

パルスタイムテーブルシステムを導入した バス交通の費用に関する研究

松岡 薫¹・猪井 博登²・土井 健司³

¹学生会員 大阪大学大学院 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail:matsuoka.kaoru@civil.eng.osaka-u.ac.jp

²正会員 大阪大学大学院助教 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail:inoi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

³正会員 大阪大学大学院教授 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail:doi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

地域公共交通としてのバス路線網の維持のためには、利便性の向上による利用の促進が不可欠であり、利用環境改善のための新たな投資が求められる。そこで、利便性を向上するバス交通の施策としてパルスタイムテーブルシステムにより運行される幹線支線分離型路線網に着目する。幹線支線分離型の路線網は幹線と支線を組み合わせて構成されるため、各系統の路線長は比較的短くなり、定時性が高くなる。またパルスタイムテーブルシステムは幹線と支線での乗り継ぎの利便性を確保する。本稿は、これを導入したときの費用を放射状に広がる路線網と比較することによって、バス事業に与える影響を検討した。分析の結果、パルスタイムテーブルシステムにより運行される幹線支線分離型の路線網の導入は運行費用の面では運営に大きな影響を与えないことを示した。

Key Words : public transportation plan, public transportation operating, feeder bus

1. はじめに

乗合バスの輸送人員は1970年に100億人を数えたのをピークとし、減少を始め、2008年には約60%減少した¹⁾。輸送人員の低下は収入の低下を招いている。路線バス事業単体では事業者の経営努力だけで路線バスの維持は困難となっている。しかしながら、バスは外出手段の役割を担うため路線の維持は必要不可欠である。輸送人員の減少に歯止めをかけるため、利用者にとっての利便性向上等、利用環境を改善する取り組みが必要である。本研究では定時性の向上による利便性の向上に着目する。定時性の向上が期待されるパルスタイムテーブルシステム(Pulse Timetable System以下PTSと省略)により運行される幹線支線分離型の路線網を、バス交通に導入することを検討する。

本研究では、PTSにより運行される幹線支線分離型の路線網を導入したときの運行費用への影響を、既存の路線バスでよく見られる放射状に広がる路線網によるバス運行との比較により把握し、PTSの導入可能性を検討することを目的とする。運行費用の比較方法として、バス事業は労働集約型産業で運行費用の約60%が人件費²⁾であることより運転士の人件費に着目する。

2. 幹線支線分離型の路線網とパルスタイムテーブルシステム

(1) 幹線支線型の路線網

既存の路線バスの路線網は路線系統が重複している区間が多く存在している。本研究で、放射状に広がる路線網で路線系統が重複している区間を幹線とし、それ以外の路線を支線とする。幹線と支線に分離することで、放射状に広がる路線網と比較して、短い路線網で構成されるので定時性が確保されやすい。

幹線と支線に分割することにより、乗り継ぎが生じる。ここでの乗り継ぎで長い待ち時間を発生させないために、PTSを導入する。

(2) パルスタイムテーブルシステム

この節は加藤³⁾による文献を参考にする。

PTSは、スイス連邦鉄道株式会社が1987年度に計画したRAIL2000のなかで提案されたシステムである。この計画の目的は、駅での乗り継ぎの利便性の向上であった。乗り継ぎの利便性を向上したダイヤを導入した後は6ヶ月間で、改良した路線では約20%の旅客の増加が

あった。のことは公共交通においてサービスレベルを上げることが、輸送人員を確保につながることを示している。

PTS では鉄道の運行はパターンダイヤで行われ、ハブ駅での各路線の相互の乗継が確保されている。ハブ駅ではほぼ同時刻に各方面からの列車が到着し、相互の乗り継ぎのあとほぼ同時刻に発車していく。スイスではハブ駅では周期 30 分のパターンダイヤで運行されていて、列車が毎時 0 分と 30 分あるいは毎時 15 分と 45 分の少し前に到着するように設定されていて、乗り継ぎを可能にしている。

