

埠頭計画について

—港湾計画における O.R. の応用—

正員 土肥三郎*
正員 岡田重豊**

まえがき 従来、港湾計画ごとに埠頭計算に当っては年間取扱貨物量を岸壁バース当たり年間取扱能力で除して求めていた。取扱貨物が雑貨の場合、岸壁 800 t/m、物揚場 400 t/m が、すべての条件が最も良好な場合の標準であって、荷役機械の有無、上屋設備の良否、後方連絡機関の適否などによりそれぞれの % を減じたものを能力として計算するのである。これによると、なにぶん適用範囲が広く、また従来施設の取扱量が飽和か否かの判定に困るのみならず、新規施設の取扱能力を上げるのも疑問の存するところである。種々、各港のあらゆるデーターから定められたものであるが、演繹的な方法ではなく、帰納的な方法である。論理の進め方として、バースは船に属するものであり、貨物→船→バースと進めてこそ動態を適切に把握しながら、また、把握することによって改善されるべき点を明らかにし、より合理的、能率的な運営を目指すとともに、適切な埠頭計算を行なうことができると思われるものである。数学的統計解析は不得手であるが、オペレーションズ リサーチ の手法を用いて、上述の方法を披露し、諸般の御批判を願うものである。従って埠頭計算に当っては、従来の方法と以下述べる方法の併用が望ましいのではないかと思う。

過去 3 カ年の神戸港入港船舶の統計を基礎資料とし、これを例にとって計算を進める。統計学および O.R. の専門的な点についてはなお検討中であるが、一応の成果を得たので報告する。

今回の発表に当っては、末森猛雄先生の御指導を賜わり、また、安孫子課長はじめ計画課の方々および管理部の方々の御協力を頂いたが、厚く感謝を申述べる次第である。

1. 入港船舶調査

1.1 調査の目的

港湾計画の基礎となるべき調査統計については、港湾調査規則（港湾統計）により、自然状況・施設状況・荷役能力・管理状況・港湾関係事業および団体・利用状況など、港湾関係のあらゆる方面にわたって調査することが規定されており、すべての計画はこれら資料の上に組立てられている。しかし港湾の活動の実態、すなわち出

入貨物の流れ、入港船舶の質的分析、航路別特性などは解明されておらず、これら動態分析を行ない、あるいは推測統計まで発展し、有機的かつ合理的な管理、運営を行ない、適切な将来計画を立てなければならない。

ここに論ずる将来計画、ことに埠頭計算に当っては出入貨物と入港船舶が最も深い関係にある。出入貨物については、指定統計により深く調査され、品種別・国別などの数量・金額および荷役形態別の数量などが明らかにされてきた。入港船舶については、全体の隻数・総トン数・トン階級別の数量が明らかにされている。しかしその実態・特性は不明であった。バースの数量はただ取扱貨物量のみで算定するものではなく、入港船舶によって定まるものであり、従来その関係を重視されなかった貨物と船舶の有機的なつながりから、また、運営の方法から決められるべきものである。ここに、バース計算に最も重要な意義をもつ入港船舶の調査を貨物と関係づけながら、上記の目的を達成し得るように行なわねばならない。あらゆる方面より調べることが望ましいが、影響の強いパラメーターを発見し、それを解明することによって十分な効果を上げることができる所以あるから、最も重要だと思われるものを調べれば良い。

1.2 調査の企画および分類

入港船舶に関するあらゆる調査を行なうのが理想であるが、反面、調査の正確を期し調査上の混乱を避け、信頼度の高い成果を求めるためには、調査単位をなるべく少なくすることが望ましい。調査のために新たに業者に負担をかけることは避け、現在ある資料を十分に活用することが望ましい。従って港湾管理者に提出する入出港届、およびそれによって作成される港務日誌（台帳）そのほか、事前に提出されている船舶運航の予定表（スケジュール）などにより調査票を設計する。

入港船舶（ここにいう入港船舶は外航船のみをいう。以下同じ）は年間 4000 隻前後であって当然全数調査でなければならない。また 1 年間の資料のみでその統計法則を断定し、今後の計画に用いることは早計であり、少なくとも 3 カ年くらい連続して調査し、その法則、特性を把握する必要がある。

この入港船舶の調査は、調査対象が非常に高価なものでありながら、新たに調査をおこす必要がなく、既存の資料で十分間に合い、調査費もわずかな印刷費、機械器

* 神戸市港湾総局技術部長

** 神戸市港湾総局技術部工事課

具費、人件費ですむのである。

次に神戸港の基礎資料の様式を掲げると表-1,2,3のとおりである。

船舶の調査は航路別を主眼とするため、航路をきめることが重要であるが、入出港届に航路を記載せしめ、これを調査員が再検討する方法が取れば理想的である。既存資料に航路別がない場合は表-2を用い、別に船名別の索引簿を作つて、船名→航路を見出し、入出港届の始発・前港・次港・終着の各港をみて航路を決定すれば良い。なお、あらかじめ提出のあったスケジュールも合わせれば万全である。

航路別の分類は、神戸港を例にとると、運輸省海運局の航路分類に準拠し26にわけた。分類を多くすると繁雑になるばかりでなく、総合的認識が困難になる。また少なくするとその特性が消され、異なった種類のものを

一緒にすることになる。10~15種類で最適であるので、26航路を下記の方法により11航路群*にまとめた。

- (1) 性質の同じもの(船舶・積荷・行先など)
- (2) 寄港地の同じもの

1.3 調査票の設計および調査項目

これらは前に述べたように、必要かつ十分な範囲において、また資料の十分な利用という面から、多からず少なからず決めねばならない。

帳簿式にするか、伝票式にするかは各自の判断により決めればよいが、一応帳簿にまとめてI.B.M.カードにパンチして分類集計するのが良いと思われる。ただし、入港船舶数が少ないと調査項目が少ない場合には手集計による方が良く、そのためには直接伝票に記載するのが良い。調査票の帳簿式の例をあげれば表-4、表-5のとおりである。伝票の様式は省略する。

表-1 港務
年月日

入港の部

| 時刻 | 船名 | 総トン数 | 船席 |
|----|----|------|----|
| | | | |

出港の部

| 時刻 | 船名 | 総トン数 | 船席 |
|----|----|------|----|
| | | | |

転錨船

| 船名 | 前錨地 | 後錨地 | 開始時 | 終了時 |
|----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | |

日誌(港務課)

曜日 天候

午前10時現在在港船

| 船席 | 船名 | 総トン数 |
|----|----|------|
| | | |

| 地区別 | 隻数 | 総トン数 | 記事 |
|-----|----|------|----|
| | | | |

表-3 定期外國航路表(1955.7~8月基準 港務課)

| 航路名 | 国籍 | 経営者 | 主要寄港地名 | 本港寄港回数 | 船舶名 | 総トン数 | 速力 | 代理者名 | 備考 |
|-----|----|-----|--------|--------|-----|------|----|------|----|
| | | | | | | | | | |

〔注〕船名別一覧を作成し航路を見出す方が速い。

* 11航路群(以下本文で航路といふ)とは、次に掲げる航路をいう。各航路の内訳は省略する。

①世界一周航路 ②欧州航路 ③ニューヨーク航路 ④北米航路 ⑤中南米航路 ⑥アフリカ航路
⑦インド洋航路 ⑧濠州航路 ⑨東南アジア航路 ⑩近海航路(中国・朝鮮) ⑪沖縄航路

定期船は上のとおりであるが、それに旅客船・不定期船・タンカー・修理船などの区別を用いた。

第九号様式

入出港届(港務課)

