

モーダル・デマンドモデルの成立

村 俊 範

1. はじめに

モーダル・デマンド (Modal Demand) モデルの起源は、たしかに塚原重利による貨物輸送に関する需要予測システムにあることを我々は前論文により確認した¹。しかし、それはあくまで貨物輸送の需要予測であった。しかし、貨物輸送における需要予測と旅客輸送における需要予測には差異がある。「貨物地域流動予測システム」は貨物輸送の需要予測システムである。その需要予測のシステムが如何にして、旅客輸送である北京・上海間的高速鉄道計画に用いられる²モデルの基礎にまで成長していったかということ論ずることが本稿の目的である。

塚原が(財)運輸調査局の内部資料である「貨物地域流動予測システムの開発」の次に著したものは、1971年3月『交通学研究/1970年研究年報』に掲載された「交通需要および交通の便益の推計モデルに関する一考察 —新幹線鉄道の費用便益分析の体験に基づく反省—」という論文であった。当時、1967年9月に「全国新幹線網構想」が日本国有鉄道より発表され、塚原は新幹線網の需要予測・費用便益分析の作業に従事していたが、この作業中に「貨物地域流動予測システム」の立論過程において考えていた以下のような問題点が、旅客輸送の需要予測にも存在することを感じていたと思われる。

- ・各段階によって異なる理論を用いて計算する四段階推定法のような需要予測モデルは、その異なる理論間において断層が存在する。
- ・今までの経験則、すなわち、過去の輸送量の動向だけを考えた需要予測が、今後近代化していく交通機関の需要予測には適さない。
- ・近代経済学の理論から検討された交通需要予測が必要である。

塚原は上記三つの問題点に加えて、新幹線の需要予測・費用便益分析作業を通して、貨物輸送の需要予測と旅客輸送の需要予測の大きな違いを問題点として認識することになっ

た。それは、交通機関選択の問題と誘発交通量の問題であった。交通機関の選択の問題とは、旅客は旅行するしないという選択、交通機関の選択をそれぞれ貨物と異なりが意思を持って行うということである。その結果が、便利な交通機関が開通すると潜在需要が顕在化するという誘発交通量につながるのである。1963年の東海道新幹線の需要予測では、需要予測の結果に輸送量の一定の割合を誘発交通量として加える方式を採ったが、塚原の考え方では、それは理論の断層を発生させるものであるから、到底受け入れられないものであった。そして、塚原は交通手段の著しい近代化が進むときに、今までのような経験的に構成された需要予測モデルでは、条件の変化に耐えられないものと考えたのであった。

本稿では、塚原が「交通需要および交通の便益の推計モデルに関する一考察」を発表する起因となった「全国新幹線網構想」について、それがどのような計画であったのかを第2章で紹介する。そして、第3章で塚原の理論発表以前における旅客輸送の需要予測の一例として、東海道新幹線の需要予測について考察を行う。東海道新幹線の需要予測には将来予測値の問題と誘発交通量の問題が存在していた。その問題点が、予測交通量、費用便益分析にどのような影響があったのか考察する。次いで、第4章では東海道新幹線の需要予測のみならず、様々な交通需要予測で問題となる誘発交通について、その原因と実例について考察を行う。これらの問題点を踏まえた上で、第5章では塚原の「交通需要および交通の便益の推計モデルに関する一考察」について考察を行う。この論文において、塚原は上記の問題点をすべて解決している新しい需要予測の理論を発表している。これが現在のモーダル・デマンドモデルの基礎的な理論となっているものである。さらに第5章において、塚原が貨物と旅客の需要予測の違いについて、いかに理論化をおこなったのかという経緯を推測する。そして、この理論がどのような経緯で考案されたのかを考察する。

2. 全国新幹線網構想

新幹線とは、全国新幹線鉄道整備法（1970年（昭和45年）法律第72号）第二条に規定されており、その主たる区間を列車が二百キロメートル毎時以上の高速度で走行できる幹線鉄道となっている³。

新幹線鉄道の計画は、古くは第二次世界大戦前の1938年まで遡ることが出来る。以下に

戦前の新幹線計画を年表にして、まとめておく。

表1 東海道・山陽新幹線建設年表（戦前の「弾丸列車」を含む）

年	戦前の新幹線（弾丸列車） 年表
1938年(昭和13年)	鉄道省企画委員会 鉄道幹線調査分科会設置
1939年(昭和14年)	「鉄道幹線調査会官制」公布
1940年(昭和15年)	「東京、下関間新幹線増設に関する件」「第75帝国議会」予算承認建設開始
1944年(昭和19年)	建設中止

戦争により、一旦中止されていた東海道における新幹線建設については、戦前の計画も一部取り入れた上で、以下のような推移により東京－新大阪間が開業した。

年	東海道新幹線 年表
1957年(昭和32年)	運輸大臣の諮問機関「日本国有鉄道幹線調査会」設置
1958年(昭和33年)	調査会答申「東海道線は線路増設が必要である」 交通関係閣僚協議会「東海道新幹線の早期着工」決定
1959年(昭和34年)	東海道新幹線着工
1961年(昭和36年)	世界銀行よりの借款成立
1963年(昭和38年)	鴨宮試験線にて256km/hのスピード試験成功
1964年(昭和39年)	東海道新幹線 東京－新大阪間 開業

戦前の新幹線（弾丸列車）計画の内、残されていた部分である大阪－下関間についても山陽新幹線という形で、1970年に新大阪－博多間に着工された。

年	山陽新幹線 年表
1966年(昭和41年)	「山陽本線大阪・岡山間線路増設（山陽新幹線）について」という文書で山陽区間でも列車本数が逼迫するという結論を得る
1967年(昭和42年)	山陽新幹線 新大阪－岡山間 着工
1970年(昭和45年)	山陽新幹線 岡山－博多間 着工

東海道新幹線は、在来線の需要逼迫により別線線増という形で建設された新幹線であった。東海道本線は、一例を挙げるならば1961年当時、静岡－浜松間（下り方面）では、1日の運転本数は優等列車55本、普通列車30本、貨物列車63本と合計148本（1時間当たり6.2本）に達し、一般的に言われている運転本数の限度⁴120本（1時間あたり5本）を大

大きく超過する本数となっていた。東京近郊では、近辺への普通列車や伊豆方面への列車も存在するため、輸送需要に対する供給も限界に近づきつつあった。このような需要逼迫により建設されたということは、すなわち、多数の利用者が存在するであろうことは、計画段階より裏付けられていたともいえる。しかし、その旅客需要の好調によって、当時世界的に斜陽と言われていた鉄道の旅客輸送に一筋の光明が差したと思われる。

