

活動機会の獲得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

通勤・通学や買い物、通院などは、日常生活に必要な活動である。当該地域にそのための会社や学校、商店、病院など（以下、活動拠点という）があれば、それに応じてその地域でできる活動の機会が決まる。これを活動機会という。活動は、活動拠点到達することによって初めて実施可能になることから、何らかの交通サービスによって移動の機会が提供されることで活動機会の実行可能性が担保される¹⁾。そこで、活動拠点まで移動する機会が提供されることによって、必要な時に活動ができることを活動機会の獲得という。活動拠点の密度の低い地域では、最寄りの活動拠点まで長距離の移動が必要な場合が多く、公共交通サービスが提供されることによって、自動車を利用できない人の活動機会が担保される。これを公共交通サービスによる活動機会の保障という。

世帯における自動車の保有と利用の進展を背景として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域において、乗合バスや地方鉄道が民営の事業として成り立たなくなってきた。現在、多くの自治体で補助金を支出するなどして公共交通を維持しているが、これは住民の生活に必要な「活動機会を保障する」ための重要な施策であると考えられる。活動機会を保障することは、人々の健康で文化的な生活を営むために必要な要素であり²⁾、最低限の活動機会の保障は地域における社会保障の一部をなすと考えられる。

公共交通によって活動機会を保障するとき、バスが頻繁に運行され、利用したいときに待ち時間なくバスを利用することができれば、活動機会は容易に獲得すること

*キーワード：公共交通計画、計画手法論、活動機会の保障

**正会員、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）

***正会員、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）

****株式会社ワークスアプリケーションズ

（東京都港区赤坂 1-12-32 アーク森ビル 19 階

TEL03-6229-1200、FAX03-6229-1201）

ができ、活動機会は十分に保障されると考えられるが、公共交通のサービス水準が低い（例えば、朝と夕方に 1 便ずつしかバスが運行されていない）と最低限の活動機会は保障されるが、必要とする活動機会を獲得するのは容易ではない。

限られた財源の中で自治体が補助金を支出して公共交通を維持するに当たっては、できるだけ多くの活動機会が獲得でき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が需要や採算性などに基づいてバスの便数やダイヤを決定していたり³⁾、運行効率を重視し 1 台のバスで多数の地区を順繰りに運行するダイヤが設定されるなど、採算性や効率性が重視される場合が散見され、活動機会を保障するという観点から公共交通サービスが提供さ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保障するために必要な公共交通のサービス水準を検討するという観点から、バスダイヤの設定法に関する研究を重ねてきた。バスの利用によって獲得できる活動機会は、単にバスの便数だけで決まるのではなく、具体的なダイヤ設定によって決まる（例えば、病院の受付時間内に到着するバスがなければ診療を受けられない）ため、バス運行計画を考えるには、1 日単位で便数を定めるのではなく、活動の実態を時間単位で捉え、何時にバスを運行すればよいかというダイヤを設定することが重要である。そのため、バスダイヤによって活動機会がどの程度獲得できるかを表す「活動機会の獲得水準」を測る指標が必要になる。

このような認識に基づき、本研究ではまず、活動機会の獲得水準を測る指標の一つとして、谷本・牧・喜多⁴⁾の提案するアクセシビリティ指標に着目する。その指標は個人レベルのアクセシビリティを表すものであるが、バスダイヤなど公共交通のサービス水準は地区（停留所のサービス圏）を単位に定められるものであるため、公共交通計画の策定には地区レベルでの指標が必要となる。そこで、本研究では個人のアクセシビリティを地区で集約することにより、地区レベルの計画指標としてのアクセシビリティ指標を構築する。次に、ある地区を通るバスの便数が与えられたとき、その地区の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。本稿の構成は次のとおりである。2. では、提案する指

標のベースとなるアクセシビリティ指標について、既往研究とともに紹介する。3.では与えられたバスダイヤに対し活動機会の獲得水準を表すことのできる個人レベルでのアクセシビリティ指標を構築し、4.では地区レベルでのアクセシビリティ指標を構築する。5.ではその指標に基づいてバスダイヤを設定する方法を関連する既往の方法とともに説明する。6.ではケーススタディを行い、提案した指標や方法が実際の計画にも適用できることを示す。7.はまとめである。

2. 既往研究とアクセシビリティ指標

(1) バス運行に関する既往研究の概要

従来より、路線バスを対象とした計画論や計画手法に関する研究は数多く行われており、そのテーマは多岐にわたる^{5)~7)}。本研究で着目する需要の少ない地域におけるバス運行計画に関する既往研究を見ると、人口などに基づき1日のバス利用者数や便数を決定する手法を体系化するなど、過疎地域におけるバス交通計画手法をシステム化した研究⁸⁾が行われているほか、タクシーの活用方策や⁹⁾過疎地有償運送の導入方策に関する研究¹⁰⁾、不規則に発生する少量の需要に対しデマンド型の乗合交通機関を効率よく運行する方法に関する研究¹¹⁾¹²⁾などが見られる。また、事業採算性をシミュレーションするための条件として、バスダイヤを設定した研究事例がある¹³⁾。しかし、活動機会の保障という観点から、定時定路線型のバスダイヤの設定方法について研究した事例はほとんど見られない。

