

道路政策の質の向上に資する技術研究開発
成果報告レポート
No. 22-1

研究テーマ

都市高速道路における突発事象時の
最適交通運用についての研究開発

研究代表者：東京工業大学・教授	朝倉 康夫
共同研究者：東北大学・教授	桑原 雅夫
東北大学・教授	赤松 隆
神戸大学・教授	井料 隆雅
北京交通大学・准教授	Chong Wei
東京工業大学・博士研究員	Nguyen Xuan Long
首都高速道路（株）	割田 博
阪神高速技研（株）	北澤 俊彦
東京工業大学・助教	日下部 貴彦（研究協力者）

平成25年7月

新道路技術会議

目次

研究概要	1
第1章 はじめに	3
1. 1 研究の背景と目的	3
1. 2 研究の方法	3
1. 3 報告書の構成	5
第2章 国内・海外の研究動向と課題	6
2. 1 突発事象の検出と交通状態予測	6
2. 2 突発事象時の行動調査	7
2. 3 突発時の交通マネジメント	9
2. 4 我が国の都市高速道路の突発時交通運用	11
2. 5 まとめ	13
第3章 突発事象の検出とシミュレーションによる交通状況予測	14
3. 1 突発事象の検出	14
3. 2 容量低下と継続時間の推定	16
3. 3 多様なデータの活用を含む課題の整理	18
3. 4 シミュレータの開発と検証	19
第4章 交通情報提供下の利用者行動の調査と分析	22
4. 1 突発事象時の利用者行動調査	22
4. 2 突発事象時の行動モデルの推定	29
4. 3 情報提供下での行動分析	34
4. 4 行動文脈に応じた情報提供の考え方	36
第5章 突発事象の影響を最小化する交通運用方策	38
5. 1 利用者行動を組み込んだシミュレータ	38
5. 2 突発事象時の情報提供の基本フレーム	41
5. 3 突発事象時の交通シミュレーション	42
5. 4 数値実験	44
5. 5 流入制御と情報提供による最適運用	51
第6章 まとめ	52
6. 1 研究成果	52
6. 2 今後の道路政策への展開	53
参考文献	55
付録（国際ワークショップ）	58

**「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」(平成22年度採択)
研究概要(イメージ)**

番号	研究課題名	研究代表者
No.22-1	都市高速道路における突発事象時の最適交通運用についての研究開発	東京工業大学 教授 朝倉 康夫

都市高速道路上で発生する交通事故等の突発事象をできる限り速やかにかつ正確に検出し、その事象によって生じる旅行時間の変化を予測して利用者に提供することにより、インシデントによる社会的費用の増加をできるだけ抑制しうる交通運用方法の研究開発を行った。

1. 研究の背景・目的 (研究開始当初の背景・動機、目標等)

信頼性の高い道路交通サービスを実現するには、事故などの突発事象の際に、利用者ニーズに見合った質の高い交通情報の提供を行うとともに、突発事象の影響を最小限に抑える交通運用を行うことが必要である。本研究の目的は、都市高速道路で発生する突発事象による渋滞に焦点を当て、その迅速で正確な検出と渋滞時の旅行時間予測の方法を開発するとともに、交通情報提供下での利用者行動の分析を踏まえた交通運用の最適化手法の研究開発を行うことにある。具体的には、以下の3点を目的とする。

- (1) 突発事象の検出とシミュレーションによる交通状況予測手法の開発
- (2) 観測データを活用した交通情報提供下での利用者行動の調査と分析
- (3) 突発事象の影響を最小化する交通運用方策の開発

2. 3カ年の研究内容 (研究の方法・項目等)

【平成22年度】

- (1) 突発事象の検出と情報提供に関する国内外の研究技術開発の動向調査と課題の整理
- (2) 突発事象の検出と交通ネットワークシミュレータに関する基礎理論の構築
- (3) 突発事象発生時の情報提供による利用者の行動変化に関する調査・分析手法の開発

【平成23年度】

- (1) 突発事象検出およびシミュレーションによる交通状況予測手法の開発
- (2) 突発事象時の利用者行動調査の実施と基礎集計
- (3) 情報提供による突発事象時の交通運用手法の開発

【平成24年度】

- (1) 突発事象の検出と交通ネットワークシミュレータの検証と改良
- (2) 突発事象時の行動モデルの開発と情報提供下での行動分析
- (3) 利用者行動を組み込んだシミュレータの改良と効果的な情報提供に関する検討

3. 研究成果 (図表・写真等を活用し分かりやすく記述)

(1) 突発時の交通事象の検出、解析と交通運用に関する研究開発動向の把握： 交通インシデント検出、シミュレーションによる交通状況予測、情報提供下での交通行動分析について、文献調査・研究動向調査を行い、研究課題を明らかにした。

(2) 突発事象の検出とシミュレーションによる交通状況予測手法の開発： 車両感知器データを用いて、突発事象を原因とする渋滞の発生の有無やその先頭位置を検出する方法を開発した。突発事象時の旅行時間予測のためのネットワークシミュレータを開発して首都高速の放射線に適用し、渋滞・混雑状況が良好に予測できることを確認した。

(3) 観測データを活用した交通情報提供下での利用者行動の調査と分析： 携帯電話とWEBを組み合わせたプローブパーソン調査に基づくSP調査とWEB-SP調査による交通行動データの収集システムを開発した。阪神高速の利用者を対象に様々な突発事象情報が提供された時の行動を調査し、高速

道路選択行動のモデルを構築・推定した。

(4) 突発事象の影響を最小化する交通運用方策の開発： 国内外の最新の技術開発動向を調査して課題を整理し、突発事象情報が提供されたときの利用者の行動変容を内生化したシミュレーションモデルを開発した（図-1）。仮想ネットワークを用いて、情報の種類と更新間隔、インシデント検知時間を変化させた場合の影響を比較し、状況に応じた情報提供について考察した。

4. 主な発表論文（研究代表者はゴシック、研究分担者は下線）

(1) Takahiko KUSAKABE, Taku SHARYO, and Yasuo ASAKURA; Effects of Traffic Incident Information on Drivers' Route Choice Behaviour in Urban Expressway Network. *Procedia - Social and Behavioral Sciences (Proceedings of EWGT2012 - 15th Meeting of the EURO Working Group on Transportation)*, vol.54, pp. 179-188, Paris, 2012/09/11-13

(2) Chong WEI, Takeshi HAGIHARA, Jun TANABE and Yasuo ASAKURA; Actual Travel Time Prediction Model Based on Current Traffic Conditions. *Proceedings of the 5th International Symposium on Transportation Network Reliability*, Vol.5, pp.243-252, Hong Kong, 2012/12/18-19

(3) 日下部貴彦, 社領沢, 朝倉康夫; 都市高速道路における突発事象時の行動調査とその分析. *土木学会論文集D3 (土木計画学)*, Vol.68, No.5, pp.I_731-I_740, 2012/12

5. 今後の展望（研究成果の活用や発展性、今後の課題等）

本研究は都市高速道路を対象に、車両感知器で観測された豊富な交通流データの有効活用を前提としているが、突発事象の検出に関しては、路側からの画像データやプローブデータ等を合わせて利用することで、さらに検出精度の向上が期待される。都市間高速や一般道など、必ずしも十分に交通観測データが得られない道路では、多様なデータを融合した異象事象の検出および交通状態の予測手法を開発する必要があるが、本研究の成果はそのための基礎的な知見を与える。交通モニタリングに関するインフラが十分ではない地域でのインシデント時の交通運用手法は、我が国の地方部だけではなく途上国の道路交通サービスの質の向上にも貢献できる。

6. 道路政策の質の向上への寄与（研究成果の実務への反映見込み等）

インシデント時であっても、正確な交通情報が迅速に道路利用者に提供されることにより、「モビリティの質」が改善され利用者満足度の向上が期待される。本研究で開発した要素技術である、突発事象の検出手法、情報提供下の行動モデル、旅行時間予測手法等は、わが国の都市高速道路会社で開発・運用されている動的な交通シミュレーションシステムに組み込むことができる。

7. ホームページ等（関連ウェブサイト等）

(1) 研究成果の概要

http://www.plan.cv.titech.ac.jp/asakuralab/projects/h22_h24_mlitt.html

(2) 国際ワークショップの詳細（発表PPT等）

http://transport-titech.jp/seminar_visitor/2013/TSU-IWORKSHOP2013-01/TSU-IWORKSHOP2013-01.html

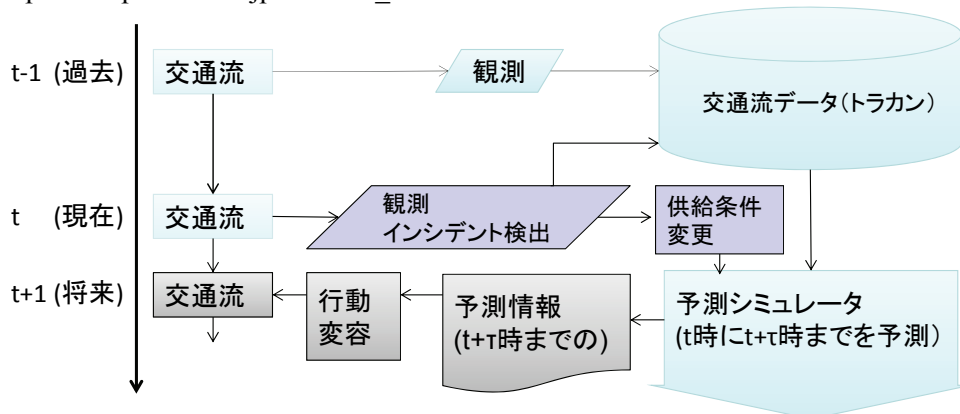


図-1 利用者行動を内生化した予測シミュレーションモデルの構成

第1章 はじめに

1.1 研究の背景と目的

一般道に比べてより高い水準の速達性と信頼性が要求される都市高速道路では、交通事故に代表される「突発事象」による交通障害の影響が極めて大きい。たとえば、首都高速道路では日平均で約35件の事故が発生し、著しくかつ突発的な旅行時間の増大を招いている。高速道路利用者からの苦情の多くは、突発事象が発生したときの情報提供の遅れと情報の精度が低いことに対する不満であるといつてよい。信頼性の高い高速道路交通サービスを実現するためには、突発事象の検出・処理および情報提供に関する新たな方法を開発し、利用者ニーズに見合った質の高い情報サービスを行うとともに、突発事象が発生した場合の影響を最小化する交通運用が求められている。

交通集中渋滞のように繰り返して発生する事象については、過去のデータから発生時間帯や位置を統計的に予測することが可能となつてきており、交通情報提供の精度も向上してきている。しかし、事故等の突発事象の発生を事前に予測することは困難であるため、発生した事象を早期にかつ正確に検出することと、その事象が交通流に及ぼす影響、とりわけ旅行時間の変化を精度高く予測することが求められている。また、現状では突発事故発生時に、平常時の交通量配分結果等に基づいて、選択経路の変更可能性の如何に関わらず、なるべく多くの直接的に影響を受ける利用者に対して情報提供するような運用に止まっており、道路網全体で影響を最小化するような運用ルールは定まっていない。予測される状況を高速道路利用者に情報提供する際には、利用者の情報ニーズと情報による利用者行動の変容を加味した情報提供ルールの開発が必要である。わが国の都市高速道路では、他の先進諸国に例を見ないほど精緻で大量の交通流データやETCデータが観測・収集されており、それらを有効に活用した新たな情報提供サービス手法や交通運用手法を確立することの技

術的意義、国際的貢献は大きい。

研究代表者らは、平成19年から交通工学研究会の自主研究グループ「道路ネットワークの信頼性研究会」を組織し、実務担当者（国土交通省、警察庁、各高速道路会社、コンサルタント）を交えて、時間信頼性（許容される時間の範囲内に目的地に到達できる確率）から見た道路交通サービスの評価に関する研究を進めてきた。この研究活動を通じて、平常時交通の旅行時間の確率的変動だけではなく、突発事象による旅行時間の変動の解析手法や提供情報に対する利用者評価の分析手法に関する知見を蓄積している。

これらの背景の下、本研究は、都市高速道路において、事故等の障害（突発事象）の発生を速やかに検出し、その事象によって生じる旅行時間の変化を予測して利用者に提供するための新たな技術を開発するとともに、情報提供下での利用者行動の分析を踏まえた交通運用の最適化について研究開発を行うことを目的とする。具体的な研究開発の目的は、以下の3点である。

- ① 突発事象の検出とシミュレーションによる交通状況予測手法の開発
- ② 観測データを活用した交通情報提供下の利用者行動の調査と分析
- ③ 突発事象の影響を最小化する交通運用方策の開発

これらはいずれも、上述の技術的ニーズを踏まえ、蓄積してきた要素技術の一層の高度化により実現するものであり、これまでに類を見ない新たな技術革新につながるものである。

1.2 研究の方法

(1) 研究の体制

研究の実施に際して、大学に所属する研究者が基礎的な方法論を開発し、都市高速道路会社の実務担

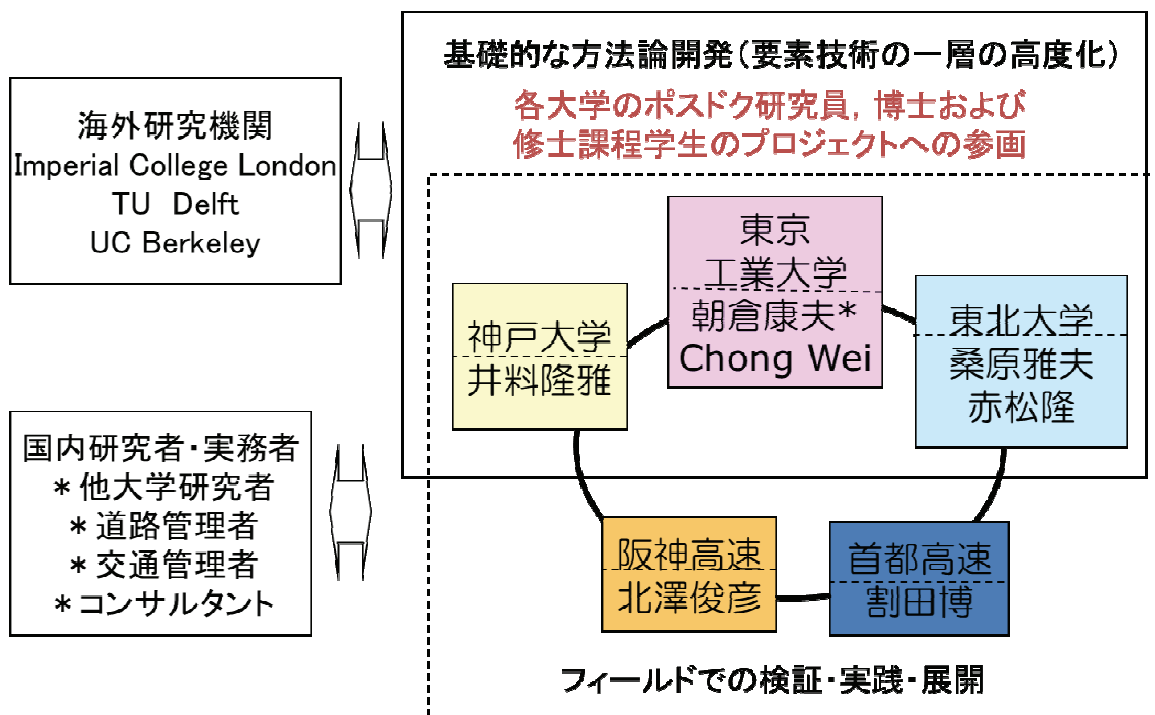


図-1.1 研究実施体制

当者と共同でフィールドでの調査・検証を行う体制とした。なお、突発事象の検出とシミュレーションの数値実験に関する車両感知器データ等の一次処理、PP 調査や WEB-SP 調査によって得られた移動軌跡データや WEB データの再集計等については、作業の一部をコンサルタントに外注した。

(2) 研究の年次計画と分担関係

【平成 22 年度】

① 突発事象の検出と情報提供に関する国内外の研究技術開発の動向調査と課題の整理（全員）

突発事象の検出とシミュレーションによる交通状況予測手法、および情報提供下での交通行動分析について国内外の技術開発の動向を調査し、課題について体系的に整理した。

② 突発事象の検出と交通ネットワークシミュレータに関する基礎理論の構築（桑原、赤松、割田）

交通流の観測データに基づく突発事象の検出、突発事象発生時の車線閉塞に伴う事故様態別の容量低下および車線開放までの復旧作業所要時間を推定する手法に関する基礎理論を構築した。

③ 突発事象発生時の情報提供による利用者の行動変化に関する調査手法の開発（朝倉、井料、北澤）

プローブパーソン（PP）調査と SP 調査を組み合わせることにより、突発事象発生時の利用者行動の調査手法を開発し、阪神高速道路を対象とするパイロット調査を実施した。

【平成 23 年度】

① 突発事象検出およびシミュレーションによる交通状況予測手法の検証（桑原、赤松、割田）

首都高速道路の観測データを用い、突発事象検出

手法、容量低下と車線開放までの継続時間の推定手法を検証した。突発事象時の旅行時間予測のためのメソシミュレーションモデルを構築した。

② 突発事象時の利用者行動に関する分析と情報提供方法の検討（朝倉、井料、北澤）

PP 調査と WEB-SP 調査による利用者行動調査から得られたデータを用いて、突発事象時の経路変更行動を分析するとともに、突発事象時に提供される情報と行動に関するモデルを構築した。

③ 突発事象時の情報提供による交通運用手法の開発（朝倉、Wei、日下部）

突発事象時の最適交通運用手法について、国内外の最新の技術開発動向を調査して課題を整理した。突発事象時の利用者行動を組み込んだシミュレータを用いて、情報提供効果を評価する枠組みを構築した。

【平成 24 年度】

① 突発事象の検出と交通ネットワークシミュレータの検証と改良（桑原、赤松、割田）

突発事象検出について多様なデータの活用方法等の課題整理を行い、首都高速道路の放射路線を対象とした交通ネットワークシミュレータの数値計算と精度検証を行った。

② 突発事象時の行動モデルの開発と情報提供下での行動分析（朝倉、井料、日下部、Long）

PP 調査と WEB-SP 調査による行動調査の課題を整理するとともに、突発事象情報と行動選択に関するモデルを用いて交通情報、料金体系、行動文脈の下での高速道路利用行動を分析した。

③ 利用者行動を組み込んだシミュレータの改良と情報提供効果の分析（全員）

利用者の反応を内生化した交通状況予測シミュレータを用いて、情報が交通ネットワークの総遅れ時間等の社会的費用に及ぼす影響を比較し、突発事象の状況・内容や利用者の情報利用率等に応じた情報提供方法について分析した。

ついて述べる。

1.3 報告書の構成

本報告書の構成は以下のとおりである。

まず、第2章では、突発時の交通事故の検出、解析と交通運用に関する研究開発動向をとりまとめる。交通インシデント検出、シミュレーションによる交通状況予測、情報提供下での交通行動分析について、文献調査・研究動向調査を行い、研究課題を明らかにする。突発事象時の最適交通運用手法について、国内および米国、英国、オランダの最新の技術開発の動向を調査し、課題の整理を行う。

第3章では、突発事象の検出とシミュレーションによる交通状況予測手法の開発について述べる。車両感知器データを用いて、突発事象を原因とする容量制約に伴う渋滞の発生の有無やその先頭位置を検出する方法を述べ、首都高速道路の交通流データによる検証結果を示す。突発事象時の車線開放までの継続時間に影響を及ぼす要因分析を行い、事故事例を統計的に分類することで車線閉塞時間を予測する手法を構築して、実データによる検証を行う。さらに平常時を対象に開発された交通ネットワークシミュレータを改良し、突発事象時の旅行時間予測に適用できるようにモデルを拡張し、首都高速の放射線のデータで検証する。

第4章では、観測データを活用した交通情報提供下の利用者行動の調査とその分析結果をまとめて示す。携帯電話とWEBを組み合わせたプローブパーソン（PP）調査に基づく Stated Preference（SP）調査システムと仮想的なネットワーク条件を提示してWEB-SP調査を実施する方法（単独SP調査）の開発過程と、阪神高速の利用者を対象に実施したフィールド調査の概要を示す。突発事象時を想定したランプ選択行動に関するモデルの定式化を行い、行動調査データによるモデル推定の結果を示す。得られたモデルを用いて、料金体系や行動文脈による情報提供の効果について分析した結果を示す。

第5章では、高速道路利用モデル分析で得られた知見を組み込み、突発事象時の利用者の反応（情報提供下の経路選択行動）を内生化したネットワークシミュレータについて述べる。このモデルを用いて、情報の種類、情報更新間隔、インシデント検知時間を変化させた場合の影響を比較した結果を示す。一般道路の容量や高速道路の料金体系が異なる時の情報提供を通じた最適な交通運用方策について検討を加える。

最後に、第6章では、3年間の研究を通じて得られた成果をとりまとめ、今後の道路政策への展開に

第2章 国内・海外の研究動向と課題

2.1 突発事象の検出と交通状態予測

(1) 突発事象の検出方法

Parkany and Xie(2005)によれば、突発事象の検出方法は大きく4種類に分けることができる。

a) Comparative algorithms：車両感知器によってリアルタイムに観測された交通流状態と累積データを用いて推定した閾値を比較し、閾値を越えたら突発事象発生と判断する。Payne(1976)が提案したCalifornia algorithmはこの考え方に基づいて構築された方法である。この方法は実装しやすいという特徴を持っている。California algorithmをベースに複数の改良アルゴリズムが提案されており、その中でCalifornia algorithm #7と#8(PayneとTignor, 1978)の精度が一番高いとされている。

b) Statistical algorithms：累積データを用いて交通流を表現する変数の確率分布を推定し、確率分布に従って事故があるかどうかを判断する。観測された交通状況が確率分布の期待値と一定程度に離れる場合は事故発生と判断する。頻度統計学の理論に従ってDudekら(1974)はSND algorithmを提案した。TsaiとCase(1979)はベイズ統計学に基づく方法を構築した。

c) Smoothing algorithms：数分前の交通流観測データに重みを付けて、その平均値を計算する。現在の交通流状態と計算した重み付き平均値と比べて事故があるかどうかを判断するものである。Stephanedesら(1992)のMinnesota algorithmが代表的なアルゴリズムである。

d) Artificial intelligence algorithms：Neural networksとFuzzy theoryはよく知られる人工知能のアプローチである。90年代からNeural networks (CheuとRitchie, 1995; DiaとRose, 1997)とFuzzy theory (ChangとWang, 1994)を用いて複数の事故検出方法が構築されている。

わが国でも突発事象検出に関する研究が数多くなされている。たとえば、Chung et. al(1998)は、高速道

路のインシデント検出に関するアルゴリズムを比較した研究である。比較対象となったのは3つのルールベースのもの、すなわち、Payne(1976)のCalifornia algorithm, Lin and Daganzo(1997)によるUCB algorithm, 首都高速によるアルゴリズムと、1つのニューラルネットワーク(ANNモデル)によるものである。首都高速道路のデータにより比較した結果、最も検出率が高かったのはCalifornia algorithmであり、誤検知率(false alarm rate)が最も低かったのは首都高アルゴリズムであったとしている。

賓ら(2001)は、車両検知器を用いて突発事象をオンラインで把握する方法論を提案している。突発事象の検知は1期先の観測値が得られた時、その観測値以上の値が予測分布より得られる確率を用いて判定するというアルゴリズムである。阪神高速道路で観測された時間占有率データを用いて突発事象の検知を試みた結果を報告している。自己相関関数、交差共分散によりデータの定常性を確認した後に単変量季節時系列モデルを同定している。得られたモデルを用いて突発事象検知を試みた結果、日報に記録された時間より早く検知可能であり、提案した方法の有用性が示されたとしている。

(2) シミュレーションによる交通状態予測手法

シミュレーションで交通状況を予測する方法は、現時刻の実際の交通流状況に従って交通流モデルのパラメータを同定して、現時刻から一定時間内のOD需要を入力するステップと、交通流モデルに基づいてシミュレーションを実行し、将来の交通状況を予測するステップから構成される。交通流モデルのパラメータを同定するための方法の一例として、WangとPapageorgiou(2005)はKalman Filterに基づく方法を提案した。一方、Munozら(2004)はパラメータの観測値の平均値を用いて交通流モデルを同定している。

予測方法の構成から見ると、交通流モデルの役割は非常に重要である。一般に、車両感知器は交通流

のマクロ状態（平均速度，平均密度）しか観測できない。つまり，個別の車の位置情報，瞬間加速度，瞬間速度などは観測できないので，交通流状態をリアルタイムに予測するためにマクロ交通流モデルが使われる。Cell Transmission Model(CTM)と Point Queue モデルはよく知られるマクロ交通流モデルである。CTMは流体力学原理に基づいて構築されるモデルで，過飽和交通流を考慮でき，交通現象再現の精度は高い。一方 Point Queue モデルは計算面のメリットを持っている。

突発事象が発生したときの交通情報提供に関する利用者の強い要望を背景に，我が国では，首都高速道路や阪神高速道路において，突発事象時の交通情報提供のための事象検出や旅行時間シミュレーションに関する研究蓄積が少なくない。たとえば，突発事象時の旅行時間予測に関して，上野ら(2005)は，事故等の突発事象発生時における旅行時間情報の精度向上のための旅行時間予測方式を開発する一環として，多項式モデルによる突発事象発生時所要時間予測方式を提案している。従来利用されてきた車両感知器データの他に，突発事象発生位置や曜日・時間帯等の従来利用されていない要素を考慮した多項式モデルを用いると改善が見られたとしている。道路交通状況を考慮し，2種類の多項式モデルを用いることで，精度が向上したとしている。過去の1ヶ月のデータを用いて多項式モデルを作成し，予測の検証を試みている。

この研究に引き続き，上野ら(2007)は，現在提供されている旅行時間演算手法も有効利用し，多項式モデルと組み合わせたハイブリッド型予測方式を考案し，その改良を試みた結果を報告している。

船岡ら(2009)は，突発事象発生時の交通状況や旅行時間予測情報の提供等のためのリアルタイムシミュレーションによる短期予測手法を開発のための基礎研究を行っている。シミュレーションでは，突発的渋滞の発生の有無やその先頭位置，即ち突発的ボトルネックを的確・迅速に把握し入力する必要があるが，交通管制室が事象の発生を電話等により受理しない間は，突発的ボトルネックとして設定されないという問題認識の下，突発的渋滞を判定するロジックを構築し，シミュレーションに組み込むことにより，交通状況予測，旅行時間情報提供精度の向上が図れるとしている。とくにこの研究では，突発的ボトルネックの判定手法の構築を試みている。

宗像ら(2009)は，首都高速道路におけるリアルタイムの旅行時間シミュレータ RISE (Real time traffic Information by Simulation on urban Expressway)について，システム全体構成を説明し，数値計算を行った結果を述べている。

大藤ら(2006)は，阪神高速道路の交通シミュレーションモデルである HEROINE(Hanshin Expressway Real-time Observation based and Integrated Network Evaluator)の開発経緯を述べ，旅行時間予測情報の生成に使うとした場合の誤差範囲を示している。検知

器データを直接的に使う方法に比較してシミュレーションが優位になるのは障害発生時である可能性を示唆している。

岡上，奥嶋(2010)は，既存のマクロ交通流シミュレーションに対して，交通障害発生時に発生区間付近の個別車両移動を詳細に記述するミクロ交通流モデルを統合するというアイデアを提案している。これより，リアルタイムでの交通流動推計について，短時間での計算処理を確保しつつ，交通障害発生時の現象を的確な記述が可能となるとしている。

我が国の都市高速道路では世界に類を見ないような高い密度で交通流が観測されており，さまざまなデータベースシステムにより大量のデータが蓄積されるようになった。また近年ではETCデータなどの需要サイドの交通データの利用も可能となってきている。そのため，これらの観測データを有効に活用した突発事象の検出やそれをインプットとする交通状況予測のためのより精度の高いシミュレータの開発が必要とされていることがわかる。とくに，以下の点はこれまでの研究の中で必ずしも十分に考慮されているとはいえず，今後の研究・開発が待たれているといえる。

- ①突発的に発生するボトルネックの検出速度と精度の向上
- ②ボトルネック継続時間の推定精度の向上
- ③突発時の交通ネットワークシミュレータの開発
- ④情報提供による利用者の行動変容を反映したシミュレータの開発

2.2 突発事象時の行動調査

(1) 交通行動調査と分析事例

情報提供サービスの普及により，情報提供下での交通行動分析が注目されるようになった。ランダム効用理論は分析の基本となる方法論であり，道路利用者の行動モデルを構築することができる。行動モデルをシミュレーションモデルや均衡配分モデルと組み合わせると，道路交通流の動きを把握することができる。以下では，情報提供下での交通行動分析モデルとしていくつかの既往研究を紹介する。

Wardman ら(1997)の研究はシミュレータの代わりに計算負荷の少ない SP 調査を用いて交通情報に対する利用者の反応を分析したものである。SP 調査は，英国の Warrington から Manchester City まで約 34km のトリップを対象としており，可変情報板 (VMS) の情報による道路利用者の経路選択行動を把握することが目的であった。SP 調査の設定は以下のとおりである。Warrington と Manchester City の間には4つの経路が存在し，道路利用者は VMS の情報を確認した後で経路を決めるものとする。被験者には VMS の写真が示される。VMS には道路の状態 (待ち行列の有無)，予測する遅れ (分単位)，遅れの原因 (工事・事故・渋滞) などの情報が表示される。調査で

は 289 人分の 2304 個の回答を回収した。

経路選択モデルの説明変数には交通状態と個人属性が含まれる。この研究では二種類の効用関数（線形・指数）を使った。線形型効用関数は、交通状態属性（遅れ原因、遅れ時間、待ち行列の有無、旅行時間、経路ダミー）の線形関数である。指数型効用関数は、属性は変わらないが、遅れ時間に指数を付けてモデルの精度を向上することを狙ったものである。個人属性を考慮する場合、到着時間の制限、年齢、性別、O-D の利用頻度、経路に馴染むか、VMS の利用経験などの属性が用いられた。

この研究では、2つの実際のインシデントを対象に、VMS の情報による道路利用者の経路変更を観測している。1 回目の incident (1998-08-04) に対して感知器を用いて関連のデータを収集した。2 回目の incident (1998-10-8) に対して前の調査と同じ場所で 1000 部の調査票を配布し、203 部の調査票が回収された。この調査では、VMS の情報による経路変更の有無が分析された。分析に用いたモデルは、属性を一つずつ考慮した VMS 情報への反応モデルと予期しない混雑への反応モデルである。

Levinson(2003)は、シミュレーションモデルを用いて ATIS の普及率と渋滞のレベルにより旅行時間の変化を分析した研究である。シミュレーションモデルの中で道路利用者は二つの種類(ATIS の情報ありとなし)に分けられる。情報を持つ道路利用者は ATIS 情報に従って旅行時間の一番短い経路を選び、情報のない道路利用者は従来の経験に従ってランダムに経路を選択するとする。

ネットワークは、1つの OD と 2 本の平行経路で構成される。出発車両間の出発時間差は平均到着率をパラメータとする指数分布で与え、出口(目的地)での流出にはランダムな旅行時間を要すると仮定する。車両は出発するとき一定の比率に従って情報ありか情報なしという属性を付けられる。情報のない利用者は、過去の経験に従ってランダムに経路を選び、車両を該当経路の待ち列に加える。情報を持つ利用者は、ATIS 情報があるので、現在経路の待ち列長さで経路旅行時間を予測することができるとする。予測した経路旅行時間に従って最短経路を選び、車両を該当経路の待ち行列に加える。

インシデントの有無により二つのシナリオに分け、複数の混雑レベルに対してシミュレーションを行う。混雑レベルは平均到着率で決める。出口から流出までにかかる時間でインシデントのレベルを決める。情報の有無による道路利用者の旅行時間の平均値と標準偏差の関係を示すために、横軸を ATIS の普及率、縦軸を旅行時間の平均値または標準偏差としたグラフを用いて分析することが有効であるとしている。

Chatterjee ら(2002) は、SP 調査を通じて VMS 情報に対する行動データを収集し、ロジスティック回帰モデルを用いてデータの分析を行ったものである。2000 年にロンドンで 45 箇所の VMS が設置されてお

り、さらに 100 箇所で設置が予定されていたという状況下で、SP 調査を実施している。調査内容は、VMS の認識と選好である。まず、VMS に対する認識を把握するため、1997 年 2 月、ロンドンの A1-Archway における VMS の下流部で 1000 部の調査票を配布し、229 部の調査票が回収された。次に、VMS の情報による道路利用者の経路変更の有無を把握するため、1997 年 12 月、同じ場所で 2000 部の調査票を配布し、246 部の調査票が回収された。被験者の個人属性は、性別、年齢、年間走行距離であり、現在のトリップの情報は、出発地、目的地、走行時間、経路に馴染みがあるかどうかと経路である。Archway Junction で待ち行列を見た場合に経路を変更すかかどうか、VMS の情報を見たら経路を変更すかどうかが分析された。

倉内ら(2004)は、突発事象の発生を想定したケースにおける情報提供の効果を交通流シミュレーションモデルにより検討した研究である。名神高速道路栗東 I C-茨木 I C 下り線を対象とし、一時的に交通容量が低下した状態を仮想的に発生させ、情報提供による渋滞緩和効果を考察している。交通流シミュレーションを用いた情報提供効果の検討を通して、シミュレーション技術の進展および動的交通施策評価の促進を目指した研究である。

(2) 情報機器を用いた行動調査

鈴木ら(1988)は、SP 調査の信頼性に関わる仮想選択肢の設定方法と、回答された意識データの信頼性の問題への対応方法として、パソコンを利用した応答型意識調査の実用性の検証を行っている。応答型調査とは、トリップ特性やサービス特性など、回答者の個別の状況に合わせて質問する調査手法である。応答型調査手法には面接調査員によるインタビュー形式の調査法があるが、これは熟練した面接調査員の必要性和、その負担が過大となる問題がある。この問題点の解決策としてラップトップパソコンの利用が挙げられている。この研究では、パソコンを用いた応答型意識調査により取得したデータから推定したロジットモデルの適合度は高く、信頼性の高い回答が得られることが示されている。質問方法としては、現状の選択肢と仮想選択肢との一対比較が最もよく意識を説明できることを示している。一方、質問の順序、集団面接への適用方法、対象サンプルの効率的な捕捉方法などの課題も残されているとしている。

杉恵ら(1992)は、携帯型パソコンを用いた応答型選好意識調査を実際の通勤・通学者を対象に実施している。そして、調査方法と得られたデータへの交通機関連選モデルへの有効性について従来から一般的に行われてきた調査票記入式調査と比較している。SP 実験の交通サービス水準の設定値の比較では、応答型選好意識調査の方が回答者個人に応じた設定値を作ることができている。交通機関連選モデルの構築結果の比較では、応答型選好意識調査によるモデ

ルの方が内面的妥当性を示す指標は良くなっている。これらの研究から、パソコンを用いた応答型調査手法では被験者に応じた設定値を提示することが可能であり、取得データから推定した選択モデルの適合度は高く、信頼性の高いデータが得られる可能性が高いことが示されている。

