

国際海上貨物輸送の動向とモデル分析

港湾研究部長

鈴木 武

国際海上貨物輸送の動向とモデル分析

港湾研究部長 鈴木 武

1. はじめに

アジア諸国の経済成長そしてアジア諸国との水平分業の進展により、日本の国際貿易・海上輸送が増大している。国際物流が増大するにつれ、船舶の大型化、SCMの普及が進むなど、国際物流の有り様も変化してきている。一方、厳しい財政状況を背景に、港湾整備においては「選択と集中」による効果の高い施策展開が求められている。

こうした状況を踏まえ、貨物流動、船舶動静などの分析により国際貨物流動の実態を把握し、それらをもとに将来の施策展開やインフラ整備による貨物流動の変化や輸送コストの変化などを貨物流動モデルを使って分析している。2章では貿易や港湾を取り巻く状況について、3章では国際海上輸送に関する分析結果などについて、さらに4章ではモデルを使った施策評価ツールの開発や分析事例などについて紹介する。

2. 貿易と港湾を取り巻く状況

2.1 我が国の貿易を取り巻く状況

我が国は、四方を海に囲まれた島国であり、エネルギーの約9割、食料の約6割を海外に依存しているほか、産業構造の水平分業化や経済のグローバル化の進展により、原材料、部品、製品などの輸出入は、2008年秋からの世界同時不況で、少し足踏みはしているものの、増大基調にある。

図-1は、我が国の近年の輸出入金額の動向を、航空輸送、海上コンテナ輸送、さらには海上輸送のうちコンテナ以外の輸送（バルク輸送と呼ぶ）に分けて示したものである。海上輸送がコンテナと貨物を合わせると、概ね日本の貿易額の7割程度を輸送しており、さらに、海上輸送のうち、コンテナ貨物で運ばれている貨物が、5-6割程度の金額となっている。

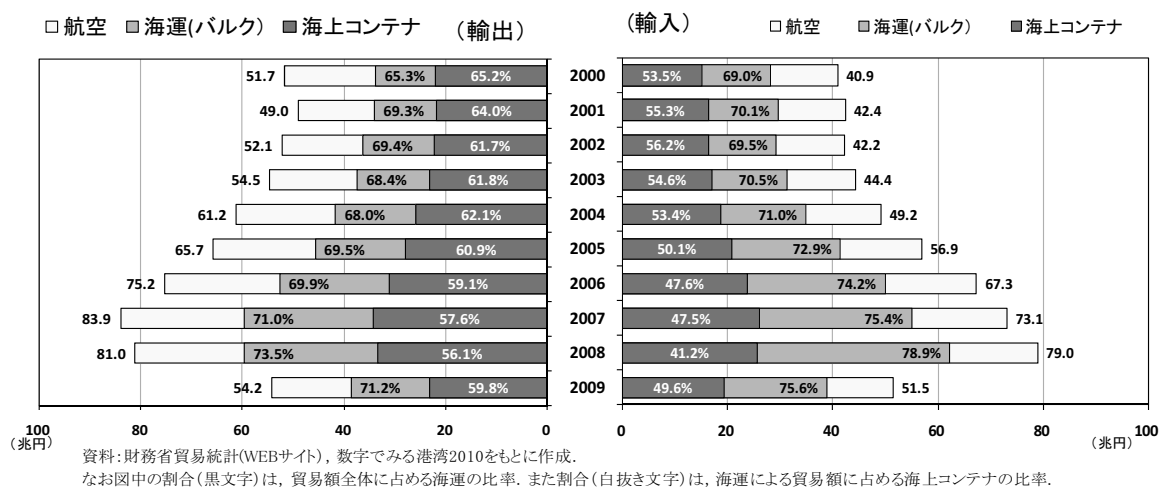
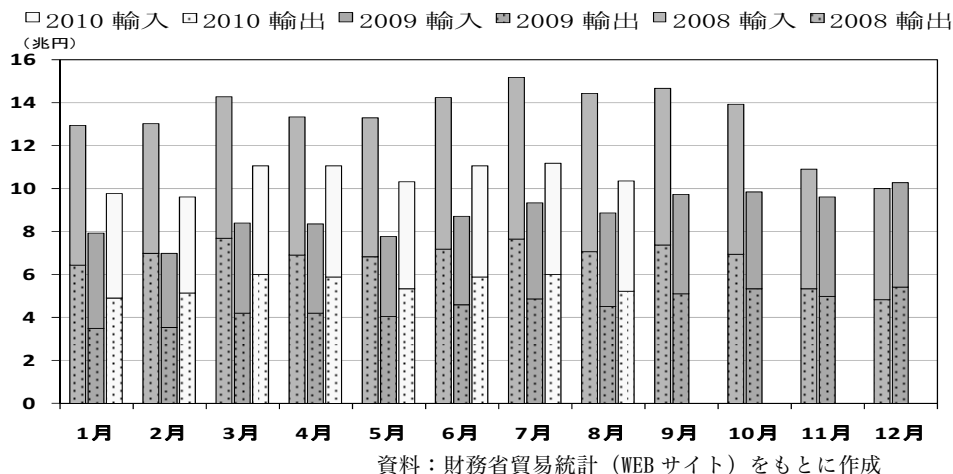


図-1 我が国の貿易額の最近の動向(2000年～2009年)

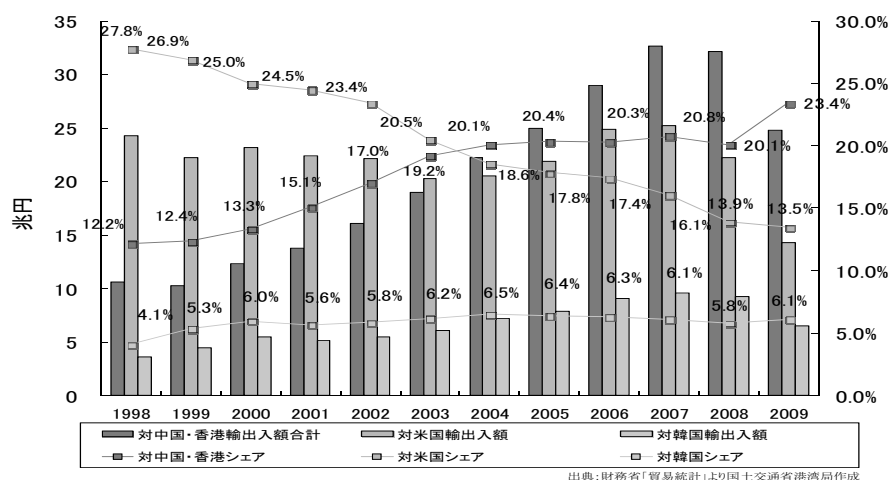
近年の同時不況の影響により、2008 年の4／四半期頃から、貿易額が減少し、2009 年には、大きく前年を下回ることとなったが、2008 年～2010 年の月別の貿易額をみると、2009 年に比べて2010 年の月別貿易額の方が大きくなってきており、まだ2008 年の額には到達しないものの、回復基調となっていることがうかがえる。（図－2）



図－2 我が国の貿易額の最近の動向(2008 年以降の月別金額)

また、貿易相手国・地域をみると、これまで最大の貿易相手国であった米国にかわり、2004 年以降は、中国・香港が最大の輸出入相手国となっている。（図－3）

なお、輸出入品の品目構成などをみると、2009 年の貿易統計の金額ベースで、機械機器が 64%，化学品 10%，金属品 7%などと、製造業関連のシェアが高くなっている。また、輸入では、同じく貿易金額ベースで、2009 年で食料が 10%，原料品 14%，鉱物性燃料 28%，製品 49%と、製品輸入の割合が高くなっている。



図－3 我が国の貿易主要な貿易相手国・地域の変化（中国・香港，米国，韓国）

2.2 国際海上輸送の動向

世界の海上輸送貨物量は、増加し続けてきている。図-4 に、1990 年から 2008 年までの貨物量の推移を示すが、2008 年で合計 80 億トンの貨物が輸送されており、1990 年から年平均成長率 3.9%となっている。品目・輸送形態別に見ると、2008 年時点で 3 割を超える構

成比を持つ原油・石油製品は、年平均成長率 2.5%と低いのに対し、鉄鉱石・石炭・穀物の三大バルク貨物の年平均成長率 4.7%, コンテナ貨物の年平均成長率 9.7%と高い成長を示している。特に、コンテナ貨物は、マルコム・マクリーンが 1950 年代に最初のコンテナ船を就航させてから 50 年余りで、急速に普及し、一般貨物のコンテナ化も進んできている。なお、世界不況の影響により、2009 年のコンテナ貨物量は減少したが、三大バルク貨物は、中国の旺盛な需要もあり、増加を記録した。

