

S 工場石炭陸揚能力及び貯炭場能力決定 のためのシミュレーションについて

岡崎順応* 中島裕之**

S 工場の建設にあたって、輸入石炭の陸揚能力及び貯炭場能力決定のための参考資料としてシミュレーションを行なった。

これらの能力の決定にあたっては種々研究検討されているが、いろいろ複雑なる諸要因が入り組んでいるため、数式的に簡単に分析計算することは困難なので、シミュレーションの手法によった。

一方、貯炭場の能力はアンローダーの能力に従属するので、アンローダーの能力決定後、その場合の最適な貯炭場能力の算出を行なった。

なお、このシミュレーションを行なうに際しては、大阪大学経済学部横山教授の御指導と、阪大横山ゼミの学生諸君の協力を御願ひした。

1. 石炭陸揚能力算出のためのシミュレーション

1.1. シミュレーションによった理由

将来必要とされる 1,000 日間の石炭の量は第 1 表のとおりである。これを第 1 表の如く ABCDE (米国炭) に関しては、専用船 (45,000 トン級) 3 隻, FGHI (豪州炭) に関しては、専用船 (35,000 トン級) 2 隻を主軸とし、残りを不定期船 (25,000 トン級, 10,000 トン級) にて運ぶものと考えた。

この場合、

- (1) 過去の実績からみて不定期船は、なかなか便船がみつからないため予定通り入港しない。
- (2) 専用船、不定期船共に航海日数を人為的にコントロール出来ない。
- (3) 特に不定期船に関しては、入港は全くランダムと考えられる。
- (4) 銘柄に関しては手配は、計画的に行なわれるにも拘らず専用船以外は着港時にその順序が狂いがちである。

以上のようなファクターを計算式にみこみ数学的に解くことは、大型電子計算機を利用する以外には殆んど不可能と考えられる。

又、シミュレーションは進行状況が逐一検討把握出来、派生的に生ずる種々の問題をも発見、

***大阪瓦斯株式会社 昭和38年3月25日受理「経営科学」第6巻3号

第 1 表

銘柄	石炭使用量 (1,000日) (トン)	大型専用船		25,000 トン型		10,000 トン型		過不足 輸送量 (トン)
		隻数	輸送量(トン)	隻数	輸送量(トン)	隻数	輸送量(トン)	
A	600,000	9	405,000	6	150,000	4	40,000	-5,000
B	600,000	9	405,000	6	150,000	4	40,000	-5,000
C	600,000	9	405,000	6	150,000	4	40,000	-5,000
D	500,000	8	360,000	5	125,000	2	20,000	+5,000
E	500,000	8	360,000	5	125,000	2	20,000	+5,000
小計	2,800,000	43	1,935,000	28	700,000	16	160,000	+5,000
%		69.1		25.0		5.9		
F	1,000,000	21	735,000	12	300,000	6	60,000	-5,000
G	800,000	14	490,000	10	250,000	6	60,000	
H	400,000	7	245,000	5	125,000	3	30,000	
I	300,000	7	245,000	5	125,000	3	30,000	
小計				32	800,000			
%		63.5				6.8		
計	5,500,000	92	3,650,000	60	1,500,000	34	340,000	-10,000

参考にすることが出来る。

このような見地から、この問題にシミュレーションの手法を採用してみた。

1.2. 解析の方法

(1) 専用船（大型船）

以下米国、豪州も共に事情は同じなので一括して考えることにする。

- 1) 専用船はピストン航海を行なうことを原則とする。
- 2) 航海日数は、船の速力より下限を決定し、過去の経験、他社の状況及び、他種船型の状況を検討、考察の結果、平均航海日数を中心としてほぼ正規分布をなすものと仮定しても差支えない、との結論を得た。
- 3) 石炭積込港における停泊日数は一定とし、休日等による変動は、航海日数の変動の中に含ませることにした。
- 4) 銘柄は予め定めておいたサイクルに従って石炭積込港において積込むこととする。

