

IV - 9

バス運行データを用いた路線バスの走行挙動評価に関する研究

北海道大学大学院工学研究科 学生員 頭川 正信
 北海道大学大学院工学研究科 正員 高野 伸栄
 北海道大学大学院工学研究科 正員 萩原 亨

1. はじめに

拡大を続ける札幌都市圏において、路線バスは重要な公共交通機関である。その一方で走行速度の低下や定時性の欠如、そして北海道における冬季の著しい遅れの発生といった深刻な問題を抱えており、利用者のバスに対する信頼を大きく損なっている。

本研究では札幌市交通局のバス運行データとPTPS区間のバス運行データを用い、路線バスの走行環境(条件)がその運行に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. バスの運行に関わる要因

路線バスの運行時間は、様々な要因によって変化する。その要因を次のように分類した

①直接的要因

- ・道路構造(ボトルネック、勾配、道路幅等)
- ・道路状況(路面状態、混雑度等)
- ・交通管制(信号、バスレーン等)
- ・利用者(乗車人数、降車人数等)
- ・事業者(バス停数、到着間隔、支払方式等)

②間接的要因

- ・気象状況(天候、気温等)
- ・季節 ・曜日 ・時間帯

これを構造化すると図1のようになる。

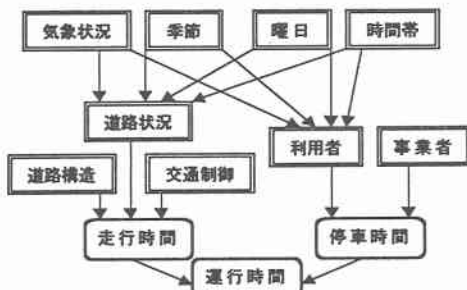


図1 バスの運行に関わる要因

3. バス運行データについて

3.1 札幌市交通局のバス運行データ

3.1.1 概要

札幌市交通局(市バス)では、業務の効率化・適切な運行管理を目的としてバス運行管理システムを導入している。その一環としてバス内に設置された各種センサーで運行上の基礎的データを収集している。データの項目は基本的にバス停の出発時刻と乗降人数である。

3.1.2 データの信頼性

データの信頼性については、過去の研究により、精度の高いものであることが確認されている¹⁾。

3.1.3 分析対象

市バスの路線は70数系統あるが、全ての路線について分析を行うのは時間的に非効率であると判断し、先に示した要因との関連を見出すことが出来るように12系統を抽出した。

時期は季節による違いを明確にするため平成8年2月と9月の平日とし、路線の総所要時間データによる分析を行っている。また朝ラッシュ時・日中は都心向きの便を、夕方は郊外向きの便を分析対象としている。なお平成8年1月は記録的な豪雪に見舞われており、2月においても平年を上回る降雪・積雪があった。

3.2 PTPS区間のバス運行データ

3.2.1 概要

北海道警察では、朝のラッシュ時に路線バスを定刻に運行させるために、特に渋滞のひどい国道36号線の都心向き一部区間に従来からのバスレーンに加え、PTPS(Public Transportation Priority Systems: 公共車両優先システム)を導入している。これは朝の通勤ラッシュ時(7:30~9:00)に国道沿いに設置した光ビーコンとバスに設置されたセンサーとの間で光通信を行い、バスが信号に近づくと信号待ちをなくす

A Study on Bus Traveling Performance Assessment Using of Bus Operation Management Data
 By Masanobu ZUKAWA, Shin-ei TAKANO and Tohru HAGIWARA

るように信号時間を調整し、運行をスムーズにするというものである。平成8年4月に全国で初めて月寒中央通11丁目～南4条西3丁目5.7kmの上り車線に導入され、その後平成9年2月より清田区真栄～南4条西3丁目に延長された。

