

バスプローブデータからの運行特性発見

川谷 卓哉^{1,a)} 舞田 涼太郎¹ 山口 翼¹ 峯 恒憲^{2,b)}

概要: 路線バスの運行特性を分析することは、バス輸送サービスの改善に大変有用である。本稿では、バスプローブデータから加速度を算出し、その分布を求め、加速度の分布がバス車両によって差異があるかどうかを統計的に検定し、差異が見られないことを明らかにした。

キーワード: 路線バス, プローブデータ, 運行特性

Investigation of operation characteristics of buses using bus probe data

KAWATANI TAKUYA^{1,a)} MAITA RYOTARO¹ YAMAGUCHI TSUBASA¹ MINE TSUNENORI^{2,b)}

Abstract: It is very useful for improving bus services to analyze operating characteristics of the scheduled bus. In this article, the authors calculated acceleration between the recorded points using bus probe data and found its distribution. the authors statistically tested it, and found that there was no difference.

Keywords: Scheduled bus, Probe data

1. はじめに

ITSの技術進展にともない、自動車の運転状況に関するさまざまなデータを蓄積、取得することが可能になっている。自動車の位置情報、速度、加速度のデータから、運転者の挙動特性を解析して、安全運転につながる要素を発見する取り組みや、道路の凹凸を検出して補修計画策定に役立てる取り組み、急制動・急加速が発生している地点を発見して、地点の特性を解析する取り組みなどが行われている。

一方、路線バスのデータについては、道路状況を測る良い材料であり、また、バスの運行状況改善にも有用なため、多くの研究に利用されてきているが、その多くは1週間程度の短期間で、また路線数も少ないものが多い。特に、地

方路線の場合には、路線バスのデータそのものが十分に手に入らない場合も少なくない。このような現状を背景として、我々は、九州大学伊都キャンパスを通る昭和バスに車載器を搭載し、その車載器のバスプローブデータを取得し、分析に利用する実証実験を2019年2月末より開始した。本論文では、実証実験によって獲得したバスプローブデータを用い、特に、運転手の運転特性に焦点を当て、分析を行った結果について報告する。

以下、2節で関連研究を示す。3節では、本研究に用いた、昭和自動車株式会社の路線バス走行記録データについて説明する。4節では、走行記録データのある路線バスの走行する路線の概要を説明する。5節では、本研究に用いたデータの算出法、および統計的検定のための手法について説明する。6節では、データの分布を観察し、統計的検定を実施した結果を説明する。7節では結果を考察し、最後に、8節でまとめと、今後の課題について述べる。

2. 関連研究

文献[1]では、東京都内のある路線バス事業者において、

¹ 九州大学大学院システム情報科学府
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

² 九州大学大学院システム情報科学研究院
Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

a) kawatani.takuya@m.ait.kyushu-u.ac.jp

b) mine@ait.kyushu-u.ac.jp

表 1 走行記録データの書式

項目	概要	例
ID	車両を識別する数字	11
走行時刻	位置情報が記録された日時	2019/05/21 11:58:15
緯度	度数法・小数点なし	3360033
経度	度数法・小数点なし	13021238
速度	車両の速度 (km/h)	37

走行記録を解析している。そのなかで、渋滞などの走行環境や、運転する車両の特性要因を除いた状態で、加速度の分布に差があることが示され、運転手ごとに加速度の出現特性に高低の特徴があると結論づけている。文献 [2] では、道路の幾何構造や、運転者の疲労の影響を受けにくい加速度の歪度を指標として用いて、運転者のアクセル・ブレーキの特性と自動車の機械的特性の双方との関連性を調査している。文献 [3] では、車両の加速度に着目して、データの取得、補正、分析の方法を考察するとともに、大きな加速度が発生している地点の特性と車両挙動の関連性を明らかにしている。文献 [4] は、加速度データと実際の交通事故発生箇所データを比較分析し、平均加速度を用いると急減速の発生頻度と人身事故発生件数の関係を明確に示すことができることを述べている。また、文献 [5] では、バス車両のデジタルタコグラフデータと、バスロケーションシステムのデータ、一般車のプローブデータを統合的に比較分析している。その結果として、バスの急減速に至る箇所と発生時刻を推定している。これらに対して、本研究では、地方の路線バスのプローブデータを利用し、統計的検定手法に基づいて各バス車両での運転特性を分析し、車両間に有意差が見られないことを確認した。

