

バス運行頻度の影響を考慮したバス停勢力圏の簡便区画法*

SIMPLE DIVISION METHOD OF BUS-STOP'S TERRITORY
CONSIDERING RUNNING FREQUENCY OF BUS

渡辺 千賀 恵**

By Chikae WATANABE

In this paper the method for dividing the boundary of bus stop's territory is studied positively using the actual data. Under the condition that the fare is same in all bus stops, the boundary is determined as the total of following two elements; (a) the "basic boundary" being a boundary in case of no difference in bus running frequency, (b) the "space lag" caused by the difference in frequency. It came clear that the basic one is able to be calculated fairly exactly, if the time required to destination is already known. On the other hand, because there exists the correlation between lag and frequency, the lag can be estimated from the regression equation. Although this method is very simple, it is useful for judging the reason why the bus users concentrate to specific bus routes.

1. はじめに

諸都市における乗合バスの輸送人員は、1965年頃をピークとして現在に至るまで衰退傾向にある。こうした状況のなかで建設省は1980年度から「バス路線総合整備モデル事業」を導入し、3つの主要対策①バス路線網の再編成、②道路混雑の解消、③乗継ぎ施設の整備一を挙げた。¹⁾ このうちとくに対策①を地方都市の場合について具体化すると、要するに「バス運行頻度の路線間格差を適正化すること」にはかならない。

地方都市ではバス頻度の過剰路線と貧困路線とが併存し、バスサービスの地域的不均衡が存在するためかならずしも効率のよいバス運行体系になってい

ないのが実状である。したがって当面、こうした頻度格差の改善が中心課題の1つになるものと思われるが、この場合、バス事業者の側からみて計画実務面でつぎの点が問題となろう。すなわち、2本の競合路線があるとき、どの程度の頻度格差になると一方のバス路線の勢力圏が他方によって侵食され、各路線がそれぞれ独自の勢力圏をもてなくなるか、といったバス運行頻度の影響に関連する問題である。

バス頻度の影響に言及した先行研究はかならずしも少なくない。たとえば、駅勢力圏境界をバス頻度に関連づけて重回帰式をもとめた河上ほか、²⁾ バス待ち時間の寄与率を考察した佐藤・五十嵐、³⁾ バス頻度も含めた複数要因で総合指標をつくった本多ほか⁴⁾の研究など、バス頻度を多変量のなかの1要因と位置づける一連の報告をみることができる。しかし、(i)改善すべき対象はバス路線かバス頻度か、(ii)経路や頻度の変更によって勢力圏はどのように変化するか、といった実践的問題に現場の関心がある状

* キーワーズ：公共交通，路線選定

** 正会員 工博 岐阜工業高等専門学校助教授
土木工学科

(〒501-04 岐阜県本巣郡真正町上真桑)

況下では、バス頻度だけの影響量を単独に議論できる簡便法—ある程度の合理性をもちつつ容易に使える手法—もまた必要であろう。

本研究は、こうした認識から、岐阜市における通勤通学交通を対象として、バス停勢力圏に及ぼすバス頻度の影響を回帰分析するとともに、頻度格差をもつ典型的なバス路線についてその特性を考察してみたものである。報告の内容は今のところ基本的な事例分析の範囲にとどまるので、以下とくに研究方法に焦点をあてて述べたい。

2. 分析の対象と方法

(1) バス停勢力圏の地理的構造

バス乗客の発生圏を模式的に示すと図-1のような地理的構造をなす。駅に近い圏域では(i)バス停相互の競合と(ii)バス・自転車の競合とがからんで、発生圏は円形の連なった形状となる。一方、駅から離れた圏域では自転車との競合はなくなり、バス停間の競合だけが残る。前者については自転車交通の観点からすでに報告⁵⁾しているので、この研究では後者の場合を研究対象とする。

