

活動機会の公平性を考慮したバスダイヤの評価指標

AN EVALUATION INDEX OF BUS DIAGRAM TO EQUALIZE ACTIVITY OPPORTUNITY

岸野 啓一¹・喜多 秀行²

¹岸野都市交通計画コンサルタント株式会社 代表取締役 (E-mail:kishino@mub.biglobe.ne.jp)

²工学博士 神戸大学大学院教授 工学研究科市民工学専攻 (E-mail:kita@crystal.kobe-u.ac.jp)

自動車利用の進展とともに多くの乗合バス事業が不採算となる中で、市民生活に必要な公共交通サービスを自治体が提供するケースが増えている。その際、地域間の公平性に配慮した計画づくりが重要であるが、公平性を反映した計画評価の指標は整備されていない。

本研究は、活動機会の公平性という視点から公共交通計画を評価する指標を提案するとともに、ケーススタディを通じ、その指標を用いて過疎地域のバスダイヤを設定する手法を実証的に示した。

キーワード：公共交通計画、活動機会の保障、生活交通サービス、計画評価

1. はじめに

世帯における自動車の保有が進展し、日常生活のあらゆる面で自動車が利用されるようになった。それとともに公共交通の利用者は減少し、乗合バス事業は採算のとれない事業となってきた。しかし、自動車を利用できない人にとって公共交通は日常生活に必要不可欠な交通手段であり、多くの自治体で補助金を支出して、生活に必要な公共交通サービスの維持や運営に努めている。

一方で、高齢化の一層の進展とともに後期高齢者といわれる75歳以上の人口が増加している。それに伴って、身体的な理由で自動車が運転できなくなったり、従来は徒歩でアクセスできたバス停までの移動が困難になるなど、外出困難な高齢者が増加している。特に公共交通の不便な地域では問題が深刻化しており、自治体内のあちこちで公共交通サービスの提供が求められる場合が少なくない。

このような問題に対し、自治体が主体となって公共交通計画を策定する際、利用者数や採算性などを評価指標として、公共交通の要否や公共交通サービス水準を計画するケースが散見される。その結果、利用者数の多寡に応じて便数が設定され、路線や地域によっては1日1~2往復しか運行されなかったり、路線間で採算性を比較し、採算性の低い路線は減便されるなど、利用者にとって必要とされる公共交通サービスが十分に提供されない事態が生じている。最近では、地域公共交通総合連携計画が各地で策定されるようになり、路線ごとの収支率や1路線当

たり（あるいは利用者1人当たり）の補助限度額などの指標を用いて路線間の公平性を評価する事例^{1)~3)}が見られるが、これらは「事業評価の指標」を用いて公平性を評価するものである。

このように、公共交通計画の策定に当たって事業者側の視点に基づき評価されることの背景として、筆者らは「計画評価の指標」が整備されていないことがあると考えている。喜多⁴⁾が国際交通安全学会で論じたように、計画評価のためには、住民が日常生活で必要とする活動機会に目を向け、それが公共交通の利用によってどの程度確保されるか（これを、活動機会の保障水準と呼ぶ）という指標が必要であると考えられる。

こうした認識のもとで、本研究では地方部などの公共交通需要の少ない地域に着目し、活動機会の保障水準を公平にするという考え方に基づく計画評価の指標を提案する。さらにその指標が地域の公共交通計画に適用可能なことを、地区間の公平性を考慮したバスダイヤの評価事例を通じて実証的に示す。

なお、公共交通計画では、便数の設定も重要な要素の一つである。しかし、同じ便数であってもダイヤの設定によって保障される活動機会が大きく異なる。また、便数は運行にかかる費用と負担（運賃の水準や自治体の支出する補助金の額など）のバランスによって定められるが、ダイヤは住民の活動と密接な関係がある。このようなことから、本研究では便数は所与とし、活動機会の公平性を表す指標やバスダイヤの設定について論じる。

また、公共交通計画には、ダイヤの設定のみならず、

路線計画や使用する車両の計画なども含まれる。本稿ではバスダイヤを中心に論じているが、路線計画等への拡張も可能であり、その点については考察の項で述べる。

本稿の構成は次のとおりである。2.では提案する指標で用いるいくつかの概念を既往研究とともに紹介し、3.では活動機会の保障水準を均等化する指標を提案する。4.ではその指標を用いてバスダイヤを設定する方法を示し、5.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適用可能なことを示す。6.はまとめである。

2. 研究の経緯とアクセシビリティ指標

2.1. 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。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、過疎地域における計画手法をシステム化した研究⁹⁾が行われているほか、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¹⁰⁾などが見られる。しかし、活動機会の保障や活動機会を公平にするという観点からバスサービスのあり方について研究した事例や、定時定路線型のバスダイヤの設定方法に関する研究事例はまだ少ない。

喜多⁸⁾は、地域公共交通計画を策定する際の公平性の概念を3通り示している。一つは行政投資を均等化する(各地区の投資額を同一にする)ことによって公平性が担保されるという考えであり、二つめはサービス特性の均等化(バスの便数等の均等化)、三つめは活動機会の均等化(生活を営むための機会の均等化)である。このうち、最低限の活動機会を保障するという観点から、公共交通計画は活動機会の均等化に依拠するのが良いと述べている。

