

特集論文(交通行動分析の新展開) 時空間制約下における2ストップチェーン のパス選択モデル

西井和夫*

本研究は、従来より交通行動分析の重要なテーマの1つであったトリップチェーン形成の計量化の問題を時空間パス (time-space path) の選択モデルの構築を通じて検討する。具体的には、勤務先と付加的な活動のための訪問先を有する2ストップチェーン形成における意思決定メカニズムの解明を目的として、その中で大きな役割を演じると考えられる「時空間制約」の考え方を明らかにし、次いでこれにもとづき2ストップチェーンにおけるパス選択モデルの構築を試みる。

Key Words : trip chain, activity-based approach, time-space prism

1. はじめに

今、都市内の勤務地へ通勤する就業者に着目し、その勤務地での活動後に、買物や食事などの付加的活動場所へ訪問する交通パターンを考えてみよう。この就業者は、この付加的活動場所に帰宅途中に立ち寄ることもできるし、また一旦帰宅後に改めて出かけることも可能かもしれない。このような活動パターンおよびその結果としてのトリップ連鎖パターンの選択に関しては、実に多くの交通行動分析上の課題が含まれている。すなわち、付加的活動から派生する交通需要の諸特性、活動連結性を規定する諸要因間の因果関係、そしてトリップチェーン形成における意思決定メカニズムの解明などはその中で最も基本的な問題といえよう。また、選択された活動・交通パターンにおいては、それぞれ就業者の総移動距離や活動滞在時間およびトリップの発生時間帯等が異なるため、その結果マクロな交通現象としては都市内の交通混雑や施設の利用パターンにも影響が生じることになる。

そこで本研究では、トリップチェーン形成における意思決定メカニズムの解明を目的として、その中で大きな役割を演じると考えられる時空間制約の考え方を明らかにし、次いでこれに基づき2ストップチェーンにおけるパス選択モデルの構築を試みることを目的とする。

本研究で取上げる2ストップチェーンとは、典型的な就業者の1日の動きである自宅—勤務地—自宅というピストン型の1ストップチェーンに、付加的活動のための訪問先(ストップ)を1つ加えたもので、自宅(H)外の訪問先として勤務先(O)と付加的活動場所(S)の2箇所を有するトリップチェーンを指す。これは、パーソントリップ調査データの中でもピストン型に次いで多いパターンであるとともに、その構造の簡明さから見て

もトリップチェーンの形成過程を考える上でのプロトタイプともいえる。

トリップチェーン形成にかかわる時間的・空間的諸特性については、上述のような重要性にもかかわらず、これまで十分な研究蓄積があるわけではなかった。しかし、交通需要分析において将来の交通需要をどのように交通手段別に、時間的に、そして空間的に表現できるかが大きな課題であることを考えれば、その中で時空間軸の諸特性を把握する意義は大きいといえる。

そこで本研究では、トリップチェーン形成における活動パターンの把握を目的として、個人の活動における意思決定プロセスに着目しながら、その中で大きな役割を演じる時空間制約(後述のようにプリズム制約と呼ぶ)のもとで、パス選択モデルの構築を試みることにする。

2. トリップチェーンの研究レビュー

交通研究の多くは、これまで交通環境を取巻くマクロな社会経済的状況の変化のもとにいくつかの変遷をくり返してきた。それは、一般的にもあてはまるコンピュータ技術の向上の影響であったり、各国の交通政策や財政支出に起因する場合も考えられる。交通計画そのものは、最終的に社会基盤施設整備に寄与することを意図しており、そのために交通の発生基盤となる社会経済システムの変化と深く結びついて展開されるものであるから、交通研究を歴史的に振り返る際には、その時代的文脈の中でとらえていくことが肝要といえる。

Jones (1981)¹⁾は、交通研究のレビューを行う際に、このような交通計画における諸環境の変遷に当初より注目していた。彼は、1930年代から1970年代の期間までを4期に分け、第1期(1930年代および40年代)を、局地的な交通混雑緩和のための自動車交通量に関する調査とその需要予測、第2期(1950年代)を、都市内の増大する交通需要に対処するための計画プロセスの策定

* 正会員 工博 山梨大学助教授 工学部
(〒400 甲府市武田 4-3-11)

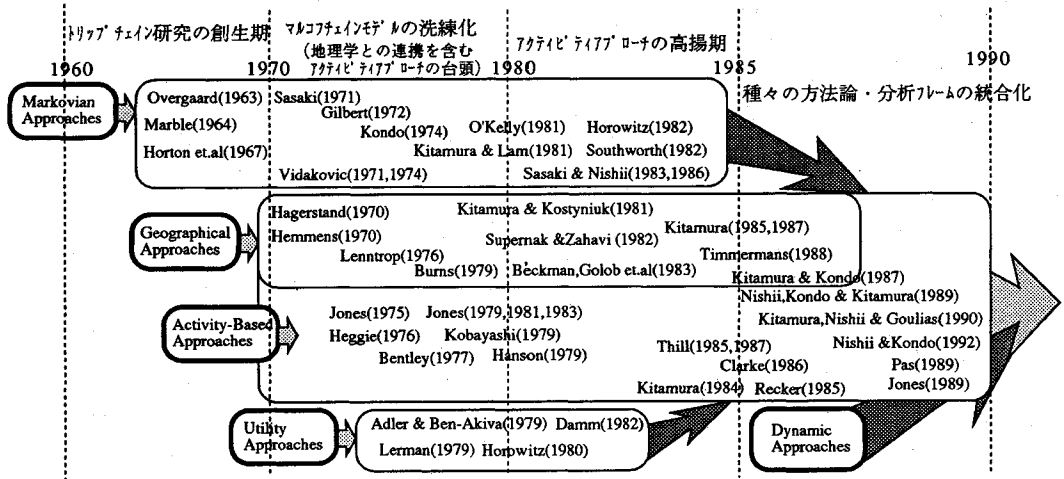


図-1 トリップチェーン研究の系譜

及び3段階推定法(発生・集中, OD分布, 配分)の開発, 第3期(1960年代)を, 総合交通体系の確立に向けたパーソントリップ手法の開発・改良, そして第4期(1970年代)を短期的, 局地的交通計画の評価への重要性の高まりとともに技術的な方法論の多様化, として位置づけた。また, 近藤(1982)²⁾も同様の視点に立ちながら, わが国の交通需要分析の戦後の歩みをいくつかの主要テーマの変遷として整理している。そして飯田(1992)³⁾は最近の研究動向を含めた形でほぼ同様の整理・分類を試みている。こうした交通研究の発展経緯に関する全体的な議論は, これらの論文の中で十分なされているので, 以下では, 交通研究の中の1つのテーマであるトリップチェーン研究に絞ってレビューを進めてみたい。

