

4.3 道路上の貨物流動の評価に関する検討

4.3.1 はじめに

近年、地球温暖化への対応が大きな課題となっており、我が国においても各分野でCO₂排出削減に向けた様々な取組みが行われている。CO₂の排出量については全排出量の約2割を運輸部門が占めており、その中でも約3割を貨物自動車に占めているという状況であり、物流分野においても環境への配慮が求められている。

また、東アジアの輸出入貨物量が激増しており、中国やASEAN等が生産拠点・大消費地として急成長している。そのため、我が国の国際競争力の強化の観点から、持続的に成長する経済社会を支えるための物流基盤の形成が必要である。

さらに、近年、サプライチェーンマネジメントや在庫削減の徹底が図られるなどビジネスモデルが変化している。この変化に対応するために、物流に関してはジャストインタイム、少量多頻度といった決め細やかな輸配送への対応が求められている。

これらのような物流に関する様々な課題に対応するにあたっては、道路、鉄道、船舶、航空といった各モード間の連携を図ることが必要であり、そのためには各モードでの貨物流動の評価が必要である。

道路に関しては、整備効果の計測は、これまで交通需要量など量的な側面からの評価を中心に行われてきた。しかし、物流という面からみると、交通量だけではなく、その道路を利用してどのような物が運ばれているか、どのような機能を担っているかといった、道路利用の質・機能の観点からの評価が必要である。そして、評価結果である道路整備の必要性やその効果を国民に分かりやすい形で提示することが必要である。さらには、その評価結果に基づき、限られた道路整備予算の合理的・効果的な投入を図ることが必要である。

鉄道、船舶、航空についても同様のことが言える。しかし、これらの検討においては、その背後圏の道路ネットワークの評価は不可欠である。

以上のことから、本研究ではまずは道路に着目し、貨物流動の観点から道路利用の質・機能を評

価するための分析ツールを構築することを目的とした。

4.3.2 研究内容

アメリカではFreight Analysis Framework (FAF) と呼ばれる貨物需要に関するモデル分析が進められており、貨物流動の視点から各交通機関利用の質及び機能に関する評価が行われている。そこで、このアメリカでのFAFについてのレビューを行った上で、道路ネットワークデータや貨物ODデータのデータベース、また貨物ODデータを道路ネットワーク上に配分するための分析手法の検討を行った。

本研究ではまず、近年の製品輸入の増加やサプライチェーンの国際化に対応して重要性が増している国際海上コンテナに着目して、道路上の貨物流動を推計する手法の検討を行った。そして、この国際物流の推計結果を示すとともに、ケーススタディとしてその手法を用いて施策の評価を試みた。

また、全国ベースでの貨物流動を推計するための手法についても検討を行った。

【本研究の内容】

- ① アメリカにおける貨物需要推計手法のレビュー
- ② データベースの作成
- ③ 分析モデルの検討
- ④ 港湾貨物の流動状況推計結果
- ⑤ ケーススタディ（施策の評価例）

なお、本研究は、道路研究部と港湾研究部の連携テーマとして取り組んだものである。

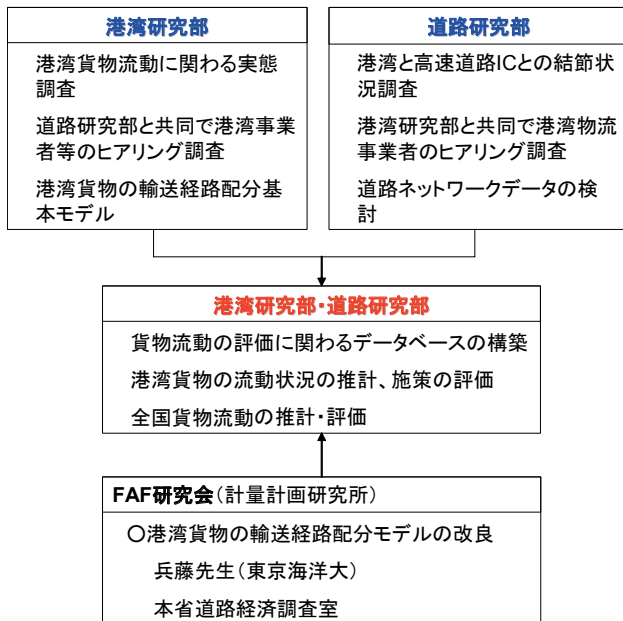


図-4.3.1 道路研究部と港湾研究部の連携

4.3.3 研究成果

4.3.3.1 アメリカにおける貨物需要推計手法のレビュー

アメリカのFreight Analysis Framework(FAF)は1999年より、米国連邦交通省連邦道路管理局(USDOT FHWA)において研究が進められており、分析に必要なデータベースの構築は、米国オークリッジ国立研究所(ORNL)が行っている。

(1) FAFの目的

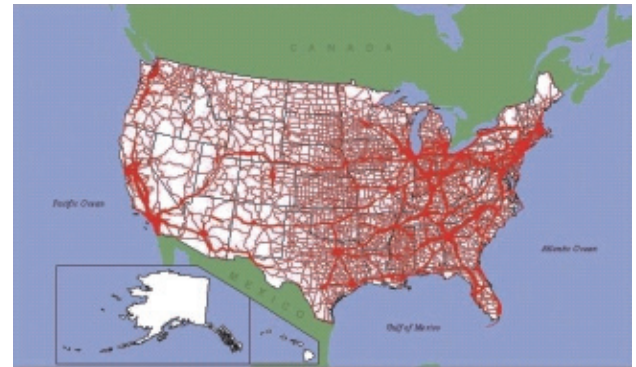
FAFの目的は以下のとおりである。

- ①物流関連のインフラに関する貨物の流れの評価手法を確立すること。
- ②政府、民間部門の各種データベースに基づく、モード別(トラック、鉄道、船舶、航空)の貨物輸送に関する包括的データベースを作成すること。
 ⇒貨物ODを道路リンク等に配分し、GIS表示する“Freight Flow Map”を作成。
 ⇒1998年の実績値をベースとし、2010年、2020年の貨物の流れを予測。

