

# ITSを活用した道路交通ネットワークの 調査・評価に関する研究

バスプローブデータを用いた都市道路網の所要時間分布影響要因分析

第6回新都市社会技術セミナー  
平成21年5月29日

京都大学工学研究科都市社会専攻  
森脇啓介・宇野伸宏・塩見康博

# 本発表の構成

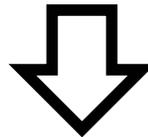
- ▶ 研究背景・目的
- ▶ 分析対象データ
- ▶ 所要時間分布情報に基づくサービス水準評価
- ▶ サービス水準影響要因に関する相関分析
- ▶ 交通サービス水準に関する共分散構造分析
- ▶ 本研究のまとめ

# 研究の背景

- ◆ 限られた資源(財源)を効果的に配分し、道路サービスの向上を図らなければならない。

時間制約の厳しい現代における優れた道路サービスとは、

- ✓ 速達性に優れている道路  
(目的地に早く到着できる.)
- ✓ 安定性(所要時間信頼性)に優れている道路  
(一定時間内に確実に目的地に到着できる.)



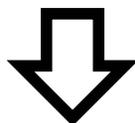
所要時間分布から得られる情報を分析し、速達性・安定性に影響を与える要因を明確化することが必要

# 本研究の目的

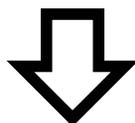
- ▶ バスプローブデータと道路交通センサデータを統合的に利用し、交通サービス水準への影響要因を特定する.
- ▶ 所要時間分布に影響を与える需要側からの要因・供給側からの要因を総合的に分析する.
- ▶ 路構造／交通運用／交通需要／外的要因の影響は？
- ▶ 要因が速達性・所要時間の安定性のいずれに影響を与えるか？

# 分析対象データ1

- ・構造的な要因を分析するためには、道路構造を知り得るデータが必要.
- ・需要的な要因を分析するためには、交通量をある程度知り得るデータが必要



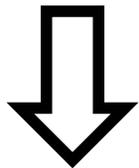
・2005年の道路交通センサスデータ



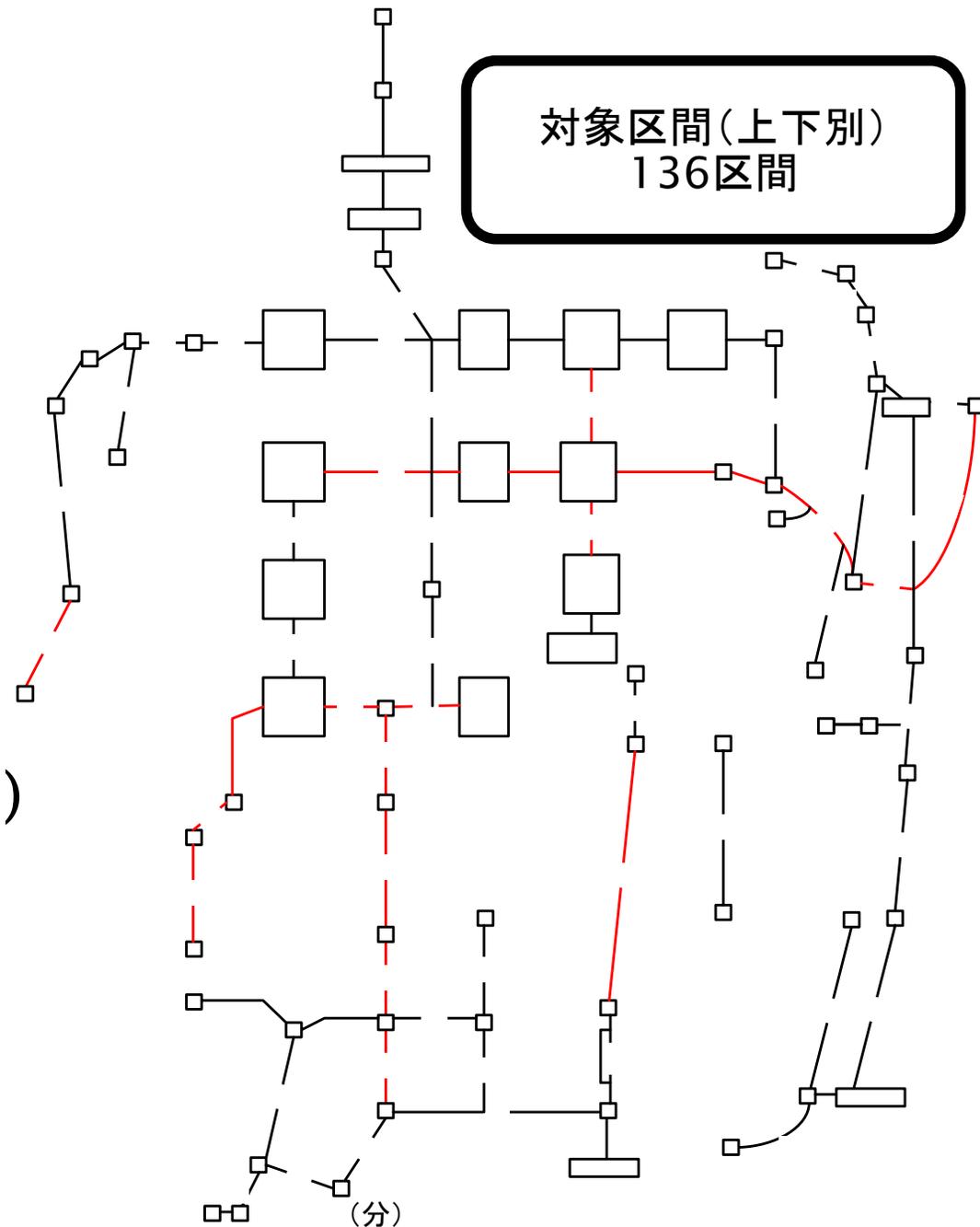
センサス区間における  
車線数, 一車線当たりの車道幅員, 歩道設置延長割合,  
代表交差点における青信号比, 右折車線設置交差点,  
12時間交通量, 大型車混入率etc

# 分析対象データ2

- ▶ 所要時間の変動を分析するためには同じ道路区間を多数回走行するデータが必要

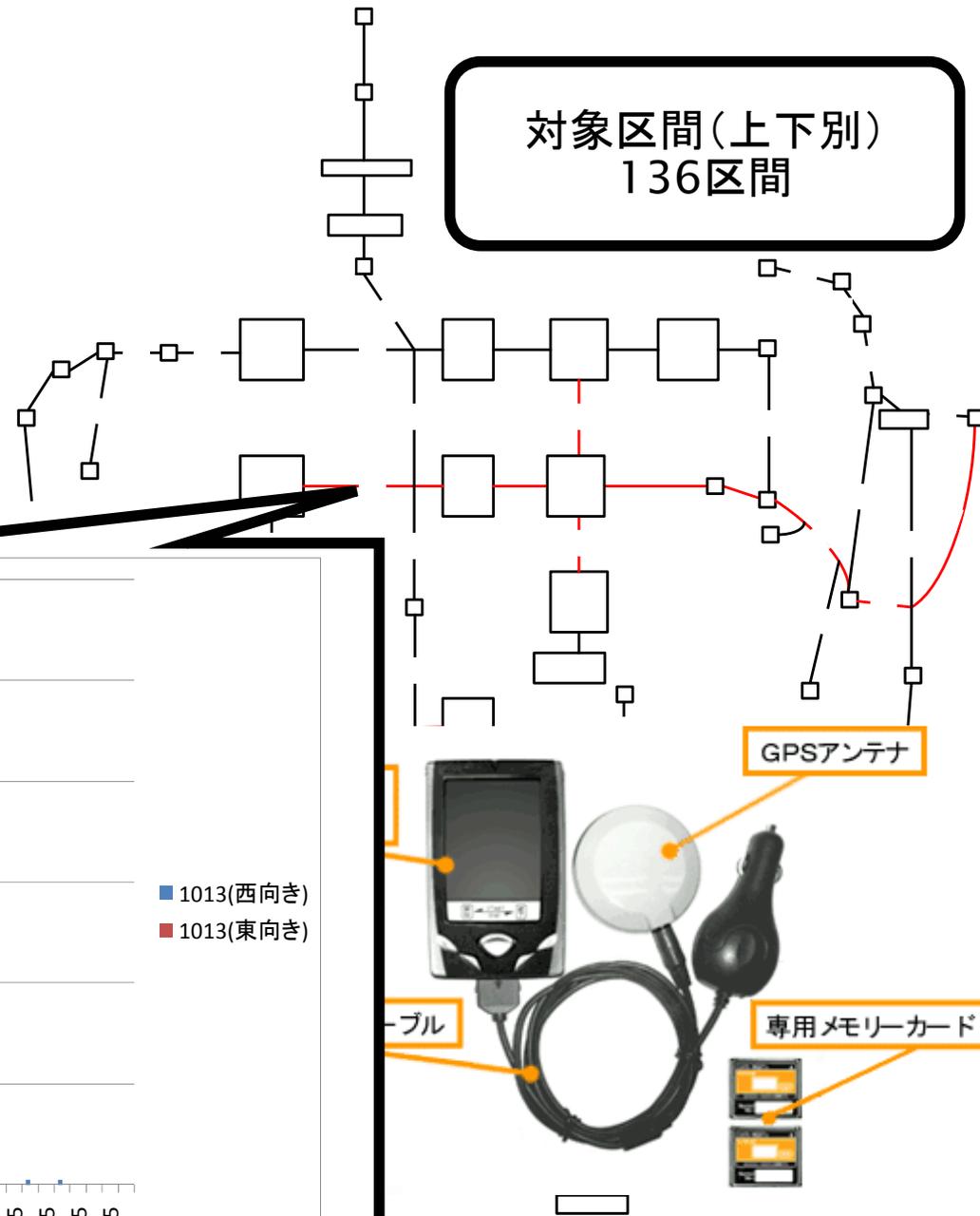
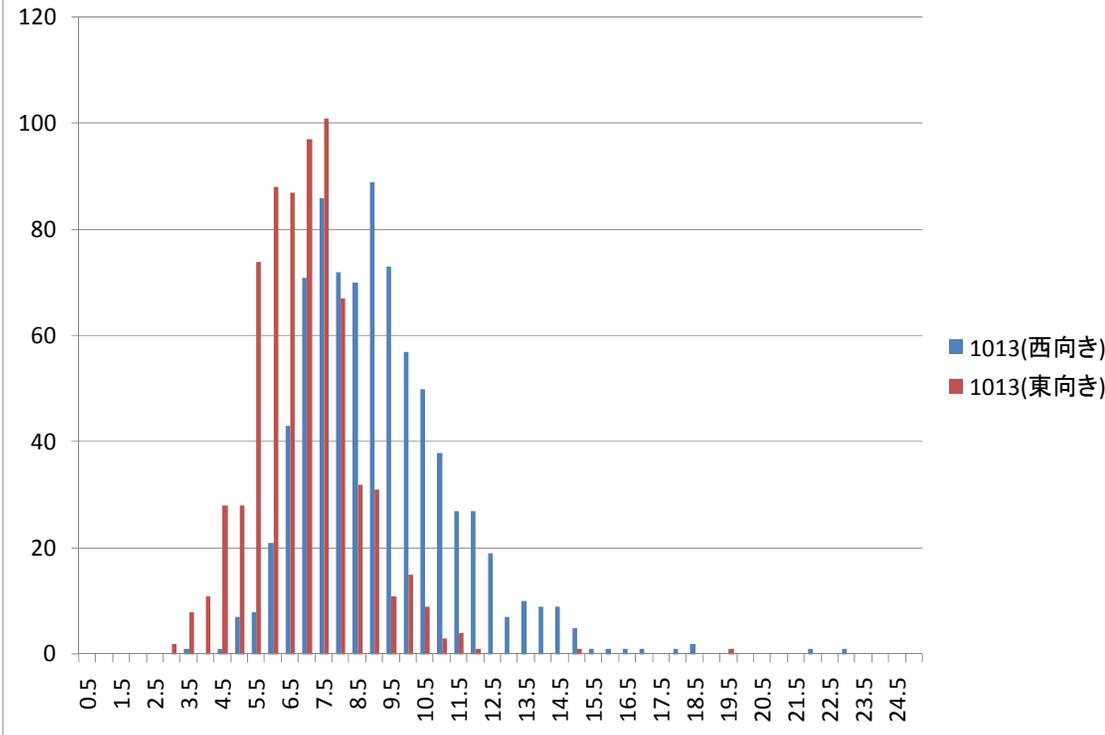


