

不定期船による輸送契約のための運賃決定モデル

物流研究センター * 小林 充、勝原 光治郎

久保 登、松倉 洋史、渋谷 理

1. はじめに

外航原油タンカーや外航不定期船を扱う船社、および産業物資の輸送をそのような船舶に依存する荷主にとって、輸送価格動静は常に目を離すことのできない大きな関心事である。今日、目まぐるしく変化する国際情勢や、新興工業国による需要の成長、またはそれによる市況の見通しの変化が合わさって、図 - 1 に示すように、数日のうちに運賃が数倍にまで変化してしまうことも珍しくなっている。すなわち、日々生起する海運需要の変動をはじめ、海路封鎖のような起こり得る重大事変に対し、収入損失の危険を予測しそれを回避するように対策をとることは、船社・荷主ともに安定した経営を行うために必要な企業戦略である。

本来、船舶による海上輸送の運賃は、需要・供給の硬直性のために船腹需要の変動に対し非常に敏感であるといわれている。しかし、とりわけスポット契約の多い外航不定期船運賃は、市況すなわち近い将来における価格見通しや船腹需要見通しが個別の契約価格と相互に影響を与え、さらに大きく乱高下する現象もしばしば観察される。輸送価格を需要と供給のバランスから説明する考えは古くからあるが、市況との相互作用を説明できれば、価格変動の予測に動的なメカニズムを取り入れることで、需要量の比較的急な変動に対する価格応答や、特に有事の場合の過渡的な価格変動の予測に有効であると考えられる。このことは、政治的情勢に左右されやすい原油輸送には特に有用である。

今回は、荷主と船舶（船社）の間のマルチエージェント輸送契約シミュレーションを行うための足がかりとして、市況からの見込み利益を導入した提示運賃モデルを示すことで市況が運賃に及ぼ

す影響のメカニズムを説明し、また契約運賃が市況を形成するモデルを提案する。

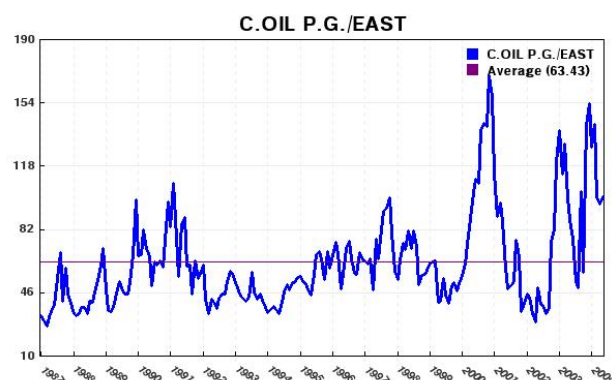


図 - 1 中東～極東間原油輸送価格¹⁾

2. シミュレーションの構成

本シミュレーションでは、タンカーによる原油輸送を想定し、荷主および船社がエージェント群として行動する形態をとる。原油供給者、およびひとつの海運市場が補助的に存在する。また、海運市場における契約記録から、船型別の海運市況が荷主・船社の共有情報として派生する。

シミュレーションの処理の中心部分は、以下のような入札 - 応札のモデルとした。

(1) シナリオに基づいて、荷主エージェントにおいて原油の需要を発生する。原油供給者と契約を取り交わし、OD およびトン数を決定する (図 - 2)。

(2) 海運市場に輸送需要のあることを公開する ()。

(3) 船社エージェントは、輸送需要を参照し、必要な日数、輸送原価、市況に基づく利益を見込んで応札価格を計算し、輸送提案として荷主に提示する ()。

(4) 荷主エージェントは、船社からの提案を参

照し、最も安価に輸送をする船社と輸送契約を取り交わす。ここでの契約価格は、船社が考える応札価格自体ではなく、結果的に輸送契約を交わさなかった船社の中で最も低い応札価格に等しくなるようにする（ ）。

