

高速道路を含む道路網における交通量配分問題

2013SE197 杉山大悟

指導教員：福嶋雅夫

1 はじめに

愛知県は全国的に見て自動車の生産が盛んであり、道路の道幅も広く走りやすいことから、移動手段として自動車を利用する人が多い。そのため、通勤・帰宅ラッシュ時には多くの地点で渋滞が発生する。

道路網における交通の流れを数理的に解析するための手段として、交通量配分問題と呼ばれる問題が知られている。これは、交通ネットワーク上の各利用者が利用する経路のフロー費用が最小になるフロー（流れ）を求める問題で、さまざまな研究が行われている [3]。

本研究では、一般道路と高速道路の両方が存在する道路網のモデルを考える。一般道路とは、自動車の他に自転車や歩行者などが利用する道路である。また、複数の道路が交差する交差点には信号機が取り付けられており、交通の流れをコントロールしている。一方、高速道路は自動車のみ通行に限定される道路であり、信号待ちが発生する交差点がないため一般道路よりも短時間で目的地まで到達できる。本研究では交通網におけるフローを自動車のみに限定した交通量配分問題を考える。

2 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、ネットワーク利用者が自己の最適な経路を選択することを表したもので、出発地と目的地が同じ利用者が利用する複数の経路の移動時間は等しく、均衡していることから利用者均衡条件と呼ばれる [3] [4]。

一般的な交通量配分問題の定式化を示す。

$$\text{目的関数} \quad \phi(\mathbf{x}) = \sum_{i \in A} \int_0^{x_i} c_i(t) dt \rightarrow \text{最小}$$

$$\text{制約条件} \quad \sum_{p \in P^k} z_p^k = d^k \quad (k \in K) \quad (1)$$

$$x_i = \sum_{k \in K} \sum_{p \in P^k} \delta_i^p z_p^k \quad (i \in A) \quad (2)$$

$$z_p^k \geq 0 \quad (p \in P^k, k \in K) \quad (3)$$

記号の定義は以下の通りである。

K : 品種 (OD ペア) の集合

A : 枝の集合

P^k : 品種 k の経路 p の集合

$c_i(x_i)$: 枝 i のフロー費用関数

z_p^k : 品種 k の経路 p 上のフロー量を表すパスフロー変数

d^k : 品種 k の経路を走行する自動車の台数 (需要量)

x_i : 枝 i 上のフロー量を表すアークフロー変数

δ_i^p : 経路 p が枝 i を含むとき 1, 含まないとき 0 を表す変数

目的関数はフロー費用関数の積分の総和である。(1) 式は、各品種 k に対して、経路 $p \in P^k$ のフロー量の合計が需要量に一致することを表す。(2) 式は、アークフロー変数とパスフロー変数の関係を表している。(3) 式は、各品種に対して、経路 $p \in P^k$ 上の流れの大きさが非負であることを表す [3]。

フロー費用関数 $c_i(x_i)$ には BPR 関数と呼ばれる次の多項式関数がしばしば用いられる。

$$c_i(x_i) = t_i^0 \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{x_i}{C_i} \right)^\beta \right\} \quad (4)$$

ここで、 t_i^0 は自由走行速度、 C_i は枝 i の交通容量、 α と β は正のパラメータである [3]。 α, β の値は道幅の大きさや交通規制の状態といった道路の特性によって決定される [2]。これらの値については、土木学会が全道路に共通した標準パラメータ $\alpha = 0.48, \beta = 2.82$ を提案している [1]。

3 数値実験

3.1 取り扱うモデル

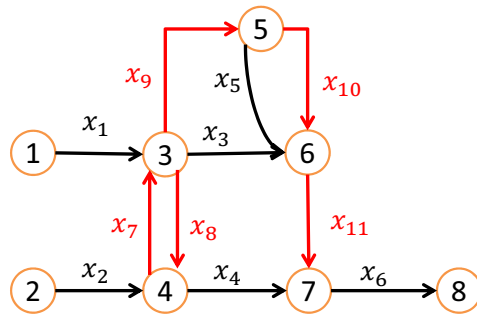


図 1 道路網のモデル

数値実験には図 1 に示す節点 8 個、枝 11 本で構成されたモデルを使用した。黒の矢印で示された枝を一般道路、赤の矢印で示された枝を高速道路として取り扱う。これは名古屋市の道路網をモデル化したものであり、名古屋高速の環状線の部分とその周辺を通る主要な国道を単純化したモデルとなっている。OD ペアは節点 1 → 節点 8 と節点 2 → 節点 8 の 2 つとし、それぞれを品種 1、品種 2 とする (2 品種)。目的関数には式 (4) の BPR 関数を用いる。パラメータ α, β の値を $\alpha = 0.48, \beta = 2.82$ に設定し [1]、自由走行速度 t_i^0 と枝 i の交通容量 C_i 、品種 k の自動車の台数 d^k の基準値を次のように設定した。