3. 利用したデータ

本研究では、昭和自動車株式会社（本社：佐賀県唐津市）が所有する路線バス車両のうち、福岡地区の 3 路線（九州大学線・西の浦線・マリノア線）で運行される 42 台の走行記録データを用いた。この走行記録データには、車両識別用 ID、走行時刻、緯度、経度、速度が記録されている。詳細を表 1 に示す。

走行記録データとしては、2019 年 3 月 1 日から 7 月 31 日まで、5 か月間にわたり採取したものをを用いた。

ここで、データの特性を述べる。緯度・経度については日本測地系で記録されている。そのため、ウェブ上の各種地図表示サービス上に点をプロットするときは、測地系の変換が必要である。また、記録されている速度について、その最小値は 9 km/h である。つまり、完全に停止している状態であるかどうかは、データからは読み取れない。さらに、データの記録間隔が一定でない。原則として、走行中は一定の距離間隔でデータが記録されるが、進行方向や加速度が大きく変化したときは、より細かい間隔で記録される。

4. 路線概要

昭和自動車の福岡地区の 3 路線について、概要を述べる。

4.1 九州大学線

九州大学線は、九大学研都市駅と、九州大学伊都キャンパスとを結ぶ路線である。経由地により、学園通経由、横浜西経由、周船寺経由の 3 系統に大別される。運行距離は約 6 km、運行本数は、2019 年 4 月 1 日現在、平日 444 本（九州大学方面 202 本、九大学研都市駅方面 242 本）、土曜日 204 本（九州大学方面 101 本、九大学研都市駅方面 103 本）、日祝日 174 本（九州大学方面 85 本、九大学研都市駅方面 89 本）である。

4.2 西の浦線

西の浦線は、九大学研都市駅と、福岡市西区西浦地区とを結ぶ、運行距離約 12 km の路線である。運行本数は、2019 年 4 月 1 日現在、平日 14 往復、土日祝日 10 往復である。

4.3 マリノア線

マリノア線は、姪浜駅と、福岡市西区にある商業施設「マリノアシティ福岡」とを結ぶ、運行距離約 3 km の路線である。運行本数は、2019 年 4 月 1 日現在、平日 31 往復、土日祝日 45 往復である。

5. 手法について

5.1 速度データからの加速度の算出

まず、走行記録データから、加速度を算出した。加速度は、2 点間の速度の差をその区間の所要時間で割り、区間平均値を求める手法で算出した。

時刻 $t_1, t_2, \dots, t_m, t_{m+1}, \dots, t_n$ において、走行記録データの速度データ $v_1, v_2, \dots, v_m, v_{m+1}, \dots, v_n$ が存在するとき、平均加速度 a_n は、

$$a_m = \frac{v_{m+1} - v_m}{t_{m+1} - t_m} \quad (1)$$

で表される。

5.2 加速度分布の算出

5.1 節で求めた、度数分布表、およびヒストグラムを作成した。度数分布の階級幅は 0.01 G とした。ここで、G を加速度の単位として定義する。1.0 G = 9.8 m/s² である。加速度分布のヒストグラムを作成して、分布型を推測した。

5.3 加速度分布からの記述統計量算出

加速度分布から、記述統計量として、平均 μ 、不偏分散 s^2 、歪度、尖度を求めた。ここで、平均 μ を

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

不偏分散 s^2 を,

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \quad (3)$$

歪度を,

$$\frac{\sqrt{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3}{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \right)^{\frac{3}{2}}} \quad (4)$$

尖度を,

$$\frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4}{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \right)^2} \quad (5)$$

と定義する.

