

道路の信頼性評価に基づく

今後の鉄道等物流ネットワークに関する研究

A PROPOSAL OF FREIGHT TRANSPORT NETWORK BASED ON ROAD RELIABILITY

藤野研一*、小池慎一郎**

By Kenichi FUJINO, Shin-ichiro KOIKE

In Japan, the transition of modal split in the total domestic freight transport currently shows the increasing share of costal shipping and truck, and the decreasing share of railway. But we must reconsider freight transport on the states that Seikan Tunnel and Honshu-Shikoku Bridge begin thier operation to connect 4 major islands of Japan, and that problems of exhaust and noise etc. break out because of truck transport. On these backgrounds, we analyze the present condition of domestic freight transport, especially railway. Then, we suggest the ideal of the freight transport and plans to reconstruct the railway freight transport.

1. 研究の背景と目的

今日の貨物輸送を含む物流は、経済、産業、社会の構造変革を受けて大きな変貌を遂げつつある。1965年から1985年までの貨物輸送機関分担率の推移で最も特徴的なことは、鉄道輸送のシェアが一貫して減少を続けたのに対し、自動車輸送のシェアが増加したことである。これは鉄道輸送のシェアを長距離では内航海運・自動車、短距離では自動車が奪ったためである。また、全体の中ではあまり目立たないが、近年は速達性が認められて航空貨物の伸びも着実である。しかし一方で、自動車輸送において石油・石炭等のエネルギー資源節約の問題、騒音・排気

ガスによる公害問題、および若年労働者不足の問題等が発生しており、輸送体系の見直しを図る時期にきていると思われる。一方、青函トンネル・瀬戸大橋の開通によって四島がレールで結ばれたことや、ピギーバック、クールコンテナ等の新しい輸送システムの導入によって、今後鉄道輸送がシェアを取り戻すことも可能であると考えられる。

そこで本研究では、鉄道貨物輸送の再活性化をテーマとして企業に対してアンケート調査を行い、その結果を用いて、新しい指標を導入した非集計輸送選択モデルを作成する。また平行して、時間的現実性を表す指標を提案し、それをもとに現況道路ネットワークを評価する。そして鉄道貨物輸送の位置付けを明らかにするとともに以上の結果をまとめて今後の物流ネットワーク案を提示し、最後に今後の鉄道貨物輸送に対する提言を行うことを目的としている。

2. 本研究の位置付け

* 正会員 工修 関西電力株式会社
(〒530 大阪市北区中之島3-3-22)

** 学生員 早稲田大学大学院修士課程
(〒169 新宿区大久保3-4-1)

交通需要予測モデルについてみると、近年非集計型のモデルが開発、研究されてきている^{1)、2)、3)、4)}。しかしこれらはいずれも人流を対象としたもので、物流に適用した例は少ない。海外では、Watson、Hartweg、Linton⁵⁾やBen-Akiva⁶⁾がそれぞれ非集計ロジットモデルを構築しており、またBenami⁷⁾は非集計貨物輸送選択モデルの順応パラメーターに関する研究を行っている。国内では、小松⁸⁾が数量化Ⅱ類を適用しており、判別関数を用いた例⁹⁾もあるが、物資輸送への非集計モデルの本格的な適用はなされていない。

物流に関する既存の研究の中で鉄道に関するものはほとんどなく、わずかに小野・野末¹¹⁾が研究を行っているが、まだ十分な結論を得るには至っていない。その他の機関も含めて物流事情を把握することを目的とした研究としては、佐藤・五十嵐¹²⁾の研究、要藤・鹿島¹³⁾による研究があるが、いずれも対象地域を絞った内容である。林¹⁴⁾は物流をモデル的に捉えた研究を行ったが、海運と陸運との選択モデルであり鉄道と自動車とをひとつに考えている。

