

今後の都市鉄道計画のための 分析方法の提案

A Proposition on Analyzing Method
for Future Urban Railway Planning

日比野 直彦

Naohiko HIBINO



(財) 運輸政策研究機構
運輸政策研究所 研究員

Institute for Transport Policy Studies Researcher

発表内容

Contents of the Presentation

1. はじめに

Introduction

2. 鉄道利用者の経路選択行動

Railway Route Choice Behavior of Passengers

3. 鉄道ネットワーク配分分析

Railway Network Assignment Analysis in Tokyo Met. Area

4. おわりに

Conclusions

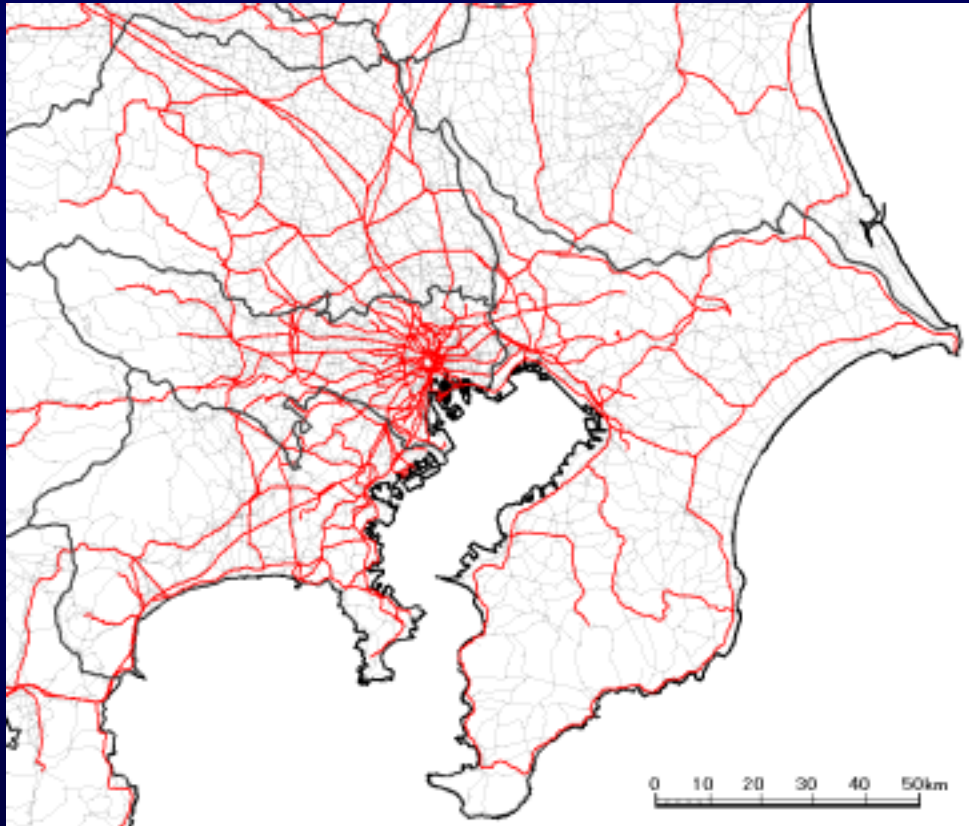
1. はじめに

Introduction



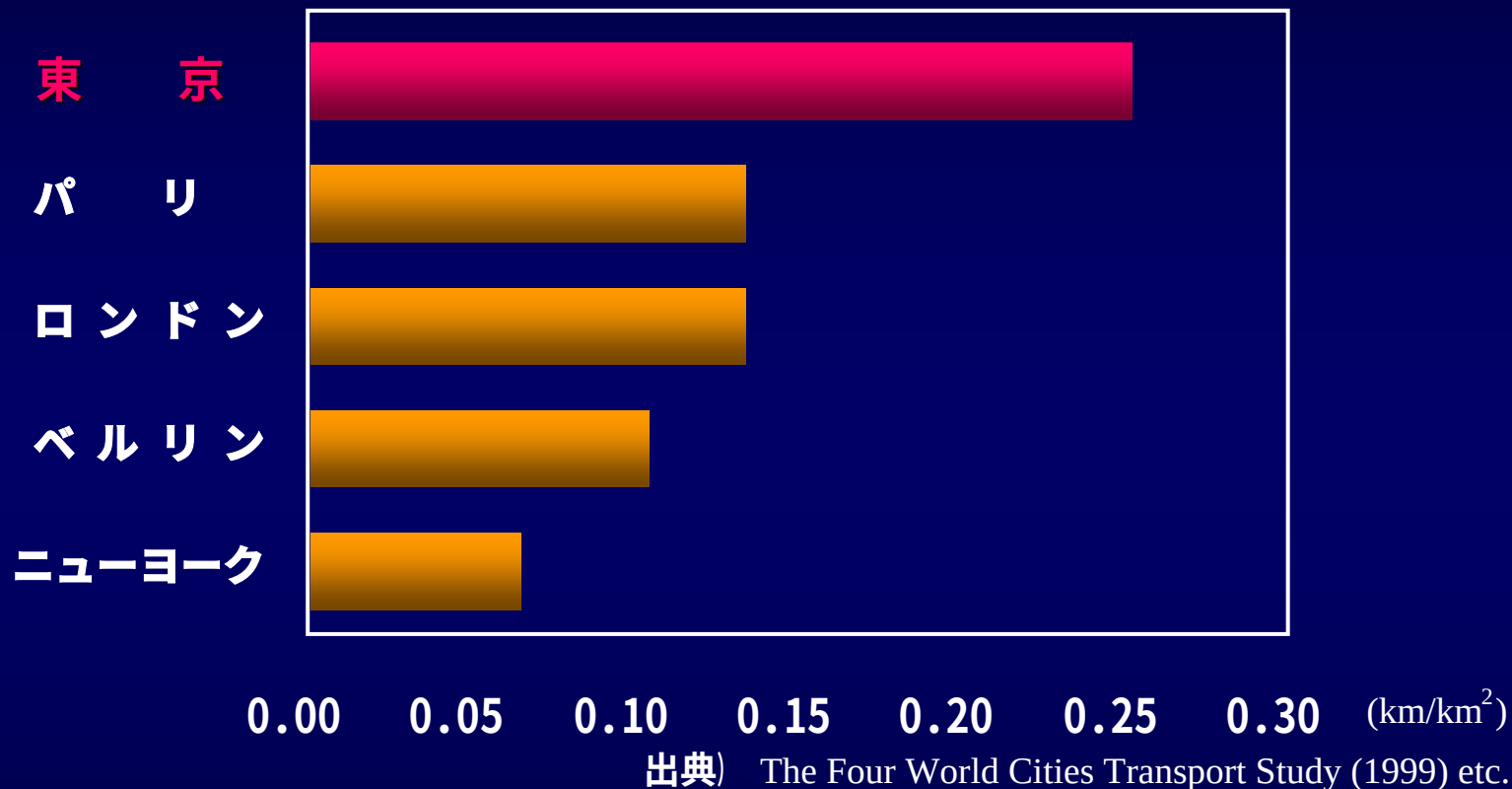
背景

高密度な鉄道ネットワーク



- ・ 利便性重視
- ・ 需要追従
- ・ 新線開発
- ・
- ・
- ・

主要国首都圏の鉄道網営業^{*}密度



世界でも他に類を見ないほど発達

深刻な交通問題

- ・ 鉄道ネットワーク利用の不均衡
- ・ 利便性から快適性へ
混雑緩和 乗換え抵抗の軽減 シームレスな移動

高度成長期 (20世紀)

需要追従
輸送力増強
(ネットワーク整備 *etc.*)



安定成長期 (21世紀)

総合交通体系の整備
鉄道利用者行動に基づいた整備
持続可能な整備 説明責任

都市鉄道計画の**視点**が変化



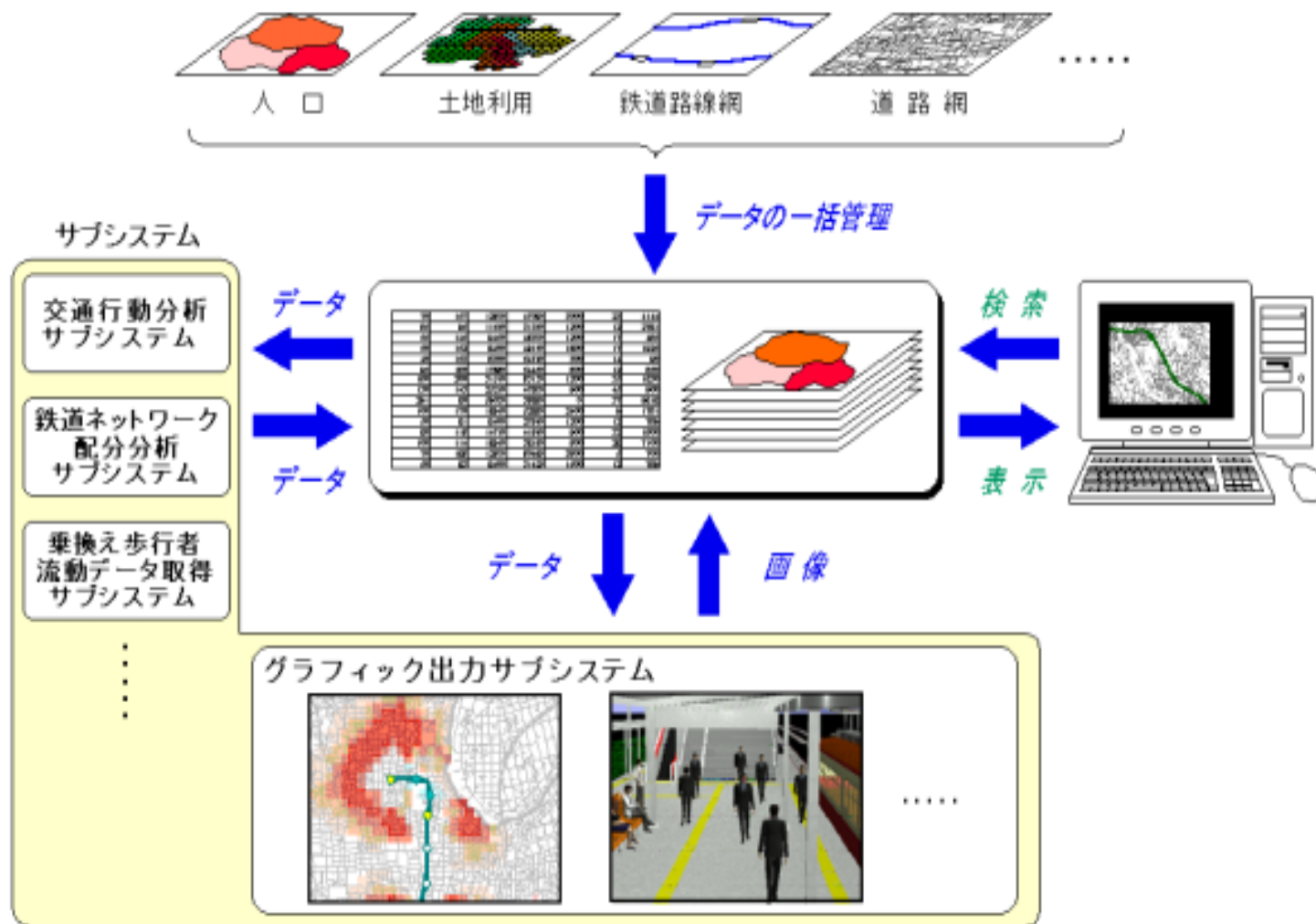
これらを先取りしない計画, 整備はあり得ない!
変化に対応した分析方法を適用していかななくてはならない!

