

複数の輸送機関の競合区間における貨物輸送の 分担率・採算性・輸送設計に関する研究

本研究では、国内物流の現状を物流調査によって把握し、同時に輸送機関設計やタイムテーブル等の運航設定を行い、他の輸送モードとの競合を考慮した貨物輸送システムの設計について考察する。造船設計によって船舶の主要目を設定し、各貨物には時間価値を想定する。犠牲量モデルを用いたシミュレーションモデルを構築し、各貨物が最小犠牲量の輸送手段を選択するようモデル化する。その上で、従来の研究では行われていない、貨物の時間指定・マーケットオープンや輸送コスト等を考慮した輸送機関分担率の算出や、ディスカウント・キャッシュフローを用いた採算性評価等を示し、貨物輸送システムの設計手法の有効性を示す。

キーワード 物流シミュレーション, モーダルシフト, 犠牲量モデル, 物流実地調査

大和裕幸

YAMATO, Hiroyuki

工博 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授

山内康友

YAMAUCHI, Yasutomo

日本航空(株)オペレーション統括室付 (株)JALスカイ九州航務部
前東京大学大学院新領域創成科学研究科修士課程

1 緒言

海上輸送は、長距離大量輸送に適した輸送モードとされ、セメント、石油製品、鉄鋼といった産業基幹物資を中心に国内物流の安定輸送を確保してきた。そして、最近の物流コストに対する意識、また地球環境問題への配慮の高まりから、今までの役割に加え、物流効率化へ向けて、海上輸送の有効性が指摘されるようになった。最近の造船技術革新により、高速艇等の貨物輸送要求を満たす船舶の建造が可能となってきた事も海上輸送の可能性を広げている。しかしながら、実際には、モーダルシフトはなかなか進展していない。各輸送モード間の競合を定量的に評価する手法があれば、それをビジネスとして展開出来る可能性がある。

本研究では、関東(東京)から道央(札幌)までの輸送システムを考察する。ここでは、複数の輸送モードが貨物輸送を行っており、各輸送モードの運賃や運航時刻等のサービスの変化は、競合に変化を与える。この場合、ネットワーク手法では、輸送機関の運航ダイヤを設計する事が出来ない。文献(1)(2)(3)等においても、運航ダイヤの設計手法までは至っていない。しかしながら、本研究のように離散シミュレーション手法を始め、輸送機関設計、全国貨物純流動調査、物流調査や輸送システムに係る分野を総合的に合わせて用いると、輸送サービスの変化が貨物輸送全体に与える影響を定量的に考察する事が可能となる。

本研究では、発生頻度分布に従って、個々の貨物を発生

させ、かつ、各貨物には時間価値を想定し⁴⁾、輸送時間、待ち時間や到着時間指定等を考慮して、犠牲量モデルによって、最小犠牲量が得られる輸送機関を選択し、目的地に輸送される事にする。

時間価値は、従来、人の行動選択に利用されている⁵⁾⁶⁾。例を挙げると、国土交通省道路事業評価手法検討会では、時間価値の算出方法などを検討しており⁷⁾、また、空港建設が各輸送モードの利用に与える影響を評価するのにも利用されている。本研究では、時間価値の概念を広げて、貨物の輸送に適応する事を考える。時間価値については、文献(4)の内容を利用している。

ここでは、対象区間における貨物輸送の流れを捉える為、離散型シミュレーションモデルを構築した。そして、輸送機関分担率を求める事で、貨物輸送システムの設計を考察する。本研究では、物流の現状を把握する為、貨物輸送企業2社に対して2002年12月に物流調査を実施した。その結果を、競合する輸送経路の決定、運賃相場、運賃割引率、積載率、到着時間指定、マーケットオープンの設定に反映させた。また、対象区間について、取扱量の多い企業を調査する事で、妥当性の検討を行った。

今回は東京と道央(札幌)間の貨物輸送を再現し、機関分担率から、輸送モードごとの最適な運航設計や環境評価、採算性評価等の考察を可能にした。例えば、今回は主に、造船設計の変更により、フェリーの船型、スピードや、サービスの考察を行う。フェリーの船型ごとに、燃費・人件費等の運航費等も個別に算出し、シミュレー

シオンを行う。その結果、従来、試行錯誤に行っていた、フェリー運航時に必要な諸元や運航ダイヤ等の設計要求に工学・経済的に答える事が可能となる。今回は、海上輸送システムに的を絞って論を進める。他の輸送モードについても同様に輸送機関設計を含めながら輸送システムの設計を行う事が可能であり、本研究手法が、造船海運ビジネスや運輸政策決定に広く活用できると考えている。

