

# トリップチェーン形成過程のプリズム効用モデル

## PRISM UTILITY MODEL OF TRIP CHAINING

近藤勝直\*

By Katsunao KONDO

A model of trip chaining in a linear city is developed in this study using the concepts of time-space prism and utility maximization. The unique features of the model include the following: (a) The potential utility of the time spent at home is evaluated using the area of the prism formed by the sojourn at home; and (b) The concept of the fixed utility is introduced as a measure of the benefit derived by the action of returning home. Several properties of a worker's choice of a trip chain were derived. These include that the more the duration of the activity, the distance between the work and home location, or the speed of the travel mode used, the more the home-based trip chain chosen. This result agrees with empirical data. One of the important findings is that the size of the prism significantly influences a worker's choice of a trip chain. Future directions of research are also discussed.

*Keywords: trip chain, time-space prism*

### 1. はじめに

都市住民の1日の行動の中には、いくつかの必須的活動と、いくつかの選択的活動が含まれているであろう。たとえば通勤のような毎日繰り返される必須的活動は毎日の行動パターンを習慣的かつ固定的なものにするだろう。このような固定的パターンに他の選択的活動を合理的かつ計画的に組み込もうとすると、この必須的活動は時間的・空間的に制約として働くことになる。たとえば典型的なフルタイム・オフィスワーカーの場合、職場は空間的に固定されているし、始業・終業時刻も固定されている。もし、ある日事前に、私的な活動の必要が生じた場合、彼/彼女は基本的な活動パターンをどのように変形して、この追加的活動を消化するであろうか。おそらく、多くの要因がこの決定プロセスに影響を及ぼすであろう。追加的活動の具体的内容、活動場所、活動時刻、スケジュール利便性、交通手段の利用可能性、などが複雑に絡み合ってくるに違いない。このような合理的決定のケースのほかに、追加的活動の必要性が生じた時点で即時的に調整がなされるという即応的なケースもあり得る。しかし、われわれが通常使用しているトリップ

データは意識調査ではないので、追加的活動がいかにして生じたのか、あるいは、どのような制約が働いていたのかは全く知るよしもない。けれども、足らざるところは行動仮定を設けてモデルを構築し、モデルから帰結される諸関係・諸法則を実証的にチェックし、もし納得のゆくものであればモデルおよびその行動仮定は実証的に支持されることになる。

本研究は都市従業者の基本的活動パターン（家庭→職場→家庭）に、いかにして追加的な1つの家庭外活動が組み込まれるかに焦点をあてる。これを理解することがトリップチェーン形成過程の解明にとって第一歩と考えたからである。Hagerstrand<sup>1)</sup>の開発したプリズム装置を用いて、トリップメーカーの効用最大化モデルが組み立てられ、最適なトリップチェーンの決定とそこから導かれる結論について実証的に検討する。本稿では簡単のために、抽象的な均一線形都市(uniform linear city)がモデルの舞台である。2. ではプリズム装置の紹介、3., 4. で効用モデルの構築、5. ではモデルの挙動と限界分析について展開し、6. ではモデルの結論とデータを比較検証し、7. で今後の展開を整理する。

### 2. プリズムの幾何学

典型的なオフィスワーカーの1日の活動を時間空間軸

\* 正会員 工博 福山大学助教授 工学部土木工学科  
(〒729-02 福山市東村町三蔵 985)

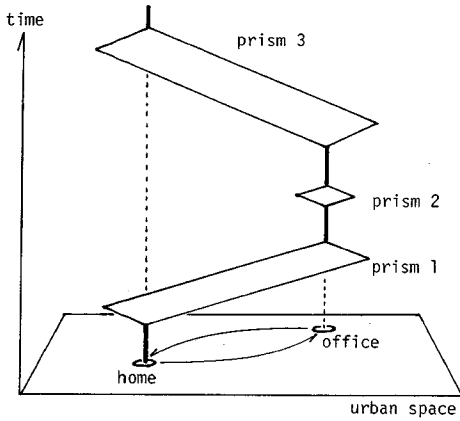


Fig. 1 Time-Space Prism.

に表現したのが Fig. 1 である。横軸は都市平面であるがモデルでは一次元として取り扱われる。縦の実線は活動での滞在を表わし、活動間に存在する平行四辺形は、余暇と交通にふりむけることのできる時間空間領域であり、これが Hagerstrand の時間空間プリズムとよばれているものである（三次元では2つの円錐が上下から重なったものになっている）。プリズム1は起床時から始業時まで、プリズム2は昼休み、そしてプリズム3は終業時から就寝時までの行動可能領域となっている。1つの追加的な活動の必要性が生じた場合、この3つのプリズムの中のどれか1つにそれをめ込まなければならない（ただし就業時間は固定されているとして）。

そこで以下では、一般性を失うことなくプリズム1を取り上げて、プリズムの性質を記述してみよう（Burns<sup>2)</sup>にも同様な記述がみられる）。プリズム2はプリズム1の特殊ケースとして、プリズム3はプリズム1の対称ケースとして扱われる。

