

海上輸送シミュレーション

井上 幸一・鯨井 ひろ子

1. シミュレーションの概要

石炭、原油、石油製品、ケミカル、LNG等を産地から消費地へ、あるいは中継基地から消費地へと、比較的長期間にわたり船舶にて大量に輸送しようと計画する場合、はたしてどれくらいの大さの船が何隻くらい必要なのか、また、消費地には常時どのくらい貯蔵しておけば消費者への安定供給が可能となるか等検討しなければならない問題が多い。概略の検討であれば手計算にても可能であるが、条件・制約が多くなればなるほど、正確な検討は困難となってくる。一方、長期プロジェクトの場合、一般にその初期投資額も巨大であり、プロジェクトの成否が「いかに適確な初期計画をするか」にかかってくることが多い。このためどうしてもコンピュータを使ったシミュレーションを行ない、事前に十分な検討を行なう必要が生じてくる。

ここで紹介するのはこうした船舶による海上輸送問題を検討するためのシミュレーションの一例である。いうまでもなく実際に起こり得る制約・条件等を網羅すればするほど、より現実に近いシミュレーションとなり、現実に近ければ近いほど計画の精度は向上する。

一般的な海上輸送の流れと本シミュレーションで考慮されている代表的条件・制約等を図1に示

した。一見簡単な流れのように見受けられるが、これだけでも相当な規模のプログラムとなる。あらかじめ決められている条件・制約はそのまま入力し、検討しようとする条件・項目は前もって手計算により試算したうえデータとして入力し、シミュレーションをスタートさせる。あたかも実際に船が稼働している状態を作り出し、その結果、消費地で供給が停止されるような状態が生じないか、途中で船が長期間停止し、いちじるしい運航効率悪化を生じせしめないか等の点をチェックし、場合によってはデータを入れ直したうえ数回のシミュレーションをくりかえし最適解をみだしてゆくものである。

本シミュレーションは一般的には次のような目的のため使用可能である。

- ①輸送量・輸送距離が決まっている場合、必要な船隊（船の大きさ・隻数・船速等）を推定する。
- ②①と逆のケースで船隊が決まっている場合、その船隊で輸送可能な貨物の量を推定する。
- ③産地における毎月の生産量および消費地における毎月の消費量が決まっている場合、産地および消費地における適性貯蔵能力を推定する。
- ④③と逆のケースで産地および消費地における貯蔵能力が決まっている場合、産地における毎月の適性生産量または消費地における毎月の消費量を推定する。