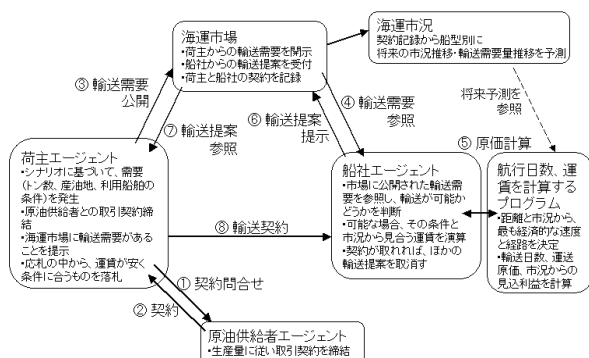


図 - 2 シミュレータの構成

3．契約価格形成の理論

この章では、(1)各船社が提案する仮想価格（応札価格）から荷主と契約するとき用いられる契約価格を決定する手法、(2)市況による影響を受ける仮想価格を決定する手法、(3)過去の契約価格に基づいた市況予測の手法、の3つの手法を述べる。これにより、仮想価格・契約価格・市況の相互的な影響をシミュレートすることが可能になる。

3．1 仮想価格から契約価格の決定

前章（2）で説明した応札価格（以後、「仮想価格」とよぶ）は、各船社が「これ以上の価格ならば契約してもよい」と想定し、荷主には直接見せることのない仮の価格であり、荷主と交わす契約価格それ自体ではない。競売における市場の下では、それぞれの船腹要求に対し、船主が各々自らの船舶で契約可能な最低の運賃を仮想価格として持っており、提示される価格が下がるに従ってその価格では契約を履行することができない船社は次々と競りを降りていく。その結果、契約を結ぶことのできる船社がただひとつ競りに残った時点の価格が契約価格となり、その船社が契約を獲得することになる。これは、一般に競争状態における価格は追加需要に対する限界費用として定義されたとする経済学の要請に符合する。用船契約の引合

いは本来、少数のタンカーブローカーが介在して、彼らの駆け引きの中で価格が決定していくので、それがどの程度完全競争に近いかは検討を要するところであるが、今回はこの部分の論議を省略する。

3．2 市況の影響下での仮想価格の決定

市況という言葉をも明確で一意的な定義付けをするのは難しいが、今回のシミュレーションにおいては、市況を市場における契約記録から形成される価格と船体稼働率の推移およびその予測で、近似的に一物一価とみなせる範囲の船舶を扱う荷主および船社に共有する情報であると仮定する。その具体的な予測手法は次節で示す。

船社にとって、仮想価格を下げることは、自らの商品である海運サービスの販売を直ちに意味しない。仮想価格を下げることで、自らが契約を獲得する確率が増加するが、実際の契約価格は他の船社が競りを降りた時点の価格になるので、自社の仮想価格が直接影響することはない。ただし、不当に低い仮想価格を持つことは、正当な価格より低い運賃で運送をしなければならなくなる可能性を生じさせるのみなので、その意味では船社にとって好ましいことではない。競売に参加している船社が競りを降りることを決める判断基準とは、契約によって得る利益が、今回の契約を逃しても将来市場に現れる輸送需要から得られると見込まれる利益を下回る契約価格になってしまうことである。つまりある船社にとって最適な仮想価格とは、その契約を獲得した場合に得る利益と、市況から計算される見込み利益が均衡する価格として定義できる。この見込み利益は、具体的には運賃市況情勢や船体稼働率推移から次のように求められる。

応札活動を開始した日付を T_1 とし、最初の契約を取得するまで、1 件の契約も保持しない空白期間ができる。契約あたり平均所要日数 w 、船体稼働率 p の場合、当該の船舶が $T_1 + t$ 日に最初の契約を取れる確率 $\alpha(t)$ は次式で表される（図 - 3）。

$$\alpha(t) = -(1 - p/w)^t \ln(1 - p/w) \quad (1)$$

また、契約を交わしてから積荷港に向かうために出航するまで日程上の余裕期間が存在する。この余裕期間の分布形状は荷主の入札日の決め方と、積荷港までの往航距離の分布に依存する。余裕期間の確率分布を積分した関数を $\beta(t)$ とする(図-3)。以上より、 T_1 に応札活動を開始し T_1+t までにその契約によって船が航海をはじめた確率累積関数 $g(t)$ は次式で表される(図-3)。

$$g(t) = \int_0^t a(t-t)b(t)dt \quad (2)$$

日毎の運航費用 a 、日毎の遊休船管理費用 b 、同型船における価格市況を日毎の収入として表現し

たものを $c(t)$ 、同型船の船体稼働率を p 、現在保持している契約が終了する日付を T_2 、取得を検討している契約を履行するための航海を開始する日付および終了する日付をそれぞれ T_3 、 T_4 とすると、仮想価格 F は次式のように、契約による収益(式(3)の左辺、図-4)と、契約を取らなかった場合に他の契約をとって同じ期間内に得ることが見込まれる、市況からの見込み収益(式(3)の右辺、図-4)の均衡の関係から求める。

$$\begin{aligned} & F - (T_3 - T_2)b - (T_4 - T_3)a \\ &= \int_{T_2}^{T_4} \{ (c-a)pg(t-T_1) - b(1-pg(t-T_1)) \} dt \end{aligned} \quad (3)$$