加藤・門田¹⁶⁾は自動車輸送の信頼性を定量化し交通需要予測の主要な説明要因の1つになると結論付けているが、モデル的検討には至っていない。

以上述べてきた従来の研究に対して、本研究では「輸送体系を見直す際に、鉄道貨物輸送はどこまで再活性ができるか」ということをテーマとして鉄道を中心に現況把握を行う。次に、道路信頼性を取り込んだ機関選択モデルを構築すると同時に、物流業者が実際に望むネットワーク等を参考にし、今後の物流体系についての提言を行う。具体的には以下の点で特徴的である。

a) 鉄道輸送の位置付けの明確化

国内の物流事情の現況を把握すると同時に、海外との比較により、鉄道貨物輸送の位置付けを行う。特に、日本を含めた14ヶ国を人口・面積・経済指標等を用いた主成分分析により3つのグループに分け、日本が属するEC型の各国の鉄道事情を参考に、今後の日本の物流体系の仮定及びアンケート調査項目の裏付けとしている。

b) アンケート結果をもとにした機関選択モデルの構築

これまでの物流の研究には余り用いらなかった

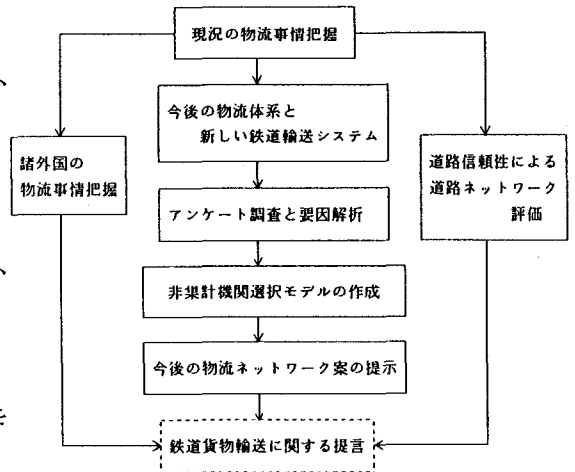


図1 研究のフロー

非集計モデルの構築の可能性を検討する。時間・距離等従来の指標に加えて運輸業者に対するアンケートから得たデータを組み入れることで、サンプル数の問題はあるものの、現場の意見を反映したモデルを構築していくことを検討する。

c) 機関選択における信頼性の概念の導入

輸送時間の明確さを表す指標（道路信頼性）をモデルに組み入れる。これによって、四全総にみられるような「予定輸送」の概念も機関選択の際の指標の一つとなり得ることを確かめる。

以上の結果を総括して物流ネットワークの将来像を考えるとともに、今後の鉄道貨物輸送に対する提言を行うことが本研究の特徴である。

3. 現在の物流事情

現況の物流について以下の分析を行った。

a) 府県内・府県間別輸送機関分担率の把握

府県内で圧倒的に大きい自動車分担率が、府県間においても増加しつつある。

b) 距離帯別輸送機関分担率の分析

300km未満の輸送では自動車、300km以上では海運の分担率が最も大きい。ただし、300km以上750km未満の距離帯では自動車分担率が急増し、海運のシェアに迫りつつある。鉄道分担率はいずれの距離帯においても10%を下回る分担率であり、さらに減少し

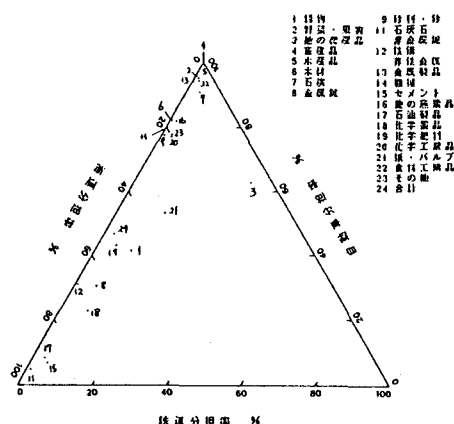


図2 品目別輸送機関分担(1985、トンキロ)

