



交通行動分析 : 都市交通政策への新しい視角

近藤, 勝直

(Degree)

博士 (商学)

(Date of Degree)

1987-12-16

(Date of Publication)

2008-04-21

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙1129

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2001129>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



交通行動分析

—都市交通政策への新しい視角—

近藤勝直著

晃洋書房

はしがき

都市交通計画や都市交通政策の変遷につれて、それらを計量的に評価する手法も発展と消長を繰り返してきた。計画や政策の理念およびその目指すところの目標は、時代や地域によって異なり、そのたびごとに必要とされる評価の体系も変遷をみてきた。

合理的な交通計画に資するための交通需要推計の体系も、1950年代に米国で開発された通称3段階推計法（自動車交通量のみを推計）から、1960年代には現在支配的な4段階推計法（通称パーソントリップ法）へと発展した。この背景には、モータリゼーションの進展にともなう自動車交通の飛躍的な増大に道路供給が追いつかず、道路混雑や環境問題に対する対策の必要性および公共交通とのバランスをはかるため総合交通計画（Comprehensive Transportation Planning）が必要になったという事情がある。

自動車交通と居住環境との調和を説いた有名なブキャナン・レポート（英国）が出されたのは1963年である。さらに1970年代にはいると、現代技術文明に対する異議申し立て運動の活発化にともなって、環境問題に対する関心がさらに高まり、加えて石油危機（1973年）の勃発にともなう資源節約運動の風潮と相まって、自動車交通は一転して時代の悪者となった。1970年代中期に策定されたいくつかの大都市の総合基本計画（マスタープラン）をいまながめてみると、そのことがよくわかる。この時期、交通計画に要求されたのは、自動車交通を抑制し、それを公共交通機関に転換させることであった。各国、各都市で自動車交通抑制・公共交通サービス改善のための種々の独創的な交通運営手法（Traffic Management Techniques）が試みられた。ところが、従来の段階的推計法は、それらの交通運営政策を事前に評価するための計量的手法としては、うまく機能しえなかった。というのは、段階的推計法は10年あるいは20年先と

ii はしがき

いう、いわば長期的なタイムスパンでの幹線交通ネットワーク計画のための交通需要推計の体系であり、短期的ないし局地的な交通政策に対する個々のトリップメーカーの応答を評価するには本来無理があり、固有の守備範囲を越えていたのである。

このころから交通需要分析 (Travel Demand Analysis) という用語が登場するようになる。交通需要推計でもなく、需要曲線の分析でもなく、人間の交通行動を分析しようとする立場である。したがって、むしろ交通行動分析と呼んだほうがより適切かもしれない。もちろんその目的とするところは交通計画や交通政策に資することなのであるが、これには個人の交通選択行動を確率効用理論によって表現するいわゆる非集計選択モデル (Discrete/Disaggregate Choice Model)、活動選択・交通決定にさいして個人に働く諸制約を強調するアプローチ (Activity Approach)、一日を構成する諸活動やトリップの連結性に着目するアプローチ (Trip Chain Model)、などが包摂される。本書では、このうち後二者のアプローチから交通行動が分析される。

本研究は、トリップチェーン行動の意志決定メカニズムに焦点をあてる。その目的とするところは、数学的および統計的分析によって、トリップチェーン行動の背後にある意志決定メカニズムの性質を明らかにすることである。そして同時に、活動タイプの選択、目的地選択、活動の連なり、などのあいだに存在する序列的な (hierarchical) な関係を決定しようとする。本書では、とくに、都市住民が一日に行う家庭内および家庭外活動 (もちろんその中に交通活動も含まれる) の連結様式に焦点があてられる。この連結様式の表現形態として、マクロ的にはマルコフモデル、ミクロ的には Hagerstrand の時間・空間プリズム制約下での効用最大化モデルが扱われる。

ここで、本書の構成について述べておくと、まず第1部では、交通計画をめぐる環境の変化を、交通計画のコンセプトと計画手法の二面から歴史的に整理する。そして、最近とくに注目されてきた交通行動分析における3つのアプローチ、すなわち非集計モデル、アクティビティ・アプローチ、トリップチェーンモデルについてその動向を整理し今後の展望を論ずる。

第2部では交通連結のボタンに関する統計解析など実証的分析を中心に述べ、第3部での理論的展開の基礎を提供する。第1章ではトリップチェーンの一般的な性質についてパーソントリップ・データをもとに考察する。第2章ではとくにトリップチェーンの最も基礎的な形態である2ストップチェーンを取り上げてその諸特性について考察する。さらに第3章では2ストップチェーンの統計分析を行い、トリップチェーン形成の支配的要因を抽出する。用いた手法は、カテゴリカルデータについては二元配置表の独立性検定、数量化理論Ⅰ類による分析、数値データについては重回帰分析、正準相関分析、主成分分析、そしてパス解析などである。ここで得られた知見は第3部で展開される意志決定過程の数学的モデルにおいて活用される。

第3部では、時間空間座標におけるプリズム効用概念を用いた独創的なトリップチェーンモデルを展開し、さらにそのモデルから得られる結論の比較静学分析およびトリップデータによる実証分析を行う。さらに第2部での統計解析の結果をふまえトリップチェーン形成の意志決定メカニズムの段階的モデルの体系を提唱する。

第4部では、トリップチェーンの伝統的アプローチであるマルコフモデルを、その発展過程をたどりながら体系づけて整理する。マルコフモデルの基本概念から始めて、徐々に考慮すべき次元を増やしてゆく形で、現在までの当分野の成果を紹介する。

本書がこのような形で完成するまでには、多くの方々の御指導と御協力をいただいた。まず、神戸大学大学院経営学研究科博士後期過程での恩師秋山一郎教授および母校京都大学での恩師佐佐木綱教授の両先生には、本研究の遂行過程でつねに的確な御指導と絶えざる激励を賜った。お二人の先生方の激励がなければ本書は完成しなかったであろう。また、私が、福山大学に在職中にもかかわらず、学外研修という形で神戸大学大学院博士後期過程で3年間(1979～82)の勉学の機会を得ることができたのは、宮地茂福山大学長および米谷栄二工学部長(当時)のお二人の先生方の寛大さのおかげである。さらに、大阪市立大学名誉教授富永裕治先生は交通学説史研究会で、交通論と交通工学の接点

であるところの交通需要推計について、戦後の文献をレビューするという、気の遠くなるような、しかし必要な作業の機会を与えてくださり、当分野の歴史を知る絶好の機会となった。また学内にあっては、人間科学研究センター長足利末男先生、教養部長蛭谷米司先生にはつねに学際的な研究の場を提供していただいた。上記諸先生がたが与えてくださった有形、無形の研究環境はすべて現在の私の財産である。厚く御礼申し上げたい。

1975年から76年にかけての英国留学時、オクスフォード大学交通研究所(TSU)のピーター・ジョーンズ氏との出会いは、当時欧州で生まれたばかりのアクティビティ・アプローチにふれる最初の機会であった。一昨年度(1985~86)は福山大学外国留学生第1号としてカリフォルニア大学(デービス校)で研究する機会を得たが、そのさい、北村隆一氏(土木工学科準教授)は、国際的な視野からの議論を通して私を啓発してくれた。一方、国内にあっては現在、当分野の研究者はごく少数であるが、西井和夫氏(山梨大学土木工学科講師)と正司健一氏(神戸大学経営学部助教授)からは必要な文献やデータに関する情報提供を受けたし、しかも本書の草稿を丹念に検討し有益な助言を惜しまれなかった。また、神戸大学経営学部田村正紀教授はご多忙中にもかかわらず本書の草稿に丹念に目を通してくださり、第2部の統計解析、第3部の数学モデル、そして第4部のマルコフモデルに関して、消費者行動分析の立場から大変有益なコメントと御教唆をいただいた。本書が交行動分析の分野のみならず消費者行動分析の一角にもいささかでも貢献しうるとするならばそれは田村先生のおかげである。

上記諸先生がたに厚くお礼を申し上げたい。

なお、出版にあたっては、見洋書房の上田芳樹社長に諸般にわたるお世話をいただいた。併せて厚く謝意を表する次第である。

1987年10月

福山 久松台にて 著 者

◆掲載図表一覧◆

表1.2.1	交通計画の環境変化
表1.2.2	パーソントリップ調査実施都市圏の概要
表1.2.3	街路交通情勢調査
表1.2.4	交通運営手法一覧
表2.1.1	完全パターン比率
表2.1.2	サイクル数/ストップ数別人数
表2.1.3	上位5つのパターン
表2.1.4	属性別平均ストップ数, 平均サイクル数
表2.1.5	第1トリップの交通手段とストップ数
表2.2.1	2ストップトリップチェーンの5つのパス
表2.2.2	職業とバス構成
表2.2.3	交通目的連関別のバス構成
表2.2.4	基本トリップの交通手段別バス構成
表2.2.5	バス別の交通手段連関
表2.3.1	変数とそのカテゴリー
表2.3.2	要因間の独立性検定(クラマーのコンティンジェンシー係数)
表2.3.3	数量化理論Ⅰ類による分析結果—偏相関係数—
表2.3.4(a)	数量化理論Ⅰ類による分析結果(1)
表2.3.4(b)	数量化理論Ⅰ類による分析結果(2)
表2.3.4(c)	数量化理論Ⅰ類による分析結果(3)
表2.3.4(d)	数量化理論Ⅰ類による分析結果(4)
表2.3.4(e)	数量化理論Ⅰ類による分析結果(5)
表2.3.4(f)	数量化理論Ⅰ類による分析結果(6)
表2.3.4(g)	数量化理論Ⅰ類による分析結果(7)
表2.3.5	変数の説明
表2.3.6	相関行列
表2.3.7	重回帰分析(ステップワイズ法1)
表2.3.8	重回帰分析(ステップワイズ法2)
表2.4.1	19変数の3群分類
表2.4.2	正準相関係数(2乗値)
表2.4.3	ケース1の標準化係数
表2.4.4	ケース2の標準化係数

vi 掲載図表一覧

表 2.4.5	ケース 3 の標準化係数
表 2.4.6	相関行列の固有値と固有ベクトル
表 2.4.7	主成分回帰
表 3.2.1	滞在時間と HB/NHB 比率
表 3.2.2(a)	家庭職場間距離と HB/NHB 比率
表 3.2.2(b)	家庭職場リングペアと HB/NHB 比率
表 3.2.3	交通手段と HB/NHB 比率
表 3.2.4	プリズムの開始時刻と終了時刻
表 3.2.5	非集計選択モデルによる推定結果
表 3.3.1	A_i と O_i の計算例
表 4.1.1	ストップ数分布
表 4.2.1	ステップ別・発目的別トリップ数
図 1.1.1	出発地点での時間空間制約
図 1.1.2	2 地点間の時間空間プリズム
図 1.1.3	1 日のスケジュールとプリズム
図 1.1.4	速度減少ともなうプリズムの縮小
図 1.1.5	フレックスタイム導入効果
図 1.1.6	職住近接化のケース
図 1.2.1	4 段階推計法のフロー
図 1.2.2	4 段階推計法に基づく交通計画の流れ
図 1.3.1	時間空間における活動とトリップの連結状態
図 1.3.2	HATS: インタビューの手順
図 1.3.3	HATS: ゲームボード
図 1.3.4(a)	活動パターン選択の理論的フレームワーク
図 1.3.4(b)	活動パターン選択のシミュレーションモデル—STARCHILD—
図 2.2.1	ハーガーストランドの時間空間経路
図 2.2.2	2 ストップチェーンの時間空間経路
図 2.4.1	交通手段選択の因果モデル
図 2.4.2	活動スケジュール決定の因果モデル
図 3.2.1	時間空間プリズム
図 3.2.2	プリズム 1 の幾何学
図 3.2.3	プリズム 1 の 3 つの領域
図 3.2.4	モデルにおける経路 (バス) の取り扱い
図 3.2.5	効用差 (ΔU) と経路選択における限界活動地点 (x_1)
図 3.2.6	活動時間増加ともなう限界活動地点の変化

- 図 3.2.7 職住距離増加にともなう限界活動地点の変化
- 図 3.2.8 交通速度増加にともなう限界活動地点の変化
- 図 3.2.9(a) プリズム 1 の開始時刻分布
- 図 3.2.9(b) プリズム 1 の終了時刻分布
- 図 3.2.9(c) プリズム 2 の開始時刻分布
- 図 3.2.9(d) プリズム 2 の終了時刻分布
- 図 3.2.9(e) プリズム 3 の開始時刻分布
- 図 3.2.9(f) プリズム 3 の終了時刻分布
- 図 3.3.1 Damm による交通需要モデルの階層的構造
- 図 3.3.2 交通選択の意志決定過程
- 図 3.3.3 バス変数間の関係
- 図 3.3.4 トリップチェーンの意志決定過程の段階的モデル
- 図 3.3.5 活動機会数の分布（指数分布の場合）
- 図 3.3.6 活動地点選択
- 図 3.3.7 エントロピーとバス選択率
- 図 3.3.8 リニア・メッシュモデル
- 図 4.1.1 業務トリップ推移図
- 図 4.1.2 サイクル再起状態
- 図 4.1.3 2 サイクル 3 ストップの 2 つのパタン
- 図 4.2.1 吸収マルコフモデルの推移概念
- 図 4.2.2 推移確率の実態（ステップ別）
- 図 4.2.3 トリップチェーンにおける Modal Split の概念図
- 図 4.3.1 時間空間における活動とトリップの連結状態
- 図 4.3.2 時間空間における吸収マルコフモデルの考え方

目 次

はしがき

掲載図表一覧

◆第1部◆ 都市交通計画と交通行動分析

第1章 序論	2
1. 本研究の目的	2
2. 本書の構成とアプローチ	8
第2章 都市交通計画：コンセプトと手法の変遷	10
1. 都市交通計画の変遷	10
2. 現代の都市交通計画手法	14
【Appendix】交通運営手法	24
第3章 交通行動分析の新展開：最近の動向	26
1. 非集計アプローチ	26
2. アクティビティ・アプローチ	34
3. トリップ連結への関心	41
4. トリップチェーン研究の第一世代：マルコフモデル	43
5. トリップチェーン研究の第二世代：非マルコフモデルの開発	48
6. 今後の展開	54

◆第2部◆ トリップチェーンの統計解析

第1章 トリップチェーンの一般的性質	58
1. はじめに	58
2. トリップチェーンの概要	59
3. トリップチェーンと個人属性・トリップ特性	61
4. トリップチェーンと交通手段選択	63

第2章 2ストップチェーンの諸特性	66
1. はじめに	66
2. 職業とバス構成	69
3. 目的連関とバス構成	70
4. 交通手段とバス構成	71
5. 交通手段連関とバス構成	72
第3章 2ストップチェーンの統計解析	74
1. 二元配置分割表の独立性検定	74
2. 数量化理論Ⅰ類による要因分析	79
3. 重回帰分析にみる変数間の関係	89
4. 正準相関分析	98
5. 主成分重回帰分析	102
6. バス解析による因果関係モデル	105
 ◆第3部◆ トリップチェーンの効用最大化モデル 	
第1章 消費者行動論的アプローチ	110
1. Adler = Ben-Akiva モデル	110
2. DeSerpa = Bruzelius モデル	112
第2章 トリップチェーンのプリズム効用モデル	114
1. はじめに	114
2. プリズムの幾何学	115
3. 時間空間経路と効用要素	118
4. 時間空間経路選択モデル	121
5. モデルの挙動と限界分析	124
6. 実証的比較	128
7. 結 論	133
【Appendix (1)】プリズムの計測	134
【Appendix (2)】円錐プリズムと非集計モデルによる パラメータ推定	139

第3章 トリップチェーンの意志決定過程	142
1. はじめに	142
2. 交通選択のヒエラルキー	142
3. トリップチェーン決定のヒエラルキー	144
4. プリズム選択モデル [M-1]	146
5. 活動地点選択モデル [M-2]	147
6. 活動時間選択モデル [M-3]	149
7. パス選択モデル [M-4]	150
【Appendix (1)】 β と C の分布の解析的な求め方	152
【Appendix (2)】 メッシュモデルへの展開	153
 ◆第4部◆ トリップチェーンのマルコフモデル 	
第1章 マルコフチェーンの基本モデル	158
第2章 基本モデルの次元拡張による一般化	163
1. トリップ目的の連関	163
2. 目的連関行列の定義と予測	167
3. 交通手段連関の導入	173
【Appendix (1)】 現在パタンのエントロピー法	175
【Appendix (2)】 計算例	176
第3章 時間軸の導入	180
1. 交通政策評価からの要請	180
2. マルコフ再生モデル	183
3. 時間帯推移行列を用いる方法	187
4. モデルの意義	189
5. 時刻従属のマルコフ再生モデル	190
あとがき	193
参考文献	194
事項索引	201
人名索引	205

◆第1部◆

都市交通計画と交通行動分析

第1章

序論

1. 本研究の目的

1973年の石油危機以降，都市交通政策の基調は都市における自動車の利用を抑制し，それを公共交通機関に転換させることであった．各国，各都市で自動車交通抑制・公共交通サービス改善のための種々の独創的な交通運営手法（Traffic Management Techniques）が試みられた．ところが，従来から都市交通計画で用いられてきた交通需要予測方法，すなわち4段階推計法（いわゆるパーソントリップに基づく方法）は，これらの都市交通政策を事前に計量的に評価する方法としてはうまく機能しえなかった．というのは，従来の方法は10年あるいは20年という長期的なタイムスパンでの幹線交通ネットワーク計画のための交通需要予測を対象としており，問題となっている短期的あるいは局地的な交通政策に対する個々のトリップメーカーの応答を評価するには本来無理があったのである．そこで登場してきたのが交通需要分析という分野であり，マクロ計量経済的な交通需要予測の方法でもなく，交通論におけるような需要曲線あるいは需要関数の分析でもなく，人間の交通行動をその行動原理にまでさかのぼって分析しようとする立場である．したがってむしろ交通行動分析と呼んだほうがより適切かもしれない．そこでは交通時間や交通費用といった従来の交通選択因子よりも，1日の活動構成，およびその連結状態，ファミリーライフサイクルといったような，交通生成にとって基本的，根源的なレベルに焦点が当てられる¹⁾．もちろんその目的とするところは交通政策や交通計画に資することなのであるが，これには，(1) 個人の交通選択行動を確率効用理論に

よって表現するいわゆる非集計選択モデル、(2) 交通決定にさいして個人にはたらく諸制約に着目し、とくに活動分析を強調するアクティビティアプローチ、そして、(3) 1日を構成する諸活動の連結性に着目するトリップチェーンアプローチ、などが含まれる。

本研究はこのうち後2者のアプローチからの交通行動分析として位置づけることができる。この分析によって交通行動の意志決定メカニズムを解明し、もって合理的な交通計画、実効ある交通政策の評価・策定・実行に貢献しうるアプローチを提供することが本書の目的である。都市交通問題のうち、とくに交通渋滞等の自動車交通の増加に起因する問題に対しては、1つには道路整備という巨額の長期的・物的対策、もう1つには自動車交通抑制・公共交通サービスの改善による公共交通機関への転換というソフトな対策の2方法が基本的に存在する。しかし、かならずしも前者のような巨額の投資をせずとも、たとえば都市住民や事業所などが日常行う諸活動の時間あるいは時刻に少々変更を加えるという“安価な”政策、言い換えると社会制度や慣行を少し変更するという政策でもって、前者と同程度の効果を生ぜしめることも不可能ではない。本書第3部、第4部で展開する時間空間座標の設定およびモデル分析はそのことを強調している。

ここで本書の分析の基本概念である時間空間座標における行動様式の表現の枠組みを紹介し、それと交通政策との関係を考えておこう。時間空間座標において人間の活動経路 (Time-Space Path) を最初に表現し、それを通じて生活の質 (Quality of Life) の改善に役立てようとしたのは欧州の地理学者 Hagerstrand (1970) である。その後スウェーデンの Lund 大学や Oxford 大学 TSU で研究が続けられたが、交通の局面にこれを数学的に展開したのは GM 研究所の Burns (1979) が最初である。したがって以下の表現は Burns に従っている。

まず、図 1.1.1 において縦軸に時刻 (time-of-day)、横軸に都市空間 (space) がとられている。いま速度 v (一定) の交通手段を持つ個人を考えよ

1) すなわち、交通の派生的需要としての側面が強調されている。

4 第1部 都市交通計画と交通行動分析

う²⁾。地点 r_1 (たとえば自宅) で時刻 t_1 まで活動に従事し、そこで活動が終了した場合、この個人はもはや図のハッチングで示された時間空間領域には侵入できず、時刻 t_1 以降は空白の領域にしか進行できない。この境界線の傾きは $1/v$ である。この個人の次のスケジュールは、遅くとも時刻 t_2 に地点 r_2 (たとえば友人宅) に到着し次の活動を行わねばならないものとしよう。このとき、この個人が実際に利用可能な時間空間はもはや図 1.1.1 のように半無限ではなく、図 1.1.2 のような平行四辺形に限定されることになる。この平行四辺形は時間空間プリズムと呼ばれている。このプリズムは追加的活動に費やしてもよいし、交通に使ってもよい。ただし、この個人はこのプリズム枠より外へは出ることができない。一步でも踏み出した場合はもはやこの時刻 t_2 に地点 r_2 に到着することは不可能になる。その意味でこのプリズムはプリズム制約と呼ばれることもある。友人宅での活動後は図 1.1.3 のようにまた午後のプリズムが生じるが、遅くとも午後9時には帰宅することになっているので、第2番目のプリズムの終わりは午後9時である。以上がこの個人のある1日の時間空間座標における活動スケジュールの表現である。

次に以上の表現様式を用いて就業者の1日の活動スケジュールを時間空間座標に表し、モデルのパラメータに変更が加えられた場合のプリズムの変化を試みよう。図 1.1.4 には交通速度が25%減少せられた場合のプリズムの変化、図 1.1.5 にはフレックスタイムの導入により朝のプリズムが増加し、夕刻のプリズムが減少する様子が描かれている。さらに図 1.1.6 では職住近接化の場合はプリズムが大きくなること示されている。

交通政策をはじめとする公共政策の目的の1つは、より多くの選択肢集合を市民に提供すること、そしてそれもより公平な方法で市民の間に分配することである³⁾。具体的には、交通政策によって利用可能な機会数や異なる活動機会へ参加できる個人の自由度を増加させることである。その意味で、上で紹介した時間空間プリズム制約をゆるめ、すなわちプリズムの領域を大きくし、選択

2) ここでは議論を簡単にするために、交通手段選択の問題を捨象し、かつ交通速度も Flow-independent であると仮定している。

3) Burns (1979), p.4.

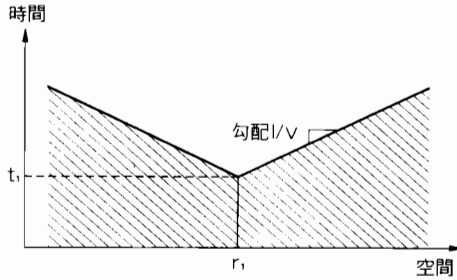


図 1.1.1 出発地点での時間空間制約⁴⁾

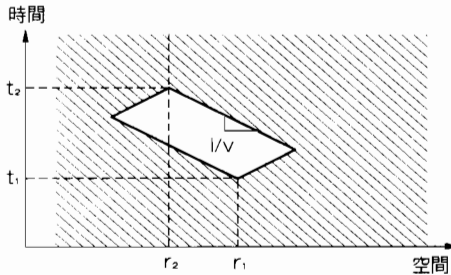


図 1.1.2 2地点間の時間空間プリズム⁵⁾

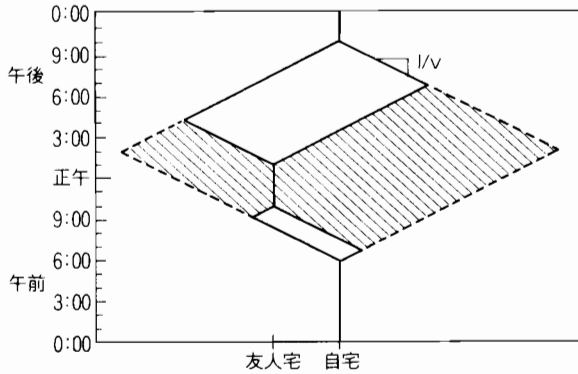


図 1.1.3 1日のスケジュールとプリズム⁶⁾

4) 出典: Burns (1979).

5) 同上.

6) 同上.

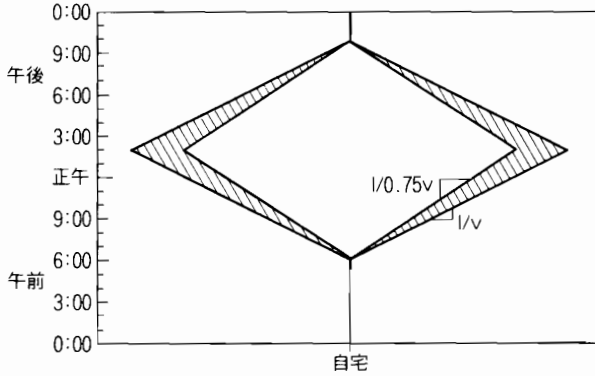


図1.1.4 速度減少にともなうプリズムの縮小⁷⁾

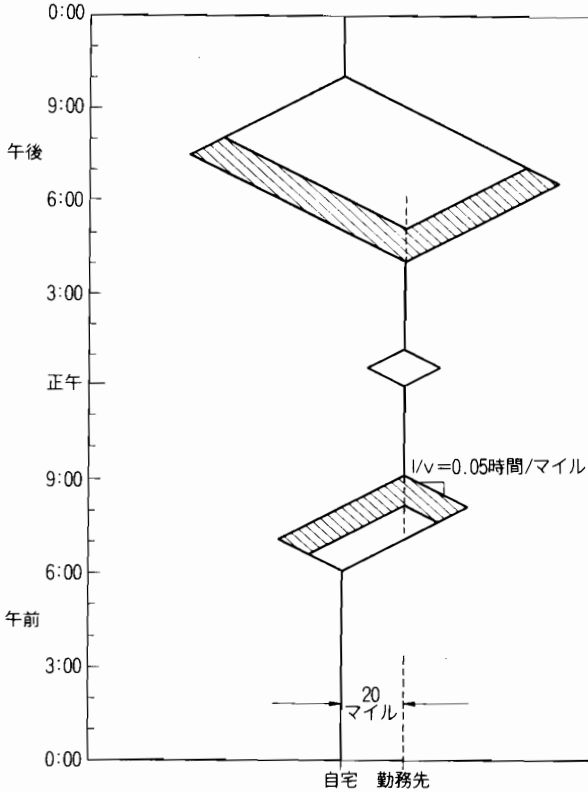


図1.1.5 フレックスタイム導入効果⁸⁾

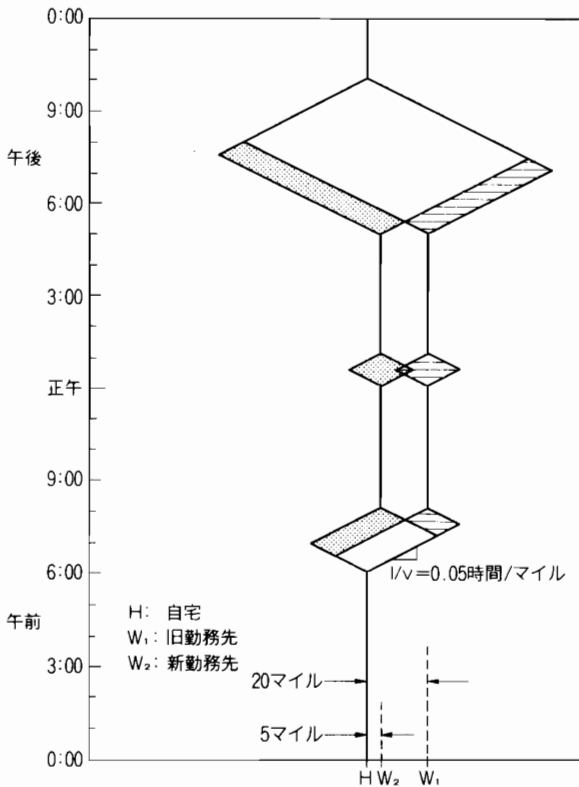


図 1. 1. 6 職住近接化のケース⁹⁾

の自由度を増加させることが公共政策の立場からみた交通政策の1つの目的になる。

本研究で得られた成果を都市交通政策のオプションを評価する手法として活用することが本来の目的なのであるが、同時に新しい都市交通政策や都市政策(交通から見た)を考案し提言することも活用できよう。また、とくに第3部で展開するモデルの構成変数は交通に関するものだけでなく、生活様式や土地利

7) 出典: Burns (1979).

8) 同上.

9) 同上.

用（職場や住居の立地）に関する変数をも含んでいることから、人の行動軌跡から見た施設の立地問題（たとえばショッピングセンターや公共施設配置計画）やマーケティングの分野にも、より限定された局面においてであろうが、提案したモデルの応用が可能であるかもしれない。その意味で本書は“時間空間（制約下）における人間の行動”を扱う研究分野総体に対して新たな分析視角を提供するねらいも込められている。

2. 本書の構成とアプローチ

まず第1部の以下の章では、交通計画をめぐる環境の変化が計画のコンセプトと計画手法の二面から歴史的に整理され、そして最近とくに注目されてきた交通行動分析における3つのアプローチ、すなわち、非集計選択モデル、アクティビティアプローチ、トリップチェーンモデルについて、それぞれ研究動向が展望される。しかし本書はこの3つのアプローチのうち非集計選択モデルについては、つぎのような観点から、その使用を特定の局面に限定している。すなわち、アクティビティアプローチおよびトリップチェーンモデルは1日の全行程、全活動を視野に入れているという意味で、交通行動のメカニズムを包括的に扱える視座をもっているのに対し、非集計選択モデルは、選択肢集合が具体的に明らかになった段階でその適用が可能となるという意味で、より上位のメカニズムから見ると単なる選択肢決定ツールという位置づけになる。すなわち非集計選択モデルはその選択肢集合の決定には自ら寄与できないという意味で、“総合性・包括性が要求される交通行動のメカニズム解明のための分析手法”として機能するには限界がある。したがって、その使用は選択肢集合決定後の局面に限定されることになる。

第2部では、交通（トリップ）連結に関して統計解析などの実証分析を経て、その支配要因が抽出され、第3部で展開される理論モデルへの基礎が提供される。前半ではトリップデータをもとに、トリップチェーンの連結様式と個人属

性・トリップ属性との間の関係を概観しておく。つづいて後半では、多変量解析の手法を用いてトリップチェーン形成にあずかるファクターの抽出がなされる。分析はカテゴリカルデータ (categorical data) と数値データ (numerical data) の二面から実行され、前者については分割表の分析と数量化理論 I 類を適用し、後者については重回帰分析、正準相関分析および主成分回帰分析を試みる。そしてこれらの分析結果よりトリップチェーン形成の因果構造に関するパス解析をも試みる。

第3部では、時間空間座標におけるプリズム効用概念を用いた独創的なトリップチェーンモデルが展開され、さらにそのモデルによる比較静学分析、およびトリップデータによる検証がなされる。プリズム概念はもともと欧州の地理学の分野で考案されたもので、人の行動可能空間を3次元で表現したものであるが、本研究は、これをもとにしてプリズム効用の概念を導入し、均一線形都市における交通決定の問題に計量的な展開を与えた独創的な試みである。さらに、このプリズムモデルをベースにして、トリップチェーン形成の意志決定メカニズムの段階的モデルの体系が提案される。

第4部では、トリップチェーンへのもう1つの伝統的アプローチであるマルコフモデルについて、その発展過程をたどりつつ、筆者による研究成果を織り込みながら体系づけて整理がなされる。

第2章

都市交通計画：コンセプトと手法の変遷

1. 都市交通計画の変遷

交通計画の詳しい歴史的発展については、もちろん地理、文化、経済、政治制度に応じて各国で異なりうるが、大部分の場合、共通の発展過程が観察される。これはおそらく、戦後から今日までの西洋世界ないし先進世界における社会経済条件の同質性に関係がある。それゆえ同じ交通計画のコンセプトと手法を共有してきたのである。

Jones (1983) はこの発展過程を交通計画の環境変化として、表1.2.1のように簡潔に整理している。近代的交通計画の起源は第1期(1930年代~50年代)のローカルなバイパス計画にまで遡る。そこでは特定のリンクの改良もしくは追加によって局地的な混雑地点を解消すべく設計がなされた。用いられた技法はかなり単純で、路側調査データを参考にして将来の交通成長や転換交通が予測されるというものであった。

1950年代後半から60年代にかけての第2期では、自動車保有の急成長と道路交通の急増による道路混雑に対処する必要から、高容量の道路ネットワーク計画のための本格的な交通調査が実行された。政策レベルでは、全市的な高容量の道路と駐車施設のための大規模かつ長期的な戦略的計画へと移行した。計画手法の技術的側面は、とくにアメリカを中心に飛躍的に発展し、これには大規模な家庭訪問調査、路側調査、将来交通予測のためのコンピュータ技法などが含まれる。ファクターとしては、所得上昇、社会人口構造、自動車保有率上昇などが取り入れられた。予測は集計レベルでの3段階法で、自動車交通発生、

表 1. 2. 1 交通計画の環境変化*

第1期 (1930年代～50年代)	<p>目的：バイパス計画による局地的交通混雑の解消</p> <p>手法：路側調査，自動車ベースの交通成長予測，経験的なルート配分</p>
第2期 (1950年代～60年代)	<p>目的：都市において急増した自動車交通のための計画 高容量道路ネットワークの長期計画</p> <p>手法：家庭訪問調査および路側調査 自動車トリップを対象とした3段階集計予測モデル (トリップ発生，トリップ分布，ネットワーク配分)</p>
第3期 (1960年代～70年代)	<p>目的：総合交通計画によるバランスのとれた交通投資配分 (私的交通 vs. 公共交通)，駐車料金の賦課，長期的交通計画</p> <p>手法：4段階モデルの登場 (分析単位は自動車から人へ，モーダルスピリットの導入)，一般化費用の使用，個人選択モデルの発展</p>
第4期 (1970年代～?)	<p>目的：局地的・短期的計画の強調，低コストの交通運営政策，問題の多角化 (交通弱者問題，パラトランジット，就業時間の変更，住民参加，局地的ニーズへの対応)</p> <p>手法：アプローチの多様化</p> <ul style="list-style-type: none"> • 集計モデルの洗練化と簡略化 • 個人選択モデルの発展 • 増分的計画，反応的計画，モニタリングなどへの依存

注) * 出典：Jones (1983).

分布，そしてネットワーク配分の3つのサブモデルからなる。

この時期は，まさに60年代初頭にルイス・マンフォードが“アメリカ人は自動車教の信者であり，アメリカはハイウェイに乗って発展した”と批評した時期である。自動車の急増と急ピッチのハイウェイ建設は環境に影響を及ぼし始めていた。また，1960年代後半までに，都市中心部ではすでに，とくにピーク時において，自動車を抑制しないではすまされないことは明白になっていた。

1962年にアメリカでは連邦補助道路法が成立し，人口5000人以上の都市における総合的な交通計画が義務づけられた。BPR (連邦道路局，Bureau of Public Roads) が作成した指針では，「継続的」(continuing)，「総合的」(comprehensive) かつ「協調的」(cooperative) な，いわゆる3C計画を立てなければなら

ないことになっている¹⁾。1960年代中期はこの指針に沿って方法論が発展し、同時にコンピュータも発展した黄金時代であった。1965年までに224の都市圏がこのプログラムに参加したという。

ここで交通計画は第3期に入る。イギリスでは駐車料金が導入され、交通政策は公共交通の重要な役割を強調するようになる。交通計画はなお戦略的であったが、しかし総合的になり、公共交通と私的交通への投資配分を可変として代替プランが評価されるようになった。今日の交通計画において支配的な、いわゆる4段階推計法(=パーソントリップ法)の登場である。

この期の手法における特徴として以下の諸点があげられる。

- a. 自動車から公共交通へのシフトを調べるために、第4のサブモデルとしてモダルスプリット(交通機関分担)が付加されたこと
- b. このため、交通分析の基本単位は自動車トリップからパーソントリップへと変化したこと
- c. 交通決定のための個人選択モデルが展開され始めたこと

『1970年代前期になると、オートモビリティは、歴史的にはもはやアメリカ文明に変革をもたらす革新的な力ではなくなった。一般大衆のオートモビリティへの限りなき順応が終わりを告げたのは、政府が自動車交通を重大な社会問題として認めて、自動車産業を規制するようになったときである²⁾』。1960年代後半から1970年代前半にかけては、世界中で、あらゆる既成秩序、技術文明、経済成長、自然破壊などに対する異議申し立ての活発化した時期でもあった。交通環境にあっては、道路のネガティブな側面が強調され、都市における道路スペースの増大、近隣破壊、大気汚染、騒音、道路混雑、駐車スペースの増大、交通事故、公共交通の衰退、交通弱者のモビリティ、などが問題にされた。また、この頃から自動車に代わる新しい交通機関(dial-a-bus, PRT, dual mode)の考究が盛んになる。

一方、アカデミズムの分野では、1972年12月アメリカバージニア州ウイリア

1) Weiner (1983, 1986).

2) 秋山訳 (1982), p. 245.

ムスバーグで開催された都市交通需要予測に関する国際会議で、従来の交通需要予測手法に対する反省が行われた。従来の方法では

- ① 時間、費用、大量のデータを必要とすること
- ② 主要施設の建設のための長期的計画であるので、ローカルな規模での広範なオプション（政策代替案）に対応できないこと

という2点である。そして、交通政策に敏感な、しかも低廉かつ迅速な予測手法の開発の必要性が合意されたのである。いわゆる非集計アプローチ時代の幕明けであった。そして翌年（1973年）の10月に勃発した第1次石油危機はこの傾向をさらに加速させることになった。

1970年代の中期から後半にかけて、交通計画をめぐる環境はもう一度重大な転機を迎える。第4期への移行である。この期は以下のように特徴づけられる。

- a. 財源不足
- b. ローカルな交通運営政策の指向³⁾
- c. 計画スパンの短期化
- d. 交通問題の多角化と政策の多様化、ソフト化
- e. 住民参加とローカルニーズへの対応

この結果として、当然、技術的な方法論も変化しつつあり、簡略化等による修正4段階法や非集計選択モデルが用いられることもある。さらに極端な場合には、伝統的な方法論を捨て、交通増分のみに対する計画や、モニタリングによる反応的計画に頼るケースがある。また、アメリカでは、高額なパーソントリップ調査に代わるものとして、国勢調査に工夫を加えた通勤交通に関するデータベース“都市交通計画パッケージ”（UTPP）を利用する傾向もある⁴⁾。

したがって多様化が現在の特徴であるといってよい。しかし方法論的には第3期で開発された4段階推計法がまだ依然として支配的であることにはかわりはない。

3) 交通運営政策については【Appendix】参照のこと。

4) 土井（1986）。

2. 現代の都市交通計画手法

(1) 我が国の都市交通計画⁵⁾

現在、全国各地の都市圏における総合的都市交通計画の策定にあたっては、通常、建設省都市局所管の街路交通調査費補助の予算で都道府県・指定市等が事業主体となり、学識経験者・関係行政機関等で構成する委員会または協議会を設置して、調査・計画づくりが行われている。

計画内容は、① 都市交通施設計画として、道路、鉄道、都市モノレール、新交通システムなどの交通路と、自動車ターミナル、交通広場、駐車場などの交通結節点の計画、② 交通管理計画では、交通流円滑化対策、交通公害対策、交通安全化対策、自動車利用抑制策、公共交通サービス向上などの諸策の検討が含まれる⁶⁾。

交通需要予測はいわゆる4段階推計法による。ベースとなる交通データは、主として家庭訪問調査等によって得られたパーソントリップ・データが用いられる⁷⁾。都市圏単位の総合的な都市交通調査は、通常3カ年のスケジュールで実施される。すなわち、初年度には実態調査、2年度では現況解析、将来フレームの設定、そして3年度目で将来交通量の予測、および計画の策定が行われる。予測の目標年次は通常20年後である。

提案された計画案は、交通需要予測結果等をふまえ、総合都市交通計画としての妥当性、合理性の面から評価がなされる。検討項目は、土地利用計画との整合性、交通需要バランス、サービスレベル等、計画の目標水準の達成度、可能投資額と実現可能性、環境との調和、投資効果などである。

以上の計画案の評価を経て、代替案の中から最適案を選定し、優先着工順位

5) 岩崎信義(1981):都市交通計画のたて方(Ⅱ)―都市交通計画のための調査体系、「交通工学」16-7, pp.29-38より抜粋。

6) 交通管理計画は前出の交通運営政策と同義である。

7) 表1.2.2にはパーソントリップ調査都市圏の概要、表1.2.3には街路交通情勢調査の種類について解説した。なお表1.2.3は前掲岩崎論文より引用した。

等の整備計画が立案される。

(2) 4段階推計法

都市交通需要推計の1つの方法で、パーソントリップ(人の動き)をベースとして将来の交通手段別交通量を予測する。人間を単位として都市圏の1日の総交通需要を算定するのでマクロ的な経済動向などの影響を受けにくく、人口規模に応じた安定した都市交通需要が求められるので過少過剰な交通投資を避けることができる⁸⁾。また、パーソントリップ交通量をモーダルスプリット(modal split)というプロセスによって交通手段別交通量にふりわけられるわけであるが、このプロセスの介在によって交通機関相互のバランスのとれた総合的な交通体系の在り方を検討することができる、などがこの4段階推計法に基づく交通計画手法の特徴となっている。この4段階の推計フローを図1.2.1に示す。

第1ステップへは計画のフレームとして、将来の計画時点の経済指標(主として人口指標)、土地利用、計画交通体系(ネットワーク)などが与件として与えられる。そして、これらの情報と現況の交通調査データをもとにモデルが組み立てられ、ゾーン別の発生交通量および集中交通量が予測される。パーソントリップの場合、これらの交通量はそれぞれ各種の人口指標を説明変数として精度の高い予測が可能である。第2ステップでは、ゾーン間交通量が分布交通量推計モデル(現在バタン法や重力モデル)によって予測される⁹⁾。第3ステップでは、交通手段(一般には交通機関を対象にす

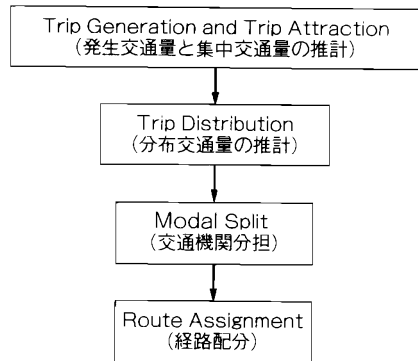


図1.2.1 4段階推計法のフロー

8) 従来の自動車台ベースでの推計では景気変動等の経済動向が直接交通量に影響するという不安定な構造を持っていた。

9) ゾーン内々交通量推計モデルを除きほぼ完成の域に達している。

る)のサービス特性やトリップメーカーに働く種々の制約などを考慮して、人間を単位とするパーソントリップ数を交通機関にふりわけ、4段階推計法の中で最も重要なステップである。モーダルスプリットの手法には、集計的アプローチや非集計アプローチなど数えきれない方法論が存在し未だ支配的なものはない。最後の第4ステップでは道路や鉄道の経路に交通量が配分される。この経路交通量が計画交通体系のネットワークの容量を越える場合には、ネットワークの見直し、交通機関のサービス条件の変更、などのフィードバックをかけることになる。この情報を得て代替的な交通ネットワークの評価がなされる¹⁰⁾。図1.2.2はこのプロセスを具体的に表現したものである。

10) 本書ではこの4段階推計法について詳しく紹介するスペースがない。佐佐木綱(1975):『都市交通計画』国民科学社、および土木学会編(1981):『交通需要予測ハンドブック』技報堂、などを参考にされたい。

1. 発生・集中の予測 (OD表の周辺分布の予測)

	1	2	...	j	...	n	計
1							U_1
2							U_2
...							U_i
n							U_n
計	V_1	V_2	...	V_j	...	V_n	T

U_i : 第iゾーン発生交通量
 V_j : 第jゾーン集中交通量
 T : 全域生成交通量
 (単位はすべてパーソントリップ)

2. 分布交通量の予測

	1	2	...	j	...	n	計
1							U_i
2							U_i
...							U_i
n							U_i
計				V_j			T

X_{ij} : i, j間分布交通量

3. 交通機関分担

(1)自動車OD表

	1	2	...	j	...	n	計
1							U_i^A
2							U_i^A
...							U_i^A
n							U_i^A
計	V_i^A						T^A

(2)マストランシットOD表

	1	2	...	j	...	n	計
1							U_i^M
2							U_i^M
...							U_i^M
n							U_i^M
計	V_i^M						T^M

自動車台数への換算

ただし
 $X_{ij}^A + X_{ij}^M = X_{ij}$

4. ネットワークへの経路配分

容量チェックと
 総合評価

整備計画

フィードバック

図 1. 2. 2 4段階推計法に基づく交通計画の流れ

表1.2.2.2 パーソントリップ調査実施都市圏の概要

項目	都市圏	第1回 東京	第1回 京阪神	第1回 中京	第1回 岡山県南	静岡・清水	札幌	第1回 仙台
調査年月	広島 1967年12月～ 1968年5月	第1回 東京 1968年 9月～11月	第1回 京阪神 1970年 10月～11月	第1回 中京 1971年 9月～10月	第1回 岡山県南 1971年 9月～12月	1971年11月～ 1972年1月	1972年 9月～10月	1972年 10月～11月
区域設定の 考え方	結果として広 島市への通勤 ・通学依存率 25%以上	東京を中心と するほぼ50 km圏	京阪神3市に 対する通勤・ 通学者の依存 率が5%以上	名古屋、岐阜、 四日市の3市 への通勤・通 学圏	岡山県南都市 計画区域	静岡県静岡都 市計画区域と 周辺	札幌市への通 勤・通学率5 %以上	仙台市を中心 とする半径約 30km圏
対象市町村	1市13町	1都3県	2府4県	3県	4市8町3村	2市	4市3町	6市10町1村
総人口(万人)	75	2,117	1,423	611	102	63	142	94
抽出率(%)	5	2	3	4	5	10	6	7
総トリップ (万トリップ/1日)	283	3,834	3,487	1,543	226	168	341	213
対象人口1人当たり 平均トリップ数	2.72	2.48	2.69	2.75	2.55	2.93	2.68	2.50
外出人口1人当たり 平均トリップ数	—	2.87	3.12	3.02	2.91	—	2.96	2.93
外出率(%)	—	86.5	86.1	91.2	87.7	—	90.5	85.0
自動車保有率 (台/1000人)	138	139	176	248	229	238	145	180
産業別人口構成 (1次:2次:3次)	5:37:58	7:40:43	4:43:53	8:47:45	13:40:47	7:42:51	5:25:70	10:26:64

項目	都市圏	北都九州	熊本	金沢	富山・高岡	高松・坂出	長崎	鹿児島	浜松
調査年月		1972年 10月～11月	1973年 10月～11月	1974年10月	1974年 10月～11月	1974年 9月～10月	1974年 9月～10月	1974年 10月～11月	1975年10月
区域設定の 考え方		北九州市、福岡市への通勤通学率5%を基準とした区域及び筑豊区域	熊本市を中心とする熊本都市計画区域	金沢市へ通勤通学者の依存率5%以上	富山・高岡広域都市圏(3市4町2村)と七の周辺地域(4市6町)	高松市、丸亀市、坂出市への通勤・通学者の依存率が20%以上	長崎市を中心に原則として通勤・通学率5%以上	鹿児島市への通勤・通学率10%以上	浜松市、浜北市、翼坂町、砥路町、可美村
対象市町村		13市43町	1市9町	2市4町	7市10町2村	3市12町	3市5町	1市8町	2市2町1村
総人口(万人)		312	57	49	78	59	63	55	57
抽出率(%)		5	7	8	8	7	7	6	8
総トリップ (万トリップ/1日)		787	146	128	172	142	154	142	150
対象人口1人当たり 平均トリップ数		2.76	2.84	2.89	2.62	2.62	2.67	2.82	2.90
外出人口1人当たり 平均トリップ数		3.03	3.23	3.35	3.08	3.07	3.01	3.19	3.30
外出率(%)		90.9	87.8	86.3	86.9	85.5	88.9	88.2	87.8
自動車保有率 (台/1000人)		191	240	300	270	288	160	214	429
産業別人口構成 (1次:2次:3次)		8:32:60	13:21:66	7:33:60	12:41:47	14:31:55	10:29:61	11:24:65	9:46:45

