

外貿定期船雑貨ふ頭的能力評価について†

長 尾 義 三*

要 約

わが国の流通機構の立遅れている部門の一つに外貿定期船雑貨ふ頭の問題が、指摘されている。本文では、生産地から消費地に流れる財の流動を構成するチェーンの一つのリンクとして、この問題を取りあげた。こうすることによって港湾において消費される費用を分析することができ、それを最小にすることを考えることによって、適正なふ頭能力を求めることができた。さらにこれを現状と比較するとき、幾多の問題を指摘することができ、港湾改善の方向を示唆し得ることが明らかとなった。

1. 緒 言

港湾改善の問題は、国の社会資本形成の問題として取扱われるほかに、海運企業の面から、荷主の観点から、また港湾を場とする港湾運送、倉庫業の立場など、いろいろな立場から論ずることができる。基本的な考え方の一つに、港湾を輸送経済におけるターミナルファシリティ (terminal facilities), すなわち、生産地から消費地に流れる財の流動チェーン (chain) を構成する一つのリンク (link) として考察することができる。この場合、もちろん、流動活動チェーン全体として、包装・加工・保管・荷役・輸送を考えるとともに、輸送機関、輸送施設等流動チェーンを構成するリンクの相互の関係を定量的に考察しなければならない。工業原材料など、輸送費の生産原価に占める割合の大きい、いわゆるバラ荷 (bulk cargo) については、専用船による専門ふ頭の取扱いとして、この考え方が採用され、流通革新の一翼を担っている。外貿定期船雑貨についても同様な改善の方向が重要視されながら、諸種の事情から遅れているといわざるをえない。それは、この種のふ頭に対する概念規定が、公共道 (public highway) と同じく、輸送経済においては、外部経済 (external economics) としてみなされ、能力評価に対する定量的な考察がなされていなかったことにもその一因を求めることができる。

よって本文では、現在、問題となっているわが国の主要港における外貿定期船雑貨ふ頭に問題の焦点をおき、その能力評価について、定量的な基準を与えようとした。

2. ふ頭能力の定義

図 2・1 は、緒言で述べた輸送経済における港湾の位置づけである。A, B は、財の生産地、消

† 1966年9月2日受理

* 京都大学

図2・1 輸送経済における港湾の位置

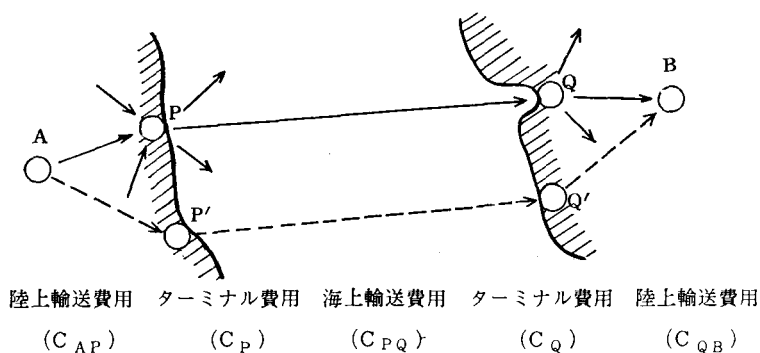
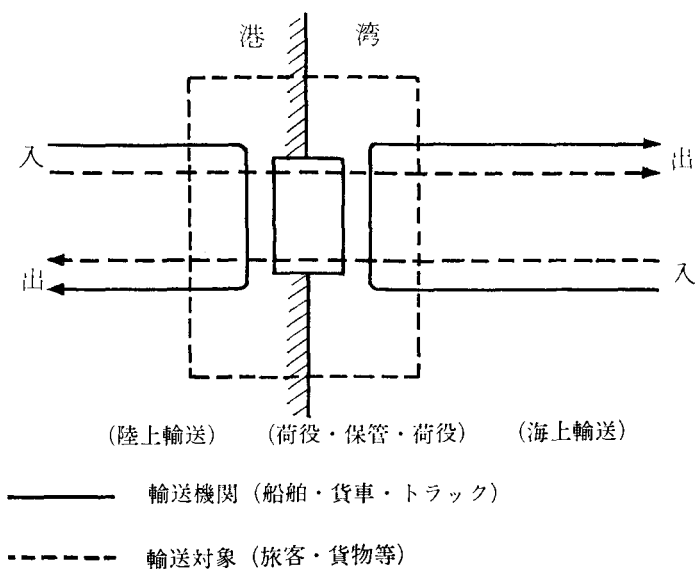


図2・2 港湾における輸送対象・輸送機関の流動

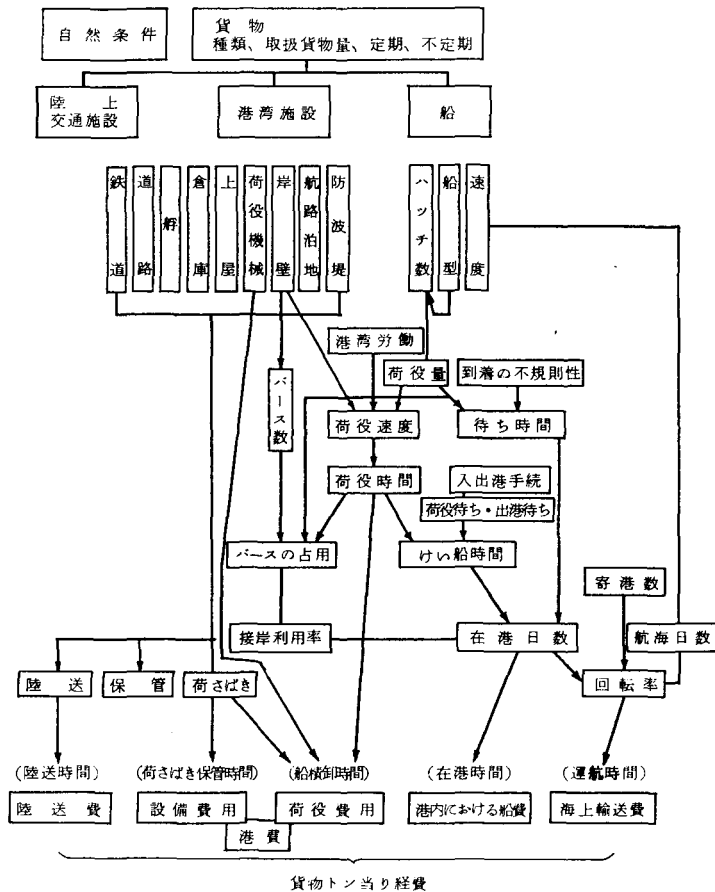


費地, P , Q は, ターミナルとしての港湾を示す. P , Q における輸送機関と輸送対象の挙動を詳細に観察すれば, 図2・2のように, さらに細いリンクで構成されているのを見る.