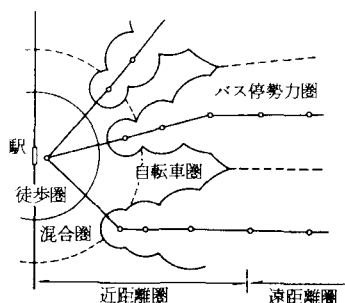


図-1 バス停勢力圏の地理的構造

(2) 時間境界と頻度境界

バス停勢力圏の形成に関与する卓越要因としては一般に、①目的地（鉄道駅）への到達時間、②バス頻度、③バス料金の3つが考えられる。しかし3要因を同時に考えると分析が複雑になるので、今回は調査範囲をあらかじめ「市内均一料金区間」に限定することで料金要因の影響を除去し、「料金＝一定」状態のもとで時間要因と頻度要因を扱う。

さてここで競合する2つのバス停AとBを考え、

バス頻度の

多い側（多

頻度バス停）

をつねにA、

少ない側

（少頻度バ

ス停）をつ

ねにBと約

束する。また勢力圏境界の位置は多頻度バス停から

の距離で表わす。

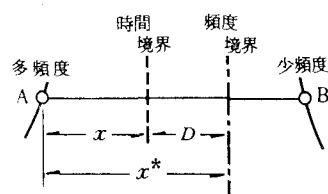


図-2 時間境界と頻度境界

バス停A・B間にバス頻度の差異がなければ、境界は到達時間のみによって規定されるので、この場合の境界を「時間境界」とよび記号 x で表わすことにする。一方、頻度に差異があれば、その影響で多頻度バス停の勢力圏は「拡大量 D 」だけ広くなり、その結果、境界は

$$x^* = x + D \quad (1)$$

の位置へ移動すると考えられる(図-2)。この拡大した境界 x^* を、バス頻度にも規定されるという意味で「頻度境界」とよぶ。上式の右辺の拡大量 D がバス頻度の単独の影響量を表わしており、以下での具体的な目標はバス頻度を独立変数とする回帰式でこの D を表現することである。

(3) 分析の方法

競合する2つのバス停—以下「競合バス停」という—について乗客の発生地点を実態調査すれば、頻度境界 x^* を知ることができる。ただし、この x^* にはすでに拡大量 D が含まれているから、 D だけを分離して取り出すには、何らかの方法で事前に時間境界 x を求めておかねばならない。 x が既知であれば式(1)から、 $D = x^* - x$ で間接的に D を得ることができる。そこでまず x の算定法を吟味し、つぎにその結果をふまえて拡大量 D を回帰分析する。

3. 実態調査の概要

実態調査の対象地域は、(i)時間境界の算定法を吟味する都合上、頻度に差異のない競合バス停を含み、かつ(ii)拡大量をバス頻度に関連させて分析する都合上、頻度に差異のある競合バス停も含む必要がある。さらに調査の能率をあげるためには、せまい範囲にバス路線が高密度に配置されている地域がのぞましい。図-3に示した岐阜市の北部地域は、岐

阜駅から郊外に

むけて放射状に

のびる路線のほ

かに市内巡回線

をもち、多様な

バス頻度を選び

やすく調査に適

している。北部

地域のバス路線

は図-4に示すと

おりである。路

線名を記号R-1

などで表わした。

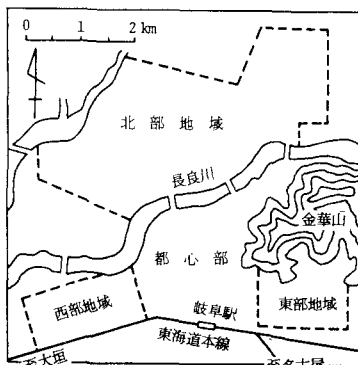


図-3 調査地域

北部地域で実施した調査は主としてつぎの3種類である①乗客調査、②乗客のバス停到着時刻調査、③バス試乗調査。調査①は、市内均一料金区間のバス停61地点で、乗客の交通目的・目的地・発地点などを聞き取り調査したものである(調査期間: 1980年5~7月の平日、午前7~9時)。