プリズムは別名プリズム制約ともよばれるが、これはプリズムが時間空間上の行動可能領域を表わしているからにほかならない。簡単のため利用可能な交通手段は1

つとしよう。Fig. 2 において

- $L$  = 家庭から職場までの空間的距離
- $t_0$  = 最も早く家庭を出発できる時刻
- $t_1$  = 始業時刻
- $v$  = 交通手段の速度
- $T = t_1 - t_0$  (プリズムの高さ)

追加的活動に利用できる最大時間  $h$  は、図の幾何学的関係から

$$h = T - L/v \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $t_0$ ,  $t_1$ ,  $L$ ,  $v$  は与件であるので、 $T$  と  $h$  は既知である。式 (1) からわかるように、活動における滞在時間の最大値  $h$  は、 $T$ ,  $v$  の増加と  $L$  の減少につれて増加する。すなわち、プリズムの高さが大きいほど、交通手段の速度が大きいほど、そして職住近接しているほど  $h$  は大きくなる。

次に、プリズムの面積  $A$  をみてみよう。

$$A = h(vh/2 + L) = (vT^2 - L^2/v)/2 \dots \dots \dots (2)$$

$A$  は、 $T$ ,  $v$  の増加につれ、 $L$  の減少につれて大きくなる。このプリズムの面積は、個人の到達可能な活動空間の広がりやの指標として解釈することが可能である。面積が大きくなれば、追加的活動のための潜在的機会は増え、選択の自由度も増す。目的地選択、交通手段選択、滞在時間選択において選択肢が増える。一方、家庭における余暇時間にふりむけることも可能となる。この意味でプリズム面積  $A$  は、時間空間座標における種々の選択肢に対する潜在的な利用可能性（潜在的機会）の大きさの指標として解釈できよう。

われわれが通常利用しているトリップデータでは家庭内活動 (in-home activity) についてまでは調査されていないので、個人々のプリズムの高さ  $T$  やプリズムの縦幅  $h$  の実際の値は、ある1日のデータからは直接には観測し得ない。もしある個人が「用のあるときは朝早く起き、または夜遅く帰る」という行動をとったとしても、これは  $T$  ないし  $h$  を変更したことにはならない。

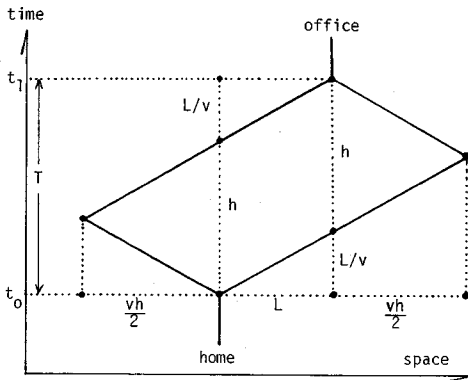


Fig. 2 Geometry of Prism 1.

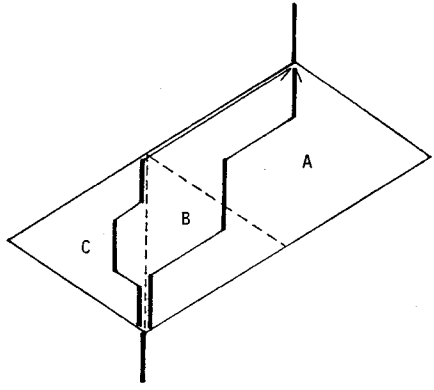


Fig. 3 Regions in Prism 1.

そうではなくて家庭内活動（たとえば余暇や睡眠）を犠牲にしているのである。最も早く起床する時刻が朝のプリズム1の始まりであり、最も遅く就寝する時刻が夕方プリズム3の終わりである。これらを確定するためには少なくとも1週間の単位での個人の行動調査が本来必要である。

### 3. 時間空間経路と効用要素

Fig. 3には、追加的な家庭外活動（out-of-home activity）をプリズム1の中で行う場合の可能な時間空間経路（time-space path）が描かれている。そしてプリズムは3つのエリアに区分されている。エリアAにおいては、家庭から職場への通勤途上で活動が行われている。この場合、活動滞在時間が破線を越えてエリアA内にまでわたっているため、もはやいったん家庭に戻って出直す時間的余裕がない。この破線をわれわれは「プリズム制約」とよぶことにする。

一方、活動の滞在時間がプリズム制約内にある場合、すなわちエリアBまたはC内で活動が終了する場合には、トリップメーカーは2つの選択肢に直面する。1つは、先と同じく、活動終了後ただちに職場へ向かう経路、もう1つは、いったん家庭に戻ってから再び通勤トリップを行う経路である。前者の場合、この個人のトリップパターンは1サイクル2ストップ型、後者は2サイクル2ストップ型のトリップチェーンを形成することになる。同じプリズム内での1ストップの追加なのであるが分類上は異なるトリップチェーンになる。この決定メカニズムを解明するための1つの試論が以下のモデルである。

ここで以後のモデル構築の便のためにいくつかの仮定を導入しよう。

まず、通勤者は始業時刻より早く職場に着いても、これは何の効用をももたらさないとする。それゆえ彼/彼女

女はちょうど始業時刻に職場に到着するように行程を調整するものとする。これは Fig. 4において、経路 a の代わりに経路 a' をとることを意味する。実際、われわれには経路 a のデッドタイム ( $s_2$ ) はデータからは観測し得ない。職場への到着時刻をもって始業時刻と判断せざるを得ないのである。

