

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究終了報告書】

		氏名 (ふりがな)	所属	役職	
①研究代表者		ふくだ だいすけ 福田 大輔	東京工業大学大学院 理工学研究科	准教授	
②研究 テーマ	名称	道路の旅行時間信頼性の評価と運用に係る研究開発 －経済便益計測手法の提案と経路誘導システムの構築－			
	政策 領域	[主領域] 【領域1】新たな行政システムの創造	公募 タイプ	タイプII	
		[副領域] 【領域3】新たな情報サービスと利用者満足度向上			
③研究経費 (単位：万円) ※端数切り捨て。		平成24年度 1,000	平成25年度 1,400	平成26年度 1,000	総合計 3,400
④研究者氏名					
氏名		所属・役職 (※平成27年3月31日現在)			
文 世一		京都大学大学院経済学研究科・教授			
兵藤 哲朗		東京海洋大学流通情報工学科・教授			
シューマッカー・ヤンディアク		京都大学大学院工学研究科・准教授			
キャパリアス・ヤニス		シティユニバーシティロンドン工学数理科学研究科・講師			
馬 江山		上海海事大学・助教			
牧村 和彦		一般財団法人計量計画研究所・企画部次長			
土谷 和之		株式会社三菱総合研究所・主任研究員			
⑤研究の目的・目標					
<p>道路の旅行時間信頼性(移動の定時性)が向上したことによる経済便益の計測・評価手法を提案・検証すると共に、旅行時間の不確実性を前提とした経路誘導アルゴリズムの開発及びそのシステム構築を行う。</p> <p>より具体的には、(1) 旅行時間信頼性向上の経済便益の計測・評価手法の提案と検証、(2)-1 旅行時間の不確実性を考慮した経路誘導アルゴリズムの開発とシステム構築、(2)-2 そのようなインテリジェントな経路誘導システムの社会的普及がネットワーク交通流全体に及ぼす影響の分析という、旅行時間信頼性の(1)「評価」および(2)「運用」という二つの観点から研究開発を行う。これらの研究開発を通じて、道路事業評価方法への新たな知見を与えると共に、道路交通運用技術の更なる革新やネットワーク全体の定時性向上に資することを目的とする。</p>					

⑥これまでの研究経過・目的の達成状況 (a=評価, b=運用に関する研究開発をそれぞれ指す)

【平成24年度】

- a-1. 旅行時間信頼性の経済評価に関する国内外の研究及び実務の最新動向についての包括的なレビューを行い、便益計測に関する学術的・実務的課題を整理した(福田・文・土谷・牧村)。
- a-2. 旅行時間信頼性の貨幣価値原単位を推定するための新たな統合アプローチを開発した。次に、交通行動調査及び交通流観測データの利用に基づいて旅行時間変動価値を推定する方法を開発し、小規模なケーススタディを行い、提案手法の新規性・妥当性・有用性を明らかにした(福田・土谷)。
- a-3. 標準偏差やパーセンタイル値等の旅行時間信頼性指標を道路特性や交通特性によって説明することが可能な予測モデルのプロトタイプを、高速道路・一般道それぞれを対象に開発した(福田・文)。
- b-1. Reliable Routingに関する国内外の研究及び技術開発の最新動向を調査し、本研究で構築する経路誘導アルゴリズムの新規性・妥当性を確認した(福田・馬・兵藤・シューマッカー・キャパリアス)。
- b-2. 旅行時間変動に応じて遅刻リスク最小となる最適経路群をドライバーに推奨するリスク回避型経路誘導アルゴリズム(Hyperpath)とそれに基づく経路推奨方法を開発し、モンテカルロシミュレーションを通じて、提案手法の妥当性や従来手法に対する優位性などを明らかにした(福田・馬)。

