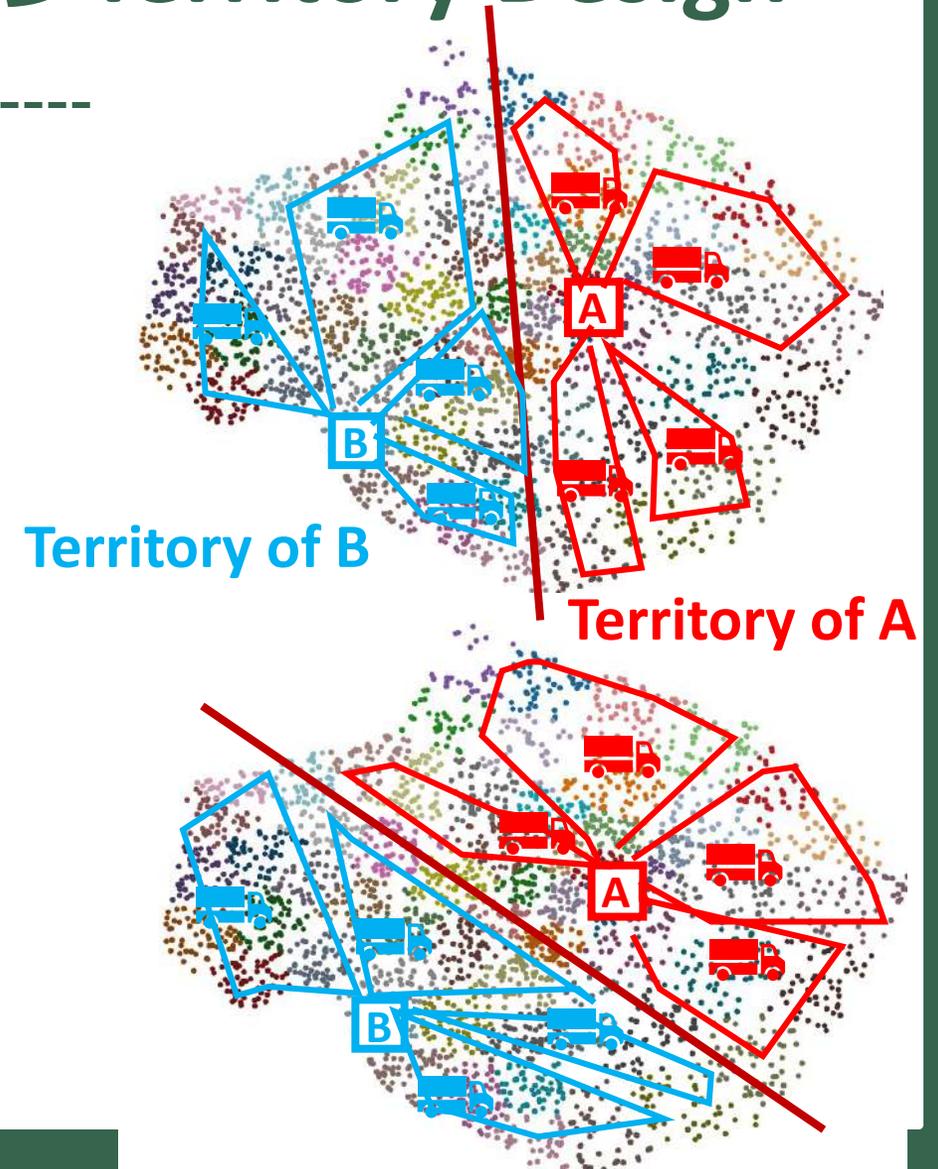
最適化の視点

(1) 全体最適

全体である程度儲かればよい
→ 全事業者の合計コスト最小化

(2) 他者比較

みんな同じくらい得をしたい
→ 各事業者の利益の差の最小化



