不確実性下の海運市場の価格形成に関する研究動向とその課題

手　塚　広一郎
（日本大学経済学部教授）
石　井　昌　宏
（上智大学経済学部教授）

目　　次

１．はじめに
２．財としての海運サービスの性質　～再確認～
３．不確実性下の価格形成とリスクプレミアムに関する先行研究
４．需給アプローチにおける均衡価格式の導出
５．非協力ゲームにもとづく均衡価格式の導出とその性質の解釈
６．むすびにかえて　～今後の研究課題～

１．はじめに

海上運賃、特に不定期船市場の価格形成については、これまでも多くの研究がなされてきた。筆者の一人である手塚（2006）は、部分的ではあるものの、その価格形成に関する研究のサーベイを行った。また、手塚（2014）においても、海運経済学の紹介の中で、海運・交通サービスの性質と価格形成との関係を取り上げた。このように筆者たちは、これまで、不確実性の下での価格形成に関して、モデルとその帰結を用いた分析を行ってきた。こうした検討を行う意図としては、海上輸送（特に不定期船市場）の市場の性質を明らかにし、その価格の予測可能性も踏まえて検討することがあげられる。

筆者たちのこれら一連の研究の中でも、とくに中心に据えられる内容のひとつとして、不確実性のもとで市場においてリスクプレミアムがいかに形成されるかという問題がある。ここで、リスクプレミアムとは、リスク負担に対して市場参加者が要求する対価を意味する。おおまかにいって、将来のある時点で形成される先渡しの価格と実際にその時点で形成されるスポット価格の期待値との間に差があれば、その差にリスクプレミアムが含まれている。海運におけるFFA（Forward Freight Agreements）とスポット価格の期待値との差などもそれに該当する。リスクプレミアムの表現について、我々は２つのアプローチを行っている。ひとつは、リスクに対する態度（危険回避的、危険中立的、および危険愛好的）について、絶対的リスク回避度一定型（CARA，constant absolutely risk aversion）の効用関数を用いて表現し、先渡し市場とスポット市場の需要と供給の均衡においてリスクプレミアムを表現しようという試みである。もうひとつは、非協力ゲームの

枠組みを用いて、企業が供給曲線を戦略的に提示する状況の下で（おおまかにいって戦略的に価格表を提示する状況の下で）、実現した均衡スポット価格と限界費用とのかい離にリスクプレミアムが含まれると解釈するものである。これらの枠組みはそれぞれ全く異なるものではある。しかし、いずれも不確実性下での価格形成とそれにかかわるリスクプレミアムの存在に関連した内容という点で共通している。そこで、小論では、これら２つのアプローチについて、筆者たちの研究の動向についての紹介を行う。なお小論は、新しいモデルの構築や実証分析を行うというよりは、むしろこれまでの研究に際して、特にモデルの解釈の見地からの留意点などの記述に焦点を当てることとする。

総じて、小論では「不確実性下における価格形成やそれにかかわるリスクプレミアムがどのように形成されるか」という問題に対して、これまでの一連の研究を整理するとともにその概要を説明し、その上で、その適用可能性について検討する。それによって、当該の取り組みの課題についても紹介する。構成は、次の通りである。まず、第２節において、財としての海運サービスの持つ性質を確認する。次に、第３節において先行研究について若干紹介した後に、リスクプレミアムなどについての研究を見る。その上で、第４節と第５節において、筆者らの２つの研究について紹介する。最後に結論を加える。

２．財としての海運サービスの性質　～再確認～

本誌における手塚（2006）においても詳細に紹介したものの、まずは、財としての海運の性質について若干の確認をしておく。海運をひとつの「財」としてみた場合、海運の持つ「貯蔵の困難性」という性質が重要な意味を持つ。これは、文字通り貯蔵が容易ではないという性質である。この性質に加えて「供給容量（キャパシティ）の制約」の問題もあげられる。これは、ある容量を超えて供給を行うことが困難であるという性質である。加えて、短期的には「需要の価格弾力性が低い」という特徴もあげられる。これは、輸送サービスに対する需要それ自体が派生的需要であり、本源的需要に依存しているため、輸送サービスそれ自体に対する価格による反応は、本源的需要のそれよりも相対的に低くなると考えられるためである。なお、この詳細については、手塚（2014）を参照されたい。

