

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25282093

研究課題名(和文) プライシングを考慮したコンテナターミナルの長期的バーススケジューリング

研究課題名(英文) Long-term Berth Scheduling of a Container Terminal with the Terminal Tariff Pricing

研究代表者

今井 昭夫 (Imai, Akio)

神戸大学・海事科学研究科(研究院)・教授

研究者番号：40160022

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,600,000円

研究成果の概要(和文)：海外における大規模空港では、多くの離発着需要に効率よく対処するために、ピークロード・プライシングを導入しているところがある。これにより、一日における航空機の離発着需要のピーク時での施設利用料金を高額にすることで需要を時間的に分散させて、空港施設の効率的な利用を図っている。港湾、特にコンテナターミナルでは、寄港船が支払うターミナル利用料金は曜日・時間帯に無関係に一定である。しかし、荷主の都合等で、船の寄港日・時間はある時点で集中する傾向にある。そこで、空港のプライシングを参考にして、変動料金を導入することで寄港需要を分散させ、寄港船の在港時間を最小にするバーススケジューリング方法を開発した。

研究成果の概要(英文)：Some of the major overseas airports adopt the peak-load pricing for the tariff airlines pay. Due to this pricing concept, airline demands of using an airport do not likely intensify during a specific period of time. As far as the seaport is concerned, most of the calling ships tend to call at a port (container terminal) during a specific time mainly due to the cargo owners' preference. Introducing the pricing concept for the port like the airport, this study has developed an optimal berth scheduling optimization model to minimize the total turnaround time of calling ships by spreading the calling demands over the predetermined planning horizon.

研究分野：コンテナロジスティクス

キーワード：コンテナ輸送 最適化 スケジューリング

1. 研究開始当初の背景

(1) コンテナターミナル競争力向上戦略

コンテナ港湾の競争力向上のために、主要コンテナ港が国土交通省から国際戦略港湾の認定を受けた。これにより、海外で多く見られる大規模コンテナターミナル(以下、メガターミナルと呼ぶ)を日本に整備して、それをメガターミナルオペレータが一括運用して多くの寄港船へサービスを行うことを目指している。さらに、コスト削減とそれによるサービス料金の低廉化を実現し、近隣諸外国のコンテナ港湾に対する競争力向上を図ることを目指している。このようなメガターミナルの成功には、施設の近代化だけではなく、その運用方法の効率化が必須である。日本のメガターミナルへの寄港船需要の予測は容易ではないが、もし、多くの寄港船が期待できる場合、効率的なターミナル運営は極めて重要になる。しかし、日本の既存のコンテナターミナルはそれぞれ規模が小さく、ターミナルの利益最大化という、海外のメガターミナルのようなビジネスマインドがほとんど無く、またメガターミナルの運用ノウハウもない。

(2) 空港におけるプライシング研究

海外における大規模空港では、多くの離発着需要に効率よく対処するために、ピークロード・プライシングを導入しているところがある。これにより、一日における航空機の離発着需要のピーク時での施設利用料金を高額にすることで需要を時間的に分散させて、空港施設の効率的な利用を図っている。港湾、特にコンテナターミナルでは、ある船社の船の寄港はウィークリー、つまりある特定の曜日の決まった時間に行われることがほとんどである。したがって、曜日によって寄港隻数や寄港時刻のパターンは異なるが、毎週の隻数とパターンは基本的には同じである。「空港では毎日の離発着スケジュールがほぼ同じである」が、「コンテナターミナルでは毎週の寄港スケジュールがほぼ同じである」という差はあるものの、メガターミナルにメガ空港のようなピークロード・プライシングを導入することで、寄港需要を週の中(あるいは一日の中)の閑散時間帯に誘導して、有限の施設を有効利用することが可能になる。

空港では離発着スロットのスケジューリングはかなり単純であり、プライシングが施設有効利用策の中心である。そのため、空港プライシングの研究は歴史があるが、空港利用者である航空会社間の離発着スロットの売買やオークションのような経済学的なアプローチで研究されている場合がほとんど

