

第10回 基礎ゼミ

交通ネットワークの均衡分析

第3章 ネットワークフローが満足すべき条件

第4章 ネットワーク上での選択行動と均衡分析

2017年6月1日 (木)

福田研究室 学部4年

城間 洋也

はじめに

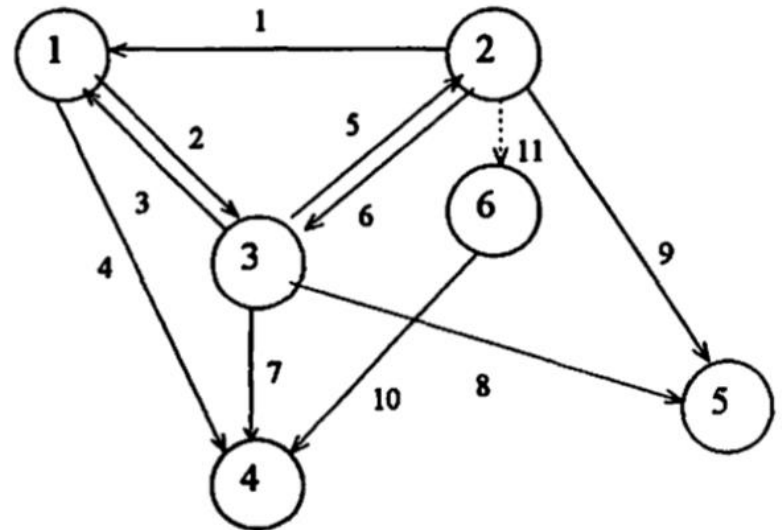
交通ネットワーク上での均衡配分問題

- OD交通量
- 交通ネットワーク
- リンクパフォーマンス関数



経路選択行動規範

均衡フロー

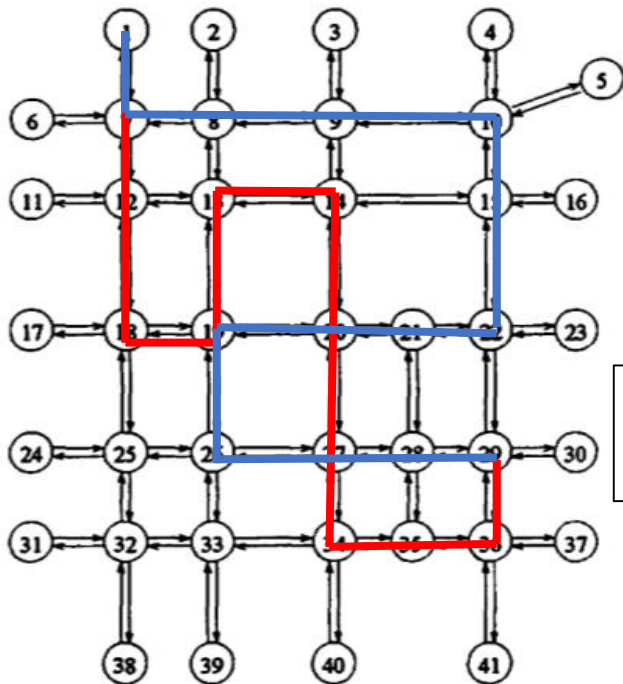


Outline

- 第3章 ネットワークフローが満足すべき条件
 - 3.1 パス-リンクインシデンスマトリクス
 - 3.2 ネットワークフローの保存条件
- 第4章 ネットワーク上での選択行動と均衡分析
 - 4.1 経路選択規範とネットワークへの交通量負荷方法
 - 4.2 確率効用理論に基づく経路選択モデル
 - 4.3 ネットワーク均衡分析

