

The background of the slide is a map of Japan. Overlaid on the map is a heatmap representing population density or spatial analysis data. The colors range from dark blue (low density) to green, yellow, and red (high density). The highest density areas are concentrated in the Kanto region around Tokyo and in the Osaka region.

# 空間分析の手法

---

東北大学経済学部 2 年  
澤谷一磨

# 目次

---

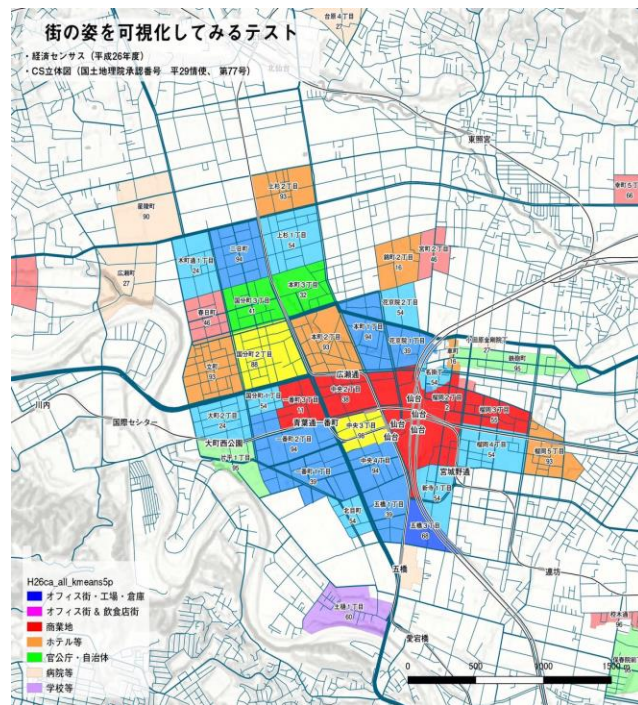
1. イントロダクション
2. 空間分析の可視化手法
3. 空間統計学の手法

# 目次

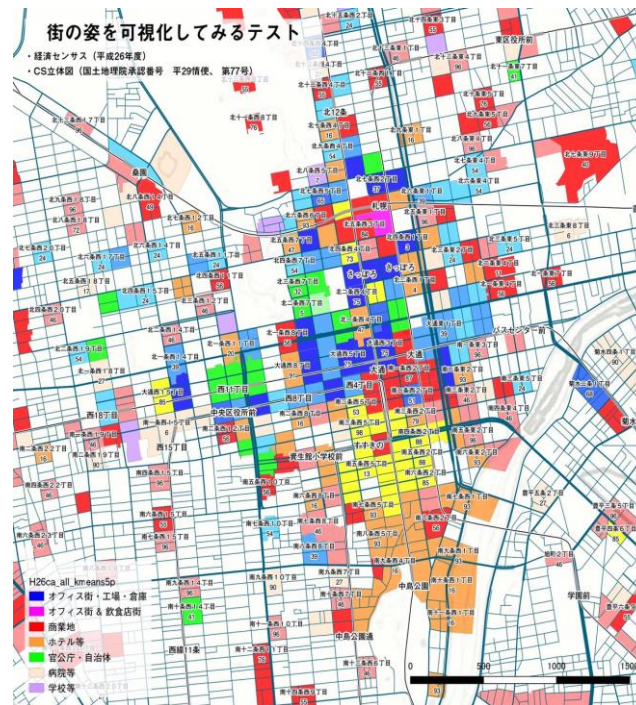
---

1. イントロダクション
2. 空間分析の可視化手法
3. 空間統計学の手法

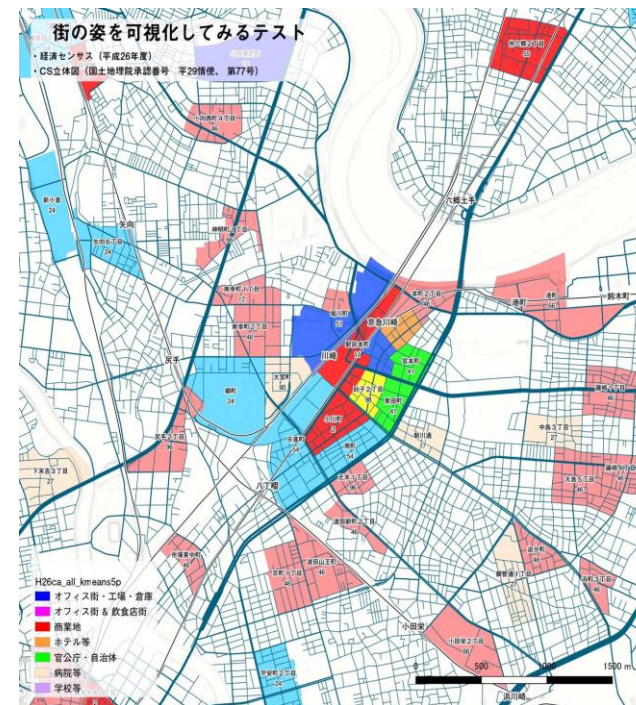
# 事例 土地利用の特性を眺める



仙台市



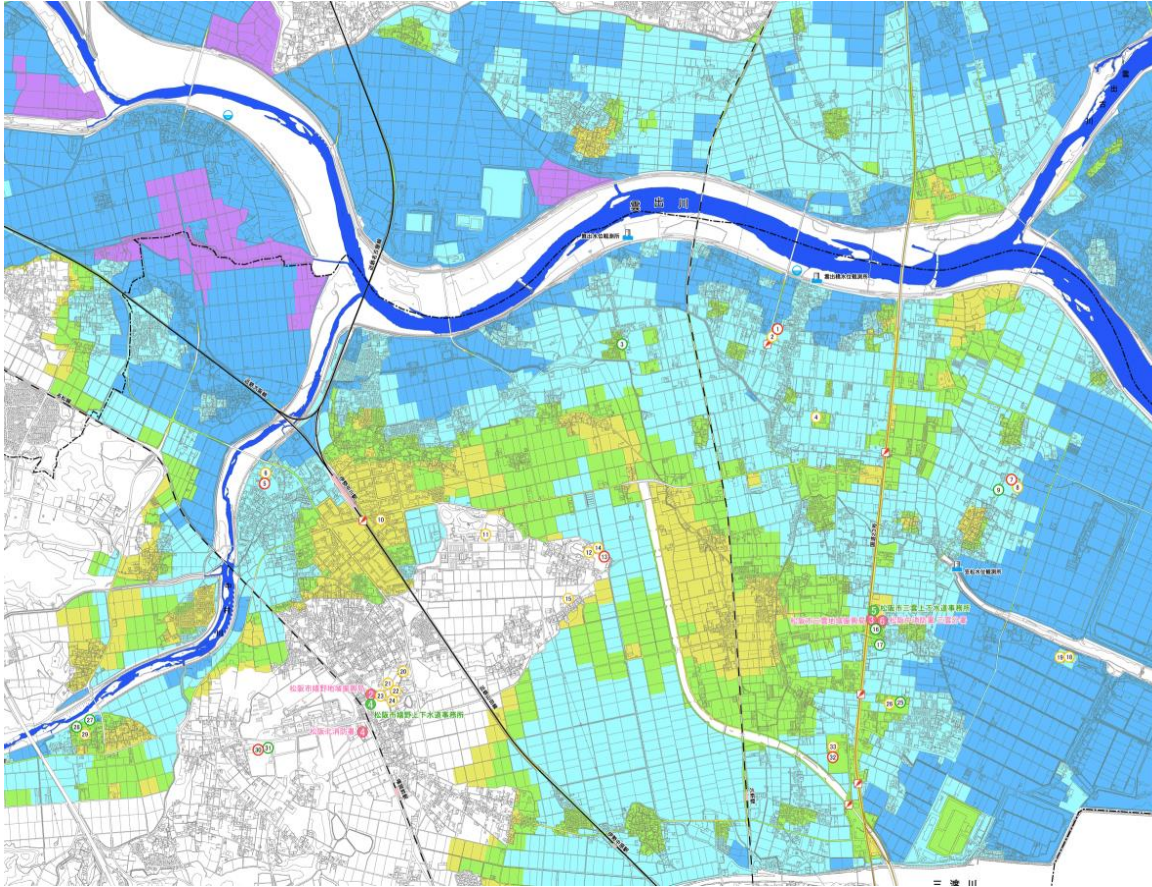
