

# 負の二項分布による近接性分析

## - 防災と景観の観点から電柱分布の評価 -

欧陽君顔\*, 小林隆史\*\*, 石井儀光\*\*\*, 大澤義明\*\*\*\*

### Proximity Analysis with Negative Binomial Distribution - Application to Utility Pole Landscape -

Junyan Ouyang\*, Takafumi Kobayashi\*\*, Norimitsu Ishi\*\*\*, Yoshiaki Ohsawa\*\*\*\*

This study tries to explain the distribution pattern of point infrastructures with a negative binomial distribution. Utility poles are indispensable urban infrastructures and have been analyzed from the viewpoint of disaster prevention and energy. Using the point data of utility poles, this paper constructs a model that explains the utility pole distribution with a negative binomial distribution and interpret it from the viewpoint of urban structure. By calculate the distance to the nearest utility pole, the rate of no utility poles within a certain distance and the size of utility pole in view are used as landscape indexes.

**Keywords:** 負の二項分布 (negative binomial (Poisson-gamma) distribution), 近接性 (proximity), 電柱 (utility pole), 迷惑施設 (annoying facility)

## 1. はじめに

### 1.1. 背景と目的

都市において都市施設は、人々の生活を支え、都市活動を確保する重要な役割を果たしている。現在日本は、産業の空洞化、一極集中などの大きな潮流の中、歴史的な転換期にあり、多様な人間活動の中心となる都市においては、社会変化やニーズに対応する施設配置が求められている。

施設は公園、コンビニ、駐車場などの便益施設とゴミ処理場、発電所、工場などの迷惑施設に分けられる。住宅地は便益施設に近い方がいい。一方で、迷惑施設は距離をなるべく離す。そのため、施設への近接性は都市計画学でも重要な課題である。

利益施設に関する研究として、貞広では鉄道駅が周囲商業施設への影響を検討した (貞広, 1994)。また、鈴木ほかは都市施設として保育所・幼稚園・小

学校・中学校・病院に着目して、施設密度分布と対象年齢の人口密度の変化の関連性を分析し、必ずしも両者の変化が同期していないことを確認した (鈴木ほか, 2012)。

迷惑施設について、佐々木ほかではごみ処理場、原子力発電所、空港などの大型な迷惑施設を対象とし、時空間による迷惑の程度の変化について提示し、施設の種類による、時間の経過、距離とともに迷惑の程度が変化することを明らかにした (佐々木, 2004)。

しかし、今までの施設配置問題は主に少量かつ大型の特徴が持っている施設を対象としている。電柱・街灯・排水口などの「大量に存在しかつ密度に偏りのある施設の分布」に関する既存研究は少ない。このような施設を研究するため、施設配置場所の決定方法を単純化し数理的に表現する施設配置モデルが

---

\* 学生会員 筑波大学システム情報工学研究群 (University of University)  
〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大 3F1036 Tel : 029-853-5590 または E-mail : oy.meki@gmail.com

\*\* 非会員 立正大学経済学部 (Rissho University)

\*\*\* 正会員 国土技術政策総合研究所 (NILIM)

\*\*\*\* 正会員 筑波大学社会工学域 (University of University)

有効である。腰塚ではボロノイ図を使用し、住宅地とコミュニティ施設との間の距離の確率密度関数と最近傍距離確率密度関数を導き出した(腰塚・大澤, 1983)。大澤では一般に利用者の総移動距離建設費用、混雑時間など、さらにはこれらの加重などを社会的費用と考え、それが最小となる地点を求め施設の配置場所として提供するモデルを提出した(大澤, 1992)。そして、腰塚では負の二項分布を都市平面の距離分布に活かした(腰塚, 1986)。

負の二項分布では、ベルヌーイ試行を繰り返し、 $n$ 回の成功が起こるまで失敗回数の離散確率分布。おのおのの試行で成功する確率  $m$  が 0 に近づく場合、パラメーター  $n$  が非常に大きい時はポアソン分布に近づき、 $n$  が小さい時はその分散がポアソン分布よりも大きくなる。つまり、負の二項分布をポアソン分布のより安定な置換として使用できる。この特徴により、負の二項分布はカウントデータ分析に多く利用されている。例えば、生物分野におけるほとんどの昆虫集団では、空間分布のパターンは負の二項系列に適合すると主張し、個体群密度と分布の理論的關係を検討した(小林, 1968)。

大量に存在しかつ密度に偏りのある施設の位置を離散データとして、ポアソン分布を利用することで変数は1つだけであり、全般な密度を把握することができるが、都市の中心などの影響が考えにくい。分析する際に、負の二項分布がこのような施設の分布に適合性の高いという理由で有効と考えられる。

## 1.2. 日本の電柱

政府が推進する Society5.0 の実現を見据えたとき、電力網の堅牢化は不可欠である。電柱は電力エネルギー供給(渡司ほか, 2020)の基盤であることに加え、防犯灯設置場所としても日常生活の安全・安心空間の創出に貢献している。人工知能と 5G テクノロジーの開発により、複数の機能を備えたスマート電柱は将来の電柱開発の重要な方向性である。都市建設とデータに対する需要の高まりに伴い、電柱が発掘されるシナリオが増える。例えば、振動データセンサーが電柱の傾きや振動などのデータをリアルタイムで収集して送信し、地震や災害後の復興に対応で

