

# 首都圏高速道路網における動的OD交通量推定モデルのパラメータ推定

Parameter Estimation of OD Flow Estimation Model in Metropolitan Expressway Network

石川裕太郎(東北大学)  
酒井高良 (東北大学)  
赤松隆 (東北大学)

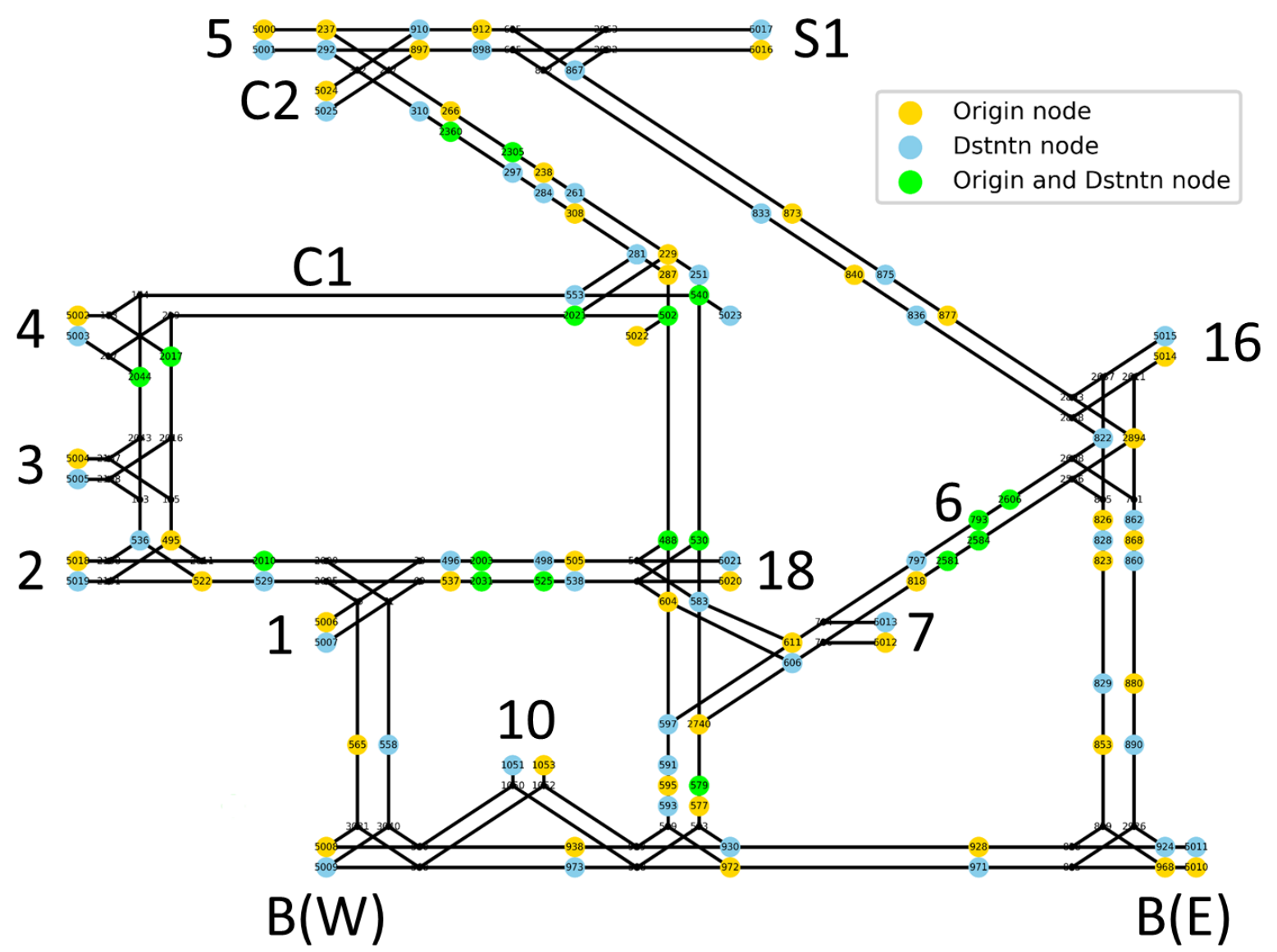
## 1. 背景

- ❖ OD推定モデルのパラメータの重要性
- ❖ Day-to-day, Within-dayにおける動的な変動特性：未検証

## 3. 分析対象ネットワークとデータ

- ❖ 首都圏高速道路網
  - 64の起点, 68の終点から構成
  - 総延長：160 km
  - 日交通量：約100万台

記号	路線	記号	路線
1	羽田線	7	小松川線
2	目黒線	10	台場線
3	渋谷線	C1	都心環状線
4	新宿線	C2	中央環状線
5	池袋線	S1	川口線
6	向島線	B	湾岸線



