

# 均衡配分を用いたバイパス道路配置問題

2017SS045 村上未歩

指導教員：佐々木美裕

## 1 はじめに

車は移動において欠かせない手段の1つである。平成27年全国都市交通特性調査では、自動二輪車を含め自動車を利用する割合が高いことがわかっている [3]。また、公共交通機関の利用割合が自動車の利用割合とほぼ等しい都市圏では新型コロナウイルスの影響により、自動車の利用割合が高くなり、道路混雑が発生しやすい状況であると考えられる (図1) [5]。

そこで本研究では、混雑緩和を目的として、新しくバイパス道路を設置する際に、どこに新しいバイパス道路を設置すべきか、多田 [4] のモデルを参考にし、道路の混雑も考慮した数理モデルを作成して求める。

## 2 バイパス道路

バイパス道路とは、市街地など混雑する区間の道を迂回させて、通過交通がその地域を通らないようにするための道路のことである。設置する目的は、一般的に、市街地など混雑する区間の道などの渋滞回避や、騒音や排気ガスの大気汚染を軽減することにある [7]。バイパス道路の実際の例として、岐阜市と大垣市を結ぶ岐大バイパス、各務原市と岐阜市を結ぶ那加バイパスなどがある。

## 3 関連研究

多田 [4] は、利用者は常に出発地から目的地まで最短経路を利用して移動すると仮定し、利用者の総移動距離の最小化を目的としたバイパス道路配置問題を提案した。しかしながら、一般的には、利用者は最短距離ではなく、最短時間で移動できる経路を選択すると考えられる。そこで、本研究では利用者均衡配分を用いてモデル化を行う。

各利用者が各々の判断に従い経路を選択すると、ネットワーク全体としてバランスが取れた状態 (均衡状態) になる。実際の状況に近づけるため利用者均衡配分を用いてネットワークの均衡状態を求め、流量を考慮しバイパス道路の配置を行う。図2は、枝を1本追加することでリンクの交通量が減少し、OD間の移動時間が短くなる例を表している。

## 4 モデルの説明

### 4.1 交通量配分問題

交通量配分問題を考える上で重要な概念である Wardrop の第1原則は、それぞれのドライバーは自分にとって最も時間の短い経路を選択する。その結果として、起終点間に存在する経路のうち、利用される経路の旅行時間は皆等しく、利用されない経路の旅行時間よりも小さいか、せいぜ

都営地下鉄の利用者数の推移

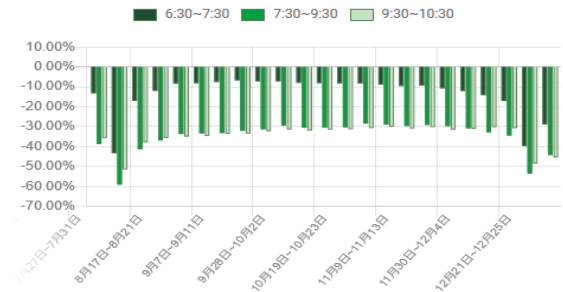


図1 都営地下鉄の利用者数の推移

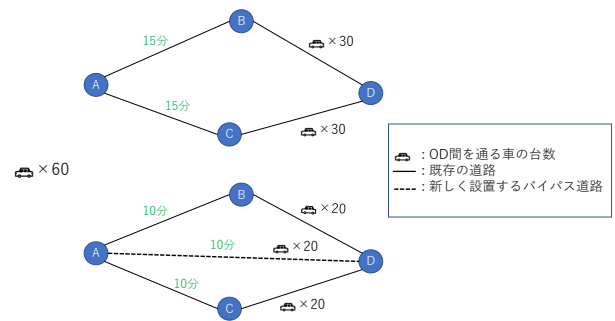


図2 交通量配分を用いたバイパス配置モデルの考え方

い等しいという状態となる。均衡していることから利用者均衡条件と呼ばれる [2]。

### 4.2 記号の定義

$V$  を頂点 (ノード) の集合、 $E$  を枝の集合とし、 $G = (V, E)$  を考える。また、 $E^{all} = \{(i, j) | i \in V, j \in V\}$ 、 $\hat{E} = E^{all} - E$  とする。 $(i, j) \in \hat{E}$  に対して  $E_{ij} = E \cup \{(i, j)\}$  とし、 $G_{ij} = (V, E_{ij})$  を考える。

