

公共交通部会・調査報告

担当副代表幹事 北 村 直 樹  
幹事・部会長 鈴 木 孝 尚

# 公共交通によるまちづくり～検討ツールの開発(1)～

群馬工業高等専門学校環境都市工学科准教授 野村 和宏

## 1. 昨年度報告との関係

2007年度は、公共交通サービス提供地域(TSA)の提案<sup>4)</sup>を行った。バスを中心としたまちづくりにおける沿線人口と路線サービスの関係を定量的に求める方法である。勿論、鉄道にも展開ができるものである。併せて、コンパクトシティと公共交通との関係、本県の公共交通網の課題等について議論した。本年度は、その継続として、次の3点について議論を行った。

- ① バス運行管理システムの構築：TSA 実現のために中心となる、路線の運行に伴う車両数・乗務員数の算定システムの再構築を行った。
- ② 列車挙動システムの構築：本県東毛地区には多くの鉄道単線が存在する。その路線の運行経費削減、運行本数増等を図るためにはDMV 導入等の検討を必要とする。その基礎となる単線における列車挙動を再現するシステムの開発を行った。
- ③ 都市空間再現パースの作成：LRT 等の公共交通が導入された場合、都市空間がどのように変化するかを描くことを目的とする。トヨタ自動車が提案している仮想都市「トヨタメタポリス」の公共交通版である。従来のパースとは異なり、表示する要素を固定化することにより表示結果に客観性をもたせることを意図したものである。住民の合意形成、イメージ共有において意義があると考えられる。市販ソフトウェアが高価であったため着手はできなかった。

本稿では、一応の成果が得られた①②について報告する。

## 2. バス運行管理システムの構築

### 2-1 本モデルの特徴

本モデルは、対象となる全路線の何れにおいても共通な車両・乗務員の稼働条件をもとに、運行システムに応じた必要車両数・乗務員数を求めるシミュレーションモデルである。具体的には、表-1に示す制約条件を下に、各路線の出発ダイヤを担当する乗務員と車両を決定するモデルである。モデルの特徴は次の通りであり、地域のモビリティと運行経費の議論に資するものとする。

- (1) 運行時間帯を1日とする：バスの運行上においては、ピーク時とオフピーク時の運行の差による余剰が発生するが、その活用は重要な課題であり、これを論ずるためにはピーク時のみでは対応が困難である。また、地域のモビリティの確保においては、オフピーク時も対象とすべきであるとの認識によるものである。地域のモビリティは、計算の条件である各路線の時間帯別運行ダイヤと路線長(1往復の所要時間)を通じて具体的に設定できる。
- (2) 車両数・乗務員数の同時算出：これらは、各路線の運行頻度と路線長の関数であると共に、実際上の路線網形成の制約条件となるものである。バス路線網設定に関する既往の研究においてはモデル構築上の煩雑さを避けるため車両数のみを対象としているが、地域のモビリティの確保からは両者に着目する必要があることは言うまでもない。
- (3) 運行システム・乗務員労働条件の導入：車両数・乗務員数の算出において、現実の状況の再現を図ると共に、同一の労働条件下において運行システム間の比較が可能であり、地域に応じた運行システムの検討が可能となる。

筆者は本モデルを1995年に構築した<sup>1)</sup>。この種のモデル(割当モデル)は一般的に最適解(整数解)を持たないケースが多い。また、最適解が得られたとしても、乗務員数・車両数からみた場合、その代替案は多数存在する。このため、本モデルのようなヒューリスティックなアプローチの方が実用性が高いと考えられる。このようなシステムを保有するバス事業者においても、その実際の活用は新規の割当計画が労働条件を満足するか否かのチェック程度に限定されている状況からみても同様のことがいえる。このような立場から、1995年に本モデルを提案し、バス路線網の形態に関する基礎研究<sup>2)3)</sup>に使用してきた。昨年度報告<sup>4)</sup>における「公共交通サービス提供地域」もその応用のひとつである。提案した責任上、まちづくり関係者の誰もが容易に公共交通の計画における計算ツールを提供する必要があるとの認識から、今回は、そのアルゴリズムをより合理化すると共に、利用しやすい環境を確保するためにEXCELマクロへの変換を行った。併せて、全ての代替案の検討が可能ないように情報保存形式を変更したが、代替案の算定ならびに比較検討に関しては来年度以降実施する予定である。

表 - 1 モデルにおける入力要素

入力情報	番号	内容の概要
バス路線情報	1	路線数
	2	時刻表の下限時間帯
	3	時刻表の上限時間帯
	4	路線別の起点・終点別折返し時分
	5	時間帯別運行本数(路線別)
	6	出発時刻と所要時分(時間帯別・路線別)
車両割当関係	7	車両数の上限値 [台]
	8	車両の運行回数上限値 [回/台]
乗務員の割当	9	乗務員数の上限値 [人]
	10	乗務員の乗務回数上限値 [回/人]
	11	次回乗務までの余裕時分
	12	業務開始後の休息開始時分
	13	乗務員の拘束(勤務)時分
	14	休息時分
	15	ハンドル時分の上限
その他の条件	16	中休制の稼働有無
	17	中休制の稼働情報
	18	乗務員の選択基準(乗務可能者集合からの選択基準:6タイプ)
	19	車両の選択基準(運行可能車両集合からの選択基準:5タイプ)
	20	起点～基地間の移動時分
	21	基地での始業点検時分
	22	基地での終業点検時分
運行システム	23	表参照
デバック情報	24	job-streamの確認内容のタイプ(6タイプ)

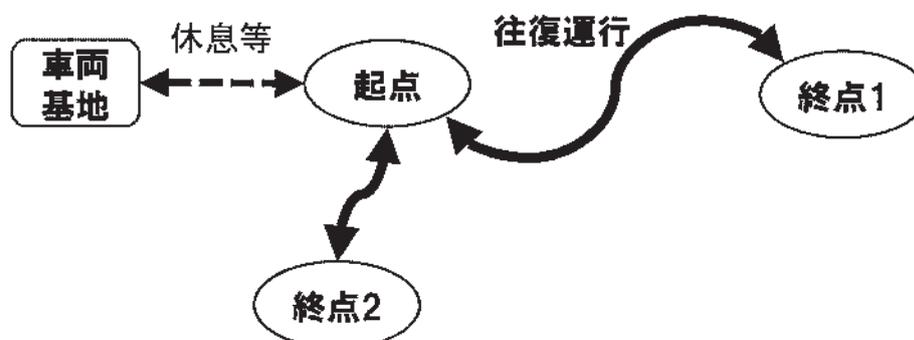


図 - 1 モデルにおける路線形態

## 2-2 運行システム

運行システムはバス事業者が設定できる運行管理の方式であり、本システムでは乗務員割当と車両割当の組み合わせによって6種類を設定した(表-2)。運行スケジュールを有する場合における現実のシステムの大部分はこの範疇に入るものと考えられる。

車両の割当は、バス車両が最初に割当てられた路線を運行終了まで運行するもの(以下、1路線固定運行)と全路線の運行が可能なもの(以下、複数路線運行)に分けられる。乗務員の割当は、各乗務員に対して担当の車両が決められているもの(以下、担当車両制あるいは1人1車制)、担当の車両を決めずに全車両の選択が可能なもの(以下、自由車両制)に分けられる。担当車両制は、乗務員が勤務終了時まで1台の車両を担当するシステムである。したがって、乗務員が休息する場合には車両も稼働を休止し、その乗務員が勤務終了後は別の乗務員が引き継ぐ。運行ダイヤにもよるが、1台の車両は1～3名の乗務員によって運行される。1人1車制も同様のシステムであるが、その乗務員が勤務終了後は車両も稼働を停止することになる。一方、自由車両制は稼働状態下にある車両を割当基準に選択するシステムである。したがって、担当車両制の場合と異なり、乗務員が休息する場合もその車両は稼働を休止することはない。なお、1人1車制は発展途上国で用いられているシステムを想定した。

表-2 運行システム

		乗務員割当		
		担当車両制	自由車両制	1人1車制
		担当車両のみを乗務	担当車両の制約なし	担当車両のみを乗務
車両割当	1路線固定 車両の運行は、特定の1路線に固定する	(車両) 終日同じ路線を運行し、通常1～3人の乗務員が乗務する。	(車両) 終日同じ路線を運行し、複数の乗務員が乗務する。	(車両) 終日同じ路線を運行し、1人の乗務員が乗務する。担当乗務員の乗務終了時点で、車両も運行を停止する。
		(乗務員) 乗務員は、勤務終了まで特定の1台の車両を担当する。	(乗務員) 乗務員は、勤務終了まで複数の車両を担当する。	(乗務員) 乗務員は、勤務終了まで特定の1台の車両を担当する。
	複数路線 運行における路線制約なし	(車両) 終日複数の路線を運行し、通常1～3人の乗務員が乗務する。	(車両) 終日複数の路線を運行し、複数の乗務員が乗務する。	(車両) 終日複数の路線を運行し、1人の乗務員が乗務する。担当乗務員の乗務終了時点で、車両も運行を停止する。
		(乗務員) 乗務員は、勤務終了まで特定の1台の車両を担当する。	(乗務員) 乗務員は、勤務終了まで複数の車両を担当する。	(乗務員) 乗務員は、勤務終了まで特定の1台の車両を担当する。