2 本研究の内容

2.1 造船設計

本研究の手順を図 1 に示す。造船設計とシミュレーションを関連付けている点に特徴があり、かつ、物流調査を実施し、輸送システム設計に物流データを加えている。まず、輸送モード設計として、造船設計を行う。 W_f は船舶の1時間当りの燃料消費量である。特に船舶の場合、 W_f は主機出力 P から求める。

$$W_f = P \cdot \text{SFC} \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{735.5} \cdot RV \cdot \frac{1}{\eta_p} \quad (2)$$

ここで、 P は出力 [PS]、SFC は燃料消費率 [g/(PS・hr)]、 η_p は推進効率、 R は全抵抗 [N]、 V は速度 [m/sec] である。

つまり、 W_f は R 、 V の関数となる。さらに、 R を V 、 L といった幾つかの変数で表すため以下の考察を行う。船舶の全抵抗 R は一般的に (3) のように剰余抵抗と摩擦抵抗で表される。

$$R = (1 + K)R_f + R_r \quad (3)$$

$$R_f = \frac{1}{2} C_f S V^2 \rho_w \quad (4)$$

$$R_r = \frac{1}{2} r_R \rho_w \nabla^{2/3} V^2 \quad (5)$$

ただし、 R_f は剰余抵抗、 R_r は摩擦抵抗、 K は形状係数、 S は浸水表面積、 ρ_w は水の密度、 V は船速、 r_R は剰余抵抗係数、 C_f は摩擦抵抗係数、 ∇ は排水容積である (4) において C_f と S は (6) (7) 式のように表されるから、 R_f は V 、 L 、 B 、 d の関数として表される。

$$C_f = \frac{0.075}{(\log Re - 2)^2} \quad (6)$$

$$S = Bd + 2BL \quad (7)$$

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (8)$$

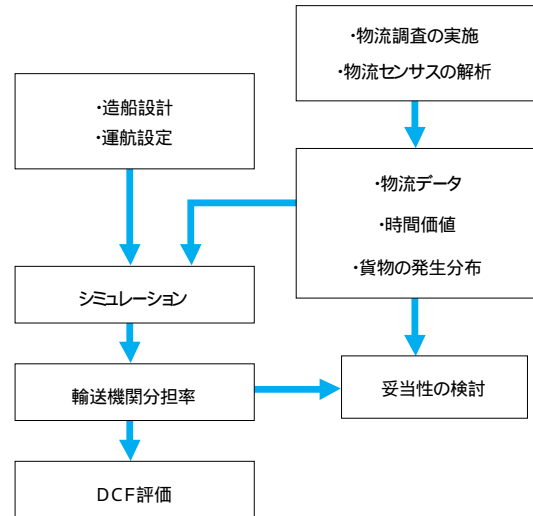


図 1 本研究の手順

ただし、 Re はレイノルズ数 (8)、 L は船長、 B は船幅、 d は喫水、 ν は水の動粘性係数である。ここで、 ρ_w 、 ν は定数である。

また (5) において、剰余抵抗係数 r_R はフルード数 Fn (9) 式と C_b : 方形係数から、図 2 の山県の図表により決定する。本研究では、方形係数 : $C_b = 0.6$ で行う。

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{Lg}} \quad (9)$$

フルード数は、 V 、 L の関数である。そして排水容積は次のように表される。

$$\nabla = C_b \cdot LBd \quad (10)$$

(7)~(10) より、 r_R は V 、 L 、 B 、 d 、 C_b の関数として表される。

また (3) 式において、 K の計算は住吉の式 (11) を用いた。

$$K = 0.095 + 15.1 \frac{C_b}{\left(\frac{L}{B}\right)^2 \sqrt{\frac{B}{d}}} \quad (11)$$

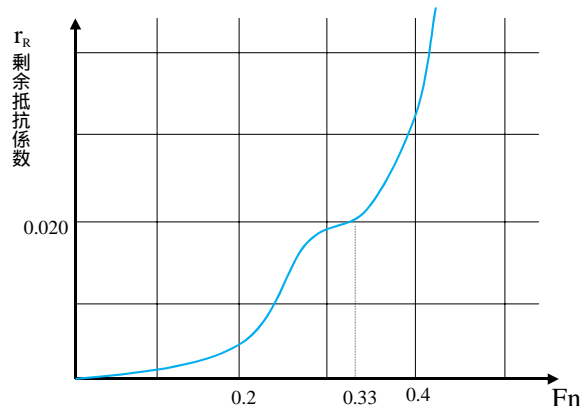


図 2 山県チャート ($C_b=0.6$, Standard Ship Type)

この式に初期値としてある船の値を入れてやればKを求められる。本研究では、Kを初期値から求め、L、B等の変化に関わりのない定数として扱う(K = 0.195)。

このように輸送モード機関設計においては、海上輸送の場合、摩擦抵抗 R_f と剰余抵抗 R_r から全抵抗を求め、主機の馬力を決定し、航海速度、大きさ、排水容積等の船型諸元を決定する。今回は、フルード数 $F_n = 0.33$ として計算を行うが、この数値は、高速艇の場合、造波抵抗を低減する上で重要であり、これを基に船舶の設計が行われる事が多い。陸上輸送にかかわって国内物流を担うような高速艇を考える場合は概して燃料費が莫大となるため、重要となる⁸⁾。その上で、一連の輸送システム設計に船舶設計を組み込む。