(2) FAFのアウトプット

FAFのアウトプット例を以下に示す。

現況や将来のリンク貨物量がモード別に図示される。



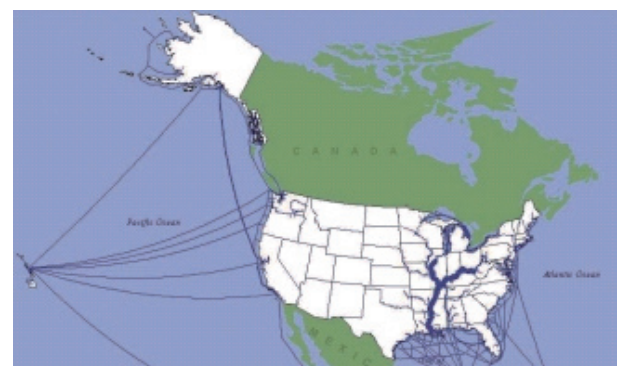
【トラック貨物流(1998年, 日トラック交通量)】



【トラック貨物流(2020年, 日トラック交通量)】



【鉄道貨物流(1998年, トン)】



【船舶貨物流(1998年, トン)】

図-4.3.2 FAFのアウトプット例

(3) 現況（1998年）の物流データの作成手順

FAFの品目別機関別郡間OD物流データの作成は、以下の手順で行われている。

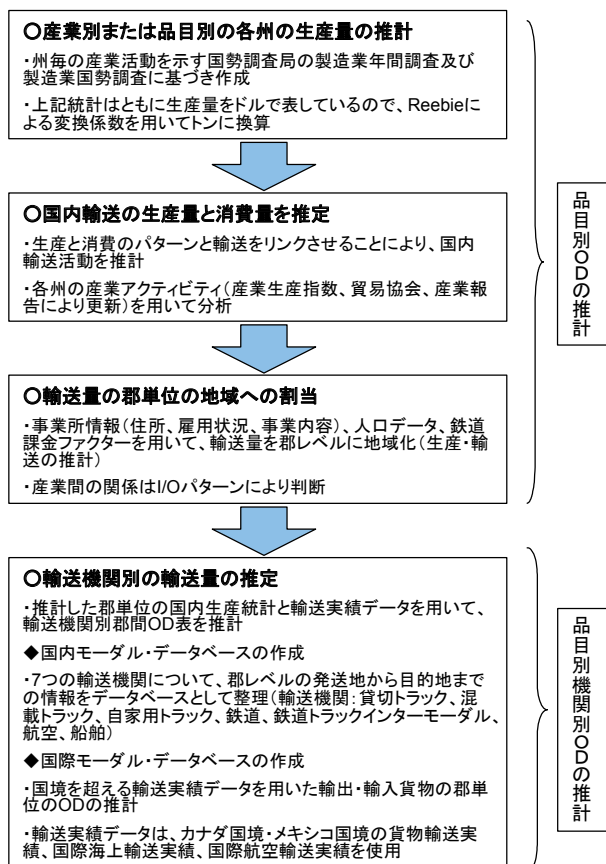


図-4.3.3 現況（1998年）の物流データの作成手順

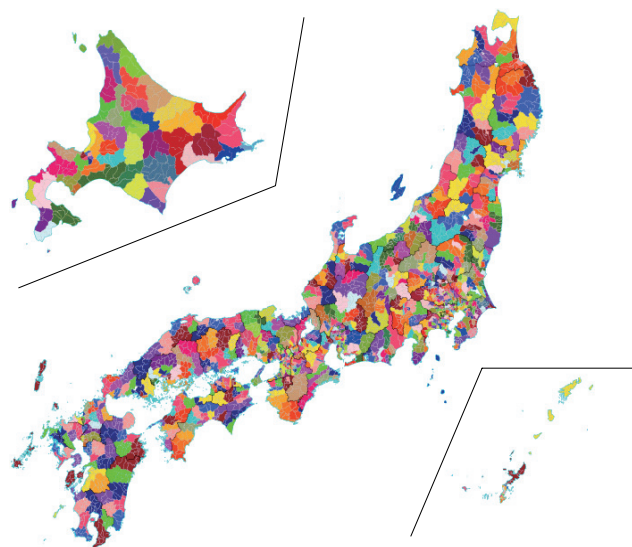


図-4.3.4 道路交通センサ集約Bゾーン区分



図-4.3.5 地方生活圏をベースとした207ゾーン区分

4.3.3.2 データベースの作成

貨物量を道路に配分するために必要となる道路ネットワークデータや「物流センサデータ」および「道路交通センサデータ」等の既存統計を活用した品目別、輸送手段別貨物ODデータを作成した。

(1) 道路ネットワークデータの作成

道路ネットワークデータは、道路交通センサの将来交通量推計プロジェクトで用いられている全国の集約Bゾーン（全国約1,000ゾーン）に対応したDRMベースのネットワークデータ（約105万リンク）を活用することを基本とした。

また、分析に用いるゾーニングは、貨物ODデータの精度や操作性を勘案して、地方生活圏をベースとする全国207のゾーニングを基本とした。ただし、国際物流からの道路評価の実施する際は、東京都市圏については集約Bゾーンを適用した。

1) 全国配分用ネットワークデータの作成

道路交通センサの全国の集約Bゾーンに対応したネットワークデータ（約105万リンク）から、国土開発幹線自動車道、都市圏自動車専用道路、一般国道、主要地方道を抽出した。

また、それ以外の道路については、最低限（その道路がないとゾーン間の移動や高速道路の利用ができない場合）を付加することとした。

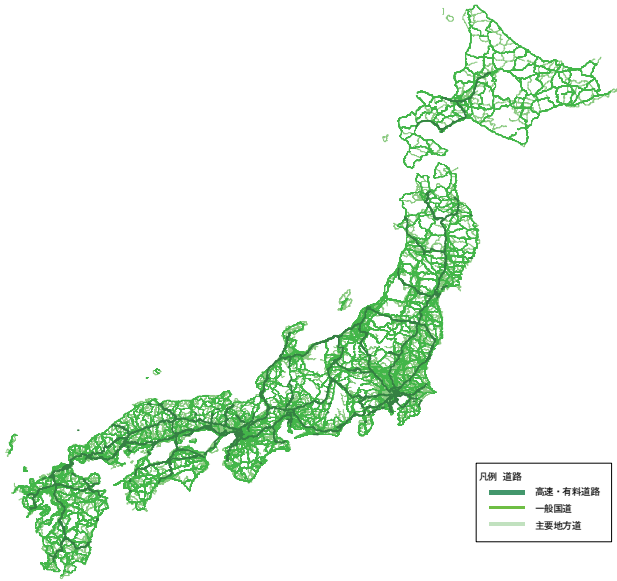


図-4.3.6 主要地方道以上のネットワーク

全国配分用ネットワークデータの作成手順を以下に示す。

STEP1：ゾーン中心ノードの設定

地方生活圏をベースとした207ゾーンの中心都市が含まれる集約Bゾーンを選定し、そのゾーン中心ノードを207ゾーンの中心ノードとして設定した。

STEP2：海越えフェリーリンクの設定

北海道、沖縄等、道路リンクだけでは繋がらない地域については、最低限のフェリーリンクを付加した。

STEP3：ネットワークの抽出

全ての道路種別によるネットワークを用いて207ゾーン間で最短経路探索を行い、その結果、一般都道府県道以下の道路のうち、まったく使われなかった道路をネットワークより除外した。

なお、最短経路探索は一般化費用ベースで行うこととし、ゾーン中心となるノード相互間で、ダイクストラ法によって最小一般化費用経路を探索した。その際、国土開発幹線自動車道、都市圏自動車専用道路、一般国道、主要地方道のリンク所要時間（自由走行速度とリンク距離から算出）に優先係数（0.2）を乗じて、一般都道府県道以下のリンクの利用を抑えた。

STEP4：全ての高速道路ICへのアクセスリンクの付加

高速道路の全ICに最寄りのゾーンからアク

セスを可能とするため、最低限のアクセスリンクを追加した。

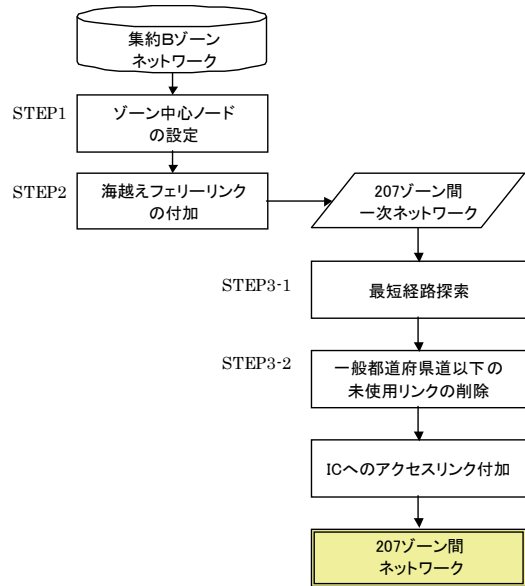


図-4.3.7 全国配分用ネットワークの作成手順

以上の結果、全ネットワーク（約105万リンク）リンクから、約31万リンクが抽出された。

表-4.3.1 道路種別リンク数
(全国配分用ネットワーク)

道路種別	リンク数
国土開発幹線自動車道	19,088
都市圏自動車専用道路	3,263
一般国道	141,224
主要地方道（県道）	130,058
主要地方道（指定市市道）	6,069
その他	10,606
合計	310,308

2) 国際物流配分用ネットワークデータの作成

京浜港関連の国際物流を取り扱うために、対象とする港湾背後圏地域（東京都市圏）のネットワークを密にしたネットワークデータを構築した。

具体的には、全国の集約Bゾーンに対応したネットワークデータ（約105万リンク）から、東京都市圏の全ての道路種別のリンクを抽出し、1) で作成した全国配分用ネットワークに追加することにより作成した。

その結果、全国配分用ネットワーク（約31万リンク）に約10万リンクが追加され、約41万リ

リンクが設定された。

表-4.3.2 道路種類別リンク数
(国際物流配分用ネットワーク)

道路種別	リンク数
国土開発幹線自動車道	19,088
都市圏自動車専用道路	3,263
一般国道	141,224
主要地方道(県道)	130,058
主要地方道(指定市市道)	6,069
その他	113,598
合計	413,300

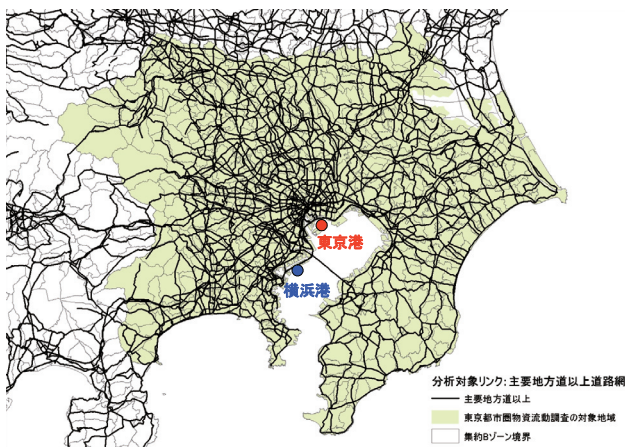


図-4.3.8 国際物流配分用ネットワーク(東京都市圏)