リンクとリンクの結束点は, いわゆるノード (node) である. 一つのリンクの流れと, 接続する他のリンクとの流れは, 必ずしも同期していない. 従って, ノードにおいて, 輸送対象の流動に, 停滞 (induced delay) が生じる. またリンク上でも, いろいろな原因で, 遅滞 (internal delay) が生じる. 図2・2で点線で示した輸送対象の流動は, こうしたことによって, 単位時間における流動量に変化を生じ, その取扱い費用に影響を与えるばかりでなく, 海陸輸送機関, 荷役機械, 港湾施設に, 遊休や, 過働現象を与える. こうしたことは, 流通の迅速性, そして経済性に大きい影響を与える.

一般に, 輸送経済の目的とするところは, 安全確実, 低廉, 迅速性の確保にあるとされる. こ

図2・3 港湾において消費される輸送対象，輸送機関の費用と時間



- (注) 1) 実際の運賃、港湾運送事業費、使用料等の区分体系とは異なる。
 2) 港湾における「貨物単位当り費用」とは貨物が上屋の戸前から港の口を出るまでの一切の費用
 (ただし、港湾機能に無関係の関税等は除く。)

のうち、安全確実性は、輸送への信頼度、保険制度から、また迅速性も、品質の保持、在庫投資の利子の減少、輸送機関、輸送施設の遊休損失の防止等から要請されるもので、いずれも費用に換算評価することができる。従って、残された経済性、とくに不経済の要因となる前述の停滞、遅滞現象の輸送経済への影響度を、定量的にとらえる必要がある。図2・3は、港湾において消費される時間と費用の構成を示したものである。

いま、財の流動に着目したとき、ある期間に通過する財の一単位に要する経費が極小値を得るような、財を通過し得るふ頭の容量をもって、適正なふ頭能力と定義することができる。

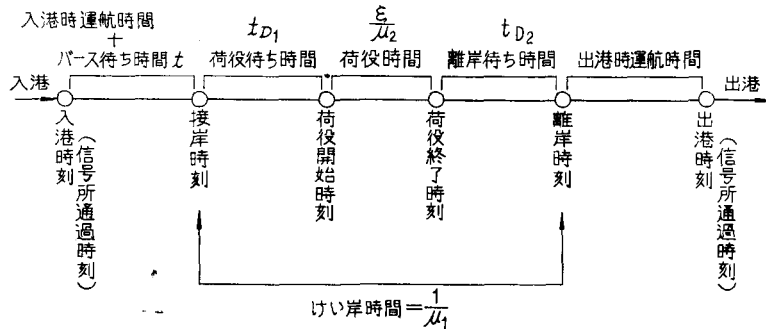
3. 港湾内船舶の動態分析

2で述べたような停滞、遅滞現象を解析するために、港湾における船舶の動態を記述する。

3.1 船舶の在港時間の定義

従来の研究においては、在港時間等の船舶の港内における動態の定義が明らかでなかったもので、図3.1にもとづいてそれらを明確にする。

図3.1 船舶の入港より出港までの在港時間の内訳と定義



船舶は、入港すると接岸するバースが他の船舶によって占有されているため、あるいは夜間入港のためある時間バース待ちしなければならない。この時間をバース待ち時間と定義する。したがって、バース待ち時間は、その船舶の入港時刻より接岸時刻までの時間から入港してから必要な運航時間を差し引いた時間となる。入港船舶はバース待ちの後、接岸して荷役を行なう。荷役時間は、荷役の行なわれている荷役実働時間と荷役休止時間とに細分されるが、本文では、両者を合せた見掛けの荷役時間を、単位を日として取扱うこととしている。

ここで、つぎのように各記号を定義する。

- t : 船の平均在港時間 (日/隻)
- $1/\mu_1$: 船の平均けい岸時間 (日/隻)
- t_b : 平均バース待ち時間 (日/隻)
- ξ : 1 船の平均積卸し量 (トン/隻)
- η_2 : 1 船における平均荷役速度 (トン/日)
- t_{D1} : 荷役待ち時間 (日/隻)
- t_{D2} : 離岸待ち時間 (日/隻)

図3.1 より明らかに

$$(3.1) \quad t = 1/\mu_1 + t_b$$

$$(3.2) \quad 1/\mu_1 = \xi/\mu_2 + t_D$$

が成立する。ただし

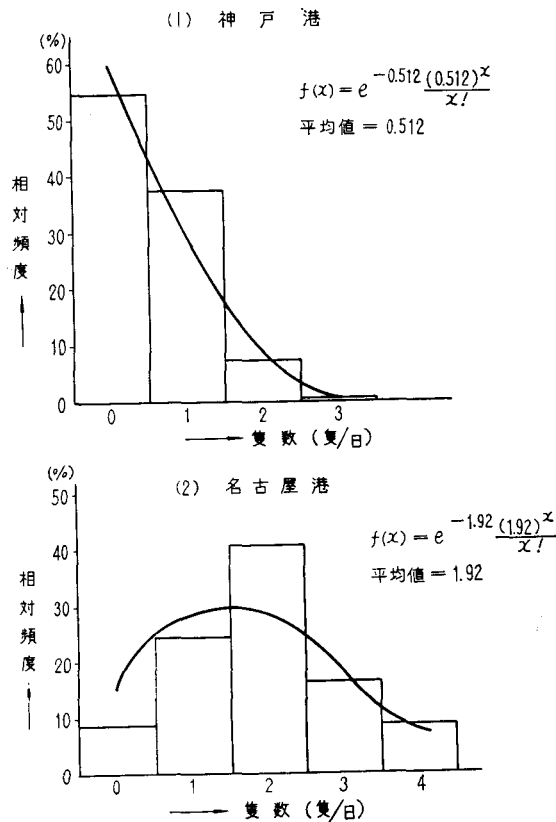
$$(3.3) \quad t_D = t_{D1} + t_{D2}$$

対象港の特徴を、表3.1に一括して表示する。入港船の船型に関しては、大阪港が小型、大型船が混合しており、他の3港は大型船の占める割合が高い。1船当り荷役量は、最も多い神戸港

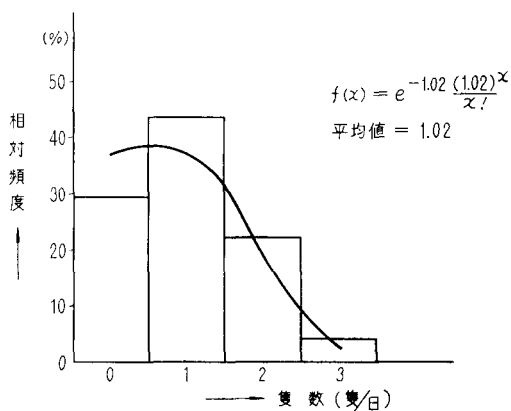
表3・1 各港の特徴

港 名	船 型 (GT)			入港船1隻当り荷役量(t)	備 考
	平均値	最大値	分 布 の 割 合		
神 戸	7.918	12.693	(a) 8,000以上 57.2%	(a) 平均 2.224	第8突堤CD バース
			(b) 10,000以上 16.1%	(b) 2,000以下 69%	
			(c) 9,000~10,000 31.6%	(c) 2,000~8,000 21%	
清 水	7.930	12.799	(a) 8,000以上 54.1%	(a) 平均 566	3, 4/5および バース
			(b) 10,000以上 15.5%	(b) 500以下 64%	
			(c) 9,000~10,000 28.1%	(c) 1,000以下 90%	
名古屋	7.401	13.222	(a) 8,000以上 34.6%	(a) 平均 1,120	25~30バース
			(b) 9,000~10,000 10.2%	(b) 平均値のまわりに分布している	
大 阪	4.536	9.983	(d) 8,000以下 98.4%	(a) 平均 4,536	6, 8 およびバース
			(e) 小型~大型までに分散している。	(b) 500以下 48%	
				(c) 1,000以下 75%	

