

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE

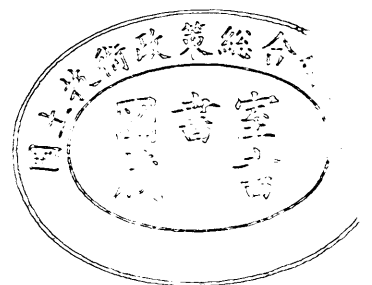
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 12

NO. 3

SEPT. 1973

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第12巻 第3号 (Vol. 12, No. 3), 1973年9月 (Sept. 1973)

目 次 (CONTENTS)

1. 衝撃碎波圧を受ける混成防波堤の挙動に関する考察……………合田良実…………… 3
(Motion of Composite Breakwater on Elastic Foundation under the Action of Impulsive Breaking Wave Pressure……………Yoshimi GODA)
2. 防波堤の設計波圧に関する研究……………合田良実……………31
(A New Method of Wave Pressure Calculation for the Design of Composite Breakwater……………Yoshimi GODA)
3. 前面に遊歩道を持つ海浜護岸について——越波特性からの断面形の検討——
……………服部典節・佐藤昭二……………71
(On the profile of seawalls at the resort beach……………Michiyo HATTORI and Shoji SATO)
4. 大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験
……………金子安雄・堀江毅・村上和男・上野信行・久保正則……………99
(Model Experiment on Tidal Current and Substance Diffusion OSAKA Bay……………Yasuo KANEKO, Takeshi HORIE, Kazuo MURAKAMI, Nobuyuki UENO and Masanori KUBO)
5. 長期間海水作用を受けたコンクリートはりのひびわれと内部鉄筋の腐食について
……………関博・丸山浩…………… 203
(Corrosion of Steel Bars at Crack of Reinforced Concrete Exposed to Sea Environments……………Hiroshi SEKI and Hiroshi MARUYAMA)
6. 雑貨埠頭の上屋・倉庫のシステム設計 (第2報)
……………早藤能伸・工藤和男…………… 227
(System Design of Transitsheds and Warehouses (Part-2)
……………Yoshinobu HAYAFUJI and Kazuo KUDO)
7. 細砂送流時における濃度分布および流速分布について
……………是石昭夫・八木得次・奥出律…………… 245
(On the distribution of solid concentration and flow velocity at time of transporting the fine sand in a horizontal pipe……………Akio KOREISHI, Tokuji YAGI and Tadasu OKUDE)
8. エアリフトの揚水特性について……………岡山義邦・八木得次…………… 261
(On the Air-Lift Characteristics with Gas-Liquid Mixture……………Yoshikuni OKAYAMA and Tokuji YAGI)

6. 雑貨埠頭の上屋・倉庫のシステム設計 (第2報)

早藤能伸*・工藤和男**

要 旨

第1報で雑貨埠頭の上屋倉庫の容量算定の基礎となる貨物の在庫量の基本的な特性を、解析的な手法によって扱ったが、これに引き続き、貨物が本船・バース・上屋を経由して流れる場合のシミュレーションモデルを構成し、本船の到着分布型・バース待ち・荷役時間・上屋共用数、など解析的に扱えなかった側面を考慮した場合の、貨物の上屋・倉庫での在庫量の時系列を求め、その分布から貨物の溢れ危険率に対応した容量の推定をおこなった。

* 設計基準部 システム研究室

** 企画室 企画室長

6. System Design of Transitsheds and Warehouses (Part 2)

Yoshinobu HAYAFUJI*

Kazuo KUDO**

Synopsis

An analytical approach to the storage demand of transitsheds or warehouses was reported in Part-1 (Report of PHRI Vol. 11 No. 4). The analytical model gives clear view on the overall characteristics of the system. But, actual phenomenon is oversimplified in some extent. A simulation model is presented in this paper to cover insufficiency of the analytical model. Flexibility is built in the model on the following points:

- i) Ships, waiting is built in the model.
- ii) Cargohandling speed is set on the model as a parameter, then the effect of ships' service time at berth become measurable.
- iii) The relation of loading and unloading is built in the model. Loading is started when unloading was completed.
- iv) The storage demand is obtained not only its mean and variance but also in time series and frequency distribution.

These improvements make the model more realistic and flexible. In case of transitsheds under standard operating conditions the differences of storage demand between the two models is about 10%.

* Member of System Laboratory, Design Standard Division

** Head of Planning Division

目 次

要 旨	227
まえがき	231
1. 在庫量を決定する要因	232
2. 過去におこなわれたシミュレーションモデルの例	232
3. 上屋の在庫モデル	232
3.1 モデルの設定条件	232
3.2 上屋貨物の在庫量モデル	234
4. 定 式 化	235
5. シミュレーションモデルの入力データと計算項目	235
6. テ ス ト	236
6.1 乱数の検定	236
6.2 解析解との比較	236
7. シミュレーションによる計算結果	237
7.1 荷役能率の影響	237
7.2 平均滞留時間とブロッキング	238
7.3 本船の到着およびサービスの分布型の影響	238
7.4 ロットの影響	239
7.5 バースおよび上屋の共用数との関係	239
8. 在庫量の時系列	239
9. 上屋容量の推定	242
10. む す び	243
あ と が き	244
参 考 文 献	244

まえがき

上屋・倉庫は異なるロットサイズの輸送機関の間に介在し貨物の円滑な流れを確保するための一時保管機能を果たしており、その容量の算定法には、

- i) 貨物の年間回転率より推定する方法
- ii) 確率過程として扱い、解析的に求める方法
- iii) モンテカルロシミュレーションにより計算する方法

などがある。それぞれの特徴を概観すれば、i) は実績をもとにした平均値より推定しているので計算は簡単だがバラツキの要素を全く無視することになってしまう。ii) は平均値だけでなく分散、過渡時間および共通上屋による効率化などを解析的に解けるが、定式化の段階で細

*8) 工藤和男「雑貨埠頭の上屋・倉庫のシステム設計(第1報)」港研報告11巻4号(1972)

部を捨象せざるを得ない。iii) は実際の現象に非常に近い形でコンピューター内部で現象を再現するので、貨物量の時間的動態から、平均値、分散、過渡時間を含む時系列および分布型まで数値解として計算されるが、在庫量の特性を把握するには龐大なケースを計算しなければならない。

第1報では上屋の一般的特性を明らかにするため ii) の解析的方法を用いて分析した。そこでは本船の到着分布、荷役量の分布、および上屋・倉庫への搬出入分布の推定を行ない、これらをもとに在庫量モデルを構成し(図-1 参照)、確率過程論的取り扱いにより定式化を行なって、在庫量の特性を明らかにした*8)。それによると平均と分散は次式で与えられる。

$$E = N \cdot \lambda \cdot A \cdot T \dots\dots\dots(1)$$

$$\sigma^2 = N \cdot \lambda \cdot B \int_0^{\infty} \Phi^2(t) dt \dots\dots\dots(2)$$

