

港湾荷役のシミュレーションモデルの開発

Development Of Cargo Handling Simulation Model For Port Planning

大熊修司*・稲村 肇**・須田 燕***

By Syuji OKUMA, Hajime INAMURA, Hiroshi SUDA

Number of berthes have been decided on the basis of the standard of expected cargo handling volume per berth. This standard, that is 1000ton/m approximately, is applied to most ports in Japan. According to increase the number of alternative berthes, handling-efficiency of a berth gradually grows up. Many simulation models have been studied to improve this standard. Many researchers in the past have used service time which is dealt with, handling time, preparation time and berthing time for crue's rest as a unique distribution. In addition, handling-efficiency to decide handling time varies with number of alternative berthes, types of cargo, and weight of unit handling load. This paper is forcused on the evaluation of handling ability takes these compornents into consideration to determine a new standard of expected cargo handling volume.

1. はじめに

従来、港湾はその利用の効率性と利用の安全性を勘案し、岸壁1m当たり年間1000tという基準のもとに計画されてきた。そして昭和30年代後半からの多くの努力により、我が国の港湾は全体として、その整備水準をほぼ満たすまでになった。それにもかかわらず、現在も、地方の中小港湾を中心とする依然として強い港湾需要と、大港湾を中心とする施設の遊休化という相反する事態、更には休憩岸壁という、より高いサービスの要請とあいまって、新たな岸壁整備水準の作成が強く求められている。

大港湾と中小港湾を比較した場合、大港湾は当然のことながら一隻の貨物船が荷役可能なバース（代

替バース）の数が多く、中小港湾においては全バース数は多くてもある一船にとっての代替バースは、1ないしは2しかないのが現状である。このことは、待ち行列理論の助けを借りるまでもなく同じサービス水準のもとでは、1バース当たりの荷役能力に大きな差異が生じることを意味している。また中小港湾においては、その取り扱い品目の数も少なく、同じ雑貨であってもその荷姿や一単位当たりの重量（ロット重量）の組み合わせが大きく異なるのは周知の事実である。これに1000t/mといった画一的な基準を使用することの非は明らかであり、これが上記のような問題を惹き起こしたと考えられる。

本研究においてはこれら荷役に関する事実を鑑み、代替バース数や、荷姿、ロット重量の異なる港湾のバース当たりの標準荷役能力を知り、新たな岸壁整備水準の作成に資することを目的とするものである。

キーワード：計画数理

- * 学生会員 東北大学大学院工学研究科
- ** 正 会 員 工博 東北大学工学部助教授
- *** 正 会 員 工博 東北大学工学部教授
(〒980 仙台市荒巻字青葉)

2. 従来の研究と本研究の考え方

港湾計画は、ある意味では港湾の将来計画図を定めることに集約されるが、このためには、まずその港湾に要請される需要を把握し、ついでその需要に対応する所要の施設や用地の規模を推計することが必要となる。特にその中でもバース数の決定は重要であり、港湾規模の設定における根幹であるといっても過言でない。従来より、その最適バース数や港湾施設の最適配置の決定のために、さまざまなモデルが構築されてきた。以下にそれらを示す。

(1) 経験的方法（原単位法）

係留施設及び取り扱い貨物を一定の基準に従って換算し、バースの単位長当たりの貨物取り扱い可能量を m 当たり何 t として計算したものであり、表-1 に示すような値が従来より用いられている。この方法は非常に簡便な方法であり、過去の我が国のように、ほぼ均質な条件のもとで多数の同タイプのふ頭が計画・建設されるという状況や、同一の港湾で同種のふ頭を建設する拡張計画など、実際の計画の現場で広く用いられてきた。

