

リアルタイム情報による旅行時間の予測信頼性向上手法について*

Improvements on Prediction Reliability for Real-Time Travel Time Information*

白石 哲也**・岸 邦宏***・中辻 隆****

By Tetsuya SHIRAIISHI**・Kunihiro KISHI***・Takashi NAKATSUJI****

1. はじめに

人々はある目的地への移動に際し、出発時刻や経路選択に関する意思決定を行う。このときの重要な要因として旅行時間が挙げられる。旅行時間は、その時々交通状態によって影響を受け、常に変化するため不確実性が生じる。近年の道路整備においても「旅行時間の信頼性」が注目されている。また、旅行時間そのものの信頼性ととも、予測された旅行時間の信頼性も人々の行動にとって、とても重要である。

北海道の観光業においても旅行時間の信頼性は重要である。自動車の依存割合が高く、移動範囲も広範囲に渡っている。その上冬季には、除雪や路面状況により夏季には考慮しないであろう遅れを含めた時間設定が必要となる。したがって、ドライバーにとって正しい旅行時間情報が得られれば、正しい出発時刻や経路選択、さらには途中で立ち寄る場所について計画を立てて、実際に行動できることになる。

本研究ではこの点に着目し、旅行時間の予測についてリアルタイム情報を導入し、動的に予測を行うことによって、予測信頼性を向上する手法を構築することを目的とする。さらに、得られた旅行時間を観光行動に適用し、目的地まで途中立ち寄ることができる観光行動圏の不確実性がどのくらい減少するかを明らかにする。

本研究では、札幌市内のタクシープローブデータを用いて旅行速度分布を作成し、リアルタイム情報を入力す

ることで、Bayesian approach²⁾により区間ごとに更新する。この際、連続する各区間の相関性を考慮し、条件付き確率関数²⁾を用いることにより計算を行う。

また、Activity Based Approach¹⁾の時空間プリズムを用いて観光行動圏の表現を行うとともに、Google Maps API¹⁾による視覚化を行う。これらに関し、事前の情報と更新された事後の情報、および実際の情報を比較することでBayesian approachの適用性について検討する。

2. 旅行速度分布

旅行時間の信頼性について分析する際、旅行時間分布を用いるのが一般的であるが本研究では旅行速度分布を求めることとする。これは、Bayesian approachにより情報の更新を行う際、条件付き確率を用いるわけであるが、この導出過程において用いる多次元分布への適用が容易であることによる。これにより、タクシープローブデータに含まれる客の乗降などの余分な時間を考慮する必要がなくなる。ここで使用するタクシープローブデータは、札幌市内での既存のタクシー調査における国道230号線・36号線の一部区間であるセンサスCD1037~1025のデータを使用する(図1)。季節変化の比較も行うため無雪期(10月)、積雪期(1月)のデータを使用する。図2は各区間旅行速度の分布と平均・標準偏差から求めた理論分布である。

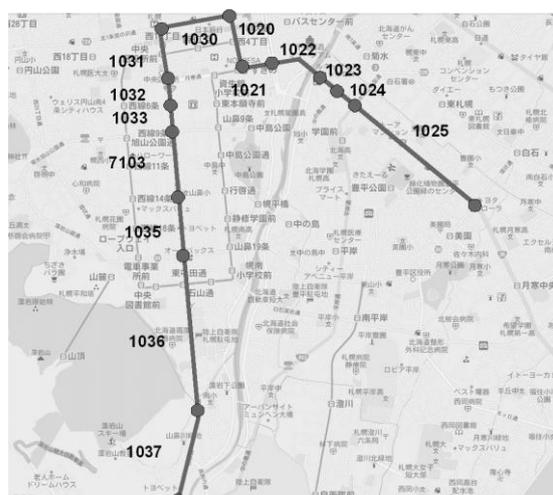


図1 対象経路地図

*キーワード：旅行時間、動的予測、リアルタイム情報、観光行動圏

**学生員、北海道大学大学院工学院

(北海道札幌市北区北13条西8丁目、TEL:011-706-6217、
E-mail:t.shiraiishi@eng.hokudai.ac.jp)