次にわれわれは、家庭での滞在効用を、その滞在時間（＝余暇時間）の線分のまわりに形成されるプリズムの面積で評価することにする。これは、先述したように、単なる余暇時間としてではなく、それによってもたらされる潜在機会大きさを時間空間の二次元で評価したものである。そして、これを“プリズム効用”とよぶことにしよう。通常の効用理論では余暇時間の増加が効用を高めるとされるが、本モデルではさらにその効用の内容にまで立ち入ってその大きさを規定していることになる（ただ、徒歩を含めて交通の足を奪われた人にとっては余暇時間の価値を二次元で理解するメリットは全くないわけだが、この場合は交通速度  $v$  が 0 と解釈される）。

Fig. 4の経路 b の場合、このようなプリズムが線分  $s_3$  と  $s_4$  のまわりに2つ生ずることになるが、2つのプリズム面積の合計、すなわちプリズム効用の合計が最大になるのは、これら2つの線分が経路 b' のように連結される場合である。しかしながら、もし通勤者が経路 b' よりも経路 b を選択したとするならば、そこには合算的プリズム効用以外の他の効用が存在していたと判断しよう。この効用はスケジュール効用とよべるかもしれない。この場合、経路 b のプリズム効用とこのスケジュール効用の和が、経路 b' のプリズム効用に等しいと仮定しておけば、以後の取扱いは経路 b' に限定してよいことになる。なぜなら、経路 b' で得られたはずのプリズム効用の増分を犠牲にするに足る効用が経路 b のようなスケジュールを組むことによって得られたのだと判断できるからである。このスケジュール効用としては、交通手段利用に関する家族構成員間の連携プレイによる便益などが挙げられよう。

上に定義したプリズム効用はプリズム空間の潜在的利用可能性価値を評価したものであるから、あるいは“潜在的効用 (potential utility)”とよぶことができよう。以下ではこれを記号  $UP$  と表記する。

経路 a の場合は家庭での余暇時間が  $h-s$  であることから

$$UP[\text{path a}] = v(h-s)^2/2 \dots \dots \dots (3)$$

一方、経路 b の場合、余暇時間はさらに活動地点  $x$  までの往復分の時間  $2x/v$  だけ減じられて

$$UP[\text{path b}] = v(h-s-2x/v)^2/2 \dots \dots \dots (4)$$

となる。ここに  $s$  は活動滞在時間、 $x$  は家庭から活動地点までの空間的距離である。

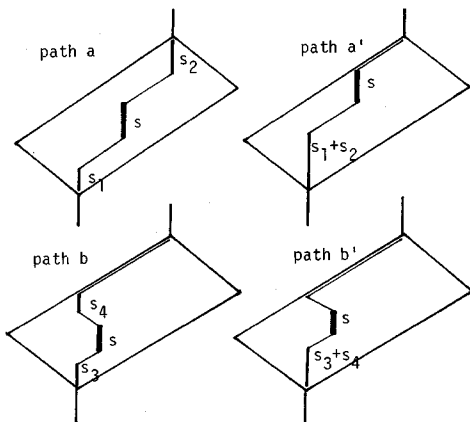


Fig. 4 Representation of paths in model.

さらに、経路 a と経路 b を比較すると、経路 b では活動場所までの往復分の交通時間  $2x/v$  が余計にかかっており、その分だけ経路 a に比べてプリズム効用は小さくなっているが、経路 b を選択したものには、この犠牲を払うに足る追加的効用が家庭に存在したものと仮定しよう。この効用をわれわれは“固定効用 (fixed utility)”とよび、以下では  $H_0$  と表記する。この効用はいったん家庭に戻る必要性の大きさを表現するものである。そしてこの効用は誰にでも大なり小なり存在するもので、ここでは非負としておく。

最後に、追加的活動それ自体から得られる効用を“活動効用 (activity utility)”とよび、以下では  $UA$  と表記する。これは活動場所や活動時間の関数となっていよう。たとえば

$$UA = UA(x, s) \dots\dots\dots (5)$$

以上に定義した 3 つの効用要素のうち  $UP$  だけは面積の次元をもっているので、これを他の 2 つの効用要素の次元に揃える必要があるが、そのためにもし換算係数を用意して  $UP$  に乗じた場合、後段の式の展開が複雑になり解釈が困難になるので、以下では  $UA, H_0$  も面積の次元で測られているとして取り扱う。

4. 時間空間経路選択モデル

前節で定義した効用要素を用いて、以下では経路 a と経路 b (あるいは a' と b') の効用比較を行い、最適経路が選択される条件について考えてゆく。本分析では追加的活動での滞在時間  $s$  を与件として扱うが、プリズム内での活動の開始時刻は特に問題としない。また、活動場所  $x$  の選択は、本分析ではトリップチェーン(経路)の選択より先行していると仮定する。追加的活動の必要性が生じ、その活動の具体的内容が明らかになるにつれ、活動時刻、活動時間、活動場所などが順次特定されてゆく。トリップチェーンの形成 (あるいは経路の選択) は、この一連の意志決定プロセスの最後に位置するものと考えてよいだろう。なぜなら、トリップチェーンの形成は、1日の全行程の総合的編成過程であり、1日に行う諸活動の決定という本源的プロセスに対して派生的プロセスとみなせるからである。