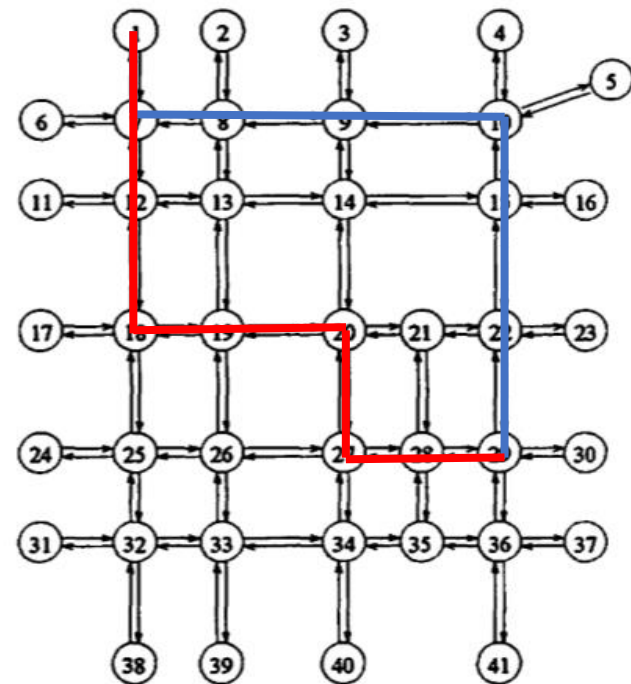
3.1 パス-リンクインシデンスマトリクス

- 利用可能経路集合



実際に利用される経路は限定

- 有効経路集合



3.1 パス-リンクインシデンスマトリクス

- ODペアrs間の有効経路集合 K_{rs} を数学的に記述

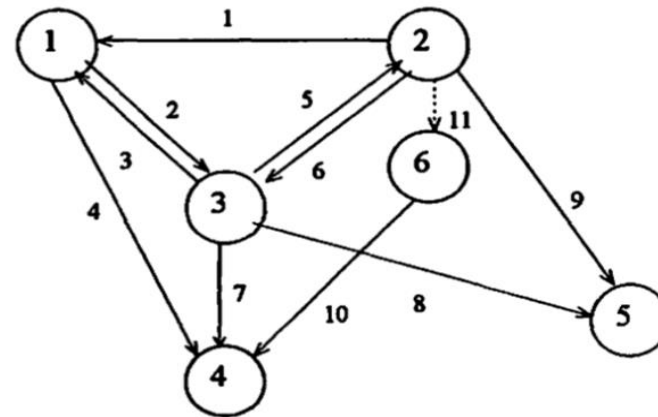
(パス-リンクインシデンスマトリクス)

$$\Delta^{24} = \{\delta_{a,k}^{24}\} =$$

$a \setminus k$	1	2	3	4	5
1	0	0	1	1	0
2	0	0	0	1	0
3	0	0	0	0	1
4	0	0	1	0	1
5	0	0	0	0	0
6	0	1	0	0	1
7	0	1	0	1	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0
11	1	0	0	0	0

↑
リンク番号

(ネットワーク)



ODペアrs間の第k経路を構成するリンクは

$$\delta_{a,k}^{rs} = \begin{cases} 1 & \text{(経路kにリンクaが含まれる)} \\ 0 & \text{(経路kにリンクaが含まれない)} \end{cases}$$

のようなダミー変数を要素に持つ行列で表現できる

3.2 ネットワークフローの保存条件

ネットワーク上のフロー

- OD交通量 Q_{rs} (ODフロー)
- 経路交通量 f_k^{rs} (経路フロー)
- リンク交通量 x_a (リンクフロー)

フローの保存条件

$$1. x_a = \sum_{rs} \sum_k \delta_{a,k}^{rs} f_k^{rs}$$

$$2. \sum_k f_k^{rs} = Q_{rs}$$

$$3. f_k^{rs} \geq 0$$

→リンク交通量はそのリンクを含む経路交通量の合計

→OD交通量は全経路の経路交通量の合計

→経路交通量は非負

4.1 経路選択規範とネットワークへの交通量負荷法

all-or-nothing 負荷法

- Wardropの第一原則

→ 利用者にとって選択された経路の交通抵抗はすべて等しく、
選択されなかった他のどの経路の抵抗値より小さいか等しくなる
よう分配される

(前提条件)