From oF No.9

DECLARATION INWARD OUTWARD OF VESSEL

表-2

| | | | | | | |
|--|---|---|--------------------------------|-------------------|------------------|--------------|
| 1. 船舶の名称 Name of Vessel | | | 2. 定期不定期別 Liner or Tramper | 定期航路 Liner | 不定期航路 Tramper | |
| 3. 船舶の種類 Description of Vessel | Cargo Vessel | Cargo Passenger Vessel | Passenger Vessel | 油槽船 Oil Tanker | Fishing Vessel | その他 Other |
| | 汽船 S. S. | 機船 M. S. | 帆船 Sailing ship with engine | その他 Other | | |
| 4. 国籍 Flag | | 5. 船籍港 Port of Registry | 港 | | | |
| 6. 総吨数 Gross Tonnage | | 7. 純重数 Net Tonnage | | | | |
| 8. 長さ Length over all | | 9. きつ水 Draft | 水 | 船首 Fore | 船尾 Aft | |
| 10. 航行速度 Cruising Speed | | 11. 乗員数 Number of Crew | | | | |
| 12. 船舶の所有者、運航者及び本邦における代理店の氏名又は名称及び住所 Name & Business Address of Owner, Operator of Vessel & his Agent in Japan | 所有者 Owner 運航者 Operator 代理店 Agent | | | | | |
| 13. 仕出港及びその出港年月日 Port of Provenance and Date of Departure therefrom | ※港名 Port | 年月日 Date | | | | |
| 14. 寄航地及びその入出港年月日 Port of Call and Date of Arrival at and Departure from the Port | ※港名 Port | 入港年月日 Date of Arrival | 出港年月日 Date of Departure | | | |
| 15. 入港の日時 Time and Date of Entrance | ※ | 16. 入港の目的 Purpose of Entrance | ※ | | | |
| 17. 停泊場所 Berth | | 18. 出港の日時 Scheduled Time and Date of Departure | ★ | | | |
| 19. 次の仕向港 Next Port of Call | ★ | 21. 出港後最初に入港する外国の港 First Port abroad after Departure | ★ | | | |
| 20. 最終仕向港 Final Port of Destination | ★ | | | | | |
| 22. 旅客の数 Number of Passenger | | 23. 当港下船(乗船)者の数 Number of Passenger Disembarked (Embarked) at this port | | | | |
| 24. 荷物の種類及び数量 Description and Quantity of Cargo on Board | M/T | 25. 当港揚(積)貨物の種類及び数量 Description and Quantity of Cargo to be Unloaded (Loaded) at this port | M/T | | | |
| 26. 本邦において船積みをする貨物の数量 Quantity of Cargo to be Loaded in Japan | ※ M/T | 27. 本邦において船積みした貨物の数量 Quantity of Cargo already Loaded in Japan | ★ M/T | | | |
| 28. 市税法第1条第1項但書の規定により市税を一時に納付しているときは、一時納付した年月日 If the tonnage dues have been Paid in a single payment under the proviso to Art. 1, Par. 1, of the Tonnage Dues Law, the date of such payment. | | | | | | |
| 29. 航海中の異変その他の参考事項 Disaster while Navigating & Other Matters | | | | | | |

To

駆

昭和年月日
Date船長署名又は記名押印
Signed and/or Sealed by
Master(注 意)
Note:

- この書式を入港届として用いる場合は、表題の「出」を抹消し、出港届として用いる場合は「入」を抹消す。
"Outward" in the title shall be struck out for Declaration Inward use and "Inward" for Declaration Outward.
- 入港届として用いる場合は、★印の出港日として用いる場合は、※印の各欄には記入を要しない。
★ column need not be filled for Declaration Inward and ※ column, for Declaration Outward.
- 危険物を積載している場合は、その種類及び数量を(24)の欄に明記すること。
If dangerous cargo on board, its description and quantity shall be clearly written in column (24).
- 提出部数
(A) 私的入港届……外国から当港に直航した場合は2通、その他の場合は1通 出港届……外国に直航する場合は3通、その他の場合は2通。
(B) 海事及び港務管理官 入港届及び出港届は各1通。
Copies Needed
(A) To the Customs: Declaration Inward-Two copies, in case of arriving directly at this port from aboard, and one copy, in other case.
Declaration Outward-Three copies, in case of sailing abroad directly from this port, and two copies, in other case.
(B) To the Captain of the Port and the Port Management Body: Declaration Inward and Declaration Outward each one copy.
- 港長及び港務管理官に提出する場合
(A) 出港の日時があらかじめ定まっているときは、1通で入出港届を兼ねることができる。この場合(9)(23)及び(24)の欄には入港時のものと記載する。
(B) (14)の欄には直前の寄港地についてのみ記載すればよく、(21)(26)(27)及び(28)の欄には記載を要しない。
To the Captain of the Port and the Port Management Body:
(A) If the time and date of departure previously settled, one copy will be enough for both Declaration Inward and Outward purposes.
In this case, column (9)(23) and (24) shall be entered with the item as the ship arrived.
(B) Column (14) may be entered only with the last port of call and column (21)(26)(27) and (28) may be left blank.

表-4 調査台帳様式(その1)

| ①入港月日 | ②船名 | ③総トン数 | ④会社 | ⑤航路 | ⑥国籍 | ⑦発航地 | ⑧前港地 | ⑨次港地 | ⑩最終港 |
|-------|-------|-------|------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|
| ⑪バース | ⑫在港日数 | ⑬在港時間 | ⑭入港日時・出港日時の棒グラフ(転錨日時・船席も入れる) | | | | | | |

注: 1) ④会社は Operator または Agent.

2) ⑤航路は不定期・修理・内航・官庁別、定期船の場合はその航路、ただし、内航、官庁は除外。

3) ⑩は単位は日・時、在港期間中を線で引く、線は定期・不定期などで色別する。

表-5 調査台帳様式(その2)(調整課)

| 整理番号 | 入港日時 | 出港日時 | 船名 | 船種 | 国籍 | 総トン数 | 速力 | 吃水 | 会社 | |
|--------|------|------|------|------|-----|--------|------|----|------|------|
| ステベドナー | 航路 | バース | 在港日数 | 繫船時間 | 積揚荷 | (荷役別別) | 荷役時間 | 口数 | 労務者数 | 乗降人員 |

次に調査項目としては次のようなものがある。

- ① (i) 航路別 これらを組合せたところの
- (ii) 船舶トン階別 (i) 階数
- (iii) 繫船岸別 (ii) 延階段
- (iv) 船種別(積荷) (iii) 在港時間
- (v) 月別・日別 (iv) 総トン数
- ② 航路別在港隻数の年間度数
- ③ 時刻別の入出港隻数
- ④ 航路別・積揚トン数別の隻数
- ⑤ 船主別・ステベドナー別の隻数

このうち、① および ② が主要項目であり、③ 以下は補足的なものであるが、調査すれば種々の興味ある結果が得られると思う。

これら入港船舶の調査と平行して、外貿出入貨物の動態を調べなければならない。調査規則の項目以外に、航路別の船種別・繫船岸別などの出入貨物量・軽・経岸別の荷役量が必要である。

以上の諸項目について調査を行なうのであるが、十分に関連して行ない、大規模なものについては 1~2 カ月の予備調査を行なうことが望ましい。調査内容についての詳細は、以下神戸港の例を用いて説明するが、これは必要最少限の一例であって、完備された調査票からは多くの成果が期待されることはいうまでもない。

1.4 調査票作成上の注意および問題点

経験したおもな点を列挙すると次のとおりである。

(1) 航路別の決定 入港船舶を定期船・旅客船・不定期船・タンカーなどに分類し、また、定期船の航路を正確に分類しなければならない。この分類は最も基本的なものであり、前に述べた方法で行なえば、正確で信頼し得る結果が得られる。この場合、例外として、例えばニューヨーク航路の船が、ニューヨークより神戸に入港した後、フィリピン・香港などに向か出港するが、この場合はもちろんニューヨーク航路として取扱わねばならない。

(2) 転錨船および修繕船の取扱い 転錨船は、入港隻数の時は 1隻、繫船岸利用状況の時は重複して計算する。修繕船の場合も同様で、荷役のためバースに接岸している時は一般荷役船と同様に、修繕のため造船所に入きょしている間は修繕船として、その航路よりはずして別個に取扱う。

