

次世代マルチモーダルITS研究会報告

—プローブデータを活用した交通情報の把握に関する研究—

2005年3月

国土交通省 国土交通政策研究所

はじめに

近年、産学官をあげて、高度道路交通システム（ITS）の実現に向けた取り組みが行われている。幹線道路からの交通渋滞や交通規制情報をリアルタイムにカーナビゲーションシステム等へ送信する道路交通情報通信システム（VICS）や、各種道路の自動料金収受システム（ETC）等の ITS サービスによって、交通の効率化が実現され、事故や渋滞を削減する他、省エネルギーや環境との共存も期待されているところである。

ITS の取り組みの一つとして、プローブデータ（プローブとは「探針」の意味）の活用が注目されており、プローブデータを基にした交通状況の把握、またそれを応用した交通流の分析等の研究が進められている。

プローブデータとは、一台一台の自動車をセンサーとみなし、車両に搭載したプローブ車載器が、車両の位置、速度、その他の車両制御情報を車外の情報センターへモバイルデータ通信によって送信するデータのことである。車両のプローブデータから、車両が位置する近傍の交通動態を推定できるため、それを集計・解析することによって、各種の道路交通情報への加工が可能となる。これらプローブデータは、大規模な道路側インフラによる情報収集をせずにきめの細かな情報を取得することができることから、これらを活用した技術は、次世代の ITS の展開に非常に有益であるといわれている。例えば、動的な経路誘導技術による移動所要時間の精度を向上させることによって、これまでのカーナビゲーションシステム等の ITS サービスの精度向上を支援できるようになる。また、運送事業者が個々の車両の管理へ応用することも可能となる。

しかし、プローブデータの活用によって交通情報の把握及び精度向上を行うためには、車両から得られるプローブデータの解析精度の向上が不可欠である。また、プローブ車載器を搭載した限られた車両から信頼できる交通分析を行う技術の開発も必要である。

本研究所では、こうした課題に対処するため、学識経験者と実務担当者から成る「次世代マルチモーダル ITS 研究会」を立ち上げ、プローブデータを活用することによる交通情報の把握を目的とする調査研究を行ってきた。本報告書は、当該研究会にて検討した項目について、担当する研究会メンバーに執筆して頂いたものである。本報告書発刊にあたり、執筆頂いた研究会メンバー、またその他多くの貴重なご意見を頂いた研究会メンバー諸氏に厚く感謝の意を表する次第である。

平成 17 年 3 月

国土交通省 国土交通政策研究所

研究調整官 水谷 誠
研究官 望月隆志

次世代マルチモーダル I T S 研究会

赤羽 弘和	千葉工業大学教授
森川 高行	名古屋大学大学院教授
羽藤 英二	愛媛大学助教授
植原 啓介	慶応義塾大学大学院特別研究専任講師
佐藤 彰典	日本電気株式会社 ITS 推進センター マネージャー
松下 貴俊	株式会社デンソーITS 開発部 担当部員
豊川 博圭	株式会社タクシーサイト 常務取締役
田嶋 敦	株式会社N T T ドコモ 第一法人営業部 主査
小宮 信彦	株式会社N T T ドコモ 第一法人営業部 チーフコンサルタント

(事務局)

上田 信一	国土交通政策研究所副所長
河田 守弘	国土交通政策研究所総括主任研究官
水谷 誠	国土交通政策研究所研究調整官
日原 勝也	国土交通政策研究所主任研究官
千葉 豪	国土交通政策研究所研究官
望月 隆志	国土交通政策研究所研究官

(順不同敬語略)

概要

本報告書では、プローブデータを活用することによる交通情報の把握を目的に、プローブデータの精度向上及びその活用に係る基礎的な研究を行い、「ダイナミック・ルート・ガイダンス・システム（DRGS）に関する研究」及び「タクシー需要マップに関する研究」の2つの研究分野についてまとめたものである。

「ダイナミック・ルート・ガイダンス・システム（DRGS）に関する研究」は、プローブデータを使ってリアルタイムで車両の位置の把握を行い、それを一般的な交通情報へ変換し、広く情報提供を行うことを目的としている。このために、まずプローブデータと既存のVICSデータとの融合による旅行時間計測精度の改良を検証し、プローブデータを活用した現行のVICSを補正する効果の可能性について研究した。次に、プローブデータを、道路ネットワークに正確にマッピングする手法について検討した。最後に、限られた数の車両からのプローブデータに対する解析の信頼性に関して検討した。

「タクシー需要マップに関する研究」では、名古屋地区における約1,500台のタクシー車両から得られるプローブデータをタクシーの車両管理業務に活用することを目的に、同地区でのタクシーの運行状況を確認し、需要を把握するための研究を行った。

各研究の概要は以下のとおりである。

1. ダイナミック・ルート・ガイダンス・システム（DRGS）に関する研究

(1) プローブデータとVICSデータとの融合（千葉工業大学 赤羽弘和）

道路交通情報の精度向上のために、現行のVICSの課題点である計測誤差や、非幹線道路における情報取得を補正すること等を目的に、プローブデータとVICSデータの融合による旅行時間の計測精度改良について研究した。

(2) プローブデータを用いたリンク別所要時間テーブル作成手法（名古屋大学 森川高行）

GPSの位置座標エラー等による走行経路把握の困難性を改善し、車両位置座標に沿ったリンク列として走行経路を正確に特定することを目的に、マップマッチングと呼ばれる走行経路特定手法について研究した。

(3) 道路交通状況を把握するためのプローブカー台数に関する予備的実験

（日本電気株式会社 佐藤彰典）

平均的道路交通状況の把握手段として注目されるプローブデータの質的向上に必要なプローブカーの有効台数について予備的な分析を行った。

2. タクシー需要マップに関する研究（愛媛大学 羽藤英二）

名古屋圏におけるタクシー走行状況を捉えることを目的とし、名古屋地区のタクシーから取得したプローブデータを利用して、タクシー需要マップの作成を行い、解析を行った。

目次

第1章 ダイナミック・ルート・ガイダンス・システム(DRGS)に関する研究	1
1.1 プローブデータと VICS データとの融合千葉工業大学教授 赤羽弘和.....	1
1.2 プローブデータを用いたリンク別所要時間テーブル作成手法名古屋大学大学院教授 森川高行.....	20
1.3 道路交通状況を把握するためのプローブカー台数に関する予備的実験日本電気株式会社 ITS 事業推進センター マネージャー 佐藤彰典.....	42
第2章 タクシー需要マップに関する研究愛媛大学助教授 羽藤英二.....	57

第 1 章

ダイナミック・ルート・ガイダンス・システム(DRGS)
に関する研究

第1章 ダイナミック・ルート・ガイダンス・システム(DRGS)に関する研究

1.1 プロブデータと VICS データとの融合

千葉工業大学教授 赤羽弘和

(1) はじめに

現在、道路利用者は経路の旅行時間をカーナビゲーションシステムや道路上に設置してある情報板等から得ることができる。しかし、最新の道路交通情報システムの一角を成す VICS(Vehicle Information and Communication System)が提供する旅行情報においてさえ内容、品質、提供範囲等において改善すべき点が少なくない。課題として、以下が挙げられる。

- ① 全国の道路において、VICS の主要な情報源である車両感知器の未設置道路区間が多数存在しているため、交通状況の変動に対応しない静的な旅行時間の提供されている区間が多く存在している。
- ② 車両感知器が計測できるのは設置点近傍における地点速度であり、VICS が提供する区間旅行時間はそれに基づく推定値である。したがって、交通信号や交通渋滞などによる推定誤差が含まれる。
- ③ 車両感知器の故障または調整不足による計測誤差が発生している。
- ④ VICS は車両が直進することを仮定して旅行時間を推定しているため、右左折に伴う遅れ時間を考慮していない。

他方、GPS 等による測位機能や車載センサの計測データを記録・送信する機能を有するプローブカーで区間旅行時間を直接計測できるプローブ情報が注目を集めている。

本研究においては、プローブ情報と VICS 情報を融合することにより、上記の計測誤差等を補正することを目的とした。

(2) 既存の研究

効率的な交通情報提供サービスのためのタクシープローブ配備計画手法の理論と実証として、提供サービスを効率的に実現するために、プローブカー配備台数および空間的配備が理論的・実証的に検討されている。また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として、プローブ車両から得られるリンク旅行時間情報を用いて、ある対象区間の旅行時間を推定する際の、対象とするプローブ軌跡の選択方法と期待値・分散の推定精度の関係が検証されている。更に、走行イベント単位でのプローブデータ記録方式の効用を検証した研究もある。

2001 年度に (財)自動車走行電子技術協会が実施した、プローブカーの旅行時間及び GPS データの精度検証した実験がある。その主な実験内容は、「実走行実験」、「集中走行実験」である。前者は、バス 81 台、タクシー 139 台、配送車他 45 台の車両を用いてプローブデータの収集(車速、GPS 位置、ターンシグナル信号、パーキングブレーキ信号等)とプローブ情報提供(車速情報、任意および固定区間の旅行時間、車両位置(協力事業者向け))を収集し、プローブ情報システムの有効性の確認する目的で実施された。ま

た後者は、タクシー30台を貸し切り決められた路線を様々なパターンで繰り返し走行、走行状態を記録することにより、旅行時間の精度の確認実験を行った。両結果とも、研究のデータとして使用するに十分な精度を持っていることが実証されている。

(3) VICS 情報の検討

VICS (Vehicle Information and Communication System) とは FM 多重放送や道路上の発信機から受信した交通情報を図形・文字で表示するシステムであり、VICS センターで編集・処理された渋滞や交通規制などの道路交通情報をリアルタイムに送信し、カーナビゲーションシステムに用意されている地図に重ね書きして表示するシステムである。

高速道路と都市圏の一般道路を対象に、渋滞・工事等の情報を提供するほか、駐車場の混雑状況などを表示する機能も備える。渋滞情報を表示する際には、道路を一定区間ごとに細分化して区間ごとに渋滞情報を配信している。

VICS 情報は、道路上に設置された感知器情報に基づいて、VICS リンクとよぶ区間ごとに推計した旅行時間を提供するシステムである。その長所および短所は、以下のようにまとめられる。

・ VICS 情報の長所

- ① 車両感知器が設置されている道路区間では VICS 情報が常に記録されており、5分毎に更新される。

・ VICS 情報の短所

- ① VICS の主要な情報源である車両感知器の未設置道路区間が多数存在している。そこでは旅行時間情報が提供されていないので、カーナビゲーションシステムなどで利用する場合は、交通状況と関係なく、一定の旅行時間を仮定している。
- ② 車両感知器が計測できるのは設置点近傍における地点速度であり、VICS が提供する区間旅行時間はそれに基づく推定値である。したがって、交通信号や交通渋滞などによる推定誤差が含まれる。
- ③ 車両感知器の故障又は動作不良も、計測精度低下の原因である。
- ④ VICS 情報が与える情報は基本的に直進することが前提になっているため、右左折時などに必要な情報だとは限らない。

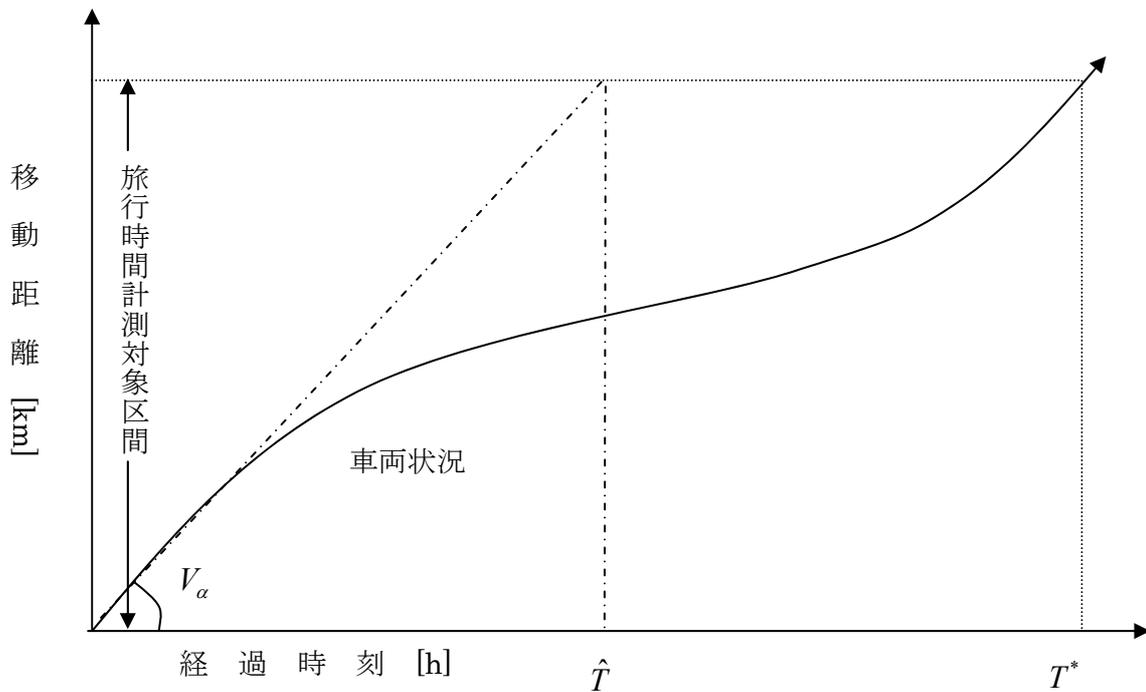


図-1.1.1 VICS リンク

短所の②は、図-1.1.1のように説明される。同図において、縦軸に移動距離、横軸に経過時刻を示し、各時刻における車両の位置を曲線で示した。曲線の接線の傾きは、その地点での走行速度を示す。

ここに

V_α : 感知器設置場所の地点速度

\hat{T} : 感知地点速度から推計した区間旅行時間

T^* : ある車両が実際に区間を通過するのに要する旅行時間

である。VICS 情報とは、感知器設場所における地点速度 (V_α) を元に計算した結果 (\hat{T}) を提供するシステムである。従って、実際の旅行時間 (T^*) とは誤差が発生しやすい状況であることがわかる。

本研究において、使用した VICS データ概要を表-1.1.1 に示す。

表-1.1.1 使用データ概要

対象期間	2002年1月1日～2002年3月31日
対象範囲	名古屋市内(2次メッシュ番号:523656, 523657, 523666, 523667, 523676, 523677)

(4) DRM リンクと VICS リンクの対応

リンクとは、道路を交差点から交差点までに区切った区間のことである。DRM とは、(財) 日本デジタル道路地図協会が作成しているデジタル道路データベースであり、国土地理院発行の 25、000 分の 1 地形図 (アナログ) と道路管理者からの道路情報をもとに、コンピュータで処理できるような数値化 (デジタル化) した地図情報である。このデータをベースにして VICS リンクが構成されている。

DRM リンクは、基本 DRM リンクと全 DRM リンクに分けられる。前者は、道路の幅員が 5.3m 以上の道路であり、後者は農道を含め全ての道路である。本研究においては、基本 DRM リンクを使用した。

VICS リンク構成例を図-1.1.2 に示す。同図のように、1 本の VICS リンクが 1 つ以上の DRM リンクから構成されている。

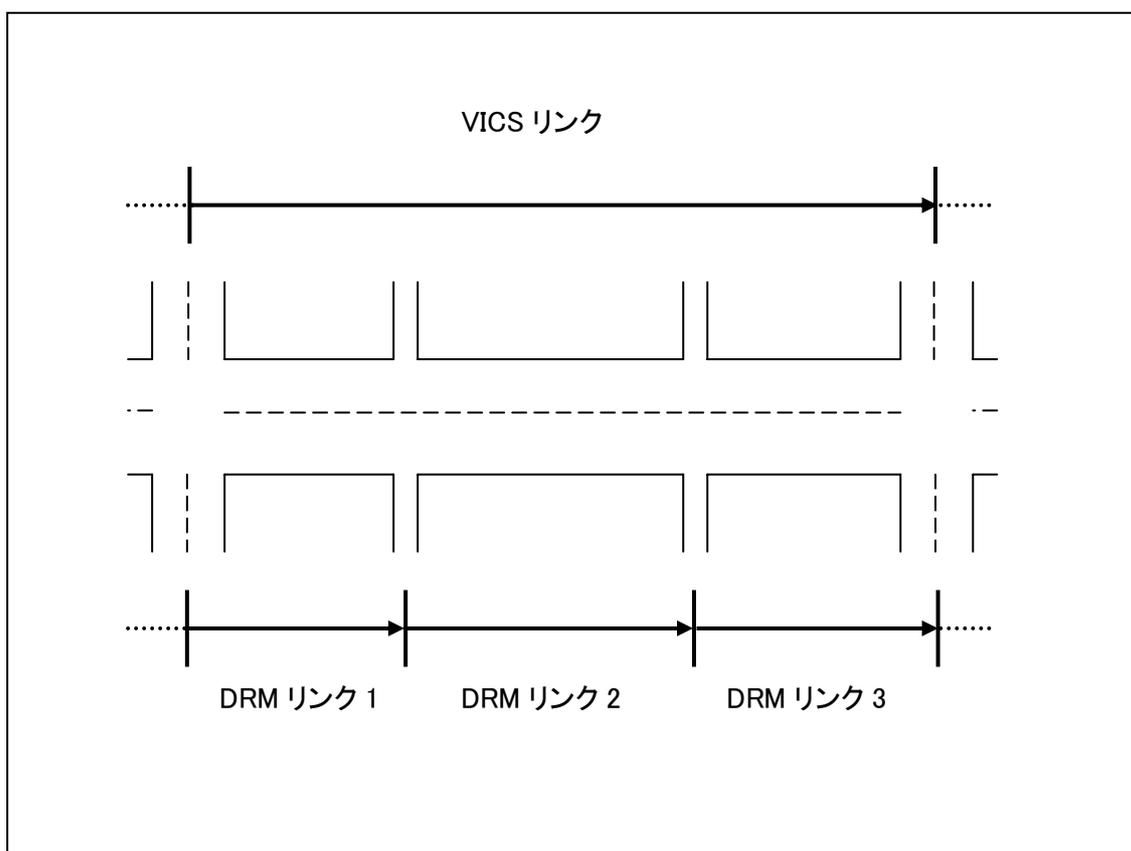


図-1.1.2 VICS リンク構成図



図-1.1.3 DRM リンク



図-1.1.4 VICS リンク

3 k m



DRM リンクと VICS リンクの対応状況を図-1.1.3 と、図-1.1.4 に示す。VICS リンクと比べ DRM リンクは高密度であり、より多くの道路に対応していることがわかる。

VICS リンクとして定義された区間であるにも関わらず、そのすべてがリアルタイムに VICS リンク旅行時間や渋滞情報を提供しているわけではない。そこで、実際にどのような情報提供がなされているか、表-1.1.1 に示したデータを用いて、その実態を次の 4 種類のリンクごとに、本数と総延長を集計した。

① VICS 情報変動あり：

VICS リンクに含まれる DRM リンクで、旅行時間情報が提供されており、かつ一日において旅行時間の変動が見られるもの。

② VICS 情報変動なし：

VICS リンクに含まれる DRM リンクで、旅行時間情報が提供されているが、一日における旅行時間の変動が全く見られないもの。

③ VICS 情報提供なし：

VICS リンクに含まれる DRM リンクだが、旅行時間が提供されていないもの。

④ VICS 未対応：

VICS リンクには含まれていない DRM リンク。

表-1.1.2 に情報提供別に VICS リンクの割合を示す。本来ならば、「情報変動あり」が大部分を占める必要があるにもかかわらず、旅行時間情報提供なしのリンクが存在するばかりか、旅行時間情報を提供しているにも関わらず時間毎に変化がない個所も存在する。図-1.1.5 に情報提供別に色分けした DRM リンクを図示する。情報変動あり(赤)の個所は 1 本に続いており、道路に

より提供の有無があることがわかる。

表-1.1.2 情報提供実態別の DRM リンク構成(名古屋市 12 メッシュ)

リンク種別	本数	割合	総延長[m]	割合
① VICS 情報変動あり	2211 本	3%	399884	4%
② VICS 情報変動なし	744 本	1%	194641	2%
③ VICS 情報提供なし	11504 本	16%	1957101	20%
④ VICS 未対応	58378 本	80%	6995933	74%
合計	72837 本	100%	9547759	100%

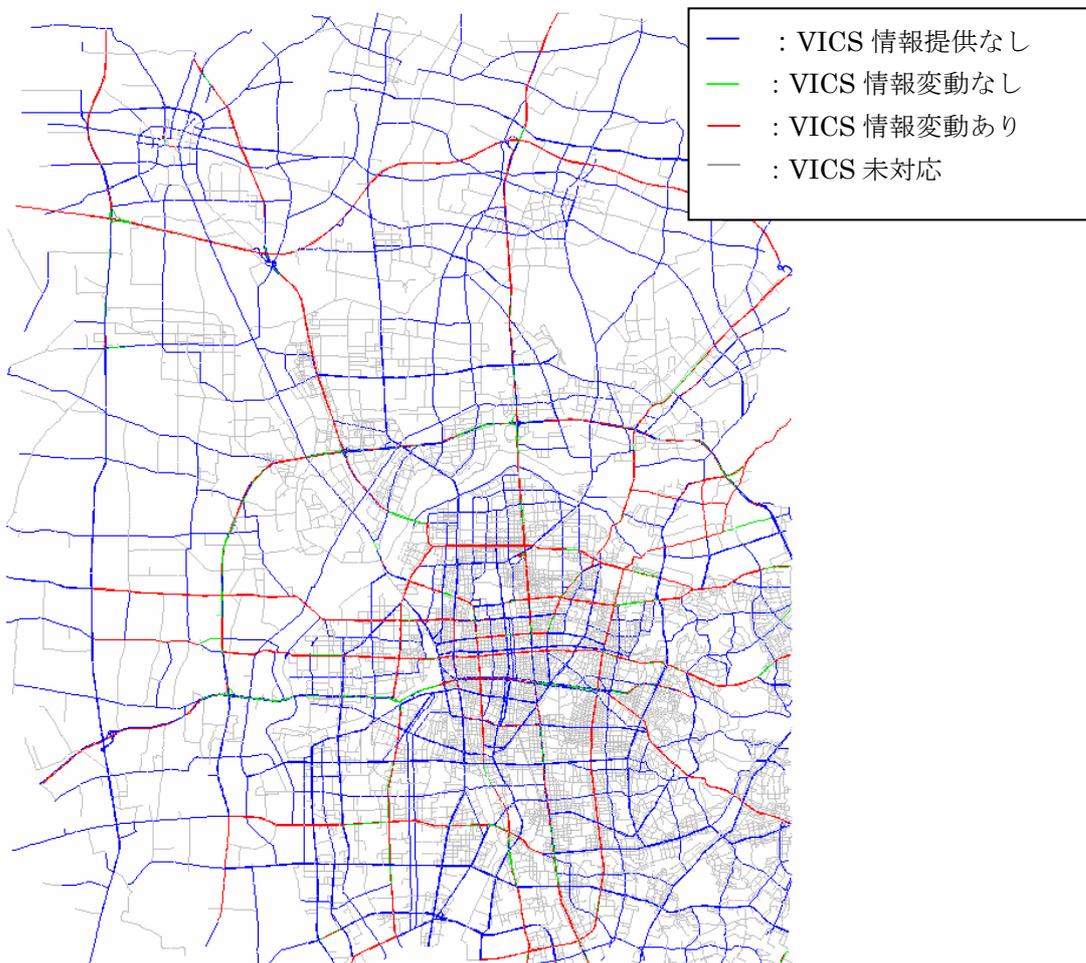


図-1.1.5 情報提供別 DRM リンク構成

(5) VICS 旅行時間の DRM リンクへの配分

VICS リンクは渋滞情報の提供単位として便宜的に定められた区間であり、すべての道路をカバーしているわけではない。このため、実際のカーナビゲーションシステムなどのサービスでは、より詳細な道路表現となっている DRM リンクを利用している。

本研究ではプローブ情報と VICS 情報の融合を目的としており、後述するプローブ情報が DRM リンク単位で旅行時間を計測していることから、VICS リンク旅行時間情報を DRM リンク単位に配分する必要がある。

(6) プローブ情報の特性

プローブ情報とは、プローブカーにより収集された時刻、走行速度、位置情報等から生成される道路交通情報である。プローブカーから、収集された情報をデータセンターで車輜 ID を照合し、旅行時間を直接計測している。与えられる情報単位は、走行速度は[km/h]単位で、位置情報は GPS 情報である。

本研究において使用した 2001 年度インターネット ITS 名古屋実証実験 (5) では、プローブデータを停止状態であるショートストップ (SS) と走行状態である (ST) に区分して、以下のイベント発生のたびに、イベント種類と時刻、位置を記録している。

- ① ST から SS に状態が変わった。
- ② SS から ST に状態が変わった。
- ③ 走行距離が長い ST で、直前のデータ記録位置から 300m 経過した。
- ④ 継続時間が長い SS で、直前のデータ記録時刻から 10 分経過した。
- ⑤ タクシーメーターの満空状態が切り替わった。
- ⑥ 右左折ウィンカーが、ON、または OFF になった。

今回使用したデータ概要を表-1.1.3 に記載する。プローブ情報は、プローブデータセンターで情報を受信し、ファイルを作成する。このファイルは、解析対象車両 1 車両、稼働 1 日につき 1 テキストファイルで生成される。プローブ情報の概念図を図-1.1.6 に示す。

対象期間	2002 年 1 月 1 日～2002 年 3 月 31 日
対象車両	名古屋市内を走行するタクシー1570 台
対象範囲	名古屋市内(2 次メッシュ番号:523656, 523657, 523666, 523667, 523676, 523677)
使用データ量	1570 (台) × 90 (日) × 300 (k b) = 42390000 (k b) ≒ 42.4 (GB) ※ファイル解凍時

表-1.1.3 使用データの概要

プローブ情報の得失は、以下のようにまとめられる。

・プローブ情報の長所

- ① 車両感知器などの設置の有無にかかわらず情報を採取できる。
- ② 旅行時間について実際の始端と終端の値から求めているので、誤差は少ない。車両感知器の故障又は動作不良も、すぐに発見でき修復できる。
- ③ 交差点において、直進に対して右左折する際に余計にかかる時間（右左折コスト）も計測できる。

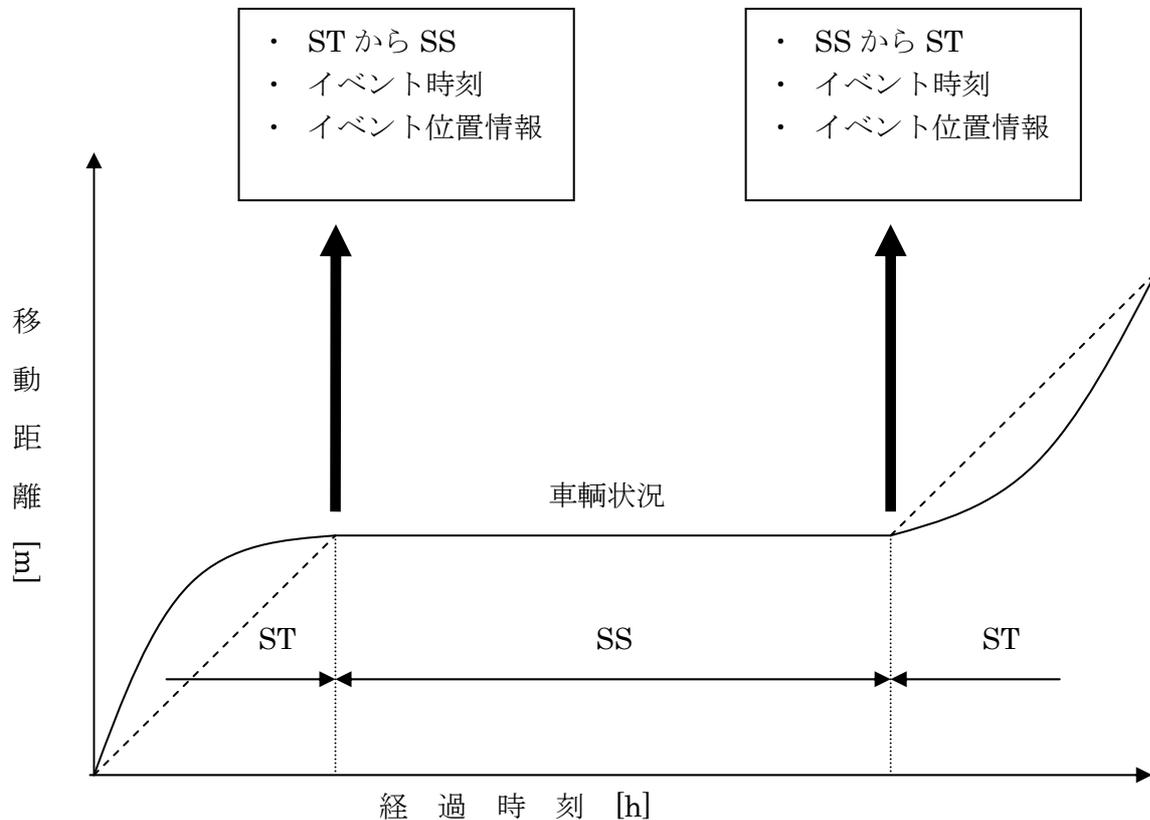


図-1.1.6 プロブシステムの基本概念

・プローブ情報の短所

- ① 定刻に情報が記録されているわけではないので、サンプル数がバラつき、精度管理に工夫を要する面もあること、更に、区間及び時刻によっては、データ数が不足することもあり得る。

図-1.1.7 に、解析対象範囲内においてプローブカーが対象期間中に 1 回以上走行している DRM リンクを黒線で表示した。



図-1.1.7 期間中に1回以上プローブカーが走行した DRM リンク

(7) データクレンジング

データクレンジングとは、生データに含まれる不要な情報や誤り情報を除去し、解析の目的に即した情報を抽出する処理である。

以下に本研究において、実施したクレンジング内容及び順序を示す。

- ① 解析対象地域外のデータを除外する。

解析対象とした、名古屋市域の6メッシュの範囲外にあるデータを除去

- ② 540秒以上データ送信間隔があいた時を、トリップエンドとする。

生データの「データ採取時刻」を用いて、データ送信間隔を算出し540秒以上データが途切れている所でトリップを切る。

トリップとは「人がある一定の目的を達成する為に、現在地から別の場所へ移動する行為」のことを示す。ここでは後述するオフラインマップ照合処理の便宜のため、エンジンがかかっている間は、時間的に連続して記録されているプローブデータをトリップ単位に区切る。時間軸で不連続になっている個所を「データ記録ギャップ」として検出することで、エンジンが停止している区間を同定できる。

図-1.1.8 に記録ギャップの分布図を、その求め方を式 1.1.1 に示す。

$$Gtime1 = Ltime - Time \quad \dots (式 1.1.1)$$

ここに、 $Gtime1$: 記録ギャップ
 $Ltime$: あるデータの直前のデータ採取時刻
 $Time$: あるデータのデータ採取時刻

である。

同図より、記録ギャップが 540 秒付近で出現頻度の値が下がっていることから 540 秒を閾値とした。

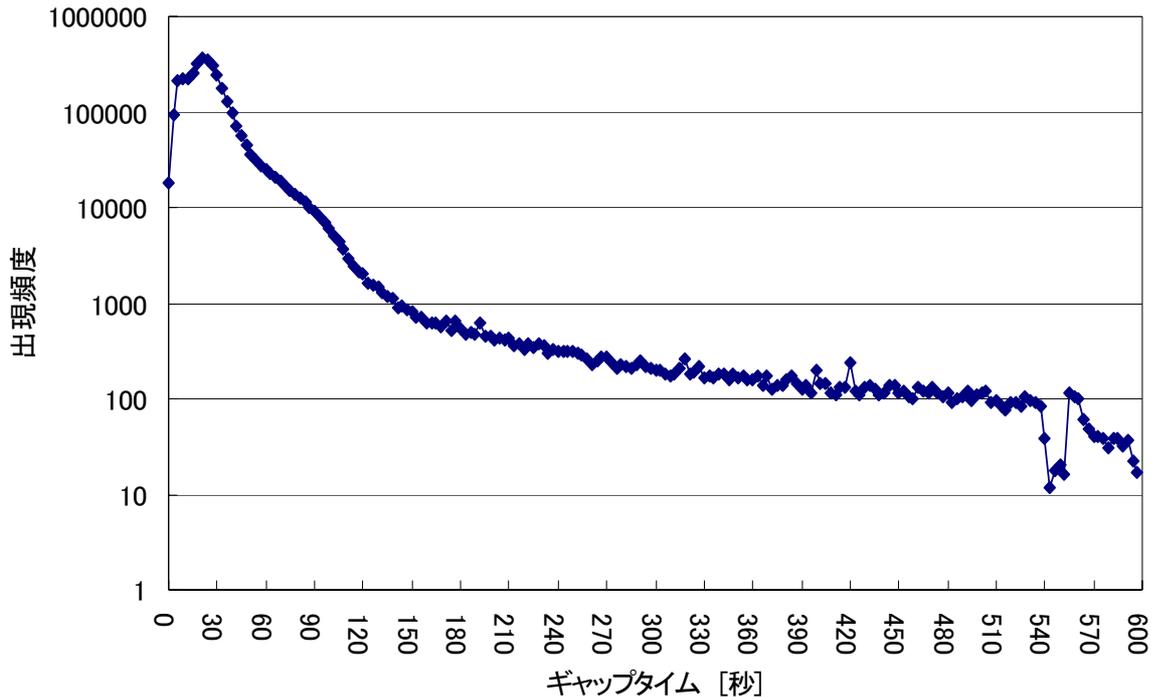


図-1.1.8 記録ギャップの出現頻度

③ タクシーメーターの実車と空車の変わり目をトリップエンドとする

対象車両の目的毎にトリップを区切ることを目的とし、タクシーメーターが満空の切り替わり時をトリップエンドとした。

④ 600 秒以上のショートストップ (以下 SS) をトリップエンドとする。

この場合は「エンジンをかけたままで、一定時間以上停止している場合はトリップ中ではない」、つまり、「アイドリング中はトリップを区切る」と判定するものである。

また、トリップ全体の軌跡の経度、緯度情報を用いて、DRM リンクの対応する地点に照合する処理として、マップ照合をする必要がある。プローブは市販のカーナビゲーションシステムとは違い、車載末端には、システム簡素化のため DRM 情報がおさめられていない。このため、記録されている経度緯度情報から、事後的に走行しているリンクを照合する必要がある。