3) リンク所要時間の設定

作成したネットワークデータの各リンクの所要時間は、既存の配分結果(全国Bゾーン間配分結果)の交通量を用いてBPR関数により単位距離あたり旅行時間を求め、リンク距離から所要時間を算出することを基本とした。

ここで、既存の配分結果で用いられているネットワークと本調査で用いるネットワークが異なっているため、リンクを1対1に対応させて所要時間を付加することはできない。そのため、既存の配分結果を地域、区間、規格等のリンク属性別にある程度集約して平均単位距離あたり旅行時間を算出しておき、作成したネットワークに対して当該リンクが含まれるリンクカテゴリの平均値を用いて所要時間を設定することとした。

i) カテゴリ区分別リンク所要時間の設定

既存の配分結果を用いて、地域、区間、規格等のリンク属性別の平均単位距離あたり旅行時間を

算出した。このとき、最初は、より詳細なリンク属性を反映させることを考え、行政区別・道路種類別・QVランク別・路線別・センサス区間別に平均値を求めることとした。

1)、2)で作成したネットワークデータの個々のリンクの属性をもとに、対応するカテゴリ区分の平均単位距離あたり旅行時間を用いて所要時間を設定した。この際、最も詳細なカテゴリ区分に属さないリンクに対しては、次に、カテゴリ区分を上げた区分での平均単位距離あたり旅行時間を適用することとした。こうした操作をすべてのリンクに所要時間が設定できるまで繰り返した。

これにより、行政区別・道路種類別・QVランク別・路線別・センサス区間別の最も詳細な区分で、9割以上のリンクがマッチングを取ることができた。

表-4.3.3 カテゴリ区分別リンク所要時間設定状況

カテゴリ区分	全国貨物配分用ネットワーク対応したリンク数(比率)	国際物流配分用ネットワーク対応したリンク数(比率)
行政区分・道路種別・QVランク・路線・センサス区間	289,620 (93.3%)	388,762 (94.1%)
行政区分・道路種別・QVランク	7,965 (2.6%)	8,852 (2.1%)
都道府県・道路種別・QVランク	9,031 (2.9%)	11,907 (2.9%)
都道府県・道路種別	3,692 (1.2%)	3,779 (0.9%)
合計	310,308 (100%)	413,300 (100%)

ii) BPR関数

リンク別の単位距離あたり旅行時間は以下のBPR関数を用いて計算した。

$$t_a(x_a) = t_{a0} \cdot \left\{ 1 + \alpha \cdot \left(\frac{x_a}{C_a} \right)^\beta \right\}$$

t_a : リンクaの単位距離あたり旅行時間(分/km)

t_{a0} : リンクaの自由旅行速度(分/km)

[⇒ $1/V_{max} \times 60$ とした]

x_a : リンクaの日交通量(pcu/日)

[⇒車種別リンク交通量より計算]

C_a : リンク a の日交通容量 (pcu/日)
[⇒ Q_{max} とした]

$\alpha = 0.48$ 、 $\beta = 2.82$

出典)「道路交通需要予測の理論と適用 第 I 編」、土木学会

(2) 貨物ODデータの作成

1) 基本方針

本調査では、全国を対象に物流の純流動を調査している平成12年度物流センサス(全国貨物純流動調査)の調査データをベースに、次に示すフローを想定して、分析用の貨物ODデータを整備した。

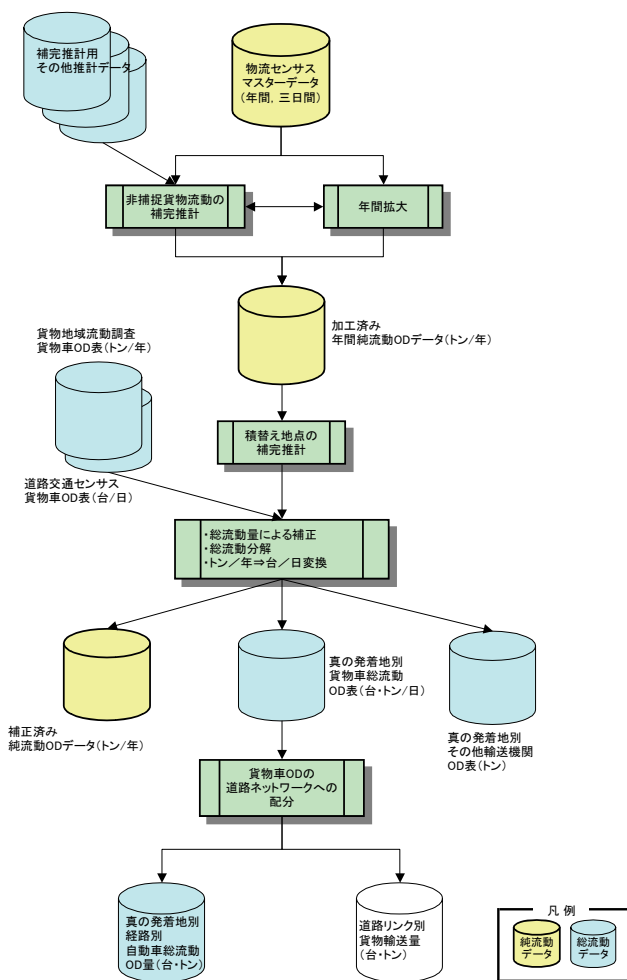


図-4.3.9 貨物ODデータ作成フロー

2) 物流センサスの未捕捉データの補完推計

物流センサスでは、以下のような貨物流動は捕捉されていない。

- ① 農業、林業、水産業、建設業、小売業、サービス業、一般家庭から出荷される貨物

- ② 自家物流施設から出荷される貨物
- ③ 輸入貨物における港湾、空港からの貨物
- ④ 連絡文書、カタログ等の書類、空コンテナ、空パレットの輸送
- ⑤ 生産・販売活動とは直接関係のない事業系の一般廃棄物等の貨物

本研究では、国際物流に関する検討を念頭に置いていることから、物流センサスで未捕捉の貨物量のうち、港湾からの輸入貨物の補完を行った。

港湾関連輸出入貨物の補完ODデータの作成手順を以下に示す。

STEP1: 港湾別・9品目別・仕出(仕向)地別・輸出入貨物データ(1ヶ月値)の作成

平成11年から平成15年の「陸上出入貨物調査」データを用いて、港湾別・9品目別・仕出(仕向)地別・輸出入貨物データ(1ヶ月値、単位:フレート・トン)を作成した。

ここでフレート・トンとは港湾統計における貨物のトン数であり、容積1.113m³、重量1,000kgを1トンとし、容積が重量のどちらか大きい方をもってフレート・トンとするものである。

STEP2: 年間値に拡大

「港湾統計年報」の「港湾別品種別輸出入量」と「港湾別コンテナ・シャーシ輸出入貨物量」の平成11年値(フレート・トン単位)を用いて年間値に拡大した。

STEP3: フレート・トンからメトリック・トンへの変換

「第7回物流センサス」の年間調査データ(平成11年値:メトリックトン単位)と「港湾統計年報」(平成11年値:フレート・トン単位)の品目別輸出入量から、フレート・トンを変換するコンバータを算出(物流センサス/港湾統計)し、上記のフレート・トン年間値データに乗じることによりメトリック・トンベースへの変換を行った。

ここでメトリック・トンとは、重量単位であり、1,000kgを1トンとするものである。品目別・輸出入別のコンバータは以下の通りである。

表-4.3.4 フレート・トン ⇒ メトリック・トン

コンバータ推計結果

品目	コンバータ		
	輸出	輸入	合計
農水産品	0.289	0.667	0.657
林産品	0.250	0.380	0.379
鉱産品	0.511	0.827	0.824
金属機械工業品	0.405	0.420	0.408
化学工業品	0.855	0.582	0.637
軽工業品	0.442	0.547	0.519
雑工業品	0.102	0.191	0.164
特殊品	0.140	0.189	0.170