谷本・喜多¹⁴⁾は、目的地における活動時刻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¹⁵⁾は活動の時間帯分布からバスの運行本数を選定する手法を提案している。

岸野・喜多¹⁶⁾はその考え方をうけ、活動機会を保障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（活動時刻に間に合うよう自宅を出発する必要がある時間帯と活動を終えて帰宅する時間帯）が与えられたとき、自宅を出発する時間帯および帰宅する時間帯と同じ時間帯にバスが運行されていればその活動機会は保障されると考え、活動機会を獲得でき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、活動機会を獲得できる人数は最大化されるものの、活動機会の獲得水準が最大化されているとは限らない。そこで本研究において、活動機会の獲得水準を計測する指標を構築し、それを最大化するバスダイヤの設定

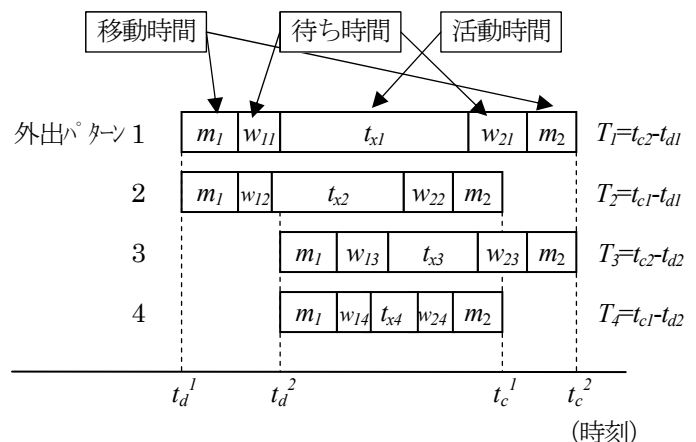
法について考えた。

(2) アクセシビリティ指標

谷本・牧・喜多⁴⁾は、公共交通計画に際し、日常生活における活動がどの程度行いやすいか（または行いにくい）という視点で計画を評価することが重要であると指摘している。しかし、既存のアクセシビリティ指標^{17)~19)}ではダイヤの存在による移動制約が活動機会の獲得水準に及ぼす影響を考慮し得ないとして、公共交通計画のための新たなアクセシビリティ指標を構築している。

ここでは、公共交通を利用して行う活動を対象に、移動と活動に利用可能な時間、活動時間、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を定式化し、個人レベルのアクセシビリティを定義している。

一例として、外出先での活動回数が1回、出掛けるためのバスと帰宅のためのバスが各2便ある場合について説明する(図-1参照)。いま、バスの出発時刻を t_d^1, t_d^2 、到着時刻を t_c^1, t_c^2 とすると、これらのバスを用いて実行可能な個人の外出パターンの組合せは、図-1に示す4通りある。外出パターン a について活動と移動に充てることのできる利用可能時間を T_a (往路のバスの出発時刻から復路のバスの到着時刻までの時間に相当、外出パターン1の場合は $t_c^2 - t_d^1$ となる)、活動のための往路・復路の移動時間をそれぞれ m_1, m_2 、 $M = m_1 + m_2$ (移動時間は外出パターンに依らずに一定)、往路・復路の待ち時間を w_{1a}, w_{2a} 、活動時間を t_{xa} としたとき、個人のアクセシビリティは各外出パターンにおける t_{xa} と w_{1a}, w_{2a} の時間配分の多様性として表される。その際、外出時間が長さに対する疲労と待ち時間の長さに対する疲労に伴うアクセシビリティの減衰を考慮し、外出パターン a に対するアクセシビリティ A_a は式(1)のように定式化されている。



注：この図は、各外出パターンに対する一つの時間配分の例を示したものである。

図-1 外出パターンと時間配分の概念

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

ただし、 β 、 γ はパラメータである。

個人レベルのアクセシビリティ A は A_a を全ての外出パターンについて合計することによって得られる(式(2))。

$$A = \sum_a A_a \quad (2)$$

3. 個人レベルの活動機会の獲得水準を表すアクセシビリティ指標

(1) 基本的な考え方

谷本・牧・喜多が提案した式(1)・(2)のアクセシビリティ指標では、一つの活動に対して全てのバスが利用できるを考え、図-1に示すように往路・復路のバスダイヤの組合せの数だけ外出パターンがあるとしている。これは、活動機会の多様性をアクセシビリティ指標として表すため、実行可能な全ての組合せを考慮したものである。

これに対し、本研究はバスダイヤの設定によってどの程度の活動機会を獲得し得るかを測る指標の作成を目的としているため、活動機会を獲得する際活動時間帯の前後で最も近い時刻に運行されるバスを利用すると考えた(図-2)。いま、時刻 t_s から始まる活動時間が t_x の活動を想定し、活動を行うためには自宅から活動機会の得られる場所までバスを利用する必要があるとする。この活動を行うとき、往路は出発時刻 t_d が $t_s - m_1 \geq t_d$ となるバスの中で最も t_s に近いバスを利用し、復路は到着時刻 t_c が $t_s + t_x + m_2 \leq t_c$ となるバスの中で最も $t_s + t_x$ に近いバスを利用すると考える。すなわち、利用可能なバスのうち、活動の開始時刻と終了時刻に最も近いバスを利用し、それ以外のバス(図-2の例では t_d^2 と t_c^2)は利用しないとする。このため、活動の時間帯(t_s と t_x)が定めれば利用できるバスは定まり、図-1や式(1)・(2)に示した外出パターン a は1通りになる。