いのうえ こういち、くじらい ひろこ
日本郵船 工務部 保船課

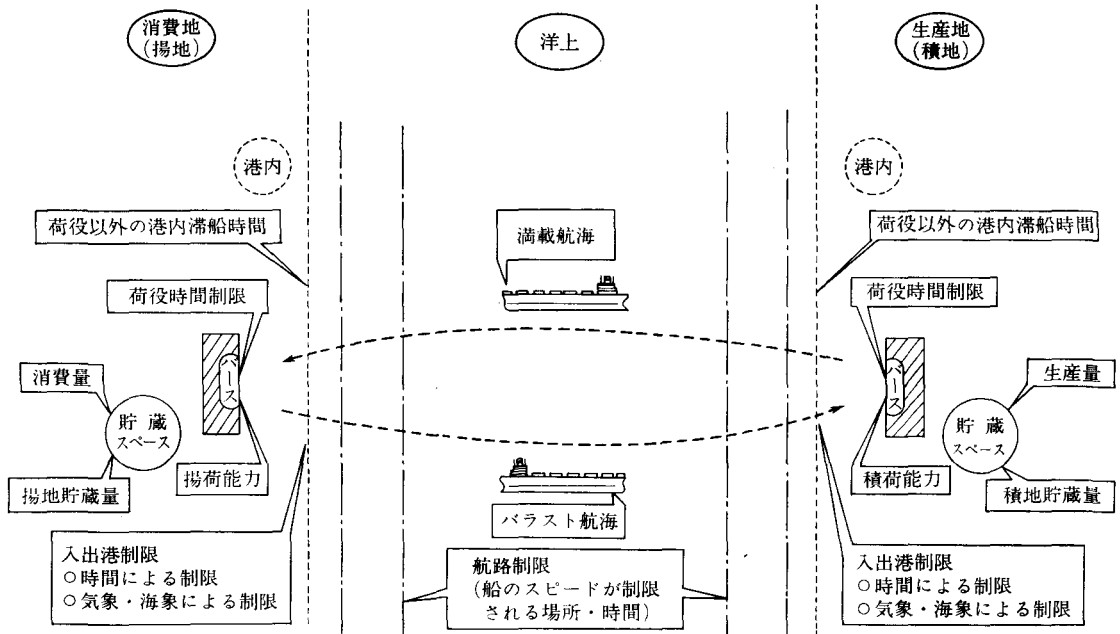


図 1

⑤貨物の輸送量・輸送距離・船隊および消費地における諸条件が決まっている場合、適性な配船スケジュールを立案する。

一般にシミュレーションは汎用性が高いほど有効であるが、一方汎用性を高めるほどプログラムは複雑になるため、本シミュレーションでは隻数・積地数等にある程度限度を設けている。また、本シミュレーションの基本的考え方は海上輸送にかぎらず、陸上輸送・航空輸送にも十分応用可能と考える。

以下に INPUT データ、操作画面およびシミュレーション結果の順に説明を加える。なお、本シミュレーションはプログラム言語 APL を使用し、使用コンピュータ機種は、IBM3081K である。

2. INPUT データ

必要データ一覧表を表 1 に示した。いかに多くの条件が考慮されているかがおわかりいただけると思う。また、巻末には本誌面発表用のトライアルランにて使用したシミュレーション条件を表 2

として示した。誌面の都合上、各データについての詳しい説明は省略させていただくが、読者には若干聞きなれない言葉もあると思われるので以下に簡単に説明する。

○船舶には検査および修繕のため定期的にドライドックに入れる必要がある。このことを入渠と言い、自動車の車検のようなものとお考え願いたい(データ番号10~13)。

○貨物の種類によっては入渠する前に貨物艀または槽のクリーニングを必要とするものがある。油タンカー等はそのままで危険で修繕などできないからである(データ番号7~9)。

○貨物の積卸し作業も所によって時間制限がある。その制限の方法もいろいろあり、一度開始してしまると終わるまでやってしまう場合、何日かかるかと制限時間内しか仕事をしない場合等あり、これらをパターン分類してある(データ番号20および表2の揚地関係参照)。

○港によっては風が強い、波が高い、霧が濃い等の悪条件により船がせっかく港に到着しても入港できないこともある。これらをできるだけ実際に

近い状態に再現させるため、各月ごとに入港可能確率で INPUT しておく。このデータは過去何10年かの気象データをもとに作り、シミュレーション中ではこれらの気象条件が与えられた確率で起こるようになっている(データ番号30)。

○シミュレーション中各船が現在どういう状態にあるかをコード番号で与えてある。したがってシミュレーションが途中で停止しても、その時点で船がどこにいてどういう状態にあるかをつかむことができる。このため一度シミュレーションを中

表 1 輸送シミュレーション用必要データ一覧表

A. 船隊関係

番号	項目	データ				
1	隻数	隻				
2	計画速力(ノット)	第1船	第2船	第3船	第4船	第5船
	満載航海時					
	バラスト航海時					
3	貨物槽(艙)容積 ⁽³⁾ (m ³)					
4	貨物比重 ⁽⁴⁾	kton/m ³				
5	貨物積付率 ⁽⁵⁾ (%)					
6	積荷量(kton) (3)×(4)×(5)÷100					
7	貨物槽(艙)クリーニングの有無					
8	クリーニングインターバル(VOY.)					
9	クリーニング所要時間(時間)					
	注) 8, 9は7で有とした場合のみ必要					
10	入渠の有無					
11	入渠時間(月日)					
12	入渠期間(日)					
13	入渠場所(積地からの距離)(マイル)					
	注) 11, 12, 13は10で有とした場合のみ必要					
14	貨物減少率(%/日)					
	注) LNG等航海中に貨物が減少する場合のみ必要					

B. 積地関係

番号	項目	データ				
15	バース数					
16	積荷能力	kton/Hour				
17	荷役前港内滞船時間	時間				
18	荷役後港内滞船時間	時間				
19	荷役時間制限の有無					
20	荷役時間制限パターン					

