

気象状況とプローブカーデータの解析に基づく 積雪都市におけるOD旅行時間分布の予測手法

谷村 亮介¹ 廣森 聡仁¹ 梅津 高朗² 山口 弘純¹ 東野 輝夫¹

概要：冬季に多量の降雪を観測する都市においては、日々の降積雪が交通流に大きな影響を及ぼしている。路面上に堆積した雪により自動車が走行しにくくなるだけでなく、道路脇に積み上げられた雪が道路の幅員を狭めるため、通行の妨げとなる。このような積雪状況は場所毎で異なり、また、日々変化するため、各道路における旅行時間は、場所や日によって、その傾向が大きく異なる。そのため、気象状況と旅行時間の関係性を把握し、旅行時間を予測することは、適切な除排雪計画の策定や、道路の利用者への交通情報などの観点から非常に重要である。本研究では、プローブカーデータと気象データから、OD区間の旅行時間分布を予測する手法を提案する。提案手法では、気象条件と旅行時間の関係性を重回帰モデルとして表し、プローブカーデータから得られた交通情報を基に、各道路リンクにおける旅行時間分布を予測する。道路リンクに信号機がない場合には、その道路リンクにおける旅行時間分布が対数正規分布に近似し、一方、道路リンクに信号機がある場合には、OD区間に含まれる各リンク毎の旅行時間分布を導出する。さらに、道路リンク毎で得られた旅行時間分布を互いに掛け合わせることで、OD旅行時間分布を予測する。実際のタクシープローブデータを用いた評価実験においては、札幌市内のOD区間において一日毎のOD旅行時間分布を予測できることを示す。

Estimation of Travel Time Distribution in Snowy City using Floating Car Data and Weather Conditions

Ryosuke Tanimura¹ Akihito Hiromori¹ Takaaki Umedu² Hirozumi Yamaguchi¹ Teruo Higashino¹

1. はじめに

冬季に多量の降雪を観測する都市においては、日々の降積雪が交通流に大きな影響を及ぼしている。路面上に堆積した雪により、自動車が走行しにくくなるだけでなく、道路脇に積み上げられた雪が道路の幅員を狭めることにより、通行が妨げられる。このような積雪状況は場所毎で異なり、また、日々変化するため、各道路における旅行時間は、場所や日によって、その傾向が大きく異なる。世界有数の積雪都市である札幌市は約190万人の人口を擁しており、冬季の積雪量は合計で597cmにも及び、多量の降雪があった際には、普段の3倍以上の旅行時間を要する区間

も存在するなど、雪が交通に及ぼす影響は多大なものであり、気象状況と旅行時間の関係性を把握し、旅行時間を予測することは、適切な除排雪計画の策定や、道路の利用者への交通情報提供などの観点から非常に重要である。

本研究では、ある一日を対象とし、プローブカーデータと気象データから、各リンクの通過に要する旅行時間分布を予測する手法と、OD間に含まれる各リンクにおける旅行時間分布を集約し、OD間の旅行時間分布を予測する手法を提案する。一般的に、旅行時間は交差点における信号待ちの有無で、大きく変化することから、信号機の有無によって、それぞれ別々の手法でリンク旅行時間分布を予測する。道路リンクに信号機がない場合には、その道路リンクにおける旅行時間分布を対数正規分布として近似し、一方、道路リンクに信号機がある場合には、車両の信号待ちの有無に応じて二つの旅行時間分布として近似する。いずれの旅行時間分布の予測に際しても、気象状況を考慮する

¹ 大阪大学 大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Suita, Osaka, Japan

² 滋賀大学 経済学部
Faculty of Economics, Shiga University

ために、無積雪期における旅行時間を基準とした積雪期における日毎の旅行時間の増加を、現時点で得られたプローブカーデータ及び気象データにより定式化し、気象状況と旅行時間の関連性を表す。我々の研究チームでは、タクシープローブカーデータから得られるリンク毎の平均速度情報、及び降雪量や積雪量などの気象データを収集し、これらのデータを重回帰分析によって分析することで、気象条件の変化に伴う通行速度を予測できること [1] を示しており、これらの知見を活用し、気象条件と旅行時間の関係性を重回帰モデルとして表す。この重回帰モデルに基づき、プローブカーデータから得られた交通情報と気象情報を基に、各リンクにおける旅行時間分布を一日毎に予測する。その後、対象とする OD 区間に含まれるリンク毎で得られた旅行時間分布を、互いに掛け合わせることで、OD 区間全体の旅行時間分布を算出する。評価実験においては、実際のタクシープローブデータを用いて、札幌市内のある OD 区間において、三週間分のプローブカーデータと気象データを用いて重回帰モデルを作成し、それ以降一週間の一日毎のリンク旅行時間分布を算出した。その結果、各リンクの旅行時間の分布を高々 4 秒以内の誤差で予測できることを示した。また、予測したリンク旅行時間分布から予測した一日ごとの OD 旅行時間分布は、三日間で旅行時間の平均が 65 秒増大するような期間において、OD 旅行時間を平均 4.6 秒の誤差で予測した。このように、ドライバーへの交通情報提供として旅行時間を提示する際にも、何割程度の車両が 10 分間で通過できるかなど、時間信頼性を付与した情報として提供することができ、積雪都市における交通改善に貢献するものである。

