

# 活動機会の保障水準最大化を目指したバスダイヤの設定法\*

## A Method to Set Bus Diagram for Maximizing Opportunity of Activity \*

岸野啓一\*\*・喜多秀行\*\*\*・寺住奈穂子\*\*\*\*

By Keiichi KISHINO\*\*・Hideyuki KITA\*\*\*・Naoko TERAZUMI\*\*\*\*

### 1. はじめに

世帯における自動車の保有と利用が進展し、公共交通の利用者は減少の一途をたどり、特に人口密度の低い地方部では乗合バス事業が成り立たなくなってきた。そのため、多くの自治体では補助金を支出するなどして生活を維持している。

限られた財源の中で自治体が補助金を支出して生活を維持するには、日常生活における活動機会を最大化する公共交通サービスを提供することが重要である。しかし、実際にはバス事業者の経験に基づいてバスの便数やダイヤが決定されていたり、1台のバスで多数の地区を運行するといった車両運用の都合でダイヤが決められる場合が散見されるなど、必ずしも活動機会や利用ニーズに見合った運行が行われていない場合がある。

このような背景の下で、筆者らは活動機会を確保するためのバスダイヤの設定について研究を重ねてきた。その中で筆者らは、日常生活に必要な外出を伴う活動について、公共交通の利用によって外出が可能であれば活動機会が保障されるとしている。例えば、10:00に自宅を出発し、13:00に帰宅したいという活動がある場合、自宅近くのバス停を10:00に出発する目的地行きのバスと13:00に目的地から到着するバスがあれば活動が保障されると考える。また、上記の活動に対しバスの便が往路8:00発と復路は14:00着しかない場合、バスダイヤに合わせて出発・帰宅する時刻を調整できれば活動機会は保障されるが、それが無理な場合は活動ができない。

このように考えると、活動機会を保障するためのバス運行計画を考えるには、単なる便数ではなくダイヤが重

要であり、定められたバスダイヤのもとで活動機会がどの程度確保されているか（活動機会の保障水準）を測るために何らかの指標が必要になる。

本研究では、活動機会の保障水準を測る指標の一つとして、谷本ら<sup>1)</sup>の提案するアクセシビリティ指標に着目し、所与の便数に対してアクセシビリティ値を最大化するバスダイヤの設定法について提案する。

### 2. 既往研究とアクセシビリティ指標

#### (1) 既往研究の概要

従来より、路線バスの路線網計画やダイヤ設定等に関する研究は多数行われている<sup>2)</sup>。しかし、需要の多い都市部を対象に、バス事業者の立場に立った研究が多く、過疎地域を対象とし、活動機会を保障するためのバスサービスのあり方について研究した事例はまだ少ない。

活動機会を保障するにはダイヤの設定が重要である。それを決定する方法として谷本・喜多<sup>3)</sup>は、目的地において活動時間とバスダイヤが与えられたとき、活動機会の豊かさを活動できる総時間で表すモデルを定式化し、さらに谷本・宮崎<sup>4)</sup>は活動の時間帯分布からバスの運行本数を計画する手法を提案している。

岸野・喜多<sup>5)</sup>はその考え方をうけ、活動機会を確保するとともに運行効率や採算性を考慮したバスダイヤの設定法について提案している。そこでは、活動の時間帯分布（自宅を出発する時刻と帰宅する時刻）が与えられたとき、自宅発着と同じ時間帯にバスが運行されていればその活動は保障されると考え、活動が保障される人数が最大になるバスダイヤの設定法を示している。

しかしながら、谷本・宮崎の方法や岸野・喜多の方法では、バスの運行される時間帯以外の活動は考慮されおらず、活動が保障される人数は最大化されるものの、活動機会の保障水準が最大化されているとは限らない。そこで、活動機会を測る指標としてアクセシビリティ指標を用い、活動機会を最大化するバスダイヤの設定について考えた。