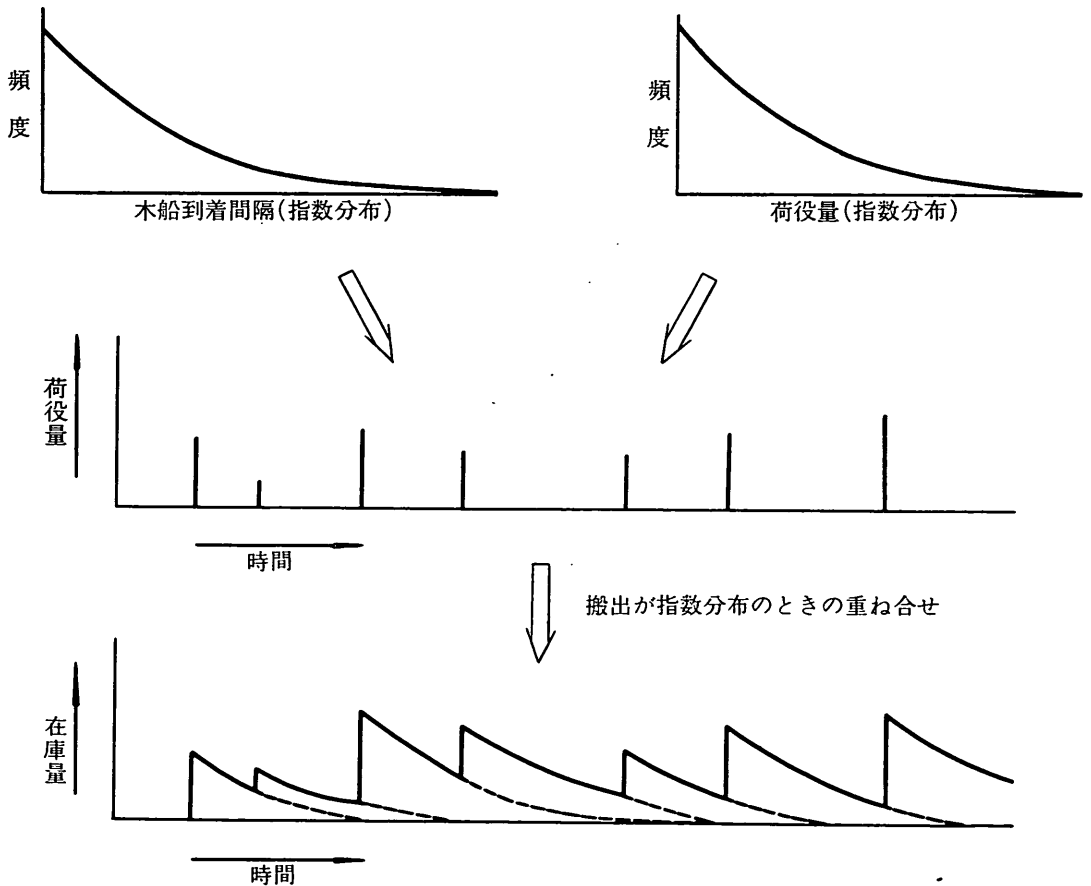


図-1 本船の到着状況と重ね合わせモデル

- ここに E ; 在庫量の平均値 (ton)
 N ; 共用上屋数
 λ ; 本船の平均到着率 (隻/日・パース)
 A ; 平均荷役量 (ton)
 T ; 平均滞留時間 (日)
 σ ; 在庫量の標準偏差 (ton)
 B ; 荷役量の2乗の平均値 (ton²)
 ϕ ; 上屋での滞留分布関数

これによって在庫量を決定する要因と一般的な特性はほぼ解明されたと考えられる。

ところで確率過程論で扱えた貨物の在庫量モデルはかなり粗く、特に荷役時間を無視したための誤差ほどの程度か、貨物の流れを本船→パース→上屋・倉庫の一連のチェーンとした場合の到着分布型・荷役分布型などによってどの程度の差が現われるか、また在庫量の分布型を推定しての溢れ危険率を考慮した推定量はどう変わるか、などを目的としてii)の解析的手法の追試およびそれとの対比をおこないつつ、いくつかのケースについてiii)のモンテカルロシミュレーションによる計算を実施した。

シミュレーションによる計算では一般にモデルの正しさを検証することなど、その取り扱いに細心の注意が必要となる。今回は大枠について解析解による検証が可能だったのでこの点についてはかなりのところまで労力が節約できたものと考えている。

1. 在庫量を決定する要因

第1報では結論として上屋容量を決定する要因について、

- i) 貨物の上屋への到着の仕方
- ii) 本船との間での一回の荷役量
- iii) 貨物の上屋における滞留分布

の3つを掲げておいた。ここでは、貨物の流れをパースまで含むように拡張したので揚貨物についてはi)の貨物の上屋への到着を本船の港への到着に変更した。本船(貨物)の港への到着の仕方の特徴づけるのは、平均到着率とその分布型である。

港に到着した本船は無差別追い込み方式で接岸するものとしパース数に対応した待ち時間を含むサービスを受け、荷役終了後再び出港していくが、この場合の平均荷

役量(ロット)とその分布型、および荷役能率が、貨物の上屋への到着の仕方をあたえる。

滞留分布については、調査された文献も多くはなく、第1報の調査結果である指数分布を採用し、平均滞留時間をパラメータとして変化させる事にした。

以上の外にも、上屋の使用形態によっても在庫量にかなりの変化があるものと考えられる。例えば、複数のパース・上屋の共用は上屋の利用効率の面で有利といわれている^{*4)*8)}。

2. 過去におこなわれたシミュレーションモデルの例

モンテカルロ法を用いたシミュレーションの例は、長尾^{*1)}、佐藤^{*4)}らの論文にみられ、前者のモデルは、積荷分布に対応したパースサービスを受ける本船に関して所与の滞留分布にしたがって上屋に搬入されつつある保管量の、第1船の荷役開始時刻における合計として、在庫量を算出している。積荷分布を平均1,600トンのSlade分布、在港日数を平均2日のポアソン分布、搬入分布を対数正規分布で表わしている。このモデルの特徴は、1パース1上屋について作動していることおよび本船が到着した時点に着目して在庫量を計算していることなどであり、100ケースについての在庫量のヒストグラムを求めている。後者の場合は、本船に関してパース選択の優先を含む複数パースの待ち合せモデルを使用し、シミュレーションとしてはタイムスライス法により求めている。到着分布、接岸時間分布、荷役量分布、については特に明記されていないが、滞留分布は実際の調査結果を用いている。このモデルでは、複数パース共用上屋は考えていないから、パース・上屋を対にして使用した場合の1上屋での在庫量の時系列(分布型も求める事が出来る)を計算していることになる。上屋の共用を考慮していない理由はパース占有率を上げるため、揚荷についてのパース指定はおこなわず、空きパースに対し本船を到着順に割り当てる無差別追い込み方式を採っているため、複数パース共用上屋の効果がないというものである。

3. 上屋の在庫モデル

3.1 モデルの設定条件

今回設定したモデルでは次の条件を仮定している。

- i) 本船の到着は平均到着率は一定という条件で可変である

現実の港にあっては夜間入出港規制や、一日を単位とする到着パターン、あるいは到着の月末集中な

*4) 佐藤肇「雑貨輸出入ふ頭計画論」第三港湾建設局(1965)

*8) まえがき脚注参照

*1) 長尾義三「港湾技術の発展に関する方法論的研究」第三港湾建設局(1959)

どの現象がみられるが、ここではこれらを一定とみなし、平均の値を採用した。

- ii) 本船の接岸に際し優先度をつけない
 特定の埠頭あるいは特定(複数)のバースが航路に関する優先度が与えられていて、これに応じてバース前面にある上屋間に偏りが見られるが*9), これらの優先的使用は無視することにした。
- iii) バースの使用形式は1バースにつき1船だけ接岸出来る単位バースとする
 バース数の絶対的不足のため、その利用率の向上

