



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. 21-3

研究テーマ

複合データによる道路サービス・
パフォーマンス情報システムの研究開発

研究代表者:	筑波大学教授	石田 東生
共同研究者:	筑波大学教授	谷口 守
	筑波大学准教授	岡本 直久
	筑波大学准教授	堤 盛人
	筑波大学講師	谷口 綾子
	(一財)計量計画研究所	牧村 和彦
	大阪電気通信大学教授	上善 恒雄
研究協力者:	広島工業大学准教授	伊藤 雅
	東京工業大学准教授	福田 大輔

平成 24 年 6 月

新道路技術会議

目次 <原稿作成例>

研究概要	1
第 1 章 研究の背景と目的.....	3
1.1 研究の背景	3
1.2 研究の目的	3
第 2 章 複数データを融合した道路パフォーマンス指標作成のための条件整理	4
2.1 交通流観測システムの現状.....	4
2.2 旅行時間信頼性計測について	7
2.3 道路行政マネジメントにおける旅行時間信頼性指標の活用	7
2.4 本章のまとめ	20
第 3 章 路側観測データとプローブカー調査データの特徴分析	21
3.1 分析データの概要	21
3.2 プローブカーデータの一般的特性.....	21
3.3 プローブカー調査データを用いた旅行時間信頼性の計測	22
3.4 路側観測データとプローブカーデータとの関連性分析.....	25
3.5 マクロ交通流モデルを用いた推定	26
3.6 本章のまとめ	29
第 4 章 道路パフォーマンス情報収集システムデザインの提案	30
4.1 本章の目的.....	30
4.2 道路パフォーマンス指標に基づく道路交通流の内部状態の推定	30
4.3 本章のまとめ	33
第 5 章 道路行政支援のためのアプリケーションの提案.....	34
5.1 本章の目的	34
5.2 渋滞長評価への活用.....	34
5.3 環境指標の算定	35
第 6 章 本研究のまとめ	36
参考文献.....	36

「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」(平成 21 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.21-3	複合データによる道路サービス・パフォーマンス情報システムの研究開発	筑波大学 教授 石田東生

本研究は、従来の路側観測によって得られる交通データとプローブカーデータを融合させることによって、多様なニーズに対応可能な道路パフォーマンスデータの作成と、より安価かつ他国でも適用可能なデータ収集方法を検討しようとするものである。

1. 研究の背景・目的(研究開始当初の背景・動機、目標等)

本研究では、路側観測データとプローブカー調査データに関するそれぞれの特性の把握を行い、交通状況に対して、空間的・時間的特性の整理を行う。リアルタイムに計測される路側観測データを、両データの蓄積によって求められる法則性に適用し、広域への適用可能性と信頼性について示すことの出来るシステムを構築することを目標とする。また、旅行時間以外にも道路の定時性や信頼性等、ユーザーから必要とされている多様な情報についての対応可能性についても確認を行う。

一方、システムに必要となるデータの計測システムの構成についても検討を加える。道路パフォーマンスデータの収集と情報提供について、我が国ではVICSが整備されている。しかしながら、VICSのデータ収集系は、我が国の豊富な路側計測システムを最大限に活用する形で構成されており、整備水準の異なる国(特に途上国)への移転性に限界が生じている。また我が国においては国土交通省、警察庁、あるいは各高速道路株式会社がそれぞれ観測器を設置しており、高コストな観測体系となっている。

本研究では、プローブカーと路側観測点の密度を操作して作成される情報の種別ごとに、精度、空間分解能、時間分解能と計測システムの密度・量との関係を分析し、他地域・他国への技術移転におけるガイドラインと、我が国におけるより効率的な観測体系を示すことを目指す。

2. 3ヵ年の研究内容(研究の方法・項目等)

本研究では、以下の2点を研究の中心とした。各研究項目の内容と方法を以下に示す。

- 1) 複数データを融合した道路パフォーマンス指標作成:道路サービスとしての提供情報が最低限必要となる要件に関する国内外の事例及び過年度成果を整理し、複数データを融合した道路パフォーマンス指標を作成する。本研究では、実際に観測されている路側観測データおよびプローブカーデータを融合的に活用し、道路パフォーマンス指標導出の可能性を確認した。
- 2) 道路パフォーマンス情報収集システムデザインの提案:データ収集にかかるコスト削減を鑑み、必要条件にあう提供情報水準を導出するための最低限必要な収集系の設計を検討する。具体的には上記 1)において活用したデータを用いて、交通流の再現と観測データとの関係性を確認し、観測量はどこまで許容されるかをシミュレーションにより導出する。これによって、対象地域内において、必要最低限の計測量水準を求めることができ、同種の方法によるパフォーマンス計測のためのシステムデザインを提案する。

3. 研究成果(図表・写真等を活用し分かりやすく記述)

本研究の成果は以下の3点に要約できる。

- 1) 本研究では、まず、欧米および国内における道路行政マネジメントに資するパフォーマンス指標の現状について整理した。欧米諸国において、道路パフォーマンス指標作成のための検討は、現状でも続けられており、行政にも広く指標作成とデータ収集が行われていることを確認した。特に、近年では、道路信頼性に着目した指標が提案されている。道路信頼性については、「一日もしくはそれ以上といった、ある程度の幅を持った時間の中で計測される旅行時間の安定性の水準であること」と定義でき、その実施事例についても整理した。
- 2) 主として首都高速道路を走行するプローブカーデータおよび首都高速道路で観測したトラフィックカウンターデータを用いて、道路パフォーマンス指標作成のための基礎的な特性分析を行った。その結果、リンク毎に集計される平均旅行時間やその標準偏差と、複数リンクによって構成される経路単位での平均旅行時間および標準偏差について分析を行い、それらに法則性があるものの、単純な加算では信頼性指標を作成できないことを明らかにした。今回の分析では、分析対象を首都高速道路の一部路線に限定して、基礎的な分析を行った。今後、交通量や交通の目的といった交通特性が異なる様々な地域への適用を考える場合には、対象地域を拡大する必要があることを指摘した。
- 3) データ収集にかかるコスト削減を鑑み、必要条件にあう提供情報水準を導出するための最低限必要な収集系

に関する考察を行う。具体的には、対象地域内のパフォーマンス指標の算定に対するモデルを構築し、データソース量が少ない場合にも算定できるか、あるいは算定できるまでの観測量はどこまで許容されるかをシミュレーションにより導出した。これによって、対象地域内において、必要最低限の計測量水準を求めることができると考えた。ここでは、(1)交通流モデルを用いた内部状態の推定、(2)交通流モデルのデータ量の違いによる推定精度の確認、および(3)プローブカーデータとの比較による推定精度の確認を行った。Cell Transmission Model を内部状態変数として速度を採用し推定することに成功し、データソースとなる感知器の数が 9 から 7 まで削減しても推定精度に大きな変化がないことを確認した。これは、現状よりも約 20%減少させたデータソースでも十分な交通流の再現モデルが推定できることを示した。

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)

- ・ 加藤務、石田東生、岡本直久：路側観測データの交通流モデルへの適用，第10回ITSシンポジウム，2011
- ・ Tsutomu KATO, Haruo ISHIDA, Naohisa OKAMOTO: A Study on the application of the traffic flow model using the road detector data, 18TH ITS world congress 2011 paper number:3259, 2011
- ・ 加藤務、石田東生、岡本直久：複数データを用いた 道路所要時間信頼性の推定に関する試み，土木計画学研究講演集 Vol.44, 2011

5. 今後の展望 (研究成果の活用や発展性、今後の課題等)

本研究では、リンク単位で計測された標準偏差を積み上げても、区間、経路、OD といったユーザーが求める標準偏差、すなわち信頼性指標は算出できないことを指摘した。

しかしながら、プローブカーデータの量的な少なさから、この問題を解決するためには、データ拡充、接合データによるサンプルの拡大といった課題が残る。接合データによるサンプル数拡充を試みる場合についても課題が、現時点でも次の4点が指摘できる。第一に、接合データを用いたとしても分析に使えるだけのデータを確保できない箇所もあると考えられる。接合データはプローブカーデータを基に作成するため、プローブカーの走行台数が少ない道路においては、接合データの作成がデータ数を増やすための有効な手段とならない場合がある。第二に、距離が延びるにつれて接合データの分散・標準偏差が拡大する問題がある。分散・標準偏差が大きくなるということは、接合データの分布のばらつきが大きくなり、旅行時間を正確に予測しにくくなることを意味する。第三に、各リンクの情報を独立な情報として扱えない問題がある。隣同士のリンクの相関係数を見てみると、リンク同士には相関があることがわかり、非独立であることがわかる。尚、独立として扱ったとすると、データ数の増加に伴って旅行時間の分散・標準偏差は拡大してしまう。第四に、リンク情報を代表する路側観測データでは、より実質的な走行速度を計測するプローブカーデータと比較した場合、観測位置の特性や、観測単位によっては、大きな差異が生じている。

今後実務に応用させるためには、これらの問題を無視することは出来ない。何らかの方法を用いて、問題を緩和する必要性が出てくる。具体的には、プローブカーデータの拡充と、そのための大容量データ処理方法の開発が必要となる。

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)

本研究では、プローブカーデータと路側観測データを融合的に活用し、所要時間信頼性等の道路パフォーマンス指標の作成を試みた。研究成果から道路政策の質的な向上に資する事項として、以下の点が指摘できる。

- ① 道路パフォーマンス指標としての渋滞評価、環境評価にあたり、プローブカーデータを活用することにより、従来よりも詳細な指標が作成できること。ただし、1秒単位の計測データが前提となるため、データ取得のためのスペックの整理が必要である。
- ② 所要時間信頼性指標としての標準偏差等の統計値は、リンク単位の計測ではOD間指標を算定するには不十分であること。そのためには、より多くのプローブカーデータ取得と、その処理システムの構築が必要であること。
- ③ 路側観測データを主とした交通流の再現モデルを用いた分析にもとづいて、現状よりも観測点を約20%減少させても、十分な推定ができること。

7. ホームページ等 (関連ウェブサイト等)

特になし

第1章 研究の背景と目的

1.1 研究の背景

今後の道路行政に求められるものの一つに、より質の高いサービス情報の提供が挙げられる。特に、所要時間情報に限らず、定時性、時間信頼性の評価が重要である。さらに地球環境問題への対応の必要性から、走行状態を反映したより精緻な CO2 排出量推計や、道路整備事業の事後評価に対する関心も高まっており、道路ネットワークのサービス水準評価について、より高度な指標の作成とそのデータ収集方法の確立が望まれている。そしてこれらなるべく自動化し、コストを縮減することも重要である。これらのニーズに対応するための課題としては以下の点が指摘できる。

- (1) パフォーマンスデータ取得の時間的・空間的限界:交通速度調査は、道路交通センサスにおいて行われているものの、限定された区間において2~3年ごとの秋期に1日間のみ実施されている。このため年間や季節、曜日間の変動を捉えることは出来ない。また、交通量常時観測では時間的に連続な交通量、走行速度を観測しているが、全国で約500カ所という限られた観測地点であるため、空間的に限られた情報に過ぎない。さらに、それらのデータが十分に活用されているとは言えないのが現状である。
- (2) IT 技術を応用したデータベース構築の必要性:交通量の時間的・空間的平準化のため、ピーク料金制等 IT 技術の進展によって時間的な交通コントロールが可能となりつつある現在、これらを検討できる精度の高い時間情報、空間情報(特定時刻における位置情報)を併せ持つ交通データが未整備である。
- (3) 交通政策モニタリングの不備:時々刻々交通量は変化するため、これらに対応したきめこまかい交通計画の策定が重要となっているが、現在のアンケート調査を主体とした調査体系ではこれらに対応しきれない。
- (4) 高コストなシステム:近年、VICS による所要時間等の情報提供がなされており、基本となるデータ収集が拡張しつつある。しかしながら VICS には、情報収集コストが極めて高く、海外への適用が困難なシステムで構成されているという課題が残る。

その一方で、急速な発展を遂げた GPS (Global Positioning System) 機能を搭載したプローブカー調査データは、道路種別に限定されることなく、極めて広範囲の走行速度調査を実現している。

1.2 研究の目的

本研究は、従来の路側観測によって得られる交通データとプローブカーデータを融合させることによって、空間的にも拡大し、多様なニーズに対応可能な道路パフォーマンスデータの作成と、より安価かつ他国でも適用可能なデータ収集方法を開発しようとするものである。具体的には、以下の2点を目的とする。

1) 複数データを融合した道路パフォーマンス指標作成
道路サービスとしての提供情報が最低限必要となる要件に関する国内外の事例及び過年度成果を整理し、複数データを融合した道路パフォーマンス指標を作成する。事例収集においては特に、道路所要時間情報に関する提供事例とその内容、統計データの処理方法等に関する情報収集と整理を行う。近年、この分野の研究成果が多く報告されており、特に2011年10月に ORLANDO で開催される ITS world congress、あるいは2012年1月にワシントンで開催される TRB の委員会報告等において、本研究の成果に基づく議論を広く行うとともに、同種の研究成果、情報の収集を行う。

2) 道路パフォーマンス情報収集システムデザインの提案

データ収集にかかるコスト縮減を鑑み、必要条件にあう提供情報水準を導出するための最低限必要な収集系設計を行う。具体的には、対象地域内のパフォーマンス指標の算定において、各データソースのデータ量が少ない場合にも算定できるか、あるいは算定できるまでの観測量はどこまで許容されるかをシミュレーションにより導出する。これによって、対象地域内において、必要最低限の計測量水準を求めることができ、同種の方法によるパフォーマンス計測のためのシステムデザインを提案する。

我が国で取得している交通状況に関する高密かつ大量のデータは、海外にも例が無く、極めて希少な情報であり、これに基づいて本研究で行おうとするハイブリッド型のパフォーマンス指標作成の取り組みは、海外においては例を見ないほど、極めて先駆的な例と言える。本研究によって開発されるシステムの情報ソースは簡素なカウントデータとプローブカーデータで達成することが出来、先進諸国のみならず、途上国においても導入が可能であり、本手法が先駆的な役割を担うことは明らかである。

第2章 複数データを融合した道路パフォーマンス指標作成のための条件整理

本章では、本研究の目指す道路パフォーマンス指標作成に当たって、我が国におけるパフォーマンス計測の現状を整理するとともに、諸外国における研究、行政の取り組みについて整理する。

2.1 交通流観測システムの現状

2.1.1 交通流観測システムとは

道路網上の交通流の円滑性・安全性の確保を目的として、交通管理者によって交通管制システムが導入され、常時運用されている。交通管制システムは交通制御、情報提供、交通管理など様々な機能を有しているが、システムを有効に機能させるためには、道路網上の交通状態を表す指標を収集する必要がある。把握すべきデータは交通量、速度、密度などが挙げられるが、様々な情報収集方法が存在している。交通流観測システムの種類について以下で述べる。

2.1.2 道路交通センサス

全国規模の道路交通流調査としては、道路交通の現状と問題点を把握し、将来にわたる道路の整備計画を策定するための基礎資料を得る目的で国土交通省が行っている「全国道路・街路交通情勢調査(道路交通センサス)」がある。この道路交通センサス調査においては、大きく分けて道路の交通状態を調べる「一般交通量調査」及び自動車の地域間流動を調べる「自動車起終点調査」の二種類の調査が行われており、いずれの結果も交通マネジメントを考える上で貴重な資料となっている。

ただし、一般交通量調査で調べているのは、通行台

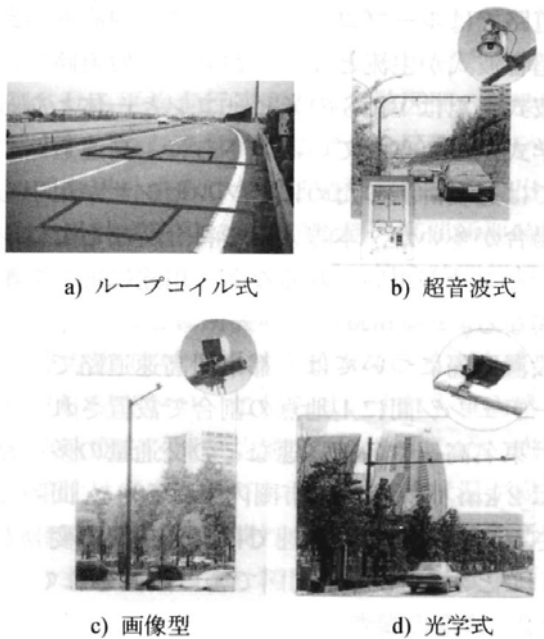


図 2.1 トラフィックカウンターの種類

数や、ピーク時の平均速度といったごく限られた情報である。概ね5年ごとの秋季の平日・休日それぞれ1日ずつとごく限られた時期に調査が行われているため、曜日変動や時間変動を考慮することは不可能である。

2.1.3 路側観測調査(トラフィックカウンター調査)

現在、ドライバー及び道路管理者が利用する道路交通情報は通常、トラフィックカウンターで計測したデータを基に提供されている。トラフィックカウンターは、検地領域内の車両の存在を自動的に検出する機器のことを指す。断面交通量、地点速度、時間オキュパンシーなどを常時計測しており、時間的に連続したデータを得ることが出来るという利点がある。

しかしながら、計測対象は主要幹線道路上の交通流のみであり、非常に限定されている。また、設置にかかるコストが高く、容易に観測地点を増やせないのが現状である。又、OD情報や経路情報も得ることは不可能である。そのため、トラフィックカウンターで計測したデータのみで時々刻々と変化する道路上の交通状態を空間的に把握することは難しくなっている。

各機関が以下のようなトラフィックカウンターを設置している。

(1) 国土交通省(道路管理者)

国土交通省は全国約500箇所(内、東京23区内に26箇所)にトラフィックカウンターを設置している。ただし、設置箇所は主要幹線道の一部に限定される。

(2) 警察(交通管理者)

警察でもトラフィックカウンターを設置し、交通管制システムを運用するための情報収集に利用している。

例えば、警察庁が導入している新交通管理システムUTMS(Universal Traffic Management Systems)のシステムの運用のため、トラフィックカウンターデータが用いられている。トラフィックカウンターを走行中の車の速度や台数、渋滞度などの指標を自動的に感知し、15分毎に

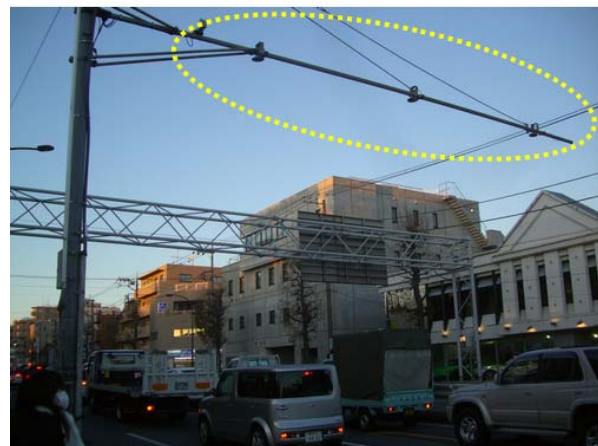


図 2.2 警察トラフィックカウンター

情報を記録している。
尚、トラフィックカウンターの設置台数は不明である。

(3) 高速道路会社

高速道路を運営する高速道路各社では、トラフィックカウンターを設置している。

例えば首都高速道路(株)では、首都高上の全路線においておよそ 300m おきにトラフィックカウンターを設置し、きめ細かな交通流観測を行っている。交通量、大



図 2.3 首都高速道路上のトラフィックカウンター

型車交通量、速度、オキュパンシーを1分単位で観測している。得られたデータは、交通管理システムの運用に用いるほか、アウトカム指標の算出や事業評価等にも使われている。

2.1.4 プローブカー

一方で、近年の GPS 測位技術・通信技術の向上や、カーナビゲーションシステムの普及を背景に、プローブカーシステムを用いた調査が新しい交通調査手法として広まってきている。

プローブカーシステムとは、道路を走行する自動車そのものを移動体のセンサーとして捉え、情報を収集するシステムのことを指す。各車両では、一定の時刻ごとに緯度経度情報、速度、加速度、進行方向などを自動的に計測・記録している。

プローブカー調査では観測地点が限定されないため、従来の交通流調査手法では得にくかった、時間的・空間的な広がりを持つデータを得られるという長所がある。しかし、データを得たい経路をプローブカーが必ず走行するとは限らないため、定常的にデータを得られないと

表 2.2 首都高速道路トラフィックカウンターデータ例

```

【交通データ出力】(2008-01-19 13:37)
データ種別1,地点データ
データ種別2,交通量(Q),大型車交通量(QI),速度(V),オキュパンシ(Occ)
オプション,なし,ステータス情報,全欠測(****),部分欠測(*),バックアップ(B),通行止(XXX),未実装(N),複数(&)
期間,2008年01月01日(火),個別出力
曜日,なし
時間,00:00 ~ 24:00
周期,1分
,
,,06-01-52
,,Q,,QI,,V,,Occ
00:01-00:02, 2,, 0,,75.0,,0.3,
00:02-00:03, 0,, 0,,0.0,,0.0,,
00:03-00:04, 0,, 0,,0.0,,0.0,,
00:04-00:05, 0,, 0,,0.0,,0.0,,
00:05-00:06, 2,, 0,,66.7,,0.5,
00:06-00:07, 1,, 0,,75.0,,0.2,
00:07-00:08, 1,, 0,,75.0,,0.2,
00:08-00:09, 1,, 0,,75.0,,0.2,
00:09-00:10, 2,, 0,,75.0,,0.4,
00:10-00:11, 0,, 0,,0.0,,0.0,,
00:11-00:12, 1,, 0,,100.0,,0.1,
00:12-00:13, 2,, 0,,42.9,,0.4,
00:13-00:14, 2,, 0,,75.0,,0.2,
00:14-00:15, 0,, 0,,0.0,,0.0,,
00:15-00:16, 2,, 0,,75.0,,0.3,

```

表 2.1 警察トラフィックカウンターデータ例

```

あきる野-136,西行き,
主要区間番号,主要区間長(m),周期(年月日),周期(時刻),基本リンク番号,提供位置(m),断面位置,車線数,不定マーク,交通量(台/時間),主要区間内提供地点,
1082.3900,2008/07/01,00:00:00,5701.33,断面A,1,,79,環八五日市,八幡宮前,
1082.3900,2008/07/01,00:00:00,5693.124,断面B,1,,50,環八五日市,八幡宮前,
1082.3900,2008/07/01,00:00:00,5688.142,断面C,1,,55,環八五日市,八幡宮前,
1082.3900,2008/07/01,00:15:00,5701.33,断面A,1,,76,環八五日市,八幡宮前,
1082.3900,2008/07/01,00:15:00,5693.124,断面B,1,,37,環八五日市,八幡宮前,
1082.3900,2008/07/01,00:15:00,5688.142,断面C,1,,65,環八五日市,八幡宮前,

```

いう問題がある。

また、現在プローブカーシステムによる調査方法に関しては統一基準がなく、実験の実施主体ごとに独自の調査方法をとっている状況にある。本研究ではタクシー会社2社が収集したプローブカーデータを使用するが、各社でデータの内容は異なっている。詳細については、第三章で詳述する。