5.4 分布の正規性確認

加速度の分布が正規分布であるかどうかを確認するために, 正規 Q-Q プロットによる目視での確認, およびシャピロ-ウィルク (Shapiro-Wilk) 検定 [6] による統計的検定を実施した. シャピロ-ウィルク検定は, 標本 $x_1, \dots, x_n$ が, 正規母集団から抽出されたものであることを検定するものである.

5.5 等分散性の検定

加速度の分布の分散が等しいかどうかを確認するために, ルビーン (Levene) の検定 [7] を実施した. ルビーン検定とは, 3 つ以上の群について, その分散が等しいかどうかを検定する手法である.

5.6 加速度分布に差があることの検定

加速度の分布が統計的に識別可能であるかどうか, クラスカル-ウォリス (Kruskal-Wallis) 順位和検定 [8], [9] を実施した. クラスカル-ウォリス順位和検定は, 分布に差があるかどうかを調べる, ノンパラメトリックな検定手法である.

6. 結果

6.1 車両のみで群分けした場合

データを車両 ID によって群に分割したときの, 記述統計量 (データ数, 平均, 標準偏差, 歪度, 尖度) を表 2 に示す.

表 2 によると, バス車両 42 台の加速度分布の平均 μ は, いずれも 0.000 G に近く, 不偏分散 s^2 は, いずれも 0.001 付近の値となっている. 歪度を見ると, いずれも負の歪みを持つ分布となっている. また, 尖度はいずれも 3 以上の正の値であり, 両裾が厚い分布であることを示している.

表 2 加速度分布に関する記述統計量

ID	標本数 N	平均 μ	分散 s^2	歪度	尖度
1	46,403	-0.001	0.001	-0.703	3.383
2	120,761	-0.001	0.001	-1.015	12.231
3	177,345	-0.001	0.001	-0.681	8.600
4	163,994	-0.001	0.002	-0.565	12.954
5	176,681	-0.001	0.001	-0.577	15.152
6	215,356	-0.001	0.001	-1.130	13.659
7	185,183	-0.001	0.002	-0.837	10.263
8	201,636	0.000	0.001	-0.563	9.413
9	222,638	-0.001	0.002	-0.672	13.482
10	69,423	-0.001	0.001	-0.911	9.130
11	210,707	-0.001	0.001	-0.882	9.088
12	112,587	-0.001	0.001	-0.712	8.247
13	215,775	-0.001	0.001	-0.452	36.915
14	67,970	-0.001	0.001	-0.769	4.835
15	71,651	0.000	0.001	-1.279	49.302
16	133,987	0.000	0.002	-0.464	7.192
17	152,673	-0.001	0.001	-1.025	9.170
18	212,651	-0.001	0.001	-0.673	17.944
19	139,154	0.000	0.001	-0.845	15.467
20	223,731	0.000	0.001	-0.449	9.609
21	138,225	-0.001	0.001	-0.450	12.090
22	172,906	-0.001	0.002	-0.826	7.455
23	139,456	-0.001	0.001	-0.744	21.854
24	196,047	-0.001	0.001	-0.640	18.283
25	58,107	0.000	0.001	-0.146	16.893
26	195,813	0.000	0.001	-0.363	12.320
27	157,930	-0.001	0.001	-0.882	13.922
28	19,462	0.000	0.001	-0.454	21.982
29	102,218	-0.001	0.002	-0.786	14.618
30	139,882	0.000	0.002	-0.483	6.970
31	164,323	0.000	0.001	-0.509	8.866
32	109,131	0.000	0.001	-0.327	11.311
33	43,649	0.000	0.001	-0.225	19.769
34	64,137	-0.001	0.001	0.339	96.009
35	226,223	-0.001	0.001	-0.803	11.769
36	126,921	0.000	0.002	-0.429	5.541
37	127,481	0.000	0.001	-0.833	7.421
38	188,542	0.000	0.001	-0.648	7.717
39	184,439	-0.001	0.001	-0.667	11.148
40	218,051	0.000	0.001	-0.566	12.104
41	90,533	-0.001	0.001	-1.076	10.836
42	182,611	-0.002	0.002	-0.670	9.302

ここで, 尖度が 3 のとき, 正規分布であるといえる.