トリップチェーンに関する諸研究は, 1960年代から始まりこれまで約30年間に及ぶ発展経緯をもつが, やはりその流れの中にもいくつかの転期を見出し得る。図-1は, 欧米を中心としたこの分野に関連する諸研究の系譜を図示している。なお, 図中の諸研究がすべてでなく, これまでの研究経緯を理解する上で役立つと考えられる主要な研究を列挙したものであり, また本研究の位置づけを明確にするために関連研究のいくつかをも併記した。

トリップチェーンの考え方は, 家庭訪問調査形式の交通調査が導入され始めた当初より, Overgaard(1963)⁴⁾によってlinked-tripあるいはchains of tripsとしてその概念が紹介されている。マルコフ連鎖に帰着してトリップ連鎖を表現する試みは, Marble(1963)⁵⁾やHorton他(1967)⁶⁾によってなされたが, 交通需要予測モデルとしてはSasaki(1972)⁷⁾による吸収マルコフ連鎖にアナロジーさせた自動車OD分布交通量推計モデルが最初であった。したがって1960年代はトリップチェ

イン研究の創生期にあたり, 1970年代に入ってマルコフチェーンモデルの洗練化を中心とした理論展開をみる。このアプローチの特徴は, 一連のトリップ連鎖を忠実に追いつながら交通需要量としての発生・集中量ならびにOD分布量を推計できることである。この時期にあつては, この特徴点を生かしながら, マルコフ再生理論への拡張(Gilbert(1972)⁸⁾, 交通手段プロセスの導入(Richard他(1973)⁹⁾, Kondo(1974)¹⁰⁾)など体系的なモデル表現への洗練化がはかられた。

次にこのマルコフチェーンモデルが再登場するのは, 1980年代に入ってからであり, マルコフ仮定への再考や時間軸の導入によるモデルの精緻化が試みられた。(O'Kelly(1981)¹¹⁾, Kitamura & Lam(1981)¹²⁾参照。) またSouthworth(1982)¹³⁾やNishii & Sasaki[(1983)¹⁴⁾(1986)^{15)]の研究では, 物流や業務交通など多訪問地型のトリップ連鎖パターンに着目した独自のモデル構築が提案された。}

一方1970年代に入ると, 現在のトリップチェーン研究の主流をなすアクティビティアプローチが台頭してくる。これは, 人の1日の活動連結メカニズムの解明を目指すもので, トリップチェーンは活動間の連結性(Activity-linkage)の中で取扱われてきた。

このアクティビティアプローチは, 広範な人間活動特性を対象とするため, 例えば地理学出身のHagerstand(1970)¹⁶⁾やHemmens(1970)¹⁷⁾によって提案された時空間軸の概念などはその後の本アプローチの全体フレームの構築に大きな影響(その意味でパラダイムシフト)を与えた。その後(1975年以降)においてオクスフォード大学のT.S.Uを中心として, 世帯内構成員間の相互依存性に着目して世帯単位の交通決定メカニズムの記述と予測を目指す研究に継承され, 調査技法や具体的な交通政策評価への適用がなされた。(Jones(1975)¹⁸⁾,

Heggie (1976)¹⁹⁾

次に、こうしたアクティビティアプローチは、1970年代後半からの交通を取巻く諸環境の変化のもとで1980年代の高揚期を迎える。ここでの変化とは、オイルショック以降の財源不足、短期的、局所的交通運営政策への指向などを意味し、伝統的な4段階推計法は敬遠されがちになり、交通政策に敏感で低廉な予測手法として期待された非集計アプローチの適用が急速に広がってきた。

1981年にオクスフォードで開催された国際会議では、それまでのアクティビティアプローチによる交通研究に対して総括的討議がなされ、時空間制約の重要性を強調したフレームのもとで人間活動メカニズムの解明を目指すことが確認されるとともに、今後の展開としてライフサイクルステージと交通パターンとの関係、時空間上の活動連結性、交通決定の動的分析、そして調査技法としての改良・洗練化などが指摘された。(Carpenter & Jones(1983)²⁰⁾したがって1980年代には、T.S.Uグループ以外でも欧米の多くの研究者によって活動・交通パターンの連結性等に着目した多彩な研究事例が登場している。

ここではトリップチェーンの記述と予測に深く関わる諸研究、すなわち本研究における基本概念となっている交通行動の意思決定を規定する「時間」・「空間」・「活動」の諸関係を明示的に取上げる一連の研究について触れておこう。具体的には、Burns (1979)²¹⁾は、Hagerstandが提案した1日の交通決定を規定する時空間プリズムについて、空間移動速度や移動経路網の差異が時空間上の到達可能性を示すプリズム領域の大きさにどのように影響するかといった基本概念の明確化に寄与した。同様にBeckmann & Golob (1983)²²⁾は、こうしたプリズム制約下における交通パターンの空間的広がりについて、また、Lenntorp (1976)²³⁾およびKitamura et al. (1981)²⁴⁾はその中で形成される時空間パス (time-space path) の諸特性を明らかにしている。なお、これらの諸研究の延長線上には線形都市におけるトリップチェーン形成を確率モデルとして表現したKitamura (1984)²⁵⁾らによる研究があり、さらに次節以降で展開される本研究の分析フレームへと連なっている。また、時間軸を直接的に交通研究のテーマに捉えた事例として、Supernak & Zahavi (1982)²⁶⁾によるtime-budgetに関する研究も登場してきている。

一方、時空間軸以外の諸要因 (訪問数、スケジューリング、活動連結性など) についても関心が払われるようになり、本アプローチ自身の守備範囲の拡散傾向が特徴的となり、世帯単位を基調した活動パターンの記述モデルの開発なども試みられている。(Recker (1985)²⁷⁾, Clarke (1986)²⁸⁾参照)