(2) 不定期船（小型船）

25,000 トン級船と 10,000 トン級船とは、種々の決定は別個に行なったが、事情が同一であるので以下同時に考えられる。

- 1) 他社の実績並びに 1,000 日間に入港する隻数からみて、毎日の入港隻数は、ポアソン分布に従うものと考えらる。

よって、今の場合について考えてみると、

毎日の入港を期待出来る平均隻数（確率）

$$=1/(\text{間隔日数})$$

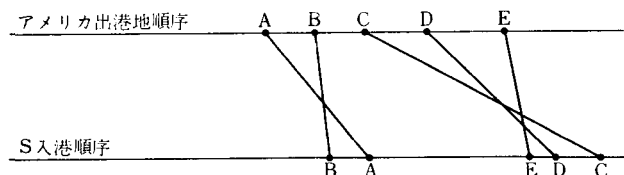
$$=1/1,000/(1,000 \text{ 日間の隻数合計})$$

又、同一の船型の中では船の区別をつけないから入港の事象は独立である。そして、事象の起る頻度も小さいから、毎日の入港隻数はポアソン分布に従うものと仮定しても差支えないものと考えられる。

- 2) 銘柄は先にも述べた如く、手配そのものは計画的にサイクリックに行なわれるが、その便船が見つかる迄の日数及び航海日数の違いのため、その順序は入港時には大巾に入換っているこれを人為的に決定することは困難で今回のシミュレーションにおいても頭を悩ました点である。銘柄そのものは、アンローダーの能力の決定には、さして影響しないが、後に行なう貯炭場能力の算出では、各銘柄について分散の計算を行なうので、そこで大きく関係してくる。

故に、銘柄の順序決定のためにのみ、専用船に類似の試行を行なった。

即ち、積込港において毎日ポアソン分布より出港隻数を決定し、その各船について、便船が見つかる迄の日数を見込んだ航海日数を示す。



第 1 図

正規分布より航海日数を決定し、第 1 図の如く S 港入港時の銘柄の順序を定めた。

この方法そのままを S 港入港状況にするのが実情に近い方法ではあるが、これで行なうと、1,000

日間に入港する隻数が不定であって、アンローダーの能力決定には不適當である。故にこの入港時の銘柄の順序をそのまま利用して、前記(1)の方法によって決定した入港船の銘柄を定めた。

1.3. シミュレーションの手順

- (1) 期間は 1,000 日間とした。
- (2) シミュレーションの単位は 0.5 日とし午前と午後の区別をつけた。
- (3) 陸揚能力 10,000 トン/日 12,000 トン/日 14,000 トン/日 16,000 トン/日 18,000 トン/日 20,000 トン/日 の 6 つのケースについてシミュレーションを行なった。
- (4) 各ケースについては、小型船の入港状態について全部同一としたが、大型船については別々に試行を行なった。
- (5) 小型船の入港日を決定後、大型船の入港日をつつ石炭の陸揚のスケジュールを作った。
- (6) 入港(又は着港)と着岸(i. e. 石炭陸揚)は厳重に区別し、着岸は 1 隻のみしか出来ないことにした。

(7) まず, 10,000 トン級船の毎日の入港隻数を決定した.

その方法は, 入港隻数はポアソン分布をなすものとし, 第1表より 10,000 トン級船は 1,000 日で合計 34 隻入港させた.

$$\text{平均入港間隔日数} = 1,000 / 34 \text{ 日}$$

毎日入港を期待出来る平均隻数 (確率)

$$= 1 / 1,000 / 34 = 0.034$$

よって, 平均値 0.034 のポアソン分布を利用する. この場合, ポアソン型乱数表を利用すればよいが, 普通の一様乱数表から, これを変換して作った. 即ち, 今の場合, ポアソン分布表より平均値 $m=0.034$ に対する確率 $m^x e^{-m} / x!$ がわかる. これが第2表に示されている. 別に, $[0, 1]$ 間に一様に分布する乱数表から 10 桁の乱数をひく.

