

# 電柱最少経路の検出と災害時相互応援経路への応用

渡司悠人・鈴木勉・大澤義明

## Deriving the path with minimum number of electric-poles for mutual support in disaster

Yuto WATASHI, Tsutomu SUZUKI, Yoshiaki OHSAWA

**Abstract** : Japan is a disaster-prone country with electric-poles distributed along the great majority of roads. These electric-poles may shut off the road when collapsing. Although electric-pole removal projects have been promoted on emergency transportation roads, route selection avoiding poles is required when disaster happens. In this study, we derived the path with minimum number of poles through network by using poles position data. Then we focused on the trade-off between the shortest distance route and minimum poles route in order to derive the Pareto-optimal route selection for mutual support.

**Keywords**: 無電柱化 (electric-pole removal project) , パレート最適 (Pareto-optimal) , 緊急輸送道路 (emergency transportation road)

### 1. はじめに

わが国では配電を目的とした設備として電柱がよく用いられている。そのため、多くの道路沿いには電柱が設置されている。兵庫県南部地震では、電柱が倒壊・傾斜し、道路が閉塞され、交通に多大な影響を及ぼした(家田仁, 1997)。このように、防災や減災の観点から近年、無電柱化の必要性が指摘されており、道路沿いの電柱の多寡は災害時の経路選択において重要な指標といえる。

本稿では、茨城県内 20 市町村、約 46 万の電柱位置情報を用いて、地域性による電柱の偏在を示した。そのうえで、速達性(最短経路)と安全性(最少電柱経路)のトレードオフ関係に着目して、パレート最適経路を検出し、移動経路への応用を行った。既存研究について、パレート最適の概念を適用した考察はされているが(菴木, 2010)、電柱位置情報を用いたものは確認できない。

なお、電柱データは東電タウンプランニング株式会社の電柱位置情報(2018.8 から 2019.6 の期間に取得)を用いたため、すべての電柱をデータとして網羅しているわけではない。

表 1 面積・人口あたりの電柱密度

自治体		面積あたりの 電柱密度 (本/km <sup>2</sup> )	人口あたりの 電柱密度 (本/人)
1	守谷市	318.230	0.177
2	牛久市	314.070	0.209
3	取手市	218.198	0.178
:	:	:	:
19	稲敷市	91.113	0.398
20	美浦村	73.743	0.271
	20 自治体平均	179.987	0.310

### 2. 基本分析

#### 2. 1 地域性と電柱

まず自治体ごとに電柱本数を面積・人口ベースで比較した。それらを面積あたりの電柱密度の高い順に表した(表 1)。ニュータウンなどの住宅地があり、人口密度が高い守谷市・牛久市では、面積あたりの電柱本数が高く、反対に、農用地や森林が多い美浦村・稲敷市では低い。美浦村・稲敷市のような地域では、人口あたりの電柱本数が高く、一軒への配電のために多くの電柱が分布していると解釈できる。このように電柱の分布は空間的に偏りがあり、地域性と関係している。

#### 2. 2 都市指標と電柱の多寡

地域性から電柱の多寡を判断するために対象

渡司 悠人 : 筑波大学システム情報工学研究科

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail : s1820506@s.tsukuba.ac.jp

地域を500mメッシュに分割して、線形回帰モデルを構築した。従属変数を電柱の本数( $a$ )とし、独立変数を下記のように設定した。なお、対象地域のなかでも線引き地域のみを標本としており、市街化区域を含むメッシュを $d$ で1とした。

$a$  : 電柱本数 [本]

$b$  : 人口 [人] (H22 国勢調査)

$c$  : 道路延長 [m] (高速道路を除く)