さらには、1970年代より交通研究への適用が盛んになった非集計選択アプローチによるトリップチェーン形成モデルの提案もいくつか行われるようになった。

例えば、Adler & Ben-Akiva (1979)²⁹⁾は、効用最大化モデルを用いてツアー数やストップ数 (チェーン内訪問数) の決定というトリップチェーン形成の基本問題を最初に扱っており、後のtime-budgetや時空間プリズムの研究にも少なからず影響を与えている。またこのユーティリティアプローチは、トリップチェーン形成における目的地選択やツアー形成の有無を取上げるところに特徴をもつが、これは非集計選択モデルの定式化を通じて交通意思決定における合理的選択を確率効用最大化問題として表現できる局面において有効といえる。また最近では、非集計選択モデルの実用的なツール (すなわちエコノメトリックな分析技法) としての有効性を生かして、トリップチェーンの計量化を試みる方法が定着しつつあり、両者は統合化された形でアクティビティ・アプローチの中で位置づけられる傾向にあると言える。(Lerman (1979)³⁰⁾, Damm (1982)³¹⁾, Kitamura (1984)³²⁾, Thill (1985)³³⁾参照)

以上の展開がおおよそ1985年までの約20年間のトリップチェーン研究の歩みである。なお、西井、佐佐木 (1985)³⁴⁾, 近藤 (1987)³⁵⁾, Kitamura (1987)³⁷⁾では詳しく研究レビューを行っている。

このように1980年代に入ってからのアクティビティアプローチは、交通需要の派生的性質を強調した交通需要分析 (Travel Demand Analysis) から、しだいにより行動論的に、一口で言えば交通行動の意思決定メカニズムの異質性 (heterogeneity) に立ち入った交通行動分析 (Travel Behavior Analysis) へ転換してきたといえる。

1985年以降の現在に至るまでは、トリップチェーン研究のさらなる発展過程の段階といえ、まだ総括的な評価ができる時期ではないが、その基調となる研究の方向性について述べておこう。まず第一に、トリップチェーン研究は、アクティビティアプローチのパラダイム (規範) を共有する段階、とくに交通行動分析におけるダイナミクスを明らかにしようとする研究分野に属するものとして位置づけられよう。

1988年に7年ぶりにやはりオクスフォードで開催された第2回目の国際会議では、会議の副題にあるようにDynamic and Activity-Based Approachesが中心で、パネルデータ分析を代表とするダイナミック・アプローチが数多く報告されるに至り、現在は、欧米において、ダイナミック・アプローチの高揚期を迎えている。Jones et al. (1989)³⁸⁾は、最近のアクティビティ・アプローチの動向を整理するとともに、今後の展望としては、ダイナミック・アプローチとの連帯を深めた形で交通行動

への理解が深められるべきであることを強調している³⁹⁾。

さらに1989年京都会議においても、今後の交通研究の方向性としては交通行動論的視点から交通現象や意思決定選択行動の諸特性を十分に理解し、かつその経時変化の時間的長短に応じて分析・予測フレームが決められるべきであり、そのためにもDynamicでかつActivity-Basedなアプローチにもとづく、調査分析—予測手法の開発研究の必要性が展望されている⁴⁰⁾。

一方、トリップチェーン研究の最近の動向から読み取ることができることは、まず時間的空間的制約が活動・交通パターンを大きく規定するとの認識から、プリズム効用に着目したトリップチェーン形成の計量化の試みが挙げられる(Kitamura & Kondo (1987)⁴¹⁾、近藤(1988)⁴²⁾参照)。また、これに関連して、本研究でも対象としている2ストップチェーンを対象とした時空間プリズムの計測、時空間パスの諸特性といった実証的分析ならびに時空間制約以外の諸要因をふくめたトリップチェーン形成にかかわる因果分析などが展開されており、その基本フレームはいずれも次節で紹介する時空間プリズムの概念に基づいている(Nishii, Kondo & Kitamura (1989)⁴³⁾、Kitamura, Nishii & Goulias (1990)⁴⁴⁾、Nishii & Kondo (1992)⁴⁵⁾。

なお、パネル分析を代表例とする最近の動的分析の特徴は、ある意味ではトリップチェーン研究でこれまでしばしば議論されてきた状態依存性(過去・未来への従属性)を経時的な時間のフィルターを通して交通行動特性として把握しようとする点にある。また、外部環境の変化に対する個々人の活動・交通パターンの応答特性(経時的調整過程)についても関心が高く、従来にない交通調査体系と分析・予測手法の開発が試みられており、交通行動分析は新たな転期を迎える時期に来ている。

3. 本研究の分析フレーム

(1) 時空間プリズムの概念

ここでは、本研究の基本的な分析フレームである「時空間プリズム」の考え方について簡単に触れておく。先述の就業者の2ストップチェーン形成に関する意思決定においては、勤務先によって固有な就業時刻、付加的活動のための滞在時間、そして訪問先の店舗等の営業時間といった時間的な予算制約(time-budget)が大きな役割を担う。さらに通常の諸活動は空間的な移動を伴うために、その移動速度や交通条件とともに、これら時間的制約は諸活動の可能な空間的広がりも規定することになる。

今、自宅と勤務地とが直線で結ぶことができる線形都市を仮定したとき、この就業者にとって付加的活動が可能な時空間上の広がりには時間的予算制約によって限界

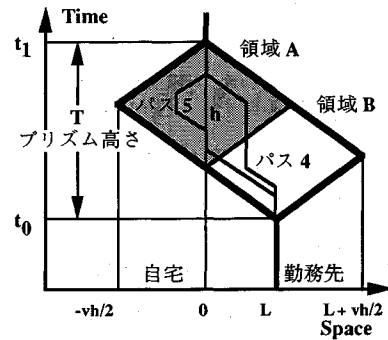


図-2 プリズム内のパスタイプと領域

がある。本研究で取上げる2ストップチェーンは、この時空間制約を満足するように形成されるが、その中のパスタイプは以下の5つに分類できる。すなわち、就業前に付加的活動を行う場合、自宅ベースの新たなチェーンの生成を伴うMulti-Chain (MC)型(パス1)と勤務先への通勤途上での立寄り(Single Chain: SC)(パス2)、勤務先をベースに昼食時間等を利用して付加的活動を行う(パス3)、また就業後の帰宅途上立寄りSC型(パス4)、そして一旦帰宅後のMC型(パス5)である。

時空間プリズムは時間軸に対応させて眺めると、図-2に示すように、線形都市において例えば就業後の勤務先と自宅との間には平行四辺形となる。これは、ベース以外での活動と移動に利用可能な時間(プリズム高さ T)、自宅と勤務先までの距離(L)、交通手段の速度(V)によって行動可能な領域(プリズム面積 S)を規定し、 $S = (VT^2 - L^2)/V$ と定義できる。Nishii, Kondo & Kitamura (1989)⁴³⁾は、このプリズム面積の諸特性(例えばこの領域の大きさが T 、 V が増加するにつれて、また L が減少するにつれて大きくなること等)を明らかにするとともに、実際のデータによる検証も試みられている。

