

道路の旅行時間信頼性の経済評価： 研究到達点と実務化に向けた課題の整理

東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻

福田 大輔

12年前の新道路研究会にて

2012年2月29日新道路研究会@国土技術研究センター



道路の旅行時間信頼性の評価に 関する研究課題

東京工業大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻
福田 大輔

道路整備による走行時間短縮便益等を把握する 手法についての技術研究開発（新道路技術開発2022-2024）

研究の背景・目的

【背景】

- 道路事業評価に費用便益分析が公式に導入されてから20年以上が経過
- 客観的で透明性の高い事業評価に寄与したが、現場での適用を通じて多くの課題が顕在化
- 本研究は特に便益評価に関わる課題を主な対象

【目的】

- ①時間価値等の原単位の設定手法の開発
- ②時間帯等による交通量変動や誘発交通等を考慮した交通量の推計手法の開発
- ③我が国の道路事業評価を念頭に置いた新たな手法の提案

道路整備による走行時間短縮便益等を把握する 手法についての技術研究開発（新道路技術2022-2024）

研究の実施体制と進捗状況

研究者氏名	年齢	所属・役職	分担研究内容
○加藤浩徳	53	東京大学大学院工学系研究科・教授	研究総括
福田大輔	49	東京大学大学院工学系研究科・教授	原単位分析・交通量推計手法
円山琢也	47	熊本大学大学院先端科学研究部・教授	交通量推計手法
織田澤利守	47	神戸大学大学院工学研究科・教授	誘発交通分析

- 年数回、委員会形式のミーティングを開催
 - 2023年10月3日に第3回委員会開催。2023年12月26日に第4回委員会、2014年2月に第5回委員会を開催予定。
- 各テーマについてWGを設置し、実質的な研究を実施
 - 月に2～3回WGミーティングを開催し、進捗の確認
- 英国における道路事業評価に関する実態調査および専門家との意見交換
 - 2023年10月30日～11月3日に、英国交通省、英国道路公団、Imperial College London, University of Leeds, University of Cambridgeにてインタビューおよびセミナーでの特別講演を通じた意見交換等
- 全国の地方整備局、学識経験者・地元コンサルタント会社の協力を得てインタビューの実施
 - 2024年1月に関東地方整備局、内閣府沖縄総合事務局で実施予定

道路整備による走行時間短縮便益等を把握する 手法についての技術研究開発（新道路技術2022-2024）

今年度の研究調査の概略

（1）時間価値等原単位の推定

内容：我が国の費用便益分析関連原単位について、

1. 走行時間信頼性価値の推定：日別・時間帯別の時間信頼性比推定
2. 時間価値の推定：データによる推定、2024年問題の貨物時間価値への影響
3. 交通事故軽減費用原単位の検討：手法レビューと最新データを用いた推計

（2）走行時間信頼性向上便益の算定方法検討

内容：走行時間信頼性向上便益について、

1. 道路交通量推計手法の検討：日/時間帯配分について沖縄の事例で分割/均衡配分の交通量、旅行時間等の再現結果を比較
2. 走行時間信頼性便益の試算：英国現地調査をもとに走行時間信頼性指標の再検討、沖縄の事例で分割/均衡配分、日/時間帯別配分とで便益の比較

（3）道路整備の地域経済・誘発交通への影響に関する調査

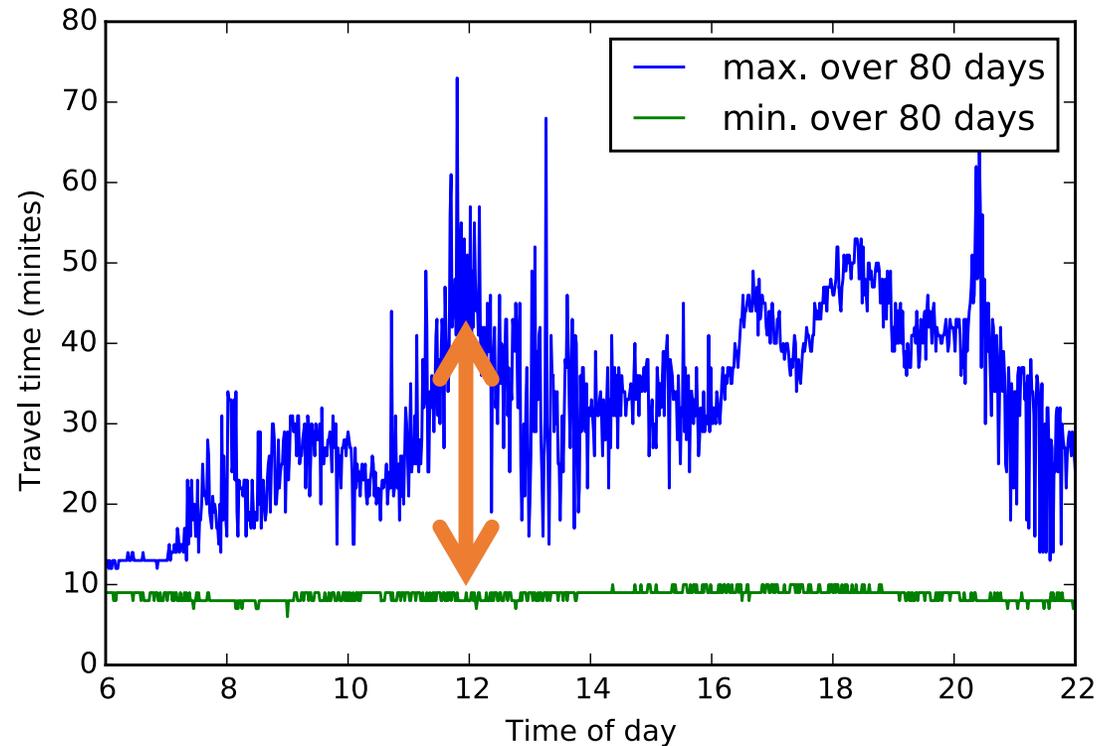
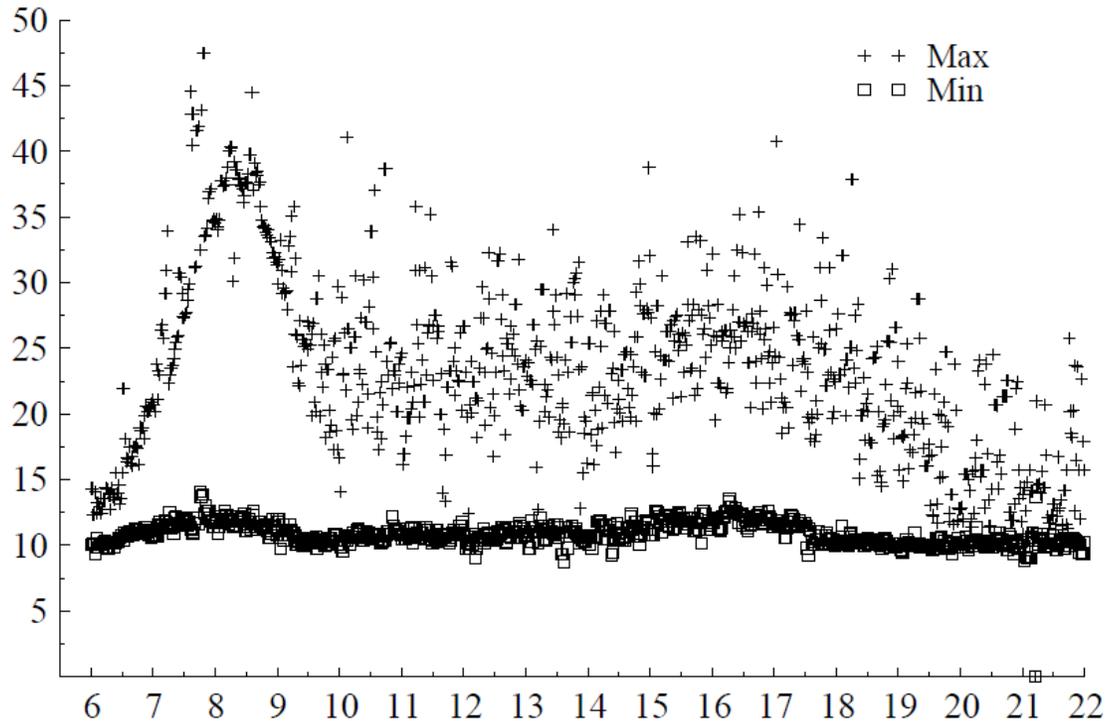
内容：我が国の道路整備事業を対象に、

1. 道路整備の誘発交通への影響分析：携帯電話基地局データを用い、道路整備による訪問者数の変化を統計的因果推論により分析
2. 誘発交通需要を考慮した事業評価手法の検討：英国現地調査を踏まえ交通需要推計における誘発交通を考慮するための方法論の検討

旅行時間変動⇔旅行時間信頼性 (以前から言われていること)

[同じ区間の移動であっても]旅行時間は、時間帯や日によって、大きく**変動**する(=旅行時間**信頼性**が低い)

流入時刻(横軸：時) 別に見た最大・最小旅行時間(縦軸：分)



(コペンハーゲン・都市内道路 (約11.2km) , ナンバープレート認識による約3ヶ月間の観測結果)

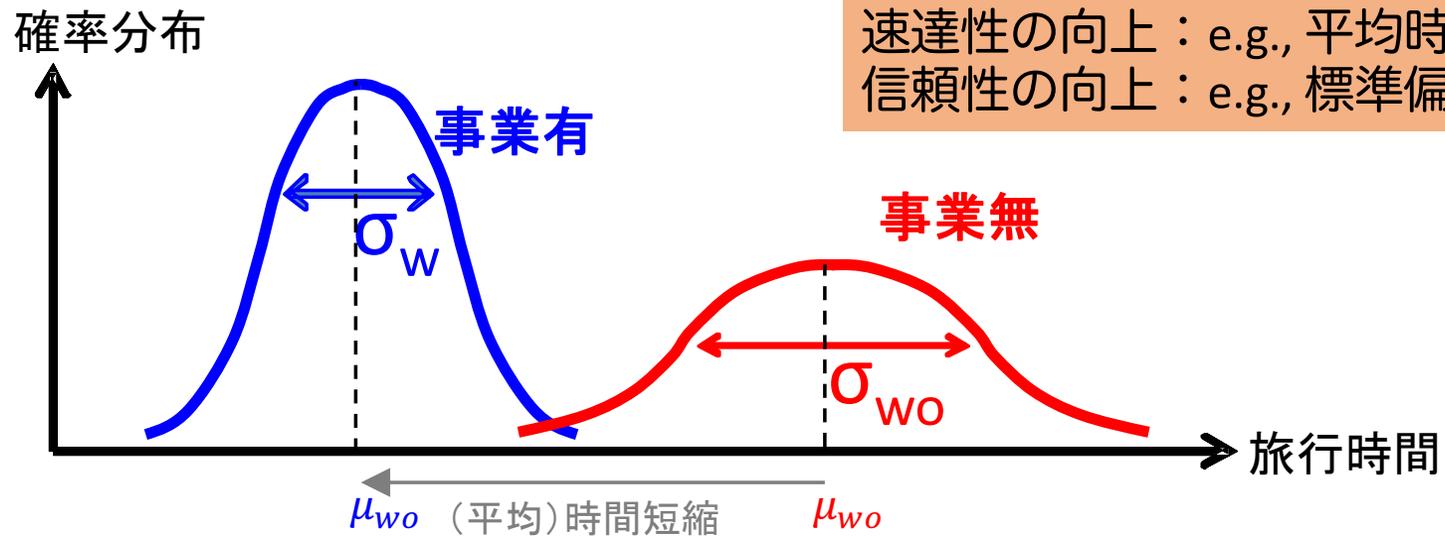
出典：Fosgerau, Hjorth, Brems & Fukuda (2007)

(東名高速：厚木⇒横浜町田間流入出車両のETCデータより作成)

出典：Xiao & Fukuda (2015)

旅行時間信頼性向上の経済効果

道路整備や料金施策による交通流の円滑化は、旅行時間信頼性の向上にも大きく貢献する可能性



[旅行時間変動の要因]

普段とは異なる交通需要の変動や、道路容量の変動など

- ・但し、Recurrentな事象と、Non-Recurrentな事象とを区別する必要あり
- ・事業評価（経済評価）の主対象は、Non-Recurrent要因に起因する時間変動の減少

旅行時間信頼性(Travel Time Reliability)の 経済評価に向けて

- (背景)
- ・ 従来便益に計上されていない,
移動の「質」の更なる向上効果の配慮の意義
 - ・ 非常に充実してきた旅行時間データベース

(旅行時間信頼性の「評価」)

- 従来：業績評価指標 (Performance measurement) としての活用
- 今後：事業評価 (Project evaluation) や
費用便益分析 (Cost-Benefit Analysis) への“適切な”導入

時間信頼性便益評価の事例

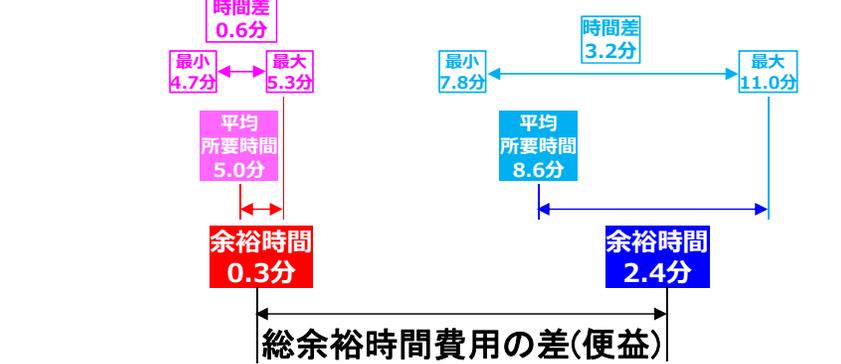
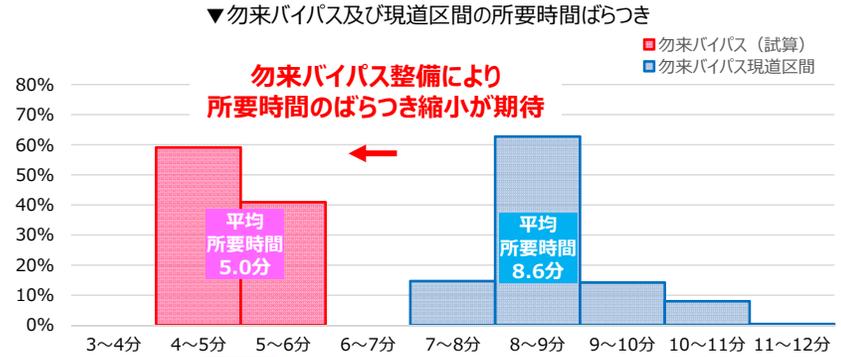
一般国道6号 勿来バイパス の費用便益分析結果