2.1.5 道路パフォーマンス計測とは

道路パフォーマンス計測とは、各道路施設の交通流の状態を定量的に評価することである。近年、多くの研究者から道路パフォーマンス計測の重要性が指摘されるようになった。甲斐(2002)は現在の渋滞時間損失算出方法の問題点を指摘した上で、主観的評価を考慮した渋滞判定を考えた。また、喜多ら(2008)は、「道路サービスの"質"に目を向け、道路交通機能の充実を図ることが重要となってきている」と述べた上で、昨今の研究について「道路交通指標の多様性を指摘しているといった共通点があるものの、その内容は各々異なっている」と指摘した。道路パフォーマンス計測に対する需要は高まっていることと、計測手法の確立が求められていることが言える。

社会資本が絶対的に不足していた時代には、その量的充足を図ることが求められた。社会資本の量的な質的な拡大とほぼ同義であったため、あえて道路パフォーマンスに関する議論を行うまでもなかった。

道路パフォーマンス計測の歴史は、道路のサービスの質を評価する手法を提示することを目的として米国交通学会(Transportation Research Board; TRB)が発行している"Highway Capacity Manual"1965年版において、道路の「サービス水準(Level of Service; LOS)」の概念が提唱されたことに始まる。サービス水準とは、その道路の運用の状態を最もよく示す一つあるいはそれ以上の評価指標に基づいて定められている。1965年サービス水準が提唱された時には、道路の種類ごとに走行速度

▼プローブカー調査のイメージ

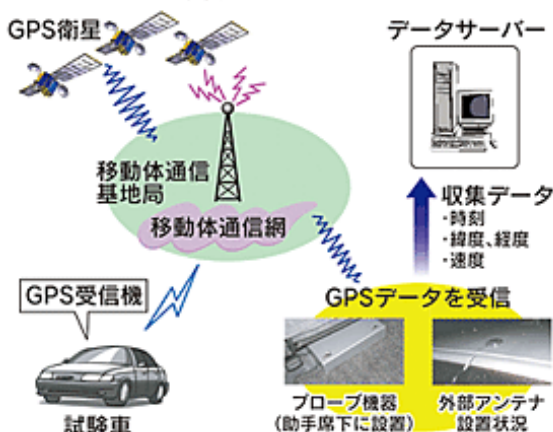


図 2.4 プローブカー調査のイメージ

表 2.3 フリーウェイの単路部におけるサービス水準とサービス交通量

サービス水準	A	B	C	D	E	F
密度 [pcu/mile]	≤11	≤18	≤26	≤35	≤45	>45
交通量 [pcu/h/車線]	≤770	≤1260	≤1770	≤2150	≤2400	>2400

以外のサービス水準を表すパラメータとして「交通密度」

が採用され、密度に応じてA～Fの6段階の水準が定められた。その後、研究成果を反映させながら、何度か改定が行われている。

わが国では"Highway Capacity Manual" 1965年版を参考に、サービス水準に代わるものとして1984年に「計画水準」が導入されている。計画水準とは、道路を計画・設計する場合に、その道路が提供すべきサービスの質の程度のことと定められており、それぞれの道路の性格などに応じて3つのランクに分けて設定されている。そして、計画水準のランクごとに低減率が定められており、これを可能交通容量に乗じて設計交通容量を算出する。道路計画において想定するサービス水準を、全国基準値として政令で提示しているものであり、LOS値の設定についてプロジェクトの意志決定者に任せている Highway Capacity Manual とは方針が異なっている。

最新版の"Highway Capacity Manual" 2000年版は作成されてから約10年が経過しており、交通をとりまく環境も作成当時とは異なってきている。そこで、米国交通学会のNCHRP委員会のproject No.03-92 "Production of the Year 2010 Highway Capacity Manual"において、Highway Capacity Manual 2010の作成に向けた検討が進められている。ここ数年のミクロレベルでの交通シミュレーション技術、交通インフラのマネジメント手法の発展はめざましいものがある。その状況を反映して、より多様かつ高精度なパフォーマンス計測手法の開発が求められる傾向にある。特に、旅行時間信頼性や渋滞状況をより適切に評価することのできる手法の開発の必要性が指摘されている。

2.2 旅行時間信頼性計測について

2.2.1 旅行時間信頼性の定義

旅行時間信頼性の代表的な定義として、以下のような定義が存在する。

(1) NCHRP(米国交通学会委員会)による定義:

“The level of consistency in travel time condition over time, and is measured by describing the distribution of travel times that occur over a substantial period of time.”

(2) FHWA(連邦道路庁)による定義:

“The consistency or dependability in travel times, as measured from day to day and/or across different times of the day.”

以上より、旅行時間信頼性は、「一日もしくはそれ以上といった、ある程度の幅を持った時間の中で計測される

表 2.4 計画水準と交通量・交通容量比

計画水準	低減率(交通量/交通容量比)	
	地方部	都市部
1	0.75	0.5
2	0.85	0.9
3	1	1

旅行時間の安定性の水準であること」と定義できる。

近年になって、学会、道路管理者、道路利用者など、様々な立場から旅行時間信頼性計測の重要性が指摘されている。

National Cooperative Highway Research Program (NCHRP:全米共同道路研究プログラム)では、「旅行時間信頼性指標は、渋滞の特徴を表すものとして認識されている」と述べている。

道路管理者である Federal Highway Administration (FHWA; 連邦道路庁)は、「道路パフォーマンス計測の鍵となる指標である」としている。

また、ここ 10 年で、道路利用者にとっての信頼性計測の重要性を主張する論文が急増している。Chem et al.(2003)は「旅行者にとっては非常に重要な指標である」と述べ、道路パフォーマンス指標の中での旅行時間信頼性指標の重要性を認めた。Shao et al.(2006)は、「旅行者は経路選択の際に、平均的な旅行時間だけでなく旅行時間信頼性についても考慮している」と指摘している。Warner Brilon et al.(2007)は「推計的なアプローチは旅行時間信頼性に基づく新しい道路パフォーマンス指標を生み出す」と述べている。更に Kate Lyman et al.(2008)においては、「旅行時間そのものよりも重要な指標である」と述べられており、重要性がよりいっそう強調されている。

2.2.2 利用可能なプローブカーデータを増やす試み

信頼性計測の可否は利用可能データ数に左右されるが、旅行区間が長くなるほど区間を完全に走行しているプローブカー台数が減るため算出が困難になる。

上杉ら(2003)は、対象区間を部分的に通過するプローブカーのデータも推定に利用することで推定に利用できる旅行時間データの数を増やす試みを行っている。しかし、リンク長が短くなると旅行時間の分散が大きくなることがわかっている。また、交通シミュレーションソフトを用い直線幹線道路上の交通流を再現し、そのうちの数%をプローブカーとみなして分析したものであり、実際の走行データから得られたデータを用いていないという問題を抱える。

鈴木(2004)は、タクシープローブカーの完全な走行データを用いた旅行時間信頼性計測を試みている。しかし当時は利用可能なプローブカーの台数が不足しており、それが原因で信頼性計測に必要なデータ数を集めることができなかった。これより、区間を完全に通過したデータのみを用いた信頼性計測の難しさが明らかになった。

2.3 道路行政マネジメントにおける旅行時間信頼性指標の活用

2.3.1 道路行政マネジメントとは

道路行政マネジメントとは、「国民にとっての成果を重視する成果志向の考え方を組織全体の基本と位置づけ、アウトカム指標を用いた業績評価の手法を中心に、政府の評価システムを核とする新たな道路行政運営の仕組み」である。

(<http://www.mlitt.go.jp/road/management/index.html>)

日本では 2003 年度から道路行政マネジメントが始まり、

行政運営の方針が成果重視に方向転換した。その結果、道路整備の必要性に関する議論が活発化し、政府は道路事業採択において 18 のアウトカム指標を設けた。同時に、道路の建設運営に関する議論も始まり、道路構造基準緩和や道路公団の民営化など事業手法に関する議論も行われるようになった。

以下、国内外における道路パフォーマンス指標に関する取組について整理する。

2.3.2 諸外国の行政機関による渋滞関連パフォーマンス指標

(1) 国家の渋滞目標の先進的取り組み

ここでは、国が道路利用に関する政策目標を設定している(していた)取り組みの概要を整理する。米国や英国では、業績評価の一環として、法律に準拠した業績測定(パフォーマンスメジャメント)に取り組んでいる。

① 米国の取り組み

GPRA(Government Performance and Results Act of 1993)は連邦政府機関に対して組織の目的や政策目標を掲げ、その達成度合いを継続的に計画し、公表することを義務づけた法律(1993 年 9 月)である。中期戦略計画、年次業績計画、業績報告書の計画及び公表が義務付けられている。

GPRA では交通に関する政策目標の柱として Safety(安全)、Reduced Congestion(渋滞の減少)、Global Connectivity(世界規模での継続性)、Environmental Stewardship(環境への責務)、Security, Preparedness and response(セキュリティへの備えと対応)の5つを掲げている。

渋滞に関しては、以下に整理した渋滞の目標を設定し、パフォーマンス指標を掲げている。渋滞による経済的な損失の時間や金額、道路の旅行時間の信頼性、環境関連指標及び日々の走行台マイルを 2006 年時点で採用している。

なお、米国交通省では渋滞緩和に対しては、総合的な目標と政策を定めており、その概要を以下に整理した(表 2.7)。

現在連邦道路庁(FHWA)では、毎月の渋滞状況を月報として公表している。図 2.6 は 2011 年 10 月のレポートの抜粋であり、2007 年から 2011 年までの毎月の渋滞関連指標の変化が都市圏全体、地域別に整理され公表されている。

表 2.5 米国における政策目標の柱

政策目標 の柱	<ul style="list-style-type: none"> ■ Safety(安全) ■ Reduced Congestion(渋滞の減少) ■ Global Connectivity(世界規模での継続性) ■ Environmental Stewardship(環境への責務) ■ Security, Preparedness and response(セキュリティへの備えと対応)
------------	--

表 2.6 米国における渋滞に関する政策目標と指標

目標	都市部の渋滞の削減: 2011年に米国全土で31%あるいは、それ以下に交通渋滞を減らすこと
指標	<ul style="list-style-type: none"> ■ 渋滞指標 Travel Delay(billion hours) : 渋滞損失時間 Congestion cost: 渋滞損失額 Roadway Congestion Index : 道路の渋滞指標 ■ 信頼性指標 Travel Time Index: 旅行時間比 ■ 環境指標 Total Fuel : 燃料消費量 ■ その他 Daily travel on major roads(billion vehicle-miles): 主道路における日々の台マイル

出典) STARATEGIC PLAN “New Ideas for a Nation of the Move”, Fiscal year 2006-2011, Department of Transportation より作成

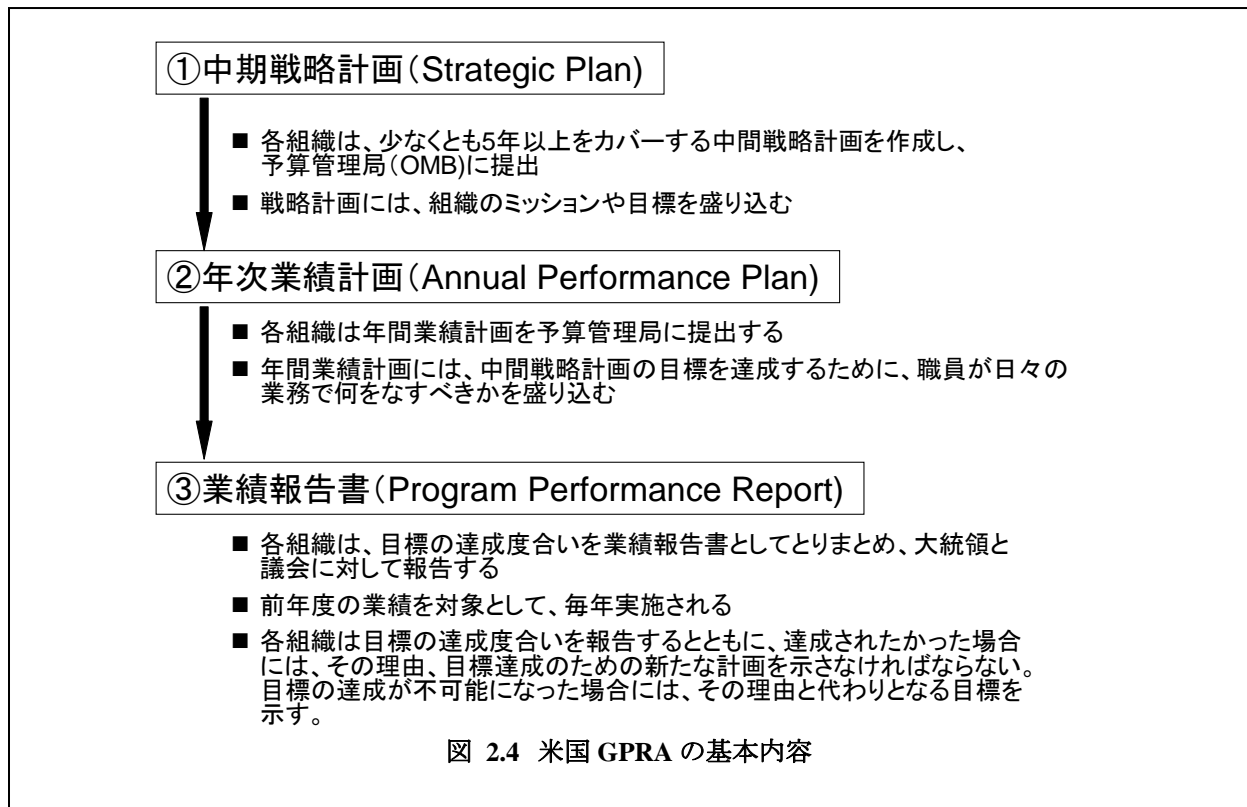


表 2.7 渋滞量の緩和以外の渋滞緩和政策に関する評価指標と目標

成果	達成度評価指標と目標
官民輸送協力による輸送力の増大	<input type="checkbox"/> 官民パートナーシップの専門家が不足している官民協力を制定する州の数(2011年の目標は未定)
総合的な高度道路交通システム(ITS)ネットワークの活用と新たな事故管理対策への一層の取り組み	<input type="checkbox"/> 完全パトロール、迅速な事故処理に関する政策と法律を有する主要40大都市圏の割合。(2011年の目標は2007年度に決定) <input type="checkbox"/> 511(交通情報)を利用できる人口の割合。(2011年の目標は全米の人口の95%)
2025年を通じてまたそれ以降新たに高まりつつある航空輸送サービスへの需要を満たす	<input type="checkbox"/> 全米航空システム(NAS)に起因する15分以内の遅れを含め、運航改善計画(OEP)対象の35ヶ所の空港すべてのフライトについて2011年度中を通して定時の到着を88.76%達成。 <input type="checkbox"/> OEP対象の35ヶ所の空港での到着・出発便の受け入れ能力を一日平均104,338便にまで増やすことを2008年度までに達成し、2011年度まで通して実施する。
アメリカ国民すべてに対するアクセスの増大	<input type="checkbox"/> ADA(米国障害者法)に準拠したバスの割合。(2011年の目標は100%) <input type="checkbox"/> ADAに準拠した主要鉄道駅の割合(2011年の目標は100%) <input type="checkbox"/> 「通勤輸送サービス計画(Job Access and Reverse Commute)」により職場までの通勤が可能となった職場の割合(2011年の目標は未定) <input type="checkbox"/> 引越し業者に対する消費者の苦情に対応する平均時間(2011年の目標は24時間以内)
永続的、高性能の交通インフラ	<input type="checkbox"/> 快適な走行のための舗装性能基準を満たした全国ハイウェイシステム(NHS)を移動する割合(2011年の目標は62%) <input type="checkbox"/> 一日当たり平均交通量に調整済みで不十分と評価されたNHSの橋の橋面部分の割合(2011年の目標は19%)

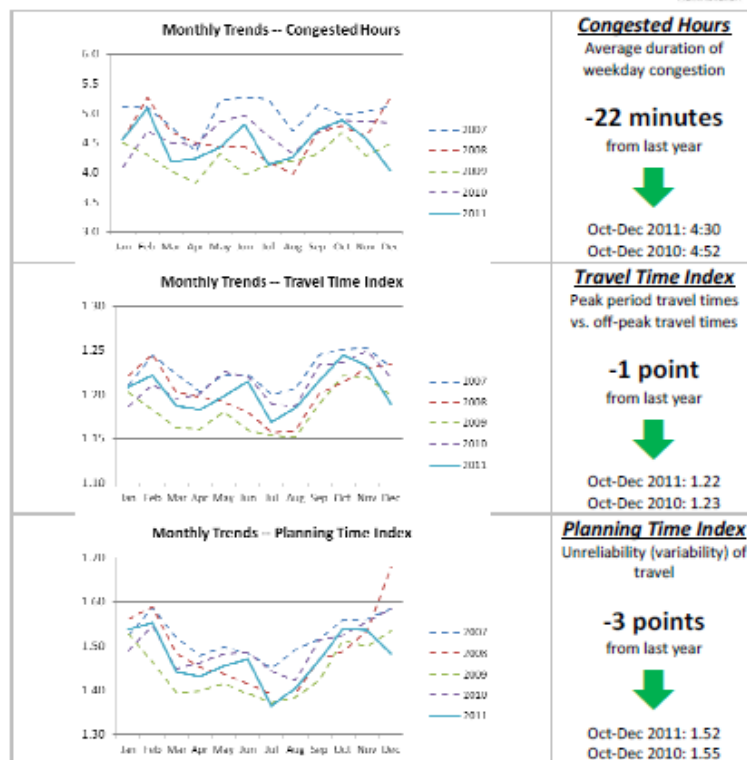


図 2.5 米国の都市交通モニタリングレポート(月報)の例
 (出典) Urban Congestion Reports October - December 2011, FHWA

City	Congested Hours		Travel Time Index		Planning Time Index		% Change in VMT	% Usable Data
	2011	Change from 2010	2011	Change from 2010	2011	Change from 2010		
Atlanta, GA	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Boston, MA	5:37	+0.01	1.32	+2	1.78	+2	-2%	100%
Chicago, IL	7:13	+0.14	1.35	+3	1.77	+8	-2%	77%
Detroit, MI	2:53	-0.14	1.12	0	1.39	-4	0%	100%
Houston, TX	3:46	+0.17	1.26	+2	1.62	+11	0%	83%
Los Angeles, CA	5:53	-1.21	1.29	-5	1.61	-9	0%	100%
Minneapolis-St. Paul, MN	3:43	-1.00	1.18	-5	1.44	-29	+3%	98%
Oklahoma City, OK	1:55	+0.21	1.07	+1	1.21	+3	-2%	100%
Orange County, CA	3:57	-0.48	1.22	-4	1.51	-13	-2%	100%
Philadelphia, PA	5:23	-0.25	1.27	-1	1.67	-5	0%	100%
Phoenix, AZ	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Pittsburgh, PA	6:28	-0.13	1.26	+5	1.59	+13	+1%	100%
Portland, OR	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Providence, RI	3:46	+0.46	1.15	+1	1.45	+7	0%	100%
Riverside – San Bernardino, CA	3:03	-0.32	1.13	-2	1.34	-7	+2%	100%
Sacramento, CA	1:59	-0.32	1.10	-1	1.26	-5	-1%	100%
St. Louis, MO	3:54	+2.07	1.10	+1	1.31	+5	-4%	93%
Salt Lake City, UT	1:33	-2.22	1.04	-2	1.15	-13	+1%	98%
San Antonio, TX	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
San Diego, CA	2:38	-0.13	1.14	-1	1.39	-3	-1%	100%
San Francisco, CA	3:36	+0.08	1.18	+1	1.40	0	-3%	100%
Seattle, WA	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Tampa, FL	3:05	+0.40	1.13	0	1.31	0	-2%	100%

図 2.6 州別の渋滞関連指標の公表例（前年同月との比較）

出典) Urban Congestion Reports October - December 2011, FHWA

②英国の取り組み

サッチャー政権による政治行政改革によるエージェンシー化による公的サービスの質的低下への批判が高まる状況下で、メージャー政権において、1991年に市民憲章(Citizen's Charter)制度が導入された。市民憲章とは、政府が提供するサービスの水準や質を国民に対し明らかにし、その実現を約束する制度である。市民憲章においては、目指すべきサービスの水準が具体的な数値目標として示され、数値目標を管理していく仕組みである。なお、ブレア政権においては、利用者の視点が欠けているとの批判を受けて、「サービス・ファースト(Service First)」という政策に衣替えを行っている。

英国では以下の政策目標が掲げられている。

表 2.8 英国における政策目標の柱

政策目標の柱	<ul style="list-style-type: none"> ■ 信頼ができるかつ効率的な交通ネットワークを提供することで、国家経済成長を支援 ■ 急激な気候変動を伴うリスクを避け、CO2や他の温室効果ガスの削減 ■ 健康に有益な交通モードを提供することで、死傷者数を減少させ、より安全かつ高度なセキュリティ、健康面にも貢献 ■ より公正な社会を達成するために、全市民への平等な可能性を促進 ■ 健全な自然環境を維持するために、すべての市民の交通生活の質を改善
--------	---

政策の基本方針の中で、渋滞に関連する政策目標及びパフォーマンス指標を以下に整理した。英国では戦略的な道路網を掲げ、これら都市間道路網の渋滞を2000年レベル以下にすることを設定し、その際の指標として信頼性指標を採用している点が特徴的である。

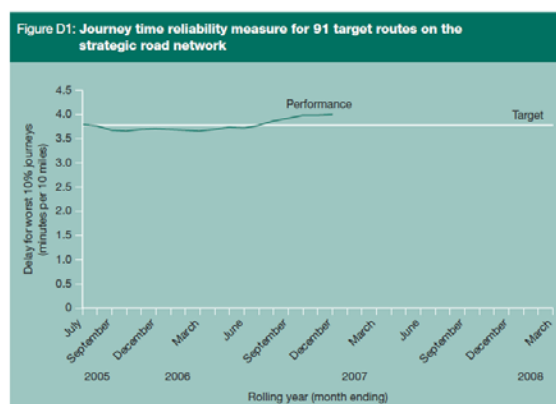


図 2.7 旅行時間信頼性指標の目標と実績例(英国の評価対象91路線)

出典) DfT: Annual Report 2007

表 2.9 英国における渋滞に関する政策目標と指標

目標	戦略的道路網における移動時間をより信頼のできるものにする 2010年までに英国の都市間道路網 ^{注1)} における渋滞を2000年レベル以下に減らす 2010年～2011年までに10大都市圏 ^{注2)} は都市中心部へ向かう主要道路について、地方交通計画が定めた渋滞緩和目標を達成する
指標	信頼性指標 各ルートの日中の最悪の時間帯の旅行時間の10%に対して、全道路網上の車両の遅れの平均時間が基準期間中より少なければ目標が達成されたものとみなす Delay for slowly 10% of journeys (minutes per 10miles): 旅行時間の最悪の時間帯の上位10%の10マイルあたりの平均時間

注1) 2006年2月に発行された当初の基準は87ルートであり、民間企業2社と英国道路庁(HA)からのデータを統合したデータベースを用いて基準の信頼性指標を算定している。

注2) 10 大都市圏: ロンドン、グレイターマンチェスター州、マージーサイド州、サウスヨークシャー州、ウェストヨークシャー州、タインアンドウィア州、ウェストミッドランド州、ブリストル、レスターそしてノッティンガム。これらの地域全体に166ルートが評価対象路線であり、朝のピーク時が評価対象時間帯である。

なお、英国交通省では、大都市圏に対しては、以下の政策を推奨している。既存の道路空間を有効活用する交通マネジメントやエコ通勤の奨励、代替交通手段の利用促進、交通管制や管理の改善などのスマートな交通政策が提案され、実践されてきている。