次に, 加速度分布のヒストグラムを見る. 代表として, ID1 のヒストグラムを図 1, ID2 のヒストグラムを図 2, ID3 のヒストグラムを図 3 に示す.

ヒストグラムより, 加速度の分布は正規分布に近いと推測されるが, 正規性を仮定してもよいか確かめるために, 正規 Q-Q プロットによる確認, およびシャピロ-ウィルク検定を実施した. ID1 の正規 Q-Q プロットを図 4, ID2 の正規 Q-Q プロットを図 5, ID3 の正規 Q-Q プロットを

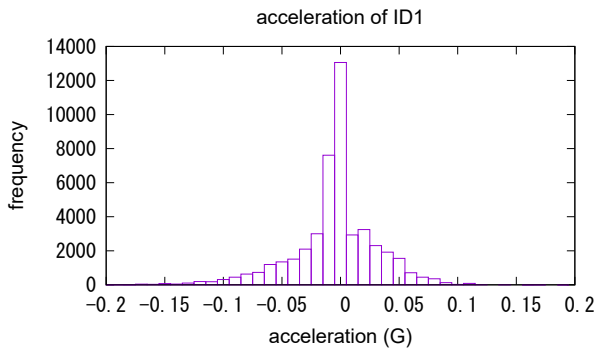


図 1 加速度分布のヒストグラム (ID1)

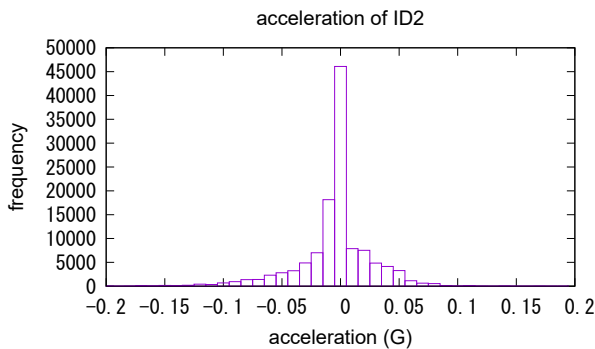


図 2 加速度分布のヒストグラム (ID2)

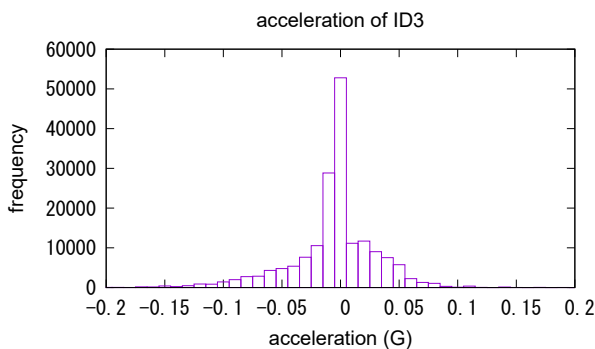


図 3 加速度分布のヒストグラム (ID3)

図 6 に示す。

正規 Q-Q プロットにおいて、青い点（実際の加速度データ）が赤い線（加速度分布が正規分布であると仮定したときの、期待される観測値の分布）に一致するとき、正規分布であると推測できる。図 4、図 5、図 6 のいずれも、Q-Q プロットの両端の部分において、正規分布から外れていることがわかる。