(7) プローブ旅行時間の DRM リンクへの配分

プローブ情報の生データでは、リンク境界部(つまり交差点)を通過した時刻が記録されているわけではないので、境界をまたいでいる ST の開始位置と終了位置から、(ST は一定速度で走行していると仮定して)通過時刻を求めている。また、単なるリンク通過時刻だけでなく、直前にどの方向から流入してきて、どの方向へ流出したかがわかるので、動線ごとに旅行時間が計測できる。

図-1.1.9 に配分方法を図示する。以上の作業により、VICS 旅行時間を DRM リンクに配分した旅行時間とプローブ旅行時間を DRM リンクに配分した旅行時間を比較検証する。

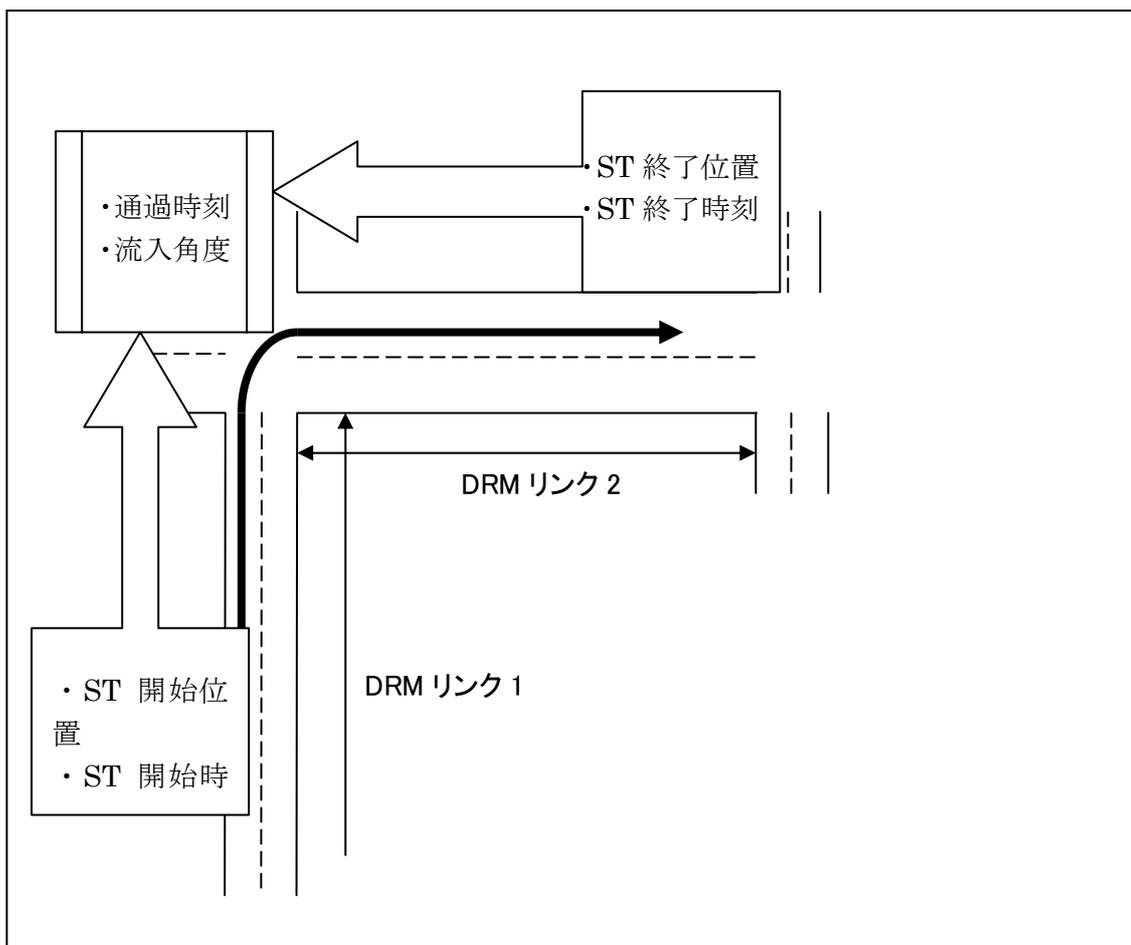


図-1.1.9 DRM リンク配分図

(8) 情報融合の方法

VICS 情報とプローブ情報の融合概念は、以下のようにまとめられる。

- ① 車両感知器が動作不良か未設置で、常に一定の旅行時間が提供されているか未提供のリンクでは VICS 情報をプローブ情報によって補完する。
- ② 車両感知器が設置され、VICS 旅行時間がリアルタイムで提供されているリンクについては、VICS 情報をプローブ情報で補正する。

第 2 章で記述したように、VICS 情報は不確定要素が多く含まれている。その旅行時間を、実測値であるプローブ情報を用いて、補正することとする。

- ③ 右左折コストをプローブ情報により計測し VICS 旅行時間の推定誤差の低下を防ぎ、推定誤差を減らす。

図-1.1.10 は、ある DRM リンクにおける 15 分毎のプローブ平均旅行時間とリンク流入時刻の関係を示す。リンク流入時刻によって、旅行時間変動が多く見られる。従って、リンク流入時間に応じた旅行時間をリアルタイムに提供することにより、VICS 情報をプローブ情報によって補完することが可能となると共に、より誤差の少ない旅行時間を提供できると考えられる。

図-1.1.11 にある DRM リンクにおける流入方向別流入時刻とプローブ旅行時間の変化を示す。このリンクは朝 8 時頃に交通量のピークを迎えることがわかる。

また、旅行時間が直進流入よりも一部の車両を除き右折流入の方が多くの旅行時間がかかっていること、各旅行時間の差が直進流入の振れ幅よりも小さいことから、ほとんどの車両が 1 サイクルで流出できていることが推測される。このことは、流入交差点の信号と流出交差点の信号はオフセットがとれており、1 サイクルの時間も妥当であるということが推測される。

上記より、VICS 情報のプローブ情報による補完の重要性は明らかになり、必要であると判断される。従って、3 ヶ月間のプローブ情報を蓄積し、データ不足を補い、リンク流入時刻 5 分毎のタイムテーブルを作成した。その情報を用いて補完することとする。

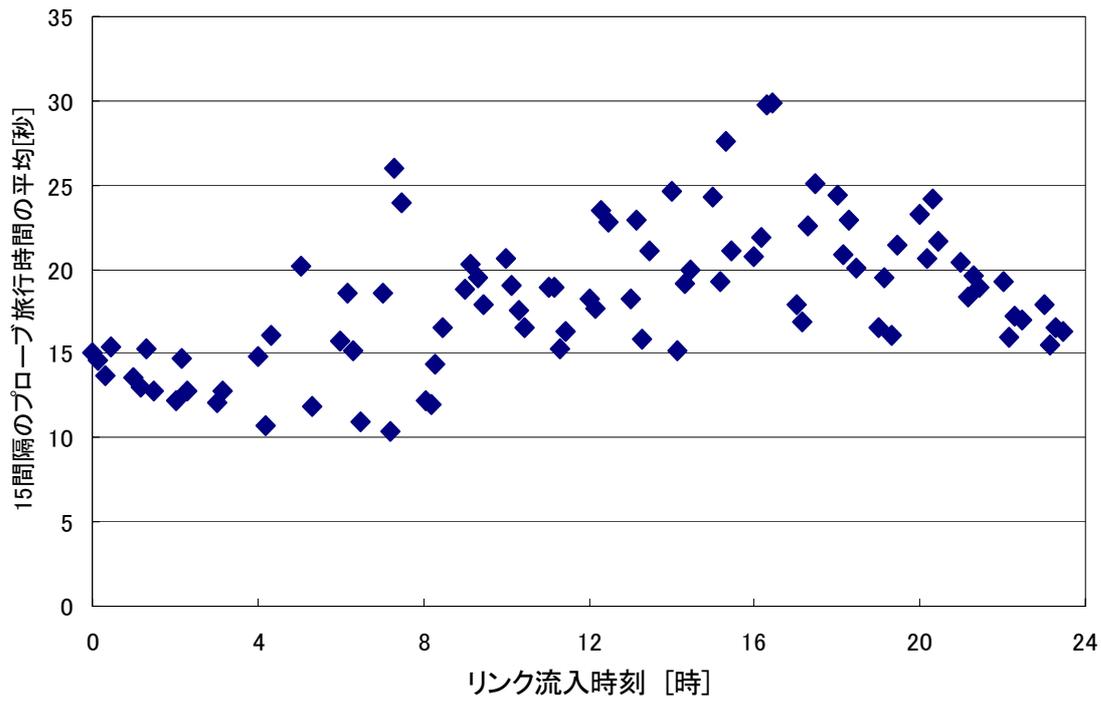


図-1.1.10 ある DRM リンクにおける 15 分毎のプローブ旅行時間の平均とリンク

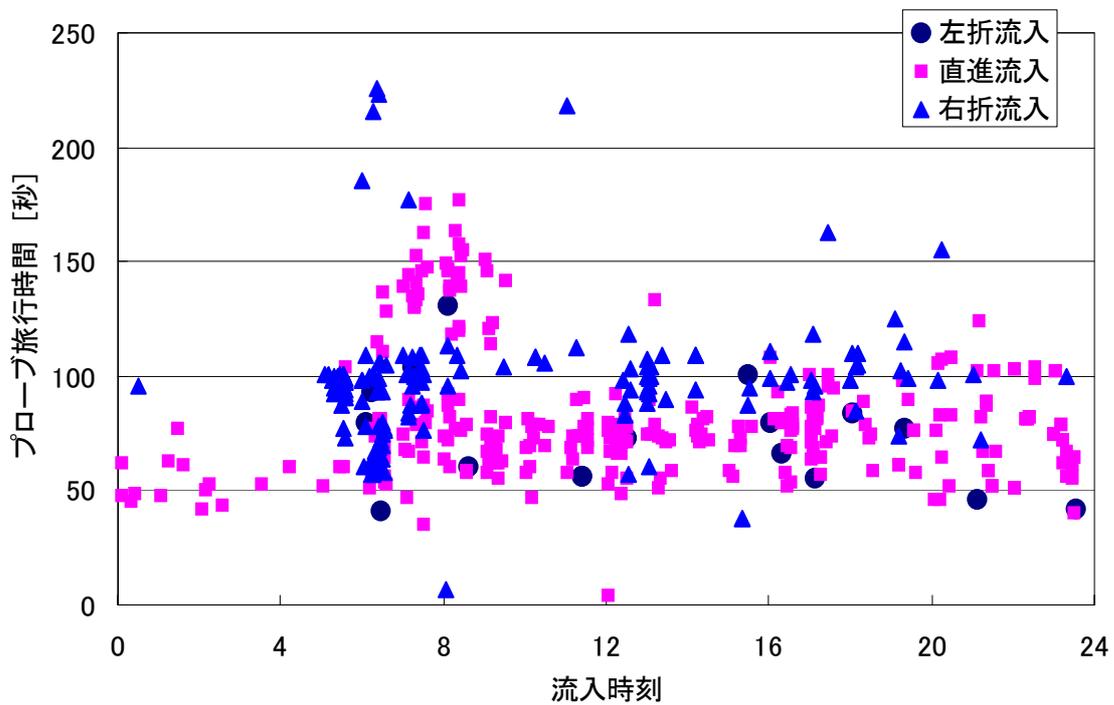


図-1.1.11 ある DRM リンクにおけるリンク流入時刻とプローブ旅行時間

図-1.1.12 に、ある DRM リンクにおける通過したプローブ旅行時間を DRM リンクに配分した値と、同時刻に提供された VICS 旅行時間を同じ DRM リンクに配分した旅行時間の関係を示す。

プローブ情報は個別の旅行時間であり、平均的な速度を求めている VICS 情報と比べるとばらつきが大きいのは当然である。したがって、このばらつきの大きさがプローブ情報の使いにくさと認識されている。同図より、直進流出と右折流出の関係の補正関係を求めた。その各補正線により、提供される VICS 旅行時間と直線との交点のプローブ旅行時間を補正後の旅行時間とした。

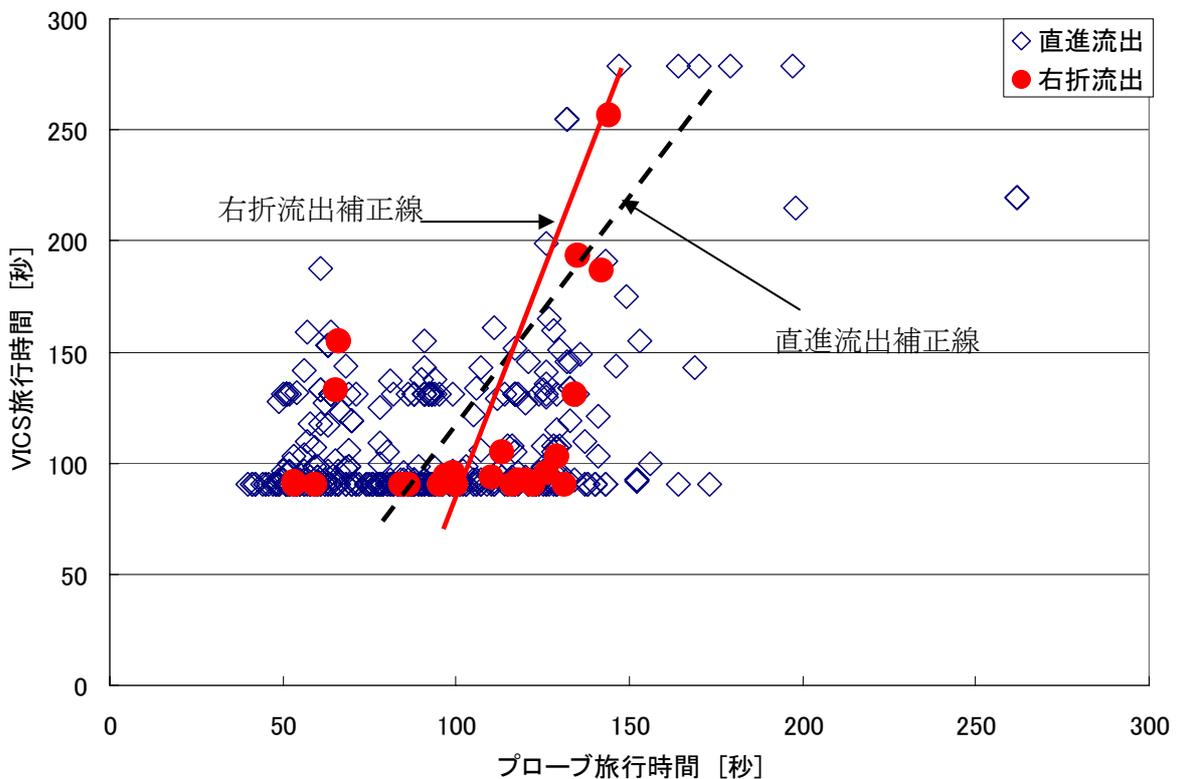


図-1.1.12 ある DRM リンクにおけるプローブ旅行時間と VICS 旅行時間の比較

(9) 融合効果の経路旅行時間による検証

図-1.1.13 に経路旅行時間の経路地図を示す。名古屋駅を始点とし、一宮 IC までの区間で検証した。

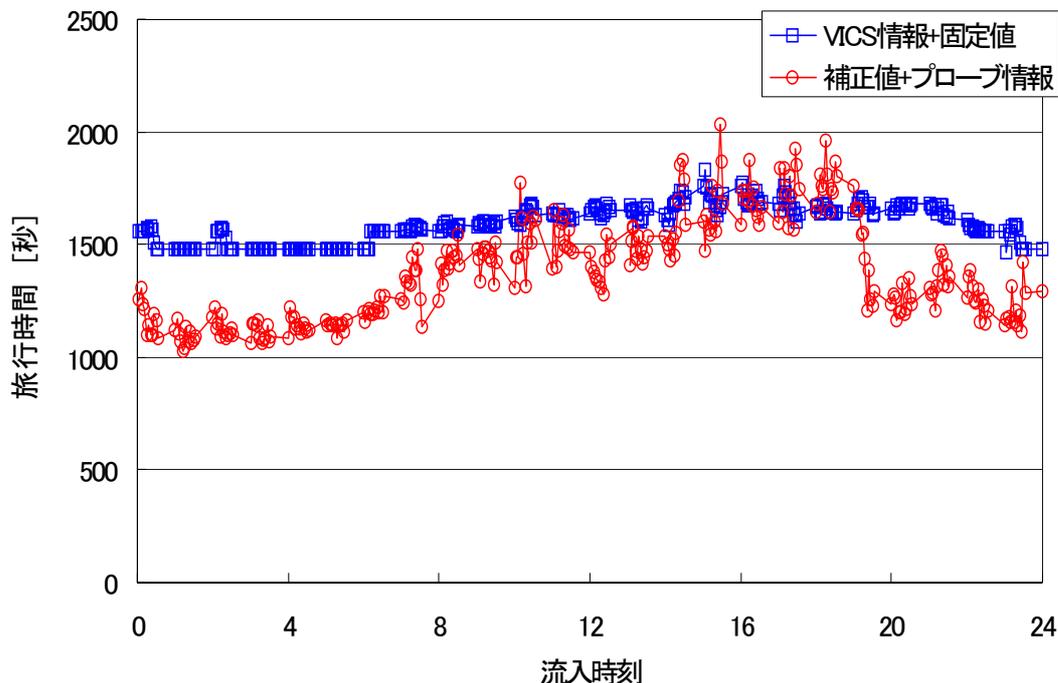


図-1.1.14 融合後の旅行時間とVICS旅行時間比較

② 検証経路における融合結果旅行時間とVICS情報のみの比較

VICSリンクで、かつ旅行時間情報が提供されており、かつその旅行時間に変動が見られるリンクは、融合方法によって算出した結果を用い、その他のリンクはすべて同じ速度（時速30km/h）で走行したと仮定して旅行時間を求めた。この情報は、今現在カーナビゲーションシステムに提供されている旅行時間といえる。比較結果を、図-1.1.14に示す。

VICS情報による旅行時間は一日を通して、変化が乏しいことに対して、融合後の旅行時間は大きく変動している。このことは、時間によって変動する交通状況をVICS情報では拾いきれないが、融合後の旅行時間では、対応していると推測できる。

リンク流入時刻が16時頃～20時頃に関しては、融合後旅行時間ではVICS情報よりも多い旅行時間を示している。このことから、状況に応じた交通状況を融合後の旅行時間は拾えていると考えられる。

また、0時～6時、20時～24時では、提供されるVICS情報が昼間の時間帯と同じ旅行時間を示している。従って提供された利用者は渋滞していると思い、違う経路を選択する可能性を含んでいる。

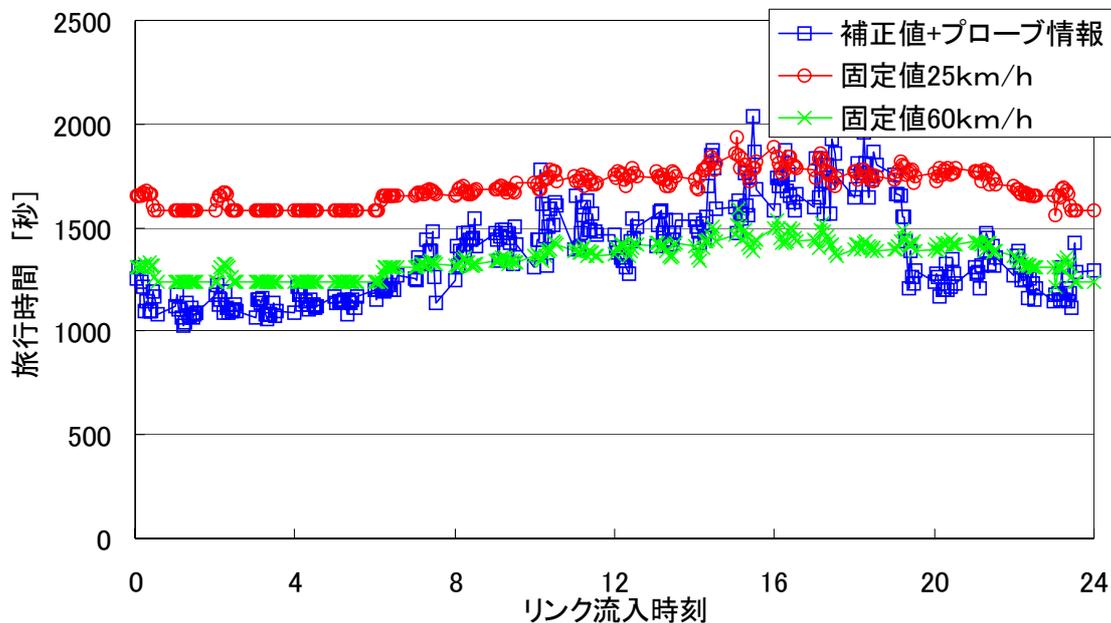


図-1.1.15 VICS 固定旅行時間の感度分析

図-1.1.15 に VICS 旅行時間の固定値の推定速度を変化させた VICS 情報と融合結果の比較結果を示す。「補正值+プローブ情報」において最長旅行時間の時間帯は、15 時前後の時間帯である。その時間帯では「VICS 情報+固定値」が 25 k m/h で走行した場合よりも多く旅行時間が掛かっている。従って、旅行平均時速は 25 k m/h 以下であることがわかる。しかし、最短旅行時間の時間帯である 0 時～4 時頃においては、60 k m/h で走行した場合よりも旅行平均時間は少なくなっている。

以上から、VICS 情報では少なくとも 35 k m/h 以上の速度差を感知していないことになる。

(10) 渋滞度による融合

これまでは VICS 情報の中の旅行時間を基準として、プローブ情報と融合をした。ここでは、VICS 情報中の渋滞度（3 段階評価）を用いてプローブデータとの融合を試みる。表-1.1.2 にて示されたように、VICS リンクの内約 80% に上るリンクにおいて旅行時間が提供されていないという現状があり、渋滞度を用いてより多くの情報を提供することができるためである。

— 100 - 784 (1206)
— 10 - 100 (2376)
— 0 - 10 (1803)



図-1.1.16 VICS渋滞度変化数別構

図-1.1.16 中の赤線は3ヶ月間に渋滞度の変化が100回以上のリンクを示している。ここから、旅行時間との変動を比べると提供リンクに違いがあることがみることができた。この中から、プローブ情報もある程度得られているリンクを選び検証するリンクを抜き出した。

両情報を融合するにあたり、プローブカーがVICSリンクに対して存在するすべてのDRMリンクを通過するとは限らないため、通過距離と所要時間から平均速度を求め同一フィールドとすることにした。直前15~30分程度で渋滞度レベルの移動平均を求めれば、渋滞度中央値を直線で接続した関係式と平均の渋滞度レベルとから、旅行時間を推定できる可能性がある。(図-1.1.17)

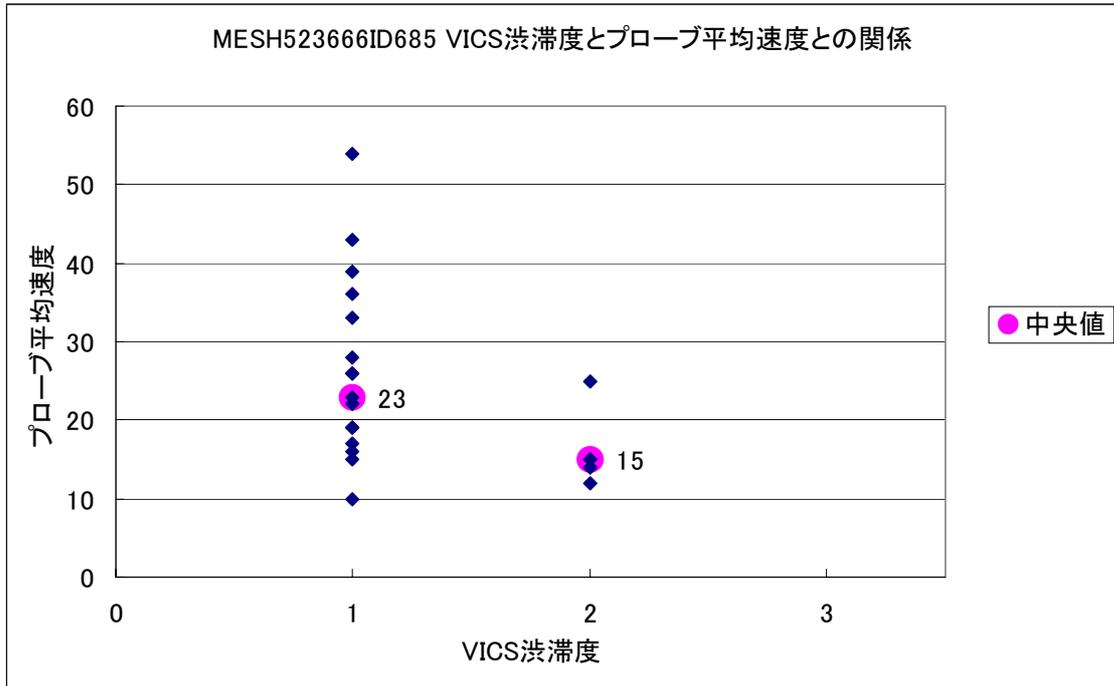


図-1.1.17 VICS渋滞度とプローブ平均速度との関係

(11) まとめと今後の課題

VICS リンク旅行時間とプローブ旅行時間との融合に関して、以下の成果を得た。

- ① VICS 情報のプローブ情報による補正では、VICS 旅行時間とプローブ旅行時間の比較図から補正線を見出し、提供された VICS 旅行時間毎に補正線との交点の融合旅行時間を提供することを提案した。
- ② VICS 情報のプローブ情報による補完では、3 ヶ月間蓄積されたプローブ情報を 5 分毎のタイムテーブルを作成し、その旅行時間を使用して補完することを提案した。
- ③ VICS 情報をプローブ情報によって、補正及び補完を提案した後、設定経路における比較を行った。
- ④ VICS 情報よりも、より交通状況に対する感度を持ったシステムの提案ができた。

今後の課題として、以下が挙げられる。

- ① プローブ情報の更新頻度が高くなり、リアルタイムでの利用が可能になった場合の融合方法を開発する。
- ② 旅行時間の期待値情報だけでなく、プローブの個別旅行時間のばらつき情報を利用して、信頼区間などの精度情報を求める方法を開発する。

1.2 プローブデータを用いたリンク別所要時間テーブル作成手法

名古屋大学大学院教授 森川高行

(1) タクシープローブの特性把握

プローブデータを交通データとして利用するためには、そのデータ特性を把握する必要がある。特に、タクシーをプローブカーとする場合には、タクシーの一般車と大きく異なる走行特性に十分に注意が必要となる。そこで、ここでは実空車別走行速度、タクシートリップ発生状況、トリップ長分布について分析を行う。

① 実空車別走行速度

タクシーをプローブ車両として利用する場合、乗客の有無によりその走行特性は異なると考えられる。つまり、乗客を乗せたタクシーは明確な目的地を持ち、周囲の交通状況にあわせた適切な運転挙動を示すのに対し、乗客を乗せていないタクシーは客待ちによる路側での駐停車や、乗客を探しながら比較的低い速度で走行する。図 1.2.1 は、2002 年 3 月 28 日に名古屋市都心部に位置する桜通を走行するデータのうち、距離周期データの走行速度を集計したものである。この図より、実車中のタクシーは空車中より平均で 4km 程度走行速度が高く、また分散も大きくなっている。空車中のタクシーの走行速度が低くなる理由は、乗客を探しながら走行する。いわゆる“ながし”走行を行うためであると考えられる。したがってこの点を踏まえて、リンク別所要時間テーブルは実車中のデータを抽出した上で作成するものとする。

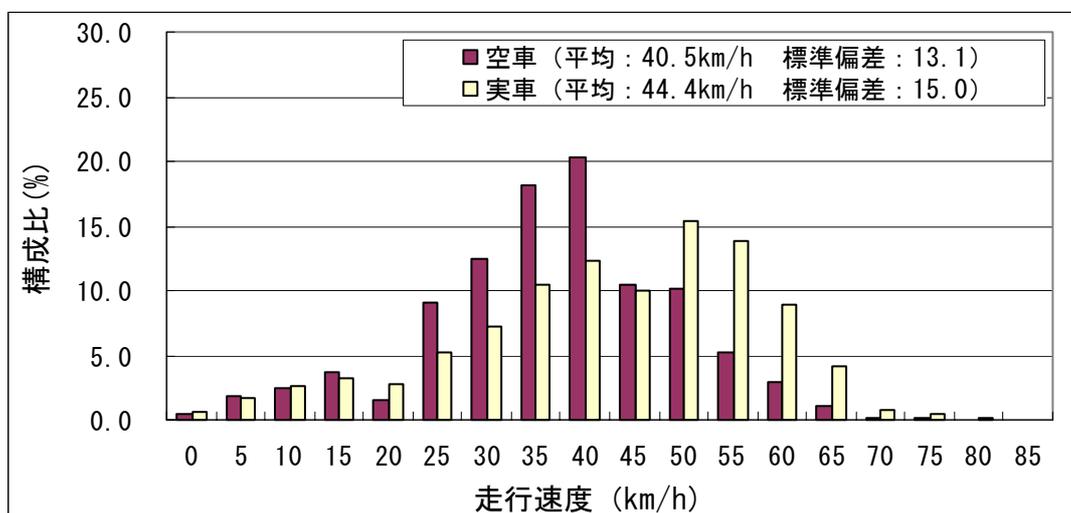


図 1.2.1 実車・空車別走行速度

② タクシートリップ発生状況

図 1.2.2 に 2002 年 1 月～3 月に収集されたプローブカーデータより集計されたタクシートリップの発生状況、および、1991 年に実施された第 3 回中京都市圏 PT（パーソントリップ）調査による名古屋市内で発生した自家用乗用車利用トリップの発生状況を示す。ここで、タクシートリップは乗客が乗車してから、降車するまでを 1 トリップとする。

これにより、タクシートリップは、深夜～明け方を除けば平日の発生トリップ数が休日大きく上回っている。また、平日・休日ともに 9 時～23 時まで発生トリップ数に大きな変化はなく、午前 0 時から減少し始め午前 5 時に最も少なくなる。一方、PT データによる自家用車利用トリップは、7～8 時、17 時～18 時に多く、それ以外の時間帯に発生するトリップ数が相対的に少ないことが分かる。これにより、タクシートリップは、最も交通量の多い時間帯が 2 時間程度後ろにずれることや、9 時～23 時まで発生トリップ数がそれほど減少しないことなどが一般的な自動車交通と異なっている。したがって、取得されるデータは昼間～深夜までのデータが多く、朝ピーク時など交通データとしては重要な時間帯におけるデータ量が少なくなる特徴を持ち、十分なデータ収集期間を設定するなどして、必要なデータを収集しなければならないことが分かる。