しかし、けい船岸壁の単位長さ当たりの貨物取り扱い可能量は、港の規模、静穏度、船型分布、貨物の種類、1 船当たりの積み卸し量などによって異なる。従って、概略の規模をマクロ的に決定しようとする場合にはこの方法を使用することも可能であるが、表-1 に示した標準値といわれるものには上限と下限に 2 倍近くの差があり、特定のふ頭の規模を推定する場合の基準とすることは、多くの誤りをおかすことになると考えられる。

表-1 バースの年間取り扱い能力

大型船バースの年間取り扱い貨物量	
取り扱い貨物品目	バース当たり取り扱い量
一般雑貨	10 ～ 20 万トン
特殊貨物	15 ～ 40 万トン
油 類	150 ～ 300 万トン

けい船岸 1 m 当たり年間取り扱い貨物量		
取り扱い貨物品目	大型けい船岸	小型けい船岸
一般雑貨	600～1200 トン	300～ 600 トン
特殊貨物	1000～3000 トン	500～1000 トン

(2) 待ち行列理論による方法

待ち行列理論による方法は船舶の到着分布や接岸時間分布から最適バース数を理論的に決定するものである。待ち行列理論による方法を Kendall の記号を用いて分類すれば代表的なものとしては $M/M/S(N)$ 、 $M/E_k/S(N)$ 、 $M/D/S(N)$ などがあげられる。待ち行列理論による方法は、本船の平均接岸待ち時間 W_q 、平均待ち隻数 L_q などを、解析的に求めることができるという点で優れている。

しかしながら待ち行列の理論が応用できるのは、むしろ特別な状況の場合に限られ、到着の分布、サービス分布、待ち行列の数、サービス・ステーションの数、待ち行列の規則やその他のシステムの特性に関して、強い仮定を置かなければならない。この点に関して、待ち行列理論は、どのような現象が起こるのかを見つけるための強力な手段ではあるが、到着分布及びサービス分布に関して非常にわずかな組み合わせに関してのみ解析的な解が得られ、ごく単純な場合を除いて解析的方法によって解くことはできない。

(3) シミュレーションによる方法（最適能力法）

シミュレーションによる解法が有効となるのは次の 2 つの場合である。(a) システムの遷移状態が問題となり、時間に依存した型での解が要求される場合。(b) モデルの定式化で解析的に扱えるような範囲にまで単純化を進めると、問題にしている内容が実質的に欠落してしまう場合。シミュレーションによる方法は、一般に、(a) 船舶の到着分布、(b) 船舶の接岸時間分布、(c) 計画バース数、(d) ふ頭の運営方針の 4 要因を考慮することになる。そして、船舶の到着分布、接岸時間分布、先着順サービスや夜間規制といったふ頭の運営方針（政策変数）の組み合わせを与えて、最適バース数を決定するものである。この方法では特に、待ち行列理論では評価できない夜間規制など非定常的な要因を評価できるため、現実的な方法と考えられてきた。

この長所を生かすべく、従来より港湾内の船舶の活動を再現するためのさまざまなシミュレーションモデルが構築されてきた。これらのモデルは一般に

図-1のフローに示す4つのサブモデルから構成されており、荷役能率を一定とし船舶の到着はポアソン分布、けい船時間はアラン分布に従うとして、解析しているものが多い。

これらのモデルは、港湾におけるサービスの状態を様々な政策条件のもとで解析して、バースの規模を決められるという点で優れている。

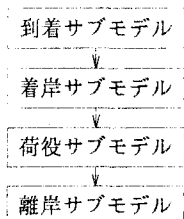


図-1 港湾計画モデル

(4) 従来の研究の問題点

シミュレーションモデルがこのように多くの優れた点を持っているにもかかわらず、実際の現場において原単位法が使用されているのはなぜであろうか。この原因は、これらのモデルが原単位法と比較して、非常に複雑なものとなるにもかかわらず、モデルの精度がそれ程向上していないと考えられるからである。原単位法と比較して対象をミクロ的にとらえて分析しているにもかかわらず、精度が向上しない大きな原因は、従来のモデルが、船舶の着岸から離岸までの時間のみを調査し、サービス分布として使用している点があげられる。実際の船舶の着岸から離岸までの間には、荷役時間のほかに荷役準備時間、休憩時間などがあり、更に根本的問題として、船員の休憩のための長期停泊がある。このためけい船時間をサービス時間として一律の分布型（アラン分布等）をあてはめることには無理がある。従来の研究でこのサービス分布を使用した理由は、これらの実態を正確に把握することの困難性にある。