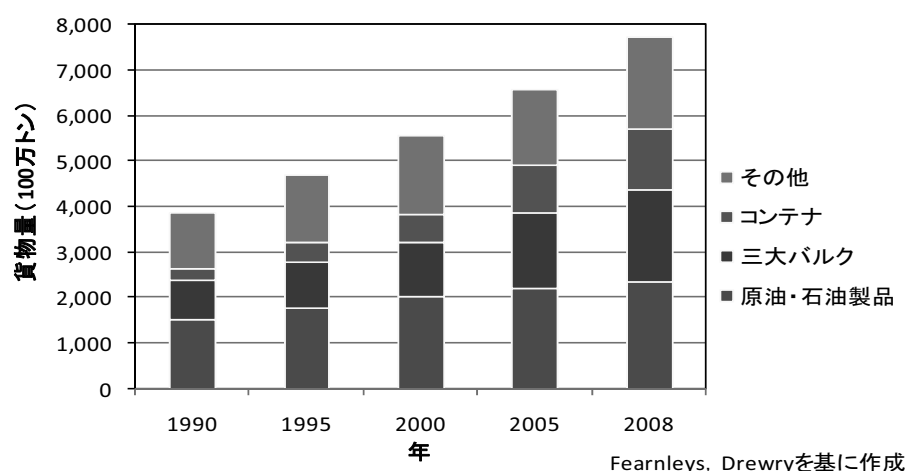


図-4 世界の海上貨物量の推移

2.3 我が国の港湾を取り巻く状況

我が国の貿易額の約 7 割、輸出入貨物量ベースでは 99.7%を海上輸送が担っており、そのゲートウェイとなる港湾についても、近年の貿易量の増大や、ドアツードアの輸送ができ貨物の積み替えなども容易なコンテナ輸送の進展、さらにはより効率的で低廉・安全な輸送へのニーズの高まりなどによって、取り巻く状況が大きく変化している。また、一方では、国や地方の財政状況が以前にも増して厳しくなっており、より効率的で効果的な国際インフラの整備などへの要請が強い。

以下には、アジアにおけるコンテナ港湾にどのような変化がおきているかその概説をするとともに、より選択と集中をめざして、国土交通省で取り組んでいる国際コンテナ戦略港湾等について概説する。

2.3.1 アジアのコンテナ港湾の動向

アジア地域においては、中国をはじめとするアジア諸国の経済発展と相まって、コンテナ貨物量が増大し、それを扱うハブ港湾が近隣諸国で整備されてきた。釜山新港、上海洋山港、深セン港など、各地で新規に大水深の大型コンテナターミナルが整備され、2009 年の世界の港湾におけるコンテナ取扱量のランキングでは、世界 10 位までのうち、8 港がアジアの港湾となっている。一方で、かつてはアジア地域でもトップクラスにあった日本の港湾は、取扱量のランキングでは、日本で一番コンテナ取扱量の多い東京港でさえ、26 位と相対的な地位の低下が否めない状況となっている。（図-5）

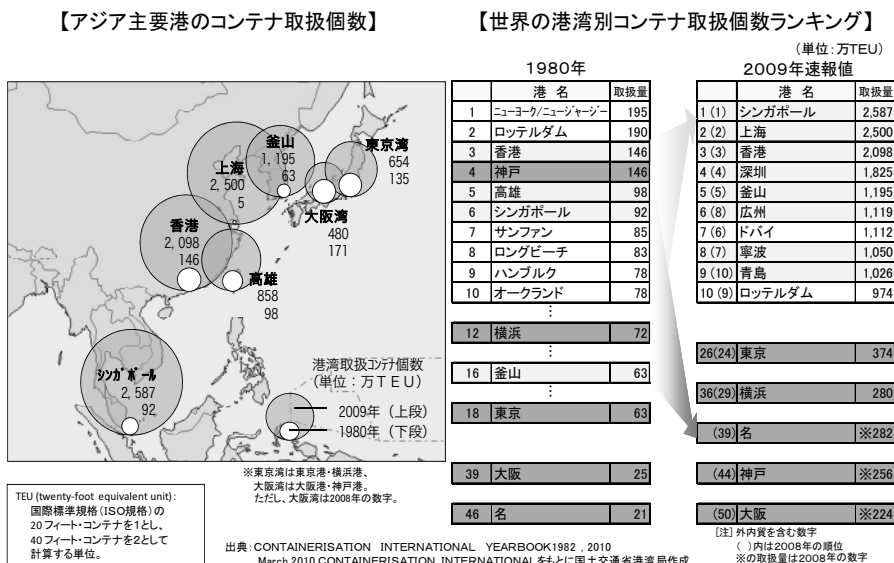


図-5 アジア主要港のコンテナ貨物取扱個数と世界ランキング

2.3.2 我が国の港湾政策の動向

経済のグローバル化が進展し、世界的な海上輸送量が増大するなかで、大量一括輸送による海上輸送の効率化の観点から、輸送船舶の大型化が、コンテナ輸送やバルク貨物の輸送において進展している。

一方では、前節でみたように、コンテナ輸送では、アジア近隣諸国の港湾との競争がますます激化し、中国などの近隣諸国の急激な経済発展により、製造業や国民生活に欠かすことのできない資源やエネルギー、食料などの獲得競争も進んでいる。

こうしたなか、我が国の港湾のインフラが、ソフト面、ハード面において、近隣諸港に立ち後れることとなると、我が国の国民生活や産業活動にとっては、非常に不利な条件となることから、さらなる「選択と集中」により、コンテナ貨物や、鉄鋼石・石炭・穀物などのバルク貨物を取り扱う港湾の国際競争力を強化する政策、国際コンテナ戦略港湾および国際バルク戦略港湾政策が展開されている（図-6）。なお、戦略バルク港湾に関わる輸送品目別の貨物船の船型については、表-1のとおりである。

国際コンテナ戦略港湾	国際バルク戦略港湾
「民」の視点による戦略経営を実現し、フィーダー網の抜本的強化に向けた施策等を実施することで、アジア諸国を含めた世界の成長を取り込み、我が国の成長に結びつけていくことで、世界各地との間に低コストでスピーディーかつ多頻度、確実な輸送ネットワークの構築を図る。	大型船舶の活用等により、対象品目を取り扱うアジアの主要港湾と比べて遜色のない物流コスト・サービスを実現し、それにより我が国の産業や国民生活に必要な不可欠な資源、エネルギー、食糧等の物資を安定的かつ安価に供給する。

図-6 国際コンテナ・国際バルク戦略港湾政策の概要

表－１ 国際バルク戦略港湾政策に関わる輸送品目別の船型

			穀物	鉄鉱石	石炭
２０１５年 までに対応	現在主力となっている輸送 船舶	船型	パナマックス船	ケープサイズ船	パナマックス船
		満載での入港に必 要な岸壁水深	１４ｍ程度	１９ｍ程度	１４ｍ程度
２０２０年 までに対応	パナマ運河の拡張や一括 大量輸送による物流コスト 削減を見据え登場する最 大級の輸送船舶	船型	ポストパナマッ クス船	V L O C	ケープサイズ船
		満載での入港に必 要な岸壁水深	１７ｍ程度	２３ｍ程度	１９ｍ程度

コンテナ港湾に関しては、現在進めているスーパー中枢港湾政策について、さらなる「選択と集中」により国際競争力を強化すべく、国際コンテナ戦略港湾の選定のための評価項目や選定基準づくりなどが 2009 年後半から行われ、2010 年 2 月に公募、その後港湾管理者等からのプレゼンテーションなどを経て、2010 年 8 月に応募のあった 4 港の中から、京浜港と阪神港が選定をされたところである。

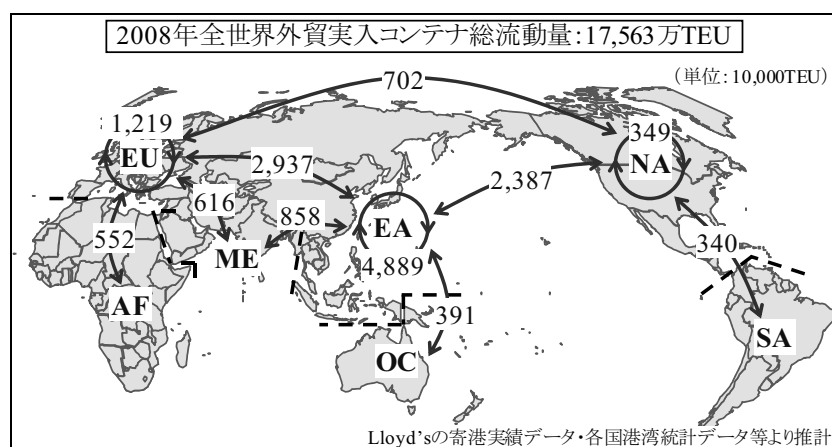
また、バルク貨物については、穀物、石炭、鉄鋼石の 3 品目を対象品目として、2010 年 6 月に公募が開始され、8 月の公募締め切りを経て、現在は、2010 年末頃の選定を目指して選定作業が行なわれている。

3. 国際海上輸送に関わる動静分析

3.1 国際海上貨物の世界流動に関する分析

3.1.1 コンテナ貨物の世界流動

コンテナ貨物の世界流動は、東西基幹航路、南北航路及び域内航路の三つに大別される。東西基幹航路とは、コンテナ貨物の三大需要地である北米・欧州・東アジア間の航路である。南北航路とは、三大需要地から南北に輸送される航路であり、例えば、北米－南米、欧州－アフリカ、東アジア－オセアニア等が該当する。国総研港湾研究部では、Lloyd's 寄港実績データ（全世界のコンテナ船が、いつ、どこかの港に寄港したかを網羅したデータ）と各国の港湾統計データ等を用いて、全世界のコンテナ貨物の総流動を推計してきている。最新の 2008 年の流動の推計結果を、図－7 に示す。最も流動量の多いの