青野ら(2001)はインターネットを介したコンピュータネットワーク調査手法を開発している。調査の方法を、調査票形式インタビュー調査、調査票留置調査、コンピュータベースインタビュー調査、コンピュータネットワーク調査の4つに分類した上で、それらの特徴を比較している。この研究で開発された交通行動調査システムはGIS機能を組み込んだコンピュータネットワーク対応型のシステムである。GIS機能によりSP調査における仮想代替案の現実感向上に関して潜在的な有効性を持っている。

買物時の交通手段選択を対象に調査を実施し、交通手段選択モデルの適合度を調査票調査と比較した結果、モデルの説明力に関しては調査票調査によるデータの方が良い結果を示している。これはサンプルの偏りといった問題に加え、コンピュータ調査では被験者が調査の全体像を把握しづらく、また、処理待ち等により調査票調査よりも時間がかかることで回答の信頼性に影響を及ぼしたと考えられると結論付けている。仮想交通手段に現実感を得られるか否かといった被験者の調査システムに対する評価がモデルの説明力に影響を及ぼしていることがわかっており、調査システムのデザインと得られるデータの質に関して検討を重ねることが今後の重要な課題になるとしている。

プローブパーソン(Probe Person, PP)調査は、GPS搭載の携帯電話などの移動体通信機器と、インターネットを通じたWebダイアリーを用いて人の移動状況を記録する調査である。この調査により、詳細な交通行動の実態を把握することが可能である。

井坪ら(2005)はPP調査(ここではWEB-GPS調査)と紙アンケート調査を実施、比較し、精度、調査の効率性、課題について言及している。その結果、調査の効率性の向上、トリップ原単位の向上、詳細な移動経路の把握、所要時間情報の精度向上が確認されている。また、調査実施後に被験者に回答負荷のアンケートを行った結果、紙アンケートに比べ被験者負担が少ないことが分かっている。

PP調査による分析は近年盛んに行われており、例えば杉野ら(2005)はPP調査を実施して観光行動を分析している。この研究では、PP調査で取得された詳細な移動軌跡を用いて、観光行動をパターン分類し、特性分析を行っている。観光行動等の非日常的な行動は想起に基づくアンケートでは被験者の回答に限界があり、正確な移動軌跡や所要時間を対象とした分析は困難である。PP調査はこのような非日常的な行動に対して特に有効であると考えられる。

進藤ら(2010)は、阪神高速道路における環境ロードプライシング施策の評価にあたり、PP調査を行い、

そこから抽出された日常的な高速道路利用パターンを分析するとともに、各利用パターンに応じて料金調整実験を実施し、各利用者の対応行動について分析している。この研究ではPP調査によって取得された被験者の詳細な実行動データから阪神高速道路利用のトリップを抽出し、施策対象サンプルを的確に把握することに成功している。

SP調査の信頼性に関する既往研究より、SPデータの信頼性には安定性と信憑性の2つの要因があり、SPモデルの信頼性には内部妥当性と外部妥当性の2側面がある。安定性の向上には、代替案の提示方法を工夫し、被験者負担の少ない調査を設計することが必要である。信憑性を規定する要因にはa)実際の行動と異なる意思決定機構によるもの、b)不完全な代替案表現に起因するもの、c)現実の制約条件の無視に起因するもの、が挙げられ、調査設計ではこれらに注意する必要がある。

応答型調査手法に関する研究では、推定した行動モデルの内部妥当性を表す適合度はいずれも調査票調査よりも高くなっており、信頼性の向上に貢献することがわかっている。これは、被験者の実際の行動に応じたサービス水準の設定が可能であることが大きな要因である。Webを用いた調査手法では、処理待ちの発生、サンプルの偏りといった要因により、調査票調査に比べてモデルの内部妥当性が低下する場合もある。また、設問の設計によっては、被験者の疲労による回答の信頼性の低下も発生しうる。一方、代替案を現実的に感じられるか否かという評価がモデルの説明力に影響を及ぼすことがこれまでの研究で明らかとなっており、Web調査による仮想状況の現実感を向上させる工夫が重要である。

PP調査による行動調査は、調査票調査より回答負担が低く、正確な所要時間などのサービス水準が取得できる。PP調査は被験者の想起が曖昧な非日常的な行動に関して特に有効である。また、詳細な移動軌跡が取得されていることから、分析の対象となる経路を利用した被験者を的確に抽出することが可能となっている。以上を考慮すると、PP調査によって実際の空間での交通行動実績データを高精度で入手し、それを前提にしたWeb調査によるSP調査が有効な方法論となるものと判断される。

2.3 突発時の交通マネジメント(海外動向)

(1) 米国と欧州の動向調査

米国・英国では、高速道路並びに一般道路における突発時の交通マネジメントをTraffic Incident Management(TIM)と呼称しているが、ここでは高速道路(Interstate Highways, Motorways)のみを扱う。米国の動向については、平成22年度にカリフォルニア州交通局(CALTRANS)とカリフォルニア大学バークレー校を訪問し、交通マネジメントの動向と理論的背景に関する情報を収集したほか、ランプメータ

リングについては、高速道路上での実際の運用を確認した。

平成 23 年度には、研究代表者および研究支援メンバーであるコンサルタントや高速道路管理会社の実務担当者とともに、英国とオランダを訪問し、欧州における先進的なインシデントマネジメント(IM)の実態を調査・視察した。

英国では、インペリアルカレッジロンドンのベル教授らと“Traffic Incident Management, Traffic Simulation and Journey Planning”と題したワークショップを行い、突発事象時管理や、交通挙動分析、シミュレーションなど多岐にわたって意見交換を行った。

オランダでは、Rijkswaterstaat (Ministry of Infrastructure and the Environment) によって運営されており、regional レベルおよび national レベルでの交通を管理しているユトレヒトの交通管理センターを視察し、実際に突発事象時管理に携わっている実務者から業務の説明を受けた。またデルフト工科大学のフーゲンドルム教授らと共に“Traffic Incident Management and Freeway Operation”と題したワークショップを行い、オランダでの突発事象時管理の実態、データ分析手法、行動モデルなどについて調査および意見交換を行った。

以下では、米国・英国が高速道路で実際に運用中の「突発時の交通マネジメント」についての調査結果を報告する。

(2) 突発事象 (incidents) の定義

米国では、FHWA 発行の 2000 Traffic Incident Management Handbook (TIM Handbook 2000) (FHWA, US DOT 2000a) の中で、TIM が対象とする incident を次のように定義していた。

“突発事象とは、道路の交通容量の減少や交通需要の異常な増加を引き起こすような、繰り返り起こることは稀である (non-recurring) 事象のことである。例えば、自動車事故、故障車両、貨物流出、道路の維持管理・復旧作業、あるいは、交通管制に重大な影響を及ぼすような緊急ではないが特別なイベント、等がある。” (Chapter 1.3: The Problem, p.1.2)

その後、“the September 11”やハリケーン・カトリナの影響を踏まえ、国土安全保障省の National Incident Management Systems (NIMS) の枠組みの中に組み込まれる形で、TIM の意義が再評価 (FHWA, US DOT 2010) されて、それに伴い TIM が対象とする incident も再定義された。FHWA 発行の 2009 Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD 2009) Part 6: Temporary traffic control (AASHTO2009) では、TIM が対象とする incident を次のように再定義している。

“突発事象には、平常時の交通流を妨げるような、緊急車両の出動、自然災害、その他の事前に予期できない事象、等がある。突発事象

が及ぼす影響には、以下のようなものが含まれる。①突発的な交通事故、悪天候、道路工事、その他の特別なイベントが引き起こす、繰り返り起こることは稀である交通渋滞 (non-recurring congestion), ② 交通流の急激な増加、旅行速度の大幅な低下、事故現場周辺の野次馬渋滞等が引き起こす 2 次被害 (secondary crashes), ③警察・消防・救急救命等の事故現場対応要員や道路工事作業員の巻き込まれ事故 (struck-by incidents), ④突発事象が起きた後の処理時間に基づく後続車両の目的地到達遅れ時間 (clearance time). ” (Chapter 6I: Control of Traffic Through TIM Areas, p.726)

一方、英国では、HA 発行の 2009 Network Management Manual (NMM 2009) Part 7: Traffic Incident Management and Contingency Planning (HA, UK DfT 2009) の中で、TIM が対象とする incident を次のように定義している。

“突発事象には、クリティカルとメジャーの 2 つのタイプがある。クリティカルな突発事象とは、路上での事前に予期できない事象のことであり、メジャーな突発事象とは、道路交通ネットワークの非常事態 (emergency) のことである。” (Chapter 7.3: Definition of Incident, p.7.3.1 - 7.3.2)

このうち、メジャーな突発事象は、英国国民の福祉・国内の環境・安全保障への打撃を伴うものである。HA が対象とする突発事象 (‘HA-led’ incidents) は、クリティカルな突発事象であり、次のように定義している。

“HA が対象とする突発事象には、以下のようなものが含まれる。1. 死傷事故や交通違反に関係しない車両衝突事故、2. 偶発的な事故・交通量の激増・急な天候不良などによって生じる渋滞、3. 落下物・故障車・放置車・路上侵入者などによって生じる車線閉塞、4. 道路利用車の立ち往生。” (同, p.7.3.3)

以上に示したように、米国・英国では、TIM が対象とする高速道路上の突発事象の範疇に、交通事故による車線閉塞等といった、局所的に繰り返り起こることは稀で事前に予期できない事象から、自然災害による交通麻痺等といった、平常時の道路交通ネットワーク全体に打撃を与えるカタストロフィックな事象までを幅広く含めていることがわかる。

(3) TIM の位置付けと目的

米国 FHWA は、TIM の位置付けについて、2010 Traffic Incident Management Handbook Update (TIM Handbook 2010) (FHWA, US DOT 2010) の中で、「モビリティの拡大、交通渋滞の削減、そして事故現場対応要員や道路利用者の安全性確保と 2 次被害の予防に資する交通運用ツールのひとつ」(p.7) と位置付けている。

TIM の目的については、NTIMC 2004 が、National Unified Goal (NUG) として次の3つを設定している (NTIMC 2006a, 2006b, 2006c)。

- ①事故現場対応要員の巻き込まれ事故に対する安全性の確保 (Responder Safety)
- ②突発事象が引き起こす渋滞による遅れの解消、事故現場での後続車両による2次被害を防ぐ素早い初動対応 (Safe, Quick Clearance)
- ③道路交通管理者と事故現場対応要員との相互コミュニケーションの迅速性・信頼性 (Prompt, Reliable, Interoperable Communications)

一方、英国 HA は、TIM の位置付けについて、NMM 2009 の中で、「突発時に交通渋滞や目的地到達時間の遅れが道路利用者に与える不満足を減少させ、高速道路における Emergency Customer Welfare を提供するもの」(p.7.1.2) と位置付けている。加えて、HA を含む CEDR Task 13 Group は、「有益で正確でタイムリーな情報提供、動的な交通マネジメント、そして突発事象の効率的な解消を通して道路利用者の交通を持続させるもの」と位置付けている⁹⁾。

TIM の目的については、CEDR Task 13 Group が、次の4つを設定している (CEDR 2010)。

- ①突発事象の時系列の中で最も致命的かつ時間がかかる要素の改善を通して、突発事象の対応時間や解消時間を減少させること
- ②2次被害のリスクを減少させること
- ③突発時の現場要員の安全を確保すること
- ④突発時に対応可能な要員・資材の利用を最大化すること

(4) TIM サイクル

英国 HA は、突発時から平常時までの時系列の中でおこなわれる一連の TIM のフローを、次の1~8.のような“TIM サイクル”で説明している (HA, UK DfT 2009b)。

- ①平常時 (Normality)
- ②突発事象の発見 (Discovery) : 警告や情報提供等、直ちに出来る安全対策
- ③照合作業 (Verification) : 突発事象の特性・場所・重大性の照合、対応可能な要員・資材の決定と招集
- ④初動対応 (Initial Response) : 現場の安全性の確保、現場での作業区間の仮設、現場の状況の確認、警察・消防・救急救命、交通渋滞への一時的な措置、交通マネジメントの計画
- ⑤現場の交通マネジメント (Scene Management) : 現場での効果的な作業の計画、現場の継続的な安全性の確保、2次被害の予防、突発時の情報収集、効果的な交通マネジメントのためのデータ収集、交通渋滞や目的地到達時間の遅れの解消を図る交通運用、平常時への復旧に向けた計画
- ⑥除去作業 (Recovery) : デブリ等の除去、作業区間の撤収
- ⑦平常時への復旧作業 (Restoration to Normality) : 交通情報の更新、交通渋滞や目的地到達時間の遅れの



図-2.4.1 旅行時間の誤差 (用賀～三郷)

最小化

⑧平常時に戻る

2.4 我が国の都市高速道路の突発時交通運用

(1) 首都高速道路の交通運用

首都高速道路 (以下、首都高) における突発事象時の交通マネジメントについての事例調査の結果を報告し、その課題を述べる。

首都高では、1日当たり、事故:約30件、故障車:約32件、落下物:約87件が発生 (平成22年度実績) しており、突発事象に起因する渋滞が全体の約12%を占めている。事故等突発事象は、予測不能且つ深刻な渋滞の原因であり、首都高利用者の信頼性や満足度を著しく損なうため、道路管理者が突発事象の発生を迅速に把握し、突発事象の詳細情報を的確・迅速に提供する必要がある。

以上の背景の下、首都高速道路株式会社 (以下、首都高株) は、道路管理者として、突発事象発生時に迅速・的確な情報提供を行うべく、交通管制システムの高度化が継続的に検討されており、数年スパンの頻度で、機能強化の改修が実施されている。

突発事象時における情報提供内容は、事故や故障車等の事象種別・発生箇所等の他、事象による渋滞の通過時間や渋滞長、旅行時間の増減傾向等多岐に渡る。これらの情報は、交通管制システムに収集・集約された、センサー及び交通管制員の手入力によるデータを元に作成されている。

つぎに、首都高において現状提供している突発事象時の旅行時間情報についての課題を示し、課題解決に向けた技術開発動向の整理結果を以下に示す。

現在、首都高では、旅行時間情報として、リアルタイムデータを元に、同時刻和で算出した旅行時間を提供している。これは、1分毎に収集・計測された車両感知器速度を元に、5分切り上げ表示をしたもので、約9割は実際にドライバーが経験するであろう時間と的中しており、概ね良好な精度を保っている。しかし、事故等が発生した場合、渋滞が急激に延伸する場合等については、提供している旅行時間と、ドライバーが経験する旅行時間に、大きな乖離が生じることがある (図-2.4.1)

この乖離を解消し、旅行時間の信頼性を高めるために、首都高俣では、リアルタイム交通状況予測シミュレーションの開発研究を実施している。

正確（的確）な交通状況を予測するには、予測を構成する要素である①交通需要、②交通容量、③経路選択の正確（的確）性が必要とされる。首都高俣では、上記①～③の要素技術に関する研究を遂行しており、その成果は既往の論文で複数報告されている。特に、交通容量に大きく影響すると考えられる要素の研究が進んでおり、[A] 突発的ボトルネックの検出（通常時には発生し得ない容量状態（車線閉塞に起因）を迅速に検出）及び [B] 事象による車線閉塞状態の継続時間（検出された事象の継続時間、即ち容量制約時間を推定）に関する研究が進んでいる。

[A] 突発的ボトルネックの検出については、首都高における事故発生の把握について状況整理しているが、事故の通報は、当事者等からの外部連絡が6割となっていることがわかる。事故発生から交通管制員による事故登録まで、10分以上の遅れが発生している実態を確認しており、人的な事故の把握に遅れが発生している場合があることを確認している。リアルタイム交通状況予測シミュレーションでは、システム上で突発事象の発生をインプットするには、交通管制員による手動での入力が必要であるため、迅速な突発事象検出が必要という認識から研究に着手している。

[B] 事象による車線閉塞状態の継続時間については、オンラインリアルタイムで取得可能な突発事象（事故）の詳細情報をインプットとした継続時間予測手法の構築に取り組んでいる。課題としては、事故の要因登録が交通管制員による入力（手動）であることを挙げており、リアルタイムで取得可能な交通データを活用した、人手に頼らない更なる精度向上方法の検討としている。

(2) 阪神高速道路の交通運用

阪神高速道路での平成 22 年度の渋滞発生状況は図-2.4.2 のとおりとなっており、交通集中渋滞が大部分を占めているが、事故・故障・落下物等の突発事象に起因する渋滞も 15%以上となっている。このため、円滑な都市内交通を確保して道路網全体の機能低下を防止するために交通管制システムが導入され、道路交通情報の提供や交通制御が実施されてきた。一方、事故、あるいは故障、落下物といった突発事象を早期に検知して利用者に情報提供することは、二次事故の防止など安全確保、あるいは適切な経路選択による渋滞緩和を図る意味においても極めて重要である。現在、阪神高速道路では減少しつつあるとはいえ、年間 6,000 件弱の交通事故が発生しており、突発事象発生時の交通運用を適切に行うことは喫緊の課題であると言える。

利用者への情報提供という観点からみると、突発事象時のオペレーションは①突発事象の検知、及び

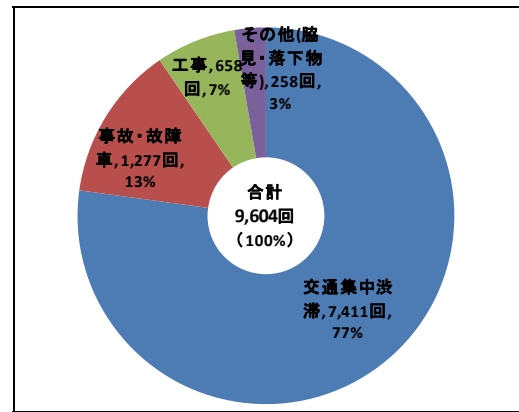


図-2.4.2 原因別渋滞発生回数（平成 22 年度）

②正確な交通情報の利用者への提供及び効果的な交通制御という 2 つの局面に大別される。

阪神高速では、画像処理による「突発事象検出システム」が平成 4 年度から導入されている。これは、見通しの悪い急カーブや合流部、トンネル区間などに設置した複数台のカメラからの映像を画像処理することにより、事故や故障、渋滞などで停止した車両を自動的に検知するシステムである。

見通しの悪い曲線での事故は、後続車を巻き込んだ 2 次事故を引き起こす恐れがある。このため、事故や故障により自動車が停止するような事象が発生した場合には、CCD カメラで事象を瞬時に検知し、その区間の上流に設置された表示板に、後続車へ注意を促す警告が自動表示される仕組みとなっている。

一方、交通管制室では、発報のあったカメラ映像を確認したうえで、状況により警報表示板の表示内容をより正確な情報に書き換えるとともに、必要な事故処理作業を手配する手順となっている。

システム導入後の調査で、警報表示の内容によって、後続車両ドライバーは速度低下、利用車線変更などの安全運転行動をとることが確認された。またシステム導入まで交通管制センターでの事故などの異常事象の認知には、平均 8 分以上の時間を要していたが、本システム設置区間では、2 秒以内の認知と、確認後の迅速な事故対応が可能となった。

一方、同システムはカーブ区間を中心に 10 箇所導入されたが、実運用に入ると突発（障害）事象ではない交通集中渋滞を頻繁に検知するなど、必ずしも効果的な成果を上げていない状況にあり、画像検知による通常時と異常時の線引きの難しさという課題に直面している。今後の対応として、次項以降に示す、車両検知器による突発事象検知の精度向上や過去の統計データを活用する手法との併用等を検討する必要があると考えられる。

交通管制員の監視支援を行うために、平成 15 年度から車両検知器データを用いた突発渋滞判定システムを導入している。これは、事故や故障、落下物などの事象に伴う突発的な渋滞や車線利用率の偏りをもとに判定を行うシステムである。（図-2.4.3）

過年度実施された交通管制員へのアンケート・ヒアリング調査によれば、有用性に対する一定の評価

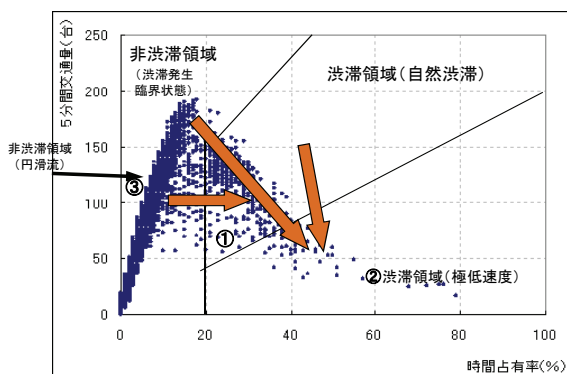


図-2.4.3 突発事象判定イメージ

が得られている。また、この機能の判定結果を阪神高速道路利用者へ提供することは、二次事故の防止などによる安全確保、あるいは適切な経路選択による渋滞緩和を図る上でも極めて重要であると考えられる。

しかしながら、そのような評価が得られている一方で、誤検知の問題、あるいは検知器の故障による誤報が継続的に表示される等の問題が指摘されており、今後の運用に向けた検討の余地が残されている。このうち誤検知の問題については、判定アルゴリズムの改良、パラメータの見直しを行う等今後の検討の余地がある。また、検知器故障の問題に対しては、故障した際のデータの特徴を踏まえた上で、その変化を自動的に判定する方法が検討されており、検知器の迅速なメンテナンスに反映することで、今後の精度向上に寄与することが期待される。

2.5 まとめ

第2章では、まず、交通事故検出方法、シミュレーションによる交通状況予測手法、情報提供下での交通行動分析手法に着目して、文献レビューを行った。また、現地動向調査として、米国、英国、オランダを訪問し、先進地域の研究事例や実務事例を調査した。併せて、首都高速道路および阪神高速道路における突発事象時の交通運用方策を紹介した。

これらのレビューや調査を通して、以下の研究課題があることが確認できた。

①インシデントの代表である交通事故の検出について、車両感知器のデータを使う方法は実用性の高い方法であるが、詳細な判別ルールの構築やその実証については必ずしも十分な研究が行われているわけではない。また、レビューした範囲では、渋滞、非渋滞といった交通状態に応じた有効なボトルネックの検出方法、容量低下およびその継続時間の推定に関する研究事例は少ないことも明らかとなった。

②交通状態予測のためのシミュレータに関してはその一部をレビューしたにとどまっているが、平常時だけでなくインシデント時にも適用可能なシミュレータの開発研究が必要であることがわかった。

③情報提供下での交通行動分析に関しては、可変情報板によるドライバーへの情報提供の効果を分析するために SP 調査を実施し、離散選択モデルによるモデル化を行うものが多いことがわかった。情報提供の効果を調べるために、ネットワークシミュレータに推定した行動モデルを組み込む研究も試みられているが、状況によって異なる利用者の反応の多様性を考慮するには至っていない。

これらの課題を踏まえると、インシデント時の交通運用を評価するためには、突発事象が生じた場合の利用者行動を反映した動的ネットワークシミュレータの開発がひとつの鍵となることがわかる。

一方、突発事象時の交通運用について、米国では Traffic Incident Management Handbook が 2010 年に改訂され、欧州でも European Incident Management の事例集や評価指標も提示される予定であることがわかった。わが国では突発時の交通マネジメントに関する体系的な取り組みが必ずしも十分であるとはいえず、突発事象をいくつかのカテゴリーに分類した上で適切な TIM サイクルを適用することなども含めて、理論研究をベースとした実証研究を積み上げることの必要性が確認できた。

ただ、米国では、ランプメータリングをはじめ、突発時にも適用可能な交通運用マネジメント施策が展開されているものの、ループコイル式の車両感知器によるデータ収集密度はわが国に比較すると低い状況に留まっているほか、動的な需要データ（たとえば ETC データ）はほとんど獲得できていない現状である。国際的に見ても、わが国の都市高速道路で観測・蓄積された高度な交通データを有効に活用した突発時の交通マネジメント手法の開発が待たれていることが改めて確認できた。

第3章 突発事象の検出とシミュレーションによる交通状況予測

3.1 突発事象の検出

(1) 突発事象検出の必要性

高速道路で突発的に交通障害となる事象（インシデント）としては、事故の他に故障車や落下物が挙げられる。ここで、研究開発する手法は、事故や故障車といった事象の種別を区別する手法ではなく、突発事象を原因とする容量制約に伴う渋滞（突発的渋滞）の発生の有無やその先頭位置、即ち突発的ボトルネック（以下、突発的 BN と呼ぶ）を的確・迅速に把握することで、突発事象の発生を迅速に検出する手法である。

首都高速（以下、首都高）における現在の交通シミュレーションによる予測システムでは、突発事象が発生した場合、交通管制員によってシステムへの事象登録が行われないと、容量制約箇所として設定されない。突発的渋滞の先頭位置を的確・迅速に判定・発見する突発的 BN 判定ロジックを構築し、交通シミュレーションに組み込むことで、交通状況予測、旅行時間情報提供精度の向上が期待される。

(2) 突発的ボトルネックの検出方法

突発的 BN の判定とは、突発事象発生時に渋滞が発生させた場合の先頭地点の判定を意味している。突発的 BN の判定の基本的なロジックとしては、車両感知器データより、当該時間帯・箇所での臨界速度を基にした渋滞判定を速度データにより行う。渋滞と判定された場合、当該時間帯の直前の時間帯・同箇所が自由流か渋滞流かによって検出ロジックを分岐させる。突発的 BN 検出の基本フローを図-3.1.1 に示す。

突発的 BN 検出時には、シミュレーションへ入力すると同時に、交通管制室への突発事象発生アラームの発報を併せて行うことを念頭においている。そのため交通管制室の現場の声を踏まえ、「取りこぼし

は許せども嘘は許さない」ロジックの構築により、マンマシンシステムを構築することで、使う側の信頼性を確保することが必要である。なお、事前に把握できる工事渋滞の影響については、工事区間を含む前後区間の工事規制時間帯前後 30 分間は、あらかじめ除外する。

自由流時の突発的 BN 検出では、検出の第 1 段階として、車両感知器区間 5 分データの時間的・空間的な速度変化から渋滞の先頭箇所を検出する。これに、第 2 段階【判定 A】として、捌け交通量の低下状況、密度の状況を加味し、一時的な速度低下現象の除外を行う。さらに、取りこぼしを少なくするために、第 2 段階【判定 B】として、次時間帯の交通状況も監視し、BN の検出精度を向上させる（図-3.1.2）。

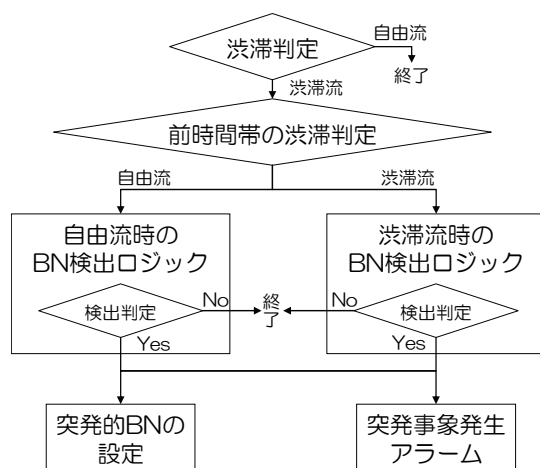


図-3.1.1 突発的 BN 検出の基本フロー

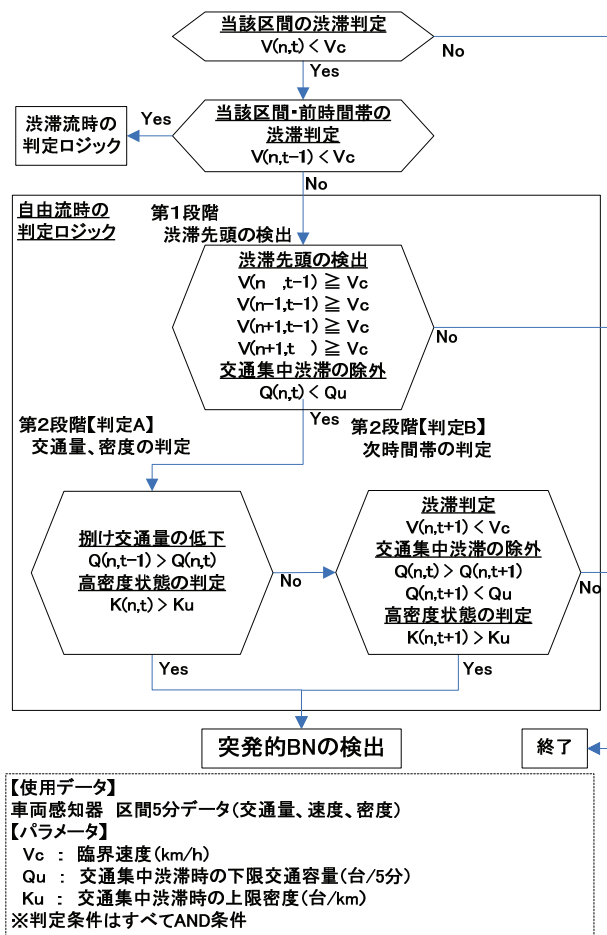


図-3.1.2 自由流時の突発的BN 検出手順

一方、渋滞流時の判定は、自由流時と同様に、車両感知器区間 5 分データから、時間的・空間的な速度変化を基本としながら、【判定 A】にて、捌け交通量の低下状況を加味し、突発的 BN の検出を行う。さらに、取りこぼしを少なくするために、【判定 B】として、前々次時間帯の交通状況との比較を追加し、BN の検出精度の向上を図る。

(3) 突発的ボトルネック検出手法の検証

検証事例として、首都高 4 号新宿線上りを対象区間とする。この路線は、中央自動車道から中央環状線、都心環状線へと接続する重交通を抱える路線であり、交通集中渋滞が慢性的に発生している。そのため、突発事象による車線閉塞が発生すると、それに伴う突発的渋滞の影響も甚大である。検証期間は、2008 年 4 月の 1 ヶ月間とする。

以下の 3 指標を用いて、検証する。

① 事象検出率 (リコールレート) :

$$RR = \frac{DR}{IR} \quad \dots (式 3.1.1)$$

② 正検出率 (プレジジョンレート) :

$$PR = \frac{DR}{(DR + DE)} \quad \dots (式 3.1.2)$$

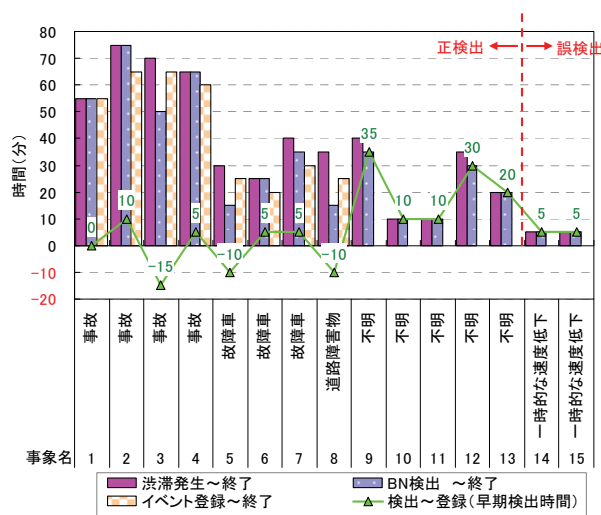


図-3.1.3 登録時刻に対する早期検出時間 (自由流時)

③ イベント登録時刻に対する早期検出時間

$$EDT = RT - DT \quad \dots (式 3.1.3)$$

ここに、

IR : 真の事象数 (件)

DR : 正検出数 (件)

DE : 誤検出数 (件)

RT : イベント登録時刻

DT : 突発的 BN 検出時刻

である。

自由流時は、真の事象数(IR)25 件に対し、正検出数(DR)13 件、誤検出数(DE)2 件であったので、事象検出率 RR は 52% (13/25)、正検出率 PR は 86% (13/15) であった。イベント登録時刻に対する早期検出時間 EDT を図-3.1.3 に示す。なお、判定時に設定したパラメータは、臨界速度 50km/h、集中渋滞時の下限容量 200 台/5 分、集中渋滞時の上限密度 50 台/km である。

事象検出率はやや低い一方で、正検出率は高いという結果となった。突発的 BN 検出時には、シミュレーションへの入力と同時に、交通管制室への突発事象発生アラームの発報を併せて行うことを念頭に置いているため、正検出率を 100% に近づけることが望まれる。早期検出時間は、イベント登録が無い突発的な渋滞 (図中では「不明」) を判定できていること、イベント登録がある事象に対しても概ね登録よりも早い、もしくは同時に検出できており、良好な結果と言える。一方で、3 件がマイナスの値 (イベント登録よりも検出が遅い) であるが、これらは運用の段階で既にイベント登録がある箇所を検出対象から除外することによって、無駄な検出を省くことができるため、実質的には「未検出」と解釈してよい。

渋滞流時は、真の事象数(IR)9 件に対し、正検出数(DR)7 件、誤検出数(DE)0 件であったので、事象検出

率 RR は 78%(7/9), 正検出率 PR は 100% (7/7) であった。事象検出率, 正検出率はいずれも高い値となった。特に誤検出が無く正検出率は 100%となっており, 交通管制室での突発事象発生アラームの発報の運用にも耐えられる精度となった。早期検出時間は, マイナスの値 (イベント登録よりも検出が遅い) が 7 件中 3 件であった。マイナスの値は実質的には“未検出”と読み取ることができるが, 検出時間の早期化に向けて更なるロジック・パラメータの検討が必要と思われる。なお, 渋滞時の事象数は 7 件と少ないので, 十分な数の事例分析が必要であることは言うまでもない。

3.2 容量低下と継続時間の推定

(1) 車線閉塞時間推定の必要性

首都高の交通予測システムにおける車線閉塞時間設定の考え方は, 全ての事故について, 事故処理終了が交通管制システムに登録されるまでは, 事故発生からの経過時間に関わらず, 予測対象時間 (2 時間) 継続するものとしていた。そのため, 事故処理終了間際においても, 事故処理開始時と同じ車線閉塞継続時間が設定され, シミュレーションが実施される仕組みとなっており, 事故処理終了間際に旅行時間予測に大きな誤差が生じることとなる。突発事象発生時における精度の高い旅行時間を予測するには, 車線閉塞時間を高い精度で予測し, 時間経過に伴って変化させることが必要であり, オンラインシミュレーションでの活用を念頭に置いた場合には, 重要な課題となる。

(2) 車線閉塞時間に影響を与える要因

車線閉塞時間に影響を与える要因を分析するため, 2006 年の 1 年間 (1 月~12 月) の首都高全線の道路交通データ (車両感知器から得られる 5 分間の交通量と速度) と事故記録データ (事故発生通報によって把握された事故記録) を集計分析した。対象期間内に発生した車線閉塞を伴う総事故件数は, 6,644 件であった。