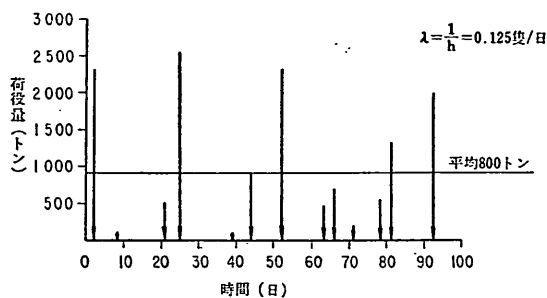


図-2 本船の到着状況と1船ごとの荷役量

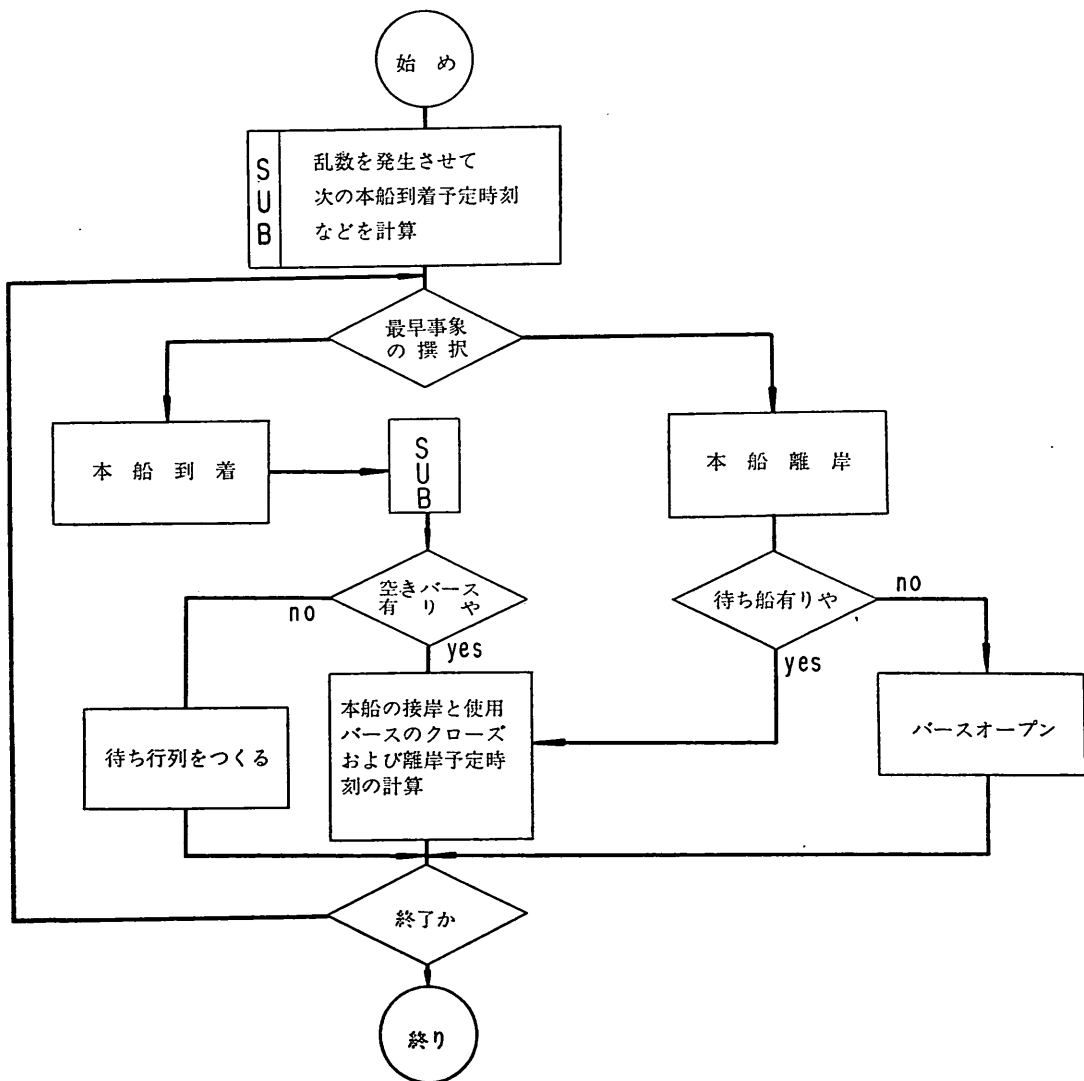


図-3 本船のバース待ち合わせ流れ図

を計って、船型の小さいものは1バースに2隻以上同時に接岸するいわゆる連続バースの使用形式をとっているものが多いが、ここでは単純化して単位バースとして処理した。

- iv) 荷役能率は一定とし、揚積の同時荷役は行なわない

本船の大きさに応じてハッチ数も異り、また揚積の量に応じて複数ハッチの同時荷役の割り合いが変化し、これによって荷役速度は或る分布を持つものになると考えられるが、ここでは全体として単位時間当たり何トンかの一定の荷役能率をあたえることにした。

- v) 貨物の上屋での滞留時間は指数分布で近似する

本船から陸揚げされた貨物は一時上屋へ保管される貨物は、この上屋からは時間とともに一定の割り合いで搬出されるが、このとき上屋に残存する貨物量は指数関数的に減少する。これはまた、貨物の上屋に滞っている時間の確率と見なす事が出来、上の場合指数分布となる。

積貨物についても同様に考え、指数分布の近似が出来るものとする。

3.2 上屋貨物の在庫量モデル

本船がある時間間隔の到着分布にしたがって到着するとし、そのときの各船の荷役量はこれと独立の分布をもつものとする。到着間隔がランダムで、荷役量が指数分布の場合の様子を図-2に示す。

到着した本船は、バース待ちをしている本船があれば、この待ちの後ろについて、待ちの列に加わる。待っている本船がない場合、空きバースがなければ、待ち列の先頭となり、空きバースが1つ以上あれば、任意の一つに接岸する。この到着順無差別追い込み方式のときの接岸のフローを図-3に示す。

荷役時間および接岸時間については、これを同一なものとし、(仮定 iv) によって荷役量に比例した接岸時間を持たせ、荷役の終了と同時に本船は離岸、出港する(図-4参照)。

いっぽう上屋では、本船の入港時刻に全積み貨物量が上屋に到着するような指数分布にしたがって、本船の到着以前からあらかじめ搬入されている。また本船から揚げられた貨物は揚荷役終了と同時に搬出が開始される(図-5参照)。

この場合、どの範囲の上屋を使用するかが問題となるが、バースに近接する上屋を考えたときの両極端をとって、i) バース直前の当該上屋のみを使用するケースと、

- ii) 全バース共通の1上屋としたケースのふたつを考えた。

したがって任意の時刻 t における上屋の貨物在庫量は、 t と本船の入港時刻との差、および揚げ、積みの荷役終了時刻と t の差に対応する貨物量の、それぞれの本船についての重ね合わせとして表現される(図-6参照)。

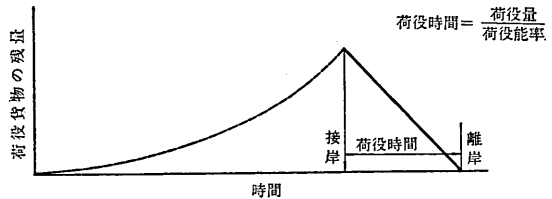


図-4 荷役量と接岸時間

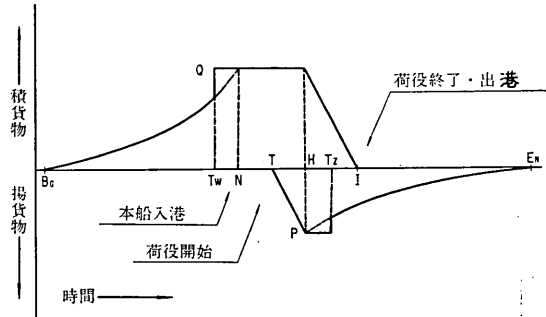


図-5 1船ごとの搬出入分布

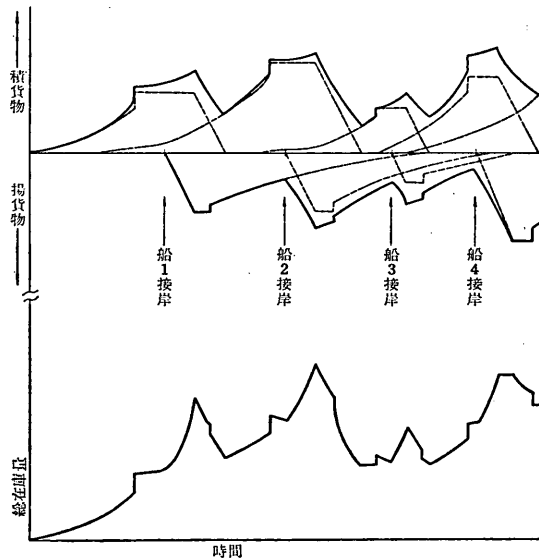


図-6 各船に関する貨物量の重ね合せ

4. 定式化

プログラムの為の在庫モデルの定式化は、まず、揚積荷役を行なう1隻の本船に着目し、上屋在庫量に関する事象に関して次のような記号化を用いることとする(図-5参照)。

- T ; 本船接岸 (時刻)
- B_G ; 上屋への搬入開始 (時刻)
- H ; 積荷役の開始 (時刻)
- I ; 積荷役の終了 (時刻)
- U ; 揚荷役の開始 (時刻)
- V ; 揚荷役の終了 (時刻)
- P ; 揚荷役量 (ton)
- Q ; 積荷役量 (ton)
- E_N ; 上屋からの搬出終了 (時刻)
- W ; 搬入平均滞留時間
- Z ; 搬出平均滞留時間
- X ; 揚荷役能率 (ton/day)
- Y ; 積荷役能率 (ton/day)
- N ; 本船入港 (時刻)