(5) 本研究の考え方

先にも述べたように、同一港湾内であっても各バース間では貨物の取り扱い品目は大きく異なるし、またバースの代替性やバースの数といったバースを取りまく条件も千差万別である。港湾は全国一律の基準のもとに計画されるのではなく、その港湾の規模、船舶・貨物の特性、バースの状況に応じて計画されるべきである。

本研究では以上の点をふまえたシミュレーションモデルを構築している。ここでは荷役に関する調査

資料を詳細に分析することにより、今まで明かにされていなかった荷役時間や、荷役準備時間、休憩時間などの実態を詳細に解析している。この解析により、停泊している船舶が実際に荷役を行なっているか、荷役準備をしているか、また船員の休憩のために長期停泊をしているか、などを把握することができる。また、荷役能率に影響を与える多くの要因を分析し、荷役能率を支配的要因であるとされたロット重量と荷姿の関係から求めている。荷役時間は、荷役能率、貨物量、投入ギャング数から荷役時間を推計している。このような分析の結果、本研究では従来のシミュレーションモデルのように画一的なサービス分布を使用せずに、個々の状況に応じて接岸時間が計算される点が大きな特徴の一つといえる。このように特に荷役の部分ミクロ的に解析することにより、取り扱い品目などに特徴のある港湾や、代替バースの少ない中小港湾におけるバース標準取り扱い能力をより正確に把握できると考える。本研究で得られた成果は、計画策定者が様々な港湾におけるバース数を決定する際の重要な指標となると考える。

本研究では対象を一般貨物（雑貨）のみとしている。なぜなら、石油などの液体や、石炭・鉱石などのバラ貨物では、荷役時間が荷役機械の能力に支配されるため、複雑な解析を必要としない。また、これらの品目に関しては、専用ふ頭において荷役が行なわれることが多く、バースの代替性がないと考えられるからである。

3. 調査資料

本研究で使用した資料は、昭和58年 7月 7日～11月11日の期間に名古屋港及び昭和58年 8月24日～12月15日の期間に清水港を対象に運輸省第五港湾建設局によって調査されたものである。対象船舶は全て一般貨物船であり名古屋港では720DWT～ 26,515DWTの25隻、清水港では698DWT～ 21,850DWTの10隻であった。調査された船舶は複数の品目を取り扱い、それらはハッチ別荷役として記入されている。そこで、荷役能率を分析する際には各ハッチ別の荷役状況を

独立なデータとして取り扱うことが可能であるためトータルサンプル数は 468 となった。また、船舶を対象とする分析は当然 35 サンプルで行なわれる。バラ貨物及び液体の貨物を除外したことから、調査された品目は港湾統計 54 品目中 28 品目であった。

4. シミュレーションモデルの構築

シミュレーションモデルには、単位時間を指定して、その単位時間刻みに時計（シミュレーション・クロック）を進めながら、状態の変化を追っていく TIME-SLICE 法と、次にシステムの変化の起こる時刻まで時間を進める EVENT-SEQUENCE 法がある。TIME-SLICE 法では、港湾内の船舶の活動や荷役などの遷移状態を正確に知るためには単位時間間隔を十分小さくしなければならない。しかも、本研究の扱う問題は、状態の変化する時点が離散的でかつ時間間隔の分散が大きいため、時計を時々刻々と進めることは能率が悪い。従って本研究では、EVENT-SEQUENCE 法に基づいてモデルを作成している。