項目	都市圏	宇都宮	前橋・高崎	福井	周南	沖繩中南部	第2回東京	新潟
調査年月	1975年11月	1977年10月～11月	1977年10月～11月	1977年10月～11月	1977年9月	1977年10月～11月	1978年10月～11月	1978年10月～11月
区域設定の考え方	宇都宮を中心とした広域都市圏	前橋市、高崎市、伊勢崎市への通勤・通学者の依存率が4%以上	福井市、鯖江市、武生市への通勤・通学者の依存率が5%以上	徳山市、新南陽市	那覇市、沖縄市を中心とする沖縄中南部都市圏	東京を中心とする50km圏(茨城県南部を含む)	新潟市に対する通勤・通学者の依存率が10%以上	
対象市町村	4市8町1村	7市9町8村	3市16町4村	2市	7市2町15村	1都4県	5市9町4村	
総人口(万人)	69	101	55	14	81	2,807	81	
抽出率(%)	5	8	9	12	8	2	6	
総トリップ(万トリップ/1日)	155	230	146	35	189	6,652	187	
対象人口1人当り平均トリップ数	2.44	2.50	2.87	2.69	2.55	2.53	2.53	
外出人口1人当り平均トリップ数	2.96	3.08	3.43	3.06	2.92	2.92	3.03	
外出率(%)	82.5	81.2	83.8	87.9	87.3	85.9	84.3	
自動車保有率(台/1000人)	280	331	309	326	252	201	318	
産業別人口構成(1次:2次:3次)	19:33:48	15:36:49	23:30:47	9:38:53	9:21:70	6:36:58	12:28:60	

都市圏		第2回 東京	高知	第2回 京阪神	松山	備後	秋田	播磨	都市圏
項目		1981年 10月～11月	1980年 10月～11月	1980年 10月～11月	1979年 10月～11月	1979年 10月～11月	1979年 9月～10月	1978年 9月～10月	
調査年月		1981年 10月～11月	1980年 10月～11月	1980年 10月～11月	1979年 10月～11月	1979年 10月～11月	1979年 9月～10月	1978年 9月～10月	
区域設定の 考え方		名古屋、岐阜、 四日市の3市 への通勤・通 学圏	高知市を中心 とする高知広 域都市計画区 域	京阪神3市及 び大津市、姫 路市、奈良市、 和歌山市内に 対する通勤・ 通学者の依存 率が5%以上	松山市への通 勤・通学の依 存率10%以上	福山市、笠岡 を中心市とす る備後都市圏	秋田市への通 勤・通学の依 存率10%を基 準とした半径 30 km 圏	姫路市への勤 ・通学者の依 存率が2%以 上	の 設定 の 方 考 え
対象市町村		3 県	2 市 3 町	2 府 4 県	3 市 8 町	5 市 4 町	2 市 11 町 1 村	7 市 14 町	
総人口 (万人)		779	41	1,767	54	69	43	111	
抽出率 (%)		4	8	3	8	7	9	7	
総トリップ (5トリップ/1日)		1,837	112	4,360	165	161	106	247	
対象人口1人当たり 平均トリップ数		2.52	2.67	2.66	3.06	2.54	2.66	2.50	
外出人口1人当たり 平均トリップ数		3.01	3.09	3.19	3.55	3.00	3.16	2.84	
外出率 (%)		83.7	86.5	83.5	86.3	84.6	84.0	88.1	
自動車保有率 (台/1000人)		394	355	257	310	308	318	278	
産業別人口構成 (1次:2次:3次)		5:43:52	11:24:65	3:37:60	14:27:59	8:44:48	20:23:57	7:47:46	

項目	都市圏	宮崎	第2回 仙台	第2回 岡山県南	旭川	第2回 道央	第2回 富山・高岡	徳島
調査年月		1981年10月	1982年 10月～11月	1982年10月	1982年 9月～10月	1983年 9月～10月	1983年10月 (1984年 1月～2月)	1983年9月
区域設定の 考え方		宮崎市への通 勤・通学の依 存率が5%以 上	第1回パース ントリップ調 査、物流調査 の対象圏域及 び仙台市への 通勤・通学が 10%以上	岡山県南都市 計画区域	旭川市への通 勤・通学の依 存率10%以上	札幌市への通 勤・通学の依 存率5%以上	富山市及び高 岡市への通勤 ・通学の依存 率が10%以上 で通勤・通学 者数が2,000 人以上	徳島市への通 勤・通学の依 存率10%以上
対象市町村		2市8町	6市19町1村	4市7町2村	1市5町	5市4町	7市10町2村	3市10町
総人口(万人)		44	128	120	40	198 平均6.7 (6～12)	88	52
抽出率(%)		10	9	2	8		7.5(4.5)	8
総トリップ (万トリップ/1日)		116		287		521	226(195)	117
対象人口1人当たり 平均トリップ数		2.68				2.85	2.68(2.32)	2.43
外出人口1人当たり 平均トリップ数		3.18				3.40	3.18(2.95)	2.96
外出率(%)		84.2				83.8	84.3(78.7)	82.0
自動車保有率 (台/1000人)		391				325	418	414
産業別人口構成 (1次:2次:3次)		18:20:62				3:24:73	11:37:52	13:30:57

表 1.2.3 街路交通情勢調査

調査名	目的	調査内容	調査地域	調査規模
自動車OD (都市OD)調査	道路交通計画 策定のため乗 用車、貨物車 などの車種ご との流動をと らえる	出発地、目的地、出発地目的地の 施設、出発・到着の時刻、運行目 的、乗車人員、積載品目など	・地方中心都 市圏	・おおむね10 年に1回 ・1日周流動
パーソントリップ 調査	都市交通計画 策定のため人 の流動をとら える	個人属性(性・年齢・職業・現住 所・勤務先など) 出発地、目的地、出発地目的地の 施設、出発・到着時刻、交通手段 の種類、各手段の所要時間、乗り 換え地点、自動車運転状況	・大都市圏～ 地方中核都 市圏等	・おおむね10 年に1回 ・1日周流動
物資流動調査	都市交通計画 策定のため物 資の流動をと らえる	事務所属性(業種・所在地・敷地 ・延床面積・施設規模、自動車保 有台数等) 事務所別物資流動(搬入・搬出量) (物質の種類・出発地送り先・輸 送手段・中継地など) 貨物車運行調査票(自動車OD調 査と類似の内容)	・大都市圏～ 地方中核都 市圏	・おおむね10 年に1回 ・1日周流動

注) 都市OD調査は3年に1度の全国道路交通情勢調査に合わせて実施する。

【Appendix】交通運営手法

表 1.2.4 に交通運営手法 (Traffic Management Techniques) を整理しておく。

表 1.2.4 交通運営手法一覧*

目的	大区分	中区分	運営手法名
交通流の円滑化	a. 交通流の円滑化策群	a. 1 レーンの効率的運用	a. 1. 1 一方通行化 a. 1. 2 中央線変移システム
		a. 2 交通管制強化	a. 2. 1 信号制御 a. 2. 2 広域交通管制システム
		a. 3 自動車の誘導	a. 3. 1 交通情報サービス a. 3. 2 自動車総合管制システム a. 3. 3 駐車場案内システム
		a. 4 交通流阻害要因の排除	a. 4. 1 駐停車の排除 a. 4. 2 右左折車の排除 a. 4. 3 大型車の分離 a. 4. 4 パスベいの設置
公害発生車の通行規制	b. 特定車両の通行規制	b. 1 特定車両の通行規制	b. 1. 1 大型車通行規制 b. 1. 2 夜間通行規制 b. 1. 3 走行速度規制

自動車交通量の削減	c. 自動車利用の抑制	c. 1 地区内通行規制	c. 1. 1 トラフィック・セル c. 1. 2 ソーンシステム
		c. 2 都心部乗り入れ規制	c. 2. 1 特定車両流入規制 c. 2. 2 プライシング c. 2. 3 計画的混雑
	d. 公共交通サービスの向上	d. 1 鉄道輸送力の増強	d. 1. 1 列車の増発 d. 1. 2 列車の増結 d. 1. 3 鉄道車両の改良
		d. 2 バス輸送力の増強	d. 2. 1 バス路線の整備 d. 2. 2 バスの増発 d. 2. 3 バス車両の改良
		d. 3 駅へのアクセス交通の利便化	d. 3. 1 パーク・アンド・ライド d. 3. 2 徒歩・自転車空間の整備
		d. 4 鉄道とバスの乗継ぎの利便化	d. 4. 1 ライド・アンド・ライド d. 4. 2 共通運賃制 d. 4. 3 乗車券の共通化 d. 4. 4 タイヤの調整
		d. 5 バスの定時性定速性の改善	d. 5. 1 バス優先策 d. 5. 2 バスロケーションシステム
		d. 6 新しいバス運行方式	d. 6. 1 ソーンバス d. 6. 2 ミニバス d. 6. 3 急行バス d. 6. 4 予約バス d. 6. 5 深夜バス d. 6. 6 ダイアル・ア・ライド d. 6. 7 デマンドバス d. 6. 8 フリーバス
	e. 自動車の効率的利用	e. 1 タクシーの利便化	e. 1. 1 相乗りタクシー e. 1. 2 ジットニー e. 1. 3 タクシーベイ e. 1. 4 タクシー・コールボックス
		e. 2 自家用車の相乗り促進	e. 2. 1 カープール／バンプール e. 2. 2 相乗り車優先
		e. 3 公共レンタカーの促進	e. 3. 1 短期レンタカー
		e. 4 端末貨物輸送との結合強化	e. 4. 1 共同一貫輸送 e. 4. 2 一貫パレチゼーション
		e. 5 貨物の業態転換の推進	e. 5. 1 共同集配 e. 5. 2 RDTシステム
	f. 需要発生のコントロール	f. 1 需要発生施設の立地規制	f. 1. 1 事業所立地規制 f. 1. 2 住宅立地規制 f. 1. 3 物流施設の移転(商物分離)
		f. 2 需要発生源と集中源の近接化	f. 2. 1 職住近接化
		f. 3 需要ピーク時の平準化	f. 3. 1 時差出勤 f. 3. 2 週休曜日の変更
		f. 4 需要発生様式の改善	f. 4. 1 商習慣の改善(五十日) f. 4. 2 通信手段による代替

注) * 出典：京阪神都市圏総合都市交通体系調査推進協議会編「交通運営計画調査総集編」1980年3月。

第3章

交通行動分析の新展開：最近の動向

1. 非集計アプローチ

交通需要分析の分野において最近最も研究の盛んなものに非集計行動モデルあるいは非集計選択モデルがある¹⁾（以下ではこれらを非集計モデルあるいは非集計アプローチと呼ぶ）。しかし本アプローチの理論的展開やその実証的研究が未だ発展途上にあること、および本アプローチに基づく交通需要推計の方法論が集計モデル（従来の4段階推計法を対比的にこう呼ぶ）とは異なる側面を持っていることなどから、本アプローチの交通需要推計法としての利害得失が必ずしも体系的に整理されているとは言えない現状にある。そこで本節では非集計アプローチの基本的な考え方を整理し、その理論的展開を中心とした最近の研究動向と今後の課題をまとめておく。

1-1 基本的な考え方

非集計モデルでは人間の選択行動についての次の3つの考え方を基礎に置いてモデルが組み立てられる。

- ① 個人が選択行動における意志決定の単位であり、個人はある選択状況の中から最も望ましい選択肢を選択するという合理的選択行動を仮定する。
- ② このとき、ある選択肢のもつ「望ましさ」あるいは「効用」(utility)は、

1) アメリカでは disaggregate choice model あるいは discrete choice model, イギリスでは individual choice model と呼ばれることが多い。ただし、広義に individual choice model という場合には確率効用理論に基づく disaggregate/discrete choice model のほかに後述するアクティビティ・アプローチなどの個人行動モデルが含まれている。

当該選択肢のもつ特性とその個人の属性によって表されるが、観察者にとってはその選択肢のもつ特性のある部分は評価することができず、その個人の得る効用との結びつきが特定化できない。したがって、観測しうるかぎりでの個人属性や選択肢の特性が同質とみなせる集団 (homogenous segmented group) においても、効用最大化の結果としての選択でさえも、観測されない個人属性や特性のために常に同一の選択に決められるものでなく、当該選択肢が選択される確率の形で表現できるとしている。これがいわゆる確率効用理論 (random utility theory) と呼ばれるものであり、相互に排他的な選択肢の組に直面した個々の意志決定者はその中で最も大きな確率効用を示す選択肢を選ぶものと仮定している。

③ とくに交通選択の局面では、個々人の置かれている固有の状況や個人属性が選択過程に大きく影響を及ぼすという点が特徴的である。したがって、それは、社会全体の中での交通現象を巨視的にとらえることから何らかの社会的法則を見いだそうとする方法論とは根本的に異なり、社会構成メンバーにとっての行動原理を探らんとする微視的な接近法の立場に立っている。

さて、これらの前提のもとで確率効用理論に基づく非集計モデルの数学的記述について簡単に述べておこう。まず、この分野での先駆的な研究である McFadden (1974) では、個人の交通手段 (以下モードという) の選択において、効用最大化問題にもっともらしい (plausible) 仮説を設けることによって二項 (および多項) ロジットモデルが導出されている。すなわち、個人 n のモード i に関する確率効用を U_{in} とし、これを次式によって定義する。

$$U_{in} = V(X_i, S_n) + \varepsilon_{in} \quad (1 \cdot 2 \cdot 1)$$

ここに、 U_{in} : 個人 n のモード i に関する確率効用

$V(X_i, S_n)$: 観測されたモード i の特性ベクトル X_i (たとえばサービス特性としての所要時間、料金など) と個人属性ベクトル S_n (たとえば、車の保有状態、収入、年齢、性別など) との関数として表され、母集団の代表的選好を反映している確定効用 (representative utility) と呼び、以下では $V_{in} = V(X_i, S_n)$ と記す。

ε_{in} : 個人 n のモード i に関する効用を説明づけようとするときに、ここで

取り上げた以外の観測されていない因子で選択に影響を与える評価不可能な確率変数であり、確率項 (random component) と呼ぶ。

そして効用最大化行動とは、モード i の選択はすべての交通モードの中で $U_{in} > U_{jn}$ が満たされることを意味し、この事象の生起確率 $Pr_n(i)$ が個人 n のモード i の選択確率と定義される。すなわち

$$Pr_n(i) = Prob[\epsilon_{jn} - \epsilon_{in} < V_{in} - V_{jn}, \text{ for all } j, j \neq i] \quad (1 \cdot 2 \cdot 2)$$

さらに確率変数 ϵ_{in} ($i=1, 2, \dots, J_n$; J_n は個人 n の選択肢集合) の同時確率密度関数 $f(\epsilon_{1n}, \epsilon_{2n}, \dots, \epsilon_{Jn})$ を用いると、便宜的に選択モード i を第1番目のモードとすれば

$$Pr_n(1) = \int_{\epsilon_{1n}=-\infty}^{\infty} \int_{\epsilon_{2n}=-\infty}^{V_{1n}-V_{2n}+\epsilon_{1n}} \dots \int_{\epsilon_{Jn}=-\infty}^{V_{1n}-V_{Jn}+\epsilon_{1n}} f(\epsilon_{1n}, \dots, \epsilon_{Jn}) d\epsilon_{Jn} \dots d\epsilon_{1n} \quad (1 \cdot 2 \cdot 3)$$

と書けることになる。この導出はもともとは心理学者 Thurstone (1927) の研究にまで遡ることができ、同じく心理学者で選択行動の数学的記述に寄与した Luce (1959) の研究の基礎となるものでもあった。また交通需要分析の分野に対しては、Quandt (1968, 1970) の消費者選択行動における選好特性のばらつきに関する研究にも影響を与えた²⁾。これらの研究をふまえて McFadden は、選択確率の関数形を特定化するさいに確率項 ϵ_{in} のもつ確率分布をどのようにうまく設定できるかという問題に帰着した。たとえば二項選択問題では、2つの確率項 ϵ_{1n} と ϵ_{2n} の差の分布がロジスティックな分布形を示すものとして、極値分布の1つである Gumbel (ガンベル) 分布を仮定している。また多項選択問題に対しては、確率項 ϵ_{jn} ($j=1, 2, \dots, J_n$) が次のような互いに独立な同一のガンベル分布に従うと仮定することにより多項ロジットモデル (Multinomial Logit Model) を導き出している。

$$\left. \begin{aligned} F(\epsilon_{jn}) &= \exp(-\exp(-\epsilon_{jn})) \\ f(\epsilon_{jn}) &= \exp(-\epsilon_{jn}) \exp(-\exp(-\epsilon_{jn})) \end{aligned} \right\} \quad (1 \cdot 2 \cdot 4)$$

2) Domencich and McFadden (1975), p. 53.

$$Pr_n(i) = \frac{\exp(V_{in})}{\sum_{j=1}^m \exp(V_{jn})} \quad (1 \cdot 2 \cdot 5)$$

またロジットモデル導出の別の方法として、McFadden (1975), Ben-Akiva & Lerman (1985) は、確率項 ε_{jn} が従う確率分布の性質を利用して多項選択問題を巧みに二項選択問題に変形してゆく方法を示している。すなわち先の (1・2・2) 式は、次式に示すように、選択されるモードの確率効用（ここではモード1が選択されるとして U_{1n} ）がそれ以外の選択肢の合成された確率効用（ C_n 個の代替案をもつ効用 $\max(U_{jn}, j \in C_n)$ より大きい確率を表している。

$$Pr_n(1) = Prob[V_{1n} + \varepsilon_{1n} > \text{Max}(V_{jn} + \varepsilon_{jn}), \text{ for } j \in C_n, j \neq 1] \quad (1 \cdot 2 \cdot 6)$$

これはさらに確率項 ε_{jn} がそれぞれパラメータ (η_j, ω) のガンベル分布に従うとき、 $\text{Max} \{ \varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n}, \dots, \varepsilon_{jn} \}$ もパラメータ $\{ (1/\omega) \ln \sum_j \exp(\omega \eta_j), \omega \}$ のガンベル分布に従うという性質から、一般的に以下の形のロジットモデルを得る。

$$Pr_n(i) = \frac{\exp(\omega V_{in})}{\sum_{j=1}^m \exp(\omega V_{jn})} \quad (1 \cdot 2 \cdot 7)$$

この式でガンベル分布のばらつきに関するスケールパラメータを $\omega=1$ とすれば式 (1・2・5) と一致することになる。

以上のロジットモデルの誘導に最も大きく寄与しているのは、確率項の IID (independently and identically distributed) 仮定と、それに関連するスケールパラメータ ω の前提条件である。このうち前者は青バス/赤バス問題として、後者はロジットモデルの改良を目的とした Nest Logit Model (以下 NL モデルと呼ぶ) の導出問題として理論的展開を見せることになる。ロジットモデルの構造式に関する赤バス/青バス問題は Luce (1959) による選択行動理論の「無関連代替案の独立性 (Independence of Irrelevant Alternative: IIA)」の公理と呼ばれる IIA 特性のパラドックスとして登場してきたものである。すなわちロジットモデルにおいて2つのモードの選択確率の比をとれば、それは2つのモード以外の代替案には無関係に定まってしまうために、たとえばまったく同一のバ

スの色だけ塗り替えて種類を増やしただけでも選択確率が変化してしまうという矛盾が発生する。この矛盾は確率効用における確率項が互いに独立で同一であるという仮定から派生するものであり、代替案間の類似性に関する評価方法さえあれば回避できる。たとえば、Daganzo (1979) は確率項に共分散を有する多項正規分布を仮定することにより Probit Model を導くことで1つの解決を与えている。

つぎにスケールパラメータ ω については、これがガンベル分布のばらつきに関係するものであることから、Daly & Zachary (1978), McFadden (1978 a) は代替案間の類似性を考慮できる NL モデルの考え方を示している。ここで前者による定式化に従えば、 r 個の代替案からの選択を考えるとき、最初の s 個 (1, 2, ..., s) の選択と後の $r-s$ 個 ($s+1$, $s+2$, ..., r) の選択とにまず大別することにし、類似性の高い s 個の代替案のもつ確率効用を束ねた効用値を定義することによって以下に示す階層的な選択構造をもつモデルとなっている。

$1 \leq j \leq s$ について

$$Pr(j) = \frac{\exp(\nu V_j)}{\sum_{k=1}^s \exp(\nu V_k)} \cdot \frac{\exp(\nu V')}{\exp(\nu V') + \sum_{k=s+1}^r \exp(\nu V_k)}$$

$j \geq s+1$ について

$$Pr(j) = \frac{\exp(\nu V_j)}{\exp(\nu V') + \sum_{k=s+1}^r \exp(\nu V_k)} \quad (1 \cdot 2 \cdot 8)$$

ここに $V' = (1/\lambda) \ln \sum_{k=1}^s \exp(\lambda V_k)$ であり、パラメータが λ となっている。一方、McFadden は住宅立地における居住地と住宅タイプの2つの選択問題を例題として取り上げ、条件つき選択構造のもとで、効用の確率項を居住地の選択にのみ関係するものと、居住地および住宅タイプの両方に関係するものとに分解できるとみなして、次式で定義される包括的合成変数 I_c による NL モデルを提案した。

$$I_c = \ln \left[\sum_{k=1}^{N_c} \exp(\beta X_{ck}) \right] \quad (1 \cdot 2 \cdot 9)$$

$$Pr(k|c) = \frac{\exp(\beta X_{ck})}{\exp(I_c)} = \frac{\exp(\beta X_{ck})}{\sum \exp(\beta X_{ck})} \quad (1 \cdot 2 \cdot 10)$$

$$Pr(c) = \frac{\exp(\alpha Y_c + (1-\sigma)I_c)}{\sum_{m=1}^c \exp(\alpha Y_m + (1-\sigma)I_m)} \quad (1 \cdot 2 \cdot 11)$$

この(1・2・11)式は、この段階では新しいパラメータの導入という意味づけに終わっていたのであるが、後にはより一般的な表現方法として、確率効用を規定する確率項の多項分布に関する一般形を含むGEVモデル(Generalized Extreme Value Model)の検討を通じて、このパラメータがそのモデルの関数形の特定化によって理論的に整合するものであることを示した³⁾。このGEVモデルの開発は確率効用理論に基づくいわゆるロジットモデル族に関する一般的表現として評価されるが、これと同様な展開としてWilliams(1977)によっても関数形の一般的表現の体系化が行われている。さらに、Anas(1979)はロジットモデル式の意味づけを情報理論におけるエントロピー最大化の観点から試みており、これらを含めた今後の理論展開が期待されている。

1-2 非集計アプローチの課題と最近の研究動向

ここでは従来から指摘されている非集計アプローチに関する諸課題のうちでとくに重要な次の2点について、その問題の所在とそれにたいする最近の研究動向を紹介する。

(1) 予測手法としての問題

従来から非集計モデルの最大の課題として多くの研究者が指摘するものに予測問題への適用性がある。とくに長期的かつ広域的レベルでの交通需要予測への適用は、以下のような観点からみて従来の4段階推計法に代替しうるのは難しいと言われている。

3) McFadden (1978b).

- ① 純粋な形での非集計モデルによる予測プロセスにおいては、個人属性や選択行動特性を十分反映できる非常に詳細なレベルでの土地利用あるいは社会経済属性の予測値を必要とする。
- ② 全体フレームの構成問題を解決する方法が見あたらない。すなわち、個人の意志決定・行動原理のレベルが種々の選択問題ごとに異なるために、たとえば住宅地選択の議論と交通手段あるいは車の保有/非保有の選択の議論とを同じレベルで扱うことは難しい。
- ③ 予測段階での集計問題に対する解決方法が十分実用に供することができるかどうか。

これらに対して、集計問題のように、技術的な方法論の開発・体系化⁴⁾によって現況再現においては実用的には問題が少ないというケースもある。そして、むしろこのような問題点を回避できるような予測対象に非集計モデル適用の有用性を見いだそうとする考え方が定着しつつあると言える。たとえば、短期的な交通政策の評価問題への適用⁵⁾は、非集計モデルの予測段階での諸問題が回避可能であるとともに、従来の集計モデルでは取り扱えない詳細な選択規定要因を含めたかたちで交通政策評価が定量化できる点で非常に有効である。

また非集計モデルによる予測に関係して、モデルの時間的・場所的移転可能性(Transferability)の研究が最近多くなされている。モデル作成のために用いたデータの年度や都市とは異なる年度や都市に対してこのモデルの適用可能性を検討するものであり、主に非集計モデルはそのモデル同定化のさいにゾーニングの影響を受けないため、集計モデルに比べて移転可能性が高いとされていることから、モデルの実用面での汎用性を示すことが主題となっている。しかし、この性質からただちに既存の非集計モデルを他の地域や時点にまで拡張することが計画の予測プロセスの中でどのような意義を有するのか、あるいはその結果をどのように評価すべきかという判断の問題が残っている。また、たとえばモデル同定化において、はたしてゾーンにかかわる選択要因を実際のデー

4) Koppelman (1976).

5) 杉恵(1981)など。

タから完全に排除可能かどうかという問題などまだ検討の余地が大きいと考えられる。今後は予測問題としてよりもむしろモデルの説明力の安定性を検討する問題として移転可能性の議論がなされることが望ましい。

(2) 行動モデルとしての改良

最近のロジットモデルを中心とした非集計モデル改良の試みは、実用上の技術的な手法の開発に重きが置かれている。ここではそれらのうち行動モデルとしてより説明力のあるモデル構築のための改良について紹介する。

① 意識データの導入

個人の選択行動に働くさまざまな要因を意識データとして説明変数に取り込んでゆく方法が提案されている。これは、モデル構造の面から言えば、確率項の中身をより限定してゆくことを意味し、本アプローチの選択行動分析的側面を重視しているものと言える。しかしそのために逆に予測モデルとしての有用性の低下などの問題点が生ずるし、モデル同定化においてもどの程度これらの意識データを取り入れればよいのかという客観的な評価方法がないことも指摘されている。したがって今後は、選択行動様式の差異に着目するという観点から見て、セグメント分割 (Market Semmentation) のための分析手法として活用することが有効となろう。ただし過剰なセグメント分割は予測段階での問題を大きくするので避けねばならない。また意識データは個人々人にとっての選択行動における諸制約や、ある代替案を選択肢集合に含めることができない理由などを明らかにできるので、モデルが説明する合理的な選択行動の可能な範囲を知ることにも活用できよう。

② NL モデルや Dogit モデル⁶⁾の開発は、IIA 特性の緩和を目的としたロジットモデルの改良の中での中心的な関心事であった。これらのモデルの実際面での有用性は、とくに多次元選択行動問題において数多く議論されているところである。ここでの重要な課題は、多次元選択行動問題における選択の階層性をどのように同定してゆくかという点である。しかし、NL モデル

6) Gaudry and Dogenais (1979), Hensher (1982).

であればパラメータ推計結果の現況再現性から結果的に選択構造を表現してゆく方法がとられ、多次元選択行動の記述という意味からは十分とは言えない。また、個人の行動様式としては、このような多次元選択における選択肢情報がむしろ不完全な場合が多く、ある限定された選択状況では合理的な行動原理を示している、全体として見れば不完全情報や制約下での選択行動を強いられているわけで、この点での今後の理論展開が切望される。

③ 選択肢集合 (Choice Set) の設定方法

ロジットモデルでは選択肢集合に含まれる各代替案に関する情報をあらかじめ知っておく必要があるが、たとえば、目的地選択や端末交通手段/最寄り駅選択の場合などのように数多くの代替案が想定できる場合には膨大な数のデータ処理を伴うことになる。そのため、とくに目的地選択問題において、モデル同定の段階で選択肢集合を絞り込む方法がいくつか提案されている。しかし、これは非集計モデルの適用範囲を広げるための技術的研究としては評価できようが、このような操作が導入されればされるほど行動論的な説得力が弱められてしまうことにもなりかねない。もしも、このような場合に行動論的な立場をより明瞭にしようとするならば、この選択肢集合それ自体が何らかの行動理論（あるいは行動モデル）によって設定されることが必要となる。この時点ではロジットモデルを中心とする非集計選択モデルの体系は、与えられた選択肢集合の枠組みの中での合理的選択行動を説明するサブシステムの1つのツールとして位置づけられることになる。

2. アクティビティ・アプローチ

1970年代に入ってから、アクティビティ・アプローチと呼ばれる交通行動分析の新しい流れが生じてきた。Hemmens (1970) はこのアプローチの原典とも言えるもので、分析のための概念的フレームワークの提供という点でとくに意義が大きい。1日の活動 (activity) ならびに交通 (trip) の連結状態に焦点が

あてられ、「時間」、「空間」、そして「活動」という3つの要素の相互依存関係として人間活動システムが理解されるべきことを強調する。とくに、時間は「1日の時刻」(time-of-day)と「活動滞在時間」(sojourn duration)の二様において重要とされる。具体例としてニューヨークの交通調査データを用いて交通連結形態が数量的に分析されており、住居形態、人種、自家用車保有台数、世帯主年齢、職業上の地位などがトリップ数に関係のあることが示されている。このヘメンス論文とならんで以後の分析フレームに重要な貢献をしたのはHagerstrand (1970)の時間空間地理学である。図1.3.1に示すように、かれは時間軸と空間軸からなる時間空間(time-space)において活動の連結状態を模式的に表現している。

従来のアプローチでは、都市平面での交通行動パターンを単にトリップにのみ着目して分析していたのに午し、時間軸を導入することによって活動の時刻や滞在時間が一躍クローズアップされ、かつまたトリップは単にそれらの活動を連結する派生需要であり、活動から大きく制約を受けていること、さらに交通と活動が3次元上で相互依存関係にあること、などが改めて浮き彫りにされることとなった。とくに、この時間空間座標においては、

- ① space上の点は土地利用や施設を与えていること
- ② space上の点を結ぶ線分はOD分布を与えること
- ③ time-space上の斜線の傾きは交通手段の速度の逆数であること
- ④ time-spaceにおける縦方向の線分は活動滞在時間を与えていること

などが一目瞭然であり、したがって上記4項目のどれか1つに変更を加えたとき、そして他の条件にして等しいかぎり、それが交通/活動スケジュールに与える影響を視覚的にとらえることができる。それゆえ交通/活動分析における記述的ないし説明的ツールとして一躍脚光を浴びることになったのである。そして以後この分野の多くの研究は多かれ少なかれこの概念図から影響をうけることとなる。その意味でハーガーストランドの時間空間座標は交通行動分析の分野における新しいパラダイムの誕生であった。

以後、アクティビティ・アプローチと広く呼称されるものとして、上記の時

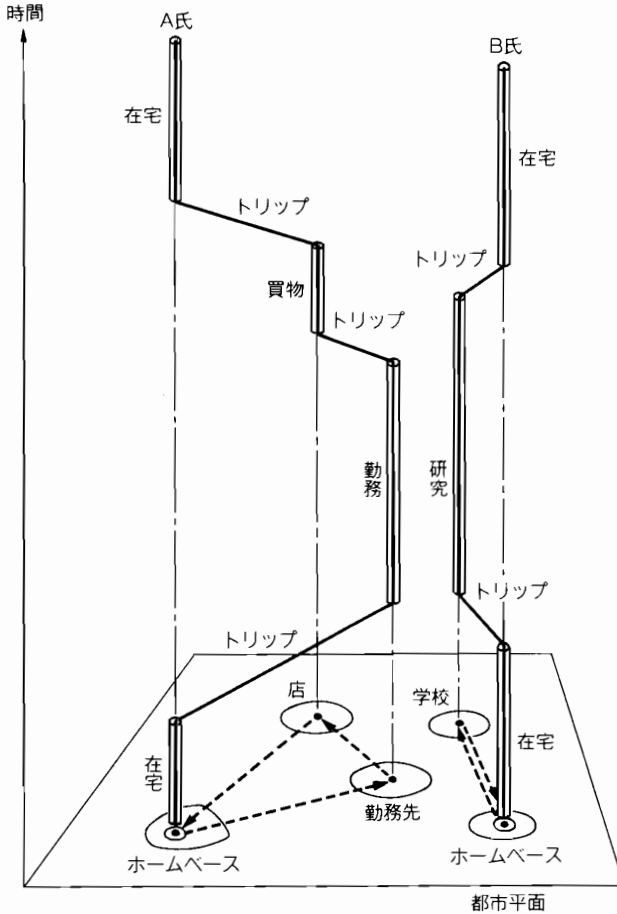


図 1. 3. 1 時間空間における活動とトリップの連結状態

間空間地理学, in-depth インタビュー法⁷⁾, 活動日誌の分析, そして世帯内の相互依存関係の分析, などがよく研究されてきた。

オクスフォード大学交通研究所 (TSU) では, 世帯における交通決定のメカニズムの記述方法をいくつか考案しているが, 中でも, のちに TSU-アプロー

7) インタビュアーが被験者に対してコメントを加える形式で進めてゆくインタビュー。

チと呼ばれるようになったHATS (Household Activity-Travel Simulator) というゲーミング・シミュレーション的手法が有名である⁸⁾。個々の世帯に対しある種の交通政策の変更を外生的に提示し、交通盤で世帯の各メンバーの反応を記録してゆくものであり、各メンバーが交通決定にあたりいかなる関係プレイを見せるかに焦点が当てられている。HATS インタビューの手続きを図1.3.2に、HATS ゲーム・ボードを図1.3.3に示す。

このHATS インタビューの手順については、杉恵(1984)の紹介論文で以下のように解説が与えられている。

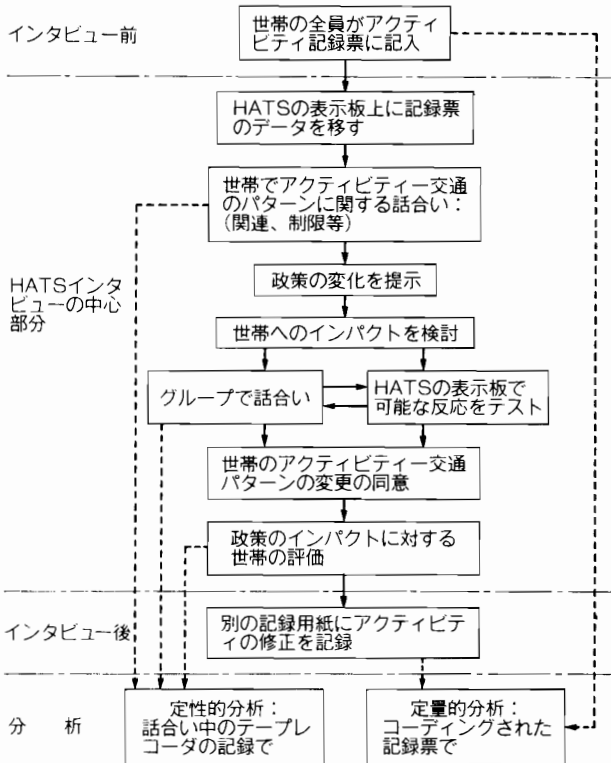


図1.3.2 HATS:インタビューの手順

出典:杉恵(1984), p.24.

8) Jones (1979), Jones et. al. (1983).

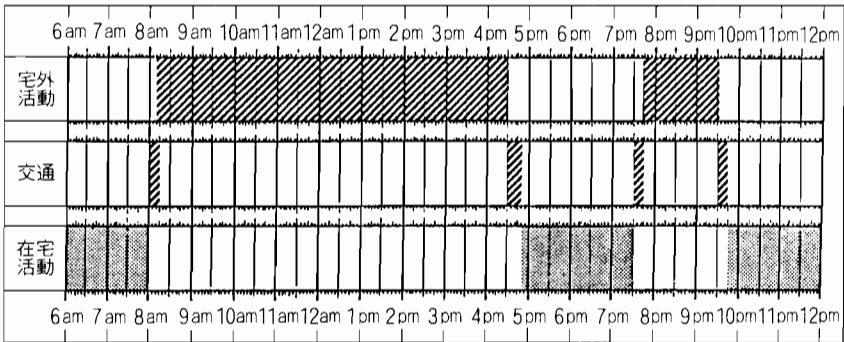
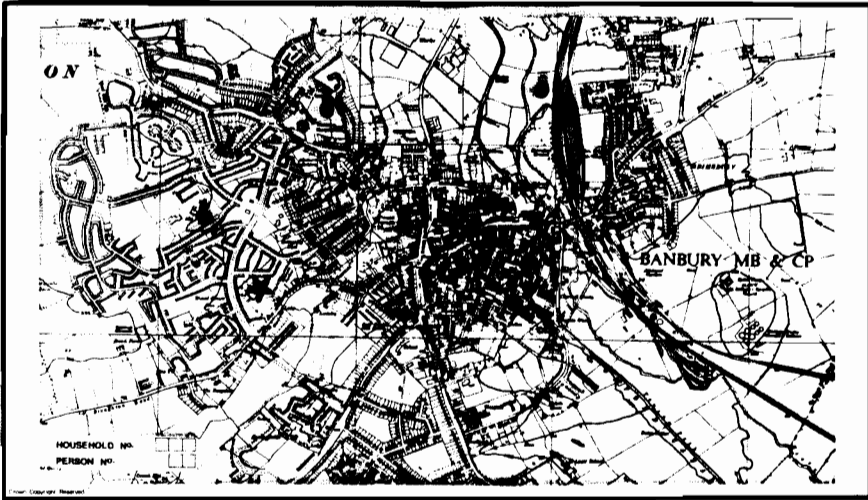


図1.3.3 HATS:ゲームボード*

注) * 出典: D. N. Parks and N. J. Thrift (1980) *Times, Spaces, and Places: A Chronogeographic Perspective*. Wiley.

個人に対して単にアンケート調査で交通政策の変更に対する対応策を質問すると、他の家族構成員との相互依存関係が十分考慮されないため、実際の場合の行動とは違った反応が返ってくる場合が多い。HATSでは、その対応策ごとに表示版でシミュレートし、調査員がその論理性をチェックする。不都合な点があれば、そのつど家族全員で相談させるため、最終的に実際の行動に近い

ものが得られる可能性が高い。このインタビューはテープレコーダに記録されており、その後の定性的な分析に用いられる。この方式はこれまでいくつかの政策評価に適用され、その有効性が確認されている。

ところで、グッドウィンは7つのキー概念でこのHATSの構造を要約している⁹⁾。

- a. 活動 (activities): 活動が本源的 (primary) であり、交通は派生的 (derived) であると理解される。
- b. 時間・空間 (time-space): 活動と交通はともに時間・空間上の特定の2点を結ぶパスとして描かれる。そしてそれらはいずれも1日を通じて不連続なく結ばれている。
- c. 制約 (constraints): 時間・空間の制約、費用制約、交通手段の利用可能性などが考慮される。
- d. 世帯 (household): 世帯のライフサイクル・ステージが世帯の交通生成パターンに関係している。
- e. 相互作用 (interactions): 世帯メンバーの連係プレイなど交通決定にあたってのメンバー間、世帯間の相互依存性に着目する。
- f. 適応 (adaptation): 新しい交通政策や制約が提示されたとき、世帯はそれらに適応すべく巧妙かつ独創的な方法を工夫する。
- g. 変化 (change): 交通政策が提示されたとき、習慣、閾値、制約などを変更して対応するという反応を観察でき、かつシミュレートできる。

以上のような枠組みで交通行動を分析しようとするとき従来の断面分析では無理があるので、in-depth インタビュー法やシミュレーションが活用されるわけである。またCARLA¹⁰⁾と呼ばれる代替案探索プログラムとの併用、イギリスの都市バンベリーでの適用、など実際的な展開を見せつつある¹¹⁾。

9) Jones et. al. (1983) の序文。

10) 数学的ではないが、非集計のレベルで、ある交通政策に対する代替的なアクティビティ・スケジュールを用意し、与えられた種々の制約をクリアする実行可能なスケジュールを探索するプログラム。

11) HATSとCARLAについては杉恵(1984)の紹介が詳しい。

1981年7月にオクスフォードで開かれたTSU主催による“Travel Demand Analysis: Activity-Based and other new approaches”と題する国際会議は、それに先立つ10年間のアクティビティ・アプローチによる交通研究を総括し、今後の展望を論じ合うはじめての機会であった。この会議の成果は論文集¹²⁾に収められている。参加者の共通した認識は、アクティビティ・アプローチとは、「時間空間制約の重要性を強調するフレームワークの中で、活動の構造に焦点をあて、個人または世帯の顕示的交通パターンを考究する¹³⁾」ということであった。そして今後明確にされるべきテーマとして、① ファミリー・ライフサイクルと交通パターンとの関係、② 交通決定の動的プロセス、③ アクティビティ・アプローチのための調査方法、の3つが指摘された。

アクティビティ・アプローチの実際の意義は以下のようにまとめられよう。すなわち、交通問題解決のために新しく交通サービスを提供する交通投資よりも、たとえばフレキシブル・ワーキング・アワーのように活動の時刻を変えることによってずいぶん安上がり交通混雑緩和の効果が期待できる場合がある。こういった活動の時刻に関する調整も広い意味でアクセシビリティに変更をもたらすので、従来の交通政策にかわる重要な政策手段になりうるという点を評価・分析して見せることができる。言い換えると、従来の方法は、本源的活動を所与とし、交通を派生的需要とした需要追従型の政策評価体系を基盤としていたが、このアプローチでは、本源的活動をコントロールすることによって派生需要である交通をコントロールできるという積極的な姿勢に立っている。

実際、フレキシブル・ワーキング・アワーについては、サンフランシスコやシアトルでの試行事例で、余暇時間の増加、カープーリングの促進、公共交通との連結性の改善などが達成されたことが報告されている [Damm (1984)]。そして職場への到着時刻のスケジューリングは大部分個人の社会経済属性や世帯のライフサイクルステージに依存していることも明らかにされている。Dammはまた将来の研究の方向として、活動の生成メカニズムにまで遡った

12) Carpenter and Jones (1983).

13) 同上, p. 471.

分析の必要性を主張している。興味をそそるテーマではあるが、反面、実証性と計量的モデル構築の可能性は大きく減ぜられることになろう。

一方、アクティビティ・アプローチ、とくにHATSは、そのゲーミング・シミュレーションの性格から明らかなように定性的分析に主眼があって、計量的モデルビルディングにはいまだしの感が強い。しかしその個々の局面については、たとえば後述するトリップチェーン分析などの形で計量的モデルビルディングの努力が展開されている。したがって、アクティビティ・アプローチとトリップチェーン分析とは代替的な関係にあるのではなく、むしろ補完的な関係として促えるほうが適切であろう。

これら兩者をつなぐ共通のフレームは先述の時間空間座標であり、とくに時刻的に固定された2つの活動の間に存在する時間空間プリズムをめぐる分析が中心となろう。交通選択にあたってのプリズムの重要性を強調したものにBurns (1979)があり、ルート選択の問題が主として扱われている。また、トリップチェーンとの関連でプリズムを明示的に扱ったKondo, Kitamura (1986, 1987)も今後の発展の契機になろう¹⁴⁾。

3. トリップ連結への関心

交通行動分析の伝統的な仮定は、各トリップが分析の単位として個々別々に用いられるということであったが、最近の多くの研究ではこれは疑問視されてきている。すなわち、日々の、週ごとの、そしてもっと長いスパンにわたっての交通行動の分析へと関心が移行しつつある。これはおそらく交通をとりまく環境の不安定さと、1970年代のエネルギー危機のあいだに観測された交通行動へのインパクトの結果であろうと思われる。この1つにトリップチェーンが資源節約メカニズムとして働くという側面への認識も手伝っている。そしてその結果、現存する交通行動モデルは毎日の交通行動の背後にある相互関連的な交

14) プリズムの数学モデルについては第3部で詳しく展開する。

通決定のメカニズムをうまく反映していないということが、しだいに広く認識されるようになってきた。伝統的な方法論がもはや現実をシミュレートできなくなったとき、それは未来の行動を予測することはできない。物理的な交通環境の変化だけでなく、人口学的あるいは社会経済的な変化、さらに文化的変化さえ交通行動に影響を及ぼすことを考えるとき、交通行動についての基本的かつ現実的な理解をベースとした交通モデルが真に必要とされている。

最近の研究では、過去においてほとんど注意の払われてこなかった交通行動に関する多くの重要な諸側面が強調されている。この1つは、個人ないし世帯の交通選択に影響を及ぼす、種々のタイプの“制約”である。この主題についての実証分析では、① 世帯構造が交通行動に及ぼす影響の識別と、② それらをうまく表現する変数の開発、に力点がおかれている¹⁴⁾。また、空間的・時間的座標での制約に着目するもの¹⁶⁾、毎日の活動および交通パタンのスケジューリングの弾力性に関する研究¹⁷⁾など、前節で紹介したいいわゆるアクティビティ・アプローチからの接近が多い。このうち、よく研究されているのが交通時間予算 (travel time budget) である。ここでは、予算の一定性のテスト、およびそれと毎日の交通生成との関係、また毎日の交通パターンに関連する交通選択間の相互依存性についても調べられている¹⁸⁾。

交通決定の意志決定メカニズムについては、主として以上のような観点から実証的研究が進められてきており、まだ確固たる理論モデルは登場してきていないが、分析的アプローチや実際の修正についてはいくつかの提案がある¹⁹⁾。また形態的分析においても進展が見られ、毎日ないし数日の交通パターンと個人の社会経済属性とのあいだの関連もしだいに明らかにされつつある²⁰⁾。

15) Jones et. al. (1983).

16) Burns (1979).

17) Jones et. al. (1983), Jones (1979).

18) Damm (1982), Kitamura (1984a, 1984b, 1984c).

19) Kitamura (1984b), Horowitz (1980).

20) Recker et. al. (1983).

4. トリップチェーン研究の第一世代:マルコフモデル

一方、最近の研究が指向してきた流れの1つに“トリップチェーン研究”がある。すなわち、家庭出発後1つ以上の目的地を訪問するためのトリップ連結(linkage)に関する研究である。我が国ではトリップパタンの分類を試みた佐佐木(1969)が草分けである。トリップチェーン研究は比較的長い歴史を持ち²¹⁾、トリップの目的の連鎖という点に最初に着目したのはCATS(Chicago Area Transportation Study, 1959)である。CATSは世界で最初の大規模なHome-interview形式に基づく交通調査であり、以後の全世界の交通調査のバイブル的な存在であるが、この時点ですでにトリップ目的の連鎖が連関表の形で集計されていたことは注目に値する。というのはそれ以降1960年代後半に至るまで科学的な研究例がほとんどないからである。都市化やモータリゼーションの進展にともなう自動車交通問題の激化と交通政策上の必要性がこの研究テーマの必要性を再び顕在化させたと言うことができよう。トリップチェーンの観点は主として北欧で継承され、Overgaard(1963)ではlinked tripないしchain of tripsという用語が登場し、Bexelius et. al.(1969)でも交通発生の分析のためにtrip chainの集計がなされている。当時の米国ではtrip chainという概念は煮詰められておらず、home-based tripないしnon-home-based tripという分類が見うけられる程度であった。現在でも米国ではこの用語はかなりよく用いられている。

数学モデルに関する最初の研究は、訪問地での活動タイプ間の連結²²⁾、土地利用タイプ間の連結²³⁾、そして目的地の連結²⁴⁾など、マルコフモデルの適用が中心であった。これらの諸研究は後にトリップ特性と時間軸に関して多元化さ

21) Hanson (1979).

22) Marble (1964), Sasaki (1972).

23) Horton and Shuldiner (1967).

24) Horton and Wagner (1969).

25) Kitamura (1984a), Horowitz (1980), 近藤・上野(1979), 宮城・加藤(1976), Adler

れ発展する²⁵⁾。

トリップチェーン研究の第1世代は、その多くがマルコフチェーンを用いて、活動連結の推移確率に関するいくつかの共通の発見を行った。つまり、同じ種類の活動、とくに自由度の高い業務や買物がトリップチェーン内で継続的に遂行されるという傾向が各国のデータセットで確認された²⁶⁾。この傾向は新しいデータセットを用いた最近の研究でも再認識されている²⁷⁾。また、個人がトリップをトリップチェーンに組み込む場合、ライフサイクル・ステージや所得と関係の深いことも確認されている。つまり、若年層、高所得者層および社会的地位の高い人々はトリップを連鎖させる傾向が強い。そのほか職業や自動車保有とトリップチェーン形成との関係もよく調べられており、おおむね良好な結果が得られている。また、弾力的でない活動（通勤や通学など）ほど1日のトリップチェーンの中でまず最初に遂行されるという傾向も共通して確認されている²⁸⁾。

トリップチェーン内のストップ数（ソジャン (sojourn) 数ともいう）についても多くの研究がある。ストップ数分布について、Bentley et al. (1977) では指数分布の適合性が高いことを見いだしているし、同種のものに Nysteuin (1967), Sasaki, Nishii (1983) がある。しかしいずれも、この性質が他の変数と関連づけられて分析されていないので、実用的には問題を残している。

反面、マルコフ過程はトリップチェーンに対しては適当でないとする立場もあるし²⁹⁾、自動車トリップチェーンにおいてさえ適合性は良好とは言えないという結果もある³⁰⁾。非マルコフ的立場からストップ数の分布を扱ったものに Vidakovic (1972, 1974) があり、調和級数を用いて、帰宅確率をストップ数の関数として表現している。しかしこれにも社会経済変数は含まれていない。

↘ and Ben-Akiva (1979), Lerman (1979), Gilbert et al. (1972).

26) Marble (1964), Horton and Shuldiner (1967), Horton and Wagner (1969), Hemmens (1970).

27) Kitamura (1984c).

28) 同上。

29) 同上。

30) Sasaki and Nishii (1983).