(3) 集計誤差について 何種類も分類・集計をくり返すため、手集計の場合は、誤差が出てくる。誤まりの発見・他表との調整は 3~4 種重複すると困難であり、かつむだな作業である。

従って、調査項目が多くかつ入港船数が多い場合には I.B.M. など機械集計によるのが良い。

(4) 特殊船の取扱いについて 入出港届および港務日誌には、自衛艦・巡視船・官公庁船・外國軍艦(含軍用船)・練習船・内航船* などが入っているからこれらは除外しなければならない。また韓国の外航機帆船は外航船の特性を備えていない場合が多く、むしろ内国不定期機帆船に似ている。計画上不要の場合には、検討の上除外しても差し支えない。

(5) 台風時について 台風時には、大型船は港外に待避し、また、入港を見合させる。通過後一時に入港し大混雑を引き起こすことが多い。このことは異常現象であって、総数の計算の際には入れても、種々の解析を行なう場合には除外した方が良い。例えば在港隻数の度数分布はボアソン分布を示すが、台風時を除外すれば、より高い信頼度で適合する。

1.5 調査項目(その2)―船積貨物との関係

入港船舶調査について論じて来たが、一方出入貨物が重要な要素を占めることはいうまでもない。いままでは

* 内航汽船のことで隻数は相当ある。主に内航タンカー・撒荷船であるが雑貨船も少なくない。定期客船は初めから載っていないので安心である。注意を要するのは外航船と同一船名のものが案外多くある。もっともトン数で簡単に判別できる。面白いのは捕鯨母船は内航船のことである。

表一六 航路別・繫船岸別入港隻数表

| 航路 | 新港 | | | | 兵庫 | | | | 私有 | | | | 接岸計 | ブイ | | | | 浮標錨泊計 | 合計 |
|----------|----|---|---|-------|----|---|-------|-------|----|---|---|-------|-------|----|---|---|-------|-------|----|
| | A | B | C | | A | B | | | 三井 | E | W | | | 1 | 2 | 3 | | | |
| 1.世界一周 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.欧洲 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.ニューヨーク | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 定期小計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 不定期船 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 合計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

貨物と船舶がそれぞれ、別個に扱われている傾向がみられるが、これは結びつけられて考えねばならない。この媒介としては航路別を考えるということが一番適切であると思う。そこで貨物と船との関係についても十分調査する必要がある。同一航路においては積おろし貨物は同じであるが、異なる航路においても同じ貨物を積おろしする船の間には、似通った特性をもつことが多い。また、神戸港での調査結果では定期・不定期船の間には、積荷にはっきりした差異が表われている。

輸出入について概観すると、輸出は雑貨製品が多く、主として岸壁接岸荷役が有利であるのに対して、輸入貨物は原材料が多く、必ずしも岸壁接岸荷役が有利であるといえず、特殊の施設を必要とするものもある。これらは今後の埠頭運営・ひいては計画に密接な関係をもつものである。

従って入港船の積荷より船舶を分類するのが良い。神戸港では雑貨をトップ カーゴ（大口貨物）として積むものを雑貨船、棉花・米麦・バナナをトップ カーゴとして積むものを特定貨物船、また、石炭・燐鉱石・鉱石・スクラップ・土石・木材・種子・塩・砂糖をトップ カーゴとして積むものを撤荷船とした。この分類は結果からみて適切であったように思う。

以上で企画・準備の段階は終り、次に分類・集計の作業に入るわけであるが、別に特筆することもないが、これら資料作成にはスピード・正確さが必要であることは当然である。

2. 調査結果の解析

2.1 結果表の一例について

各項目別に分類集計を行なうと、その結果について一目瞭然のものもあれば、また、解析を必要とするものもできてくる。調査項目は重点のおき方によって異なってくるであろうが、神戸港において昭和 30~32 年の 3 カ年間に調査した結果をあげて、おもなものを説明するところのとおりである。なおくわしい結果は“神戸港外国貿易地帯所要バース数の算定、神戸市港湾局 34 年 8 月”を参照されたい。

(1) 繫船岸別利用状況（表一六）航路別にバース・ブイ・私有岸壁などの利用状況を調べるもので、航路別入港船数がわかるとともに、各バースの利用状況、航路による地区別の集合度、接岸率などがわかる。神戸港では当然のことながら、旅客・観光船は 4 突 PQ に、遠洋大型船は新港地区に、近海航路中型船は兵庫および中突堤を利用している。また雑貨積荷の比率が高い航路ほど接岸率が高く、撤荷の比率の高い航路ほど接岸率が低いようである。従って不定期船は接岸率が低い。

バースの利用度についてみると、各バース間にあまり差異がある場合は改善の要がある。標準として、近海・沖縄航路を除く外国航路船については、年間 90 隻前後接岸しておれば利用率は良く、良好な状態にあるといえよう。

(2) 繫船日数（在港延隻数）および繫船時間* 様式は(1)と同じで数字は日数または時間数を表す。繫船日数（在港延隻数）は解析において重要な意義をもつものであるが、後で詳述するのでここでは省略する。(1) は入港し、利用した船数を表わしたが、ここでは 1 隻 2 日の場合 2 日として上ってくる。すなわち、バース別に年間の日および時間による利用状況を表わすものである。

(1) より (2) より、1 隻当在港日数・時間をみると日本船は長く、外国船は比較的短かい。また中間港として利用するものは短かく、ターミナル ポートとするものは長い。平均の日数は 2.7~3 日、時間は 55~60 時間くらいである。定期船は 2.7 日、不定期船は 3.3 日くらいであった。

(3) トン階級別入港船（表一七）航路別にトン階級

表一七 トン階級別隻数表

| 航路 | 総トン数 | t | | | | | | 計 |
|----|------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---|
| | | ~10 000 | ~10 000 | ~6 000 | ~6 000 | ~3 000 | ~3 000 | |
| | | | | | | | | |

注：隻数は入港隻数必要があれば延隻数

* 繫船日数と繫船時間の関係は一次式で表わされるが、30 年のある航路について計算すると $y=24x-18$ (x : 日数, y : 時間数, $1 < x < 6$) の結果を得た。

の分布を出すもので総トン数によった。バース水深の決定に参考になる。航路別入港船の総トン数がわかる。航路により、ある範囲にかたよるものと広範囲にわたるもののが出てくる。また、必要があれば地区別の調査を併用しても面白いデーターが得られる。密接な関係があるからである。

トン階級別に積おろしトン数(貨物量)を調べ、平均トン数、総トン数計などとも関連させれば種々の傾向がわかるが、煩雑になるので省略する。

神戸港の結果をみると、大型船(6 000 総トン以上)は 54%, トン数にして 79% を占める。また当然、遠洋航路には大型船の集中がみられる。

(4) 船種別・繫船岸別(公共私有別)船数(表-8)
船種別にわける必要のあることは 1.5 で述べたが、これら船種により異なるところの特性は重要な意義をもつものであるので調査しなければならない。大別すると一般定期雑貨船は公共岸壁に、特定貨物船は、棉花にあっては棉花倉庫・米麦にあっては、サイロ設備を有する岸壁に、撤荷船はブイなどに繫船するのが適当である。そのほか私有岸壁には特定の結びつきにある会社の船が着くことが多い。これらは一般原則であるが、各航路別に、それぞれの特性を把握して将来のバース計画を行なわねばならない。

表-8 船種別・繫船岸別隻数表

| 航路 私別 公共 公共 岸壁 岸壁 ブイ | 一般雑貨船 | | 特定貨物船 | | 撒荷船 | | 合計 |
|--|-------|------|-------|------|------|------|----|
| | 左に同じ | 左に同じ | 左に同じ | 左に同じ | 左に同じ | 左に同じ | |
| | | | | | | | |

神戸港における一例をあげると、31年入港外航船について調査した結果、雑貨船・特定貨物船・撒荷船の比率はそれぞれ 68%, 13%, 19% であった。定期航路は雑貨船の比率が高いが、そのうちで特定および撒荷船の比率が高いのは北米・インド洋・東南アジア・近海の各航路であり、これら航路は他航路に比し接岸率は低いようであった。