2.2 運航設定

次に運航設定において、貨物輸送のコスト計算及び、2.1造船設計と関連して、燃費や人件費等から実際にかかる経費を計算して求める。輸送コストは、直接輸送コストと間接輸送コストに分け定式化する。直接輸送コストは、資本費、乗員費、燃料費、維持費、一方、間接コストは営業費、管理費とした。船価については様々な推算方法があるが、今回は重量から推算する事にする。鋼鉄の値段に加工料20%程度加算した推定値 x_p (トン当たりの船価：150,000円/トン)と排水容積で表すと、

$$P_s = x_p V \rho_w \quad (12)$$

となる。これは(10)式より、

$$P_s = x_p \rho_w C_b L B d \quad (13)$$

で、L、B、d、 C_b の関数となる。

2.3 品目別時間価値

国内貨物の現状について、第6回全国貨物純流動調査⁹⁾のデータ解析を対象区間において行い、用いる品目として、農水産品、金属機械工業品、化学工業品、軽工業品、雑工業品を採用した。また、各品目の時間価値については、文献(4)の対数正規分布を利用する。時間価値によって、貨物が持つ経済的価値を時間当たりで表現する。表1に、品目別時間価値と分布について示す。

表1 品目別時間価値と分布について⁴⁾

	平均 μ	分散	時間価値(yen/10t・hr)
農水産品	8.593	3.325	5,393
金属機械工業品	8.901	3.202	7,336
化学工業品	8.648	2.784	5,700
軽工業品	7.376	3.364	1,597
雑工業品	7.135	7.111	1,255

2.4 物流調査の実施

本研究においては、2002年12月に総合物流企業と海運会社の本支店・営業所によって調査を実施した。その結果、積載率、運賃相場、運賃値引率、到着時間指定等の実態が明らかになり、その分布についてもモデルに追加する事が可能になった。また、定期路線運行の時刻表、OD表や輸送モードの選択状況が判明したので、この成果を利用して、定期路線運行をシミュレーション上で再現し、加えて、現実と研究結果の妥当性の検討を行った。物流調査の項目を表2に示す。図4・表5は今回の調査に基づき作成されたものである。

表2 物流調査の項目

No.	項目	内容
1		トラックの型式・台数
2	帰り荷問題	復路の空トラックの比率(道央～関東)
3		経由地
4	積載問題	積載内容
5		荷揚げ・荷降し時間
6	積載率	往路・復路の積載率(関東～道央、道央～関東)
7		時間帯変動
8		曜日変動
9		季節変動
10	運賃問題	運賃の計算方法
11		運賃値引率
12		往復割引の有無
13	運行問題	1台のトラックの運転履歴(数日間)
14		運転手の労働時間
15		運転手の休憩時間
16		乗船中の運転手の賃金
17		走行時間帯の傾向
18		高速利用率
19		平均速度
20		共同運行の状況
21		配車管理の状況
22		到着時間指定の状況
23		輸送機関選択意思決定者(運行管理者など)
24		海上輸送の状況
25		海上輸送の問題点

3 シミュレーション

3.1 シミュレーションモデル

次に、対象区間における貨物の輸送について、ARENAという離散型シミュレーションソフトを用いて構築する。対象区間における貨物の流れについては、発生頻度分布に従って貨物を発生させ、各貨物に時間価値や到着時間指定等を想定・設定する。一方、各輸送モードについては、運行ダイヤ、速度、運搬許容量、運賃、運賃値引き、積載率、所要時間、待ち時間等、随時変化する輸送環境を再現し、貨物が最も経済的効率の良い輸送経路を經由して、目的地へ向かうと仮定する。図3に¹⁰⁾¹¹⁾農産品の発生頻度分布を示す。図3はターミナルに貨物が到着する時間に基づいている。他の品目についても、同様に発生頻度分布を設定している。

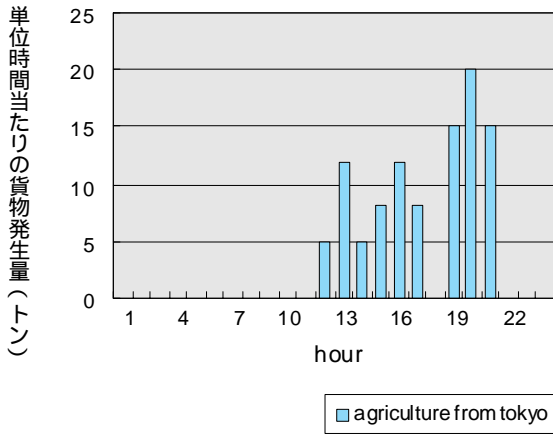


図 3 単位時間当たりの貨物の発生量(農産品の例)