この図-2では、就業後プリズムと呼ばれる領域が2つに区分されていることがわかる。それは図中のRegion(領域)AおよびBであり、これらは後述のバス選択モデルの構築にも関連している。領域Aは、このプリズムで可能な2つのパスタイプ(パス4、パス5)の両者が選択可能である領域を示し、一方領域Bでは、SC型のパス4しか選択できない。したがって個々人の持つプリズム面積の大きさや領域A、Bの関係は、プリズム制約下のバス形成に深くかかわっていることが理解できよう。

なお、空間軸を2次元の都市平面として拡張したときには、時空間プリズムは上下から円錐を重ねた形となり、その最大断面は自宅と勤務先を焦点とする楕円となることがわかる。この楕円は、時空間プリズムの大きさ、す

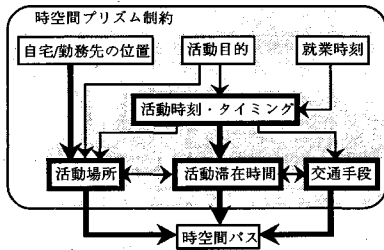


図-3 バス形式における意思決定構造

表-1 2ストップチェーンのバスタイプ構成

バスタイプ	就業前		就業中		就業後		合計
	MC バス1	SC バス2	バス3	SC バス4	MC バス5	バス5	
サンプル数	34	111	2699	1536	207	4587	
(%)	(0.74)	(2.42)	(58.84)	(33.49)	(4.51)	(100.0)	

なわち空間的な移動可能領域を示すことから、早くから Burns (1979)²¹⁾, Beckman et al (1983)²²⁾ による理論展開が試みられ、実証的な研究結果も Kitamura, Nishii & Goulias (1988)⁴⁴⁾, 西井・近藤 (1989)⁴⁶⁾ によって報告されている。

次に、この2ストップチェーンにおけるバス形成に関してその意思決定構造のとらえ方を述べておこう。これは、交通行動へのより深い理解という観点に立つときにトリップチェーン形成の因果関係を明確化していくことは非常に重要であり、また、次節以降の具体的な分析やモデル構築における前提条件にもなるからである。これまでも、このようなバス形成の因果構造分析は、2ストップ型あるいはマルチストップ型のトリップチェーンに対して、対数線形モデル (Nishii, Kondo & Goulias (1989)⁴⁷⁾ やバス解析 (Nishii (1988)⁴⁸⁾) の適用によってなされてきた。図-3は、これらの理論にもとづき、バス形成に関わる諸要因間の関係を図式化したものである。すなわち、就業者にとっての固定的な条件として自宅-勤務先の位置、就業開始・終了時刻あるいは付加的活動の内容などが与えられると、その活動場所、滞在時間あるいは交通手段といったプリズム制約の主要な要因が相互に関連しながら作用していると仮定できる。また、おそらくこれらの固定的な条件も個人によってバラツキをもつから、バス形成の因果構造についても複数のバリエーションが考えられる。このことは、トリップチェーンのバス形成の計量的把握にあたっては必ずしも決定論的な (例えば最適化が前提となるような) モデルによる表現よりも、確率論的なモデルが有効となることを示唆している。

(2) 時空間プリズムに関する実証的分析⁴⁹⁾

本項では、時空間プリズム制約に関連するものとして、プリズム高さ、付加的活動のための滞在時間の諸特性を考察する。使用するデータは、昭和55年度京阪神パー

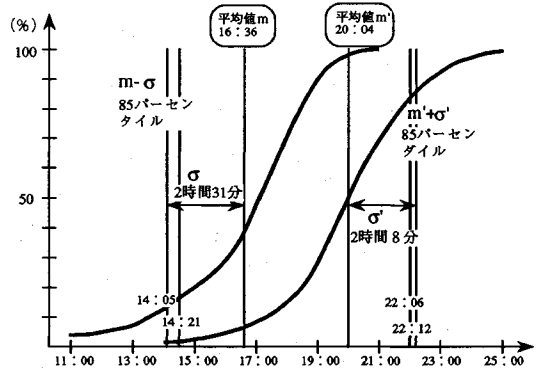


図-4 就業後プリズムの時刻分布

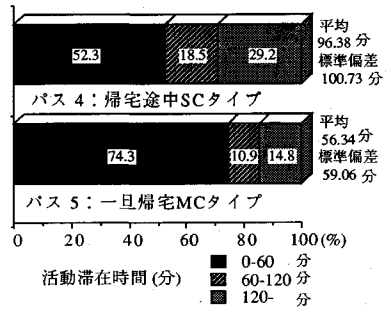


図-5 バス別活動滞在時間分布

ソントリップ調査データのうち、勤務先が大阪市内の鉄道による通勤者による2ストップチェーンを抽出している。表-1は、この2ストップチェーンに関して前述のバスタイプの分類に従った構成比を示している。このデータには付加的活動として私用と業務目的が含まれるが、以降では私用目的のサンプルに限定している。なお、詳細な基礎集計結果は西井・近藤 (1989)⁴⁶⁾ を参照されたい。

まず、時間軸上でのプリズム高さに関する計測結果を図-4に示す。これは、就業後プリズムのプリズム開始時刻と終了時刻に関する累積相対分布曲線であり開始時刻・終了時刻ともになだらかなS字曲線で描かれている。また標準偏差は比較的大きく、開始時刻 (2時間31分) 終了時刻 (2時間8分) となっており、特に会社を退社する時刻にバラツキが見られることが特徴的である。また、85パーセント値によってプリズム高さを定義するとすれば、約6時間のプリズム高さ (活動可能時間) を有している。また同様の定義で地方都市圏 (備後都市圏) で約4時間 (標準偏差約1時間40分)、甲府市周辺で約5時間 (西井・岩本 (1990)⁵⁰⁾) となっており、都市規模等によって差異をもつといえる。