- 2005年の京都市内(南部)のバスプローブデータ



# 分析対象データ2

- ▶ 所要時間の変動を分析するためには同じ道路区間を多数回走行するデータが必要



# 所要時間分布情報に基づくサービス水準評価

バスプローブデータ

バスプローブデータの加工  
・バス路線への吸着  
・バス停停止の影響除去

一般車両の走行に近似されたデータ

センサス区間における所要時間の抽出

センサス区間の所要時間分布作成

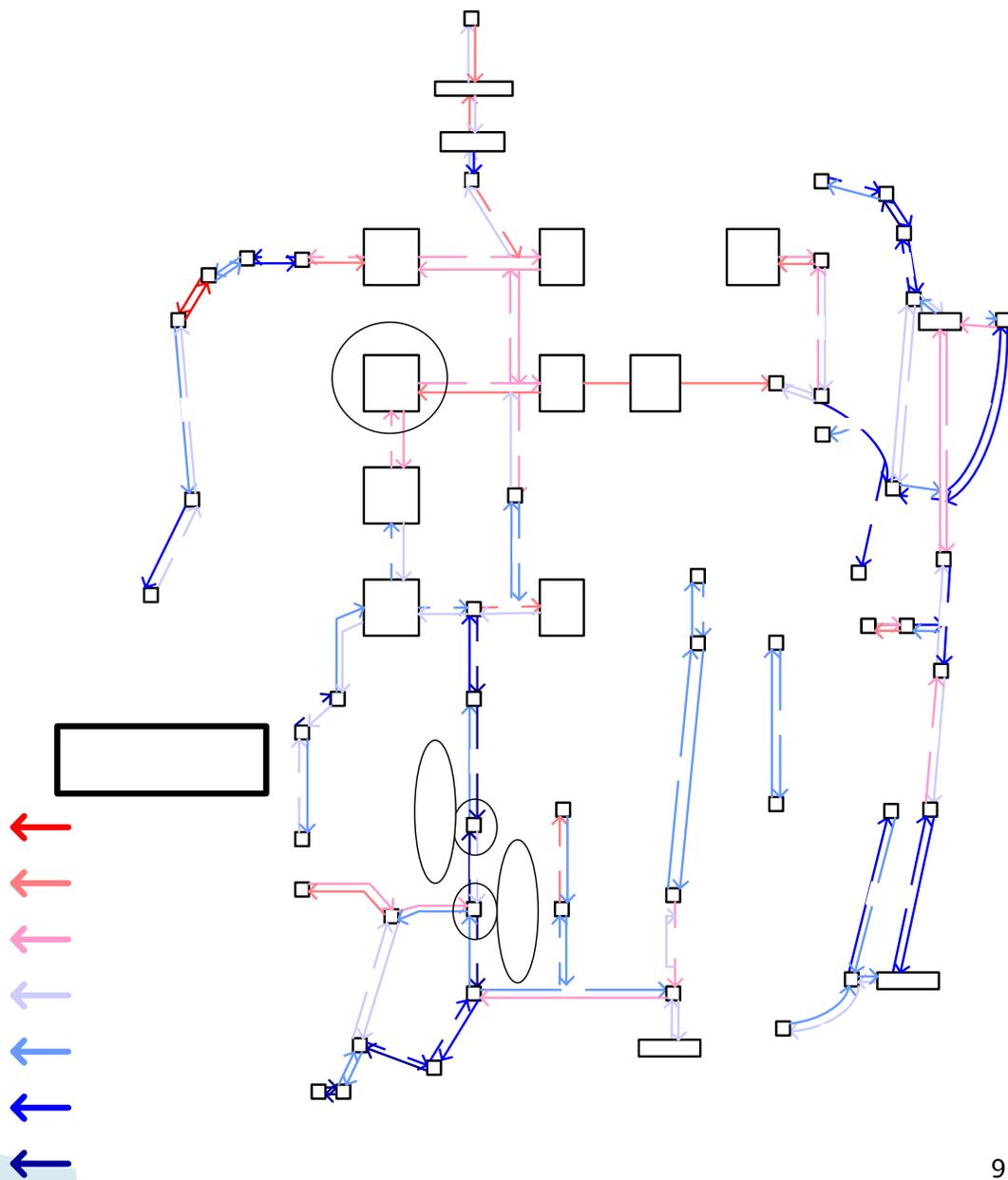
所要時間分布の特性を表す値の抽出

- ・単位距離当たりの平均所要時間
- ・変動係数(標準偏差/平均)
- ・単位距離当たりの標準偏差
- ・単位距離当たりのパーセンタイル値

# 単位距離当たりの平均所要時間から見たサービス水準

(平均的な)速達性の面から判断して、サービス水準が相対的に低いと考えられる箇所

京都市中心部  
山科区中心部  
名神京都南IC付近



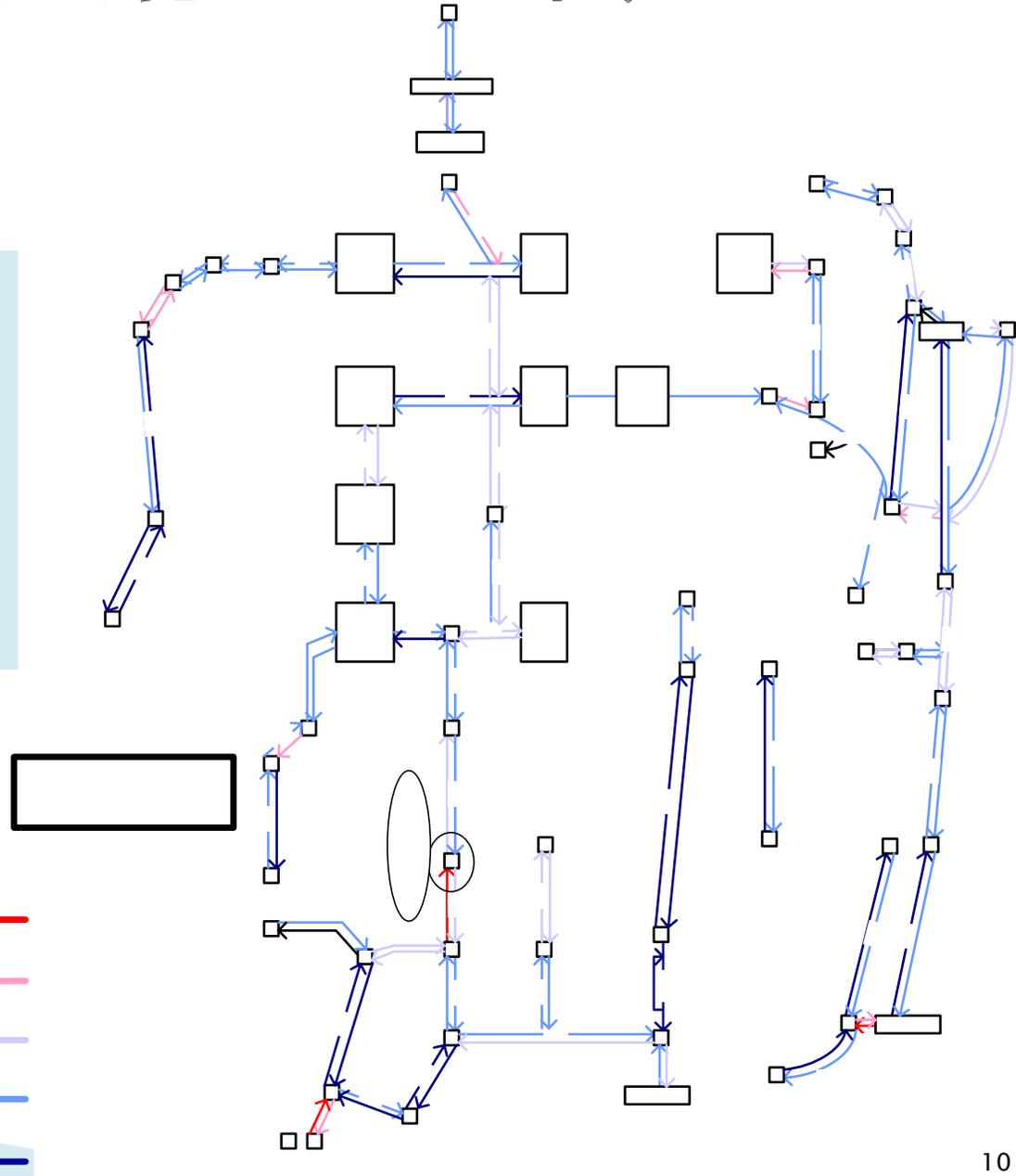
# 所要時間の変動係数から見たサービス水準

所要時間の安定性の面から判断して、サービス水準が相対的に低いと考えられる箇所

京都市中心部

(都市間を結ぶ幹線性道路は比較的サービス水準が高い)

名神京都南IC付近

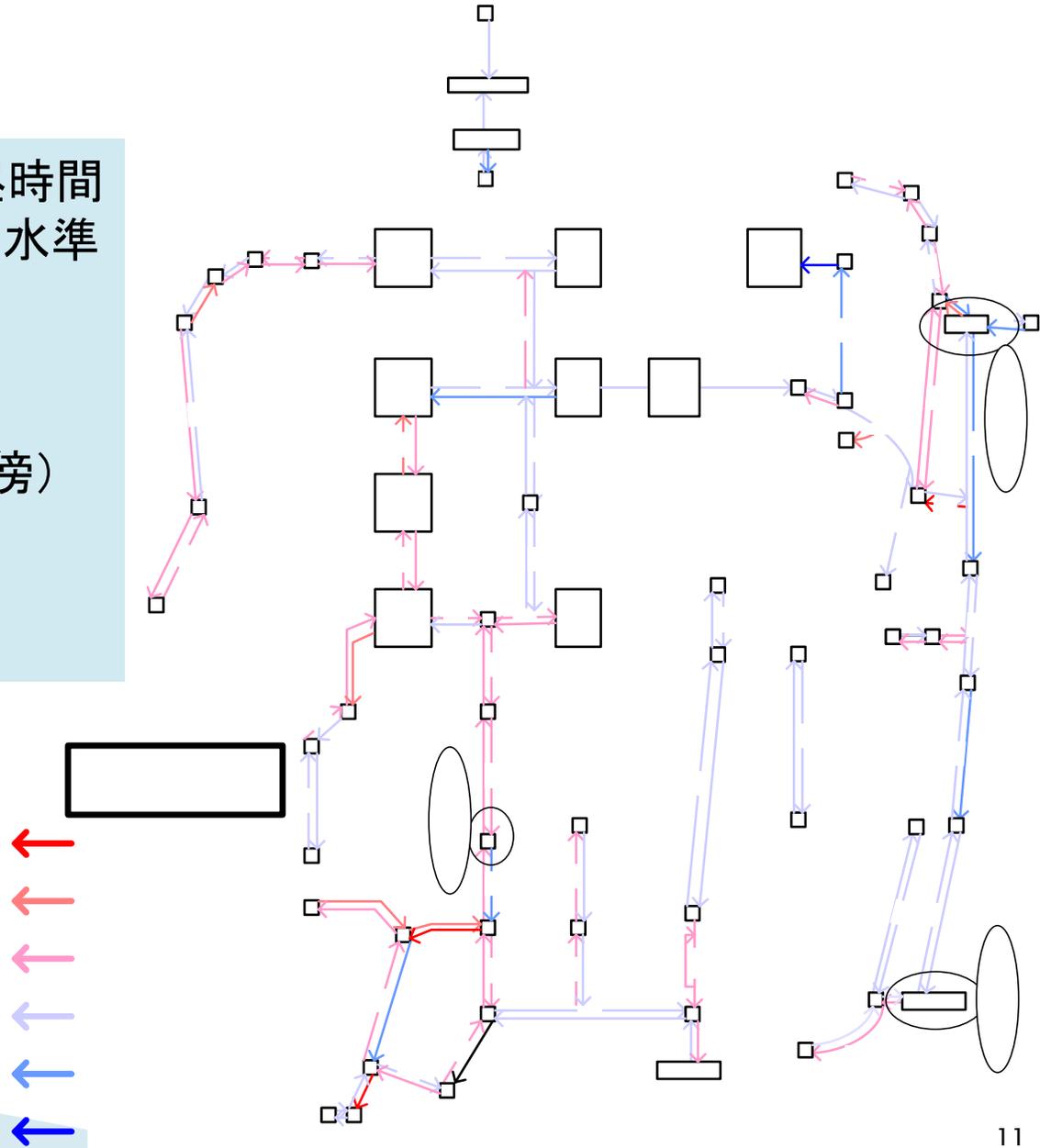


# 朝・昼時間帯の単位距離当たりの平均所要時間の差

(平均的な)速達性から見て、昼時間帯と比して朝時間帯のサービス水準が低い区間

京都南IC付近・山科駅付近、醍醐駅付近(交通結節点近傍)

都市間を結ぶ主要幹線(国道1号, 9号171号等)



# 指標間の相関分析1

## 所要時間特性値と説明変数候補

説明変数候補\所要時間特性値	単位距離あたりの 所要時間の平均値	単位距離あたりの 所要時間の標準偏差
一車線当たりの平均交通量	-0.228 ***	-0.029
中央帯設置延長	-0.102	0.041
車線数	-0.060	0.121
車線幅	0.136	0.038
歩道設置延長の割合	-0.015	0.134
単位距離あたりの信号交差点数	0.226 ***	0.192
単位距離あたりの信号のない交差点数	0.106	-0.137
代表交差点青信号比	-0.367 *	-0.172
右折レーン設置割合	-0.053	0.068
DID地区割合	0.257 **	0.123
商業地区割合	0.326 *	0.340 *