***正員、博(工)、北海道大学大学院工学研究院

(北海道札幌市北区北13条西8丁目、TEL:011-706-6209、
E-mail:Kishi@eng.hokudai.ac.jp)

****正員、工博、北海道大学大学院工学研究院

(北海道札幌市北区北13条西8丁目、TEL:011-706-6215、
E-mail:naka@eng.hokudai.ac.jp)

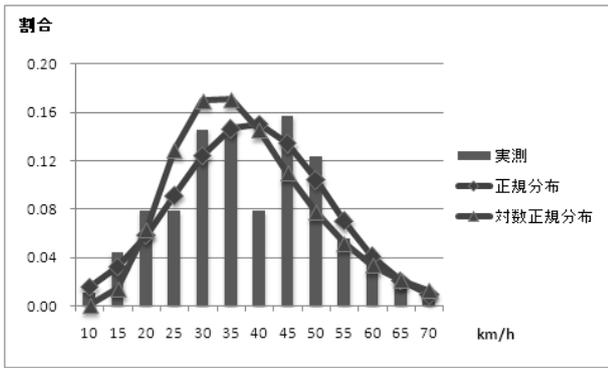


図2 実測分布と理論分布

3. 旅行速度分布の更新手法

(1) Bayesian approach

利用可能な情報が変動する性質をもつとき、そこから得た事前情報だけでは不確実性が大きいので、追加の情報やデータの取得によって更新していくことが望ましい。このように利用可能な情報を、新たに得られた情報やデータを結合することによって更新していく手法がBayesian Approachである。

(2) 多変量正規分布と条件付き確率

本研究では、区間間の相関性を考慮し、条件付き確率関数(式1)により分布の更新を行う。

$$p(Y = y_j | X = x_i) = \frac{p_{X,Y}(x_i, y_j)}{p_X(x_i)} \quad (1)$$

これは、離散型確率変数の X と Y において、 $(y = y_j)$ となる確率が X の値に依存する場合に用いる考え方である。式(1)の右辺の分子は同時確率関数(同時 PMF) (図3の各棒グラフ)、分母は周辺確率関数(周辺 PMF) (図3の色ごとのグラフ) であるので、式(2)(3)(4)により求めることができる。

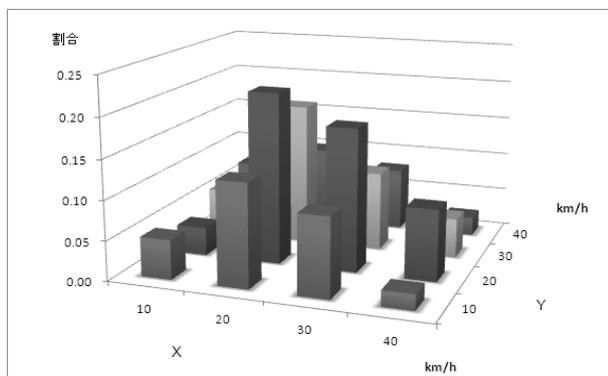


図3 同時確率と周辺確率の概念

式(2)、式(3)は2変量(p=2)での式である。

$$f_{X,Y}(x_i, y_j) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\Sigma|^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(x_i - \mu_X, y_j - \mu_Y)^T \Sigma^{-1} \begin{pmatrix} x_i - \mu_X \\ y_j - \mu_Y \end{pmatrix}\right\} \quad (2)$$

$$p_{X,Y}(x_i, y_j) = \iint f_{X,Y}(u, v) du dv \quad (3)$$

$$p_X(x_j) = \int_{-\infty}^{\infty} p_{X,Y}(x_i, y_i) dy \quad (4)$$

(2)における Σ は、分散共分散行列である。

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{XX} & \sigma_{XY} \\ \sigma_{YX} & \sigma_{YY} \end{pmatrix} \quad (5)$$

