

第4章 到着の統計的分析

到着隻数の分布が、特定の理論的分布で表わされるならば、運河の通航容量の最適設計に大きな便宜を与える。それは、船舶が運河入口に到着した時、通航隻数が容量に達して、時間待ちを余儀なくされる場合の確率が、対象とする設計容量に応じて知れるからである。この待ちによる損失の理論値と設計容量に応じた運河の建設の必要なコストとのかね合いで、最適容量が設計されることになる。

ここでは、スエズ運河に到着する船舶隻数の分布が、ポアソン分布として近似しうるかどうかについての分析がなされる。

4.1 1978年の通航隻数

1978年において、運河に1日に到着した隻数のデータは、表4-1のとおりである。総数で21,328隻したがって、平均1日あたり58隻が到着していることになる。これらの到着分布は、表4-2および図4-1のヒストグラムに表されている。

4.2 χ^2 検定

χ^2 (適合度) 検定は、現実のデータ分布の理論的分布への適合度を検討するものである。ここでは、1日あたりの到着隻数がポアソン分布をするという仮説にたいする検定を行っている。

χ^2 の値は次式によって算定される。

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N x_i^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(x_k - n \cdot P_k)^2}{n P_k} \dots\dots\dots (4-1)$$

ここにNは、日最大通航隻数、 x_k は1日あたりk隻が通航した日数、 P_k は仮説分布による1日あたりk隻が通航する理論的確率、nは試行回数、ここでは年間日数である。

ここでは仮説分布がポアソン分布であるので、理論的確率 P_k は、次の式で表わされる。

$$P_k = P_{rob} (X=k) = \frac{EXP(-m) \cdot m^k}{k!} \dots\dots\dots (4-2)$$

ここにmは、平均の通行隻数である。

表5-3は、以上の式に沿った χ^2 の計算過程が示されている。通航隻数が77隻/日を越えるものと、44隻/日を下るものは、簡単化のためと、 χ^2 に大きな影響を与えないことから、除外されている。

表4-1 1978年の到着数

Month Day	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY	JUNE	JULY	AUG.	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	60	52	58	54	55	66	50	67	49	59	61	54
2	56	56	54	30	66	56	47	42	54	61	60	60
3	26	59	55	63	68	60	54	58	55	47	57	63
4	57	65	64	76	61	53	49	54	51	53	53	61
5	55	47	57	48	61	48	50	61	59	63	62	71
6	63	60	63	67	62	55	59	52	62	73	54	54
7	60	49	66	76	60	52	65	60	52	62	53	60
8	57	55	63	64	64	65	54	61	57	47	61	63
9	50	49	54	44	53	47	54	53	54	60	55	60
10	45	47	54	73	51	61	70	62	54	67	52	55
11	62	60	59	70	51	52	66	65	54	57	56	55
12	50	56	59	69	52	67	62	42	71	74	56	58
13	72	69	30	59	54	52	62	56	61	60	69	52
14	67	56	51	56	55	71	69	54	53	68	66	57
15	54	32	72	59	46	62	60	30	52	57	64	11x
16	29	57	67	55	52	47	56	76	55	57	68	51
17	76	64	73	65	64	59	63	60	60	63	60	68
18	75	66	79	68	49	54	57	55	48	68	63	59
19	45	67	47	50	50	64	63	44	54	62	68	45
20	32	63	68	59	69	50	61	53	56	67	58	69
21	81	61	67	64	66	67	64	59	61	53	58	32
22	63	69	65	62	63	64	64	53	47	59	68	24
23	80	68	67	62	57	35	68	63	68	59	65	75
24	72	59	48	70	63	55	65	64	48	69	50	53
25	54	56	62	68	53	66	59	52	53	49	59	69
26	54	54	66	53	69	56	60	53	59	57	61	61
27	58	77	69	64	52	54	60	51	64	70	74	79*
28	58	52	66	60	58	52	61	59	64	66	55	62
29	47	-	50	61	64	62	36	49	53	72	66	75
30	53	-	67	56	63	48	75	61	54	54	49	63
31	55	-	81	-	64	-	65	55	-	53	-	60
	1727	1625	1901	1825	1815	1706	1848	1724	1691	1888	1801	1779

表4-2 1日あたり到着隻数の分布

No of ships / day	11	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
Frequency (f)	1	1	-	1	-	-	1	4	-	3	-	-	2	1	-	-	-	-	-	2	-	2	3	1

No. of ships / day	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Frequency (f)	10	6	8	8	6	14	18	25	16	14	12	10	19	21	18	15	19	17	9	12	12	13	11

No of ships / day	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
Frequency (f)	4	3	4	3	2	4	4	1	-	2	1	2

全日数 = 365

総到着隻数 = 21,328 ships/year

平均到着隻数 = $\frac{21,328}{365} = 58.4$ ships/day

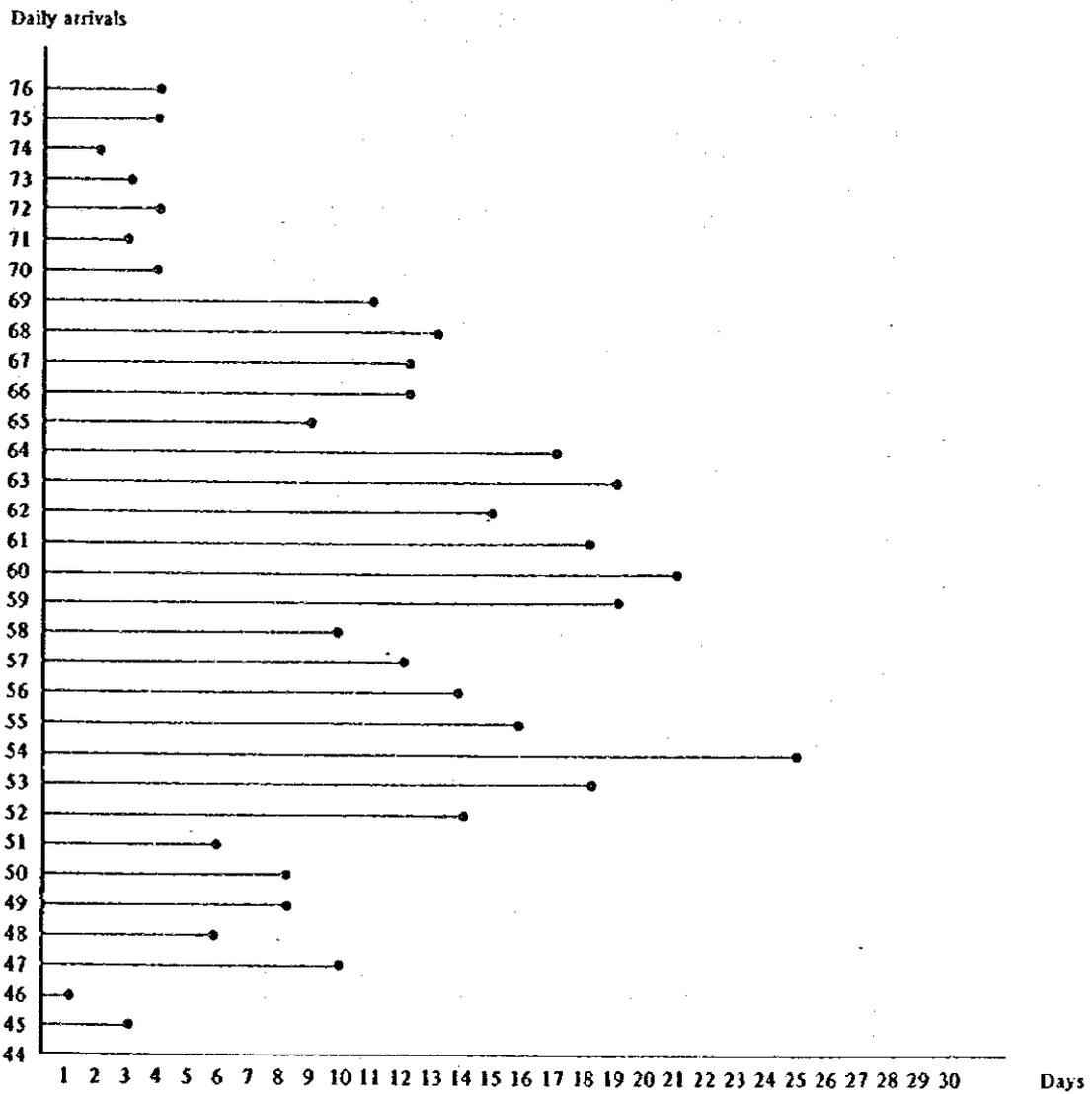


図4-1 到着隻数のヒストグラム

表4-3 χ^2 の算定

k (Ships)	x_k (Days)	P_k	nP_k	x^2_k
45	3	0.01118	4.08	0.286
46	1	0.0142	5.18	3.37
47	10	0.0177	6.46	1.940
48	6	0.0215	7.85	0.436
49	8	0.0255	9.31	0.184
50	8	0.03	10.95	0.795
51	6	0.0342	12.48	3.365
52	14	0.0384	14.02	0.0003
53	18	0.0423	15.44	0.425
54	25	0.0459	16.75	4.063
55	16	0.0465	17.70	0.163
56	14	0.0507	18.5	1.10
57	12	0.0522	19.05	2.61
58	10	0.0525	19.16	4.38
59	19	0.0518	18.91	0.0004
60	21	0.0506	18.47	0.35
61	18	0.0484	17.67	0.0062
62	15	0.0456	16.64	0.162
63	19	0.0423	15.44	0.821
64	17	0.0386	14.09	0.601
65	9	0.0346	12.63	1.043
66	12	0.0307	11.21	0.056
67	12	0.0267	9.75	0.519
68	13	0.0229	8.36	2.575
69	11	0.0183	6.68	2.794
70	4	0.0154	5.62	0.467
71	3	0.0124	4.53	0.517
72	4	0.0102	3.72	0.021
73	3	0.080	2.92	0.002
74	2	0.063	2.30	0.037
75	4	0.050	1.83	2.573
76	4	0.032	1.39	4.701

$$\chi^2 = \sum_k x^2_k = 40.565$$

この過程で得られた χ^2 値は、40.57である。自由度、31(データ数-推定パラメータの数(1))の χ^2 分布においては、41.3以上の値をとる確率が10%であり、したがって $40.57 < 41.3$ であり、危険率10%では、このポアソン分布の仮説は棄却できない。危険率15%ならば、39.16以上の値を χ^2 値がとるとき棄却することができるが、この場合、真のポアソンにしたがう場合を、棄却する誤謬の確率が大きい。通常、危険率としては5%~1%がとられるので、ここでは、ポアソン分布の仮説を認めてよいと思われる。

