

1. はじめに

近年、社会・経済活動の高度化に伴い社会インフラである道路交通ネットワークに対しても高い効率性・信頼性が求められている。現在道路交通のサービス水準の評価には、目的地までの所要時間の平均値を用いることが多いが、そのばらつきに注目することも重要である。一方、ITS 技術の中でより詳細に広範囲の道路交通状況を把握するシステムとして、プローブカーの利用が考えられているが、現在のところ活用された事例は十分ではない。この時々刻々の道路交通状態を把握可能なプローブカーデータを有効活用し、道路ネットワークを多面的に評価するための方法論を構築することは、非常に重要な課題であると言える。

本研究では、これまでに多数の詳細データが収集・蓄積されているバスプローブデータの有効活用を図り、道路交通のサービスレベルを評価するためのネットワークの所要時間信頼性に関する評価手法の提案・検討を目指す。

2. バス停停止に伴う影響の除去

本研究ではバス停での停止について補正を行い、バスプローブが計測した交通状態を一般交通が遭遇する交通状態に近づけるための変換を試みる。

(1) バス停停止判定法

まずバスの走行軌跡（プローブデータ）の中で、バス停に停止しているデータを判別する。本研究で用いるバスプローブデータにはバス運行に関するデータは含まれていない。そこで走行位置座標および速度のデータを用いてバス停への停止を判定する。

時点 t における走行速度を v_t 、その路線上のバス停 i までの距離を l_{it} とする。バス停での停止判別結果 R_{it} を次のように定義する。

$$R_{it} = \begin{cases} 1 & \text{バス停停止} \\ 0 & \text{バス停停止以外} \end{cases} \quad (2.1)$$

バス停での停止判定は次式で表される。

$$\text{if } v_t \leq V \text{ and } l_{it} \leq L \text{ then } R_{it} = 1 \\ \text{else } R_{it} = 0 \quad (2.2)$$

ただし、 V はバス停停止と判定する速度の上限値、 L はバス停停止と判定するバス停までの距離の上限値である。速度の上限値 V については低速側から累積した場合のほぼ 80% タイル値である 3.0km/h、最寄バス停からの距離 L については距離が短い側から累積した場

合の 85% タイル値である 23.74m を採用する事とした。

(2) バス停停止前後の減速・加速判定法

バス停停止モード前後での減速・加速は一般車両の走行特性との乖離に大きな影響を与えている。そこでバス停停止に伴う減・加速モードを判定し、その影響を除去する手法について説明する。

まず減速モードは、バス停停止モードの直前に存在するひと続きの時間帯であり、速度が単調減少し続ける時間帯であると定義する。加速モードについてもほぼ同様で、バス停停止モード直後から連続した時間帯で、速度が単調増加し続ける時間帯と定義する。

(3) バス停停止に伴う遅れ時間の除去

バス停停止、減速、加速のそれぞれのモードと判定されたデータから遅れ時間を除去する方法について説明する。まずバス停停止モードであると判定された時間帯については、その時間を全て遅れ時間として除去する。次に減速モードについては、減速前の速度 V_d が継続していると仮定し、減速中に走行した距離 L_d を速度 V_d で走行するのに要する時間 L_d/V_d を減速モードの時間 T_d から差し引いた $T_d - L_d/V_d$ を遅れ時間とし除去する。加速モードに関しても同様に、加速後の速度 V_a が継続していると仮定し、加速中に走行した距離 L_a を速度 V_a で除した L_a/V_a を加速モードの時間 T_a から差し引いた $T_a - L_a/V_a$ を遅れ時間とし除去する。

3. 任意区間での所要時間分布算出

(1) 所要時間分布の合成手法

バス路線ネットワーク上に存在する任意の OD 間所要時間を求めるための、異なったバス路線の所要時間分布の特性値を合成する方法を提案する。まず OD 間経路を、複数のバス路線上に設定した区間をつなぎ合わせることで表現する。それぞれ求めた区間所要時間分布の特性値を合成し、OD 間の所要時間分布を推定する。一般に分布同士の合成を考える場合、分布の平均値（期待値）は常に加法性が成り立つ。例えば確率変数 X_1, X_2, \dots, X_n を足し合わせた確率変数 Z を考える。

$$Z = \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.1)$$

この時、確率変数 Z の平均値 $E(Z)$ は、確率変数 X_i の平均値 μ_{X_i} を用いて

$$E(Z) = \sum_{i=1}^n \mu_{X_i} \quad (3.2)$$

表 1

区間	データ数	所要時間(秒)		所要時間の対数値		対数正規分布への適合度カイ二乗検定			結果
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	自由度	臨界値(%)	カイ二乗値	
区間 1	874	703	184	6.523	0.257	22	33.92	156.77	棄却
区間 2	355	447	95	6.080	0.209	22	33.92	18.60	棄却されない
区間 3	692	345	126	5.782	0.353	22	33.92	27.99	棄却されない
区間 4	636	377	68	5.915	0.180	22	33.92	30.55	棄却されない
区間 5	327	569	176	6.299	0.303	22	33.92	13.36	棄却されない
区間 6	764	656	239	6.424	0.352	22	33.92	143.93	棄却
区間 7	519	228	54	5.403	0.233	22	33.92	75.25	棄却
区間 8	828	206	86	5.246	0.402	22	33.92	674.39	棄却
区間 9	774	207	72	5.274	0.339	22	33.92	237.29	棄却
区間10	437	312	91	5.703	0.284	22	33.92	10.64	棄却されない
区間11	309	780	92	6.652	0.117	22	33.92	22.74	棄却されない
区間12	337	842	137	6.722	0.161	22	33.92	22.71	棄却されない

