

安賀康夫⁺

近藤 勝直[†]

三輪利英

—231—

バスネットワーク(無数に存在する)のもとで、A点よりB点へ通勤するトリップメーカーの混合トリップを問題にする。

鉄道ならびにバスは、それぞれ一般化された単位距離当りの所要時間 (generalized time per unit distance) T_1, T_2 をもっているものとする。すなわち

$$T_1 = t_1 + \lambda^{-1} m_1 \quad (1)$$

$$T_2 = t_2 + \lambda^{-1} m_2 \quad (2)$$

ここに、

t_1, t_2 は 鉄道、バスの単位距離当りの所要時間。 m_1, m_2 は、鉄道、バスの単位距離当り運賃。 λ はトリップメーカーの持つ時間評価値。

このとき、A点を出発しB点に向うトリップメーカーが直面しているルート選択問題は、A点からB点へダイレクトにバスを利用する直行ルートと、A点からC点までバスを利用し、C点で鉄道に乗り継ぐところの混合ルートの2本である。ここでの問題は、混合ルートの一般化時間が最小となる地点Cを見つけることにある。

図-1の幾何学的性質より

$$d_1 = Pr / \cos \theta \quad (3)$$

$$d_2 = r \sqrt{P^2 / \cos^2 \theta - 2P + 1} \quad (4)$$

ここに、

r は AB間の直線距離。 θ は $\angle ABR$ 。 P は、線分 AB 上に在る鉄道利用距離 d_1 の相対距離 (線分 AB 上での鉄道利用率)。

このとき、混合ルート $A \rightarrow C \rightarrow B$ の総一般化時間は

$$\begin{aligned} G &= T_1 d_1 + T_2 d_2 \\ &= T_1 Pr / \cos \theta + T_2 r \sqrt{P^2 / \cos^2 \theta - 2P + 1} \end{aligned} \quad (5)$$

と表わせるから、(5)式を最小にする地点は $dG/dP = 0$ より

$$P = \cos^2 \theta (1 - \tan \theta \sqrt{\frac{k}{1-k}}) \quad (6)$$

$$\text{ただし } k = (T_1/T_2)^2$$

と求められる。ただし $T_1 < T_2$ を仮定。

この結果、最適な乗り継ぎ点の位置は(6)式から明らかのように、角度 θ と交通手段の一般化時間比 k にのみ依存することとなる。

以上の、最適混合ルート決定モデルを基本モデルと呼び、以下の路線図決定モデルにおいて活用される。

2.2 路線図決定モデル(1)

上記基本モデルにおいては最適混合ルートの条件が導出されたが、ここでは、その最適混合ルートを利用した場合の一般化時間と、直行ルートの一般化時間が均等する地点の軌跡を求めてみる。これはとりも直さず、対象とする鉄道路線の路線図を規定することになるからである。

両ルートの一般化時間を等しいと置けば

$$T_1 d_1 + T_1 \sqrt{r^2 + d_1^2 - 2rd_1 \cos \theta} = T_2 d_2 \quad (7)$$

(7)式に(3)、(4)式を代入して整理すると

$$(1+k) \cos \theta - \sqrt{k(1-k)} \sin \theta = 2\sqrt{k} \quad (8)$$

を得る。ここに $k = (T_1/T_2)^2$ 。

(8)式を満足する θ を θ^* とすると、 θ^* はただ1つの値となり、この軌跡は、角度 θ^* の直線であり、この直線上では、直行ルートと最適混合ルートの一般化時間は全く等しく、ルート選択は無差別である。この様子が図-2に描かれている。ハッチング領域がこの鉄道路線の路線図である。(ただし、図では上半分だけを示している。)

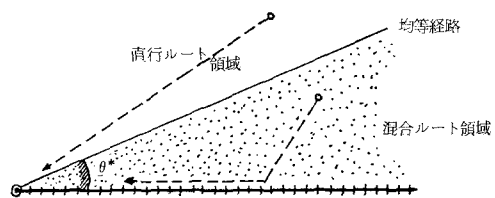


図-2：路線図

2.2 路線図決定モデル(2)

つぎに、競合する鉄道路線がある場合の路線図について考えてみよう。

まず、先述の均等線がオーバーラップしない場合、すなわち、路線Aの均等線角度を θ_A^* 、路線Bの均等線角度を θ_B^* とするとき、この和

$\theta_A^* + \theta_B^*$ が路線間夹角より小さい場合は、図-3のように、2つの路線圏の間に空白地帯 (= 直行ルート領域) が生ずる。

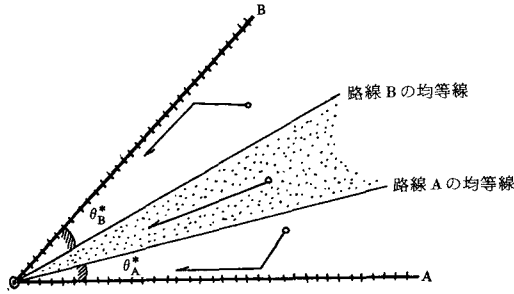


図-3: 路線整合のケース(1)
($\theta_A^* + \theta_B^* < \text{夹角}$)