札幌市



川崎市



# 事例 防災・減災のために



## ・洪水ハザードマップ

- ・ H・E・VのうちHのみ
- ・ 最悪の場合を想定し、曝露（E）を過大評価していることが多い

# 事例 防災・減災のために

---

- 災害のリスク方程式

- リスク(R) = ハザード(H) × 曝露(Exposure) × 脆弱性(Vulnerability)

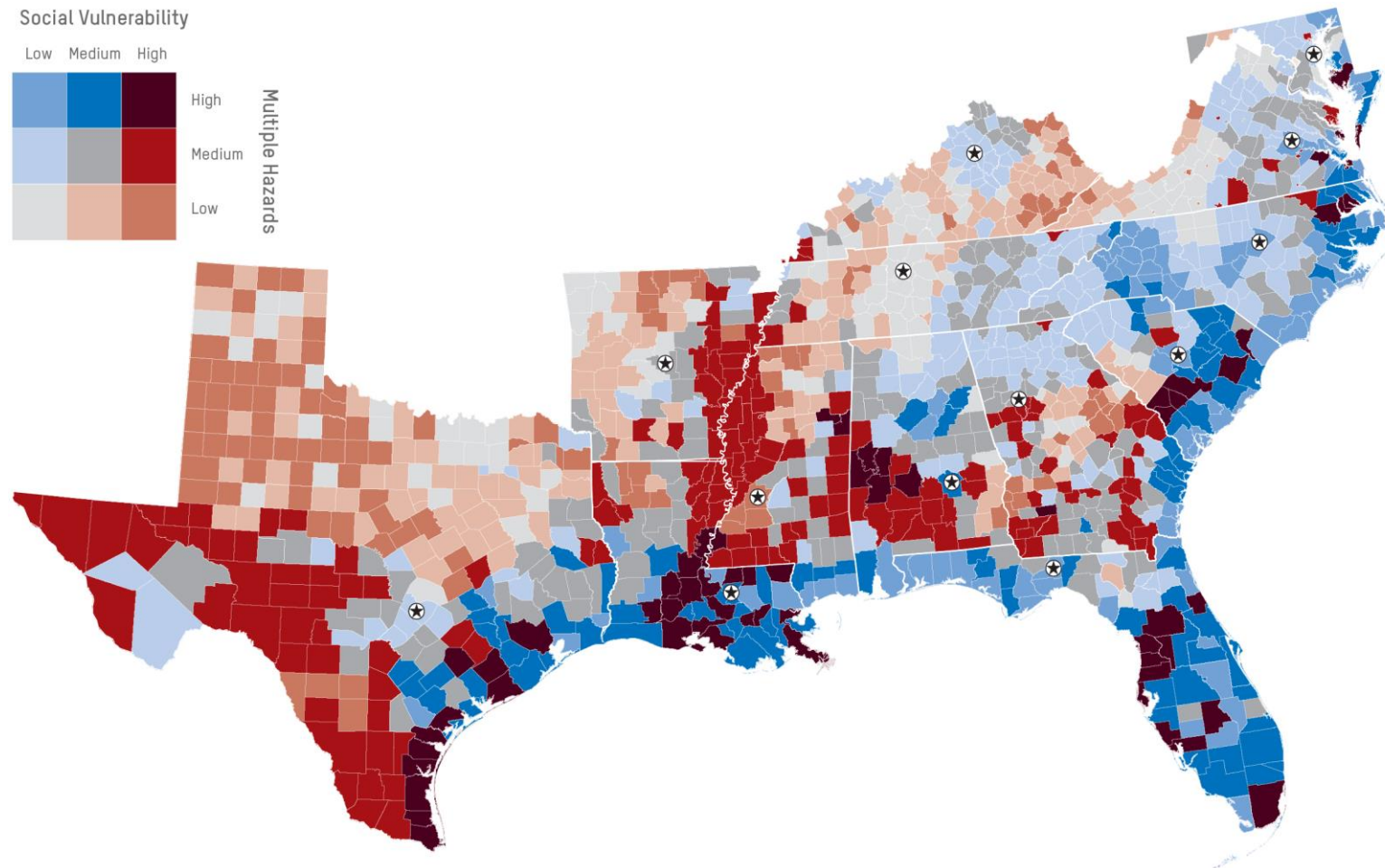
- コレラの例

- ポンプへのコレラ菌の混入(H)
    - 汚染されたポンプを使用する人の範囲(E)
    - 適切な治療行動・栄養状態などの欠如(V)

- 犯罪の例(日常活動理論)

- 犯罪を動機づけられた人物(H)
    - 無防備な標的(E)
    - 有能な看視者の欠如(V)

# 事例 防災・減災のために



- アメリカ南東部の災害脆弱性マップ
  - H・E・Vを含む

# 目次

---

1. イントロダクション
2. 空間分析の可視化手法
3. 空間統計学の手法



# 空間分析の基礎概念

---

- 空間的依存性（空間的自己相関）

- 近いものほどより密に関連しているという法則
- 地理学の第一法則とも(W. Tobler)
- 検証方法
  - モランのI統計量(Moran's I)
  - ローカル・モラン統計量(Local Moran's I)
  - ゲイリーのC統計量(Geary's C)