#### (2) アクセシビリティ指標

アクセシビリティ指標については、これまでに様々な提案がなされている（谷本ら<sup>1)</sup>のレビューを参照）。そ

\*キーワード：公共交通計画、計画手法論、活動機会の保障

\*\*正員、岸野都市交通計画コンサルタント株式会社

(神戸大学大学院工学研究科博士課程後期課程)

(京都市伏見区新町六丁目480、

TEL075-622-7631、FAX075-622-7631)

\*\*\*正員、工博、神戸大学大学院工学研究科

(神戸市灘区六甲台町1-1、

TEL078-803-6008、FAX078-803-6013)

\*\*\*\*学生員、神戸大学大学院工学研究科博士課程前期課程

(同上)

の中で、本研究では、活動機会と関連づけることが可能な谷本ら<sup>1)</sup>が提案するアクセシビリティ指標に着目し、アクセシビリティを最大化するバスダイヤの設定方法について検討する。

谷本らは、公共交通を利用して行う活動について、活動時間、活動に利用可能な時間、総移動時間、公共交通の待ち時間を変数として、時間配分の多様性を表す指標として個人のアクセシビリティを定義している。公共交通のダイヤが所与の場合、公共交通を用いて実行可能な個人の活動パターン $a$ （例えば、出掛けるためのバスが午前中に2便、帰宅のためのバスが午後には2便あれば活動パターンは4通りの組合せがある）について活動と移動に充てることのできる自由時間を $T_a$ 、活動のための往復の移動時間を $M$ としたとき、外出先での活動回数が $n$ 回の場合の個人のアクセシビリティ値 $A_n$ が定式化されている。 $n = 1$ の場合、アクセシビリティ値 $A_1$ は式(1)で表される。

$$A_1 = \sum_a \frac{e^{-\beta T_a}}{\gamma} (1 - e^{-\gamma(T_a - M)}) \quad (1)$$

ただし、 $\beta, \gamma$ はパラメータである。

右辺の第1項は外出時間が長くなることによって生じる疲労によるアクセシビリティの低下を表し、第2項は活動機会が充足されることによるアクセシビリティの増加を表している。

なお、活動回数が1回以外のアクセシビリティ指標については文献<sup>1)</sup>を参照されたい。

### 3. アクセシビリティ指標を用いたバスダイヤの設定法

#### (1) 活動時間帯の分布に対するアクセシビリティ

いま、日常生活に必要な活動について、自宅を出発する時間帯と帰宅する時間帯の関係を表す活動時間帯の分布表が表-1のように与えられているとする。この表では、例えば10時台に自宅を出発し、11時台に帰宅したいという活動をする人が6人いることを表している。

表-1 活動時間帯の分布表の例

		帰宅時刻帯							合計
		10	11	12	13	14	15	...	
自宅 出 発 時 刻 帯	10	0	6	4	5	5	1		27
	11		0	0	2	1	0		4
	12			0	3	2	0		5
	13				0	0	5		5
	14					0	6		12
	15						0		13
...								...	
合計		2	15	9	10	8	12	...	120

本研究では、谷本らが提案したアクセシビリティ指標を参考に、このような活動時間帯分布が与えられたときのアクセシビリティ値を考え、その値を最大にするバス

ダイヤの設定について考える。

さて、式(1)のアクセシビリティ指標は、個人を対象としたものである。式の形を見ると、実行可能な活動パターン $a$ について足し上げている。

一方、本研究ではバス路線の沿線といった広がりを持った地区を対象として、地区全体のアクセシビリティを求めようとしているが、式(1)を参考に次のような考え方のもとで、アクセシビリティを求めることにした。