そして、好調な東海道新幹線の輸送状況と当時の高度成長期の経済状態に鑑み、新幹線なら成功するという考え方から、1967年9月、日本国有鉄道は、「全国新幹線網構想」を発表し、1985年度までに開通させる意向を明らかにした。この「全国新幹線網構想」とは、北は稚内、南は鹿児島まで4500kmにも及ぶ新幹線鉄道網を張り巡らすという巨大プロジェクト案であった。

この案は、1969年5月に「全国新幹線網構想」に2700kmもの新路線構想を追加した上で新全国総合開発計画（新全総）として当時の佐藤栄作内閣により閣議決定され、政府の了承も得られた形となった。しかし、輸送力増強としての別線増であった東海道・山陽新幹線とは異なり、新線建設に関して法的根拠は存在していなかった。これは、「全国新幹線網構想」は、全国に高速鉄道ネットワークを構築するためのものであり、鉄道敷設法にある「本邦ニ必要ナル鉄道ヲ完成スル為日本国有鉄道ノ敷設スヘキ予定鉄道線路」ではないためである。法的には、鉄道整備の法的根拠である鉄道敷設法（1922（大正11）年4月11日法律第37号）⁵には、「全国新幹線鉄道網」の路線網は規定されておらず、鉄道敷設法に規定されている路線は、すべては開通していなかった。そのため、それ以外の新線開通は法的根拠がないと解釈されていたためである。

しかし、1970年5月には議員立法として「全国新幹線鉄道整備法」が成立・公布され、「新線」として全国に新幹線網を張り巡らせる法的根拠が得られた。

この「全国新幹線鉄道整備法」が成立・公布された当時、これらの新幹線網を実際に建設した場合の需要の予測はなされていなかったし、また、国民経済への影響などについては考慮されていなかった。1969年当時、建設計画時の需要予測を上回る好調な利用者数を東海道新幹線は誇っていた。そのことが新幹線網計画への後押しとなったと考えられる。

「全国新幹線鉄道整備法」によって建設を開始すべき新幹線とされた区間は以下のとおりである。これらの新幹線がいわゆる「整備新幹線」と呼ばれる鉄道網である。

表 2 全国新幹線鉄道整備法による整備新幹線路線網

昭和46年1月18日運輸省告示第17号 (変更 昭和47年運輸省告示242)			
路線名	起点	終点	経由地
東北新幹線	東京都	青森市	宇都宮市附近、仙台市附近、盛岡市
上越新幹線	東京都	新潟市	
成田新幹線 ⁶	東京都	成田市	
昭和47年7月3日運輸省告示第243号 (変更 昭和48年運輸省告示465)			
北海道新幹線	青森市	旭川市	函館市附近、札幌市
北陸新幹線	東京都	大阪市	長野市附近、富山市附近
九州新幹線	福岡市	鹿児島市	
昭和47年12月12日運輸省告示第466号			
九州新幹線	福岡市	長崎市	
昭和48年11月15日運輸省告示第466号			
北海道南回り新幹線	北海道山越郡長万部町	札幌市	室蘭市附近
羽越新幹線	富山市	青森市	新潟市附近、秋田市附近
奥羽新幹線 ⁷	福島市	秋田市	山形市附近
中央新幹線	東京都	大阪市	甲府市附近、名古屋市附近、奈良市附近
北陸・中京新幹線	敦賀市	名古屋市	
山陰新幹線	大阪市	下関市	鳥取市附近、松江市附近
中国横断新幹線	岡山市	松江市	
四国新幹線	大阪市	大分市	徳島市附近、高松市附近、松山市附近
四国横断新幹線	岡山市	高知市	
東九州新幹線	福岡市	鹿児島市	大分市附近、宮崎市附近
九州横断新幹線	大分市	熊本市	

このような、新幹線による交通ネットワークの再編成の問題が論議される中、モーダル・デマンドモデルの考案者である塚原は、東京より長野・富山・金沢を經由して大阪へと結ぶ北陸新幹線の需要予測及び費用便益分析による投資効果の計測を行っていた。その作業の中で、塚原は今までの輸送需要の予測モデルについて疑問を感じていたのである。それは、塚原の論文⁸によれば次の2点である。

