

# 港湾24時間フルオープン化による効果に関するシミュレーション\*

Simulation Analysis on the Effect of 24 hours and 7 days a week operation in Container Terminals\*

辻 俊昭\*\*・工藤憲一\*\*\*・黒田勝彦\*\*\*\*・永井一浩\*\*\*\*\*

By Toshiaki Tsuji\*\*・Kenichi Kudo\*\*\*・Katsuhiko Kuroda\*\*\*\*・Kazuhiro Nagai\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

平成13年4月の港湾労使の春闘合意や11月の労使間合意により、わが国の港湾コンテナターミナルにおける荷役作業時間やゲート時間が延長されフルオープン化に向けて大きく前進した。

本研究では、わが国における港湾ターミナルのフルオープン化に対して、その効果や今後の課題等を明らかにするためモデルを構築しシミュレーションを行ったものである。

本シミュレーションでは表-1に示す4つの検討ケースを設定した。また、想定貨物量を現状貨物量(貨物量1.0倍)、貨物量1.25倍、1.5倍、2.0倍別にシミュレーションを実施した。

なお、ケース3は横浜港や博多港等で行われているストックヤード設置のケースを取り上げた。このケースでは荷役時間やゲートオープン時間は現状のままであるが、トラックにとってはストックヤードを24時間利用できることからフルオープンに準じたケース(準フルオープンパターン)となる。

表-1 検討ケース

設定ケース	(ケース1) H13年4月5日 春闘合意前 パターン	(ケース2) H13年11月29日 労使合意パターン	(ケース3) ストックヤード 設置準フルオープン パターン	(ケース4) フルオープンパ ターン
荷役時間	平日・土曜 8:30-4:00 日祝 8:30-16:30	平日・土休日0:00-24:00 (船舶スケジュールに合わせて人員を配置)		
ゲート オープン 時間	平日 8:30-11:30 13:00-16:30 土曜 8:30-11:30	平日・土休日8:30-20:00 (16:30以降及び日曜日は予約が必要)	平日・土休日 0:00-24:00	
ストック ヤード	なし		ストックヤード 設置 平日・土休日 0:00-24:00	なし

## 2. シミュレーションの考え方

### (1)シミュレーションの概要

港湾ターミナルのフルオープン化による岸壁荷役時間の延長やゲートオープン時間の延長が起因となり、配船スケジュールの変更やトラック到着分布の平準化が起こるものと考え、図-1に示す流れに基づきシミュレーションモデルを構築した。

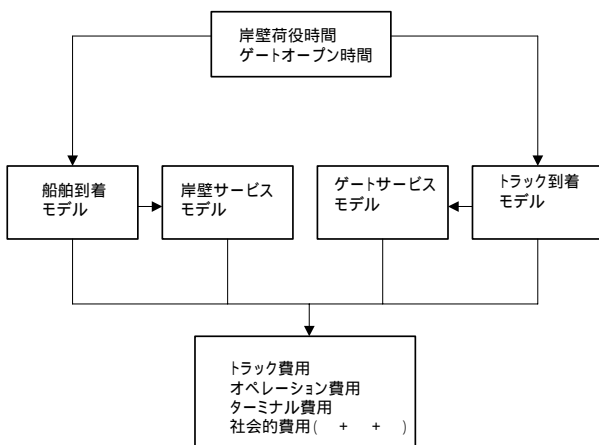


図-1 シミュレーションの流れ

\*キーワード：港湾計画，物流計画

\*\*正会員，(株)野村総合研究所社会情報コンサルティング部

(〒100-0004 東京都千代田区大手町2-2-1

TEL 03-5255-0424 FAX 03-5203-0764)

\*\*\*(株)野村総合研究所 e-ビジネスソリューション部

\*\*\*フェロー会員，神戸大学工学部建設学科

\*\*\*\*国土交通省海事局港運課

### (2)条件の設定

#### (a) モデルターミナルの諸元

東京港大井埠頭3・4号バース、横浜港南本牧バース、神戸港六甲4・5号バースを参考に、標準的なモデルターミナルを設定した。

表-2 モデルターミナルの諸元

ターミナル 施設規模	連続2バース(公社方式)、水深15m、延長700m、奥行500m、グランドスロット数4,991TEU
取扱貨物量	44万TEU/年(事例ターミナルの取扱平均)
荷役機器及 び人員の配 置	・ガントリークレーン6基(3人/基) ・トランスファークレーン16基(2人/基) ・ゲートクレーン・チェッカーマン16人等 ・荷役処理 ガントリークレーン35本/時 トランスファークレーン30本/時 ・入口ゲート8レーン、出口ゲート4レーン等