指定最高速度	-0.209 ***	0.037

(\*\*\* p<0.10, \*\* p <0.05, \*p<0.01)

### ▶ 所要時間特性値との相関が考えられる変数候補

一車線当たりの平均交通量, 単位距離あたりの信号交差点数  
代表交差点青信号比, DID地区割合, 商業地区割合, 指定最高速度

# 指標間の相関分析2

## 説明変数候補間

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
a 一車線当たりの平均交通量	1											
b 中央帯設置延長	0.31 *	1										
c 車線数	-0.07	0.58 *	1									
d 車線幅	0.36 *	0.09	-0.32 *	1								
e 歩道設置延長の割合	0.01	0.09	0.30 **	-0.14	1							
f 単位距離あたりの信号交差点数	-0.08	0.26 **	0.41 *	-0.09	0.52 *	1						
g 単位距離あたりの信号のない交差点数	-0.23 ***	-0.50 *	-0.46 *	-0.24 **	-0.10	-0.05	1					
h 代表交差点青信号比	0.44 *	0.22 ***	0.18	0.00	0.31 *	0.40 *	-0.14	1				
i 右折レーン設置割合	0.09	0.33 *	0.43 *	0.24 **	0.01	-0.03	-0.64 *	0.04	1			
j DID地区割合	-0.18	-0.21 ***	0.00	0.09	0.11	0.10	0.14	-0.16	-0.17	1		
k 商業地区割合	-0.11	0.13	0.19	0.08	0.31 *	0.58 *	0.03	0.20	0.01	0.34 *	1	
l 指定最高速度	0.19	0.58 *	0.74 *	-0.09	0.21 ***	0.14	-0.51 *	0.10	0.34 *	0.08	0.04	1

(\*\*\* p<0.10, \*\* p <0.05, \*p<0.01)

- ▶ 説明変数候補間でも相関が相当程度認められる。  
説明変数間の相関関係を考慮可能な分析が必要。

# 交通サービス水準への影響要因分析の考え方

- ▶ 道路交通センサスデータから得られる要因は限定されている。また、要因間の相互作用がサービス水準に影響を及ぼす可能性もある。
- ▶ 利用可能な説明変数候補間のも相当程度の相関関係が認められる。