きる。環境ビッグデータセンサーが大気質情報を収集・分析し、リアルタイムで環境保護部門に送信することで、環境改善への対応に役立てることができ。加えて、自動車の自動運転や電動化に伴って、アンテナの設置と電気自動車の充電など複数の機能を電柱に統合することを「スマートポールプロジェクト」とよび、インフラの再構築が検討されている(中部電力, 2020)。

一方で、道路からの景観は地域の印象に大きく影響する。日本の沿道には多くの電線電柱が設置されており、これらが沿道景観へ与える影響は大きい。沿道の電柱類は景観阻害としての側面以外にも、見通しの悪さによる交通事故の誘発、電柱への衝突による致死率などの課題も多い。また、災害時には電柱倒壊により道路が塞がれることもあり、防災・減災の観点でもデメリットを有している(渡司ほか, 2020)。

よって、電柱は便益施設と迷惑施設、両方の属性を持っている。これらを踏まえ、今後の都市計画を考える上で、電柱同士の近接性を把握することは重要である。本研究は電柱の特徴を加味したうえで、負の二項分布に適用する点に新規性を有する。

本稿の目的は、電柱分布を負の二項分布で説明するモデルを構築し、都市構造の観点から解釈することにある現在の電柱分布の評価と今後の電柱配置の一つの理論的根拠を提供する。

## 1.3. 論文の構成

まず、電柱はどんな属性の人でも不可欠であるため、本研究では電柱密度と人口密度と近似して、自治体の電柱位置分布を同心円モデルで近似する。

そして、全地域の電柱密度をガンマ分布で表現する。自治体内各地区の電柱分布をランダム(ポアソン分布)と仮定し、電柱本数確率をポアソン分布とガンマ分布との混合(mixture)で得られる負の二項分布で算出する。負の二項分布から、電柱までの距離を用いて、電柱の見えの大きさと電柱を見る仰角の2側面から電柱の見えを評価する。

その次に、電柱を迷惑施設と見なして、防災と景観の二目的指標を電柱の分布を評価する。防災指標

として、一定距離内の無電柱化率を用いる。景観指標として、最寄り電柱への見えの大きさを用いる。

最後に、茨城県南 15 市町村の実証し、同心円モデルでグルーピングし、二目的指標（①無電柱確率、②電柱見えの大きさ）の曲線を解釈する。

## 2. 理論モデル

### 2.1. 同心円モデル

負の二項分布の定義から、都市内電柱の分布を従うとすると、都市内の微小区域で狭く見ると、電柱は母数  $\lambda$  で一様に分布する；都市全域に広く見ると、ポアソン分布の母数  $\lambda$  がガンマ分布 ( $gamma(q, \mu)$ ) に従って確率的に変換する。

マクロで電柱密度の確率密度関数がガンマ分布に従うとするため、同心円都市モデルで理論化する (Clark, 1951). B.E.Newling による単一中心都市では、人口密度は都心からの距離が増大するにつれて減少することを主張した (Newling, 1969). 本研究では電柱密度と人口密度と近似して考える。ここで、都市の中心から郊外に向かって移動すると、人口の減少に従って、配電網が薄くなり、電柱が少なくなると想定する。

同心円都市モデルとは、半径は 1 の円盤状都市で、電柱密度は円心（地域中心 CBD）から円の境界（郊外）へ移行するとだんだん低減すると仮定する（図 1）。円心までの距離  $r$  による電柱密度は  $\rho(r)$  と定義する。

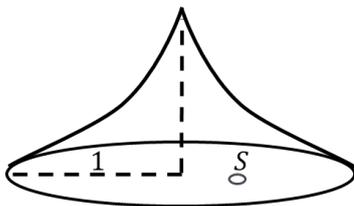


図 1 同心円都市モデルの電柱密度分布

同心円モデルで、ある電柱密度  $\rho(r')$  が対応する場所は円心からの距離  $r'$  の円周となる。要するに、確率密度は円周周長  $2\pi r'$  である。電柱密度  $\rho(r)$  の確率密度関数  $f(\rho(r))$  は図 2 で示す。よって、 $\rho(r)$  は  $f(\rho(r))$  の逆関数で計算できる。

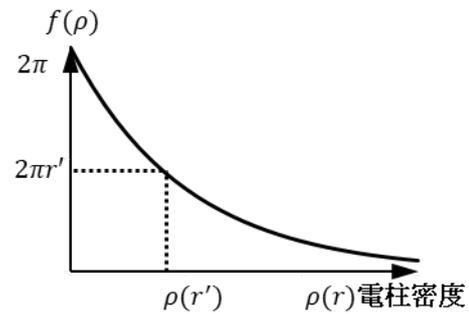


図 2 同心円都市の電柱密度分布

$f(\rho)$  はガンマ分布 ( $gamma(q, \mu)$ ) に従うとすると、

$$f(\rho) = \frac{1}{\Gamma(q)\mu^q} \rho^{q-1} e^{-\frac{\rho}{\mu}}. \quad (1)$$

式(1)の条件を満たす電柱密度  $\rho(r)$  が次の同心円モデルに従う、

$$e^{-\frac{\rho(r)}{2\mu}} \sum_{j=0}^{q-1} \frac{(\rho(r)/\mu)^j}{j!} = r, (0 \leq r \leq 1). \quad (2)$$

