

鉄道駅勢圏の幾何学モデル*

A Geometric Model of Railway Commuters' Area
in Suburban Area

安賀 康夫⁺

Yasuo AGA

近藤 勝直[#]

Katsunao KONDO

三輪 利英^井

Toshihide MIWA

This paper describes the scope of the railway commuters' area around the station in a suburban area by geometric approach. First, under the assumption that the railway line has a infinite numbers of stations, the area that railway line covers is analyzed. The residents in this area are expected to use railway in making a trip to the city centre. On the other hand, the residents outside the area make a direct trip to the city centre without mode mix. Secondly, we pay attention to a microscopic state between stations along the railway line. The boundary line between the area that the station covers and that of neighboring station is resulted to be a hyperbola.

1. はじめに

郊外から都心に向かう通勤者の、自宅から最寄の鉄道駅までのアクセス手段に関する問題は、一つは交通手段選択の問題として扱われるが、他方、もう一つは着目する鉄道駅の勢力圏の問題としても論じられる。

本研究は、後者の観点から立つ理論的アプローチであるが、交通手段別の駅勢力圏を重ね合わせることによって、トリップメーカーの干渉セットを示すことが可能となる。

本稿の構成は、路線網モデル、駅勢力圏モデル、そして最後に干渉セット(どの駅へ、どの手段で)の提示へと進む。

* キーワード：鉄道駅勢圏

+ 学生会員 福山大学大学院工学研究科
井 正会員 福山大学土木工学科、工博
(〒729-02 福岡県福山市東村町三番98)

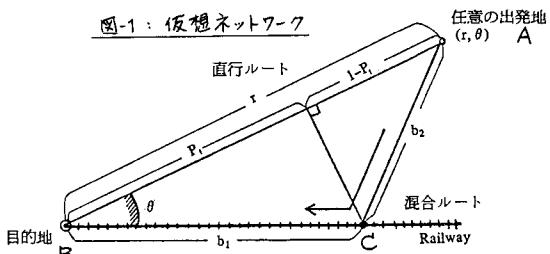
2. 路線網決定モデル

2.1 混合トリップの基本モデル

まず混合トリップ(=1トリップが複数の交通手段の組合せで構成されるもの)の生起に関する分析を行ったための基本的なモデルを提示する。

いま、問題を簡単にするために、交通手段としては、鉄道とバスの2種類だけを考えよう。図-1に示す鉄道路線(駅は無数にある)と、

図-1：仮想ネットワーク



バスネットワーク（無数に存在する）のもとで、A点よりB点へ直動するトライアーメーターの混合トライアーメーターを問題にする。

鉄道ならびにバスは、そのを一般化された単位距離当たりの所要時間 (generalized time per unit distance) T_1, T_2 をもつものとする。すなはち

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

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

ここに、

t_1, t_2 は 鉄道、バスの単位距離当たりの所要時間。 m_1, m_2 は、鉄道、バスの単位距離当たり運賃。入はトライアーメーターの持つ時間評価値。

このとき、A点を出発しB点に向うトライアーメーターが直面 (2) のルート選択肢は、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て、C点で鉄道に乗継ぐところの混合ルートの2本である。ここで問題は、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

$$d_1 = P r / \cos \theta \quad (3)$$

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

ここに、

r は AB間の直線距離。 θ は $\angle ABR$ 。 P は、複合 \overline{AB} 上に占める鉄道利用距離 d_1 の相対距離（複合 \overline{AB} 上での鉄道利用率）。

このとき、混合ルート $A \rightarrow C \rightarrow B$ の總一般化時間は

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

と表わせるから、(5)式を最小にする地点は $dG/dP = 0$ なり

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

$$\text{ただし } r = (T_1/T_2)^2$$

と求められる。ただし $T_1 < T_2$ を仮定。

この結果、最適な乗継点の位置は (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 r に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適用される。

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て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よう。これはとも直らず、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

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

(7)式に (3), (6)式を代入して整理すると

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

を得る。ここに $\kappa = (T_1/T_2)^2$ 。

(8)式を満足する θ を θ^* とすると、 θ^* はただけの実数となる。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 に描かれてある。ハッキング領域がこの鉄道路線の路線図である。(ただし、図-2 は上半分だけを示している。)

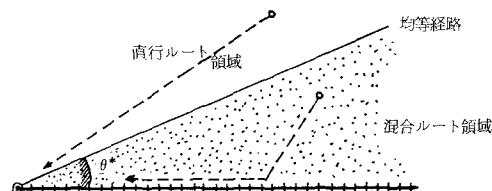


図-2：路線図

2.2 路線図決定モデル(2)

つぎに、複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、すなはち、路線 A の均等線角度を θ_A 、路線 B の均等線角度を θ_B とするととき、この和