一方、 $\theta_A^* + \theta_B^* > \text{夹角}$ という場合には図-4のように両路線圏がオーバーラップ(重なり)。

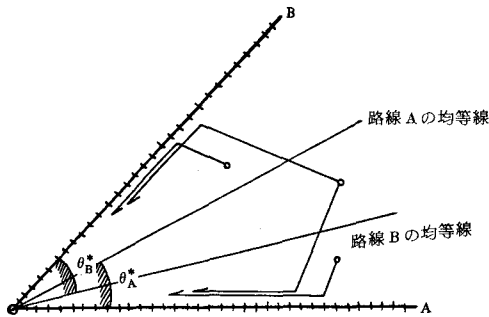


図-4: 路線整合のケース(2)
($\theta_A^* + \theta_B^* > \text{夹角}$)

この場合、路線Bの均等線と路線Aではさまれる領域は明らかに路線Aを利用する混合ルート領域となるが、両均等線ではさまれる領域についてはさらに検討が必要となる。この場合は、2つの最適混合ルート一般化時間が均等する条件を新たに導く必要がある。すなわち、図-5を参考にして、両ルートの均等条件は

$$\begin{aligned} b_1 T_1 + T_1 \sqrt{r^2 + b_1^2 - 2rb_1 \cos \theta_1} \\ = b_2 T_2 + T_2 \sqrt{r^2 + b_2^2 - 2rb_2 \cos \theta_2} \end{aligned} \quad (9)$$

ここに、 (r, θ_1, θ_2) は出発点の座標。T₁ はバスの単位距離当り一般化時間。T₂, T₃ は路線A, Bの単位距離当り一般化時間。

$$b_1 = r \cos \theta_1 (1 - \tan \theta_1 \sqrt{\frac{r_1}{1-r_1}}), \quad r_1 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$$

$$b_2 = r \cos \theta_2 (1 - \tan \theta_2 \sqrt{\frac{r_2}{1-r_2}}), \quad r_2 = \left(\frac{T_1}{T_3}\right)^2$$

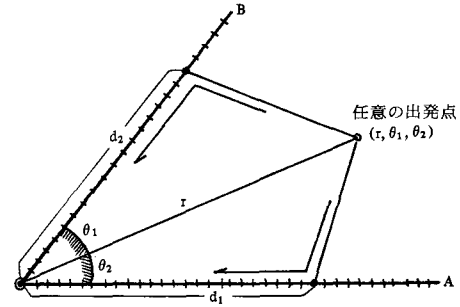


図-5: ケース(2) つづき

結局、(9)式と

$$\theta_1 + \theta_2 = \text{Const. (夹角)} \quad (10)$$

を同時に満足する解を (θ_1^*, θ_2^*) とすると、これが路線圏境界を表すことになる。これを図-6に示す。いずれにしてもこのケースでは直行ルート領域はない。

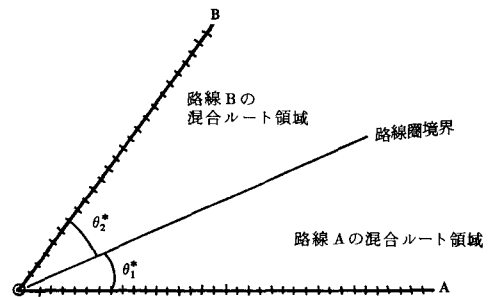


図-6: ケース(2)の路線圏

3. 駅勢圏決定モデル

前節で路線圏の概形が明らかになったので、つぎに本節では、前節で求められた路線圏内の領域でトリップメーカーなどの駅を選択する

かを決定するモデルについて考えてみよう。

前節では、駅は無数にあると仮定してモデルを構成したが、本節で対象とするのは、駅が離散的に存在する場合である。図-7のケースについて考えてみよう。トリップメーカーはA駅、B駅のいずれを選択するのが有利となるであろうか。この場合も先段と同様に、両駅を利用する場合の一般化時間が均等となる点の軌跡を求めてやれば、それが駅勢力圏境界となっているはずである。