第 V 部

タンカー通航量長期予測システム

第1章 序

本部は、タンカーの運河通航量の予測方法を示している。基本とする手法は、1978年度報告書の第5章に述べられているところのものと同様であるが、予測システムの改善を意図として、次の2点について新たに考慮がなされている。第1の点は、船舶の経路選択の決定要因として、昨年度用いた運航原価の代わりに、運賃を用いることによって、タンカー市況の影響を組み入れたことである。第2の点は、多モード選択モデルを導入することにより、関連する3つの往復航海にたいするタンカー選択比率を同時に求めるように工夫がなされたことである。

なお、以上の方法論についての改善に加えて、本報告書の第6章においては、1979年6月の「東京サミット」における、各国の消費量見通しに基づいて、原油海上荷動量を想定することにより、タンカー通航量の予測がより実際的になされている。

第2章 予測の方法論

本報告書に示されている、スエズ運河のタンカー通航量の予測手順は次の5つのサブシステムより構成されている。

- 1) 世界のエネルギー需給および原油の交易量の予測
- 2) タンカーの運航コスト
- 3) タンカーの経路選択
- 4) タンカーのスエズ運河通航量
- 5) タンカーの運航による料金収入

以上のサブシステムの相互関連については、図2-1に示されている。

これらのサブシステムについては、次節以降に詳説されるが、概略すると次のとおりである。

- 1) 世界のエネルギー需給および原油の貿易量

スエズに関連する原油の海上荷動量の予測方法としては、次の2つのものが考えられる。

第1は旧来からの、数量的システムにたよらない経験的な見通しによるものである。第2の方法は、予測に影響する要因を決定的なモデルによって結びつけ、システム的手順で予測を行なうものである。

- 2) ルート・コスト

ルート・コストとは、タンカーが一定の経路を選択したときに、被る費用である。タンカーの運航に関する経路選択、規模間の競争などはルートコストに基づいて決定されるが、1978年度報告書においては、このルートコストとして、下記のタンカーの運航コストが用いられた。本報告書では、ルートコストとして、タンカー運航コストに代わって、タンカーの船腹市況を反映する運航レベルが用いられている。

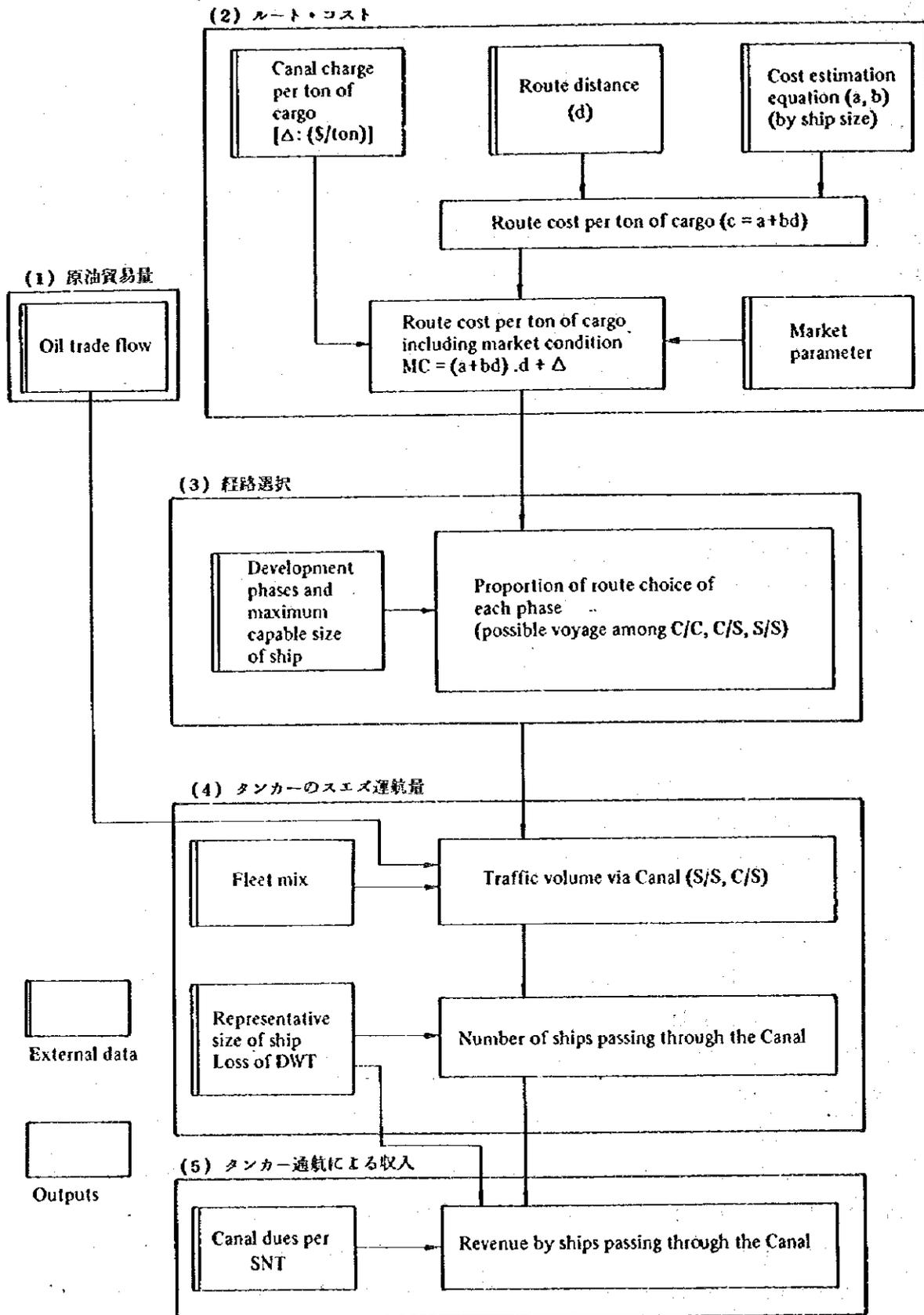


図2-1 長期予測のプロセス

3) 経路選択

この部分では、関連する各経路が選択される比率が決定される。このため、多経路選択モデルの概念が導入され、種々の特定モデルの中から現実の選択状況を反映した関数形およびパラメータをもつモデルが用いられる。

4) スエズ運河のタンカー通航量

3)より求められる、経路間の選択比率、通航タンカーの規模構成、および海上荷動量 (O. D.) が、スエズを通航する原油量を定める。各通航タンカーの積載能力で、この通航原油量を際すことにより、必要航海回数が算出され、通航隻数に変換されることになる。

5) タンカー通航による料金収入

スエズ運河の通航料金 (1 スエズ登録トン) は、積荷状態および船種によって決定されている。したがって、積船、空船別および規模別の通航隻数により、通航料金収入が算定される。

第3章 スエズ運河に関連する原油の貿易量

3.1 概 説

貿易量というものは、次の4つの要因より成る。品目、その量、発着地、交易がなされた時期である。図3-1にこの1例で示されている。

非常に多くの発着地がありうるので、適当なゾーニングを行なうことは非常に重要である。使用することのできる世界的統計における、ゾーニング、スエズ運河との関連性、種々のルート特性の単一化による損失等が考慮される必要がある。分析の簡便性のために、ゾーニングされた地域数をなるべく小さくすることも重要である。表3-1はゾーニングの一例である。

共産国は、将来も自給自足状態を維持するという仮定のもとに、このゾーニングからは除外されている。日本は、主要な輸入国ではあるが、その輸入ルートはスエズ運河を経由しないことから除外されている。同じ理由で主要な輸出地域である東南アジアも除外されている。北アフリカおよび西アフリカおよび、カリブ海地域の輸出は、スエズ運河とは直接には関連しないが、北西ヨーロッパの輸入に関しては、アラビア湾地域と競合関係にあるという観点から、ゾーニングに加えている。

アラビア湾から、西ヨーロッパおよび、北アメリカへのスエズ運河に関連する原油海上荷動量は表3-2に示すような「東京サミット」において合意された主要消費国の輸入上限量および予測時点（1985年）における交易パターンが1977年のそれと同じという仮定のもとに表3-3のように予測される。

3.2 アラビア湾から西ヨーロッパへの原油海上荷動量（1985）

以下の予測は交易パターンが1977年に同じとして求められたものである。

1) 西ヨーロッパの純輸入量 (C)

(1) EC、9ヶ国：9.5 MB/D

(2) 他の西ヨーロッパ諸国については、過去のすう勢により：2.4 MB/D

(3) 計（西ヨーロッパ）：11.9 MB/D = 595 MMT

2) 北海油田の生産量 (B)

北海油田の、1985年における生産量は200 MMTと仮定する。

3) 西ヨーロッパの粗輸入量

西ヨーロッパの粗輸入量(A)は次の式を用いて求められる。

$$A = D + C \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

$$D = a (A + B) \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

ここにDは他地域への平均出量、そしてaは（輸入+自給量）にたいする輸出比率であり、1977年と同じ値（0.035）であると仮定されている。（3-1）、（3-2）より粗