項目		全体事業	残事業
費用	事業費	238億円	177億円
	維持管理費	17億円	17億円
	総費用(C)	256億円	194億円
便益	走行時間短縮便益	181億円	181億円
	走行経費減少便益	43億円	43億円
	交通事故減少便益	8.6億円	8.6億円
	総便益(B)	232億円	232億円
効果	B/C	0.9	1.2
	時間信頼性向上	所要時間のばらつきを考慮した余裕時間が短縮(約33億円)	
	医療支援	勿来バイパスの整備により、北茨城市北部~いわき市医療センターの所要時間が1分短縮。心筋梗塞の生存率が66%→68%に向上。	
	環境改善	CO2排出量削減により環境改善に寄与(約2.1億円)	
	利活用	通勤や買い物等で日常的に交流するいわき市・北茨城市間の日常生活の利便性向上に寄与	
	総便益(ΣB)	232億円+その他の効果	232億円+その他の効果

(出典) 令和3年度第3回東北地方整備局事業評価監視委員会資料

時間信頼性便益評価の事例(続き)

- 勿来バイパスの所要時間のばらつきを試算すると現道現道区間と比較して余裕時間が2.4分→0.3分と短縮される。
- 余裕時間の短縮について、「時間信頼性向上便益算定マニュアル（案）」に基づき便益換算を行うと、約33億円相当の効果が見込まれる。



▼時間信頼性向上便益算出結果

	総余裕時間費用 (億円/年)		③時間信頼性向上便益 (億円/年) ①-②	④時間信頼性向上便益 現在価値換算 (億円/50年)
	①整備なし	②整備あり		
勿来バイパス	85.56	83.19	2.37	33.24

時間信頼性向上の効果

「時間信頼性向上便益算定マニュアル（案）」に基づき便益換算した結果、
約33億円の効果が見込まれる

||
2.37億円/年

出典：ETC2.0道路プローブデータ（R2.10月平日7～18時台）
※勿来バイパスの所要時間ばらつきは、国道6号相馬バイパスの所要時間ばらつきを元に試算

旅行時間信頼性向上の経済便益

- 信頼性(定時性)の向上がドライバーに与える影響
 1. **遅刻**のリスクが少なくなる効果
 2. 予定より**早く着き**過ぎて時間を無駄にすることが少なくなる効果
 3. 「到着が予定とズレたときにどう対処しよう？」と**悩む**ことが少なくなる（“Planning Cost”の減少）効果
- 旅行時間信頼性向上の経済便益の“程度”
 - 試算の蓄積（ロンドン，ストックホルムでの混雑料金施策評価等）欧州（UK，NL，SW，DK等）を中心に，**国の費用便益分析ガイドラインに導入**
 - **時間に厳格な国民性の我が国**では，影響は更に大きいのでは？

旅行時間変動がもたらす移動コストの試算例

一人あたりの総移動費用（＝平均旅行時間費用＋旅行時間変動費用）に対する旅行時間変動費用の比率



出典：福田(2014b)

時間信頼性便益の試算例：道路整備の事後評価

淀川左岸線新設事業の信頼性工場便益試算結果のまとめ：

		便益額[円/日]		1台当たり便益額[円/台・日]		信頼性便益額/時間短縮便益額	
		昨年度FS成果	Small (1982)	昨年度FS成果	Small (1982)	昨年度FS成果	Small (1982)
信頼性 便益	①H指数が経路別・時間帯別に異なると想定した場合(前掲の結果)	4,986	1,412	25.6	7.2	93%	26%
	②H指数が経路別にのみことなると想定した場合	4,823	1,338	24.7	6.9	90%	25%
	③H指数が三経路で同一と想定した場合	4,308	1,211	22.1	6.2	80%	22%
時間短縮便益		5,387		27.6		100%	

- 既存の事例分析では、「信頼性便益は時間短縮便益の2-3割程度」という報告が多いが、今回の試算はそれに近い結果となった。
- 試算結果①で用いた信頼性比(=3.26)は、到着時刻制約の大きいドライバーのみからの推定結果であり、全体平均よりも高い値であることが想像される。
- H指数の集約・共通化を進めるにつれて(結果①→結果②→結果③)、信頼性便益額が小さくなっている。特に②：経路→③：ODの集約での落ち込みが大きい。

旅行時間信頼性の便益評価に向けた課題

① 貨幣価値原単位の設定

- 旅行時間信頼性の指標：標準偏差，タイムリ値，Buffer Timeなど
- 旅行時間の標準偏差が1分小さくなることに対し，旅行者は，いくら支払っても良いと考えるか？
→ 時間信頼性価値 (Value of Travel Time Variability)
[c.f. 旅行時間の平均が1分小さくなることの価値=時間価値]
- ミクロ経済学・交通行動分析の観点の考慮の必要性

② 旅行時間変動の将来予測

- 施策実施により，当該区間の将来の信頼性がどうなるのか？
[c.f. 平均旅行時間の予測：交通量配分等の需要予測結果に基づいて算出]
- どのようなデータソースで，旅行時間“変動”を捉えられるか？
 - 交通分野の劇的なIT化→大量データの長期間獲得（例. ETC, フォーブ）

③ 交通ネットワークとして見た旅行時間信頼性便益評価 (難しい)

推奨したい用語表現 (Fosgerau & Fukuda, 2012)

- 旅行時間：TT (Travel Time)
- 旅行時間の貨幣価値：VTT (Value of Travel Time)
- 旅行時間変動：TTV (Travel Time Variability)
- 移動時間変動の貨幣価値：VTTV (Value of Travel Time Variability)

- 信頼性 (Reliability) とは不運な状況，例えば，サービスなど故障する可能性があるものを表すのには適切であるが，今回考えるべきは「旅行時間は本質的に変動するもの」であるということ
- 旅行時間変動は社会的な費用，従って“旅行時間変動価値”という表現がベター

これまでの主な関連研究（福田）

- a-1. 経済評価の研究動向のレビュー
- a-2. ミクロ的基礎を持つ貨幣価値原単位推定アプローチの開発
- a-3. 原単位推定のための調査・パラメータ推定枠組の構築
- a-4. 都市高速道路を対象とした経済便益の試算(先述)
- a-5. エリアレベルの旅行時間信頼性の評価方法論の開発
- a-6. 旅行時間変動の社会的限界費用に関する基礎理論の構築

（未解決課題）

旅行時間信頼性指標の将来予測

a-1 経済評価の研究動向のレビュー

代表的アプローチ（1）：平均・分散アプローチ

ドライバーの(間接)効用が, 費用 C , 期待旅行時間 ET , 旅行時間の標準偏差 σ_T に規定されると仮定するモデル:

$$U = \delta C + \alpha ET + \rho \sigma_T$$

δ, α, ρ : 限界(不)効用

- Value of travel time (VTT) = α/δ , **VTTV = ρ/δ**
- その簡便さ故, 1980年頃より多くの適用例, e.g., Jackson & Jucker (1981). Bates et al. (2001)
- ET の代わりに旅行時間の中央値を, σ_T の代わりに 90・50パーセンタイル値の差を用いる例も, e.g., Small et al. (2005)
- 消費量そのものが効用関数の引数となっていない
→ミクロ経済学的基礎は確立していない

$$\text{信頼性比} = \frac{VTTV}{VTT}$$

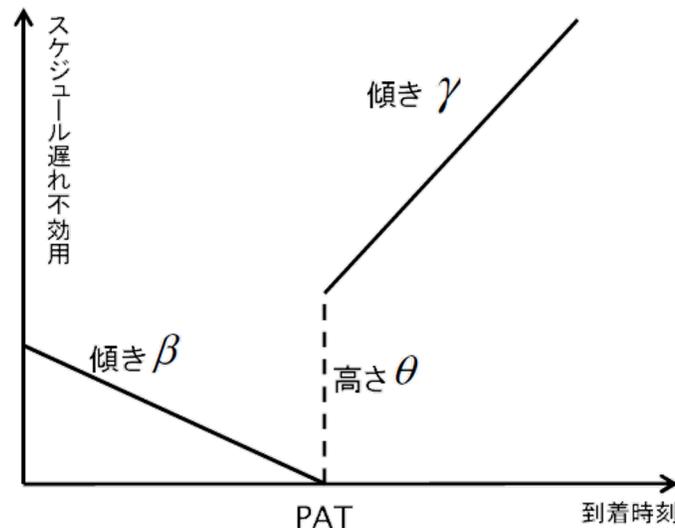
a-1 経済評価の研究動向のレビュー（つづき）

代表的アプローチ（2）：スケジューリングアプローチ

ドライバーの（間接）効用が、費用 C ，時間 T ，希望到着時刻 (Preferred arrival time: PAT) からどれほど乖離して早着/遅着したかに規定されるモデル (Small (1982)). Noland & Small (1995) (出発時刻 t_h を選択するモデル)

$$U(t_h) = \delta C + \alpha T + \beta SDE + \gamma SDL + \theta D_L$$

SDE : Schedule delay early, SDL : Schedule delay late,
 D_L : 遅着ダミー, $\delta, \alpha, \beta, \theta$: 限界不効用.



早着の限界価値：
 $VTTV_{SDE} = \frac{\beta}{\delta}$

遅着の限界価値：
 $VTTV_{SDL} = \frac{\gamma}{\delta}$

SP調査設計: オランダの実務の事例

Travel time, costs, **reliability** and **arrival time**

<i>Trip A</i>		<i>Trip B</i>	
Departure time: 08:05 h		Departure time: 08:05 h	
You have an equal chance of the following five travel times and therefore of arriving at any of the following times:		You have an equal chance of the following five travel times and therefore of arriving at any of the following times:	
Travel time	Arrival time	Travel time	Arrival time
55 min	→ 09:00	50 min	→ 08:55
65 min	→ 09:10	60 min	→ 09:05
65 min	→ 09:10	60 min	→ 09:05
95 min	→ 09:40	90 min	→ 09:35
145 min	→ 10:30	140 min	→ 10:25
Usual travel time: 65 min		Usual travel time: 60 min	
Costs: € 2,30		Costs: € 7,80	

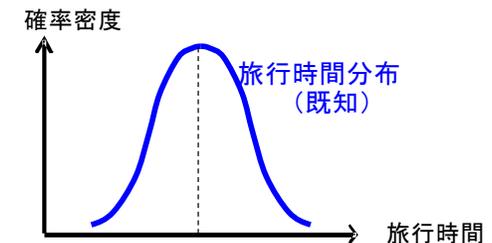
a-2 ミクロ的基礎を持つ貨幣価値原単位推定アプローチの開発

統合アプローチ = 「スケジューリング・アプローチ」 + 「平均・分散アプローチ」

- 単一リンクにおける日々の旅行時間変動を考慮したドライバーの出発時刻選択問題
 - 経路選択は考えない（拡張可能）。
 - 旅行時間分布は所与で，ドライバーはその分布を認知している（ボトルネック均衡を考慮した場合へも拡張可能）。
 - ドライバーの PAT (希望到着時刻) = 0 と基準化
- 旅行時間 T (確率変数) をLocation-Scale 型で表記：

$$T = \mu + \sigma X$$

- X : 基準化旅行時間(密度関数 ϕ , 分布関数 Φ , 平均 0)
- μ : 位置関数(期待値)
- σ : 尺度関数(標準偏差や四分位範囲等)
- μ と σ が出発時刻に依存する場合へも拡張可能.