例えば、 $q = 1$  の場合に  $\rho(r)$  は陽に表現でき、

$$\rho(r) = 2\mu \log \frac{1}{r}, (0 \leq r \leq 1).$$

このモデルで、ガンマ分布の形状母数  $q$  は電柱の分布形状、尺度母数  $\mu$  は地域全体の電柱密度の濃さを表す。母数の影響は 2.3 で説明する。

### 2.2. 負の二項分布

2.1 節で、電柱密度の確率密度関数  $f(\rho)$  がガンマ分布に従う根拠を示すために、同心円都市モデルで理論化した。次に、面積は  $S$  の微小領域で電柱が密度  $\rho$  でランダムに配置されていると仮定すると、この微小領域内電柱本数の確率は母数  $\rho S$  のポアソン分布に従う。

面積は  $S$  の区域内の電柱本数が  $x$  となる確率を  $P(x, S)$  とする。  $P(x, S)$  はポアソン分布の母数  $(\rho S)$  がガンマ分布に従う混合分布から求まり、次の負の二項分布になる：

$$P(x, S) = \int_0^\infty \frac{(\rho S)^x}{x!} e^{-\rho S} \cdot \left( \frac{1}{\Gamma(q)\mu^q} \rho^{q-1} e^{-\frac{\rho}{\mu}} \right) d\rho \\ = \frac{\Gamma(x+q)}{x! \Gamma(q)} \left( \frac{1}{\mu S + 1} \right)^q \left( \frac{\mu S}{\mu S + 1} \right)^x, (x \in N). \quad (3)$$

負の二項分布の定義から、式(3)はベルヌーイ試行

において成功率 $m$ で、 $n$ 回の成功までの失敗回数 $x$ の分布である、ただし、

$$m = \frac{1}{\mu S + 1}, \quad n = q.$$

### 2.3. パラメーターの影響

2.1 と 2.2 節に、同心円都市内の電柱分布を負の二項分布で説明した。ガンマ分布の形状母数  $q$  と尺度母数  $\mu$  が同心円モデルへの影響を示すために、いくつかのパラメーターについてグラフを書く (図 3)。曲線のパラメーターは

- ①  $q = 1, \mu = 1$ ;      ②  $q = 1, \mu = 2$ ;
- ③  $q = 1, \mu = 3$ ;      ④  $q = 2, \mu = 0.5$ .

曲線①②③の比較から、形状母数  $q$  が一定で、尺度母数  $\mu$  が大きくなると、電柱密度  $\rho(r)$  はどの場所も大きくなり、地域全体の電柱密度が濃くなる (図 3 左)。曲線①④の比較から、ガンマ分布の平均値  $\mu q$  が一定である場合、形状母数  $q$  が大きくなると、電柱は地域全体に平らな分布となり、 $\rho(r)$  は一様分布に近づく (図 3 右)。

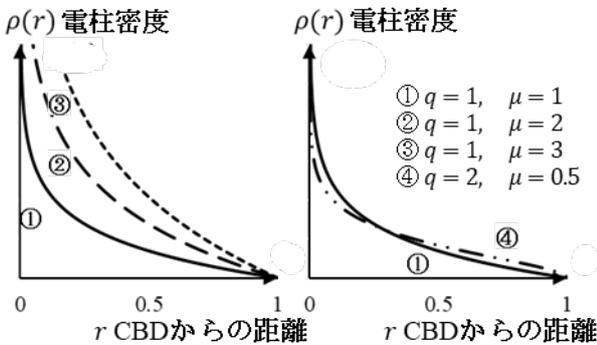


図 3 同心円モデル中パラメーターの影響

## 3. 電柱分布の評価指標

### 3.1. 電柱の近接性

電柱分布を評価するため、電柱への近接性を用いる。式(3)から、半径  $l$  の円領域  $S(l) = \pi l^2$  内、最近隣電柱までの距離の確率密度関数  $f(l)$  は式(4)となる。

$$f(l) = \frac{d}{dl} (1 - P(0, S(l))) = 2\pi\mu q l \left( \frac{1}{\pi\mu l^2 + 1} \right)^{q+1}, \quad (l > 0). \quad (4)$$

同心円モデルで、ある電柱の地上の高さを  $h$  とし、その電柱への最近隣電柱からその電柱への仰角が  $\theta$ 、距離は  $l$  とする (図 4)。次に、電柱を迷惑施設として、「防災」と「景観」の二目的指標を計算する。

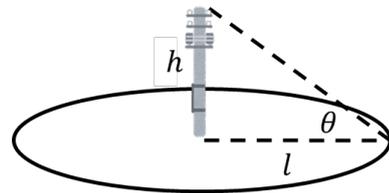


図 4 電柱の近接性

### 3.2. 無電柱確率.

防災目的指標として、一定距離内の無電柱確率を用いる。ある電柱への仰角が  $\theta$  以内の距離に電柱が無い確率を無電柱確率  $\phi_L$  と定義する。言い換えると、無電柱確率は電柱を中心に、 $S = \pi \left( \frac{h}{\tan \theta} \right)^2$  の円内に他の電柱がない確率。

$$\phi_L = P(0, S) = \left( \frac{1}{\pi\mu \left( \frac{h}{\tan \theta} \right)^2 + 1} \right)^q. \quad (5)$$