(3) PTS に関する既往研究

PTS に関する研究は日本でも行われており、波床らの研究⁴⁾では PTS を成立させる条件を様々な形の路線網で一般化している。野中らによる研究⁵⁾では、波床らの研究⁴⁾で一般化した条件を京都市内交通の骨格をなす鉄軌道ネットワークへ適用することを検討している。そしてそのネットワークのなかで PTS を構築し、出発地から目的地への乗り継ぎの利便性を高められるかについて検証している。

このように PTS を成立させる条件を用いて鉄軌道に導入する研究はされているが、日本において PTS をバスに導入すること検討した研究はみられない。

3. 人件費の評価方法と乗務担当運転士の決定

(1) 人件費の評価方法

人件費の評価は運転士数と拘束時間(T)で行う。運転士数は路線を1日運行するための必要な運転士の人数で、拘束時間は必要な運転士らの勤務時間の合計である。勤務時間はバスに乗務して運転している時間と待機している時間が含まれる。

また労働の効率性を評価するために、運転時間(t)/拘束時間(T)の値を用いる。運転時間は、路線を1日運行したときの総運転士の運転時間の合計を表す。t/Tの値が大きいほど、待機している時間が短く労働の効率性が高い。

運転士数・拘束時間(T)・運転時間(t)の数値を算出するためには、各便の乗務担当運転士を決定して勤務状態を知る必要がある。

(2) 乗務担当運転士の決定方法

実際の運転士の配置方法には、(A)前日までに乗務担当運転士を決定する方法と、(B)運行状況に即して当日に乗務担当運転士を決定する方法がある。(A)はゆとりをもって人員を確保するので、遅延なく運行した場合は運転士の待機時間が長くなり、労働の効率性が悪くなる。(B)は待機時間が出来るだけ短くなるように詰め

て運転士を配置できるので、余分な人件費が発生しない。(B)の方が少なく人件費を見積もることが出来るので、本研究では(B)を採用する。

(3) 運転士の労働条件

各便の担当運転士を決定する際に、労働時間に関する条件を組み込む必要がある。ここで厚生労働省が提示している「バス運転者の労働時間等の改善基準のポイント」⁶⁾に記述されている労働条件で、本研究で1日当たりの勤務表を作成する際に関わる条件を以下に参照する。

1) 1日の拘束時間は13時間以内を基本とする。

本研究では乗務開始前と乗務終了後の朝礼などの業務時間があることを考慮して、乗務による拘束時間を12時間以内とする。

2) 1日の運転時間は2日平均で9時間が限度である。

本研究では1日9時間の運転を限度とする

3) 連続運転時間は4時間が限度である。

休憩時間に関しての基準であり、バス運転者の労働時間等の改善基準のポイント⁶⁾には「運転開始後4時間以内又は4時間経過直後に運転を中断して30分以上の休憩を確保」とある。本研究では待機時間が30分未満の場合は待機時間を休憩時間とみなさず連続乗務を行っているとする。また、待機時間が30分以上の場合は、休憩時間と換算する。

(4) 乗務担当運転士の決定

乗務担当運転士の決定は、発車時刻が早い便から乗務可能な運転士を探索する。つまり、拘束時間が長い運転士から乗務可能どうかを判断して、乗務可能な運転士が見つかるまで探索を行う。拘束時間の長い運転士から探索するのは、労働基準を満たす範囲でできる限り勤務を長くして、運転士の収入を安定させるためである。各運転士が乗務可能かどうかの判断のポイントは以下の2点である。