## 2. 目的

- ❖ 長期間時々刻々の観測データに基づき, 動的OD推定モデルのパラメータを推定し, その変動特性を検証する

- ❖ データ：感知器における観測データ

- 感知器の数：約900個
- 観測期間：2014年1月1日-12月31日
- 日内1分刻みの速度・交通量データ

- ❖ 分析対象日：140日

- 晴天かつ平日
- 大規模な交通規制のない日
- 分析対象時間：6:00-22:00

時々刻々の発生・集中交通量ネットワークの総交通費用

が観測済み

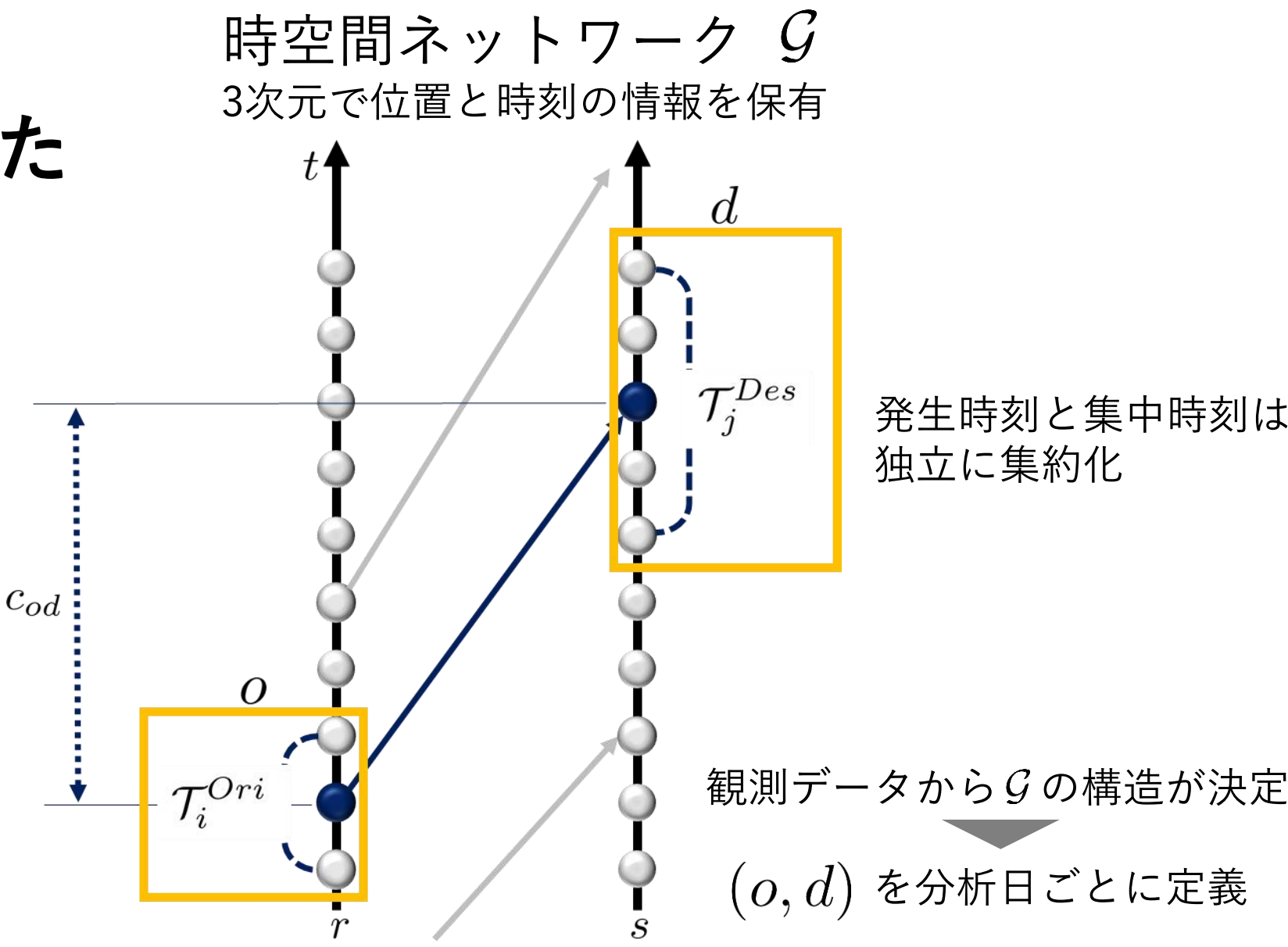
分析対象日の内訳

	日数	構成比
1月	14	10%
2月	14	10%
3月	12	8.3%
4月	11	7.9%
5月	5	3.6%
6月	9	6.4%
7月	13	9.1%
8月	13	9.1%
9月	10	7.0%
10月	15	10.7%
11月	11	7.9%
12月	14	10%
	140	100%

## 4. モデルと定式化

- ❖ 時空間ネットワークを用いた動的OD推定モデル

$o \in \mathcal{O}$  : 時空間起点ノード  
起点  $r$ , 発生時刻  $\tau_i^{Ori}$  に対応  
 $d \in \mathcal{D}$  : 時空間終点ノード  
終点  $s$ , 集中時刻  $\tau_j^{Des}$  に対応  
 $(o, d)$  : 時空間ODペア  
 $\mathcal{G}$  上の最短経路費用に基づき決定  
 $q_{od}$  : 時空間OD交通量  
 $c_{od}$  : 時空間OD費用



- ❖ 時空間OD選択確率に重力型関数を仮定： $p_{od} = \alpha_o \beta_d \exp(-\gamma c_{od})$

- 交通費用, 起点, 終点に対応する3種類のパラメータを最尤推定

二重制約型重力モデルに  
総交通費用条件を  
加えたものと等価

推定するパラメータは  $\gamma, \mathbf{A}, \mathbf{B}$   
( $\mathbf{A} \equiv [\dots, A_o, \dots]_{\mathcal{O}}$   $\mathbf{B} \equiv [\dots, B_d, \dots]_{\mathcal{D}}$ )

$$q_{od} = A_o B_d O_o D_d \exp(-\gamma c_{od}) \quad \forall (o, d) \in \mathcal{P}$$

where

$$A_o = \left[ \sum_{d \in \mathcal{D}} B_d D_d \exp(-\gamma c_{od}) \right] \quad \forall o \in \mathcal{O} \quad (1)$$

$$B_d = \left[ \sum_{o \in \mathcal{O}} A_o O_o \exp(-\gamma c_{od}) \right] \quad \forall d \in \mathcal{D} \quad (2)$$

## 5. 効率的解法の提案

- ❖ 二重制約重力モデルのパラメータ推定と等価な最適化問題[P]

$$\begin{aligned} \min Z_P(\mathbf{q}) &= \sum_{(o,d)} q_{od} (\ln q_{od} - 1) \\ \text{s.t.} \quad &\sum_{(o,d)} c_{od} q_{od} = \hat{E}, \quad \sum_d q_{od} = O_o \quad \forall o, \quad \sum_o q_{od} = D_d \quad \forall d, \quad q_{od} \geq 0 \quad \forall o, d \end{aligned}$$