光ビーコンは停留所の前後に設置され、都心向きの便の車両番号・通過時刻を秒単位で終日記録している。これを用いることで各便の停留所着時刻・発時刻を知ることができる。

3.2.2 データの信頼性

FIPS データは道路沿いに設置された光ビーコンとバスの間で光通信を行った際の記録データである。データの収集がどの程度正確に行われているか検証した。データ収集のミスとして、データの欠落と重複が考えられるが、日別に調査したところその発生頻度は1～3%と小さく、分析にも十分耐えられるものであることが分かった。

3.2.3 分析期間

平成8年9月第1週平日のデータ(92～96)を用いた。バスの運行に介在する要素を絞り込むために、年間で最も安定性が高い9月の平日を選んでいる。

4. 市バスのデータ分析

4.1 運行実績

最初に系統毎の起終点間表定速度を月別・時間帯別に集計した。結果を表1、図2～図5に示す。

またこの後時間帯という言葉を用いるが、札幌市交通局の分類に基づき、以下のように定義する。

朝ラッシュ時：7:31～8:45、

日中：8:46～16:30

夕方：16:31～19:00

4.2 季節ごとの傾向

平均値については、ほぼ全ての系統・時間帯について2月<9月が成り立っている。分散については概ね9月<2月だが、一部の系統において2月の朝ラッシュ時の値が極端に大きくなっているのが特徴的である。

原因として冬季の道路状況の悪化により速度が低下し渋滞に巻き込まれる便が発生するために分散が大きくなるものと思われる。これは冬季のバスが定時性について大きく劣ることを示すものである。

表1 表定速度平均・分散(朝ラッシュ時)

	起点	終点	速度平均		速度分散	
			2月	9月	2月	9月
西21	西28丁目駅	上手稲神社前	13.97	13.68	6.41	4.01
西41	(地)琴似駅	福井えん堤駅	13.33	14.53	11.67	4.80
西45	(地)琴似駅	北海道工業大前	13.12	15.35	35.15	3.07
西53	札幌駅前	啓明(夕)	10.89	12.25	1.84	1.66
南54	札幌駅前	真駒内本町	12.01	12.98	1.66	1.82
南65	中の島駅	真駒内本町	15.08	17.37	16.53	9.27
北72	北24条駅	新川(夕)	12.41	14.41	25.69	11.38
北73	北24条駅	新川(夕)	11.30	13.10	31.98	11.39
東17	バスセンター	北45東8	11.35	16.10	3.52	4.51
東61	環状通東駅	中沼小学校通	15.16	18.94	6.46	4.28
白25	新さっぽろ駅	南郷7丁目駅	8.57	10.18	1.75	1.22
白34	(地)白石駅	北柏山	19.83	23.92	8.28	17.75

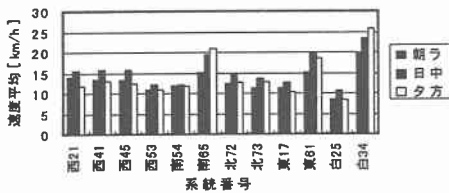


図2 表定速度平均(8年2月)

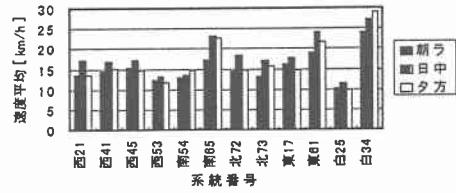


図3 表定速度平均(8年9月)

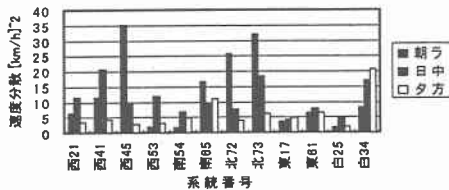


図4 表定速度分散(8年2月)

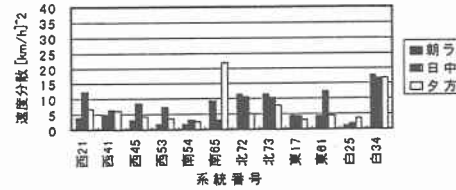


図5 表定速度分散(8年9月)