つつある。

c) 品目別機関分担の把握

トンベースで見るとほとんどの品目が自動車輸送に大きく依存している。トンキロベースで見ると、工業原料など安価で大量輸送する品目の海運シェアが大きいことがわかる。概して、最終製品は自動車輸送に、原材料・中間製品は海運輸送に頼る割合が大きい。鉄道はいずれの品目においてもわずかの分担率しか占めない。

d) 青函トンネル・瀬戸大橋の開通効果

青函トンネル、瀬戸大橋の開通効果を分析したところ、鉄道貨物輸送量が大幅に増加していることがわかった。なお、図3は北海道運輸局企画部が発表した各月毎の速報値を基に作成したものである。

全体を通してみると、「貨物輸送の主役は自動車であり、特定の距離帯・品目では海運が多く使われている。鉄道の果たしている役割はきわめて小さく、

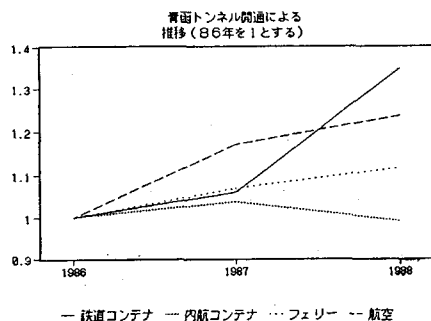


図3 青函トンネル開通による推移

特化している距離帯・品目などもない」ということがわかった。

4. 海外との比較

海外の物流事情について以下の分析を行った。

a) 旅客貨物比による分類

旅客貨物比を用いて単純に分類した結果、日本はイギリス、イタリアと韓国とともに旅客輸送型(0.8未満)に属することがわかった。

b) 主成分分析によるグループ分け

表1のデータをまとめて各国をグループ分けするために主成分分析を行った。累積寄与率は第2主成分までで86.6%となったので、第2主成分までを採用することにした。第1主成分は人口、面積等国の大きさを表すものと考えられ、第2主成分は鉄道輸送の発展度を表すものと考えられる。分析の結果、各国は3つのグループに分けられ、それぞれ両大國型、EC型、発展途上國型と名付けた。日本の輸送体系はイギリス、フランスなどとともにEC型に属することがわかった。

表1 対象国とデータ

分析対象国	日本、中国、インド、イギリス フランス、イタリア、西ドイツ 東ドイツ、ポーランド、アメリカ ソ連、カナダ、ブラジル、韓国
用いるデータ	①面積、人口、鉄道営業キロ 旅客輸送量 貨物輸送量 人口増加率、経済成長率 GNP、隣接国数、国の形 ②ビギーバック、内航海運 パイプライン、内陸水路

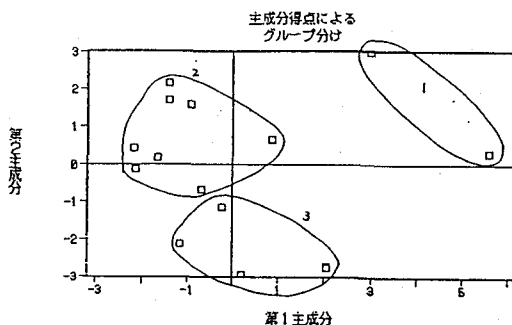


図4 主成分分析によるグループ分け

全体を通してみると、貨物の輸送体系に最も関連するのは隣接国数を含めた国の形、すなわち「日本が狭い島国である」という事実であることがわかった。また、ヨーロッパ諸国では経営に苦しみながらも政府の助成を受けて運営を維持しているが、日本も事情が似ており、ヨーロッパ諸国で鉄道貨物輸送の見直しが行われている以上、日本でもいろいろな面で鉄道輸送を見直す時期にきているものと思われることがわかった。

