

# 港湾技研資料

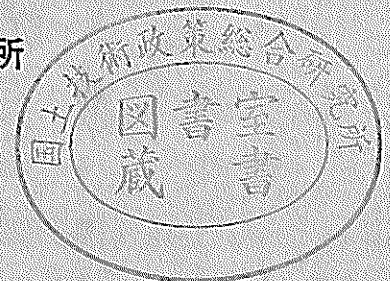
TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 222      June 1975

汎用滞船シミュレーションプログラムの開発

奥山 育英  
早藤 能伸  
笹嶋 博  
佐々木 芳寛  
佐々木 典倫子

運輸省港湾技術研究所



## 目 次

要 旨 .....	3
1. ま え が き .....	3
2. 滞船シミュレーションの概要 .....	4
3. 入 力 事 項 .....	4
3.1. 船 群 の 概 念 .....	5
3.2. 船 群 と 利 用 埠 頭 .....	5
3.3. 船 群 と 到 着 率 .....	5
3.4. 船 群 と 貨 物 量 の 分 布 .....	5
3.5. 荷 役 能 力 .....	5
3.6. 接 岸 遊 休 時 間 .....	5
3.7. 入 港 中 断 要 因 .....	5
3.8. 接 岸 中 断 要 因 .....	5
3.9. 荷 役 中 断 要 因 .....	6
3.10. 出 港 中 断 要 因 .....	6
3.11. 分 布 の 指 定 に つ い て .....	6
4. シミュレーションプログラムの構成と出力事項 .....	6
4.1. 構 成 .....	6
4.2. 出 力 事 項 .....	6
5. あ と が き .....	6

## Generalized Queueing Simulation Program in Port

Yasuhide OKUYAMA \*  
Yoshinobu HAYAFUJI \*\*  
Hiroshi SASAJIMA \*\*\*  
Yoshihiro SASAKI \*\*  
Noriko SASAKI \*\*

### Synopsis

This technical note is the guide and introduction of the content of Generalized Queueing Simulation Program in Port developed in the Systems Laboratory, with such objects as 1) application to the actual port planning and 2) powerful method in port planning research.

Most of alternatives about input and output are controlled by data cards only, not by changing the program. Even if we need to change the program, GQSP is made to be easily changed.

---

\* Chief of the Systems Laboratory, Design Standard Division.  
\*\* Member of the Systems Laboratory, Design Standard Division.  
\*\*\* Ex-member of the Systems Laboratory, Design Standard Division.

# 汎用滞船シミュレーションプログラムの開発

奥 山 育 英 \*  
早 藤 能 伸 \*\*  
笹 嶋 博 \*\*\*  
佐々木 芳 寛 \*\*  
佐々木 典 倫子 \*\*

## 要 旨

港湾計画に直接に利用すること、および今後の港湾計画の研究のための手段として利用すること、という二つの目的から、多くの要因を考慮した比較的汎用の滞船シミュレーションプログラムを開発した。

本資料はその内容の説明書であり、時刻に依存して到着率のかわる場合、何らかの条件によって入港や荷役や出港の規制のある場合、船によって利用バースの異なる場合、貨物量によって接岸時間が増減する場合等の説明を行い、適用の限界を理解させるものである。

## 1. ま え が き

港湾における滞船のシミュレーションプログラムは、その条件の多様さから、目的に応じて数多く作成されてきた。それらのうちには、単に港が異なるから、或いは最終目的である求める統計量の些細な違いによって、内容はほとんど同一であるにも拘らず、別々に作成されたものも見つけられる。また、それらのどの一つをとってみても、新たな港湾計画を行うにあたっては、変更を余儀なくされる例もある。

しかし、港湾計画にあたって滞船シミュレーションプログラムを作成する目的は、計画貨物量の数多くの代替案に対して、船型分布、一船あたりの貨物量分布、接岸時間分布（これは荷役能力分布、遊休時間分布等更に細かく分割される場合も多い）、計画バース数、計画泊地規模等を与えて、船のバース待ち時間、バースの利用率等を、夜間入出港禁止、夜間荷役禁止、或いは天候による入出港や荷役の禁止等を考慮して求めるものである。これらの禁止事項がバース毎に異なったり、航路毎に異なったりするばかりでなく、航路のバース指定や貨物量分布、接岸時間分布等、多岐にわたる条件が少しづつかわることが、この種のシミュレーションが数多く作成されてきた理由である。