次に、図-5に示すように就業後のプリズム内における付加的活動のための滞在時間をバスタイプ別に見ることとする。これより、バス4の平均活動滞在時間はバス

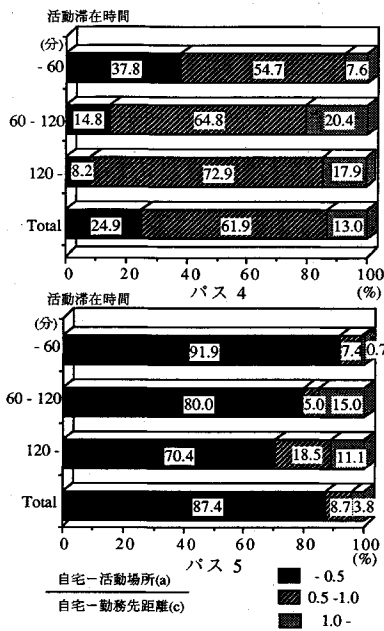


図-6 バスタイプ別活動滞在時間別にみた活動場所距離比 (a/c) 構成

5のそれに比べて長い傾向がある。このことは、プリズム内時空間バスの構成において、例えば同一プリズム高さで同一の付加的活動場所を訪問する場合には、バス5はバス4に比べ、一旦帰宅時の滞在時間および自宅と付加的活動場所との往復時間だけ必要であるという時間的制約が厳しくなるので、そうした時空間制約によって滞在時間が規定されることを示唆している。ただし、個人によって、実際のプリズム高さや活動場所が異なるために、滞在時間はバラツキをもつことも事実である。

図-6は、バス別・活動滞在時間別にみた通勤距離(c)と自宅-付加的活動場所距離(a)との比(a/c)の構成である。バス4は、バス5に比べa/c値の大きなサンプルの割合が多く、全体では70%以上が0.5以上で活動しており、バス5に対するプリズム制約が強い(すなわち図-2で示したプリズム内のバス選択領域の大きさを反映して)ことを示している。また、両バスタイプとも、活動滞在時間が長くなるほど、a/c値が大きなサンプルの割合が増える傾向がみられる。これは、自宅から離れた場所での活動では、全体としてのプリズム制約を満足する中で滞在時間を長くすること(効用)によって移動によって費やされた時間(非効用)を補っていると解釈できる。これに関連した分析結果はNishii & Kitamura (1988)⁵¹⁾で紹介しているが、Supernak (1989)⁵²⁾は、活動・交通パターン形成における効用モデル(utility profile model)を提案している。

表-2 滞在時間推計に用いた変数一覧

変数	内容
活動滞在時間・一旦帰宅滞在時間	バス4に対する活動滞在時間:Y1 バス5に対する活動滞在時間:Y2 一旦帰宅滞在時間:Y3
住居ゾーン	1.大阪市 0.大阪市以外
職場ゾーン	1.大阪都心3区 0.それ以外
活動場所ゾーン	同上
退社時刻	1.18時より早い 0.18時より遅い
活動開始時刻	調査日午前0時から経過時間
職場滞在時間	実数(分)
自宅-活動距離(a)	実数(km) Y2Y3に使用
職場-活動距離(b)	実数(km) Y1に使用
通勤距離(c)	実数(km)
年齢	実数 Y2Y3に使用

表-3 重回帰モデルによる滞在時間推計結果

バス4に対する活動滞在時間Y1: 重相関係数 [0.3452]	
Y1 = 30.555 × 活動場所ゾーン - 0.223 × 職場滞在時間 (4.923) (-9.936)	
-1.570 × 職場-活動距離(b)	+ 205.665 (16.713)
バス5に対する活動滞在時間Y2: 重相関係数 [0.3456]	
Y2 = 68.470 × 活動場所ゾーン - 0.060 × 活動開始時刻 (2.785) (-1.113)	
+ 2.691 × 自宅-活動距離(a)	- 0.571 × 年齢 + 136.542 (2.477) (-1.636) (1.860)
一旦帰宅時間 Y3: 重相関係数 [0.5328]	
Y3 = 0.319 × 活動開始時刻 - 0.357 × 職場滞在時間 (6.282) (-8.493)	
-0.723 × 通勤距離(c)	- 121.679 (-3.025) (-2.912)
上段は偏回帰係数、()内はt値	

4. バス選択モデルの構築

ここでは、プリズム制約の規定要因を説明変数とするバス選択モデルを構築する。このモデルは、プリズム内が、バス4とバス5の2つのバスタイプの選択可能な領域Aと、バス4に限定される領域Bに分けられることから、領域A内のバス選択だけを扱う場合と、領域Bを含めたプリズム全体のバス選択を扱う場合の2つを取上げることにする。ここで就業後プリズムに着目したのは、表-1で示したように有効な分析対象データが得られ易いためである。また、バス選択モデルの具体的な説明変数としては、付加的活動場所での滞在時間、一旦帰宅滞在時間、付加的活動のための追加的距離、さらに選択肢固有ダミー変数等である。

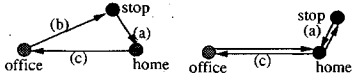
(1) 滞在時間の推計

本研究では、パーソントリップ調査データを用いているため滞在時間に関しては、実際に選択していない選択肢のデータは未知である。そのため、各バスタイプでの滞在時間を、実績値からの重回帰式をステップワイズ法を用いてあらかじめ推計しておき、その推計値をバス選択モデルの説明変数の値として採用する必要がある。

この重回帰式の推計のための説明変数に関しては、これまでの諸要因間の独立性検定等の分析結果(梨木(1989)⁵²⁾参照)をもとに、滞在時間に対して有意であ

表一4 バス選択モデルのパラメータ推計 (その1)

説明変数の定義	ケースA		ケースB		ケースC	
バス	バス4	バス5	バス4	バス5	バス4	バス5
追加的距離	a+b-c	2a	a+b-c	2a	(a+b)/c	2a/c
選択肢固有変数	1	0	0	c	1	0
説明変数	θ	t値	θ	t値	θ	t値
活動滞在時間 θ_1	0.025	(2.94)	0.048	(5.03)	0.020	(2.37)
一旦帰宅滞在 θ_2	0.058	(6.60)	0.062	(6.47)	0.056	(6.27)
追加的距離 θ_3	-0.230	(-2.79)	-0.344	(-3.66)	-1.455	(-2.21)
選択肢固有 θ_4	0.204	(5.87)	-0.110	(-5.05)	2.198	(6.35)
サンプル数	366		366		366	
ρ^2	0.254		0.237		0.240	
全体の的中率	74.3%		75.1%		74.6%	
バス4の的中率	90.5%		87.6%		90.9%	
バス5の的中率	42.7%		50.8%		42.7%	
SC型チェイン (バス4)			MC型チェイン (バス5)			