### 2-3 乗務員の稼働

路線は起点～終点間の往復運行を行い、その起点における出発ダイヤ時刻と往復所要時分を与件とする(往復所要時分は、同一路線であっても、ダイヤ毎に異なっても良い。図-1参照)。なお、往復運行の後、再び起点に到着する時刻を帰着時刻(出発時刻+往復所要時分+余裕時分)と定義した。休息が発生していない場合には、同時にこれが次回乗務可能時刻となる。各乗務員の稼働の推移を図-2に示す。なお、乗務員の初回乗務時刻は初回に乗務を担当する路線の起点における出発ダイヤ時刻とし、それが決定した時点で稼働条件(表-3)に基づいて業務開始時刻、乗務終了時刻、業務終了時刻が設定されることになる。各乗務員は初回乗務時刻～乗務終了時刻の間で、最低1回の休息を確保し、休息行動以外の時間において乗務が可能となる。

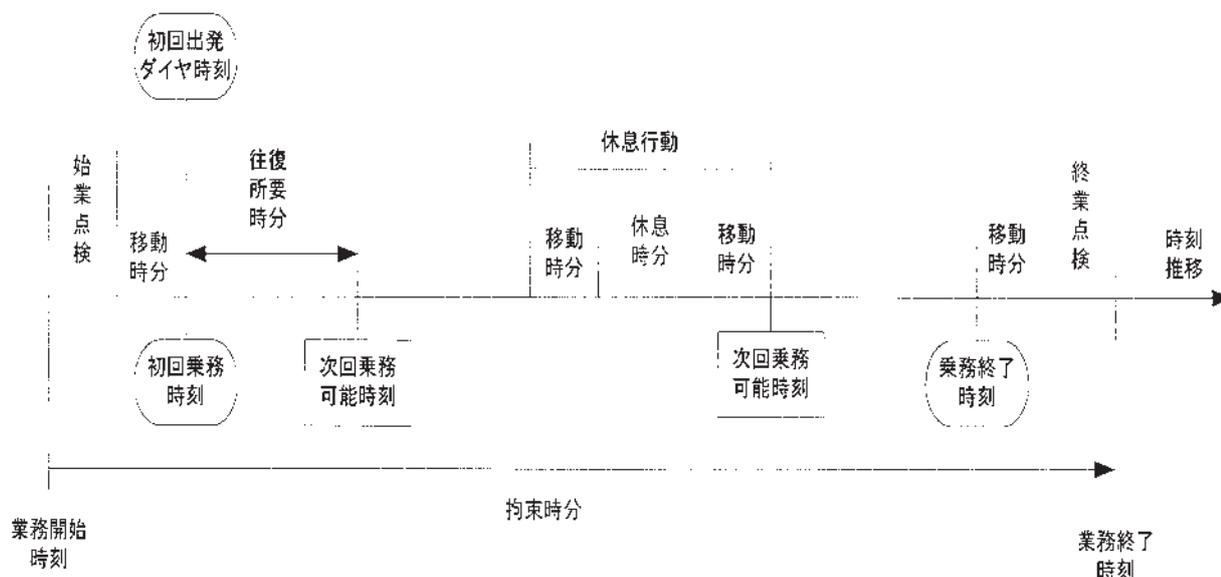


図-2 乗務員の行動の推移

表-3 乗務員稼働条件(設定値は例)

稼働条件	内容	変数	設定値
始業点検時分	初回乗務に先立って行われる車両点検。なお、本点検は基地において実施され、起点に存在する車両には適用されない。	CHECKTIME1	20分
終業点検時分	業務終了に先立って行われる車両点検。なお、本点検は基地において実施され、起点に存在する車両には適用されない。	CHECKTIME2	5分
移動時分	初回乗務における基地→起点、休息開始時における基地→起点、休息終了時における基地→起点、乗務終了における基地→起点の移動に要する時間	MOVETIME	4分
休息時分	食入時間	REST	60分
拘束時分	勤務時間であり、休息関係時間を含む	WORKLONG	600分

表 - 4 乗務員割当基準と最適・最悪乗務員

	割当基準	使用要素	序列作成	最適乗務員	最悪乗務員
基準1	最小待ち時分 (初回乗務値 =1E+30)	待ち時分	運行可能な乗務員集合において、使用要素が小さい順に序列をつける。最小値が複数存在する時は、乗務員番号が小さい方を優先する。	序列1の乗務員を最適乗務員とする。	①全ての乗務員が初回乗務の時は、序列2の乗務員を最悪乗務員とする。②既乗務の乗務員が存在する時は、既乗務の乗務員の内、最大の序列をもつ乗務員を最悪乗務員とする。③上記②において、最悪乗務員と最適乗務員が等しくなる時は、初回乗務員の中から序列が最小の者を最悪乗務員とする(既乗務者が1人であり、しかもそれが最適乗務員として選択されるケースである為)。
基準2	最大待ち時分 (初回乗務値 =0)	待ち時分	運行可能な乗務員集合において、使用要素が大きい順に序列をつける。最大値が複数存在する時は、乗務員番号が小さい方を優先する。		
基準4	最小乗務時分 (初回乗務値 =1E+30)	乗務時分	「最小待ち時分」と同様		
基準5	最大乗務時分 (初回乗務値 =10000)	乗務時分	「最大待ち時分」と同様		
基準6	最小乗務回数 (初回乗務値 =3*10000)	乗務可能回数	「最小待ち時分」と同様		
基準3	先頭データ初回乗務値 =1E+30)	待ち時分	「最小待ち時分」と同様	①既乗務の乗務員が存在する時は、既乗務の乗務員の中から、先頭ご位置する乗務員を最適乗務員とする。②全ての乗務員が初回乗務の時は、先頭ご位置する乗務員とする(このケースは、序列1である)。	
備考	※車両選択時の対応 最適車両の選択時(BUSCASE=2)の時は、現在の最適車両の序列を-1として、以降の序列作成から除外する。 最悪車両の選択時(BUSCASE=3)の時は、現在の最悪車両の序列を-1として、以降の序列作成から除外する。				

表 - 5 車両割当基準と最適・最悪車両

	割当基準	使用要素	序列作成	最適乗務員	最悪乗務員
基準1	最小待ち時分 (初回乗務値 =1E+30)	待ち時分	運行可能な車両集合において、使用要素が小さい順に序列をつける。最小値が複数存在する時は、車両番号が小さい方を優先する。	序列1の車両を最適車両とする。	①全ての車両が初回運行の時は、序列2の車両を最悪車両とする。②既運行の車両が存在する時は、既運行の車両の内、最大の序列をもつ車両を最悪車両とする。③上記②において、最悪車両と最適車両が等しくなる時は、初回運行車両の中から序列が最小の者を最悪車両とする(既運行車両が1台であり、しかもそれが最適車両として選択されるケースである為)。
基準2	最大待ち時分 (初回乗務値 =0)	待ち時分	運行可能な車両集合において、使用要素が大きい順に序列をつける。最大値が複数存在する時は、車両番号が小さい方を優先する。		
基準4	最小乗務時分 (初回乗務値 =1E+30)	運行時分	「最小待ち時分」と同様		
基準5	最大乗務時分 (初回乗務値 =10000)	運行時分	「最大待ち時分」と同様		
基準3	先頭データ初回乗務値 =1E+30)	待ち時分	「最小待ち時分」と同様	①既乗務の乗務員が存在する時は、既乗務の乗務員の中から、先頭ご位置する乗務員を最適乗務員とする。 ②全ての乗務員が初回乗務の時は、先頭ご位置する乗務員とする(このケースは、序列1である)。	
備考	※再車両選択時の対応 最適車両の再選択時(BUSCASE=2)の時は、現在の最適車両の序列を-1として、以降の序列作成から除外する。 最悪車両の再選択時(BUSCASE=3)の時は、現在の最悪車両の序列を-1として、以降の序列作成から除外する。				

## 2-4 従前方式の課題と対策

乗務員・車両の割当においては、それぞれの稼働制約の下で両者を効率的に運用する必要がある。多くの経費を必要とする乗務員においては特に重要であり、極力新規乗務員の発生を抑える必要がある。新規の乗務員の稼働(発生)を必要とするケースは、次の2点である。

