

モンテ・カルロ法による埠頭荷役能力についての考察

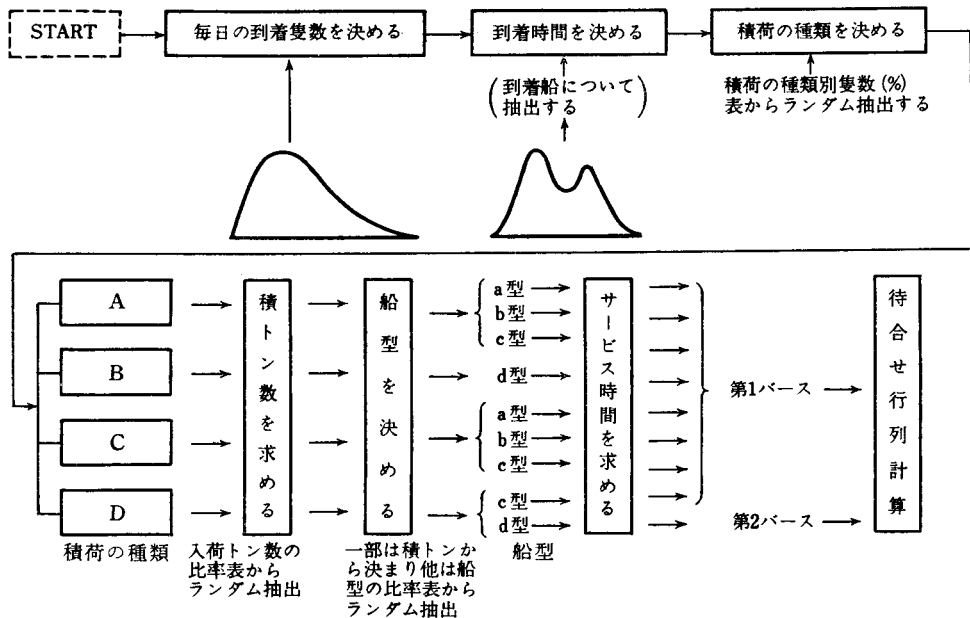
広瀬 一夫*

1. ま え が き

製鉄用原料として輸入される鉄鉱石、石炭は専用の埠頭で荷揚げされているが、製鉄関係の設備が増強されたとき、現状よりさらに多量の処理が必要となってくる。このとき、現有の埠頭設備で荷役が可能であるかどうか、また不可能とすればどれくらいの設備を増強しなければならないかということが問題となった。この問題についていろいろ検討が行なわれたが、複雑な要素が入り交っているため、解析的な解が得られなかった。設備拡張計画のための一資料としてモンテ・カルロ法による検討を行なった。

2. 解 析 方 法

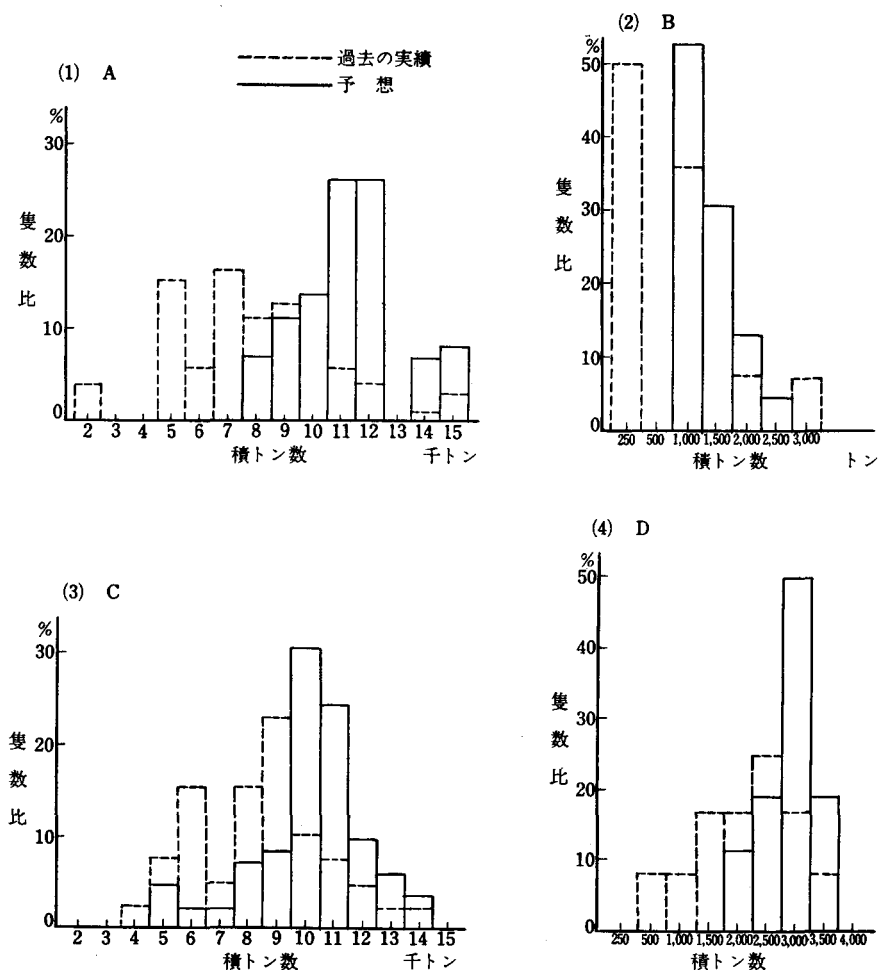
将来予想される入荷量に対し、現有の荷役能力ではどれぐらいの滞船を生ずるかということにシミュレーションモデルを用い待合せ行列の問題として解いた。つぎに、経験的に得られた数字から設定された荷役設備増強計画での荷役能力ではどうかということと同様にして検討した。