本モデルの基本フローが図-2 に示されている。以下このフローに従って説明をしていく。

①年間取り扱い品目・貨物量の入力

計画対象港湾での年間の各品目の構成とその取り扱い貨物量を外生変数として入力する。

②船型データの入力

対象港湾における過去のデータなどからトン階級別の出現確率のデータを入力する。船舶の大型化など環境が変化する場合には、このデータを変更すればよい。一般的に、「ある品目の貨物は X トン～ Y トンの船舶で輸送されることが多い」というように、品目と船舶の大きさには一定の関係があると考えられる。そこで、品目と船舶の大きさに関するデータが得られればそれを使用するのがよいと考えられる。

③計画バース数の入力

計画バースの数及びその諸元、代替性を考慮して政策変数として入力する。代替性のないバースは一度にシミュレートする必要性がないため、この数は高々 5 バース程度でよいと考える。

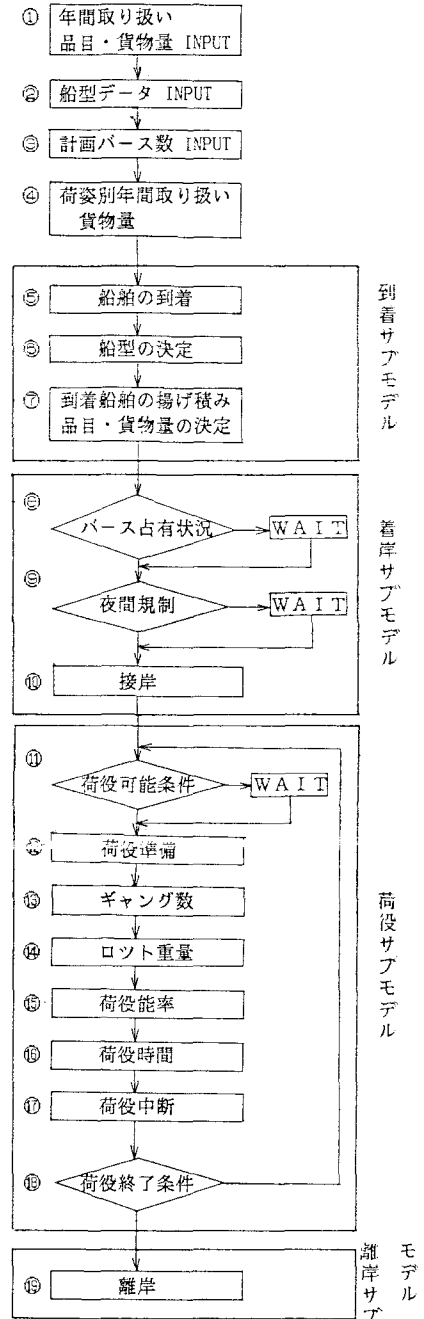


図-2 基本フロー

④荷姿別の年間取り扱い貨物量の決定

荷役能率は主として品目ではなく、荷姿に影響される。従って、年間取り扱い貨物量は54品目別数量を、荷姿別の11種類に変換して考える。荷姿は各品目に対して全ての荷姿が考えられるのではなく、各品目に特有の性質から数種類に限定される。そこで本研究では、資料より得られた品目別の荷姿の出現確率とその年間取り扱い貨物量から、荷姿別の年間取り扱い貨物量を計算している。ただし資料より得られた28品目以外の19品目（残り7品目は液体又はバラ貨物の品目）の荷姿別比率はヒアリングによって定めた。また将来において、荷姿のコンテナ化等ユニットロード化が予想される場合にはこの部分の出現確率を変更すればよい。