第一に、四段階推定法に代表される従来使用されてきた交通需要予測モデルでは、論理的に矛盾無く需要が予測できない。

第二に、利用者の便益が素直に反映されず、予測された交通需要に矛盾が存在する。

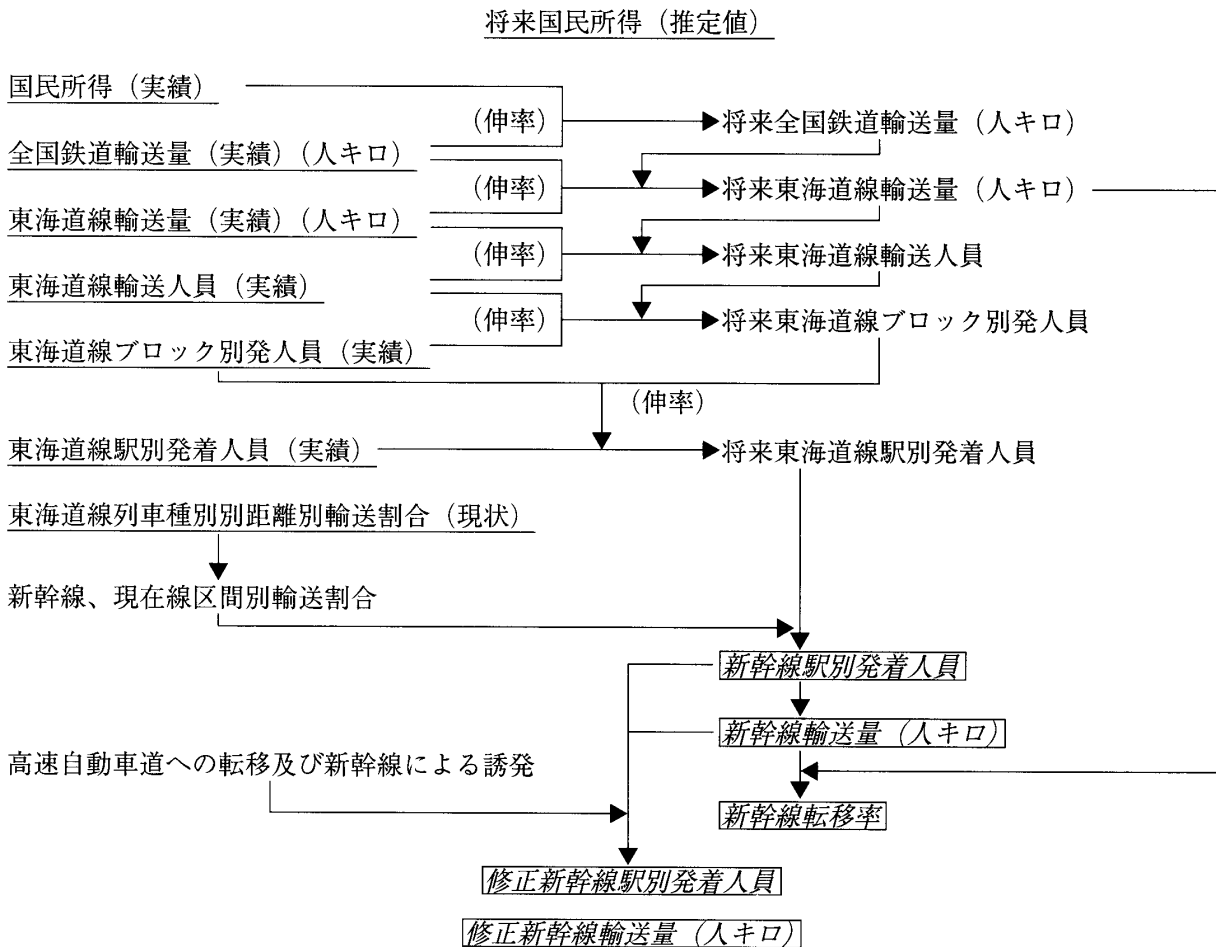
しかし、この点については5章で議論する。

次章では、今までの輸送需要の予測モデルの内、当時すでに開業していた東海道新幹線の需要予測について検討する。そのことにより、塚原がどのような点について疑問を抱いたのかということを検証する。それとともに、東海道新幹線がなぜ予測を上回る好調によって「全国新幹線網」の夢を加速したのかを考えてみたい。

3. 東海道新幹線の需要予測

東海道新幹線の需要予測は、図1⁹に示す手順によって当時の日本国有鉄道により行われた。(貨物の需要予測¹⁰も存在したが、ここでは、旅客の需要予測のみをあげる)

図1 新幹線旅客輸送量算出過程
(下線はインプット 罫み斜体はアウトプット)



この需要予測の算出過程は、国鉄の長年の経験に基づくものとされている¹¹。この需要予測によって算出された東海道新幹線の輸送人キロ¹²の推定値は表3に示すとおりである。なお、需要予測の輸送人キロが1970年もしくは1971年の数値が前年より低下しているのは、高速道路の開通予測年度のため、その影響を考慮したためである¹³。

表3 東海道新幹線の輸送人キロ（推定）¹⁴（単位：億人キロ）

年 度	1957年推定	1962年推定	1963年推定
1964	128	84	50
1965	133	204	165
1966	142	223	184
1967	151	236	201
1968	156	251	218
1969	163	266	238
1970	169	263	259
1971	175	276	250
1972	181	288	261
1973	187	302	273
1974	193	316	286
1975	199	331	300

この需要予測において図1に示すように、積算根拠の基礎となるものは「将来国民所得」のみであり、国民所得の推定値が実績値と大きく異なると、需要予測の推定値と実績値の乖離が大きくなるということが容易に推測できる。

この時代の将来国民所得の推定値は、1960年に発表された池田勇人首相の「所得倍増論」によって大きく変化していることが、1957年推定と1962年以降の推定値によってうかがい知ることができる。

表4 東海道新幹線の輸送人キロ（実績¹⁵と推定との乖離¹⁶）（単位：億人キロ）

年度	実績値	推定との乖離		
		1957推定	1962推定	1963推定
1964	39	-25	-3	14
1965	107	-26	-97	-58

1966	145	3	-78	-39
1967	179	28	-57	-22
1968	210	54	-41	-8
1969	228	65	-38	-10
1970	279	110	16	20
1971	265	90	-11	15
1972	297	116	9	36
1973	341	154	39	68
1974	346	153	30	60
1975	352	153	21	52

注：1964年は年度途中の開通である。

先ほども述べたように、東海道新幹線における需要予測に利用された将来予測値が『将来国民所得』だけであることが、実績値との大きな乖離を生み出したひとつの要因であろう。その理由は以下の通りである。需要予測において将来推計のベースとして使われる国民所得・人口などの将来予測値は、通常、政府や地方自治体が発表している数値を用いることが基本となっている。これらの数値は本来、経済や住民移動の実態を元に推定されるものであるが、施政者の希望的観測などで実態とはかけ離れた数値が発表される場合や、予測できない事象によって予測値と実際の数値が大きく異なる結果となる場合も存在する。この東海道新幹線の需要予測においては、国民所得の予測値と実績値が大きく異なる結果となったために、需要予測の前提条件が崩れてしまっていたものであろう。

また、1957、1962年の推計においては利用時間や料金などの消費者負担を考えなかったために在来線から新幹線への転換交通量も少なめに見積もられたのではないかと考えられる。また、1963年の推計では、開業時の運賃料金を設定したうえで輸送量を推定している¹⁷のために、1957、1962年度の推計より反対に輸送量が減少したのではないかと考えられる。1962年に行われたように、料金・時間などを考えていない需要予測は、料金が甚だ高額であっても利用されてしまうような結果となり、利用者の便益とはまったく関係のない計算結果になってしまう。

また、新しい交通手段が開通した際に発生するといわれる誘発交通量については、この東海道新幹線の需要予測においては考慮されていた。それは、高速道路などの他の交通機

関から移行してくる転換交通量と共に誘発交通量が、東海道新幹線の予測交通量に付加することにより行なわれた。しかし、その交通量は需要予測の理論上、まったく別個に孤立して計算されたものであって、その他のデータと理論的に結びついているものではなかった¹⁸。この東海道新幹線の需要予測については誘発交通量に対する配慮が十分ではなかった。

要約すると、東海道新幹線の需要は、事前の予測データを大きく上回る好調な経済発展によって、事前の需要予測を大きく越える好調な利用者数となったといえる。しかし、これは、需要予測の精度としてはあまり芳しくないものといってよい。また、需要予測の手法自体は、将来国民所得のみを将来の推計値として利用する方法であり、その他の社会的なデータ¹⁹を利用する形にはなっていなかった。また、この予測は最小二乗法によって推定された相関式の傾きがどこまでも右肩上がりになるようなものであり、理論的には遠い将来の予測値ははなはだ無責任なものであったといえる。