このように実証結果には不一致があるものの、過去において最も頻繁に使用されたモデルはマルコフモデルにおいてほかにない。マルコフ仮定は Ben-Akiva et al. (1978) で用いられ、ここではトリップチェーンにおける目的地選択がマルコフチェーンを形成すると仮定された。Gilbert et al. (1972) はセミマルコフ過程モデルを用いて時間軸をマルコフチェーンに導入した最初の文献であり、Lerman (1979) はセミマルコフ過程モデルの推移確率を非集計選択モデルによって決定したパイオニアである。

推移確率の「時刻的同質性」(time homogeneity) および「過去からの独立性」(history independency) という、2つのマルコフ仮定は統計的検定の立場からは支持をうけていない³¹⁾。従来の定常的かつ一階のマルコフチェーンモデルを観測データに対して修正する試みに O'Kelly (1981, 1984) があり、修正マルコフモデルを用いてトリップチェーンを明示的に考慮に入れた商業地発展の分析を行っている。ここでは、帰宅確率がチェーンが長くなるにつれ大きくなるというやや複雑な吸収マルコフモデルを提案している。

また Kitamura (1984a) では、マルコフチェーンの枠組みの中で、ゾーンの吸引指標にトリップチェーンを組み込んだまったく新しい目的地選択モデルが開発された。さらに Kitamura, Lam (1983) では時刻依存型のセミマルコフ過程モデルが提案され、この分野でのマルコフモデル改良の試みは一段落をみている。一方、トリップチェーンと交通手段選択の関係を論じたものは Sasaki (1972)、Kondo (1974, 1982c) 以外にはあまり見かけないけれども、車利用とトリップチェーン形成との相関についての分析は数多く存在する。

ところでマルコフチェーンをトリップチェーンに適用する根拠についてはどのように考えたらよいのであろうか。以下ではこの点について議論してみよう。

我々がトリップチェーンにマルコフモデルを適用する場合、明示的あるいは暗黙裡に次のような諸性質を通常は仮定している。a) 推移確率の時刻的同質性、b) 推移確率の過去からの独立性、c) メンバーの同質性、d) 状態間推移時間の一定性、e) 状態滞在時間の一定性。このうちc) については、メン

31) Kitamura (1984c).

バーを異質なセグメントに分割することによって、それぞれに異なった推移確率を適用することで解決できる。いわゆる「異質的マルコフ連鎖」(heterogeneous markov chain)を考えればよい。たとえばメンバーを居住年数、性別、職種等の個人属性でセグメント化してやれば、交通行動パタンの異質性を反映できる。ただこの場合、現況再現という目的にとっては有意義であっても、将来予測における繁雑さを考えるとあまり好ましいとは言えない。しかし、いずれにしても、メンバー細分化に耐える十分なデータの存在と推移確率の合理的な将来予測法の存在が前提となる。次にd)、e)については時間の要素に関係するものであるから、対応する適当な分布を与えてやることによって、この仮定を緩めることができる。したがって基本的に重要な仮定はやはりa)とb)のいわゆるマルコフ仮定である。

a)の仮定をはずすことはマルコフモデルの利点の大半を放棄することになる。ただこの仮定を緩めることはできる。たとえば、実際の帰宅確率は時刻の進行とともに大きくなるので、一定の推移確率に時刻の関数である増加率を乗ずるような形で修正することができる。またb)についても上述のKitamura (1984c)論文のように過去従属型のマルコフモデルも提案されてきている。したがって最近の「マルコフモデル」は、体裁はマルコフモデル的ではあるが、実質の内容は、本来のマルコフ性に縛られずにずいぶん現実的なものに変身させられて来ている。

ところで、交通需要予測という目的にとって、トリップチェーンをマルコフチェーンにアナロジーすることの利点は多い。この最大のものはトリップの連続性が保証されていることであろう。しかしアナロジーであるがゆえの理論的脆弱性をも同時にもっている。アナロジーはあくまでもアナロジーであって、そのアナロジーが妥当であることを理論的に証明できるなら、それはアナロジーでなくなり、確固たる理論的背景をもったモデルと呼べるからである。では我々がマルコフチェーンを適用する根拠はいったいどこに求めるべきであろうか。

いま集計されたトリップチェーンが現象的にマルコフチェーンにアナロジー

しうるとしよう。すなわち、マルコフチェーンによる現象再現性が高いとしよう。このとき、非集計的な個人について眺めた場合、効用理論の立場に立てば各人は与えられた条件下で効用を最大化ならしめるように行動を行っているものと思われるが、ではそのような個人を集計した場合に全体としてマルコフチェーンを形成しているということが理論的に導出できるであろうか。たとえばOD分布については、各人の効用最大化行動（もしくは損失最小化行動）を集計すれば重力型の分布構造が導けることが知られている。しかし残念ながらマルコフチェーンの場合にはこのようなスマートな方法は存在しないであろう。

マルコフチェーンの特徴は初期状態と推移確率によって規定されているところのランダムウォーク（酔歩）にある。第2部第1章でトリップデータを概観するが、1日のトリップパタンの大半はピストン型（自宅→目的地→自宅）で占められている。このパタンに属するものにとってはランダムウォークという様式は存在しない。大半のものは毎日同じスケジュールで行動しているのである。確かにこのピストン型のトリップパタンは交通行動の原型であって、自宅から目的地に行き、それが終われば帰宅するというのはきわめて自然なパタンである。しかし、この原型に何らかの偶然的要素や計画的要素が作用するとき、その原型に乱れが生じ、確定できないいくつかのパタンを生み出す。たとえば、立ち回り買物行動を行った主婦について考えてみると、次の3つのケースが考えられる。(1) 家を出る前にあらかじめ今日買う品物、訪れる店とその順番を決定し、そのスケジュールどおりに行動した場合、(2) まったくの成り行きまかせていくつかの店を訪れ衝動的に品物を購入した場合、そして、(3) として(1)と(2)の中間的なケースを考えることができよう。しかし結果的なデータだけからではこれら3つのいずれがこの主婦の行動であったのかは識別できない。分析者が(1)の見方をとれば決定論的な解釈、(2)をとれば確率論的な解釈ということになる。しかしマルコフチェーンの立場をとるならば後者の確率論的な解釈をしていることになる。個人がどのような動機でその日の行動を行ったにせよ、トリップ目的の連鎖という局面で行動パタンを眺めてみると、一般にあるトリップ目的の次にくるトリップ目的の生起可能な種類は限られてくるし、と

くに一般市民については1週間ないし1カ月を単位として見れば、あるトリップ目的の次にくるトリップ目的は一定の分布をもっていよう。都市全体について、ある代表的なウィークデイを取り出してみれば、そこにマクロ的（集計的）に描かれているトリップ連鎖の様相は、個人個人の1週間ないし1カ月のトリップ連鎖の様相に一致すると判断できないかというわけである。すなわち、個人についての各曜日の行動の集計から得られるトリップ目的間推移確率と、代表的なウィークデイの都市全体でのマクロなトリップ目的間推移確率とは一致しているだろうと考えるわけである。そこに個人を確率的に取り扱いうる根拠が存在する³²⁾。

5. トリップチェーン研究の第二世代：非マルコフモデルの開発

一方、非マルコフ系のモデルも日々の交通行動の特定の側面についてではあるが開発されてきた。Westelius (1973) は旅行ニーズの蓄積と機会の空間分布に着目したシミュレーションによる交通行動モデルを定式化した。また、Tomlinson et. al. (1973) では学生の交通行動パターンについて、スケジュールと目的地選択のエントロピー最大化モデルを提案したが、きわめて限定された局面での単純なモデルに終わっている。Damm (1982) は1日の時刻間の活動と交通の相互依存性に関する計量経済モデルを開発した。これらの諸成果は交通行動の総合的モデルの開発にとって理論的かつ実証的な面での基礎となるであろう。

総合的モデルを指向したものもいくつかある。Adler, Ben-Akiva (1979) は

32) マルコフモデルは消費者行動分析の分野における銘柄選択モデルの1つとしてもよく研究されてきた。交通の分野におけるマルコフモデルはおおむね現象記述モデルであるが、消費者行動の分野におけるそれは銘柄選択というダイナミックな意志決定過程を対象としており、この面での研究の蓄積には大いに啓発されるところがある。この分野のマルコフモデルの改良については森村・高橋 (1979) に詳しい事例がある。また消費者行動分析におけるマルコフモデルの有効性に関する議論は、田村正紀 (1970):「消費者行動分析」白桃書房、および阿部周造 (1976):「消費者行動」千倉書房、に詳しい。

代替的な交通パタンの集合から1つのパタンを選択するにさいしての決定モデルを提案した。モデルでは、トリップ費用、アクティビティ効用、スケジュール利便性からなるランダム（確率）効用の最大化がはかられ、意志決定の主体は世帯である。この効用関数の定式化は極めて革新的で意欲的である。Horowitz (1978, 1980, 1982) も同じくランダム効用最大化の観点から交通行動モデルを提唱している。モデルでは、現在いる地点 i から交通手段 m を利用し、次の目的地 j へ行く場合の時間依存的効用を仮定し、その期待トリップ数 E_{ijm} を導いている。このモデルの有用性は実際の政策分析への応用というかたちで確認されている。ただし、モデルからの出力は調査期間の全集計トリップ数に限られている。Lenntorp (1976) は time-space prism の枠組みの中での総旅行距離最小の観点から、買い物に訪れるべきフードストアの選択問題を扱っている。

Kitamura (1984c) は確率過程モデルをベースとしたシーケンシャルな構造をもっている。1日の諸活動の選択間の相互依存性に焦点をあて、シーケンシャルかつ過去従属の確率を用いてこの関係が表現されている。後にこのモデルは活動場所や活動時間を含むように拡張された。このアプローチの利点は、1日の複雑なパタンを、現存する統計的方法を用いて外生的変数に関連づけられた一連の確率要素へとブレイクダウンすることにある。これによって広範な寄与因子を考慮しつつ、交通行動の特性を明らかにすることができる。たとえば、過去の行動を集約する時刻変数、社会経済変数、土地利用、ネットワークのサービス水準などが説明変数として含まれている。

Recker et. al. (1983) はパタン認識理論を用いてスケジュール制約の効果を盛り込んだ活動/交通パタンのモデルを開発しているが、このモデルはかなり総合的なものであり、広範囲の交通計画オプションの効果を評価することに応用できよう。しかし、それがもつ融通性と総合性のゆえに、モデル構造は根本的にかなり複雑である。これを発展させたところの Recker et. al. (1986) は現存する交通行動モデルの中で最も総合的なものであろう。ここでは個人の日々の活動パタンを形成する意志決定プロセスの理論的フレームワークの中で交通

決定の理論モデルが構築されている。図1.3.4(a)にその理論的フレームワークを、図1.3.4(b)にその実証モデルとしての STARCHILD (Simulation of Travel/Activity Responses to Complex Household Interactive Logistic Decisions) というシミュレーションモデルを、それぞれ示す。理論的フレームでは、個人の活動と交通の決定にさいし世帯内の相互作用が重視され、潜在的可能性をも含めた広範なオポチュニティセット（機会集合）からチョイスセット（選択肢集合）が絞られてゆく過程がスケッチされている。シミュレーションモデルでは、上の理論的フレームワークに対応してそれぞれ5つのモジュールが組み合わされている。

このモデルのねらいは、従来の非集計行動モデルのもつ以下のような弱点や限界を克服することである。

- 1) 活動参加決定の派生需要として交通を促えていないこと。
- 2) 真の選択プロセスの結果として行動を表現していないこと。すなわち選択を規定する広範かつ複合的な制約を無視していること。
- 3) 交通、活動参加、そして活動スケジュールの3者間の相互依存関係の特定が不適切であること。たとえば、活動の連結や個人間の制約がうまく表現されていないこと。
- 4) モデル構築が厳密に効用最大化の概念に基づいており、たとえば世帯のダイナミクス、情報レベル、選択の複合性、習慣の形成、などといった代替的な決定戦略を無視していること。
- 5) 制約的環境下での意志決定者に対して、利用可能な選択代替案を用意する能力に欠けることに由来する、個人の選択肢集合の誤った特定化。

そこで、モデルでは

- a. 世帯内の相互作用と環境的制約といった要素などを反映できる『個人の活動プログラム』の開発
- b. 『個人の活動プログラム』からの『活動パタンの選択肢集合』の生成
- c. 『活動パタン選択モデル』の特定

の3つが大きな柱となる。いずれも Hagerstrand の時間空間座標や Oxford の

アクティビティ・アプローチ(先述したCARLAなど)の影響を強く受けた構成となっている。また、全体モデルの中の個々のモデルはそれぞれ代替的な他のモデルでも置換可能であるように弾力的に設計されているのも特徴である。さらに、計画された(planned)活動だけでなく、非計画的(unplanned)活動に対する潜在的な便益をも評価している点でBurns(1979)のアイデアが生かされている。しかし、著者たちも認めているように以下の面での不十分さが残されている。①費用要素が無視されている、②活動時間が未決定である、③目的地的選択が含まれていない、④政策評価分析への展開が完成していない、など。ここにスケッチされた活動パターン選択メカニズムはまだまだ粗っぽいもので、個々に問題を残してはいるものの、しかし交通決定の総合的モデル構築への端緒を提供した点でその意義は大きいと言わねばならないであろう。

もう1つのアプローチとして、オペレーションズリサーチの文脈に根ざすところの、旅行費用最小化などのプログラミングモデルがある。その対象は現在までのところ物流分野が多い³³⁾。同種のものに西井(1985)のトラベリングセールスマン問題としてのアプローチもある。また、世帯における車利用に制限がある場合の、世帯メンバーのトリップの時刻配分を整数計画問題として定式化したBeckmann, Burns(1976)もある。

このほか最近では、仮想的な線形都市における機会分布とトリップチェーンの関係を理論的に論じたもの³⁴⁾、土地利用とトリップチェーンの関係を扱ったもの³⁵⁾、地域構造分析の1つのファクターとしてトリップチェーンに着目したもの³⁶⁾など、トリップチェーン研究の成果の応用範囲が広がっている。また、地域科学の分野では新古典派的消費者行動モデルとして、効用最大化および総トリップ費用最小化の複合的反復プロセスの非線形プログラミング問題を定式化し、買物回数、多店舗訪問、購入量、余暇時間などを決定するという混み入ったものもある³⁷⁾。

33) Recker et. al. (1983), Hall (1983).

34) Kitamura (1985).

35) Southworth (1985).

36) 西井他(1986a, 1986b).

37) Narula et. al. (1983).

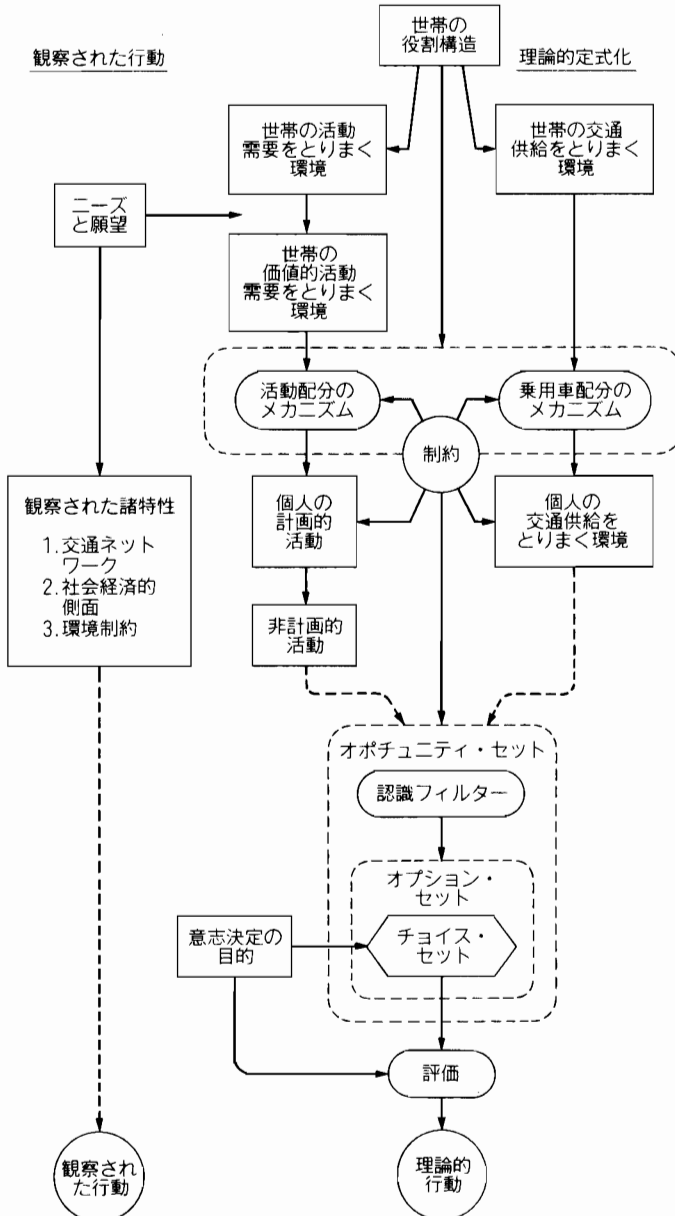


図 1.3.4(a) 活動パターン選択の理論的フレームワーク

オペレーショナル・モデル

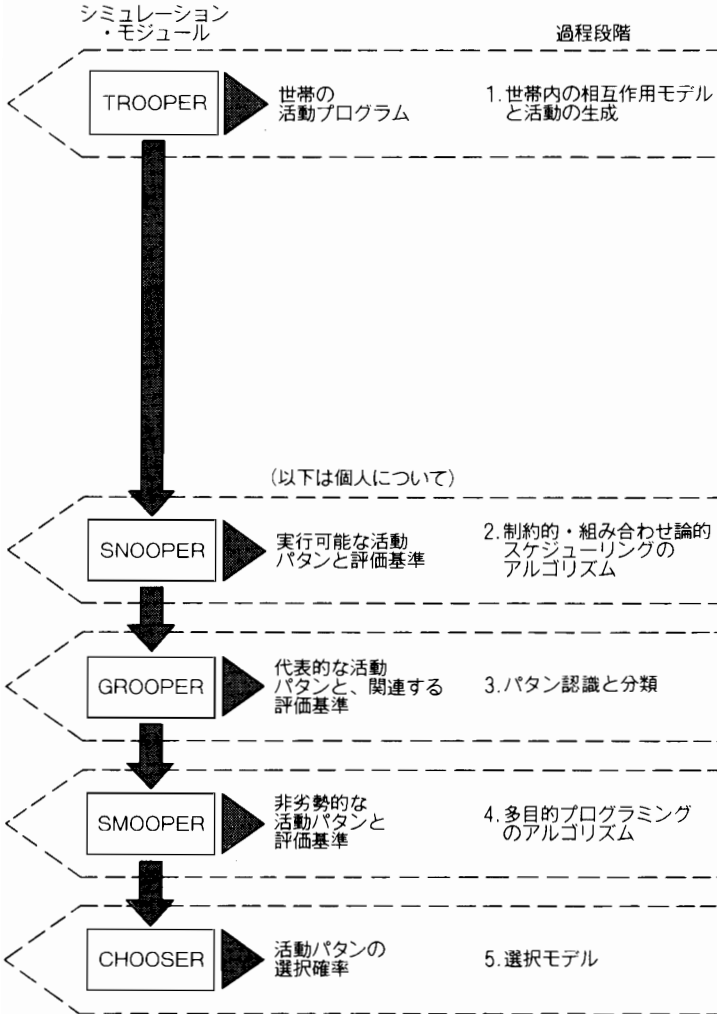


図1.3.4(b) 活動パターン選択のシミュレーションモデル
— STARCHILD —

6. 今後の展開

以上に紹介したいいくつかのアプローチはいずれも個人または世帯による日々の交通行動を一般的に説明し、予測することを目的としている。また、いずれもモデルのコンポーネントを推定するために計量経済的方法を採用するか、あるいは行動仮説を統計的に検証している。しかしながら、これらのモデルはあまりに複雑でトリップチェーン行動の基本的特性を研究するためのツールとしては効率的ではない。さらに、多くの場合、モデル開発にさいして用いられた決定メカニズムに関する特定の仮定から制約を受けている。そうでない場合は逆に、あまりに単純であり過ぎるか、ないしは限定的仮定に基礎を置いているように思われる。概して、どのモデルもトリップチェーンの意志決定構造の解明には成功しているとは言えないように思われる。過大なパラメータや複雑な構造をもたない観察的ないし仮想的な、行動をうまく表現できる代替的なモデル構造の開発にむけて努力が展開されるべきであろう。

人間は日々の交通パターンを前もって決定し、かつすべての選択（活動、目的地、交通手段、時刻、およびそれらの連なりなど）を同時的に行っているのだろうか？ 活動の連なりや目的地選択については部分的には前もって計画されているらしいことが示唆されている³⁸⁾。また、Hanson (1979)によれば、スウェーデンのウプサラでは95%の人が家を出る前にその日の全トリップを計画していることも報告されている。この意味ではある種の決定論的もしくは最適化モデルの成立する根拠は保証されている。しかし、ある種の活動はその日不意に遂行されるし、空間的移動のパターンは必ずしも常に最短パス（トラベリングセールスマン問題のような）に従っているわけではない。すなわち、意志決定が連続的なものである場合、同時最適化モデルのようなものは効果的ではない。交通決定のメカニズムに関する上記のような事柄、とくに意志決定の計画性と連続性（あるいはランダム性）の問題、およびトリップの個々の局面における

38) Kitamura (1984c).

過去従属性と未来従属性の問題は今後ぜひとも明らかにされて行かねばならない³⁹⁾。この基本的な理解のうえに適切な研究および交通計画のための予測・評価の方法が開発・展開されてゆくのであろう。

ハンソン女史いわく“実際、これはまったくの私見だが、交通連結に関する単一のしかもすべてを説明しようとするようなスーパーモデルを構築することは、現時点においては適当ではない。より妥当なアプローチは、都市交通活動の特定の諸側面を対象とした、より弾力的ないくつかのモデルを構築することであろう。この挑戦で十分であろう”⁴⁰⁾。私見ではこの状況はいまも続いている。すべてを説明しようとする総合的なモデルの構築に至るためには、もっと多くの実証的研究と意志決定メカニズムに関するより基本的な事項の理解およびその行動仮説を必要としよう⁴¹⁾。

39) この方向での研究として Kondo & Kitamura (1986, 1987) による time-space 上での効用最大化バス選択モデルを挙げることができよう (本書第3部参照)。

40) Hanson (1979), p.95より引用。

41) 第1部は、拙稿(1981, 1982a, 1982b)および Kondo & Kitamura (1986, 1987) をベースとして最近の新しい動向についても補足しつつ、交通行動分析を体系的に展望した。

◆第2部◆

トリップチェーンの統計解析

第1章

トリップチェーンの一般的性質

1. はじめに

トリップチェーンに関する研究は我が国では4段階推計法を補完する目的で進められてきており、とりわけ長期的な交通計画に資するためのモデル化に主力が注がれてきたと言える。欧米では交通研究者のバックグラウンドに多様性があるためそのトリップチェーン研究の目的にも多様性があり、長期的交通計画のための交通需要予測に供することを目的とするもの、短期的交通政策のための評価手法の開発を目的とするもの、単に交通行動原理の解明を目的とするもの、そして地理学の分野では施設立地（たとえばショッピングセンター）との関係を解明すること、などその目的の幅は広い。しかし、1日あるいは1週間の時間幅で交通（トリップ）およびその両端での諸活動の連結状態（Linkages）が、種々の交通決定のありように決定的に影響を与えているという認識において変わりはない。

トリップチェーン研究についてはすでに幾多の蓄積があり、大きく分ければ *empirical findings* を中心とした記述的なものと、モデルビルディングを積極的に指向するものとに二分される。前者ではいくつかの興味ある発見が得られているものの、それらが直接に計量的モデルに結びつけられたものはきわめて少ない。後者のモデル指向の流れはマルコフモデルとそれ以外に分けられるが、最近ではマルコフモデルは少なくなってきた。その理由は、トリップチェーンが単なるトリップの連鎖としてよりも、むしろ本源的需要（アクティビティ）からみて派生的需要であることから、アクティビティの連結や組み合わせ

の方に関心が移行していったことによる¹⁾。したがってトリップチェーンの研究は最近ではアクティビティ・アナリシスの一環として進展することになる。ゆえに当分野の研究動向はだれもが新しい総合的モデルを模索している段階にあるが、もうひとつ説得力のある理論が登場してこない。その原因は考慮すべき要因があまりに多いこと、研究者の関心が必ずしも一致していないこと、などに求められよう。

以下の章では意志決定モデル構築を念頭においたトリップチェーンの実態分析を試み、トリップチェーン形成を支配している要因およびその関与の傾向について明らかにする。

2. トリップチェーンの概要

本節ではトリップチェーンの一般的性質を備後PTデータ（昭和54年）に基づいて整理する。まず表2.1.1にトリップ数別人数、ホームベース完全パタン人数²⁾、完全パタン比率

を示す。

全サンプルに対するホームベース完全パタン比率は97.2%と圧倒的に高く、これが以下の我々の分析の対象である。昭和54年に行われた京阪神都市圏PT調査によると大阪市関連トリップについてのホームベ

表2.1.1 完全パタン比率

トリップ数	サンプル人数 (A)	完全パタン人数 (B)	$\frac{(B)}{(A)}$
1	6,102	0	—
2	329,536	326,559	0.991
3	32,969	30,999	0.940
4	104,558	103,116	0.986
5	17,232	16,492	0.957
6	23,460	22,756	0.970
7	8,074	7,763	0.961
8	9,228	8,889	0.963
≥9	6,232	5,960	0.956
合計	537,391	522,534	0.972

1) もちろん理論的には「マルコフ仮定」に対する疑義が登場してきたことも無視できない。

2) ホームベース完全パタンというのは、1日の第1トリップの出発施設が家庭(home)であり、その日の最終トリップの到着施設も同じく家庭であるようなトリップチェーンのパタンである。

ス完全パタン比率は97.7%と報告されている³⁾。この高い比率のゆえにトリップチェーンは通常“1日完結性”をもつと言われるわけである。これに対し全体のうち3%弱は圏域外へ出たままその日のうちに家庭へ戻って来なかった人々などが含まれ、これらは不完全パタンとも呼ばれる。

表2.1.2にはサイクル数別・ストップ数別の人数をクロス集計したものを示す⁴⁾。

この表から以下のことがわかる。まず全トリップメーカーのうち過半数の62.5%は1サイクル1ストップのいわゆるピストン型パタンであり、トリップ目的が終了すればただちに帰宅している。第2位は2サイクル2ストップのダブルピストン型パタン。この2つのパタンで全体の77.5%、また上位5つのパタンで全体の90.5%を

占めている。ストップ数で見ると3ストップ以下の構成比が92.3%、サイクル数で見ると2サイクル以下の構成比が96%となっており、単純なパタンが支配的となっている。上位5つのパタンを京阪神都市圏PTデータ(S.45, S.55)と比較したものが表2.1.3である。備後データにおける特徴

表2.1.2 サイクル数/ストップ数別人数

ストップ数	サイクル数				合計 (%)
	1	2	3	≥4	
1	326,559 (62.5)				326,559 (62.5)
2	30,999 (5.9)	78,447 (15.0)			109,446 (20.9)
3	24,669 (4.7)	9,575	12,449 (2.4)		46,693 (8.9)
4	6,917	4,246	2,558	2,472	16,463
5	6,061	1,857	1,442	538	9,898 (1.9)
6	3,348	1,315	216	217	5,096 (1.0)
7	3,390	358	143	155	4,046 (0.8)
≥8	2,922	814	235	362	4,333 (0.8)
合計 (%)	404,865 (77.5)	96,612 (18.5)	17,043 (3.3)	4,014 (0.7)	522,534 (100)

3) 西井(1985)。

4) サイクルとはホームベースを起終点とする閉じたトリップチェーンの1つ1つを指す。たとえばある人が家庭をベースとして3回外出した場合、彼は3サイクルしたという。別の表現をすれば、外出するたびに必ず帰宅するわけであるから、サイクル数は帰宅トリップ数に等しい。一方、ストップとは家庭以外の目的地(訪問地、訪問先)を指す。ゆえに、ある人が1日に行った総トリップ数はストップ数とサイクル数(=帰宅トリップ数)の和に等しい。

は、2サイクル2ストップ
や3サイクル3ストップと
いう家庭からのピストン運
動的なボタンが上位にきて
いる点である。この原因は
備後都市圏が京阪神都市圏
に比べてその圏域が狭く、
それゆえいったん家庭に戻
って出かねおすというバ
タンが生起可能であること

表 2.1.3 上位5つのボタン

順位	備後(S.54)	京阪神(S.45)	京阪神(S.55)
第1位	[1, 1] ¹⁾ (62.5%) ²⁾	[1, 1] (68.1%)	[1, 1] (64.1%)
第2位	[2, 2] (15.0%)	[2, 2] (8.8%)	[1, 3] (8.8%)
第3位	[1, 2] (5.9%)	[1, 2] (7.2%)	[2, 2] (8.1%)
第4位	[1, 3] (4.7%)	[1, 3] (6.0%)	[1, 2] (7.1%)
第5位	[3, 3] (2.4%)	[1, 4] (2.2%)	[1, 4] (2.9%)

注) 1) [サイクル数, ストップ数]
2) 構成比
京阪神のデータは西井(1985)による。

に求められよう。京阪神都市圏では10年間で2位～4位のあいだで順位変動があるが、各ボタンの構成比にはそれほど大きな変動はない。しかし1ストップと2ストップのボタンはいずれも構成比がやや減少し、1サイクル3ストップと1サイクル4ストップというトリップチェーン指向のボタンが増えてきていることは注目される。トリップチェーンが交通時間や交通費用を節約するメカニズムとして、すなわち、省資源型の行動ボタンとした選好されてきているのかもしれない⁵⁾。

3. トリップチェーンと個人属性・トリップ特性

ここではトリップチェーンの特性を個人属性・トリップ特性の観点から見てみよう。表 2.1.4 では平均サイクル数、平均ストップ数、1サイクルあたり平均ストップ数を個人属性別、トリップ特性別に集計している。

まず年齢別では、平均サイクル数には大きな差異はないが、平均ストップ数

5) トリップチェーン・データの地域間比較や異時点間比較は今後の必須の作業である。地域間比較によって地域構造特性を、また異時点間比較によってダイナミックな時系列要因をそれぞれ抽出することができる。

表 2.1.4 属性別平均ストップ数, 平均サイクル数

(a) 年齢別	9歳以下	10歳台	20歳台	30歳台	40歳台	50歳台	60歳台	70歳以上			
A. 平均サイクル数	1.30	1.21	1.22	1.32	1.26	1.25	1.33	1.29			
B. 平均ストップ数	1.38	1.31	1.94	2.07	1.91	1.73	1.66	1.50			
B/A	1.06	1.08	1.59	1.59	1.52	1.38	1.25	1.16			
(b) 第1トリップ代表交通手段	徒歩	自転車	オートバイ	乗用車運転	乗用車同乗	貨物車運転	路線バス	国鉄在来線			
A. 平均サイクル数	1.36	1.30	1.26	1.49	1.18	1.49	1.08	1.06			
B. 平均ストップ数	1.52	1.63	1.81	2.17	1.67	2.86	1.42	1.30			
B/A	1.12	1.26	1.43	1.46	1.41	1.92	1.31	1.22			
(c) 職業別	事務専門	管理	販売	農林	運輸	技能	保安	サービス	学生	主婦	無職
A. 平均サイクル数	1.18	1.24	1.36	1.55	1.15	1.23	1.13	1.28	1.25	1.40	1.26
B. 平均ストップ数	1.93	2.42	2.71	1.73	2.11	1.59	1.62	1.88	1.42	1.69	1.47
B/A	1.61	1.93	1.98	1.10	1.83	1.30	1.41	1.48	1.12	1.19	1.18
(d) 第1トリップ目的	出勤	通学	販売	会議	作業	農林	買物	娯楽	レクリエーション	私事	
A. 平均サイクル数	1.16	1.24	1.70	1.48	1.26	1.64	1.23	1.45	1.48	1.54	
B. 平均ストップ数	1.88	1.32	2.93	2.78	1.80	1.73	1.38	2.08	1.72	2.11	
B/A	1.63	1.06	1.73	1.88	1.43	1.05	1.13	1.43	1.16	1.37	
(e) ODペア	(1, 1)	(1, 2)	(1, 3)	(1, 4)	(4, 1)	(4, 2)	(4, 3)	(4, 4)			
A. 平均サイクル数	1.25	1.22	1.14	1.13	1.04	1.09	1.18	1.26			
B. 平均ストップ数	2.32	1.98	2.09	1.78	1.73	1.58	1.71	1.92			
B/A	1.85	1.64	1.84	1.60	1.64	1.47	1.44	1.51			

は30歳代で最大で年齢を追って減少してゆく。1サイクルあたりの平均ストップ数は20歳代, 30歳代で最大となる山型の分布をしている。10歳代は平均サイクル数, 平均ストップ数とも最小で最も活動的でない年齢である。概して20歳代, 30歳代がトリップチェーン指向的な傾向にあり, 20歳未満の若年と老年ではピストン型の傾向にあると言える。

次に, 第1トリップの交通手段別に見てみよう。明らかに乗用車運転者と貨物車運転者の平均サイクル数と平均ストップ数が他に比べて際立って大きく, 彼らが多サイクル・多ストップのトリップチェーン指向の中心であることがわかる。乗用車同乗者や公共交通手段利用者の平均サイクル数は小さく, モビリティの面から制約を受けており, 2輪車利用者は車と公共交通手段の中間的な

位置にあることもわかる。結局、交通手段のもつモビリティがトリップチェーンに顕著に反映されていると言える。あるいは、トリップメーカーはその日のトリップチェーン遂行に必要なモビリティをもつ交通手段の選択を第1トリップで行っている可能性もある⁶⁾。

職業別では多サイクル傾向にあるのは農林漁業従事者、販売従事者、主婦などで、多ストップ傾向でかつ1サイクルあたり平均ストップ数の多いのは販売従事者、管理的職業従事者、運輸業従事者などである。

第1トリップ目的では、交通目的の拘束性と自由性に応じた特徴が現れている。販売、打ち合わせ、社交、私事用務など自由度の高い交通目的の場合が多サイクル、多ストップの傾向にあり、反面、通勤、通学、買物など日常反復的なものは逆の傾向が読み取れる。

最後に、空間的特性を見るために第1トリップのODペア、すなわち家庭のあるゾーンと第1トリップの到着ゾーンのペアを取り上げる。ゾーンは都市圏を同心円状の4つのリングに区分したものをを用いている。ゾーン1が都心、ゾーン4が都市圏の外縁部である。表ではゾーン1とゾーン4を起点とする場合を掲げたが、平均サイクル数を見ると、いずれの場合もゾーン内々で値が大きく、目的地が遠ざかるほど小さくなってゆくという明らかな傾向がある。この発見も重要である。第1トリップ長が短いほど多サイクルの傾向となり、反対に長くなると省サイクルの傾向になるのである。

4. トリップチェーンと交通手段選択

表2.1.5ではストップ数の分布と第1トリップ代表交通手段との関係を少し詳しく調べている。(a)表には手段別・ストップ数別人数、(b)表にはストップ数別手段分担率、(c)表には手段別ストップ数分布をそれぞれ示す。まず(b)表における手段分担率の特徴は以下のとおりである。

6) しかし、この因果関係の順序についてはここではこれ以上言及しない。

1. 徒歩の分担率は2ストップ以上で急激に減少してゆく。
2. 興味深いことに二輪車（自転車，バイクなど）の分担率はストップ数に関係なく20%台で安定している。
3. 自動車運転者の分担率は2ストップ以上で急激に増加してゆく。意外なことに自動車同乗者の分担率は5%前後でわりあい安定している。
4. 公共交通手段（タクシーを含む）の分担率はストップ数の増加につれて確実に減少してゆく。

以上のように交通手段選択とストップ数とのあいだには明瞭な関係がある。行動半径の小さい徒歩および自由度の少ない公共交通手段についてはストップ

表 2.1.5 第1トリップの交通手段とストップ数

(a) 手段別・ストップ数別人数

ストップ数	徒 歩	二 輪	自動車 運 転	自動車 同 乗	公共交 通手段	合 計
1	118,612	77,222	63,733	16,073	50,919	326,559
2	48,060	27,935	18,667	5,087	9,697	109,446
3	12,120	12,094	16,146	2,864	3,469	46,693
4	3,710	3,714	7,073	1,029	910	16,436
5	1,170	2,157	5,667	470	434	9,898
≥ 6	1,234	2,070	9,414	323	434	13,475
合 計	184,906	125,192	120,700	25,846	65,863	522,534

(b) ストップ数別手段分担率 ((a)表の行百分率)

1	36.3	23.6	19.5	4.9	15.7	100
2	43.9	25.5	17.1	4.6	8.9	100
3	26.0	26.0	34.6	6.1	7.3	100
4	22.6	22.6	43.0	6.3	5.5	100
5	11.8	21.8	57.3	4.8	4.3	100
≥ 6	9.2	15.4	70.0	2.4	3.0	100

(c) 手段別ストップ数分布 ((a)表の列百分率)

1	64.1*	61.7	52.8	62.2	77.4*	62.5
2	26.0*	22.3*	15.5	19.7	14.7	20.9
3	6.6	9.7*	13.4*	11.0*	5.3	8.9
4	2.0	3.0	5.9*	4.0*	1.4	3.2
5	0.6	1.7	4.7*	1.8	0.6	1.9
≥ 6	0.7	1.6	7.7*	1.3	0.6	2.6
合 計	100	100	100	100	100	100

数の増加とともにそれらの分担率は低下してゆく。反面、ストップ数の増加につれてモビリティの高い自動車（運転）の分担率は明らかに増えてゆく。一方、自家用手段である二輪車の分担率が安定しているのは、二輪車が徒歩と自動車の中間的性格を有していることによるものと思われる。これらの事実はトリップチェーンに着目したモーダルスプリットの必要性と可能性を示唆していると言える。

(c)表の手段別ストップ数構成の特徴は以下のようである。なお表中の*印は平均構成比を越えているものに付されている。

1. 公共交通手段利用者の8割近くが1ストップである。
2. 自動車運転者の1ストップ構成比は5割強と低く、多ストップ傾向にある。
3. 二輪車利用者と自動車同乗者のストップ数分布はよく似ている。
4. 徒歩と公共交通手段の利用者は2ストップまでの構成比が90%を越えている。

第2章

2 ストップチェーンの諸特性

1. はじめに

トリップチェーンのいくつかのパタンの中から、ここでは2ストップチェーンを取り上げてその性質を調べてみる。なぜなら2ストップチェーンがトリップチェーンの最も初歩的な形態であるからである。このパタンを徹底的に分析しその基本的理解を行うことが、トリップチェーンのより一般的な分析および総合的な理解そしてさらにモデル構築へと展開してゆくための礎石であろうと思われるからである。本章ではとくに就業者のうちで通勤ないし業務と私的な活動の組み合わせからなる2ストップチェーンを対象とする。通勤ないし業務は日々繰り返される基本的な活動である。しかし私的な活動は必ずしもそうではないであろう。この追加的な私的活動をはめ込む前の、典型的なオフィスワーカーの、典型的なウィークデーのスケジュールを図2.2.1に示す。この表現様式はHagerstrandのtime-space pathと呼ばれている¹⁾。縦軸は1日の時刻(time-of-day)、横軸は都市平面を示す²⁾。

この図のパタンを1ストップチェーンと呼ぶと、これに追加的活動が加わる時、すなわち2ストップチェーンは活動やトリップの生成順序を考慮して表2.2.1のように5つのパスを考えることができる。これら5つのパスの重要性については従来から指摘がある³⁾。表2.2.1には我が国の例として福山

1) Hagerstrand (1970).

2) この詳しい数学的表現については第3部のプリズムモデル、第4部のマルコフモデルを参照されたい。

3) Kondo (1974), Damm (1982).

(1979年), アメリカの例としてミネアポリス/セントポール(1970年), そして大都市の例として大阪(1970年, 1980年), 京都(1970年, 1980年)のデータを示した。まず福山とミネアポリス/セントポールの比較から始めよう。バス1の構成比は両市で差異はないと言えるが, パタン2は福山できわめて少なくなって

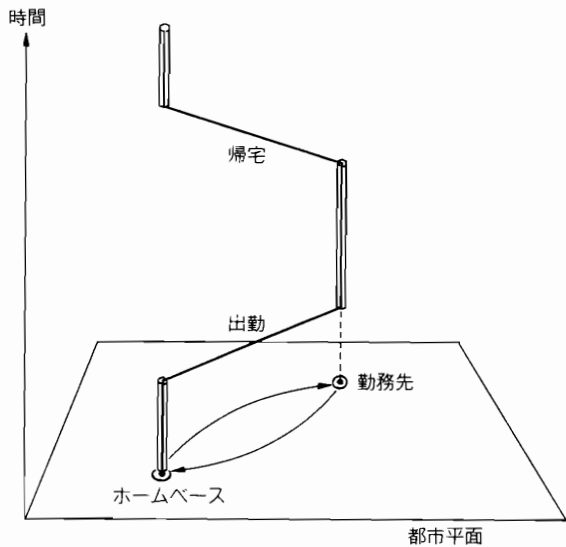


図 2. 2. 1 ハーガーストランドの時間空間経路

表 2. 2. 1 2ストップトリップチェーンの5つのバス

バス	(1) 出勤前ホーム ベースト	(2) 出勤途上	(3) 職 場 ベースト	(4) 帰宅途上	(5) 帰宅後ホーム ベースト
福 山	8.3%	4.5%	13.8%	39.4%	34.0%
Min./St. Pl.	8.0%	13.0%	10.0%	22.0%	48.0%
大 阪 '70	2.6%	4.4%	35.1%	41.7%	16.2%
大 阪 '80	1.7%	4.0%	52.4%	32.1%	9.8%
京 都 '70	3.7%	4.5%	29.9%	40.8%	21.1%
京 都 '80	3.1%	5.5%	42.5%	32.6%	16.3%

注) [サンプル数] 福山: 2,204人, Min./St. Pl.: 2,345人 [Damm (1982)], 大阪 '70: 331,939人, 大阪 '80: 401,145人, 京都 '70: 88,285人, 京都 '80: 109,732人: 以上大阪, 京都はいずれも拡大後のサンプル数。また大阪, 京都のデータでは通勤者のみを対象としており, 追加的活動としてオフィスベーストの業務も含まれている [このデータは梨木克修 (1987): トリップチェーンデータを用いた1日の交通行動パターン分析, 山梨大学卒業論文, から引用]。

いる。この違いは, アメリカではカープーリングによる通勤がかなり普及していること, および通勤途上で親による学童の学校への送迎 (drop and pick-up) が盛んであることによる。バス3は福山がやや多いが, この構成比は本来対象都市圏の大きさに依存しているであろうし, 昼食をどこでとるかという習慣に

も依存していよう。両国の生活様式の違いがはっきりと現れているのがバス4とバス5の構成比の大小の逆転現象である。両パタンの構成比の合計はそれぞれ70数パーセントで大きな差異はないと言えるが、福山ではバス4の職場からの帰宅途上で追加的活動（日々の買物や飲食など）を行うもののほうが多く、反対にアメリカでは帰宅後ふたたび外出するバスのほうが多くなっている。これはアメリカではパーティなどの社会的交遊活動で時刻から出かける機会が少なからずあることに起因しているのであろう。バス5が50%近いのが注目される。

次に大都市である大阪と京都の2度にわたるPT調査の結果について見てみよう。取り上げたデータは通勤者のみが対象である。さらに追加的活動の中にはオフィスベースの業務も含まれている。したがってバス3の構成比が上の2市に比べて多めにでている。

この2市の特徴は、出勤前ホームベースのバス1がかなり少ないこと、出勤途上のバス2の構成比は2市においては大差のないこと、職場ベースのバス3の割合がきわめて大きいこと、帰宅後のバス5もかなり少ないこと、などであろう。また2時点比較では、バス1の減少、バス3の著しい増加、バス4、5の減少が両市に共通して見うけられる。これらの現象の原因としては、近年の居住地と勤務地の遠隔化傾向によって、とくに午前のプリズム1と夕方

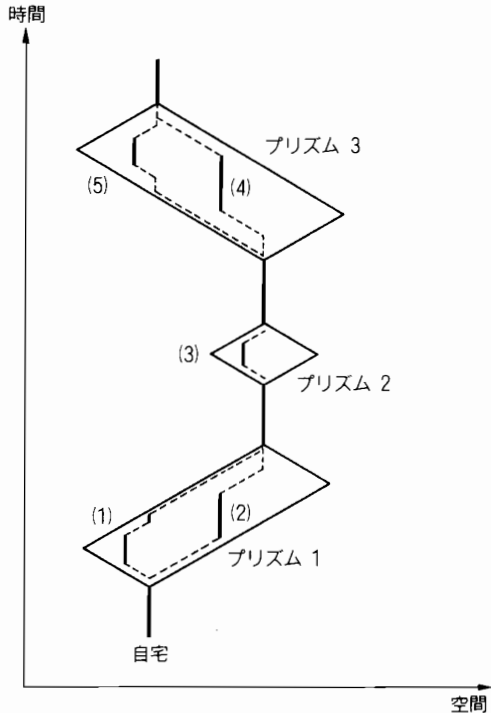


図 2. 2. 2 2ストップチェーンの時間空間経路

そこで追加的な活動を消化できなくなってきたことが挙げられよう。以上の地域間比較、2時点間比較から次のようなことが言えるかもしれない。母都市の通勤圏として都市圏を規定するとき、都市圏が拡大するにつれ自宅と職場の間に形成される午前と夕方の2つのプリズムはだんだん小さくなってゆくから、活動機会も減少し、したがってパス1とパス4ならびにパス5の構成比は低下してゆく。その代替として昼間のプリズム2に活動をはめ込むことになり、パス3の構成比が高くなる。厳密な議論のためには今後多くの都市圏および異時点のデータ収集を行い、統計的に検証してゆく必要がある。

これら5つのパスを time-space path として時間空間上に描くと図2.2.2のようになる。図中の平行四辺形はプリズムあるいはプリズム制約と呼ばれ、時間空間上の行動可能領域、言い換えるとパスの存在領域を表している。このプリズム概念を用いると、パス1とパス2がプリズム1に、パス3がプリズム2に、パス4とパス5がプリズム3に包摂されている様子がよくわかる。パス構成比をプリズム構成比に置き換えると、福山の場合、プリズム1が12.8%、プリズム2が13.8%、プリズム3が73.4%ということになり、圧倒的に夕刻のプリズム3での活動が多くなっている。次章以下ではこれら5つのパスの構成を種々の角度から眺めてみよう。

2. 職業とパス構成

職業別のパス構成を表2.2.2に示したが、職業別に特色が見うけられる。事務・専門・技術的職業従事者すなわちオフィスワーカーについては勤務時間が拘束的であることから勤務終了後の活動が多く、パス4が半数近くを占め、全職業の中で最大の値となっている。管理的職業従事者ではパス3、すなわち昼休みあるいは勤務時間中に私用で出かけるという自由な行動をとるものが多く、この割合は全職業中で最大である。販売職業従事者はこれといった特色はなく全職業の平均的な構成を示している。

農林水産業従事者はき

わめて特異なパス構成を示しており、パス1とパス5の両者で9割近い。両者とも追加的活動をホームベースで行うパスであり、いずれの構成比も全職業中最大となっ

表2.2.2 職業とパス構成

パス	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	合計
専門・事務・技術職	3.3	4.7	15.6	46.8	27.8	100%
管理的職業従事者	6.5	4.0	27.4	30.6	31.5	100%
販売従事者	9.3	5.8	15.4	33.0	36.5	100%
農林水産業従事者	40.3	3.3	2.3	7.4	46.7	100%
運輸・通信・保安職	20.7	9.8	17.5	19.9	32.1	100%
技能工・生産工	1.4	3.4	9.5	46.3	39.6	100%
サービス従事者	16.9	6.2	14.6	27.7	34.6	100%
平均	8.3	4.5	13.8	39.4	34.0	100%

ている。運輸・通信・保安職従事者のパス構成はサービス業従事者のそれと似ており、平均値と比べるとパス1が多く、パス4が少なくなっている。技能工・生産工については生産ラインに従事しているものが多く勤務時間が拘束的であることから、パス4の構成比が50%近く、オフィスワーカーと似た傾向を示している。

したがって、パス構成の面から職業をいくつかに統合するとすれば、

- A. 専門型：事務・専門・技術的職業、技能工・生産工
- B. 自由型：管理的職業、販売職業、運輸・通信業、サービス業従事者
- C. 特殊型：農林水産業従事者

という3つに整理できよう。

3. 目的連関とパス構成

就業者の基本的な活動としては通勤ないし業務の2種類、そして追加的な私的活動としては買物、社交・食事・観光・レクリエーション、私事・用務の3種類を取り上げた。そしてそれらの組み合わせ別に5つにパス構成を見たのが表2.2.3である。通勤/買物の組み合わせではパス4が半数を越え、パス1とパス2は商店の営業時間帯の関係できわめて少なくなっている。通勤/社交のケースではパス3の多いのが目立つが、これは食事がこの中に含まれている