である。付帯する施設のスケジューリングは、プライシングにより確定した離発着便を前提に行われており、その意味でプライシングとは無関係なスケジューリング内容である。

(3) 海上コンテナターミナルへのプライシング適用

海上輸送に於いては、港湾間競争の観点から利用料金に関する研究は昔から行われている。しかし、施設の有効利用の観点からのプライシング研究は成されていない。実務面を見ると、日本では施設の有効利用の観点から、時間帯差別化料金のようなプライシングを実施している例は皆無である。

海外のメガターミナルでは、このようなプライシングの適用は実施されている可能性はあるが、ターミナル間競争の観点から実態は秘匿されているため、部外者には実情は不明である。日本には、メガターミナルと呼べるものは現時点では存在しない。日本の主要港のターミナルはほとんどが船社専用であり、寄港船は当該船社とアライアンスメンバー船社の船である。そのため、船社とターミナルオペレーター間で締結されているサービス契約では時間帯に関係ない一律料金が適用されている。このため、寄港船は輸出入荷主の多くが希望する曜日・時間帯に寄港している。その結果、寄港船の集中する曜日が存在すると同時に、バースに停泊船がない時間帯が多く存在しており、バース施設の有効な利用になっていない。つまり、コンテナターミナルの有効利用を目的とするプライシングに関しては、世界において研究実績、実際の適用とも例がない。

2. 研究の目的

以上の内容を背景として、本研究課題はバース施設の有効利用のために、寄港船の需要を分散化する方策を提案する。具体的には、バース停泊料金ならびに荷役料金に対して寄港需給バランスにもとづくプライシングの概念を導入する。そして寄港船社は、寄港時刻に対する支払意思額を有すると仮定し、変動料金と支払意思額の関係ならびに寄港船のサービスによって各寄港船が許容できるタイムウインドウを導く。そしてこのタイムウインドウ内に各船がサービスを受ける条件での、最適なバースウインドウ(つまり、寄港船の停泊バースの割り当てと停泊時間帯)を求めるアルゴリズムの開発が本研究課題の目的である。

3. 研究の方法

空港に対するプライシングでは、純粋に経済学的なアプローチでの研究が多い。しかし、コンテナターミナルでは、プライシングのみ

で単に需要をコントロールしても、結果として需要が施設能力を超えてしまえば意味を成さない。したがって、プライシングは、施設スケジュールと有機的に連動して決定する必要がある。

メガターミナルは船社の寄港船に対して荷役サービスを提供している。しかし、日本の多くの主要コンテナターミナルは船社専用であり、基本的にはそのターミナルに不特定多数（事前に長期契約をターミナルと結びとしても）の船社ではなく、自社ならびに提携をしている他社の寄港船に対してのみ荷役サービスを行っている。しかしメガターミナルは不特定多数の船社に対してサービスを行うため、寄港リクエストが特定曜日（時刻）に集中すると、各船にサービスする時間帯（バースウインドウ）がリクエスト時間帯と大きく乖離する可能性が高くなる。

船社は支払意思額を持っていると仮定する。つまり、本来の希望と異なる曜日・時刻で行われる荷役サービスに対して、船社は支払い可能な最大の料金を認識していると仮定する。船社にとっては、ターミナルが立案したバーステンプレート内における自らのバースウインドウに対する料金が、自らの支払意思額よりも高ければ、そのサービスに価値はないと見なして、寄港リクエストを取り下げる。このような仮定により、施設の時間帯別サービス容量または全体のサービス容量よりも寄港リクエストが大きい場合、プライシングにより船社の希望と異なる時間帯へ需要をコントロールする、またはリクエストそのものを抑制することができる。

一方、ターミナル側は、船社に提示するバースウインドウ（バーステンプレート）を効率的にスケジュールするアルゴリズムが必要になる。その場合、結果としてのバースウインドウで得られる料金収入とそのサービスにかかるコストならびにリクエストを取り下げた船社に対する機会損失費用から求められる利潤の最大化を目的とする必要がある。