例えば, 4003061245 が得られたら,

0.4003061245 とおく. このとき第2表の累計の列をみて 0.4003061245 の位置をみると, それは x が 0 の所に入る. そこで, 0.4003061245 に対応するポアソン乱数を 0 とする. 又, 一様乱数として, 0.9894183888 を得たとすると, 第2表の

累計欄では, x が 0 と 1 との間になる. よって, 一様乱数 0.9894183888 に対応するポアソン乱数として 1 をとる. 即ち, この時, それぞれ前者を入港船 0, 後者を入港船 1 隻とする. これを毎日繰返し, 1,000 日間について行い, 毎日の入港隻数を決定した.

なお, 午前と午後の区別は, 先に求めた一様乱数の最終桁 (10 桁目) が,

偶数ならば, 午前入港

奇数ならば, 午後入港

と定めた.

(8) 銘柄は, 1.2. に示した如く, 予め定めておいた順序で入港順に割当てた.

(9) 次に, 25,000 トン級船の入港隻数の決定を行なった. 方法は, 先の 10,000 トン級船と同様である. 但し, 1,000 日間の入港隻数合計が 60 隻であるので, 第3表の如く, 平均値

第3表

x	$0.060^x e^{-0.060} / x!$	累 計
0	0.94176453	0.94176453
1	0.05650587	0.99827040
2	0.00169518	0.99996558
3	0.00003390	0.99999948
4	0.00000051	0.99999999
5	0.00000001	1.00000000

$m=0.060$ のポアソン分布を用いた. なお, 10,000 トン級船及び 25,000 トン級船の入港状況は第4表の如くなった.

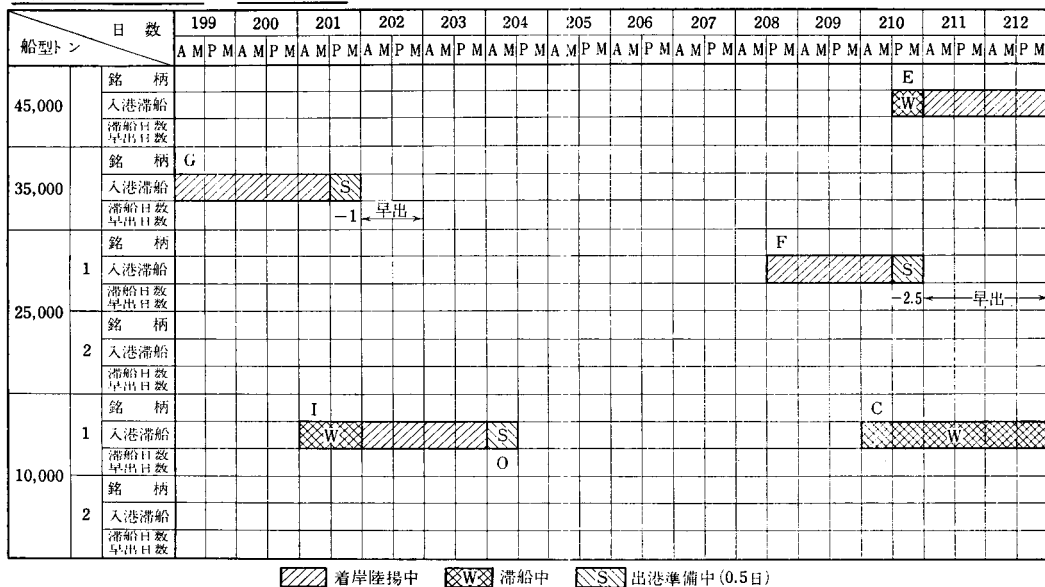
〔注〕 一様乱数としては, 正確を期するため Fisher and Yates のものを用いた.

(10) 大型船の入港日を決定しつつ, 第2図の如くシミュレーションの図を完成していった.