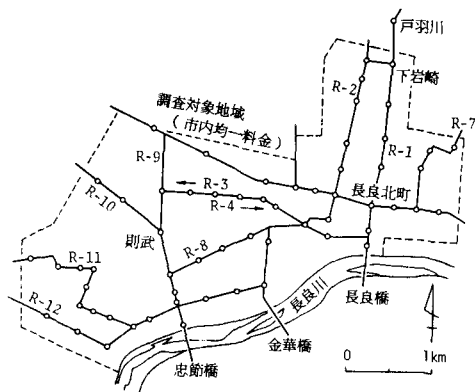


図-4 北部地域のバス路線網

4. バス停勢力圏の時間境界

(1) 時間境界の実用算定式

ここで述べる時間境界の実用算定式の考え方は既報⁶⁾の内容とほぼ同じものであるが、後述する拡大量 D の計量にとって基礎となる部分であるから、あえてその要点を再録しておきたい。

いま座標軸を図-5のように設定し、多頻度バス停をA、少頻度バス停をBとする。自宅 $Q(x, y)$ から発生したバス乗客が各バス停を経由して鉄道駅へ

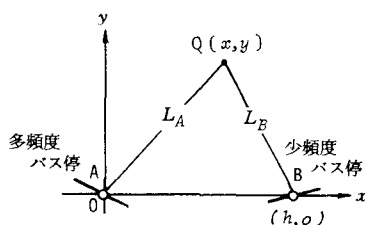


図-5 座標軸

到達するまでの到達時間 t_A, t_B は、

$$\left. \begin{aligned} t_A &= (\alpha L_A/v) + W_A + T_A \\ t_B &= (\alpha L_B/v) + W_B + T_B \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

で表わされる。ここに L はバス停への直線距離(m)、 α は直線距離を実距離になおす係数(=1.2)、 v は徒歩の区間速度(=80m/分)、 W はバス停での待ち時間、 T は各バス停から駅までのバス乗車時間(分)である。

「時間境界は到達時間が等しくなるように決まる」と考えて $t_A = t_B$ とおき、さらに $W_A = W_B$ とみなしたうえで

$$L_A = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad L_B = \sqrt{(h-x)^2 + y^2}$$

を代入すると

$$y = \sqrt{\left(\frac{h}{c}x + \frac{c^2 - h^2}{2c}\right)^2 - x^2} \quad (3)$$

となる。ここに、 h はバス停間の直線距離(m)、 $c = 66.7 (T_B - T_A)$ である。

正確な時間境界はこの式(3)で与えられるが、バス停がかなり接近して高密度に配置されている場合にはバス停勢力圏がせまくなる関係で、計算の繁雑なこの式を用いなくてもすむことが多く、実用上は境界線が x 軸と交わる点(x 切片)が求まれば十分であろう。そこで上式において $y = 0$ とおけば

$$\frac{x}{h} = \frac{1}{2} + 33.3 \left(\frac{T_B - T_A}{h} \right) \quad (4)$$

となる。この実用算定式(4)は、バス停間距離を1としたときの時間境界の位置を与える。

(2) 実態との照合

実用算定式(4)の妥当性を実証するため、乗客の発生地点の実態分布と照合しておこう。いまは到達時間のみで決まる場合を扱っているわけであるから、照合する競合バス停は当然ながら(i)バス頻度の影響を無視でき、(ii)かつバス料金が同じでなければ

ならない。ここでは北部地域から表-1の2例を示す。表中のバス頻度は午前7～8時の「1時間頻度」(後述)である。目的地は「新岐阜駅前」に設定した。バス乗車時間 T は道路の混雑状態によって時刻変動するので、乗客のバス停到着時刻(図-6)を勘案して、乗客の半数が発生ずみの時間帯(午前7:40台)でのバス試乗調査データを用いた。