ことによる。通勤/私事はほぼ平均的な構成となっている。

一方、業務/買物の組み合わせについては、パス5が半数を越え、パス1が平均値の2倍ある。いずれも

ホームベーストのパスである。この原因として自営業の場合、職場と家庭が一致していることが考えられる。業務/社交、業務/私事のケースではいずれもパス1の大きさが目立つ。総じて業務と私的活動の組み合わせにおいてはホームベーストのパスが支配的であり、通勤と私的活動の組み合わせにおいてはその逆の傾向にあると言えよう。

表 2. 2. 3 交通目的連関別のパス構成

パス	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	合計
通勤/買物	3.2	0.7	11.0	51.6	33.5	100%
通勤/社交・娯楽	4.9	3.7	25.2	37.1	29.1	100%
通勤/私事	8.9	9.7	14.9	33.6	32.9	100%
業務/買物	16.6	7.7	1.6	17.7	56.4	100%
業務/社交・娯楽	22.2	4.4	5.2	29.7	38.5	100%
業務/私事	39.1	6.6	2.8	13.0	38.5	100%
平均	8.3	4.5	13.8	39.4	34.0	100%

4. 交通手段とパス構成

表 2. 2. 4 には基本的活動トリップの交通手段別パス構成を示す。パス1は徒歩、業務用車利用者で多く、パス3では徒歩、モーターサイクルで構成比が高く、鉄道、業務用車で低い。パス4はパス1と逆の傾向にある。

パス5の構成比が高いのは、徒歩、業務用車、社用(私用)バスなど、そして鉄道、路線バスなどの公共交通手段利用者においてはきわめて低い。一般に身近な交通手段ほどホームベーストのパス構成比が高く、逆に公共交通手段利用者では職場からの帰宅途上で追加的活動がなされるパス4が6割を越え圧倒的となっている。自家用車運転と自転車という、いわば自家用交通手段利用者にあってはほぼ平均的なパス構成にある。前項と同じく業務用車利用者にあってはホームベーストのパスが多くなっている。

結局、交通手段に備わっているモビリティと、それによって規定される行動圏の大小がパス構成を支配していると言えよう。言い換えると、モビリティの

大きい交通手段利用者の場合はバス選択の自由度が高いため、特定のバスに集中するという傾向は見られないが、反対に、公共交通手段利用者はモビリティが低いのでバス4に集中することになる。また徒歩の場合には行動圏が狭いのでホームベーストやオフィススペース

表 2.2.4 基本トリップの交通手段別バス構成

バス	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	合計
徒歩	13.3	3.7	16.0	21.3	44.7	100%
自転車	4.5	2.7	13.6	42.3	36.9	100%
モーターサイクル	7.3	2.7	16.2	40.6	33.2	100%
自家用車運転	8.9	6.9	14.7	36.9	32.6	100%
自家用車同乗	4.2	7.4	14.5	49.0	24.9	100%
業務用車運転	18.0	6.7	5.7	27.0	42.5	100%
業務用車同乗	18.1	8.8	6.9	28.9	40.2	100%
鉄道	1.4	1.7	7.6	75.3	14.0	100%
路線バス	4.4	2.2	11.5	62.3	19.6	100%
社用バス	1.7	2.1	10.3	27.5	58.4	100%
平均	8.3	4.5	13.8	39.4	34.0	100%

のバスに集中することになる。ただ注意しなければならないのは、ここでの考察からだけでは「交通手段選択」と「バス選択」のどちらが先決され、どちらがそれに従属するかという交通決定における意志決定順序の問題は明らかにはならないということである⁴⁾。

5. 交通手段連関とバス構成

ここでは見方を変えて5つのバス別に交通手段連関の構成を眺めてみよう。表2.2.5にはバス別の手段連関を推移確率として表現している。表中mode-Aは通勤(業務)交通手段、mode-Bは私的活動への交通手段であり、バス1, 2では私的活動が先に行われるためmode-Bからmode-Aへの推移、バス3~5についてはmode-Aからmode-Bへの推移となる。交通手段は便宜上4つに統合されている。Walkは徒歩、Cycleには自転車とモーターサイクル、Carには自家用車と業務用車の運転・同乗、Transitにはその他の交通手段がまとめられている。

まずバス5の特徴はモードスイッチが激しいことである。このバスでは勤

4) 交通の意志決定メカニズムについては第3部第3章で扱われる。

務からの帰宅後ホームベストで私的活動を行うのであるから、身近な交通手段である徒歩や二輪車への転換が多くなっている。他方、徒歩や二輪車から車への転換も無視できない。当然ながら公共手段への転換は非常に少ない。次に、バス3については各モードから徒歩へのスイッチがきわめて多いのが特徴である。オフィスベストのバスであるから、目的地は徒歩圏内にあるものと思われる。バス1は

表 2. 2. 5 バス別の交通手段連関

バス	Mode-B		Mode-A			
	1.	2.	3.	4.		
(1)	1. Walk	.558	.143	.026	.473	
	2. Cycle	.188	.502	.079	.123	
	3. car	.167	.232	.870	.184	
	4. Transit	.087	.123	.025	.220	
		1.	1.	1.	1.	合計
(2)	1. Walk	.615	.053	.003	.134	
	2. Cycle	.119	.947	.015	—	
	3. car	.266	—	.908	.269	
	4. Transit	—	—	.074	.597	
		1.	1.	1.	1.	合計
(3)	1. Walk	.691	.194	.094	.021	1.000
	2. Cycle	.294	.576	.085	.046	1.000
	3. car	.328	.057	.597	.018	1.000
	4. Transit	.647	.143	.136	.074	1.000
		1.	1.	1.	1.	合計
(4)	1. Walk	.735	.102	.147	.016	1.000
	2. Cycle	.045	.914	.024	.017	1.000
	3. car	.064	.012	.851	.073	1.000
	4. Transit	.299	.037	.084	.580	1.000
		1.	1.	1.	1.	合計
(5)	1. Walk	.494	.220	.220	.066	1.000
	2. Cycle	.262	.515	.182	.041	1.000
	3. car	.170	.147	.663	.020	1.000
	4. Transit	.439	.369	.140	.052	1.000
		1.	1.	1.	1.	合計

バス5の裏返しであるが、バス5の推移確率と似た傾向を示している。バス2、4では対角要素が大きく、交通手段の継続利用の傾向にある。以上を総括すると、強いて言えばバス1、3、5はモードスイッチ型、バス2、4はモード継続型と呼べるかもしれない。ということは、ホームベストないしオフィスベストの活動パターンではモードスイッチ型に、通勤途上ないし帰宅途上の活動パターンではモード継続型ということになる。しかし、実際には公共交通手段を除くいずれの手段においてもその継続利用率は5割ないしそれ以上であって、基本的にはモードスイッチ派は少数である。

第3章

2 ストップチェーンの統計解析

本章では前章に引きつづき、2ストップ・トリップチェーンの形成に関連する諸要因について統計解析を行い、その支配要因を抽出する。そのためにまずカテゴリカルデータについて、主要要因と他の要因との二元配置表の独立性検定、林の数量化理論Ⅰ類による分析を行い要因間の関係を概観する。ついでヌメリカルデータを用いて、重回帰分析、正準相関分析そして主成分回帰分析を試みる。そして最後にそれらの結果を用いてトリップチェーン形成の因果構造がパス解析の形で整理される。

1. 二元配置分割表の独立性検定

前章で定義した意味での2ストップ・トリップチェーンの形成過程における主たる交通選択には次のようなものがあるであろう。

- a. 5つの可能な時間空間パスのどれを選ぶか
- b. 追加的活動をどのゾーンで行うか
- c. 追加的活動の滞在時間（開始時刻，終了時刻）の決定
- d. 追加的活動のタイプ（内容）の決定
- e. 通勤（業務）トリップの交通手段選択
- f. 追加的活動へのトリップの交通手段選択

本項では以上の6要因と個人属性，トリップ特性，そして空間特性などとの独立性（反面での従属性）を二元配置表で検定する¹⁾。

表2.3.1には登場するすべての要因のカテゴリーを示す。この19個の変数

のうちトリップメーカーにとって選択的な変数は「パス番号」, 「活動タイプ」, 「活動ゾーン」, 「通勤トリップ交通手段」, 「活動トリップ交通手段」, 「活動開始時刻」, 「活動終了時刻」, 「活動滞在時間」の8つであり, 他の変数はすべて与件と考えてよい。したがって分析の主眼は上記の選択的な変数が他の選択的な変数あるいは与件変数といかなる従属関係にあるかを調べることである。

そして表2.3.2に独立性検定の結果を示す。*印を付したペアは1%の有意水準で独立性仮説が棄却されないものである。すなわち2つの要因はまったく独立であるということが示唆されるペアである。さらにこの表はサンプル数やカテゴリー数の影響を除去したクラマーのコンティンジェンシー係数²⁾の値として表現してある。なお変数間の多重共線性については後述のヌメリカル

1) $k \times m$ 分割表の独立性検定

母集団における2つの属性 B, C について, それぞれ k 個のクラス B_1, B_2, \dots, B_k と m 個のクラス C_1, C_2, \dots, C_m に分類されているとする。この母集団から大きさ n の無作為標本を抽出し, クラスの対 (B_i, C_j) にはいる観測度数を X_{ij} として以下の分割表が得られたとする。

B \ C	C ₁	C ₂	.....	C _m	計
B ₁	X ₁₁	X ₁₂	.....	X _{1m}	X _{1.}
B ₂	X ₂₁	X ₂₂	.....	X _{2m}	X _{2.}
.....
B _k	X _{k1}	X _{k2}	.....	X _{km}	X _{k.}
計	X _{.1}	X _{.2}	.....	X _{.m}	n

いま

[仮説 H_0 : 属性 B と属性 C は独立である]

とするとき, この仮説のもとで

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m \frac{\{X_{ij} - n(X_{i.}/n)(X_{.j}/n)\}^2}{n(X_{i.}/n)(X_{.j}/n)}$$

は自由度 $(k-1)(m-1)$ のカイ2乗分布からの先作為標本の1つとみなすことができる。そこで有意水準 (α) をさだめ, 自由度 $(k-1)(m-1)$ のカイ2乗分布表から上の値 χ^2 が棄却域にはいるかどうかを調べることによって帰無仮説 H_0 の検定ができる。すなわち χ^2 の値が棄却域 $\chi^2_{\alpha, (k-1)(m-1)}$ よりも大きければ仮説 H_0 は有意水準 α で棄却される。

2) クラマーのコンティンジェンシー係数 C_r

$$C_r = \sqrt{\chi^2 / n(t-1)}$$

ここに

n : サンプル数

t : 2つの変数のカテゴリー数のうち小さい方の値

C_r は完全独立, すなわち無関連のとき0, 完全関連のとき1をとる。

表 2.3.1 変数とそのカテゴリ

1. バス番号 1. 通勤前ホームベースト 2. 通勤途上 3. 職場ベースト 4. 帰宅途上 5. 帰宅後ホームベースト	7. 性別 1. 男性 2. 女性	16. 活動開始時刻 1. 午前9時以前 2. 9時～12時 3. 12時～13時 4. 13時～17時 5. 17時以降
	8. 居住ゾーン (9. 職場ゾーン, 10. 活動ゾーン)	
2. 世帯人数(本人を含む) 1. 1人 2. 2人 3. 3人 4. 4人 5. 5人以上	1. リング1(都心部) 2. リング2 ↓ 3. リング3 ↓ 4. リング4(外縁部)	17. 活動終了時刻 1. 午前9時以前 2. 9時～12時 3. 12時～13時 4. 13時～17時 5. 17時以降
	11. 通勤トリップの交通手段 (12. 活動トリップの交通手段)	
3. 年齢 1. 29歳以下 2. 30歳代 3. 40歳代 4. 50歳代 5. 60歳以上	1. 徒歩 2. 自転車・バイク 3. 自動車(運転) 4. 自動車(同乗) 5. その他	18. 活動滞在時間 (19. 職住時間距離) 1. 10分以内 2. 10～20分 3. 20～30分 4. 30～50分 5. 50分以上
	13. 職場開始時刻 1. 午前8時以前 2. 8時～10時 3. 10時～12時 4. 午後	
4. 職種 1. 事務的・専門的・技術的職業 2. 管理的職業 3. 販売従事者 4. 農林漁業従事者 5. 運輸・通信・保安職 6. 技能・生産工	14. 職場終了時刻 1. 午前 2. 12時～16時 3. 16時～18時 4. 18時～20時 5. 20時以降	
	15. 職場滞在時間 1. 2時間以内 2. 2～8時間 3. 8～10時間 4. 10時間以上	
5. 追加活動の内容(活動タイプ) 1. 買物 2. 社交・食事・娯楽 3. 観光・レクリエーション 4. 私事・用務		
6. 職場の固定性 1. 通勤(固定的職場) 2. 業務(非固定的職場)		

データに対する重回帰分析の項でチェックされる。

[a] まず「バス番号」について見ると、無関係なものとして「世帯人数」、
「居住ゾーン」という世帯に関する変数があり、そのほか関係の薄いものとして
「年齢」、「性別」などの個人属性、「通勤手段」、「活動滞在時間」、「活動
ゾーン」などがある。逆に最も強く相互関係が検出されたものとしては「職場
開始時刻」、「活動開始時刻」、「活動終了時刻」などの時刻に関する変数があげ
られる。トリップチェーンの連結様式が活動時刻に強く依存していることを考

表 2.3.2 要因間の独立性検定
(クラマーのコンティンジェンシー係数)

説明変数	ケース	I バス番号	II 活動ゾーン	III 活動時間	IV 活動タイプ	V 通勤手段	VI 活動手段
	従属変数						
1. バス番号	—	.0078	.0158	.0338	.0147	.0234	
2. 世帯人数	.0023**	.0095	.0017**	.0075	.0112	.0022**	
3. 年齢	.0124	.0116	.0085	.0191	.0243	.0126	
4. 職種	.0344	.0228	.0045**	.0113	.0286	.0108	
5. 活動タイプ	.0338	.0063	.1059*	—	.0237	.0339	
6. 職場の固定性	.1225*	.0150	.0009**	.0073	.0466	.0041**	
7. 性別	.0318	.0074	.0815	.2252*	.1973*	.1959*	
8. 居住ゾーン	.0033**	.4988*	.0023**	.0022**	.0116	.0066	
9. 職場ゾーン	.0116	.4504*	.0044	.0053	.0206	.0143	
10. 活動ゾーン	.0078	—	.0035**	.0062	.0114	.0080	
11. 通勤交通手段	.0147	.0114	.0107	.0237	—	.2711*	
12. 活動交通手段	.0234	.0080	.0183	.0339	.2711*	—	
13. 職場開始時刻	.1980*	.0068	.0033**	.0085	.0077	.0047	
14. 職場終了時刻	.0674	.0103	.0076	.0169	.0130	.0102	
15. 職場滞在時間	.0686	.0032**	.0057	.0113	.0156	.0087	
16. 活動開始時刻	.2881*	.0027**	.0240	.0452	.0099	.0119	
17. 活動終了時刻	.2938*	.0034**	.0318	.0308	.0122	.0095	
18. 活動滞在時間	.0158	.0035**	—	.1059*	.0107	.0183	
19. 職場時間距離	.0434	.0097	.0029**	.0038**	.0590	.0186	

注) *印は0.1以上.

**印は $\alpha=1\%$ で有意でないもの(独立なもの).

えると当然の結果であるが、とくに「職場開始時刻」にも強く依存していることが判明したことは強調されてよい。活動に関する時刻は“選択的”であるとしてよいが、職場開始時刻はオフィスワーカーにとって“拘束的”なものであるからである。始業時刻がトリップチェーン形成に何らかの影響を及ぼしていることになる。またおおむね3つのゾーン変数との関連は薄い、「居住(時間)距離」の方は無視できない。これも特筆されてよい発見である。第3部でのモデル構築において重要な働きを演ずる。

[b] 次に「活動ゾーン」については、概して相互関係にあると断言できる変数はきわめて少なく、「居住ゾーン」と「職場ゾーン」という2つのゾーン変数との間のみ強い相互関係が見うけられる。このことは、活動ゾーンの選択(目的地選択)にあたっては上記2つのゾーンとも考慮に入れる必要のある

ことを示唆している。次に行く目的地は現在地点に依存するという従来の目的地選択モデルではこの現象は説明できない。とくに出勤途上や職場からの帰宅途上で追加的活動を行う場合、家庭と職場の両方からの（あるいは両方への）アクセシビリティを考えた活動ゾーン選択モデルが要求されることになる。これも重要な発見である³⁾。さらに「活動ゾーン」が個人属性や時間変数とほとんど無関係であるという事実も注目されてよい。上述のアクセシビリティや活動機会数の空間的分布にのみ依存するということであろう。

〔c〕「活動滞在時間」と独立な関係にあるのは「世帯人数」、「職種」、「職場の固定性」、「活動ゾーン」、「職場開始時刻」、「職住距離」など、活動ゾーン以外はすべて与件変数であり、またこれら以外の変数についても概して係数値は小さい。活動時間は個人属性や空間的変数にはほとんど関係がないということになる⁴⁾。係数値の最大は「活動タイプ」においてであり、活動時間は活動の内容に大きく依存していることがわかる。したがってトリップチェーン形成の数学モデル構築においては活動時間は内生的には取り扱えないことを示唆している。

〔d〕「活動タイプ」と独立の関係にあるのは「居住ゾーン」と「職住距離」の2つである。したがって活動内容は空間的変数とはあまり関係がないようである。言い換えると、活動内容というのは本来、生活のスタイルなどから決まってくるものであり、世帯の立地場所によっては影響を受けないということであろう。係数値の大きいものには「バス番号」、「性別」、「活動トリップ交通手段」、「活動開始時刻」、「活動滞在時間」などがあり、いずれも活動のタイプに関連の深い変数が抽出されてきている。

〔e〕「通勤交通手段」と独立な関係にある変数は1つもない。係数値の飛び抜けて大きいのは「活動（トリップ）交通手段」であり、交通手段の継続的利用の傾向を反映している。その他、「職種」、「性別」、「職住距離」などとも相互関係が強いと言える。

3) この観点に立つ目的地選択モデルとしては Kitamura (1984a) の貢献があるのみである。

4) ただ性別については意外に大きな係数値となっているが、これは後述するように活動の内容の影響が出ているものと判断できる。

〔f〕「活動トリップ交通手段」と無関係と思われる変数は「世帯人数」, 「職場の固定性」の2つ。関係の強いものとしては「通勤交通手段」が飛び抜けているが, その他「活動タイプ」, 「性別」の影響も見うけられる。

2. 数量化理論Ⅰ類による要因分析

本節では林の数量化理論Ⅰ類によって2ストップ・トリップチェーン構成変数の要因分析を行う。取り上げた外的基準(従属変数)は「活動(滞在)時間」(実数), 「活動ゾーン」(リング番号), 「バス1~5」(バス1に反応したときは1, そうでないときは0。以下バス2~5についても同様。)の全部で7ケースである。用いた説明変数(アイテム)は前節と同じく表2.3.1の19変数である。

まず表2.3.3には外的基準と各説明変数との偏相関係数を示す。説明変数は上から個人属性, 空間的変数, 時刻・時間変数の順に並べてある。各数字の右肩に付した小数字は順位を表し, これが外的基準に対する説明変数の規定力の順位になる。ケース2を除いて活動と勤務に関する時刻変数が上位にきており時刻が最も重要なファクターであることがわかる。ケース2では活動ゾーンは, やはり同じ空間的変数であるところの居住ゾーンと職場ゾーンの2つから大きく影響を受けており, 他の変数はほとんど効いていない。また全般にどのケースも個人属性変数はほとんど規定力を持っていない。重相関係数はケースⅡ, Ⅲ, Vで0.8を越えている。

表2.3.4(a)~(g)にはさらに詳しい分析結果を示す。選ばれた説明変数はレンジの上位7変数であり, カテゴリーウェイトの大きさからその説明変数の外的基準への寄与の割合と傾向を知ることができる。各カテゴリーに与えられたカテゴリーウェイトの正の方向は外的基準に正で寄与する。また各説明変数のレンジは第1位のものが1となるように基準化されている。なお各変数間の多重共線性については次節の数値データを用いた重回帰分析の項でチェックされ

表2.3.3 数量化理論Ⅰ類による分析結果——偏相関係数——

ケース	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	V	Ⅵ	Ⅶ
従属変数 重相関係数 (R)	活動時間 (0.4130)	活動ゾーン (0.8750)	パス1 (0.8342)	パス2 (0.6483)	パス3 (0.8109)	パス4 (0.5887)	パス5 (0.5982)
説明変数							
1. バス番号	.1262	.0843	—	—	—	—	—
2. 世帯人数	.0189	.0447	.0914	.0812	.0543	.0327	.0297
3. 年 齢	.0748	.0298	.0769	.0754	.0446	.0490	.0567
4. 職 種	.0307	.0715	.1343	.0630	.0998	.0543	.0598
5. 活動タイプ	.1196	.0314	.0646	.0254	.0636	.0959	.0863
6. 職場の固定性	.0146	.0510	.0597	.0316	.0021	.0375	.0302
7. 性 別	.0195	.0195	.0093	.0151	.0093	.1366	.1349
8. 居住ゾーン	.0300	.4956 ¹	.0183	.0372	.0114	.1103	.1185
9. 職場ゾーン	.0691	.4577 ²	.0568	.0292	.0532	.0641	.0719
10. 活動ゾーン	.0695	—	.0536	.0251	.0445	.0886	.1089
11. 通勤交通手段	.0538	.0590	.0493	.0691	.0536	.0610	.0634
12. 活動交通手段	.0455	.0667	.0531	.0813	.1152	.2020 ³	.1855 ⁴
13. 職場開始時刻	.1654 ³	.0882	.6292 ¹	.0625	.3479 ³	.0264	.1106
14. 職場終了時刻	.0580	.0716	.1838 ⁴	.1117	.3881 ²	.0588	.2449 ³
15. 職場滞在時間	.1153	.0265	.2074 ³	.0737	.2558 ⁵	.0135	.1008
16. 活動開始時刻	.2926 ²	.1034	.1794 ⁵	.3304 ²	.4455 ¹	.0888	.2973 ¹
17. 活動終了時刻	.3409 ¹	.0836	.3707 ²	.3586 ¹	.3459 ⁴	.3186 ¹	.0565
18. 活動滞在時間	—	.0537	.0757	.0496	.0497	.0821	.0899
19. 居住時間距離	.0618	.0658	.1584	.2341 ³	.0757	.2920 ²	.2664 ²

注) 肩付き数字は偏相関係数の上位の順位を示す。

る。

表(a)の分析結果から言えることは、活動時間に大きく寄与しているのは活動終了時刻と活動開始時刻の2つであり、活動終了時刻が遅くなるほど活動時間は長くなり、活動開始時刻が遅いほど活動時間は短くなると、ということである。そのほか職場開始時刻、バス番号、職場滞在時間なども活動時間と負の相関関係にある。

表(b)の分析結果から言えることは、活動ゾーンの選択に大きく寄与しているのは居住ゾーンと職場ゾーンの2つであり、いずれも活動ゾーンと正の相関関係にある。すなわち活動ゾーンは居住ゾーンないし職場ゾーンと同じゾーンが選ばれやすいということである(ゾーンは都心を中心とする同心円状に分割され、都心から外に向かって1, 2, …と番号をつけている)。また活動終了時刻が遅い場

合は郊外ゾーンが、活動開始時刻が遅い場合は都心ゾーンが、選択されているようである。

次にバス選択についての分析結果を見てみよう。まず表(c)の分析結果から言えることは、バス1の選択に大きく寄与しているのは職場開始時刻と活動終了時刻の2つであり、前者は正の、後者は負の相関があるようである。バス1は第1プリズムでのホームベーストバスであるから当然の結果であろう。興味あるのは職種のうち農林漁業従事者がこのバスに傾いている点である。田畑や海に出かける前にホームベーストで私用を済ませていることになる。

表(d)から言えることは、バス2の選択に大きく寄与しているのは当然ながら活動の終了時刻と開始時刻である。活動終了時刻が午前9時以前の場合、活動開始時刻が早い場合、職住時間距離が短い場合、年齢が若い場合、職場滞在時間が短い場合、などでバス2（通勤途上で活動）に傾く傾向が見うけられるようである。








表(e)から言えることは、バス3が勤務時間間のプリズムでのオフィスベーストのバスであることから、バス3の選択に大きく寄与しているのは、活動開始時刻、活動終了時刻、そして職場終了時刻の3つである。前2者は昼休みが大きく効いており当然の結果であるが、職場終了時刻については遅いほどこのバスが選択される。あるいは勤務時間間に活動を挿入したことにより職場終了時刻が遅くなったのかもしれない。職場滞在時間は2時間以内と10時間以上の両極端でこのバスに傾いている。

表(f)から言えることは、バス4の選択に大きく寄与しているのは活動終了時刻と職住時間距離の2つであり、両者とも正の相関関係にある。また活動トリップの交通手段が第3位にきており、公共交通手段などの第5モードがこのバスの選択に傾いている。さらに、居住ゾーンは郊外に向かうほど、活動ゾーンは都心ゾーンの場合、そして女性の場合、などでバス4（職場からの帰宅途上）が選択される傾向にあるのも特徴である。

最後に、表(g)から言えることは、バス5の選択に大きく寄与しているのは活動開始時刻と職場終了時刻の2つであり、前者は正の、後者は負の相関がある。

表 2.3.4 数量化理論Ⅰ類による分析結果

(a)

説明変数		外的基準	ケース(1)外的基準(活動時間)		
		分析結果	カテゴリウエイト		人数
アイテム	カテゴリー		傾 向	レンジ	
(1) 活動終了時刻	1. 午前9時以前 2. 9時～12時 3. 12時～13時 4. 13時～17時 5. 17時以降	-0.875 -0.426 -0.202 0.025 0.124		1.000 (.3409)	90 145 166 305 1337
(2) 活動開始時刻	1. 午前9時以前 2. 9時～12時 3. 12時～13時 4. 13時～17時 5. 17時以降	0.665 0.314 0.056 -0.082 -0.105		0.772 (.2926)	136 179 179 325 1224
(3) 職場開始時刻	1. 午前8時以前 2. 8時～10時 3. 10時～12時 4. 午 後	0.045 0.022 -0.105 -0.238		0.283 (.1654)	761 1003 70 209
(4) パス番号	1. 通勤前ホームベースト 2. 通勤途上 3. 職場ベースト 4. 帰宅途上 5. 帰宅後ホームベースト	0.185 0.037 0.053 -0.007 -0.059		0.245 (.1262)	153 91 279 830 690
(5) 職場滞在時間	1. 2時間以内 2. 2～8時間 3. 8～10時間 4. 10時間以上	0.153 0.052 -0.023 -0.052		0.206 (.1153)	189 336 1153 365
(6) 活動タイプ	1. 買物 2. 社交・食事・娯楽 3. 観光・レクリエーション 4. 私事・用務	-0.042 0.062 0.072 0.016		0.114 (.1196)	926 344 85 688
(7) 活動ゾーン	1. リング1(都心部) 2. リング2 3. リング3 4. リング4(外縁部)	-0.047 -0.013 0.032 0.021		0.081 (.0695)	556 272 315 900





注) ()内は偏相関係数

(b)

外的基準 分析結果		ケース(2)外的基準(活動ゾーン)			
説明変数		カテゴリウエイト		人数	
アイテム	カテゴリー	傾 向	レンジ		
(1) 居住ゾーン	1. リング1(都心部)	-0.604		1.00 (.4956)	300
	2. リング2	-0.371			
	3. リング3	-0.054			
	4. リング4(外縁部)	0.396			
(2) 職場ゾーン	1. リング1(都心部)	-0.514		0.865 (.4577)	439
	2. リング2	-0.270			
	3. リング3	0.089			
	4. リング4(外縁部)	0.350			
(3) 活動終了時刻	1. 午前9時以前	-0.005		0.188 (.0836)	90
	2. 9時~12時	-0.167			
	3. 12時~13時	-0.026			
	4. 13時~17時	0.006			
	5. 17時以降	0.020			
(4) 活動開始時刻	1. 午前9時以前	0.140		0.187 (.1034)	136
	2. 9時~12時	0.127			
	3. 12時~13時	0.044			
	4. 13時~17時	0.024			
	5. 17時以降	-0.113			
(5) 職場開始時刻	1. 午前8時以前	-0.012		0.145 (.0882)	761
	2. 8時~10時	-0.032			
	3. 10時~12時	-0.014			
	4. 午 後	0.113			
(6) バス番号	1. 通勤前ホームベースト	-0.088		0.143 (.0843)	153
	2. 通勤途上	-0.021			
	3. 職場ベースト	-0.032			
	4. 帰宅途上	-0.015			
	5. 帰宅後ホームベースト	0.055			
(7) 職住距離	1. 10分以内	0.017		0.081 (.0658)	668
	2. 10分~20分	0.021			
	3. 20分~30分	-0.005			
	4. 30分~50分	-0.041			
	5. 50分以上	-0.060			

注) () 内は偏相関係数

(c)

外的基準 分析結果		ケース(3)外的基準(パス1)			
説明変数		カテゴリーウェイト		人数	
アイテム	カテゴリー	傾 向	レンジ		
(1) 職場開始時刻	1. 午前8時以前 2. 8時～10時 3. 10時～12時 4. 午 後	-0.094 -0.112 0.039 0.885		1.000 (.6292)	761 1003 70 209
(2) 活動終了時刻	1. 午前9時以前 2. 9時～12時 3. 12時～13時 4. 13時～17時 5. 17時以降	0.256 0.466 0.080 -0.020 -0.071		0.724 (.3707)	90 145 166 305 1337
(3) 職場終了時刻	1. 午 前 2. 12時～16時 3. 16時～18時 4. 18時～20時 5. 20時以降	-0.098 -0.059 -0.010 0.039 0.225		0.324 (.1838)	131 239 1142 424 107
(4) 活動開始時刻	1. 午前9時以前 2. 9時～12時 3. 12時～13時 4. 13時～17時 5. 17時以降	0.190 0.043 -0.094 -0.054 0.002		0.287 (.1794)	136 179 179 325 1224
(5) 職場滞在時間	1. 2時間以内 2. 2～8時間 3. 8～10時間 4. 10時間以上	-0.184 0.067 0.028 -0.059		0.254 (.2074)	189 336 1153 365
(6) 職 種	1. 事務・専門・技術的 2. 管理的職業 3. 販売従事者 4. 農林漁業従事者 5. 運輸・通信・保安職 6. 技能・生産工	-0.022 -0.012 -0.032 0.207 -0.028 0.008		0.240 (.1343)	846 123 209 89 61 715
(7) 職住距離	1. 10分以内 2. 10分～20分 3. 20分～30分 4. 30分～50分 5. 50分以上	-0.055 0.051 0.043 0.030 -0.059		0.112 (.1584)	668 625 308 202 240

注) () 内は偏相関係数

(d)

説明変数		外的基準 分析結果	ケース(4)外的基準(パス2)		人数
			カテゴリーウェイト		
アイテム	カテゴリー		傾 向	レンジ	
(1) 活動終了時刻	1. 午前9時以前	0.795		1.000 (.3586)	90
	2. 9時～12時	-0.205			145
	3. 12時～13時	-0.136			166
	4. 13時～17時	0.021			305
	5. 17時以降	-0.019			1337
(2) 活動開始時刻	1. 午前9時以前	0.537		0.636 (.3304)	136
	2. 9時～12時	0.275			179
	3. 12時～13時	0.074			179
	4. 13時～17時	-0.039			325
	5. 17時以降	-0.100			1224
(3) 職住距離	1. 10分以内	0.132		0.260 (.2341)	668
	2. 10分～20分	-0.080			625
	3. 20分～30分	-0.096			308
	4. 30分～50分	-0.129			202
	5. 50分以上	0.076			240
(4) 職場終了時刻	1. 午 前	-0.124		0.188 (.1117)	131
	2. 12時～16時	0.007			239
	3. 16時～18時	0.012			1142
	4. 18時～20時	0.037			424
	5. 20時以降	-0.150			107
(5) 職 種	1. 事務・専門・技術的	0.013		0.154 (.0630)	846
	2. 管理的職業	-0.029			123
	3. 販売従事者	0.023			209
	4. 農林漁業従事者	-0.133			89
	5. 運輸・通信・保安職	-0.008			61
	6. 技能・生産工	-0.001			715
(6) 年 齢	1. 29歳以下	-0.001		0.139 (.0754)	571
	2. 30歳代	0.031			601
	3. 40歳代	0.009			484
	4. 50歳代	-0.032			262
	5. 60歳以上	-0.109			125
(7) 職場滞在時間	1. 2時間以内	0.100		0.139 (.0737)	189
	2. 2～8時間	-0.040			336
	3. 8～10時間	-0.005			1153
	4. 10時間以上	0.001			365








注) () 内は偏相関係数

(e)

説明変数		外的基準	ケース(5)外的基準(バス3)		人数
		分析結果	カテゴリウエイト		
アイテム	カテゴリ		傾 向	レンジ	
(1) 活動開始時刻	1. 午前9時以前 2. 9時～12時 3. 12時～13時 4. 13時～17時 5. 17時以降	0.098 0.328 0.799 0.102 -0.202		1.000 (.4455)	136 179 179 325 1224
(2) 職場終了時刻	1. 午 前 2. 12時～16時 3. 16時～18時 4. 18時～20時 5. 20時以降	-0.585 -0.301 0.073 0.088 0.254		0.838 (.3881)	131 239 1142 424 107
(3) 活動終了時刻	1. 午前9時以前 2. 9時～12時 3. 12時～13時 4. 13時～17時 5. 17時以降	-0.285 0.150 0.507 0.314 -0.132		0.793 (.3459)	90 145 166 305 1337
(4) 職場開始時刻	1. 午前8時以前 2. 8時～10時 3. 10時～12時 4. 午 後	0.036 0.073 0.021 -0.488		0.559 (.3479)	761 1003 70 209
(5) 職場滞在時間	1. 2時間以内 2. 2～8時間 3. 8～10時間 4. 10時間以上	0.037 -0.222 0.009 0.158		0.379 (.2558)	189 336 1153 365
(6) 活動への交通手段	1. 徒 歩 2. 自転車・バイク 3. 自動車(運転) 4. 自動車(同乗) 5. その他	0.067 -0.022 -0.042 0.084 -0.015		0.126 (.1152)	477 595 654 131 186
(7) 職住距離	1. 10分以内 2. 10分～20分 3. 20分～30分 4. 30分～50分 5. 50分以上	0.003 -0.006 0.007 0.066 -0.057		0.122 (.0757)	668 625 308 202 240

注) () 内は偏相関係数

(f)

説明変数		外的基準 分析結果	ケース(6)外的基準(パス4)		人数
アイテム	カテゴリー	傾 向	レ ン ジ	カテゴリーウェイト	
(1) 活動終了時刻	1. 午前9時以前 2. 9時～12時 3. 12時～13時 4. 13時～17時 5. 17時以降	-0.740 -0.611 -0.636 -0.288 0.261		1.000 (.3186)	90 145 166 305 1337
(2) 職住距離	1. 10分以内 2. 10分～20分 3. 20分～30分 4. 30分～50分 5. 50分以上	-0.286 0.027 0.091 0.110 0.515		0.800 (.2920)	668 625 308 202 240
(3) 活動への交通手段	1. 徒 歩 2. 自転車・バイク 3. 自動車(運転) 4. 自動車(同乗) 5. その他	-0.279 0.045 0.075 0.032 0.283		0.561 (.2020)	477 595 654 131 186
(4) 活動開始時刻	1. 午前9時以前 2. 9時～12時 3. 12時～13時 4. 13時～17時 5. 17時以降	0.218 0.214 -0.077 0.094 -0.069		0.294 (.0888)	136 179 179 325 1224
(5) 居住ゾーン	1. リング1(都心部) 2. リング2 3. リング3 4. リング4(外縁部)	-0.238 0.022 0.031 0.054		0.290 (.1103)	300 412 427 904
(6) 活動ゾーン	1. リング1(都心部) 2. リング2 3. リング3 4. リング4(外縁部)	0.126 -0.114 -0.025 -0.035		0.240 (.0886)	556 272 315 900
(7) 性別	1. 男 性 2. 女 性	-0.128 0.109		0.236 (.1366)	941 1102

注) () 内は偏相関係数

(g)

説明変数		外的基準	ケース(7)外的基準(パス5)		人数
		分析結果	カテゴリーウェイト		
アイテム	カテゴリー		傾 向	レンジ	
(1) 活動開始時刻	1. 午前9時以前	-0.721		1.000 (.2973)	136
	2. 9時～12時	-0.637			179
	3. 12時～13時	-0.565			179
	4. 13時～17時	-0.091			325
	5. 17時以降	0.280			1224
(2) 職場終了時刻	1. 午 前	0.655		0.785 (.2449)	131
	2. 12時～16時	0.294			239
	3. 16時～18時	-0.082			1142
	4. 18時～20時	-0.115			424
	5. 20時以降	-0.130			107
(3) 活動タイプ	1. 買物	-0.001		0.648 (.0863)	926
	2. 社交・食事・娯楽	-0.100			344
	3. 観光・レクリエーション	-0.025			85
	4. 私事・用務	0.054			688
(4) 職住距離	1. 10分以内	0.190		0.555 (.2664)	668
	2. 10分～20分	-0.007			625
	3. 20分～30分	-0.054			308
	4. 30分～50分	-0.089			202
	5. 50分以上	-0.366			240
(5) 活動への交通手段	1. 徒 歩	0.185		0.404 (.1855)	477
	2. 自転車・バイク	-0.011			595
	3. 自動車(運転)	-0.047			654
	4. 自動車(同乗)	-0.076			131
	5. その他	-0.218			186
(6) 職場開始時刻	1. 午前8時以前	0.054		0.305 (.1106)	761
	2. 8時～10時	0.014			1003
	3. 10時～12時	-0.043			70
	4. 午 後	-0.252			209
(7) 職場滞在時間	1. 2時間以内	0.078		0.263 (.1008)	189
	2. 2～8時間	0.165			336
	3. 8～10時間	-0.029			1153
	4. 10時間以上	-0.099			365

注) () 内は偏相関係数

また職住時間距離や交通手段とも負の相関がある。すなわち距離が短く、徒歩でアクセスする場合にこのパス（職場から帰宅後ホームベースト）に傾いている。

3. 重回帰分析にみる変数間の関係

本節ではトリップチェーン形成の因果構造をより明らかにするために表2.

表2.3.5 変数の説明

1. パス番号	1. 出勤前ホームベース 2. 出勤途上 3. オフィスベース 4. 職場から帰宅途上 5. 職場から帰宅後ホームベース
2. 年 齢	実数(歳)
3. 性 別	1 男 性 0 女 性
4. 職 種	1 職場拘束的職業 0 職場非拘束的職業
5. 世帯人数	実数(人)
6. 職場固定性	1 固定的(通勤) 0 非固定的(業務)
7. 活動タイプ	1 買 物 0 その他
8. 居住ゾーン	都心を中心とする同心リング 1. 都心部 2. 都心周辺部 3. 郊外部 5. 外縁部
9. 職場ゾーン	同 上
10. 活動ゾーン	同 上
11. 職住距離	家庭職場間の時間距離(分)
12. 通勤トリップ 交通手段	1 自家用手段(自転車, バイク, 自動車運転) 0 その他(徒歩, 公共交通機関, 自動車同乗)
13. 活動トリップ 交通手段	同 上
14. 職場開始時刻	調査日午前0時を起点とする経過時間(hrs)
15. 職場終了時刻	同 上
16. 職場滞在時間	実数(分)
17. 活動開始時刻	調査日午前0時を起点とする経過時間(hrs)
18. 活動終了時刻	同 上
19. 活動滞在時間	実数(分)

3.5に示す数値データを用いたステップワイズ重回帰分析を行う。まず変数群の説明を行っておこう。変数1はバス番号であり、おおむね追加的な私的活動の生起時刻に対応しているとみなすことができよう。変数2の年齢、変数5の世帯人数、および変数14から変数19までの時間変数はそれぞれ実数で与えている。ダミー変数としては変数3の性別、変数4の職種、変数6の職場固定性、変数7の活動タイプ、変数12, 13の交通手段がある。それぞれ活動パタンの違いを反映しうるように2つにグルーピングした。まず職種については事務・専門的・技術的職業や技能・生産工などを職場拘束的職業とし、それ以外を職場非拘束的職業とした。職場固定性については、日々同一の職場に通う通勤と、日々目的地が異なりうる業務とでは活動パターンが異なりうるという判断から、この変数を加えた。活動タイプは日常的に行われる買物とその他の活動(食事、娯楽、社交、私事業務など)に二分した。交通手段は、その利用が自分の自由になる自転車、バイク、自動車(運転)を自家用手段として1つのグループにまとめ、その他グループとに二分した。これによって交通手段のモビリティを反映させることができる。変数8~10はいずれもゾーン変数で、都心を中心とする同心リング番号で表示している。おおむね都心からリングまでの距離の代替指標と考えられよう。変数11は家庭と職場のあいだの時間距離である。以上の変数は、2~5が個人属性・世帯属性変数で、長期的には与件とみなされる変数群、6~7が活動特性を表すもので、7はその日の選択的変数、8~11が空間的特性変数で、このうち居住ゾーン、職場ゾーンは与件変数、活動ゾーンはその日の選択的変数である。12~13は交通手段で、いずれも選択的変数、そして14~19が時間変数で、仕事に關係するものは与件変数、追加的な活動に關係するものは選択的変数である。なお以上では業務も与件として定義している。

(1) 重回帰分析——その1

以上19変数の相関行列を表2.3.6に示す。また表2.3.7には5つのバスの各々について、そのバスが選択されるとき1、それ以外のバスのとき0を従属変数として、5つのケースについてステップワイズ法により重回帰分析を行

った結果を示す。以下ケースごとに要約しておく。いずれも変数採択基準はF値を3.84(95%確率で有意)以上とした。なお分析に用いたサンプル数は2204人である。なお、いずれのケースもVIF値(分散拡大要因)⁵⁾で見ると多重共線性は検出されていない。

〈ケースA〉

バス1の選択にあたって最も規定力の大きいのは職場開始時刻で、正の相関がある。すなわち職場開始時刻が遅い(同時に職場終了時刻が遅い)ほどこのバスが選択される。また当然のことながら、活動開始時刻とは負の相関関係にある。職場固定性変数については通勤と正の相関が見られる。重相関係数は0.8485と高い。以上を要約すると、始業時刻の遅い通勤者がバス1を選択していると言える。活動タイプや活動場所は明らかではない。始業時刻が遅いということは、このバスを選択した者のプリズム1が、そこに活動を挿入するのに十分な縦幅をもっていたということを示している。

〈ケースB〉

重相関係数は0.6446でそれほど高いとは言えないが、有意な変数は11個と多くなっている。ケースAと同じく活動開始時刻と負の相関関係にあり、これが最も規定力が大きい。活動滞在時間とも負の相関関係にあるが、このバスが出動途上であることを考えると、このバス上での活動時間は短いというのは当然であろう。年齢としては若年層にこのバスが選好されるようである。活動タイプは第2グループ、すなわち非買物活動に傾いている。買物の時間帯としてはまだ早すぎるということであろう。またF値はやや小さいが職場ゾーンと負の相関がある。すなわち、これは職場が都心に近いことを示している。職住時間距離とも負の相関、すなわち職住が近接している方がこのバスになりやすい。

5) 多重共線性を検出するためには、 p 個の変数の中の j 番目の変数について、残りの $p-1$ 個の変数に対する重相関係数 R_j を求め、

$$VIF_j = 1/(1 - R_j^2)$$

を計算し、たとえば $VIF \geq 10$ のときには多重共線性が問題になる、と言われている。この式の右辺は説明変数間の相関行列の逆行列の i, j 要素を表すが、これは各説明変数の標準回帰係数の分散を σ^2 で割ったものに等しい。その意味で分散拡大要因(Variance Inflation Factor)と呼ばれる。[田中豊他編:パソコン統計解析ハンドブックⅡ, 共立出版, 1984, pp. 4-5.]

表 2.3.6 相関行列

	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)
X(1)	-0.04759	-0.04497	0.10600	-0.03673	-0.68795	0.15783
X(2)		0.07074	-0.23045	-0.01493	0.15476	0.00026
X(3)			-0.09101	-0.03621	0.05224	-0.43619
X(4)				-0.08179	-0.22565	0.05781
X(5)					0.09959	-0.06942
X(6)						-0.09204
	X(8)	X(9)	X(10)	X(11)	X(12)	X(13)
X(1)	0.00708	0.04020	0.05017	0.08106	0.03103	0.06257
X(2)	0.06623	0.12676	0.12033	0.01734	-0.09885	-0.08175
X(3)	-0.03455	-0.00250	-0.02544	0.06187	0.30741	0.30795
X(4)	0.01182	-0.00727	-0.00038	0.03308	-0.01506	0.01439
X(5)	0.09228	0.06354	0.04490	-0.00151	0.04773	0.04457
X(6)	0.07441	0.06910	0.07778	-0.07276	-0.06260	-0.07774
X(7)	0.05480	0.05450	0.09126	-0.01107	-0.14617	-0.06471
X(8)		0.81473	0.80948	0.05990	-0.06586	-0.01668
X(9)			0.83891	-0.00597	-0.00993	0.03703
X(10)				0.01581	0.00803	0.03099
X(11)					-0.12297	-0.02009
X(12)						0.60865
	X(14)	X(15)	X(16)	X(17)	X(18)	X(19)
X(1)	-0.59494	-0.19147	0.12352	0.72774	0.63853	-0.05030
X(2)	0.07157	-0.23165	-0.23729	-0.19706	-0.16265	-0.03529
X(3)	-0.02201	0.07619	0.07420	-0.09193	-0.06473	0.13869
X(4)	-0.15506	0.13122	0.25067	0.21497	0.15633	-0.00058
X(5)	0.01327	0.02629	-0.04785	-0.03303	-0.02777	0.04327
X(6)	0.46376	0.02238	-0.31363	-0.55807	-0.50602	0.07307
X(7)	-0.06534	-0.08589	-0.02047	0.16616	0.08899	-0.21938
X(8)	0.01614	-0.04778	-0.03382	-0.01626	-0.00970	-0.03280
X(9)	-0.01204	-0.09941	-0.04789	0.00842	0.00972	-0.04010
X(10)	-0.02364	-0.05932	-0.02038	-0.00955	0.00542	-0.03800
X(11)	0.13891	0.00538	0.18753	0.08249	0.06780	-0.01632
X(12)	-0.04546	0.09105	-0.00825	0.00996	-0.00689	-0.02166
X(13)	-0.00310	0.04896	-0.00199	0.06426	0.07485	-0.04536
X(14)		-0.03545	-0.35590	-0.37599	-0.33690	0.04899
X(15)			0.54892	0.13576	0.04890	-0.08903
X(16)				0.32298	0.25731	-0.05737
X(17)					0.80172	-0.17187
X(18)						-0.02094

表 2.3.7 重回帰分析 (ステップワイズ法1)

説明変数 \ ケース	A	B	C	D	E
	バス1=1 その他=0	バス2=1 その他=0	バス3=1 その他=0	バス4=1 その他=0	バス5=1 その他=0
1. バス番号	従属変数	従属変数	従属変数	従属変数	従属変数
2. 年齢		-0.1053 (13.8)			
3. 性別			-0.0944 (8.6)	-0.0816 (4.9)	0.1295 (19.4)
5. 職種			-0.0547 (3.9)	0.0833 (6.4)	
5. 世帯人数					
6. 職場固定性	0.2271 (79.4)			-0.1443 (12.5)	-0.1163 (9.1)
7. 活動タイプ		-0.0881 (9.4)	-0.0794 (6.4)	0.0855 (5.7)	
8. 居住ゾーン				0.1733 (11.1)	-0.2323 (21.5)
9. 職場ゾーン		-0.0561 (4.0)			
10. 活動ゾーン				-0.2042 (15.3)	0.2899 (33.6)
11. 職住距離		-0.111 (15.9)			
12. 通勤トリップ 交通手段		-0.1043 (8.9)	0.1233 (14.0)		
13. 活動トリップ 交通手段		0.1026 (8.7)	-0.1611 (24.9)		
14. 職場開始時刻	0.5100 (486.2)	0.0988 (11.5)	-0.2012 (35.3)	-0.0900 (6.0)	-0.1419 (15.2)
15. 職場終了時刻	0.0900 (22.4)	0.1136 (15.8)	0.1086 (8.2)		-0.1926 (23.2)
16. 職場滞在時間			0.2860 (45.8)		-0.2138 (21.8)
17. 活動開始時刻	-0.2911 (142.4)	-0.3639 (40.7)	-0.3879 (43.4)	0.1041 (4.0)	0.4079 (131.5)
18. 活動終了時刻		-0.2199 (16.1)	-0.1606 (8.1)	0.1503 (9.1)	
19. 活動滞在時間		-0.1293 (19.5)	-0.0636 (4.7)		
重相関係数(R)	0.8485	0.6446	0.6010	0.4747	0.5889

注) 上段数字は標準偏回帰係数, 下段()内はF値.