それに、このような需要予測の手法は、利用者にとって不便であろうが無かろうが、交通手段が開通すると利用者が発生することになってしまうため、利用者の便益と投資の効果を計るには不適當であるといえる。

次章では、この東海道新幹線の需要予測でも問題となった誘発交通量の問題を考えていきたい。

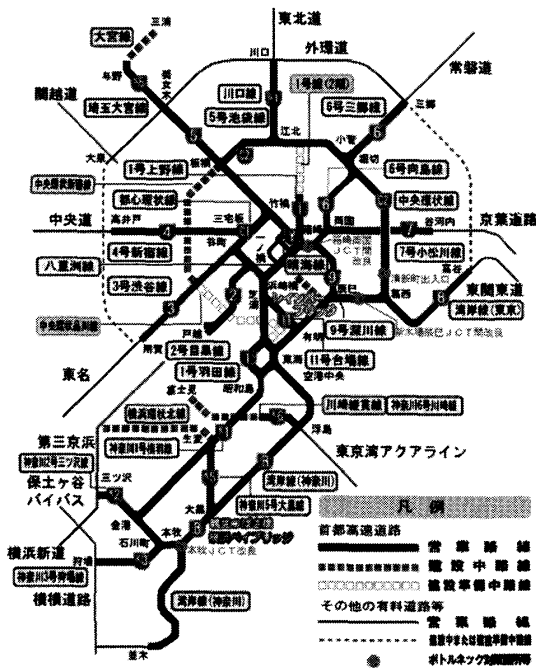
4. 潜在需要の顕在化<誘発交通量>の問題

4.1. 潜在需要の顕在化<誘発交通>

潜在需要の顕在化とは、交通を利用していなかった層が新規交通機関の開通などに伴って新規に需要として発生することを示すものである。現在の四段階推定法では、経済などの状況により発生する自然増加交通量・開発交通量や他の交通からの転換交通量などは推計が行えるが、潜在需要の顕在化については別途理論を作成し、それにより算出された交通量を当該交通に付け足すという方法を取らなければならない。そしてこの方法は四段階推定法からはみ出した部分で行うこととなる。四段階推定法において、このようにしか推定できない誘発交通量は、理論的な部分で矛盾が発生し、需要予測による推定交通量と実

4.2. 日本における誘発交通の例

4.2.1. 例1：首都高速道路湾岸線



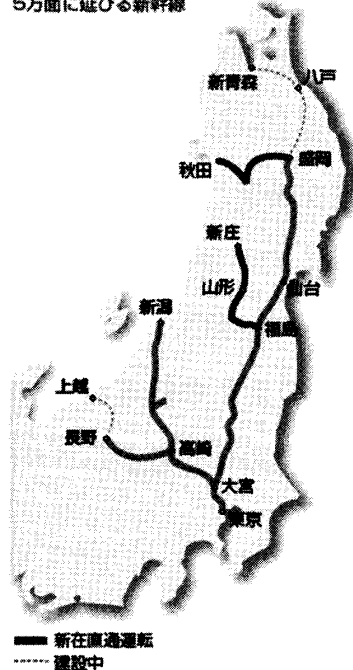
首都高速道路公団では、1995年12月に首都高速道路公団湾岸線（ルートマークB）本牧ジャンクションー空港中央出入口が開通することに伴い、慢性的な混雑が発生している横羽線（ルートマークK1）の交通量が減少して快適な交通になるとの見解を示していた²⁰。

実際、湾岸線に伴い横羽線の交通量は一日あたりの断面交通量で開業前11万4000台から、開通後9万5000台に減少した。公団の目論見では減少分の1万9000台が湾岸線に転移する予定であったが、湾岸線の交通量は、開通後5万5000

台に達し、差し引き3万6000台の交通量が増加した。（以上 首都高速道路公団「年報」1997年度版より）この場合、3万6000台のうち相当数が、誘発交通として発生したものと考えられる。図：首都高速道路公団ホームページより引用

4.2.2. 例2：秋田新幹線（奥羽本線・田沢湖線 新在直通運転化）

5方面に延びる新幹線



JR東日本では、1998年3月に秋田新幹線を開通させ、東京ー秋田間の所要時間を5時間6分（最速）より、3時間49分（最速）に短縮した。

そして1998年度における首都圏（東京、神奈川、千葉、埼玉、茨城、栃木）と秋田県の鉄道、航空、高速バスによる旅客輸送量は、1998年度に244万人、対前年度比9.5%の大幅な増加となった。

鉄道においては、1996年度の114万6千人と比較すると1998年度の首都圏ー秋田県の鉄道利用客が26.1%増加し、144万6千人となった。（1997年度は田沢湖線が改軌工事のためバス代行輸送となり、東北新幹線から秋田への連絡は

別の鉄道路線による輸送になったため条件が異なり比較できない) なお、1998年度の首都圏と秋田県を除く東北地方との鉄道による輸送量が3.2%減となっている。航空は1998年度の羽田と秋田空港を除く東北地方の各空港との間の輸送量は6.3%増となっているが、羽田－秋田間は100万7千人から86万5千人で、同16.5%減となった。そして、高速バスは、11万8千人から10万9千人と、同8.2%ほどと減少に転じた。(以上資料「運輸経済月例報告」、1999年6月及び1999年8月、運輸省、「航空輸送統計年報」、1999年、運輸省)

航空・高速バスの15万人分の減少と1997年度の鉄道の代行輸送による影響を考えると、鉄道の30万人の増加は著しいものがある。これらの状況より考えると、鉄道の利用客の一部は、航空や高速バスからの転換需要ではなく、新規に発生した需要として考えることができる。

図：東日本旅客鉄道2001年度営業報告書より引用

4.2.3. 例3：山形新幹線 山形開業（奥羽本線 福島－山形間 新在直通運転）

1998年度版 運輸白書（現在の国土交通白書）より以下のようなデータを得ることができる。

東京－山形最速時間	福島－米沢間	断面交通量	乗車率
1989年 3：15		3200人／日	71.1%
1993年 2：27		4500人／日	95.7%
1997年 2：27		4500人／日	75.0%