⑤船舶の到着

一般に一定時間内に到着する船の隻数ポアソン分布で与えられることが知られている。そこで本研究でもポアソン分布を使用し、到着時間間隔の分布としては指数分布を使用することとする。しかし定期船バースのように船舶の到着時間間隔がランダムでない場合には、その状況を考慮した分布型を使用しなければならないだろう。また最近では港湾サイドから港に向かって船舶に対して、バースの利用状況の情報を与えているため、多くの船舶が速度を調整して航行してくる。従って現実にはバース待ちや夜間到着が少なくランダム到着とは言い難い面もある。しかしながら、これは事実上海上で待っているとみなすことができるため、モデル上ではランダム到着と考えて計算を行なった方がよいと考えた。

年間の船舶発生隻数は、①で入力した年間取り扱い貨物量と船舶の平均積載貨物量から、年間取り扱い貨物量が①に合致するべく計算している。

⑥船型の決定

②で入力した船型別の分布に、統計的に一致するように乱数を発生させて、船舶の大きさを決定する。

⑦到着船舶の揚げ積み品目・貨物量の決定

各船舶で荷役される荷姿数は、1種類のこともあれば数種類のこともある。そこで本研究ではまず

その船舶で荷役する荷姿数を一様乱数で与えている。そして④で計算した荷姿別の年間取り扱い貨物量の比率に応じて、一様乱数で与えた荷姿数に達するまで揚げ積み貨物量を分配して、各荷姿の貨物量を計算している。

⑧バース占有状況

バースが空いて入れば接岸し、空いていなければバースが空くまでバース待ちに入る。複数バースの場合にはバースの代替性についても考慮可能である。またこの時に設定したバース数が船舶のバース待ち時間に影響を与える。

⑨夜間規制

現在一般の港湾では、船舶の入港及び荷役作業に対して夜間規制が行なわれている所が多い。従ってこのSTEPで夜間と判断された場合には、翌朝7:00まで夜間規制待ちに入ることになる。この部分を変更することにより24時間サービスを実施した場合の状況の変化も評価できる。

⑩接岸

資料を分析し以下のことが判明した。1000 t未満の小型船では沖停泊地からバースに直行し接岸を行い、1000 t～6000 tの中型船ではバースまでは直行するが接岸はタグボートにより行なう。6000 t以上の大型船ではパイロットが本船に乗船した後にタグボートで本船を曳航して接岸を行なう場合が多い。そこで接岸に要する時間は、船舶の大きさにより変化させた値を使用しており、その値を表-2に示す。

表-2 船型と接岸時間

DWT	～1000 t	1000～6000 t	6000～10000 t
接岸時間	直行	30分	60分

⑪荷役可能条件

このSTEPでは、気象・海象の自然条件と、日曜日による荷役の禁止条件を判断する。この判断は一日に一回7:00の時点で行なわれ、荷役が不可能な場合には翌日まで荷役待ちに入る。また天候が悪化した場合にはその状態が数日間継続する場合が多い。そこで二重乱数を発生させることにより、その継続時間をも考慮している。防波堤の延長など政策的に静穏度を向上させる場合を検討する際にはこのSTEP

を変更すればよい。

⑫荷役準備

荷役準備に要する時間は30分としている。

⑬ギャング数

投入ギャング数は港湾荷役業者によって決定されている。この投入ギャング数は経験的に求められた最良の状態であると考えられる。これはギャング数に上限がないことを意味するが、ギャング数が不足した場合は下請けへの委託によってその不足分をカバーするケースが多いからである。過去のデータを解析した結果、投入ギャング数はその荷役の緩急によっても異なるが、一般的には貨物量と密接な関係があることが判明した。もちろん貨物量が増加しても船舶のハッチ数以上のギャング数は投入されない。また、ハッチ数は船型との関係から定めた。貨物量と船型を考慮した投入ギャング数の値を表-3に示す。表-3 投入ギャング数

船型 (DWT)	1000～	3000～	6000～	10000～
貨物量(t)	～1000	3000	6000	10000
～500	1	2	2	2
～1000	2	3	3	3
～1500		3	4	4
1500～		3	4	5