活動機会を保障することを計画に反映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・宮崎⁹⁾は活動の時間帯分布(目的地に到着する時刻と目的地から自宅に帰宅を始める時刻)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¹⁰⁾はその考え方に加え、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。ここでは、活動の時間帯分布が与えられたとき、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。

また、谷本・牧・喜多¹¹⁾は、地方部の公共交通計画に資するため、公共交通が個人に課す時空間的な制約のも

とで、1日における個人の実行可能な時間配分がどれだけ多様であるかを評価するアクセシビリティ指標を提案している。ここでは、既存のアクセシビリティ指標に関する精細なレビューが行われ、アクセシビリティ指標を「交通基盤に基づく指標」「累積機会に基づく指標」「効用に基づく指標」「時空間プリズムに基づく指標」に分類している。その上で、路線やダイヤが固定される公共交通の計画に用いるには既存の指標には限界があることを指摘し、時空間制約を考慮し得る新たなアクセシビリティ指標を提案している。

2.2. アクセシビリティ指標

ところで、谷本・宮崎⁹⁾の方法や岸野・喜多¹⁰⁾の方法では、バスの運行される時間帯以外の活動は、バスを利用できないとしている。例えば、10時台に自宅を出発する活動は、10時に自宅最寄りバス停を出発するバスは利用できるが、9時発のバスしかない場合は、出発時刻を1時間早めてそのバスを利用するとはない。これは、利用者の多い時間帯にバスを走らせることにより、活動が保障される人数を最大化しようという考えによるものである。しかし、この方法では、外出時間を調整して活動機会を充足するという行動は反映されておらず、活動機会の保障水準を最大化することにはなっていない。

そこで、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・牧・喜多¹¹⁾の提案したアクセシビリティ指標を援用する。

ここでは、時空間プリズムにおける任意の時空間パスを時間配分に読み替え、個人のアクセシビリティを時間配分の多様性によって表している。すなわち、公共交通を利用して活動を行うことを想定し、1日の時間が在宅時間、移動時間、活動時間、公共交通の待ち時間で構成されるとしたとき、実行可能な時間配分がどれだけ多様であるかを表したものをアクセシビリティとして定義付けている。

公共交通のダイヤが所与の場合、ダイヤによって自宅を出発する時刻と帰宅する時刻が決まり、在宅時間が固定されるため、アクセシビリティは活動時間と移動時間、待ち時間の時間配分の多様性として定義される。その際、ダイヤの組合せによって実行可能な活動パターンが何通りか設定される(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2便あれば活動パターンは4通りの組合せがある)。これらのことから、公共交通を用いて実行可能な個人の活動パターンを a 、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 A_n が定式化されている。 $n=1$ の場合、アクセシビリティ A_1 は式(1)で表される。

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

ただし、 β, γ はパラメータである。

式(1)の右辺の第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。

2.3. 地区におけるアクセシビリティ値

式(1)で示したアクセシビリティ指標は、個人を対象としたものであり、活動機会の多様性を表すという考えに依拠している。

岸野・喜多・寺住¹²⁾は個人を対象とした式(1)の考え方を踏まえて、活動時間帯の分布とバスダイヤが与えられたとき、地区における活動機会の保障水準を表す指標を設定した。

ある地区における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を Table 1 のように作成している。この表では、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人の比率が P_{ij} であることを表している。ただし、 $\sum_i \sum_j P_{ij} = 1$ である。

活動時間帯の分布表は、バスダイヤなど公共交通サービスが反映されると、その制約を受け、本来の活動機会を表すことができない。そのため、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。また、谷本・喜多¹³⁾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。これは、活動時間帯の決定にはダイヤが限定される公共交通も含めて判断されているとも解釈され、活動時間帯の分布表を作成する際には、全ての交通手段を対象とするのも妥当な方法であると考えられる。

なお、自宅出発時刻および帰宅時刻 t_i, t_j は、一定の幅を持った時間帯として設定している。時間帯の単位の設定は任意であるが、実態調査に基づき活動時間帯の分布表を作成する場合は、1時間や30分を単位とするのが適切である。

さて、岸野・喜多・寺住¹²⁾は、Table 1 の活動時間帯の分布に対し、式(1)のアクセシビリティ指標に次のような要素を加えることによって、「個人」ではなく「地区」の活動機会の保障水準を表す指標としてアクセシビリティ値を設定している。

a. 活動パターンの限定

式(1)では、個人にとって実行可能な活動パターン a に

Table 1 活動時間帯の分布表

		帰宅時間帯						合計
		t_1	t_2	...	...	t_i	...	
自宅 出発 時間 帯	t_1	P_{11}	P_{12}	...	...	...	...	P_{1*}
	t_2		P_{22}	...	...	...	...	P_{2*}
	⋮		
	t_i				...	P_{ij}	...	P_{i*}
	⋮				
	⋮					
合計		P_{*1}	P_{*2}	...	...	P_{*i}	...	1.00

対する個人のアクセシビリティを、全ての活動パターンについて足し上げる構造となっている。これに対し、岸野・喜多・寺住¹²⁾は、各個人の活動パターンは簡単のため1通りであると仮定しており、活動パターンは Table 1 に示された1通りに限定されるとしている。