- 空間的異質性

- 性質の空間的な不均一性（地域差）を表す

# 事例 1 空間疫学



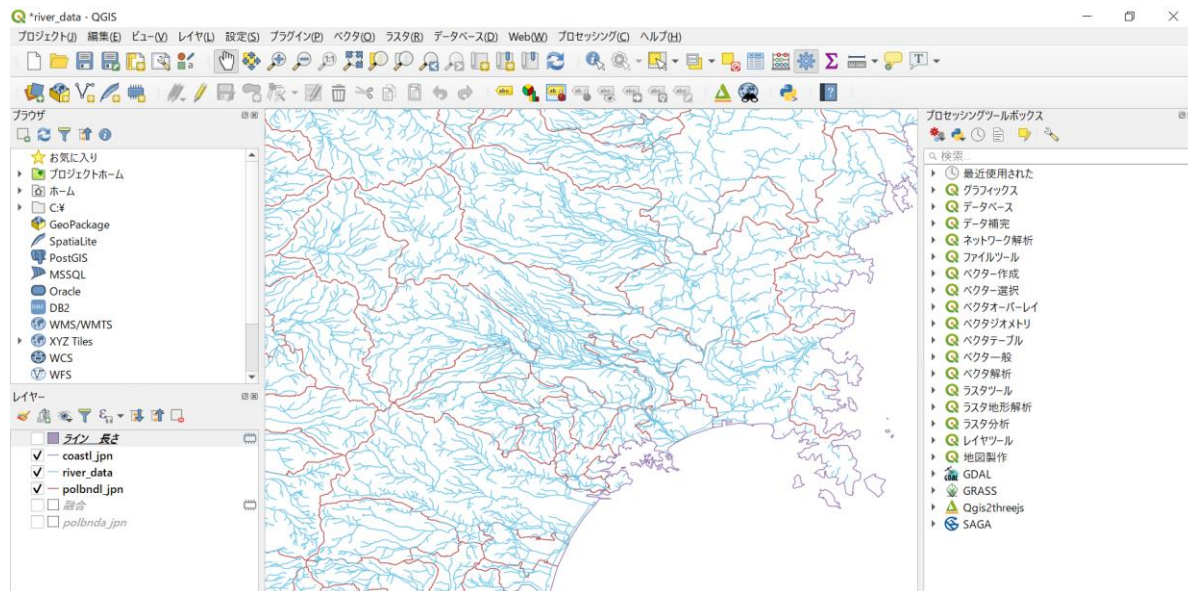
## • John Snow のコレラマップ

- ロンドン・ソーホー地区で発生した感染症・コレラによって600人以上の死者が出た
- 当時、伝染の原因は悪臭（瘴気）とされたが…

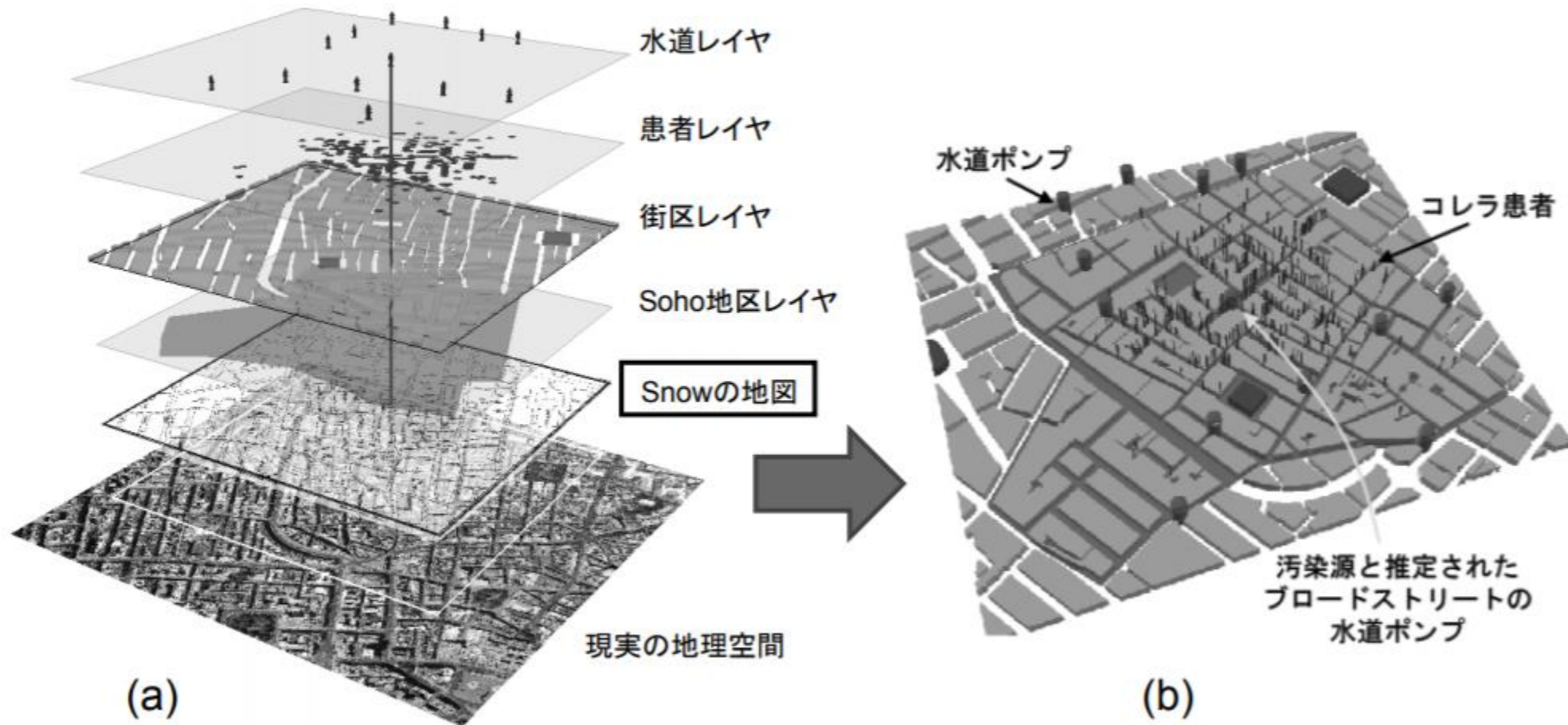
# 空間分析の基礎概念

- GIS(Geographic Information System)

- 空間データをレイヤとして管理・加工し、視覚化する技術
- GISアプリケーションの例
  - QGIS, ArcGIS, MANDARA, ...