$d$  : 市街化区域 [ダミー変数] (国土数値情報)

$$a = 8.20 + 0.06b + 0.01c + 7.55d \quad (1)$$

この回帰式は決定係数0.77という高さから一定の信頼性が保証される。人口や道路延長だけでなく、市街化区域であることが電柱分布に強く影響を与えている。

### 3. 最短経路と電柱最少経路のパレート最適

#### 3. 1 速達性と安全性

地震や竜巻等の災害の移動を考える。最短経路は速達性に優れるが、電柱による道路閉塞の可能性もある。対して、遠回りをしてでも電柱本数が少ない経路は安全性において優れる。つまり、多くの場合、速達性と安全性との間にトレードオフ関係がある。

#### 3. 2 人口と電柱密度

図2では対象地域を500mメッシュに分割して、

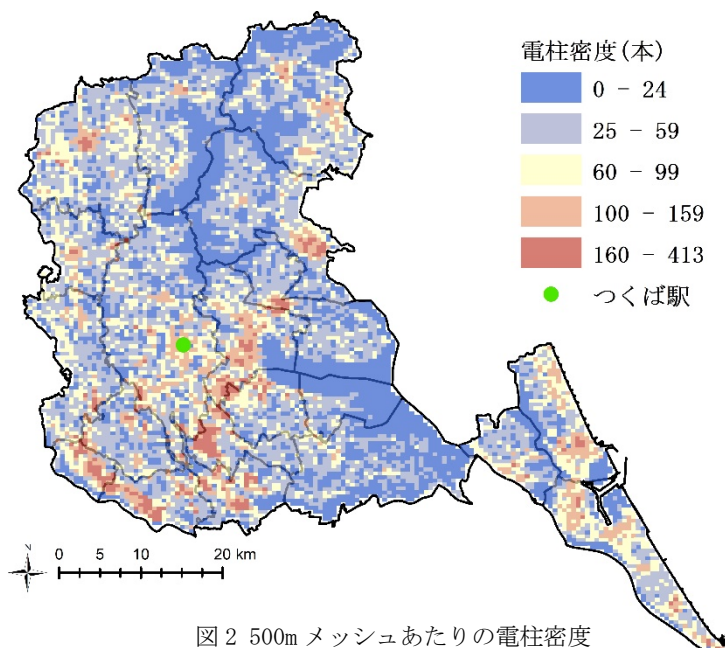


図2 500mメッシュあたりの電柱密度

電柱密度を示した。電柱密度の地域差が表れている。つくば駅付近では電柱密度が相対的に低くなっており、これは無電柱化条例の効果であると考えられる。また、電柱密集地域から同心円状に密度が下がっている様子が読み取れる。さらに、図3では、電柱本数を人口と比較した。人口の増加に伴って、電柱本数も増加する傾向がみられる。

### 3. 3 円環モデルの仮定と基本的性質

図4のように2ゾーンに分割された放射環状の都市を考える。中心部を電柱が密集する市街化区域[内](半径 $R$ )と仮定して、電柱密度を1と単位化する。対して、外側を市街化調整区域[外]と仮定し、電柱密度を $\rho(\leq 1)$ とする。また、起点 $O$ と終点 $D$ について、中心からの距離を $x, y(x \geq y)$ 、角差を $\theta[\text{rad}](> 0)$ とする(藤田, 2004)。

ODが同心円上にあり $\theta = 2$ のとき、最短経路は多数存在する。なぜなら、円の半径と円弧長の関係から環状経路や放射路、途中から環状路になる経路など、すべて等距離になるためである。また、これを閾値に $\theta < 2$ では環状路が、 $\theta > 2$ では放射路(中心経由)が最短距離となる。

以上を前提に、域内外の各組み合わせについて最短経路、中心域内最短経路を求めたうえで、移動距離 $\phi$ 、電柱本数 $\varphi$ の2指標を用いてパレー