因子分析による交通サービス水準に影響を及ぼす潜在変数の抽出

共分散構造分析によるサービス水準影響要因の特定

# 因子分析による潜在変数の抽出

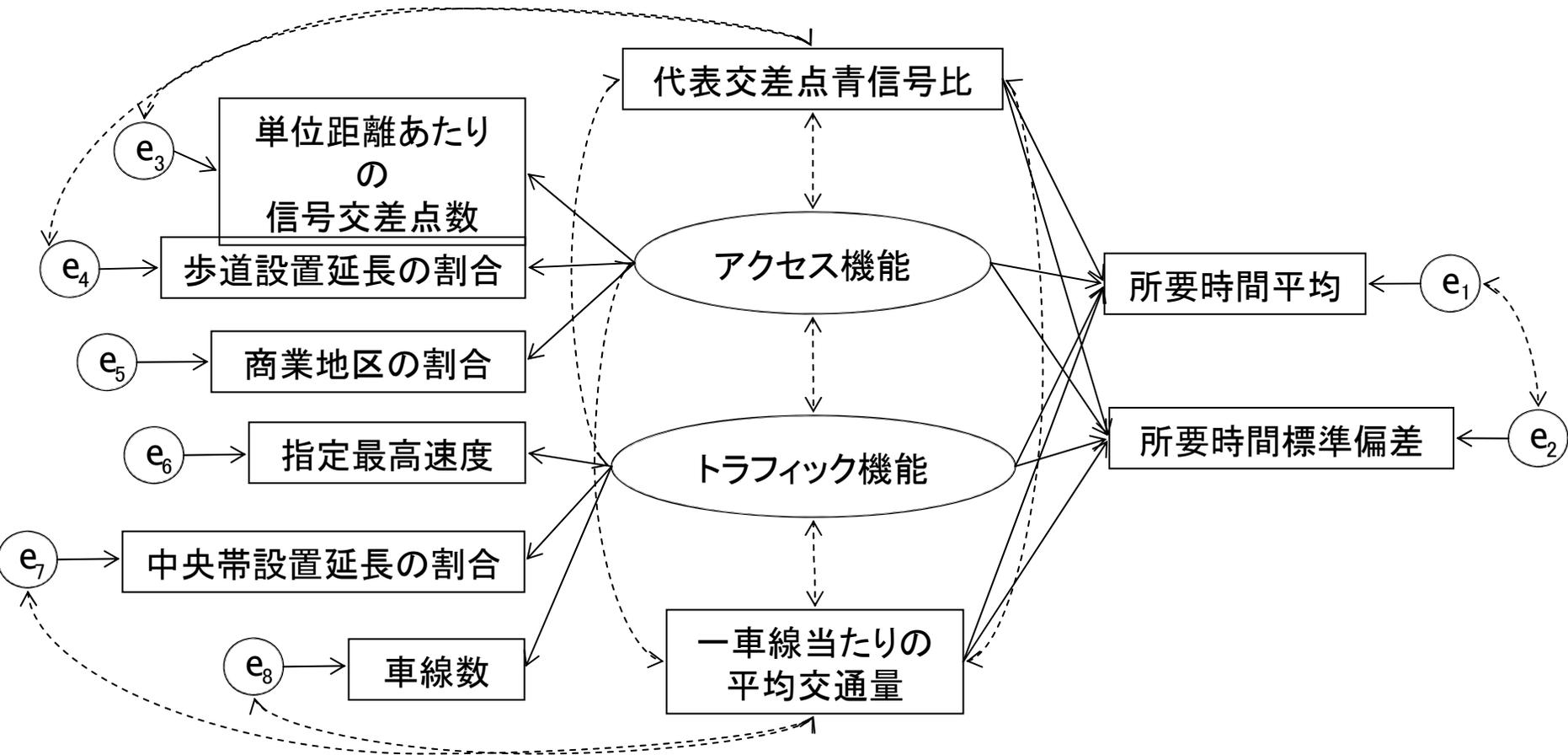
変数	因子1	因子2
指定最高速度	0.781	-0.069
車線数	0.721	0.247
中央帯設置延長	0.704	0.030
右折レーン設置割合	0.402	-0.192
歩道設置延長	0.059	0.484
単位距離当たりの信号交差点数	-0.018	0.914
沿道の商業地区の割合	-0.157	0.729
代表交差点青信号比	-0.036	0.380
車線幅	-0.198	0.030
単位距離当たりの信号のない交差点数	-0.465	0.102
適合度検定		
カイ二乗値		33.49
自由度		26
有意確率		0.148

都市間の移動を目的とした道路のトラフィック機能と関連がある因子

沿道の利用などを目的とした道路のアクセス機能と関連がある因子

# 交通サービス水準に関する共分散構造分析

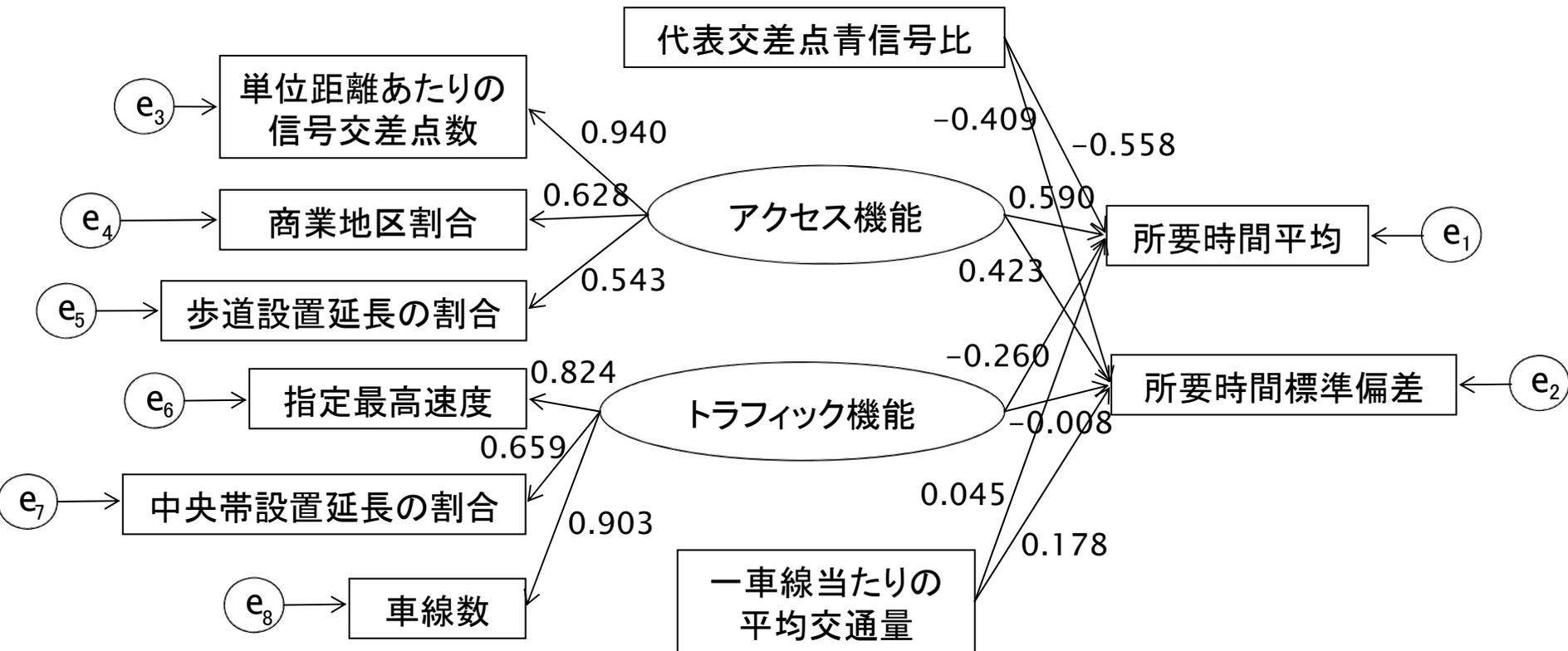
— 仮定した構造 —



- ▶ 代表交差点青信号比, 車線当たりの交通量, トラフィック機能, アクセス機能を主たる説明変数候補として, 共分散構造分析を実施

# 交通サービス水準に関する共分散構造分析

— 推定結果 —

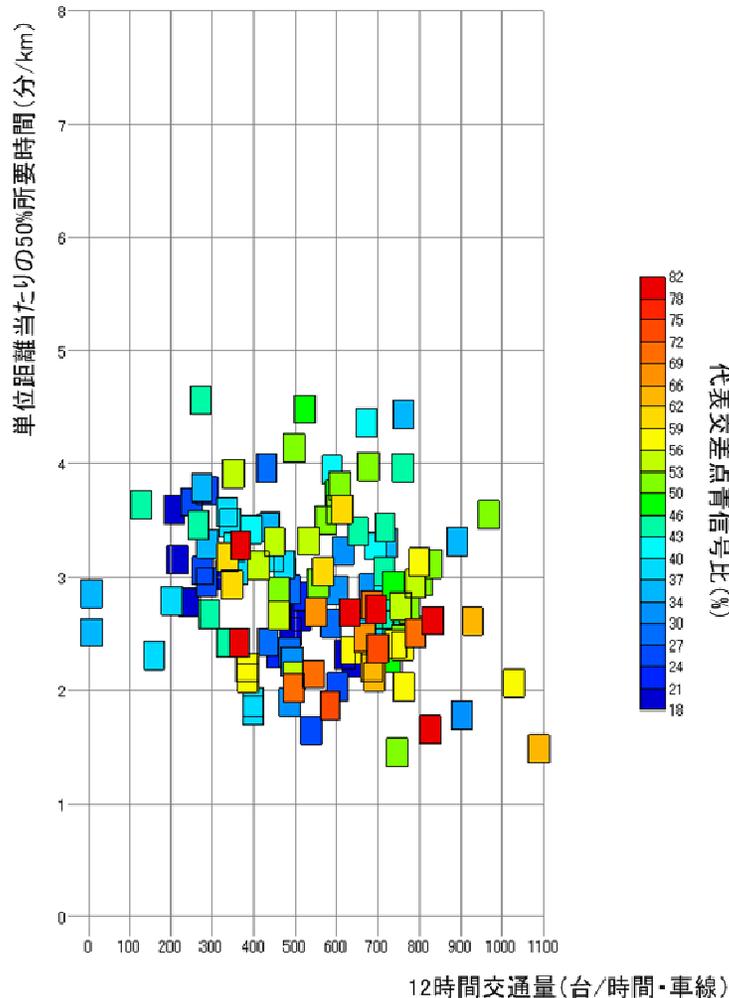


- ▶ 代表交差点青信号比は所要時間の平均・標準偏差と負の相関
- ▶ 車線当たり交通量は弱いながらも所要時間の平均・標準偏差と正の相関
- ▶ アクセス機能は所要時間の平均・標準偏差と正の相関
- ▶ トラフィック機能は特に所要時間の平均と負の相関