# 事例 1 空間疫学(GISによる可視化)



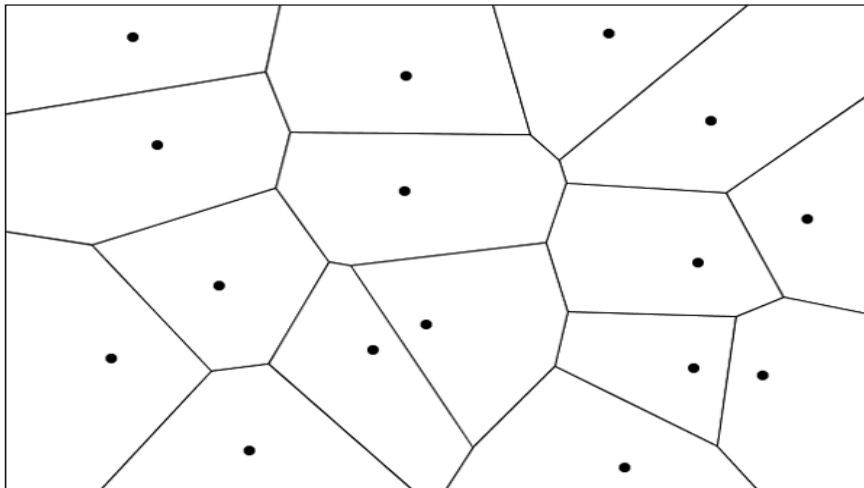


# 空間分析の基礎概念

---

## • ボロノイ分割

- 同一距離空間上の他の点がどの母点に近いかにによって領域分けすること
- 隣接点の垂直二等分線を引くことでできる



# 事例 1 空間疫学(感染源の特定)

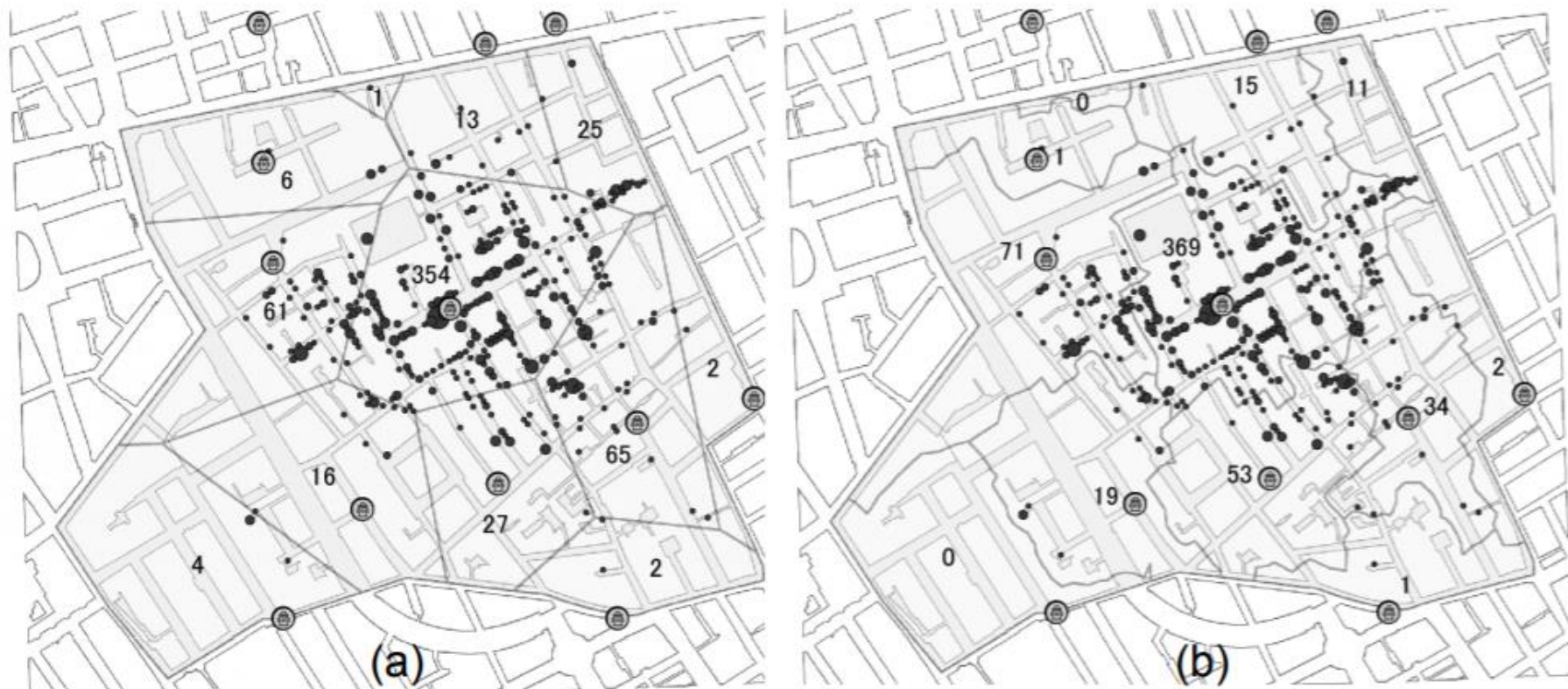


図4 Snowのコレラマップによるボロノイ図  
(a) 直線距離によるボロノイ  
(b) 移動費用最小化距離によるボロノイ（道路上の移動が容易となる設定がされている）  
図中の数字は、各ボロノイ領域（水道の利用圏と推定）に含まれるコレラ患者数

# 空間分析の基礎概念

---

- カーネル密度推定(KDE)

- 確率変数の確率密度関数を推定するためのノンパラメトリック手法
- $x$  を確率密度関数  $f$  からの  $n$  個のサンプル(i.i.d)とする。カーネル関数  $K$ 、バンド幅（平滑化パラメータ） $h$  について、カーネル密度推定