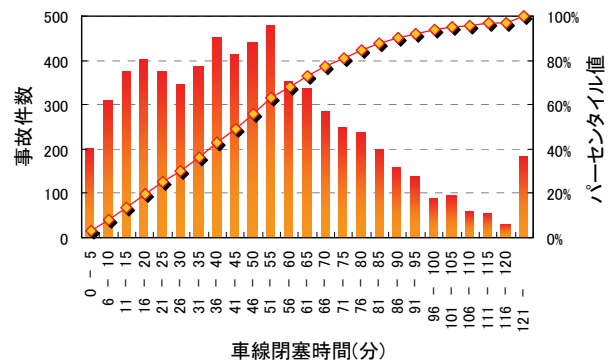


図-3.2.1 全事故を対象とした車線閉塞時間分布

事故記録データと道路交通データより車線閉塞時間を抽出し, その頻度分布 (図-3.2.1) を求めた。その結果, 車線閉塞時間が 60 分以下の事故が全事故の約 70%であることが分かった。なお, 全事故の車線閉塞時間の平均値は 52 分であり, 中央値は 50 分である。

事故記録データには各事故の詳細情報が記録されている。そこで, 車線閉塞時間に影響を及ぼしていると考えられる要因を抽出して分析する。

①消防・救急の出動有無による影響

消防・救急の出動有無による車線閉塞時間分布より, 消防・救急の出動有無により車線閉塞時間が大きく異なることがわかった。消防・救急が出動する事故は, 人身事故である可能性が高く, 事故規模が大きいことが考えられる。そのため, 消防・救急車両が現場に到着するまでの時間や本線上での作業時間が必要となり, 車線閉塞時間が長くなることが考えられる。

②処理車両の出動有無による影響

処理車両の出動有無による車線閉塞時間分布より, 処理車両の出動有無により車線閉塞時間が大きく異なることがわかった。処理車両が出動する事故は, 本線において事故車両が自走不可となる可能性が高く, 本線上での作業が必要となることから, 車線閉塞時間が長時間になることが考えられる。また, 消防・救急の出動有無による影響と比較すると, 若干車線閉塞時間が長い傾向であることも確認できた。

③事故台数による影響

表-3.2.1 予測車線閉塞時間の設定値

消防・救急の出動	出動有									
処理車両の出動	出動有					出動無				
事故台数	1台	2台	3台	4台	5台以上	1台	2台	3台	4台	5台以上
車線閉塞時間[分]	75	75	80	90	95	70	65	75	80	100
消防・救急の出動	出動無									
処理車両の出動	出動有					出動無				
事故台数	1台	2台	3台	4台	5台以上	1台	2台	3台	4台	5台以上
車線閉塞時間[分]	65	70	75	90	90	60	50	60	75	90

事故台数による車線閉塞時間分布より、事故台数の違いによって車線閉塞時間が大きく異なることがわかった。とくに、事故台数が2台の事故は最も車線閉塞時間が短い。また、事故台数が1台の事故は比較的車線閉塞時間が長く、事故台数が3台以上になると、事故台数の増加に伴い車線閉塞時間も増加していることが確認できた。

事故台数と事故車両の速度を詳細に分析するため、第1当事者の車両速度と事故台数の関係を調べた。事故台数が2台の事故は、第1当事者の車両速度が遅いことが確認できた。このことは、事故台数が2台の事故が渋滞中に発生していることを示唆しており、また事故形態も軽い追突であると想定される。そのため、先述した事故台数が2台の事故について、車線閉塞時間が短いことが考えられる。一方、事故台数が1台の事故では、第1当事者の車両速度が速い。事故台数が1台の事故は事故発生時の車両速度が速いため、結果的に自走不可となる可能性が高く、本線上での処理作業に時間を要し、車線閉塞時間が長くなると考えられる。

2006年1年間の事故記録データより車線閉塞時間の要因分類を行った結果、前述した要因により予測車線閉塞時間を設定した。消防・救急の出動有無(2分類)、処理車両の出動有無(2分類)、事故台数(5分類)の合計20分類により設定した予測車線閉塞時間を表-3.2.1に示す。

(3) 車線閉塞時間予測手法

事故発生から車線閉塞終了まで、事故処理の進行状況により取得可能なデータは異なるため、車線閉塞時間予測に用いる手法も利用可能なデータに合わせて使い分ける必要がある。そこで、車線閉塞時間予測の際には、3種類の予測を順次適用することを考えた。

事故発生直後には、統計値による車線閉塞時間予測を行う。これは、事故記録データより要因別に車線閉塞時間の平均値などの統計値を用いることにより車線閉塞時間を予測するものである。

事故処理中は、取得データの要因分類による車線閉塞時間予測を行う。事故データより車線閉塞時間に影響を与えると考えられる要因を抽出し、その抽出した複数の要因から車線閉塞時間の分類を行い、車線閉塞時間を予測する。(2)で述べた集計分析の結果はここに反映される。

事故処理終了直前は、交通管制員による車線閉塞終了時間予測を行う。事故現場の状況から、交通管制員・現場作業員の経験を参考にし、車線閉塞終了時間を予測するものである。交通管制員の経験による現場の進捗状況を考慮した車線閉塞終了時間予測は、事故処理終了直前の現場の作業状況・情報を勘案し、終了時間を予測するもので、車線閉塞時間の予測精度が向上することが期待できる。

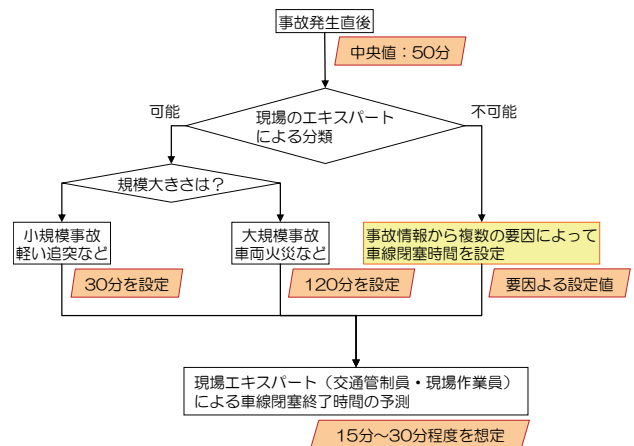


図-3.2.2 車線閉塞時間予測フロー

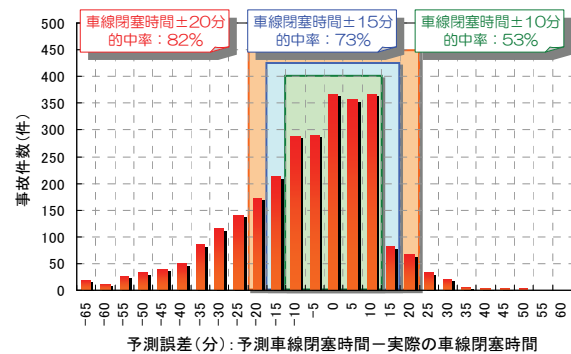


図-3.2.3 車線閉塞時間の予測精度

車線閉塞時間予測のフローを図-3.2.2に示す。図のように、事故発生から事故処理終了までの各段階において、設定する車線閉塞時間が異なる。検証の対象とする事故は、現場エキスパート(交通管制員)における予測が困難であると考えられる車線閉塞時間が35分~120分の事故を対象とし、事故処理中に車線閉塞時間を予測(設定)する状況を想定し、前節で抽出した車線閉塞時間に影響を与える要因による車線閉塞時間の予測精度を検証する。

(4) 車線閉塞時間予測手法の検証

先の(2)で集計した2006年の要因別の車線閉塞時間を2007年4月~11月までの8ヶ月間の車線閉塞事象に適用して精度検証を行った。

車線閉塞時間の誤差をに示す。図より、車線閉塞時間の誤差の許容範囲を±20分以内とすれば、的中率82%と精度は高い。車線閉塞時間の誤差許容範囲を±15分以内とすれば的中率は73%、±10分以内の的中率は53%であった。

オンラインシミュレーションでの活用を考慮し、車線閉塞時間の予測精度がどの程度影響するのかを検討することや、事故処理終了直前において、現場の作業状況を踏まえた交通管制員による車線閉塞時間予測によって車線閉塞終了時間が更新されることを考慮した上で、更なる予測精度向上を目指す必要があると考えられる。また、予測車線閉塞時間が実際の車線閉塞時間より短く予測される事例が多くみ

られる（予測誤差のマイナス側）．実際より短く予測された車線閉塞時間をオンラインシミュレーションに入力することにより，突発事象発生時の容量制約時間が短くなり，算出される旅行時間が短くなることが懸念される．よって，実際より車線閉塞時間が短く予測される事例について，どのような特徴が見られるか事故記録データの要因を分析することが今後の課題として考えられる．

3.3 多様なデータの活用を含む課題の整理

突発事象検出方法および容量低下と継続時間の推定手法について，多様なデータの活用を含めた研究課題を整理しておく．

(1) 多様なデータを活用した突発事象の検出

本研究では，車両感知器データを使用した突発的ボトルネックの位置検出を構築したが，既往の研究では，車両感知器データ以外のデータを活用した突発事象や渋滞の検出方法も提案されている．

画像データを活用した研究事例として，たとえば，長谷川(2007)は，映像上の輝度差から車体を抽出し，これを一定期間追跡することで速度や軌跡を導き，停止，低速走行，車線変更等を判定し，突発事象（渋滞）を検出するものである．CCTV映像を用いたトンネル内交通異常検出システム（首都高速道路 中央環状線 山手トンネル）や，赤外線カメラを用いた事故多発地点での交通異常検出システム（首都高速道路 4号新宿線入り参宮橋カーブ）を事例として取り上げている．画像データによる方法の課題としては，CCTV映像を用いた場合の明かり部での検出精度の向上，明かり部での検出精度の高い赤外線カメラを用いた場合のコスト，密な間隔でのカメラ設置（車両感知器（約 300m ピッチ））に比べ，既設 CCTV の設置間隔は疎（約 1km ピッチ）のため，検出遅れの可能性があること，が指摘されている．

また，移動体（プローブ）データの活用による突発事象の検出事例として，たとえば，堀口・和田(2005)，飯島・堀口(2012)がある．これらの方法は，蓄積された日常的な渋滞発生情報と，当日観測されたプローブの走行パターン情報を比較することで，異常渋滞を検出するものである．一般道におけるバスプローブデータを用いた異常渋滞検出実験や，タクシードータを用いたエリア単位（1～2km 四方）の首都圏広域交通流動性の可視化への適用が試みられている．プローブデータを活用する場合の課題としては，高速道路でのプローブ走行パターン情報の定義，高速道路でのプローブ情報の更新頻度が挙げられる．

これらの研究を踏まえて，実運用を見据えた更なる精度向上のためには，突発事象検出のロジックとパラメータの検討を引き続き行っていくことが必要と考えられる．

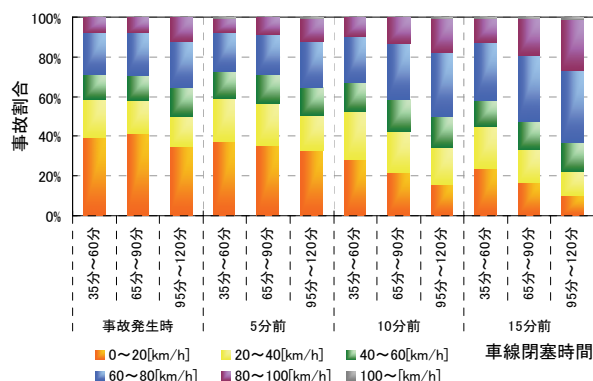


図-3.3.1 車線閉塞時間と交通状況の関係

既設車両感知器データを用いた突発事象検出については，

- 自由流時の事象検出率の向上，
- 路線毎のパラメータの設定・検証，
- 特異箇所の検出ロジックの検討（JCT部，3車線路線，等）
- 判定データの違い（車線1分データ，移動平均値等）による検出精度の優劣の整理・検討が挙げられる．

車両感知器以外のデータ（画像・プローブ）を活用した突発事象検出方法の可能性を検討し，多様なデータ（車両感知器・画像・プローブ）を組み合わせた突発事象検出手法の高度化が重要な課題である．

(2) 容量低下と継続時間の推定手法

車線閉塞時間の予測精度の向上には，リアルタイムで取得可能な感知器の速度データを用いて，事故発生時の交通状況を考慮することが考えられる．車線閉塞時間と事故発生時の交通状況の関係を調べるために，事故発生時，事故発生5分前，事故発生10分前，事故発生15分前の交通状況と閉塞時間との関係を調べた．（図-3.3.1）

その結果，事故発生時における車両感知器速度は，車線閉塞時間の長さによって大きな差異が見られない．これは，事故発生から交通管制に連絡が入るまでにタイムラグが生じており，実際の事故はそれ以前に発生しているためと考えられる．一方，事故発生15分前の車両感知器速度は，車線閉塞時間の長さによって大きく異なっている．車線閉塞時間が短い事故では，車両感知器速度が20km/h以下の割合が高く，車線閉塞時間が長い事故では，車両感知器速度が60km/h以上の割合が高い．

このことより，事故発生時における車両感知器速度をリアルタイムで取得し，車線閉塞時間予測に反映させることが精度向上につながると考えられる．事故発生時の交通状況について，渋滞・非渋滞のみの分類を行うことで，車線閉塞時間予測の精度が大きく向上することが考えられる．

車線閉塞時間予測については，他のデータを活用した既往の研究事例は見られなかったが，画像解析技術等の活用により，精度向上が図られる可能性は

あると考えられる。今後は、更なる精度向上のため、他のデータ活用も視野に入れた以下の課題を踏まえ、ロジック、パラメータの検討を引き続き行っていくことが必要と考えられる。たとえば、以下の課題を挙げることができよう。

- オンラインで取得された車両感知器データを活用した車線閉塞時間の予測精度の向上
- 交通管制員との連携による事故処理終了直前をターゲットとした予測車線閉塞時間の精度向上
- 画像データを利用した事故規模を推し量る技術の構築（車線閉塞に影響する要因取得の自動化）

3.4 シミュレータの開発と検証

(1) ベースとした交通ネットワークシミュレータ

開発するシミュレーションのベースとなるモデルは、東京大学生産技術研究所において開発された広域道路ネットワークシミュレーションモデル「SOUND (Simulation On Urban road Network with Dynamic route choice)」を採用した。このモデルの特徴として次の事項があげられる。

- 渋滞現象のダイナミズムを考慮しており、過飽和の交通状況を再現できる。
- 静的／動的な経路選択モデルを内包しており、ITS(高度道路交通システム)における情報提供や動的経路誘導などの運用策の評価が可能である。
- 車種などの各種の属性を付与した個別の車両を扱うので、対象車両を限定した交通運用施策の評価が可能である。
- リンク毎に与えた交通量－密度(Q-K)特性を用いて車両移動の計算をするモデルであり、計算負荷が小さいため、大規模なネットワークに適用可能である。
- オプションで路側観測交通量と時間帯別のリンク速度から、シミュレーションに必要な時間帯別 OD 交通量を推定するモデルを組み合わせており、入力データを自動獲得することができる。

(2) 突発事象発生時のモデル改良

開発したシミュレーションでは、事故や工事などによる突発事象の発生により、交通流への影響を考慮したモデルが含まれている。具体的には、以下のような交通事象を模擬することとした。

- 車線閉塞による交通容量の低下
- 本線突発事象による入口転換行動
- 本線突発事象による出口転換行動

車線閉塞による交通容量の低下については、路側に設置されている車両感知器データで得られる通過交通量の値から得られた交通流率を容量低下後の交通容量とし、リンクに設定されているリンク交通容量の値を動的に変化させることで対応することとした。

本線突発事象による入口・出口の転換行動については、過去の蓄積データから規制の位置と入口交通

量、出口交通量の標準値からの増減をあらかじめテーブル化しておき、突発事象による規制の位置により、入口転換行動の場合には、シミュレーションの入口から侵入する車両数を変化させて表現し、出口転換行動の場合には、OD 表を増減させて表現することとした。

シミュレーションによる予測の精度を考慮した時に、これらの突発事象による影響が、どのくらい継続するかを考える必要がある。管制官が入力する情報の中には、イベント終了予定時間という項目が含まれるが、入力されるのが、イベント開始から時間が経ってから入力されたり、終了直前まで入力されたり、最後まで入力されなかったり状況によって入力されるタイミングはまちまちとなるので、この情報なしでも、ある程度終了時刻を予測する必要がある。先に説明した車線閉塞時間に影響を与える要因と車線閉塞時間の関係をテーブル化しておき、シミュレーションの静的な入力ファイルとする。シミュレーションでは、リアルタイムに取得した突発事象の登録情報とこのテーブルファイルから車線閉塞の継続時間を推定する。

(3) シミュレーションによる予測精度の検証

構築したシミュレーションモデルを用いて、予測精度を検証した結果を示す。検証の対象路線は、首都高川口線（川口 JCT～江北 JCT）及び 3 号渋谷線（東名道～谷町 JCT）とした。なお、現在は 4 号新宿線西新宿 JCT～3 号渋谷線大橋 JCT 間で中央環状新宿線が供用しているが、検証に使用したデータは供用前である。

予測精度については、旅行時間及び速度ランク (RYG) (区間速度を 20km/h 以下 (R), 20km/h～40km/h (Y), 40km/h 以上 (G) で分類したランク) を指標として評価した。

まず、2009 年 3 月下旬に川口線上で発生した事故事例について、詳細を表-3.4.1 に示す。

事故発生から次の周期 (16:35) に予測開始した結果について、速度ランク図を図-3.4.1 に示す。速度ランク図の示す渋滞状況からみると、事故処理後の渋滞解消が真値よりも早い他、本線料金所以降の渋滞発現が若干異なるが、渋滞・混雑状況は概ね良好に予測できている。

旅行時間の評価結果を図-3.4.2 に示す。旅行時間については、若干の時間差が見られるが、17 時付近をピークに、時間経過と共に真の旅行時間が減少していく傾向を再現することができている。旅行時間の中率は、真値±5 分の閾値で 33%とやや劣るものの、事故といった突発事象発生時における旅行時間の誤差の程度からすると、利用者も若干長めに許容できるとの過去の参考アンケート結果などもあることから、閾値を±10 分とした場合的中率 100%は評価に値すると考えられる。

つぎに、渋谷線での事故事例 (表-3.4.2) を分析した結果を示す。

事故発生から次の周期（6:55）に予測開始した結果について、速度ランク図を図-3.4.3に示す。速度ランク図の示す渋滞状況からみると、事故処理後の渋滞解消が真値よりも早い他、本線料金所以降の渋滞発現が若干異なるが、渋滞・混雑状況は概ね良好に予測できている。

旅行時間の評価結果を図-3.4.4に示す。速度ランク図からは、事故渋滞の延伸状況が良好に再現されているように見えるが、評価結果としては、平常時よりやや低い精度となっている。旅行時間的中率は、真値±5分を閾値とすると42%、真値±10分を閾値とすると83%となっており、事故といった突発事象発生時における旅行時間精度への許容誤差を考慮すると、事故時における予測についても、良好な結果と考えられる。

表-3.4.1 【川口線】事故事例の詳細

事故情報			
事故日	平日(水)	天候	晴
路線	川口線上り	区間	11
管制受理時刻	16:31	処理終了時刻	17:43
事故継続時間	78分	車線閉塞状況	一車線
入口閉鎖	なし	事故台数	2台
救急・消防出動	なし	作業車両出動	なし

表-3.4.2 【渋谷線】事故事例の詳細

事故情報			
事故日	平日(火)	天候	雨
路線	3号渋谷線上り	区間	4
管制受理時刻	6:52	処理終了時刻	8:03
車線閉塞時間	71分	車線閉塞数	一車線
入口閉鎖	なし	事故台数	2台
救急・消防	出動有り	作業車両	出動無し

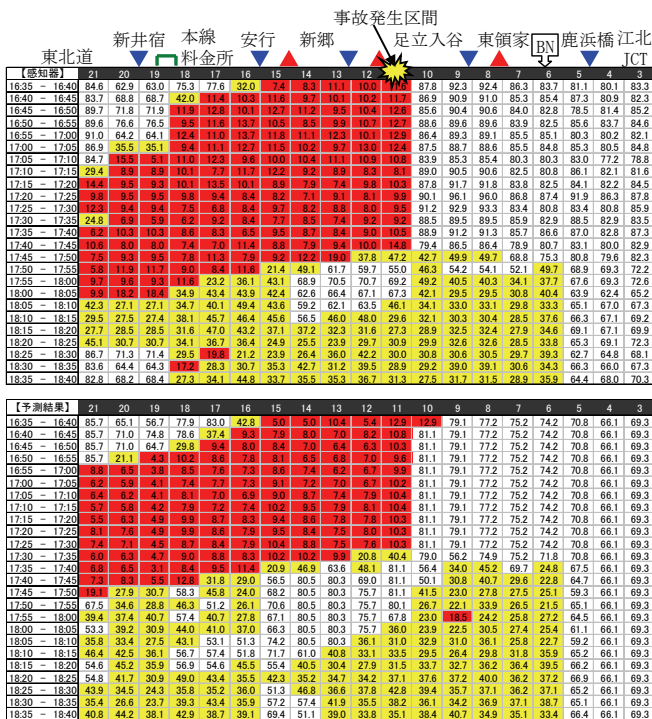


図-3.4.1 【川口線】事故時の予測渋滞状況
(上：車両感知器，下：予測結果)

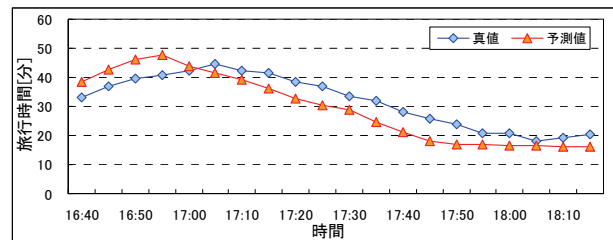


図-3.4.2 【川口線】事故時の旅行時間算出結果

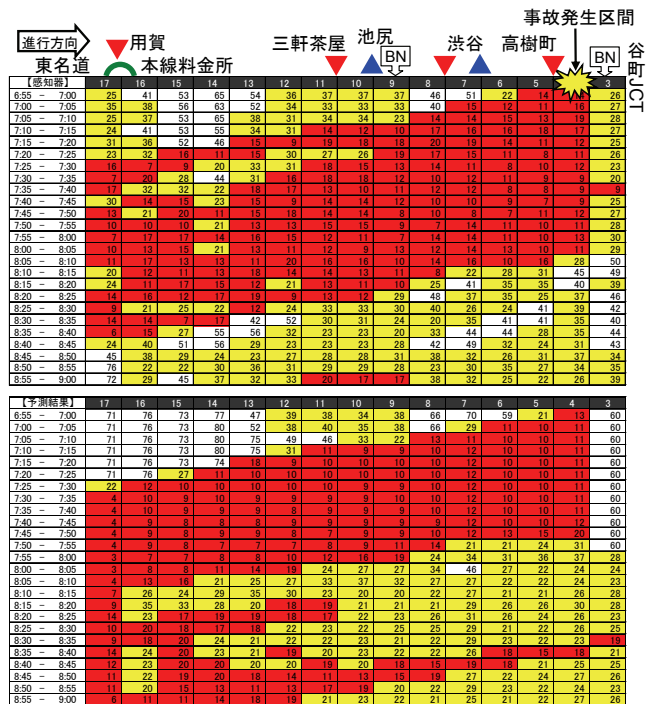


図-3.4.3 【渋谷線】事故時の予測渋滞状況
(上：車両感知器，下：予測結果)

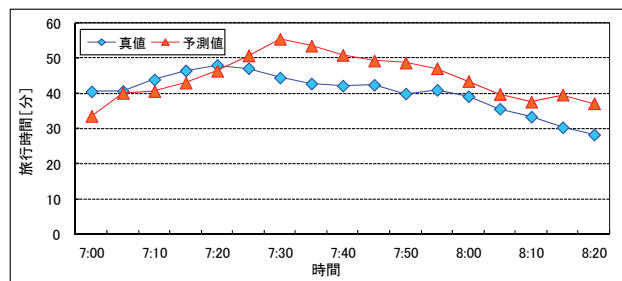


図-3.4.4 【渋谷線】事故時の旅行時間算出結果

(4) 実用化に向けての課題整理

首都高速の2つの放射路線（川口線，渋谷線）への適用計算の結果，シミュレーションモデルは良好な予測結果を示すことが確認できた。しかしながら，各事例において，個々の突発事象対応モジュールの予測精度に課題があることも明らかとなった。これらの課題は，個々の突発事象対応モジュールに更なる精度向上の余地があり，最終的な予測精度向上の可能性を示唆している。

そこで，個々の突発事象対応モジュールについて，真と考えられるデータをインプットし，今後の更なる予測精度向上に寄与する要素を抽出（すなわち，精度向上を狙うべきモジュールを明確化）すべく，影響分析を実施した。さらに，影響分析の結果を踏まえ，今後の方法論の改良と実運用化に向けた課題を整理した。

影響分析は，3号渋谷線上りで発生した事故事例を対象とした。分析は，各突発事象対応モジュールで予測された各々の設定値（具体的には，車線閉塞時間，交通容量，入口交通量変動，出口転換）を真値と考えられる設定値に置換え，予測シミュレーションを実施し，旅行時間及び速度ランクの的中率を評価することで，精度向上に寄与する要素を抽出する手法とした。

速度ランク図を比較した結果，車線閉塞時間に真値を設定したケースは，過大な渋滞が発生していることが見て取れ，逆に，入口交通量に真値を設定したケースでは，過小となっていることがわかった。交通容量及び出口転換に真値を設定したケースについては，基本ケースと顕著な差は見られない結果であった。

旅行時間的中率についての評価結果を図-3.4.5に示す。まず，理想的なケースとなる全ての設定値を真値としたケース（図中，最右）においては，旅行時間の中率が向上するものの，真の旅行時間±5分の閾値評価では，100%の的中率には至っておらず，突発事象対応モジュール以外の要素（Q-K関係等）について，精度向上の必要性が伺える。続いて，出口転換のケースにおいて，真の旅行時間±5分，±10分の閾値いずれについても精度が向上している（図中，黄色ハッチング）。逆に，車線閉塞時間及び交通容量のケースでは，精度が低下している。最後に，入口交通量変動のケースでは，閾値が±10分では精度が向上しているが，±5分では精度が低下している（図中，橙色ハッチング）。

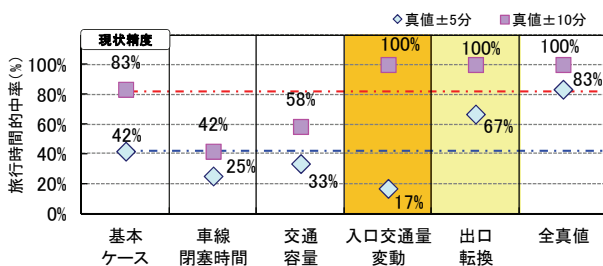


図-3.4.5 影響分析結果（旅行時間的中率）

旅行時間の精度向上には，需要と容量のバランスを取ることが肝要であるため，全ての突発事象対応モジュールの精度が影響する。一方，速度ランクの精度向上には，車線閉塞時間の精度が最も影響する。今後精度向上を狙うべき要素は，実運用化に当って提供する指標に応じて異なると考えられるが，併せて，各突発事象対応モジュールの精度向上の可能性及び難易度も考慮する必要があると考えられる。

現状の突発事象対応は，過去の蓄積データに基づいたパターンデータによる対応であるが，今後は，より詳細にパターン化する方向と，一般化する方向の二方向が考えられる。いずれの検討についても，ドライバーの行動選択に関する分析等が必要であり，関連データの拡充（情報に対するドライバーの反応や，一般街路の速度や交通量及び事故情報等）も望まれる。また，本研究においても提案しているが，オンラインデータの活用による精度向上の可能性は大いにあるものと考えられ，開発された予測手法のオンラインという特性を生かした精度向上方法の検討が重要であると考えられる。

なお，ここで得られた知見は，特定の事例に対して得られた知見であるため，一般性を示すには至っていない。今後は，評価事例の拡充を図ると共に，経路選択モデルやQ-K関係等，予測手法の根幹を担う要素についても，継続的に研究開発を遂行し，予測精度の向上を目指すことが望ましい。

第4章 交通情報提供下の利用者行動調査と分析

4.1 突発事象時の利用者行動調査

(1) プロブパーソン調査を活用した行動調査

プロブパーソン(PP)調査の特性を活かし、Stated Preference (SP)データの信頼性を向上させることを目的とした調査手法の開発を行う。既往研究より、PP+Web-SP 調査手法の特徴は以下のようにまとめられる。

- ① PP 調査による的確な対象トリップの抽出
- ② Web 上の調査により被験者負担を軽減し、安定性の向上
- ③ PP 調査により得られた正確なトリップ情報を選択肢に与えるサービス水準(たとえば旅行時間)の設定に用いることによる SP 実験環境の現実感の向上
- ④ PP 調査により取得した移動軌跡を被験者に提示することによる SP 実験環境の現実感の向上

本研究で開発した調査システムは PP 調査によって取得された個人の実行動データを SP 調査に利用するものである。具体的には、PP 調査による実行動データから調査対象のトリップを抽出し、そのトリップに対して SP 調査の質問を行うものである。

図-4.1.1 中の実線は被験者の調査中の動きを表し、点線はデータの流れを表す。調査システムではまず、GPS 機能を搭載した携帯電話を用いた PP 調査と Web ダイアリー調査を同時に実施する。Web ダイアリー調査は GPS データのみでは把握できないトリップ目的などの情報を収集する調査である。PP 調査と Web ダイアリー調査から取得したトリップデータから政策の対象となるトリップを抽出し、そのトリップを行った被験者に対し SP 調査を実施するものである。

調査システムでは、まず被験者の個人属性データを取得する。取得する個人属性データは例えば、性別、年齢、職業、運転免許の有無、世帯構成、自家用車等の保有状況などである。これらの個人属性データは被験者の応募時に取得することで、その時点

で対象サンプルを抽出することが可能である。説明会を開催する必要がある場合はその時点で取得する。説明会を開催しない場合は専用の Web ページを作成し、そこに記入してもらうことで取得する。

被験者には GPS 機能を搭載した携帯電話を携帯し行動してもらうことで、詳細な位置情報を取得する。PP 調査では、被験者の行動データはトリップ単位で取得する。トリップの観測は次の流れで行う。調査期間中の1日のトリップの出発時に GPS 携帯の操作を行うことで GPS データを取得開始する。目的地に到着した際に再び GPS 携帯の操作を行い、GPS データの取得を終了する。この操作をトリップ毎に行う。GPS データは時刻毎にサーバーに送信され、蓄積される。

被験者は、一日の全トリップが終了後、自宅のパソコンで Web ダイアリーにアクセスし、当日のトリップについて確認を行う。この時点では被験者の GPS データのみが取得されており、移動目的などのトリップ情報は取得されていない。それらのトリップ情報は被験者に Web ダイアリー上で記入してもらうことで取得する。記入してもらうトリップ情報は移動目的、移動手段、出発地情報、目的地情報などである。

PP 調査で取得した被験者の個人属性データ、GPS データ、トリップ情報データはサーバー上のデータベースに蓄積されている。これら取得されたデータをサーバー上で処理し、SP 調査の対象トリップの抽出、被験者に応じたサービス水準(たとえば旅行時間)の設定、SP 設問ページ上での地図表示を行う。

SP 調査の対象となるトリップは事前にプログラムを作成することで、自動的に抽出することが可能となる。自動抽出プログラムでは GPS データの位置情報、時刻情報、個人属性データ、トリップ情報を複合的に用いて様々な条件を設定することが可能である。

本調査システムでは、自動抽出プログラムによって抽出された対象トリップデータから、被験者に応

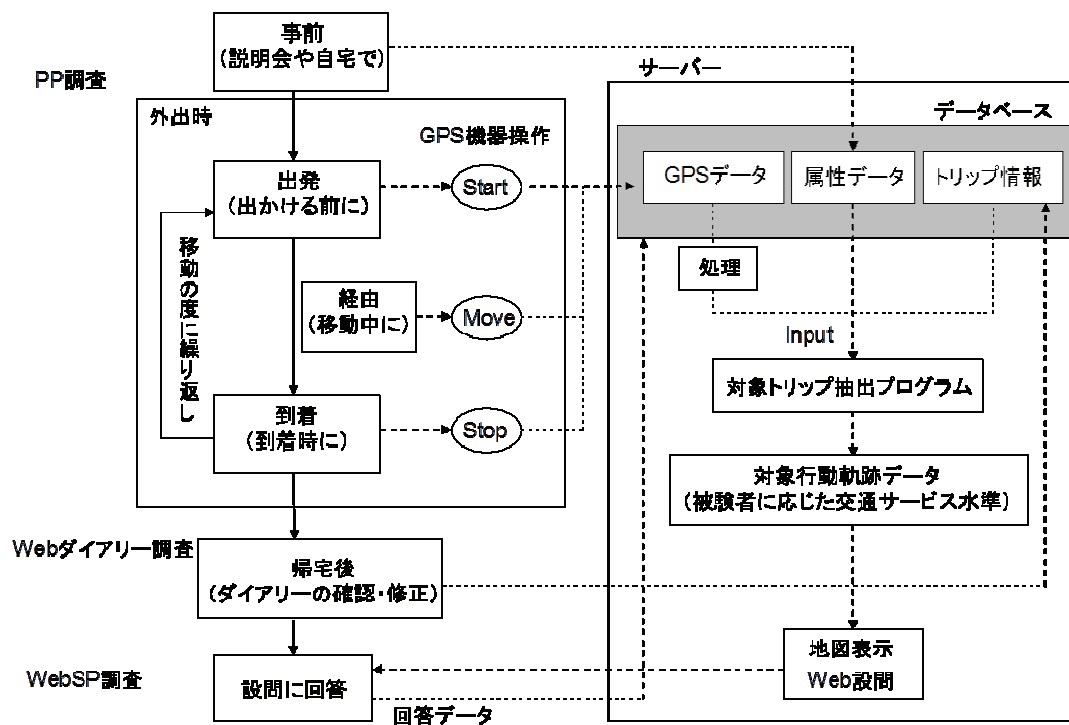


図-4.1.1 PP+Web-SP 調査システムの全体

じたサービス水準を設定する。本調査システムではPP 調査で取得された正確な所要時間を用いてサービス水準を設定することが可能である。

SP 調査では、Web ページ上に地図を設置し、移動軌跡の表示を行う。表示する移動軌跡は、被験者が視認しやすいように、移動軌跡が明確なものが望ましい。しかし、GPS データには測定誤差が含まれており、取得した位置情報データをそのまま地図に表示すると、移動軌跡が観測誤差などの影響からばらついて表示される可能性がある。対象とするトリップの交通手段が鉄道や自動車のような移動距離が長いトリップであれば大きい縮尺で地図を閲覧することになることから、実際のトリップと地図によって視認されたものとの差は小さくなると期待されるが、徒歩トリップのような移動距離が短いトリップを対象とする場合はその差が大きくなり移動軌跡を視認したものから想起することが難しくなる恐れがある。そこで、GPS データを地図表示に適したものにサーバー上で加工する必要がある。このような位置測定データと地図を結びつける手法は（例として）マップマッチングが挙げられる。しかし、マップマッチングを行うには、あらかじめ被験者が通行しうる道路で構成されるネットワークデータを作成しておく必要がありデータ作成のための手間がかかる。また、歩行者は必ずしもネットワーク上のみを移動するとは限らないため、軌跡を時系列に移動平均をとることで平準化した軌跡を表示するなどの工夫が必要である。