(1) 最小費用選択仮説

...利用者は最小の抵抗値を持つ経路を選択する(合理的選択)

(2) 完全情報仮説

...利用者は利用可能経路について完全な情報を得ている

4.1 経路選択規範とネットワークへの交通量負荷法

確率的負荷法

確率効用理論や離散選択モデルの一般的フレームワークを経路選択メカニズムに適用、経路費用は確率変数で定義される

個人は利用可能な経路から最大の効用を与える経路を選択

$$U_{kn} > U_{jn} \quad k \neq j, j \in H_n^{rs}$$

(U_{jn} : 個人 n が経路 j を選択することによって得られる効用)
(H_n^{rs} : 個人 n が選択可能な経路集合)

[効用に影響を与える要因]

- ・ 料金や所要時間などのサービス特性
- ・ 意思決定者の職業・年齢・所得などの社会経済特性
- ・ トリップ目的・時間帯などのトリップ特性

- (1) 個人の行動は必ずしも合理的選択行動に従わない
- (2) 経路についての完全な情報を得ているとは限らない
- (3) 個人の効用に影響を与える属性のすべてを観測することは不可

4.2 確率効用理論に基づく経路選択モデル

$$\text{効用関数： } U_{kn} = V_{kn} + \varepsilon_{kn}$$

(1) Logit 型経路選択モデル

ε_{kn} に独立なガンベル分布を仮定（経路ごとの相関はなし）

$$P_{kn} = \exp(\zeta V_{kn}) / \sum_{j \in H_n^{rs}} \exp(\zeta V_{jn})$$

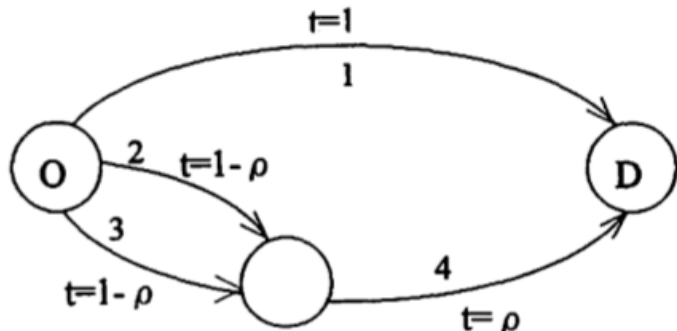
(2) Probit 型経路選択モデル

ε_{kn} は多変量正規分布に従うと仮定（経路ごとの相関を考慮）

$$P_{kn} = \int_{-\infty}^{V_{kn}-V_{1n}} \int_{-\infty}^{V_{kn}-V_{2n}} \cdots \int_{-\infty}^{V_{kn}-V_{Jn}} n(\mathbf{q}; \mathbf{0}, \Sigma) d\mathbf{q}$$

(n : 多変量正規密度関数 Σ : 分散共分散行列)

4.2 確率効用理論に基づく経路選択モデル



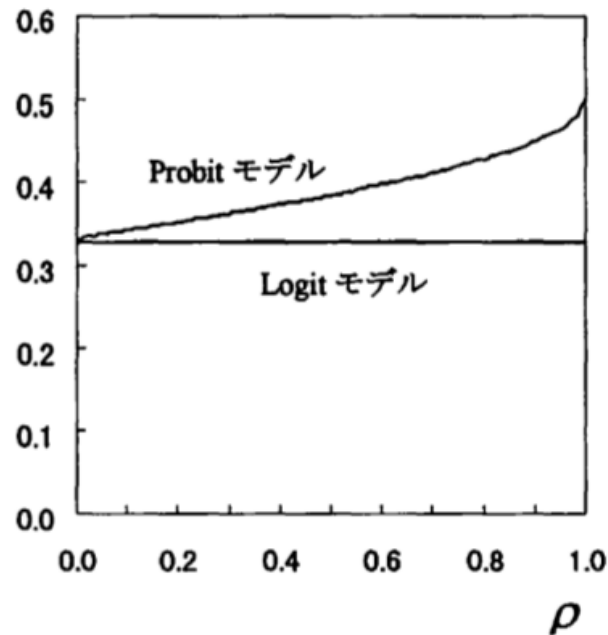
(Logitモデル)