次に、シャピロ-ウィルク検定を実施した。シャピロ-ウィルク検定は、各集団からランダムに 100 個選択したサンプルが、正規分布に従う母集団からとられたものであることを検定する。検定結果の p 値は 3.517×10^{-40} であり、有意水準 5% で帰無仮説 H_0 「サンプルは、正規母集団から選択されたものである」が棄却された。以上より、各車両の加速度分布について、正規性は仮定できない。

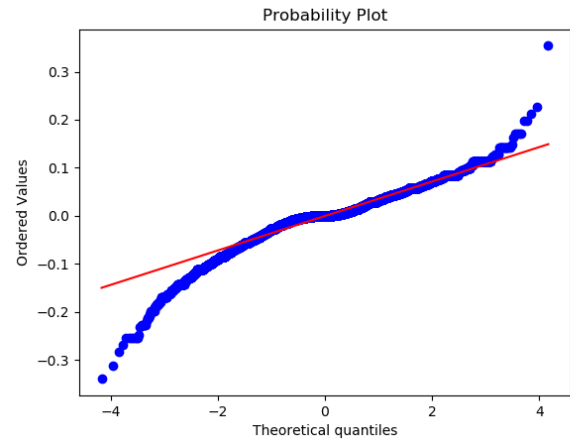


図 4 正規 Q-Q プロット (ID1)

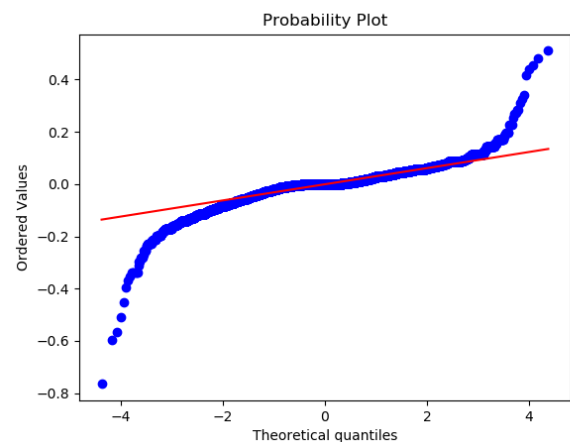


図 5 正規 Q-Q プロット (ID2)

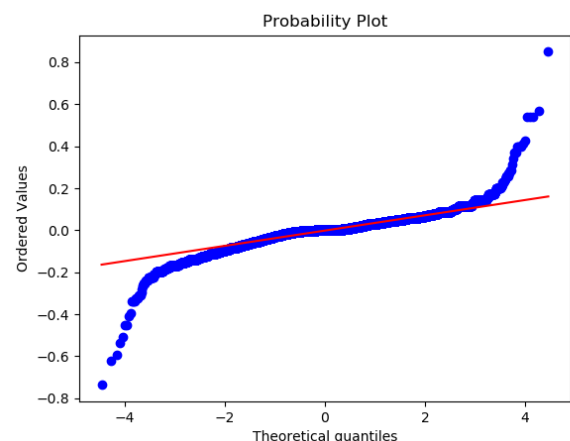


図 6 正規 Q-Q プロット (ID3)

また、等分散性の検定として、ルビーン (Levene) の検定を実施した。ルビーンの検定は、対象とするすべての群の分散が等しいかどうかを検定する。帰無仮説 H_0 は、「すべての群の分散が等しい」である。検定の結果、p 値は 0.7848 となり、有意水準 5% で帰無仮説は棄却されない。以上より、各車両の加速度分布について、等分散であると考えられる。加速度分布に正規性が仮定できないため、加

表 3 時間帯の区分

区分名称	時間帯
早朝	5:00 – 7:00
朝	7:00 – 9:00
日中	9:00 – 17:00
夕	17:00 – 20:00
夜間	20:00 – 24:00