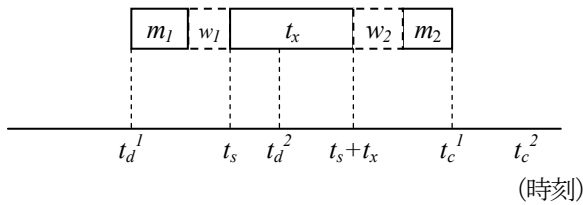


図-2 活動時間とバスダイヤの関係

本研究は、このような考えのもとで、住民の活動時間帯が与えられたとき、活動機会の獲得水準が最も高くなるバスダイヤを設定する。それに資するため、式(1)・(2)で表されるアクセシビリティ指標を参考に活動機会の獲得水準を表す指標を構築する。

なお、式(1)・(2)のアクセシビリティ指標は、バスダイヤが定められたとき、バスを利用して行える活動の時間配分がどれだけ多様であるかを表す指標であり、全てのバスを利用して実行できる全ての外出パターンに対するアクセシビリティを合算している。これに対し、本研究では活動の時間帯に対し、最も合理的な1往復のバスを利用し、その他のバスは除外している。この意味において、式(1)・(2)のアクセシビリティ指標と、本研究で提案する指標は異なる性質のものである。

(2) 活動時間帯の分布表

日常生活における個人の活動は、通勤・通学や定期的に行う通院のように、およその時間帯が決まっているものもあるが、一般的には様々な時間帯に行われる。

ある個人 κ の日常生活における活動 λ について、自宅を出発する時間帯(その活動を行うために自宅を出発する必要がある時間帯)を $t_i^{\kappa\lambda}$ 、帰宅する時間帯(その活動を終えて自宅に帰着する時間帯)を $t_j^{\kappa\lambda}$ とし、その活動をその時間帯に行う頻度(1日当たりの平均回数、例えば週に1回なら1/7)を $f^{\kappa\lambda}(t_i^{\kappa\lambda}, t_j^{\kappa\lambda})$ とする。これに対し、表-1のように表の縦方向に自宅を出発する時間帯 t_i 、横方向に帰宅時間帯 t_j を取り、式(3)で表される $f^{\kappa}(t_i^{\kappa}, t_j^{\kappa})$ を t_i と t_j がクロスするセルに表記する。これを「個人 κ の活動時間帯の分布表」と呼ぶ。

$$f^{\kappa}(t_i^{\kappa}, t_j^{\kappa}) = \sum_{\lambda} f^{\kappa\lambda}(t_i^{\kappa\lambda}, t_j^{\kappa\lambda}) \quad (3)$$

なお、これ以降、 $f^{\kappa}(t_i^{\kappa}, t_j^{\kappa})$ を f_{ij}^{κ} と略記する。

表-1は、ある個人 κ が時間帯 t_i に自宅を出発し、時間帯 t_j に帰宅するという活動を行う頻度が1日平均 f_{ij}^{κ} (回/日)であることを表している。出発時刻と帰宅時刻の前後関係から、 $t_i > t_j$ となる f_{ij}^{κ} は定義されない。

また、自宅出発時間帯 t_i および帰宅時間帯 t_j は一定の幅をもった時間帯として設定される。時間帯の設定単位は任意であり、実態調査に基づく場合は1時間や30分を単位とすることが適切である。

表-1 個人 κ の活動時間帯の分布表

		帰宅時間帯							合計
		t_1	t_2	...	...	t_j	...	t_n	
自宅 出発 時間帯	t_1	f_{11}^{κ}	f_{12}^{κ}	...	...	...	...	...	f_{1*}^{κ}
	t_2		f_{22}^{κ}	...	...	...	...	...	f_{2*}^{κ}
	$\vdots$			...	...	...	...	...	...
	t_i				...	f_{ij}^{κ}	...	...	f_{i*}^{κ}
	$\vdots$					...	...	...	...
	t_n						...	f_{nn}^{κ}	f_{n*}^{κ}
合計		f_{*1}^{κ}	f_{*2}^{κ}	...	...	f_{*j}^{κ}	...	f_{*n}^{κ}	f_{**}^{κ}

なお、活動時間帯の分布表は、公共交通しか利用できない人にとってどのようなダイヤが望ましいかを考慮するためのものである。谷本・喜多¹⁾は、便数が限定されるバスを利用して生活している人に対しバスサービスの改善について尋ねたところ、「いつもバスに合わせて行動しているので自分にとって一番よい活動は良く分からない」との回答があったという調査事例を示しているが、これはダイヤの制約によって実行可能な範囲でしか活動ニーズを形成しないことを示唆している。活動時間帯の分布表の作成に当たっては、このようなダイヤの制約がない状態での活動パターンを得ることが重要であり、利用時間帯やダイヤの制約がない自家用車を利用した場合の活動時間帯の分布を用いることが一法である。