表 2.10 大都市圏での渋滞緩和の推奨政策

- 車の使用に代わる交通手段を普及、例えば公共交通機関の利用拡大、ピーク時の影響を緩和するための移動計画を作成するため主な企業や学校と協力すること、パーク・アンド・ライド方式を増やすことなど。
- 交通管制の改善。例えば都市部の交通を制御するための技術改良という形で円滑な交通流を確保すること、主要ルートでは駐車を制限する対策の実施。
- 交通、土地利用、駐車政策を統合すること
- 道路利用者に対する情報提供の向上。例えばリアルタイムでのバス情報の提供
- 道路空間の有効活用向上。例えばバス・レーンやジャンクションを改善、交通の流れを向上。

Figure D2: Chart showing change for each of the 91 two-way routes. Changes in total delay in the worst 10 per cent of journeys between baselines and the latest period

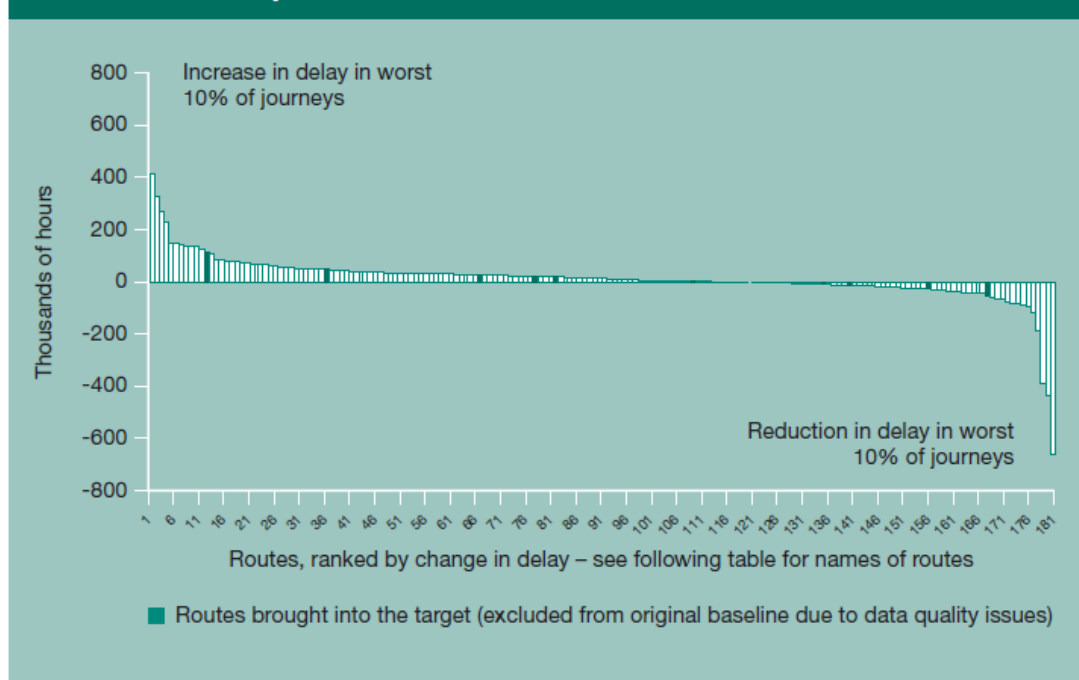


図 2.8 評価路線毎の信頼性指標のランキング算定例

出典) DfT: Annual Report 2007

(2)先進的な取り組み例(米国テキサス交通研究所)
 米国のテキサス交通研究所では、1982年から全米の都市圏を対象とした渋滞関連パフォーマンス指標のモニタリングを実施しており、これまでの州交通省などのトラカンデータからの渋滞推計結果に加えて、民間企業(INRIX社)のプロープデータから推計される渋滞指標を用いて、全米の交通状況を報告している。

表 2.11 はサマリーであり、個人に換算した渋滞指標、

国全体の渋滞指標、施策効果に関連指標として 15 のパフォーマンス指標が採用されている。

個人に換算した渋滞指標については、通勤者 1 人あたりの年間渋滞損失時間(時間)、所要時間指標 TTI(通勤ピーク時の所要時間を渋滞がない場合の所要時間で割ったもの)、通勤者のストレス指標(ピーク方向に対する所要時間を渋滞がない場合の所要時間で割ったもの)、通勤者 1 人あたりの年間の燃料消費量(ガロ

表 2.12 全米の渋滞関連パフォーマンス指標の計測例

出典)2011 Urban Mobility Report, TTI, SEPTEMBER 2011

Measures of...	1982	2000	2005	2009	2010
... Individual Congestion					
Yearly delay per auto commuter (hours)	14	35	39	34	34
Travel Time Index	1.09	1.21	1.25	1.20	1.20
Commuter Stress Index	--	--	--	1.29	1.30
"Wasted" fuel per auto commuter (gallons)	6	14	17	14	14
Congestion cost per auto commuter (2010 dollars)	\$301	\$701	\$814	\$723	\$713
... The Nation's Congestion Problem					
Travel delay (billion hours)	1.0	4.0	5.2	4.8	4.8
"Wasted" fuel (billion gallons)	0.4	1.6	2.2	1.9	1.9
Truck congestion cost (billions of 2010 dollars)	--	--	--	\$24	\$23
Congestion cost (billions of 2010 dollars)	\$21	\$79	\$108	\$101	\$101
... The Effect of Some Solutions					
Yearly travel delay saved by:					
Operational treatments (million hours)	8	190	312	321	327
Public transportation (million hours)	381	720	802	783	796
Fuel saved by:					
Operational treatments (million gallons)	1	79	126	128	131
Public transportation (million gallons)	139	294	326	313	303
Yearly congestion costs saved by:					
Operational treatments (billions of 2010\$)	\$0.2	\$3.1	\$6.5	\$6.7	\$6.9
Public transportation (billions of 2010\$)	\$6.9	\$12.0	\$16.9	\$16.5	\$16.8

表 2.11 年別の渋滞関連パフォーマンス指標の計測例

出典)2011 Urban Mobility Report ,TTI, SEPTEMBER 2011

Year	Travel Time Index	Delay per Commuter (hours)	Total Delay (billion hours)	Fuel Wasted (billion gallons)	Total Cost (2010\$ billion)	Hours Saved (million hours)		Gallons Saved (million gallons)		Dollars Saved (billions of 2010\$)	
						Operational Treatments & HOV Lanes	Public Transp	Operational Treatments & HOV Lanes	Public Transp	Operational Treatments & HOV Lanes	Public Transp
1982	1.09	14.4	0.99	0.36	20.6	8	381	1	139	0.2	6.9
1983	1.09	15.7	1.09	0.40	22.3	10	389	3	142	0.2	7.1
1984	1.10	16.9	1.19	0.44	24.3	14	403	5	149	0.3	7.3
1985	1.11	19.0	1.38	0.51	28.0	19	427	6	160	0.3	7.6
1986	1.12	21.1	1.59	0.60	31.2	25	404	8	156	0.4	7.0
1987	1.13	23.2	1.76	0.68	34.6	32	416	11	161	0.6	7.2
1988	1.14	25.3	2.03	0.79	39.7	42	508	14	197	0.7	8.8
1989	1.16	27.4	2.22	0.87	43.8	51	544	17	214	0.8	9.5
1990	1.16	28.5	2.35	0.93	46.4	58	542	20	216	0.9	9.4
1991	1.16	28.5	2.41	0.96	47.4	61	536	21	216	1.0	9.3
1992	1.16	28.5	2.57	1.02	50.5	69	527	24	211	1.1	9.1
1993	1.17	29.6	2.71	1.07	53.1	77	520	27	208	1.2	9.0
1994	1.17	30.6	2.82	1.12	55.4	86	541	30	217	1.4	9.4
1995	1.18	31.7	3.02	1.21	59.7	101	569	35	232	1.7	9.9
1996	1.19	32.7	3.22	1.30	63.8	116	589	40	241	1.9	10.3
1997	1.19	33.8	3.40	1.37	67.1	132	607	46	249	2.2	10.6
1998	1.20	33.8	3.54	1.44	68.9	150	644	52	267	2.4	11.0
1999	1.21	34.8	3.80	1.55	73.9	173	683	59	285	2.8	11.7
2000	1.21	34.8	3.97	1.63	79.2	190	720	79	294	3.1	12.0
2001	1.22	35.9	4.16	1.71	82.6	215	749	89	307	3.7	12.9
2002	1.23	36.9	4.39	1.82	87.2	239	758	101	314	4.2	13.2
2003	1.23	36.9	4.66	1.93	92.4	276	757	115	311	4.8	13.3
2004	1.24	39.1	4.96	2.06	100.2	299	798	127	331	5.5	14.8
2005	1.25	39.1	5.22	2.16	108.1	325	809	135	336	6.3	15.9
2006	1.24	39.1	5.25	2.18	110.0	359	845	150	354	7.2	17.3
2007	1.24	38.4	5.19	2.20	110.3	363	889	152	372	7.6	18.9
2008	1.20	33.7	4.62	1.88	97.0	312	802	126	326	6.5	16.9
2009	1.20	34.0	4.80	1.92	100.9	321	783	128	313	6.7	16.5
2010	1.20	34.4	4.82	1.94	100.9	327	796	131	303	6.9	16.8

ン)、通勤者1人あたりの渋滞による経済損失の時間(2010年換算のドル)の5つの指標が用いられており、2009年からはストレス指標が追加されている。

国全体の混雑指標として、年間渋滞損失時間(10億時間)、渋滞による年間の燃料消費量(10億ガロン)、トラックが渋滞に巻き込まれることによる年間の経済的損失額(2010年換算の10億ドル)、渋滞による年間の経済的損失額の4つの指標が用いられている。なお、2009年からはトラックの渋滞指標が新たに追加されている。

表2.12は1982年からの毎年の渋滞関連指標をサマリーである。特徴的な点は、渋滞の実態を表現するパフォーマンス指標に加えて、渋滞改善やガソリン消費量や時間損失の改善効果について、HOVレーンの運用や公共交通機関整備などにより改善された効果を合わせて指標として公表している点が挙げられる。

(3) 渋滞関連の他の指標例

テキサス交通研究所では、2010年から328の道路コリドーを評価区間として設定し、年間の交通データから信頼性に関連する指標を算定し、公表している(下表はワースト40の公表例)。

95%タイル旅行時間をPlanning Timeと呼び、月1回(月間20日のウイークディのうち1日)はこの時間よりも遅れることを覚悟しないと叫ぶ旅行時間と解釈し、これを目安として信頼性を評価する指標として位置付けられている。Planning Timeが自由旅行時間の何倍であるかを指数化したのがPlanning Time Indexである。一方、95%タイル旅行時間と平均旅行時間との差を余裕時間(Buffer Time)と呼んでいる。これはPlanning Timeに遅

れないために見込むべき余裕時間である。Buffer Timeを指数化したのがBuffer (Time) Indexであり、余裕時間 / 平均旅行時間で与えられる。

ワースト1のアトランタのGA400号(南向き)の4.1km区間の場合、自由旅行時間に対して約4.8倍の旅行時間を20日に1日は見込んでおく必要があり、平均旅行時間に対して2.8倍近い余裕時間を見込んでおくべき道路(通常10分でいける道路では、28分の余裕を見て出発時刻を計画する必要がある道路)と解釈できる(表2.13参照)。

2.3.3 国内の行政機関による渋滞関連パフォーマンス指標

(1) 国土交通省、地域、高速道路会社、警視庁等の取り組み事例

国土交通省、地域、高速道路会社、警視庁を対象に代表的なパフォーマンス指標の計測例について下表に整理した。

国土交通省では、H18年度の達成度報告書が最新の計測結果であり、渋滞により損失する時間を用いており、H14年の基準年から5年間で10%削減を目標とした業績計画を策定している。

地域では都道府県単位で道路管理者と交通管理者による協議会が設置され、地域の実情に合ったパフォーマンス指標が設定されている。また、山梨県のように毎年の道路状況を踏まえ、最新の渋滞状況(平均速度や渋滞損失時間等)を再計測し、渋滞ポイントの見直しや改善状況を日々モニタリングしている地域もある。

表 2.13 信頼性指標による全米コリドーワーストワンキング算定例

出典) 2011 Congested Corridors Report, TTI, November 2011

Area	Corridor	Corridor Endpoints From To	Corridor Length (miles)	2010 Weekday Peak-period Travel Time Reliability					
				Buffer Index (%)	Rank	Planning Time Index	Rank	Travel Time Index	Rank
Atlanta	GA-400 SB	Toll Plaza I-85/Exit 87	4.1	256	1	4.83	15	1.63	216
Atlanta	I-75 SB	Mount Zion Pkwy/Exit 231 Hudson Bridge Rd/Exit 224	6.7	253	2	4.68	23	1.34	314
New York	Hutchinson River Pkwy NB	Cross County Pkwy/Exit 15 Mamaroneck Rd/Exit 22	4.5	215	3	4.69	22	1.49	273
New York	Bronx Whitestone Brg NB/Whitestone Expy NB	Linden Pl/Exit 14 Toll Plaza	3.4	215	3	4.62	24	1.80	130
Norfolk	Hampton Roads Beltway/I-64 EB	Rip Rap Rd/Exit 265 Hampton Roads Brg Tunl(Hampton)	3.1	198	5	5.28	6	1.89	98
New York	Pulaski Skwy NB	I-95/Exp US-1 Tonnele Ave	3.3	197	6	4.29	29	1.70	179
New Haven	I-84 WB	I-691 (Cheshire) (West) Austin Rd/Exit 25A	3.4	199	7	4.26	33	1.64	213
Houston	N Loop W Fwy/I-610 EB	US-290 Yale St	4.0	188	8	4.03	58	2.23	34
Pittsburgh	Penn Lincoln Pkwy/I-376 EB	Lydia St/Exit 2 US-19 TK RT/PA-51/Exit 5	3.4	186	9	6.84	2	3.12	3
Riverside	Ontario Fwy/I-15 NB	I-210/Exit 115 Glen Helen Pkwy	6.2	182	10	3.23	167	1.26	321
New York	Major Deegan Expy SB	Van Cortlandt Park/Exit 11 I-95/Cross Bronx Expy/Exit 7	3.5	173	11	4.96	9	1.89	98
Washington, DC	I-70 WB	MD-144/Exit 59 US-15/US-340/Exit 52	6.8	173	11	3.31	148	1.27	320
New Orleans	I-10 EB	Loyola Dr Veterans Memorial Blvd	3.5	170	13	4.45	26	1.75	153
Louisville	I-64 WB	Cannons Ln/Exit 10 I-71/Exit 6	4.4	170	13	4.18	42	1.64	213
Washington, DC	I-95 SB	I-395 Russell Rd/Exit 148	23.9	165	15	4.71	21	1.89	98
New York	I-95 SB (NE Thwy, Bruckner/Cross Bronx Expy)	Conner St/Exit 13 Hudson Ter	22.7	161	16	5.58	3	2.74	6
San Francisco	California Delta Hwy/CA-4 EB	Bailey Rd Somerville Rd	5.8	161	16	5.39	4	2.08	52
Baltimore	John Hanson Hwy/US-50/US-301 EB	I-97/Exit 21 MD-70/Rowe Blvd/Exit 24	3.4	161	16	4.09	51	1.67	198
Baton Rouge	I-10 EB	LA-415/Exit 151 Dalrymple Dr/Exit 156	4.7	157	19	4.12	49	1.67	198
Chicago	I-55 NB	IL-53/Exit 267 IL-83/Kingery Hwy/Exit 274	8.9	155	20	3.66	90	1.49	273
New Haven	I-95 NB	Marsh Hill Rd/Exit 41 Ella T Grasso Blvd/Exit 45	4.0	151	21	4.29	29	1.85	110

表 2.14 渋滞に関するパフォーマンス指標の計測事例

主体・地域	パフォーマンス指標	出典など
国土交通省	渋滞損失時間 ^{注1)}	平成 18 年度達成度報告書・平成 19 年度業績計画書(2007.6.29)
地域(沖縄都市圏)	渋滞ポイント ^{注2)}	那覇都市圏円滑化総合計画 H19
地域(山梨県)	渋滞ポイント ^{注3)}	第9回 山梨県道路交通円滑化・安全委員会,平成 23 年 12 月 21 日
地域(名古屋地域)	20km/h 未満道路延長 信頼性指標	名二環(名古屋南 JCT~高針 JCT)・国道 302号~開通6 ヶ月後の交通状況及び整備効果、2011年11月22日記者発表資料
高速道路会社(6社)	本線渋滞損失時間、路上 工事時間、ETC 利用率、死 傷事故率、総合顧客満足 率 他	高速道路機構ファクトブック(独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構,2011)
高速道路会社(首都高)	渋滞損失時間 渋滞ポイント ^{注4)} 他	首都高渋滞対策アクションプログラム(平成 18 年 7 月策定)
警視庁	渋滞距離 ^{注5)}	警視庁交通年鑑 H22 年度版

- 注1) 渋滞損失は基準となる旅行時間に対する各時間帯の旅行時間の差。12 時間分総和し年間値として推計した値。都道府県道以上を対象。
- 注2) DID 内の場合最大渋滞長 1km 以上または最大通過時間 10 分以上、DID 外の場合最大渋滞長 500m 以上または最大通過時間 5 分以上を渋滞ポイント
- 注3) 全日の 12 時間平均速度が 20km 以下や全日の渋滞損失時間の県上位 1 割以内、8 月休日の 12 時間平均速度が 20km 以下や 8 月の渋滞損失時間の県上位 1 割以内等の条件から選定
- 注4) 時速 20km 以下の区間を渋滞ポイント。3 年後に半減、10 年後に渋滞解消を目標としている
- 注5) 平日 12 時間の 1 時間平均渋滞距離、渋滞の判定基準は道路上における車両の交通が滞り、走行速度が 20km/h 未満になった状態を渋滞。

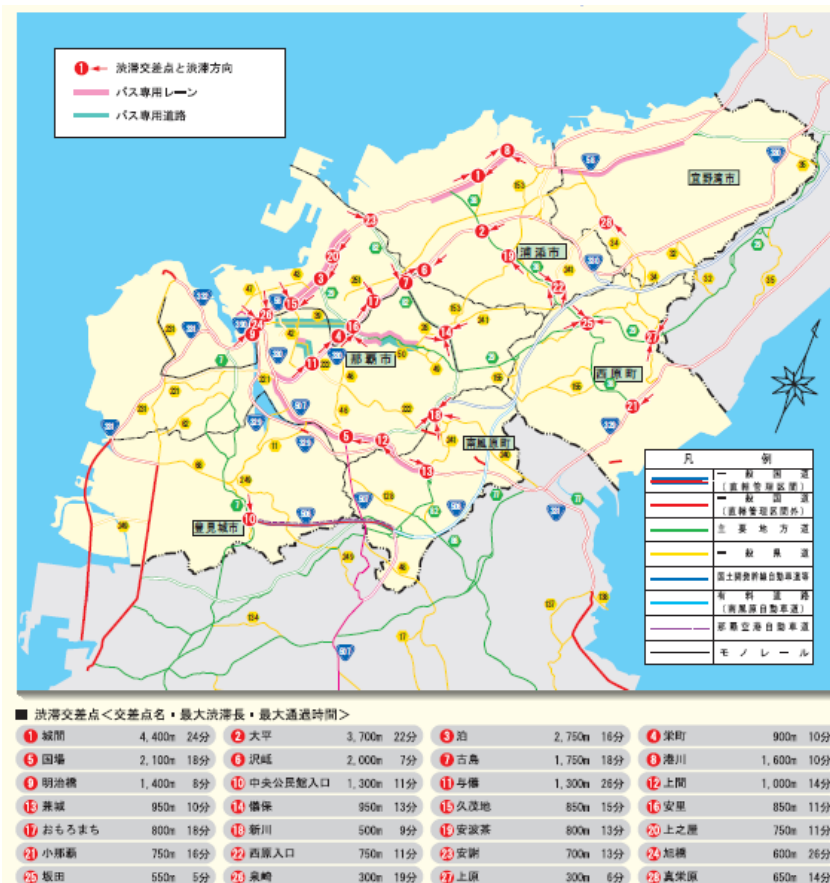


図 2.9 渋滞関連指標から抽出された渋滞ポイント選定例(沖縄) 出典)那覇都市圏円滑化総合計画 H19

表 2.15 山梨県で用いられている渋滞関連の指標と抽出基準

抽出項目	抽出基準①	抽出基準②
全日の渋滞	全日の12時間平均旅行速度が20km/h以下	県全体の全日の損失時間が上位1割以上の箇所 (基準値:121.5千人時間/km・年)
観光時の渋滞	8月休日の12時間平均旅行速度が20km/h以下	県全体の8月の損失時間が上位1割以上の箇所 (基準値:198.3千人時間/km・年)
幅員狭小等による速度低下	幅員狭小・線形不良箇所 (幅員=5.5m未満、曲線半径=150m未満、縦断勾配=5%以上)	幅員狭小・線形不良箇所損失時間が上位1割以上の箇所 (基準値:128.6千人時間/km・年)
異常気象時の通行規制	事前通行規制指定箇所	影響交通量 (基準値:13400台/年)
パブリックコメント	県民の意見を広く集めることにより、実感にあった箇所を選定	

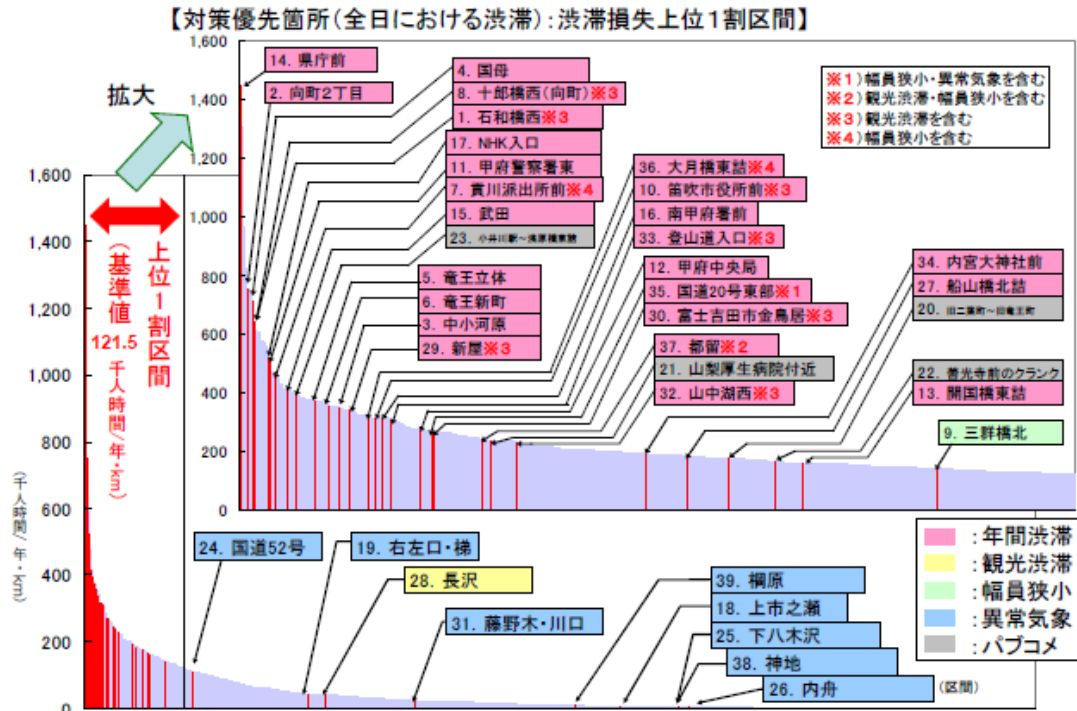
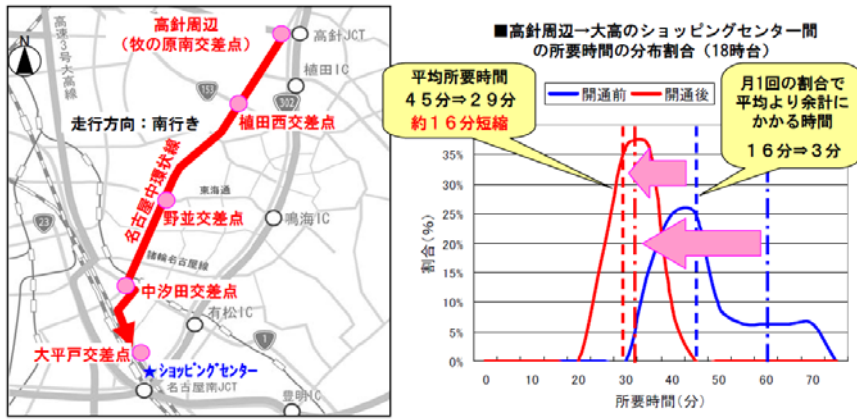