#### (b) 船舶到着モデル

ターミナルへの船舶の曜日別積積割合は、現状の

アジアの他大港湾における航路別揚積割合（図 - 2）をもとに、土日割増料金、日曜寄港制限を考慮し次式（1）より推計した。

$$P_{SRD} = \frac{(P_{SRD}^A e^{d_{SD}})^{a_{ped}} (F_D)^{a_F} e^{d_{SD} a_d} e^{\varepsilon_{SRD}}}{\sum_{i=\text{sun}}^{\text{sat}} (P_{SRi}^A e^{d_{Si}})^{a_{ped}} (F_i)^{a_F} e^{d_{Si} a_d} e^{\varepsilon_{SRi}}} \dots (1)$$

- $P_{SRD}$  : 日本大港湾における航路Rの全曜日に対する曜日Dの揚積割合
- $P_{SRD}^A$  : アジア大港湾における航路Rの全曜日に対する曜日Dの揚積割合
- $F_D$  : 曜日Dにおける料金水準(平日,土日1.6)
- $d_{SD}$  : 曜日Dにおける寄港制約ダミー  
(ケース1:平日土曜1日曜0,  
ケース2-4:全ての曜日において1)
- $\varepsilon_{SRD}$  : 曜日D,航路Rにおける誤差項
- $a_{ped}, a_F, a_d$  : 回帰係数

(アジア大港湾)

(日本大港湾)

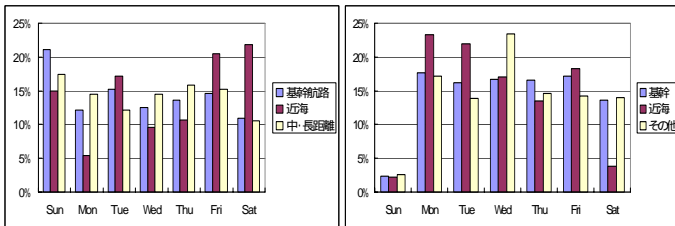


図 - 2 現在のアジア、日本大港湾の曜日別揚積割合  
さらに、各曜日の時間別荷役スケジュールについては、モデルターミナルのデータをもとに、荷役作業体制、夜間割増料金を加味し次式（2）により確率の高い順から割りふった。

$$P_{SRT} = \frac{S_{RT}}{\sum_{i=0}^{23} S_{Ri}} \dots (2)$$

$$S_{RT} = c_{SR} \frac{d_{ST}}{F_T} + C + \varepsilon_{SRT}$$

- $P_{SRT}$  : 航路Rの1日の全揚積量に対して時刻T時台に荷役を開始する揚積割合
- $S_{RT}$  : 時刻T時台に荷役を開始する航路Rの揚積量
- $d_{ST}$  : 時刻T時台における荷役時間ダミー  
(ケース1: 8,19時台で1,その他0  
ケース2-4: 0,8,16時台で1,その他0)
- $F_T$  : 時刻T時台における料金水準(5-18時台で1,その他1.3)
- $\varepsilon_{SRT}$  : 時刻T時台,航路Rの誤差項
- $c_{SR}, C$  : 回帰係数

図 - 3 は、現状のケースと上記式を用い試算したケース2~4の場合の荷役スケジュールである。

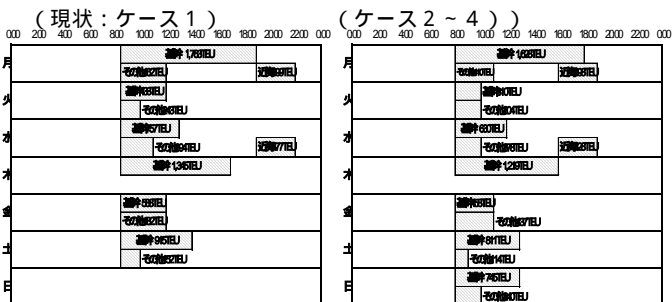


図 - 3 荷役スケジュール（貨物量1.0倍）

(c) トラック到着モデル

横浜港の寄港日前後の搬出入実績分布（図 - 4）を用いて、曜日別揚積量を曜日別搬出入台数に配分した。曜日別の搬出入台数は式（3）より求めた。

$$\tau_D = \tau \left[ \sum_{j=0}^6 P_{SR(D+j)} r_E \sum_{i=0}^{\infty} f_E(7i+j) + \sum_{j=1}^7 P_{SR(D+j)} (1-r_E) \sum_{i=0}^{\infty} f_i(7i+7-j) + g o_D + \varepsilon_{\tau D} \right] \dots (3)$$

