

東アジア域内物流効率化に関する研究

加納 敏幸*, 間島 隆博*, 小坂 浩之*, 鳥海 重喜*

Study on Effective Logistics Network of the Asian Region

Toshiyuki KANO, Takahiro MAJIMA, Hiroyuki KOSAKA,
Shigeki TORIUMI

Abstract

The northeast Asian region has already grown as one of the world largest and fast growing economics. The GDP of the Japan, China and Korea has gone up 20% of the world economy. And this region generates 30% of world total container volume. Furthermore, they have become more closely dependent on one another as the gross volume of the trade among the three countries is expanding.

On September 7, 2006, the China-Japan-Korea Ministerial Conference on Maritime Transport and Logistics was held in Seoul, Korea and had a discussion on the current situation of international maritime transport and logistics of the three countries is accomplished mainly by maritime transport. Maritime transport and logistics play a more significant role as the economical relationship deepen.

It is now the time to review current logistics and study on effective logistics network design of the Asian region based on establishing reliable data in the maritime transport and logistics field by mutual cooperation.

This paper shows the NMRI's own studies under the International Joint Study with Korea Maritime Institute (KMI) and Water Transportation Institute (WTI) of China and two case studies. One case study is on domestic container logistics studies for modal shift and the other one is on the feeder container ship's scheduling problem for estimating basic specification of ships.

* 物流研究センター

原稿受付 平成22年 5月10日
審査済 平成22年 6月16日

目 次

1. 序	2
1.1 北東アジアにおける海上物流に関する情報交換	3
2. アジア経済の躍進	3
2.1 北東アジア経済成長	3
2.2 アジア域内の基本的物流構造	3
2.3 域内貿易の成長	4
3. アジア域内のコンテナ物流量の増大	4
3.1 超巨大コンテナ船の出現	4
3.2 基幹航路の変化と未来	4
4. アジア域内の効率的な物流ネットワークの創造	5
4.1 日・中・韓物流大臣会合	5
4.2 欧州における効率的な域内輸送	5
4.3 EU とアジア域内の船舶の仕様比較	5
4.4 海上輸送に伴う CO ₂ 排出量推計	8
4.5 コンテナ海上輸送網の最適化	13
5. 日・中・韓の物流動	18
5.1 日・中・韓の統計の概要	18
5.2 国際貨物流動量の推計手法と使用データ	19
5.3 国際貨物流動量の推計方法の適用	20
6. 国際貨物の国内流動からみたモーダルシフトの可能性	24
6.1 コンテナ貨物流動調査の内容	24
6.2 本報告の使用データと分析内容の概要	24
6.3 東京港の分析	26
6.4 モーダルシフトの可能性に関する考察	32
7. フィーダー・コンテナ船のスケジューリングを考慮した船舶仕様決定	39
7.1 研究の流れ	39
7.2 物流シミュレーション	39
8. おわりに	42
9. 謝辞	43

1. 序

北東アジアの経済は既に世界で最も大きなそして急速に成長している地域である。日本、中国及び韓国の GDP は世界経済の 20%を占めている。そしてこの地域から世界のコンテナ物流量の 30%が生産されている。さらに、この 3 国間の域内貿易量の増大と相俟ってこれまでになく緊密な関係を築いてきている。

2006 年 9 月 7 日に日・中・韓物流大臣会合が韓国のソウルにおいて開催され、3 国間の域内物流、特に海上物流に対する現状認識について議論がなされた。海上物流の持つ役割は経済的に深く関われば関わるほど顕著となる。

今こそ、物流の現状認識とアジア域内の効率的な物流ネットワークの構築が必要であり、それは、信頼のおける輸送データと 3 国間相互の協力により構築される。

本報告では、海上技術安全研究所、韓国海洋水産院（KMI）及び中国交通部水運科学研究所（WTI）との 3 機関の国際共同研究の中で、物流研究センターが実施した成果とその他物流研究センターで行った東アジア物流の効率化に資すると考えられる研究事例を紹介する。

第 1 章では 3 研究機関が行っている共同研究の枠組みを、第 2 章は世界経済の中で躍進するアジア経済を、第 3 章はアジア経済の発展に伴いアジア域内のコンテナ流動が増大していること、基幹航路に投入されるコンテナ船の大型化の進展に伴いアジア域内輸送ネットワークの形態が変化することを予想している。物流は、経済活動の帰結であり、経済活動と共に変化していく。第 4 章では、アジア域内の効率的な物流ネットワーク創造の重要性に鑑み、EU 域内輸送及びアジア域内海上輸送等における環境負荷量の評価を行った。さらに、第 5 章で推計した日中韓間の主要港湾間のコンテナ物流量を基にコンテナ域内輸送ネットワークの最適化を行った。さらに、日中間の主要港湾間のコンテナ流動に関し、税関のデータを基に推計を行い、3 機関で 3 国の主要港湾間のコンテナ流動について検討を行い推計した。第 6 章では、輸出入コンテナ貨物に関し、国内流動のリードタイムの解析によるモーダルシフトの可能性に関する研究を、第 7 章では、輸送量の増大に伴い新たに投入すべきフィーダー・コンテナ船の最適な仕様をコンピュータによるスケジュール問題を解くことにより決定する手法を紹介する。

1.1 北東アジアにおける海上物流に関する情報交換

日中韓間の海上物流需要と新サービス創出に関する国際シンポジウムが2006年1月18日に東京において国土交通省、海洋政策研究財団の主催により開催された。海上技術安全研究所は、このシンポジウムと同時に開催された専門家によるワークショップをとりまとめた。中国、韓国及び日本からの専門家が21世紀に相応しい環境に優しく、そして貨物が円滑に流れる3国間の東アジア複合輸送・物流回廊の創造について議論を行った。物流の現状を再認識し、アジア域内の効率的物流ネットワークについて研究を行うことは極めて重要な検討課題となっている。さらに、信頼のおける海上輸送及び物流データを相互協力により確立することが不可欠である。

東京でのワークショップの中で、専門家達は現在おかれている状況を基に我々がなしうるものとして以下の共同作業についてコミットした。

- ・物流データベースの作成手法に関する研究を行う。物流を理解する上で基盤となる1つの要素を提供するため3国の専門家による会合を開催する。
- ・日本、中国及び韓国の専門家が3国間の物流の本当の状況について共通認識を醸成するために情報交換を行う。

物流大臣会合によれば、3国は、北東アジアの物流に関するデータベース構築に向けた専門家の研究を支援し、その研究の結果をレビューする。加えて物流分野における統計データ交換の可能性を検討する。

1.2 海上技術安全研究所、韓国海洋水産院 及び交通部水運科学研究院の共同研究

海上技術安全研究所と韓国海洋水産院（KMI）は2007年1月31日に署名した了解覚書（MOU）に基づき、「中国、日本及び韓国の物流情報の共有と活用」に関する共同研究プロジェクトを開始し、第1回及び第2回ワークショップが2007年3月及び11月にそれぞれ開催された。中国交通部水運科学研究所（WTI）もまたこの共同研究プロジェクトに参加し、2008年4月にこれらの研究機関は3カ国の研究プロジェクトを開始し、研究の対象を明確化するための新たなMOUを締結した。新MOUに基づき彼らは物流分野、特に「中国、日本及び韓国の物流情報ネットワークシステムの共有、活用及び適用」に関する共同研究を継続する。

KMI及びWTIは、韓国と中国における海上輸

送の統計データを管理する主要な機関である。海上技術安全研究所は、アジア地域の物流分野におけるデータベース開発を提案し、データ解析技術を開発している。

すなわち海上技術安全研究所、KMI及びWTI間の協力とパートナーシップを発揮すれば、海運、港湾及び物流研究の価値を高めるとともに技術進歩がもたらされることが期待される。

海上技術安全研究所、KMI及びWTIにより物流の現状についてのレビューと物流データベース作成手法についての研究が行われた。

2. アジア経済の躍進

2.1 北東アジア経済成長

韓国海洋水産部北東アジア国際物流センター魚課長は、2006年1月18日東京で開催された国際シンポジウムで北東アジア経済の成長に言及しているが、この状況は現在も変わらない。この金言はリーマンショック後も価値を持っている。

- ・中国、日本及び韓国を含む北東アジアは世界でも最も経済成長を遂げている地域の一つである。
- ・この経済規模は世界のGDPの20%を占める。
- ・購買力平価で見たGDPは、米国のそれと同等となっている（表2.1参照）。

三国は、数年来世界のどの地域よりも急速に成長が期待されている。

表2.1 北東アジアと米国・欧州のGDPの比較

	Total GDP 2008		PPP GDP 2008	
	(millions of US dollars)	%	(millions of international dollars)	%
(EAST ASIA)				
Japan	4,909,272	8.17%	4,354,550	6.25%
China	3,860,039	6.42%	7,903,235	11.34%
Korea, Rep.	929,121	1.55%	1,358,037	1.95%
Hong Kong, China	215,355	0.36%	306,487	0.44%
EAST ASIA Sub Total	9,913,787	16.49%	13,922,309	19.98%
(ASEAN)				
Brunei Darussalam	11,471	0.02%	19,540	0.03%
Cambodia	9,574	0.02%	27,997	0.04%
Indonesia	514,389	0.86%	907,264	1.30%
Lao PDR	5,195	0.01%	13,243	0.02%
Malaysia	194,927	0.32%	383,709	0.55%
Philippines	166,909	0.28%	317,110	0.45%
Singapore	181,948	0.30%	238,503	0.34%
Thailand	260,693	0.43%	519,049	0.74%
Vietnam	90,705	0.15%	240,093	0.34%
ASEAN Sub Total	1,435,811	2.39%	2,666,508	3.83%
EAST ASIA & ASEAN Sub Total	11,349,598	18.88%	16,588,817	23.80%
United States	14,204,322	23.63%	14,204,322	20.38%
Euro area	13,565,479	22.57%	10,899,815	15.64%
World	60,115,220	-	69,697,642	-

World Development Indicators database, World Bank, 15 September 2009

2.2 アジア域内の基本的物流構造

WTOのメンバーである中国は、「雁行モデル（flying geese model）」を脱却し、ASEANの経済

を先導してきた。そして急速に NIES に追いつこうとしている。1990 年代に、国家経済政策に沿い、家電製品に外国資本を呼び込むための努力を集中させた。2000 年代になると、自動車産業に焦点をあてた。

さらに、韓国は OECD のメンバーとして、アジア通貨危機を乗り越え、非常に高いレベルで経済成長を復興させた。中国と NIES の極めて高い成長は東アジアにおいてアジア経済の原動力となり、国際コンテナ物流量を増大させた。

ASEAN の地位は、中国と NIES の影響を幾度となく受け相対的に下がっている。

東アジアの成長をどの程度許容するかは政治的な議論であるが、国際的な物流産業はそれぞれの国の競争優位性によりビジネス機会の範囲が決定される。物流産業は、アジア域内の経済規模と経済の及ぼす範囲の中で発展し進歩するのである。

2.3 域内貿易の成長

KMI の秦シニアフェローは、域内貿易の拡大について東京での国際シンポジウムにて言及した。

世界における北東アジアの比重は、1970 年の 16.7% から 2006 年から 2020 年の平均で 20% に増大すると見込まれている。これは、主に中国の成長が 0.9% から 5.9% になると予想されることによる。これは同時期で見た NAFTA (36.6% から 32%) 及び EU (32.6% から 24.9%) の関係と対照的である。北東アジアにおける国際貿易もまた、中国経済の成長、WTO のメンバーとなり WTO 制度の強化及び北東アジア各国の経済関係深化といった要素により急速に増加する。

東アジア域内貿易の比重も、1985 年の 36.1% から 2000 年の 48.5% に増大している。これも NAFTA 及び EU と対照的で、これらの地域内の割合は減少している。さらに、北東アジアからの輸出割合も 1980 年の 10.8% から 2006 年から 2010 年までの平均 18.3% へと増大すると予測れる。

3. アジア域内のコンテナ物流量の増大

北東アジアは、世界のコンテナ流動の 30% を産み出している。2003 年に 3 国は、コンテナ 245 百万 TEU の内 75 百万 TEU を取り扱った。

3.1 超巨大コンテナ船の出現

2003 年 Maersk-Sealand と OOCL 社は、8000 個積みコンテナ船を投入させた。それ以降、年を追う毎にコンテナ船は益々巨大化してきている。2005 年には 8000 個以上のコンテナを搭載するこ

とのできる船舶が 150 隻を超える。2006 年には 12000 個を超えるコンテナ船「Emma Mærsk」が投入された。そして 2010 年には、1000 隻を超えるコンテナ船が市場に投入されると予測される。

これらの巨大なコンテナ船の出現は、海運構造の様々な変化をもたらす。基本的に、現行のハブアンドスロークスの輸送構造を際立たせる。

これは、多くのコンテナを集めることのできるごく少数の幾つかの港だけが、超巨大コンテナ船の寄港を促すことができる。それらの港は、集貨能力だけでなく効率的な輸送結節システム、背後の大きな生産拠点、配送センター及び大市場へのアクセスの容易性並びに効率的な港湾機器といったものを有する必要がある。港湾の物理的条件は、これら船舶の仕様条件に適応したものでなければならない。港湾ターミナル区域は 100~120 エーカーを超え 200 エーカーが求められる。また、輸送結節は大変重要でありトランジットなど船舶輸送間の結節だけでなく、陸上の道路輸送及び鉄道輸送との結節は多大な効率性が求められる。言うまでもなく、ステベドアーシステムが大規模で最新のものに更新され、そして情報システムなどの多くの施設がより大きく効率的である必要がある。

3.2 基幹航路の変化と未来

超巨大コンテナ船の出現は、基幹航路を再構築する。中国経済の成長の影響を受け、新しい航路が生まれ、コンテナ船の寄港パターンの更なる変化が期待される。超巨大コンテナ船の出現により現行のハブアンドスロークス構造が際立つことになる（表 3.1 参照）。

表 3.1 フィーダー・サービス船の訪船数

Country	Port of call	2000	2005
China	CIWAN		3
	DALIAN	30	36
	FUZHOU	11	3
	HUANGPU	1	1
	LITANYUNGANG	4	12
	NANJING	3	1
	NANTONG	5	2
	NINGBO	13	20
	QINGDAO	32	46
	QUANZHOU	1	
	SHANGHAI	61	121
	WUHU		1
	XIAMEN	8	11
	XINGANG	12	21
	YANTAI	4	6
	YANTIAN	1	1
	YINGKOU	2	1
	ZHANGJIAGANG	4	1
	WEIHAI	2	9
	SHANTOU	1	2
	NANSYA		1
	RIZHAO	2	1
	LONGKOU	1	3
	SHIDAO		5
	HONGKONG	7	14
	Sub total	205	322
Japan	CHIBA	1	1
	HAKATA	7	16
	HIROSHIMA	1	6
	IWAKUNI	2	4
	KANAZAWA	1	1
	KOBE	41	43
	MATZURU	1	1
	MOJI	17	21
	NAGOYA	30	42
	NAKANOSEKI	1	1
	NAOETSU		1
	NIIGATA	1	2
	OITA	1	1
	OSAKA	37	50
	SAKAIMINATO	1	2
	SHIBUSHI	2	2
	SHIMIZU	1	1
	SHIMONOSEKI	1	4
	TOKUYAMA	1	2
	TOKYO	24	50
	TOMAKOMAI	1	
	TOYAMASHINKO	1	2
	TSURUGA		1
	YOKKAICHI	2	7
	YOKOHAMA	35	47
	MATSUYAMA		1
	MIZUSHIMA	2	7
	KOKURA	1	
	KASHIMA	2	
	ISHIGAKIJIMA	1	
	FUKUYAMA	3	6
	IMARI	1	2
	KOCHI	1	
	TAKAMATSU		3
	HIBIKI		3
	SENBUKU		1
	TOYOHASHI		1
	Sub total	221	332
Korea	BUSAN	3	7
	ULSAN		2
	KWANGYANG	1	1
	Sub total	4	10
Total		430	664

Number of Port of call/Week

4. アジア域内の効率的な物流ネットワークの創造

4.1 日・中・韓物流大臣会合

北東アジア地域は、2006年9月から国が管理下に置かれた制度を持つに至った。日本、中国、韓国の物流を所管する大臣が2006年9月7日会合を行い、3国間の海上輸送、国際物流に関する現状と将来の協力方法についての議論を行った。大臣会合は、この地域の物流市場を構成するための多くの課題について議論、交渉そして効果的に結論を導き得る、一つの政府間の制度を提供する。

4.2 欧州における効率的な域内輸送

欧州連合（EU）においては、1961年EUの加盟国がEU共通の輸送政策についての基本的な規則案をEU交通委員会で最初に策定してから、EU域内の物流市場は開放され、そして統合されてきた。EUは、物流システムの標準化を図り、そして複合輸送ネットワークを進展させたのである。これにより、EUの経済を蘇らせるに大きく貢献した。

このEUの事例は、我々にとって良い手本となる。今、アジア地域はEUの域内輸送量の2倍のコンテナ輸送を取り扱っている。アジア域内の効率的な物流ネットワークを創造することが求められている。

4.3 EUとアジア域内の船舶の仕様比較

(1) 域内に投入される船舶の船種と大きさ

表4.1、図4.1及び図4.2は、EU域内とアジア域内においてサービスを提供している船舶の数と大きさと船種を示している。この表から、EUにおいては、RORO船（旅客搭載RORO船を含む）の役割が大きく、約半数を占めている。他方、アジア域内では、全ての船舶の90%がコンテナ船であり、コンテナ船が重要な役割を担っている。アジア域内輸送量がEUのそれより大きいにも拘わらず、アジア域内の輸送に従事する船舶数及び大きさは欧州のそれより小さい。これは、アジア域内の国際輸送においては、基幹航路に投入されている大型コンテナ船が域内輸送の一部を担っているものと考えられる。しかしながら、輸送効率という面では課題があると考えられる。

表 4.1 アジア域内と EU の輸送量

Category	Type of Ship				
	Container Carrier	RO/RO	Passenger RORO	Ferry	total
Number of ships					
in Asia	191	23	16	12	242
in Europe	218	144	210	71	643
Volume of transportation					
in Asia(1000DWT)	1785	155	65	14	2019
in Europe(1000DWT)	2118	1133	883	29	4163
in Asia(1000TEU)	120	11(※)	5(※)	-	136
in Europe(1000TEU)	168	81(※)	63(※)	-	312

※Assumed 1TEU equal to 14 tons

Volume of transportation	Type of Ship				
	Container Carrier	RO/RO	Passenger RORO	Ferry	total
to Asian transportation(DWT)	88%	8%	3%	1%	100%
to European transportation(DWT)	51%	27%	21%	1%	100%
to Asian transportation(TEU)	88%	8%	4%	-	100%
to European transportation(TEU)	54%	26%	20%	-	100%

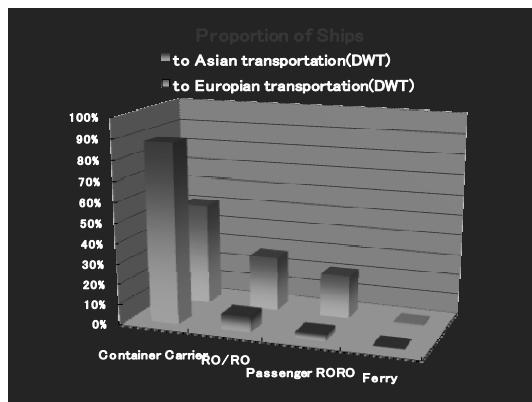


図 4.1 各地域への輸送量(DWT)

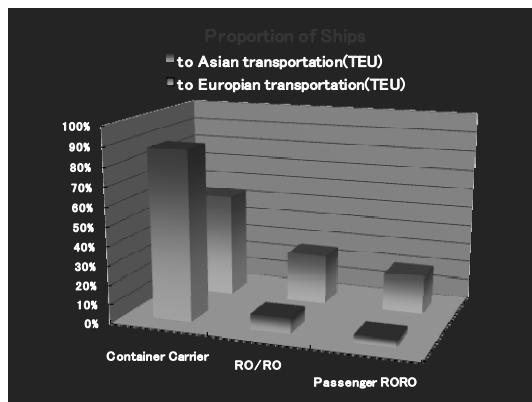


図 4.2 各地域への輸送量(TEU)

(2) コンテナ船

アジア域内に投入されサービスを行っている 1990 年から 2000 年にかけて建造されたコンテナ船のコンテナ搭載数の平均は、500TEU であり、欧州は 600TEU と若干大きい（図 4.3）。アジアも欧州も 2000 年以降は、コンテナ搭載個数は大きくなる傾向があり 1500TEU となっている。特に 2005 年以降、コンテナ搭載個数は急速に大きくなっている。コンテナ船の大型化にともない、船舶

の速度も 15 ノットから 20 ノットへと高速化が進んでいる（図 4.4）。

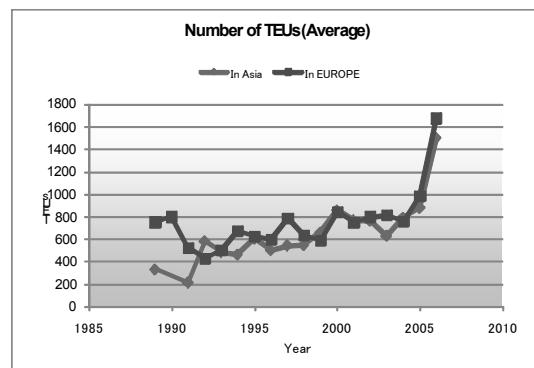


図 4.3 コンテナ平均搭載数の変化(TEU)

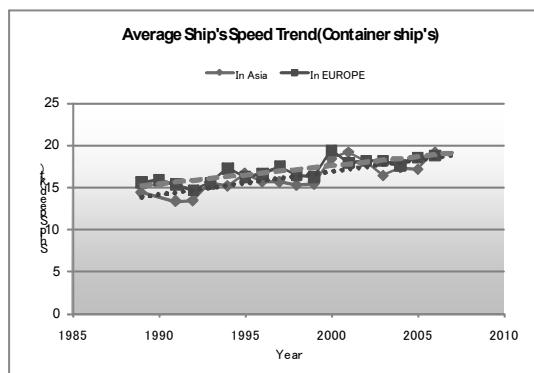


図 4.4 コンテナ船の平均速度(kt)

(3) RORO 船

アジア域内と欧州域内に就航する 1990 年以降建造された RORO 船の輸送量は、大凡 5000DWT であり、徐々に大型化が進んでいる。欧州においては、2000 年以降大型化が進んでおり 9000DWT に至っている（図 4.5）。RORO 船の大型化に伴い、欧州においては船舶の速度も 15 ノットから 22 ノットへと高速化が進んでいる（図 4.6）。