図 2.10 抽出基準から選定された対策優先箇所選定の事例(山梨県)

出典)第9回 山梨県道路交通円滑化・安全委員会,平成23年12月21日



高針周辺→大高のショッピングセンター（18時台）

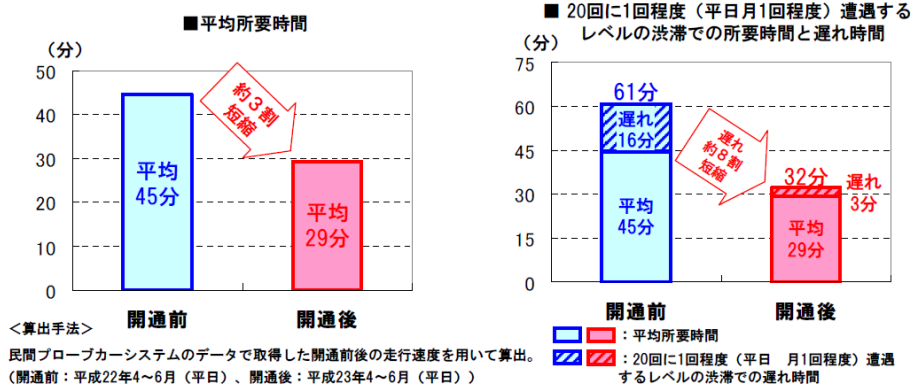


図 2.11 環状道路整備による一般道路の信頼性向上の算定例

出典) 名二環(名古屋南 JCT～高針 JCT)・国道 302 号～開通 6 ヶ月後の交通状況及び整備効果、2011 年 11 月 22 日記者発表資料

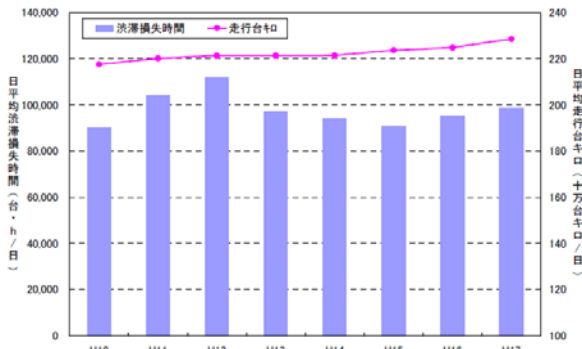


図 2.12 首都高のパフォーマンス指標計測例

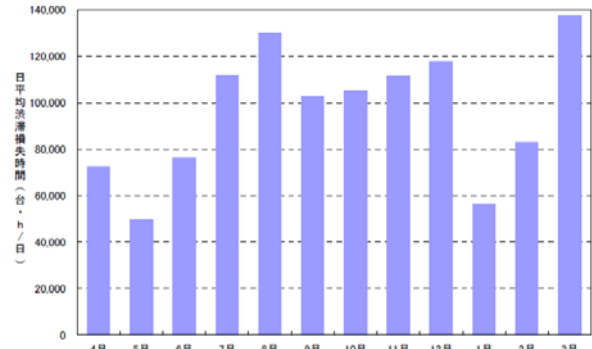


図 2.13 首都高の渋滞関連パフォーマンス指標の計測例

注) 図は H17 年度の月別日平均渋滞損失時間の計測例

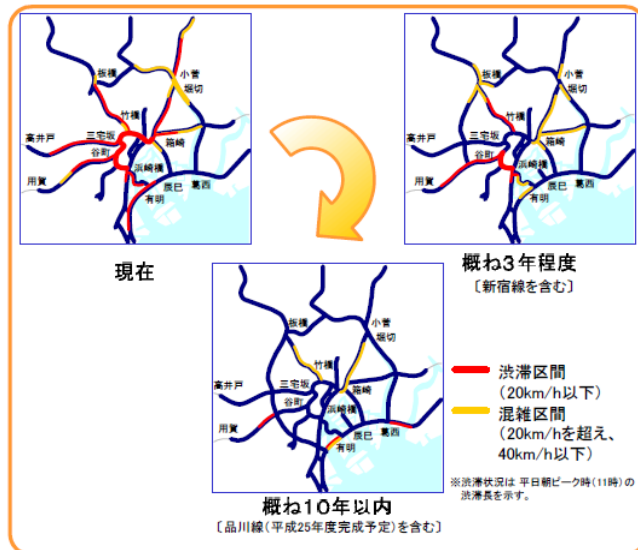


図 2.14 渋滞区間を指標とした削減目標設定事例(首都高)

出典) 首都高渋滞対策アクションプログラム、首都高、平成 18 年 7 月

表 2.16 年別の渋滞関連指標の算定例

区 分	渋滞距離(単位:km) (指数)		走行台キロ(単位:台キロ) (指数)		速度(単位:km/h) (指数)
	2,406 km	2,608 km	2,406 km	2,608 km	2,608 km
平成18年	212 (100)	—	2,045,999 (100)	—	—
平成19年	195 (92)	—	2,006,978 (98)	—	—
平成20年	169 (80)	—	1,952,062 (95)	—	—
平成21年	155 (73)	159 (100)	1,925,434 (94)	2,046,266 (100)	21.9 (100)
平成22年	154 (73)	159 (100)	1,901,361 (93)	2,026,001 (99)	21.6 (99)

(注) 1. 従来の測定区間2,408kmの統計データと平成21年に変更された測定区間2,608kmの統計データを併記している。

2. 指数：それぞれの測定区間で平成18年、平成21年を100とした値

出典) 警視庁交通年鑑 H22 年度

表 2.17 月別の渋滞距離の算定例

区 分	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
平成22年	135	161	189	140	135	139	188	162	172	142	157	185
平成21年	139	162	184	125	134	135	184	163	160	154	171	202
増減数	▲4	▲1	5	15	1	4	4	▲1	12	▲12	▲14	▲17
増減率(%)	▲2.9	▲0.6	2.7	12.0	0.7	3.0	2.2	▲0.6	7.5	▲7.8	▲8.2	▲8.4

出典) 警視庁交通年鑑 H22 年度

表 2.18 年間の渋滞距離ワースト10の算定例

順位	月 日	曜日	天 候	渋滞距離	備 考
1	3月20日	土	晴後一時薄曇	364	三連休初日、五・十日
2	12月24日	金	晴	334	クリスマスイブ、金曜日
3	7月29日	木	雨	289	月末
4	3月26日	金	曇後一時雨	285	金曜日
5	3月19日	金	晴一時雨	274	三連休前日、金曜日
6	12月27日	月	快晴	261	
7	7月30日	金	雨時々雲一時晴	248	五・十日、金曜日、月末
8	2月26日	金	曇後雨	246	金曜日
9	11月19日	金	晴後一時曇	245	金曜日
10	12月3日	金	大雨後晴	244	金曜日

出典) 警視庁交通年鑑 H22 年度

(2) 国内行政機関における渋滞関連パフォーマンス指標の計測事例

ここでは行政機関の取り組みを対象に、前述した渋滞損失時間(額)や信頼性指標以外のパフォーマンス指標に関する取り組み事例について、先進的な取り組みを整理した。

東京 23 区の直轄国道 10 本を対象に、プローブ情報を用いて信号待ち回数、渋滞長、渋滞発生率を計測した取り組み、首都高池袋線のタンクローリー横転事故時

の一般街路における渋滞状況を再現する中で、プローブ情報を用いて利用道路割合を用いて事前事後の迂回状況を指標化した取り組み、名古屋市域のバスレーンの走行タイプ毎の事後のパフォーマンスを計測した取り組み、スマートな道路工事マネジメントを実践している名古屋地域において、規制タイプ別の渋滞状況をプローブ情報から計測した取り組みなどがある。

表 2.19 国内行政機関によるパフォーマンス指標計測の先進例

対象地域	パフォーマンス指標	指標算定の目的	出典など
東京 23 区	信号待ち回数 渋滞区間通過時間 渋滞長 渋滞発生率	都内直轄道路の渋滞状況を指標化	北村ら(2006)
東京圏	渋滞量(km・h)	タンクローリー横転による街路の迂回状況を指標化	川崎(2009)
名古屋	平均旅行時間 平均旅行速度 遅れ割合	バスレーンタイプ別(中央走行、路側走行、非バスレーン)の走行パフォーマンスを指標化	中嶋ら(2006)
名古屋	規制タイプ別渋滞損失 道路の迂回率	スマートな路上工事規制の効果を指標化	絹田ら(2006) 絹田ら(2008)

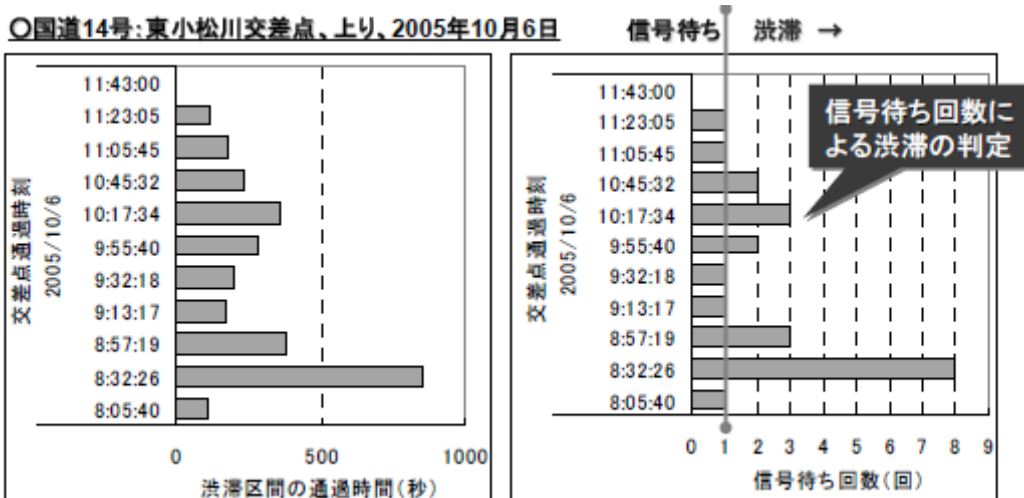


図 2.15 渋滞区間の通過時間、信号待ち回数の計測例(東京 23 区)

出典) 北村ら(2006):プローブカーデータによる渋滞長調査手法の開発,第 26 回交通工学研究発表会 2006

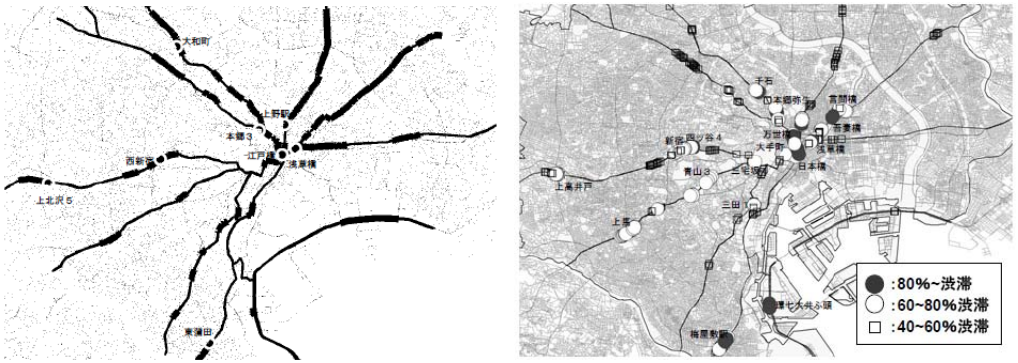


図 2.16 7~9 時の上り方面の渋滞長(左)、上り方面の渋滞発生率(右)の計測例 (東京 23 区直轄道路)

注) 渋滞発生率は渋滞発生回数/サンプル数より算定

出典) 北村ら(2006):プローブカーデータによる渋滞長調査手法の開発, 第 26 回交通工学研究発表会 2006

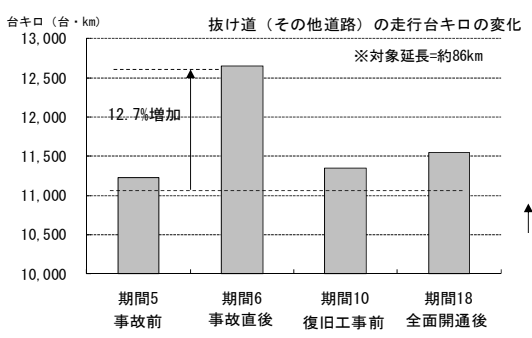
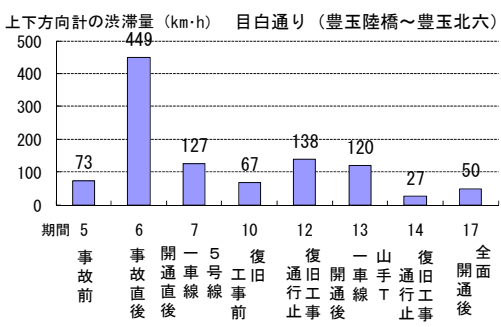


図 2.17 目白通りの事故発生後の渋滞量の推移(左)、その他道路(抜け道)の渋滞量の推移(右)

出典) 川崎(2009):既存交通データを活用した首都高火災事故における交通影響分析, 日本道路会議 2009

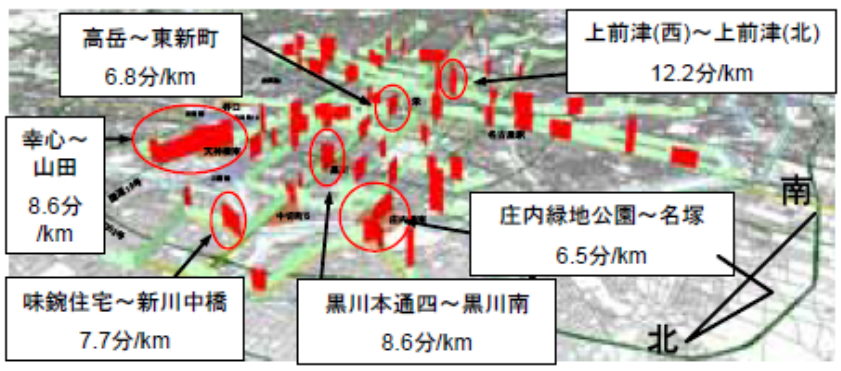


図 2.18 バス走行上の阻害箇所の抽出例、キロ当たり通過時間

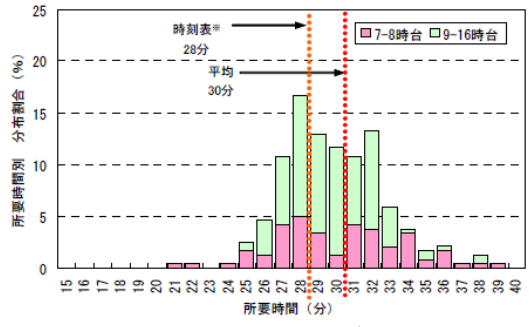
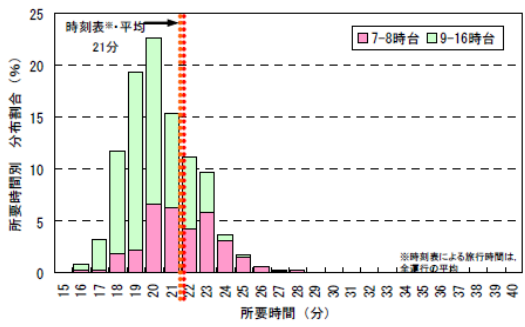


図 2.19 旅行時間分布の計測例(左:中央走行タイプ、右:並行路線の非バスレーン)

出典) 中嶋ら(2006):走行履歴データを用いたバス優先施策の事後評価に関する研究, 第 34 回土木計画学研究発表会

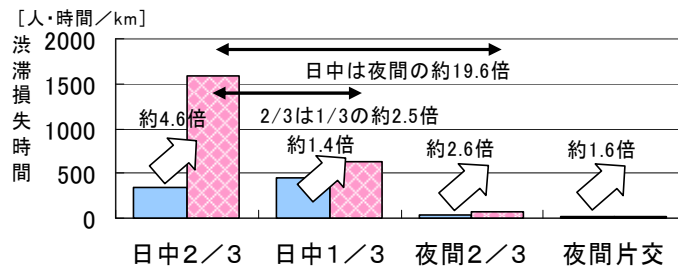


図 2.20 工事規制タイプ別の渋滞による経済的損失の計測事例(名古屋地域)

出典) 絹田ら(2008):プローブカーを活用した路上工事の交通への影響に関する研究,土木計画学講演集 2006.11

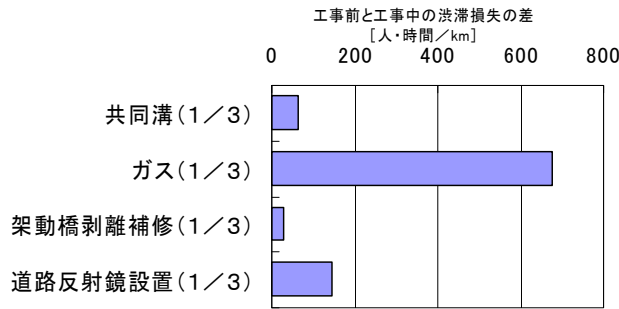


図 2.21 工事目的別の渋滞による経済的損失の計測事例(名古屋地域)

出典) 絹田ら(2008):プローブカーを活用した路上工事の交通への影響に関する研究,土木計画学講演集 2006.11

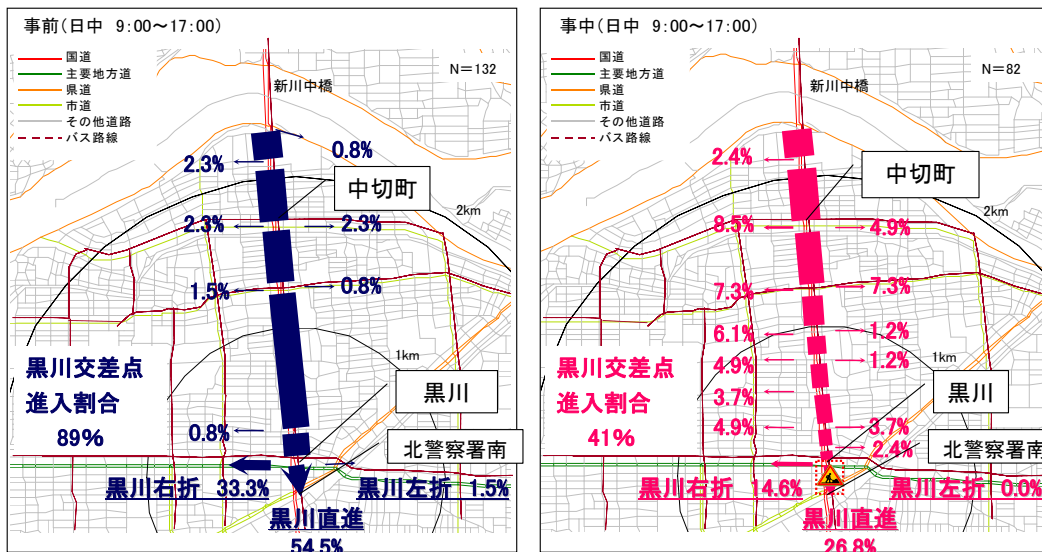


図 2.22 大規模工事規制事前事中の迂回状況の再現例(名古屋 R41 号)

出典) 絹田ら(2008):プローブカーを活用した路上工事の交通への影響に関する研究,土木計画学講演集 2006.11

2.4 本章のまとめ

以上より近年、道路パフォーマンス計測が必要不可欠になっており、旅行時間信頼性はその中でも特に重要な位置を占めていると言える。また、新しい交通流観測システムであるプローブカーが近年発展してきている。しかし、道路パフォーマンス計測の中心を担っているのは現在でもトラフィックカウンターであり、プローブカーを用いた旅行時間信頼性計測手法の開発は発展途上にあると言える。トラフィックカウンターでは取得出来ない貴重なデータを得ることが出来るプローブカーを用いた

旅行時間信頼性計測手法を検討することの意味は大きいと考える。実際に、米国交通学会委員会 NCHRP も「旅行時間信頼性計測方法を発展させるのにプローブカーデータは魅力的である」と述べている。

諸外国において、信頼性指標がいくつか提案されているものの、統一的な指標とまでは至っていないと考えられる。

国内のユーザーにとっては、情報に対するニーズが高い。本研究で示そうとする高質な情報が求められていることを確認した。

第3章 路側観測データとプローブカー調査データの特性分析

本章では、調査データに基づいて、旅行時間信頼性に関する分析を行い、特性を把握する。

3.1 分析データの概要

3.1.1 道路ネットワークデータ概要

プローブカーでは、一定間隔で GPS 車載器により位置情報を記録している。この位置情報には GPS の測位誤差があるため、データを分析に用いるには、位置情報を道路の位置にマッチングさせ、プローブカーの実際の走行経路を把握する必要がある。

今回の提供データで、マッチング対象の道路ネットワークデータとして用いられたのは、(財)デジタル道路地図協会により発行されている「全国デジタル道路地図データベース」の2003年度版である。また、マップマッチング手法は、国土交通省道路局開発の PROLIMAS (Probe car Link-Matching System)が採用されている。

本研究の分析は、第2次地域区画(2次メッシュコード)のうち 15 メッシュに含まれる地域を対象に行う。分析対象とする 15 メッシュには、東京 23 区を中心とする東京都と神奈川県の一部を含んでいる。

当データにおいては、交差点やその他の道路網表現上の結節点(ノード)に対して、各メッシュごとにノード番号が割り当てられている。また道路区間(リンク)に関しては、2つのノード番号の組み合わせにより表現される。