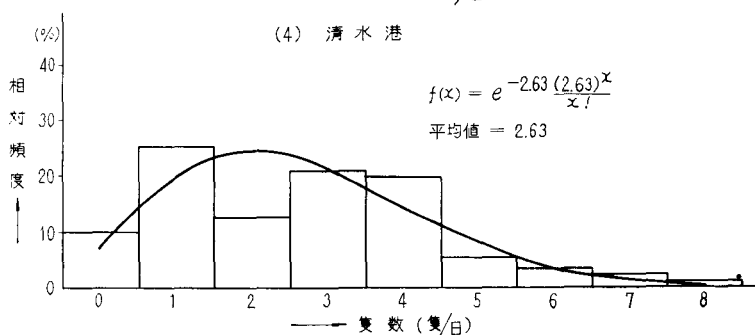
図-3・2 到着隻数分布



(3) 大阪港



(4) 清水港



でも、2,000～3,000トンと、1港における荷役量は一般に少ない。特に清水港は、船型が神戸、名古屋と同じ程度であるのに、荷役量が極度に少ない。このことは、清水港が神戸港、横浜港に入港した後、入港する寄港々的性格を強く有することを示し、到着、サービス時間の分布にもその影響が表われている。名古屋、大阪港も寄港々的性格を少し有しているので同様のことがいえる。

3.2 入港船舶の到着分布

いま、わが国の主要外貿港について、入港船舶の到着分布のグラフを作成すると、図3.2のような分布を得る。船舶の到着分布には、その港の位置、性格を反映して少し異なっているが、外貿港への到着は本質的にはランダムであると考えられ、到着分布はポアソン分布に従うと考えてさしつかえないといえる。

3.3 船舶けい岸時間分布

式(3.2)で示されるように、船舶のけい岸時間は、荷役待ち時間、荷役時間、離岸待ち時間よりなっている。荷役待ち時間は、雨天、港湾労務者待ち、貨物の到着の遅れなどに起因し、離岸待ち時間が生ずる理由としては、航行管制上の問題、船員待ち、出航手続の遅れなどがあげられる。これらの要因は、管理運営上の問題として解決される要因と、そうでない要因に分けられる。一方、荷役時間は、その港の荷役能力すなわち、荷役速度に関係する本質的な要素である。

図-3.3 けい岸時間分布

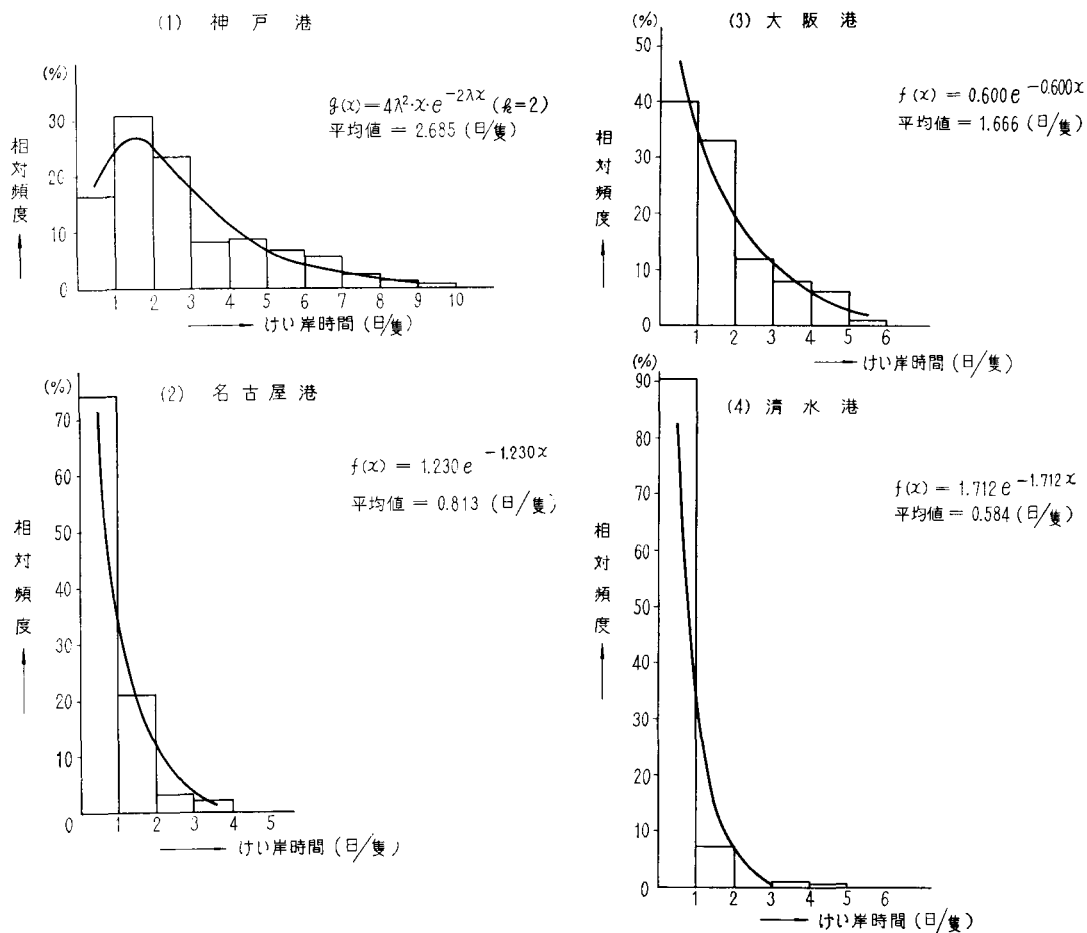


表 3.2 各港の到着、サービス時間分布

港 名	到 着 分 布		サービス時間分布		備 考
	平均値 λ (隻/日)	分 布 型	平均値 $1/\mu_1$ (日/隻)	分 布 型	
神 戸	0.512	ポアソン分布	2.685	$k=2$ の アーラン分布	第8突堤C. D. バース
清 水	2.63	ポアソン分布	0.584	指 数 分 布	3, 4/5および6 バース
名 古 屋	1.92	ポアソン分布	0.813	指 数 分 布	25~30バース
大 阪	1.02	ポアソン分布	1.666	指 数 分 布	6, 5および10バース

しかし、ここでは、マクロ的にけい岸時間全体の分布をとらえて分析する。わが国の主要港における、式(3.2)で示されたけい岸時間は、図3.3のような分布をなす。大多数のけい岸時間は、指数分布に従い、神戸港のみが、低次のアーラン分布に従うことがわかる。