なお、この仮定は容易に緩和し得る。すなわち、活動パターンが2つ以上の場合には、活動パターンのそれぞれについてアクセシビリティを計算し、それらを合算すればよい。

b. 移動と活動に充てることのできる自由時間の設定

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時間と定義しているが、活動パターンが Table 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 T_{ij} は自宅出発時刻 t_i から帰宅時刻 t_j までの時間に等しくなる。そこで式(1)の T_a のうち、活動機会の充足によるアクセシビリティ増加を表す右辺第2項の T_a について、式(2)で表される T_{ij} で置き換えている。

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

c. バスダイヤの反映

岸野・喜多・寺住¹²⁾は、地区の住民は都市の中心部に行くことで日常生活に必要な活動機会が得られるものとし、地区と都市の中心部を結ぶバスが1日当たり往路 K 便、復路 L 便運行されている状況を想定している。

そのとき、地区から中心部に向かう往路のバスの出発時刻を $d_k (k=1, \dots, K)$ 、地区に帰着する復路のバスの到着時刻を $a_l (l=1, \dots, L)$ で表している。

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している。

d. 活動時間のバスダイヤへの調整の反映

岸野・喜多・寺住¹²⁾は、地区の住民が希望する活動時間帯とバスダイヤの関係について、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、希望する到着時刻にバスがない場合は、希望時刻よりも後に到着するバスを利用するように行動を調整するとしている。

その結果、外出時間が長くなることになるが、外出時間に応じた疲労を表す式(1)の右辺第1項において、 T_a を $a_i - d_k$ に置き換えている。

a.~d.の点を反映させることにより、岸野・喜多・寺住¹²⁾は、地区のアクセシビリティ値を式(3)のように表している。

$$A = \sum_i \sum_j \frac{e^{-\beta(a_i - d_k)}}{\gamma} \left(1 - e^{-\gamma(t_j - t_i - M)}\right) P_{ij} \quad (3)$$

ただし、 $t_i \geq d_k$ と $t_j \leq a_i$ を満たす d_k , a_i が無いとき、

$$A_{ij} = \frac{e^{-\beta(a_i - d_k)}}{\gamma} \left(1 - e^{-\gamma(t_j - t_i - M)}\right) P_{ij} = 0 \quad (4)$$

本研究では、式(3)の A を「地区のアクセシビリティ値」または単に「アクセシビリティ値」と称する。

なお、式(1)で表される谷本らのアクセシビリティ指標は、個人を対象に活動機会の多様性を表す指標として定義づけられている。一方、式(3)で表される地区のアクセシビリティ値は地区を対象としていることや活動機会を限定していることから、式(1)とは性質の異なる指標であることを付言する。

また、式(3)の導出過程の詳細は文献¹²⁾を参照されたい。

3. 活動機会の公平性を表す計画指標の提案

3.1. 活動機会の公平性とアクセシビリティ値

地区のアクセシビリティ値を定義づけることにより、活動機会の保障水準を示すことができた。これにより、活動時間帯の分布表とバス路線・バスダイヤの代替案が与えられたとき、アクセシビリティ値を比較することにより、その地区において活動機会の保障水準が最も高くなるバス路線やバスダイヤを選ぶことができる。あるいは、アクセシビリティ値が最も高くなるバスダイヤを設定することも可能である。

次に、アクセシビリティを用いて地区間の活動機会の公平性を表すことについて考える。一例をあげると、活動時間帯の分布とバスダイヤは同じであるが、活動機会が獲得できる都市の中心部までの距離と所要時間が異なる2つの地区を想定する。同じ活動時間帯の分布に対して同じ時刻にバスを利用できる訳であるから、活動機会の保障水準は同じと考えられる。しかし、地区のアクセシビリティ値は中心部から遠い地区の方が小さくなる。当然ではあるが、地区のアクセシビリティ値は移動時間

が長くなると値が小さくなる(式(3)の移動時間 M が大きくなればアクセシビリティ値は小さくなる)からである。

地区間の公平性をどのように捉えるかには、様々な考えがあり得る。目的地までの所要時間の格差を少なくすることを重視する立場では、アクセシビリティ値の均等化を図ることが公平であると考えられよう。

谷本・喜多¹⁴⁾は、過疎地域の路線バスサービス水準を検討する際、活動機会の豊かさをモデル化するとともに、自分の移動する時刻を自由に決めることのできる自家用車の利用者の活動機会の豊かさと、バスサービスによって保障される活動機会の豊かさの差を各地区で均等にするようにバスの運行本数を決めることを提案している。

本研究では、この考え方を参考として、自分の移動時刻を自由に決められる状態、すなわち自家用車を利用して活動を行う場合をアクセシビリティが最大であると考え、それへの到達率をもって活動機会の保障水準の公平性を表すと考える。

なお、活動機会の保障水準を高めるためには、3つの方法があると考えられる。一つは、活動機会の獲得地点までの公共交通サービスを改善することである。二つ目は、移動販売のように、活動機会の獲得地点が利用者の方に出向くことである。もう一つは、活動機会の獲得地点の近くに居住するなど、土地利用を変えることである。本研究は、一つ目の方法について検討するものである。