総交通費用制約      発生制約      集中制約

- ❖ [P] の双対問題 [D] を構築

$$\begin{aligned} \max Z_D(\gamma) &= - \sum_{o,d} A_o B_d O_o D_d \exp(-\gamma c_{od}) + \sum_o O_o \ln A_o + \sum_d D_d \ln B_d - \gamma \hat{E} \\ \text{s.t.} \quad &(1) \text{ and } (2) \end{aligned}$$

$$Z'_D(\gamma) \equiv \frac{dZ_D}{d\gamma} = \sum_{o,d} c_{od} q_{od} - \hat{E} \quad Z''_D(\gamma) \equiv \frac{d^2 Z_D}{d\gamma^2} = - \sum_{o,d} c_{od}^2 q_{od}$$

- ❖ 解法アルゴリズム

- [D] は  $\gamma$  について凸
- 二次の微分の情報を利用可能

Newton 法

+

Balancing 法

…二重制約重力モデルの  
解法アルゴリズム(Bregman(1967))  
(パラメータ  $\gamma$  はgiven)

**Step.0 Initialization**  
初期解  $\gamma^0 := 0$ , 繰り返し回数  $n = 0$  とする。  
**Step.1 Convergence test**  
収束条件を満たせば終了。  
**Step.2 Bregman's balancing method**  
パラメータ  $\gamma^n$  のもとで時空間OD交通量パターン  $\mathbf{q}$  を求める。  
 $\mathbf{q}$  ならびにパラメータ  $\mathbf{A}, \mathbf{B}$  に基づき,  $Z_D(\gamma^n)$  を求める。  
**Step.3 Gradient Calculation**  
 $Z'_D(\gamma^n), Z''_D(\gamma^n)$  を求める。  
**Step.4 Solution Updating**  
 $\gamma^{n+1} := \gamma^n - Z'_D(\gamma^n) / Z''_D(\gamma^n)$  とする。  $n := n + 1$  としてStep.1へ。

## 6. 結果と考察

条件設定

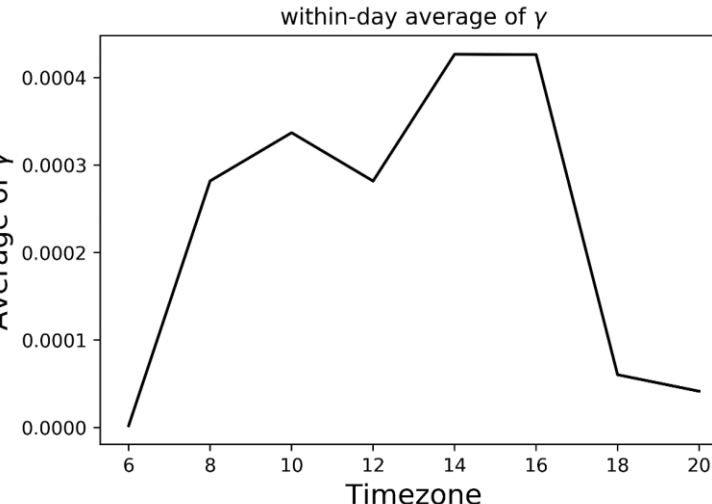
- ❖ 分析日  $D \in \text{Day}$  に対し, 分析対象時間を日内8つの時間帯に分割し, 時間帯  $T$  ごとにパラメータを推定
- ❖  $\tau_i^{Ori}$  は5分間隔,  $\tau_i^{Des}$  は時間帯幅と同一