$F_0(\alpha=0.05)=3.84$, $F_0(\alpha=0.01)=6.63$

交通手段については通勤トリップと活動トリップで逆の傾向に出ているが、この原因はよくわからない。全体的な傾向としては、表2.3.6に見るように変数12と変数13の相関係数が0.6076とあるので、同じ交通手段が継続して利用される確率が高いと言える。そのほかの時間時刻変数はそれぞれ納得のいく傾向を示している。以上を要約すると、バス2というのは「自宅からそう遠くない都心方向の職場（始業時刻はそれほど早くない）へ仕事に向かう若年層が、その途中で小用を足すというパターン」ということになるのか。

<ケースC>

このケースも重相関係数は0.6010で高いとは言えないし、有意な変数も11個得られている。しかし、バス3がプリズム2で生起していることに関連して、それを反映するいくつもの変数が有意となったのが大きな変化である。まず、職場開始時刻が負の相関に転じた。これは勤務時間が通常の時間帯であることを意味する。また職場滞在時間とも正の相関関係にある。追加的な活動がはめ込まれた分だけ職場滞在時間が長くなったということであろう。活動開始時刻はまだ負の相関を示している。活動滞在時間も負の相関、すなわち活動時間は短いことを表している。交通手段は、通勤トリップで正の相関、すなわち自家用手段に傾き、活動トリップで負の相関、すなわちここでは徒歩の影響がでている。職場からの徒歩圏に出かけていることを示している。そのほかでは、活動タイプは非買物の食事など、性別は女性、職種は職場非拘束的な職業、といった項目との相関が見られる。

<ケースD>

重相関係数はやや低く、有意となった変数のF値もあまり大きくない。しかしおもしろいことに、このケースは仕事からの帰宅途上で活動を行うバス4が対象であることから、おおむね先のケースBのバス2（出勤途上で活動を遂行）の結果の裏返しとなっている。すなわち、職場開始時刻が負の相関、活動開始時刻と活動終了時刻が正の相関を示している。そのほかの特徴は活動ゾーンが負の相関を示し、仕事は業務に、活動タイプは買物に、性別は女性に、それぞれ傾いていることなどである。ここから、夕刻に業務を終えた女性が都心

周辺部から郊外にかけてのストアで買物をする姿が浮かび上がる。なお今回用いた2204サンプルのうち半数強は女性であったことを付け加えておく。

〈ケースE〉

重相関係数は0.5889、有意な変数は8個である。このケースはさきのケースAのまったく裏返しであり、対応する変数の符号は見事にすべて逆になっている。最も規定力の大きいのは活動開始時刻、ついで活動ゾーン、職場終了時刻、職場滞在時間、居住ゾーン、性別の順となっている。興味あるのは活動ゾーンと居住ゾーンの符号が異なることであり、これは居住ゾーンが郊外で活動ゾーンが都心方面であることを示している。ただ先の相関行列からも明らかなように居住ゾーン、職場ゾーン、活動ゾーンの3者間にはそれぞれ高い相関(0.8以上)があり、これら3つのゾーンは互いにきわめて近接していると判断されるということに注意しておこう。活動タイプは明らかではないが、仕事からの帰宅後、主に男性によってこのパスが担われていることになる。仕事は業務に、そしてその滞在時間も短い方に傾いており、さらにその開始時刻と終了時刻も負の相関を示していることから、プリズム3の縦幅が帰宅後の活動を遂行するのに十分に大きいことを裏付けている。なお活動終了時刻は有意ではないが、相関行列より明らかなごとく、活動開始時刻とは高い相関(0.8以上)があるので、その傾向は活動開始時刻と連動していると見るのが自然であろう。

(2) 重回帰分析——その2

本項は、パス番号を直接の従属変数とするケース、プリズム1におけるパス選択(従属変数はパス2の場合1、パス1の場合0とする)のケース、そしてパス変数以外の「選択的」な変数と思われるものうち活動滞在時間を従属変数とするケース、活動ゾーン番号を従属変数とするケース、活動トリップの交通手段番号を従属変数とするケースについてステップワイズ法による重回帰分析を行った。ここでの分析の主眼は、上記5つの選択的変数が先述の与件変数群や他の選択的変数群とどのように関係しているかを見ることである。なお先と同じくいずれのケースについても多重共線性は検出されていない〔表2.3.8参

表 2.3.8 重回帰分析 (ステップワイズ法2)

ケース 説明変数	A	B	C	D	E
	バス選択 (1~5)	プリズム1 バス選択	活動時間	活動場所	活動への 交通手段
1. バス番号	従属変数	従属変数	0.2673 (16.1)		
2. 年齢			-0.941 (6.5)	0.0406 (4.5)	
3. 性別			0.0911 (4.9)		0.1814 (30.0)
5. 職種	-0.0614 (12.5)				
5. 世帯人数					
6. 職場固定性	-0.3041 (197.1)	-0.1511 (6.8)	0.0811 (2.6)		
7. 活動タイプ			-0.1586 (16.3)	0.0497 (7.2)	0.0933 (8.5)
8. 居住ゾーン	-0.0561 (4.0)			0.3859 (147.2)	
9. 職場ゾーン				0.5185 (263.3)	
10. 活動ゾーン	0.1007 (12.8)			従属変数	
11. 職住距離	0.1029 (34.5)	-0.1083 (4.9)			
12. 通勤トリップ 交通手段				0.0501 (7.2)	0.5694 (357.9)
13. 活動トリップ 交通手段			-0.0911 (6.0)		従属変数
14. 職場開始時刻	-0.3511 (303.4)	-0.5767 (92.0)			0.0682 (5.0)
15. 職場終了時刻	-0.1471 (49.5)				
16. 職場滞在時間	-0.1786 (59.1)				
17. 活動開始時刻	0.5248 (643.2)	0.1760 (8.6)	-0.5167 (57.9)		
18. 活動終了時刻			0.2931 (24.8)		0.1054 (11.9)
19. 活動滞在時間	0.0605 (13.1)		従属変数		
重相関係数(R)	0.8990	0.5911	0.3660	0.8698	0.6352

注) 上段数字は標準偏回帰係数, 下段()はF値.

$F_0(\alpha=0.05)=3.84$, $F_0(\alpha=0.01)=6.63$

照).

<ケースA>

このケースは従属変数にバス番号をとっているので活動開始時刻と大きな正の相関があるのは当然であろう。反面、職場に関する時間・時刻変数とはすべて負の相関関係がある。とくに職場開始時刻との相関が大きい。また職場固定性については、職場固定的な通勤の場合にバス番号は若くなる傾向が出ている。職種についてもこの傾向がある。活動ゾーン番号と職住距離の2つの空間的変数とバス番号とは正の相関が見られ、活動ゾーンの郊外化、職住距離の遠隔化に伴い、活動の時刻が遅くなる傾向にある。また活動滞在時間とも正の相関が見られ、活動に費やされる時間が長いほど活動時刻も遅くなるという関係がある。重相関係数は0.8990ときわめて高くなっている。

<ケースB>

ここではプリズム1における2つのバス、すなわち追加的活動をホームベースで行うバス1と、追加的活動を通勤途上で行うバス2を従属変数としている。当然のことながら、活動開始時刻とは正の相関が見られるが、他の3つの有意な変数とは負の相関がある。とくに強調されるべきは、職住時間距離が長くなればバス1に傾くことである(この傾向は後に第3部第2章で理論的に導出される)。これは職住が時間距離的に離れている場合、通勤途上に追加的活動をはめ込むことに心理的抵抗が働くということも考えられよう。このケースの重相関係数は0.5911であり高くない。

<ケースC>

このケースの重相関係数は高くないが、いくつかの興味ある傾向が確認される。まず、バス番号と正の相関にあることは先にも見たとおりであるが、活動開始時刻とは負の相関がある。活動を始める時刻が遅くなればなるほどその滞在時間は減少するというわけである。とくに夜の活動の場合、その開始時刻を遅らせば遅らせるほど就寝時刻が迫って来ることを考えればうなずける。年齢、性別、活動タイプ、交通手段の4変数については、若年層、男性、非買物活動、非自家用交通手段で活動時間が長くなる傾向を示している。

＜ケースD＞

このケースの重相関係数は0.8698とわりあいが高いが、これは活動ゾーンがほかの2つのゾーン変数と大きく関係しているからに外ならない。とくに職場ゾーンとの相関が大きく、職場とはほぼ同じゾーンで活動がなされている可能性が高い。同時に居住ゾーンにもかなり近いことが推測される。

＜ケースE＞

活動への交通手段は当然ながら職場への交通手段と正の相関があり、同じ交通手段が継続して利用される傾向の強いことがわかる。また、男性は自家用交通手段、買物の場合も自家用交通手段利用の傾向にある。職場開始時刻と活動終了時刻の2つとも負の相関が見られ、これらの時刻が遅くなるほど自家用交通手段利用に傾いている。

4. 正準相関分析

われわれが今用意している19個の変数はこれを意志決定の時間軸で見た場合、大きく次の3つの変数群に分けることが可能である。

第1群：個人に関する「社会経済変数」

個人属性や世帯属性を中心とした変数群で、短期的には与件とされる

第2群：日々の基本的活動に関する「タスク (task) 変数」

職場や就業に関する変数群で、典型的な週日において就業者にとって与件とされているもの

第3群：追加的活動を行う特定の日に発生する「活動関連変数」

タスク変数を与件として追加的活動を行うとき、トリップメーカーが決定しなければならない活動時間や時刻などスケジュールを中心とした選択的変数群

19個の各変数をそれぞれこの3変数群へ振り分けてみると表2.4.1のようになる。

これら3つの変数群のあいだの相関関係を見るために以下の3つのケースの正準相関分析を行った。

ケース1：社会経済変数群とタスク変数群

ケース2：タスク変数群と活動関連変数群

ケース3：(社会経済変数+タスク変数)群と活動関連変数群

ケース1では、日々のタスク変数群と短期的に与件とされる社会経済変数群とのあいだの相関関係がどのような正準変量で説明されるか、ケース2では活動関連変数群とタスク変数群の相関関係がどのような正準変量で説明されるか、そしてケース3では活動関連変数群とそれ以外

の変数群の相関関係がどのような正準変量で説明されるか、をそれぞれ調べる。表2.4.2には正準相関係数の2乗値を示す。ケース1では5つの正準変量が合成されるが、2番目以下は正準相関係数が小さいので第1正準変量だけを取り上げることにする。ケース2とケース3では7つの正準変量が合成されるが、4番目以下の正準相関係数が小さいので、それぞれ第3正準変量までを取り上

表2.4.1 19変数の3群分類

変数	内 容	第1群	第2群	第3群
X ₁	バス番号			○
X ₂	年 齢	○		
X ₃	性 別	○		
X ₄	職 種	○		
X ₅	世帯人数	○		
X ₆	職場固定性		○	
X ₇	活動タイプ			○
X ₈	居住ゾーン	○		
X ₉	職場ゾーン		○	
X ₁₀	活動ゾーン			○
X ₁₁	職住時間距離		○	
X ₁₂	通勤交通手段		○	
X ₁₃	活動交通手段			○
X ₁₄	職場開始時刻		○	
X ₁₅	職場終了時刻		○	
X ₁₆	職場滞在時間		○	
X ₁₇	活動開始時刻			○
X ₁₈	活動終了時刻			○
X ₁₉	活動滞在時間			○

表2.4.2 正準相関係数(2乗値)

正準変量		1	2	3	4	5	6	7
正準相関係数	ケース1	.6797	.1623	.1105	.0138	.0043	—	—
	ケース2	.7104	.6524	.3887	.2132	.0115	.0021	.0001
	ケース3	.7604	.6562	.4531	.2371	.1291	.0207	.0059

げる。

表2.4.3にケース1の変数群に対する標準化係数(標準化された変数への偏回帰係数)の値を示す。このケースは社会経済変数群の居住ゾーンとタスク変数群の職場ゾーンとの正の相関関係でほぼ決まっている。地方都市のデータゆえに職住近接傾向が強く検出された結果となっている。したがって、この第1正準変量は近接関係にあるゾーン変量と解釈される。

表2.4.4にケース2の変数群に対する標準化係数の値を示す。まず第1正準変量について

は、タスク変数群の職場ゾーン変数と活動関連変数群の活動ゾーン変数とのあいだに正の相関関係がきわめて強く検出され、この正準変量は近接傾向にある職場と追加的活動場所を表す空間的な変量であると解釈される。第2正準変量については、タスク変数群の職場固定性(通勤であるか業務であるか)と職場開始時

表2.4.3 ケース1の標準化係数

正 準 変 量		1
社会経済変数の標準化係数	X ₂	0.10316
	X ₃	0.00189
	X ₄	-0.00947
	X ₅	-0.01012
	X ₈	0.98860
タスク変数の標準化係数	X ₆	0.02441
	X ₉	0.99216
	X ₁₁	0.08474
	X ₁₂	-0.07469
	X ₁₄	-0.00560
	X ₁₅	0.05136
	X ₁₆	-0.06387

表2.4.4 ケース2の標準化係数

正 準 変 量		1	2	3
タスク変数の標準化係数	X ₆	0.13961	0.60458	-0.04229
	X ₉	0.98114	-0.17358	-0.05422
	X ₁₁	0.01194	-0.17978	0.07470
	X ₁₂	0.07119	-0.02716	0.99652
	X ₁₄	0.05745	0.57549	0.09473
	X ₁₅	0.05687	0.18595	0.04128
	X ₁₆	0.04892	0.25315	-0.01469
活動関連変数の標準化係数	X ₁	-0.19863	-1.17397	-0.00744
	X ₇	-0.04364	0.00948	-0.18390
	X ₁₀	0.99588	-0.09813	-0.08214
	X ₁₃	0.05888	-0.01143	0.96922
	X ₁₇	0.06318	0.35502	0.10733
	X ₁₈	-0.00680	-0.07695	-0.16050
	X ₁₉	-0.01102	0.06212	-0.02051

刻の2つの変数、そして活動関連変数群の活動開始時刻変数などと正の相関が見られる。したがって、この正準変量は、トリップメーカーが通勤者であれば活動開始時刻が遅くなる(すなわちバス4ないしバス5を選択する)傾向を表現するいわばタイムスケジュール変量であると解釈される。第3正準変量では、タスク変数群の通勤トリップ交通手段と活動トリップ交通手段とに正の相関関係が強く存在しているので、自家用交通手段でそれが継続利用されているかどうか

かを表す変数であると解釈される。

表2.4.5にはケース3の変数群に対する標準化係数の値を示す。このケースは先の2つのケースが合成されたケースであるので、その結果も当然ながら先の2ケースと同じ傾向を示しているが、さらに興味深い項目が追加されてきている。まず第1正準変量では、社会経済・タスク変数群の居住ゾーンと職場ゾーン、

表2.4.5 ケース3の標準化係数

正 準 変 量		1	2	3
社会経済・タスク 変数の標準化係数	X ₂	0.04264	0.02355	-0.05661
	X ₃	-0.03066	-0.01575	0.46974
	X ₄	0.01000	-0.07494	0.03565
	X ₅	-0.03346	0.00468	0.08990
	X ₆	0.13122	-0.61375	-0.06532
	X ₈	0.44707	0.00973	-0.06835
	X ₉	0.58244	0.15216	0.06074
	X ₁₁	-0.01603	0.17766	0.03988
	X ₁₂	0.07843	0.02247	0.73710
	X ₁₄	0.04541	-0.57866	0.08193
	X ₁₅	0.03376	-0.18514	0.01073
X ₁₆	0.06542	-0.23926	-0.06950	
活動関連変数の標 準化係数	X ₁	-0.18537	1.18978	0.07438
	X ₇	-0.02472	-0.00599	-0.40566
	X ₁₀	0.99868	0.08687	-0.01910
	X ₁₃	0.02008	-0.00125	0.88611
	X ₁₇	0.06589	-0.38512	0.04348
	X ₁₈	-0.01507	0.08279	-0.15756
	X ₁₉	-0.01265	-0.07109	0.04180

そして活動関連変数群の活動ゾーンなどとのあいだに正の相関関係があり、この変量は互いに近接しているゾーンを表現する変数であると解釈される。次に第2正準変量については、社会経済・タスク変数群の職場固定性と職場開始時刻の2変数と負の相関関係が、そして活動関連変数群のバス番号と正の相関関係、活動開始時刻とは負の相関関係が見られる。すなわち、当日業務を行う者で業務開始時刻が早い場合は、活動開始時刻も相対的に早くなり、その結果、バス番号が大きくなる。言い換えると、業務が早く終わるのであるから業務終了後に活動を開始するバス（4や5）が選択されるという、タイムスケジュールを示しているのがこの第2正準変量であると解釈される。第2ケースの第2正準変量よりもより詳しくその内容が規定されてきている。最後に、第3正準変量については、社会経済・タスク変数群の性別と通勤トリップ交通手段の2変数と正の相関関係が、そして活動関連変数群の追加的活動のタイプと負の相関関係、活動トリップ交通手段と正の相関関係が見られる。すなわち、男性が

職場へ行くのに自家用交通手段を用いればこの変量は増加し、同時に追加的活動として非買物活動が選ばれるときこの変量は増加する。したがって第2ケースの第3正準変量よりなお複雑な内容となっているが、全体の性向から見て、性別による交通手段や活動タイプの違いを反映する変量であると解釈される。

5. 主成分回帰分析

多変数の分析を行う場合、注意を要する問題の1つに多重共線性があり、これは重回帰分析のみでなく、正準相関分析、数量化理論にも共通するものである。すなわち、 p 個の変数間の変数間の相関係数行列 R の最小固有値 λ_p がほぼ0となることを意味するが、データ解析の立場からは、かならずしも $\lambda_p=0$ でなくても、最大固有値 λ_1 と最小固有値 λ_p の比がほぼ30を越えた場合、データ行列は多重共線性の状態にあるとみなしてよい⁶⁾。もしも分析に用いる説明変数のいくつかに多重共線性が見られる場合、これらのデータをうまく処理してやる必要があるが、そのうちの1つに主成分回帰と呼ばれる方法がある。すべての説明変数を主成分分析して得られる主成分得点を用いた重回帰分析である。本節では第1節で主成分分析、第2節で主成分回帰を行う。

(1) 主成分分析

主成分分析とは多くの変数の値をできるだけ情報の損失なしに1個ないし少数個の主成分で代表させる方法である。ここではパス変数を除く18個の数値データ(表2.3.5)を対象とした。表2.4.6に相関行列の固有値と固有ベクトルを示す。表に掲げたのは固有値が1以上の8つの主成分である。累積寄与率はまだ80%を起えていない。全体に個々の主成分の寄与率は低い。

まず第1主成分を見ると、職場固定変数と活動開始/終了時刻の3変数の係数値が大きいので、追加的活動を遂行できるプリズムの位置を表す主成分と解

6) 柳井晴夫・高木広文:『多変量解析ハンドブック』現代数学社, 1986年, pp. 255-256.

表 2.4.6 相関行列の固有値と固有ベクトル

説明変数	1	2	3	4	5	6	7	8
X(2)	-0.22594	0.03952	-0.07451	-0.22422	-0.25057	0.32574	-0.22888	0.37037
X(3)	-0.03384	-0.09091	0.49613	0.03385	-0.32600	0.15666	-0.17782	0.06663
X(4)	0.22674	0.07150	-0.02163	0.19603	0.10556	-0.22186	-0.13661	-0.50475
X(5)	-0.06259	0.03834	0.08019	0.03789	0.04598	-0.23416	0.76866	0.39439
X(6)	-0.40919	-0.09571	0.01921	0.21924	0.17192	-0.01127	0.05586	0.04028
X(7)	0.07165	0.14077	-0.35788	-0.19004	0.43408	0.10832	0.30287	-0.08388
X(8)	-0.15981	0.53339	0.07129	0.10538	-0.01985	-0.03136	0.02130	-0.04323
X(9)	-0.16350	0.54019	0.10395	0.02333	-0.02279	-0.03879	-0.04420	-0.01353
X(10)	-0.15517	0.54167	0.09889	0.04778	0.00799	-0.02374	-0.05761	-0.01954
X(11)	0.04793	0.04030	-0.02945	0.23585	-0.25593	0.66266	0.32393	-0.29378
X(12)	0.04494	-0.05083	0.52706	-0.25757	0.27685	-0.00416	0.01017	-0.06898
X(13)	0.06003	-0.00495	0.50314	-0.28281	0.26273	0.13770	0.09684	-0.17556
X(14)	-0.32149	-0.12137	-0.02298	0.13031	0.14292	0.25796	0.27639	-0.35086
X(15)	0.18589	-0.03590	0.17861	0.54882	0.28127	0.03251	-0.04161	0.25673
X(16)	0.34736	0.06154	0.10389	0.46310	0.00492	0.08997	-0.12782	0.18282
X(17)	0.45054	0.16660	-0.04864	-0.16309	-0.07559	0.09627	0.16497	0.03842
X(18)	0.40949	0.15930	-0.03063	-0.20334	-0.20581	0.03221	0.21130	-0.00557
X(19)	-0.08007	-0.08796	0.09469	0.08983	-0.48982	-0.45420	0.13007	-0.30146
固有値	3.11370	2.67150	2.01131	1.48470	1.26582	1.11196	1.03887	1.01672
寄与率	0.17298	0.14842	0.11174	0.08248	0.07032	0.06178	0.05771	0.05648
累積寄与率	0.17298	0.32140	0.43314	0.51562	0.58595	0.64772	0.70544	0.76192

積される。職場に関係する時間変数の係数値もこれを支持している。第2主成分では3つのゾーン変数の係数がすべて正であることから、この主成分は問題なくゾーン位置を代表する主成分である。第3主成分では、性別、活動タイプと2つの交通手段の係数が正で大きいので、性の違いによる活動タイプと交通手段の規定度を表す主成分であると解釈されよう。第4主成分は、職場終了時刻と職場滞在時間の係数が正となっていることから、職場での仕事の長さに関係するファクターと考えられる。第5主成分については、活動タイプと活動滞在時間で係数値が大きいので、活動の性質を表す主成分であると解釈できる。第6主成分は職住時間距離と活動滞在時間の2つの時間変数に関係しており、職住が遠隔化し活動時間が減ればこの主成分の値は大きくなるので、追加的な活動をはめ込めるプリズムの大きさを表す主成分とみなせよう。第7主成分では、世帯人数と職住距離が大きいほどこの成分は大きくなるので、世帯人数の増加と居住地の郊外化に代表される世帯特性を表す主成分と解釈できよう。第8主成分は多くの変数に関係しているが、職種の影響が最も大きく、職場に拘束されない職種であるかどうかという個人属性を代表する主成分と言えるかもしれない。

18個の主成分のうちの最大固有値 (λ_1) は3.11370, 最小固有値 (λ_p) は0.15618であったので $\lambda_1/\lambda_p=19.9366$ となり、先の判定基準 (>30) から見れば多重共線性からはいちおうまぬがれているとみなせよう。

(2) 主成分回帰

前項で得られた8つの主成分を説明変数に、バス番号を従属変数とした重回帰分析を行い、その結果を表2.4.7に示した。重相関係数は0.8713で意外と高くなっている。第6主成分は有意水準5%でも有意ではない。有意水準1%では第7主成分も有意でなくなる。

バス番号と最も相関の強いのは第1主成分であるが、この成分は上で見たとおり活動を行ったプリズムの時刻を表すと解釈したのであるから、バス番号が活動時刻を反映していることを考えるときわめて当然の結果であろう。次に来

るのは第4主成分で、職場での仕事の長さの代表変数であるが、これとは負の相関が現れている。仕事があまり遅い時間にまで渡るようになると、追加的活動の遂行は困難になることを示している。第2主成分のゾーン位置とは正の相関にあり、ゾーン位置が都心から

離れるにしたがってバス番号も大きくなる、すなわち仕事終了後に追加的活動がなされるという傾向を示している。第5主成分は活動の性質であり、負の相関となっていることから、時間のかかる活動ではバス番号の大きいバスが選択されることになる。第3主成分は主に性別を代表しており、女性ほどバス番号の大きいバスをとる傾向にあることを示している。第8主成分は職場拘束性の代表変数であるが、職業が職場非拘束的であるほどバス番号が大きくなると解釈される。以上の結論はおおむね第3節での分析結果と一致している。

表2.4.7 主成分回帰($R=0.8713$)

説明変数	標準回帰係数	偏相関係数	F 値
第1主成分	0.6329	0.7903	1204.8
第4主成分	-0.4377	-0.6657	576.3
第2主成分	0.2842	0.5011	242.8
第5主成分	-0.2758	-0.4900	228.7
第3主成分	-0.0745	-0.1500	16.7
第8主成分	0.0528	0.1070	8.4
第7主成分	0.0418	0.0850	5.3
第6主成分	0.0110	0.0223	0.4

注) $F_0(\alpha=0.05)=3.84$, $F_0(\alpha=0.01)=6.63$

6. パス解析による因果関係モデル

本節では Blalock によって発展させられたパス解析 (Path Analysis)⁷⁾ の手法を用いて、前節までに得られた知見をもとに因果関係を示すモデルを仮設的に設定し、その検討を行う。一般に相関関係から因果関係を推論する場合、下記の2条件は必ず満たさなければならない⁸⁾。

- (1) 時間的先行性: 原因と考えられている事象の生起は、結果と考えられている事象の生起より必ず時間的に前にある。

7) Blalock, H. M. Jr. (1964): Causal Inference in Nonexperimental Research. The University of North Carolina Press, Chapel Hill.

8) 柳井晴夫・高木広文, 前掲書, p. 243.

(2) 相関が強いこと：相関関係の有意性にかかわらず，相関係数の数値そのものが大きいこと。

パス解析では研究者が扱うモデルに応じてその構造式が異なるので，厳密にパス係数を推定する場合は，モデルから構造式を求め，パス係数と相関係数の関係式を導き，その連立方程式を解く必要がある．ただし重回帰分析の標準化偏回帰係数がパス係数の推定値として比較的よい近似値となることが多い⁹⁾．本研究ではとくに厳密な推定値を必要としないので以下では標準化偏回帰係数を用いたパス解析を行うことにする．

まず，図2.4.1に交通手段選択の因果モデルとパス係数の値を示す．交通手段選択に影響を及ぼす要因としては，従来から取り上げられてきている個人属性（年齢・性別），空間特性（ゾーン変数），トリップ特性（職住距離，トリップ目的）などのほか，時間・時刻変数が含まれているのが特徴である．活動トリップ交通手段選択については本章第3節と重複するので省略するが，通勤トリップ交通手段選択においては，職場に関する時間・時刻との相関，とくに職場終了時刻との正の相関は注目されてよい．すなわち仕事で遅くなる場合は自家用交通手段が選択されることを示している．交通手段選択は全体の因果モデルの中でやや特異なメカニズムをもち，図からわかるように活動トリップ

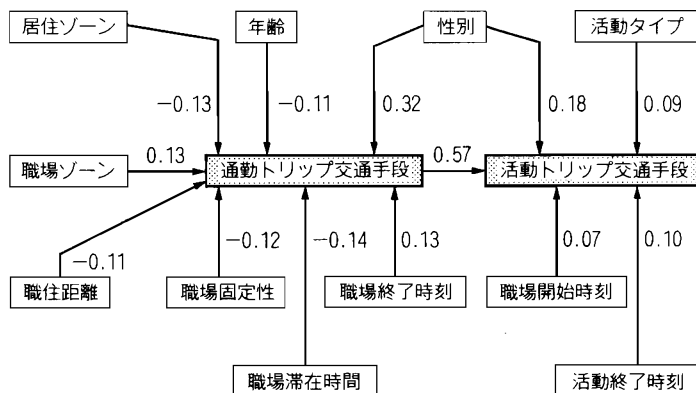


図2.4.1 交通手段選択の因果モデル

9) 同上，p. 253.

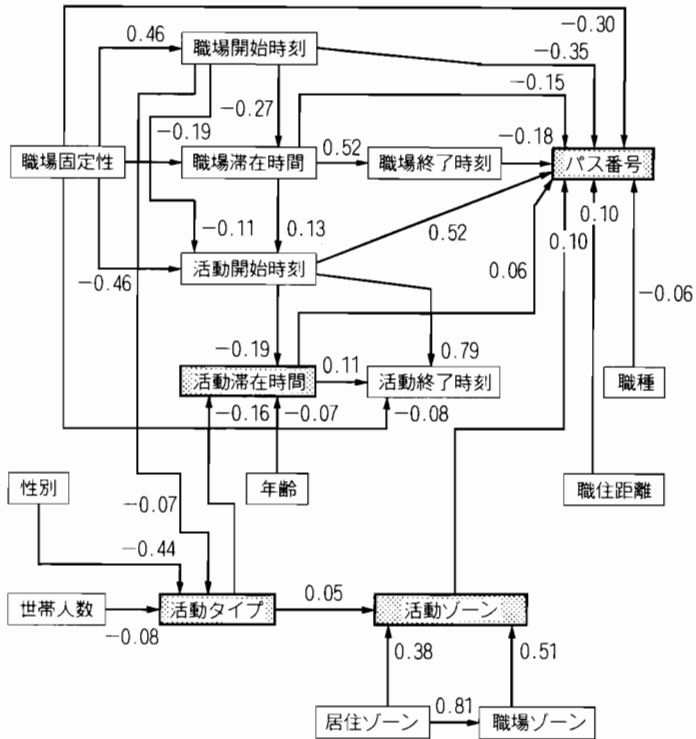


図 2.4.2 活動スケジュール決定の因果モデル

交通手段選択以降の後続フローがなく、そこで完結していることになる。各要因の時間的順序関係から見て、交通手段選択は意志決定プロセスにおいて最終の位置にあるものと判断している。

次に図 2.4.2 に活動スケジュール決定の因果モデルのパス係数の値を示す。このモデルの全体はかなり複雑であるが、以下のようないくつかのサブ・グループに分けて見ることができる。

- (1) 職場関連の時間に関するグループ
- (2) 活動関連の時間に関するグループ
- (3) 活動タイプに関連するグループ
- (4) ゾーンのグループ

(5) パス番号に関連するグループ

第1および第2グループでは職場固定性すなわちその日の基本的活動が通勤であるのか業務であるのかという違いが大きな規定要因である。このことはサンプルが職場固定性でセグメント化されるべきことを教えている。第3グループの活動タイプについては、性別、世帯人数、そして職場開始時刻の3要因の影響を受けている。とくに世帯のライフサイクルステージ変数としての世帯人数の影響（パス係数 $= -0.08$ ）がわずかながらでも検出されたことは注目に値する。そしてこの活動タイプはさらに活動滞在時間と活動ゾーンにも影響していく。第4グループのゾーンについては居住ゾーンの規定力が大きい。第5グループのパス番号決定プロセスについてはすでに本章第3節で考察したとおりであり、個人属性の効き方は少なく、時間・時刻および空間的要因の影響が支配的である。この結論はもちろん第3部の数学モデルの展開において有効に活用される¹⁰⁾。

10) 第2部の土台となったのは、拙稿（1986a, 1986b, 1987b）である。

◆第3部◆

トリップチェーンの効用最大化モデル

第1章

消費者行動論的アプローチ

本章では、効用最大化の観点から1日の活動および交通のスケジュール決定を明示的に取り扱ったモデルを2つ紹介する。いずれも時間や所得の制約下で効用最大化を計る消費者行動として定式化がなされている。

1. Adler = Ben-Akiva モデル

個人のトリップチェーンを初めて決定論的に取り扱ったものに Adler = Ben-Akiva (1979) による効用最大化モデルがある。従来の確率論的なマルコフモデルあるいは非集計行動モデルなどでは個人の意志決定メカニズムの内部にまで立ち入ったモデル化は行われて来なかった。その点で彼らのモデルは、多くの課題を残しながらも、個人のトリップチェーン行動のメカニズム解明に向かっての新しい分野を開く積極的な試みとして評価に値しよう。モデルでは個人が1日に行うサイクル数（彼らの用語ではツアー Tour 数）とストップ数（彼らの用語ではソウジャン Sojourn 数）が決定される。考慮される効用要素は以下の3つである。

① スケジュール利便性： $-\frac{\alpha S}{T}$

ここに T はサイクル数、 S はストップ数を表し、この要素の意味は1サイクルあたりのストップ数が小さいほど利便性が大きいとするものである。つまりすべての活動は、もし他の事情が許せばそのつどホームベーストチェーンとして消化したいという願望が仮定されている。すなわち $S=T$ のときこのス

ケジュール利便性は最大値となる。 α は換算係数である。

$$\textcircled{2} \text{ トリップの一般化費用: } -2Tc - (S - T)d$$

ここに第1項は $2T$ 回のホームベーストリップに要する一般化費用、第2項は $(S - T)$ 回のノン・ホームベーストリップに要する一般化費用であり、これらの和が小さいほど効用は高められるとする。 c, d はそれぞれ単位トリップあたりの平均一般化費用である。

$$\textcircled{3} \text{ 活動効用: } \rho S$$

活動回数 S が大きいほど効用は大きくなると仮定されている。 ρ は単位活動から得られる効用(換算係数)である。ここでは活動の内容は問われていない。

以上の3つの効用要素からなる効用関数

$$U = -\frac{\alpha S}{T} - 2Tc - (S - T)d + \rho S \quad (3 \cdot 1 \cdot 1)$$

が3つの制約式

$$T \leq S \quad (3 \cdot 1 \cdot 2)$$

$$1 \leq T \quad (3 \cdot 1 \cdot 3)$$

$$2Tc + (S - T)d \leq Y \text{ [予算制約]} \quad (3 \cdot 1 \cdot 4)$$

のもとで最大化される。ラグランジェの未定乗数法によって最適解 T, S は以下のように得られる。

$$T = \left[\frac{\alpha Y}{\rho(2c - d)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3 \cdot 1 \cdot 5)$$

$$S = \frac{1}{d} \left\{ Y - \left[\frac{\alpha Y(2c - d)}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (3 \cdot 1 \cdot 6)$$

そして、この解は満足のいく性質をもつことが限界分析によって確かめられているものの実証的検討はなされておらず、理論モデルの提示のみに終わっている。しかし効用モデルによるアプローチの可能性を示してみせた点でその意義は大きい。

反面このモデルはいくつかの問題点も抱えている。モデルでは単にサイクル

数とストップ数のみ（それでも整数ではない）を決定し、その生成順序や時刻、そしてその他多くの交通選択（目的地、交通手段、滞在時間）および各種の制約などは不問である。また活動数（ストップ数）も多いほど効用が高まると仮定されている。このようなモデルで扱えるのは観光トリップや買物トリップ、および業務トリップなど一種のランダムな交通目的のみであろう。日常の反復的な通勤や通学トリップはトリップ回数を増やすことに意味はなく、彼らのモデルでは扱えないであろう。しかしモデルの独創的な試みとしては「スケジュール利便性」と「トリップの一般化費用」との間にトレードオフを設定したことが挙げられるであろう。一方の極に「スケジュール利便性」を最大にするケース（ $S=T$ の場合で全活動がホームベーストで行われる）が、もう一方の極に交通費用を最小にするケース（LP 解あるいはトラベリングセールスマン問題の解）があり、実際の行動はこれらの中間として生起するという考え方である。

2. DeSerpa = Bruzelius モデル

従来の伝統的な消費者行動論では無視されてきた活動ないし消費に要する「時間」を明示的に取り入れたものに DeSerpa (1971) および Bruzelius (1979) のモデルをも挙げておく必要がある。以下では宮城・森杉 (1984) にならい、これらを DeSerpa = Bruzelius モデルと呼ぶことにする。このモデルの特徴は、活動の消費時間を導入したこと、およびその下限値を設定したこと、の2点である。モデルの構造は以下のとおりである。

$$\text{Max. } U(X_1, \dots, X_n; \ell, t_1, \dots, t_n, t_w) \quad (3 \cdot 1 \cdot 7)$$

$$\text{s.t. } \sum P_i X_i \leq w \cdot t_w + Y \quad [\text{所得制約}] \quad (3 \cdot 1 \cdot 8)$$

$$\ell + \sum t_i + t_w = T \quad [\text{時間予算制約}] \quad (3 \cdot 1 \cdot 9)$$

$$q_i X_i \leq t_i \quad (i=1, \dots, n_i) \quad (3 \cdot 1 \cdot 10)$$

$$q_i X_i = t_i \quad (i=n_i+1, \dots, n) \quad (3 \cdot 1 \cdot 11)$$

ここに U : 効用関数

- X_i : 財(活動) i の購入量 ($i=1, 2, \dots, n$)
 P_i : 財(活動) i の単価
 Y : 非労働所得
 w : 賃金率
 t_w : 労働時間
 ℓ : 余暇時間
 t_i : 活動 i の消費時間
 T : 利用可能時間
 q_i : 活動 i の必要最小消費時間
 n_i : 必要最小消費時間が外生的に与えられるタイプの活動の数
 $n-n_i$: 行動時間が拘束されるタイプの活動の数

この定式化では最後の2つの制約が重要であって、(3・1・10)式では活動時間を増やすことが効用を高めるようなタイプの活動であれば、その活動時間に上限はなく自由に決定できることを表現しているし、一方、(3・1・11)式では、必要最小限の消費時間で十分であって、それ以上活動時間を増やしても効用の増加をもたらさない活動についての時間配分を表現している。

このモデルは宮城・森杉(1984)で展開されているようにいくつかの次元に拡張可能であるが、基本的には活動や交通のスケジュール(生成順序や時刻)の決定の問題にまでは踏み込んでいないので、その意味では伝統的な消費者行動論の枠を出ておらず、所得や時間という資源の配分行動の記述モデルにとどまっているといえよう。またこのモデルをベースにして交通・活動スケジュール決定にまで枠組みを広げたものに河上・磯部・仙石(1986)がある。この研究ではNested Logitモデルで活動パターン選択と活動場所選択問題を2段階で推計するという実際的なレベルまで発展させられている。効用関数に活動なしその時間を明示的に導入する試みは、経済学の分野では時間価値研究のアプローチの一環として進展してきており、必ずしも交通や活動のスケジュール決定問題が念頭に置かれているわけではない¹⁾。

1) 時間価値研究の系譜については正司(1983)が参考になる。

第2章

トリップチェーンのプリズム効用モデル

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（obligatory activity）と、いくつかの選択的活動（discretionary activity）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き、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うる。しかし、我々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。

本章で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るからである。Hagerstrand (1970) 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。本章では簡単のために、抽象的な均一線形都市 (uniform linear city) がモデルの舞台である。次節ではプリズム装置の紹介、第3、4節で効用モデルの構築、第5節ではモデルの挙動と限界分析について展開し、第6節ではモデルの結論とデータを比較検証し、第7節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に表現したのが図3.

2.1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呼ばれているものである¹⁾。プリズム1は起床時から始業時まで、プリ

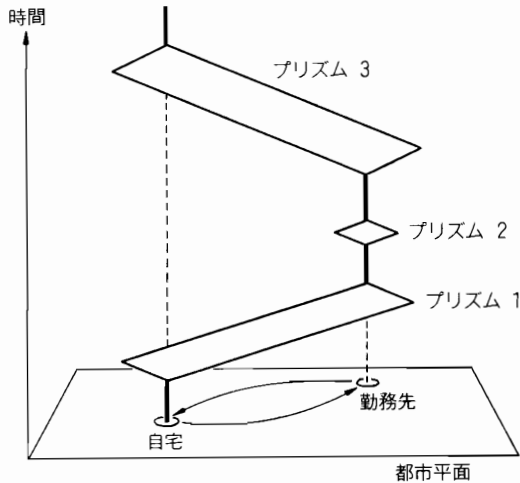


図3.2.1 時間空間プリズム

1) 3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。

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つにそれをはめ込まなければならない²⁾。そこで以下では、一般性を失うことなくプリズム1を取りあげて、プリズムの持つ性質を記述してみよう³⁾。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呼ばれるが、これはプリズムが時間空間上の行動可能領域を表しているからにはほかならない。簡単のため利用可能な交通手段は1つとしよう。図3.2.2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⁴⁾

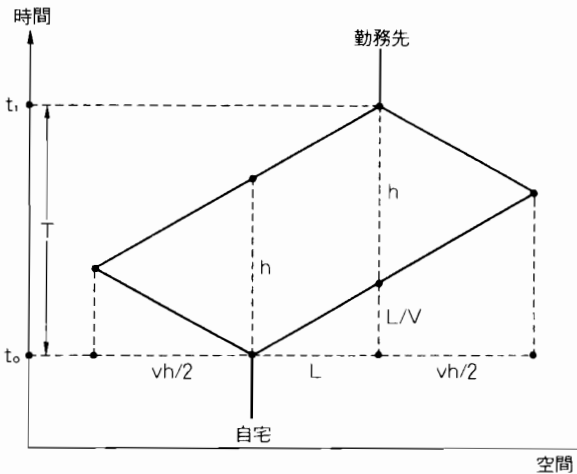


図3.2.2 プリズム1の幾何学

2) ただし就業時間は固定されていると仮定している。
 3) Burns (1979) にも同様な記述がみられる。
 4) ここでも交通速度は一定と仮定する。すなわち、交通手段選択の問題を捨象し、かつ交通速度も Flow-independent を仮定する。

$$T = t_1 - t_0 \text{ (プリズムの高さ)}$$

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

$$h = T - L/v. \quad (3 \cdot 2 \cdot 1)$$

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。(3・2・1)式からわかるように、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。

つぎに、プリズムの面積 A を見てみよう。

$$\begin{aligned} A &= h \left(\frac{vh}{2} + L \right) \\ &= \frac{1}{2} \left[vT^2 - \frac{L^2}{v} \right] \end{aligned} \quad (3 \cdot 2 \cdot 2)$$

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 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⁵⁾。

我々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、個々人のプリズムの高さ T やプリズムの縦幅 h の実際の値は、ある1日のデータだけでは直接には観測しえない。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。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のプリズム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

5) Burns (1979)、宮城・森杉(1984)でも同様な解釈がなされている。

1週間の単位での個人の行動調査が本来必要である⁶⁾。

3. 時間空間経路と効用要素

図3.2.3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。そしてプリズムは破線によって3つのエリアに区分されている。家庭から職場への通勤途上で活動を行う場合、活動滞在時間が破線を越えてエリアⅢ内にまで渡ると、もはやいったん家庭に戻って出直す時間的余裕がない。エリアⅡとⅢの境界線であるこの破線を我々は「プリズム制約」と呼ぶことにする。

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ⅡまたはⅠ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、一旦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

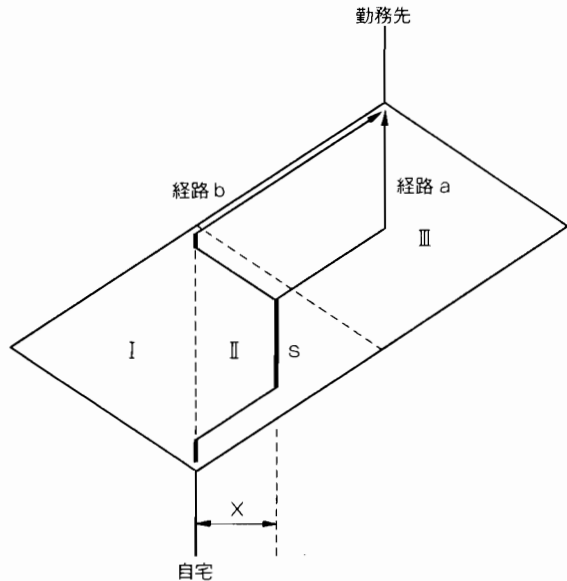


図3.2.3 プリズム1の3つの領域

6) 1日の諸個人の断面データからプリズムを計測する試みを【Appendix (I)】に示す。

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説明するための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。これは図3.2.4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、我々には経路aのデッドタイム (s_2) はデータからは観測しえない。職場への到着時刻をもって始業時刻と判断せざるをえないのである。

つぎに我々は、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

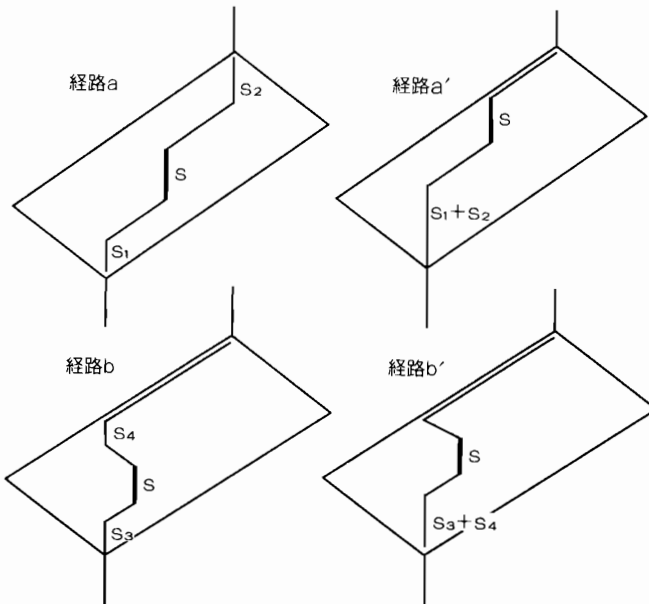


図3.2.4 モデルにおける経路(パス)の取り扱い

の大きさを時間空間の2次元で評価したものである。そして、これを“プリズム効用”と呼ぶことにしよう。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⁷⁾。図3.2.4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つ生じることになるが、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呼べるかもしれない。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、以後の取り扱いは経路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関係プレイによる便益などがあげられよう。

上に定義したプリズム効用はプリズム空間の潜在的な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)と呼ぶことができよう。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

$$UP[\text{path a}] = \frac{v}{2}(s_1 + s_2)^2 = \frac{v}{2}(h-s)^2 \quad (3 \cdot 2 \cdot 3)$$

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

$$UP[\text{path b}] = \frac{v}{2}(s_3 + s_4)^2 = \frac{v}{2}\left(h - s - \frac{2x}{v}\right)^2 \quad (3 \cdot 2 \cdot 4)$$

7) ただ、徒歩をふく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2次元で理解するメリットはまったくないことになるが、この場合は交通速度が0と解釈される。

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。

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 にくら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、この犠牲をはら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。この効用を我々は“固定効用” (fixed utility) と呼び、以下では H_0 と表記する。この効用はいったん家庭にもど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) と呼び、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る。たとえば

$$UA = UA(x, s) \quad (3 \cdot 2 \cdot 5)$$

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とくに問題としない。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。トリップチェインの形成（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、トリップチェインの形成は、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。

以下のモデルは図3.2.3のエリアⅡについて構成される。エリアⅢ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Ⅰ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

$$\begin{aligned} U[\text{path a}] &= UA + UP[\text{path a}] \\ &= UA(x, s) + \frac{v}{2}(h-s)^2 \end{aligned} \quad (3 \cdot 2 \cdot 6)$$

経路bについては

$$\begin{aligned} U[\text{path b}] &= UA + UP[\text{path b}] + H_0 \\ &= UA(x, s) + \frac{v}{2} \left(h - s - \frac{2x}{v} \right)^2 + H_0 \end{aligned} \quad (3 \cdot 2 \cdot 7)$$

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。

$$x \leq \frac{v}{2}(h-s) \quad (3 \cdot 2 \cdot 8)$$

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れば、

$$\begin{aligned} \Delta U &= U[\text{path b}] - U[\text{path a}] \\ &= \frac{2}{v} \left[x^2 - v(h-s)x + \frac{vH_0}{2} \right] \end{aligned} \quad (3 \cdot 2 \cdot 9)$$

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、 $\Delta U = 0$ ならばa, b無差別となる。 ΔU 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 ΔU 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

$$H_0 \geq \frac{v}{2}(h-s)^2 \quad (3 \cdot 2 \cdot 10)$$

のとき ΔU はつねに正符号をとり、経路 **b** が選択される。一方、

$$H_0 < \frac{v}{2}(h-s)^2 \quad (3 \cdot 2 \cdot 11)$$

の場合は、 ΔU の符号は x に依存してきまる。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。

$$x^2 - v(h-s)x + \frac{vH_0}{2} = 0 \quad (3 \cdot 2 \cdot 12)$$

$$x_1 = \frac{1}{2} \{v(h-s) - \sqrt{v^2(h-s)^2 - 2vH_0}\} \quad (3 \cdot 2 \cdot 13)$$

