

国内物流ネットワークに関する研究

勝原光治郎*、久保 登*、大高 慎自***、岡崎 忠胤*、
丹羽 康之**、有村 信夫*、李 永雨***、金 相賢***、
菅 直往***、大和 裕幸****、道田 亮二*****

Study on Domestic Physical Distribution by Networking Model

by

Mitujirou KATUHARA*, Noboru KUBO*, Sinji OHTAKA***, Tadatsugi OKAZAKI*,
Nobuo ARIMURA*, Yasuyuki NIWA**, Youngwoo LEE***, Sang-Hyun KIM***
Naoyuki SUGA****, Hiroyuki YAMATO***** and Ryoji MICHIDA*****

Abstract

From the viewpoint of environmental problem and road traffic congestion, etc. it is requested that the means of domestic cargo should be shifted from track to ship or train.

The Japanese Islands are described by networking of routes where unit load passes through. Highway, general road, train, ferry and RORO lines are the paths of network. Conjunction, crossroad, terminal and port are the nodes of network. Sharing of cargo flow is given by Sacrifice model. Route selection of ferry and RORO lines is regarded as demand of transport of the line, which is calculated by a given set of fee and required time in the line.

Number of service times of the line and cut-off rate by which ships are designed to load the parts of calculated demand of transport in the line are given as parameters, then proper ship is designed and the ship is managed by ship company. Best profit is produced in several sets of parameters' case study. Totally optimized fee, required time, number of service times and ship are obtained.

This method is utilized as a tool of proposal by shipbuilder to shipowner, as a tool of management of ship company, or as a tool of investor's evaluation of liner business.

*輸送高度化研究領域

**海上安全研究領域

***システム技術部 (当時)

****(株)日通総研

*****東京大学

*****石川島播磨重工業(株) (当時)

原稿受付 平成14年 7月16日

審査済 平成15年 7月18日

目 次

1.	はじめに
1.1	研究の背景と狙い
1.2	研究の目的
2.	モーダルシフト
2.1	運輸部門の地球温暖化ガス排出量
2.2	モーダルシフト適合船
3.	ユニットロード貨物
3.1	全貨物におけるユニットロード物流の割合
3.2	全ユニットロード物流の構成
3.3	長距離ユニットロード物流の品類別分担割合
3.4	長距離フェリー（ユニットロード）物流の品類別分担割合
3.5	長距離ユニットロード物流の到着時間
3.6	長距離フェリー（ユニットロード）物流の到着時間
3.7	長距離ユニットロード物流の発着別都道府県別の品類構成
3.8	長距離フェリー（ユニットロード）物流の航路別流動量
4.	ネットワーク解析手法による航路需要予測
4.1	物流需要量の予測方法
4.1.1	物流経路ネットワーク
4.1.2	犠牲量モデル
4.1.3	Dijkstra 法
4.1.4	時間価値分布関数
4.1.5	プログラム概要
4.2	シミュレーション結果
4.2.1	国内長距離フェリー航路の検証
4.2.2	既存航路の需要予測
4.2.3	新規航路の需要予測
5.	船舶主要目の決定と航路の採算性
5.1	船隊の設定
5.2	船舶主要目の決定
5.3	採算計算
5.4	プログラム概要
5.5	適用例
5.5.1	既存航路への適用（検証）
5.5.2	新規航路における最適船舶要目予測
6.	おわりに
6.1	まとめ
6.2	今後の課題
	謝辞
	参考文献

1. はじめに

1.1 研究の背景と狙い

わが国の物流は国内産業の構造改革やIT化、高齢社会化、環境保護、安全、そして世界経済のグローバル化などによって大きく転換しようとしている。物流効率化を目指して企業合併が起こったり、工場や集配施設の立地を変更したり、物流はサードパーティロジスティクス（3PL）に移行している。各社、各地の物流のシステムが変更され、国内全体の物流も変化する。このような変化の時代においては物流のシステム全体を評価する技術が求められている。

わが国の物流をトータルに分析する方法としては、従来国土計画を策定する際の運輸政策審議会モデルがある。これは計量経済学的手法を多段に用いて部門ごとの予測を集計して将来予測をするものである。この方法はトータルの物流量は比較データと一致するが、各地の数値は一致しないと言われている。が、何よりも問題なのは、過去のデータに基づいて将来予測を行うので、システム自体が変更される問題、例えば新設航路の評価などはできない。

そこで全国の主要幹線交通網をノードとパスのネットワークで描写してこのネットワーク上をトラックなどが動くと考え、トラックがこれら経路のどれを選ぶかという問題にすると、経路上の物流量を計算できるのではないか。これが本研究の着想である。運輸政策審議会モデルとの違いの1つは、機関分担率を扱うのではなく、経路分担率を扱うことである。したがって、あるOD（発地着地、Origin and Destination）について例えば、フェリー航路が複数あっても、また高速道路・一般道が複数並行していても、それらのパス定数をそのまま評価できる。このような計算が可能になったのは今日計算機の発達が著しく計算能力の向上があるからに他ならない。

しかしながら、ここで全国物流ネットワーク解析の方法の限界についてもみておこう。OD間の経路選択を解いたものであるので、OD間の物流量は所与としている。経路特性の変化があれば取引きの対象も変化する場合がある。それは考慮していない。また、セメントやガソリンなどを大量に長距離運ぶ不定期内航船舶輸送では経路の選択はないので計算の対象外である。つまり、全国物流ネットワーク解析で扱う貨物はユニットロードと言われる、トラック、トレーラ、コンテナ、シャーシなどに積まれた貨物とする。輸送機関としては、鉄道・陸運・海運（フェリー・RORO船・コンテナ船）である。航

空は現状では輸送量が少ないので省くことにした。

さらに、本手法は全国規模のネットワークを対象にしているので、近距離輸送に対しては信頼性がない。したがって、長距離ユニットロード輸送についての解析と考えるべきである。そうすると長距離ユニットロードの貨物は鉄道・陸運・海運のどれを選ぶかという問題がクローズアップされる。とくに海運へのモーダルシフトの進展を評価することができる。

長距離ユニットロードを運ぶ長距離フェリー・RORO船・コンテナ船の航路の運賃や所要時間が変化するとこの航路に入る需要は変わる。この関係から、航路の需要予測ができる。これが本研究の狙いの1つである。

本研究の狙いのもう1つは、この需要予測の手法を用いて、地域事情、造船所での船舶設計、船社の採算性について一貫して扱い、最も採算性の良い航路条件(運賃・所要時間)や便数、最適船型を求めることである。

図-1に計算のシステム構成を示す。数種類の航路条件(運賃・所要時間)を与えて航路の需要予測を行い、地域事情を考慮して便数を数種類与え、それぞれの場合に1船舶の積載量を求め、船舶の大きさを計算し、また航路の所要時間から船速を計算し、主機馬力を与え、船価や燃料消費量を求め、船社のコスト(運航費と船費)を概算し、輸送需要と運賃から収入を求め、採算性=(収入-コスト)/収入を求める。採算性の良い計算ケースを上位から順に並べ、船社経営者が良いものの中から1つ選択をすることができる。

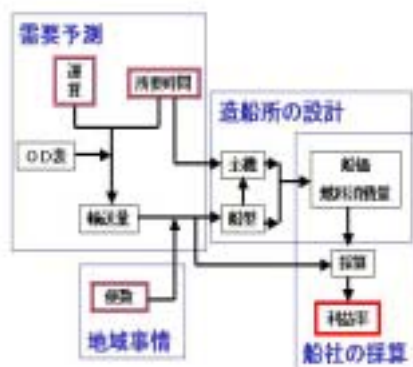


図-1 計算のシステム構成

このような全体最適の考え方は、物流需要予測と造船所、船社の協調によって成り立つ。全体最適の手法によって山勘的決定から合理的決定への移行がなされるのみならず、決定が実行された場合の結果を得てからの反省や教訓が知識として蓄積される。さらに、造船所と船社のB2Bの関係が強化されサービスが行き届くなどの近代的合理的経営の道具として役立つことが期待される。また、金融機関や投資家の事業評

価にも活用されると期待される。

1.2 研究の目的

国内のユニットロード貨物の経路を全国規模でネットワーク描写し、貨物の経路選択問題を解き、長距離フェリー・RORO船航路の需要予測方法を確立する。次に、この航路需要予測方法と地域事情、造船所の船舶設計、および船社の採算性を統合し、全体最適な航路条件・船型を求める方法を確立することを目的とする。

2. モーダルシフト

2.1 運輸部門の地球温暖化ガス排出量

戦後、自動車はドア・ツウ・ドアの利便性などによって輸送活動の主力となり、貨物輸送で言えば、1995年度トンキロベースで自動車は52%、内航海運は43%、鉄道5%、トンベースで自動車91%、内航海運8%、鉄道1%となっている。内航海運はトンキロベースで43%占めている。が、年々減少気味である。さらに、地球温暖化ガスである二酸化炭素の排出量を見ると、同じく1995年度貨物部門で、自動車は90%、海運は8%、鉄道は1%であり、旅客・貨物合わせて自動車は88%、海運は6%、鉄道は3%と、圧倒的に自動車の排出割合が高い。日本全体の二酸化炭素排出量のうち、運輸部門は22%を占めており、民生部門と共に伸び率も高い。運輸部門の地球温暖化問題は自動車の問題であると言える。このような運輸部門の地球温暖化ガス排出量の高騰の原因の一端は、自動車の輸送量が、貨物・旅客ともトンキロベースないし人キロベースで半分位であるけれど、自動車の輸送量当たりの燃料消費量が海運や鉄道のそれの約6~9倍となっていることによる。

したがって地球温暖化防止対策の観点からは、自動車貨物輸送を海運に転換させるモーダルシフト政策が有効かつ必要である。このモーダルシフトを実現させる方法にはできるだけ市場経済の中で海運が優位になる条件を政策的に作り出す方がよい。広報宣伝によって荷主にモーダルシフトを訴えると共に、輸送力の強化・複合一貫輸送のインフラ整備・ダイヤ運賃など荷主のニーズへの対応などが行えるよう条件作りをしていかねばならない。特に、荷主が輸送機関を選択する際に重要な要素である輸送時間と運賃についての条件作りが必要である。

運輸部門の二酸化炭素排出量の削減目標は1990年を100とすると、対策を打たなければ2010年に140になるものを対策によって117に落とすことである。これは二酸化炭素1300万トン削減に相当するが、そのうち長距離貨物のモーダルシフトによって30万トン削減が期待されている。具体的には海運

と鉄道の機関分担率がトンキロベースで現状が約 40%であるのを 50%まで上げることとなっている。

このモーダルシフト政策を進めるために、モーダルシフトの主要な担い手と位置づけられたコンテナ船・RORO 船・カーフェリーがどのような輸送需要を持ち、発展していくか。その発展が地球温暖化ガス排出量の低減にどのように役立つかを評価し提案する必要がある。

陸上のトラック輸送に対して地球温暖化ガス排出量の低減効果は次の効果が複合している。

- ① 船舶の燃料消費量を下げる
- ② 航路が陸路よりも距離を短縮している
- ③ 船舶の積載率を上げる

地球温暖化防止の観点からは陸上のトラック輸送よりも地球温暖化ガス排出量の少ないモーダルシフトが実行されることが望ましい。この観点からは船舶が高速化して集荷するよりも運賃を下げて集荷量を多くする方がよい。

2.2 モーダルシフト適合船

自動車輸送は 1970 年以降の貨物輸送量の増加分をほぼすべて吸収する形で膨れてきた。一方、海運は船腹調整制度の下でずっと現状維持をしてきた。もともと船舶は速度は遅い

が大量のものを遠くに運ぶのに適している。言うまでもなく、海運に適した貨物は既に海運に回っている。では、自動車輸送のどの品目が海運に転換できるのか。

図-2 は品目をパラメータにした、距離帯の変化に対する海運の機関分担率（トンベース）の変化である。全般的に遠くの距離帯になると分担率が大きくなっている。しかし、750km 以上および 1,000km 以上の距離帯をみると、雑工業品と農水産品の分担率が特に低い。図-3 は同じく自動車の機関分担率である。全般的に近距離輸送に威力を発揮している。が、750km 以上および 1,000km 以上の距離帯をみると、雑工業品と農水産品の分担率が特に高い。つまり、雑工業品と農水産品は遠距離でも自動車得意とする品目である。まずこれをターゲットにモーダルシフトを考えるべきだろう。とすると、雑貨物、つまりコンテナ化できるもの、あるいはこれらを運ぶ自動車自体を運ぶかである。そこで、コンテナ船・RORO 船・カーフェリーがモーダルシフトの主要な担い手と位置づけられる。

図-2、図-3 を見ると、鉱産品と化学工業品はすでに海運に相当廻っているが、林産品、金属機械工業品、軽工業品、特殊品その他についても海運に廻せないかどうかの検討も今後必要である。

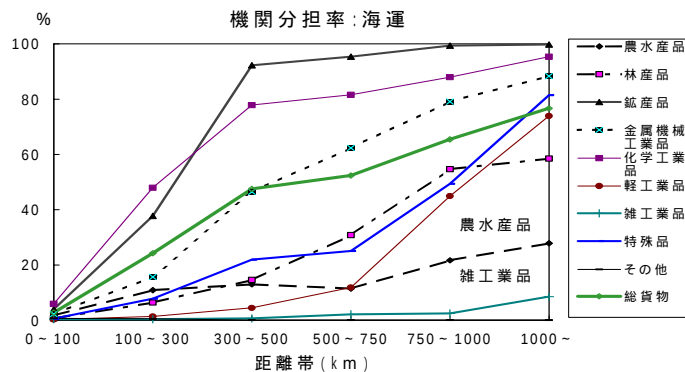


図-2 船舶の品目別距離帯別機関分担率

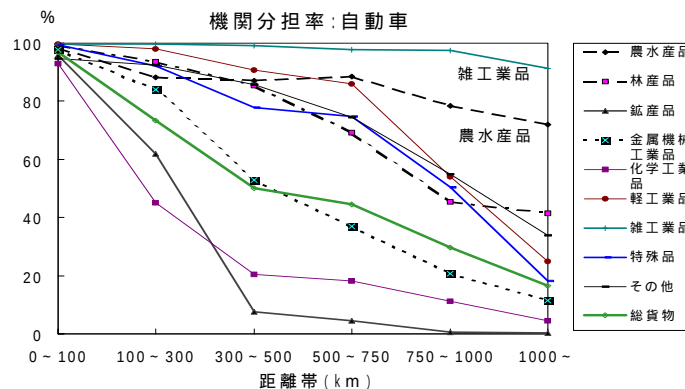


図-3 自動車の品目別距離帯別機関分担率

なお、環境問題からモーダルシフトを考えると、フェリー、RORO 船では車両ないしシャーシごと輸送するため貨物の重量は輸送重量の約半分となる点効率が悪くなる。また、輸送トンキロあたりの燃料消費量は船速が大きいほど、載貨重量トンが小さいほど大きくなるので、ゆっくり航送する大きな船がよい。さらに、海路は陸路と距離が異なる点も考慮しなければならない。航路が陸路の迂回を短縮することもあるし、そうでないこともある。モーダルシフトの実効性については二酸化炭素排出量に関して道路との比較評価が必要である。船舶を高速化すると自動車輸送よりも環境に悪い影響を与える結果になるケースもあるので注意が必要である。

3. ユニットロード貨物

ユニットロード貨物とは前述の通り、トラック、トレーラ、コンテナ、シャーシなどトラック一台分くらいの一定形式の荷姿になった貨物である。モーダルシフトを提案するためにこのユニットロード物流の量や代表輸送機関、品類、到着指定等について把握しておく必要がある。

全国貨物については国土交通省（旧運輸省、旧建設省）が5年ごとに調査した全国貨物純流動調査データが唯一である。研究時点の最新データである平成7年度の全国貨物純流動調査データを基にユニットロード貨物の流動について分析する。