モデルの構成から、これらの間に次の関係が成り立つ。

$$B_G = N - \alpha \cdot W$$

$$U = T$$

$$V = T + P/X$$

$$H = V$$

$$I = H + Q/Y$$

$$E_N = I + \beta \cdot Z$$

$$T_W = T - (W \ln(1 - \gamma))$$

$$T_Z = T + (Z \ln(1 - \gamma))$$

ただし、 α , β は滞留時間の係数、 γ は搬出入に関するブロッキング率とした。これから、任意の時刻 t における在庫量 $g(t)$ は積貨物に関して

$$g(t) = Q \exp(t - T_W), \quad (B_G \leq t < T_W)$$

$$g(t) = Q, \quad (T_W \leq t < H)$$

$$g(t) = Q(I - t)/(I - H), \quad (H \leq t < I)$$

また揚貨物に関しては

$$g(t) = P(t - T)/(V - T), \quad (T \leq t < V)$$

$$g(t) = P, \quad (V \leq t < T_Z)$$

$$g(t) = P \exp(-t + T_Z), \quad (T_Z \leq t < E_N)$$

で表わされる。したがって上屋での貨物在庫量は、次々に入港しては出港していくそれぞれの本船に関して搬入搬出されつつある貨物量の和で、これを $G(t)$ で表わすと、

$$G(t) = \sum_{i=i_1}^{i_2} g_i(t)$$

ただし、 i_1, i_2 は平均滞留時間の k 倍の時間帯に入る本船の番号である。

5. シミュレーションモデルの入力データと計算項目

以上のシミュレーションプログラムの実行に必要なデータは次の10種類である。

本船のバースサービスに関するデータ

- i) 本船の到着分布型
- ii) サービス時間の分布型 (積荷量の分布型)
- iii) バース数
- iv) 本船の平均到着率
- v) 平均サービス時間 (積荷量の平均値)

このうち、今回作成したプログラムでは i) と ii) は折れ線近似による任意形の確率密度関数で定義できる(図-7~8参照)。iii) は最大50程度まで可能だが報告書の範囲では、比較計算では10バースで比較している。iv) と v) は、バースあたり平均到着率を0.25隻/日、また平均サービス時間を2日としたケースを主に計算したので、バース占有率 ρ が0.5となっているものが多い。

在庫量計算のためのデータ

- i) 計算間隔
- ii) 荷役能率
- iii) 平均滞留時間
- iv) ブロッキング率

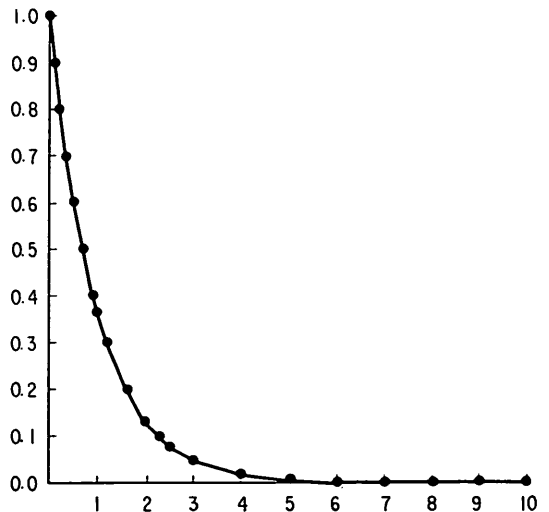


図-7 本船の到着、バースのサービス時間および荷役量で用いた折れ線近似による指数確率密度関数

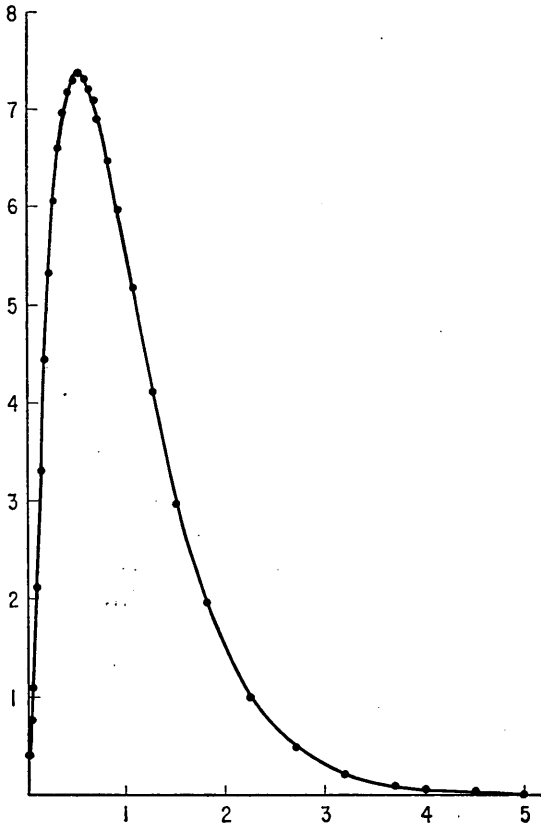


図-8 位相 2 のアラン分布の直線近似

v) 計算範囲を定める係数

i) は在庫量の刻々の変化する状況と、サンプル数を決定するもので、データとして用意し、その値はトライアルに決める。ii) は本来可変であるが今回は通常いわれている 800トン/日を揚積とも等しいと仮定して採用した。また iv) は7.2.2を、v) は6.2を参照。

本船の入出港時刻、接岸時刻、および使用バースを集計プログラムへインプットする中間結果として、次の2つの統計量を最終集計項目とした。

在庫量に関するアウトプット

- i) 貨物在庫量の時系列
- ii) 在庫量の平均・分散・頻度分布

6. テ ス ト

6.1 乱数の検定

シミュレーションに使用する乱数の性質が不適当なために、モデルが適切であり、プログラムにもエラーが無くとも計算結果が偏ったりして誤った結論を下してしま

う事がある。

疑似一様乱数の発生は、乗算合同法によるものが、検定に強いといわれている。ここで使用した係数は次式のように1899を採用した。

$$x_{i+1} \equiv 1899x_i \pmod{8338608}$$

乱数の定義された範囲を等分割し、それぞれの区間に落ちる確率から求める一様性のチェックと、同一傾向の値が続けて発生する割合の連のチェックを検定の対象とした結果は表-1のようになったが、検定にパスしたものをシミュレーションに採用した。

表-1 乱数の検定
(乱数の個数はいずれも 1,000個)

初期値	χ^2	連の数 (上側 下側)	連の数 (上昇 下降)	$\chi^2_{.95}$ の 信頼外	95%信頼 度の連で 棄却され るもの
10001	8.42	481	657		
4826065	18.48	486	672	×	
5550225	5.1	480	667		
5066065	14.34	485	665		
6257169	15.64	491	663		
3618513	10.6	501	673		
33681	4.22	478	685		
6774865	6.58	511	687		
1559825	10.16	524	700		×
4049361	1.98	491	664		
349841	17.46	502	683	×	
1733457	2.52	528	661		
2695185	12.04	485	673		
6118609	4.38	490	689		
6498705	10.56	504	667		
6719057	19.28	510	661	×	
1274641	10.60	524	668		
1437649	18.92	478	643	×	
1703057	9.24	481	666		
4954449	5.58	502	651		

$$E = \frac{2ab}{a+b}$$

$$E = \frac{2(u+d)-1}{3}$$

$$V = \frac{2ab(2ab-a-b)}{(a+b)^2(a+b+1)}$$

$$V = \frac{16(u+d)-29}{90}$$

$E \pm 2\sigma$ を95%信頼度とする。

6.2 解析解との比較

ここで構成した在庫量モデルおよびプログラムのチェックは、解析解との比較によっておこなった。

解析解とはほぼ同じモデルになるような条件として、次のデータ値をとった。

- i) 本船到着率が平均 0.25/隻日 の指数分布。
- ii) 荷役量が平均1,600トンの指数分布。
- iii) 荷役能率が 800,000トン/日。
- iv) 貨物の上屋での滞留時間を3種類, 平均でそれぞれ3.5, 7, 14日の指数分布。

重ね合せの範囲を平均滞留時間の6倍, 在庫量の比率にして0.0025に減少した時間までとし, バース数 $S=1, 10$ の場合の解析解との比較は表-2のようにになった。標準偏差がいくぶん小さめに出ているが, これは指数分布を近似する場合の打ち切りの影響と考えられ, まずまず使用に耐しうるものと思われる。

表-2 在庫量の理論値と実験値の比較

CASE OF $M/M/1$		理論値		実験値		
λ	A	T	$E=N\lambda AT, \sigma=\sqrt{N\lambda A^2 T}$	E	σ	
0.25	1600	14	5600	2993	5619	2912
		7	2800	2117	2813	2085
		3.5	1400	1497	1405	1482

