

国内向鋼材輸送船の共同配船について†

堀 武 寛*

当社の国内向鋼材の80%程度は海上輸送に依存しており、その殆んど(約80%)がD型(3,000~2,000DW/T)及びE型(2,000DW/T~500G/T)の鋼材輸送船によって行なわれる。これらの船は各作業所で鋼材を積込み、各揚地(京浜、名古屋、阪神)において荷揚し、フリー(空船)となりしだい適当な作業所に仕向けられる。従来、当社を含めた各荷主はこのような配船業務を各々互に独立して行なっていたので、当然荷主側から出される要求は互いに無関係であり、海運及び荷主の両者が共に不合理を忍ばなければならない場面がしばしば見られた。この点を解消するために当社とY社とによる共同配船構想が生まれたわけである。我々はこの問題をモンテカルロ法によって検討し、共同配船により荷主側の運賃負担を5~10%程度軽減できることを確認した。この結果本構想は試験的段階を経て実施の運びとなっている。Interindustrialな問題を解決した1例として報告する。

1. はじめに

当社の国内向鋼材の80%程度は海上輸送に依存しており、その殆んど(約80%)がD型(3,000~2,000DW/T)及びE型(2,000DW/T~500G/T)の鋼材輸送船によって行なわれる。その他は、F型(500G/T未滿)、機帆船及び舢舨等の比較的小型船によるものであり、主として広畑—阪神、名古屋—京浜等といった近距離輸送に従事している。本報文の対象として扱った船型はD型及びE型であり、これ以下の船型は考えなかった。これらの船は、他社も同様であるが、当社の場合であれば室蘭、釜石、広畑等にある作業所において鋼材を積込み京浜、名古屋、阪神等の需要地まで運び、そこで荷揚をし、空船(フリー)となりしだい適当な作業所に向けられる。フリーになって後、各作業所に向けられた船は作業所に到着しても、鋼材積込のためのバースが、既に到着している他の鋼材輸送船によって占有されているならば、バースが空くまで沖待ちしなければならない。沖待ちしているうちに、積込中だった船が製品の積込荷役を終え、積荷バースが空くと沖待ちしている船は先着順にバースに碇泊して荷役を開始する。バースを離れた船は、あらかじめ定められた揚地港に向ってそのまま航海を始める。このようにして、積込→航海→荷揚(フリー)→航海(空船)→沖待ちというサイクルが、船ごとに画かれる。しかし、船によってはフ

† 1968年1月18日受理, 1967年秋季研究発表会講演

* 富士製鉄株式会社

リーになったときに種々の事情によってこのようなサイクルから離脱したり、または新たにサイクルに参入してこくこともあり得る。配船業務とは、各鋼材輸送船に対して、このようなサイクルを設定することである。その場合、各船の現時点における動静を示す動静表と、荷揚港においてフリーとなった状態を示すフリー表が参照される。このような諸表において、従来のような各社別単独配船を実施している場合には、当然他社の鋼材を輸送していた船は、特別な場合を除いて、当社のための配船の対象とならないし、また、この逆の事もいえる。このような事情によって、当然鋼材輸送船の必要総数は、最少必要数を上廻ることになる。また従来国内向鋼材輸送のための備船契約にはC・Q・D・条件¹⁾が適用されていることもあって、積出港における沖待碇泊時間が長くなり、これも必要総数が増える一つの要因であった。鋼材輸送船の必要総数が必要最小限の数より多いということは、C・Q・D・条件の適用を受ける限り、船会社の機会損失が最終的には荷主の支払う運賃で補填されていることに他ならない。このような点を解消するために、Y社との共同配船構想が生れたわけである。この共同配船構想は次のように要約される。

1) 対象となる海運5社を代表する配船センターを設ける。2) 各積地に支店を持っているS社が取敢ず幹事会社となって動静表、フリー表を主管し配船を行なう。3) 共同配船を実施したことによって得られる利益は、船会社と荷主側の間で分配する。4) 船会社側によって推定された予想改善幅は10～5%以上である。したがって実施を検討する価値は充分にある。このような内容の共同配船構想が提案され当社としては特に作業所が遠隔地に散在しているという事情のためにD型及びE型の本船に対する依存度が強いこともありY社と共に検討を始めることにしたわけである。本報文は共同配船構想を当社において検討したさいに参考とした資料の一つであり、問題の設定及び前提条件の設定に関しては、当社及び海運側の担当者に意見を求め独善に陥入らないよう充分配慮した積りである。本報文における検討の結果、共同配船によって得られる利益は、海運側の担当者によって推定された値と等しく、少くとも5～10%程度の必要船腹数の減少に伴う荷主側の運賃負担の低減として期待できることが判明した。

2. 問題の設定

2.1 問題に対する接近方法

我々の直面した問題は、緒言において述べたように、果して共同配船を実施することによって

1) C・Q・D. 条件 (Customary Quick Dispatch)

その港の慣習による荷役能力を以て、できるだけ早く積揚荷役をするというもの。日曜、祭日を不荷役日とするか否かは契約の如何による。明文がなければその港の慣習による。C・Q・Dにおいては滞船料、早出料というものはないと一応はいえる。しかし、この条件は備船者(荷主)は滞船料又は延滞料(Damage of Detention)を払う義務がないものというは誤りで、荷主側が誠意を以て荷役を行わずこれがために碇泊期間が遅れたときは荷主側は滞船料を支払わねばならない。逆に夜荷役をやり、慣習能力以上の仕事をし早く荷役を終えたならば、船主は早出料を支払うべき義務がある。しかしこれらは現実には難しい。