出典：Fosgerau & Karlstrom (2010)
Foegerau & Fukuda (2012)
Foegerau et al. (2008)
福田, 松本, 市村 (2010)
高橋, 福田 (2019)



a-2 ミクロ的基礎を持つ貨幣価値原単位推定アプローチの開発（つづき）

旅行時間変動のもとでの出発時刻選択問題（スケジューリングモデル）：

$$U(D, T) = \eta D + \omega T + \lambda (T - D)^+$$

※Vickrey (1969)モデルの再解釈

早発不効用

旅行時間の
不効用

遅着不効用

where $T = \mu + \sigma X,$

$$X \sim \Phi(X)$$

基準化旅行時間

最大化された期待効用（ドライバーの移動コスト）：

$$EU^* = (\eta + \omega) \mu + \lambda H(\Phi, \eta/\lambda) \sigma = \underline{\theta \mu + \kappa \sigma}$$

□平均旅行時間 μ と標準偏差 σ に関して線形（平均-分散モデル）

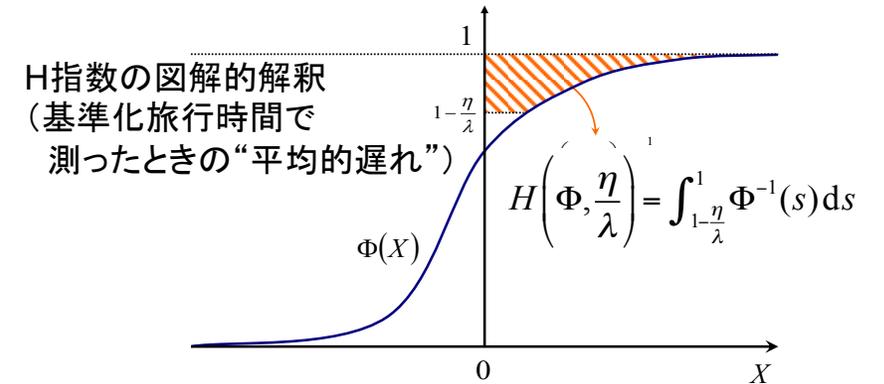
□任意の基準化旅行時間分布 $\Phi(X)$ で成り立つ

a-2 ミクロ的基礎を持つ貨幣価値原単位推定アプローチの開発（つづき）

最大化された期待効用:

$$EC^* = (\eta + \omega)\mu + \lambda H\left(\Phi, \frac{\eta}{\lambda}\right)\sigma$$

- $(\eta + \omega)$: 平均旅行時間の限界費用 (Value of Travel Time: *VTT*)
- $\lambda H(\Phi, \eta/\lambda)$: 旅行時間標準偏差の限界費用
(Value of Travel Time Variability: *VTTV*, 時間信頼性価値)

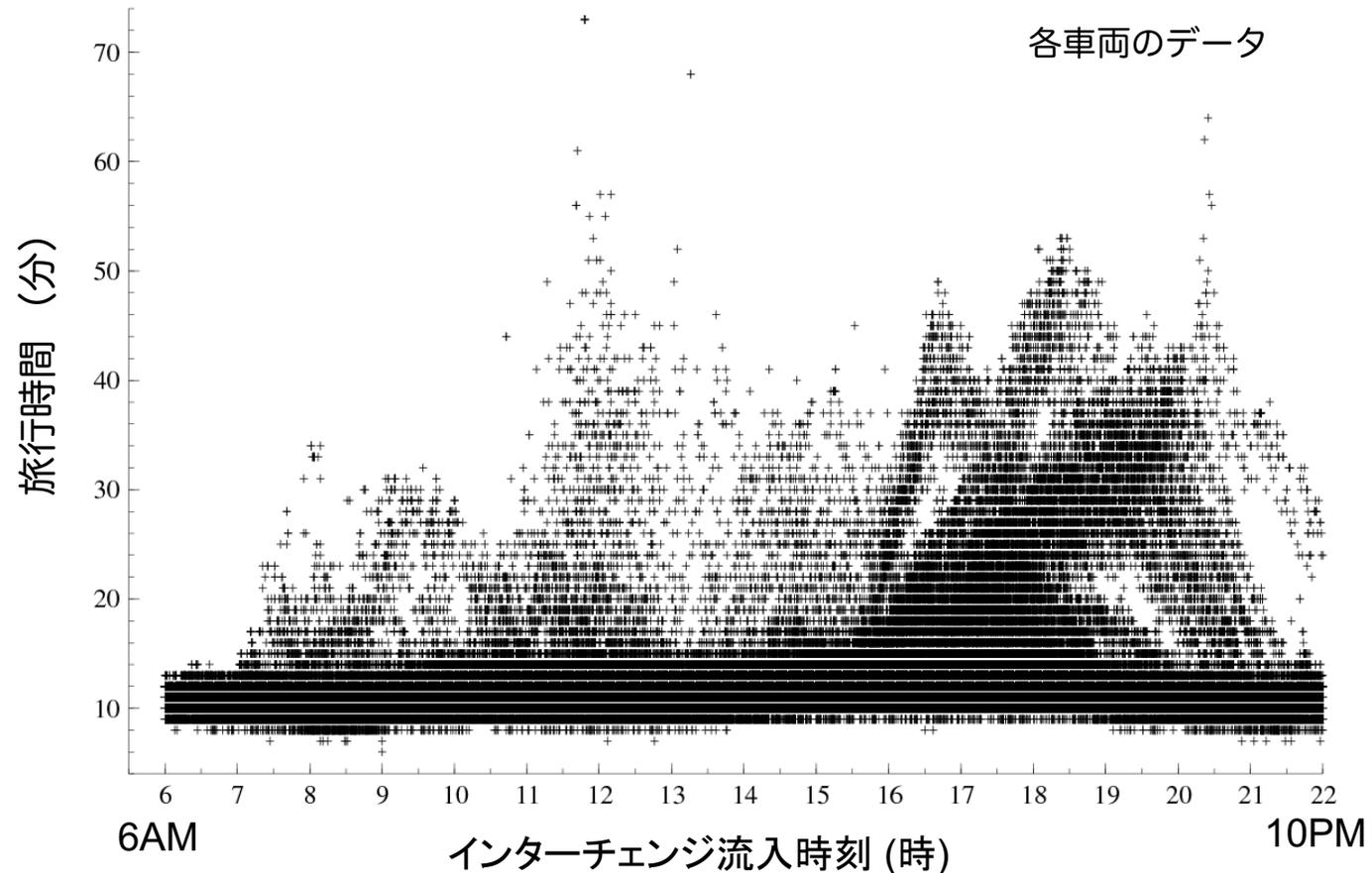


モデルの意味解釈:

- ドライバーの総コスト := 節約時間価値 × 平均旅行時間
+ 時間信頼性価値 × 旅行時間標準偏差
- 旅行時間変動の尺度: 標準偏差
- 時間信頼性価値: ドライバーの選好 (η, λ) と基準化旅行時間分布 (Φ) に依存
分布の幅の影響 (σ) のみならず, 右裾の影響 (H) も考慮

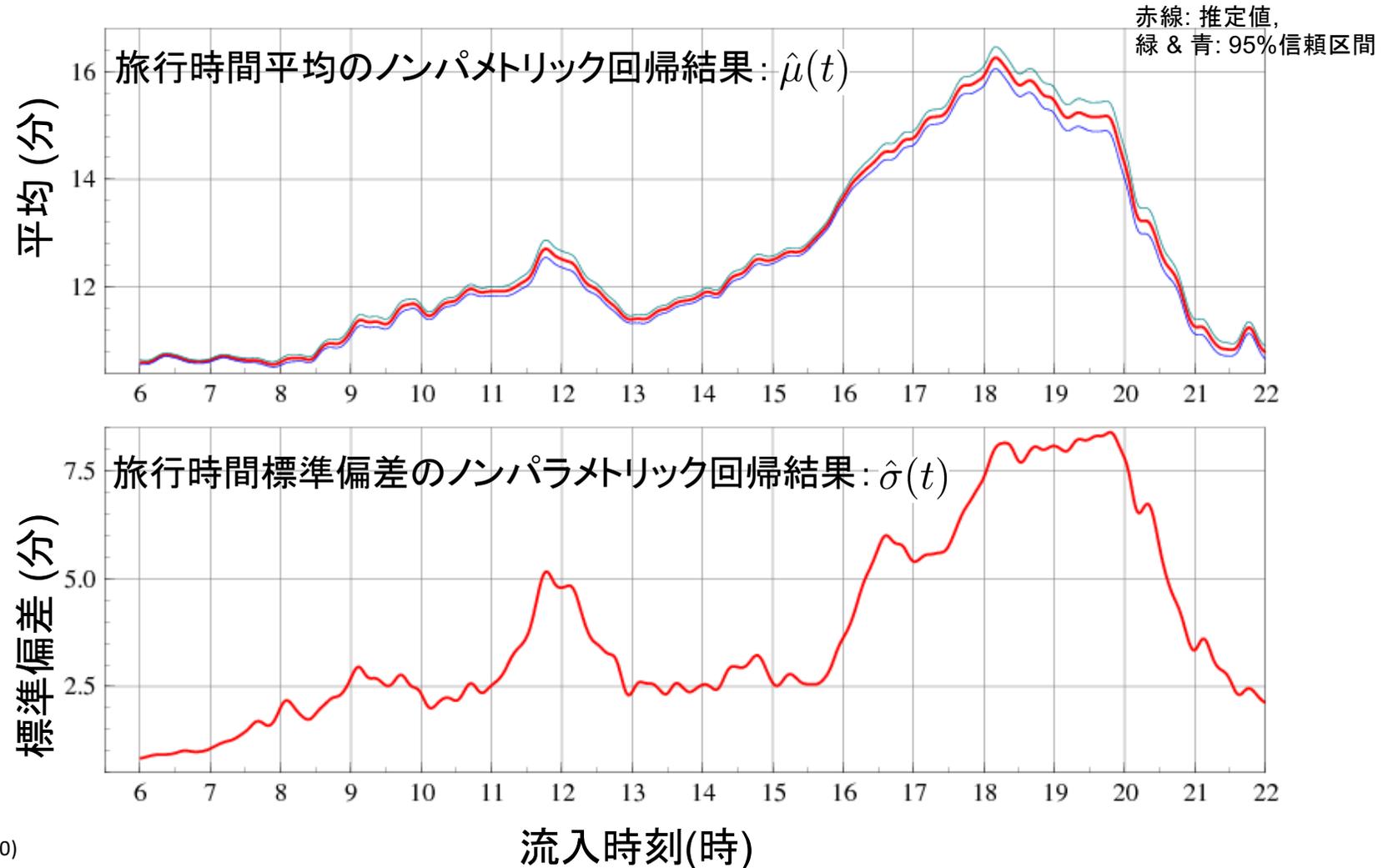
a-2 ミクロ的基礎を持つ貨幣価値原単位推定アプローチの開発（つづき）

2007/7/18～2007/9/30（平日6AM-10PM，普通車のみ）238,203サンプル：



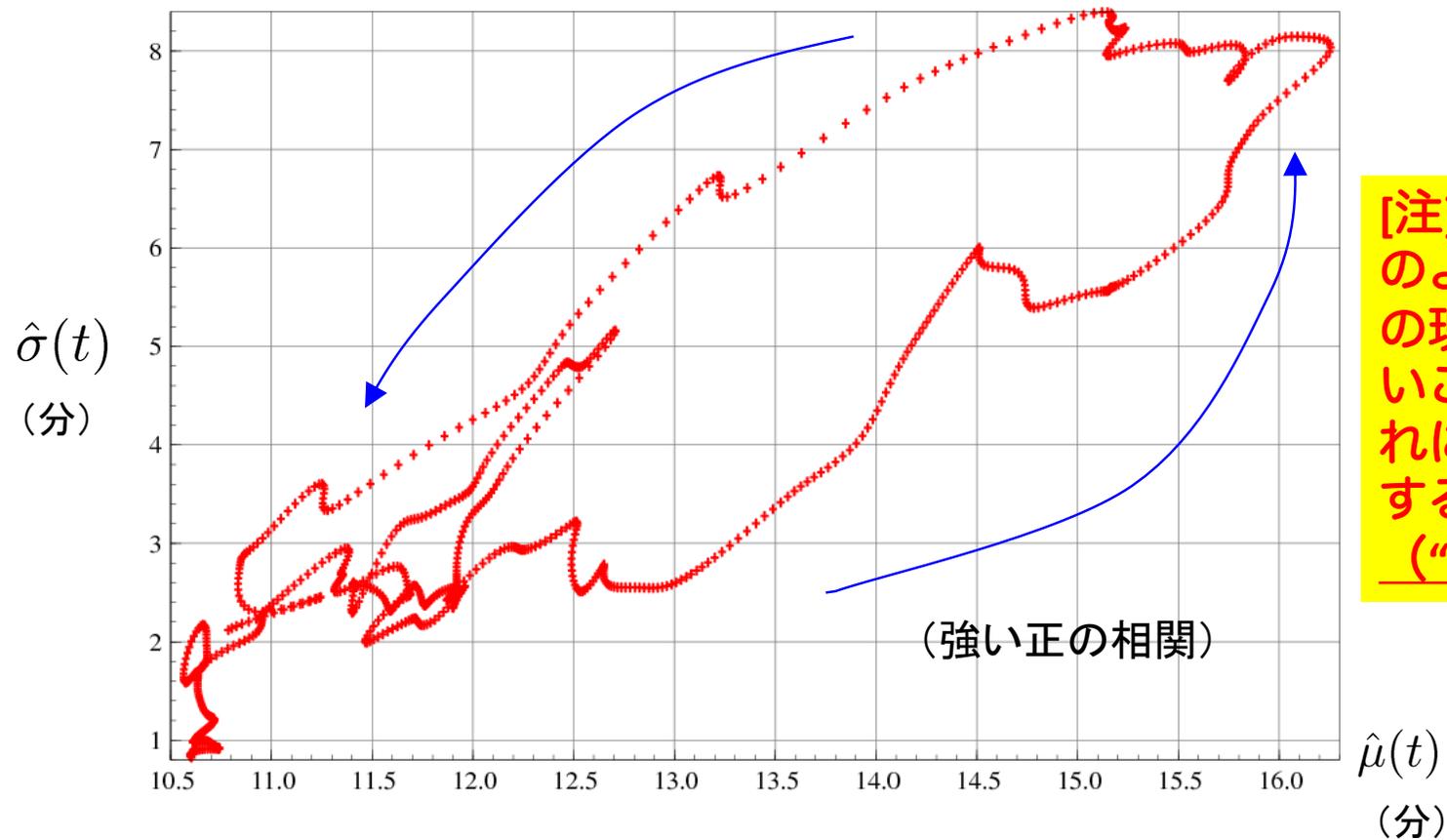
a-2 ミクロ的基礎を持つ貨幣価値原単位推定アプローチの開発（つづき）

旅行時間の平均と標準偏差



a-2 ミクロ的基礎を持つ貨幣価値原単位推定アプローチの開発 (つづき)

旅行時間の平均(横軸) と標準偏差(縦軸) の関係



[注] 現行の日交通量配分のような考え方と、実際の現象とが相入っていないことは明白であり、それに無理に入れ込もうとするのは正しくない。
(“近似”でもない)