* 尼崎製鉄株式会社技術部 昭和37年2月1日受理

モデルはつぎのようにして作った。

- (1) 積荷の種類別に年間入荷量を推定し、輸送船の大きさ・形式の推定から年間の到着船隻数 n を決める。
- (2) 1日の到着船隻数は平均 $\lambda = n/365$ なるポアソン分布にしたがう。
- (3) 船の到着時刻の1日の中での分布は実績の統計から分布曲線を求め、この分布にしたがう乱数から抽出して決める。
- (4) 想定した積荷の種類別隻数の分布から抽出して積荷の種類をきめる。
- (5) 積荷の種類別にそれぞれの想定した分布から抽出して積トン数および船型をきめる。
- (6) 荷役能力については
 - ステップ1：実績から求めた能力の場合
 - ステップ2：荷役設備増強計画による推定能力の場合
 の2段階に分け、それぞれについて検討を行なう。



第1図 到着船の積トン数

積荷の種類・船型別の積トン数と荷役時間の関係式から各船ごとに荷役時間を算出し、さらに荷役時間以外の所要時間を加えて各船ごとのサービス時間を求める。

これで各船の入港時間とサービス時間が決まるから待合せ行列の問題としてモンテ・カルロ・シミュレーションが実施できることになる。

つぎに上記手続きの順を追ってその内容を示す。

(1) 積荷の種類は A・B・C・D の 4 種類で船型は a・b・c・d の 4 種類に分けられる。

年間の入荷トン数・船型別隻数は第 1・2 表のように想定され、積荷の種類別の積トン数の分布は第 1 図のように予想される。

第 1 表 到着船の予想隻数

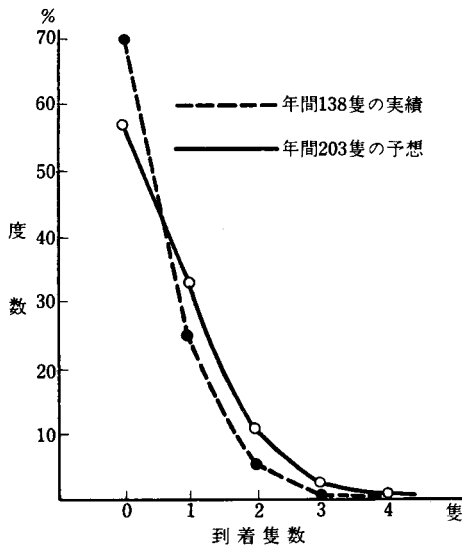
種類	トン数	1隻当たり平均トン数	隻数	隻数%
A	809,000	11,200	72	35.4
B	31,000	1,350	23	11.3
C	830,000	10,100	82	40.5
D	75,000	2,890	26	12.8
計	1,745,000		203	100.0

第 2 表 到着船の予想船型

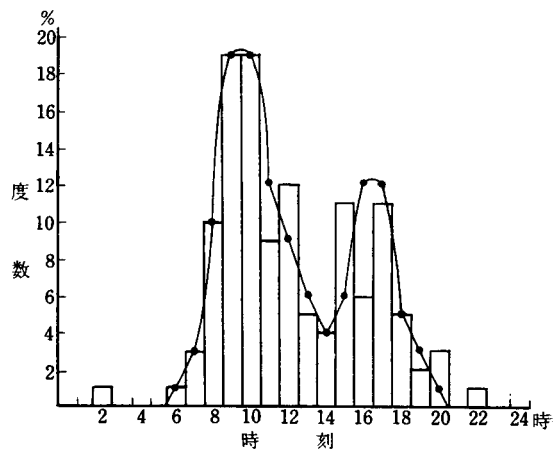
船型	A		B		C		D		計 隻
	隻	%	隻	%	隻	%	隻	%	
a	11	15.3			8	9.8			19
b	38	52.8			36	43.9			74
c	23	31.9			38	46.3	7	26.9	68
b			23	100.0			19	73.1	42
計	72	100.0	23	100.0	82	100.0	26	100.0	203