(3) 指標の定式化

式(1)・(2)で表されるアクセシビリティ指標の考え方を踏まえ、個人の活動時間帯の分布が表-1のように表されるとき、個人のアクセシビリティ指標を定式化する。

まず、個人 κ が時間帯 t_i に自宅を出発し、時間帯 t_j に帰宅する活動に着目する。3.(1)に示したように、本研究では、時間帯 t_i に自宅を出発し時間帯 t_j に帰宅する活動は、 t_i の直前に出発するバスと、 t_j の直後に到着するバスを利用して行うものとし、それ以外のバスは利用しない、すなわち、式(1)・(2)の外出パターン a は1通りであるとしている。そのため、 a による総和を表す式(2)は無用となる。

次に、個人 κ が活動を行いたい時間帯には、いつでも交通機関が利用可能である状態を想定する。これは、自家用車が自由に利用できる状態やバスが頻繁に運行されている状態を意味し、時間帯 t_i に自宅を出発し時間帯 t_j に帰宅する活動に対し、時間帯 t_i と t_j にバスが運行されている状態に相当する。このとき、個人レベルのアクセシビリティは最大となるが、後にアクセシビリティが最大となるバスダイヤを設定する際の基準となる。

これらより、活動と移動に充てることのできる利用可能時間である式(1)の T_a は、往路/復路に利用するバスの出発時刻/到着時刻がそれぞれ t_i 、 t_j であることから、

$$T_a = t_j - t_i \quad (4)$$

となる。

個人 κ が時間帯 t_i に自宅を出発し、時間帯 t_j に帰宅する活動のアクセシビリティ A_{ij}^κ は、式(1)の T_a を式(4)に置き換えることで得られ、式(5)のように表される。

$$A_{ij}^\kappa = \frac{e^{-\beta(t_j-t_i)}}{\gamma} \left(1 - e^{-\gamma(t_j-t_i-M)}\right) \quad (5)$$

なお、式(5)の導出過程では、自宅において時間帯が固定される活動はないと仮定している。

式(5)は個人 κ の自宅出発時間帯 t_i と帰宅時間帯 t_j に関する一つの組合せ (t_i, t_j) に対するアクセシビリティである。個人レベルのアクセシビリティ指標は、 A_{ij}^κ を活動時間帯の分布表の全ての (t_i, t_j) について f_{ij}^κ で重みをつけて合算することによって求められる。すなわち、個人 κ のアクセシビリティ指標 A^κ は、式(6)で表される。

$$A^\kappa = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{e^{-\beta(t_j-t_i)}}{\gamma} \left(1 - e^{-\gamma(t_j-t_i-M)}\right) f_{ij}^\kappa \quad (6)$$

4. 地区レベルの活動機会の獲得水準を表すアクセシビリティ指標

(1) 地区の活動時間帯の分布表

式(6)のアクセシビリティ指標は、個人レベルの活動パターンに基づくものであるが、公共交通計画には地区単位での指標が必要になる。そこで、地区住民の個人の活動時間帯の分布表を集計して地区の活動時間帯の分布表を作成し、それに基づき地区レベルのアクセシビリティ指標を構築する。

地区レベルの活動時間帯の分布表は、個人の活動時間帯の分布表を式(7)のように集計することで得られる。その際、地区間でのアクセシビリティの比較などに用いることを考慮し、 $\sum_i \sum_j p_{ij} = 1$ となるように規準化している。

この表は、ある地区において時間帯 t_i に自宅を出発し、時間帯 t_j に帰宅するという活動をする人の比率が p_{ij} であることを表している。

$$p_{ij} = \frac{\sum_{\kappa} f_{ij}^\kappa}{\sum_{\kappa} \sum_i \sum_j f_{ij}^\kappa} \quad (7)$$

表-2 地区レベルの活動時間帯の分布表

		帰宅時間帯							合計
		t_1	t_2	...	...	t_j	...	t_n	
自宅 出発 時間 帯	t_1	p_{11}	p_{12}	...	...	...	...	...	p_{1*}
	t_2		p_{22}	...	...	...	...	...	p_{2*}
	$\vdots$			...	...	...	...	...	...
	t_i				...	p_{ij}	...	...	p_{i*}
	$\vdots$					...	...	...	...
	t_n						...	p_{nn}	p_{n*}
合計		p_{*1}	p_{*2}	...	...	p_{*j}	...	p_{*n}	1.00

(2) 指標の定式化

表-2に示す活動時間帯の分布表に基づく地区レベルのアクセシビリティ指標は、表-1にの活動時間帯の分布表から個人レベルのアクセシビリティ指標を導出したのと同じプロセスで得られる。

まず、時間帯 t_i に自宅を出発し、時間帯 t_j に帰宅する活動に着目するとともに、地区の住民が活動を行いたい時間帯にいつでも交通機関が利用可能である状態を想定する。そのとき、地区レベルのアクセシビリティ A_{ij} は式(8)で表される。

$$A_{ij} = \frac{e^{-\beta(t_j-t_i)}}{\gamma} \left(1 - e^{-\gamma(t_j-t_i-M)}\right) \quad (8)$$