1. 判断対象の便の発車地点に待機しているかどうか。
2. 「(2)運転士の労働条件」で示した労働条件を満たしているかどうか。

図-1は運転士を配置する際のフローである。

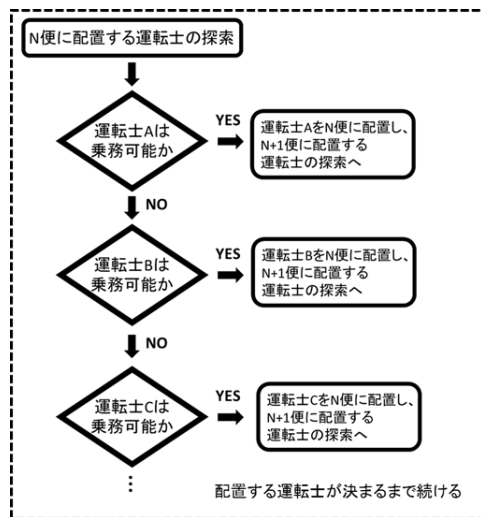


図-1 運転士配置フロー

4. ケーススタディ

(1) ケーススタディの設定

(a) 路線

放射状に広がる路線と幹線支線分離型の路線を設定する。

<放射状に広がる路線>

放射状に広がる路線(図-2)は地点Aと地点Bを繋ぐ系統と地点Aと地点Cを繋ぐ系統の2系統から構成され、それぞれの系統の走行時間は等しいものとする。これを路線1とする。

図-2の1マスは、走行時間 $\times 1/12$ の時間を表す。赤と緑のマスが縦に2マス並んでいる区間は、2系統が同じ道路を通っていることを示す。

<幹線支線分離型の路線>

幹線支線分離型の路線2~4は(図-2)は、B間とAC間に幹線と支線の相互に乗継ができる拠点Dを設けていて、3つの系統で構成される。幹線はAD間で、支線はBD間・CD間とする。放射状に広がる路線網と同じようにAB間とAC間の走行時間は等しいものとする。そして幹線の長さによる費用の変化を考察するために、乗り継ぎの拠点の位置Dが異なる3種類の路線を仮定する。

路線2は幹線の走行時間がAB間・AC間の予定走行時間の1/3を占める路線で、路線3は幹線の走行時間がAB間・AC間の走行時間の1/2を占める路線、路線4は幹線の走行時間がAB間・AC間の走行時間の2/3を占める路線である。

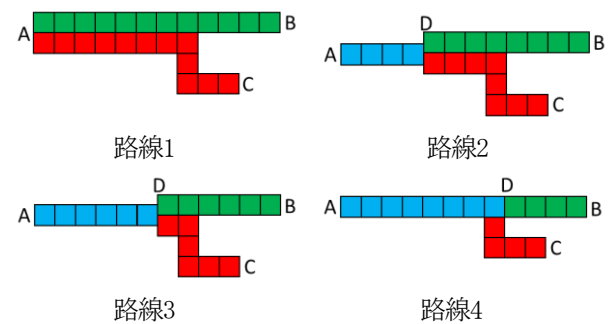


図-2 路線

(b) 走行時間

<遅れがない場合の走行時間>

AB間・AC間の遅れがない場合の走行時間は60分とする。

<遅れがある場合の走行時間>

そして遅れによるAB間・AC間の走行時間が「遅れなしの走行時間 $\times 70/60$ 」となるものをタイプ2、「遅れなしの走行時間 $\times 80/60$ 」となるものをタイプ3とする。遅れを設定するのは運行の余裕時間を見込んだときの費用変化を評価するためだ。

幹線支線分離型の路線2~4においてはAB間・AC間の遅延時間の1/2をそれぞれ幹線系統と支線系統に発生させる。

(c) 周期

パルスタイムテーブルシステムを鉄道に導入して成功を収めているスイスでは、ハブ駅間で30分の周期で運行している。これを元に周期は遅れがない場合の走行時間の1/2とする。

(d) 運行本数

運行本数は、上りと下りともに32本/系統/日とする。路線2~4の幹線系統の区間は路線1で2系統あった部分を1系統に統合しているため、運行本数に違いがある。これを考慮して、幹線支線分離型の路線の幹線系統は、同時刻に2本運行する64本/系統/日のケースも設定する。運行本数によって幹線系統区間での輸送可能人数に差異がある。幹線系統の区間の運行本数が32本/系統/日のケースを幹線の輸送人数が少ないケースとし、64本/系統/日のケースを幹線の輸送人数が多いケースとする。(図-3参照)