今後、都市鉄道計画を行なう際には、

新たな視点で戦略的に整備を進めていくための分析が必要!

ミクロかつ複雑な現象をより正確に捉え、
施策を総合的に評価可能な分析システムが必要不可欠!

都市鉄道計画支援システム

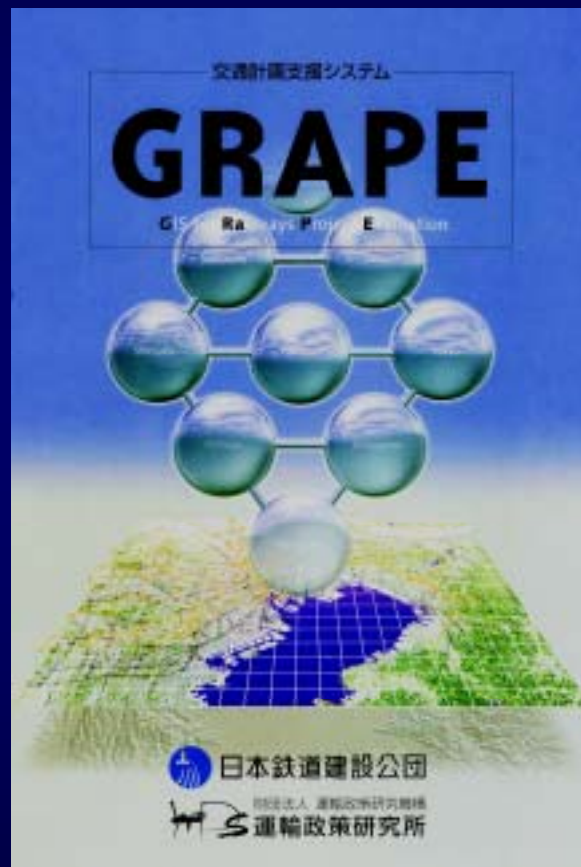


交通計画支援システム (GRAPE)

{ (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構
(株) 企画開発
(財) 運輸政策研究機構 運輸政策研究所

により開発 (現在, 特許申請中)

平成14年度 土木学会技術開発賞



サブシステムの重要性

総合システムが完成しても、個々のサブシステムが機能しなければ、正しい分析は不可能！

全体の枠組みを変えることなく、サブシステムを交換可能！

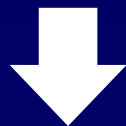


**サブシステムの開発
変化に対応した分析方法を提案**

目的

鉄道利用者の行動・ニーズに焦点をあてた都市鉄道整備

財務制約・空間制約により既存の鉄道ネットワークを
有効活用した効率的な都市鉄道整備



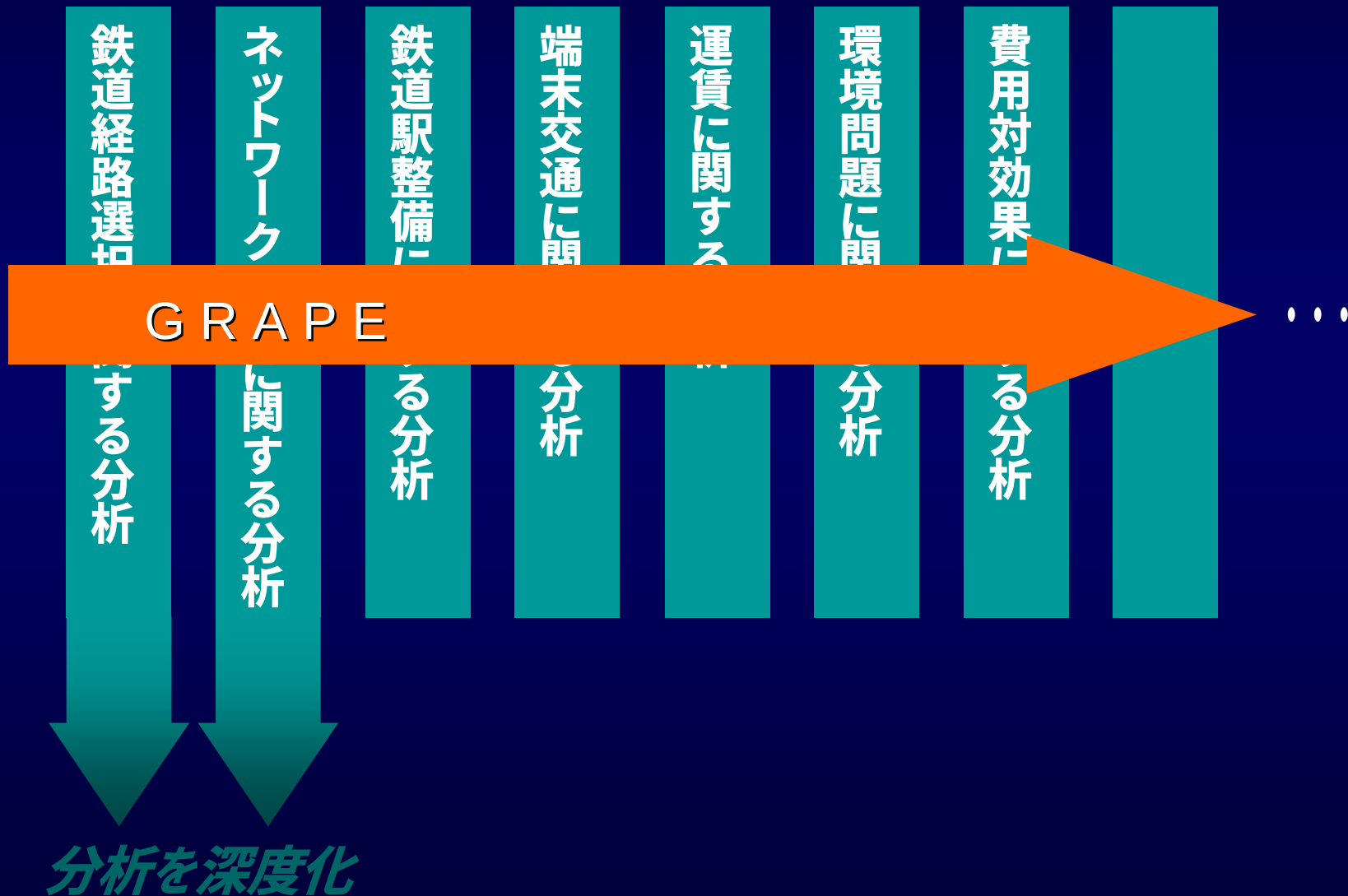
鉄道経路選択行動分析

高密度な鉄道ネットワークにおける鉄道利用者の行動を
表現するために、既存の鉄道経路選択モデルの問題点を
整理し、**新たなモデルを提案**

鉄道ネットワーク配分分析

駅施設整備等のミクロな施策を行なった際の旅客フローへの
影響が計測可能な**鉄道ネットワーク配分システムを開発**

都市鉄道計画に関する分析



2. 鉄道利用者の経路選択行動

Railway Route Choice Behavior of Passengers



日比野, 兵藤, 内山: 高密度な鉄道ネットワークへの実適用に向けた
非IIA型経路選択モデルの特性分析 – 改良型C-Logitモデルの提案 –
土木学会論文集 No.765 / IV-64, pp.131-142, 2004

乗換え回数は・・・



どの経路で行こうかな？

運賃は・・・

時間は・・・

必ずしも、最も近い駅から電車に乗って、
最短経路を選択しているわけではない

幾つかの鉄道経路の中から、
アクセス、ラインホール、乗換え、イグレス等における
サービスレベルを総合的に考えて経路を選択する



高密度な鉄道ネットワークを持つ地域 (e.g., 東京首都圏)