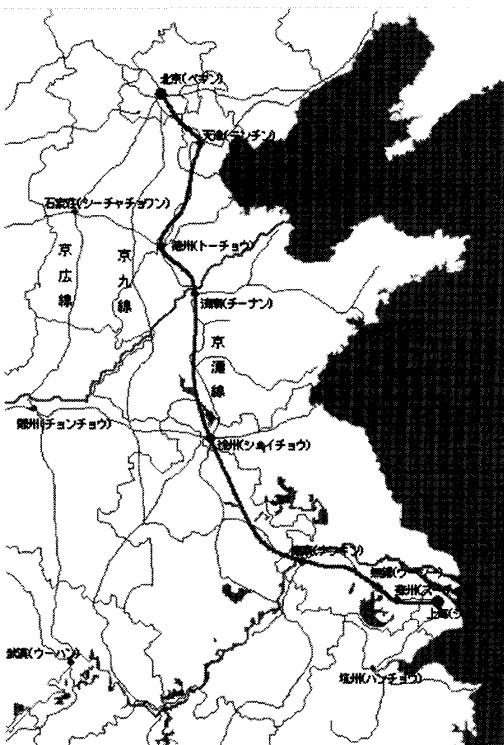
山形新幹線山形開業は1993年7月である。1989年以降と比較すると一日1300人／日の増加である。1993年と1997年とを比較すると、福島－米沢間の断面交通量としては変化がないようではあるが、乗車率が低下している。これは、乗客数が減少したわけではなく、1996年12月より編成両数が1両増加したためである（増結前335人 増結後399人 従って64人（約19%）の定員増、したがって利用者が増加しない場合約19%の乗車率低下が発生する）。また、同じ運輸白書においては、東京－山形間の鉄道及び航空の輸送量が示されている。

(単位 千人)

	1990年度	1996年度	増 減
鉄 道	1180	2101	241
航 空	438	270	-168
合 計	2298	2371	73

このように新幹線の開業後、航空より鉄道への転移が発生しているが、それよりも多くの輸送が鉄道で増加しており、これらの増加分の多くが誘発交通量であるとして考えられる。

4.2.4. 例4：北京－上海 高速鉄道 需要予測



第四の例としては、高木、佐藤による北京・上海間の高速鉄道の需要予測²¹における誘発交通量の例である。

1996年を現状とした予測結果は以下のとおりである。

ケース	誘発交通量(片道:人/日・キロ)
2010年	2434
2020年 最高速度300km/h	3585
2020年 最高速度350km/h	4747

現状の断面交通量が42990人となっている。従って、増加する交通量として、現状より、2010年では5%，2020年では10%前後が、誘発交通量として見込まれている予測結果となっている。

図：世界の高速鉄道 (<http://www1.odn.ne.jp/~aaa81350/>) より引用

4.3. 誘発交通の問題点

このように、新線建設、設備改良などによる誘発交通量はかなり大きなものがあることが、以上の例ではっきりしたと思われる。このような大規模な交通需要が発生することは施設の建設などに大きな影響を持つものと考えられる。そして、社団法人北海道開発センターの技術資料²²にあるように、誘発交通量が交通需要予測において考慮されてい

いと、4.1項でも述べたように、渋滞と道路整備のイタチごっこが発生する危険がある。もしくは、誘発交通量と利用者便益の関係がうまく定まらないため、交通インフラ投資に対する過大評価、過小評価の恐れが発生する。

したがって、誘発交通量は交通計画の作成の際、交通需要予測の段階で必ず考慮されていなければならない。しかし、その誘発交通量の算出は経験則や勘などに頼っていたのが実情である。東海道新幹線の需要予測においても、高速化による誘発交通量は新幹線交通量の30%と見積もられていた。しかし、その誘発交通量の数値には明確な根拠が無かった。全体の30%もの交通量が根拠無しで増加することには計画上問題は無いだろうか。

このような、不明瞭な誘発交通量を理論的な形で算出する手法について、塚原は模索していたのである。

5. 潜在需要の仮想に立脚する需要予測モデルの理論（MDモデルの基礎理論）

5.1. 貨物輸送の需要予測と旅客輸送の需要予測の違い

1968年に「貨物地域流動予測モデル」を開発した塚原は、1969年に北陸新幹線の経済調査を行っていた。そのときに、「貨物地域流動予測モデル」と同じく、旅客輸送の需要予測モデルについても、以下のような問題点が存在していると考えていた²³。

- ・各段階によって異なる理論を用いて計算する四段階推定法のような需要予測モデルは、その異なる理論間において断層が存在する。
- ・今までの経験則、すなわち、過去の輸送量の動向だけを考えた需要予測が、今後近代化していく交通機関の需要予測には適さない。
- ・近代経済学の理論から検討された交通需要予測が必要である。

貨物地域流動予測モデルにおいては以上のような問題点を、塚原は以下のように解決しようとした。

- ・予測の基礎となるデータを地域ごとの物資の入出荷量とすることにより、各地域間の物資輸送量のような実際の物資の動きとは関係の無いものが含まれることはなくなる。このことにより、実際の経済動向による物資の移動について予測でき、過去の輸送量から経験則的に導かれる物資の移動量を予測するものではなくなる。

- ・四段階推定法のように各段階を経ずに必要な計算を1回で行うので、各段階での理論間の断層は発生しない。

そして、塚原は、貨物地域流動予測モデルと同じようなアプローチを用いることによって、旅客輸送の需要予測についても理論的に納得が行き、かつ需要予測の算出値も納得が行くモデルを開発しようとした。

しかし、旅客には貨物と大きく異なる重要な違いが存在した。それは、旅客は意思を持っている点である。貨物は物資であるから地域間の供給と需要で必然的に移動量や移動先が決定する。しかし、旅客はどんなに大都市同士でも地域間の交流が無ければ移動は発生しないし、移動に支払うコスト²⁴（時間・費用）が莫大なものとなれば、郵便や電話などの代替連絡手段で連絡を取るといった形を採ることが出来る。であるから、旅客の移動は、移動に支払うコストが移動による便益を下回らなくては発生しないということとなる。また、輸送手段についても、貨物の場合はその物資の価値・重量・利便性を考慮して物資ごとにほぼ自然に輸送手段が決定される。例えば、砂利を航空貨物で運ぶ業者はほとんど存在しない。重量単価が安価で、かつ時間によって腐敗せず価値が下落しないものを、高速高価な輸送手段で輸送する必然性が見出せないからである。しかし、人間は個人ごとに移動のために使用できる時間と移動のために支払うことの出来る金額、すなわちコストがそれぞれ異なる。そして、その組み合わせによって移動手段を個々に決定することになる。そのような点が貨物と旅客輸送の需要予測に対する考え方が決定的に異なる点である。

5.2. 交通機関選択を有する需要予測

前節で述べたように、旅客輸送について交通手段が自由に選択できるということが需要予測上、単純に処理が出来ないという問題点が発生している。塚原は、このような問題点について「利用交通手段のモード²⁵の数や質に特に変化がないときには、この断層はさして目立たないが、われわれが体験したような例では、致命的な破たんとして現れる」²⁶と述べており、重要な問題点として位置づけている。