メリットを生み出すことができるかどうかを確かめることである。メリットの有無を判定するためには、メリットを表現すると思われる諸測度を種々の方法により推定し、これを基にして何らかの方法により一元的測度を組立て判断の資料に供さねばならない。各測度の推定にあたっては、その推定モデルにすべての要因を組入れていわゆる完全性 (completeness) を持たせることが望ましい。また、このモデルは、船の碇泊日数とか航海日数等のパラメーターをとって考えてみると分るように確率的 (stochastic) である。このような場合、上に述べた諸測度の推定値は厳密にいうと、いわゆる不偏性 (unbiasedness)、一致性 (consistency) 等の要請を満たしていなければ、メリットの有無を判定する資料として用いることが難しい。このために種々の工夫が必要になるわけであり以下に述べる事柄も実はこれ以外の何物でもない。配船業務をある程度抽象化して効用の測度を推定するのに、大きく分けて、スケジューリング (scheduling) と見なして計画理論的方法を採用するか、あるいは、シミュレーション等の机上実験に類する方法を採用するかの方角が考えられる。前者は今の問題に対しては、最小限度必要とされる船の隻数等、一種の均衡的な値を求めるときには有用な方法である。しかしながら配船を考えるさいには現実には起り得るとされる例外的事象についての考察も重要であるのでモンテ・カルロ法によるシミュレーションを採用した方が広範な局面を見渡すことができるという点で好ましい。またシミュレーションは、碇泊日数等のパラメーターを変化させたときに今着目している測度がどのように変化するかを見る感度分析 (sensitivity analysis) を行なうのも容易である。このような理由により、我々は問題を解くための手段としてモンテ・カルロ法によるシミュレーションを採用することにした。モンテ・カルロ法とは、賭ばくの国モナコにあるモンテカルロという地名から連想されるように、乱数を用いて資料を作ってゆく一つのプロセスである。定義については、かなり意見に不一致があるようであるが、von Neumann-Ulam の基本的概念によれば、“決定論的な数学的問題の処理に、乱数を用いること”と定義される。また、ある人は、“決定論的および確率論的問題の処理に、無作為抽出の方法を利用すること”と定義している。また、シミュレーションについても、ある人の基本的意見によれば、“シミュレーションとは、システムの各ブロック (論理要素) の機能と、その関連が複雑な場合におけるシステムの挙動に関する思考実験である”というふうに述べられる。シミュレーションの目的は、システムに関する評価を狂わせない範囲で模擬しようとするシステムの機能を簡素化及び抽象化してモデルを作り、これに対して電子計算機等を用い実際より早い加速処理を行ない、システムに対する評価を抽出することである。モンテ・カルロ法によるシミュレーションは、何と云っても決定論的解決法ではないので、不安を感じたり、又は疑いを持たれたりする向きがあるが実際に使ってみると十分に価値のある技法であることが分ってくる。本報文において、如何なるシミュレーションモデルを組立てたかについては後の節において詳しく述べることにする。

2.2 計算の目的—判断に必要な測度—

どのような目的を持って計算を行なうかということは、実際には、どのような計算の方法を採

用するかということと密接に関連している。場合によっては電子計算機の性能から計算目的を限定せざるを得ないこともある。本報文においては、使用する計算機とプログラムの特徴を考慮して、計算の目的として、共同配船によって得られる利益を評価するための測度である次の諸元を求めることであると規定した。

(1) 各積地港における就航航路及び船型別の沖待隻数。

各積地港において沖待ちする船の隻数は少ない程、良い。しかし、一隻もいなければ反って困るのである。なぜならば製鉄所の性格上、三交替連続操業を行なっているため製品の出荷は連続的であるので、常に鋼材輸送船が沖掛待機していなければならないからである。沖掛待機する船の適正な許容隻数は、担当者の経験により別に前提条件として与えた。

(2) 各積地港における就航航路及び船型別の沖待時間。

沖掛待機している船の隻数とその時間は互いに独立な測度である。極端な場合、隻数は多くても沖待時間は短いということもあり得る。

(3) 各積地港におけるバース非占有時間。

バースが占有されていないということは、積荷作業が中断されていることを意味するので、望ましくないことである。これはプログラムの関係上、航路別に求められる。前提条件の適否を調べるさいに役立つ。

(4) フリー船を除く稼動中の船の船型別隻数。

これは、共同配船が円滑に運営されるために必要な船の隻数を推定するために必要である。

(5) 各積地港に対して配船された船の隻数。

鋼材製品の出荷量を確保するために一定の隻数が限られた時日内に各積地に対して配船されなければならない。この隻数はシミュレーションの結果として得られモデルの適否を判定するのに役立つ。

2.3 シミュレーション・モデルの概要

シミュレーション・モデルは、現実の配船業務を模擬しようとするものであるから、その本質をよく見究めて簡素化と抽象化に努めなければならない。しかしこのため一般にシミュレーションの結果は、モデル組立の際に意図したものと喰違い、全然予想しなかった事柄がクローズアップされがちなのである。普通は、そのためパラメーターを変化させて様子を見るが行なわれる。このことは、シミュレーションの欠点であるが、しかし同時に利点であるということもいえるのである。以下に説明するモデルは上述の意図の下に担当者と協議して作成したものである。

2.3.1 共同配船対象航路及び船型

共同配船の対象となる航路と船型を表1のように簡素化して整理した。これは、計算の手間を省きモデルを簡明にするために重要なことである。表1において空欄はモデル上、共同配船の対象とならないことを示している。揚地港は、京浜、名古屋及び阪神地区の3カ所とする。また積地港は当社作業所として、M、K及びH各製鉄所、Y社工場としてY及びSの各製鉄所の計5カ

揚地港 積地港	京 浜	名 古 屋	阪 神
M	11 D 型	12 —	13 D 型
K	21 E	22 —	23 E
H	31 E	32 —	33 —
Y	41 D	42 E	43 E
S	51 E	52 —	53 —

表1 共同配船対象航路及び船型
(左肩の数字は航路を区別するために用いられる)

所を考えた。したがって配船業務としては、これら3カ所の揚地から5カ所の積地に対して表に示された船型をいかに配船するべきであるかということになる。

2.3.2 考え方と概括的ブロック・ダイアグラム

シミュレーション・モデルについて特に留意すべき点は判断に関するブロックである。現実のシステムにおいては、人間は多種類の情報に基づいて判断業務を行なうわけであるが、モデルにこのような機能を組込むことは不経済である。本報文においては、この種のブロックに対しては、なるだけ現実の判断過程に似せた機能を与えるように心掛けたが、現実の配船業務を担当者