なお、この全国貨物純流動調査データでのユニットロード貨物は、代表輸送機関が 鉄道コンテナ、自家用トラック、宅急便等混載、一車貸切、コンテナ船、RORO 船および航空のいずれかで運ばれる貨物と、輸送中にフェリーやコンテナが利用される貨物とした。

また、以下の表中のトン数やトンキロはこの調査の行われて3日間の輸送量である。1年に換算するには $365/3=122$ 倍しなければならない。ただし、季節要因の誤差が入る。

さらに、全国貨物純流動調査データには輸送距離の記載がないので、貨物の「都道府県間の輸送距離」は自動車輸送データから求めた「都道府県間のトラック輸送の平均距離」から決定した。

3.1 全貨物におけるユニットロード物流の割合

全貨物の品別別にユニットロード物流と非ユニットロード物流をその流動量（トンベース）と品別分類割合で表-1に示した。非ユニットロードの割合が大きい品別は化学工業品、鉱産品、農水産品、金属機械工業品である。

また、表-2はトンベースにして全貨物の中でユニットロードが約84%、非ユニットロードが約17%を占めていることを示している。

3.2 全ユニットロード物流の構成

ユニットロードの中で「都道府県間の輸送距離」が 300kmを超える貨物を長距離ユニットロードとし抽出した。また、長距離ユニットロードを代表輸送機関毎に分けてその割合をみた。表-3にそれを示す。これによると長距離ユニットロードは全ユニットロードの約53%（トンキロベース）、その中で（全ユニットロード物流に対する割合は）長距離ユニットロード一般道路利用トラック物流が約37%、長距離ユニットロード高速道路利用トラック物流が約32%、長距離ユニットロードフェリー物流が約17%、長距離ユニットロード鉄道コンテナ物流が約10%などとなっている。

3.3 長距離ユニットロード物流の品別分担割合

長距離ユニットロード物流の品目構成はトンキロベースで見ると、金属機械工業品と化学工業品の割合が高い。全ユニットロード物流に対する割合は、農水産品、金属機械工業品、軽工業品、雑工業品が高く、6～7割に達している。（表-4）

表-1 全貨物におけるユニットロード物流の割合

品別	全貨物の流動量		ユニットロードの流動量		非ユニットロードの流動量	
	トン数	割合(%)	トン数	割合(%)	トン数	割合(%)
農水産品	1,437,248	4.4	1,206,964	4.5	230,284	4.2
林産品	623,317	1.9	583,095	2.2	40,221	0.7
鉱産品	8,528,046	26.2	6,879,242	25.5	1,648,804	30.0
金属機械工業品	5,011,677	15.4	4,226,001	15.6	785,676	14.3
化学工業品	11,769,646	36.2	9,130,561	33.8	2,639,086	48.0
軽工業品	2,718,886	8.4	2,630,613	9.7	88,273	1.6
雑工業品	998,477	3.1	995,262	3.7	3,215	0.1
特殊品	1,439,800	4.4	1,375,626	5.1	64,174	1.2
合計	32,527,096	100.0	27,027,363	100.0	5,499,733	100.0

表 - 2 トンキロベースの全貨物におけるユニットロード物流の割合

品類	ユニットロードの流動量 (%)	非ユニットロードの流動量 (%)	合計 (%)
農水産品	84.0%	16.0%	100.0%
林産品	93.5%	6.5%	100.0%
鉱産品	80.7%	19.3%	100.0%
金属機械工業品	84.3%	15.7%	100.0%
化学工業品	77.6%	22.4%	100.0%
軽工業品	96.8%	3.2%	100.0%
雑工業品	99.7%	0.3%	100.0%
特殊品	95.5%	4.5%	100.0%
全体	83.1%	16.9%	100.0%

表 - 3 全ユニットロード物流の構成

貨物の分類	流動量 (トン)	全ユニット ロードにおけ る割合 (%)	流動量 (トンキロ)	全ユニット ロードにおけ る割合 (%)	長距離ユニット ロードにおけ る割合 (%)
全ユニットロード物流	27,027,363	100.0	2,616,011,063	100.0	
長距離ユニットロード物流 (300km以上)	2,306,659	8.5	1,386,895,666	53.0	100.0
長距離ユニットロード フェリー物流 (300km以上)	266,288	1.0	235,119,701	9.0	17.0
長距離ユニットロード コンテナ船物流 (300km以上)	15,866	0.1	17,759,430	0.7	1.3
長距離ユニットロード RORO船物流 (300km以上)	29,615	0.1	37,341,391	1.4	2.7
長距離ユニットロード 鉄道コンテナ物流 (300km以上)	152,339	0.6	139,825,215	5.3	10.1
長距離ユニットロード 航空機コンテナ物流 (300km以上)	1,251	0.0	1,485,300	0.1	0.1
長距離ユニットロード 高速道路利用トラック物流 (300km以上、フェリー除く)	823,032	3.0	438,763,382	16.8	31.6
長距離ユニットロード 一般道利用トラック物流 (300km以上、フェリー除く)	1,016,662	3.8	514,711,957	19.7	37.1

表 - 4 長距離ユニットロード物流の品別分担割合

品類	全ユニットロード物流		長距離ユニットロード物流の品別分担				全ユニットロードにお ける長距離ユニット ロード物流の割合	
	トン	トンキロ	トン		トンキロ		トン数	トンキロ
農水産品	1,206,964	191,438,219	175,060	7.6%	138,609,762	10.0%	14.5%	72.4%
林産品	583,095	54,446,771	50,413	2.2%	25,825,912	1.9%	8.6%	47.4%
鉱産品	6,879,242	327,053,030	116,703	5.1%	56,709,654	4.1%	1.7%	17.3%
金属機械工業品	4,226,001	571,800,739	628,796	27.3%	347,989,201	25.1%	14.9%	60.9%
化学工業品	9,130,561	748,312,631	602,140	26.1%	357,788,105	25.8%	6.6%	47.8%
軽工業品	2,630,613	409,538,458	430,235	18.7%	275,202,968	19.8%	16.4%	67.2%
雑工業品	995,262	176,718,660	201,438	8.7%	128,092,604	9.2%	20.2%	72.5%
特殊品	1,375,626	136,702,554	101,874	4.4%	56,677,459	4.1%	7.4%	41.5%
合計	27,027,363	2,616,011,063	2,306,659	100.0%	1,386,895,666	100.0%	8.5%	53.0%

3.4 長距離フェリー（ユニットロード）物流の品別分担割合

長距離フェリー（ユニットロード）物流の品目構成はトンキロベースで見ると、化学工業品、金属機械工業品、軽工業品、農水産品の割合が高い。全ユニットロード物流に対する割合では農水産品が高い。長距離ユニットロード物流に対する割合では農水産品、林産品が高い。

3.5 長距離ユニットロード物流の到着時間

長距離ユニットロードデータのレコード数は278,653件でその中で到着指定が未記入であるレコード数は51,854件で約19%である。表-6に示すように、長距離ユニットロードの場合は殆どが「日単位で指定」か「指定なし」である。発産業別には家具・装備品製造業、金属製品製造業、輸送用機械器具製造業が「時間単位で指定」が一番多く、また、着産業別には建設業、輸送用機械器具製造業、家具・建具・じゅ

う器卸売業が「時間単位で指定」が一番多く到着時間の指定が厳しい。

3.6 長距離フェリー(ユニットロード)物流の到着時間

長距離ユニットロードフェリー物流データのレコード数は23,112件でその中で到着指定が未記入であるレコード数は4,586件で約20%である。表-7に示すように、長距離ユニッ

トロードフェリー物流の場合は殆ど「日単位で指定」か「指定なし」である。しかし、発産業の中では輸送用機械器具製造業が「時間単位で指定」の割合が一番多く、また、着産業の中では輸送用機械器具製造業、医療・化粧品卸売業が「時間単位で指定」の割合が一番多い。この結果から、自動車製造業に代表される輸送用機械器具製造業の場合はフェリーを用いた長距離輸送に関わらず到着時間の指定が厳しい。

表-5 長距離フェリー(ユニットロード)物流の品別分担割合

品別	長距離フェリー物流の品別分担				全ユニットロードにおける長距離フェリー物流の割合		長距離物流における長距離フェリー物流の割合	
	トン		トンキロ		トン	トンキロ	トン	トンキロ
農水産品	34,972	13.1%	41,274,040	17.6%	2.9%	21.6%	20.0%	29.8%
林産品	8,542	3.2%	5,684,940	2.4%	1.5%	10.4%	16.9%	22.0%
鉱産品	7,403	2.8%	6,152,135	2.6%	0.1%	1.9%	6.3%	10.8%
金属機械工業品	48,412	18.2%	43,092,483	18.3%	1.1%	7.5%	7.7%	12.4%
化学工業品	79,518	29.9%	67,449,546	28.7%	0.9%	9.0%	13.2%	18.9%
軽工業品	51,444	19.3%	42,629,904	18.1%	2.0%	10.4%	12.0%	15.5%
雑工業品	23,388	8.8%	21,083,368	9.0%	2.3%	11.9%	11.6%	16.5%
特殊品	12,610	4.7%	7,753,285	3.3%	0.9%	5.7%	12.4%	13.7%
合計	266,288	100.0%	235,119,701	100.0%	1.0%	9.0%	11.5%	17.0%

表-6 長距離ユニットロード物流の到着時間

		1	2	3	4	合計
輸送機関(代表)		日単位で指定	午前・午後単位で指定	時間単位で指定	指定なし	トンキロ
トンキロ	自家用トラック	6,849,317	3,771,837	2,837,572	4,813,960	18,272,687
	宅急便等混載	86,226,057	24,288,959	5,846,252	45,969,290	162,330,558
	一車貸切	343,696,166	166,428,346	167,202,153	102,414,646	779,741,310
	トラック全体(合計)	436,771,540	194,489,142	175,885,977	153,197,896	960,344,555
割合(%)	自家用トラック	37.5%	20.6%	15.5%	26.3%	100.0%
	宅急便等混載	53.1%	15.0%	3.6%	28.3%	100.0%
	一車貸切	44.1%	21.3%	21.4%	13.1%	100.0%
	トラック全体(合計)	45.5%	20.3%	18.3%	16.0%	100.0%

表-7 長距離フェリー(ユニットロード)物流の到着時間

		1	2	3	4	合計
輸送機関(代表)		日単位で指定	午前・午後単位で指定	時間単位で指定	指定なし	トンキロ
トンキロ	自家用トラック	1,708,397	360,603	105,295	757,699	2,931,994
	宅急便等混載	8,879,276	3,141,499	809,287	8,447,703	21,277,765
	一車貸切	96,260,104	25,857,331	21,381,671	27,056,899	170,556,005
	トラック全体(合計)	106,847,777	29,359,433	22,296,253	36,262,302	194,765,764
割合%	自家用トラック	58.3%	12.3%	3.6%	25.8%	100.0%
	宅急便等混載	41.7%	14.8%	3.8%	39.7%	100.0%
	一車貸切	56.4%	15.2%	12.5%	15.9%	100.0%
	トラック全体(合計)	54.9%	15.1%	11.4%	18.6%	100.0%

3.7 長距離ユニットロード物流の発着別都道府県別の品類構成

発都道府県別のユニットロード物流の品類構成を表－8 県、愛知県、大阪から発生する長距離ユニットロードの主な品類が金属機械工業品であることが分かる。
に示す。北海道全体、神奈川県、愛知県、大阪から発生する
長距離ユニットロードが他の地域と比べて多いことや神奈川

表 - 8 長距離ユニットロード物流の発地別都道府県別の品類構成

	農水産品	林産品	鉱産品	金属機械工業品	化学工業品	軽工業品	雑工業品	特殊品	
発地域(都道府県 北海道4分割)	1	2	3	4	5	6	7	8	合計(トン)
道南(発)	3,937	1	767	277	1,047	160	372		6,561
道中央(発)	3,568	309	104	5,394	25,494	26,946	3,186	11,844	76,845
道東(発)	6,091	821	1,425	573	2,376	16,664	1,077	1,300	30,326
道北(発)	11,391	2,371		1,048	811	4,462	3,007	479	23,569
青森(発)	22,336	0	158	2,322	1,991	4,213	1,312	11,759	44,091
岩手(発)	4,734	1,987		6,698	1,441	3,336	735	31	18,963
宮城(発)	11,091	1,689	441	14,621	7,770	14,620	4,960	1,396	56,588
秋田(発)	559	2,607		5,310	28,542	6,083	1,246	50	44,397
山形(発)	6,717	467	2,207	6,332	2,193	3,388	1,773	46	23,123
福島(発)	3,655	1,472	42,263	12,078	9,015	6,559	5,387	614	81,043
茨城(発)	791		629	21,531	29,659	9,674	3,073	1,847	67,204
栃木(発)	840		1,019	14,127	4,967	5,916	4,005	406	31,280
群馬(発)	300	600	27,309	13,762	5,682	5,341	3,065	69	56,129
埼玉(発)	885	109	885	28,481	19,295	13,916	10,428	3,577	77,577
千葉(発)	2,877	281	3,858	27,184	33,854	10,892	1,443	6,417	86,806
東京(発)	11,795	5,457	209	25,179	20,225	14,771	17,020	4,431	99,087
神奈川(発)	6,022	597	731	68,694	28,276	14,456	3,322	4,264	126,362
新潟(発)	17,080	896	60	20,252	16,194	12,006	7,372	1,533	75,395
富山(発)	693	4,089		17,494	8,368	7,898	3,817	3,900	46,259
石川(発)	311		4,687	5,114	1,549	4,231	1,777	2,545	20,213
福井(発)	43	51	363	6,064	2,173	2,970	926	1	12,591
山梨(発)				1,713	2,291	1,350	173		5,527
長野(発)	5,704			19,314	2,928	7,151	2,521	121	37,739
岐阜(発)	812	269	18,739	8,534	47,508	5,072	7,412	50	88,396
静岡(発)	4,495	2,894	564	20,109	23,376	37,707	8,390	2,901	100,436
愛知(発)	2,847	586	1,259	52,892	50,820	25,994	13,113	4,215	151,724
三重(発)	1,424		132	10,153	18,004	5,522	2,542	90	37,868
滋賀(発)	39	92	87	22,989	12,896	3,366	3,864	53	43,387
京都(発)	163	1		6,137	3,301	6,195	3,113	225	19,134
大阪(発)	4,871	1,055	4,154	62,028	36,097	24,174	19,088	11,392	162,859
兵庫(発)	4,332	93	183	26,887	22,344	26,430	6,010	5,109	91,388
奈良(発)	8	816	2	3,543	2,647	1,984	4,288	410	13,699
和歌山(発)	2,846	5,455		2,247	4,790	2,404	1,295	501	19,538
鳥取(発)	1,912	95	181	1,640	17	2,794	770	269	7,678
島根(発)	911	291	725	3,682	5,591	829	3,368	751	16,148
岡山(発)	348	615	1,001	9,921	21,474	9,336	2,502	1,043	46,240
広島(発)	2,008	3,119	57	19,088	14,334	7,706	7,958	1,321	55,592
山口(発)	1,257		138	8,407	30,048	9,295	5,874	576	55,595
徳島(発)	269	394	78	448	4,325	3,632	3,726	36	12,907
香川(発)	1,189	15		1,886	11,408	4,941	1,609	8	21,055
愛媛(発)	2,570	3,621	1,253	4,158	7,094	16,724	1,833	96	37,350
高知(発)	1,163	1,729		1,054	1,303	1,685	1,197	24	8,155
福岡(発)	3,408	1,727	354	26,115	16,779	11,479	13,022	9,696	82,580
佐賀(発)	733			3,969	1,863	2,482	1,194	115	10,356
長崎(発)	3,747	1,331	0	1,652	1,040	649	360	551	9,329
熊本(発)	775	60	0	2,726	1,840	6,006	2,188	656	14,252
大分(発)	1,657	578	264	3,017	4,195	5,014	1,977	231	16,933
宮崎(発)	2,334	1,768	418	722	2,648	6,436	2,109	2,432	18,867
鹿児島(発)	7,513	3		1,159	257	4,730	620	2,492	16,773
沖縄(発)	7			71	3	648	17		747
合計	175,060	50,413	116,703	628,796	602,140	430,235	201,438	101,874	2,306,659