(3) 旅行速度分布の更新

条件付き確率を用いるためには、前後区間と相関をもつことが前提となってくる。そこで、相関分析を行い、式(2)に用いる相関区間数を決定した。この結果をもとに更新区間に関する分散共分散行列およびリアルタイム情報として用いる通過区間速度、事前分布に用いた速度変数を式(1)~(4)に適用し情報の更新を行った。

図4はセンサスCD1023の旅行速度分布の更新前後の比較である。事前分布の平均・標準偏差は38.44および13.28、事後分布の平均・標準偏差は40.00および6.90となり、平均値の変化とバラツキの減少が見られた。

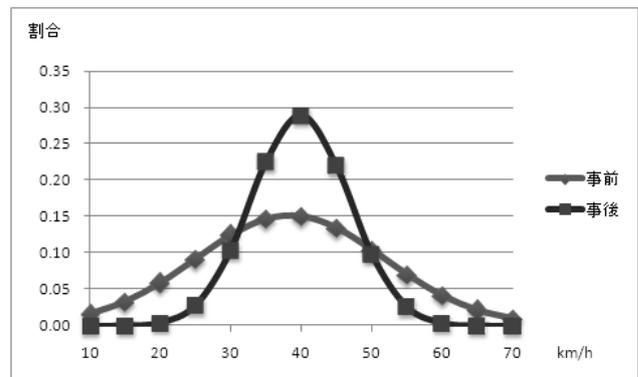


図4 旅行速度分布更新前後の比較

4. 観光行動圏の表現

(1) 時空間プリズムの3次元化

Activity Based Approach で用いられる時空間プリズムには交通行動に関してマクロ的な視点ではなく個人の交通行動に焦点を当て、都市平面に時間軸を導入した時空間座標が用いられる。ここでは縦軸が時間、横軸が空間としている。地点 a を時刻 t_1 に出発し、時刻 t_2 に地点 b に到着しなければならない場合、移動速度が一定であると仮定すると、この個人が実際に利用可能な時空間は半無限大ではなく図5における平行四辺形に限定されること

になる。この平行四辺形が時空間プリズムと呼ばれ、行動可能領域を表現していると言える。

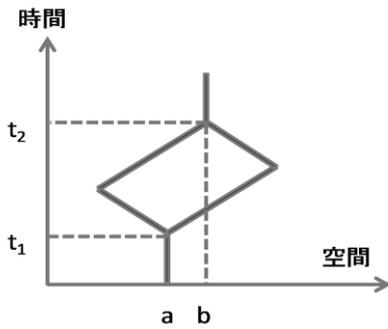


図5 時空間プリズム¹⁾

時空間プリズムは、本来2次元であるはずの都市平面を1本の軸で表している。3次元で表される時空間プリズムが平面の要素も考慮した最も正確な図となるが、3次元表示は煩雑な図になってしまう。したがって、本研究ではこれを正面図と平面図に投影することで、2種類に分けて表現する(図6)。

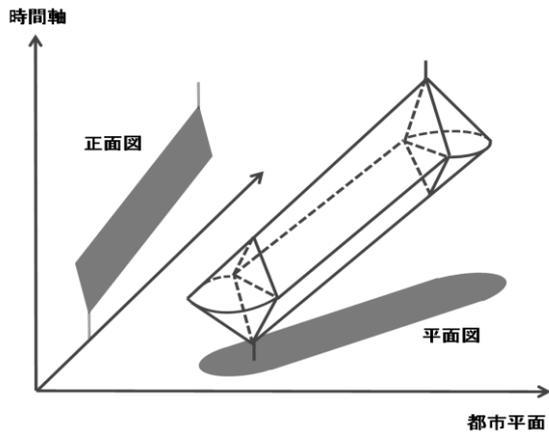


図6 3次元時空間プリズム

(2) 時空間プリズムによる観光行動圏の表現

本研究では、時空間プリズムの考え方を導入することによって求められる数値を、観光行動圏を表現するために必要な指標とし、それらを用いて観光行動圏を表現する。指標とその求め方を次に示す。