- ① 休息中の乗務員が存在するために、既乗務の乗務可能者が存在しない。
- ② 既乗務者が全員乗務中であるため、既乗務の乗務可能者が存在しない。

従前方式では、乗務員・車両の割当基準(表-4,5)に応じた最適乗務員と車両の選択結果をもとに、前述の目的達成を図ったが、次のような課題を有している。

### 2-4-1 従前方式の課題(1): 休息時刻の早期化・遅延化の複数回適用

従前方式は、勤務開始後の一定時間経過後(外生値)に休息を確保される休息開始時刻に関して、早期化・遅延化によりその設定、すなわち休息開始時刻を変更する方法である。複数回の遅延化措置を組入れることにより、割当基準を尊重した形で新規の乗務員の発生を抑えることができる可能性はある。しかしながら、複数回の遅延化措置に伴って発生する遅延化→早期化→遅延化等のサイクルの導入はシステムとしてはかなり複雑な上、しかも早期化・遅延化基準(外生値)はダイヤ特性に依存する部分があり一般化が不可能であり、その設定自体にも難しさが残る。このため、誰もが納得する形でこれらをクリアすることは困難であり、異なったアプローチが望ましい。

### 2-4-2 従前方式の課題(2): 割当基準の適用緩和措置

検討したもう1つの方法は、「複数の既乗務者が存在する場合」には乗務員の割当基準(表-4)により担当する乗務員の決定を行っているが、これをある程度無視して、休息開始あるいは乗務終了時刻までの乗務可能回数が少ない乗務員を優先的に選択するものである。乗務終了時刻までに余裕のある既乗務者を残すことを意図したものであったが、テストした限りにおいては、かなり複雑な構造を設定する必要がある割には、そのアプローチは効果的とは言えなかった。具体的には乗務員数の稼働状況は若干改善されるものの前節と同様に乗務員数の削減上の効果はなかった。むしろ、割当基準の意味がなくなってしまう可能性があり、本方法の推進を停止した。

### 2-4-3 課題への対処

#### (1) 課題(1)への対処: 過去に遡った休息設定

起点を出発するダイヤ(以下、出発ダイヤ時刻)は、一般的には時間帯によって粗密である。このようなダイヤ特性を考慮した休息設定を最適決定することは容易ではない。したがって、前節の課題をクリアするためには、誰もが納得できる基準で休息設定を行うことを考えた方が合理的であると考えた。そのような方法として「乗務員の休息は割当の状況を見て、休息がとれる段階で確保する」方法が考えられる。例えば、4つの出発ダイヤ時刻  $K_1, K_2, K_3, K_4$  を考える。 $K_2 < K_3 + 1 \leq \text{現在時刻} \leq K_4$  の時間推移において、待ち時間が「休息時分+2\*移動時分」となる乗務員  $S$  が存在するかを1分毎に調べ、存在する場合には現在時刻において乗務員  $S$  の休息行動が終了し起点に戻って再稼働が可能であると判断し、その措置のために次のように休息開始/終了時刻の修正を行い、

休息行動の開始時刻=現在時刻 - 「休息時分+2\*移動時分」

休息行動の終了時刻=現在時刻

休息開始時刻=休息行動の開始時刻 + 移動時分

休息終了時刻=休息行動の終了時刻 - 移動時分

休息行動の開始時刻 - 出発ダイヤ時刻  $\geq 0$ 、かつその差が最小である出発ダイヤ時刻 (例えば、 $K_2$ )

から乗務員・車両の再割当(従前のK2~K3の割当をキャンセルする)を実施する方法である。この方法は、いわば「過去に遡った休息設定」を行うものであり、乗務員および車両の割当基準を完全に尊重できると共に、合理的かつシンプルに休息確保が可能である。

しかしながら、この方法では連続した乗務が可能であるような出発ダイヤ時刻である場合には、休息をとることなく乗務終了時刻まで連続して乗務する乗務員が存在する可能性がある。したがって、「過去に遡った休息設定」を導入に際しては、いわゆる「あがり休息」、すなわち休息終了後は終業点検作業に入り業務を終了する形も付加しておく必要がある。

(2) 課題(2)への対処：代替案の算定

ある特定の出発ダイヤ時刻に対する既乗務の乗務可能者集合は、どの割当基準(表-4)を用いても同じである。したがって、むしろ各出発ダイヤ時刻に対する乗務可能者集合をチェーンの形で組み合わせることによって、すべての組み合わせを計算する方式(新の最適解)に転換することが妥当であろう。いわば、割当基準を無視することによって、算定される解の代替案を求める方法である。

この種の割当問題においては、一般に整数解が得られる保証がなく、同数の乗務員数・車両数の下であっても、当然、他の割当解が存在する。本方法は、その中のひとつの解を求めるものであるが、他の代替案算定との比較の、あるいは一般的な最適解との比較が可能となる効果をもたらす可能性がある。この方法は、(1)に示した合理的な休息設定の導入によって可能となった措置といえる。

(3) 具体化

従前と同様に、各乗務員は乗務終了時刻に達するまでに一度の休息を確保することになる。その措置は表-6のようになる。また、「過去に遡った休息」は休息開始/終了時刻の修正を実施するが、実際の休息は「休息」で実施される。したがって、各乗務員は一度のみ「休息」あるいは「あがり休息」の対象となって休息を確保することになる。なお、「休息」あるいは「あがり休息」は排他的である点に注意が必要である。なお、これらの措置の関係は表-7のようになる。

表-6 活動停止の概要

措置	要点	休息コード	休息開始時刻の修正	休息終了時刻の修正	次回乗務可能時刻の修正	乗務終了時刻の修正	STATUS(1)の算定	RESTQUICK(7)の使用	再割当	備考
1 過去に遡った休息	起点での待ち時間が本来の休息時間以上となった場合、現在時刻をもって休息行動が完了したと判断。		あり	あり	あり				休息行動開始時刻からの実施	時刻の修正のみ。休息時刻になれば措置を実施する。
2 休息	現在時刻から休息行動を開始する。	1	あり(REST20B) なし(REST20)		あり		(1, 1)			MANLABEL(9)=1の時(休息の早期化) 通常の休息(措置1を含む)
3 乗務終了	現在時刻をもって乗務終了とする。その後、基地へ移動し、終業点検を実施する。	-1			車両	あり	(1, 2)	結果を使用。設定はない		あがり休息 通常の休息-乗務終了
4 あがり休息	現在時刻をもって休息行動を開始する。その後、基地へ移動して休息をとる。なお、休息終了時点で乗務終了となり終業点検を実施する。	1	あり	あり	あり	あり	(1, 3)			一般般では休息を早期化となる。休息時刻になれば措置2、乗務終了時刻になれば措置3を実施する。

※RESTQUICK(7)：あがり休息の発生時刻であり、判定時に設定する。本値=0の場合はあがり休息者となっていない、本値≠0の場合はあがり休息者となっていることを表す。RESTQUICK(1)~(6)は実行とは関係しない(無くとも良い)。

表 - 7 活動停止措置間の推移

措置	後続する措置			
	過去に遡った休息	休息	乗務終了	あかり休息
前措置	過去に遡った休息		○	
	休息		○	
	乗務終了			
	あかり休息		○	

各乗務員は次回乗務可能時刻、使用車両等、稼動に関する様々な情報をもつ。車両に関しても同様である。これらを用いて乗務員および車両の状態判定、乗務可能な乗務員集合および運行可能な車両集合の作成等を時刻推移(1分単位)毎に繰返すことになる。今回の改良にあわせて、これら全体のアルゴリズムの再チェックも実施した。

## 2-5 運行管理モデルの検証

### 2-5-1 検証路線の概要

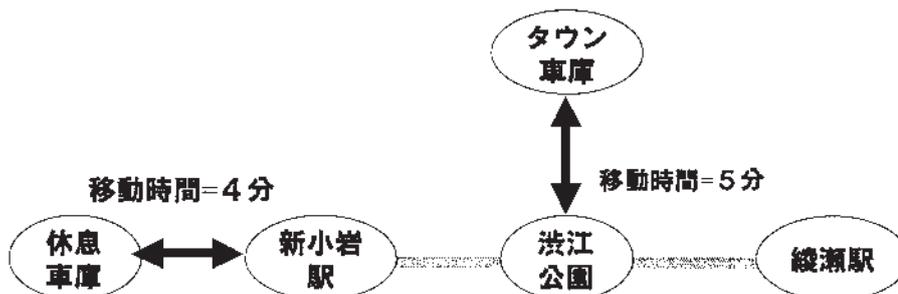
京成タウンバス平和橋線を検証データとして用いた。同社は京成電鉄奥戸自動車営業所の一部の分社化により2000年に設立された会社であり、2001年2月16日営業運行を開始している。同社の平和橋線は、新小岩駅と綾瀬駅間の往復運行を行っていた路線である。車両基地(タウン車庫)と休息基地が異なるタイプの路線である、休息設定を計画段階から盛り込んだダイヤ編成である、拘束時分等の労働条件が大きく異なる2種類の運行要員の使用を前提としている等、提案した運行管理モデルの前提条件とは大きく異なる。しかしながら、事業者の乗務員運用計画の入手は極めて困難であることから、多少の無理は覚悟の上でモデルの検証に使用した。使用したデータは、同社の営業開始直後における運行計画C表(各乗務員の担当ダイヤ、以下原票)である。