また、着都道府県別のユニットロード物流の品類構成を表－9に示す。北海道全体、神奈川県、東京、愛知県、大阪に集中する長距離ユニットロードが他の地域と比べて多いこと

や神奈川県、愛知県、大阪に集中する長距離ユニットロードの主な品類が金属機械工業品であるが、東京の場合は軽工業品であることが分かる。

表-9 長距離ユニットロード物流の着地別都道府県別の品類構成

	農水産品	林産品	鉱産品	金属機械工業品	化学工業品	軽工業品	雑工業品	特殊品	
着地域(都道府県 北海道4分割)	1	2	3	4	5	6	7	8	合計(トン)
道南(着)	1,342	147	78	1,642	3,610	4,024	1,334	4,571	16,749
道中央(着)	6,847	515	5,035	13,997	20,515	13,457	7,592	2,053	70,010
道東(着)	1,887	1,083	976	4,278	12,094	5,919	2,267	10,229	38,732
道北(着)	4,263	724	856	1,376	3,884	2,457	1,422	838	15,821
青森(着)	3,238	310	859	6,712	6,786	9,479	2,372	1,620	31,377
岩手(着)	1,125	1,197	1,300	7,159	4,388	3,944	2,656	556	22,325
宮城(着)	4,906	1,606	1,512	29,223	16,192	18,599	6,471	3,854	82,364
秋田(着)	1,010	1,079	225	4,052	3,102	2,576	1,367	691	14,102
山形(着)	1,566	1,119	46	4,874	4,178	3,108	1,548	245	16,684
福島(着)	1,086	673	298	8,838	9,451	6,174	1,811	2,615	30,946
茨城(着)	1,932	2,991	411	15,374	16,218	9,168	7,286	1,197	54,577
栃木(着)	1,025	148	9	9,587	9,757	7,121	2,649	228	30,524
群馬(着)	1,299	337	86	7,935	7,398	4,228	2,210	274	23,767
埼玉(着)	6,111	2,080	1,177	28,117	28,886	29,451	15,014	1,126	111,962
千葉(着)	5,359	7,028	4,973	21,765	29,931	16,826	7,176	1,642	94,700
東京(着)	22,503	5,854	10,489	27,789	39,775	39,813	15,700	862	162,787
神奈川(着)	6,366	3,556	24,361	53,190	49,761	17,051	9,400	3,692	167,377
新潟(着)	4,453	908	3,938	24,785	18,472	9,917	4,638	3,114	70,225
富山(着)	1,413	610	71	9,134	12,049	3,347	1,942	1,010	29,577
石川(着)	1,586	389	1,056	7,825	5,427	5,602	2,601	599	25,084
福井(着)	845	462	77	2,675	6,553	2,750	1,337	46	14,744
山梨(着)	161	136	0	1,291	1,306	1,678	491	191	5,254
長野(着)	1,527	290	1,015	5,326	4,492	3,146	2,138	713	18,647
岐阜(着)	1,182	215	528	4,702	7,346	3,981	2,055	2,660	22,669
静岡(着)	2,530	1,161	4,735	25,433	20,879	15,338	7,157	1,707	78,941
愛知(着)	10,152	1,619	12,958	39,890	35,413	25,624	10,499	5,773	141,927
三重(着)	1,609	477	7,762	14,526	10,631	2,184	3,688	449	41,326
滋賀(着)	381	889	5,696	7,886	9,464	2,752	5,210	625	32,902
京都(着)	2,141	722	1,624	9,583	4,066	6,516	2,412	177	27,242
大阪(着)	19,505	3,389	5,086	80,965	41,373	50,174	18,248	2,594	221,335
兵庫(着)	5,761	1,630	12,255	21,285	23,635	14,199	5,905	8,032	92,702
奈良(着)	3,368	663	7	1,875	1,885	1,538	1,009	3	10,347
和歌山(着)	2,362	10	350	1,238	10,880	1,183	661	182	16,867
鳥取(着)	1,296	15	5	1,781	3,316	1,667	730	3,726	12,535
島根(着)	2,869	119	956	4,356	1,873	1,662	1,152	1,117	14,105
岡山(着)	3,034	488	506	12,660	14,394	6,532	3,424	985	42,024
広島(着)	6,076	626	390	21,633	13,400	15,247	6,061	3,462	66,895
山口(着)	2,202	228	513	10,993	8,371	3,696	2,193	2,976	31,172
徳島(着)	312	45	167	983	5,905	1,256	918	352	9,938
香川(着)	2,028	97	1,029	3,263	4,620	2,444	1,155	221	14,858
愛媛(着)	5,554	110	397	6,509	4,071	5,708	2,863	7,115	32,326
高知(着)	492	14	48	979	1,140	1,346	1,060	201	5,280
福岡(着)	6,116	313	2,156	29,591	33,824	24,506	10,357	2,484	109,348
佐賀(着)	2,179	10	358	5,103	4,043	4,463	1,729	792	18,677
長崎(着)	1,567	282	54	3,612	2,342	1,358	815	1,111	11,141
熊本(着)	2,193	239	17	4,003	4,108	3,373	3,392	533	17,856
大分(着)	1,088	1,174	33	2,645	4,245	2,218	1,348	1,358	14,110
宮崎(着)	3,549	1,181	47	5,809	6,541	3,721	1,966	3,945	26,757
鹿児島(着)	2,078	1,216	178	8,536	7,463	5,899	3,020	6,519	34,911
沖縄(着)	1,584	241	0	2,012	2,685	1,812	988	809	10,130
合計	175,060	50,413	116,703	628,796	602,140	430,235	201,438	101,874	2,306,659

3.8 長距離フェリー(ユニットロード)物流の航路別流動量

長距離ユニットロードフェリー物流の輸送に利用されているフェリー航路別の流動量を表-10に示す。トンベースにして苫小牧港―東京港の航路、大阪港―北九州港の航路、神

戸港―高松港の航路、宇野港―高松港の航路、小樽港―舞鶴港の航路の順で流動量が多いことが分かる。

表 - 10 長距離フェリー（ユニットロード）物流の航路別流動量

往 路			復 路			往 路・復 路 の トン 数 の 合 計	順 位
発 港	着 港	トン 数	発 港	着 港	トン 数		
発 港 未 記 入	着 港 未 記 入	47,945	発 港	着		47,945	
苫小牧港	東京港	18,362	東京港	苫小牧港	4,444	22,806	1
大阪港	北九州港	9,694	北九州港	大阪港	3,085	12,779	2
神戸港	高松港	2,779	高松港	神戸港	9,048	11,827	3
宇野港	高松港	5,947	高松港	宇野港	4,472	10,419	4
小樽港	舞鶴港	6,950	舞鶴港	小樽港	2,793	9,744	5
堺泉北港	北九州港	3,733	北九州港	堺泉北港	5,490	9,224	6
苫小牧港	大洗港	3,796	大洗港	苫小牧港	4,727	8,522	7
函館港	青森港	2,626	青森港	函館港	3,934	6,560	8
室蘭港	八戸港	298	八戸港	室蘭港	6,214	6,513	9
苫小牧港	八戸港	1,396	八戸港	苫小牧港	4,658	6,054	10
神戸港	三島川之江港	3,408	三島川之江港	神戸港	2,357	5,765	11
神戸港	松山港	340	松山港	神戸港	5,234	5,574	12
尼崎・西宮・ 芦屋港	津名港	1,577	津名港	尼崎・西宮・ 宮・芦屋港	3,834	5,411	13
小樽港	敦賀港	1,925	敦賀港	小樽港	3,363	5,288	14
東京港	北九州港	2,571	北九州港	東京港	1,819	4,390	15
横須賀港	苅田港	3,707	苅田港	横須賀港	488	4,195	16
室蘭港	大洗港	2,471	大洗港	室蘭港	1,712	4,183	17
神戸港	今治港	3,039	今治港	神戸港	1,064	4,103	18
神戸港	大分港	1,684	大分港	神戸港	2,365	4,049	19
苫小牧港	塩釜港・仙台港	2,204	塩釜港・仙台港	苫小牧港	1,781	3,985	20
神戸港	大磯港	795	大磯港	神戸港	2,993	3,788	21
八幡浜港	別府港	1,128	別府港	八幡浜港	2,628	3,755	22
釧路港	東京港	2,566	東京港	釧路港	910	3,477	23
神戸港	北九州港	1,711	北九州港	神戸港	1,625	3,337	24
苫小牧港	名古屋港	893	名古屋港	苫小牧港	2,418	3,311	25
大阪港	東予港	1,010	東予港	大阪港	2,213	3,223	26
小樽港	新潟港	1,120	新潟港	小樽港	1,878	2,998	27
大阪港	志布志港	1,023	志布志港	大阪港	1,733	2,756	28
大阪港	別府港	728	別府港	大阪港	1,945	2,672	29
明石港	岩屋港	477	岩屋港	明石港	2,016	2,494	30
大阪港	新居浜港	526	新居浜港	大阪港	1,957	2,483	31
塩釜港・仙 台港	名古屋港	575	名古屋港	塩釜港・仙 台港	1,815	2,390	32
大阪港	松山港	680	松山港	大阪港	1,364	2,044	33
大阪港	小松島港	444	小松島港	大阪港	1,369	1,813	34
神戸港	新居浜港	19	新居浜港	神戸港	1,693	1,711	35
松山港	北九州港	1,067	北九州港	松山港	432	1,499	36
大阪港	宮崎港	980	宮崎港	大阪港	516	1,496	37
鹿児島港	那覇港	1,201	那覇港	鹿児島港	291	1,492	38
岡山港	土庄港	32	土庄港	岡山港	1,410	1,442	39
大阪港	細島港	214	細島港	大阪港	1,068	1,283	40
柳井港	松山港	430	松山港	柳井港	727	1,158	41
八幡浜港	臼杵港	758	臼杵港	八幡浜港	357	1,115	42
大分港	伯方港	1,005	-	-	-	1,005	43
深日港	津名港	489	津名港	深日港	490	979	44
大阪港	那覇港	656	那覇港	大阪港	288	943	45
室蘭港	青森港	722	青森港	室蘭港	215	938	46
川崎港	宮崎港	292	宮崎港	川崎港	630	923	47
東京港	志布志港	465	志布志港	東京港	223	688	48
室蘭港	直江津港	171	直江津港	室蘭港	505	676	49
松山港	大分港	150	大分港	松山港	505	655	50
福山港	多度津港	10	多度津港	福山港	620	630	51
直江津港	小木港	17	小木港	直江津港	587	604	52
川崎港	細島港	278	細島港	川崎港	292	569	53
岩内港	直江津港	531	直江津港	岩内港	17	547	54
東京港	小松島港	135	小松島港	東京港	395	530	55
大阪港	高知港	346	高知港	大阪港	163	509	56
宿毛港	佐伯港	417	佐伯港	宿毛港	39	455	57
東京港	那覇港	432	那覇港	東京港	0	433	58
御前崎港	苅田港	323	苅田港	御前崎港	74	397	59
姫路港	福田港	25	福田港	姫路港	346	371	60
その他	その他	2,247	その他	その他	1,118	3,365	
全往路の合計		153,541	全復路の合計		112,746	266,288	

4. ネットワーク解析手法による航路需要予測

4.1 物流需要量の予測方法

4.1.1 物流経路ネットワーク

国内ユニットロード物流を全国規模で記述するために、できるだけ精緻な物流経路のネットワークを作成する。そこで、道路（高速道路・一般道など）・航路・鉄道を、ノードとパスから構成される経路ネットワークに組み込んだ。全国貨物の発着地（OD地点）を1都道府県に1点ずつ設定した。ただし、北海道のみ4分割し、4地点をOD地点とした。このOD地点を含め道路の結節点や港湾など346点をノードとし、実際の交通路に従ってそれらを結び、パスとした。鉄道のパスはJR貨物を想定し、OD地点間を直接結んだ。航路のパスは長距離フェリー・RORO航路としたが、このほかに中・短距離でも輸送量の多い航路もパスとして採用した。パスの属性は距離・種類・料金・所要時間・両端ノード番号である。パス数は約

500である。図-4に道路と海路のネットワークを示す。図-5にJR貨物鉄道のネットワークを示す。このネットワークは列車のダイヤで特徴づけられるので、ダイヤから作成されたコンテナ取扱駅間のOD表として、運賃、所要時間の表を作成した。

表-11に設定した航路の一覧を示す。航空貨物については数量が少なく解析の精度以下なので省略した。

なお、ネットワークはそのノード・パスを必要に応じて容易に追加したり削除したりすることができる。このネットワークにおける経路に物流量が分配されることを想定して作成されている。

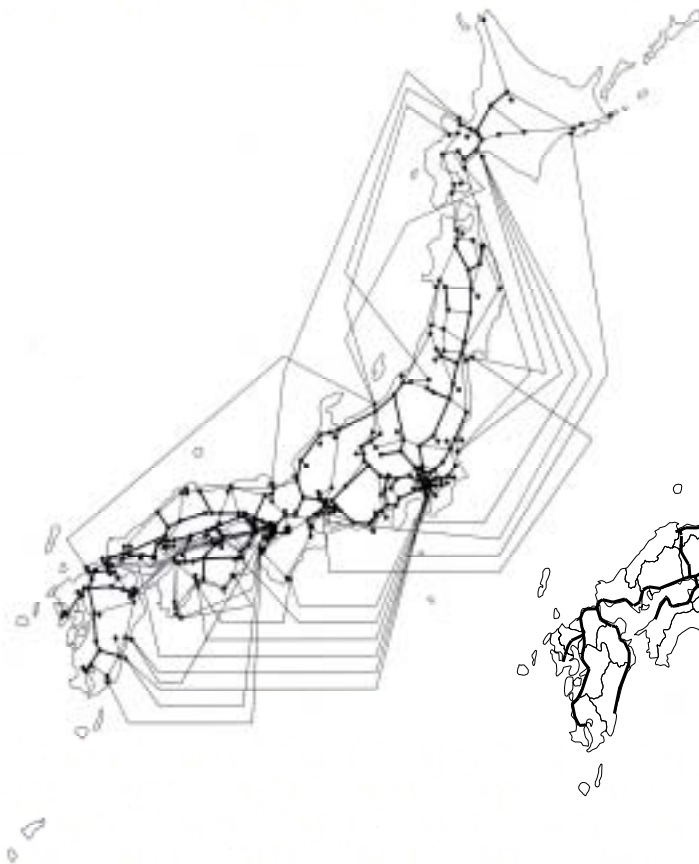


図 - 4 道路と海路のネットワーク



図 - 5 JR 鉄道貨物のネットワーク

表 - 1 1 設定した航路

path	spec	航路	船社	km	h r	knt
451	300	青森-函館	東日本フェリーなど	113	4	35
452	301	苫小牧-仙台	東日本フェリー、太平洋フェリー	565	14.5	20
453	302	苫小牧-大洗	ブルーハイウェイライン	758	20	23
454	303	苫小牧-東京	ブルーハイウェイライン	1032	29	20
455	304	舞鶴(敦賀)-小樽	新日本海フェリー	704	29	22
456	305	川崎-宮崎	マリンエクスプレス	887	21	26
457	306	新門司-大阪南港	名門大洋フェリー	457	12	23
458	307	神戸-高松	関西汽船など	130	4	20
459	308	高松-宇野	四国フェリーなど	18	1	14
460	309	明石-岩屋	明石海峡フェリー	6	0.3	15
461	310	大分-松山	ダイヤモンドフェリー、関西汽船	126	3.5	23
462	311	松山-神戸	ダイヤモンドフェリー、関西汽船	284	8.5	23
463	312	大分-神戸	ダイヤモンドフェリー、関西汽船	410	12	23
464	313	新潟-小樽	新日本海フェリー	704	18	23
465	314	細島-神戸	マリンエクスプレス	470	14.5	21
466	315	宮崎-大阪	マリンエクスプレス、 ブルーハイウェイライン	739	14.5	25
467	316	直江津-博多	九越フェリー	901	20.5	25
468	317	東京-那智勝浦	ブルーハイウェイライン	410	13	23
469	318	那智勝浦-高知	ブルーハイウェイライン	214	7.5	23
470	319	東京-高知	ブルーハイウェイライン	726	21	23
471	320	名古屋-仙台	太平洋フェリー	770	21	22
472	321	名古屋-苫小牧	太平洋フェリー	1330	40	22
473	322	室蘭-大洗	東日本フェリー	728	19	24
474	323	岩内-直江津	東日本フェリー	721	18	25
475	324	直江津-室蘭	東日本フェリー	678	17	25
476	325	新門司-徳島	オーシャン東九フェリー	563	14.5	22
477	326	徳島-東京	オーシャン東九フェリー	600	18	22
478	327	新門司-東京	オーシャン東九フェリー	1163	34	22
479	328	足摺-甲浦	室戸汽船	189	5	21
480	329	甲浦-大阪	室戸汽船	177	5	21
481	330	足摺-大阪	室戸汽船	366	11	21
482	331	細島-川崎	マリンエクスプレス	887	21	26
483	332	新門司-堺泉北	阪急フェリー	458	12	23
484	333	釧路-東京	近海郵船	1111	31	23
485	334	室蘭-八戸	東日本フェリー	226	8	21
486	335	苫小牧-八戸	東日本フェリー	242	9	18
487	336	新門司-神戸	阪急フェリー	451.0	12	23