STEP4：メトリック・トンから台数・価格への変換

メトリック・トンベースから台数ベースへの変換は、「第7回物流センサス」の結果から把握できるトレーラの平均流動ロット（22.15トン/件）を用いた。

また、価格ベースへの変換は「全国輸出入コンテナ貨物流動調査」から把握できる1フレート・トンあたりの価格を用いた。

品目別・輸出入別の1フレート・トン当たりの価格は下表の通りである。

表-4.3.5 1フレート・トン当たりの価格

【輸出コンテナ】

品目	貨物量 (百フレートトン)	申告価格 (百万円)	1トンあたり価格 (万円/トン)	(参考) H15調査結果
農水産品	224	4,019	17.9	15.9
林産品	2	48	19.8	9.0
鉱産品	161	1,851	11.5	17.0
金属機械工業品	27,848	1,241,314	44.6	39.7
化学工業品	12,404	252,176	20.3	21.2
軽工業品	4,067	84,047	20.7	17.8
雑工業品	5,963	118,239	19.8	17.3
特殊品	1,537	25,626	16.7	2.4
合計	52,207	1,727,320	33.1	29.5

【輸入コンテナ】

品目	貨物量 (百フレートトン)	申告価格 (百万円)	1トンあたり価格 (万円/トン)	(参考) H15調査結果
農水産品	7,056	173,326	24.6	20.9
林産品	2,263	14,728	6.5	5.2
鉱産品	1,841	10,713	5.8	5.0
金属機械工業品	9,136	280,879	30.7	23.1
化学工業品	7,131	139,738	19.6	13.9
軽工業品	7,856	151,881	19.3	13.4
雑工業品	14,166	237,827	16.8	11.9
特殊品	4,291	34,280	8.0	6.7
合計	53,740	1,043,374	19.4	14.6

出典：「平成11年度外貿コンテナ貨物流動調査報告書 運輸省港湾局」、「平成15年度全国輸出入コンテナ貨物流動調査報告書 国土交通省港湾局」

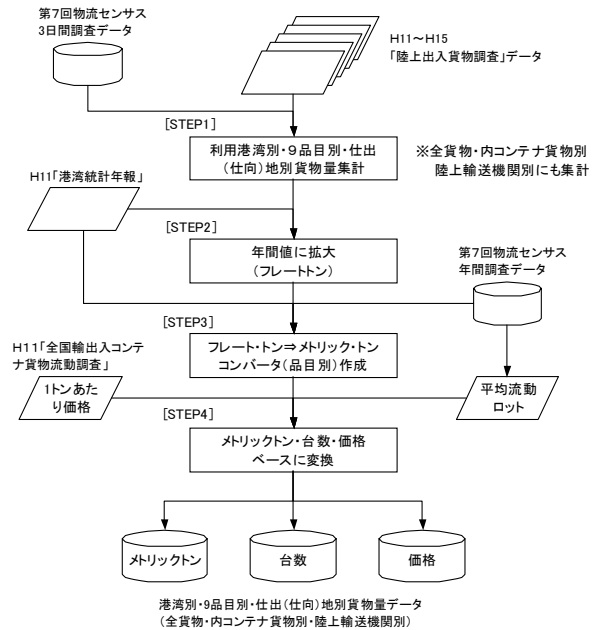


図-4.3.10 港湾関連の輸出入貨物ODデータの作成

3) 年間拡大

物流センサスの調査データに港湾関連輸出入貨物データを補完したODデータを用い、これを年間輸送量ベースに変換したODデータを作成し、分析に用いた。

物流センサスの3日間調査と年間調査を用いて、3日間調査を年間値ベースのデータに変換した。

年間調査データは、「年間輸送機関別データ、品類別」と「年間地域別データ、全品累計」の2種類がある。ここでは、品類（品目）ごとに年間拡大を行うこととし、以下の手順で年間拡大を行った。

- ① 3日間調査および年間調査のそれぞれごとに品目別出荷地別重量（トン）を集計
- ② ①の集計値を用いて品目別出荷地別年間拡大率を作成

$$\text{年間拡大率} = \frac{\text{年間調査の品目別出荷地別重量}}{\text{3日間調査の同重量}}$$
- ③ ②の年間拡大率を3日間調査の件数およびトン数に乗じて年間値ベースのデータを作成

4) 積み替え地点の補完推計と総流動分解

物流センサスデータには、積み替え地点データが含まれるため、その地点で荷動きを分解すれば、総流動ODデータに分解することが可能となる。

しかしながら、積み替え地点の回答には、不明が多く含まれるため、不明回答に対して積み替え地点を補完推計する必要がある。

マスターデータにおいて積み替えが行われた貨物は、全サンプルのうち約12万件（12%）であり、その半数は2施設で積み替えを行っている。積み替え施設の施設種別サンプル数では、トラックターミナルおよび港湾の利用が多い。

また、利用した施設種類に対して、施設コードが入力されていないのは、港湾、トラックターミナル、卸売市場となっており、特にトラックターミナルは空白率が約80%以上と高くなっている。

トラックターミナルは大規模なものから小規模なものまで全国に多数存在しているが、対象外のトラックターミナルはコードが振られないため、結果的に不明率が高くなっていると考えられる。

なお、マスターデータでは、無記入でも対象外のトラックターミナルでも全て空白とされているため、無記入なのか対象外ターミナルなのか判断することはできない。

このため、本調査では港湾を対象に積み替え地点の補完推計を行った。

港湾施設コードが記入されているデータを実績データとして用いた港湾の積み替え地点の補完推計手順を以下に示す。

STEP1：発港湾、着港湾とも不明データに対する特定化① 発着地レベル：都府県

北海道以外の都府県間ODの利用港湾不明データについては、発都府県と着都府県間のODにおける利用港湾実績割合をもとに特定化を行った。なお、北海道は面積が大きいので、別途特定化を行った。

STEP2：発港湾、着港湾とも不明データに対する特定化② 発着地レベル：集約ゾーン

STEP1の都府県単位で実績利用港湾がないデータに関しては、都府県を集約したゾーンを用いて、より大きな圏域での利用港湾シェアをもとに特定化を行った。

STEP3：発港湾が不明もしくは着港湾が不明のデータに対する特定化

利用港湾のうち片側のみ不明データの特定化は、発着地と不明でない港湾を基に不明側の実績シェアを作成し特定化を行った。なお、STEP1、2と同様に、都府県単位で実績がない場合には、集約ゾーンを使用してより大きな圏域での実績を作成

し特定化した。

STEP4：発着地の少なくとも片方が北海道の場合の港湾不明データに対する特定化

北海道は、道内を道央、道南、道北、道東の4ゾーンに分割し、STEP1からSTEP3と同様の方法を用いて特定化を行った。

STEP1からSTEP4を用いて不明港湾の特定化を行った。その結果を下表に示す。

不明データ1万2千件のうち約9千が北海道関連ODであり、STEP4において特定化された。

表-4.3.6 不明データの特定化結果

不明データ	特定化データ件数		特定化率
	STEP1	STEP2	
11,930	STEP1	1,521	12.7%
	STEP2	34	0.3%
	STEP3	1,021	8.6%
	STEP4	9,354	78.4%

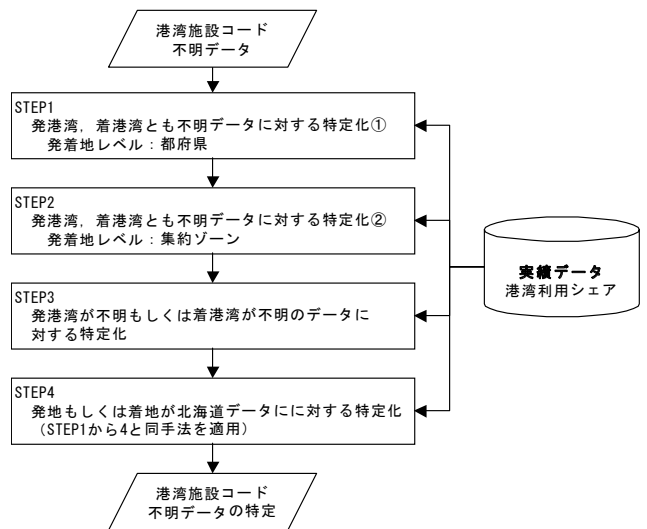


図-4.3.11 港湾施設不明コードの特定化フロー

5) 総流動補正（非捕捉貨物の補完）

物流センサスから年間拡大して得られる純流動量は農水産品等の非捕捉貨物があるため、上記のように港湾における積み替えについて補完推計を実施したうえで総流動分解をしても、物流センサスのみで完全な貨物量を把握することは不可能であると考えられる。