「交通需要および交通の便益の推計モデルに関する一考察」において塚原は1966年R.E.クウォント・W.J.バーモルが発表したモデル²⁷（以下、アブストラクトモデルとして記載）に注目したと述べている。しかし、塚原は、「具体化されたモデルについて見る限りでは、理論的にはなお問題があるように思われる。」²⁸とも述べている。

この塚原が注目したアブストラクトモデルの基本的な考え方は、以下のようなものである。

1. 旅行をする決心、旅行者が交通機関を選択する決心は、
 - A) 各基準から見た「最善な」交通手段の絶対的パフォーマンス・レベル
 - B) 最善の交通手段に関して相対的な各基準から見たそれぞれの交通手段のパフォーマンス・レベルによって決定される。
(パフォーマンス・レベルとは、所要時間・運賃・運転本数などである。)
2. 地域間の交通需要量は、外生的変数（起終点地域の人口・所得・都市機能、地域間の距離）に依存する。
 - A) 地域の人口の数値は、交通の増加に対して効果があると考えられる。
 - B) 地域の平均所得が高いことが、交通の増加に対して効果があると考えられる。
 - C) サービス産業・政治的または教育的機構が存在する都市は、一般的な都市より高い旅行性向を喚起すると考えられる。
3. 地域間の交通機関ごとの利用交通量は以下のような手法によって得られる。

交通手段のパフォーマンス・レベル

交通手段	M ₁	M ₂	M ₃
所要時間 H	1	2	3
所要コスト C	5	3	2

交通手段の相対的なパフォーマンス・レベル（相対値）

交通手段	M ₁	M ₂	M ₃
所要時間 H_r	1	2	3
所要コスト C_r	2.5	1.5	1

ある地域間のトリップ数²⁹を算出する方程式が、以下のように決定されたものとする。

$$T_k = 1000 - 100H_b - 60C_b - 60H_{rk} - 50C_{rk} - 50N$$

T_k …交通手段 k による地域間のトリップ数

H_b …地域間の最適所要時間

C_b …地域間の最適費用

H_{rk} …交通手段 k による相対的な所要時間

C_k …交通手段 k による相対的な所要時間

N …地域間の交通手段数

この交通手段が3つの例の場合、交通機関 M_1 のトリップ数は445、 M_2 は435、 M_3 は500となり、トリップ数の合計は1280となる。

ここに、所要時間1.5所要コスト1.0の第4の交通手段が加わると、交通機関 M_1 のトリップ数は330、 M_2 は370、 M_3 は500となる。そして新設された M_4 のトリップ数は500となり、トリップ数の合計は1560となる。

結果として、トリップ数は280増加した。他の条件に変化がなかったとすれば、地域間の誘発交通量は $1560 - 1280 = 280$ 発生し、転換交通量は、第4の交通手段に他の交通機関から220転移したこととなる。

このような考え方をを用いるアブストラクトモデルには次のような利点が存在すると著者らは、述べている。

- a) 存在している各交通手段に関し、新しい交通手段の導入の効果を予測することを可能にしている。
- b) 交通手段のコスト、所要時間及び他の主要な特性を確定するだけで、新しいモデルを導入することが可能である。
- c) 総交通需要の予測を代替的な交通方式の範囲の関数としている。すなわち、総交通需要量より交通手段別に需要量を分割するのではなく、それぞれの交通手段別に需要量を組み立てる形となる。

このような利点について、塚原はとりあえず将来の交通需要を決定してから交通機関配分を行ない、新しい交通機関の誘発交通量を後から付け足すような四段階推定法の方式に比べ、改善された方式として注目したものと考えられる。そして、モーダル・デマンドモデルの基礎理論を構築する際に何らかのヒントを得たものと思われる。

5.3. モーダル・デマンドモデルの基礎理論

塚原の立論したモーダル・デマンドモデルの基礎理論（「交通需要および交通の便益の推計モデルに関する一考察」に記載）は、潜在需要を仮定することから始まっている。その潜在需要とは、

「各OD³⁰には、それぞれ発着両地域間の交通のために要する各種非効用（費用、時間、

疲労、危険等)とは無関係な潜在需要があるものと仮定し、その大きさは発着両地域の経済的ないしは社会的な諸要因によって定まるものと仮定する」というものである。

この潜在需要の大きさの仮定³¹は、5.2で述べたアブストラクトモードの基本的な考え方の2における地域間の交通需要量を決定する考え方に近いものと考えられる。それは、交通量を決定するのは経済的・社会的要因であるという点が似かよっているためである。

また、交通目的の効用や各種非効用の相対評価についても、「潜在需要のすべてについて見ればある種の確率分布をなし、その分布は各ODについて共通と見なし得るもの」としている。このような各ODについて共通として考えられる部分があるということも、アブストラクトモデルにおける各交通機関の利用交通量算出式の考え方に近いといえる。

しかし、これらの潜在需要の効用に対して、交通手段の各種非効用(時間・費用)が下回った場合に、交通需要が顕在化するという考え方は、アブストラクトモデルにはない考え方であり、経済学的な考え方に立脚したものである。このような考え方によって、需要予測手法を作成するのであれば、塚原が交通需要予測の欠陥として指摘していた、利用者の便益と予測された交通需要の関係は説明がつくことになる。

塚原の立論においては、交通手段の変化による交通需要の変化についての理論的矛盾についても、アブストラクトモデルのように、多種の交通機関の需要を同時的に決定することによって矛盾が発生しないようになっている。しかし、アブストラクトモデルとは異なり、潜在需要という形で総需要を規定している点や、所要時間と費用、共に他の交通機関の利便性を上回っている場合には当然のことながらその交通機関にすべて集中するような形となるなど、より発達したモデルであると思われる。

5.4. 2種の交通手段の選択におけるモーダル・デマンドモデル

今後、モーダル・デマンドモデルを論ずる上で基本的な部分を理解しておくことが重要であると考えられるので、2種の交通手段の選択についてのモーダル・デマンドモデルの考え方を塚原の論文より要約しておく。

u …ある一定の単位で計られた交通目的の効用

D_0 …効用 u の潜在需要

$f(u) \cdots D_0$ に関する確率分布関数

$s_0 \cdots$ 効用と同じ単位で計られた交通の非効用の和（特定の値）

このとき、有効需要 D の潜在需要 D_0 に対する比率は、

$D/D_0 = \int_{s_0}^{\infty} f(u) du$ である。この関数を D を表す形とするならば、 $D = D_0 \int_{s_0}^{\infty} f(u) du$ となる。（一般的なSD曲線）