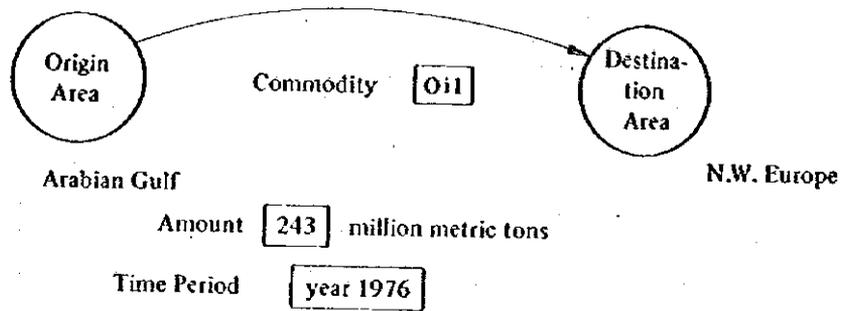


図3-1 貿易の構成

表3-1 ゾーニングの例

O/D	Area	Representative Port
Major Oil Exporting Areas	Arabian Gulf (North Africa) (West Africa) (Caribbean) [South East Asia]	Ras Tanura (Tripoli) (Nouadhibou) (Aruba) [Jakarta]
Major Oil Importing Area	North West Europe Mediterranean Europe U.S. East Coast Gulf of Mexico U.S. West Coast [Japan] (Others)	Rotterdam Genoa Philadelphia New Orleans Los Angeles [Yokohama] (-)

表3-2 東京サミットでの合意 (10,000 B/D)

Country \ Year	1978	1979	1980	1985
Japan	523	540	540	630-690
U.S.A.	828	850	850	850
U.K.	83	-	-	80
W. Germany	281	-	-	280
France	223	-	-	220
Italy	189	-	-	190
E.C.	-	1,000	950	950

表3-3 原油の貿易量(1977年)

From \ To	N/W Europe	Mediterranean	North America
Arabian Gulf	254.9	170.5	154.8
Near East	2.5	17.5	0.1
North Africa	33.8	37.0	68.7
West Africa	28.2	11.9	65.3
Caribbean	3.9	1.7	111.5
South East Asia	0.7	0.3	29.8
Others	42.7	18.4	8.8
Total	366.7	252.3	439.0

(B.P. Statistical Review, Feamley & Egers)

輸入量(A)は次の式により求められる。

$$A = \frac{C + aB}{1 - a} = 623.8 \text{ MMT} \dots\dots\dots (3-3)$$

4) 北ヨーロッパと地中海の輸入量

これらの地域の輸入量は③に占めるシェアの過去のすう勢により次のように予測される。

北西ヨーロッパの輸入量：369.5 MMT

地中海の輸入量：254.3 MMT

5) 中近東からの輸入

中近東から北西ヨーロッパおよび地中海地域への輸入量は④に占めるシェアの過去のすう勢より予測される。

中近東より北西ヨーロッパの輸入量：259.4 MMT

中近東より地中海への輸入量：184.4 MMT

6) 海上荷動量

パイプラインによる荷動量を北西ヨーロッパへは純荷動量の5%、地中海へは20%と仮定する。この分を5)の中近東よりの輸入量から除外して、それぞれの地域への海上荷動量が求められる。

アラビア湾から北西ヨーロッパへ：246.4 MMT

アラビア湾から地中海へ：147.5 MMT

3.3 アラビア湾から北米東岸への荷動量

1) 北米（米国およびカナダ）の輸入量

米 国 : 8,500,000 MB/D

カナダ : 600,000 MB/D

合 計 : 9,100,000 MB/D = 455 MMT

2) 北米東岸の輸入量

同地域への輸入量は1)に占める過去のシェアのすう勢より予測される。

北米東岸の輸入量 : 424.1 MMT

3) アラビア湾からの輸入量

2)の輸入量のうちアラビア湾から来るものについても同じようにそのシェアの過去のすう勢予測から、次のように予測される。

アラビア湾から北米東岸への輸入量 : 160.3 MMT

第4章 ルート・コスト

4.1 タンカー運賃市況の導入

1978年度報告書の方法論において、タンカー運航コストが、タンカーの関連航路間の配給を決める主な要因であった。

本報告書では、実際の配給が、運航コストそのものよりも運賃レベルで示される機会費用に基づいて行われるという判断のもとに運賃率の予測システムへの組みこみが行われている。機会費用とはある航海への配給に伴う便益の損失、すなわち、他航路への配給による運賃収入のロスを意味している。運航コストをルート・コストとすることは、そのルートへの配給の採算性を判断する基準となるが、機会費用をルート・コストとすることは、収入の最大化を図るうえでの基準となるものである。過去においては、運賃レベルは運航コストを中心に船腹市況の盛衰に応じて上下しながら推移していることから運航コストの算定方法を明らかにしておくことはやはり重要である。次の節ではこの運航コストの構成および、輸送トンあたりの運航コストの導出方法が示される。

4.2 運航コストの構成

運航コストは、資本コストと、運営コストに大別され、さらに運営コストは、直接船費（管理費）と航海費とに分かれる。資本コストは、船舶の購入、償却に関わるものである。直接船費（管理費）は、経営組織を維持するための費用、そして、航海コストは、燃料代、港務費等の航海そのものに付随する費用である。これらの費用項目をさらに細分化したものが図4-1である。

4.3 輸送トンあたり運航コスト

1978年度報告書では、輸送トンあたり運航コスト（以下トンあたりコストと呼ぶ）を、年間コストと年間輸送トンから導びく方法がとられた。本報告書は、これに代わって、一航海あたりのコストおよび一航海の輸送トンから求める方法が示される。これは、導出方法の簡便化を図ったことによるものである。

いま、対象とする航海の片道距離が d （マイル）であり、往路および復路の航行速度をそれぞれ S_1 マイル/時、および S_2 マイル/時とすると、この航海の運航日数は、 $(\frac{d}{S_1} + \frac{d}{S_2}) \cdot \frac{1}{24}$ （日）となる。

ここで船舶の航行中の場合の1日あたりコストは、4.2節の記号を用いると、(4-1)のようにならわされる。

$$\frac{(1+E) \cdot Pr \cdot (rd+ri+ra) + (Cr+Ms+Ad+Lb+Rp) + PB \cdot B_2}{Da} \quad (4-1)$$

これに対して停泊中の場合は、(4-1)中の燃料の消費率のみが変わるので(4-2)のように表

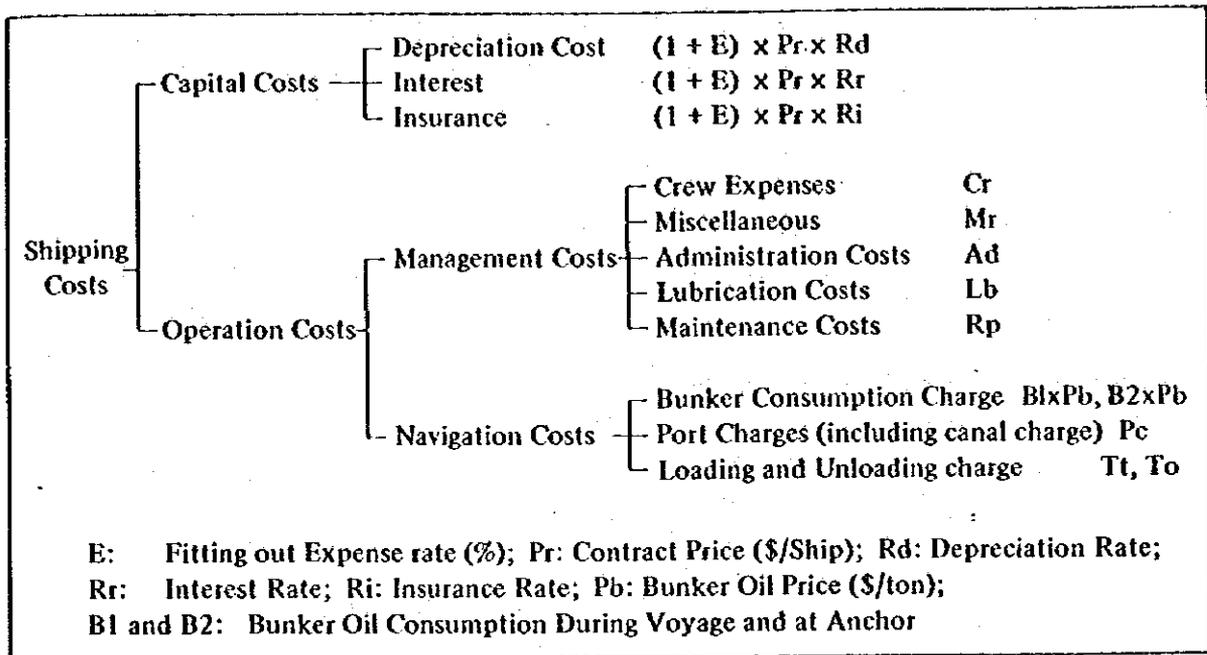


図4-1 運輸費用の構成

わされる。

$$\frac{(1 + E) \cdot Pr \cdot (rd + ri + ra) + (Cr + Ms + Ad + Lb + Rp)}{Da} + P_B \cdot B_1 \quad (4-2)$$

燃料の消費率は通常、航行時の方が停泊時よりも大きい、停泊時には入港費、荷役費が追加される。航行日数が $(\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2}) \cdot \frac{d}{24}$ (日) であり、停泊日数が $(Dt + Do)$ であることに留意すると、トンあたりコストCは次のような、片道距離dの一次関数として表わされる。

$$C = a + b \cdot d \quad (4-3)$$

$$a = \left[\frac{(Pr \cdot S + Cr + Ms + Ad + Lb + Rp)(Dt + Do)}{Da} + B_2 \cdot Pb \cdot (Dt + Do) + Tt + To \right] \frac{1}{DwR} \quad (4-4)$$

$$b = \left[\frac{(Pr \cdot S + Cr + Ms + Ad + Lb + Rp)}{Da} + B_1 \cdot Pb \right] \cdot \left(\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} \right) \cdot \frac{1}{24} \cdot \frac{1}{DwR} \quad (4-5)$$