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

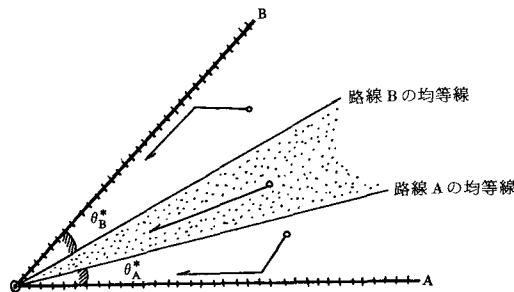


図-3： 路線重複合のケース(1)
($\theta_A^* + \theta_B^* <$ 夾角)

一方、 $\theta_A^* + \theta_B^* >$ 夾角 という場合に図-4 のように両路線囲がオーバーラップ (マッシュ)。

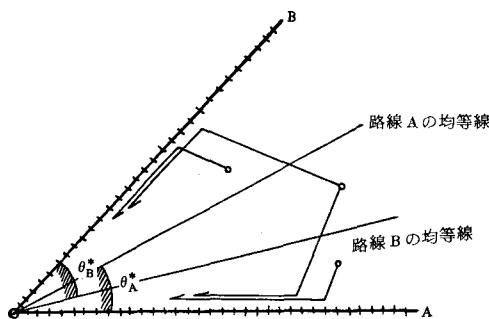


図-4： 路線重複合のケース(2)
($\theta_A^* + \theta_B^* >$ 夾角)

この場合、路線Bの均等線と路線Aではさむけ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、両均等線でさむける領域についてさらには検討が必要となる。この場合は、2つの最適混合ルートへの一般化時間が均等する条件を新たに導く必要がある。すなはち、図-5を参考にして、両ルートの均等条件は

$$\begin{aligned} & b_1 T_2 + T_1 \sqrt{r^2 + b_1^2 - 2rb_1 \cos \theta_1} \\ & = b_2 T_3 + T_2 \sqrt{r^2 + b_2^2 - 2rb_2 \cos \theta_2} \end{aligned} \quad (9)$$

ここに、 (r, θ_1, θ_2) は出発点の座標。 T_1 はバスの単位距離当たり一般化時間。 T_2, T_3 は路線 A, B の単位距離当たり一般化時間。

$$b_1 = r \cos^2 \theta_1 (1 - \tan \theta_1 \sqrt{\frac{r}{1-r}}), \quad R_1 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$$

$$b_2 = r \cos^2 \theta_2 (1 - \tan \theta_2 \sqrt{\frac{r}{1-r}}), \quad R_2 = \left(\frac{T_2}{T_3}\right)^2$$

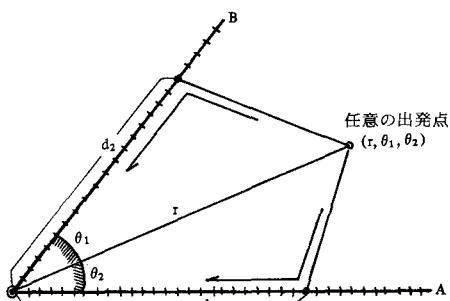


図-5： ケース(2) つづき

結局、(9)式と

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

を同時に満足する解を (θ_1^*, θ_2^*) とする。これが路線囲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。

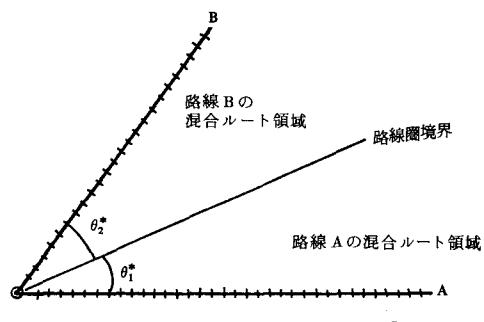


図-6： ケース(2) の路線囲

3. 駅勢圏決定モデル

前節で路線囲の様子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囲内の領域でトリップメーカーがどの駅を選択する

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、それが駅勢圏境界となるはずである。

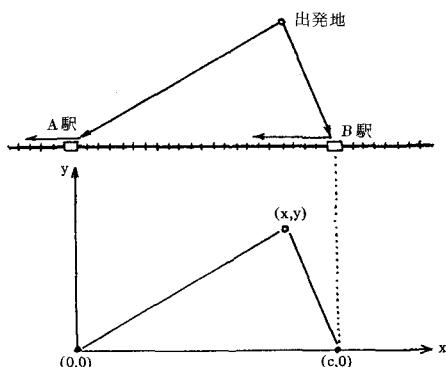


図-7：駅勢圏モデル

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 とは鉄道及びアクセス手段の単位距離当たり一般化時間とする。ただし $d < c$ を仮定。