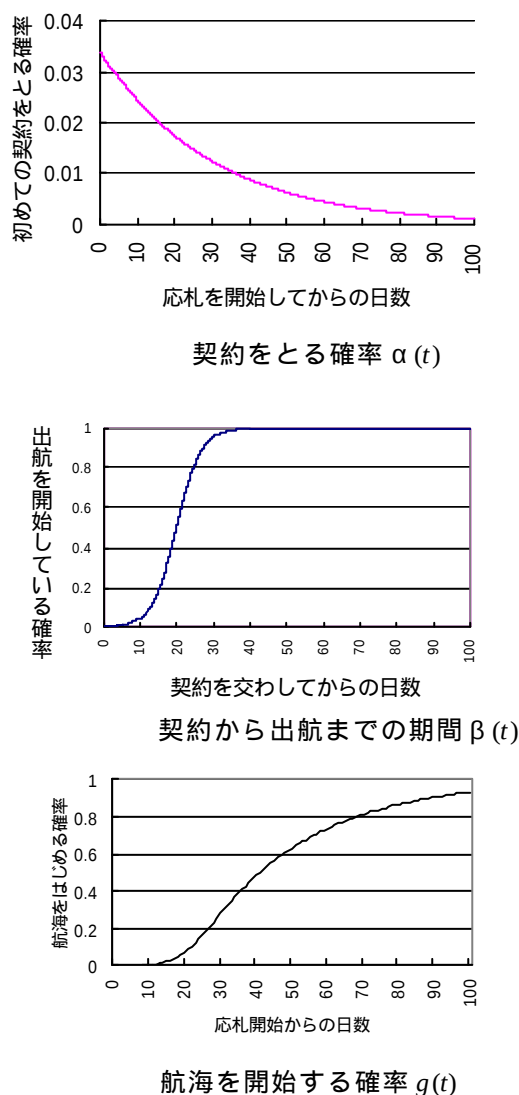


図-3 航海を行う確率の導出

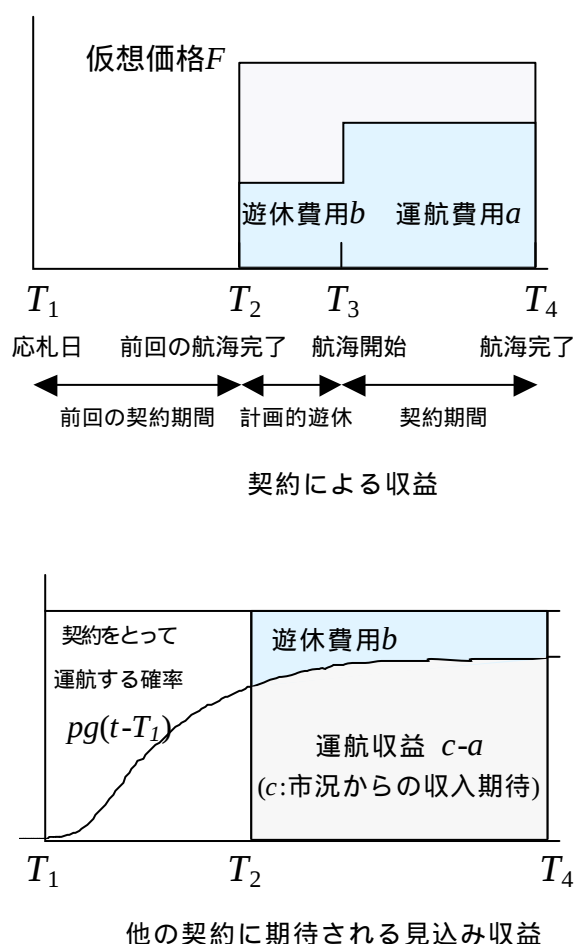


図-4 応札価格の算出

船舶が遊休状態となるフリー期日が迫っている船社にとって、運賃が若干安くても契約を取ることが急務となる²⁾。これは、直近の契約を獲得できる確率が小さいために見込み利益が低下することで説明づけられる。