5. 将来の物流体系と新しい輸送システム

今後の物流体系の変遷を図5のように仮定する。なお、ここで示した具体的項目についてはアンケート調査を行う際の指標になり得るものとし、新しい鉄道輸送システムについてはピギーバック、スーパーライナー、SVS等近年開発が進んでいるものを定義した。

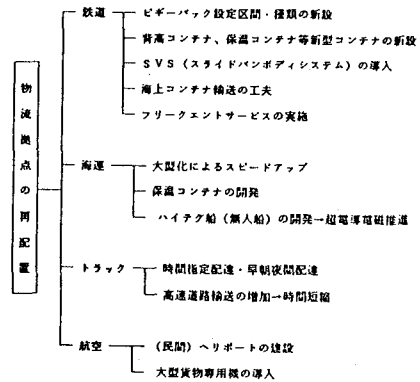
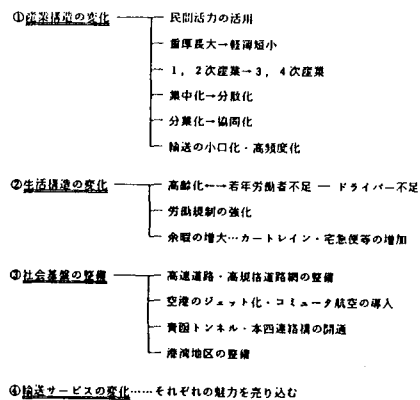


図5 今後の物流体系の変遷

鉄道貨物輸送量に対して説明力の高い連続量の指標を探るために、地域間流動量を被説明変数とした重回帰分析を行った。この結果、鉄道貨物輸送量を減らす要因としては鉄道輸送距離および地域内高速道路延長の2つであることがわかった。これは輸送距離が長くなるほど内航海運に貨物が流れることを示し、また高速道路が伸びるほど自動車輸送に貨物が流れるという一般的な事実を証明している。逆に増やす要因としては地域内運輸業者数および新しい輸送システムの導入距離である。新しい輸送システムの導入が鉄道貨物量を増やす要因となることは今後の政策に大きく影響するものと思われる。

表2 重回帰分析に用いた指標

被説明変数	Y1: 鉄道貨物地域間流動量 (万トン)
説明変数	X1: 鉄道輸送距離 (km) X2: 鉄道輸送時間 (h) X3: 地域内重要港湾数 (個) X4: 地域内高速道路延長 (km) X5: 面積 (km ²) X6: 人口 (10万人) X7: 地域内資本金5000万円以上運輸業社 (社) X8: 新しい輸送システム導入距離 (km) X9: コンテナターミナル数 (個)

標準化した回帰係数を用いた回帰式

$$Y1 = -0.185 \times X1 + 0.103 \times X2$$
$$(-1.242) \quad (0.886)$$
$$+ 0.050 \times X3 - 0.095 \times X4$$
$$(0.325) \quad (-0.371)$$
$$+ 0.071 \times X6 + 0.684 \times X7$$
$$(0.185) \quad (1.110)$$
$$+ 0.244 \times X8$$
$$(1.700)$$

$R = 0.7717$

()内はt値

6. アンケート調査

(1) 調査の概要および目的

運輸会社および荷主サイドの現場の意向を知るために後述の内容を含む調査票を用いてアンケート調査（一部ヒアリング調査）を行った。アンケート調査を行う際に何らかの基準を設けるために全国の資本金5,000万円以上の運輸会社を調査対象とし、本社136、支社2、合計138社に対して調査票を送付した。

本調査の主な目的は、①輸送機関選択の際に重視する項目、②社会基盤整備の効果順位、③青函トン

ネル・瀬戸大橋の利用度、④会社の鉄道輸送に対する考え方、⑤新しい輸送システムに対する興味度を知ったうえで、モデルに取り入れるデータを得ることである。さらに年間輸送量が多い地域間、機関、品目を知ることによって会社側の特性を把握し得るものとする。