図－7 コンテナ貨物の世界総流動

は、東アジア（EA）域内航路であり、5 千万 TEU（TEU：20ft コンテナ換算個数：40ft コンテナは、2TEUとカウントする）近く、次いで欧州－東アジア航路（EU-EA）、北米－東アジア航路（NA-EA）の東西基幹航路の順となっている。全世界のコンテナ貨物流動に占める東アジアの位置付けは非常に大きく、発地もしくは着地のいずれかが東アジアにある流動は、全世界流動量の7割近くに及んでいる。なお、コンテナ貨物は、港湾での積み卸しが容易であるため、小規模な仕出港から、いわゆるハブ港湾へ集積し、大型船で輸送することがあるが、この場合、本推計では仕出港→ハブ港湾、ハブ港湾→目的港の2つの流動としてカウントしている。

3.1.2 バルク貨物の世界流動

バルク貨物は、産業の基礎素材や食糧原料等であり、“ばら”の荷姿で、船倉に直接積み込んで輸送される。多種多様な品種を輸送するコンテナ貨物と異なり、航路が限定されるという特徴がある。その主要な輸送航路を、図-8に示す。鉄鉱石は、オーストラリア・ブラジルの二大輸出国から、銑鋼一貫製鉄所を持つ高炉メーカーが立地する東アジア諸国（日本・中国・韓国・台湾）や欧州への輸送が中心となっている。石炭は、その用途により製鉄用の原料炭と発電やボイラー用の一般炭に分類されるが、主要輸出国はオーストラリア・インドネシア・南アフリカ、主要輸入国は東アジア諸国（日本・韓国・台湾）や欧州が中心である。穀物は、世界のパン籠（Breadbasket）と言われるアメリカミシシッピ川流域からの輸出が伝統的に多いが、近年南米からの輸出量が増加している。輸入は東アジア諸国（日本・韓国、中国は大豆のみ）が中心である。

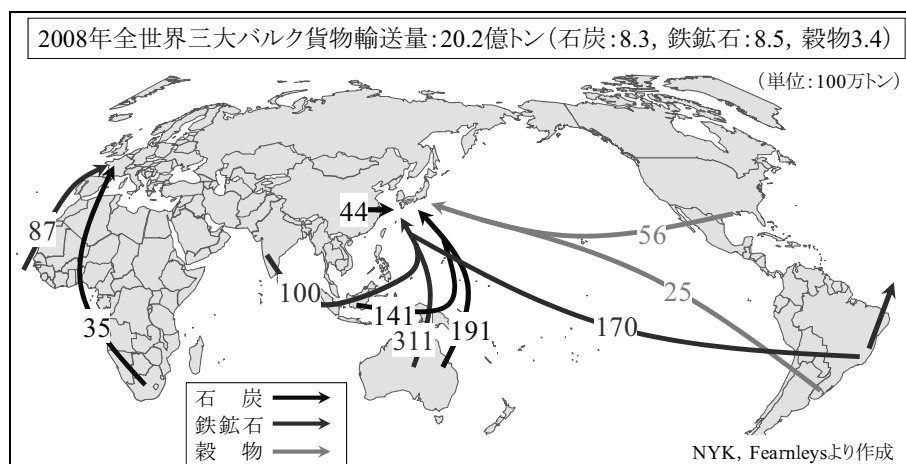


図-8 三大バルク貨物の世界の主要流動

3.2 国際海上輸送を担う船舶の大型化に関する分析

3.2.1 コンテナ船の大型化

前述したように、コンテナ貨物量は、急激に増加し続けてきている。これは、新興国の需要増、既存貨物のコンテナ化、さらには、輸送費の低減による誘発需要に依るものである。この増加するコンテナ貨物を、効率良く輸送するため、コンテナ船の大型化が進んでいる。図-9は、過去からの大型化を示したものであるが、1970年代では、一船

の積載量が約 2,000TEU であったのに対し、1980 年代には、積載量約 4,000TEU のパナマ運河を通航可能な最大の船型であるパナマックスが出現、1990 年代にはパナマ運河を通航できないポストパナマックス／オーバーパナマックスが出現し、積載量は約 6,000TEU にまで増加した。現在、パナマ運河は、このコンテナ船の大型化等を踏まえ、拡張工事が進められているが、既に、拡張後のパナマ運河も通航できない約 15,000TEU 積載可能なコンテナ船が出現するまでに至っている。現存最大のこのコンテナ船は、全長が約 400m、16 両編成の新幹線とほぼ同じ長さである。

現在建造中のコンテナ船の隻数を、既存船の隻数と比較したのが図-10 である。図中の「6,000-」とは、6,000TEU 以上、7,000TEU 未満を示す。コンテナ船の寿命が約 25 年とし、建造中のコンテナ船が概ね 3～4 年以内に就航予定であることを考えると、単なるリプレースであれば、単純化すれば、新造船の隻数は、既存船の隻数の 10～15%程度になる。

しかし、図-10 では、既存船の量が多い 10,000TEU 未満でも、9,000TEU 以上を除き、新造船の隻数は、既存船の 2～6 割と多くなっていた。さらに、拡張後のパナマ運河を通航可能となる最大の船型である 12,000TEU～13,000TEU においては、既存船がほとんど無い中で、100 隻を超える新造船が建造中となっている。世界中で就航するコンテナ船は、パナマ運河の拡張を機に一気に大型化していく見込みである。

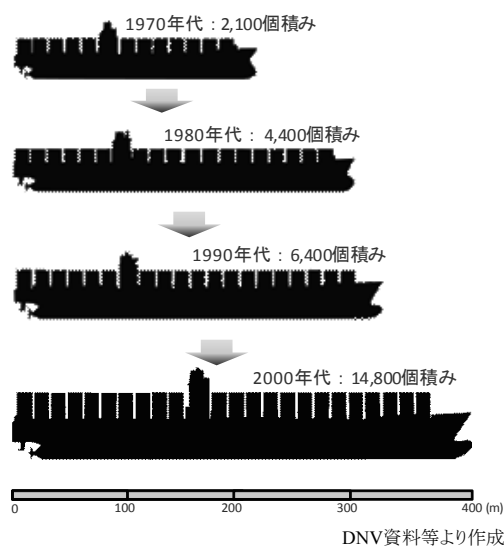
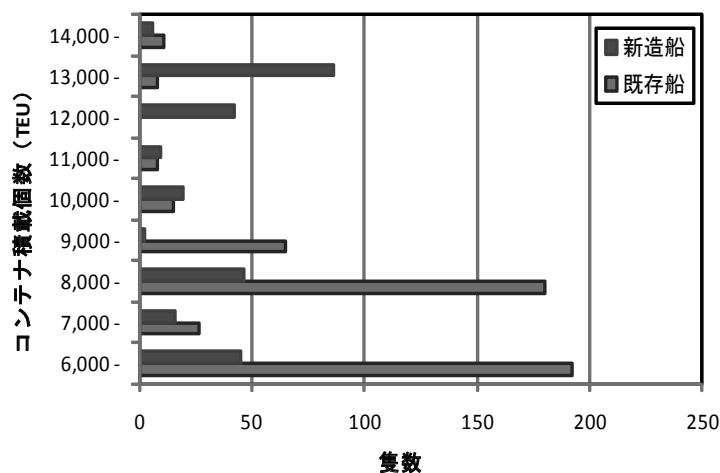


図-9 コンテナ船の大型化



平成22年7月現在。Clarksonデータ等より作成。

図-10 既存・新造コンテナ船の隻数比較

3.2.2 バルクキャリア

石炭、鉄鉱石及び穀物の三大バルク貨物を中心として、ばらの荷姿で輸送するバルクキャリアも大型化が見込まれている。新興国の旺盛な資源需要から、バルク貨物の堅調な伸びが見込まれていることに加え、安定的な供給体制を確立するため、荷主が供給元を多様化させていること等から、遠距離輸送が増加していることが原因である。輸送距離が長くなると、輸送量が同じでも、より多くの船舶が必要となる。例えば、鉄鉱石輸送では、従来オーストラリア出しが非常に大きな比重を占め、その輸送船は 17～18 万

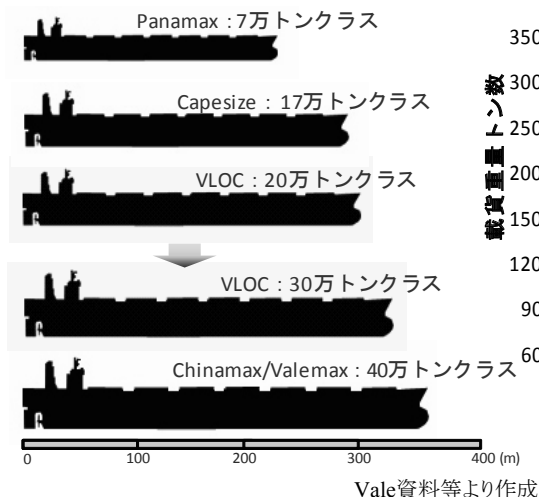
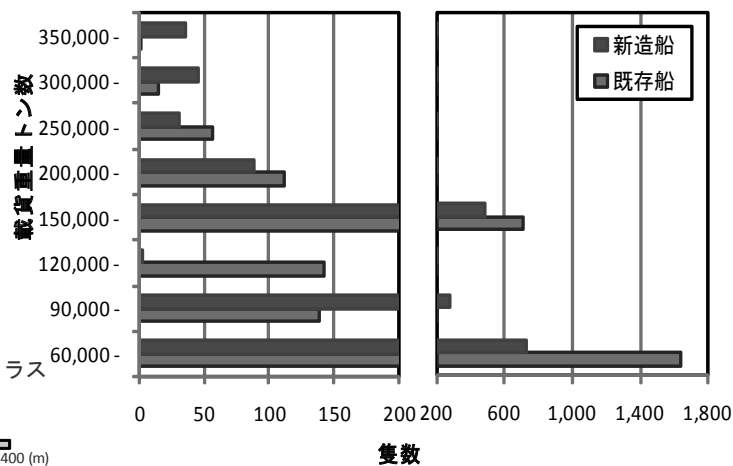


図-11 バルクキャリアの大型化



平成22年7月現在. Clarksonデータより作成.