以上のように、本研究では、プライシングにより寄港需要をコントロールし、ターミナル施設を有効利用して利潤を最大にするようにバーススケジュールを行い、結果として時間帯別差別料金ならびにバースウインドウを決定する。したがって、空港のプライシングとはかなり異なるアプローチを取ることが大きな特徴である。

本研究課題は、以下の2つの研究項目から成る。

(1) 需要コントロールメカニズム(船社の支払意思額の同定)

航空分野での研究で得たノウハウを参考にして、まず船社に対してヒアリング調査を

実施し、支払意思額同定のための基礎的な情報収集を実施する。さらにそれを基に支払意思額決定モデルを構築する。支払意思額の同定には、例えば、仮想市場評価法が用いられる。この場合、バイアスの危険性はあるが、アンケート調査の結果を基に支払意思額が把握できる。本研究の場合、船社のサンプル数はあまり多くないため、基本的にはヒアリング調査を行う。

(2) ターミナルのバーススケジュールメカニズム

研究代表者ならびに研究分担者は過去10年以上に渡って、運用レベルのバーススケジュールリング問題であるバース割当問題を研究してきている。さらに近年、これを拡張してバーステンプレート問題を研究している。この問題ではプライシングを考慮していないが、ラグランジュ緩和問題を援用した劣勾配法で極めて良好な近似解を得る解法の開発に成功している。そこで、この近似解法にプライシング決定メカニズムを組み込んで、問題の解法を構築する。

4. 研究成果

(1) 需要コントロールメカニズム(船社の支払意思額の同定)

このメカニズムを同定するために、主要邦船社ならびに主要なコンテナターミナルに対してヒアリング調査を実施した。その結果、船社は荷主の輸出入のタイミングに合わせて、各港湾に寄港することが明らかになった。つまり、契約荷主の多くが希望する曜日への寄港が基本となっていた。その結果として、週初めまたは週末が寄港希望日となっていることが多いことが判明した。しかし、船社は、これら希望日さらには希望しない日の寄港に対する支払意思額を明確に意識しているわけではないことが明らかになった。このことは、次のバーススケジュールリングで用いる支払意思額が得られないことを意味する。これに関しては、研究を開始した時点である程度想定されていた。

この場合、次の方法をとることができる。寄港船は航路全体の寄港順序を考慮して当該コンテナターミナルへの寄港希望時間帯を選択していると想定できる。したがって、実際のバースウインドウと希望時間帯の乖離は航海スケジュールに影響を及ぼすと考えられる。そのため、支払意思額は乖離による航海への影響度との関係でモデル化できると考えられる。実際の航海では、寄港時刻の調整のために航海速度を調整することができる。既往のバーススケジュールリングの研究では、このような速度調整によるコスト変化を考慮した研究例があり、このような考え方

が支払意思額同定に援用できる可能性がある。しかし、この方法でも、明確な支払意思額を同定するには至らなかった。そこで、次の第2段階では、任意の支払意思額曲線を想定して、バーススケジュールリングモデルを構築することとした。そして、研究終了後に支払意思額を同定する機会があれば、それを用いてモデルの実用性を評価することとした。

(2) 船社ターミナルのバーススケジュールメカニズム

プライシングを考慮したバーススケジュールリングメカニズム構築のために、次の2段階で最終的なプライシングモデルを構築した。

プライシングを考慮しない戦略的バーステンプレート問題：中長期の戦略レベルの問題としてバーステンプレート問題が世界で研究されている。ある計画期間内において寄港船のバースウインドウを最適に配置することがバーステンプレート問題である。既往の研究では、計画期間内にすべての寄港船のバースウインドウが配置できることを前提にしている。しかし、寄港希望が膨大となるハブ港に対しては、このような前提では解が得られない。つまり、問題の解に寄港需要を満足しない船を特定する必要がある。そこで、このような前提条件でのバーステンプレート問題を定式化し、さらにこれを、ラグランジュ緩和問題を用いる劣勾配法で求解した。計算実験の結果、本解法の有効性が確認できた。