以上の理由から、滞船シミュレーションで考慮すべき

ことがらをできるだけ多くとり入れて、汎用滞船シミュレーションの開発が要請されてきた。また、港湾計画の研究においても、滞船問題は重要であり、理論的には待ち合わせ行列理論等を用いて研究が為されているが、理論的接近には限界があり、シミュレーションと理論の二本立てで行うべきであるという要請も生まれてきた。本資料はこれらの要請に応じて開発された、汎用滞船シミュレーションプログラムの概要説明書であり、具体的入力方法や出力方法は省略してある。これは、現存の汎用滞船シミュレーションプログラムは、当研究所のTOSBAC-3400用であるが、1975年4月よりTOSBAC-5600に機種変更があるため、I-O（入出力）はまだ流動的であることによる。それらは、TOSBAC-5600が稼動してから体裁も新たに、プログラムライブラリー或いはプログラムマニュアルの形で、他研究室で開発のプログラムと同一形式で発表する予定である。

従って、説明の都合上、数の制約がでる個所もあるが、それらは単にTOSBAC-3400の記憶容量の制限によるものであり、TOSBAC-5600への移行とともに容易に大きくできることを付記しておく。

---

\* 設計基準部 システム研究室長  
\*\* 設計基準部 システム研究室  
\*\*\* 前設計基準部 システム研究室

## 2. 滞船シミュレーションの概要

港湾における船舶の滞船シミュレーションは、構造の理解の容易さと結果の有効性の二つの理由から、数多くなされてきた。実際、次々に到着する貨物船の到着時刻、貨物船の接岸するバース数、および各々の船の接岸所要時間を与えさえすれば、電子計算機の助力をたのまなくとも、滞船現象を単純な計算により紙上に具現でき、滞船隻数ばかりでなく、船舶の待ち時間や埠頭の利用率等も求められ、その結果、経済的見地にたつ埠頭の適正な数量、および適正泊地規模等が得られるのである。

最近の港湾建設においては、港湾建設および完成した港湾の環境への影響や安全対策等が重大問題としてあげられてきたが、それらを検討する与件条件として、港湾建設に伴う、日本全国或いは地域社会に対するマクロな経済効果の算定と、環境、安全問題との中間に位置する埠頭と泊地の、科学的方法によって得られる適正数を把握しておくことは、最終的には、計画者がすべての要因を考慮して人為的に決定する場合であっても、非常に重要であることが認識されよう。

従って、滞船現象の調査研究が為されてきており、特定の到着や接岸時間の場合には、理論的結果が得られているのが現状であり、待ち行列理論としてO.R.の一大重要部門を形成している。しかし、理論解は仮定を完全に満たす場合とか、マクロ的な近似解でよいという場合を除くと限界が生ずるといふ、他の実験科学における理論解と共通の性質をおびてくる。このため、複雑な待ち現象を解明しようとする場合には、上述のシミュレーションが非常に有効となる。しかし、複雑な待ち現象を紙上で再現するには莫大な計算量を伴い、電子計算機の利用をみて初めて可能となった。そのため、個々の埠頭、泊地計画毎にシミュレーションプログラムが開発されてきたが、それらは当然当該港湾の事情は考慮しているものゝ、他港湾で考慮すべき事情は考慮しない場合が多く、究極的には待ち数、待ち時間、および埠頭の利用率等を求めているにも拘らず、汎用性に乏しかった。

本資料は、これらシミュレーションの汎用化を目標としたものであるが、それに先だって考慮すべき事情とは何かを考えると、次の諸点が挙げられよう。

すなわち、

- i) 到着の特性
- ii) 接岸時間の特性
- iii) バース数
- iv) 天候等自然条件によって妨げられる入出港禁止や荷

役中断

- v) 夜間入出港禁止や、日曜荷役中止、ストライキ等のどちらかといえば人為的条件によって生ずる禁止や中断
- vi) 船種によって異なる接岸可能バースと共用バースの指定等のバースの利用方法
- vii) バースの長さや水深による当該バース利用船舶の制限
- viii) 船舶間の優先度関係
- ix) 港内における埠頭間の船舶のシフト
- x) 沖荷役
- xi) 労働力による制約
- xii) タグ等水先案内関係による制約
- xiii) 通関・検疫による制約
- xiiii) 港形による航路の利用による制約