移動の際に複数の経路が考えられる
その経路間に**重複**がある場合がある



経路間 (選択肢間) の独立性が必ずしも保障されていない



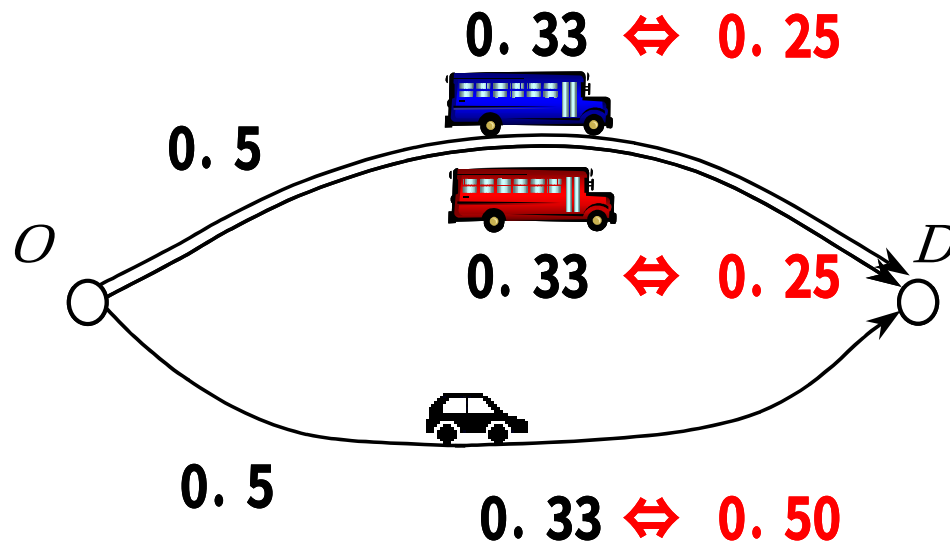
鉄道経路選択分析

選択肢集合の類似性を表現できる

非IIA型の経路選択モデルを適用する必要がある

IIA特性について

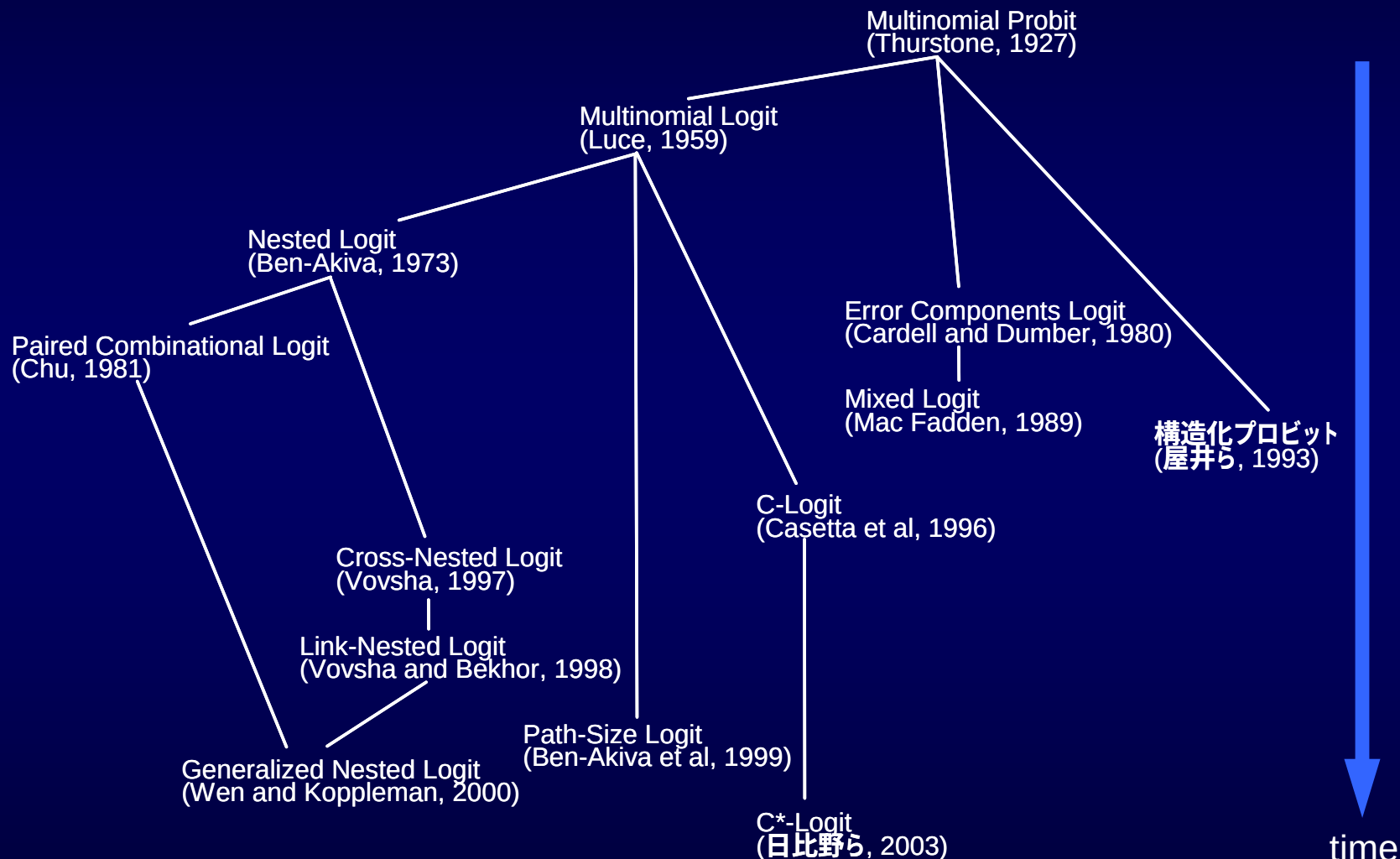
例えば...



選択肢間に**相関**が見られる場合

⇒ 類似性の**高い**選択肢を**過大評価**してしまう
 類似性の**低い**選択肢を**過小評価**してしまう

経路選択モデルの発展経緯



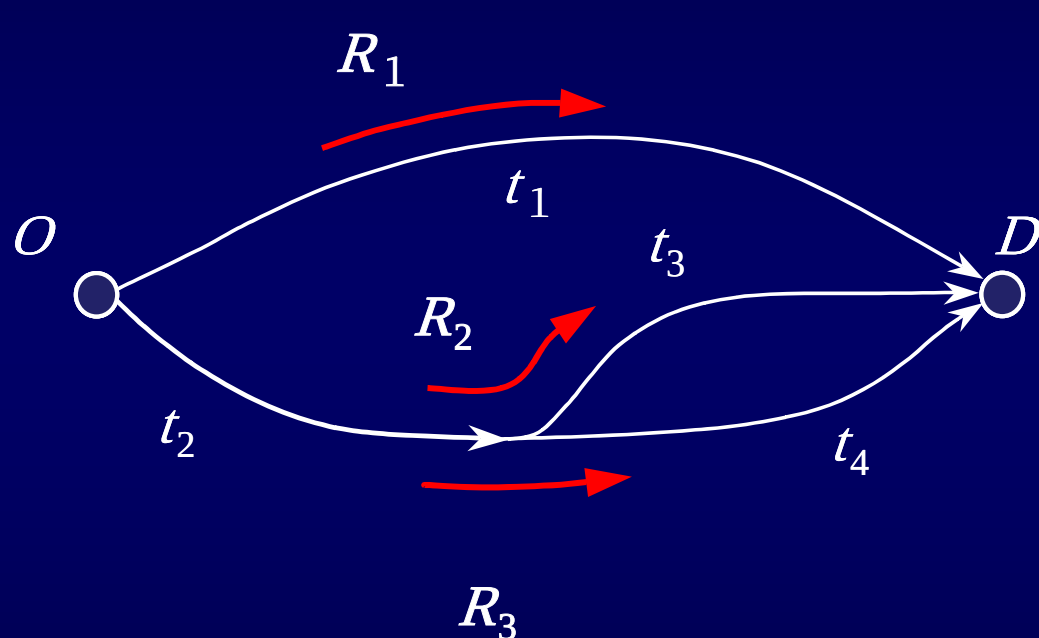
分析対象モデル

**既存の非IIA型経路選択モデルのうち
既に適用された、もしくは適用が検討されている**

- **Mixed Logit モデル** (Mac Fadden, 1989)
- **構造化プロビットモデル** (屋井ら, 1993)
- **C-Logit モデル** (Casetta et al, 1996)

分析ネットワーク

1OD - 3Routes



$$\begin{cases} R_1 : T_1 = t_1 \\ R_2 : T_2 = t_2 + t_3 \\ R_3 : T_3 = t_2 + t_4 \end{cases}$$

$$d_{23} = \frac{t_2}{\sqrt{T_2 T_3}}$$

$d_{23}=0 \rightarrow$ **完全に3経路が独立** $P(R_1, R_2, R_3) = (0.33, 0.33, 0.33)$

$d_{23}=1 \rightarrow$ **R_2 と R_3 が完全に重複** $P(R_1, R_2, R_3) = (0.50, 0.25, 0.25)$

構造化プロビットモデル

Probit Model with Structured Covariance Matrix

$$U_r = V_r + [\varepsilon_r^1 + \varepsilon_r^0] \quad \textcircled{P_r} = \int_{\varepsilon_1=-\infty}^{\varepsilon_r+V_r-V_1} \cdots \int_{\varepsilon_r=-\infty}^{+\infty} \cdots \int_{\varepsilon_R}^{\varepsilon_r+V_r-V_R} \Phi(\varepsilon) d\varepsilon_R \cdots d\varepsilon_1$$

$$\Phi(\varepsilon) = (2\pi)^{-\frac{R}{2}} |\sigma|^{-\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{1}{2} \varepsilon \sigma^{-1} \varepsilon^T\right)$$

$$\sigma = \sigma_0^2 \begin{pmatrix} T_1\eta + 1 & 0 & 0 \\ 0 & T_2\eta + 1 & t_2\eta \\ 0 & t_2\eta & T_3\eta + 1 \end{pmatrix} \quad \textcircled{\eta} = \sigma_1^2 / \sigma_0^2$$

U : 効用, V : 確定効用

ε_r^1 : 単位長さあたりに発生する誤差, ε_r^0 : 選択肢固有の誤差

P : 選択確率, R : 総経路数

σ_1^2 : 単位長さあたりに発生する誤差分散

σ_0^2 : 選択肢固有の誤差分散

L : 経路長, L_{ij} : 経路*i*と経路*j*の重複経路長

Mixed Logit モデル

Mixed Logit Model

$$U_r = V_r + [\xi_r + \varepsilon_r] \quad \textcircled{P_r} = \int \Psi_r(\xi) f(\xi | \Omega) d\xi \quad \Psi_r(\xi) = \frac{\exp(V_r + \xi_r)}{\sum \exp(V_r + \xi_r)}$$

$$U_r = V_r + [\mu z_r + \varepsilon_r]$$

$$z_1 = \begin{bmatrix} t_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad z_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ t_2 \\ t_3 \\ 0 \end{bmatrix} \quad z_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ t_2 \\ 0 \\ t_4 \end{bmatrix} \quad \sigma = \frac{\pi^2}{6} \begin{pmatrix} T_1\lambda + 1 & 0 & 0 \\ 0 & T_2\lambda + 1 & t_2\lambda \\ 0 & t_2\lambda & T_3\lambda + 1 \end{pmatrix} \quad \textcircled{\lambda} = 6\omega^2 / \pi^2$$

U : 効用, V : 確定効用

ξ_r : 平均0の確率分布に従う誤差

ε_r : Gumbel分布に従う誤差

P : 選択確率, $f(\xi | \Omega)$: ξ の確率密度分布

μ : $N(0, \omega^2)$ に従う確率変数ベクトル

z_r : 選択肢 r に関する特性ベクトル

C-Logit モデル

C-Logit Model

$$U_r = V_r - CF_r + \varepsilon_r \qquad \textcircled{P_r} = \frac{\exp(V_r - CF_r)}{\sum \exp(V_r - CF_r)}$$

$$CF_r = \textcircled{\beta} \ln \sum \left(T_{ij} / \sqrt{T_i T_j} \right)^\gamma$$