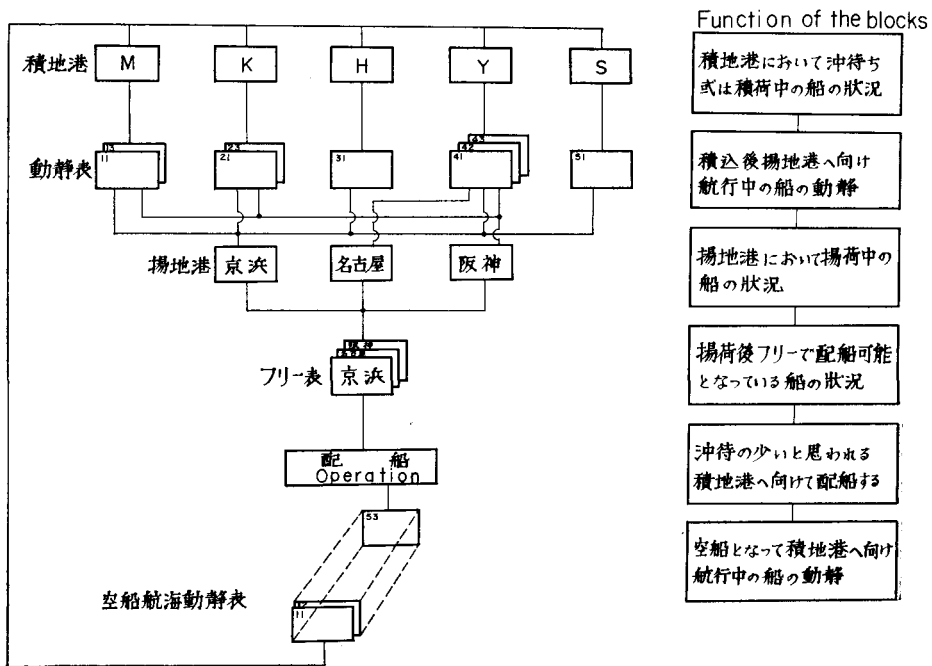


図1 概括的フローダイアグラム

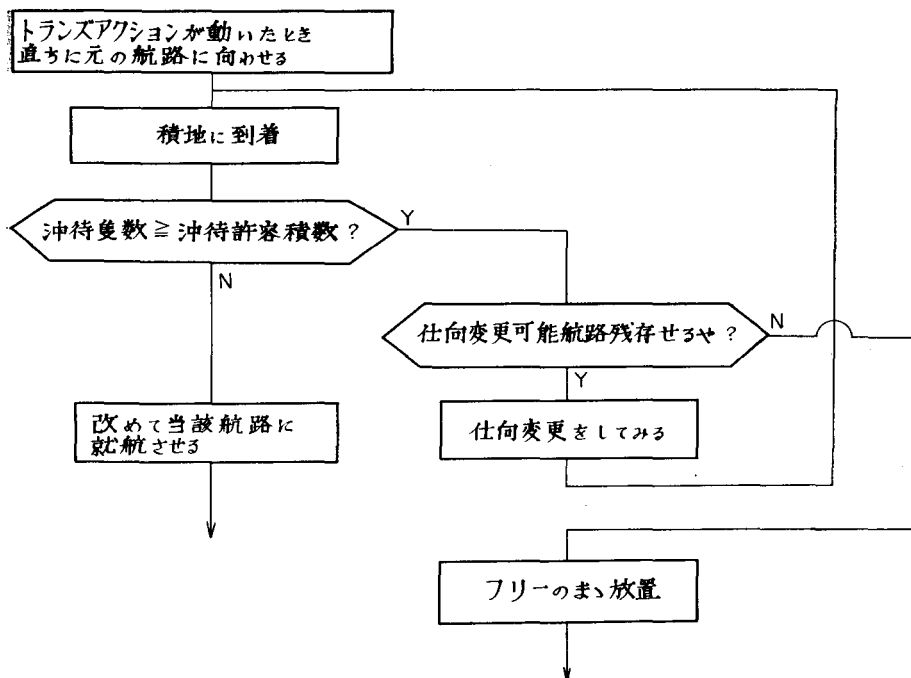


図2 図1における配船ブロックの内容

の意見に基づいて分析しその要素を取捨選択した結果、次のように判断ブロックの機能を設定した。

- (1) フリーとなった船について、振向可能な積地港における仮想的沖待状況を調べる。すなわち、一隻毎に確率分布で与えられる空船航海日数を経過した時の積地港における仮想的沖待隻数を調べることにより、積地港を走査してゆくのである。その結果、仮想的沖待隻数が沖待許容隻数の最大値より多くなければ船を向けることにする。もしも多ければ次の港を走査してゆく。何れの積地もこの条件を満たさなければ船はフリーのまま放置される（実際は他へ転用される）。
- (2) 積地港に到着した船は沖待待機を経て積込を終えると揚地港に向って航海を始める。
- (3) 船型は航路別に定まっているので、判断ブロックは船型毎（D型、E型）に設定する。
- (4) フリーとなった船を積地港へ振向けるとときには、実績に近い航海回数比率に従って就航させるものとする。実は、当初このシステムを考えたときには、このような制約は考えていなかったのであるが、この点を野放しにすると多段階的判断過程を前提としない限り、配船は早手廻しに行なわれるため、遠隔の積地港を選好する傾向が生じてしまうのである。これにより空船航海中の船が増え、船主側の機会損失が増える。

さて、以上全般的なモデルのうち配船の論理を扱う判断ブロックの特徴を述べた。概括的フローダイアグラムは図1に示す。図1における配船ブロックの内容をもう少し詳細に画いたものが図2である。

3. 前提条件

3.1 積地碇泊時間

積地碇泊時間 (Laydays) は梅雨期の実績に基づいて分布を定めた。分布の型は、当初矩形分布を考えたのであるが試行を行なってみた結果、最終的に三角形分布 (図3) を採用することにした。各積地における船型別の積地碇泊時間を表2に示す。

3.2 揚地碇泊時間

揚地碇泊時間の分布は表3に示す。分布の型は表2と同様に、三角形分布を採用した。

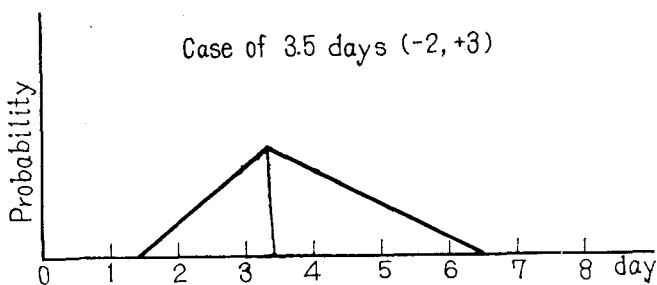


図4 本報文において用いられた三角形分布の例

型 積地港	D	E
M	$2.9d(-2d, +3d)$	—
K	—	$2.5d(-2d, +3d)$
H	—	$4.5d(-2d, +3d)$
Y	$1.7d(\pm 0.5d)$	$1d(-0d, +0.5d)$
S	—	$1.5d(-0d, +0.5d)$

表2 積地碇泊時間 (6月実績に基く)

型 揚地港	D	E
京 浜	$2d(\pm 1d)$	$1d(-0d, +1d)$
名 古 屋	$2d(\pm 1d)$	"
阪 神	$2d(\pm 1d)$	"

表3 揚地碇泊時間

航路	D		E	
	航海日数	月間航海数	航海日数	月間航海数
M	11	2d-11hr±2hr	28.8	—
	12	2-21±2	0	—
	13	3-13±2	13.3	—
K	21	—	—	1-12±1
	22	—	—	2-01±2
	23	—	—	1-14±2
H	31	—	—	1-13±2
	32	—	—	1-01±0
	33	—	—	05±0
Y	41	2-10±2	28.8	2-10±2
	42	2-01±2	0	2-01±2
	43	1-01±1	0	1-01±1
S	51	—	—	1-13±2
	52	—	—	1-01±0
	53	—	—	05±0