(2) PP+Web-SP 調査の実施

表-4.1.1 は、調査概要をまとめたものである。調査期間は2010年12月9日から12月22日の2週間である。この期間の間、PP 調査を実施した直後に SP 調査を行った。調査期間直前の2010年12月6日(月)～12月8日(水)を操作機器の使用練習期間として設け、被験者は調査機器の試用を行った。

被験者数は20名とし、阪神高速によって実施されたPP 調査（以下2009年PP 調査）に参加した被験者から20名を選出した。3号神戸線を主に利用する被験者10名、11号池田線を主に利用する被験者10名である。

PP 調査において被験者が行う操作は、GPS 携帯の操作、Web ダイアリーへの入力、Web-SP への回答である。GPS 携帯の操作は、携帯電話に搭載した調査用のアプリケーションを起動させ、トリップの開始時に「出発」ボタン、トリップの終了時に「到着」ボタンを押すことだけである。移動中は自動的に移動データをサーバに送り続けているため特別な操作は必要ない。得られた移動データは自動的に Web ダイアリーに記録される。この操作を1トリップ毎に繰り返す。

Web ダイアリーの入力とは、一日の終了時に自身の移動軌跡を確認した上でWeb上のダイアリーへトリップ情報を入力することである。被験者が入力する情報としては主に移動目的、時間制約の有無、高速道路の利用の有無(利用していた場合は入ランプ、出ランプも聞く)、突発事象による影響の有無である。

表-4.1.1 調査概要

調査期間	二週間<12月9日(木)~12月22日(水)>
調査対象路線	阪神高速3号神戸線、11号池田線
被験者数	20名(93名から選出)
選出基準	阪神高速3号神戸線と11号池田線を日常的に利用する
使用機器	GPS携帯電話、Bcals



図-4.1.2 Web ダイアリーの例

図-4.1.2 は実際に調査で使った Web ダイアリーの画面と GPS 軌跡，トリップ情報の一例である。

Web-SP 調査への回答は PP 調査で被験者の移動軌跡と被験者が Web ダイアリーに入力した高速道路の入路，出路から Web-SP 設問対象トリップを抽出し，そのトリップに関する SP 設問を被験者に回答してもらうことである。実際に行ったトリップに基づいて SP の質問をすることで被験者が状況を想定しやすくなり回答精度の向上が期待できる。なお，SP 調査に加えて，実際に遭遇したインシデント時の経験を問う RP 調査も実施したがその詳細の説明は省略する。

SP 調査では，高速道路上において仮想的な事故による渋滞が発生し，事故の情報を得たという状況を想定して高速道路の選好を質問する。選好に影響を与える要因としては，渋滞区間や渋滞長，渋滞区間通過に必要な時間を想定する。

被験者が事故渋滞に関する情報を得る状況としては高速道路上（以下 En-route），トリップ出発前（以下 Pre-trip）の二つを考え，それぞれの状況において 1 トリップにつき複数の質問を提示する。質問の内容は En-route では渋滞区間，渋滞区間通過にかかる時間または渋滞距離（どちらか片方）を事故渋滞情報として提示し，高速道路に乗り続けるかいずれかのランプ（下りるランプの候補についてはこちらから示す）で高速道路を下りるかを選択してもらう。Pre-trip では渋滞区間，渋滞区間通過にかかる時間と渋滞距離（両方）を提示し，経路を変化するか否か，もし経路を変更するならばどのように変更するかを問うこととした。

調査対象路線は阪神高速 3 号神戸線と 11 号池田線である。渋滞発生地点を 3 号神戸線の摩耶ランプ，尼崎料金所，柳原カーブ，芦屋料金所，11 号池田線の梅田ランプとした。これらの地点は，阪神高速の

※ここからは、阪神高速道路を走行中に事故が発生したと仮定した質問を行います。

あなたはこのトリップと同様の時間帯・移動目的で、出発地(自宅)から到着地(会社・学校)まで移動しています。阪神高速道路を走行中、豊中南出路手前付近にある情報板で、事故により渋滞が発生しているという情報を見たとき、以下に示すQ1～Q4のそれぞれの情報の場合に、あなたは「1号環状線/道頓堀」出路まで阪神高速道路を走行し続けますか？それとも途中で降りますか？途中で降りる場合には、その出路を指定して下さい。

現在位置 → 進行方向

豊中南 (豊中南(名神)) (加島) (塚本) 福島

事故発生地点

Q1 情報板の内容が **梅田～加島 事故渋滞 4km** の場合
 走行し続ける(途中で降りない) 豊中南で降りる 福島で降りる

Q2 情報板の内容が **梅田～豊中南 事故渋滞 7km** の場合
 走行し続ける(途中で降りない) 豊中南で降りる 福島で降りる

Q3 情報板の内容が **梅田～加島 事故渋滞 渋滞区間通過に15分** の場合
 走行し続ける(途中で降りない) 豊中南で降りる 福島で降りる

Q4 情報板の内容が **梅田～豊中南 事故渋滞 渋滞区間通過に40分** の場合
 走行し続ける(途中で降りない) 豊中南で降りる 福島で降りる

図-4.1.3 SP 調査の En-route 調査画面

※ここからは阪神高速道路に乗る前に事故渋滞の情報を見たと仮定した質問を行います。

あなたはこのトリップと同様の時間帯・移動目的で、出発地(自宅)から到着地(会社・学校)まで移動する予定です。出発前にインターネットやテレビ、ラジオなどで、事故による渋滞が発生しているという情報を得たとします。以下に示す二つの質問のそれぞれの情報の場合に、あなたのとる行動はどれですか？

Q5 情報の内容が「梅田～加島 事故渋滞 4km 渋滞区間通過に20分」の場合
 行動に変化はない(事故が発生していない時と同様)
 阪神高速道路は利用しない(一般道、その他高速を利用)
 入路もしくは出路を変更する
 入路: 11号池田線 池田木部 出路: 1号環状線 道頓堀

Q6 情報の内容が「梅田～豊中南 事故渋滞 7km 渋滞区間通過に35分」の場合
 行動に変化はない(事故が発生していない時と同様)
 阪神高速道路は利用しない(一般道、その他高速を利用)
 入路もしくは出路を変更する
 入路: 11号池田線 池田木部 出路: 1号環状線 道頓堀

図-4.1.4 SP 調査の Pre-trip 調査画面

中でも渋滞あるいは事故が比較的多く発生する地点である。渋滞発生地点と情報提供地点の間の出路の数が2つから4つとなるように情報提供地点を設定した。

渋滞長、渋滞末尾地点、渋滞区間通過までにかかる時間についての設定は、以下のとおりである。渋滞長は、1km～10 kmとした。渋滞末尾地点は、渋滞発生地点から渋滞長の分だけ高速道路を上流側に進んだところに最も近いランプとした。実際の情報板では主要ランプへの所要時間が用いられているが、本調査では事故渋滞そのものの大きさを測るものとして渋滞区間通過までにかかる時間を導入した。その値は、渋滞区間を時速10km～15kmで走行したときの旅行時間を5分単位に丸め、そこからランダムにひとつ選んで設定した。図-4.1.3にEn-routeの調査画面の例を、図-4.1.4にPre-tripの調査画面を示す。

(3) 調査結果の単純集計

調査で得られたトリップ数、SP調査で質問したサンプル数の結果を表-4.1.2に示す。

以下では、渋滞の回避について、主にEn-routeのサンプルを集計した結果を示す。まず、全体として経路を変更しないサンプル数を総サンプル数で除した「渋滞非回避率」を調べる。Pre-tripの非回避率は約50%であるのに対しEn-routeでは約66%であり、値に大きな差がある。Pre-tripは被験者が高速道路に乗る前に事故渋滞の情報を得ているため、経路を変更する選択肢が「入路および出路を変更する」もしくは「高速道路を利用しない」の二つあることと、料金を払う前に事故渋滞情報を得ているため渋滞を避けようとする行動が多くなったと考えられる。一方En-routeは被験者が高速道路上で事故渋滞の情報を得ているため、経路を変更する選択肢が「高速から降りる」という一つしかないことと、料金を払っ

表-4.1.2 トリップ数とサンプル数

総トリップ数	試行期間	29	計
	調査期間	1200	
SP質問トリップ数			78
Pre-tripのトリップ数	3号神戸線	39	78
	11号池田線	39	
En-routeのトリップ数	11号池田線	13	42
	3号神戸線	29	
Pre-tripで質問したサンプル数	11号池田線	78	148
	3号神戸線	70	
En-routeで質問したサンプル数	11号池田線	52	168
	3号神戸線	116	

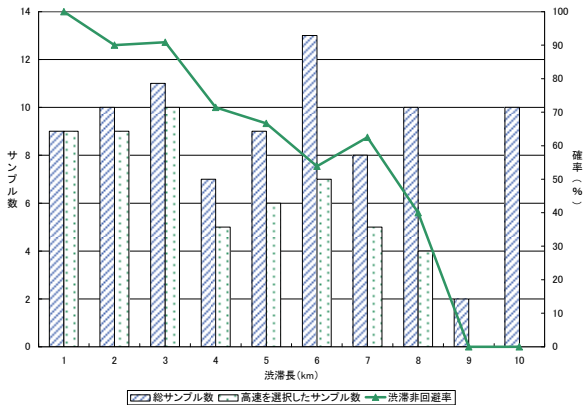


図-4.1.5 渋滞長に対する回避の割合 (En-route)

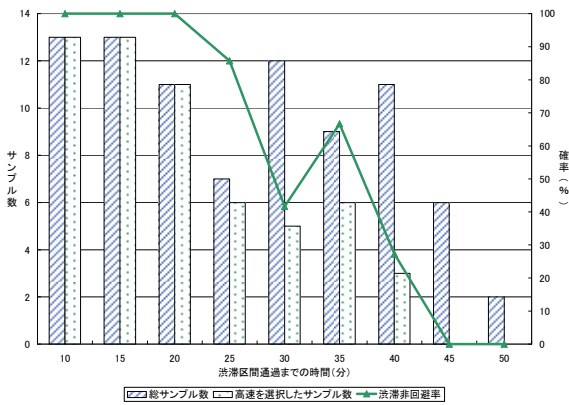


図-4.1.6 渋滞区間通過時間に対する回避の割合 (En-route)

た後に事故渋滞情報を得ているため、渋滞を避けようとする行動が Pre-trip に比べて少なくなったと考えられる。

図-4.1.5 より En-route については、渋滞長が大きくなるにつれて渋滞非回避率が下がっている。渋滞長が 1km の場合は渋滞非回避率が 100% であるのに対し、渋滞長が 9km, 10km の場合は渋滞非回避率が 0% となっている。

図-4.1.6 より En-route については、渋滞区間通過までの時間の 45 分、50 分のサンプル数は少ないものの、渋滞区間通過までの時間が大きくなるにつれて高速道路選択率は下がっているといえる。渋滞区間通過までの時間が 20 分以下の場合は渋滞非回避率が 100% に近いのに対し、45 分以上になると 0% となる。

この他、En-route の渋滞回避の特性について、いくつかの属性ごとに集計した結果を示しておく。時間

制約の有無については、時間制約ありの方が渋滞非回避率が高いもののその差は小さかった。路線間で比較すると、11 号池田線のほうが迂回経路が限定されるので渋滞非回避率が高かった。個人属性でみると、渋滞回避傾向が強いのは、女性、30 歳代であり、職種では建設・製造業であった。

(4) 行動調査手法の改良

PP 調査にもとづく SP 調査は、現実の行動に基づく選好を尋ねるためリアリティの高い行動データが得られる反面、切り取ることでできる行動の側面に制約があり、得られるサンプル数が限られてしまう。そこで、より多くのサンプル数を確保することを意図として、PP 調査を行わず WEB-SP 調査のみを実施することとした。一般に、SP 調査では、仮想的設問の設定と被験者の普段の交通行動が剥離していると、被験者がその設問に回答しづらくなることが考えられる。そこで、被験者に個人属性と普段の阪神高速道路利用について設問した後に、その結果を反映した SP 調査を実施するという 2 つの段階から構成されるアンケート調査を設計した。このことにより、普段の道路利用に関する設問の回答結果を反映した SP 調査の設問を生成し、一定の現実感を持った仮想的設問への回答が可能となるものと考えられる。なお、設問には「渋滞の増減傾向情報」、「一般道に対する情報」、「料金」に関するものを追加した。

実際の設問の Web ページを図-4.1.7 に示す。ページ的设计で工夫した点は、2 点である。まず、②のオン・オフランプは、別ウインドウで阪神高速の概略図を示しながら、プルダウンメニューでオン・オフランプ名を選択する形式としている。つぎに③の所要時間については、イメージ図を示して、それぞれの所要時間の概念をわかりやすく示している。

SP 調査では、「被験者が高速道路を走行中に、被験者が走行している路線の下流部の路上で突発事象による渋滞が発生し、高速道路上の可変情報板 (Variable Message Sign: VMS など) から渋滞情報を得た」という状況を想定する。道路ネットワークは、図-4.1.8 に示すとおりである。被験者は、情報を得る前に高速道路を降りる予定であったランプまで経路を変更しないか (ルート 1)、その途中のランプで高速道路を降りるよう経路を変更するか (ルート 2) を選択することを求められる。

平常時の一般道の条件や料金制度などの状況設定について示した後、情報板のメッセージを提示して経路の選択を行う設問が 2 問又は 4 問ある構成になっている。状況設定には、以下の項目がある。

- ・トリップ全長 (出発地から目的地までの距離)
- ・料金 (距離別料金制または均一料金制)
- ・平常時の一般道条件 (距離または時間)

トリップ全長は、出発地から目的地までの距離であり、「入口 A と出発地の間の距離」及び「出口 C と目的地の間の距離」は、とても近いものとしている。この項目は、「普段の阪神高速道路利用について

の設問」の回答結果をもとに、利用者がよく利用しているオン・オフランプ間の距離と近くなるように設定して現実感を高めている。具体的には、事前アンケートで被験者が入力した「最もよく利用する入口、出口」から区間長を算出し、その値をもとに乱数で生成した数値と組み合わせて生成する。

料金は、距離別料金制と均一料金制の区分を設け、ページによって異なる設定となっている。平常時の一般道条件は、「情報なし」、「距離情報」、「平常時の旅行時間情報」の3種類がある。「情報なし」はすべての被験者に質問しており、「距離情報」、「平常時の旅行時間情報」はそのいずれかが被験者に与えられる。

情報板のメッセージでは、「渋滞区間の通過にかかる時間」、「渋滞長」、「渋滞の増加・減少傾向」からなる渋滞情報を提示する。「渋滞区間の通過にかかる時間」は、BC間の旅行時間を示しており、「渋滞長」は、BC間で発生している渋滞の長さをkm単位で示したものになる。「渋滞の増加・減少傾向」の情報は、「増加」「情報なし」「減少」の三区分のいずれか

を提示する。なお、旅行時間に関して提示する情報は、事前アンケートで被験者が入力した「最もよく利用する入口、出口」の「所要時間」をもとに、乱数で生成した数値と組み合わせて生成する。

(5) SP 調査の実施と集計

調査は、平成 23 年 12 月 1 日から 12 月 9 日にかけて実施した。阪神高速道路（株）のメーリングリストである「走れ GO」に登録されている被験者にメールを配信し、Web ページ上での回答を要請した。回答人数は 285 人であった。SP 調査の設問では、一人あたり 10 問の設問を行ったことからサンプル数

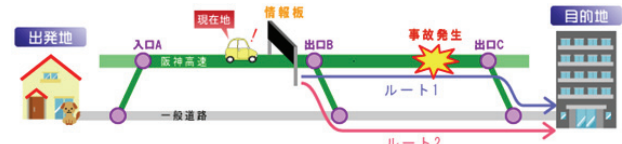


図-4.1.8 想定する状況

事故渋滞時の情報提供に関するアンケート調査 東京工業大学 × 阪神高速

文字サイズ: 小 中 大

Q1 あなた自身について教えてください

性別:	<input type="radio"/> 男性 <input type="radio"/> 女性
年齢:	<input type="radio"/> 20歳未満 <input type="radio"/> 20~29歳 <input type="radio"/> 30~39歳 <input type="radio"/> 40~49歳 <input type="radio"/> 50~59歳 <input type="radio"/> 60~64歳 <input type="radio"/> 65歳以上
職業:	<input type="radio"/> 会社員 <input type="radio"/> 公務員 <input type="radio"/> 団体職員 <input type="radio"/> 自営業 <input type="radio"/> 学生 <input type="radio"/> 主婦 <input type="radio"/> パート・フリーター <input type="radio"/> 無職 <input type="radio"/> その他
職種:	<small>※学生、主婦、無職の方はお答え頂かなくて結構です</small> <input type="radio"/> 管理 <input type="radio"/> 事務 <input type="radio"/> 営業 <input type="radio"/> 研究・技術 <input type="radio"/> 販売・接客 <input type="radio"/> 生産労働 <input type="radio"/> 運輸・通信 <input type="radio"/> 保安 <input type="radio"/> 農林漁業 <input type="radio"/> その他
自動車の運転頻度:	<input type="radio"/> ほぼ毎日 <input type="radio"/> 週に数回程度 <input type="radio"/> 週に1回程度 <input type="radio"/> 月に数回程度 <input type="radio"/> 月に2回程度 <input type="radio"/> 年に数回程度

Q2 あなたが最もよくご利用になる阪神高速道路の区間と、その際の目的、曜日、時間帯、利用頻度を選んで下さい

入口:	マップ表示(別ウインドウ)
出口:	マップ表示(別ウインドウ)
目的:	--目的をお選び下さい-- その他(具体的に):
曜日:	<input type="checkbox"/> 平日 <input type="checkbox"/> 土曜 <input type="checkbox"/> 日・祝
時間帯:	--時間帯をお選び下さい--
利用頻度:	--利用頻度をお選び下さい--

Q3 Q2で答えた入口と出口を利用する移動について、以下のそれぞれの所要時間をお答え下さい

	出発地点から目的地までの総所要時間	その内、阪神高速だけの所要時間
Q2で答えた阪神高速利用時	約 [] 分 下図の①	約 [] 分 下図の②
一般道路のみ利用時	約 [] 分 下図の③	

※③は通行止めや渋滞等で阪神高速を全く利用しない場合として下さい。(よくわからない方は概算で結構です)
※乗り越し利用時は、①は乗り越し間の一般道路も含めて下さい。同様に②は最初の入口と最後の出口として下さい。

図-4.1.7 SP 調査の回答ページ（個人属性および阪神高速道路利用の設問）

表-4.1.3 阪神高速利用頻度

	回答者数
ほぼ毎日	83
週に2~3回	78
週に1回程度	32
月に2~3回	46
月に1回程度	32
年に数回程度	14
計	285

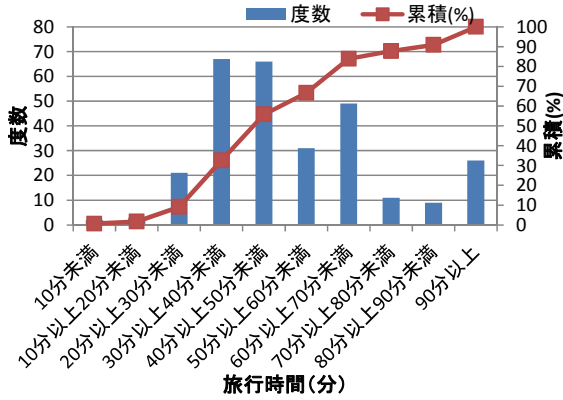


図-4.1.9 トリップ時間の分布

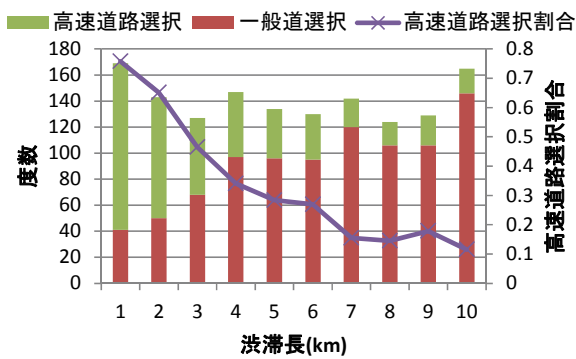


図-4.1.10 全サンプルによる距離情報別選択割合

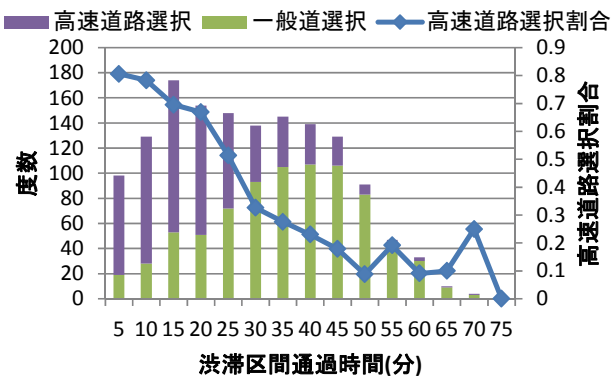


図-4.1.11 全サンプルによる渋滞区間通過時間情報別選択割合

は 2850 となった。また、2010 年に実施したプロパーパーソン調査に参加した被験者 (20 人) にも回答を要請し、該当する回答人数は 12 人、サンプル数は 120 であった。

回答者の性別は、男性が 268 人であり、全体の 90%以上を占めている。回答者の年齢構成は、40~49 歳が最も多く 39%を占めていた。また、20 歳未満、20~29 歳についてはそれぞれ 0%、1%と低い割合であった。

回答者の自動車利用頻度は、ほぼ毎日が 62%、週に数回が 25%で、この二つで 9 割弱を占めている。阪神高速の利用目的は、業務が最も多く 37%、それに次いで通勤の 32%、私用の 24%となっている。業務・通勤・私用で、全体の 93%を占めている。阪神高速の利用時間帯は、7~9 時台の通勤目的のトリップが多い。これは、通勤目的の利用者の構成が約 1/3 を示していることが影響していると考えられる。また、7 時~16 時の間の利用で全体の 80%を占めている。

阪神高速の利用頻度 (表-4.1.3) は、ほぼ毎日利用する回答者が約半数で、週に 1 回以上利用する利用者が 68%おり、比較的高頻度の利用を行う回答者が中心となっている。阪神高速を利用するトリップでの、出発地から到着地までの旅行時間 (図-4.1.9) は、ピークが 30 分から 40 分未満のトリップであり、約 85%の利用者が、70 分未満のトリップを行っている。

図-4.1.10 は、情報板での距離情報と選択率の関係を示したものであり、図-4.1.11 は、情報板での時間情報と選択率の関係を示したものである。双方のグラフで、緑色はランプ B で降りること (一般道を走行すること) を選択したサンプル数を示し、茶色はランプ C で降りること (高速道路に乗り続けること) を選択したサンプル数を示している。紫色の直線は、各階級のランプ C を選択したサンプルの数を距離情報毎又は旅行時間毎のサンプル数で除して高速道路選択率を求めたものである。

SP 調査で提示された情報について、渋滞距離に関しては、1~10km の間で、ほぼまんべんなく情報を提示できている一方で、時間情報に関しては、10 分以下及び 50 分以上の情報が提示されたサンプルは少なくなっていることに留意が必要である。これは、普段のトリップで阪神高速を 40 分以上走行する利用者が 15%程度しかいないことに起因していると考えられる。

これらのグラフより、3km 以上の渋滞情報を提示された利用者は 50%以上が高速道路を利用せず、一般道に迂回することがわかる。30 分以上の旅行時間を提示された利用者は 50%以上が高速道路を利用せず、一般道に迂回することがわかる。

利用目的別に高速道路の選択割合をまとめたものが図-4.1.12、図-4.1.13 である。トリップ目的によらず、渋滞情報の値が大きくなる毎に高速道路の選択率が低くなる傾向が読み取れる。距離情報を提示した場合には、私用目的の利用者の折れ線は比較的なだらかとなっており、距離の情報の影響をあまりうけていないように読み取れる。一方で、時間情報を提示した場合には、他のトリップ目的の利用者と同

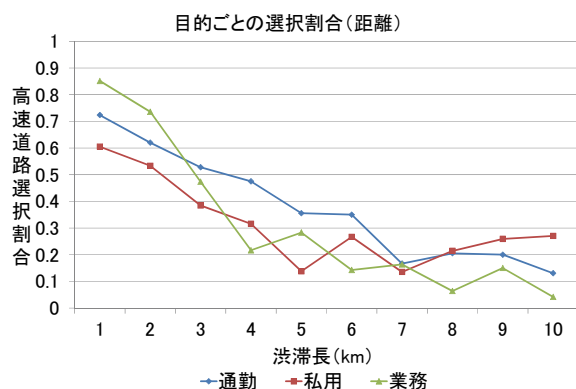


図-4.1.12 目的ごとの「距離」情報別選択割合

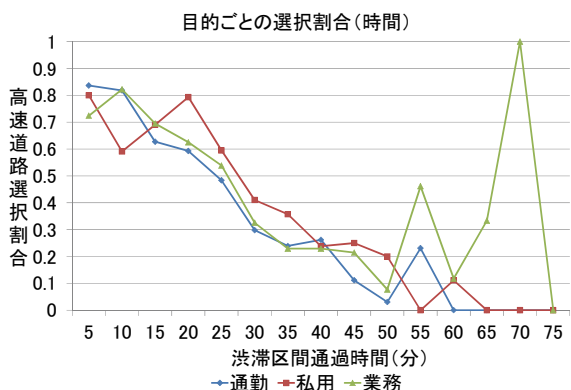


図-4.1.13 目的ごとの「渋滞区間通過時間」情報別選択割合

様の傾向を示していることがわかる。これは、私用目的の利用者は、比較的低頻度の利用者が多いことから、私用目的の利用者が距離情報から想定できる旅行時間が他の目的の利用者と異なることに起因している可能性がある。

なお、図-4.1.13で業務目的の利用者の、55分および70分を提示した場合の高速道路選択割合が1になっているのは、70分のサンプル数が1つだけであることに起因していることに留意されたい。

4.2 突発事象時の行動モデルの推定

本研究ではPP+SP調査と単独SP調査において得たそれぞれの行動データに対応する突発事象時を想定したランプ選択行動に関するモデルの定式化を行った上で行動モデルの推定を行う。なお、本節では、それぞれの調査に対応したモデルをPP+SPモデル及び単独SPモデルと呼ぶこととする。

(1)で、本研究におけるモデルに共通する前提およびランプ選択行動について述べる。(2)では、PP+SPモデルの効用関数を定式化する。(3)では、PP+SPモデルでの推定結果について述べ、モデルの妥当性等について考察を述べる。(4)では、PP+SPモデルを改良して得た単独SPモデルの効用関数を定式化について述べる。(5)で、単独SPモデルの推定結果及び考察を述べる。

表-4.2.1 PP+SPモデルと単独SPモデルの相違点

	PP+SPモデル	単独SPモデル
選択肢の数	多項選択	二項選択
サンプル数	168	2850
一般道条件	実ネットワークのためなし	仮想ネットワーク ・距離提示 ・時間提示 ・提示しない
料金制度	考慮しない	距離比例料金制度
渋滞の増減傾向	考慮しない	あり
対象路線	阪神高速道路 ・3号神戸線 ・11号池田線	阪神高速道路全線
途中ランプを越えた渋滞の延伸	延伸を考慮する	延伸を考慮しない

(1) モデルの前提とランプ選択行動

本研究では「道路利用者が高速道路を走行中に、走行している路線の下流部の路上で突発事象による渋滞が発生し、高速道路上の情報板から渋滞情報を得た」という状況を想定している。このとき道路利用者がとりうる経路としてはPP+SPモデルと単独SPで選択可能なランプ数は異なるが、高速道路に乗り続けてもともと想定していた経路を走行するか、途中にあるランプで降りて一般道を経由した経路を走行するかのどちらかが考えられる。このような経路選択において道路利用者が経路を選択する場合、各経路の旅行時間を想定して、旅行時間の遅れが少ないと想定される経路を選択していると考えられる。

旅行時間に関する情報が提供された場合は、平常時（突発事象が起きなかった場合）を基準として旅行時間の増分を考慮すればよいが、距離が提示された場合は、高速道路利用者が一般道や渋滞区間を走行する速度を想定することで旅行時間の増分を考慮していると想定する。そこで本研究では、道路利用者は「距離」による条件・情報と「旅行時間」による条件・情報を考慮した効用関数の確定項をもつロジットモデルに基づいて経路を選択していると仮定する。

(2) PP+SPモデルと単独SPモデルの違い

PP+SPモデルおよび単独SPモデルの違いを表-4.2.1に示す。選択肢の数については、PP+SPモデルはPP導入により実際の状況を想定できることから多項選択モデルを採用している。単独SPモデルは仮想的な状況を想定し、状況を簡単にする必要があることから、二項選択モデルを採用している。

サンプル数については、PP+SPモデルが168で単独SPモデルが2850である。

一般道条件についてはPP+SPモデルは実ネットワークを用いているため、一般道条件を提供していない。単独SPモデルは仮想ネットワークを用いているため、一般道に関する条件を提示しない場合、被験者の想定が難しくなることから距離または時間の条件を提示している。また、PP+SPとの比較を行うために条件を提示していないケースも存在する。

料金制度および渋滞の増減傾向についてはPP+

SPモデルでは考慮していないものの、単独SPモデルでは考慮している。対象路線はPP+SPモデルでの調査では阪神高速道路3号神戸線と11号池田線で、単独SPモデルでの調査は阪神高速道路全線である。渋滞の延伸については、PP+SPモデルは延伸を考慮し、単独SPモデルでは延伸を考慮しない。延伸を考慮すると途中ランプで高速道路を降りる場合の効用関数が変わるため、注意が必要である。

(3) PP+SPにおける効用関数の定式化

本節では図-4.2.1で想定するような目的地ランプまでの間に降りることが出来るランプが2つの場合の例を挙げ、効用関数の定式化を行う。この図では、情報板の位置はランプ1の上流側(左側)である。道路利用者はPP調査において降りる予定であったランプまで高速道路を走行し続けるか、ランプ1、ランプ2のいずれかのランプまで走行し、高速道路を降りて一般道を走行して目的地まで向かうかを選択できる。このときのランプを選択する効用は、平常時に高速道路で目的地ランプまで走行したときの効用を基準とし、渋滞区間や一般道区間を走行した際の旅行時間の増加を不効用と仮定する。この仮定のもとでは、どの程度の時間および距離で平常時以下の速度で通過するかによって各ランプで降りる効用が異なってくる。そのため、各ランプに渋滞が到達しているか、到達していないかの場合分けを行って効用関数を定義する。なお、情報板に最も近いランプであるランプ1より上流の交通状況に関してはどのランプを選択しても同様であることから、ランプ1より下流の交通状態について着目する。たとえば、図-4.2.1のような状況では、ランプ2まで渋滞が延伸しているか、延伸していないかという状況に着目することとなる。また、ランプ1から目的地ランプまでの間に複数ランプがあったとしてもランプ2の効用関数と同様の方法で定義できる。

以下では、情報として、渋滞距離を提供した場合と、旅行時間情報を提供した場合について、各ランプまで高速道路を走行する際の効用関数を定義する。

a) 突発事象時の情報を距離で提示した場合の効用関数

突発事象時の情報を距離で提示した場合の効用関数について、ランプ1まで高速道路を走行した場合、ランプ2まで高速道路を走行した場合、目的地ランプまで高速道路を走行した場合の順に記述する。

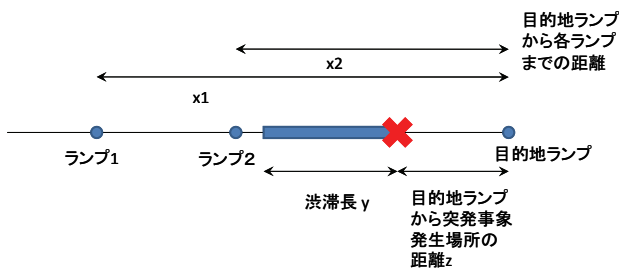


図-4.2.1 PP+SPのモデルの定式化で想定する状況

ランプ1で高速道路を降りた場合は、ランプ1以降のすべての区間で一般道を走行する。このとき、一般道を走行する距離をもとに効用関数を定式化すると、

$$V_{d1} = \beta_{dc} X_1 + \alpha_b \quad (4.2.1)$$

ただし、

β_{dc} : 一般道を走行することによる不効用の増分

$$\beta_{dc} = \theta \left(\frac{c}{v_l} - \frac{1}{v_f} \right)$$

v_f : 道路利用者が想定する平常時の高速道路の速度

c : 高速道路の距離を基準とした一般道の距離の迂回率

v_l : 道路利用者が想定する一般道の走行速度

θ : 単位旅行時間あたりの不効用

α_b : 経路変更を行って一般道に降りることによる不効用

となる。

ランプ2で高速道路を降りる場合、ランプ2以降の区間で一般道を走行することになる。ランプ1のときの定式化と異なり、ランプ2まで渋滞が延伸しない場合とランプ2を超えて渋滞が延伸する場合に分けて定式化する必要がある。ランプ2まで渋滞が延伸しない場合は、ランプ1の効用関数と同様に、

$$V_{d2a} = \beta_{dc} X_2 + \alpha_b \quad (4.2.2)$$

となる。ランプ2を超えて上流部まで渋滞が延伸する場合、道路利用者は一般道を走行することによる旅行時間増加だけでなく、渋滞区間を走行する旅行時間増加も考える必要がある。このとき、効用関数は、

$$V_{d2b} = \beta_{dc} X_2 + \gamma_d (Y_d + Z - X_2) + \alpha_d + \alpha_b \quad (4.2.3)$$

ただし、

γ_d : 渋滞区間を走行することによる不効用の増分

$$\gamma_d = \theta \left(\frac{1}{v_c} - \frac{1}{v_f} \right)$$

Y_d : 情報板で提示された渋滞長(km)

Z : 目的地ランプから突発事象発生地点までの距離(km)

α_d : 距離を提示することによる旅行時間とのバイアス

となる。

目的地ランプまで走行する場合の効用関数は、

- ・突発事象の発生地点が目的地ランプよりも上流にある場合

- ・突発事象の発生地点と渋滞最後尾の双方が目的地ランプより下流にある場合

- ・突発事象の発生地点が目的地ランプより下流にあり、渋滞最後尾が上流にある場合

の3つの場合について考える必要がある。突発事象の発生地点が目的地ランプよりも上流にある場合は渋滞区間のすべての区間で渋滞に巻き込まれ、その区間で旅行時間の増加が見込まれることから、

$$V_{d0a} = \gamma_d Y_d + \alpha_d \quad (4.2.4)$$

となる。突発事象の発生地点と渋滞最後尾の双方が目的地ランプより下流にある場合は渋滞に遭遇しないので、

$$V_{d0b} = 0 \quad (4.2.5)$$

となる。突発事象の発生地点が目的地ランプより下流にあり、渋滞最後尾が上流にある場合は、目的地ランプより上流にあって道路利用者が走行する渋滞区間の長さが $Y_d + Z$ となることから、効用関数は、

$$V_{d0c} = \gamma_d (Y_d + Z) + \alpha_d \quad (4.2.6)$$

b) 突発事象の情報を時間で提供した場合

ランプ1で降りた場合の効用関数は、突発事象情報を時間で提供した場合でも、式(4.2.1)と同様となる。これは、高速道路について旅行時間情報を提供した場合でも一般道に関する情報は提供されないためである。