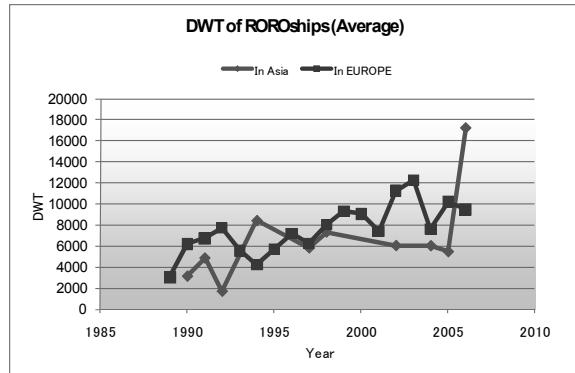


図 4.5 RORO 船の積載荷重 (DWT)

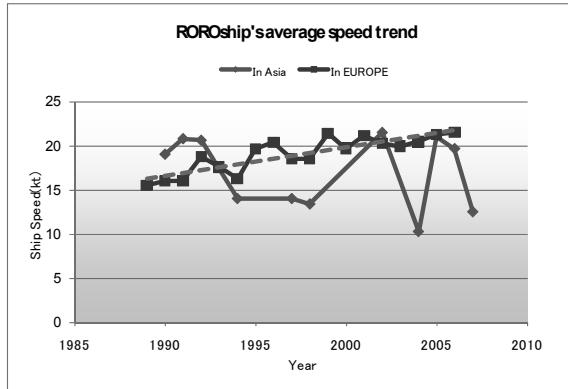


図 4.6 RORO 船の平均速度 (kt)

(4) 海の自動車輸送路と短距離輸送

- Motor Ways of the Sea and Short Sea Shipping (SSS) -

将来の北東アジア航路の構造は、多くの変化をもたらす。現在の構造よりももっと複雑なものとなる可能性がある。域内の航路もまた表 3.1 に示したように変化している。また、域内の物流量は増大する。北東アジアの沿海域の都市の経済成長に伴って、そしてこれらの都市間の連携が密接になるに従って多重の方向性を有する都市間の船舶航路が形成されてくる。

我々は、EU が進めている「Motor Ways of the Sea and Short Sea Shipping (SSS) system」が、域内の貿易量が増大し、都市間の貿易も増大し、スピードが求められ、他方、環境負荷の低減が求められることで大きな梃子となりえると考えられる。沿海部の都市間の距離が比較的短い北東アジアでは高速の海上輸送は比較優位性を持つ。この視点で、SSS システムは大きな役割を持つと考えられる。

「Motor Ways of the Sea」は、ドアーツードアの物流連鎖と、実行可能で安定し、何度でも高品質な信頼のおける SSS により集約された物流とを統合するものであり、SSS システムは、船舶のみならず、陸上輸送と航空輸送に関連する最新技術を用いて競争力があると評価されたものである。それは陸上輸送に代わるもので、大気汚染、渋滞、自動車事故、そして基盤整備費用といった社会費用を減少させるものである。SSS は、欧州においては多用され成功しているというべきものである。SSS コンテナ船のイメージを図 4.7 に示す。

現在、SSS は韓国が中国と一緒に展開しようとしている。



図 4.7 SSS コンテナ船イメージ

(5) 次世代内航船（スーパーイコシップ）

地球温暖化の問題は世界中で関心が高い。スーパーイコシップ・プロジェクトは、2001 年 4 月から国土交通省からの受託により海上技術安全研究所において実施された。

スーパーイコシップ (SES: Super-Eco-Ship、図 4.8) は、内航船の環境負荷の低減、物流コストの削減、そして船上での労働、居住環境を向上させたいという要求に合致する技術的なブレーカスルーによるものである。本船は、電気推進船となっている。その特長は、二重反転プロペラ (CRP) を備えることで推進効率の向上を図る。この高い推進効率は、ポッド推進システムと最適船体設計の相乗効果によるもので、既存船と比較し CO₂ 排出量の削減が可能となる (図 4.9)。

これに加えて、ポッド推進器は高い推進効率と同様に船舶の運用面においても極めて素晴らしい操縦性能と柔軟な制御システムを可能とする。ポッド推進器の制御システムは、港内操船を容易にする。SES の一番船が 2006 年 1 月に竣工し、これまでに 10 隻を超える SES が建造されている。SES は環境に優しい船で (5% 以上の燃費削減)、内航船を対象に開発されたものであるが、短距離輸送を主とするアジア域内貿易の SSS にとっても相応しい船舶である。



図 4.8 スーパーイコシップのイメージ



図 4.9 モーティファイト・パトック・ロー（MB）船型

4.4 海上輸送に伴う CO₂ 排出量推計

我が国政府は、CO₂などの温室効果ガスを 2020 年までに 1990 年比 25% 削減する目標を掲げてお り、地球温暖化防止の観点から喫緊な課題となっ ている。本節では、海上輸送に伴う CO₂ 排出量を 算出して現状を把握し、次節 4.5 では、CO₂ 排出 量の最小化を目的とした最適化手法の解析結果を 示す。

なお、以下に示す報告で用いた、海上交通量と 船舶数は 1995、2000、2005 年における“Lloyd’s, Shipping Information Database, Shipping Movements Database”（船舶動静データベース）を元にしている。

4.4.1 船種

CO₂ 排出量の解析では、コンテナ船、原油タン カー、バラ積み船を対象とした。以下では各船種 について積載量別に調査した船舶数の結果を示す。

(1) コンテナ船

コンテナ船は積載量の大小に対応して、表 4.2 に示すように 7 つのグループに分けた。しかしながら、最大の積載量を示すグループ、C25 の動 静データはオリジナルのデータベースに記録が無かっ たため、本報告の解析には含まれていない。

(2) 原油タンカー

原油タンカーは積載量別に 5 つのグループに 分けた。なお、原油タンカーでは 2005 年のデータ のみ、解析した。グループ別の船舶数を表 4.3 にまとめ る。総数は 1,602 隻、CT3(8-120,000DWT) が最大の隻数となるグループである。

(3) バラ積み船

バラ積み船は、積載量に応じて 5 つのグループ に分離した。バラ積み船の場合も、原油タンカー と同様、2005 年についてのみ解析対象とする。表 4.4 に、グループ別船舶数をまとめた。総数は 6,617 隻、BL39 (10,000-40,000DWT) が最大の隻 数となるグループである。

表 4.2 コンテナ船の積載量別船舶数

Symbol	Capacity	Vessel Num. (year)		
		(1995)	(2000)	(2005)
C19	up to 500 TEU	621	489	697
C20	500-1,000 TEU	452	509	848
C21	1-2,000 TEU	630	863	1034
C22	2-3,000 TEU	255	398	638
C23	3-Panamax Beam	283	413	752
C24	Post Panamax	9	128	473
C25	>=10,000+ TEU	---	---	3
Total		2,250	2,800	4,445

表 4.3 原油タンカーの積載量別船舶数(2005 年)

Symbol	Capacity	Vessel Num.
CT1	up to 60,000 DWT	90
CT2	60,000-80,000 DWT	134
CT3	80,000-120,000 DWT	580
CT4	120,000-200,000 DWT	327
CT5	>200,000 DWT	471
Total		1,602

表 4.4 バラ積み船の積載量別船舶数(2005 年)

Symbol	Capacity	Vessel Num.
BL38	up to 10,000 DWT	556
BL39	10,000-40,000 DWT	2759
BL40	40,000-60,000 DWT	1318
BL41	60,000-80,000 DWT	1241
BL42	>80,000 DWT	743
Total		6,617

4.4.2 港と航路ネットワーク

CO₂ 排出量を計算するために図 4.10 のように 全世界を覆う約 1,400 の港と 2,500 のウェイポイント を設定し、約 6800 本のリンクで結びつけて 航路ネットワークを構成した。

船舶動静データベースは船舶ごとの全航海の 発着港が記録されている。船舶はこのネットワー ク上で、発着港を結ぶ最短路を航行するものと仮 定した。なお、1 つの航海を形成する発着港の一 方、もしくは両方がこのネットワークに存在しな い場合、この航海を CO₂ の排出量計算から除外 した。得られた補足率 (CO₂ 排出量の計算対象となっ た航海数 ÷ 動静データの全航海数) は表 4.5～4.7 に示す通り、77～99% となった。

表 4.5 積載量別、コンテナ船の航海補足率

Symbol	Capacity	Capture Rate (year)		
		(1995)	(2000)	(2005)
C19	up to 500 TEU	90%	92%	92%
C20	500-1,000 TEU	89	96	81
C21	1-2,000 TEU	90	97	94
C22	2-3,000 TEU	86	99	99
C23	3-Panamax Beam	89	99	99
C24	Post Panamax	96	98	96
C25	>=10,000+ TEU	---	---	N.A.
Capture Rate (Total)		89%	96%	92%
Total Number of Captured Navigation		146,150	252,563	285,335

表 4.6 積載量別、原油タンカーの航海補足率(2005年)

Symbol	Capacity	Capture Rate
CT1	up to 60,000 DWT	85%
CT2	60,000-80,000 DWT	81%
CT3	80,000-120,000 DWT	80%
CT4	120,000-200,000 DWT	82%
CT5	>200,000 DWT	83%
Capture Rate (Total)		82%
Total Number of Captured Navigation		26,170

表 4.7 積載量別、バラ積み船の航海補足率(2005年)

Symbol	Capacity	Capture Rate
BL38	up to 10,000 DWT	77%
BL39	10,000-40,000 DWT	83%
BL40	40,000-60,000 DWT	87%
BL41	60,000-80,000 DWT	89%
BL42	>80,000 DWT	89%
Capture Rate (Total)		85%
Total Number of Captured Navigation		122,463

これより、排出量のオーダーを把握する上では問題ないと考えられる。

4.4.3 解析対象海域

後述する解析では海域別に CO₂ 排出量を計算している。アジア内における排出量は図 4.11 に示す、東経 70 度～155 度、南緯 15 度～北緯 48 度の範囲にある航路ネットワーク上の排出を対象とした。

また、APEC 域内における CO₂ 排出量は、図 4.12 に示すように、東経 95 度～西経 70 度の範囲内にある太平洋上の航路ネットワークの排出量とした。

さらに、ヨーロッパ域内における CO₂ 排出量は、図 4.13 に示すように、西経 30 度～東経 45 度、南緯 27 度～北緯 75 度の範囲内にある航路ネットワーク上の排出量とした。

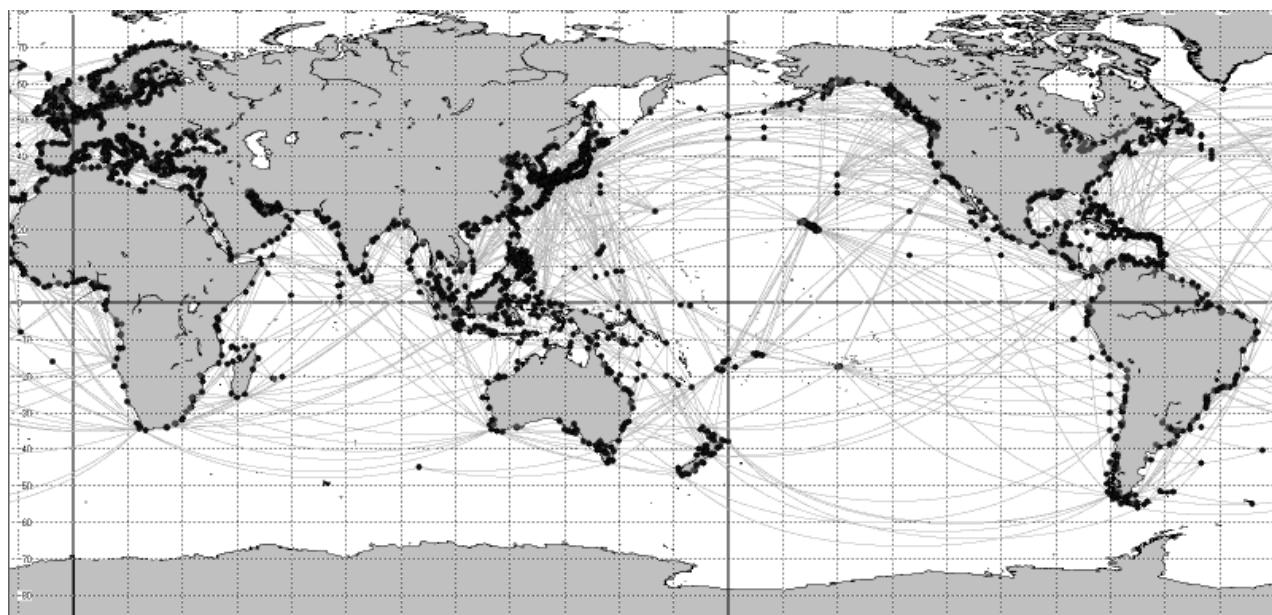


図 4.10 船舶航路ネットワーク

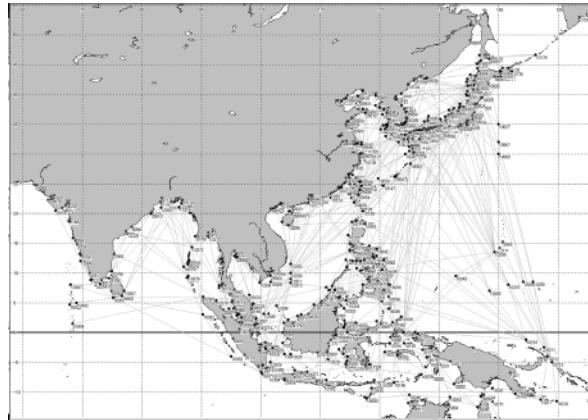


図 4.11 アジア域内 CO₂ 排出量の計算対象となる航路リンク
(東経 70 度～155 度, 南緯 15 度～北緯 48 度)

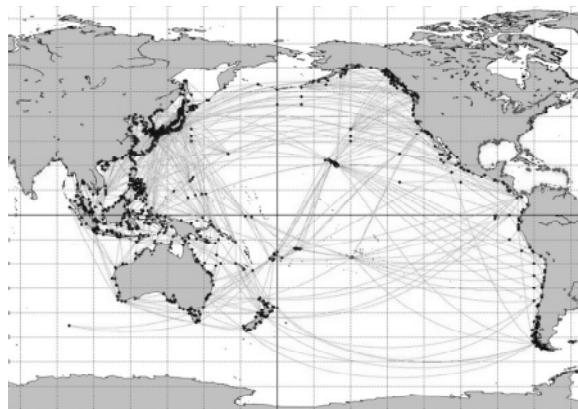


図 4.12 APEC 域内 CO₂ 排出量の計算対象となる航路リンク
(東経 95 度～西経 70 度)

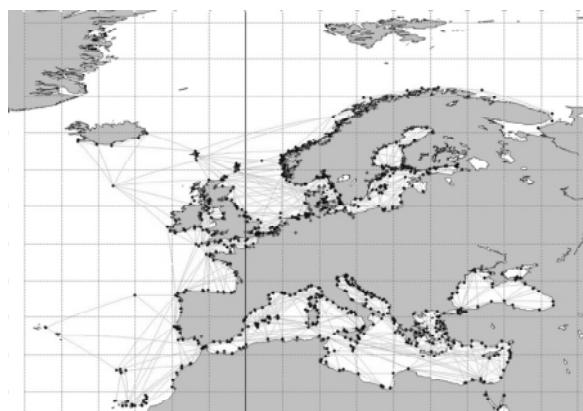


図 4.13 ヨーロッパ域内 CO₂ 排出量の計算対象となる航路リンク
(西経 30 度～東経 45 度, 南緯 27 度～北緯 75 度)

4.4.4 排出原単位

CO₂ 排出量の推定には、文献 (Kristensen, 2002) で提案されたモデルによる排出原単位を用いた。以下に示す式はその排出原単位の計算式である。また、本報告の計算では、通常の運航速度、

最大積載量を仮定し、運航距離は図 4.10 に示したネットワークを構成するリンクの距離を用いている。

- コンテナ船

$$E_O = (c_4 M^4 + c_3 M^3 + c_2 M^2 + c_1 M + c_0) / C$$

$$C = C_2 U^2 + C_1 U + C_0$$

ここで、各変数の意味は次の通りである。

E_O : Energy Consumption per TEU of 10 tons per km, MJ/(TEU km)

U : Percentage Cargo Utilization (assuming 100%)

M : Max. Capacity of TEU

C_E : CO₂ Emission factor, 78(g / MJ)

$$\Rightarrow 78 E_O \text{ g / (TEU km)}$$

また、係数 $c_0 \sim c_4$ 、 $C_0 \sim C_2$ は航海速度により異なる次表で与えられる回帰式の定数である。

Coefficient	Normal Speed-10%	Normal Speed	Normal Speed+10%
c_0	1.803	2.513	4.018
c_1	-6.165 x 10 ⁻⁴	-9.3276 x 10 ⁻⁴	-1.6965 x 10 ⁻³
c_2	1.99 x 10 ⁻⁷	2.9489 x 10 ⁻⁷	5.28 x 10 ⁻⁷
c_3	-2.866 x 10 ⁻¹¹	-3.9916 x 10 ⁻¹¹	-6.697 x 10 ⁻¹¹
c_4	1.522 x 10 ⁻¹⁵	1.941 x 10 ⁻¹⁵	2.893 x 10 ⁻¹⁵
C_0	-7.0 x 10 ⁻³	-7.0 x 10 ⁻³	-4.0 x 10 ⁻³
C_1	1.14 x 10 ⁻²	1.235 x 10 ⁻²	1.37 x 10 ⁻²
C_2	-1.317 x 10 ⁻⁵	-2.28 x 10 ⁻⁵	-3.78 x 10 ⁻⁵

- 原油タンカー、バラ積み船

$$E_O = (c_6 P^6 + c_5 P^5 + c_4 P^4 + c_3 P^3 + c_2 P^2 + c_1 P + c_0) / C$$

$$C = C_2 U^2 + C_1 U + C_0$$

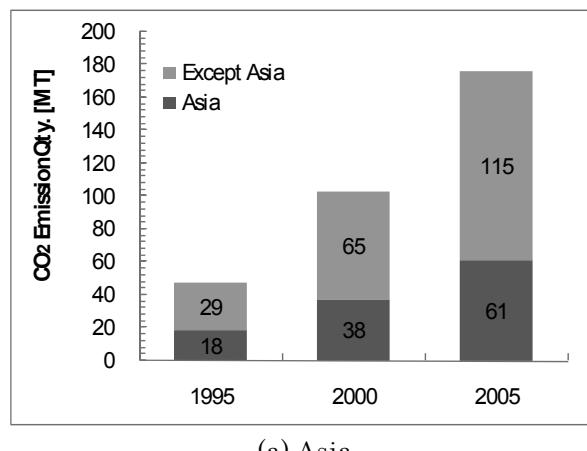
ここで、 P は最大積載量 (トン) であり、係数 $c_0 \sim c_6$ 、 $C_0 \sim C_2$ は航海速度により異なる次表で与えられる回帰式の定数である。

Coefficient	Normal Speed-10%	Normal Speed	Normal Speed+10%
c_0	1.18 $\times 10^{-1}$	1.56 $\times 10^{-1}$	2.267 $\times 10^{-1}$
c_1	-5.30421 $\times 10^{-6}$	-6.80315 $\times 10^{-6}$	-1.02142 $\times 10^{-5}$
c_2	1.375542 $\times 10^{-10}$	1.7112 $\times 10^{-10}$	2.556866 $\times 10^{-10}$
c_3	-1.904675 $\times 10^{-15}$	-2.3376 $\times 10^{-15}$	-3.45884 $\times 10^{-15}$
c_4	1.41175 $\times 10^{-20}$	1.72695 $\times 10^{-20}$	2.535 $\times 10^{-20}$
c_5	-5.2661 $\times 10^{-26}$	-6.446945 $\times 10^{-26}$	-9.41706 $\times 10^{-26}$
c_6	7.748743 $\times 10^{-32}$	9.51531 $\times 10^{-32}$	1.3844865 $\times 10^{-31}$

4.4.5 解析結果

(1) コンテナ船の CO₂ 排出量

図 4.14 には、全世界の CO₂ 排出量と各地域別の排出割合を 1995, 2000, 2005 年に分けて示す。



(a) Asia

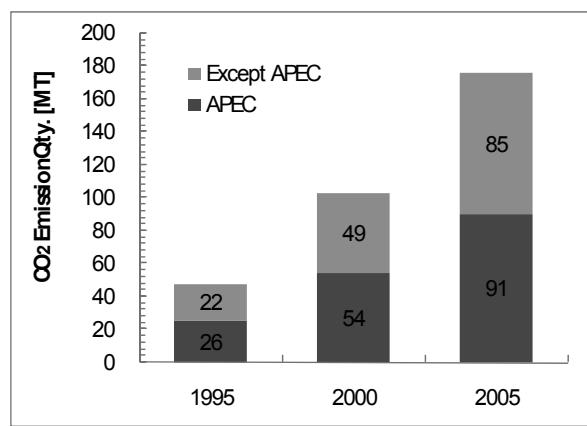


図 4.14(1) コンテナ船の CO₂ 排出量のまとめ
(Unit: MT)

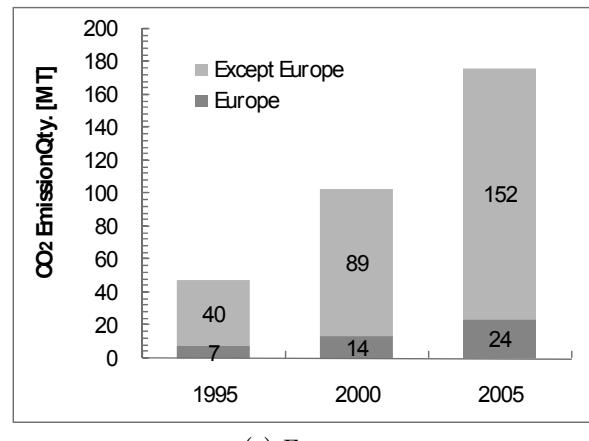


図 4.14(2) コンテナ船の CO₂ 排出量のまとめ
(Unit: MT)

CO₂ 排出量は地域によらず、5 年ごとにおおよそ倍増していることが分かる。また、地域別の全世界に対する割合は、アジアで 1/3、APEC は 1/2 となり、ヨーロッパはこの 3 地域の中で最小の割合であった。