⑭ロット重量

ロット重量とはここでは、クレーンの1回のスリングで運ぶ貨物の重量のことを意味している。このロット重量は実態資料からその荷姿ごとに累積頻度分布を作成しそこにロジスティック曲線を回帰させ、確率的に与える。

⑮荷役能率

荷役能率は1時間当たりの荷役貨物トン数と定義される。本研究では荷役能率が表-4にあげる多様な要因との関係から定まるものと考えて、その関係を解析している。説明変数の選択に際しては荷役能率に影響を与える要因を網羅していなければならないが、モデルの有用性を重視すると簡便な調査で把握でき、しかも客観的なものでなければならない。従って表-4にあげる程度のものが説明変数として適当と考えた。資料の分析を行なった結果、ロット重量が最大の要因であることが判明した。更にロッ

ト重量による荷役能率の単回帰推計値の偏差を検討した結果、荷姿別の解析の必要性が明らかとなった。サンプルを荷姿別に分類して分析した結果が表-5に示されている。

表-4 説明変数として取り上げた要因

天気	a. 晴	b. 曇	c. 雨
クレーンの種類	a. 本船クレーン	b. トラッククレーン	
揚・積	a. 貨物の揚	b. 貨物の積	
岸・はしけ	a. 岸へ、岸から	b. はしけへ、はしけから	
荷姿	a. 木箱 (CASE) d. 袋 (BAG) g. 台 (UNIT) j. コンテナ (CONTAINER) l. 紙箱 (CARTON)	b. バール (BALE) e. ロール (ROLL) h. ドラム (DRUM) k. パレット (PALLET) m. その他	c. 棒 (PEACE) f. 束 (BUNDLE) i. 樽 (BARREL)
品目	港務統計54品目に基づく		
風速	(m/sec)		
波高	(cm)		
荷役貨物密度	(個)		
荷役貨物重量	(t)		
ギャング数	(人)		
荷役機能力	(t)		
クレーンスリング数	(回)		
荷役時間	(min)		
ロット重量	(t)		

表-5 荷役能率

荷姿	回帰式	相関係数
木箱 (CASE)	$Y = 3.77 + 15.7 X$	0.765
紙箱 (CARTON)	$Y = 1.34 + 22.6 X$	0.839
バール (BALE)	$Y = 0.54 + 22.4 X$	0.659
袋 (BAG)	$Y = 1.35 + 20.3 X$	0.810
束 (BUNDLE)	$Y = 39.1 + 6.75 X$	0.474
パレット (PALLET)	$Y = -6.39 + 24.2 X$	0.773
コンテナ (CONTAINER)	$Y = -3.19 + 11.4 X$	0.775
ドラム (DRUM)	$Y = 2.45 + 16.4 X$	0.929
棒 (PEACE)	$Y = 8.98 + 8.76 X$	0.503
台 (UNIT)	$Y = 17.5$	
ロール (ROLL)	$Y = -110 + 58.9 X$	0.993

Y: 荷役能率 (ton/hr) X: ロット重量 (ton)

⑯荷役中断

各ギャングは、荷役準備や作業場所の移動、休憩時間などのため連続した作業をしていない。そこで、本研究では資料より荷役準備時間を30分とし、また休憩時間を 10:00～ 10:30、 12:00～ 13:00、 14:30～ 15:00の1日3回と設定した。各ギャングは、この休憩時間にハッチの移動を行なうものとした。

⑰荷役時間

⑦の揚げ積み貨物量とその荷姿、⑮の荷役能率、⑯の荷役中断から荷役時間を計算する。荷役可能時間は8:30～ 16:30までとしている。24時間サービス等の政策の検討はこの部分で行なわれる。