なお、2008年度現在、同路線は路線名の変更およびダイヤ改正が行われており、いわば過去のバス路線である。

### 2-5-2 運行形態と業務開始・終了時のダイヤ修正

乗務員と車両は、業務開始時はタウン車庫を出発し、渋江公園から営業運行を開始し、休息は新小岩駅から4分の位置にある休息基地でとる。また、乗務終了時は渋江公園で営業を終了してタウン車庫に向かい、その後業務終了となることを基本とした路線である(図-3)。運行システムは担当車両制である(表-2)。起点側の1ヵ所の基地において点検・休息を行うことを前提としたモデルの路線(図-1)とは、大きく異なるため、多大の時間をかけて提案した休息設定の検証に役立てることにはならなかったが、高頻度路線における実際の割当との比較には意義があると考えられる。

図 - 3 検証路線の  
路線形態



検証路線は、新小岩駅→綾瀬駅→新小岩駅の往復運行であるものの、渋江公園より分岐する形となっている(図-3)。これを新小岩駅を起点としたモデルの路線形態(図-1)に合わせるために、原票における各乗務員の担当ダイヤを若干修正する必要がある。なお、業務開始はタウン車庫、休息は新小岩駅近くの休息基地を利用しているが、モデルでは1つの車庫しか設定していないため(図-1)、検証にあっては路線長の中に実際の休息を盛り込むことで対応した。時刻表修正は営業開始・終了時に発生する。その際における考え方は次のようである。なお、乗務員の稼働を検証対象とすることから、運行に伴う路線長(所要時間)を忠実に反映することを目標とした。

(1) 乗務開始時におけるダイヤ修正

新小岩駅を起点とする形に修正した。具体的方法を以下に示す。

- ① 渋江公園→綾瀬駅の場合、渋江公園の発時刻を新小岩駅発時刻とする。図-4に一例を示す。原票における路線長(待ち時間を含めた運行所要時間)は維持する。
- ② 渋江公園→新小岩駅の場合も同様である。図-5に一例を示す。

(2) 乗務終了時におけるダイヤ修正

新小岩駅を終点とした形に修正した。具体的方法を以下に示す。

- ① 綾瀬駅→渋江公園の場合、渋江公園の到着時刻を新小岩駅到着時刻とする。図-6に一例を示す。原票における路線長(待ち時間を含めた運行所要時間)は維持する。
- ② 新小岩駅→渋江公園の場合の場合も同様である。図-7に一例を示す。

図-4 乗務開始時における修正例(1)

		原票			修正	
1201 A運行	バス停	(1)	(2)	(3)	(2)	(3)
	綾瀬駅		6:51	7:00	6:51	7:00
			↑	↓	↑	↓
	渋江公園	5:56	6:31	7:18	6:31	7:18
		↓	↑	↑	↓	
	新小岩駅	6:06	6:20	7:31	5:56	7:31

図-5 乗務開始時における修正例(2)

		(1)	(2)
1202 A運行	バス停		
	綾瀬駅	15:00	15:10
		↑	↓
	渋江公園	14:40	15:29
		↓	
	新小岩駅		15:42

図-6 乗務終了時における修正例(1)

		原票			修正	
1201 A運行	バス停	(8)	(9)	(10)	(8)	(9)
	綾瀬駅	12:37	12:50		12:37	12:50
		↑	↓		↑	↓
	渋江公園	12:16	13:09	13:40	12:16	13:09
		↑	↓	↑	↓	
	新小岩駅	12:05	13:22	13:30	12:05	13:40

図-7 乗務終了時における修正例(2)

		(8)	(9)
1206 A運行	バス停		
	綾瀬駅	22:18	22:30
		↑	↓
	渋江公園	22:00	22:48
		↑	
	新小岩駅	21:50	

2-5-3 修正したダイヤと担当乗務員計画

検証路線は5:55から21:50まで、51往復のダイヤからなる高頻度の路線である(表-8)。なお、往復所要時分には路線端点における待機時間ならびに休息時間を含んでいる。乗務員は拘束時間(休息時間を含む)が600分未満のAグループと840分以上のCグループ(路線2として表現した)から構成されている(表-9)。

Aグループ(路線1として表現)は6名の乗務員からなり、4~5回の(往復)運行となっている。これに対して、Bグループ(路線2として表現)は3名の乗務員からなり、8回の(往復)運行となっている。全体としては9名の乗務員での運行となっている。拘束時間の異なる2つの乗務員集合を導入することにより、稼働の効率を図っているものと考えられる。このため、複数の日数におけるローテーションをもとに全乗務員のバランスを取らざるをえない。まさに長年の経験をもとにした割当といえよう。

表-8 乗務員と担当ダイヤ計画

乗務員番号 (拘束時間別)	割当予定(初回乗務時刻(漢)) : 路線番号 / 出発ダイヤ時刻 / (往復所要時間)							
	Run-1	Run-2	Run-3	Run-4	Run-5	Run-6	Run-7	Run-8
1201-A	1= 1/ 5:55 ( 96 )	9= 1/ 7:45 ( 72 )	18= 1/10:20 ( 82 )	23= 1/12: 5 ( 96 )				
1203-A	2= 1/ 6: 3 ( 58 )	7= 1/ 7:15 ( 72 )	13= 1/ 8:45 ( 82 )	21= 1/11:20 (101)				
1205-A	4= 1/ 6:18 ( 58 )	8= 1/ 7:30 ( 72 )	14= 1/ 9: 5 ( 77 )	19= 1/10:40 ( 82 )	25= 1/13: 5 ( 96 )			
1204-A	26= 1/13:40 ( 62 )	30= 1/14:50 ( 72 )	35= 1/16:30 ( 72 )	40= 1/17:55 ( 72 )	49= 1/20:34 (142)			
1202-A	29= 1/14:39 ( 63 )	34= 1/15:50 ( 72 )	38= 1/17:20 ( 77 )	44= 1/18:50 ( 76 )	50= 1/21:10 ( 88 )			
1206-A	33= 1/15:39 (103)	39= 1/17:40 ( 72 )	45= 1/19:10 ( 71 )	51= 1/21:50 ( 59 )				
1207-C	3= 2/ 6:15 (102)	11= 2/ 8:15 ( 72 )	16= 2/ 9:40 ( 82 )	24= 2/12:30 ( 82 )	32= 2/15:30 ( 72 )	36= 2/16:50 ( 72 )	41= 2/18:10 ( 72 )	46= 2/19:30 ( 91 )
1209-C	5= 2/ 6:35 ( 97 )	12= 2/ 8:30 ( 72 )	17= 2/10: 0 ( 82 )	22= 2/11:40 ( 82 )	28= 2/14:10 ( 72 )	37= 2/17: 0 ( 82 )	43= 2/18:35 ( 76 )	48= 2/20:10 ( 91 )
1211-C	6= 2/ 6:39 ( 63 )	10= 2/ 8: 0 ( 72 )	15= 2/ 9:20 ( 82 )	20= 2/11: 0 ( 82 )	27= 2/13:50 ( 72 )	31= 2/15:10 ( 72 )	42= 2/18:20 ( 76 )	47= 2/19:50 ( 80 )

表-9 各乗務員の拘束時分

乗務員番号 (拘束時間別)	(1)	(2)	(3)=(1)-24分	(4)=(2)+14分+往復	(5)=(4)-(3)	(5)を交換
	初回ダイヤ	最終ダイヤ	業務開始時刻	業務終了時刻	拘束時間	拘束時分
1201-A	1= 1/ 5:55 ( 96 )	23= 1/12: 5 ( 96 )	5:31	13:55	8:24	504
1203-A	2= 1/ 6: 3 ( 58 )	21= 1/11:20 (101)	5:39	13:15	7:36	456
1205-A	4= 1/ 6:18 ( 58 )	25= 1/13: 5 ( 96 )	5:54	14:55	9:01	541
1204-A	26= 1/13:40 ( 62 )	49= 1/20:34 (142)	13:16	23:10	9:54	594
1202-A	29= 1/14:39 ( 63 )	50= 1/21:10 ( 88 )	14:15	22:52	8:37	517
1206-A	33= 1/15:39 (103)	51= 1/21:50 ( 59 )	15:15	23:03	7:48	468
1207-C	3= 2/ 6:15 (102)	46= 2/19:30 ( 91 )	6:51	21:15	14:24	864
1209-C	5= 2/ 6:35 ( 97 )	48= 2/20:10 ( 91 )	6:11	21:55	15:44	944
1211-C	6= 2/ 6:39 ( 63 )	47= 2/19:50 ( 80 )	6:15	21:24	15:09	909