【平成25年度】

- a-4. 開発した統合アプローチを用いて、都市高速道路を対象に旅行時間信頼性向上の経済便益や時間変動コストを算出し、手法の有用性や実用上の課題を明らかにした(福田・文・土谷)。
- a-5. ネットワークレベルで旅行時間信頼性を効率的に把握・評価するための数理統計学的方法論を開発し、実ネットワークを対象とした基礎的検証を行った(福田・兵藤)。
- b-3. Hyperpathアルゴリズムをクラウドサーバー上に Web Routing システムとして実装すると共に、動的経路誘導のためのスマートフォン・アプリケーションのプロトタイプを開発した(福田・馬)。
- b-4. Agentベースの交通流シミュレーターを新たに開発し、それを用いたモンテカルロシミュレーションにより、Hyperpathによる経路誘導に従うドライバーの割合が増加することによってネットワーク全体の旅行時間信頼性が向上する可能性を確認した(福田・馬・兵藤・シューマッカー)。

【平成26年度】

- a-6. a-4で検証したケーススタディをさらに詳しく精査し、追加分析を行って、統合アプローチの特徴把握や実務への適用に向けた簡略化の可能性についての検討を行った(福田)。
- a-7. 一般道路ネットワークへの適用を念頭に、ボトルネック渋滞による待ち行列の延伸が旅行時間信頼性価値に及ぼす影響を考慮した理論モデルを構築し、その基本特性を明らかにした(福田)。
- b-5. サーバー・クライアント方式による動的経路誘導スマホアプリ“HyperNav”を開発し、様々な道路条件下での実走実験を行って、アプリ利用による時間信頼性向上効果を検証した(福田・馬)。
- b-6. b-4で開発したAgentベースシミュレーターを精緻化・高速化し、対象を首都圏一般道路ネットワークに拡大して、実ODデータを用いてHyperpath普及の効果分析を行った(福田・馬・牧村)。

研究開発の基礎理論部分は、コンサルタント所属の研究者からの助言を受けながら大学所属の研究者が全ての基礎理論を構築した。データ解析・実験遂行・シミュレーション分析等も大学所属の研究者が担当した。なお、時間信頼性価値に関する意識調査の実施、プローブデータの基礎処理や旅行時間変動統計量の基礎集計作業の一部、HyperNavクライアントのユーザーインターフェース部分の開発については、外部コンサルタントに外注した。

⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

【FS評価での主な指摘事項とそれへの対応】

- ・ 提案されているReliable Routing によるシステム構築の妥当性・適用性を示すこと。
⇒様々な条件下でモンテカルロシミュレーションを行い、生成されたHyperpathの妥当性を確認した。さらに、Hyperpathに基づく経路推奨基準と標準的な経路推奨基準をシミュレーションにより比較し、Hyperpath基準が旅行時間信頼性の観点から優れていることは勿論のこと、条件次第では速達性（平均旅行時間）の観点からも優れる場合もあることを確認した。
- ・ 旅行時間信頼性の便益評価に係るデータ収集等の課題を検討・整理すること。
⇒旅行時間信頼性向上の経済便益を実際に推計するためには、(a)旅行時間信頼性指標の将来予測、(b)旅行時間変動の貨幣価値原単位の推計という、観測データや意識調査データ等を必要とする2つの作業が必須である。そこで、旅行時間信頼性の経済評価に関する国内外の研究及び実務の動向調査の包括的レビューを行い、(a)と(b)の両視点からデータ収集方法の特徴整理を行った。
- ・ 本研究の成果が道路行政に与えるインパクトや既存研究との比較からみた新規性を十分に考慮して研究項目を検討すること。
⇒旅行時間変動に起因するドライバーの総移動コストのうち、旅行時間信頼性のコストは全体の2割強以上の大きさとなり得る可能性が示唆され、これより、旅行時間信頼性便益の計測手法の確立と導入が道路事業の評価に大きな影響を与える可能性があることが確認された。また新規性に関しては、旅行時間信頼性の経済評価手法、旅行時間の不確実性を考慮した経路誘導方法それぞれに関する国内外の研究レビューを網羅的に行い、本研究開発の新規性と有用性を確認した。