以上の到着、サービス時間の分布を一括して表示したものが表3.2である。

3.4 船舶の停滞（待ち現象）

入港船の到着と、けい岸時間分布の性質が分れば、船舶の港湾における動態は、数学的にマルコフ過程の理論を用いて、いろいろ解析することができる¹⁸⁾。

よく解明されているのは、到着がポアソン分布に、けい岸時間が指数分布に従う場合で、待ち合せ理論の記号では $M/M/S$ と表わされるモデルである。この場合の解は、古くから研究されており、わが国でも1958年、神戸港摩耶ふ頭の計画の場合でも取扱われたほか¹⁴⁾¹⁶⁾、応用された事例多く¹⁹⁾、また G. Schulze が東独の港でも応用している²⁰⁾。

一方、図 3.3 の(1)神戸港の場合のように、船舶の到着もしくは、けい岸時間の分布において、一般に不規則性の適合度の検定に合格せずある規則性が認められる場合が生ずる。例えば、P.C. Omtvedt が 1961 年報じたサントス Santos 港、コロombo Colombo 港、オスロ Oslo 港では到着は指数分布であったが、在留日数はアーラン分布であった⁵⁾。J.P. Chapon の 1960 年から 1961 年にかけてのルアン Rouen 港での観測では、到着は指数分布を示すパースのほかに、2 次～4 次までのアーラン分布を示すものがあった¹⁾。また、けい岸時間の分布は 3 次～6 次までのアーラン分布を示すことがわかった。このように、港湾においては到着分布とサービス時間分布との組合せは、その港の特性によっていろいろな場合が生ずるわけであるが、平均待ち時間を求める方法は、単数窓口に対しては従来の待ち合せ理論が直ちに適用でき、複数窓口に対しても一部を除いて解明されているが¹⁸⁾、利用可能な数表的表示がなされていないものが多い。

さらに月末集中、夜間荷役中止、週末遊休制の実施の傾向は、港湾機能が連続的に作動することを妨げる。このような定常状態に達していない現象を解析する場合には、一般にシミュレーションが用いられる。M. Ventura はエチエンヌ港で、この種の問題を電子計算機によって解析したが¹⁰⁾、計画という立場に立てば、定常状態にたったものとして理論解を適用して船の挙動を調べることの方が、計画、管理および運営の方向づけを得るのに容易な場合が多い。わが国の外貿定期船雑貨ふ頭の場合、神戸港の例のように、到着はポアソン分布に従い、けい岸時間は、低次のアーラン分布に従うとみなす必要のあるものもある。これに適用する待ち合せモデルは $M/E_k/S$ である。このモデルは、Pollaczek によって求められた $M/G/S$ の特別の場合として解析できるが⁹⁾、ここでは、パース数の 2 倍以上に船舶の待ち行列になることは、現実としては起らないという港湾の実態より提供された情報を用いて待ち行列に最大行列長 $N_{\max}$ という制限を加え、 k 次のアーラン分布 E_k に従う窓口を、おのおのが指数サービスである k 個の直列な仮想的相で構成されていると考える既存の手法²⁰⁾を用いて、その状態方程式を記述し、数値計算することによって解明した。この場合パース数を S 、待ち行列を N とし、(i) $S=3$, $N_{\max}=4$, (ii) $S=5$, $N_{\max}=6$ の 2 とおりの場合について行なった。ただし、 $S=3$ のときには $N=4$, $S=5$ のときには、 $N=6$ であふれが起こるとした。そしてこの計算は、FACOM-222 の電子計算機で行なった。

4. 輸送に要する費用

1. 緒言で述べたように、ふ頭の適正能力を「単位期間において港湾の単位施設あたりの通過貨物単位当りの総費用が最小になるような取扱い貨物量」でもって定義した。なぜなら、図 2・1 に示した生産地 A から消費地 B までの 2 点間の輸送費について考えると、 $A \cdot B$ 間の総輸送費 C_T は、つぎのように表わされる。

$$(4.1) \quad C_T = C_{AP} + C_P + C_{PQ} + C_Q + C_{QB}$$

いま、 C_m をルートの輸送費、 C_n をターミナルすなわち港湾における費用とすると、(4.1) 式は、つぎのように表わすことができる。

$$(4.2) \quad C_T = C_m + C_n$$

(4.2) 式の C_T を最小にするためには、それぞれルートの輸送費 C_m およびターミナルすなわち港湾における費用 C_n の最小化をはかればよい。 C_m の最小化を問題にする場合には、さきに 3. 船舶運行の実体分析のところで詳述した諸分析をさらに発展させることにより、さらに港湾貨物の陸送費、保管費、横持ち二次輸送費に関する資料を蒐集し解析することにより、 C_m の最小化をはかるための数学モデルを策定しなければならない。しかしモデル化のための必要資料が得られなかったので今回は C_m 最小化の問題解析は断念せざるを得なかったが、コンテナ一輸送などを考えるとき、当然考慮しなければならない問題である。

つぎに C_n の最小化問題について考察していくこととする。さきに港湾における経費を最小にする施設の能力をもって適正能力と定義した。このような定義にしたがえば、 C_n の最小化をはかるための数学モデルは、港湾の適正能力を求めるための数学モデルとして理解することができる。

いま C_n^* を貨物の流動、船舶の動態により変化する変動費（船費、施設の償却費等）、 C_n^{**} を貨物の流動、船舶の動態により変化しない固定費（検数料等）とすると C_n は、

$$(4.3) \quad C_n = C_n^* + C_n^{**}$$

と表わされるので、 C_n を最小にするためには、 C_n^* を最小にすればよいことがわかる。

5. 港湾能力算定のためのモデル

(i) 単数バースの場合

前節のような考え方にに基づき、港湾能力算定のためのモデルを作成する。

貨物トンあたりの経費に影響を与える要素としては、図 2・3 に示したように輸送体系である貨物の流動費用と、輸送機関である船舶等の経費および、港湾施設等の経費が考えられる。これらは、船舶の積荷量、船舶の待ち時間、貨物の待ち時間等に影響される。

そこで以下のように記号を定義する。

- 1) λ_1 : 1 日あたりのふ頭への平均到着隻数〔隻/日〕

- 2) μ_1 : 1日あたりのふ頭の平均けい岸隻数〔隻/日〕
 3) λ_2 : 1日あたり船舶への平均到着貨物量〔トン/日〕
 4) μ_2 : 1船舶における平均荷役速度〔トン/日〕
 5) t_b : 船舶1隻あたりの平均待ち時間〔日/隻〕
 6) B_1 : 入港船の1日あたりの費用〔円/日〕
 7) A_1 : 1バースあたりの建設費, 補修費その他1日あたりの経費〔円/日〕
 8) A_2 : 荷役機械関係の1日あたりの経費 A_2' 〔円/日〕

+ 荷役作業者に支払われる1日あたりの費用 A_2'' 〔円/日〕

- (1) C_1 : 通過貨物トンあたりの船舶関係の費用 C_1 は⁴⁾

$$(5.1) \quad C_1 = B_1(\lambda_1 t_b + \rho_1) / \lambda_2$$

となる. ここに $\rho_1 = \lambda_1 / \mu_1$ (< 1) である.