2-5-4 検証における要素設定

本モデルは全乗務員が同じ労働条件で稼働することを基本とする。検証路線のように拘束時間の異なる2つの乗務員集合からなる路線に関しては、路線毎に適用すればほぼ同一の割当が得られることが期待できる。しかしながら、割当としては第一義的には本システムの形が適切であると言える。したがって、果たして同一の乗務員数での割当が可能か、との疑問を解消しなければならない。なお、この路線の運行システムは担当車両制/1路線固定である。拘束時分と乗務員割当を仮定することにより、両者の比較を試みた。

本モデルの適用に際して、次の要素設定を行った。なお、中休制は非適用とした。

- ①起点(新小岩駅)～基地(タウン車庫)間の片道移動時分：4分
- ②基地での始業点検時分：20分 ③基地での終業点検時分：10分
- ④休息時分：60分
- ⑤拘束時分：600、720、960分
- ⑥ハンドル時分：拘束時分から休息時分を引いた値
- ⑦割当基準：乗務員・車両とも、最小待ち時間

#### (1) 1路線固定からの考察

路線1に関しては、拘束時間600分で実績と同様の結果を得ることができる(表-10)。路線2に関しては、実績と同様の乗務員数での運行のためには、拘束時分960分を設定する必要とすることが分かる(表-12)。なお、割当結果における拘束時分の結果は計画よりは小さい値を示している。このように、路線2の負荷が大変大きいことが分かる。ちなみに、拘束時間600分では、計算上12名の乗務員を必要とする(表-10)。

#### (2) 複数路線からの考察

路線2の負荷を分散させるために、担当車両制/複数路線に関しても同様の条件で行った(表-13～15)。各乗務員の乗務回数は増加する傾向はあるものの、乗務員数の減少には至っていない。これは、出発時刻そのものが休息を前提とした形で長時間となっている部分を分離することにより、対処可能と考えられる。具体的には、車庫と休息場所を分離することにより、対処する必要がある。

#### 2-5-5 運行管理モデルの結果と課題

休息確保の合理性の観点から、従前モデルに過去に遡った休息方式を導入し、次に示す成果を得た。

- (1) 拘束時間さえ合えば、乗務員数的には実績と同数での運用が可能であることを確認できた。
- (2) 休息の合理的設定に関するアルゴリズムの検証のためには車庫と休息場所を分離する必要がある。これは、次年度の課題としたい。
- (3) 割当結果は整数解であるため、一般的には複数の代替計画が存在する。本年度の改良により、代替案の生成するアルゴリズムの基礎を完成させた。この部分に関しては、来年度の課題としたい。
- (4) 本モデルは、乗務員・車両の状態の関連性等、非合理的な演算発生時における多数のエラーチェック(メッセージボックス活用した。)を含んでいる。それにも係わらず、検証における計算時間は十分使用に耐えるものである(Dell 4700C Intel Celeron CPU-2.53GHzで約2.5秒程度)。

なお、紙面の関係から掲載を取りやめたが、車両割当の結果・状況に関しても乗務員と同様の情報を得ることができる。

表 - 10 拘束 600 分/担当車両制 & 1 路線固定/最小待ち時分

	Run- 1	Run- 2	Run- 3	Run- 4	Run- 5	Run- 6
No. 1	1- 5:55	1- 7:45	1- 9: 5	1-10:40	1-12: 5	
No. 2	1- 6: 3	1- 7:15	1-11:20	1-13: 5		
No. 3	2- 6:15	2- 8: 0	2- 9:20	2-11: 0	2-12:30	
No. 4	1- 6:18	1- 7:30	1- 8:45	1-10:20		
No. 5	2- 6:35	2- 8:15	2- 9:40			
No. 6	2- 6:39	2- 8:30	2-10: 0	2-11:40	2-13:50	
No. 7	1-13:40	1-14:50	1-16:30	1-17:55	1-19:10	1-20:34
No. 8	2-14:10	2-15:30	2-16:50	2-18:10	2-19:30	
No. 9	1-14:39	1-15:50	1-17:20	1-18:50	1-21:10	
No. 10	2-15:10	2-17: 0	2-18:35	2-20:10		
No. 11	1-15:39	1-17:40	1-21:50			
No. 12	2-18:20	2-19:50				

(1) 個別実績データ : Module-61(DPREVAL)

	first	final	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	路線別乗務回数	
			constrained-time (min)	riding-time (min)	waiting-time (min)	operation-time (times)	(2)/(1) (%)	(3)/(1) (%)	Line- 1	Line- 2
No. 1	5:55	12: 5	504	431	43	5	85.515	8.531	5	0
No. 2	6: 3	13: 5	556	335	191	4	60.251	34.352	4	0
No. 3	6:15	12:30	495	428	37	5	86.464	7.474	0	5
No. 4	6:18	10:20	362	302	30	4	83.425	8.287	4	0
No. 5	6:35	9: 40	305	259	16	3	84.918	5.245	0	3
No. 6	6:39	13:50	541	384	127	5	70.979	23.475	0	5
No. 7	13:40	20:34	594	495	65	6	83.333	10.942	6	0
No. 8	14:10	19:30	449	383	32	5	85.3	7.126	0	5
No. 9	14:39	21:10	517	380	103	5	73.5	19.922	5	0
No. 10	15:10	20:10	429	325	70	4	75.757	16.317	0	4
No. 11	15:39	21:50	468	238	196	3	50.854	41.88	3	0
No. 12	18:20	19:50	208	160	14	2	76.923	6.73	0	2

(2) 乗務員の拘束時分(constraint-time)情報 : Module-61(DPREVAL)

路線= 1 最大勤務時分= 594(Min) 最小勤務時分= 362(Min)  
 路線= 2 最大勤務時分= 541(Min) 最小勤務時分= 208(Min)

表 - 11 拘束 720 分/担当車両制 & 1 路線固定/最小待ち時分

	Run- 1	Run- 2	Run- 3	Run- 4	Run- 5	Run- 6
No. 1	1- 5:55	1- 7:45	1- 9: 5	1-10:40	1-12: 5	1-14:39
No. 2	1- 6: 3	1- 7:15	1-11:20	1-13: 5	1-15:39	
No. 3	2- 6:15	2- 8: 0	2- 9:20	2-11: 0	2-12:30	2-14:10
No. 4	1- 6:18	1- 7:30	1- 8:45	1-10:20	1-13:40	1-14:50
No. 5	2- 6:35	2- 8:15	2- 9:40			
No. 6	2- 6:39	2- 8:30	2-10: 0	2-11:40	2-13:50	2-15:10
No. 7	2-15:30	2-16:50	2-18:10	2-19:30		
No. 8	1-15:50	1-17:20	1-18:50	1-21:10		
No. 9	1-16:30	1-17:55	1-19:10	1-20:34		
No. 10	2-17: 0	2-18:35	2-20:10			
No. 11	1-17:40	1-21:50				
No. 12	2-18:20	2-19:50				

(1) 個別実績データ : Module-61(DPREVAL)

	first	final	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	路線別乗務回数	
			constrained-time (min)	riding-time (min)	waiting-time (min)	operation-time (times)	(2)/(1) (%)	(3)/(1) (%)	Line- 1	Line- 2
No. 1	5:55	14:39	625	494	101	6	79.04	16.16	6	0
No. 2	6: 3	15:39	717	438	249	5	61.087	34.728	5	0
No. 3	6:15	14:10	585	500	55	6	85.47	9.401	0	6
No. 4	6:18	14:50	622	436	156	6	70.096	25.08	6	0
No. 5	6:35	9: 40	305	259	16	3	84.918	5.245	0	3
No. 6	6:39	15:10	621	456	135	6	73.429	21.739	0	6
No. 7	15:30	19:30	369	311	24	4	84.281	6.504	0	4
No. 8	15:50	21:10	446	317	95	4	71.076	21.3	4	0
No. 9	16:30	20:34	424	361	29	4	85.141	6.839	4	0
No. 10	17: 0	20:10	319	253	32	3	79.31	10.031	0	3
No. 11	17:40	21:50	347	135	178	2	38.904	51.296	2	0
No. 12	18:20	19:50	208	160	14	2	76.923	6.73	0	2