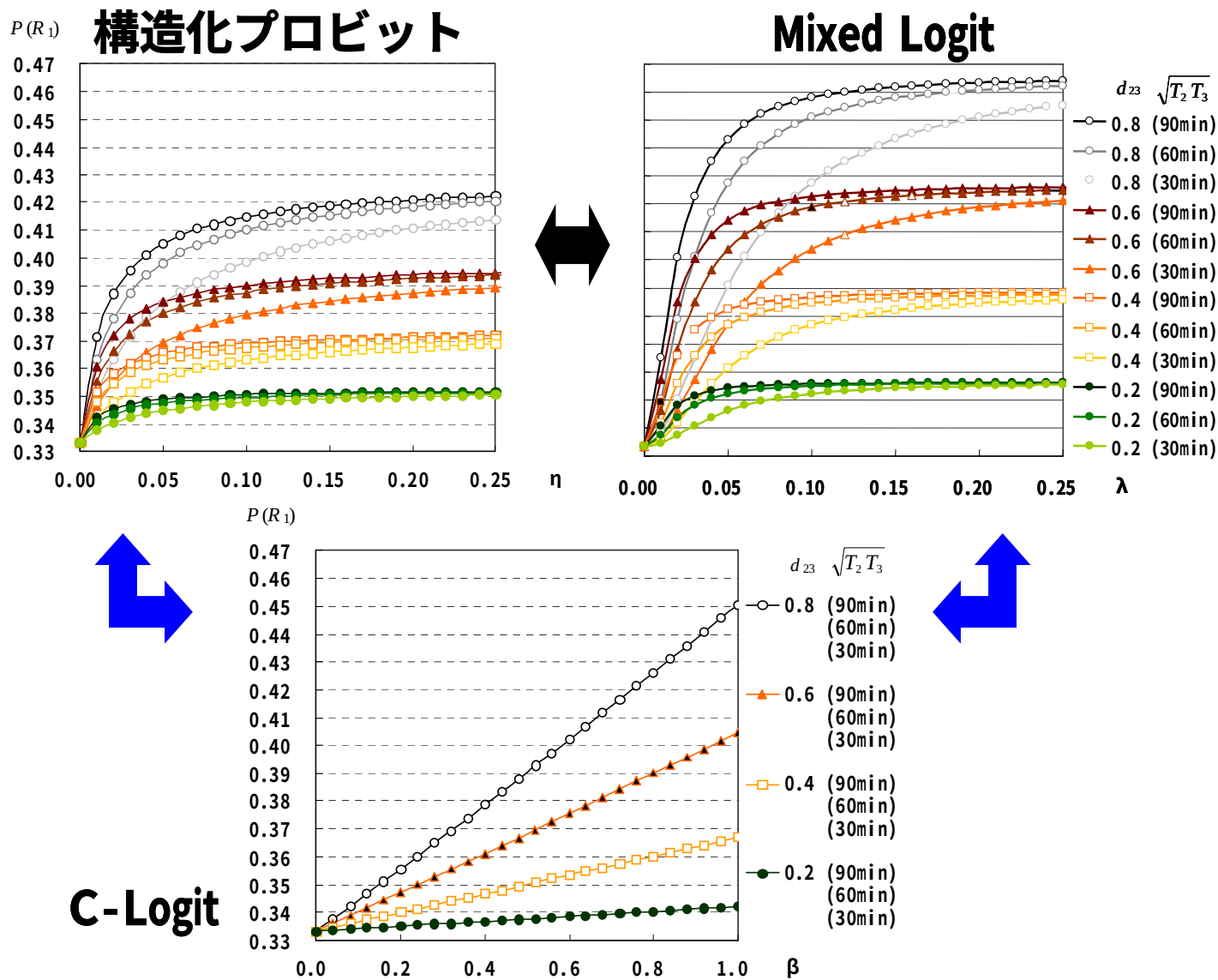
U : 効用, V : 確定効用

CF_r : Commonality Factor

ε_r : Gumbel 分布に従う誤差

P : 選択確率

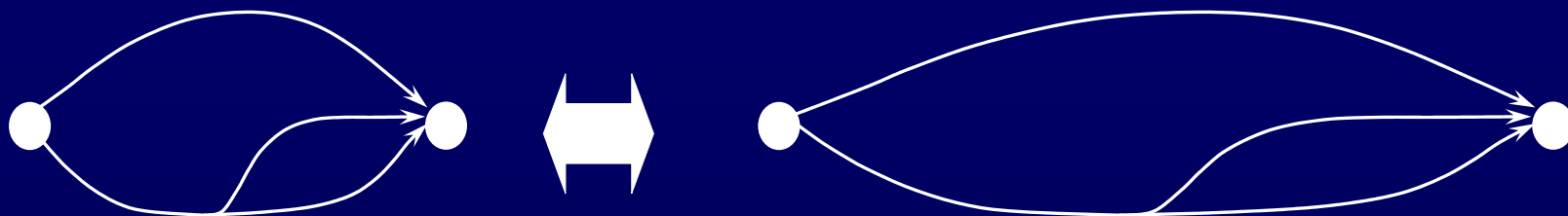
β : パラメータ γ : Often 1 or 2



特性比較分析の結果からの知見

各モデルの重複を表現パラメータの間には、
相関関係が見られ、それには**重複率 d** が影響している

C-Logitモデルは同重複率・異所要時間の差を表現できない



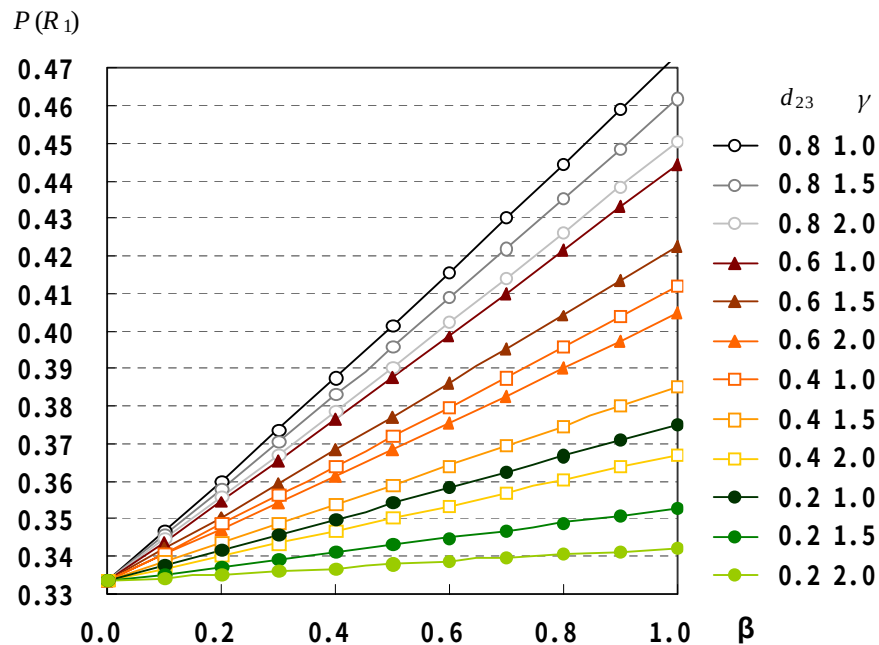
**構造化プロビットモデル、Mixed Logit モデルは、パラメータ推定に
シミュレーション法を必要とするため、大規模なネットワークに対して
実適用することは困難である**

	理 論	操 作
構造化プロビットモデル	◎	△
Mixed Logitモデル	○	△
C-Logitモデル	△	◎

鉄道利用者の複雑な選択行動を
理論性を崩すことなく、実適用できるように



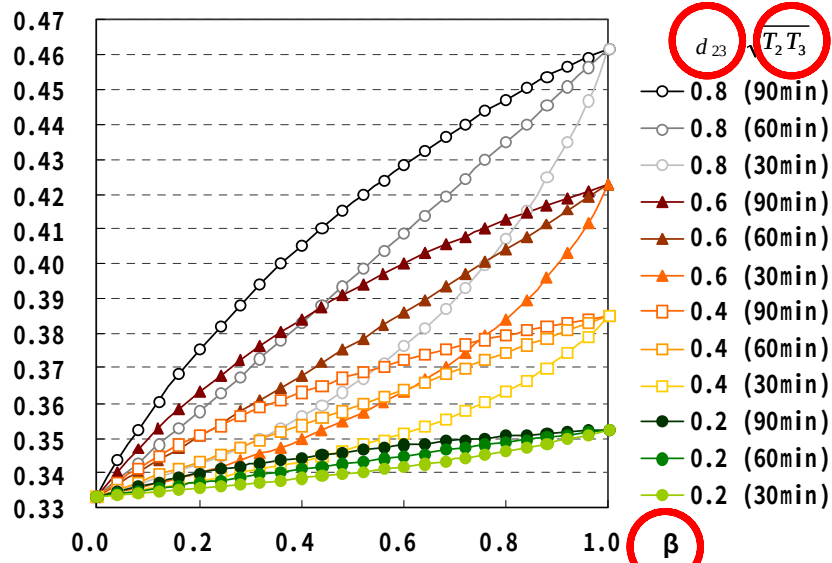
C-Logitモデルを改良して実適用へ！



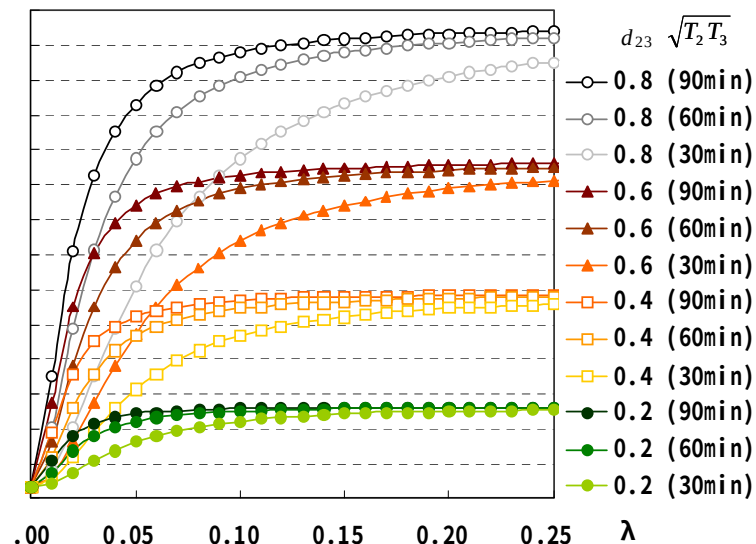
$$CF_r = \beta \ln \sum \left(T_{ij} / \sqrt{T_i T_j} \right)^\gamma$$



C-Logit

 $P(R_1)$ 

Mixed Logit



γ を構造化 !

C-Logitモデルの改良

$$U_i = V_i - CF_i + \varepsilon_i$$

$$P_i = \frac{\exp(V_i - CF_i)}{\sum_j \exp(V_j - CF_j)}$$

$$CF_i = \beta * \ln \sum (d_{ij})^{\gamma_{ij}}$$

U : 効用, V : 確定効用

CF_i : Commonality Factor

ε_i : Gumbel分布に従う誤差

P : 選択確率, β : パラメータ, γ : often 1 or 2



$$d_{ij} \quad \beta * \quad \sqrt{T_i T_j}$$

γ の構造化



$$CF_i^* = \beta * \ln \sum (d_{ij})^{\gamma_{ij}}$$

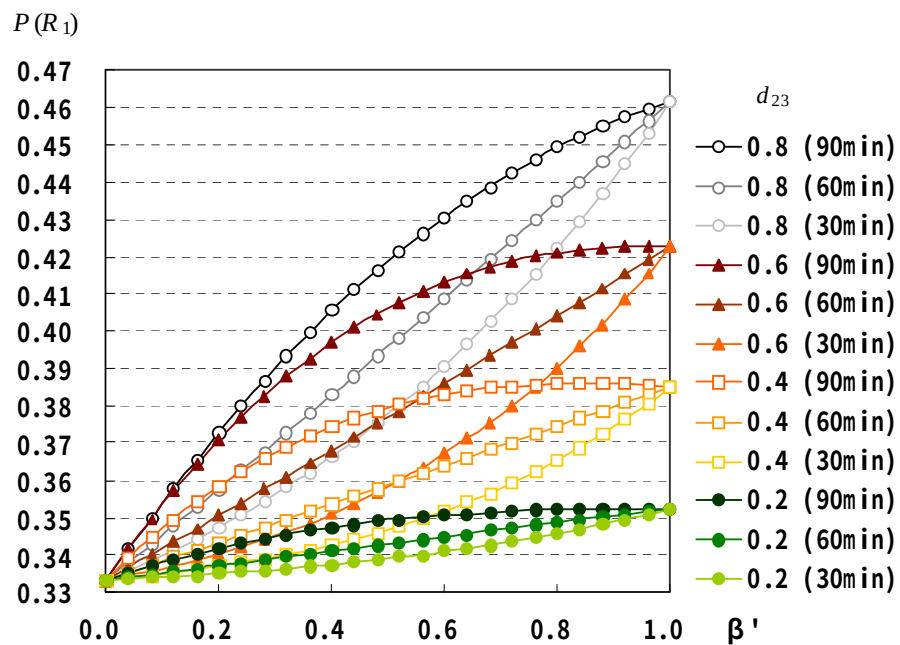
$$\gamma_{ij} = \frac{1}{10} (\exp(d_{ij}) - 1) (\beta^* - 1) (T - 60) + 1.5$$