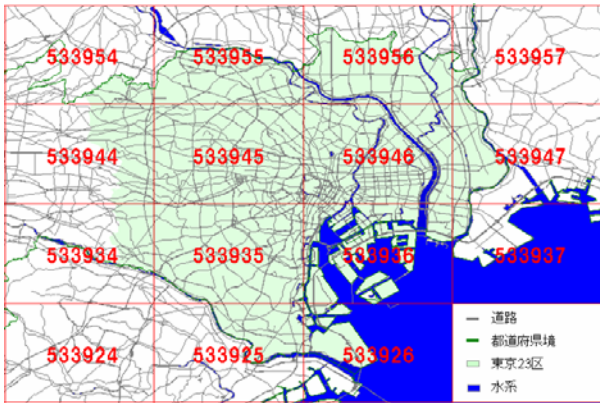


図 3.1 DRM1500 データ提供エリア



図 3.2 DRM データ提供エリア

3.1.2 プローブカーデータデータ

研究を進めるにあたって、東京国道事務所(以下、東国)が行ったプローブカー調査データを用いる。東国タクシープローブデータは、東京 23 区内を中心に走行しているタクシーのカーナビゲーションシステムで取得したデータにより構成されている。

ファイルは日付及び各車両 ID ごとに生成されており、一ファイルには特定のプローブカーの一日の走行履歴が記録されている。

各プローブカーの走行データを 1 秒ごとに把握することが出来るのが特長である。

表 3.1 東京タクシープローブデータ データ概要

東国タクシープローブ	
台数	約15台 (2008年7月現在)
期間	2004年10月～2006年2月
車載器	カーナビ (松下製)
事業所の所在地	23区内
通信方法	なし (メモリースティックで回収)
データ取得間隔	1秒

3.2 プローブカーデータの一般的特性

前章で述べたデータを用いて、本研究の分析を進めていく。ここでは、プローブカーデータ、特にタクシープローブデータの特性を把握することを目的に分析を進める。また、首都高速道路の交通流特性を把握する。

3.2.1 プローブカーデータの抽出方法

プローブカーデータの抽出には java プログラムを用いた。該当路線の DRM のメッシュ番号・ノード1番号・ノード 2 番号を読み込み、プローブカーデータのメッシュ番号・ノード1番号・ノード2番号と照らし合わせて、一致したものに関して csv 形式で書き出すという方法をとった。東国プローブカーデータについては 2004 年 10 月～2006 年 2 月の 1 年 5 ヶ月間、日本交通プローブカーデータについては 2008 年 7 月～10 月の 4 ヶ月を分析対象としている。

3.2.2 プローブカーデータの特性

東国プローブカーデータを用いて、タクシープローブデータの特性を把握する。

プローブカーで収集した全データから、高速自動車国道・首都高速道路・一般国道・主要県道・指定市道を通行するデータを抽出し、各道路種別で得られるデータ数を調べた。抽出の際には java プログラムを用いた。

結果は図 3.3 に示す通りである。一般国道及び主要県道のデータが大多数を占めていることがわかる。また、どの道路種別においても、冬にデータ取得数が最も高くなる傾向があることがわかった。

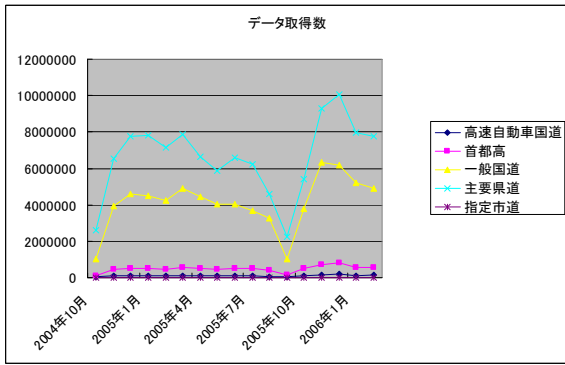


図 3.3 データ取得数

3.2.3 首都高速道路を走行するプローブカーデータの抽出

東国プローブカーデータを用いて、タクシープローブデータの特性を把握する。

分析を進めるためにまず、プローブカーデータの抽出を行う。東国・日本交通両プローブカーデータから、javaプログラムを用いて首都高速道路の都心環状線(C1)、中央環状線(C2)、湾岸線を走行するプローブカーデータを抽出した。

各路線の特徴は以下のように位置づけられる。

[1] 都心環状線

都心環状線は、東京都千代田区・中央区・港区を通り、都心内部を一周している道路である。一周 13.863km の短い道路であるが、多くの放射状道路が接続されており、通過交通の割合が約 6 割を占めている。そのため、昼夜を問わず渋滞が頻発している路線となっている。

[2] 中央環状線

中央環状線は、首都圏の3環状のうち最も内側の道路であり、都心環状線の外側を走っている。全長約 47km の道路のうち現在、葛西 JCT から西新宿 JCT までの区間が開通している。郊外から郊外に向かう交通が都心環状線に流れこむのを防ぐ役割を担っている。

[3] 湾岸線

東京都の南部を経由しながら、神奈川県と千葉県を結んでいる道路である。都心部の渋滞を緩和する役割を担っている。設計速度が 80km/h で、首都高の他の路線と比較して直線部が多くなっており、速度が出やすくなっているのが特徴である。

3.3 プローブカー調査データを用いた旅行時間信頼性の計測

3.3.1 分析対象地とデータ内容

C1 外回りでタクシープローブデータの抽出を行った。分析対象範囲は、浜崎橋 JCT から一ノ橋 JCT を経由して谷町 JCT に至るまでの約 3km の経路に設定した。当該地域は、約 3km の間に、高速 1 号羽田線と接続する浜崎橋 JCT、高速 2 号目黒線と接続する一ノ橋 JCT、高速 3 号渋谷線と接続する谷町 JCT を含んでおり、様々な目的地に向かう車が入りこんでいる路線である。

分析上便宜を図るため、各リンクに対して①～⑪の番号を振った。

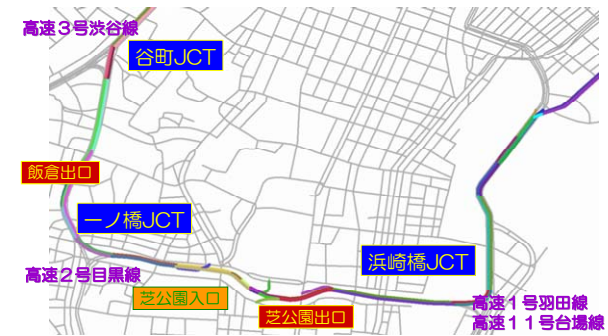


図 3.14 分析対象地域

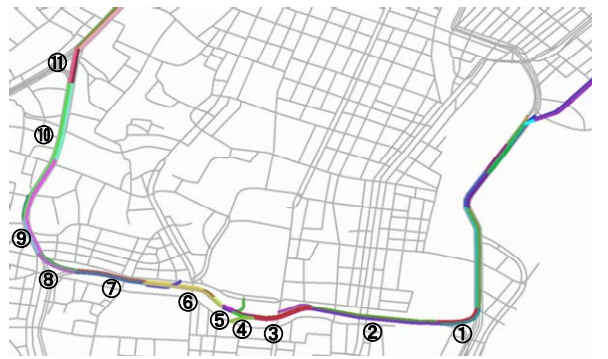


図 3.15 分析対象地

表 3.11 分析対象地のリンク

番号	メッシュ	ノード1	ノード2	リンク長
①	533936	612	640	221
②	533936	612	1799	624
③	533936	626	1799	292
④	533936	626	1873	101
⑤	533936	643	1873	53
⑥	533935	1874	1918	423
⑦	533935	1918	1950	331
⑧	533935	1950	1995	218
⑨	533935	1995	2528	204
⑩	533935	2300	2528	846
⑪	533935	2300	2330	196

表 3.12 各 DRM リンクの基本統計量(全日)

項目	基本統計量(全日)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
平均	18.52845	47.4049	18.45494	6.300325	2.483278	28.88325	22.33833	16.14048	18.33741	87.24138	42.3
標準偏差	1.334301	1.263612	0.507662	0.288968	0.101802	0.755361	0.567866	0.845178	0.546274	11.1244	6.475704
中央値(メッシュ)	13	32	16	5	2	23	17	11	12	80	40.5
最頻値(モード)	12	27	15	4	2	21	15	10	10	51	9
標準偏差	26.52876	33.57082	13.31636	7.184334	2.48457	17.90715	13.91031	13.22222	14.80998	63.19168	28.96023
分散	703.75	1121	177.3255	51.75344	6.173081	320.8658	183.0671	174.2275	219.3358	3995.19	838.9241
中央値	114.3235	10.66737	35.44275	184.4924	66.23426	11.80223	33.88578	22.98708	2.109567	3.801571	-0.58170
標準	9.105743	2.856888	5.131823	11.35223	6.693999	2.880998	4.524433	4.043618	1.66288	2.017959	0.627867
範囲	392	255	150	134	34	147	151	116	82	253	96
最小	9	22	11	3	1	15	11	6	7	41	9
最大	401	277	161	137	35	162	162	122	85	294	105
合計	7726	32423	13383	3881	1483	16800	13433	6779	14213	2530	856
標準数	395	884	688	616	598	562	800	420	735	29	20
信頼区間(95.0%)	2.624224	2.5203	0.996794	0.565261	0.19524	1.483994	1.11929	1.268191	1.072442	24.03083	13.5336
90%タイム	32	86	27.3	10	4	52.9	36	32	44	175.2	84.2
95%タイム	49.6	106.85	42.65	14	5.15	67.95	46.05	38.11	51.3	223	86.95

表 3.13 各 DRM リンクの基本統計量(平日)

項目	基本統計量(平日)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
平均	18.87889	49.19502	19.96701	6.625	2.622912	31.44697	23.34499	16.83893	20.73779	91.73913	39.52632
標準偏差	0.8415	1.481403	0.588281	0.378131	0.12689	0.946179	0.602503	0.728105	0.644128	13.87411	5.888513
中央値(メッシュ)	13	34	16	5	2	23	18	12	13	75	39
最頻値(モード)	12	27	15	4	2	21	15	10	9	45	14
標準偏差	16.00551	32.52345	12.95554	7.880083	2.59942	18.82873	12.47923	12.56904	15.14728	66.5379	25.67179
分散	258.1763	1057.778	167.846	62.09571	6.756986	354.5212	155.7312	157.9807	229.4402	4427.292	659.0409
中央値	16.37201	9.050016	39.63148	175.5813	70.84199	10.09998	6.775246	18.28701	0.766986	3.546908	-0.88287
標準	3.644493	2.480243	5.130256	11.29892	6.935463	2.880444	2.263204	3.375278	1.330767	1.960451	0.530912
範囲	125	255	150	134	34	147	90	116	77	253	77
最小	9	22	11	3	1	15	11	6	7	41	9
最大	194	277	161	137	35	162	162	122	84	294	86
合計	5456	23712	9884	2882	1098	12453	10015	5018	11468	2110	751
標準数	289	482	485	432	419	396	429	298	553	23	19
信頼区間(95.0%)	1.853094	2.91082	1.1559	0.745175	0.249619	1.860177	1.184233	1.432898	1.265242	28.77315	12.37341
90%タイム	33	90.8	31	11	4	56.8	39	33	48	191.8	77.8
95%タイム	50.2	107.85	43.8	15	6	68	46.8	38.3	52	220.5	84.2

表 3.14 各 DRM リンクの基本統計量(休日)

休日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
平均	21.41505	43.13360	18.23153	5.538043	2.158425	26.18675	19.9883	14.43443	15.08242	70	105
標準偏差	4.270818	2.509831	0.989553	0.382083	0.161731	1.136229	1.232271	1.322871	0.953633	20.13289	8.28E-15
中央値 (メジアン)	12	31	15	5	2	22	16	10	10	47	105
最頻値 (モード)	12	28	14	4	2	20	14	10	10	#N/A	#N/A
標準偏差	43.97074	35.66855	14.09903	5.18285	2.164084	14.89788	16.78129	14.61121	12.86603	49.31531	#DIV/0!
分散	1833.428	1272.240	198.7828	28.86193	4.683259	221.9467	281.5118	213.4874	165.5346	2432	#DIV/0!
分散	55.57461	14.58295	28.48334	60.88573	37.89869	21.19104	55.98528	51.35927	12.21638	4.46243	#DIV/0!
標準	7.009424	3.687041	5.256754	8.137976	5.561019	4.32444	7.002918	5.2662	3.339404	2.101156	#DIV/0!
範囲	392	212	108	59	19	105	151	112	82	126	0
最小	9	23	11	9	1	17	11	9	7	41	105
最大	401	235	119	62	20	122	162	120	89	167	105
合計	2270	8713	3701	1019	388	4347	3418	1781	2745	420	105
標本数	106	202	203	184	179	166	171	122	182	6	1
信頼区間(95.0%)	8.468239	4.946581	1.951188	0.753858	0.319197	2.28305	2.53325	2.618904	1.881787	51.75323	#NUM!
95%タイル値	23	88	193	6	3	32	28	18	29	121	105
95%タイル値	41.8	94.95	25.7	11.95	9	51.25	35	31	39.95	144.25	105

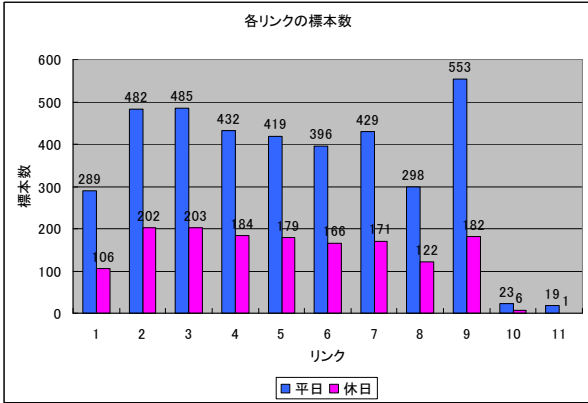


図 3.16 各リンクの標本数

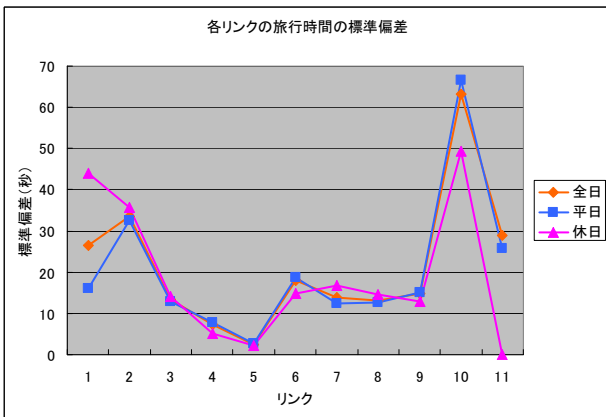


図 3.17 各リンクの旅行時間の標準偏差

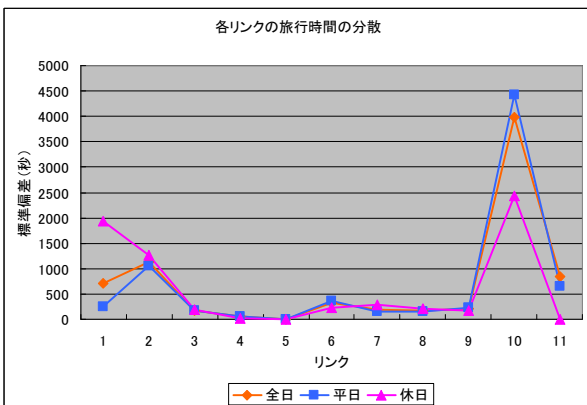


図 3.18 各リンクの旅行時間の分散

JCT や出口のある箇所で標本数が変わっているのがわかる。特に JCT では、

全体として、旅行時間を求めようとする旅行区間が長くなればなるほど、当該区間を完全に走行するプローブカー台数は減少することがわかった。

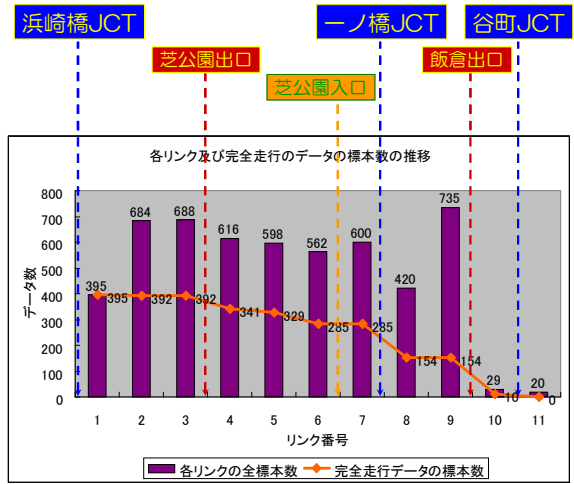


図 3.19 各リンク及び完全走行データの標本数の推移

3.3.2 プローブカー調査データを用いた既存指標の算出

ここでは、東国プローブデータから得られた旅行時間情報を基に、実際に諸外国で採用されている旅行時間信頼性指標の算出方法を用いて、旅行時間信頼性の値を出すことにする。今回は、米国方式と英国方式の2種類の方法を用いて算出した。

今回の計測は、都心環状線浜崎橋 JCT～一の橋 JCT 間の 2263mを対象に分析を行った。標本数は 154 であった。

(1)米国方式による旅行時間信頼性

米国で旅行時間信頼性指標として用いられている、旅行時間の 95%タイル値を求めた。結果は、以下の図 3.20 の通りになり、旅行時間信頼性がプローブカーデータでも、算出することが出来る。

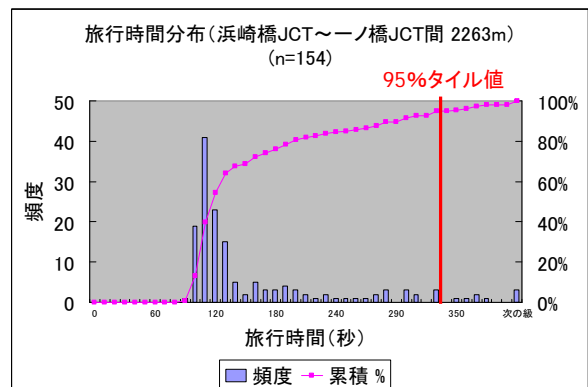


図 3.20 米国方式での旅行時間信頼性(都心環状線 浜崎橋 JCT～一の橋 JCT 間)

(2)英国方式による旅行時間信頼性

今回の分析においては、渋滞の境界値(渋滞でない時の旅行時間)は、首都高の渋滞の定義(渋滞:時速 20km 以下、混雑:時速 20km～40km)を参考に、「時速 40km 以下だったときの旅行時間」と定義した。その上で、プローブカーデータから 90%タイル値～100%タイル値の旅行時間の平均値と、境界値を求めた。更に双方の

値の差を求め、旅行時間信頼性を求めた。

90%タイル値～100%タイル値の旅行時間の平均値が365秒、境界値が204秒となり、差が161秒となった。この計算結果が旅行時間信頼性となる。従って、プローブカーデータから旅行時間信頼性計測が可能であると言える。

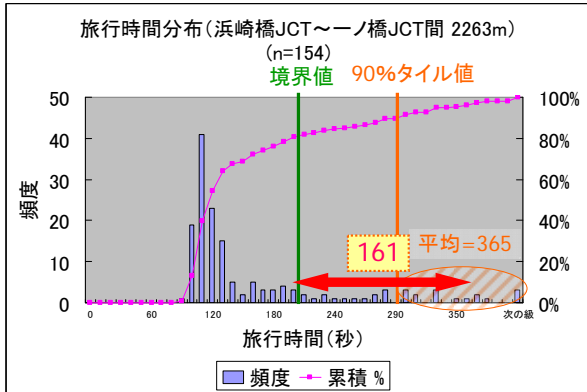


図 3.21 英国方式での旅行時間信頼性(都心環状線 浜崎橋 JCT～一の橋 JCT 間)

3.3.3 時間信頼性指標としての標準偏差の算出

日本より一足早く道路行政マネジメントを開始した諸外国では、旅行時間信頼性指標を算出し、その指標を業績評価に用いる試みが始まっている。しかし、現在、旅行時間信頼性指標の計測はトラフィックカウンターデータにより行われている。

但し、現状のトラフィックカウンターによる旅行時間信頼性計測には二点問題がある。第一に、第2章で述べた通りトラフィックカウンターの設置箇所はごく限られており、トラフィックカウンターのある場所でしか計測できない。第二に、トラフィックカウンターでは時間平均速度は計測することが可能だが、区間旅行時間を直接的に計測することは不可能なことである。英国での旅行時間信頼性計測が国で設定された 103 ルートに限定されているように、諸外国においても、トラフィックカウンターデータによる全国規模での旅行時間信頼性計測は難しいのが現状だと言える。

これに対し、プローブカーは走行場所を限定されないため、プローブカーが走行している場所であればどこでも信頼性計測に必要なデータが得られる。また、走行軌跡を一定時間毎に記録しているため、二点間を移動するのにかかった時間を容易に把握することが出来る。

本研究では、時間信頼性指標について、ユーザーの求める経路レベル、ODレベルでの指標化を目指している。その場合、リンク単位で計測されることの多い、旅行時間データを経路へと拡充する方法が必要となる。

近年、土木計画学分野で行われている研究においては、旅行時間の標準偏差について、各リンク単位の旅行時間を正規分布として仮定し、各標準偏差の加算によって経路(複数リンク)の標準偏差、すなわち信頼性指標とする傾向がある。また、2章でみたように海外でのプローブカーデータの利用方法としてリンクへの集計化が目立つ。

しかしながら、リンクの旅行時間について正規分布を

仮定することから、見直す必要がある。すなわち、各リンクデータから求められた推定旅行時間の標準偏差は、旅行距離に比例して拡大していく傾向があるのではないかとこの仮定である。

これについて、本研究では、この点について、分析を進めた。

図 3.22～3.25 は各リンク単位で計測される標準偏差と、プローブカーデータによって計測される旅行時間標準偏差の差異について示したものである。

ここからも明らかのように、リンク単位で計測された標準偏差を積み上げても、区間、経路、OD といったユーザーが求める標準偏差、すなわち信頼性指標とはならないことが分かる。

しかしながら、プローブカーデータの量的な少なさから、この問題を解決するためには、データ拡充、接合データによるサンプルの拡大といった課題が残る。

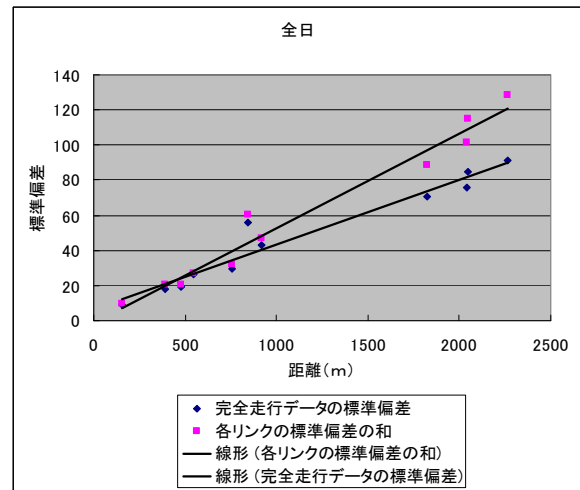


図 3.22 標準偏差(全日)

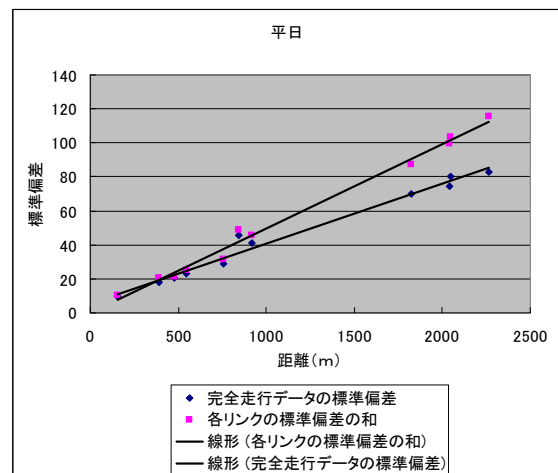


図 3.23 標準偏差(平日)