(2) 乗務員の拘束時分(constraint-time)情報 : Module-61(DPREVAL)

路線= 1 最大勤務時分= 717(Min) 最小勤務時分= 347(Min)  
 路線= 2 最大勤務時分= 621(Min) 最小勤務時分= 208(Min)

表 - 12 拘束 960 分/担当車両制 & 1 路線固定/最小待ち時分

	Run-1	Run-2	Run-3	Run-4	Run-5	Run-6	Run-7	Run-8	Run-9	Run-10
No. 1	1-5:55	1-7:45	1-9:5	1-10:40	1-12:5	1-14:39	1-15:50	1-17:20	1-18:50	
No. 2	1-6:3	1-7:15	1-11:20	1-13:5	1-15:39	1-17:40				
No. 3	2-6:15	2-8:0	2-9:20	2-11:0	2-12:30	2-14:10	2-15:30	2-16:50	2-18:10	2-19:30
No. 4	1-6:18	1-7:30	1-8:45	1-10:20	1-13:40	1-14:50	1-16:30	1-17:55		
No. 5	2-6:35	2-8:15	2-9:40	2-18:20	2-19:50					
No. 6	2-6:39	2-8:30	2-10:0	2-11:40	2-13:50	2-15:10	2-17:0	2-18:35	2-20:10	
No. 7	1-19:10	1-20:34								
No. 8	1-21:10									
No. 9	1-21:50									

(1) 個別実績データ : Module-61(DPREVAL)

	first	final	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	路線別乗務回数	
			constrained (min)	riding-time (min)	waiting-time (min)	operation (times)	(2)/(1) (%)	(3)/(1) (%)	Line-1	Line-2
No. 1	5:55	18:50	889	719	140	9	80.877	15.748	9	0
No. 2	6:3	17:40	807	510	267	6	63.197	33.085	6	0
No. 3	6:15	19:30	924	807	87	10	87.337	9.415	0	10
No. 4	6:18	17:55	807	580	197	8	71.871	24.411	8	0
No. 5	6:35	19:50	913	411	468	5	45.016	51.259	0	5
No. 6	6:39	20:10	940	701	205	9	74.574	21.808	0	9
No. 7	19:10	20:34	264	217	13	2	82.196	4.924	2	0
No. 8	21:10	21:10	126	92	0	1	73.015	0	1	0
No. 9	21:50	21:50	97	63	0	1	64.948	0	1	0

(2) 乗務員の拘束時分(constraint-time)情報 : Module-61(DPREVAL)

路線=1 最大勤務時分= 889(Min) 最小勤務時分= 97(Min)  
 路線=2 最大勤務時分= 940(Min) 最小勤務時分= 913(Min)

表 - 13 拘束 600 分/担当車両制 & 複数路線/最小待ち時分

	Run-1	Run-2	Run-3	Run-4	Run-5	Run-6
No. 1	1-5:55					
No. 2	1-6:3	1-7:15	2-8:30	2-10:0	2-11:40	1-13:5
No. 3	2-6:15	2-8:0	2-9:20	2-11:0	2-12:30	
No. 4	1-6:18	1-7:30	1-8:45	1-10:20	2-14:10	
No. 5	2-6:35	2-8:15	2-9:40	1-11:20	1-13:40	
No. 6	2-6:39	1-7:45	1-9:5	1-10:40	1-12:5	2-13:50
No. 7	1-14:39	1-15:50	1-17:20	1-18:50	2-20:10	1-21:50
No. 8	1-14:50	2-17:0	2-18:35			
No. 9	2-15:10	1-16:30	1-17:55	1-19:10	1-20:34	
No. 10	2-16:30	2-16:50	2-18:10	2-19:30		
No. 11	1-15:39	1-17:40				
No. 12	2-18:20	2-19:50	1-21:10			

(1) 個別実績データ : Module-61(DPREVAL)

	first	final	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	路線別乗務回数	
			constrained (min)	riding-time (min)	waiting-time (min)	operation (times)	(2)/(1) (%)	(3)/(1) (%)	Line-1	Line-2
No. 1	5:55	5:55	134	104	0	1	77.611	0	1	0
No. 2	6:3	13:5	556	475	51	6	85.431	9.172	3	3
No. 3	6:15	12:30	495	428	37	5	86.464	7.474	0	5
No. 4	6:18	14:10	582	374	178	5	64.261	30.584	4	1
No. 5	6:35	13:40	525	422	73	5	80.38	13.904	2	3
No. 6	6:39	13:50	541	470	41	6	86.876	7.578	4	2
No. 7	14:39	21:50	528	442	52	6	83.712	9.848	5	1
No. 8	14:50	18:35	339	234	71	3	69.026	20.943	1	2
No. 9	15:10	20:34	504	433	37	5	85.912	7.341	4	1
No. 10	15:30	19:30	369	311	24	4	84.281	6.504	0	4
No. 11	15:39	17:40	231	179	18	2	77.489	7.792	2	0
No. 12	18:20	21:10	296	248	14	3	83.783	4.729	1	2

(2) 乗務員の拘束時分(constraint-time)情報 : Module-61(DPREVAL)

全路線 最大勤務時分= 582(min) 最小勤務時分= 134(min)

表 - 14 拘束 720 分/担当車両制 & 複数路線/最小待ち時分

	Run- 1	Run- 2	Run- 3	Run- 4	Run- 5	Run- 6	Run- 7
No. 1	1- 5:55						
No. 2	1- 6: 3	1- 7:15	2- 8:30	2-10: 0	2-11:40	1-13: 5	1-15:39
No. 3	2- 6:15	2- 8: 0	2- 9:20	2-11: 0	2-12:30	2-14:10	2-15:30
No. 4	1- 6:18	1- 7:30	1- 8:45	1-10:20	1-14:39		
No. 5	2- 6:35	2- 8:15	2- 9:40	1-11:20	1-13:40	1-14:50	
No. 6	2- 6:39	1- 7:45	1- 9: 5	1-10:40	1-12: 5	2-13:50	2-15:10
No. 7	1-15:50	1-17:20	1-18:50	2-20:10	1-21:50		
No. 8	1-16:30	1-17:55	1-19:10	1-20:34			
No. 9	2-16:50	2-18:10	2-19:30				
No. 10	2-17: 0	2-18:35					
No. 11	1-17:40						
No. 12	2-18:20	2-19:50	1-21:10				

(1) 個別実績データ : Module-61(DPREVAL)

	first	final	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	路線別乗務回数	
			constrained-riding-time (min)	riding-time (min)	waiting-time (min)	operation-time (times)	(2)/(1) (%)	(3)/(1) (%)	Line- 1	Line- 2
No. 1	5: 55	5: 55	134	104	0	1	77.611	0	1	0
No. 2	6: 3	15: 39	717	578	109	7	80.613	15.202	4	3
No. 3	6: 15	15: 30	665	572	63	7	86.015	9.473	0	7
No. 4	6: 18	14: 39	602	365	207	5	60.631	34.385	5	0
No. 5	6: 35	14: 50	605	494	81	6	81.652	13.388	3	3
No. 6	6: 39	15: 10	621	542	49	7	87.278	7.89	4	3
No. 7	15: 50	21: 50	457	379	44	5	82.932	9.628	4	1
No. 8	16: 30	20: 34	424	361	29	4	85.141	8.639	4	0
No. 9	16: 50	19: 30	289	239	16	3	82.698	5.536	0	3
No. 10	17: 0	18: 35	209	162	13	2	77.511	6.22	0	2
No. 11	17: 40	17: 40	110	76	0	1	69.09	0	1	0
No. 12	18: 20	21: 10	296	248	14	3	83.783	4.729	1	2

(2) 乗務員の拘束時分(constraint-time)情報 : Module-61(DPREVAL)  
 全路線 最大勤務時分= 717(min) 最小勤務時分= 110(min)

表 - 15 拘束 960 分/担当車両制 & 複数路線/最小待ち時分

	Run- 1	Run- 2	Run- 3	Run- 4	Run- 5	Run- 6	Run- 7	Run- 8	Run- 9	Run-10
No. 1	1- 5:55	2-18:20								
No. 2	1- 6: 3	1- 7:15	2- 8:30	2-10: 0	2-11:40	1-13: 5	1-15:39	1-17:40	2-19:50	
No. 3	2- 6:15	2- 8: 0	2- 9:20	2-11: 0	2-12:30	2-14:10	2-15:30	2-16:50	2-18:10	2-19:30
No. 4	1- 6:18	1- 7:30	1- 8:45	1-10:20	1-14:39	1-15:50	1-17:20	1-18:50		
No. 5	2- 6:35	2- 8:15	2- 9:40	1-11:20	1-13:40	1-14:50	2-17: 0	2-18:35		
No. 6	2- 6:39	1- 7:45	1- 9: 5	1-10:40	1-12: 5	2-13:50	2-15:10	1-16:30	1-17:55	1-19:10
No. 7	2-20:10	1-21:50								
No. 8	1-20:34									
No. 9	1-21:10									