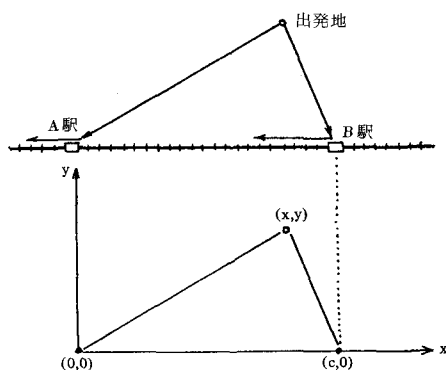


図-7：駅勢力圏モデル

簡単のため、座標を用いる。図中、 (x,y) は出発点の座標、目的地は原点 $(0,0)$ 、 c は駅間距離、 d,e は鉄道及びアクセス手段の単位距離当り一般化時間とする。ただし $d < e$ を仮定。このとき、出発点からA駅までの両ルート一般化時間の均等式は

$$e\sqrt{x^2+y^2} = e\sqrt{(c-x)^2+y^2} + dc \quad (11)$$

と表わさける。ここで $dc/e = f$ と置き、(11)式を展開してゆくと、整理したのちにつぎのように書くことができる。

$$\frac{(x-\frac{c}{2})^2}{f^2/4} - \frac{y^2}{(c^2-f^2)/4} = 1 \quad (12)$$

これは、双曲線を標準形で表わしたものに他ならない。これを図-8に示す。

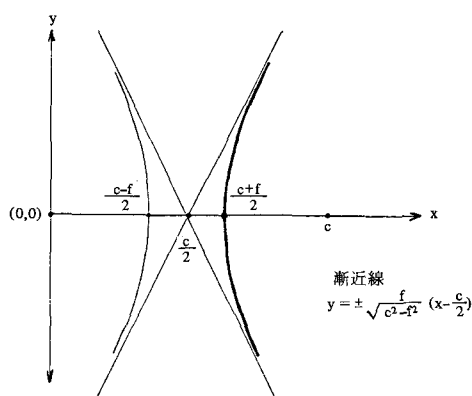


図-8：双曲線

漸近線は

$$y = \pm \frac{f}{\sqrt{c^2-f^2}} (x - \frac{c}{2}) \quad (13)$$

となり、駅間2等分点で交差する。双曲線は2本存在するが、問題の性質上、右半分が有効である。具体的な局面では、図-9のように駅勢力圏が描かれることになる。

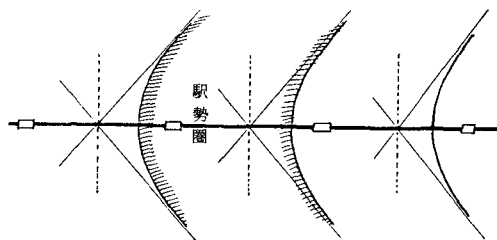


図-9：駅勢力圏

ここで、さらに先節の路線図のエリアを重ねると、図-10のように、1つの鉄道沿線についての駅勢力圏図を描くことができる。

以上が、路線図および駅勢力圏決定のための基本的なモデルである。これをベースとしていくつかのバリエーションを用意することにより、実際の局面への応用が可能となる。

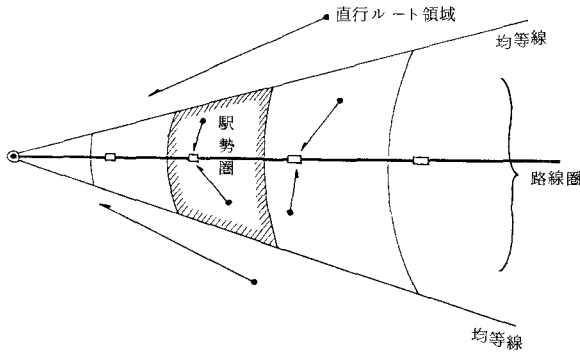


図-10：路線図と駅勢圏

4. 路線図/駅勢圏モデルの諸性質

最初に、路線図を規定しているのは、(8)式で表したとおり、2つの交通手段の単位距離当りの一般化時間の比率 $k = (T_1/T_2)^2$ である。この k の変化につれて均等線 θ はどう変化するであろうか。(8)式を θ と k に変換して分離形に直すと

$$\sin \theta = \frac{-k\sqrt{1-k} + \sqrt{1+k-k^2-k^2}}{1+3k} \quad (14)$$

定義により、 $1 > k > k^2 > k^3$ であるから、(14)式右辺は正となる。また k と θ の関係は、数値計算をしてみると、 k の増大につれて θ がほぼ直線的に減少してゆくことが確かめられる。

したがって、一般化時間比 k が大きくなる、すなわち、両交通手段のサービス水準に差がなくなってくると、均等線と鉄道路線とのなす角度 θ は小さくなってゆく。言い換えると、鉄道に乗り継ぐメリットが失われゆくわけであるから、路線図は縮小し、直行ルート領域が支配的となる。