2. 関連研究

2.1 プローブカーデータを用いた都市部の交通状況把握

様々なセンサと通信可能な車載機を搭載した車両により、走行データを計測及び集約するプローブカーシステムは、広範囲に渡るデータを継続的かつ低コストで収集することができる。この特徴を活かした取り組みとして、道路網が密な都市部を対象とし、広域の交通状況を把握する研究が数多く実施されている。Liu ら [2] は、中国のある都市において収集された約 15,000 台のタクシープローブデータを分析することにより、タクシーの稼働状況や交通渋滞情報などを利用者に提示するシステムを開発している。文献 [3] でも同様の取り組みが行われており、中国の瀋陽市において約 10,000 台のタクシープローブデータから交通状況をリアルタイムに収集し、ウェブサイトを通じて、利用者に現在の交通状況を提示するシステムが開発されている。Chang ら [4] は、プローブカーデータから車両の加速度情報等を取得し、自動車の CO₂ 排出モデル [5] に適用することで、北京市内の高速道路の CO₂ 排出量を、時間

帯及び場所毎に推定する手法を提案している。燃料の消費量から CO₂ 排出量を推定する従来型の手法と異なり、この手法を用いることで、高速道路の区間毎の CO₂ 排出量の違いを推定できることが示されている。Fabritiis ら [6] は、イタリアの都市部や高速道路上を走る 600,000 台以上のプローブカーデータを収集することで、交通状況を把握及び推定する手法を提案している。提案手法は、ニューラルネットワークとパターンマッチングのアルゴリズムを応用した手法で、30 分後の平均速度を 90% の精度で推定できることを示している。Bo ら [7] は、北京市内を走行するタクシープローブカーデータの旅行時間を分析し、空車状態のタクシーのリンク旅行時間と、乗客をのせているタクシーのリンク旅行時間の傾向は異なり、空車状態のタクシーのリンク旅行時間が実際のリンク旅行時間を正確に表していることを明らかにしている。

このように、プローブカーから得られる情報を用いて、都市部の交通状況を把握する研究は多数存在するものの、これらの研究は、平常時の道路交通状況を対象としたものであり、天候などの気象状況を考慮した取組は実施されていない。

2.2 雪道における自動車交通特性に関する研究

雪道特有の自動車交通特性に関し、土木工学の分野でいくつかの研究が為されている。例えば、梶谷ら [8] は、峠部の道路を対象とし、路面状態と道路線形などを説明変数とし、降積雪時における走行速度に及ぼす要因を数量化理論 I 類により分析している。また、寺内ら [9], [10], [11] は、福井県内の国道を対象とし、雪道の走行実測を行い、無雪時と降積雪時における速度の違いについて分析し、道路の車線数の違いや消融雪装置の有無により、交通流が変化することを明らかにしている。さらに、堀井ら [12], [13] は、積雪都市内の一般道路において走行実測を行い、そのデータを基に、雪道における冬期交通流、特に旅行速度を分析し、積雪都市における旅行速度の予測モデルについて検討を行っている。この取組において、混雑度、沿道状況、路面状態等を説明変数とした重回帰分析を行うことで、雪道における旅行速度を予測するモデルを作成し、その精度は、重相関係数が 0.78 という比較的良好な結果が得られている。しかしながら、これらの研究は実地走行によって自動車の速度を取得しているため、対象となる路線が限られてしまう上に、日々変化する路面状態をモデルに適切に反映できるわけではない。

近年では、プローブカーシステムの普及に伴い、プローブカーデータを活用して雪道の特性を把握する研究もなされている。宗広ら [14], [15] は、115 台分のタクシープローブデータから雪道の交通速度を分析し、札幌市の冬期交通特性分析結果例を紹介すると共に、タクシープローブデータの利活用方法について考察している。同調査の結果、降