- 平均旅行時間の増加 → 旅行時間の標準偏差の増加
- 反時計回りの動き → 平均のピークが先・変動のピークは後
- Stylized Factである蓋然性が高い(他事例でも多数観察)

a-2 貨幣価値原単位を推定するための統合アプローチの開発（つづき）

東名高速ETCデータ（先述）を用いた試算：

ドライバーの総コスト：

$$EC^* = VTT \cdot \hat{\mu} + VTT \cdot \frac{VTTV}{VTT} \cdot \hat{\sigma}$$

$= RR$ (Reliability Ratio, 信頼性比)

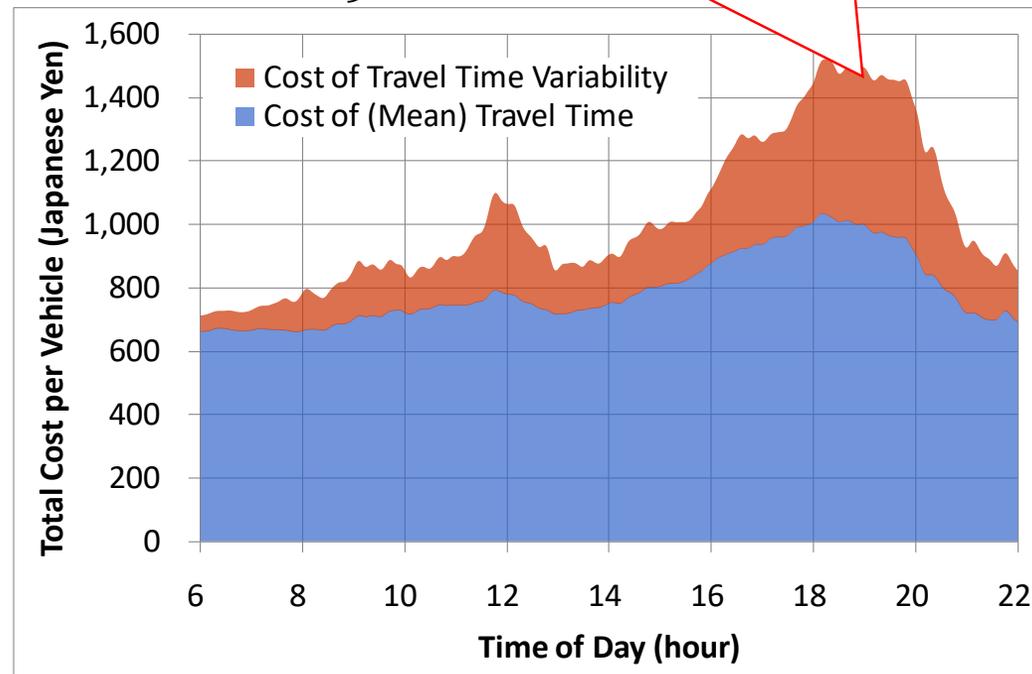
以下のパラメータを代入：

$$\left(\begin{array}{l} VTT = 62.86 \text{ (円/台/分)} \leftarrow \text{費用便益分析マニュアル} \\ (\eta, \lambda, \omega) \leftarrow \text{Small (1982) の結果: (1, 1, 5)} \end{array} \right)$$

旅行時間変動に起因するコスト（赤色）シェア：いずれの時間帯でも2割程度（他都市の事例と同程度）

このとき信頼性比は、

$$\begin{aligned} RR &= \frac{VTTV}{VTT} \\ &= \frac{\lambda}{\eta + \omega} H\left(\Phi, \frac{\eta}{\lambda}\right) \\ &\approx \underline{0.966} \end{aligned}$$



a-3 原単位推定のための調査・パラメータ推定枠組の構築

阪神高速道路の内部検討会における10年以上に渡る検討（進行中）

- ・ **統合アプローチによる便益試算** (Fosgerau & Karlström, 2010)
(Nakata et al. 2015; Ishii et al. 2018)
- ・ **SP調査の試行**
(Kurosu et al. 2021)
- ・ **統合アプローチの推定枠組みの構築**
(Fukuda et al. 2022)
- ・ **嗜好の異質性の考慮**
(Fukuda et al. 2022; Tamagawa et al. 2023)

2024年度中に大規模な利用者調査を実施予定

a-3 原単位推定のための調査・パラメータ推定枠組の構築

(出典) 阪神高速道路時間信頼性評価手法検討会
Fukuda et al. (2022)

1. 休日トリップの場合

(Model Estimation Results)

Parameter	MNL		MXL	
	Estimate	t-value	Estimate	t-value
alpha	-0.060	-9.63***	-0.214	-9.15***
alpha_sd	-	-	0.159	8.34***
beta	-0.085	-60.58***	-0.216	-28.48***
beta_sd	-	-	0.133	23.54***
gamma	-0.125	-70.00***	-0.509	-24.33***
gamma_sd	-	-	0.377	21.93***
theta	1.484	12.79***	2.021	9.72***
	LogL = -14489.76		LogL = -12070.16	

Sample Size = 5,412 (Dept. Time) + 2,706 (Route) = 8,118

(VTTV Indicators)

[MNL]

alpha / gamma = 0.481

beta / gamma = 0.682

beta / (beta + gamma) = 0.405

H = 0.273

Reliability Ratio (RR) = 0.954

[MXL]

alpha / gamma = 0.421

beta / gamma = 0.423

beta / (beta + gamma) = 0.298

H = 0.306

Reliability Ratio (RR) = 1.037

$$RR = VTTV/VTT = (\hat{\beta} + \hat{\gamma}) \cdot H\left(\hat{\Phi}_k, \frac{\hat{\beta}}{\hat{\beta} + \hat{\gamma}}\right) / \hat{\alpha}$$

Note: VTT means value of (mean) travel time

a-3 原単位推定のための調査・パラメータ推定枠組の構築

2. 業務目的トリップの場合

(出典) 阪神高速道路時間信頼性評価手法検討会
Fukuda et al. (2022)

(Model Estimation Results)

Parameter	MNL		MXL	
	Estimate	t-value	Estimate	t-value
alpha	-0.072	-6.32***	-0.095	-6.13***
alpha_sd	-	-	0.008	0.79
beta	-0.057	-39.20***	-0.091	-39.31***
beta_sd	-	-	0.023	9.75***
gamma	-0.133	-51.93***	-0.478	-16.09***
gamma_sd	-	-	0.370	13.84***
theta	1.014	7.55***	2.200	6.52***
	LogL= -9023.796		LogL= -8212.275	

Sample Size = 3,096 (Dept. Time) + 1,548 (Route) = 5,644

(VTTV Indicators)

[MNL]

alpha / gamma = 0.543

beta / gamma = 0.424

beta / (beta + gamma) = 0.298

H = 0.360

Reliability Ratio (RR) = 0.945

[MXL]

alpha / gamma = 0.200

beta / gamma = 0.191

beta / (beta + gamma) = 0.160

H = 0.280

Reliability Ratio (RR) = 1.671

$$RR = VTTV/VTT = (\hat{\beta} + \hat{\gamma}) \cdot H\left(\hat{\Phi}_k, \frac{\hat{\beta}}{\hat{\beta} + \hat{\gamma}}\right) / \hat{\alpha}$$

Note: *VTT* means value of (mean) travel time

a-3 原単位推定のための調査・パラメータ推定枠組の構築

(出典) 阪神高速道路時間信頼性評価手法検討会
Fukuda et al. (2022)

推計されたVTTVの比較

$$RR \equiv \frac{VTTV}{VTT} = \frac{\hat{\beta} + \hat{\gamma}}{\hat{\alpha}} \cdot H \left(\hat{\Phi}_k, \frac{\hat{\beta}}{\hat{\beta} + \hat{\gamma}} \right)$$

The optimal share
of trips arriving late

VTT: Value of (mean)
travel time

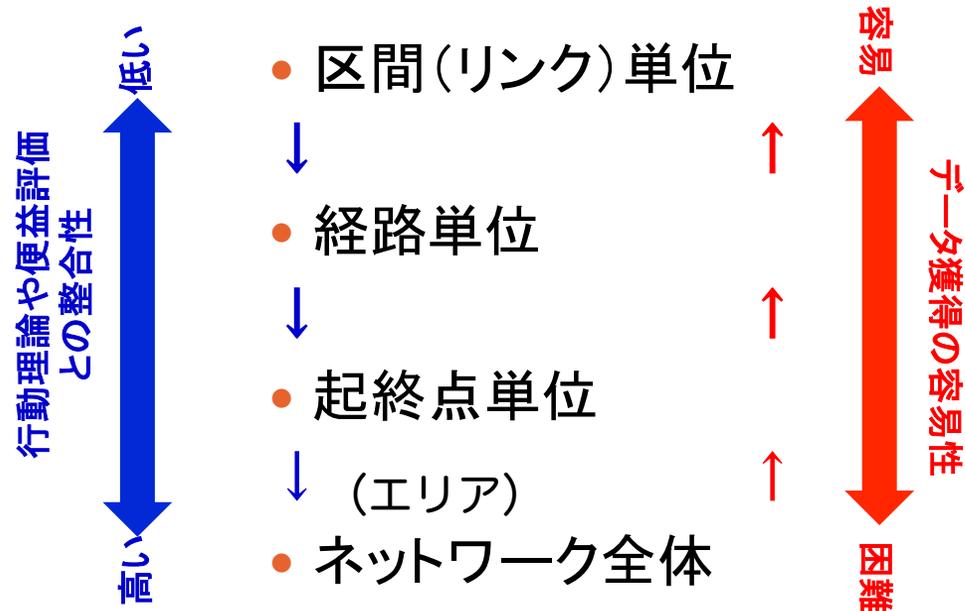
The ratio of lateness cost
to the value of time

The average standardized lateness from
the travel time distribution

Reference	Lateness relative to travel time	Optimal share of Late trips
Bates et al. (2001)	-	0.33
Hollander (2005, 2006)	3.75	0.27
Noland et al. (1998)	2.78	0.42
Small (1982)	3.01	0.20
Fosgerau & Karlström (2010)	-	0.29
This Study [MXL] (Holiday, Business, Deliver)	3.39, 5.99, 4.80	0.31, 0.28, 0.33

a-5 エリアレベルでの旅行時間信頼性の把握と評価

→特に、一般道を含めた“エリア全体”における時間信頼性評価の難しさ



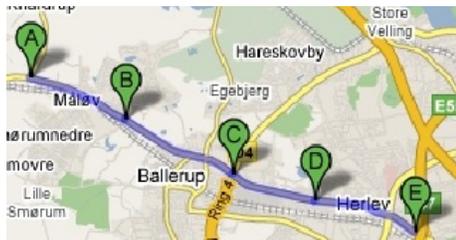
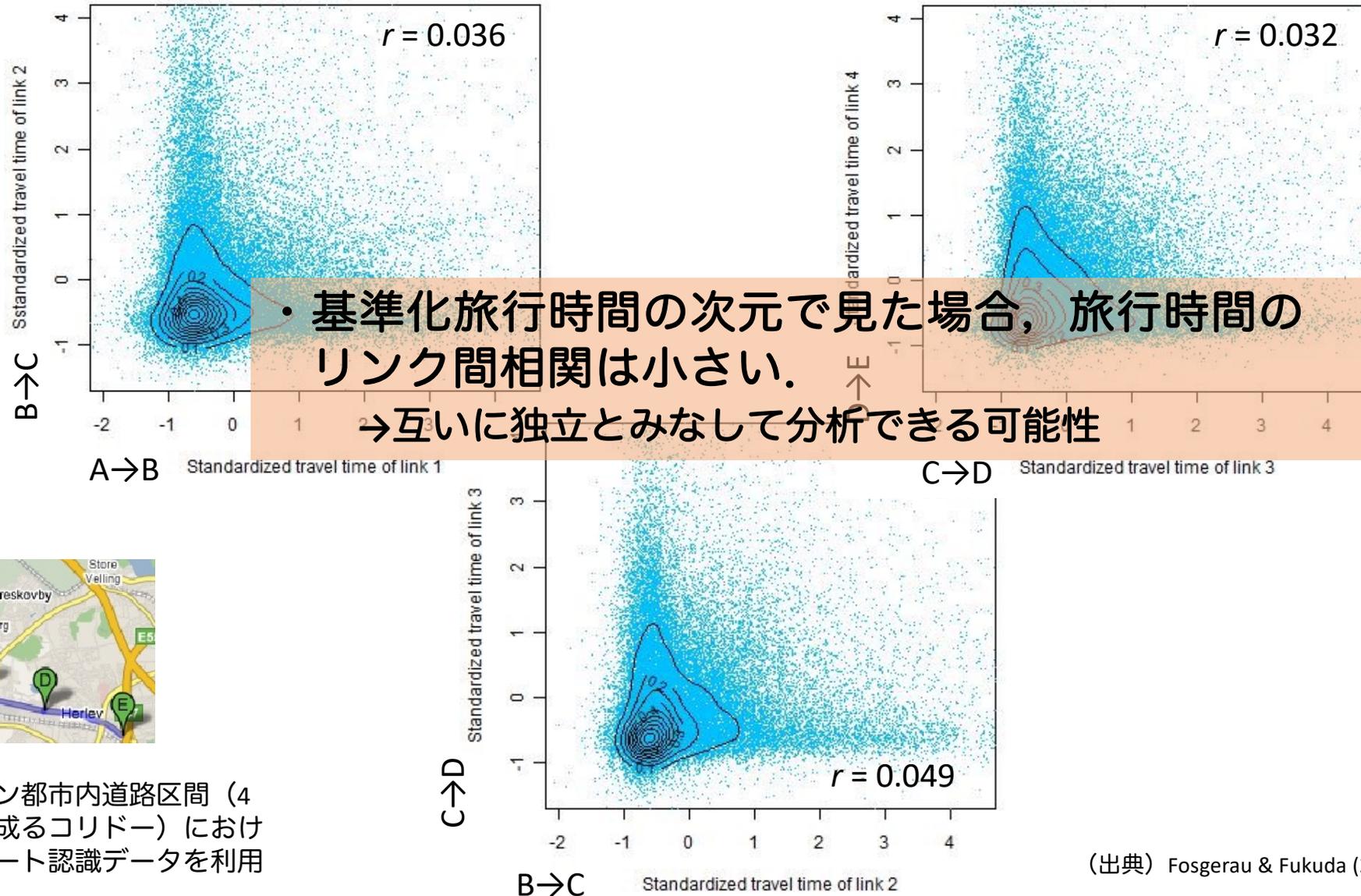
- プローブ等の長期かつ広域の観測データを持ってしても、より大きなスコープで、旅行時間変動(分布)を把握することは困難(沖原, 2009)
- 短いセクション毎に旅行時間変動を推計し、つなぎ合わせて経路全体の旅行時間変動を推計するような手順を取らざるを得ない(Taylor, 2009)