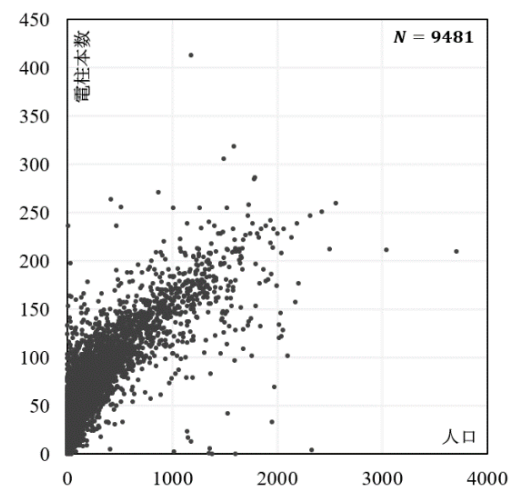


図3 人口と電柱の相関

ト最適経路の位置や多寡を考察する. 起点  $O$  と終点  $D$  のゾーン位置の組み合わせは, 対称性から 3 通り, これらの角差が 2 より大きい小さいかの 2 通り, 合計 6 通りの結果を図 5 に示す.

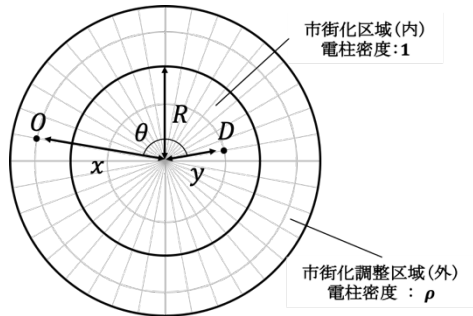
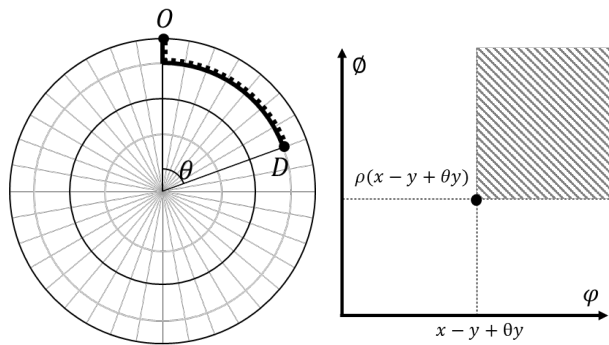
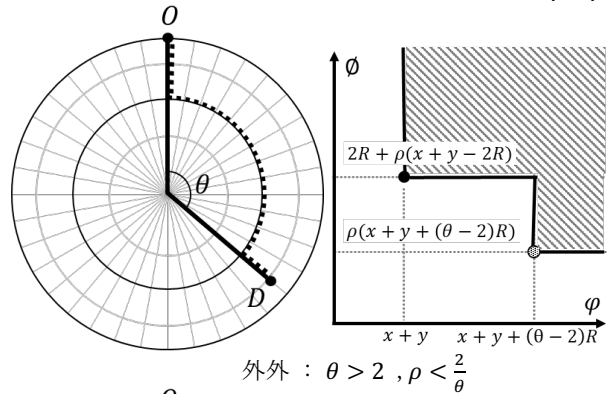