3.2. アクセシビリティ充足度

(1) アクセシビリティ充足度の概念

このような問題認識に基づき、本研究では、バスの便数とダイヤが与えられたときのアクセシビリティ値 A が、各地区で想定されるアクセシビリティ値の最大値に対してどの程度の比率になるかという指標を設定した。本研究では、これを「アクセシビリティ充足度」と呼ぶことにする。

(2) 想定されるアクセシビリティ値の最大値

各地区で想定されるアクセシビリティ値の最大値とは、自動車を利用して外出するときのように、活動を希望する時刻にはいつでも活動が可能な状態におけるアクセシビリティ値である。バスを利用して活動を行う場合について考えると、Table 1 に示す活動時間帯の分布に対するアクセシビリティ値の最大値は、時間帯 t_i に自宅を出発し時間帯 t_j に帰宅する活動は時刻 t_i に出発するバスと時刻 t_j に到着するバスを必ず利用することができ、待ち時間は発生しないという状態のアクセシビリティ値と考えられる。

これは、活動時間帯の分布表の出発時間帯が I 個に、到着時間帯が J 個に区切られている場合、式(3)において

自宅出発時間帯 t_1, t_2, \dots, t_i が往路のバスダイヤ d_1, d_2, \dots, d_i と一致し、帰宅時間帯 t_1, t_2, \dots, t_j が復路のバスダイヤ a_1, a_2, \dots, a_j と一致することを意味する。これらを式(3)にあてはめると、アクセシビリティ値の最大値 A_{\max} は式(5)のように表される。

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

(3) アクセシビリティ充足度

こうして得られたアクセシビリティの最大値 A_{\max} に対する所与のバス便数とバスダイヤの下でのアクセシビリティ値の比率をアクセシビリティ充足度 A_s とする。すなわち、 A_s は次のように表される。

$$A_s = \frac{A}{A_{\max}} \quad (6)$$

アクセシビリティ充足度は、各地区で考えられる最も高い活動機会の水準に対し、所与のバス便数のもとでの程度の活動機会が得られるかという比率を示すものであり、各地区の活動機会の保障水準を同じ尺度で示す指標である。本研究では、アクセシビリティ充足度を各地区の活動機会の保障水準の公平性を評価できる指標と考える。

4. アクセシビリティ値を最大にするバスダイヤの設定法

4.1. 従来の方

(1) 経験等に基づく方法

2.1 に示したように、需要の少ない地域において、定時定路線型のバスダイヤを設定する研究事例は少ない。

国土交通省の調査¹⁵⁾によると、地方部のバスの便数やダイヤは、採算性や効率性(車両の効率的な運用)、自治体や住民の要望、他の交通機関との接続などを判断材料としてバス事業者が決定しているという結果が示されている。このようにバスダイヤは事業者や自治体が経験等に基づいて決定しているのが現状である。

(2) 岸野・喜多の方法

岸野・喜多¹⁰⁾は、Table 1 に示す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、往路のバスが t_i に地区を出発し、かつ復路のバスが t_j に地区に到着すれば保障されるという考え方のもとで、

できるだけ多くの活動機会が保障されるよう、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、できるだけ多くの活動機会が保障され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、

$$(t_i^1, t_j^1) = \arg \max_{(t_i, t_j)} P_{ij} \quad (7)$$

となるように 1 便目のダイヤを設定する。

次に、1 便追加することによってできるだけ多くの人の活動機会が保障されるように 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について考える。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の活動が保障されている。そこに $k+1$ 便目を追加することによって保障される活動機会の増分 ΔP^{k+1} は式(8)で表される。

$$\Delta P^{k+1} = \sum_{i=1}^{k+1} \sum_{j=1}^{k+1} P^{ij} - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k P^{ij} \quad (8)$$

ここで P^{k+1} 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が保障され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、活動機会の増分 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(9)のように書ける。

$$\begin{aligned} (t_i^{k+1}, t_j^{k+1}) &= \arg \max_{(t_i, t_j)} \Delta P^{k+1} \\ &= \arg \max_{(t_i, t_j)} \left(\sum_{i=1}^{k+1} \sum_{j=1}^{k+1} P^{ij} - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k P^{ij} \right) \\ &= \arg \max_{(t_i, t_j)} \left(\sum_{i=1}^k P^{i(k+1)} + \sum_{j=1}^{k+1} P^{(k+1)j} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

便の追加は、あらかじめ定めておいた ΔP^{k+1} の下限値を下回るまで行う。 ΔP^{k+1} の下限値の決定にはいくつかの考え方があり、詳しくは岸野・喜多¹⁰⁾を参照されたい。

4.2. アクセシビリティ値最大となるバスダイヤの設定

このような従来の方

ダイヤを設定する。すなわち、式(3)のアクセシビリティ値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 P_{ij} が既知であり、バスの便数が往路 K 便、復路 L 便と与えられたとき、式(3)はバスダイヤ d_k と a_l の関数となり、アクセシビリティ値が最大となるバスダイヤの設定は、式(10)のように表される。