等であるが、こまかく見ればまだあると思われる。またii)の接岸時間の特性は、更に本船の揚積貨物量と、その品種および包装形態や荷役方法およびその際の荷役機器や作業員の荷役能力等にも依存するわけであり、このように上で挙げた項目を更に細分すると、船の滞船現象に影響を及ぼす要因は多すぎて、とても汎用化どころでなくなり、在来のように一つの計画毎に一つのシミュレーションを作成せねばならないという結論に到達しよう。

しかし、シミュレーションプログラムの作成には、多大の労力と時間、ひいては費用がかかること、および目的が滞船シミュレーションということに限ると、得ようとする結果は上述したような滞船隻数、船舶の待ち時間、埠頭の利用率であることの2点から、上で挙げた要因のうち、目的にあまり効かないと思われる要因は切り捨てるなり、いくつかをまとめて未知な要因として適当に上限値と下限値との二ケースをシミュレーションで実行するなりすることにより、場合によってはいくつかにまとめられた未知要因の各代替案のすべてを行行場合も起こらうが、ある程度までの汎用化は可能となり、しかも結果も有効とならう。このような趣旨から、汎用滞船シミュレーションを作成したのであるが、以下の章で考慮した項目の具体的説明を行う。

## 3. 入力事項

本章では、汎用滞船シミュレーションプログラムで考慮した事項を順次説明する。これにより2で挙げた項目のうち、何がとりあげられ、何がとりあげられていないかわかるわけであり、プログラム利用者が、あげられていない事項を考慮したい場合には、あげられている事

項に帰着するか、プログラムを一部付加しなくてはならない。本プログラムは、構成を単純になるよう心がけたので、プログラムの一部変更や付加は容易に為され得ることを強調しておく。

### 3.1 船群の概念

ある港に、単一航路、単一貨物、単一船形等々、入港する船舶が同一の性格を有する場合は問題がないのであるが、航路によっては接岸する埠頭が異なっていたり、到着率や接岸時間が異なる場合が考えられる。従って、同一の性格を有する船舶のみを群にまとめて、船群という概念を作りあげた。具体的には航路別でもよいし、タンカー、一般貨物船、コンテナ船等でもよいし、或いは一万トン以上貨物船、三千トン以上貨物船といった様にトン階別でもよく、計画に応じてうまく考えればよい。

各船群は、以下の記述ではⅠ, Ⅱ, Ⅲ, ……とローマ数字で記すことにする。

### 3.2 船群と利用埠頭

3.1で述べた様に、異なる船群に属する船舶は異なる性格を有する。各船群の利用できる埠頭を入力で指示しなければいけない。埠頭は1, 2, 3, ……と番号で区別し、例えば、船群Ⅰの船は埠頭1, 2, 5を利用でき、船群Ⅱの船は埠頭2, 4を利用でき、船群Ⅲの船は……………、というように考えればよい。船群毎に利用埠頭が重複しない場合には、各船群1つだけでシミュレーションを行えばよく、すべての船群を考慮して行う必要はない。

### 3.3 船群と到着率

船舶の到着は固有の到着分布をもつと考えられるが、在来の報告では、ポアソン分布、云いかえると到着時間隔が指数分布であるとされている。ポアソン分布に適合しない場合には、一日を幾つかの時間帯にわけ、例えば夜間、朝、日中、夕方というように、ポアソン分布の適合を行うと、まずほとんどの場合が適合する。但し、各々のポアソン分布の平均値は、夜間は低く、ラッシュ時は高くなる。すなわち、船舶の到着は時間に依存して到着率がかわる場合が多いといえる。

従って、本シミュレーションでは、各船群毎に、また各時間帯毎に単位時間当りの到着率を与えるようにした。分布形は自動的に指数分布となる。この場合、全体のサイクルは一日である必要はなく、一月としても、一年としてもかまわないことから、到着船舶の月末、月央集中や、年間変動をも考慮できることになる。各時間帯も定まらず、計画者が決定する。