⑩荷役終了条件

荷役が終了していれば次のSTEPに進み、継続中ならば⑩に戻る。

⑪離岸

荷役の後始末に要する時間は一律30分とし、離岸に要する時間は表-6に示す値を使用する。

表-6 船型と離岸時間

DWT	～1000 t	1000～6000 t	6000～10000 t
接岸時間	直行	30分	60分

5. モデルの適用

(1) シミュレーションケースの設定

本研究では、4.で述べたモデルに関しサンプルケースを実施した。対象は仙台新港でありデータとしては昭和59年の海上出入貨物集計表及び、入港船舶集計表をもとにした。シミュレーション期間は1年間である。年間取り扱い品目及び貨物量は表-7に、船型データは表-8に与えられている。荷姿別年間取り扱い貨物量は表-9に与えられた品目と荷姿の対応表により計算している。気象・海象条件による荷役不可能日は、表-10に示す値を使用して確率的に定めた。

表-7 年間取り扱い品目

品目	トン数	品目	トン数
水産品	9,912	化学薬品	8,136
その他非金属鉱物	1,600	化学肥料	2,891
鉄鋼	82,024	染料塗料合成樹脂	2,087
金属製品	2,441	紙・パルプ	86,445
その他機械	59,171	金属くず	9,803
ガラス類	9,913	輸送用容器	55,355
重油	2,719	その他	1,619
石油製品	248	合計	338,482

表-8 船型の出現確率

船型 (DWT)	～1000	～3000	～6000	～10000	10000～
出現確率	35%	16%	4%	27%	18%

(2) 適用例

a). パース数を3パースと4パースで比較し、その他は同一条件とした場合の結果を図3-aに示す。(2パースのケースは待ち時間が発散した。)この

表-9 品目と荷姿の関係 (出現確率%)

	木箱	紙箱	バール	袋	裏	パレット	コンテナ	ドラム	桶	台	ロール
水産品			100								
その他非金属鉱物		10		90							
鉄鋼	4				79				18		
金属製品	46	8			15	8		15			8
その他機械	52	14				19	14				
ガラス類	100										
重油								100			
石油製品							100				
化学薬品	20					20	20	40			
化学肥料			100								
染料塗料合成樹脂		12		13		16	5	54			
紙・パルプ			42			43					15
金属くず										100	
輸送用容器								100			
その他							100				

表-10 荷役可能条件

確率 (%)	静穏	1日荒天	2日荒天	3日荒天
	89	4	4	3

図の横軸は船舶のバース待ち時間、縦軸は累積頻度分布である。6時間以内の待ち時間で接岸できた船舶は3パースの場合は70%、4パースの場合は80%であった。この結果より、パース数の増加による待ち時間の減少が定量的に把握できる。

b). パース数を3パースとし、荷姿を現在のままの場合と、コンテナ化が可能な品目を全てコンテナ化した場合のバース待ち時間の比較を図3-bに示す。6時間以内の待ち時間で接岸できた船舶は現在のままの荷姿では70%、コンテナ化した場合には80%であった。ただしこのケースはコンテナを一般雑貨頭で扱ったとした場合である。

c). 現在のままの貨物量でパース数が3パースの場合と、貨物量を2/3としてパース数を2パースとした場合、貨物量を1/3としてパース数を1パースとした場合の待ち時間を図3-cに示す。この結果より代替パース数が減少するにつれて待ち時間が増加することがわかる。すなわち、代替パースの少ない地方の中小港湾の、1パース当たりの標準取り扱い能力は、大港湾と比較して低いといえる。

d). パース数を3パースとし、気象・海象条件による荷役可能を表-10に示した現在のままの89%の場合と、静穏度を100%とした場合のバース待ち時間の比較を図3-dに示す。パース数を無限にしても、静穏度が100%でない場合にはバース待ち時間が生じ、この図に示したバース待ち時間の差は固定時間とも考えられる。

6. おわりに

本モデルの構築により港湾内の船舶の活動を取りまく環境が変化した場合のバース待ち時間やその他の状況の変化を的確に把握することが可能となった。ここで本モデルで政策的に変更することのできる変数を一覧表（表-11）に示す。