(5) 入出港時間 (2) の日数および時間に関連するものである。入出港の時刻別の分布を航路に調べるもので、時刻別の頻度、日々の利用状況・岸壁の空席時間などが明確になる。船舶の在港時間と実働荷役時間とも関係があるが相当繁雑になるので省略する。施設の管制上面白い問題がふくまれていると思う。

実績を概観すると、入出港とも大体 7~20 時の間にに行なわれているが、入港は 7~9 時の間にピークがあり、出港はほぼ一様で、夜間は出港が多い*。

2.2 在港隻一日数の解析

在港隻一日数とは、各入港船舶について出港するまで

* 入出港時刻別に棒グラフを作成したが、それ自身、大して意味をもたないので省略する。

在港する日数のことであって、例えば 2 日在港すれば 2 隻、3 日在港すれば 3 隻というように、隻一日数の積で表わすものであり、岸壁利用計画の基礎となる要素である。入港隻数に対し、延隻数という言葉で表わしても良い。

入港船舶の在港日数は船会社自身の都合で定まるものであるが、接岸時間および荷役時間はできるだけ短かくすることが理想であり、港湾計画上 1 隻当在港日数を短かくしながら限られた施設ができるだけ多くの延隻数を扱うことが理想であるといえる。しかしその場合、船の待ち時間を少なくし、それによる損失を少なくするよう考えねばならない。

在港隻一日数の状態は、各日の在港隻数の度数分布を作ることによって解析される。神戸港において、航路別に 30~32 年の状態を調査したが、以下、そのうちより任意に抽出した一例(表-9, 表-10 参照)について説明する。

表-9 をつくらずに表-10 をつくることはできるが、表-9 は一目瞭然に月間の波動状況を示している。ここで小の月については月の中間に空白を作る方がより合理的である。表-10 の作成についてはこのことは無関係である。月間 31 日間の波動状況は図-1 で表わされる。この結果より月末・月初の集中がわかる。他航路については月末集中が多い。

表-10 はある航路の 1 年間の各月について 1 日当たり在港隻数の分布を表わしたもので、表-9 の度数分布である。これを確率による解析を行なった結果、小数の法則に適合し、従ってその理論分布はポアソン分布に適合することが検定を行なうまでもなく確かめられた。ただある年度、ある航路については、天災、例えば台風などの影響をうけ、また例外的な好況によるいちじるしい月末集中の影響などをうけて、理論分布以上に右そぞが長く伸びているが、これら例外的な現象は内容を検討し、データーから除外するのが適当である。ただし、台風が毎年予想され、例外的なものでないとすれば考えなおす必要がある。

ここで一日当たり在港隻数の分布と一隻当たり在港日数の分布との差について述べる。後者はそれ自身ではあまり意味をもたず、入港隻数の分布と関連して始めて意味をもってくる。この 2 つの分布(一隻当たり在港日数と入港隻数の

図-1 月間波動状況図(年平均日別在港隻数)
(31 年北米)

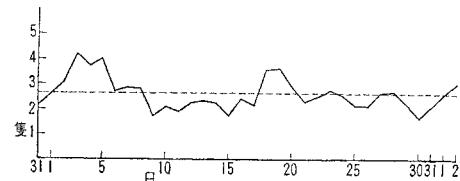


表-9 航路別各日在港隻数表(31年北米航路)

| 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|----|------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 1 |
| 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | * | * | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | |
| 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | |
| 4 | 1 | 5 | 4 | 3 | | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | * | 1 | 6 | 3 | 3 | 1 |
| 5 | 3 | 2 | 5 | 4 | 2 | 3 | 1 | 1 | | | 3 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 4 | 4 | 4 | 1 | |
| 6 | 4 | 5 | 6 | 3 | 3 | 5 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | * | 1 | 5 | 7 | 4 | 4 |
| 7 | 5 | 4 | 4 | 4 | 6 | 2 | | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 1 | 4 | 5 | 1 | 5 | 7 | 2 | |
| 8 | 1 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 5 | 5 | 3 | 4 | | |
| 9 | 3 | 4 | 5 | 6 | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 1 | * | 1 | 5 | 7 | 7 | 7 | | |
| 10 | 2 | 3 | 3 | 3 | 5 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 11 | 3 | 4 | 7 | 6 | 6 | 5 | 6 | 6 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | * | 2 | 4 | 3 | 2 | 1 | |
| 12 | 4 | 4 | 5 | 3 | 1 | 1 | 3 | 6 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 1 | 2 | 4 | 3 | 2 | 1 | |
| 計 | 32 | 57 | 50 | 45 | 48 | 33 | 34 | 34 | 21 | 25 | 23 | 27 | 28 | 27 | 21 | 17 | 24 | 44 | 44 | 35 | 28 |
| 平均 | 2.64 | 3.08 | 4.16 | 3.75 | 4 | 2.73 | 2.83 | 2.83 | 1.75 | 2.09 | 1.93 | 2.25 | 2.33 | 2.25 | 1.75 | 2.43 | 2.18 | 3.66 | 3.66 | 2.92 | 2.33 |

注: 30年、31年、32年の定期11航路旅客、不定期船タンカーについて調査した計42例のうち、任意に抽出した一例をここにあげた。

表-10 航路別在港隻一日数表(在港隻度数分布表)
(31年北米)図-2 在港隻一日数図(在港隻度数分布図)
(31年北米)

| 月 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 計 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|-----|
| 1 | 2 | 3 | 7 | 11 | 5 | 3 | | | | 85 |
| 2 | 8 | 8 | 7 | 6 | | | | | | 69 |
| 3 | 3 | 4 | 9 | 8 | 5 | 2 | | | | 76 |
| 4 | 2 | 7 | 9 | 5 | 2 | 2 | 1 | | | 77 |
| 5 | 4 | 9 | 8 | 5 | 4 | 1 | | | | 61 |
| 6 | 1 | 6 | 10 | 7 | 3 | 2 | 1 | | | 93 |
| 7 | 6 | 6 | 8 | 2 | 6 | 2 | 1 | | | 68 |
| 8 | 2 | 8 | 6 | 8 | 5 | 2 | | | | 74 |
| 9 | 5 | 5 | 4 | 7 | 1 | 4 | 1 | 3 | | 85 |
| 10 | 1 | 7 | 8 | 6 | 5 | 2 | 1 | 1 | | 84 |
| 11 | 1 | 1 | 9 | 7 | 4 | 2 | 5 | 1 | | 103 |
| 12 | 2 | 5 | 8 | 7 | 5 | 1 | 2 | | 1 | 87 |
| 計 | 29 | 69 | 84 | 83 | 55 | 24 | 14 | 7 | 1 | 967 |

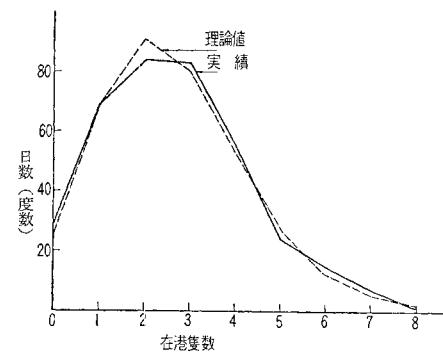
分布)を重ねることは困難であり、一日当在港隻数の分布を考えることにより、簡単にこれにかえ得る。また、実用的にも十分であって、これを解析し、将来を予測することによって、埠頭計画に最も重要なパラメーターを把握し得るものと信ずる。

この一日当在港隻数の分布を繊船施設の収容能力と結びつけることによって、適切な将来計画を立て、かつ改善方法を見出すことができる。もちろん、前述し、かつ後述するところの種々の要素が関連しているのであるが、効果測度を最も、はっきりと示ものは、在港隻一日数(一日当在港隻数の分布)の傾向であるといえる。