本研究においては東京・道央(札幌)間における貨物輸送の検討を行う。図 4にその経路を示す。対象とする輸送機関は、長距離フェリー、鉄道、トラック、航空輸送である。例えば、東京発の場合、フェリー輸送については、貨物はトラックによって、東京港まで運ばれ、苫小牧港までフェリーで運搬され、その後、トラック輸送によって、札幌に到着する。陸上輸送の場合、八戸港経由(苫小牧着と室蘭港着)と青森港経由がある。鉄道、航空路線についても、同様に末端はトラック輸送であり、シミュレーションでは、その部分も含めた計算をしている。なお、フェリーについては20、22.5、25、27.5、30、32.5、35ノットの7種類の運航形態を検討する。

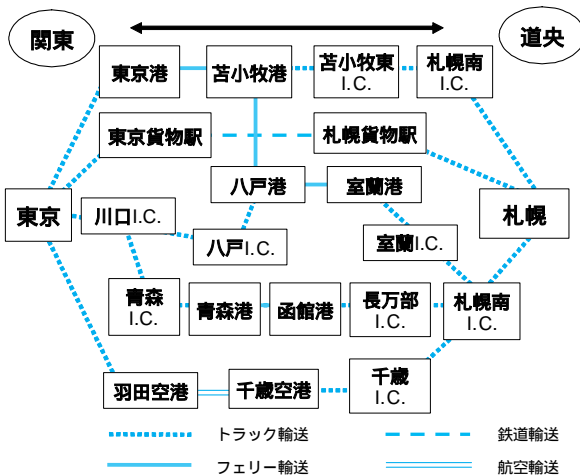


図 4 経路設定

続いて、シミュレーション実行の為、パラメータの設定を行う。2章の設計を利用して、表 3に船舶パラメータを示す。また、表 4において、出力時に設定した各輸送モードの運行ダイヤの一例を示す。運航ダイヤ設定は、輸送機関ごとに時間単位で変化を加えている。

また、陸上輸送においても、途中短距離フェリーを利用するので、青森・函館航路、八戸・苫小牧航路、八戸・

表 3 船舶パラメータ設定

速度(ノット)	20	22.5	27.5	30	32.5
許容量*	40	70	178	268	389
出力(PS)	6,780	14,800	51,000	102,000	176,000
運航時間(hr)	30.8	27.7	23.2	21.5	20.0
保有隻数(隻)	5	5	4	4	4

*許容量とは、船舶に積載出来る可能台数であり、単位は(台数(10トトラック換算))である。

表 4 運航ダイヤ設定(一例)

	1st	2nd
Railway	01:00	04:00
Truck	随時	
Ferry	06:00	24:00
Air	5:00(every3hours)	6:00(every3hours)

室蘭航路についても運航スケジュールの設定がある。本研究では、トラックの輸送実績を利用して⁹⁾、陸上輸送されるトラックの数を設定する。東京発を最大220台、札幌発を最大255台とする。台数の差については、フェリーで空輸される事とする。これは、物流調査の結果や、燃費計算、ドライバーの件数費等の計算より、フェリーによる空輸が最も低価格で輸送できる事に基づいている。また、運賃値引率、到着時間指定についても設定を行った。これらは、物流調査より得られた結果を反映して設定した。また、マーケットオープンについて、品目ごとに市場の開始時間の設定が出来るようにした。マーケットオープンとは、市場の開始時間に間に合うように輸送するものであり、一番近いマーケットに間に合わない場合、次回のマーケットオープンに到着する為に最適な輸送モードを選択し直す事まで考慮したモデルとなっている¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾。

3.2 シミュレーション結果

シミュレータ内の貨物の挙動は適宜保存され、モデル実行後に、シミュレータの出力結果を視覚化、グラフ化する。その上で、最適となる各輸送機関の特性を把握する。図 5に本研究の物流シミュレーションモデルのアニメーションによる可視化の図を示す。ARENA¹⁹⁾は、シミュレーション言語の一つであるSIMANとアニメーション機能CINEMAの統合パッケージである²⁰⁾²¹⁾。プロセス指向を用いてフローチャートの組み合わせによりモデルを定義できる一方、実行時にはイベント指向を用いて、システムの状態の追跡、統計の蓄積し、適切な時刻にモデルロジックを通したエンティティの移動等が可能である。これにより、輸送機関の運行スケジュール、個々の荷主の時間価値、輸送待ち時間などの物流情報を表現でき、また、輸送機関の条件が変わったときの物流量、消席率などの変動を統計的に分析するのに向いている²²⁾²³⁾²⁴⁾²⁵⁾。