第4表

隻数累計	入港日	船型 (トン)	午前 午後	銘柄	隻数累計	入港日	船型 (トン)	午前 午後	銘柄
1	16	10,000	AM	C	48	518	10,000	AM	E
2	43	25,000	PM	G	49	538	25,000	AM	E
3	68	25,000	PM	H	50	547	25,000	PM	G
4	70	10,000	PM	I	51	548	10,000	PM	G
5	97	25,000	PM	C	52	552	25,000	PM	A
6	100	10,000	PM	B	53	554	25,000	AM	B
7	120	25,000	PM	F	54	556	25,000	PM	H
8	140	10,000	PM	A	55	560	25,000	AM	C
9	149	10,000	AM	H	56	575	25,000	PM	D
10	155	25,000	AM	D	57	583	10,000	AM	H
11	164	10,000	PM	F	58	583	10,000	PM	G
12	182	10,000	PM	G	59	605	10,000	PM	F
13	184	25,000	PM	G	60	642	25,000	AM	E
14	191	10,000	AM	G	61	650	10,000	PM	G
15	201	10,000	AM	I	62	660	25,000	PM	B
16	208	25,000	PM	F	63	670	25,000	AM	F
17	210	10,000	AM	C	64	682	10,000	PM	F
18	225	10,000	PM	D	65	685	25,000	PM	A
19	227	25,000	PM	B	66	687	10,000	AM	F
20	235	25,000	PM	I	67	698	10,000	AM	C
21	257	10,000	PM	E	68	704	25,000	PM	C
22	259	25,000	PM	A	69	729	25,000	PM	G
23	293	25,000	PM	F	70	735	25,000	AM	H
24	297	25,000	PM	G	71	750	25,000	PM	C
25	312	10,000	AM	A	72	781	10,000	AM	I
26	324	25,000	AM	E	73	786	25,000	PM	F
27	325	10,000	AM	B	74	799	25,000	PM	D
28	326	10,000	AM	G	75	812	25,000	PM	B
29	328	10,000	PM	F	76	816	25,000	AM	F
30	344	25,000	PM	F	77	818	10,000	PM	B
31	345	10,000	PM	H	78	827	25,000	AM	A
32	369	10,000	AM	F	79	828	25,000	PM	I
33	397	25,000	PM	I	80	840	25,000	PM	H
34	401	25,000	PM	G	81	849	25,000	PM	F
35	402	25,000	PM	B	82	855	25,000	AM	G
36	409	10,000	PM	A	83	874	25,000	PM	E
37	409	25,000	PM	F	84	905	25,000	PM	F
38	410	10,000	AM	C	85	932	25,000	AM	I
39	413	25,000	AM	H	86	941	25,000	AM	G
40	415	25,000	PM	A	87	949	25,000	AM	B
41	417	25,000	AM	G	88	950	25,000	AM	F
42	461	25,000	AM	C	89	951	25,000	PM	D
43	465	25,000	PM	I	90	955	25,000	PM	A
44	478	25,000	AM	D	91	971	25,000	AM	G
45	481	10,000	PM	B	92	971	10,000	PM	A
46	485	10,000	AM	D	93	975	25,000	PM	C
47	494	25,000	AM	F	94	987	25,000	AM	E

陸揚能力 16,000トン/日 No.