表 4 航海日数及び月間就航回数

3.3 航海所要回数

各揚地港と各積地港の間の航海日数及び、各積地港からの月間就航回数を航路別、船型別にして表4に示す。航海日数は空船航海をする場合も鋼材を積んで航海する場合も等しいものとした。また船型によっても異なるものとした。月間就航回数は、モデルに諸元として与えられるものではなくシミュレーションの結果の妥当性を調べるために利用する値である。シミュレーションの結果得られる月間就航回数が、この表の値と一致すればモデルの妥当性を確認できたことになるわけである。航海日数の分布はバラツキが小さいこともあって矩形型の分布を採用した。

3.4 同時積荷役可能隻数及び最少沖待許容隻数

同時積荷役可能隻数とは待合せ理論 (Queueing Theory) において言われるサービスを受ける窓口の数に対応するものである。最少沖待隻数とは、仮想的沖待隻数がこの数より少なければ配船を行なうための判断の基準となる数であり、沖待隻数の上限を意味するものではない。この数が導き出された経緯が分るように沖待実績を参考値としてこれらの数値と共に表5に示す。

積地港	同時荷役可能隻数	最少沖待隻数	実績隻数(参考値)
M	4	2	4~5
K	3	1	2
H	2	1	—
Y	D E 2+2	D E 1+1	3
S	1	0	—

表 5 同時積地荷役可能隻数及び最小沖待許容隻数

型	揚地港	積地港	空船航海比率		計
			実積	与えた回数比率	
D	京 浜	M	42	72%	100%
		Y	16	28	
	阪 神	M	0	1%	100
		Y	13	99	
E	京 浜	K	25	68%	100
		H	0	1	
		Y	12	30	
		S	0	1	
	名 古 屋	K	7	85%	100
		H	0	5	
		Y	0	5	
		S	0	5	
	阪 神	K	0	1%	100
		H	13	30	
		Y	19	44	
		S	11	25	

表 6 各揚地港から各積地港への配船割合

3・5 各揚地港から各積地港への配船割合

各揚地においてフリーになった船の向先を決定する際に、先に述べたルールだけに頼ると、遠隔地を選好するという不合理を生ずる。これを防ぐために空船航海をする場合にとる航路を制限する必要がある。少々、一時しのぎの感がせぬでもないがこの方法は実地的である。各航路に対する配船割合は実績値に基づいて表6のように定めた。

4. シミュレーションプログラムについて

4・1 使用して計算機とプログラム

非常に急いだこともあって、計算はIBMデータ・センタのIBM7090を用いた。使用したプログラムは、GPSS Mark III である。初めはMark II を用いたのであるが時間を短縮するために途中からMark III を用いた。Mark III ではUser Chain を用いて無駄なscan を省略することができる。シミュレーションは1時間単位に約42日間(1000時間)行った。当初は10日間位過渡現象があるであろうと考えたが実際に走らせてみると3日位で平衡状態に落ち着いているようである。従って39日間でシステムの定常状態を表しているものと思われる。種々の測度はこ

の定常状態から抽出した。

4.2 ブロック・ダイアグラムについて

ブロック・ダイアグラムのブロック数は400個前後であり、かなり大きいので紙面の都合上全体を掲載するわけにはゆかないので一部分を示すに留めておく。図に示すブロック・ダイアグラムはD型船の配船を決定する部分である(図4, 5, 6, 7)。表7及び8はブロック・ダイアグラム中において用いられた分布関数, 諸変数, 待合せ行列, 結果の表等, いわゆるGPSSのEntityの表である。GPSS (General Purpose Systems Simulator) においてはこのようなダイアグラムを特定の規約に基づきコード化して計算機にインプットすると先ずシミュレーション・プログラムが作り出される。次にこのプログラムによってシミュレーションが実行(execute)されて結果がアウトプットされる。

4.3 GPSS III のアウトプット

GPSS III によるシミュレーション結果のアウトプットはかなりの量になるし、また、若干予備的知識を必要とするのでここではほんの参考として一部を示すに留め、アウトプットをまとめた結論は後述することにする。アウトプットの例として表9に、計算結果と待合行列の状況等を

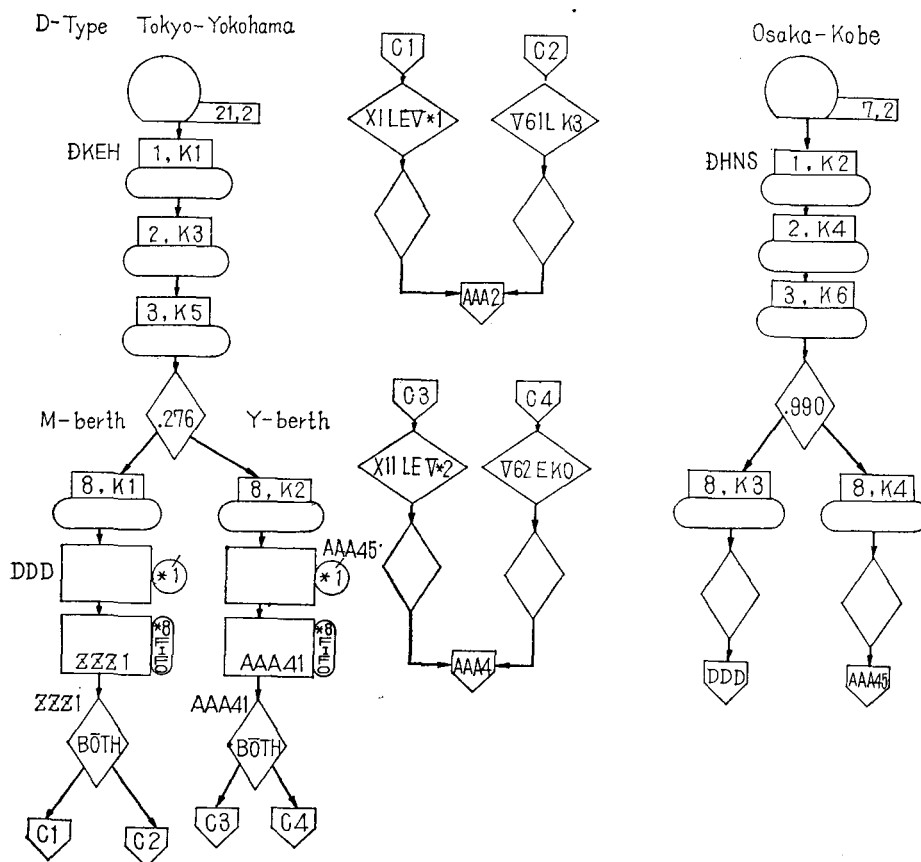


図4 Block diagram of GPSS III (D-type-1)