経路1の選択確率は経路2,3の重複の大きさ ρ ($0 < \rho < 1$)とは無関係に $1/3$

(Probitモデル)

経路1の選択確率は経路2,3の重複の大きさ ρ ($0 < \rho < 1$)に依存して $1/3 \sim 1/2$ の値をとりうる

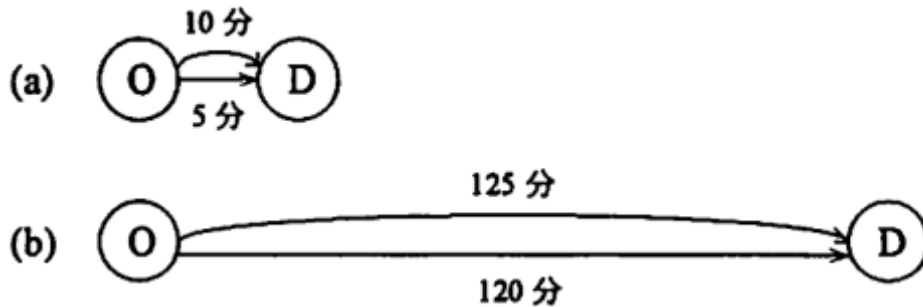
経路1の選択確率



- Logitモデルによる交通量負荷方法は経路を構成するリンクの重複が大きい場合に交通量を過大評価する傾向にある
- Probitモデルによる交通量負荷法では利用可能経路間の相関性を考慮できる

4.2 確率効用理論に基づく経路選択モデル

Probit型経路選択モデル



リンクの所要時間 t_a が正規分布 $N(\bar{t}_a, \beta \bar{t}_a)$ に従うと仮定
→効用差が同一の経路選択でも異なる選択確率を得ることができる

$\beta=1.0$ とすると短い方の経路への交通量負荷はそれぞれ

$$(a) p_a = \Phi \left(\frac{0 - (-5)}{5\beta + 10\beta} \right) = 0.90$$

$$(b) p_b = \Phi \left(\frac{0 - (-5)}{120\beta + 125\beta} \right) = 0.63$$

(Φ :累積正規分布関数)

4.2 確率効用理論に基づく経路選択モデル

$$\text{効用関数： } U_{kn} = V_{kn} + \varepsilon_{kn}$$

(3) GEVモデル/Nested Logitモデル

ε_{kn} に一般化極値分布を仮定

$$P_{kn} = \frac{\exp(V_{kn}) \cdot G_k[\exp(V_{1n}), \exp(V_{2n}), \dots, \exp(V_{mn})]}{G[\exp(V_{1n}), \exp(V_{2n}), \dots, \exp(V_{mn})]}$$

上式で $G(u_1, u_2, \dots, u_m) = \sum_{k=1}^K \alpha_k (\sum_{j \in B_n^k} u_j^{1/\lambda_k})^{\lambda_k}$ とすると

Nested logit モデルが導出される



階層的選択の記述に有効
目的地と経路との組み合わせ選択肢の同時選択
確率を求める場合などに用いる

4.3 ネットワーク均衡分析

交通ネットワーク均衡分析

均衡概念によりネットワーク上の交通需要分析を行う方法

需要固定型均衡：OD交通量は所与とする

需要-パフォーマンス均衡（短期的交通均衡）

OD間での人々の経路選択行動の結果として得られるリンク交通量とリンクパフォーマンス関数（リンク交通量とリンク抵抗の関係性）が相互に依存しあいつつ達成される交通量とリンク抵抗の均衡状態