ランプ2で高速道路を降りる場合についても、距離を情報として提供した場合と同様に、渋滞の延伸を考慮に入れる必要がある。まず、渋滞がランプ2を越えて延伸しなかった場合は一般道による旅行時間のみを考えればよいので、効用関数は式(4.2.2)と同様である。渋滞がランプ2を超えて上流部まで渋滞が延伸していると渋滞区間を走行する旅行時間増加も考える必要があり、このときの効用関数は、

$$V_{i2b} = \beta_{dc} X_2 + \theta \frac{X_j - X_2}{X_j - Z} Y_i + \gamma_o (X_j - X_2) + \alpha_b \quad (4.2.7)$$

ただし、

X_j : 渋滞末尾付近のランプを j としたとき、目的地ランプからランプ j までの距離

Y_i : 渋滞発生地点 Z からランプ j までの時間情報

γ_o : 平常時の高速道路の単位距離あたりの効用

$$\gamma_o = \frac{\theta}{v_f}$$

となる。

目的地ランプまで高速道路を走行した際の効用関数は距離に関する情報を提供した場合と同様に、

- ・突発事象の発生地点が目的地ランプよりも上流にある場合

- ・突発事象の発生地点と渋滞最後尾の双方が目的地ランプより下流にある場合

- ・突発事象の発生地点が目的地ランプより下流にあり、渋滞最後尾が上流にある場合

の3つの場合について考える必要がある。突発事象の発生地点が目的地ランプよりも上流にある場合の効用関数は、

$$V_{i0a} = \theta Y_i + \gamma_o (Z - X_j) \quad (4.2.8)$$

となる。突発事象の発生地点と渋滞最後尾の双方が目的地ランプより下流にある場合は、(4.2.5)と同様に、

$$V_{i0b} = 0 \quad (4.2.9)$$

となる。突発事象の発生地点が目的地ランプより下流にあり、渋滞最後尾が上流にある場合は、目的地ランプより上流部分での旅行時間増分を考えることになる。旅行時間情報を提供した際には、

$$V_{i0c} = \theta \frac{X_j}{X_j - Z} Y_i + \gamma_o (-X_j) \quad (4.2.10)$$

となる。

c) パラメータと利用者の想定速度の関係式

式(4.2.1)、式(4.2.3)、式(4.2.7)の効用関数のパラメータを整理すると、利用者が各区間で想定している速度を求めることができる。利用者が想定する普段の高速道路の速度は、

$$v_f = \frac{\theta}{\gamma_o} \quad (4.2.11)$$

と表すことができる。利用者が想定する渋滞時の速度は、

$$v_c = \frac{\theta}{\gamma_d + \gamma_o} \quad (4.2.12)$$

となる。迂回係数を含んだ一般道の走行速度は、

$$\frac{v_l}{c} = \frac{\theta}{\beta + \gamma_o} \quad (4.2.13)$$

となる。一般道については、迂回係数 c と、一般道の速度 v_l を区別して求めることはできないことに注意されたい。また、迂回係数が1より大きい場合には一般道の速度より小さく求められ、1より小さい場合には一般道の速度より大きくなる。都市高速道路の場合は迂回できる一般道が多いことから、迂回係数は1に近いことが予想され、 v_l/c は一般道の実際の速度に近くなることが期待できる。

(4) PP+SP モデルの推定結果

PP+SPモデルの推定結果を表-3.2.3に示す。

表より、全てのパラメータが負であり、符号条件を満たしている。また、 p 値は γ_o を除いてすべてのパラメータについて0.05以下であり、有意水準5%で有意な結果が得られている。 γ_o が有意にならなかった原因としては、サンプル数が168と少なく被験者ごとの普段の高速道路走行時の想定速度のばらつきが大きいことや、突発事象情報を見た際には普段の旅行時間の大きさをあまり考慮せずに行動している可能性が挙げられる。式(4.2.11)～式(4.2.13)を用いて求めた高速道路利用者が想定する普段の高速道路の速度 v_f 、渋滞時の速度 v_c 、一般道の速度 v_l/c は、それぞれ130.3(km/h)、27.6(km/h)、63.5(km/h)となった。これらの速度は実情に比べ若干大きなものとなっていると考えられる。これは定数項による影響を考慮していないためである。

(5) 単独 SP 調査における効用関数の定式化

SP調査の行動選択の際に提示するネットワークの前提条件とVMSによる情報には、大きく分けて「距離」による条件・情報と「旅行時間」による条件・情報がある。ネットワークの条件とVMSの情報

表-4.2.2 PP+SP モデルの推定結果

		推定値	t値	p値
途中ランプで降りることによる定数項	α_b	-2.91	-5.88	0.00
距離の情報・条件を提示することによる係数	α_d	-1.77	-2.78	0.01
一般道の距離を高速道路の距離から見積もる係数	β	-0.0601	-3.02	0.00
突発事象による渋滞距離情報の係数	γ_d	-0.212	-2.51	0.01
高速道路の距離から通常時の旅行時間を見積もる係数	γ_o	-0.0571	-0.40	0.69
旅行時間情報にかかる係数	θ	-0.124	-3.55	0.00
サンプル数	n			168
初期対数尤度				-217.798
最終対数尤度				-120.377
自由度修正済の ρ^2	ρ^2			0.420

表-4.2.3 SP調査での情報提供の組み合わせとモデル推定で用いる効用関数の組み合わせ

一般道の条件とVMSの情報の組み合わせ		効用関数の組み合わせ	
一般道	高速道	一般道	高速道
一般道に関する条件提示なし	渋滞距離情報	V_{11}	V_{h1}
	旅行時間情報		V_{h2b}
一般道の距離に関する条件提示	渋滞距離情報	V_{12}	V_{h1}
	旅行時間情報		V_{h2b}
一般道の普段の旅行時間に関する条件提示	渋滞距離情報	V_{13}	V_{h1}
	旅行時間情報		V_{h2a}

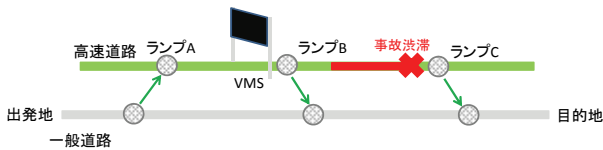


図-4.2.2 単独SPのモデルの定式化で想定する状

の双方に対して旅行時間の条件・情報が提供された場合、道路利用者は高速道路を走行することと一般道を走行することとの時間に関する不効用に関して旅行時間を直接比較することにより経路を決定すると仮定する。一方で、距離に関する条件・情報のみを提供した場合には、高速道路の渋滞区間、非渋滞区間、一般道でそれぞれ異なる速度を想定すると考えられる。道路利用者はこれらそれぞれについて利用者が想定した速度と提供された距離の条件・情報をもとに旅行時間を想定した上で、高速道路を走行する際の旅行時間と一般道を走行する際の旅行時間を比較して行動を選択していると仮定する。このことから、一般道、高速道路のそれぞれの前提条件について、「距離」による条件を提示した場合と「旅行時間」に関する条件を提示した場合に分けた上で、VMSの情報が距離の場合と旅行時間の場合についてそれぞれの効用関数を定式化する。つまり、「情報なし（高速道路の距離のみ提示）」（パターンi）、一般道・高速道路のそれぞれの「距離を条件として提示」（パターンii）、一般道・高速道路のそれぞれの「平常時旅行時間を条件として提示」（パターンiii）の3

つに分けた上で、さらにVMSの情報メッセージの種類によって2つに分けられる。ロジットモデルに組み込む高速道路と一般道の効用関数の組み合わせは、表-4.2.3に示すように計6種類となる。なお、増減傾向の情報には表に示したそれぞれの効用関数にダミー変数として組み込むため、増減傾向の情報内容によらず効用関数は共通としている。

以下では、図-4.2.2に示すネットワークを想定し、VMS直後のランプBで高速道路を降りて一般道を走行する場合と、ランプCまで高速道路を走行する場合について効用関数を定義する。

a) BC間を一般道で走行する際の効用関数の定式化

一般道の旅行時間に関する条件を提示していない場合には、道路利用者は距離の条件から想定される旅行時間を想定した上で効用を見積もっていると考えられる。このことから、道路利用者が距離から想定する旅行時間に関するモデルを示した後に、一般道の情報に関して「情報なし」、「距離を条件として提示」、「平常時旅行時間を条件として提示」のそれぞれの場合について効用関数を定義する。

一般道に関する条件が「情報なし」の場合（パターンi）、距離に関しては高速道路の距離 X_{BC} のみ提示されていることから、道路利用者は迂回率 c で迂回することを想定した上で、一般道の旅行時間を見積もると考える。このとき、効用関数は、

$$V_{11} = \beta_{dc} X_{BC} + \alpha_{dc} + \alpha_b \quad (4.2.14)$$

ただし、

β_{dc} : 一般道を走行することによる不効用の増分

$$\beta_{dc} = \theta \left(\frac{c}{v_l} - \frac{1}{v_f} \right)$$

X_{BC} : 高速道路を利用した場合のBC間の距離

α_{dc} : 一般道条件を提示しない場合に距離を旅行時間に変換する際に生じる認知誤差

α_b : 途中ランプで降りることによる不効用（定数項）

θ : 単位旅行時間あたりの不効用

v_f : 道路利用者が想定する平常時の高速道路の速度

v_l : 道路利用者が想定する一般道の走行速度

c : 高速道路の距離を基準とした一般道の距離の迂回率
と定義することができる。なお、 α_b は現在の状況が与えられておらず、普段の状況と異なるかも知れない一般道を利用することへの不効用を示している項である。

一般道の条件について「距離」の条件である X_{IBC} が与えられている場合（パターンii），距離を直接利用することができることから，効用関数は，

$$V_{12} = \beta_d X_{IBC} - \gamma_o X_{BC} + \alpha_d + \alpha_b \quad (4.2.15)$$

ただし，

X_{IBC} : 一般道を利用した場合の BC 間の距離

α_{dc} : 距離を旅行時間に変換する際に生じる認知誤差

γ_o : 平常時の高速道路の単位距離あたりの効用

$$\gamma_o = \frac{\theta}{v_f}$$

β_d : 一般道を走行する単位距離あたりの効用

$$\beta_d = \frac{\theta}{v_i}$$

と定義することができる。

一般道の条件について「平常時の旅行時間」が与えられている場合（パターンiii），普段の高速道路と一般道路の旅行時間の差を直接求めることができるので，効用関数は，

$$V_{13} = \theta(T_{IBC} - T_{BC}) + \alpha_b \quad (4.2.16)$$

ただし，

T_{IBC} : 平常時に一般道を利用した場合の BC 間の旅行時間

T_{BC} : 平常時に高速道路を利用した場合の BC 間の旅行時間

と定義することができる。

b) 突発事象時にBC間を高速道路で走行する際の効用関数

高速道路を走行する際の効用関数についても，一般道の場合と同様に，ネットワークの前提条件やVMSからの情報として距離の情報のみが提示され

た場合と旅行時間情報について提示された場合に分けて定式化を行う。道路利用者は距離情報から想定される旅行時間に換算した上で不効用を見積もっていると考える。そこでまず，道路利用者がVMSによる渋滞距離情報から想定する旅行時間に関するモデル化を行い，「距離情報」，「旅行時間情報」のそれぞれの場合について，効用関数を定義していく。なお，情報はダミー変数で考慮している。料金はランプBまで走行する場合の料金とランプCまで走行する場合の料金との差 T で示しており，均一料金の場合は $T=0$ となる。

VMSの情報として「距離情報」が提供される場合，道路利用者は渋滞区間を通過する際の速度低下を見込んで行動すると考えられることから，効用関数を，

$$V_{h1} = \gamma_d Y_d + \alpha_d + \gamma_r Y_r + \gamma_f Y_f + \lambda T \quad (4.2.17)$$

ただし，

Y_r : 渋滞の増加情報（増加情報提供時 $Y_r=1$ ，非提供時 $Y_r=0$ ）

Y_f : 渋滞の減少情報（減少情報提供時 $Y_f=1$ ，非提供時 $Y_f=0$ ）

T : ランプ B まで走行する場合の料金とランプ C まで走行する場合の料金との差（AC 間の料金 - AB 間の料金）

γ_d : 渋滞区間を走行することによる不効用の増

$$\text{分} \quad \gamma_d = \theta \left(\frac{1}{v_c} - \frac{1}{v_f} \right)$$

Y_d : 突発事象による渋滞距離情報

v_c : 道路利用者が想定する渋滞時の高速道路の速度

v_f : 道路利用者が想定する通常時の高速道路の速度

とする。

一般道の平常時の情報が旅行時間情報でありかつVMSでも「旅行時間情報」が提供される場合（パターンiii）には，旅行時間を直接比較できることから，式（11）の関係をを用いて

$$V_{h2a} = \theta(Y_t - T_{BC}) + \gamma_r Y_r + \gamma_f Y_f + \lambda T \quad (4.2.18)$$

表-4.2.4 単独 SP モデルの推定結果

		推定値	t値	p値
途中ランプで降りることによる定数項	α_b	-0.735	-7.92	0.00
距離の情報・条件を提示することによる定数項	α_d	-0.521	-4.14	0.00
一般道の条件を提示しない場合の定数項	α_{dc}	-0.583	-2.24	0.03
一般道の距離に対する定数項	β_d	-0.129	-9.49	0.00
一般道の距離を高速道路の距離から見積もる際の係数	β_{dc}	-0.0611	-2.97	0.00
突発事象による渋滞距離情報の係数	γ_d	-0.368	-15.93	0.00
BC間の距離から通常時の旅行時間を見積もる際の係数	γ_o	-0.0676	-5.26	0.00
増加情報ダミー変数の係数	γ_r	-0.617	-4.85	0.00
減少情報ダミー変数の係数	γ_f	0.273	2.18	0.03
料金差にかかる係数	λ	-0.00097	-3.88	0.00
旅行時間情報にかかる係数	θ	-0.103	-18.62	0.00
サンプル数	n			2850
初期対数尤度				-1975.469
最終対数尤度				-1502.185
自由度修正済の ρ^2	ρ^2			0.234

ただし、

Y_t : 突発事象発生時の旅行時間情報となる。

平常時に距離の情報のみが提供される場合 (パターン i, ii) には、

$$V_{h2b} = \theta Y_t - \gamma_o X_{BC} + \gamma_r Y_r + \gamma_f Y_f + \lambda T \quad (4.2.19)$$

を効用関数とする。

(5) 単独 SP モデルの推定結果

単独SPモデルの推定結果を表-4.2.4に示す。推定結果をみると、全てのパラメータはもともと想定していた符号条件を満たしており、有意水準5%で有意なパラメータであることが確認できる。ただし、有意水準1%で各パラメータを見た場合、減少傾向と一般道の条件を提示しない場合の定数項が有意でないことがわかる。減少傾向は他の情報に比べ軽視されることがわかる。また、一般道の条件を提示しない場合の定数項が有意でないのは、被験者がうまく状況を想定できていないためであり、仮想ネットワークを用いることによる弊害が出た可能性がある。

4.3 情報提供下での行動分析

単独SPモデルの推定によって得られた認知パラメータを用いることで、突発事象時の情報提供下での道路利用者の行動について分析を行う。表-4.3.1は、認知パラメータを用いて算出される「旅行時間情報と距離情報の関係」、「一般道の条件の関係」、「増減情報と旅行時間・距離情報の関係」、「料金と旅行時間・距離情報の関係」についてまとめたものである。

(1) 旅行時間情報と距離情報の関係について

単独SP調査における突発事象の情報は、渋滞が発生している区間BC間の旅行時間で提供する場合と渋滞長で提供する場合の2つのケースを設定した。この2つのケースで取り扱った旅行時間と距離の違いによる利用者の行動の差異について着目し、分析を

行う。

本研究では、道路利用者は平常時からの旅行時間の増分を効用として経路を選択すると仮定している。そのため旅行時間に関する情報を提供した場合はその情報を効用に直接変換できる。一方、渋滞長を提供した場合は、渋滞距離をもとに渋滞区間での速度を想定することで渋滞区間の遅れ時間を見積もると想定している。提供した情報による行動の差異を分析するには、パラメータを用いて算出される、道路利用者が想定している通常時の高速道路の速度、渋滞区間の速度、距離情報・条件を提示することのバイアスについて分析することになる。表-4.3.1に示した結果より、通常時の高速道路の速度 v_f は 91.42(km/h)であり、渋滞区間の速度 v_c は 14.19(km/h)を想定していることがわかる。これらの値はある程度高速道路利用の実情に整合した値をとっているといえ、単独SPモデルがある程度妥当性があることがわかる。また、距離情報を提示することによるバイアス α_1 は、5.06(分)であった。これは、突発事象情報に渋滞長など距離を提示した場合に5.06分多めに時間を見積もってしまうことを示している。つまり、距離情報を提示すると高速道路利用者は所要時間を過大に見積もる傾向がある。

(2) 一般道の条件の関係

単独SPにおける一般道の条件は被験者が事前に知っているという前提で調査を実施した。この条件は「一般道に関する条件なし (高速道路の距離は知っている)」、「距離条件を提示」、「旅行時間を提示」の三種類を提示した。ここからは3つの条件ごとに考察を行う。

「旅行時間を提示」した場合、道路利用者は旅行時間の増分と一般道に降りることによる抵抗 α_b のみを考慮するため、一般道の条件の関係を見る場合は α_b のみを考慮すればよい。 α_b の推定値は表-4.2.4では -0.735であるが、この値は表-4.3.1より7.14分に相当することがわかる。このことは、突発事象時の渋滞によって、高速道路側の旅行時間が増大したときに、

表-4.3.1 定式化から得られる認知パラメータの値

パラメータの区分	パラメータの説明	パラメータ	推定値
距離と旅行時間の関係	平常時の高速道路の速度(km/h)	v_f	91.42
	渋滞時の高速道路の速度(km/h)	v_c	14.19
	距離情報・条件を提示することによるバイアス(分)	α_1	5.06
一般道の条件の関係	平常時の一般道の速度(km/h)	v_l	47.91
	一般道の条件を提示しなかった場合のバイアス(分)	α_2	5.66
	一般道走行による迂回率	c	1.00
	途中ランプでの降車によるバイアスと等価な旅行時間増加(分)	α_b/θ	7.14
	途中ランプでの降車によるバイアスと等価な渋滞距離(km)	$(v_c v_f / (v_f - v_c)) \times \alpha_b / \theta$	2.00
増減情報と旅行時間・距離情報の関係	旅行時間の増加情報と等価な旅行時間増加(分)	γ_r / θ	5.99
	旅行時間の増加情報と等価な渋滞距離(km)	$(v_c v_f / (v_f - v_c)) \times \gamma_r / \theta$	1.68
	旅行時間の減少情報と等価な旅行時間増加(分)	γ_f / θ	-2.65
	旅行時間の減少情報と等価な渋滞距離(km)	$(v_c v_f / (v_f - v_c)) \times \gamma_f / \theta$	-0.74
料金と旅行時間・距離情報の関係	時間価値(円/分)	θ / λ	106.19
	渋滞1kmを走行することに相当する料金(円/km)	γ_d / λ	379.38
	一般道1kmを走行することに相当する料金(円/km)	β_d / λ	132.99

一般道の旅行時間に比べ高速道路の旅行時間が7.14分以上大きくなった場合に、一般道の選択率が50%を超えることを示している。このことは、道路利用者が突発事象発生前に選択していた経路を突発事象発生後もできるだけ選択しようとしていることを示している。

「距離条件を提示」した場合、道路利用者は距離の条件から一般道の速度を想定した上で旅行時間を見積もると考えられる。このことから、一般道の速度 v_l 、距離から旅行時間を見積もる際のバイアスである α_d 、一般道に降りることによる抵抗 α_b を用いて分析する。表-4.3.1より、一般道の速度 v_l は47.91(km/h)であり、実際の状況と同じくらいか少し速度が大きいと考えられる。距離を提示することによるバイアス α_l は5.06分である。また、一般道に降りることによる抵抗 α_b は、渋滞距離にすると渋滞長2kmに相当することがわかった。

「一般道に関する条件なし」の場合、道路利用者は、一般道利用による迂回率を想定するとともに、一般道の旅行速度も加味して、一般道の旅行時間を見積もる。この場合の影響は、「距離条件を提示」した場合の項目に加えて、道路利用者が想定する迂回率で評価ができる。迂回率 c は1.00であり、今回の調査の被験者、つまり阪神高速道路の利用者は一般道を走行することによって大きな迂回が生じることは想定していないことがわかる。

(3) 突発事象時の増減情報の提供効果

単独SP調査では突発事象時の情報提供を行う際に、事故渋滞の増加傾向、増減傾向もあわせて提供している。増加傾向や減少傾向がどのような提供効果があるかを考察する。

表-4.3.1の結果によると増加傾向の情報を旅行時間情報に換算した γ_r/θ は5.99分の旅行時間増加に相当し、減少傾向の情報を旅行時間情報に換算した γ_r/θ は2.65分の旅行時間減少に相当する影響があることがわかる。また、増加傾向、減少傾向を渋滞長に換算した場合は増加傾向の情報は1.68kmと同等の影響があり、減少傾向の情報は0.74kmと同等の影響があることがわかる。このことから増加傾向の情報は減少傾向の情報に比べ、道路利用者に対して約2.3倍の影響力があることがわかった。道路利用者は渋滞の減少よりも増加に対して過敏であることがわかる。

突発事象時の渋滞はボトルネック容量が大きく低下するため、急激に延伸することもしばしば起こると考えられる。増加傾向の情報によって利用者が想定する影響は6分程度、距離にして1.68kmの延伸であることから、道路利用者への増加傾向の提供は限定的ではあるが効果があるといえる。

(4) 料金に関する考察

表-4.3.1の時間価値に着目すると、高速道路利用者は、突発事象によって旅行時間が1分増加することと、BC間の料金が106.19円増加することが同等とみなして経路を選択しているとわかる。渋滞1kmを走行す

ることに相当する料金に着目すると、渋滞の延伸1kmはBC間の料金が379.38円増加することと同等とみなしていることが読み取れる。利用者は、突発事象による渋滞の距離が1kmの情報を見た際は一般道において同じ距離を走行する際の約3倍の料金に相当するとみていることがわかる。

これらのことをより詳しく分析するために、図-4.3.1に料金差が300円の時と600円の時の選択率の差についてグラフにまとめた。この図によると、渋滞距離が2~4kmの場合に料金による高速道路の選択率による影響が大きく、料金差が300円の場合、料金差が600円の時に比べて高速道路を選択する確率が7%多いことがわかる。一方で、渋滞距離が10kmの時には、料金差が300円の場合と600円の場合での高速道路選択率の差は1.5~3%程度であり、BC間の距離にかかわらず渋滞距離が長くなると料金による選択率の影響は小さいことがわかる。

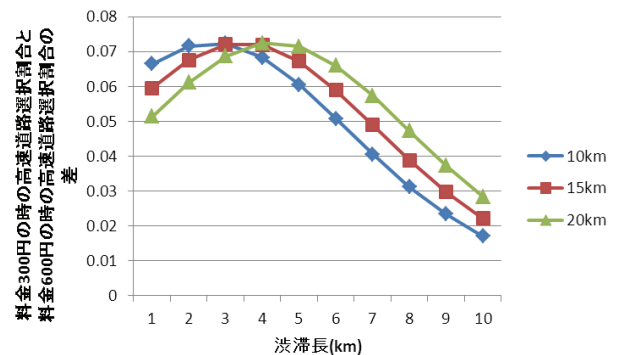


図-4.3.1 ランプBとランプCの料金差が300円のとときと600円のとときの選択割合の差

(5) 移動目的による比較

表-4.3.2は交通目的ごとのパラメータの推定結果を示している。サンプル数は「通勤目的」が930、「私用目的」が680、「業務目的」が1050である。各目的の尤度比をみると、通勤が0.219、業務が0.311、私用が0.140であった。「業務」と「通勤」では全目的の場合と同じ適合度で推定できているといえる。しかし、「私用」については大きく適合度が下がっている。業務目的の利用者については本研究のモデルで前提としていた旅行時間の遅れを考慮して行動を選択していることがわかる。適合度の低い私用目的の利用者は旅行時間の遅れをあまり考慮しておらず、直感的に情報を解釈し行動している可能性がある。

各パラメータに着目すると、全ての移動目的において情報の減少ダミーが有意水準5%で有意とはいえない結果となった。全目的での推定結果と同様であり、どの交通目的の利用者からも減少傾向の情報は他の情報と比較して軽視される傾向にあることを示している。

通勤目的では料金パラメータ、BC間の距離から通常時の旅行時間を見積もる際の係数、一般道の距離を高速道路の距離から見積もる際の係数が有意水準5%で有意とはいえない結果となった。通勤目的の利

表-4.3.2 移動目的別のパラメータ推定結果

		通勤			業務			私用		
		推定値	t値	p値	推定値	t値	p値	推定値	t値	p値
途中ランプで降りることによる定数項	α_b	-0.979	-6.19	0.00	-0.660	-4.08	0.00	-0.413	-2.19	0.03
距離の情報・条件を提示することによる定数項	α_d	-0.798	-3.79	0.00	-0.251	-1.09	0.28	-0.730	-2.78	0.01
一般道の条件を提示しない場合の定数項	α_{dc}	-0.980	-2.21	0.03	-0.323	-0.73	0.47	-0.237	-0.41	0.68
一般道の距離に対する定数項	β_d	-0.0644	-2.82	0.00	-0.221	-8.51	0.00	-0.0630	-2.30	0.02
一般道の距離を高速道路の距離から見積もる際の係数	β_{dc}	-0.0359	-1.01	0.31	-0.121	-3.36	0.00	-0.0508	-1.19	0.23
突発事象による渋滞距離情報の係数	γ_d	-0.329	-8.20	0.00	-0.548	-12.14	0.00	-0.197	-4.56	0.00
BC間の距離から通常時の旅行時間を見積もる際の係数	γ_o	-0.0214	-0.98	0.33	-0.0929	-3.88	0.00	-0.0446	-1.69	0.09
増加情報ダミー変数の係数	γ_r	-0.910	-4.15	0.00	-0.596	-2.53	0.01	-0.275	-1.19	0.24
減少情報ダミー変数の係数	γ_f	0.00502	0.03	0.98	0.475	1.99	0.05	0.386	1.59	0.11
料金差にかかる係数	λ	-0.000498	-1.12	0.26	-0.00122	-2.70	0.01	-0.00124	-2.64	0.01
旅行時間情報にかかる係数	θ	-0.108	-11.16	0.00	-0.121	-11.45	0.00	-0.0681	-7.07	0.00
サンプル数	n			930			1050			680
初期対数尤度				-644.627			-727.805			-471.340
最終対数尤度				-492.292			-490.428			-394.262
自由度修正済の ρ^2	ρ^2			0.219			0.311			0.140

用者の普段の利用では特定のランプ間の利用が多いと想定されるため、本研究で設定した距離から旅行時間の想定を正しく行えなかった可能性もある。通勤目的は時間制約があり、渋滞の延伸及び旅行時間の不確実性を考慮していないという旅行時間増分の想定が通勤目的の利用者の移動と合致しなかった可能性もある。

私用目的では一般道の条件を提示しない場合の定数項、一般道の距離を高速道路の距離から見積もる際の係数、BC間の距離から通常時の旅行時間を見積もる際の係数、増加情報ダミーの係数、減少情報ダミーの係数が有意水準 5% で有意なパラメータとは言えないという結果となった。私用目的の利用者は、比較的利用頻度が少ないことが多く、距離から所要時間をうまく所要時間を連想できないため、突発事象時の旅行時間や渋滞長などの情報に依存している傾向が見受けられる。また、渋滞の増加傾向についてもうまく情報を理解できていない可能性が考えられる。

4.4 行動文脈に応じた情報提供の考え方

交通目的や利用頻度といった利用者の行動文脈に応じた情報提供を議論する際に、次のことを仮定する。

- 1) 利用者の行動文脈は与件である。行動文脈は、高速利用経験、行動時間帯、OD ペア、交通目的などの組み合わせとして与えられる。
- 2) トリップのOD ペアごとに経路選択を考える。OD ペア間には高速道路を利用する経路と平面街路を利用する経路がそれぞれ1本ずつ存在する。
- 3) 平常時の交通状況に関してドライバーは十分な情報と経験を持っている。平常時の交通状況は経路の旅行時間と料金で表現される。ドライバーは平常時に高速道路を利用した場合の旅行時間、料金と平面街路を利用したときの旅行時間を知っている。
- 4) 突発事象が生じたときには、複数の交通情報メッセージのいずれかがすべてのドライバーに提供される。

この仮定により、OD ペア rs 間を時間帯 t にトリップするドライバー n が高速道路を利用するかどうかを表す高速道路選択確率 $P_n^{rs}(t)$ は、行動文脈、平常時交通状況、突発時交通情報の関数として表現できることになる。ここに、

- 行動文脈 : 高速利用頻度、OD ペア、交通目的
- 平常時交通状況 : 高速と平面の時間差 (混雑状況)、料金
- 交通情報 : 突発時の渋滞長、渋滞通過時間、増減情報

である。行動文脈は複数の条件の組み合わせとしていくつかの категорияに分類されているとする。たとえば、

- 文脈カテゴリー 1 : 高頻度利用、通勤または業務目的、都心行き OD
- 文脈カテゴリー 2 : 高頻度利用、通勤または業務目的、郊外行き OD
- 文脈カテゴリー 3 : 低頻度利用、私用目的

とし、これらのカテゴリーごとにダミー変数を用意して効用関数に組み込むことが考えられる。

最も単純な 2 項ロジットモデルを適用するとすれば、時間帯 t の個人 n の高速道路選択確率 $P_n^{rs}(t)$ は以下のように定式化できる。

$$P_n^{rs}(t) = \frac{1}{\{1 + \exp(V_n^{rs}(t))\}} \quad (式 4.4.1)$$

ここに、 $V_n^{rs}(t)$ は、時間帯 t における個人 n の高速利用と平面利用に関する効用の確定項の差であり、たとえば、以下のように表現される。

$$V_n^{rs}(t) = \theta_0 + \theta_1 \delta_n + \theta_2 T^{rs}(t) + \theta_3 I^{rs}(t) \quad (式 4.4.2)$$

δ_n は個人 n の行動文脈があるカテゴリーであれば 1、そうでなければ 0 をとるダミー変数である。 $T^{rs}(t)$ は時間帯 t の平常時の交通状況を表現しており、たとえば、高速利用と平面利用の旅行時間差である。 $I^{rs}(t)$ は時間帯 t に発生した突発時に提供される交

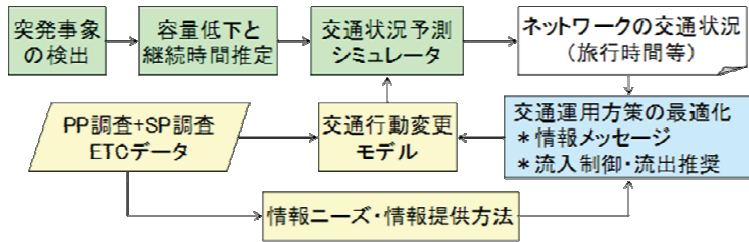


図-4.4.1 情報提供手法を検討するためのネットワークシミュレータと行動モデル

通情報メッセージであり、たとえば、突発時の渋滞通過時間である。 $\theta_0, \theta_1, \theta_2, \theta_3$ はパラメータである。

二つの異なる情報メッセージを比較する場合には、効用関数を

$$V_n^{rs}(t) = \theta_0 + \theta_1 \delta_n + \theta_2 T^{rs}(t) + \theta_3 \lambda_1 I_1^{rs}(t) + \theta_4 (1 - \lambda_1) I_2^{rs}(t) \quad (\text{式 4.4.3})$$

とすればよい。ここに、 $I_1^{rs}(t), I_2^{rs}(t)$ は二種類の情報メッセージ（渋滞長、渋滞通過時間）である。いずれか一方が提供されるから、渋滞長情報が提供されるとき $\lambda_1 = 1$ であり、渋滞通過時間情報が提供されるとき $\lambda_1 = 0$ である。

行動文脈により情報メッセージの影響が異なることをより明示的に考慮するには、文脈カテゴリーごとにモデル推定を行うことである。このとき、文脈カテゴリー m に属する個人 n の高速道路選択率 $P_n^{m,rs}(t)$ は、

$$P_n^{m,rs}(t) = \frac{1}{\{1 + \exp(V_n^{m,rs}(t))\}} \quad (\text{式 4.4.4})$$

$$V_n^{m,rs}(t) = \theta_0^m + \theta_2^m T^{rs}(t) + \theta_3^m \lambda_1 I_1^{rs}(t) + \theta_4^m (1 - \lambda_1) I_2^{rs}(t) \quad (\text{式 4.4.5})$$

となる。要するに、行動文脈に応じて効用関数のパラメータが異なるとするモデル構造を採用するということである。

推定されたモデルを用いて、発生した突発事象の内容と行動文脈に応じた情報提供手法の検討を非集計ベースで行うには、次のようにすればよい。

文脈カテゴリーを効用関数に入れたモデル構造を前提とすると、行動文脈の違いはダミー変数を通じて効用関数の定数項に影響を及ぼすことになる。ダミー変数のパラメータ値の符号と大小を比較することで行動文脈が高速道路選択率に及ぼす影響を把握することができる。

情報提供内容が高速道路選択率に及ぼす影響については、それぞれの情報提供内容に関する効用関数のパラメータの統計的な有意性を確認した上で、情報提供内容に関する弾力性を比較すればよい。

非集計行動モデルの構築と解析は、行動文脈と情報内容によって高速道路の選択率がどのように異なるかを把握する上で欠くことのできないプロセスである。サンプルベースでの情報提供効果の推計も、感度分析や弾力性分析を通じて可能である。しかし、集計ベース、ネットワークベースで情報提供の効果

を調べるには、行動モデルの集計化とシミュレーションモデルとの連携が必要となる。

行動モデルの集計化は複数の行動文脈を高速道路選択行動の類似した少数のセグメントに集計化することに他ならない。上述の文脈カテゴリーは文脈のセグメント化に他ならないが、この節でいうセグメント化とは、文脈カテゴリーで表現される行動文脈をさらに集計化することを指す。文脈カテゴリーに分けて行動モデルを推定した結果、情報メッセージに関する推定パラメータの値が大きく異なる文脈カテゴリーはさらに大きなカテゴリーに集約していく。最終的には、少数の (2,3 の) セグメントに集約することを想定している。以下ではセグメントの添え字を k とする。

あるセグメントに属する個人は行動文脈に多少の違いはあったとしても同じ高速道路選択率関数が適用される。これを $P_k^{rs}(t)$ と書く。この関数に情報メッセージ $I^{rs}(t)$ をインプットしたときの推定選択率の値を $\hat{P}_k^{rs}(t)$ と書く。