同重複率・異所要時間の差を表現を表現可能に！

$$CF_i^* = \beta^* \ln \sum (d_{ij})^{\gamma_{ij}}$$

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{10} (\exp(d_{ij}) - 1) (\beta^* - 1) (T - 60) + 1.5$$



C^{*}-Logitモデルとして提案

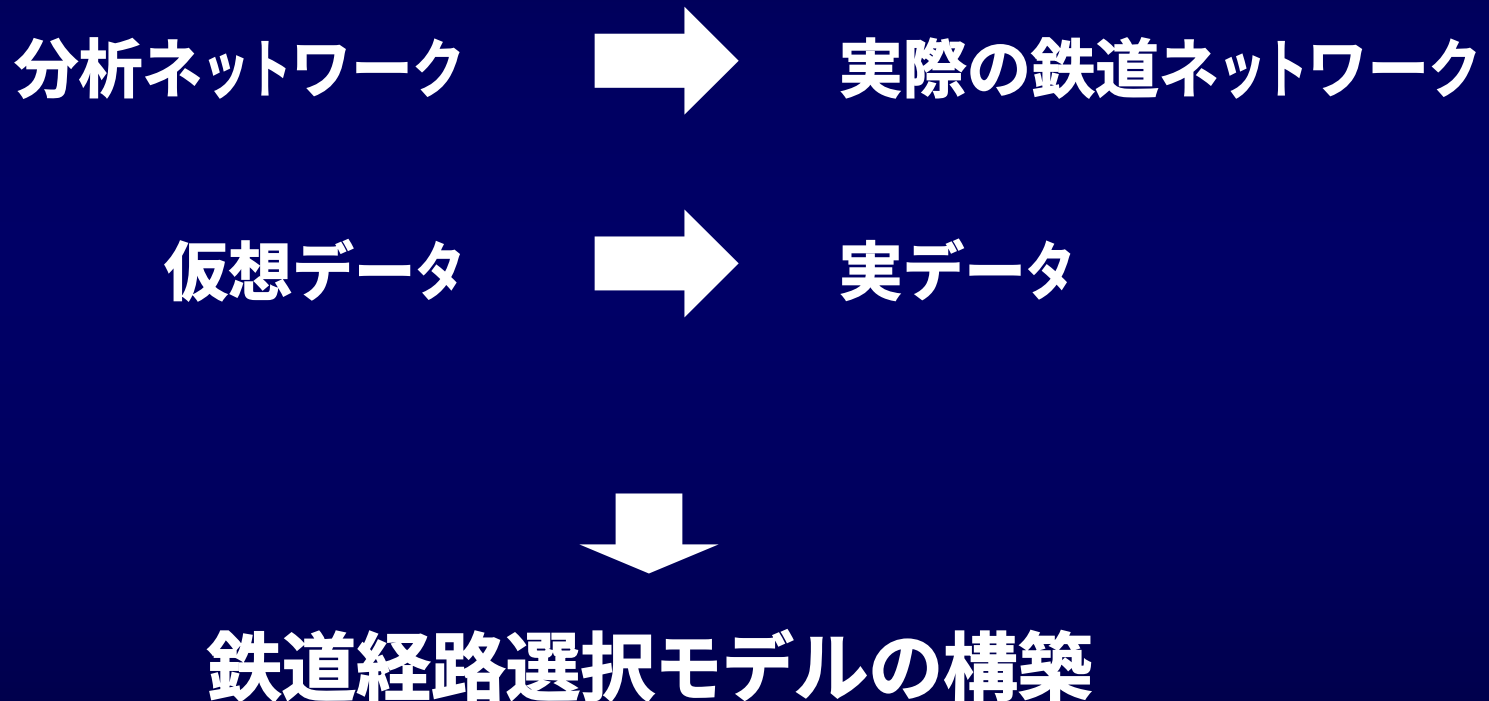
$$U_i = V_i - CF_i^* + \varepsilon_i$$

$$CF_i^* = \beta^* \ln \sum_j (d_{ij})^{\gamma_{ij}^*} \quad (0 \leq \beta^* \leq 1, \quad \gamma_{ij}^* > 0)$$

$$\gamma_{ij}^* = \frac{1}{10} (\exp(d_{ij}) - 1) (\beta^* - 1) (\sqrt{T_i T_j} - T_0) + \gamma'$$

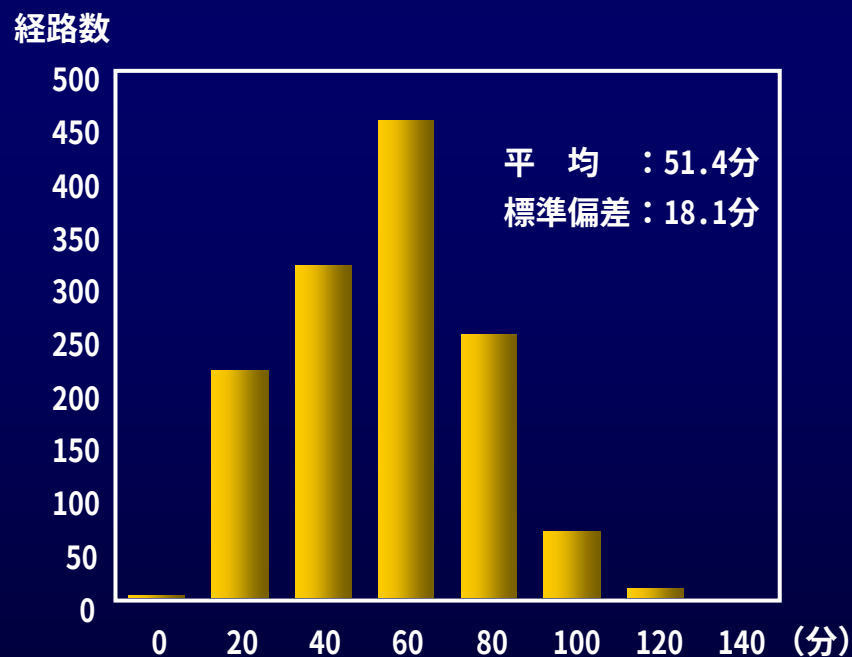
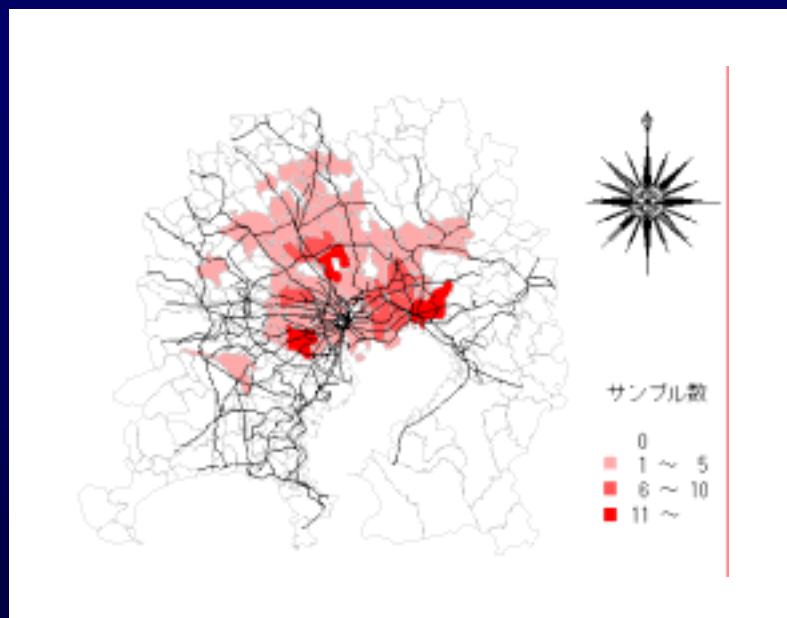
$$\gamma' = \exp(-\exp(\theta)) + 1 \quad P_i = \frac{\exp(V_i - CF_i^*)}{\sum_j \exp(V_j - CF_j^*)}$$

C^{*}-Logitモデルの実適用への検証



鉄道経路選択モデル構築データ

「通勤時の鉄道経路選択行動に関する調査」



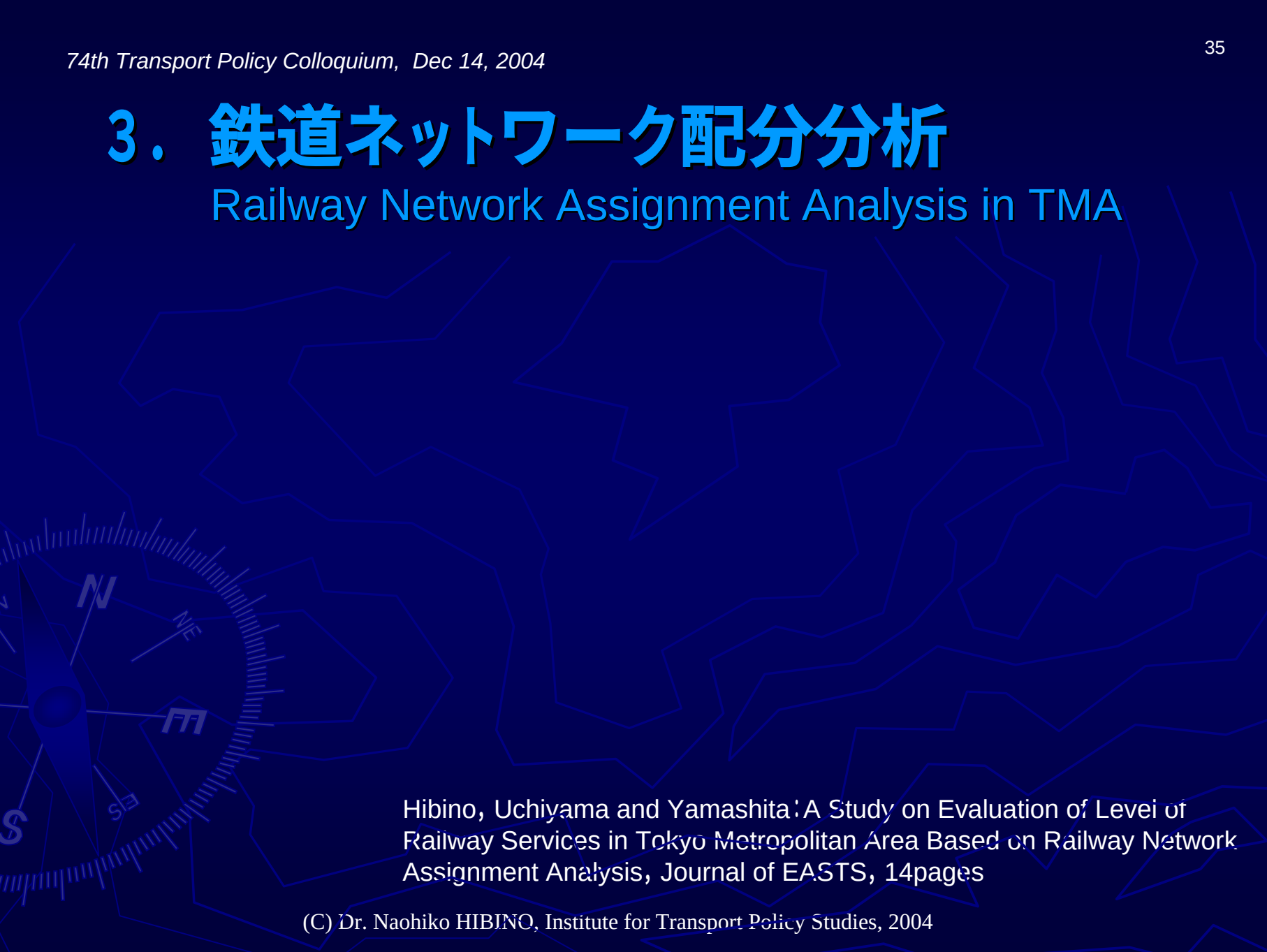
説明変数	推定パラメータ	t値
アクセス時間 (分)	-0.150	-4.39
アクセス選択手段外時間 (分)	-0.494	-7.81
路線バス系統数 (本)	0.0741	4.52
イグレス時間 (分)	-0.229	-2.75
ラインホール時間 (分)	-0.0787	-2.81
鉄道運賃 (千円/日)	0.105	1.60