交通の場合、非効用は金銭的な支出のみでなく、時間、疲労、危険なども非効用として考えなくてはならない。また、公共交通機関では運転本数なども考える必要が存在する。また、交通手段によっては、効用 u がそれぞれ異なる場合も存在する。また、非効用のうち、金銭的な支出に関しては利用者それぞれの所得に対して負担感が異なるので、非効用については以下のような尺度を取ることによって、利用者の非効用を合理化したかたちで表すこととする。

$$s = t + vc$$

$t \cdots$ 所要時間

$c \cdots$ 費用

$v \cdots$ 費用の時間換算の係数（単位時間の貨幣価値評価額の逆数）

以上を踏まえた上で、2種の交通機関が存在する場合の2種の交通機関A, Bが i, j 間に存在するとき、その所要時間及び費用を t_{aj}, c_{aj} および t_{bj}, c_{bj} とする。この場合、交通機関の競争として $t_{aj} > t_{bj}$ であり $c_{aj} < c_{bj}$ であるものとする（当然、どちらかの交通機関が所要時間と費用の両方で、他の交通機関より不利であるならばその交通機関は誰も利用しない）。この場合、時間と費用を総合した非効用の総和をそれぞれ s_{aj} および、 s_{bj} とすると、先ほどの非効用を表す式は $s_{aj} = t_{aj} + vc_{aj}$ と $s_{bj} = t_{bj} + vc_{bj}$ となる。このとき、A交通機関を利用するか、B交通機関を利用するかは、利用者それぞれの v の値によって変化する。

v の値が $\frac{t_{aj} - t_{bj}}{c_{bj} - c_{aj}}$ より大きい利用者はA交通機関を利用する形で潜在需要が顕在化し、

v の値が $\frac{t_{aj} - t_{bj}}{c_{bj} - c_{aj}}$ より小さい利用者はB交通機関を利用する。また、効用 u_{ij} が非効用 s_{bij} を超えない潜在需要は顕在化することなく潜在需要にとどまる。

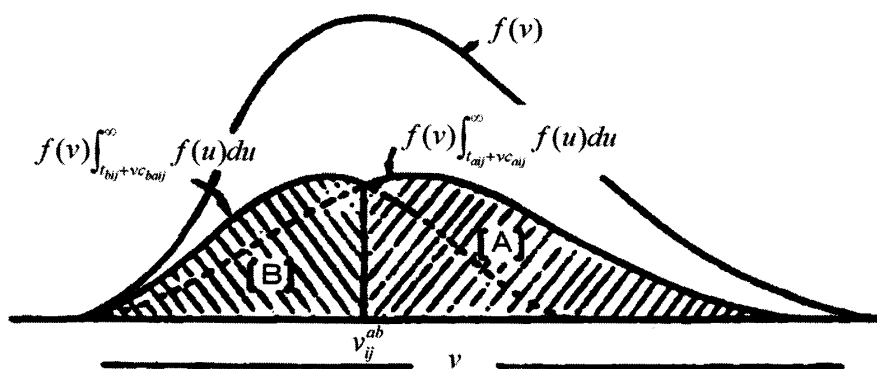
この場合のA, B交通機関の利用者は以下の式で表すことができる。

$$\left. \begin{aligned} D_{aij} &= D_{0ij} \int_{v_{ij}}^{\infty} \left[f(v) \int_{t_{aij}+vc_{aij}}^{\infty} f(u) du \right] dv \\ D_{bij} &= D_{0ij} \int_{v_{ij}}^{\infty} \left[f(v) \int_{t_{bij}+vc_{bij}}^{\infty} f(u) du \right] dv \end{aligned} \right\}$$

上段がA交通機関の利用者数、下段がB交通機関の利用者数となる。

この場合、一交通機関しかない場合の

$D_{ij} = D_{0ij} \int_0^{\infty} \left[f(v) \int_{t_{aij}+vc_{aij}}^{\infty} f(u) du \right] dv$ だけよりも、2種の交通機関利用者数 $D_{aij} + D_{bij}$ のほうが全体の利用者数としては多くなるといえる（図参照）。



注：本図は潜在需要を1とした図である。

3つ以上の交通機関についても、同様な考え方で各交通機関の交通需要量を決定することが可能である。

モーダル・デマンドモデルの基礎理論は、以下のように要約される。

- i 地域から j 地域へのOD別旅客交通の潜在需要 D_{0ij} が存在することと仮定する。
- すべてのOD別旅客交通における目的の効用は u とし、その確率分布関数は $f(u)$ と仮定する。
- すべてのOD別旅客交通における各種非効用（費用・時間の損失）については、時間と費用の限界代替率 v が存在し、その確率分布関数は $f(v)$ と仮定する。
- 潜在需要の顕在化は、利用者の効用が非効用を上回った場合に発生する。
- 交通機関の選択は、利用者ごとに交通機関ごとの非効用が最小になるように選択される。

以上の理論により、交通需要予測の予測値と利用者の便益の数値は矛盾無く算出するこ

とが可能になる。

6. 結 語

モーダル・デマンドモデルの基礎理論は、「交通需要および交通の便益の推計モデルに関する一考察」という論文にて公表された。この時点では、各種需要予測に使われるパラメータは決定していなかった。また、自動車についての考え方などについても、具体的なものにはなっていなかった。それにより、この後も塚原及び塚原の部下は、この理論を実用化するための作業に追われることになったと思われる。

しかし、塚原の主張していた四段階推定法の三つの問題点をすべて解決する理論がこの時点ではほぼ立論できたと考えてよい。

たしかに、これより前に「貨物地域流動予測システム」のモデルによって、四段階推定法の三つの問題点について、塚原は解答を作成していたといえるであろう。しかし、貨物輸送の需要予測と異なり旅客輸送の需要予測については超えなければならない壁があった。それは、人間は個人ごとに移動のために使用できる時間と移動のために支払うことの出来る費用、すなわちコストがそれぞれ異なるということである。そして、その時間と費用の組み合わせによって移動手段を個々に決定する旅行者の問題を理論に組み込むことが出来なければ、旅客需要予測のモデルを完成することはできないのであった。この輸送手段の選択という問題については、交通手段の変化による交通需要の変化について多種の交通機関の需要を同時的に決定する理論、アブストラクトモデルを参考にすることにより、解決をしたと考えられる。