### 3.3. 電柱の見え

電柱の見えは見る人によって受け取り方が違い、曖昧なものである。電柱の幅や間隔など、多くの指標で評価できる。例えば、小山らでは街路において本数・距離を計測し、電柱の集中度と秩序の有無などの指標で錯綜感を見積もった (小山ほか, 2007)。石田ほかが発表した「無電柱化整備による道路のシーケンス景観の効果計測に関する研究」では画像加工に基づいて電柱が画像の複雑さへの影響を解析した (石田ほか, 2011)。

本文は景観指標として、最近隣電柱の見えの大きさの期待値を用いる。電柱の地上の高さを  $h$  とし、その電柱への最近隣電柱からその電柱を観測し、見えの大きさ  $z$  (正接) (篠原, 2006) は

$$z = \tan \theta = \frac{h}{l}. \quad (6)$$

見えの大きさ  $z$  の期待値  $\phi_T$  は次の式となる。

$$\phi_T = E(z) = E\left(\frac{h}{l}\right) = 2\pi\mu q h \int_0^\infty \left( \frac{1}{\pi\mu l^2 + 1} \right)^{q+1} dl.$$

$t = \pi\mu l^2$  とすると、

$$\begin{aligned}\phi_T &= qh\sqrt{\pi\mu} \int_0^\infty \frac{t^{-\frac{1}{2}}}{(t+1)^{q+1}} dt \\ &= \pi h\sqrt{\mu} \frac{\Gamma(q+\frac{1}{2})}{\Gamma(q)}.\end{aligned}\quad (7)$$

### 3.4. 二目的指標とトレードオフ関係

図5に、同一密度で、電柱の集中度が無電柱確率への影響を示した。グラフに示すように、同一密度( $\mu q = 1; \theta = \pi/12$ )ではでは $\phi_L$ は $q$ の増加により減少する。要するに、電柱の分布が分散するほど、無電柱確率が小さくなる。また、実線と点線( $h = 1, 2$ )の比較から、電柱が大きいと無電柱確率が小さくなり、防災には不利である。

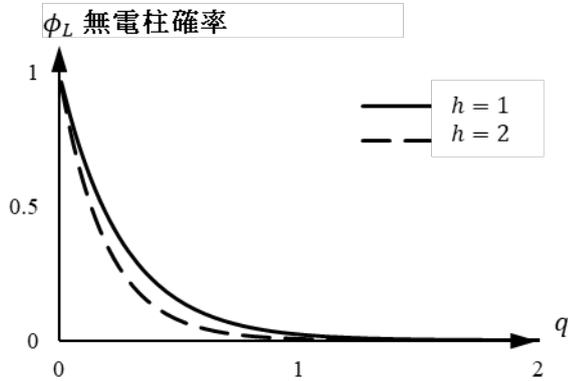


図5 無電柱確率 $\phi_L$

図6に、同一密度で、電柱の集中度が最寄り電柱の見えの大きさへの影響を示した。グラフに示すように、同一密度( $\mu q = 1$ )では $\phi_T$ は $q$ の増加により増加する。要するに、電柱の分布が分散するほど、見えの大きさの期待値は大きい。ただ、ある程度電柱が分散になると、電柱の見えへの影響が弱くなる。また、実線と点線( $h = 1, 2$ )の比較から、電柱が大きいと電柱の見えが大きくなる。

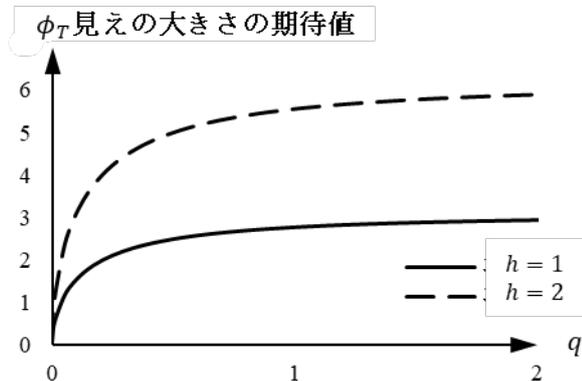


図6 電柱見えの大きさ $\phi_T$

母数 $q$ の影響を見るため、式(5)と式(7)から $\mu$ を消去すると、

$$\phi_T = \sqrt{\pi} \tan \theta \frac{\Gamma(q+\frac{1}{2})}{\Gamma(q)} \sqrt{\frac{1}{\phi_L^{\frac{1}{q}}} - 1}.\quad (8)$$

図7は式(8)に $q = 1, q = 2$ をとり、横軸を無電柱確率 $\phi_L$ に、縦軸を見えの大きさ $\phi_T$ にしたものである。無電柱確率 $\phi_L$ は大きい方(右)が良いが、見えの大きさ $\phi_T$ が小さい方が良い(下)。どちらの指標を改善するために、もう一方の指標を犠牲しなければならない、防災の指標である無電柱確率 $\phi_L$ と景観の指標である見えの大きさ $\phi_T$ のトレードオフが起こることが確認できる。また、2曲線の比較から、電柱の集中度を決める形状母数 $q$ が大きいと関数は左下に張り出す。任意の $\phi_L$ に対応する $\phi_T$ は左へ、任意の $\phi_T$ に対応する $\phi_L$ は下へ、2指標も劣化する；よって、電柱の分布が分散すると、景観と防災の2目的指標も悪化すると言える。