2.3 ポアソン分布と早見図

ポアソン分布の理論については数学書に詳述されており、御存知の方も多いので省略する。入港到着船数(1日當)および1日当在港隻の分布は理論的にも同分布に適合することは容易に証明できる。数似例について、O.R. 関係書に載っているので参考にされたい。

ポアソン分布は $P(x) = \frac{e^{-m} \cdot m^x}{x!}$ で与えられる。ここに $P(x)$ は平均在港隻数(年間延隻数÷365)が m の時、任意の1日に x 隻の船が在港している確率である。神戸港における一例を図示すると 図-2 のとおりである。こ



れについて観察すると、単年度のものも2年間を合成したものともに良く適合している。しかし同一航路でも4~5年を通算することは、 m が増加しているので、必ずしも妥当でない。平均値 m が変化せず、例外として扱うデータを除外すれば理論と実績は全く一致する。

参考までに1日当入港隻数の分布を示すと図-3のとおりで、これは航路別を考えず全部一括したものであるが、やや正規分布に近くなったとはいえ、異常値を除けば、やはりポアソン分布に適合する。

ポアソン分布は図-4のとおりである。理論値の計算は面倒である。度数分布は滑らかな曲線でなく階段状で

図-3 神戸港入港外航船分布(32年)



表-14 揭積相関表(その2)

32年ニューヨーク航路

(日本船)

| 積荷 揚荷 | 50t~ | 500~ | 1,000~ | 1,500~ | 2,000~ | 2,500~ | 3,000~ | 3,500~ | 4,000~ | 4,500~ | 5,000~ | 計 |
|----------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| 50t~ | 4 | 1 | 3 | 17 | 10 | 6 | 2 | 1 | 5 | 1 | 5 | 55 |
| 500~ | 2 | | 2 | 1 | 4 | | 1 | | | | | 10 |
| 1,000~ | 2 | | | 1 | | | | 1 | | | | 4 |
| 1,500~ | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | | 4 |
| 2,000~ | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| 2,500~ | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| 3,000~ | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| 3,500~ | | | | | | | | | | | | |
| 4,000~ | | | | | | | | | | | | |
| 4,500~ | | | | | | | | | | | | |
| 5,000~ | | | | | | | | | | | | |
| 計 | 11 | 2 | 6 | 20 | 15 | 6 | 4 | 1 | 5 | 1 | 5 | 76 |

(外国船)

| 積荷 揚荷 | 50t~ | 500~ | 1,000~ | 1,500~ | 2,000~ | 2,500~ | 3,000~ | 3,500~ | 4,000~ | 4,500~ | 5,000~ | 計 |
|----------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| 50t~ | 9 | 10 | 12 | 7 | 9 | | | 1 | | | | 48 |
| 500~ | 2 | 3 | 3 | 7 | 1 | 2 | 3 | | | 1 | | 22 |
| 1,000~ | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | 8 |
| 1,500~ | 1 | | 1 | 2 | 1 | | | 1 | | | | 6 |
| 2,000~ | 1 | 1 | | | | | | | | | | 2 |
| 2,500~ | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| 3,000~ | | | | | | | | | | | | |
| 3,500~ | | | | | | | | | | | | |
| 4,000~ | | | | | | | | | | | | |
| 4,500~ | | | | | | | | | | | | |
| 5,000~ | | | | | | | | | | | | |
| 計 | 15 | 17 | 18 | 17 | 12 | 2 | 3 | 2 | | 1 | | 87 |

注: 50t 未満のものは省略

で標記の調査を行なったわけである。十分な数学的解析は行なわれなかつたが、(1) 船積みのみを行なうもの、(2) 陸揚げのみを行なうもの、(3) 両方の荷役を行なうもの、の3つにわけ、貨物の数量を11段階にわけてその隻数を調査し、(3)については、別に相関表を作成した。なお 50t 未満の場合は省略し、積おろしのどちらかに入れてある。表-13、表-14 がそれである。これ

を図示すると図-7となる。

日本船は各航路とも、大体輸出船・輸入船が分離しており、ことに世界一周・インド洋・近海の各航路は、はっきりわかっている。それに対し、外国船は中南米・アフリカ航路以外は分離しておらず、積おろし両方を行なうものが多い。1隻当たり積おろしトン数は、小型船(近海・沖縄など)の航路を除き、船型の大小にあまり関係はないが、北米・インド洋航路が多い。なお、輸出船の多いのは、アフリカ・インド洋・東南アジア・近海などの各航路であり、輸入船の多いのは、北米航路である。また輸出入の数量比率では断然輸入が多く、3.5 : 6.5 程度である。

3. 所要バース数の決め方

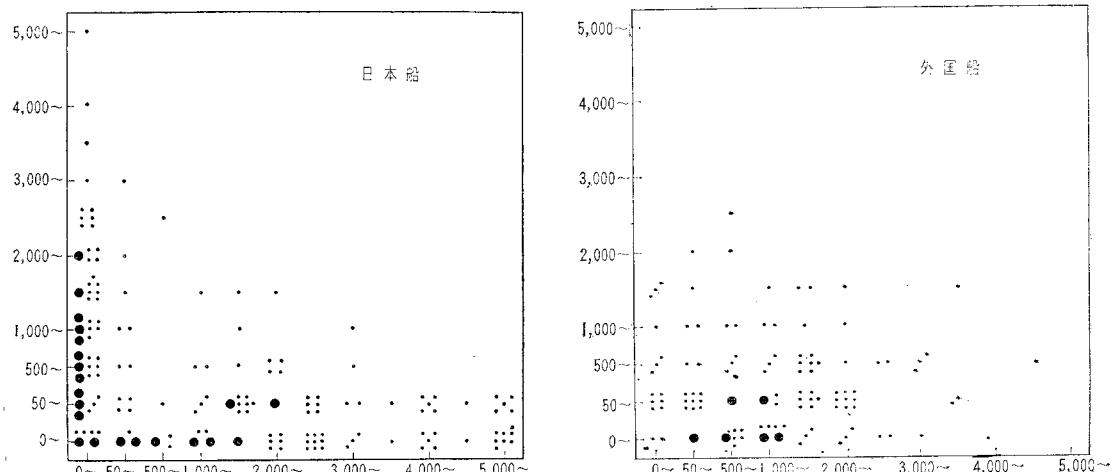
3.1 計画方針の決定

入港船舶調査および出入貨物動態調査より現状を分析し、問題を単純化し、ことに最も重要な影響をおよぼす係数を公式化し数量化することにより、種々の要素の混合・相関する港湾の現状を把握することができる。問題の焦点を把握することにより合理的かつ能率的な運営方針が樹立せられ、運営方針に沿って将来計画がなされるのである。ここで、港湾行政・港湾計画の基本を想起したい。それは、次の2つの言葉に端的に表現されているので、引用させて頂く。

小林信次氏: 港湾行政の簡素化、「港湾」 Vol. 32 No. 5, 1955 より

“港湾行政の民主化こそ港湾法のねらいであり、当該港湾の実情に明るく、又、地方住民の意志を最も良く反映し得る地方

図-7 ニューヨーク航路



公共団体こそ港湾管理者に最適任である。云々……”

東 寿氏港湾計画論より

“港湾を計画するものは管理者であり、港湾管理者がその港全体の経営を企業経営的観点に立って行い、従って計画は常に単なる土木計画でなく、港湾経営という企業を行うための施設の建設計画である。云々……”

従って、港湾を開発し、管理し、経営するのは、その港の発展に最も身近かな利害を有する港湾管理者であることを忘れてはならない。

日本経済の拡大、基盤の強化、総合的輸送政策の面から政府の港湾計画が基本であり、ことに大港湾においては地元のみならず、一国の利害に関するだけにことにその必要度は高い。そこで、政府・学識経験者・港湾管理者が一体となって、計画しなければならない。