表 4.8、図 4.15 では全世界とアジアでの CO₂ 排出量を、積載量で分けたグループ別に示している。

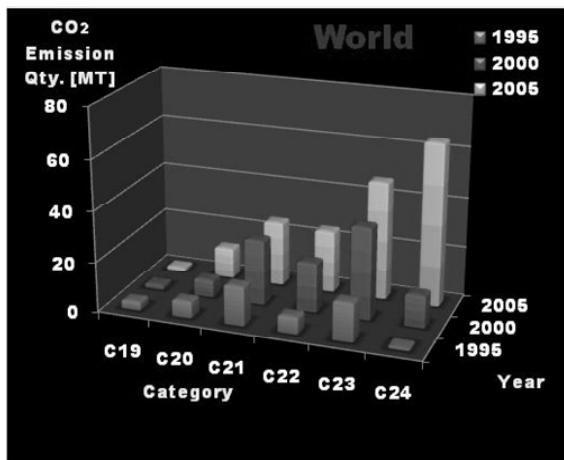
積載量が大きくなるほど、CO₂ 排出量は大きくなる傾向が捉えられている。特に積載量が大きな C24 の排出量の伸びは著しく、この期間の間にコンテナ船の大型化が進んだことを暗示している。

表 4.8 コンテナ船のグループ別 CO₂ 排出量
(a) 世界

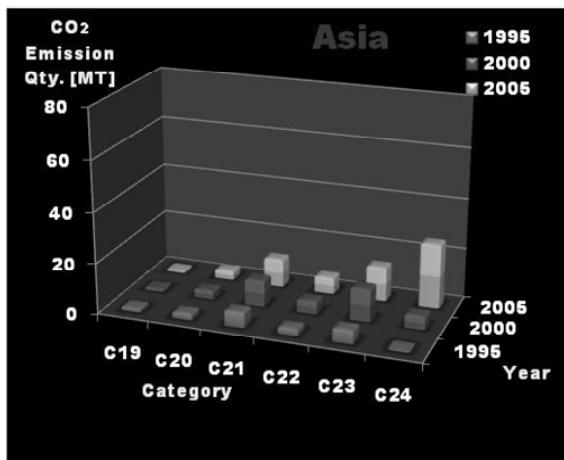
Category	Year		
	1995	2000	2005
C19 up to 500TEU	3.3	1.8	1.5
C20 500-1,000TEU	6.5	6.8	12
C21 1 - 2,000TEU	15	26	26
C22 2 - 3,000TEU	6.6	20	25
C23 3-Panamax Beam	15	36	47
C24 Post Panamax	0.9	13	65
Total (MT)	45	103	176

(b) アジア

Category	Year		
	1995	2000	2005
C19 up to 500TEU	1.3	1.0	0.8
C20 500-1,000TEU	2.4	3.4	3.7
C21 1 - 2,000TEU	6.1	10	11
C22 2 - 3,000TEU	2.7	5.0	6.5
C23 3-Panamax Beam	5.4	13	14
C24 Post Panamax	0.4	5.3	26
Total (MT)	18	38	61



(a) 世界

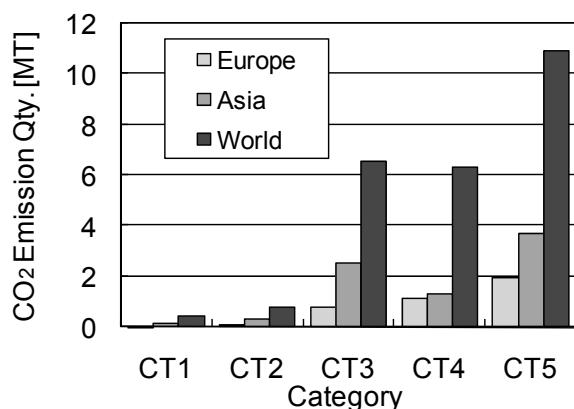


(b) アジア

図 4.15 コンテナ船のグループ別 CO₂ 排出量

(2) 原油タンカーの CO₂ 排出量

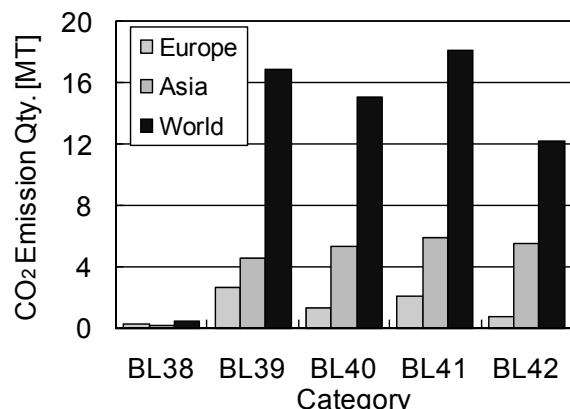
図 4.16 には 2005 年における原油タンカーの CO₂ 排出量を積載量で分けたグループ別に示す。

図 4.16 2005 年における原油タンカーのグループ別 CO₂ 排出量

全世界での排出総量は 25MT となり、そのうちの 30%程度がアジア内での排出となった。一方、ヨーロッパ内の排出割合は 16%である。積載量で分類したグループの中で CT5 の船舶数は CT3 より少ないが、CO₂ 排出量は CT5 が最大となってい

(3) バラ積み船の CO₂ 排出量

図 4.17 には 2005 年におけるバラ積み船の CO₂ 排出量を積載量で分けたグループ別に示す。全世界での排出総量は 63MT となり、そのうちの 30%程度がアジア内での排出となった。一方、ヨーロッパ内の排出割合は 11%である。原油タンカーやコンテナ船とは対照的に、バラ積み船の場合は、積載量と CO₂ 排出量との間に一定の傾向が見られず、BL38 を除いて、どのグループでも大きな違いが生じていない。

図 4.17 2005 年におけるバラ積み船のグループ別 CO₂ 排出量

(4) CO₂ 排出量のまとめ

表 4.9 に 2005 年における船舶から排出された CO₂ 排出量をまとめる。この年、コンテナ船、原油タンカー、バラ積み船からの CO₂ 排出量は 264MT となった。排出量の地域別割合は 13% (35MT) がヨーロッパ、34% (90MT) がアジアとなり、アジアではヨーロッパと比較して 2.5 倍以上の排出量であった。また、船種別に見ると、コンテナ船が 65%を占め、排出量に対して支配的であることが分かった。

ここで得られた解析結果は 4.4.2 節に示した補足率や、4.4.4 節に示した仮定のもと計算されており、多くの不確定要素を含む。より精度の高い結果を求める場合は、さらに詳細なデータベースが必要となる。

表 4.9 2005 年における CO₂ 排出量の総計

Ship Type	Ship Num.	CO ₂ Emission [MT]			
		Asia	Europe	World	
Container	4,445	61 (35%)	24 (14%)	176	
Crude Oil Tanker	1,602	8 (32%)	4 (16%)	25	
Bulk Carrier	6,617	21 (34%)	7 (11%)	63	
Total	12,664	90 (34%)	35 (13%)	264	

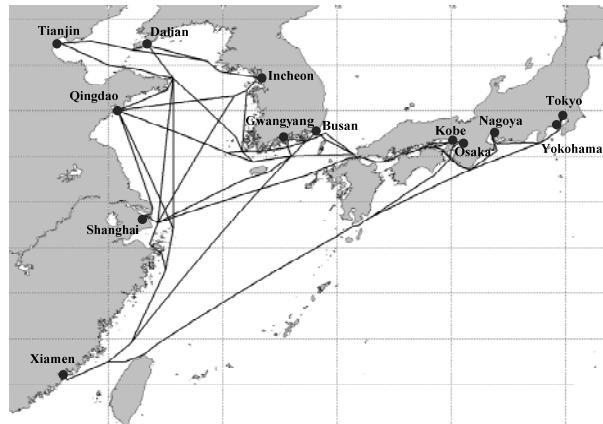


図 4.18 コンテナ輸送に係る主要港の位置と航路ネットワーク

4.5 コンテナ海上輸送網の最適化

前節、冒頭の記述の通り、CO₂排出量の抑制は温暖化防止の観点から喫緊な課題である。また、CO₂排出量の低減は船舶を運航する船社のコスト削減と密接な関係にあるだけでなく、利潤の追求を目的とした経済活動においても環境問題は無視できない重要な要素となってきている。

この背景を踏まえ、本節ではコンテナ海上輸送に係る OD (Origin Destination) 需要表を所与とし、CO₂排出量を評価値とした遺伝的アルゴリズムにより、輸送網の最適化を行った。さらに、荷役速度や接岸準備時間が与える影響について調査した。なお、ここでは、日本、中国、韓国の 3 国における主要港間のコンテナ海上輸送を対象とする。

4.5.1 データベース

コンテナ取扱量が多い 13 港（日本 5 港：東京、横浜、神戸、大阪、名古屋、中国 5 港：大連、青島、上海、天津、廈門、韓国 3 港：釜山、光陽、仁川）間の輸送需要を表 5.7 のデータから作成した。（ただし国内輸送需要は除外されている。）この 13 港間の輸送量で三国間における輸送量の約 60%が網羅されていると思われる。なお、このデータは NMRI、KMI、WTI との共同研究プロジェクトにおいて得られたものである。

本 13 港間の航海距離については、図 4.18 に示す航路ネットワークを利用して、2 港間を結ぶ最短経路で求めた。この距離表を表 4.10 に示す。

4.5.2 解析手法

最適化手法として遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm) を採用し、最適化の評価値（染色体の適応度）は CO₂ 排出量とした。通常、コンテナ船は定期船航路を敷設して、利用者は目的に合った航路を選択する、いわゆるバス路線と同様な輸送形態をとる。よって、本 GA では、第 5 章で推計する輸送需要を制約条件として、CO₂ 排出量が最小となる定期船航路ネットワークを構成することとなる。

最適化の過程において、船速 V_s (Knot)、荷役時間 L (min/TEU)、接岸準備時間 M (min)、積載量 C (TEU/vessel) の範囲は所与とする。なお、本報告では、アジア域内で運航されているコンテナ船の実態に合わせて $V_s=15$ (Knot)、 $L=2$ (min/TEU)、 $M=30$ (min)、 $100 \leq C \leq 1200$ (TEU) が現状を表す値と仮定し、これらの数値の変化が、CO₂ 排出量に与える影響を観察する。

本報告で GA は定期船航路のルート（寄港する港の順序）を最適化する過程で利用されている。GA に関しては多数の既存文献があるため、その概要についての記述は省略するが、本報告の核となる計算過程は文献 [Gen 2008] で報告されている方法による。本報告の GA の 1 進化ステップは 3 つの段階で構成されている。

第 1 段階では、染色体の遺伝子型を、複数の定期船航路で構成されるネットワーク（表現型）にデコードする。第 2 段階では、各航路に割り当てるコンテナ船の数と積載量が計算される。第 3 段階では、評価値である CO₂ 排出量が計算される。以下には、各段階の計算過程を示す。

(1) ルート選択 (1st Stage)

第一段階は染色体の遺伝子型を表現型である複数の定期船航路で構成されるネットワークにデ

表 4.10 13 港間の距離表 (単位: Nautical Miles)

Port Name	Dalian	Qingdao	Shanghai	Tianjin	Xiamen	Tokyo	Yokohama	Kobe	Osaka	Nagoya	Busan	Gwangyang	Incheon
Dalian	261	531	197	1015	1143	1127	839	845	1014	524	478	252	
Qingdao		315	413	855	1086	1070	782	788	957	475	429	328	
Shanghai			683	588	1043	1027	739	745	914	474	444	488	
Tianjin				1167	1295	1279	991	997	1166	676	630	433	
Xiamen					1353	1337	1127	1131	1224	895	865	988	
Tokyo						18	354	358	210	641	719	997	
Yokohama							338	342	194	625	703	981	
Kobe								14	225	337	415	693	
Osaka									229	343	421	699	
Nagoya										512	590	868	
Busan											88	378	
Gwangyang												332	
Incheon													

コードする。なお、定期船航路は寄港順に並べた港の番号で表現される。ここでは遺伝子型に、文献 (Gen, 2008) で報告がある、priority-based encoding を基礎とした手法を採用する。例を図 4.19 に示す。

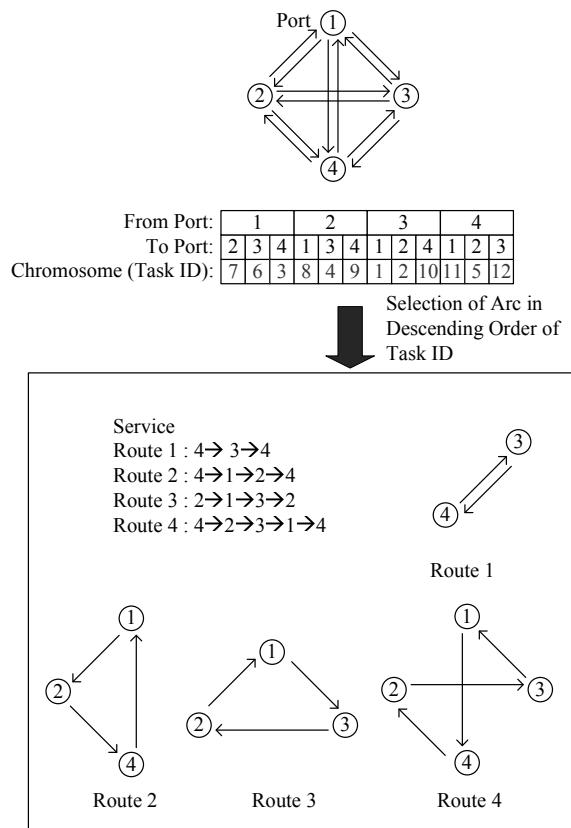


図 4.19 染色体の遺伝子型から表現型へのデコード例

まず、有向完全グラフを構成し（すべての 2 港の組み合わせについて往路、復路を、向きを持つ

たアーチで結ぶ。）、すべてのアーチに対応した数の遺伝子座を持つ染色体に、Task ID (1~アーチ数の整数。図では 1~12) を割り振る。（初期ステップではランダムに決定する）この Task ID の降順で対応するアーチを選択すると、航路ネットワークに変換することができる。図 4.19 の例でいえば、最大の Task ID は 12 であり、これに対応するアーチは港 4→港 3 を意味する。次に、港 3 を発とするアーチの中で最大の Task ID は 10 であり、これに対応するアーチを選択する。この過程を最初の発港(港④)に至るまで繰り返すことで、循環、あるいは往復となる航路が構成できる。図 4.19 の例では、4 つの航路によるネットワークが構成されることになる。

●交 叉

本報告では、遺伝操作の一つである交叉として、position-based cross over が採用されている。この過程を図 4.20 に示す。まず、最小の評価値と、その次に大きな評価値を持つ染色体を選択し（すなわち、貪欲法）、親とする。次に図 4.20 に示すように、親①から子①に対してランダムに選択した遺伝子座の遺伝子をコピーし、親②は子①の空いている遺伝子座を補完する。子②については、親①、②の役割を交換して、子①に対して行った操作を繰り返す。

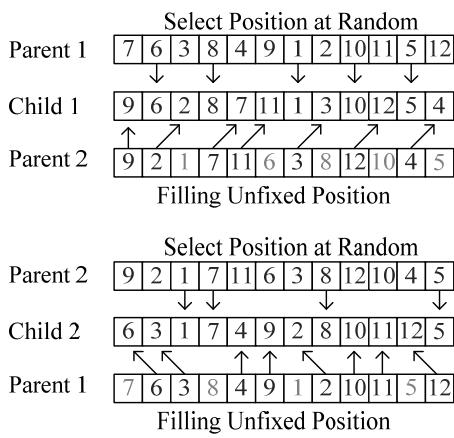


図 4.20 交叉の例

•突然変異

突然変異も遺伝子操作の重要な要素であり、本報告では swap mutation を適用した。これは、1つの染色体に対して二つの遺伝子座をランダムに選択し、その遺伝子を交換する方法である。試行の結果、突然変異率は 0.8 とした。

(2) 船舶数と積載量の決定 (2nd Stage)

第1段階の航路決定の後、本節の第2段階に移り、各航路に割り当てるコンテナ船の数と積載量を決定する。本報告では、それぞれの航路は独立であるため、以下の記述は1つの航路についての計算方法を示す。まず船舶数 x は次式で計算する。

$$x = \left\lceil L \sum_{i \in R} D_i \right\rceil \quad (1)$$

ここで、 R は今考慮している航路に属する港の集合、 i は航路 R 上の港、 D_i は港 i から次の寄港港への需要(TEU/hr)、 L は荷役時間(hr/TEU)である。この式はコンテナ船一隻あたり、一台のガントリークレーンが割り当てられ、同時に接岸隻数に比例して、稼働するガントリークレーンの台数が増加することを仮定している。

次に、得られた船舶数 x を用いて次式が成立するか確認する。

$$C_{\max} > D_{\max} T / x \quad (2)$$

$$D_{\max} = \max_{i \in R} \{D_i\}$$

$$T = T_f + T_l = T_f \{1 + a/(a-1)\}$$

$$a = L \sum_{i \in R} D_i / x$$

$$T_f = \sum_{i \in R} (d_i / V_s + M)$$

ここで、 D_{\max} は航路上の隣り合う2港間の需要の中で最大の需要、 C_{\max} は解析条件としてユーザーが与えるコンテナ船積載量の範囲で最大の積載量（本報告では、東アジア域内で運航されているコンテナ船の現状を踏まえ、1200TEUとした。）、 T は今考慮している航路の周回時間であり、移動時間と接岸準備時間の和 T_f 、および荷役時間 T_l が含まれる。

移動時間は船舶速度 V_s (Knot) と図 4.18、表 4.10 で示した航路ネットワーク上の航海距離 d_i (nautical miles) を用いて単純に計算される。なお、接岸準備時間 M と V_s はユーザーが定数として与える。

もし、式(2)が真であるなら、所与である積載量の範囲でコンテナの輸送需要をまかなえることを意味し、コンテナ船の最大積載量 C は次式で決定する。

$$C = \left\lceil \frac{D_{\max} T}{100x} \right\rceil \times 100 \quad (3)$$

この式は、積載量が 100TEU の間隔を持った離散値として計算されることを意味している。

もし、式(2)が偽であるなら、最大の積載量（ここでは 1,200TEU）となるコンテナ船をもってしても、輸送需要をまかなうことができないことを意味しており、次式により船舶数 x を再計算して式(1)の船舶数 x と置き換える。

$$x' = \left\lceil L \sum_{i \in R} D_i + \frac{D_{\max}}{T_f C_{\max}} \right\rceil \quad (4)$$

x' を用いて航路の周回時間、 T が再計算され、最終的に x' 、 T を式(3)の x 、 T として代入し、コンテナ船の積載量が決定される。

(3) 適応度 (CO₂ 排出量) の計算 (3rd Stage)

本報告では、構築されたコンテナ定期航路のネットワークは CO₂ 排出量で評価される。排出原単位 EF (in g CO₂/NM/DWT) は、次式(IMO, MEPC 58/4/8, 2008)により計算することとした。

$$EF = 468.3 \frac{P}{DWT \cdot V_R} \left(\frac{V_s}{V_R} \right)^2 \quad (5)$$

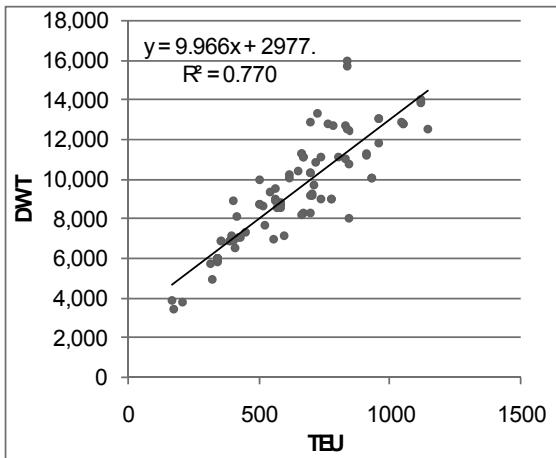


図 4.21 アジア域内で輸送活動を行うコンテナ船の積載量 (TEU) と載貨重量 (DWT) の関係

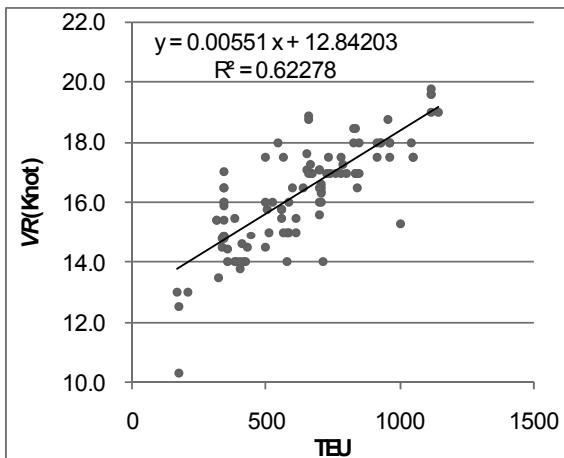


図 4.22 アジア域内で輸送活動を行うコンテナ船の積載量 (TEU) と船速 (VR) の関係

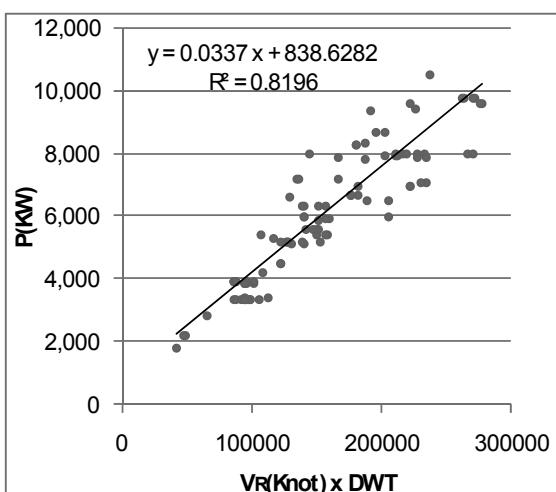


図 4.23 アジア域内で輸送活動を行うコンテナ船の“VR x DWT”と主機出力 (P) の関係

ここで、 DWT は載貨重量 (ton)、 P は主機出力 (KW)、 V_s は所与であるコンテナ船の航海速度 (Knot)、 V_R は参照航海速度 (Knot) である。なお、参照航海速度とは、東アジア域内で実際に運航されているコンテナ船の航海速度を意味する。

前節の第 2 段階で、コンテナ船の属性に係る項目として積載量 C (TEU) が示される。よって、上式の未知変数 DWT 、 P 、 V_R は積載量 C (TEU) から導出しなくてはならない。そこで、2005 年の “Lloyd's, Shipping Information Database, Shipping Movements Database” から、東アジア域内で運航されているコンテナ船に関し、“TEU と DWT の関係”、“TEU と V_R の関係” を図 4.21、図 4.22 のように抽出し、回帰式を求めた。

さらに、主機出力 P については DWT と V_R を用いて図 4.23 に示す回帰式により計算することとした。よって、上式の意味は、現在、東アジア域内で運航されているコンテナ船を航海速度 V_s (Knot) で運航する場合の排出原単位を意味する。

4.5.3 解析結果

表 4.11 には、解析条件（入力）と解析結果（出力）をまとめた。また、図 4.24 は荷役時間（および接岸準備時間）、 CO_2 排出量、1 TEU 当たりの平均輸送時間の関係を示す。なお、平均輸送時間には、待ち時間の期待値（船舶到着時間間隔の半分）も含まれている。