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$$

## 事例 2 犯罪ホットスポット分析

- 京都市で発生したひったくり時空間データをヒートマップ（カーネル密度推定）で可視化

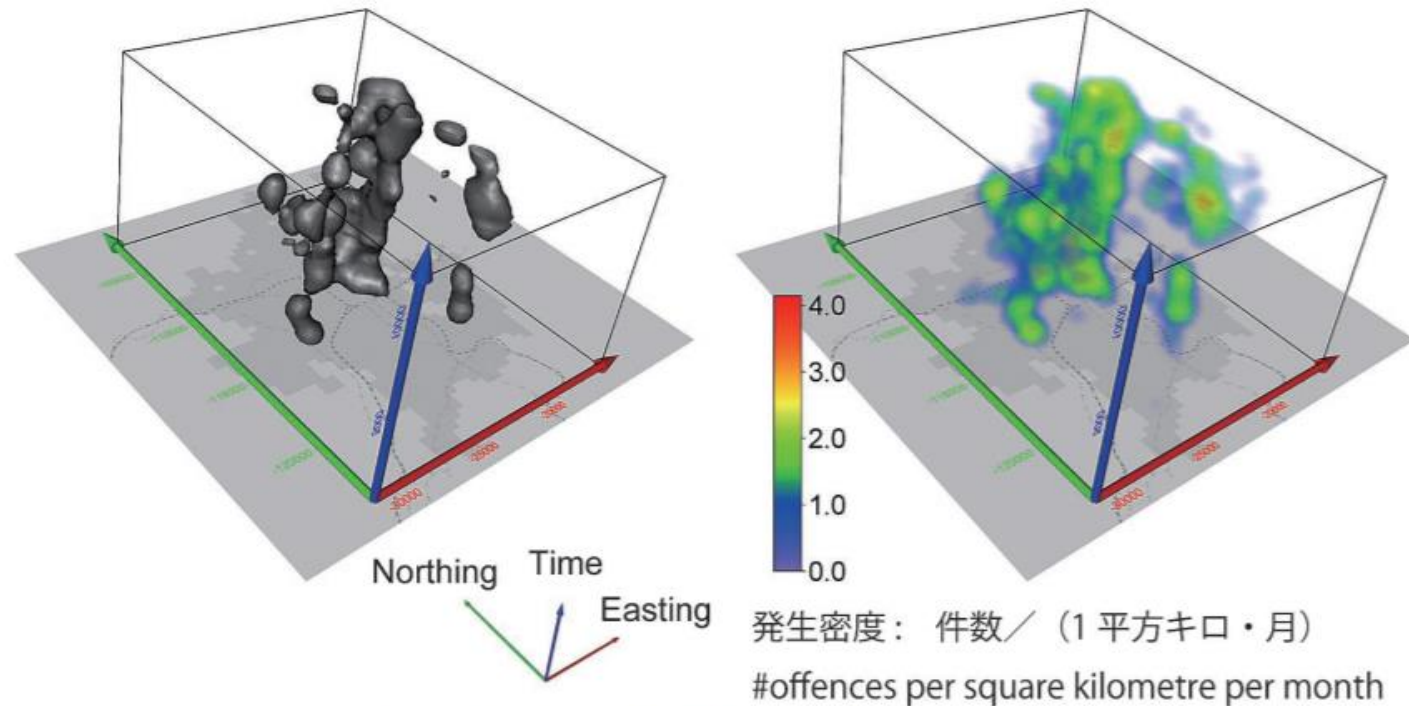


図 4 ひったくり犯罪の 3 次元カーネル密度分布図。  
(a) 等値面 ( $l = 1.5$ ), (b) ボリュームレンダリング。

Fig. 4 Three-dimensional kernel density map of snatch-and-run offences.  
(a) Isosurface ( $l = 1.5 / \text{km}^2 \text{ month}$ ), (b) Volume rendering.



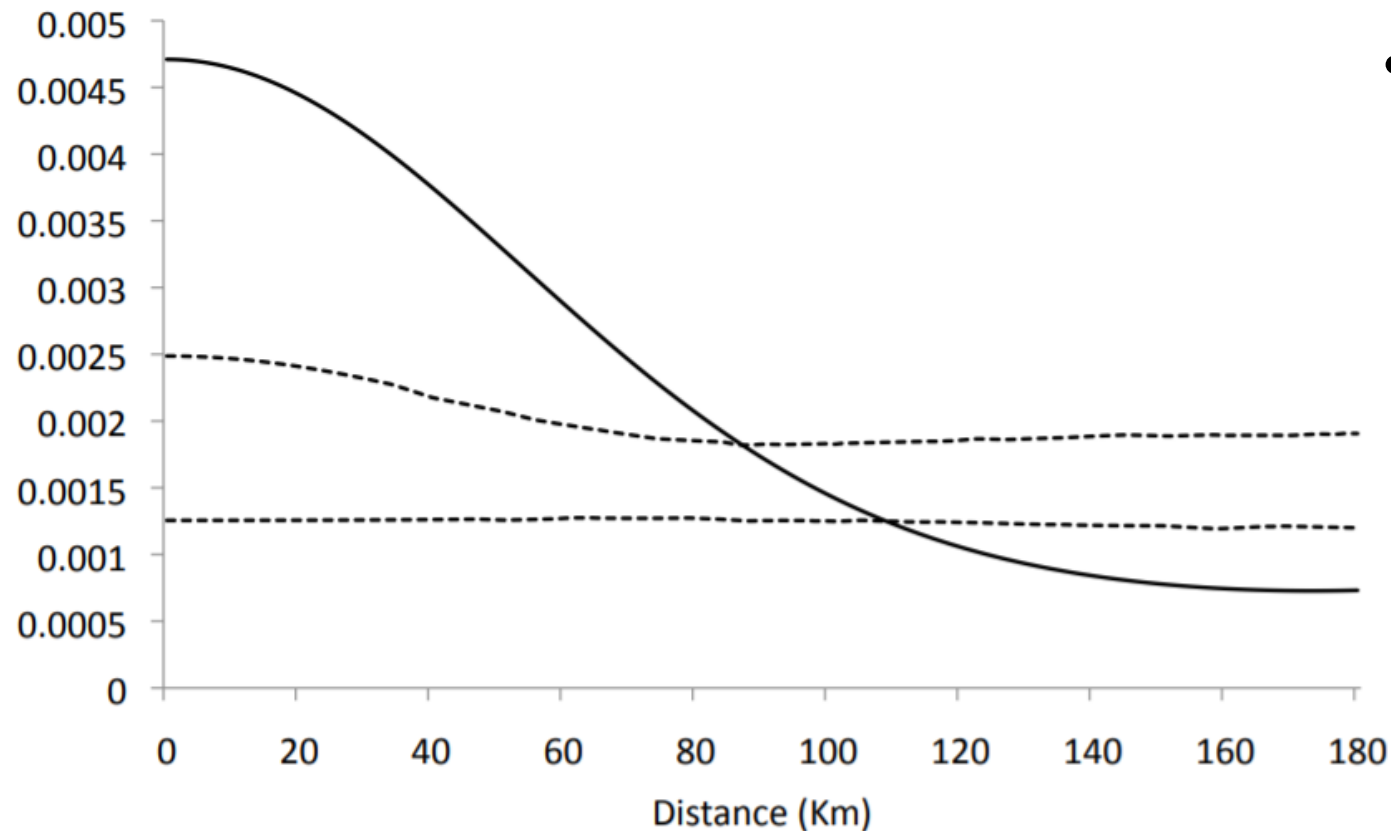
# 事例 3 空間経済学の集積理論の検証

---



- ゼラチン産業企業の立地点の分布
- この分布から真に集積力を持って立地していると言えるのだろうか？

# 事例 3 空間経済学の集積理論の検証



## • K-density approach

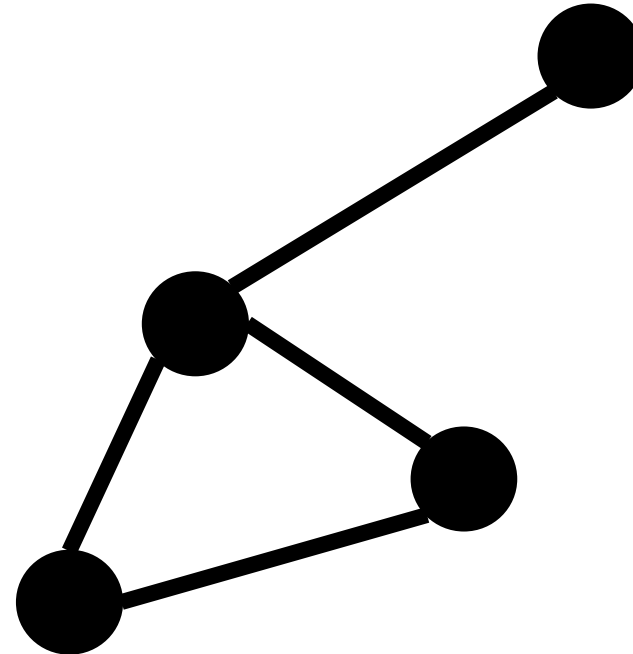
- 実線  
観測したゼラチン企業の  
密度分布
- 破線  
• 集積力がない場合を仮  
定して算出した95%信  
頼区間