時間帯別で比べると平均値は日中が最も大きく、常識に一致している。またそれぞれの系統において2月、9月とも各時間帯の変化の傾向は同じである

4.3 都心直通系統

ここでは都心直通系統として、バスセンター・札幌駅前・北1西5・大通西4のいずれかを起終点にもつ系統を定義する。図6、図7は都心直通系統とそれ以外の系統（郊外系統）の速度平均・速度分散を比較したものである。

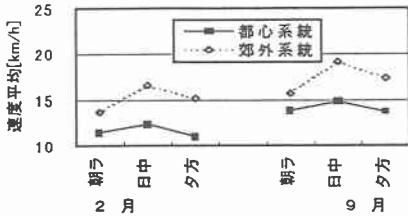


図6 表定速度平均の比較（都心直通系統と郊外系統）

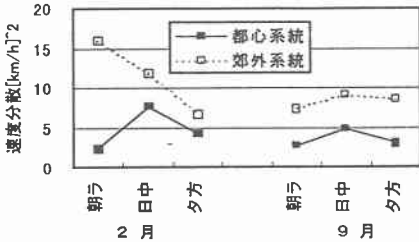


図7 表定速度分散の比較（都心直通系統と郊外系統）

都心直通系統は全ての月・時間帯において郊外系統より速度平均・速度分散共に小さい。これは都心直通系統は常に速度が低い状態で安定していることを示すものである。

4.4 鉄道踏切通過系統

図8は鉄道踏切通過系統とその他の系統に分けて、月別・時間帯別に速度分散を比較したものである。

朝ラッシュ時・日中は踏切通過系統の分散が大きいく。特に2月朝ラッシュ時の踏切通過系統の値が突出している。速度分散が大きいということは、バスの所要時間のばらつきが大きい、すなわち定時性の低下を意味している。踏切を撤去することで、特に冬季の朝ラッシュ時の道路交通が円滑化され、所要時間のばらつきが小さくなるものと思われる。

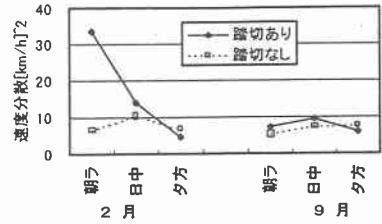


図8 表定速度分散の比較（踏切通過系統と非通過系統）

4.5 バスレーンの存在

各系統とも起終点間の一部区間でバスレーンを走行しており、レーン走行系統・非走行系統といった比較はできない。そこで各系統毎に運行距離に占めるバスレーン設置距離の比をバスレーン比として計算した。これと先に示した速度の平均・分散の相関を調べた。結果を図9、図10に示す。

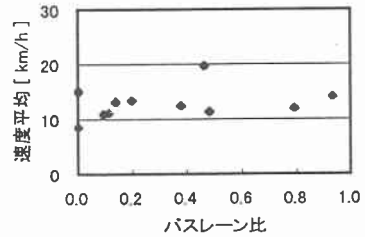


図9 バスレーン比と表定速度平均の関係（2月 朝ラッシュ時）

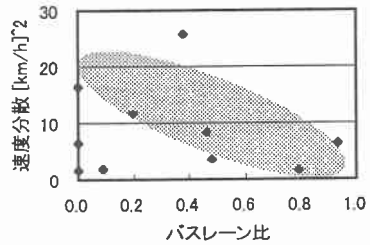


図10 バスレーン比と表定速度分散の関係（2月 朝ラッシュ時）

平均値については、ほぼ横に一直線状に分布している。バスレーン比に関わらず速度はほぼ同じということになり、ここからはバスレーン比が高いほど速度は高くなるとは言えない。しかし逆にバスレーンが設置されたことにより系統間の速度差が解消されたと解釈することができる。

分散については、レーン比・速度分散ともに極度に小さい系統を除けば負の相関を示している（図10 網かけ部分）。バスレーン比が高くなるほど速度分散が低く抑えられると解釈でき、これをバスレーン設置の効果ということが出来る。