大きい方の根は (3・2・8) 式の $v(h-s)/2$ より大きいので実行可能ではない。

以上の様子を図 3.2.5 に示す。縦軸の上方向に効用差 ΔU を、下方向に活動時間 s を、横軸の右方向に活動地点 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 ΔU 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

$$D \leq 0 \leftrightarrow H_0 \geq \frac{v}{2}(h-s)^2$$

$$D > 0 \leftrightarrow H_0 < \frac{v}{2}(h-s)^2$$

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

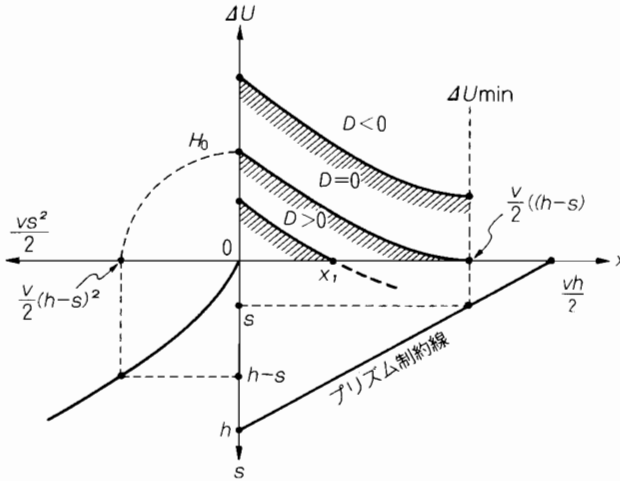


図3.2.5 効用差 (ΔU) と経路選択における限界活動地点 (x_1)

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 の分布を知る上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 (s , L , v) の変化ともなう経路効用差 ΔU 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。

5-1 活動時間 s の変化とモデルの挙動

まず、 s が大きくなるとき $\Delta U_{\min} = H_0 - v(h-s)^2/2$ も大きくなるので、2次曲線は ΔU 切片 H_0 を固定されたまま上方にシフトする。一方、 ΔU_{\min} を与える $x = v(h-s)/2$ は、図3.2.6(a)のようにプリズム制約の働きによって小さくなる。したがって、図3.2.5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の存在しう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、図3.2.6(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

$$\partial x_1 / \partial s = \frac{v}{2} \left[\frac{v(h-s)}{\sqrt{v^2(h-s)^2 - 2vH_0}} - 1 \right] > 0 \quad (3 \cdot 2 \cdot 14)$$

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、図3.2.5の $D > 0$ 層に対する経路bの領域（ハッチング部分）がひろがることになる。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上で重要な役割を我々にあたえてくれる。活動時間が短いほど通勤途上で消化されやす

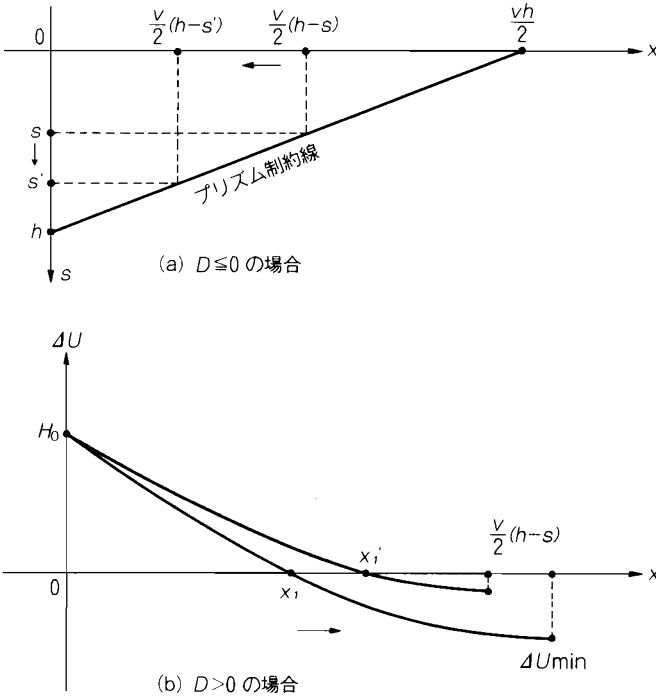


図3.2.6 活動時間増加にともなう限界活動地点の変化

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ボタンになりやすいという結論が得られる。とくにプリズム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持つように思われる。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。

活動時間は第2部の統計解析から明らかなように活動のタイプに依存している。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。時間空間経路選択に関する定性的分析については第2部の分析を参考にして欲しい。

5-2 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、前のケースと同じく ΔU_{\min} が大きくなり、 ΔU を与える x は、図 3.2.7 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 領域はせばめられる。前のケース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。

$D > 0$ 層についても前のケースとまったく同じく図 3.2.6(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

$$\begin{aligned} \partial x_1 / \partial L &= (\partial x_1 / \partial h) (\partial h / \partial L) \\ &= -(1/v) (\partial x_1 / \partial h) \\ &= (1/v) (\partial x_1 / \partial s) > 0 \end{aligned} \quad (3 \cdot 2 \cdot 15)$$

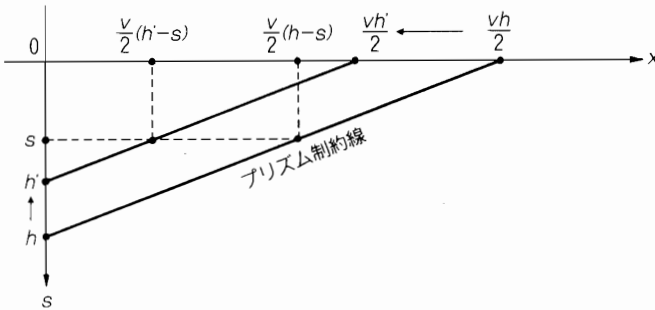


図 3. 2. 7 職住距離増加にともなう限界活動地点の変化 ($D \leq 0$ の場合)

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。

5-3 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、 ΔU_{\min} は ΔU 切片 H_0 を固定されたまま下にシフトする。プリズム制約は図 3. 2. 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ひろがることになる。一方、 $D > 0$ 層については図 3. 2. 8 (b) のように x_1 が左にシフトし経路 b 領域はせばめられる。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、 $a = T - S$ 、 $b = L/v$ 、 $c = H_0/v$ と置き、若干の整理ののちに次式を得る。

$$\partial x_1 / \partial v = \frac{a}{2} \left\{ 1 - \sqrt{\frac{(a-b)^2 - 2c + (c^2 + 2abc)/a^2}{(a-b)^2 - 2c}} \right\} \quad (3 \cdot 2 \cdot 16)$$

$a > 0$ 、 $b > 0$ 、 $c > 0$ であるから、平方根内は 1 より大きく、したがって (3 · 2 · 16) 式の符号は負となる。すなわち、交通速度が大きくなると経路 b の

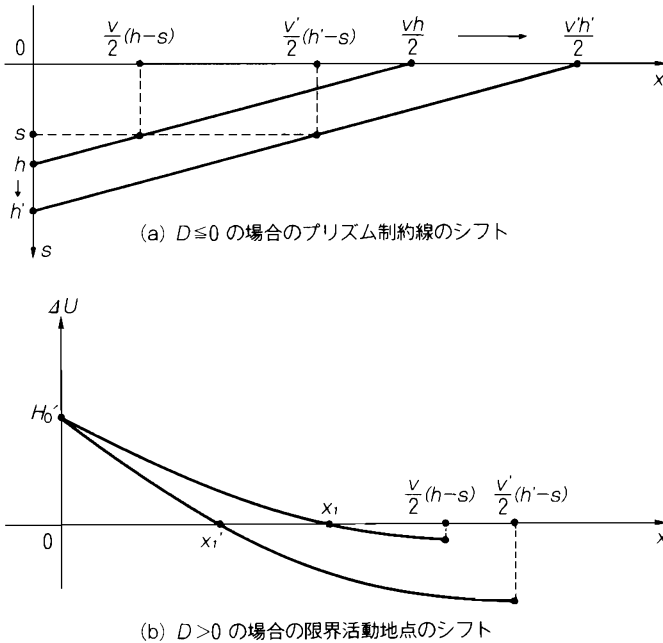


図 3. 2. 8 交通速度増加にともなう限界活動地点の変化

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。したがって、この含意を積極的に解釈すれば、交通速度改善を目指す交通政策によってトリップは効率よく連結されることになる。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も符号する。

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。私用目的とは買物、食事、社交、送迎、レクリエーション、私事用務、などである。抽出サンプル数は2204人、拡大後で約3万人であった。

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概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。また第2節でも述べたとおり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、先の図3.2.3の3つの領域Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ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Ⅰでは経路a、bの選択は線形都市の仮定から無差別。領域Ⅲ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Ⅱでは2つの経路a、bが混在している。

6-1 活動時間と HB/NHB 比率

表3.2.1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ホームベースト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。とくに目立つことは、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%のものが経路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

表 3.2.1 滞在時間と HB/NHB 比率

活動滞在時間 (hours)	プリズム 1			プリズム 3		
	経路 a	経路 b	HB/NHB 比率	経路 a	経路 b	HB/NHB 比率
<0.5	760	876	1.15	6,786	5,079	0.75
<1.0	116	344	2.96	1,809	1,819	1.01
≥1.0	193	740	3.83	2,400	2,575	1.07

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くら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なくなり、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、ホームベーストの活動はやや減ぜ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分析する必要がある。

6-2 家庭職場間距離と HB/NHB 比率

表 3.2.2 (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、表 3.2.2 (b)では土地利用の影響を見るために距離の代替指標としてリングペアと HB/NHB 比率との関係を見ている。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見えるが、リングペア 1-4 で極端

表 3.2.2(a) 家庭職場間距離と HB/NHB 比率

職住距離 (km)	プリズム 1			プリズム 3		
	経路 a	経路 b	HB/NHB 比率	経路 a	経路 b	HB/NHB 比率
< 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
≥ 25	78	65	0.83	364	260	0.71

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中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えない。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。

6-3 交通手段と HB/NHB 比率

表 3.2.3 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、バスはいくぶん高めの 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

表 3.2.2(b) 家庭職場リングペアと HB/NHB 比率

職住リングペア	経路 a	経路 b	HB/NHB 比率
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	1,089	1,063	0.97
2-2	994	502	0.51
3-1	650	177	0.27
4-1	274	51	0.19

注) リング1は中心リング、リング4は最外リング。
データはプリズム3から作成。

表 3.2.3 交通手段と HB/NHB 比率

交通手段	プリズム 1			プリズム 3		
	経路 a	経路 b	HB/NHB 比率	経路 a	経路 b	HB/NHB 比率
徒 歩	142	509	3.68	815	1,709	2.09
自転車	152	253	1.66	2,381	2,077	0.87
モーターサイクル	100	268	2.68	1,492	1,220	0.82
バ ス	54	108	2.00	1,534	482	0.31
自動車運転	617	796	1.29	3,300	2,915	0.88
自動車同乗	122	70	0.57	806	410	0.51
業務用車	93	251	2.70	376	592	1.57
鉄 道	15	13	0.87	682	127	0.19

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 6-1 でも述べたとおり、プリズム 3 におけ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。業務用車はいくぶん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因るものであろう。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言えない。

6-4 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うという性質は、もちろん先の理論モデルから導きうる。(3・2・15)式からわかるように、 $\partial x_1 / \partial h < 0$ (h はプリズムの縦幅) であるから、 h が大きくなれば x_1 、すなわち経路 b (ホームベースト) 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。表 3.2.1, 表 3.2.2(a) および表 3.2.3 において、プリズム 3 の HB/NHB 比率はすべてプリズム 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

本章では、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、(a)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2次元で理解し、潜在的利用可能空間として評価したこと、(b)追加的活動をホームベースト・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) が長くなるとき、家庭と職場の距離 (L) が長くなるとき、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) が小さくなるとき、家庭近傍での追加的活動はホームベースト・チェーンでなされやすいという結論が得られ、概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上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3次元空間に拡張すること。(【Appendix(2)】参照) この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 (h や H_0) を統計的に決定すること。(【Appendix(2)】参照) さらに欲

をいえば、サンプル数は多くなくてもよい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、今後さらに第2部で展開したような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し、モデルに反映していく必要がある。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いく必要がある。

[4] 本研究ではプリズム面積の増加が効用を高めるという強い仮定（限界効用逓増）を設けたが、次にこれを少しゆるめ、限界効用逓減が働く場合などのいくつかのケースについても実証的に吟味してゆく必要がある。[Kondo and Kitamura (1987)]

[5] 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説明を待って、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為しえよう。

[6] 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とく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。西井ほか(1986a, b)はこの文脈に沿うものとして参考になるであろう。同時に異時点間データ比較によるダイナミックな要因の抽出も今後の展開の期待できる課題である。

【Appendix(1)】プリズムの計測

表3.2.4および図3.2.9(a)~(f)には、各プリズムの開始時刻と終了時刻の分布特性を示す。開始時間の85パーセンタイル値は、サンプルの85%までがこの時刻より以後に当該プリズム内でのトリップを始めたことを意味する。また、終了時刻の85パーセンタイル値は、サンプルの85%までがこの時刻より以前に当該プリズム内でのトリップを終えたことを意味する。この85パーセンタイル値でみると、プリズム1の「高さ」（プリズムの開始時刻から終了時刻までの

長さ)は約2時間、プリズム2は4時間弱、プリズム3は約4時間と考えてよい。断面データからの算出値とはいえ割合妥当な長さといえよう。ただしプリズム1では標準偏差が約1時間であるのに対し、プリズム2と3では約1時間40分とばらついている。表の第3列は参考のために平均値から $\pm 1\sigma$ 地点の時刻を示している。

表 3. 2. 4 プリズムの開始時刻と終了時刻

	平均値 (m)	標準偏差 (σ)	$m \pm \sigma$ *	85パーセン タイル値
プリズム1				
開始時刻	7時36分	1時間03分	6時33分	7時01分
終了時刻	8時19分	54分	9時13分	9時06分
プリズム2				
開始時刻	12時31分	1時間39分	10時52分	10時23分
終了時刻	12時38分	1時間37分	14時15分	14時10分
プリズム3				
開始時刻	18時25分	1時間40分	16時45分	16時22分
終了時刻	18時36分	1時間42分	20時18分	20時24分

注) *開始時刻は $m - \sigma$ 、終了時刻は $m + \sigma$ 。

以上は全サンプルの分布状態であるが、これを平均的な個人の特定の期間(たとえば1カ月)の繰り返しデータとみるならば、上で得られたプリズムは、代表的な平日における平均的な個人のプリズムという解釈になろう。

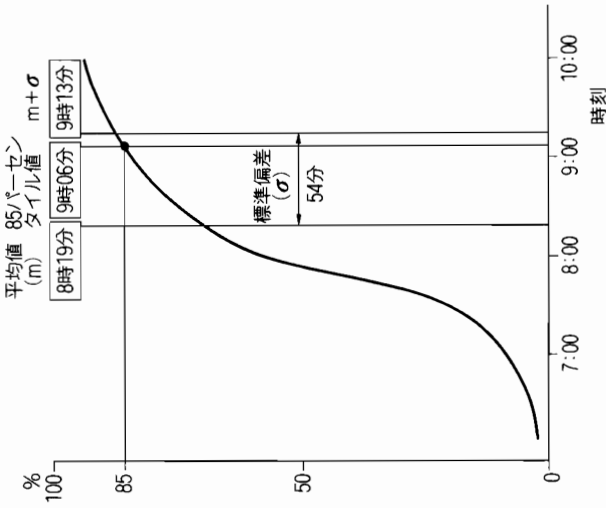


図 3.2.9(b) プリズム1の終了時刻分布
(累積相対度数分布曲線と85パーセント時刻)

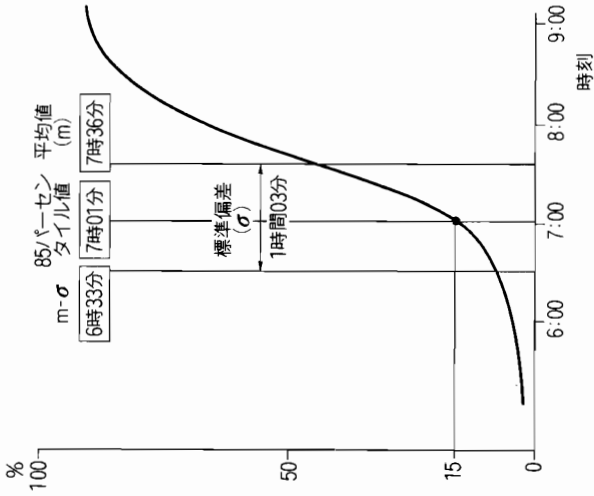


図 3.2.9(a) プリズム1の開始時刻分布
(累積相対度数分布曲線と85パーセント時刻)

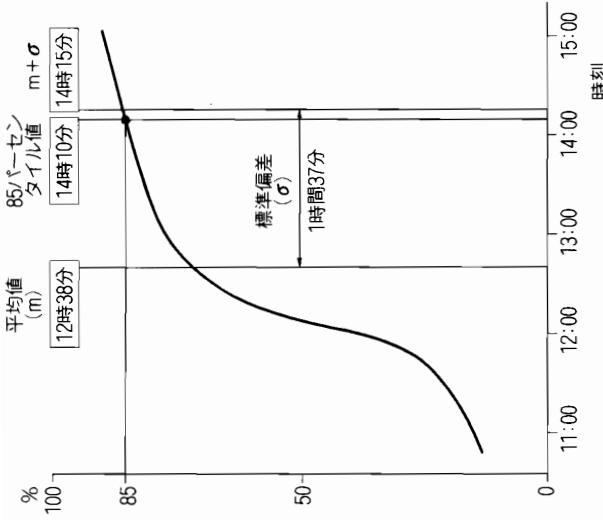


図 3.2.9(d) プリズム 2 の終了時刻分布
(累積相対度数分布曲線と 85パーセン
タイル時刻)

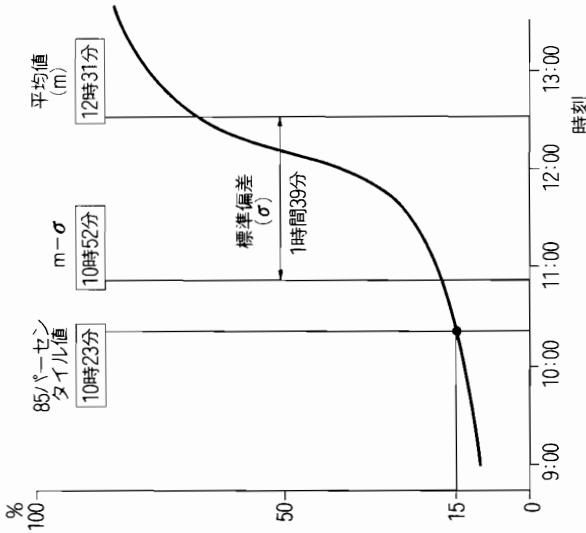


図 3.2.9(c) プリズム 2 の開始時刻分布
(累積相対度数分布曲線と 85パーセンタイル時
刻)

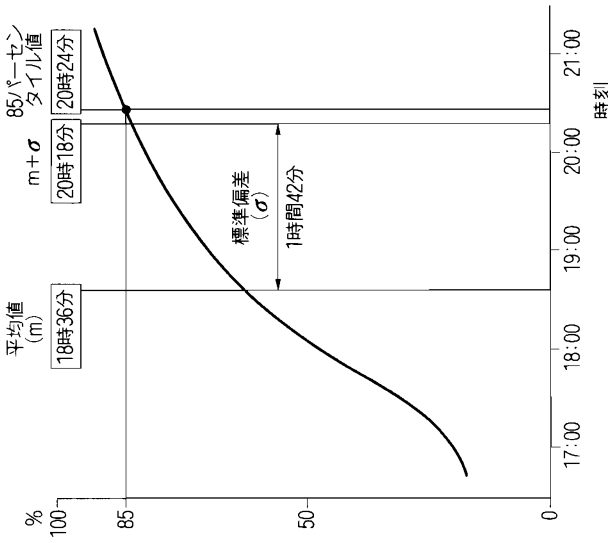


図 3.2.9(f) プリズム 3 の終了時刻分布
(累積相対度数分布曲線と85パーセンタイル時刻)

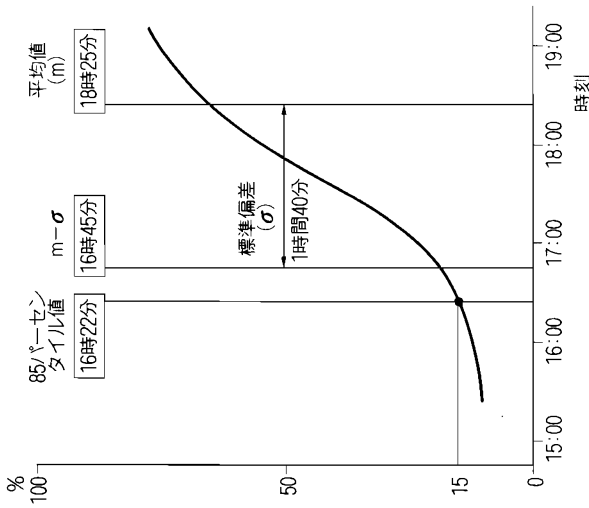


図 3.2.9(e) プリズム 3 の開始時刻分布
(累積相対度数分布曲線と85パーセンタイル時刻)

【Appendix (2)】“円錐プリズムと非集計モデルによるパラメータ推定”⁸⁾

デトロイト都市圏交通調査（1980）のデータセットのうち、勤務終了後のプリズム3（図3.2.1参照）で追加的活動を行った就業者（187人）についてパス選択を分析する。就業者がその追加的活動をホームベースト（パスb）のトリップチェーンで行う確率がパスの効用差 ΔU の関数として定義されると仮定し、2つの非集計選択モデルが適用される。

まず効用差 ΔU は、平行四辺形プリズムの代わりに円錐プリズムを用いた場合、先の式（3・2・9）はやや変更を受けて

$$\Delta U = (\pi/12)v^2\{h - s - 2x/v\}^3 - (h - s)^3 + H_0 \quad (\text{A-1})$$

となる。これはさらに未知パラメータを明示化して以下のように書かれる。

$$\Delta U = k_0(2t^2) + k_1\{s^2t/2 + st^2 + (2/3)t^3\} + k_2(st + t^2) + k_3(t/2) + k_4 \quad (\text{A-2})$$

ここに t = 家庭から活動地点までの時間距離

s = 活動時間

$k_0 = v$

$k_1 = -\pi v^2$

$k_2 = \pi v^2 h$

$k_3 = -\pi v^2 h^2$

$k_4 = H_0$

t , s はデータから観測可能であるが、交通速度 v 、プリズムの縦幅 h 、そして固定効用 H_0 はそうではない。しかし k_0 から k_4 までの係数の推定値が求まれば、それらを用いてこれらの観測不可能なパラメータの決定が可能となる。そのために用いられるモデルは、1つは binary probit model、もう1つは constrained binary logit model である。選択肢はもちろん2つのパス a, b である。後者のモデルは Kitamura and Lam (1984) で用いられたものであるが、活動地点が家庭から遠く離れた場合、ホームベーストのトリップチェーンで活

8) Kondo & Kitamura (1986, 1987).

表3.2.5 非集計選択モデルによる推定結果

	PROBIT MODEL	CONSTRAINED CHOICE MODELS	
Const.		-9.500 (2.11)	-4.140 (-1.94)
t		11.189 (2.25)	5.740 (2.05)
Const.	0.868 (4.60)	-0.681 (-4.21)	
πv^2	-0.352 (-1.94)	-1.765 (-1.78)	
$\pi v^2 h$	1.185 (1.96)	5.755 (1.79)	
$\pi v^2 h^2$	-5.086 (-2.64)	-4.940 (-1.15)	
Social-Rec.	0.241 (2.08)	0.742 (1.36)	
L(0)	-129.6	-129.6	-129.6
L(C)	-123.1	-123.1	-123.1
L(b)	-115.0	-118.1	-110.9
-2[L(C)-L(b)]	16.22	10.14	24.42
df	4	2	5

注) 最初の2行の係数はパスが実行可能である確率を決定するモデル。L(0)は係数がない場合の対数尤度、L(C)は定数項のみの場合の対数尤度。そしてL(b)は表に示した係数がある場合の対数尤度である。対数尤度の差 $-2[L(C)-L(b)]$ は対応する自由度(df)の χ^2 分布をもつ。

動を消化することが実行可能でなくなる確率を計算するために用いられる。これらの計算結果が表3.2.5に要約されている。

表の第1列目には係数固定の binary probit model による推定結果が示されている。どの就業者も同じ係数(すなわち v , h , H_0)を持つという仮定は、非現実的ではあるが、推定された係数は理論から得られた結論を支持する符号を持っている(すなわち πv^2 および $\pi v^2 h^2$ に対しては上の定義どおり負の係数が得られている)。さらにこれら3つの係数からプリズムの縦幅 h の値を求めてみると、 πv^2 と $\pi v^2 h$ から 3.37 時間、 πv^2 と $\pi v^2 h^2$ から 3.80 時間、そして $\pi v^2 h$ と $\pi v^2 h^2$ からは 4.29 時間という結果が得られる。プリズム幅については観測的ないし理論的な値は得られていないけれども、上で得られた3つの値の安定性は注目されてよいであろう。夕方のプリズム3の幅(プリズムの高さ(T)ではない)はだいたい3時間半ないし4時間半ということになるであろうか。普通のオフィスワーカーの場合、午後5時に勤務が終了するとして、午後8時半ないし9時半がプリズム3の終了時刻ということになる(ただしデトロイトの場合に限ってではあるが)。

次に表の第2列には、以下のような条件付き2項ロジットモデルの結果が示

されている。

$$Pr [\text{パス b}] = Pr [\text{パス b が実行可能}] \cdot Pr [\text{パス a よりもパス b を選好}]$$

パス b が実行可能となる確率は家庭から活動地点への距離 (t) が説明変数である。一方、パス a が選ばれる確率は、パス a が実行可能であるとして、このモデルでは一定と仮定される。結果が示すところによれば、この t の係数は正の符号を持ち、先の理論的結果に一致している。

次いでパス b の選択確率が先の説明変数を用いてモデル化される。ただしサンプルサイズが小さいので収束が得られず、そのため定数項は除かれている。表で得られた係数の符号は理論に合致している。 πv^2 と $\pi v^2 h$ からは h の値として 3.26 時間が得られるものの、他のペアからは意味のある h の値が得られない。しかし対数尤度 (log-likelihood) でみるモデルの適合度の改良ぐあいは良好である。この分析で用いられたサンプル数は条件付き選択モデルや確率係数モデルによる厳密な分析のためには十分とはいえないが、概してここに得られた結果はプリズムモデルから導かれた結論に符合するものである。

第3章

トリップチェーンの意志決定過程

1. はじめに

前章ではプリズム内で1つの私的な活動を追加する場合の時間空間パスの選択モデルを展開した。そこでは活動を行うべきプリズムはあらかじめ与えられていたし、また活動時間や活動地点も与件として仮定していた。そこで本章ではさらに土俵を広げて、まず最初に一般的な交通選択の意志決定過程の構造に関する分析のためのフレームワークをいくつか概観し、ついで我々のテーマであるトリップチェーンにおける追加的な活動の必要性が生じた場合に行われるいくつかの交通決定（選択）のメカニズムについて理論的な考察を行う。追加的活動の内容を与件として、このとき考えられる決定過程には、まず3つの代替的なプリズムから実際に活動を行うプリズムを決定すること、次いで活動時間の決定、活動地点の決定、そして前章で取り上げた時間空間パスの決定、などがある。本章ではこれらの意志決定メカニズムの理論的モデルのフレームワークについて考究する。

2. 交通選択のヒエラルキー

Damm (1984) は実証分析の結果から、就業者の活動スケジュールの決定および交通選択の意志決定の構造を図3.3.1のようなフローで理解して交通需要モデルを構築することを提案している。

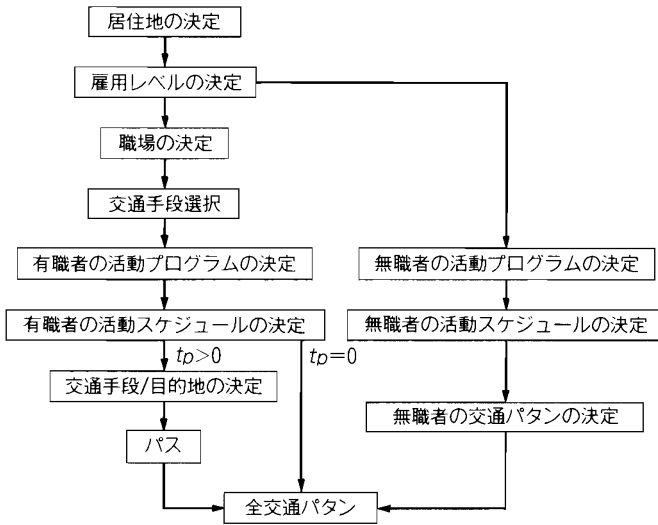


図 3. 3. 1 Damms による交通需要モデルの階層的構造

このフローの特徴は、就業者と非就業者の分離、また就業者にあっては時間帯 p における家庭外活動時間 t の有無 ($tp > 0$ または $tp = 0$) による分離がなされている点である。決定のフローは、長期的なものから短期的なものへと並べられており、居住地選択→従業地選択→通勤交通手段選択→活動プログラムの決定→活動スケジュールの決定→交通手段選択および目的地選択→バスの選択、という意志決定順序が想定されている。

一方、正司 (1982a), Brög & Erl (1983) なども交通選択における意志決定過程の分析のためのフレームワークを提案している [図 3. 3. 2 参照]。このフレームでは交通手段選択が対象とされている。移動欲求が生じたとき、まず上位 3 つの ふるい によって利用可

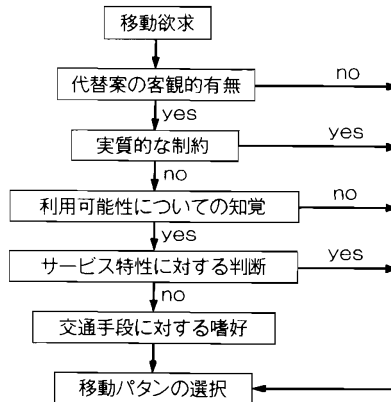


図 3. 3. 2 交通選択の意志決定過程

能な交通手段のメニューがいくつかあるいは1つに絞られる。そして次にそのメニューの中からサービス特性などを合理的に判断して交通手段を選ぶ場合と、嗜好などで選ぶ場合などが区別される。このプロセスを先の Damm による1日の全スケジュール決定プロセスのサブモデルとして組み込むことは可能である。

また第1部第3章で紹介した Recker et. al. (1986) による活動パターン選択過程の理論的フレームワーク [図1.3.4(a)] では、活動と交通の決定に際して個人に働く世帯と環境(社会、制度、時間空間、交通ネットワークなど)からの制約に重点を置いた意志決定のメカニズムが構築されている。

3. トリップチェーン決定のヒエラルキー

以下では、いままでと同じく就業者が行う2ストップのトリップチェーンを対象として、その意志決定過程を記述することを試みる。モデルの舞台は第2章と同じく線形都市(家庭職場間距離は L とする)である。

1本の時間空間経路(time-space path)を特定するためには以下の4つの変数を決めなければならない。以下これらの変数を“パス変数”(path variables)と呼ぶことにする。ここでも簡単のため交通速度 v は与件とされる。

パス変数

- i : 追加的活動を行うために選ばれたプリズムの番号 ($i=1, 2, 3$. 図3.2.1参照).
- x : 追加的活動を行う地点(職場からの空間的距離で測られる).
- s : 追加的活動での滞在時間(厳密には活動の開始時刻と終了時刻をも特定する必要があるが、本章でもプリズム内での時刻は問題にしない).
- パス: プリズム内での時間空間経路. Home-based と Non-home-based の2つがある. ただしプリズム2では office-based のみ.

このバス変数の決定の前提となる与件変数をプリズム変数と呼ぼう。それらは以下の3つである。

プリズム変数

- L : 職住間距離 (あるいは職場と住居の位置)
- v : 交通速度
- h : プリズムの縦幅

では以上の4つのバス変数は、どのような順序でどのように決定されるのであろうか。第2部第3章の実証結果をふまえて図3.3.3のような大まかな因果フローを想定することができよう。

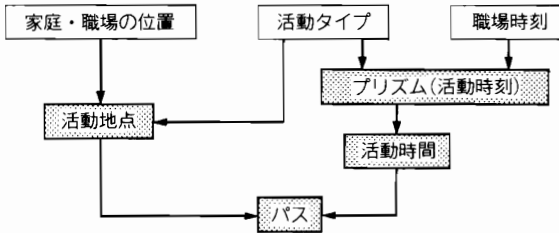


図3.3.3 バス変数間関係

この関係を参考にして我々は、図3.3.4のような段階的な意志決定過程の流れを仮定しよう。そして、それぞれのステップに対応して4つのサブモデルが以下の節で展開される。

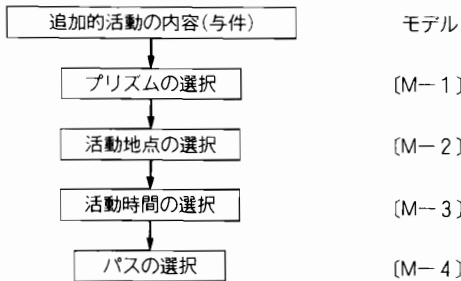


図3.3.4 トリップチェーンの意志決定過程の段階的モデル

4. プリズム選択モデル [M-1]

本節では3つのプリズムから1つのプリズムを選択するモデルを考える。プリズム i の選択確率を次式で表す。

$$P_i = f(A_i, O_i) / \sum f(A_i, O_i) \quad (3 \cdot 3 \cdot 1)$$

ここに A_i = プリズム i の面積。この面積が大きいとこのプリズムで追加的活動が行われる確率は高くなる。

O_i = プリズム i において時間的・空間的に利用可能な機会 (opportunity) の数。追加的活動の内容が明らかになったとき、これによって対応する活動機会を表現する。たとえば買い物については商店やデパートの営業時間帯や従業員数などがこれに反映される。したがって O_i はプリズム i の吸引力である。

A_i は個人サイド (デマンドサイド) の要因であり、 O_i はサプライサイドの要因から決まってくる変数である。追加的活動の種類は O_i に反映される。

たとえば機会数分布として、次のような指数分布の確率密度関数を考えることもできる。ただし職場は CBD にあると仮定する。

$$\phi(x) = \frac{1}{2\lambda} \exp[-\lambda|x|] \quad (3 \cdot 3 \cdot 2)$$

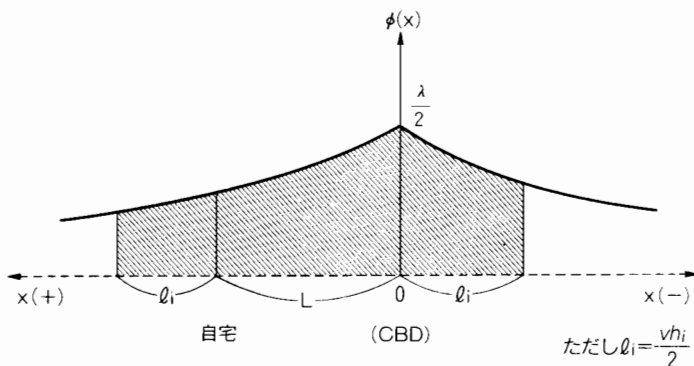


図 3.3.5 活動機会数の分布 (指数分布の場合)

ここに x は都心からの距離である [図 3.3.5].

この図 3.3.5 のハッチング部分の面積をもって O_i の代替とすることもできる. 表

表 3.3.1 A_i と O_i の計算例

i	A_i	O_i
プリズム 1	$v(T_1^2 - L^2/v^2)/2$	$1 - e^{-\lambda L}(1 + e^{-\lambda L})/2$
プリズム 2	$vT_2^2/2$	$1 - e^{-\lambda L}$
プリズム 3	$v(T_3^2 - L^2/v^2)/2$	$1 - e^{-\lambda L}(1 + e^{-\lambda L})/2$

3.3.1 は, その場合の計算例である.

もしプリズムごとに機会分布形をかえる場合には λ_i を用いてもよいし, あるいは $\phi_i(x)$ を用いてもよい.

このようにして A_i , O_i が計算されれば, 適当な関数 f を用意して実証的にプリズムの選択確率を定めることができる. ただし関数 f には $\partial f/\partial A > 0$, $\partial f/\partial O > 0$ の性質が要求される.

なお, 機会数分布について上のような密度関数ではなく離散的な分布を考えるケースについては本章末尾の【Appendix (2)】を参照されたい.

5. 活動地点選択モデル [M-2]

従来 of 目的地選択モデルでは出発地から目的地へのアクセシビリティのみを考慮していたのであるが, トリップチェーンにおける目的地選択に際しては, トリップを分断することなく, 今から訪れる目的地の次に訪れる目的地をも視野に入れておく必要がある. これは先の第2部の実証分析からも明白である. そこで本節では, 現在いる地点すなわち家庭から活動地点へのアクセシビリティと, 活動地点から職場へのアクセシビリティの2つを考慮しよう.

いま機会数分布は前節と同じく pdf 形で

$$\phi(x) = \frac{1}{2\lambda} \exp[-\lambda|x|]$$

で与えよう. 図 3.3.6 では家庭と職場が十分に離れているケースを想定している. 複合的アクセシビリティを考慮した地点 x の魅力度 (attractiveness)

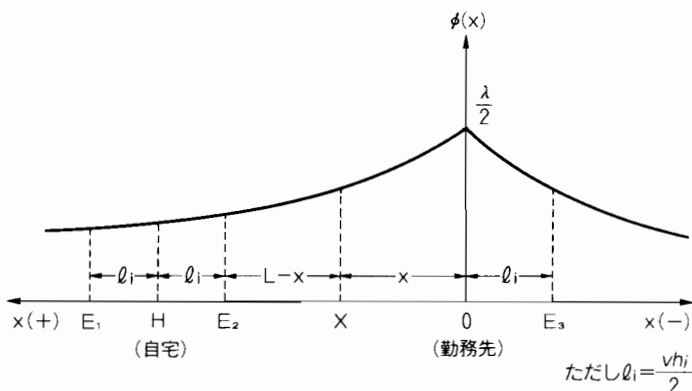


図 3.3.6 活動地点選択

を $AT(x)$ とすれば、たとえば

$$\begin{aligned}
 AT(x) &= \phi(x) \cdot \text{Access}(H \rightarrow X) \cdot \text{Access}(X \rightarrow O) \\
 &= \frac{1}{2\lambda} \exp[-\lambda|x|] \cdot \exp[-\gamma|L-x|] \cdot \exp[-\delta|x|] \\
 &= \exp[-(\lambda+\delta)|x| - \gamma|L-x|] / (2\lambda) \quad (3 \cdot 3 \cdot 3)
 \end{aligned}$$

などで表現できよう。たとえば x が AO 間にある場合は

$$AT(x) = \exp[-(\lambda+\delta-\gamma)x - \gamma L] / (2\lambda)$$

となるので $\lambda+\delta-\gamma > 0$ のときは x が小さいほど $AT(x)$ は大きくなるから職場に近い活動地点が選ばれ、 $\lambda+\delta-\gamma = 0$ のときは $AT(x)$ は x に依存しないことになる。すなわち魅力度は均一分布になる。逆に $\lambda+\delta-\gamma < 0$ の場合は家庭に近い地点の魅力度が高くなる。図の各区間の魅力度は式(3.3.3)を区間の範囲で積分すればよい。たとえば区間 $[E_1 \sim H]$ については

$$AT[E_1 \sim H] = \int_L^{L+l_1} AT(x) dx \quad (3 \cdot 3 \cdot 4)$$

また区間 $[E_1 \sim H]$ の選択率は

$$\begin{aligned}
 Pr.[E_1 \sim H] &= AT[E_1 \sim H] / AT[E_1 \sim E_3] \\
 &= \int_L^{L+l_1} AT(x) dx / \int_{-l_1}^{L+l_1} AT(x) dx \quad (3 \cdot 3 \cdot 5)
 \end{aligned}$$

などと求められる。他の区間についても同様。

6. 活動時間選択モデル [M-3]

今や残るパス変数は活動時間 s と 2つのパス、すなわちホームベーストのパス（以下、パス HB と表記する）と、ノン・ホームベーストのパス（以下、パス NHB と表記する）である。活動時間の選択はこのパス選択とは無関係には取り扱えないので、以下、我々はパスに依存した形で時間選好モデルを考えよう。時間に関する選好として

- a. 追加的活動時間は長いほうが効用を高める
- b. 家庭での余暇時間も長いほうが効用を高める¹⁾

という2つの背反する（トレードオフ）関係にある基準を考えよう。

図 3.3.6 の区間 $[H \sim O]$ で生起するパス NHB を例題にすると、その活動時間を s 、家庭での余暇時間を $h_i - s$ とし、

$$U_{(h_i, 0)}^{\text{NHB}} = S^\beta (h_i - s)^{1-\beta} \quad (3 \cdot 3 \cdot 6)$$

なる時間選好に関するコブ＝ダグラス型効用関数を用意し、これを最大化する s をみつける問題を考える（ただし $0 < \beta < 1$, $i=1$ or 3 , $i=2$ の場合 $h_i - s$ は職場での余暇時間という解釈になる）。べき数 β は各人がもっている時間選好に関するパラメータで、追加的活動時間に重きを置く場合には β は大きく（1 に近く）なり、逆に余暇時間に重きを置く場合には β は小さく（0 に近く）なる。この値は個人ごとに異なると考えてよい。また時間帯別に時間選好が異なりうる場合には、すなわちプリズム別に異なる値 (β_i) を採用することも考えられる²⁾。

(3・3・6) 式の最大値は

$$s_{(h_i, 0)}^{\text{NHB}} = \beta h_i \quad (3 \cdot 3 \cdot 7)$$

のときに達成される。コブ＝ダグラス型関数の規模に関する零次同次性がこの解を規定している。資源 h_i の各用途への重みに応じた比例配分解となっている。

1) 家庭での余暇時間はプリズム内で細切れに発生する可能性があるが、ここでは合算して取り扱うものとする。

2) β の決定法は【Appendix (1)】で述べる。

るのである。

区間 $[E_1 \sim E_2]$ のバス HB のパターンについては、活動時間を s とするとプリズム制約から家庭での余暇時間は $h_i - s - 2|\ell - x|/v$ であるから

$$\text{Max. } \{U_{[E_1, E_2]}^{\text{HB}} = s^\alpha [h_i - s - 2|\ell - x|/v]^{1-\alpha}\} \quad (3.3.8)$$

より最適解は

$$s_{[E_1, E_2]}^{\text{HB}} = \beta [h_i - 2|\ell - x|/v] \quad (3.3.9)$$

となる。家庭からの往復分の時間だけ (3.3.7) 式の解からシフトしている。

区間 $[O \sim E_2]$ のバス NHB については線形都市の仮定上オフィススペース的な形態となるので (3.3.9) 式の $|\ell - x|$ の代わりに $2|x|$ を用いて

$$s_{[O, E_2]}^{\text{NHB}} = \beta [h_i - 2|x|/v]. \quad (3.3.10)$$

また区間 $[E_1 \sim H]$ のバス NHB については同じく線形都市の仮定からバス HB と無差別であるので (3.3.9) 式と同様に

$$s_{[E_1, H]}^{\text{NHB}} = \beta [h_i - 2|\ell - x|/v]. \quad (3.3.11)$$

以上で区間 \times バスのすべての可能な組み合わせをつくしている。

7. パス選択モデル [M-4]

前章でも述べたようにバス HB とバス NHB が競合するのは図 3.3.6 の区間 $[H \sim E_2]$ である。(3.3.7) 式の解が

$$s^{\text{NHB}} > h_i - 2(L-x)/v$$

であれば、この活動時間はプリズム枠を越えるので実行可能ではなく無条件にバス NHB となる。これより小さい活動時間の場合 2 つのバスが競合することになる。この競合問題を次のように考える。

(3.3.6) 式, (3.3.7) 式よりバス NHB の場合の最大効用は

$$U_{\text{max}}^{\text{NHB}} = \beta^\alpha (1-\beta)^{1-\alpha} h_i \quad (3.3.12)$$

である。地点 x での活動終了後再び家庭に戻るの、その往復分のトリップ

に要する時間 $2|\ell-x|/v$ に相当する価値が、いったん家庭に戻ることで得られるからだと考えよう。すなわち単位時間あたりの価値を C として

$$C \times 2|\ell-x|/v$$

をバス HB のバス効用としよう³⁾。ゆえにバス HB から得られる総効用は、(3・3・8)式、(3・3・9)式から得られる最大効用にこのバス効用を加算して

$$U_i^{HB} = \beta^\alpha (1-\beta)^{1-\beta} [h_i - 2|\ell-x|/v] + 2C|\ell-x|/v \quad (3 \cdot 3 \cdot 13)$$

と書ける。プリズムによって時間価値を変えるときには C_i を用いればよい。結局、バス選択は以下のように判定される。

$$\begin{aligned} U_i^{HB} > U_{\max}^{NHB} & \text{ のとき } \text{バス HB を選択} \\ U_i^{HB} = U_{\max}^{NHB} & \text{ のとき } \text{バス HB とバス NHB は無差別} \\ U_i^{HB} < U_{\max}^{NHB} & \text{ のとき } \text{バス NHB を選択。} \end{aligned}$$

上の関係に (3・3・12)式、(3・3・13)式を代入し整理すると

$$\beta^\alpha (1-\beta)^{1-\beta} \begin{cases} < C \rightarrow \text{バス HB} \\ = C \rightarrow \text{無差別} \\ > C \rightarrow \text{バス NHB} \end{cases} \quad (3 \cdot 3 \cdot 14)$$

がバス選択の判定条件になる。 C がきわめて大きいとバス HB が選好されるという合理的な判定条件となっていることがわかるであろう。両辺の対数をとる、それぞれに -1 を乗じてやると以下のようなエントロピー形式に変換できる。

$$-\beta \log \beta - (1-\beta) \log (1-\beta) \begin{cases} > -\log C \rightarrow \text{バス HB} \\ = -\log C \rightarrow \text{無差別} \\ < -\log C \rightarrow \text{バス NHB} \end{cases} \quad (3 \cdot 3 \cdot 15)$$

この判定条件を図化すると図 3.3.7 のようになる (対数の底は 2 としている)。

β は個人によって異なる時間選好に関するパラメータである。したがって何

3) これは第2章で用いたバス HB についての固定効用 H_0 に類似の概念である。

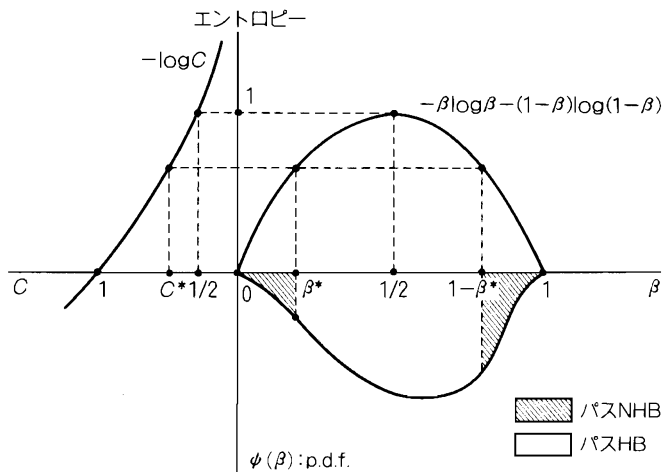


図3.3.7 エントロピーとパス選択率

らかの分布 $\psi(\beta)$ をもっているであろう。図のハッチング部分の面積が特定の $C^*(1/2 < C^* < 1)$ に対応したパス NHB の選択率となる。この図では対数の底を 2 としているので、 C が 1 より大きいとパス HB が、 C が $1/2$ より小さいとパス NHB が選択されることになる⁴⁾。

【Appendix (1)】 β と C の分布の解析的な求め方

パス競合区間のデータを用いて、パス HB のものについては (3・3・9) 式より、パス NHB のものについては (3・3・7) 式より、それぞれ β を計算することができる。したがってデータが多ければ β の分布形が求められる。この分布形 $\psi(\beta)$ が判明すれば、集計的にはデータから HB/NHB 比率 (γ) を得て

4) 第4部の土台になったのは、拙稿 (1987a, b), Kondo & Kitamura (1986, 1987) の4論文である。

$$\gamma = \frac{\int_{\beta^*}^{1-\beta^*} \psi(\beta) d\beta}{[1 - \int_{\beta^*}^{1-\beta^*} \psi(\beta) d\beta]}$$

となるような β を解析的に求め、(3・3・14) 式の等式より C を逆算すれば、当該グループの代表的な C 値を得ることになる。

あるいは非集計的には(3・3・15) 式の等式より各人の β に対応した C 値が計算できるから、パス HB の個人については C の下限値が、パス NHB の個人については C の上限値が得られるから、 C の累積分布形を導くこともできる。

【Appendix (2)】メッシュモデルへの展開

以下の補論は、本著の草稿に目を通してくださった神戸大学経営学部田村正紀教授からいただいた「小売業に関するメッシュデータが利用できるように第3章のモデルを展開できないだろうか」という御指摘に対する著者の不十分な解答である。

第3章では機会分布を連続的な分布(関数)で与えたが、現実には機会分布を既知の関数(たとえば指数分布)で表現できるケースは稀である。このような場合には次のように考えれば、先の連続型モデルは容易に離散型モデルに変換できよう。先と同じくモデルの舞台としては線形都市を考えるが、横軸は単

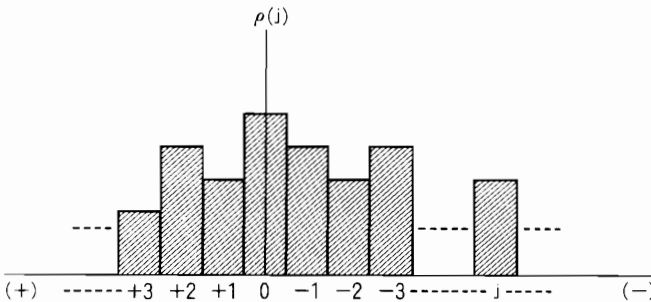


図 3. 3. 8 リニア・メッシュモデル

位長さ1のメッシュの連なりとする。そしてこれをリニア・メッシュモデルと呼ぶことにする(図3.3.8)。

ただし $\rho(j)$ は第 j メッシュの機会密度 (opportunity density) で

$$\sum_{j \in J} \rho(j) = 1.$$

ここに J は当該プリズムにカバーされるリニア・メッシュの選択肢集合 (choice set) である。この機会密度はメッシュ j の吸引ポテンシャルを表現するものである。このような線形都市を用意すればメッシュデータの利用が可能となる。たとえば、いま対象としている追加的活動を買物とすれば、買物客の動向や商業施設の吸引力などがメッシュごとに得られているなら、このモデルを買物客のメッシュ選択行動、したがって店舗選択行動の分析へと応用することが可能となろう。ただし、先に第3章で展開した諸式は以下のように若干の変更を受ける。

まず、第3章4節のプリズム選択モデルについては、表3.3.1に示したプリズムの吸引力 O_i ($i=1, 2, 3$) に対応するものとして

$$O_1 = \sum_{j \in J_1} \rho(j) \quad - \ell_1 \leq j \leq \ell_1 + L$$

$$O_2 = \sum_{j \in J_2} \rho(j) \quad - \ell_2 \leq j \leq \ell_2$$

$$O_3 = \sum_{j \in J_3} \rho(j) \quad - \ell_3 \leq j \leq \ell_3 + L$$

を用いることになる。ただし J_i は先と同じくプリズム i にカバーされるリニア・メッシュの集合である。3つのプリズムのそれぞれの時間帯において開店している店舗数 (したがって機会密度) が異なる場合には、第 i プリズムにおける第 j メッシュの機会密度 $\rho_i(j)$ を用いればよい。

つぎに、第3章5節の活動地点選択モデルについては、まず (3.3.3) 式に対応するものとして、家庭の位置 H (したがって第 H メッシュ) および職場 O (したがって第 O メッシュ) から見たメッシュ j の複合的な魅力度として

$$AT(j) = \rho(j) \cdot \text{Access}(H \rightarrow j) \cdot \text{Access}(j \rightarrow O)$$

$$= \rho(j) \cdot \exp[-\gamma(|L-j| + |j|)]$$

を考えてやればよい。

したがってメッシュ集合 J の中から第 j メッシュを追加的活動（買物）の場所として選択する確率を $Pr.[j < J]$ とすれば

$$Pr.[j < J] = AT(j) / \sum_{j \in J} AT(j)$$

と表記できることになる。なお6節の活動時間選択モデル，ならびに7節のパス選択モデルはメッシュ化による変更は受けない。

◆第4部◆

トリップチェーンのマルコフモデル

第1章

マルコフチェインの基本モデル

マルコフモデルの理解のために、事業所をベースとするビジネスマンの交通行動パターンを例題として、簡単な吸収マルコフ連鎖モデルを構築し、理論から導かれるいくつかの結果について考察する。

いま N 人のビジネスマンが事業所をベースとする商品の集配業務を遂行しており、1つの集配業務が終了した時点でベースに戻らずに次の集配業務に移る確率、すなわち業務継続確率を a とすれば、その時点でベースに帰着する確率は $1-a$ となる。まず最初のサイクルに着目した様子が図 4.1.1 に描かれている。このサイクルで生じた業務トリップ数は

$$T_1 = N(1 + a + a^2 + \dots) = N/(1-a)$$

なる等比級数和で表現できる。 ($\because 0 < a < 1$)

次にいったんベースに帰着したビジネスマンが再び業務のためにベースを再出発する確率を、サイクル再起確率 c で表そう。したがって、ベースに帰着した後、もはや業務交通に出かけない確率は $1-c$ となる。この連続的な様子が図 4.1.2 に描かれている。第1サイクルを行う人数は N 、次の第2サイクルを行う人数は Nc 、……と求められることになる。

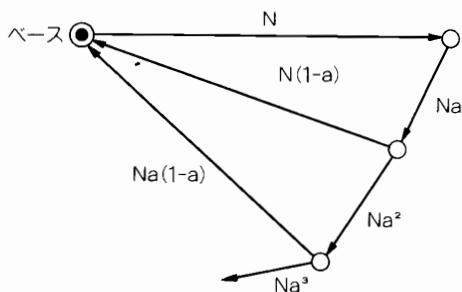


図 4.1.1 業務トリップ推移図

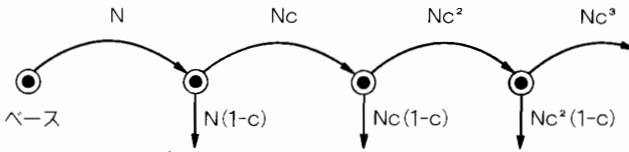


図 4. 1. 2 サイクル再起状態

したがって、 N 人のビジネスマンが行った総サイクル数は

$$C = N(1 + c + c^2 + \dots) = N/(1 - c) \quad (4 \cdot 1 \cdot 1)$$

と書ける. ($\because 0 < c < 1$)

結局、 N 人のビジネスマンが全サイクルを通じて行った総業務トリップ数は、第 i サイクルの業務トリップ数を T_i として

$$\begin{aligned} T &= T_1 + T_2 + T_3 + \dots \\ &= N(1 + c + c^2 + \dots)/(1 - a) \\ &= N/(1 - c)(1 - a) \end{aligned} \quad (4 \cdot 1 \cdot 2)$$

と求まる. (4.1.1) 式より、1 人あたり平均サイクル数は $1/(1 - c)$ 、(4.1.2) 式より、1 人あたり平均業務トリップ数 (ストップ数) は $1/\{(1 - c)(1 - a)\}$ となる.