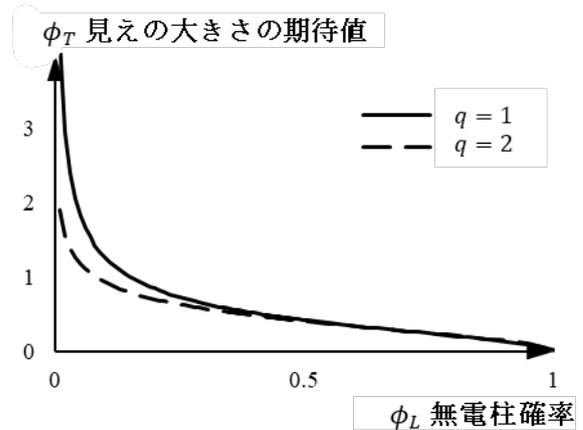


図7 二目的指標のトレードオフ

なお、電柱密度 $\rho \equiv \mu q$ と定義し、母数 $q$ を大きくすると、式(5)と式(7)は

$$\lim_{q \rightarrow \infty} \phi_T = \pi h \sqrt{\rho},$$

$$\lim_{q \rightarrow \infty} \phi_L = e^{-\rho \pi \left(\frac{h}{\tan \theta}\right)^2}.$$

となり、ポアソン分布の結果と一致する。

### 3.5. 近接性による他の評価指標の計算

本文は電柱が迷惑施設と考え、電柱が大きく見えるほど視線をさえぎる。また、電柱までの仰角が大きいほど迫力を感じる。この節で、電柱の見えの大きさと電柱への仰角の二つの指標の確率密度関数を計算する。

式(4)と式(6)により、面積  $S=\pi l^2$  の領域以内、見えの大きさ  $z$  の確率密度関数  $h(z)$  は

$$h(z) = 2\pi\mu q \frac{h^2}{z^3} \left( \frac{1}{\pi\mu \left(\frac{h}{z}\right)^2 + 1} \right)^{q+1}, (0 \leq z \leq \infty). \quad (9)$$

パラメーターを仮定し ( $\mu = 1, q = 1$ ),  $h(z)$  を図 8 に書く。縦軸は大きさ  $z$  に見える場所の多さは見えの大ききの確率密度である。見えの大きさの増加によるその分布確率密度はまず増加し、そして減少する。最も多くの場所は見えの大きさ  $z =$  電柱の高さ  $h$ 。

また、電柱が大きくなると、曲線は右に伸びたように見える。 $h = 3$  の時、見えの大きさがおよそ  $\frac{h}{3} \sim 3h$  の範囲内確率は大きな差が出ない。

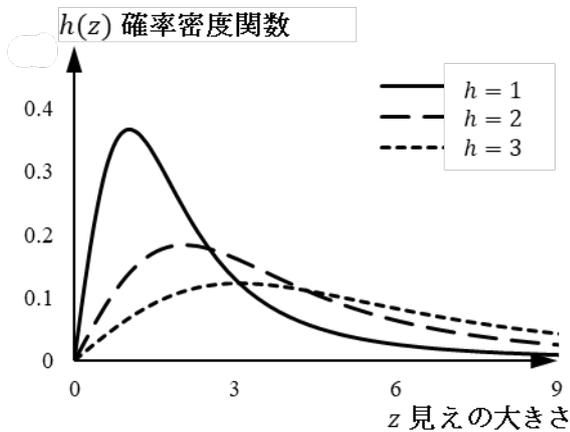


図 8 見えの大きさ  $z$  の確率密度関数

仰角  $\theta$  の確率密度関数  $g(\theta)$  は

$$g(\theta) = 2\pi\mu q h^2 \frac{\cos \theta}{\sin^3 \theta} \left( \frac{1}{\pi\mu \left(\frac{h}{\tan \theta}\right)^2 + 1} \right)^{q+1}, (0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}). \quad (10)$$

パラメーターを仮定し ( $\mu = 1, q = 1$ ), 電柱の高さを変数として式(10)のグラフをそれぞれ図 9 に描く。

図 9 に示すように、電柱が低くと、電柱への仰角は平らな分布となり、ピークは  $\pi/4 \sim \pi/2$  の間にある。電柱の高さ  $h$  が大きくなると、どこから見ても仰角が大きくなり、曲線のピークは  $\pi/2$  に近づくよ

うに見える。

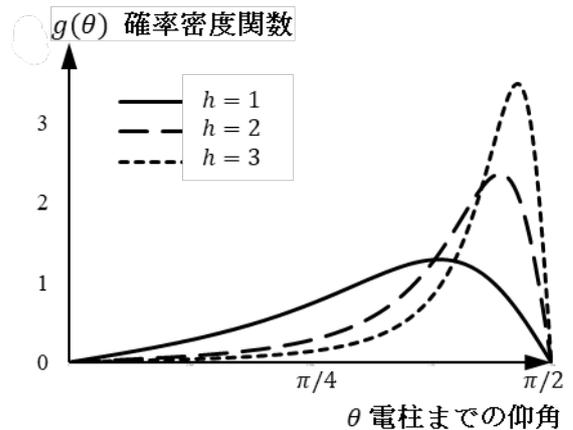


図 9 電柱までの仰角  $\theta$  の確率密度関数

## 4. 実証分析

### 4.1. 使用データ

電柱位置情報は東電タウンプランニング社 TEPCODigitalMap データ (2018 年 10 月) を用いた。茨城県南 15 市町村における 341004 本の電柱が建たれている。電柱の位置情報を抽出し、15 市町村に所属している 500 メートルメッシュ (4 次メッシュ) に基づいて、メッシュごとに電柱の本数を集計すると図 10 のようになる。この図に示すように、電柱は鉄道沿いに集中し、密度は一様ではない。