(1) 個別実績データ : Module-61(DPREVAL)

	first	final	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	路線別乗務回数	
			constrained-riding-time (min)	riding-time (min)	waiting-time (min)	operation-time (times)	(2)/(1) (%)	(3)/(1) (%)	Line- 1	Line- 2
No. 1	5: 55	18: 20	859	180	649	2	20.954	75.552	1	1
No. 2	6: 3	19: 50	945	730	185	9	77.248	19.576	5	4
No. 3	6: 15	19: 30	924	807	87	10	87.337	9.415	0	10
No. 4	6: 18	18: 50	866	590	246	8	68.129	28.406	8	0
No. 5	6: 35	18: 35	834	652	152	8	78.177	18.225	3	5
No. 6	6: 39	19: 10	860	757	73	10	88.023	8.488	7	3
No. 7	20: 10	21: 50	197	154	9	2	78.172	4.568	1	1
No. 8	20: 34	20: 34	180	146	0	1	81.111	0	1	0
No. 9	21: 10	21: 10	126	92	0	1	73.015	0	1	0

(2) 乗務員の拘束時分(constraint-time)情報 : Module-61(DPREVAL)  
 全路線 最大勤務時分= 945(min) 最小勤務時分= 126(min)

### 3. 単線における列車挙動システムの開発

#### 3-1 位置づけ

地方都市の鉄道は単線が多いが、交通軸形成上その活用を検討する必要がある。本県もその例外ではない。インフラ投資、路線の採算性の現状からみて、DMV の導入による運行頻度の増加と相互乗り入れによる利便性の向上は検討に値するものと考えられる。

本年度は、単線鉄道に DMV を入れることにより、列車の増加がどの程度可能となるかを検討するための基礎システムの開発を行った。従来、DMV 導入においては鉄道の閉塞方式を用いることが一般的であるが、DMV は基本的に鉄道よりも制動能力が高いことから、DMV 独自の閉塞方式を提案することにより、鉄道閉塞方式との比較が可能となるようにした。本年度は両閉塞方式において、個々の列車が衝突あるいは追突することなく、正常に運行することを再現することを目標とした。

#### 3-2 閉塞の種類

鉄道方式あるいは DMV 方式の選択を行い、列車の挙動を再現させる。列車の先頭車両間距離(以下、車頭時間あるいは車頭時間として表現する)を用いた簡略的な閉塞方式である(表 - 16)。

##### (1) 鉄道方式

一般の列車のブレーキ性能を想定した種類である。なお、最小車頭間隔である 600m は日本民間鉄道協会の規定を参考に定めた<sup>5)</sup>。駅に停車可能な許容本数(以下、駅許容本数)を上下線各 1 編成とする。

##### (2) DMV 方式

一般の自動車のブレーキ性能を想定した種類である。なお、最小車頭間隔である 120m は、自動車が 40km/h で走行している時に止まるのに要する距離を仮定して定めた。駅許容本数を上下線各 2 編成とする。鉄道方式との大きな違いは、車頭間隔の長さで駅許容本数である。

##### (3) 待避線

鉄道方式または DMV 方式に、待避線を組み込んだ種類。単線鉄道では、列車の交差は駅での対応が主となるが、待避線を任意の位置に設定が可能にした。設定においては、乗降のない駅とみなし、待避線のホーム長を 200m とした。

#### 3-3 列車が持つ情報

路線の起点を原点として、各駅のホーム両端位置(退避線に関しても同様)を設定することにより、鉄道路線を構築した(表 - 16)。また、列車は起点から終点に向かう列車と、その逆の列車からなり、各列車は出発時刻、経過時刻、路線上で位置、走行/停車等の状態の情報を持たせた。

表 - 16 入出力の内容

要因	要素	鉄道閉塞	DMV閉塞
駅位置	駅の個数	路線データであり、鉄道、DMVとも共通。	
	通常駅名称	上り、下りのいずれかホーム端を原点とする。	
	通常駅ホーム長(km)		
	通常駅間距離(km)		
走行条件	駅間走行速度	40km/h	40km/h
	最小車頭間隔	600m	120m
	駅内での列車数上限(上下別)	1編成	2編成
	各駅での最低停車時間	60秒	60秒
ダイヤ	上り出発列車数	運行列車データであり、鉄道、DMVとも共通。	
	下り出発列車数		
	上り出発時刻		
	下り出発時刻		
出力	現在時刻と位置	運行挙動データであり、鉄道、DMVとも共通。1秒単位に算定し、必要に応じて表示。	
	経由駅到着/出発時刻		
	現在状態(走行/駅停車/本線停車等)		

### 3-4 DMV 方式による列車の制御方法

列車は出発時刻に始発駅を出発した後、与えられた駅間速度で終着駅方面に終着駅に到着するまで走行する。その間、1 秒ごとに列車の位置を計算し、以下に示す制御方式に応じて、それぞれに必要な列車の処理を行うわけである。該当しない場合は駅間速度の下で走行を続ける。制御の目的は列車同士の衝突などを避けることにあり、必要に応じて列車を停車させることがその中心である。なお、停車後の発進遅れはないものとした。

#### 3-4-1 駅での停車

##### (1) 通常停車

駅では人の乗降を要するため、どの列車も停車する。駅での通常停車時間は 60 秒とする。

##### (2) 停車時間延長

駅間長 > 最小車頭間隔である場合、列車 A (以下、A) が駅を発車するとき、駅間に列車 B (以下、B) が存在し、A と B の車頭間隔 (以下、 $h$ ) が最小車頭間隔以内である場合に、B の走行を継続させ、 $h$  が最小車頭間隔以上になるまでの時間 ( $\alpha$  秒とする) だけ、A を駅に停車させる。したがって、A は合計で  $(60 + \alpha)$  秒停車することになる。駅間長 < 最小車頭間隔である場合、A が駅を発車するとき、駅間に B が存在する場合に、A の停車を継続し、B を優先的に走行させる。A の停車延長時間は、B が次駅に到着するまでの時間 ( $\beta$  秒とする) となり、合計で  $(60 + \beta)$  秒停車することになる(図-8)。

なお、図-8において、B が逆方向の場合は、単線における列車交差となる。この場合には、前述の駅間長 < 最小車頭間隔と同じ考え方を用い、駅に入っている A の停車延長時間を延長する(図-9)。なお、このような異方向の列車に関しては車頭間隔の概念は設定していない。

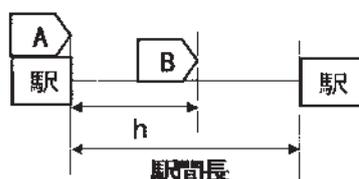


図 - 8 駅停車時間の延長(1)

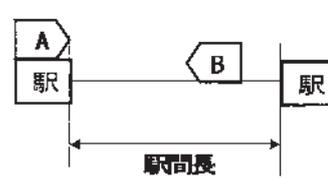


図 - 9 駅停車時間の延長(2)

#### 3-4-2 待避線での停車

待避線は仮想駅とホームから構成した。図-9のように異方向の列車が存在する場合にのみ仮想駅に停車する形とした。当然、仮想駅では人の乗降に伴う時間は必要としない。

#### 3-4-3 本線上での停車

##### (1) 前の列車が本線上にいる場合

$h$  が最小車頭間隔に達した場合に、B の走行を継続させ、 $h$  が最小車頭間隔以上になるまでの時間 ( $\beta$  秒とする) だけ、A を本線上に停車させる(図-10)。

##### (2) 前の列車が駅で停車している場合

A が次駅に進入する際に、次駅に駅許容本数上限の列車が停車していた場合に、次駅に停車している列車が発車するまでの時間 ( $\gamma$  秒とする) だけ、A を駅の直前(最小車頭間隔)に停車させておくこととする(図-11)。

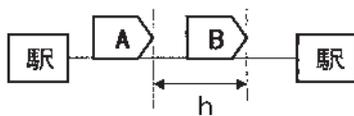


図 - 10 本線上での停車時間の延長(1)

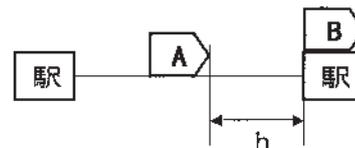


図 - 11 本線上での停車時間の延長(2)

### 3-5 あってはいけない状況

列車挙動上、許されない状況を以下のように設定した。これらのケースが発生した場合には、プログラム上の警告とその情報を表示の後、実行を中断させた。一種のエラーチェックである。