式(8)は自宅出発時間帯 t_i と帰宅時間帯 t_j に関する一つの組合せ (t_i, t_j) に対するアクセシビリティであり、地区レベルのアクセシビリティ指標とするためには、活動時間帯の分布表全体のアクセシビリティを求める必要がある。その方法はいくつか考えられる。例えば、活動時間帯の分布表の各セルに対するアクセシビリティ A_{ij} の最小値を地区レベルのアクセシビリティ指標として代表させる方法、 A_{ij} を p_{ij} で加重平均する方法、 A_{ij} のジニ係数を求める方法などが考えられるが、計画の目的に応じて適宜設定すればよい。どの時間帯の活動についても一定の水準以上の活動機会を保障することが重視される場合は A_{ij} の最小値を代表させればよいし、時間帯によらず活動機会の獲得水準をなるべく均等化する際にはジニ係数を小さくすることを検討すればよい。

本研究では、なるべく多くの人の活動機会を保障するバスダイヤを設定するという観点から、 A_{ij} を p_{ij} で加重平均したものを地区全体のアクセシビリティ指標 A とした(式(9))。

$$A = \sum_i \sum_j \frac{e^{-\beta(t_j-t_i)}}{\gamma} \left(1 - e^{-\gamma(t_j-t_i-M)}\right) p_{ij} \quad (9)$$

(3) バスダイヤを考慮したアクセシビリティ指標

式(9)により、活動時間帯の分布表が与えられたとき、それらの活動機会が全て保障される場合の地区レベルのアクセシビリティが表された。

次に、活動を行うためにバスを利用する場合を想定し、与えられた活動時間帯の分布表に対して、バスダイヤを考慮したアクセシビリティ指標の構築について述べる。

a) 前提

ある都市の周辺部に位置する地区を考える。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。地区と都市の中心部は一つのバス路線で結ばれており、往路(地区から中心部へ)のバス1日 K 便、復路(中心部から地区へ)は L 便運行されているとする。そのとき、往路のバスダイヤ(地区の出発時刻)を $d_k (k=1, \dots, K)$ 、復路のダイヤ(地区の到着時刻)を $a_l (l=1, \dots, L)$ で表す。

時間帯 t_i に自宅を出発し、時間帯 t_j に帰宅する活動に

ついて、 $t_i \geq d_k$ と $t_j \leq a_l$ を同時に満たすバスがあれば活動機会を獲得し得るとし、いずれか一方の条件を満たさない場合、活動機会は獲得できないとする。

b) バスの待ち時間を考慮したアクセシビリティ指標式(9)で表される地区全体のアクセシビリティは、全ての活動に対して交通手段が利用可能で活動機会が保障される場合のアクセシビリティである。

これに対し、バスを利用する場合、バスのダイヤによっては希望する自宅出発時間帯や帰宅時間帯にバスがなく、バスダイヤに行動を合わせる必要が生じる。すなわち、希望する出発時刻/帰宅時刻にバスがない場合は、希望時刻よりも早く出発する/遅く到着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。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。

さて、地区のアクセシビリティを表す式(9)には、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が含まれている。式(9)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。

これに対し、出発時間帯や到着時間帯をバスダイヤに合わせる場合、外出時間は往路のバスの出発時刻から復路のバスの到着時刻までの時間となる。

これらより、バスダイヤに活動の時間帯を合わせる場合、アクセシビリティの低下は、 $(t_j - t_i)$ を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 $(a_l - d_k)$ に置き換えることで表現できる。すなわち、バスダイヤを考慮した地区レベルのアクセシビリティ指標は式(10)、式(11)で表すことができる。

$$A = \sum_i \sum_j \frac{e^{-\beta(a_l-d_k)}}{\gamma} \left(1 - e^{-\gamma(a_l-d_k-M)}\right) p_{ij} \quad (10)$$

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、

$$A_{ij} = \frac{e^{-\beta(a_l-d_k)}}{\gamma} \left(1 - e^{-\gamma(a_l-d_k-M)}\right) = 0 \quad (11)$$

なお、活動時間帯 t_i, t_j と利用するバスの出発時刻、到着時刻 d_k, a_l の時間差 $t_i - d_k, a_l - t_j$ が大きい(バスの待ち時間が長い)場合は、活動時間 $t_j - t_i$ に比べて $d_k - a_l$ が大きくなる。その場合、式(9)で表される地区全体のアクセシビリティ値より、式(10)のアクセシビリティ値は小さくなり、バスの待ち時間が長くなるとアクセシビリティが低下することを表している。

5. 地区レベルのアクセシビリティを最大化するバスダイヤの設定法

次に、式(10)・(11)で表されるアクセシビリティ指標を用い、活動機会の獲得水準を最大化するバスダイヤの設定方法について説明する。それに先立ち、提案する方法の比較評価に用いる従来の方法についても説明しておく。

(1) 従来の方法

岸野・喜多¹⁰⁾は、表-2に示す地区レベルの活動時間帯の分布表に基づき、次のような方法でバスダイヤと便数を定めることを提案している。

そこでは、時間帯 t_i に自宅を出発し t_j に帰宅する活動は、時間帯 t_i に地区を出発するバスがあり、かつ時間帯 t_j に地区に到着するバスがあればその機会が保障されるという考え方のもとで、できるだけ多くの人が活動機会を獲得できるよう、1便ずつ地区の出発時刻、地区への到着時刻を設定しながらバスを増やしていく。