表 4.11 最適化結果のまとめ

項目	現状	荷役時間 3/4	荷役時間 1/2
荷役時間 (Min/TEU)	2.0	1.5	1.0
入 力			
接岸準備時間 (Min)	30	22.5	15
船速 (Knot)	15.0	12.6	11.0
出 力			
コンテナ船 隻数	71	72	72
総積載量 (TEU)	72,800	73,900	71,900
平均輸送時間 (day/TEU)	4.4	4.8	5.2
CO_2 排出量 (MT/year)	0.82	0.58	0.44

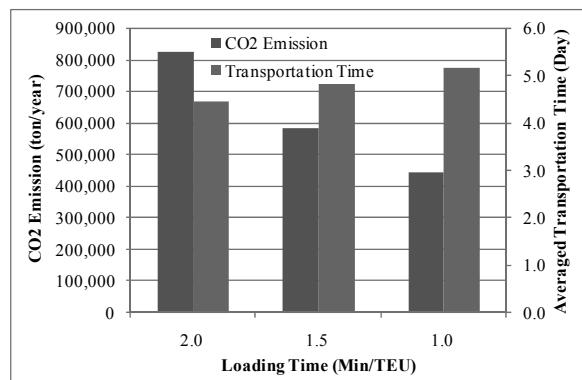


図 4.24 荷役時間、CO₂ 排出量、平均輸送時間の関係

表 4.11 には、現状、3/4 荷役時間、1/2 荷役時間の 3 つの条件とその条件の下、解析された結果が示されている。本解析では荷役時間や接岸準備時間を上記の条件として与え、船隊の構成がどの条件でも同等（隻数が 71 隻程度、積載量の総計が 73,000TEU 程度）となるよう船舶航行速度を調整して試行錯誤的に求めた。

図 4.24 では荷役時間の縮減に伴い、CO₂ 排出量が大きく減少することが分かる。荷役時間を半分にすると CO₂ 排出量は半減（0.82MT → 0.44MT）するが、1 TEUあたりの平均輸送時間は 20%（4.4day → 5.2day）の増加で済んでいる。

4.5.4 まとめ

日本、中国、韓国との三国間におけるコンテナ海上輸送により生じる CO₂ 排出量は、荷役時間の短縮により大きく削減でき、その一方、1 TEU当たりのコンテナ輸送時間の悪化の度合いは小さく抑制できることができることが明らかとなった。しかしながら、ここで条件として示した荷役時間の減少を実現するためには、新たなコンセプトによる輸送システムやこのコンセプトに合致するコンテナ船が必要となる。例えば、海上技術安全研究所で開発されているスーパー・エコ・シップ（SES）などは、この課題に対する一つの解となり得る。

さらに、ここで対象とした三国間（13 港間）における海上コンテナ輸送によりもたらされる CO₂ 排出量の現状を正確に計算することは、データ不足から困難である。そこで本報告では、同地域内において運航されているコンテナ船の実情を踏まえ、定期船航路のネットワーク最適化を行った結果を「現状」として表現している。もし、詳細なコンテナの積載量も含めた全船舶の運航履歴を得ることができれば、より現実に則した忠実な「現状」を認識することが可能となり、現状と最適化との差についても意義深い結果が得られる。

参考文献

- 1) Kristensen, H.O.: Cargo Transport by Sea and road -Technical and Economic Environmental Factors, Marine Technology, Vol.39, No.4, pp.239-249 (2002)
- 2) Gen, M., Cheng, R. Lin, L. "Network Models and Optimization", Springer (2008)
- 3) IMO, MEPC 58/4/8 (2008)

5. 日中韓の物流動

5.1 日中韓の統計の概要

5.1.1 日中韓の国際海上コンテナ貨物統計

日本、韓国、中国の国際海上コンテナ貨物に関して、各國政府の主要な統計として、日本では国土交通省¹⁾、韓国では海洋水産部²⁾、中国では交通部³⁾の公表物が挙げられる。

韓国海洋水産部は、Shipping & Port-Internet Data Center(SP-IDC)という組織を設立し、そこで統計システムで韓国の港湾と外国の港湾間の輸出入コンテナ貨物量を公表している。統計値は、実入コンテナと空コンテナ、自国船と外国船別、直行とトランシップ(T/S)別のコンテナ貨物量がTEU単位で把握可能である。ヒヤリングによると、韓国港湾の輸出入における相手港湾は、輸入は原産地国、輸出は最終目的国である。インターネット上のデータベースでは、2005年に日本、中国と輸出入が行われた港湾として、11港湾が存在する。

国土交通省は、日本の港湾から相手国別の輸入コンテナ貨物量を公表している。2005年に中国、韓国と輸出入が行われた港湾として、63港湾が存在する。統計値は、実入コンテナと空コンテナ、直行とトランシップ別のコンテナ貨物量がTEU単位で把握可能である。日本港湾の輸出入における相手国は、仕出国と仕向国であり、これは、原産地国や最終目的地国との定義と異なる。仕出国は、日本港湾で船卸したコンテナの最終に船積した国であり、仕向国は、日本港湾で船積したコンテナの最初に船卸した国である。

中国交通部は、国間または港湾間の海上コンテナ貨物の統計値は公表していない。以上の様に、日中韓の政府による統計値において、韓国と日本間または韓国と中国間では、SP-IDCより港湾間のコンテナ貨物量が把握可能であるが、日本と中国間では、港湾間のコンテナ貨物量は把握できない。ただし、日本と中国間では、船社が報告する内容を取り纏めて統計値が公表され、一部の主要な港湾間でのコンテナ貨物量が把握可能である⁴⁾。しかし、そのような船社の輸送実績は、船社の加入状況の変化による不確実性、継続的な統計値の公表、統計作成の基準等の点で利用の際に困難が伴う。

5.1.2 日中間のコンテナ貨物統計の比較

筆者等は、日本と韓国間のコンテナ貨物統計において、両国統計の相手国（港湾）の定義が異なることで、統計値に大きな乖離が生じることを示した⁵⁾。ここでは、日本と中国間のコンテナ貨物流動量について、日本の港湾統計と船社の輸送実

績の比較を行い、統計の状況を考察する。表5.1は、2005年の日本の港湾統計と船社の輸送実績に基づく統計値を比較したものである。ここでの船社の輸送実績は、トランシップ貨物や空コンテナの取扱いが明記されていないが、統計値の大きさから、空コンテナは含まれていないと判断した。2002年を対象とした船社の輸送実績の資料⁶⁾では、直行貨物とトランシップ貨物の合計であることが示されていることから、2005年の統計値もその合計であると考えられる。実入コンテナの統計値では、日本の港湾統計に比べ、船社の輸送実績の値は20%程小さい。これにより、船社の輸送実績が全体をカバーしていない可能性が推測される。また、日本の港湾統計は、相手国の定義が仕出国、仕向国であり、コンテナ貨物の原産地や最終目的地の把握が直接的には困難である。2003年のデータで詳細に分析した研究⁷⁾から、中国を仕出国もしくは仕向国とした統計値は、中国を原産国もしくは最終目的国とした統計値に比べ、5%程度大きくなると考えられる。また、2002年の船社の輸送実績⁶⁾においても、影響は5%程度と考えられる。よって、日本と中国間のコンテナ貨物量に関しては、仕出国と原産地国、仕向国と最終目的国との相違は、小さいと考えられる。

表5.1 日本港湾統計と船社の輸送実績の比較

統計項目	日本港湾統計	船社の輸送実績
日本 実入コンテナ (内 T/S)	2,371,068 (10,057)	2,006,606
輸入 空コンテナ (内 T/S)	52,948 (1)	
日本 実入コンテナ (内 T/S)	1,115,988 (7)	860,280
輸出 空コンテナ (内 T/S)	1,428,839 (1)	

単位:TEU

5.1.3 日中韓の統計作成の方法

次に、日本、韓国、中国における統計作成の方法を検討する。表5.2は、三国のコンテナ貨物の統計に関する作成方法の主要な定義を示している。中国は、内部資料として用いられているデータの内容である。

各国共に、統計の作成は、法律によって定められている。日本の例では、法律に定められている部分の他に、統計を作成するための調査票等が示されたマニュアルが存在する。統計値の収集としては、日本は、港湾に対する調査票の配布と収集、電子化された申告データが統計に利用される場合が存在する。韓国では、Port MISと呼ばれる電子申告と統計作成のシステムが導入されている。中国は、各港湾から交通部に報告されているが、電

表 5.2 日本、韓国、中国のコンテナ貨物統計の比較

比較項目	日本	韓国	中国
規則	「統計法」に基づく「港湾調査規則」（別途「港湾調査の手引き」が存在）	「港湾法」	「港口法」、「港口統計規則」
統計値の収集	調査票、Sea-NACCS	Port MIS	Single Port
対象港湾	甲種 172、乙種 642 港湾	28 開港	46 沿岸港
相手国または相手港湾の定義	輸入：仕出国 輸出：仕向国	輸入：貨物の発生地港湾 輸出：貨物の目的地港湾	輸入：貨物の発生地港湾 輸出：貨物の目的地港湾
実入・空コンテナ	実入・空コンテナ別	実入・空コンテナ別	実入・空コンテナ合計
トランシップ貨物の取扱い	統計の対象。ただし直行貨物とは分離して記録されている。	統計の対象。ただし直行貨物とは分離して記録されている。	不明
数量単位	TEU とフレートトン	TEU とレベニュートン	TEU
統計の公表	ホームページ等	ホームページ等	非公開

子化は今のところ達成していない。対象港湾は、日本では、港湾のランクを甲種と乙種に分類し、それぞれ 172 港湾、642 港湾が 2005 年時点で存在する。韓国は、28 港湾存在する。中国は、国間のコンテナ貨物量の統計を作成するため、沿岸域に位置する規模が大きい 46 港湾を対象としている。国間のコンテナ貨物量を把握する際に、相手国に関する定義は、韓国と中国は同一であるが、日本は異なる定義を採用している。韓国と中国では、輸出等の積荷される貨物の相手港湾は「目的国」という概念で定義され、輸入等の荷揚される貨物の相手港湾は「発生地国」という概念で定義される。日本では、積荷される貨物の相手国は仕向国、荷揚される貨物の相手国は仕出国という概念で定義される。仕出国は、「調査港湾で船卸した調査貨物が最終に船積された国」、仕向国は、「調査港湾で船積した調査貨物を最初に船卸した国」を表す。日本と韓国、中国の相違によって、統計値間の相違が生じる可能性が存在すると見える。実入りコンテナと空コンテナの区別は、日本と韓国は明確に分けられているが、中国の内部資料ではその区別が不明である。トランシップ貨物の扱いは、日本と韓国では明確に分けられているが、中国の内部資料ではその区分が同様に不明となっている。統計値は、基本的に TEU で公表されること、3カ国で同一となっている。

日中韓においては、日本と韓国のデータによって、コンテナ貨物の概略は把握可能である。しかし、定義等を詳細に比較することで、以下の点で問題が生じる可能性があると考えられる。

問題点 1：韓国港湾のみで相手港湾別のコンテナ貨物量が公表されているため、日本と中国間では、総合的な港湾間のデータが存在しない

（船社によって、一部公表されているが、そのデータの定義に関する詳細は不明である）。

問題点 2：中国に関しては、相手国別のデータ公表されていないため、そのデータの評価が困難である。

問題点 3：日本の港湾統計の作成において用いられている相手国（の定義は、直行貨物と相手港湾でトランシップされた貨物を分離して把握することが困難である。

5.2 國際貨物流動量の推計手法と使用データ

5.2.1 推計手法

日中韓を含めたアジア地域では、コンテナ貨物統計の利用が困難であることから、各種の推計手法が提案されている⁸⁾等。筆者らは、国際的なな作成方法の標準化が進められている貿易統計を使用することで、統一的な基準に従った国際貨物流動量の推計手法の確立を進めている⁹⁾。推計手法の概要を図 5.1 に示す。筆者らの従来の推計手法は、国間の貨物流動量を推計するのみであった。本報告では、港湾別の貨物流動量を推計可能な手

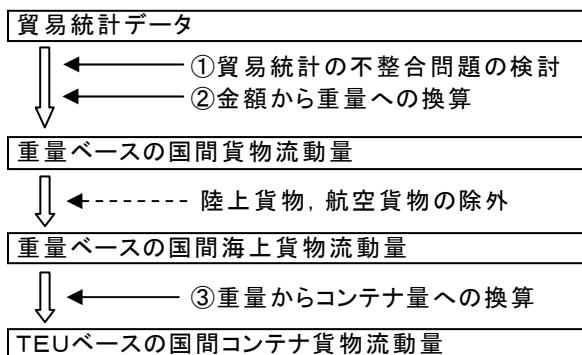


図 5.1 推計手法

法に発展させるため、日中韓において利用可能なデータの検討や試験的な推計を行った結果を示す。

具体的には、上記の推計手法に基づき、新たなデータとして日本と中国の税関別貿易統計データを使用し、港湾別の国際貨物流動量の推計を試みる。一般的な貿易統計データは、国単位に集計し公表されているが、税関別貿易統計データでは、輸出入の申告が行われた税関別に貿易統計が公表されている。本報告では、税関と港湾の対応関係を設定し、税関別貿易統計データから港湾別の貨物流動量を推計する。また、税関別貿易統計としては、Global Trade Information Service 社 (GTIS 社) が販売している World Trade Atlas データ(WTA データ)を使用する。GTIS 社は、各国の貿易額が自国通貨である場合には、US ドルへの変換を行っているが、数量に関するデータは、基本的に各国の貿易関連機関が公表するデータと一致している。また、国連や OECD が公表するデータと基本的には大きな相違はない。

5.2.2 使用データ

WTA データにおける日本の税関別貿易統計についての概要を表 5.3 に示す。貿易統計の区分における税関は 152 税関存在し、123 税関が港湾を管轄し 24 税関が空港を管轄している。残りの 5 税関は、札幌税関支署、鹿島税関支署つくば出張所、横浜税関宇都宮出張所、京都税関支署、京都税関支署滋賀出張所であり、港湾や空港の所在と対応していない。これらの税関のデータは、税関で実施されている輸出入貨物の物流動向調査の国内貨物流動結果を参考にし、港湾に対応させる。WTA データの日本税関別貿易統計では、輸送機関別のデータが存在しないが、税関が港湾や空港と対応しているため、港湾別、空港別の国際貨物流動量が可能と考えられる。品目分類は HS code(国際貿易商品の名称及び分類を世界的に統一した 6 衍の品目表)であり、基本的にこの分類に従っている。日本の貿易統計は、HS 号品目 (6 衍コード) をさらに細分化した 9 衍の数字で示されるコードで記録されている。9 衍コードの品目を HS 号品目に集計する際に、一部の品目は国際標準と一致しない。独自品目は、9 衍のコードで 6 品目が存在した。本報告では標準的な HS 号品目分類に、その独自品目を新たな品目として加えて処理を行っている。

また、数量単位は 15 種類存在し、これを国品目を新たな品目として加えて、処理を行ってい連の数量単位に従うように変換した。この際、Gross Ton は国連の数量単位に存在しないため、新たな数量単位として加えている。

表 5.3 日本の税関別貿易統計の概要

項目	摘要
対象年	1994 年以降
税関	152 税関 (港湾)
輸送機関	輸送機関合計
相手国数	輸入 229 輸出 230 輸出入 231
品目数	HS9 衍品目(輸入 10621 品目 輸出 7734 品目)
数量単位	15 種類 重量(Ton, Kg, 等)、個数、容積等

WTA データにおける中国税関別貿易統計について、その概要を表 5.4 に示す。WTA データでは、別途、香港、マカオ、台湾の貿易統計が存在し、本報告では中国本土の貿易統計を使用する。税関は 41 税関存在し、これは中国の省・市・特別区に対応しており、広東省の珠江デルタ地域に関しては、広州(Guangzhou)、江門(Jiangmen)、拱北(Gongbei)、黄埔(Huangpu)、深セン(Shenzhen)が存在する。中国の税関別貿易統計では、日本の税関別統計に比べ、税關の管轄が港湾や空港の管轄と直接的に対応していない。また、海上輸送、航空輸送、陸上輸送、その他輸送別にデータが整備されているため、海上輸送分の貨物の抽出が可能である。品目分類は、HS の 8 衍品目であり、本研究では、これを HS 号品目で集計して取り扱う。また、数量単位は 13 種類存在し、これを国連の数量単位に従うように変換している。

表 5.4 中国の税関別貿易統計の概要

項目	摘要
対象年	1995 年以降
税関	41 税関 (省・市・自治区等)
輸送機関	輸送機関合計、海上、航空、陸上、その他
相手国数	輸入 232 輸出 236 輸出入 238
品目数	HS8 衍品目(輸入 8695 品目 輸出 8666 品目)
数量単位	13 種類 重量(Ton, Kg, 等)、個数、容積等

5.3 国際貨物流動量の推計方法の適用

5.3.1 日本の税関別貿易統計

推計手法に基づき、日本と中国間のコンテナ貨物流動量を推計した結果について、妥当性の検討を行う。貿易統計は、原則として T/S 貨物と空コンテナを対象としている。そのため、本手法の推計結果は、コンテナ貨物の T/S 貨物を除いた輸出入のみを対象としている。そこで、コンテナ貨物の既存統計として、T/S 貨物の値を除いた日本の港湾統計と、推計結果の比較を行う。日本の港湾統計の相手国が、仕出国と仕向国である点は、相手国が中国である場合は、影響が少ないと考えられる。表 5.5 は、2003 年、2004 年、2005 年の

港湾を合計した日本全国に関して、対中国輸入コンテナ量の港湾統計の値と推計値、対中国輸出コンテナ量の港湾統計の値と推計値を示している。2005年の日本の輸入では、港湾統計の値が236万TEU、推計結果が228万TEUであり、推計結果が4%程度小さい。2005年の日本の輸出では、港湾統計の値が112万TEU、推計結果が113万TEUであり、推計結果が1%程度大きい。全体としては、既存統計と比べ±10%程度の相違での推計が可能と言える。

表5.5 日中コンテナ貨物量推計値の妥当性

年	日本の輸入（对中国）		日本の輸出（对中国）	
	日本の港湾統計	推計値	日本の港湾統計	推計値
2003	1,853	1,820	804	959
2004	2,214	2,239	984	1,076
2005	2,361	2,282	1,116	1,125

単位：1000TEU

次に、日本の港湾別コンテナ貨物推計結果について妥当性の検討を行う。図5.2は、日本の港湾別の対中国輸入コンテナ量と対中国輸出コンテナ量について、2005年の港湾統計の値と推計結果の比較を行っている。輸入、輸出コンテナ共に、全体としては港湾統計の値と大きな相違がないことがわかる。

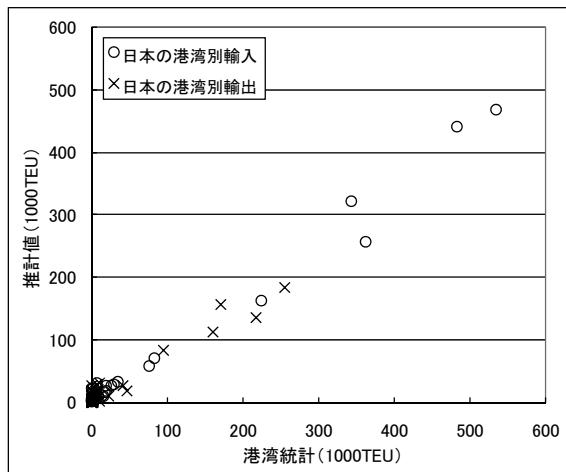


図5.2 日本の港湾別コンテナ貨物量の妥当性

5.3.2 中国の税関別貿易統計

推計手法に基づき、中国と韓国間のコンテナ貨物流動量を推計した結果について、妥当性の検討を行う。中国と韓国間のコンテナ貨物流動に関しては、韓国のSP-IDCの統計値が公表されているため、この統計値と推計結果の比較を行う。本研究では、中国と韓国間のSP-IDCの統計値に関し

て詳細な検討を行っていないため、推計結果の妥当性に関する概要を把握するのみを目的としている。表5.6は、2003年、2004年、2005年に關して、中国本土の韓国からの輸入と、中国本土の韓国への輸出コンテナ量について、SP-IDCの統計値と推計値の比較結果を示している。2005年では、統計値において、中国輸入97万TEU、中国輸出99万TEUであり、推計値においては中国輸入121万TEU、中国輸出118万TEUである。輸出入共に20%程度の過大推計と考えられ、使用した換算係数等の詳細を検討中である。

表5.6 中韓コンテナ貨物量推計値の妥当性

年	中国の輸入（对中国）		中国の輸出（对中国）	
	SP-IDC 統計値	推計値	SP-IDC 統計値	推計値
2003	774	990	693	975
2004	909	1,164	835	1,143
2005	970	1,207	991	1,178

単位：1000TEU

次に、中国の港湾別コンテナ貨物推計結果について妥当性の検討を行う。図5.3は、中国の港湾別の対韓国輸入と対日本輸出のコンテナ量について、2005年のSP-IDCの統計値と推計結果の比較を行っている。全体として、推計精度は十分とは言えない。今後、詳細な各種換算率の検討を行うと共に、SP-IDCの統計値の特性や各種既存統計の検討を進める予定である。

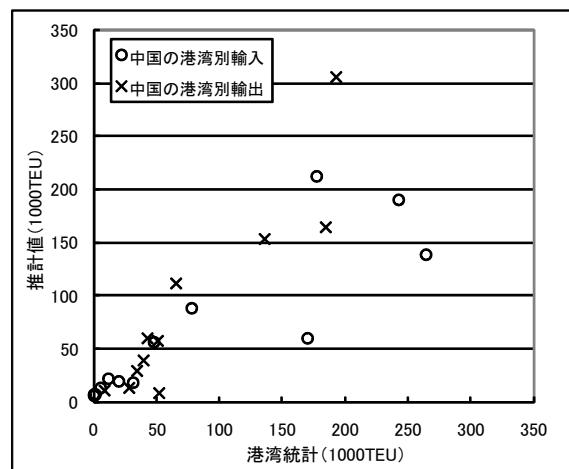


図5.3 中国の港湾別コンテナ貨物量の妥当性

本研究において、相手国を中国とした日本の港湾別コンテナ貨物量と、相手国を韓国とした中国の港湾別コンテナ貨物量の推計を実施した。これに、筆者の過去の研究¹⁰⁾における相手国を韓国とした日本の港湾別コンテナ貨物量と、相手国を日本

