

# 鉄道路線と駅の最適配置

## - つくばエクスプレスへの適用

### Optimum Locational Patterns of Railway Stations

#### -An Application to Tsukuba Express-

経営システム工学専攻 菊池 浩太

Kota Kikuchi

## 1 はじめに

鉄道、バスなどの公共交通は線的な交通路を持つにも拘らず、駅という点的な施設上でしかサービスすることができない。利用者のアクセスの便からだけ考えると、駅の数が多いほど良いが、逆に運行速度や建設コストは、駅が多いほどそれぞれ遅く、高くなってしまふ。従って、限られた数の駅を出来るだけ効率よく配置することが必要となってくる。本研究では、鉄道の駅を施設として取り上げ、その最適な配置について考える。

## 2 研究目的

現実の路線計画の立案・実行の過程を観察すると、用地買収の困難や地域間の誘致合戦と言った問題があるがそのような問題を棚上げにして純粋に「利用者の利便性」のみに着目して考える。

本稿では駅の配置を「制約付き多変数非線形関数を最小化する問題」として考え、実際の路線（つくばエクスプレス）の配置を取り上げて、OR 的視点から路線と駅の配置が適切であるかどうかを考察する。

## 3 定式化

<問題> 通勤者の終点までの平均通勤時間を最小にするには、駅の数をつくばエクスプレスにいくつにし、駅をどのように配置すれば良いか？

$(u_i, v_i) = [人口代表点の座標](i = 1, 2, \dots, I)$

$w_i = [(u_i, v_i) 地点の人口 (人)](i = 1, 2, \dots, I)$

$(x_j, y_j) = [駅の座標](j = 0, 1, \dots, n + 1)$

として、図 1 のように路線を直線分をつないだ折れ線として考える。

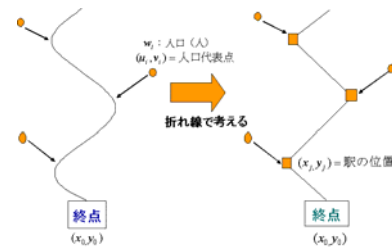


図 1 定式化の流れ

### 3.1 電車の走行特性

電車最高速度  $v_t(m/s)$

加速度  $\alpha(m/s^2)$ 、減速度  $\beta(m/s^2)$

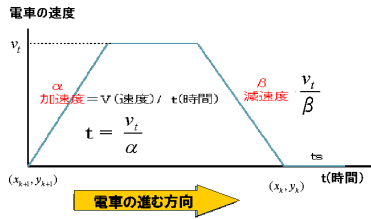
各駅間の距離  $l_k(m)$ 、停車時間  $t_s(s)$

$$l_k = \sqrt{(x_k - x_{k-1})^2 + (y_k - y_{k-1})^2} \quad (k = 1, 2, \dots, n + 1)$$

到着、停車、再び出発するまでの時間を  $t_k$  とすると

(1) 最高速度に到達できるだけの十分な駅間距離がある場合

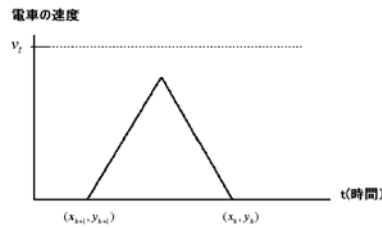
$$l_k \geq \frac{v_t^2}{2} \left( \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} \right) \quad (1)$$
$$t_k = \frac{l_k}{v_t} + \frac{v_t}{2} \left( \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} \right) + t_s$$



(2) 駅間距離が狭く十分に加速できない場合

$$0 \leq l_k \leq \frac{v_t^2}{2} \left( \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2)$$

$$t_k = \sqrt{\frac{2(\alpha + \beta)l_k}{\alpha\beta}} + t_s$$



### 3.2 目的関数

通勤者の終点までの通勤時間を最小にする  
 $(u_i, v_i)$  地点にいる人が終点に着くまでの通勤時間 = 駅までのバス乗車時間 + 電車乗車時間

$$f_i(j) = \frac{\sqrt{(x_i - u_i)^2 + (y_i - v_i)^2}}{v_b} + \sum_{k=1}^j t_k \quad (3)$$