これらの内容をふまえて、海運のスポット価格の決定とその性質について簡単に説明を行う。図１は、きわめて簡略化された形ではあるが、一般的な意味での容量制約がある供給曲線と非弾力的な需要曲線を例示したものである。この図では、供給曲線Sに対して、複数の非弾力的な需要曲線（E,F,G,H）が描かれている。それぞれの需要曲線がシフトすることで、それに対応して価格が形成される。また、供給曲線Sについては、その増加率が逓増している形をとる。つまり、全体的に増加しているものの、図の左側では増加の割合があまり高くはなく、ある一定の生産量を超えると価格が急激に増加する。この状態は、供給容量を表現している。生産量が容量に近づくことによって、生産費用が急激に上昇する構造を用いることにより、容量を超えると供給が困難になることを示している。

このうち需要曲線Hと供給曲線Sの交わる点では、EとSが交わる点に比べて、価格（縦軸）が急激に高くなる。いいかえれば、需要曲線が小さな割合で容量に近付いただけで、市場価格が急激に増加する。さらに、このような性質は、容量付近で実現する需要の変動に対して形成される価格の変動が大きいことも示唆している。例えば、G→H→Gのよう

な需要曲線のシフトが短期で起こると、シフトの幅は小さいものの、価格変動（ボラティリティ）が大きくなり、時として価格のスパイクという現象をもたらすことになる。ここで「スパイク」とは、きわめて短期間における急激な価格の上昇と下落を指す状況である。海運サービスという財が上で述べた「貯蔵の困難性」を有しない場合には、このような容量制約は緩和されることになる。なぜなら、あらかじめ蓄えておいて、容量制約が生じたときに市場に放出すれば良いためである。この結果、価格変動が小さくなり、スパイクも発生しにくくなる。

ところで、この供給容量を市場全体の総船腹量と解釈すると需要曲線EやFの実現する状態は容量に余裕がある状態といえる。したがって、この場合、EからFのように需要曲線の比較的大きなシフトがあっても価格自体はあまり変動がない。それに対して、先述のGからHあるいはHからGへのシフトで表されるような、船腹量がひっ迫したケースであるほど、価格の高騰やその大きな変動ということが実現されるのである。以上のような性質は、手塚（2014）においても指摘したように、これと同様の性質を有した財は多く存在する。例えば、財としての電力についてみても、貯蔵が困難であり、かつ容量制約があるという点が共通している。このような性質が一致することは、当該性質を有するモデルを構築することによって、その適用可能性が大きく、汎用性も大きいことを示唆するともいえる。

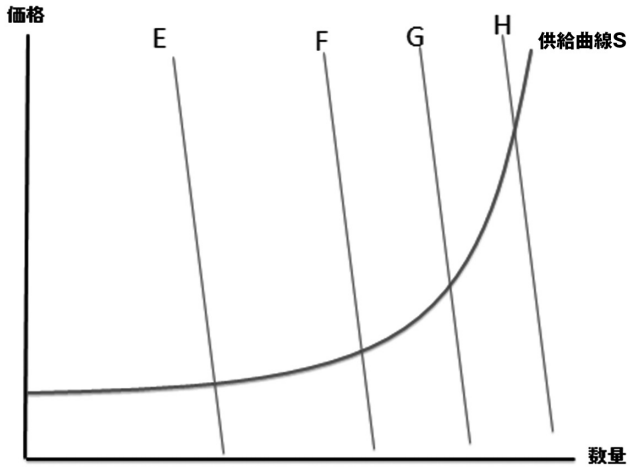

図１　非弾力的な需要曲線と容量制約をもつ供給曲線
（筆者作成）

３．不確実性下の先渡し価格形成とリスクプレミアムに関する先行研究

周知のように、海運経済の分野において、海上輸送の運賃や用船料がいかにして形成されるかという研究は、Zannetos（1966）によるタンカー市場の価格形成の研究などをはじめとして、比較的多く行われてきた。手塚（2006）にて指摘したように、これら諸研究においては、海運サービスの持つ「貯蔵不可能性」という性質が考慮されている。ここでは、ごく簡単にその議論の内容を紹介する。