番号	項目	データ			
21	荷役可能または荷役開始可能 時間帯	夏期	冬期		
		時から	時まで	時から	時まで
22	21の夏期時間採用期間は 注) 20, 21, 22は19で制限有とした場合のみ必要	月	日から	月	日まで
23	入出港時間制限の有無				
24	入出港可能時間帯 注) 24は23で制限有とした場合のみ必要	夏期	冬期		
		時から	時まで	時から	時まで
25	週末荷役休日の有無 N: 休日なし A: 日曜日のみ休日 B: 土曜, 日曜両日休日				
26	積地生産・貯蔵量をチェックする必要があるかどうか				
27	積地の貯蔵能力				k/ton
28	積地の生産パターン C: 毎月コンスタントに生産 V: 月によって生産量が異なる				
29	毎月の生産量 注) 27, 28, 29は26でYesとした場合のみ必要	Cの場合のみ:		kton/月	
		Vの場合のみ (以下月ごとに記入のこと.)			
		1月			kton
		2月			kton
		3月			kton
		4月			kton
		5月			kton
		6月			kton
		7月			kton
		8月			kton
		9月			kton
		10月			kton
		11月			kton
		12月			kton
30	気象・海象による入港制限を考慮するかどうか				
31	各月の入港可能確率 注) 30でYesとした場合のみ必要	1月			%
		2月			%

番号	項目	データ			
		3月			%
		4月			%
		5月			%
		6月			%
		7月			%
		8月			%
		9月			%
		10月			%
		11月			%
		12月			%
32	週末以外の年間荷役休暇日				
	注) 何日でも可				

D. 航海関係

番号	項目	データ				
51	積地/揚地間距離 (マイル)	第1港	第2港	第3港	第4港	
52	航路制限カ所の個数	(最大5カ所まで)				
53	航路制限の場所 (マイル)	第1制限	第2制限	第3制限	第4制限	第5制限
	注) 積地からの距離	から				
		まで				
54	航路制限解除時間帯					
		時から				
		時まで				
55	制限速力 (ノット)					

E. 初期値関係

56	シミュレーション開始時の積地貯蔵量					%
	注) 26で Yes とした場合のみ					
57	シミュレーション開始時の揚地貯蔵量 (%)	第1港	第2港	第3港	第4港	
58	シミュレーション開始時の船の位置 (積地からの距離) (マイル)	第1船	第2船	第3船	第4船	第5船
59	シミュレーション開始時の船の状態					
60	シミュレーション期間	年 月 日から	年 月 日まで			

表 2 今回掲載したシミュレーションの実際例

<p>A. 船隊関係</p> <ul style="list-style-type: none"> ○隻数 4隻 ○計画速力 満載航海 13.0ノット バラスト航海 13.5ノット ○積荷量 150,000 kton/隻 ○入渠 それぞれ 4月1日, 5月1日, 6月1日, 7月1日から30日間毎年入渠とするとして。 入渠地の積地からの距離 4,000 マイル。(揚 地にて入渠するとしている) 	<p>D. 航海関係</p> <ul style="list-style-type: none"> ○積地・揚地間距離 4,000マイル ○航路制限 6月1日から8月31日まで 積地から850マイルの間 制限スピード 7ノット 9月1日から11月30日まで 積地から1,200マイルの間 制限スピード 3ノット 12月1日から2月28日まで 積地から1,500マイルの間 制限スピード 3ノット 3月1日から5月31日まで 積地から1,200マイルの間 制限スピード 3ノット
<p>B. 積地関係</p> <ul style="list-style-type: none"> ○バース数 1 ○積荷能力 1,290 kton/Hour ○荷役前後港内滞船時間 それぞれ2時間 ○積地貯蔵能力 とりあえず400,000ktonとした。 (積地貯蔵量要チェック) 	<p>E. 初期値関係</p> <ul style="list-style-type: none"> ○シミュレーション開始時の積地貯蔵量 80% ○シミュレーション開始時の揚地貯蔵量 50% ○船の位置(積地より)・状態(コード番号) 第1船 0マイル・107 (積地にて荷役前港内滞船中) 第2船 2,000マイル・400 (バラスト航海中) 第3船 4,000マイル・207 (揚地にて荷役前港内滞船中) 第4船 2,000マイル・510 (満載航海中) ○シミュレーション期間 昭和58年1月1日～昭和58年12月31日 (図8・9・10は6月1日から8月31日のもの)
<p>C. 揚地関係</p> <ul style="list-style-type: none"> ○揚地数 1 ○バース数 1 ○揚荷能力 10,000 kton/Hour ○荷役前後港内滞船時間 それぞれ5時間 ○揚地貯蔵能力 1,000,000 kton ○荷役時間制限 パターンB 夏期 5:00～18:00, 冬期 7:00～16:00 夏期時間採用期間 4月1日～9月30日 ○入出港時間制限 夏期 5:00～18:00, 冬期 7:00～16:00 ○消費量 毎月コンスタントに 350,000 kton 	