研究3. 事業者間連携を伴うTerritory Design

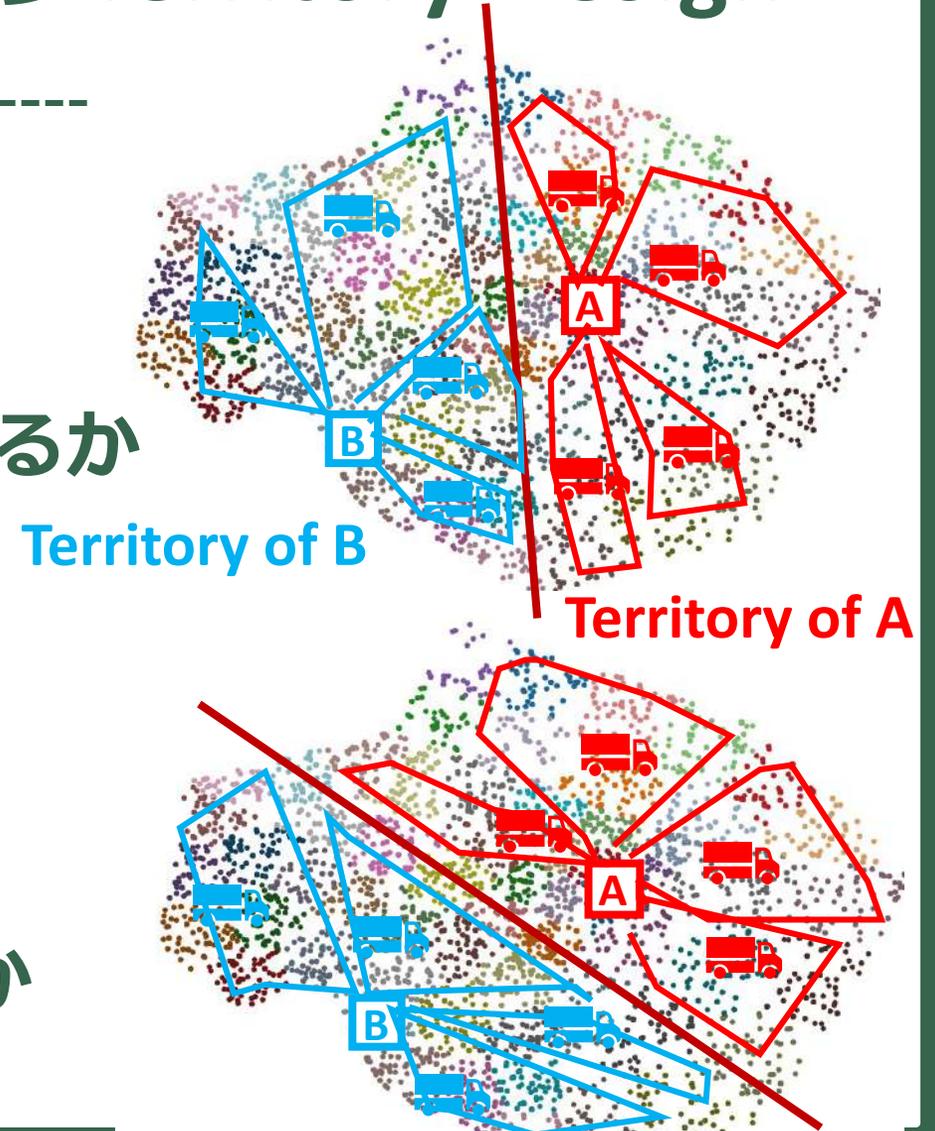
分析内容：基礎的な分析内容

(1) 拠点の位置により利益はどの程度変わるか
(そもそも連携の効果はあるのか)