雪時や圧雪路面の発生により、平均旅行速度が著しく低下した場合、また、路面が乾燥した場合には、平均旅行速度は低下せず、一定の値を保つことなど、路面状況と旅行速度との関係性が示されている。また、文献 [16], [17] では、タクシープローブデータから得た平均速度情報と除排雪の実施状況を分析し、除排雪による平均速度の改善効果を定量的に把握するとともに、除排雪の実施を最適化する手法について論じられている。

以上のように、プローブカーデータを利用した雪道の研究もいくつか為されているが、これらの研究は、プローブカーデータから得られる速度データと気象データなどを比較及び分析し、気象状況や除排雪の実施と旅行速度との関係性を考察するに留まっている。一方、本研究では、降雪量などの気象条件の変化が旅行時間に与える影響を定量的に把握できるように、気象データと旅行時間との関係性を表現するモデル式を導入するとともに、OD 区間の旅行時間を分布として予測することで、運転者にとって有益な情報を提供できる点で、既存研究と異なっている。

3. 雪道における OD 旅行時間分布の予測

提案手法では、出発地から目的地の間で通過するリンク毎に旅行時間を推定し、それらを足し合わせることで、出発地から目的地までの旅行時間を推定する。一般的に、旅行時間は道路上を走行する車両の数や信号機の有無など、様々な要因が影響する。それに加え、冬季に多量の降雪を観測する積雪都市では、図 1 に示すように、道路上に雪が堆積することによって路面状況が悪化するため、旅行時間は、無雪期と比べて大きく増加するだけでなく、その変動幅も大きくなる。また、道路毎で積雪状況は異なるため、OD 区間の旅行時間を推定するためには、個々のリンクにおける旅行時間を適切に把握することが求められる。本章では、ある一日を対象とし、プローブカーデータと気象データから、各リンクの通過に要する旅行時間分布を予測する手法、OD 間に含まれる各リンクにおける旅行時間分布を集約し、OD 区間の旅行時間分布を予測する手法を提案する。

3.1 リンク旅行時間分布の予測手法

まず、OD 区間を構成する各リンクの旅行時間分布を求める手法について説明する。提案手法では、プローブカーデータから得られた旅行時間と、気象データに含まれる積雪量や気温などの一日毎の観測値との関連性に基づき、一日毎のリンク旅行時間分布を予測する。一般的に、旅行時間は交差点における信号待ちの有無で、大きく変化することから、信号機が設定されている交差点に接続するリンク、信号機が設定されていない交差点に接続するリンクそれぞれ別々の手法で旅行時間分布を予測する。いずれの旅行時間分布の予測に際しても、気象状況を考慮するために、無



図 1 積雪都市の道路状況の例

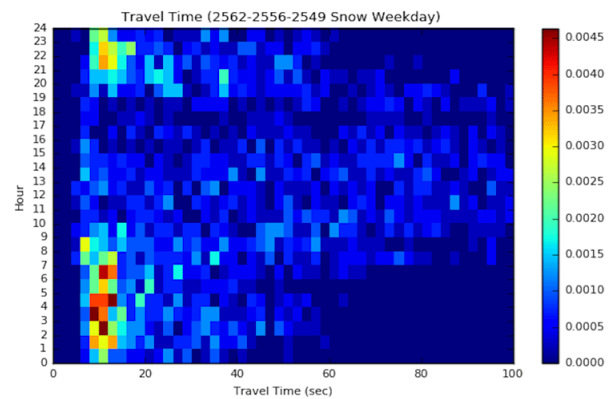


図 2 積雪期における時間帯ごとの旅行時間分布

積雪期における旅行時間を基準とし、積雪期における日毎の旅行時間の増加を、現時点で得られたプローブカーデータ及び気象データにより定式化し、気象状況と旅行時間の関連性を表す。

3.1.1 信号機がない交差点に接続するリンクにおける旅行時間分布

信号機がない交差点に接続するリンクにおける旅行時間分布を推定する手法について説明する。このような交差点においては、ほとんどの車両が交差点で停止することがなく、短い時間でそのリンクを通過するため、文献 [18] に示されるように、旅行時間分布は対数正規分布で近似できる。対数正規分布とは、確率変数 X を対数変換した時に、新たな確率変数 $\ln X$ が正規分布 $N(\mu, \sigma^2)$ に従う分布であり、確率密度関数 $f(x)$ は以下のように与えられる。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