交通費用にかかるパラメータ  $\gamma$   
…利用者の費用に対する感度

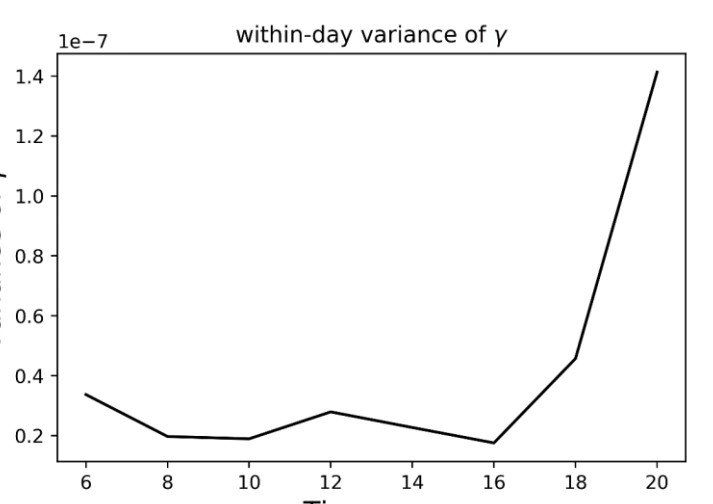
- ❖ Within-day 変動特性

分析日  $D$  の時間帯  $T$  の推定値  $\gamma_{D,T}$  を, 時間帯ごとに年間で平均化

時間帯推定値の年間平均



時間帯推定値の年間分散



【時間帯推定値の特徴】

朝・夕方

▶ 小(交通費用に鈍感)

昼・夜間

▶ 大(交通費用に敏感)