以下のモデルは、Fig. 3 のエリア B について構成される。エリア A は必然的に活動終了後職場へ直行する経路しか存在しないし、エリア C では、線形都市の仮定から 2 つの経路の選択は無差別となるからである。

まず、経路 a の全効用は、先の効用要素を用いて

$$U[\text{path a}] = UA + UP[\text{path a}] = UA(x, s) + v(h-s)^2/2 \dots\dots\dots (6)$$

経路 b については

$$U[\text{path b}] = UA + UP[\text{path b}] + H_0 = UA(x, s) + v(h-s-2x/v)^2/2 + H_0 \dots\dots\dots (7)$$

と記せる。ただし経路 b については、プリズム制約の関係からすべての  $x$  について実行可能ではなく、以下の範囲に限定される。

$$x \leq v(h-s)/2 \dots\dots\dots (8)$$

経路の選択にあたっては全効用の大きい方の経路が選ばれるものとするれば、

$$\Delta U = U[\text{path b}] - U[\text{path a}] = |x^2 - (h-s)vx + vH_0/2| / (2/v) \dots\dots\dots (9)$$

として、効用差  $\Delta U > 0$  ならば経路 b が、 $\Delta U < 0$  ならば経路 a が選択され、 $\Delta U = 0$  ならば a, b 無差別となる。

$\Delta U$  は  $x$  に関する 2 次関数であり、 $x = v(h-s)/2$  のとき最小値  $H_0 - v(h-s)^2/2$  をとる。 $x = 0$  のときの  $\Delta U$  切片は  $H_0$  である。また、判別式が

$$D = v^2(h-s)^2 - 2vH_0 \leq 0$$

すなわち

$$H_0 \geq v(h-s)^2/2 \dots\dots\dots (10)$$

のとき  $\Delta U$  は常に正符号をとり、経路 b が選択される。一方、

$$H_0 < v(h-s)^2/2 \dots\dots\dots (11)$$

の場合は、 $\Delta U$  の符号は  $x$  に依存して決まる。いいかえると、経路の選択は活動場所の位置  $x$  に依存する。 $x$  の限界値 (経路 b の存在する最遠点) は次の 2 次方程式の小根  $x_1$  として得られる。

$$x^2 - v(h-s)x + vH_0/2 = 0 \dots\dots\dots (12)$$

$$x_1 = |v(h-s) + \sqrt{v^2(h-s)^2 - 2vH_0}| / 2 \dots\dots\dots (13)$$

大きい方の根は式 (8) の  $v(h-s)/2$  より大きいので実行可能ではない。

以上の様子を Fig. 5 に示す。縦軸の上方向に効用差  $\Delta U$  を、下方向に活動時間  $s$  を、横軸の右方向に活動

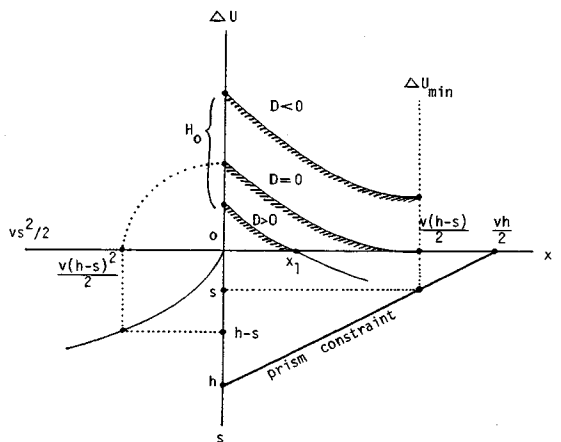


Fig. 5 Utility Difference ( $\Delta U$ ) and Critical Activity Location ( $x_1$ ) in Path Type Choice.

地点  $x$  を、そして左方向には  $vs^2/2$  を測っている。第 4 象限の実線はプリズム制約を示している。また、2 次曲線は判別式の符号に応じて 3 本描かれている。この 3 本の曲線の  $\Delta U$  切片の値はいずれも  $H_0$  である。

したがってこの図からの結論として

①  $D \leq 0$  の場合、プリズム制約が働き、活動時間  $s$  に対する地点  $x = v(h-s)/2$  までの領域（ハッチング部分）で経路 b となり、

②  $D > 0$  の場合は、 $0 < x \leq x_1$  の領域（ハッチング部分）で経路 b となる。

この判別式の符号判定は重要であって、すなわち

$$D \leq 0 \iff H_0 \geq v(h-s)^2/2$$

$$D > 0 \iff H_0 < v(h-s)^2/2$$

$D$  が負または 0 の場合、固定効用  $H_0$  が余暇時間  $h-s$  によって形成されるプリズム効用より大きく、 $D$  が正のときはその逆の関係にある。 $H_0$  は大なり小なり誰にでも存在するもので、上の関係は、プリズムの縦幅  $h$  が計測されれば、その後  $H_0$  の分布を知るうえで重要な役割を演ずることになる。

### 5. モデルの挙動と限界分析

本節では、プリズムモデルを構成するパラメーター ( $s, L, v$ ) の変化に伴う経路効用差  $\Delta U$  曲線の挙動、および経路 b と経路 a の分岐点  $x_1$  の動きを限界分析によって調べてみる。