そこで、他の総流動統計データ等と比較考量することにより、物流センサスベースの総流動データの補正を行うことで農水産品等の非捕捉貨物の

補完を行い、トン／年ベースのODデータを作成した。

まず、「貨物地域流動調査」の品目別都道府県発地別輸送量と作成した物流センサス総流動データのそれぞれの品目別発地別輸送量を用いて、補正係数を算出（貨物地域流動調査／物流センサス）した。その結果、非捕捉貨物が含まれる林産品において補正係数（貨物地域流動調査／物流センサス）が4.3倍と高くなっているものの、全品目合計では1.6倍の補正係数となった。

貨物地域流動調査は全品目が補足されているデータであり、この補正值を用いることにより物流センサスの非捕捉貨物をマクロ的に補正したODへと補完される。

次にこの補正係数を物流センサス総流動データに乘じ、未補足貨物補正済総流動データ（トン／年）を作成した（表-4.3.7における②の値に補正される）。

表-4.3.7 品目別発地別集計結果および補正係数

	①物流センサス 総流動データ 貨物車輸送量 (千トン／年)	②貨物地域流動調査 (総流動データ) 貨物車輸送量 (千トン／年)	②貨物地域流動調査 ／①物流センサス (補正係数)
農水産品	149,510	243,030	1.63
林産品	41,950	180,545	4.30
鉱産品	747,172	1,558,269	2.09
金属機械工業品	476,797	694,499	1.46
化学工業品	1,022,463	855,694	0.84
軽工業品	317,813	572,542	1.80
雑工業品	117,260	329,515	2.81
特種品	130,753	494,462	3.78
合計	3,003,718	4,928,556	1.64

6) 台ベースへの変換

作成したトン／年ベースのODデータを一台当たり積載重量・トンコンバーター等を用いて、貨物車の台／年ベースのODデータに変換した。

まず、道路交通センサスデータの貨物車を対象に年間ベースの品目別輸送トリップ数を作成した。

次に貨物地域流動調査の全国品目別トン数をこれで除して品目別1トリップ当たり平均輸送重量を作成し、この値で5)のトンベースの総流動データを除して、台数ベースへと変換した。

表-4.3.8 品目別1台あたり積載重量

	道路交通センサス 貨物車トリップ数 (千トリップ／年)	貨物地域流動調査 貨物車輸送量 (千トン／年)	1トリップ当たり 平均輸送量 (トン／台トリップ)
農水産品	462,875	243,030	0.53
林産品	90,204	180,545	2.00
鉱産品	181,549	1,558,269	8.58
金属機械工業品	420,466	694,499	1.65
化学工業品	370,136	855,694	2.31
軽工業品	466,893	572,542	1.23
雑工業品	382,079	329,515	0.86
特種品	715,301	494,462	0.69
合計	3,089,503	4,928,556	1.60

注)「自動車輸送統計年報」の実働率を参考に、年間稼働日数を営業用：255.5日、自家用：219日と想定して算出。

4.3.3.3 分析モデル構築

(1) 配分手法の整理

作成した貨物車のOD表を道路ネットワークへ配分する手法を検討した。配分手法については、リンクコストがそのリンクの交通量に影響する容量制約付（フローディペンデント）の手法と、リンクコストがリンク交通量に影響しない容量制約無し（フローインディペンデント）の手法の大きく2つの手法が考えられる。

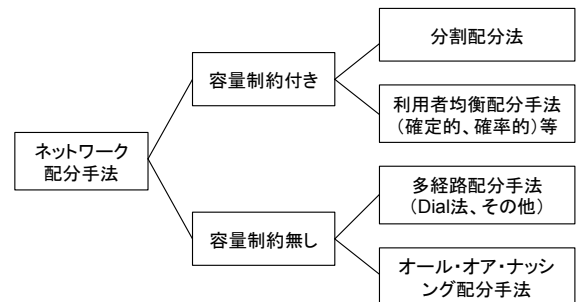


図-4.3.12 ネットワーク配分手法の分類

本調査では、以下の理由から容量制約が無い配分手法の適用を基本に検討を行うこととした。

- ① 全国配分用ネットワーク程度のネットワーク密度の場合、リンクそのものが他のネットワーク上に表現されていない道路を代表するという意味合いが強くなり、厳密な意味での容量制約を設けることが困難となる。
- ② 容量制約を考慮する場合は、乗用車交通や無積載トラック等の全ての車両交通量を推計の対象とする必要が生じる。

以下に、容量制約の無しの配分手法について整理を行う。

1) オール・オア・ナッシング配分手法

ODデータを、最短距離経路、最小所要時間経路、最小一般化費用経路等に全て配分する手法である。

配分手法としては計算が容易な手法であり、自動車交通需要の一部である貨物交通需要を配分する際に、容量制約に伴う混雑状況変化を考慮することが困難であることを考えれば、現況再現性等を確認できれば政策評価としては有効な分析ツールとなり得る。

その際、物流事業者が輸送コストも考慮して輸送経路を選択している可能性が極めて高いことを考えると、一般化費用を最小にする経路で推計することが最も合理性が高いと考えられるが、貨物車の時間評価値を設定することが必要となる。

2) 多経路配分手法

貨物車の経路選択行動をロジット形離散選択モデルで表し、その結果から経路の選択確率を求める方法である。

経路選択ロジットモデルを用いてOD交通量を経路に配分システムは次のような構成になると考えられる。具体的には、OD別に以下の処理を行い、経路に交通量を割り振ることとなる。

- ① 経路の列挙（選択肢集合の設定）
- ② 経路ごとのLOSの計算
- ③ 経路別選択確率の計算とOD交通量の割付

多経路配分手法においては、選択肢集合の設定（経路の列挙）方法が最大の課題であると考えられる。これは交通手段選択や目的地選択などと異なり、ネットワーク上のすべての経路の中から特定の選択肢集合を仮定することは困難だからである。

自由度の高い経路選択モデルの選択肢集合形成方法の一つとして、最も簡単な方法としてはLabeling Approachが考えられている。これは選択肢として、例えば、「最短経路」「最小費用経路」「右折回数最小経路」など、種々の特性別の際だった経路を列挙し、それらをもって選択肢集合とする方法である。しかし、この方法では分析者の恣意的な操作が入りやすいといった課題がある。

また、ある基準（合理的な経路の条件）のもとに自動的に複数経路の列挙が可能な手法としてDial法がある。Dial法による経路の列挙には、恣意的な要素が入り込む余地は無いが、Dial法に

よって列挙される経路がかなり限定的なため、実際に利用可能性のある経路が列挙されないといった問題点があることも良く知られている。また、Dial法はIIA特性を有するロジット型配分のため、容量制約を設けないと、多くの経路が重複して利用するリンクの交通量を過大に推計するという問題がある。

このような多項選択ロジットモデルが有するIIA特性を緩和するため、例えばC-Logit Modelといった重複経路を考慮可能ないくつかの方法が提案されている。そうしたモデルの中で、比較的適用性の高い手法の1つとして、Path Size Logit Modelと呼ばれる方法が提案されている。さらに、東京海洋大学の兵藤は、このPath Size Logit Modelの配分規則をDial法のアルゴリズムに巧妙に組み込んだPath Size Dial Logit Model（以下修正Dial法という）を提案している。この方法は、Dial法と同様に一定の基準によって代替経路の列挙を行うとともに、Dial法が有する欠点であるIIA特性を緩和することができる。

(2) 全国貨物配分用モデルの検討

全国貨物配分用モデルとして、以下のような理由から、修正Dial法を採用することとした。

- ① 最も簡便なオール・オア・ナッシング配分手法では、例えば、東京－大阪間の東海道（東名）経由と中央道経由といった競合する複数経路の競合関係が明示的に考慮できないという課題があること。
- ② 多項選択ロジットモデルが有するIIA特性を緩和できること。
- ③ さらに、全国レベルでの高域な配分を行うにあたっては計算に要する時間がかかることが考えられる中で、計算時間がDial法の2倍以下に抑えられること。

以下では、Dial法と修正Dial法のアルゴリズムを示す。

1) Dial法のアルゴリズム

Dial法は、OD間で利用可能な経路を同時に複数探索し、その経路の不効用（費用）に応じて確率論的にOD間交通量を割り付ける手法である。Dial法と多項選択ロジットモデルは等価性が証明されており、あるOD間でk番目の経路が選択される確率 P_k は、以下の式で表される。

$$P_k = \frac{\exp[-\theta \cdot c_k]}{\sum_{k'} \exp[-\theta \cdot c_{k'}]}$$

ここで、 C_k はk番目の経路の費用である。 θ はスケールパラメータと呼ばれ、選択確率のバラツキの程度を表すパラメータである。スケールパラメータ θ については、