また、本研究により得られた結論

を以下に示す。 a). 5. c). の結果からもわかるように他の条件は全て同じであっても代替バース数の違いによりバース待ち時間は全く異なっている。従って、岸壁1m当たり何トンといった画一的な基準ではバースの標準取り扱い能力を語ることはできない。

b). 5. b). のように船舶の荷役時間が変化する場合や、5. d). のような静穏度の変化や24時間サービスを実施した場合などのようにけい船時間が変化した場合には、従来のシミュレーションモデルではサービス分布を使用しているためにその変化に対処できない。例えばサービス分布には、接岸した船舶が気象・海象条件により荷役待ちをしていた時間が含まれているため、静穏度を変数として取り入れる

表-11 政策変数一覧表

政策変数	変更例
品目・貨物量	品目の変化や貨物量の増加
船型データ	船舶の大型化
バース数	計画バース数の変更
荷姿	荷姿のコンテナ化
夜間規制	24時間サービス
荷役可能条件	静穏度の改善

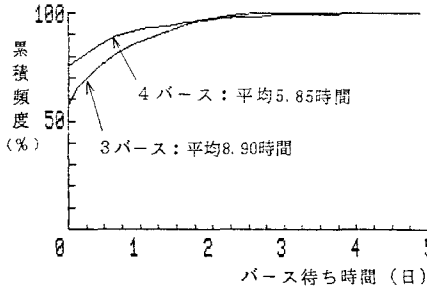


図3-a バース待ち時間

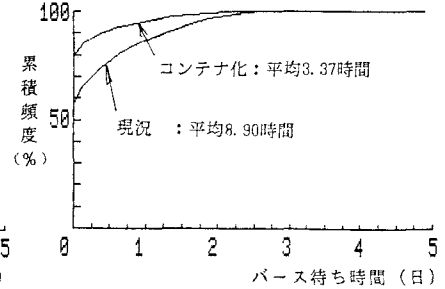


図3-b バース待ち時間

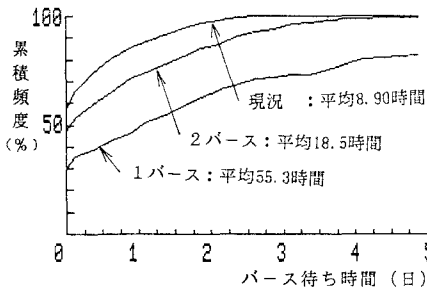


図3-c バース待ち時間

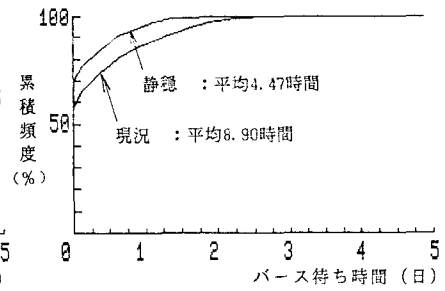


図3-d バース待ち時間

とダブル・カウントをおかすことになる。かといって他の静穏度の似た港湾のサービス分布を使用することは非常に困難である。

c). 政策的に変数を変化させることによる、バース稼働率やバース待ち時間等、港湾活動の変化を知ることが可能となった。例えば、5. b). のように貨物の荷姿をコンテナ化等ユニットロード化することによる荷役時間の短縮を計量的に把握することができる。

本研究ではかなり仮想的なケースを適用したが今後はより実際に近いケーススタディーを積み重ねモデルの改良並びに政策変数による効果の検討を行なってゆきたい。最後に貴重なデータを提供して下さいった運輸省第5港湾建設局に感謝の意を表する。

参考文献）.

- 1) 長尾義三：港湾工学、共立出版
- 2) 工藤和男：ふ頭のシステム設計に関する基礎的研究、東京大学学位論文、1979
- 3) 関根智明、高橋馨郎、若山邦紘：シミュレーション、日科技連