**C-Logitモデルの操作性の良さを失うことなく、
経路重複による選択確率の変化をより正確に表現可能に！**

乗換え駅下り移動時間 (分)	-0.795	-3.42
乗換え駅待ち時間 (分)	-0.0979	-1.83
混雑率指標 (分×% ²)	-0.0174	-1.81
階段利用率	-0.928	-9.61
β^*	0.897	3.83
θ	-3.68	-36.2
自由度調整済み尤度比	0.29	
的中率 (%)	60.89	

3. 鉄道ネットワーク配分分析

Railway Network Assignment Analysis in TMA



Hibino, Uchiyama and Yamashita: A Study on Evaluation of Level of Railway Services in Tokyo Metropolitan Area Based on Railway Network Assignment Analysis, Journal of EASTS, 14pages

鉄道ネットワーク配分システムの開発

鉄道ネットワーク配分分析の主な目的

- ① 脆弱なリンク, ノードを見つけ出すこと
- ② ネットワーク, OD交通量の変化 (新線整備, 脆弱リンク・ノードの強化等) に対する, 当該リンクおよびその他のリンクへの影響を計ること

鉄道ネットワーク
配分システム

行動規範 (鉄道経路選択モデル)

分析ネットワーク

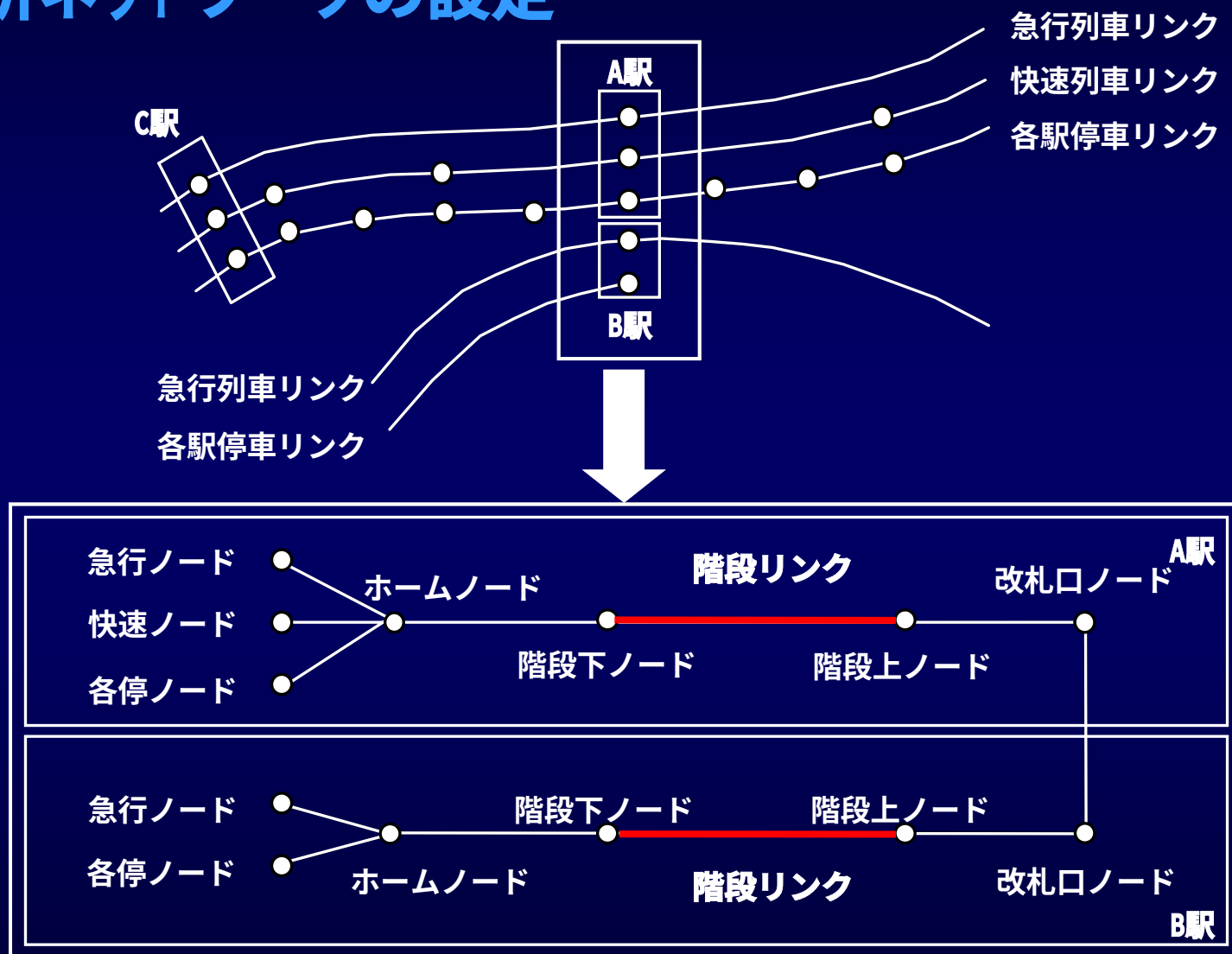
OD表

鉄道ネットワーク配分システム

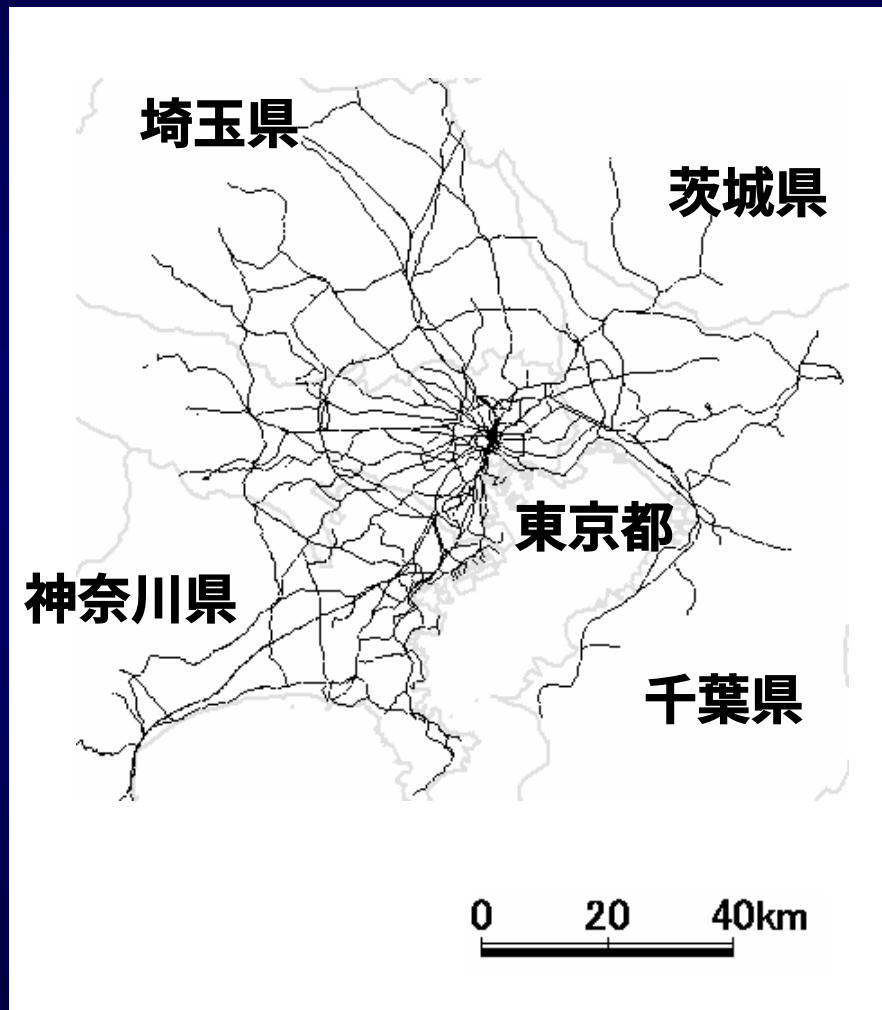
経路重複を考慮できるモデル (C*-Logit モデル) を
適用した**ODベースの確率的均衡配分システム**