さらに、以下の記号を定義する。

$A$ : リンクの集合

$K$ : パスの集合

$\Pi$ : OD ペアの集合 ( $r, s \in \Pi, r \in V, s \in V, r \neq s$ )

$f_k^{rs}$ : OD ペア ( $r, s \in \Pi$ ) を結ぶパス  $k$  の経路交通量

$c_k^{rs}$ : OD ペア ( $r, s \in \Pi$ ) を結ぶパス  $k$  の経路所要時間 (関数)

$c_{rs}$ : OD ペア ( $r, s \in \Pi$ ) 間の最短経路所要時間

$Q_{rs}$ : OD ペア ( $r, s \in \Pi$ ) 間の総交通量

$K_{rs}$ : OD ペア ( $r, s \in \Pi$ ) 間の有効経路集合

$x_a$ : リンク  $a$  における交通量

$t_a(x_a)$ : リンク  $a$  のリンクコスト関数

$\delta_{a,k}^{rs} = \begin{cases} 1: OD \text{ ペア } (r, s) \in \Pi \text{ を結ぶパス } k \text{ が} \\ \text{リンク } a \text{ を含むとき。} \\ 0: \text{上記以外。} \end{cases}$

### 4.3 利用者均衡問題

利用者均衡条件を満たす、非線形最適化問題としての定式化を以下に示す [2].

$$\min. \quad Z_p = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w) dw \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} - Q_{rs} = 0 \quad (r, s) \in \Pi \quad (2)$$

$$x_a = \sum_{k \in K_{rs}} \sum_{(r,s) \in \Pi} \delta_{a,k}^{rs} f_k^{rs} \quad a \in A \quad (3)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad k \in K_{rs}, (r, s) \in \Pi \quad (4)$$

$$x_a \geq 0 \quad a \in A \quad (5)$$

(1) は、ネットワーク上の全リンクの旅行時間の和を表す。(2) は、OD 間の交通量は保存されることを表す。(3) は、リンク交通量は利用する経路交通量の和であることを表す。(4) と (5) は、非負制約である。

利用者均衡配分が、凸の非線形計画問題として表されることから、本研究では Frank-Wolfe 法を用いて利用者均衡配分を解く。

### 4.4 利用者均衡を用いたバイパス道路配置問題

$G$  上の総移動時間と  $G_{ij}$  上の総移動時間の差を枝  $(i, j)$  の改善度として考える。最短移動時間が変わらない場合の改善度は 0 であること、OD ペア  $(r, s) \in \Pi$  間の需要が  $Q_{rs}$  であることから、バイパス配置後の移動時間を  $c'_{rs}$  とすると、 $(i, j) \in \hat{E}$  を追加したときの OD ペア  $(r, s) \in \Pi$  における改善度  $k_{rs}$  は、

$$k_{rs} = Q_{rs} \cdot \max(0, c_{rs} - c'_{rs}) \quad (6)$$

と書ける。したがって、改善度が最大となる枝  $(i^*, j^*)$  は、

$$(i^*, j^*) = \arg \max_{(i,j) \in \hat{E}} \sum_{(r,s) \in \Pi} k_{rs} \quad (7)$$

で求めることができる。

## 5 数値実験

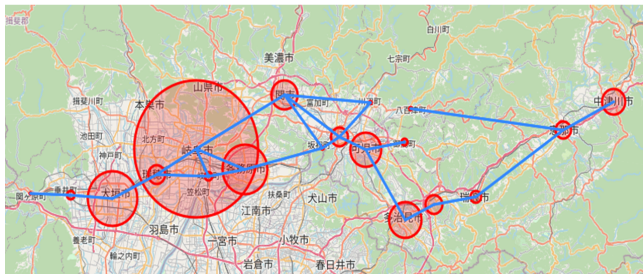


図3 ネットワーク

実験における対象地域は岐阜県である。現在設置されているバイパス道路データ [6] をもとに、ノード数=19, 枝数=23 とする図3のネットワークを作成し、新たなバイパス道路配置を考えた。赤い円は人口 [1] を 5000 分の 1 で表し、青い直線は現在配置されている 2 点間を結ぶバイパ