- (2) C_2 : つぎに通過貨物1トンあたりのけい岸施設関係の費用は²⁾³⁾

$$(5.2) \quad C_2 = A_1 / \lambda_2$$

と表わすことができる.

- (3) C_3 : 同様に荷役関係の費用 C_3 は³⁾¹³⁾,

$$(5.3) \quad C_3 = A_2' / \lambda_2 + A_2'' / \mu_2$$

となる.

また船舶1隻あたりの平均積卸し量を ξ とすると,

$$(5.4) \quad \xi = \lambda_2 / \lambda_1 \text{〔トン/隻〕}$$

で表わされ, 図3.1における荷役時間は ξ / μ_2 〔日/隻〕で表わされる.

したがって, 船舶1隻あたりのけい岸時間 $1 / \mu_1$ 〔日/隻〕は,

$$(5.5) \quad 1 / \mu_1 = \xi / \mu_2 + t_{D1} + t_{D2} \text{ となる.}$$

ここにおいて,

t_{D1} : 船舶1隻あたりの荷役待ち時間〔日/隻〕

t_{D2} : 船舶1隻あたりの離岸待ち時間〔日/隻〕

である.

$$(5.6) \quad t_D = t_{D1} + t_{D2}$$

とすると, (5.5) 式は

$$(5.7) \quad \begin{aligned} 1 / \mu_1 &= \xi / \mu_2 + t_D \\ &= \lambda_2 / \lambda_1 \times 1 / \mu_2 + t_D \\ &= \rho_2 / \lambda_1 + t_D \end{aligned}$$

となる.

ここで

$$(5.8) \quad \rho_2 = \lambda_2 / \mu_2 \text{ (< 1) である.}$$

- (4) C_4 : また貨物の年平均原価を R [円/トン], 年利率を r [%] とすると, 貨物の金利 C_4 は

$$(5.9) \quad C_4 = (R \cdot r / 365)(1/\mu_1) \text{ [円/トン]}$$

- (5) C_5 : 港湾諸掛の中で, 貨物の荷役トン数により変化する費用を η [円/隻] とすると, 港湾諸掛関係の費用 C_5 は

$$(5.10) \quad C_5 = \eta / \xi \quad \text{である.}$$

したがって, (4.3) 式における変動費 C_n^* は,

$$(5.11) \quad C_n^* = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 \\ = B_1(\lambda_1 t_b + \rho_1) / \lambda_2 + A_1 / \lambda_2 + A_2' / \lambda_2 \\ + A_2'' / \mu_2 + R \cdot r / 365 \mu_1 + \eta / \xi$$

と表わされることになる.

(ii) 複数バースの場合

この場合のモデルも各文字の定義をつぎのようにすれば (i) のモデルを援用できる.

すなわち, バース数を S とすると,

- 1) λ_1 : 1日あたりの, S バースあるふ頭への平均到着隻数 [隻/日]
- 2) λ_2 : 1日あたりの, S バースあるふ頭にけい岸している船舶への平均到着貨物量 [トン/日]
- 3) A_1 : S バースあるふ頭の建設費, 補修費, その他1日あたりの経費 [円/日]

図 5.1 バース数 S の変化による C_n^* と年間能力との関係
(ポアソン到着, 指数サービン)
($A_1 = 25$ 万円/日・バース)
($B_1 = 80$ 万円/日・隻)

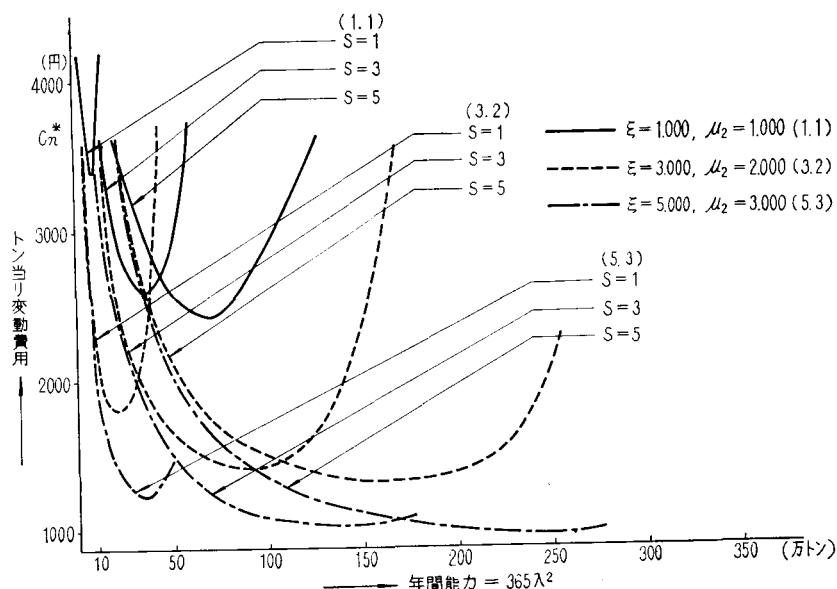


図 5.2 バース数 S の変化による C_n^* と年間能力との関係
 (ポアソン到着, 相 $k=2$ のアーランサービス)
 $(A_1=25\text{万円/日} \cdot \text{バース})$
 $(B_1=80\text{万円/日} \cdot \text{隻})$

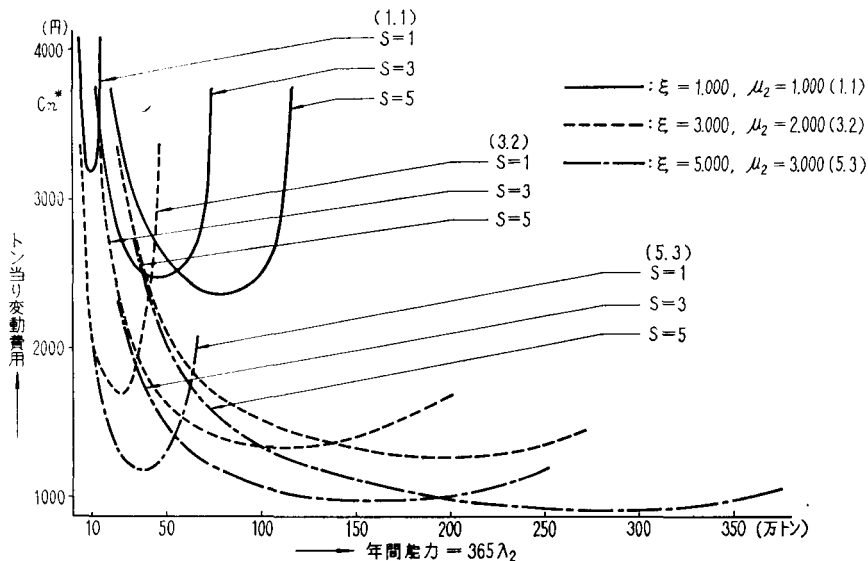


表 5.1 代表的な公共雑貨ふ頭適正能力算定例 (1 バース当り能力)