【中間評価での主な指摘事項とそれへの対応】

- ・ 信頼性評価と経路誘導システムの相互の関連性と最終到達目標を、各々明確に示して頂きたい。
⇒信頼性評価は道路事業評価に資することを念頭に、経路誘導システムは個々の利用者の移動の定時性向上に資することを念頭に研究開発を行った。ただし経路誘導システムについては、サブテーマ(2)-2として「そのような経路誘導システムが広く社会に普及した時に全体の時間信頼性便益は向上しうるのか？」という観点からも検討を行うため、この意味で両研究は関連している。その点を体系的に示すと共に、各サブテーマの最終到達目標を報告書に具体的に明記した。
- ・ 経済便益計測手法について、ODベース集計とリンクベース集計の比較を行うと共に、一般道路を含めたケーススタディを通じ、実務活用に向けて計測手法の確立や精度を高めて頂きたい。
⇒集計度の相違については、都市高速道路を対象としたケーススタディの中で、パラメータ（H指数）を集約するレベルを変えた際に便益推計にどのような差異が生じるのかという観点から検証した。一般道路に関しては、高速道路に比べてネットワークが複雑であることに留意し、ネットワーク全体便益の近似計算のための数理統計理論を構築し、その妥当性を実証的に検証した。
- ・ 経路誘導について「旅行時間は長い、大きく遅れる確率が低いルート」の選択構造を示すと共に、研究成果の実用化への具体的道筋を示して頂きたい。
⇒Hyperpathの基本原則より、そのようなルートは“旅行時間は短い、大きく遅れる確率が高いルート”よりも推奨される確率が高くなる。このことを報告書中にも明記すると共に、リスク回避度を明示的に考慮した拡張モデルを用いることで程度調整が可能であることを明示した。
- ・ 研究成果の活用によって得られる社会的効果等をわかりやすく示して頂きたい。
⇒サブテーマ(1)で開発した経済便益評価手法は、旅行時間信頼性の経済便益を適切に計測できる方法論の一つとして、今後便益評価マニュアル等を検討するにあたっての有用な知見の一つとなると考えている。サブテーマ(2)-1で開発した経路誘導は、適切なクライアントアプリケーションやユーザーインターフェースの開発が進めば、実用化の可能性は十分にあると考えられる。さらに、サブテーマ(2)-2の成果を踏まえ、より高精度の需要データや旅行時間データを活用することで、「経路誘導システムをどのように普及させればネットワーク全体の効率性が向上するのか」を具体的に評価できるようになると期待される。

③研究成果

(1) 旅行時間信頼性向上の便益評価手法に係る研究開発

■旅行時間信頼性の経済評価方法の体系的整理

旅行時間信頼性の経済評価に関する国内外の研究及び実務の動向を調査し、特に旅行時間信頼性価値に関する包括的レビューを通じて、経済便益推計に必要なデータ収集上の課題等を整理した。

■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

旅行時間信頼性の貨幣価値原単位（旅行時間変動価値）を推定するための統合アプローチによる経済評価手法を開発した。本手法は、旅行時間やスケジューリング制約を効用関数の引数として明示的に考慮していることからミクロ経済学理論にも整合している。その上で、旅行時間変動を明示的に考慮したドライバーの出発時刻選択行動のモデル化を行い、旅行時間変動価値を導出することができる。本アプローチは、経済理論との整合性も確保されつつ、経済便益は標準偏差の減少分によって計測すれば良いという、実用上の容易性も兼ね備えている。この統合アプローチの妥当性に関して、高速道路旅行時間データを用いた基礎分析を通じて検証し、旅行時間変動に起因するコストがドライバーの総コストに比して無視できない大きさ（約二割程度）を占める可能性があることを明らかにした。

■旅行時間信頼性便益のケーススタディ

2013年5月に供用された阪神高速道路第2号淀川左岸線を対象に、実際のプロジェクトの統合アプローチによる便益試算を行った。ETC-ODデータを用いたbefore-after分析を行ったところ、時間信頼性便益は7.2円/台・日〔時間短縮便益（27.6円/台・日）の26%程度〕となり、既存の事例と同程度のシェアとなることが確認された。なお、経路別・時間帯別・供用前後別に個別に推定された時間信頼性指数（H指数）を比較したところ、条件間でH指数を同一と見なすことはやや難しいことが分かった。しかし、非常に稀なインシデント等の影響を適切に除去したデータを用いてH指数を再計算すると、集約化の可能性が高まることが明らかになった。さらに、H指数の集約の度合いを高めるほど、時間信頼性便益額は小さくなる傾向があることが明らかになった。以上により、統合アプローチの特徴や実務への適用に向けた簡略化の可能性についての示唆を得られたものと考えている。