しかし、

- 渋滞等による旅行時間の増加はリンクをまたいで波及する(リンク間相関)
- 旅行時間信頼性指標の単純な加算による便益推計のバイアスの可能性
- ネットワーク全体を対象とした便益計算の際には、特に顕著に

a-5 ネットワークレベルでの時間信頼性評価の基礎理論 (つづき)

時刻別平均と標準偏差を用いた“基準化後”旅行時間のリンク間相関



※コペンハーゲン都市内道路区間 (4つのリンクから成るコリドー) におけるナンバープレート認識データを利用

(出典) Fosgerau & Fukuda (2012)

a-5 エリアレベルでの旅行時間信頼性の把握と評価（つづき）

A_{pq} の全車両集合を $N(A_{pq})$ ，プローブ車両集合 $n(A_{pq})$ ，各車両 i の移動距離を d_{pqi} ，旅行時間を t_{pqi} とすると

Edie (1963)の一般的定義より， A_{pq} の平均速度は

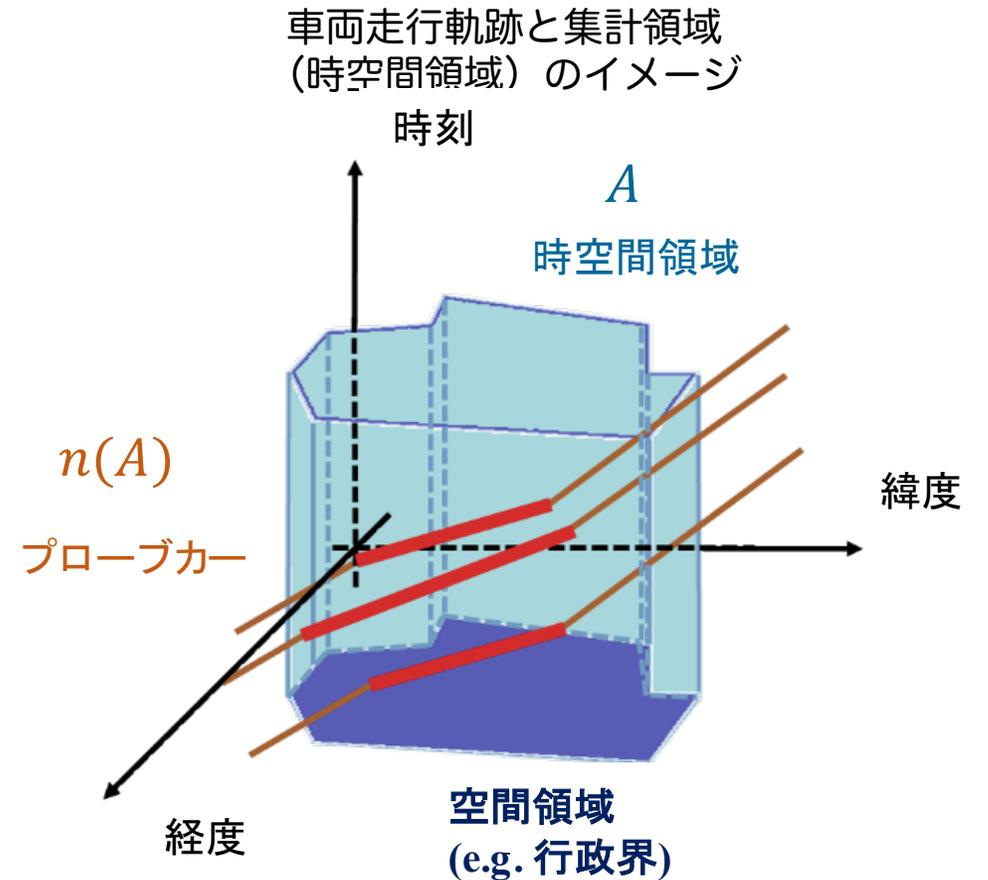
$$V(A_{pq}) = \frac{\sum_{i \in N(A_{pq})} d_{pqi}}{\sum_{i \in N(A_{pq})} t_{pqi}}$$

これより、単位距離あたり旅行時間は

$$TT(A_{pq}) = \frac{1}{V(A_{pq})} = \frac{\sum_{i \in N(A_{pq})} t_{pqi}}{\sum_{i \in N(A_{pq})} d_{pqi}}$$

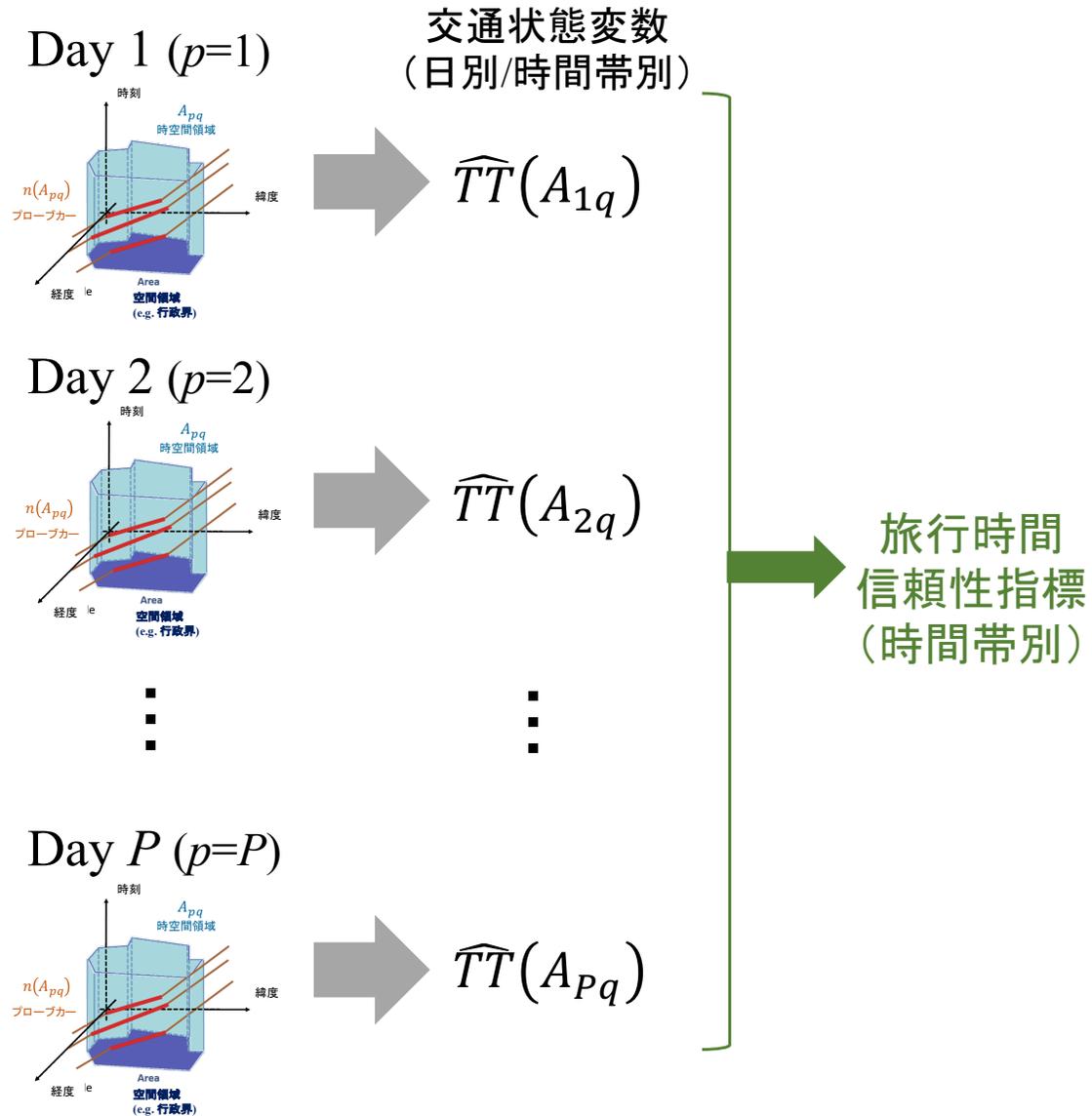
プローブ車両から推定した単位距離あたり旅行時間は

$$\widehat{TT}(A_{pq}) = \frac{1}{\widehat{V}(A_{pq})} = \frac{\sum_{i \in n(A_{pq})} t_{pqi}}{\sum_{i \in n(A_{pq})} d_{pqi}}$$



(出典) 福田他 (2017)

a-5 エリアレベルでの旅行時間信頼性の把握と評価（つづき）

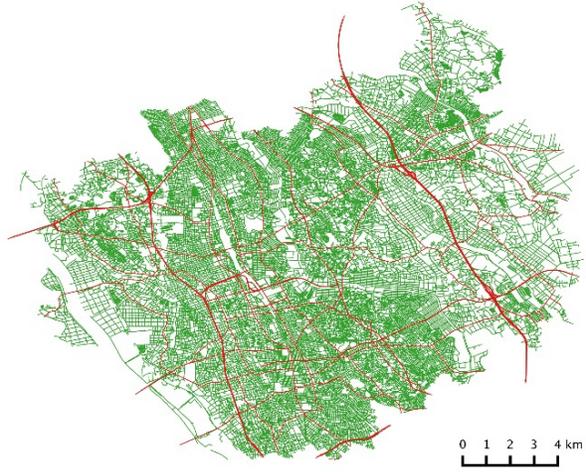


P 日分のデータ ($p = \{1, 2, \dots, P\}$) から、ある時間帯 q における
 エリア内の**単位距離あたり**
旅行時間の統計値を算出する

a-5 エリアレベルでの旅行時間信頼性の把握と評価 (つづき)