$v_b$ : バス速度

$(u_i, v_i)$  の通勤者はバス乗車時間 + 電車乗車時間を最小にする駅  $j^*(i)$  を利用する事とする。

計画対象地区の通勤者総通勤時間最小  
 全ての人口代表点について足し合わせる

$$T = \sum_{i=1}^I w_i f_i(j^*(i)) \quad (4)$$

### 3.3 制約条件

路線の総延長距離に対する上限 (予算制約の意味合いを持つ)

$$\sum_{j=1}^{n+1} \sqrt{(x_j - x_{j-1})^2 + (y_j - y_{j-1})^2} \leq L \quad (5)$$

駅  $(x_k, y_k)$  から駅  $(x_{k-1}, y_{k-1})$  までの電車乗車時間は駅間をバスに乗った所要時間  $\frac{l_k}{v_b}$  より短い

$$\frac{l_k}{v_b} \geq t_k \quad (6)$$

### 3.4 条件

- 通勤者は一番早く終点まで着く駅を利用する
- 始点(つくば駅)と終点(秋葉原駅)は固定して考え、残りの駅の配置を考える
- 路線の長さは、つくばエクスプレスの路線長 58.3 km 以内とする。
- 常磐線、伊勢崎線、北総線の駅の位置は固定して考える。
- 全ての通勤者は駅までバスで行くと考える。
- 一度乗ったら終点まで途中下車しない
- パラメータ値は以下のようにする。

バス速度: 15km/h, 停車時間: 30 秒

<つくばエクスプレス TX1000 系>

最高速度: 130km/h

加速度: 3.0km/h/s, 減速度: 4.2km/h/s

<常磐線 E415 系>

最高速度: 100km/h

加速度: 2.0km/h/s, 減速度: 3.5km/h/s

<伊勢崎線 6000 系>

最高速度: 110km/h

加速度: 2.5km/h/s, 減速度: 3.7km/h/s

<北総線 7500 系>

最高速度: 120km/h

加速度: 3.5km/h/s, 減速度: 4.0km/h/s

### 3.5 ポロノイ図とは

ポロノイ図とは、平面を与えられた点のどの点に所属するかによって分割した図である。所属の決め方は目的によって異なる。例えばポストなど施設に差異がない場合は施設までの距離、スーパーなど距離だけで考えることに無理がある場合は、距離と商品の価格などを判断基準として所属を決める。

与えた点を母点と呼び、本研究では駅の位置が母点となる。二次元ユークリッド平面の場合、領域の境界線は、各々の母点の二等分線の一部になり、学

校の通学区域や店舗の商圈分析などによく使われる図である。(図2(左)) 離散ポロノイ図とは母点が存在する空間をメッシュ分割し、各格子毎に、どの母点に所属するかを決定して作成したポロノイ図である。(図2(右))

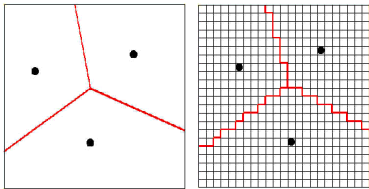


図2 ポロノイ図(左)と離散ポロノイ図(右)

### 3.6 計算方法

MATLAB の Optimization Toolbox にある tool、fmincon を用いて求めた。

fmincon は、制約付き多変数非線形関数を最小化する問題を解く際に使う tool である。手法は逐次二次計画法で、初期推定値を必要とするが、今回は、つくばエクスプレスの実際の駅の位置を初期値として考えた。

## 4 実践例

### 4.1 つくばエクスプレスの現状配置の場合



図3 現状の路線図

総通勤時間 2.1199e+008 分  
 平均通勤時間 35.8 分  
 所要時間(秋葉原~つくば) 46.7 分

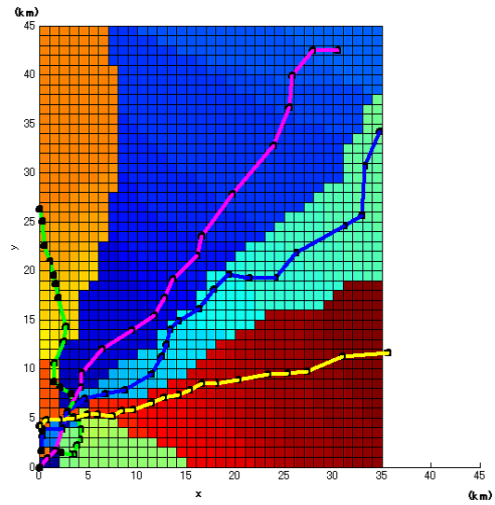


図4 現状路線の離散ポロノイ図

表1 各路線利用圏総人口(現状配置)