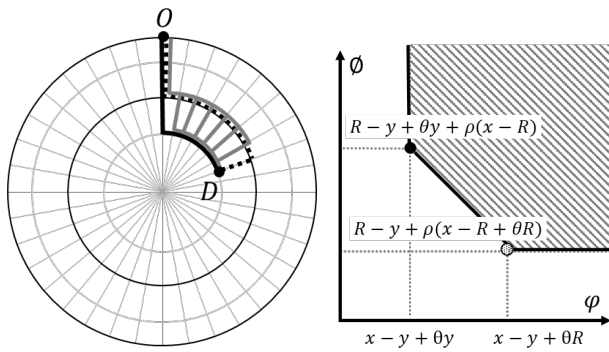
図 4 ニゾーン放射環状都市



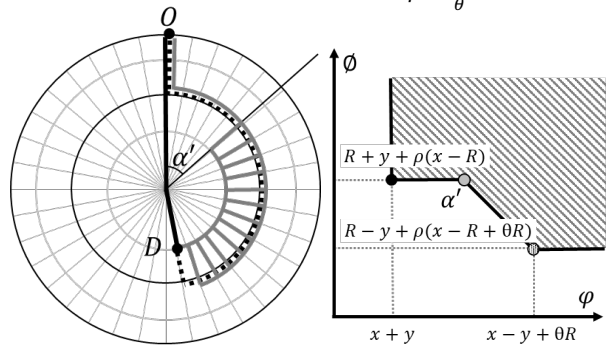
外外 :  $\theta < 2$



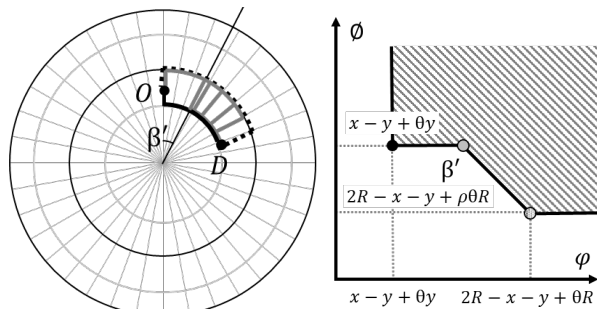
外外 :  $\theta > 2, \rho < \frac{2}{\theta}$



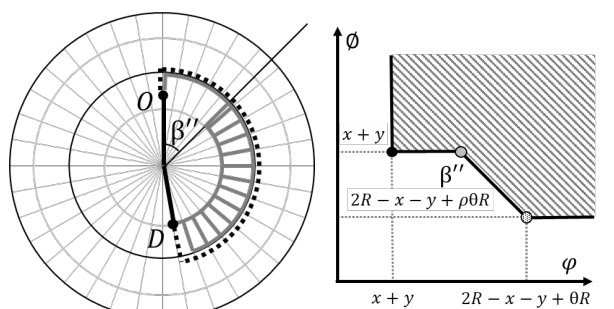
外内 :  $\theta < 2, \rho < \frac{2}{R\theta}$



外内 :  $\theta > 2, \rho < \frac{2}{R\theta}$



内内 :  $\theta < 2, \rho < \frac{2x-2R+y\theta}{R\theta}$



内内 :  $\theta > 2, \rho < \frac{2x+2y-2R}{R\theta}$

図 5 パレート最適経路の位置と多寡

## (1) 外外の移動

パレート最適経路となるのは,

$\theta < 2$  : 最適経路(直線)の 1 経路のみ

$\theta > 2$  : 最適経路と中心域内最短経路  
(点線)の 2 経路のみ

## (2) 外内・内内の移動

パレート最適となる経路は最適経路と中心域内最短経路以外にも多数存在する. ただし, 条件 I を満たす場合には 1 経路のみとなる. さらに, 境界から切り込む経路(灰色)について, 条件 I を満たす場合にはパレート最適でなくなる(図 5 中  $\alpha', \beta', \beta''$ ).

【条件 I】  $\phi(\text{最適経路}) < \phi(\text{中心域内最短経路})$

結果から OD の位置によって、パレート最適経路の多寡が変化することが示された。さらに、その量は内外電柱密度の差( $\rho$ )や市街化区域の大きさ( $R$ )によって変化することがわかる。

#### 4. 相互応援経路への応用

##### 4. 1 データセットと分析手法

最短経路を ArcGIS の NetworkAnalyst ルート検索 (FindRoutes) を利用して求めた。また、電柱の高さを15mと仮定し、道路から15m以内に分布している電柱は倒壊時、道路閉鎖の危険があると考えた。そこで、沿道の電柱のみを抽出し電柱本数をコストに電柱最少経路を求めた。このとき、ダブルカウントを避けるために、各電柱を最近隣の道路に割り当てた。