行政区単位での分析

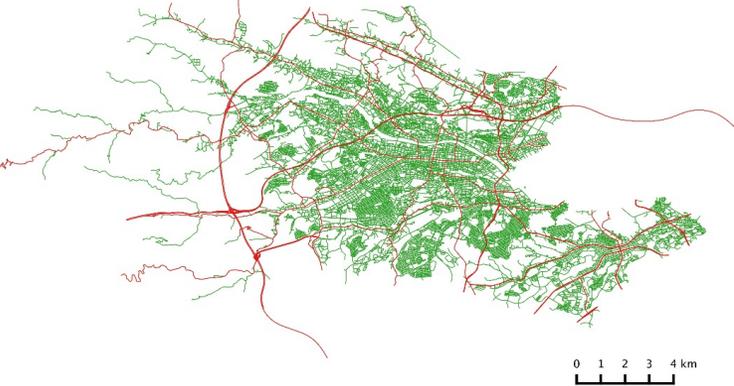
さいたま市道路網



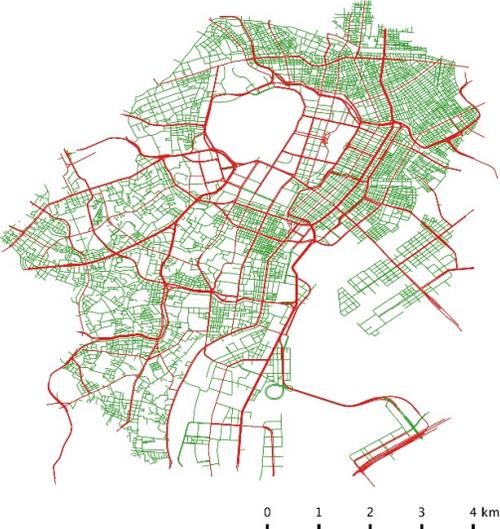
大和市道路網



八王子市道路網



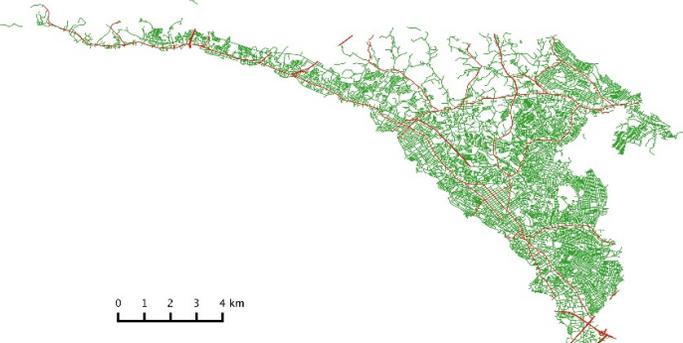
都心3区道路網



相模原市道路網



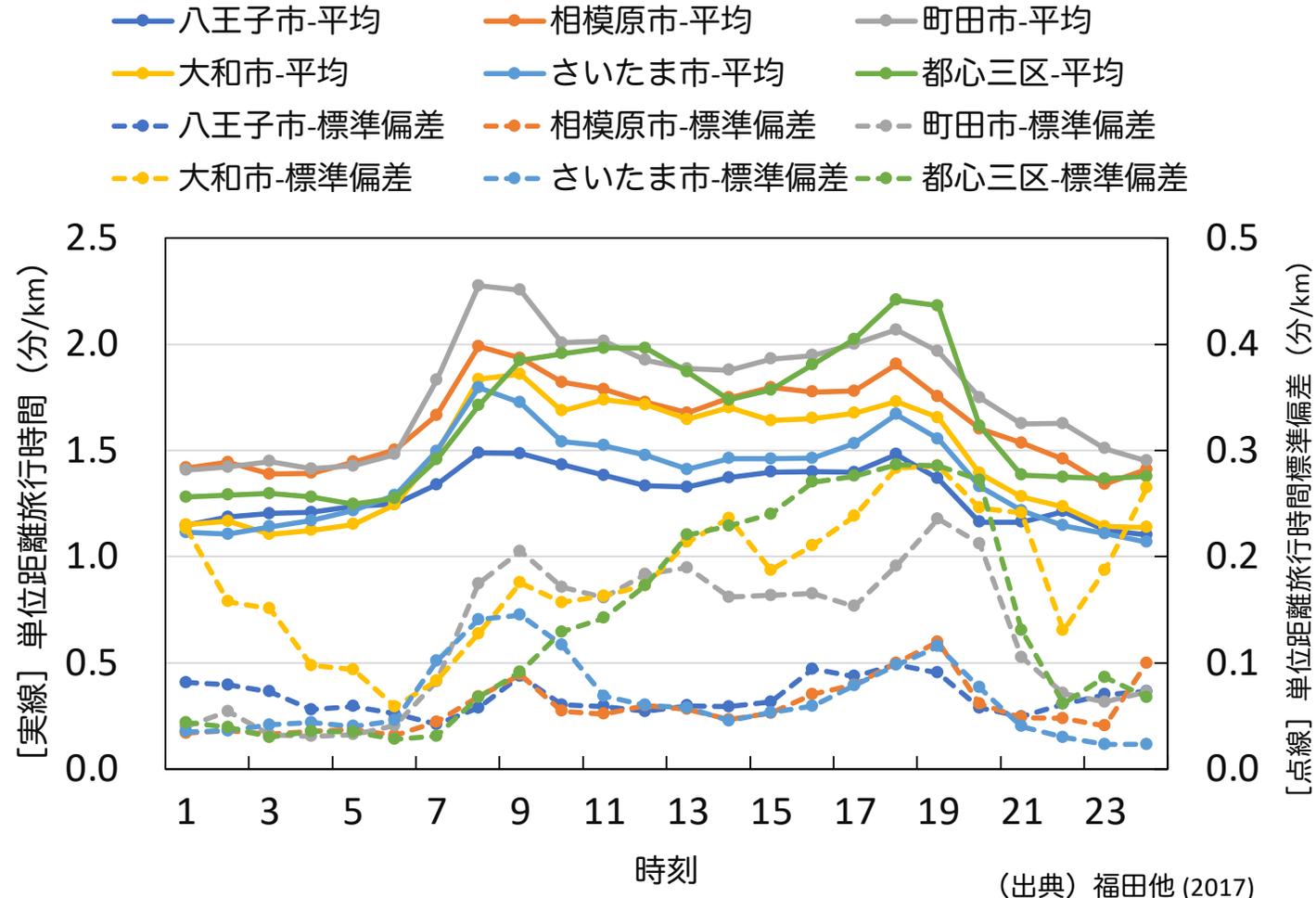
町田市道路網



(出典) 福田他 (2017)

a-5 エリアレベルでの旅行時間信頼性の把握と評価（つづき）

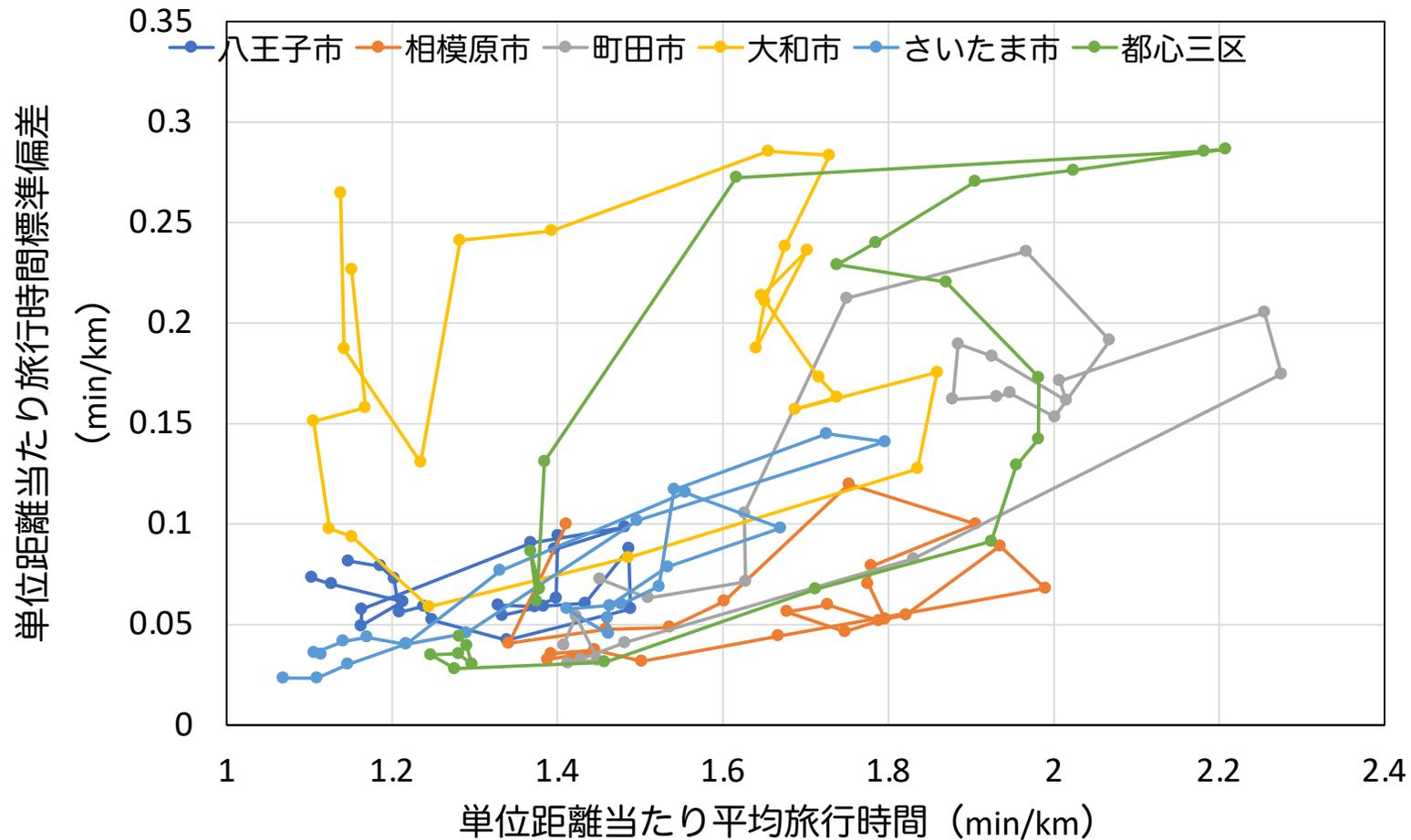
エリアレベルでの平均-標準偏差の試算結果



a-5 エリアレベルでの旅行時間信頼性の把握と評価（つづき）

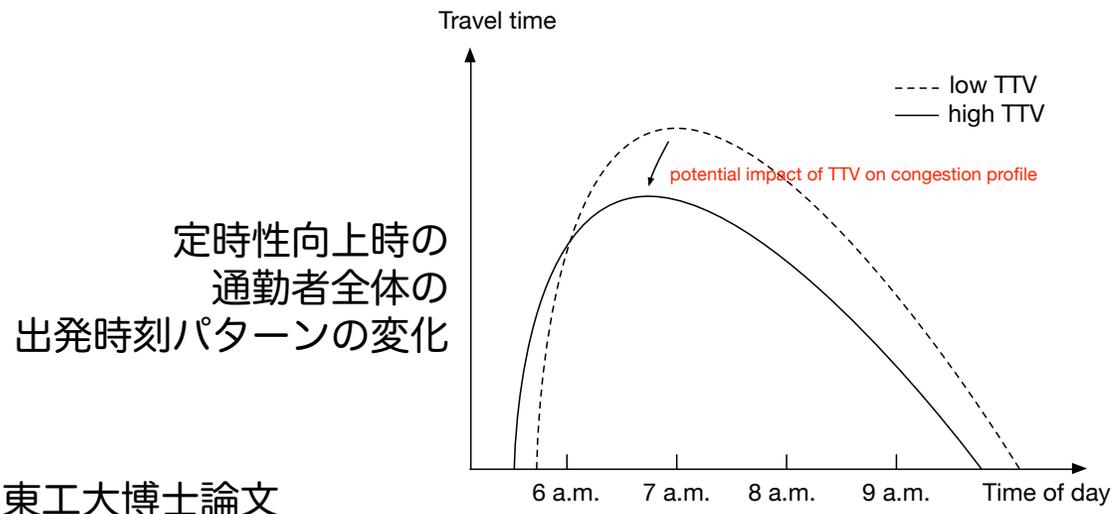
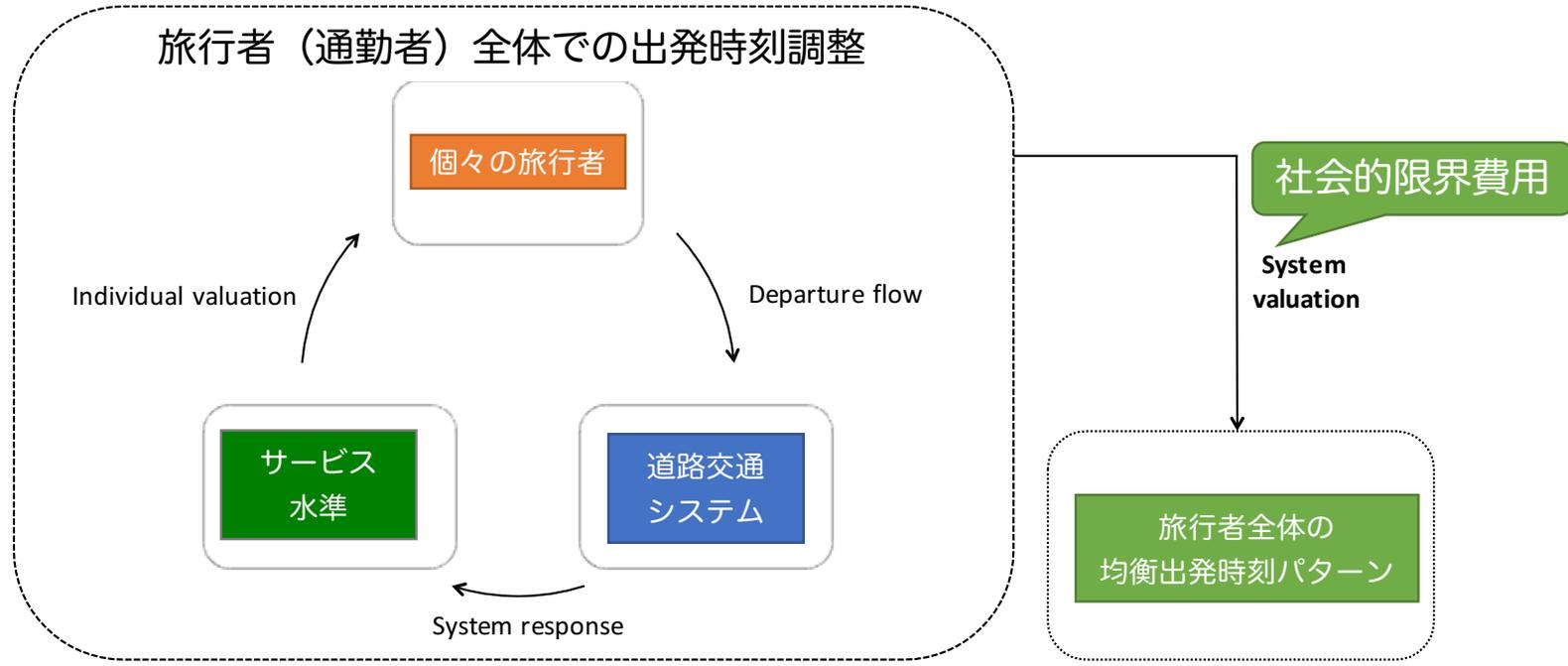
エリアレベルでの平均-標準偏差関係の進展結果

(出典) 福田他 (2017)



単路区間の場合と同じ (Fosgerau and Fukuda, 2012) , 反時計回りのループをNWレベルでも確認

a-6 旅行時間変動の社会的限界費用の基礎理論構築

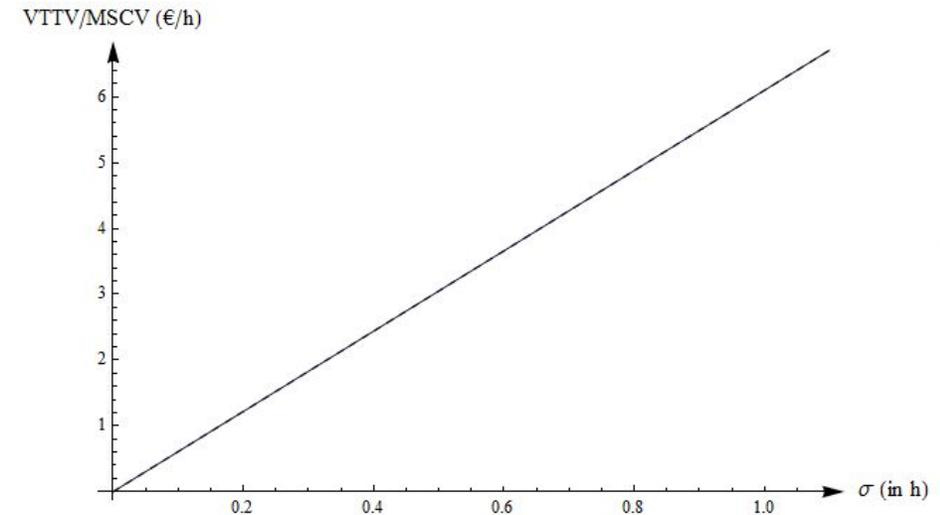
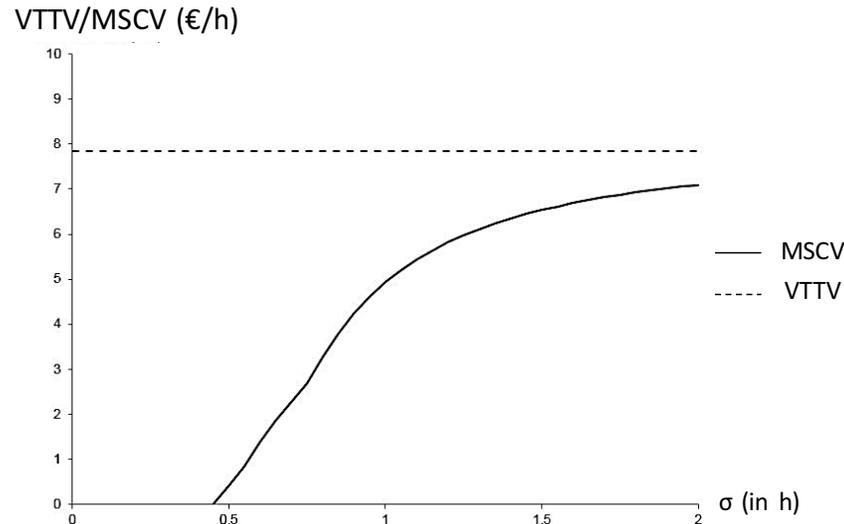