とした中国の港湾別コンテナ貨物量の推計を加え、推計手法の適用可能性を検討する。図5.4は、統計値と推計値から乖離率((推計値-統計値)/統計値)を算出し、統計値の大きさで整理したものである。統計値が1000TEU以上であるものを対象とした。統計値が、20万TEU以上では、推計値が小さくなる傾向が存在するが、各種係数を再検討することで、一定規模以上の港湾別コンテナ貨物量は、推計可能と考えられる。

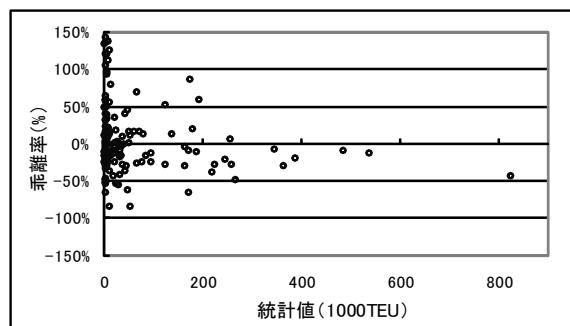


図5.4 統計値と推計値の乖離率

5.3.3 日本与中国の港湾間貨物量の推計

韓国と日本間、韓国与中国間は、韓国の統計によって、港湾間のコンテナ貨物量が把握である。日本間は、船社の輸送実績が存在するが、その定義等の詳細が不明であることや、継続的に入手が困難であり、十分な統計情報が不足している。

そのため、上述した日本与中国の税関別の貿易統計を使用してコンテナ貨物量を推計する手法を実施した。得られた日本港湾与中国間、中国港湾と日本間のコンテナ貨物の推計値を、港湾間のコンテナ貨物量に船舶動静データを使用して分配した。推計結果を表5.7に示す。

参考文献

- 1)国土交通省：港湾調査、<http://toukei.mlit.go.jp/kowan/kowan.html>
- 2)Shipping & Port-Internet Data Center: 「Statistical Information」, <http://www.spidc.go.kr/jsp/spidc.jsp>
- 3)中国港口編集部：中国港口年鑑 2006 (2007)
- 4)株オーシャンコマース：国際輸送ハンドブック 2007 年版 (2007)
- 5)小坂浩之、渡部大輔：東アジア物流の現状と国際海上輸送に関するデータベース開発、海上技術安全研究所報告 Vol.7、No.4、pp.7-21 (2007)
- 6)在中国日本商工会議所：中国経済・産業の回顧

- と展望 2002/2003 (2003)
- 7)赤倉康寛、渡部富博：国際海上コンテナ貨物の輸送経路分析に港湾統計データの考察、国土技術政策総合研究所資料 No.408 (2007)
 - 8)柴崎隆一、渡部富博、角野隆、神波泰夫：アジア圏を中心とした国際海上コンテナのOD貨物量推計に関する研究、国土技術政策総合研究所研究報告 No.25 (2005)
 - 9)小坂浩之、鹿島茂：国際コンテナ貨物量推計手法の精度改善に関する研究、土木計画学研究・論文集 Vol.21、pp.627-632 (2004)
 - 10)小坂浩之：税関別貿易統計を用いた国際海上貨物流動量の推計、土木計画学研究・講演集 Vol.37、CD-ROM (2008)

表 5.7 日本と中国間のコンテナ貨物流動量の推計値(上:日本の輸入、下:日本の輸出)

China-Japan Container Freight Flow(Japanese imports)											China-Japan Container Freight Flow(Japanese exports)														
Unit:1000TEU		Export from Dalian					Import to Tokyo					Export from Dalian					Import to Tokyo								
NMRI Estimation	Dalian	Fangche	Fuzhou	Guangzhou	Haikou	Jiangmen	Lianyungang	Nanjing	Nantong	Ningbo	Qingdao	Qinhuang	Rizhao	Shanghai	Shenzhe	Taijin	Weihai	Xiamen	Xinhui	Yantai	Yingkou	Zhengzhou	Zhuhai	Total	
Import to Tokyo	102	-	-	-	-	-	-	-	10	5	-	16	98	-	9	107	25	17	3	66	-	1	-	-	
Niijata	8	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	2	
Naetsu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	
Sakata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	
Yokohama	32	-	-	-	-	-	-	-	-	0	2	42	-	-	-	32	-	43	0	20	-	-	-	-	44
Kawasaki	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	-	-	-	-	-	5	
Chiba	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	4	
Kisarazu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3	
Kashima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	
Hitachi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4	
Otahama	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	-	-	-	-	-	4	
Kobe	8	-	-	-	-	-	-	-	-	0	10	11	37	-	-	17	1	35	0	8	-	-	-	4	
Mizushima	1	-	20	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-	-	2	-	0	0	-	-	-	0	26	
Fukuyama	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	
Hiroshima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	16	
Sakaimoto	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	5	-	1	-	-	-	8	
Takematsu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	3	
Matsuyama	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	
Osaka Sakai	3	-	-	-	-	-	-	-	-	16	10	22	48	-	-	168	16	7	4	88	-	-	-	0	
Fushiki	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	0	-	0	-	-	-	-	-	0		
Kanazawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	9	
Tsuruga	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-	-	-	6	
Niigata	98	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	19	28	-	-	19	2	-	23	-	-	-	314	
Mikawa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	15	-	-	-	-	-	5	
Shimizu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	4	-	-	-	-	-	17	
Yokosuka	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	5	-	7	-	-	-	1	
Mori	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	2	-	10	-	-	-	68	
Hekate	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	2	-	10	-	-	-	57	
JPN Other	29	14	11	0	2	4	0	2	4	0	0	2	0	0	0	34	4	39	0	24	2	0	5	45	
Total	376	14	72	24	2	4	35	21	10	82	269	37	9	622	82	181	7	207	2	26	7	8	44	141	
China-Japan Container Freight Flow(Japanese exports)											China-Japan Container Freight Flow(Japanese imports)														
NMRI Estimation	Dalian	Fangche	Fuzhou	Guangzhou	Haikou	Jiangmen	Lianyungang	Nanjing	Nantong	Ningbo	Qingdao	Qinhuang	Rizhao	Shanghai	Shenzhe	Taijin	Weihai	Xiamen	Xinhui	Yantai	Yingkou	Zhengzhou	Zhuhai	Total	
Import from Tokyo	10	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	11	15	-	122	13	4	0	2	-	-	-
Niijata	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	185	
Naetsu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
Sakata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	15	7	5	-	-	28	9	4	0	6	1	-	-	1	
Yokohama	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	
Kawasaki	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	
Yokosuka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
Chiba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	27	
Kisarazu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	4	
Kashima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	
Hitachi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
Onahama	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	1	-	1	-	-	-	1	
Kobe	2	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	17	6	-	-	-	32	0	5	-	3	-	-	12	
Mizushima	1	-	-	-	-	-	-	-	-	8	0	-	-	-	0	-	2	-	0	-	-	-	-	6	
Fukuyama	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	-	-	-	0	-	1	-	1	-	-	-	-	14	
Hiroshima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	1	-	1	-	-	-	10	
Sakaimoto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	0	-	-	-	1	
Takematsu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	2	
Mesanoyama	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	7	
Osaka Sakai	5	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	4	7	-	-	33	0	18	0	1	-	0	-	9	
Fushiki	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	0	-	2	-	0	-	-	-	-	7	
Kanazawa	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	4	
Narova	5	-	8	-	-	-	-	-	-	1	-	0	10	8	-	-	34	4	18	0	11	0	2	0	11
Mikawa	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	15	0	-	-	-	-	-	-	6	
Shimizu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	1	9	0	1	-	-	-	15	
Yokosuka	2	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	18	1	1	-	0	-	-	-	30	
Mori	3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	9	0	1	-	0	-	-	-	18	
Hakata	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	16	1	1	-	0	-	-	-	18	
JPN Other	3	2	0	-	0	0	3	6	0	0	3	7	42	2	45	42	92	2	26	2	5	22	1	1	125
Total	45	2	10	27	4	3	25	15	7	63	57	57	42	2	26	2	26	7	8	44	141	1	1	195	

6. 国際貨物の国内流動からみたモーダルシフトの可能性

6.1 コンテナ貨物流動調査の内容

日本の輸出入コンテナ貨物に関する国内流動状況を把握するための調査として、コンテナ貨物流動調査が存在する。コンテナ貨物流動調査は、国土交通省（平成 10 年調査までは旧運輸省）が主体となって実施している調査である。昭和 45 年に第 1 回調査が行われて以来、これまでに計 11 回行われており、その結果は、コンテナターミナルや関連施設の整備計画等の策定、港湾管理者、関連団体等の事業計画立案等の基礎資料として活用されている。調査期間は 1 ヶ月（通常 10 月 1 日～10 月 31 日）であり、調査対象貨物は、その期間中に全国の税関において輸出入申告された海上コンテナ貨物である。調査項目は、コンテナ貨物の流動状況、利用港湾やルート等が把握できるように、生産地・消費地、コンテナ詰め場所・取出し場所、船積港・船卸港、仕向国・仕出（原産）国などが設定されているほか、輸送した貨物の貨物量（フレートトン：港湾取扱量の単位、容積 1,133 立方メートル又は重量 1,000 キロを 1 フレートトンとし、容積か重量のどちらか大きい方をもって計算する。）、品目、申告価格（円）、国内での輸送手段等の項目が設定されている。

6.2 本報告の使用データと分析内容の概要

6.2.1 使用データ

本報告では、2003 年 10 月のコンテナ貨物流動調査の電子データを使用して、東京港を経由するコンテナ流動に関して分析を行い、国際貨物の国内流動からみたモーダルシフトの可能性の検討を行う。このデータでは、輸入の場合は、外国の船積港→日本の船卸港→コンテナ取出場所のコンテナ貨物流動と、輸出の場合は、コンテナ詰め場所→日本の船積港→外国の船卸港のコンテナ貨物流動が把握可能である。船卸港・コンテナ取出場所間とコンテナ詰め場所から船積港間では、輸送手段が把握可能である。この間船舶等で輸送された場合、その着港（輸入の場合）と発港（輸出の場合）が示されている。また、輸入の場合、船積港からコンテナ取出場所間、輸出の場合、コンテナ詰め場所から船卸港間のリードタイムがデータとして存在する。コンテナ取出場所とコンテナ詰め場所は、全国を 207 地域に分割した生活圏別に把握可能である。この他にコンテナ貨物の品目が 81 品目別に記されている。この 81 品目は、港湾統計の品目の中分類に一致する。

ここでは、上記のデータを使用し分析のための

データベースを作成した。既存の分析では、特に生活圏の配置を考慮した分析が見当たらなかったため、生活圏と港湾等の空間的な配置を地理情報システム（GIS）上で取り扱うこととしている。生活圏は、市町村行政地区を統合して 207 地域に分類されたものである。分析では、各生活圏の代表的な市町村役所の所在地を生活圏の代表点とした。

6.2.2 データベースの概要

以下では、データベースを使用して、主にコンテナ貨物流動調査結果における生活圏や港湾の配置を考慮した分析結果の内容を示す。

(1) 生活圏別輸出入コンテナ貨物の空間分布

表 6.1 は、生活圏で分類された各コンテナ取出場所別の輸入コンテナ貨物と、生活圏で分類された各コンテナ詰め場所別の輸出コンテナ貨物に関して、輸出入量が上位 10 位である生活圏のトン数とシェアを示している。輸出入量が上位 10 位の生活圏において 51% の貨物量が存在する。最もコンテナ貨物量の取扱いが大きかった生活圏は、自動車関連産業が多く立地する「豊田」である。輸入と輸出を別々にみると、輸入のコンテナ取出が大きかった生活圏は「東京」であり、輸出のコンテナ詰めが大きかった生活圏は、「豊田」になる。

次に、コンテナ取出場所とコンテナ詰め場所の分布とコンテナ貨物量の取扱いの大きさを GIS 上で観察する。図 6.1 は、各生活圏においてコンテナ取出とコンテナ詰めが行われたコンテナのトン数のシェアを丸の大きさで表している。コンテナの取出しとコンテナ詰めの多くが 3 大都市圏で実施されている様子がわかる。

(2) 港湾別輸出入コンテナ貨物の空間分布

表 6.2 は、港湾別の輸出入コンテナ貨物量とシェアに関して、上位 10 港湾を示している。2003 年調査ではコンテナ取扱い港湾として、61 港湾が確認できる。輸出入量が上位 10 位の港湾で、91% のコンテナ貨物の船卸しと船積みが行われている。また、最もコンテナ貨物量の取扱いが大きかった港湾は、東京港である。輸入と輸出を別々にみると、輸入のコンテナ貨物取扱量（船卸量）が大きい港湾は、東京であり、輸出のコンテナ貨物取扱量（船積量）が大きい港湾は、名古屋港である。これは基本的に生活圏別の輸入コンテナ取出量、輸出コンテナ詰め量のランキングと対応し、生活圏「東京」と東京港、生活圏「豊田」と名古屋港が密接に関係していることがデータから伺える。

図 6.2 は、輸入の船卸量と輸出の船積量を合計したコンテナ貨物取扱量の大きさと港湾の配置を示している。青丸は港湾位置を示し、赤丸はコンテナ貨物取扱量の大きさを示している。3 大都市圏に隣接する東京港、名古屋港、横浜港、大阪港、

表 6.1 のコンテナ取出し場所、コンテナ詰め場所の生活圏別シェア

生活圏	輸出入計		輸入		輸出	
	フレートトン	シェア	フレートトン	シェア	フレートトン	シェア
豊田 愛知県	1,455,959	10%	687,879	8%	768,080	12%
東京 東京都	1,184,179	8%	835,536	10%	348,643	6%
横浜 神奈川県	1,067,717	7%	474,467	6%	593,250	10%
神戸 兵庫県	933,632	6%	426,837	5%	506,795	8%
大阪 大阪府	921,183	6%	721,440	8%	199,743	3%
名古屋 愛知県	527,884	4%	239,639	3%	288,245	5%
四日市 三重県	351,693	2%	139,796	2%	211,897	3%
静岡 静岡県	342,906	2%	140,814	2%	202,092	3%
浜松 静岡県	338,044	2%	126,812	1%	211,232	3%
堺 大阪府	336,318	2%	254,400	3%	81,918	1%
その他	7,228,028	49%	4,475,576	53%	2,752,452	45%
計	14,687,543	100%	8,523,196	100%	6,164,347	100%

表 6.2 港湾別コンテナ貨物輸出入量のシェア

港湾	輸出入計		輸入		輸出	
	フレートトン	シェア	フレートトン	シェア	フレートトン	シェア
東京港	3,033,532	21%	1,928,272	23%	1,105,260	18%
名古屋港	2,736,659	19%	1,388,209	16%	1,348,450	22%
横浜港	2,088,988	14%	1,110,275	13%	978,713	16%
大阪港	1,747,569	12%	1,375,410	16%	372,159	6%
神戸港	1,974,342	13%	998,938	12%	975,404	16%
清水港	549,126	4%	216,673	3%	332,453	5%
博多港	418,725	3%	265,134	3%	153,591	2%
北九州港	422,410	3%	230,413	3%	191,997	3%
四日市港	187,985	1%	93,112	1%	94,873	2%
新潟港	143,173	1%	120,328	1%	22,845	0%
その他	1,385,034	9%	796,432	9%	588,602	10%
計	14,687,543	100%	8,523,196	100%	6,164,347	100%



図 6.1 コンテナ取出し場所、コンテナ詰め場所の生活圏別シェアの分布

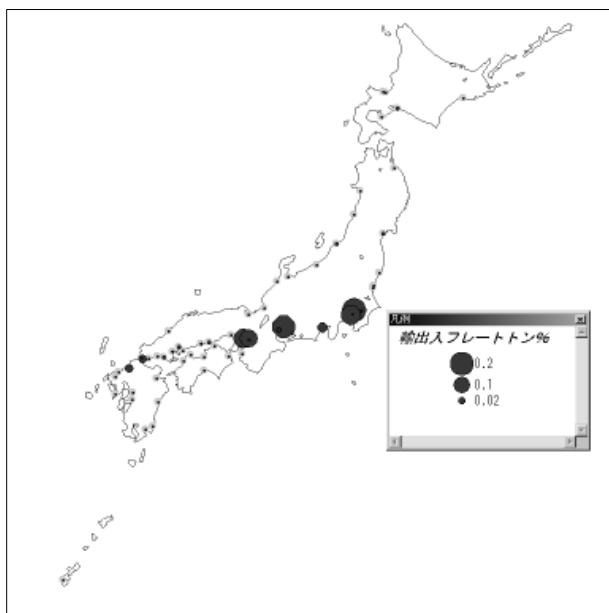


図 6.2 輸出入コンテナ貨物取扱量

神戸港の取扱量の規模が大きいことがわかる。

(3) 港湾別、輸送手段別コンテナ貨物量

図 6.3 は、船卸港別、輸送手段別の輸入コンテナ貨物量のトン数を示している。主要な船卸港では、輸送手段を「トラック又はトレーラ」とした船

卸港からコンテナ取出場所の輸送が大部分である。「トラック又はトレーラ」(以下、トラック等)での輸送量シェアは、それぞれ東京港 98.3%、横浜港 98.2%、名古屋港 99.4%、大阪港 98.2%、神戸港 96.5%、北九州港 98.1%である。特に、「はしけ、

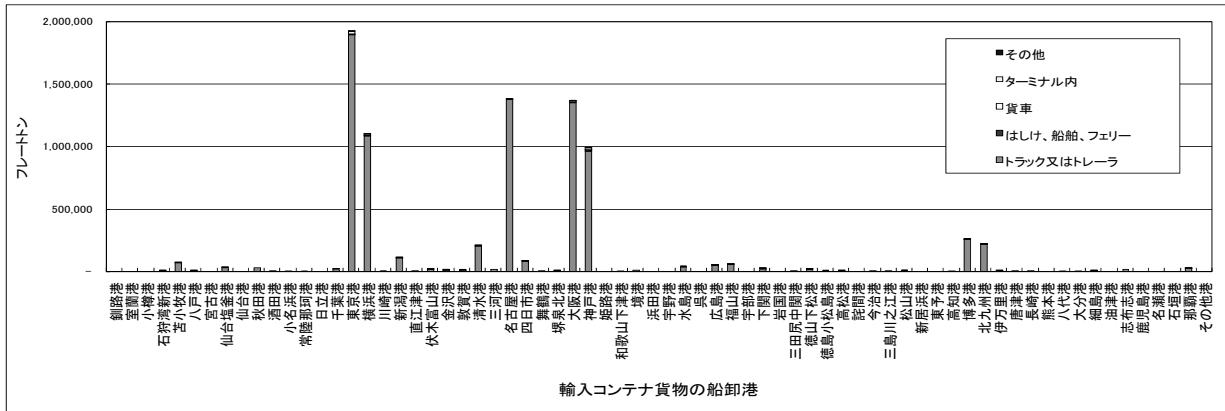


図 6.3 船卸港別、輸送手段別の輸入コンテナ貨物量

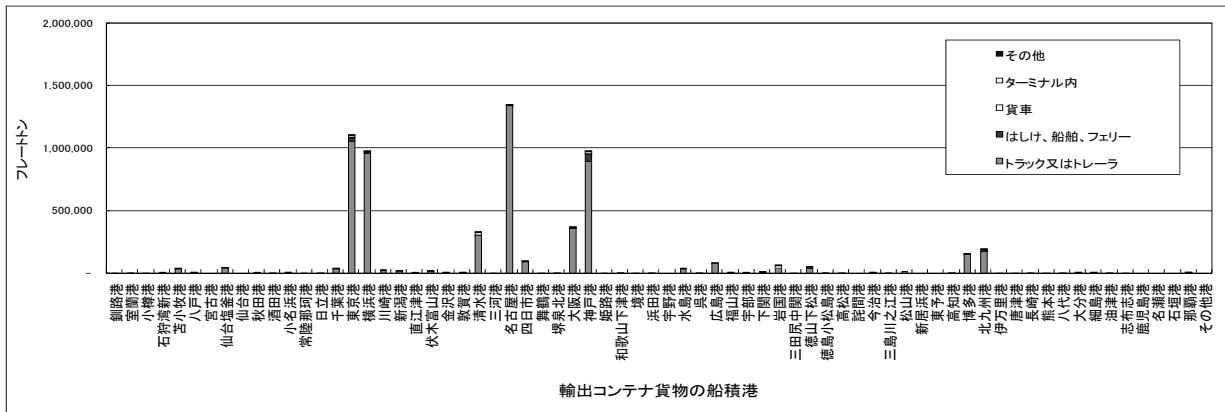


図 6.4 船積港別、輸送手段別の輸出コンテナ貨物量

船舶、フェリー」(以下、船舶等)での輸送量シェアは、それぞれ東京港 0.37%、横浜港 0.40%、名古屋港なし、大阪港 0.67%、神戸港 1.37%、北九州港 0.12%である。

図 6.4 は、船積港別、輸送手段別の輸出コンテナ貨物量のトン数を示している。東京港、横浜港、名古屋港、大阪港、神戸港、北九州港では、輸送手段を「トラック又はトレーラ」としたコンテナ詰め場所から船積港の輸送が大部分である。 トラック等での輸送量シェアは、それぞれ東京港 95.73%、横浜港 97.8%、名古屋港 99.9%、大阪港 96.4%、神戸港 91.5%、北九州港 94.3%である。特に、船舶等での輸送量シェアは、それぞれ東京港 2.79%、横浜港 1.23%、名古屋港 0.001%、大阪港 2.32%、神戸港 6.70%、北九州港 0.43%である。

6.3 東京港の分析

6.3.1 東京港輸出入コンテナ貨物の概要

東京港の輸出入コンテナ貨物の概要として、東京港で船卸しもしくは船積されるコンテナ貨物のコンテナ取出場所、コンテナ詰め場所の把握を行う。コンテナ貨物の多くは、図 6.1、図 6.2 に示した様に、コンテナ取出場所と消費地の地域が、

コンテナ詰め場所と生産地の地域が一致している。

図 6.5 は、東京港で船卸しされる輸入コンテナ貨物について、生活圈別コンテナ取出場所の取扱いトン数を地図上に示している。

コンテナ流動調査における東京港を船卸港とした輸入コンテナ貨物 193 万トンの内、生活圏別のコンテナ取出場所は、関東地域に多くが存在する。コンテナ取出場所として、生活圏：東京が最も多く 69 万トンを取り扱っており、シェアが 35.7% を占める。コンテナ取出場所として、シェアが 10% 以上である生活圏は、生活圏：船橋（18 万トン、9.2%）、生活圏：大宮（17 万トン、9.0%）である。この他に、シェアが 2% 以上であるコンテナ取出場所は、生活圏：川崎（4.2%）、生活圏：横浜（3.7%）、生活圏：千葉（3.1%）、生活圏：川越（3.0%）、生活圏：前橋（2.9%）、生活圏：下館（2.7%）、生活圏：宇都宮（2.7%）、生活圏：土浦（2.6%）、生活圏：桐生（2.0%）であり、すべて関東地域である。