シミュレーションへのインプット情報は時間帯ごとの高速道路利用の OD 交通量である。その推定は以下の手順で行う。今、平常時の OD 交通量を $q^{rs}(t)$

と書く。これを高速利用に関する行動文脈の共通性に着目してセグメントに分ける。それには、個人属性分布や交通目的分布など既知の情報を活用してセグメントの構成比率 $R^k(t)$ を求め、セグメントごとの OD 交通量を推定する。つまり、 $q_k^{rs}(t) = R^k(t) q^{rs}(t)$ である。そして先に求めた高速選択率との積和を時間帯ごとの高速道路利用の OD 交通量、

$$Q^{rs}(t) = \sum_k \hat{P}_k^{rs}(t) q_k^{rs}(t) \quad (\text{式 4.4.6})$$

の推定値とするのである。以上の手順により、情報メッセージの違いを反映した OD 交通量のインプットデータを生成することができる。

行動文脈の違いを全く考慮しなければ、セグメントはひとつになるから、OD 交通量は、

$$Q^{rs}(t) = \hat{P}^{rs}(t) q^{rs}(t) \quad (\text{式 4.4.7})$$

と簡略化できる。このときのシミュレーションは、情報メッセージの影響が一様である場合のケースであり、ひとつのベンチマークとなるであろう。

図-4.4.1 にネットワークシミュレータと行動モデルとの関連システム図を示す。

第5章 突発事象の影響を最小化する交通運用

5.1 利用者行動を組み込んだシミュレータ

(1) シミュレータ開発の必要性

インシデント発生時に予測旅行時間を提供することが、交通流にどのような影響を及ぼすのか、ということについてあまり分かっていない。予測旅行時間を提供することで、高速道路利用者はインシデントが起きた後に精度の高い旅行時間情報を得ることができ、また、正確な旅行時間情報を得ることで、渋滞に不本意に巻き込まれることも少なくなる。そのため、結果としてより「短い」旅行時間で移動できるようになると推測できる。そのため、実旅行時間を提供することでインシデント時の交通流がどのように変化するのか、ということについて調べることの意義は大きい。

本節の目的は、インシデントが発生したネットワークで旅行時間情報を提供することが交通流にどのような影響を与えるのか、ということ进行分析できるようなシミュレータの開発にある。インシデント時の旅行時間提供が交通流に与える影響を分析するためには、インシデント時に旅行時間を提供した場合の交通流の変化と、インシデント時に旅行時間提供を行わなかった場合の交通流の変化を比較する必要がある。そのため、このシミュレータは、これらの比較を行えることができるものである必要がある。

交通流シミュレータを用いて、予測旅行時間提供による交通流の変化に関して調べた先行研究として吉井ら(1996)の研究がある。この研究では、首都高速道路ネットワークを対象とし、SOUNDモデルを用いて、簡単な予測を用いた予測情報を提供した際の情報提供の効果の評価している。吉井らは、予測情報に多少の誤差があったとしても、予測情報を提供することで、現在情報を提供するよりも交通状況が改善されることを明らかにしている。また、予測情報に誤差がない場合、経路選択層が80~90%を超えると経路選択層の割合が増えるにつれて交通状況が悪化することを明らかにしている。この論文では、

インシデントの規模による予測情報提供の効果の違いやインシデントの検知遅れによる予測情報提供の効果の違いに関する分析は行っていない。

そこで本研究では、交通ネットワークシミュレータの開発にとどまらず、インシデントの規模やインシデントの検知遅れを変化させたときの旅行時間提供の効果进行分析することができるような分析フレームを構築する。インシデントの規模は、ボトルネックリンクの容量低下量とその継続時間を表しており、これを変化させることで、インシデントの規模による旅行時間提供の効果の違いについて分析する。インシデントの検知遅れとは、インシデントが発生してからインシデントを検知するまでの時間差を表しており、これを変化させることで、インシデントの検知遅れによる情報提供の遅れが旅行時間情報を提供した際の交通流にどのような影響を与えるのかを分析する。

なお、本節で検討する範囲は、シミュレータの開発と小規模な仮想ネットワーク上でのシミュレータの動作確認とし、実ネットワークや大規模ネットワークへの適用については今後の課題とする。また、提供される情報の内容に対してドライバーがどのような行動を起こすのかについては、前節の値を参考にして設定する。

(2) シミュレーションモデルの構成

本研究では、将来の交通流を予測することによって求めた旅行時間を提供することを考える。現実の交通システムを考えた際には、情報提供される旅行時間は、トラカンによって観測された交通量や速度などの交通流データをもとに、予測シミュレータによって将来の交通流を予測することで求める。求めた旅行時間は可変情報板(VMS)などを通して利用者に提供され、利用者の行動が変容する。インシデントを検出した時には、観測される交通流やインシデントの規模から供給条件(ボトルネック容量)を推測し、このボトルネック容量を予測シミュレータにイ

ンプットすることで、インシデント時における、車線閉塞を考慮した旅行時間を得ることができる。

図-5.1.1 に示した通り、旅行時間を得るためには交通流の観測データが必要となるが、現実の交通システムに実装する前のシミュレータ開発中の時点では、交通流の実測データは存在しない。そのため、あたかも観測データが得られるかのような現況再現シミュレータが必要となる。このとき、現況再現シミュレータでは、ネットワークに流入させる車と道路容量など道路の状態に関する情報をあらかじめインプットする必要があり、インプットされた状態をもとに交通流データをアウトプットする。

予測旅行時間を提供することを想定したときには、旅行時間情報によって行動が変化し、行動が変化することによって将来の交通流と実旅行時間が変化し、実旅行時間情報が変化することによって行動が変化するというように、シミュレータの中でシミュレータが回る構造とならない仕組みが交通システムシミュレータには必要である。

この問題を解決するために、本研究で用いるインシデント時の交通システムシミュレータでは、図-5.1.2 に示すように、現況再現シミュレータと予測シミュレータの2つのシミュレータを切り離して構成した。

現況再現シミュレータは、後述する Cell Transmission Model によるシミュレータであり、旅行時間情報の提供の対象となる道路ネットワークの状態を再現する役割を持つ。現況再現シミュレータは、情報提供された利用者の経路選択行動を内生化している。

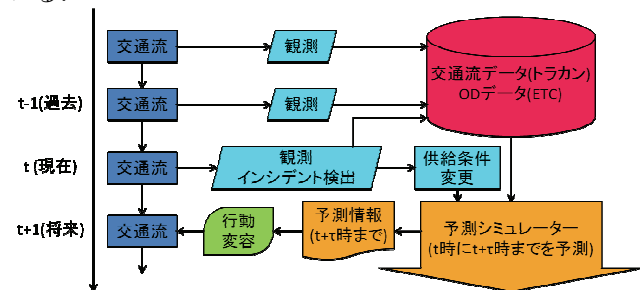


図-5.1.1 インシデント時における交通システム

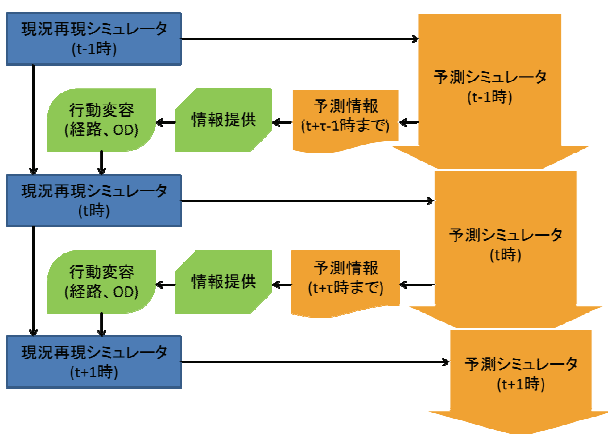


図-5.1.2 交通システムシミュレータの概要

予測シミュレータは、現況再現シミュレータに対して予測実旅行時間を提供するために、時刻 t の交通状況から、将来時刻 $t+\tau$ の交通状況を予測するためシミュレータである。このシミュレータは、現在時刻の交通状況から次の時刻に起こるはずである交通状況を予測し、次に、予測した次の時刻の交通状況からさらに次の時刻に起こるはずである交通状況を予測する、ということを将来時刻 $t+\tau$ まで行い、将来時刻 $t+\tau$ までの交通状況を予測するシミュレータである。予測シミュレータは、交通状態の予測を目的とするものであり、交通流の動的挙動は Cell Transmission Model で表現される。予測シミュレータは利用者の経路選択行動を含まないシミュレータである。

現況再現シミュレータにおける経路選択は、予測シミュレータから得られる旅行時間情報をもとに行われる。すなわち、現況再現シミュレータから交通状況データが予測シミュレータに引き渡され、予測シミュレータを用いて将来の交通状況を予測する。この予測交通状況から得た旅行時間情報を現況再現シミュレータに返し、それに基づいて各車両の経路を決定する仕組みである。

インシデント時の交通システムシミュレータの仕組みについて、2 経路の分岐点の上流に情報板が設置されているケースを例に具体的に説明する。時刻 t に可変情報板(VMS)が提供する情報と VMS の上流にある車が分岐先に流出する台数は、次の①～④のステップに従って求めることができる。

- ①時刻 $t-1$ の予測シミュレータでは、時刻 $t-1$ のそれぞれの経路の旅行時間を求めるために、時刻 $t-1$ までに VMS の下流に流入した車についてのみ考える。
- ②時刻 $t-1$ の予測シミュレータを用いて時刻 $t-1$ までに VMS の下流に流入した車がネットワークから全て流出するまでの時間を求めることで、時刻 $t-1$ のそれぞれの経路の旅行時間を決定する。
- ③時刻 $t-1$ のそれぞれの経路の旅行時間が t_1, t_2 とわかった時、時刻 t の VMS ではこの 2 つの旅行時間を提供し、経路選択率を決定する。
- ④時刻 t の VMS の情報を見た車の経路選択率がそれぞれ $P_1(t), P_2(t)$ となったとき、時刻 t の現況再現シミュレータでは、この経路選択率に従って流れる車の台数を決定し、分岐先に車を流出させる。
- ⑤時刻 $t+1$ の現況再現シミュレータに対しても、①～④のステップを踏む。

(3) 交通流シミュレータの開発

Cell Transmission Model (CTM) は米国カリフォルニア大学バークレー校の Daganzo 教授の提案によるマクロ交通流モデルである。以下では Daganzo C.F(1994), Daganzo C.F(1995)に基づいて CTM を説明する。CTM は以下のような特徴を持っている。

- ・道路は均質な区間 (セル)に分かれる(図-5.1.3)
- ・セルの状態が毎単位時間ごとに更新される”タイムスキャン”方式を用いる。

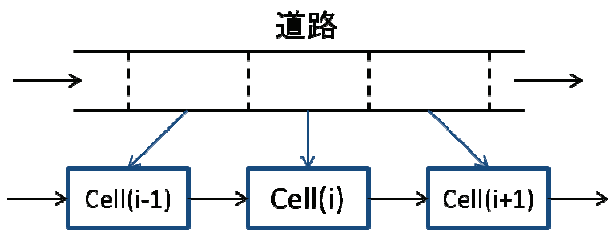


図-5.1.3 区間の離散化

- First In First Out(FIFO)を満たす.
- シミュレーションの結果がセルの計算順序に依存しない.

セルを区別して表現するために、セルに上流端から下流端に $i=1$ から $i=I$ までそれぞれ番号を振る。セルの長さは任意に決めることはできず、シミュレーション上で基準となる車が単位時間間に自由走行によって移動できる長さを各セルの長さとする。例えば、自由走行速度が 60km/h で、単位時間間隔が 1 分のとき、セルの長さは 1km となる。また、車がセル内のどこを走っているかを考慮する必要はなく、自由走行時において、セル内のすべての車は次の時間に次のセルに流入することができるとする。

CTM は、更新後のセル内の状態が更新するセルの順番に依存しない、という特徴を持っている。この特徴は、セルに流入する車の台数はそのセルから流出する車の台数と関係ない(つまり、その時の状況のみがセルへの流入に影響する)、とすることで生じる。この特徴によって、複雑なネットワークの解析が可能となる。

まず、途中に入口も出口もない単路部における車の移動について考える。このとき、CTM では時間ごとに、以下のように各セルの交通状態を更新する。

$$n_i(t+1) = n_i(t) + y_{i-1}(t) - y_i(t) \quad (\text{式 5.1.1a})$$

$$y_i(t) = \min\{n_i(t), Q_i(t), N_{i+1}(t) - n_{i+1}(t)\} \quad (\text{式 5.1.1b})$$

ここで、 $n_i(t)$ 、 $y_i(t)$ 、 $Q_i(t)$ 、 $N_i(t)$ は以下のように定義される。

- $n_i(t)$: 時刻 t にセル i にある車の台数
- $y_i(t)$: 時刻 t から時刻 $t+1$ になったときにセル (i) からセル $(i+1)$ に流出する車の台数
- $Q_i(t)$: 時刻 t から時刻 $t+1$ になったときにセル (i) から流出することができる車の最大台数。単位時間の長さやセルの容量による。
- $N_i(t)$: 時刻 t にセル (i) に存在することができる車の最大台数。セルの長さや渋滞密度によって決まる。

式(5.1.1a)は、時刻 $t+1$ のセル (i) の車の台数は、時刻 t のセル (i) の車の台数に時刻 t にセル (i) に流入する車の台数を足し、時刻 t にセル (i) から流出する車の台数を引く、ということを表している。また、式(5.1.1b)は次のことを示している。

- 下流のセル $(i+1)$ が自由流の場合、(1) $Q_i(t) \geq n_i(t)$

であるとき、 $n_i(t)$ 台の車が全てセル $(i+1)$ に移動することができる、(2) $Q_i(t) < n_i(t)$ であるとき、交通容量分の台数しか流れることが出来ない、 $Q_i(t)$ 台の車がセル $(i+1)$ に移動することができる。

- 下流のセル $(i+1)$ が渋滞流の場合、(3)セル $(i+1)$ に流入することができる車の台数は、 $N_{i+1}(t) - n_{i+1}(t)$ 台である。

よって、これら 3 つ $(n_i(t), Q_i(t), N_{i+1}(t) - n_{i+1}(t))$ の値の最小値が、時刻 t から時刻 $t+1$ になったとき、セル (i) からセル $(i+1)$ に流出することができる。

分岐部、合流部についても、マクロな交通流理論に整合的な交通状態の記述が可能であるが詳細の説明は省略する。

(4) シミュレータのバリデーションチェック

バリデーションチェックとは、構築したシミュレータがモデルに従って正しく動作しているか確認することである。シミュレータを構築するプロセスで、プログラミングのミス等によりモデルとシミュレータの間に乖離が生じていないかどうかをチェックする。

ネットワークの基本的な構成要素は”単路部”，”分岐部”，”合流部”の 3 つのタイプに分けることができる。これら 3 つのタイプのネットワークについて、それぞれ自由流時・渋滞流時の交通流が正しく表現できているか確認する。また、これら 3 つのタイプ全てを含むネットワークについても同様に確認する。計算結果の詳細は省略するが、理論的に得られる実旅行時間とシミュレータによって出力された実旅行時間が一致しており、このシミュレータでは単路、分岐、合流の各ネットワーク、および分岐・合流を含んだネットワークでの自由流・渋滞流を正しく表現できているということが確認できた。

次に、ネットワーク上で経路選択率を変えることによって、指定した経路選択率に従ってセル内の台数とセルの流量が変わることを確認した。指定した経路選択率に従ってセル内の台数とセルの流量が変わっていることと、理論的に得られる実旅行時間とシミュレータによって出力された実旅行時間が一致したため、シミュレータは正しく動作しているといえる。

インシデント時の交通システムシミュレータは、前時間の予測シミュレータによって得た予測実旅行時間をもとに現況再現シミュレータで経路選択を行うメカニズムを記述するものである。ここでは、以下の 3 つのステップに対して、現況再現シミュレータの経路選択が予測シミュレータによって得た予測実旅行時間をもとに行われることを確認することで、インシデント時の交通システムシミュレータのバリデーションチェックを行った。Cell Transmission Model のモデル式を用いて、手計算によって得ることができる理論的に正しい実旅行時間と、シミュレータによって出力される予測旅行時間が一致してい

るかを確認する。

①常に車線閉塞が起こっており、容量の低下量が変化しない場合。

②シミュレーションの途中の時刻で車線閉塞が起こり、容量の低下量が変化していく場合。このとき、インシデントの検知遅れはないものとし、容量低下が回復していく段階も遅れなく検知できるとする。

③シミュレーションの途中の時刻で車線閉塞が起こり、容量の低下量が変化していく場合。このとき、インシデントの検知遅れがあるものとし、容量低下が回復していく段階も遅れて検知できるとする。

いずれの場合も数値計算の結果は理論値と一致しており、シミュレータが正常に機能していることが確認できた。

5.2 突発事象時の情報提供の基本フレーム

(1) 情報提供に関する制御変数と評価指標

突発事象が発生した際の交通運用の手段は、「情報提供」と「流入・流出制御」であると考えられる。流入・流出制御を行わない場合には、最適な交通運用は最適な情報提供ということになる。既に述べてきた「予測シミュレーション」により交通状態を予測し、その情報を提供することによって利用者の利便性の向上を図るだけでなく、混雑緩和を含む交通状態の改善を期待するものである。

a) 情報のカテゴリ

情報提供に関する制御変数はいくつかのカテゴリに分けて考えることができる。まず、「予測情報」か「観測情報」かである。観測情報とは、最も直近の交通流状態を提供するものであり、渋滞長や瞬間旅行時間等、現行の交通情報システムから提供される情報のほとんどは観測情報である。渋滞長のようにその瞬間値にも意味がある観測情報は、今後も重要な情報のひとつとして検討されるべきである。一方、瞬間旅行時間情報のように、実際には利用者が経験しない可能性のある情報については、情報の意味を利用者にわかりやすく伝える必要があるであろう。予測情報とは本研究が対象とする予測旅行時間等の情報である。予測シミュレータを使って精度を上げることにより、信頼度の高い情報を生成することが重要である。

つぎに「Pre-trip 情報」と「En-route 情報」がある。Pre-trip 情報とは、トリップの起点となる自宅や勤務先で得る情報であり、利用者の出発時刻の選択や経路の選択に影響を及ぼす。利用者は時間に余裕のある範囲で詳細に情報を吟味することができるので、直近の交通状態だけでなく、必要に応じて過去の統計情報（たとえば信頼性情報）にアクセスすることもできる。En-route 情報はトリップ途中に得る情報であり、可変情報板（VMS）やナビゲーションシステムを通して提供される情報である。En-route 情報はドライバーの安全運転を阻害しないよう、できる

かぎり簡潔なメッセージで情報を伝えることが求められる。もちろん、スマートフォンなどインターネット接続できる携帯型の情報メディアにより情報が提供される場合は両者の区別はそれほど意味があるわけではない。

第3のカテゴリは、情報メッセージの内容である。既に第3章の行動分析やそのモデル化の際にも述べた「旅行時間」、「渋滞長」、「渋滞の増減傾向」等が代表的な情報メッセージである。技術的な意味で作成可能な情報メッセージと、利用者が必要としている情報メッセージが必ずしも一致するとは限らない。また情報メッセージの意味を利用者が正しく理解しているかについては、かなりのばらつきがあると考えてもよいだろう。仮に正しく理解しているとしても、情報メッセージの内容により利用者がどのような行動をとるかについては、第3章で述べたように確率的要素が強く、そのことを反映したシステム構成が重要である。情報メッセージについてはその内容を変化させるタイミングも重要である。情報提供のタイミングを最適化することにより、その効果を発揮させることも考えられてよいであろう。また、個々の情報メッセージが単独で提供される場合だけでなく、複数のメッセージの組合せによって情報の効果を生み出す工夫も検討されてよい。

第4のカテゴリは、提供メディアとメッセージの表現方法である。情報メッセージを伝達するために最も適切なメディアとメッセージそのものの表現方法は、システム構築の際の重要な決定変数である。情報メディアに関して、定点で情報を提供するメディアの代表は路側の可変情報板（VMS）であり、メッセージの表現方法は文字または図形による視覚情報である。1つの情報板で提供できるメッセージの内容には制約があるので、提供するメッセージの内容と表現方法の選択は重要な決定変数である。視覚情報以外の情報メディアには、路側ラジオによるものがある。移動体情報メディアとしては、車両が搭載するカーナビゲーション機器などがあり、ディスプレイ上の視覚情報と音声情報によりメッセージが利用者に提供される。本研究では、主にVMSによる情報提供を想定する。

第5のカテゴリとして、現時点では一般的ではないが、利用者セグメント別にタイプ分けされた情報という概念も存在する。利用者セグメントによっては必要とする情報も異なるし、情報に対する感度も異なる。利用者セグメントに応じて情報メッセージの内容または表現方法を変えようといったシステムの構築を想定するのであれば、セグメント別の情報という概念も重要である。なお、現在の高度な図形情報板による情報も、特定の利用者（たとえばヘビーユーザー）しか理解できないとすれば、暗にセグメントを限定しているといえる。

b) 情報提供の効果の評価指標

情報提供による効果を評価するためのいくつかの指標について検討する。情報提供による最適な交通

運用を考える場合は、これらの評価指標は目的関数や制約条件を構成する。最適化問題を構成するのが困難な場合や、定式化できたとしても最適解の計算に膨大な時間が必要となる場合には、複数の情報提供シナリオ（運用代替案）を用意しておき、それらを実行したときの効果を以下の指標で評価することにより最適な（少なくともベターな）情報提供シナリオを選択するという手順をとることになる。

まず、ネットワークシステム全体としての効率性の指標として、高速道路と平面街路の旅行時間の総和、すなわち、総旅行時間を挙げることができる。これは既に前節の予測シミュレータの効果を評価する際に用いており、経済便益評価の際の指標でもある。インシデント時に総旅行時間を最小化できる交通情報の提供方法を開発することができれば、インシデントによる経済損失を最小化できるため、社会的にみて最適な評価関数のひとつとなる。

総旅行時間の最小化を目的関数として情報提供による交通運用を実施すると、特定の利用者にとっては情報がない場合に比べて損失が拡大することも生じる。そこで、特定の利用者にしわ寄せがいかないように公平性の視点で交通運用を行うことも考えられる。ひとつの指標は各 OD の旅行時間の増分が平均化されている程度によって公平性を評価するものである。OD 間旅行時間の増分の分散や変動係数がその具体的な指標になりうる。

特定の利用者の損失を考慮するという意味では、最も悪影響を受ける利用者(OD ペア)の不満の最小化が評価指標であってもよい。不満はたとえば 1 台あたりの平均旅行時間の増分で評価する。この指標は最大不満の最小化を狙った交通運用方式である。交通システム全体としては必ずしも効率性が保障されないため、この指標を単独で用いるよりも、一定の効率性を保証した上で、最大不満を最小化するという視点での評価を行うべきであろう。

この他、インシデントがない場合と比較した行動変更の程度を評価指標にすることもできる。インシデントがない時は各利用者の行動が合理的に行われており、それが理想的な行動であるとすれば、インシデント時に行動変容が少なく済むほうがベターという考え方である。

5.3 突発事象時の交通シミュレーション

(1) シミュレーションの要件

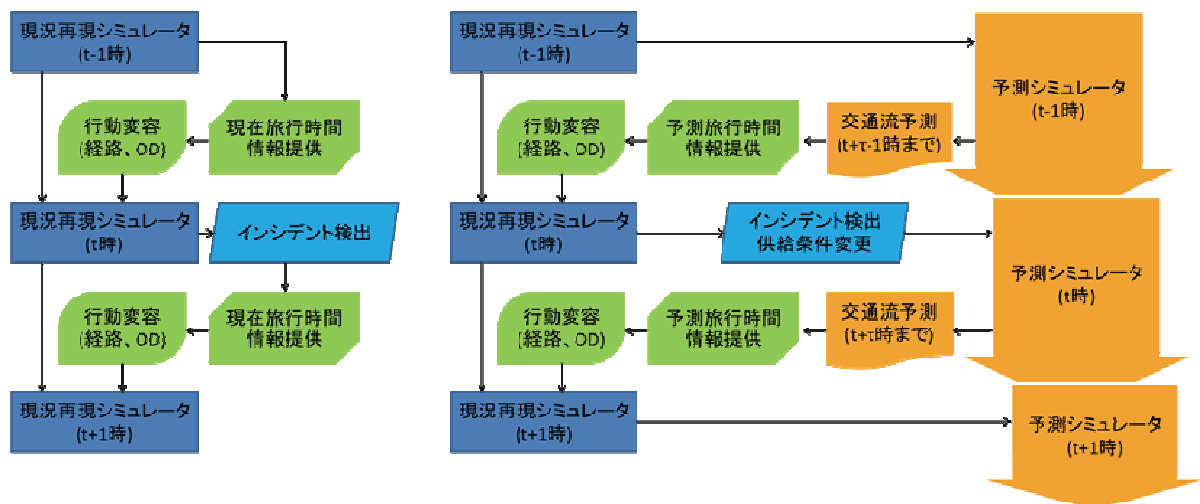
インシデント時の交通システムシミュレーションモデルの要件は、

- 交通流の現象を再現可能
- インシデントの状態を表現可能
- 現実の交通システムで行われているような情報提供が可能
- インシデント時の利用者の反応が表現可能

である。

これらの要件を満たした上で、現在のネットワーク状況に関する情報(ITT, 渋滞距離)を提供する場合の交通システムを再現するためのシミュレータを構築する。現在のネットワーク状況に関する情報(ITT, 渋滞距離)を提供する場合のインシデント時の交通システムシミュレータは、現況再現シミュレータが表現する現況の交通状況から現在旅行時間を計算し、この情報をもとに、次時刻の現況再現シミュレータで経路選択が行われる構造となっている。(図-5.3.1(a))

一方、予測旅行時間情報(PRTT)を提供する場合の交通システムシミュレータは、まず現況再現シミュレータが実行され、現況再現シミュレータが表現する交通状況をもとに、予測シミュレータを実行して将来の交通状況を予測する。そして、この予測交通状況から得た PRTT をもとに、次時刻の現況再現シ



(a) 現在旅行時間情報提供

(b) 予測旅行時間情報提供

図-5.3.1 インシデント時の交通システムシミュレータの概要

ミュレータで経路選択が行われる構造となっている。(図-5.3.1(b))

現況再現シミュレータは、実際の道路で観測される交通流をシミュレーション上で再現するためのものである。現況再現シミュレータを用いて、旅行時間情報の提供の対象となる道路ネットワークの交通流を再現し、シミュレーション上で交通流データを得る。また、情報提供によるインシデント時の行動変容を表現できることが求められているため、現況再現シミュレータには、VMSの情報をもとに経路選択を行うための利用者の行動モデルが含まれている。現況再現シミュレータを作成するには、ネットワークを決定し、道路容量など道路状態に関する情報、ネットワークに流入させる需要をあらかじめインプットする必要がある。

(2) 情報提供の再現方法

現実の交通システムでの旅行時間情報の提供を再現するために、旅行時間情報は、現況再現シミュレータから得られた交通流データより算出するものとなっている。一方、PRTTを提供するためのシステムでは、予測シミュレータを用いる。予測シミュレータとは、現況再現シミュレータ上のVMSでPRTTを提供するために、時刻 t の交通流データをから、将来時刻 $t+\tau$ に起こるであろう交通状況を予測するためシミュレータである。このシミュレータは、現況再現シミュレータがネットワーク上に表現した車を、目的地まで流出させることが目的であるため、予測シミュレータには、現況再現シミュレータと同様のネットワークと、道路状態に関する情報をあらかじめインプットすることになる。

インシデント時の利用者の反応は、行動変容に関するモデルを組み込むことで再現する。このモデルには、交通行動調査によって得られた、インシデント時における利用者の行動原理を表すモデル式とパラメータ値を用いる。

インシデント検出は、現実の交通システムにおいては、観測データなどからインシデントを発見するメカニズムが必要となるが、現況再現シミュレータ

においては、インシデントが検出される時刻はあらかじめ設定するものとしている。また、供給条件(ボトルネック容量)変更は、現実の交通システムにおいては、インシデントの規模などから決まってくるが、現況再現シミュレータにおいては、あらかじめ設定するものとする。

現実のネットワークで想定している交通システムと、シミュレーションモデルでの対応関係を表-5.3.1にまとめる。また、シミュレータを構築するうえで必要なインプットデータとシミュレータがアウトプットするものについても、同じ表にまとめた。

現況再現シミュレータと予測シミュレータは、Cell Transmission Modelを用いて作成したマクロ交通流シミュレータである。現況再現シミュレータは、提供された交通情報に基づくネットワーク利用者の経路選択行動を内生化している。予測シミュレータは、まず、現在時刻の交通状況から次時刻に起こるはずである交通状況を予測し、次に、予測した次時刻の交通状況からさらに次の時刻に起こるはずである交通状況を予測する、ということを将来時刻 $t+\tau$ まで行い、将来時刻 $t+\tau$ の交通状況を予測するシミュレータである。

(3) 交通情報の作成方法

本研究では、ITT、渋滞距離、及びPRTTのいずれかの旅行時間情報を提供する。ITTと渋滞距離は、現況再現シミュレータのみを用いて計算することができる。PRTTは、現況再現シミュレータだけでなく、予測シミュレータも用いて、将来の交通状況を予測することで求めることができる。ここでは、それぞれの旅行時間情報の計算方法について説明する。

①ITTの計算方法

時刻 t のITTは、以下の手順で得る。

1. 時刻 t の現況再現シミュレータが表す交通流から、各セルの走行速度を求める。
2. 各セルの長さを、そのセルでの走行速度で割ることで、時刻 t の各セルの旅行時間を求める。
3. 時刻 t の各セルの旅行時間を単純に足し合わせることで、時刻 t のITTを計算する。

表-5.3.1 想定する交通システムと構築したシミュレータの対応表

現実の交通システムの項目	構築したシミュレータ		
	対応	インプット	アウトプット
交通流観測 交通流データ	現況再現シミュレータ	ネットワーク 道路状態に関する情報 利用者の需要	交通流データ
予測シミュレータ	予測シミュレータ	ネットワーク 道路状態に関する情報	将来交通流データ
行動変容	行動変容	経路選択モデル 旅行時間情報	利用経路
旅行時間情報	旅行時間情報	(将来)交通流データ	旅行時間情報
インシデント検出 供給条件変更	インシデント検出 供給条件変更	インシデント検出時刻 ボトルネック容量	

②渋滞距離の計算方法

時刻 t の渋滞距離は、以下の手順で得る。

1. 時刻 t の現況再現シミュレータが表す交通流から、各セルの走行速度を求める。
2. 各セルの走行速度が 20km/h 以下であったセルの長さを足し合わせることで、時刻 t の渋滞距離を計算する。

③PRTT の計算方法

時刻 t の PRTT は、時刻 t の現況再現シミュレータが表す交通状況から、予測シミュレータを用いて将来時刻 $t+\tau$ の交通状況を予測することで求める。将来の交通状況は、あらかじめ予測シミュレータにインプットされた道路状況(交通容量, 飽和密度など)をもとに、予測シミュレータのモデルを用いて予測する。予測シミュレータにインプットされた道路状況は時刻 t の道路状況であるため、インシデントが発生して時刻 t 以降に道路状況が変化した場合や、インシデントによって発生した車線閉塞が時刻 t 以降に回復して道路状況が変化した場合には、予測シミュレータにインプットされた道路状況と道路利用者が実際に時刻 t 以降に経験する道路状況に相違が生じる。

このような、相違が生じるケースをまとめると、インシデントが発生することを考慮に入れたシミュレーションで PRTT を計算する際には、次の 4 つのケースについて留意する必要がある。

- (i) インシデントが発生する前の時刻での PRTT の計算
- (ii) インシデントが発生して、インシデントが検知されるまでの時刻での PRTT の計算
- (iii) インシデントが発生して、インシデントによる車線閉塞が回復する前の時刻での PRTT の計算
- (iv) インシデントが発生して、インシデントによる車線閉塞が回復した後の時刻での PRTT の計算

5.4 数値実験

(1) 仮想ネットワークの構造とパラメータの設定

シミュレータを道路ネットワークに適用するためには、

- ネットワーク構造
- リンク長
- 高速道路・一般道の交通容量
- 高速道路・一般道の飽和交通密度
- 高速道路・一般道の自由走行速度
- 高速道路・一般道利用者の需要
- インシデントの状況(インシデントの規模・発生位置)
- シミュレーションの更新間隔

をそれぞれ設定する必要がある。

本研究では、これらの値について、情報提供の影響をより明確に確かめることができるよう、都市高速道路の放射路線を想定して設定する。

本研究では、図-5.4.1 に示すネットワークを用いて、数値実験を行う。ネットワーク上に記してある数字は、セルの番号である。このネットワークは、一般道と高速道路から構成されており、高速道路から一般道への出口は 2 ヶ所(出口 A・B)あるものとする。一般道利用者は、高速道路を使うことなく一般道のみを用いて目的地まで向かい、高速道路利用者は、出口 A もしくは出口 B で一般道に降りて目的地まで向かう。インシデントは、このネットワーク上の出口 A・B 間(地点 C)で発生する場合のみを想定する。インシデントが地点 C で発生する場合、VMS から情報を受け取った道路利用者の行動変容が、インシデント発生地点より上流側の道路状況に大きく影響を与えるため、情報がインシデントに与える影響を分析することができる。このような単純なネットワークを用いた理由は、本研究は高速道路の旅行時間情

表-5.4.1 ネットワークのパラメータ

	高速道路(2車線)		一般道	
	平常時	インシデント時	容量なし	容量あり
シミュレーションの更新間隔	10 秒			
リンク長	15km(出口 AB 間 10km)		15km(出口 AB 間 10km)	
セル番号	i=1~i=60 出口 A(セル i=21), 出口 B(セル i=60)		i'60~i'60)	
セルの長さ	0.25km		0.1km	
交通容量	3200~3800 veh./h	3200~3800 veh./h インシデント発生カ所では 60% の低下の 764 veh./h	∞	2160 veh./h ボトルネック(セル i'=105)で は 1152veh./h
飽和交通密度	224 veh./km		∞	224 veh./km
自由走行速度	90km/h		36km/h	
インシデントの発生規模	60%の交通容量低下		-	
インシデントの発生時間	シミュレーション開始 10 分からの 30 分間		-	
インシデントの発生カ所	地点 C(セル i=55)		-	

*高速道路容量は首都高 3 号渋谷線下り池尻~用賀のパラメータに近い値を用いた。

*高速道路上のボトルネックは突発事象によって発生し、一般道のボトルネックは一般道と高速道路の合流部手前にある。

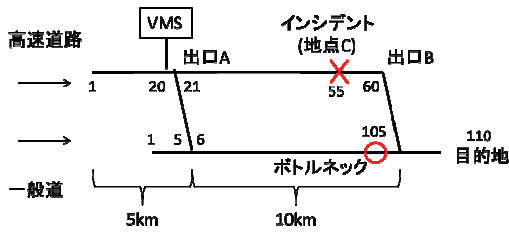


図-5.4.1 用いるネットワーク構成

表-5.4.2 行動モデルのパラメータ

説明変数		推定値
旅行時間情報にかかる係数	θ	-0.103
料金差にかかる係数	λ	-0.00098
突発事象による渋滞距離情報にかかる係数	γ_d	-0.368
距離情報を提示することによる定数項	α_d	-0.53
一般道の距離にかかる係数	β_d	-0.129
高速道路の走行距離から通常時の旅行時間を見積もる係数	γ_o	-0.0674
途中ランプで降りることによる定数項	α_b	-0.741