図-12 既存・新造バルクキャリアの隻数比較

トンクラスのケーブサイズが中心であった。しかし、近年ブラジル出しが増加している。ブラジルは、鉄鉱石の主要輸入国を占める東アジアへの距離が遠いため、オーストラリア出しに比べて、大型船による輸送のメリットが大きい。バルクキャリアの大型化を、図-11 に示すが、穀物輸送の主力である 7 万トンクラスのパナマックスに比べ、現在の鉄鉱石輸送の主力のケーブサイズや 20 万トンクラス VLOC (Very Large Ore Carrier) は非常に大きい。さらに、その 1.5 倍の積載量がある 30 万トンクラス VLOC が、中国の製鉄所が中心に既にブラジルからの輸送が開始されている。ブラジル鉄鉱石メジャーのヴァーレは、自ら史上最大の 40 万トン鉄鉱石専用船チャイナマックス／ヴァーレマックスを建造中であり、輸送費込みの契約 (CIF) を増加させ、輸送船の大型化を先導している。この 40 万トン鉄鉱石専用船には、1 つの船倉に、パナマックス船全積載量の 3/4 が入る。

現在建造中のバルクキャリアの隻数と、既存バルクキャリアの隻数を比較したのが、図-12 である。図中の「60,000-」とは、60,000 トン以上、90,000 万トン未満を示す。従来のバルクキャリアは、7～8 万トンクラスのパナマックス (穀物・石炭)、17～18 万トンクラスのケーブサイズ (石炭・鉄鉱石) が中心であった。コンテナ船と同じく、寿命が約 25 年とし、建造中のバルクキャリアが概ね 3～4 年以内に就航予定であることを考えると、単なるリプレイスであれば、単純化すれば、新造船の隻数は、既存船の隻数の 10～15%程度になる。しかし、パナマックスやケーブサイズにおいても、新造船の隻数は、既存船の隻数の 4～6 割と、非常に多くなっている。また、拡張後のパナマ運河に対応した 9～12 万トンのポストパナマックスや、30 万トンを超える鉄鉱石専用船は、既存船を大きく超える隻数が建造中であり、これらにより、バルクキャリアの船型も、急激に大型化すると見込まれる。

3.3 コンテナ貨物に関する流動分析

3.3.1 北米航路におけるアジアー北米間のコンテナ流動の分析

国総研港湾研究部では、北米コンテナ航路の輸送経路について、アメリカ輸出入貨物データ PIERS (Port Import Export Reporting Service) を用いて、継続的に分析している。

図-13 に、2009 年における、日本ーアメリカ間のコンテナ流動経路を示す。日本発の東航では、直接アメリカへ輸送されたのは 44 万 TEU であり、約 1 割の 4.6 万 TEU は一旦他国へフィーダー輸送され、他国港湾において積み換えされてから輸送されていた。積み替え国の約 3/4 は、韓国であった。ただし、東航では、中国等他国から日本の港湾で積み換えたコンテナも、ほぼ同数見られた。アメリカ発の西航では、直行輸送は 67 万 TEU に対し、1 割強の 7.3 万 TEU がフィーダー輸送、そのうち約 2/3 は韓国であった。また、日本で他国へ積み換えているコンテナは、フィーダー輸送の半分以下であった。日本は、東アジアで、最もアメリカに近く、北米航路の大圏航路上に位置している有利な条件にもかかわらず、韓国経由の輸送が相当程度存在している。もう一つの東西基幹航路で、日本が、東アジアで最も遠い位置にある欧州航路においては、さらに他国港湾に依存しているものと想定される。2010 年 11 月の 1 ヶ月調査である全国輸出入コンテナ貨物流動調査では、アジア主要港へのフィーダー輸送の割合は、北米航路：14% に対し、欧州航路：25% であった。他国港湾への依存度が大きくなっており、東西基幹航路の維持・拡充が、大きな課題となっている。

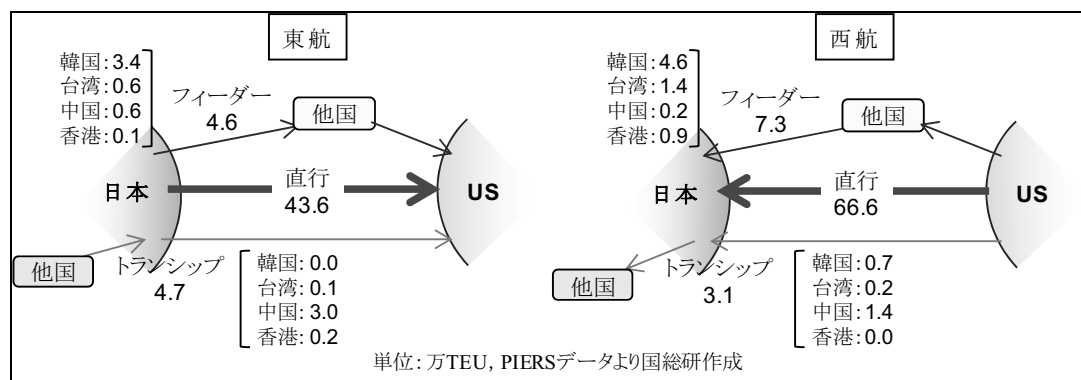


図-13 日本ーアメリカ間コンテナ流動経路 (2009 年)

3.3.2 コンテナ貨物流動調査による我が国発着コンテナ貨物の流動分析

我が国の国際海上コンテナ貨物の流動実態を詳細に把握し、我が国の国際貿易の伸展に対応した、より効率的なコンテナ輸送体制を確立するための基礎資料を得ることを目的とし、国土交通省（平成 10 年調査までは旧運輸省）が主体となって昭和 45 年以来およそ 5 年おきに実施してきた全国輸出入コンテナ貨物流動調査（以下、「コンテナ貨物流動調査」という。）の最新データである平成 20 年調査（10 回目調査）に基づき、我が国発着のコンテナ貨物の生産・消費地から、仕向・原産国などまでの輸送経路などを分析した。

当該調査の概要は図-14 に示すとおりであり、調査期間は1ヶ月、調査項目は、コンテナ貨物の流動状況、利用港湾やルートなどが把握できるように、生産地・消費地の市町村、コンテナ詰め場所・取出場所、船積港・船卸港、仕向港・仕出港、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（トン）、品目、申告価格（円）、国内での輸送手段などの項目が設定されている。貨物量の単位は、フレートトンである。

調査時期

5年に1度（1ヶ月間）
最新はH20年11月実施

対象貨物

輸出入申告された海上コンテナ貨物

調査項目

輸出の場合

生産地→コンテナ詰め地→
（輸送機関）→国内船積港→仕
向港→最終の船卸港→仕向国

※他に貨物量、申告価格、
品目、輸送手段等

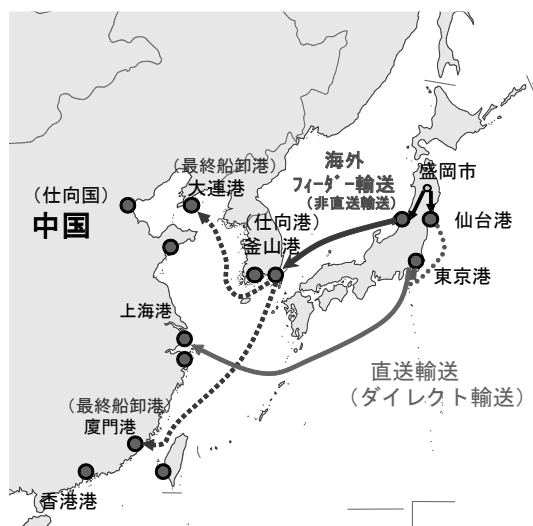


図-14 コンテナ貨物流動調査の概要

このデータを用いて、仕向・仕出国（地域）別の貨物量のうち、どの程度が、海外の近隣港湾で積み換えを行った貨物か、海外フィーダー輸送量などを分析した。日本全体では、約18%の貨物が海外フィーダー輸送されているが、その相手国・地域別の内訳を図-15に示す。また、北米、欧州、中国向けのそれぞれに輸出コンテナ貨物のうち、海