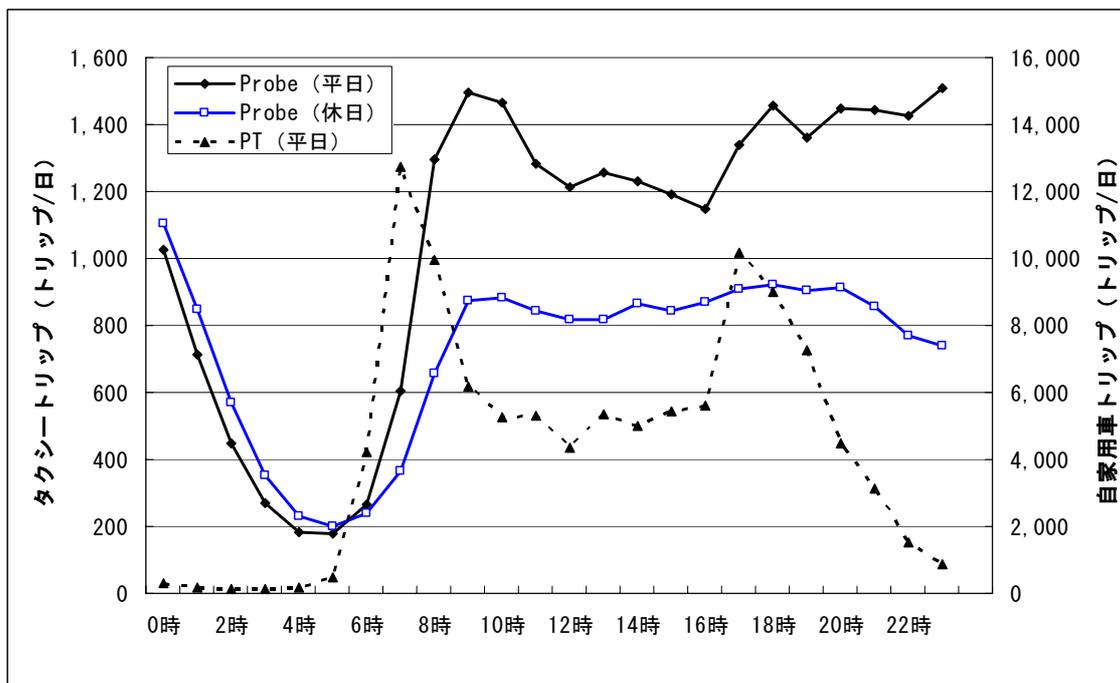


図 1.2.2 タクシートリップの発生分布

③ トリップ長分布

図 1.2.3 にタクシートリップの距離帯別構成比を示す。この図より、タクシートリップのうち 70%程度が 4km 未満のトリップであり、非常に短い距離のトリップにより構成されていることが分かる。

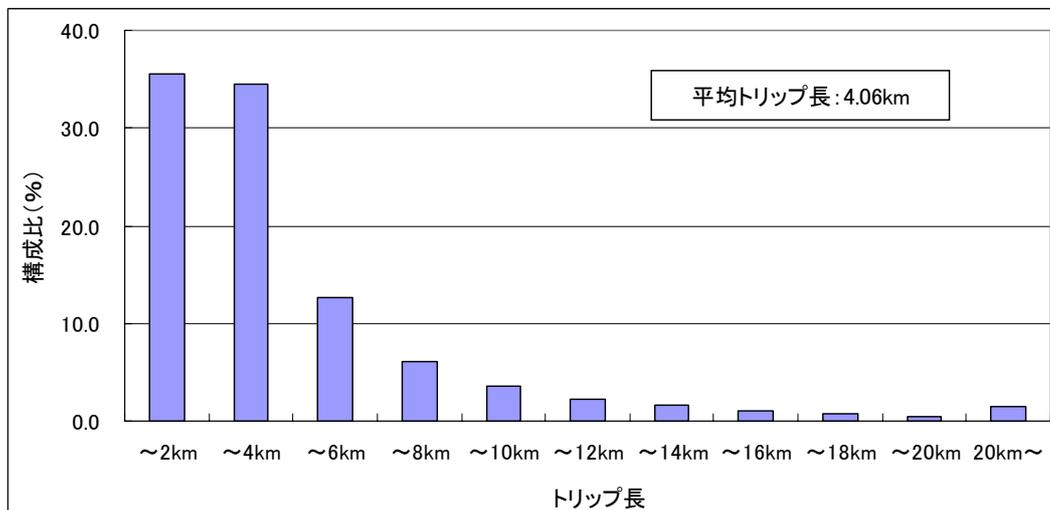


図 1.2.3 タクシートリップの距離帯別構成比

図 1.2.4 に、タクシートリップの平休別時刻別平均トリップ長を示す。この図より、タクシートリップは 7時から 20時までは 3km から 4km 程度のトリップ距離であり、深夜から明け方にかけてトリップ長が長くなることが分かる。また、平日よりも休日の方がトリップの距離が長くなる傾向も見られる。

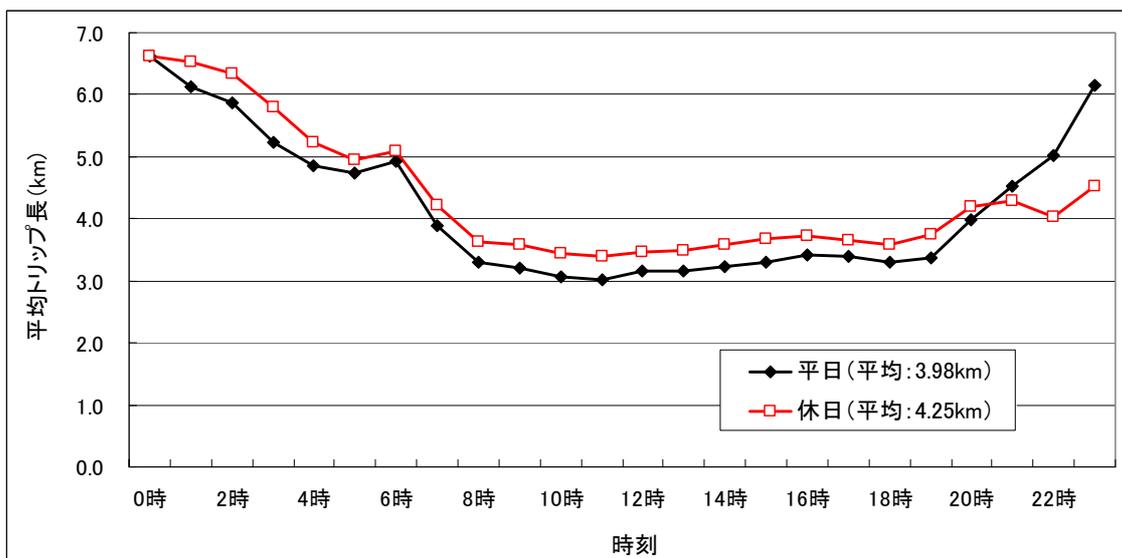


図 1.2.4 タクシートリップの平休別時刻別平均トリップ長

(2) プローブデータのマップマッチング

① マップマッチングの必要性

通常プローブデータは、GPSにより測定された車両位置座標とデータ送信時の車両動態情報（瞬間速度、加速度など）により構成され、道路ネットワーク上の分析データとして使用するためには、DRM リンク上に走行位置を特定する必要がある。プローブカーの走行位置を特定するための方法として最も簡単な手法は、車両の位置座標や進行方向データを用いて、最も近接のリンク上に走行位置を特定する手法が考えられる。名古屋での実験ではセンターサーバにデータを蓄積する際に、近接リンクに走行路線を特定する作業を、リアルタイムに行っており、オンラインマップマッチングと呼ばれる。

オンラインマップマッチングの利点としては、処理速度が速いことが挙げられる。これは、プローブカーからデータが送信される毎に、その位置座標や進行方向を用いて即座に、かつ各データを独立に扱って走行リンクを特定するため、リアルタイムにデータ処理を行うことが容易に行える。また、車載機にカーナビゲーションシステムが装備されている場合は、車両位置座標が DRM リンク近くに補正されている。ただし、カーナビゲーションシステムで用いられる DRM データに関する情報は公開されておらず、また、必ずしも分析者が使用する DRM データとは同一ではないため、カーナビゲーションシステムによる補正によっても、分析者が使用する DRM リンク上にプローブカーの車両位置座標が重なるとは限らないことに注意が必要である。

オンラインマップマッチングの欠点としては、プローブカーの走行経路を特定するわけではないため、走行経路を構成するはずの全てのリンクの通過旅行時間を算出することは困難である。さらに、GPSにより測定された位置座標は、最大で数 m～十数 m 程度の誤差を含む上、進行方向についても必ずしも正確ではない。このため、特定された走行経路は特定ミスを多く含む。図 1.2.5 は、実際に観測されたトリップとオンラインマップマッチングにより特定された走行リンクを示している。このように、オンラインマップマッチングにより特定された走行リンクをつなぎ合わせても、正確な走行経路を特定することはできず、各リンク旅行時間も大きな誤差を含むことになる。

従って、プローブカーの走行経路を正しく特定する必要があり、この作業をオフラインマップマッチングと呼ぶ。図 1.2.6 は、オフラインマップマッチングにより特定された走行経路を示している。このように、正確な走行経路が特定されれば、経路上に存在する全ての走行リンクに対してその通過旅行時間を算出することが可能となる。したがって、オフラインマップマッチングにより、より利用価値の高いプローブデータへと変換されることになる。

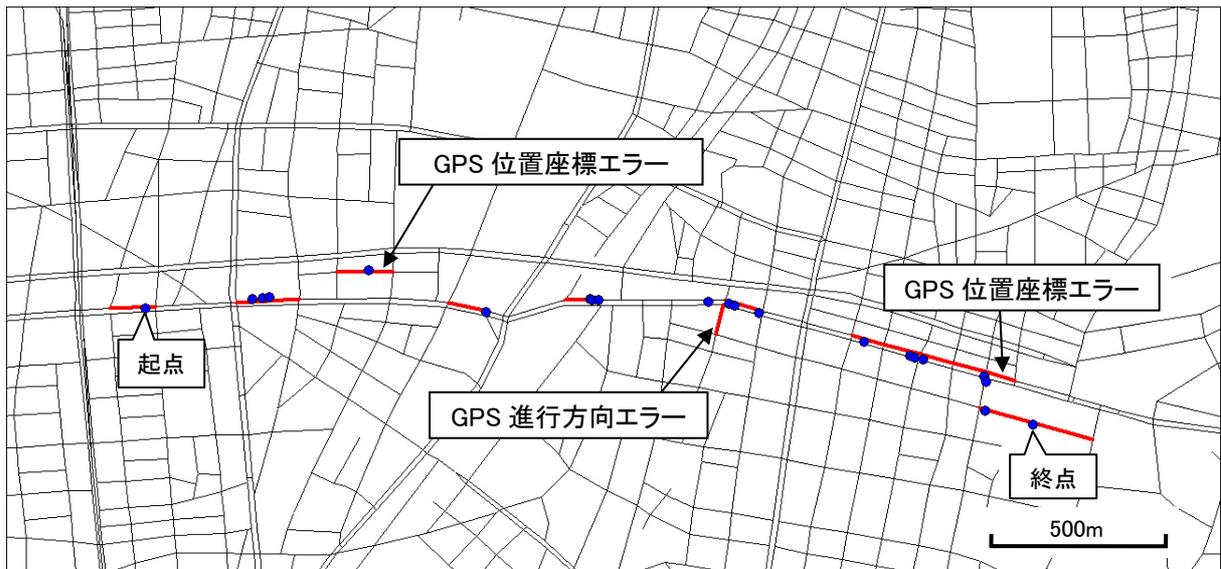


図 1.2.5 オンラインマップマッチングによる走行リンク
 (車両 ID1002、トリップ : 2002/1/3 13:27:59~13:35:41)

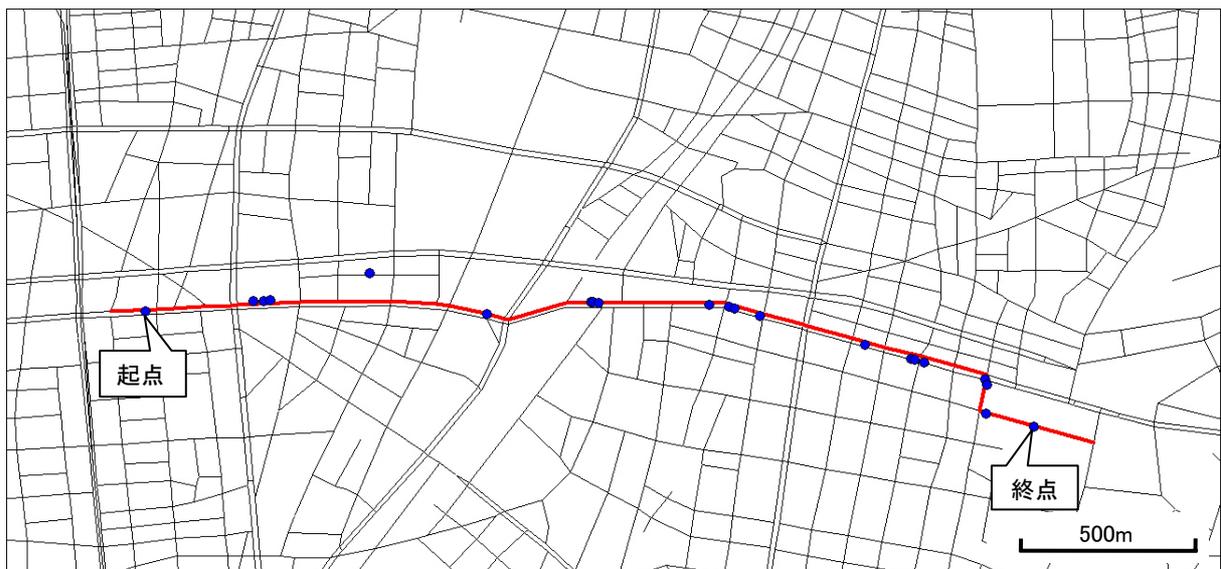


図 1.2.6 マップマッチング後の走行経路の特定
 (車両 ID1002、トリップ : 2002/1/3 13:27:59~13:35:41)

② オフラインマップマッチングの手順

プローブカーの走行経路を特定するためのオフラインマップマッチングの手順は以下の通り。

- <Step 1> トリップデータ (乗客が乗車してから降車するまでのデータ) を抽出する
- <Step 2> 抽出した車両位置座標について、位置座標と前後遠いほうの位置座標間の距離を半径とする円に含まれるリンクを抽出し、対象リンク集合とする

- <Step 3> 対象リンク集合内で経路探索を行う
- <Step 4> 探索された経路に対して **Screening** 法を行い、複数経路を抽出する
- <Step 5> 最も位置座標に近い経路を利用経路として特定する

図 1.2.7 は、ここで示したオフラインマップマッチングの基本的な流れを示している。

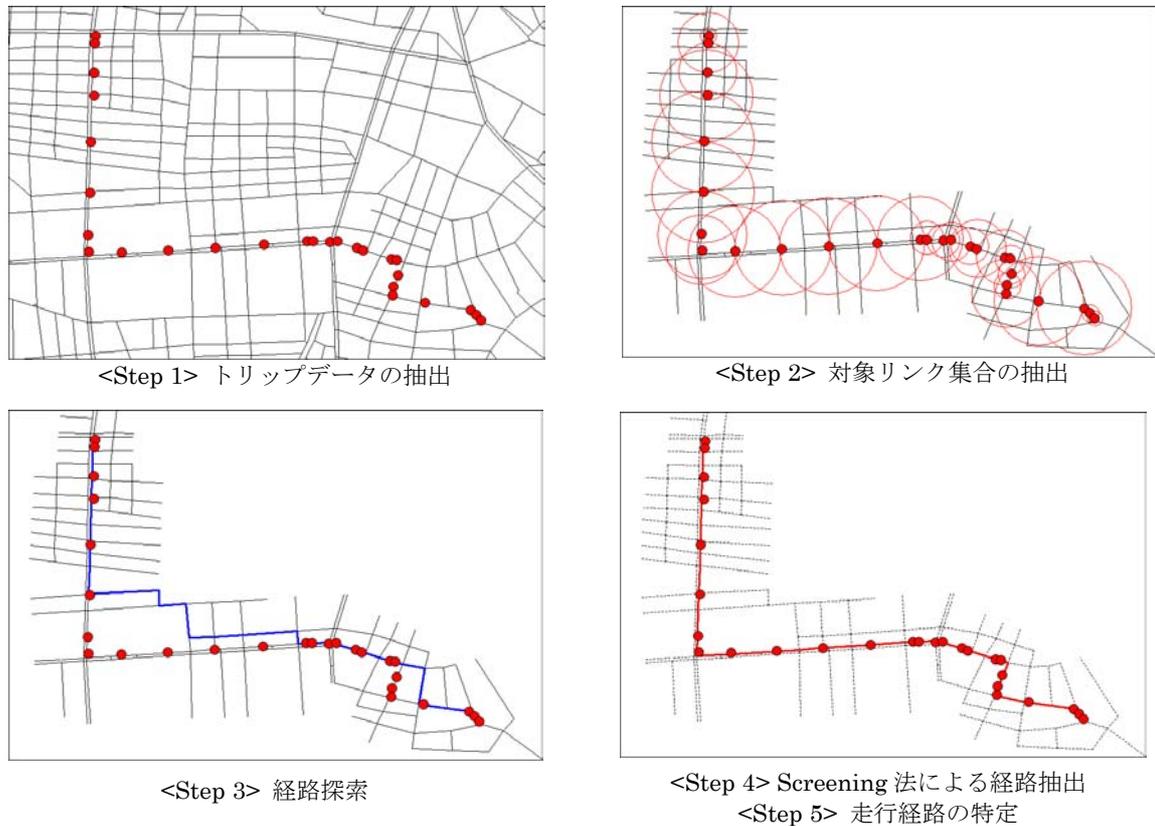


図 1.2.7 マップマッチングの基本的な流れ

ここで、<Step 2> において抽出範囲を前後車両位置座標間隔により変更している。これは、サブネットワークとして抽出されるリンク数を減らすことで計算負荷を軽減するためである。また、都市高速道路の高架下では頻繁に位置測位エラーが起き、データ取得間隔が広がる。このような場合は、前後の位置座標の midpoint を仮位置座標として補間している。

また、<Step 3> および<Step 4> において用いられるリンクコストは、以下の式(1)により算出されるコストを用いた。このとき、探索される経路は式(2)を満たす経路となる。

$$\text{リンクコスト} = \text{リンク長} \times \text{位置座標距離} \times \text{速度ウェイト} \quad (1)$$

$$\text{探索経路} = \arg \min \sum_i (\text{link}_i \times d_i \times w_i) \quad (2)$$

ここに、 link_i はリンク i のリンク長、 d_i はリンク i から最も近い車両位置座標までの距離、 w_i は速度ウェイトとする。

ここで、 d_i は各リンクから最も近い車両位置座標までの距離であり、車両位置座標から垂線が引けないリンクについては、車両位置座標に近いノードまでの距離としている。すなわち、車両位置座標の近くに位置するリンクのコストを小さく設定することで、走行軌跡に沿った経路ほど経路コストが小さくなる。

表 1.2.1 名古屋高速道路と国道 41 号における走行速度の変化

道路種別	トリップの方向	指標	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	総計	
名古屋高速道路	名古屋駅→空港	平均速度 (km)	71.2	72.3	72.4	79.7	78.0	75.0	75.0	76.0	78.0	75.7	59.3	61.0	55.0	80.0	0.0	0.0	0.0	72.2	
		最高速度 (km)	75	83	82	89	78	75	80	83	78	80	64	61	55	80	0	0	0	89	
		最低速度 (km)	68	66	66	67	78	75	71	69	78	72	52	61	55	80	0	0	0	52	
		サンプル数	5	12	11	3	1	1	6	2	1	3	4	1	1	1	0	0	0	52	
	空港→名古屋駅	平均速度 (km)	0.0	0.0	64.0	76.0	0.0	72.0	0.0	73.0	72.5	74.0	0.0	78.5	72.5	77.5	74.7	80.6	0.0	75.9	
		最高速度 (km)	0	0	64	86	0	72	0	75	87	83	0	100	86	83	89	97	0	100	
		最低速度 (km)	0	0	64	66	0	72	0	72	58	66	0	64	66	69	65	69	0	58	
		サンプル数	0	0	1	2	0	2	0	3	2	4	0	4	4	4	6	10	0	42	
	R41号	名古屋駅→空港	平均速度 (km)	51.1	33.7	36.3	12.3	20.6	8.0	22.9	35.3	24.2	11.3	9.5	0.0	9.5	0.0	0.0	45.0	0.0	31.6
			最高速度 (km)	72	58	58	14	44	8	30	61	25	11	10	0	10	0	0	45	0	72
			最低速度 (km)	13	11	7	11	8	8	16	20	24	11	10	0	10	0	0	45	0	7
			サンプル数	8	7	8	2	5	1	5	5	2	1	1	0	1	0	0	1	0	47
空港→名古屋駅		平均速度 (km)	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	52.3	53.0	56.5	54.8	49.0	36.0	45.8	47.0	56.0	57.8	49.3	64.0	51.9	
		最高速度 (km)	0	0	11	0	0	58	53	58	58	50	36	52	47	61	75	62	64	75	
		最低速度 (km)	0	0	11	0	0	47	53	55	51	47	36	36	47	52	27	12	64	11	
		サンプル数	0	0	1	0	0	3	1	2	4	3	1	5	1	4	12	9	1	47	

表 1.2.2 設定した速度ウェイト w_i

夕ピーク時間帯 (16:00~19:00)

対応するプローブカーの走行速度が 50km 以上の下り方向、都心環状高速道路リンク	0.1
対応するプローブカーの走行速度が 30km 未満の高速道路リンク	10.0
その他	1.0

それ以外の時間帯

対応するプローブカーの走行速度が 80km 以上の高速道路リンク	0.1
対応するプローブカーの走行速度が 60km 未満の高速道路リンク	10.0
その他	1.0

また、速度ウェイト w_i は、表 1.2.1 に示す立体区間の各路線 (名古屋高速、国道 41 号の平行区間) の時間帯別走行速度 (データ送信時における走行速度) を基に、trial-and-error により最もマッチング精度が高くなる値に定めた。表 1.2.1 に示された各道路区間の走行速度は、立体区間を通過したプローブカーデータを抽出し、目視によりどちらの道路区間を走行しているかを特定した上で作成している。これにより、16~18 時台で名古屋駅→名古屋空港方面の名古屋高速道路で速度低下が見られる。また、高速道路上の走行速度変化は一般道路と比較して大きく、特に夕方のピーク時には大きく低下する。このため、表 1.2.2 に示すように、設定した速度ウェイト w_i は夕方のピーク時とその他の時間帯や、またプローブカーの走行速度を考慮して、高速道路リンクのコストを増減するように設定された。

最後に、<Step5> の経路特定指標は式(3)で表され、特定される経路は同式により算出される値が最も小さい経路としている。

$$\sum_i^l d_i / l \quad (3)$$

ここに、 d_i は位置座標と経路の距離、 l は連続する車両位置座標の数である。

③ オフラインマップマッチング精度の検証

ここでは、オフラインマップマッチング精度を検証する。検証には、図 1.2.8 に示す名古屋駅⇔名古屋空港間の OD ペアを対象とした。この OD ペアは、名古屋都市圏で最もタクシートリップの多い OD ペアの 1 つであり、また OD 間距離はおおよそ 12~16km 程度である。特にこの OD ペアは、名古屋高速道路と国道 41 号平行区間（図中に破線で囲んだ区間）が存在するため、正しく走行経路を特定することが難しい OD ペアである。



図 1.2.8 名古屋高速道路と国道 41 号の立体配置区間

走行経路特定精度の検証には、以下に示す式 (4) および式 (5) により算出される指標を用いて検証を行った。

$$\text{リンク正解率(\%)} = \{\text{マッチング結果の正解リンク数} / \text{現実経路リンク数}\} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{距離正解率(\%)} = \{\text{マッチング結果の正解リンク距離} / \text{現実経路距離}\} \times 100 \quad (5)$$

なお、上式に含まれる精度検証のための現実経路は、対象 OD ペアにおける任意の 200 トリップについて、それぞれ手作業により利用経路として尤もらしいと思われるリンク列を作成している。

表 1.2.3 に走行経路特定精度を示す。この結果から、リンクコストとしてリンク長のみを用いる場合と比較して、車両位置座標からの距離やリンクウェイト値をリンクコストに

組み込んだ場合の方が、特定精度が 40%程度高くなることが分かる。これは、プローブカーの走行軌跡が起終点間において、距離的に後戻りが発生していることを示している。また、リンクウェイトの導入によって、混雑時における高速道路上の速度低下を考慮することで、高速道路と一般道路が並行する区間においても精度良く走行経路を特定することが可能となることが分かる。

表 1.2.3 リンクコスト別マッチング精度

	リンク長のみ	リンクコスト (式(1))
リンク正解率	53.0%	92.5%
距離正解率	47.2%	94.2%

ここで、リンク長のみを用いた場合ではリンク正解率の方が距離正解率よりも高いのに対して、式(1)によるリンクコストを用いた場合では距離正解率の方が高くなっている。これは、検証対象として名古屋空港⇨名古屋駅間のトリップを対象としており。名古屋高速道路を利用するトリップが多く含まれるためである。名古屋高速道路を構成するリンクは、1つのリンク長が一般道路リンクよりも長いため、高速利用トリップが適切に高速道路経路にマッチングされることで、リンク正解率の向上率よりも距離正解率の向上が大きくなっているものと考えられる。なお、ここで検証の対象とした OD ペアは、利用可能経路集合も多く、対象エリア内でも最も走行経路特定が困難な OD ペアである。従って、その他の OD ペアにおいては、より特定精度が高くなると考えられる。

(3) オフラインマップマッチング処理の概要

オフラインマップマッチングにより、それまでは車両位置座標の連続データであったプローブカーデータを、走行経路データおよび路線上の車両走行位置情報へと変換することが可能となる。ここで、マップマッチング後の車両走行位置は、特定された経路上に各車両位置座標から垂線を引くことで特定可能となる（図 1.2.9）。さらに、各リンクの通過旅行時間はプローブカーの走行位置を特定した後、各リンクの流入時刻、流出時刻を式(6)、式(7)により推定することで算出可能となる。

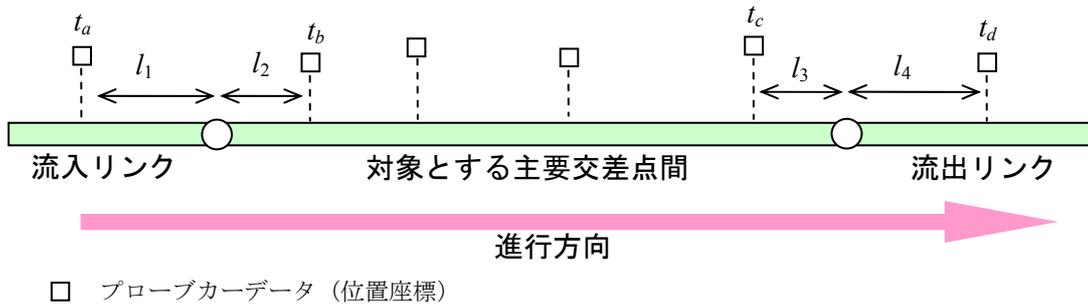


図 1.2.9 車両走行位置の特定

$$T_{in} = (t_a * l_2 + t_b * l_1) / (l_1 + l_2) \quad (6)$$

$$T_{out} = (t_c * l_4 + t_d * l_3) / (l_3 + l_4) \quad (7)$$

ここに、 t_a (t_b) は上流側交差点への流入直前（直後）のデータ送信時刻、 t_c (t_d) は下流側交差点への流入直前（直後）のデータ送信時刻である。

オフラインマップマッチング処理後に出力されるデータフォーマットを表 1.2.4、表 1.2.5 に示す。出力データには、経路データとトリップデータがあり、前者は主に走行経路やリンク通過旅行時間情報を、後者は主に車両 ID 番号やトリップ開始・終了時刻についての情報が含まれる。その他の情報が必要な場合は、車両 ID 番号、プロット時刻を用いて、オフラインマップマッチング処理前のデータを参照することで取得可能である。

2002 年 1 月～3 月、2002 年 10 月～2003 年 3 月までの 9 ヶ月間に、Type2 車載機¹を搭載したプローブカーから収集されたトリップは約 341 万トリップであった。このような非常に多くのトリップに対してオフラインマップマッチング処理を行うためには、効率よく処理する必要がある。そこで、第 3 回 PT 調査小ゾーンを用い図 1.2.10 に示すフローに沿ってマッチング処理を行っている。

¹プローブカーから情報発信する車載機のうち、機能や情報送信頻度等によって異なる 3 種類の車載機の一つ。

表 1.2.4 オフラインマッチング処理後のプローブカーデータ (経路データ)

トリップ SQno.	構成リンク数	node1	node2	方向 *1	リンク長 (m)	路線情報 *2	通過旅行時間(sec)	送信回数	送信時刻 (×送信回数)
1	58	4700304	4700409	0	63	9000	12.86	3	20020121040806
1	58	4700361	4700409	1	105	5050	25.43	0	
1	58	4700361	4700562	0	62	5050	10.11	1	20020121040847
1	58	4700364	4700562	1	128	5050	21.54	1	20020121040847
.....									

*1 方向=0 のとき node1→node2 に通過、方向=1 の時 node2→node1 に通過

*2 道路種別番号×1000+路線番号

表 1.2.5 オフラインマッチング処理後のプローブカーデータ (トリップデータ)

トリップ SQno.	車両 ID 番号	出発時刻	到着時刻
1	1025	20020121040806	20020121042501
2	1032	20020201220239	20020201221505
.....			