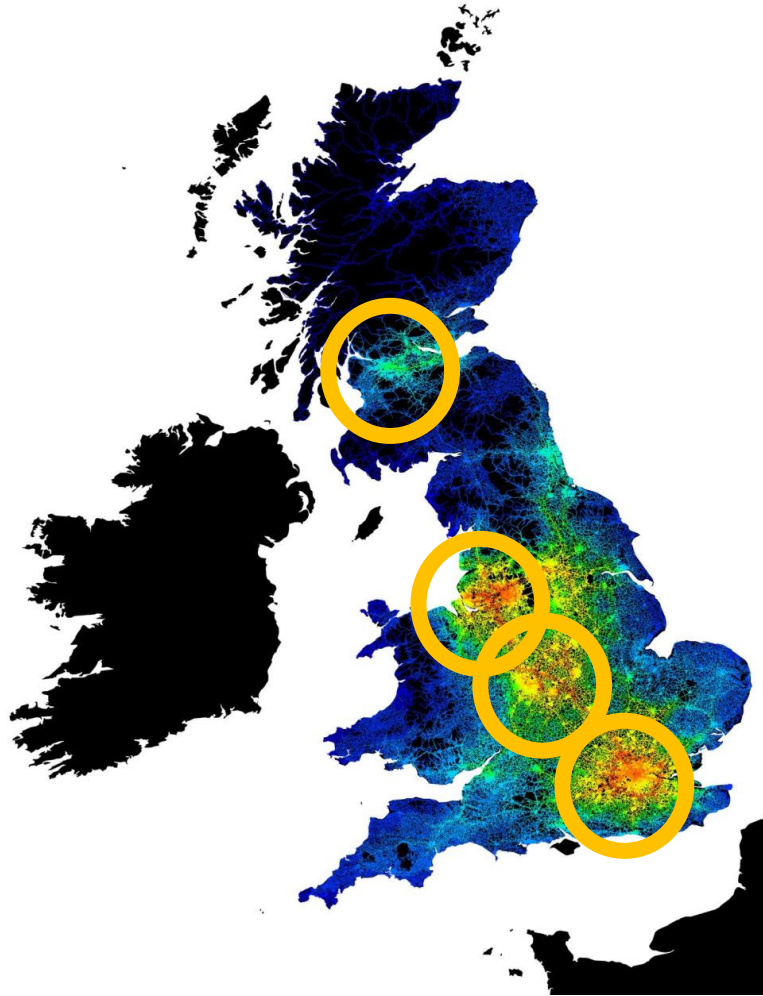
# 空間分析の基礎概念

---

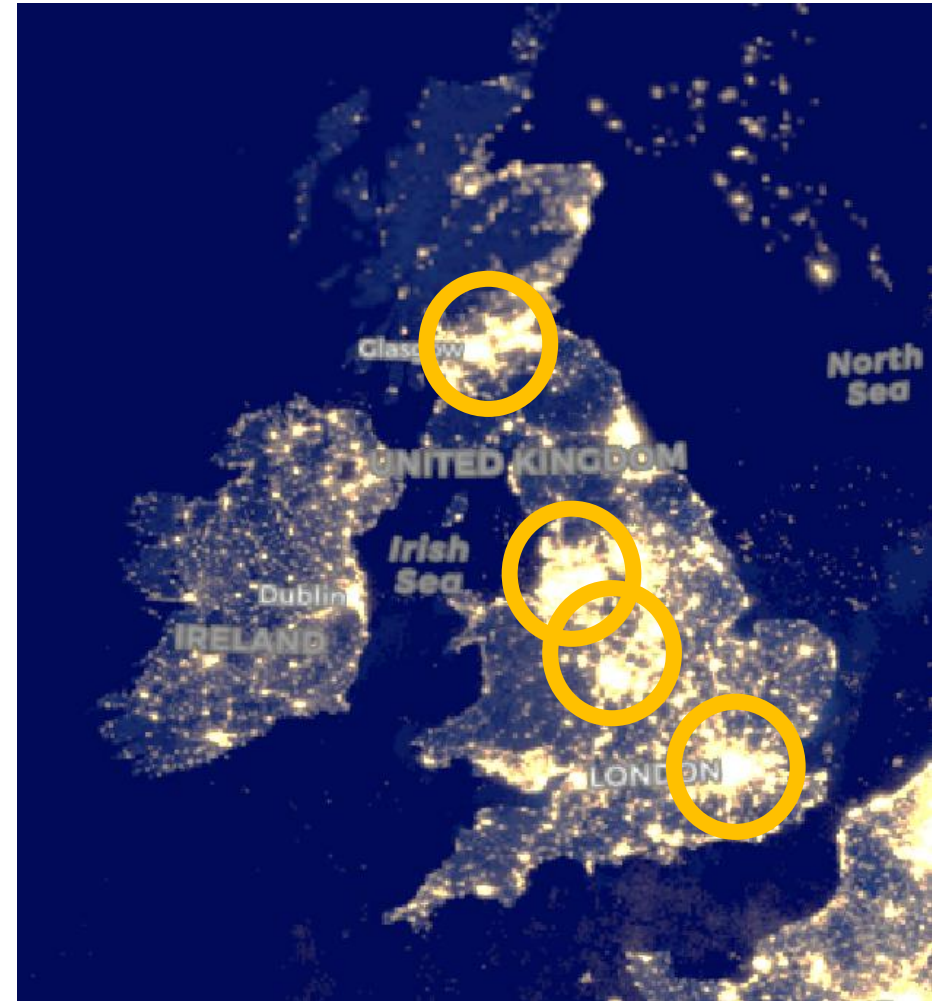
## • ネットワーク分析

- 位相幾何学的指標（中心性）
- 施設配置問題
- 最短経路探索
- 配送計画
- ...