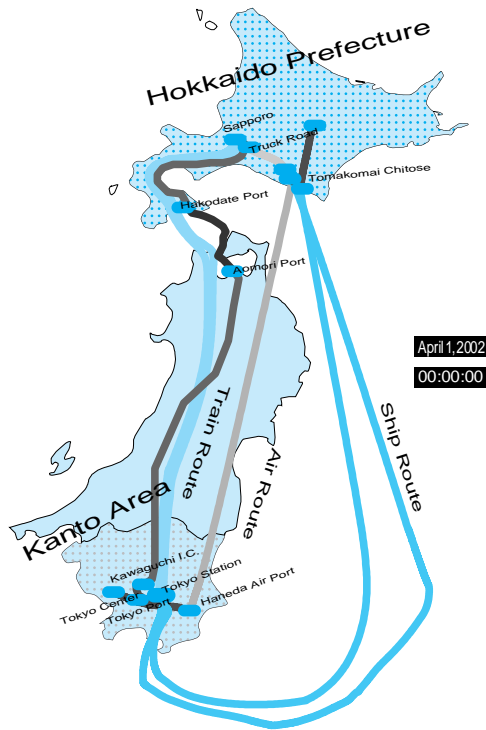


図 5 構築した物流シミュレーション(一部)

図 6 にシミュレーションの結果として、札幌発、東京着の貨物の輸送機関分担率を示した。X軸のフェリーの速度が上がるにつれて、フェリーの輸送機関分担率は上昇するが、32.5 ノットで最大になり、35 ノットで、やや鉄道に貨物が推移している。この図は、到着時間指定を個々の貨物に設定している。指定は調査結果を反映させ(表 2・No.22)、0.5日から4日(平均3日)の三角確率分布で表している。指定のなしあり、発着場所の変更によって、結果は異なる。運航スケジュールについては、様々なパターンを考察したが、表 4において、海上輸送に最もシフトする状態となっている。

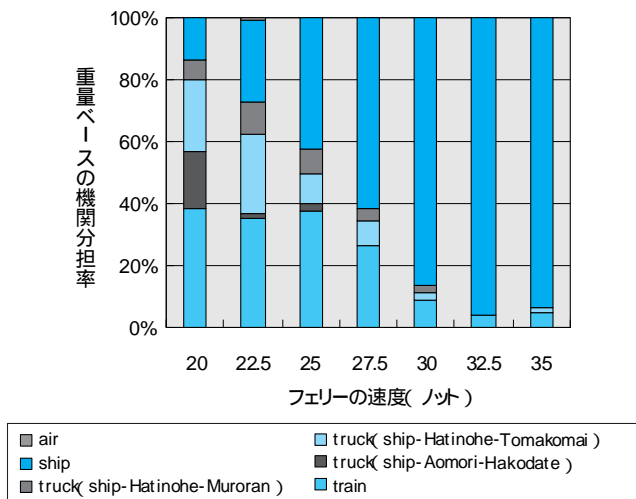


図 6 輸送機関分担率

次に図 7 は、全品目に対して、23時にマーケットが

オープンする(23時までに貨物の到着)とした場合の機関分担率の変化を示している。フェリーの速度が遅い、20 ノットと22.5 ノットにおいては、図 6 でフェリーが輸送を分担していたものまで、大きくトラック輸送に推移している事がわかる。マーケットオープンに関しては、品目別に設定する事が可能であり、柔軟性があるモデルとなっている。

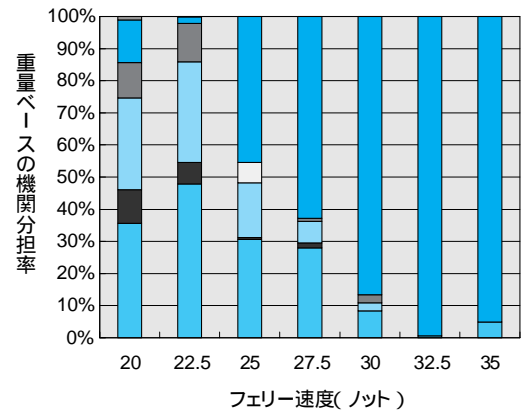


図 7 輸送機関分担率(マーケットオープン23時)

3.3 妥当性の考察

本研究では、実際に行った物流調査によって、定期路線輸送の輸送モードごとの輸送量、積載率、時刻表等、輸送機関分担率を把握するデータを得た。これらを利用して、そのデータとシミュレーションの出力結果を表 5 に示した。おおむね機関分担率は一致している事がわかり、本研究の妥当性が示されていると考える。

また、22.5 ノットの時が一番現状に近い運航となっているが、この場合の全国貨物純流動調査との比較を行い、機関分担率の傾向の一致を同時に確認した。

表 5 物流調査結果とシミュレーション結果の比較

	Unit	Frequency (one day)	Rate of loading	Total	Simulation Result
Truck	10t	3times	90%	27t(41%)	37%
Ferry	10t	1time	90%	9t(14%)	16%
Train	10t	3times	90%	27t(41%)	44%
Air	1t	3times	90%	2.7t(4%)	3%