り、かつバス選択モデルの説明変数と重複しないものを設定した。また、パラメータ推計に用いたデータは、バス4で、1165 サンプル、バス5で183 サンプルである。

表一2は説明変数の一覧を示し、また表一3はそのパラメータ推計結果を示している。これより、偏回帰係数の符号条件については、すべて満足しているが、バス4に関する滞在時間推計式は、重相関係数はあまり小さくなく、全体の適合度も良いとはいえない。またバス5の滞在時間推計においては、サンプル数が少ないこともあって活動開始時刻などのt値も十分なものとなっていない。また、バス5の付加的活動のための滞在時間推計式 (y_2) では、自宅一活動場所距離 (a) の係数が正值で推計されている。これは、全体の適合度も低いため明確なことは言えないが、先述したように移動距離の増加による非効用分を滞在時間によってもたらされる効用でまかなうように働くことを表しているのかもしれない。

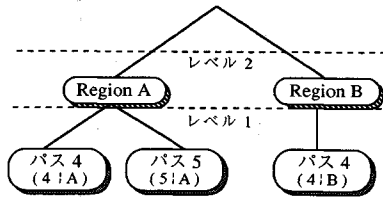
(2) 領域Aにおけるバス選択モデル

ここでは、プリズム内の領域Aに着目することにより、バス4(SC)とバス5(MC)の両者を選択可能なサンプルだけを対象としたモデル構築を試みた。

領域Aと領域Bの区分は、図一2のような線形都市であれば明確であるが、実際には付加的活動場所が都市平面上に分布しているため、この区分は容易ではない。そこで、バス5のサンプルのうちその90%が含まれるa/c値 (a: 自宅と付加的活動場所の距離, c: 通勤距離) によって、具体的には0.6以下を基準値として、バス4とバス5の両者のタイプが選択可能な領域と定めた。このことにより、バス4, 242, バス5, 124の合計366サンプルが対象データとなった。

このモデルの推計にあたっては、説明変数の一つである距離データの扱いに注目することにし、追加的距離と選択肢固有変数の定義方法を工夫することによって、3つのケース (A, B, C) を設定しそれぞれパラメータ推計を行った。

表一4は、得られたパラメータ値と適合度を示してい



図一7 バス選択モデルのツリー構造

表一5 バス選択モデルのパラメータ推計 (その2)

説明変数	θ 値	t 値
活動滞在時間 θ_1	0.03	3.55
一旦帰宅滞在時間 θ_2	0.06	8.44
追加的距離 θ_3	-0.36	-5.98
レベル1 (4:A) 固有ダミー θ_4	0.86	3.11
レベル1 (5:A) 固有ダミー θ_5	1.43	5.22
的中率	63.1 %	
ρ^2	0.313	
レベル2 プリズムの面積 θ_6	1.91	5.73
活動地点魅力度 θ_7	19.39	0.04
レベル2 λ_1/λ_2	9.73	9.08
2 的中率	92.5 %	
ρ^2	0.821	
サンプル数	1234	

る。これより、パラメータの符号条件は予想と一致しており、そのt値に関しても良好であった。全体の適合度は、的中率あるいは尤度比ともままずであるが、サンプル数の少ないバス5の的中率が悪いことに問題が残る。なお、ケース間での比較では、ケースBで尤度比が少し低いもののバス5の的中率が改善される程度で、3ケースともあまり差はない。

(3) プリズム全体でのバス選択モデル

次に図一4に示すようなNested Logit (NL) モデルの選択ツリー構造を仮定することにより、プリズム全体でのバス選択モデルを構築することにした。

このNLモデルでは領域A内のバス選択モデルをLogsum変数として組み込み、プリズム内の領域A, Bの魅力を表す変数 (プリズム内面積比) と付加的活動場所の魅力度変数 (ダミー変数) を導入している。このパラメータ推計結果を表一5に示す。

ここで領域A, Bの層別については、重回帰式による滞在時間の推計値が負値になる場合、およびバス5の推計滞在時間がバス4のそれよりも大きい場合は、そのサンプルは領域Bに属するものと判断した。

パラメータの推計結果は、符号条件はすべて満足しており、レベル1の適合度も良好である。ただし、レベル2においては全体の適合度は良いが、Logsum変数のパラメータ値が過大に評価されていること、および活動場所魅力度のt値が低いことが問題となっている。このことは、領域A, Bの層別を、適合度の良くない重回帰モデルによる推計に頼っていることが影響しているかもしれない。

表一6 一旦帰宅滞在時間で層別化した場合のパラメータ推計結果 (レベル1)

一旦帰宅滞在時間による 設定ケース		0分以上		10分以上		20分以上		30分以上	
説明変数		θ 値	t 値	θ 値	t 値	θ 値	t 値	θ 値	t 値
活動滞在時間	θ ₁	0.021	2.67	0.020	2.45	0.016	1.97	0.014	1.60
一旦帰宅滞在時間	θ ₂	0.059	7.05	0.058	6.74	0.057	6.41	0.058	6.17
追加的距離	θ ₃	-0.267	-4.99	-0.276	-5.11	-0.291	-5.21	-0.316	-5.46
バス4固有ダミー	θ ₄	2.001	6.22	1.803	5.39	1.639	4.82	1.501	4.04
ρ ²		0.393		0.386		0.385		0.404	
的中率		79.3%		77.6%		76.5%		80.1%	
的中率 (バス4)		92.2%		89.0%		87.0%		86.1%	
的中率 (バス5)		47.0%		53.0%		56.0%		67.2%	
サンプル数		468		424		395		357	

そこで、さらに厳密な層別の方法として前述の時空間プリズムの考え方をを用いることとした。今、バス4に実績をもつサンプルのうちバス5での活動が可能であることは、就業後の活動可能時間 (T) の範囲で、勤務先→自宅→付加的活動場所→自宅の活動を行った場合、一旦帰宅滞在時間 (Dhome) が正値で表されることと同値である。すなわち以下の式より左辺を推計する。

$$D_{home} = T - Dact. - c/v - 2a/v$$

ここで、Dact. : バス5の活動滞在時間推計値

c/v : 職場からの帰宅所要時間

通勤距離 (c) を平均移動速度 (v) で除したものの

2a/v : 付加的活動場所と自宅との往復所要時間

この層別方法の結果、一旦帰宅滞在時間が0分以上であるサンプルは、334、10分以上:290、20分以上:261、30分以上:223であった。これらのサンプルとバス5に実績をもつ134サンプルによって、領域Aにおけるパラメータ推計を行った結果、表一6が得られた。