μ は $\ln X$ の平均、 σ^2 は $\ln X$ の分散である。対数変換したリンク旅行時間の平均と分散を予測することにより、対数正規分布で近似されたリンク旅行時間の分布を得ることができる。

リンク旅行時間の平均は、無積雪時における旅行時間に対し、積雪期における旅行時間の増加分を加えることで表

表 1 目的変数と説明変数の一覧

| 目的変数 | 単位 | 説明変数 | 単位 | 説明変数 | 単位 |
|------------------------------|------|--------|----|-----------|----|
| 無雪期との旅行時間差 (積雪期の旅行時間の増加分) | km/h | 日最深積雪 | cm | 前日 日最深積雪 | cm |
| | | 降雪量日合計 | cm | 前日 降雪量日合計 | cm |
| | | 日平均気温 | °C | 前日 日平均気温 | °C |
| | | 日最高気温 | °C | 前日 日最高気温 | °C |
| | | 日最低気温 | °C | 前日 日最低気温 | °C |

現する。積雪期におけるリンク旅行時間は、積雪の影響により日々に変化するが、時間帯によって大きく変化するわけではない。図 2 は、富士通が提供するプローブデータにおいて、積雪期における旅行時間の分布を時間毎に示したものである。この図に示すように、一日のリンク旅行時間は、8時から20時まで日中の時間帯と、それ以外の深夜早朝時間帯の二つのパターンで説明できることがわかる。本取組では、8時から20時までの時間帯におけるリンク旅行時間を、積雪期における一日のリンク旅行時間とする。同様に、無雪期の旅行時間は、曜日によって大きく異なることから、曜日毎での日中の旅行時間とする。この二つの旅行時間の差が、積雪期における旅行時間の増加分である、これを重回帰分析によって、プローブカーデータ及び気象データの線形和として算出する。重回帰分析に用いる目的変数と説明変数の一覧を表 1 に示す。説明変数としては、国土交通省気象庁が公開している過去の気象データ [19] の中から、路面の状態に影響を与えるデータを使用している。なお、説明変数の中には、速度低下に影響を与えないような変数が含まれていることが考えられ、すべての説明変数を用いてモデル作成を行うと、過学習が起こる可能性がある。そこで、説明変数の選択基準として、Akaike's Information Criterion(AIC)[20] を使用し、AIC の値が最も小さくなる説明変数の組み合わせを選択する。

一方、直近のリンク旅行時間のばらつきを考慮できるように、リンク旅行時間の分散 σ^2 は、過去数日分のリンク旅行時間の分散の平均値を利用する。

このように、旅行時間の平均と分散を算出することで、気象データとプローブカーデータから、対数正規分布として近似されたリンク旅行時間分布を予測する。

3.2 信号機がある交差点に接続するリンクにおける旅行時間分布

信号機がある交差点に接続するリンクにおいては、通行する車両は、赤信号に遭遇せず交差点で停止しない車両と、赤信号により交差点で停止する車両の大きく二つに分類される。前者の車両は停止することなくリンクを通過するのに対し、後者の車両は信号待ちで停止した時間を用するため、このようなリンクにおける旅行時間分布は、短い旅行時間で通過する車両の旅行時間分布と、信号の待ち時間を要する車両の旅行時間分布が混同したものになる。図 3

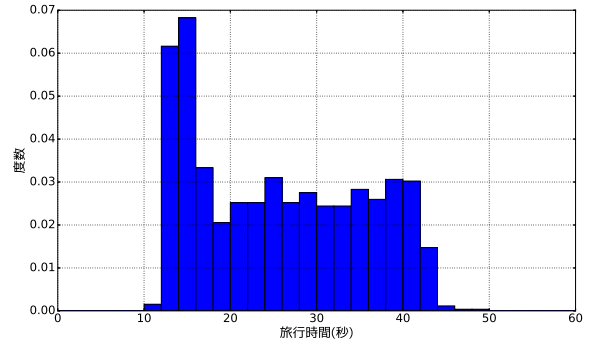


図 3 信号機がある交差点に接続するリンクにおける旅行時間分布

に、交通シミュレータ Vissim[21] 上での簡単なシミュレーションにより得られた、信号機がある交差点に接続するリンクにおける旅行時間分布を示す。図に示されるように、この事例においては、15 秒付近と 40 秒付近に二つの山があり、最初の山は信号待ちをせずに通過した車両の旅行時間分布であり、次の山は信号待ちをして通過した車両の旅行時間分布であることがわかる。