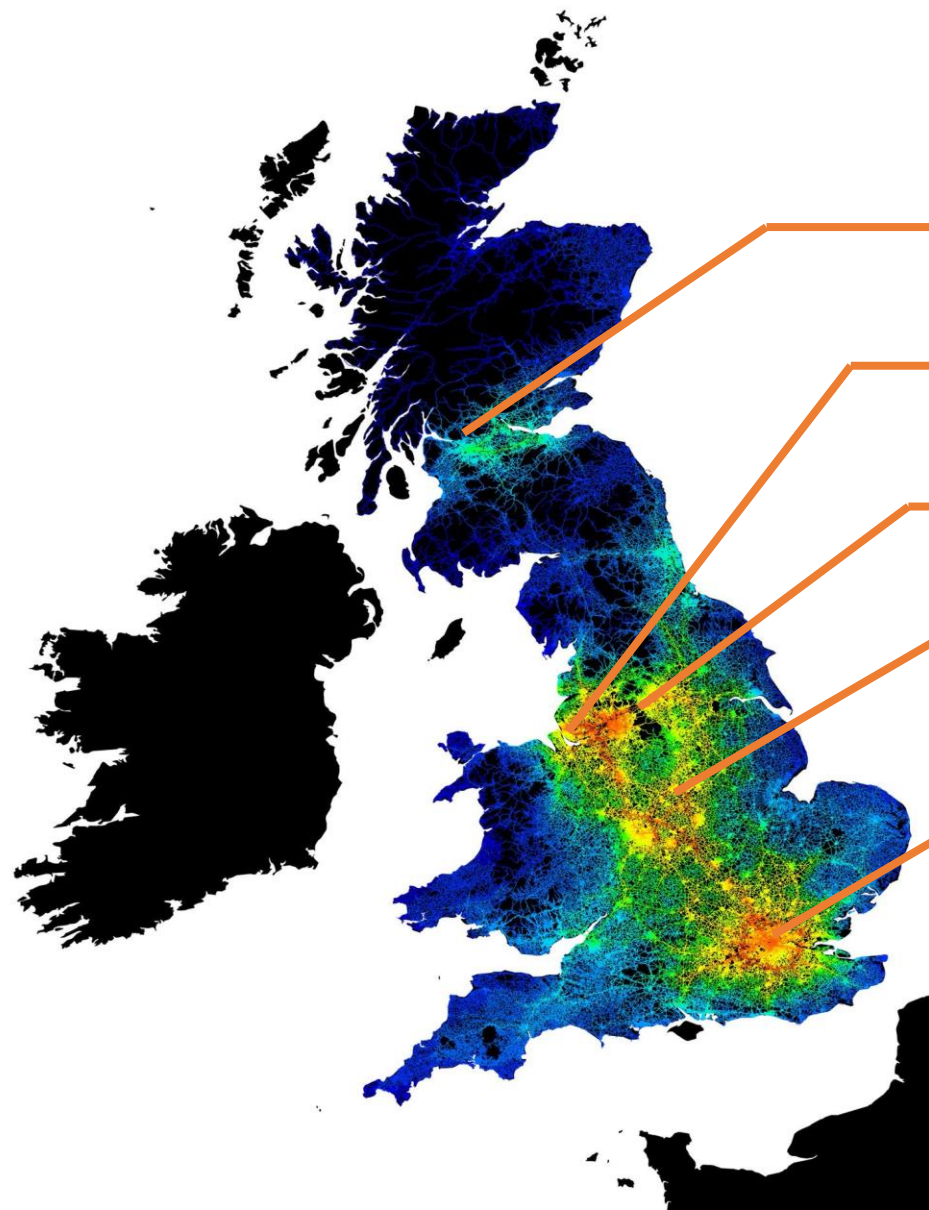


主要道路の位相幾何学的な空間特性を  
指標化した着色地図



夜中の衛星写真





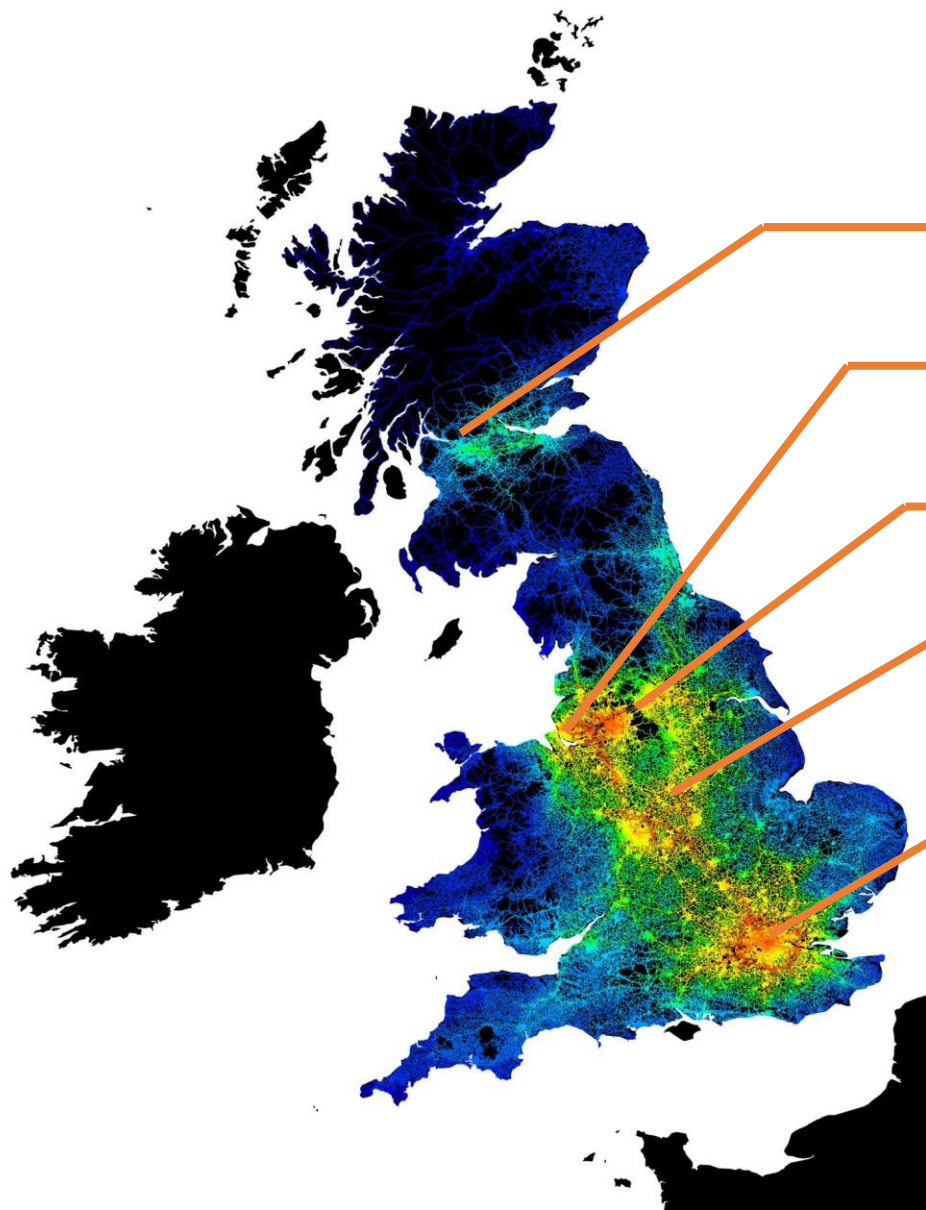
グラスゴー

リヴァプール

マンチェスター

バーミンガム

ロンドン



3位 グラスゴー

4位 リヴァプール

6位 マンチェスター

2位 バーミンガム

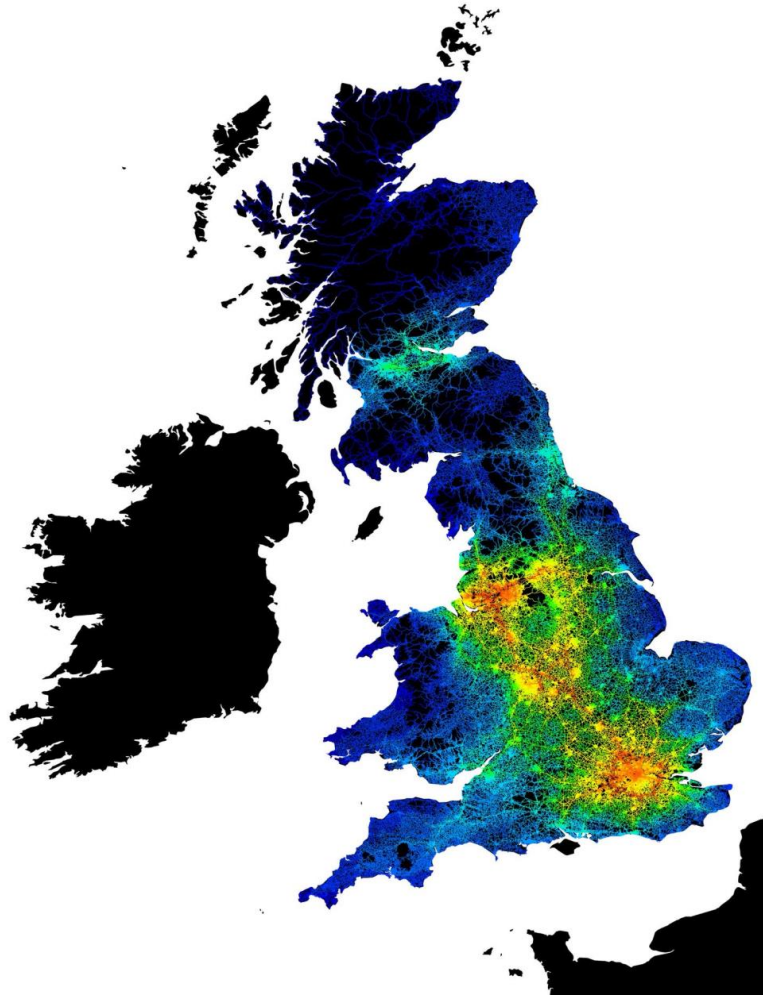
1位 ロンドン

都市当たりの人口ランキング

# 空間分析の基礎概念

---

- カルトグラム（統計地図）
  - ある値に比例するように面積や距離をゆがませた地図



主要道路の位相幾何学的な空間特性を  
指標化した着色地図



人口に比例して面積を計算した  
カルトグラム



# 目次

---

1. イントロダクション
2. 空間分析の可視化手法
- 3. 空間統計学の手法**

# 空間分析の基礎概念

---

- 空間的依存性（空間的自己相関）

- 近いものほどより密に関連しているという法則
- 地理学の第一法則とも(W. Tobler)
- 検証方法
  - モランのI統計量(Moran's I)
  - ローカル・モラン統計量(Local Moran's I)
  - ゲイリーのC統計量(Geary's C)

- 空間的異質性

- 性質の空間的な不均一性（地域差）を表す

# 地理的加重回帰モデル (geographically weighted model; GWM)

---

$$Y = \alpha_i + X\beta_i + \epsilon$$

- 一般的な回帰モデルのパラメータを各地点でばらつきのあるものと仮定する。

# 空間計量経済学における回帰モデル

---

- 代表的な2つのモデル

- SLM

- 従属変数間の自己相関として空間的自己相関を導入
    - 空間的・社会的な相互作用の結果として生じた「均衡」のモデル化だといえる (Brueckner, 2003).

- SEM

- 誤差項の自己相関として空間的自己相関を導入
    - 空間的に系統性のある観測誤差といったデータの問題を処理するために用いられることが多い
    - SAR誤差、SMA誤差、SEC誤差、CAR誤差など誤差項のモデル化の仕方には様々あり、ここではSAR誤差に関してみる

# 空間ラグモデル (spatial lag model, spatial autoregressive model; SLM, SAR)

---

$$\begin{aligned} Y &= \rho WY + X\beta + \epsilon \\ \Leftrightarrow y_i &= \rho \sum_{j=1}^n w_{i,j} y_j + \beta_0 + \sum_{h=1}^{k-1} x_{h,i} \beta_h + \epsilon_i \end{aligned}$$

- $Y$  は  $Y_i$  からなる  $N \times 1$  の従属変数ベクトル
- $X$  は  $N \times K$  の説明変数行列（定数項を含む）
- $\beta$  は  $K \times 1$  の回帰係数ベクトル
- $\rho$  は空間パラメータ
- $\epsilon$  は  $N \times 1$  の iid 誤差のベクトル
- $W$  は  $N \times N$  の空間重み行列



# 空間誤差モデル (spatial error model; SEM)

---

$$Y = X\beta + u, u = \lambda W u + \varepsilon$$

- $\lambda$  は空間パラメータ

# 発表のまとめ

---

- 空間的依存性を根拠に、広範な分野に空間分析は力を発揮する
- 地球統計学や空間計量経済学の分野を中心に空間分析モデルが研究されている。

# 参考

---

- 『都市計画 Vol.66 No.2——特集：都市解析のためのモデルとデータ：理論と実践の架け橋』日本都市計画学会(2017.3)
- 『空間解析入門』朝倉書店（2018）