0分以上から20分以上までの3ケースでは、表一4と同様にすべてのパラメータの符号条件を満足しており、そのt値も有意とみなせることがわかった。また30分以上のケースでは、活動滞在時間のパラメータのt値のように有意と判断できない変数がみられるものの、ρ²や全体的的中率に関しては高くなる傾向にある。しかしながら、サンプル数などが設定ケースによって異なるために、一概に一旦帰宅滞在時間の下限値を高くすべきであると結論づけることはできない。そこで、表一6で示したケースのうち一旦帰宅滞在時間0分以上のケースを採用することによってプリズム全体でのバス選択モデルのパラメータ推計を行った。

表一7は、その結果を示すが、レベル2におけるプリズム内面積比のパラメータのt値がやや低いこと、そして全体的的中率は約60%程度とあまり高くないといえるが、その他のパラメータは符号条件も満たし、t値に関しても有意な値を得ており、バスタイプの選択ツリー

表一7 Nested型モデルのパラメータ推計結果

一旦帰宅滞在時間の設定ケース		0分以上	
説明変数		θ 値	t 値
活動滞在時間	θ ₁	0.021	2.67
一旦帰宅滞在時間	θ ₂	0.059	7.05
追加的距離	θ ₃	-0.267	-4.99
バス4固有ダミー	θ ₄	2.001	6.22
λ ₁ /λ ₂	θ ₅	0.761	4.27
プリズムの面積	θ ₆	0.302	1.94
Region固有ダミー	θ ₇	-0.353	-2.12
ρ ²		0.445	
的中率		58.0%	
サンプル数		803	

構造の妥当性は一応示されたと考えられる。

5. おわりに

本研究は、従来より交通行動分析の重要なテーマの1つであったトリップチェーン形成の計量化の問題を時空間プリズムの考え方にもとづき時空間パス (time-space path) の選択モデルの構築を通じて議論してきた。

これに先立ち、本論ではとくに交通研究を取巻く諸環境の変化を意識しながらトリップチェーン研究の発展経緯のレビューを試みた。これは、1980年代後半に至り交通行動分析の研究分野における多様性 (diversification) が指摘され、とくにトリップチェーン研究においては、従来からのアクティビティ・アプローチとパラダイムを共有し、さらにダイナミック・アプローチへ指向する流れへの転期を迎えつつあるという認識が出发点にあった。

交通研究の多様性を前提として、トリップチェーン研究、とくに本論文で基調となったアクティビティ・アプローチは今度どのような展開が期待できるであろうか。筆者の私見をあえて述べるならば、従来から言われている「交通行動へのより深い理解」に向けた行動論の構築、調査・分析・予測の体系化、政策評価の3点セットは依然として我々の取り組むべき最大の課題であろう。とくに、後者の予測や政策評価はこれまで種々の批判の対象と

なってきたわけだが、最近のパネル分析に代表される交通行動の動的特性 (Travel Behavior Dynamics) の把握を通じた予測フレームの開発はこの課題の克服に対して大いに期待できる。そしてこれに加えて、非集計選択モデルのような実用ツールとしての有効性の高いアプローチとも積極的に連携していく方法も検討していくべきであろう。

さて本論では、こうした基本認識のもとで、時空間プリズムを用いた分析フレームを提案した。これは、従来より注目してきたトリップチェーン形成における意思決定メカニズムへの理解をねらいとする諸研究の延長線上にあるが、時空間プリズム制約をより明示的に取入れた形でバス選択モデルを構築したことが特徴と言える。

ここで提案されたバス選択モデルは、比較的単純な構造でありながら、プリズム制約の諸要因がバス選択へ有意に作用するように推計されている。また Nested 型モデルによる定式化により、トリップチェーン形成における階層的な意思決定構造の記述の可能性が示唆された。しかしながら、モデル構築にあたっての今後に残された課題点も多い。すなわち本論で用いた PT 調査データの範囲では使用できる調査項目などが限られ、実証的分析として不十分な点が多かった。また、滞在時間推計は、非集計選択モデルの同定化に必要な選択肢ごとのデータを確保する意味で不可欠な役割を持つが、現段階では十分妥当な推計式を得るには至っていない。

これらの問題点は、今後のアクティビティ調査の実践的な展開に待つところが大きい。逆に調査項目の見直しなど将来の PT 調査のあり方を議論する上でも今回の分析結果は参考となろう。そして、本論での知見は、これからの交通行動分析における時空間上での交通生成特性あるいはマクロな生活圏 (交通圏) 形成およびその計量的把握に資する部分が大いと考えられる。

参 考 文 献

- 1) Jones, P. : The practical application of activity-based approaches in transportation planning : Assessment. Intl. Conf. on Travel Demand Analysis, 1981.
- 2) 近藤勝直 : 交通論と交通工学との接点 : 交通需要分析を中心として, 10 章, 391-426, 交通学説史の研究, 1982.
- 3) 飯田恭敬 : 交通モデルの課題と展望, 土木計画学研究・論文集, 10, 1-13, 1992.
- 4) Overgaard, K. : Traffic Estimation in Urban Transportation Planning, 1963.
- 5) Marble, D.F. : A simple Markovian model of trip structures in a metropolitan region. The Regional Sci. Associ., 150-156, 1963.
- 6) Horton, F.E. & Schuldiner, P.W. : The analysis of land-use linkages, HRR 165, 1967.
- 7) Sasaki, T. : Estimation of person trip patterns through Markov chains, In Transpn. & Traffic Flow, ed. by Newell, G., 119-130, 1972.
- 8) Gilbert, G. et al : Markov renewal model of linked trip travel behavior, Proc. of ASCE, TE 691-704, 1972.
- 9) Richard, E. & Wigan, M.R. : Markov models for the analysis of linked trips over multimodal journeys, TRRL Working paper, 1973.
- 10) Kondo, K. : Estimation of person trip pattern and modal split, In Transpn. & Traffic Flow ed. Buckley, D.J., 1974.
- 11) O'Kelly : A model of the demand for retail facilities, Incorporating multistop, multipurpose trips. Geographical Analysis, 13, 134-148, 1981.
- 12) Kitamura, K. & Lam, T. : A time dependent Markov renewal model of trip chaining. In Transpn. & Traffic Flow, ed. by Hurdle, V.F. et al., 376-402, 1981.
- 13) Southworth, F. : An urban goods movement model : Framework and some results. Papers of The Regional Sci. Associ, 50, 165-184, 1982.
- 14) Nishii, K. & Sasaki, T. : Estimation of business car trip generation by a trip chaining model. The W.C.T.R., in Hamburg, 376-390, 1983.
- 15) Nishii, K. & Sasaki, T. : An analysis of travel pattern and modal split in a business trip chaining. The W.C.T.R., in Vancouver, 1986.
- 16) Hagerstrand : What about people in regional science? Papers of The Reginal Sci. Associ., 24, 7-21, 1970.
- 17) Hemmens : Analysis and simulations of urban activity Patterns. Socio-economic Planning Sci., 4-1, 53-66, 1970.
- 18) Jones, P. : The analysis and modelling of multi-trip journeys, T.S.U. working paper, 1975.
- 19) Heggie, I. : Multip-trip and multi-purpose journeys, Traffic Engg. & Control, 17, 1976.
- 20) Carpenter & Jones, P. : Recent advances in travel demand analysis. Gower, Aldershot, 1983.
- 21) Burns : Transportation, Temporal, and Spatial Components of Accessibility. D.C. Heath, 1979.
- 22) Beckmann, M.J., Golob, T & Zahavi, Y. : Travel probability fields and urban spatial structure : Theory and empirical tests. Environmental and Planning, A., 15, 593-606, and 727-738, 1983.
- 23) Lenntorp : Paths in time-space environments : A time geographic study of movement possibilities of individuals., Lund Studies in Geography., 1976.
- 24) Kitamura, R., Kostyniuk, L. & Uyeno, M. : Basic properties of urban time-space paths : Empirical tests., Transpn. Res. Rec., 794, 8-19, 1981.
- 25) Kitamura, R. : Trip chaining in a linear city. Transpn. Res., 19A, 2, 155-167, 1984.
- 26) Supernak, J. & Zahavi, Y. : Travel time budget : A critique., Transpn. Res. Rec., 879, 1982.
- 27) Recker, W. et al. : A model of complex travel behavior., Transpn. Res. 20A, 4, 307-330., 1986.
- 28) Clarke, M.I. et al. : Some recent developments in activitytravel analysis and modelling, Transpn. Res. Rec. 794, 1-8., 1981.
- 29) Adler, T. & Ben-Akiva, M. : A theoretical and empirical model of trip chaining behavior., Transpn. Res. 13B, 243-257., 1979.