- $\tau_D$  : 曜日Dにおけるトラック搬出入台数
- $\tau$  : 週間トラック搬出入台数
- $r_E$  : 輸出比率 ( $P_{SR(D+j)} r_E$ は曜日(D+j)の輸出品、 $P_{SR(D+j)} (1-r_E)$ は曜日(D+j)の搬入量)
- $f_E(k)$  : ある日の輸出貨物がD日に搬入される割合 ( $\sum_{i=0}^{\infty} f_E(7i+j)$ は曜日(D+j)の輸出貨物がD日に搬入される確率)
- $f_i(k)$  : ある日の輸入貨物がD日に搬出される割合 ( $\sum_{i=0}^{\infty} f_i(7i+7-j)$ は曜日(D+j)の輸入貨物がD日に搬出される確率)
- $o_D$  : 曜日Dのゲートオープン時間
- $\varepsilon_{\tau D}$  : 曜日Dの誤差項
- $g$  : 定数

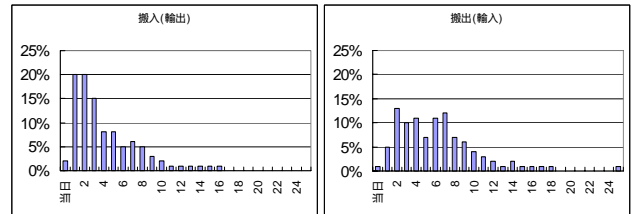


図 - 4 横浜港の搬出入割合

図 - 5 は、式（3）を用い推計したトラックの曜日別搬出入の変化を示したものである。

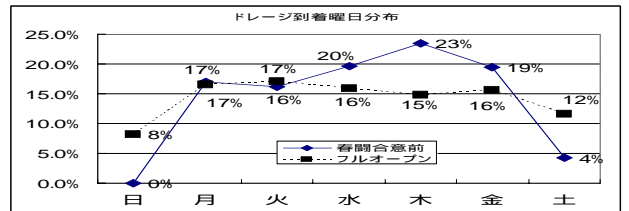


図 - 5 トラックの曜日別搬出入割合

また、現状のトラック時間別到着割合については、潜在的な企業活動（早朝、午前、午後の搬入ニーズ、電力需要からみた時間帯活動ニーズ）がゲートオープン時間によって制約されていると考え、オープン時間延長後は搬入時間の制約が解除されるとし式（4）により推計した。

$$P_{\tau T} = h_{Pear} P_{earT} + h_{Pmor} P_{morT} + h_{Paft} P_{aftT} + h_{dPele} d_{\tau T} P_{eleT} + \varepsilon_{\tau T} \dots (4)$$

- $P_{\tau T}$  : 1日のトラック到着台数に対する時刻T時台の到着割合
- $P_{earT}$  : 時刻T時台の早朝搬出入パターン
- $P_{morT}$  : 時刻T時台の午前搬出入パターン
- $P_{aftT}$  : 時刻T時台の午後搬出入パターン
- $d_{\tau T}$  : 時刻T時台の搬出入制約ダミー (将来は1)
- $P_{eleT}$  : 時刻T時台の電力需要分布 (企業活動の代替指標)
- $\varepsilon_{\tau T}$  : 時刻T時台の誤差項
- $h_{Pear}, h_{Pmor}, h_{Paft}, h_{dPele}$  : 回帰係数

図 - 6 は、現状と式(4)によって推計した時間別到着割合を示したものである。

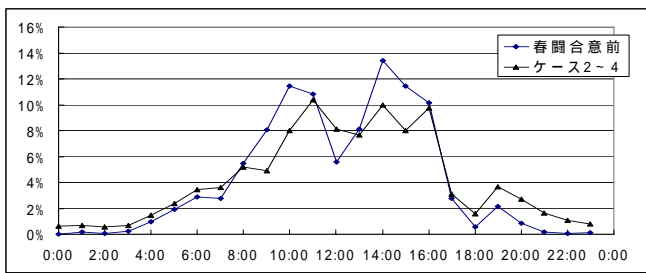


図 - 6 トラックの時間別到着割合

(d) 岸壁・ゲートサービスモデル

岸壁サービスモデルにおいては、コンテナ揚積量を到着要素、ガントリークレーンを窓口要素とした待ち行列シミュレーションを行い、最適なガントリークレーン数をケース別曜日別時間別に設定した。