(2) 目的関数

- 全事業者の合計コスト最小化
- 各事業者の利益の差の最小化

により合計コストはどのように変わるか



研究3. 事業者間連携を伴うTerritory Design

二事業者間提携モデル

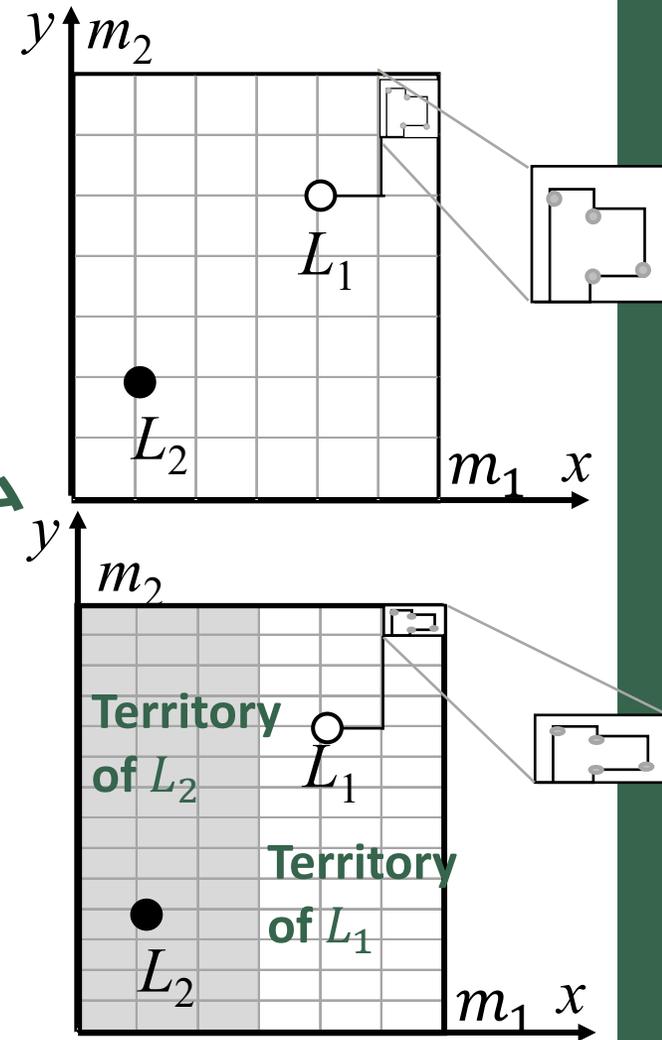
矩形領域 $A = [0, m_1] \times [0, m_2]$

【提携前】

- $m_1 m_2$ 個からなる正方形の地区
- 各地区において事業者(L_1, L_2)別に n 件の顧客がランダムに存在

【提携後】

- $2m_1 m_2$ 個からなる矩形の地区
- 各地区において n 件の顧客がランダムに存在
- 各地区を事業者(L_1, L_2)別に割り振り



研究3. 事業者間連携を伴うTerritory Design

二事業者間提携モデル

矩形領域 $A = [0, m_1] \times [0, m_2]$