- 自由走行速度: $t_1^0 = 100, t_2^0 = 100, t_3^0 = 120, t_4^0 = 120, t_5^0 = 60, t_6^0 = 70, t_7^0 = 30, t_8^0 = 30, t_9^0 = 40, t_{10}^0 = 40, t_{11}^0 = 30$
- 枝 i の交通容量: $C_1 = 50, C_2 = 70, C_3 = 50, C_4 = 70, C_5 = 40, C_6 = 70, C_7 = 60, C_8 = 60, C_9 = 70, C_{10} = 70, C_{11} = 70$
- 品種 k の経路を走る自動車の台数: $d^1 = 100, d^2 = 100$

3.2 実験方法

数値実験には MATLAB の関数である `fmincon` を使用し、道路網の条件を変化させながら次の5つの実験を行い、アークフロー変数 x_i を求める。

実験 1 自由走行速度 t_i^0 と道路 i の交通容量 C_i に基準値を使用してアークフローを求め、その後 t_i^0 は固定し、 C_i を基準値の2倍、3倍、0.5倍したときの結果の違いを調べる。

実験 2 実験 1 の結果をもとに、品種 k の経路を走る自動車の台数 d^k を $d^k = 500, 1000 (k = 1, 2)$ に増やした場合の結果を調べる。

実験 3 高速道路として設定されている枝 7, 8, 9, 10, 11 を一般道路として、環状線の中を抜けるような形になっている枝 3, 4, 5 を高速道路として設定した場合の結果を調べる。

実験 4 実験 3 のモデルを使用し、 C_i の値を変化させたときの結果を調べる。さらに、 $d^k = 500, 1000 (k = 1, 2)$ としたときの結果を調べる。

実験 5 図 1 のモデルを使用し、節点 5 → 6 を結ぶ枝 5 を、節点 5 → 7 を直接結ぶバイパス道路に変更した場合の結果を調べる。

3.3 実験結果と考察

ここでは紙数の都合上、実験 1 の t_i^0, C_i に基準値を使用した場合の結果と実験 5 の結果のみを示す。図 1 のモデルについて数値実験を行ったところ、品種 1 は節点 5 を経由して節点 1 から節点 6 に到達する自動車の台数が約 54 台と最も多かった。節点 1 → 3 → 6 を通るよりこの経路の方がかかる所要時間が少ないため、「利用者は常に走行時間が最小となるよう行動する」という `Wordrop` の原則が成り立つための前提条件が反映された結果であるといえる。この実験での定式化では高速道路料金が考慮されていないため、道路網の利用者は目的地に早く到達できる高速道路を積極的に利用しているという状況になっている。品種 2 についても節点 2 → 4 → 7 を通る自動車の台数が約 82 台と最も多く、理由も同じであると考えられる。

次に、実験 5 の結果を考察する。実験 5 は節点 5 → 6 を結ぶ枝 5 を節点 5 → 7 まで直接行くことができるバイパス道路として取り扱った場合のフローの変化を調べる実験である。道路網の状況を少し変化させて、枝 5 を高速道路、

枝 10, 11 を一般道路として取り扱い、自由走行速度をそれぞれ $t_5^0 = 35, t_{10}^0 = 80, t_{11}^0 = 60$ と設定して実験を行った。品種 1 では、節点 1 → 3 → 5 → 7 → 8 を通る経路のフローが最も多かった。今まで節点 1 → 3 → 6 → 7 → 8 を通っていた利用者もバイパス道路を利用するようになり、新しい道路に利用者が殺到したことがうかがえる。品種 2 については節点 2 → 4 → 7 → 8 を通る経路のフローが最も多かった。これは、高速道路を利用すると大回りして目的地に向かうことになり、かえって時間がかかってしまうため、一般道路を利用した方が最短時間で目的地に到達できることを表している。この結果から、高速道路は必ず所要時間を短縮できるわけではなく道路の場所によっては逆に所要時間が増加してしまうこともあることがわかった。

枝	実験 1		実験 5	
	品種 1	品種 2	品種 1	品種 2
1	100	0	100	0
2	0	100	0	100
3	46.4	0	16.5	30.9
4	0	81.7	0	69.1
5	29.9	0	65.5	0
6	100	100	100	100
7	0	18.3	0	30.9
8	0	0	0	0
9	53.6	18.3	81.5	0
10	23.7	18.3	16	0
11	100	18.3	34.5	30.9

表 1 実験 1 と実験 5 における品種ごとのフロー量

4 おわりに

本研究の数値実験では、1本の道路の条件が変わると周辺の道路を走行する自動車の流れが変化する場合があることが確かめられた。取り扱うモデルの規模が小さかったため、現実世界と直接結びつけ、課題を解決することは難しかった。取り扱う道路網の規模をさらに拡大し、実際の道路網をモデルとして取り扱う場合、公式なデータを使用することでより現実的な問題を考えることができる。研究を進めていけば、頻繁に渋滞が起こる箇所の緩和策を立てるとき、道路増設場所の検討をするときなどの手助けになることが期待される。

参考文献

- [1] 土木学会, 「道路交通需要予測の理論と適用 第1編 利用者均衡配分の適用に向けて」, 丸善, 2003年
- [2] 金子雄一郎, 「交通計画学」, コロナ社, 2012年
- [3] 片山直登, 「ネットワーク設計問題」, 朝倉書店, 2008年
- [4] 交通研究室, 「交通量均衡配分の基礎について」, 北海道開発土木研究所月報, No.607, pp.29-32, 2003