※有意水準 $\alpha=0.05$

と表される。一方、分散については確率変数 X_i の標準偏差 σ_{X_i} 、 X_i と X_j の相関係数 ρ_{X_i, X_j} を用いて、

$$V(Z) = \sum_{i=1}^n \sigma_{X_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sigma_{X_i} \sigma_{X_j} \rho_{X_i, X_j} \quad (3.3)$$

と表される。本研究では、所要時間分布の合成を、上記分布の平均値・分散値の合成により表現する。

(2) 所要時間分布の理論分布への適合確認

上記の合成手法により OD 間所要時間分布の特性値(平均値, 分散値)は算出可能である。しかしその分布形については特性値のみでは推定することが出来ない。そこで所要時間分布が何らかの理論分布形に従っているのか確認した。本研究では 12 の区間を設定し所要時間の集計・分析を行った。得られた分布形に共通する特徴は、分布形の左側(所要時間が短い側)の立ち上がり急で、右側(所要時間が長い側)は比較的なだらかなことである。このような特徴を持った理論分布として、確率密度関数が次式で表される対数正規分布が考えられる。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\alpha} \exp\left\{-\frac{(\log x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (x > 0), \quad 0 \quad (x \leq 0) \quad (3.4)$$

ここで μ , σ はそれぞれ所要時間 X の自然対数 $\log X$ についての平均, 標準偏差である。区間所要時間実測データが対数正規分布に従うとの仮説を立て、適合度の検定を行った結果を表 1 に示す。12 区間のうち、5 区間については実測データが対数正規分布に従うという仮説が棄却されたが、残りの 7 区間については仮説は棄却されないという結果となった。仮説が棄却された区間のうち 1, 6, 8, 9 については、枚方市駅及び長尾駅に接続する区間である。両駅周辺は GPS 電波が受信しにくく、走行位置座標取得の際に誤差が生じやすい。そのため運行開始・終了時刻が正しく判定されなかった可能性が考えられる。しかしながら半数以上の区間について仮説が棄却されなかったため、本研究では所要時間分布は対数正規分布に従うとみなすこととした。

表 2

系統	行き先	データ数	所要時間(秒)		合成による所要時間(秒)		対数正規分布への適合度カイ二乗検定			結果
			平均	標準偏差	平均	標準偏差	自由度	臨界値(%)	カイ二乗値	
枚方20	長尾駅	521	1121	228	1137	228	18	28.87	45.29	棄却
	枚方市駅	439	1153	299	1175	330	17	27.59	44.04	棄却
枚方39	種葉駅	354	1531	283	1495	302	20	31.41	29.21	棄却されない
	枚方市駅	328	1630	416	1602	407	17	27.59	9.72	棄却されない
枚方94	長尾駅	308	1364	138	1362	165	19	30.14	28.97	棄却されない
	種葉駅	335	1371	233	1394	249	18	28.87	27.36	棄却されない

※有意水準 $\alpha=0.05$

(3) 所要時間分布合成についての確認

区間所要時間分布の特性値の合成による、実際の所要時間分布の表現可能性について検討する。検討対象としたバス路線全てに 3 つの区間を設定し、実測所要時間分布が区間所要時間分布の合成により得られた対数正規分布に適合しているとの仮説を立て、適合度の検定を行った結果を表 2 に示す。6 路線中 2 路線で観測分布が合成による対数正規分布に適合しているという仮説が棄却されたが、4 路線では棄却されなかった。仮説が棄却された 2 路線は枚方 20 系統の上下線であり、起終点が枚方市駅と長尾駅である。既に述べたが、枚方市駅と長尾駅の周辺は走行位置座標取得時に誤差が生じやすいと考えられ、この影響が大きいと考えられる。6 路線中 4 路線について仮説が棄却されなかったため、任意の OD 間所要時間分布は区間所要時間分布の特性値を用いた合成により表現できると仮定する。

(4) 所要時間分布合成を用いたケーススタディ

本ケーススタディでは OD 間の経路が複数ある場合に、どの経路が所要時間について信頼性が高いのかを検討する。表 1 中の区間 5 と 7 とを結ぶと OD が区間 11 と同じ経路となるため、この 2 経路を比較対象とした。区間 11 の実所要時間分布及び区間 5~7 の合成による所要時間分布について表 3 に示す。このふたつの経路を所要時間の平均値で比べた場合、両者の差は約 18 秒でそれほど優劣は無い。標準偏差で比べてみると両者の間には 2 倍以上の差が見られる。これは区間 11 のほうが、所要時間が平均値から大きく外れる事が少ない事を示しており、所要時間の標準偏差で比較した場合、区間 11 のほうが信頼性が高いという事がいえる。

4. まとめ

本研究ではバスプローブデータを活用し、道路ネットワークのサービスレベルを評価するための手法を提案し、ケーススタディを行った。

今後の課題としては、データをさらに積み増し、曜日別の交通特性を分析することや、現地調査により所要時間変動に影響を与える要因を把握すること、また、所要時間補正手法をバス停周辺の交通特性や時間帯を考慮できるよう改良すること等が挙げられる。

表 3

区間	区間長(km)	所要時間分布(秒)	
		平均	標準偏差
区間11	4.21	780	92
区間5+区間7	4.33	798	197