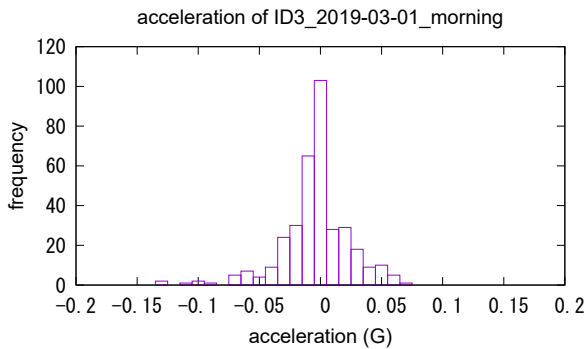


図 7 加速度分布 (ID3・2019 年 3 月・早朝)

速度分布に有意差が見られるかどうかをノンパラメトリック検定により確かめた。具体的には、クラスカル-ウォリス順位検定を実施した。クラスカル-ウォリス順位検定は、対応のない 3 つ以上の群について、差があるかどうかを検定する。帰無仮説 H_0 は「群の間に差がない」である。検定結果の p 値は 0.4804 となり、有意水準 5% で帰無仮説は棄却されない。以上より、加速度分布に有意差があるとはいえない。

6.2 車両、および月・時間帯別に群を分けた場合

データを車両ごとに群分けし、さらに月・時間帯別に群分けした場合の記述統計量を求めた。時間帯区分を表 3 に示す。このように時間帯を分けた理由は、朝および夕方のラッシュ時間帯に、何らかの運行上の特性が出るのではないかと予想したためである。データの群の数は、42 台 × 5 か月 × 5 時間帯区分 = 1,050 群である。代表として、ID3 の車両のデータ 25 群について、記述統計量を表 4 に示す。

また、ID3 の車両について、3 月の加速度分布ヒストグラムを図 7 から図 11 に示す。

ヒストグラムからは、いずれの時間帯においても、加速度の分布は正規分布に近い形であると推測できる。

ID3 各群における、加速度の平均は、およそ 0.000 G である。不偏分散は、表 2 の場合と同様に、0.001 付近の値を取っている。

ID3 各群からおのおの 100 個のサンプルを取り出して、シャピロ-ウィルク検定を実施したところ、p 値は 2.370×10^{-35} となり、帰無仮説 H_0 「サンプルは、正規母集団から選択されたものである」が有意水準 5% で棄却された。これにより、ID3 各群の加速度分布は正規性を仮定

表 4 記述統計量 (ID3)

月・時間	標本数 N	平均 μ	分散 s^2	歪度	尖度
3 月早朝	355	0.000	0.001	-0.779	2.998
3 月朝	3,402	-0.001	0.001	-0.152	9.856
3 月日中	20,116	-0.001	0.001	-1.012	5.912
3 月夕	8,415	-0.001	0.001	0.813	38.413
3 月夜間	7,094	-0.002	0.001	-0.649	5.310
4 月早朝	28	-0.005	0.001	0.032	-3.784
4 月朝	3,526	-0.001	0.002	0.041	-0.928
4 月日中	14,421	-0.002	0.002	0.040	-0.809
4 月夕	8,625	-0.002	0.002	0.040	-0.659
4 月夜間	5,851	-0.002	0.001	0.037	-0.888
5 月早朝	175	0.000	0.001	0.032	-0.691
5 月朝	4,449	-0.001	0.002	0.041	-2.109
5 月日中	15,293	-0.002	0.001	0.037	-0.767
5 月夕	8,428	-0.002	0.002	0.040	-0.407
5 月夜間	6,594	-0.002	0.001	0.036	0.086
6 月早朝	18	-0.001	0.000	-2.166	8.502
6 月朝	3,565	-0.001	0.002	-0.569	31.177
6 月日中	14,972	-0.002	0.001	-1.040	13.132
6 月夕	8,459	-0.001	0.002	-0.515	3.565
6 月夜間	5,737	-0.002	0.001	-0.482	8.229
7 月早朝	328	-0.001	0.000	0.009	-0.919
7 月朝	4,797	-0.001	0.001	0.038	-0.700
7 月日中	17,902	-0.001	0.001	0.036	-0.716
7 月夕	8,177	-0.002	0.002	0.040	-0.595
7 月夜間	6,558	-0.001	0.001	0.037	-0.770