第 2 図

大型船の 45,000 トン級船を例にとってその方法を説明する。

大型専用船はピストン航海を行なうもので、その能力より第4表の如きデータが得られた。

45,000 トンの場合、航海日数の下限を 27 日、上限を 39 日とし両者を平均値の両側 3σ の点とする正規分布と仮定した。

即ち、実際の航海日数 x

平均の航海日数 m

標準偏差 σ

とすると、この場合 $m=33, \sigma=2$

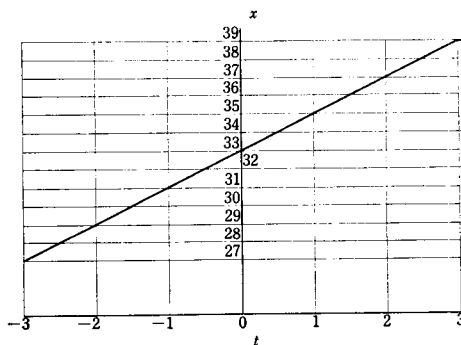
故に、

$$\frac{x-m}{\sigma} = t \quad i.e. \quad x = 2t + 33 \quad (1)$$

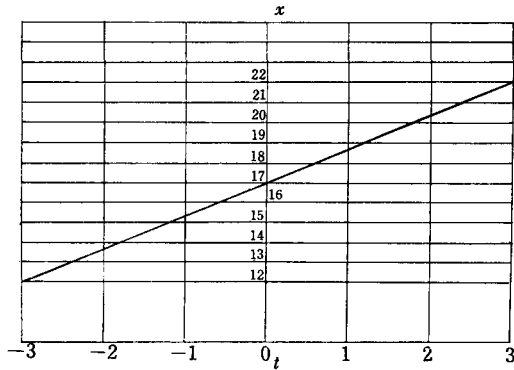
で表わされる t は標準正規分布をすることになる。

ところで、この t の分布は正規乱数表より得られる。そこで、この t を変換して x を求めれば、その時の航海日数となる。しかし、上の(1)式は直線になるので、今回は変換を第3図の如きグラフによることにした。

1) まず、米国炭積地の最初の出発日を予め定めておく。例えば、第1日に米国を出発



第 3 図



第 4 図

上の例では 32 日かかって 33 日 (i. e. $1+32=33$) の午後 S 港へ入港することになる。

4) この場合他の船型との関係を考慮して S 港に 4 日滞船し, 37 日に出港したとする。

5) 再び 3 桁の正規乱数を求める。例えば,

$t=0.99$ とすると, 第 3 図より $x=34.9$

これが米国迄の航海日数である。但し, 炭積地へ帰る場合は x の端数は切捨てる。

$$\therefore 37+34=71$$

即ち, 71 日に米国炭積地へ入港するわけである。

6) 米国での石炭積込日数は 2 日間, 故に 73 日に再び積地を出発し, S 港へ向う。手順は再び先の繰返しとなる。

(11) 豪州炭の場合は 35,000 トン級船を用いる。この時は第 4 表より,

$$x = \frac{5}{3}t + 17$$

となり, グラフは第 4 図を用いる。豪州での石炭積込日数は 4 日となるが, 他の手順は 45,000 トン級船の場合と同様である。

尚, 大型船, 小型船の入港状況はアンローダーの能力が 16,000 トン/日の場合第 5 表の如くなる。

(12) S 港に於ける石炭陸揚の順序決定の原則

- 1) 着岸, 陸揚は岸壁, アンローダーの能力の関係から一隻に限る。
- 2) 着岸, 陸揚順位は大型船を優先とする。
- 3) 同型船に関しては同日入港であっても午前入港を先とする。(滞船中の船がない場合は先着順)
- 4) 先に小型船が着岸陸揚中に大型船が入港した場合, 他に滞船中の小型船があっても, 現在着岸中の小型船を除いては大型船優先とする。但し, 小型船の滞船がすでに 8 日を越している場合は, その小型船を優先順位第 1 位とする。
- 5) 石炭陸揚終了後 0.5 日は出港準備として着岸のままとする。故に, この 0.5 日は石炭