CASE OF $M/M/10$		理論値		実験値		
λ	A	T	$E=N\lambda AT, \sigma=\sqrt{N\lambda A^2 T}$	E	σ	
0.25	1600	14	56000	9466	56179	8649
		7	28000	6693	28182	6395
		3.5	14000	4733	14116	4644

- λ : 本船の到着率
- A : 一般の平均荷役量
- T : 貨物の上屋での平均滞留時間
- E : 在庫量の平均値
- σ : 在庫量の標準偏差

*4) 2章脚注参照

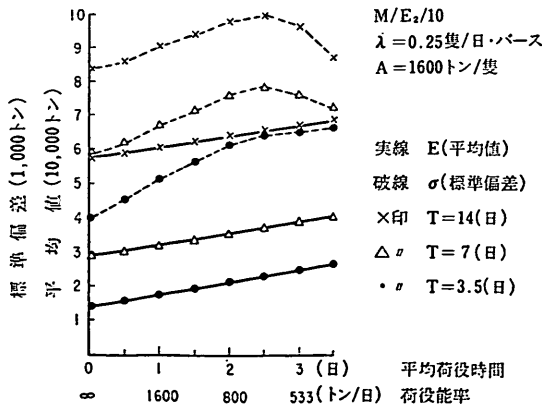


図-10-1 荷役能率と在庫量

7. シミュレーションによる計算結果

7.1 荷役能率の影響

荷役能率の高低はバース数と本船の待ちによる損失の関係で最適バース数に対し大きな影響をあたえるが*4) (図-9 参照), 上屋在庫量の場合はこれほど顕著な差はみられなかった。 $M/E_2/S$ (ランダム到着/アーランサービス/Sバース) の S が 2, 10 の場合の荷役能率を 533 トン/日から 160,000 トン/日, 平均荷役時間に換算して 0.01

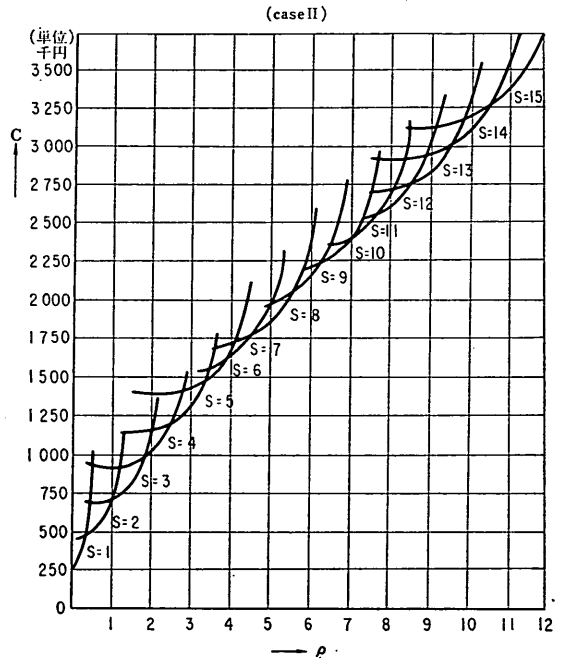


図-9 サービス率と輸送コスト

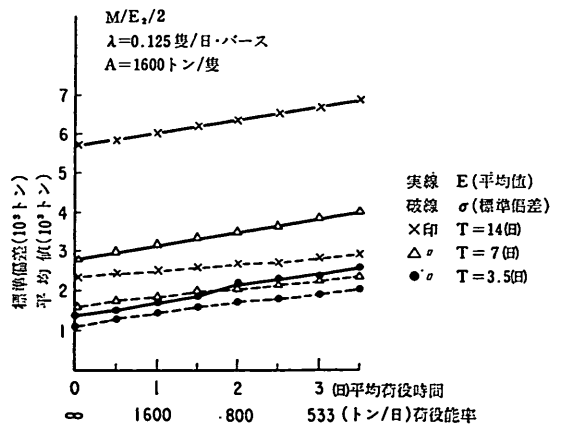


図-10-2 荷役能率と在庫量

日～3.5日まで8段階に変化させた場合の平均値と標準偏差は図-10のようにになった。これから、平均滞留時間が3.5日で荷役能率を通常いわれている800トン/日から倍にしても、在庫量の影響は15%程度であることが判る。平均滞留時間が14日になると、同じ荷役能率の差で5%の効果しか現われない。

7.2 平均滞留時間とブロッキング

7.2.1 平均滞留時間

平均滞留時間と在庫量の関係は時間当りの平均搬入量と共に最も支配的に在庫量を決定づける。図-11のように、在庫量は平均滞留時間に対し、線型の関係にある。平均滞留時間を零にしても在庫量が零にならないのは、入港日を目指して積貨物が搬入されるが、i) 本船のバース待ち、ii) 荷役時間等による見かけ上の滞留時間が生じるためと考えられる。

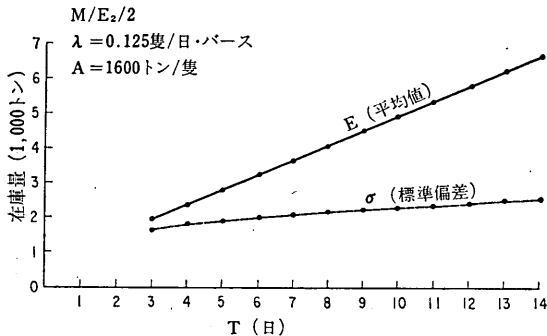


図-11 平均滞留時間と在庫量

7.2.2 ブロッキング

上屋に貨物が搬入される場合、上屋に散在する部分的スペースに対し、同一貨物をバラバラに保管して、利用効率を高める事は可能であってもあまり実用的とはいえない。したがって実際には搬入されようとしている貨物のロットのある一定の割合以上の空きがなければ同一貨物を搬入出来ないと考えられる(図-12)。この割合をブロッキング率と呼ぶ事にし、ブロッキング率を0～0.6まで変え在庫量の変化をみた。計算結果ではブロッキング率0.5の0に対する増加は $M/E_2/10$ と $M/E_2/2$ の平均滞留時間をそれぞれ14日、3.5日間の4ケースについては、14～17%であった(図-13参照)。解析的に解いたときの増加率 $(a + Te^{-a/T})T$ で計算すると20%増になるがこれより幾分少なめなのは、見かけ上の平均滞留時間が長いためと思われる。ただし、上記のTは平均滞留時間、aはブロッキングされた時間である。ブロッキング率を0.5にとっても在庫量の平均値が17%に満たないの

は、滞留時間を指数分布と仮定したるで、aが大きくならないためと考えられる。

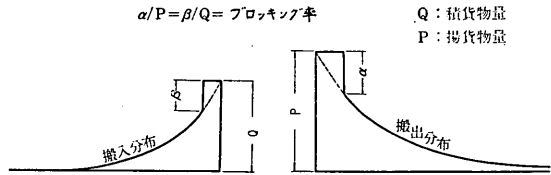


図-12 ブロッキング率の定義

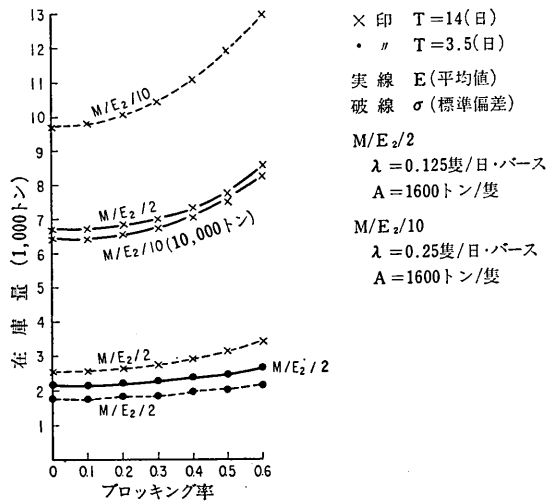


図-13 ブロッキングと在庫量

7.3 本船の到着およびサービスの分布型の影響

平均到着率および平均サービス時間を一定に保ったまま、それぞれ分布型を最も不規則なものから規則的なものへ変えた場合の在庫量の変化は、計算した四種類の組み合わせでは、平均値と標準偏差についてそれぞれ次の傾向があった。