なお、ここでは往路の待ち時間と復路の待ち時間に対する不効用は同じであると仮定している。実際には、それらは地域や個人、時間帯によって様々であると考えられるが、一概には言えないので同じと仮定した。

$$(d_1^* \cdots d_K^*, a_1^* \cdots a_L^*) = \arg \max_{(d_1 \cdots d_K, a_1 \cdots a_L)} \sum_i \sum_j \frac{e^{-\beta(a_i - d_k)}}{\gamma} (1 - e^{-z}) P_{ij} \quad (10)$$

ただし、 $(d_1^* \cdots d_K^*, a_1^* \cdots a_L^*)$ 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、

$$z = \gamma(t_j - t_i - M)$$

また、式(10)で得られるバスダイヤの組合せによる地区のアクセシビリティ値、すなわち所与の便数（往路 K 便、復路 L 便）のもとで最大となる地区のアクセシビリティ値を A_r とすると、 A_r は式(11)のように書ける。

$$A_r = \sum_i \sum_j \frac{e^{-\beta(a_i^* - d_k^*)}}{\gamma} (1 - e^{-\gamma(t_j - t_i - M)}) P_{ij} \quad (11)$$

ただし、 d_k^* と a_l^* は時間帯 t_i に自宅を出発し時間帯 t_j に帰宅する活動がそれぞれ利用するバスの出発、到着時刻である。

4.3. 活動機会の公平性を考慮したバスダイヤの調整

式(10)は、一つの路線および一つの地区を対象としてアクセシビリティを最大化するバスダイヤの設定法を示すものである。これに対し、3.2に示したアクセシビリティ充足度を用いることにより、複数の地区間で活動機会の公平性を考慮したダイヤの設定が可能となる。

いま、 N 個の地区があり、ある地区 n ($n=1,2,\dots,N$) におけるアクセシビリティの最大値を A_{\max}^n 、所与のバス便数のもとでアクセシビリティ値が最大となるダイヤに対する地区のアクセシビリティを A_r^n とすると、地区 n のアクセシビリティ充足度 A_s^n は式(12)で表される。

$$A_s^n = \frac{A_r^n}{A_{\max}^n} \quad (12)$$

アクセシビリティ充足度を用い、複数の地区間の便数やダイヤを調整する方法はいくつか考えられ、計画の目的や解決すべき問題の内容に応じて適宜検討すればよい。

例えば、2つの地区（地区1と地区2）を通る1つのバス路線において、活動機会の保障水準が同程度になるよう、ダイヤを設定することを考える。便数は運行費用と負担（運賃や自治体の補助金）の関係から往路 K 便、復路 L 便と定められているとする。式(10)に基づき、与えられた便数に対し各地区のアクセシビリティが最大になるダイヤを設定することにより、アクセシビリティ充足度 A_s^1 と A_s^2 が得られる。

$$A_s^1 = \frac{A_r^1}{A_{\max}^1}, A_s^2 = \frac{A_r^2}{A_{\max}^2} \quad (13)$$

これに対し、往路・復路の便数を K 便、 L 便のまま、 A_s^1 と A_s^2 の差が最も小さくなるようダイヤを調整することにより、活動機会の公平性を考慮したバスダイヤが設定される。すなわち、式(14)のように表される。

$$(d_1' \cdots d_K', a_1' \cdots a_L') = \arg \min_{(d_1 \cdots d_K, a_1 \cdots a_L)} |A_s^1 - A_s^2| \quad (14)$$

ただし、 $(d_1' \cdots d_K', a_1' \cdots a_L')$ は調整後のバスダイヤである（地区1と地区2で共通である）。

この他に、どの地区においても最低限の活動機会を保障することが課題であれば、アクセシビリティ充足度の最低基準を設定し、それを下回る地区の便数やダイヤを調整する方法なども考えられる。

5. 公共交通計画への適用例（ケーススタディ）

5.1. 検討対象地区の概要

ここでは、活動時間帯の分布が異なる2つの地区が存在するバス路線を対象とし、提案したアクセシビリティ指標を用いて地区間の活動機会の保障水準を均等化するバスダイヤの設定についてケーススタディを行い、既往の方法との比較などを通じて考察を行う。

対象路線は、近畿地方に位置する地方都市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、現在は市町村有償運送として、定員10名のワゴン車を用いて1日4往復運行されている。

中心部から川を隔てた東側が主な路線圏であるが、南側の5つのバス停からなる地区1と北側の3つのバス停からなる地区2に区分される。

5.2. 活動機会の公平性を考慮したバスダイヤの設定

(1) 活動時間帯の分布

2007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、地区1、地区2の活動時間帯の分布表を作成した。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た。検討対象地区では、路線圏の全世帯にアンケート調査票を配布し、285世帯688人から回答を得ている。

活動時間帯の分布表は、2.3に示した考え方を踏まえ、全ての交通手段を対象として作成した。また、対象地区では、公共交通利用は買い物と通院目的にほぼ限られることから、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た。その結果をTable 2に示す。

(2) バスダイヤの設定

a.前提条件

バスダイヤの設定に際し、次の点を前提条件とした。

運行は中心部→地区1→地区2→地区1→中心部という往復運行とし、便宜的に地区2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。回送は設定せず、全て営業運転とした。これは、地方都市では都市の中心部に営業所があり、中心部を起点とした運行となる場合が多いこと、自治体が運行委託する場合は回送区間も運行費用に含まれる場合が多いことなどが理由である。