したとする。

2) 3 桁の正規乱数 t を求める。

例えば, $t=-0.03$ とすれば, 第 3 図より $x=32.8$

3) 午前, 午後の区別は x の端数が,

0.0~0.4 ならば 午前入港

0.5~0.9 ならば 午後入港

と定めた。

第 5 表

隻数累計	入港日	船 型 (トン)	午前 午後	銘柄	隻数累計	入港日	船 型 (トン)	午前 午後	銘柄
1	1	35,000	AM	G	48	261	45,000	AM	B
2	1	45,000	PM	A	49	277	35,000	AM	G
3	16	10,000	AM	C	50	286	45,000	AM	C
4	17	35,000	PM	F	51	291	35,000	AM	F
5	21	45,000	PM	B	52	293	25,000	PM	F
6	40	35,000	PM	H	53	297	25,000	PM	G
7	43	25,000	PM	G	54	305	45,000	AM	D
8	45	45,000	AM	C	55	312	10,000	AM	A
9	55	35,000	PM	G	56	314	35,000	PM	H
10	68	25,000	PM	H	57	324	25,000	AM	E
11	70	10,000	PM	I	58	325	10,000	AM	B
12	71	45,000	AM	D	59	326	10,000	AM	G
13	79	35,000	PM	F	60	328	10,000	PM	F
14	91	45,000	AM	E	61	329	35,000	PM	G
15	97	25,000	PM	C	62	336	45,000	PM	E
16	98	35,000	AM	I	63	344	25,000	PM	F
17	100	10,000	PM	B	64	345	10,000	PM	H
18	114	45,000	PM	A	65	351	35,000	AM	F
19	118	35,000	PM	F	66	358	45,000	AM	A
20	120	25,000	AM	F	67	366	35,000	PM	I
21	139	45,000	PM	B	68	369	10,000	AM	F
22	143	35,000	AM	G	69	376	45,000	AM	B
23	144	10,000	AM	A	70	388	35,000	AM	F
24	149	10,000	PM	H	71	397	25,000	PM	I
25	155	25,000	PM	D	72	401	25,000	PM	G
26	155	45,000	PM	C	73	402	25,000	PM	B
27	160	35,000	PM	F	74	403	35,000	PM	G
28	164	10,000	PM	F	75	408	45,000	AM	C
29	178	35,000	PM	H	76	409	25,000	PM	F
30	182	10,000	AM	G	77	409	10,000	PM	A
31	184	25,000	AM	G	78	410	10,000	AM	C
32	187	45,000	AM	D	69	413	25,000	AM	H
33	191	10,000	AM	G	80	415	25,000	PM	A
34	199	35,000	PM	G	81	417	25,000	AM	G
35	201	10,000	AM	I	82	425	35,000	PM	F
36	208	25,000	PM	F	83	452	45,000	AM	D
37	210	10,000	AM	C	84	442	35,000	AM	H
38	210	45,000	PM	E	85	448	45,000	AM	E
39	215	35,000	AM	F	86	461	25,000	AM	C
40	225	10,000	PM	D	87	465	35,000	PM	G
41	227	25,000	PM	B	88	465	25,000	PM	I
42	233	45,000	AM	A	89	476	35,000	PM	F
43	235	25,000	PM	I	90	478	45,000	AM	A
44	236	35,000	AM	I	91	478	25,000	AM	D
45	255	35,000	PM	F	92	481	10,000	PM	B
46	257	10,000	PM	E	93	485	10,000	AM	D
47	259	25,000	PM	A	94	494	25,000	AM	F