これら既存研究は、統計分析によるアプローチと理論モデルによる構造型のアプローチ

に大別される。前者の統計分析によるアプローチについては、すでに手塚（2006）において詳細に検討したように、“アンバイアスドネス仮説（Unbiasedness Hypothesis）”や“合理的期待仮説”の実証分析を行うことが多い。前者は、現時点で結ばれる海運の先渡し契約（FFA）の価格が、将来形成されるスポット運賃の期待値に等しい（バイアスがない）という仮説である（Kavussanos et al., 2004など）。後者は長期の用船料が将来のスポット運賃の合理的な期待（予想）を反映して形成されるものであるから、用船料と将来のスポット運賃の期待値には差（乖離）がなく、リスクプレミアムが存在しないという仮説である（Adland and Cullinane, 2004, Kavussanos and Alizadeh, 2002など）。

これらは用船料とFFAという対象が異なるだけで、根本的な議論は同じである。いずれのケースであっても、市場が完全に競争的であり、なおかつ将来の期待形成が合理的であるという前提に立てば、そのリスクプレミアムは０となることが予想され、時系列モデル等を用いてその検証が行われてきた。なおこれらに関しては、Kavassanos and Visviks（2006）が詳しい。

４．需給アプローチにおける均衡価格式の導出

リスクプレミアムを表現するためにはそれに対応する理論モデルの構築が求められる。しかしながら、海運経済の文脈で、その性質である「貯蔵の不可能性」を考慮する見地からモデルを構築し、均衡価格式を求めるという試みはあまり多くないように見える。言い換えれば、上述の構造型のアプローチは比較的少ない。この問題に対して、Tezuka et al.（2012）では、市場参加者のリスクに対する態度も考慮した上で、市場における需給の均衡価格式を導出し、それによってリスクプレミアムが存在する可能性を示している。この論文では、船主・用船者・および仲介者の３つの主体が、先渡し契約も含めた取引を行うことを前提とした需給の均衡式を導出している。このようなアプローチは、需給アプローチとも呼ばれる。Tezuka et al.（2012）で導出された結果のみ示すと、需給の均衡における均衡価格式は、次のように与えられる。

$$F(t,\ k) = E(U(t+k)\,|\,F_t) - \frac{1}{\lambda}\sum_{t=1}^{T}\theta(t,\ k\ ,l)e^{-lr} \qquad (1)$$

この（１）式について少し説明を加える。左辺は先渡し価格を表す。均衡においては、この先渡し価格がスポット運賃の期待値（右辺の第１項）とリスクプレミアム（右辺の第２項）に分けられるというものである。このうち、右辺第２項の$1/\lambda$は、平均的なリスクに対する態度を表したものである。この式を用いれば、リスクプレミアムやリスクに対する態度を明示的に計算する（カリブレートする）ことも可能になる。

実際、不定期船市場の市場参加者の不確実性に対する態度を数値化する試みは、これまでも、例えば、下條（1986）やCullinane（1991）などによって行われてきた。ただし、これらの先行研究は、基本的にはアンケート調査を基にして算出されているという特徴がある。それに対して、Tezuka et al.（2012）での試みでは、このリスクに対する態度を表す値を、スポット運賃、FFA、海運企業の収益率など市場データを用いて算出している。市場データを基にして、リスクに対する態度という主観的な内容を実際の数値にして表し