$$M|M|S > D|M|S > M|E_2|S > M|D|S$$

$$M|M|S > M|E_2|S > D|M|S > M|D|S$$

S=10とした場合で、単純に $E+2\sigma$ をとると、

$$M|M|10 > D|M|10 > M|E_2|10 > M|D|10$$

で最も差の大きい $M|M|10$ と $M|D|10$ の比は1.2であった。上の四つのケースの分布型と計算結果を 図-14～15に示す。

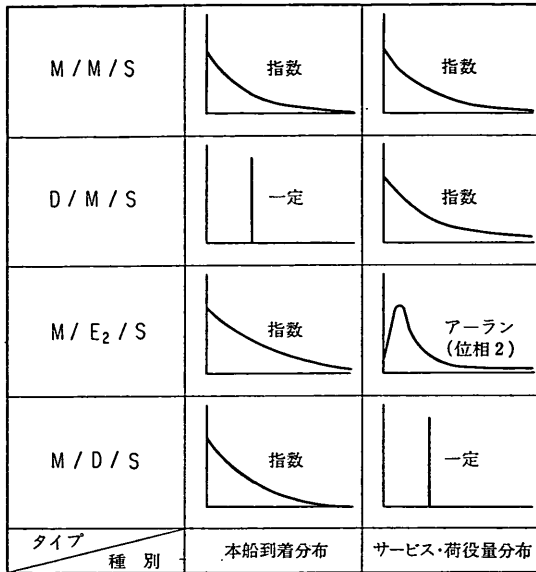


図-14 分布型の組み合わせ

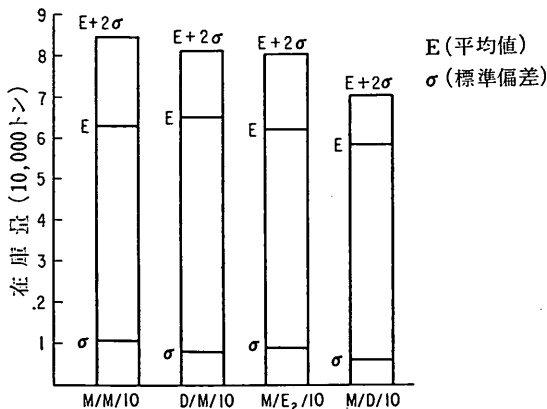


図-15 分布型による影響 (計算結果)

7.4 ロットの影響

第1報の結果では、ロットの大きさ（一般の平均荷役量）と在庫量の分散の関係は、時間当たり取り扱い貨物量を一定に保ちながらロットを k 倍にすると在庫量の標準偏差が \sqrt{k} 倍になる。演算の結果をみると、 \sqrt{k} 倍より大きくなっており、さらに時間当たり取り扱い貨物量を一定にしたにもかかわらず、ロットを2倍にすると約10%だけ在庫量の平均値が増加した（図-16参照）。これは主として、荷役時間を無視するか否かによるものと考え

*2) 栗栖義明「雑貨埠頭計画調査中間報告」運輸省港湾局・第三港湾建設局（1964）

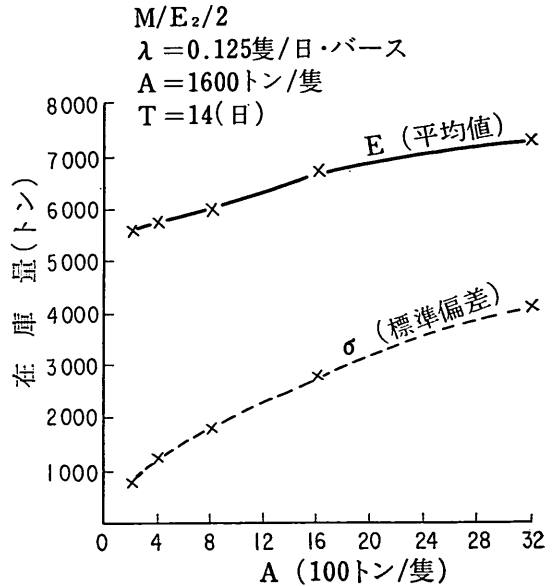


図-16 取扱量を変えないで平均荷役量（ロット）を変えた場合の影響

られる。実際に荷役能率を 800,000トン/日 して計算した在庫量はロットの変化に対しほぼ独立であった。

7.5 バースおよび上屋の共用数との関係

バースの専用使用（例えば航路別の）によって、上屋間の横持は皆無となるが、他方バースおよび上屋の利用効率は著しく下がってしまう。

そこでバースの共同使用を前提として、上屋の部分的共用を考えると、少くとも次の2方法が考えられる。1つは連続する上屋の本船の接岸した当該上屋から隣接する n 隣りまでの上屋を共用する方法と、他の1つは一つ一つの上屋の容量を小さく設定しておいて、それぞれの上屋から溢れた貨物に対して、別の一ヶ所に共用上屋を用意するものである。後者についての理論的分析は、文献8)に詳しく載っている。

ここでは前者の共用方法のうち特に全上屋共用と専用上屋の比較について計算した。貨物の上屋間での横持を許した複数上屋共用のメリットは在庫量の分散が減少し、したがって貨物の同一の溢れ危険率で考えると、それだけ上屋容量を小さく設定出来ることになる（式(2)参照）。計算結果によると標準偏差が理論値の \sqrt{N} より10%増であった。

8. 在庫量の時系列

栗栖^{*2)}によると、本船・バース・上屋を一連のものとして

して考えた場合の在庫量を推定するに当っては、これを時系列としてとらえる必要があるとされている。ここでも、そのような考えにもとづき、i) 攪乱からの収束を示す過渡状況、ii) 充分時間が経過した時の定常状態、を時系列より検討してみた。

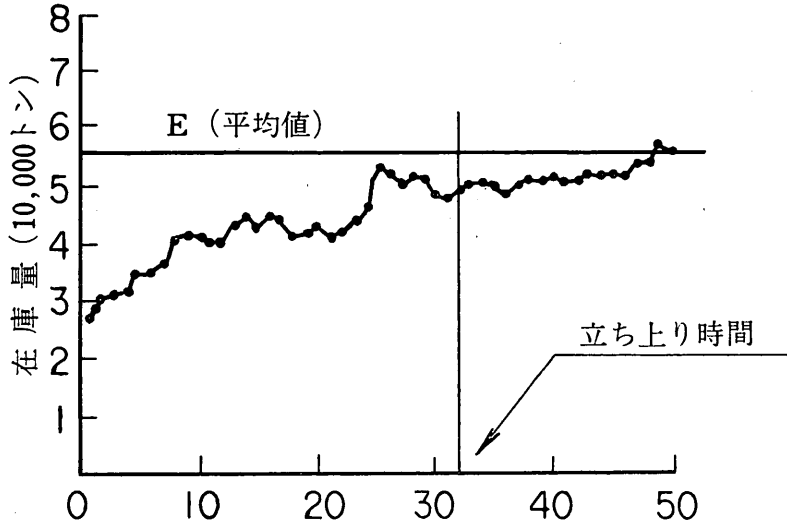
時刻 $t=0$ のとき 在庫量=0 ならば、在庫量は時間 t と共に $\lambda \cdot A \cdot T(1 - e^{-t/T})$ で与えられるから、立ち上り時間を定常状態の90%になる時間とすれば、これが平均滞留時間に比例し、 $2.3 \times$ 平均滞留時間 であたえられる。したがって在庫量の攪乱からの収束の速さを上げようと

$$M/E_2/10$$

$$\lambda = 0.25 \text{ 隻/日} \cdot \text{バース}$$

$$A = 1600 \text{ トン/隻}$$

$$T = 14 \text{ (日)}$$



$$M/E_2/10$$

$$\lambda = 0.25 \text{ 隻/日} \cdot \text{バース}$$

$$A = 1600 \text{ トン/隻}$$

$$T = 7 \text{ (日)}$$

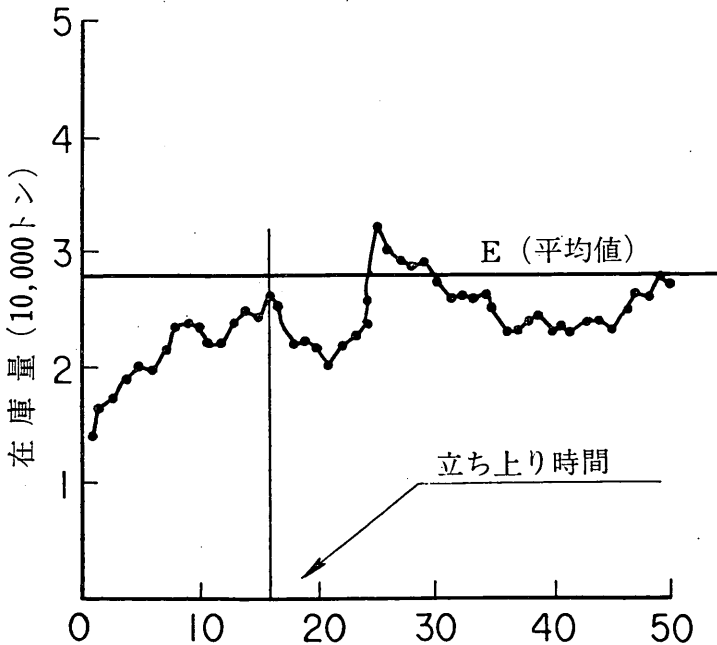


図-17 平均滞留時間と立ち上り時間

雑貨埠頭の上屋・倉庫のシステム設計(第2報)