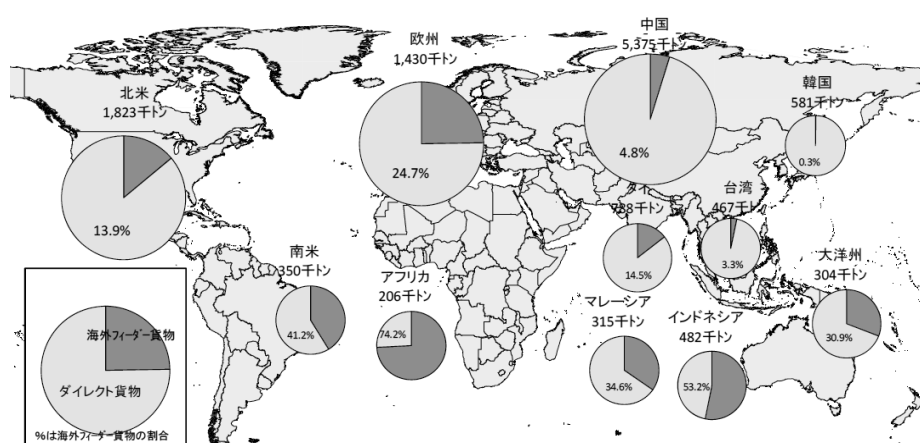


図-15 海外フィーダー貨物の主要な相手国・地域別の割合

外にフィーダー輸送された貨物について、そのフィーダー先港湾のシェアを分析した結果を図-16に示す。平成20年調査では、北米、中国貨物では、釜山港での積み替え比率が高いが、欧州貨物については、香港やシンガポール港での積み替えのシェアが高くなっている。

さらに、海外フィーダーされない直送貨物と、海外の港湾で積み替えされる非直送貨物のそれぞれについて、貨物の申告価格を貨物量で除した単位トンあたりの貨物単価を比べた結果を、表-3に示す。輸出ならびに輸入貨物の双方において、全貨物でみても、また対北米、対欧州、対中国のどの貨物でみても、非直送貨物の方が、直送貨物に比べて単価が低くなっている。

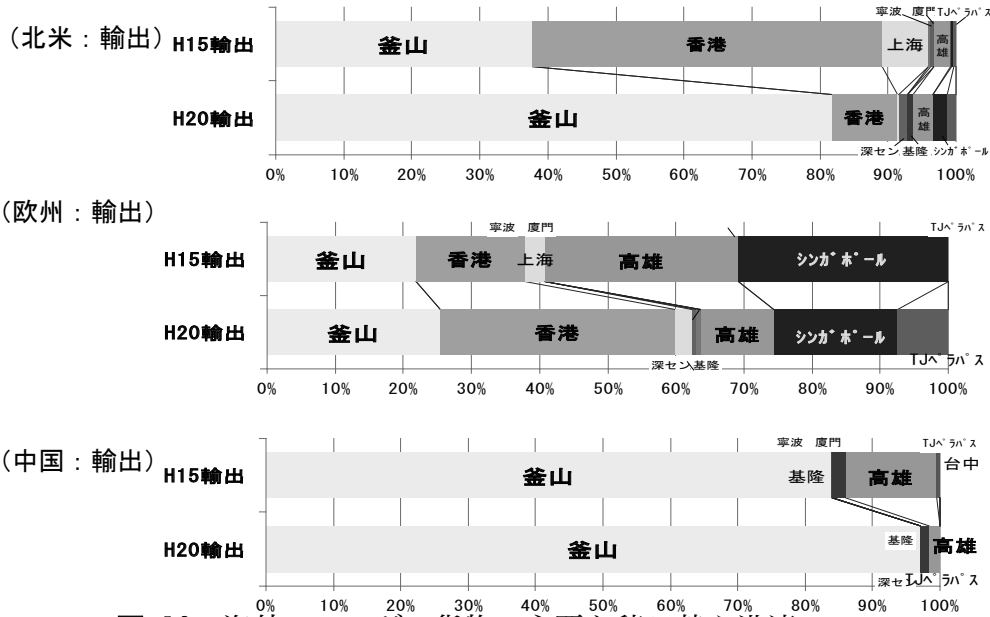


図-16 海外フィーダー貨物の主要な積み替え港湾

表-3 直送貨物と非直送貨物のコンテナ貨物単価

		(千円/トン)		
		直送	非直送	全体
輸入	全貨物	202	178	198
	対北米	216	129	201
	対欧州	297	239	283
	対中国	180	113	177
輸出	全貨物	379	215	341
	対北米	443	288	427
	対欧州	414	268	378
	対中国	352	134	338

3.4 バルク貨物輸送における我が国港湾の状況に関する分析

我が国のバルク貨物対応バースは、高度経済成長期頃に整備されたものが多く、大型化する船舶に対応が出来なくなっている。図-17に、日本の鉄鉱石バースの許容喫水と、既存船・新造船の満載喫水とを比較した結果を示す。船舶の満載喫水よりバースの許容喫水が小さい場合、積載量を制限しなければならない。日本の鉄鉱石バースは許容喫水16～

17mが多いが、これらは、17～18万トンクラスのケーブサイズすら満載で入港できない。許容喫水18mの場合、ケーブサイズは新造船も含め満載まで対応できるが、20万トンを超える鉱石輸送船（Very Large Ore Carrier）の新造船を満載で入港可能なバースはほとんど無い。これは、日本の製鉄所が高度成長期以降新設されていないが、当時就航していた鉱石船が12万トンクラスであったことから、その後のバルクキャリアの大型化に対応できていないことが原因である。大型船が入港できないことは、世界市場における日本の製鉄業のコスト競争力を削ぐものとなる。

石炭や穀物においても同様の状況であり、発電やボイラーに用いる一般炭輸送では、韓国を中心にケーブサイズで輸送している中、日本にはケーブサイズ船が対応できる一般炭用バースがほとんど無い。穀物では、これまで、アメリカ・ガルフ出しの場合、パナマ運河の通航喫水12mが制約となり、7～8万トンクラスのパナマックスによる輸送が中心であるが、その状況ですら、積載制限のある穀物バースが存在し、2港・3港揚げで対応している。パナマ運河拡張により、穀物輸送の主力となる可能性のある9～12万トンクラスのポストパナマックスが満載で入港できるバースは、ほとんど無い。高度成長期頃に整備され、陳腐化した施設の拡張整備が大きな課題である。

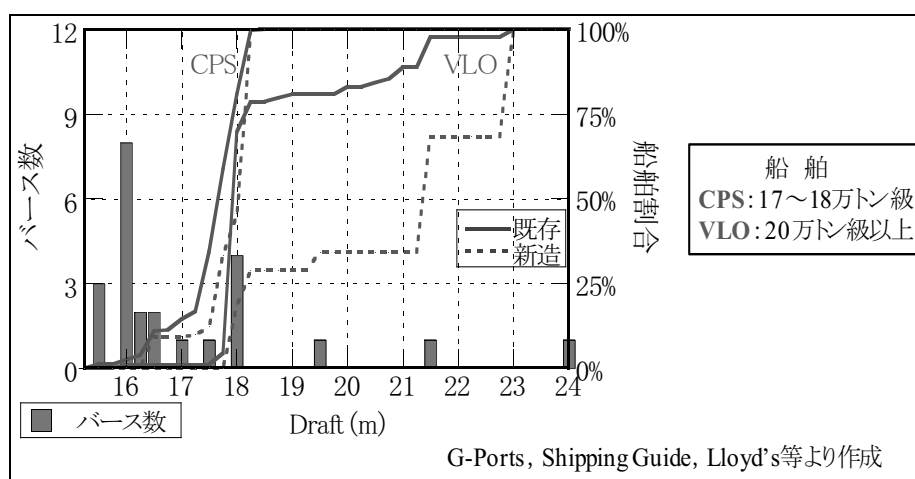


図-17 日本の鉄鉱石バースの許容喫水と輸送船の満載喫水の比較

4. モデルによる貨物の流動分析

4.1 アジア地域における国際貨物の輸送モデル分析

4.1.1 マルチモード国際物流シミュレーションモデルの概要

港湾投資や料金割引などハード・ソフト両面の様々な政策の実施により、東アジア地域における国際海上コンテナ貨物の流動がどのように変化するかについてシミュレーションが可能なモデル、具体的には、地域間貨物輸送需要（OD貨物量）や水深別バース数や利用料金などの各港湾のサービスレベル、さらには輸送ネットワークに関する情報（輸送費用・時間など）を所与として、海上および陸上のコンテナ貨物の輸送パターンを出力するモデルの構築を目指した。

(1) モデルの全体構造

モデルの構築にあたっては、国際海上コンテナ貨物輸送市場の主たる行動主体である「荷主」と「外航船社」の行動を考えることとした。

モデルの構成は、図-18 のとおりであり、概要は下記のとおりである。すなわち、港湾間海上貨物輸送需要が変化しないと仮定する短期モデルにおいては、荷主の船社選択行動や他グループの行動を踏まえ、各外航船社グループが、自グループの利潤が最大となるよう運賃を決定する。このような仮定は、短期的観点からみれば、寡占業界である外航船社が、国際海上コンテナ輸送市場において、荷主・フォワーダに対して優越的地位を占めることを意味する。一方、地域間貨物輸送需要（すなわち、荷主の輸送ニーズ）は変化しないものの、荷主の利用港湾の自由な変更により港湾間貨物輸送需要は変動する中期モデルにおいては、国際海上コンテナ輸送市場において、荷主と外航船社は拮抗する勢力とみなし、互いに市場に対して決定的な影響力は持たないものと仮定する。この場合、相手の行動原理に変化がない限りは自己の行動をこれ以上最適化することのできない、ナッシュ均衡解に達するものと考えられる。