ているところに特徴がある。

図２は、Tezuka et al.（2012）で計算されたリスクに対する態度の値のグラフである。きわめて大雑把に言って、０の線よりも高い（正の値をとる）場合には、リスクに対して回避的であり、それよりも低い（負の値をとる）場合には、リスクに対して愛好的な状態（つまり、リスクを回避するのではなく、それを積極的にとることでより大きな利益を得る可能性を選好すること）を示している。この図からは、2008年の初めごろからリーマンショックが生じる2008年９月の直前まで市場参加者の平均的なリスクに対する態度が、負の値をとっており、リスクに対して愛好的であったことが示されている。

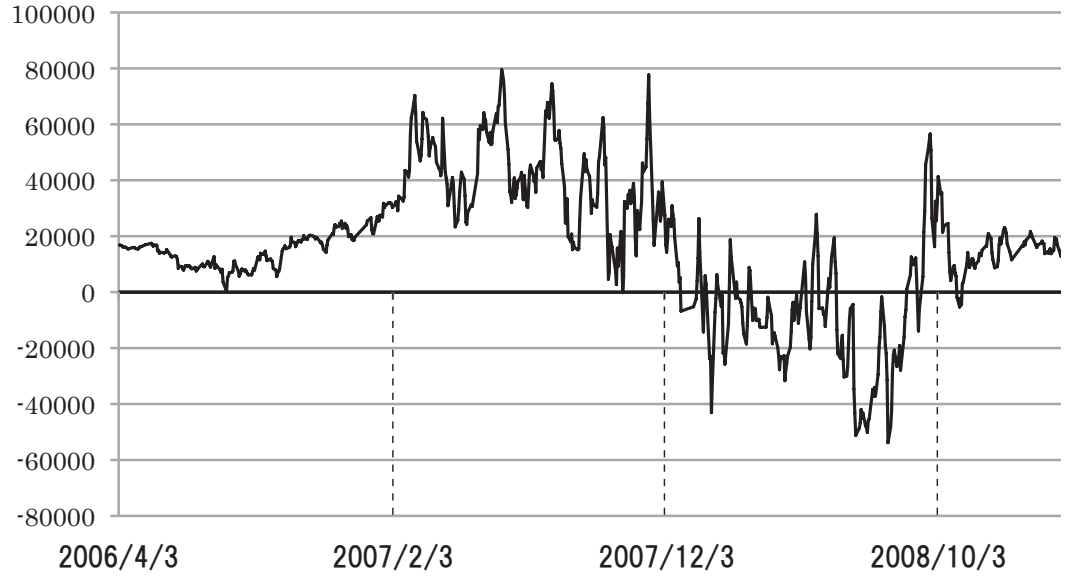

図２　カリブレートされたリスクに対する態度の推移
出典：Tezuka et al.（2012）の結果をもとに筆者作成

なお、予備的な考察として行われたものであるが、筆者たちの研究であるIshizaka et al.（2013）においては、このカリブレートされたパラメータとそれ以外の変数との関係性について、Grangerの因果性検定を行い若干の確認を行った。この結果、FFAやBPI（Baltic Panamax Index）のような変数がこのリスクに対する態度を表すパラメータの先決変数になっている可能性が示唆されている。大まかな表現ではあるが、スポット運賃や先渡し価格であるFFAが決まることによって、リスクに対する態度が決まる傾向があるとされた。しかしながら、このカリブレーションで用いた市場データの変数については、いくつかのものに制約があった。そのため、この変数間の関係性のついての検証も限定的である。今後は、こうしたデータの制約を取り除いてより精緻な計算を行う必要がある。