# 本研究のまとめ

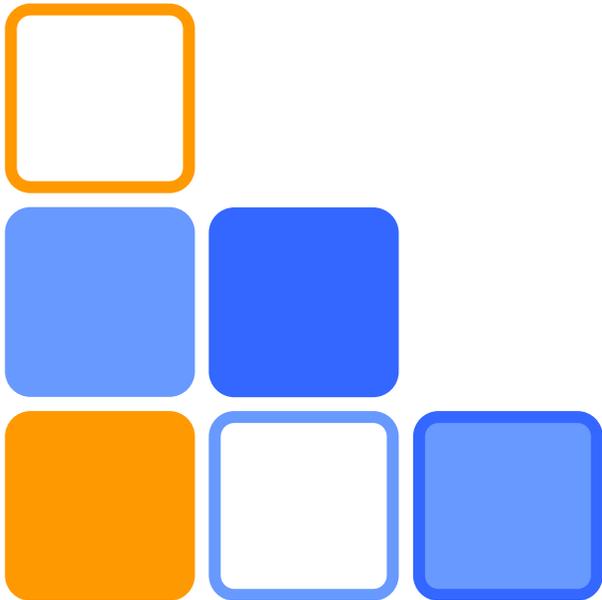
- ▶ 所要時間の平均ならびに標準偏差に基づき、速達性・安定性の両観点から、道路ネットワークのサービス水準を評価。
- ▶ バスプローブデータと道路交通センサデータを統合的に活用し、サービス水準に影響を及ぼす要因を統計的に分析。
- ▶ 分析対象とした京都市のネットワークでは、(平均的な)速達性、所要時間の安定性の点で、特に京都市中心部、山科駅近辺、名神京都南IC近辺のサービス水準が相対的に低いことが実証された。
- ▶ 因子分析の結果、道路のアクセス機能ならびにトラフィック機能の高さを、交通サービス水準への潜在的な影響要因として仮定した上で、共分散構造分析を適用した。
- ▶ 車線当たりの交通量、代表交差点青信号比、および上記のアクセス機能・トラフィック機能が交通サービス水準と有意な関係を持ちうる可能性が示唆された。

# 補足 交通量と所要時間の負の相関

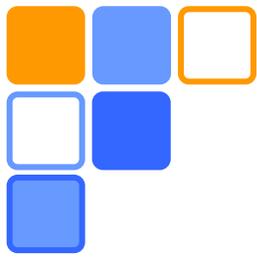


- ▶ 代表交差点の青信号比という変数を介すと, 12時間交通量と所要時間の平均値の間に負の相関が生じる点が理解できる.
- ▶ 12時間交通量が多い路線・区間は, 交差点の青信号比も一般的に大きく設定されるため, 所要時間がそれに応じて短くなる傾向にある.

# ITSを活用した道路交通ネットワークの 調査・評価手法に関する研究

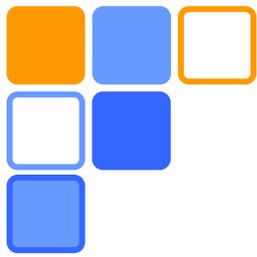


京都大学大学院助教 安東直紀



# 平成20年度テーマ

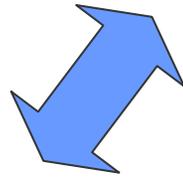
- 研究テーマ:「所要時間の平均と分散を考慮した経路評価指標の構築」
  - 都市内道路ネットワークにおける所要時間変動リスクの評価指標の構築を目指す
- 参加メンバー
  - 近畿地方整備局大阪国道事務所
  - 京都大学都市基盤システム工学講座
  - 日産自動車



# 産官学の役割

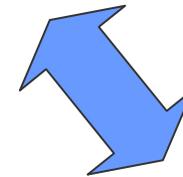
大阪国道事務所

道路ネットワークの  
所要時間変動リスク評価



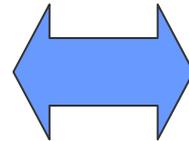
日産自動車

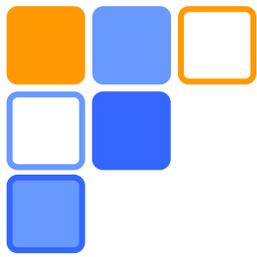
提供経路のリスク評価



京都大学

所要時間変動リスクの  
評価指標の構築





# 研究の背景

- 近年の社会・経済活動の高度化に伴い、個人の移動に対する時間価値が増大した。
- 現代の道路利用者にとって想定外の旅行時間の変動は大きな問題
  - 遅刻だけでなく早着も望ましくない
    - ✓ 待ち時間の発生
    - ✓ 燃料消費・CO<sub>2</sub>排出
- 公共交通機関や貨物の配送業などではJust-in-Time が原則である。

## ➤ 強い時間制約

- 大幅な所要時間の変動は重大な問題
- 高水準で安定した移動手段と輸送手段が必要



所要時間の変動を考慮した経路評価の必要性

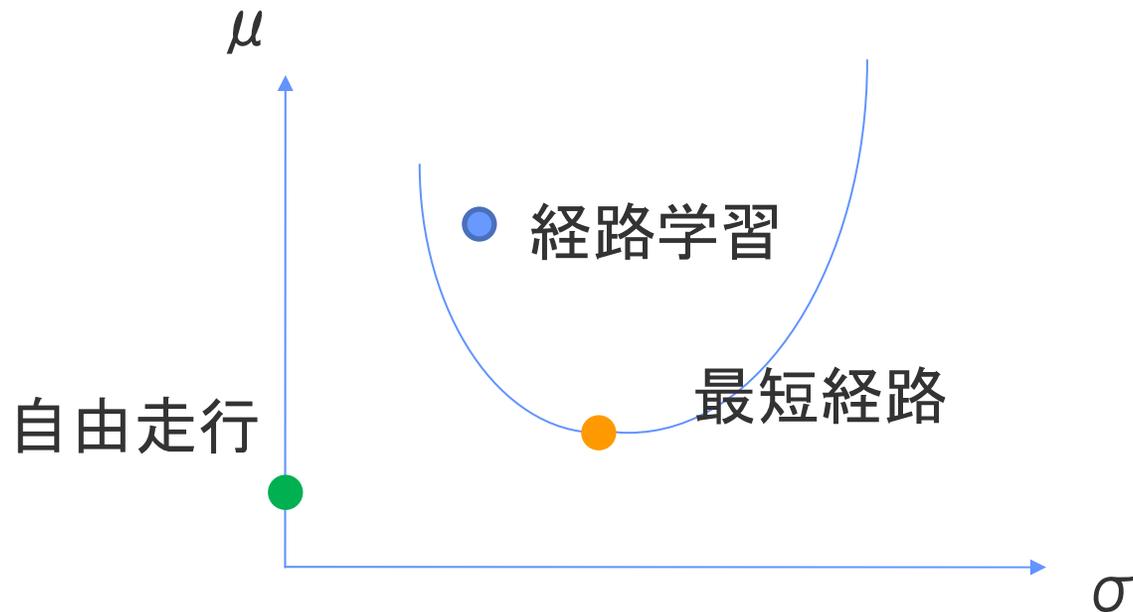
# 研究の動機(1)

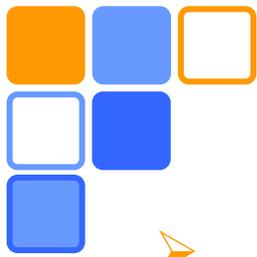
## 既往の研究:

➤ 所要時間分布の分散に着目

経路学習 < 平均値の最短経路

所要時間分布を考慮する確率論的配車配送計画において好影響





## 研究の動機(2)

### 学的リスク: ある事象が発生する確率

- 道路ネットワークの信頼性: 連結・容量・所要時間信頼性
  - ネットワーク全体の信頼性に関する解析
- 経路の所要時間信頼性指標
  - 変動係数( $\sigma / \mu$ )を用いた解析
  - 累積頻度分布を用いた解析
  - 所要時間信頼性指標 (PTI/BTI等)

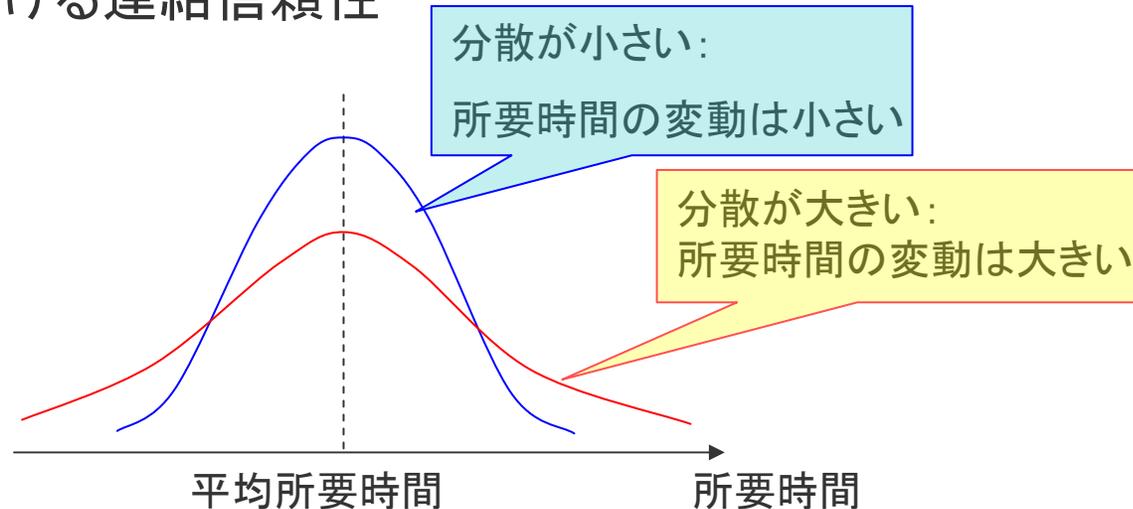
### 経済的リスク: ある事象の変動の大きさ

- 所要時間の平均と分散を考慮した経路の評価指標
  - 所要時間の平均と分散の大きさをそのまま比較可能に

# 既往の研究(1)

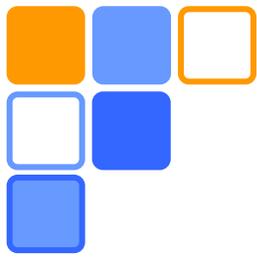
## □ 道路ネットワークの評価指標

- ▶ 可到達性, **平均所要時間**, 最短距離, 処理交通量, 災害時における連結信頼性



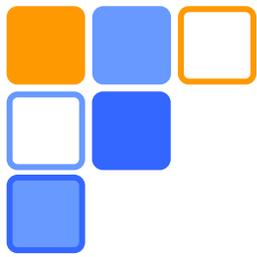
○ 所要時間の平均と分散を同時に評価することで、経路の望ましさを評価した。(岡ら, 2007)