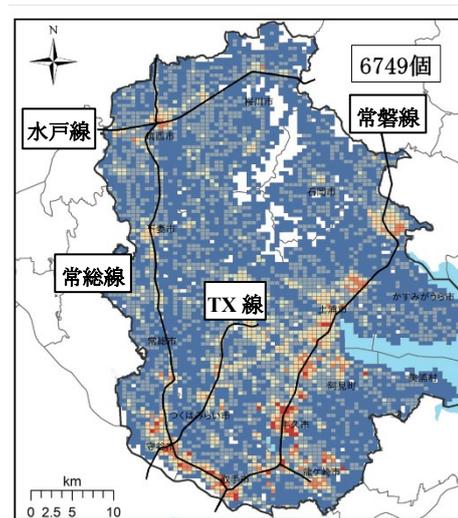


図 10 茨城県 15 市町村電柱メッシュデータ

### 4.2. データの集計

図 11 のように、メッシュを自治体別に分別する。条件はメッシュの重心は市町村界に含まれること。ただし、湖に完全に含まれるメッシュを取り除く。



図 11 データの集計

メッシュ数と各メッシュにある電柱の本数をデータベースとして、XLSTAT 統計およびデータ解析ソリューションを用いて最尤法にて自治体別に母数 $q$ と $\mu$ を推定する。式(5), (7)を使って各自治体の無電柱確率 $\phi_L$ と見えの大きさ $\phi_T$ を計算する。メッシュごとの平均電柱本数(密度 $\mu q$ )の大きい順で自治体を並んで、表 2 に記載する。

表 2 15 市町村のデータ一覧

	市町村	$q$	$\mu$	$\mu q$	$\phi_L$	$\phi_T$
1	守谷市	1.35	58.78	79.24	0.336	0.562
2	牛久市	1.43	54.50	77.72	0.335	0.559
3	取手市	1.38	53.26	73.34	0.353	0.542
4	土浦市	1.90	37.28	70.46	0.333	0.543
5	龍ヶ崎市	1.23	51.05	62.94	0.405	0.497
6	阿見町	1.57	36.97	57.93	0.404	0.486
7	筑西市	2.51	21.00	52.71	0.397	0.478
8	つくば市	1.98	26.60	52.64	0.413	0.471
9	つくばみらい市	1.78	28.23	50.14	0.435	0.457
10	下妻市	2.30	21.78	50.03	0.418	0.463
11	常総市	2.25	21.73	48.83	0.427	0.457
12	かすみがうら市	1.59	24.39	38.83	0.515	0.399
13	石岡市	1.05	35.23	37.13	0.556	0.375
14	桜川市	1.22	25.53	31.25	0.589	0.35
15	美浦村	1.52	19.90	30.31	0.585	0.351

15 自治体別に推定した二つの母数の散布図を図 12 に示す。3 本の点線では、ガンマ分布の平均値 $\mu q$ が同一である。散布図から、自治体ごとに母数 $\mu$ と $q$ の値がかなり異なるものの、常磐線・TX 南端、常磐線・TX 南部、関東鉄道常総線、農村地域と、既存の地域区分と整合していることが分かる。

式(5)と式(7)を用いて 15 自治体から求めた二つの指標数値 $\phi_L$ と $\phi_T$ を図 13 の・で示す。ただし、 $h = 11(m)$ ,  $\theta = \pi/12$  とする。図の右下方向が、二目的で優れる。この図から、第一に、取手市と土浦市；つ

くば市とつくばみらい市は逆転を発生していると確認できる。無電柱確率 $\phi_L$ は 0.33 から 0.59, 見えの大きさ $\phi_T$ は 0.24 から 0.74 の範囲となることが分かる。実際、マクローリン展開から $\phi_L \approx 1 - \frac{\pi h^2}{\tan^2 \theta} \mu q$ となる。