５．非協力ゲームに基づく均衡価格式の導出とその性質の解釈

5-1　Ishii and Tezuka（2014）モデルの海運分野への適用可能性

不確実性の下での価格決定やリスクプレミアムに関して、構造型アプローチによるもう

ひとつの研究は、非協力ゲームの枠組みを用いて、各市場参加者が戦略的な行動の下で均衡価格等を決定し、それによってリスクプレミアムの性質を検討するというものである。前節の内容が需給の均衡を前提としていたものであるのに対して、こちらの内容は戦略的な行動の結果、均衡価格が限界費用からかい離するという前提での分析が行われている。この内容に関連した筆者たちの研究として、（海運市場ではなく）電力取引市場を対象に構築されたIshii and Tezuka（2014）モデルがある。ここで、Ishii and Tezuka（2014）では、電力という財の持つ２つの性質、すなわち「貯蔵不可能性」と需給を常に一致させるという「同時同量の原則」に着目してこのような性質を持つ財の市場の均衡価格式を非協力ゲームの枠組みを用いて導出した。同論文では、需要が不確実であり、なおかつ取引される財が非弾力的であるケースにおけるナッシュ均衡価格式（非協力ゲームにおける均衡にもとづく価格式）を導出している。

なお、このモデルでは、各企業は戦略的に供給関数を市場に提示できるという想定をしている。言い換えれば、需要量が実現する前に、各市場参加者が直面する限界費用曲線に対してある一定の上乗せ（戦略λ）した分の供給関数を提示する。これによって、供給曲線は、限界費用曲線が線形でなおかつλが正であれば、上方に平行にシフトする。そして、市場全体が提示した供給曲線を取りまとめて市場全体の供給曲線を求め、それによって次のような均衡価格式を導出している[1]。すなわち、

$$\psi(Z, s^*)=\frac{aZ}{n}+b+\frac{az_\alpha}{n(n-1)} \qquad (2)$$

この（２）式について、ψは市場における均衡スポット価格、nは市場における企業数、Zは需要量を表す確率変数である。いま、需要は完全に非弾力的であると仮定する。また、a, bは定数であり、同質的な企業の直面する線形の限界費用の傾きと切片をそれぞれ表している。αは確率を表しており、z_αは、需要量のα-quantileであり、例えば、αが0.5であれば、需要の中位数（メディアン）を表す。このαは外生的に与えられるものと仮定されている。 きわめて大雑把な表現をすれば、αの値が小さいほど、分布の左を意識することになり、実現する結果に対してより“手堅い”状態を意識するようになる（αの値が大きい場合はその逆の結果になる。）

さらに、この（２）式についてみると、右辺第１項と第２項の$\frac{aZ}{n}+b$は、各企業の限界費用曲線であり、右辺第３項の$\frac{az_\alpha}{n(n-1)}$は、市場全体の価格の限界費用との差を表しており、この項が重要な意味を持つ。

右辺第３項の価格と限界費用との差は、２つの要素から構成される。ひとつは、市場の集中度を表す項であり、もうひとつは、市場参加者のリスクに対する態度である。

第１に、市場の集中度を反映する項とは、右辺第３項のうち、$\frac{1}{n(n-1)}$にあたる部分である。これは、企業数が少ない（nの値が小さい）ほど、マークアップが大きくなるこ

[1] 厳密には、Ishii and Tezuka（2014）では、需要が弾力的なケース、言い換えれば需要曲線に傾きがあるケースの均衡価格式も導出している。

とを意味する。企業数の少ない状態は、市場の集中度が高まることと関連付けることができる。このモデルは、電力取引市場を念頭に置いたものであり、集中度による影響にも着目している。しかしながら、海運の文脈にこのモデルを適用する場合には、不定期船市場は自由市場と呼ばれる、完全競争市場に近い市場とされるため、不定期船市場への適用に際しては関連性の低い項であると考えられる。

第２に、リスクプレミアムに影響を与える変数は、この項のz_αである。ここで、他の条件を一定として、αの値が大きいほど、限界費用とのかい離が大きくなる。ここでの限界費用の乖離分が大きくなればなるほど、市場参加者がよりリスク負担に対する対価を要求していることを、言い換えればリスクプレミアムが大きくなることを意味している。逆にいえば、この項は、市場参加者のリスクに対する態度が均衡価格に影響を与えているということを示しているのである。