■一般道路網を全体対象とした旅行時間信頼性評価の試論

リンク単位での旅行時間信頼性評価から、経路やネットワーク全体での評価へと論理整合的に拡張するための基礎的方法について検討を行った。具体的には、リンク間での旅行時間の相関の程度を削減するための基準化旅行時間を用いた分析方法の検討、並びに、安定分布と一般化中心極限定理に基づくネットワーク全体の旅行時間信頼性の近似的評価ための基礎理論を提案した。一般道路における実旅行時間データを用いた検討を通じて、提案方法の一定程度の有効性を確認した。

■統合アプローチのパラメータ推定方法の検討

統合アプローチに基づく旅行時間信頼性価値の推計を行った。インターネットによるStated Preference調査を通じて得られたデータを用いてパネル効果や観測／非観測異質性を考慮した離散選択モデルを推定した結果、信頼性比の標本平均値が2.40と推定された。過去の事例と比べても値の乖離は小さく、少なくとも今回の実証分析の限りにおいては旅行時間信頼性向上便益が旅行時間短縮便益と比較しても無視できない大きさとなる可能性が示唆された。さらに、性別・年収・普段の通勤時間などといった被験者特性によっても旅行時間変動価値が有意に異なる可能性も確認された。

⑧研究成果（つづき）

■旅行時間変動の将来予測モデルの構築

ETCデータやプローブデータより得られる旅行時間信頼性指標を道路特性や交通特性によって説明することが可能な、旅行時間変動の将来予測モデルのプロトタイプを開発した。都市間高速道路（ETCデータ）、都市内高速道路（プローブデータ）、都市内一般道路（プローブデータ）を対象として予測式の推計を行い、いずれの場合においてもリーズナブルな推定結果が得られた。

■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

ボトルネック渋滞による待ち行列の延伸が旅行時間変動価値に及ぼす影響（旅行時間変動の社会的限界費用）についての理論的な検討を行った。古典的なボトルネックモデルを拡張的に内生的な出発レートを考慮した旅行時間変動価値を理論的に導出し、比較静学分析を行ったところ、渋滞長に依存してランダム遅れの変動が変化する状況では社会的限界費用には何の変化も生じないことなど、直感には合致しない興味深い知見が得られた。この成果は、特に混雑が激しい一般道路などにおける、より適切な旅行時間信頼性の便益推計のための基礎的知見を与えると考えている。

(2) 旅行時間の不確実性を考慮した動的経路誘導システムに関する研究開発

■遅刻リスク回避型経路誘導アルゴリズムの開発

不確実性下での意思決定理論を踏まえ、旅行時間が変動する状況において恒常的な定時性確保の観点から最適な経路をドライバーに推奨する遅刻リスク回避型動的経路誘導アルゴリズムを新たに開発した。これは、単一の最短経路ではなく遅刻リスクを最小化する最適な経路群（Hyperpath: HP）を求めるものであり、本研究では、(1)楽観的ノードポテンシャルの導入、(2)ノード有効探索の実施、というそれぞれ独立した2つの経路探索基準を新たに導入することによって経路探索スピードの高速化に成功した。これにより、本経路誘導手法の実務への適用可能性を確認した。さらにHPに基づく経路推奨基準と他の標準的な経路推奨基準との比較をシミュレーションによって行ったところ、HPによる経路誘導アルゴリズムの方が、旅行時間信頼性の観点は勿論のこと、状況次第では平均旅行時間の観点からも優れる場合が起り得ることが確認された。以上を通じて、提案する手法の妥当性並びに従来手法に対する優位性を明らかにした。