- ◆ $\theta = +\infty$: 配分交通量はオール・オア・ナッシング配分と等しくなる
- ◆ $\theta = 0$: 列挙される経路の経路選択確率はすべて等しくなる

という性質がある。

以下にDial法のアルゴリズムを示す。

【Dial法のアルゴリズム】

STEP0: 準備 (リンク尤度の計算)

- ① 起点rから他の全てのノードへの最小費用を計算

$$c(i) \leftarrow C \min[r \rightarrow i]$$

- ② 全リンクについてリンク尤度 $L[i \rightarrow j]$ を計算

$$L[i \rightarrow j] = \begin{cases} \exp[\theta\{c(j) - c(i) - t_{ij}\}] & c(i) < c(j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

t_{ij} : ノードij間のリンク費用

STEP1: 前進処理 (リンク・ウェイトの計算)

起点rから $c(i)$ の値の昇順 (rから近い順) にノードを考える。各ノードiから流出するリンクのリンク・ウェイトを次式により計算

$$W[i \rightarrow j] = \begin{cases} L[i \rightarrow j] & \text{for } i = r \\ L[i \rightarrow j] \sum_{m \in I_i} W[m \rightarrow i] & \text{otherwise} \end{cases}$$

I_i : ノードiに流入するリンクの始点集合

STEP2: 後退処理 (リンク交通量の計算)

$c(j)$ の値の降順 (rから遠い順) にノードを考える。各ノードjに流入するリンクの交通量 x_{ij} を次式で計算。

$$x_{ij} = \left(Q_{rj} + \sum_{m \in O_j} x_{jm} \right) \frac{W[i \rightarrow j]}{\sum_{m \in I_j} W[m \rightarrow j]}$$

O_j : ノードjに流出するリンクの終点集合

2) 修正Dial法 (Path Size Dial Logit Model) のアルゴリズム

Path Size Logitモデルは、ロジットモデルの効用項に経路の重複に関わる補正項PSを導入することによって、IIA特性 (経路の重複問題) を緩和したものである。

$$P_k = \frac{\exp[-\theta \cdot c_k + \beta \cdot \ln(PS_k)]}{\sum_{k'} \exp[-\theta \cdot c_{k'} + \beta \cdot \ln(PS_{k'})]}$$

以上の考えを近似的にDial法に導入した修正Dial法 (Path Size Dial Logit Model) のアルゴリズムを以下に示す。

【修正Dial法 (Path Size Dial Logit Model) のアルゴリズム】

STEP1: リンク別の選択枝数の算定

まず、 $\theta \rightarrow 0$ において、前述のDialアルゴリズムのSTEP 0~2を実行する。すなわち、有効リンク (ノードij間リンク) 選択確率 q_{ij} を算出する。このとき、着ノードへのリンク・ウェイトが経路選択枝の総数となっているため、それをMとする。選択確率 q_{ij} は、「総選択枝数の逆数 × リンク経過経路数」になっている。これより、リンクを通過する経路数は $M \cdot q_{ij}$ となる。同時に、OD間の最短距離 L^{\min} を記憶しておく。

STEP2: Path Size補正項の導入

再びDialアルゴリズムでリンクの選択確率を推計するが、その際、リンク尤度に以下のPath Sizeに関する補正項を加える。

$$PS_{ij} = \frac{L_{ij}}{L^{\min}} \ln \left[\frac{1}{M \cdot q_{ij}} \right]$$

$$L[i \rightarrow j] = \begin{cases} \exp[\theta\{c(j) - c(i) - t_{ij}\} + \beta_{ps} PS_{ij}] & c(i) < c(j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

あとは、同様にDialアルゴリズムに従ってリンク交通量を計算する。

(3) 国際物流配分用モデルの検討

国際物流配分用モデルとしては、一般化費用を最小とするオール・オア・ナッシング手法を採用することとした。

以下では、港湾研究部のモデルを簡易化したモデルと東京都市圏交通計画協議会でのモデル (兵藤モデル) について示す。

1) 港湾研究部のモデルを簡易化したモデル

i) 国際海上コンテナの時間価値の設定

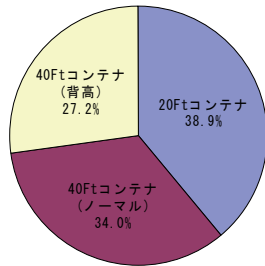
一般化費用の設定で費用となる国際海上コンテナの時間評価値は、既存文献4)を参考として以下の手順で設定した。既存文献4)では、コンテナのサイズ別・輸出入別のコンテナ1個当たりの時間価値を算出している。

表-4.3.9 コンテナのサイズ別・輸出入別の
コンテナ1個当たりの1時間当たり時間価値

(円/h・個)

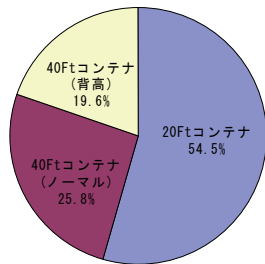
	20Ft ノーマル	20Ft フル	20Ft ノーマル	20Ft フル	20Ft 背高	20Ft 背高 フル
輸出	2,500	2,500	3,700	3,700	3,700	3,700
輸入	2,000	2,000	3,000	3,000	3,000	3,000

上記のコンテナサイズ別時間価値と下図の輸出入コンテナ個数の比率により、重み付け平均化すると時間価値は45.6円/(分・個)となった。



【輸出コンテナの比率 (個数ベース)】

総数：3,715個



【輸入コンテナの比率 (個数ベース)】

総数：6,649個

(中枢港湾1週間)

図-4.3.13 海上コンテナのサイズ別内訳

ii) 配分モデル

以上の時間価値の設定により、配分計算に用いたモデルは次の通りとなる。

$$GC = (\text{費用 [円]} + 45.6 \times \text{時間 [分]})$$

GC : 各リンクにおける認識一般化費用

費用 : 各リンクにおけるガソリン代 + 有料道路料金

時間 : 各リンクの通過にかかる所要時間

2) 兵藤モデル

本モデルは、2003年東京都市圏物資流動調査の補完調査である「大型貨物車走行ルート調査」のデータを用いて構築された大型貨物車経路選択モデルである。

i) 経路配分モデルの概要

大型貨物車の走行経路は、所要時間や費用といった要因の他、重さ指定道路・高さ指定道路等の大型車が走行しやすい道路が優先して選択されていると考えられる。今回適用したモデルは、大型貨物車の利用者が重さ指定道路である道路区間の所要時間や走行費用を相対的に小さく認識する(認識一般化費用)と仮定し、推計される走行経路と実際の走行経路の重複率を最大にするように、重さ指定道路の認識一般化費用を表すパラメータを推定している。

ii) 配分モデル

$$GC = (\text{費用 [円]} + 80 \times \text{時間 [分]})$$

$\times 0.79^{\text{重量指定リンクダミー}}$

GC : 各リンクにおける認識一般化費用

費用 : 各リンクにおけるガソリン代 + 有料道路料金

重さ指定リンクダミー :

リンクが重さ指定道路である場合は1、それ以外は0

時間 : 各リンクの通過にかかる所要時間

走行距離最小経路 (推計値)

と実績値の重複率 : 0.48

一般化費用最小経路 (推計値)

と実績値の重複率 : 0.56

大型貨物車経路選択モデルによる

推計値と実績値の重複率 : 0.65

4.3.3.4 港湾貨物の流動状況推計結果

東京港の輸出入コンテナ貨物流動を道路ネットワークに配分し、港湾貨物の流動状況を推計した。

(1) 推計の前提条件

1) 対象貨物

東京港の輸出入貨物を対象とした。

2) ゾーニング

ゾーン区分は、東京都市圏はセンサス集約Bゾーン、その他は地方生活圏ベースの207ゾーン区分の全国395ゾーンとした。

3) ネットワークデータ

4.3.3.2(1)で作成した国際物流配分用ネットワークを用いた。

4) 貨物ODデータ

4.3.3.2(1)において「全国輸出入コンテナ貨物流動調査」と「陸上出入貨物調査」のデータを用いて作成した港湾関連輸出入貨物流動データから、東京港関連の自動車で陸上輸送されている輸出入コンテナ貨物データを抽出して用いた。