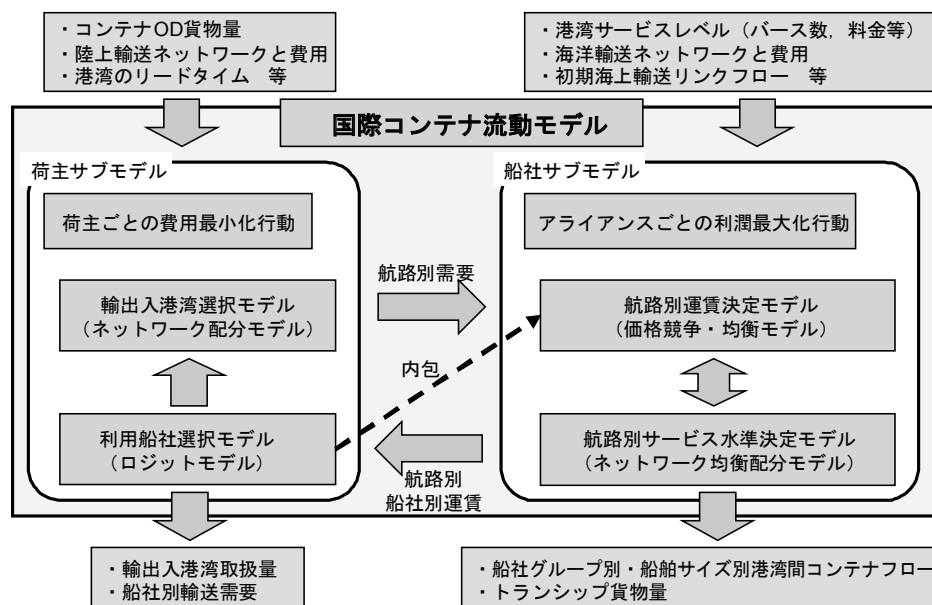


図-18 国際コンテナ流動モデルの全体構成

(2) 荷主モデルの概要

荷主は、個別の貨物ごとに、各外航船社グループが提示する航路別運賃や所要時間も参照しながら、自己の貨物における「認知された一般化費用」が最小となるように、輸出入時の利用港湾や海上輸送における外航船社を選択すると仮定する。このため、モデル構築者が観測できない要因も誤差項として含めることが可能な確率配分型のモデルを採用し、利用港湾と利用船社の選択を2段階の選択行動として記述する配分モデルを構築する。下位問題の船社選択モデルとしては、ロジットモデルを用いる。上位問題の港湾選択モデルにおいては、通常のロジットモデルでは選択肢が膨大になり計算が困難になることから、確率的ネットワーク配分モデルを用いる。これらのモデルは、下位問題の船社選択モデルの結果（合成された航路別費用）が、上位問題におけるコストとし

て組み込まれる，いわゆるネステッド・ロジット型のモデルとなっている。

荷主モデルでは，**図-19** に示されるようなネットワーク上における貨物量の配分を考えている。なお，**図-19** で省略されている各港湾内のネットワーク構成を**図-20** に示す。ここでは，各港湾のリードタイム（搬入時・搬出時）を考慮するため，搬入・搬出リンクが設定されている。また，荷主サイドで意思決定する中継地での積替を考慮するため，船社間積替リンクも設定している。

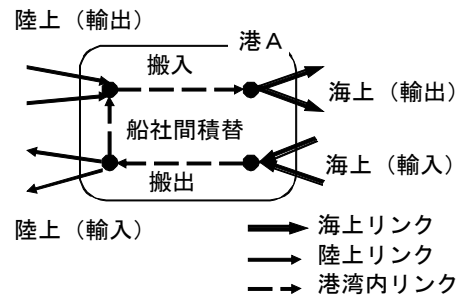
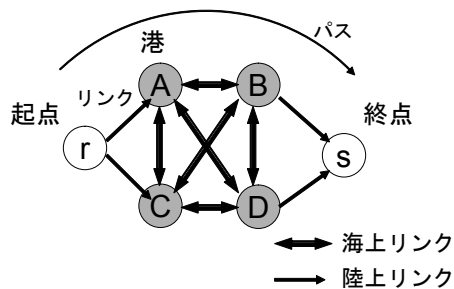


図-19 荷主モデルのネットワーク構成（概念図） **図-20** 荷主モデルの港湾内ネットワーク構成

(3) 船社モデルの概要

外航船社は，港湾間の貨物輸送需要を所与として，アライアンス（外航船社グループ）ごとに自グループの利潤が最大となるように，他グループの運賃・配船パターンや荷主の行動を考慮しながら，海上輸送経路（寄港地やトランシップ港）や輸送船舶サイズ，航路別運賃等を決定するものとした。なお，各外航船社は，荷主の行動を考慮して自グループの行動を決定するものの，その行動は近視眼的と仮定した。具体的には，外航船社は，短期的には各港湾における荷主の船社選択行動（他グループからの転換）まで考慮したうえで，自グループの利潤が最大となるように行動するものの，利用港湾の選択（変更）といったより中長期的な荷主の行動までは，直接的には事前に予測できないものと仮定した。これは，各船社グループは，港湾単位での他船社との競争に関する短期的戦略は存在しても，荷主の利用港湾変更を促すような中長期的な戦略は存在しないということを意味しており，運賃の変動や航路の参入退出が激しく，船社も試行錯誤的に航路を設定すること多いと言われる実際の国際海上コンテナ輸送市場を反映した仮定である。**図-21** に，船社費用最小化モデルのネットワーク構成を示す。

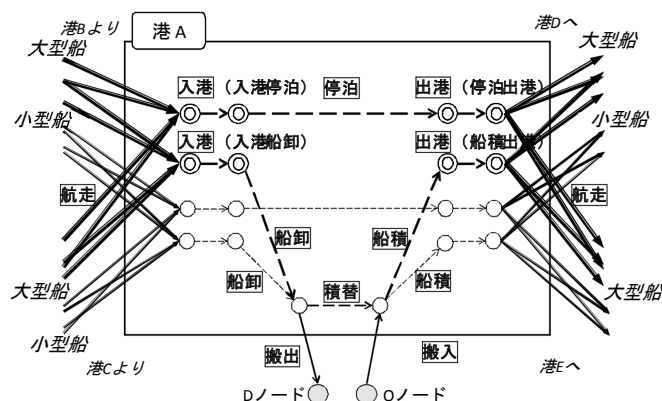


図-21 船社費用最小化モデルのネットワーク構成

(4) 対象港湾

多くの港湾を含むことが可能という本モデルの特徴をふまえ、図-22 に示す日本の 17 港、図-23 に示す日本以外の東・東南・南アジア 23 港、さらに世界のその他の地域 10 港の、合計 50 港を対象とした。ただし、アジア以外の 10 港は、地域代表港として便宜的に設定するものであり、対象となる港湾の個別事情（バース数など）はほとんど考慮していない。

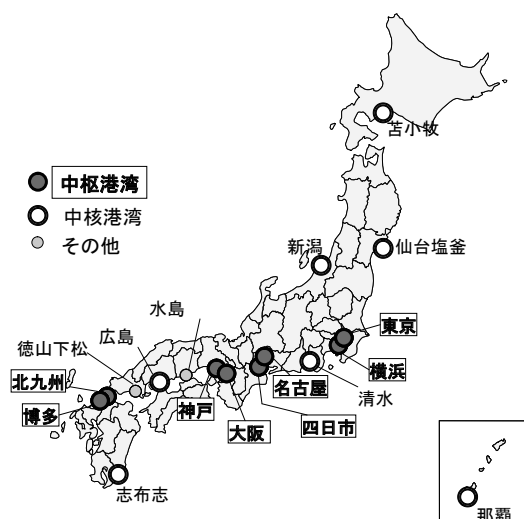


図-22 モデル対象港湾（日本）

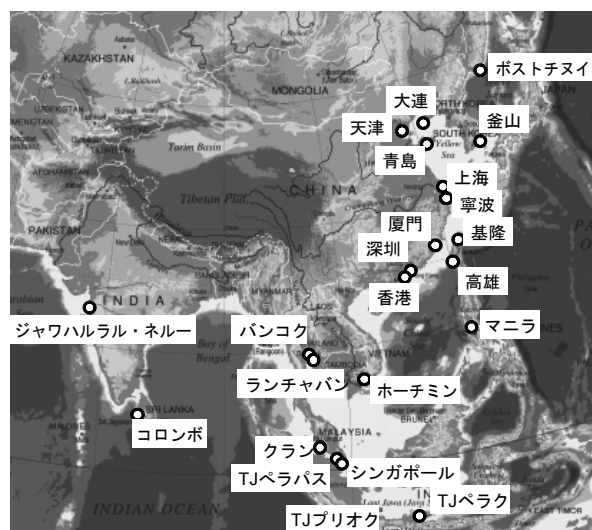


図-23 モデル対象港灣（日本以外アジア諸国）

4.1.2 アセアン地域の物流インフラ主要プロジェクトの評価

アセアンでは、各国の合意により、2007年に、物流インフラ主要プロジェクトを策定している（図-24）。当初のプロジェクト数は77であったが、その後12プロジェクトが追加されている。道路・鉄道・港湾・空港・その他物流施設全般という幅広いインフラを対象としており、道路や鉄道の新設や拡幅・複線化等の改良、港湾や空港の新設・改良やアクセス道路の改善、インランドデポの設置など、多岐にわたる施策が含まれている。これらのプロジェクトは、地域全体の発展や、域内の複数国の発展に資するという観点から、アセアン地域を代表する港湾・空港や、主要回廊沿いの道路・鉄道・フェリーに関するものを抽出したとされている。このプロジェクトの効果や影響について、構築したモデルを用いて、これらのプロジェクトが実施された場合と実施されなかった場合について、それぞれ貨物流動シミュレーションを行い、その比較から輸送費用の削減効果を推計した。