■Hyperpathに基づく遅刻リスク回避型経路誘導システムの開発と検証

実道路ネットワーク上での利用を念頭に置いて、HPに基づく遅刻リスク回避型経路誘導システムの構築を行った。システム構築においては、民間プローブの長期旅行時間データベースより旅行時間変動プロファイルを推定した上で、出発時刻に応じて最適なHPを出力する時間依存型HP探索の高速アルゴリズムをサーバー上に実装した。その上で、サーバー（HP計算）～クライアント（車上での経路誘導）方式による動的経路誘導Androidアプリケーション“HyperNav”を開発した。次に、構築したシステムを用いて様々な交通条件下での実走実験を実施し、どのような状況下でHPによる経路誘導が旅行時間信頼性向上の効果をもたらしているのかを実証的に検証した。公道上での実走実験を通じて本経路誘導システムの旅行時間信頼性に対する効果を検証したところ、HPによる経路誘導は最短経路探索に基づく経路誘導と比べて、旅行時間のばらつきを抑制させる効果、特に大きな遅れ時間の生起確率を有意に低下させる効果があることが明らかになった。

⑧研究成果（つづき）

■リスク回避型経路誘導の社会的普及がネットワーク交通流に及ぼす影響

近い未来にHPルールに従うインテリジェントな自動車が徐々に社会に普及していく状況を念頭に置いて、HPによるリスク回避型経路誘導に従うドライバーが徐々に普及することの影響を評価できる、エージェントベースの動的交通流シミュレーターを開発した。まず、簡易な仮想ネットワーク上において、どのような交通流条件（ODペア、道路容量、ネットワークの位相構造、普及のバランス等）においてHP経路規範のドライバー群によってネットワーク全体の定時性が向上する可能性があるのかを明らかにした。具体的には、特に混雑が激しい状況において、リスク回避型経路誘導に従う車両の割合が増加するに従って平均旅行時間の減少が見られた一方、混雑が少ない状況では、最短経路誘導との有意な差異は見られないなどの知見が得られた。さらに、Day-to-Dayシミュレーションより、リスク回避型経路誘導に従う車両が高普及の場合において、全車両の平均旅行時間の平均値と平均旅行時間の標準偏差が共に有意に減少することが確認された。これより、最短時間経路に従う車両の平均旅行時間は激しい日変動を持つものに対し、リスク回避型経路誘導に従う車両の平均旅行時間は日変動が小さく、HPによるリスク回避型経路誘導の市場浸透に伴い、ネットワーク全体の旅行時間信頼性の改善のみならず、状況次第では平均旅行時間の減少（速達性の向上）も期待されることが明らかになった。さらに、シミュレーションの計算アルゴリズムの高速化を計った上で対象を首都圏の一般道路ネットワーク全体に拡大し、実OD表を用いてHP車両普及のシミュレーションを行ったところ、同様の結果が得られることが確認された。

以上をまとめると、本研究開発を通じて、道路の旅行時間信頼性の評価と運用に関して、(1) アカウンタビリティの高い経済便益評価の方法論開発とその妥当性・実用性の確認、ならびに、(2) 遅刻リスク最小化のための最適経路誘導アルゴリズムの開発と現実のシステムとしての有用性・実用可能性の確認、を行うことができたと考えている。