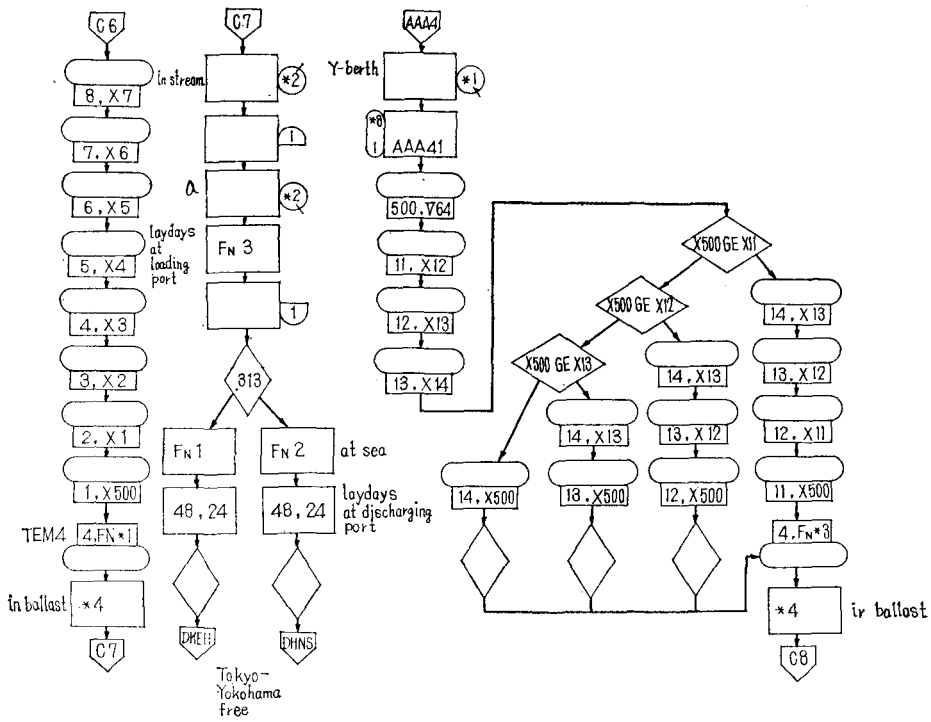


図 5 Block diagram of GPSS III (D-type-2)

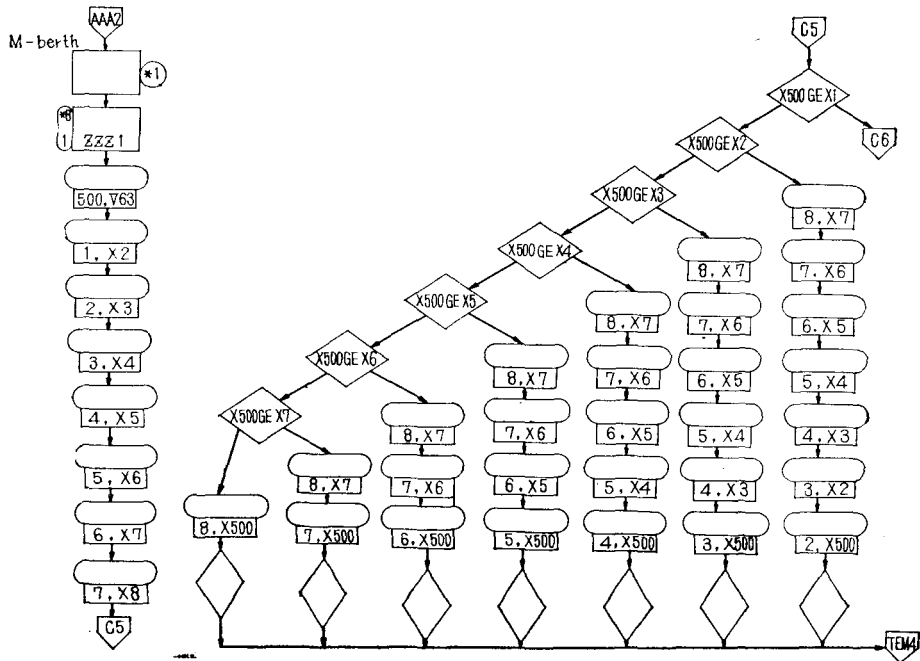


図 6 Block diagram of GPSS III (D-type-3)

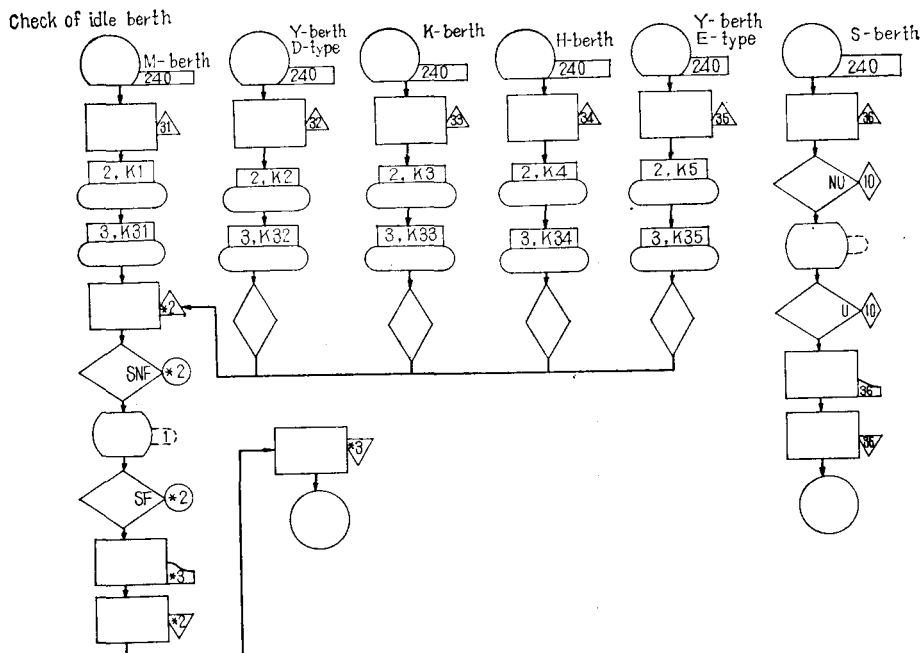


図 7 Block diagram of GPSS III (statistical print out Blocks)