図 6.6 は、東京港で船積みされる輸出コンテナ貨物について、生活圏別コンテナ詰め場所の取扱いトン数を地図上に示している。

コンテナ流動調査における東京港を船積港として



図 6.5 輸入コンテナ貨物のコンテナ取出場所の分布
(東京港船卸貨物)



図 6.6 輸出コンテナ貨物のコンテナ詰め場所の分布
(東京港船積貨物)

た輸出コンテナ貨物 111 万トンの内、生活圏別のコンテナ詰め場所は、輸入と同様に関東地域に多くが存在するが、輸入に比べコンテナ詰め場所の分散傾向が存在する。コンテナ詰め場所として、生活圏：東京が最も多く 33 万トンを取り扱っており、シェアが 29.7%を占める。コンテナ取出場所として、シェアが 10%以上である生活圏は、生活圏：横浜（11 万トン、10.0%）である。この他に、シェアが 2%以上であるコンテナ取出場所は、生活圏：川崎（9.8%）、生活圏：千葉（7.0%）、生活圏：大宮（4.3%）、生活圏：桐生（4.2%）、生活圏：土浦（3.9%）、生活圏：浜松（3.3%）、生活圏：静岡（3.3%）、生活圏：船橋（2.8%）、生活圏：鹿島（2.6%）、生活圏：相模原（2.6%）、であり、関東地域に加え東海地域の生活圏が存在する。次に、東京港の輸出入コンテナ貨物の概要として、東京港で船卸しもしくは船積されるコンテナ貨物の品目について示す。

図 6.7 は、東京港の中分類品目別の輸入コンテナ貨物量と輸出コンテナ貨物量を示している。

東京港の輸入コンテナ貨物 193 万トンの内、シェアが 10%以上である品目は、「電気機械」（26 万トン、13.4%）である。それに続き、「衣服・身廻品・はきもの」（16 万トン、8.5%）、「製造食品」（15 万トン、7.6%）のシェアが多く、その他の品目としては、大分類として化学工業品、軽工業品、雑工業品に分類される品目のシェアが大きい。

東京港の輸出コンテナ貨物 111 万トンの内、シェアが 10%以上である品目は、「電気機械」（18 万トン、16.4%）、「産業機械」（14 万トン、13.0%）、「自動車部品」（13 万トン、12.0%）、「化学薬品」（13 万トン、11.4%）、「再利用資源」（11 万トン、10.0%）である。輸入に比べ特定の品目に集中しており、シェア 10%を超える品目の合計シェアは 62.8%を占める。

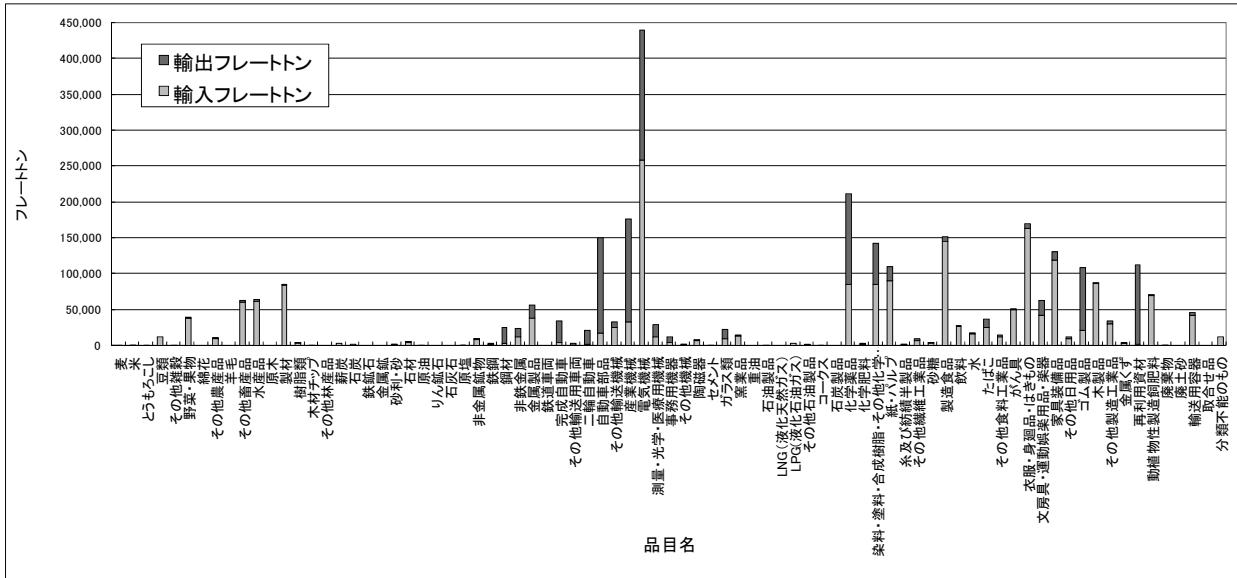


図 6.7 東京港の品目別輸入コンテナ貨物量と品目別輸出コンテナ貨物量

6.3.2 東京港輸出入コンテナ貨物の国内輸送距離

東京港の輸出入コンテナ貨物に関して、東京港からコンテナ詰め場所もしくはコンテナ取出場所までの輸送距離とコンテナ貨物のトン数の関係を示す。図 6.8 は、東京港と各生活圏の道路距離を算出し、距離帯によって色分けを行ったものである。北海道、沖縄県等は、既存のフェリーを利用した際の距離である。

別のコンテナ取出場所もしくはコンテナ詰め場所と東京港の距離帯別に、トン数のシェアを示したものである。この際の輸送手段は、「トラック等」である。また、図 6.10 は、図 6.9 と同様の内容について、距離帯 500km 以上に着目して示している。「トラック等」による東京港経由の輸入コンテナ貨物は 189 万トン、輸出コンテナ貨物は 106 万トン、合計で 295 万トン存在する。この内、距離帯が 500km 未満であるコンテナ貨物は、294 万トンで 99.5% を占める。距離帯が 500km 以上である輸出入コンテナ貨物は、1 万 5 千トン (0.5%) 存在する。この内、距離帯が 500km 以上 1000km 未満である輸出入コンテナ貨物が 1 万 1 千トン (0.4%)、距離帯が 1000km 以上である輸出入コンテナ貨物が 4 千トン (0.1%) である。500km 以上 1000km 未満で 1,000 トン以上の輸出入コンテナ貨物が存在する生活圏は、岩手県・花巻、大阪府・大阪、兵庫県・神戸である。また、距離帯が 1000km 以上であり、1,000 トン以上の輸出入貨物が存在する生活圏は、北海道・札幌（輸出入：1.1 千トン）のみである。

図 6.11 は、図 6.9 と同様の内容について輸送手段を「船舶等」した場合のトン数のシェアを示したものである。また、図 6.12 は、図 6.11 と同様の内容について、距離帯 500km 以上に着目して示している。輸送距離の算定は、道路距離と同様とした。輸送手段が「トラック等」である場合の距離であり、船舶の航海距離を用いていない。「船舶等」による東京港経由の輸入コンテナ貨物は 7 千トン、輸出コンテナ貨物は 3 万 1 千トン、合計で 3 万 8 千トン存在する。この内、距離帯が 500km 未満

図 6.8 東京港から各生活圏までの道路距離

図 6.9 は、東京港を船卸港もしくは船積港として経由する輸出入コンテナ貨物について、生活圏

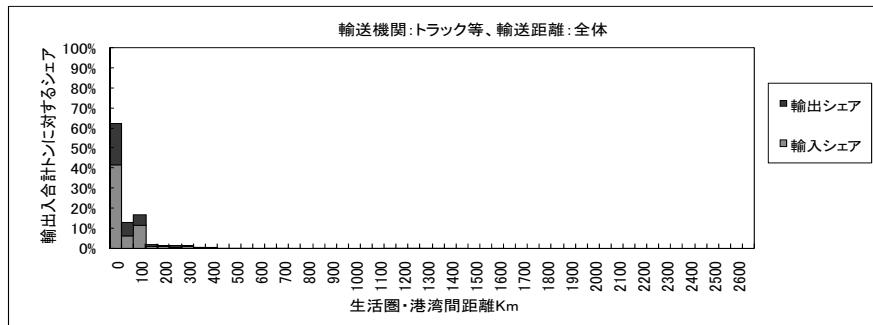


図 6.9 東京港とコンテナ取出・詰め場所間の距離帯別のコンテナ貨物量シェア
(輸送機関: トラック等)

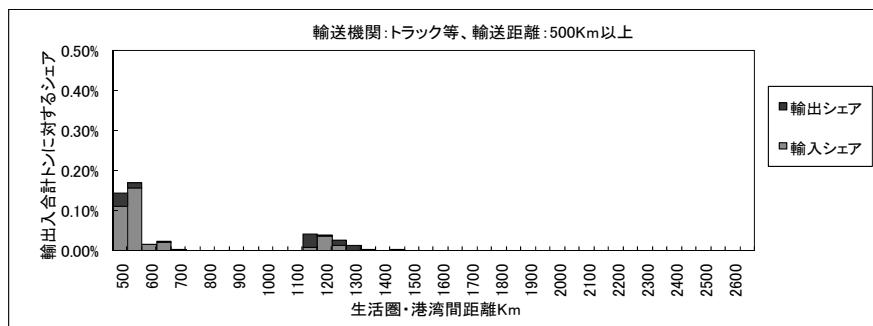


図 6.10 東京港とコンテナ取出・詰め場所間の距離帯別のコンテナ貨物量シェア
(輸送機関: トラック等、距離帯 500km 以上)

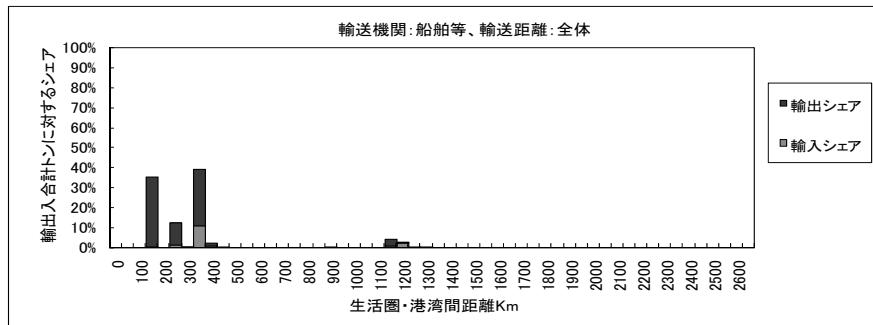


図 6.11 東京港とコンテナ取出・詰め場所間の距離帯別のコンテナ貨物量シェア
(輸送機関: 船舶等)

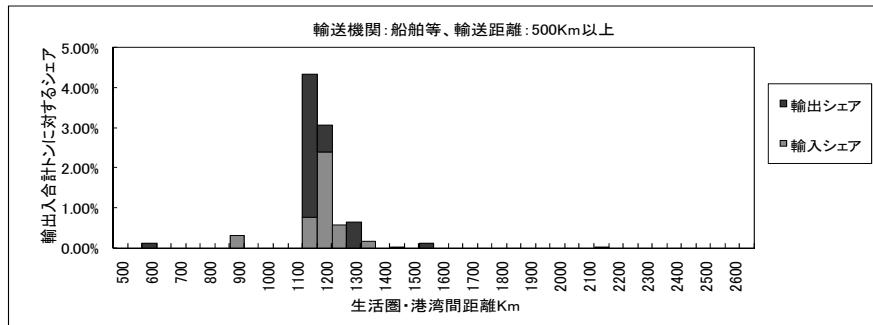


図 6.12 東京港とコンテナ取出・詰め場所間の距離帯別のコンテナ貨物量シェア
(輸送機関: 船舶等、距離帯 500km 以上)

であるコンテナ貨物は、3万4千トンで90.5%を占める。距離帯が500km以上である輸出入コンテナ貨物は、4千トン(9.5%)存在する。この内、距離帯が500km以上1000km未満である輸出入コンテナ貨物が170トン(0.4%)、距離帯が1000km以上である輸出入コンテナ貨物が3千トン(9%)である。500km未満で主要な生活圏は、静岡(輸出入:1万3千トン)、浜松(同:5千トン)、仙台(同:1万5千トン)である。500km以上1000km未満で1,000トン以上の輸出入コンテナ貨物が存在する生活圏はない。また、距離帯が1000km以上であり、1,000トン以上の輸出入貨物が存在する生活圏は、苫小牧(輸出入:1.6千トン)、札幌(同:1.2千トン)である。

次に、東京港からコンテナ取出場所まで、もしくはコンテナ詰め場所から東京港までの輸送において、「船舶等」を利用する輸出入コンテナ貨物を対象として、コンテナ詰め場所、発港、着港(船積港)間、もしくは発港(船卸港)、着港、コンテナ取出場所間の道路距離と航海距離を考慮して輸送距離を算出した。図6.13は、「船舶等」を利用するコンテナ貨物の航海距離と道路距離を考慮した輸送距離と、同様の貨物が「トラック等」を利用した場合の輸送距離を比較している。「トラック等」を利用した場合の輸送距離から見て1000km以内では、「船舶等」の利用の輸送が長距離になる傾向が存在し、1000km以上ではその逆の傾向が存在する。

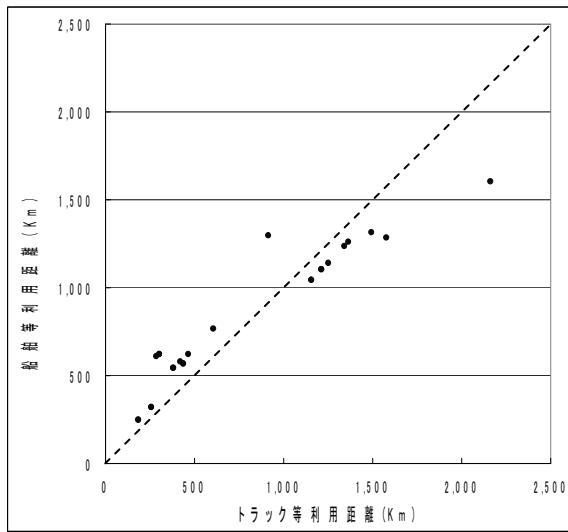


図 6.13 船舶等とトラック等の利用距離の比較

6.3.3 東京港輸出入コンテナ貨物の輸送日数

東京港において船卸し、または船積みされる輸出入コンテナ貨物に関して、東京港からコンテナ取出場所、コンテナ詰め場所から東京港の輸送が「トラック等」である貨物の輸送日数の分析を行う。

図6.14は、コンテナ取出場所を生活圏・東京とした東京港輸入コンテナ貨物について、東京港からコンテナ取出場所までの輸送日数別にデータ件数を示したものである。この際の輸送手段は「トラック等」であり、データ総数は5,961件存在する。また、図6.15は、同様の東京港輸出コンテナ貨物について示したものであり、データ総数は3,594件存在する。

東京港と生活圏・東京間の輸入コンテナ貨物は、2日の輸送日数が最も多く(12%)、分布全体では、1日から5日で輸送されるコンテナ貨物が一般的であり、全体の56%を占める。東京港と生活圏・東京間の短距離の輸送においても、輸送日数が6日以上であるコンテナ貨物が38%程度存在する。

東京港と生活圏・東京間の輸出コンテナ貨物は、1日の輸送日数が最も多く(18%)、分布全体では、1日から4日で輸送されるコンテナ貨物が多く64%を占める。また、輸送日数が6日以上であるコンテナ貨物が22%を占める。

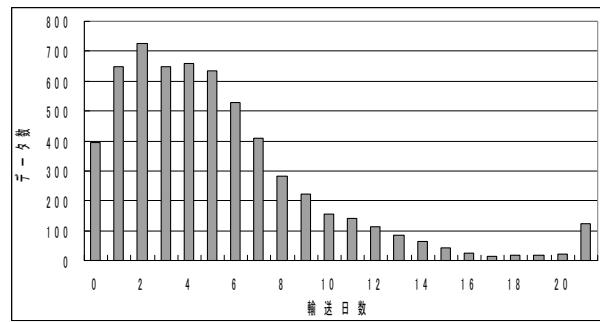


図 6.14 東京港からコンテナ取出場所(生活圏東京)への輸送日数の分布：輸入コンテナ貨物

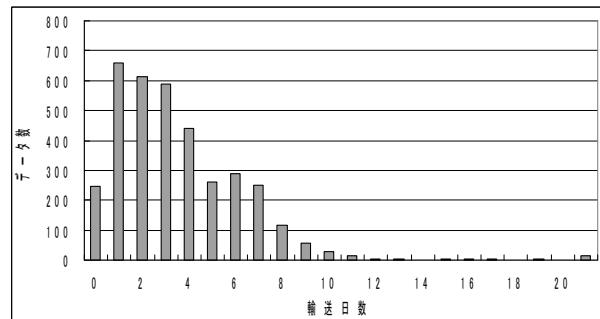


図 6.15 コンテナ詰め場所(生活圏東京)から東京港への輸送日数の分布：輸出コンテナ貨物

次に、図6.16は、東京港の輸入コンテナ貨物に関して、日本全国の生活圏別に同様の輸送日数の分布を作成し、輸送日数の最頻値を地図上に示したものである。また、図6.17は、同様の分析を、東京港の輸出コンテナ貨物に関して行ったものである。

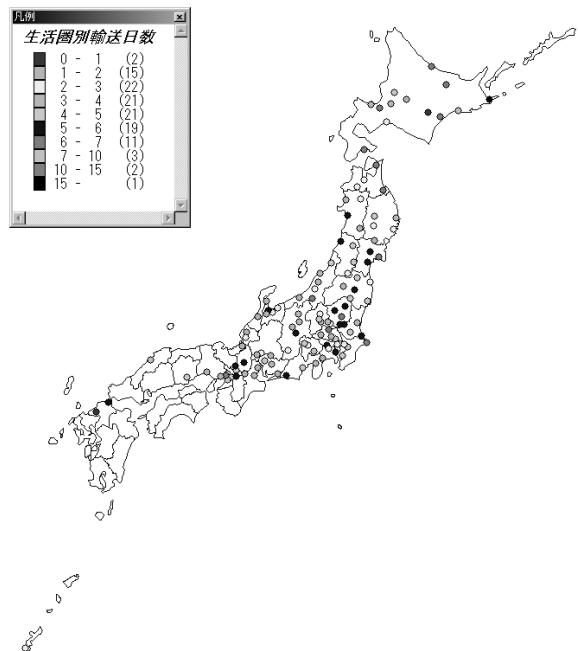


図 6.16 輸入コンテナ貨物の東京港からコンテナ取出場所までの輸送日数（東京港船卸貨物）



図 6.17 輸出コンテナ貨物のコンテナ詰め場所から東京港までの輸送日数（東京港船卸貨物）

輸入コンテナ貨物に関しては、輸送日数の最頻値が2日である生活圏が最も多く、22生活圏が存在する。輸送日数の最頻値が、1日から6日である生活圏は109存在する。また、輸出コンテナ貨物に関しては、輸送日数の最頻値が3日である生活圏が最も多く、28生活圏が存在する。

全体としては、東京港から生活圏までの距離と、

輸送日数の最頻値の間では明確な関係はないことから、東京港、コンテナ取出場所、コンテナ詰め場所等での蔵置時間が、輸送日数に大きな影響を与えていていると考えられる。

2003年10月の1ヶ月調査である輸出入コンテナ貨物流動調査によると、コンテナ貨物の消費地と生産地は、関東地域、近畿地域、中部地域に集積し、そこから港湾までもしくは港湾からの国内輸送は、トラック等によるものがほとんどである。その様な比較的近距離の国内トラック輸送においても、輸送日数が2日から5日程度にばらつきが存在する。これは、外航のコンテナ船の寄港状況に従って、コンテナ貨物が蔵置場所や港湾で外航コンテナ船を待つ時間が影響していると考えられる。そのため、外航コンテナ船のスケジュールに十分対応した内航コンテナ船のスケジュールを作成することで、よりモーダルシフトが促進されることが考えられる。基本的には、高頻度なサービスが必要と思われる。

一方で、主に長距離の国内輸送においては、すでにトラックと船舶が競合している区間も存在している（例えば、北海道札幌と東京港の国内輸送は、トラックと船舶の輸送が共に1,000トン程度存在する）。長距離の国内航路網の充実によって、船舶による国内輸送は十分期待できる。

また、内航コンテナフィーダー貨物量の増加は著しく、内航コンテナフィーダー貨物の起因となる輸出入コンテナ貨物量の増加率を超えており、近年の調査によると、関東地域、近畿地域の港湾を中心として、その他の地域へもしくはその他の地域からの内航コンテナフィーダー貨物が輸送されている。現在の関東地域の東京港、横浜港、近畿地域の神戸港、大阪港を中心とした内航コンテナフィーダー網は、基本的に外航コンテナ船の寄港状況に大きく影響を受けることが考えられ、これらのハブ港湾での施策と対応した内航コンテナフィーダー網の充実が必要である。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：平成15年度全国輸出入コンテナ貨物流動調査結果、
<http://www.mlit.go.jp/kowan/data/001.html>
- 2) 小島肇等：国際海上コンテナ貨物の輸送経路に関する一考察、国土技術政策総合研究所資料、No.283 (2006)
- 3) 渡部富博等：国際海上コンテナ貨物の国内地域別特性に関する一考察、国土技術政策総合研究所資料、No.283 (2006)

6.4 モーダルシフトの可能性に関する考察

前節において輸出入貨物の国内輸送に関し、モーダルシフトの可能性の存在が示されたので、モーダルシフトの可能性について前節までの検討を深化し、この視点で更に検討を加える。

6.4.1 輸出入コンテナ貨物の現状

(1) 全国輸出入コンテナ貨物流動調査の概要

日本の輸出入コンテナ貨物に関する国内流動状況を把握するための調査として、コンテナ貨物流動調査が存在することは前に述べた。

コンテナ貨物流動調査は、コンテナターミナルや関連施設の整備計画等の策定、港湾管理者、関連団体等の事業計画立案等の基礎資料として活用されている。調査対象貨物は、その期間中に全国の税關において輸出入申告された海上コンテナ貨物であるが、小額貨物（1品目20万円以下）、軍関係貨物、コンテナ本体及びその付属品等の貨物は調査の対象から除外されている。調査票の回収方法は、料金受取払いの返信用封筒による郵送となっている。同様の調査期間の貿易統計と比較した時、コンテナ貨物流動調査の補足率は、輸入コンテナ貨物において79.7%、輸出コンテナ貨物において86.1%である。

(2) 輸出入コンテナ貨物の国内流動

1) コンテナ取出し場所と詰め場所

輸入コンテナ貨物の国内輸送先（消費地）の都道府県別取扱量を図6.18に示す。最も取扱量が多いのは大阪府の約128万フレートトン（シェア約15.0%）であり、次いで愛知県の約101万フレートトン（シェア約11.9%）、東京都の約86万フレートトン（シェア約10.1%）となっている。