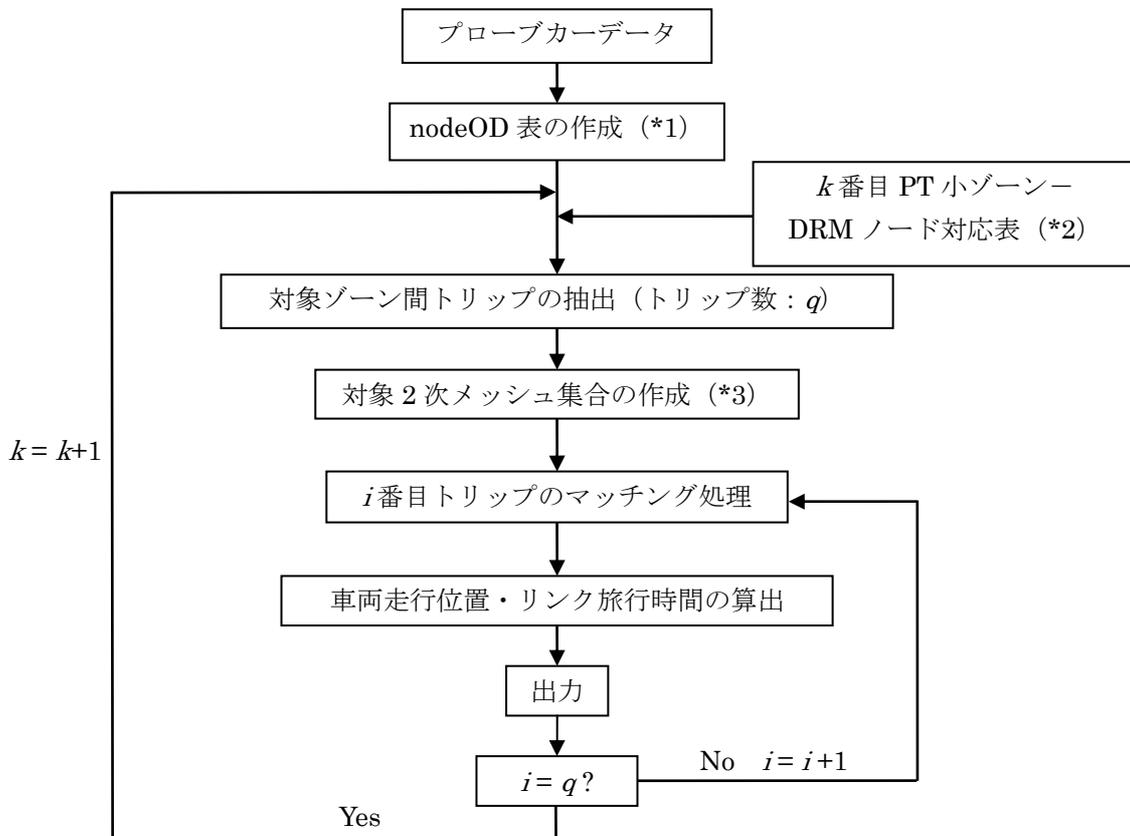


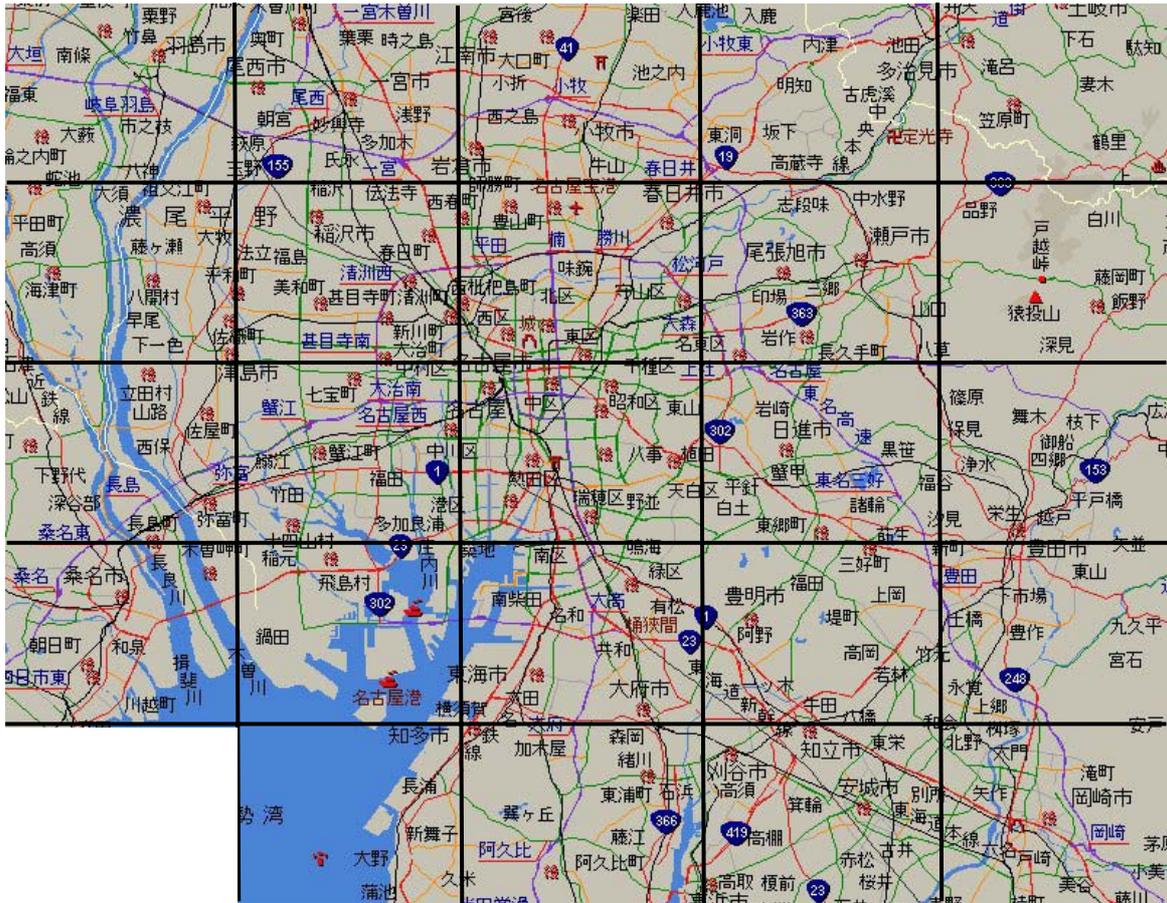
図 1.2.10 オフラインマップマッチング処理フロー

ここで、**nodeOD** 表 (図中*1) とは、プローブデータより観測されたトリップについて、その起点、終点を **DRM** ノードで表現するデータベースである。この際、トリップの起点 (終点) 座標に最も近いノード番号を便宜的に起点ノード (終点ノード) としている。このノード番号は、マップマッチング処理を効率的に行うために用いられ、実際の走行ルート of 起終点ノードとは必ずしも一致しない。**nodeOD** 表にはこれら以外に、プローブカーの車両 ID、出発時刻、到着時刻などが情報として蓄積されている。また、**PT** 小ゾーン-**DRM** ノード対応表 (図中*2) は、各 **PT** 小ゾーン内に位置する **DRM** ノードを集計したものであり、これを用いて **nodeOD** 表に含まれるトリップがどの小ゾーン間のトリップであるかを確認することが可能となる。対象 2 次メッシュ集合 (図中*3) は、マップマッチング対象となるサブネットワーク作成を効率的に行うために作成されるものであり、対象ゾーン間トリップで出現するすべての 2 次メッシュ番号 (オンラインマップマッチングにより付加された情報) を集計し、リストアップするものである。この処理フローにより、観測されたすべてのトリップの内、同じような起終点を持つトリップごとに処理を行っていくことが可能となる。同じような起終点を持つトリップは、利用するリンク集合が重なっているため、マップマッチング処理に必要なリンク集合を抽出する作業に要する時間を短縮することができ、全体としての処理速度を向上させることが可能となる。

なお、1 か月分のプローブカーデータ (実車データ) に対して、オフラインマップマッチング処理に要する時間は、図 1.2.11 に示す 24 枚の 2 次メッシュ (リンク数 : 85、774) を対象とし、PC3 台 (CPU : Pentium□ 3.2GHz、メモリ 2GB) を用いておおよそ 10 日程度である。

2002 年 11 月に **Type2** 車載機を搭載したプローブカーにより収集されたデータのうち、実車中のデータについて、オンラインマップマッチングによる各リンクの通過回数とオフラインマップマッチングによる通過回数を集計した。図 1.2.12 に名古屋市周辺での通過回数を示す。ここで、オンラインマップマッチングによる通過回数データからは、1 回以上連続して同じリンクが特定された場合に 1 回の通過として集計した。また、オフラインマップマッチング後のデータからは、各リンクが期間中に発生したトリップによる通行回数が集計されていることになる。

図より、オフラインマップマッチング後のデータからは各リンクの通過回数が連続的に集計されているのに対して、オンラインマップマッチングによるデータの通過回数は郊外部で断続的に観測されていることが分かる。これ以外にも、オンラインマップマッチングを用いる場合は、対象区間のみならず流入・流出リンク上での観測が必要であり、実際には図に示すほどのリンク旅行時間情報を取得することは不可能である。このことから、オフラインマップマッチング処理により、プローブカーデータを有効に利用することが可能となるといえる。



523675	523676	523677	523770	523771
523665	523666	523667	523760	523761
523655	523656	523657	523750	523751
523645	523646	523647	523740	523741
	523636	523637	523730	523731

図 1.2.11 オフラインマップマッチング対象エリアと 2 次メッシュ番号

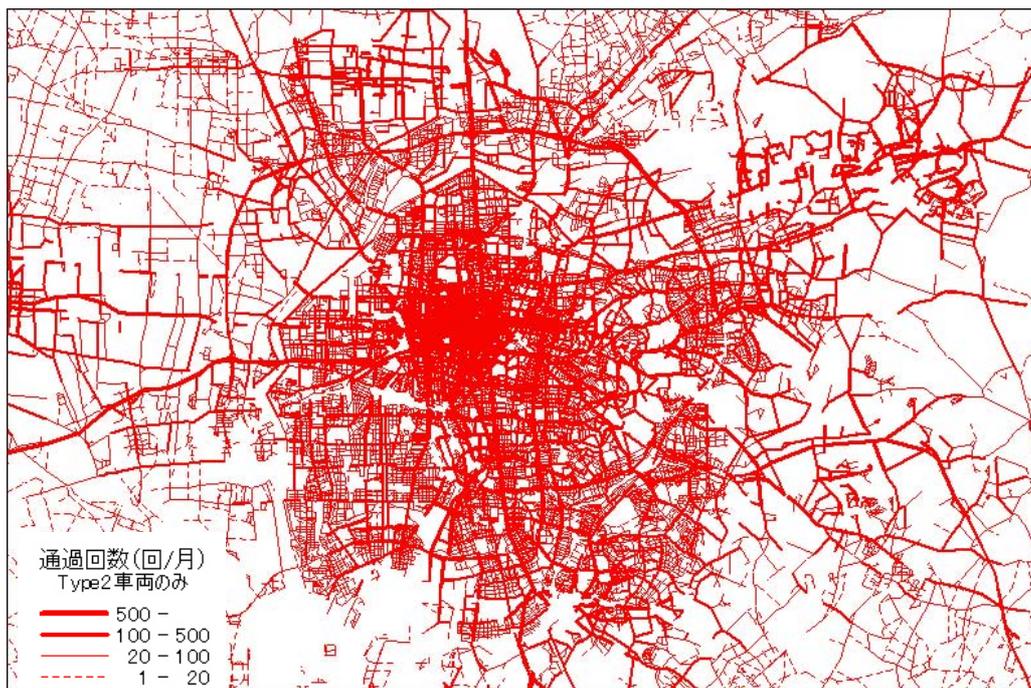


図 1.2.12a オンラインマップマッチングによる観測通過回数

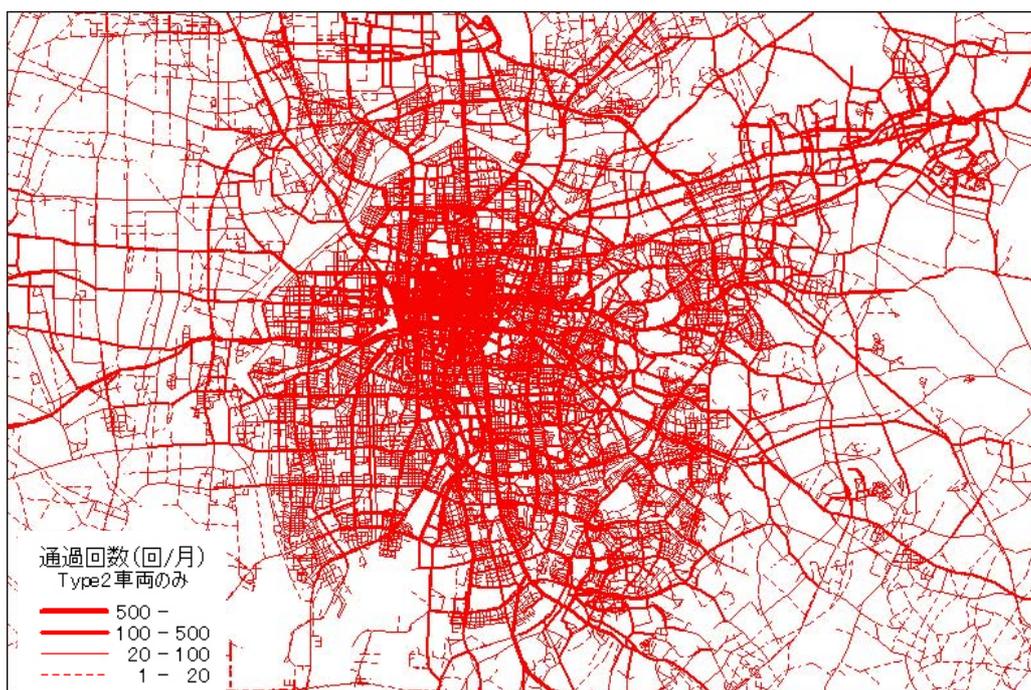


図 1.2.12b オフラインマップマッチングによる観測通過回数

(4) リンク別所要時間テーブル作成

ここでは、オフラインマップマッチング処理後の蓄積プローブカーデータである、リンク別所要時間テーブルについて示す。表 1.2.6 は、リンク別所要時間テーブルのフォーマットを示している。

表 1.2.6 リンク別所要時間テーブルフォーマット

2次マッチ No.	node1	node2	道路 種別	リンク長 (m)	交通規制 コード *1	リンク 方向	時間帯 1 *2 (0:00-0:05)		時間帯 2 (0:05-0:10)		...
							通過 回数	平均旅行時間 (sec)	通過 回数	平均旅行時間 (sec)	
523657	29001	29025	9	17	0	0	101	4.45	81	3.32	...
523657	29001	29025	7	112	0	1	18	7.58	4	6.82	...
523657	29003	29012	4	200	4	0	98	12.58	48	11.44	...
523657	29006	29028	3	136	5	0	42	8.22	21	8.08	...
...											
523667	14001	14013	4	68	0	0	9	20.39	12	23.11	...

*1 規制種別コードとは、リンクの通行規制情報（一方通行情報など）を示す

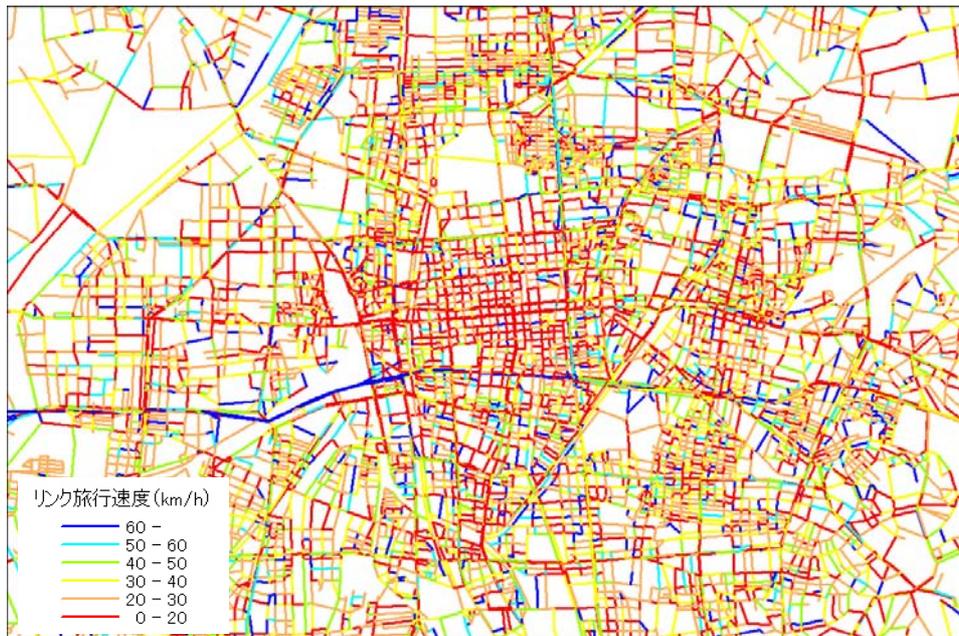
*2 時間帯は1日を5分間隔に分割し、時間帯1～時間帯288まで設定した

ここで、リンクコストテーブルは各リンクの5分間隔平均旅行時間情報を蓄積しており、観測通過回数や通過旅行時間の分散値（表 1.2.6 には示していない）を含む。テーブルの種類は、曜日別（月、火、・・・、日&祝）、天候別（降水量1mm以上、未満）として14種類を作成した。

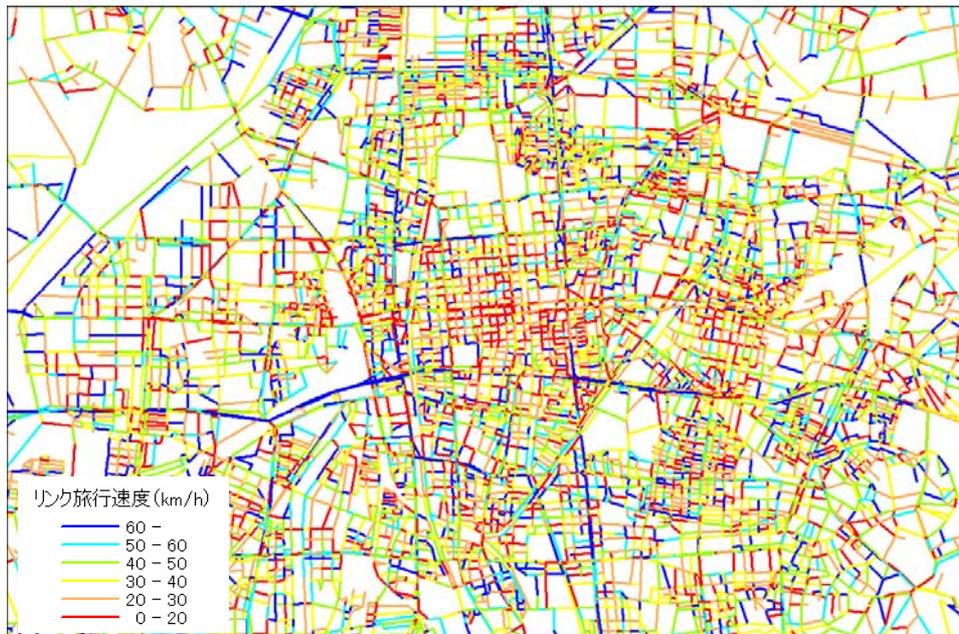
蓄積データベースは、対象エリア内の断面交通データとして利用可能である。道路交通センサやトラフィックカウンターデータなど、従来の断面データは幹線道路のみを対象とし、ごく限られた地点でのみデータ収集を行っている。これら従来データでは、幹線道路網を均質な区間（主要交差点間など均質であると考えられる区間）に分割し、各区間上の代表地点のみにおいてデータ収集を行っている。したがって幹線道路網上のほぼすべての区間で交通量や通過旅行速度などの断面交通データが得られるが、すべてを網羅的に観測しているわけではない。これに対してプローブカーデータは、各断面の観測回数は従来データより少ないものの、広いエリアでの旅行時間情報を利用することが可能となる。図 1.2.12b にも示したように、プローブカーを用いることで対象エリア内のほぼすべての交通情報を取得可能であることが分かる。ただし、断面データとは異なり時間的に連続しておらず、また非常に稀にしかプローブカーが通過しないリンクにおいては観測データ数が少なくなるといった問題点もある。もちろん実験を長く行えば、交通量の少ない郊外のリンクにおいてもある程度の通過回数を得られ、比較的安定した旅行時間情報を得ることは可能である。

ここで、前節で作成した蓄積データベースを基に、オフラインマップマッチング処理されたプローブカーデータが、断面交通データとして利用可能であることを示す。図 1.2.13

は、名古屋市中北部における各リンクの通過旅行時間を示している。ここで、晴天時・金曜日のリンクコストテーブルから 18:00~18:05、0:00~0:05 のカラムを使用した。もちろんすべてのリンクにおいて、この時間帯にプローブカーの通過が観測されるわけではないため、欠損データについては隣接する時間帯から旅行時間データを補間している。この図から、夕方のピーク時間帯である 18:00 では旅行速度が低く、また深夜 0:00 では高くなっている様子が見て取れ、交通混雑が時刻によって変化している状況が把握できる。このように、交通状況の変化に関する情報を蓄積データから取得することが可能であることが分かる。



金曜日、晴天時、18:00 のリンク旅行速度



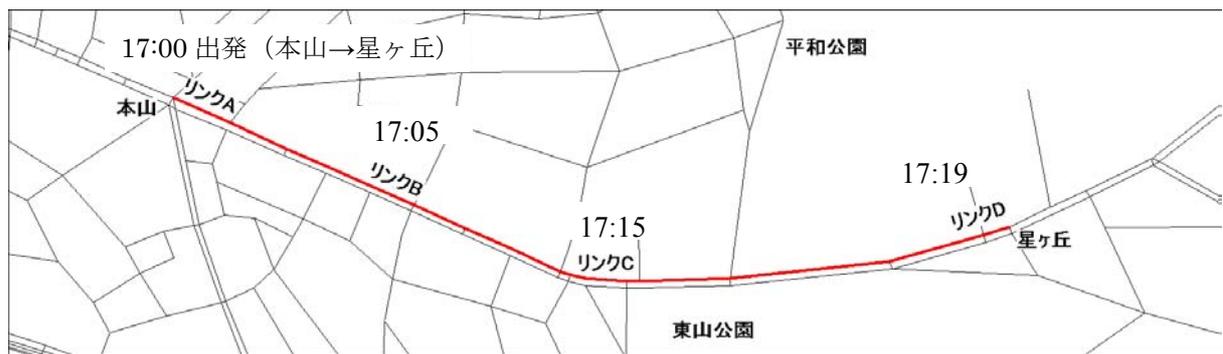
金曜日、晴天時、0:00 のリンク旅行速度

図 1.2.13 蓄積データによる旅行時間変化情報

(5) リンク別所要時間テーブルを用いた最短経路探索

① リンク別所要時間テーブルを用いた経路探索の考え方

プローブデータを集計して作成されたリンク別所要時間テーブルは、時々刻々と変化する交通状況を蓄積したデータとして捉えることができ、これを用いれば任意の時間間隔における、平常時の交通状況の変化を知ることが可能となる。したがって旅行時間予測においては、出発時刻以降の交通状況の変化を出発時点において事前に予測することが可能であり、これにより事後的にも最短となる経路を予測することができる。リンク別所要時間テーブルを用いた場合の旅行時間予測方法の基本的な考え方を図 1.2.14 に示す。



	リンク A	・・・	リンク B	・・・	リンク C	・・・	リンク D
17:00～ 17:05	15.2	・・・	21.3	・・・	8.6	・・・	11.5
17:05～ 17:10	16.8	・・・	22.6	・・・	9.7	・・・	13.3
17:10～ 17:15	17.1	・・・	24.1	・・・	12.0	・・・	15.6

予測に用いるリンク所要時間

*単位：秒

図 1.2.14 リンク別所要時間テーブルを用いた旅行時間予測の考え方

このように出発時刻以降の交通状況の変化を考慮すれば、対象トリップ中の交通状況を出発から到着まで適切に捉えることができ、逆にこれを用いない場合は出発以降の交通状況を誤って捉えているともいえる。

② リンクコスト更新型 Dijkstra 法の開発

通常、旅行時間予測および最短経路探索には Dijkstra 法が用いられる。この手法は 1 つの起点からネットワーク上のすべてのノードまでの最短経路を 1 回の計算で同時に求める方法である。しかし、リンク別所要時間テーブルにより表現される、時々刻々と変化する交通状況データを用いて経路探索を行うためには、従来の Dijkstra 法の探索アルゴリズムを改良する必要がある。以降、この探索手法を「リンクコスト更新型 Dijkstra 法」と呼び、図 1.2.15 に探索フローを示す。

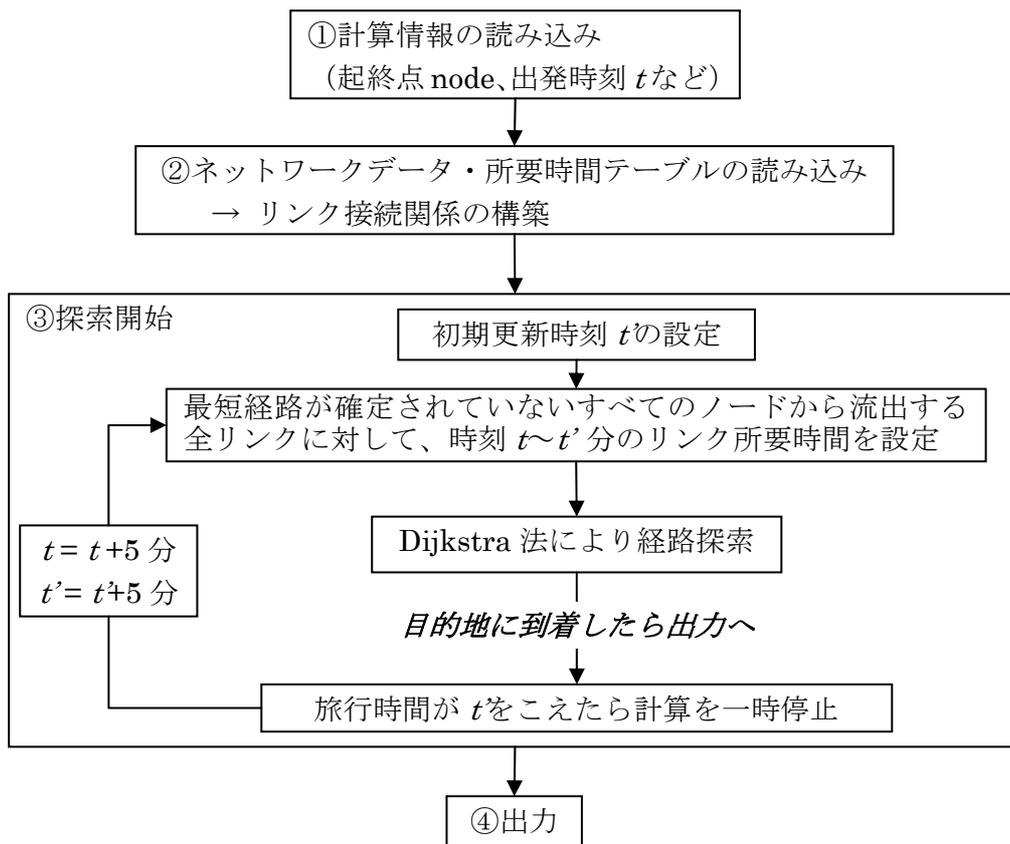


図 1.2.15 リンク別所要時間テーブルを用いた最短経路探索のフロー

③ リンクコスト更新型 Dijkstra 法の計算速度

リンク別所要時間テーブルを用いた経路探索は、通常の経路探索手法と比較して計算速度が長くなることが予想される。これは経路探索過程において出発時刻以降のリンク別所要時間を逐次更新するためである。したがって実際に予測に用いることが可能かを分析する必要がある。分析には表 1.2.7、図 1.2.16 に示すように 2 種類のネットワークデータを用意した。

表 1.2.7 計算速度分析用ネットワークデータ

	全ネット (エリア内)	幹線ネット (エリア内)
リンク数 (方向別、接続リンク込)	26, 412	6, 166
ノード数	9, 433	4, 202

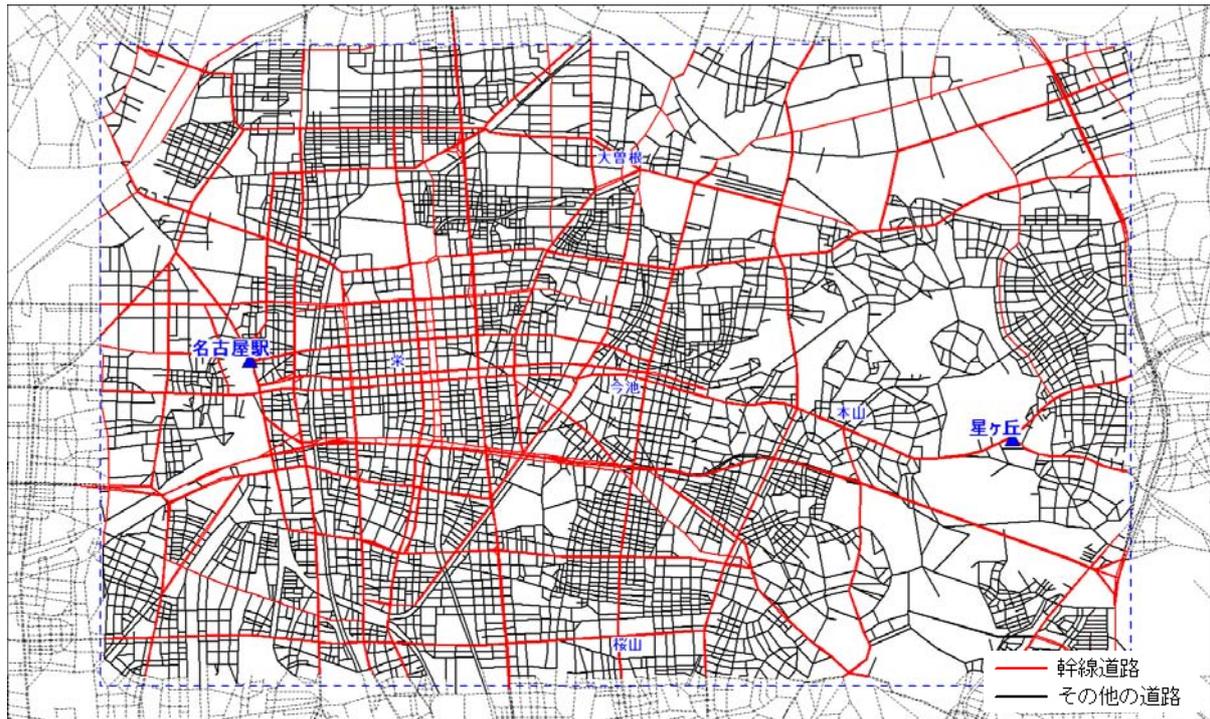


図 1.2.16 計算速度分析用ネットワーク

以上の設定条件において、起点を JR 名古屋駅桜通口タクシーターミナル、終点を星ヶ丘交差点とした場合の計算速度を表 1.2.8 に示す。なお計算速度の計算には同じ設定条件で行った 5 回の計算時間の平均値を示す。

表 1.2.8 リンクコスト更新型 Dijkstra 法の計算速度

旅行時間区分数	更新なし		リンクコスト更新	
	幹線ネット	全ネット	幹線ネット	全ネット
ネットワークデータ				
旅行時間更新回数	—		7	
①計算情報の読み込み	0.016	0.016	0.016	0.016
②ネットワークデータの読み込み&設定	0.200	2.334	1.638	7.853
③リンクコスト更新&経路探索	0.009	0.009	0.009	0.022
④出力	0.000	0.000	0.000	0.003
トータル計算時間	0.225	2.359	1.663	7.894

計算機性能 CPU : Pentium4 3.2GHz、メモリ : 2.1GB

単位 : 秒

この結果旅行時間テーブルを用いて、出発後の交通状況の変化を考慮することで計算速度が 3~8 倍程度になることがわかる。しかし実際にはリンクコスト更新と経路探索には 0.01 秒程度しか必要とせず、計算時間の大部分はネットワークデータの読み込みと設定に要していることがわかる。したがってシステムメモリにネットワークデータを蓄積させて

おく場合には、経路探索時間は非常に小さいものであるといえる。

④ リンク別所要時間テーブルを用いた予測精度

ここではリンク別所要時間テーブルを用いた場合の旅行時間予測精度を検証することで、旅行時間テーブル作成方法の問題点を抽出する。

検証用データはリンク別所要時間テーブルに含まれないプローブデータとする必要があり、ここでは名古屋駅→星ヶ丘間の2トリップを2004年1月のデータから抽出した(表1.2.9)。これらのトリップは主に幹線道路を通過する経路を利用しており、いずれも平日の夜のトリップである。対象エリアおよび検証用データが利用した経路を図1.2.17に示し、検証結果を表1.2.10、図1.2.18に示す。

表 1.2.9 検証用データの概要

トリップ	経路	経路位置	月日	出発時刻	到着時刻	旅行時間
1	経路①	名古屋駅→〈桜通〉→池下 →〈広小路通〉→星ヶ丘	1/29 木	20:23	20:46	23分15秒
2	経路②	名古屋駅→〈桜通〉→栄 →〈錦通〉→池下→〈広小路通〉→星ヶ丘	1/14 水	19:42	20:03	20分55秒



図 1.2.17 検証データの利用経路

表 1.2.10 リンク別所要時間テーブル更新の有無による相対誤差平均の変化

	トリップ1		トリップ2	
	旅行時間(分)	絶対相対誤差平均*	旅行時間(分)	絶対相対誤差平均*
実績値	23.2	—	20.9	—
旅行時間更新なし	28.4	8.54	30.3	11.34
旅行時間更新あり	27.7	8.27	29.0	10.70

*絶対相対誤差平均 = $\{ \sum_{\text{通過リンク数}} | \text{実績リンク旅行時間} - \text{予測リンク旅行時間} | \} / \text{通過リンク数}$

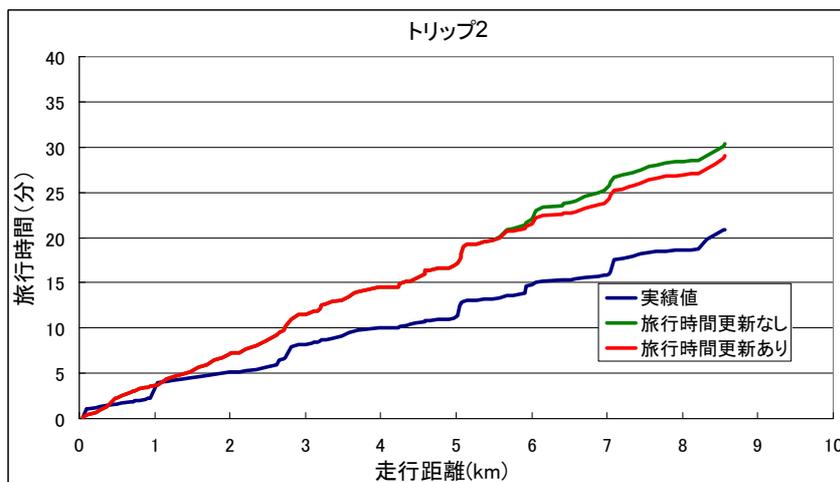
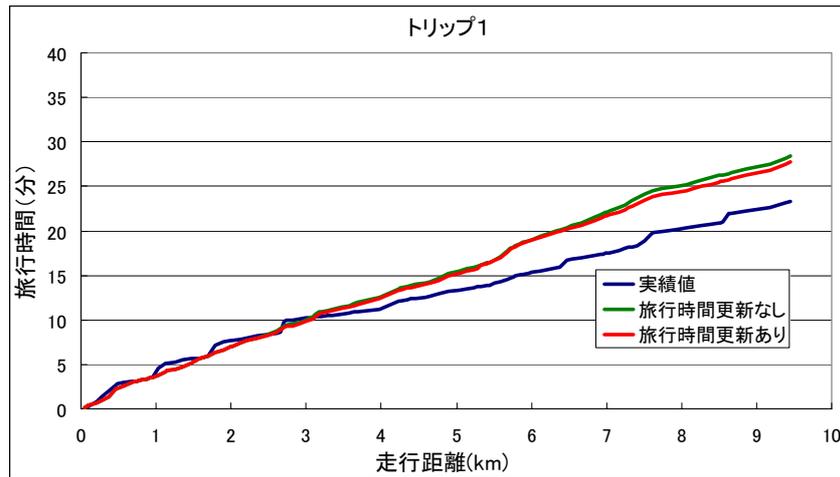


図 1.2.18 リンク別所要時間テーブル更新の有用性検証結果

予測旅行時間は、リンク所要時間を更新した場合の方が実績値に近い値となり、リンク別所要時間テーブルを用いた予測の有効性が示されているものの、予測値向上は非常に小さい。また予測値はいずれも実績値を上回っている。これは作成した旅行時間テーブルには、各リンクを右折もしくは左折により通過した際の旅行時間が含まれる他、コンビニなどへの立ち寄り行動による非常に大きなリンク旅行時間を持つデータが含まれているためと考えられる。この結果から、旅行時間テーブルにはそのリンクを直進通過したデータのみより作成し、右左折の影響は別途考慮すべきであることがわかる。