FUNCTION	VARIABLE
1. 航海日数 (M 港—京 浜)	1. 到 着 時 間 (京 浜→M 港)
2. " (" —阪 神)	2. " (阪 神→ ")
3. 積地碇泊日数 (D 型, M 港)	3. " (京 浜→Y 港)
5. 航海日数 (Y ・—京 浜)	4. " (阪 神→ ")
6. " (" —阪 神)	11. " (京 浜→K 港)
7. 積地碇泊日数 (D 型, Y 港)	12. " (名 古 屋→ ")
11. 航海日数 (K 港—京 浜)	13. " (阪 神→ ")
12. " (" —名 古 屋)	14. " (京 浜→H 港)
13. " (" —阪 神)	15. " (名 古 屋→ ")
14. " (H 港—京 浜)	16. " (阪 神→ ")
15. " (" —名 古 屋)	17. " (京 浜→Y 港)
16. " (" —阪 神)	18. " (名 古 屋→ ")
17. " (Y 港—京 浜)	19. " (阪 神→ ")
18. " (" —名 古 屋)	20. " (京 浜→S 港)
19. " (" —阪 神)	21. " (名 古 屋→ ")
20. " (S 港—京 浜)	22. " (阪 神→ ")
21. " (" —名 古 屋)	51. フリーを除く船数 (D 型)
22. " (" —阪 神)	52. " (E 型)
31. 積地碇泊日数 (E 型, K 港)	53. START よりの日数
32. " (E 型, H 港)	61. 航海中と沖待の船数 (M 港)
33. " (E 型, Y 港)	62. " (Y 港, D 型)
34. " (E 型, S 港)	63. 予想出発時間 (M 港)
	64. " (Y 港, D 型)
	65. 航海中と沖待の船数 (K 港)
	66. " (H 港)
	67. " (Y 港, E 型)
	68. 予想出発時間 (K 港)
	69. " (H 港)
	70. " (Y 港, E 型)
	71. " (S 港)
	72. 航海中と沖待の船数

表 7 GPSS III 中で用いた FUNCTION と VARIABLE

QUEUE	TABLE NUMBER	SAVEX
1. D型京浜フリー	1. 同 左	1~8 Temporary Storage
2. " 阪神フリー	2. "	(M港)
3. M港沖待 (京 浜)	3. "	11~15 " (Y港, D型)
4. " (阪 神)	4. "	21~25 " (K港)
5. Y港沖待 (京 浜)	5. "	31~34 " (H港)
6. " (阪 神) D型	6. "	41~45 " (Y港, E型)
11. E型京浜フリー	11. "	51, 52 " (S港)
12. " 名古屋フリー	12. "	200 " (Clock time)
13. " . . .	13. "	201 航海中の船数 (D型)
14. K港沖待 (京 浜)	14. "	202 " (E型)
15. " (名古屋)	15. "	500 Temporary Storage
16. " (阪 神)	16. "	
17. H港沖待 (京 浜)	17. "	
18. " (名古屋)	18. "	
19. " (阪 神)	19. "	
20. Y港沖待 (京 浜)	20. "	
21. " (名古屋) E型	21. "	
22. " (阪 神)	22. "	
23. S港沖待 (京 浜)	23. "	
24. " (名古屋)	24. "	
25. " (阪 神)	25. "	
	31. パースの空き (M港)	
	32. " (Y港, D型)	
	33. " (K港)	
	34. " (H港)	
	35. " (Y港, E型)	
	36. " (S港)	

表 8 GPSS III 中で用いた QUEUE, TABLE No. と SAVEX

SAVEX	NR,	VALUE	NR,	VALUE	NR,	VALUE	NR,	VALUE
	200	2	201	13	202	17		
	200	3	201	15	202	19		
	200	4	201	15	202	21		
	200	5	201	17	202	21		
	200	6	201	18	202	22		
	200	7	201	20	202	21		
	200	8	201	21	202	20		
	200	9	201	23	202	22		
	200	10	201	23	202	18		
	200	11	201	23	202	17		
	200	12	201	22	202			
SAVEX	NR,	VALUE	NR,	VALUE	NR,	VALUE	NR,	VALUE
	1	1074	2	1083	3	1101	4	1111
	6	1135	7	1159	8	1176	11	876
	13	1007	14	1049	21	1011	22	1025
	24	1118	25	1129	26	1169	31	1026
	33	1086	34	1087	41	921	42	966
	44	1131	45	1142	51	927	52	976
	201	15	202	15	500	1159	200	42
STORAGE NUMBER	CAPACITY	AVERAGE CONTENTS	AVERAGE UTILIZATION	ENTRIES	AVERAGE TIME/TRANS	CURRENT CONTENTS	MAXIMUM CONTENTS	
1	4	3.69	.9215	52	70.88	4	4	
2	2	1.52	.7620	37	41.12	1	2	
3	3	2.37	.7957	38	62.82	3	3	
4	2	1.99	.9940	19	104.63	2	2	
5	2	.87	.4340	34	25.53	1	2	

QUEUE NUMBER	MAXIMUM CONTENTS	AVERAGE CONTENTS	TOTAL ENTRIES	ZERO ENTRIES	PERCENT ZEROS	AVERAGE TIME	SAVERAGE TIME	TABLE NUMBER	CURRENT CONTENT
1	13	6.44	86	18	20.9	74.94	94.78	1	13
2	4	1.23	19	4	21.1	64.68	81.93	2	0
3	6	1.38	52	13	25.0	26.54	35.38	3	0
5	2	.14	18	13	72.2	7.61	27.40	5	0
6	2	.21	19	6	31.6	10.84	15.85	6	0
11	5	.82	53	41	77.4	15.51	68.50	11	0
12	2	.21	9	6	66.7	23.11	69.33	12	0
13	12	7.09	59	32	54.2	120.20	262.67	13	9
14	3	.39	31	18	58.1	12.68	30.23	14	1
15	3	.25	7	2	28.6	36.29	50.86	15	0
16	1	.04	1	0	.0	40.00	40.00	16	0
17	1	.16	2	0	.0	82.00	82.00	17	0
18	1	.15	2	0	.0	76.00	76.00	18	0
19	2	.88	16	2	12.5	55.13	63.00	19	0
20	1	.03	16	14	87.5	1.75	14.00	20	0
22	2	.07	18	13	72.2	4.06	14.60	22	0
23	1	.04	1	0	.0	36.00	36.00	23	0
25	2	.22	15	8	53.3	14.60	31.29	25	0

SAVERAGE TIME/TRANS=AVERAGE TIME/TRANS EXCLUDING ZERO ENTRIES

表 9 GPSS III のアウトトップの1例

TABLE NUMBER 1							
ENTRIES IN TABLE		MEAN ARGUMENT	STANDARD DEVIATION	SUM OF ARGUMENT			
73		74.315	70.954	5425.000			
							NON-WEIGHTED
UPPER LIMIT	OBSERVED FREQUENCY	PER CENT OF TOTAL	CUMULATIVE PERCENTAGE	CUMULATIVE REMAINDER	MULTIPLE OF MEAN	DEVIATION FROM MEAN	
0	18	24.66	24.7	75.3	.000	-1.047	
5	4	5.48	30.1	69.9	.067	-.977	
10	0	.00	30.1	69.9	.135	-.906	
15	3	4.11	34.2	65.8	.202	-.836	
20	0	.00	34.2	65.8	.269	-.765	
25	0	.00	34.2	65.8	.269	-.695	
30	0	.00	34.2	65.8	.404	-.625	
35	1	1.37	35.6	64.4	.471	-.554	
40	1	1.37	37.0	63.0	.538	-.484	
45	1	1.37	38.4	61.6	.606	-.413	
50	0	.00	38.4	61.6	.673	-.343	
55	1	1.37	39.7	60.3	.740	-.272	
60	1	1.37	41.1	58.9	.807	-.202	
65	1	1.37	42.5	57.5	.875	-.131	
70	0	.00	42.5	57.5	.942	-.061	
75	5	6.85	49.3	50.7	1.009	.010	
80	2	2.74	52.1	47.9	1.076	.080	
85	3	4.11	56.2	43.8	1.144	.151	
90	4	5.48	61.6	38.4	1.211	.221	
95	3	4.11	65.8	34.2	1.278	.292	
100	3	4.11	69.9	30.1	1.346	.362	
105	4	5.48	75.3	24.7	1.413	.432	
110	3	4.11	79.5	20.5	1.480	.503	
115	0	.00	79.5	20.5	1.547	.573	
120	2	2.74	82.2	17.8	1.615	.644	
125	2	2.74	84.9	15.1	1.682	.714	
130	2	2.74	87.7	12.3	1.747	.785	
135	1	1.37	89.0	11.0	1.817	.855	
140	0	.00	89.0	11.0	1.884	.926	