需要-パフォーマンス-供給均衡（長期的交通均衡）

短期交通均衡の結果として生じる需要とサービス水準に対応した交通施設供給者の意思決定を含む交通均衡

交通ネットワークの最適化計画などに採用される

4.3 ネットワーク均衡分析

均衡の定義

- ・ 確定的利用者均衡 (UE)

一方的に経路を変えることによって、もはや誰一人としてOD間の実所要時間を改善することはできない状態

→ all-or-nothing法

- ・ 確率的利用者均衡 (SUE)

一方的に経路を変えることによって、もはや誰一人としてOD間の知覚所要時間を改善することはできない状態

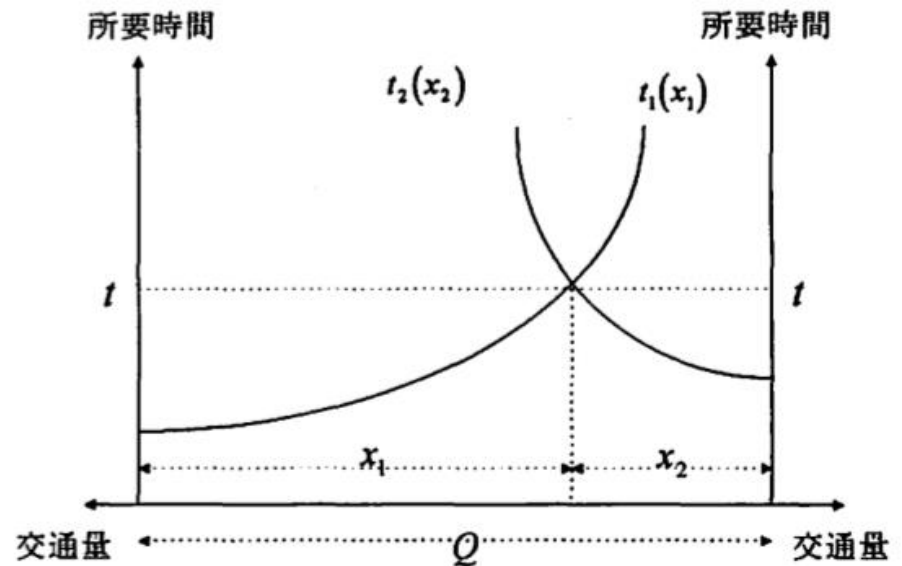
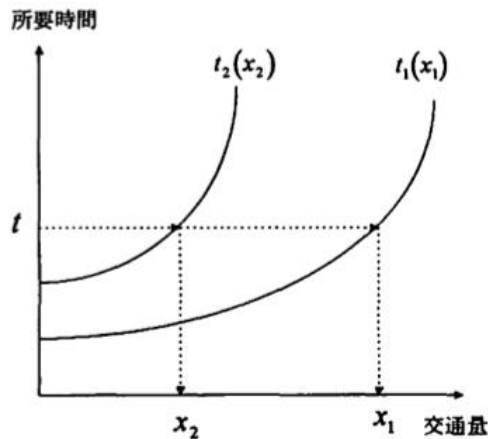
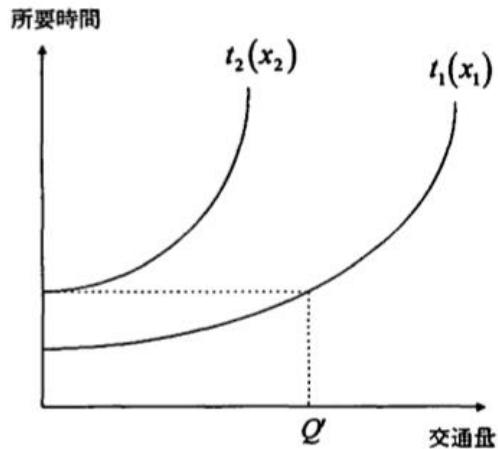
→ 知覚所要時間 = 実所要時間 + 誤差項