#### (1) 活動時間 $s$ の変化とモデルの挙動

まず、 $s$  が大きくなる時  $\Delta U_{\min} = H_0 - v(h-s)^2/2$  も大きくなるので、2 次曲線は  $\Delta U$  切片  $H_0$  を固定されたまま上方にシフトする。一方、 $\Delta U_{\min}$  を与える  $x = v(h-s)/2$  は Fig. 6(a) のようにプリズム制約の動きに

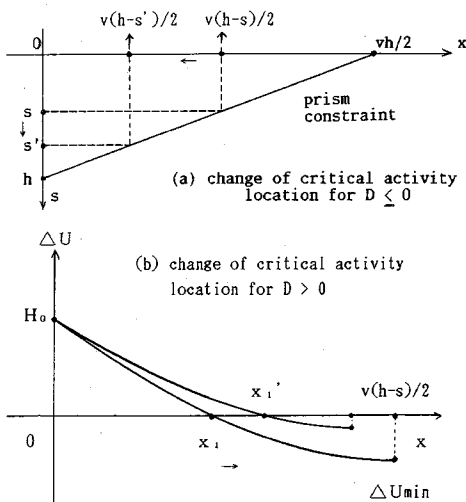


Fig. 6 Change of Critical Activity Location Caused by Increase of Activity Duration.

よって小さくなる。したがって、Fig. 5 で示した  $D \leq 0$  層については経路 b の領域（ハッチング部分）が減少することになる。この層の人々は原則的には  $H_0$  が大きく経路 b 指向なのであるが、経路 b の存在し得る最遠点はプリズム制約で決まっている点が重要である。

他方、 $D > 0$  層については、Fig. 6(b) のように  $x_1$  は  $s$  の増加につれて大きくなる。厳密には  $x_1$  と  $s$  の関係を見るために  $\partial x_1 / \partial s$  をとると

$$\partial x_1 / \partial s = \frac{v}{2} \left\{ \frac{v(h-s)}{\sqrt{v^2(h-s)^2 - 2vH_0}} - 1 \right\} > 0 \dots (14)$$

となるので、活動時間  $s$  が増えると分岐点  $x_1$  は家庭から遠ざかる。すなわち、Fig. 5 の  $D > 0$  層に対する経路 b の領域（ハッチング部分）が広がることになる。

活動時間  $s$  がトリップチェーンの選択に関係しているというこの事実は、トリップチェーン行動の意志決定メカニズムを解明するうえで重要な手がかりをわれわれに与えてくれる。活動時間が短いほど通勤途上で消化されやすく、逆に長くなるほど、その活動は時間空間上で特定の位置を占めてくるので、別のトリップチェーンを形成しやすいということであろう。

このプリズム 1 での結論はそのまま裏返してプリズム 3 に適用できる。プリズム 3 は勤務終了後から就寝時までの活動空間である。上と同様にして、活動時間の短い追加的活動は職場からの帰宅途上で消化されやすく、長い活動は、いったん帰宅してから再び出かけるパターンになりやすいという結論が得られる。特にプリズム 3 は夕方から夜にまたがっており、食事、社交、娯楽など時間のかかるイベントの多いことを考えると、上で導かれた結論はかなりの妥当性をもつように思われる。家族同伴で出かけたり、着替えをしたり、というようないったん家に戻る必要性のある場合には  $H_0$  の値自体も大きくなっていくであろう。

活動時間はおそらく活動のタイプに依存していよう。ただ今回はプリズムモデルという数学的な枠組での分析ゆえ活動の定性的側面たとえば活動のタイプなどについては言及できないが、時間空間経路選択に関する定性的分析については拙稿<sup>5)</sup>を参照されたい。活動時間を規定している最も大きな要因は実は活動のタイプであることが示されている。

#### (2) 家庭職場間距離 $L$ の変化とモデルの挙動

家庭職場間距離  $L$  が大きくなると  $h = T - L/v$  の関係から  $h$  が小さくなるので、(1) のケースと同じく  $\Delta U_{\min}$  が大きくなり、 $\Delta U$  を与える  $x$  は、Fig. 7 からわかるようにプリズム制約がシフトすることから、小さくなる。したがって  $D \leq 0$  層では経路 b 領域は狭められる。(1) と同じくプリズム制約がよく働いていることに注意しよう。

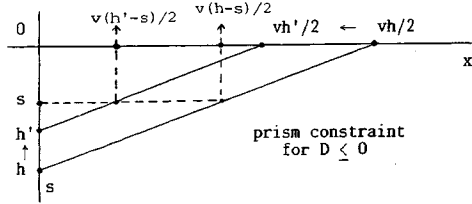


Fig. 7 Change of Critical Activity Location Caused by the Increase of Home-to-Work Distance.

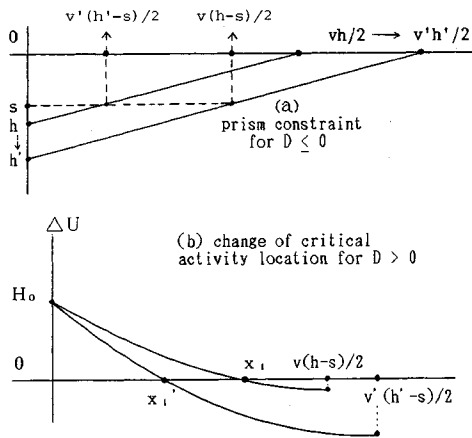


Fig. 8 Change of Critical Activity Location Caused by the Increase of Travel Speed.