(2) 到着船の年間総隻数は 203 隻であるので、1 日の到着隻数は第 2 図のように $\lambda=203/365 \approx 0.56$ のポアソン分布に従うと考えられる。

(3) 到着時刻は実績の統計から第 3 図のようになると予想される。



第 2 図 毎日の到着隻数の分布

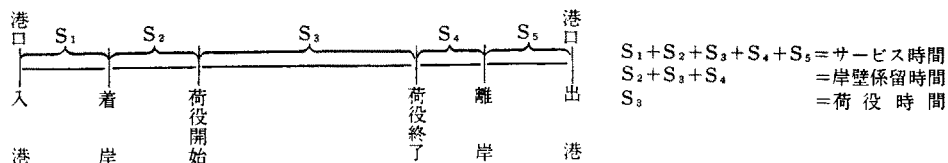


第 3 図 到着時刻の分布

矩形乱数からそれぞれの分布にしたがう乱数を作り出すことにより、船の到着時刻・積荷種

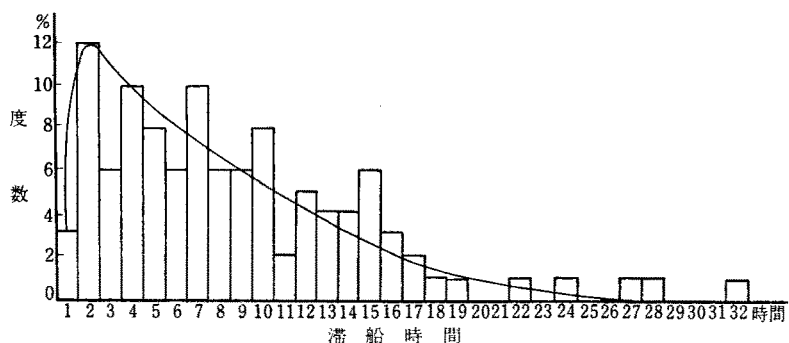
類・船型・積トン数を決定することができる。これで(4)(5)は終ることになる。

(6) サービス時間は船が港の入口に入ってから着岸・荷役開始・荷役終了・離岸・港口に出るまでの全時間とする。



S_1+S_5 は船の型・積荷の種類・数量には無関係に常にほぼ一定であり、1.5 時間とする。

S_2+S_4 は船の型・積荷の種類・数量には無関係であるが、着岸時における荷役の状況・荷役終了時刻・その他によりたえず変動がある。実績から第4図のような分布曲線を決め、これにしたがう乱数によって決定した。



第4図 S_2+S_4 の分布

S_3 は前述のとおり荷役能力によりステップ1とステップ2に分けた。

積荷の種類と船型に層別すると、数量と荷役時間とは函数関係にあると考え、第3表の $y=a+bx$ なる一次式を用いて積トン数 x から荷役時間 y を求める。

第3表 推定荷役能力

ステップ1				ステップ2			
種類	船型	推定式	バラツキ (σ)	種類	船型	推定式	バラツキ (σ)
A	a	$y = -11.0 + 0.006x$	10.8	A	a	$y = 26.0 + 0.001x$	9.5
	b	$y = -5.9 + 0.007x$	9.4		b	$y = 20.0 + 0.003x$	9.6
	c	$y = 22.5 + 0.004x$	12.4		c	$y = 22.0 + 0.003x$	11.4
B	d	$y = 2.1 + 0.013x$	3.6	B	d	$y = 22.0 + 0.003x$	4.1
C	a	$y = 27.7 + 0.001x$	2.1	C	a	$y = 13.7 + 0.002x$	3.0
	b	$y = 12.8 + 0.003x$	4.8		b	$y = 8.0 + 0.003x$	4.7
	c	$y = 11.6 + 0.004x$	8.6		c	$y = 10.0 + 0.003x$	8.4
D	d	$y = 11.8 + 0.004x$	4.7	D	d	$y = 10.0 + 0.003x$	4.3