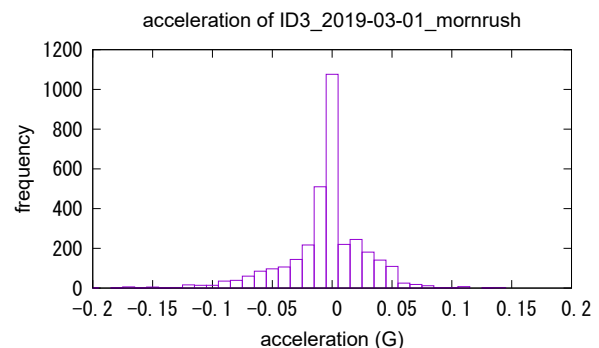


図 8 加速度分布 (ID3・2019 年 3 月・朝)

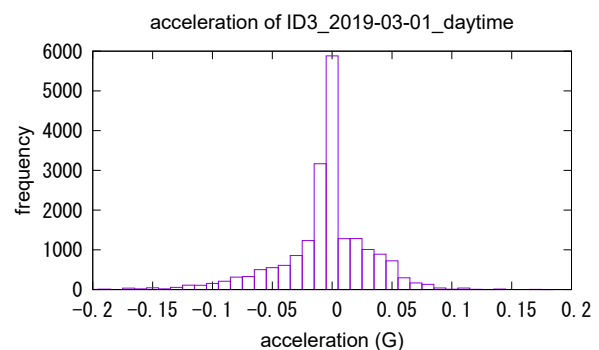


図 9 加速度分布 (ID3・2019 年 3 月・日中)

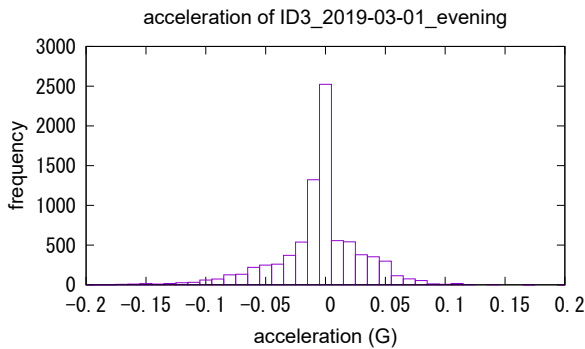


図 10 加速度分布 (ID3・2019 年 3 月・夕)

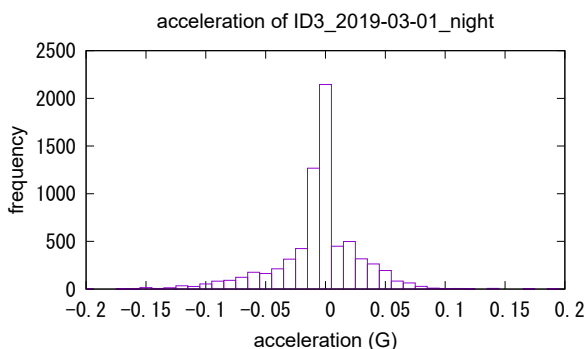


図 11 加速度分布 (ID3・2019 年 3 月・夜間)

できない。また、ルビーン検定の結果は、 p 値が 0.864 となり、帰無仮説 H_0 「すべての群の分散が等しい」は、有意水準 5% で棄却されない。したがって、ID3 各群の分散は等分散であると考えられる。ID3 各群に対して、クラスカル-ウォリス順位検定を実施した結果、 p 値は 0.556 となり、帰無仮説 H_0 「群の間に差がない」は有意水準 5% で棄却されず、ID3 各群の間に有意差があるとはいえない。