5. PTPS データの分析

5.1 運行実績

最初に、PTPS 区間内の表定速度を集計した。また市バスの都心直通系統（9月分）と比較を行った。

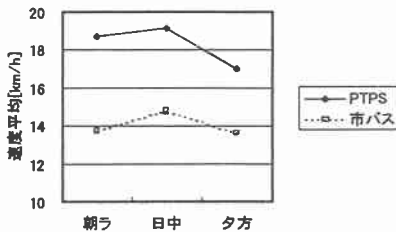


図11 表定速度の平均 (PTPS: 9/2~9/6、市バス: 9月全日)

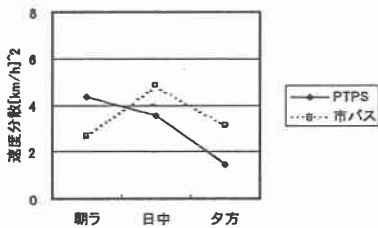


図12 表定速度の分散 (PTPS: 9/2~9/6、市バス: 9月全日)

バスレーンが導入される朝ラッシュ時についてみると、PTPS 区間の方が速度平均が高くなっている。他の時間帯に比べても両者の差が大きく、バスレーン、PTPS が全区間に導入されている効果といえる。一方分散は PTPS 区間の方が大きく、便による表定速度にばらつきがあることを示している。

また PTPS 区間では夕方になると速度・分散ともに大きく低下する。速度が遅い状態で安定することを示しており、一般車両とバスが混在することでバスが常に遅れているものと思われる。

表定速度のばらつきが引き起こす問題について検討する。図2は9月のある平日の朝(7:30~8:30)のバスの運行実績ダイヤグラムである。便によって表定速度が異なるため、速い便が先行する遅い便に

追いつき、ダンゴ状態になって走行している様子が分かる。また都心に近づくにつれてダンゴ状態が増幅される傾向にあることも分かる。ダンゴ運転の発生は特に朝ラッシュ時に顕著である。

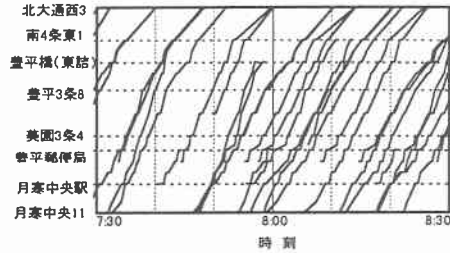


図13 運行実績ダイヤ (平成8年9月4日)

5.2 停車時間の分析

5.2.1 客扱い停車便の抽出

PTPS データでは停留所の前後に設置された感知器を通過した時刻が得られる。この両者の差(出発時刻-到着時刻)には、客扱い時間のほかにも両感知器間の走行時間も含まれるため、厳密な客扱い停車時間を示すものではないが、ここではそれを停車時間として定義する。

図14は、月寒中央10丁目における各便の停車時間をヒストグラムであらわしたものである。

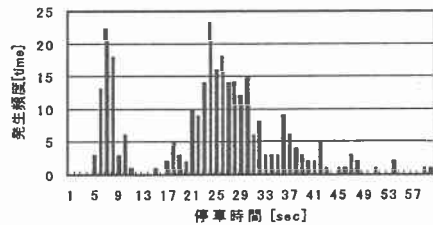


図14 停車時間(出発時刻と到着時刻との差)の分布 (月寒中央10丁目、9/2~9/6)

停車時間13秒付近を境として、前後にピークを持った分布形状をなしている。このうち値の小さい側は停留所を通過する便とみなす事ができる。停車する便と通過する便とでは値に大きな差があることが分かる。ここでは両感知器の間を時速20km以上で通った便を通過便、それ以上かかった便を停車便として分類した。

5.2.2 停留所別・時間帯別の分析

図15・図16は各停留所における停車便の停車時間を時間帯別に集計したものである。

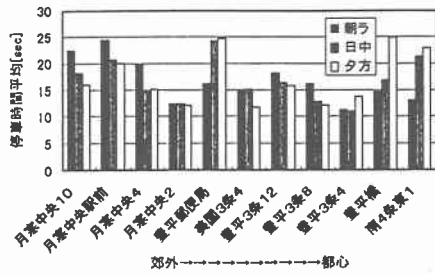


図 15 停車時間平均 (9/2~9/6)