隻数累計	入港日	船 (トン) 型	午前 午後	銘柄	隻数累計	入港日	船 (トン) 型	午前 午後	銘柄
95	505	45,000	AM	B	142	751	35,000	PM	G
96	507	35,000	AM	I	143	759	35,000	PM	F
97	515	35,000	PM	F	144	773	45,000	PM	C
98	517	45,000	PM	C	145	781	10,000	AM	I
99	518	10,000	AM	E	146	786	25,000	PM	F
100	538	25,000	AM	E	147	787	45,000	AM	D
101	547	25,000	PM	G	148	794	35,000	AM	I
102	548	10,000	PM	G	149	795	45,000	PM	E
103	549	45,000	AM	D	150	799	25,000	PM	D
104	549	35,000	PM	G	151	802	35,000	PM	F
105	552	25,000	PM	A	152	812	25,000	PM	B
106	554	25,000	AM	B	153	816	25,000	AM	F
107	555	35,000	PM	F	154	818	10,000	PM	B
108	556	25,000	PM	H	155	827	25,000	AM	A
109	560	25,000	AM	C	156	827	35,000	PM	G
110	573	45,000	PM	E	157	828	25,000	PM	I
111	575	25,000	PM	D	158	840	25,000	PM	H
112	583	10,000	AM	H	159	841	45,000	AM	A
113	584	10,000	PM	G	160	842	35,000	PM	F
114	587	45,000	PM	A	161	849	25,000	PM	F
115	593	35,000	AM	H	162	855	25,000	AM	G
116	595	35,000	AM	G	163	856	45,000	PM	B
117	605	10,000	PM	F	164	865	45,000	PM	C
118	626	45,000	AM	B	165	868	35,000	AM	H
119	628	35,000	PM	F	166	874	25,000	PM	E
120	631	35,000	PM	I	167	884	35,000	PM	G
121	642	25,000	AM	E	168	905	35,000	PM	F
122	643	45,000	PM	C	169	905	25,000	PM	F
123	650	10,000	PM	G	170	913	45,000	AM	D
124	658	45,000	PM	D	171	924	45,000	AM	E
125	660	25,000	PM	B	172	925	35,000	AM	I
126	670	35,000	AM	F	173	932	25,000	AM	I
127	670	25,000	AM	F	174	934	45,000	AM	A
128	674	35,000	PM	G	175	941	25,000	AM	G
129	682	10,000	PM	F	176	946	35,000	PM	F
130	685	25,000	PM	A	177	949	25,000	AM	B
131	687	10,000	AM	F	179	950	25,000	AM	F
132	698	10,000	AM	C	178	951	25,000	PM	D
133	701	45,000	AM	E	180	955	25,000	PM	A
134	704	25,000	PM	C	181	966	35,000	PM	G
135	712	35,000	AM	H	182	971	25,000	AM	G
136	713	35,000	AM	F	183	971	10,000	PM	A
137	714	45,000	AM	A	184	975	25,000	PM	C
138	726	45,000	PM	B	185	984	45,000	PM	B
139	729	25,000	PM	G	186	985	35,000	PM	F
140	735	25,000	AM	H	187	987	25,000	AM	E
141	750	25,000	PM	C	188	991	45,000	AM	C

の陸揚量は0となる。

(12) アンローダーの能力別の各船型に対する陸揚時間は第6表のとおりである。

尚、陸揚時間としては、45,000トン級大型船の陸揚を行なう場合の能力をもって設備能力とし、35,000トン級船はその95%、25,000トン級船は85%、10,000トン級船の場合は40%の能力とした。

第6表

陸揚能力 船型	10,000トン/日	12,000	14,000	16,000	18,000	20,000
10,000トン	2日12時間	2日2時間	1日20時間	1日14時間	1日9時間	1日6時間
25,000	2 22	2 10	2 2	2 20	1 15	1 11
35,000	3 16	3 2	2 16	2 8	2 1	1 20
45,000	4 12	3 18	3 6	2 20	2 12	2 6

(14) 最低停泊日数

上記の陸揚時間に対して入港船舶の出港準備をみこんで最低停泊日数を第7表の如くにした。

第7表

陸揚能力 船型	10,000トン/日	12,000	14,000	16,000	18,000	20,000
10,000トン	3.0日	3.0日	2.5日	2.5日	2.0日	2.0日
25,000	3.5	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0
35,000	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	2.5
45,000	5.0	4.5	4.0	3.0	3.0	3.0