ここに d : 片道距離 (マイル)

a, b : 係数

s : $(1 + E) \cdot (rd + ri + ra)$

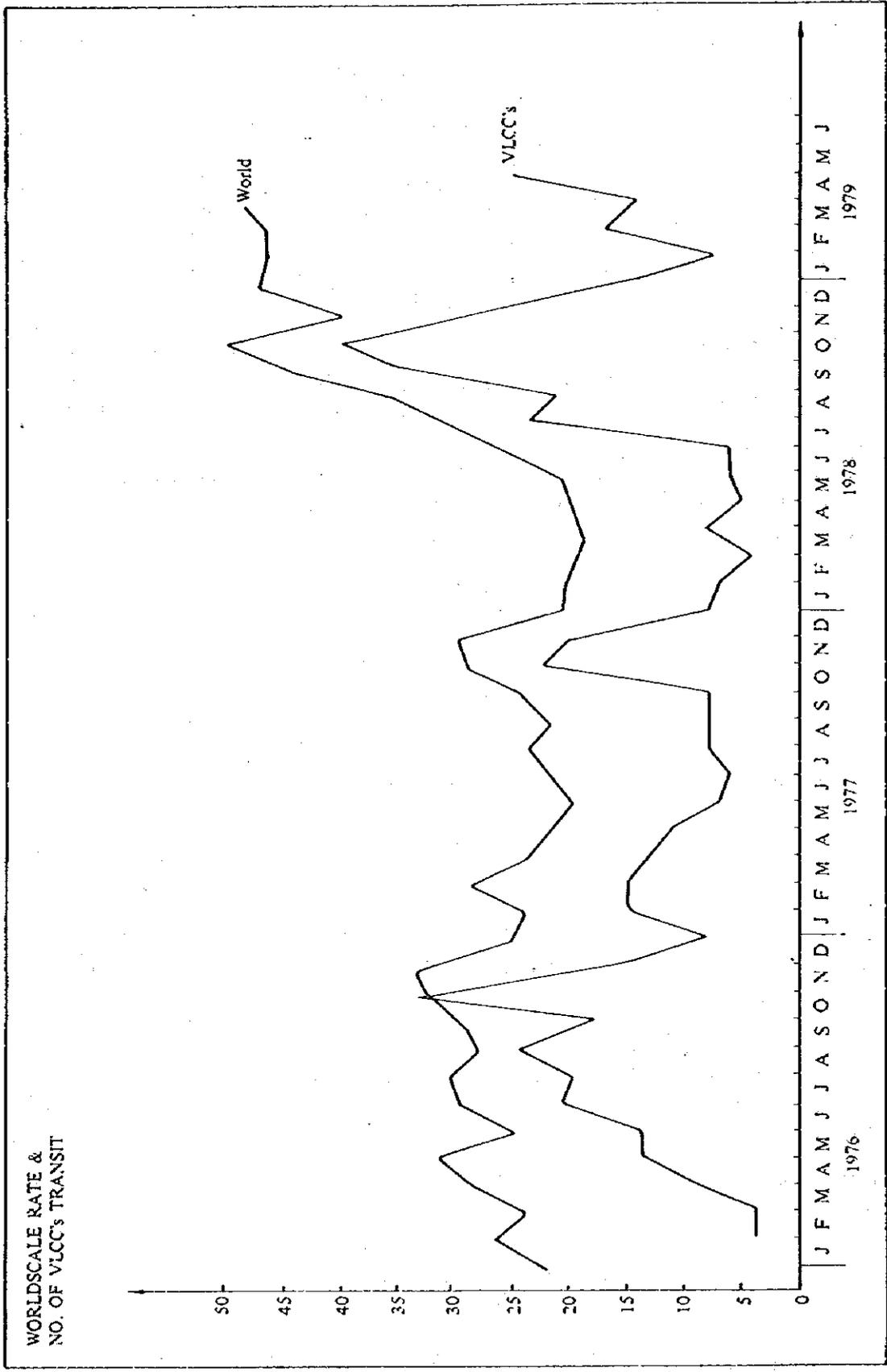


図4-2 VLCCよクルスケールとの関連

4.4 市況（運賃市場）

市況は、配船に非常に大きな影響をもっている。図4-2は、1975年のスエズ運河再開後の、VLCCの通航隻数と、WS（ワールド・スケール）の推移を示したものである。双方の指標は、ほとんど同じ動きを示しており、WS、すなわち市況がスエズ運河の利用と密接な関連をもっていることがわかる。この関連性の理由は、図4-3に示されている。スエズ運河を利用することによって得る利益は、簡単に言えば節約された航行日数、すなわち輸送能力の上昇分と、運賃レベルとの積であらわされる。したがって、スエズ運河通航利益は、市況に依存することになり、このことから、市況の上昇と通航隻数の増加との関連が理解できる。

市況を表わす指標としては、World Scaleの考え方を採用するのが便利である。WSは、19500 DWTタンカーの運航コストを基にした標準運賃を100としたときの各船型タンカーの実際運賃の比率である。この運航コストを基にした標準運賃からの乖離率として市況を表現する考え方を踏んで、本報告書では、市況が、(4-6)のような運賃モデルによって、近似できると考えた。

$$MC = (a + b \times d) \cdot \alpha \quad \text{..... (4-6)}$$

ここにMCは運賃レベル、およびbは、運航コストを決めるパラメータ、そしてαは、市況の盛衰に応じて上下する市況パラメータである。このモデルによれば、α = 1.0の場合に運賃レベルが、運航コストをちょうどまかなうことになる。また、船型が19500 DWTであればこのαはW. S. と一致することになる。

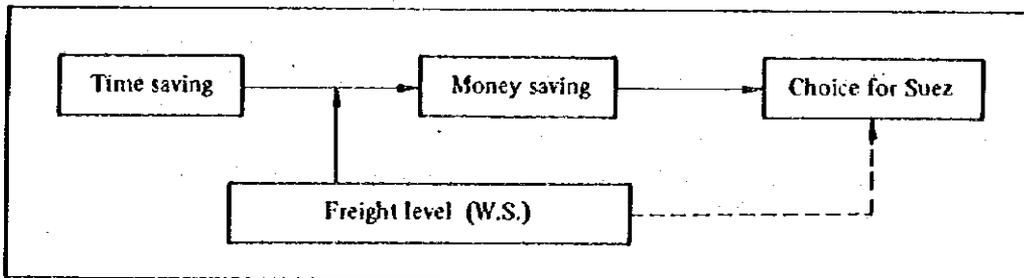


図4-3 スエズ通航量と運賃レベルとの関係

第5章 ルート選択モデル

5.1 多経路選択モデル

ルート選択モデルは、スエズ運河に関連する原油OD量のうち、運河を利用する比率を決定するものである。1978年度報告書においては、片道の航行における選択比率を求めたのちに、この片道の比率を組み合わせることでより往復航路の選択比率を導びく方法が示された。

本報告書では、往復航路間の選択比率を同時に決定するために、2つ以上の経路間の選択比率を決定する多経路選択モデルが導入される。

5.2 既往の方法

1978年度報告書では、往復航路間の選択比率の決定は次の2段階で求められた。第1段階では、片道航路の選択比率が、スエズ運河の通航制限がないものとして決定される。次に通航制限を考慮してこれらの選択比率を組み合わせることでより往復航路間の選択比率を求めるのが第2段階である。この合成の仕方は表5-1に示されている。

表5-1 片道航路選択比率の分成による往復航路の選択比率

Case	Capability		Alternatives	One-way Choice				Round Choice		
	Laden	Ballast		nPs	nPc	sPs	sPc	C/C	C/S	S/S
I	X	X	C/C	0	1.0	0	1.0	1.0	0	0
II	X	O	C/C, C/S	0	1.0	sPs*	sPc*	sPc	sPs	0.0
III	O	O	C/C, C/S, S/S	nPs*	nPc*	sPs	sPc	sPc	sPs or nPs	nPs

* mPn: denotes the choice proportion for N-th route in the M-th direction (North or South), when two routes (via Suez or via Cape) are given

片道航路の選択比率の決定にさいしては、運航コストの対象経路による差の分布を基にした確率モデルが用いられた。そしてこれらの比率を用いた往復航路間の選択比率の決定は、次のようである。

- (i) タンカーが無積載でも運航できない場合、必らず経路C/Cが選択される。
- (ii) 無積載の場合は通航可能であるが積載しているとき通航不可能な場合

経路C/Sおよび経路C/Cがあり、これらのシェアは無積載タンカーのドラフト制限がない場合の運河経由選択比率 (r(S)) と喜望峰回り選択比率 (r(C)) に一致する。経路においては、喜望峰回りしがなく、復路は通航制限のない場合の無積載タンカーの選択比率に等しいか

らである。

③ 積荷状態にかかわらず通航可能な場合

全ての経路、C/C、C/S、S/Sが存在する。往路でスエズ運河を経由したタンカーは、復路は運河通航料が無積載で安くなることを考慮すると必ずスエズ運河を経由すると考えられる。したがってドラフト制限のない場合の積載タンカーのスエズ運河経由比率 (r(S)) が経路S/Sの比率になる。次に通航制限がない場合の無積載タンカーのスエズ運河経由比率 (r(S)) は、経路C/Sの比率と経路S/Sの比率を加えたものである。これから経路S/Sの比率を差し引くことにより、経路C/Sの比率が求まる。経路C/Cの比率は、経路S/Sと経路C/Sにたいする比率を差し引いた残余で算定する。

5.3 多経路選択モデル

片道航路の選択比率を往復航路間の選択比率に合成するという複雑さを取り除くために、ここでは、多経路選択モデルの導入が図られる。

多経路選択モデルの基本概念は、交通計画の分野で、多くある輸送機関の中からひとつのものを選択するために用いられているものである。このモデルは一般的には次のように定式化される。

$$r_i = f(C_1, \dots, C_i, \dots, C_n)$$

ここに r_i は n 個ある経路の中から i 番目のものが選択される比率である。 C_i は i 番目の経路を利用することに付随する総費用または不効用である。この総費用を構成する個々の費用または、不効用として表5-2に示すようなものが挙げられる。