⑨研究成果の発表状況

- [1] [Fukuda, D.](#), [Ma, J.](#), Yamada, K. and Shinkai, N. (forthcoming) Tokyo: Simulating hyperpath-based vehicle navigations and its impact on travel time reliability. In: Horni, A., Nagel, K. and Axhausen, K. (Eds.) *The Multi-Agent Transport Simulation MATSim*, Chapter 78.
- [2] [Ma, J.](#) and [Fukuda, D.](#) (forthcoming) A hyperpath-based network generalized extreme-value model for route choice under uncertainties. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* (a podium paper for the 21st International Symposium on Transportation and Traffic Theory [ISTTT21], Kobe, Japan, 5-7 August, 2015)
- [3] Xiao, Y. and [Fukuda, D.](#) (2015) On the cost of misperceived travel time variability. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Vol.75, pp.96-112.
- [4] [Ma, J.](#) and [Fukuda, D.](#) (2015) Finding multiple dissimilar reliable routes in linear time complexity under travel time uncertainties. *Transportation Research Board 94th Annual Meeting, Compendium of Papers*, Paper No. 15-4376.
- [5] 眞貝憲史, [馬江山](#), [福田大輔](#) (2015) Hyperpath に基づく遅刻リスク回避型経路選択を考慮した交通ネットワークフロー分析. *土木計画学研究・講演集*, Vol.51, Paper No. 184.
- [6] 伊藤海優, [福田大輔](#), [馬江山](#) (2015) Hyperpath に基づく遅刻リスク回避型経路誘導システムの構築と検証. *土木計画学研究・講演集*, Vol.51, Paper No. 183.
- [7] 土屋貴佳, [福田大輔](#), 坂下文規, 武藤智義 (2015) 道路整備による空港アクセスの時間信頼性向上効果の分析. *土木計画学研究・講演集*, Vol.51, Paper No. 182.
- [8] 水口正教, [福田大輔](#) (2015) 高速道路交通量変動の長期時系列分析. *土木計画学研究・講演集*, Vol.51, Paper No. 308.

⑨研究成果の発表状況（つづき）

- [9] 福田大輔 (2014) 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. In: 中山晶一郎, 朝倉康夫(編) *道路交通の信頼性評価*, コロナ社, 第14章, pp.227-245.
- [10] 福田大輔, 中山晶一郎 (2014) 時間信頼性の経済的価値付け. In: 中山晶一郎, 朝倉康夫(編) *道路交通の信頼性評価*, コロナ社, 第4章, pp.39-71.
- [11] Xiao, Y., Colombel, N., De Palma, A. and Fukuda, D. (2014) The marginal social cost of travel time variability revisited: Do scheduling preferences matter? 第28回応用地域学会, 那覇市.
- [12] Ma, J. and Fukuda, D. (2014) A note on route planning in transportation with open sources. In: Ma, J., Yin, Y., Huang, H. and Pan, D. (Eds.) *CICTP 2014: Safe, Smart, and Sustainable Multimodal Transportation Systems*, ASCE, pp.277-288.
- [13] 眞貝憲史, 馬江山, 山田薫, 福田大輔 (2014) リスク回避型経路誘導の普及がネットワーク交通流に及ぼす影響: 東京23区を対象とした分析. *土木計画学研究・講演集*, Vol.49, Paper No. 4.
- [14] Ma, J., Schmöcker, J.-D. and Fukuda, D. (2013) Faster hyperpath generating algorithm for vehicle navigation. *Transportmetrica*. Vol.9, pp.925-948.
- [15] Yamada, K., Ma, J. and Fukuda, D. (2013) Simulation analysis of the market diffusion effects of risk-averse route guidance on network traffic. *Procedia - Computer Science*. Vol.19, pp.874-881.
- [16] Ma, J. and Fukuda, D. (2013) A hyperpath-based route planning system on the cloud. *Proceedings of the 18th Hong Kong Society for Transportation Studies (HKSTS) Conference*.
- [17] Ma, J. and Fukuda, D. (2013) Hyperpath or shortest path: An evaluation method and a case study with GPS probe data. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS)*, Vol.9, Paper No. 358.
- [18] Xiao, Y. and Fukuda, D. (2013) Identifying the distribution of value of travel time with a monotonic nonparametric estimator. *Paper presented at the 2nd Symposium of the European Association for Research in Transportation*.
- [19] 福田大輔, 力石真 (2013) 離散-連続モデルの研究動向に関するレビュー. *土木学会論文集D3*, Vol.69, pp.I 497-I 510.
- [20] 福田大輔, フォスグロウ・モーンス (2013) 旅行時間変動の価値付け方法. 第47回土木計画学研究発表会.
- [21] Trozzi, V., Gentile, G., Kaparias, I. and Bell, M.G.H. (2013) Route choice model and algorithm for dynamic assignment in overcrowded bus networks with real-time information at stops. *Proceedings of the Transportation Research Board 92nd Annual Meeting*.
- [22] 福田大輔 (2012) 移動の定時性の評価に向けて. *高速道路と自動車*, Vol.55, p.11.
- [23] Fosgerau, M. and Fukuda, D. (2012) 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.
- [24] Fonzone, A., Schmöcker, J.-D., Ma, J. and Fukuda, D. (2012) Link-based route choice considering risk aversion, disappointment and regret. *Transportation Research Record*, Vol.2322, pp. 119-128.
- [25] Xiao, Y., Fukuda, D., Tanishita, M. and Matsuzaki, T. (2012) Accounting for interaction effects on the valuation of travel time variability. *Proceedings of the 5th International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR)*, pp.205-212.
- [26] Ma, J. and Fukuda, D. (2012) Reliability-based vehicle routing on a light GIS platform. *Proceedings of the 5th International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR)*, pp.1061-1076.
- [27] Xiao, Y. and Fukuda, D. (2012) An extended scheduling model incorporating probability weight and risk attitude for valuation of travel time variability. *Kuhmo-Nectar Transport Economics Conference*, Berlin.
- [28] 谷下雅義, 横山将大, 福田大輔 (2012) プローブデータを用いた旅行時間信頼性の規定要因. *土木計画学研究・講演集*, Vol.45, Paper No. 262.
- [29] 福田大輔, 伊藤愛実 (2012) ETCデータを用いた旅行時間信頼性の予測方法に関する研究. *土木計画学研究・講演集*, Vol.45, Paper No. 263.
- [30] 牧村和彦, 足立智之 (2012) 世界のプローブ情報ビジネス最前線. *高速道路と自動車*, Vol.55, pp.47-50.