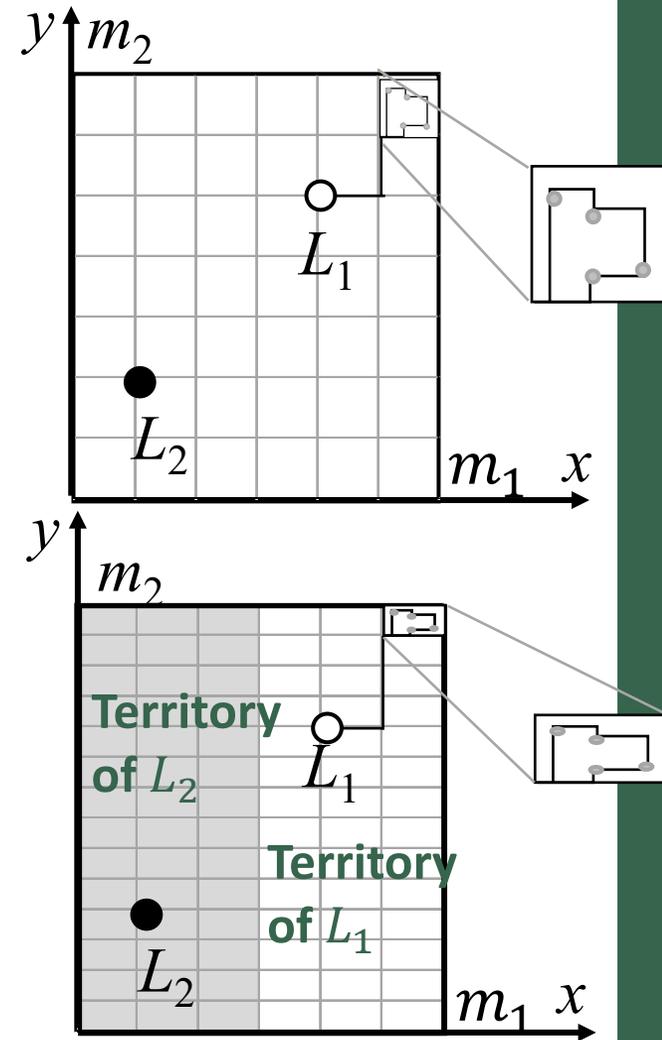
【提携後】

- 各地区において n 件の顧客がランダムに存在
- 各地区を事業者 (L_1, L_2) 別に割り振り
- 拠点は(提携前)地区の角に存在
- 事業者のテリトリーを決める最適化問題

目的関数

- (1) 二事業者の総コスト(総移動距離)の最小化
- (2) 二事業者の利益 (提携後ー提携前移動距離)の差の最小化

全ての拠点の組合せで計算を実施

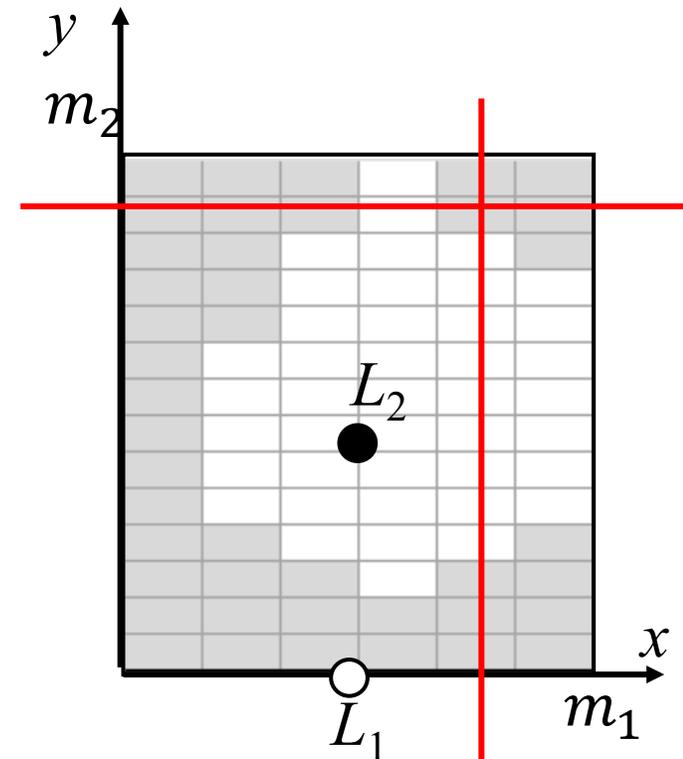


研究3. 事業者間連携を伴うTerritory Design

Territory designにおける基準

- (1) バランス性(balance) : 対象者数が均等など
- (2) 地理的連続性(contiguity) : 飛び地がないこと
- (3) コンパクト性(compactness) : 区域形状が凸