3.4 採算性評価

本研究の結果を用いて、採算性評価を行う。ここでは、DCF(Discount Cash Flow)の概念を用いて、15年計画でフェリーを運航した場合における採算性の検討を行う。採算性については、ある海運会社が、対象路線の往復運航のみを行い経営を行うと仮定する²⁶⁾²⁷⁾²⁸⁾。

全キャッシュフローを現時点(現在価値Present Value)

に換算した上で、収入(キャッシュインフロー)から支出(キャッシュアウトフロー)を差引した純額が正味現在価値(NPV)となる。NPV > 0の時、採算性があるといえる。図 8の場合、フェリーの速度が20.0から30.0ノットの間は、採算が取れるが、それ以上の速度になると採算が取れない事がわかる。

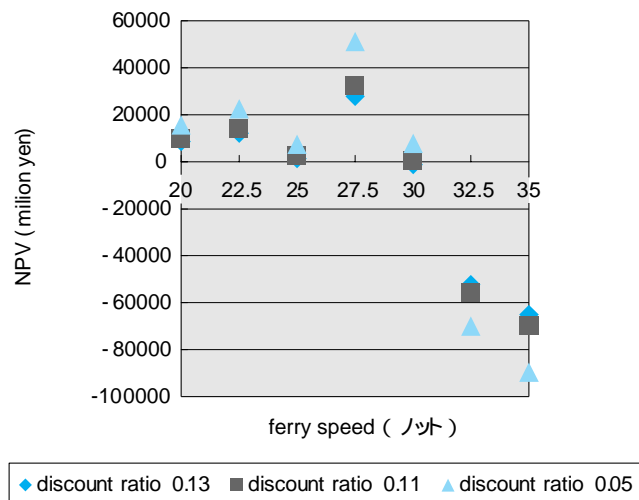


図 8 Discount Cash Flow

最も採算が取れる運航は、27.5ノットのサービスを行う場合であり、次は、22.5ノットであるという結果になった。これは、表 6から分かるように、27.5ノットでは、船の必要隻数が減少する事が一因として考えられる。25ノットで採算性が悪いのは、27.5ノットよりも速度が遅く、その上、隻数が多いという事で、27.5ノットよりも劣勢のサービスになっている可能性があり、同時に、22.5ノットと比較して、運賃が高く、22.5ノットよりも特徴のある運航が出来ていない状態にあると考えられる。

表 6 海上サービスの変化

速度(ノット)	22.5	25	27.5	30	32.5
積載可能台数*1	70	114	178	268	389
出力(PS)	14,800	29,930	51,000	10,2000	176,000
運航時間(hr)	27.7	25.4	23.2	21.5	20.0
保有隻数(隻)	5	5	4	4	4

*1単位は台数(10tトラック換算)
*2運航時間に積み込み・積み下ろし時間を含む

一方、30ノットより高い速度に関しては、速度、運搬許容量は大きくなり、サービスとしての優位性が見られるものの、燃費が大きく影響してくる割に、貨物の獲得が充分に行えず、結果として消席率の低下につながっているも

のと考えられる。付録 1に、27.5ノットの場合における採算性評価を示す。付録 1の場合、3年目より経営が黒字になると考えられる。

4 結論

本研究では、貨物輸送システムの設計を行う手法として、各輸送モードの速度やサービスの变化が競合状態に与える影響について、離散化シミュレーション手法を用いて考察した。造船設計によるフェリーの船型変更を行い、人件費等の運航費を各船型に対して算出した。また、物流調査を実施し、実際の積載率や運航ダイヤ等を反映させた形で、輸送モードの競合状態を把握した。各貨物に、従来の研究では、人流で用いられていた時間価値や犠牲量モデルを用いて輸送機関分担率を求めたが、その結果、図 6のフェリー速度における分担率の把握が可能となり、表 5の比較により、貨物に上記手法を利用する妥当性が理解できた。妥当性の厳密な議論は今後の課題となる。その上で、各輸送モードの輸送機関分担率を始め、モーダルシフトや運賃変化が与える影響等をとらえ、採算性の検討まで行った。このように、本研究のシミュレーション手法を用いる事で、従来のネットワーク手法では困難であった輸送システムにおける速度設計、運航スケジュール設計等の輸送システムの設計が可能になる事を示した。ここでは述べていないが環境評価や、トラック輸送に関して、リミッター制度を導入した場合の輸送システム全体に与える影響等も本研究の発展分野として行った。造船海運ビジネスや運輸政策決定に広く本研究手法が応用できる可能性があると考えている。