⑩研究成果の社会への情報発信

- 海外セミナー “Anglo-Japanese seminar on car and passenger routing under travel time uncertainty” (2012年11月15日, City University London, 参加者約30名) を主催。関連発表は以下のとおり。
 - “Quantifying travel time reliability in transport networks” by Ioannis Kaparias (City University London)
 - “Dynamic route guidance in Japan: New technologies and new methodologies for considering uncertainty” by Daisuke Fukuda (TokyoTech)
 - “Decision principles for routing strategies: Games against nature and demons” by Jan-Dirk Schmöcker (Kyoto University)(http://www.city.ac.uk/_data/assets/pdf_file/0018/153702/SEMS-seminar-15.11.12-Anglo-Japanese.pdf)
- 国際セミナー “Challenging Issues on Transport Studies” を開催し (2013年2月28日, 東京工業大学, 参加者約80名) を主催。関連発表は以下のとおり。
 - “Valuation studies of travel time variability in Japan” by Daisuke Fukuda (TokyoTech)
 - “The value of service reliability” by Nicolas Coulombel (École des Ponts ParisTech)
 - “Economic valuation of travel time variability” by Mogens Fosgerau (Technical University of Denmark)(http://transport-titech.jp/seminar_visitor/2013/TSU-SV2013-008.pdf)
- 国際セミナー “Transport Studies Unit (TSU) Seminar” を開催し (2013年9月12日, 東京工業大学, 参加者約20名) を主催。関連発表は以下のとおり。
 - “User-oriented measurement of travel time reliability: concepts and applications” by Ioannis Kaparias (City University London)(http://transport-titech.jp/seminar_visitor/2013/TSU-SV2013-011.pdf)
- 遅刻リスク回避型経路誘導システム “Hypernav” に関するWEBサイトを試験公開中。
(<http://fukudalab.hypernav.mobi/>)

⑪研究の今後の課題・展望等

旅行時間信頼性向上の経済便益計測手法に関しては, (1) より高い信頼度で貨幣価値原単位を推計するための調査方法の開発, (2) ネットワーク全体の便益計算手法の実用化, (3) 旅行時間信頼性予測モデルの精度向上, (4) 交通量配分モデルとの整合的な統合, などといった諸検討が更に必要と考えられる。