生活圏別に輸入コンテナ貨物の取扱量をみると、東京が最も多く、約84万フレートトン（シェア約9.8%）であり、以下、大阪の約72万フレートトン（シェア約8.5%）、豊田の約69万フレートトン（シェア約8.1%）と続いている（図6.19）。なお、図3.2で図示している生活圏は、各生活圏の代表的な市町村役場の所在地を生活圏の代表点としている。

輸出コンテナ貨物の国内輸送元（生産地）の都道府県別取扱量を図6.20に示す。最も取扱量が多いのは愛知県の約109万フレートトン（シェア約17.7%）であり、次いで神奈川県の約84万フレートトン（シェア約13.6%）、兵庫県の約72万フレートトン（シェア約11.7%）となっている。

生活圏別に輸出コンテナ貨物の取扱量をみると、豊田が最も多く、約77万フレートトン（シェア約12.5%）であり、以下、横浜の約59万フレートトン（シェア約9.6%）、神戸の約51万フレートトン（シェア約8.2%）と続いている（図6.21）。

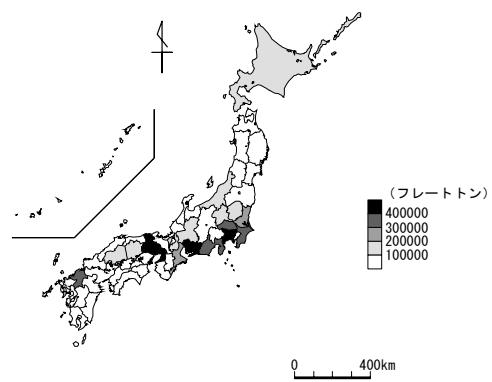


図 6.18 都道府県別輸入コンテナ貨物取扱量

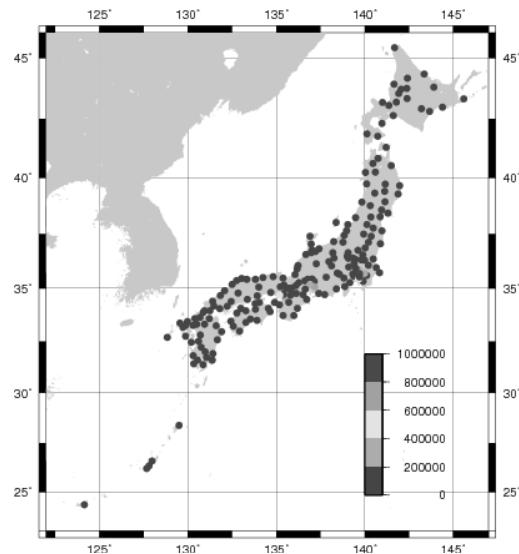


図 6.19 生活圏別輸入コンテナ貨物取扱量

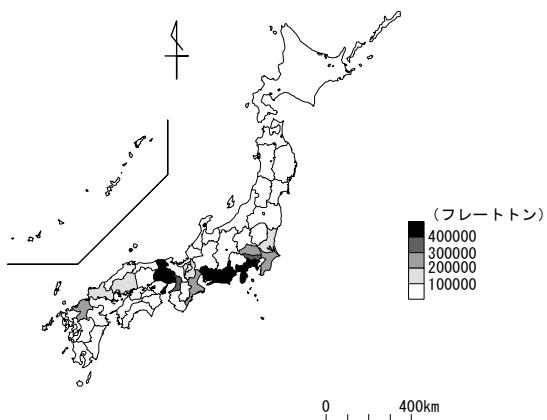


図 6.20 都道府県別輸出コンテナ貨物取扱量

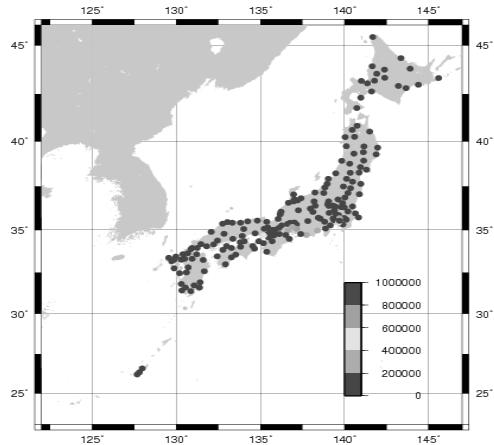


図 6.21 生活圏別輸出コンテナ貨物取扱量

2) 港湾

ここでは、輸出入コンテナ貨物の港湾別取扱量を見る。

輸入コンテナ貨物の取扱量が最も多いのは、東京港の約193万フレートトン（シェア約22.6%）である。次いで、名古屋港の約139万フレートトン（シェア約16.3%）、大阪港の約138万フレートトン（シェア約16.1%）、横浜港の約111万フレートトン（シェア約13.0%）、神戸港の約100万フレートトン（シェア約11.7%）と続き、上位5港で約80%弱のシェアとなっている（図6.22）。

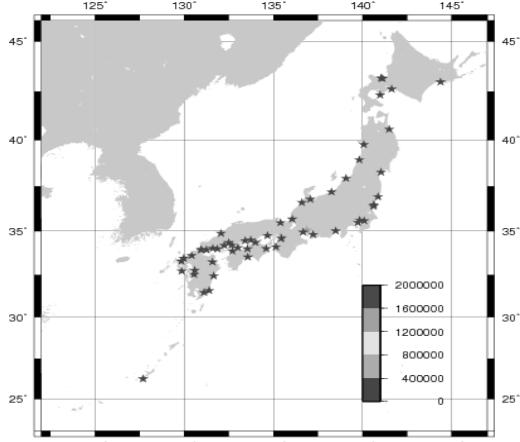


図 6.22 港湾別輸入コンテナ貨物取扱量

同様に、輸出コンテナ貨物の取扱量では、名古屋港の約135万フレートトン（シェア約21.9%）が最も多く、次いで、東京港の約111万フレートトン（シェア約17.9%）、横浜港の約97.9万フレートトン（シェア約15.9%）、神戸港の約97.5万フレートトン（シェア約15.8%）、大阪港の約37万フレートトン（シェア約6.0%）と続き、上位5港で約80%弱のシェアとなっている（図6.23）。

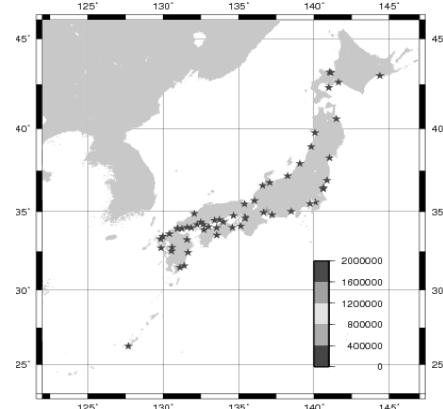


図 6.23 港湾別輸出コンテナ貨物取扱量

3) 輸送手段

表6.3は、輸入コンテナ貨物量と輸出コンテナ貨物量のフレートトンベースでの輸送手段別シェアを示している。輸入コンテナ貨物は、船卸港からコンテナ取出場所まで、輸出コンテナ貨物は、コンテナ詰め場所から船積港までの輸送手段である。輸送手段の「ターミナル内」とは、輸出貨物においては、船積港のコンテナターミナル内においてコンテナに積み込まれる貨物、また輸入貨物においては、船卸港のコンテナターミナル内にてコンテナから取出される貨物を指している。

輸入コンテナ貨物、輸出コンテナ貨物のいずれにおいても、トラック等による輸送がほとんどであり、船舶等による輸送はほとんど行われていないことがわかる。

表 6.3 輸送手段別シェア

輸送手段	輸出入計		輸入		輸出	
	フレートトン	シェア	フレートトン	シェア	フレートトン	シェア
トラック又はトレーラ	14,245,416	97.0%	8,351,486	98.0%	5,893,930	95.6%
はしけ船舶フェリー	158,808	1.1%	39,482	0.5%	119,326	1.9%
貨車	9,161	0.1%	3,067	0.0%	6,094	0.1%
ターミナル内	253,842	1.7%	116,121	1.4%	137,721	2.2%
その他	20,316	0.1%	13,040	0.2%	7,276	0.1%
計	14,687,543	100.0%	8,523,196	100.0%	6,164,347	100.0%

ただし、船舶等による輸送のシェアが高い輸送区間（ODペア）も存在している。表6.4と表6.5に輸入コンテナ貨物における船舶等のシェアが高い輸送区間と輸出コンテナ貨物における船舶等のシェアが高い輸送区間とを示す。

表 6.4 輸入コンテナ貨物における船舶等のシェアが高い輸送区間（上位 10 区間）

	船卸港	生活圏	総輸送量 (フレート トン)	シェア		
				トラック 等	船舶 等	その 他
1	大阪港	鹿児島	1,850	3.1%	96.9%	0.0%
2	大阪港	高知	2,140	22.1%	77.9%	0.0%
3	那覇港	石垣	1,387	29.7%	70.3%	0.0%
4	神戸港	今治	1,929	39.8%	60.2%	0.0%
5	横浜港	苫小牧西	1,516	51.1%	47.5%	1.4%
6	横浜港	石巻	1,311	52.8%	47.2%	0.0%
7	東京港	札幌	2,072	49.9%	44.0%	6.1%
8	横浜港	札幌	1,529	64.8%	35.2%	0.0%
9	神戸港	八幡浜	1,165	65.7%	34.3%	0.0%
10	大阪港	新居浜	5,451	66.9%	33.1%	0.0%

表 6.5 輸出コンテナ貨物における船舶等のシェアが高い輸送区間（上位 10 区間）

	生活圏	船積港	総輸送量 (フレート トン)	シェア		
				トラック 等	船舶 等	その 他
1	熊本	神戸港	5,401	1.6%	98.4%	0.0%
2	松山	神戸港	9,168	5.3%	94.7%	0.0%
3	広島	大阪港	3,419	4.7%	93.9%	1.5%
4	高松	神戸港	2,026	13.3%	86.7%	0.0%
5	新居浜	神戸港	20,987	15.2%	84.7%	0.1%
6	都城	大阪港	1,437	16.3%	83.7%	0.0%
7	大分	神戸港	1,126	16.5%	83.5%	0.0%
8	広島	神戸港	14,922	18.8%	81.2%	0.0%
9	宇部	神戸港	2,348	19.6%	80.4%	0.0%
10	新居浜	大阪港	1,085	14.3%	79.3%	6.5%

6.4.2 物流シミュレーションによるモーダルシフトの可能性の評価

(1) モーダルシフトの考え方

前節で輸出入コンテナ貨物の輸送手段は、現状ではトラック等による輸送が大半を占め、船舶等による輸送はほとんど行われていないことがわかった。これにはいくつかの理由が考えられるが、ここでは地理的要因と時間的要因の 2 つの側面から分析する。

まず、地理的要因とは、それぞれの生活圏に対して（陸路で）最寄りの港で積卸されているかということである。もし最寄りの港で積卸されている場合、モーダルシフトは起こらないと考えるのが自然であろう。例えば、大宮まで（大宮から）輸送する積荷を東京港で積卸する場合などである（図 6.24）。

次に、時間的要因とは、輸送する時間が限られて

いるときに、船舶等による輸送では間に合わないということである。一般に、トラック等は船舶等に比べて、高速に移動することができるので、短時間で輸送が完了する。

この 2 つの要因から考えると、現在の積卸港が輸送する生活圏の最寄りの港ではなく、さらに輸送時間に余裕がある輸送に関しては、船舶等にモーダルシフトが起こる可能性があるということが言える。例えば、リードタイム（通関時間を含む）が 5 日あり、東京港から仙台までトラック等で輸送している積荷である。

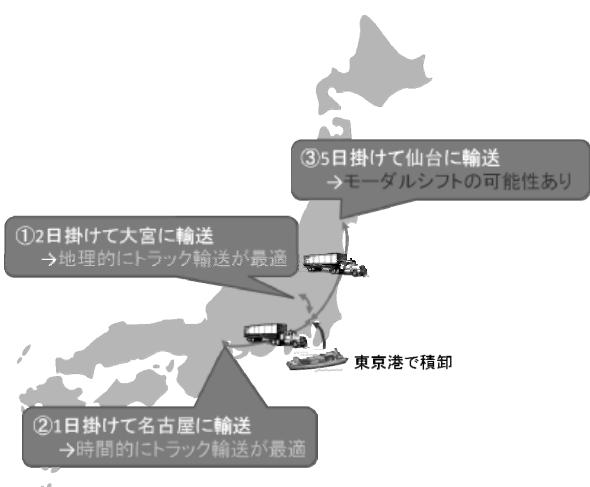


図 6.24 モーダルシフトに対する地理的要因と時間的要因

輸入コンテナ貨物および輸出コンテナ貨物における輸送手段別リードタイム別輸送量をみると（図 6.25、図 6.26）、最も輸送量が多いのは輸入、輸出とともにリードタイムが 2 日である場合であるが、リードタイムが 5 日以上という積荷も多く存在することがわかる。また、船舶等による輸送のシェアは、リードタイムが長くなるほど大きくなるという傾向がみられる。

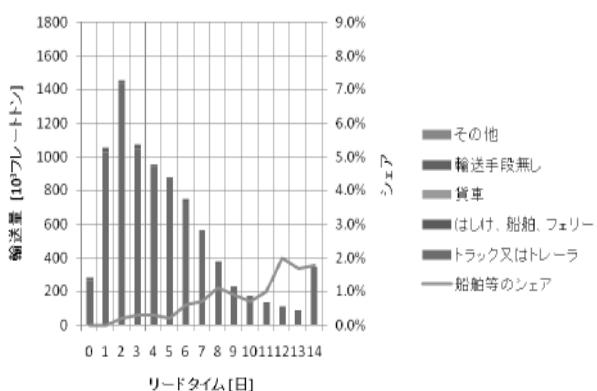


図 6.25 輸入コンテナ貨物における輸送手段別リードタイム別輸送量

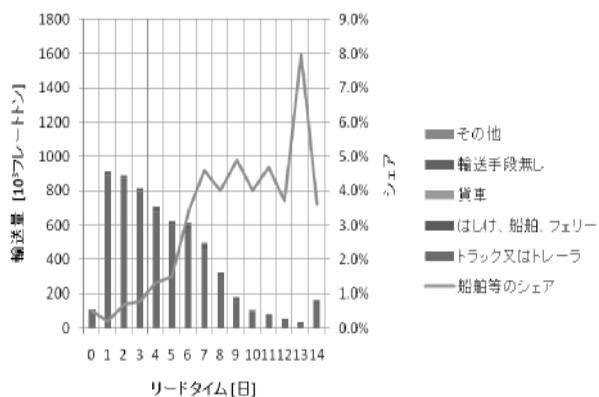


図 6.26 輸出コンテナ貨物における輸送手段別
リードタイム別輸送量

(2) 東京湾内の4港の現状分析

本項では、輸送地域とリードタイムとの関係をみるために、東京湾内の4港（東京港、横浜港、川崎港、千葉港）で取り扱われた輸出入コンテナ貨物について分析する。

まず、輸入コンテナ貨物の総量は、4港で約307万フレートトンであり、そこから関東を中心とする東日本全域の生活圏に輸送されている（図6.27）。輸送先として最も輸送量が多い生活圏は、東京の約83万フレートトン（シェア約26.9%）であり、次いで横浜の約47万フレートトン（シェア約15.4%）、船橋の約21.2万フレートトン（シェア約6.9%）、大宮の約21.1万フレートトン（シェア約6.9%）、川崎の約17万フレートトン（シェア約5.7%）と続いている。

次に、輸出コンテナ貨物の総量は、4港で約215万フレートトンであり、そこから関東を中心とする東日本全域の生活圏から輸送されている（図6.28）。輸送元として最も輸送量が多い生活圏は、横浜の約59万フレートトン（シェア約27.7%）であり、次いで東京の約35万フレートトン（シェア約16.2%）、千葉の約16万フレートトン（シェア約7.3%）、川崎の約15万フレートトン（シェア約7.1%）、川越の約12万フレートトン（シェア約5.6%）と続いている。

輸入、輸出のそれぞれについて、トラック等による輸送における各生活圏（輸送量1,000フレートトン以上）とリードタイムとの関係を調べる。ここでは、各生活圏に対して、輸送量が最大となっているリードタイムをその生活圏のリードタイムと設定する。結果を図6.29と図6.30に示す。両図から、東京湾から遠くなるに従って、概ねリードタイムが大きくなっている傾向がみてとれる。

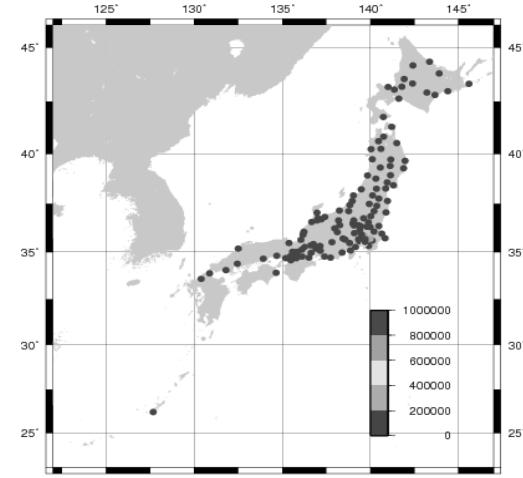


図 6.27 東京湾内の4港で輸入される
コンテナ貨物の輸送先

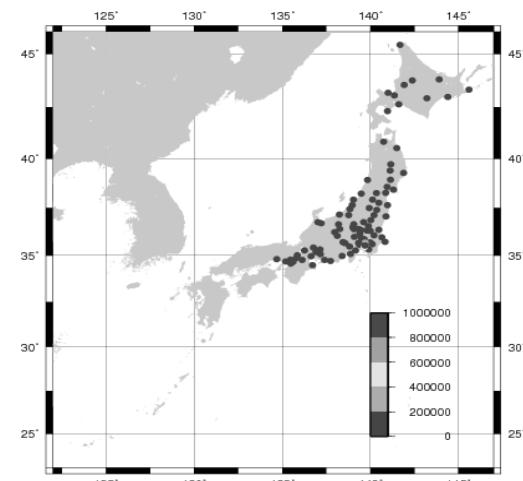


図 6.28 東京湾内の4港で輸出される
コンテナ貨物の輸送元

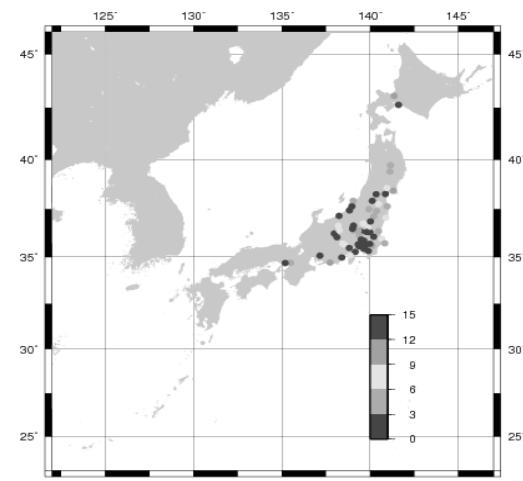


図 6.29 東京湾内の4港で輸入される
コンテナ貨物のリードタイム

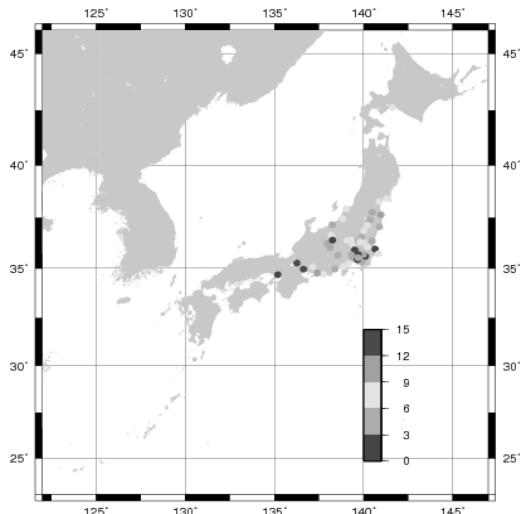


図 6.30 東京湾内の 4 港で輸出されるコンテナ貨物のリードタイム

(3) 物流シミュレータの構築

1) 道路ネットワークの構築

全国の高速自動車道、都市高速、一般国道から構成される道路ネットワークを構築する。利用したデータは、国土地理院が刊行している数値地図 25000（空間データ基盤）である。さらに、高速自動車道、都市高速のインターチェンジについては、Web 上のデジタル地図閲覧サービスを利用して、その位置を設定した。構築した道路ネットワークを図 6.31 に示す。図中の黒線が一般国道を表しており、赤線が高速自動車道、黄色と橙色の線は都市高速を表している。



図 6.31 構築した道路ネットワーク

2) 航路ネットワークの構築

輸出入コンテナ貨物の全ての積卸港を結ぶ仮想的な航路ネットワークを構築する。ここでは、日本航海士会が編集した世界距離図表をもとに、ウェイポイントの経緯度およびウェイポイント間のつながり（リンク）を入力する。ただし、世界距離図表に経緯度が明記されていないウェイポイントは除外する。

ウェイポイント間のリンクは大圏航路とし、航路が陸地と重なる場合は適宜ウェイポイントを追加し、リンクを分割する。

港とウェイポイントとの接続は、港付近の地形を考慮しながら、近隣のいくつかのウェイポイントとリンクを結ぶ。港と港との接続も同様にリンクを結ぶ。

構築した航路ネットワークを図 6.32 に示す。

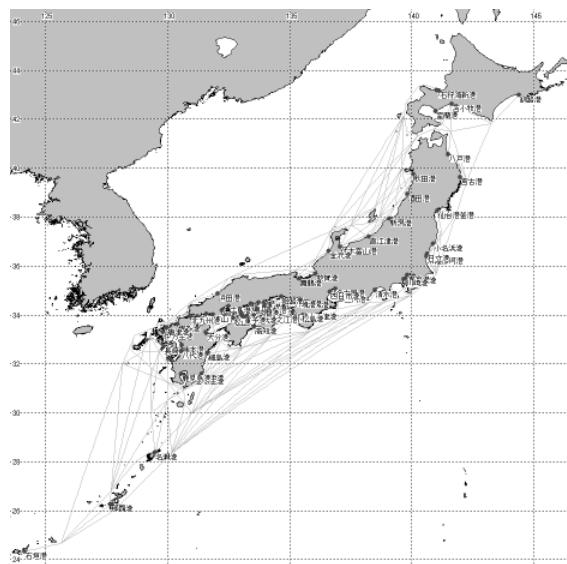


図 6.32 構築した航路ネットワーク

3) 統合ネットワークの構築

道路ネットワークと航路ネットワークとを一つにまとめ、統合ネットワークを構築する。統合ネットワークには、港に加え、生活圏の代表点も追加し、それらから最寄りの道路ノードに対してリンクを張る。このとき、各リンクに対して、距離、所要時間、コスト、環境負荷指数などを設定することで、任意の生活圏から任意の港までの（各基準による）最短経路探索ができるようとする。