乗換え駅整備の影響を反映できるように、
分析ネットワーク (ノード, リンク) をより詳細に設定

分析ネットワークの設定



分析対象範囲



東京駅から約70km圏内

**JR・私鉄・地下鉄・モノレールを
含む在来線119路線を対象**



ノード数: 4,976個

リンク数: 14,049本

乗車リンク: 4,594本

乗換リンク: 9,455本

分析データ

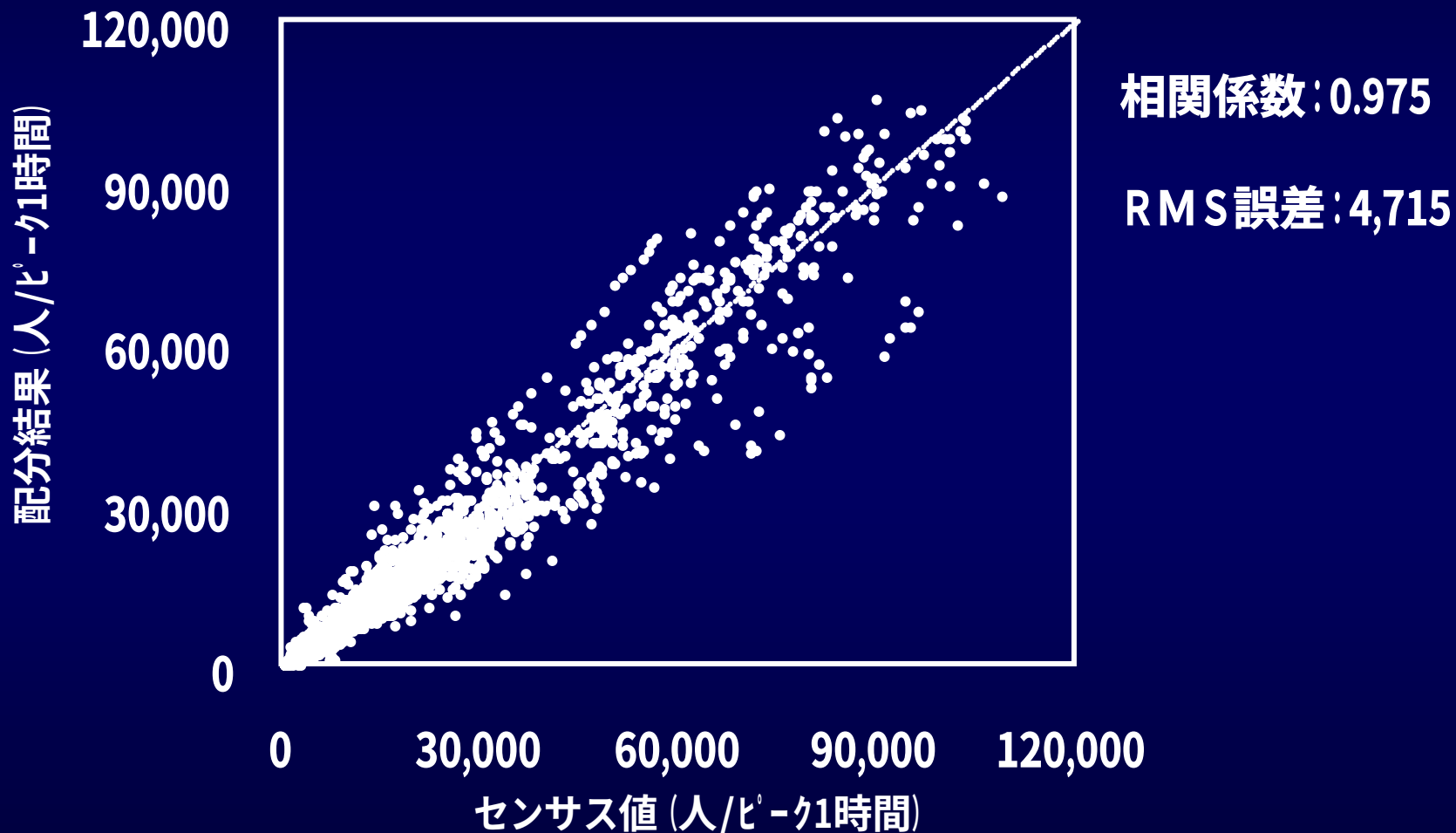
**最混雑時を分析対象とするため、
平成12年大都市交通センサスの終日データを使用し、
市区町村別のピーク1時間出発割合から算出**

駅構造データ、時刻表データ等

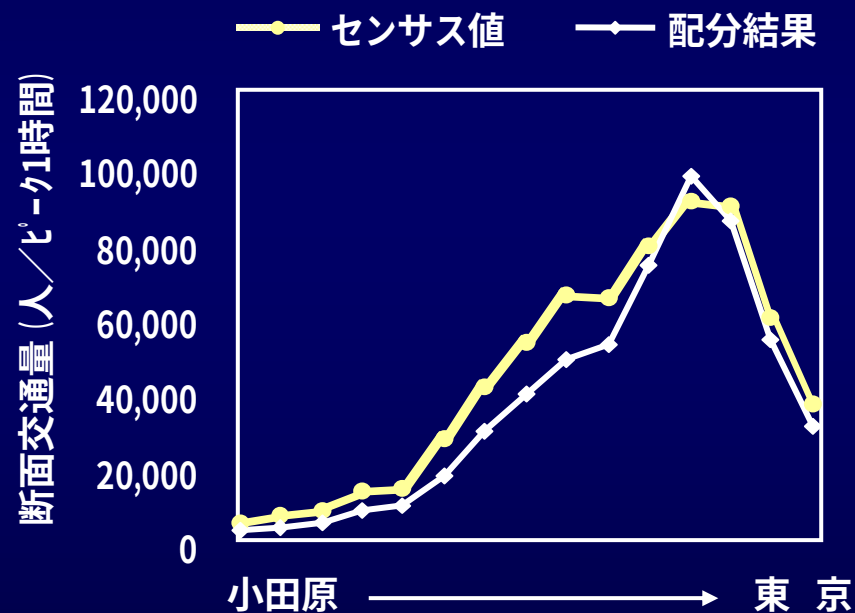
**(実地調査、平成12年時の時刻表等に基づいてデータを
作成)**



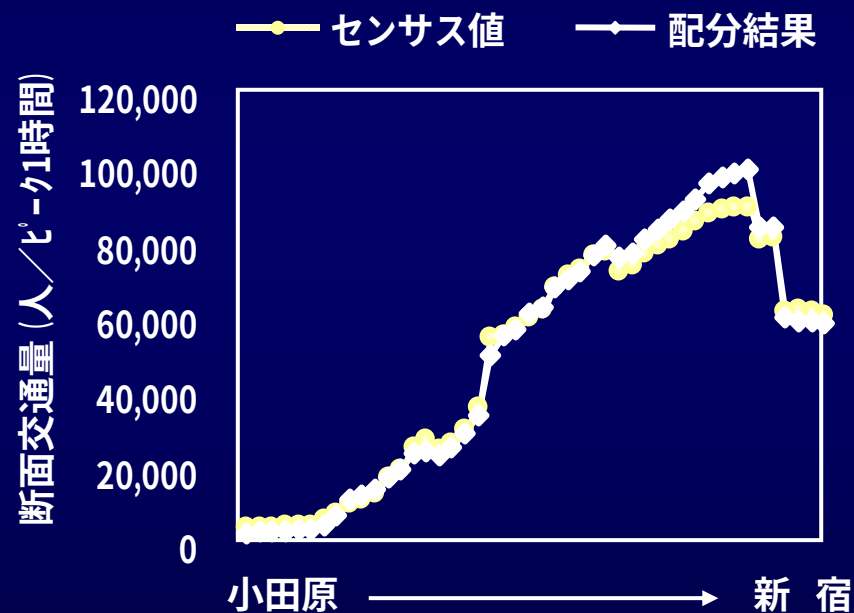
配分結果とセンサス値 (H12年) の比較 (ネットワーク全体)



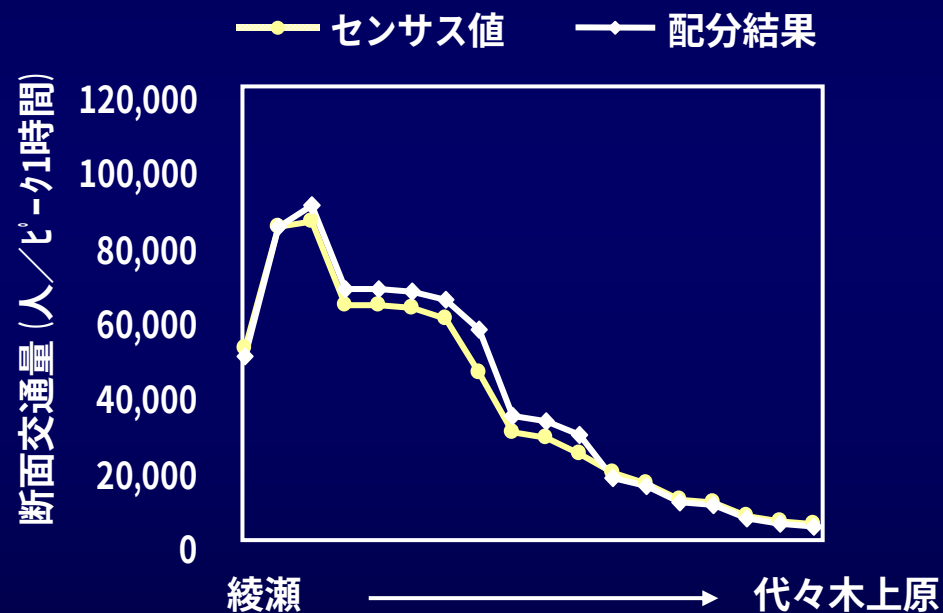
配分結果とセンサス値 (H12年) の比較 (JR東海道線上り)



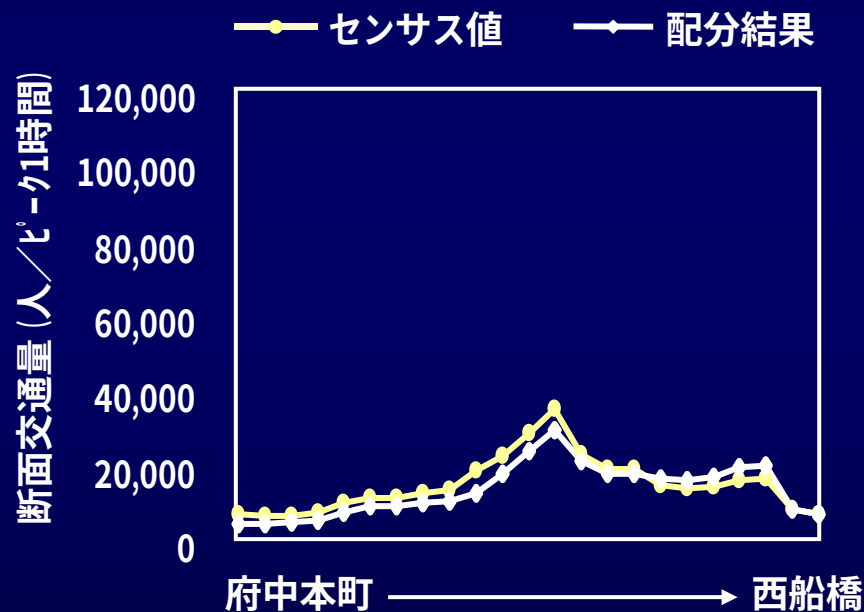
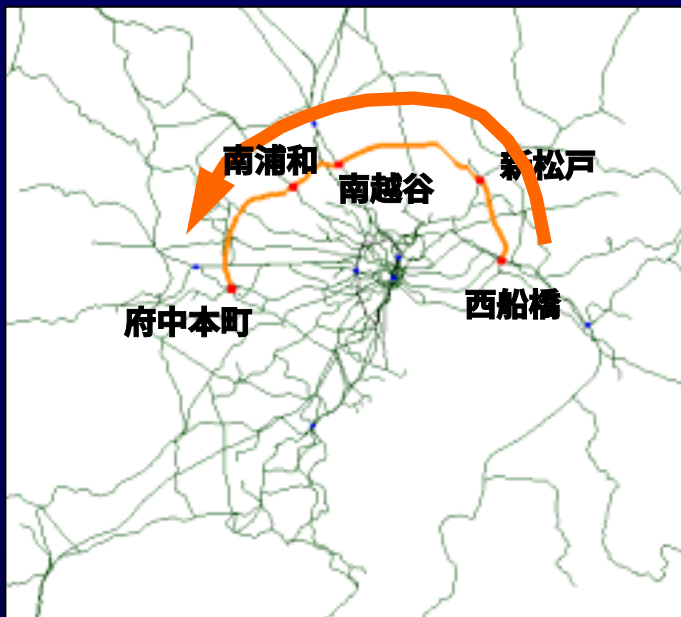
配分結果とセンサス値 (H12年) の比較 (小田急小田原線上り)