##### 4. 2 分析結果と考察

災害時等の相互応援に関する協定を締結している土浦市・かすみがうら市の市役所間移動を考える。この協定は災害時に、救援物資などの提供を行うものである。図 6 では、この 2 市役所間のいくつか経路( $r1, r2, r3$ )とともに、最短経路・電柱最少経路を示した。この極端な 2 経路は速達性と安全性において、優劣関係がつけられないパレート最適であるが、 $r1, r2, r3$ についてもパレート最適である(図 7)。電柱が少ない経路の特徴として、市街化区域内の通過距離が短い。これは市街化区域に電柱が密集しているためである。また、電柱を減らしつつ距離を短くするには、ゾーン境界の道路が肝になる。円環モデルでも、最短経路以外のパレート最適経路は境界を通過しており、市街化区域と市街化調整区域の境界にある道路の無電柱化などの電柱整備が効果的である。

さらに、緊急輸送道路を無電柱化した場合の効果を示した。この場合、 $r3$ が最少電柱経路となり、 $r1, r2$ などはパレート最適でなくなる。また、 $r3$ と最短経路の距離の差は小さく、パレート最適集合は大幅に縮小した。このことから緊急輸送道路の無電柱化は有効な整備であることがわかる。

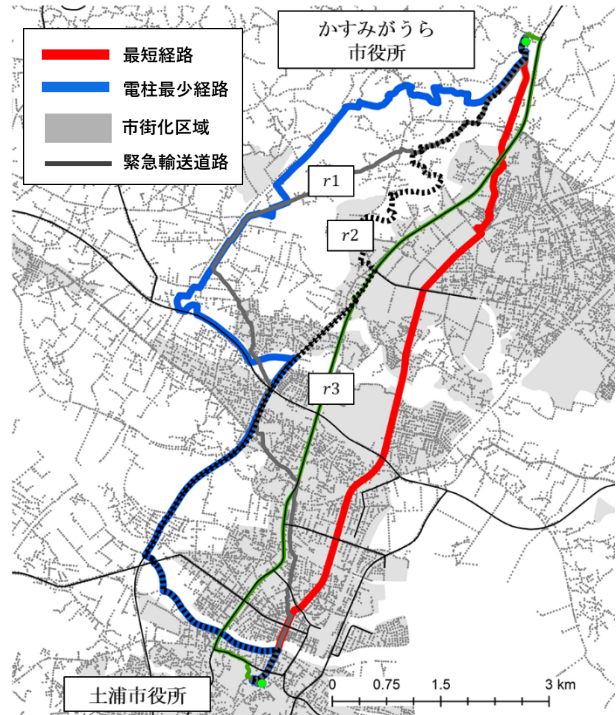


図 6 市街化区域と市役所間の経路

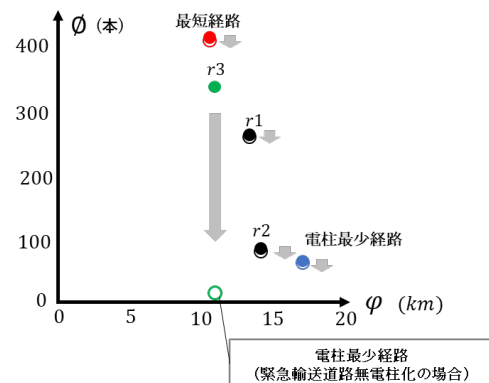


図 7 パレート最適経路の電柱本数と距離

#### 謝辞

この研究はトヨタ自動車と筑波大学社会工学科との共同研究「次世代社会システムとモビリティの新価値研究」の一環で実施した。

#### 参考文献

- 家田仁・上西周子・猪俣隆行・鈴木忠徳, 2015, 「阪神・淡路大震災における「街路閉鎖現象」に着目した街路網の機能的障害とその影響」, 土木学会論文集, No.576, 69-82.
- 菴木嶺・大澤義明, 2010, 「都市内道路における日向経路と日陰経路」, 都市計画論文集, No.45-3, 595-600.
- 藤田学洋・鈴木勉, 2004, 「放射環状型高速交通網の最適パターンと交通手段別分担率との関係に関する研究」, 都市計画論文集, No.39, 835-840.