表-1 競合バス停

バス停		バス頻度		頻度差 (便/時)
A	B	A	B	
長良北町	長良天神	39	27	12
川島紡績	則武本郷	15	11	4

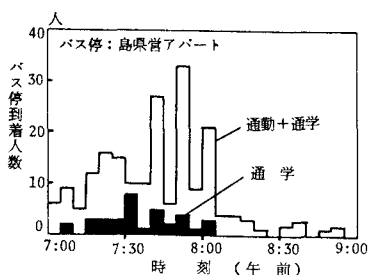


図-6 乗客のバス停到着時刻

まず「長良北町」と「長良天神」との場合を図-7に示した。バス停から y 軸方向に離れるにつれて、式(3)による正確な境界線と式(4)で算定される実用境界線のズレは大きくなるが、実態分布と比較してみると実用境界線で十分近似できているといえよう。この競合バス停の場合、頻度差が12(便/時)と大きく、上記の条件(i)を満たさないようにみえるが、もともとバス頻度じたいが多いのでこの程度の頻度

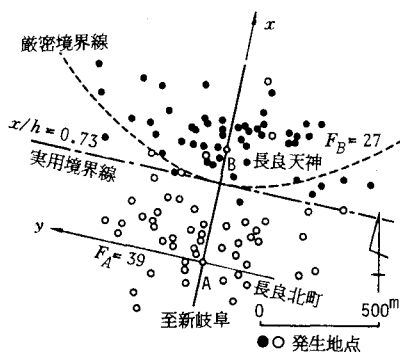


図-7 実態との照合(1)

は効いてこない(詳細は後述)。

もう1つの事例については実用境界線の照合だけを図-8に挙げた。いずれも実態分布をほぼうまく区画していると思われる。なお、照合に用いた実態分布では、新岐阜駅前を目的地とする通勤通学者のみを選んでプロットしてある(以下、同様)。

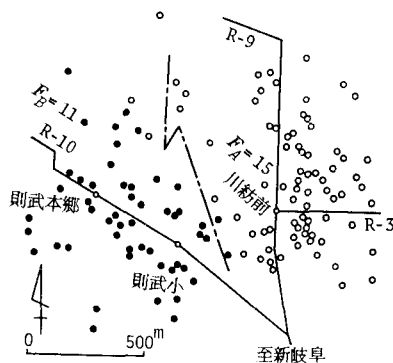


図-8 実態との照合(2)

5. 拡大量 D の計量

時間境界 x は、 T を実状に合わせて設定すれば実用算定式(4)でかなり正確に決めうる事が確認された。したがって、バス頻度の差異に起因する拡大量 D は、実態調査から頻度境界 x^* が得られておれば、あらかじめ計算しておいた x とのズレとして計量できることになる。

そこで乗客調査の結果を用いて、図-9に例示した方法でつぎのように

x^* を計測した。乗客の発生地点の空間分布がバス停ごとに分離している場合は、もっとも接近した2点の平均位置をもって x^* とする。空間分布に重複部分がある場合には、その重複部分の点の平均位置とする(同図(b))。

x^* を計測する競合バス停はつぎの2

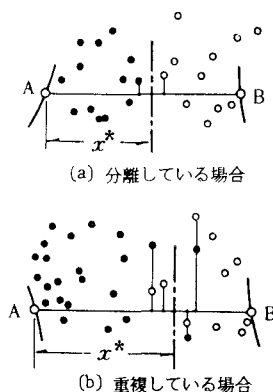
図-9 x^* の計測作業

表-2 x^* , x および D の作業結果

バス停				h (m)	1時間頻度		W (分)	x^* (m)	x (m)	D (m)
A	B				F_A	F_B				
白鷺	川崎	495	11	4	9.55	270	51	219		
消防署	川崎	465	7	4	6.43	255	83	172		
高見	公民館	750	27	6	7.78	518	272	246		
上天神	公民館	555	27	6	7.78	383	190	193		
北高校	県岐商	360	30	4	13.0	330	163	167		
上天神	北幼稚園	470	27	4	12.8	360	155	205		
緑が丘	伊奈波中	705	7	4	6.43	278	56	222		
早田本郷	日赤	300	12	8	2.50	164	170	-6		
長北町	長良小	263	39	10	4.46	225	165	60		
則武	則武小	600	26	11	3.14	498	457	41		
北高校	則武小	525	30	26	0.31	345	319	26		
川島紡績	則武小	465	15	11	1.45	210	276	-66		
川崎	正門前	248	4	4	0.00	83	117	-34		
日赤	川崎	705	8	4	7.50	518	429	89		