配分結果とセンサス値 (H12年) の比較 (東京地下鉄千代田線上り)

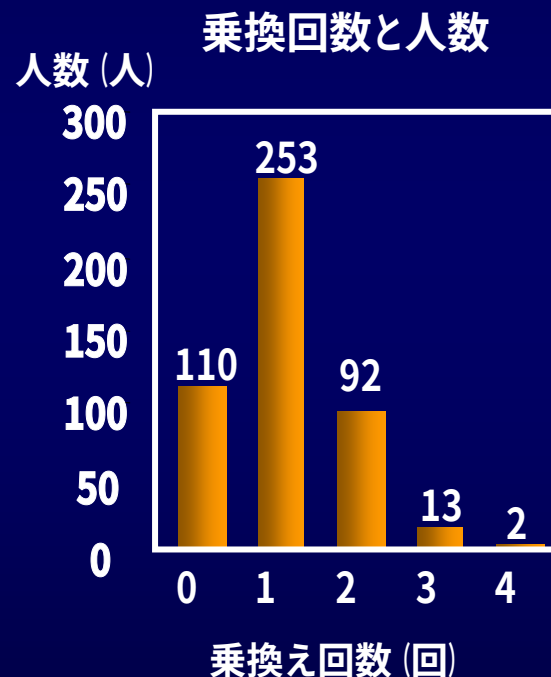
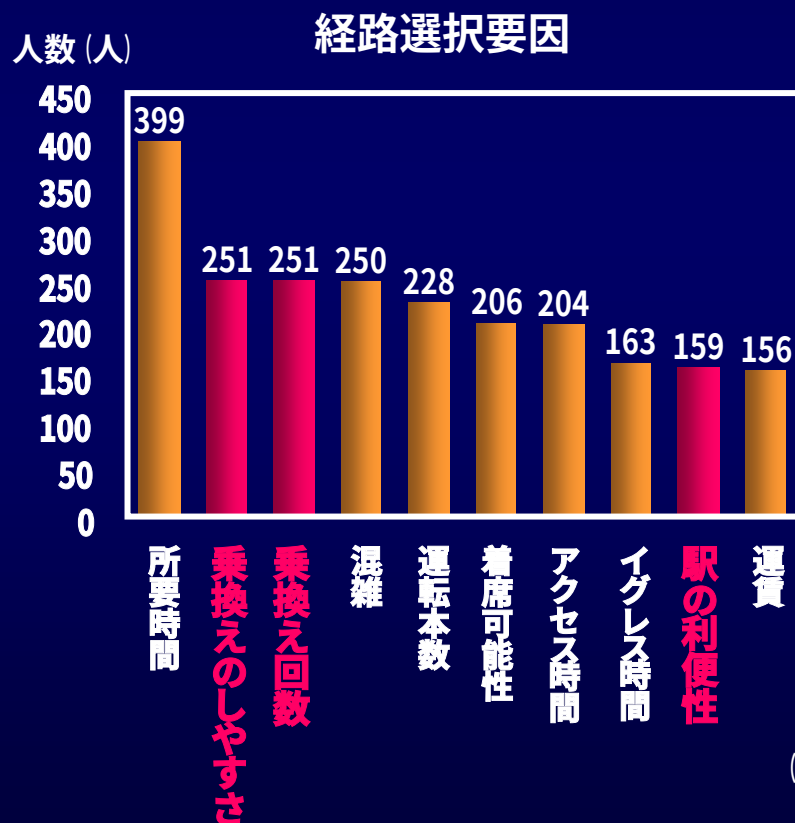


配分結果とセンサス値 (H12年) の比較 (JR武蔵野線上り)



シミュレーション分析

首都圏鉄道ネットワークの最混雑区間である
上野－御徒町間に着目し、乗換え駅改良により
同区間を避けるようフローコントロールを試みる



(「通勤時の鉄道経路選択行動に関する調査」の結果より)

時間評価値

時間評価値 (円/ (分・回))

乗車時間	18
------	----

乗換え水平移動時間	35
-----------	----

乗換え上り移動時間	130
-----------	-----

乗換え下り移動時間	109
-----------	-----

乗換え待ち時間	50
---------	----

改良駅および改良方法

No.	駅名	①	②	③
1	上野		○	○
2	秋葉原	○	○	
3	御徒町		○	○
4	北千住		○	○
5	神田	○	○	○
6	東京	○	○	○
7	有楽町・日比谷	○	○	○
8	新橋	○	○	○
9	御茶ノ水		○	○
10	西日暮里	○	○	
11	池袋		○	○
12	浜松町・大門	○	○	○
13	南千住		○	
14	田町・三田	○	○	○
15	町屋	○		

- ① 分速40 m のエスカレータを上下階段に新設
- ② 分速30 m のエスカレータを分速40 m に改良
- ③ 水平移動距離が100 m を越える乗換え通路に分速50 m の動く歩道を新設

鉄道駅改良のイメージ (東武北千住駅)



④ 北千住駅コンコース



鉄道駅改良のイメージ (東京地下鉄西日暮里駅)



⑩ 西日暮里駅階段

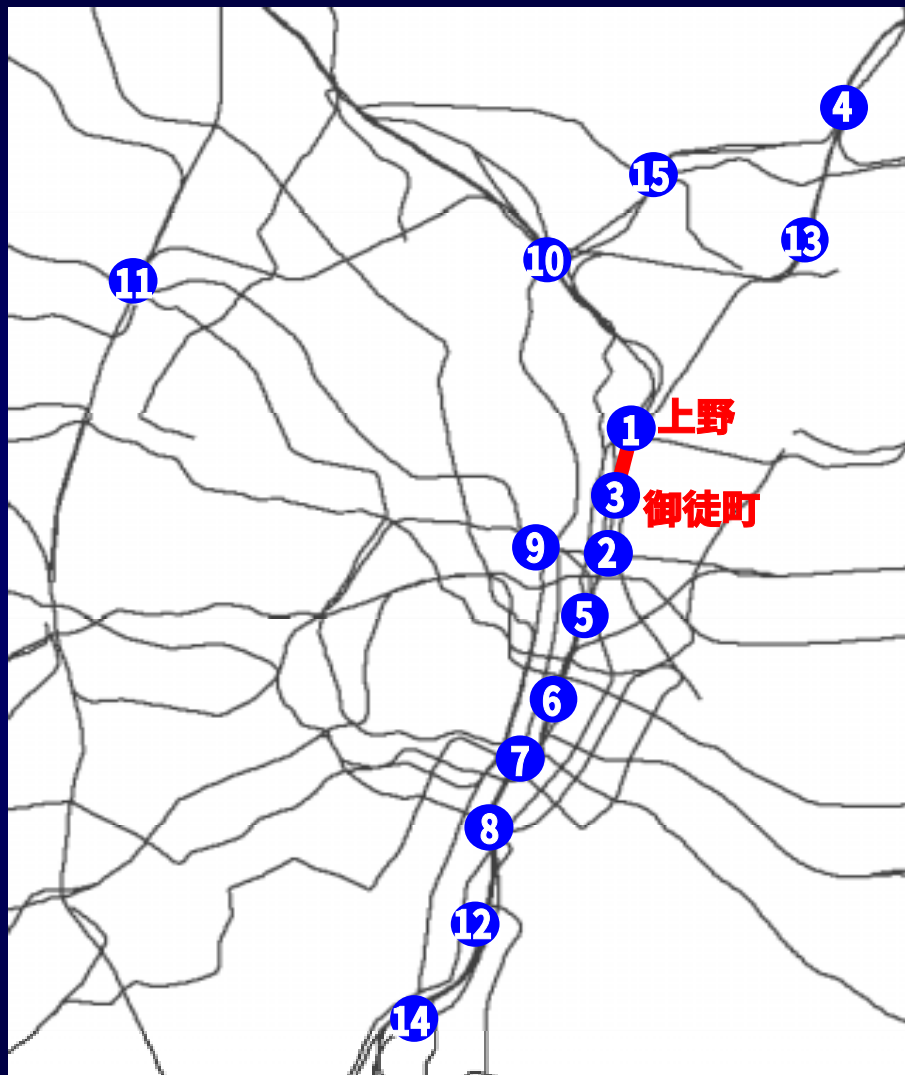


鉄道駅改良のイメージ (JR池袋駅)



⑪ 池袋駅コンコース





- ① 上野
- ② 秋葉原
- ③ 御徒町
- ④ 北千住
- ⑤ 神田
- ⑥ 東京
- ⑦ 有楽町・日比谷
- ⑧ 新橋
- ⑨ 御茶ノ水
- ⑩ 西日暮里
- ⑪ 池袋
- ⑫ 浜松町・大門
- ⑬ 南千住
- ⑭ 田町・三田
- ⑮ 町屋

シミュレーション結果

駅名	→	駅名	改良前	改良後	差
上野 (京浜東北線)	→	御徒町 (京浜東北線)	55,970 167.1	54,357 162.3	-1,613 -4.8
上野 (山手線)	→	御徒町 (山手線)	83,598 226.0	82,276 222.4	-1,322 -3.6
上野 (日比谷線)	→	仲御徒町 (日比谷線)	66,117 190.0	65,016 186.8	-1,101 -3.2
⋮		⋮	⋮	⋮	⋮
上野 (銀座線)	→	上野広小路 (銀座線)	24,071 138.3	26,406 151.8	2,335 13.4
西日暮里 (千代田線)	→	千駄木 (千代田線)	65,105 161.5	68,701 170.4	3,596 8.9
八丁堀 (京葉線)	→	東京 (京葉線)	22,847 92.2	27,020 109.1	4,173 16.9

混雑減少
リンク

混雑増加
リンク

上:断面交通量(人/時), 下:混雑率(%)

4. おわりに

Conclusions



本分析の成果

**既存の非IIA型経路選択モデルの問題点を改良し、
新たなモデル (C*-Logitモデル) を提案した**

**C*-Logitモデルを適用したODベースの確率的
均衡配分システムを開発した**



**2つのサブシステムのブラッシュアップ
→ 新たな分析方法の提案**

結 論

東京首都圏のすべての路線に非IIA型経路選択モデルを適用した鉄道ネットワーク配分分析ができることにより、操作性を低下させることなく高い精度で駅整備等ミクロな施策を行なった際の旅客フローの変化を計測できることを明らかにした



財務制約、空間制約下においても有効な整備方法は存在し、本システムを活用すればその検討が可能である

Thank you for your kind attention !