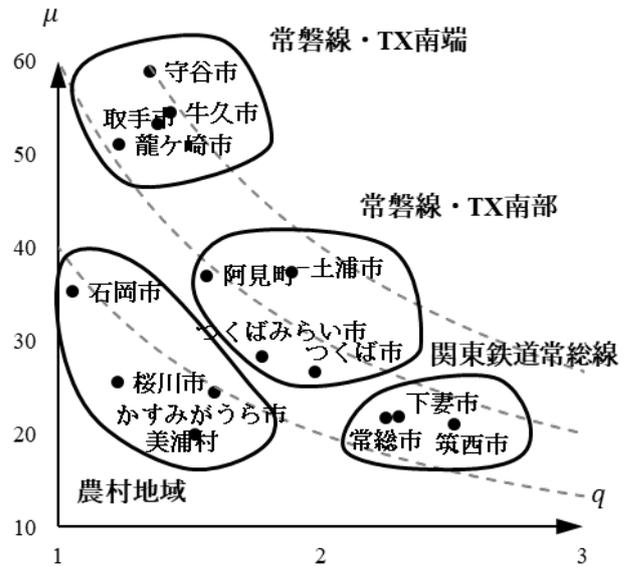


図 12 15 市町村のガンマ分布の 2 母数

$\phi_T$  見えの大きさの期待値

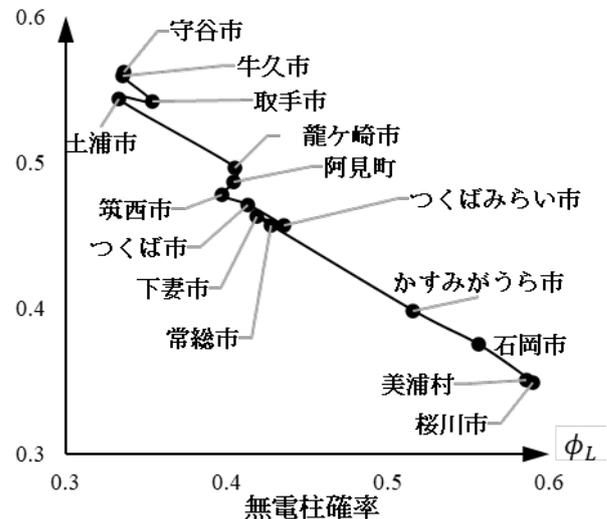


図 13 15 市町村の 2 指標のトレードオフ

#### 4.3. 形状母数 $q$ の影響

図 13 による、無電柱確率 $\phi_L$ は小さい順で並び、見えの大きさ $\phi_T$ は大きい順で並ぶはずだが、取手市と土浦市；つくば市とつくばみらい市は逆転を発生

した結果を確認できる。

この節は平均電柱密度の近い取手市と土浦市の例を抽出してこの現象について詳しく討論する（土浦市  $\mu q = 70.46$ ；取手市  $\mu q = 73.34$ , 表 2 を参照）。

図 13, 図 14 に土浦市と取手市のメッシュデータを切り取った。メッシュ内の電柱の数が多ければ濃い色を付けた。地図から、土浦市の電柱分布が単中心で、ばらつきであり、取手市の電柱が西南と東北 2ヶ所に集中することを直感的に見える。

そういう直感的な分布の違いを数値化するために、横軸にメッシュ内の電柱本数を取り、縦軸に確率をとるグラフを描く。合計 729 個メッシュ中、メッシュ内の電柱本数は 0 から 247 本の範囲となる。メッシュ内の電柱本数によるメッシュの分布密度を 10 本刻みに集計し、図 15 の灰色のヒストグラムとなる。

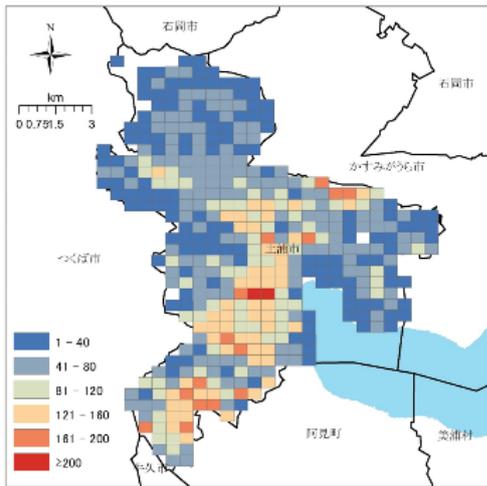


図 13 土浦市の電柱分布

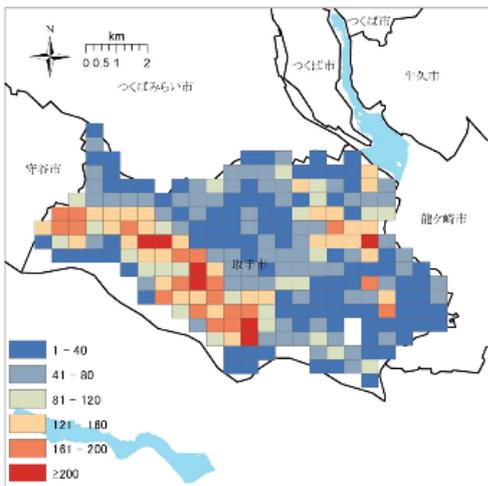


図 14 取手市の電柱分布

さらに、試行回数 250 回の負の二項分布と見なし、表 2 で推定した土浦市と取手市の母数を使ってガンマ分布の曲線を実線に図 15 に描く。

図 15 から、土浦市より取手市のガンマ分布のピークは軸に偏っていることが分かる、また、度数分布から、土浦市の電柱は取手市より一様に分布している。この 2 自治体の平均電柱本数が近いが、形状母数  $q$  が異なることで分布の傾向が違ってくる（土浦市  $q = 1.90$ ；取手市  $q = 1.38$ ）。

決定係数について、取手市は単中心都市とは言えないため、0.59 という値を示している。一方で、土浦市の結果が 0.80 である（比較として、ポアソン分布を用いた決定係数はどちらも  $R^2 < 0.20$ ）。このように、負の二項分布を用いた単純なモデル式ではあるが現実の分布状況を程度説明できていることが分かる。また、刻みが大きいほど、決定係数  $R^2$  の値は 1 に近い。