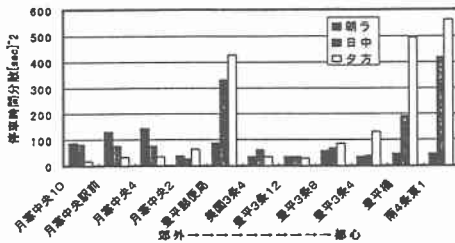


図 16 停車時間分散 (9/2~9/6)

「豊平郵便局」は他の郊外の停留所と異なる傾向を見せている。このすぐ先に大きな通り（環状通）との交差点があり、日中は信号待ちの一般車によってバスの乗降が終了しても出発することができない便があり、データの変動が大きくなるためと思われる。バス走行路内の一般車を排除することでバスがスムーズに出発でき、分散の圧縮に効果があることを表している。都心部の停留所（豊平橋・南4条東1）においてもすぐ先に大きな交差点があり、同様の理由で日中・夕方の分散が大きくなったものと思われる。これ以外の停留所について見ると、郊外の停留所では乗客数の多い朝の平均停車時間が最も長く、分散も大きい。

5.2.3 到着待ち時間と停車時間の関係

バスの停車時間に影響を及ぼす要因として乗降人数が考えられる。今回は停留所の乗降人数が分からないため、前の便からの到着待ち時間を用いた。待ち時間が長くなるほどバス待ちの人数は多くなると考えられるからである。

図 17 ~ 図 19 は停車便について、時間帯別に前の便からの到着待ち時間と停車時間の分布をあらわしたものである。朝ラッシュ時は待ち時間が長くなるほど停車時間が長くなる傾向にある。これは遅れたバスほど停車時間が長くなることを示

しており、ダンゴ運転の発生原因の1つである。日中や夕方は待ち時間によらず一定である。

朝ラッシュ時は乗り込み人数が多い上にバスの乗客数が多いために一人当たりの乗り込み時間が長くなり、その他の時間帯はバスがすいているために、乗り込み人数による停車時間の差があまり生じないものと思われる。

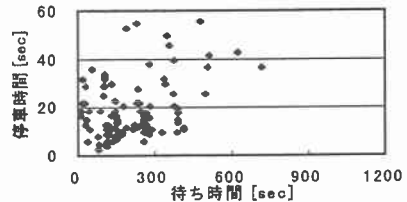


図 17 到着待ち時間と停車時間との関係 (月寒中央駅前、朝ラッシュ時、9/2~9/6)

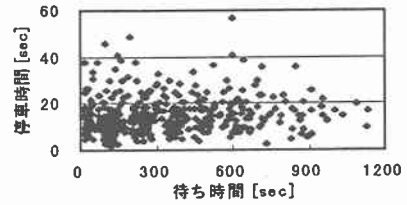


図 18 到着待ち時間と停車時間との関係 (月寒中央駅前、日中、9/2~9/6)

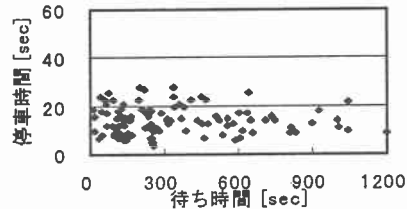


図 19 到着待ち時間と停車時間との関係 (月寒中央駅前、夕方、9/2~9/6)

5.3 走行時間の分析

5.3.1 区間別・時間帯別の集計

図 20、図 21 は区間別に時間帯ごとの走行速度を集計したものである。郊外部では時間帯による大きな速度の変化は見られない。都心近く（豊平3条8~、豊平3条4~、豊平橋~）においては朝ラッシュ時の速度が最も高い。都心部は慢性的に道路が混雑しており、朝はバスレーンによって速度が上昇し、日中は一般車の混入によって速度が低下しているものと思われる。