利用者のOD選択行動は  
ネットワークの混雑状況に依存

起点にかかるパラメータ  $\mathbf{A}$

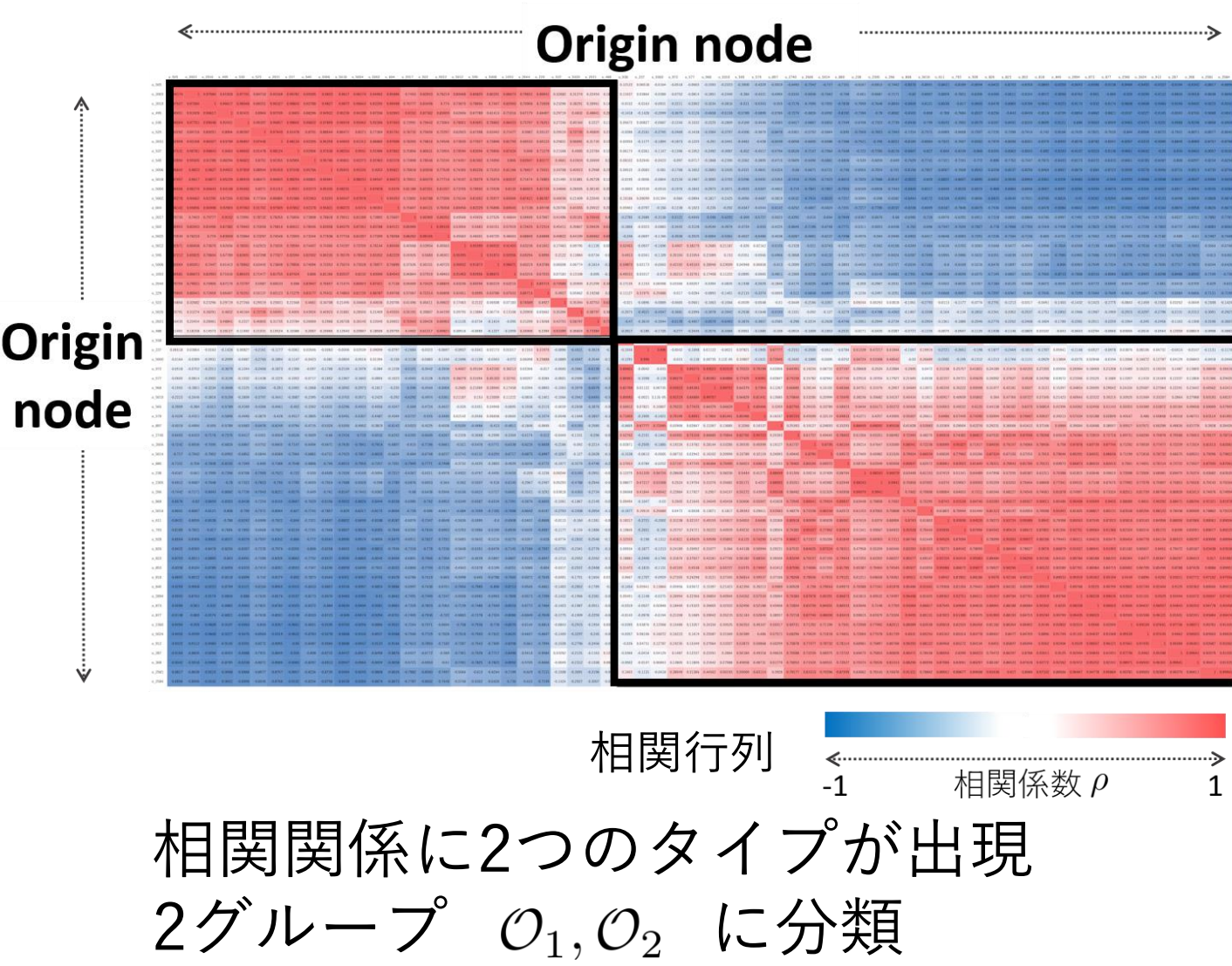
…地点の魅力度

- ❖ Day-to-day 変動特性

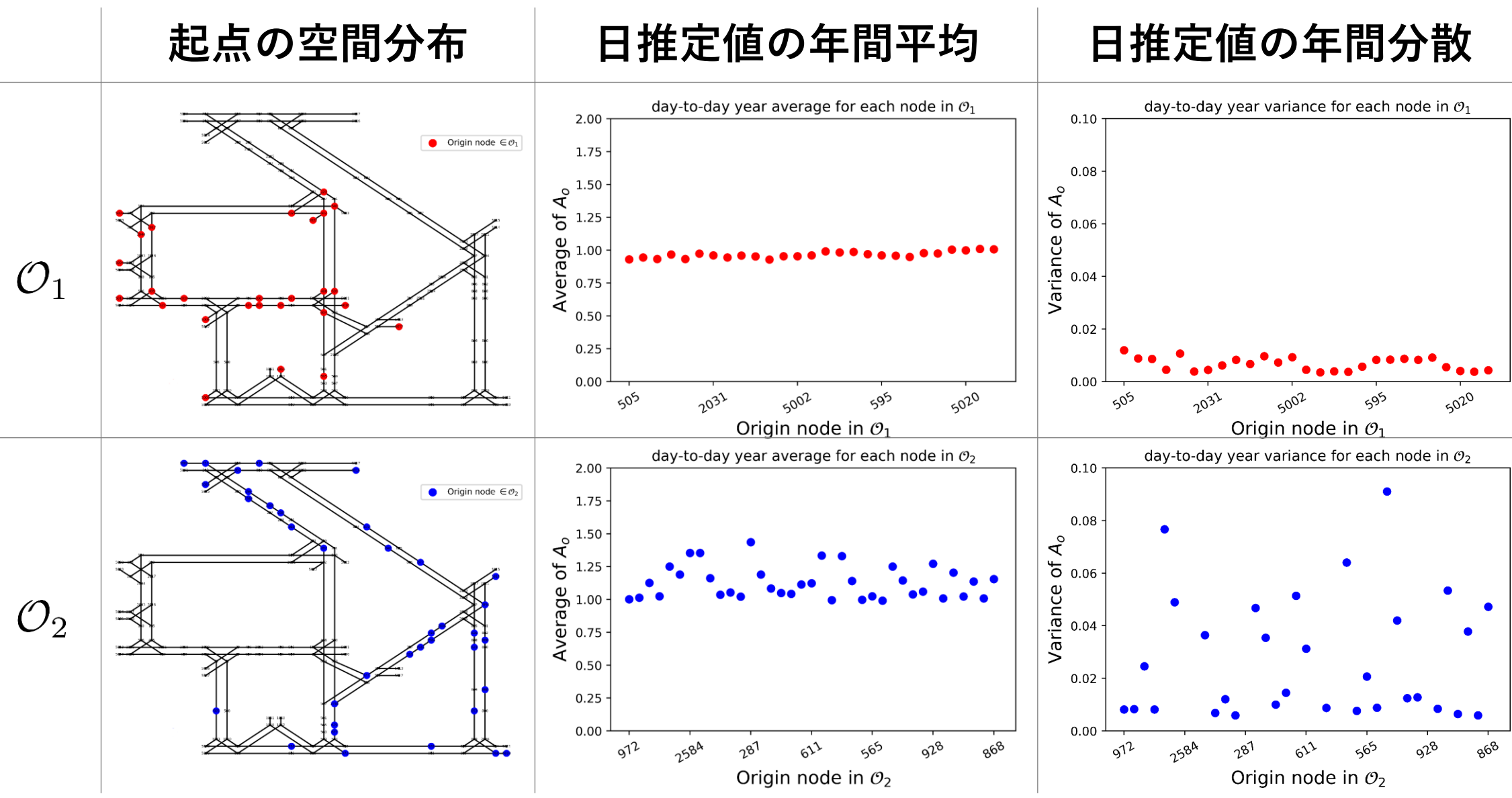
分析日  $D$  の時々刻々の推定値を, 起点ごとに日内で平均化

日々の推定値が  
確率的に変動すると仮定