- ▶ 平均分散法の道路ネットワークへの援用



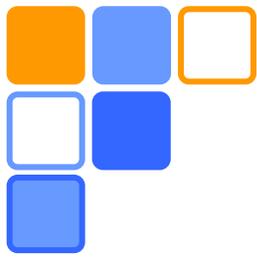
## 既往の研究(2)

- 道路ネットワークの信頼性解析
  - Bell, M.G.H. and Iida, Y.: Transportation network analysis, pp.179-192, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997.
- 容量信頼性
  - Chen, A., Yang, H., Lo, H.K. and Tang, W.H: Capacity related reliability for transportation networks, Journal of Advanced Transportation, Vol. 33, Issue 2, pp.183-200, 1999.
- 所要時間信頼性
  - Asakura, Y., Kashiwadani, M.: Road network reliability caused by daily fluctuation of traffic flow, 19th PTRC Summer Annual Meeting, Proceedings Seminar G, pp. 73-84, 1991.
- 出発時刻選択
  - Noland, R.B. and Small, K. A.: Travel-time uncertainty, departure time choice, and the cost of morning commutes, Transportation Research Record 1493, pp.150-158, 1995.
- VOT計測
  - Lam, T.C. and Small, K. A.: The value of time and reliability: measurement from a value pricing experiment, Transportation Research Part E: Logistics and transportation Review 37(3), pp231-251, 2001.



# 研究の目的

- 出発地と目的地を与えたとき，仮定した評価関数値が最大となる経路の決定手法を構築する.
- 実際の道路ネットワークに適用し，本手法の有効性を示す.



# 平均分散法

- 現代ポートフォリオ理論の一部であり、投資家の期待効用を、**期待収益率と収益率の分散の関数**として表現する手法 (Harry M. Markowitz, 1959)
- 道路ネットワークへの援用 (岡ら, 2007)
  - 投資家の期待効用 → 道路利用者の効用
  - 期待収益率 → 所要時間の平均
  - 期待収益率の分散 → 所要時間の分散

# 評価関数

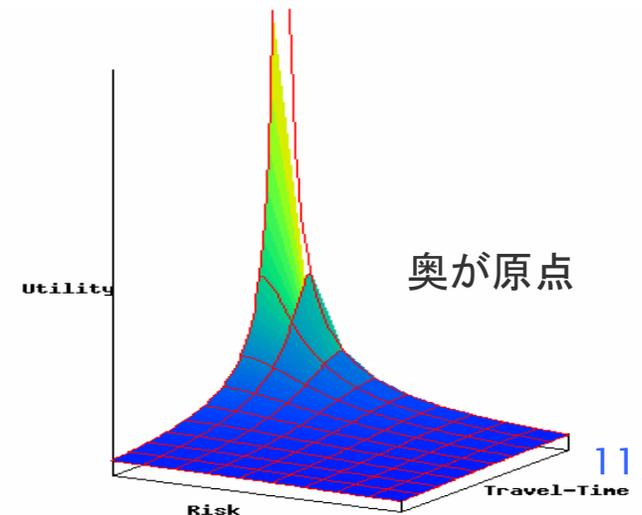
- 危険回避型
  - 無差別曲線が  $\mu - \sigma$  平面上で右下がり
- 限界代替率逓減
  - 無差別曲線が  $\mu - \sigma$  平面上で上に凸
- 無差別曲線は楕円形
- $\sigma, \mu$  を0に近づけると経路評価関数値は  $+\infty$  に発散
- $\sigma$  または  $\mu$  を0に近づけると双曲線の正の部分

$$U(\mu, \sigma) = (\mu^2 + (\alpha\sigma)^2)^{-\frac{1}{2}}$$

$\mu$  : 経路の平均所要時間

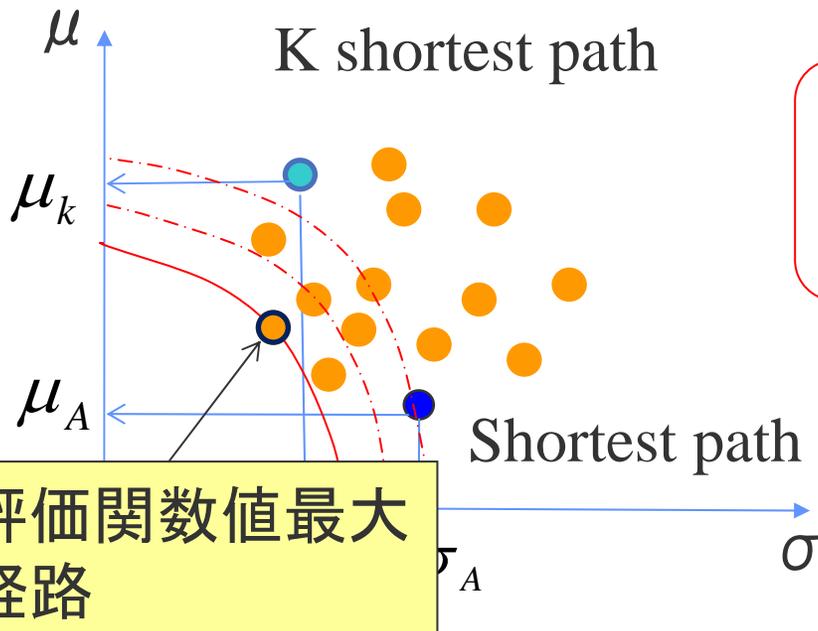
$\sigma$  : 経路の所要時間の標準偏差

$\alpha$  : 標準偏差が評価関数値に与える影響の大きさを表すパラメータ



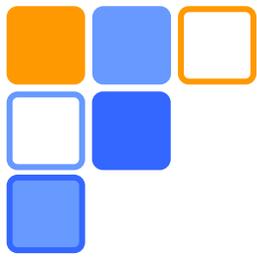
# 評価関数値最大経路の決定手法

- K Shortest Pathを探索するアルゴリズム(Eppstein, 1998)を用いて平均所要時間の短い経路から順に探索する.
- $\mu - \sigma$  平面上にプロット



等しい評価関数値を持つ  $\mu, \sigma$  の組み合わせの集合である無差別曲線を描き, 評価関数値最大経路を求める.

- $\alpha$  の値により評価関数値最大経路は変化する.