※上記以外の条件または制限は、なしとした。

止し、途中からシミュレーション条件を変えて再スタートすることも可能となっている(表2初期地関係参照)。

なお、揚地関係のデータ表は積地関係とほとんど同じなので割愛させていただいた。

3. 操作画面

図2から図7までが操作画面の例である。すべてシミュレーションデータ入力用の画面である。ここでも揚地関係のデータ入力用画面は省略させていただいた。図3は船隊関係のデータを入力するための画面であるが、各船ごとの要目(大き

さ・スピード等)が異なる場合には、別の画面が用意されている。

4. シミュレーション結果

シミュレーション結果は図8～10のようにすべてグラフィック表示させている。たとえば図8により船の航跡を手にとるように知ることができ。出力される画面は長期のシミュレーションと短期のシミュレーションに分けて次のように設定した。目的に応じて数種類の画面を選んで出力させ検討してゆく。

①長期シミュレーションの場合(3カ月以上)

--SC3--

```

1 NUMBER OF BERTH ? (LESS THAN 2) : ==> 0
2 LOADING ABILITY (TON/HOURS) : ==> 000000
3 STAY AT PORT ? BEFORE (HOURS) : ==> 00 ; AFTER (HOURS) : ==> 00

4 LOADING TIME LIMIT
TIME LIMIT ? (Y OR N) : ==> N
IF SELECT Y; SELECT PATTERN ? (A OR B) : ==> B
(PATTERN A=DAY ONLY ; B=START DAY ONLY, CONTINUE UNTILL FINISH)
SUMMER SEASON ? FROM (MM / DD) : ==> 00 / 00 TO (MM / DD) : ==> 00 / 00
DAY TIME ? SUMMER FROM (HOUR) : ==> 00 TO (HOUR) : ==> 00
WINTER FROM (HOUR) : ==> 00 TO (HOUR) : ==> 00

5 ARRIVAL AND DEPARTURE TIME LIMIT
TIME LIMIT ? (Y OR N) : ==> N ; (IF SELECT Y, INPUT AS FOLLOWING)
LIMIT VALUE ? SUMMER FROM (HOUR) : ==> 00 TO (HOUR) : ==> 00
WINTER FROM (HOUR) : ==> 00 TO (HOUR) : ==> 00

6 LOADING WEEKLY LIMIT
DAY LIMIT ? (Y OR N) : ==> N
IF SELECT Y; SELECT PATTERN ? (A OR B) : ==> A
(PATTERN A=SUNDAY ONLY ; B=SUNDAY AND SATURDAY)
    
```