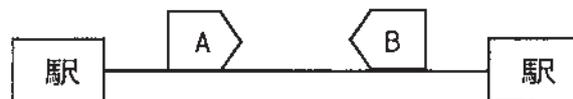
#### 3-5-1 列車が停車すべき駅を通過してしまう場合

列車は、通常駅に達した(ホーム端に到達)ならば 60 秒の通常停車を要する(3-4-1 節参照)。この停車が発生しない場合が、このケースである。なお、待避線における仮想駅の場合は適用を除外する。

#### 3-5-2 異方向の列車同士が共存している場合

図 - 12 は、1 つの駅間に異方向の列車同士が共存してしまっている状況を示している。このまま走行を続けると、衝突してしまうことになる。この場合は、時刻上、後で駅に入った列車を駅に停車させる措置を必要とするが、その措置が正常に機能しないケースに該当する(3-4-1 節参照)。

図 - 12 異方向の列車同士が共存



#### 3-5-3 最小車頭間隔以内に列車が共存している場合

- (1) 図 - 13 のように、駅間長 > 最小車頭間隔の場合、駅間において、車頭間隔が最小車頭間隔よりも大きいならば同方向列車の共存が許されるが、最小車頭間隔以内に列車が入り込んでいる場合、ブレーキの性能などにより衝突の危険性があるため許されない。列車 A の本線上での停車がうまく機能しないケースに該当する(3-4-3 節参照)。
- (2) 図 - 14 のように、駅間長 < 最小車頭間隔の場合、最小車頭間隔が駅間長をオーバーしているため、列車は同方向逆方向問わずに同じ駅間には共存できない。この場合には、列車 A は列車 B が駅に到着し、出発して最小車頭間隔が確保されるまで、停車時間の延長を必要とする(3-4-1 節参照)。

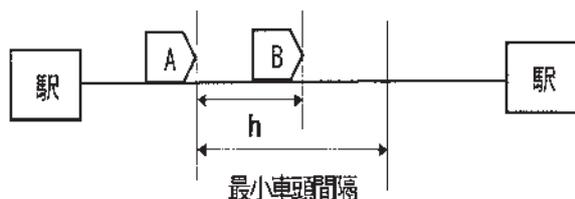


図 - 13 最小車頭間隔以内に列車が共存(駅間長 > 最小車頭間隔の場合)

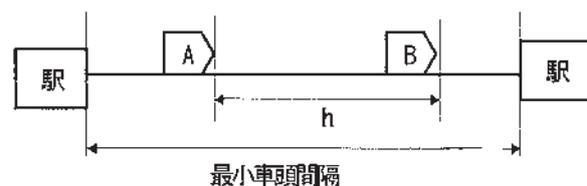
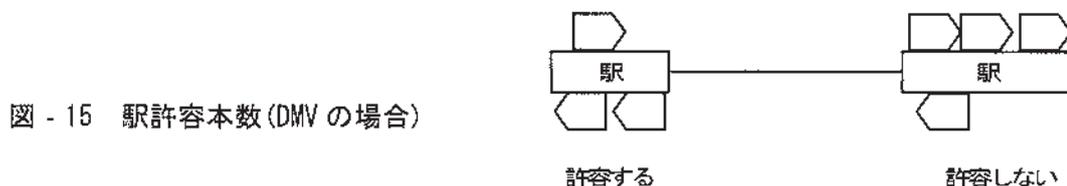


図 - 14 最小車頭間隔以内に列車が共存(駅間長 < 最小車頭間隔の場合)

### 3-5-4 駅に駅許容本数よりも多くの列車が停車している場合

駅許容本数が上下線とも2編成以内である場合は許容する。上下線のいずれかにおいて、これ以上の停車が発生した場合が、このケースに該当する(図-15)。なお、鉄道閉塞の場合には1編成である。



### 3-6 列車の挙動の確認

上下線の始発駅のそれぞれの出発時刻は、2007年7月現在のものを使用した<sup>6)</sup>。特に列車が集中する2時間(全体の結果より、7~9時)の列車の動きをチェックすることにする。チェック項目は、列車の停車発車の確認、走行の確認、対向列車が発生する場合、正常に交換待ち合わせが行われているかどうかという確認、停車時間の確認、列車が衝突していないか、または前を走る列車をとび越えていないかどうかの確認などをチェックした(3-5節の作動の正常性を含む)。

チェック方法は、1秒単位に生成される列車位置を全時間に渡ってリストから確認する方法とそれを図化したダイヤグラムを併用することで実施した(図-16, 17)。

鉄道方式、DMV方式とも列車の挙動には問題ないことが確認できた。ダイヤグラムが鉄道方式、DMV方式とも同じようなものになってしまったのは、運行本数が少ないため、最小車頭間隔と駅許容本数に影響がなかったためである。

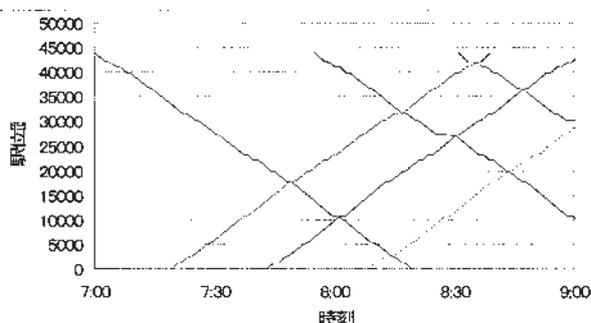


図-16 ダイヤグラムの一部分(鉄道方式)

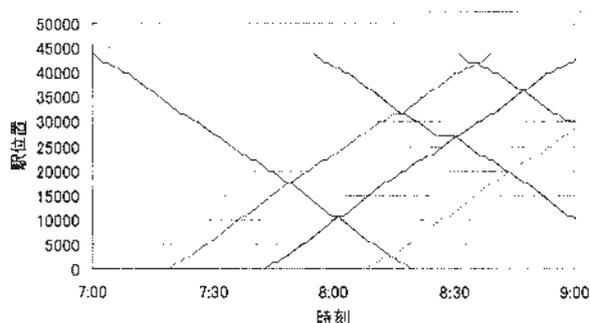


図-17 ダイヤグラムの一部分(DMV方式)

### 3-7 結果

単線を対象として、DMV閉塞方式の提案、ならびに、同方式・従来の鉄道閉塞方式における列車挙動システムの開発を行った。前節におけるテスト、さらには別途の過密ダイヤにおいては3-6節のエラーメッセージも正常に機能していることから、鉄道方式、DMV方式とも列車の挙動自体には問題ないことが確認できた。

#### 4. おわりに

昨年度提案した構想の実現を図るために、2つのシステムの開発に着手した。いずれのシステムも専門家(バス事業者、鉄道事業者)の計画における蓋然的な解を提供することを目的としたものであり、専門化以外の方でも容易に計画案の検討ができるツールとなることを期待している。

運行管理モデルは、車両基地と休息位置が同じであれば、現状のままでも適用が可能である。このため、TSA の検討に関しては十分にその機能を発揮し得ると考える。是非とも公共交通による幹線形成の検討ツールとして利用して頂きたい。今後は、代替案の算定に着手する予定である。

本モデルの扱いに関しては、関係各位と協議が必要となろうが、計算要求に対しては無料での対処を考えている。なお、マニュアルに関しては、今後の課題の処理を行いながら整備して行きたい。

他方の列車挙動システムは、閉塞自体はかなりラフなものであり、実際の信号制御とどのようにリンクさせるのか等に関してご批判を受けることになるだろう。ご批判をもとに改良を行い、単なる構想から実現の可能性に向けた検討ツールとして発展させたい。今後は、駅間の速度の可変性を導入することにより、列車容量の分析を予定している。また、列車の相互乗り入れを検討するために、複数路線化にも着手予定である。

#### 【参考文献】

- 1) 野村和宏・本田諭「時間帯別ダイヤに基づいたバス運行管理モデル」群馬高専レビュー No. 14 PP11～23、1995年3月
- 2) 野村和宏・榛澤芳雄・福田敦「バスサービスゾーン設定に関する基礎的研究」、第15回交通工学研究発表会論文報告集、PP125～128、1995年11月
- 3) 野村和宏・榛澤芳雄・福田敦「バスサービスゾーンモデルに関する研究～幹線運行速度変化とバスサービス領域」、第16回交通工学研究発表会論文報告集、PP181～184、1996年11月
- 4) 野村和宏「公共交通による都市再生の根拠と方策」、社団法人理想の都市建設研究会2007年度報告書、PP51～76、2008年5月
- 5) 「日本民営鉄道協会」HP：<http://www.mintetsu.or.jp/word/Individual/476.html>
- 6) 「JTB時刻表」2007年7月号