# ケーススタディ

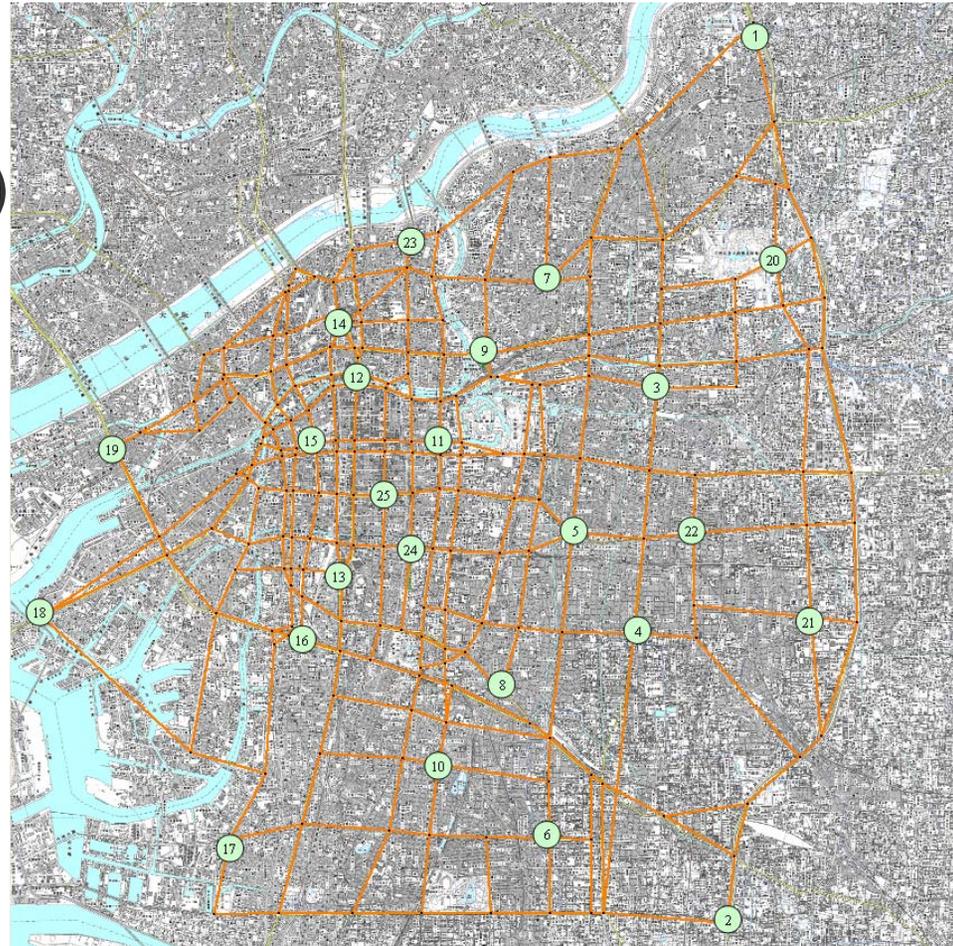
## 分析対象ネットワーク

大阪中央部(全てVICSリンク)  
225ノード・789リンク

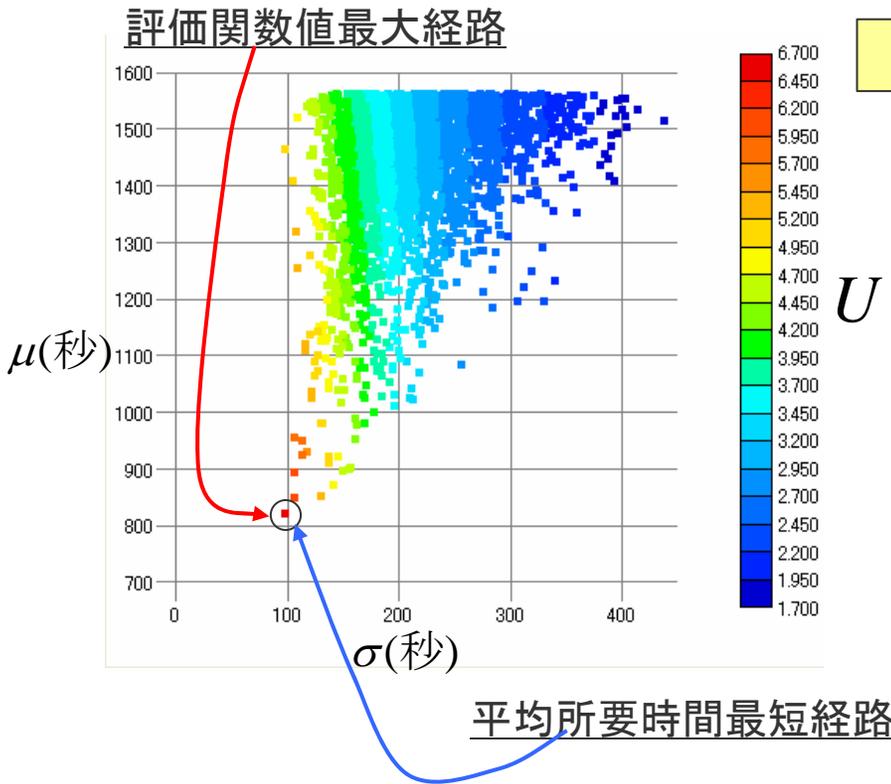
使用VICSデータ

H16/10/01~11/16  
(平日30日間)

$\alpha$  の値は岡らにより算出された値の範囲のうち、代表値として  $\alpha = 13$  を用いる。



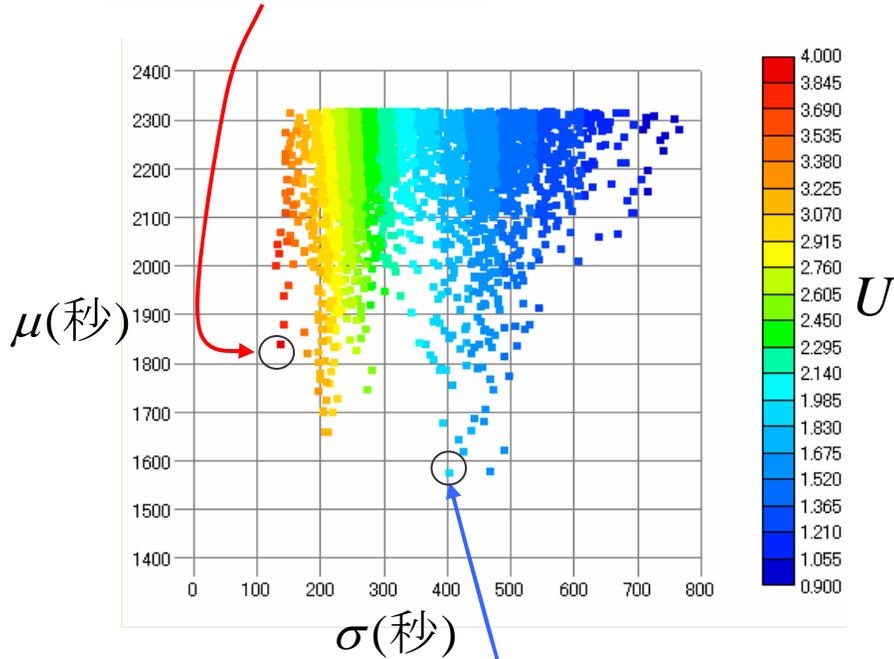
# 短距離OD



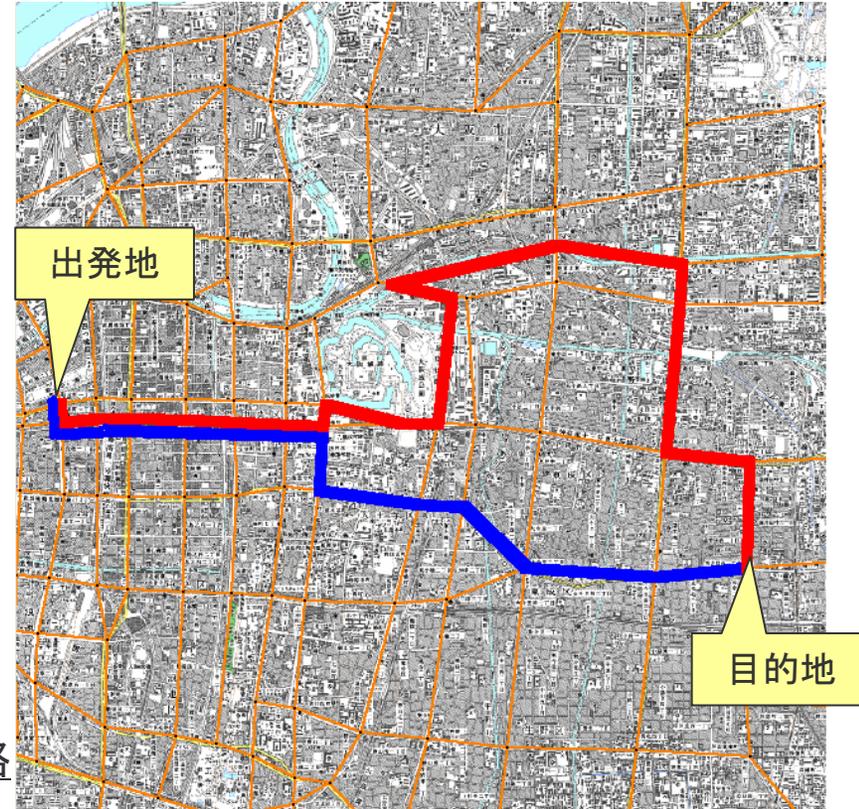
	平均所要時間(分)	所要時間の標準偏差(分)	経路
評価関数値最大経路・最短経路	13.6	1.6	平均所要時間最短経路