（２） 調査方法

調査対象会社を全国としたため、時間的、費用的負担を考慮して郵送回収方式をとることにした。対象会社は前述の138社であり、昭和63年10月末に調査票を送付し、11月末までに回答があった68社（回収率52.9%）のうち66社（有効回収率49.3%）を有効票とした。また、現場の声を直接聞くために一部の地域では訪問インタビュー調査を行った。インタビュー調査の対象地域は本年度高速道路が全通して物流経路がかわったと思われる北陸地方を選んだ。訪問会社は金沢トラックターミナル内に営業所のある5社である。

（３） 単純集計の結果

主な質問事項に対する回答は次のようであった。

a) 機関選択の際に重視する項目

自動車では速度、海運では費用が重視されており、鉄道では費用と共に輸送時間の明確さも重視されている。

b) 求める社会基盤整備

「高速道路の整備」を最も望む業者が全体の3/4であった。

c) 現在の鉄道利用状況

「利用中」が73.2%、「状況次第で今後利用するつもりはある」が19.7%であった。

d) 興味がある鉄道貨物輸送の新サービス

スーパーライナーを始め、ピギーバック、新型コンテナ、SVSなどに回答が集まった。

（４） まとめ

アンケート調査の結果によると、今後とも自動車分担率は高く推移するであろうことや、状況次第では鉄道輸送も行う会社があるということ等がわかった。また最頻度利用交通機関を外的基準とした数量化Ⅱ類を用いて輸送機関判別モデルを作成した結果、物資輸送の際の機関選択は、会社の規模にかかわらず、最大利用区間距離や品目、鉄道輸送に関する考え方に影響されることが大きく、現時点ではサービ

ス等の影響があまりないということがわかった。

7. 現況道路網評価

（１） 道路信頼性の提案

道路網評価の指標として自動車輸送の時間的确实性を定量的に表す道路信頼性 L を定義する。いわばこの指標は四全総という予定輸送の概念に近いものとして設定した。

信頼性の求め方だが、まず走行速度分布が正規分布になるとして速度の累積分布曲線を仮定する。ただし制限速度（高速道路で100km/h、一般道路で50km/h）が85パーセントイル速度に相当し、最低速度（高速道路で50km/h、一般道路で0km/h）以下で走る自動車はないとする。この曲線から道路時刻表より求めたリンクごとの速度 v に対する比率 $P(v)$ を求め、制限速度以上で走る自動車はその速度に対し満足していると考えて、 $P(v)$ を0.85で除した値を道路信頼性とする。

このように道路信頼性は各リンクの走行速度の間接的な評価指標となる。速度が遅いということは利用者が自由に走行できないということであり、周囲の状況の影響を受け易いということである。周囲の状況は時々刻々変化するから、速度が遅いほどその影響をより考えねばならず、したがって所要時間の予測が難しくなり确实性が低くなる。つまり道路信頼性とは所要時間の予測の确实性を示す指標である