条件を満たす必要がある。第1に、両バス停にはさまれた圏域がほぼ均等な夜間人口密度をもつこと。もし夜間人口が点在するような状態であると、 x^* は住居の分布で決まってしまうバス停の競争を反映しなくなる。第2に、 x と比較する目的で x^* を求めるのであるから、時間境界を x 切片として算定するのであるから、乗客の発生地点もまた x 軸に沿って分布していること。こうした両条件に合う競争バス停を北部地域からさがすと、表-2に一覧した14の組合せを選定できる。 x^* , x および D の作業結果を表中に整理しておいた。

作業手順からも明らかなように、時間境界 x が近似値であること、頻度境界 x^* の計測において誤差がはかりやすいことによって、拡大量 $D (=x^*-x)$ の数値は十分に精度が高いとはいいがたい。したがって、つぎに述べる回帰分析の意義は概算的な枠内に限られる。

6. 拡大量とバス頻度の回帰分析

(1) バス頻度の定義

上で求めた拡大量 D をバス頻度に関連させて回帰分析するにあたり、まずバス頻度の時間単位を明確にしておく必要がある。そこでバス頻度をつぎのように定義する。

1 時間頻度 F_1 : 午前7～8時でのバス便数

2 時間頻度 F_2 : 午前6～8時でのバス便数

3 時間頻度 F_3 : 午前6～9時でのバス便数

各バス頻

度の対応を

図示した図

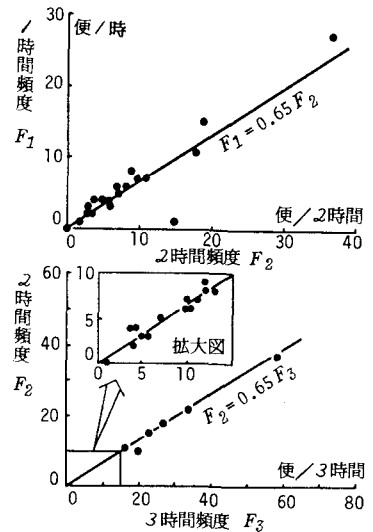


図-10 各バス頻度の対応

図-10をみると、 F_2 は F_3 の約65%にあたり、さらに F_1 は F_2 の約65%に該当するような配車状況にあるので、いずれかのバス頻度を代表的に採用することができる。以下では、乗客の到着が集中する午前7～8時の頻度—すなわち「1時間頻度」を用いる。

(2) 拡大量とバス頻度の関係

さてここで、バス頻度の差異をどのように表現するべきかが問題となる。バス停A, Bの1時間頻度をそれぞれ F_A, F_B とし($F_A \geq F_B$)、通勤の場合について、単純に頻度差($F_A - F_B$)あるいは頻度比(F_A / F_B)と拡大量 D との関係をみてみると、図-11(a), (b)のように相関は不鮮明である。こ

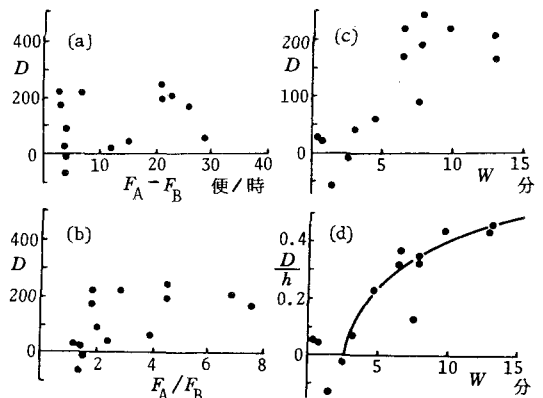


図-11 相 関 図 (通勤)