図 4

かえし実施しても一度に多くの条件を計算するにかかわらず、所要時間は10分程度である。

5. 今後の課題

冒頭にも述べたが、本シミュレーションは非常に多くのデータを取りあつかい、あまりにも複雑なプログラムとなるため次の制約を設けている。

① 貨物は単一であること。

② 生産地は1港であること。

③ 消費地は4港以下であること。

④ 船の隻数は5隻以下であること。

今後はより汎用性の高いシミュレーション、つまりどんな輸送問題にも使えるよう、現在設けている制約を取り除き、プログラムを拡張したいと考えている。

--SC4--

```

7 PRODUCT/STOCK CONSIDERED ? (Y OR N) : ==> N
IF SELECT Y ; INPUT STOCK CAPACITY ? : ==> 00000000

8 PRODUCT PATTERN ? (C OR V) : ==> C
(C=CONSTANT ; V=VARIABLE)
IF SELECT C; CONSTANT ? : ==> 00000000
IF SELECT V; INPUT AS FOLLOWING
MONTH PRODUCT
1M ==> 00000000
2M ==> 00000000
3M ==> 00000000
4M ==> 00000000
5M ==> 00000000
6M ==> 00000000
7M ==> 00000000
8M ==> 00000000
9M ==> 00000000
10M ==> 00000000
11M ==> 00000000
12M ==> 00000000

9 WEATHER AND SEA LIMIT
LIMIT ? (Y OR N) : ==> N
IF SELECT Y; INPUT AS FOLLOWING
MONTH POSITIVE PROBABILITY (%)
1M ==> 100.0
2M ==> 100.0
3M ==> 100.0
4M ==> 100.0
5M ==> 100.0
6M ==> 100.0
7M ==> 100.0
8M ==> 100.0
9M ==> 100.0
10M ==> 100.0
11M ==> 100.0
12M ==> 100.0
    
```

図 5

***** NAVIGATION ROUTE DATA TABLE *****

-SC13-

```

1 DISTANCE BETWEEN LOADING PORT TO UNLOADING PORT (MILES)
  NO1,PORT  NO2,PORT  NO3,PORT  NO4,PORT
MILES ?    ==> 00000  ==> 00000  ==> 00000  ==> 00000

2 NAV. ROUTE LIMIT
ROUTE LIMIT ? (Y OR N) ==> N
IF SELECT Y ; INPUT AS FOLLOWING
HOW MANY LIMIT ? (LESS THAN 5) ==> 0
[LIMIT POINT] (MILES FROM LOADING PORT)
  NO1,LIMIT  NO2,LIMIT  NO3,LIMIT  NO4,LIMIT  NO5,LIMIT
3 FROM ?(MILES) ==> 00000  ==> 00000  ==> 00000  ==> 00000  ==> 00000
  TO ? (MILES) ==> 00000  ==> 00000  ==> 00000  ==> 00000  ==> 00000
[LIMIT TIME]
  FROM ? (HOUR) ==> 00      ==> 00      ==> 00      ==> 00      ==> 00
  TO ? (HOUR) ==> 00      ==> 00      ==> 00      ==> 00      ==> 00
[SPEED(KNOTS)]:==> 00.0    ==> 00.0    ==> 00.0    ==> 00.0    ==> 00.0
    
```

図 6

***** INITIAL SET DATA TABLE *****

-SC14-

```

1 LOADING PORT PRODUCT/STOCK CONSIDERED ? (Y OR N) ==> N
IF SELECT Y ; INPUT INITIAL STOCK VALUE ? ( % ) ==> 000.0

2 UNLOADING PORT INITIAL STOCK VALUE
  NO1,PORT  NO2,PORT  NO3,PORT  NO4,PORT
STOCK VALUE ( % ) ==> 000.0  ==> 000.0  ==> 000.0  ==> 000.0

3 INITIAL SHIP POSITION
  NO1,SHIP  NO2,SHIP  NO3,SHIP  NO4,SHIP  NO5,SHIP
MILES (FROM L/P)? ==> 00000  ==> 00000  ==> 00000  ==> 00000  ==> 00000
INITIAL SHIP STATUS
STATUS ?      ==> 000      ==> 000      ==> 000      ==> 000      ==> 000

4 SIMULATION PERIOD
STARTING DAY ? (YY / MM / DD) ==> 00 / 00 / 00
ENDING DAY ? (YY / MM / DD) ==> 00 / 00 / 00
    
```

図 7

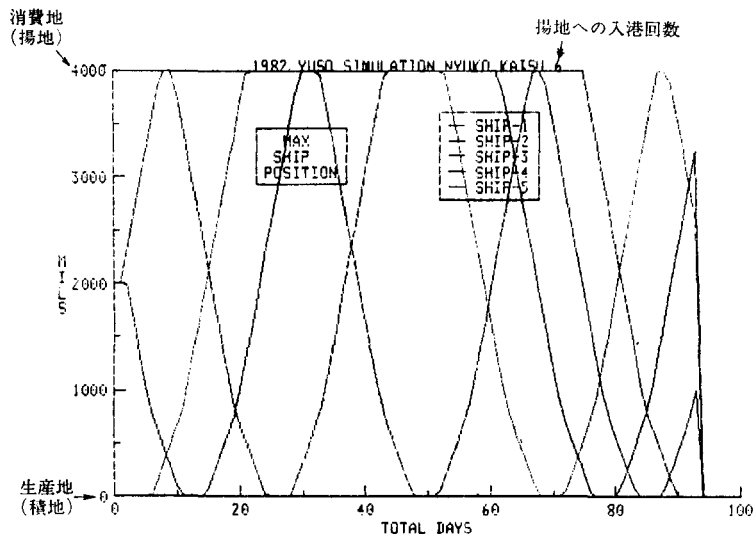


図 8 各船の毎日のポジション (積地から最も遠ざかった地点)