4.1.2 犠牲量モデル

犠牲量モデルは OD 間の輸送活動に際して払う犠牲を最小にする経路が選択されるであろうという経路選択モデルである。その基本形は、犠牲量として時間とコストが考えられている。その経路を選択すると所要時間 T 時間、コスト C 円かかる」とすると、

犠牲量 $K = C + W \cdot T$ である。

ここで、W は時間価値 (円/時) である。時間の価値が高い輸送ではコスト C が大きくても、所要時間 T が小さい経路が選ばれるであろう。その逆もある。そこで、この時間価値が社会的にどのような分布をしているかで、輸送の経路が変わってくる。

図 - 6 に複数経路の所要コストと所要時間がわかり、輸送分担率が与えられると時間価値の分布がわかり、逆に経路の所要コストと所要時間および時間価値分布関数がわかると、

経路の分担率が求まることを示している。

この犠牲量モデルを一般化すると、犠牲を払う事項を何でも追加定式化でき、その考慮の程度を変化させた方がよいときには係数を付ければよい。ここでは、つぎのような犠牲量関数を考える。

『 犠牲量関数 』

$$G = C + w \cdot T + a \cdot L + f \cdot C_f$$

C : 総コスト

w : 時間価値

T : 所要時間

a : 端末距離係数

L : フェリーの場合の発着港までの端末距離

f : 航路修正係数 (割引率)

C_f : 航路運賃

コストは公表されたタリフ(運賃表)の値を用いる。実勢料金と異なるので、割引率が特に高いところでは計算上は輸送量が少な目にでることになる。フェリーなど航路についてこれを修正係数とする。端末距離 L と端末距離定数 a は、航路選択の際の港から離れたODの場合の選択しにくさを補正する項である。

現実に国内ユニットロード物流を担うのは、運送業者・荷主自営、船社、JR貨物などの運輸事業者であるが、荷主から運送委託を受ける運送業者の営業トラックが最も多い。この場合、この営業トラックが航路や鉄道を選択する場合が多く、これらのトラックの運行管理者が輸送経路選択の決定権をもっていることになる。運行管理者は貨物の運送料金(収入)の多寡を考慮する以前に、コストや所要時間などの運送に伴う負担を最小にする選択を第一に行うと考えられる。

この定義によれば、ある1つの経路全体の犠牲量はそれを構成する各バスごとの犠牲量の和となる。この犠牲量をバスの重みと考え、重み付き最短経路を後述のダイクストラ法(Dijkstra method)で計算すれば、その時間価値をもつ貨物はこの経路を選択する。

次に、計算に用いた値は次のとおりである。

1) コスト計算(平成7年11月基準)

① 道路:

車種: 特大、12m

高速道路料金: 67.75 円/km + ターミナルチャージ300 円

有料道路・高速道路特定区間: 定めるところによる

燃料費+修繕費: 23 円/km

人件費: 3,300 円/(時間・人)

8時間以上は2人乗務(無人航送フェリーを除く)

固定費: 350 円/時間

② フェリー:

各航路別フェリー料金表: 定めるところによる

無人航送フェリーの場合は端末道路では運転手の帰り便を考慮して燃料費+修繕費、人件費、固定費を加算する

③ 鉄道:

区間運賃表: 定めるところによる

通運料金: 発送料+到着料(10 トン、10 キロメートル)

: 定めるところによる(2万円とする)

5トンコンテナ1個をトラック1台相当とする

2) 所要時間計算

① 道路: 道路時刻表に記載のない場合は次の通り

高速道路・有料道路: 80 km/h r

一般道路: 40 km/h r

② フェリー:

ダイヤ所要時間

フェリーへのROLL ONの待ち時間0 時間

荷役時間: 各ポート1 時間

③ 鉄道:

時刻表ダイヤの遅い便(表作成)

通運: 一般道路相当+積み替え時間(各発着駅1 時間)

時間価値 w (円/hr)によって、ある荷物経路の犠牲量も変化するから、終点荷物の最小犠牲量経路が複数通り存在しうる。最小犠牲量の経路がその時間価値範囲での貨物を受け持つと考え、時間価値の社会的分布量を知れば、経路の貨物配分率を決めることができる。

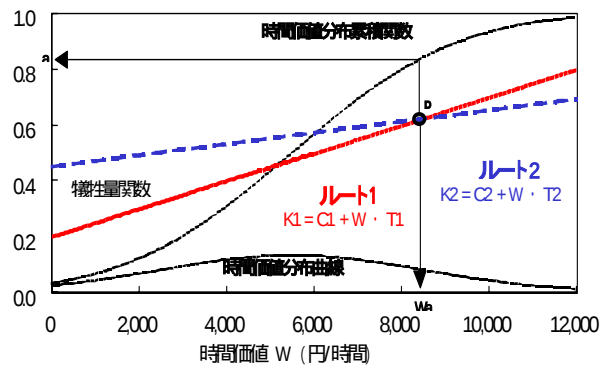


図-6 犠牲量モデル

4.1.3 Dijkstra法

最短経路問題はネットワークの研究によく現れる問題である。ネットワークの経路のパス定数(必ずしも距離でなくてよい。今の場合犠牲量である)の和が最小になる経路を見つける問題である。Dijkstra法はその古典的な解法である。これはラベル貼り法とも言われるが、ネットワークのノードを3つの群に分け、ラベルを貼る。非選択対象群ラベル(N)、選択対象群ラベル(T)および永久決定群ラベル(P)に分けて出発点に近い方から順に最短ノード点を決めていく過程で、ノードを $N \rightarrow T \rightarrow P$ と変化させ管理する方法である。ここで2つの事項を押えておこう。

1つは、二点間の最短距離は必ず1つ決まるということである。(このことは同一値2経路が存在しても本質的には変わらない。)そして、下図でSからBまでの最短経路(SB)は決まったとき、Sを發ってBを通りEに至る最短距離経路は必ずこの経路(SB)を含むということである。

$$\min(a_i + b_j) = \min(a_i) + \min(b_j)$$

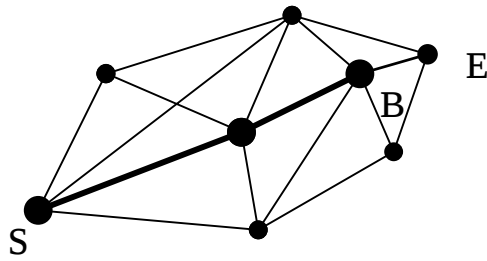


図 - 7 ネットワーク例

2つ目は、出発点Sから繋がる全ノード $\{S1\}$ 以外にはSからの最短距離のノードはないということであり、その最短距離ノードをA、Aを除いた $\{S1\}$ を $\{SS1\}$ とすると、その次に最短の距離のノードは、Aに繋がる全ノード $\{S2\}$ と $\{SS1\}$ の和のノード群の中にあるということである。 $\{S2\}$ や $\{SS1\}$ のノード群を選択対象群ラベル (T) にし、最短経路を確定したAは永久決定群ラベル (P) を貼られる。

そこで、ネットワークの始点から近い順にノードをとりあげ、始点からそのノードまでの最短経路を決め、順次遠方のノードまで対象にしていけば、終点ノードまでもれなく経路を検討できる。

これは、図-8のようにネットワークを糸の網に見立てて次のように理解することと同じである。ノードを糸の結び目

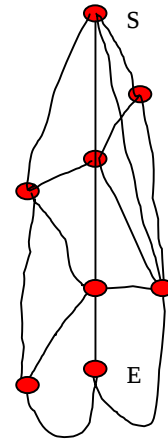


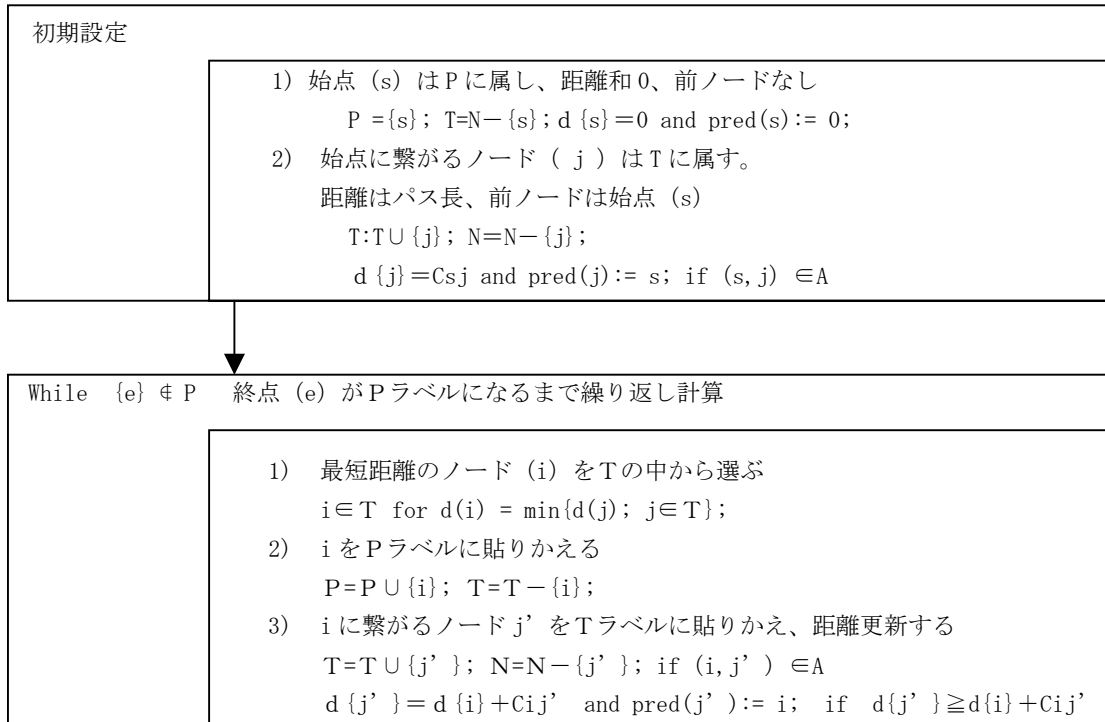
図 - 8 ネットワーク綱目

と見て、始点ノードと終点ノードをつまみ、始点ノードを上、終点ノードを下に垂直に立てると、網は最短経路を垂直線にしてその周りに束ねられる。始点から近いノードを（上から順に）検討していき、終点のノードの最短経路を決めれば、もれなく、無駄なく解を求められるのである。

したがって、Dijkstra 法の作業の流れは、下図のとおりである。

この方法で終点 $\{e\}$ の前のノードは $\text{pred}(e)$ で与えられ、順次逆のぼって始点 $\{s\}$ まで行けば最短経路が求められる。

Dijkstra 法はノード数が多いネットワークでも有効である。



4.1.4 時間価値分布関数

平成7年度全国貨物純流動調査データを用いて、貨物の経路選択データから時間価値分布関数を求める。これは時間価値の社会的広がりを示すので、これを用いればネットワークの条件が変わったときでも貨物の経路配分が求められる。その際、時間価値分布関数を求めるときと時間価値分布関数を利用する時で同じ計算方式であることが必要である。

また、計算精度を上げるため品類ごとに時間価値を求めた。品類ごとにODごとに経路の貨物配分率を求め、その経路の入れ替わるときの時間価値から分布関数の累積関数を求める。

時間価値の累積分布関数は対数正規分布関数が適するとの報告がある。

式で書くと、次式のようにになる。積分は0から ω^* までの積分を意味する。

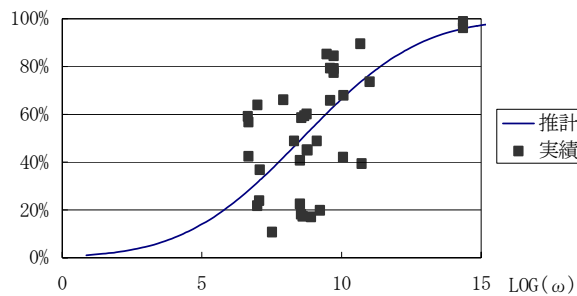
品類ごとの分布形は図-9の通りである。なお、林産品・鉱産品・特殊品はデータ数が十分になく長距離ユニットロード輸送量も少ないので省略した。

得られた関数とデータの一致度および推計結果を表-12に示す。

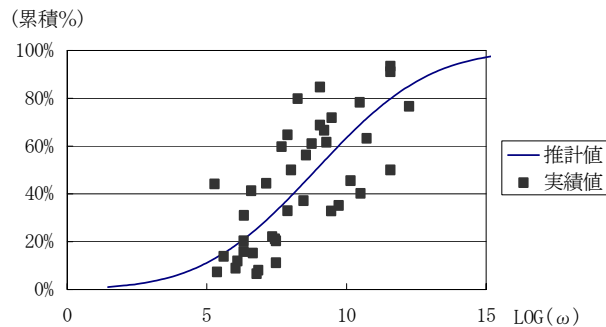
$$(式) P(\omega^*) = \int_0^{\omega^*} p(\omega) d\omega = \int \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma\omega} \exp\left(-\frac{(\log \omega - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) d\omega$$

μ : 限界代替率の対数の平均値 σ : 限界代替率の対数の標準偏差

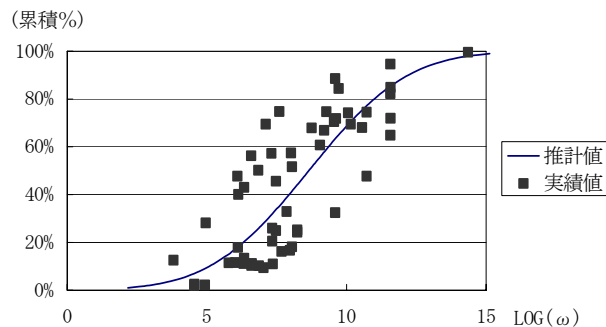
[農水産品]