このように、Ishii and Tezuka（2014）のモデルでは、右辺第３項について、価格の限界費用からのかい離が、集中度とリスクプレミアムという２つの要因から構成されていることを示している。また、この論文では、価格と限界費用の乖離について特定の電力市場に適用して実証分析を行っている。これは、集中度とリスクプレミアムの双方を含んだ定式化であり、モデルをそのまま適用することは、いくつかの注意が必要となる。

5-2　容量制約付きの供給曲線の下での均衡価格とその性質

ところで、Ishii and Tezuka（2014）モデルの設定は、市場参加者の数がn社存在するという形で一般化されているという利点がある。しかしながら、想定される供給曲線が線形であるために、容量制約を表現することが難しい。実際のところは、小論の第２節やStopford（2009）などが指摘するように、図１のような市場の供給曲線の下で、容量制約を表現することが必要となる。

Tezuka and Ishii（2015）では、海運の文脈において、このような設定の下での、２つの船社（供給主体）が供給曲線を戦略的に提示する下での均衡スポット価格を用いた分析がなされた。ここで、各事業者の提出する供給曲線は、次のように与えられる。まず、限界費用曲線は、次のように与えられる。いま、市場には２つの船社$j=1,2$のみ存在していると仮定する。このとき、第j番目の船社の限界費用関数$f_j(x)$と供給関数$g_j(x,\lambda_j)$は次のように 与えられる。

$$f_j(x)=\frac{a}{r-x}+b \quad x\in[0,r) \qquad (3)$$

$$g_j(x,\lambda_j)=\frac{a(1+\lambda_j)}{r-x}+b,\ for(x,\lambda_j)\in[0,r)\times[0,\infty) \qquad (4)$$

ここで、a,b,rは、正の定数である。また、xは供給量を表しており、このxは容量であるrを超えることができないと仮定している。また、λ_jは戦略を表す変数である。もしこのλ_jが０であれば、提示される曲線は限界費用曲線と等しくなる。それに対してλ_jが正であれば、大まかに言って限界費用曲線に“上乗せ”が生じることになる。このとき、ある条件の下でナッシュ均衡価格が存在する。

比較静学により、いくつかの結果を見出している。具体的には、①均衡において供給における価格弾力性が低いほど、均衡価格が高くなること、②リスク回避的な態度を示すほ

ど（αの値が小さいほど）均衡価格が低くなること、③容量が大きくなるほど均衡価格が低くなること、そして④容量が十分に大きくなるとリスクプレミアムがゼロになること、などである。

このうち①が供給の性質と均衡価格との関係を、そして②がリスクに対する態度と均衡価格との関係を示しており、これは線形のケースとほぼ同様の結果を得ている。それに対して、③と④については容量に関する性質を表している。ここでは市場において船腹量が増加し、過剰になると結果として均衡価格が減少することを意味している。これに関連して、⑤の帰結として、船主は容量を拡張することによって利益が減少することから、基本的にはこれを増加するインセンティブを持ちにくいことも示唆している。いずれにしても、これらの帰結は、きわめて直感的な内容と整合的である。実際にこの式をもとにして数値計算を行い、価格パスなどをカリブレートして、これを解釈することによって、不定期船市場の性質を明らかにしたり、究極的には価格予想のツールとしての利用が期待される。

４．むすびにかえて　～今後の研究課題～

小論においては、不確実性下の価格形成やリスクプレミアムの形成について、筆者らの行う２つの研究についての概要を紹介し、その適用課題について整理した。小論で取り上げたこれら２つのアプローチは、それぞれモデルの前提となる設定が異なり、違うアプローチである。しかしながら、リスクプレミアムを表現するという点で共通していることに特徴がある。