$D > 0$ 層については(1)とまったく同じ Fig. 6(b)のように  $x_1$  が右にシフトし、経路 b 領域は増大する。厳密には以下のようにして確認される。 $x_1$  を家庭職場間距離  $L$  で偏微分して

$$\begin{aligned} \partial x_1 / \partial L &= (\partial x_1 / \partial h) (\partial h / \partial L) = -(1/v) (\partial x_1 / \partial h) \\ &= (1/v) (\partial x_1 / \partial s) > 0 \dots \dots \dots (15) \end{aligned}$$

であるから、職住遠隔化につれて、経路 b すなわちいったん家に戻るパターンが支配的となる。これは、通勤距離が長い場合、家庭近傍での追加的活動はホームベーストでなされやすいということである。プリズム 3 についていうと、職場からの長距離の帰宅トリップを終えて、家庭で一服してから近傍に出かけなおすというわけである。これも妥当な結論であるように思われる。

(3) 交通速度  $v$  の変化とモデルの挙動

交通速度  $v$  が大きくなるときは上の 2 つのケースとまったく逆で、プリズムの縦幅  $h$  が大きくなるので、 $\Delta U_{\min}$  は  $\Delta U$  切片  $H_0$  を固定されたまま下にシフトする。プリズム制約は Fig. 8(a) のようにゆるくなるので経路 b が存在する最遠点はより遠くなる。結局  $D \leq 0$  層ではホームベーストでゆける範囲が広がることになる。

一方、 $D > 0$  層については Fig. 8(b) のように  $x_1$  が左にシフトし経路 b 領域は狭められる。これは次のようにも確認される。 $h = T - L/v$  に留意して、これを  $x_1$  に

代入し、 $v$  について偏微分した後に  $a = T - s$ ,  $b = L/v$ ,  $c = H_0/v$  と置き、若干の整理ののちに次式を得る。

$$\partial x_1 / \partial v = \frac{a}{2} \left\{ 1 - \sqrt{\frac{(a-b)^2 - 2c + (c^2 + 2abc)/a^2}{(a-b)^2 - 2c}} \right\} \dots \dots \dots (16)$$

$a > 0$ ,  $b > 0$ ,  $c > 0$  であるから、平方根内は 1 より大きく、したがって式 (16) の符号は負となる。すなわち、交通速度が大きくなると経路 b の領域は減ぜられる。通勤途上あるいは職場からの帰宅途上(経路 a)で追加的活動が行われやすくなる。経路 a を選択するものは固定効用  $H_0$  よりも、交通時間節約による家庭での余暇時間のもたらす潜在効用のほうを高く評価するのであるから、速度の大きい交通手段の利用者の余暇時間価値は高いという一般的事実に符合する。

6. 実証的比較

プリズム効用モデルから導かれた諸結論を実際のデータの様相と比較してみよう。用いたデータは、福山市を中心とする備後都市圏 PT 調査(1979年、抽出率約 7%)のトリップレコードのうち、調査日当日に、通勤(または業務)トリップと私用目的トリップを行った就業者が対象である。私用目的とは買い物、食事、社交、送迎、レクリエーション、私任用務、などである。抽出サンプル数は 2204 人、拡大後で約 30000 人であった。

以下の分析では、勤務ないし業務を「基本的活動」とし、私用活動を「追加的活動」として扱う。そして、経路 b (ホームベースト)をとった就業者数と、経路 a (ノン・ホームベースト)をとった就業者数の比(以後 HB/NHB 比率という)が、私用活動時間、家庭職場間距離、交通手段などといかなる関係にあるかを調べ、先のモデルの結論がおおむね妥当であることを確認する。理想をいえば上記 3 要因と HB/NHB 比率とのクロス分析が望ましいが、データ数の制約から限界分析にとどめた。また 2. でも述べたとおり 1 日のトリップデータから個人のプリズムを計測することはできない。したがって先の Fig. 3 の 3 つの領域 A, B, C に対応するデータは分離できないので、データの解釈は理論モデルからの結論と対比させながら総合的になされる。すなわち領域 C では経路 a, b の選択は線形都市の仮定から無差別。領域 A は経路 a しか存在せず、活動時間ないし活動地点、あるいはこれらの両方がプリズム制約内におさまらなかった人々が含まれる。そして領域 B では 2 つの経路 a, b が混在している。

(1) 活動時間と HB/NHB 比率

Table 1 に活動時間と HB/NHB 比率の関係を示す。明らかに活動時間が長くなるにつれ HB/NHB 比率は上昇する。すなわち、活動時間が長くなると追加的活動は

Table 1 Sojourn Duration and HB/NHB Ratio.

SOJOURN DURATION (hrs)	PRISM 1*			PRISM 3**		
	Path a	Path b	HB/NHB Ratio	Path a	Path b	HB/NHB Ratio
	< 0.5	760	876	1.15	6,786	5,079
< 1.0	116	344	2.96	1,809	1,819	1.01
> 1.0	193	740	3.83	2,400	2,575	1.07

\* Before 10:00 a.m.  
\*\* After 2:00 p.m.