145	0	.00	89.0	11.0	1.951	.996
150	0	.00	89.0	11.0	2.018	1.067
155	1	1.37	90.4	9.6	2.086	1.137
160	0	.00	90.4	9.6	2.153	1.208
165	0	.00	90.4	9.6	2.200	1.278
170	0	.00	90.4	9.6	2.288	1.349
175	5	.00	90.4	9.6	2.355	1.419
180	1	1.37	91.8	8.2	2.422	1.489
185	0	.00	91.8	8.2	2.489	1.560
190	1	1.37	93.2	6.8	2.557	1.630
195	0	.00	93.2	6.8	2.624	1.701
200	0	.00	93.2	6.8	2.691	1.771
205	0	.00	93.2	6.8	2.759	1.842
210	1	1.37	94.5	5.5	2.826	1.912
215	0	.00	94.5	5.5	2.893	1.983
220	0	.00	94.5	5.5	2.960	2.053
225	0	.00	94.5	5.5	3.028	2.124
230	0	.00	94.5	5.5	3.095	2.194
235	0	.00	94.5	5.5	3.162	2.265
240	1	1.37	95.9	4.1	3.229	2.335
OVERFLOW	3	4.11	100.0	.0		
AVERAGE VALUE OF OVERFLOW			278.00			

表10 GPSS III により作り出されたヒストグラムの1例

示す。また表10にはヒストグラムの1例を示す。

4.4 計算の経緯

シミュレーションは、システムが42日間（1時間単位）経過する過程でどのような現象が生起するのかを見ることができるように行なった。その都度、結果をまとめて考察を加え前提条件を確かめ斉合性のないパラメーターを入れ換えて再びシミュレーションを繰返した。このようにしてシミュレーションを5回繰返した。本報文においては5回目の結果について述べ、これ以外については省略する。シミュレーションは全く思い掛けない事態をもたらすと常々言われているように、論理とパラメーターの与え方によって全く予期しない事象が起るわけで、このシミュレーションにおいても幾度か、このような事態に遭遇したが、関係者間でその都度検討し改良を加え再計算を行なって最終的に満足できる結果を得ることができた。最終結論を得るまでの所要時日は約12日でありこの種の問題としては予想以上に早かったといえる。

5. 計算結果の分析

計算は通算5回行なったわけであるが、途中の分析経過の説明は省略することにする。

5.1 初期条件として与えられたフリー船の隻数

これは計算結果ではないが、GPSS III の重要な前提である。GPSS では定常状態と目される状態を予め初期条件としてシステムに直接的に与えることができない。そこで、過渡的状态を経て定常状態に落ち着いた時点からシミュレーションが開始されると考えるわけであるが、落ち着くべき定常状態はやはり GENERATE ブロックに与えられるパラメーターによって左右される。従

ってこれをどのように決定するかによって結果は大きく変わってくる。このシミュレーションにおいては前4回の結果を検討して表11のようにフリー船の隻数を（初期条件として）与えた。このフリー船の隻数は配船の経緯を支配する重要な要因である。もしもこの数が適切でないとバース空きが生じたり近距離港よりも遠距離港を选好し、非現実的なシミュレーションの結果に終る。

型	揚地港	隻数	計
D	京 浜	21	23
	阪 神	7	
E	京 浜	9	24
	名 古 屋	3	
	阪 神	12	

表11 初期条件として各揚地において与えられたフリー船の数

5.2 各種地港における沖待の状況

各種地港における沖待ちの状況は、船型別、航路別にセットした QUEUE ブロックに関する

型	積地港	揚地港	Average contents	Percent zero entries	Average time/transaction	" (excluding zero)
D	M	京 浜	1.38	25.0%	26.54hr	35.38hr
		阪 神	—	—	—	—
	Y	京 浜	0.14	72.2	7.61	27.40
		阪 神	0.21	31.6	10.84	15.85
E	K	京 浜	0.39	58.1	12.68	30.23
		名 古 屋	0.25	28.6	36.29	50.80
		阪 神	0.04	0.0	40.00	40.00
	H	京 浜	0.16	0.0	82.00	82.00
		名 古 屋	0.15	0.0	76.00	76.00
		阪 神	0.88	12.5	55.13	63.00
	Y	京 浜	0.03	37.5	1.75	14.00
		名 古 屋	—	—	—	—
		阪 神	0.07	72.2	4.06	14.60
	S	京 浜	0.04	0.0	36.00	36.00
		名 古 屋	—	—	—	—
		阪 神	0.22	53.3	14.60	31.29

表12 各種地における沖待の状況

アウトプットから推察することができる。表12に、アウトプットを分かり易くまとめた結果を示す。この表について注意せねばならないことは、シミュレーション開始時の過渡現象を含んでいる点である。したがって、全然沖待せずにバースに着いた船の割合 (Percent zero entries) は若干低目に見積る必要がある。平均沖待隻数 (Average contents) 及び平均沖待時間は (Average time transaction) 普通に考えられている値とほぼ一致しているので、その他の結果も信頼するに足るものと思われる。

5.3 各種地港におけるバース非占有状況

シミュレーションの結果得られたバース空きの状況を表13に示す。この表によれば、バースが空いたまま放置されている時間は、若干長いように思われるが分布のヒストグラムを見ると長時間にわたるバースの空きは例外的なケースであることが分る。過渡現象が含まれていることと前4回の計算結果を考えあわせると短時間のバース空きは生じるが、特に問題にはならないと考えられる。

型	積地港	Mean of duration	Frequency	Sum of durations
D	M	9.250hr	8	74.000hr
	Y	23.636	11	260.000
E	K	45.750	8	366.000
	H	—	—	—
	Y	45.111	9	406.000
	S	45.857	7	321.000