の理由として、たとえば頻度差を例にとると

事例Ⅰ： $F_A = 10, F_B = 5$

事例Ⅱ： $F_A = 30, F_B = 25$

がともに $(F_A - F_B) = 5$ となってしまう、相対尺度として適切でないと思われる。

こうした欠点をなくすため次式で定義される量 W を考えることにする。右辺のたとえば $(60 / F_A)$

$$W = \frac{60}{F_B} - \frac{60}{F_A} \quad (5)$$

は、60分間を1時間頻度で除したものであるからバスの平均到着間隔であり、乗客の立場からするとバス停での最大待ち時間の平均値ともみなせる量である。したがって W (分) の物理的意味は、バス到着間隔の差または待ち時間の短縮分と考えられるので、これを「待ち時間短縮」とよぶことにする (W の値は表-2に既載)。横軸を W で表わすと同図(c)のように若干の相関があらわれる。さらに縦軸を、バス停間距離 h で除して (D/h) と無次元化してみると、同図(d)のように一層はっきりした相関(曲線相関)を得ることができる。

(3) (D/h) と W の回帰式

この曲線相関を片対数目盛で図示すると、図-12(a)のとおりに $W \geq 2.3$ 分の範囲で直線となる。直線からはずれた1点を除外して他の10点に対し最小2乗法で常用対数式で回帰すると、 (D/h) と W の関係を次式のように設定できる。

$0 \leq W < 2.3$ のとき

$$D/h = 0 \quad (6)$$

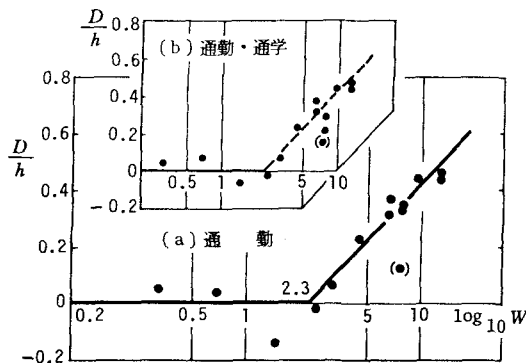


図-12 (D/h) と $\log W$ の関係

$2.3 \leq W \leq 13.0$ のとき

$$\frac{D}{h} = 0.652 \log W - 0.23 \quad (7)$$

($\log W$ との相関係数: 0.97)

$W > 13.0$ の範囲については今回のデータでは議論できない。上式は通勤乗客を対象とした回帰式であるが、通勤・通学の全体に対してもほぼ適合している(同図(b))。なお参考のため2時間頻度 F_2 、3時間頻度 F_3 を採用した場合の回帰係数も表-3に示しておいた。

表-3 回帰係数

	係 数		r
	a	b	
F_1	0.652	-0.23	0.97
F_2	0.590	-0.27	0.89
F_3	0.456	-0.11	0.93

$D/h = a \cdot \log W + b$ r : 相関係数

経験式(6)および

(7)はつぎのように解釈される。すなわちある競合バス停において、 $W < 2.3$ 分の場合にはバス頻度は勢力圏の形成に影響しないが、 $W \geq 2.3$ に

なると待ち時間短縮の程度に応じて式(7)で示される距離 D だけ勢力圏を拡大させる。いかえれば、バス乗客は待ち時間を短縮するために徒歩距離をのばす解釈することができ、その意味でバス頻度と徒歩距離との間に一種のトレードオフ(交換)関係が成立しているとも考えられる。また、バス頻度の差異を式(5)のように時間の単位で表現することによって相関が現われるということは、バス頻度をも到達時間のなかに含めて扱かいうる可能性を示唆している。なお、「4.(2) 実態との照合」で用いた競合バス停はいずれも $W < 2.3$ であることから、バス頻度が影響しない場合の事例として適している点を確認できる。

7. 頻度境界の区画式

上で扱った頻度境界 x^* は、回帰分析のデータとして用いるために実態調査から帰納的に求めたものであるが、以上の分析結果を総合すると、バス乗車時間・バス頻度などが与えられれば次式でもって頻度境界を計算できることになる。

$$\frac{x^*}{h} = \frac{x}{h} + \frac{D}{h} \quad (8)$$

右辺第1項は乗車時間 T_A , T_B とバス停間距離 h とから式(4)で決まり, 第2項はバス頻度だけから式(6)または(7)で決まる。上式は

$$x^* = x + D \quad (9)$$

とも書けるが, 実際に境界線を地図に描く作業では式(8)の表現のほうが便利である。たとえば地図上で $h = 10 \text{ cm}$ のとき, $(x^*/h) = 0.6$ であれば, 頻度境界は $10 \times 0.6 = 6 \text{ cm}$ となり, 地図の縮尺を考慮しなくてすむ。