(1) シミュレーションの対象プロジェクト

シミュレーションの対象とするプロジェクトは、モデルで表現されていない空港とコンテナ以外の海上輸送に関するものを除く、計 79 プロジェクトとした(図-24)。また、これらのプロジェクトだけでなく、陸上輸送の際の越境抵抗を低減する施策についても、あわせてシミュレーションの対象として、効果を同時に計測することとした。なお、シミュレーション実施に際しては、2020 年時点の国際貨物輸送需要を入力した。

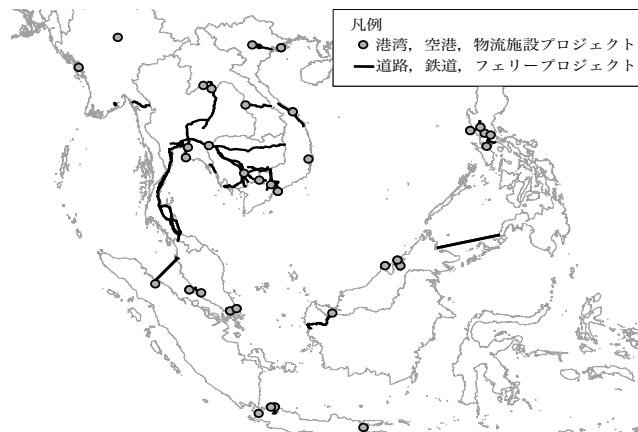


図-24 アセアン物流インフラ主要プロジェクトの位置

(2) 施策実施による貨物輸送パターンの変化

すべてのアセアン物流インフラ主要プロジェクトが実施され、かつアセアン地域のすべての国境で越境抵抗が低減した場合を「2020 年 with ケース」と呼び、また、これらの施策が全く行われなかったとした場合を「2020 年アセアン without ケース」と呼ぶこととし、どちらのケースについても、アセアン以外の各国（日本・韓国・中国等）については、現在計画されている港湾投資等のプロジェクトは実現しているものと想定した。

図-25 に、アジア主要港湾のコンテナ貨物取扱量（トランシップ貨物含む）の推計結果を示す。図より、①アセアン域内の港湾では、それ以外の地域の港湾と比べ、ケース間の変動が大きいこと、②ほとんどのプロジェクト対象港湾では、with ケースにおいて取扱量が増加するものの、クラン港（マレーシア）やT J プリオク港（インドネシア）のように減少する港湾もあること等がわかる。クラン港やT J プリオク港で取扱量が減少するのは、周辺港湾との競争バランスの変化や、陸上プロジェクト実施の影響によるものと考えられる。具体的には、クラン港はシンガポール港などに、T J プリオク港はT J ペラク港や、図には示していないが新規開設のボジョネガラ港などに、貨物がシフトしているものと考えられる。また、アセアン全港湾合計のコンテナ貨物取扱量についてみると、施策の実施により、約1億6900万T E Uから約1億6200万T E Uへ、約4%

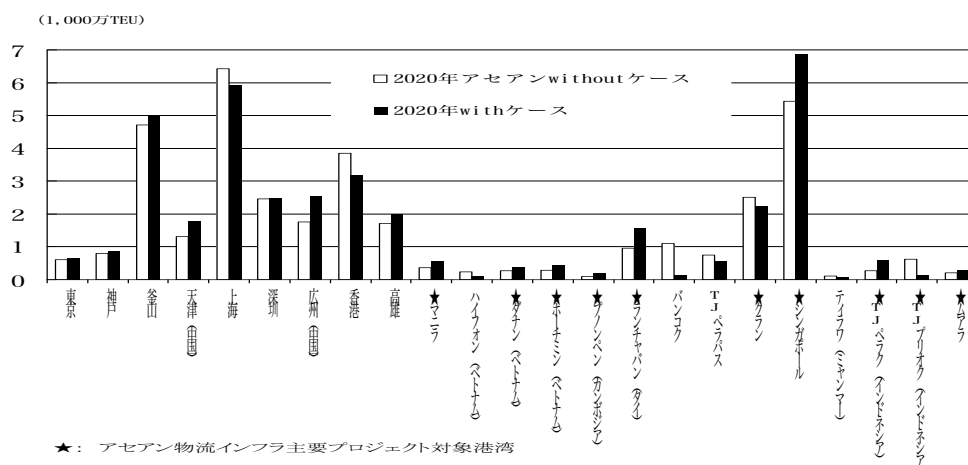


図-25 アジア主要港湾のコンテナ貨物取扱量推計値（2020 年）

減少している。これは、陸上およびフェリー交通インフラの整備や陸上越境抵抗の低減などにより、海上輸送貨物の一部が陸上輸送にシフトしたためと考えられる。

また、図-26 にアセアン地域の陸上（道路・鉄道）貨物流動の変化を示す。図より、プロジェクトや越境抵抗低減施策の実施によって国際貨物の通行量が増えるかどうかは、各道路や鉄道路線によって異なることがわかる。おおむねの傾向として、プロジェクト実施区間や鉄道・フェリーを中心に交通量が増加している。また、一部貨物が海上コンテナ輸送からシフトすることもあり、アセアン全域の総陸上・フェリー輸送量は、台キロベースで約 27% 増加している。このように、物流インフラ主要プロジェクトや、越境輸送抵抗の低減施策の実施は、この地域の貨物輸送パターンに大きな影響を与えることが、シミュレーション結果より明らかとなった。

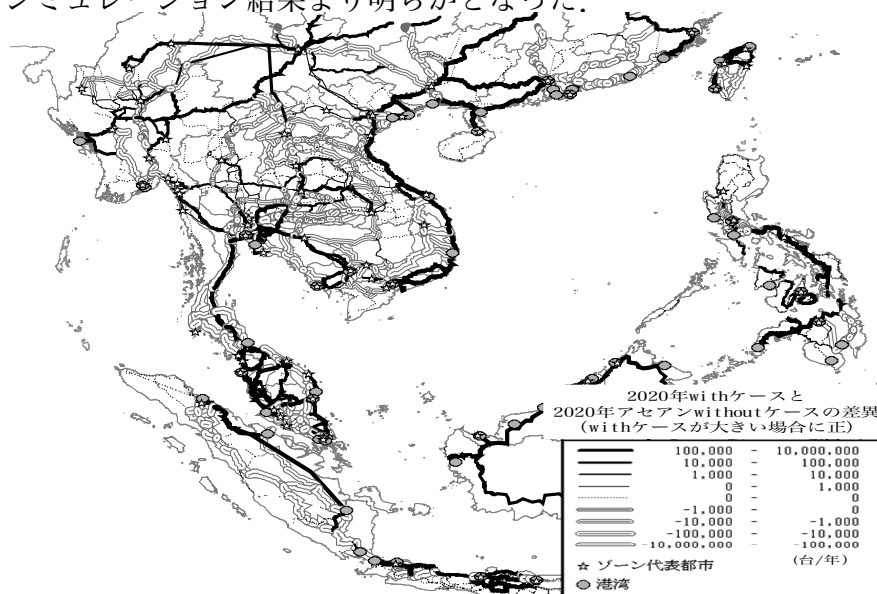


図-26 アセアン地域の陸上貨物流動の変化（2020年）

(3) 輸送費用の削減効果

貨物輸送パターンが変化することにより各貨物の輸送費用も異なってくることから、「2020年 with ケース」と「2020年アセアン without ケース」の総輸送費用を比較することにより、施策実施による輸送費用の削減額を推計した。今回のシミュレーションでは、世界全体で年間約 13.9 兆円、アセアン発着貨物に限定すると年間約 15.7 兆円と推計された。これは、総輸送費のそれぞれ約 1.9%、約 8.8% に相当する額である。