- V_n : 区間速度 (km/h)
- T_n : 残り時間 (h)
- H : 滞在時間 (h)
- L_n : 残り距離 (km)
- L_{S_n} : 区間長 (km)
- Z_n : 追加行動可能距離 (km)
- S_n : 平面図の面積 (km^2)
- A_n : プリズムの面積 ($\text{km} \cdot \text{h}$)
- T_0 : 予定旅行時間 (h)
- L_0 : 総距離 (km)

これらの指標から以降の式を用いて行動圏を表現する。この際、区間の旅行速度が必要であるが、これには代表値として各旅行速度分布の平均値を用いる。

$$T_n = T_0 - \sum_{n=1}^{n-1} \frac{L_{S_n}}{V_n} \quad (6)$$

$$L_n = L_0 - \sum_{n=1}^{n-1} L_{S_n} \quad (7)$$

$$Z_n = \frac{1}{2} \{V_n(T_n - H) - L_n\} \quad (8)$$

$$S_n = 2Z_n L_n + \pi Z_n^2 \quad (9)$$

$$A_n = \frac{1}{2} \left(V_n T_n^2 - \frac{L_n^2}{V_n} \right) \quad (10)$$

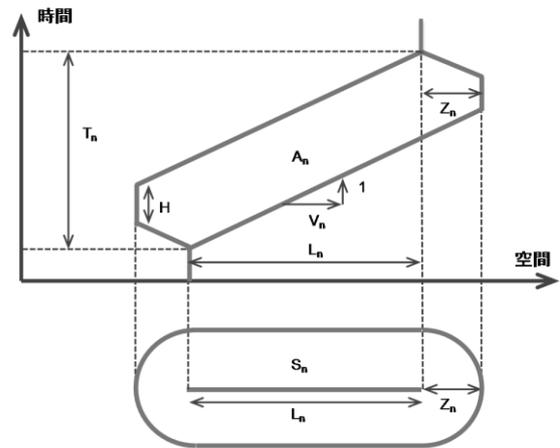


図7 時空間プリズムの正面図と平面図

(3) 観光行動圏の分析

図8は旅行区間内の一部であるセンサスCD1023に差し掛かった際の情報更新の前後と実際の行動圏の比較である。条件として $T_0=1$ (h)、 $H=0$ (h)とした。事前情報速度から表現した追加行動可能距離に比べ、事後情報速度の方が実際の行動圏に近くなっていることが分かる。

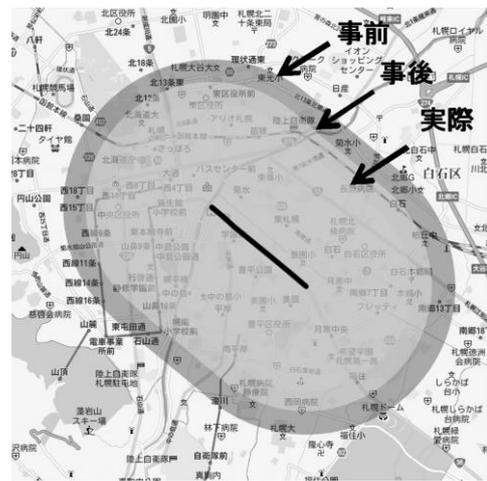


図8 行動圏比較(センサスCD1023)

5. 信頼性向上の評価

まず、各区間の速度に関する情報の更新前後と実測値の比較である(図9)。区間間の相関性による違いはあるものの、補正の効果がうかがえる。

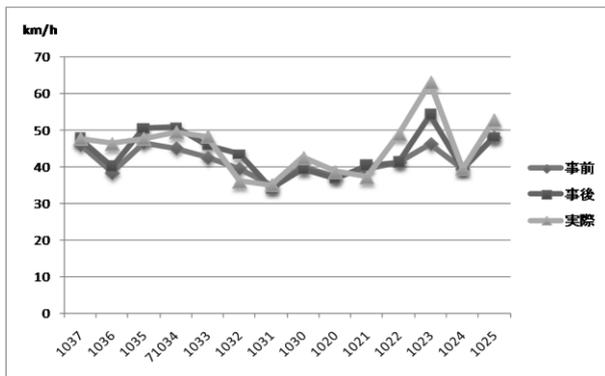


図9 区間旅行速度比較(10月)