先のモデルをベースとして、プライシングメカニズムを組み込んだバーステンプレート問題をモデル化した。モデル入力として曜日時間帯別のターミナル利用料金と船社の支払意思額を同定する必要がある。しかし上述のように支払意思額は同定できなかった。そのため、計算実験では仮想的な値を用いることとして、同テンプレート問題をモデル化している。支払意思額がターミナル利用料金を超える時間帯が、その船社の寄港タイムウインドウとなる。したがって、この問題はタイムウインドウ制約を有するバーステンプレート問題として定式化することができた。求解には、と同様に、ラグランジュ緩和問題を用いる劣勾配法を用いた。計算実験の結果、本解法の有効性が確認できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 23件)

Mizutani, J., Usami, M., Yardstick

regulation and the operator's productivity of railway industry in Japan, *Research in Transportation Economics*, 有査読, 59, 86-93, 2016

Nishimura, E., Wang, L., Imai, A., Optimizing yard arrangement and berth allocation for transshipment, *Proceedings of 2016 International Conference on Innovation, Management and Industrial Engineering*, 有査読, 54, 258-282, 2016

Matsumoto, H., Domae, K., O'Connor, K., Business connectivity, air transport and the urban hierarchy: A case study in east Asia, *Journal of Transport Geography*, 有査読, 132-139, 2016, DOI:10.1016/j.jtrangeo.2016.05.005

Matsumoto, H., Domae, K., Shifting competitive positions among primary airports in Europe, *Proceedings of the 19th Air Transport Research Society*, 有査読, CD-ROM, 2016

Domae, K., Matsumoto, H., Effects of LCC's development on air traffic density of cities, *Proceedings of the 19th Air Transport Research Society*, 有査読, CD-ROM, 2016

Nishimura, E., Hayashida, M., Environmental impacts of vehicle dispatch problem for marine container drayage, *Proceedings of XXI Triennial International Conference on Material Handling, Construction and Logistics*, 有査読, 251-256, 2015

Imai, A., Yamakawa, Y., Huang, K., The strategic berth template problem, *Transportation Research Part-E*, 有査読, 72, 77-100, 2014

Matsumoto, H., Shifting competitive positions among primary airports in

Asia, Proceedings of the 18th Air Transport Research Society, 有査読, CD-ROM, 2014

Matsumoto, H., Domae, K., International air network structure, air density of major cities, and effects of new airports in Asia, Proceedings of the 17th Air Transport Research Society, 有査読, CD-ROM, 2013

〔学会発表〕(計 9 件)

今井 昭夫, 海港と空港施設運用計画最適化の統合的アプローチ, 土木計画学会研究発表会, 2015.6.6, 九州大学(福岡県)

Shintani, K., Nishimura E., Konings, R., Imai, The impact of foldable containers for simultaneous truck routing of loaded and empty containers in hinterland transport of seaports, 2015.7.14, グラスゴー(イギリス)

Shintani, K., Ishihara, Y., Konings, R., Imai, A., The empty container relocation problem with foldable container on cost savings for hinterland transport of seaports, Proceedings of the 5th International Conference on Logistics & Transport, 2013.11.5, 京都

〔図書〕(計 2 件)

Matsumoto, H., Lieshout, R., Air Transport in the Asia Pacific, Ashgate, 2014

松本 秀暢, 空港経営と地域 - 航空・空港政策のフロンティア, 成山堂, 2014

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今井 昭夫(IMAI, Akio)

神戸大学・大学院海事科学研究科・教授

研究者番号: 40160022

(2) 研究分担者

新谷 浩一(SHINTANI, Koichi)

東海大学・海洋学部・准教授

研究者番号: 60290798

吉江 宗生(YOSHIE, Muneo)

独立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所・研究員

研究者番号: 80359231

西村 悦子(NISHIMURA, Etsuko)

神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授

研究者番号: 60311784

松本 秀暢(MATSUMOTO, Hidenobu)

神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授

研究者番号: 70294262

水谷 淳(MIZUTANI, Jun)

神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授

研究者番号: 60388387

(3) 連携研究者

該当無し