謝辞：本研究を行うにあたり、海上技術安全研究所の勝原光治郎氏、日本通運(株)(株)商船三井の方々には大変お世話になりました。この場をもって感謝いたします。また、本研究は、部分的に文部科学省科学研究費・基盤研究(B)2課題番号(13555269)の補助を受けました。重ねて感謝いたします。最後に、財団法人運輸政策研究機構から研究助成を得ました。また、運輸政策研究所の中村英夫所長からは貴重なご意見を頂いた事に深く感謝いたします。

付録 1 採算性評価(船舶速度27.5knotの場合)

NPV(15年)
割引率NPV
0.13 27800
0.11 32092.3
0.05 51134

キャッシュフロー計算

	営業年次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
往路	車両台数	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249
	往路運賃	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092
	空トラック値(20%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	空トラック運賃係数	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
	往路運賃収入	8,823	8,823	8,823	8,823	8,823	8,823	8,823	8,823	8,823	8,823	8,823	8,823	8,823	8,823	8,823
復路	車両台数	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316
	復路運賃	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092
	空トラック値(10%)	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
	空トラック運賃係数	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
	復路運賃収入	10,674	10,674	10,674	10,674	10,674	10,674	10,674	10,674	10,674	10,674	10,674	10,674	10,674	10,674	10,674
	キャッシュイン計	19,497	19,497	19,497	19,497	19,497	19,497	19,497	19,497	19,497	19,497	19,497	19,497	19,497	19,497	19,497
CCapital	船舶費	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	船舶保険・税	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184
CMa	船舶修理	921	921	921	921	921	921	921	921	921	921	921	921	921	921	921
	船舶保有費計	1,106	1,106	1,106	1,106	1,106	1,106	1,106	1,106	1,106	1,106	1,106	1,106	1,106	1,106	1,106
CFuel	燃料費	7,156	7,156	7,156	7,156	7,156	7,156	7,156	7,156	7,156	7,156	7,156	7,156	7,156	7,156	7,156
	油脂等経費	358	358	358	358	358	358	358	358	358	358	358	358	358	358	358
CCrew	船員費	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
	入港・岸壁使用料	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	運航経費計	7,763	7,763	7,763	7,763	7,763	7,763	7,763	7,763	7,763	7,763	7,763	7,763	7,763	7,763	7,763
DOC	直接コスト計	8,868	8,868	8,868	8,868	8,868	8,868	8,868	8,868	8,868	8,868	8,868	8,868	8,868	8,868	8,868
IOC	一般管理費	4,434	4,434	4,434	4,434	4,434	4,434	4,434	4,434	4,434	4,434	4,434	4,434	4,434	4,434	4,434
	キャッシュアウト計	13,302	13,302	13,302	13,302	13,302	13,302	13,302	13,302	13,302	13,302	13,302	13,302	13,302	13,302	13,302
	キャッシュフロー変化	-7,628	6,195	6,195	6,195	6,195	6,195	6,195	6,195	6,195	6,195	6,195	6,195	6,195	6,195	6,195
		-7,628	-1,433	4,762	10,956	17,151	23,346	29,540	35,735	41,929	48,124	54,319	60,513	66,708	72,902	79,097

単位百万円

	運賃	0.092	0.092	
27.5kn-def				
	船価	2303.7	2303.7	百万円
	容量	178	178	台
	載貨重量	0	0	t
	排水量	18429	18429	t
	船員	30	30	名
	燃費	120	120	g/PS
	出力	51000	51000	PS
前提条件	償却年数	15	15	年
	重油料金	0.018	0.028	百万円/t
	運航数	1	1	便/日・隻
	保有隻数	4	4	隻
	運航日数	350	350	日/年
	船員平均年収	8	8	百万円
	岸壁使用料	0.025	0.025	百万円/便
	運航時間	23.2	23.2	時間/便
	生涯運航回数	5250	5250	便/隻
	年間運航回数	350	350	便/隻
	油脂/燃料費比	0.05	0.05	
	船舶修理/船費	0.1	0.1	
	保険・税/船費	0.02	0.02	
	直間コスト比	50%	50%	