報の提供効果を分析することが目的であるため、様々な諸条件の設定をできるだけ省いたシンプルなネットワークを用いるのが良いと考えられるからである。

高速道路容量は、実際の高速道路に近い値を与えており、一般道容量は、高速道路上で提供された情報によって、一般道がどのような影響を受けるかについて考察が行えるように、以下の2つのネットワークを用意する。

ケース(a) インシデントが発生して高速道路からどれだけ利用者が流出しても、渋滞が発生しない。

ケース(b) インシデントが発生したら、高速道路から流出してくる利用者によって、必ず渋滞が発生する。

ケース(a)、ケース(b)という両極端な状況の計算結果を分析することで、一般道の道路状況に応じた情報提供の方法を検討する。なお、ケース(b)の状況を作り出すために、一般道の最下流部にボトルネックを設定する。ネットワークの詳細な設定を示したものが表-5.4.1である。

(2) 経路選択モデル

本研究で作成したシミュレータには、インシデント時を想定した交通行動調査によって得られた、インシデント時の情報提供に対する経路選択行動モデルを組み込んでいる。

高速道路利用者は、高速道路上のVMSによって提供される情報のみを用いて出口Aか出口Bを選択する。提供される情報は、AB間の旅行時間、もしくは高速道路上で発生した渋滞距離とし、一般道の交通状態についての情報は一切提供せず、道路利用者は一般道を自由走行できると想定しているとする。道路利用者の経路は、提供される情報をもとに、経路選択行動モデルで記述された式で決定される。

旅行時間情報を提供したときの高速道路を走行する効用を V_{T1} 、渋滞距離情報を提供したときの高速道路を走行する効用を V_{T2} とし、それぞれの効用を分けて定式化する。一般道を走行する効用を V_2 とすると、 V_{T1} 、 V_{T2} 、 V_2 は交通行動調査の結果をもとに、以下の式で求められる。

$$V_{T1} = \theta(Y_i - T_{AB}) + \lambda T \quad (5.4.1a)$$

$$V_{T2} = \gamma_d Y_d + \alpha_d + \lambda T \quad (5.4.1b)$$

$$V_2 = \beta_d X_{AB} - \gamma_o X_{AB} + \alpha_d + \alpha_b \quad (5.4.2)$$

θ : 旅行時間情報にかかる係数

Y_i : 突発事象時に提示された旅行時間情報

T_{AB} : 平常時に高速道路を利用した場合のAB間の旅行時間

λ : 料金差にかかる係数

T : 出口Aで降りるときと出口Bで降りるときの料金の差

γ_d : 突発事象による渋滞距離情報にかかる係数

Y_d : 突発事象時に提示された渋滞距離情報

α_d : 距離情報を提示することによる定数項

β_d : 一般道の距離にかかる係数

γ_o : 高速道路の走行距離から通常時の旅行時間を見積もる係数

X_{AB} : 高速道路・一般道を利用した場合のAB間の距離

α_b : 途中ランプで降りることによる定数項

なお、分析を簡単にするため、VMSで提供される情報が自由走行速度よりも長くなるまでは、利用者は必ず高速道路を乗り続ける経路を取るとした。

(3) 情報提供効果の評価方法

ネットワークのパフォーマンスを評価する指標として、ネットワーク全体の総旅行時間、高速道路のみを利用した利用者の平均旅行時間、高速道路から一般道に降りた利用者の平均旅行時間の3つの指標を用いる。これらの指標による評価を行った後に、

表-5.4.3 分析の際の変数

	情報の種類	情報更新間隔	インシデント検知時間	情報利用率	高速道路料金制度
分析①	ITT or 渋滞距離 or PRTT	30秒, 1分, ..., 5分のいずれか	1分 or 5分	100%	均一料金
分析②	PRTT	30秒 or 5分	5分	10%, 20%, ..., 100%のいずれか	均一料金
分析③	ITT	30秒 or 5分	—	100%	均一料金 or 距離比例料金

道路利用者の出発時刻の時系列ごとに「現況再現シミュレータ上で経験した旅行時間と提供された旅行時間の差」、「現況再現シミュレータ上で経験した旅行時間」、「高速道路(一般道)を選択した利用者の割合」の変化を用いて、詳細な分析と考察を行う。

情報提供効果を把握するために、以下の3つの視点から影響を分析する。

- a) 情報の種類、情報更新間隔、インシデント検知時間を変化させた場合の、情報が交通流に与える影響。このとき、情報利用率と高速道路料金制度は固定とし、情報の種類、情報更新間隔、インシデント検知時間をそれぞれ変化させる。
- b) 情報利用率が違うときの、情報が交通流に与える影響。このとき、情報の種類、インシデント検知時間、高速道路料金制度は固定させ、情報更新間隔と情報利用率をそれぞれ変化させる。
- c) 高速料金制度が違うときの、情報が交通流に与える影響。このとき、情報の種類、インシデント検知時間、情報利用率は固定させ、情報更新間隔と高速道路料金制度をそれぞれ変化させる。

(4) 情報提供効果の分析 (容量制約のない場合)

図-5.4.2.aは、一般道路に容量の制約がない場合のネットワーク全体の総旅行時間が情報更新間隔によってどのように異なるかを提供される情報の種類別にまとめたものである。予測旅行時間(PRTT)については、インシデントの検知に要する時間が1分の場合と5分の場合を計算した。

どの情報を提供したときも、情報更新間隔が大きくなると総旅行時間は大きくなっていることがわかる。情報更新間隔によらず、PRTT(インシデント検知1分)の総旅行時間が最小で、ほかの3つはほぼ同様の値であった。

図-5.4.2.bは高速道路利用者限定して、情報提供間隔によってひとりあたりの平均旅行時間がどのように変化するかを示した図である。高速道路のみを利用した利用者の平均旅行時間は、PRTT(インシデント検知1分)を提供したときと渋滞距離を提供したときでほぼ同じ値となり、また、ITTを提供した場合とPRTT(インシデント検知5分)を提供した場合でほぼ同じ値となった。

渋滞距離は他の旅行時間情報よりも渋滞を避ける感度が大きく、高速道路利用者は一般道に流れやすくなるため、渋滞距離を提供した方が、他の情報を提供した場合に比べて、高速道路のインシデントに巻き込まれる利用者の数は減り、高速道路の旅行時間は小さくなる。一方、一般道を走ることによってネットワーク全体の旅行時間が増加してしまうため、総旅行時間でみると渋滞距離情報が効果的とは言えないという結果であると考えられる。

図-5.4.3は、高速利用者の旅行時間と高速選択率を出発時刻別に示したものである。情報の種類はITTとPRTT(検知5分)のみの比較で、情報更新間隔は5分である。インシデントが発生した直後では、

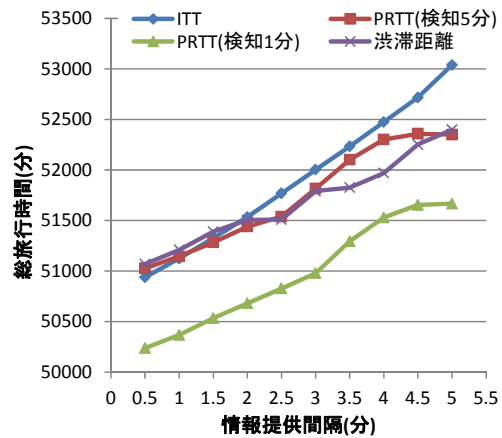


図-5.4.2.a ネットワーク全体の総旅行時間 (一般道に容量制約がないとき)

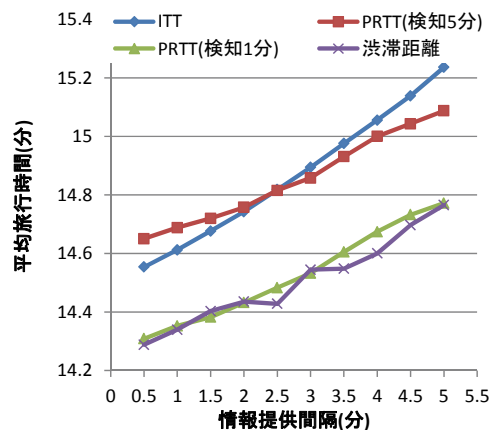


図-5.4.2.b 高速利用者の平均旅行時間 (一般道に容量制約がないとき)

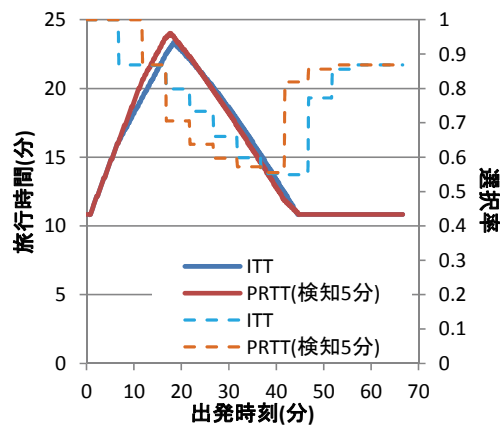


図-5.4.3 出発時刻別の旅行時間と高速選択率 (実線：旅行時間、点線：選択率)

PRTTを提供するよりもITTを提供したときの方が、高速道路のみを利用した利用者が経験する旅行時間は小さい値になっているが、インシデントが発生してしばらく時間が経ったあとでは、ITTを提供するよりもPRTTを提供したときの方が、高速道路のみを利用した利用者が経験する旅行時間は小さくなっている。

次に、ITTとPRTTの情報提供の質について考察する。図-5.4.4は、高速の実旅行時間と提供された旅

行時間情報との差異を出発時刻別に示したものである。情報の種類は ITT と PRIT (検知 5 分) のみの比較で、情報更新間隔は 5 分である。全般に、青の ITT が赤の PRIT の右にシフトしており、ITT が実旅行時間の変化に遅れることを示している。インシデントが発生した直後は、ITT と PRIT の情報の精度に大きな差はないといえるが、インシデントが発生してしばらく時間が経ったあとでは、ITT を提供するよりも PRIT を提供したときの方が情報の精度が良くなっている。

PRIT には、情報のパラメータとしてインシデント検知時間が含まれている。そのため、PRIT を提供する際、インシデント検知時間が違ふと、情報提供効果も変化する。図-5.4.5 は、実旅行時間と PRIT として提供される旅行時間との差が検知時間によりどの程度異なるかを出発時刻ごとに示した図である。インシデント検知時間が 5 分の場合と 1 分の場合の違いは、出発時刻が早い時刻である利用者の「高速道路上の旅行時間－提供された旅行時間」の増加する時間にのみ現れている。

インシデント検知時間が 5 分の場合には 1 分の場合よりも、「高速道路上の旅行時間－提供された旅行時間」の増加する時間が長く、そのほかの出発時刻においては、インシデントの検知時間が 5 分の場合と 1 分の場合ではほぼ同じ挙動をしていることがわかる。これはつまり、インシデントの検知時間が長くなれば、それだけインシデント発生時刻付近での情報の精度は低くなるが、インシデントを検知した後では、インシデントを検知するまでの長さが情報の精度に対して影響を及ぼさないことがわかる。

(5) 情報提供効果の分析 (容量制約がある場合)

図-5.4.6 は一般道の容量に余裕がない場合に、PRIT を提供したときの総旅行時間を示している。情報更新間隔が大きくなるとネットワーク全体の総旅行時間は増加する傾向にあるが、減少する場合もあることがわかる。これは、インシデントの回復を検知するタイミングや車線閉塞の回復を考慮に入れた旅行時間情報が提供されるタイミングによって、一般道に流入する利用者が減少することがあるからである。一般道のボトルネック容量は小さく設定してあるため、高速道路から降りる利用者の影響を大きく受ける。そのため、インシデントの回復検知や情報提供のタイミングが少しでも変化すると、一般道はその変化の影響を大きく受け、ネットワーク全体の総旅行時間が小さくなることもある。

情報更新間隔を変化させたときのネットワーク全体の総旅行時間と高速道路から一般道に降りた利用者の平均旅行時間の結果をまとめると、図-5.4.7、図-5.4.8 となる。

ネットワーク全体の総旅行時間は、渋滞距離を提供したときが一番大きく、PRIT(インシデント検知 1 分)を提供したときが一番小さいという結果になっ

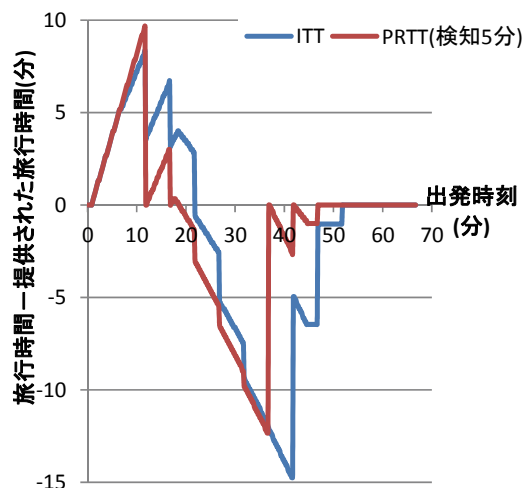


図-5.4.4 ITT と PRIT の質の比較
(高速の実旅行時間) — (提供された旅行時間)

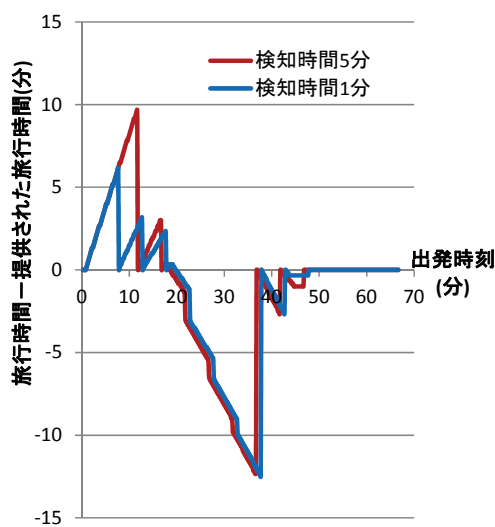


図-5.4.5 インシデント検知時間と情報の質

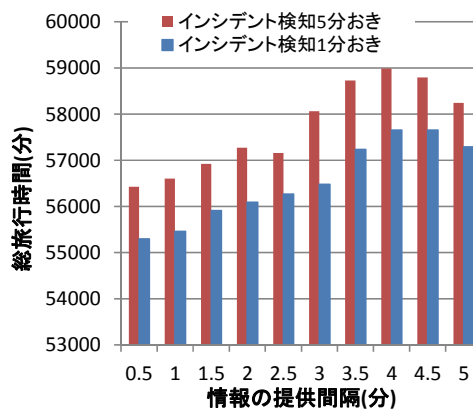


図-5.4.6 PRIT を提供したときの総旅行時間

た。また、情報更新間隔が 4.5 分以下では、PRIT(インシデント検知 5 分)を提供したとき、ITT を提供したとき、の順番で総旅行時間が小さくなり、情報更新間隔が 5 分では、ITT を提供したとき、PRIT(インシデント検知 5 分)を提供したとき、の順番で総旅行時間が小さくなった。

高速道路から一般道に降りた利用者の平均旅行時

間が一番大きいのは、渋滞距離を提供した場合である。また、高速道路から一般道に降りた利用者の平均旅行時間が一番小さいのは、ITT を提供した場合である。

渋滞距離を提供した場合に、ネットワーク全体の総旅行時間と高速道路から一般道に降りた利用者の平均旅行時間が一番大きい値となった原因として、渋滞距離情報は、渋滞を避ける感度が大きく、一般道の交通状態を悪化させてしまうためである。

ITT を提供した場合、高速道路から一般道に降りた利用者の平均旅行時間は一番小さい値となっており、ネットワーク全体の総旅行時間でも、PRTT(インシデント検知5分)を提供した場合よりも小さい値となっている。しかし、ITT は、情報更新間隔が大きくなるにつれて一般道利用者の平均旅行時間が増え、また、PRTT は、情報更新間隔によって総旅行時間が増減する。

ネットワーク全体の総旅行時間は ITT を提供するよりも PRTT(インシデント検知1分)を提供した方が小さくなっているが、高速道路から一般道に降りた利用者の平均旅行時間は、ITT を提供したときが一番小さい値となっている。この結果についてさらに分析を行うために、高速道路から一般道に降りた利用者が経験する旅行時間が、出発時刻ごとにどのように変化したかを見る。

図-5.4.9 は、高速から降りた利用者について、経験した旅行時間と一般道の選択率の変化を出発時刻別に見た図である。情報更新間隔は5分で、PRTTの検知時間は1分としている。

ITT を提供するよりも PRTT を提供したときの方が、高速道路から一般道に降りた利用者が経験する旅行時間は大きくなっている。これは、ITT を提供したときの方が、PRTT を提供するよりも早く利用者の経路変更を促せるが、PRTT を提供したときの方が、早く旅行時間の増加を反映した情報を提供できるためである。このことが、ITT を提供したときの方が PRTT(インシデント検知1分)を提供するよりも高速道路から一般道に降りた利用者の平均旅行時間が小さい値となる原因である。

ここまでで、情報の種類、情報更新間隔、及びインシデント検知時間を変化させることで、これらの情報のパラメータの違いがネットワーク交通流に与える影響について分析した。その結果、一般道容量に制約がない場合、情報の種類によらず、情報更新間隔が大きくなると、ネットワーク全体の総旅行時間と高速道路利用者の平均旅行時間が大きくなることわかった。PRTT(インシデント検知1分)を提供したとき、ネットワーク全体の総旅行時間が一番小さい値となったが、このことから、将来の交通状態も考慮に入れた情報を提供することで、現在の状態のみを反映した情報 (ITT や渋滞距離) よりも、より良い状況に誘導できることが示唆される。

一般道容量に余裕がない場合で ITT を提供したと

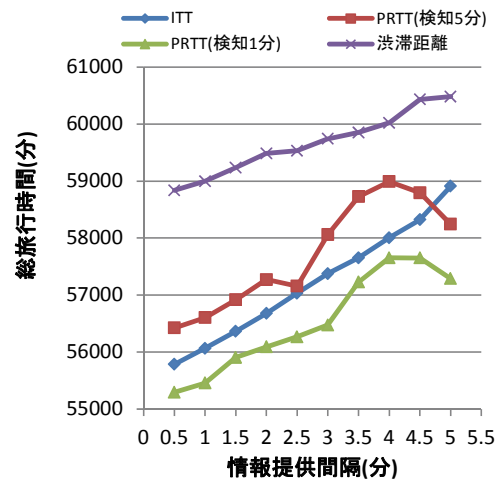


図-5.4.7 総旅行時間の差異

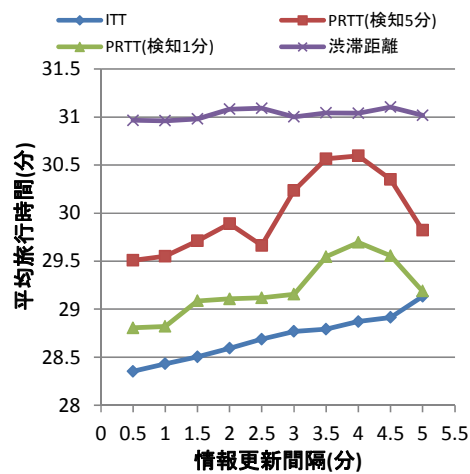


図-5.4.8 高速を降りた利用者の平均旅行時間

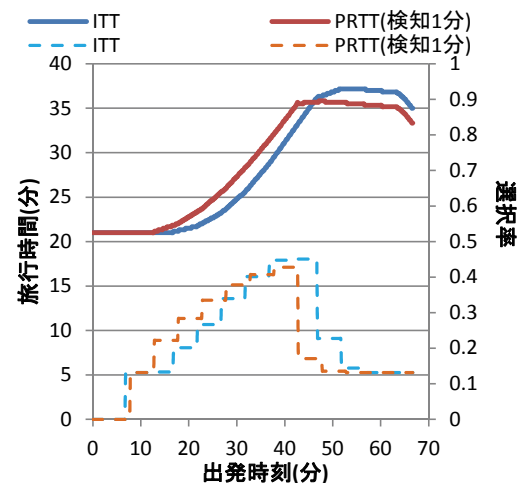


図-5.4.9 旅行時間と一般道利用率

き、情報更新間隔が大きくなると、ネットワーク全体の総旅行時間や高速道路から一般道に降りた利用者の平均旅行時間が大きくなることわかった。渋滞距離を提供した場合は、情報更新間隔が大きくなると、ネットワーク全体の総旅行時間が大きくなることわかった。一般道容量に余裕がない場合に PRTT を提供したときには、情報更新間隔が大きくなると、ネットワーク全体の総旅行時間と高速道路

から一般道に降りた利用者の平均旅行時間は増加する傾向にあるものの、減少する場合もあることがわかった。これは、インシデントの回復を検知するタイミングや車線閉塞の回復を考慮に入れた旅行時間情報が提供されるタイミングによって、一般道に流入する利用者が減少することがあるからである。PRTT(インシデント検知1分)を提供したとき、ネットワーク全体の総旅行時間が一番小さい値となり、ITTを提供したとき、高速道路から一般道に降りた利用者の平均旅行時間が一番小さい値となった。将来の交通状態も考慮に入れた情報を提供することで、現在の交通状態のみを考慮に入れた情報を提供するよりも、ネットワーク全体ではよりよい交通マネジメントができるが、一般道に経路変更する利用者数が多くなり、ITTを提供したほうが一般道の交通状態は良い場合もあるからである。

(6) 情報利用率に着目した分析

これまで行ってきた分析は、VMSで情報を得た利用者全員が様に情報をもとに経路変更を行う場合についての分析である。VMSが設置されている場所では、そこを通過した利用者全員が情報を取得できるが、VMSが設置されていない場所でも、車載機器の普及とともに、車載機器を通じて一部の利用者は情報を取得でき、経路変更を行うことが可能である。そこで、情報を利用して経路変更を行う利用者の割合(情報利用率)に着目し、これを変化させて情報利用率の違いがネットワーク交通流に与える影響に関して分析を行う。分析を行う際、情報を利用しない利用者を経路変更を行わない経路固定層とし、高速道路上の途中の出口(出口A)から降りずに、目的地直前の出口(出口B)で降りるものとする。情報を得て経路変更を行う経路選択層は、情報をもとに、先に示した経路選択率に従って経路を決定する。

この分析では、情報はPRTTを提供するものとし、情報更新間隔が30秒おきの場合と5分おきの場合について、それぞれ分析を行う。インシデントの検知時間は5分とする。

図-5.4.10は一般道容量に制約がない場合の総旅行時間と情報利用率との関係を示した図である。情報更新間隔が30秒おきの場合と5分おきの場合のどちらのケースにおいても、情報利用率が高くなると、ネットワーク全体の総旅行時間は減少している。また、情報利用率が高くなるにつれて、情報更新間隔が30秒おきの場合と5分おきの場合の総旅行時間の差が広がっている。情報利用率が高くなるにつれて、総旅行時間の減少量が小さくなっていることもわかる。

図-5.4.11は一般道容量に制約がある場合の総旅行時間と情報利用率との関係を示した図である。一般道容量に制約がある場合、情報更新間隔が30秒おきの場合と5分おきの場合のどちらのケースにおいても、情報利用率が60%を超えるあたりから、ネットワーク全体の総旅行時間は増加することがわかる。

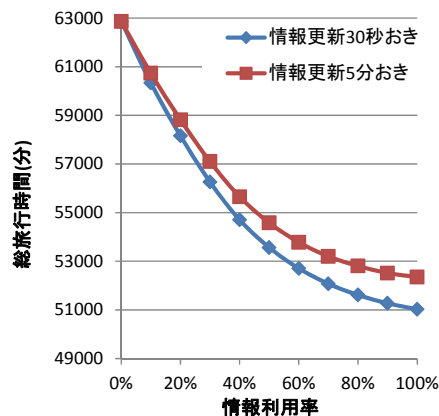


図-5.4.10 情報利用率と総旅行時間 (一般道容量に制約がない場合)

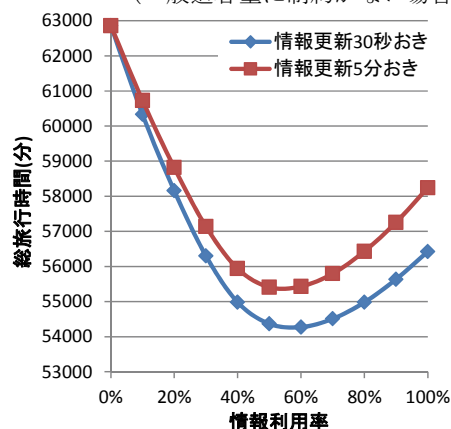


図-5.4.11 情報利用率と総旅行時間 (一般道容量に制約がある場合)

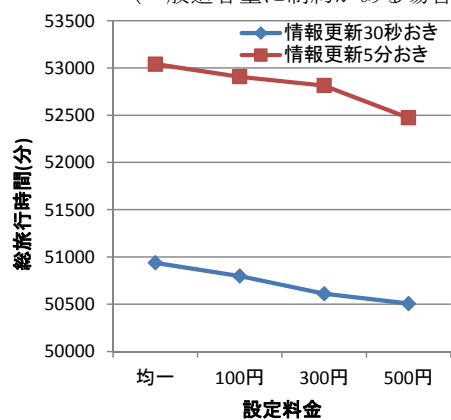


図-5.4.12 ネットワーク全体の総旅行時間 (容量制約なし)

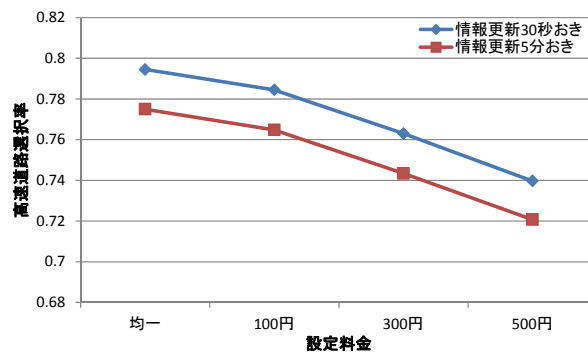


図-5.4.13 高速道路選択率 (容量制約なし)

また、一般道容量に制約がない場合と同様、情報利用率が大きくなるにつれて、情報更新間隔が30秒おきの場合と5分おきの場合の総旅行時間、平均旅行時間の差が広がることが読み取れる。

情報利用率が60%を超えたあたりからネットワーク全体の総旅行時間が増加した原因は、情報利用率が高くなると、情報提供によって一般道に降りる利用者が増え、高速道路の交通状態は改善するが、一方で、一般道の交通状態が悪化してしまうためである。

情報利用率が60%の場合、情報提供による一般道への経路変更によって一般道の交通状態は悪化するが、一般道への経路変更による高速道路の交通状態の改善が一般道の交通状態の悪化よりも相対的に大きくネットワーク全体に影響する。

情報利用率が60%よりも高い場合、情報提供による一般道への経路変更によって一般道の交通状態は悪化し、高速道路の交通状態が改善するが、情報利用率が60%の場合に比べて、一般道の交通状態の悪化が大きくネットワーク全体に影響してしまう。

この例では、情報利用率が60%の周辺でネットワーク全体の総旅行時間が一番小さい値となったが、高速道路容量、及び一般道路容量などのネットワークの設定条件によって、ネットワーク全体の総旅行時間が一番小さい値となる情報利用率の値は変わると考えられる。

(7) 高速道路料金に着目した分析

これまでの分析では高速道路料金は均一であるとしていたが、ここでは、わが国の都市高速道路に導入された距離比例料金制の下での影響分析の結果を示す。高速道路料金が均一料金から距離比例料金に変わることによって、インシデント時には道路利用者はより一般道に降りやすくなり、情報提供の効果がより顕著になるものと推察される。

以下の分析では、情報はITTを提供するものとし、情報更新間隔は30秒おきの場合と5分おきの場合について、それぞれ分析を行う。また、利用者全員が情報を利用するものとする。

料金設定については、VMS下流の出口Aで降りる場合と、目的地に近い出口Bで降りる場合の料金差について、以下の4ケースを設定した。ケース(i)から(iv)となるにつれて料金差が大きくなり、高速から降りやすくなる設定である。

ケース(i) 均一料金 (800円)。

ケース(ii) 出口A (700円), 出口B(800円)。

ケース(iii) 出口A (500円), 出口B(800円)。

ケース(iv) 出口A (300円), 出口B(800円)。

図-5.4.12は、一般道に容量制約がない場合の料金差と総旅行時間の関係を示している。情報更新間隔が30秒おきの場合と5分おきの場合のどちらのケースにおいても、均一料金制の場合よりも距離比例料金制の場合の方が、ネットワーク全体の総旅行時間はやや小さい値となっている。また、高速道路に乗

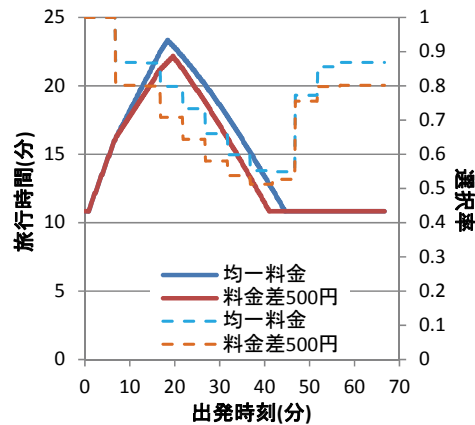


図-5.4.14 高速旅行時間と選択率 (容量制約なし)

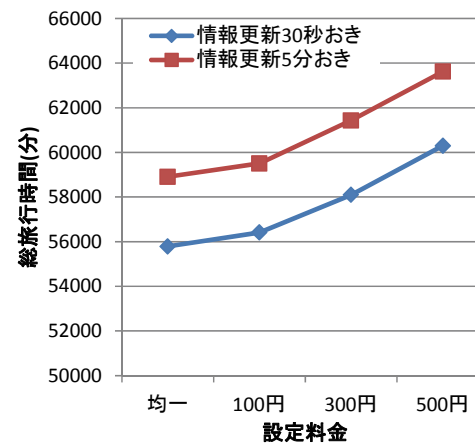


図-5.4.15 ネットワーク全体の総旅行時間 (容量制約あり)

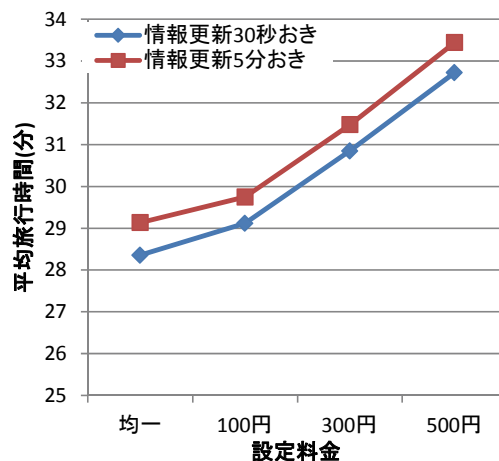


図-5.4.16 高速から一般道に降りた利用者の平均旅行時間 (容量制約あり)

り続けるのにかかる料金が大きくなるほど、ネットワーク全体の総旅行時間は減少する。

図-5.4.13は、料金設定と高速道路選択率の関係を示した図である。均一料金の場合は80%弱であった利用率が、料金差が大きくなればなるほど低下し、500円の料金差の場合には73%程度となる。情報更新周期による利用率の差は2%程度であり、必ずしも大きいわけではない。

図-5.4.14 は、高速道路利用者が経験した旅行時間（実線）と高速道路選択率（点線）の変化を出発時刻別に示した図である。情報更新は 5 分おきとしている。時系列でみると、高速道路の利用率は 100% から 50% まで次第に低下し、インシデントの終了とともにすみやかに回復している。

この図を見ると、高速道路に乗り続ける利用者の選択率は、均一料金の時に比べて料金差額が 500 円かかる時の方が下がっている。高速道路に乗り続けることになる出口 B を選択した際にかかる料金が相対的に大きくなるほど高速道路を利用する利用者が少なくなり、インシデントによる渋滞に巻き込まれる利用者の数も減るため、高速道路の利用者が経験した旅行時間も小さい値になる。

つぎに、一般道に容量制約がある場合の影響分析の結果を示す。図-5.4.15 は、料金差とネットワークの総旅行時間の関係を、図-5.4.16 は高速から一般道に降りた利用者の平均旅行時間をプロットした図である。

これら 2 つのグラフから、一般道容量に余裕がない場合は、情報更新間隔が 30 秒おきの場合と 5 分おきの場合のどちらのケースにおいても、一般道容量が無制限の場合とは逆に、均一料金制の場合よりも距離比例料金制の場合の方が、ネットワーク全体の総旅行時間と高速道路から一般道に降りた利用者の平均旅行時間は大きい値となっていることがわかる。また、高速道路に乗り続ける際の料金差が大きくなるほど、ネットワーク全体の総旅行時間と高速道路から一般道に降りた利用者の平均旅行時間は増加している。

このようになった原因は、距離比例料金制にすることで、高速道路に乗り続けて追加料金を払い、インシデントに巻き込まれるよりも、一般道に降りてしまったほうが良いと考える道路利用者が増えた結果、一般道路の渋滞が悪化してしまい、高速道路の旅行時間は減るものの一般道の旅行時間が増えてしまったからである。ネットワーク全体の総旅行時間が増加した原因として更に、インシデント時の経路選択モデルを車線閉塞解消後にも適用しているために、多くの高速道路利用者が一般道に降りてくるようになっていることも影響しているとも考えられる。

本研究の設定条件の下では、距離比料金の導入によってランプ間の料金差が大きくなっても、一般道容量が十分に大きい場合にはネットワーク全体の総旅行時間はあまり変わらないが、一般道容量に余裕がない場合にはネットワーク全体の総旅行時間が均一料金の場合よりも増加する結果となった。これは、均一料金制の場合には情報が提供されても高速道路から一般道へ降りにくい、距離比例料金の場合には一般道に降りやすいことが原因である。対距離制の場合には、情報による行動変容が生じやすいといえ、情報の効果がプラスにもマイナスにも大きくなる可能性があることを示唆している。

5.5 流入制御と情報提供による最適運用

ここまでの段階では、情報提供による最適運用の枠組みを検討してきたが、ここでは情報提供を前提とした流入・流出制御、または制御を前提とした情報提供を考えよう。予測シミュレータの出力は情報提供に使われるだけではなく、制御モデルの入力にも使われるというように、その役割を拡張する。

最も単純に情報提供に制御を付加すると、図-5.5.1 のようなフレームを考えることができる。図では流入制御という表現を使っているが、流入制御と流出制御の両方を含むものである。また、流入制御は伝統的な LP 制御であっても、近年検討が進められている集計 QK 制御であっても構わない。このフレームの利点は、制御とリンクしない情報提供のみの交通運用システムをベースフレームとすれば、その大幅な変更なしに制御を一体化することができる点にある。しかしこのフレームでは、提供情報に制御内容が必ずしも反映されない。情報提供と制御が独立に運用されるといった問題が発生する。