逆に、鉄道のサービス水準が上昇し、アクセス手段に対する優位性を増せば増すほど、鉄道への乗り継ぎが有利になるので、路線図は拡大することになる。

つぎに、駅勢圏を規定しているのは、図-8

なら明らかのように、2つの漸近線の傾き $\pm f/\sqrt{c^2-f^2}$ と、双曲線が X 軸を切る点の座標 $(c+f)/2$ の両者である。

前段の議論との斉合を図るため

$$T_1 = d, \quad T_2 = e$$

と置けば、 $f = dc/e = cT_1/T_2$ と書き直さるので、漸近線の傾きは

$$f/\sqrt{c^2-f^2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right) / \sqrt{1 - \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2}$$

X 軸切片は

$$(c+f)/2 = \left(1 + \frac{T_1}{T_2}\right) c/2$$

と書くことができるので、ここで $k = (T_1/T_2)^2$ を用いると、結局

$$\text{漸近線の傾き} = \sqrt{k/(1-k)} \quad (15)$$

$$X \text{ 軸切片} = (1 + \sqrt{k})c/2 \quad (16)$$

となる。いま我々は、鉄道を優等モード、バスないしアクセス手段を劣等モードと規定している。すなわち $T_1/T_2 < 1$ を仮定しているので $k < 1$ である。鉄道の優位が引下げられたり、あるいは所要時間が短縮されるといったサービス水準の上昇があれば一般化時間 T_1 はより小さくなるので、バスのサービス水準が不変であれば、比率 k は小さい方に向かう。このとき、(15)、(16)式の右辺はともに小さくなる方向に向かうので、双曲線はよりきつく彎曲して、 X 軸切片は駅間 c の半分点に近づくことになる。

一方、逆に鉄道のサービス水準が低下したり、バスのサービス水準が上昇するときには双曲線は立ちあがってくることになる。このちやうど 図-11 に示されている。

5. アクセス手段とフォイスセクト

前段の議論を少し拡張（2やると、最寄駅へのアクセス手段の可能な選択肢（フォイスセクト）を用意することができる。

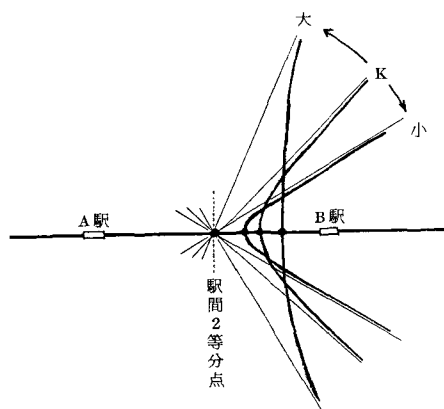


図-11：Kの変化に伴う
駅勢力圏境界の変動

いま、アクセス手段として次の3つが可能である
としよう。

アクセス手段1 (例えばバス) …… C_1

アクセス手段2 (例えば自転車) …… C_2

アクセス手段3 (例えば徒歩) …… C_3

そして、それぞれの単位距離当り一般化時間を
 C_1, C_2, C_3 とし、大小関係を $C_1 < C_2 < C_3$ と仮
定する。

トリップメーカーの直面している選択肢は以下の
6個である。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{手段1} \\ \text{手段2} \\ \text{手段3} \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{A駅へアクセス} \\ \text{B駅へアクセス} \end{array} \right\}$$

図-11を参考にして、図-12を描き、その上で

選択肢が3個に絞られることを示そう。

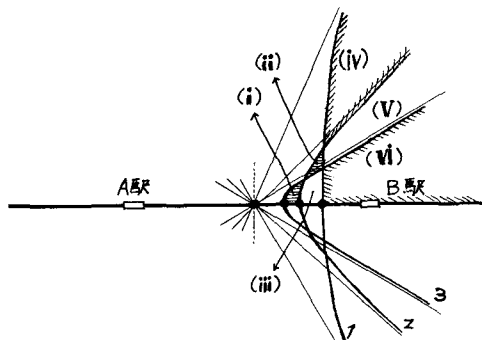


図-12 領域による異なる選択肢

図-12には3つのアクセス交通手段別のB駅の駅
勢圏が描かれており、各駅勢力圏境界による
区切られた領域に(i)～(vi)の番号をつけて
いる。各領域別のフォイズ・セットは図の性質
より下表のようにまとめられる。

フォイズ・ セット 領域	手段1		手段2		手段3	
	A駅	B駅	A駅	B駅	A駅	B駅
(i)	○		○			○
(ii)	○			○	○	
(iii)	○			○		○
(iv)		○	○		○	
(v)		○		○	○	
(vi)		○		○		○

〈参考文献〉 近藤・宮崎，モダリティ混雑手法を用い
た混合トリップの考察，「交通工学」10-6，1975。