また、運行本数が64本/系統/日のケースをタイプ1~3に対応してタイプ1'~タイプ3'とする。

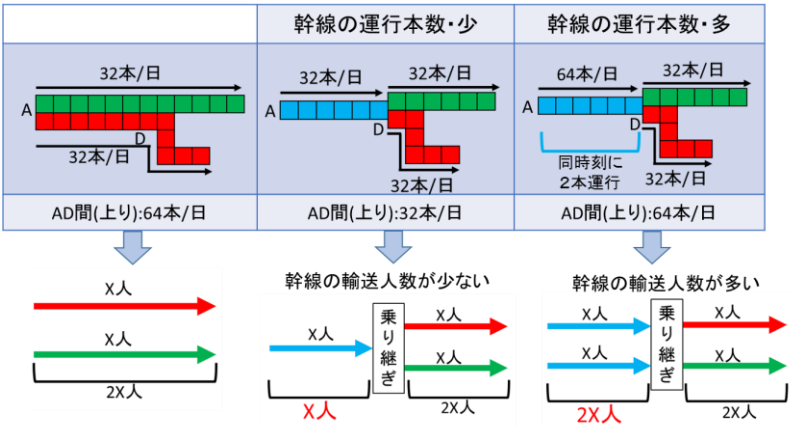


図-3 運行本数

(2) タイムテーブル

路線1のタイムテーブルは周期と運行本数に従って作成する。路線1の各系統の始発を6:00として、30分周期で32本するので、終発は21:30となる。

本研究で、幹線支線分離型の路線 2～4 は幹線と支線の乗り継ぎ拠点は1つである。これは波床らの研究⁴⁾によると閉ループを持たないネットワーク(図-4)である。これははA～Fのいずれかを出発してXを経由してA～Fのいずれかに向かう路線網である。『唯一の乗り換え拠点しか持たないネットワークの場合は、周期さえそろえておけば、各リンクの走行時間に関する制約はまったくない。Xへの到着時間を決めれば、A～Fの出発時刻あるいは到着時刻はAX～FXとの各リンクの走行時間だけを用いて決めることができる。』⁵⁾

そこで、乗り継ぎ地点の到着時間を決め、各系統の走行時間を用いて出発時刻を設定する。乗り継ぎ地点Dの到着時刻は路線1のタイムテーブルに従って、運行した場合にD点を通る時刻とする。

また波床らの研究⁴⁾によるとパルスタイムテーブルシステムでは乗り継ぎ時間を走行時間に含める。本研究では乗り継ぎ時間5分とし、各系統の予定走行時間+乗り継ぎ時間を、タイムテーブルを作成する時の走行時間とする。

路線1～4の発車時間は表-1のようになる。

表-1 発車時間

路線	系統	発車時間
1	A→B	毎時0分・30分
	A→C	
	B→A	
	C→A	
2	A→B	毎時25分・55分
	D→B	毎時20分・50分
	D→C	
	D→A	毎時5分・35分
	B→D	
	C→D	
3	A→B	毎時25分・55分
	B→D	
	C→D	
	D→B	毎時0分・30分
	D→C	
	D→A	
4	A→B	毎時25分・55分
	D→B	毎時10分・40分
	D→C	
	D→A	毎時15分・45分
	B→D	
	C→D	