表-1は、地区を対象に、日常生活において希望する活動の分布を集計したものであるが、この分布表以外の活動パターンはない（活動パターンは1通りである）と仮定する。

また、式(1)の $T_a$ は、個人のある活動パターン $a$ に対して移動と活動に充てることのできる時間と定義されている。これに対し、活動パターンが表-1の1通りであると仮定すると、移動と活動に充てることのできる自由時間は自宅出発時刻から帰宅時刻までの時間に等しくなる。すなわち、移動と活動に充てることのできる自由時間を $T_{ij}$ としたとき

$$T_{ij} = t_j - t_i \quad (2)$$

となる。

以上より、地区全体のアクセシビリティは、式(1)の $T_a$ を式(2)に置き換え、活動時間帯の分布表の各セルのアクセシビリティを加重平均することにより求めることができ、式(3)のように表される。

$$A_1 = \sum_i \sum_j \frac{e^{-\beta(t_j - t_i)}}{\gamma} (1 - e^{-\gamma(t_j - t_i - M)}) P_{ij} \quad (3)$$

ただし、 $P_{ij}$ は $t_i$ 時台に自宅を出発し $t_j$ 時台に帰宅する活動の比率である。

#### (2) バスダイヤを考慮したアクセシビリティ

##### a) 前提

次に、バスダイヤを考慮したアクセシビリティについて検討する。その際、次のような条件を前提としている。

都市の中心部と周辺部の地区を結ぶ単一のバス路線を考える。その地区では、中心部に行くことにより通勤、通学、買い物、通院など日常生活に必要な活動機会が得られるとする。

バスの営業所は中心部にあり、バスは中心部→周辺部→中心部という形で往復とも実車運行する。1日のバスの便数（1往復を1便とする）は、例えば自治体が支出できる補助金の上限などから別途与えられるものとし、それを $n$ とする。

また、地区から中心部に向かう往路のバスダイヤ（出発時刻）を $d_k (k = 1, \dots, n)$ 、地区に帰着する復路のバスダイヤ（到着時刻）を $a_l (l = 1, \dots, n)$ で表す。

$t_i$ 時台に自宅を出発し、 $t_j$ 時台に帰宅する活動につい

では、 $t_i \geq d_k$  と  $t_j \leq a_l$  を同時に満たすバスがあれば活動が保障されるとし、いずれか一方の条件を満たさない場合は活動できないとする。

b) バスの待ち時間を考慮したアクセシビリティ

さて、式(3)の右辺第1項は、外出に伴って生じる疲労によるアクセシビリティの低下を表す項である。

式(3)では( $t_j - t_i$ )、すなわち希望する自宅出発時刻から帰宅時刻に対して疲労による低下が考慮されている。しかし、上記のように希望する活動時間帯とバスダイヤの関係を考慮すると、希望する出発時刻にバスがない場合は、希望時刻よりも早く出発するバスを利用するように行動を調整し、結果として待ち時間が生じることになる。例えば、希望する出発時刻は9:30でも8:00のバスを利用せざるを得ない場合は、1時間30分の待ち時間が生じる。

そこで、式(3)の右辺第1項の( $t_j - t_i$ )について、往路に利用するバスの自宅最寄りバス停出発時刻 $d_k$ から復路に利用するバスの自宅最寄りバス停到着時刻 $a_l$ までの時間( $a_l - d_k$ )に置き換えることとした。

これにより、希望する活動時刻とバスダイヤの差から生じる待ち時間を考慮したアクセシビリティ値は、式(4)で表される。

$$A_1 = \sum_i \sum_j \frac{e^{-\beta(a_l - d_k)}}{\gamma} (1 - e^{-\gamma(t_j - t_i - M)}) P_{ij} \quad (4)$$

ただし、 $t_i \geq d_k$  と  $t_j \leq a_l$  を満たす $d_k, a_l$ がないとき

$$A_{1ij} = \frac{e^{-\beta(a_l - d_k)}}{\gamma} (1 - e^{-\gamma(t_j - t_i - M)}) P_{ij} = 0 \quad (5)$$