また、本研究では便数を所与としているが、検討対象地区では、自治体から「収入が運行経費の25%以上となるよう1日の便数を設定する」という考え方が示されており、この考え方に従って便数を設定した。当該路線の実績に当てはめて計算した結果、便数は6便となった。

b.地区ごとのバスダイヤの設定

Table 2に示される地区1、地区2の活動時間帯の分布表と1日の便数に対し、地区のアクセシビリティ値を最大にするバスダイヤを求め、そのときのアクセシビリティ値 A_r を求めた。

ここでは、所与の便数に対して考えられる全ての出発時刻-到着時刻の組合せに対するアクセシビリティ値を計算し、アクセシビリティ値が最大となるバスダイヤを求めるといふ、総当たり法を用いた。

なお、アクセシビリティ値の計算に用いるパラメータの値は、文献¹¹⁾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地区1~中心部は8分、地区2~中心部は15分とした。

(3) アクセシビリティ充足度によるダイヤの比較

次に、地区1、地区2におけるアクセシビリティ値の最大値 A_{max} を求め、設定したバスダイヤに対するアクセシビリティ充足度 A_s を計算した。

アクセシビリティ値の最大値 A_{max} 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、毎時1便の

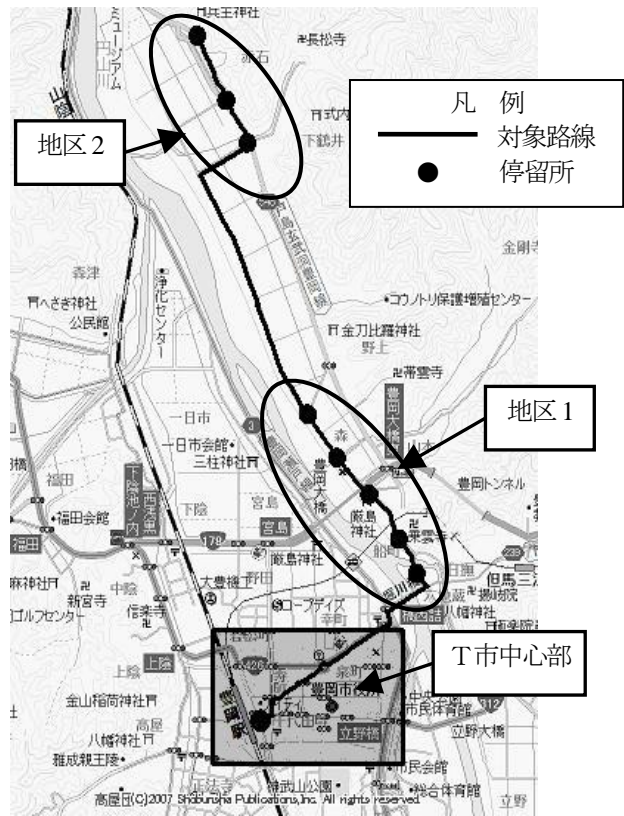


Fig. 1 検討対象地区の概要

Table 2 検討対象地区の活動時間帯の分布表

[地区1]		(千分率)										
		帰宅時刻帯										
		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	合計
自宅 出発 時刻 帯	7	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	5
	8	0	0	9	28	26	1	4	0	1	0	69
	9		0	14	58	23	4	4	0	1	0	102
	10				0	140	72	5	0	3	1	221
	11					0	227	0	3	0	3	233
	12						0	2	2	7	6	20
	13							0	74	45	8	133
	14								0	60	27	103
	15									0	85	85
16										0	31	31
17											0	0
合計		0	0	24	228	348	12	88	115	130	54	1,000

[地区2]		(千分率)										
		帰宅時刻帯										
		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	合計
自宅 出発 時刻 帯	7	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	14
	8	0	0	18	42	36	0	1	6	1	0	104
	9		0	32	63	30	15	0	3	1	0	145
	10				0	140	188	24	13	0	12	377
	11					0	42	8	16	0	0	65
	12						0	0	0	2	7	9
	13							0	54	33	0	87
	14								0	31	5	104
	15									0	66	66
16										0	30	30
17											0	0
合計		0	0	51	245	309	47	84	75	92	97	1,000

Table 3 バスダイヤの設定結果

地区	地区1						地区2					
	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7
バス ダ イ ヤ			8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00
	9:00	9:00										
			10:00	10:00	10:00	10:00			10:00	10:00	10:00	10:00
					11:00	11:00						
						12:00					12:00	12:00
	13:00	13:00	13:00	13:00	13:00	13:00	13:00	13:00	13:00	13:00	13:00	13:00
												14:00
										15:00	15:00	
				16:00	16:00	16:00						16:00
			17:00	17:00								
			18:00	18:00	18:00		18:00	18:00	18:00	18:00	18:00	
A_r	0.117	0.187	0.217	0.235	0.250	0.261	0.113	0.173	0.207	0.227	0.241	0.249
A_s	0.402	0.643	0.747	0.810	0.859	0.900	0.413	0.633	0.758	0.831	0.881	0.909
A_{max}	0.290						0.274					