参考文献

- 1) 赤木新介[1993], "旅客用高速船の経済性評価と需要予測", 「関西造船協会誌」, 第220号, p167.
- 2) 小谷通泰[1993], "阪神・四国間の旅客による交通機関選択モデルに関する研究", 「日本航海学会論文集」, 第88号, p207.
- 3) 西村里和, 池田良穂[1999], "高速カーフェリーを用いた海上輸送システムのフィジビリティスタディ", 「関西造船協会誌」, 第232号, p173
- 4) 運輸施設整備事業団[2002], "物流解析を基にした船舶主要目予測に関する調査研究".
- 5) アラム・モハメド・ジョバイアン・ビン, 太田勝敏, 原田昇[1996], "交通プロジェクトの経済分析の為に離散選択モデルについて", 「土木学会年次学術講演会講演概要集第4部」, p378-379.
- 6) 寛下雅章, 角知憲, 大枝良直[1996], "犠牲量モデルによる手段選択の研究", 「土木学会年次学術講演会講演概要集第4部」, p366-367.
- 7) 国土交通省道路局[2003], "時間価値原単位及び走行経費原単位(平成15年価格)の算出方法", 国土交通省道路事業評価手法検討会.
- 8) Hiroyuki Yamato, Yasutomo Yamauchi, Kenji Tanaka, Mitujiro Katuhara, Noboru Kubo, Ryoji Michida[2002], "Fleet and Operation Planning Based on the Ship Design and Logistic Simulation", ICCAS2002.
- 9) 運輸省, 建設省編[1997], "第6回全国貨物純流動調査", 財団法人経済研究センター刊.
- 10) 財団法人省エネルギーセンター[1999], "自動車燃料消費効率化改善に関する調査報告書", p61.
- 11) 財団法人運輸経済研究センター[1997], "平成8年度テクノスーパーライナー事業化支援調査", 運輸経済研究センター.
- 12) 大和裕幸, 勝原光治郎, 黒川久幸[2000], "物流システム形成のための設計と評価手法に関する基礎的研究", "運輸分野における基礎的研究推進制度・研究成果報告書".
- 13) 黒川久幸, 松浦伸枝, 鶴田三郎, 風間富一[2001], "時間価値分析による船舶へのモーダルシフトについての検討", 「日本造船学会論文集」, 第189号, p405-p413
- 14) 黒川久幸[1999], "物流ネットワークシミュレーション", 「日本造船学会誌」, 第839号, p309.
- 15) 大和裕幸[1999], "物流シミュレーションによる船舶設計", 「日本造船学会誌」, 第839号, p314.
- 16) 勝原光治郎, 伊藤泰義, 岡崎忠胤, 李永雨[1999], "物流システム分析の試み - いくつかのケーススタディ", 「日本造船学会誌」, 第839号, p318.
- 17) 黒川久幸[1997], "翌日配送と港湾", 「日本航海学会誌」, 第132号, p28-31.
- 18) 江藤峰生[1999], "物流と製造業(2)長距離フェリーシャーシ輸送", 「日本造船学会誌」, 第841号.
- 19) W. D. Kelton, R. P. Sadowski[1998], Simulation with Arena, The McGraw-Hill Companies, Inc.
- 20) R. E. Shanon, R. P. Sadowski[1995], Introduction to Simulation Using SIMAN, 2d ed., The McGraw-Hill Companies, Inc.
- 21) Bank, J. [2000], "Introduction to simulation", In Joines, J.A., Barton, R. R., Kang, K. and Fishwick, P. A. (eds), Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, pp. 9-16
- 22) Graham, D. W., Cassady, C. R., Bowden, Jr., R. O. LeMay, S. A. [2000], "Modeling intermodal transportation systems", Establishing a common language, Technical Report, Mississippi State University, USA.
- 23) Suprayogi and Yamato, H. [2001], "Simulation Model of Container Movement, Report No. 01-1", The report of 6th Seminar on Marine Transportation Engineering and JSPS Meeting in Japan, JSPS Marine Transportation Program, pp. 238-246.
- 24) Suprayogi and Yamato, H. [2001], "Operational design of the ferry transportation system based on simulation", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 189, pp. 395-404.
- 25) Ingalls, R. G. [2001], "Introduction to simulation", In Peters, B. A. Smith, J.S., Medeiros, D. J. and Rohrer, M. W. (eds), Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, pp. 7-16.
- 26) 勝原光次郎, 五十嵐元彦[1999], "物流と造船業(1)海上物流の現状と将来", 「日本造船学会誌」, 第839号, p305.
- 27) 内藤靖夫[1999], "海上輸送へのモーダルシフト(1)モーダルシフト推進への課題", 「日本造船学会誌」, 第841号.
- 28) 加藤光一[1999], "海上輸送へのモーダルシフト(2)海上輸送へのモーダルシフトの展望", 「日本造船学会誌」, 第841号.

(原稿受付 2003年4月1日)

A Study on a Freight Transportation Design Based on the Logistics Simulation

By Hiroyuki YAMATO, Yasutomo YAMAUCHI

In this paper, a methodology of planning the ship, fleet and their operational timetable is presented between Tokyo and Central-Hokkaido. Researching logistics data such as time values of items and cargo's emergence patterns, and assuming the ship design and timetable, the simulation is carried out not only for ships but also for other land based and airborne competitors. Then the sacrifice cost for each cargo will be calculated to choose the cheapest mode. Iteration is made for the variety of ship design and timetable to find the most prospective solution. Financial evaluation can be given as a cash flow analysis.

Key Words : **logistics simulation, modal shift, sacrifice method, investigation**