- 30) Lerman, S.R. : The use of disaggregate choice models in semi-Markov process models of trip chaining behavior., *Transpn Science*, 13, 4, 273-291, 1979.
- 31) Damm, D. : Parameters of activity behavior for use in travel analysis., *Transpn. Res.*, 16A, 2, 135-148., 1982.
- 32) Kitamura, R. : Incorporating trip chaining into analysis of destination choice, *Transpn. Res.*, 18B, 1, 67-81., 1984.
- 33) Thill, T. : Demand in space and multi-purpose shopping : A theoretical approach., *Geographical Analysis*. 17, 2, 114-129, 1985.
- 34) 西井和夫・佐佐木綱：トリップチェーン手法を用いたとし交通需要分析, 土木計画学研究・講演集, 1985.
- 35) 近藤勝直：交通行動分析, 晃洋書房, 1987.
- 36) Kitamura, R. : Recent developments in trip chaining analysis PTRC Summer Annual Meeting, Bath, 1987.
- 37) Kitamura, R. : An evaluation of activity-based travel analysis., *Transportation*, 15, 9-34., 1987.
- 38) Jones, P. et al. : Activity analysis : State-of-the-art and future directions., In *Developments in Dynamic and Activity-based Approaches to Travel Analysis*. 1989.
- 39) 西井和夫：交通と運輸に関するオクスフォード会議の報告, 「交通工学」6, 76-78, 1988.
- 40) 西井和夫：交通行動分析に関する京都会議の報告, 土木学会論文集, 413, 29-30, 1989.
- 41) Kitamura, R. & Kondo, K : Time-space constraints and the formation of trip chains. *Regional Science and Economics*, 17, 1, 49-65., 1987.
- 42) 近藤勝直：トリップチェーン形成過程のプリズム効用モデル, 土木学会論文集, 377, 71-78., 1988.
- 43) Nishii, K., Kondo, K. & Kitamura, R. : Empirical analysis of trip chaining behavior, *Transpn. Res. Rec.*, 1203, 48-59., 1989.
- 44) Kitamura, R., Nishii, K. & Goulias, K. : Trip chaining behavior by central city commuters : A causal analysis of time-space constraints., In *Developments in Dynamic and Activity-based Approaches to Travel Analysis.*, 1990.
- 45) Nishii, K., Kondo, K. : Trip linkages of urban railway commuters under time-space constraints : Some empirical observations., *Transpn Res. B*, 26B, 1, 33-44., 1992.
- 46) 西井和夫・近藤勝直：鉄道利用通勤者の時空間プリズムに着目した交通パターン分析, 土木計画学研究論文集, 7, 139-146, 1989.
- 47) Nishii, K., Kondo, K & Goulias, K. : Dynamic aspects of trip chaining behavior under time-space constraints. paper presented at The W.C.T.R. in Yokohama, 1989.
- 48) Nishii, K. : Causal structures of multiple-stop trip chains : Path analysis. Report of the Faculty of Engg. Yamanashi Univ., 40, 130-140, 1989.
- 49) 西井和夫・鈴木裕介：プリズム制約を考慮したトリップチェーンのバス選択モデル, 交通工学研究発表会, 10, 109-112, 1990.
- 50) 西井和夫・岩本哲也：ショッピングコンプレックス来訪者の買物行動特性の基礎分析, 土木計画学研究・講演集, 13, 975-982, 1990.
- 51) Nishii, K. & Kitamura, R. : Some characteristics of trip chaining behavior under time-space constraints. Report of the Faculty of Engg. Yamanashi, Univ., 39, 72-80, 1988.
- 52) Supernak, J : Temporal utility profiles of activities and travel : Uncertainty and decision making. *Transpn. Res. B*, 26B, 1, 61-76, 1992.
- 53) 梨木克修：時空間プリズムに着目したトリップチェーン分析, 山梨大学修士論文, 1989.

(1993.2.5 受付)

PRISM CONSTRAINTS AND A CHOICE MODEL OF TIME-SPACE PATHS INVOLVING TWO STOP TRIP CHAINING

Kazuo NISHII

This paper aims to develop a model of commuter's trip chaining in which an additional stop for non-work activity is incorporated into the basic home-work-home travel pattern. Of a particular concern is whether a commuter will make the non-work stop on the way to home after working or, alternatively, will pursue it by making a separate trip chain after returning home. First, this paper offers a brief review of previous studies of trip chaining with an emphasis on several efforts related to travel behavioral approaches. Secondly, the concept of time-space prism constraint is introduced as a key factor determining the formation of trip chaining. Thirdly, a choice model of time-space paths in two stop chains is formulated and its validity is empirically examined.