▶  $\mathbf{A}_r = [\dots, A_{r,D}, \dots]_{\text{Day}}$  は確率変数  
起点間の相関関係を分析



相関関係に2つのタイプが出現  
2グループ  $\mathcal{O}_1, \mathcal{O}_2$  に分類



【空間分布】

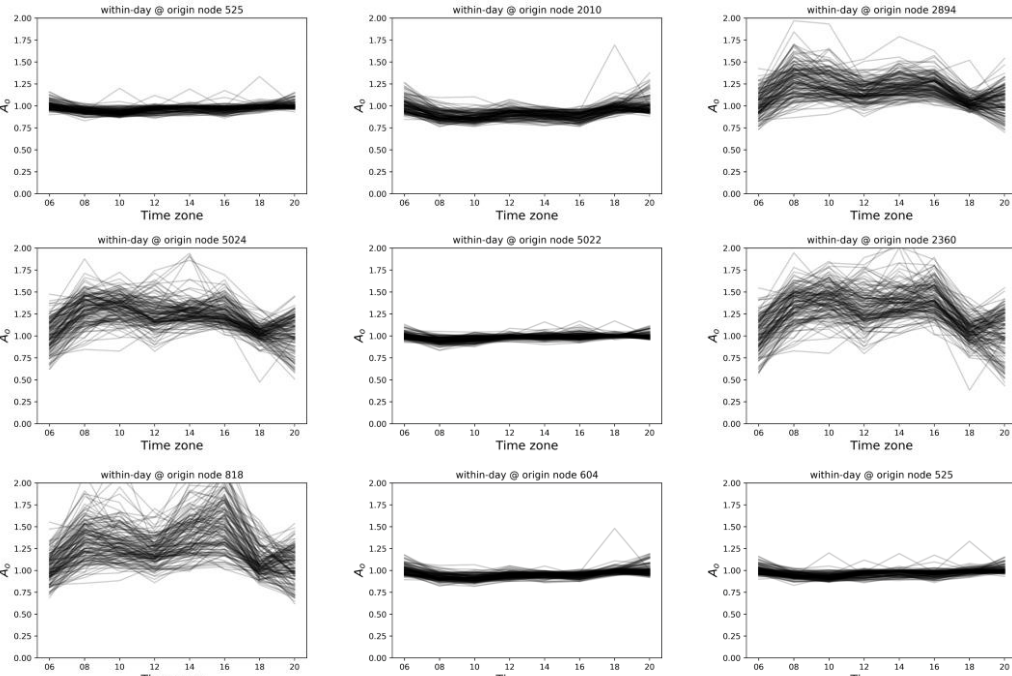
C1近傍とその他の  
2グループに分類

【日推定値の特徴】

空間分布との  
対応関係が存在

- ❖ Within-day変動特性