第8表

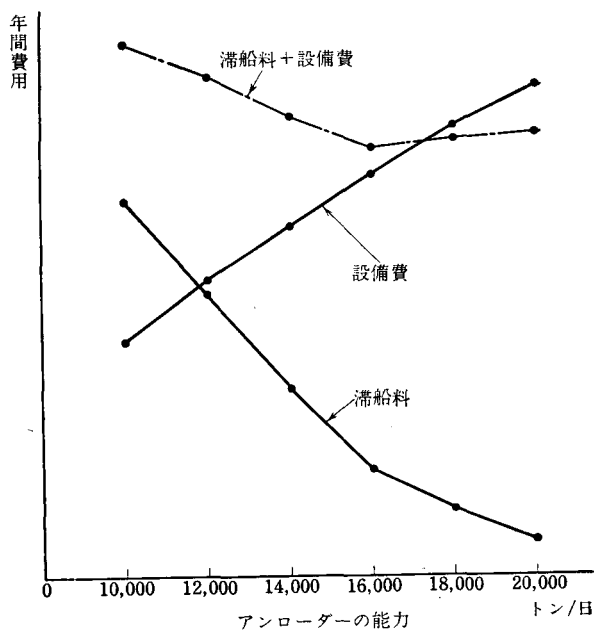
船型	標準停泊日数
10,000トン	3.5日
25,000	5
35,000	4
45,000	4

(15) 最低停泊日数と先の(12)の着岸規則を考慮して滞船陸揚のスケジュールを決定した。

(16) その結果第8表に示す標準停泊日数を越える日数には、0.5日を単位として滞船料を支払わねばならない、停泊が標準日数に満たない場合は、その日数には0.5日を単位として早出料が返却される。

1.4. 解析結果

以上の条件のもとに、上に述べた手順でシミュレーションの表を作成した。その結果は第9表及び第5図の如きものを得た。



第5図

第5図より（滞船料+設備費）の年間費用は、アンローダーの能力16,000トン/日の時最小となるから、能力16,000トン/日のアンローダーを設備することが妥当であるとの結論に達した。

第9表

船型	陸揚能力	トン					
		10,000/日	12,000	14,000	16,000	18,000	20,000
10,000	着船回数	34	34	34	34	34	34
	滞船日数	183.0	146.5	77.5	53.0	42.0	35.0
	早出日数	-4.5	-4.5	-10.0	-14.5	-29.0	-30.0
25,000	着船回数	60	60	60	60	60	60
	滞船日数	192.0	158.0	96.0	59.0	23.5	9.5
	早出日数	-27.0	-47.0	-58.0	-93.0	-96.5	-148.5
35,000	着船回数	48	49	50	51	52	52
	滞船日数	117.0	68.5	54.0	17.5	14.0	8.0
	早出日数	0	0	-14.0	-30.0	-40.0	-53.0
45,000	着船回数	41	41	43	43	44	44
	滞船日数	121.5	78.5	16.5	12.5	7.0	7.5
	早出日数	0	0	0	-12.5	-33.0	-30.0

— は早出を示す。

2. 貯炭場能力の算出

貯炭場の能力は、アンローダーの能力及び入港した船の大きさ、入港状態に左右される。

そこで、先に決定したアンローダーの能力16,000トン/日の場合について算出することにした。

その方法は、1,000日間の毎日の貯炭量を求め、9銘柄について分散を求める計算を行なった。その結果は第10表に示すとおりである。

なお、船の入港状況は先に示した第5表のとおりである。

第10表

	9 銘柄	
	標準偏差	分散
A	16,801 ^t	282,278 ^{×10⁴}
B	14,997	224,925
C	19,862	394,509
D	17,221	296,545
E	16,864	284,395
F	22,480	505,343
G	18,027	324,985
H	15,375	236,386
I	16,139	260,455
総 合	52,776	2,809,841
所 要 能 力	246,000 ^t	

各銘柄の標準偏差を $\sigma_A, \sigma_B, \dots, \sigma_I$ とした時、各銘柄は独立であるので、全貯炭量の標準偏差は次式により得られる。

$$\sigma = \text{全貯炭量の標準偏差} = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2 + \sigma_C^2 + \dots + \sigma_I^2}$$

このシミュレーションの出発時の貯炭量は 0 としたので、貯炭場の能力としては 99% の安全率をみこんで

$$\text{所要能力} = 2 \times 2.326 \times \sigma$$

によって計算出来る。