この選択比率関数 r_i については、(5-2)、(5-3) で示される性質がある。

$$\frac{\partial f_i}{\partial C_i} < 0 \quad (\text{直接弾力性}) \quad \dots \dots \dots (5-2)$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial C_j} > 0 \quad (\text{交叉弾力性}) \quad \dots \dots \dots (5-3)$$

ここに $\frac{\partial f_i}{\partial C_i}$ は、他の C_i ($i \neq j$) を一定としたときの C_i の微小変化に対応する f_i の変化にたいする C_i の変化量の比である。したがって、(5-2) は i 番目の経路の総費用が上昇するとき、例えば所要時間が増すとき、同経路の選択比率が減少することを示している。さらに (5-3) は i 番目の経路の費用が上昇するとき、それ以外の経路、に対する選択比率が上昇するという間接的影響を示している。

この選択比率関数の具体的な形は、各経営に関する費用の性格、理論的背景、現実データの証明力等を考慮して決定されるが、多く用いられているものとして次の2つがある。

(1) ロジット・モデル

総費用あるいは不効用 $T C_m$ が、非かく乱項 C_m とかく乱項 E とで構成されると仮定する。

$$C_m = \sum W_i S_{m i} \quad \dots \dots \dots (5-4)$$

$$T C_m = C_m + E = \sum W_i \cdot S_{m i} + E \quad \dots \dots \dots (5-5)$$

ここに 非かく乱項は C_m 、種々のコスト要因 S_{mi} を W_i で加重和したもので表わされると仮定している。

ここでいくつかの経路の中で、最も小さい費用をもつ経路が選択されると、 k 番目の経路が選択される比率 r_k は次のように表わされる。

$$r_k = \text{Prob} (TC_k < TC_j, j \neq k) \dots\dots\dots (5-6)$$

さらに かく乱項 E がワイブル分布にしたがうものとする、この r_k は次式 (5-7) で表わすことができる。

$$r_k = \frac{e^{-C_k}}{e^{-C_1} + e^{-C_2} + \dots + e^{-C_M}} \dots\dots\dots (5-7)$$

この式を用いるためには、まず、 C_1, \dots, C_M の算定が必要となるが、このため加重パラメータ、 W_i については、この式によって算出された r_k が現実の選択比率を最もよく説明できるように決定される。

E が正規分布するとき、具体的な関数形としては表わすことができないが、(5-7) とは別の選択比率が算定される。この場合のモデルをプロビット型のモデルとよんでいる。プロビットモデルは昨年度報告書で片道航路の選択比率を求めるために用いたものであり、広く用いられているが、あくまでも、2 者間の選択比率を決定するためのものである。

(2) 輸送抵抗モデル

いまひとつの多経路選択モデルの形は輸送抵抗モデルとよばれ、次の関数形をとるものである。

$$V_k = \frac{(C_k) \cdot \delta_k}{(C_1) \cdot \delta_1 + \dots + (C_m) \cdot \delta_m} \dots\dots\dots (5-8)$$

このモデルは かく乱項 E の分布が陽には明かではないものの、経験的に現実の選択比率の説明力が高い。ロジット・モデルにおける、 W_i の決定と同じように、このモデルにおいても、 C_i 中の W_i 、そして、各費用にかかわる弾性率パラメータ δ_i は、 r_k の説明力が高くなるように決定される。多くの場合、簡単化のため、 W_i 間や、 δ_i 間の比率については何らかの仮定が置かれる。本報告書、第 6 章のケース・スタディにおいても $W_1 = \dots = W_m$ 、 $\delta_1 = \dots = \delta_u$ が仮定されている。

第6章 タンカー通航量の予測

ここでは、前章までに述べてきた方法を用いた具体的な予測プロセスが説明される。予測年次は1985年である。

6.1 原油貿易量

3章で述べられた予測にしたがうと、スエズ運河に関連する3つのOD間の原油貿易量は表6-1のとおりである。

表6-1 1985年における原油貿易量

O/D	Oil Trade Flow (M.M.T.)
Arabian Gulf - North-western Europe	246.4
Arabian Gulf - Mediterranean Sea	147.5
Arabian Gulf - U.S.A.	160.3

6.2 ルート・コスト

4章で述べられたように、運賃水準が経路選択において重要であり、次の式で表わすことができる。

$$\text{運賃水準} = \alpha \times (\text{運航コスト}) \quad \dots\dots\dots (6-1)$$

各OD別、ルート別、船型別の運航コストは、1978年度報告書のもと同じであり、表6-2は、市況パラメータ α が、0.3, 0.5, 1.2の3ケースについて、(6-1)を用いて求めた運賃水準が示されている。

関連する経路は、S/S (往路、復路ともに、スエズ運河経由) C/S (往路ケープ、復路スエズ経由)、C/C (往路、復路、ともケープ経由) である。表6-2の値の中で、C/SおよびS/Sについては対応する運河の通航料金を含んでいる。

6.3 経路選択

関連する経路間の選択比率は、5章で述べられた輸送抵抗型モデルを用いて決定される。

この場合の輸送抵抗型モデルの具体的な形は次のものを用いた。

$$r(s/s) = \frac{(C(s/s))^{\beta}}{C(s/s)^{\beta} + C(c/s)^{\beta} + C(c/c)^{\beta}} \quad \dots\dots\dots (6-2)$$

$$r(c/s) = \frac{(C(c/s))^{\beta}}{\dots\dots\dots} \quad \dots\dots\dots (6-3)$$

表6-2 運賃を用いたルート・コスト

Size (1,000 DWT)	α^*	A.G. - N.E.			A.G. - M.			A.G. - U.S.A.		
		S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C
0	0.3	7.96	8.52	9.32	6.32	7.52	8.97	9.11	9.24	9.60
	0.5	11.82	13.56	15.54	9.08	11.89	14.95	13.74	14.76	16.01
60	1.2	25.32	31.19	37.29	18.74	27.19	35.87	29.94	34.06	38.42
60	0.3	5.06	4.73	4.62	4.26	4.24	4.45	5.63	5.08	4.76
	0.5	6.99	7.23	7.71	5.65	6.42	7.42	7.94	7.82	7.94
150	1.2	13.74	16.00	18.50	10.52	14.04	17.80	16.01	17.41	19.05
150	0.3	4.19	3.59	3.22	3.63	3.25	3.10	4.59	3.83	3.32
	0.5	5.54	5.34	5.37	4.61	4.77	5.17	6.20	5.75	5.53
250	1.2	10.26	11.46	12.89	8.03	10.10	12.41	11.83	12.43	13.27
250	0.3	3.90	3.21	2.75	3.43	2.92	2.65	4.24	3.42	2.83
	0.5	5.06	4.70	4.59	4.27	4.22	4.41	5.61	5.05	4.72
300	1.2	9.10	9.93	11.00	7.20	8.78	10.60	10.43	10.76	11.33
300	0.3	3.82	3.10	2.62	3.37	2.83	2.52	4.14	3.30	2.70
	0.5	4.92	4.53	4.36	4.17	4.07	4.20	5.45	4.85	4.49
350	1.2	8.77	9.51	10.47	6.97	8.41	10.08	10.04	10.29	10.78
350	0.3	3.70	2.94	2.42	3.29	2.69	2.33	3.99	3.12	2.49
	0.5	4.72	4.26	4.03	4.04	3.84	3.88	5.21	4.56	4.15
400	1.2	8.30	8.87	9.67	6.64	7.86	9.32	9.46	9.59	9.96
400	0.3	3.58	2.78	2.22	3.21	2.55	2.14	3.84	2.95	2.28
	0.5	4.52	3.99	3.70	3.90	3.61	3.56	4.96	4.27	3.81
	1.2	7.82	8.23	8.88	6.31	7.31	8.55	8.87	8.89	9.13

* α は、船設市場の景気を表わす市況パラメータである。

$$r(c/c) = \frac{(C(c/c))^\beta}{\dots} \dots \dots (6-4)$$

ここに $r(s/s)$ 、 $r(c/s)$ 、 $r(c/c)$ は、それぞれ、 s/s 、 c/s 、 c/c の航路の選択比率であり、 $C(s/s)$ 、 $C(c/s)$ 、 $C(c/c)$ は、表 6-2 に示されているそれぞれの経路の通航に関わる費用である。

(5-8) の一般形を参照すると、 C_m を構成する属性 (費用) は、ルート・コストのみであり、したがって $W_i = 1.0$ 、 $S_{m_i} = C(m)$ で表わされる。ここで m は C/C 、 C/S 、 S/S のうちのどれかの経路を示している。さらに $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta$ が仮定され、この β の値としては、現実データに適合するように決定されなければならないが、ここでは、1977年のスエズ運河通航量に適合するように $\beta = 2.0$ としている。

この経路選択比率の算定結果は、表 6-3 に示されている。

6.4 ルート通航量

選択の結果、各ルートを通航する原油の量は、次の式で表わされる。

$$V_k(s/s) = T \times f_k \times r(s/s) \dots \dots \dots (6-5)$$

$$V_k(c/s) = T \times f_k \times r(c/s) \dots \dots \dots (6-6)$$

$$V_k(c/c) = T \times f_k \times r(c/c) \dots \dots \dots (6-7)$$

ここに $V_k(m)$ は、 k 番目の船型で第 m 経路を通過して運ばれる原油量である。 f_k はそれぞれのルートを通航するタンカー中での k 番目の船型分布である。 T は、総 O D 量、 $r(m)$ はそれぞれルートの 6-3 通りの選択比率である。この結果、各ルートの通航量は、表 6-4 に示されている。