# 中距離OD

評価関数値最大経路

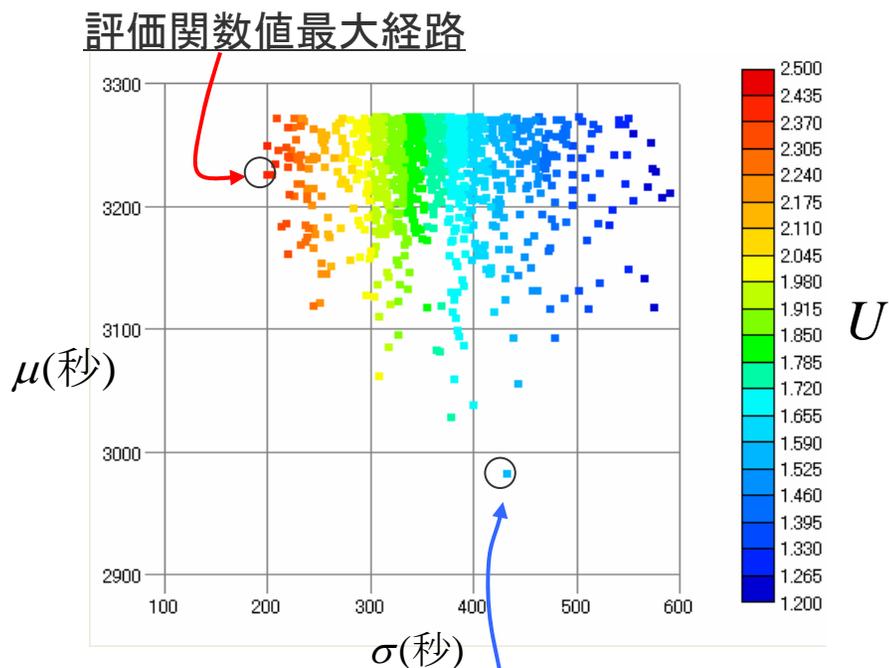


平均所要時間最短経路

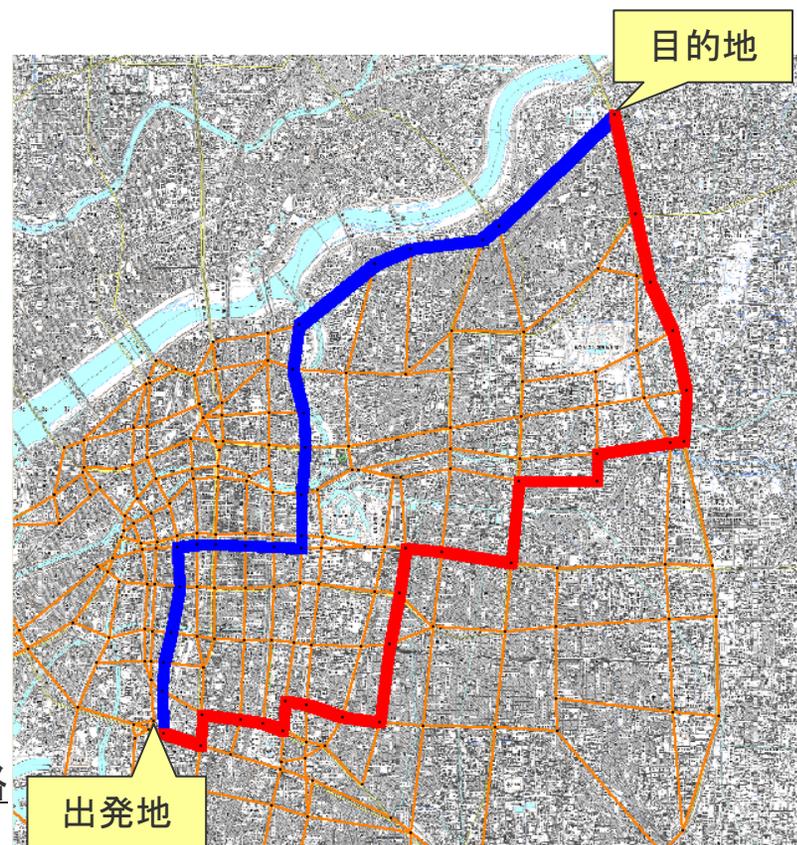


	平均所要時間(分)	所要時間の標準偏差(分)	経路
評価関数値最大経路	30.6	2.3	数値最大経路
最短経路	26.3	6.7	平均所要時間最短経路

# 長距離OD

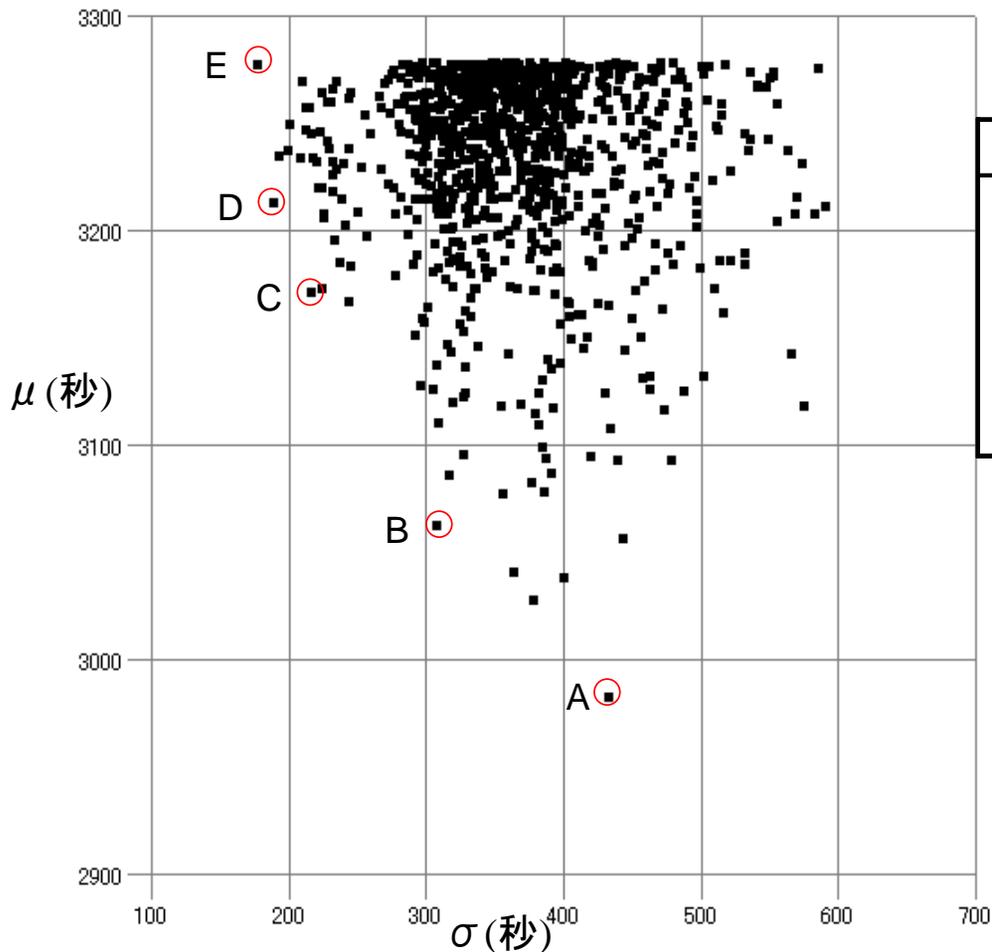


平均所要時間最短経路



	平均所要時間(分)	所要時間の標準偏差(分)	経路
評価関数値最大経路	53.7	3.3	評価関数値最大経路
最短経路	49.7	7.2	平均所要時間最短経路

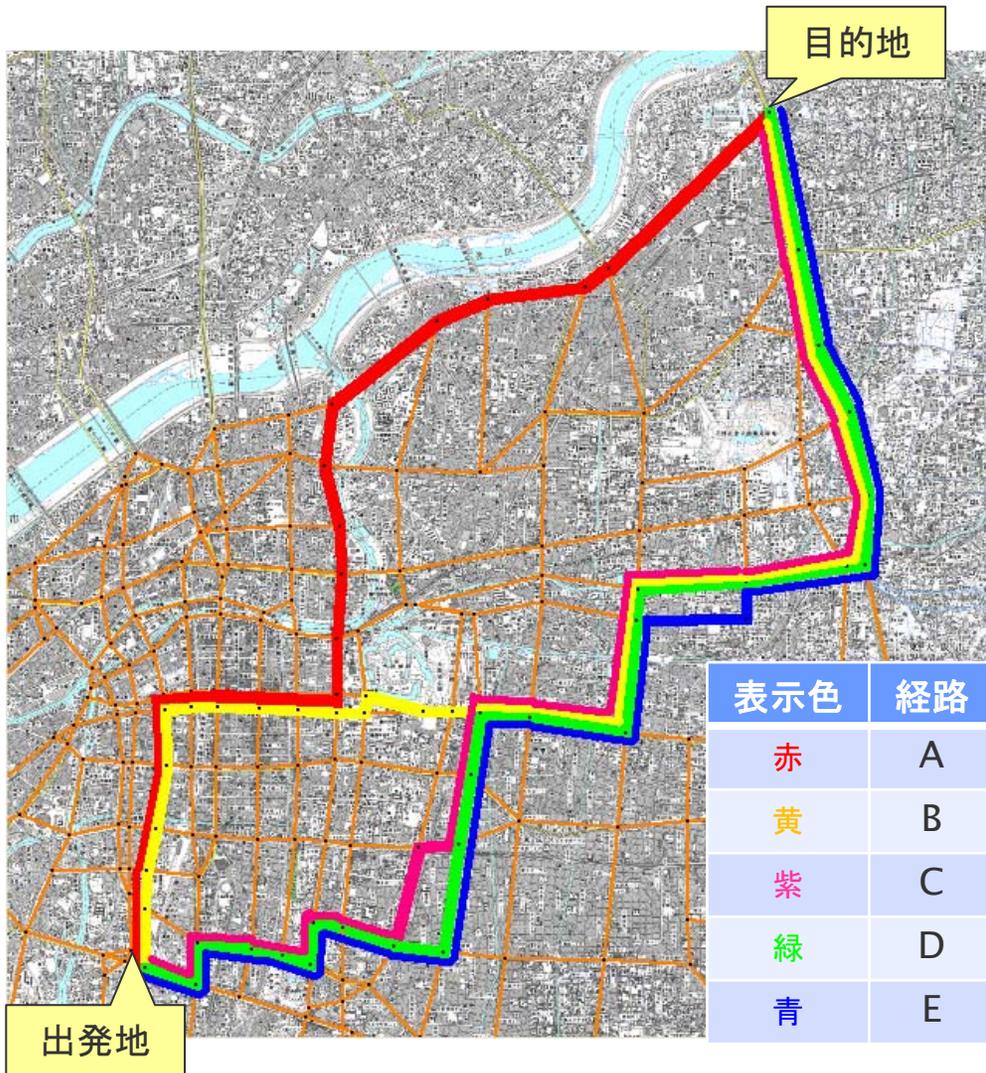
# パラメータ $\alpha$ の変化による 評価関数値最大経路の変化①



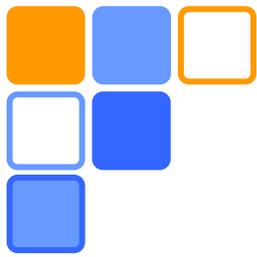
評価関数値最大経路	
A	$0 \leq \alpha \leq 2.29$
B	$2.29 < \alpha \leq 3.74$
C	$3.74 < \alpha \leq 4.87$
D	$4.87 < \alpha \leq 10.13$
E	$10.13 \leq \alpha$

$\alpha$  の値が大きくなるにつれ、所要時間の標準偏差が小さい経路が評価関数値最大経路として探索される。

# パラメータ $\alpha$ の変化による 評価関数値最大経路の変化②

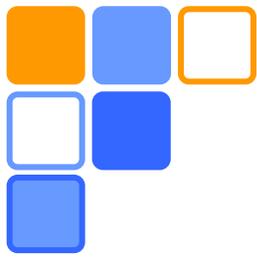


	平均所要時間(分)	標準偏差(分)
A	49.71	6.43
B	51.04	5.13
C	52.85	3.60
D	53.56	3.13
E	54.62	2.95



## 結論

- 平均所要時間と所要時間の標準偏差を用いた評価関数の仮定を行い, 評価関数値が最大となる経路の決定手法を構築した.
- 実際の道路ネットワークに適用し本手法の有効性を示した.
  - $\alpha$  の値を調整することにより所要時間の標準偏差を考慮した経路が探索可能である.
- ✓ 今後の課題として, より現実に適した評価関数形の検討が挙げられる.



## 今後の課題

- 評価関数形の妥当性の検証
  - より現実の道路利用者の評価を反映した関数形を探索
- 標準偏差の影響を表すパラメータの妥当性
  - $\alpha$  の妥当な値を如何に求めるか
- タイムスライスを考慮した経路所要時間の分散を用いた最適経路探索の実施
  - 本研究では特定の時刻における所要時間情報を用いたが、より正確な経路所要時間情報を用いた評価の実施