(単位: 万トン)

ケース バース数	$\xi=500\text{トン/隻}$ $\mu_2=2000\text{トン/日}$ $t_b=0.15$ ポアソン到着 指数サービス	$\xi=1000\text{トン/隻}$ $\mu_2=2000\text{トン/日}$ $t_b=0.15\text{日}$ ポアソン到着 指数サービス	$\xi=1000\text{トン/隻}$ $\mu_2=1000\text{トン/日}$ $t_b=0.5\text{日}$ ポアソン到着 アーランサービス ($k=2$)	$\xi=3000\text{トン/隻}$ $\mu_2=1000\text{トン/日}$ $t_b=0.5\text{日}$ ポアソン到着 アーランサービス ($k=2$)
1	20.0	20.0	10.0	12.5
2	25.0	30.0	15.0	20.0
3	30.0	35.0	15.0	20.0
摘 要	清水港では $\xi=569\text{トン}$ $t_b=0.15\text{日}$ ポアソン到着 指数サービス	名古屋港では $\xi=1,120\text{トン}$ $t_b=0.19\text{日}$ ポアソン到着 指数サービス		神戸港では $\xi=2,224\text{トン}$ $t_b=0.53\text{日}$ ポアソン到着 アーランサービス ($k=2$)

4) A_2 : S バースあるふ頭の荷役機械関係の 1 日あたりの経費 A_2' [円/日] + 荷役作業者に支払われる 1 日あたりの費用 A_2'' [円/日]

ただし $\rho_1=\lambda_1/S\mu_1$ (<1), $\rho_2=\lambda_2/S\mu_2$ (<1) である. このほかの文字の定義は, (i) の場合と同じである. 式 (5.11) における t_b は待合せ理論を用いて計算される. 式 (5.11) の C_n^* を,

表 5・2 総費用（変動費用の内訳）

（単位…円）

区 分	ケ ー ス	$\xi=500$ トン/隻 $\mu_2=2,000$ トン/日 ポアソン到着 指数サービス $A_1=25$ 万円/日 $B_1=80$ 万円/日			$\xi=1,000$ トン/隻 $\mu_2=2,000$ トン/日 ポアソン到着 指数サービス $A_1=25$ 万円/日 $B_1=80$ 万円/日			$\xi=1,000$ トン/隻 $\mu_2=1,000$ トン/日 ポアソン到着 アーサンサービス ($k=2$) $A_1=25$ 万円/日 $B_1=80$ 万円/日			$\xi=3,000$ トン/隻 $\mu_2=1,000$ トン/日 ポアソン到着 アーランサービス ($k=2$) $A_1=25$ 万円/日 $B_1=80$ 万円/日		
		S	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3
	C_1	1,140	777	757	808	622	593	1,828	1,426	1,313	1,310	1,125	1,034
	C_2	456	365	304	456	304	261	913	608	608	730	456	456
	C_3	399	369	349	399	349	335	250	250	250	250	250	250
	C_4	18	18	18	18	18	18	41	41	41	96	96	96
	C_5	75	75	75	75	75	75	150	150	150	150	150	150
	計	2,088	1,604	1,503	1,756	1,368	1,282	3,182	2,475	2,362	2,536	2,077	1,986

$M/M/S$, $M/E_2/S$ の場合について、与えられた条件のもとで算定し、それと年間能力との関係を図示したものが、図 5・1、図 5・2 である。これらの図より、 ξ , μ_2 , S が与えられたとき、すなわち与えられた条件に対して、 C_n^* の最小値を与える年間能力を読み取り、その値をもって与えられた施設の年間適正能力とすることができる。この適正能力は、 ξ , μ_2 , S などの関数であって、これらパラメータの変動によって、かなり大きく変動するが、与えられた施設に対しては、 C_n^* を最小にする点が存在する。すなわち、与えられた施設の年間適正能力を求めることが可能である。図 5・1、図 5・2 よりつぎのことがいえる。

- (1) 1 船当りの荷役量が大きくなること、または荷役速度が増加することは、それぞれ、ふ頭の年間適正能力の増加に役立つ。
- (2) パース数が増加すれば、当然適正ふ頭能力が増加するが、1 パース当りの能力も増加する。このことは、計画目標となる港湾取扱貨物量が増加したとき、流通経路の合理性を乱さない限り航路別、会社別等同種のグループで一体として数パースを混合使用した方が有利となることを示唆するものである。
- (3) ふ頭におけるけい岸時間分布に規則性を与えた方が、能力増加に役立つ。このことは待ち行列理論における、待ち時間の減少という事実から当然の結果であろう。同じように到着に規則性を与えることは、もっと効果のあることである。

表 5・1 は、図 5・1、図 5・2 をもとにして、日本の代表的な公共雑貨ふ頭の適正能力を算定した

表 5.3 C_n^* と年間適正能力と ρ_1 (バースの利用率) の関係(1) 指数サービス ($B_1=80$ 万円, $A_1=25$ 万円, $t_0=0.5$ 日)

荷役量 $\xi(\frac{\text{トン}}{\text{隻}})$	荷役速度 $\mu_2(\frac{\text{トン}}{\text{日}})$	バース数 $S=1$			$S=3$			$S=5$		
		$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}$	$\frac{365\lambda_2}{\mu_1}$ ($\frac{\text{万トン}}{\text{バース年}}$)	C_n^* ($\frac{\text{円}}{\text{トン}}$)	$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{3\mu_1}$	$\frac{365\lambda_2}{3}$ ($\frac{\text{万トン}}{\text{バース年}}$)	C_n^* ($\frac{\text{円}}{\text{トン}}$)	$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{5\mu_1}$	$\frac{365\lambda_2}{5}$ ($\frac{\text{万トン}}{\text{バース年}}$)	C_n^* ($\frac{\text{円}}{\text{トン}}$)
1000	1000	0.37	9	3359	0.51	12.5	2578	0.58	14	2410
3000	2000	0.38	21	1822	0.55	30	1430	0.62	34	1343
5000	3000	0.40	34	1305	0.57	48	1034	0.64	54	994

(2) Phase が 2 のアーランサービス ($B_1=80$ 万円, $A_1=25$ 万円, $t_0=0.5$ 日)

荷役量 $\xi(\frac{\text{トン}}{\text{隻}})$	荷役速度 $\mu_2(\frac{\text{トン}}{\text{日}})$	バース数 $S=1$			$S=3$			$S=5$		
		$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}$	$\frac{365\lambda_2}{\mu_1}$ ($\frac{\text{万トン}}{\text{バース年}}$)	C_n^* ($\frac{\text{円}}{\text{トン}}$)	$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{3\mu_1}$	$\frac{365\lambda_2}{3}$ ($\frac{\text{万トン}}{\text{バース年}}$)	C_n^* ($\frac{\text{円}}{\text{トン}}$)	$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{5\mu_1}$	$\frac{365\lambda_2}{5}$ ($\frac{\text{万トン}}{\text{バース年}}$)	C_n^* ($\frac{\text{円}}{\text{トン}}$)
1000	1000	0.41	10	3182	0.62	15	2475	0.62	15	2362
3000	2000	0.44	24	1730	0.71	39	1364	0.71	39	1310
5000	3000	0.45	38	1241	0.74	62	981	0.74	62	947