提案手法では、交差点に停止しない車両の旅行速度分布については、信号機がない交差点に接続するリンクにおける旅行時間分布と同様の分布になると仮定し、3.1.1 節の手法と同様に対数正規分布で近似し、対数変換した旅行速度の平均と分散を算出することで、この旅行速度分布を予測する。一方、交差点に停止する車両の旅行時間分布については、正規分布で近似する。3.1.1 節の手法と同じように旅行時間の平均と分散を算出し、この平均と分散に基づく正規分布を算出し、交差点に停止する車両の旅行時間分布とする。それぞれ得られた分布を足し合わせて正規化することで、信号待ちの有無を考慮した、二つの山を持つ旅行時間分布が得られる。

3.3 OD 旅行時間分布の予測手法

リンク毎で予測された旅行時間分布に基づき、OD 区間の旅行時間分布を予測する手法について述べる。OD 間に含まれるリンクを $L = (l_1, \dots, l_n)$ とする。これらのリンクで予測した旅行時間分布を集約することで、OD 間の旅行時間分布を算出する。ある二つのリンクにおける旅行時間分布を集約する方法について説明する。旅行時間の確率変数を x_1, x_2 とした時、連続した二つのリンク l_1, l_2 の旅行時間分布が、それぞれ $f_{l_1}(x_1), f_{l_2}(x_2)$ の確率密度関数で

表されるとする。この時、リンク l_1, l_2 を続けて通過する車両の旅行時間分布 $f_{l_1+l_2}(z)$ は2つの確率変数の和の確率密度関数であるから、以下に示す関数同士の畳み込みによって得られる。

$$f_{l_1+l_2}(z) = \int_0^{\infty} f_{l_1}(\tau) f_{l_2}(z - \tau) d\tau$$

同様に、 l_1, l_2 に続けてリンク l_3 を通過する車両の旅行時間分布は $f_{l_1+l_2}(z)$ と $f_{l_3}(x_3)$ との畳み込みによって得られる。この処理を連続したリンクの旅行時間分布に対して繰り返すことで、任意の OD 区間における旅行時間分布を算出する。

4. 評価実験

本章では、札幌市における実際の気象データとタクシープローブデータを用いて、ある OD 区間を対象に旅行時間分布を予測し、提案手法の有効性を評価した。利用した気象データは、気象庁が提供している、表 1 に説明変数として挙げたものである。一方、プローブカーデータは、富士通の「タクシープローブ交通情報サービス [22]」を利用した。このデータは、札幌市内を走行するタクシーから計測されたデータを基にした統計データで、各リンクについて、5分毎、その時点から過去 15 分間における、旅行時間の最大値、最小値、平均値から構成されている。信号機がある交差点に接続するリンクにおける旅行時間分布を推定するためには、車両が交差点で停止したか否かを区別する必要があるため、これらのデータのうち、最小値を信号待ちなしの旅行時間、最大値を信号待ちありの旅行時間とする。

札幌市内における、無積雪期 (2014 年 5 月 ~10 月) の旅行時間と積雪期 (2014 年 1 月 ~2 月) の旅行時間との差分と積雪量の相関係数を、図 4 に示す。この図においては、各リンクにおける旅行時間と積雪量の相関を色で示しており、赤色は相関係数が 0.7 以上 1.0 以下、橙色は 0.6 以上 0.7 未満、黄色は 0.5 以上 0.6 未満、緑は 0.4 以上 0.5 未満である。この相関係数が高い道路ほど積雪量と旅行時間との関係性が強く、積雪量などの気象データから旅行時間を推定しやすいことを意味している。この図からわかるように、札幌市内の多くの道路において、旅行時間と積雪量に正の相関関係があることがわかる。評価実験では、図 4 に示される、札幌市街地と郊外を結ぶ主要な路線である「西 5 丁目樽川通り・北方向」の一部区間を対象の OD 区間とした。この区間は、総延長 2.3 km で、20 のリンクで構成されており、二峰性の旅行時間分布を持つリンクを二つ含んでいる。この区間に含まれる各リンクは、南側から順に 1 から 20 までのリンク番号を設定する。

対象とする 20 個のリンクに対し、2014 年 1 月 11 日から 1 月 31 日までの三週間分のデータに基づき、提案手法により、2014 年 2 月 1 日から 2 月 7 日の一週間分の一日毎の旅行時間分布を算出した。得られた平均旅行時間の推



図 4 無積雪期と積雪期間の旅行時間の差と積雪量の相関係数 (2014 年 2 月 1 日 ~2 月 28 日)