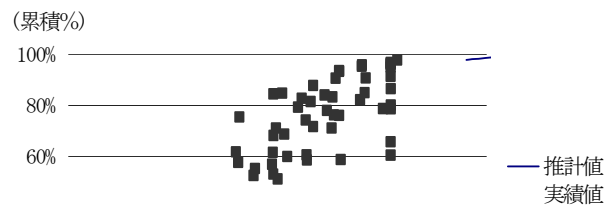
[金属機械工業品]



[化学工業品]



[軽工業品]



[雑工業品]

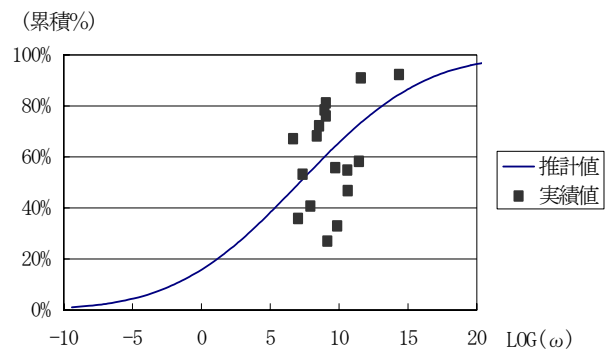


図-9 時間価値分布関数累積曲線の実績値と推計値

表 - 1 2 品類別時間価値分布関数推計結果

	平均	分散	相関係数	サンプル数	平均時間価値 (円/10トン・時)
	μ	σ	r	n	$\exp(\mu)$
農 水 産 品	8.593	3.325	0.674	35	5,393
金 属 機 械 工 業 品	8.901	3.202	0.736	40	7,336
化 学 工 業 品	8.648	2.784	0.814	55	5,700
軽 工 業 品	7.376	3.364	0.704	78	1,597
雑 工 業 品	7.135	7.111	0.455	17	1,255

4.1.5 プログラム概要

精度を上げるため、品目毎、OD 毎、上下毎に計算する。時間価値を 0～12,500 円/時まで 50 ステップ毎に犠牲量最小の経路を求め、選ばれた経路の時間価値範囲での時間価値分布

関数の積分値が OD 間の物流がその経路に回る分担率となる。その分担量を経路に貼り付けて全ケースを計算し積分すると、経路を通る物流量が求まる。

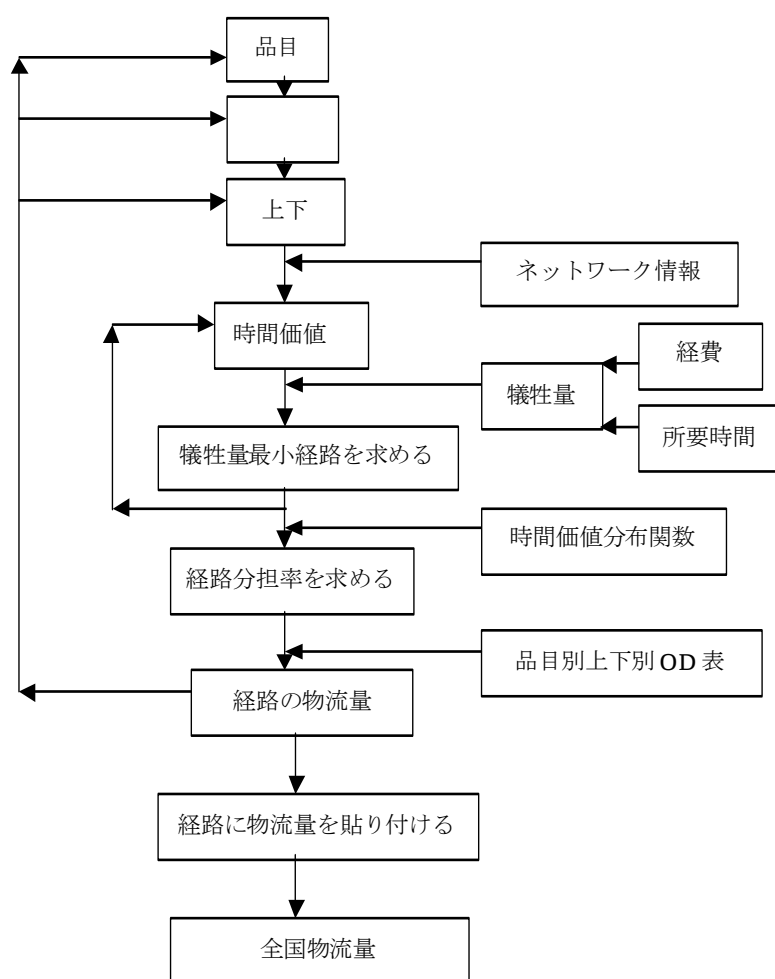


図 - 1 0 需要予測プログラム流れ図

4.2 シミュレーション結果

4.2.1 国内長距離フェリー航路の検証

（１） 航路運賃係数 f を考慮しない場合

フェリー・RORO 航路輸送量について単純計算結果と実績値を比較すると、実績値と合っている航路はわずかである。航路の貨物が0というケースが多い。（図－11）

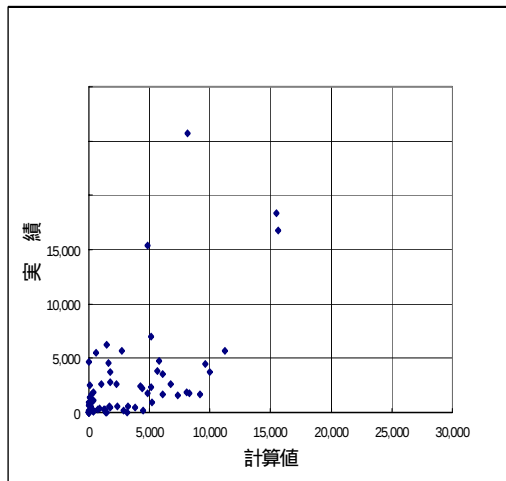
（２） 航路運賃係数 f の調整とそれによる計算結果

そこで、時間価値分布関数はそのままにして、犠牲量関数に割引率 f を入れて修正を行った。実勢運賃は $C + f \cdot C_f$ で表されるからである。航路タリフ（運賃表）が実勢として割引されているが、平均的な割引の割引よりも多い場合、小さい場合があるだろうがその平均値を用いている。ここで f は不可知の量であるので、輸送量の計算値と実績

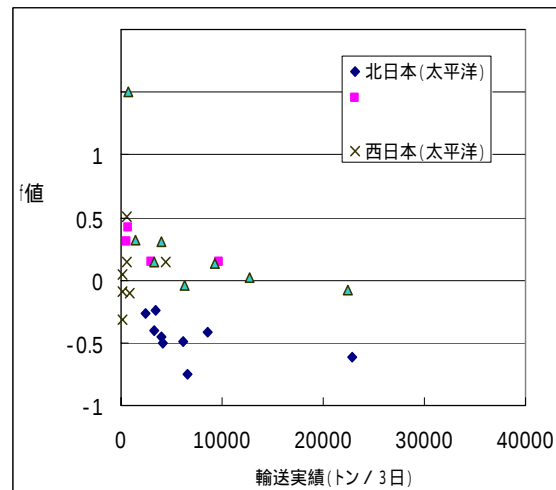
値が一致するよう航路毎に試行錯誤を行う。各航路の上下別に計算値と実績値を比較すると、図－12のようになる。

（３） 航路運賃係数 f の地域特性

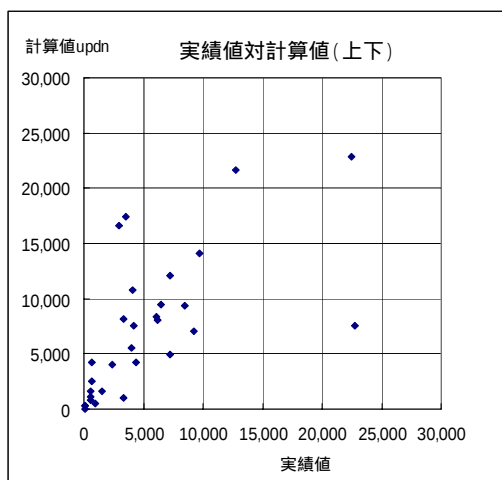
得られた f 値を輸送量を横軸にしてプロットすると、図－13のように地域的傾向と思われる特徴が出た。図－14のように北日本（太平洋）、北日本（日本海）、瀬戸内海、西日本（太平洋）の4地域に分けられる。 f 値は運賃の割引率をベースに導入されたが、計算と実態の乖離を埋める係数である。しかし、運賃の割引的な要素が多いと考えると、地域ごとの運賃割引の特性かなとも推測される。



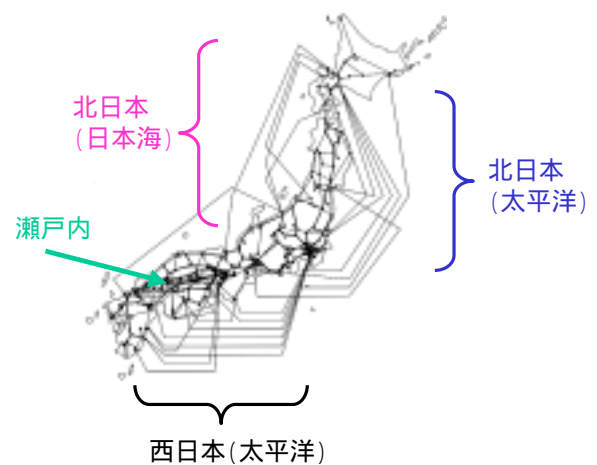
図－11 航路輸送量計算結果と純流動調査分析結果



図－13 f 値から分類した4つの航路群



図－12 航路輸送量計算結果と純流動調査分析結果の比較



図－14 f 値から分類した4つの航路群

(4) 競争航路

前項のf値調整作業を行っている際に、興味深い現象が見いだされたので特記する。表-13の表中、☆1、※2などと記したフェリー航路の組は、それぞれの組の中で近接した発港・着港を持っていて、航路全体が互いに競合している。このような競争航路の組については、計算機上でも、f値のわずかな変更で、大量の荷物が一つの航路から他の航路へ移る、という現象が見られた。この現象は、発港・着港同士が接近している航路であるほど顕著に見られた。

これは犠牲量モデルが少しでも犠牲が小さい方を選ぶという特性が極端にでたために起きたことであるが、現実には少しの差異ならば同程度の配分になり、ある程度有意な差が出ると計算通りに有利な方が選ばれるであろう。このような競合関係は経営上重要な情報である。

4.2.2 既存航路の需要予測

本プログラムでは、既存フェリー航路の設定値を変化させて平成7年度時点(物流センサスによる時間価値分布関数導出)での状況下での需要量の変化予測を行うことができる。

東京ー苫小牧航路についての需要予測計算結果を示す。

航路条件は運賃13万円、16万1910円、19万円の3ケース、所要時間は21時間、29時間、33時間の3ケース変え、合計9ケース計算した。運賃・所要時間とも現状を真中にとった。運賃割引率(f値)は全ケースとも不変とする。図-15にその結果を示す。

図-16には運航条件現状と(後述する船社会計)最良条件のとき(所要時間は21時間、運賃は19万円)の需要予測結果を示す。東京ー苫小牧航路に貨物が集ったとき、室蘭ー大洗航路が大きく影響を受けるが、他の航路にはあまり影響は現れない。最良ケースは現状より運賃が高くても高速である場合である。これは船隊が2隻と少なくなったことによるものである。

表-13 既存航路の上下合計輸送量実績値と計算値の比較
および修正係数(f値)と航路の競合関係

(単位:トン/3日)					
航路番号 path	航路	(上下合計) 実績値updr	(上下合計) 計算値updr	f値	競合 関係
451	函館・青森	7,208	4,916	-0.27	4
452	苫小牧・仙台	3,985	5,577	-0.45	5
453	苫小牧・大洗	8,522	9,389	-0.5	1
454	苫小牧・東京	22,806	7,544	-0.6	2
455	舞鶴・小樽	9,744	14,099	-0.35	
456	川崎・宮崎	923	489	-0.5	
457	新門司・大阪南港	12,779	21,682	-0.5	● 1
458	神戸・高松	22,480	22,854	-0.5	
459	高松・宇野	41,168	15,196	-0.7	
460	明石・岩屋	7,214	12,127	0.4	
461	大分・松山	655	2,519	0.6	
462	松山・神戸	6,226	8,096	-0.5	
463	大分・神戸	4,049	10,737	-0.4	
464	新潟・小樽	2,998	16,603	-0.3	
466	宮崎・大阪	1,496	1,590	-0.2	
470	東京・高知	140	0	-0.3	
471	名古屋・仙台	2,390	4,074	-0.7	
472	名古屋・苫小牧	3,311	8,199	-0.7	
473	室蘭・大洗	4,183	7,547	-0.55	3
474	岩内・直江津	547	1,133	-0.15	1
475	直江津・室蘭	676	4,193	-0.1	2
476	新門司・徳島	84	338	-0.6	
477	徳島・東京	530	1,656	-0.4	
478	新門司・東京	4,390	4,252	-0.55	
480	甲浦・大阪	126	293	-0.5	
482	細島・川崎	569	828	-0.4	
483	新門司・堺泉北	9,224	7,015	-0.45	● 2
484	釧路・東京	3,477	17,410	-0.7	
485	室蘭・八戸	6,513	9,472	-0.39	6
486	苫小牧・八戸	6,088	8,334	-0.29	7
487	新門司・神戸	3,337	967	-0.45	● 3

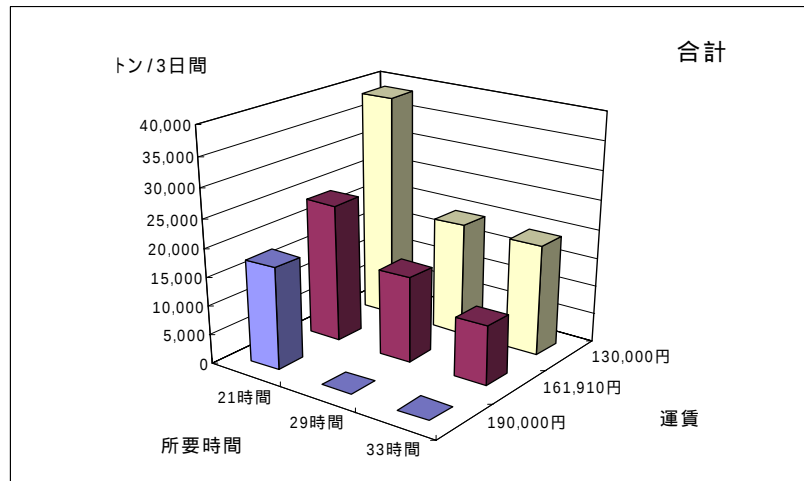


図 - 15 東京 - 苫小牧航路の需要予測

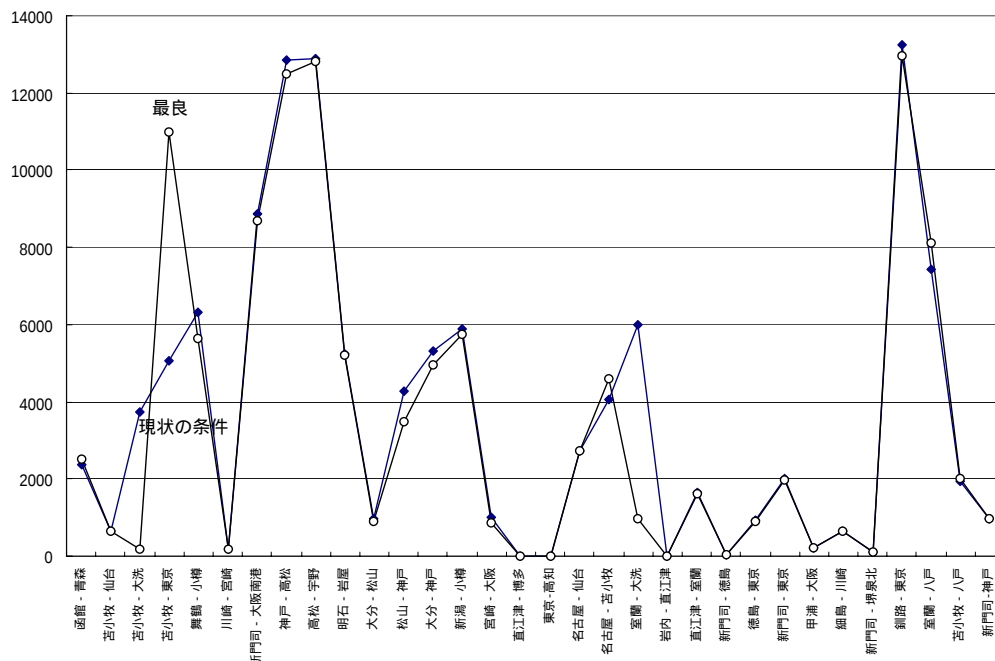


図 - 16 東京・苫小牧航路の需要予測結果（運航条件現状と最良条件のときの需要比較）

4.2.3 新規航路の需要予測

前節と同様に、今度は、ネットワークに新規航路のパスを追加して、需要量予測を行った。設定した新規航路は、直江津－博多航路と東京－大分航路の2種類である。

f 値は新規航路の地域特性を用いる。

4.2.3(1) 直江津－博多航路

この航路は、平成7年当時は開業していなかったが、平成8年4月に実際に開業した航路である。そのため、本予測結

果と現実の需要量を実際に比較することができる。フェリー航路の設定値は全て実際値に準じた（運賃12m車106210円、所要時間20.5時間）。f 値は図－17のように輸送量の大きさ（繰り返し計算をする）からおおよその値を仮定する。計算結果と実際値との比較および、他のフェリー航路への影響を示したグラフを図－18に示す。この航路の平成8年～11年の平均輸送実績は上下合計約2400トン／3日であり、需要予測結果とよく一致している。