stochastic network loading という交通量負荷メカニズムが適用される

* いずれの定義も静的な交通均衡状態を記述する場合に用いられる
(ex) その時間区間で交通流が一定とみなすことのできるピーク時間帯、オフピーク時間帯など

4.3 ネットワーク均衡分析

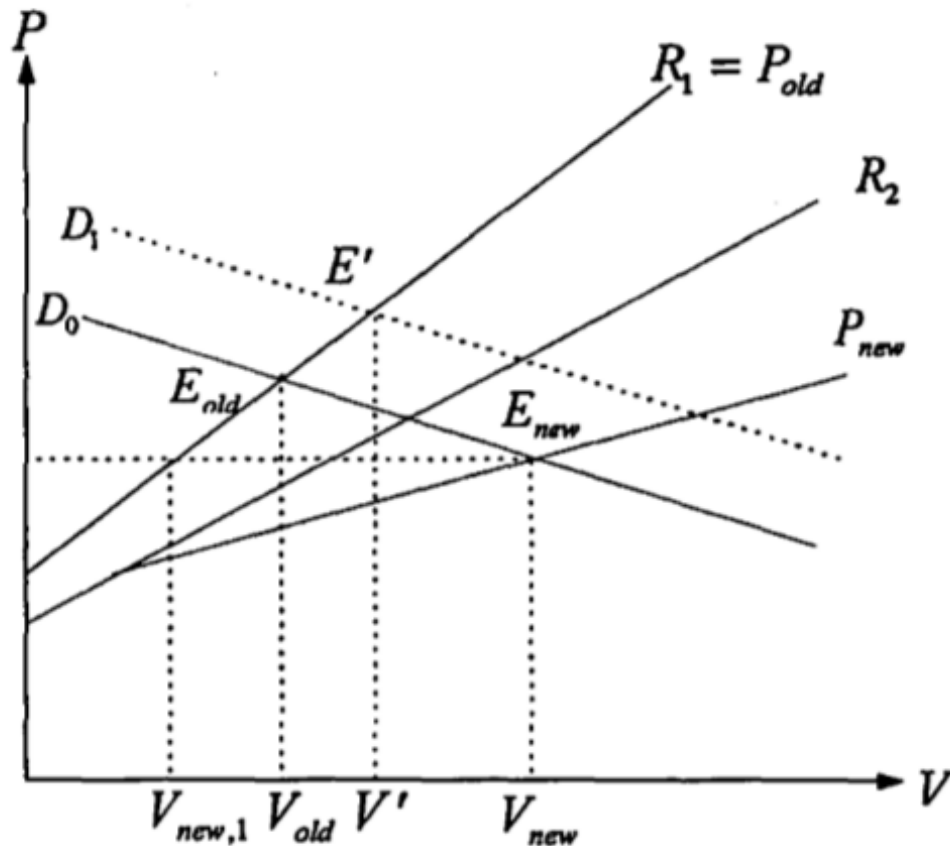
(ex1) 需要-パフォーマンス均衡



実際のOD間の経路はもっと複雑でグラフを用いた均衡解の求解は不可
→問題を数学的に定式化し非線形数理最適化手法が活用される

4.3 ネットワーク均衡分析

(ex2) 需要-パフォーマンス均衡



(誘発交通量) = $V_{new} - V_{old}$

(転換交通量) = $V_{old} - V_{new,1}$

まとめ

- 交通ネットワークの定式化
 - ネットワークフローの保存条件
 - 経路選択規範と交通量負荷方法
 - 確率効用理論に基づく経路選択モデルの例
 - ネットワーク均衡分析
- 交通ネットワーク均衡モデルの定式化と解析（5章以降）