4) モーダルシフトの可能性の評価

トラック等により輸送されている輸出入コンテナ貨物の OD 需要在前項の統合ネットワークを用いて経路配分することにより、船舶等へのモーダルシフトの可能性を評価する。評価の前提は以下の通りである。

- OD 需要是変わらない（積卸港や輸送先（元）生活圏は変わらない）。

- 高速自動車道・都市高速は時速80km、一般国道は時速30kmで移動できるものとする。
- 仮想航路上の船舶は時速18knot（時速33km）で航行する。
- 船舶を利用する際の荷役時間は3時間とする。
- リードタイムにおける通関時間は29時間とする（JETRO調査を元に設定）

この仮定のもと、道路リンクと航路リンクの環境負荷指數を

- 道路リンク：リンクの距離、航路リンク：リンクの距離（陸1：海1）
- 道路リンク：リンクの距離の2倍、航路リンク：リンクの距離（陸2：海1）
- 道路リンク：リンクの距離の3倍、航路リンク：リンクの距離（陸3：海1）
- 道路リンク：リンクの距離の5倍、航路リンク：リンクの距離（陸5：海1）

と設定して、それぞれのパターンにおいて、全てのOD需要が最も環境負荷指數が小さくなる経路を選択した場合の陸上輸送量と海上輸送量を推計する。ただし、選択された経路の所要時間がリードタイムを超えてしまう場合は、モーダルシフトが起こらずトラック等で輸送されるものとする。輸入、輸出のそれぞれについて推計した結果を図6.33と図6.34に示す。

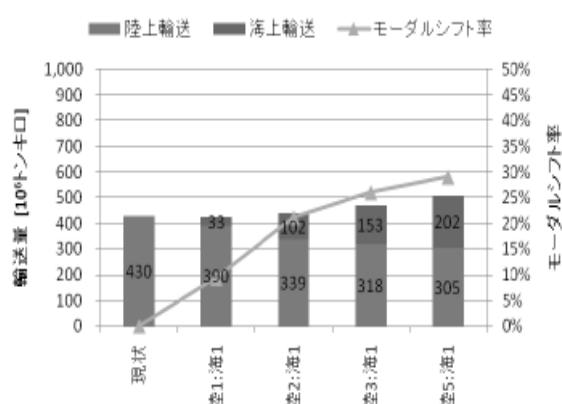


図6.33 輸入コンテナ貨物におけるモーダルシフトの推計結果

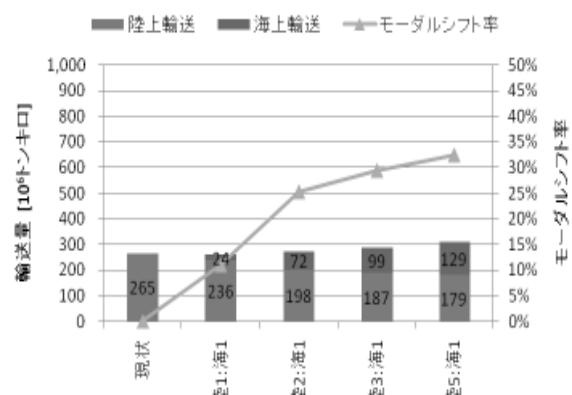


図6.34 輸出コンテナ貨物におけるモーダルシフトの推計結果

現在の排出原単位の比率に近い「陸5:海1」のパターンでは、陸上輸送量が減少する一方、海上輸送量は増加し、トンキロベースで輸入では約29%、輸出では約32%の輸送量がモーダルシフトされるという推計結果が得られた。これは、増加した海上輸送量を陸上輸送量に換算（つまり、海上輸送量の20%が陸上輸送量に相当）して考えれば、現状と比べて、輸入では約20%、輸出では約23%の環境負荷の低減になるということである。

6.4.3 モーダルシフトのアクションプラン例

モーダルシフトを促進するためのアクションプランとして、以下の開発テーマを提案する。

海陸一貫輸送計画システム（経路探索/CO₂排出単位策定/運賃計算等）の開発

(1) プランの概要

現在の輸送計画システムは、ほとんどの場合、陸送のみを対象としており、海運を活用する余地があるとしても、システム的に選択されないケースがある。そこで、海陸一貫での輸送計画システムを開発し、荷主や運送事業者が輸送経路別のCO₂排出単位を算定したり、運賃を比較できるようにする。また、貨物を時間的にトレースし輸送上のボトルネック評価ができるようなシステムとする。

(2) プランを実現する技術の概要

- 汎用的な地理情報システムに、港および航路の情報をデータベース化し付加、統合的に経路探索を行う技術を開発する。
- 船舶の運航状況を把握するため、各運航会社との情報の通信方式の標準化技術等を開発する。
- 経路上の船舶の船速、船種に応じた船舶性能からCO₂排出原単位を策定するための評価技術を開発する。

- ・時々刻々と状況が変化する道路については、道路混雑や通行止めなどの情報、気象・海象等の影響を受ける船舶については、欠航、揺れ等の航海情報を加味する必要がある。

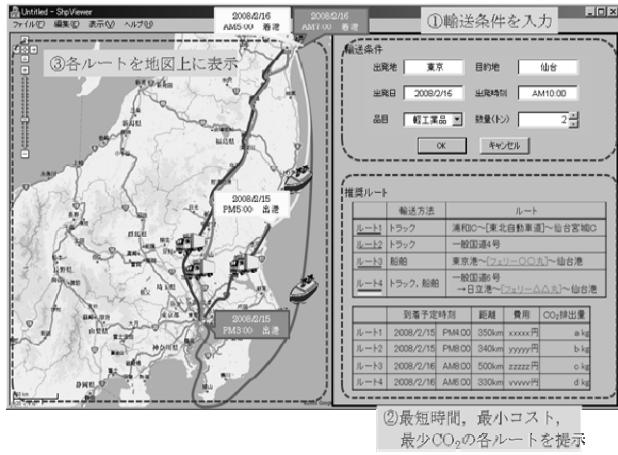


図 6.35 海陸一貫輸送計画システムのイメージ

(3) 補足

このシステムは将来的には、「コンテナ、シャーシ、トラックのトレーサビリティシステム」とリンクさせることも可能である。

なお、この研究課題は研究後、NEDO の実用化研究「内航船の環境調和型運航計画支援システムと陸上交通情報連携に関する実用化研究開発」に採択され現在研究開発が実施されている。

7. フィーダー・コンテナ船のスケジューリングを考慮した船舶仕様決定

7.1 研究の流れ

本章では、物流動向を考慮した内航フィーダー船の設計事例を報告する。内航フィーダー輸送では、1度に輸送するコンテナ数が増加する状況の中、内航のフィーダー・コンテナ輸送は、499GT型及び749GT型コンテナ船が用いられている。現在船腹の高齢化が進んでおり、代替建造が必要となっている。代替建造にあたっては、建造する船舶の船型を決定する必要があるが、この際に、物流需要動向を反映することが望ましい。本事例研究では、最適電気推進システムの開発と試設計までを目標としており、その研究の流れは以下のとおりである。

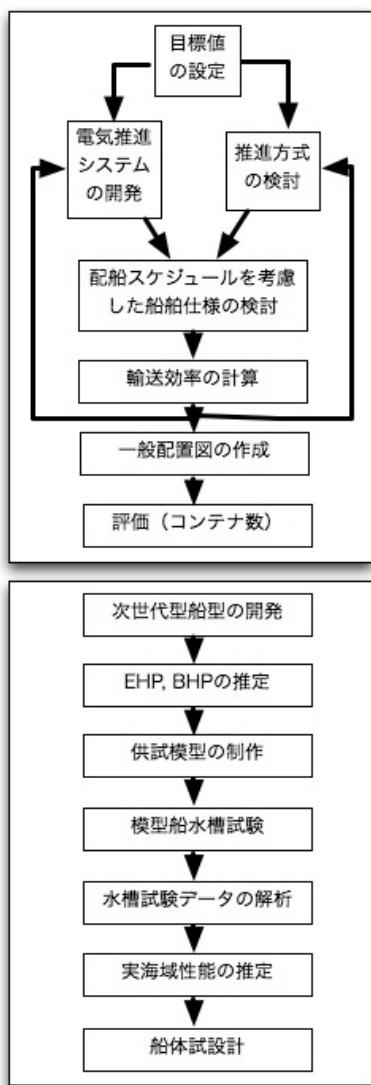


図 7.1 「次世代型電気推進内航コンテナ船の船型と最適電気推進システムの開発と試設計」研究開発の流れ

検討対象

今回検討の対象とした船種は、749G/Tおよび499G/Tの内航コンテナフィーダー船である。これは、内航コンテナフィーダー輸送において最も多く用いられている大きさの船であり、研究開発結果の適用範囲を考えた場合にふさわしい解析対象である。また、対象の航路は、京浜港、阪神港、名古屋港の間を行き来する航路とする。内航フィーダー・コンテナ輸送においては、これら3港（京浜港、阪神港、名古屋港）を起点とする輸送が中心である。外航コンテナ船から国内に向けて輸送されるコンテナの大部分がこれらの3港に荷揚げされるため、新規に代替建造する大型コンテナ船もこの3港間の輸送を主に担うことになるため、この航路を検討の対象とする。

7.2 物流シミュレーション

(1) 検討手順

建造するコンテナ船の仕様を決定するために、図7.2の手順でシミュレーションを行う。

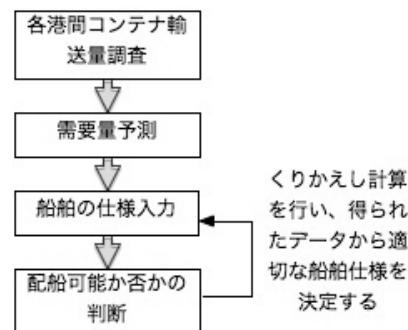


図 7.2 解析手順

(2) 各手順の詳細

[手順1] まず、現在各港間で運搬されているコンテナの数量を、種類別に調査する。コンテナの種類は20フィート空コンテナ、40フィート空コンテナ、20フィート実入りコンテナ、40フィート実入りコンテナの4種とする。ここでは、井本商運株式会社のコンテナ船が、2007年9月のある1週間に輸送した各港間の種類別のコンテナ輸送個数を調査した。調査の対象は、この期間に同社が運搬した749総トン5隻、499総トン3隻の船舶で輸送したコンテナである。今回の調査では、仙台、八戸、清水、などの地方港に関する輸送量も含まれていたが、今回仕様を決定する新船は前述のとおり京浜港、名古屋港、阪神港への投入を想定しているので、これらの地方港に関するデータは考察の対象としない。

表 7.1 2007 年 9 月のある 1 週間でのコンテナ輸送個数(一部)

船名	日	月	火	水	木	金	土		積荷 本数			
	9.9	9.10	9.11	9.12	9.13	9.14	9.15		空	実入り	計	重量
A丸									20E	40E	20F	40F
			東京	名古屋				45	100		245	535
				名古屋	東京					5	62	129
					横浜		神戸			25	25	75
						神戸	横浜			10	24	58
												800

表 7.2 将来のコンテナ輸送需要(一部)

船名	日	月	火	水	木	金	土		積荷 本数			
	9.9	9.10	9.11	9.12	9.13	9.14	9.15		空	実入り	計	重量
A丸									20E	40E	20F	40F
			東京	名古屋				59	130		319	696
				名古屋	東京					7	81	169
					横浜		神戸			35	35	105
						神戸	横浜			14	34	82
												1120

[手順 2] 得られた数量が、将来的にどの程度増加（あるいは減少）するかの予測を行う。この予測は、（発港、着港）の組ごとに行う。これは（発港、着港）別、およびコンテナ種類別（20 フィート空、40 フィート空、20 フィート実入り、40 フィート実入り）に増加率として与えられるとする（例えば、東京発、神戸着の 20 フィート空の輸送本数は 1.5 倍増）。例えば、同じ 2 年先の重要予測を行う場合でも、外航コンテナ船が寄港（荷揚げ）する港がどこになるかにより、港間別に輸送量の増加が予想されるものと減少が予想されるものの別がでてくる。これらの輸送を的確に反映するため、港別の需要予測を行う必要がある。需要予測は、各社ごとに、財務上、経営上のさまざまな判断材料により決定されるものであり、ひとつの計算手法に固定することはのぞましくない。そこで、このシミュレーションでは、港間ごとに現状の輸送量に対して「何倍に増加するか」を数字として指定することとした。ここでは、船会社の実施した需要予測の数値を用いた。こうして求めた増加率を用いて、手順 1 で調査した輸送量データの積荷本数を変更する。

[手順 3] 需要予測をした時期（例：2012 年時点）において、それらの増加（減少）したコンテナを処理するために用いる船体の規模と、各船舶の仕様を入力する。例えば、手順 1 で調査した各港間のコンテナ輸送を、現在は 749G/T の船舶 4 隻と 499G/T の船舶 2 隻で輸送しているとする。

3 年後の需要予測により、各港間の輸送個数が平均で 1.5 倍に増加したとする。この増加したコンテナを現在の 6 隻で運搬することはできないため、新たに建造する大型コンテナ船を用いることによって輸送することを考える。たとえば、749G/T の 2 隻

はそのまま運航するとし、499G/T、2 隻の代わりに 1500G/T の船舶 1 隻を用いるとすると、3 年後の予測時点では下記の構成の船隊で貨物を輸送することになる。

表 7.3 現在の船隊構成

	積載可能重量	積載可能 TEU	空船船速	満船速度
749G/T	1650	250	14.5	13.7
499G/T	1220	120	13.0	12.0

表 7.4 候補として入力する船隊構成

	積載可能重量	積載可能 TEU	空船船速	満船速度
749G/T	1650	250	14.5	13.7
1500G/T	3000	400	15.0	14.0

このように、予測時点でのコンテナ輸送に用いる船体構成と各船舶の仕様を定める。代替建造する船舶の仕様は、需要予測やその他のさまざまな情報を鑑み、およそ 3000 トンから 4000 トン程度、積載可能 TEU として 300TEU から 500TEU 程度が妥当と考えられる。この中から新しく建造する船舶の仕様として以下のものを候補とした。

表 7.5 仕様候補

	積載可能重量	積載可能 TEU	空船船速	満船速度
候補 1	3700	400	18.0	17.0
候補 2	4000	500	13.8	13.8
候補 3	3200	400	22.0	21.0

候補2は、船速は大きくないが積載重量が大きく、候補3は積載重量は大きくないが船速が早い仕様になっている。手順2で求めた、各港間での需要増加予測を取り入れた貨物を、現在運航中の船舶で処理するとすると、表7.6の6隻が必要である。

表7.6 将来時点の予測貨物量を現行船舶で輸送するとした場合に必要な最小限の船隊構成

	積載可能重量	積載可能TEU	空船船速	満船速度
A丸	1600	250	14.5	13.7
B丸	1600	239	14.5	13.7
C丸	1600	250	14.5	13.7
D丸	1600	250	14.5	13.7
E丸	1170	120	12.5	12.0
F丸	1200	120	13.0	12.5

表7.7 4つの船隊構成
船隊構成1（船員総数：30名）

	積載可能重量	積載可能TEU	空船船速	満船速度
A丸	1600	250	14.5	13.7
B丸	1600	250	14.5	13.7
新船1	4000	500	13.8	13.8
新船2	4000	500	13.8	13.8

船隊構成2（船員総数：25名）

	積載可能重量	積載可能TEU	空船船速	満船速度
A丸	1600	250	14.5	13.7
新船1	4000	500	22	21
新船2	4000	500	22	21

船隊構成3（船員総数：25名）

	積載可能重量	積載可能TEU	空船船速	満船速度
A丸	1600	250	14.5	13.7
新船1	3700	400	18	17
新船2	3700	400	18	17

船隊構成4（船員総数：25名）

	積載可能重量	積載可能TEU	空船船速	満船速度
A丸	1600	250	14.5	13.7
新船1	3200	400	22	21
新船2	3200	400	22	21

すなわち、749総トンクラスの船舶が4隻、499総トンクラスの船舶が2隻必要である。この6隻の船隊構成を、手順3で上げた仕様候補の船を投入した場合にどのように変化させることができるかを確認する。ここでは、新船を導入した際の船隊構成を表7.7の4つとする。

[手順4] 手順2で求めた貨物予想データの貨物を、手順4で設定した各船隊構成で処理可能かどうかを確認する。そのためには、貨物を処理することができるスケジュールが存在するか否かを、総当たりで確認する。すべての貨物を処理することができる配船スケジュールが一つでも存在すれば、その船隊構成を実現可能な船隊構成と判断する。

(3)シミュレーション結果

上の手順4で設定した4つの船隊構成について、将来時点での貨物を輸送できるかどうかのシミュレーションを行った結果は以下のとおりである。

船隊構成1→配船スケジュール作成可能、即ちこの構成で将来の需要を処理できる。

船隊構成2→配船スケジュール作成可能、即ちこの構成で将来の需要を処理できる

船隊構成3→配船スケジュール作成可能、即ちこの構成で将来の需要を処理できる

船隊構成4→配船スケジュール作成不可能、即ちこの構成で将来の需要を処理できない

このシミュレーション結果では、船隊構成3では処理できるが、船隊構成4では処理できない点に注目する。この結果からは、船速の大きさではなく、積載可能重量が大きな新船を投入しなければ、将来時点での輸送需要は処理しきれないことがわかる。4つの船隊構成の中で将来時点の輸送需要がすべて処理可能であり、かつ最も経済的なものは、船隊構成3である。したがって、このシミュレーションの結果からは、船隊構成が表7.8となるように新船建造計画を立てるべきであることが分かる。

表7.8 船隊構成（シミュレーションの結果）

	積載可能重量	積載可能TEU	空船船速	満船速度
A丸	1600	250	14.5	13.7
新船1	3700	400	18	17
新船2	3700	400	18	17

8. おわりに

北東アジアは既に世界で最も大きくまた早く成長している地域の一つとなっている。日本、中国及び韓国の GDP は、世界経済の 20% に至っている。また、この地域は世界の全コンテナ物流量の 30% を産出している。さらに、3 国間の貿易の増大とともに相互依存の関係が緊密となってきている。

このような状況の下、効率的なアジア域内の物流ネットワークの創造が強く切望されている。物流研究センターは、KMI 及び WTI との国際共同研究の下で、物流大臣会合における行動計画 4 「北東アジアにおける物流に関する情報の交換」に関する研究を実施した。

本報告では、三国間の共同研究により物流研究センターが実施した成果を紹介するとともに、その他、物流研究センターで行った基盤的研究の内、東アジア物流に貢献すると思われる研究事例を紹介した。

その共同研究での成果は、以下のようにまとめられる。

(1) WTI (中国) および KMI (韓国) との MOU に基づき、日中韓間におけるコンテナ流動調査を共同で行い、主要 13 港間の年間輸送量に関する OD (Origin Destination) 表を作成した。

(2) 全世界を網羅する海上航路ネットワークの整備を進め、CO₂ 排出量計算モデルと組み合わせて、地域別（世界、アジア、欧州、APEC 域内）、船種別（コンテナ船、タンカー、バラ積み船）の CO₂ 排出量を算出した。さらに、このネットワークを用いて上記主要 13 港間の距離表を作成した。

(3) 欧州とアジア域内のコンテナ輸送に係る船舶の差異、特徴を分析した。欧州では RORO 船が中心的な役割を担っているが、アジア域内では幹線、支線輸送に従事するコンテナ船が中心となっていることが分かった。

(4) ネットワーク形成法に関する調査の結果、Priority based encoding に基づく遺伝的アルゴリズムを採用することとし、船団構成（隻数、積載容量）を自動計算するアルゴリズムを付加してコンテナ船航路ネットワークを形成するプログラムを構築した。また、遺伝的アルゴリズムの染色体の適応度は CO₂ 排出量とし、そのための計算モデルを作成してプログラムに組み込んだ。

(5) 上記 13 港間の OD 表、距離表を、上記した遺伝的アルゴリズムによるプログラムに入力条件として与え、解析を進めた。解析結果は荷役時間の短縮がコンテナ船の CO₂ 排出量削減に対して効果的であることを示し、なおかつ、輸送時間の増加（サービスレベルの悪化）はさほど大きくなかった。

(6) この結果は、輸送時間を荷役時間の短縮を図る欧州の SSS のコンセプトをアジア域内輸送体系に取り込むことができれば、サービスレベル（輸送時間）の低下を小さく押さえ CO₂ 排出量を劇的に削減し得ることを示している。すなわち、RORO 船（RORO フェリーを含む）の運航が欧州と同様に大きな役割を果たすことが期待され、さらに海上技術安全研究所で開発された電気推進船スーパー エコシップ（SES）や自動誘導貨物取り扱いシステムなどを活用した革新的なコンテナ船のような新しい輸送システムにより荷役時間等のリードタイム短縮を図ることが肝要である。

その他の事例研究での成果は、以下のようにまとめられる。

(1) コンテナ流動調査を基に輸入貨物の輸送経路、リードタイムを整理しその特長を整理した。

(2) 陸上輸送からフィーダー・コンテナ輸送に転換し得る貨物流動を検討し、シミュレーション研究により、トンキロベースで輸入では約 29%、輸出では約 32% の輸送量がモーダルシフトされる可能性を示した。

(3) さらに、モーダルシフトを実現するためのアクションプランを提案した。（なお、この提案は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の実用化研究開発テーマ「内航船の環境調和型運航計画支援システムと陸上交通情報連携に関する実用化研究」として採択された。）

(4) フィーダー・コンテナ輸送のスケジュール構築に關し、コンテナ需給が与えられた中で、コンテナ船の配船の問題を解く 1 つのアルゴリズムを開発した。これを用いたシミュレーション研究により、実船社の配船の問題を扱い、投入すべき船舶の基本仕様（搭載コンテナ数、船速）を決定した。この基本仕様は、船主に了承され、本仕様を基に、海技研流体設計系において、船舶の基本計画、船型等の検討を船主と共同にて造船所等の専門家の協力を得て検討された。

本研究成果が、東アジア域内及び我が国の物流効率化についての理解を深める機会となり、またこの実現に貢献することを祈念する。

9. 謝辞

本報告の東アジア関連分野の研究については、韓国海洋水産院（KMI）及び中国交通部水運科学研究院（WTI）との国際共同研究により実施された、協力のパートナーであるKMIのキム氏、WTIのガオ氏に感謝する。また、事例研究については、東京大学末岡教授、井本商運の井本社長、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の岩井氏、日本ロジスティクス・システム協会の北條氏等にご協力、ご支援を頂いた。ここに記して感謝申し上げる。