(6) リンク別所要時間テーブル作成に関する今後の課題

以下にリンク別所要時間テーブル作成方法およびこれを利用した旅行時間予測手法に関する今後の課題を示す。

- ・リンク別所要時間テーブルには、これを旅行時間予測に用いることを前提として作成すべきであり、生活道路のような街路の取り扱いに注意する必要がある。
- ・交通状況は5分ごとに常に変化し続けるわけではなく、変化の小さい時間間隔は統合すべきである。これにより各時間間隔のリンク旅行時間の信頼性を向上できるほか、蓄積データのデータサイズを小さくすることができる。
- ・リンク別所要時間テーブル作成には直進通過旅行時間のみを用いて作成すべきであり、右左折による旅行時間の増加は別途考慮すべきである。
- ・右左折コストを考慮した旅行時間予測アルゴリズムを開発する必要がある。

1.3 道路交通状況を把握するためのプローブカー台数に関する予備的実験

日本電気株式会社 ITS 事業推進センター マネージャー 佐藤彰典

(1) はじめに

近年、道路交通状況の把握にプローブカーの利用が着目されている。プローブカーから収集される道路区間の旅行時間情報は、質の高い計測情報として期待される一方、GPSの計測誤差や車種、運転手の走行特性によるばらつきを有しており、第三者への一般情報として提供するには複数車両からのデータを統計処理することが不可欠となる。この際、道路上のどの程度の台数の車両からデータが収集されれば、一般向け情報が生成され得るかについての知見は重要であり、すでに多くの提案がなされている。しかしながら、これらの多くはシミュレーション、もしくは仮定に基づいた理論式によるものであり、豊富なデータを用いての検討はさほど多くない。

そこで、本報告では、道路の平均的交通状況を把握するために必要なプローブカー台数の把握を目的として、その予備的実験として、実道路においてAVIセンサにより走行車両の実測データを収集した。また、収集データの一部を使用して、データ数の違いによる平均旅行時間の変動を確認し、さらにタクシー車両から収集したプローブデータとの旅行時間の比較を行った。

本稿の構成は以下のとおりである。(2)ではデータ収集について、(3)ではデータ数の違いによる平均旅行時間の変動について、(4)で結論と今後について述べる。

(2) データ収集

データ収集は、道路管理および交通管理機関と協議、許可を取った上で平成16年8月2日から9月5日にかけて名古屋市内において実施した。

(2)–1 観測機器

走行車両台数および旅行時間を計測する機器として、(株)オリエンタルコンサルタンツ製の「OC-iシステム」を使用した。ナンバープレートを自動的に画像認識し、通過時刻情報等とともにデータベース化する機能を有している。機器概要を表1.3.1に示す。観測対象となる車線上に設置することが望ましく、道路を横断する構造物(歩道橋、情報板等)に、車道1車線あたり1台の機器を設置する。なお個人情報保護の観点より、誤認識しないと判断される範囲で収集情報の一部を削除している。

(2)–2 観測道路

使用機器の設置条件なども考慮した結果、観測は名古屋長久手線の星ヶ丘から伏見に向けた西行き約7.6kmの区間とした。観測機器設置箇所を図1.3.1、表1.3.2および表1.3.3に示す。観測機器は対象道路区間両端およびその中間地点の3地点に設置した。なお、観測地点はいずれも片側3車線の道路であるが、第一走行車線には路上駐車が多く、実情としては第二走行車線と追い越し車線の利用交通が大半となっていることから、第二走行車線と追い越し車線を調査対象車線とした。

表 1.3.1 観測機器概要

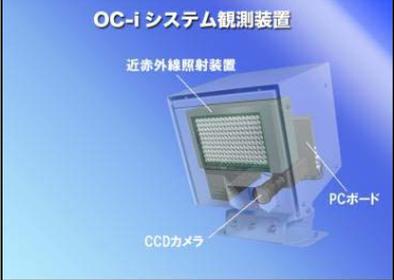
項目	内容
名称	OC-i システム
概要	<p>□本観測機器は、通過車両の前面に配置されているナンバープレートを画像処理装置（観測機器に内蔵）で認識・解析し、通過時刻・車番・用途分類・プレートサイズをテキスト情報に変換してデータベース化を行う。</p> <p>□本観測機器の撮影領域は道路横断方向に約3.0mであり、車道1車線あたり1台の観測機器を設置する。</p>
システム構成	<p>□観測機器は、CCDカメラ・近赤外線照射装置・PCボード（画像処理装置・記憶装置）により構成される。</p> <p>□観測機器1台で、ナンバープレートの認識・画像処理・解析・データベース化・記録を行う。</p> <p>□データベース化された情報は、インターネット網を通じて遠隔地からデータダウンロードが可能である。</p> <p>□画像出力端子を内蔵しており、テレビモニタを接続することで現在の撮影状況を確認することが可能である。</p> <div data-bbox="804 875 1198 1155" style="text-align: center;">  </div>
設置例	<p>□観測機器は、約30cm立方の筐体にまとめられており、歩道橋・電柱・照明柱・標識柱・情報板の門型柱などさまざまな場所で設置が可能である。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="643 1290 975 1541">  <p style="text-align: center;">情報板設置例</p> </div> <div data-bbox="995 1290 1358 1541">  <p style="text-align: center;">歩道橋設置例</p> </div> </div>



図 1.3.1 観測道路

表 1.3.2 観測地点

番号	観測名称	観測対象車線※	住所	観測機器設置構造物
1	広小路断面	2	中区栄3	情報板
2	今池断面	2	千種区今池4	情報板
3	東山断面	2	千種区田代町瓶杓	歩道橋
計		6		

※ 観測対象車線は、いずれも西行き「第二走行車線」及び「追い越し車線」とした。

表 1.3.3 観測地点詳細

観測箇所	観測機器設置構造物及び観測機器設置状況
<p>【①広小路断面】 住所：中区栄3 調査対象車線：2車線 機器設置対象：情報板</p>	
<p>【②今池断面】 住所：千種区今池 調査対象車線：2車線 機器設置対象：情報板</p>	
<p>【③東山断面】 住所：千種区田代町 調査対象車線：2車線 機器設置対象：歩道橋</p>	

○ は、本実験で使用した観測機器を示す。

(2)ー3 収集データ

① 観測地点毎の通過車両台数

観測地点別の通過車両台数について、日別を図 1.3.2 に、時間帯別を図 1.3.3 にそれぞれ示す。観測期間を通して、一般的に東側ほど通過車両台数は大きい。また測定期間には、多くの会社などが夏期連休となるいわゆるお盆が含まれているが、車両台数の大きな変動は見られない。時間帯別では、平日は朝夕に、休日は昼過ぎから夕方にかけてそれぞれピークを迎える。

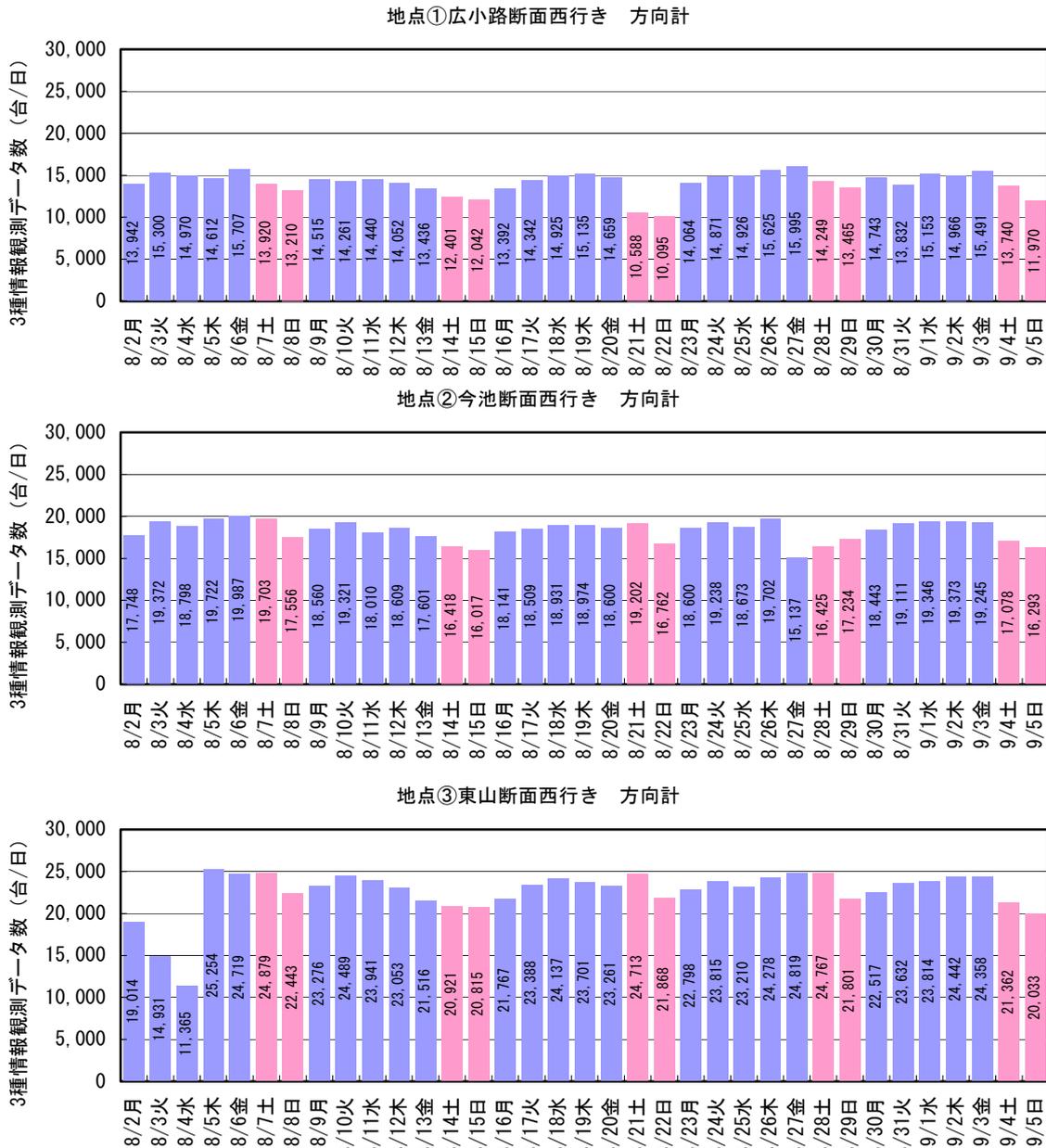


図 1.3.2 観測データ数 (地点別日別)

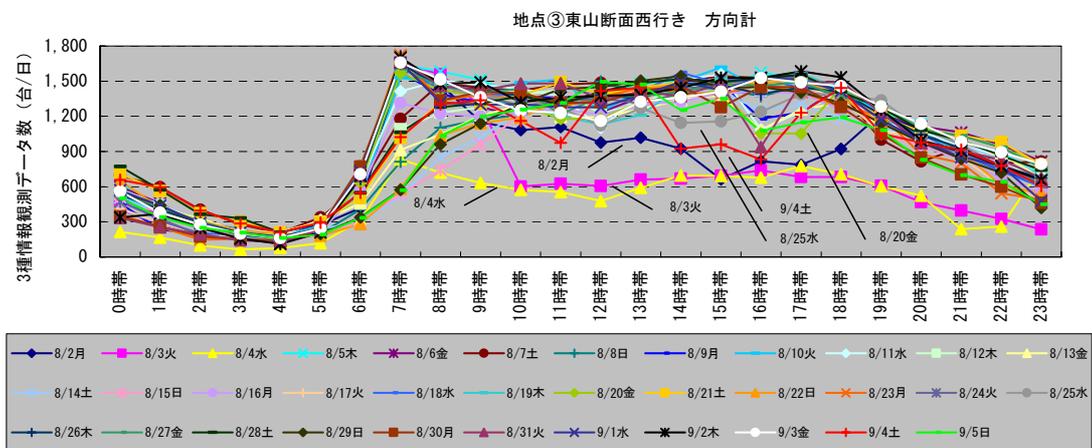
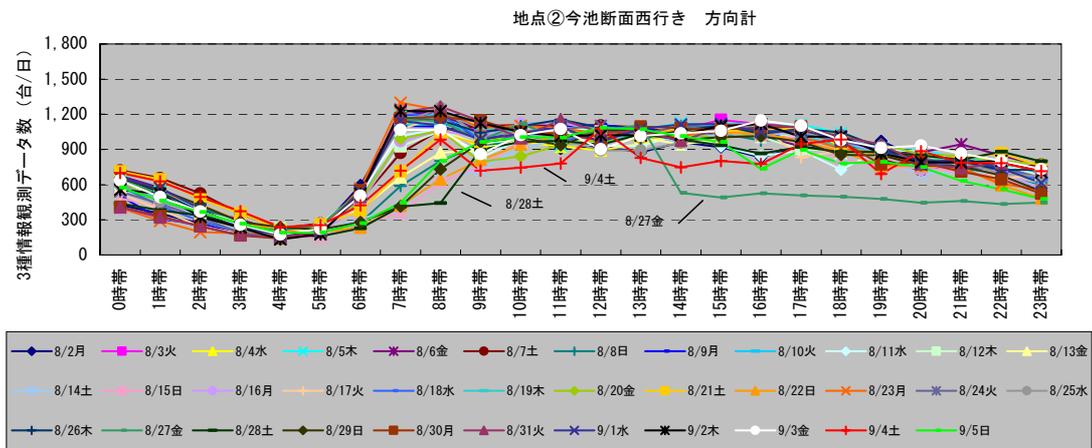
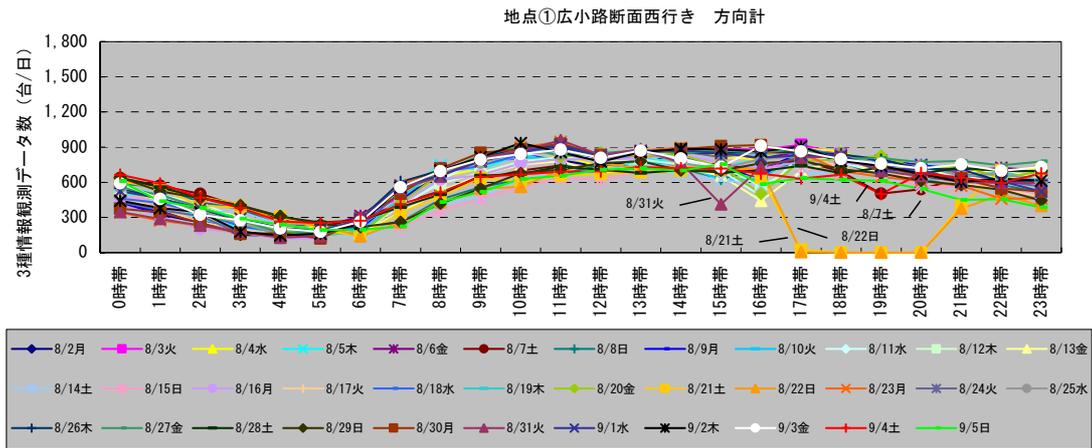


図 1.3.3 観測データ数 (地点別時間帯別)

② データ読み取り状況

観測期間中の読み取り状況を表 1.3.4 に示す。データが連続して10分以上観測されていない期間を「欠損」と定義して、その有無を確認している。なお、工事規制や交通事故など、物理的に車両が通行できない状態についても欠損として取り扱っている。

表 1.3.4 データ欠損状況

	①広小路断面				②今池断面				③東山断面			
	走行		追越		走行		追越		走行		追越	
	欠損	分	欠損	分	欠損	分	欠損	分	欠損	分	欠損	分
8/2 月	□	21										
8/3 火	□	17							■	848		
8/4 水									■	1,287	■	148
8/5 木												
8/6 金											□	38
8/7 土												
8/8 日												
8/9 月												
8/10 火	□	32										
8/11 水												
8/12 木												
8/13 金	□	46										
8/14 土	□	10										
8/15 日												
8/16 月												
8/17 火					□	10						
8/18 水			□	27								
8/19 木												
8/20 金	□	14										
8/21 土	■	266	■	246								
8/22 日	■	251	■	243								
8/23 月												
8/24 火												
8/25 水												
8/26 木	□	10										
8/27 金					■	600						
8/28 土					■	546						
8/29 日												
8/30 月	□	11										
8/31 火	□	59									□	20
9/1 水												
9/2 木	□	10										
9/3 金												
9/4 土												
9/5 日												
合計	12日	747	3日	516	3日	1,156	0日	0	2日	2,135	3日	206

※上表に示す記号は以下のとおり。また記号右側の数値は欠損時間（分単位）をあらわす。

- : 10分以上連続してデータが観測されない期間が含まれる日
- : 10分以上連続してデータが観測されない期間の合計が1時間以上となる日

③ データマッチング

観測したナンバープレートデータを用いて、地点間の通過車両台数および旅行時間を把握するためデータマッチングを行った。マッチング手順および条件を図 1.3.4 に示す。

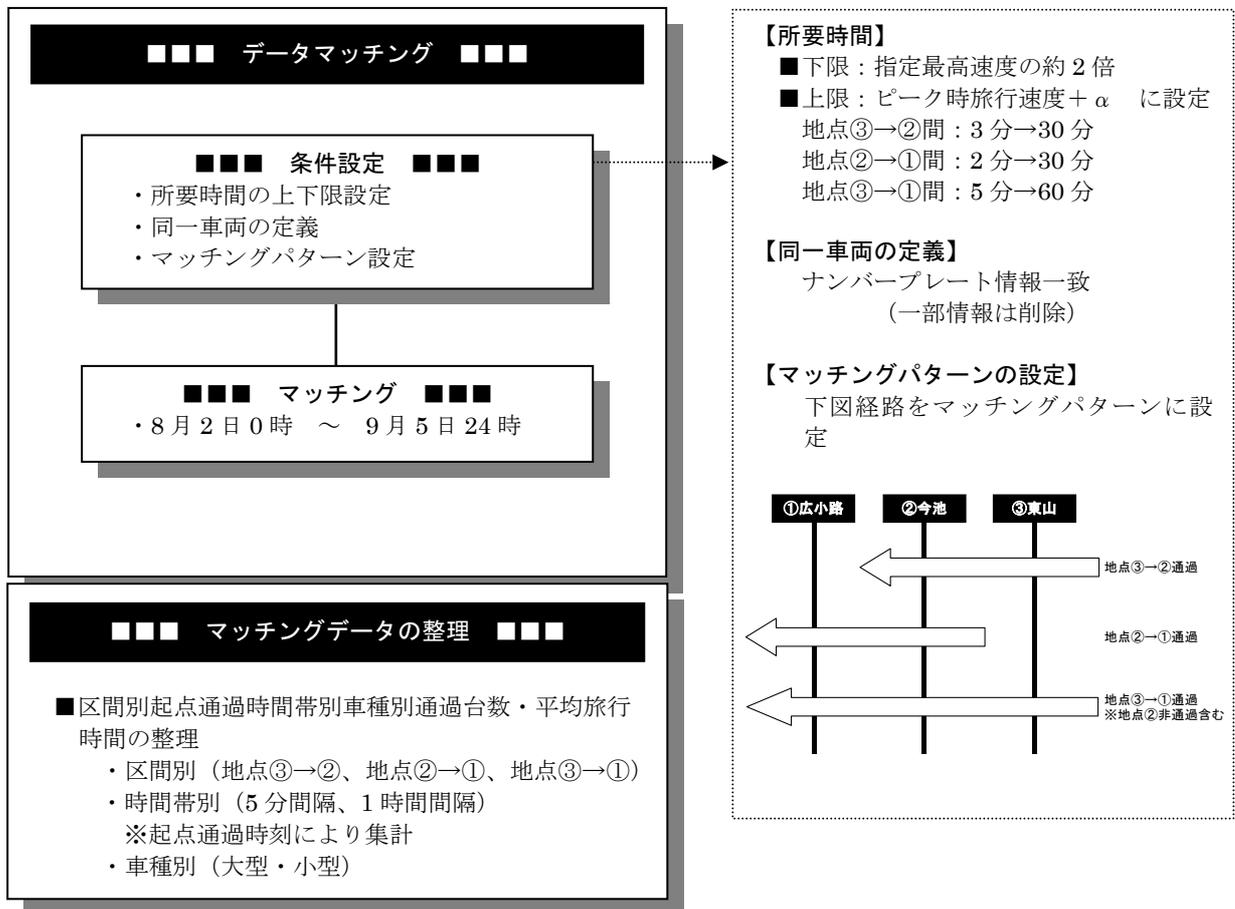


図 1.3.4 データマッチング手順

④ 観測地点間の通過車両台数

データマッチングにより区間別に照合された通過台数について、日別を図 1.3.5 に、時間帯別を図 1.3.6 にそれぞれ示す。大部分が小型車であることがわかる。時間帯では、7～8 時間帯がピークで、9 時間帯～17 時間帯頃は、ピーク時通過台数の半数の通過台数である。夜間は徐々に通過台数が減少しており、4 時間帯頃が最小となっている。

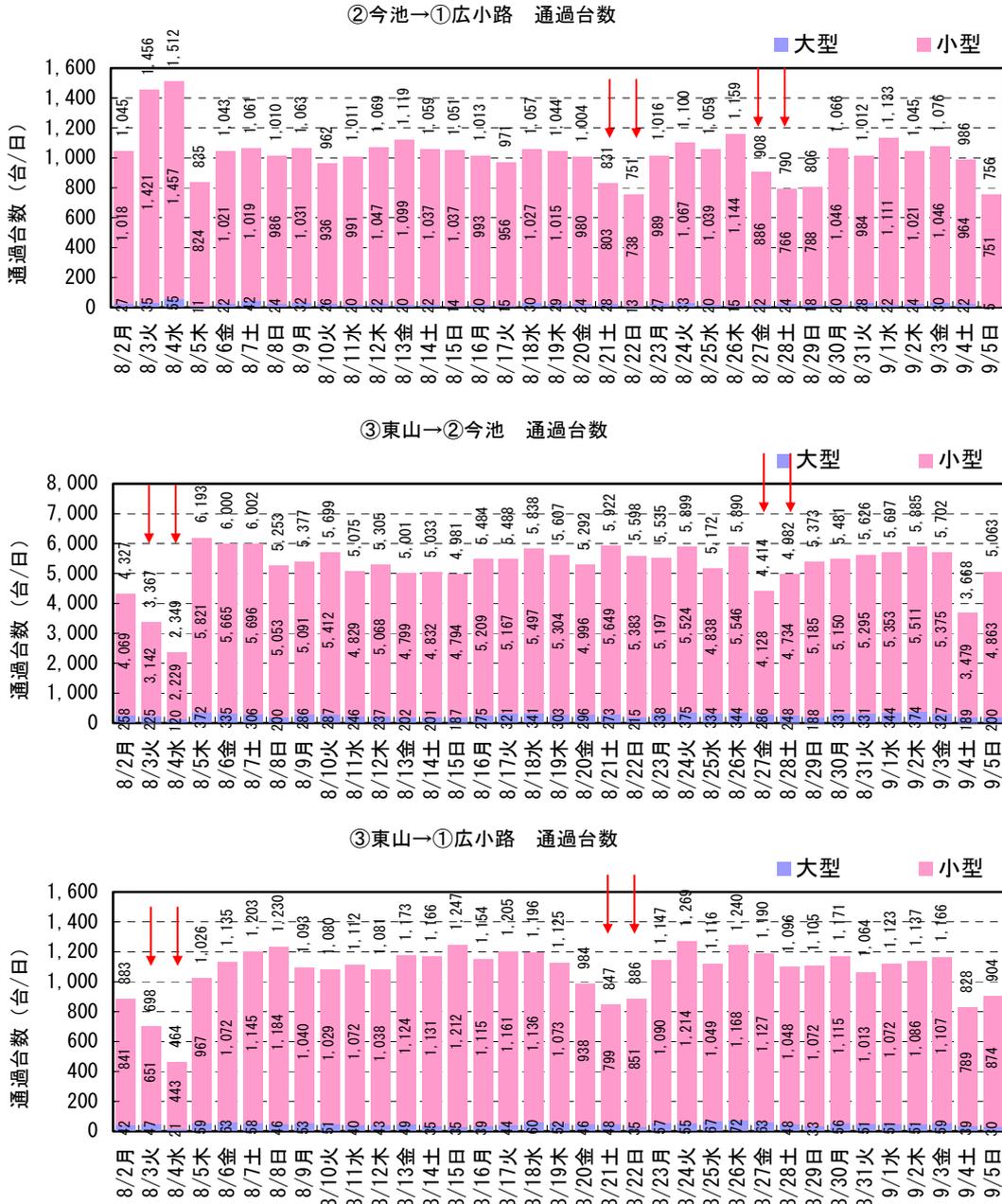


図 1.3.5 区間別通過台数 (日別)

※図中 ↓ は「10分以上連続してデータが観測されない期間の合計が1時間以上となる日」

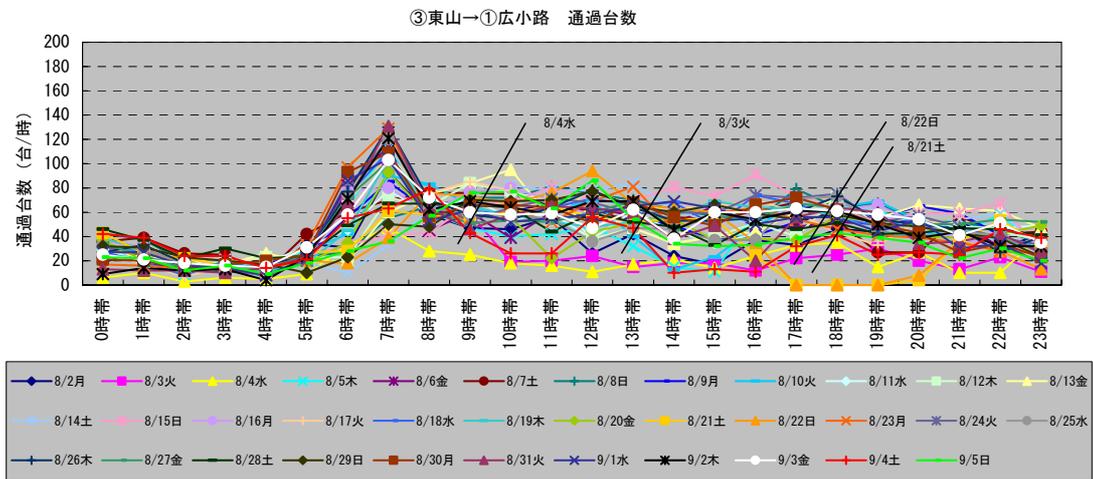
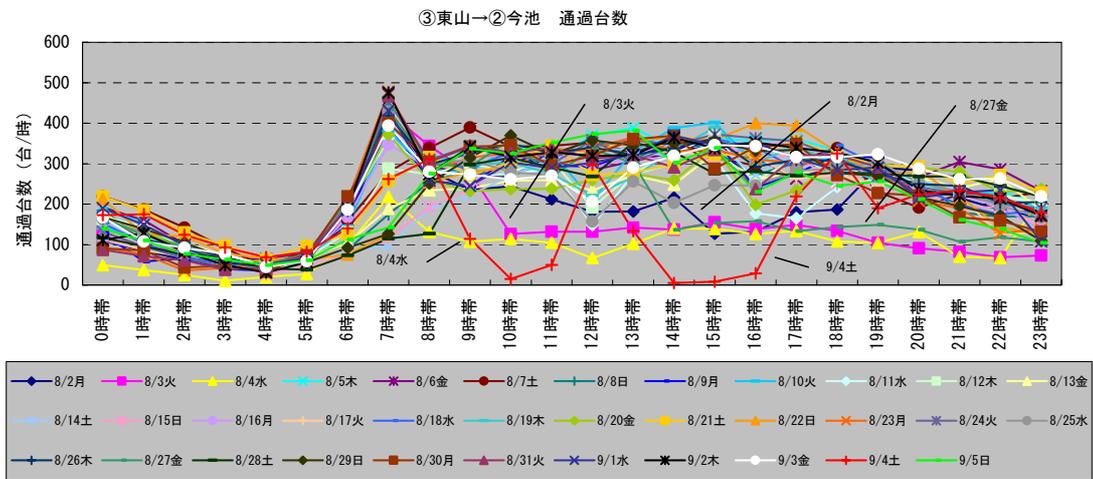
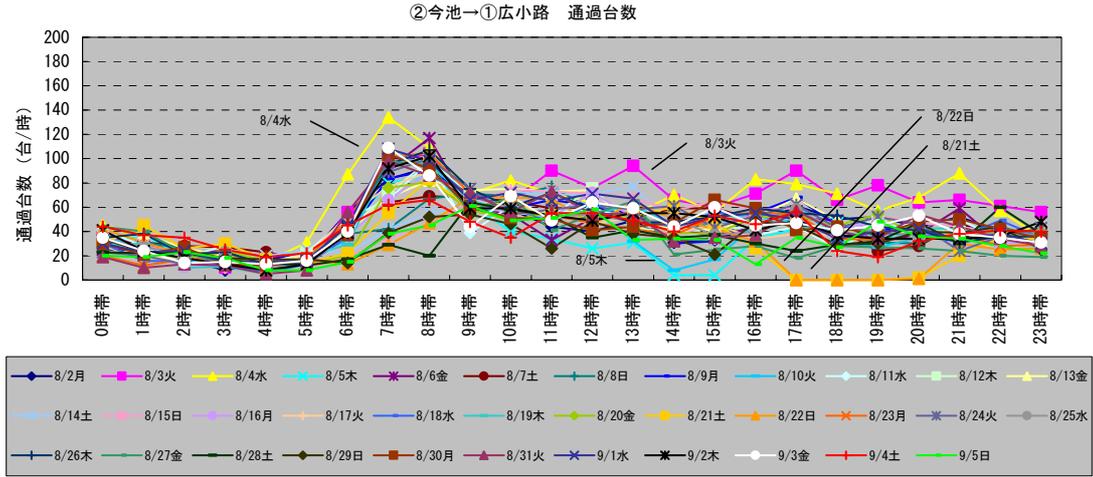


図 1.3.6 区間別通過台数 (時間帯別)

⑤ 観測地点間の旅行時間

区間別時間帯別の平均旅行時間を図 1.3.8 に示す。②今池→①広小路間は 14～16 時帯の旅行時間が長く 15～20 分程度を要している。③東山→②今池間は 8 時帯の旅行時間が長く、夜間の 2 倍程度を要している。③東山→①広小路間は 8 時帯および 14～16 時帯の所要時間が長い。

(3) データ数の違いによる平均旅行時間の変動

収集データを利用してデータ数の違いによる平均旅行時間の変動を調べた。サンプルとするデータは、欠損がない日時でかつデータ数が多いものを選び、また後述するタクシープローブデータとの比較も考慮して、結果として 8 月 5 日（木）の午前 7～9 時②今池→①広小路間のものとした。オリジナルデータの緒元を表 1.3.5 に、旅行時間を図 1.3.7 にそれぞれ示す。旅行時間は、7 時台では時間の経過とともに増加し、8 時台ではおおむね安定している。

表 1.3.5 データ数／旅行時間特性 検討用データ諸元

項目	内容	備考
日時	2005 年 8 月 5 日 (木)	
時間帯	午前 7 - 9 時	欠損なし
データ数		
7 時台	79 台	流入時刻で規定 流入時刻で規定
8 時台	78 台	
旅行時間		
7 時台	平均 558 秒	388～822 秒
8 時台	平均 684 秒	555～886 秒