### (3) バスダイヤの設定

表-1の活動時間帯の分布表に対し、式(4)のアクセシビリティ値を最大化するダイヤの組合せを求める。活動時間帯の分布が与えられたとき、式(4)はバスダイヤ $d_k$ と $a_l$ の関数となる。したがって、アクセシビリティが最大となるバスダイヤの設定は、式(6)のように書ける。

$$(d_1^* \cdots d_n^*, a_1^* \cdots a_n^*) \\ = \arg \max_{(d_1 \cdots d_n, a_1 \cdots a_n)} \sum_i \sum_j \frac{e^{-\beta(a_l - d_k)}}{\gamma} (1 - e^{-z}) P_{ij} \quad (6)$$

ただし、 $z = \gamma(t_j - t_i - M)$

$(d_1^* \cdots d_n^*, a_1^* \cdots a_n^*)$  : アクセシビリティ値が最大になる出発・到着ダイヤの組合せ。

## 4. ケーススタディ

### (1) 対象路線の概要

ここでは、提案した方法に基づいてケーススタディを行い、得られたダイヤと実際のバスダイヤの比較などを

通じて考察を行う。対象路線は、T市の中心部から郊外の地区に向かう延長約6kmの路線である。以前は路線バスとして運行されていたが休止申し出がなされ、平成20年10月から市町村有償運送として、定員10人のワゴン車を用いて1日4往復運行されている。

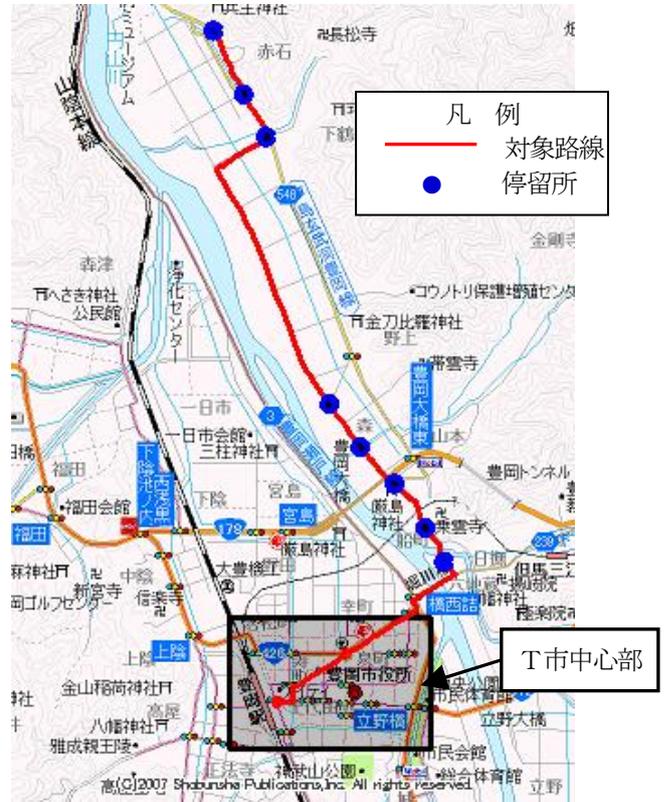


図-1 検討対象路線図

### (2) 活動の時間帯分布

活動時間帯の分布は、平成19年12月にT市において実施された交通行動実態調査データに基づき作成した。調査はアンケート調査票の配布・回収方式で実施され、日常的な外出の外出目的や外出先、普段利用する交通手段、目的別の外出頻度などを調査している。検討対象路線の沿線では、路線圏の全世帯にアンケート調査票を3枚ずつ配布し、各世帯3名を上限として回答を求めた。622世帯1,938人のうち、285世帯688人から回答を得た。回収率は世帯の44%、個人の36%であった。

得られた回答の中から、公共交通の必要な人（運転免許を持たない人、運転免許を持っていても自分では運転しない人）を対象とし、活動時間帯の分布表を作成した（表-2）。その際、対象地域では通勤のほとんどが自動車であるなど、公共交通利用は買い物と通院目的にほぼ限られると考え、活動時間帯の分布表はそれら2つの目的のみを対象として作成した。