もう一つの考え方は、予測シミュレータと制御モデルを連動させたフレームである。（図-5.5.2）この場合には予測シミュレータと制御モデルが相互に関連しながら将来の望ましい交通状態を作り出す。その望ましい状態を作り出すために、情報提供と流入制御が実行されるという枠組みである。この場合、シミュレータは現象記述型ではなく、ある種の社会的最適(system optimal, SO)状態を求めるシミュレータとなる。この枠組みにおける情報は、SO 状態に向けて交通を誘導する情報ということになり、制御されている状態での交通情報である旅行時間は利用者の自由な経路選択の結果として予測される旅行時間ではない。そのため、このような情報を提供することによる利用者の反応やそれを考慮した効果については慎重に検討する必要がある。

重要なことは、予測シミュレータを活かした最適交通運用のスキームにはいくつかの枠組みが想定できるということである。

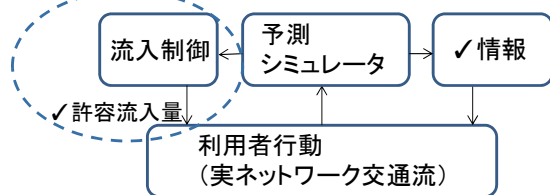


図-5.5.1 流入制御モデルを付加した交通運用フレーム

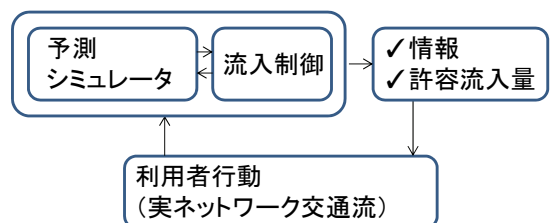


図-5.5.2 予測シミュレータと制御モデルの連動

第6章 まとめ

6.1 研究成果

3年間の研究成果は以下のように要約できる。

1. 突発時の交通事象の検出、解析と交通運用に関する研究開発動向の把握

交通インシデント検出、シミュレーションによる交通状況予測、情報提供下での交通行動分析について、文献調査・研究動向調査を行い、研究課題を明らかにした。

- (1) インシデントの検出について、車両感知器のデータを使う方法は実用性の高い方法であるが、詳細な判別ルールの構築やその実証については必ずしも十分な研究が行われているわけではない。また、渋滞、非渋滞といった交通状態に応じた有効なボトルネックの検出方法、容量低下およびその継続時間の推定に関する研究事例は少ないことも明らかとなった。
- (2) 交通状態予測のためのシミュレータに関しては、平常時だけでなくインシデント時にも適用可能なシミュレータの開発研究が必要であることが確認できた。
- (3) 情報提供下での交通行動分析に関しては、可変情報板によるドライバーへの情報提供の効果を分析するために行動調査を実施し、モデル化を行うものが多いことがわかった。情報提供の効果を調べるために、推定した行動モデルをネットワークシミュレータに組み込む研究も試みられているが、状況によって異なる利用者の反応の多様性を考慮するには至っていないことがわかった。
- (4) インシデント時の交通運用を評価するためには、突発事象が生じた場合の利用者行動を反映した動的ネットワークシミュレータの開発が鍵となることがわかった。

2. 突発事象の検出とシミュレーションによる交通状況予測手法の開発

- (1) 車両感知器データを用いて、突発事象を原因とす

る容量制約に伴う渋滞の発生の有無やその先頭位置を検出する方法を開発した。車両感知器の速度データから、当該時間帯・箇所での臨界速度を基にした渋滞判定を行い、渋滞と判定された場合にはその先頭位置を特定するものである。首都高速道路の交通流データを用いて検証した結果、渋滞流時には事象検出率、正検出率ともに高いが、自由流時には事象検出率が低いものの正検出率は高いという結果を得た。検出に要する時間も登録時刻より早く、良好な結果であった。

- (2) 突発事象時の車線開放までの継続時間に影響を及ぼす要因が①消防・救急の出動有無、②処理車両の出動有無、③事故台数であることから、事故事例を統計的に分類することで車線閉塞時間を予測する手法を構築した。実データによる検証の結果、車線閉塞時間は ± 20 分以内を80%以上の精度で推定できることを確認した。

- (3) 平常時を対象に開発された交通ネットワークシミュレータを改良し、突発事象時の旅行時間予測に適用できるようモデルを拡張した。首都高速の放射線である川口線（川口 JCT～江北 JCT）及び3号渋谷線（東名道～谷町 JCT）を対象に再現性の検証を行ったところ、本線料金所以降の渋滞発現が若干異なるものの、渋滞・混雑状況の予測精度は真値 ± 10 分を閾値とした旅行時間的中率で83%と良好であることが確認できた。

- (4) 旅行時間の精度向上には、需要と容量のバランスを取ることが肝要であるため、実用化に向けては、全ての突発事象対応モジュールの精度を向上させる必要があるが、速度ランクの精度向上には、とくに車線閉塞時間の精度が最も影響することがわかった。

3. 観測データを活用した交通情報提供下の利用者行動の調査と分析

- (1) 携帯電話と WEB を組み合わせたプローブパーソン (PP) 調査に基づく Stated Preference (SP) 調査システムを新たに開発した。平成 22 年 12 月に 2 週

間にわたって PP/SP 調査を実施し、実際に突発事象が発生した際の行動と仮想的な条件下での高速道路利用行動に関するデータを収集し、行動分析を行った。この方法は、現実の行動の中から調査対象の行動を切り出すという方法であり、サンプル数に制約はあるものの実ネットワークを利用するため、被験者が一般道などの周辺ネットワークを想定しやすいという利点を持つ。一方、実ネットワークを利用することによってネットワーク特有のバイアスが生じる可能性があることも確認できた。

(2) 仮想的なネットワーク条件を提示して WEB-SP 調査を実施する方法（単独 SP 調査）は、モデル分析に十分なサンプル数を低いコストで得ることができるといふ利点を持つ。この方法は、被験者にとって一般道のネットワークについて想定が難しいものの、認知パラメータはおおむね実勢に近い値を示していることから、ネットワークの形状に依存しない突発事象時の経路選択モデルを構築する場合についての行動データを得るには適していることが確認できた。

(3) 突発事象時を想定したランプ選択行動に関するモデルの定式化を行った。このモデルは、「平常時に比べた旅行時間の増分がより小さい経路を選択する」という行動規範に基づいて、最終目的地まで高速道路を利用し続けるか、ランプから降りて並行する一般道を利用するかという 2 項選択モデルである。行動調査データを用いたモデル同定の結果、統計的に有意なモデルを推定できた。

(4) 突発事象情報として渋滞長などの距離を提示した場合に、旅行時間情報の場合と比較して 5.06 分多めに旅行時間を見積もってしまう傾向があることがわかった。渋滞距離が 2~4km の場合に料金が高速道路選択率に及ぼす影響が大きく、料金差が 300 円の場合には料金差が 600 円の時に比べて、高速選択確率が 7%高いことがわかった。

(5) 交通目的（通勤、私用、業務）によるモデルパラメータの値を見ると、影響力の大きい旅行時間情報や渋滞距離情報のいずれも、業務>通勤>私用の順に絶対値が大きく、業務目的での利用の際に、突発情報が経路選択に影響を及ぼしやすいことが確認できた。

4. 突発事象の影響を最小化する交通運用方策の開発

(1) 突発事象時の最適交通運用手法について、国内および米国、英国、オランダの最新の技術開発の動向を調査し、課題の整理を行うとともに、Cell Transmission Model をベースに、突発事象時の行動変容を考慮したネットワークシミュレータを開発した。高速道路利用モデル分析で得られた知見を組み込み、突発事象時の利用者の反応（情報提供下の経路選択行動）を内生化した。

(2) 予測旅行時間情報(PRTT)を提供する場合、インシデント時の交通システムシミュレータでは、まず

現況再現シミュレータが実行され、現況再現シミュレータが表現する交通状況をもとに、予測シミュレータを実行して将来の交通状況を予測する。そして、この予測交通状況から得た PRTT をもとに、次時刻の現況再現シミュレータで経路選択が行われる構造であるという特徴を持っている。

(3) 首都高速 3 号渋谷線を模した仮想ネットワークを用いて数値実験を行った。情報の種類（瞬間旅行時間(ITT)、渋滞距離情報、予測旅行時間(PRTT)、情報更新間隔、インシデント検知時間をそれぞれ変化させた場合の影響を比較した。ほぼどのような場合でも、情報更新間隔とインシデントの検知時間はより短いほうが利用者の旅行時間の短縮に効果的であることが確認できたが、情報の種類による効果は条件設定によって異なる可能性も示唆された。

(4) 情報を利用して経路変更を行う利用者の割合(情報利用率)に着目し、利用者の情報利用率が違うときの情報がネットワーク交通流に与える影響に関して分析した。情報利用率が高くなるほど高速道路とネットワーク全体の交通状態は改善するが、一般道容量に制約がある場合には情報利用率 60%が最も効果が大きいことが確認できた。

(5) 高速料金制度（均一料金制と対距離料金制）が違ふときの情報が交通流に与える影響を調べた結果、距離比例制の導入によってランプ間の料金差が大きくなっても、一般道容量が十分に大きい場合にはネットワーク全体の総旅行時間はあまり変わらないが、一般道容量に余裕がない場合にはネットワーク全体の総旅行時間が料金差の拡大とともに増大する場合もあることが確認できた。

6.2 今後の道路政策への展開

本研究は都市高速道路を対象に、車両感知器で観測された豊富な交通流データの有効活用を前提としているが、突発事象の検出に関しては、路側からの画像データやプローブデータ等を合わせて利用することで、さらに突発事象の検出精度の向上が期待される。大量の蓄積データを用いたノンパラメトリックなアプローチによる突発事象の検出や、プローブデータのみを用いた交通状態推定手法の開発等、本研究と密接に関連する研究課題を並行して進めており、より高速で高精度な方法論の開発が期待できる。事象の検出プロセス等はモジュール化してあるため、旅行時間予測のシミュレーションや運用方策の全体構造を変更することなく方法論の改良・展開が可能である。

都市間高速や一般道など、必ずしも十分に交通観測データが得られない道路では、多様なデータを融合した異常事象の検出および交通状態の予測手法開発のニーズがあり、本研究の成果はそのための基礎的な知見を与えるものであると考えている。交通モニタリングに関するインフラが十分ではない地域で

のインシデントの検出と情報提供を中心とする交通運用手法に関する研究の進展は、我が国の地方部だけではなく途上国の道路交通サービスの質の向上にも貢献できるものである。交通工学研究会を中心にこの課題についての研究が着手されたところであり、本研究で開発した基礎技術の応用が期待されている。

本研究は、交通工学を専門とする大学研究者の基礎知識と、高速道路の情報提供サービスに關与する実務担当者の技術的ノウハウを有機的に連携させて研究を推進してきた。そのため、交通シミュレーションやデータベース管理システムを組み合わせた実際の交通管制システムの高度化に研究成果を反映させることが可能な研究体制となっている。本研究で開発した要素技術である、突発事象の検出手法、情報提供下の行動モデル、旅行時間予測等はそれぞれ個別に既存の管制システムに反映させることが可能である。たとえば、わが国の都市高速道路会社では、既に、動的な交通ネットワークシミュレーションモデルが運用されており、本研究で開発した要素技術の一部をその中に組み込むことも可能である。

実用化に向けては、本研究でも検討したように、効果の検証が比較的容易な特定の放射路線への適用からスタートし、有効性を確認しながら徐々にネットワーク全体の効果的な運用に展開するプロセスが想定できる。インシデント時であっても、正確な交通情報が迅速に道路利用者に提供されることにより、「モビリティの質」が改善され利用者満足度の向上が期待される。都市内高速道路では大深度地下空間を利用したネットワークの整備が進んでいるが、突発事象時の交通運用は喫緊の課題であり、突発事象の影響を最小化する交通運用の実現は社会的にも大きな意義を持つ。

過去4か年間、本研究の実施メンバーが中核となって、高速道路の運用等に関わる実務担当者（高速道路会社、コンサルタント）と大学研究者が参加する「高速道路の交通データに関する研究会」を継続的に企画・開催している。毎回100名近い参加者が、2日間にわたって最新の研究成果の発表と徹底的な討議を行っているが、本研究の成果に関する国内技術者・研究者の関心は常にきわめて高い。高速道路の実務担当者にとって、突発事象時の交通運用は利用者からの要望も多い重要な課題であり、本研究の成果が交通モニタリングや管制システムの構築に反映されることが期待される。

参考文献

- AASHTO: *Manual on uniform traffic control devices (MUTCD) the 2009 edition, Part 6: Temporary traffic control, Chapter 6I. Control of traffic through traffic incident management areas*, pp.726 - 729, 2009: http://mutcd.fhwa.dot.gov/pdfs/2009/pdf_index.htm
- Antoniou, C.: On-line calibration for dynamic traffic assignment. Ph.D thesis, Massachusetts Institute of Technology, September 2004.
- Ashok, K., Ben-Akiva, M.E.: Alternative approaches for real-time estimation and prediction of time-dependent Origin-Destination flows. *Transportation Science*, Vol.34, pp. 21-36, 2000.
- California DOT (Caltrans): *2005 / 2006 Ramp metering annual report: District 7*, Apr.2007: http://www.dot.ca.gov/dist07/news/reports/docs/2006_RM_AR_Final_072307.pdf
- California DOT (Caltrans): *Ramp meter development plan: District 7*, Jan.2009: http://www.dot.ca.gov/dist07/resources/ramp_metering/docs/District%207%202009%20Ramp%20Metering%20Development%20Plan.pdf
- Chang, E.C.P., Wang, S.H.: Improved freeway incident detection using fuzzy set theory. *Transportation Research Record*, Vol. 453, pp.75-82, 1994.
- Chatterjee, K., Hounsell, N.B., Firmin, P. E. and Bonsall, P.W.: Driver response to variable message sign information in London. *Transportation Research Part C*, Vol .10, pp.149-169, 2002.
- Cheu, R.L., Ritchie, S.G.: Automated detection of lane-blocking freeway incidents using artificial neural networks. *Transportation Research Part C*, Vol .6, pp.371-388, 1995.
- Chung E., Kuwahara M. and Yoshii T.: Comparative Study of Freeway Incident Detection Algorithms using Real-Life Incident Data. *Seisan-Kenkyu*, Vol.50, No.9, pp.47-50, Institute of Industrial Science Univ. of Tokyo, 1998.
- Chung, E., Kuwahara, M.: Comparative study of freeway incident detection algorithms. Proc. 19th ARRB Conf., Sydney, Australia, pp.25-49, ARRB Transport Research, 1998.12
- Conference of European Directors of Roads (CEDR), Task 13 Group: *Formulating best practice in European traffic incident management*, Technical sessions 1 TM-1 Session on incident management AF-43, EasyWay Annual forum 2010 Lisbon, Portugal, 2010: <http://easyway2010.inir.pt/Pages/Presentations.aspx>
- Daganzo, C.F., Sheffi, Y.: On Stochastic Models of Traffic Assignment, *Transportation Science*, Vol.11, pp.253-274, 1977.
- Daganzo, C.F.: The Cell transmission model: a simple dynamic representation of highway traffic. *Transportation Research Part B*, Vol.28, pp.269-287, 1994a.
- Daganzo, C.F.: The Cell Transmission Model, part II: Network Traffic. *Transportation Research Part B*, Vol.28: pp.279-293, 1994b.
- Daganzo, C.F.: The Cell Transmission Model: Network Traffic. California PATH Working Paper UCB-ITS-PWP-94-12, 1995
- Dia, H., Rose, G.: Development and evaluation of neural network freeway incident detection models using field data. *Transportation Research Part C*, Vol.5, pp.313-331, 1997.
- Dudek, C.L., Messer, C.J. Nuckles, N.B.: Incident detection on urban freeway. *Transportation Research Record*, Vol.495, pp.12-24, 1974.
- FHWA, US DOT: *2000 traffic incident management handbook*, Report No. USDOT-13286, Nov.2000a: http://ops.fhwa.dot.gov/eto_tim_pse/faq/hand.htm
- FHWA, US DOT: *Incident management successful practices: A cross-cutting study*, Report No. JPO-99-018, Apr.2000b: <http://www.ops.fhwa.dot.gov/publications/publications.htm>
- #tim
- FHWA, US DOT: *Freeway management and operations handbook: Final report, Chapter 10 Traffic incident management*, Report No. OP-04-003, Sep.2003a: http://ops.fhwa.dot.gov/freewaymgmt/publications/frwy_mgmt_handbook/index.htm
- FHWA, US DOT: *Freeway management and operations handbook: Final report, Chapter 7 Ramp Management*, Report No. OP-04-003, Sep.2003b: http://ops.fhwa.dot.gov/freewaymgmt/publications/frwy_mgmt_handbook/index.htm
- FHWA, US DOT: *Ramp management and control handbook*, Report No. HOP-06-001, Jan.2006:
- FHWA, US DOT: *2010 traffic incident management handbook update*, Report No. HOP-10-013, Jan.2010: <http://www.ops.fhwa.dot.gov/publications/publications.htm> #tim
- Firefox : <http://mozilla.jp/firefox/>, (2011/01/31 アクセス)
- Google Maps API ファミリー: <http://code.google.com/intl/ja/apis/maps/>, (2011/01/31 アクセス)
- HA, UK DfT: *Controlled motorways M25*, Oct.2006: http://www.direct.gov.uk/en/TravelAndTransport/Usingmotorwaysandroads/Keepingtraffickingmoving/DG_184978
- HA, UK DfT: *Ramp metering: Summary report*, Nov.2007: <http://www.highways.gov.uk/knowledge/17375.aspx>
- HA, UK DfT: *Area performance indicator (API) handbook*, Mar.2007: <http://www.highways.gov.uk/business/15098.aspx>
- HA, UK DfT: *Ramp metering: Operational assessment*, Apr.2008: <http://www.highways.gov.uk/knowledge/17375.aspx>
- HA, UK DfT: *European incident management*, Feb.2009a: <http://www.highways.gov.uk/business/22697.aspx>
- HA, UK DfT: *Active traffic management M42 Junction 3A to 7*, 2009b: http://www.direct.gov.uk/en/TravelAndTransport/Usingmotorwaysandroads/Keepingtraffickingmoving/DG_184978
- HA, UK DfT: *M1 Junctions 10 to 13 improvement scheme*, 2009c: http://www.highways.gov.uk/roads/documents/HA_Leaflet_FINAL_D123485_high_res.pdf
- HA, UK DfT: *2009 Network management manual (NMM 2009), Part 7: Traffic incident management and contingency planning*, pp.7.1.1 - 7.19.4, Jul.2009d: http://www.standardsforhighways.co.uk/nmm_rwsc/index.htm
- Internet Explorer 8 : <http://www.microsoft.com/japan/windows/internet-explorer/default.aspx> (2011/01/31 アクセス)
- Ishii, Y. et al.: Online Traffic Simulator (HEROINE) Introduced at the Hanshin Expressway Traffic Control Center. 11th ITS World Congress, (Nagoya), 2004.
- JSTE プロブ研究会 : <http://www.probe-data.jp/index.html>, (2011/02/01 アクセス)
- Kuwaharam, M., Akamatsu, T.: Decomposition of the reactive dynamic assignments with queues for a many-to-many origin-destination pattern. *Transportation Research Part B*, Vol.31, pp.1-10, 1997.
- Levinson, D.: The value of advanced traveler information systems for route choice. *Transportation Research Part C*, Vol.11, pp.75-87, 2003.
- Levinson, D., Liu, H., Garrison, W., Danczyk, A., Corbert, M.: *Fundamentals of Transportation*. http://en.wikibooks.org/wiki/Fundamentals_of_Transportation, 2009.
- Lo, H.: A Cell-based traffic control formulation: strategies and benefits of dynamic timing plans. *Transportation Science*,

- Vol.35, pp.148-164, 2001.
- Lo, H., Szeto, Y.W.: A cell-based variational inequality formulation of the dynamic user optimal assignment problem. *Transportation Research Part B*, Vol.36, pp.421-443, 2002.
- Munakata, K., Tamura, Y., Warita, H., Shiraishi, T.: A Case Study about the Traffic Prediction under Accidents Using Dynamic Traffic Simulation on Tokyo Metropolitan Expressway. Proceedings of 16th World Congress on Intelligent Transport Systems, Stockholm, 2009.09.
- Munoz, L., Sun, X.T., Sun, D.F., Gomes, G., and Horowitz, R.: Methodological calibration of the cell transmission model. Proceedings of the 2004 American Control Conference, Boston, Massachusetts, June 30-July 2, 2004, 798-803.
- National Traffic Incident Management Coalition (NTIMC): *National traffic incident management coalition: Improving traffic incident management together*, Dec.2004: http://www.i95coalition.org/i95/Portals/0/Public_Files/uploaded/Incident-toolkit/documents/Flier/Flier_TIM_NTIMC.pdf
- National Traffic Incident Management Coalition (NTIMC): *Benefits of traffic incident management*, 2006a: <http://timcoalition.org/?siteid=41&pageid=595>
- National Traffic Incident Management Coalition (NTIMC): *Responder safety*, 2006b: <http://timcoalition.org/?siteid=41&pageid=595>
- National Traffic Incident Management Coalition (NTIMC): *Safe, quick clearance (SQC)*, 2006c: <http://timcoalition.org/?siteid=41&pageid=595>
- National Traffic Incident Management Coalition (NTIMC): *Prompt, reliable traffic incident communications*, 2006d: <http://timcoalition.org/?siteid=41&pageid=595>
- Parkany, E., Xie, C.: A complete review of incident detection algorithms & their deployment: what works and what doesn't. Report No. NETCR 37, The New England Transportation Consortium, February 2005.
- Payne, H.J.: Development and testing of incident detection algorithms, Volume 1: summary of results. Report No. FHWA-RD-76-19, FHWA, Washington D.C., April 1976.
- Payne, H.J., Tignor, S.C.: Freeway incident-detection algorithms based on decision trees with states. *Transportation Research Record*, Vol.682, pp.30-37, 1978.
- Shiraishi, T., Horiguchi, R., Kuwahara, M.: A Development of Traffic Prediction System Based on Real-time Simulation. Proceedings of 12th World Congress on Intelligent Transport Systems, CD-ROM, 2005.11.
- Stephanedes, Y.J., Chassiakos, A.P., Michalopoulos, P.G.: Comparative performance evaluation of incident detection algorithms. *Transportation Research Record*, Vol.1360, pp.50-57, 1992.
- Tsai, J., Case, E.R.: Development of freeway incident detection algorithms by using pattern recognition techniques. *Transportation Research Record*, Vol.722, pp.113-116, 1979.
- Wang, Y.B., Papageorgiou, M.: Real-time freeway traffic state estimation based on extended Kalman filter: a general approach. *Transportation research Part B*, Vol.39, pp.141-167, 2005.
- Wardman, M., Bonsall, P.W., Shires, J.D.: Driver response to variable message signs: a stated preference investigation. *Transportation Research Part C*, Vol.5, pp.389-405, 1997.
- Warita, H., Okada, T., Tanaka, A.: Evaluation of Operation for Travel Time Information on The Metropolitan Expressway. 8th World Congress on Intelligent Transport Systems, 2001.
- Yang, Q., Koutsopoulos, H.N.: A microscopic traffic simulator for evaluation of dynamic traffic management systems. *Transportation Research Part C*, Vol.4, pp.113-129, 1996.
- Yang, Q.: A simulation laboratory for evaluation of dynamic traffic management systems. Ph.D thesis, Massachusetts Institute of Technology, June 1997.
- Yoshii, T., Kuwahara, M.: SOUND: A Traffic Simulation Model for Oversaturated Traffic Flow on Urban Expressways. Preprint at 7th World Conference on Transportation Research, Sydney, 1995.
- Zhang, K., Taylor, M.A.P.: Effective arterial road incident detection: A Bayesian network based algorithm. *Transportation research Part C*, Vol.14, pp.403-417, 2006.
- 青野貞康, 室町泰徳, 原田昇, 太田勝敏: コンピュータベース調査による交通行動データ収集手法の開発. *土木計画学研究・論文集*, Vol.18, no.1, 2001.
- 赤羽弘和, 越正毅: 渋滞検出閾値のオンライン設定方法. *土木学会第42回年次学術講演会概要集*, 第IV部門, pp.70-71, 1987.
- 飯島護久, 堀口良太: プローブデータに基づくエリア流動性情報提供に関する研究. 第9回ITSシンポジウム2010予稿集, pp.1-4, 2010.
- 井坪慎二, 羽藤英二, 中嶋康博: 情報技術の活用による交通行動調査の効率化・高度化に関する研究. *土木計画学研究・講演集*, No.31, 2005.
- 稲富貴久, 割田博, 桑原雅夫, 佐藤光: 首都高速道路における事故時車線閉塞時間予測に関する研究. 第29回交通工学研究発表会, 2009.
- 上野秀樹, 大場義和, 割田博, 森田綽之, Edward Chung, 桑原雅夫: 突発事象発生時における旅行時間に関する研究. 第2回ITSシンポジウム2003, pp.149-154, 2003.
- 上野秀樹, 森田綽之, 桑原雅夫, 割田博: 事故継続時間を考慮した突発事象発生時の旅行時間予測方式の研究. 第27回交通工学研究発表会論文報告集, pp.221-224, 2007.
- 上野秀樹, 割田博, 森田綽之, 桑原雅夫: 突発事象発生時の旅行時間予測に対する多項式モデルの応用の検討. 第25回交通工学研究発表会論文報告集, pp.249-252, 2005.
- 大口敬, 佐藤貴行, 鹿田成則: 渋滞時の代替経路選択行動に与える交通情報提供効果. *土木計画学研究・論文集*, No.22, No.4, 2005.
- 岡上政史, 奥嶋政嗣: 交通障害発生時に対応した都市高速道路単路交通流シミュレーションモデルの構築. 第30回交通工学研究発表会論文集, pp.13-16, 2010.
- 奥嶋 政嗣, 大窪 剛文, 大藤 武彦: 都市高速道路における交通管理施策評価のための交通シミュレーターの開発. *土木計画学研究発表会*, 2002.
- 金進英等: ETC 統計データによる時間帯別ランプ間 OD 交通量推定. 第28回交通工学研究発表会, 2008.
- 日下部貴彦, 社領沢, 朝倉康夫: 都市高速道路における突発事象情報の提供による行動変化の SP 調査とその分析. 第46回土木計画学研究発表会・講演集, Vol.46, 83, 2012.
- 倉内孝孝, 永廣悠介, 宇野伸宏, 飯田恭敬: 交通流シミュレーションモデルを用いた突発事象発生時の情報提供効果. 第27回交通工学研究発表会論文報告集, pp.121-124, 2004.
- 桑原雅夫, 吉井稔雄, 森田綽之, 岡村寛明: 広域ネットワーク交通流シミュレーションモデル SOUND の開発. *生産研究*, Vol.48, No.10, pp.49-52, 1996.
- 齋藤純一, 割田博, 田中淳: 事故・工事時における所要時間予測手法に関する研究. 第22回交通工学研究発表会論文報告集, pp.173-176, 2002.
- 首都高速道路㈱HP, <http://www.shutoکو.jp/>
- 進藤隆弘, 宇野伸宏, 塩見康博: プローブパーソン調査による都市高速道路の料金調整実験時の対応行動分析. *土木計画学研究・講演集*, Vol.41, CD-ROM, 2010.
- 杉恵頼寧, 藤原章正, 葛本雅昭: 携帯型パソコンを用いた応答型選好意識調査の有効性. *土木計画学研究・講演集*, No.15(1), 1992.
- 杉野勝敏, 矢野晋哉, 羽藤英二, 朝倉康夫: プローブパーソン調査を用いた観光行動分析. *土木計画学研究・講演集*, No.32, 2005.
- 鈴木聡, 原田昇: パソコンベースの応答型意識調査手法に関する研究-通勤・通学の鉄道経路選択を対象として-. *土木計画学研究・論文集*, No.6, 1988.
- 大藤武彦, 小澤友記子, 吉村敏志, 石井康裕: 交通管制システムにおけるオンライン・リアルタイム交通流シミュレーションの活用. 第33回土木計画学研究発表会(春大会), CD-ROM, 2006.
- 田村勇二, 割田博, 稲富貴久, 船岡直樹, 佐藤光, 堀口良太, 白石智良, 桑原雅夫: 首都高速道路における突発事象発生時の交通状況予測に関する感度分析. 第11回ITSシンポジウム2012, 2012.

- 田村勇二, 割田博, 桑原雅夫, 佐藤光: 首都高速道路における流入制御時の入口転換行動分析. 第37回土木計画学研究発表会, 2008.
- 賓美譽, 倉内文孝, 飯田恭敬: 車両検知器データを用いた都市高速道路における突発事象のオンライン検知に関する研究. 第21回交通工学研究発表会論文報告集, pp.177-180, 2001.
- 長谷川栄一: 「安全・円滑な首都高速道路を目指した画像処理技術の活用」. 交通工学 Vol.42 No.3 2007.
- 船岡直樹, 割田博, 桑原雅夫, 佐藤光: 首都高速道路における突発的ボトルネック判定手法構築に関する研究. 第29回交通工学研究発表会論文集, pp.301-304, 2009.
- 平成 22 年度阪神高速道路の交通管制等に関する調査研究業務報告書, 2011.
- 堀口良太, 和田光示: プローブの走行パターンを利用した統合型車載器での異常判定渋滞判定アルゴリズムの開発. 第4回ITSシンポジウム2005論文集, 2005.
- 宗像恵子, 田村勇二, 割田博, 白石知良: 首都高速道路におけるリアルタイム予測シミュレーションの開発. 第29回交通工学研究発表会講演論文集, pp.293-296, 2009.
- 桃澤宗夫, 森崎和裕, 生井達朗: 画像処理技術による事故車両の自動検出システム. システム制御情報学会論文誌, 1996.
- 吉井稔雄, 赤羽弘和, 桑原雅夫: 都市高速道路における予測交通情報の提供効果. 土木学会年次学術講演会講演概要集第4部, Vol.50, 1995.
- 吉井稔雄, 赤羽弘和, 桑原雅夫: 予測誤差を考慮した予測情報提供効果についての分析. 土木計画学研究・講演集, No.19(2), 1996.
- 割田博, 森田緯之, 桑原雅夫, 田中淳: 道路交通情報の高度化に対応する直前の交通状況を考慮した統計的予測手法の研究. 第2回ITSシンポジウム2003, pp.215-220, 2003.

付録 (国際ワークショップ)

平成 22 年度には米国, 平成 23 年度には英国, オランダの研究拠点大学で Traffic Incident Management に関するワークショップを開催し, 諸外国の研究開発動向を調査するだけでなく, 本研究の成果をはじめ高速道路の交通管制に関する研究情報の発信を積極的に進めた. 最終年である平成 24 年度にはフランス, オランダ, デンマーク, オーストラリア, 香港から国際的に顕著な活動をしている研究者を招へいし, 本研究の共同研究者に加えて, わが国の交通流理論, ネットワーク理論に詳しい研究者と道路交通実務担当者が参画して 2 日間の国際ワークショップ' International Workshop on Transport Networks under Hazardous Conditions' を開催し, 本研究の成果を広く発信するとともに, 各国の最新の研究動向を把握した. プログラムを付表 - 1 に示す. 発表と議論はすべて英語で行われ, 突発時の交通解析, マネジメントに関して, きわめて実質的で有益な議論が行われた.

わが国の都市高速道路では, 車両感知器データや ETC データを含め, 他の先進諸国に例を見ないほど精緻で大量の交通流データが観測・収集されており, それらを有効に活用した突発事象時の新たな情報提供サービス手法や交通運用手法を研究・開発することの国際的インパクトはきわめて大きいものと思われる.

付表 - 1 国際ワークショッププログラム

1st (Friday) March

09:30-10:00 Opening

Yasuo Asakura

10:00-10:45 Approaches to Modelling Degradable Networks

Mike Bell

10:45-11:00 Break

11:00-11:30 Estimating Vehicle Trajectories on a Motorway by Data Fusion of Probe and Detector Data

Masao Kuwahara, Takeshi Ohhata, Tsubasa Takigawa, Takeshi Imai, Koichi Abe, Kiichiro Nakamura

11:30-12:00 Traffic Accident Risk at Designated Expressway Road Networks

Toshio Yoshii

12:00-13:30 Lunch

13:30-14:15 Temporal and Spatial Impacts of Rainfall Intensity on Traffic Accidents in Hong Kong

William Lam

14:15-14:35 Traffic Prediction under Accidents using Dynamic Traffic Simulation on Tokyo Metropolitan Expressway

Hiroshi Warita, Ryota Horiguchi, Yuji Tamura, Hikaru Sato

14:35-14:55 Behavior Changes of Drivers in Traffic Jams Due to Traffic Information Provision Based on Portable Traffic Detectors

Takeshi Matsushita, Tomoyuki Adachi

14:55-15:15 Improvement of Travel Time Information under Incident Condition Using Prediction Model Based on Current Traffic Condition

Toshihiko Kitazawa, Dai Tamagawa, Jun Tanabe, Takeshi Hagihara, Akito Higatani

15:15-15:30 Break

15:30-16:15 Trip-timing decisions with traffic incidents

Mogens Fosgerau

16:15-16:40 The impact of prevailing traffic conditions on incident characteristics

Zoi Christoforou

16:40-17:05 The Progress of Miyako Recovery Plan from Tsunami Disaster

Tetsuo Yai

17:05-17:30 Land-use Structure and Disaster Vulnerability

Daisuke Fukuda

2nd (Saturday) March

09:15-10:00 Managing Pedestrian Crowds: for First Principles to Crowd Control Strategies

Serge Hoogendoorn

10:00-10:45 A virtual travel laboratory: New methodological ways to unravel traffic and travel behaviour under extreme conditions

Hans van Lint

10:45-11:00 Break

11:00-11:30 Modeling the Cooperation Network

Formation Process for Evacuation Systems Design in Disaster Areas with a Focus on Japanese Mega-disasters
Eiji Hato, Jun Urata

11:30-12:00 Evacuation Dynamics and Social Interactions
Takamasa Iryo, Shingo Tsujimoto, Kazunobu Amano

12:00-13:30 **Lunch**

13:30-14:15 Resilience Issues in Vulnerable Transport Networks
Seungjae Lee

14:15-14:45 Simulation analysis of commuters unable to get home and traffic congestion at large-scale disaster in Nagoya metropolitan area
Toshiyuki Yamamoto

14:45-15:15 Spatio-Temporal Analysis of Gasoline Shortage in Tohoku Region after Great East Japan Earthquake
Takashi Akamatsu, Takeshi Nagae

15:15-15:30 **Break**

15:30-16:00 Respondents' Attitude on Large-scale Probe Person Survey using Smartphone Apps
Takuya Maruyama

16:00-16:30 Stochasticity of Transportation Networks: Asymptotic distribution of travel times and maximum likelihood method
Sho-ichiro Nakayama

16:30-16:40 **Closing**