すれば、平均滞留時間を小さく取れば良い。時系列を見るとこの傾向がつかめる(図-17参照)。

次に定常状態における在庫量の動きを見ると、かなり激しく振動していて、かつ比較的周期が長くおよそ平均

より 1σ 以上の期間が3ヶ月によることがある(図-18参照)。この事から、在庫量の分布型だけからの上屋容量の決定あるいは特性づけは出来ない面があるものと思われる。したがって、もし分布型からこれを推定する場合

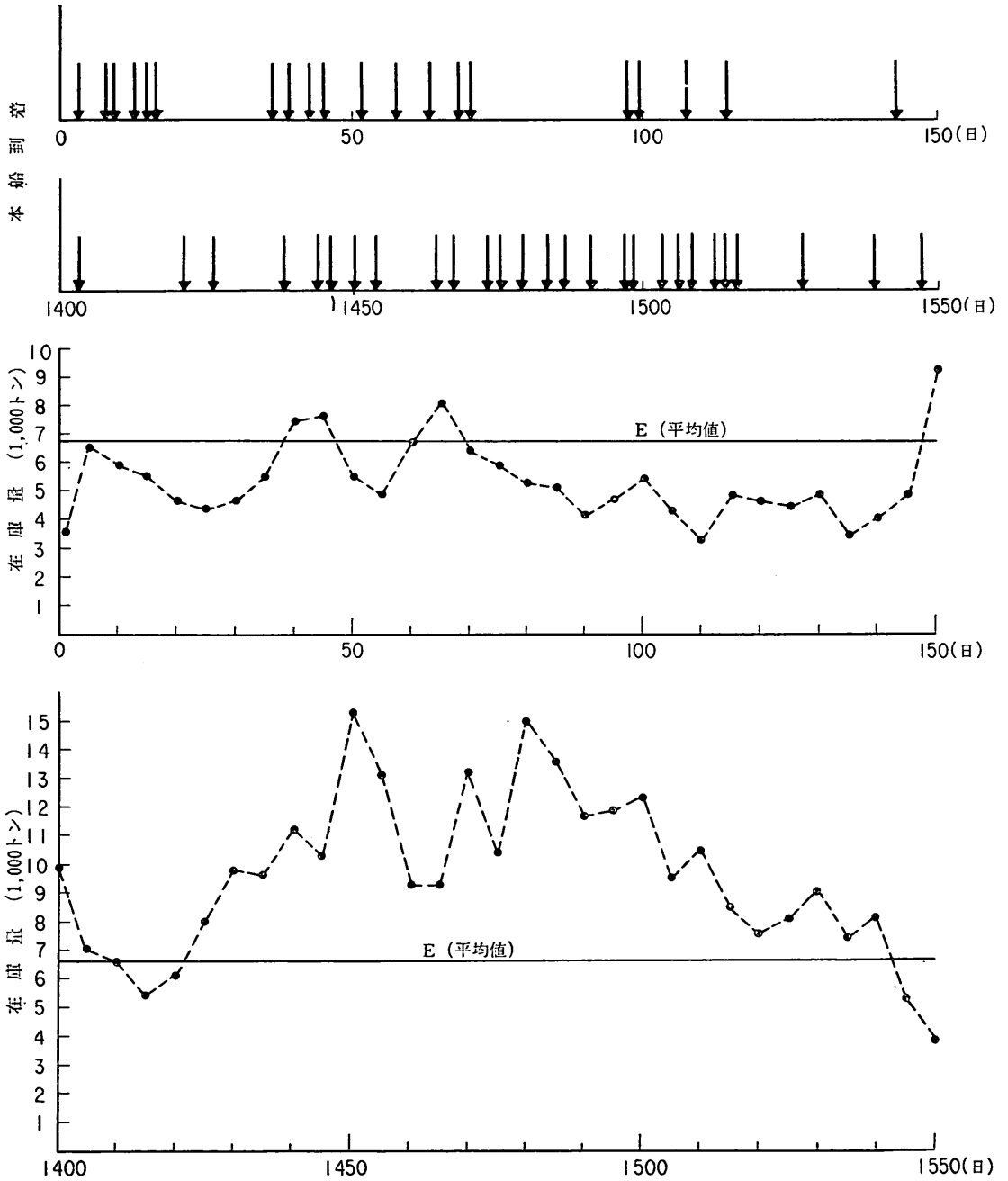


図-18 本船の到着状況と在庫量の時系列

は溢れ危険率を充分小さく採る必要がある。なお、文献1)では試行回数100回で在庫量の度数分布がかなりきれいに山が現われているが、時系列的に取り扱った文献3)では、試行回数を150回(150日間のシミュレーション)行なっても、分布を推定するには充分でない。総到着本船隻数を1,000にとった今回の実験でも、シミュレーション時間は400日~4,000日(パース数に關係する)であったが、シミュレーションタイムは十分でなく、この傾向は幾分残っていて、精度を悪くしている。

9. 上屋容量の推定

在庫量から上屋容量を決定していく場合、3つの過程が考えられる。はじめに、平均滞留時間の推定とパース上屋数に応じた共用の仕方決定する。これによって在庫量の平均値と、時系列としての変動の傾向が決まる。次に在庫量の時系列の統計的把握でこれはつぎの3種類があるがii)をiii)に含めて見てもよいかその場合は2種類となる。すなわち、i)時系列の最大値を採用するもの、ii)平均値 + $n \cdot \sigma$ ($n=1 \sim 3$ 程度まで)により推定するもの、iii)在庫量の分布形より溢れ危険率に対応する在庫量の推定をするもの、である。設計上最も好ましいと考えられるのはiii)の方法で、これはまた、次のコスト評価にも用いられている。コスト評価では、溢れ貨

物量の回送コストと上屋利用コストから、最適となる溢れ危険率を定めている例がある*1)。この他にも、複数上屋共用の場合の、在庫量変動減少効果と、上屋間の横持によるコスト増に対する共用の仕方および割合の最適値があるものと考えられる。

ここではコスト評価を考えず、複数上屋を共用した場合と、パースと対に使用する専用上屋の両極端のケース、および、統計的把握としては、在庫量の分布形より溢れ危険率に対応した在庫量を推定することにした。

シミュレーションによって、 $M/E_2/1$, $M/E_2/10$ の特定1上屋(共用パース, 専用上屋), $M/E_2/10$ (共用パース, 共用上屋)について在庫量の分布形を推定したところ、図-19のようになった。パース数が1の場合は、専用パースとみなすことが出来、上屋については共用上屋というケースも考えられるが、ここでは専用上屋だけを計算した。これらのインプット条件としては、i)パース当り平均到着率を0.25隻/日・パース、ii)一船当り平均荷役量を1,600トン/隻、iii)平均荷役時間を2日、iv)平均滞留時間を14日、としてそれぞれシミュレーション実行時間を31, 20および8.9年間の演算結果である。これによると $M/E_2/10$ の1と $M/E_2/10$ の2ケースは比較的対称な単峯型をなしている。