全区間の平均速度、標準偏差から求めた全区間の旅行速度から、全区間の旅行時間分布を求めた。標準偏差が8.85から3.71となり、データのバラつきに関して旅行時間の信頼性向上効果が見られた(図10)。

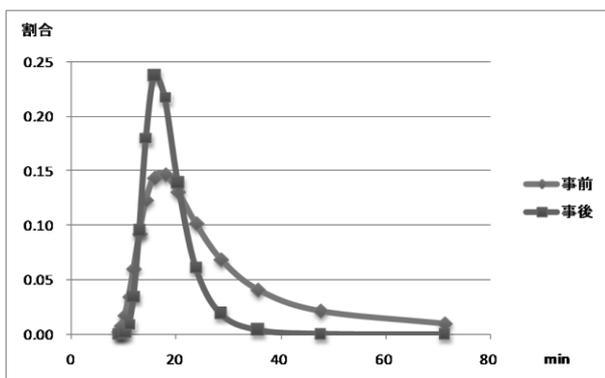


図10 全区間旅行時間比較(10月)

最後に経路全体の累積旅行時間を求めた(図11)。対象区間が短く、速度変化やデータ間の速度差が大きくないため顕著な結果とはならなかったが、事前データが補正され、更新による効果が見られた。1月のデータについても同様の傾向が見られた。

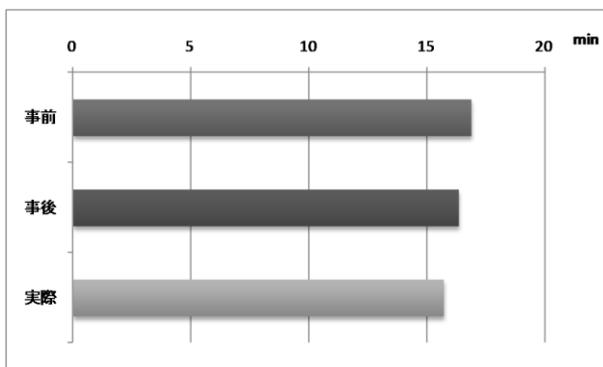


図11 累積旅行時間比較(10月)

バラつきに関しては10、1月共に減少したが、10月の方が補正効果が高かった。

次に事前、事後情報と実際との誤差の評価指標として、RMSE(式(11))およびRE(式(12))を用いた。2つの指標より、10、1月の結果共に誤差の減少が見られた(表1)。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (t_i - T)^2} \quad (11)$$

n: 区間数、 t_i : 事前、事後データ、T: 実際データ

$$RE = \frac{1}{n} \sum \frac{|t_{\text{理論}} - t_{\text{実際}}|}{t_{\text{実際}}} \quad (12)$$

$t_{\text{理論}}$: 事前、事後データ、 $t_{\text{実際}}$: 実際データ

表1 旅行時間の誤差の評価

月	指標	事前	事後
10月	RMSE	7.82	6.43
	RE	0.099	0.082
1月	RMSE	9.99	7.59
	RE	0.107	0.082

6. おわりに

本研究において、リアルタイムな情報を用いた情報更新手法が旅行時間の信頼性向上に貢献していることが分かった。これにより、更新手法として用いる Bayesian approach の適用が有効であると考えられる。

この更新手法を用いたリアルタイムな情報が与えられれば、ドライバーにとって余裕のある観光行動ができると期待される。

今後、長距離経路や多様な路線など適用範囲を拡大することで、ドライバーの経路選択行動に貢献できるのではないかと考えられる。また、情報の更新時期によって、どの程度先の位置の情報まで信頼性があるのかを検証する必要がある。

参考文献

- 山浦雄太、高橋尚人、岸邦宏: 「旅行時間の信頼性向上による観光行動圏拡大に関する研究」、土木計画学 研究・講演集、vol.40、CD-ROM、2009
- 伊藤學、亀田弘行、能島暢呂、阿部雅人: 「改訂 土木・建築のための確率・統計の基礎」、丸善、2007