ホームベースのトリップチェーンとして消化される傾向にある。この事実は先の  $D > 0$  層についての理論的帰結を支持するものである。特に目立つことは、プリズム 3 よりもプリズム 1 のほうが時間の増加に対して敏感であるという点である。30 分以内の場合には経路 a, b の人数はほぼ等しいのに対して、1 時間をこえると約 80% の人が経路 b を選好していることになる。午前中の場合、短い時間の追加的活動は通勤途上で行われやすい。やはり朝のプリズムでは家庭近傍での活動を行うものが多く、これがプリズム 1 の全体的傾向を支配したものと考えられる。

同じ傾向はプリズム 3 でもみられるが、経路 a, b の差はそれほどではない。これはおそらく、午後のプリズムが午前のプリズムに比べてその幅が大きく、それゆえプリズム制約がそれほどきつくなき、したがって活動時間要因が経路選択に大きく影響を及ぼさなかったものと考えられる。またプリズム 3 では家庭よりも職場近傍の方が活動機会の集積があるため、ホームベースの活動はやや減せられたものと思われる。

また先述したように活動時間を規定しているのは活動内容であるから、今後は活動内容と経路選択との関係を詳しく調べてゆく必要がある。

(2) 家庭職場間距離と HB/NHB 比率

Table 2(a) には家庭職場間の空間的距離と HB/NHB 比率の関係を示す。プリズム 1, 3 とも職住近接の場合に最大の比率を示している。全体的には  $D \leq 0$  層の動きに近い傾向が現われているようにもみえる。またプリズム 1 のほうが距離に対して敏感であるし、すべての距離帯においてプリズム 3 の比率を上回っている。

一方、Table 2(b) では土地利用の影響をみるために距離の代替指標としてリングペアと HB/NHB 比率との関係をみている。圏域をほぼ同心円の 4 つのリングで表現している。リング 1 が中心であり、リング 4 が最外郭の地域である。家庭がリング 1 にある場合は職場が郊外へ向かうにつれて比率は上昇してゆき、先の理論的帰結に符合しているかにみえるが、リングペア 1-4 で極端に小さくなる。これはリング 4 が単なる郊外部ではなく、いくつかの市域を含んでおり、そこでの活動機会（都市機能）の集積の影響が出ているものと思われる。勤務終

Table 2(a) Home-to-Work Distance and HB/NHB Ratio.

Home-to-Work Distance (Km)	PRISM 1			PRISM 3		
	Path a	Path b	HB/NHB Ratio	Path a	Path b	HB/NHB Ratio
< 5	599	1,391	2.33	6,175	6,214	1.01
< 10	455	598	1.31	3,146	2,067	0.66
< 15	130	247	1.90	1,326	845	0.64
< 20	52	52	1.00	377	312	0.83
$\geq 25$	78	65	0.83	364	260	0.71

Table 2(b) Home/Work Ring Pair and HB/NHB Ratio.

HOME/WORK RING PAIR	Path a	Path b	HB/NHB Ratio
1 - 1	1,089	1,063	0.97
1 - 2	320	567	1.77
1 - 3	15	39	2.59
1 - 4	105	101	0.96
2 - 1	994	502	0.51
3 - 1	650	177	0.27
4 - 1	274	51	0.19

Note: Ring 1 is the central ring, and ring 4 is the fringe ring. The data are taken from prism 3.

了後その同じリングで追加的活動を行ってから帰宅となる。同じことが下段の表についてもいえる。郊外から都心に通勤する場合、やはり都心に活動機会の集積があるため、郊外部から来るものほど帰宅途上で追加的活動がなされるという傾向にある。本モデルは均一線形都市を仮定しているため、上のような機会数分布が反映され得ない。機会数分布の重要性が判明したことはトリップチェーンと目的地選択に関する今後の研究方向を定める上で大いに参考になる。

(3) 交通手段と HB/NHB 比率

Table 3 には交通手段別の HB/NHB 比率を示す。プリズム 1 では、低速度の徒歩、自転車、モーターサイクル、バスは幾分高めめの HB/NHB 比率となっている。これは、 $D > 0$  層については速い交通手段になるほど経路 a が選好されやすいという、先の理論的帰結に符合するものである。また交通速度とトリップ長の間の相関関係も影響していよう。ところがプリズム 3 では徒歩が大きい比率を示しているほかは、このような関係がみられない。これは (1) でも述べたとおり、プリズム 3 におけ

Table 3 Travel Mode and HB/NHB Ratio.

TRAVEL MODE	PRISM 1*			PRISM 3**		
	Path a	Path b	HB/NHB Ratio	Path a	Path b	HB/NHB Ratio
Walk	142	509	3.58	815	1,709	2.09
Bicycle	152	253	1.66	2,381	2,077	0.87
Motorcycle	100	268	2.68	1,492	1,220	0.82
Bus	54	108	2.00	1,534	482	0.31
Car-Driver	617	796	1.29	3,300	2,915	0.88
Car-Pasgr.	122	70	0.57	806	410	0.51
Comm. Ven.	93	251	2.70	176	592	1.57
Rail	15	13	0.87	682	127	0.19

\* Before 10:00 a.m.  
\*\* After 2:00 p.m.