### 3.4 船群と貨物量の分布

一船毎の貨物量の分布は在来あまりデータがなく、こ

れは調査結果によって、或いは計画者が適当に仮定して、貨物量の分布形を入れる。なお貨物量分布は、荷役能力が一定で接岸遊び時間を0とすると、貨物量を荷役能力で除すことにより、接岸時間分布が得られる。一方、接岸時間分布は、在来の研究、或いは多くの調査により、貨物量分布よりもわかっていることから、滞船シミュレーションを貨物までおとさずに行うには、貨物量分布を接岸時間分布で代用し、以下に述べる荷役能力を1とし、接岸遊び時間を0とすればよい。

なお、貨物量を入力する場合は、船群毎に揚貨物量、積貨物量の分布形を入力する。分布形が指数分布、フェーズ2のアーラン分布、フェーズ3のアーラン分布、レギューラ分布の場合は、平均値と乱数分布指数番号(後述)を入力するだけでよい。

### 3.5 荷役能力

荷役能力は埠頭毎に異なるばかりでなく、船群によって貨物が異なることが予想されるので、しかも、揚げと積みによっても異なることから、揚能力、積能力( $\checkmark/h$ )を、各埠頭毎に、各船群毎に与える。

この能力も本来は乱数で与えるべきで、問題となるが、変動しても少ないと予想し、今回は定数とした。変動が多い場合には、次に述べる接岸遊休時間を乱数で与えることも考えられよう。

### 3.6 接岸遊休時間

接岸時間には荷役時間以外の時間も含まれており、それを一括して接岸遊休時間とした。これも、埠頭毎に、船群毎に、しかも一船毎に変動すると考えられるが、今回は埠頭毎に一定値を与えている。変更は容易である。

### 3.7 入港中断要因

2で述べた様に、入港の中断は夜間入港規制によっても、天候の悪化によっても生ずる。従って、入港を中断する要因を最大3個考え、各要因毎に入港可の継続時間分布と入港否の継続時間分布を与え、各要因がすべて入港可の場合には入港可とし、一要因でも入港否の場合は入港否とした。

入港の中断については、埠頭毎に4種類を考えた。これは、夜間入港規制が大型船と小型船、或いはタンカーと他の一般貨物船で適用がかわる場合があることによる。

### 3.8 接岸中断要因

本シミュレーションでは、空いているバースが存在する場合は、入港即接岸としているが、待ちがある場合は待ち場所で待ち、空きバースができてはじめて接岸する。このとき、接岸不可能要因を3.7と同様に最大3個まで考えて、接岸否の場合は、次の接岸可まで待つて、その

ときはじめて接岸としており、埠頭毎に4種類まで考慮した。

### 3.9 荷役中断要因

接岸所要時間は、揚貨物量を揚荷役能力で除して揚げ荷役時間を求め、次に積貨物量を積荷役能力で除して積み荷役時間を求め、それらの和に遊休時間を加えることによって求めている。しかし、日曜荷役禁止や夜間荷役禁止、更に埠頭によっては悪天候荷役禁止が考えられることから、荷役中断要因を最大3個まで考慮して、それらの荷役可の継続時間分布、荷役否の継続時間分布を与えて、すべての要因が荷役可の場合のみ接岸所要時間を減らしていった。一つの要因でも荷役否の場合は、残存接岸所要時間は、シミュレーション時間が経過しても減らさず、次の荷役可から減らしはじめて、0になつてはじめて出港可としている。この場合も、埠頭毎に4種類の中断タイプを考慮した。

### 3.10 出港中断要因

出港可となつた船舶は、出港可か否かをしらべて、可の場合はすぐ出港し、否の場合は次の可まで出港待ちを行う。夜間入港禁止でも、夜間出港は禁止していない港も多いので、出港中断要因を最大3個まで考え、可と否の分布形を与えて、出港可および否の判定を行うのは、3.7、3.8と同様である。この場合も埠頭毎に4種類まで中断タイプを考慮できるようにした。

### 3.11 分布の指定について

到着分布の場合のみ平均到着数を与えて、分布形は自動的にポアソン分布としたが、他の貨物量の分布、各種の可の継続時間の分布、否の継続時間の分布は、分布形を与えねばならない。