3.3 過去の契約価格からの市況の予測

市況とは、他の船社が幾らで応札してくるかを予想する目安であり、また将来仕事を取ったときに、収入が幾らになるかを示す期待値でもある。市況の判断は心理的要因が強く単なる過去の延長として求められるものではないが、その課題を将来に預けて今回は一例としての市況判断の手順を示す。

グラフ上に横軸 X に契約を開始する日付、縦軸 Y に運賃をとり、過去の契約実績を点としてプロットすると、雲状の集合になる。これを単純に最小二乗法で近似すると、直近の契約点も昔の契約点も同じ評価をすることになり、都合が悪い。つまり、最近契約された点は過去に契約された点より重要視しなければならない。このため、最小二乗法に次のような拡張を加える。

本日契約された点の重要度を $1=f(0)$ とすると、昨日契約の点の重要度を $f(1)$ 、 T_i 日過ぎた契約点 (X_i, Y_i) の重要度を $f(T_i)$ とする。この f を一般に 0 以上 1 以下の減少関数とする (f を非零の定数におくと通常の最小二乗法となる)。誤差値を次のように定義し、これが最小となる係数 k_1 、 k_2 を求める。

$$E = \sum_i \{(Y_i - k_1 X_i - k_2) f(T_i)\}^2 \quad (4)$$

ここから、 $\partial E / \partial k_1 = \partial E / \partial k_2 = 0$ を解くことで近似直線を作成することができる。

図 - 5 は、過去に市場で交わされた契約を点で表現し、大きく下降した市況が若干持ち直した局面を表している (簡単のため、 $T_i = -X_i$ としている)。最小二乗法による近似 (破線) ではすべての点を同等に扱うために市況の下降を示しているのに対し、 $f(T)=0.92^T$ で定義した拡張された最小二乗法による予測 (実線) では現在に近い点群を重視して市況判断をするため、現在の市況は上昇局面

であると判断している。

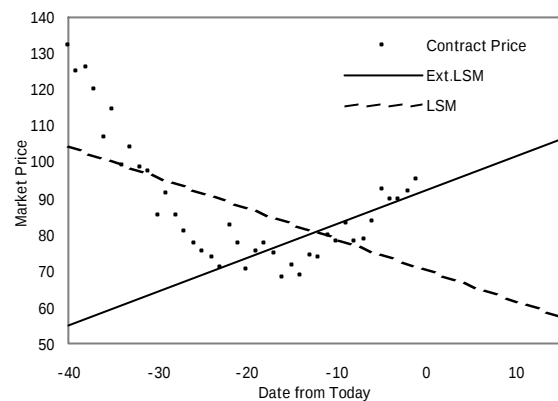


図 - 5 拡張された最小二乗法による市況予測

シミュレーション中では、縦軸の運賃に相当するものは 1 日 1 DWT あたりの運賃収益をあて、船型の違いや航路距離の違い、運河の利用の違いからの影響を抑えるようにしている。なお、このような直線的予測で船主および用船者が行動するのは、せいぜい契約までの前置期間が 3~4 ヶ月程度までであり、それ以降は安定した長期展望に移行するとする調査結果がある³⁾。そのため、それ以上の前置期間をもつ契約を想定する場合、長期予想曲線を定義する必要がある⁴⁾。

4. シミュレーション

4.1 シミュレーションの概要

輸送実績に基づく実験では、次のような条件でシミュレーションを行った。

- 世界における海上石油輸送実績データベース Lloyd's APEX⁵⁾ から、2000 年における原油海上輸送レコード 29,031 件を抽出し、OD、カーゴトン、積付日を用い輸送需要データとした。
- 現存する原油タンカー 1,831 隻を整理し、それぞれを船社エージェントとした。

また、このシミュレータは次のような条件を考慮してコスト算出を行っている。

- 図 - 6 に示すようなノードパスネットワークで世界の港を連結し、任意の 2 つの港の間の航行距離を Dijkstra 法で算出。
- スエズ・パナマ両運河、マラッカ海峡の通行可能な船型条件の適用。
- 両運河の実際の通行料金の算出と、運河を利