筆者たちの今後の課題としては、２つあげられる。まず、構造型アプローチに基づくTezuka et al.（2012）の研究に関していえば、リスクに対する態度の値の推移のカリブレーションをより精緻化し、与えられたパラメータの性質を明らかにすることで、海運市場の価格形成の構造を理解するということがあげられる。近年、Kavussanos et al.（2015）などに代表されるような、スポット運賃やFFAなどの先渡し価格と他の市場での価格形成との関連性を検証し、どのようなパラメータが運賃形成にどのように影響を与えているか（スピルオーバー効果）を検証するアプローチなどがあるが、カリブレートされた変数を見ることによって、より多くの情報を提供できる可能性がある。次に、非協力ゲームに基づく分析においては、容量制約付きのモデルが現行では市場に２つの船社（供給主体）しか存在しないという想定を、n社まで拡大することや、導出されたナッシュ均衡価格式を用いて、数値計算を行い、様々なパラメータの変化が運賃形成に対して与える影響とその評価の試みなどが求められる。

最後に付記すべきこととして、このような研究は、他の同様の性質をもった財・サービスに対しても利用可能であり、今後のモデルの一般化によって、実務的な面からの有用性も確認できるようになると思われる。

【謝辞】

小論は、一般財団法人山縣記念財団による2014年度支援助成および日本学術振興会科学研究費補助金（手塚：15K03463、石井：25380323）の成果の一部である。ここに記して感

謝を申し上げる。ただし、いうまでもなく、ありうべき誤りはすべて筆者たちに帰属する。

＜参考文献＞

Adland, R. and Cullinane, K.（2004）A Time-Varying Risk Premium in the Term Structure of Bulk Shipping Freight Rates, *Journal of Transport Economics and Policy,* vol.39.

Cullinane, K.（1991）The utility analysis of risk attitudes in shipping, *Maritime Policy and Management,* vol. 18(3).

Ishii, M., and Tezuka, K.（2014）An Oligopoly Model for Market Performance Analysis with an Application to Electricity Market, *Institute of Economic Research Chuo University Discussion Paper,* No. 226.

Ishizaka, M., Ishii, M., and Tezuka, K.（2013）An empirical analysis on risk attitudes in a shipping freight market, *Proceedings of International Conference of Asian Shipping and Logistics,* Kobe, Japan.

Kavussanos, M. G., and Alizadeh, A. H.（2002）The expectations hypothesis of the term structure and risk premiums in dry bulk shipping freight markets. *Journal of Transport Economics and Policy,* vol. 36(2).

Kavussanos, M. G., Visvikis, I. D., and Menachof, D.（2004）The unbiasedness hypothesis in the freight forward market: Evidence from Cointegration Tests, *Review of Derivatives Research,* vol. 7.

Kavussanos, M.G. and Visvikis I.D.（2006）*Derivatives and Risk Management in Shipping,* WITHERBYS Publishing.

Kavussanos M.G, Visvikis I.D, and Dimitrakopoulos, D.N.（2015）Economic spillovers between related derivatives markets: The case of commodity and freight markets, *Transportation Research Part E,* vol. 68(1).

Stopford, M.（2009）*Maritime Economics,* 3rd edition, Routledge, Taylor and Francis Group, London and New York.（邦訳：公益社団法人日本海事センター編訳・星野裕志監修『マリタイム・エコノミクス・第３版・上巻』2014年／公益社団法人日本海事センター編訳・篠原正人監修『マリタイム・エコノミクス・第３版・下巻』2015年、一般社団法人日本海運集会所）

Tezuka, K., Ishii, M., Ishizaka, M.（2012）An equilibrium price model of spot and forward shipping freight markets. *Transportation Research Part E,* vol. 48(4).

Tezuka, K. and Ishii, M.（2015）An equilibrium freight rate with capacity constraint under uncertainty, *Proceedings of IAME 2015 Conference,* Kuala Lumpur, Malaysia.

Zannetos, Z. A.（1966）*The theory of Oil Tanker Rates,* MIT Press, Massachusetts.

下條哲司編（1986）『配船の経営科学』成山堂書店.

手塚広一郎（2006）「航海用船、定期用船および金融先物取引における価格形成」『海事交通研究』第55集.

手塚広一郎（2014）「海運市場の価格形成～不定期船の事例からみる海運経済学～」『経済セミナー2014年12月／2015年１月号』No. 681.