港湾建設という公共的な仕事の性質上、利潤追求ということから離れて、公共投資・民生安定・将来のより大きな利益という面から考えることもあるが、しかし、大綱は予算を最も有効に使用し、経済基盤を強化し、最大利潤をあげるという立場に立って計画を決定しなければならないと思う。

3.2 航路別バース指定

調査の結果、調査は入港船舶のみでなく、外貿貨物動態調査、上屋倉庫利用状況、船会社・倉庫会社関係調査等々種々の調査を包含するものであるが、この中で最も重要な特性を示すものは航路別であることが判明した。船会社・倉庫会社・ステベドアの三者の関係は非常に興味深いものであり、今後の運営計画に参考になるものであるが、発表できない。しかし航路別という考え方である程度これら要素を組入れることができる。新規埠頭を計画するさい、その計画取扱量を多くするだけでなく現有バースの利用ということもあわせて考えるべきであって、入港船舶または出入貨物に対して犠牲を強いることなしに、港湾全体からみて最も効果的に利用できるような形態を考えるべきである。これは各港の特性によりそれぞれ独自に判断されるべきであるが、港湾関係業者が多く、入港船舶・出入貨物量の多い外貿港湾では航路別に埠頭を割当てて運営するのが良いのではないかと思われる。

神戸港では、経岸荷役を促進し、港内の二重移動を防止して荷役の合理化をはかり、施設を有効に利用するため、航路別にバースを指定することを主体にし、それに船種別などの要素を加味したものを利用することとした。

3.3 将来の貨物量および船数の推定

将来計画の基本となる取扱貨物量は、国家の経済5カ年計画（新長期経済計画）・港湾整備5カ年計画などにより、大体定まってくる。

取扱貨物の品種別数量は、品種別の過去の実績、将来の工業計画などにより推定される。そのほか、勢力図の

問題などは種々論じられているので省略する。ここでは入港船舶数の推定について述べる。

(1) 貨物量よりの推定 計画年度の航路別の貨物量を求めるため、過去の基準年度（2～3年）の取扱実績を航路別・品種別に分類し、百分率を求める。次に将来取扱計画の品種別表と過去基準年度航路別百分率表より計画年度の航路別・品種別の取扱量を求める。この航路別合計量を1隻当りの取扱量で割れば隻数がわかるわけである。

1隻当りの取扱量は、過去の基準年度の平均に、その航路別の特性を考え、船型の大型化傾向および実績の1隻当り積おろし量の変遷を考慮して、増加または減少の係数を仮定し、この係数を乗じて1隻当りの取扱量を求める。特例を除き、その変動の係数は0.99～1.04以内であった。

(2) 入港船舶增加傾向よりの推定 過去の実績より推定するもので、グラフに書き傾向線を延長するが、最小自乗法により計画年度の総数を推定するものである。この総数から過去の基準年度の航路別百分率の平均または傾向を加味した百分率でもって計画年度の航路別船舶数を計算すれば良い。

(1), (2) の方法により推定した船数は、大体一致するはずであるが必ずしも一致しない。その時は**(1)**を基本に**(2)**を参考にして補正するのが良い。なお、旅客船および荷役のない修繕船などについては、過去の実績・比率より推定する。

(3) 船種別・航路別・公共私有別（繫船岸）入港船数 将來の埠頭計画により多少異なるが、航路別にバース割当計画を行なうものとすると一般雑貨船・特定貨物船・撤荷船はそれぞれ別々に考慮し、かつ、私有岸壁は除外して計画しなければならないので、計画年度の数字の分析もこれらの分類による必要がある。過去の基準年度の貨物取扱量を航路別・船種別・公私別に分類し、これに対応する船数を分類する。次に、先に出した計画年度の航路別・品種別の貨物量を勘案して、船種別・公私別の貨物量を推定する。前と同様に、航路別・船種別の1隻当り計画取扱量で割って、修正を加え船数を求める。

(4) 在港延隻数 以上で、将来の計画年度における種々の入港船数が推定されたわけであるが、計画の基礎となる在港隻一日数の分布を求めるために、各航路別の在港延隻数を求めねばならない。これは前述の船数に1隻当在港日数を乗じて求められる。各船舶の在港日数は航路により相当の開きがあり、また将来にあっては施設の改良・荷役機械の発達などにより、どれほど短縮できるかは議論の存するところであるが、過去の基準年度の1隻当在港日数より多少減じた数値を用いる。従って、公共岸壁の埠頭計算には、撤荷船・私有岸壁利用船を除

き公共雑貨船・同特定貨物船の延隻数をまず計算する必要がある。

3.4 接岸率と利用率の関係

前節まで将来の計画年度における公共雑貨岸壁を利用する航路別の在港延隻数が判明したわけである。この年間の分布は1日当平均在港隻数(延隻数/365)を母数とするポアソン分布で表わされる。

最後に、この航路の入港船にどの程度のサービス施設、すなわちバースを用意しなければならないかということが問題になる。

サービス能率すなわち接岸率を向上せしめ、バース待ちを少なくし、入港船が集中した場合でも十分吸収し得るバースを用意するためには、多くのバースを要し、建設費およびバースの遊休損失が増大する。すなわち利用率の低下を来し、投資による採算がとれぬことになる。

これに対して、バース数を少なくすれば、バース遊休時間が短くなり利用率の増大がかかるが、入港船は接岸率が低下しバース待ちが増大し非能率的な荷役を行なわねばならぬ。また、バース待ちは施設の少なくなるに従って累増し、従って損失も累増する。混乱を生じ、今後入港船を制限することにもなる。

ゆえに両者を考慮勘案して、最も有利なすなわち最も損失の少ないよう、バース数を決めねばならない。換言すれば、単に船舶の待ち行列を考えるのみでなく、バースの船舶待ちのことも考慮に入れ、混乱を生じない範囲で、経済的なバース数を決定することが必要である。

3.5 最適バース数の計算

最後に、運営方針に従って将来の所要バース数を計算する。神戸港では、前述の方針に従い、各航路別、船種別に最適バース数を計算し、現有バースとの差を不足するバースとして計画した。

ある航路について計算した一例について述べると次のとおりである。

M : 年間在港延隻数

m : 1日当平均在港隻数 $m=M/365$

x : 在港する隻数(x は0および正の整数)

n : x の中の最大値(poison分布の最大在港隻数すなわち右端の隻数)

r : バース数

p_x : 同時に x 隻在港する確率

P_x : x 隻在港する年間(期待)日数 $P_x=365 p_x$

W : 待合せ中の船舶の期待値(接岸不能船舶数)

S : 接岸し得る “” (収容可能船舶数)