リンクごとの信頼性の求め方は先に述べたが、複数リンクで結合されたノード間の信頼性は以下の式で求める。

・直列の場合

$$L = \frac{\sum_i L_i * T_i}{\sum_i T_i} \quad (1)$$

・並列の場合

$$L = 1 - \prod_i \left(1 - \frac{L_i * T_{\min}}{T_i} \right) \quad (2)$$

ここで L_i 、 T_i はそれぞれリンク i の信頼性および時間距離であり、 $T_{\min}$ は全リンクの時間距離のうち最も小さいものである。

東京・大阪中心に考えたネットワークの各ノード間の信頼性は図7に示すようになる。この図から、北海道・東北地方の信頼性が高いこと、太平洋ベル

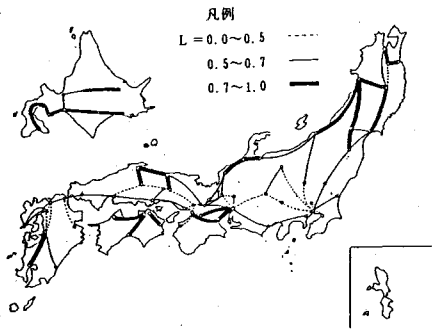


図7 ノード間の道路信頼性

ト地帯、特に東京・大阪周辺の信頼性が低いことがわかる。

(2) 首都圏の環状道路の効果

東京都市圏の道路の混雑緩和を目指して幾つかの環状道路の構想が議論されている。これらの環状道路が物流交通、特に通過交通にとってどのような効果をもたらすかを、予定輸送の観点から道路信頼性を用いて評価する。対象とする道路は、昭和59年度東京都市圏総合交通体系調査報告書¹⁸⁾により提案された幹線ネットワークのうち、特に通過交通の迂回交通路としての効果が期待される東京外郭環状道路と首都圏中央連絡道路である。大阪から関東および東北各県への輸送時間の信頼性を、現在の道路を用いた場合と環状道路を想定した場合の2通りで計算し、結果を表4に示す。ただし、環状道路における走行速度は80(km/h)であると想定した。表からわかるように東北地方における信頼性の上昇が著しい。一方で、関東各県目的の交通への効果は思わしくなく、特に水戸、宇都宮目的の交通の信頼性は逆に減少している。これらの事から、環状道路は長距離輸送の迂回路としての効果はあるが、東京都市圏内ではその効果が十分に発揮されないことがわかる。

8. 非集計輸送機関選択モデルの構築

アンケート調査の結果を用いて非集計型の輸送機関選択モデルを構築するが、本研究では以下の理由により非集計型のモデルを構築するものとする。

①データが現場の意向を直接反映させるべきアンケート結果をもとにしていること

表3 環状道路による信頼性の変化

目的地	現状	環状道路利用
青森	0.8348	0.9806
盛岡	0.8117	0.9770
仙台	0.7602	0.9416
福島	0.7182	0.8299
*水戸	0.6967	0.6765
宇都宮	0.6990	0.6881
前橋	0.6511	0.6527
*浦和	0.6369	0.6874

(注) * の都市へは東京外郭環状道路を、その他の都市へは首都圏中央連絡道路を利用

②対象が運輸会社であるため、絶対的なサンプル数が少ないこと

③モデル内に今後の物流体系を考慮した政策変数を組み入れる必要があること

④構築したモデルを用いて今後の物流ネットワークのシミュレーションを行いたいこと

モデルは次のような2項選択型のロジットモデル(BLモデル)を用いる。

$$P_{in} = \frac{e^{U_{in} - \alpha_{in}}}{\sum e^{U_{jn} - \alpha_{jn}}} \quad (3)$$

輸送機関の選択肢は、鉄道、内航海運、自動車である。選択の組合せは陸上・海上と鉄道・自動車の2通りを用いる。また、説明変数は、①輸送距離(共通変数) ②輸送時間(共通変数) ③信頼性(自動車固有変数) ④興味あるシステム(ダミー変数) ⑤手段選択の要因(ダミー変数) ⑥要求するサービス(ダミー変数) ⑦選択肢固有ダミー変数、の7種類を用いる。変数を取捨選択した結果表4の3種類のモデルが構築された。モデル構築の結果をまとめると以下になる。

a) 海上、陸上および鉄道、自動車のいずれの2者を選択する際にも距離差よりも時間差の方が要因として効いてくること。

b) 自動車固有変数として道路信頼性を導入したところ、信頼性の高い区間ほど自動車輸送を選択すること。

c) 政策効果をふまえた多くのダミー変数を導入するには、サンプルの絶対数が少ないということ

d) 都市間物流のデータを非集計モデルに適用すること自体の研究を行う必要があること。

表4 構築された非集計モデル

() 内はt値

モデル名	M 1	M 2	M 3
選択肢	海・陸	鉄・自	鉄・自
時間	0.514 (1.65)	-0.774 (2.96)	0.116 (2.86)
距離	0.103 (2.66)	3.321 (3.78)	0.015 (2.18)
信頼性			1.447 (3.36)
定数項	-0.29 (2.02)	-0.527 (1.45)	-0.198 (2.24)
的中率	65.60%	88.20%	84.00%
ρ 値	0.249	0.163	0.264
サンプル数	70	64	64