ものである。表 5.2 は、総費用を構成する各費用の内訳である。これからつぎのことがいえる。

- (4) C_n^* で船舶関係の費用 C_1 の占める割合が 3~5 割を占める。すなわち、船舶の在港日数の減少が要請される。そのため、けい岸時間およびバース待ち時間の減少が必要である。この場合、荷役速度の上昇が役立つことはいうまでもない。

- (5) C_1 , C_2 の占める割合は非常に小さい。

図 5.3, 図 5.4 は、は、与えられた施設の利用率と C_n^* の関係であり、 C_n^* を最小にする ρ_1 が、与えられた施設に対する最適利用率である。表 5.3 は以上のことを表示したものである。これから、つぎのことがいえる。

- (6) 単一バースの場合、好ましい利用率は、40%前後で、複数バースの場合は、50~70%と上昇する結果を得た。

一方、利用者である船舶側からみれば、停滞現象そのものが関心の対象となろう。停滞現象に関する種々の情報、例えば、待ち時間が t_0 を越える確率 $P(>t_0)$ 等に関しては、 $M/M/S$ の場合は、理論的に求められる。また待ち時間が t_0 を越えない確率 $P(<t_0)$ は、 $\{1-P(>t_0)\}$ として求めることができる。

いま $\xi=1000t$, $\mu_2=1000t$ と $2000t$ の場合の C_n^* の最小となる ρ_1 について上記の待ち現象を計算すると図 5.5 を得る。

図 5.3 C_n^* と ρ_1 (バースの利用率) との関係
 ($A_1=25$ 万円/日・バース $B_1=80$ 万円/日・隻)
 (指数サービスの場合)

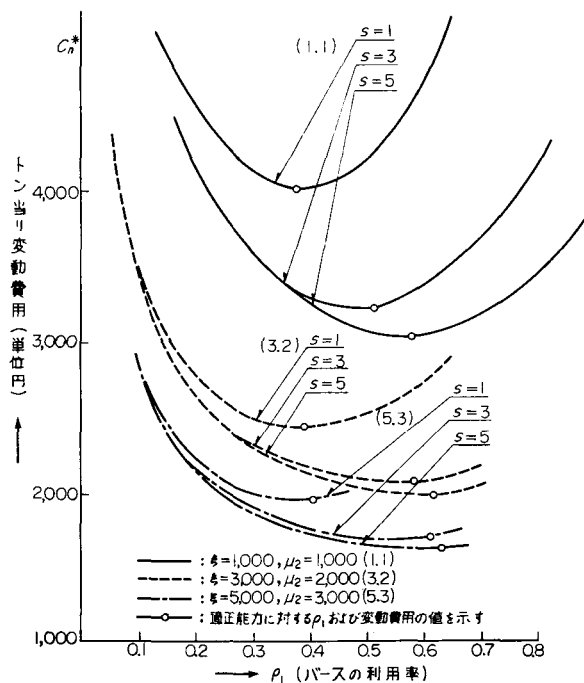


図 5.4 C_n^* と ρ_1 (バースの利用率) との関係
 ($A_1=25$ 万円/日・バース $B_1=80$ 万円/日・隻)
 (Phase 2 のアーランサービスの場合)

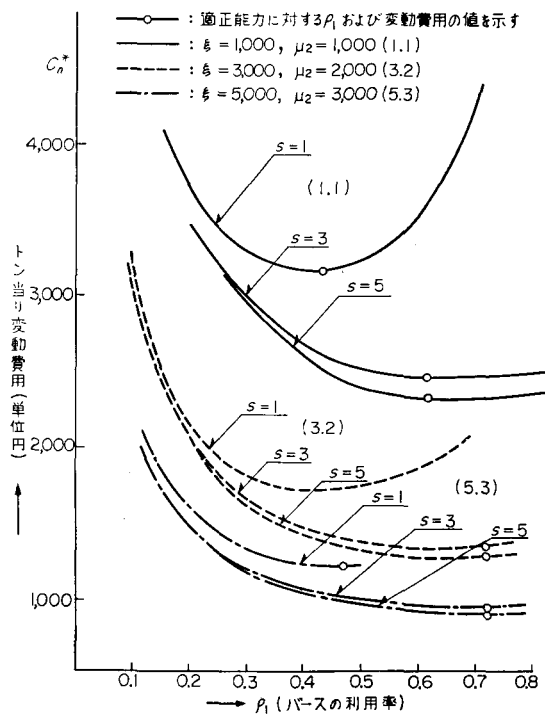


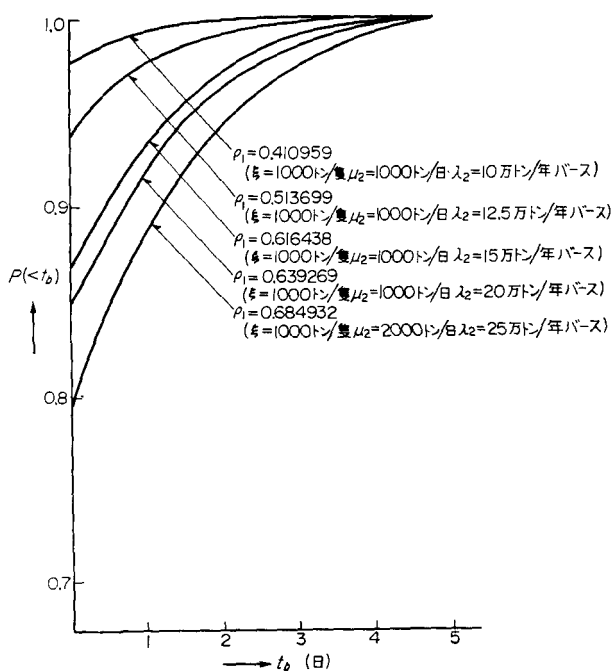
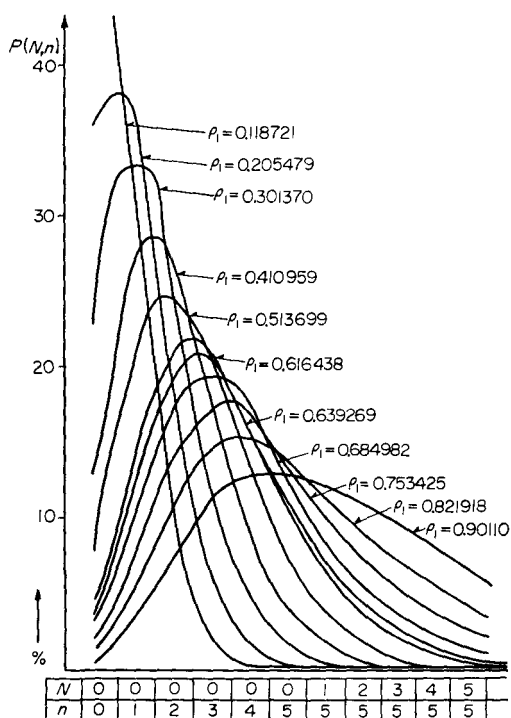
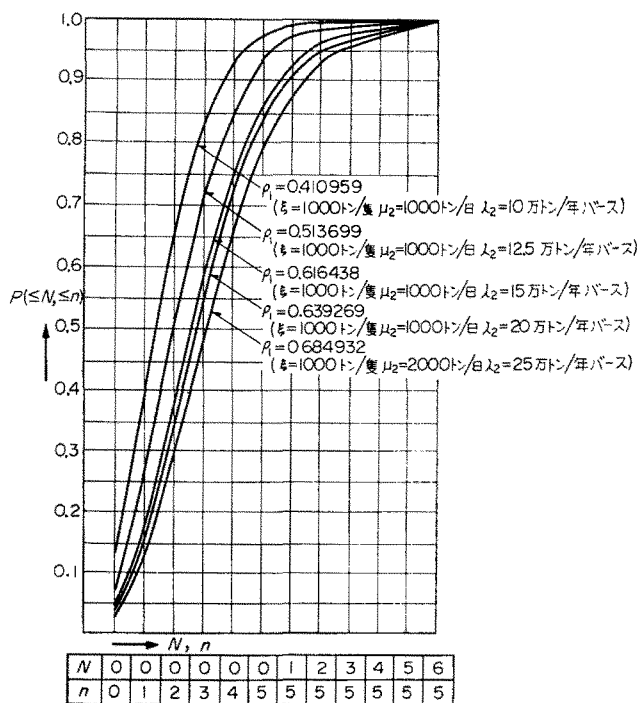
図 5.5 待ち時間が t_b より小さい確率 $P(<t_b)$ 図 5.6 ρ_1 の変化による状態確率の分布形の変化
(アーラン分布 $k=2, S=5, N \leq 6$)