また, 旅行時間の不確実性を考慮した経路誘導システムに関しては, (1) 開発した経路誘導アルゴリズムのさらなる高速化を図ること, (2) スマホアプリのユーザーインターフェースを向上させること, (3) フィールド実験のさらなる蓄積を通じて本経路誘導方式が優位性を発揮する場面をより明確にすること, などの検討が必要である。さらに, 普及評価のための交通シミュレーターに関しては, (4) 構築した首都圏規模のシステムを活用して, より望ましい交通管理・運用政策について政策シミュレーションを実施すること, などが残された課題として挙げられる。

⑫研究成果の道路行政への反映

■ サブテーマ(1)の成果は, 道路事業の評価手法の高度化・精緻化に直接的に貢献するものであると考えている。旅行時間信頼性の経済便益は利用者便益全体の二割強を占めるという海外での試算もあり, 本研究の試算でも同程度の結果が得られている。時間に厳格な日本人の国民性を鑑みるとそのシェアはさらに大きくなる可能性もある。さらには, 対象を旅客交通のみならず物流交通へと拡張することで, 定時性確保に対する全体ニーズは更に大きくなると考えられる。このような中で, 本

⑫研究成果の道路行政への反映（つづき）

研究開発を通じて考案・検証された統合アプローチに基づく経済便益評価は、旅行時間信頼性の経済便益を適切に計測できる方法論の一つとして、今後便益評価マニュアル等を検討するにあたっての有用な知見の一つとなると考えている。

■サブテーマ(2)-1の成果は、旅行時間が不確実な状況におけるドライバーの最適な経路誘導につながる新たな技術開発がなされる可能性を示唆している。自動車での移動における不満項目として“定時性の低さ”が挙げられることは多く、本研究で開発したHPに基づく経路誘導は、計算負荷が低くドライバーの解釈も容易であるため、適切なクライアントアプリケーションやユーザーインターフェースの開発が進めば実用化の可能性は十分にあるものと考えられる。また、サブテーマ(2)-2の成果は、HPのようなインテリジェントな経路誘導方式が広く社会に普及することによって社会全体の便益も向上することを確認するものである。今回得られた知見を踏まえてシステムを拡張し、より高精度の需要データや旅行時間データを適用することにより、本研究開発成果が「経路誘導システムをどのような方針で普及させれば道路ネットワーク全体の効率性が向上するのか」を具体的に検討する上での評価ツールとして昇華することが期待される。

⑬自己評価

(1) 研究目的の達成度と成果

国内外の関連研究者や実務者から、及び研究室大学院生からの多大な協力を得て、ほぼ当初目的通りに全ての研究を遂行することができたと考えている。これにより、本研究開発に関連する成果発表を30編行うことができた。そのうち審査付き論文が10編、また書籍Chapterが3編となっており、学術的にも一定水準以上の研究を遂行することができたものと自己評価している。

(2) 今後の展望と道路政策への寄与

経済便益評価に関しては、時間信頼性向上便益を費用便益分析の実務においてどのように計上・評価することが妥当かつ実用的かどうかについて、多くの知見を得ることができたと確信している。ケーススタディ等を積み重ねて手法の妥当性を確認することで、今後事業評価マニュアルで時間信頼性向上便益を導入すべきかどうかを検討する際の一助となることが期待される。

経路誘導に関しては、今度データの蓄積が進むとされるETC2.0等の膨大な道路交通ビッグデータの活用事例の一つとして、定時性向上による利用者の利便性向上、さらには、システムの普及による社会全体の便益向上に資するものと期待される。

(3) 研究の投資価値

学術的価値としては、信頼度の高い便益推定方法の開発、経路誘導アルゴリズムの開発とシステム構築、シミュレーター構築、さらに、それらの成果の学術論文としての刊行など、十分な投資価値があったと考えられる。実務的価値に関しても、利用者の移動の定時性の貨幣価値を適切に評価・計測した上でより妥当な事業評価を可能とする枠組みの提案や、動的経路誘導による利用者の利便性向上や社会的便益発生など、見込まれる価値は非常に大きいと考える。