5) 経路配分モデル

大型貨物車走行経路選択モデルの認識一般化費用を用いた、オール・オア・ナッシング配分（兵藤モデル）を採用した。

(2) 港湾貨物の流動状況推計結果

図-4.3.14は、東京港関連の輸出入コンテナ貨物を道路ネットワークに配分したもので、重量ベース、台数ベース、価格ベースで示している。

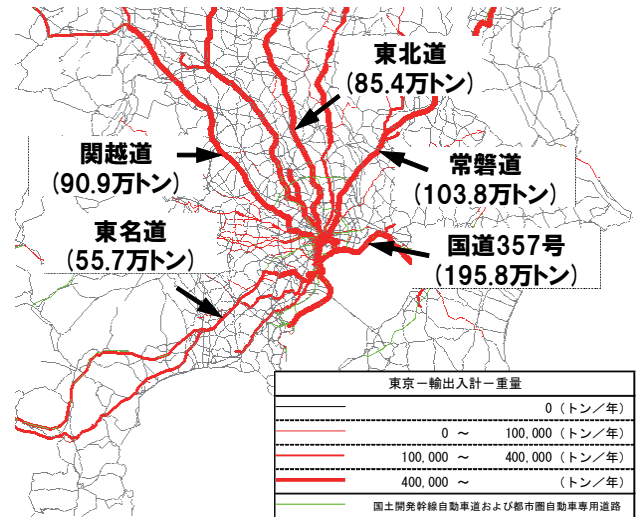
図-4.3.15、16は、東名道、関越道に着目して、輸出入別の品目構成を重量・トラック台数・価格ベースで示したものである。

東北道でみると、輸送重量やコンテナトレーラの台数では、輸出よりも輸入の方が多くなっており、輸入を品目別に見ると農産物が多くなっている。

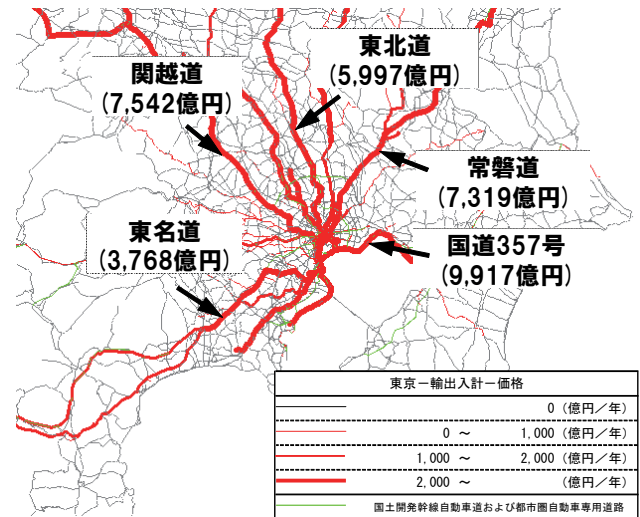
これを価格でみると、輸出には付加価値が高い「金属・機械工業品」が含まれているため、逆に輸出の方が価値が高いと推計されている。

また、関越道でみると、輸出品目のほとんどが「金属・機械工業品」となっているため、非常に輸出の価値が大きく推計されている。

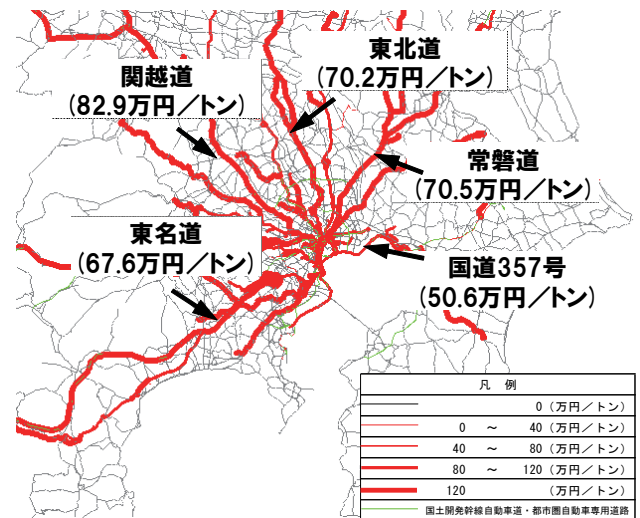
このように、多様な指標によりリンク別に道路の機能に違いがあることが把握できた。



【輸送重量（輸出入計）】



【価格（輸出入計）】



【トン当たり価格（輸出入計）】

図-4.3.14 東京港の輸出入コンテナの背後流動の推計結果

【東北道】

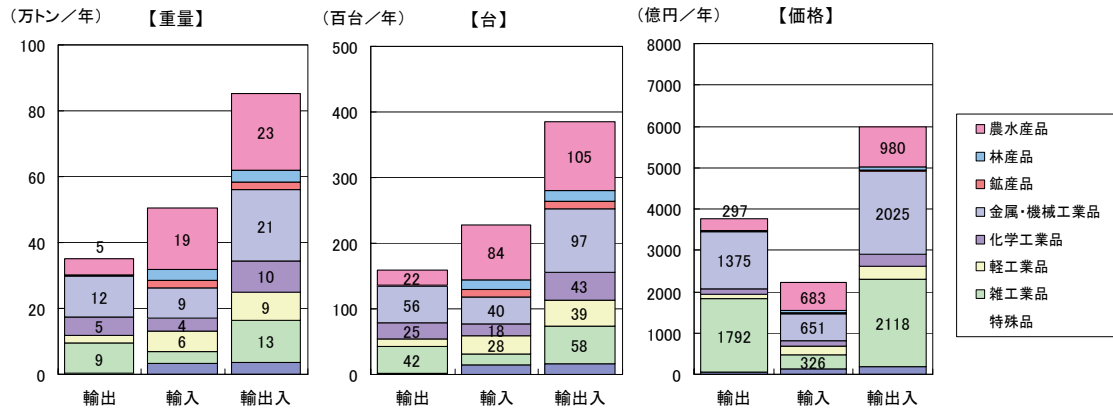


図-4.3.15 東北道での東京港の輸出入コンテナの流動

【関越道】

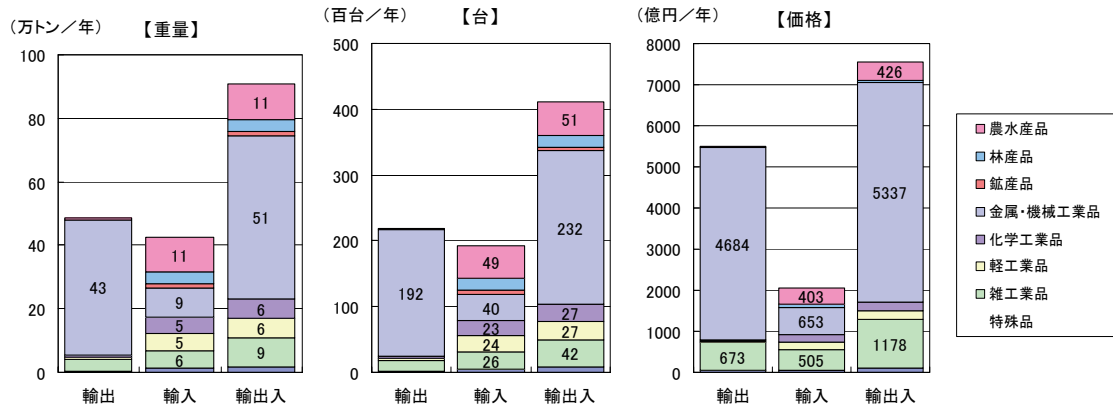


図-4.3.16 関越道での東京港の輸出入コンテナの流動

4.3.3.5 ケーススタディ (施策の評価例)

東京都市圏の環状道路の未整備路線のうち、外郭環状道路と横浜環状北線が整備された場合の効果について、東京港・横浜港関連の輸出入コンテナ貨物流動と、それ以外の大型貨物車流動を道路上ネットワークに配分することで試算した。

(1) 推計の前提条件

1) 対象貨物

東京港・横浜港関連の輸出入コンテナ貨物と、それ以外の大型貨物車を対象とした。

2) ゾーニング

ゾーン区分は、東京都市圏はセンサス集約Bゾーン、その他は地方生活圏ベースの207ゾーン区分の全国395ゾーンとした。

3) ネットワークデータ

4.3.3.2(1)で作成した国際物流配分用ネットワークを用いた。

4) 貨物ODデータ

東京港・横浜港関連輸出入コンテナ貨物OD量

については、4.3.3.2(1)において「全国輸出入コンテナ貨物流動調査」と「陸上出入貨物調査」のデータを用いて作成した港湾関連輸出入貨物流動データを用いた。

その他の大型車貨物車OD量は、H11道路交通センサスデータ (OD集計用マスター) から、最大積載量10トン以上の貨物車のOD交通量を集計し、前述の東京港・横浜港関連輸出入コンテナ貨物OD量を差し引いて作成することとした。