このとき、出発点から A 駅までの両ルートの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。

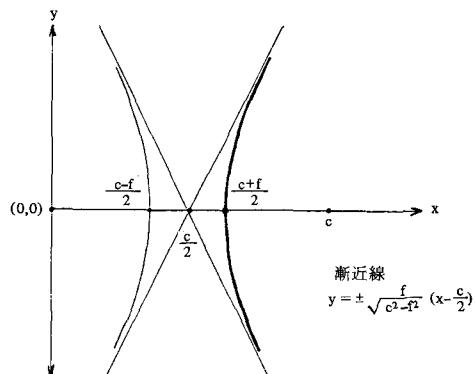


図-8：双曲線

漸近線は

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

となり、駅間の等分点で交差する。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のよう駅勢圏が描かることになる。

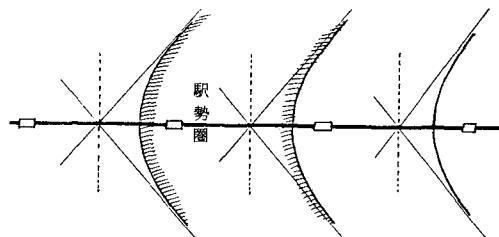


図-9：駅勢圏

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

以上が、路線図および駅勢圏決定のための基本的なモデルである。これらをベースに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。

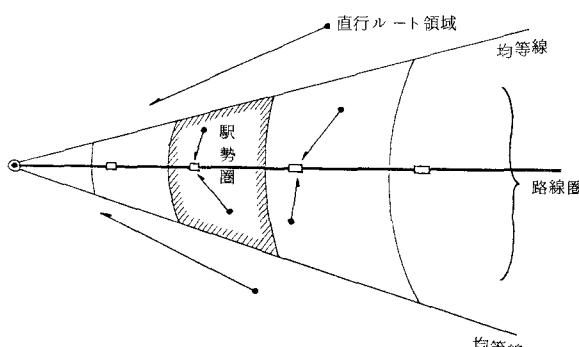


図-10：路線図と駅勢圏

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)式を見ており、2つの交通手段の単位距離当たりの一般化時間の比率 $\kappa = (T_1/T_2)^2$ である。この κ の変化について、均等線はどのように変化するであろうか。 (8)式を θ と κ に寄して分離形に直すと

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

定義により、 $1 > \kappa > \kappa^2 > \kappa^3$ であるから、(14)式左辺は正となる。また κ と θ の関係は、数値計算をしてみると、 κ の増大について 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 κ 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。いいかえると、鉄道に乗り継ぐメリットが失われて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。

次に、駅勢圏を規定しているのは、図-8

なら明らかなように、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。

前段の議論との対応を図3ため

$$T_1 = d, T_2 = e$$

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

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

X 軸切片は

$$(C+f)/2 = (1 + \frac{T_1}{T_2})C/2$$

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

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

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

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、 $\kappa < 1$ である。鉄道の運賃が引下げられたり、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下で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 κ 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な方向に向かうので、双曲線はよりきつと彎曲して、 X 軸切片は駅間距離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。このもうが 図-11 に示されている。

5. アクセス手段とチョイス・セット

前段の議論を少し抜粋してやると、駅へのアクセス手段の可能な選択肢(チョイスセット)を用意することができる。

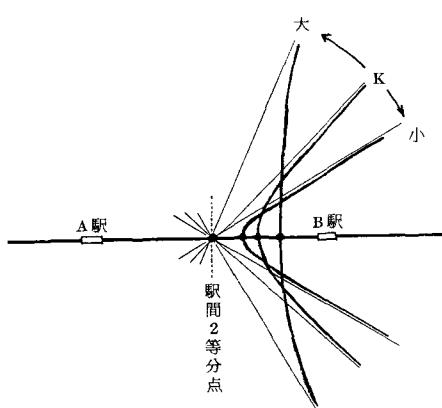


図-11：大の変化に伴なう駅勢圏境界の変動

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、大・中・小の単位距離当たり一般化時間を 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 (2) は選択肢は以下の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個に絞られる二ことを示せ。

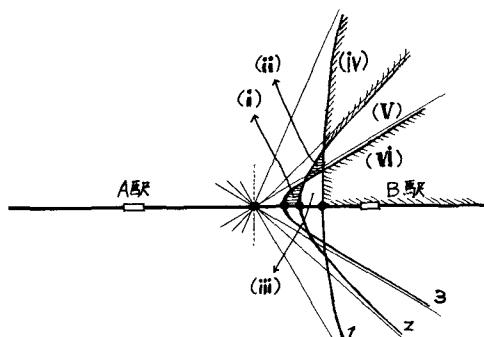


図-12 領域によって異なる選択肢

図-12には3つのアクセス手段別(B駅の駅勢圏)が描かれており、各駅勢圏境界によって区切られた領域に(i)～(vi)の番号を付けている。各領域別(の)干渉・セットは図の性質より下表のようにまとめられる。

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、モダリティス手法を用いた混合トリップの考察、「交通工学」10-6, 1975.