注：ダイヤは地区2の始発バス停を出発する時刻である。

バスを運行する場合のアクセシビリティ値とした。

以上のプロセスを経て得られたバスダイヤとアクセシビリティ値、アクセシビリティ充足度などを Table 3 に示す。所与の便数は6便であるが、参考のため2~7便の場合の計算結果を合わせて示している。

設定されたダイヤに対するアクセシビリティ値 A_r は地区1が0.250、地区2が0.241で地区1の方が大きい。しかし、中心部に近い地区1はアクセシビリティの最大値 A_{max} も大きく、 A_{max} に対する A_r の比であるアクセシビリティ充足度 A_s は地区1が0.859であるのに対し地区2は0.881であり、逆に地区2の方が大きい。

(4) 活動機会の公平性からみたダイヤの調整

そこで、Table 3 のダイヤ設定結果に対し、活動機会の保障水準の公平性の観点から、アクセシビリティ充足度が均等になるダイヤを検討する。

Table 3 では、1日の便数6便のうち、4便が地区1・地区2で同じ時刻に設定され、各2便が異なる結果となった。地区2~地区1の所要時間はたかだか7分であり、同時刻の便は1便で両方の地区の活動機会を保障できると考えられるので、便数は合計8便となる。これは所与の便数6便に対して2便の超過である。そこで、アクセシビリティ充足度の差が最も小さくなるよう、2便についてダイヤを調整した結果が Table 4 である。これによると、地区1と地区2の各1便のダイヤが調整されている。

ダイヤの調整前に比べ、両地区ともにアクセシビリティ充足度の値は小さくなったが、その差は0.022から0.011に縮小しており、これが活動機会の公平性を考慮したバスダイヤの設定結果となる。

Table 4 アクセシビリティ充足度を均等化したバスダイヤ

地区	地区1	地区2
バス ダ イ ヤ	8:00	8:00
	10:00	10:00
	11:00	11:00
	13:00	13:00
	15:00	15:00
	18:00	18:00
A	0.250	0.232
A_s	0.859	0.848
A_{max}	0.290	0.274

注：太枠・太字はダイヤを調整した便である。

なお、本研究では、地区間のアクセシビリティの格差を小さくすることが公平であるという考えに基づき、ダイヤの調整を行ったが、各地区のアクセシビリティを高めるという考え方もあろう。各地区のアクセシビリティを高めるには、各地区の活動機会に応じたダイヤの設定が必要となり、便数とともに運行費用も増え、運賃や補助金の負担増にもつながる。しかし、そのどちらを採るかは利用者や住民の選択の問題であると考えている。

5.3. 従来法との比較

筆者らはこれまで、自治体が補助金を支出して公共交通を維持する必要のある地域を対象に、住民の活動機会

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（ここでは、従来法という）を提案してきた。¹⁰その内容は4.1(2)に示したとおりである。従来法に基づき、Table 2 で与えられた活動時間帯の分布表に対するバスダイヤを設定すると、Table 5 に示す結果が得られた。

従来法では、活動機会を保障する人数を最大化するようにダイヤが設定されるため、活動が多い 10 時頃から 14 時頃にかけてバスダイヤが集中的に設定される。その結果、地区 1 では 10 時以前、地区 2 では 14 時以降にバスが運行されないなど、活動機会が保障されない時間帯が生じる。そのため、アクセシビリティ値やアクセシビリティ充足度は、本研究の結果と比べて小さい値となる。

一方、アクセシビリティ充足度の均等化に基づいて設定した本研究のダイヤは、8 時、18 時という時間帯にも便が設定され、幅広い時間帯でバスサービスを楽しむことができるダイヤになっており、その結果、アクセシビリティ充足度は高くなっている。しかし、活動人数の多い時間帯（10 時～12 時台）の便数が従来法より少ない場合もあり、従来法に比べて、出発時刻や帰宅時刻を調整したり、待ち時間が長くなるケースが生じていることに留意する必要がある。

6. まとめと今後の課題

本研究では、過疎地域など公共交通の利用者が少ない地域において、自治体が補助金を支出して公共交通サービスを提供する場合を想定し、谷本・牧・喜多の開発したアクセシビリティ指標を参考に、活動機会の保障水準の公平性を考慮した計画指標を提案した。また、ケーススタディを通じ、2 つの地区間の公平性を考慮したバスダイヤの設定方法を具体的に示し、提案した計画指標の公共交通計画への適用可能性について検証した。

さらに、ケーススタディの結果から、提案した計画指標を用いることにより、従来の方法に比べ活動機会の保障水準を向上するバスダイヤが設定できることなどを具体的に示すことができた。

本研究では、アクセシビリティ値ではなく、アクセシビリティ充足度を活動機会の保障水準の公平性を表す計画指標であると考えた。これは、自らの移動時刻を自由に決められる状態、すなわち自家用車を利用して活動を行う場合をアクセシビリティが最大であると考え、それへの到達率をもって活動機会の保障水準の公平性を表すとの考えによる。なお、公平性の考え方には様々な立場があり、本研究はその一つの考え方を示したものである。