表13 各種地港におけるバース空きの状況

5.4 フリー船を除く稼働中の船の隻数

図8にシミュレーションが始まった時点からのフリー船を除いた、即ち各航路、積地及び揚地において稼働中の船の総数の推移を示す。これを見ると分かるようにD型及びE型の最多数は各々、23隻及び22隻であるので、計45隻程度が稼働中の船の最多数となる。したがってD型及びE型あわせて45隻程度あれば荷主側の要求を無視せず、かつまた、各船が遊休することもなく稼働している状態が現出することになる。それでは、45隻あれば荷主側の要求に常に応えて配船できるかといえば、少々不安であるがしかしこの他に揚地港において常に航路別に1～2隻程度のフリー船を待機させておけば充分であろう。今考えている対象航路は16(表6)あるから、予備として各航路に1隻ずつ計16隻与えたとすれば、所要隻数の総数は45+16=61隻となる。この内訳はD型23+4=27隻、E型22+12=34隻である。このように61隻の船を運用すれば、共同配船によって実務上問題となる事態に直面することはないであろうと考えられる。

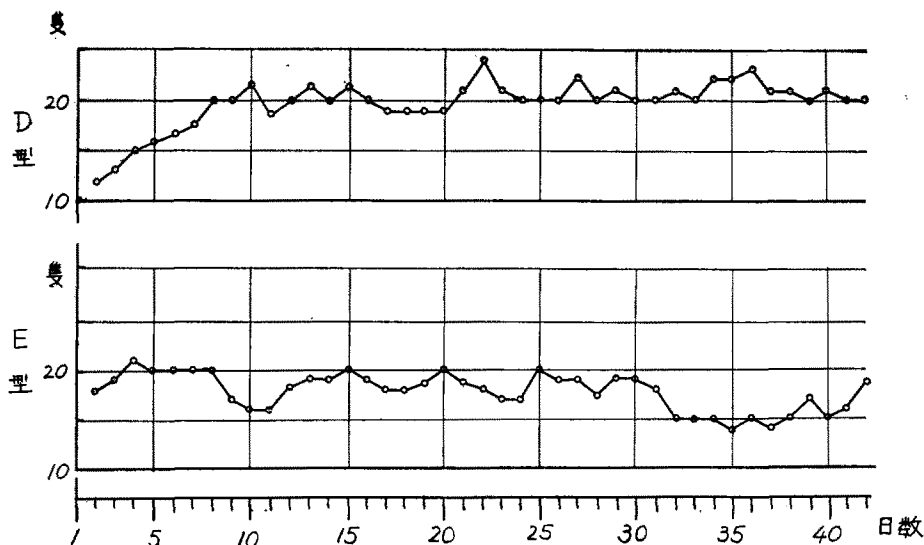


図8 フリーを除く稼動中の船の隻数(空船航海のパターンを与えた場合)

5.5 各積地港に対して配船された船の数

シミュレーションによって約40日の間に各船がどのように運用されるかが分ったわけである。ここで各積地港に対して配船された船の数を表14に示す。最右欄のカッコ内の数字は実績に基づいて算出した40日間に必要とされる船の隻数である。配船された船の数がこの数より少ないということは、予定された出荷量を消化できないことを意味する。また、この数を上廻る場合は、必要以上に配船され、船腹がダブツイテいることを意味する。表を見ると分るように、配船された隻数はこの必要隻数と一致していない。これについては、前4回のシミュレーションの結果を種々検討して、諸種のパラメーターが配船された隻数に及ぼす効果を確認したところ、これらのパラメーターの現在値の近傍においては変曲点とか不連続的に急激な変化の起る点は一応存在しないと考えられるので、表に示された値はさほどきわどい数値ではないと思われる。すなわち、パラメーターの感度は概して鈍いのであるがしいて言えば表2に示した積地碇泊日数が最も感度の鋭

型	積地港	京 浜	名 古 屋	阪 神	計
D	M	52	—	0	52(56)
	Y	18	—	19	37(38)
E	K	31	7	1	39(43)
	H	2	2	16	20(18)
	Y	16	0	18	34(41)
	S	1	0	15	16(15)

表14 各積地港に対して配船された船の隻数。()内は必要隻数

敏なパラメーターである。このような不斉合性は表2の値を求めるために用いた実績データが不備であったため推定に偏りが生じたことによるものと思われる。

5.6 結 論

共同配船によって得られる利益は、海運側担当者の実務上の経験から少なくとも従来運賃の5～10%程度に達するものと推定された。本報文ではシミュレーションによって61隻程度あれば共同配船は円滑に運営されることが確かめられた。現状では、この数は65～70隻であるから、したがって改善幅は6～12%以上であると推定される。本報文の結果は諸種の要請を完全に満足しているものではないが、通算5回にわたる計算の結果はいずれも似通っており結論の信頼性についての問題はないと思われる。改善幅は空船航海のための運航費によって左右されるわけであるが、ここでは各航路別の航海回数比率は、ほぼ実績通りに与えてあるから特に心配する必要はないであろう。最後に本シミュレーションは費用の問題もあって1時間単位に1000時間ずつしか実施できなかったのであるが通算5回にわたるパラメーターを少しずつ変えた反復結果が比較的安定しているのでこれから直ちに結論を下しても大過ないであろうと思われる。

6. む す び

このシミュレーションにおいては揚地港において発生したフリー船を何れの航路に配船すべきであるかという風に論理を組立てた。船の運航費等といった運営の効用に関する測度は考慮しなかったが、このような事項についてはなるだけ従来行なわれていたパターンを守るようにモデルを組立てた。総計5回にわたって計算を繰返したが、いずれの場合も50～60隻程度船を有すれば共同配船は円滑に運営されるという結果を示した。このことは、シミュレーションの結果の信頼性を裏付ける一つの根拠になり得るものである。本報文においては共同配船という新しい方式に帰属させ得るメリットを求めるといふ方針に終始したわけであるが、本来、この種の検討はこれだけで終るべきものではないことはいうまでもない。

最後に、本報文をまとめるに際し当社販売管理部の西川幸雄、山本捨雄、大家紹嘉、寺師和敏の各氏、ならびに新和海運の内航部瀬戸山兼二氏に非常に御世話になった、というより本報文はむしろ我々の共同作品であることを申し添えておきたい。また、検討作業中に種々の形で御援助を頂いた当社生産管理部の片田中氏、原稿に眼を通し、適切な助言をして下さった当社原料部の竹内肇氏、そしてプログラムの作成ならびに結果の分析に際して有益な討論をかかわって頂いた、IBMデータセンターの山根孝善氏と宇山幸伸氏に紙面を借りて謝意を表したい。

参 考 文 献

- (1) 船荷証券と備船契約書 浜谷源蔵 同文館
- (2) モンテカルロ法 宮武, 中山共著 日刊工業
- (3) Reference Manual General Purpose Systems Simulator II IBM
- (4) IBM Service Bureau User's Guide GPSS III