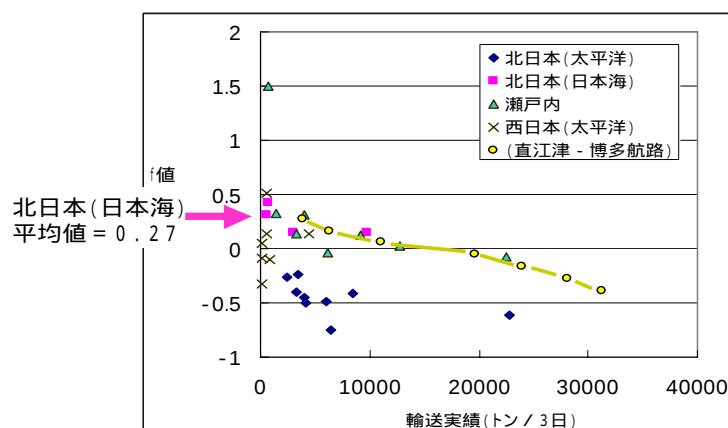
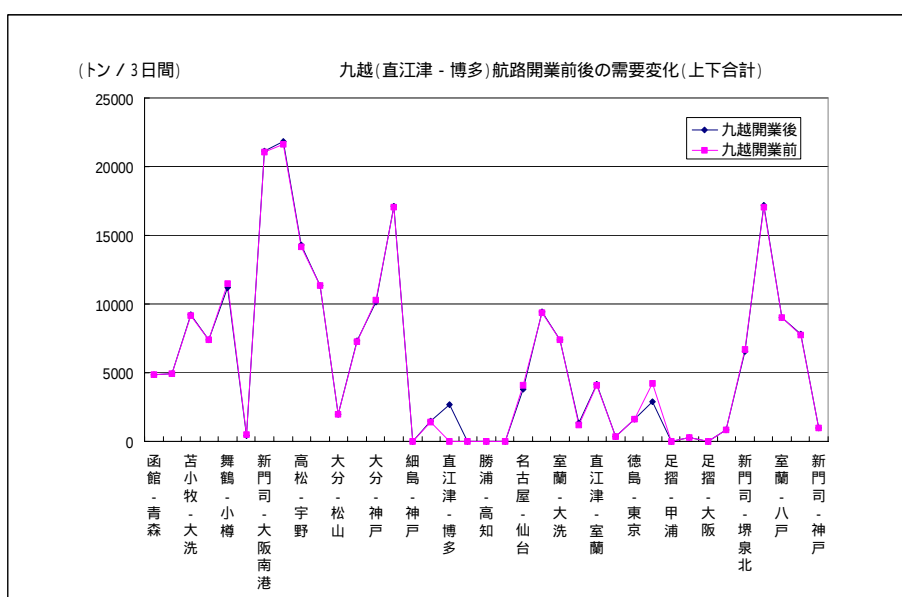
図 - 17 新規航路の*f*値による需要予測の変動

図 - 18 直江津 - 博多航路開業前と開業後の計算値における需要変化

4.2.3 (2) 東京 - 大分航路

この航路は仮想的に設定した航路である。運賃と所要時間の設定は以下の通りとした。

(運賃) 10 万円、13 万円、16 万円

(所要時間) 20 時間、24.9 時間、30 時間

計算結果を図-19に、他のフェリー航路への影響を示したグラフを図-20に示す。

この航路の新規需要量が最大になるのは、運賃が最低で所要時間が最小の設定となり、それ以外では運賃が安い方が需要が多くなることが分かる。また、他航路への影響では、この航路と競合する新門司-東京航路と細島-川崎航路の需要がほぼ全量失われていることが分かる。また、東京-大分航路に集まった新規需要量が、他航路全ての需要量減の合計よりも大きいので、それまで鉄道・道路の陸上経路を通過していた需要が航路に移った「モーダルシフト」を再現しているものと考えられる。

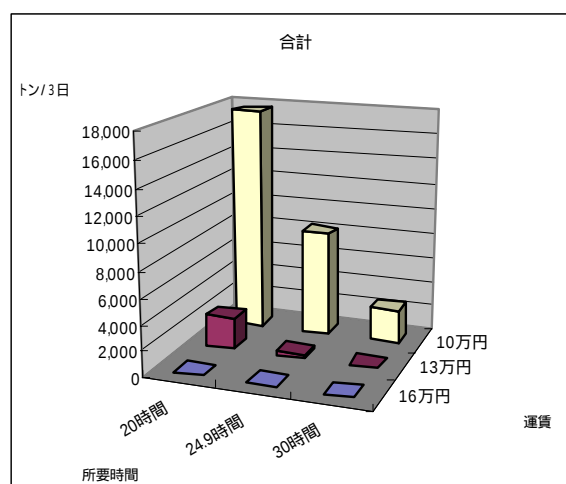
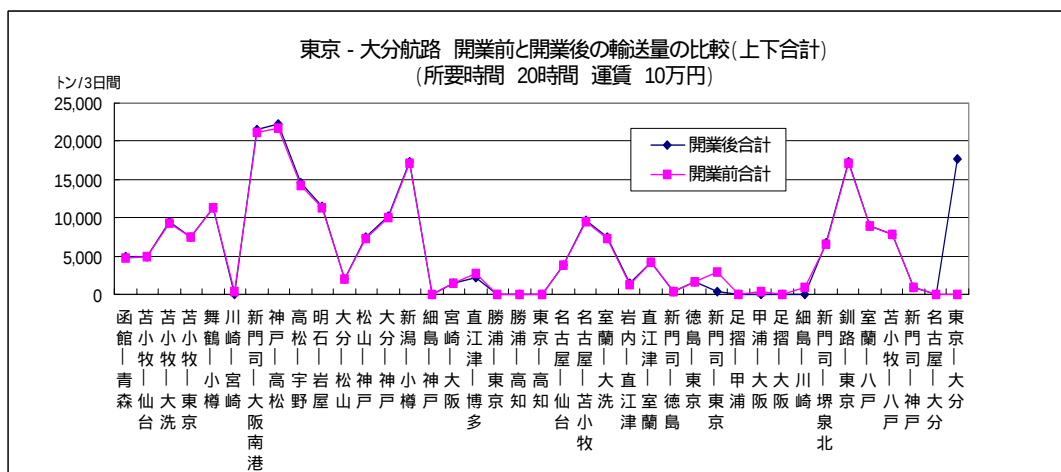


図 - 19 東京 - 大分航路の需要予測



(ただし、 N_v が小数の時は整数に切り上げる)
ここで、 $(24/N_s)$ は、発時間間隔を表す。

(6) 船速

港内制限速度を考慮して常用速度を求める。

5.2 船舶主要目の決定

前小節で計算された1隻あたりの積載容量 Ca から、投入船舶の主要目を以下のように決定する。

(1) 積載台数

積載容量 $Ca[t]$ から積み込める貨物自動車数を以下の式によって求める。

15t 積トレーラー台数 N_r および5t 積トラック台数 N_c と仮定し、積載貨物自動車中のトレーラー台数の割合 R_t を設定する。

$$Ca = 15N_r + 5N_c, \quad R_t = N_r / (N_r + N_c)$$

たとえば、 $Ca = 1000[t]$ 、 $R_t = 0.5$ のときは、トレーラー50[台]、トラック50[台]、となり、 $Ca = 1000[t]$ 、 $R_t = 1$ (すべてトレーラー) のときは、トレーラー67[台]、トラック0[台]、となる。なお、本プログラムのデフォルトは、 $R_t = 1$ とした。

(2) 所要レーン長、車両甲板面積、垂線間長、船幅

積載貨物自動車の車長から、投入船舶の必要レーン長 $R_r[m]$ を求め、これから車両甲板面積を決定する。車両甲板面積と、標準の L/B (船長船幅比) から垂線間長 $L_{bp}[m]$ と船幅 $B[m]$ を求める。垂線間長から全長も求めるが、今回の計算では、全長250m を越える船型は不適当とみなした。また、船幅については標準 L/B に従うと、車両甲板幅が必ずしもレーン幅の整数倍とならないので、レーン数の整数倍の車両甲板幅を持つもののうち、ここで求めた B に最も近いものと、1レーン多いもの、1レーン少ないものの、3種類の船幅について計算をする。

(3) 概略載貨重量、概略排水量、概略馬力

チャートから積載容量 Ca にトレーラー、トラックの自重も含めた貨物重量 W_c を求め、上記の L_{bp} 、 B とあわせて、概略載貨重量 $D_{wo}[t]$ と概略排水量 $D_{po}[t]$ 、概略馬力 $P_{so}[kW]$ を推定する。

(4) 深さ

チャートから深さ (全通船楼甲板深さ $D_1[m]$ 、隔壁甲板深さ $D_2[m]$) を求める。

(5) 軽荷重量、載貨重量、排水量

上項の D_{wo} 、 P_{so} などは概略値であるので、船殻重量、船装重量、機装電装重量、主機重量を求め、改めて L_{bp} 、 B および D_1 、 D_2 などから、さらに軽荷重量、載貨重量および排水量を求める。

(6) 方形係数 C_b 、喫水 d

排水量 D_p 、垂線間長 L_{bp} 、船幅 B 、最大制限喫水などから求める。

(7) 復元性能計算

船幅 B 、全通船楼甲板深さ D_1 、 B_d から復元性能を調べる。

(8) 主機馬力、燃費

復元性を満たすものに対し全抵抗、有効馬力を求め、主機出力、燃費を計算する。

(9) 総トン数

L_{bp} 、 B 、 D_1 から、総トン数[トン]を求める。算出式は国際総トン数の求め方によった。

船隊決定部で設定した1日あたり便数1通りにつき、カットオフ率9通り×船幅3通り=27通りの船型が計算される。したがって、1組の運賃と所要時間の条件に対し、便数9通りなので9通り×27通り=243通りの船型が計算される。

5.3 採算計算

本手法では、予測需要量をもとに、前節で計算した各々の船型を投入した場合の、1年間の採算を計算した。検討航路の輸送貨物量は、カットオフ率が100%以上の場合は予測需要量を、カットオフ率が100%未満の場合はペイロードを、それぞれ年間輸送量に変換する (予測需要量: トン/3日、年間運航日数340日)。

(1) 収入

この年間輸送量にトンあたりの運賃を掛けて収入を計算する。ただし、収入には輸送量に割引した航路運賃を乗じる。

(2) 支出

また、前項で決定された投入船舶の主要目から船価、燃料費等求め支出 (コスト) を計算する。

支出 (コスト) は、内航海運の一般的なコスト計算法に従った。これは船舶経費と店費から構成され、船舶経費は船費と運航費からなる。以下に支出計算の細目を示す。

- ① 船費として、船員費、修繕費、船用品費、潤滑油費、保険料、固定資産税、雑費、減価償却費、金利を計上する。
- ② 運航費として、燃料費、港費、トラック取扱費、(旅客費、乗用車取扱費) を計上する。
- ③ 船主店費は船費の10%とする。運航店費は船費+燃料費+港費+船主店費の8%とする。
- ④ 船員費は、船員数(予備船員を含む) に船員費単価を乗じる。
- ⑤ 修繕費は総トン数に比例する。
- ⑥ 船舶保険料、固定資産税、雑費、減価償却費、金利は船価に比例する。

- ⑦ 保険料は船舶保険料、対物賠償責任保険料、PI（船主責任相互）保険料の和である。
- ⑧ 対物賠償責任保険料は最大積載車両台数と対物賠償責任保険料率を用いて算出する。
- ⑨ PI 保険料はPI 保険料率と投入船隻数を用いて算出する。
- ⑩ 船価は造船所会計の概算を行う。
製造原価は材料・加工費、設計費、他経費からなり、材料・加工費は船殻材料・加工費、船装材料・加工費、機装電装材料・加工費、居住区一括外注費（フェリーのみ計算）、主機費から成る。製造原価に利益＋経営費を加えて船価とする。
- ⑪ 燃料費は燃料消費量に単価を乗じる。潤滑油量は主燃料の1%とする。
- ⑫ 港費は入港回数に総トン数と単位入港費を乗じる。
- ⑬ トラック取扱費は、1台あたりの単価を用いる。
- (3) 利益及び利益率を以下のように求める。
利益＝収入－支出
利益率＝利益／収入

5.4 プログラム概要

(1) プログラム

本手法に用いたプログラムは、C言語によって記述し、入力データファイル、出力データファイルとも、CSV形式またはテキスト形式を用いる。

なお、現在は、需要予測プログラム部分と、船隊・船型・採算計算部の4部分を連続して計算するように設定してあるが、予測需要データや、船隊データ、船型データなどを別途用意して、プログラムの中途から計算を始めることもできる。図－22に船隊設定、図－23に船舶主要目の計算、図－24に採算性の計算、図－25に全計算の概要を示す。

(2) インデックス番号

本シミュレーションプログラムでは、船舶仕様を求めるのに、所要時間、運賃、便数、カットオフ率、車両レーン数の5つのパラメータの組み合わせを用いる。計算結果出力には、この組み合わせを一意に表す5桁のインデックス番号(以下 Index) がつけられる。Index の各位の意味は以下の通りである。

万位：所要時間、 千位：運賃、 百位：便数、
十位：カットオフ率、 一位：船型

たとえば、Index 1 2 3 2 1は、所要時間が1番目の値、運賃が2番目の値、便数が3番目の値、カットオフ率が2番目の値、船型（レーン数）が1番目の値、を用いた船舶仕様計算であることを示す。

全計算ケースは、所要時間、運賃が3通りずつだとすると、 $3 \times 3 \times 9 \times 9 \times 3 = 2,187$ 通りである。ただし、船舶の復元性が悪い場合や全長が250mを越えた場合は計算しない。