サンプルデータ旅行時間

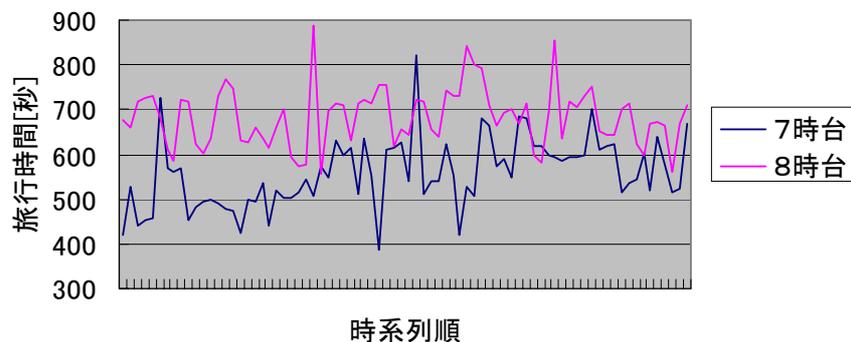


図 1.3.7 サンプルデータの旅行時間

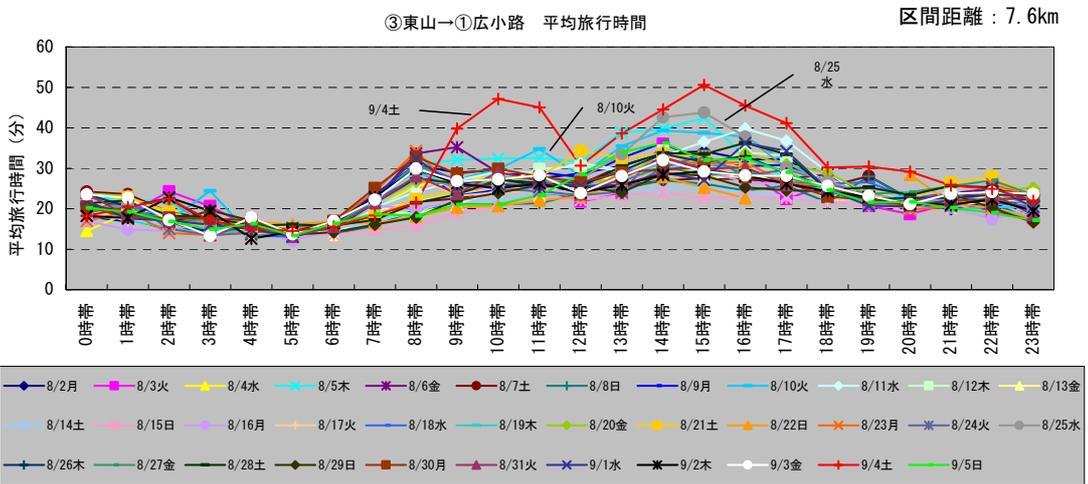
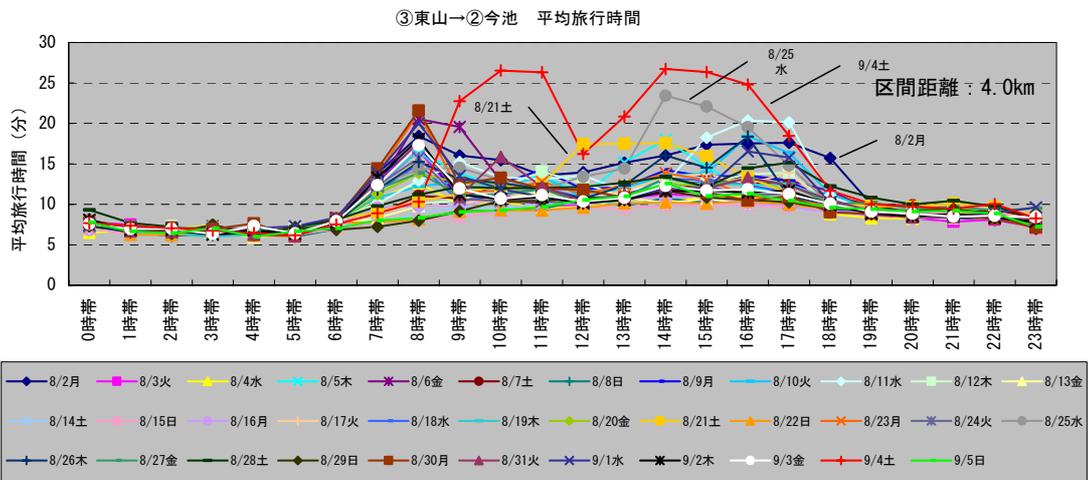
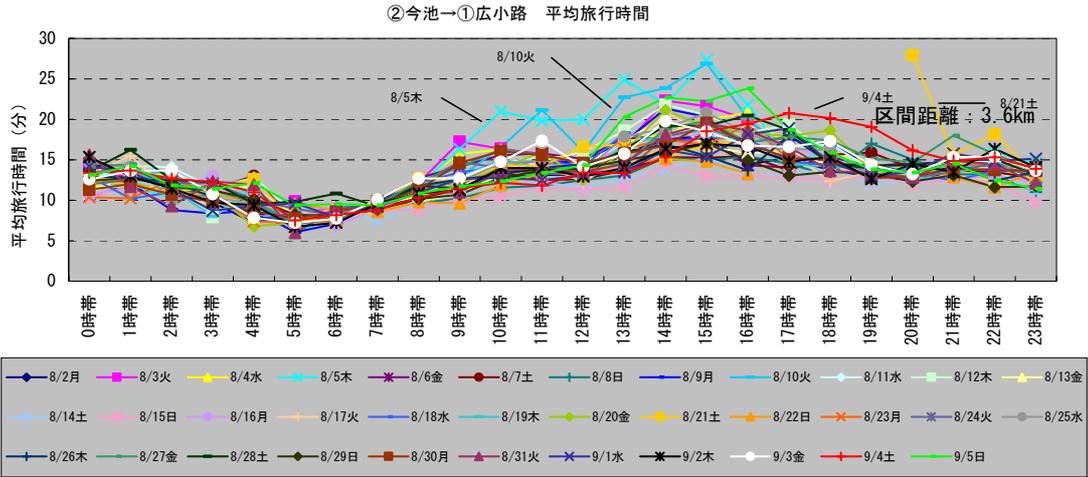


図 1.3.8 区間別平均旅行時間

①データ数の違いによる平均旅行時間の変動

表 1.3.5 および図 1.3.7 に示したデータ群から、データを一定数間引いたうえで、1時間単位での平均旅行時間を求めた。結果を表 1.3.6、図 1.3.9 および図 1.3.10 に示す。間引き率は、残すデータ数を全データで除した%で表現することとし、75%、50%、33%、15%および5%とした。データの間引き方法は、15%データを除き、各条件に従った所定のデータ数を自動的に時系列順に繰り返し削除した。15%データは、5分間毎に必ず1データが含まれるようにして、当該時間内に複数データがある場合は、各5分間の中央時間に最も近いデータを選定した。5%データは15%データ群から時系列順にさらにデータを間引いた。

表 1.3.6 データ数の違いによる平均旅行時間

間引き率 (残存データ数)	平均 旅行時間[秒]	標準偏差[秒]
7時台		
100% (79)	558	77
75% (60)	562	80
50% (40)	552	83
33% (27)	548	61
15% (12)	573	64
5% (4)	562	50
8時台		
100% (78)	684	66
75% (60)	688	57
50% (39)	689	59
33% (26)	671	62
15% (12)	720	75
5% (4)	734	88

図 1.3.9 および図 1.3.10 より、平均旅行時間を見ると、7時台、8時台ともに50%程度までの間引き度合いでは変動はほとんど見られない。さらに間引きの度合いを増すと数値の変動が見えはじめるが、数値の信頼性が単純に低下していくとは判断できない。

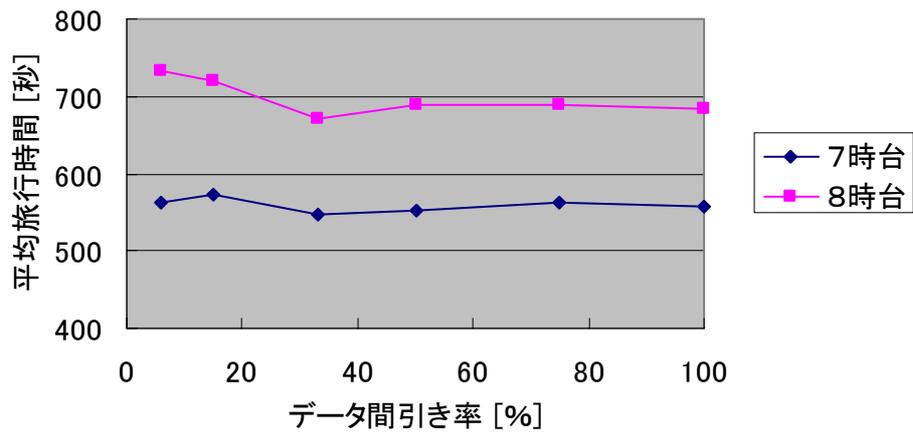


図 1.3.9 データ間引き度合いに応じた平均旅行時間

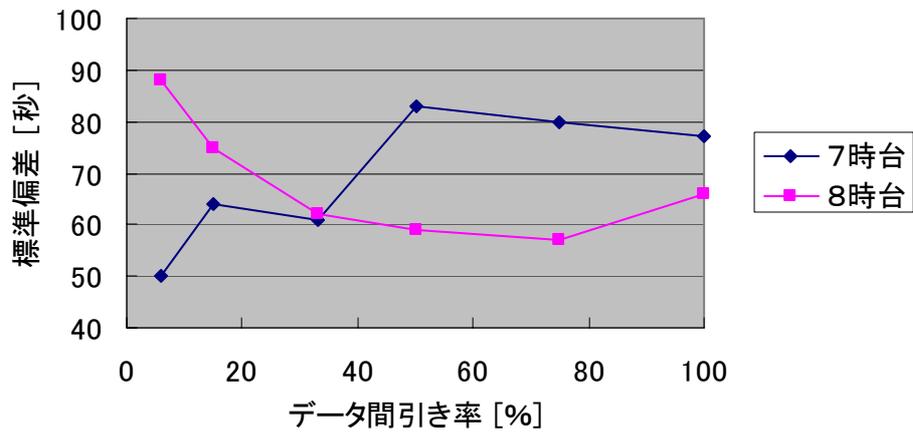


図 1.3.10 データ間引き度合いに応じたデータ群の標準偏差

表 1.3.7 タクシープローブデータとの比較

項目	タクシープローブデータ	本実験データ※
データ数		
7時台	4台	79台
8時台	4台	78台
平均旅行時間、標準偏差[秒]		
7時台	450/45	544/77 (548/50)
8時台	522/22	667/66 (717/88)

※ タクシープローブデータとの区間整合処理後のもの。()内はデータ数をタクシープローブと同等数に間引いて算出した場合のもの

②タクシープローブカーデータとの比較

同日時に、名古屋市内のタクシー車両に搭載された専用車載機により計測されたプローブデータに基づいて計算された旅行時間との比較を表 1.3.7 に示す。タクシー車両からは、断続的にデータが収集されるため、本実験で使用した観測区間との整合処理を行った上での比較である。明らかにタクシープローブデータに基づく旅行時間のほうが偏差を含めて小さく、7時台、8時台共に、本実験データに対して約8割程度となっている。理由としては、タクシードライバーは走行技術が高い上に当該道路を熟知しているため、平均的走行よりスムーズに移動できるなどが考えられる。これより、一般的な旅行時間を提供する際には、データソース車種の偏りなどにも留意する必要があると考えられる。

(4) 結論

道路の平均的交通状況を把握するために必要なプローブカー台数の把握を目的として、その予備的実験として、実道路においてAVIセンサにより走行車両の実測データを収集した。その結果、計測区間において、1日平均約1000台の旅行時間データを得た。さらに、収集データの一部を使用して、データ数の違いによる平均旅行時間の変動を確認した。その結果、データの間引き度合いに応じた明確な平均旅行時間の信頼性低下は見られなかった。また、タクシープローブデータと比較して、タクシーが一般的走行より、スムーズに移動していることを確認した。

今後は、収集されたデータを活用して、より多くのケースで確認することで一般向け旅行時間の情報提供に必要なプローブカー台数の把握を進めたい。

謝辞

本研究を進めるに際して、ご助言を頂いた名古屋大学 森川教授ならびに愛媛大学 羽藤教授、また AVI データの収集について多大なご協力をいただいた株式会社オリエンタルコンサルティング殿に、深謝の意を表します。

第2章

タクシー需要マップに関する研究

第2章 タクシー需要マップに関する研究

愛媛大学助教授 羽藤英二

(1) 研究の背景と目的

① 研究背景および目的

2002年～2003年にかけて行われた名古屋 ITS 実証実験において、一日あたり約千台のタクシー運行データが取得されている。本研究では、秋季（2002年10月）・冬季（2002年12月）データより、これらプローブデータよりタクシー利用・および運行実績に関する解析を行い、曜日属性・時間帯毎におけるタクシーの需要マップを作成することにより名古屋都市圏におけるタクシー運行状況について捉えることを目的とする。

② 研究概要

本研究については、主として次の項目について解析を行うこととする。

1. 曜日属性毎のタクシー利用状況
2. 季節・曜日属性、時間帯毎のタクシー利用状況マップ作成
3. 長距離トリップ発生にメッシュに関する解析

(2) ネットワーク抽出および解析エリア構築

① ネットワークデータ作成

プローブタクシーの経路抽出に際し、DRM を用い道路ネットワークの構築を行った。これについて以下に示す。

本研究では、名古屋市を中心とする二次メッシュ 12 個に対応する領域を対象とする。当該領域は日本平面直角座標系において座標（-37, 999、-110, 925）、（-3, 793、-73877）を端点とする（34, 206m×37, 048m）の矩形領域であり、対象領域内において総リンク数 314, 500 本（基本道路、全道路往復リンクを含む）のネットワークの構築を行った。

② メッシュ構築

前述の対象エリア間の解析を行うため、平面直角座標系（IV系）において（5,701m×4,631m）の単位メッシュにより経度方向（以降 X 軸）に 17、緯度方向（以降 Y 軸）に 19 分割し分析対象メッシュを構築した。

道路ネットワークに対応するメッシュ分割状況について図-2.1 に、対応するメッシュ番号について図-2.2 に示す。

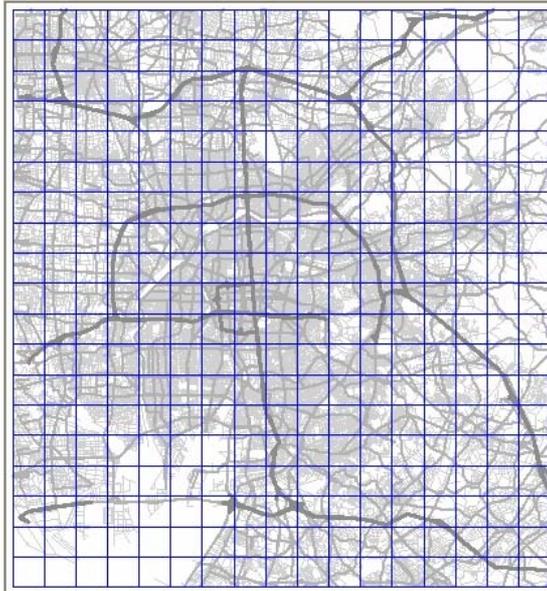


図 2.1 ネットワークおよびメッシュ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136
137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153
154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187
188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204
205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221
222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238
239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255
256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272
273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289
290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306
307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323

図 2.2 メッシュ番号

また、以降解析結果を図示する際、グラフにおける座標は図 2.3 の位置関係を意図するものであるが、簡便の為グラフ上での凡例は省略させて頂く。

需要マップにおける Z 軸は当該メッシュにおけるトリップ発生数を示し、図 2.3 中においては名古屋駅周辺および名古屋空港周辺メッシュにおいて、トリップ開始が 6 回カウントされたことを示す。

Z 軸最大値はグラフ毎に異なるが、これは一律に扱う場合日較差によりグラフ表現が微小な需要に対応できないためである。

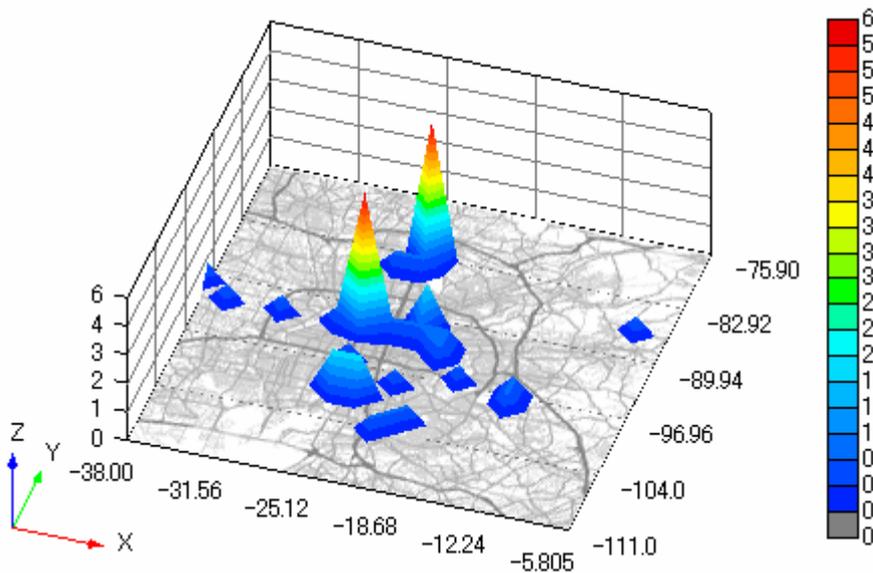


図 2.3 タクシー需要マップとの重ね合わせ

(3) プローブデータ抽出および解析データ作製

① 名古屋 ITS 実証実験取得データ

本研究では、プローブタクシーデータより表 2.1 に示す項目について抽出し、解析に用いることとする。プローブタクシーデータフォーマットについて表 2.2 に示す。

表 2.1 プローブデータ抽出項目

番号	項目名称	型	説明
1	車両 ID	Int	プローブ識別番号
2	車載機時刻	Long	年月日時分秒(yyymmddHHMMSS)
3	積算走行距離	Long	プローブの積算走行距離
4	G P S 緯度	Int	取得時刻における位置座標
5	G P S 経度	Int	取得時刻における位置座標
6	G P S 方位	Int	取得時刻における車両正面方位
7	進行方向	Int	取得時刻における進行方向
8	空車/実車フラグ	Int	実車/空車状況

表 2.2 プローブタクシーデータ例

行	プローブタクシーデータ例
1	1012, 20021001000013, 1, 52, 0.00, 320715258, 32385457, 126221325, 24576, 0, 32382482, 126224064, 7, 32382554, 126224147, 7, 523657, 3038164249, 0, 19, 91, 3, 153, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1
2	1012, 20021001000052, 1, 39, 0.00, 320715565, 32383908, 126223805, 24576, 0, 32380934, 126226544, 6, 32381009, 126226628, 6, 523657, 3038885155, 0, 143, 179, 3, 153, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1
3	1012, 20021001000234, 1, 20, 0.00, 320715870, 32382165, 126226071, 24576, 0, 32379192, 126228808, 7, 32379253, 126228880, 7, 523657, 2725295395, 1, 17, 288, 3, 153, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1

② プローブデータマッチング・トリップ抽出

オフラインマッチングにより構築ネットワークについて前述のプローブデータのマッチングを行い、タクシートリップの抽出を行った。

タクシーにおけるトリップは個人トリップと異なり、実車トリップと空車トリップに分けて捉える必要がある。このうち、実車トリップについては大きく市街地内移動と市街地⇄郊外、郊外⇄郊外の連絡に分けられる。また、空車トリップにおいては客待ちのため市街地を巡回することから、同一トリップと考えられる行程中に同一リンクを複数回通過す

るケースがあるため、これに対する処理が必要となる。トリップ抽出プロセスについて次に示す。

②-1 ショートトリップ判定について

前述の同地点周回問題を解決するため、問題発生が予期される時点毎にショートトリップを構築し、この区間内で探索を行うことにより問題を回避する。このための指標として、乗降車フラグ、直角右左折、ショートトリップ開始方向から 90 度以上進行方向が変更された点を用いるものとした。

②-2 サブネットワーク取得について

オフラインマッチングを行う際のサブネットワーク取得について、各取得点を対角とする矩形にマージを加えた領域について、100m角メッシュに所属するリンクを登録したファイルより経路候補を順次取得し、経路探索対象とするサブネットワークを構築する方法を採用した。

②-3 吸着・経路コスト算出について

取得点ーリンク間の距離、各取得点より求めた進行方角とリンクの正方角の一致度、道路格より吸着コストの補正を行い、ダイクストラ法により経路を抽出する。

求めた経時移動例について図 2.4 に、リンク速度抽出例について図 2.5 に示す。

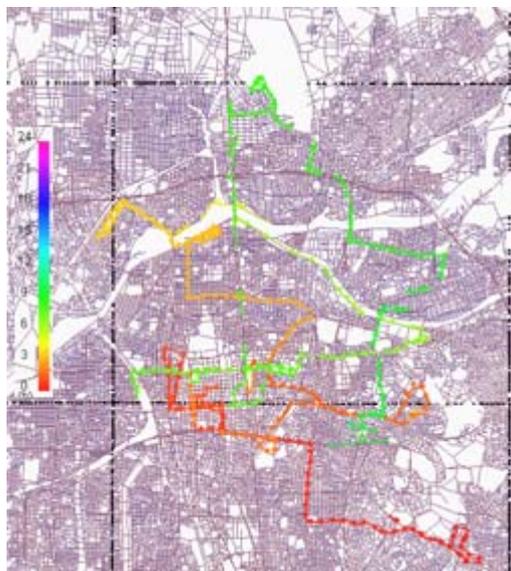


図 2.4 経時移動例

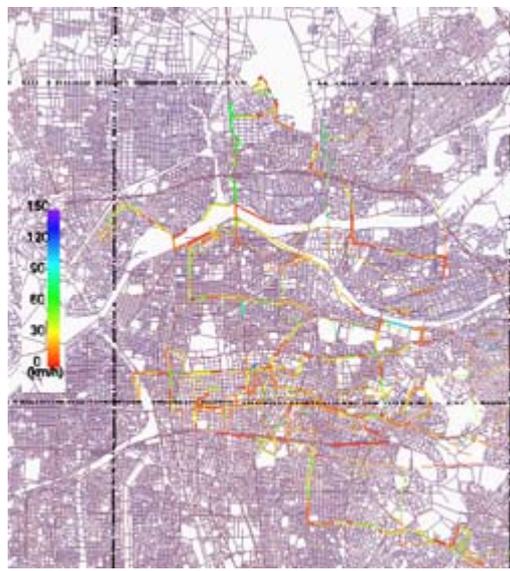


図 2.5 リンク速度抽出例

③ 名古屋 ITS プローブタクシー走行・乗降車データ

タクシーの季節・曜日属性における利用状況について集計を行った。

プローブタクシーの運行について、秋季・冬季各個に対象日毎の利用状況を図 2.6～図 2.11 に示す。尚、各プローブにおけるデータ取得間隔には欠損が多く含まれており、走行台数には実走行データの少ないものも含むため、総乗降台数、平均乗車回数についてはあくまで取得データの範囲内としての値とする。

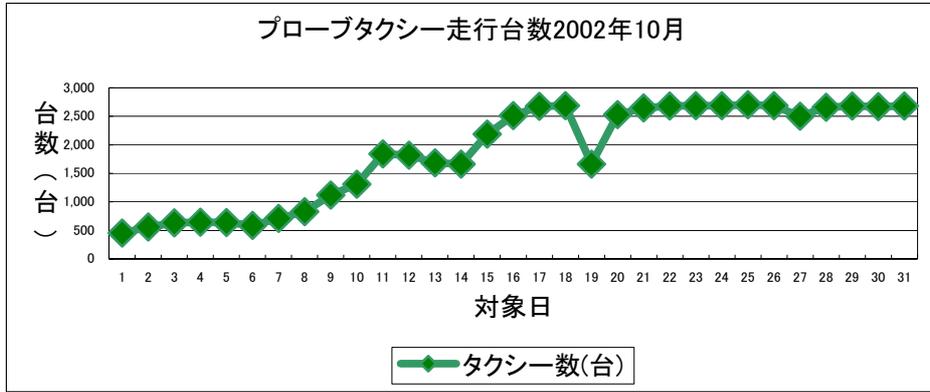


図 2.6 タクシー運行台数 (秋季)

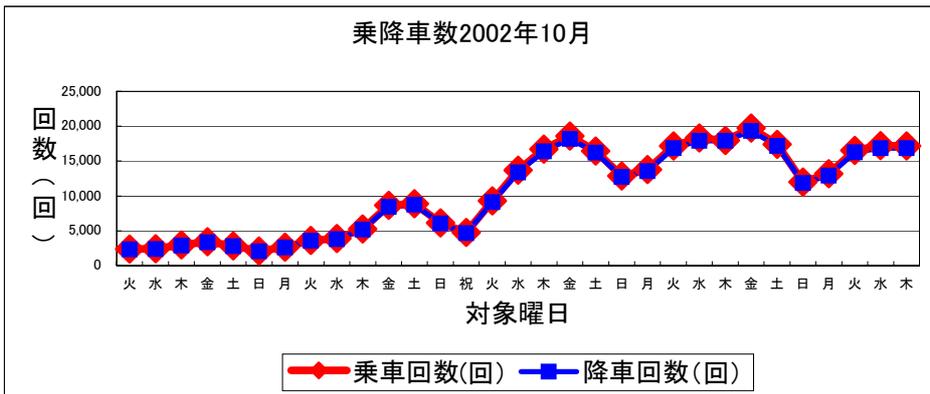


図 2.7 タクシー総乗降回数 (秋季)

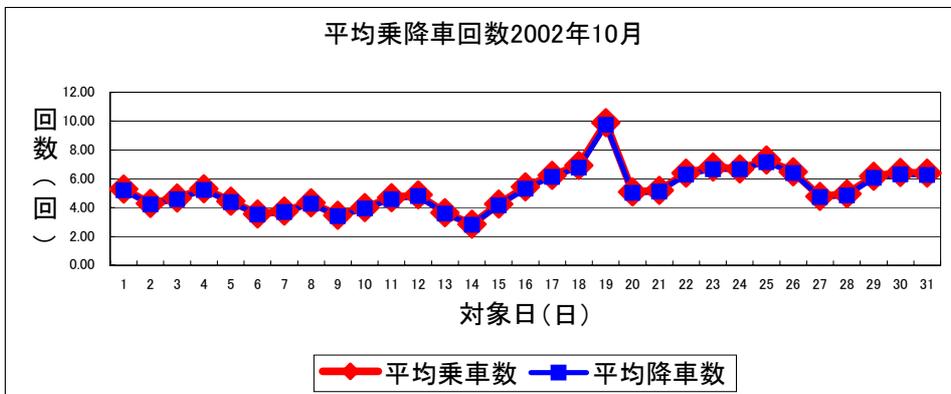


図 2.8 タクシー平均乗降回数 (秋季)

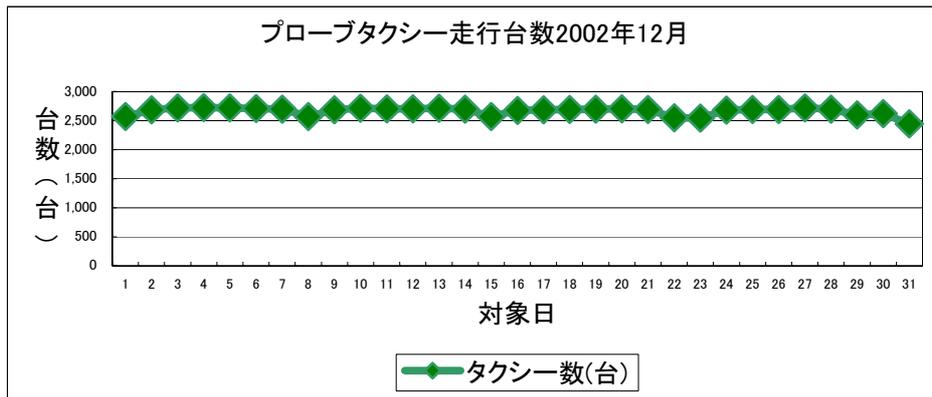


図 2.9 タクシー運行台数 (冬季)

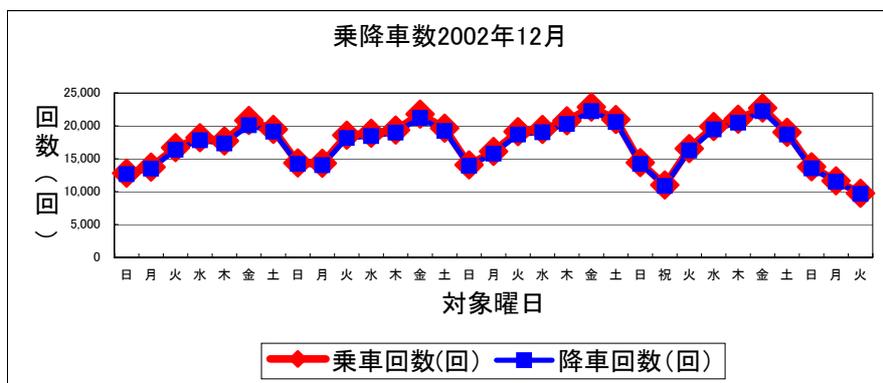


図 2.10 タクシー総乗降回数 (冬季)

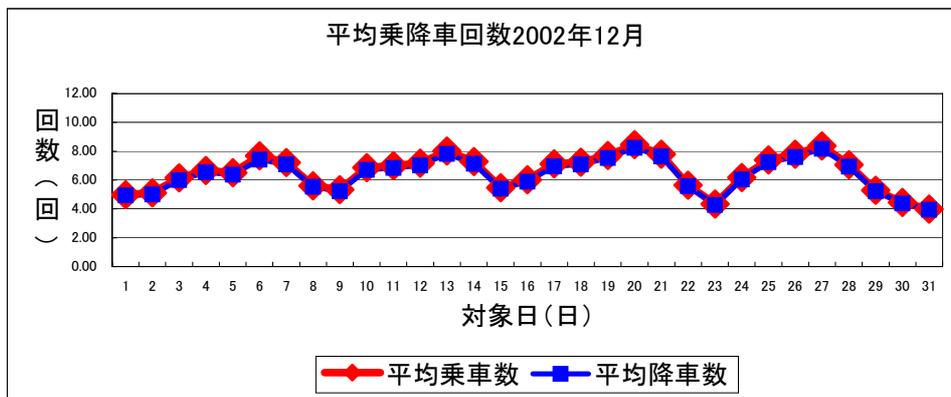


図 2.11 タクシー平均乗降回数 (冬季)

10月前半については、実証実験開始当初であることからプローブタクシーが出揃っていないことが考えられる。これを除けば、タクシー利用回数は金曜日に最大値をとり、日・月・祝日に落ち込む等、曜日属性に影響を受けていることが確認できる。

これら結果より、タクシーの利用には、仕事による外出が大きな要因を占めていることが想定される。

(4) メッシュに準拠した解析

解析結果について、構築メッシュに準拠した形式で表示を行う。結果表示に際しては、フリーウェアである GRAPH-R (<http://www.iris.dti.ne.jp/~tohru/index.html>) を用いた。

① トリップ距離比較

2002年12月のトリップデータにおいて、全距離および10km以上トリップ距離毎の発生頻度について以下に示す。

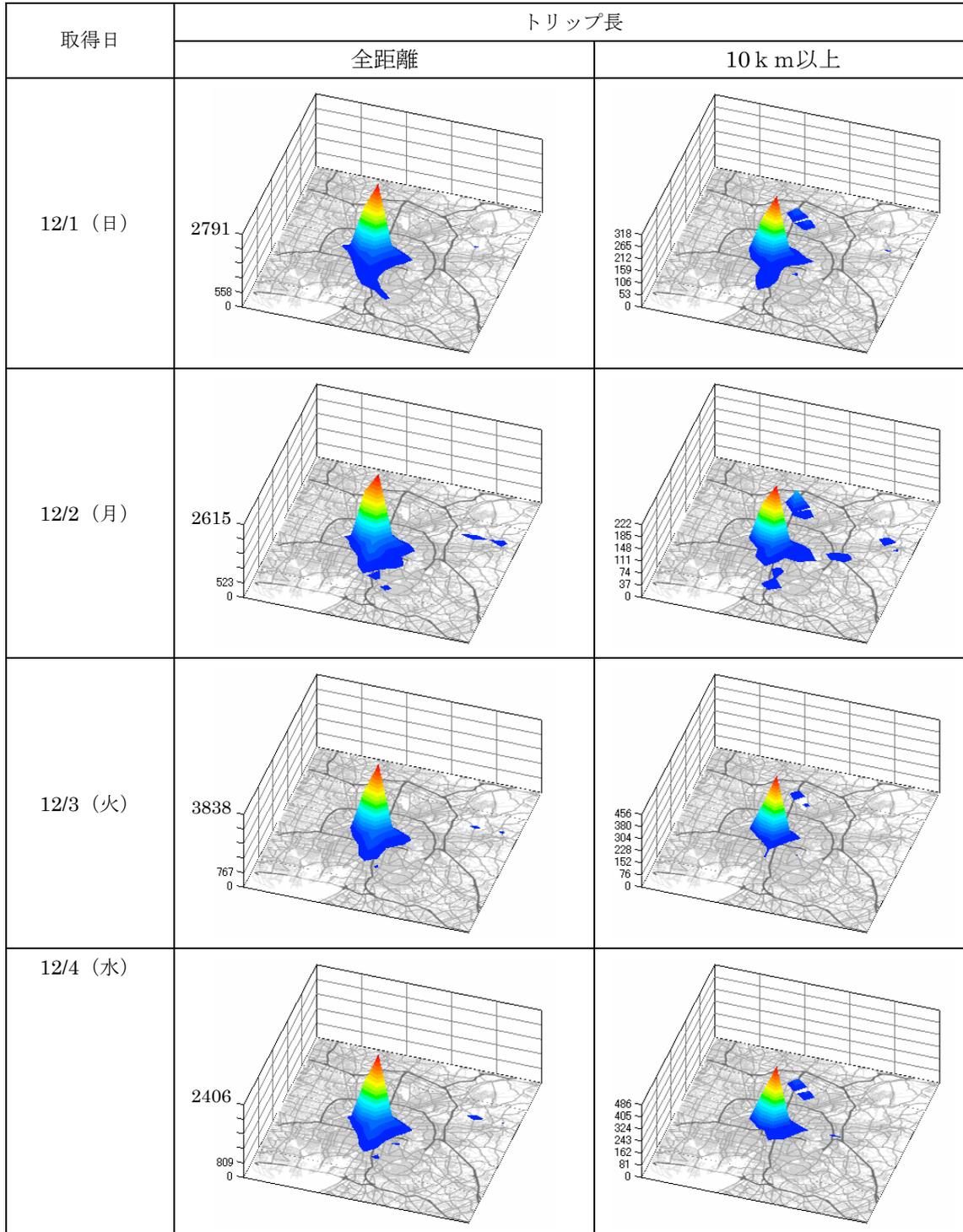


図 2.12 距離別タクシートリップ発生状況 1 (全時間)