いま、 k 番目に設定されるバスの地区の出発時刻と地区への到着時刻の組合せを (t_i^k, t_j^k) で表し、これを k 便目のダイヤと称す。

まず、1便目のダイヤ (t_i^1, t_j^1) について考える。1便目は、できるだけ多くの人が活動機会を獲得できるようにダイヤを設定するという考えに基づき、時間帯 t_i に自宅を出発し t_j に帰宅する人の比率 p_{ij} が最大となる時間帯に運行する。すなわち、

$$(t_i^1, t_j^1) = \arg \max_{(t_i, t_j)} p_{ij} \quad (12)$$

となるように1便目のダイヤを設定する。ここで $\arg$ とは p_{ij} を最大化する (t_i, t_j) の組合せを求めることを意味する。

次に、1便追加することによってできるだけ多くの人が活動機会を獲得できるように2便目以降のダイヤを設定する。いま、1～ k 便目のダイヤが既に定められているとし、 $k+1$ 便目のダイヤを追加設定することを考える。1～ k 便目までの運行により、これら k 便のダイヤの組合せによって $t_i^1, t_i^2, \dots, t_i^k$ のいずれかの時間帯に自宅を出発し $t_j^1, t_j^2, \dots, t_j^k$ のいずれかの時間帯に帰宅する人が活動機会を獲得し得る。そこに $k+1$ 便目を追加することによって新たに活動機会を獲得できる人数 Δp^{k+1} は式(13)で表される。

$$\begin{aligned} \Delta p^{k+1} &= \sum_{i=1}^{k+1} \sum_{j=1}^{k+1} p^{ij} - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k p^{ij} \\ &= \sum_{i=1}^k p^{i(k+1)} + \sum_{j=1}^{k+1} p^{(k+1)j} \end{aligned} \quad (13)$$

ここで p^{kl} は、地区を t_i^k に出発するバスと地区に t_j^l に到着するバスによって活動機会を獲得できる人数の比率

である。

$k+1$ 便目のバスダイヤ (t_i^{k+1}, t_j^{k+1}) は、活動機会を新たに獲得できる人数 Δp^{k+1} を最大化する t_i と t_j を求めることで得られ、式(14)のように書ける。

$$\begin{aligned} (t_i^{k+1}, t_j^{k+1}) &= \arg \max_{(t_i, t_j)} \Delta p^{k+1} \\ &= \arg \max_{(t_i, t_j)} \left(\sum_{i=1}^k p^{i(k+1)} + \sum_{j=1}^{k+1} p^{(k+1)j} \right) \end{aligned} \quad (14)$$

(2) アクセシビリティが最大となるバスダイヤの設定

このような従来の方法に対し、本研究では活動時間帯の分布表に基づき、アクセシビリティが最大となるバスダイヤを設定する。すなわち、式(10)のアクセシビリティ指標が最大となるバスのダイヤを求めるものである。

活動時間帯の分布表やバスの所要時間が与えられれば t_i, t_j, p_{ij}, M は既知となり、式(10)・(11)で表されるバスダイヤを考慮した地区のアクセシビリティは、バスダイヤ $d_k (k=1, \dots, K)$ と $a_l (l=1, \dots, L)$ の関数となる。したがって、アクセシビリティを最大化するバスダイヤの設定は、式(10)の A が最大となる $d_k (k=1, \dots, K)$ と $a_l (l=1, \dots, L)$ の組合せを求めればよく、式(15)のように書ける。

$$\begin{aligned} &(d_1^* \dots d_K^*, a_1^* \dots a_L^*) \\ &= \arg \max_{(d_1 \dots d_K, a_1 \dots a_L)} \sum_i \sum_j \frac{e^{-\beta(a_l - d_k)}}{\gamma} (1 - e^{-z}) p_{ij} \end{aligned} \quad (15)$$

ただし、 $(d_1^* \dots d_K^*, a_1^* \dots a_L^*)$ は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であり、

$$z = \gamma(a_l - d_k - M) \quad \text{である。}$$

なお、出発・到着ダイヤの組合せを求める際、本研究では総当たり法を用いているが、さらに効率的な方法もあり得る。また、往路・復路のバスの便数 K と L について、本研究では所与としている。実際には、自治体などの計画主体が財源の制約や利用状況などの観点から定める。その方法には、市町村の補助金を一定範囲内に収める方法、1便当たりの最低限の利用者に基づいて決める方法などが考えられる。詳しくは岸野・喜多¹⁰⁾を参照されたい。