ゲートサービスモデルにおいては、トラックを到着要素、ゲートとトランスファークレーンを窓口要素とした待ち行列シミュレーションを行い、最適なゲート数とトランスファークレーン数をケース別曜日別時間別に設定した。ここでは紙数の都合上、詳細は省く。

3. シミュレーションの結果

(1) トラック費用のシミュレーション結果

(a) トラック待ち時間シミュレーション結果

図 - 7 に示すように貨物量1.0倍ではケース3(準フルオープン)、ケース4(フルオープン)ともトラック総待ち時間を比べると春闘合意前より大幅に減少する結果となった。さらに1.25倍までは春闘合意前より待ち時間が減っている。しかし、1.5倍では夜間ターミナルゲートが閉じている分、トラックを処理しきれずケース3では大幅な待ち時間増となり、2.0倍ではケース4でもトラックを処理しきれず大幅な待ち時間増となる結果となった。

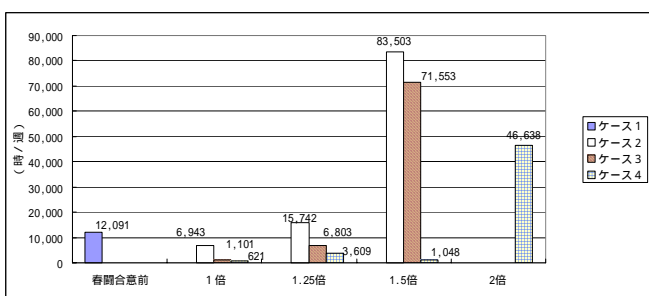


図 - 7 トラックの総待ち時間

(b) トラック費用シミュレーション結果

図 - 10 に示したように、トラック費用(待ち時間損失)は、ケース4でどの貨物量に対しても大きな減少が見られる。ケース3においては、待ち時間損失にストックヤード費用を加えたものがトラック費用となるが、取扱貨物量1.0倍のとき大きな減少がみられるものの、ゲートが夜間にクローズされるため、貨物量の増加とともにトラックの待ち時間費用は増加することがわかった。

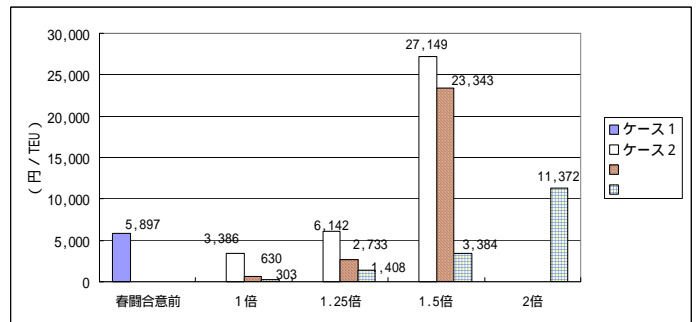


図 - 8 コンテナ1TEUあたりトラック費用

(2) オペレーション料金のシミュレーション結果

(a) 必要人員のシミュレーション結果

図 - 9 に示したように、必要人員は貨物量1.0倍においてケース4では春闘合意前の1.2倍となるが、それ以上の貨物量ではケース4の必要人員の増加率は貨物量の増加率より小さい。