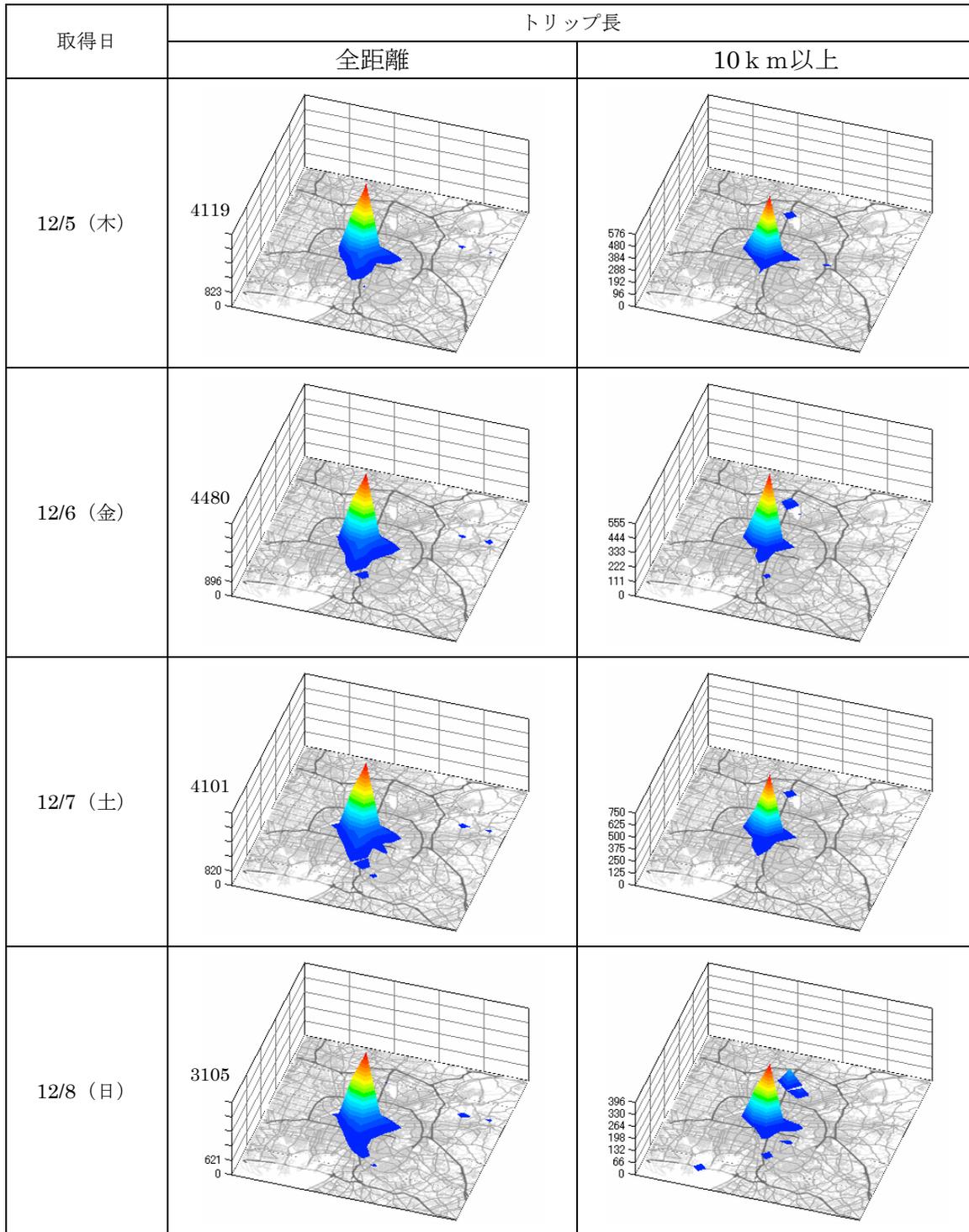


図 2.13 距離別タクシートリップ発生状況 2 (全時間)

取得日	トリップ長	
	全距離	10 k m以上
12/9 (月)		
12/10 (火)		
12/11 (水)		
12/12 (木)		

図 2.14 距離別タクシートリップ発生状況 3 (全時間)

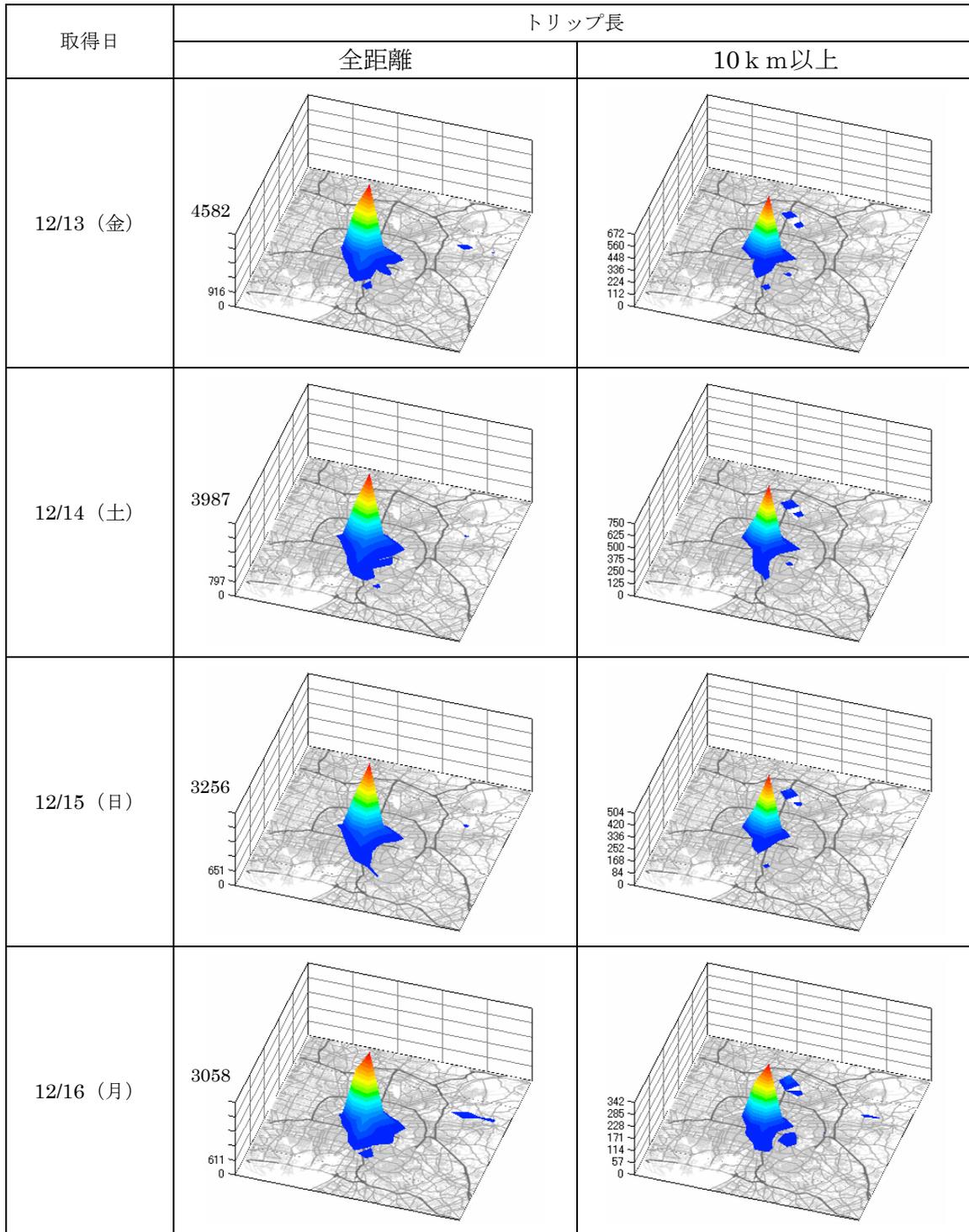


図 2.15 距離別タクシートリップ発生状況 4 (全時間)

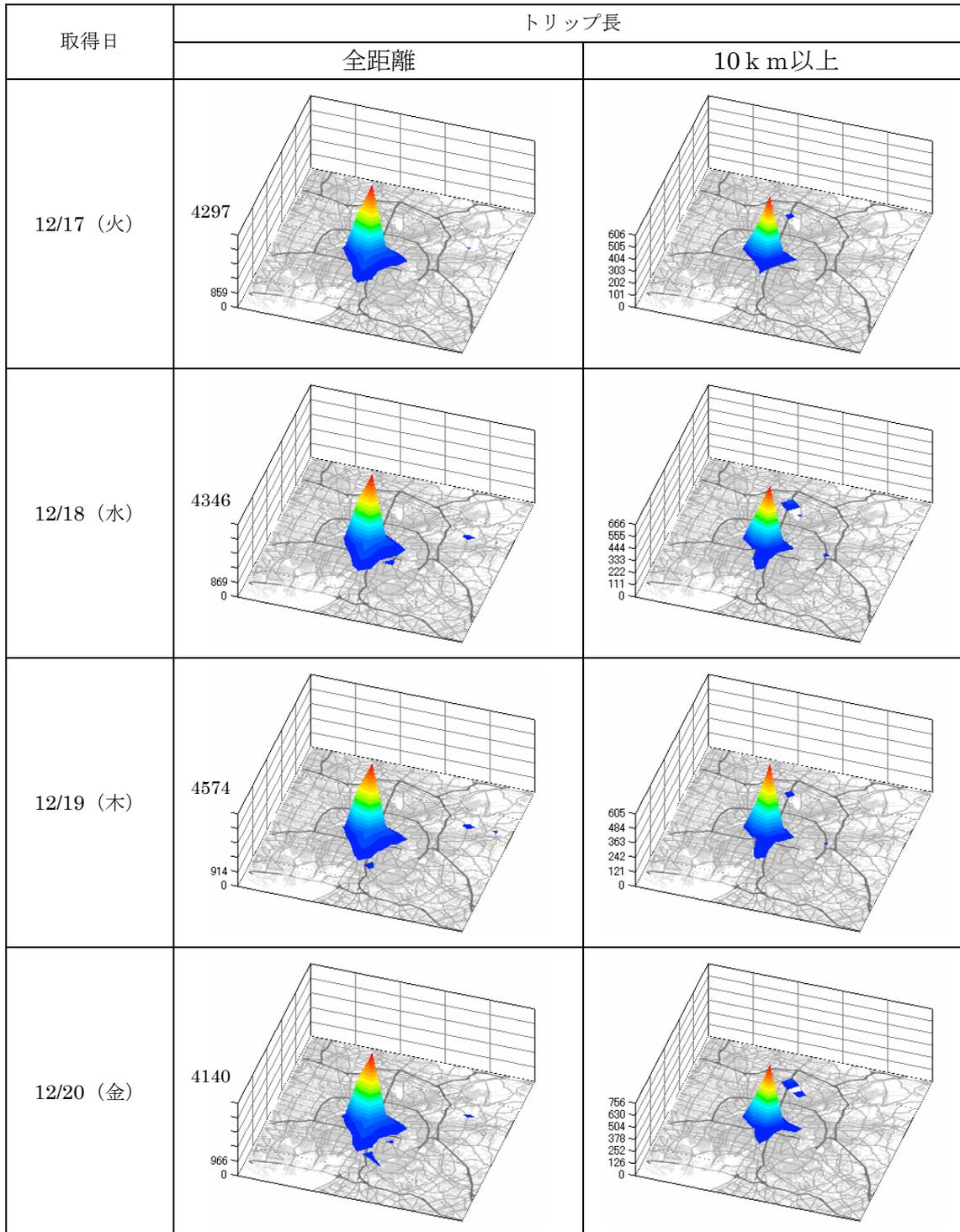


図 2.16 距離別タクシートリップ発生状況 5 (全時間)

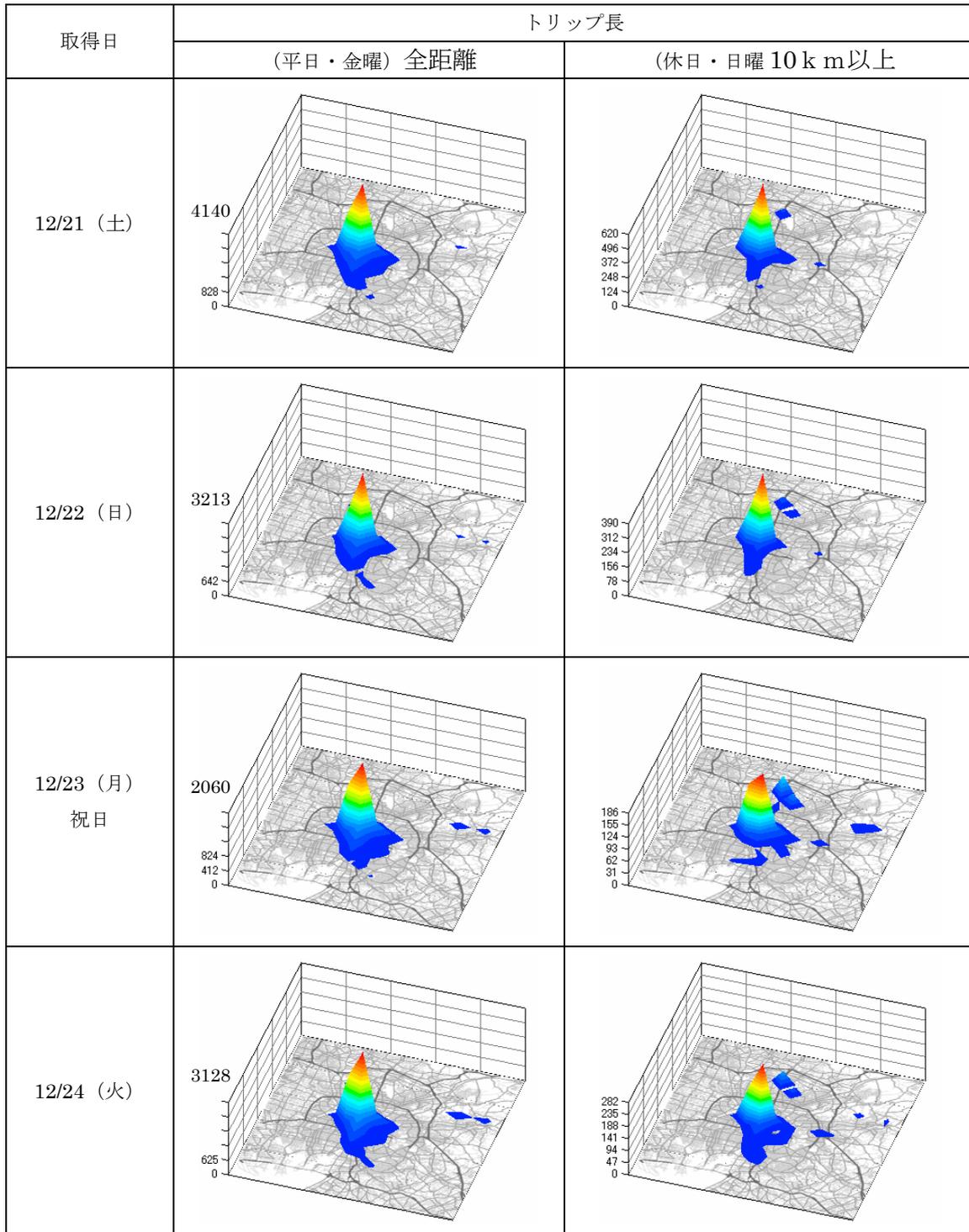


図 2.17 距離別タクシートリップ発生状況 6 (全時間)

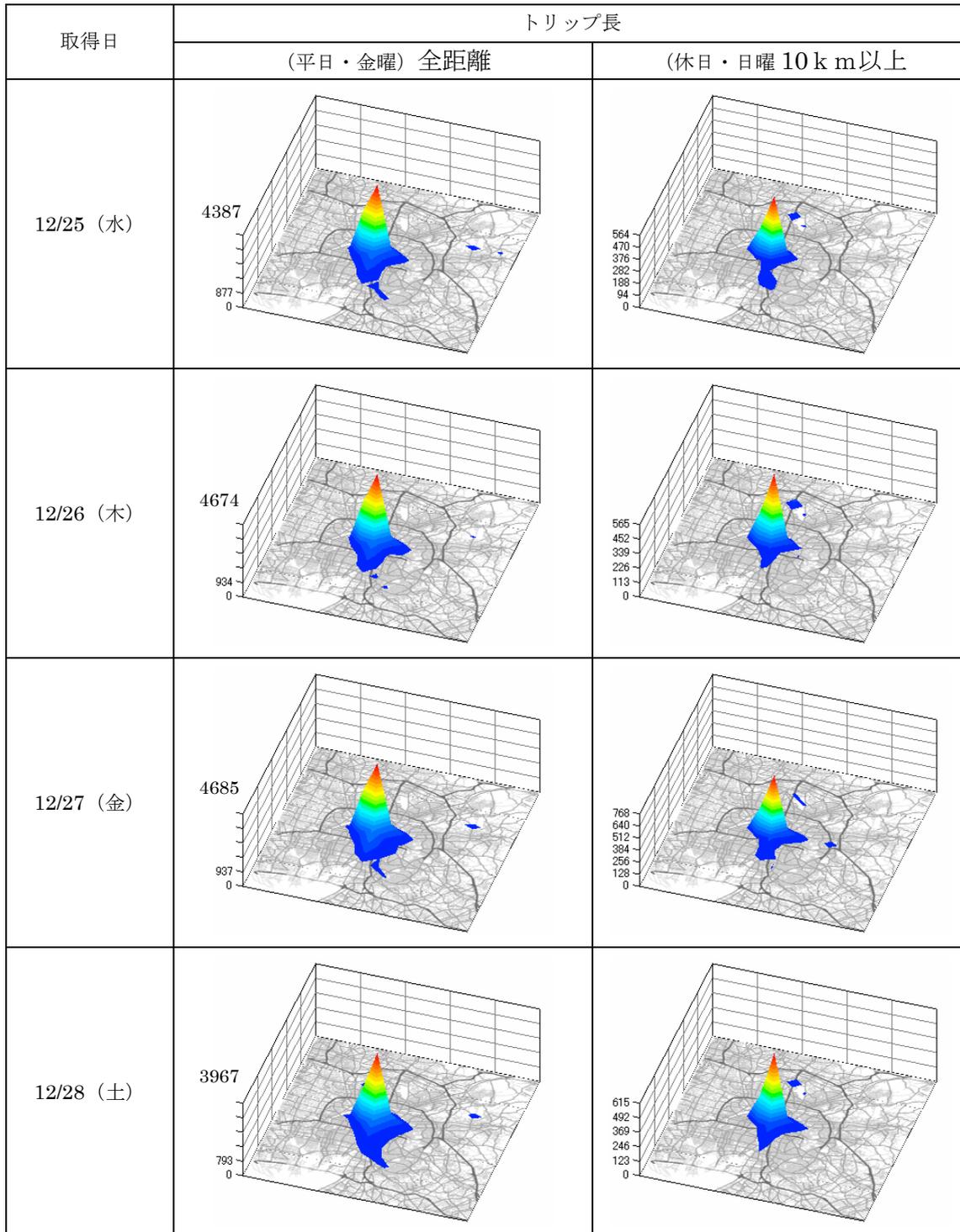


図 2.18 距離別タクシートリップ発生状況 7 (全時間)

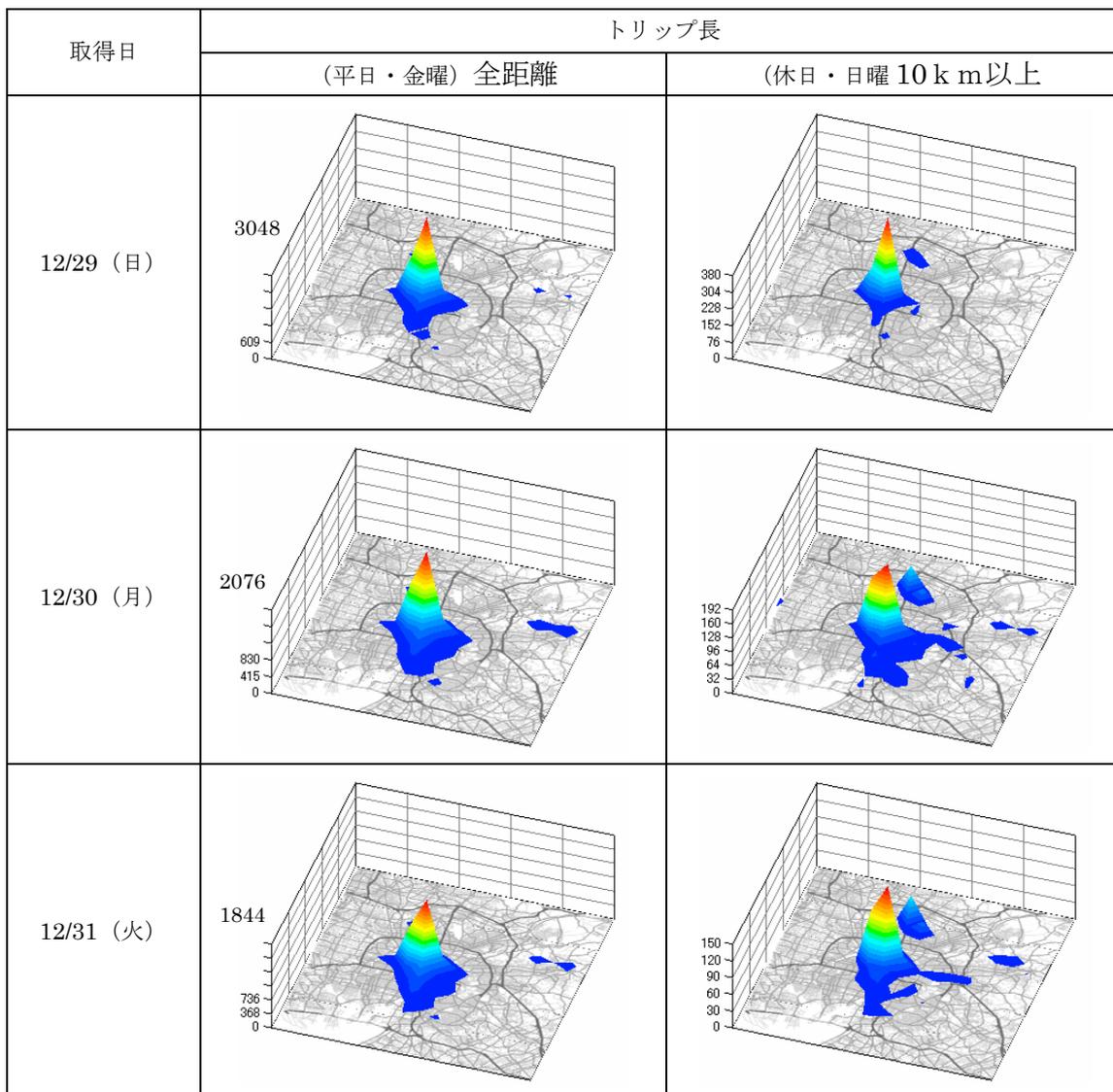


図 2.19 距離別タクシートリップ発生状況 8 (全時間)

タクシー需要については名古屋都市圏中心部が最も高く、中心部からの距離に比例して低下する様子が確認できる。

長距離トリップ発生エリアとして、第一に都心である名古屋駅周辺エリア、第二に名古屋空港が挙げられる。名古屋空港から発生する長距離トリップについては、特にクリスマス・年末に絡む祝日である 23、24 日、30、31 日に割合が増加していることが見受けられる。

10k m以上のトリップは、名古屋都市圏においては全体の約 10%程度の頻度で発生する傾向が見られる。また、これと比較して名古屋空港から発生するトリップは少ないが、その殆どが長距離トリップであるといえる。

② 時間帯別比較

一日の各時間帯におけるタクシー需要の推移を求め、平日・休日それぞれにおいて0時～24時まで一時間間隔に定義したタイムゾーンに基づき集計を行い、各時間帯について比較を行う。

これに伴い定義したタイムゾーンについて、表 2.3 に示す。

表 2.3 タイムゾーンテーブル

番号	時間帯 (時)						
0	0～24	7	6～7	14	13～14	21	20～21
1	0～1	8	7～8	15	14～15	22	21～22
2	1～2	9	8～9	16	15～16	23	22～23
3	2～3	10	9～10	17	16～17	24	23～24
4	3～4	11	10～11	18	17～18		
5	4～5	12	11～12	19	18～19		
6	5～6	13	12～13	20	19～20		

平日・休日の代表として、平日中最も利用頻度が高い金曜日 (12/20) と日曜日 (12/22) について需要集計を行う。前述の集計結果より、平日 (金曜) - 休日 (日曜) 間の需要数については約 1.3～1.6 倍程度平日の需要数が勝る傾向が確認できている。これについて、以降曜日属性比較と同様の様式により各時間帯について図 2.20～図 2.26 まで示す。

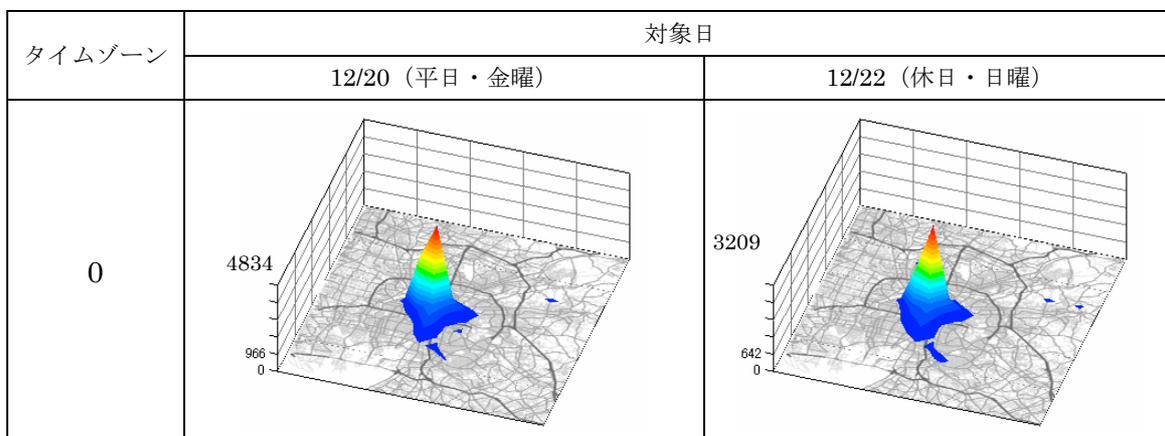


図 2.20 時間帯別タクシートリップ発生状況 1 (全時間)

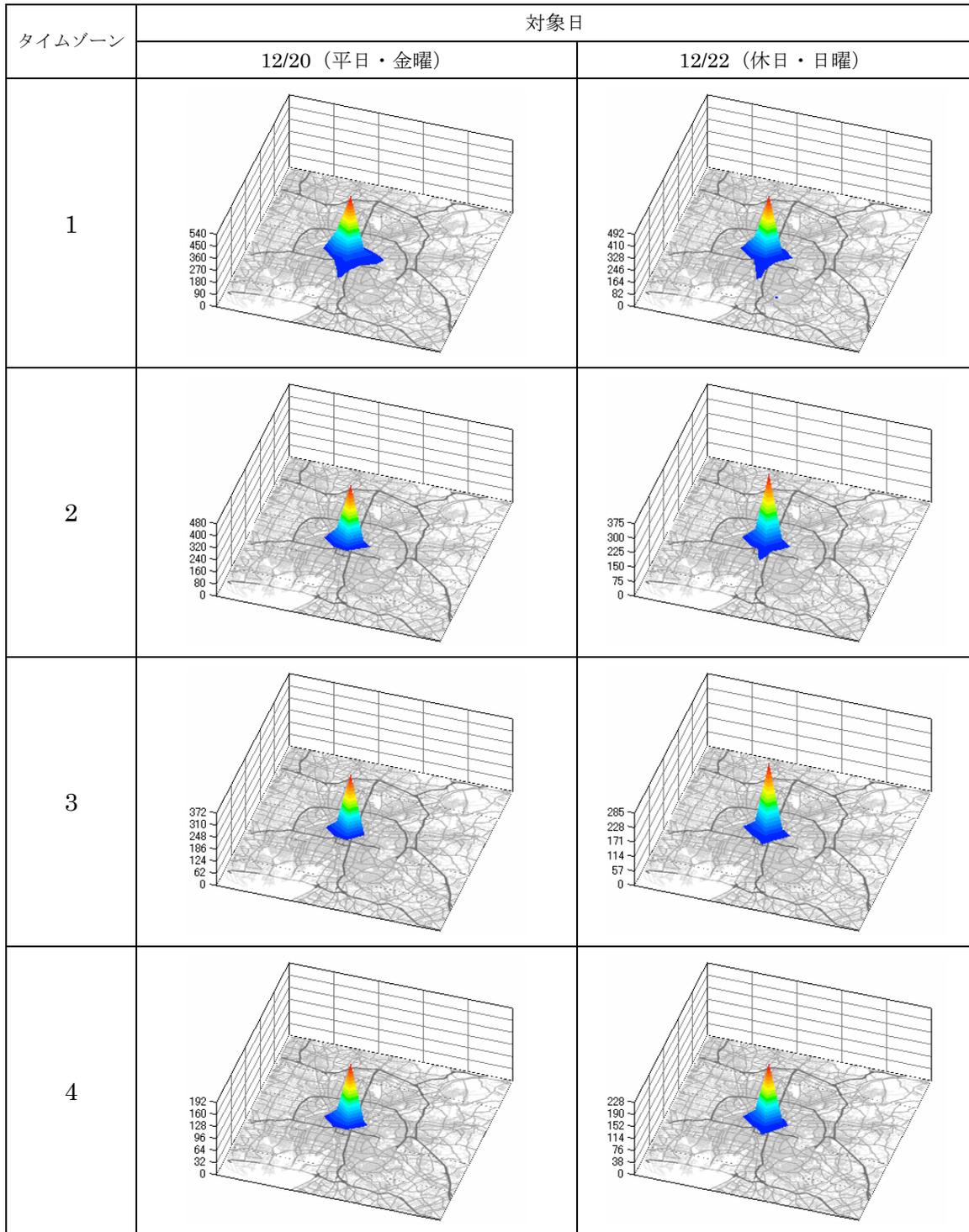


図 2.21 時間帯別タクシートリップ発生状況 2 (0 時～4 時)

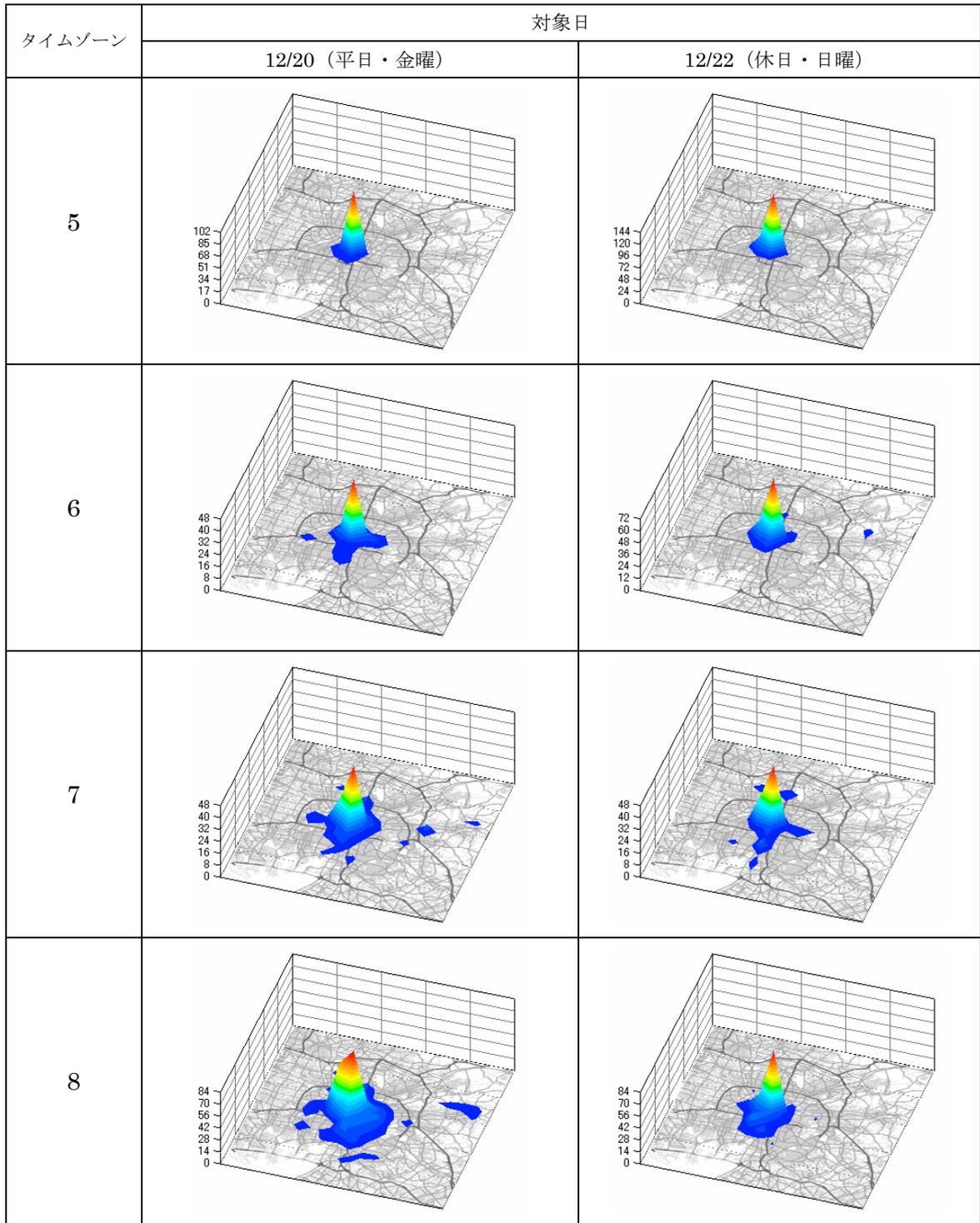


図 2.22 時間帯別タクシートリップ発生状況 3 (4時~8時)