地理的連続性の制約を入れないと右図のように
飛び地が発生
連続性を考慮した制約条件の追加が必要



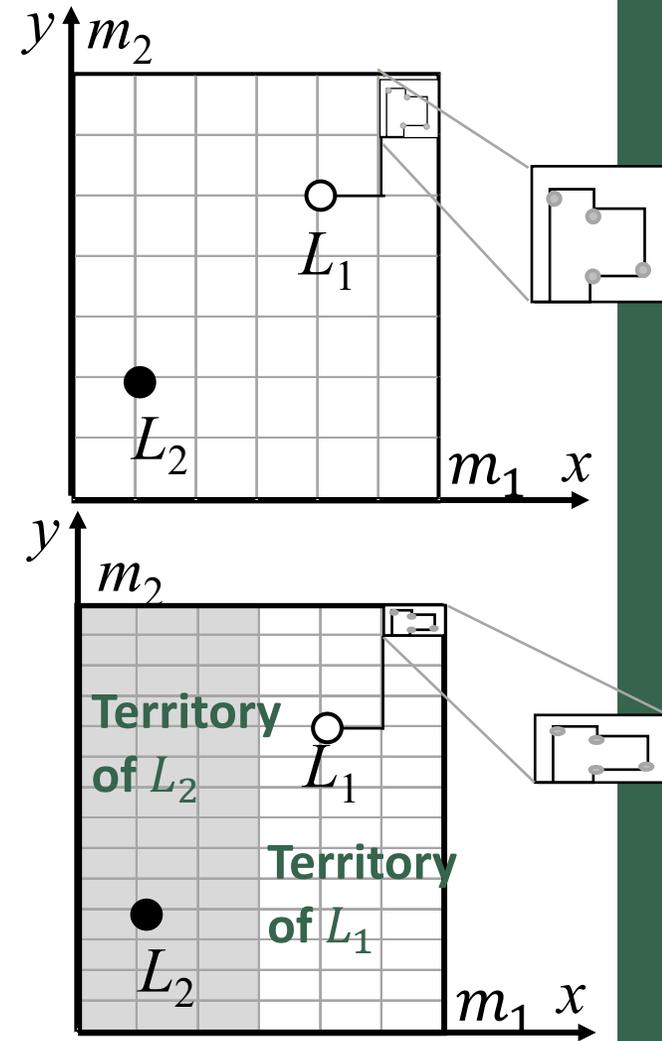
研究3. 事業者間連携を伴うTerritory Design

数値例

- 矩形領域 $A = [0,6] \times [0,7]$
→ 42個の地区からなるTerritory
- 各地区の顧客件数20件
- 拠点の全ての組合せで移動距離を計算

分析内容

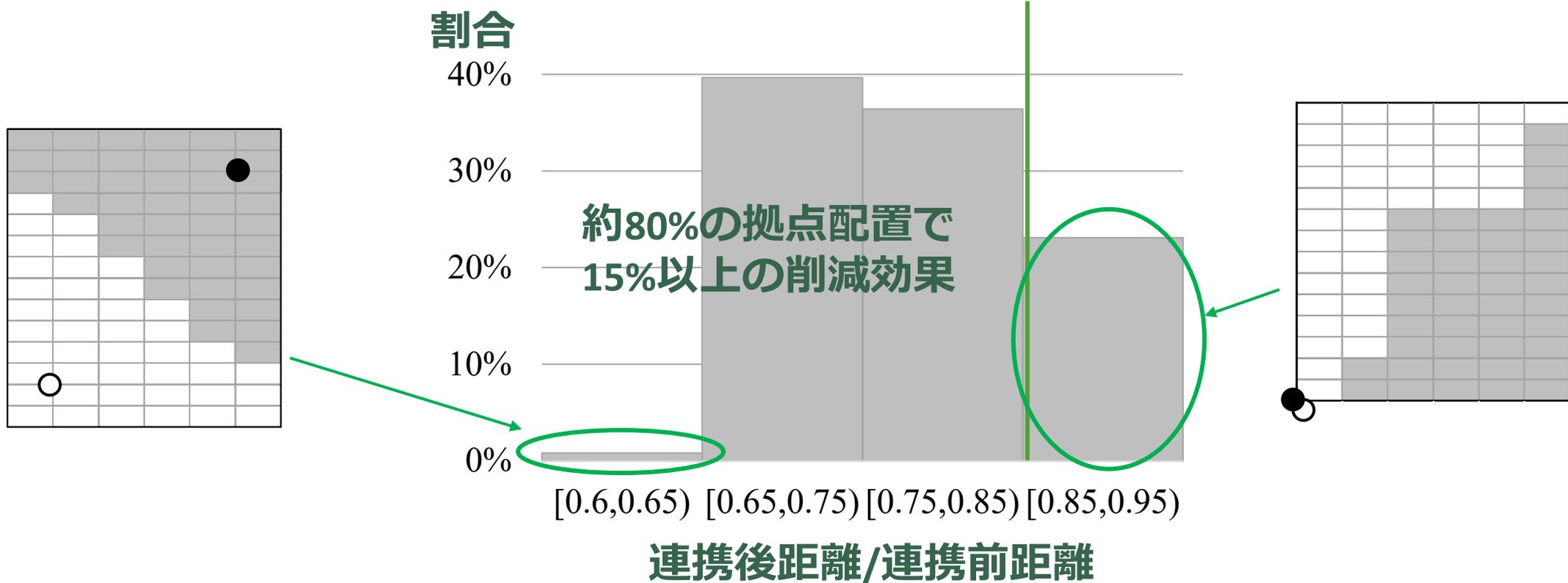
- (1) 拠点の位置により利益はどの程度変わるか
(そもそも連携する効果はあるのか)
- (2) 目的関数
 - 全事業者の合計コスト最小化
 - 各事業者の利益の差の最小化により合計コストはどのように変わるか