(本研究)
一般道を念頭に
ラッシュアワー混雑を
想定した理論的検討

(出典) Xiao, Y. (2016) 東工大博士論文

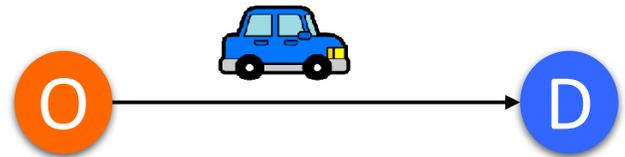
a-6 旅行時間変動の社会的限界費用の基礎理論構築（つづき）

- 確率的ボトルネック混雑モデル（容量の確率変動→待ち時間変動）の解析結果からの知見：
 - ✓ [命題1] 一般に、旅行時間変動の社会的限界費用（MSCV）は、
 - ・私的限界費用（i.e. 統合モデルで導出したVTTV）
 - ・混雑効果（ボトルネック通過時間の限界的増加×節約時間価値）という、2つの要素によって構成される。
 - ✓ [命題2] MSCVとVTTVの大小関係はスケジューリング選好に依存
 - ・到着時刻制約が厳しい場合（e.g. Small, 1982 左図）：MSCV << VTTV
 - ・到着時刻制約が緩い場合（e.g. Vickrey, 1973 右図）：MSCV = VTTV



旅行時間信頼性指標の将来予測

区間ごとの旅行時間信頼性指標の将来予測モデルの構築

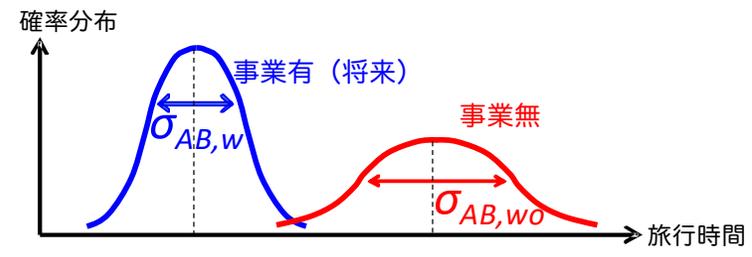


未知

σ^2_{AB} or CV_{AB}

既知 or 政策変数

- (道路特性)
 - 距離
 - SA・PAの数
 - 車線数
 - トンネル数
 - 年間通行規制数 等
- (交通特性)
 - 交通量
 - (平均) 旅行時間 等



旅行時間信頼性指標の将来予測の適用例

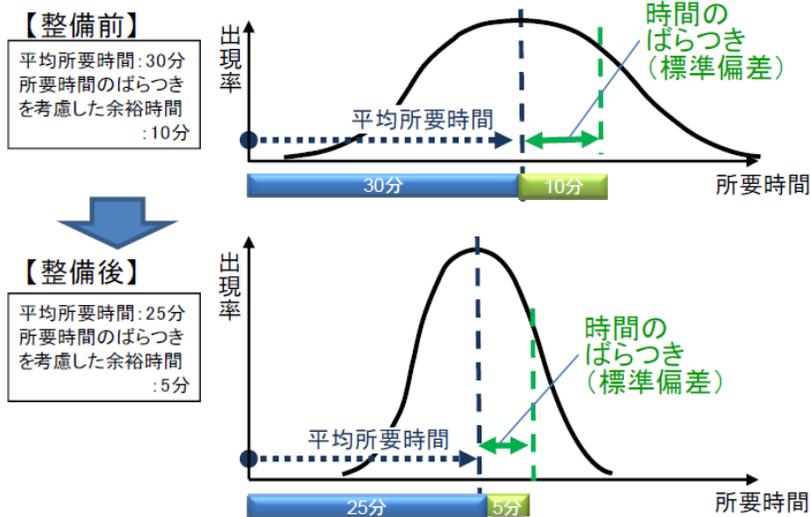
(国) 予測変数	規定要因・説明変数	信頼性評価期間
(スウェーデン) 変動係数	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 渋滞指数 (平均旅行時間/自由流旅行時間) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 時間単位
(イギリス) 変動係数	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 渋滞指数 (平均旅行時間/自由流旅行時間) ➤ OD間距離 <p>[時間帯別にモデルを構築]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 時間単位
(オランダ) 標準偏差	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 平均遅れ時間 (平均旅行時間－自由流旅行時間) (混雑状況に応じて3区分で設定) ➤ 平均旅行速度 ➤ 区間長 ➤ 車線数 ➤ 自由流速度 ➤ 臨界速度 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 時間単位
[参考：BPR関数] パラメータ規定要因	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 信号交差点密度 ➤ 規制速度 ➤ DID延長率 ➤ 混雑度 (交通量/交通容量) ➤ 車線数 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 日単位

時間信頼性の将来予測の現状(国総研モデル, 2014)

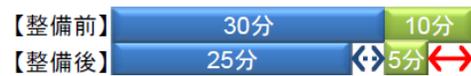
<時間信頼性向上便益算定マニュアル(案)(国土技術政策総合研究所)>

○本マニュアル案は、ばらつきを代表する値である移動時間の標準偏差が縮小することによる余裕時間の短縮効果を「時間信頼性向上便益」として評価する手法について示している。

■時間信頼性向上便益の概要



便益算出に用いる短縮時間



走行時間短縮便益
時間信頼性向上便益
 ※今回算出対象とする便益

■所要時間の標準偏差の推計式

プローブデータから得られるOD別、経路別の移動時間の標準偏差(SDimn)を、混雑指数(CI)、信号交差点数(S)、道路種別別の延長(d)の要素で説明する。

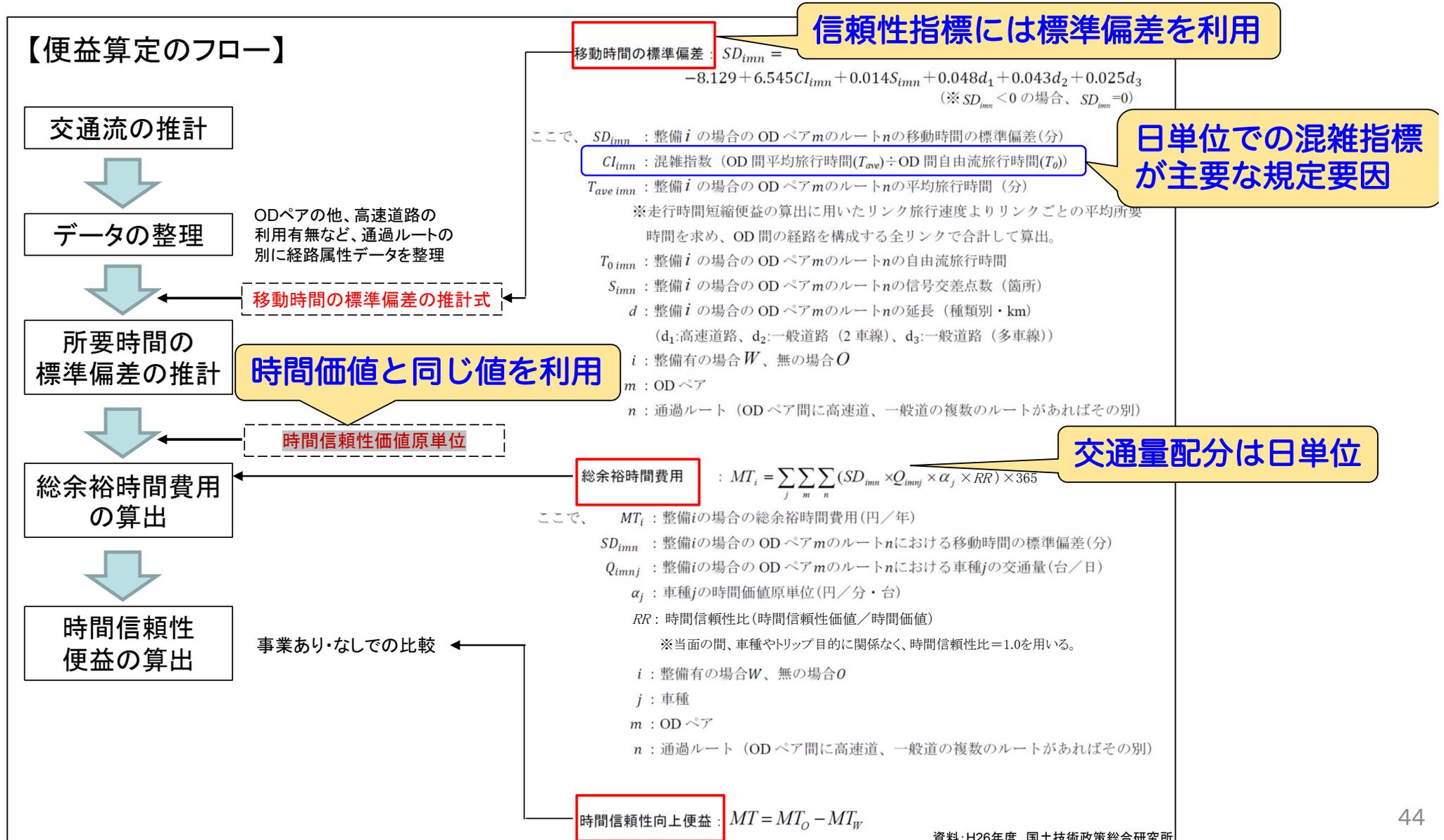
$$\text{移動時間の標準偏差: } SD_{imn} = -8.129 + 6.545CI_{imn} + 0.014S_{imn} + 0.048d_1 + 0.043d_2 + 0.025d_3$$

- CI_{imn} : 混雑指数
- S_{imn} : 信号交差点数 (箇所)
- d : 延長 (種別・km)
 (d₁:高速道路、
 d₂:一般道路 (2車線)
 d₃:一般道路 (多車線))

■推計式の課題

- ・距離に関する変数について、一般道路は2車線と多車線が区別されているが、高速道路は区別がない
- ・距離(1kmあたり)に関するパラメータの大小関係が直感的な一般の認識と一致していない。一般道路2車線・多車線より高速道路の方がパラメータ(ばらつき)が大きい(ただし、一般道路は高速道路では含まれない信号交差点数が加味されるので、単純に延長のパラメータ関係のみを課題とするのは適切ではない)。
- ・推定式の定数項がマイナスのため、標準偏差もマイナスになる場合がある(マイナスの場合は、標準偏差0(移動時間のばらつきがない)とみなしている)

時間信頼性の将来予測の現状(国総研モデル, 2014)



時間信頼性の将来予測の現状(国総研モデル, 2014)

【移動時間の標準偏差の推計式の設定について】

(2) 日々の経路の移動時間・標準偏差の算定方法

- 国道の主要交差点を起終点とし、対象とする高速道路と国道との各接続点(インターチェンジ)で高速道路・一般道を乗り換えることのできる組み合わせを分析対象の経路に設定(合計:2474経路)
- 混雑時(7時出発)と非混雑時(13時出発)での経路移動時間をタイムスライス法で算定
- 混雑時及び非混雑時の経路旅行時間を用いて、時間帯数による加重平均により「日平均見合い」の経路移動時間を算定

$$\text{日平均見合い経路移動時間} = (\text{混雑時経路移動時間} \times 4 + \text{非混雑時経路移動時間} \times 20) / 24$$

- 算出した日平均見合い経路移動時間を対象期間日数分蓄積し、その標準偏差を算定

(3) 道路交通状況との関係分析

- 「日平均見合い」の経路移動時間の標準偏差と、下図に示す道路交通状況をあらわす説明変数との関係进行分析し、パラメータ推定を実施

【従属変数】

- ・ 経路移動時間の標準偏差 [分]

【説明変数】

- ・ 混雑指数 (平均旅行時間 / 自由流旅行時間)
- ・ 信号交差点数 [箇所]
- ・ 道路種別別延長 [km]
(高速道路、一般道2車線、一般道多車線)

日単位で見た
旅行時間の標準偏差??