6.5 各ルートの航海回数

6.4 で求められた通航量は、船型別の積載量で除すことにより必要な航海の回数に変換される。

$$N_k(m) = V_k(m) / C_k \dots \dots \dots (6-8)$$

$$C_k = L_k \times (DWT)_k \dots \dots \dots (6-9)$$

ここに、 $N_k(m)$ は 第 k 船型のタンカーの m ルートの航海回数、通航量が年間あたりであるので、同じく年間の航海回数である。 C_k は第 k 船型の平均積載量であり、最大積載量 $(DWT)_k$ と積載効率 L_k との積で表わされる。ここでは、積載効率 $L_k = 0.9$ とした。以上の航海回数の算定結果は表 6-5 に示されている。

6.6 スエズ運河通航隻数

運河の通航隻数は次の式によって方向別に算定される。

$$N_k(NORTH) = N_k(s/s) \dots \dots \dots (6-10)$$

$$N_k(SOUTH) = N_k(s/s) + N_k(c/s) \dots \dots \dots (6-11)$$

ここに $R_k(\text{NORTH})$ 、 $R_k(\text{SOUTH})$ はそれぞれ、北行通航隻数および南行通行隻数であり、 $N_k(m)$ は、6-5の結果による第 m ルートの航海回数である。

この算定結果は表6-6に示されている。

6.7 料金収入

通航料金による運河による運河収入は次の式で示される。

$$R_k(\text{NORTH}) = (\text{SNT})_k \times \text{Duc} \times N_k(\text{NORTH}) \dots\dots\dots (6-12)$$

$$R_k(\text{SOUTH}) = (\text{SNT})_k \times \text{Duc} \times N_k(\text{SOUTH}) \dots\dots\dots (6-13)$$

ここに $R_k(\text{NORTH})$ 、 $R_k(\text{SOUTH})$ は、北行および南行の通航タンカーによる料金収入であり、 $(\text{SNT})_k$ は、スエズ運河登録純トンであり、通航料金のベースとなるものである。このスエズ純トンは、そのDWTベースでの船型と次の関係にあることが経験的に知られている。

$$(\text{SNT})_k = (\text{DWT})_k^{1.03} \times 0.357 \dots\dots\dots (6-14)$$

この関係式を用いて、変換された船型別スエズ純トンを、(6-12)および(6-13)に代入して得られる料金収入の算定結果は、表6-7のとおりである。

6.8 長期予測

6-1~6-7 をつうじて、特定の目標年次における通航量の予測を行なうプロセスが述べられた。長期的予測においては、次のような時系列を外生的に入力することによって、同様のプロセスが繰り返される。

- (1) 原油貿易量
- (2) 市況パラメータ
- (3) 運航コストパラメータ
- (4) 船型分布

これらの時系列を与件としたときの運河通航量を予測する方法論は、この部を通じて確立されたといってよい。しかしながらこれらの時系列予測の方法論の改善が、長期的予測の充実化を図るために、さらに検討されるべき方向である。

表6-3(1) 関連経路間の選択比率

O/D	Size (1,000 DWT)	α^*	PH1			PH2			PH3			
			S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C	
A.G. N.E.	0	0.3	0.77	0.20	0.03	0.77	0.20	0.03	0.77	0.20	0.03	
		0.5	0.94	0.06	0.00	0.94	0.06	0.00	0.94	0.06	0.00	
	60	1.2	0.98	0.02	0.00	0.98	0.02	0.00	0.98	0.02	0.00	
	60	0.3	0.00	0.39	0.61	0.09	0.36	0.55	0.09	0.36	0.55	
		0.5	0.00	0.78	0.22	0.60	0.31	0.09	0.60	0.31	0.09	
	150	1.2	0.00	0.95	0.05	0.95	0.05	0.00	0.95	0.05	0.00	
	150	0.3	0.00	0.10	0.90	0.00	0.10	0.90	0.00	0.10	0.89	
		0.5	0.00	0.53	0.47	0.00	0.53	0.47	0.20	0.42	0.38	
	250	1.2	0.00	0.91	0.09	0.00	0.91	0.09	0.89	0.10	0.01	
	250	0.3	0.00	0.00	1.00	0.00	0.04	0.96	0.00	0.04	0.96	
		0.5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.38	0.62	0.00	0.38	0.62	
	300	1.2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.89	0.11	0.00	0.89	0.11	
	300	0.3	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.02	0.98	
		0.5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.35	0.67	
	350	1.2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.87	0.13	
	350	0.3	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.02	0.98	
		0.5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.25	0.75	
	400	1.2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.85	0.15	
	400	0.3	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	
			0.5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
			1.2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00

* α は、船腹市場の景気を表わすパラメータである。

表6-3(2) 関連経路間の選択比率

O/D	Size (1,000 DWT)	α^*	PH1			PH2			PH3		
			S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C
A.G. M.	0	0.3	0.97	0.03	0.00	0.97	0.03	0.00	0.97	0.03	0.00
	1	0.5	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
	60	1.2	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
	60	0.3	0.00	0.73	0.27	0.40	0.44	0.16	0.40	0.44	0.16
	1	0.5	0.00	0.95	0.05	0.92	0.07	0.00	0.92	0.07	0.00
	150	1.2	0.00	0.99	0.01	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
	150	0.3	0.00	0.28	0.72	0.00	0.28	0.72	0.03	0.27	0.70
	1	0.5	0.00	0.83	0.17	0.00	0.83	0.17	0.62	0.31	0.06
	250	1.2	0.00	0.98	0.02	0.00	0.98	0.02	0.99	0.01	0.00
	250	0.3	0.00	0.00	1.00	0.00	0.12	0.88	0.00	0.12	0.88
	1	0.5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.71	0.29	0.00	0.71	0.29
	300	1.2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.98	0.02	0.00	0.98	0.02
	300	0.3	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.09	0.91
	1	0.5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.65	0.35
	350	1.2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.97	0.03
	350	0.3	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.05	0.95
	1	0.5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.55	0.45
	400	1.2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.97	0.03
	400	0.3	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
		0.5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
		1.2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00

* α は、船腹市場の景気を表わす市況パラメータである。

表 6-3(3) 関連経路間の選択比率

O/D	Size (1,000 DWT)	α^*	PH1			PH2			PH3		
			S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C
A.G. USA	0	0.3	0.47	0.36	0.17	0.47	0.36	0.17	0.47	0.36	0.17
	1	0.5	0.78	0.19	0.04	0.78	0.19	0.04	0.78	0.19	0.04
	60	1.2	0.92	0.07	0.01	0.92	0.07	0.01	0.92	0.07	0.01
	60	0.3	0.00	0.22	0.78	0.03	0.21	0.76	0.03	0.21	0.76
	1	0.5	0.00	0.57	0.43	0.30	0.40	0.30	0.30	0.40	0.30
	150	1.2	0.00	0.86	0.14	0.82	0.15	0.03	0.82	0.15	0.03
	150	0.3	0.00	0.05	0.95	0.00	0.05	0.95	0.00	0.05	0.95
	1	0.5	0.00	0.32	0.68	0.00	0.32	0.68	0.07	0.30	0.64
	250	1.2	0.00	0.79	0.21	0.00	0.79	0.21	0.68	0.25	0.07
	250	0.3	0.00	0.00	1.00	0.00	0.02	0.98	0.00	0.02	0.98
	1	0.5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.21	0.79	0.00	0.21	0.79
	300	1.2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.74	0.26	0.00	0.74	0.26
	300	0.3	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.02	0.98
	1	0.5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.18	0.82
	350	1.2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.72	0.28
	350	0.3	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.01	0.99
	1	0.5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.13	0.87
	400	1.2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.68	0.32
	400	0.3	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
		0.5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
		1.2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00

* α は、船腹市場の景気を示す市況パラメータである。

表6-4(1) 各経路の輸送量 (10⁶ t)

O/D	Size (1,000 DWT)	α^*	PH1			PH2			PH3		
			S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C
A.G. N.E.	0	0.3	2.7	0.7	0.1	2.7	0.7	0.1	2.7	0.7	0.1
	1	0.5	3.2	0.2	0.0	3.2	0.2	0.0	3.2	0.2	0.0
	60	1.2	3.4	0.1	0.0	3.4	0.1	0.0	3.4	0.1	0.0
	60	0.3	0.0	4.5	7.0	1.0	4.1	6.4	1.0	4.1	6.4
	1	0.5	0.0	9.0	2.5	7.0	3.6	1.0	7.0	3.6	1.0
	150	1.2	0.0	11.0	0.6	11.0	0.5	0.0	11.5	0.5	0.0
	150	0.3	0.0	8.6	74.5	0.0	8.6	74.5	0.4	8.5	74.1
	1	0.5	0.0	44.0	39.0	0.0	44.0	39.0	16.6	35.2	31.2
	250	1.2	0.0	75.8	7.2	0.0	75.8	7.2	74.1	8.2	0.8
	250	0.3	0.0	0.0	96.6	0.0	4.2	92.4	0.0	4.2	92.4
	1	0.5	0.0	0.0	96.6	0.0	36.2	60.4	0.0	36.2	60.4
	300	1.2	0.0	0.0	96.6	0.0	85.5	11.0	0.0	85.5	11.0
	300	0.3	0.0	0.0	21.2	0.0	0.0	21.2	0.0	0.7	20.5
	1	0.5	0.0	0.0	21.2	0.0	0.0	21.2	0.0	6.9	14.3
	350	1.2	0.0	0.0	21.2	0.0	0.0	21.2	0.0	18.5	2.7
	350	0.3	0.0	0.0	15.8	0.0	0.0	15.8	0.0	0.3	15.5
	1	0.5	0.0	0.0	15.8	0.0	0.0	15.8	0.0	3.9	11.8
	400	1.2	0.0	0.0	15.8	0.0	0.0	15.8	0.0	13.4	2.3
	400	0.3	0.0	0.0	14.8	0.0	0.0	14.8	0.0	0.0	14.8
		0.5	0.0	0.0	14.8	0.0	0.0	14.8	0.0	0.0	14.8
		1.2	0.0	0.0	14.8	0.0	0.0	14.8	0.0	0.0	14.8

* α は、市況パラメータである。

表6-4(2) 各経路の輸送量 (10⁶ t)