用するかどうかのコスト的判断。

- タンカーの登記上の燃料消費量と油種から求められる運航コスト。
- 燃料費と航行日数を調整し、収益を最大化する最適な運航速度。

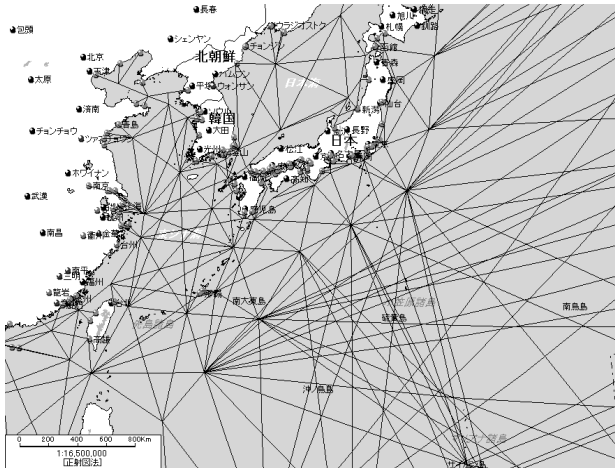


図 - 6 距離を求めるための航路ネットワーク

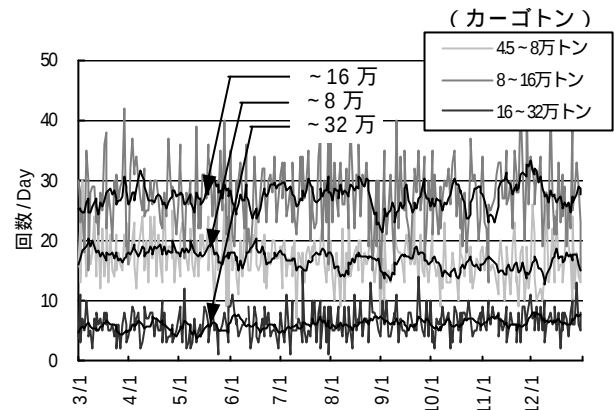
4.2 2000年実績によるシミュレーション結果

2000年一年間の輸送需要件数を図-7に、それに対するシミュレーション結果としての運賃指数を図-7に示す。比較のため、現実の運賃推移を図-7に示す。ただし、各図中のLR1、LR2、VLCCとは、DWTがそれぞれ45,001～80,000トン、80,001～160,000トン、160,001～320,000トンのものを指す。

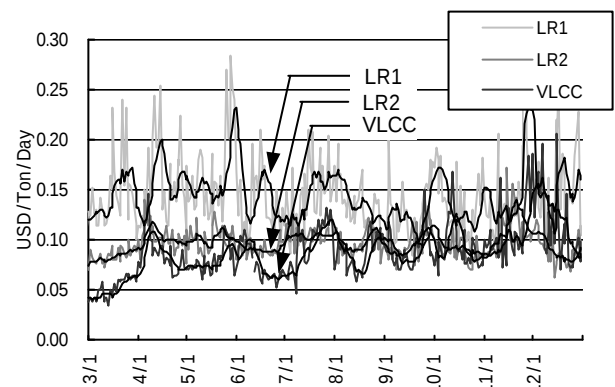
需要回数を参照すると、VLCC級の輸送需要が時とともに増加し、LR1級の需要が減少している。一方、シミュレーション結果では、需要に対応してVLCC運賃が上昇、LR1が下降してその傾きも大きく、不定期船特有の、需要変化に対する敏感な価格変化が観察できる。

その反面、現実の運賃指数を見ると、どの船型も運賃が年間を通して上昇している。2000年は中東和解交渉の決裂などの情勢の緊迫化や中国の急成長、消費国の原油在庫の危機的水準までの低下など、石油手当の先行きに不透明感のある年であり、政治的見通しが価格に影響したと考えられている。また、運航プール会社が発足しスポット用船マーケットで3割強、SBT船に限れば5割近くという多数のタンカーを支配したために寡占効果に

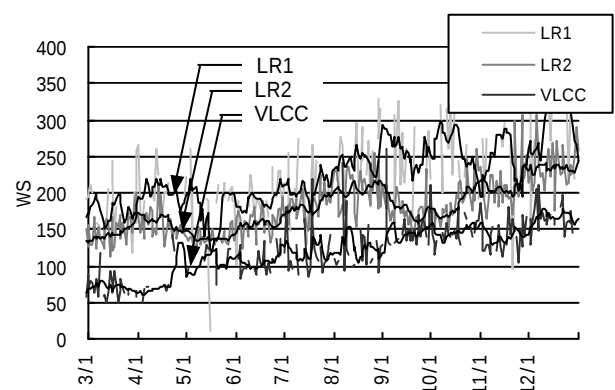
より輸送価格が上昇したという特殊な状況がある。このような政治的・心理的市況見通しを与件として市況予測アルゴリズムに組み込むことが必要であることがわかった。