- その結果得られた関係式を、経路移動時間の標準偏差の推計式とした

国総研式の適用事例？

(出典不明)

過去の事業評価に適用された時間信頼性向上便益は下表であり、全体便益に占める割合は3~22%程度である。

3便益以外の便益項目の事例について

※国の事業：H28~30年度に実施された各地方整備局の事業監視委員会資料の再評価、事後評価から整理。
 ※地方自治体の事業：H29~30年度に実施された事業評価結果の新規、再評価、事後評価から整理。

黄色着色の事業：防災面の効果が特に大きい事業

No	評価年度	評価	地整、都道府県、政令指	事業名	全体			3便益以外の便益項目			
					便益(億円)	費用(億円)	B/C	時間信頼性向上		CO ² 排出量削減	
								便益額(億円)	全体便益比	便益額(億円)	全体便益比
1	H28	再	北海道	函館・江差自動車道(一般国道228号)	729	651	1.1	22	3.0%		
2	H28	再	北海道	深川・留萌自動車道(一般国道233号)幌糠留萌道路	659	526	1.3	34	5.2%		
3	H28	再	北海道	日高自動車道(一般国道235号)門別厚賀道路	1,164	963	1.2	53	4.6%		
4	H28	再	北海道	日高自動車道(一般国道235号)厚賀静内道路	1,000	525	1.9	53	5.3%		
5	H28	再	北海道	函館新外環状道路(一般国道278号)空港道路	1,037	565	1.8	94	9.1%		
6	H28	再	北海道	道央圏連絡道路(一般国道337号)泉郷道路	546	283	1.9	34	6.2%		
7	H28	再	北海道	道央圏連絡道路(一般国道337号)中樹林道路	389	194	2.0	52	13.4%		
8	H28	再	北海道	一般国道38号 釧路新道	768	713	1.1	109	14.2%		
9	H28	再	北海道	一般国道38号・44号 釧路外環状道路	1,197	1,019	1.2	124	10.4%		
10	H28	再	北海道	一般国道452号 盤の沢道路・五稜道路	487	414	1.2	60	12.3%		
11	H28	再	北海道	一般国道278号 尾札部道路	215	310	-	18	8.4%		
38	H29	再	北海道	音威子府バイパス(一般国道40号)	380	1,413	-	22	5.9%	4	1.1%
39	H29	再	北海道	根室道路(一般国道44号)	231	230	1.0	32	13.9%	1	0.3%
40	H29	再	北海道	北海道縦貫自動車道(士別剣淵~名寄)	470	427	1.1	32	6.8%	1	0.2%
41	H29	再	北海道	北海道縦貫自動車道(七飯~大沼)	843	702	1.2	58	6.9%		
42	H29	再	北海道	上別保道路(一般国道272号)	116	82	1.4	24	20.7%	1	0.8%
43	H29	再	北海道	真鯉道路(一般国道334号)	100	297	-	14	14.0%		
44	H29	再	北海道	生田原道路(一般国道333号)	164	120	1.4	7	4.3%	0.1	0.1%
45	H29	再	北海道	北海道横断自動車道網走線(足寄~北見)	1,134	1,031	1.1	35	3.1%		
46	H29	再	北海道	峰延道路(一般国道12号)	131	130	1.0	15	11.5%	0.4	0.3%
47	H29	再	北海道	北海道横断自動車道根室線(本別~釧路)	3,128	2,335	1.3	173	5.5%		
48	H29	再	中国	倉敷立体(一般国道2号)	686	251	2.7			3	0.4%
49	H29	再	中国	総社・一宮バイパス(一般国道号)	1,405	554	2.5			5	0.4%
50	H29	事後	北海道	一般国道334号 宇登呂道路	55	246	-	7	12.2%	0.2	0.3%
51	H29	事後	北海道	一般国道278号 鹿部道路	103	100	-	13	12.6%		
52	H29	事後	北海道	一般国道229号 積丹防災	285	2,302	-	63	22.1%	1.4	0.5%
53	H30	再	北海道	函館・江差自動車道(一般国道228号)茂辺地木古内道路	1,032	947	1.1	45	4.4%	3.0	0.3%
54	H30	再	北海道	旭川十勝道路(一般国道237号)富良野北道路	222	194	1.1	14	6.3%	1.0	0.5%
55	H30	再	北海道	函館新外環状道路(一般国道278号)空港道路	1,153	773	1.5	149	12.9%	2.0	0.2%
56	H30	再	北海道	道央圏連絡道路(一般国道337号)長沼南幌道路	602	261	2.3	72	12.0%	2.0	0.3%
57	H30	再	北海道	一般国道230号 定山溪拡幅	154	139	1.1	19	12.3%	1.0	0.6%
58	H30	再	中国	一般国道491号 長門・俄山道路	320	313	-				
59	H30	再	四国	一般国道55号 高知南国道路	4,787	3,428	1.4				
60	H30	再	四国	一般国道56号 窪川佐賀道路	1,346	1,170	1.1				
61	H30	再	四国	一般国道56号 佐賀大方道路	1,346	1,170	1.1				
62	H30	事後	北海道	一般国道277号 雲石道路	83	261	-	6	6.7%		
63	H30	再	青森県	宮城線延伸 経館~女鹿沼	388	376	1.0				

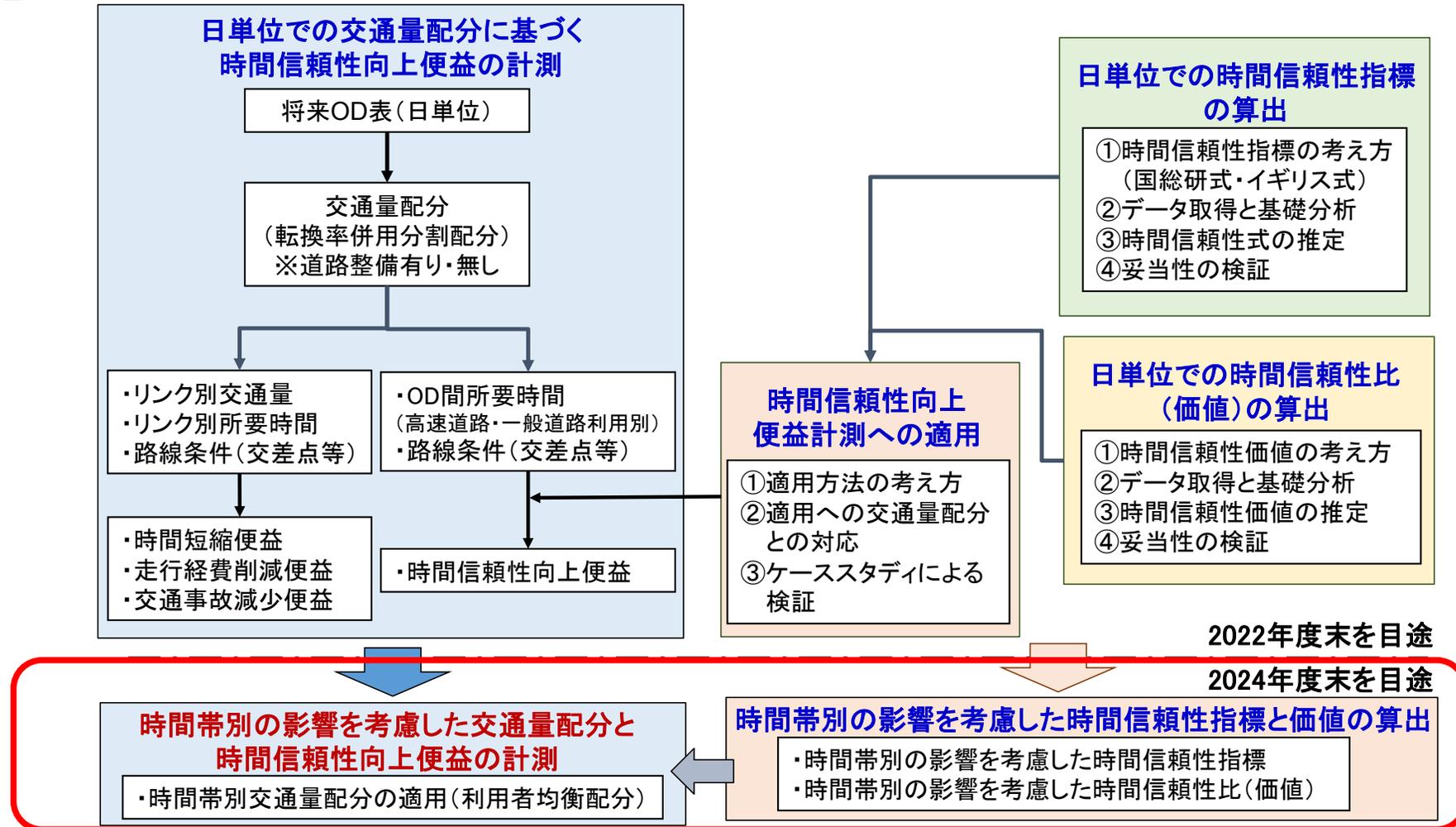
3%~22%

事業評価への適用に向けた留意点

1. 一日単位の静的な交通量配分(しかも分割配分法)による将来交通需要予測の手法とは、理論的に整合しない
 - ピーク時～オフピーク時間での変動の方が遥かに卓越
 - 時間帯別の交通量配分(便益評価を念頭に置くと均衡配分)が必須
 - 数十年変わらず理論的課題も大きい分割配分で、不確実・動的な側面が強い旅行時間変動の経済評価をしようとする安易な導入を避けるべき
2. 一体評価の必要性
 - 道路ネットワーク(NW)全体としての旅行時間分布の評価を行うべき
 - 日々都市内で起きている交通事故 ⇒ NW全体としての需要/容量の変動
3. 旅行時間信頼性評価 ≠ 耐災害ネットワーク信頼性評価
 - 冬季道路網や自然災害時等の信頼性評価は、本評価の枠組の範疇外(旅行時間の確率的な生成プロセスが平時とは明らかに異なる)

道路整備による走行時間短縮便益等を把握する 手法についての技術研究開発（新道路技術2022-2024）

研究見通し：



参考文献①

1. Bates, J., Polak, J., Jones, P., and Cook, A.: The valuation of reliability for personal travel, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 37, No. 2-3, pp. 191–229, 2001.
2. Eliasson, J.: A cost-benefit analysis of the Stockholm congestion charging system, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 43, pp. 468–480, 2009.
3. Fosgerau, M. and Fukuda, D.: Valuing travel time variability: Characteristics of the travel time distribution on an urban road. *Transportation Research Part C Emerging Technologies*. Vol. 24, pp. 83–101, 2012.
4. Fosgerau, M., Hjorth, K., Brems, C., and Fukuda, D.: Travel time variability: definition and valuation, Technical report, Technical University of Denmark, 2008.
5. Fukuda, D., Chikaraishi, M., Nakagawa, S. and Ono, T. (2022) A unified survey and estimation framework for valuing travel time reliability. The 7th International Choice Modelling Conference.
6. Fosgerau, M. and Karlström, A.: The value of reliability, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 44, No. 1, pp. 38–49, 2010.
7. Ishii, A., Kitazawa, T., Nakagawa, S., Fukuda, D. and Asakura, Y. (2018) Study on evaluation of reliability ratio by integrated approach in an urban expressway. The 7th International Symposium on Transportation Network Reliability.
8. Kurosu, S., Komoto, I., Nakagawa, S., Kusakabe, T., Fukuda, D. and Asakura, Y. (2021) Estimating joint route and departure-time choice model for reliability evaluation in an urban expressway, The 8th International Symposium on Transportation Network Reliability.
9. Nakata, R., Nagasawa, M., Nakanishi, M., Fukuda, D. and Asakura, Y. (2015) Application of an integrated approach for determining travel time reliability benefit in an urban expressway. The 6th International Symposium on Transportation Network Reliability.
10. Noland, R. B. and Small, K. A.: Travel-time uncertainty, departure time choice, and the cost of morning commutes, *Transportation Research Record*, Vol. 1493, pp. 150–158, 1995.

参考文献②

11. Small, K.: The Scheduling of Consumer Activities: Work Trips, *The American Economic Review*, Vol. 72, pp. 467–479, 1982.
12. Small, K., Winston, C. and Yan, J.: Uncovering the distribution of motorists' preferences for travel time and reliability, *Econometrica*, Vol. 73, No. 4, pp. 1367-1382, 2005.
13. Tamagawa, D., Nakai, M., Nakagawa, S., Fukuda, D., Chikaraishi, M. and Asakura, Y. (2023) Estimation of individual-level parameters for a joint route and departure-time choice model considering travel time reliability. The 7th International Symposium on Transportat Network Resilience.
14. Xiao, Y., Fukuda, D.: On the cost of misperceived travel time variability, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 75, pp. 96-112, 2015.
15. 福田大輔：時間信頼性の経済的価値付け，「道路交通の信頼性評価」[中山晶一郎，朝倉康夫(編著)，コロナ社]. 第4章, pp. 39–71, 2014a.
16. 福田大輔：旅行時間変動に起因するドライバーの移動コストの試算，「道路交通の信頼性評価」[中山晶一郎，朝倉康夫(編著)，コロナ社]. 第14章, pp. 227–245, 2014b.
17. 福田大輔: 旅行時間変動の価値付けに関する研究展望とプロジェクト評価への適用に向けた課題の整理, *土木計画学研究・論文集*, Vol. 37, pp.221–238, 2010.
18. 福田大輔，松本治之，市村強：トリップスケジューリングモデルに基づく所要時間信頼性の経済評価, *土木計画学研究・講演集*, Vol. 39, 2009.
19. 福田大輔，水口正教，瀬尾亨，日下部貴彦，朝倉康夫：広域・長期観測プローブ情報を用いたエリアレベルでの旅行時間信頼性評価. *土木学会論文集D3 (土木計画学)* . Vol. 73, No. 5, pp. I_1105–I_1118, 2017.
20. 長澤光弥，福田大輔，朝倉康夫，中西雅一，北澤俊彦：都市高速道路における時間信頼性便益の試算，*土木計画学研究・講演集*, Vol. 49, Paper No. 3, 2014.
21. 高橋茜，福田大輔：選好意識調査と統合モデルに基づく旅行時間変動価値の推計の試み, *土木計画学研究・講演集*, Vol. 41, CD-ROM, 2010.