ρ : 遊休バースの期待値

とすると、

$$P_x=365 p_x, P_x=\frac{e^{-m} \cdot m^x}{x!}$$

このサービス系において、接岸している船舶数は、

$x > r$ の場合は $r, x \leq r$ の場合は x である。従って、収容可能の船舶の期待数 S は、

$$S = \sum_{x=0}^r x \cdot P_x + \sum_{x=r+1}^n x \cdot P_x$$

また接岸率 λ は $\lambda=S/M$

であり、一方接岸不能の船舶の期待数 W は

$$W = \sum_{x=r+1}^n (x-r) \cdot P_x$$

また非接岸率 μ は $\mu=W/M$ である。

当然 $S+W=\sum_{x=0}^n x \cdot P_x=M$ となり、

$s=S/365, w=W/365$ とすると、

$s+w=m, \lambda+\mu=1$ となる。

一方、バース利用率: α

年間延稼動バース数: A

“” 延遊休バース数: R

各日における船舶側よりみたる

遊休バース期待値(確率): ρ

とする、それぞれ次の値で与えられる。

$$\alpha = \frac{S}{365 \cdot r}, A = S$$

$$R = 365 \cdot r - A, R = \sum_{x=0}^{r-1} (r-x) P_x$$

$$\rho = 1 - \frac{s}{r}$$

これを具体例について計算すると次のとおりとなる。

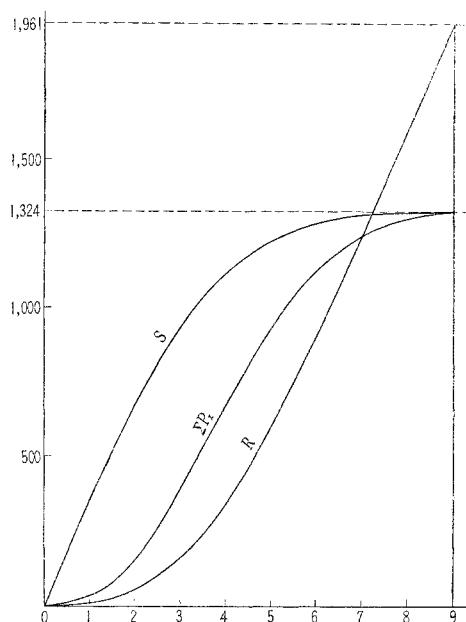
神戸港における昭和37年におけるニューヨーク航路の公共岸壁を対象とする雑貨船数は3.3の計算過程を経て、490隻(特定貨物船・撤荷船を除く)と推定され、また同年同航路の1隻当平均在港日数は2.703日と推定される。従って計算の基本となる延隻数は $M=1324$ 隻と推定され、 $m=3.63$ となる。各計算値は表-15および図-8に表わしてある。

計算の結果より、バースの数が平均在港隻数 m より小さい時はサービス系の能率が落ち、沖待ち船が増大し(この計算は省略する)混乱状態に陥ることがわかった。一方、ある一定数のバースがあれば、それ以上バースを増やしても能率はほとんど変わらず飽和してしまうことがわかった。従ってバース数には最適値が存在し、

表-15 在港隻数分布・接岸船舶数等計算表

| x | $p(x)$ | $P(x)$ | r | $S(A)$ | W | R |
|-----|--------|--------|-----|--------|------|------|
| 0 | .025 | 9 | 0 | 0 | 1324 | 0 |
| 1 | .093 | 34 | 1 | 356 | 968 | 9 |
| 2 | .175 | 64 | 2 | 678 | 646 | 52 |
| 3 | .214 | 78 | 3 | 936 | 388 | 159 |
| 4 | .192 | 70 | 4 | 1116 | 208 | 344 |
| 5 | .140 | 51 | 5 | 1226 | 98 | 599 |
| 6 | .087 | 32 | 6 | 1285 | 39 | 905 |
| 7 | .045 | 17 | 7 | 1312 | 12 | 1243 |
| 8 | .022 | 8 | 8 | 1322 | 2 | 1598 |
| 9 | .007 | 2 | 9 | 1324 | 0 | 1961 |
| 計 | 1.000 | 365 | | | | |
| | | 3.629 | | | | |
| | | 1.324 | | | | |

図-8



それ以上増加し、接岸率を増大しても建設費の損失の方が大きくなる。最適バース数を求めるには、最も利益の大きくなるようすなわち損失の最も少なくなるよう決めれば良い。

単位日当りの船舶のコスト（損失費用）を C_m 、同じくバースのそれを C_r とし、損失合計を C とすると、 r バース与えた場合の C は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} C &= C_m \cdot W + C_r \cdot R \\ &= C_m \cdot \sum_{x=r+1}^n (x-r) P_x + C_r \cdot \sum_{x=0}^{r-1} (r-x) P_x \end{aligned}$$

本式を解いて最少解を求めれば良い。 P_x を展開し、微分方程式で解くよう努力したが困難であったので、試算法で計算した。一例をあげると次のとおりである。

船舶のコスト C_m は 1 船当りの滞船損失を表わすものであるが、接岸不能船舶（沖待ち船）の $1/3$ がバース待ちを断念して、埠に繫留して沖荷役を行なうものとすれば近似的に

$$\begin{array}{ll} \text{滞船損失} & 750,000 \text{ 円} \times 2/3 = 500,000 \text{ 円} \\ \text{荷役損失} & 280 \text{ 円/t} \times 1,270 \text{ t} \times 1/3 = 118,000 \text{ 円} \\ \text{計} & 618,000 \text{ 円} \end{array}$$

618,000 円となる。ここに 75 万円はニューヨーク航路船などの大型定期船の 1 船 1 日当りの滞船損失であり、280 円は接岸荷役と沖荷役との 1t 当りの経費の差（もちろん沖荷役が高くつく）1,270t はニューヨーク航路雑貨船の 1 船当り積おろし貨物トン数である。ただし輸出雑貨については、航路別に上屋に搬入し、接岸荷役により直積を原則にするため、この一部を沖荷役に変更することは混乱を生じ、有形無形のばく大な損失を生ずるため極力避けねばならない。従ってこの $1/3$ も輸入貨物が

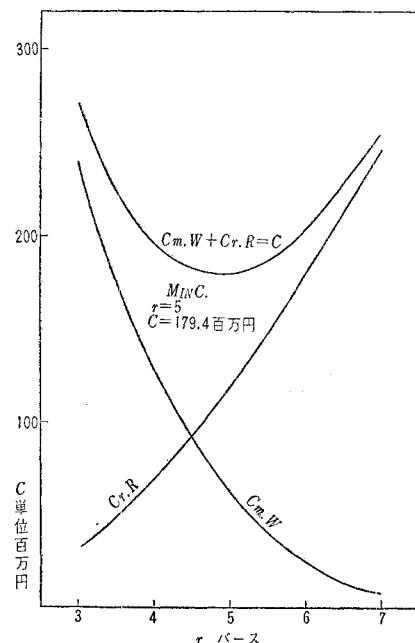
該当すると考えて差し支えない。なお、埠の建設費・維持費は無視する。

次に、遊休バースの単位日当りの損失であるが、資産として残る土地、上屋および鉄道などはある程度比率をさげて減価しなければならぬが、一応 1 バース当り建設費を、10 億円、年利 7%，耐用年数 50 年として元利均等償還すると、賦金率 $a_n^{-1} = \frac{i}{1-v^n}$ は 0.0724599 である。従って C_r は 198,500 円となる。

$$C_r = 1,000,000,000 \text{ 円} \times 0.07246 \times 1/365 \approx 198,500 \text{ 円}$$

$M=1324$ 、 $r=4 \sim 6$ の場合について $C_m=618,000$ 円、 $C_r=198,500$ 円として、 $C=C_m \cdot W + C_r \cdot R$ を用いて計算すると次のとおりである（図-9 参照）。

図-9 最少損失計算図



$$r=4 \quad C=618,000 \text{ 円} \times 208 + 1,985,000 \text{ 円} \times 344$$

$$= 196,828,000 \text{ 円}$$

$$r=5 \quad C=618,000 \text{ 円} \times 98 + 1,985,000 \text{ 円} \times 599$$

$$= 179,466,000 \text{ 円}$$

$$r=6 \quad C=618,000 \text{ 円} \times 39 + 1,985,000 \text{ 円} \times 905$$

$$= 203,746,000 \text{ 円}$$

計算の結果、5 バースの場合損失が最少で、これが最適バース数となる。この時の接岸率 $\lambda=92.6\%$ 、岸壁利用率 $\alpha=67.0\%$ （日数計算による）となる。純接岸時間により利用率を計算すると $\alpha=44.2\%$ となる。

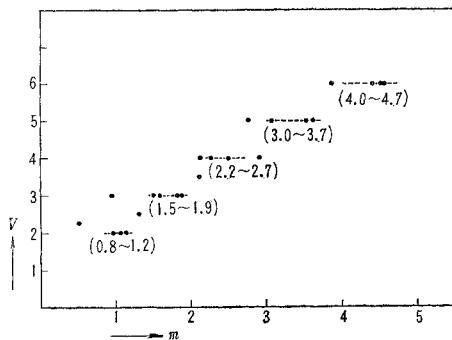
一般的の場合、求める r が（正の）整数とならずに、小数点以下 1 位（2 位以下を求めて無意味である）がすることが多いが、2 挙 8 入し、0.3~0.7 は数似の他航路または不定期船（その航路と同一の発航地または行先地をもつことが判明している不定期船）との共用を考え