るプリズム制約の働きの鈍さに起因しているものと思われる。

業務用車は幾分高い比率になっているが、これは自営業主など家庭をベースとする就業者が含まれていることによるものであろう。速度の大きい鉄道については、プリズム3でHB/NHB比率が最小となっており、理論どおりであるが、プリズム1ではデータ数が少ないので何ともいえない。

#### (4) プリズムの効果

以上3つの分析において共通していたのは、プリズム3では全体的にプリズム制約があまり機能していないのではないかという点であった。このことは注目に値する。プリズムの効果は1日の時刻によって異なることが示唆されているのである。時刻によってプリズム制約の効きかたが違ふという性質は、もちろん先の理論モデルから導き得る。式(15)からわかるように、 $\partial x_i / \partial h < 0$  ( $h$ はプリズムの縦幅)であるから、 $h$ が大きくなれば $x_i$ 、すなわち経路 $b$ (ホームペースト)の領域は小さくなる。いいかえるとHB/NHB比率は小さくなるのである。

Table 1, Table 2(a) および Table 3において、プリズム3のHB/NHB比率はすべてのプリズム1のそれを下回っていることが、これを裏づけている。

また当該都市圏が小さく、したがって職住近接傾向にあり、その結果平行四辺形のプリズムが菱形に近い形になっているのであろう。その結果、領域Bでの傾向がほぼ全体の傾向を支配することになったものと思われる。

## 7. 結 論

本稿では、時間空間座標におけるプリズム効用最大化の概念を用いて、均一線形都市におけるトリップチェーン選択行動のモデルが展開された。

モデルの独創的な試みとしては、(1)家庭での余暇時間のまわりに形成されるプリズムの面積をもって潜在効用を定義し、これを最大化する行動基準を導入したこと。すなわち、余暇時間を単なる時間としてではなく、これを二次元で理解し、潜在的利用可能空間として評価したこと、(2)追加的活動をホームペースト・チェーンで行うことの便益を固定効用 $H_0$ という概念で評価したこと、が挙げられよう。

このモデルを用いて都市就業者のトリップチェーン選択行動に関するいくつかの性質が導かれた。活動時間( $s$ )が長くなると、家庭と職場の距離( $L$ )が長くなると、交通手段の速度( $v$ )が大きいとき、そしてプリズムのサイズ( $h$ )が小さくなると、家庭近傍での追加的活動はホームペースト・チェーンでなされやすいという結論が得られ、おおむね実証的にも確認された。ここに展開したモデルは非常に単純なものではあった

が、そこから導かれた結論は今後の研究方向を探るうえで大いに役に立とう。一方で、モデルの単純さから由来する問題や未解決の部分も残されている。以下これらを整理しておく。

(1) 均一線形都市は非現実的であるので、これを機会数分布を含む三次元空間に拡張すること。拡張は容易であるが、モデルがやや複雑になる。この場合プリズムは円錐形になる。

(2) 本モデルに非集計モデルを適用し、データから直接に計測できないパラメーター( $h$ や $H_0$ )を統計的に決定すること。これは可能な展開である<sup>3)</sup>。さらに欲をいえば、サンプル数は多くなくてもよから世帯構成員全員の1週間の活動記録調査を行ってプリズムを計測してみる必要がある。

(3) 本モデルではプリズム装置を用いた関係で幾何学的変数のみを取り上げたが、今後は統計解析などによってトリップチェーン形成の支配要因を抽出する必要がある。そしてトリップチェーン形成の意志決定メカニズムに迫ってゆく必要がある<sup>4),5)</sup>。

(4) 交通手段選択は最も困難な課題であるが、(3)での意志決定順序の解明を待って、同時選択モデルとするか段階的選択モデル(サブモデル)として扱うかの判断がなし得よう。

(5) プリズムは都市圏の大きさに依存するであろうから、いくつかの他の都市圏特に大都市圏データでの分析が是非とも必要である。都市圏比較によって地域構造要因を抽出することが必要である<sup>6)</sup>。

最後に、本研究は著者が福山大学海外留学生(1985/86)としてカリフォルニア大学(デービス)滞在中に北村隆一準教授との討論を通じて生まれたものである。ここに記して謝したい。

#### 参 考 文 献

- 1) Hagerstrand, T.: What about people in regional science?, Papers of the Regional Science Association, 24, pp.7~21, 1970.
- 2) Burns, L.D.: Transportation, Temporal, and Spatial Components of Accessibility, Lexington, Massachusetts: D.C. Heath, 1979.
- 3) Kondo, K. and Kitamura, R.: Time-Space Constraints and the Formation of Trip chains, *Reg. Sci. & Urban Eco.*, Jan. 1987 (forthcoming).
- 4) 近藤勝直・菊地賢三: トリップパタンに関する2, 3の考察, *交通工学*, 21-2, pp.7~14, 1986.
- 5) 同: 2-ストップ・トリップチェーンの諸特性, *土木計画学研究・講演集*, No.9, 1986.
- 6) 西井和夫・佐佐木綱・植林俊光: 一日生活圏の大きさとその推移に関するトリップチェーン分析, *土木計画学研究・講演集*, No.8, 1986.

(1986.1.16・受付)