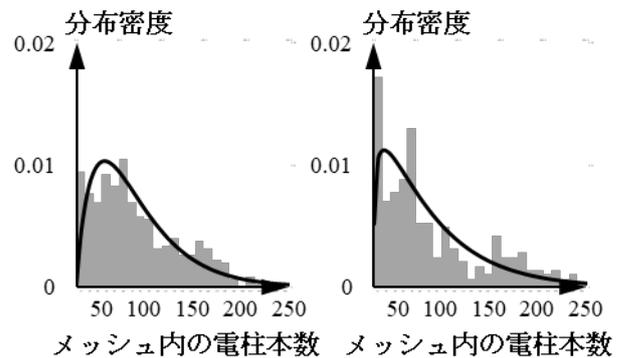


図 15 土浦市(左)と取手市(右)の電柱度数分布

## 5. おわりに

本稿では、都市内電柱の分布を負の二項分布で説明した。まず、電柱密度の確率密度関数がガンマ分布に従う根拠を示すために、同心円都市モデルで理論化した。同心円都市モデルにおける、都市内の微小区域で狭く見ると、電柱は一様に分布する；一方で、都市全域に広く見ると、電柱密度が同心円モデルに従って確率的に変換する。

一様（ポアソン）分布とガンマ分布との混合で得られる負の二項分布で、都市内領域の電柱本数確率と電柱の近接性を算出した。電柱の近接性を用いて、電柱の見えの大きさと電柱を見る仰角の 2 側面から

電柱の見えを評価した。さらに、防災指標として、一定距離内の無電柱確率を用いる。電柱の見えの大きさと無電柱確率電柱の2目的指標はトレードオフ関係と判明した。

そして、二つの母数の影響の違いから茨城県南15自治体の景観指標を吟味した。同心円モデルでグルーピングし、自治体ごとに母数 $\mu$ と $q$ の値がかなり異なるものの、常磐線・TX南端、常磐線・TX南部、関東鉄道常総線、農村地域と、既存の地域区分と整合していることが分かった。二目的指標(①無電柱確率、②電柱見えの大きさ)の曲線を解釈した。平均電柱本数(密度 $\mu q$ )により、無電柱確率 $\phi_L$ は小さい順で並び、見えの大きさ $\phi_T$ は大きい順で並ぶはずだが、電柱はCBDに集中すると2指標も改善できる、

この結論を用いて、今後の都市計画における電柱の建て方に貢献できると思う。

## 謝辞

本稿をまとめるにあたり鈴木勉先生(筑波大学)、筑波大学名誉教授の腰塚武志先生から有意義なコメントを参考に、論文を修正いたしました。感謝を申し上げます。

本研究の一部はトヨタ自動車(株)と筑波大学との共同研究拠点である未来社会工学開発研究センターの支援を受けました。

## 参考文献

- Addinsoft (2021). XLSTAT 統計およびデータ解析ソリューション. Paris, France. <https://www.xlstat.com>.
- Clark, C. (1951). Urban population densities. 「Journal of the Royal Statistical Society」. Series A (General), 114(4), 490-496.
- Fisher R. A. (1941) The Negative Binomial Distribution. 「Annals of Eugenics」, 11 (1), 182-187.
- Newling Bruce E. (1969) The Spatial Variation of Urban Population Densities. 「Geographical Review」, 59 (2), 242-252.
- 中部電力 (2020) ICT 機器を活用した電柱等の高度利用に関する取り組みの概要。

[https://www.chuden.co.jp/publicity/press/\\_icsFiles/afieldfile/2020/02/12/170509.pdf](https://www.chuden.co.jp/publicity/press/_icsFiles/afieldfile/2020/02/12/170509.pdf).

- 佐々木義明・川本義海 (2004) 迷惑施設の時空間的变化に関する研究. 「土木計画学研究・講演集」, (30),
- 大澤義明 (1992) 施設配置理論モデル. 「建築都市計画のためのモデル分析の手法」, 136-149.
- 奥平耕造都市工学読本都市工学読本, 93-109, 1976.
- 小山暁・窪田陽一・深堀清隆椎貝英仁 (2007) 電線・電柱による錯綜感に関する研究. 「景観・デザイン研究論文集」, (3), 95-102.
- 小林四郎 (1968) 個体群密度と分布の集中度: 特に負の二項分布における共通の  $k$  と関連して. 「日本生態学会誌」, 18 (3), 120-124.
- 渡司悠人・佐野雅人・鈴木勉大澤義明 (2020) 配電網維持管理の観点からのオフグリッドの効果. 「都市計画論文集」, 55 (3), 393-399.
- 渡司悠人・長谷川大輔・鈴木勉大澤義明 (2020) 電柱本数・移動距離のトレードオフと無電柱化の効果測定. 「GIS-理論と応用」, 28 (2), 79-88.
- 石田真二・亀山修一・奈良照一宮坂純平 (2011) 無電柱化整備による道路のシーケンス景観の効果計測に関する研究. 「土木学会論文集 D1(景観・デザイン)」, 67 (1), 1-10.
- 篠原修 (2006) 景観用語辞典景観用語辞典, 1998. 「土木学会論文集」, 62 (3), 334-350.
- 腰塚武志 (1986) 都市平面における距離の分布. 「都市計画数理」,
- 腰塚武志・大澤義明 (1983) 距離分布による施設配置の分析. 「都市計画論文集」, 18 25-30.
- 貞広幸雄 (1994) 鉄道駅が商業施設分布に与える影響の統計的分析手法. 「都市計画論文集」, 29 523-528.
- 鈴木勉・大城将範 (2012) 東京区部における都市施設分布と年齢別人口構成の推移の関連性分析. 「GIS-理論と応用」, 20 (1), 1-9.