9. 今後の物流ネットワーク案

(1) 道路信頼性によるネットワーク

東京都市圏の環状道路について通過交通に与える影響を調べた結果、迂回路としての効果は東京都市圏には十分には及ばないことがわかった。また、地価高騰その他の現状を考えれば、満足のいく信頼性を得られるまで道路網の整備を行うことは非常に難しい。特に東京中心のネットワークでは、大阪中心の信頼性が低いため中国・四国地方への時間確実性が低くなっており、距離的な面においてもそうだが、確実性の面からみても、この方面の鉄道輸送が今後役割を増してくるものと思われる。また、北海道の道路信頼性の高さを生かすのであれば、本州との連

結モードとして積み替え時間のかかる海運を使いその前後を自動車輸送に頼るよりは、青函トンネルを利用した鉄道・自動車の複合一貫輸送を定着させるべきであろう。

(2) 距離帯別の物流ネットワーク

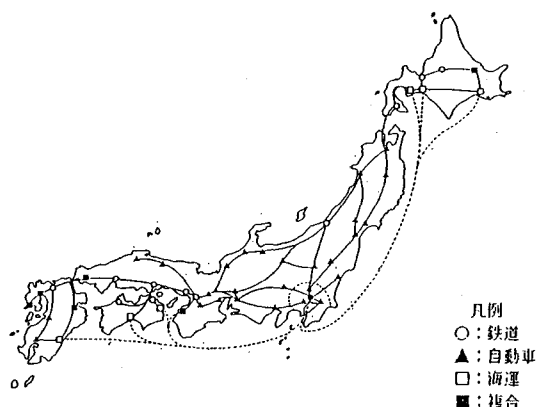
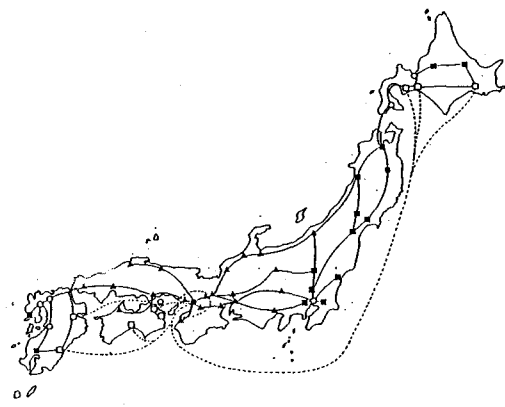
物流における輸送距離帯を短距離(0~500km)、中距離(500~1000km)、長距離(1000km以上)の3つに分けて考えると、短距離では自動車、長距離では内航海運が圧倒的なシェアを保っていることがわかった。そこで今後もこの傾向は続くものと考えたと、鉄道貨物輸送は500~1000kmの中距離部門で自動車、海運のシェアを分担していくことが理想となるであろう。東京中心に考えると、この距離帯は青函トンネル・瀬戸大橋を含み、その意味からも鉄道輸送の充実が期待できる。