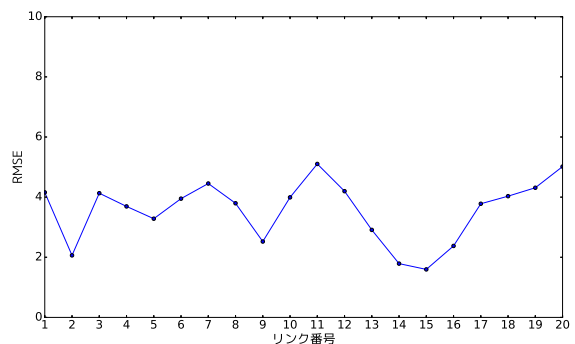


図 5 旅行時間平均予測モデルの予測精度

定誤差を表す RMSE を図 5 に示す。RMSE は、予測値が正解からどの程度乖離しているかを示し、以下の式により算出する。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2}$$

ここで、 N は標本数、 y_i, \bar{y}_i はそれぞれ真値と推定値である。RMSE はリンク毎で異なっているが、おおむね 4 以下であり、旅行時間の誤差の 70% は 4 秒以内であることを示しており、ほぼ正確に旅行時間の平均を予測できていることがわかる。このことから、作成したモデルはリンク旅行時間のある程度推定することができたといえる。しかし、同じ路線上のリンクであっても予測精度には差があり、これらは除排雪の実施や道幅の変化などの様々な外的要因が関連していると考えられる。

次に、信号機がない交差点に接続するリンクにおける旅行時間分布の予測結果の一例として、リンク 12 における旅行時間分布を図 7 に示す。2 月 4 日のタクシー旅行時間から、対数正規分布の平均と分散を算出し、これを実際の旅行時間分布として示している。また、当日のタクシー旅

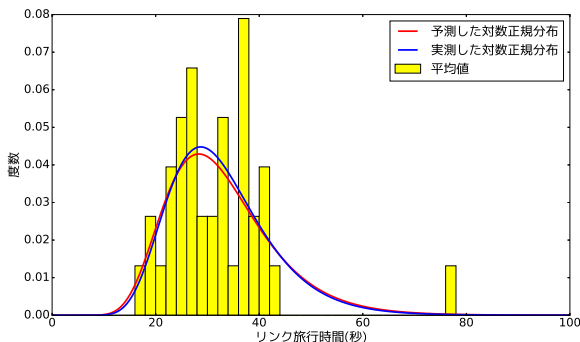


図 6 信号なしリンク (12) における旅行時間分布の予測 (2014 年 2 月 4 日)

行時間のヒストグラムも示した。このリンクにおいては、2月4日の予測値として、対数正規分布の平均と分散は $\mu = 3.44, \sigma^2 = 0.097$ と予測でき、予測値と真値の誤差の絶対値はそれぞれ 0.01, 0.009 であった。 μ, σ^2 の値ならびに誤差の絶対値は旅行時間を対数変換した値であるから、これらの値を指数変換し、旅行時間の次元に戻す。すると、 $e^\mu = 31.18\text{sec}, e^{\sigma^2} = 1.101$ であり、誤差の絶対値はそれぞれ 1.01sec, 1.009 となる。このことから、予測した旅行時間分布は、1.01 秒の誤差で実際の旅行時間分布を予測していることがわかる。また、分散の推定誤差の値も小さいので、実際と予測の旅行時間分布は高い精度で一致している。このように、提案手法では、対数正規分布の平均と分散を予測することで、旅行時間の平均値だけでなく、リンクを通過する車両の旅行時間のばらつきも考慮できる。

また、信号機がある交差点に接続するリンクの例として、リンク 20 で予測した旅行時間分布と、2月4日のタクシー旅行時間から予測した旅行時間分布を図 7 に示す。予測した旅行時間分布については、信号待ち有り車両の分布となしの車両の分布を個別に示し、これら 2 つの分布を加算して得た分布も示した。交差点で停止しなかった際の旅行時間分布である対数正規分布の平均と分散の予測値として $\mu = 3.15, \sigma^2 = 0.37$ (予測誤差の絶対値はそれぞれ 0.046, 0.012) を、交差点で停止した際の旅行時間分布である正規分布の平均と分散の予測値として、 $\mu = 44.64, \sigma^2 = 176.64$ (予測誤差の絶対値はそれぞれ 3.62, 105.88) を得た。信号待ち無し車両の旅行時間分布については、指数変換した平均と分散の値の予測誤差がそれぞれ (1.04sec, 1.01) であった。よって、リンク 12 の場合と同様に、1.01 秒の誤差で実際の旅行時間分布を予測している。一方、信号待ち有り車両の旅行時間分布は分散の値の誤差が大きかったため、分布の裾の広がりを小さく予測し、実際の分布よりも急な形状となった。