そして、モーダル・デマンドモデルの理論によれば、誘発交通量という需要予測上非常にやっかいな交通量についても、別途計算することなく予測交通量に組み込まれる形となる。これは、四段階推定法のように付け足しのようなものではなく、スマートでかつ塚原の問題にしていた三点もクリアできるのである。

モーダル・デマンドモデルは、「全国新幹線網」、すなわち整備新幹線の計画をきっかけにして生まれた。新幹線の需要予測は過去の経験則的な方法のみでは行えるものではなかった。また、1970年代における交通手段の著しい発達、すなわち、高速道路の開通、国内

線航空のジェット化、新幹線の開業など、そして高度経済成長は交通需要予測の理論的なアプローチを必要としていた。モーダル・デマンドモデルはその必要とされた理論の一つであった。そして、その理論は30年後、現在の北京—上海間新幹線における需要予測に利用されているのである。

参考文献

- 角本良平『新幹線 軌跡と展望 政策・経済性から検証』交通出版社、1995
- 須田寛『東海道新幹線30年』大正出版、1994
- 『北海道における道路事業の費用便益分析手法に関する研究』社団法人北海道開発技術センター技術資料 Vol.22, 2000
- 澤喜司郎『交通計量経済学』成山堂書店、2000
- 塚口博司・塚本直幸・日野泰雄『交通システム』国民科学社、1996
- 土木学会編『交通需要予測ハンドブック』技報堂出版、1981
- 吉川文夫『東海道線130年の歩み』グランプリ出版、2002
- 石井一郎編著『交通計画』森北出版、2000
- 小淵洋一『現代の交通経済学』中央経済社、1993
- 高橋団吉『新幹線をつくった男 鳥秀雄物語』小学館、2000
- 新幹線運転研究会編『新版 新幹線』日本鉄道運転協会、1984
- 所澤秀樹『国鉄の戦後がわかる本 上巻』山海堂、2000
- 月刊誌『運輸と経済』運輸調査局
- 月刊鉄道誌『鉄道ピクトリアル』電気車研究会
- 月刊自動車誌『カーグラフィック』二玄社

¹ 村 俊範「モーダル・デマンド (Modal Demand) モデルの起源 —非 4 段階推定法による交通需要予測—」『経済論集第81号』大東文化大学経済学会、2003, pp. 41-78。

² 高木清晴・佐藤馨一「中国北京—上海高速鉄道計画のFeasibility Study」『交通学研究/2001年研究年報』, 2002, pp. 217-226。

³ したがって、山形新幹線（福島—新庄）、秋田新幹線（盛岡—秋田）の区間は法的には新幹線ではない。

⁴ 線路保守のために運行できない時間や列車間の速度差を考慮した場合。山手線などは追い越し、追い抜きが無いなどの理由により、より多くの列車を運転している。

⁵ 昭和63（1988）年11月4日法律第93号（日本国有鉄道改革法等施行法）110条により廃止。

⁶ 日本国有鉄道改革法等施行法（昭和61年法律第93号）附則第32条第2項により失効。

⁷ いわゆる山形新幹線ではない。

⁸ 塚原重利「交通需要および交通の便益の推計モデルに関する一考察 —「新幹線鉄道」の費用便益分析の体

験に基づく反省―』『交通学研究/1970年研究年報』, 1971, pp. 201-215。

⁹ 角本良平『新幹線 軌跡と展望 政策・経済性から検証』交通出版社, 1995, p. 14より引用。

¹⁰ 東海道新幹線においては当初貨物輸送を行う計画であった。これは、1939年の鉄道幹線調査会の答申を引き継いだものである。この貨物輸送計画においても、輸送量の推定データが残されている。

表 東海道線貨物輸送量の推定

年度	輸送トンキロ (百万トンキロ)	増加率
1956年 (昭和31年)	10,714	100
1964年 (昭和39年)	15,964	149
1970年 (昭和45年)	19,928	186
1975年 (昭和50年)	23,335	218

しかし、結果として貨物輸送は行われなかった。

表 東海道線貨物推定輸送量の新在振り分け表

年度	在来線	新幹線
1956年 (昭和31年)	10,714	
1964年 (昭和39年)	14,263	1,580 (10%)
1970年 (昭和45年)	16,090	2,830 (15%)
1975年 (昭和50年)	21,970	5,069 (23%)

¹¹ 角本, 1995, p. 13。

¹² 全利用者の利用キロ数を合計した数値である。

¹³ 角本, 1995, p. 15。

¹⁴ 角本, 1995, p. 7より引用。

¹⁵ 須田寛『東海道新幹線30年』大正出版, 1994, p. 279より算出。

¹⁶ 1964年度については1964年10月1日開業のため、推定値を6ヶ月/12ヶ月として乖離を計算した。

¹⁷ 角本, 1995, p. 28。

¹⁸ 須田, 1994, p. 20によると1975年の予測輸送量の30%をスピードアップ分の誘発輸送量として算出していたと述べている。

¹⁹ 地域ごとの人口、世帯数、事業所数、平均所得等。

²⁰ 矢貫隆「自動車の罪 第二章空よ (番外編) 外環建設を考える 誘発交通」『カーグラフィック 2002年2月号』二玄社, 2002, pp. 192-196。

²¹ 高木清晴・佐藤馨「中国北京—上海高速鉄道計画のFeasibility Study」『交通学研究/2001年研究年報』, 2002, pp. 217-226。

²² 『北海道における道路事業の費用便益分析手法に関する研究』, 社団法人北海道開発技術センター技術資料 Vol. 22, 2000。

²³ 塚原, 1971, pp. 201-202。

²⁴ 通常、「コスト」という言葉は金銭面のみを指すが、この論文では、「コスト」=利用者の負担 (時間・費用と共に) とする。

²⁵ 交通機関の種別の意である。

- ²⁶ 塚原, 1971, pp. 201–202。
- ²⁷ Richard E. Quandt and William J. Baumol, "THE DEMAND FOR ABSTRACT TRANSPORT MODES THEORY AND MEASUREMENT", *Journal of Regional Science* Vol. 6 No. 2, 1966
- ²⁸ 塚原, 1971, p. 202。
- ²⁹ 交通機関を利用したのべ人数と考えてよい。
- ³⁰ あるゾーンからあるゾーンへ一定の時間内に移動する交通量をOD (Origin, Destination) 交通量という。
- ³¹ D.S.Kessler, "Relationships Between Intercity Air Passengers and Economic and Demographic Factors - A Multiple Linear Regression Analysis", MSE Thesis, Princeton University, 1965にそのような考え方が述べられており、アブストラクトモデルが初出ではない。