表1 バイパス道路配置における改善度

| 追加した枝         | 改善度       | 追加した枝        | 改善度      |
|---------------|-----------|--------------|----------|
| (可児市, 各務原市)   | 126814139 | (可児市, 坂祝町)   | 37782557 |
| (川辺町, 各務原市)   | 109497962 | (多治見市, 川辺町)  | 35462337 |
| (坂祝町, 岐阜市)    | 75259844  | (土岐市, 川辺町)   | 29112001 |
| (多治見市, 坂祝町)   | 48648718  | (土岐市, 可児市)   | 22044553 |
| (瑞浪市, 川辺町)    | 43375506  | (瑞浪市, 可児市)   | 20525961 |
| (土岐市, 坂祝町)    | 42679269  | (瑞浪市, 御嵩町)   | 20205683 |
| (可児市, 川辺町)    | 42561327  | (八百津町, 可児市)  | 19541971 |
| (御嵩町, 川辺町)    | 42210095  | (八百津町, 御嵩町)  | 18927858 |
| (御嵩町, 関市)     | 42177637  | (多治見市, 御嵩町)  | 15291621 |
| (御嵩町, 坂祝町)    | 41971177  | (多治見市, 八百津町) | 10329200 |
| (八百津町, 関市)    | 41344719  | (土岐市, 八百津町)  | 791641   |
| (八百津町, 川辺町)   | 40940186  | (瑞浪市, 八百津町)  | 186780   |
| (八百津町, 美濃加茂市) | 38674576  | (川辺町, 坂祝町)   | 180775   |
| (八百津町, 坂祝町)   | 38618671  |              |          |

ス道路を表している。新たに配置するバイパス道路候補は、全頂点間の枝に対し、互いのノードが離れており、県内に既存する最長のバイパスより長い枝や、既にノード間を直線距離で結ぶ枝がある場合を配置候補から除き設定している。

表1に結果を示す。追加するバイパス道路候補は、全部で 27 通りあり、改善度が最大になるのは (可児市, 各務原市) 間にバイパス道路を追加した場合であることが分かった。

## 6 おわりに

作成したデータには、同じ地域を結んでいる道路は含まない。今後の課題として、同じ地域を結ぶバイパス道路も検討することが考えられる。また、複数のバイパスを追加するモデルへの拡張も課題として挙げられる。

## 参考文献

- [1] 岐阜県庁. 人口・世帯数 令和 2 年. <https://www.pref.gifu.lg.jp/uploaded/attachment/201299.xls>, 2020 年 12 月 9 日閲覧.
- [2] 川口真由. 均衡配分を用いた少子高齢化による鉄道利用変化予測. 卒業論文, 中央大学 理工学部, 2005.
- [3] 国土交通省都市局都市計画課. 都市計画調査室. 都市における人の動きとその変化-平成 27 年度全国年交通特性調査集計結果より-, 2015.
- [4] 多田和杜. 最短経路長最小化を目的とした枝の配置問題. 卒業論文, 南山大学 理工学部, 2020.
- [5] 東京都. 新型コロナウイルス感染症対策サイト. <https://stopcovid19.metro.tokyo.lg.jp/cards/predicted-number-of-toei-subway-passengers/>, 2020 年 9 月 15 日閲覧.
- [6] weblio 辞書. 岐阜県の道路の一覧. [https://www.weblio.jp/ontology/%E5%B2%90%E9%98%9C%E7%9C%8C%E3%81%AE%E9%81%93%E8%B7%AF\\_1](https://www.weblio.jp/ontology/%E5%B2%90%E9%98%9C%E7%9C%8C%E3%81%AE%E9%81%93%E8%B7%AF_1), 2020 年 12 月 9 日閲覧.
- [7] チューリッヒ保険会社. バイパスとは. <https://www.zurich.co.jp/car/useful/guide/cc-what-is-bypass-role/>, 2020 年 9 月 13 日閲覧.