以上では、業務継続確率 a とサイクル再起確率 c がそれぞれ定常であることを仮定しており、かつトリップ目的も業務という 1 種類だけを考えた (帰社はここでは目的と考えない). これを「基本モデル」と呼んでおく. 以下、この基本モデルを用いて、ストップ数分布とサイクル数分布を導く.

まず、ストップ数が s となるビジネスマンの割合 $P(s)$ を求めよう. すなわち、 $P(s)$ はストップ数分布の確率密度関数である. $s=1$ となる確率は、ピストン型パタン (= 1 サイクル 1 ストップ) の生起確率であるから、第 1 番目の業務 (ストップ) の遂行後、次の業務を行わずベースに帰着したままもはや出かけない確率として表せるので

$$P(1) = (1 - a)(1 - c) \quad (4 \cdot 1 \cdot 3)$$

と書ける. 以下 $k = (1 - a)(1 - c)$ と置くことにする.

次に、 $s=2$ 以上の確率を考えるために、ここでストップ間推移確率 b を用

意する。この確率 b は、1つのストップを行ったビジネスマンが2つめのストップを行う確率である。ただし、2つめのストップは必ずしも1つめのストップのあるサイクル内で行われる必要はなく、新たなサイクル内で消化されてもかまわない。すると、 $s=2$ の場合の生起確率は

$$P(2) = b(1-a)(1-c) = bk$$

と書ける。ストップを2個行う確率が b で、 k はベースへ帰着し、もはや出かけない確率である。以下同様にして、 $s=n$ というパタンの生起確率は

$$P(n) = b^{n-1}k$$

と書けることになる。上記確率の無限和は定義により1であるから

$$\sum_{s=1}^{\infty} P(s) = k(1+b+b^2+\dots) = k/(1-b) = 1 \quad (4 \cdot 1 \cdot 4)$$

が成立しなければならない。ゆえに、(4・1・4)式から $b=1-k$ が導出される。したがって、ストップ数が s となる確率は一般に

$$P(s) = k(1-k)^{s-1} \quad (4 \cdot 1 \cdot 5)$$

という歪分布 (skew distribution) の形をとることが判明した。 k はベースへ帰着後再び外出しない確率であり、したがって $(1-k)$ はベースに戻らない確率であるから、(4・1・5)式は追加的な $s-1$ 個のストップを行いベース帰着後再び外出しない確率になっている。

ここでさらにすすんで、ストップ数が s 、サイクル数が t となる確率は佐佐木・西井(1982)によって以下のように定式化されている。

まず、ストップ数 s 、サイクル数 t となるトリップチェーンのパタンの微視的状态の数は、 s 個のストップを t 個のサイクルにふりわける場合の数であるから、 $N_p = {}_{s-1}C_{t-1}$ なる組み合わせの数として表せる。たとえば、2サイクル3ストップという形態のトリップチェーンの場合、パタンの微視的状态の数は ${}_2C_1=2$ で与えられる(図4.1.3)。この場合、 s 個のストップは1つ1つ区別されない。ただし、サイクルについてはそれに含まれるストップ数が異なる場合にかぎり、1つ1つ区別されることになる。

一方、パタン (s, t) という微視的状态の生起確率は、(1) $t-1$ 回の追加

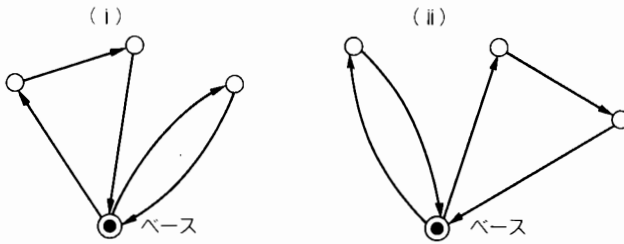


図4.1.3 2サイクル3ストップの2つのパタン

的サイクルを行う確率, (2) t 回ベースに帰着する確率, (3) $s-t$ 回の業務トリップを立ち回りで行う確率 (t 回の業務は t 個のサイクルの第1トリップとして行われているので考慮しなくてよい), そして(4)入庫確率, の4つの確率の積として表せる.

したがって, パタン (s, t) となるビジネスマンの割合は, 場合の数を考慮して

$$Pr.(s, t) = \binom{s-1}{t-1} (1-a)^t c^{t-1} a^{s-t} (1-c) \quad (4 \cdot 1 \cdot 6)$$

と書けることになる.

先の確率分布 $P(s)$ を備後都市圏パーソントリップ調査 (1979年) のホームベースデータ (帰宅トリップ以外のトリップ目的は捨象) に適用した結果を表4.1.1に示す. ただし, この表では, k の意味が上述のとおりピストン型パタンの分布確率であることから, $k=0.6251$ (現況における $s=1$ の構成比) を用いている. 基本モデルから導かれた理論分布はわりあいうまく現況を再現しているものと思われる.

ただし上記モデルは本来, 2つの確率 a, c に定常性が見うけられるような事象に適用するのが望ましいことは言うまでもない. ただ将来の k 値, ないし a や c の値の予測がつか場合

表4.1.1 ストップ数分布

ストップ数 s	観測分布 $\hat{p}(s)$	計算分布 $p(s)=k(1-k)^{s-1}$
1	0.6251	0.6251
2	0.2095	0.2343
3	0.0893	0.0878
4	0.0315	0.0329
5	0.0184	0.0123
6	0.0112	0.0046
≥ 7	0.0150	0.0030
計	1.0000	1.0000

は、上記の理論分布は、将来のストップ数分布やトリップチェーン分布の大きな様相を知る簡便法として、その効用は高いものと思われる。

次章以下では、この基本モデルを展開・拡張するかたちで、吸収マルコフモデルの発展過程を追ってゆくことにする。

第2章

基本モデルの次元拡張による一般化

前章の基本モデルを一般的なパーソントリップに応用するため、複数のトリップ目的間の連関・推移状態を記述できるようトリップ目的の数だけ次元を拡大し、同時にゾーン概念を導入し、ゾーン間推移をも記述できるようにする。また交通手段分担についてもマルコフモデルの構造に適したものを考えることができる。これにより都市における多様な交通パターンをシステムチェックに追跡、表記することが可能になる。

1. トリップ目的の連関

都市における人の1日の交通行動を順を追って追跡してみると、自宅をベースとして、たとえば自宅→出勤→買物→帰宅というようなサイクルを形成している。このようなトリップの連なりを我々はトリップチェーンと呼んでいる。トリップチェーンのシステムチェックなマルコフモデルはSasaki (1971) が本格的である。以下、佐佐木による吸収マルコフモデルの概略をふりかえっておこう。

状態 (state) の集合を $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$, そのうち吸収状態 (absorbing state) を $S_a = \{S_1, S_2, \dots, S_r\}$, 過渡状態 (transitional state) を $S_t = \{S_{r+1}, S_{r+2}, \dots, S_m\}$ とし、このとき各状態間の推移確率を次のような行列 Q で表す。

$$S_a \quad S_t$$

$$Q = \begin{matrix} S_a \\ S_t \end{matrix} \begin{pmatrix} I & O \\ R & Y \end{pmatrix} \quad (4 \cdot 2 \cdot 1)$$

ここに、 I : 単位行列

Y : 正方行列

R : 列ベクトル

O : 行ベクトル (要素はすべて0)

この推移行列 Q を媒介にして状態が次々と推移してゆく過程を吸収マルコフ過程という。いま吸収状態として帰宅目的を、過渡状態として帰宅目的以外の非吸収的なトリップ目的を対応させると、 R はある非吸収的なトリップ目的から帰宅する確率を要素とするベクトル、 Y は非吸収トリップ目的間の推移確率行列を与える。以下ではこれらを帰宅ベクトル、目的間推移行列と呼ぶことにする。

n 段階目の推移行列は次のような形になる。

$$Q^n = \begin{pmatrix} I & O \\ R^{(n)} & Y^n \end{pmatrix} \quad (4 \cdot 2 \cdot 2)$$

$$R^{(n)} = (I + Y + Y^2 + \dots + Y^{n-1})R$$

Y^n の $i-j$ 要素は、いま考えている過程があるトリップ目的 i で出発して n 回の推移の後に、あるトリップ目的 j を行う確率を与えている。この Y^n を $n=0$ から $n=\infty$ まで加算した行列

$$I + Y + Y^2 + \dots = (I - Y)^{-1} \quad (4 \cdot 2 \cdot 3)$$

は吸収マルコフ連鎖の基本行列と呼ばれている。その $i-j$ 要素は、トリップ目的 i でベースを出発したものが再びベースに戻ってくるまでにトリップ目的 j を何回行ったかという期待値を表している。

推移行列 Y が求まると、これにトリップ目的別のゾーン間推移行列 P を作用させることによって、ベースから出発したトリップを順次追跡することが可能になる。このプロセスが図4.2.1に示されている。

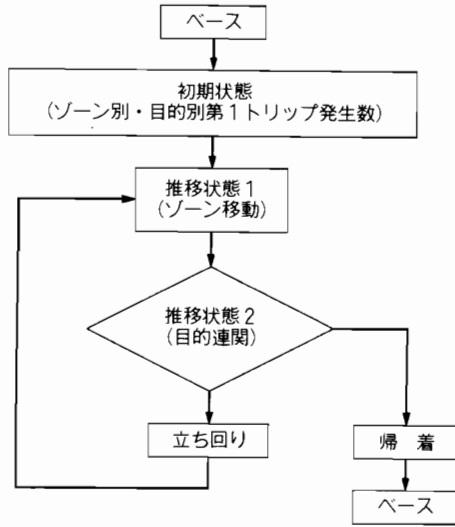


図4.2.1 吸収マルコフモデルの推移概念

目的別・ゾーン別の第1トリップ発生数を要素とする行ベクトルを A ,

$$A = (A^1, A^2, \dots, A^m, \dots, A^M)$$

M : 非吸収トリップ目的の数

$$A^m = (A_{1m}^m, A_{2m}^m, \dots, A_{im}^m, \dots, A_{Nm}^m) \quad (4.2.4)$$

N : ゾーン数

目的間推移行列を Y^* ,

$$Y^* = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1M} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Y_{M1} & Y_{M2} & \dots & Y_{MM} \end{bmatrix}, \quad Y_{mm'} = \begin{bmatrix} y_{mm'} \\ \dots \\ y_{mm'} \end{bmatrix}$$

$y_{mm'}$ \diagdown \quad \quad \quad \diagup $y_{mm'}$
 N 個

$$(4.2.5)$$

ゾーン間推移行列を P ,

$$P = \begin{bmatrix} P^1 & & & \\ & P^2 & & \\ & & \dots & \\ & & & P^M \end{bmatrix}, \quad p^m = \begin{bmatrix} p_{11}^m & p_{12}^m & \dots & p_{1N}^m \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{M1}^m & p_{M2}^m & \dots & p_{MN}^m \end{bmatrix} \quad (4 \cdot 2 \cdot 6)$$

ただし $\sum_{j=1}^N p_{ij}^m = 1$

とすると、第1トリップの発エンド数、着エンド数はそれぞれ

$$U_1 = A, \quad V_1 = AP$$

第2トリップ発、着エンド数は

$$U_2 = V_1 Y^* = APY^*, \quad V_2 = U_2 P = APY^* P$$

と書くことができ、以下同様のプロセスが続行される。結局、第 n トリップの発、着エンド数は

$$U_n = A(PY^*)^{n-1} = AP(Y^*P)^{n-2}Y^* \quad (4 \cdot 2 \cdot 7)$$

$$V_n = AP(Y^*P)^{n-1} \quad (4 \cdot 2 \cdot 8)$$

と求められる。また、第 n トリップ OD 表は、ベクトル U_n を対角行列に変換したものを $[U_n]$ とすれば、 $X_n = [U_n]P$ で得られる。

一方、帰宅トリップについては次のように考える。ベースから出発したトリップメーカーは、推移の各段階において、トリップが終了するごとに毎回 R の割合でベースに帰着することになるが、いま $[A]$ をベクトル A の対角行列とすると、第1トリップを行ったもののうち次に帰宅トリップを行うものについての第1トリップ OD 表は $[A]P[R]$ と書ける。ここに $[R]$ は次のような対角行列である。

$$[R] = \begin{bmatrix} R_1 & & & \\ & R_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & R_m & & \\ & & & & \dots & \\ & & & & & R_M \end{bmatrix}, \quad R_m = \begin{bmatrix} r_m & & & \\ & r_m & & \\ & & \dots & \\ & & & r_m & & \\ & & & & \dots & \\ & & & & & r_m \end{bmatrix}$$

(対角線は N 個)

r_m : トリップ目的 m から次に帰宅する確率

この $[A]P[R]$ を転置 (transpose) してやれば, それは帰宅 OD 表になる. したがって第1トリップからの帰宅 OD 表は

$$H_1 = [A]P[R]^t$$

と記し, 同様にして, 第 n トリップからの帰宅 OD 表は

$$H_n = [A]P(Y^*P)^{n-1}[R]^t \quad (4 \cdot 2 \cdot 9)$$

と書くことができる.

結局, 1日単位での交通量を求めるには, トリップチェーンの1日完結性の仮定のもとに, U_n, V_n, X_n, H_n をそれぞれ $n=1$ から無限大まで加算すればよい. したがって

$$U = A + AP(I - Y^*P)^{-1}Y^* = A + VY^* \quad (4 \cdot 2 \cdot 10)$$

$$V = AP(I - Y^*P)^{-1} \quad (4 \cdot 2 \cdot 11)$$

$$X = [U]P \quad (4 \cdot 2 \cdot 12)$$

$$H = [A]P(I - Y^*P)^{-1}[R]^t \quad (4 \cdot 2 \cdot 13)$$

が1日のトリップ目的別の総発生量, 総集中量, 非吸収目的 OD 表, そして帰宅 OD 表を与える.

このモデルの体系は非常に洗練された形式ではほぼ完璧と言える精緻さを誇っている. とくに, 帰宅トリップの求めかたは見事というほかはない. ゾーン間推移行列 P のエントロピー法による求解のプロセスと本体系とがドッキングされ, さらに完璧な体系にまで高められた¹⁾.

2. 目的連関行列の定義と予測

トリップ目的間推移確率行列 (以下, 目的連関行列という) の2つの定義法について述べ, その予測法についても理論的および実証的な検討を加える. 1つはマルコフモデルに忠実な定義法, もう1つは最尤推定法の解として定義され

1) Sasaki (1971).

る。

(1) 目的連関の実態

京阪神都市圏 PT 調査(1970年)データのうち京都市関係分について、目的連関の実態を見てみよう。表4.2.1には推移ステップ番目ごとの発目的別のトリップ数を掲げる。帰社を除き大半のトリップは第1ステップで行われている。出勤、登校など拘束的なトリップはステップを重ねるにつれて急速にその数が減少していくが、買物、業務など拘束性の少ないトリップは反復性がある。

表4.2.1 ステップ別・発目的別トリップ数

(1970年、京都)

発目的	ステップ	1st.	2nd.	3nd.	4th.	5th.以上	合計
1. 出	勤	371,168	5,182	1,580	115	400	378,445
2. 登	校	307,621	4,557	1,124	118	77	313,497
3. 日	常	349,353	40,490	10,190	4,012	3,087	407,132
4. 非	日	166,053	42,633	36,761	6,160	5,958	257,565
5. 業	務	100,346	23,959	11,904	6,286	17,014	159,509
6. 帰	社	15,995	1,221	38,068	7,406	17,856	80,546

(トリップメーカー総数:119万2011人)

るため、なかなか減少していかない傾向にある。この傾向は我が国だけでなく諸外国においても確認されている²⁾。

また、ステップ別に各目的から他目的への推移確率を少し詳しく見てみると³⁾、以下の諸点が特徴的である(図4.2.2)。

- ① 出勤と帰社からの推移パタンの類似性
- ② 登校と非日常的買物からの推移パタンの類似性
- ③ 第1ステップでの業務と全ステップの出勤からの推移パタンの類似性
- ④ 業務と非日常的買物の反復性
- ⑤ 学生の登校と主婦による日常的買物の大半はピストン型で反復性がまったくない

2) Marble (1964), Horton et. al. (1967, 1969), Hemmens(1970).

3) 近藤 (1978).

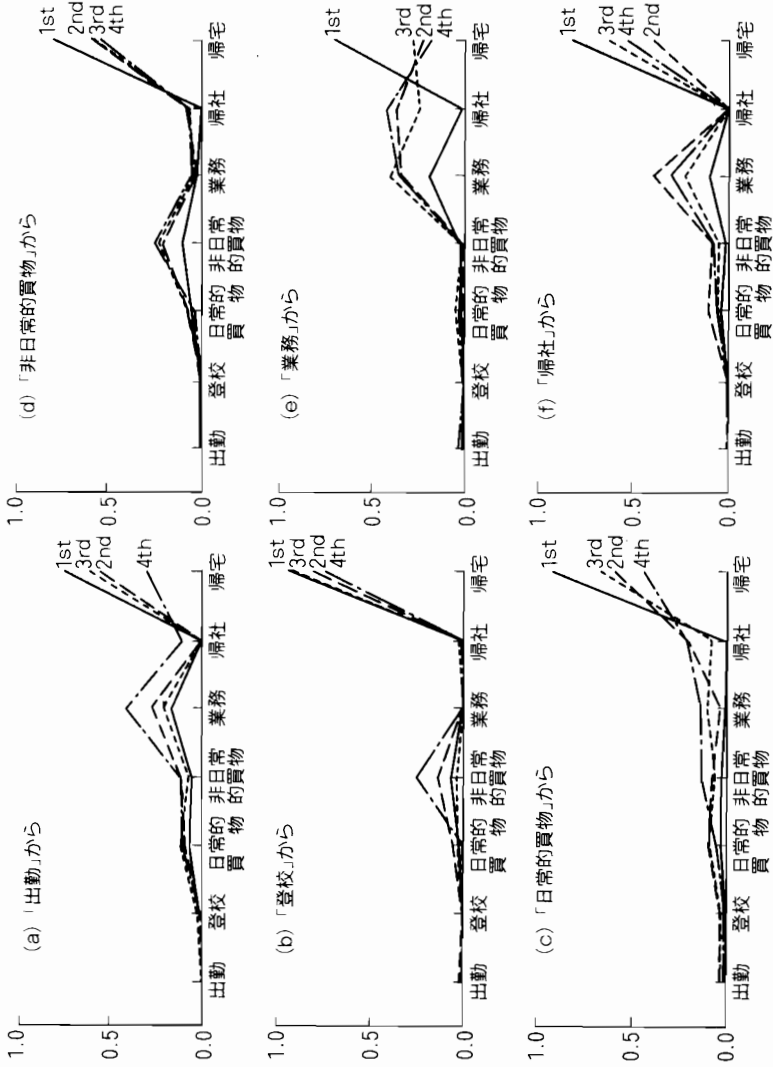


図 4.2.2 推移確率の実態 (ステップ別)

とくに業務と非日常的買物からの推移確率ベクトルは第2ステップ以降ほとんど定常的であり、かつ反復性も大きく、自由度の高い行動であることを物語っている。

このように人の交通目的には、1日1回でこと足りる必須的（日課的）、拘束的な交通（出勤、登校、日常的買物）と、反対に選択の自由度が大きく反復性の高い非拘束的な交通（業務、非日常的買物）とが混在している。この二面性のゆえに、目的連関行列の定義にあたっては以下に述べるように若干の工夫が必要になる。

（2）目的連関行列の定義

目的連関行列はすべての推移ステップにおいて厳密には定常（stationary）ではない [Kondo (1974)]。では全ステップに共通な、そして量的整合性が保証されているような推移行列はいかにして定めうるか。それは次のような吸収マルコフ連鎖の基本行列からなる関係式を参考にする。

$$G = F(I - Y)^{-1} \quad (4 \cdot 2 \cdot 14)$$

ここに、ベクトル $G = (G_1, G_2, \dots, G_M)$ は目的別トリップ生成量、ベクトル $F = (F_1, F_2, \dots, F_M)$ は目的別第1トリップ生成量、 M は非吸収的なトリップ目的の数、 Y は $M \times M$ の非吸収トリップ目的間推移確率行列（目的連関行列）である。

ベクトル G と F は観測データより構成されるが、この (4・2・14) 式を満足する Y は無数に存在し、このままでは一意的な行列を定めることができない。そこで以下に述べるような2つの方法が考えられる。

＜第1法＞

(4・2・14) 式右辺において、ベクトル F の代わりに F の要素を対角化した行列 $[F]$ を用いるときに得られる左辺の行列を $[G]$ としよう。すなわち

$$[G] = [F](I - Y)^{-1} \quad (4 \cdot 2 \cdot 15)$$

ここに

$$[F] = \begin{bmatrix} f_1 & & & \\ & f_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & f_M \end{bmatrix}, [G] = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1M} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ g_{M1} & g_{M2} & \dots & g_{MM} \end{bmatrix}$$

[G]の(i, j)要素 g_{ij} は、トリップ目的 i でベースを出発したものが再びベースに吸収されるまでに行った第 j 目的トリップ数の総数を表している。(4・2・15)式から次式によって Y を計算することができる。

$$Y = I - [G]^{-1}[F] \quad (4 \cdot 2 \cdot 16)$$

この方法は、マルコフ理論に忠実な定義である。すなわち、いったんベースを出発したものは、最後にベースに吸収されるまでに確実に連結性を保持されながら追跡されているからである。この方法ではデータから [G], [F] を得て(4・2・16)式から Y を求めることになるが、 Y の各要素の非負値は必ずしも保証されていないという問題を抱えている。

<第2法>

もう一つの方法は、推移ステップの各断面を捨象し、全ステップ合算の推移確率を定義するやりかたである。

$$y_{ij} = W_{ij} / G_i \quad (4 \cdot 2 \cdot 17)$$

ここに W_{ij} は全推移ステップにおいて目的 i から目的 j へ推移したものの数である。ただし i, j はいずれも非吸収的目的である。この定義によれば推移確率は確実に非負になる。しかしながら、全ステップを合算したことにより、本来保持されていた個々人のトリップの連結性が必ずしも保証されなくなるという問題が一方で生ずることになる。ただし、全体としての目的別トリップ数についての量的整合性は保たれており⁴⁾、かつこの定義による推移行列は最尤推定値でもある⁵⁾。

4) 証明

W_{ij} は上述したように $i \rightarrow j$ という目的連関の実数であるから、これを発働から見ると次式が成立している。

$$F_j + \sum_i W_{ij} = G_i \quad (a)$$

(4・2・17)式より $W_{ij} = G_i y_{ij}$ を得て、これを(a)式に代入すると、



結局、第1法は個人のトリップパターンを追跡できるマイクロな定義法、第2法は流れの量を追跡するマクロな定義法、ということができよう。

第1法の適用性を妨げているのは、出勤→出勤、および登校→登校の推移確率が現実には0であるという現象であって、それがために両連関の非負確率が確実に得られないという点である。ただ出勤と登校という目的分類を、推移パターンの観点から少し立ち入って再構成してやることは可能であろう。また、将来のトリップパターンの動向として、出勤、登校という行動がよりフレキシブルになってくるようならば、第1法が有利になってくる。

(3) 目的連関行列の予測

吸収マルコフモデルによってトリップチェーン、すなわち方程式体系(4・2・10)～(4・2・13)を予測しようとする場合、キーポイントになるのは目的連関行列の予測である。発生量ベクトル A やゾーン間推移行列 P の予測は従来からの伝統的な手法によるが、目的連関行列 Y については、前項の2つの定義法で用いられた行列 $[G]$ や $W = |W_{ij}|$ を予測することが主眼となる。しかしもともと行列 Y には、交通パターン決定に影響を及ぼす政策変数や社会経済変数が含まれていないので、これを外生的に予測することはできない。そこで、将来の周辺分布を別途得ておき、現況データから得られる現在パターンをもとに、OD表の予測において用いられている現在パターン法を活用することになる。中でも確率的に最も生じやすいパターンを求める現在パターンのエントロピー法(【Appendix (1)】参照)⁶⁾ が有効である。その他、ファーネス法で推計す

$$\downarrow \quad F_j + \sum_i G_i y_{ij} = G_j \quad (b)$$

この連立方程式を整理してベクトルを行列で表示すると、

$$F' = (I - Y')G' \quad (c)$$

ここに F' 、 Y' はそれぞれ F 、 Y の転置ベクトルである。この両辺にそれぞれ左から $(I - Y')^{-1}$ を乗じ、さらに両辺の転置をとると、

$$G = F(I - Y)^{-1} \quad (d)$$

をうる。これは先の(4・2・14)式にはかならない。要するに本法の定義による連関行列 Y は、(4・2・14)式を満足する多くの Y の中の1つなのである。ゆえに、(4・2・14)式の意味での量的整合性は保たれている。

5) 近藤(1978)、森村・高橋(1979)。

6) 佐佐木・近藤(1978)。

る方法も提案されている⁷⁾。いずれの方法を採用するにせよ、将来のトリップパターンが大きく変動する場合には現在ボタン法は有効ではないので、その適用は短期予測に限定されることになる。

3. 交通手段連関の導入

本節では前節のモデル体系に交通手段の連関を組み込むモデルを紹介する。マルコフモデルの特長をいかして自動車利用率の変化の過程が追跡される。トリップチェーンにおける交通手段分担モデルは、Sasaki (1971) による自動車利用率を用いる方法が最初の試みである。それは、吸収マルコフモデルによってトリップチェーンの軌跡を追跡しながら、同時にその構造を利用して交通手段分担を実行させる（自動車トリップのみを追跡する）というシステムチェックな方法である。

図4.2.3にトリップチェーンにおける Modal Split (交通手段分担) の概念図を示す。

佐佐木のモデルは、パーソントリップのゾーン間推移行列 P を得たのちにモーダルスプリットが実行されるので形式的には Post-Distribution Model に属する。ゾーン i から目的 m で出発する第1トリップの発エンド自動車利用率を μ_i^m で表し、これは着ゾーンに関係なく一定とされる。そして目的連関 $m \rightarrow m'$ に対応して引き起

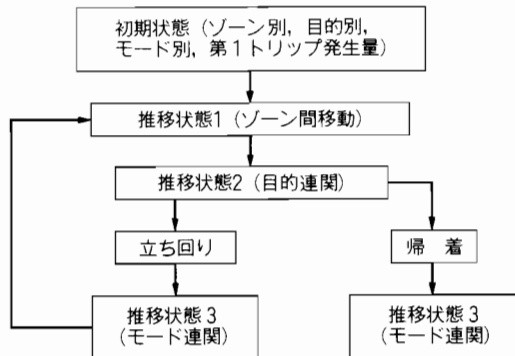


図4.2.3 トリップチェーンにおける Modal Split の概念図

7) 松井 (1976).

こされる自動車利用率の変化率が次式で定義される。

$$\phi^{m m'} \psi_j = \eta_j^{m'} / \eta_j^m$$

ここに η_j^m は目的 m でゾーン j に到着したものの自動車利用率, $\eta_j^{m'}$ は目的 m' でゾーン j を出発するものの自動車利用率である。ところが, この比率 ϕ がすべてのゾーンで一定値となることは期待しがたいので, 第 j ゾーンに固有の調整係数 ψ_j を作用させている。これら μ , ϕ , ψ を用いて自動車トリップが追跡されることになる。 μ は発ゾーン特性を反映し, ϕ は目的連関に固有な(ここでは平均的な)自動車利用率の変化率である。そして ψ は ϕ を攪乱する効果であり, すなわち経由ゾーンでの駐車スペースや公共交通サービスの程度などによって規定される。

このモデルで自動車トリップを追跡するには, 目的別ゾーン別第1トリップ発生量ベクトル A に第1トリップ発エンド自動車利用率 μ^m_i を乗じて自動車トリップ発生量を得て, 目的連関ステップにおいてはさきの Y^* の代わりに

$$\tilde{Y} = \begin{bmatrix} \phi_{11} Y_{11} \psi & \phi_{12} Y_{12} \psi & \dots & \phi_{1M} Y_{1M} \psi \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \phi_{M1} Y_{M1} \psi & \phi_{M2} Y_{M2} \psi & \dots & \phi_{MM} Y_{MM} \psi \end{bmatrix}$$

を用いればよい。ここに

$$Y_{ij} = \begin{bmatrix} y_{ij} & & & \\ & y_{ij} & & \\ & & \dots & \\ & & & y_{ij} \end{bmatrix}, \quad \psi = \begin{bmatrix} \psi_1 & & & \\ & \psi_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & \psi_N \end{bmatrix}$$

である。もちろん, ϕ と ψ は各ステップにおいて定常性が仮定されている。

以上のモデルではトリップの発エンドにおいて自動車利用率 (μ , ϕ , ψ) が考慮されていたが, 現実にはトリップの着エンドやゾーン間での効果を見ることができない。この観点から佐佐木のモデルを改良する方法が提案され

8) Kondo (1974).

ている⁸⁾。ゾーン (i, j) 間の自動車利用率 ρ_{ij} を、発エンド利用率 μ_i 、着エンド利用率 λ_j 、そしてゾーン間効果 γ_{ij} の3つから構成する。すなわち

$$\rho_{ij} = \mu_i \lambda_j \gamma_{ij}$$

佐佐木モデルで用いられるゾーン間推移確率行列 $P = \{P_{ij}\}$ の代わりに $P = \{P_{ij} \lambda_j \gamma_{ij}\}$ を用いれば全く同じ追跡プロセスが採用できる (このモデルによる計算例を【Appendix (2)】に示す)。この改良モデルは、 P_{ij} の構造として重力モデルを想定することによって導かれたものである。したがって、ゾーン間効果 γ は主としてゾーン間トリップ時間に依存するものである⁹⁾。

これら変化率を用いる自動車トリップの追跡法の、予測にあたっての課題として、変化率 ϕ , ψ , γ などをいかに政策変数や社会経済変数と結びつけて実証的に定めるかという点を挙げることができる。この点はまだ未解決で残されている。

【Appendix (1)】 現在パタンのエントロピー法

将来 OD 表の (i, j) 要素の先験確率を、現在の単位 OD 表 p_{ij} に等しいとして、このとき各 (i, j) 要素に X_{ij} ずつ割り当てる場合の同時確率 S を最大化することを考える。このようにして得られる解の OD パタンは確率的にみて最も生起しやすい (most probable) パタンということになる。

9) いま (i, j) 間のパーソントリップ数 X_{ij} が重力モデル

$$X_{ij} = \alpha \beta_i U_i V_j f(t_{ij})$$

に従い、同時に自動車トリップ数 X'_{ij} も重力モデル

$$X'_{ij} = \alpha' \beta'_j U'_i V'_j f'(t'_{ij})$$

に従うものとする。ここに、 α, β はエントロピー法を用いた場合のbalancing factor、 U, V は発生量、集中量、 f はゾーン間抵抗関数、 t はゾーン間時間である (‘記号は自動車)。

このとき (i, j) 間の自動車利用率は

$$\begin{aligned} \rho_{ij} &= X'_{ij} / X_{ij} \\ &= \frac{\alpha' \beta'_j U'_i V'_j f'(t'_{ij})}{\alpha \beta_i U_i V_j f(t_{ij})} \\ &= \mu_i \lambda_j \gamma_{ij} \end{aligned}$$

と書ける。ただし $\mu_i = U'_i / U_i$, $\lambda_j = V'_j / V_j$, $\gamma_{ij} = \{\alpha' \beta'_j f'(t'_{ij})\} / \{\alpha \beta_i f(t_{ij})\}$ 。

最大化すべき同時確率 S は

$$S = \frac{T!}{\prod_{ij} X_{ij}!} \prod_{ij} (p_{ij})^{X_{ij}}$$

ここに T は全域の交通量である。そして制約条件は

$$\sum_j X_{ij} = U_i \quad (i=1, 2, \dots, N)$$

$$\sum_i X_{ij} = V_j \quad (j=1, 2, \dots, N)$$

の $2N$ 本。ここに U_i, V_j は所与の将来周辺分布、 N はゾーン数である。この最大化問題の解はバランシングファクターを λ_i, μ_j として

$$X_{ij} = \lambda_i \mu_j p_{ij}$$

と求められる。ただし、バランシングファクターの積は、上の $2N$ 本の制約条件式から一意的に定められることが証明されている。この方法がエントロピー法と呼ばれるのは、目的関数 S を最大化するさい、 S を最大化する代わりに、同値の関係にある $\log S$ の最大化問題を解く過程において目的関数の中にエントロピー形式が現れてくることによる。

【Appendix (2)】計算例（京都市トリップチェーンデータ、1970年）

1. 目的連関行列（第2法） $Y = \{y_{mm}\}$

	出勤	登校	買物	非日常的 買物	業務	帰社
出勤	0.	0.007	0.058	0.040	0.161	0.
登校	0.002	0.	0.027	0.058	0.001	0.034
買物	0.004	0.003	0.057	0.032	0.014	0.037
非日常的 買物	0.010	0.005	0.059	0.136	0.012	0.027
業務	0.020	0.002	0.028	0.018	0.285	0.202
帰社	0.	0.001	0.048	0.045	0.217	0.

2. 自動車利用率変化率行列 $\Phi = \{\phi_{mm}\}$

	出勤	登校	買物	非日常的 買物	業務	帰社
出勤	—	0.8947	0.5789	1.1384	1.4187	—
登校	—	—	0.6667	1.0952	—	1.5000
買物	0.9167	1.0000	0.8333	0.9344	1.7081	0.6237
非日常的 買物	0.9762	1.4000	0.9302	0.9649	0.9792	1.0266
業務	1.0443	0.5000	0.8031	0.8824	1.0021	0.9930
帰社	—	2.0000	0.4912	0.9672	1.1031	—

3. ゾーンファクター (ψ_j, λ_j)

ゾーン	1	2	3	4	5	6	7
ψ	1.0782	1.0533	0.8189	1.1145	1.0582	0.8925	1.0251
λ	0.8936	1.1213	0.9293	0.9362	1.0765	1.1098	1.0272

注) ゾーン: 1. 上・中・下京区 2. 左京区 3. 東山区 4. 南区・向日市
5. 右京区 6. 北区 7. 域外

4. ゾーン間ファクター (γ_{ij})

ゾーン	1	2	3	4	5	6	7
1	0.695	1.285	1.104	1.397	1.207	1.221	1.064
2	1.080	0.588	0.902	1.201	1.213	1.323	1.517
3	0.984	0.966	0.658	1.223	1.605	1.054	1.433
4	1.131	1.092	0.991	0.648	0.967	0.794	0.492
5	1.131	1.004	1.064	1.345	0.547	1.009	0.912
6	1.078	1.135	1.372	0.569	1.006	0.583	1.098
7	0.950	1.130	1.153	0.982	0.972	1.073	0.624

5. 自動車トリップの追跡

トリップ目的	出勤	登校	買物	非日常的 買物	業務	帰社
(初期状態) 第1トリップ	99,838	17,774	14,693	28,636	52,464	1,525
第1ステップ	1,833	988	5,656	15,386	59,806	19,131
第2ステップ	1,676	586	1,959	5,075	27,060	6,659
第3ステップ	714	250	716	1,829	11,588	2,818
第4ステップ	297	104	280	709	4,943	1,194
計算値合計	104,572	19,775	23,495	52,125	159,520	32,205
実測値合計	104,658	18,581	25,487	49,924	155,372	39,825

6. 計算結果の考察

自動車利用率変化率行列での特徴は、(1)全般に自動車の継続利用の高いこと(大半の値が1.0前後ゆえ)、(2)出勤や買物から業務トリップへ推移する場合に自動車利用率が高まること、(3)買物へ推移する場合には自動車利用率は低くなること、など。

着ゾーン効果 λ については、都心ゾーンで値が最小となっており、自動車ですら都心にアクセスすることの困難性が現れている。

ゾーン間ファクターについては、とくにゾーン内々の値が極端に小さく、このファクターがトリップ長の効果を代表していることが理解できる。

自動車交通量の追跡結果から見ると、このモデルは概して現況再現性に成功していると思われるが、非日常的買物や業務のような反復性のあるトリップ目的については、やや過大な計算値を得ている。また、帰社トリップは乖離が大きい、これはこのトリップ目的の取り扱いの難しさを物語っている。すなわち帰社という目的があまり推移性をもたず、かといって会社等の事業所と同じモデルの中で同時にもう1つの吸収源にはできないというモデルの構造に由来している。事業所をベースとする交通については第1章で述べたような別のマルコフモデルとして扱うほうが現実的であろう。事業所をベースとする業務交通の分析については、佐佐木・西井(1983, 1986)、西井(1985)が詳しく、バ

タン分析，業種別特性，トラベリングセールスマンモデルなどについて実証的な検討が行われている。

第3章

時間軸の導入

本章では第2章で紹介した都市平面（2次元）でのトリップチェーンのマルコフモデルに時間軸を導入し、3次元の時間・空間軸においてトリップチェーンを記述する方法について述べる。これにより時間に関する交通政策を計量的に評価することが可能となる。

1. 交通政策評価からの要請

トリップチェーンを都市平面で記述する方法については従来から多くの研究例がある。しかし現実のトリップチェーンは、この都市平面に時間軸を導入したところの3次元の時間・空間軸において生じていることに注目しよう。トリップチェーンを3次元で理解する方法は大きく分けて次の2つがある。

- ① マルコフ再生モデル
- ② アクティビティ・アプローチ

前者の方法は、都市平面における定常な吸収マルコフモデルに、トリップエンドにおける各活動での滞在時間分布を導入したものであり、後者は活動の連結に焦点をあて、それらの派生需要として交通を理解しようとする分析枠組を総称したものである。本章は前者について少し詳しく見てゆこう。

伝統的な交通施設計画にとって重要なのはピーク時の交通量であるが、オイルショック後の交通計画をとりまく環境の変化にもなあって、短期的あるいは局地的な交通政策の重要性が増し、既存の交通体系や交通施設をいかに有効に

活用するかという点に多大の関心が払われるようになってきた。これにともな
って「時間」、とくに「1日の時刻」(time-of-day)という要素と交通パタンと
の関係を把握しておくことがきわめて重要になってきた。

ピーク交通量は、たとえばピーク率という従来からの考えかたでもって推計
することが可能である。しかし、下記のような政策あるいは現象に対しては、
ピーク率というような一元的な尺度では、複雑な交通パタンの変化を表現しき
れないであろう。

- ① 勤務時間の短縮（一方で余暇時間増）
- ② 時差出勤，時差退社，カープーリング
- ③ 営業時間帯の変更

このような変化に対しては、交通パタンの諸変化の積み重ねとして各種交通量
を算定する必要がある。まず、①については、勤務時間が短縮されることによ
り、必要な業務活動を限られた時間内で消化する必要から、業務トリップの密
度が高まる可能性のある反面、業務活動の合理化を促すという側面も現れてく
るであろう。そして勤労者の個人的側面としては、余暇時間増となって現れる
であろうから、自由裁量トリップの生成機会が増大することになる。

②については、トリップの時刻分布の形状が変更を受けると同時に、生活パ
タンにも変化を生ずるであろう。とくに朝の貴重な時間においては、若干の時
刻変動であっても世帯構成員との連係プレイ（通学・通園児童の送迎，キスア
ンドライド）に少なからぬ影響が生ずるであろう。

③に関しては商店従業者などへの影響も無視できないが、顧客の交通がより
大きな影響を受ける。とくに百貨店・スーパー・娯楽施設などの営業時間帯の
変更は、顧客の基本的な生活パタンの変更にまで波及するであろう。もちろ
ん買物客の特定の時間帯への集中を呼ぶことは避けられない。

このように時間、時刻に関する「社会制度の変更」は派生需要である交通に、
とくにその連結パタン（トリップチェーン）の面で、多大の影響をもたらすこ
とになる。時刻に加えられる変更が微量である場合、短期的な影響予測のため
の手法としてマルコフモデルは依然として有効である。また、その変更が自由

裁量トリップを促すようなものであればあるほど、マルコフモデルは生きてくる。しかし、もし時刻に関する変更が自由裁量行動の余地をせばめるようなものであれば、交通パターンは画一化の傾向を示すことになり、マルコフモデルの有効性は薄れる。そのさいには、アクティビティ・アプローチのようなミクロなフレームを用いて、個人の行動規範にまで遡行する必要がでてくる（第2部で紹介したプリズムモデルや非集計行動モデルなどがこの役目を演ずる）。

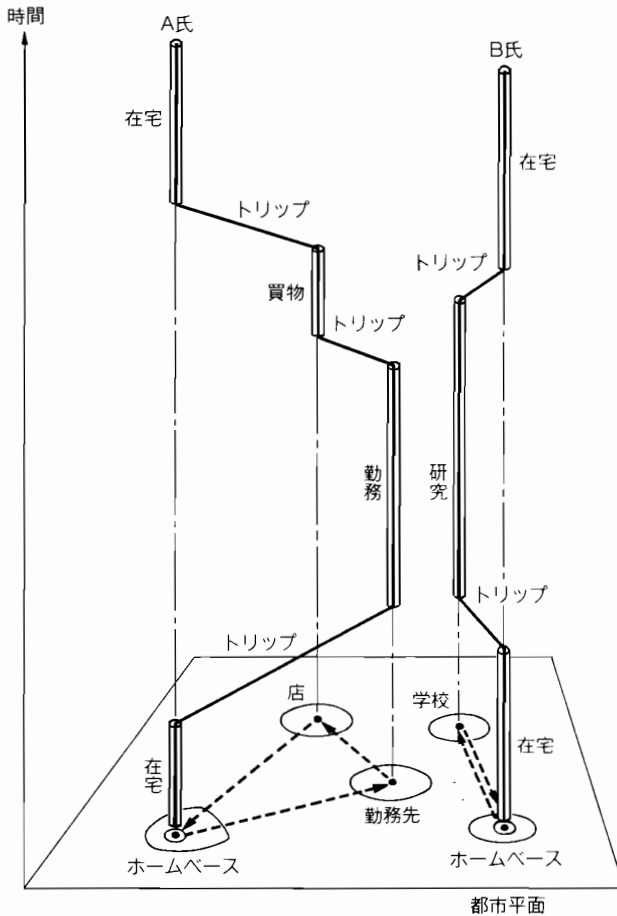


図 4. 3. 1 時間空間における活動とトリップの連結状態

図4.3.1は2種類のトリップチェーンの平面的形態と時間空間的形態を描いている。横軸は都市平面、縦軸は1日の時刻を表している。A氏は勤務終了後、帰宅途中に買い物に立ち寄っている。B君は大学で遅くまで研究に没頭し、終了後下宿に直行している。このような個人の1日の行動軌跡を時間空間経路(time-space path)と呼ぶ。もし、トリップチェーンの平面的形態がマルコフモデルでよく記述されるなら、これを時間空間経路に沿って3次元に拡張する方向が自然であり、トリップの量的整合性の面から見ても望ましい。