- 『空間統計学：自然科学から人文・社会科学まで』朝倉書店（2014）
- Luc Anselin, et al(2001) [SPATIAL ECONOMETRICS](#)
- Wall, M.M. (2004) [A close look at the spatial structure implied by the CAR and SAR models.](#) *Journal of Statistical Planning and Inference*, 121, 311-324.
- 堤 盛人・瀬谷 創『統計数理』（2012）第60巻 第1号「応用空間統計学の二つの潮流：空間統計学と空間計量経済学」
- 『QGIS入門 第2版』古今書院（2015）
- 『機械学習とパターン認識』丸善出版（2008）

# 資料

---

- 英国Space Syntax Limited
- Night Earth ([http://www.nightearth.com/?@53.556018,-5.037938,5.246441625915711z&data=\\$bWVsMg==&lang=ja](http://www.nightearth.com/?@53.556018,-5.037938,5.246441625915711z&data=$bWVsMg==&lang=ja))
- Views of the World, “So you think you know about the United Kingdom?”(<http://www.viewsoftheworld.net/?p=1508>)
- 特集：地域診断・症候サーベイランスに向けた空間疫学の新展開 空間疫学と地理情報システム 中谷友樹 (2008)
- 中谷 友樹・矢野 桂司：地学雑誌 117(2), 2008, 506-521.  
([https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgeography/117/2/117\\_2\\_506/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgeography/117/2/117_2_506/_pdf/-char/ja))
- Nakajima, Saito, Uesugi(2012) “Measuring Economic Localization: Evidence from Japanese firm-level data” (<https://www.rieti.go.jp/jp/publications/dp/10e030.pdf>)
- 雲出川水系洪水ハザードマップ
- Mapping social vulnerability in southeastern states and the Gulf Coast (<https://policy-practice.oxfamamerica.org/work/poverty-in-the-us/mapping-social-vulnerability-in-southeastern-states-and-the-gulf-coast/>)
- Twitter にゃんこそばさん(@ShinagawaJP)
- ボロノイ図サンプル(<http://gihyo.jp/dev/serial/01/geometry/0011>)

The background of the slide is a map of Japan. Overlaid on the map is a heatmap representing population density or spatial analysis data. The colors range from dark blue (low density) to green, yellow, and red (high density). The highest density areas are concentrated in the Kanto region around Tokyo and in the Osaka region.

# 空間分析の手法

---

東北大学経済学部 2 年  
澤谷一磨