O/D	Size (1,000 DWT)	α^*	PH1			PH2			PH3		
			S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C
A.G. M.	0	0.3	18.5	0.6	0.0	18.5	0.6	0.0	18.5	0.6	0.0
		0.5	18.9	0.1	0.0	18.9	0.1	0.0	18.9	0.1	0.0
	60	1.2	19.0	0.0	0.0	19.0	0.0	0.0	19.0	0.0	0.0
	60	0.3	0.0	28.7	10.7	15.6	17.3	6.5	15.6	17.3	6.5
		0.5	0.0	37.3	2.1	36.4	2.9	0.2	36.4	2.9	0.2
	150	1.2	0.0	39.0	0.3	39.3	0.1	0.0	39.3	0.1	0.0
	150	0.3	0.0	11.3	29.0	0.0	11.3	29.0	1.2	11.0	28.1
		0.5	0.0	33.5	6.8	0.0	33.5	6.8	25.1	12.6	2.6
	250	1.2	0.0	39.6	0.6	0.0	39.6	0.6	39.9	0.4	0.0
	250	0.3	0.0	0.0	37.2	0.0	4.6	32.6	0.0	4.6	32.6
		0.5	0.0	0.0	37.2	0.0	26.3	10.9	0.0	26.3	10.9
	300	1.2	0.0	0.0	37.2	0.0	36.3	0.8	0.0	36.3	0.8
	300	0.3	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	4.9	0.0	0.4	4.4
		0.5	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	4.9	0.0	3.2	1.7
	350	1.2	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	4.9	0.0	4.7	0.1
	350	0.3	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	3.5	0.0	0.2	3.4
		0.5	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	3.5	0.0	2.0	1.6
	400	1.2	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	3.5	0.0	3.4	0.1
	400	0.3	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	3.2
		0.5	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	3.2
		1.2	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	3.2

* α は、市況パラメータである。

表6-4(3) 各経路の輸送量 (10⁶ t)

O/D	Size (1,000 DWT)	α^*	PH1			PH2			PH3		
			S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C
A.G. USA	0	0.3	2.2	1.7	0.8	2.2	1.7	0.8	2.2	1.7	0.8
		0.5	3.6	0.9	0.2	3.6	0.9	0.2	3.6	0.9	0.2
	60	1.2	4.3	0.3	0.0	4.3	0.3	0.0	4.3	0.3	0.0
	60	0.3	0.0	5.5	19.7	0.7	5.3	19.2	0.7	5.3	19.2
		0.5	0.0	14.5	10.7	7.5	10.1	7.5	7.5	10.1	7.5
	150	1.2	0.0	21.6	3.6	20.7	3.9	0.6	20.7	3.9	0.6
	150	0.3	0.0	2.6	46.8	0.0	2.6	46.8	0.1	2.6	46.7
		0.5	0.0	15.7	33.7	0.0	15.7	33.7	3.2	14.7	31.5
	250	1.2	0.0	38.8	10.5	0.0	38.8	10.5	33.6	12.4	3.4
	250	0.3	0.0	0.0	52.1	0.0	1.2	50.9	0.0	1.2	50.9
		0.5	0.0	0.0	52.1	0.0	10.8	41.3	0.0	10.8	41.3
	300	1.2	0.0	0.0	52.1	0.0	38.3	13.7	0.0	38.3	13.7
	300	0.3	0.0	0.0	11.9	0.0	0.0	11.9	0.0	0.2	11.7
		0.5	0.0	0.0	11.9	0.0	0.0	11.9	0.0	2.1	9.8
	350	1.2	0.0	0.0	11.9	0.0	0.0	11.9	0.0	8.5	3.4
	350	0.3	0.0	0.0	9.1	0.0	0.0	9.1	0.0	0.1	9.0
		0.5	0.0	0.0	9.1	0.0	0.0	9.1	0.0	1.2	7.9
	400	1.2	0.0	0.0	9.1	0.0	0.0	9.1	0.0	6.2	2.9
	400	0.3	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	8.0
		0.5	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	8.0
	400	1.2	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	8.0

* α は、市況パラメータである。

表6-5(1) 各経路の航海数

O/D	Size (1,000 DWT)	α^*	PH1			PH2			PH3		
			S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C
A.G. N.E.	0	0.3	98.5	25.1	4.2	98.5	25.1	4.2	98.5	25.1	4.2
		0.5	119.6	7.6	0.5	119.6	7.6	0.5	119.6	7.6	0.5
	60	1.2	125.8	1.9	0.1	125.8	1.9	0.1	125.8	1.9	0.1
	60	0.3	0.0	48.1	74.4	11.0	43.8	67.8	11.0	43.8	67.8
		0.5	0.0	95.7	26.8	74.0	37.8	10.6	74.1	37.8	10.6
	150	1.2	0.0	116.2	6.4	116.7	5.6	0.3	116.7	5.6	0.3
	150	0.3	0.0	41.4	359.8	0.0	41.4	359.8	1.8	41.2	358.1
		0.5	0.0	212.5	188.6	0.0	212.5	188.6	80.3	170.0	150.9
	250	1.2	0.0	366.4	34.8	0.0	366.4	34.8	357.9	39.0	3.7
	250	0.3	0.0	0.0	390.3	0.0	17.1	373.1	0.0	17.1	373.1
		0.5	0.0	0.0	390.3	0.0	146.4	243.9	0.0	146.4	243.9
	300	1.2	0.0	0.0	390.3	0.0	345.6	44.6	0.0	345.6	44.6
	300	0.3	0.0	0.0	72.4	0.0	0.0	72.4	0.0	2.4	70.1
		0.5	0.0	0.0	72.4	0.0	0.0	72.4	0.0	23.6	48.9
	350	1.2	0.0	0.0	72.4	0.0	0.0	72.4	0.0	63.3	9.1
	350	0.3	0.0	0.0	48.7	0.0	0.0	48.7	0.0	0.9	47.1
		0.5	0.0	0.0	48.7	0.0	0.0	48.7	0.0	12.1	36.5
	400	1.2	0.0	0.0	48.7	0.0	0.0	48.7	0.0	41.4	7.2
	400	0.3	0.0	0.0	37.3	0.0	0.0	37.3	0.0	0.0	37.3
		0.5	0.0	0.0	37.3	0.0	0.0	37.3	0.0	0.0	37.3
	400	1.2	0.0	0.0	37.3	0.0	0.0	37.3	0.0	0.0	37.3

* α は市況パラメータである。

表6-5(2) 各経路の航海数

O/D	Size (1,000 DWT)	α^*	PH1			PH2			PH3		
			S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C
A.G. I M.	0	0.3	683.5	20.6	0.6	683.5	20.6	0.6	683.5	20.6	0.6
		0.5	701.5	3.2	0.0	701.5	3.2	0.0	701.5	3.2	0.0
	60	1.2	704.3	0.4	0.0	704.3	0.4	0.0	704.3	0.4	0.0
	60	0.3	0.0	303.4	113.4	165.0	183.2	68.5	165.0	183.2	68.5
		0.5	0.0	395.0	21.7	384.8	30.3	1.7	384.8	30.3	1.7
	150	1.2	0.0	413.2	3.6	415.4	1.3	0.0	415.4	1.3	0.0
	150	0.3	0.0	54.6	139.9	0.0	54.6	139.9	5.6	53.1	135.8
		0.5	0.0	161.7	32.8	0.0	161.7	32.8	121.1	161.7	32.8
	250	1.2	0.0	191.4	3.1	0.0	191.4	3.1	192.5	2.0	0.0
	250	0.3	0.0	0.0	150.2	0.0	18.6	131.6	0.0	18.6	131.6
		0.5	0.0	0.0	150.2	0.0	106.3	43.9	0.0	106.3	43.9
	300	1.2	0.0	0.0	150.2	0.0	146.7	3.4	0.0	146.7	3.4
	300	0.3	0.0	0.0	16.6	0.0	0.0	16.6	0.0	1.5	15.1
		0.5	0.0	0.0	16.6	0.0	0.0	16.6	0.0	10.9	5.7
	350	1.2	0.0	0.0	16.6	0.0	0.0	16.6	0.0	16.2	0.3
	350	0.3	0.0	0.0	10.9	0.0	0.0	10.9	0.0	0.6	10.4
		0.5	0.0	0.0	10.9	0.0	0.0	10.9	0.0	6.0	4.9
	400	1.2	0.0	0.0	10.9	0.0	0.0	10.9	0.0	10.6	0.4
	400	0.3	0.0	0.0	8.2	0.0	0.0	8.2	0.0	0.0	8.2
		0.5	0.0	0.0	8.2	0.0	0.0	8.2	0.0	0.0	8.2
		1.2	0.0	0.0	8.2	0.0	0.0	8.2	0.0	0.0	8.2

* α は市況パラメータである。

表6-5(3) 各経路の航海回数

O/D	Size (1,000 DWT)	α^*	PH1			PH2			PH3		
			S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C	S/S	C/S	C/C
A.G. USA	0	0.3	81.6	61.9	28.7	81.6	61.9	28.7	81.6	61.9	28.7
	1	0.5	133.6	32.2	6.3	133.6	32.2	6.3	133.6	32.2	6.3
	60	1.2	159.0	12.1	1.1	159.0	12.1	1.1	159.0	12.1	1.1
	60	0.3	0.0	57.7	208.6	7.1	56.1	203.1	7.1	56.1	203.1
	1	0.5	0.0	153.0	113.3	79.6	107.3	79.4	79.6	107.3	79.4
	150	1.2	0.0	228.5	37.8	218.8	40.7	6.7	218.8	40.7	6.7
	150	0.3	0.0	12.5	226.0	0.0	12.5	226.0	0.3	12.5	225.7
	1	0.5	0.0	75.8	162.7	0.0	75.8	162.7	15.6	70.8	152.1
	250	1.2	0.0	187.6	50.9	0.0	187.6	50.9	162.2	60.1	16.3
	250	0.3	0.0	0.0	210.5	0.0	4.8	205.7	0.0	4.8	205.7
	1	0.5	0.0	0.0	210.5	0.0	43.5	167.0	0.0	43.5	167.0
	300	1.2	0.0	0.0	210.5	0.0	154.9	55.5	0.0	154.9	55.0
	300	0.3	0.0	0.0	40.6	0.0	0.0	40.6	0.0	0.7	39.9
	1	0.5	0.0	0.0	40.6	0.0	0.0	40.6	0.0	7.1	33.4
	350	1.2	0.0	0.0	40.6	0.0	0.0	40.6	0.0	29.1	11.5
	350	0.3	0.0	0.0	28.2	0.0	0.0	28.2	0.0	0.3	27.9
	1	0.5	0.0	0.0	28.2	0.0	0.0	28.2	0.0	3.7	24.5
	400	1.2	0.0	0.0	28.2	0.0	0.0	28.2	0.0	19.2	9.0
	400	0.3	0.0	0.0	20.2	0.0	0.0	20.2	0.0	0.0	20.2
		0.5	0.0	0.0	20.2	0.0	0.0	20.2	0.0	0.0	20.2
		1.2	0.0	0.0	20.2	0.0	0.0	20.2	0.0	0.0	20.2