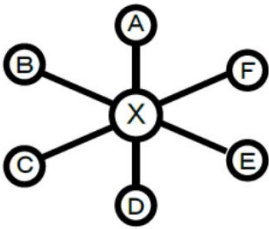


図-4 閉ループを持たないネットワーク⁴⁾

5. 結果と考察

計算結果を表-2に示す。

表-2 結果一覧

路線	タイプ	運転時間 t(分)	拘束時間 T(分)	t/T	運転士数 (人)
1	1	7680	10800	0.71	24
	2	8960	12720	0.70	24
	3	10240	12800	0.80	28
2	1	6400	9225	0.69	19
	1'	7680	12530	0.61	22
	2	7360	11820	0.62	26
	2'	8960	14640	0.61	32
	3	8320	13875	0.60	27
	3'	10240	17500	0.59	36
3	1	5760	9645	0.60	21
	1'	7680	12860	0.60	28
	2	6720	10970	0.61	24
	2'	8960	14640	0.61	32
	3	7680	13020	0.59	24
	3'	10240	17295	0.59	32
4	1	5120	8120	0.63	16
	1'	7680	11240	0.68	24
	2	6080	10010	0.61	23
	2'	8940	14480	0.62	32
	3	7040	12090	0.58	24
	3'	10240	17090	0.60	34

(1) 労働時間の効率性

路線1～4の労働効率性の指標t/T(t:運転時間 T:拘束時間)の平均を算出した(表-3)。路線1のt/Tは路線2～4のt/Tよりも大きい値をとっており、パルスタイムテーブルシステムにより運行される幹線支線分離型の路線は放射状に広がる路線と比較すると労働効率性が低いと言える。幹線支線型路線網は1系統の走行時間が放射状に広がる路線よりも短いため、待機時間を頻繁に有することになり、これが蓄積するからであると考えられる。

表-3 t/T 平均

	路線1	路線2	路線3	路線4
t/T平均	0.73	0.63	0.60	0.62

(2) PTS導入の影響

PTSを導入したときの拘束時間と必要運転士数への影響を考察する。遅れなしの走行時間が60分の場合の幹線の輸送人数が少ない場合と多い場合について述べる。

<拘束時間>

・幹線の輸送人数が少ない場合

路線2～4のほとんどが路線1よりも拘束時間が短くなっている。路線2のタイプ2のみ路線1の値を上回った。路線2～4の平均拘束時間は路線1の約0.9倍となった。

平成26年賃金構造基本調査⁷⁾を用いて、費用差を計算すると、1日当たり約30,134円減となった。

また、幹線が長いほど拘束時間が短くなることがわかった。

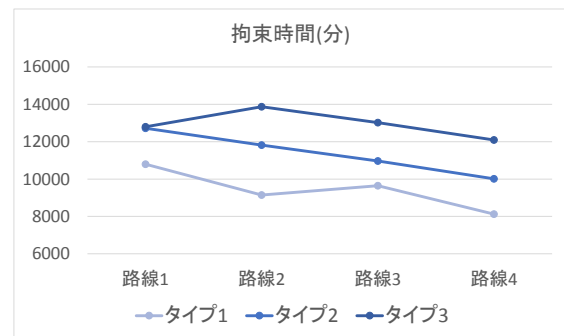


図-5 拘束時間 幹線の輸送人数が少ない

表-4 路線1に対する拘束時間の割合

路線1に対する拘束時間の割合		
路線2	路線3	路線4
0.96	0.93	0.83

・幹線の輸送人数が多い場合

全てのタイプにおいて、路線2～路線4が路線1の拘束時間を上回った。路線2～4は、t/T(t:運転時間 T:拘束時間)が路線1より小さいため(表-3)だと考えられる。路線2～4の平均拘束時間は路線1の約0.9倍となった。平成26年賃金構造基本調査⁷⁾を用いて、費用差を計算すると、1日当たり約62,514円増となった。

また遅れが発生すると路線2～4の間にほとんど差が発生しなかった(図-6)。

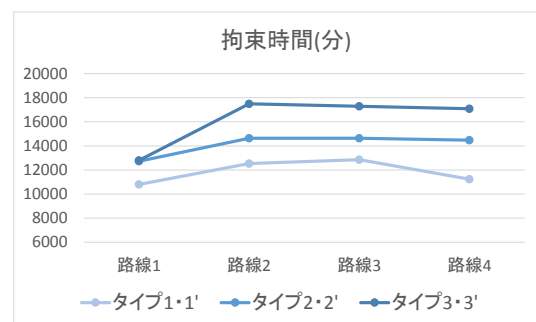


図-6 拘束時間 幹線の輸送人数多い

<運転士数>

PTSを導入すると拘束時間と同様に、幹線の輸送人数が少ない場合は路線1に対して路線2～4平均で約0.9倍、幹線の輸送人数が多い場合は路線2～4平均で約1.2倍の運転士数となった。