研究3. 事業者間連携を伴うTerritory Design

分析内容

(1) 連携する効果はあるのか→多くの拠点配置で連携する効果あり



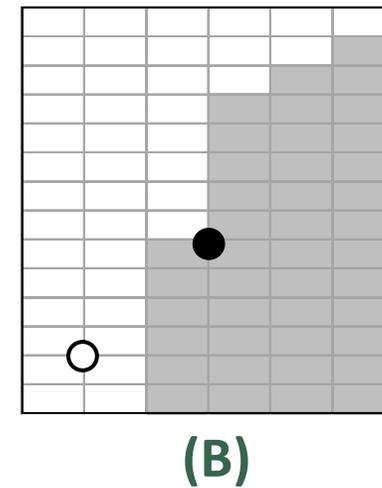
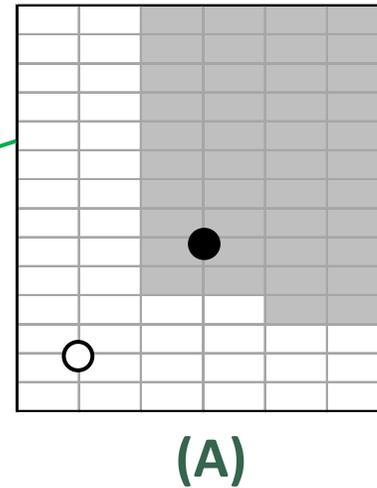
研究3. 事業者間連携を伴うTerritory Design

分析内容

(2) 目的関数

(A) 全事業者の合計コスト最小化 (B) 各事業者の利益の差の最小化
により合計コストはどのように変わるか
→ 多くのケースでそれほど変わらない

(A)コスト/(B)コスト	割合
[87%,92%)	1%
[92%,97%)	11%
[97%,100%)	58%
100%	30%



参考文献

1. Kalcsics, J., & Ríos-Mercado, R. Z. (2020). Districting problems. In Location science (pp. 705-743). Cham: Springer International Publishing.
2. Hess, S et al. (1965). Nonpartisan political redistricting by computer. *Operations Research*, 13(6), 998-1006.
3. Garfinkel, R. S., & Nemhauser, G. L. (1970). Optimal political districting by implicit enumeration techniques. *Management Science*, 16(8), B-495.
4. Wunderlich, J. et al. (1992). Scheduling meter readers for Southern California gas company. *Interfaces*, 22(3), 22-30.
5. Maruyama, J et al. (2022). Maximum Likelihood Estimation Of The Optimal Area Assignment By Delivery Planning Simulation, *Informs annual meeting 2022*.
6. Toki, S & Shiono, N. (2026). Designing Territories: Revisiting a Cluster-First Route-Second algorithm. *International Symposium on Location Decisions (ISOLDE) XVII (Submitted)*.
7. Shiono, N & Hasegawa, D. (2025). Impact of Territory Design on the Routing Distance: Approach via Continuous Approximation Models, *ICCL 2025*.
8. 塩野 直志, 長谷川 大輔. (2026). 非清算型事業者間連携における配送拠点配置の役割. *日本オペレーションズ・リサーチ学会2026年春季研究発表会 (投稿中)*.

ご清聴ありがとうございました