(3) 今後の物流ネットワーク案

以上の結果およびアンケート結果による運輸業者の望む鉄道ネットワークを考慮して東京、大阪起点の今後の物流ネットワーク案を提示した。

a) 距離帯では短距離を自動車、長距離を海運が分担するものとし、中距離区間は鉄道を加えた3機関が複合一貫輸送を行うものとする。

b) 東京、大阪周辺の信頼性が低いため、中・長距離区間の輸送の場合、混雑緩和のため、できるだけ鉄道を利用して途中で自動車にリレーする方式をとることとする。

図8(a) 今後の物流ネットワーク案
(東京起点)図8(b) 今後の物流ネットワーク案
(大阪起点)

c) 運輸業者が要望しているネットワークについては特に長距離に関してはできるだけ早期に新しい輸送システムを導入すること。

10. 本研究のまとめと今後の課題

本研究では、鉄道輸送を中心に現在および今後の物流体系について考察した。様々な分析を行った結果、今日の物流体系における鉄道輸送の位置付けと将来政策についてまとめることができたといえよう。最後に本研究で得た成果をまとめて鉄道貨物輸送が将来的にシェアを挽回するための指針を提言する。提言内容は3種類であり、図9にそれを示す。

今後の課題としては構築した非集計モデルを用いて将来予測を行うことや、機関選択の際の大きな要因と考えられる費用についてもエネルギー問題とのからみ等を用いて考えること、ネットワーク問題を用いたターミナル立地論へ展開していくこと等が考えられる。

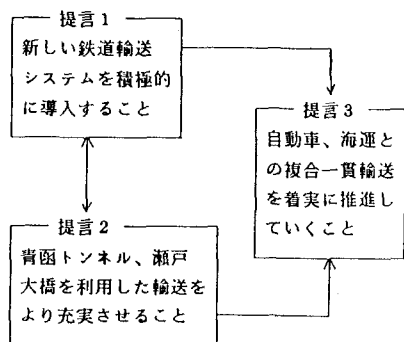


図9 鉄道貨物に対する提言

最後に、今回の研究にあたって、ご助言、ご指導頂いた早稲田大学の中川義英先生、鈴木信太郎先生に深く感謝の意を表します。

参考文献及び資料

- 1) 太田、原田「非集計ロジットモデルの適用性に関する研究」 交通工学 1982 pp15-23
- 2) 原田「非集計行動モデルによる都市交通施設

整備計画の効果分析」 高速道路と自動車 1983 pp3-11

3) 河上、広畠「利用者の主観的評価を考慮した非集計交通手段選択モデル」 土木学会論文集 1985

4) 杉恵、塚本「通勤交通手段予測における集計モデルと非集計モデルの予測精度の比較」 土木計画学論文集 1982

5) Patson, Hartweg, Linton「Factors influencing shipping mode intercity freight」 A disaggregate approach, Transpn. Res. Forum 15 pp138-144 1974

6) Ben-Akiva「A Short-run Freight Demand Model」 MIT Cambridge Mass, 1980

7) B. Benabi「Elasticity Parameters of Disaggregate Models of Freight Modal Choice」 Transport reviews 1982 pp161-184

8) 小松「輸送機関選択要因の分析」 1974 輸送展望150 pp32-46

9) 運輸経済研究センター「交通機関選択要因としての運賃に関する調査報告書」 1979 pp150-162

10) 松本「物資輸送への非集計モデルの適用性」 土木学会論文集 1985

11) 小野、野末「鉄道貨物に寄せ得る貨物の特化研究」 JR総研報告書 1988

12) 佐藤、五十嵐「物資流動からみた北海道の輸送機関特性について」 土木学会年講 1983

13) 要藤、鹿島「幹線貨物の輸送手段分担率モデルの作成」 土木学会年講 1984

14) 林「需要者の選択行動に基づくフェリー輸送貨物量推計法の研究」 土木学会年講 1985

15) 渡部、大塚、中川「港湾貨物の都市内における移動形態の基礎的研究」 土木計画学論文集 1983

16) 加藤、門田「道路の信頼性評価の簡便法」 土木計画学会論文集 1986

17) 野村「高速道路建設順位に関するモデル的検討」 1987年度早稲田大学卒業論文

18) 東京都市圏交通計画協議会「昭和59年度東京都市圏総合都市交通体系調査報告書 物資流動調査・計画編」 1985