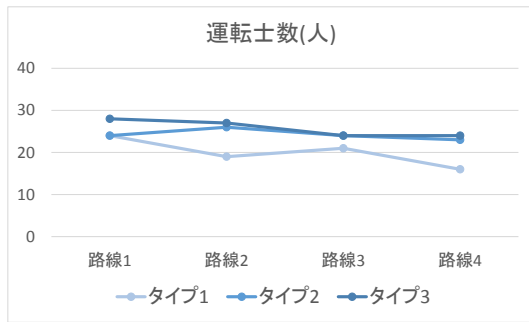


図-7 運転士数 幹線の輸送人数が少ない

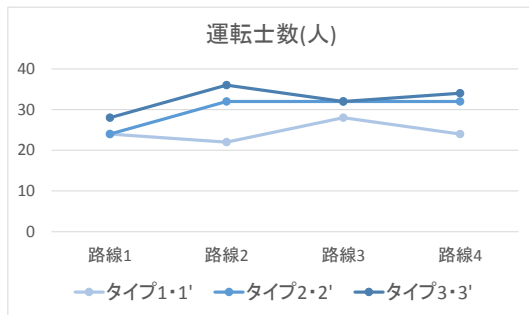


図-8 運転士数 幹線の輸送人数が多い

6. おわりに

幹線の輸送人数が少ないケースでは路線2～4の平均で拘束時間・運転士数ともに約10%の減少があった。幹線の利用者数の少ない地域での運行では人件費が減少する。幹線の輸送人数が多いケースでは路線2～4の平均で拘束時間・運転士数ともに約20%の増加があった。幹線の利用者数が多い地域では人件費が増加する。双方のケースともに拘束時間や運転士数に急激な増減はみられなかった。

定時性を向上するPTSにより運行される幹線支線分離型の路線の導入は運行費用の面で運営に大きく影響しないことがわかった。

参考文献

- 1) 国土交通省：自動車関係情報・データ、バスの車両数、輸送人員及び走行キロ, 2016
<http://www.mlit.go.jp/com-mon/000117169.pdf> (2016/3/31 アクセス)
- 2) 国土交通省：コラム 1 バス事業者の経営状態、経費構成等, 2012
<http://www.tb.mlit.go.jp/kinki/kansai/program/column01.pdf> (2016/2/9 アクセス)
- 3) 加藤浩徳：スイスの都市間鉄道サービス改善に向けた取り組み：RAIL2000 プロジェクトとその後の SBB の研究開発, 運輸政策研究, Vol. 9, No2, 2006
- 4) 波床正敏・中川大：公共交通網におけるパルスタイムテーブルシステム成立条件に関する研究, 土木計画学研究論文, Vol124, no. 4, 2007
- 5) 野中邦宏・波床正敏：都市内鉄軌道へのパルス・タイムテーブル・システム導入に関する研究, 土木計画学研究講演集, 42CD-ROM, 2010
- 6) 厚生労働省：バス運転者の労働時間等の改善基準のポイント, 2015
<http://www.mhlw.go.jp/newinfo/kobetu/roudou/gyousei/kantoku/dl/040330-11.pdf> (2016/2/9 アクセス)
- 7) 厚生労働省：平成 26 年賃金構造基本調査、一般労働者、職種、表番号 1、職種別きまって支給する現金給与額、所定内給与額及び年間賞与その他特別給与額
https://www.es-tat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&tcID=000001054146 (2016/2/9 アクセス)

(2016. 4. 22 受付)

OPERATIONAL COST OF BUS TRANSPORT WITH PULSE TIMETABLE SYSTEM

Kaoru Matsuoka, Hiroto INOI and Kenji DOI