つくばエクスプレス	1467147 人
常磐線	1087690 人
伊勢崎線	1219400 人
北総線	2148538 人
総対象者数	5922775 人

### 4.2 最適配置 (n = 18)

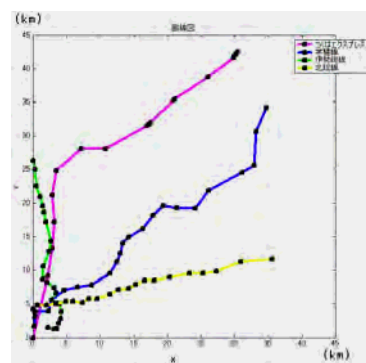


図5 最適配置図 (n = 18)

総通勤時間 1.9541e+008 分  
 平均通勤時間 33.0 分  
 所要時間(秋葉原~つくば) 46.6 分

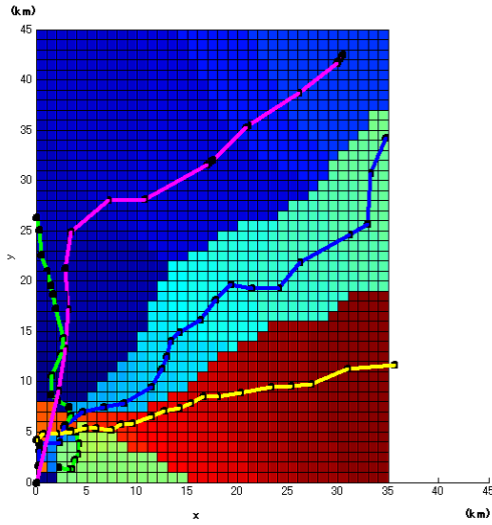


図6 分散ポロノイ図 ( $n = 18$ )

表2 各路線利用圏総人口 ( $n = 18$ )

つくばエクスプレス	1859972 人
常磐線	1501155 人
伊勢崎線	645346 人
北総線	1916302 人
総対象者数	5922775 人

#### 4.3 駅の数を変化させた場合

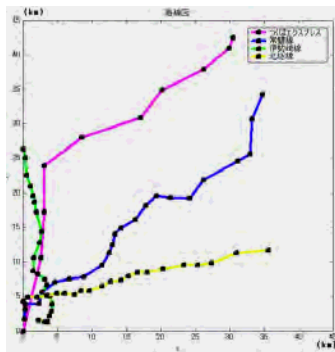


図7 最適配置図 ( $n = 8$ )

図8を見ると駅数による総通勤時間の変化は大きくない。駅数が増えると図5のように同じ地区に駅が集中する傾向があり、無駄な停車時間が増えるため、 $n = 8$  駅が最適数となったと考えられる。

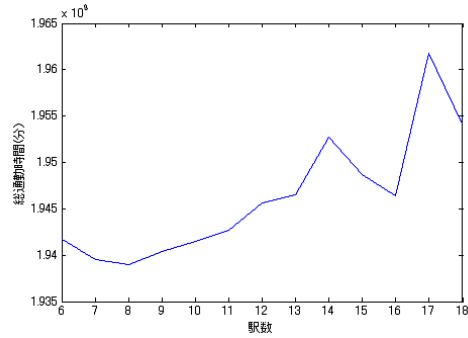


図8 駅数と総通勤時間

## 5 結論

実際の配置と最適配置を比べると時間の短縮が少なかった理由としては、人口が都心に集中しているため、全体としての平均時間は変化が少なかったと考えられる。

つくばエクスプレス建設前、 $(x, y) = (14, 45)$  地点が最も駅まで遠かった地域である。最も近い駅まで 23.4km 離れていたが、つくばエクスプレス建設後、実際の配置では 12.9km、図5の配置では 11.9km となる。終点までの時間は建設前 93.5分だったものが現状の配置では 93.2分、図5の配置では 81.7分となる。現状の配置の場合、利用する駅までの距離の平均は 4.90km、図5の配置では 4.52km となり、改善が見られる。全体としての平均通勤時間の減少は少ないが、駅から遠かった利用者の事を考えた配置であると言える。課題としては、今回は通勤時間を目的関数としたが、経営者の利益など他の目的関数で求めた配置と比較検討する必要があると思う。

## 参考文献

- [1] 岡部篤行, 鈴木敦夫, 「最適配置の数理」, 朝倉書店, 1992.
- [2] 山川宏編集, 「最適設計ハンドブック」, 朝倉書店, pp.475-481, 2003.
- [3] 芦野隆一, Remi Vaillancourt, 「はやわかりMATLAB」, 共立出版, 1997.