6. ケーススタディ

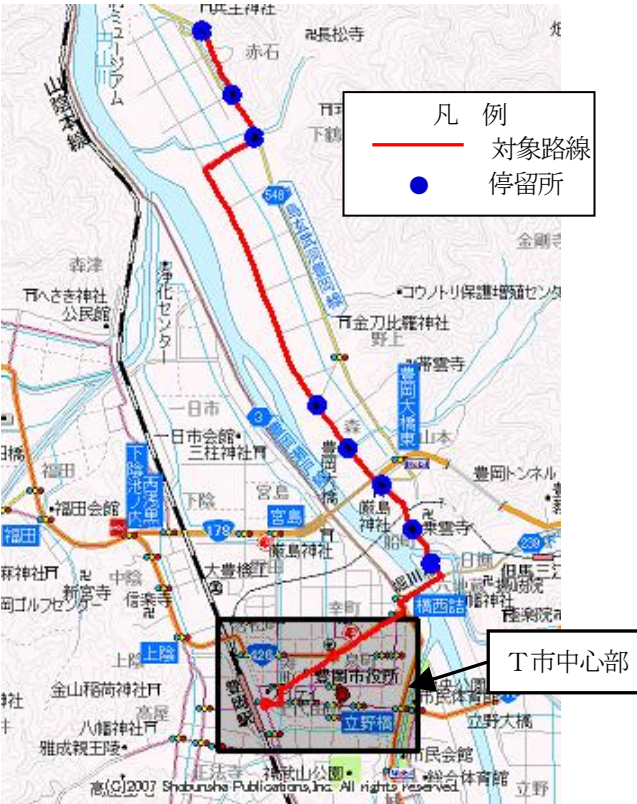
(1) 対象路線の概要

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提案した方法の有用性などについて考察を行う。

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。

(2) 活動時間帯の分布表の作成

活動時間帯の分布表は、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、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。



図ー3 検討対象路線図

調査では、外出目的を通勤、通学、買い物、通院、仕事に区分し、各目的の日常的な外出について、行き先、自宅出発時刻、帰宅時刻、外出頻度、利用交通手段などを質問している。活動時間帯の分布表の作成に当たっては、1時間を基本的な単位として、目的ごとに日常的な自宅出発時刻と帰宅時刻の関係を集計した。その際、外出頻度を1日当たりの平均外出回数に変換し、重みづけしている。活動時間帯の分布表を表ー3に示す。

なお、対象路線の沿線では通勤のほとんどが自家用車であり、公共交通利用は買い物と通院にほぼ限られるため、ケーススタディではそれら2目的のみを対象とした。

表ー3 活動時間帯の分布表（対象路線沿線）

		帰宅時間帯																	(千分率)
		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	合計							
自宅 出 発 時 間 帯	7	0	0	1	2	3	0	1	0	0	0	7							
	8	0	0	10	31	28	1	3	1	1	0	76							
	9		0	17	59	24	6	3	1	1	0	110							
	10			0	140	94	9	3	2	3	0	250							
	11				0	192	1	6	0	2	0	201							
	12					0	2	2	6	6	2	18							
	13						0	70	43	6	5	124							
	14							0	55	23	25	103							
	15								0	81	0	81							
	16									0	31	31							
17											0	0							
合計		0	0	29	231	341	19	87	108	123	62	1,000							

注：千分率で表している。

(3) バスダイヤの設定

活動時間帯の分布表に対し、式(10)に示した地区レベルのアクセシビリティ値が最大になるよう、式(15)に基づきバスダイヤを設定した。

なお、アクセシビリティ指標は活動機会の獲得水準を表す指標であり、アクセシビリティ指標を最大化するバスダイヤを設定することは、活動機会の獲得水準を最大化するバスダイヤを設定することにほかならない。

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から、簡単のため1時間当たりの便数は最大1便とした。なお、より細かいダイヤ設定が必要な場合は、活動時間帯の分布表をより短い時間単位（例えば30分単位など）で作成すれば対応が可能である。運行は中心部→対象地区→中心部という往復運行とし、便宜的に対象地区の起点の停留所には正時（0分）に到着し、直ちに折り返して出発することとした。なお、これはバスの営業所が対象都市の中心部にあるために設定した仮定であり、容易に緩和できる。

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⁴⁾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。

アクセシビリティが最大になるよう求められたバスダイヤを表ー4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。

バスダイヤは2便から6便までの5ケースについて求めた。このうち、ケーススタディ対象路線の実際の便数と同じ4便の場合、ケーススタディによるバスダイヤは、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0.181となった。

表ー4 バスダイヤの設定結果

便数	ダイヤ							A値
2		9:00			13:00			0.097
3		9:00			13:00		18:00	0.154
4	8:00		10:00		13:00		18:00	0.181
5	8:00		10:00		13:00	16:00	18:00	0.198
6	8:00		10:00	12:00	13:00	16:00	18:00	0.209

(4) 考 察

a) 従来法との比較

活動時間帯の分布表に対し、活動機会を保障する人数を最大化するという考え方による従来法(5.(1)参照)に基づき、表-3の活動時間帯の分布表に対するバスダイヤを設定した。その結果、4便の場合は10:00,11:00,13:00,15:00 となり、アクセシビリティ値は0.118 と計算された(表-5)。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が活動機会を獲得できるようにした結果である。

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、多くの活動機会を保障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。

表-5 従来法によるダイヤや実際のダイヤとの比較

ダイヤ	本研究	従来法	実際
第1便	8:00	10:00	7:50
第2便	10:00	11:00	12:00
第3便	13:00	13:00	14:00
第4便	18:00	15:00	17:00
アクセシビリティ値	0.181	0.118	0.154

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、それ以外の時間帯に設定された1便が、実際のダイヤでは14:00 であるのに対し、本研究では10:00 である点異なる。

アクセシビリティ値は本研究が0.181、実際のダイヤは0.154 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(0.154) とほぼ同じ水準にとどまっている。

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る。路線バスの休止に伴い市町

村有償運送に転換したケーススタディの対象路線では、路線バス当時のダイヤを参考に市の担当者がダイヤを定めており、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。