ケース3では深夜の荷役やゲート処理がないため、ケース4より人員が少なくなる。

なお、作業体制については労働時間の制約条件に収まる範囲で残業で対応した場合と交代制を導入した場合のコストを比較し、コストが低い方の体制としている。

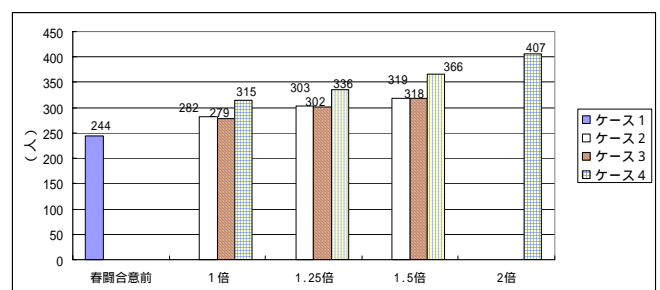


図 - 9 必要人員

(b) オペレーション料金のシミュレーション結果

図 - 10 に示したように、ターミナルオペレーターが船社に提示する20ftコンテナ1本(1REU)あたりオペレーション料金は、ケース4では、取扱貨物

量1.0倍のとき春闘合意前ケースに比べ28%増加し、それ以上の貨物量では増加とともに費用が遞減する結果となった。

ケース3では深夜の荷役やゲート処理が発生しないためケース4より費用が低くなることがわかった。

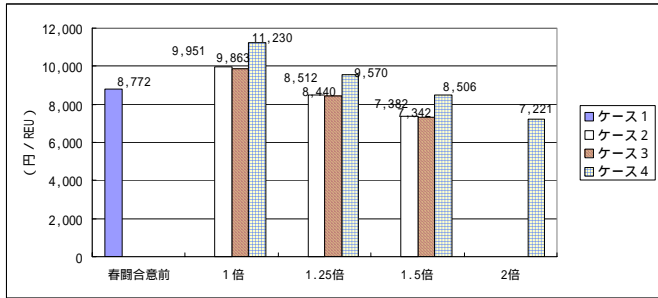


図 - 10 オペレーション料金

### (3)ターミナル費用のシミュレーション結果

船社のターミナル費用は公社ターミナルの実績を参考に、連続2バースで21億円/年と仮定した。したがって、取扱いコンテナ1個当りのターミナル費用は、取扱いコンテナ数に反比例する。

### (4)社会的費用のシミュレーション結果

ケース1からケース4に対する社会的費用をシミュレーションした。社会的費用としてコンテナ1本当りのオペレーション料金、船社のターミナル費用及びトラック費用を加えた総費用の結果は図 - 11の通りである。

ケース2では取扱い貨物量が1.0倍、1.25倍では春闘合意前よりも社会的費用は少なくなる。現状の貨物量1.0倍で最も社会的費用が小さくなるのはケース3であり、また、貨物量が1.25倍以上となるとケース4が最小となることがわかった。

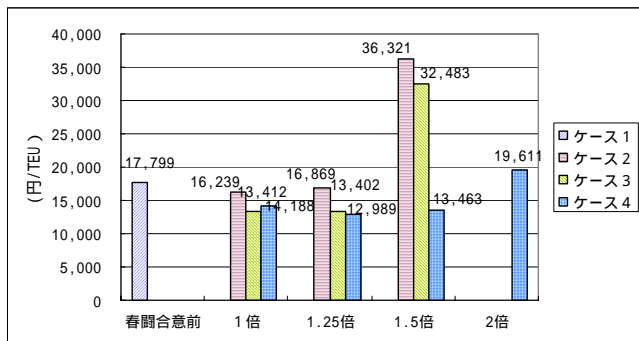


図 - 11 社会的費用のシミュレーション結果

## 4. シミュレーション結果についての考察

平成13年の春闘合意、労使間合意により、現在の状況であるケース2においても春闘合意前に比べ

社会的費用等が大きく減少しその有効性が確認された。

さらに、ケース3やケース4の方がより社会的費用等の観点から有効であることが明らかとなった。現状の貨物量ではストックヤードを設置した準フルオープンタイプが、増加した貨物量に対してはフルオープンタイプが最も有効となった。

このことから、貨物量が1.0倍程度の現状ならばケース3を実施し、今後の経済成長や貨物の集約化等により貨物量が増加(1.25倍以上)してきた場合、フルオープンが最も望ましいと考えられる。逆に言えば、フルオープンが有効となるためにはある程度の貨物量を取扱うことが前提となると考えられる。

## 5. 終わりに

本シミュレーションの結果では、現在、進められている本格的なフルオープン化に向けた取り組みの意義が確認できた。今後、貨物の集荷等の課題に対処しながら、フルオープン化を一層進めて行くことが重要と考えられる。

また、本シミュレーションについても、フルオープン後のトラックの到着分布や配船スケジュール等が結果に影響を与えることから、今後、これらのモデルをより精緻にする課題を有している考える。

なお、本シミュレーションは、「平成13年度港湾物流効率化推進調査」(国土交通省海事局港運課)において実施したものである。その際、港運事業者、船社、荷主、港湾管理者、関係行政機関等の方々よりのご指導・協力を賜った。ここに記して謝意を表したい。

### 参考文献

- 1) 渡辺逸郎：コンテナターミナルの理論と計画、(社)日本コンテナ協会、1996

<sup>i</sup> 20ft 1本は1REU、40ft 1本は1.5REU