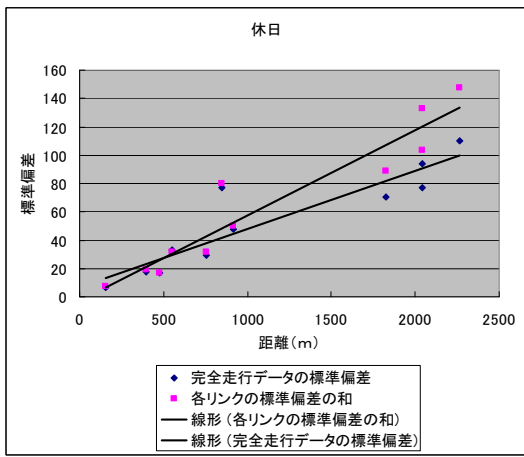


図 3.24 標準偏差(休日)

データマッチングの流れは図 3.27 に則って行う。

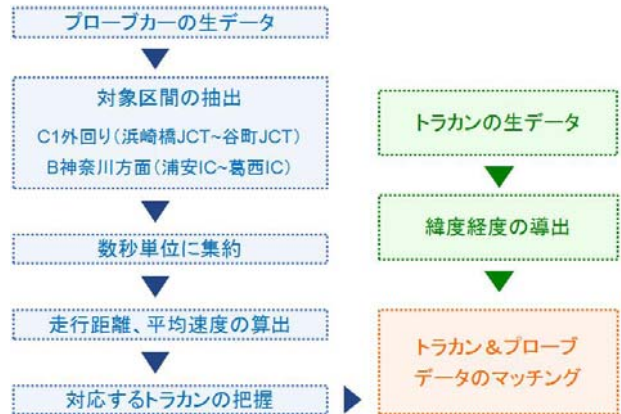


図 3.27 データマッチングの流れ

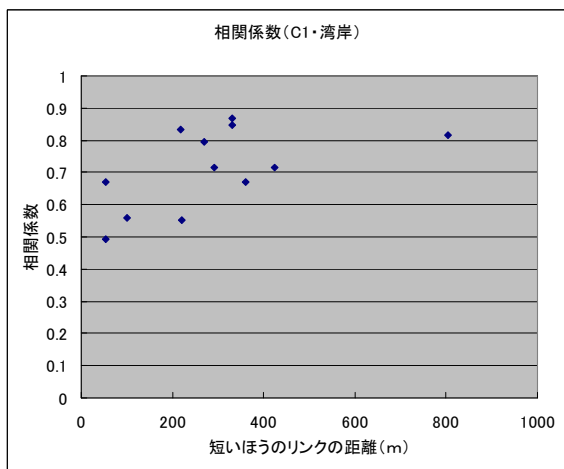


図 3.25 相関係数との関係

路側観測(トラフィックカウンター)データに関しては、対象とする路線のデータを抽出し、データのフォーマットを整理した後に、路側感知機の所在する地点を明らかにするため、GIS 上で擬似的に緯度経度を算出した。

首都高速道路から提供されたデータには、路側感知器の所在は、路線の起点からのキロポストでのみ与えられており、そのままではプローブカーデータとのマッチングができないため、緯度経度情報を付加した。プローブカーデータに関しては、まず、対象とする区間のデータの抽出を行った。ここでは、都心環状線 C1 外回り(浜崎橋 JCT~市ノ橋 JCT 区間)と湾岸線 B 神奈川方面(浦安 IC~葛西 IC 区間)の 2 区間を抽出した。

続いて、それらのデータを数秒間の単位で集約して、その間の走行距離をヒュベニの公式を用いて算出し、その間の平均速度を求めた。

最後に、路側感知器の緯度経度と、プローブカーが計測した緯度経度を照らし合わせて、同位置・同時刻の両データのマッチングを行った

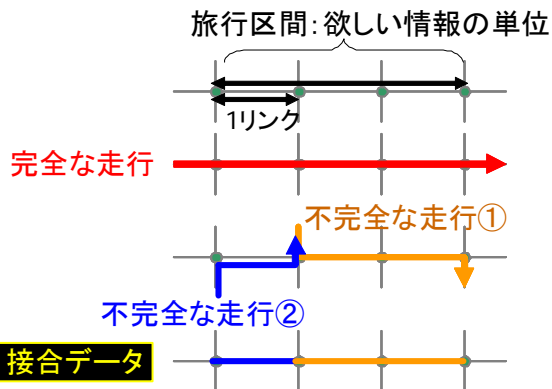


図 3.26 接合データのイメージ

3.4 路側観測データとプローブカーデータとの関連性分析

本節では、パフォーマンス指標作成にあたって把握しておくべきデータ特性を明らかにする。

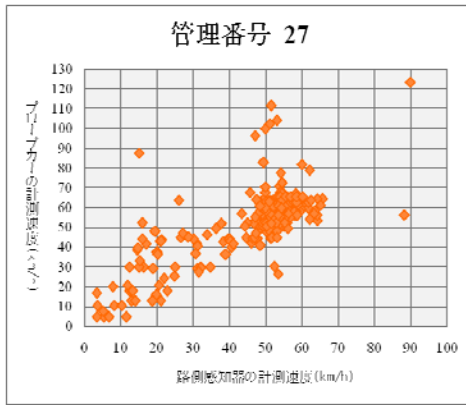
3.4.1 データマッチングの方法

ここでは、同位置・同時刻における 2 種類の交通流観測システム(路側感知器、プローブカー)の状態を把握するためのデータマッチングの手法について述べる。

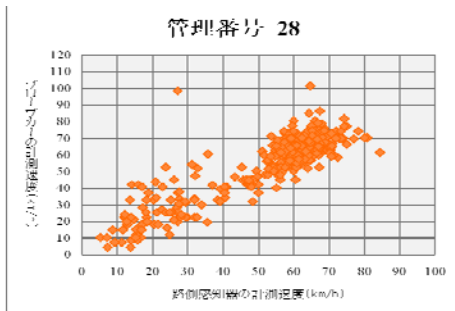
3.4.2 同一地点における速度データの比較

同位置・同時刻における、路側観測データとプローブカーデータの関係性を把握するために、データのマッチング後、それらが計測した速度データを散布図形式でプロットしたものを作成した。都心環状線におけるマッチングの結果のみを対象とする。当該区間では、計 9 つの路側感知器が常時作動している。それぞれの路側感知器におけるデータの散布図を比較すると、道路環境の影響が表れていると思われる特徴が把握できる。浜崎橋 JCT 分流直後に設置されている管理番号 27 の感知器や、同 JCT 合流直後に設置されている管理番号 28 の感知器などでは、他の散布図と比べて、路側感知器とプローブカーの計測速度の相関が低くなっている。

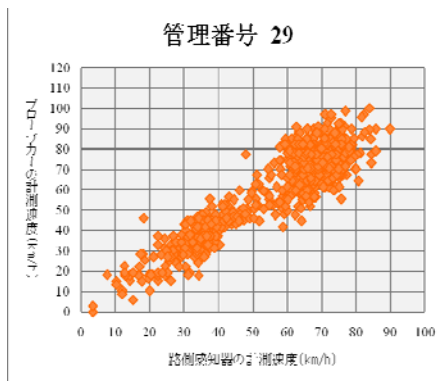
それに対して、付近に JCT も IC も存在しない管理番号 29 や 30 の感知器に関しては、それぞれ 0.922(管理番号 29)、0.899(管理番号 30)と非常に高い相関があることが分かる。このような差が生じた原因として、JCT 周辺での頻繁な車線変更の影響が考えられる。つまり、車線変更が多くなると、路側感知器の計測精度が悪化してしまう可能性が考えられる。



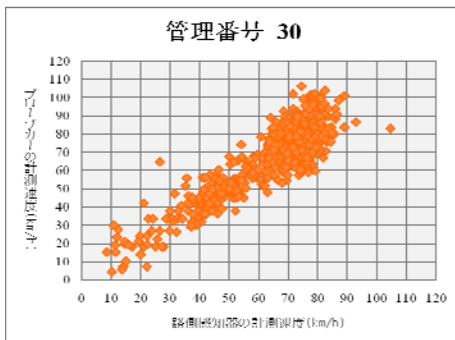
管理番号 27: 一致点 289: 相関係数 0.750



管理番号 28: 一致点 391: 相関係数 0.833



管理番号 29: 一致点 740: 相関係数 0.922



管理番号 30: 一致点 684: 相関係数 0.899

3.4.3 路側観測区間とプローブ観測との比較

前項では、プローブ車計測の速度と、路側観測の速度との比較を行った。ここでは、区間（路側観測機間）の速度とプローブ車計測の速度とを比較する。

図 3.28 は、その結果を示したものである。

このように、同一区間内でも、実際には多様な速度分布が存在していることが分かる。

現在、道路交通情報等は、路側観測によって情報が構成されている場合が多いが、必ずしもその情報が十分であるとは言えないことが分かる。

3.5 マクロ交通流モデルを用いた推定

本節では、マクロ交通流モデルによって交通流の再現可能性を確認する。

マクロ交通流モデルは交通流の流体力学理論に基礎を置き、1955年に LightHill と Witham によって紹介された。彼らは、交通流は圧縮できる媒体とみなされるという仮定のもとで、この媒体に連続の定理をあてはめた。その後、GreenBerg は彼らの研究をもとに、一次元流体と交通流の類似に着目したマクロモデルを提案した。さらに、Payne は、交通密度と空間平均速度を状態変量とする交通流モデルを提案した。Cremer はそのモデルに対し改良を加え、高速道路を表現するマクロモデルを開発した。

1984年に Wallace によって開発された TRANSTY モデルは、交通流シミュレーションのモデルと同様に、都市ネットワーク内の信号制御の最適化を含んでおり、車両群の開発と解決を参考にしている。交通流モデル SATURN は Hall によって 1980 年に開発され、TRANSTY に類似した方法を参考にしている。SATURN は、定められた OD 表から始まる都市内ネット

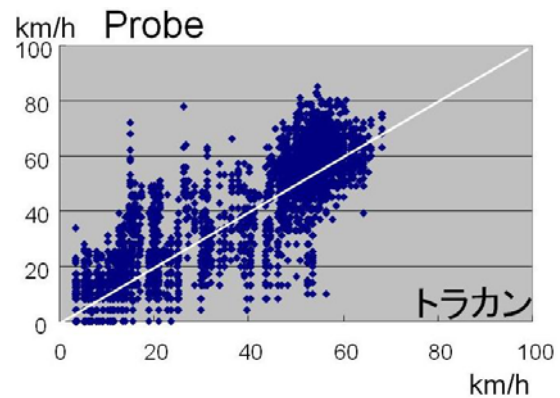


図 3.28a トラフィックカウンター計測速度とプローブ車計測速度の比較(ID28)

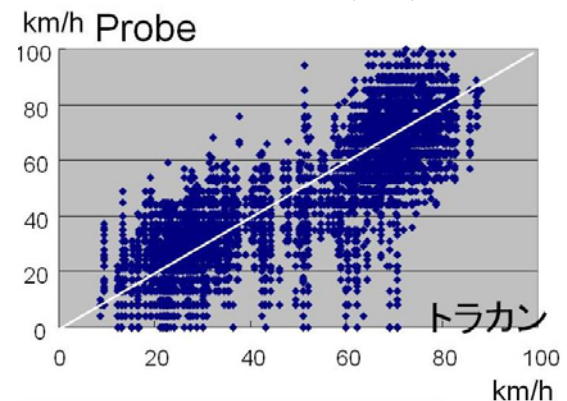


図 3.28b トラフィックカウンター計測速度とプローブ車計測速度の比較(ID34)

ワークの目的地を算定可能なモデルである。

車両追従理論から得られた FREFLO モデルは、車両の保存式と動的加速の方程式である2つの微分方程式から成り立つ。この FREFLO モデルのマクロのアプローチに基づいている新たなシュミレーションモデルが DYNEMO モデルである。DYNEMO モデルはマクロモデルの利点(計算の単純さ)とマイクロモデルの利点(個々の車両の特徴と関連している出力統計)を組み合わせている。

3.5.1 モデルの詳細

ここでは、マクロ交通シュミレーションのモデルとして、一般的に用いられている Payne 型モデルを使用する。Payne 型モデルの特徴は、パラメータが比較的少なく、いずれの式も単純でそれぞれ上流、または下流セグメントが相関している。

また、TRANSYT モデルに代表されるような、1つの交通量に対して2つの交通状態が存在し得るモデルとは異なり、交通状態に対して一価関数を構成する密度、空間平均速度に基づいているので、自由流だけでなく渋滞状態における表現能力に優れている。

交通密度と空間平均速度を状態変量とする Pane 型マクロ交通流モデルについて以下に示す。

まず、図 3.29 のように、道路区間を交通状態の等質・定常が仮定できる最小単位である n 個のセグメントに分割する。

そして、各セグメント長を ΔL_i 、時間刻みを Δt とした場合の交通密度と空間平均速度を状態変量とする状態方程式は、下段のようになる。

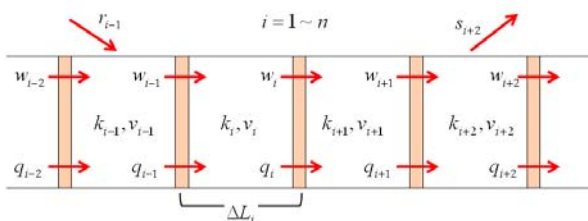


図 3.29 交通流モデル:セグメント分割のイメージ

式(1)は、交通状態の連続方程式に基づいている。

式(2)は、速度に関する以下の 3 つの補正項によって表現されている。

補正の第1項は、調整項と呼ばれ、式 5 によって規定された速度-密度特性に基づいて補正を行う。

$$V(k_i) = V_f \left[1 - \left(\frac{k_i}{k_{\max}} \right)^l \right]^m \dots (5)$$

ここで、 V_f は自由速度、 k_{\max} は渋滞密度を表している。 l と m は追従理論における感度パラメータである。これらのパラメータの値に関しては、既存研究の値を参考にしている。

第2項は、変位項と呼ばれ、直前のセグメントにおける速度の影響を表している。

最終項は、密度勾配項と呼ばれ、前方のセグメントにおける交通状態による補正を行っている。

式3に示されているように、セグメント境界地点の交通量 q は、両セグメントにおける交通量 $c \times v$ の重みづけ平均によって定義されている。

3.5.2 マクロ交通流モデルの計算手順

マクロ交通流モデルを用いて、2つの分析対象区間における道路空間状態の再現推定を行った。分析は、路側感知器から断面交通量と地点平均速度を使用し、密度、空間平均速度、断面交通量、地点平均速度の 4 指標をアウトプットするものである。

計算手順を以下の簡略図を対象に説明する。

この対象は、タイムステップが 3、セグメントの分割が 4 の場合を仮定している。

密度と交通量の関係式

$$k_i(h+1) = k_i(h) + \frac{\Delta t}{\Delta L_i} [q_{i-1} - q_i + r_i - s_i]_{(h)} \dots (1)$$

空間平均速度と密度の関係式

$$v_i(h+1) = v_i(h) + \frac{\Delta t}{\tau} [V(k_i) - v_i]_{(h)} + \frac{\Delta t}{\Delta L_i} [v_i(v_{i-1} - v_i)]_{(h)} + \frac{\eta}{\tau} \frac{\Delta t}{\Delta L_i} \left[\frac{k_i - k_{i+1}}{k_i + \kappa} \right]_{(h)} \dots (2)$$

地点平均速度と空間平均速度の関係式 $w_i(h) = [a \cdot v_i + (1-a) \cdot v_{i+1}]_{(h)} \dots (3)$

交通量と密度・地点平均速度の関係式 $q_i(h) = [a \cdot k_i w_i + (1-a) \cdot k_{i+1} w_{i+1}]_{(h)} \dots (4)$

ここで、 $k_i(h)$: 時刻 $h\Delta t$ におけるセグメント i の交通密度 (veh / km)

$v_i(h)$: 時刻 $h\Delta t$ におけるセグメント i の空間平均速度 (km / h)

$q_i(h)$: 時刻 $h\Delta t < t < (h+1)\Delta t$ の間に、セグメント i から流出する交通量 (veh / h)

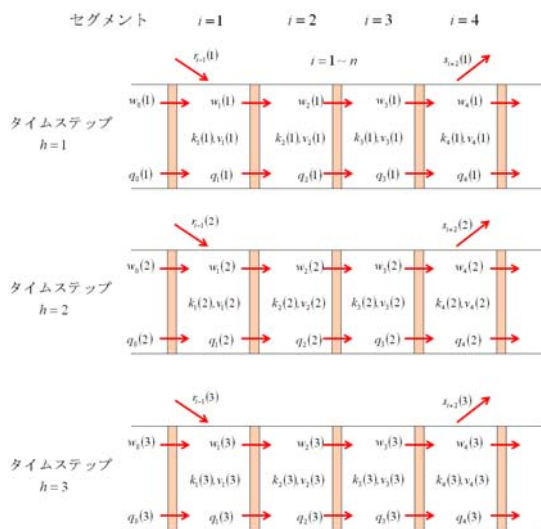


図 3.30 交通流モデル:計算過程の説明

交通流モデルに挿入する初期値は以下の

- 1) 各セグメントの断面交通量&地点平均速度の初期値
- 2) 各タイムステップにおける、起終点の断面交通量&地点平均速度

であり、どちらも路側感知器のデータを使用した。

簡略図中では、1)は、タイムステップ(h=1)に関する

$$q_i(1), w_i(1) \quad : \quad i = 0 \sim 4 \text{ のデータ、}$$

2)は、起点(i=1)に関する

$$q_1(h), w_1(h) \quad : \quad h = 1 \sim 3 \text{ のデータ および}$$

終点(i=4)に関する $q_4(h), w_4(h) \quad : \quad h = 1 \sim 3$ のデータを初期値として使用した。

続いて、以下の仮定に基づいて、起点と終点における断面交通量と地点平均速度の計算を進めていく。

$$q_0(h) = k_1(h) \cdot v_1(h) \quad w_0(h) = v_1(h)$$

$$q_n(h) = k_n(h) \cdot v_n(h) \quad w_n(h) = v_n(h)$$

その後、式3 によって、タイムステップ(h=1)における、空間平均速度 $v_i(1)$ を算出する。

同様に、式4 によって、タイムステップ(h=1)における、

密度 $k_i(1)$ を算出する。

その後は、式1 と式2によって、次のタイムステップの密度、空間平均速度の順で算出し、その値を式3と式4 に挿入して、同タイムステップの地点平均速度、断面交通量の順に算出する。

この計算を複数回繰り返すことで、数時間後の最適な交通状態の推定が可能になる。

以上の計算の流れから、モデルに挿入する実測値は非常に限られていることが分かる。つまり、実際の状態を正確な精度で再現することは難しく、あくまで近似的な推定しか可能でない。さらに、急激な状態の変化が起こりうる場合には、それらを描写することは困難であり、さらに推定精度が悪化してしまうことが想像できる。

3.5.3 マクロ交通流モデルによる推定結果

マクロ交通流モデルを用いて、2つの分析対象区間における道路空間状態の再現推定を行った。分析は、路側感知器から断面交通量と地点平均速度を使用し、密度、空間平均速度、断面交通量、地点平均速度の4指標をアウトプットするものである。

路側感知器により計測された断面交通量を実測値、交通流モデルにより導出された断面交通量を推定値とし、交通流モデルによる再現精度を検証した。

図3.31は、湾岸線(浦安IC~葛西IC区間)における、実測値(左)と推定値(右)を比較したものである。縦軸の数值は、路側感知器の管理番号を示し、横軸は、AM08:00~AM10:00 までを1分刻みで表現している。断面交通量が多いほど赤系の色合いが強くなり、少ないほど黄系の色合いで、断面交通量を視覚的に表現している。

右図(推定値)の特徴的な箇所である、管理番号73~74 の区間の断面交通量が周囲よりも高く表されている点などが、左図(実測値)の特徴と重なるため道路空間状態の大体の傾向は掴めているものと判断できる。

図3.32は、都心環状線(浜崎橋JCT~市ノ橋JCT区間)における、実測値(左)と推定値(右)を比較したものである。図3.31と同様に、縦軸の数值は、路側感知器の管理番号を示し、横軸は、AM08:00~AM10:00 までを1分刻みで表現している。断面交通量が多いほど赤

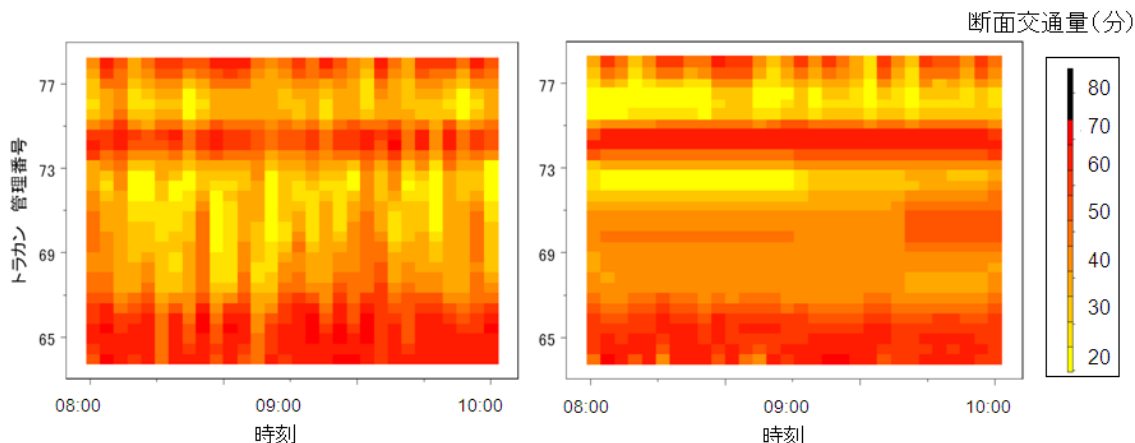


図 3.31 湾岸線(浦安IC~葛西IC区間)における結果
左図:実測値 右図:推定値

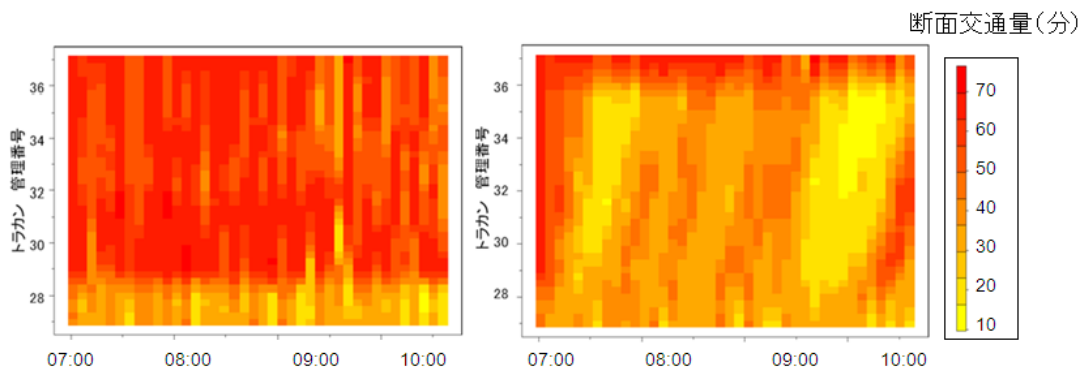


図 3.32 都心環状線(浜崎橋 JCT～市ノ端 JCT 区間)における結果
左図:実測値 右図:推定値

系の色合いが強くなり、少ないほど黄系の色合いで、断面交通量を視覚的に表現している。

管理番号 28 の周辺区間の断面交通量は、左図と右図の特徴が似ているため、しっかりと推定できていると判断できるが、それ以外の管理番号の区間では、左図と右図でまったく異なる特徴を示しているため、推定精度に問題があると考えられる。