カーゴサイズ別輸送需要回数



シミュレーションによる運賃指数

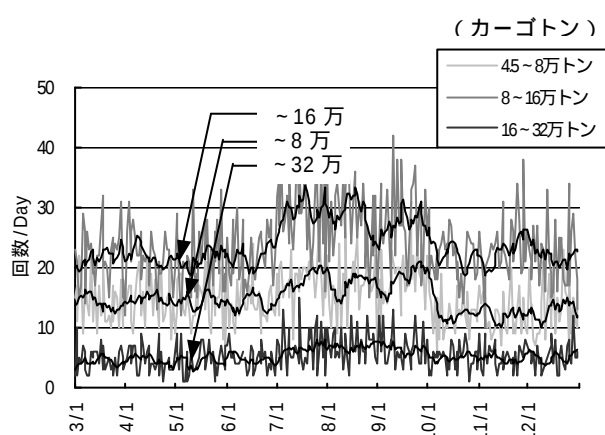


現実の運賃指数

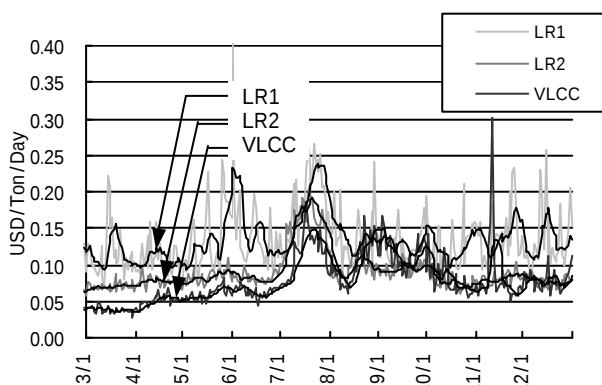
図 - 7 2000年実績に基づく実験

4.3 急激な需要変化に対する応答

需要変化に対する価格の過渡的な応答を調べる目的で、前節の輸送需要の7月～9月分を1割増加させ、その他の月の需要を2割減少させた輸送需要データ（図-8）を用い、運賃指数の推移を調べた（図-8）。これによると、7月の運賃がどの船型も約2倍に高騰し、価格や船腹需要の先行きを見込んだ過渡的応答を示す一方、船腹の余裕のためか、それ以降の運賃はあまり高騰しなかった。



変動をもたせた輸送需要



需要変動に対する価格応答

図-8 変動需要に対する実験

5. 結 言

以上のように、海運市況からの影響を考慮した海上輸送価格の形成過程を説明し、輸送契約価格から市況水準を予測する場合の計算手段を提案した。この2つの手法によって、市況と契約価格の相互作用がシミュレーションによって観察できる

道が開ける。

シミュレーションによる実験は、精度がまだ低いものの、輸送需要の変動による契約価格の敏感な反応や、市況先行き見込みによるオーバーシュート型の過渡的現象を示していることがわかった。

一方、市況は需要量以外の社会的要因に大きく左右されることが多く、そのような複雑な要因の定式化、特に政治見通しや経済構造変化のような要因の定式化が課題である。

今後は今回の反省を踏まえ、各パラメータの検証、市況判断アルゴリズムの改良を行い、実際の価格変動との比較検証を充分に行った上で、現実的に起こり得る船腹需要の変動や運河閉鎖などの事変をシナリオとしてデータ化し、市場価格や需要推移を観察する予定である。このようなシミュレーション結果を通して、安定したエネルギー輸送・物資輸送、安定経営の観点からわが国や船社、荷主企業がとるべき戦略を議論するための資料を提供できるようになれば幸いである。

謝 辞

本研究では、元大阪産業大学教授・元日本海運経済学会副会長の下條哲司氏よりご協力を頂き、この場を借りてお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Copyright(c) Tramp Data Service Co.,Ltd.
- 2) Tetsuji Shimojo, On the Behavioral Distribution Model, Institute for Shipping Research Bergen, pp.36, 1977
- 3) 吉田茂、リスクプリファレンス、神戸商船大学卒業論文、1973
- 4) 下條哲司、海運取引所における用船交渉過程、神戸大学経済経営研究年報、第26号(I)、pp.89-132、1975
- 5) Copyright(c) LMIU, London. Date/information obtained from Lloyd's Marine Intelligence Unit, London. For further details, contact Tim Roxby, e-mail tim.roxby@lloydsniu.com.