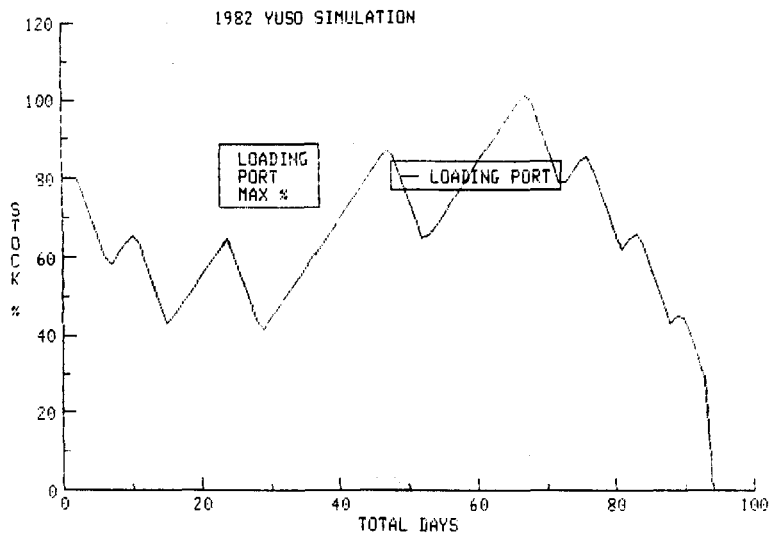


図9 積地貯蔵量の毎日の最大値（貯蔵能力を100%としたときの%）

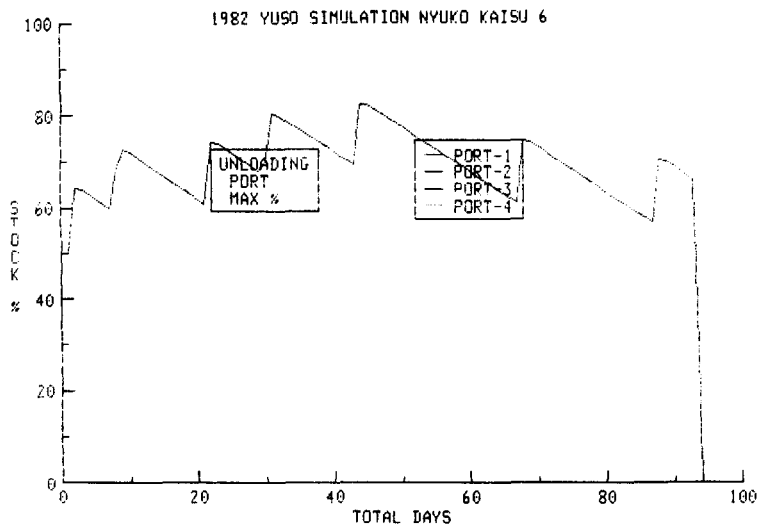


図10 揚地貯蔵量の毎日の最大値（貯蔵能力を100%としたときの%）

● 昭和59年度会費納入のお願い ●

昭和59年度会費（正会員 12000 円，学生会員 5000 円；正会員で論文誌の配布を希望しない方は 10400 円）の請求書は，昨年暮にすでに皆様のもとに発送済みで，昨年末までにご納入いただくようお願いしてあります。多数の会員からはすでに納入していただいておりますが，まだご送金になっていない会員は至急お送りください。会費の納入がない場合は，3月号から会誌の発送が停止になりますので，ぜひご協力のほどお願いいたします。なお，送金は振替または銀行送金が便利です。振替貯金口座：東京 9-79492 番，第一勧業銀行八重洲口支店（普通預金口座 1003856），住友銀行白山支店（普通預金口座 697496）