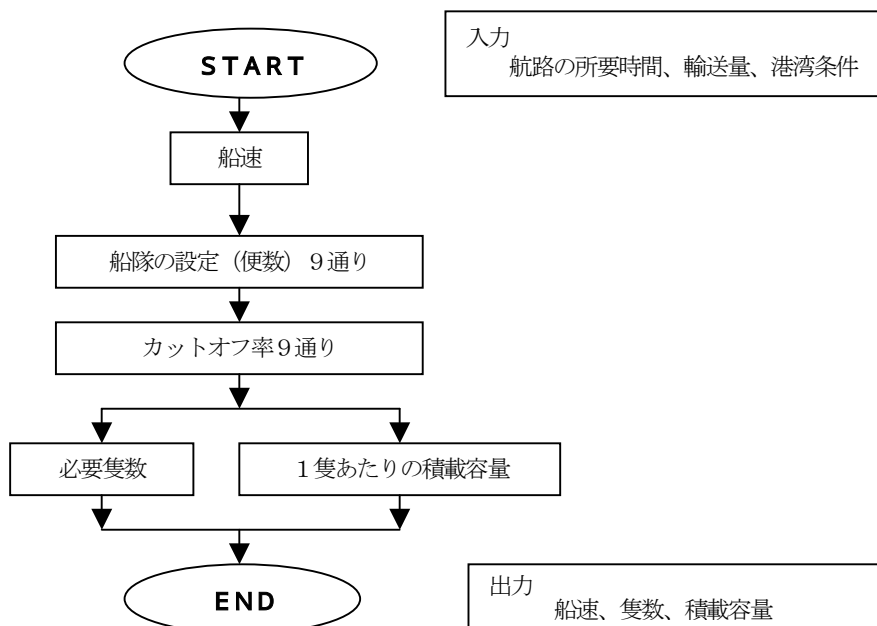


図 - 22 船隊設定

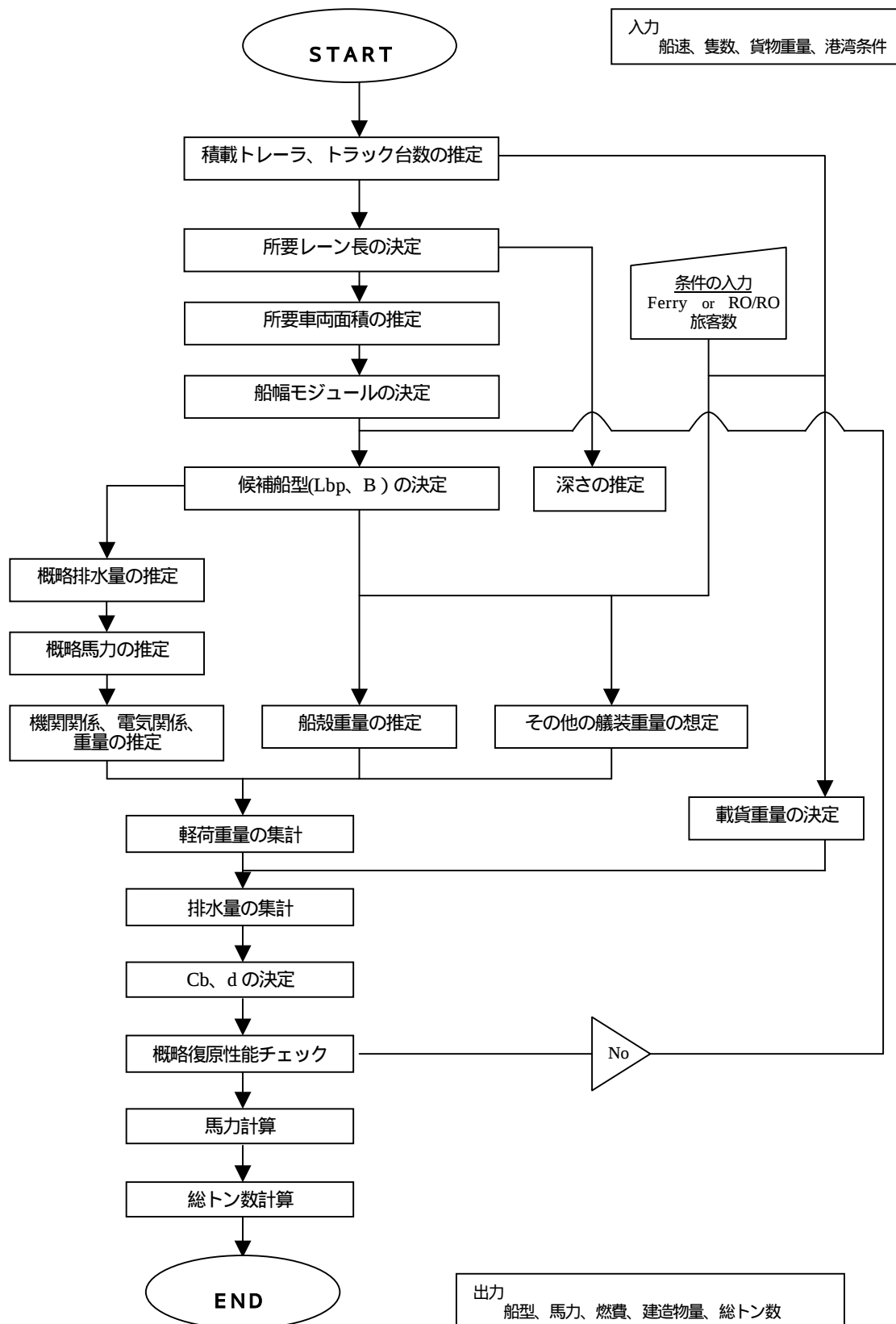


図 - 2 3 船舶主要目の計算

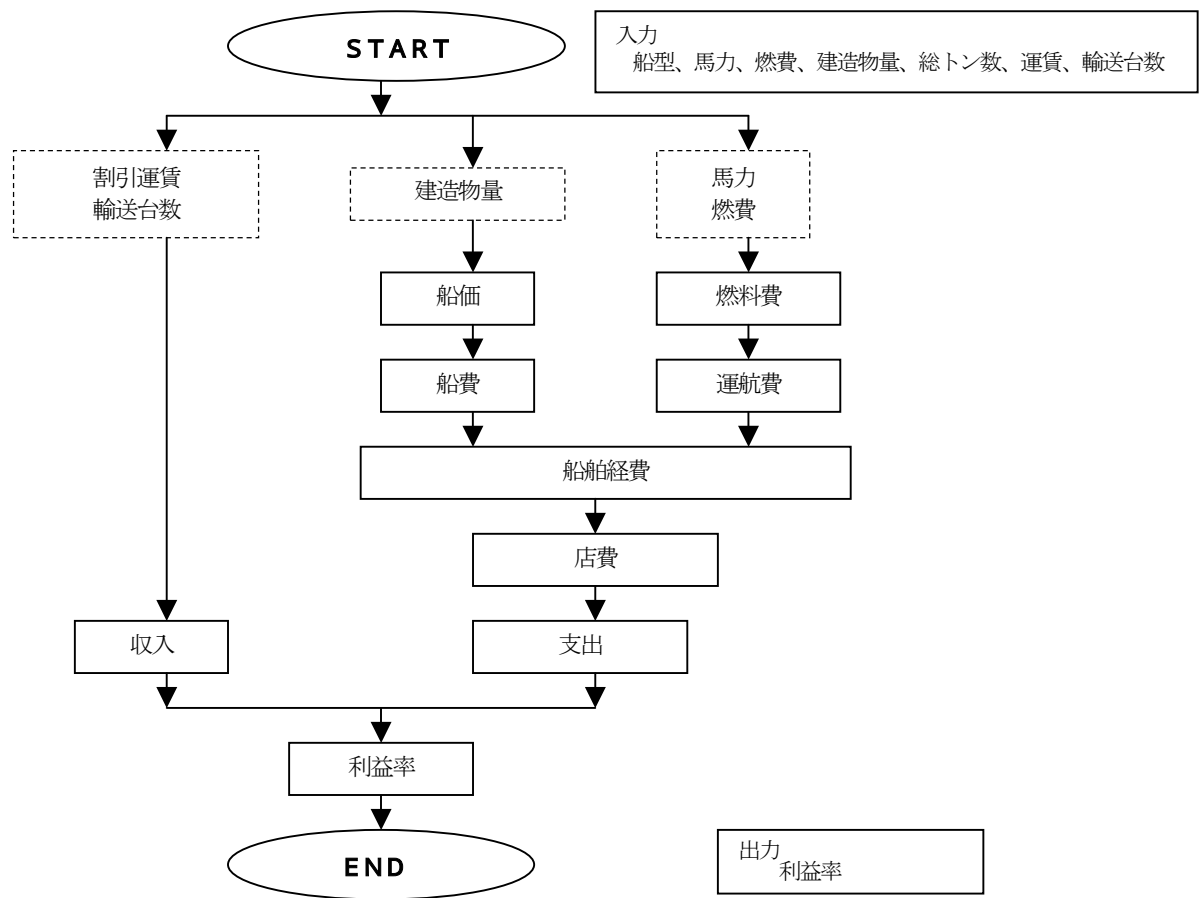


図 - 2 4 採算性の計算

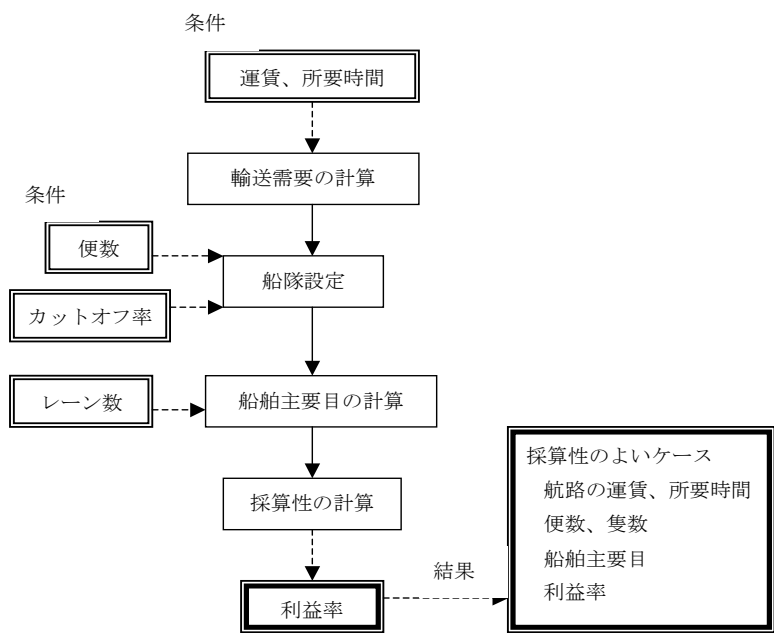


図 - 2 5 全計算プロセスの概要

5.5 適用例

5.5.1 既存航路への適用（検証）

運航採算のデータは入手不可能であるので、既存航路の船隊・船舶要目のデータを調べると、表－１４のようになる。ただし、現実が必ずしも最適選択をしているとは限らない。最適でない選択をしている可能性もある。

しかし、フェリー・RORO定期船の専門業者として永年経営努力してきた各社のかなりの数が最適選択をしてきたのではないかと予測される。そこで、計算と実際の比較において大勢の一致を得れば検証はよしとすることにする。

表－１４ 既存航路の概略船舶要目

path	航路	便数／日	総トン数(トン)	全長m	主機出力PS	主機出力kW	主機台数	速力kt	所要時間hr
451	函館・青森	32	6000	130	9000	6615	2	20	4
452	苫小牧・仙台	2	14000	192	14000	10290	2	22	15
453	苫小牧・大洗	1	13500	170	15000	11025	2	23	20
454	苫小牧・東京	3.3	11000	178	14000	10290	2	23	30
455	舞鶴・小樽	2	19000	193	10000	7350	2	22	29
456	川崎・宮崎	0.5	11500	170	23000	16905	2	26	21
457	新門司・大阪南港	2	9350	160	13500	9923	2	23	12
458	神戸・高松	15	3500		6000	4410	2	19	4
459	高松・宇野	123	700	70	1400	1029	2	13	1
460	明石・岩屋	52	1300	89	2000	1470	2	15	0.3
461	大分・松山	2	9300	150	12600	9261	2	23	4
462	松山・神戸	2	9300	150	12600	9261	2	23	8
463	大分・神戸	2	9300	150	12600	9261	2	23	12
464	新潟・小樽	2	20000	193	11000	8085	2	22.5	18
466	宮崎・大阪	1	9500		18000	13230	2	25.5	13
470	東京・高知	0.5	12500		6520	4792	4	23	15
471	名古屋・仙台	0.5	14000	192	14000	10290	2	22	21
472	名古屋・苫小牧	0.5	14000	192	14000	10290	2	22	39
473	室蘭・大洗	1	15000	192	15000	11025	2	23.5	19
474	岩内・直江津	0.5	13000		17800	13083	2	24	17
475	直江津・室蘭	0.5	13000		17800	13083	2	24	18
476	新門司・徳島	0.5	11500	166	14000	10290	2	22	19
477	徳島・東京	0.5	11500	166	14000	10290	2	22	15
478	新門司・東京	1.7	11500	166	14000	10290	2	22	34
480	甲浦・大阪	1	6500	133	11000	8085	2	21	5
482	細島・川崎	0.5	11500	170	23100	16979	2	26	20
483	新門司・堺泉北	3	12000		12000	8820	2	23	12
484	釧路・東京	1	15200		16200	11907	2	23	31
485	室蘭・八戸	2	5000	126	6200	4557	2	21	8
486	苫小牧・八戸	2	5000	126	7000	5145	2	20	9
487	新門司・神戸	1	13500	174	15500	11393	2	23	12

注：１航路に異なる大きさの船が就航している場合、全長・総トン数等は加重

平均を取った ため 空欄はデータ未取得

船隊（便数）、船型（全長）について比較すると表－１５、図－２６、図－２７のようになった。船型を全長で代表させたのは旅客フェリー、RORO船などの船種にかかわらず

船の大きさをよく表していて、かつ実際値も入手しやすかったためである。

表 - 15 便数と全長についての実
値と計算値との比較

Path	航路	全長 m(実 際値)	全長m (実績値 による)	便/ 日(実 際値)	便/ 日(実 績値)
451	函館・青森	130	0	32	0
452	苫小牧・仙台	192	119.4	2	2
453	苫小牧・大洗	170	128.3	1	1
454	苫小牧・東京	178	149.2	3.3	3.3
455	舞鶴・小樽	193	163.2	2	2
456	川崎・宮崎	170	132.1	0.5	0.3
457	新門司・大阪南港	160	171	2	2
458	神戸・高松	0	120.9	15	15
459	高松・宇野	70	0	123	0
460	明石・岩屋	89	0	52	0
461	大分・松山	150	0	2	0
462	松山・神戸	150	134.7	2	2
463	大分・神戸	150	111.4	2	2
464	新潟・小樽	193	122.4	2	1.7
466	宮崎・大阪	0	137.3	1	1
467	直江津・博多	0	0	0	0
471	名古屋・仙台	192	128.2	0.5	0.3
472	名古屋・苫小牧	192	151.1	0.5	0.3
473	室蘭・大洗	192	134.3	1	1
474	岩内・直江津	0	128.3	0.5	0.7
475	直江津・室蘭	0	122.4	0.5	0.7
476	新門司・徳島	166	0	0.5	0
477	徳島・東京	166	111.4	0.5	0.7
478	新門司・東京	166	125.4	1.7	1.7
480	甲浦・大阪	133	0	1	0
482	細島・川崎	170	165.8	0.5	0.3
483	新門司・堺泉北	0	129.5	3	3
484	釧路・東京	0	137.3	1	1
485	室蘭・八戸	126	126.8	2	2
486	苫小牧・八戸	126	108.8	2	2
487	新門司・神戸	174	119.2	1	1