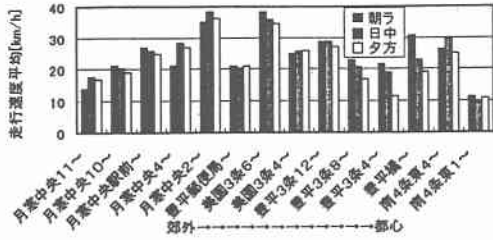


図 20 区間走行速度平均 (9/2~9/6)

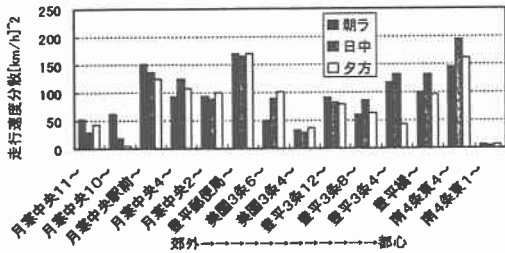


図 21 区間速度分散 (9/2~9/6)

5.3.2 停留所間走行速度の経時変化

図 22 は、PTPS 区間内のある 1 区間（月寒中央駅前～月寒中央 4）の便による走行速度の分布を示したものである。

20km/h 以下と 30km/h 以上と 2 つに分かれて分布している。上下とも同じぐらいの値で推移していることから、この上側の値は信号に引っかからなかった便の走行速度、下側は信号に引っかかった便の走行速度と考えられ、信号停車の有無が走行速度に大きく関わっていることが分かる。

また、朝ラッシュ時に速度の速い便が多数存在している。これは PTPS の信号制御によって、バスの信号待ちが少なくなっているためであり、PTPS の導入効果といえる。この分布傾向は、他の停留所でもほぼ同様である。

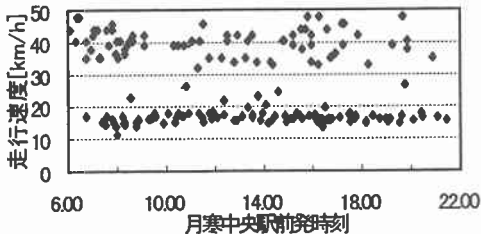


図 22 停留所間の走行速度の分布 (月寒中央駅前～月寒中央 4、9月4日)

6. おわりに

本研究の成果として、以下の 7 点が挙げられる。

- ① 冬季間におけるバスの遅れの実態を明らかにした。
- ② 都心直通系統と郊外系統を比較し、都心系統は速度が低い状態で安定していることを示した。
- ③ 踏切を通過する系統の速度分散が非常に高いことを示し、踏切撤去により道路交通が円滑化されることを示した。
- ④ バスレーン比を用い、バスレーン設定の効果を明らかにした。
- ⑤ 運行実績ダイヤグラムを作成し、ダング運転の発生を指摘した。
- ⑥ 停車時間と前の便からの到着待ち時間を比較し、朝は待ち時間が長いほど停車時間が長くなりダング運転の発生を助長していること、バスが混雑しない時間帯は乗り込み客数と停車時間の関連性が薄いことを示した。
- ⑦ 走行時間について分析を行い、停留所間の走行時間は信号待ちの有無によって大きく変化することを示した。

今回は運行時間について分析を行ったが、乗降人数や一般車両の速度といった他のデータによるアプローチによって新たな傾向が見出されるものと思われる。

また、分析結果をシステムダイナミクスに適用することによりバスの走行挙動をシミュレーションすることも可能である。現在モデルの構築に取り組んでおり、シミュレーション結果については講演時に明らかにしたい。

最後に今回の分析データの入手に当たり、札幌市交通局自動車部の大中康彰係長はじめ関係者の方々、北海道警察交通管制課の増山芳邦課長には大変お世話になりました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 鹿野島秀行：「都市交通計画におけるバス運行データの活用性に関する研究」北海道大学修士論文 1996.3