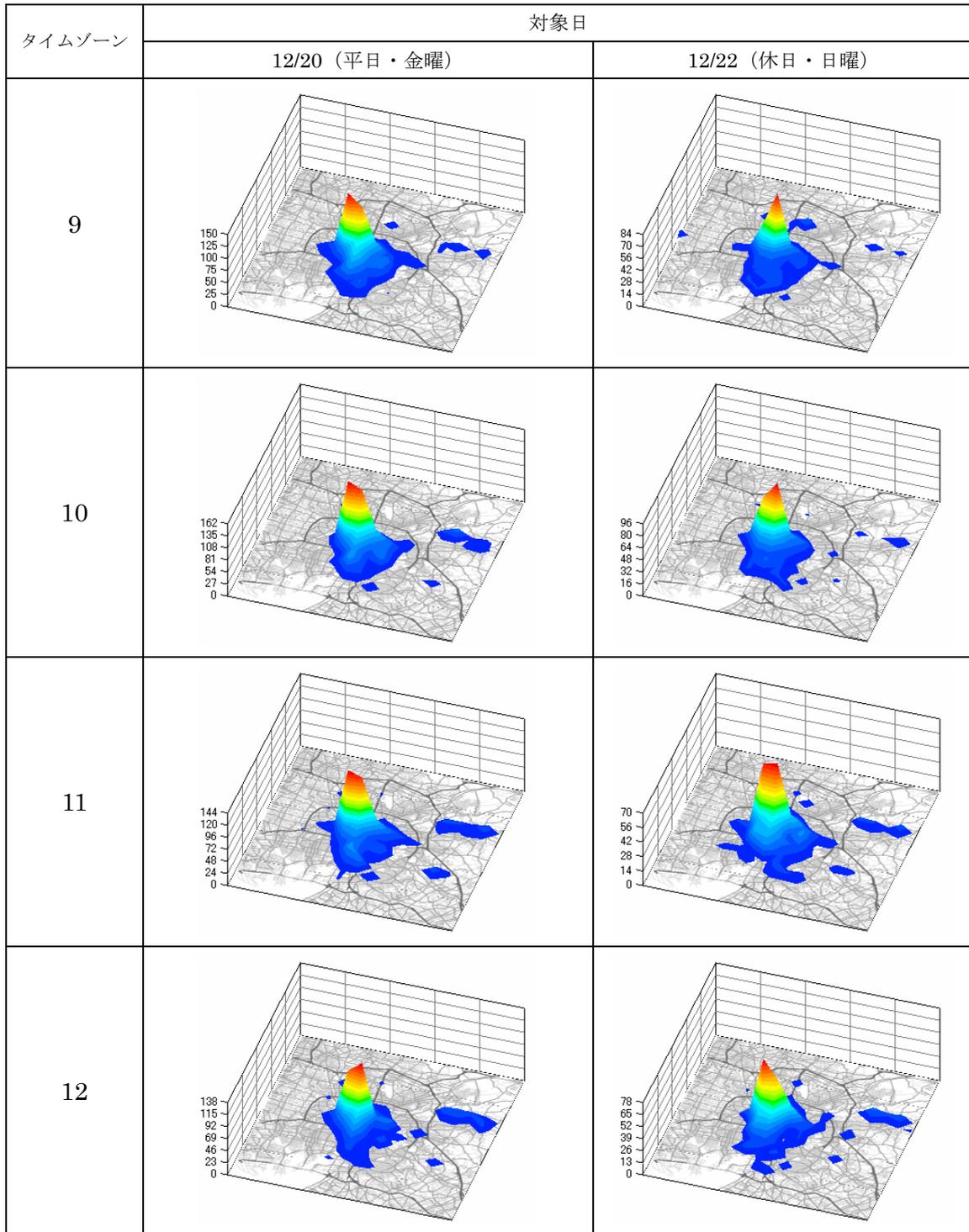


図 2.23 時間帯別タクシートリップ発生状況 4 (9 時～12 時)

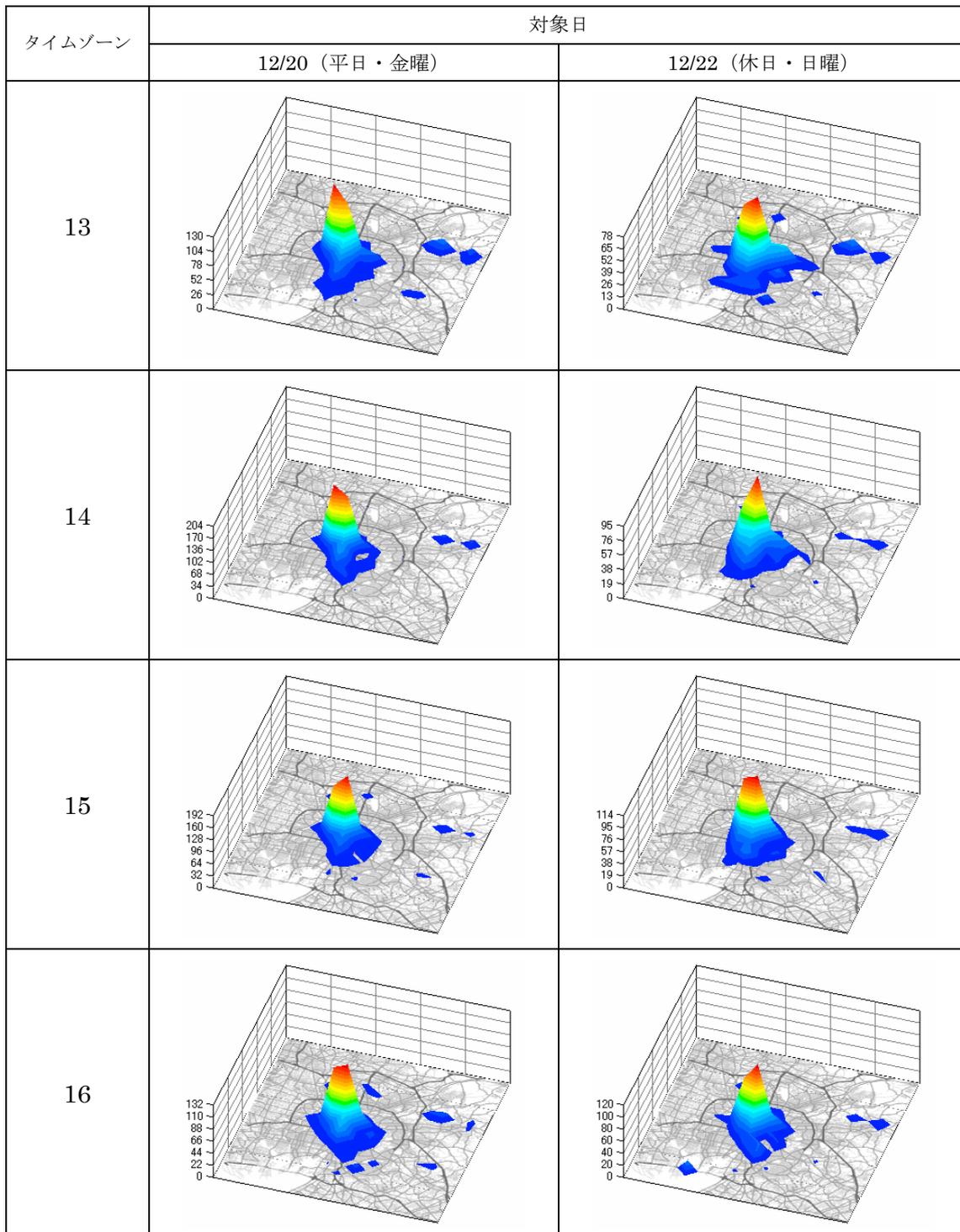


図 2.24 時間帯別タクシートリップ発生状況 5 (12 時～16 時)

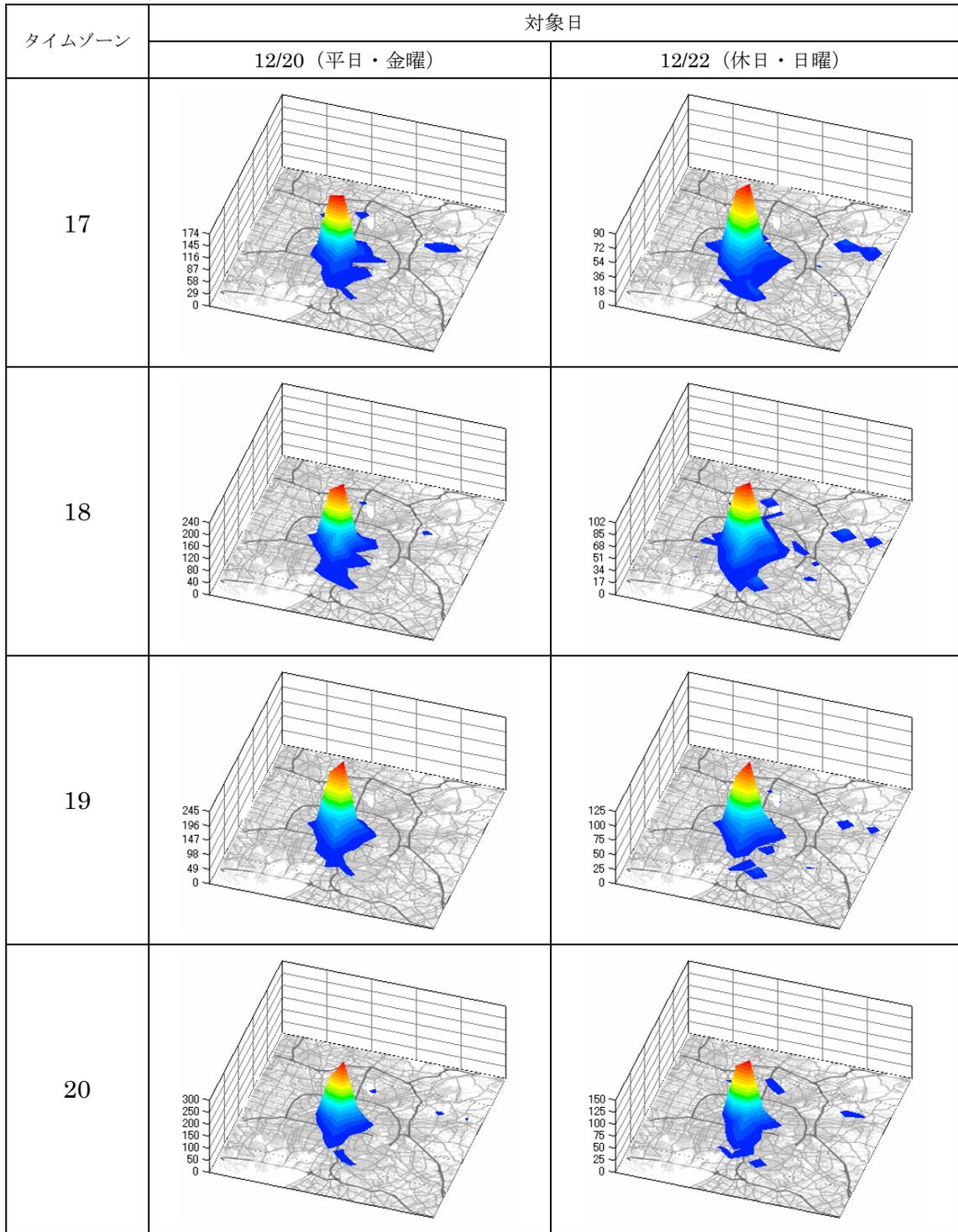


図 2.25 時間帯別タクシートリップ発生状況 6 (16 時~20 時)

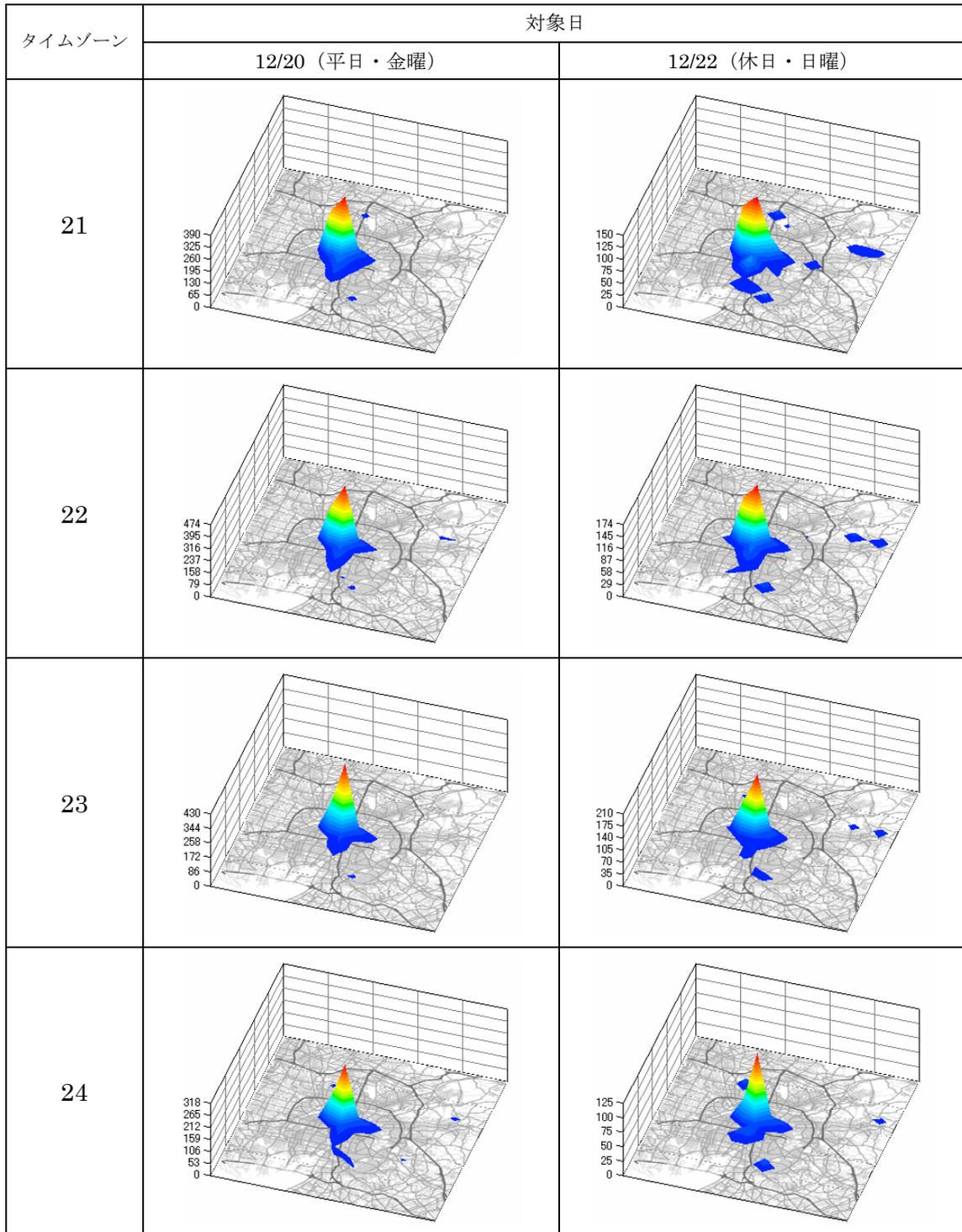


図 2.26 時間帯別タクシートリップ発生状況 7 (20 時～24 時)

各時間帯において、休日需要のメッシュ最大値は平日の約半分である。一日を通して、尾張旭市におけるタクシー需要が確認できる等、平日より広い範囲で利用されていることが推測できる。また、休日夜間においては都心以外のエリアにおけるタクシー需要が比較的多く認められることも特徴といえる。

③ 季節比較

秋季のタクシー需要について、平日・休日におけるトリップ距離別に需要を求める。本季節比較においては、2002年10月取得データにおける全時間、11～12時、17～18時、21～22時について集計を行った。各時間帯について、距離別トリップ発生状況についてそれぞれ図 2.27～図 2.30 に示す。

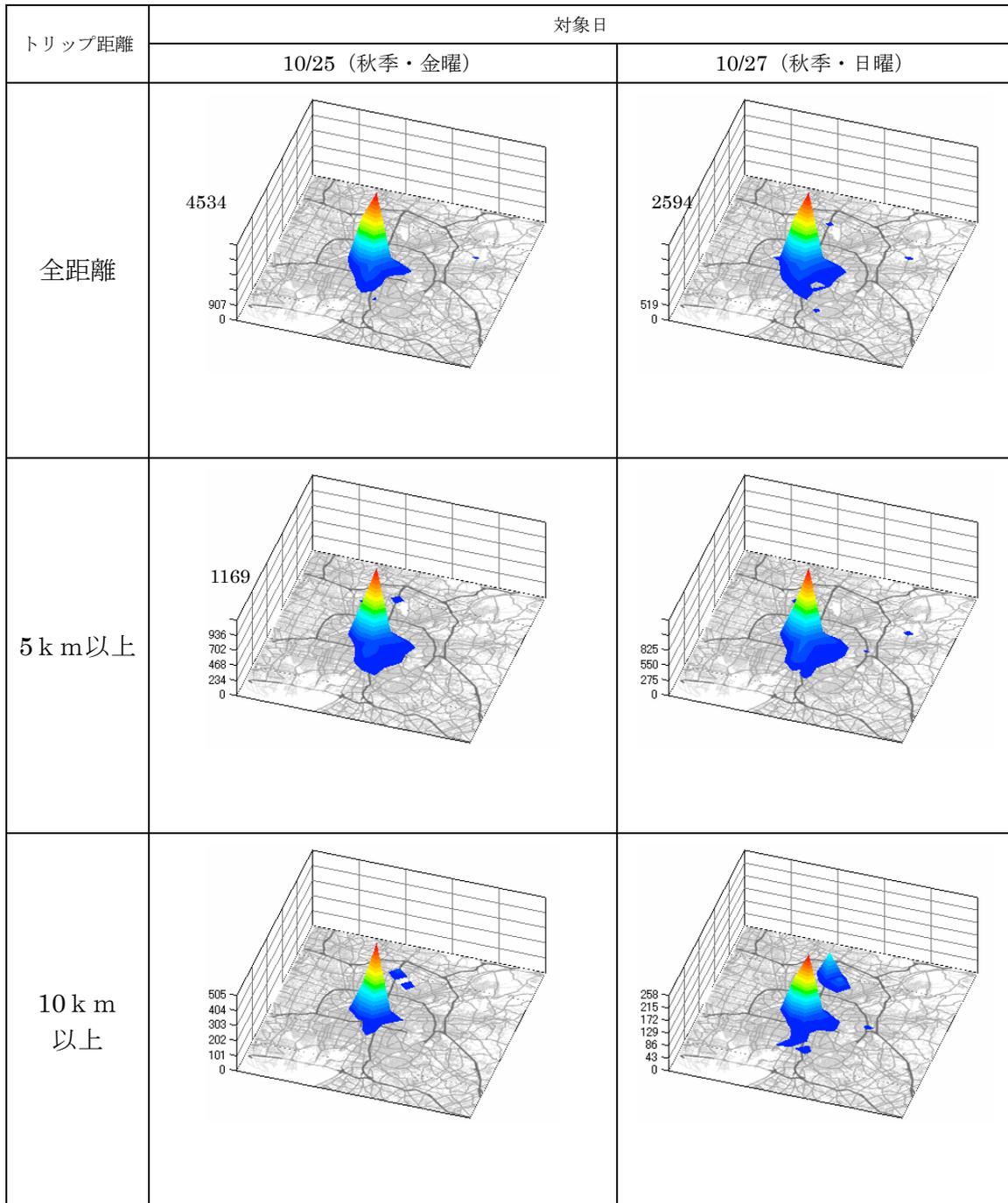


図 2.27 季節別タクシートリップ発生状況 1 (全時間)

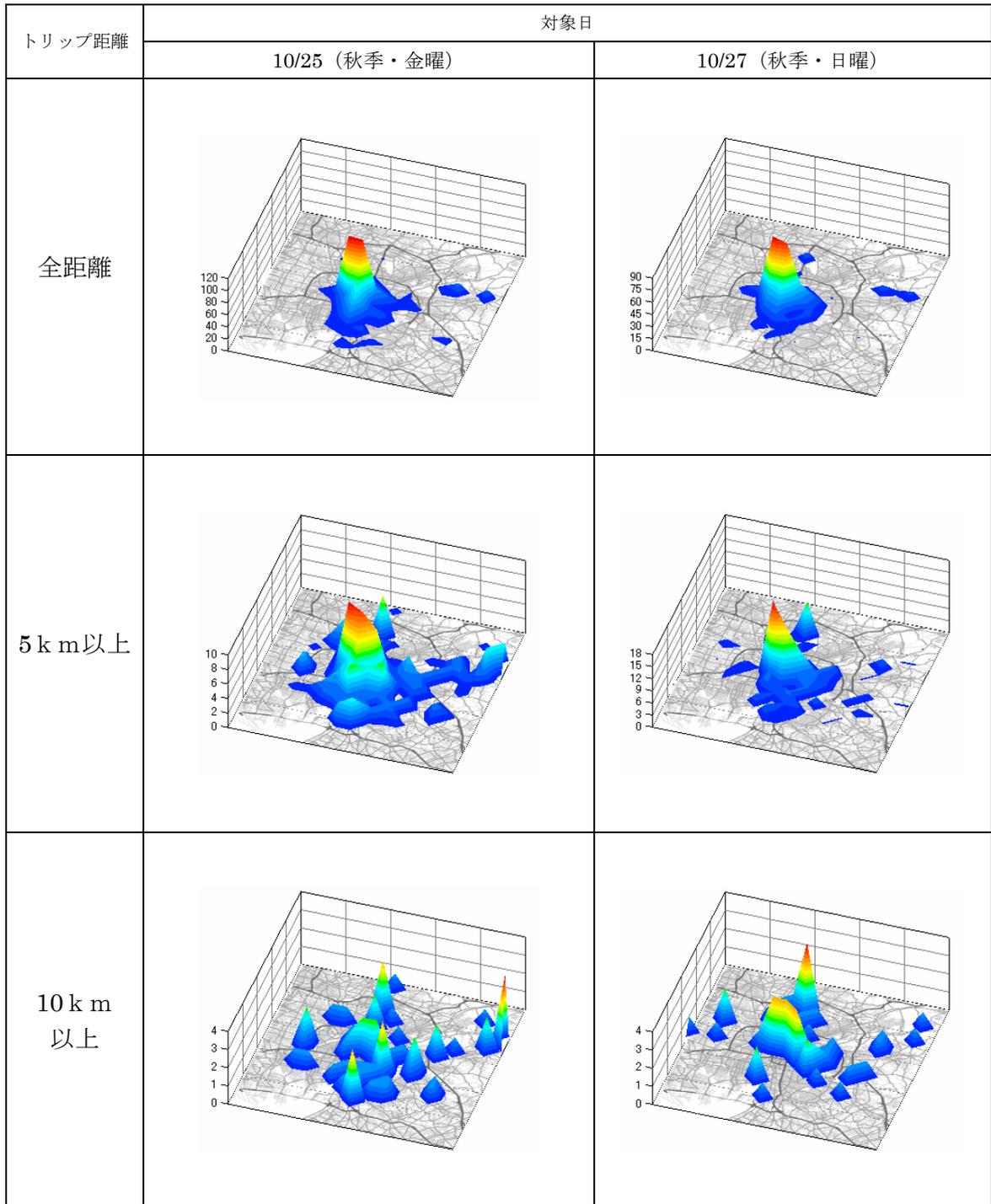


図 2.28 季節別タクシートリップ発生状況 1 (11 時~12 時)

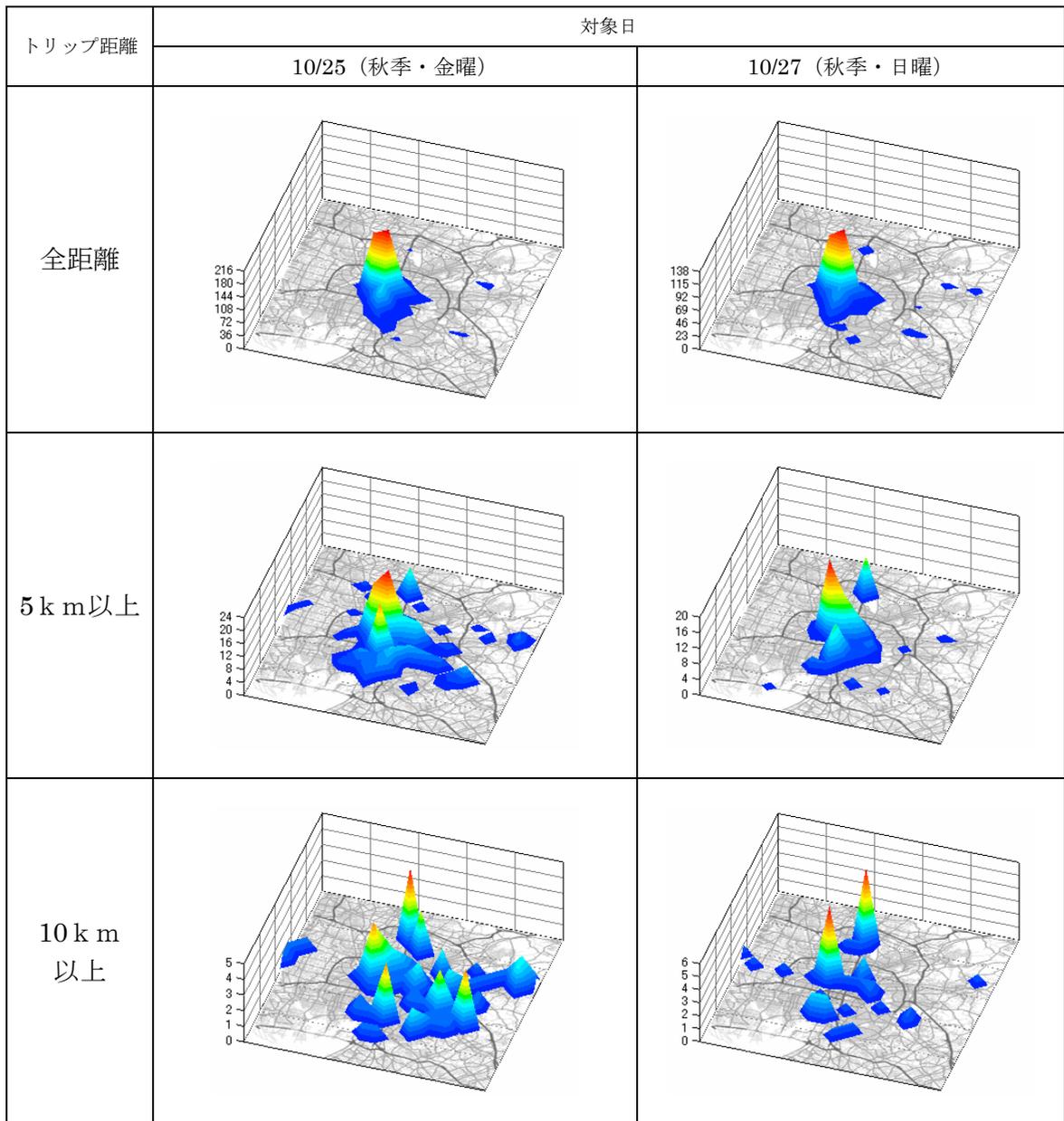


図 2.29 季節別タクシートリップ発生状況 1 (17 時～18 時)

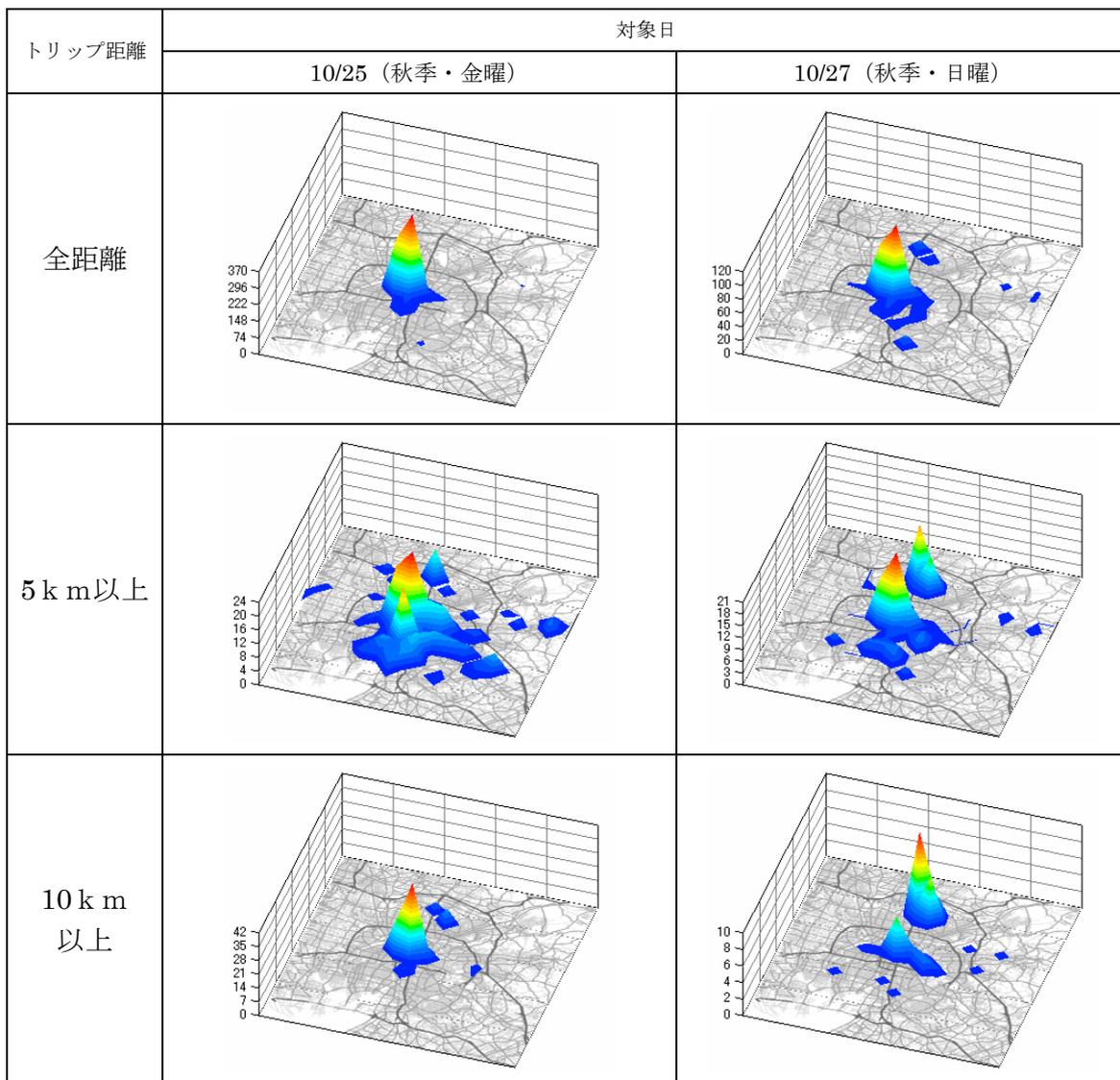


図 2.30 季節別タクシートリップ発生状況 1 (21 時～22 時)

秋季においては、冬季と比較してより広いエリアでのタクシー利用が見受けられる。平日夕刻～夜にかけてのトリップについては、寄り道等活発な交通行動が行われているためであると考えられる。

(5) 結論および課題

季節・曜日条件、時間帯等各パラメータを用いてタクシーのプローブデータを解析することにより、タクシー利用者の動向を把握し、各条件下における長距離トリップ発生地点等、運行上効率の良い需要について推測を行い、運営の改善を行うことができる。

名古屋市においては、タクシー需要は首都圏にほぼ一極集中しており、空港がこれに次ぐ需要を確保していることが確認できた。今後は目的地の集計・OD 相関の解析を進めることで、タクシー利用・運行上におけるパラメータを求めるものとする。