また施策別の削減効果については、本シミュレーションの検討対象である 79 プロジェクトのうち、港湾投資やフェリー利用の促進など、海上輸送に関するプロジェクトが 19 あり、これらのプロジェクトについて、全体の削減効果を求めた場合と同様に、with ケースと without ケースの総輸送費用を比較することによって、アセアン発着貨物の輸送費用の削減効果は、年間約 6.9 兆円（総輸送費の 3.9% に相当）と推計された。同様に、道路・鉄道・物流施設といった陸上輸送に関する 62 のプロジェクト（うち 2 つは海上輸送と重複）の輸送費用削減効果は約 8.0 兆円（総輸送費の 4.5% に相当）、陸上およびフェリー輸送に関する越境抵抗低減施策の輸送費用削減効果は約 7.5 兆円（総輸送費の 4.2% に相当）と推計された。

表-4 各国発着貨物の施策別輸送費用削減率

国・地域	全施策 同時実施	海上輸送 プロジェクト のみ実施	陸上輸送 プロジェクト のみ実施	越境抵抗 低減施策 のみ実施
日本	1.5%	0.9%	1.2%	0.5%
韓国	1.1%	0.7%	0.8%	0.4%
中国	1.2%	0.1%	0.9%	0.7%
台湾	1.6%	1.1%	0.4%	-0.7%
フィリピン	3.7%	2.3%	2.5%	0.9%
ベトナム	12.3%	1.8%	7.1%	5.4%
ラオス	22.6%	2.1%	-0.2%	19.2%
カンボジア	4.3%	0.3%	0.4%	2.8%
タイ	12.9%	7.1%	10.6%	4.0%
マレーシア	6.6%	1.4%	2.2%	6.2%
シンガポール	6.8%	2.0%	1.9%	4.2%
ミャンマー	5.6%	1.3%	1.5%	3.6%
インドネシア	12.8%	8.3%	2.2%	5.7%
ブルネイ	9.0%	0.0%	0.9%	7.8%
バングラデシュ	2.1%	2.4%	1.2%	1.5%
インド	0.5%	0.0%	0.6%	0.3%
スリランカ	1.7%	1.0%	0.9%	1.5%
パキスタン	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
ロシア・中央アジア	0.0%	-0.2%	0.0%	-0.4%
世界計	1.9%	0.6%	1.1%	0.9%
アセアン発着貨物	8.8%	3.9%	4.5%	4.2%

4.2 犠牲量モデルによる我が国発着コンテナの輸送経路選択モデル開発

4.2.1 犠牲量モデルの概要

犠牲量モデルは、輸送ルート選択にあたり、時間と費用から構成されるルート毎の総犠牲量が最も小さくなるルートが選択されるとするモデルである。ルート r の総犠牲量 S_r は時間 T_r と時間価値 α の積にルート毎に要する費用 C_r を足したものとなる。

$$S_r = C_r + T_r \cdot \alpha \quad \text{式(1)}$$

犠牲量を用いたルート選択の考え方を図にあらわしたものが図-27 である。ここで、縦軸は総犠牲量 S 、横軸は時間価値であり、3本の直線はルート毎の犠牲量であり、その総犠牲量がそれぞれ S_1 、 S_2 、 S_3 で表わされる。貨物の時間価値によって総犠牲量が最小になるルートが異なり、ルート1とルート2の交点を α_{12} 、ルート2とルート3の交点を α_{23} とすると、時間価値0から α_{12} まではルート1、時間価値 α_{12} から α_{23} まではルート2、 α_{23} より時間価値の大きいところではルート3の経路が犠牲量が最も小さいルートとなり、貨物は時間価値によってそれぞれのルートを経由することとなる。

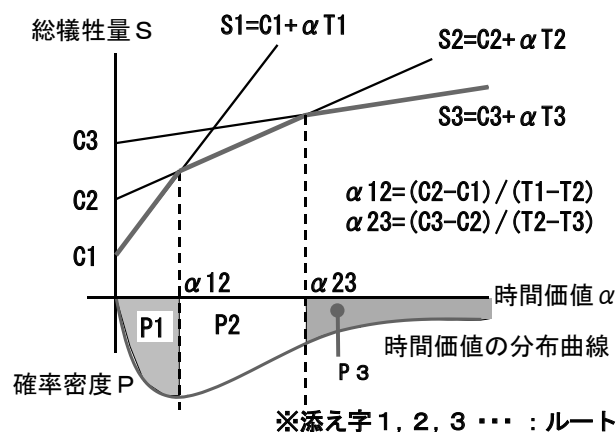


図-27 犠牲量モデル概念図

なお、時間価値の分布形については、過去の分析事例などを参考に、今回の分析では対数正規分布を用いることとした。

我が国と海外との国際海上コンテナ貨物を対象に、国内の生産地・消費地別の貨物が、国内のどの港湾・ルートを経由して海外まで運ばれるかを、国内での内航フィーダー輸送、釜山港などとの国際海上フィーダー輸送なども含めて検討し、より精度の高い荷主の港湾・ルート選択モデルの構築を行うこととした。

分析にあたってのルート毎の貨物量実績値については、平成 20 年 11 月に実施されたコンテナ貨物流動調査(国土交通省)を用いた。全国輸出入コンテナ貨物流動調査では、調査期間中の 1 ヶ月間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が調査対象となり、調査項目は、コンテナ貨物の流動状況、利用港湾やルートなどが把握できるように、生産地・消費地の市町村、コンテナ詰め場所・取出場所、船積港・船卸港、仕向港・仕出港、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)、品目、申告価格(円)、国内での輸送手段などの項目が設定されている。コンテナ貨物流動調査で把握できるルートの概要は、図-28 のとおりとなる。

本分析では、東京湾、伊勢湾、大阪湾、北部九州の4地域及び地域のコンテナ輸送を担い、長距離基幹航路の航路実現性を有する位置づけとなっている中核国際港湾8港とこれらの港湾が存在しない都道府県に各1港の合計35港配置することとした(図-29)。



また、海外のトランシップ港については、釜山港、香港港、高雄港、シンガポール港をトランシップの代表港に設定し、分析対象ルートに加えることとした。

各ルートの時間については、①陸上輸送時間、②海上輸送時間、③港湾における諸時間、④船舶の待ち時間に分けて、各種データをもとに設定した。なお、船舶の待ち時間については、内航フィーダー、海外フィーダー、本船ともにそれぞれの港湾の航路便数をもとにした平均待ち時間を算出し計上した。費用についても、各種資料をもとに、①陸上輸送費用、②海上輸送費用、③港湾諸費用を各ルートについて計上した。

(3) 時間価値の推計結果

上記設定に基づいて算出した基幹航路のコンテナ貨物の時間価値分布の推計結果を推計し、その推計結果から求められる時間価値分布の確率密度関数は図-30のとおりである。これらの数値から求められる平均時間価値（中央値）の試算結果は輸出 2,146 円/h・TEU、輸入 1,963 円/h・TEU となった。

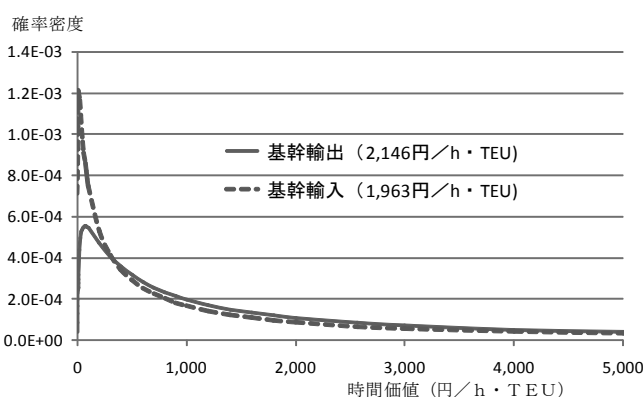


図-30 基幹航路の時間価値の確率密度関数

(4) モデルの現況再現性

上記の時間価値推計結果に基づき各港湾の取扱貨物量の実績値と犠牲量モデルでの再現値を比較した結果を図-31に示す。海外の4港は日本からの海外フィーダー輸送貨物量を表している。大阪湾、清水港で実績値と現況再現値の乖離がやや大きくなっているものの、概ね現状を再現するモデルを構築することができた。

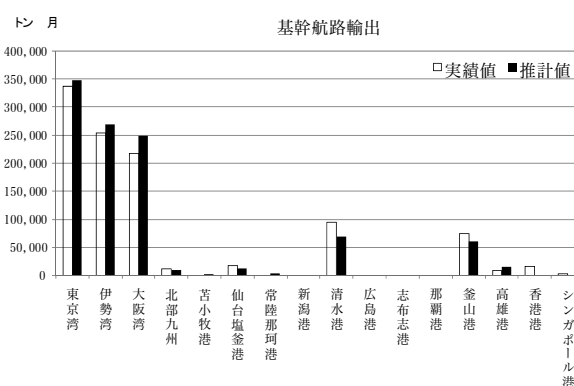


図-31 モデルの現況再現性結果（欧米貨物）

5. おわりに

以上、港湾研究部において現在取り組んでいる港湾物流に関わる研究の一端を紹介した。より効率的で効果的な港湾の施策、成果重視の港湾施策などを展開していくには、将来における港湾の貨物需要や貨物流動を予測することなどにより精度、透明性の高い政策検討を行っていくことが必要となっている。そのような状況を踏まえ、各種のデータの蓄積や分析、将来予測モデルの高度化など研究の一層深度化を図ることにより、現在進められている国際コンテナ戦略港湾や、国際バルク戦略港湾をはじめとする各種の施策評価や、新たな施策の企画・立案に寄与していきたい。