表－2 活動時間帯の分布表（対象路線沿線）

		帰宅時刻帯										合計
		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
自宅 出発 時刻 帯	7	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
	8	0.0	0.0	0.8	2.4	2.2	0.1	0.3	0.1	0.1	0.0	6.0
	9		0.0	1.4	4.6	1.9	0.5	0.2	0.0	0.1	0.0	8.7
	10			0.0	11.1	7.4	0.7	0.2	0.2	0.2	0.0	19.7
	11				0.0	15.2	0.1	0.4	0.0	0.2	0.0	15.9
	12					0.0	0.2	0.2	0.5	0.5	0.1	1.4
	13						0.0	5.5	3.4	0.5	0.4	9.8
	14							0.0	4.3	1.8	2.0	8.1
	15								0.0	6.4	0.0	6.4
	16									0.0	2.4	2.4
17										0.0	0.0	
合計		0.0	0.0	2.3	18.3	26.9	1.5	6.9	8.5	9.7	4.9	79.0

注：外出頻度を重みづけしているため整数値になっていない。

### (3) ダイヤの設定

活動時間帯の分布表に対し、アクセシビリティ値が最大になるようにバスのダイヤを設定した。

ダイヤ設定に当たっては、活動時間帯の分布表を1時間単位で作成していること、対象路線では利用者が少なくせいぜい1時間単位でバスを運行すれば活動が保障されると考えられることなどから、1時間当たりの便数は最大1便とした。運行は中心部→対象地区→中心部という往復運行とし、便宜的に郊外の停留所には正時(0分)に到着し、直ちに折り返して出発することとした。

アクセシビリティ値の計算に用いるパラメータの値は、既往研究<sup>1)</sup>より $\beta = 0.188, \gamma = 1.814$ とし、所要時間は実際の運行時間に合わせ30分とした。

前章で説明した方法に従い、実際にダイヤを設定した結果を表－3に示す。ここでは、総当たり法によってアクセシビリティが最大になるダイヤを求めた。

表－3 バスダイヤの設定結果

便数	ダイヤ						A値
1		9:00					0
2		9:00			13:00		7.68
3		9:00			13:00	18:00	12.16
4	8:00		10:00		13:00	18:00	14.32
5	8:00		10:00		13:00	16:00	15.62
6	8:00		10:00	12:00	13:00	16:00	16.51

なお、バスのダイヤは6便まで求めたが、ケーススタディの対象路線では、「収入が運行経費の25%以上となるよう便数を設定する」との考え方が自治体から示され、それに基づき1日の便数は4便と定められている。それにあてはめると、ケーススタディにおけるバスダイヤは、地区発8:00, 10:00, 13:00, 18:00と設定され、アクセシビリティ値は14.32となった。

### (4) 考 察

#### a) 従来法との比較

筆者らはこれまで、人々の活動機会を保障するという考え方のもとでバスダイヤを設定する方法を提案してきた<sup>5)</sup>。その方法により表－2の活動時間帯の分布表に対するバスダイヤを設定すると、4便の場合10:00,11:00,

13:00,15:00となり、アクセシビリティ値は9.30と計算される(表－4)。これは、11時台に出発し12時台に帰宅する活動や10時台に出発し11時台に帰宅する活動が多いことに対し、10時、11時に出発する便や13時に到着するバスを運行することにより、できるだけ多くの人の活動機会を確保しようとした結果である。

これに対し本研究の方法では、8:00,10:00,13:00,18:00発にダイヤが設定された。これは、9～11時台に出発し11・12時台に帰宅する活動が多いことに対し、多少の待ち時間が生じたり、希望する時間帯よりも早目に自宅を出発する必要が生じても、活動機会が確保できるダイヤを設定していることになる。