本研究で提案した地区のアクセシビリティ値は、地区における活動機会の得やすさを表す指標であり、所要時間をはじめ、外出時間や待ち時間に伴う疲労などを反映

Table 5 従来法との比較

	地区1		地区2	
	本研究	従来法	本研究	従来法
バス ダ イ ヤ	8:00		8:00	
				9:00
	10:00	10:00	10:00	10:00
	11:00	11:00		
		12:00	12:00	12:00
	13:00	13:00	13:00	13:00
				14:00
		15:00	15:00	
	16:00			
		17:00		
	18:00	18:00	18:00	
A_r, A	0.250	0.219	0.241	0.217
A_s	0.859	0.754	0.881	0.793
A_{max}	0.290		0.274	

した指標となっている。現時点では未対応であるが、居住地からバス停までの移動時間やバス停アクセスに対する疲労などが反映できれば、指標がより精緻になる。

また、移動時間などに対する抵抗や疲労は、個人属性によって異なることが容易に想像される。高齢者は歩行に対する抵抗や疲労が若年層に比べて大きいため、高齢者の多い地区などでは地区のアクセシビリティ値が低くなると考えられる。このため、個人属性や地区住民の属性構成をアクセシビリティ値に反映させることも意義がある。

これらの点が改良できれば、高齢者を対象とした施策の評価も可能になる。例えば、自宅からバス停に至る地形や距離が活動機会に及ぼす影響を計画指標に反映させることができる。また、車両の乗降が高齢者に及ぼす影響をアクセシビリティ値に組み込むことができれば、ノンステップバスの導入による移動機会の向上を計画指標に反映させることができる。

本稿では、バスダイヤの設定を中心に計画への適用可能性などについて述べたが、本研究で示した手法はバスダイヤの設定のみならず、その他の計画課題に適用可能である。例えば、路線の延伸やルート変更といった路線計画に対しては、活動時間帯の分布表や所要時間を更新して、地区のアクセシビリティ指標に反映させたり、新たな地区のデータとして追加することによって対応可能である。

今後は、記した課題について、さらに研究を進めたい。

参考文献

- 1) 岐阜市(2009)『岐阜市地域公共交通総合連携計画』16
- 2) 本巢市(2009)『本巢市地域公共交通総合連携計画』23
- 3) 豊岡市都市整備課(2008)『路線バス休止申出への対応策実証運行計画(案)』<http://www.city.toyooka.lg.jp/www/contents/1212720540441/files/1.pdf> [2010,January,6]
- 4) 喜多秀行(2008)「はじめに」『地域社会が保障すべき生活交通サービス水準に関する研究・平成19年度報告書』国際交通安全学会,1-4
- 5) 森山昌幸, 藤原章正, 杉恵頼寧(2004)「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』21,759-768
- 6) 岸邦宏, 佐藤馨一(2006)「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』23(3),591-597
- 7) 福本雅之, 西山陽介, 加藤博和, 孫卓(2009)「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』65(4),480-492
- 8) 喜多秀行(2007)「過疎地域における生活交通の確保に関する課題と展望」『運輸と経済』67(3),23-30
- 9) 谷本圭志・宮崎耕輔(2008)「活動機会の保障を目的とした公共交通サービスの評価」『地域社会が保障すべき生活交通サービス水準に関する研究・平成19年度報告書』国際交通安全学会,16-26
- 10) 岸野啓一, 喜多秀行(2009)「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』,357-360
- 11) 谷本圭志, 牧修平, 喜多秀行(2009)「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』65(4),544-553
- 12) 岸野啓一, 喜多秀行, 寺住奈穂子(2009)「活動機会の確保水準最大化を目指したバスダイヤの設定法」『土木計画学研究・講演集』40,CD-ROM
- 13) 谷本圭志, 喜多秀行(2006)「地方における公共交通に関する一考察—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』23(3),599-607
- 14) 谷本圭志, 喜多秀行(2005)「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考察」『土木計画学研究・講演集』31,CD-ROM
- 15) 国土交通省自動車交通局, (社)日本バス協会(2009)『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>[2010,January,9]

謝辞

本研究を進めるに当たり, 神戸大学大学院工学研究科博士課程前期課程 寺住奈穂子氏には, ディスカッションを通じて有益な示唆を得たほか, 計算作業などにおいて多大な協力を得た. 記して感謝の意を表する.

AN EVALUATION INDEX OF BUS DIAGRAM TO EQUALIZE ACTIVITY OPPORTUNITY

Keiichi KISHINO¹, Hideyuki KITA²

¹ Company Executive, Kishino Transportation Planning Co., Ltd. (E-mail:kishino@mub.biglobe.ne.jp)

² Dr.Eng. Professor, Kobe University, Graduate School of Engineering (E-mail:kita@crystal.kobe-u.ac.jp)

While the profit of bus services has been worse, the local government provides the public transport service, which is indispensable to the citizens life. It is important to think about fairness when the local government plans the public transport planning. But, the index of scheme assessment that can reflect fairness is very few. In this research, we made the index that evaluates the public transport plan from the aspect of fairness at the activity opportunity. Moreover, we executed the case study, and we show the technique for setting the timetable of bus in rural area by using the index.

Key Words: Local Transport Plan, Securing of Activity Opportunity, Public transport service, Scheme Assessment