図 5.7 状態確率累積分布
(アーラン分布 $k=2$, $S=5$, $N \leq 6$)



例えば, $S=5$ のときに C_n^* が最小となる ρ_1 は, 0.685 となり, このときの待ち時間が1日を越えない確率, すなわち船舶が1日以内に接岸できる確率は0.88である. どんな場合でも完全にバース待ちを解消することは, 不経済なことである.

図 5.6 は, $M/E_2/S(N)$ の場合について, バース待ち隻数が N で, けい岸中の隻数が n である状態確率 $P(N, n)$ を, ρ_1 をパラメーターとして求めたものである. 図 5.7 は, 累積分布 $P(< n, < N)$ を示したものである. これより, けい岸時間が, $k=2$ のアーラン分布に従うときの, $\rho_1=0.685$ の状態では, 入港船舶の88%は, バース待ちを生じないという結果を得る. このように, これらの図から, 船舶の待ちに関する諸情報が得られる.

6. 結 語

外貿定期船雑貨ふ頭の能力といっても, 一概に規定されるものではなく, 船の運航の仕方によって変動するものであることを知った. わが国の主要港湾では, 年間1バース当り10~20万トン取扱うものと想定されていたが, 表 5.1 はその妥当なることを実証している. 現在生じている船混み (congestion) の不経済の理由を定量的に説明することもできる. 船舶の運航の仕方や, 荷役の方法などを改善することによって, 費用をもっと低くすることもできる. 例えば, 集荷力を大きくし, 荷役速度を早め, 積荷量を大きくするコンテナシステム (Container System)

の採用は、図 5・1～5・2 および表 5・2 などから、著しい輸送費用の低減をもたらすであろうことを首肯せしめる。

輸送費の $\frac{1}{3}$ を占めるといわれる梱包荷造費用の節約とともに、今後、この種の輸送改善の大きな課題である。本文はこのようなことに対して、定量的な示唆を与えるものであるといえよう。

また、ふ頭について明確な能力を把握することによって、現在のふ頭施設の利用状態に客観的な評価を加えたり、また新しくふ頭施設計画を行なう場合に、バース数の決定などにそのまま利用することができる。

もっとも本文に用いた資料は、数港湾の特定ふ頭のバースについて取扱ったものであり、また、経済計算に用いた単価も、すべての場合について適用できるものではない。考え方の荒筋を述べたに過ぎないことをお断りしておく。なお、本研究に当って、計算、図表の作成に京都大学交通土木工学教室真鍋重遠、木俣昇、金井万造諸君の協力を得たことをここに謝する。

参 考 文 献

1. Chapon, J.P., "Application de la Theorie des Files D'attente aux problemes économiques des Ports Maritimes." *Amu. Ponts et chaussées* **5** (1962).
2. King, A.L., "Computing the Annual Cost of a Pier Project", *Dock & Harbour Authority Dec.* (1964).
3. Koopman, N. Th., "Cost as a Criterion of Cargo Handling Method," *XIXth P. I. A. N. CQ-1*, (1957).
4. Oi, W.Y., "The Cost of Ocean Shipping," *The Economic Value of the U. S. Merchant Marine*, T.C of N.W. Univ., 1961.
5. Omtvedt, P. C., *Report on the Profitability of Port Investments*, Oslo, 1961.
6. Pollaczek, F., "Über eine Aufgabe der Wahrscheinlichkeitstheorie I, II", *Math. Zeitschrift*, **32** (1930).
7. Schulze, G., "Evaluationary Tendencies in the Movement of General Cargo from the Technological and Economic Angles," *Bulletin of P. I. A. N. C.*, **IV 14** (1964).
8. Schulze, G., "Anwendung der Methoden des 'Operation Research' in der Hafenbetriebstechnik," *Schiffbautechnik* **15, 2** (1965).
9. Steel, D.T. & A.C.C, Page, "Feasibility and Financial Studies of a Port Installation," *Operational Research Quarterly* **12, 3** (1961).
10. Ventula, M., "Étude du poste minéralier de Port-Étienne," *Bulletin S. E. D. E. I. S* **691** (1958).

11. 港湾局計画課，港湾の経済効果に関する報告書 II，1965.
12. 長尾義三，“港湾技術における経済研究”，港湾技術要報，No.20，1958，日本港湾協会
13. 長尾義三，港湾技術の発展に関する方法論的考察，第三港湾建設局資料，1958.
14. 長尾義三，“最近における二，三の港湾計画法について”，海岸工学の最近の進歩，土木学会関西支部，1961.
15. 佐藤 肇，雑貨輸出入ふ頭計画に関する研究，第三港湾建設局資料，1965.
16. 第三港湾建設局，摩耶埠頭計画および設計概要，1958.
17. 長尾義三，“港湾講座第一回～第六回”，港湾，5月号～10月号，(1965).
18. 森村英典，大前義次，待ち行列の理論と実際，日本科学技術連盟，1962.
19. 司馬正次，“新しい漁港計画の立て方”オペレーションズ・リサーチ 6,3 (1961).
20. 本間鶴千代，待ち行列の理論，1966.