すなわち、前者では、活動人数の多い時間帯の活動は保障される一方で、それ以外の時間帯の活動は無視していたことになるのに対し、後者は、全体のアクセシビリティ向上を図っているところに違いがある。

なお、双方の考え方を融合することにより、より適切なダイヤの設定方法が見出される可能性があり、この点については今後の研究課題としたい。

#### b) 実際のダイヤとの比較

本研究の結果と実際のダイヤおよび従来法について、対象地区側の始発停留所を出発するバスダイヤとそれに基づくアクセシビリティ値を比較した(表－4)。

本研究の結果を実際のダイヤと比較すると、朝、正午前後、夕方に各1便設定されている点は類似しているが、実際のダイヤは14:00に設定されているのに対し、本研究で求めたダイヤは10:00に設定された点が異なる。

アクセシビリティ値は本研究が14.32、実際のダイヤは12.20であり、本研究の方が大きい。表－3を見ると実際のダイヤのアクセシビリティ値は本研究による3便のアクセシビリティ値(12.16)とほぼ同じ水準にとどまっている。

表－4 実際のダイヤと本研究の比較

ダイヤ	実際	本研究	従来法
1便	7:50	8:00	10:00
2便	12:00	10:00	11:00
3便	14:00	13:00	13:00
4便	17:00	18:00	15:00
アクセシビリティ値	12.20	14.32	9.30

このようにアクセシビリティ値に差が生じた要因は、本研究で求めたダイヤは活動機会の多い午前中の運行密度が相対的に濃いのにに対し、実際のダイヤはその逆となっていることが考えられ、経験などによって定められることが多い実際のバスダイヤは必ずしもアクセシビリティ値が最大になっていないことを表している。

## 5. まとめと今後の課題

本研究では、日常生活に必要な活動の時間帯分布が与えられたときに、谷本らの提案したアクセシビリティ指標が最大になるようなバスダイヤの設定方法について提案した。ケーススタディの結果、実際のダイヤよりアクセシビリティの高いダイヤが設定され、その方法の妥当性が確かめられた。また、活動人数が最大となる時刻からダイヤを設定する従来の方法と比べても、全体的に活動機会を保障するダイヤを設定できることが確認された。

バスダイヤの設定は事業者に委ねられることが多く、ダイヤは事業者が提示するまで利用者にはわからないのが通常である。しかし、このようなアクセシビリティ指標を用いたバスダイヤの設定方法が確立されれば、住民がダイヤを検討して、自治体や事業者と調整したり、提示された代替案からの確に選択することが可能になる。また、事業者は様々な条件の下でダイヤを設定しているが、最適なダイヤを検討することができるようになる。提案した方法には、このようなメリットがあると考えられる。

なお、この方法は、達成されるアクセシビリティ値を比較して公平性を評価する方法にも拡張可能である。

また、高齢者と若年層では外出に伴う疲労減衰の程度は異なると考えられるなど、個人属性や交通目的によってアクセシビリティ指標は異なると考えられる。きめ細かな指標の設定のため、今後このような点について検討することも可能である。

### 参考文献

- 1) 谷本圭志・牧修平・喜多秀行：地方部における公共交通計画のためのアクセシビリティ指標の開発、土木学会論文集（掲載決定）
- 2) 例えば、松島格也・小林潔司：手段補完性を考慮したバス市場構造の分析、土木学会論文集No.765/IV-64, pp.115-129, 2004
- 3) 谷本圭志・喜多秀行：過疎地域における路線バスサービス水準の設定に関する研究、土木計画学研究・講演集Vol.31, pp.275-278, 2005
- 4) 谷本圭志・宮崎耕輔：活動機会の保障を目的とした公共交通サービスの評価、国際交通安全学会「地域社会が保障すべき生活交通のサービス水準に関する研究」平成19年度報告書, pp.16-26, 2008
- 5) 岸野啓一・喜多秀行：活動機会の確保水準に着目したバスダイヤの設定法、第29回交通工学研究発表会（投稿中）