最後に、リンク毎に算出された旅行時間分布の畳み込みによる、OD 旅行時間分布の推定結果を図 8 に示す。7 日分の OD 旅行時間分布の内、2月 2,3,4 日の予測結果

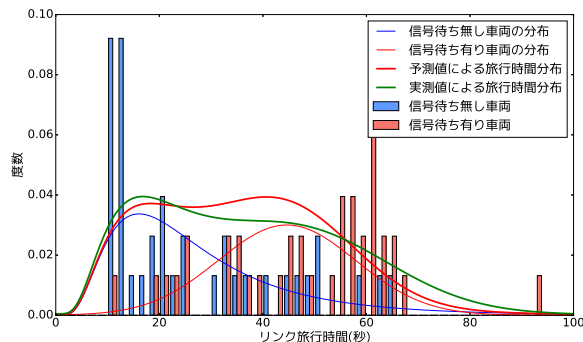


図 7 信号付きリンク (20) における旅行時間分布の予測 (2014 年 2 月 4 日)

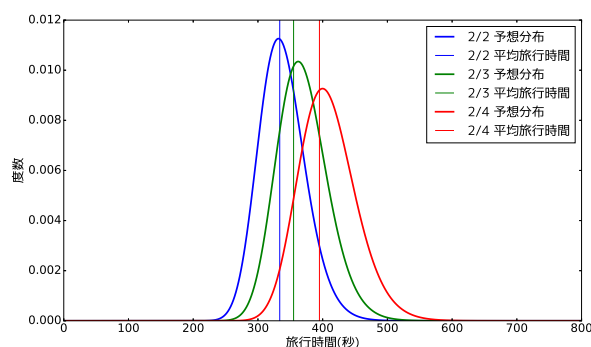


図 8 OD 旅行時間分布の推定結果 (2014 年 2 月 2 日~2 月 4 日)

をそれぞれ青、緑、赤の線で示している。ここで、「平均旅行時間」とは当日のタクシープローブデータの情報から算出したリンク 1 から 20 までの平均旅行時間を加算して求めた旅行時間である。この結果によると、平均旅行時間と予測した OD 旅行時間分布の頂点の値はそれぞれ $2/2 = (333, 333)$, $2/3 = (355, 363)$, $2/4 = (395, 401)$ となっており、予測した OD 旅行時間分布は、旅行時間の平均が 3 日間で 65 秒低下する OD 区間において、1 日ごとの OD 旅行時間の変化を平均約 4.6 秒の誤差で予測した。また、OD 旅行時間が長くなるにつれて旅行時間分布の裾が広がっていることがわかり、旅行時間の増大に伴って旅行時間のばらつきが大きくなることが示された。

5. おわりに

本研究では、道路リンクにおける旅行時間の分布を 2 種類に分類し、対数正規分布などで近似を行い、旅行時間の平均や分散を気象条件から予測することで、雪道における道路リンクごとの旅行時間分布を推定する手法を提案した。また、OD 間に含まれる各リンクにおける旅行時間分布を畳み込みによって集約し、OD 区間の旅行時間分布を予測する手法を示した。札幌市の実道路上における OD 旅行時間分布の予測を行い、プローブカーの旅行時間と積雪量などの気象データの値を用いて、各リンクの旅行時間の

分布を高々4秒以内の誤差で予測できることを示した。また、予測したリンク旅行時間分布から一日ごとのOD旅行時間分布を予測し、三日間で旅行時間の平均が65秒増大するような期間において、OD旅行時間を平均4.6秒の誤差で予測した。

今後の課題としては、1日ごとではなく時間帯ごとのOD旅行時間の変動も予測することで、1日の交通量の変動が大きいOD区間の旅行時間が積雪などの影響によってどう変化するかを予測することが考えられる。また、交通量や道路の有効幅員の変化、除排雪の実施といった、道路交通速度に影響を与える様々な外的要因も考慮した旅行速度分布予測の手法も考案し、モデル精度の向上を行っていく必要がある。