この場合、指数分布、フェーズ2のアーラン分布、フェーズ3のアーラン分布、レギュラー分布の4分布形については、分布形を与える必要はなく、平均値と分布形指定番号を与えるだけでよい。指定番号は上の順に1, 2, 3, 4となっている。なお、分布形を与える場合は、確率密度でなく、累積確率分布を折れ線で近似して与える。

なお、中断要因の可否の継続時間の分布は、天候の場合等はいたとくで同一分布が出てくる可能性が考えられるが、それらは指定によって容易になされる。

## 4. シミュレーションプログラムの構成と出力結果

### 4.1 構成

本シミュレーションプログラムの構成は、入力部、到着ルーティン、中断可否ルーティン、メインルーティン、出力部と5大別され、それに乱数作成ルーティンより成

っている。

入力部では、入力データを読み込んでそのまま印字すると同時に、データのチェックもを行い、正しい場合には所定の場所に格納する。

到着ルーティンは、入力部で所定の場所に格納された船群別時間帯別到着率と、船群別貨物量から、乱数ルーティンにより、船群、その船の入港発生時刻、揚貨物量、積貨物量を、入港発生時刻順に従って与える。

中断可否ルーティンは、入力部で得た情報により、乱数ルーティンを用いて各要因毎の可否をしらべ、全体的な可のはじまり時刻と否のはじまり時刻を、入港、接岸、荷役、出港について各々最大4種類づつ作成する。

メインルーティンは、到着ルーティンと中断可否ルーティンで得られた結果をもとに、乱数ルーティンを使うことなく、また各種統計量を求めることなく、ハンドシミュレーションそのままを計算機内に実現し、到着ルーティンから受けた、船群、入港発生時刻、揚積貨物量から、突入港時間、突接岸時間、接岸埠頭番号、出港可能時間、突出港時間等を求めるものである。

出力部は、メインルーティンで得られた結果から、各種統計量を求めて印刷する部分である。

### 4.2 出力事項

メインルーティンの結果は、到着船順にすべて磁気テープにはき出される。しかも、その磁気テープには、電子計算機内に再現されたすべてのことがら、時刻を伴って記録されているので、計画者は目的に応じて、シミュレーションを再現することなく、そのテープから任意の必要な情報をとり出すことができる。

また、滞船シミュレーションで得られる次のような統計量は、データカードを1枚作成するだけで求められる。

- i) 待ち時間の平均、分散、分布
- ii) 在港時間の平均、分散、分布
- iii) 滞船隻数の平均、分散、分布
- iv) 埠頭の利用率および利用分布
- v) 純荷役時間の平均、分散、分布
- vi) 荷役不能時間の平均、分散、分布
- vii) 出港待ち時間の平均、分散、分布

## 5. あとがき

本シミュレーションプログラムの特徴は、滞船シミュレーションの汎用化と云えようが、滞船シミュレーションと云えども、2.で述べた様にすべてを考慮すると複雑であり、汎用化には程遠くなってしまう。従つて、最大公約数的な汎用化とケース・バイ・ケースによる弱干の

付加機能を設けやすくすることによって、より汎用化に近づけたという点に特徴づけられよう。この付加機能を設けやすくするためから、プログラムの分割化を図ったが、それが結果的には、メインルーティンにおける従来のシミュレーションでみられた、乱数の使用、多量の判定、統計量の計算等が姿を消し、非常に簡略化できた。しかもそれによって、演算時間の短縮とプログラム作成時間の驚くべき短縮化をもたらした。また、これは多彩にわたる統計量を求めることにもなった。

今後の作業としては、TOSBAC-5600への移行によって、更に多くの機能を付加することが可能となったことから、優先度の高い機能から順に付加していき、最終的には、ほとんどの場合に、このプログラムで対応可能とすることを目指したい。そのためには、各港湾計画者の利用によって、除去すべき項目、付加すべき項目等の有益な助言を切に希望する次第である。

(1975年3月31日受付)



港 湾 技 研 資 料      No 222

1 9 7 5 · 6

編 集 兼 發 行 人      運 輸 省 港 湾 技 術 研 究 所

發 行 所      運 輸 省 港 湾 技 術 研 究 所  
                 橫 須 賀 市 長 瀬 3 丁 目 1 番 1 号

印 刷 所      ( 有 ) 葵 印 刷 工 業

Published by the Port and Harbour Research Institute  
Nagase, Yokosuka, Japan.