当該区間は、区間内に流入・流出台数が多い、浜崎橋 JCT(合流部)や芝公園 IC(入り口、出口)が存在するため、分析精度が悪くなることは想定できた。事実、管理番号 28 付近は浜崎橋 JCT 合流部と一致するため、この JCT での急激な交通量の増加を、交通流モデルのみでは再現できなかったものと考えられる。

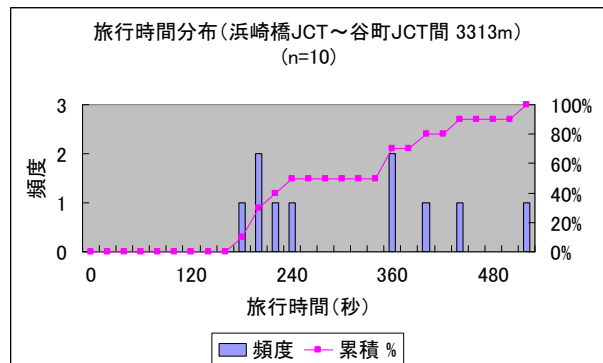


図 3.33 旅行時間分布(都心環状線浜崎橋 JCT～谷町 JCT 間)

3.6 本章のまとめ

本研究では主にプローブカー調査データを用いて、時間信頼性指標作成についての基本的分析を行った。結果、リンク毎に集計される平均旅行時間やその標準偏差と、複数リンクによって構成される経路単位での平均旅行時間および標準偏差について分析を行い、それらに法則性があるものの、単純な加算では信頼性指標を作成できないことを明らかにした。次節で述べるように一部のデータであるため、本研究の目的とする広域における検証には至っていないもののデータ処理システムの構築がなされ、今後対象範囲を拡大した成果が期待できる。

プローブカー通行台数が減少するに従って、計測の困難さが増すことは容易に想像できる。

図 3.33 は、一の橋 JCT までだった分析対象区間を、谷間 JCT までの 3313m に変更して旅行時間分布のグラフを描いたものである。距離が約 1km 延びただけだが、得られた標本数は 10 分の 1 以下に減っている。このように、旅行時間信頼性を求めたい区間が長くなればなるほど、計測は難しくなる。対象区間を走行するプローブカーが 0 台になれば、当然計測は不可能になる。

今回の分析では、分析対象を首都高速道路の一部路線に限定して、基礎的な分析を行った。今後、交通量や交通の目的といった交通特性が異なる様々な地域への適用を考える場合には、対象地域を拡大する必要がある。

また、接合データによるサンプル数拡充を試みる場合についても課題が、現時点でも何点かが浮き彫りにな

ってきている。第一に、接合データを用いたとしても分析に使えるだけのデータを確保できない箇所もあると考えられる。接合データはプローブカーデータを基に作成するため、プローブカーの走行台数が少ない道路においては、接合データの作成がデータ数を増やすための有効な手段とならない場合がある。

第二に、距離が延びるにつれて接合データの分散・標準偏差が拡大する問題がある。分散・標準偏差が大きくなるということは、接合データの分布のばらつきが大きくなり、旅行時間を正確に予測しにくくなることを意味する。

第三に、各リンクの情報を独立な情報として扱えない問題がある。隣同士のリンクの相関係数を見てみると、リンク同士には相関があることがわかり、非独立であることがわかる。尚、独立として扱ったとすると、データ数の増加に伴って旅行時間の分散・標準偏差は拡大してしまう。

第四に、リンク情報を代表する路側観測データでは、より実質的な走行速度を計測するプローブカーデータと比較した場合、観測位置の特性や、観測単位によっては、大きな差異が生じている。

今後実務に応用させるためには、上述の問題を無視することは出来ない。何らかの方法を用いて、問題を緩和する必要性が出てくる。具体的には、標準偏差の拡大を考慮したデータ処理方法を考案するべきである。又、タクシーに限らず様々な車種にプローブカーを載せるための方策を考えるべきである。

第4章 道路パフォーマンス情報収集システムデザインの提案

4.1 本章の目的

近年、VICS による所要時間の情報提供等がなされており、道路パフォーマンスの基本となるデータ収集が拡張しつつある。これは、これまでになかった交通サービスデータの時間的な拡大、空間的な拡大が、はかられていることを意味する。

しかしながら VICS には、情報収集コストが極めて高く、海外への適用が困難なシステムで構成されているという課題が残る。VICS のデータ収集系は、我が国の豊富な路側計測システムを最大限に活用する形で構成されており、整備水準の異なる国(特に途上国)への移転性に限界が生じている。また我が国においては国土交通省、警察庁、あるいは各高速道路株式会社がそれぞれ観測器を設置しており、高コストな観測体系となっている。

プローブカーと路側観測点の密度を操作して作成される情報の種別ごとに、精度、空間分解能、時間分解能と計測システムの密度・量との関係を分析することは、計測システムの省力化を検討するきっかけとなりうると考えられる。これにより他地域・他国への技術移転、今後の効率的な観測体系についての考察が行うことが出来る。

本章では、データ収集にかかるコスト縮減を鑑み、必要条件にあう提供情報水準を導出するための最低限必要な収集系に関する考察を行う。具体的には、対象地域内のパフォーマンス指標の算定に対するモデルを構築し、データソース量が少ない場合にも算定できるか、あるいは算定できるまでの観測量はどこまで許容されるかをシミュレーションにより導出する。これによって、対象地域内において、必要最低限の計測量水準を求めることができる。

4.2 道路パフォーマンス指標に基づく道路交通流の内部状態の推定

4.2.1 分析の狙い

本節では、路上感知器が高密度で設置された首都高速道路の単路区間を対象として、交通流の内部状態の推定を試みる。本節の目的は二つある。一つ目の目的は、極めて高密度に設置された我が国の都市内高速道路における感知器から得られる速度情報を用いて任意区間・任意地点の旅行速度を推定した場合に、感知器の設置密度がその精度にどのような影響をあたえるのかを検証することである。これにより、ある一定の精度を確保するために、最低限必要な感知器の設置間隔、いわゆる情報収集の密度に対する基礎的知見を得ることができる。

二つ目の目的は、キャリブレートされた交通モデルより推定される当該区間の旅行時間と、プローブデータによって実測された旅行時間とを比較することにより、プロー

ブデータの実旅行時間予測への適用可能性を検証することである。以上、二つの検討により、例えば、我が国の極めて充実した道路パフォーマンスモニタリングシステムを開発途上国等に今後技術移転するような場合、財政的な理由からフルスペックでの感知器等の設置が困難な場合でも、設置される感知器の数を適切に間引きしたり、あるいは、プローブ車両による観測によって感知器による観測を代替することによる対応のための指針を与えると期待される。

4.2.2 ケーススタディエリアの概要

本研究では首都高速道路都心環状線の一ノ橋ジャンクションから浜崎橋ジャンクションまでの区間を対象として分析を行う。図 4.1 に示すとおり、この区間は約 2km のほぼ単路の区間となっており、全部で 9 つの感知器(ID27~ID37)が設置されている。

後述する道路交通流モデルの内部状態の推定には、2004 年 11 月 3 日(水曜日、但し祝日)の AM8:30-AM10:30 の間にこれらの感知器によって測定された 1 分毎の地点速度を用いることとする。また、この分析対象期間中の AM9:41~AM9:43 にかけて、プローブ車両の通過ログも残されており、上述の比較検証が可能となっている。

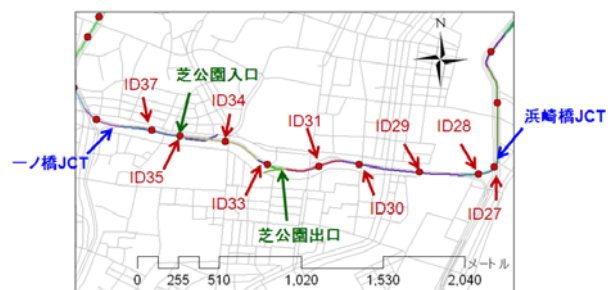


図 4.1 分析対象エリア

4.2.3 道路交通流モデルの概要

本研究では、Work et al.(2010) が提案した CTM-v (Cell Transmission Model Velocity) を、交通流モデルとして用いる。動的交通流の代表的理論である Kinematic Wave Theory の考え方を離散化近似したのが Daganzo (1994) によって提案された CTM である。但し、通常の CTM は交通流の時間発展を表す内部状態変数として密度を採用しており、特に今後のプローブデータベースのシステム構築を考えた場合、そのままでは本研究への適用が困難である。そこで、内部状態変数として速度を用いている CTM-v を本研究では採用することとした。

4.2.4 変数の定義

本分析で用いる変数の定義を以下に列挙する。

t : システムの動的推移を表す離散時刻

$$(t = 1, \dots, T)$$

x : 状態変数ベクトル(任意時刻における各道路セルの速度を要素とするベクトル)

y : 観測変数ベクトル(任意時刻において各トラカンで測定された当該道路セルの速度観測値を要素とするベクトル)

$F(x)$: 交通流の動的・空間的挙動を表すシステムモデル本体(本分析では CTM-v)を表すベクトル値関数

H : 観測システムモデル本体を表す観測行列

σ : システム誤差ベクトル

δ : 観測誤差ベクトル

i : 離散化された区間(セル)を示すラベル
($i = 1, \dots, N$) \Rightarrow 今回は $N = 20$ に設定

v_i^t : 時刻 t における区間 i の代表速度(km/h)

ρ_i^t : 時刻 t における区間 i の代表密度(台/km)

$\Delta \rho_i^t$: 区間 $i+1$ と区間 i の間での密度差
($= \rho_{i+1}^t - \rho_i^t$)

$G(v_i^t, v_{i+1}^t)$: 時刻 t における区間 i から区間 $i+1$ への流出交通量(台/h)

ΔG_i^t : 時刻 t における区間 i での交通量の変化分
($= G(v_i^t, v_{i+1}^t) - G(v_{i-1}^t, v_i^t)$)

$r(v_i^t)$: 時刻 t における区間 i になるオンランプからの流入交通量(台/h)

$s(v_i^t)$: 時刻 t における区間 i にはるオフランプからの流出交通量(台/h)

$V(\rho)$: $\rho - v$ 関係式において速度を密度の関数として表した場合の表現

$Q(v)$: $Q - v$ 関係式において交通量を速度の関数として表した場合の表現

ρ_{max} : $Q - v$ 関係式における最大密度 \Rightarrow 今回は 180 台/km として設定

ρ_c : $Q - v$ 関係式における臨界密度 \Rightarrow 今回は 40 台/km として設定

v_{max} : $Q - v$ 関係式における最大速度 \Rightarrow 今回は 100km/h として設定

w_f : 渋滞時のショックウェーブ速度 \Rightarrow 今回は 22.5km/h として設定

S : 各セルの区間長(同一値) \Rightarrow 今回は 0.1km として設定

ΔT : 離散時間の間隔(同一値) \Rightarrow 感知器の観測間隔に合わせ、今回は 1 分(=1/60h)

4.2.4 CTM-vの定式化

CTM-v では、任意の区間 i において、任意時刻 t から $t+1$ への速度の時間発展プロセスが次の式で表される。

$$v_i^{t+1} = V(\rho_i^{t+1}) = V(\rho_i^t - \Delta \rho_i^t) = V\left(V^{-1}(v_i^t) - \frac{\Delta T}{S} \left(G(v_i^t, v_{i+1}^t) - G(v_{i-1}^t, v_i^t)\right)\right) \quad (1)$$

ここで、流出交通量 $G(\cdot)$ は速度の関数として、以下の双曲線-線形モデルによって特定化されるものとする。

$$G(v_1, v_2) = \begin{cases} v_2 \rho_{max} \left(\frac{1}{1 + v_2/w_f} \right) & \text{if } v_2 \geq v_1 \geq v_1 \\ v_c \rho_{max} \left(1 - \frac{v_2}{v_{max}} \right) & \text{if } v_2 \geq v_c \geq v_1 \\ v_1 \rho_{max} \left(1 - \frac{v_2}{v_{max}} \right) & \text{if } v_2 \geq v_1 \geq v_c \\ \min(V^{-1}(v_1)v_1, V^{-1}(v_2)v_2) & \text{if } v_1 \geq v_2 \end{cases} \quad (2)$$

また、分析対象単路部両端における境界条件を表す式は以下のとおりとなる。

$$v_0^{t+1} = V\left(V^{-1}(v_0^t) - \frac{\Delta T}{S} \left(G(v_0^t, v_1^t) - G(v_{-1}^t, v_0^t)\right)\right) \quad (3)$$

$$v_N^{t+1} = V\left(V^{-1}(v_N^t) - \frac{\Delta T}{S} \left(G(v_N^t, v_{N+1}^t) - G(v_{N-1}^t, v_N^t)\right)\right) \quad (4)$$

以上のモデリングの概略を図 4.2 に示す。

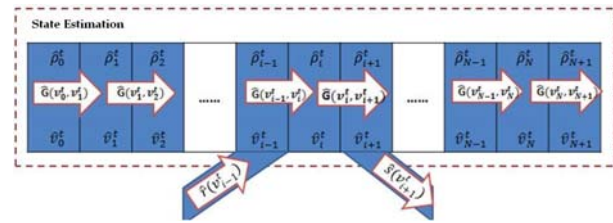


図 4.2 CTM-v による内部状態の表現

4.2.6 一般状態空間モデルとしてのシステム表現とパーティクルフィルタによる推定

ここでは、感知器によって一部のセルにおける旅行時間の観測値が時々刻々と得られる状況において、任意のセルの任意時刻における旅行速度を動的に推定する問題を考える。そのために、カルマンフィルタの考え方を非線形のシステムモデルの場合へと拡張し、かつ、大規模な問題においても安定的な計算結果が得られやすいパーティクルフィルタ(PF)を適用することとする。

PF は、状態変数ベクトルの確率密度関数をアンサンブル(多数のサンプル[粒子])によって近似するアルゴリズムである。アンサンブルによって、経験分布による直接的な近似を行い、システム・観測モデルのいずれもが非線形・非ガウスの場合でも容易に取り扱うことができる。

本研究では、システムモデルに関しては、CTM-v のような非線形・非ガウス型の構造(式(1))を想定する。一

方、観測モデルについては、以下の式(5)のように線形・ガウス型であることを仮定する。

$$\mathbf{y}^t = \mathbf{H}\mathbf{x}^t + \delta^t \quad (5)$$

ここで、 \mathbf{y}^t は設置された感知器の数の次元数を持つ速度の観測値ベクトルであり、その次元数を M とする。

また、 \mathbf{x}^t は、全てのセルにおける速度を束ねた状態変数であり、 $\mathbf{x}^t \equiv (v_1^t, v_2^t, \dots, v_{N-1}^t, v_N^t)$ と定義される(次元数 N)。 \mathbf{H} は観測系と状態変数とを関連付ける $M \times N$ の観測行列と呼ばれるものであり、もし、 k 番目の感知器が l 番目のセルに位置しているのであれば、 (k, l) 要素が1の値を取り、それ以外が0を要素としてとるものである。最後に $\delta^t \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{R}^t)$ と仮定する。

また、システムモデルすなわち CTM-v についても、攪乱項を導入して式(1)を改め、下記の通りに表すものとする。

$$\mathbf{x}^{t+1} = \mathbf{F}(\mathbf{x}^t) + \sigma^t \quad (6)$$

ここで、 $\sigma^t \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{Q}^t)$ と仮定する。

実際の計算では、以下のアルゴリズムに従って事後分布 $p(\mathbf{x}^t | \mathbf{Y}^t)$ を逐次的に求める(但し、 $\mathbf{Y}^t \equiv \{\mathbf{y}^1, \mathbf{y}^2, \dots, \mathbf{y}^t\}$)。

以上の手順を経て、時刻 t における状態変数の推定量 $\hat{\mathbf{x}}^t$ は以下の式(8)で与えられる。

$$\hat{\mathbf{x}}^t \approx \sum_{j=1}^J \lambda_{t|t}^{(j)} = \sum_{j=1}^J \pi_{t|t}^{(j)} \lambda_{t|t-1}^{(j)} \quad (8)$$

4.2.7 パーティクルフィルタの適用と感知器数が速度推定精度に及ぼす影響

構築したモデルを先述の都心環状線単路部の分析に適用した。適用に当たり、交通流モデルの各パラメータは4.2.4で示した通りの値を用いた。また、各セルの状態変数(速度)の初期条件等は、Work et al. (2010)に倣い、観測速度より推定される正規分布からランダムに発生させて与えた。また、アンサンブルの発生回数 $J = 100$ とした。

システムノイズの分散共分散 n 行列の初期値 \mathbf{Q}^0 に関しては、過去のデータの実績に基づき、対角項のみが全て標準偏差3.2km/hとなるように定めた。また、観測モデルのノイズ項の分散共分散行列の初期値 \mathbf{R}^0 についても、同様にして対角項のみが全て標準偏差6.4km/hの値を持つように定めた。

PFを適用した結果を図4.3に示す。色の違いが各セル各時間帯における速度を表している。また、セル0が上流側(一ノ橋側)である。図4.3(a)は感知器の観測速度そのものを図示した結果である。一方、図4.3(b)～図

1. 初期分布 $p(\mathbf{x}^0)$ を与え、各アンサンブル $j = 1, \dots, J$ についてモンテカルロサンプル $\lambda_{0|0}^{(j)} \sim p(\mathbf{x}^0)$ を生成する。
2. (予測)まず、各 $j = 1, \dots, J$ についてシステムノイズ $\sigma_{t|t}^{(j)} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{Q}^t)$ を発生させる。次に、式(6)のシステムモデル \mathbf{F} に従って時刻 $t-1$ の各サンプル $\lambda_{t-1|t-1}^{(j)}$ を遷移させて予測サンプル $\lambda_{t|t-1}^{(j)}$ を生成する。
3. (観測・尤度推定)各予測サンプル $\lambda_{t|t-1}^{(j)}$ に対して、以下の式(7)を用いて重み $\pi_{t|t}^{(j)}$ を推定する。

$$\pi_{t|t}^{(j)} = \frac{p(\mathbf{y}^t | \mathbf{x}^t = \lambda_{t|t-1}^{(j)})}{\sum_{j=1}^J p(\mathbf{y}^t | \mathbf{x}^t = \lambda_{t|t-1}^{(j)})} \quad (7)$$

$p(\mathbf{y}^t | \mathbf{x}^t = \lambda_{t|t-1}^{(j)})$ は、状態 \mathbf{x}^t が $\lambda_{t|t-1}^{(j)}$ のときに観測値 \mathbf{y}^t を得る確率であり、式(5)ならびに $\delta^t \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{R}^t)$ の仮定より計算される。

4. (フィルタ)アンサンブル $\mathbf{A}_{t|t-1} = \{\lambda_{t|t-1}^{(1)}, \dots, \lambda_{t|t-1}^{(j)}, \dots, \lambda_{t|t-1}^{(J)}\}$ から重み $\pi_{t|t}^{(j)}$ に比例する割合で J 個のサンプルを復元抽出し、事後分布 $\mathbf{A}_{t|t} \equiv \{\lambda_{t|t}^{(1)}, \dots, \lambda_{t|t}^{(j)}, \dots, \lambda_{t|t}^{(J)}\}$ とする。
5. $t = t + 1$ として、Step 2 から Step 4 を分析対象期間が終了するまで繰り返す。

4.3(d)がCTM-vモデルのPFによる推定結果を示したものであり、図4.3(b)は計9個の感知器すなわちフルスペックで推定した場合、図4.3(c)が上流側から4番目および8番目の感知器情報を利用せずに推定した場合、図4.3(d)がさらに上流側から2番目及び6番目の感知器情報も除外して推定した場合である。図4.3(b)と図4.3(c)が同様の傾向を示し図4.3(a)の観測値にも比較的近い傾向を示しているのに対し、図4.3(d)は特に高い速度域において他と傾向が異なっていることがわかる。

すなわち今回のケースでは、感知器数を約2kmの区間において現行の9つから7つまで減らしても速度推定の精度は大きくは低下しないことが示唆される。

4.2.8 旅行時間の比較

次に、図4.3(b)の状況、すなわち、フルスペックの感知器情報を用いて同定されたCTM-vによって推計される旅行時間とプローブデータによって得られるそれとの比較検証を行う。

図4.4には、今回の分析期間中(AM9:41~AM9:43頃)にかけて実際にこの区間を移動したタクシーから得られたプローブデータ(青色)と、先述のCTM-vによって推定された速度(赤色)のセル毎の速度推定値を示している。CTM-vの結果が主に60km/h強の速度域で推移しているのに対し、プローブデータの方は60km/h弱の速度域の占める割合が多くなっており、両者の傾向は必ずしも一致していない。また、一ノ橋ジャンクション

～浜崎橋ジャンクション間の移動時間を見ると、プローブデータから直接算出されたものは121秒であったのに対し、CTM-vより得られた速度と区間長より求められた移動時間の推計値は113秒となった。今回の分析では、感知器の速度計測間隔である1分に併せてCTM-vの離散時間も同じに設定した。一方、移動時間が約2分程度と短いことから、今回のCTM-vの時間分解能が粗すぎてしまった可能性も考えられる。分析区間を長くし、また、用いたパラメータの検証を行うなどの精査が更に必要である。

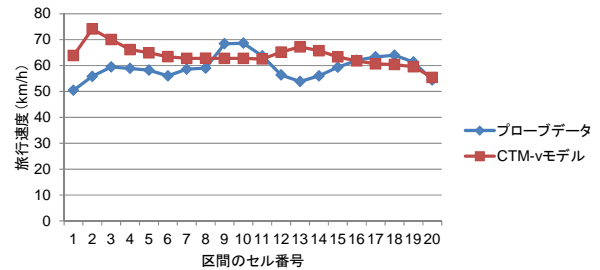


図4.4 旅行速度の比較

4.3 本章のまとめ

本章では、道路パフォーマンス情報収集システムデザインの提案を目的として、1)交通流モデルを用いた内部状態の推定、2)交通流モデルのデータ量の違いによる推定精度の確認、および3)プローブカーデータとの比