今後は気象情報以外のデータも重回帰モデルの説明変数として導入し、予測精度の向上を図る必要がある。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省国家課題対応型研究開発推進事業-次世代IT基盤構築のための研究開発-「社会システム・サービスの最適化のためのIT統合システムの構築」(2012年度～2016年度)の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Ryosuke, T., Akihito, H., Hirozumi, Y., Takaaki, U. and Teruo, H.: Prediction of Deceleration Amount of Vehicle Speed in Snowy Urban Roads Using Weather Information and Traffic Data, *IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems(ITSC)*, IEEE, pp. 2268-2273 (2015).
- [2] Liu, S., Pu, J., Luo, Q., Qu, H., Ni, L. and Krishnan, R.: VAIT: A Visual Analytics System for Metropolitan Transportation, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 14, No. 4, pp. 1586-1596 (2013).
- [3] Wang, W. and Mizuta, H.: Probe car based traffic information system experiment in shenyang, *Proceedings of 8th International Conference on ITS Telecommunications*, pp. 334-336 (2008).
- [4] Chang, X., Chen, B. Y., Li, Q., Cui, X., Tang, L. and Liu, C.: Estimating Real-Time Traffic Carbon Dioxide Emissions Based on Intelligent Transportation System Technologies, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 14, No. 1, pp. 469-479 (2013).
- [5] Davis, N., Lents, J., Osses, M., Nikkila, N. and Barth, M.: Part 3: Developing countries: development and application of an international vehicle emissions model, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1939, No. 1, pp. 155-165 (2005).
- [6] de Fabritiis, C., Ragona, R. and Valenti, G.: Traffic estimation and prediction based on real time floating car data, *Proceedings of the 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Beijing, China, pp. 197-203 (2008).
- [7] Liu, B., Liu, K. and Mizuta, H.: Study on impact of taxi status to probe car system performance, *Proceedings of 9th International Conference on ITS Telecommunications*, pp. 136-137 (2009).
- [8] 梶谷有三, 浦田康滋, 田村亨: 北海道峠部の冬季走行速度に及ぼす影響要因について, 交通工学研究発表会論文報告集, pp. 125-128 (1998).
- [9] 義典寺内, 泰広三村, 哲男加藤, 義明本多: 降積雪時における自動車交通のおくれに関する研究: 道路の消融雪装置設置箇所の選定への応用, 日本雪工学会誌: Journal of snow engineering of Japan, Vol. 20, No. 2, pp. 123-129 (2004).
- [10] 寺内義典, 宇佐美誠史, 本多義明: 積雪時における道路交通管理のための交通特性に関する調査研究, 日本雪工学会誌: journal of snow engineering, Vol. 15, No. 3, pp. 203-210 (1999).
- [11] 泰広三村, 義典寺内, 泰榮 李, 義明本多: 積雪時の都心部交差点における左折車の走行実態, 日本雪工学会大会論文報告集, Vol. 20, pp. 53-54 (2003).
- [12] 堀井雅史: 積雪都市における道路交通流特性に関する統計分析, 土木計画学研究講演集, Vol. 14, No. 1, pp. 667-672 (1991).
- [13] 堀井雅史: 積雪都市における旅行速度予測指標に関する一検討, 土木計画学研究講演集, Vol. 16, No. 1, pp. 49-53 (1993).
- [14] 宗広一徳, 高橋尚人, 浅野基樹: タクシープローブデータを活用した札幌都市圏における冬期渋滞特性の分析, 土木計画学研究・講演集, Vol. 31 (2005).
- [15] 宗広一徳, 秋元清寿, 高橋尚人, 浅野基樹, 三谷光照: 冬期道路交通評価へのタクシープローブデータの活用 札幌市における事例, 北海道開発土木研究所月報, No. 632, pp. 19-28 (2006).
- [16] Munehiro, K., Kageyama, H., Takahashi, N., Ishida, T. and Asano, M.: Approach to Optimization of Winter Road Management Operation by Taxi Probe Data, *Transportation Research Board 92nd Annual Meeting*, No. 13-0952 (2013).
- [17] Munehiro, K., Kageyama, H., Takahashi, N., Watanabe, M., Nakajima, T. and Kamiyama, S.: Assessment of Winter Road Traffic Performance Using Taxi Probe Data in Sapporo City of Japan, *19th ITS World Congress* (2012).
- [18] 中山晶一郎: 道路の時間信頼性に関する研究レビュー, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 67, No. 1, pp. 95-114 (2011).
- [19] 気象庁: 過去の気象データ.
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>.
- [20] Akaike, H.: A new look at the statistical model identification, *Selected Papers of Hirotugu Akaike*, Springer, pp. 199-213 (1998).
- [21] Group, P.: PTV Vissim.
<http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/>.
- [22] 富士通: タクシープローブ交通情報サービス.
<http://jp.fujitsu.com/solutions/convergence/service/spatiow1/trafficinfo.html>.