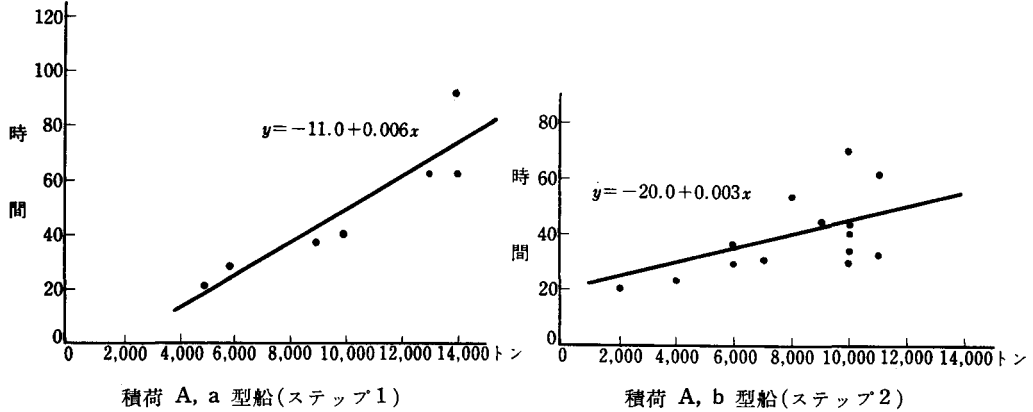
x : 積トン数 y : 荷役時間

なお、バラツキの時間を表の σ に相当する正規乱数から抽出して加える。

$S_3 = x + (\sigma$ に相当する正規乱数から抽出したバラツキ)

以上によりサービス時間は $S_0 = (S_1 + S_3) + (S_2 + S_4) + S_3$ として求められる。

第5図に第3表を求める基礎となった、積トン数と荷役時間の関係の実績および推定値の一部を示す。



第5図 積トン数と荷役時間との関係

これで(s, t)が与えられたから待合せの問題として扱える。

3. 解析結果

この埠頭では No. 1 バースと No. 2 バースの2つの岸壁があり、D種の積荷がd型船に積まれているときは No. 2 バースで荷役することに決められているので、サービス・ステーションを No. 1, No. 2 の2つとり、D-dの組合せのものは No. 2 にまわした。

FACOM 128 計算機により2年分の試行を行なって見た。その結果はつぎのとおりである。

(1) ステップ1.

No. 1 バースは日時の経過とともに待船数は増大し、待時間は無限大に近づく。したがって荷役不可能であり、現在計画されている荷役設備の増強の必要性が確認された。

No. 2 バースは本検討の対象では到着船は少く問題はない。

試行結果の平均値を第4表に示す。

第4表 解析結果(ステップ1)

	No. 1 バース		No. 2 バース	
	総計	1隻当たり	総計	1隻当たり
到着隻数	183		20	
待時間	274,589	1,500	3.2	0.18
荷役時間	9,278	50.7	388	21.6
サービス時間	10,986	60.0	541	30.0

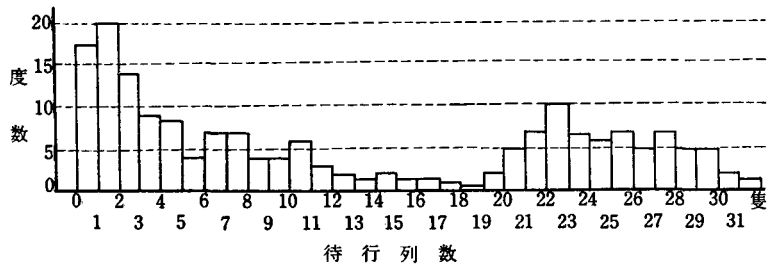
第5表 解析結果(ステップ2)

	総計	1隻当たり
到着隻数	183	
待行列隻数	2,209	12
待時間	101,219	553.1
手あき時間	22	0.12
荷役時間	7,030	38.4
サービス時間	8,738	47.8

(2) ステップ2.

試行結果の平均値を第5表に示す。(No.1 パース)

待行列数の平均は 12 隻であり相当大きい数字となっているその度数を第6図に示す。



第6図 待行列数

1年分 365日 (8,760時間) に対する荷役時間の割合を稼働率とし、サービス時間の同様の割合を着船率とすると

$$\text{稼働率} = 7,030 / 8,760 \times 100 = 80.2(\%)$$

$$\text{着船率} = 8,738 / 8,760 \times 100 = 99.7(\%)$$

荷役が順調に行なわれるためには経験上稼働率は 60~70%，着船率は 70~80% が考えられるので、現在立案されている増強計画ではなお能力が不足することが判明した。

FACOM 128 計算機の速度の問題があって、2年分の計算を一応行なった。この結論はほぼ正しいということを確認して2年分だけで打切った。もっと精密な解を求めるためには1隻当りの平均待ち時間が十分安定するまでやってみる心要があろう。