いまこの頻度分布から累積分布をつくり、溢れ危険率を20%, 10%, 5%, 3%の各段階にとった推定在庫量

*1) 2章脚注参照

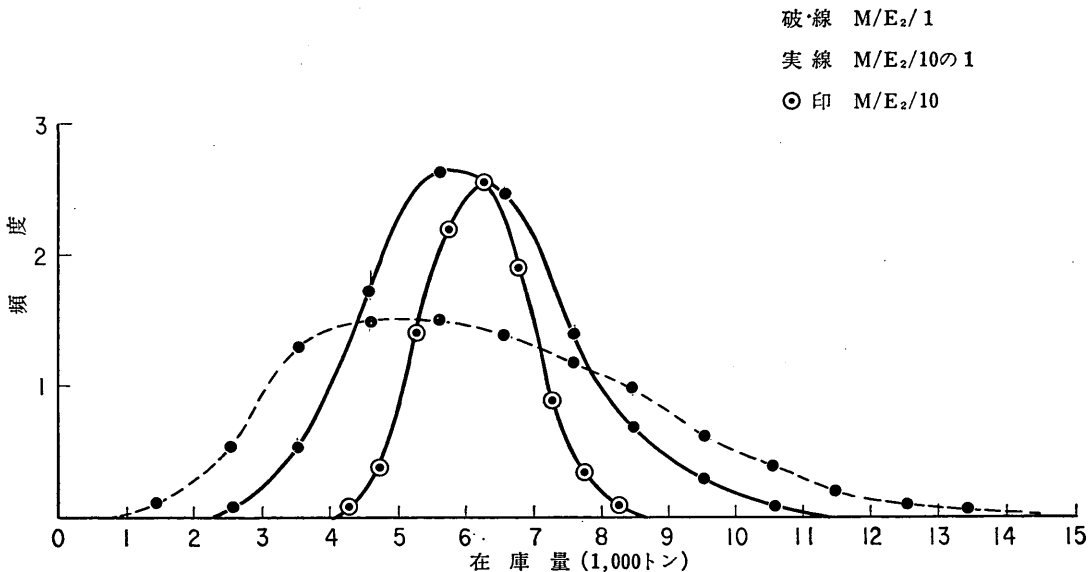


図-19 シミュレーションによる在庫量の分布

を調べると、表-3のようになった。

これを在庫量の平均値 E と標準偏差 σ を用い、 d なる信頼度を持つ容量 C_d を

$$C_d = E + k_d \sigma$$

で近似すると、上記3ケースの場合は d を 80, 90, 95 97% にとった k_d は表-4 のようになった。

表-3 溢れ危険率と推定在庫量
(1上屋あたりトン数)

$M E_2 1(S=N=1)$					
E	σ	20%	10%	5%	3%
6444	2550	8100	9300	10500	11500
$M E_2 10$ の 1 ($S=10, N=1$)					
E	σ	20%	10%	5%	3%
6100	1453	6900	7600	8300	8900
$M E_2 10(S=N=10)$					
E	σ	20%	10%	5%	3%
6200	710	6600	6900	7250	7600

$\rho=0.5, A=1600$ トン/隻, $\lambda=0.25$ 隻/日・バース, $T=14$ 日

S : 共用バース数

N : 共用上屋数

表-4 容量を推定する場合の標準偏差の補正係数

タイプ	信頼度	d	80%	90%	95%	97%
	$M E_2 1$	k_d		0.65	1.12	1.59
$M E_2 10$ の 1	k_d		0.55	1.03	1.51	1.93
$M E_2 10$	k_d		0.56	0.99	1.48	1.97

E と σ はシミュレーションによる計算結果を用いたが、このうち E については解析的に解かれている(1)式のパラメータ中、本船のバース待ち時間および荷役時間を考慮して平均的在庫パターンのみかけ上の平均滞留時間 T' を次のように修正してみたところ、

$$T' = l + m + x$$

$$x = \frac{T^2 - \frac{1}{6}l^2 - \frac{1}{2}lm - \frac{m^2}{2}}{T + \frac{1}{2}l + m}$$

$$m = n + q$$

となるが、これによって E を計算するとシミュレーションの結果の E と比べ 5% 程度小さい値となった。ただし、 l (揚) と q (積) は同じにとった平均荷役時間、 q は本船の平均待ち時間とした。

図-10 からわかるように荷役時間、上屋数、滞留時間をパラメータにした σ はかなり複雑に変化している。この数ケースの計算結果だけから σ についての特性を把握することは少々無理のように思われ、考えられる全ての組み合わせについてのシミュレーションを実行することも、大きな演算時間を要し問題がある。もし、解析的方法によって荷役時間や本船の待ち時間を考慮した場合の在庫量の分散を求めることが出来れば、これを使って精度が高く、かつ安定した在庫量の推定が出来るものと予想される。

10. むすび

上屋在庫量の推定において解析的に求めたい側面についてのシミュレーションモデルによる数値計算の結果、要約すると次のような諸点が明らかになった。

- (1) 荷役能率の変化は最適バースを決定するようなシャープさでは効かない。平均滞留時間が14日と3.5日のとき、荷役能率を通常の2倍にした場合の在庫量の平均と標準偏差はともにそれぞれ6%と15%程度の割合で減少する。
- (2) 時間当たりの平均貨物取扱量が一定ならば、在庫量の分散は解析解と同じように一船当りの平均荷役量に比例するが、在庫量の平均値については、解析解では変化しないものが、2倍のロット変化に対し10%程度の増加がみられる。
- (3) 本船の同一の平均到着率、同一の平均荷役量をもつとき、これらの分布型の違いによる在庫量への影響は、本船の到着間隔を一定にするよりも、一船ごとの荷役量を一定にする方がより効果的で、10バース10上屋共通に使用した場合の、在庫量の平均値プラス2倍の標準偏差をとると、最も差の大きい、ランダム到着、指数荷役量とランダム到着、一定荷役量との比は1.2であった。
- (4) バースおよび上屋の共用数によっては、上屋を同一容量で設定しても、貨物が上屋から溢れないという信頼度はかなりの差となって現われる。本船がランダム到着、荷役量がアーラン分布にしたがうとき、バース数 S 上屋数 N とするとき、標準偏差 $\sigma(S, N)$ は、2,550(1,1), 1,453(10,1), 710(10,10) いずれも1上屋当たりトンとなるが、97%信頼度に設定した上屋容量 $C_{0.97}(S, N)$ は 11,500(1,1), 8,900(10,1), 7,600(10,10) トンとなり、34%も異った容量が同一信頼度に対応することになる(ただし、 $\rho=0.5, A=1,600$ トン/隻, $\lambda=0.25$ 隻/日・バース当り, $T=14$ 日)。

あとがき

在庫量の性質を調べるため、貨物について港湾を流れる非常に粗い物の流れとして把握したが、在庫量の変動はかなり大きく、本船の月末集中や荷役の夜間取り扱いなどを組み入れれば更に変動は大きくなり、相当の余裕を見込んだ容量設定が必要になって来るものと思われる。文献9)によれば、この変動の度合はプラスマイナス15～30%にもおよぶ月もみられる。このパターンが月によって変るため上屋容量の推定を一層複雑なものにしている。

ここでは在庫量のペースとなる量を分布を含めて推定したが、今後は在庫量の分布型を解析的に求めることおよび前述の変動を考慮した場合の上屋容量の推定、ならびに臨港道路への荷役変動など上屋と間接的に関係のある事項についても検討してみる必要があるものと考えている。

(1973年7月2日受付)

参考文献

- 1) 長尾義三「港湾技術の発展に関する方法論的研究」第三港湾建設局(1959)
- 2) 栗栖義明「雑貨埠頭計画調査中間報告」運輸省港湾局・第三港湾建設局(1964)
- 3) 工藤和男・高野聖三・奥山育英「埠頭の貨物取扱能力についての研究」港研報告4巻8号(1965)
- 4) 佐藤肇「雑貨輸出入埠頭計画論」第三港湾建設局(1965)
- 5) 「埠頭標準能力調査報告書」運輸省港湾局(1966)
- 6) 工藤和男・高力健次郎・久保重美「埠頭エプロンの荷役活動と面積に関する研究」(1970)
- 7) 奥山育英・中井典倫子・久保重美「コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察」港研報告10巻3号(1971)
- 8) 工藤和男「雑貨埠頭の上屋・倉庫のシステム設計(第1報)」港研報告11巻4号(1972)
- 9) 「山下埠頭概況」(昭和46年)横浜市港湾局山下埠頭事務所