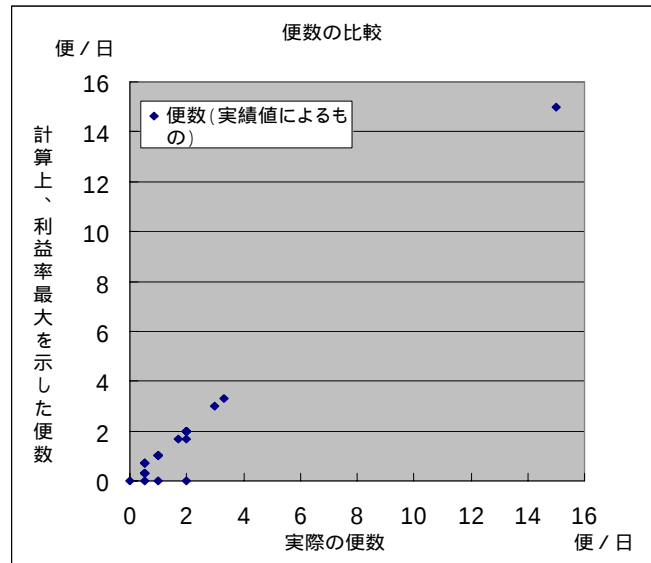


図 - 26 便数についての実値と計算値との比較

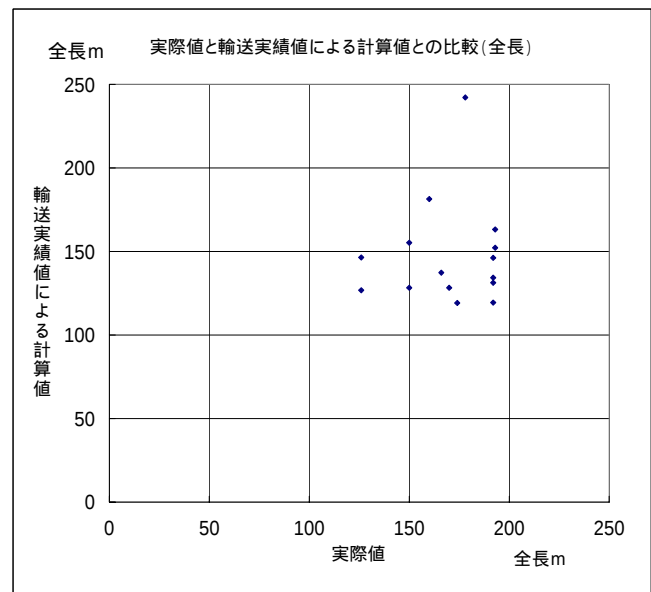


図 - 27 全長についての実値と計算値との比較

5.5.2 新規航路における最適船舶要目予測

次の新規航路について最適船隊、船舶仕様及びその採算性（利益率）を以下に示す。

- ①博多－直江津
- ②東京－大分

① 博多－直江津は本研究で用いた純流動調査データの採取された1995年時点では就航していなかったが1996年4月に就航した。その船隊、船舶要目が判っているので、4章の需要予測結果に基づいた船隊・船舶要目・運航採算計算結果を実際の船隊・船舶要目に比較して見ることができる。

② 東京－大分航路は全くの新設となる。

(1) 博多－直江津航路

この新規航路について最適船隊、船舶要目及びその運航採算性（利益率）を以下に示す。利益率は負になっているので航路運営としては厳しい傾向であるが、現実の経営で利益が出ないということではない。標準的なコスト計算や運賃割引率を適用し、また旅客収入を勘定に入れていないからである。

実際に就航した便は約2日に1便の設定であるが、その案と1日1便、2便の案もある。便数が多いと船舶は小さくなっている。

表 - 16 博多 - 直江津航路の計算結果のベストテン Case と実際値

利益率 順位	Index	利益率	全長 m	垂線 間長m	船幅 m	レーン 数	主機 MCR kW/台	常用 出力 kW/台	主機 台数	旅客 数	フェリー =0: RoRo=	総トン 数	トレーラ 積載 台数
実際値			190	175	26.4		14,580					11,000	154
1	11143	-0.272	145	132	26.6	8	9,147	8,232	2	0	1	9,167	127
2	11141	-0.376	165	150	23.5	7	11,723	10,551	2	0	1	9,732	127
3	11131	-0.610	195	177	26.6	8	11,674	10,506	2	0	1	13,191	170
4	11133	-0.629	174	158	29.7	9	12,983	11,685	2	0	1	12,592	170
5	11341	-0.629	163	148	23.5	7	10,726	9,654	2	0	1	9,634	63
6	11173	-0.695	153	139	23.5	7	12,297	11,067	2	0	1	8,781	59
7	11323	-0.715	145	132	26.6	8	9,147	8,232	2	0	1	9,167	127
8	11221	-0.812	192	174	23.5	7	10,622	9,560	2	0	1	11,791	148
9	11223	-0.869	169	154	26.6	8	12,319	11,088	2	0	1	11,132	148
10	11321	-0.880	165	150	23.5	7	11,723	10,551	2	0	1	9,732	127

利益率 順位	トラック 積載台 数	燃費 t/h	深さ m	載貨重 量t	所要 時間 hr	フェリー 料金 円	年間輸 送量t	便数/ 日	航海船 速kt	必要 隻数	パイロ ードt	カット オフ率%
実際値	7			5,500	20.5	106,210		0.43	24.9	2		
1	0	2.3	6.7	4,263	20.5	106,210	232,900	0.5	24.6	1	1914	150
2	0	2.9	6.9	4,291	20.5	106,210	232,900	0.5	24.6	1	1914	150
3	0	2.9	6.6	5,492	20.5	106,210	232,900	0.5	24.6	1	2552	200
4	0	3.2	6.4	5,462	20.5	106,210	232,900	0.5	24.6	1	2552	200
5	0	2.6	5.9	2,626	20.5	106,210	232,900	1	24.6	2	957	150
6	0	3	5.9	2,498	20.5	106,210	232,900	0.5	24.6	1	891	69.8
7	0	2.3	6.7	4,263	20.5	106,210	232,900	1	24.6	2	1914	300
8	0	2.6	6.9	4,897	20.5	106,210	232,900	0.9	24.6	2	2234	300
9	0	3	6.7	4,864	20.5	106,210	232,900	0.9	24.6	2	2234	300
10	0	2.9	6.9	4,291	20.5	106,210	232,900	1	24.6	2	1914	300

(2) 東京－大分

この新規航路について最適船隊、船舶要目及びその採算性（利益率）を表－17に示す。計算結果のベスト14Caseである。

東京・大分航路では、Index 番号の上二桁が21, 22, 31 のもの（以下単に21, 31 などと呼ぶ）が、名古屋・大分航路では同じく21, 31 が上位を占めている。Index 番号上二桁と所要時間・運賃の関係はTable9 のとおりである。

Table 2 も併せて見ると、これら（Table 9太字部分）は所要時間よりも運賃が安い航路条件に当たる。Table2 によれば、短い所要時間で安価な航路条件（Index 11000）に大量の貨物が集まるが、この場合、コストのかかる高速の船舶を用い、安い運賃で営業することになるので、採算計算上では、必ずしも望ましいとはいえない状態であるということがわかる。

表 - 17 東京 - 大分航路の計算結果のベスト14Case

利益率 順位	Index	利益率	全長 m	垂線 間長m	船幅 m	レーン 数	主機MCR kW/台	常用出力 kW/台	主機台 数	旅客 数	フェリー =0: RoRo=1	総トン 数	トレーラ 積載台 数	利益率
1	21451	0.543	179	162	26.6	8	6,220	5,598	2	0	1	11,546	156	1.187
2	22251	0.533	165	150	23.5	7	6,087	5,478	2	0	1	9,264	127	1.143
3	21453	0.532	160	145	29.7	9	7,100	6,390	2	0	1	10,978	156	1.138
4	21551	0.528	175	159	20.4	6	5,569	5,012	2	0	1	8,921	117	1.117
5	31553	0.521	122	111	23.5	7	2,491	2,242	2	0	1	5,681	94	1.086
6	22253	0.518	145	132	26.6	8	7,164	6,447	2	0	1	8,704	127	1.074
7	31353	0.514	194	176	29.7	9	4,136	3,723	2	0	1	13,415	189	1.057
8	21553	0.514	152	138	23.5	7	6,561	5,905	2	0	1	8,247	117	1.056
9	31453	0.505	144	131	26.6	8	3,320	2,988	2	0	1	8,210	126	1.019
10	11453	0.500	189	172	29.7	9	15,990	14,391	2	0	1	13,853	184	1

利益率 順位	トラック 積載台 数	燃費 t/h	深さ m	載貨重 量t	所要 時間 hr	フェリー 料金 円	年間輸 送量t	便数/ 日	航海船 速kt	必要 隻数	パイロ ードt	カット オフ率%
1	0	1.5	6.3	4909	24.9	100,000	1,287,600	1.5	20.7	4	2352	100
2	0	1.5	6	4130	24.9	130,000	598,700	0.9	20.7	2	1914	100
3	0	1.7	6.1	4890	24.9	100,000	1,287,600	1.5	20.7	4	2352	100
4	0	1.4	5.9	3876	24.9	100,000	1,287,600	2	20.7	5	1764	100
5	0	0.6	4.5	3117	30	100,000	1,039,200	2	17	6	1424	100
6	0	1.8	5.8	4111	24.9	130,000	598,700	0.9	20.7	2	1914	100
7	0	1	5.3	5626	30	100,000	1,039,200	1	17	3	2847	100
8	0	1.6	5.8	3853	24.9	100,000	1,287,600	2	20.7	5	1764	100
9	0	0.8	4.8	3962	30	100,000	1,039,200	1.5	17	5	1898	100
10	0	3.9	6.5	5954	20	100,000	1,516,800	1.5	26	3	2770	100

6. おわりに

6.1 まとめ

本研究は、環境面からモーダルシフトが追及される中で、モーダルシフト適合船として期待されているフェリー・RORO船コンテナ船に詰まれる貨物であるユニットロード貨物を平成7年度純流動貨物調査データに基づいて検討した。長距離輸送としては軽工業品と農水産品が有望であることや、全ユニットロード貨物の中で長距離（300 km以上）ユニットロードが53%（トンキロベース）を占め、長距離フェリーが9%を占めていることなどが分かった。

そして、国内のユニットロード貨物の経路を全国規模のネットワークを作成した。JR貨物、道路輸送、長距離フェリー・RORO船航路の経路のターミナルや結節点をノードとし、ノードとノードをパスで結んだ。パスに種別、所要時間、運賃、距離などの属性を与え、貨物の発地着地（OD）間の物流量を平成7年度純流動貨物調査データに基づいて与えた。そして経路選択を犠牲量モデルにより最小犠牲量ルートとして求めた。時間価値の社会的分布は品目別に同じく平成7年度純流動貨物調査データから求めた。

全国規模のネットワークからは近距離のOD間輸送量の割り出しは適当でない。逆に長距離輸送に適しているのが、長距離フェリー・RORO船航路の需要予測方法として活用を検討した。犠牲量モデルに航路の割引運賃等を想定して、一般化犠牲量モデルを使うことにより、需要の予測の精度を上げることができた。

次に、この航路需要予測方法と地域事情、造船所の船舶設計、および船社の採算性を統合し、船社の採算性のよい航路条件・船型を求めることができた。地域事情とは、便数とカットオフ率である。カットオフ率は計算された1隻あたりペイロードをどの程度の消席率と見積もるかという航路の特殊状況を考慮して検討される際のパラメータである。造船所の船舶設計では車両レーン数に若干の自由度を与える。船舶の主要目が船舶の大きさとエンジンから求められ、船価も推計される。この船舶を用いて集って来るトラックを所与の割引き運賃で運ぶときの経費と収入を見積もって、採算性を計算した。既設航路の船舶長や便数は各航路の最良採算ケースの場合とよく一致する。

このプログラムを用いて、新規航路の計算例を示した。

このプログラムは造船所が顧客の船社との営業で提案する最良船舶の主要目の知識を与える。船社はよい航路条件や建造船舶仕様などの知識を得られる。投資家や金融機関は事業の優良性の検討材料を得られる。

6.2 今後の課題

今後、純流動調査データの更新（平成12年版）を行い、解析例を増やし、精度を向上させる必要がある。

次の事項については、現状の本解析手法の限界があるので、抜本的な検討を必要とする。

1. 時刻の影響

本解析手法では犠牲量モデルに入った所要時間が評価対象で、フェリー・RORO船航路の発時刻、着時刻は評価対象になっていない。事業者側にすれば、発時刻、着時刻を決定するのに必要な情報がほしいところだが、本解析では発着時刻が適正に設定されることを前提にしたもので、特格の情報を与えていない。

発時刻は荷主がトラックを工場から出荷する時刻に合わせてたりして決まるローカルな情報である。発着時刻が決まると航路長から船速が数種類に限定されるという事情も発生する。その場合にはそれら特定された船速に基づいて本解析方法を用いる必要がある。

将来は、経路選択に時刻の影響が表れる手法（例えばシミュレーション）と併用することを検討する。

2. 集積効果

本解析手法は便数の影響は需要を便数に分配する役割しか評価されていない。便数が増えると便利になって需要が喚起される効果が入っていない。本来犠牲量関数の中に、便数は犠牲を少なくする量として算定されていなければならないが、現実の便数の変化範囲は広くない（1～4便/日）ので実証的にその効果を導き出すことはできない。

ところが、とくに便数の効果を取り上げるべきケースとして、東京－大阪間をアワーリー運航する構想などを挙げる。日本一トラック便の多い東名高速道路で発着時刻を気にしないでトラックを走らせる現状から、いつでも港に行けば便があって、運転手なしで運んでもらえるという運送システムである。

また、本解析ではフェリーとRORO船・コンテナ船が競合した場合、需要量を分け合う評価しかなされていない。航路が集まっている場合には便利さも増えるので、その分需要量が増えるはずである。

これらは経済現象としては一般的に見られる。例えば神田の古本屋街とか秋葉原の電気街に同業者がひしめいていると、逆に人々が集まって繁盛する。収穫逡増の集積効果である。しかし、この現象を数学的に扱うのは困難であり、今後の課題である。

謝 辞

本研究は、運輸施設整備事業団の基礎的研究制度と調査研究制度および(社)日本造船研究協会SR501 の助成を受けた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 運輸省・建設省編、第6回物流センサス（平成7年全国貨物純流動調査、平成9年9月）
- 2) 「運輸経済統計要覧」平成7年度、運輸省運輸政策局情報管理部編
- 3) 「年報—平成6年—事業と道路統計」日本道路公団
- 4) 「全国フェリー・旅客船ガイド」1997 上期号、日刊海事通信社
- 5) 「道路時刻表」1997、道路整備促進期成同盟会全国協議会発行
- 6) 勝原光治郎、フェリー航路の国内物流ネットワーク分析、海運経済研究第32号、日本海運経済学会、1998年10月
- 7) 運輸省運輸政策局『21世紀に向けた環境・エネルギーと運輸1997』大蔵省印刷局、1997年
- 8) カーフェリーに関する研究、運輸経済研究資料440115 昭和45年3月 （財）運輸経済研究センター
- 9) 運輸省海上交通局、新たな需要構造に対応した長・中距離フェリーネットワーク整備のあり方に関する調査報告書、平成5年
- 10) '97JR貨物時刻表、日本貨物鉄道株式会社
- 11) 久保登、勝原光治郎、菅直往、金相賢、李永雨、犠牲量モデルを用いた国内フェリー・RO-RO船航路需要のネットワーク解析手法に関する研究、日本造船学会論文集191号（掲載予定） 2002年5月
- 12) 久保登、勝原光治郎、大和裕幸、道田亮二、国内フェリー・RO-RO船航路の需要予測に基づいた船舶主要目の決定と航路の採算性に関する研究、日本造船学会論文集巻号192号、2002年11月