2. マルコフ再生モデル

目的地での滞在時間分布を導入し、マルコフ再生モデルを用いてトリップチェーンを表す試みはすでにいくつか存在する。しかし、これらの諸研究ではトリップ目的についてはほとんど考察が払われてこなかった。すなわち、隠れマルコフ連鎖(Inbedded Markov Chain)として単純マルコフ連鎖によるゾーン間推移が取り上げられ、滞在時間分布はゾーンの性格のみに依存すること、などが仮定されていた。しかし実際問題として、滞在時間分布はゾーンの性格よりも目的地ゾーンでの活動の種類により強く依存しているものと思われる。以下では、ゾーンの連関と、トリップ目的の連関を独立に取り扱うモデル¹⁾を紹介する。

モデルの骨格は以下のようである。

- ① 隠れマルコフ連鎖としては、トリップ目的の連関に関する吸収マルコフ連鎖とゾーン間推移に関する単純マルコフ連鎖の2つを結合させた連鎖を考える。
- ② 滞在時間分布は、現在の活動と次に行う活動にのみ依存する。
- ③ トリップ所要時間は、そのトリップの出発地における活動の滞在時間を含める。
- ④ トリップ目的と、目的地での活動とは同義とする。たとえば、出勤とい

1) 近藤・上野(1979)。

う状態は本来トリップ目的の名称であるが、ここではとくにことわらないかぎりは、勤務活動と同じ状態を指すものとする。

以上の準備により3次元空間でトリップ目的の連関を記述することができる。

いま $F_{mn}(t)$ を、活動 m にいるものが次に活動 n に推移するという条件のもとで、活動 m の滞在時間 (= 活動時間) が t 以下であるという条件つき確率とする。すなわち

$$F_{mn}(t) = \text{Pr}\{T_{k+1} - T_k \leq t \mid X_k = m, X_{k+1} = n\} \quad (4 \cdot 3 \cdot 1)$$

ここに X_k は k 番目に行く活動を、 T_k は X_k に入った時刻を示す。いま活動の種類は M 個で、これには帰宅目的 (= 在宅) は含まれない。

一方、トリップ目的の連関行列を

$$Y = \left\{ Y_{mn} \right\} \quad (m, n = 1, 2, \dots, M)$$

とすると、目的 m に入ってから t 時間後に目的 n に推移するという条件つき確率は

$$Q_{mn}(t) = Y_{mn} F_{mn}(t) \quad (4 \cdot 3 \cdot 2)$$

で与えられる。ただし $Q_{mn}(t)$ は以下の性質をもつ。

$$Q_{mn}(t) = 0 \quad (t \leq 0)$$

$$0 \leq Q_{mn}(t) < Y_{mn} \quad (t > 0)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Q_{mn}(t) = Y_{mn}$$

この $Q_{mn}(t)$ をゾーンの個数 N だけ対角に並べた $MN \times MN$ 行列を $Q(t)$ で表し、これにゾーン間推移行列 P 【第2章(4・2・6)式】を乗じたものを

$$\tilde{Q}(t) = Q(t)P \quad (4 \cdot 3 \cdot 3)$$

で定義する。この行列は「セミマルコフ行列」と呼ばれ、この要素

$$\tilde{Q}_{mn}^{ij}(t) = Y_{mn} F_{mn}(t) (P_{ij})^n \quad (4 \cdot 3 \cdot 4)$$

は、ゾーン i で活動 m を開始したものが t 時間後にトリップ目的 n でゾーン j へ推移する確率を与えている。

以上の準備のもとで、以下、交通量を時刻を追って算定する過程を定式化してみよう。いま時刻 t までにトリップ目的 m でゾーン i を出発する累積交通量を $A_{m,i}(t)$ とし、これを要素とする $1 \times N$ ベクトルを $A_m(t)$ とする。さらにこの $A_m(t)$ を要素とする $1 \times NM$ ベクトルを $A(t)$ とすれば、このとき、時間 $(0, t)$ における各ゾーンへの到着量は次式で与えられる。

$$V(t) = A(t)P + \int_0^t V(t-x)\hat{Q}(dx) \quad (4 \cdot 3 \cdot 5)$$

ここに $V(t)$ は、第1トリップ発生交通量ベクトル $A(t)$ に対応する累積到着交通量ベクトルである。この要素 $V_{m,j}(t)$ は時間 $(0, t)$ にゾーン j へ目的 m で到着したトリップの総数である。(4・3・5)式の右辺第1項はベースを出発する第1トリップの着エンド数を、同第2項は時刻 $(t-x)$ までに到着した交通量のうち、続く x 時間のあいだに目的を変更して次のゾーンへ推移したトリップの着エンド数を表している。

また(4・3・5)式は以下のようにも書き直せる。

$$\begin{aligned} V(t) &= A(t)P + \left[\int_0^t V(t-x)Q(dx) \right] P \\ &= \left[A(t) + \int_0^t V(t-x)Q(dx) \right] P \\ &= U(t)P \end{aligned} \quad (4 \cdot 3 \cdot 6)$$

ここに $U(t)$ は時刻 t までの累積発生交通量ベクトルである。一方、式(4・3・5)は「たたみ込み (convolution)*」を使って

$$V(t) = A(t)P + V(t) * \hat{Q}(t) \quad (4 \cdot 3 \cdot 7)$$

と書け、さらに両辺のラプラス変換をとると

$$V(s) = A(s)P + V(s)\hat{Q}(s) \quad (4 \cdot 3 \cdot 8)$$

となり、これより

$$\begin{aligned} V(s) &= A(s)P[I - \hat{Q}(s)]^{-1} \\ &= A(s)PR(s) \end{aligned} \quad (4 \cdot 3 \cdot 9)$$

を得る。ここに

$$R(s) = [I - \hat{Q}(s)]^{-1} \quad (4 \cdot 3 \cdot 10)$$

は

$$R(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \widehat{Q}(t)^k (*) \quad (4 \cdot 3 \cdot 11)$$

$k(*)$: k -hold convolution (k 重たみ込み)

で定義されるマルコフ再生行列であり、その要素 $R_{ij}^m(t)$ は、時刻 0 に目的 m でゾーン i を出発した人が時刻 t までに、目的 n でゾーン j を訪れる回数の期待値を表している。

同様にして発生交通量についても (4・3・6), (4・3・9) 式から

$$\begin{aligned} U(s) &= A(s) + V(s)Q(s) \\ &= A(s) + A(s)PR(s)Q(s) \\ &= A(s)[I + PR(s)Q(s)] \end{aligned} \quad (4 \cdot 3 \cdot 12)$$

と求められるが、式 (4・3・9), (4・3・12) より $V(t)$, $U(t)$ を得るには、それぞれの逆ラプラス変換をとることになる。また、これらのベクトルが一定の値に収束した場合、すなわちすべての人々がベースに戻ってしまった後で得られる 1 日交通量が、平面的マルコフモデルで得られたそれに一致することは次のように証明される。

$$\begin{aligned} V &= \lim_{t \rightarrow \infty} V(t) \\ &= \lim_{s \rightarrow 0^+} sV(s) \\ &= \lim_{s \rightarrow 0^+} sA(s)PR(s) \\ &= \lim_{s \rightarrow 0^+} A(s)PsR(s) \\ &= [\lim_{s \rightarrow 0^+} A(s)P][\lim_{s \rightarrow 0^+} sR(s)] \end{aligned} \quad (4 \cdot 3 \cdot 13)$$

ここで、

$$\begin{aligned} \lim_{s \rightarrow 0^+} A(s)P &= \lim_{s \rightarrow 0} \int_0^{\infty} e^{-st} A(dt)P \\ &= \int_0^{\infty} A(dt)P \\ &= AP \end{aligned} \quad (4 \cdot 3 \cdot 14)$$

他方、

$$\begin{aligned}
\lim_{s \rightarrow 0^+} sR(s) &= \lim_{s \rightarrow 0^+} \sum_{n=0}^{\infty} s \hat{Q}(s)^n \\
&= \lim_{t \rightarrow \infty} \sum_{n=0}^{\infty} \hat{Q}(t)^n \\
&= \lim_{t \rightarrow \infty} [I + \hat{Q}(t) + \hat{Q}(t)^2 + \dots] \\
&= I + Y^*P + (Y^*P)^2 + \dots \\
&= (I - Y^*P)^{-1} \qquad (4 \cdot 3 \cdot 15)
\end{aligned}$$

したがって、式(4・3・14)、(4・3・15)を式(4・3・13)に代入すれば

$$V = AP(I - Y^*P)^{-1} \qquad (4 \cdot 3 \cdot 16)$$

となって、これは先の式(4・2・11)に等しい。(証了)

このようにして我々は、第2章で展開した都市平面におけるマルコフモデルに矛盾しない形での、3次元におけるトリップチェーンのマルコフ再生モデルを構築することができる。

3. 時間帯推移行列を用いる方法

いままでに我々が考えてきた推移概念は2つあり、1つはトリップ目的連関、もう1つはゾーン間推移であった。ここでもう1つの推移概念を導入しよう。

1日24時間をいくつかの離散的な時間帯に分割して考える。トリップ目的の数を M 、ゾーンの数を N 、時間帯の数を L とするとき、各人はこの3つの軸から構成される3次元空間の中を目的を変え、ゾーンを変え、時間帯を変え浮遊(推移)することになる。具体的には、 $M \times N \times L$ で区切られるブロック間を立体的に移動するわけである(図4.3.2参照)。

図中、破線で示された平面的なトリップチェーンは、ホームベースのあるゾーン2を出発した人が通勤目的で会社のある同じゾーン2に向かい、そこでの勤務終了後、買物トリップでゾーン1に移動し、そして帰宅する様子が描か

れている。これを時間軸に引き伸ばしたものが実線の時間空間経路である。ここでの我々の関心はこの時間帯推移を既存のマルコフモデルに組み込むことである。

まず、1日の各時間帯に $\ell=1, 2, \dots, L$ という番号をつける（各時間帯の長さはそれぞれ実用的な幅で任意でよい）。 r 番目の時間帯にトリップ目的 m で、あるゾーンに到着した人が、次に目的 n に推移する

という条件のもとで、 $s(s \geq r)$ 番目の時間帯までそのゾーンに滞在するという条件つき確率を t_{mn}^{rs} とし、これを要素とする $MN \times MN$ 行列 T を次のように定義する。

$$T = \left[T_{mn} \right] \quad (m, n=1, 2, \dots, M)$$

ただし、

$$T_{mn} = \left[t_{mn}^{rs} \right] \quad (r, s=1, 2, \dots, L)$$

ここで、時間帯を遡行する滞在はありえないこと、および1日で完結するトリップチェーンを対象としていることから、時間帯推移確率は以下の条件を満足しなければならない。

$$\begin{aligned} r > s \text{ のとき } & t_{mn}^{rs} = 0, \\ r \leq s \text{ のとき } & 0 \leq t_{mn}^{rs} \leq 1, \end{aligned}$$

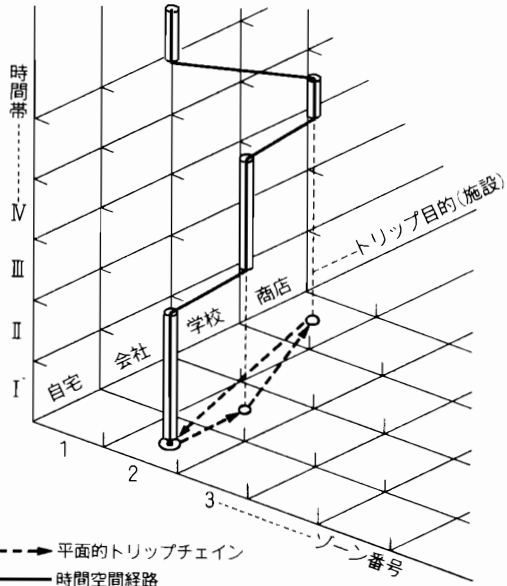


図 4.3.2 時間空間における吸収マルコフモデルの考え方

$$\sum_{s=r}^L t_{mn}^{rs} = 1$$

この行列を我々は時間帯推移行列と呼ぶ。この特徴は、マルコフ再生モデルにおけるような連続な滞在時間分布を与えるのではなく、時間帯という離散的な状態間の推移確率を与えていること、ならびに、到着した時間帯 r に依存した形で滞在時間の長さ $s-r$ が変化するという側面を考慮している、という2点である。

時間帯 r にトリップ目的 m で到着した人が時間帯 $s (s \geq r)$ までそのゾーンに滞在し、次にトリップ目的 n に推移するという確率は、目的間推移確率 Y_{mn} と時間帯推移確率 t_{mn}^{rs} の積として表せるので、この積を第2章の目的連関行列 Y の要素と置き換えてやれば、第2章のモデルの体系(4・2・10)～(4・2・13)式がそのまま使えることになる(もちろん、登場するすべてのベクトルと行列は時間帯の数だけ次元を拡大しておく必要がある)。

4. モデルの意義

マルコフ再生モデルでは滞在時間は目的間推移時間分布という形で与えられ、前節の時間帯推移モデルでは目的連関別に時間帯間の長さとして与えられる。したがって前者では時刻は連続的に扱われ、後者では離散的に扱われる。それゆえ、前者にあっては交通量の変化を連続的に記述できるという精緻さをもつ反面、推移時間分布形がラプラス変換を困難ならしめるようなものである場合は都合が悪いことになる²⁾。他方、後者にあっては、時間帯という離散的な状態を想定しているために、前者ほど時刻についての精緻さは獲得できないが、モデルによる追跡プロセスが比較的簡単であり、かつ交通計画に必要な時間帯別交通量を直接に算定できるという利点をもっている。また、1つの時間帯の

2) 買物や業務など反復性が高く、裁量の要素の強い、言ってみればランダム(確率的)な活動についてはその滞在時間分布は指数分布で近似できるような形状をしているので、ラプラス変換が

長さについても、実証に耐えるデータ数があるかぎり小さくとることができる。

滞在時間の考えかたについてはもう1つの重要な違いがある。前者のマルコフ再生モデルでは、活動での滞在時間を規定するのは、現在の活動と次に行う活動の2要因であったが、後者の時間帯推移モデルでは、この2つの要因に加え、現在の活動が開始された時刻(=時間帯)にも依存するとしている。したがって前者では活動時間分布は1日中同じであるのに対し、後者では活動開始時刻によって異なるものと想定されているのである。そのほうがtime-budget 効果を反映できるのでより現実的な想定であることは言うまでもない。朝9時に勤務を開始する人と、夜9時に勤務を開始する人が、ともに同じ活動時間分布をもつと主張する現実的根拠はかなり乏しい。

以上の考察から、時間帯推移の概念を導入したモデルのほうが現実的かつ実用的であることが判断されよう。そして同時に、時刻に関する交通政策の影響評価をも容易になしうる。すなわち、都市に住む人々の移動の基本的なパターンは目的連関 Y とゾーン間推移 P で記述でき、時刻に関する部分は第1トリップ発生ベクトル A と時間帯推移行列 T が受けもつものとするれば、時刻に関する“社会制度の変更”は A および T を通して交通パターン全体に反映されることになる。

5. 時刻従属のマルコフ再生モデル

マルコフ理論を社会現象に適用するにあたっては、森村・高橋(1979)で詳しく論じられているように、満足されねばならない条件がいくつかある。要約すれば、① システムの状態および推移の概念がはっきりしていること、② 状態の推移に関してマルコフ性が成り立つこと、そして③ ある期間、推移確率が定常的であること、の3点である。この中で最も重要な要件は、状態の推移

↘ に問題はないが、ほかの出勤、登校など活動時間が拘束的なものはそうではない[近藤・上野(1979)]。

に関するマルコフ性（時点 t で状態 i にいたとき、次の時点 $t+1$ に状態 j に推移する確率は、 $t-1$ 時点以前にどの状態であったかには無関係であるという性質）であり、言い換えれば過去の履歴からの独立性（history independency）である。それゆえマルコフ過程は忘却過程（memoryless process）とも呼ばれている。

交通現象へのマルコフモデルの適用に対する疑義および批判は上の要件のうち第2, 3点に向けられている。すなわち、推移確率の過去の履歴から独立性と、推移確率の時刻的同一性（time homogeneity）（1日のどの時刻でも同じ推移確率を用いること）が主に批判されてきた。すなわち、従来のマルコフモデルでは、時刻的に同質（homogeneous）で定常的（stationary）な状態間推移確率

$$p_{ij} = Pr.[X_{n+1} = j | X_n = i]$$

と、状態での滞在時間分布

$$Pr.[X_{n+1} = j, T_{n+1} - T_n \leq z | X_n, T_n]$$

とからモデルが構成された。そしてこの構造は本質的には過去や時刻には依存していない。北村・ラム（1981）は時刻に依存した（time-dependent）推移確率

$$Pr.[X_{n+1} = j | X_n = i, T_{n+1} = t] = p(i, j, t)$$

と、状態に依存した滞在時間分布

$$Pr.[X_{n+1} \leq t | X_n = i, T_n = s] = F_i(t - s)$$

とから構成されるマルコフ再生モデルを提唱した。この滞在時間分布は、1日の時刻の進行につれて滞在時間に制約が働くという時間予算（time budget）の効果をねらったものである。推移確率と滞在時間分布をとともに指数分布に仮定した場合の簡単な例題について試算した結果、交通サービスの改善はより多くのトリップを生ぜしめることなどがモデルから帰結されている。このモデルはトリップチェーンの一面をうまく捉えているものの、しかし通勤トリップなど拘束的なトリップへの応用にはまだ問題を残している。したがって、まだ実用的とは言えないが、マルコフ再生モデルの枠組の中ではこれ以上の改良には限界があろう³⁾。

3) 第4部の土台となった論文は拙稿（1974, 1978, 1979, 1982, 1986a）などである。

あとがき

1986年3月に米国留学から帰国し、その年の6月から本書の執筆を開始してはや1年以上が過ぎた。このあいだにも交通行動分析の分野では新しい研究動向が芽生えている。その基調は交通の派生需要的性格がより強調されてきていることである。とくに欧米の多くの研究者は交通決定の単位としての世帯の活動分析に多大の関心を寄せている。この理由は、欧米では活動や交通決定が世帯中心になされているという事情に求められる。それゆえ、世帯における自動車の利用をめぐる世帯メンバーの連係プレイや活動スケジュールの調整、およびファミリーライフサイクルの関連などについて、1週間あるいはそれ以上の期間にわたるパネルデータの収集と分析など、意志決定過程のダイナミックな分析に多くの力が注がれてきている。こういった世帯中心の考え方は我が国では必ずしもそのまま受け入れられるとは言えないけれども、長期的な趨勢としては注目しておく必要があろう。その意味での国際研究の必要性は今後も重要であるし、地域構造要因の抽出、異時点データ比較などが今後の交通行動分析の主たる流れになろう。また、これに関連して、多地域・多時点にわたる莫大な世帯データが必要になるが、今後、行政サイドの協力を得て、10年ごとに行われている現行のパーソントリップ調査を補完すべく、より詳しい世帯活動調査を周期的に実施してゆく必要がある。そうでなければ、我が国の研究水準は欧米から遅れをとることになる。また、より肌理（きめ）の細かい交通政策の立案にさいしても情報不足を免れえないであろう。

参考文献

◆A◆

秋山一郎監訳 (1982) 『カー・カルチャー』 (J. フリンク著), 千倉書房.

Adler, T. and M. Ben-Akiva (1979) A Theoretical and Empirical Model of Trip Chaining Behavior. *Trans.Res.*, 13B, pp. 243-257.

Anas, A. (1979) Equilibration Properties of Logit Models. *TRR* 728 pp. 8-13.

◆B◆

Beckmann, M. J. and Burns, L. D. (1976) A Theory of Household Automobile Allocation Decisions. *Trans. Sci.*, 10, pp. 72-84.

Ben-Akiva, M. E. and S. R. Lerman (1985) *Discrete Choice Analysis*, MIT Press.

— L. Sherman, and B. Kullman (1978) Disaggregate Travel Demand Models for the San Francisco Bay Area, Non-Home-Based Models. *TRR* 673, pp. 128-133.

Bentley, G. A., A. Bruce, and D. R. Jones (1977) Intra-urban Journeys and Activity Linkages. *Socio-Economic Planning Sciences*, 11, pp. 213-220.

Brög, W. and E. Erl (1983) Application of A Model of Individual Behavior (Situational Approach) to Explain Household Activity Patterns in an Urban Area and to Forecast Behavioral Changes. In Carpenter S. and P. M. Jones eds., *Recent Advances in Travel Demand Analysis*, Gower, Aldershot.

Bruzelius, N. (1979) *The Value of Travel Time*, Croom Helm, London.

Burns, L. D. (1979) *Transportation, Temporal, and Spatial Components of Accessibility*. D. C. Heath, Lexington, M. A.

◆C◆

Carpenter, S. and Jones, P. M. (eds) (1983) *Recent Advances in Travel Demand Analysis*. Gower, Aldershot.

◆D◆

Daganzo, C. (1979) *Multinomial Probit - The Theory and its Applications to Demand Forecasting*. Academic Press.

Daly, A. J. and Zachary (1978) Improved Multiple Choice Model. In Hensher D. A. and Q. Dalvi eds., *Determinants of Travel Choice*, Saxon House.

Damm, D. (1982) Parameters of Activity Behavior for Use in Travel Analysis. *Transpn. Res.*, 16A-2, pp. 135-148.

— (1984) The Integration of Activity and Transportation Analyses for Use in

- Public Decision-Making. *Transpn. Policy and Decision Making*, 2, pp. 249-269.
- Deserpa, A. C. (1971) A Theory of the Economics of Time. *Economic Journal*, Vol. 81, No. 324, pp. 828-846.
- Domencich, T. A. and D. McFadden (1975) *Urban Travel Demand—A Behavioural Analysis*. North-Holland.
- 土井正幸 (1986) 都市交通計画パッケージ UTPP の背景、内容及び活用. 「交通工学」, 21-3, pp. 23-35.
- 土木学会土木計画学研究委員会編 (1984) 「非集計行動モデルの理論と実際」, 土木計画学講習会テキスト.

◆G◆

- Gaudry, M. J. I. and M. G. Dogenais (1979) Dogit Model. *Trans. Res.*, 13-B, pp. 105-111.
- Gilbert, G., G. L. Peterson, and J. L. Schofer (1972) Markov Renewal Model of Linked Trip Travel Behavior. *Proc. of ASCE*, 98-TE3, pp. 691-704.

◆H◆

- Hagerstrand, T. (1970) What About People in Regional Science? *Papers of the Regional Science Association*, 24, pp. 7-21.
- Hall, R. W. (1983) Travel Outcome and Performance: The Effect of Uncertainty on Accessibility. *Transpn. Res.*, 17B-4, pp. 275-290.
- Hanson, S. (1979) Urban-Travel Linkages: A Review. In Hensher D. A. and P. R. Stopher eds., *Behavioral Travel Modeling*, Croom Helm, pp. 81-100.
- Hemmens, G. C. (1970) Analysis and Simulations of Urban Activity Patterns. *Socio-economic Planning Sciences*, 4-1, pp. 53-66.
- Hensher, D. (1982) On the Equivalence of Modified Logit Models, Compressed/Saturated Logit and Binary Dogit. *Transportation* 11, pp. 87-90.
- Horowitz, J. (1978) Disaggregate Demand Model for Nonwork Travel. *TRR* 673, pp. 65-71.
- (1980) A Utility Maximizing of the Demand for Multi-Destination Non-Work Travel. *Trans. Res.*, 14B, pp. 369-386.
- (1982) Modeling Traveler Responses to Alternative Gasoline Allocation Plans. *Trans. Res.*, 16-A, pp. 117-133.
- Horton, F. E., and P. W. Shuldiner (1967) The Analysis of Land-Use Linkages. *HRR* 165, pp. 96-107.
- , and W. E. Wagner (1969) A Markovian Analysis of Urban Travel Behavior: Pattern Responses by Socioeconomic-Occupational Groups. *HRR* 283, pp. 19-29.

◆J◆

- Jones, P. M. (1979) HATS : A Technique for Investigating Household Decisions. *Environment and Planning, A-11*, pp. 59-70.
- (1983) The Practical Application of Activity-based Approaches in Transport Planning : An Assessment. In Carpenter S. and P. M. Jones eds., *Recent Advances in Travel Demand Analysis*, Gower, pp. 56-78.
- , M. C. Dix, M. I. Clarke, and I. G. Heggie (1983) *Understanding Travel Behavior*. Oxford Studies in Transport, Gower, Aldershot, England.

◆K◆

- 河上省吾・磯部友彦・仙石忠広 (1986) 時間制約を考慮した1日の交通・活動スケジュール決定のプロセスのモデル化. 「土木計画学研究・論文集」, No. 4.
- Kitamura, R. (1984a) Incorporating Trip Chaining into Analysis of Destination Choice. *Trans. Res.*, 18B-1, pp. 67-81.
- (1984b) A Model of Daily Time Allocation to Discretionary Out-of-Home Activities and Trips. *Trans. Res.*, 18B-3, pp. 255-266.
- (1984c) Sequential, History-Dependent Approach to Trip-Chaining Behavior. *TRR 944*, pp. 13-22.
- (1984d) Trip Chains and Activity Sequences : Test of Temporal Stability. *TRR 987*, pp. 29-39.
- (1985) Trip Chaining in a Linear City. *Trans. Res.*, 19A-2, pp. 155-167.
- , and T. N. Lam (1983) A Time Dependent Markov Renewal Model of Trip Chaining. In *Proceedings of the Eighth International Symposium on Transportation and Traffic Theory* (V. F. Hurdle, E. Hauer, and G. N. Stewart, eds.), Toronto University Press, Toronto, pp. 376-402.
- , and — (1984) A Model of Constrained Binary Choice. *Proc. of the Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, VNU Science Press, Utrecht, The Netherlands, pp. 493-512, July.
- , L. P. Kostyniuk, and M. J. Ueno (1981) Basic Properties of Urban Time Space Paths : Empirical Test. *TRR 794*, pp. 8-19.
- Kondo, K. (1974) Estimation of Person Trip Patterns and Modal Split. In Buckley D. J. ed., *Transportation and Traffic Theory*, A. H. and A. W. REED, pp. 715-742.
- and R. Kitamura (1986) Time-Space Utility and the Formation of Trip Chains. Paper presented at the Western Regional science Association Annual Meeting, Laguna Beach, California, Feb. 26-Mar. 1.
- , — (1987) Time-Space Constraint and the Formation of Trip Chains. *Reg. Sci. and Urban Econ.*, 17-1.

- 近藤勝直 (1978) トリップ目的間遷移確率行列の将来予測法. 「土木学会論文報告集」, No. 278, pp. 85-95.
- ・上野義弘 (1979) 時空間におけるトリップチェーンの記述モデル. 「土木学会論文報告集」, No. 287, pp. 55-67.
- (1981) 交通需要分析とアクティビティ・アプローチ. 「六甲台論集」28-2, 神戸大学.
- (1982a) 交通需要分析の新展開. 「交通学研究・1981年研究年報」, 日本交通学会, pp. 109-122.
- (1982b) 交通論と交通工学の接点: 交通需要分析を中心として. 交通学説史研究会編『交通学説史の研究』, II-10章, pp. 391-426, (財) 運輸経済研究センター刊.
- (1982c) 交通行動パターンの吸収マルコフモデル. 「福山大学工学部紀要」, No. 4, pp. 65-76.
- ・菊地賢三 (1986a) トリップパターンに関する二, 三の考察. 「交通工学」, 21-2, pp. 7-14.
- ・— (1986b) 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, pp. 543-550, 10月.
- (1987a) 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」No.377, IV-6, pp. 108-115.
- (1987b) プリズム効用モデルによる交通行動分析. 「交通学研究・1986年研究年報」, 日本交通学会.
- Koppelman, F. S. (1976) Guidelines for Aggregate Travel Prediction Using Disaggregate Choice Models. *TRR 610*, pp. 19-24.

◆L◆

- Lenntorp, B. (1976) Paths in Time-Space Environments: A Time Geographic Study of Movement Possibilities of Individuals. *Lund Studies in Geography, Series B, Human Geography*, No. 44.
- Lerman, S. R. (1979) The Use of Disaggregate Choice Models in Semi-Markov Process Models of Trip Chaining Behavior. *Trans. Sci.*, Vol. 13, pp. 273-291.
- Luce, R. D. (1959) *Individual Choice Behaviour*. Ch. 1, John Willy & Sons.

◆M◆

- Marble, D. F. (1964) A Simple Markovian Model of Trip Structures in a Metropolitan Region. In *Regional Science Association Western Section Papers* (S. P. William, ed.), Urban System Committee, Arizona State University, Tempe, AZ, pp. 150-156.
- , P. Hanson, and S. Hanson (1978) The Uppsala Travel Behavior Study: Design and Methodology. *Geografiska Annaler*, Series B.

- McFadden, D. (1974) Conditional Logit Analysis of Quantitative Choice Behaviour. In Zaramemba P. ed., *Frontiers of Econometrics*, pp. 105-142, Academic Press, New York.
- (1978a) Modelling The Choice of Residential Location. In Karlqvist A. et. al. eds., *Spatial Interaction Theory and Planning Models*, North-Holland, Amsterdam.
- (1978b) Econometric Models for Probabilistic Choice. Paper presented at the NBER-NSP Conference.
- 松井寛 (1976) 交通目的連関行列を用いた発生集中交通量の一推定法. 「交通工学」11-1.
- ・加藤晃 (1976) 交通関連行動時間を考慮した都市交通需要推計モデル. 「土木学会論文集」No. 254.
- 宮城俊彦・森杉寿芳 (1984) 「時間-空間系における交通行動分析に関する研究」, 文部省科学研究費研究成果報告書 (No. 56550364).
- 森村英典・高橋幸雄 (1979) 【マルコフ解析】. 日科技連.
- ◆N◆
- Narula, S. C., M. Harwitz and B. Lentnek (1983) Where Shall We Shop Today? A Theory of Multiple-Stop, Multiple-Purpose Shopping Trips. *Papers of the Regional Science Association, Vol. 53*, Twenty-Ninth North American Meetings of the Regional Science Association. pp. 159-173.
- Nishii, K. and T. Sasaki (1986) An Analysis of Travel Pattern and Modal Split in a Business Trip Chaining. Paper presented at the World Conference on Transport Research, Vancouver, Canada.
- 西井和夫 (1985) 「トリップチェーンによる交通需要分析」. 京都大学学位論文, 2月.
- ・佐佐木綱 (1985) トリップチェーン手法を用いた都市交通需要分析. 「土木計画学研究・講演集」, No. 7, pp. 271-278.
- ・—・植林俊光 (1986a) 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, 1月, pp. 331-338.
- ・—・仲義史 (1986b) トリップチェーンによる一日生活圏の大きさとその構成に関する計量分析. 「土木計画学研究・講演集」No. 9, 10月.
- Nystuen, J. (1967) A Theory and Simulation of Intra-Urban Travel. In *Quantitative Geography Part I* (Garrison, W. L. and D. F. Marble eds.), *Studies in Geography No. 13*, Northwestern University, Evanston, Illinois.
- ◆O◆
- O'Kelly, M. E. (1981) A Model of the Demand for Retail Facilities, Incorporating Multistop, Multipurpose Trips. *Geographical Analysis*, Vol. 13, pp. 134-148.

— and E. J. Miller (1984) Multistop Multipurpose Travel Characteristics : An Empirical Study of Trip Length. Paper Presented at the 63rd Annual Meeting of TRB, Washington, D. C., January.

Overgaard, K. R. (1963) *Traffic Estimation in Urban Transportation Planning*, Technical University of Denmark.

◆Q◆

Quandt, R. (1968) Estimation of Modal Splits. *Trans. Res.* 2, 41-50.

— (1970) *The Demand for Travel*. Heath : Lexington.

◆R◆

Recker, W. W., M. G. McNally, and G. S. Root (1983) Application of Pattern Recognition Theory to Activity Pattern Analysis. In *Recent Advances in Travel Demand Analysis* (S. M. Carpenter and P. M. Jones, eds.), Gower, Aldershot, England, pp. 434-449.

—, —, and — (1986) A Model of Complex Travel Behavior : Part I-Theoretical Development & Part II-An Operational Model. *Trans. Res.* 20A-4, pp. 307-330.

◆S◆

Sasaki, T. (1971) Estimation of Person Trip Patterns through Markov Chains. In *Traffic Flow and Transportation* (G. F. Newell, ed.), New York : American Elsevier, pp. 119-130.

— and K. Nishii (1983) Estimation of Business Car Trip Generation by A Trip Chaining Model. *Proc. of the World Conference on Transport Research, Hamburg*, pp. 376-390.

— and K. Nishii (1985) The Development of Trip Chaining Approaches in Travel Demand Modelling. *Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyoto University*, XLVII-3, 186-204.

佐佐木網 (1969) パーソントリップパターンの1分類法. 「交通工学」 4-1.

—・近藤勝直 (1978) 最適化問題としての現在パタン法. 「土木学会論文報告集」, No. 272, pp. 139-142.

—・— (1982) トリップチェイン手法を用いた都市内業務交通の発生集中量の分析. 「土木学会論文報告集」, No. 327, pp. 129-138.

—・西井和夫 (1986) 都市内業務交通の自動車分担率に関するトリップチェイン分析. 「土木学会論文集」, No. 371, IV-5, pp. 115-124.

正司健一 (1983) 交通における時間価値について. 「神戸大学経営学部研究年報」 XXIX, pp. 75-102.

— (1985) 経済成長と交通需要予測. 「神戸大学経営学部80周年記念論文集」, pp. 305-328.

杉惠頼寧 (1981) 非集計多項ロジットモデルによる短期交通政策評価. 「交通工学」16-6, pp. 3-11.

— (1984) アクティビティを基本とした交通研究への新しいアプローチ. 「交通工学」19-2, pp. 19-27.

Southworth, F. (1985) Multi-Destination, Multi-Purpose Trip Chaining and its Implications for Locational Accessibility: A Simulation Approach, *Papers of the Regional Science Association*, Vol. 57, pp. 107-123.

◆T◆

Thurstone, L. (1927) A Law of Comparative Judgement, *Psychological Review* 34, pp. 273-286.

Tomlinson, J., N. Bullock, P. Dickens, P. Steadman, and E. Taylor (1973) A Model of Students' Daily Activity Patterns. *Environment and Planning*, 5, pp. 231-266.

◆V◆

Vidakovic, V. S. (1972) A Study of Individual Journey Series: An Integrated Interpretation of the Transportation Process. In *Traffic Flow and Transportation* (G. F. Newell, ed.), American Elsevier, New York, pp. 57-70.

— (1974) A Harmonic Series Model of the Trip Chains. In *Transportation and Traffic Theory* (D. J. Buckley, ed.), A. H. and A. W. Reed, Sydney, pp. 375-386.

◆W◆

Weiner, E. (1983) *Urban Transportation Planning in the United States: An Historical Overview*. U. S. Department of Transportation, DOT-1-83-43, August.

— (1986) Urban Transportation Planning Since The Federal-Aid Highway Act of 1962. Paper presented at the 52th annual meeting of TRB, Washington, D. C., Jan. 13-17.

Westelius, O. (1973) *The Individual's Way of Choosing Between Alternative Outlets*. Svensk Byggtjänst, Stockholm.

Williams, H. C. W. L. (1977) On the Formation of Travel Demand and Economic Evaluation Measures of User Benefit. *Environment and Planning*, A-9, pp. 285-344.

事項索引

- ア 行
- IIA 特性 33
- IIA の公理 29
- IID 仮定 29
- アクセシビリティ 40, 78, 147
- アクティビティ・アプローチ 3, 8, 35, 40-42, 51, 59, 178, 180
- アクティビティ効用 49, 111, 121
- 意識データ 33
- 意志決定プロセス 49, 107, 122, 142-145
- 意志決定メカニズム 3, 9, 42, 54, 110, 134, 142
- 異質的マルコフ連鎖 46
- 移転可能性 32, 33
- 一般化費用 11, 111, 112
- 因果モデル 106, 107
- in-depth インタビュー法 36, 39
- HB/NHB 比率 129-133
- NL モデル 29, 30, 33, 113
- F 値 91, 93, 96
- 円錐プリズム 139
- エントロピー 31, 48, 151, 152
- 法 172, 175
- OD 調査 24
- OD 表 17
- OD 分布 35, 47
- OD ペア 62, 63
- オートモビリティ 12
- オフィースペース 68, 72, 73
- オプションセット 52
- オポチュニティセット 50, 52
- カ 行
- 確定効用 27
- 確率項 27-31
- 確率効用 27, 29-31, 49
- 理論 2, 26, 27, 31
- 確率分布 28, 29
- 隠れマルコフ連鎖 183
- 活動機会 4, 78
- 活動経路 3
- 活動効用 → アクティビティ効用
- 活動スケジュール 4
- 活動の生成メカニズム 40
- 活動の連結性 3
- 活動分析 → アクティビティ・アプローチ
- 家庭訪問調査 10, 11, 14
- カテゴリーウェイト 79, 82-88
- カテゴリカルデータ 9, 74
- カーブリング 40, 67
- CARLA 39, 51
- 完全バタン 59
- ガンベル分布 28-30
- 機会数分布 51, 131, 133, 146, 147, 153
- 機会密度 153, 154
- 帰宅確率 44, 45
- 帰宅トリップ数 60
- 基本トリップ 72
- CATS 43
- 吸収マルコフモデル 45, 158, 162, 163, 172
- マルコフモデル
- 極値分布 28
- 均一線形都市 → 線形都市
- ゲーミング・シミュレーション 37, 41
- 限界分析 111, 124
- 現在バタン法 15, 172
- 公共交通機関 2, 3, 12
- 公共政策 4, 8
- 交通運営手法 2, 24
- 交通運営政策 11, 13
- 交通機関選択 → 交通手段選択
- 交通機関分担 → モーダルスプリット
- 交通計画 2, 3, 8, 10, 12, 58
- の環境変化 10
- 交通決定 3, 9, 37, 39, 40, 42, 43, 50
- 交通行動分析 3, 8, 26, 35, 41, 55
- 交通行動モデル 41, 49
- 交通手段選択 4, 45, 63, 74, 106, 117, 134, 143
- 交通手段連関 72
- 交通需要分析 2

- 交通需要推計 → 交通需要予測
 交通需要予測 2, 13, 14, 26, 28, 32, 46, 58
 交通時間予測 42
 → 時間予測制約
 交通生成 2, 42
 交通政策 2, 3, 4, 8, 12, 13, 40
 交通選択 2, 27, 41, 42, 112, 142
 交通投資配分 11
 交通ボタン 40, 42, 43, 49, 54
 交通連結 → トリップ連結
 効 用 26, 47, 111
 — 最大化 27, 28, 47, 51, 110, 115
 — 理論 47
 — 関数 49, 111, 112
 — 要素 118, 121
 個人選択モデル 11, 12
 個人属性 9, 24, 27, 32, 61, 74, 78, 106
 固定効用 121, 123, 128, 133, 139, 151
 固有値 102, 103
 固有ベクトル 102, 103
 コンティンジェンシー係数 75, 77
 コブ=ダグラス型効用関数 149
- サ 行
- サイクル 60, 61, 158-161
 — 数 60, 110, 159, 160
 3C計画 11
 3段階集計予測モデル 11
 GEBモデル 31
 時間価値 113
 時間空間 39
 — 経路 69, 118, 121, 126, 144, 183
 — 座標 3, 4, 9, 35, 41, 42, 51, 117, 133
 — 制約 5, 8, 40
 — 地理学 35, 36
 — ブリズム 4, 5, 8, 41, 115
 — 領域 4
 時間帯推移行列 187, 189
 時間予測制約 112, 190
 指数分布 44, 146, 153
 自動車交通抑制 2, 3
 CBD 146
 就業者 4, 66, 98
 重回帰分析 9, 74, 76, 89, 90, 93, 95, 96, 102, 106
 集計モデル 11, 26, 32
 集計問題 32
 修正マルコフモデル 45
 重相関係数 79, 91, 93-98
 集中交通量 15, 17
 重力モデル 15, 175
 主成分分析 102
 主成分回帰分析 9, 74, 102
 手段分担率 63-65
 消費者行動 110
 — 分析 48
 職住近接 4, 7, 133
 職住時間距離 76, 77
 職場の固定性 76-79, 89, 90, 107
 推移確率 44, 45, 73, 159, 167, 169, 170
 — の過去からの独立性 45, 191
 — の時刻的同質性 45, 191
 推移行列 165, 166, 170
 数値データ 9, 74, 75
 数量化理論 I 類 9, 74, 79, 82-88
 スケジュール制約 49
 スケジュール利便性 49, 110, 112, 114
 スケールパラメータ 29, 30
 STARCHILDモデル 50, 53
 ストップ 60, 61, 159, 160
 — 数 44, 60, 63-65, 110, 112, 159-162
 生活の質 3
 正相関係数 99
 正相関分析 9, 74, 98, 102
 正準変量 99-101
 石油危機 2, 12
 セグメント分割 33, 46
 セミマルコフ過程 45
 セミマルコフ行列 184
 線形都市 9, 51, 115, 122, 129, 131, 133, 144, 150,
 153, 154
 潜在的効用 120, 128, 133
 選択肢 26, 27, 29, 34
 — 集合 4, 8, 9, 28, 33, 34, 50-52, 154
 選択の自由度 8, 117
 相関行列 90, 92, 102, 103
 総合交通計画 11, 14
 ソジャン数 → ストップ数
 ゾーン間交通量 15
 → OD交通量
 ゾーン内々交通量 15

タ行

- 対数尤度 140, 141
- 代表交通手段 62, 63
- 多項選択問題 28, 29
- 多項分布 31
- 多項ロジットモデル 27, 28
- 多次元選択行動問題 34
- 多重共線性 75, 91, 95, 102
- タスク変数 98-101
- たたみ込み 185, 186
- ダミー変数 90
- 多変量解析 9
- 地域間比較 61
- 地域構造分析 51
- チョイスセット → 選択肢集合
- 調和級数 44
- 2ストップチェーン 66-69, 74
- TSUアプローチ 36
- 転換交通 10
- 統計解析 9, 57, 126, 134
- 同時確率密度関数 28
- 都市交通計画 2, 10, 13, 14
 - パッケージ 13
- 都市交通政策 2, 8
 - のオプション 8
- Dogitモデル 33
- 土地利用 8, 15, 32, 35, 49, 51, 130
- トリップ 35, 36, 43, 44, 59
 - データ 9, 114, 117
 - 特性 61, 74, 106
 - 発生 43, 47
 - 交通発生
 - ボタン 43, 47
 - 分布 43, 47
 - メーカー 16, 60, 63, 75, 98, 115, 118, 166
 - 目的 48
 - 目的の連鎖 43, 48
 - レコード 129
 - 連結 9, 42, 43, 55
 - 連鎖 48, 58
- トリップチェーン 9, 41, 43-48, 54, 58, 59, 61
 - 63, 77, 78, 110, 114, 115, 119, 122, 125, 126, 131, 133, 134, 139, 142, 144, 147, 162, 180
 - アプローチ 3, 8

- 研究 43, 48, 58
- の意志決定構造 54
- の1日完結性 60, 167
- トラベリングセールスマン問題 51, 54, 112

ナ行

- 二元配置表の独立性検定 74
- 二項選択問題 28, 29
- 二項ロジットモデル 27
- ヌメリカルデータ 74, 76
 - 数値データ
- Nested Logitモデル → NLモデル
- ネットワーク配分 11

ハ行

- バイパス計画 10, 11
- 派生需要 35, 40, 50, 58
- パーソントリップ 12, 14, 15, 17
 - 法 2, 12
 - 調査 13, 17, 24, 161, 193
- パタン認識理論 49
- 85パーセンタイル値 134-138
- 発生交通量 15, 17
- HATS 37-39
 - インタビュー 37
 - ゲームボード 37, 38
- バス 66-73, 79, 80, 140, 141, 149-153
 - 解析 74, 105, 106
 - 係数 106-108
 - 構成 69-72
 - 番号 75-79, 95-97, 105, 107, 108
- パネルデータ 193
- 反応的計画 11, 13
- 比較静学分析 9
- 非集計アプローチ 13, 16, 26, 31
- 非集計行動モデル 50, 110
- 非集計選択モデル 3, 8, 9, 13, 26, 27, 34, 45, 139, 140
- ピストン型のトリップパタン 47, 60, 159
- PT調査 59, 68, 128
 - パーソントリップ調査
- PTデータ 59, 60
- 標準化係数 100, 101
- 標準(偏)回帰係数 91, 93, 96
- ファミリーライフサイクル 2, 39, 40, 108, 193

204 事項索引

VIF値 91.

不完全バタン 60

物質流動調査 24

プリズム 4-6, 8, 41, 68, 69, 94, 95, 104, 115
-118, 126, 127, 130-141, 144-147, 149, 151, 154

—効用 9, 114, 120, 128, 133

—制約 4, 68, 116, 118, 122-130, 132, 150

—の高さ 117

—の縦幅 117, 124, 140, 145

フレキシブル・ワーキング・アワー 40

フレックスタイム 4, 6

→フレキシブル・ワーキング・アワー

フロー・インデペンデント 4, 116

プログラミングモデル 51

プロビットモデル (Probit Model) 30

分布交通量 15, 17

→OD交通量

平均サイクル数 61-63, 159

平均ストップ数 61-63

偏相関係数 79, 80, 82-88

ホームベース 36, 59, 89, 97

ホームベースト 68, 70-72, 129, 130, 139, 149

マ行

マーケティング 8

マストラシット 17

マルコフ仮定 45, 46

マルコフ再生モデル 181, 183, 187, 189, 190

マルコフ性 46, 191

マルコフチェイン 45-48, 158

マルコフモデル 9, 43-46, 58, 158, 163, 167, 178

メッシュモデル 153

目的地選択 48, 54, 78

—モデル 45, 78

目的連関 70, 165, 173, 174

—行列 167, 170, 172, 184

モーダルスプリット 11, 12, 15, 16, 65, 173

モードスイッチ 72, 73

モニタリング 11, 13

ヤ行

4段階推計法 1, 11-15, 17, 26, 31, 58

ラ行

ラグランジュの未定乗数法 111

ラプラス変換 185, 189

ランダムウォーク 47

ランダム効用 → 確率効用

リニア・メッシュモデル 153, 154

ルート配分 11, 15

ルート選択 41

連邦道路局 (BPR) 11

連邦補助道路法 11

ロジットモデル 27, 29, 31, 33, 34, 140

路側調査 10, 11

人名索引

A

- 阿部周造 48
Adler, T. 43, 48, 110
秋山一郎 12
Anas, A. 31

B

- Beckmann, M. J. 51
Ben-Akiva, M. E. 29, 43, 48, 110
Bentley, G. A. 44
Bexelius, N. 43
Blalock, H. M. Jr. 105
Brög, W. 143
Bruzelius, N. 112
Burns, L. D. 3, 4, 5, 7, 41, 42, 51, 116, 117

C

- Carpenter, S. 40

D

- Daganzo, C. 30
Daly, A. J. 30
Damm, D. 40, 42, 48, 66, 142-144
DeSerpa, A. C. 112
土井正幸 13
Domencich, T. A. 28
Dogenais, M. G. 33

E

- Erl, E. 143

G

- Gaudry, M. J. I. 33
Gilbert, G. 44, 45
Goodwin, P. B. 39

H

- Hall, R. W. 51
Hanson, S. 43, 54, 55

- Hargerstrand, T. 3, 35, 50, 66, 115
Hemmens, G. C. 34, 44, 168
Hensher, D. 33
Horowitz, J. 42, 49
Horton, F. E. 44, 168

J

- Jones, P. M. 11, 37, 39, 40, 42

K

- 加藤 晃 43
河上省吾 113
北村隆一 41-45, 49, 51, 54, 55, 78, 134, 139,
152, 191
近藤勝直 41, 43, 45, 55, 66, 134, 139, 152, 166,
168, 170, 172, 183, 190
Koppelman, F. S. 32

L

- Lam, T. N. 45, 139, 191
Lenntorp, B. 49
Lerman, S. R. 29, 44, 45
Luce, R. D. 28, 29

M

- Mumford, L. 11
Marble, D. F. 44, 168
松井 寛 173
McFadden, D. 27-31
宮城俊彦 43, 112, 113, 117
森杉寿芳 112, 113, 117
森村英典 48, 172, 190

N

- Narula, S. C. 51
西井和夫 44, 51, 60, 134, 160, 178
Nystuen, J. 44

O

- O'Kelly, M. E. 45

206 人名索引

Overgaard, K. R. 43

P

Parks, D. 38

Q

Quandt, R. 28

R

Recker, W. W. 51, 144

S

佐佐木綱 16, 43-45, 160, 163, 167, 172, 173,
174, 176

Shuldiner, P. W. 44

正司建一 113, 143

Southworth, F. 51

杉恵頼寧 32, 37, 39

T

高橋幸雄 48, 172, 190

田村正紀 48, 153

Thrift, N. 38

Thurstone, L. 28

Tomlinson, J. 48

U

上野義弘 43, 183, 190

V

Vidakovic, V. S. 44

W

Wagner, W. E. 44

Weiner, E. 11

Westerius, O. 48

Williams, H. C. W. L. 31

Z

Zachary, S. 30