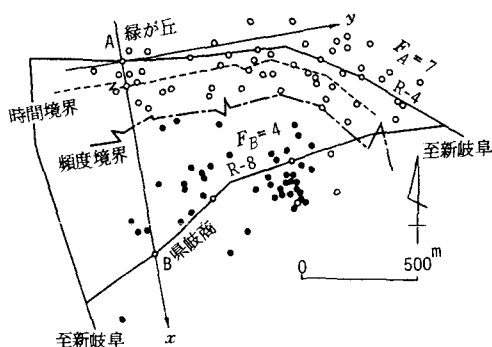


図-13 再現計算例

北部地域についてこの式で再現計算してみた結果の一例を図-13に挙げた。比較のため時間境界もあわせ記入してある。「緑が丘(A)」と「県岐商(B)」の場合で計算手順を例示すると, 地図上での測定から $h = 825 \text{ m}$, 試乗調査から $T_A = 24.7$, $T_B = 14.8$ 分, したがって式(4)より $(x/h) = 0.10$ 。ついで $F_A = 7$, $F_B = 4$ (便/時) であるから $W = 6.43$ 分となり, 式(7)より $(D/h) = 0.30$ 。結局, 頻度境界は式(8)より $(x^*/h) = 0.40$ と計算される。時間境界 x とくらべてバス頻度の影響はかなり大きいといえよう。

すべての競合バス停について境界線 x^* を求めそれらを接続させれば, 図示したような「バス路線の勢力圏」を区画できる。計算結果は実態分布をかなり正確にとらえているようである。

8. バス路線の評価事例

以上, 岐阜市北部地域を対象とする実証的分析を通して, バス頻度の影響を考慮したバス停勢力圏(あるいはバス路線勢力圏)の区画方法を検討した。

そこでこの結果を実務面に役立たせる1つの応用として, 図-3の西部・東部地域におけるバス路線の特性を評価してみよう。

(1) 西部地域の放射状路線の場合

西部地域では中央を貫通する路線R-13に乘客が集中し, その両

側のR-14とR-15の乗客数が極端に少ないといった, 路線間のアンバランスが問題となっている(図-14)。

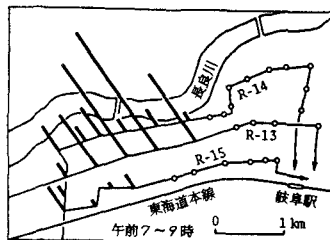


図-14 バス停の乗客数

この3路線の頻度境界を計算

して図示すると図-15のようになり(目的地: 新岐阜駅前), 乗客発生地点分布とはば適合することから, 上述の議論を適用できるものと思われる。この図によれば, R-13の勢力圏が南・北に広く侵食している結果, R-14とR-15の勢力圏はせまい地帯に限定されている。ここでR-13上の「森屋」を代表例として時間境界 (x/h) と拡大量 (D/h) を示すと表-4のとおりである。

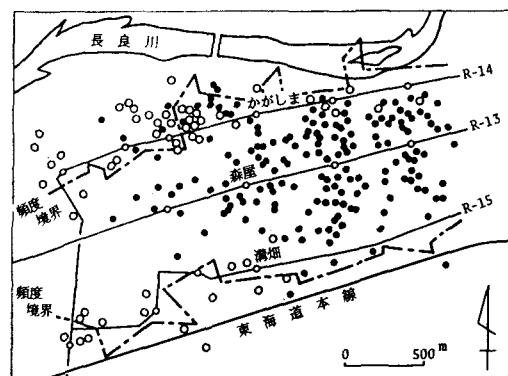


図-15 西部地域の頻度境界

表-4 (x/h) と (D/h)

バス停	x/h	バス頻度		D/h	x^*/h
		F_A	F_B		
R-13 R-14 森屋 鏡島	0.91	22	7	0.27	1.18
R-13 R-15 森屋 溝畑	0.52	22	3	0.58	1.10