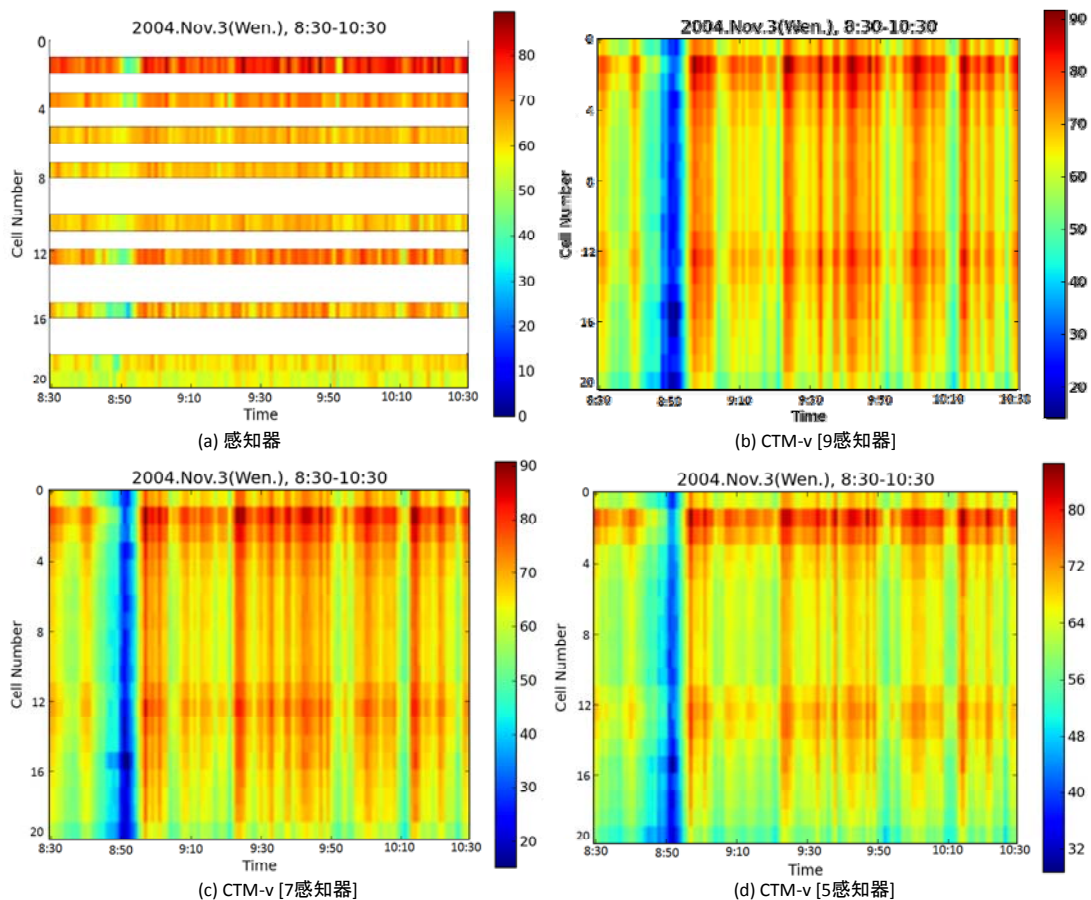


図4.3 CTM-vによる速度の推定結果の比較

較による推定精度の確認を行った。

Cell Transmission Model を内部状態変数として速度を採用し推定することに成功し、データソースとなる感知器の数が9から7まで削減しても推定精度に大きな変化がないことを確認した。

これは、現状よりも約20%減少させたデータソースでも十分な交通流の再現モデルが推定できることを示している。これは路側観測器配置密度の観点から言えば、現状の200m間隔から300m間隔でも同様の推計精度が確保できることを意味している。

本研究のプロトタイプとしての分析対象地域(東京外郭環状道路周辺)における路側観測データの密度は世界最大規模といえる。4.1 で示したとおり、その計測系の巨大さから、他国への技術移転等において大きな障壁になっていることが指摘されており、今後、データの活用方法を念頭に置いて、どの程度の計測密度が必要で

あるかの議論が重要となる。

一方、交通流モデルにより推定された速度とプローブデータから得られた速度との差異を確認したところ、ある程度の推計精度は確認できたものの、必ずしも十分な再現性があるとは言い切れない。

その原因として、検証データとして用いようとしたプローブデータの量が、圧倒的に少ないことが挙げられる。

本研究で用いたプローブカーデータは20台のタクシープローブカーであり、今後民間プローブカー等の大量なデータが必要とされる。ただし、同様の検証を行うとする場合には、その計測時間単位(本データでは1秒、民間プローブは15秒~1分)が検証作業に大きな影響を与えることが確実であり、プローブカーデータの収集系についても、活用方法を念頭に置いた検討が望まれる。

第5章 道路行政支援のためのアプリケーションの提案

5.1 本章の目的

本研究では、得られた複数データによって作成されるパフォーマンス指標を多様な場面に適用し、道路行政における重要なデータ・情報を提供することも目的としている。特に、行政として道路管理者が必要とする環境指標(走行状況を考慮した精緻な環境影響指標)の推計や、バイパス、立体交差等の整備に伴う事業効果のモニタリング、ITS導入やTDM社会実験の実施効果データの取得において、本システムで計測、作成される指標が活用できるアプリケーションの作成を行う。

ここでは、渋滞評価および環境評価への適用事例について説明する。

5.2 渋滞長評価への活用

現在、渋滞対策地点は、人手観測による渋滞長調査に基づいている。従来手法では、①調査対象箇所の限界(選定基準の不明確さ等)、②調査費用の箇所数依存性、③観測・判断基準の困難さ等の課題がある。

そこで、プローブカー観測データにもとづいた渋滞長判別を以下の手順で行った。渋滞長判別への活用方法を探った。

1. 交差点を起点とし、10秒おきに20秒間走行データの旅行時間を算定
2. 算定されたデータにおいて、 X km/h以上の旅行速度が Y 回以上続いた場合は混雑区間終了とする
3. 2.において混雑区間でないと判定された区間の、直前までの区間における最後尾のデータを抽出
4. 交差点流入時の位置と3.において抽出されたデータの位置等より混雑区間長および通過時間、通過速度を算出

5. 通過時間が、対象交差点の信号サイクルより長い場合は、渋滞と判定

ここでは、 X を20km/h、 Y を4回として判断した。

図5.1は首都圏におけるプローブカー調査データにも

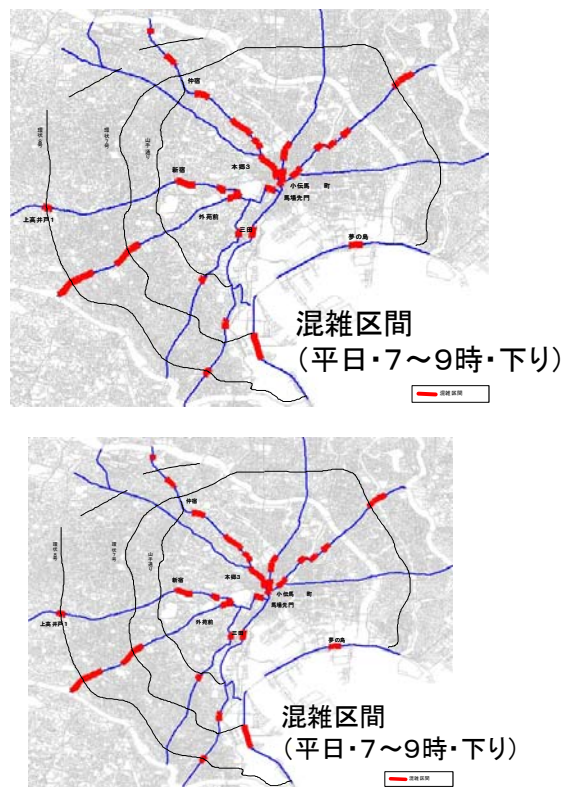


図5.1 プローブカーデータにもとづく渋滞長判定例

とづいた渋滞長判定の一例を示す。このように詳細かつより多くのポイントがプローブカーデータによって評価、判定が出来ることになる。

5.3 環境指標の算定

現在、地球環境問題からCO₂の発生に対する関心は高い。

従来、道路行政分野におけるCO₂を始めとする環境指標に対する算定方法は、走行速度にもとづく方法が主流ではあるものの、加減速を繰り返す一般道路では、局所的な排出集中が懸念されている。今後、環境対策を目的とした、ハード、ソフト両面からの方策がとられる際にも事前の評価・予測は重要と考えられ、より詳細な検討も必要となる。ここでは、自動車の加減速を考慮したCO₂排出推計の試算を行う。その基本データとしてのプローブカーデータの活用例を示す。

既存の研究事例より、平均速度によるCO₂排出量推計式として、国土交通省によって主に使用されている以下の算定式を用いる(以下、国総研式と呼ぶ)。

$$\begin{aligned} \text{ガソリン乗用車のCO}_2\text{排出量 (g-CO}_2\text{/km)} \\ = 156.05 - 2.087v + 0.01865v^2 \\ + 829.3/v \end{aligned}$$

d : 旅行距離 (km)
v : 平均旅行速度 (km/h)

※出典:自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数、大城温、松下雅行、並河良治、大西博文、土木技術資料 Vol43, No11, pp50-55, 2001/11

また、走行速度、加減速を考慮したCO₂算定式として、下記の大口らの算定式を用いる。

$$\begin{aligned} \text{ガソリン乗用車のCO}_2\text{排出量 (g-CO}_2\text{)} \\ = 0.3K_c T + 0.028K_c D + 0.056K_c \sum_{k=1}^K \delta_k (v_k^2 - v_{k-1}^2) \end{aligned}$$

K_c : 2.32、CO₂換算係数(g-CO₂/cc-gasoline)
v : 計測サンプリング周期(0.1秒)毎の車速
T : 旅行時間(s)
δ : 加速時δ=1、定速・減速時δ=0
D : 旅行距離(m)
K : 総サンプル数

※出典:

- ・ 大口敬:道路交通における燃料消費量推定方法に関する考察、土木計画学研究・講演集、No.22(2)、1999年
- ・ 大口敬、片倉正彦、谷口正明:都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推定モデル、土木学会論文集、No.695/IV-54、2002年
- ・ 地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条(平成14年12月19日一部改正)

両者を、図5.2に示す区間において適用し、CO₂の排出量を求めた。結果を図5.3に示す。

走行速度を考慮した推計式のほうが、より大きなCO₂排出量を示しており、混雑時の時間増加や高速走行時

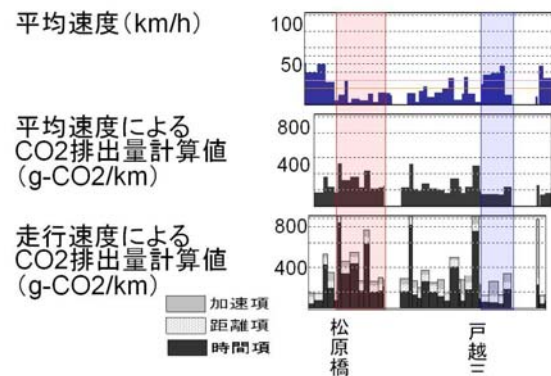


図 5.3 CO₂排出量の比較

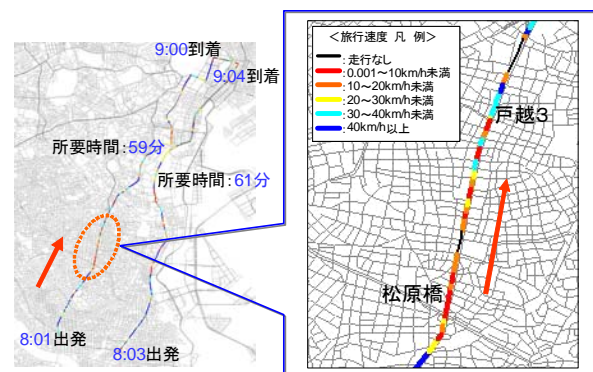


図 5.2 CO₂排出量推計区間

の加速増加による影響が反映されていると考えられている。このように詳細な自動車挙動を捉えられるプローブカーデータの特徴を活かした推計式を適用することで、CO₂の排出要因を把握可能となる。これは、交差点改良や信号制御変更など、施策実施効果を評価する際に有効と考えられる。

第6章 本研究のまとめ

本研究は、所要時間情報のみならず、定時性、時間信頼性、環境影響モニタリングといった、より質の高いサービス情報の提供を念頭に置いた検討を試みた。

特に路側感知器によって得られる交通流データ、プローブカーより得られる所要時間情報に着目し、道路パフォーマンス指標としての活用可能性について、先進諸国情報の整理、データに基づく活用可能性の検証を行った。

第2章では、道路パフォーマンス指標としての道路所要時間信頼性指標について、国内外における取組、情報収集方法等について整理した。

第3章では、路側観測データとプローブカー調査データの特性分析を行い、2章で整理した道路パフォーマンス指標の算定を試みている。また、より高精度な道路交通流再現を試みて、現状でのデータ精度の課題を指摘している。

第4章では、データ収集にかかるコスト削減を鑑み、必要条件にあう提供情報水準を導出するための最低限必要な収集系の検討を、交通流モデルを用いて行った。対象地域内の交通流の再現において、データソースのデータ量の多少による精度の差異を指摘し、現状より約20%減の収集系でも十分な精度が可能であることを指摘している。と、ともに、当初想定したプローブカー調査データの活用可能性について、現状ではデータ量、収集時間単位に課題が残っていることを指摘している。

第5章では、道路行政支援のためのアプリケーションとして、渋滞長、環境指標の算出について算定を行った。

今後、所要時間情報に限らず、定時性、時間信頼性といった道路パフォーマンス指標の作成と体系的な提供系の構築が重要である。特に、地球環境問題への対応の必要性から、走行状態を反映したより精緻なCO2排出量推計や、道路整備事業の事後評価に対する関心も高まっており、道路ネットワークのサービス水準評価について、より高度な指標の作成とそのデータ収集方法の確立が望まれている。そしてこれらをなるべく自動化し、コストを削減することも重要である。

本研究で、指摘された収集系の改善項目について、さらなる検討が必要であろう。

参考文献

- 1) 大城温, 松下雅行, 並河良治, 大西博文:自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数, 土木技術資料 Vol43, No11, pp50-55, 2001/11
- 2) 大口敬:道路交通における燃料消費量推定方法に関する考察, 土木計画学研究・講演集, No.22(2), 1999
- 3) 大口敬, 片倉正彦, 谷口正明:都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推定モデル, 土木学会論文集, No.695/IV-54, 2002
- 4) 王立暁, 姜美蘭, 山本俊行, 森川高行:プローブカーデータとVICSデータの融合による旅行時間推定に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.23, no.4, pp.1011-1018
- 5) 喜多秀行, 河内朗, 谷本圭志:走行サービスの質に対する順序効果の影響を考慮したドライバーの認識・評価構造の実証分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.25, no.2, pp.515-523, 2008
- 6) 喜多秀行, 前田信幸:道路交通における走行サービスの質とその計測;効用アプローチに基づく方法, 土木学会論文集, No.722/IV-65, pp.3-10, 2004
- 7) 喜多秀行, 中村英樹:“道路交通サービス水準”特集にあたって, 土木学会論文集, No.722/IV-65, pp.1-2, 2004
- 8) 鯉淵正裕:主観的渋滞判断への影響要因に関する分析, 平成14年度筑波大学第三学群社会工学類卒業論文, 2003
- 9) 甲斐慎一郎:主観的評価を考慮した渋滞判定に関する研究 ~首都高速道路を対象として~, 平成13年度筑波大学第三学群社会工学類卒業論文, 2002
- 10) 国土交通省道路局ITSホームページ“VICS プローブ懇談会”
<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/index/indexVicsProbe.html>
- 11) 小出勝亮, 宮崎要, 堀口良太, 赤羽弘和:VICS情報とプローブ情報の融合手法の研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.30, 2004
- 12) 上杉友一, 井料隆雅, 小根山裕之, 堀口良太, 桑原雅夫:“断片的なプローブ軌跡の接合による区間旅行時間の期待値と分散の推定”, 土木計画学研究・論文集, vol.20, no.4, 2003
- 13) 清水哲夫, 平岩洋三, 森地茂:地点-区間, 主観-客観の関係に着目した道路サービス水準評価要因の分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.28, 2003
- 14) 西尾崇:“「道路行政と業績評価」に関する国際会議の開催について”, 高速道路と自動車, vol.49, no.2, pp.52-56, 2006
- 15) 石田東生, 三浦裕志, 岡本直久, 古屋秀樹:高度情報機器を用いた走行速度調査における抽出率の検討, 土木計画学研究・論文集, vol.18, no.1, pp.81-88, 2001
- 16) 前田信幸, 喜多秀行:道路交通サービスの質と幾何構造, 土木計画学研究・講演集, Vol.29, pp.132-135, 2004
- 17) 中村英樹, 鈴木弘司, Shunsei RYU, ドライバーストレスの間接計測に基づく高速道路短路部におけるサービス水準の評価, 土木学会論文集, No.722/IV-65, pp.11-21, 2004
- 18) 中村俊之, 中嶋康博, 牧村和彦, 井坪慎二:“トラッ

- クプローブデータを用いた旅行時間信頼性指標に関する一考察”, 土木計画学研究・講演集 vol.35, 2007
- 19) 田宮佳代子, 瀬尾卓也: “プローブカーデータを活用した都市内一般道路の Q-V 特性について”, 土木学会第 57 回年次学術講演会, IV-385, 2002
 - 20) 藤田清二: 高速道路のサービス水準の適用に関する考察, 土木学会論文集, No.722/IV-65, pp.33-39, 2004
 - 21) 尾崎晴男, 森浩, 鹿田成則: “HIGHWAY CAPACITY MANUAL 2000: 6. サービス水準 (LOS)の考え方 Level of Service Concepts”, 交通工学, Vol.38, No.3, 2003
 - 22) 牧村和彦, 中嶋康博, 佐藤弘子, 石田東生: カーナビゲーションシステムを用いた渋滞関連指標に関する基礎的研究, 土木学会論文集 No.758, IV-63, pp.1-10, 2004
 - 23) 堀口良太, 清水行晴, 金崎貴文, 岡村明彦, 上田憲道, 杉崎康弘: “プローブデータのクレンジング処理と車種別の運行特性分析”, 土木計画学研究・講演集, vol.26, 2002
 - 24) 堀口良太: “「IPCAR 実証実験」におけるデータ処理技術について”, 交通工学, vol.38, No.4, pp.30-35, 2003
 - 25) 末岡真純, 木村一裕, 羽田野和久: 高速道路におけるアウトカム指標としての CS に関する調査分析について, 土木計画学研究・論文集 vol.25, pp.101-108, 2008
 - 26) 有吉亮, 中村文彦, 矢部努: “路線バス位置データを用いた一般道路の交通特性評価に関する研究”, 交通工学研究発表会論文報告集, vol.24, pp.293-296, 2004
 - 27) 鈴木一史, 中村英樹: 実務者のための交通流調査講座第 5 回 道路交通管理のための交通流調査, 交通工学, Vol.43, no.6, pp.82-89, 2008
 - 28) 鈴木完: “プローブカー調査データの特性に関する研究”, 筑波大学大学院システム情報工学研究科修士論文, (2004)
 - 29) 国土交通省: 道路の走りやすさマップ (<http://www.cbr.mlit.go.jp/road/map/02.html>)
 - 30) 米国交通学会 (<http://www.trb.org/Main/Public/Home.aspx>)
 - 31) (社)交通工学研究会: 道路の交通容量, pp.50-51, 1980
 - 32) 国土交通省道路局「ITS ホームページ」 (<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/>)
 - 33) 国土交通省道路局「道路 IR サイト」, (<http://www.mlit.go.jp/road/ir/index.html>)
 - 34) Christian G. CLAUDEL, Aude HOFLEITHER, Nicholas D. MIGNEREY and Alexandre M. BAYEN: Guaranteed bounds on highway travel times using probe and fixed data, 88th TRB Annual Meeting, 2008
 - 35) Christian G. GLAUDEL, and Alexandre M. Bayen, Guaranteed bounds for traffic flow parameters estimation using mixed Lagrangian-Eulerian sensing
 - 36) Daniel B. Work, Alexandre M. Bayen, and Quinn Jacobson: Automotive Cyber Physical Systems in the Context of Human Mobility
 - 37) Daniel B. Work, Olli-Pekka Tossavainen, Quinn Jacobson, and Alexandre M. Bayen: Lagrangian Sensing; Traffic Estimation with Mobile Devices
 - 38) Daniel B. Work, Olli-Pekka Tossavainen, Sebastien Blandin, Alexandre M. Bayen, Tochukwu Iwuchukwu, and Kenneth Tracon: An Ensemble Kalman Filtering Approach to Highway Traffic Estimation Using GPS Enabled Mobile devices
 - 39) FHWA : “Travel Time Reliability: Making It There On Time, All The Time” (http://ops.fhwa.dot.gov/publications/tt_reliability/)
 - 40) Fred Hall, Sarah Wakefield, and Ahmed Al-Kaisy: Freeway Quality of Service, Transportation Research Record, No.1776, pp.17-23, 2000
 - 41) Highways Agency: (<http://www.highways.gov.uk/>)
 - 42) Hu Shao, William H.K.Lam, Qiang Meng, and Mei Lam Tam: “Demand-Driven Traffic Assignment Problem Based on Travel Time Reliability”, Transportation Research Record No.1985, pp.220-230, 2006
 - 43) Juan C. Herrera, Alexandre M. Bayen: Traffic flow reconstruction using mobile sensors and loop detector data, 87th TRB Annual Meeting, 2007
 - 44) Kate Lyman and Robert L. Bertini: “Using Travel Time Reliability Measures to Improve Regional Transportation Planning and Operations”, Transportation Research Record No.2046, pp.1-10, 2008
 - 45) Nanthawichit, C., Nakatsuji, T. and Suzuki, H.: Application of probe-vehicle data for real-time traffic-state estimation and short-term travel-time prediction on a freeway, Transportation Research Record, no.1855, pp.49-59, 2003
 - 46) NCHRP: ”Web-Only Document 97: Guide to Effective Freeway Performance Measurement: Final Report and Guidebook”, 2006 (http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_w97.pdf)
 - 47) 「PRO-ROUTE」 (<http://www.p-drugs.jp/>)
 - 48) Shawn Turner and Eun Sug Park: “Incomplete Archived Data of Intelligent Transportation Systems for Calculation of Annual Average Traffic Statistics”, Transportation Research Record No.2049, pp.1-13, 2007
 - 49) Sirisha M. Kothuri, Kristin A. Tufte, Enas Fayed, and Robert L. Bertini: “Toward Understanding and Reducing Errors in Real-Time Estimation of Travel Time”, Transportation Research Record No.2049, pp.21-28, 2008
 - 50) Scott S. Washburn, Kirby Ramlackhan, and Douglas S. McLeod: Quality-of-Service Perceptions by Rural Freeway Travelers, Transportation Research Record, No.1883, pp. 132-139, 2004
 - 51) Transportation research board “NCHRP 03-70”: <http://www.trb.org/trbnet/projectdisplay.asp?projectid=824>
 - 52) Transportation research board “NCHRP 03-82”: <http://www.trb.org/trbnet/projectdisplay.asp?projectid=838>
 - 53) TRB “NCHRP 03-92 production of the Year 2000

Highway Capacity Manual”

(<http://www.trb.org/TRBNet/ProjectDisplay.asp?ProjectID=1612>)

- 54) Werner Brilon, Justin Geistefeldt, and Hendrik Zurlinden: “Implementing the Concept of Reliability for Highway Capacity Analysis”, Transportation Research Record No.2027, pp.1-8, 2007
- 55) Work, D., Blandin, S., Tossavainen, O., Piccoli, B., and Bayen, A.: A traffic model for velocity data assimilation, Applied Mathematics Research eXpress, Vol. 2010, No. 1, pp. 1–35, 2010.

- 56) Daganzo, C. F.: The cell transmission model: a dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory, Transportation Research Part B, Vol. 28, No. 4, pp. 269–287, 1994.

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.213 複合データによる道路サービス・パフォーマンス情報システムの研究開発 2012.06