ただし、以上のように2種類のデータの差分から「その他の大型車貨物車OD量」を算出すると、統計データの乖離もあり、マイナス値となる場合がある。このようにマイナス値となることを回避するため、以下に示すような調整処理を行った。

【京浜港関連国際コンテナ貨物とその他大型貨物車の貨物OD表の作成方法】

基本的に京浜港関連国際コンテナ貨物OD表の方が信頼性は高いと考えられることから、この

OD流動量は確定値とし、その他の大型貨物車のOD流動量を推計することとした。

具体的には、以下のようにして、京浜港関連国際コンテナ貨物OD表とそれ以外の大型貨物車OD表を推計した。

- X(i,j) : 京浜港関連国際コンテナ貨物OD [確定値]
 - Y(i,j) : H11道路交通センサス大型貨物車 (最大積載量10t以上) OD
 - Z(i,j) : 京浜港関連国際コンテナ貨物以外の大型貨物車OD
(Z(i,j) = Y(i,j) - X(i,j))
 - Z(i,・) : 京浜港関連国際コンテナ貨物以外の大型貨物車のゾーンi発生量
- とすると、

- Z(i,・) ≤ 0 の場合
Zn(i,j)=0
- Z(i,・) > 0 の場合
Z(i,j) ≥ 0 ならば、Zn(i,j)=Z(i,j)
Z(i,j) < 0 ならば、Zn(i,j)=0

以上より、京浜港関連国際コンテナ貨物流動以外の大型貨物車OD流動量を以下のように調整した。

$$Zn(i,j) = Zn(i,j) \times (Z(i, \cdot) / Zn(i, \cdot))$$

5) 経路配分モデル

大型貨物車走行経路選択モデルの認識一般化費用を用いた、オール・オア・ナッシング配分 (兵藤モデル) を採用した。

(2) 整備効果試算結果

図-4.3.17は、東京港・横浜港関連の輸出入コンテナ貨物と大型貨物車を道路ネットワークに配分したもので、台数ベースで示している。

図-4.3.18は、東京港・横浜港発着の国際物流およびその他の大型貨物車の都心3区への流入量を示しており、未整備区間である①、②を整備することで、都心3区への流入量が、東京・横浜港の国際貨物関連のみでは、16%減少、全貨物交通量では21%減少するという推計結果となった。

このように、道路整備による効果を物流の視点から提示することができた。

さらに、図-4.3.19は、横浜環状北線を利用する港湾貨物の品目特性を示しており、貨物の品目

特性に着目し、路線や方向による品目特性 (付加価値) の違いを評価することができた。

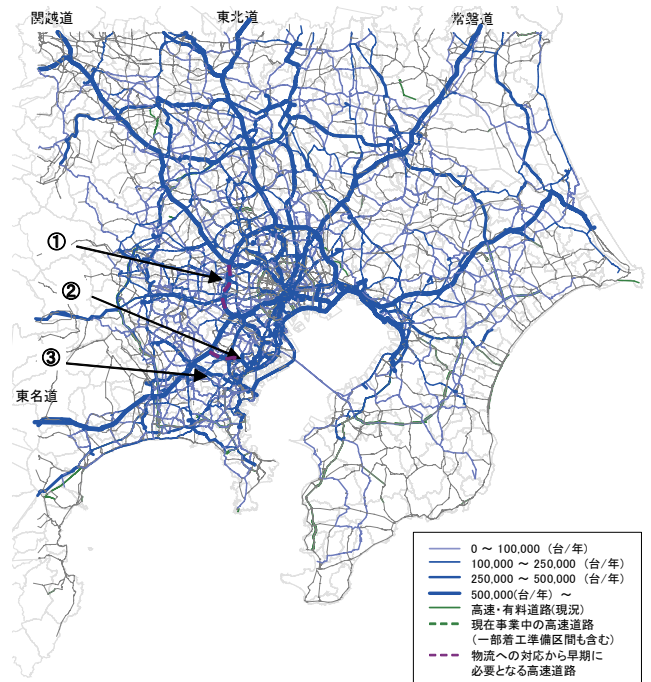


図-4.3.17 外郭環状道路と横浜環状北線が整備された場合の貨物流動 (推計値)

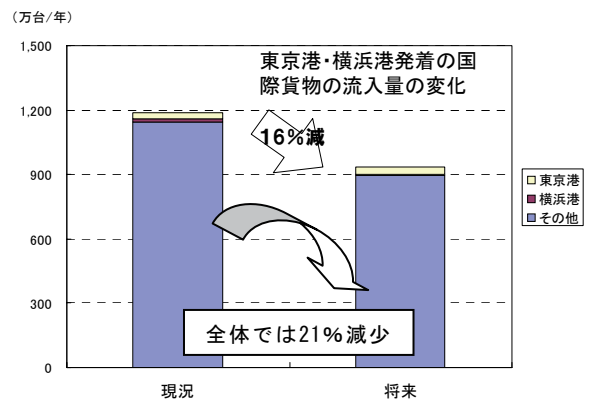


図-4.3.18 都心3区への流入量

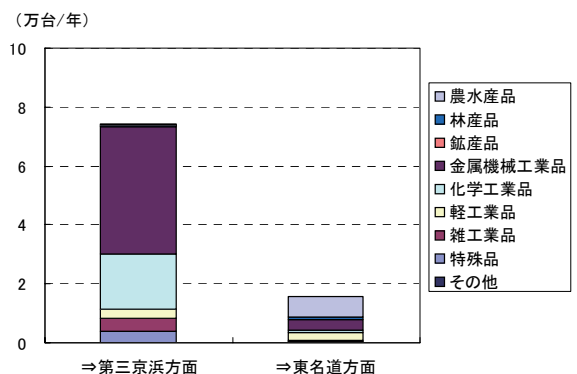


図-4.3.19 横浜環状北線を利用する港湾貨物の品目特性

4.3.4 まとめ

4.3.4.1 研究成果のまとめ

道路、鉄道、船舶、航空といった各モードでの貨物の流れを一体的に評価するシステムを構築するという大きな目標の下、本研究では、まずは道路上の貨物の流動を評価することを目的として、「物流センサス」の純流動データをもとに全国貨物を対象とした貨物ODデータの作成を行った。その際、国際物流についても考慮するため、「全国輸出入コンテナ貨物流動調査」と「陸上出入貨物調査」のデータを用いて補完を行った。

また、この貨物ODデータを道路ネットワークに配分するにあたり、容量制約の無い配分手法（修正Dial法、オール・オア・ナッシング法）に関してモデルの検討を行った。

そして、国際物流ODデータをオール・オア・ナッシング配分手法によって道路ネットワークに配分することで、国際海上コンテナの視点から輸出入別の台数・トン数・価格単位といった多様な指標によってリンク別に道路の機能に違いがあることを把握することができた。

さらに、未整備区間を整備した場合のネットワークデータに貨物ODデータを配分することで、道路整備による効果を物流の視点から提示することができることが確認できた。

4.3.4.2 研究成果の活用

今後も関係研究部と連携して、経路選択を規定する要因の精査や有料道路料金施策の効果の評価にも適用できるようにモデルを改良するとともに、

地方整備局等でも利用可能な評価ツールとしたいと考えている。

4.3.4.3 今後の課題

本研究で実施した国際物流に関する道路ネットワークへの配分結果については、貨物車の現状の利用経路を詳細に把握したデータがなかったことから、現状の経路選択との乖離に関する検証できていない。このため、今後は、物流プローブデータや事業所へのヒアリング等を行うことにより、貨物車の利用経路を把握した上で推計結果との比較検証を行い、現況再現性を向上させる必要がある。

また、積載品目によって経路選択パターンが異なることが考えられることから、経路選択に影響を与える要因を考慮できるようにすることが課題である。

そして、最終的には鉄道、船舶、航空といった多モードでの評価を行うことができるようにする必要がある。

参考文献

- 1) “The Freight Analysis Framework - Overview and Uses -”, Office of Freight Management and Operations U.S. Department of Transportation, April, 2002
- 2) 社団法人土木学会：道路交通需要予測の理論と適用 第1編，丸善（株），2003.8
- 3) 東京都市圏交通計画協議会：物流からみた東京都市圏の望ましい総合都市交通体系のあり方，2003.5
- 4) 「国際海上コンテナの国際輸送ネットワークにおける交通実態とボトルネック解消効果」、国土交通省国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾システム研究室、柴崎隆一