R-14では経路が大きく迂回しているため、森屋は時間要因のみでも $(x/h) = 0.91$ と優位にあり、さらにバス頻度の格差が $(D/h) = 0.27$ の拡大をもたらしている。一方、R-15の場合、時間的には $(x/h) = 0.52$ と互角であるものの、頻度面で不利な状況にあり $(D/h) = 0.58$ だけ森屋にくだまれていることになる。したがって路線間のアンバランスは、前者においては主として乗車時間(=経路)に、後者においてはバス頻度の差異にそれぞれ原因をもつと考えられる。

(2) 東部地域の循環路線の場合

東部地域の循環路線(左回りR-17、右回りR-18)は、北側のR-16と南側の「田神駅」(名鉄各務原線)に乗客を吸収され、営業係数188(1982年度)の赤字路線になっている(図-16)。式(8)の鉄道駅への適用性をみる意味も含めて、この循環路線と①田神駅あるいは②R-16との時間境界を計算してみると、いずれの場合も循環路線は南北両方向から侵食され、バス頻度の影響を考えるまでもなく独自の勢力圏をもちえない状態にあると判断される。

したがって東部地域で発生するバス需要は、

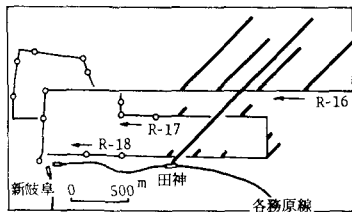


図-16 東部地域の乗客数

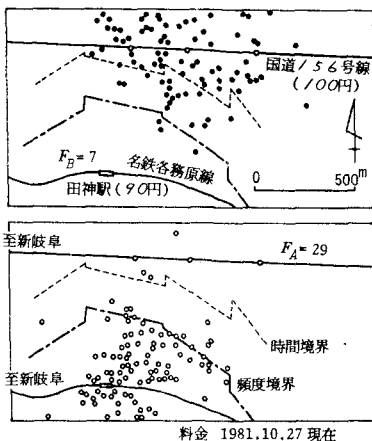


図-17 田神駅と路線R-16の境界線

循環路線と無関係に田神駅とR-16が分割しあうと考えられる。実際、循環路線を無視して、田神駅とR-16が直接に競合するものとして境界線を描いてみると、図-17のように実態とよく合う。東部バス路線における乗客の不均衡は、こうした簡便な検討によっても、ある程度明らかにできるように思われる。

9. おわりに

以上に述べた方法は、単純ではあるけれども実際の勢力圏構造を比較的良好に反映していること、バス路線特性を吟味する簡便手法として応用できること、など一定限の有用性を確認することができた。しかし、その中心をなす回帰式(7)は1つの個別地域から帰納した経験式であるため、一般性に弱点をもっている。この点、他都市での調査・適用を通して補充していきたい。

おわりに、調査の機会を与えてくださった岐阜大学工学部・加藤晃教授、資料収集で援助いただいた岐阜市開発部の関係各位に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 建設省道路局・都市局：バス路線総合整備モデル事業，道路，1980年1月号，p.p. 64～71
- 2) 河上省吾・安間清・国松義政・広島康裕：パークアンドライド方式の実態分布，土木学会第30回年次学術講演会概要集，IV-97，1975
- 3) 佐藤馨一・五十嵐日出夫：空港アクセスにおける交通機関別分担モデルの推定，土木学会論文報告集，第274号，p.p. 95～104，1978
- 4) 本多義明・川上雅一・加藤哲男：地方都市におけるパークアンドライド方式の導入に関する研究，都市計画別冊，第11号，p.p. 109～114，1976
- 5) 毛利正光・渡辺千賀恵：鉄道駅へ集中する通勤アクセス交通の輸送分担特性と発生圏域の区画法，土木学会論文報告集，第300号，1980
- 6) 毛利正光・渡辺千賀恵：自転車駅勢圏の駅間境界と路線間境界，交通工学，Vol.15 No.2，1980