7. まとめと今後の課題

本研究では、谷本・牧・喜多の提案したアクセシビリティ指標に基づいて活動機会の獲得水準を表す指標を構築し、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、指標の値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、すなわち活動機会の獲得水準が高いダイヤが見出され、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わかり、限定的ではあるが提案した方法の有用性が確認された。

バスダイヤの設定は事業者任せられることが多く、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、住民懇談会などの場でこの指標を用いたダイヤの評価結果を提示することにより、住民がその結果を見て²⁰自治体や事業者と調整したり、提示された代替案から的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。

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が、その研究成果は別の機会に公表したい。

また、高齢者と若年層では外出に伴う疲労がアクセシビリティに及ぼす影響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式(10)に示すアクセシビリティ指標のパラメータ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が課題である。

参考文献

- 1) 谷本圭志・喜多秀行：地方における公共交通計画に関する一考察—活動ニーズの充足のみに着目することへの批判的検討—, 土木計画学研究・論文集 Vol23. no.3, pp599-607, 2006
- 2) Sen, A. K.: Commodities and Capabilities, Amsterdam, North-Holland, 1985 (鈴木興太郎訳：福祉の経済学—財と潜在能力, 岩波書店, 1988)

- 3) 国土交通省自動車交通局, (社) 日本バス協会: 路線・便数・輸送力と運賃水準決定の考え方について,
<http://www.mlit.go.jp/common/000032775.pdf>
- 4) 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 D Vol.65 No.4, pp.544-553, 2009
- 5) 高山純一・中山晶一郎・遠藤玲・戸瀬暖: 機関分担を考慮したバス路線網策定システムの構築に関する研究, 第 27 回交通工学研究発表会論文集, pp.197-200, 2007
- 6) 柿本竜治: 乗合バス事業の費用関数確定による規制緩和の影響分析, 都市計画論文集No.43-3, pp.841-846, 2008
- 7) 竹内伝史・古田英隆: コミュニティバス事業の総括の試みー計画における理念と実現、運用後の実態そして評価ー, 土木計画学研究・論文集 Vol25, pp.423-430, 2008
- 8) 森山昌幸・藤原章正・杉恵頼寧: GIS を活用した中山間地域の公共交通計画支援ツールの開発, 土木計画学研究・論文集 Vol21, pp.759-768, 2004
- 9) 塚田悟之・高田邦道・小早川悟: 公共交通不便地域におけるタクシー交通の活用方策, 都市計画論文集No.43-3, pp.823-828, 2008
- 10) 吉田樹・秋山哲男・金載昊: 過疎地域におけるモビリティ確保と過疎地有償運送の適用可能性, 第 27 回交通工学研究会論文集, pp.153-156
- 11) 岸邦宏・佐藤馨一: 住民ニーズに基づいた過疎地域における生活交通手段の策定プロセス, 土木計画学研究・論文集 Vol.23 no.3, pp.591-597, 2006
- 12) 福本雅之・西山陽介・加藤博和・孫卓: 公共交通需要希薄地域における少量乗合輸送サービス導入方法に関するシミュレーション分析, 土木学会論文集 D Vol.65 No.4, pp.480-492, 2009
- 13) 出口近士・吉武哲信・上村孝喜・飯干淳志: 高千穂町におけるコミュニティバス事業化プロセスの計画学的視点からの分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.24 no.4, pp.895-906, 2007
- 14) 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
- 15) 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
- 16) 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論文集, pp.357-360, 2009
- 17) Wilson, A. G.: A Family of Special Interaction Models, and Associated Developments, Environmental and Planning A3, pp.1-32, 1971
- 18) Ben-Akiva, M. and Lerman, S. R.: Disaggregate Travel Mobility-Choice Models and Measures of Accessibility, In Behavioral Travel Modeling, Edited by Hensher, D. A. and Storper, P. R., pp.654-679, 1979
- 19) Miller, H. J.: Modeling Accessibility using Space-Time Prism Concepts within Geographical Information Systems, International Journal of Geographical Systems 5 (3), pp.287-301, 1991
- 20) 谷本圭志: 自己調達支援システムの試行実験, 過疎地域における生活交通サービスの調達方法に関する研究, 国際交通安全学会平成 14 年度研究調査報告書, pp.16-29, 2003

活動機会の獲得水準最大化を目指したバスダイヤの設定法*

岸野啓一**・喜多秀行***・寺住奈穂子****

人口密度の低い地域において、乗合バス事業が成り立たなくなり、自治体が公共交通を維持している。限られた財源の中では、活動機会の獲得水準がなるべく高い公共交通サービスを提供することが重要である。本稿ではアクセシビリティ指標に着目し、活動機会の獲得水準を評価する指標を提案するとともに、所与の活動パターンとバスの便数に対し、活動機会の獲得水準を最大化するバスダイヤの設定法を提案した。

また、ケーススタディの結果、実際のダイヤや活動機会を獲得できる人数を最大化する従来の方法で求められたバスダイヤより、活動機会の獲得水準の高いバスダイヤを設定でき、提案した方法の妥当性が確かめられた。

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

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

In the area where the density of transport demand is low, the local government provides the public transport service. In this paper, we propose an index that evaluates the security level of the opportunity of activity, and a method to set bus schedule by using the proposed index. Then, we apply the proposed index to develop a method for finding the timetable of bus in rural area, and demonstrate the usefulness of the method through a case study.