起点  $r$  ごとに日内時々刻々の  
推定値の推移をプロットし,  
すべての分析日について重ね合わせ

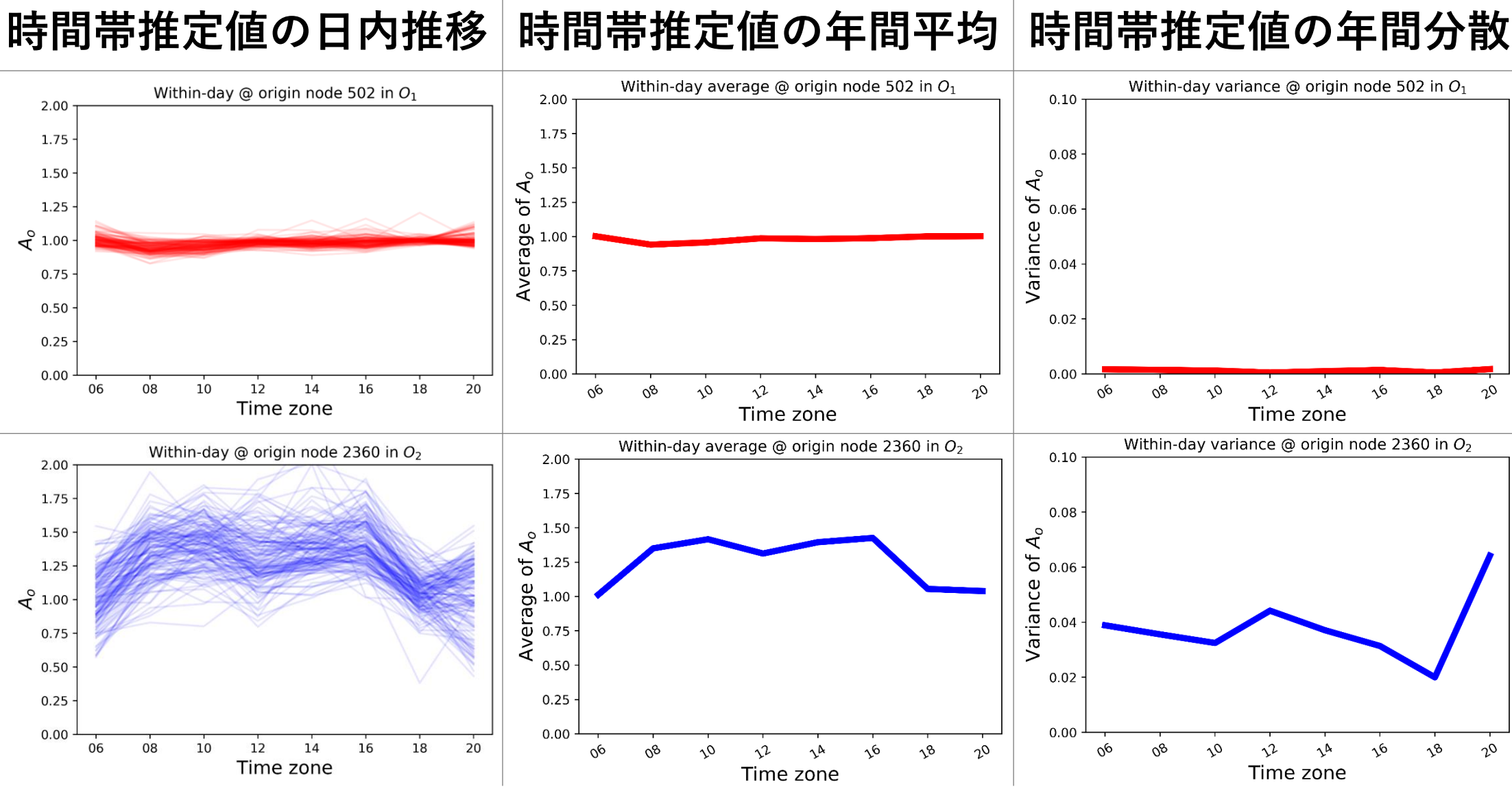


…  $\forall r$

Within-dayの日内推移に

- ①日々のばらつき大  
& 日内変動大
  - ②日々のばらつき小  
& 日内変動小
- の2タイプが出現

Day-to-dayの知見を活用し,  
 $\mathcal{O}_1, \mathcal{O}_2$  2つのグループごとに分析



代表的起点についての結果のみを提示

【時間帯推定値の特徴】

起点グループ間で違い

【 $\mathcal{O}_1$ : C1近傍の起点】

日内推移は安定的

- 起点の魅力度は変化しない
- OD交通量は  
パラメータの影響を受けずに決定

【 $\mathcal{O}_2$ : その他の起点】

推定値は時間に依存

- 時間帯により, 起点の魅力度が変化
- $\gamma$  と同様に混雑状況に依存?