他の車両 41 台について、1 台につき各 25 群に対して同様にシャピロ-ウィルク検定、ルビーン検定を実施したところ、いずれもシャピロ-ウィルク検定では帰無仮説 H_0 「サンプルは、正規母集団から選択されたものである」が棄却され、また、ルビーン検定では帰無仮説 H_0 「すべての群の分散が等しい」は棄却されなかった。クラスカル-ウォリス順位検定の結果は、ID10, 21, 37, 41 の 4 台については計算不能ではあったが、残る 37 台についてはいずれも有意水準 5% で帰無仮説 H_0 「群の間に差がない」は棄却されなかった。

7. 考察

加速度の分布に差異が見られなかった原因として、5 か月間にわたるデータを車両ごとに一括して取り扱ったため、大数の法則が作用して、正規分布に近い分布に収束したのではないかと考えられる。しかし、正規 Q-Q プロットやシャピロ-ウィルク検定の結果が示すように、加速度の分布は正規性が仮定できない。一方で、ヒストグラムに

より加速度の分布を観察すると、車両 ID のみでデータを群に分割した場合の分布と、車両 ID, 月, 時間帯で群に分割した場合の分布が似通っていると判断できる。そのため、本研究で扱ったデータでは、車両間の運転特性に有意差が見られないと言える。

8. まとめと今後の課題

本稿では、路線バスのプローブデータから加速度を算出し、その分布を求めた。加速度の分布がバス車両によって異なるかどうかを統計的に検定し、差異が見られないことを明らかにした。差異が見られなかった原因として、大数の法則の作用の可能性を探ったが、正規性が仮定できないことから、その理由は十分に解明できていない。

今後の課題として、加速度分布がどの確率分布に従うかを調査したい。また、バス停間や交差点間といった、特定地点間の加速度分布を求め、各車両のデータ全体から求めた加速度分布との差異が生じるかどうかを、運行ルート、月、日、曜日、時間帯、天気的面から分析して明らかにしたい。

謝辞 本研究は、科研費課題番号 JP15H05708 の支援を受けた。昭和自動車株式会社には、バスの走行記録データ取得の実証実験に協力を頂き、データ分析の許可を頂いた。合わせて感謝する。また、独立行政法人大学入試センターの石岡恒憲教授には、本研究に関して重要な知見と指針とを賜った。紙面を借りて御礼申し上げる。

参考文献

- [1] 小谷野真司, 岡村整, 宮城実, 國領和夫: 加速度分布特性に基づく路線バス運転手のエコドライブ評価, 東京都環境科学研究所年報 (2009).
- [2] 井上健士, 横田孝義, 伏木匠: 加速度歪度を用いた運転特性の検討, 土木計画学研究・講演集 (2002).
- [3] 古屋秀樹, 牧村和彦, 川崎茂信, 赤羽弘和: 車載型センサーを用いた車両挙動特異地点抽出に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集 (2003).
- [4] 西堀泰英, 稲垣具志, 加知範康, 安藤良輔, 三村康弘: 自動車走行時の加速度発生状況と交通事故発生箇所の関連分析, 土木計画学研究・講演集 42 (2010).
- [5] 財津陽亮, 南部繁樹, 米田幸司, 赤羽弘和: バスロケータとデジタコデータによる路線バスの急減速発生状況の分析, 交通工学研究発表会論文集 34 (2014).
- [6] Shapiro, S.S., Wilk, M. B.: *An analysis of variance test for normality (complete samples)*, Biometrika (1965).
- [7] Levene, Howard.: *Robust tests for equality of variances*, Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling (1960).
- [8] Kruskal, Wallis: *Use of ranks in one-criterion variance analysis*, Journal of the American Statistical Association (1952).
- [9] 石村貞夫, 石村光資郎: 入門はじめての分散分析と多重比較, 東京図書 (2008).