るか、または公共投資優先の面から、同投資の損失を少なくし、施設が船舶の増加に先行することを避けるため、0.7以下は切り捨てるこことによって、解決が得られる。

$C_r/C_m=1/3$ 前後と仮定し、 m に対する最適バース数 r を求める、模型化した図を示すと 図-10 のとおりである。 r の整数値の下の () の数値は m である。 C_r/C_m の種々の値について、 m に対する最適バース r を小数点1位まで求め、式化し、またカーブで図示すれば面白い結果が得られるがここでは省略する。

以上の結果より、航路別当りの船数が多いほど、必要バースの比率が少なくてすみ、利用率が上ることが証明された。従って、将来入港船数が飛躍的に増大しても、バースの利用計画さえ誤まらなければ、バースの増加は少なくてすむわけである。しかし一方1航路に4バース以上割当てるとなると突堤が2つにまたがり、その横持ちにより経費の増大が予想され、また、元の状態になることを警戒する必要がある。従って $m < 1$ の場合統合

図-10 最適バース計算図



するばかりでなく、 $m \geq 3$ の航路については運営を注意する必要がある。以上で最適バース数の計算を終るが、諸氏によりますます発展させられんことを切望するものである。

あとがき 本論文は 2.2, 2.3, 2.5 に焦点があり、在港隻一日数の解析から最適バース数を求めたものであるが、理論的にも実用的にも有効かつ便利なものであると信ずる。繫船時間(サービス時間)の分布について考えると、実作業時間のみでなく夜が入ってくることにより多峰性の分布が起り、法則が見出せない。従ってかかる経営問題については、オペレーションズリサーチの考え方方がとり入れられ、重要な因子を把握し、それに諸因子を勘案して解決をはかり、短時日に有効な結果を得るようにすることが重要である。

以上、港湾関係の業務資料として参考に供し得れば幸いである。

参考文献

- 1) McCloskey, Trefethen 著・(目崎憲司・横山 保・大沢 豊訳) : -Operations Research for Management -1954, J.H.P.
- 2) Morse, Kimball 著・(日本科学技術連盟訳) : -Method of Operations Research -1951 John Wiley
- 3) Churchman, Ackoff, Arnoff 著・(森口繁一監訳) : Introduction to Operations Research -1957 John Wiley & Sons.
- 4) 中山伊知郎他編 : -統計学辞典 - 東洋経済新報
- 5) 宮脇一男・三根 久・藤沢俊男著 : -オペレーションズリサーチ - 32.6 共立出版
- 6) 山田 勇 : -最大利潤の原理と計算 - 28.11 春秋出版
- 7) 電気通信学会編(海外論文翻訳) : -トライフィック理論 - 31.11
- 8) 増山元三郎 : -推計学 -

(原稿受付: 1961.1.9)

A NEW METHOD OF BERTH CALCULATION

By Saburo Toi, and Shigetoyo Okada C.E. Member

In making the berth calculation as a part of port planning it has usually been the way to calculate the number of berths by dividing the quantity of cargo(es) handled annually by the handling capacity per berth, and the standard was 800 t/m when the cargo handled was general cargo and under good conditions. This method was determined based on the data secured of various ports in Japan and was regarded as being universal and practical but as a matter of fact each port has its own speciality and we may be permitted to adopt our own way in carrying out our plans for the port of Kobe. So we made a thorough-going investigation-grasping the movements of cargo-ships-berths-of all the vessels coming into the port of Kobe and effected the berth calculation based on the method of operations research. Therefore we believe it advisable to adopt the usual method with our own way of which mention will be made below.

In **Chapter I**, "The Investigation of the Ships (Vessels) entering Port", apart from the Harbor Investigation Regulations (Harbor Statistics), chief items for investigation concerning the ships coming into port selected and the purpose of investigation, method, hints for writing out present paper and the points of argument are stated. Here the stress is laid on the organic relation between ships and cargoes. Classification by lines is suited for this purpose and division into 10-15 items adequate. Items for investigation are as follows : (1) by lines, (2) by grades of the tonnage of ships, (3) by berths, (4) by general cargo, (5) by months or by days. Important among them are (I) the number of ships, (II) the total number of ships, (III) the number of lay days, (IV) gross tonnage, and also the distribution of the number of ships in port by lines have to be investigated. Of the abovementioned items only necessary ones may as well be investigated as the purpose demands, but the results of investigation of some other items are also supplemented for reference. (4) by the

kinds of ships means the relation between ships and shipping goods, and it is natural that the form of loading and unloading should be changed as cargo varies, that is, for general cargo the loading and unloading at the wharf should be better ; for grains, silo facilities ; for bulk cargo cargo-working machines. Therefore, the classification of ships here is made by the kinds of these cargoes, and so furnishes with much information.

In **Chapter II**, "The Analysis and Deduction of the Results of Investigation", an account is given of what resulted from a variety of investigations made by us. Here we took up the number of shipping in port a day and analyzed it, because we believed it to be the coefficient best indicating the state of the utilization of facilities and that of the ships in port.

To cite an instance out of the results of investigation conducted of the port of Kobe, a high-rate is shown of the utilization of the berth by the regular liners, and amongst others the passenger boats one-hundred percent and on the contrary, a high-rate is shown of the utilization of buoys by tramp ships, tankers and the ships on the lines on which are transported imported raw materials in great quantities.

As to the number lay days per ship, excluding ships to be repaired, the regular liners utilize the port of Kobe as an intermediate port (generally speaking, most of them are foreign ships) for a short time and as the terminal port (mostly by Japanese ships) for a long time.

By the number of ships anchoring in port a day is meant the number of lay days for each entering ship till her clearance, i.e., when a ship stays in port for two days, it is accounted to be 2 ships and when for 3 days, considered 3 ships. This may be shown by the product of the number of ships and the number of days, which may also be expressed in the words "the total number of ships" as against the number of ships coming into port. This state may be ex-

plained by making a frequency distribution of the number of ships in port every day. We could prove practically as well as theoretically that the frequency distribution made by us was consistent with the Poisson distribution. Of this fact we could ascertain from the data secured with respect to various lines from 1955-57, and it is supposed that a similar distribution will be made in future, too, even if the population parameter changes. Further, we have made a wave-motion diagram for the year, in which you can notice the fact of concentration at the end of the month, and as it was necessary to show many cases of the theoretical value of the Poisson distribution, we have also drawn up a number of charts.

Next, as mentioned above, we have succeeded in getting various results of much interest and suggested that plans having organic relation are quite possible.

In **Chapter III**, "How we have determined the Number of Berths required", we have on the basis of the investigations mentioned above, analyzed the various elements and the existing state of the mutually related harbors; turned the coefficients having effect of paramount importance to quantities and simplified them; grasped the focal points of the problem; established a rational way of management and suggested to lay plans for the future.

To break the bottleneck in management consequent upon the increase of incoming ships,

and incoming and outgoing cargoes, we are making efforts, for the sake of the port of Kobe, to decrease barge handling, to increase wharf handling, to prevent double movements, to forward the utilization of Customs sheds, to promote quick dispatch of ships and lighten port charges. We have also devised the system of appointing berths classified by lines, based on which we have laid the plans, that is to say, singling out "the number of ships in port a day" as a most important element and reducing the number of lay days per ship, we have planned in order that we may deal with as many total number of ships as possible with limited facilities.

The plan decided, we at once set about forming a rough judgment regarding the number of ships and the quantity of cargoes in future and calculated the number of berths based on the coefficients mentioned above as well as on the rate of possibility in laying ships alongside the wharf and the presumed rate of utilization of mooring facilities.

The above-mentioned is the method we have adopted in our wharf planning. It is natural that with the development of economy there should follow an increase in the number of ships as well as in the quantity of cargo. We should think the point inviting attention lies in that we have so planned as to make greater the quantity of material per berth taking into consideration the utilization of the existing facilities.