* α は市況パラメータである。

表6-6 スエズ運河通航隻数

Size (1,000 DWT)	α^*	PH1			PH2			PH3		
		N	S	T	N	S	T	N	S	T
0	0.3	864	971	1,835	864	971	1,835	864	971	1,835
1	0.5	955	998	1,953	955	998	1,953	955	998	1,953
60	1.2	989	1,004	1,993	989	1,004	1,993	989	1,004	1,993
60	0.3	0	409	409	183	466	649	183	466	649
1	0.5	0	644	644	539	714	1,252	539	714	1,252
150	1.2	0	758	758	751	799	1,550	751	799	1,550
150	0.3	0	109	109	0	109	109	8	115	122
1	0.5	0	405	405	0	450	450	217	519	736
250	1.2	0	745	745	0	745	745	713	814	1,527
250	0.3	0	0	0	0	41	41	0	41	41
1	0.5	0	0	0	0	296	296	0	296	296
300	1.2	0	0	0	0	647	647	0	647	647
300	0.3	0	0	0	0	0	0	0	5	5
1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	42	42
350	1.2	0	0	0	0	0	0	0	109	109
350	0.3	0	0	0	0	0	0	0	2	2
1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	22	22
400	1.2	0	0	0	0	0	0	0	71	71
400	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* N,S,Tは北行、南行、計の通航隻数を表わしている。

表6-7 タンカーの通航収入

Size (1,000 DWT)	α^*	PH1			PH2			PH3		
		N	S	T	N	S	T	N	S	T
0	0.3	26,336	23,808	50,144	26,336	23,808	50,144	26,336	23,808	50,144
1	0.5	29,118	24,460	53,577	29,118	24,460	53,577	29,118	24,460	53,577
60	1.2	30,163	24,600	54,763	30,163	24,600	54,763	30,163	24,600	54,763
60	0.3	0	36,452	36,452	20,298	41,543	61,841	20,298	41,543	61,841
1	0.5	0	57,353	57,353	59,681	63,599	123,280	59,681	63,599	123,280
150	1.2	0	67,512	67,512	83,227	71,139	154,366	83,227	71,139	154,366
150	0.3	0	21,681	21,681	0	21,681	21,681	1,947	22,887	24,834
1	0.5	0	89,911	89,911	0	89,911	89,911	53,920	103,655	157,575
250	1.2	0	148,921	148,921	0	148,921	148,921	177,115	162,647	339,762
250	0.3	0	0	0	0	9,729	9,729	0	9,729	9,729
1	0.5	0	0	0	0	71,119	71,119	0	71,119	71,119
300	1.2	0	0	0	0	155,458	155,458	0	155,458	155,458
300	0.3	0	0	0	0	0	0	0	1,301	1,301
1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	11,867	11,867
350	1.2	0	0	0	0	0	0	0	30,976	30,976
350	0.3	0	0	0	0	0	0	0	576	576
1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	6,937	6,937
400	1.2	0	0	0	0	0	0	0	22,556	22,556
400	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* NSTは、北行、南行、計それぞれの収入を表わしている。

第VI部

ノン・タンカー通航量の長期予測の基礎的システム

第1章 序

1.1 目的

本報告書は、次の目的に従ってまとめられたものである。

- (1) SCAのEconomic Unit（以下ユニットと略す）のスタッフが、運河通航量の長期予測を理確する上で必要となるシステム分析技術を体系的に修得できること。
- (2) ユニットのスタッフが、運河拡張計画に対して運河通航量と運河収入を予測し、運河の経営分析を行うために必要な方法を、可能な限り初歩的な分かり易い方法で示すこと。

これらの目的を達成するために、本報告書は、乾貨物に的を絞って長期的なノン・タンカーの運河通航量および運河収入を予測する基礎的システムについて説明している。また、報告書の記述方式は、できる限り具体的な手順を述べることとし、基礎的な予測用のマニュアルとしても使うことができるよう心がけてある。

1.2 概要

スエズ運河の第1期拡張計画完了後にはノン・タンカー運河通航量は、SCAにとって次のような理由で重要になってくるものと考えられる。

運河の第1期拡張計画が完了すると、タンカーの通航量は増加すると考えられるが、長期的観点からは、OPECの政策を考えるとアラビア湾から積み出されるヨーロッパ、アメリカ向けの石油の流れは大幅に増加するとは考えられない。一方、ノン・タンカーの通航量は、世界経済の発展に伴って増加し続け、将来において運河通航量の重要な部分となることが予想される。

本報告書は、4章から構成されており各章の概略は次に述べるとおりである。

第1章では、ノン・タンカー運河通航量の長期予測の目的と報告書の構成が述べられている。

第2章では、世界経済と乾貨物貿易フローの長期予測手順として2つの方法（AとB）が提示される。方法Aは、バルク・キャリアーで運ばれる主要バルク貨物の予測に用いられることが多い。

方法BはAに比べて簡略化された実務的な方法であり、その他のバルク貨物、一般貨物等の予測に通常用いられる。また、主要バルク貨物に対しても適用することができる。

第3章では、乾貨物の貿易フローに基づいて、ノン・タンカーのスエズ運河通航量を予測する方法が述べられている。ここでも、第2章と同様に2つの方法が提示される。

第4章では、ノン・タンカーがスエズ運河を通航することによって、発生する運河収入を運河通航料金を基礎に予測する方法が示されている。

図1-1は報告書の各章と対応した形でノン・タンカーの運河通航量の長期予測に関する一般的なプロセスを表わしたものである。

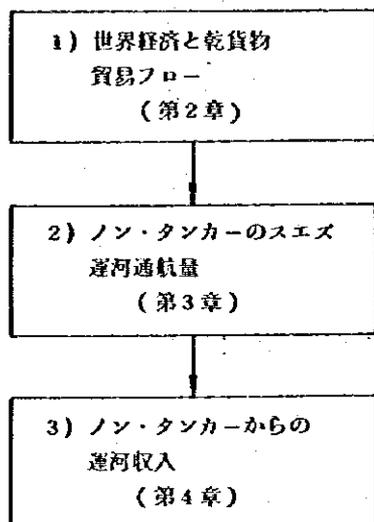


図1-1 ノン・タンカー運河通航量の長期予測プロセス

第2章 世界の経済と乾貨物貿易

2.1 序

貿易フローは、一般に下記の5つの要素で表わされる（図2-1参照）。

- a) 商品の種類
- b) その商品の貿易量
- c) 出発地域
- d) 目的地域
- e) 期 間

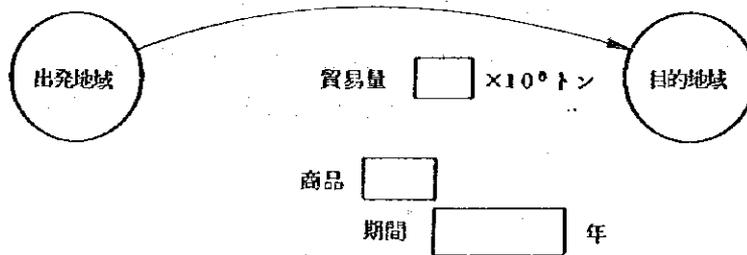
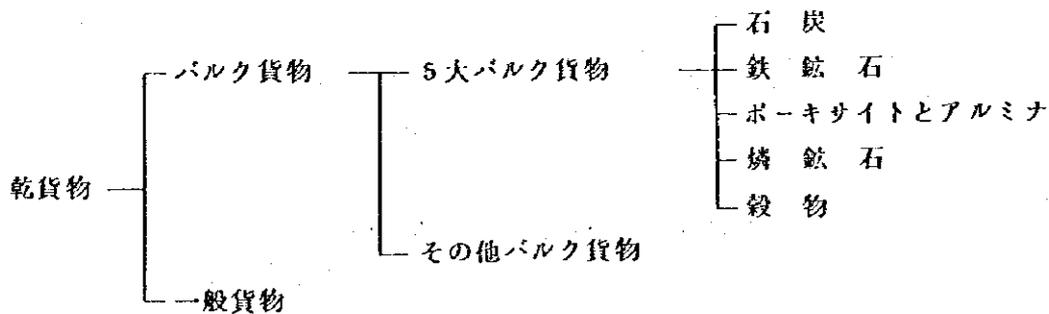


図2-1 貿易フロー定義

特に、出発/目的地域は数多くあるため、効率的な予測を行うには、地域の分割を適切に行うことが重要である。

商 品

乾貨物に関連した商品は、次のように分類することができる。



地域分割

出発地および目的地のゾーニングを行うには、国際的な統計データの利用可能性、スエズ運河からみたルート的重要性、個々の港湾が効率的な1本のルートで集約して表現できるような

方法などを注意深く検討する必要がある。分析効率の観点から、ゾーンの総数は必要最小限にとどめることが望ましい。

2.2 乾貨物貿易フロー（手法A）

5大バルク貨物に関する海上貿易フローの長期予測手順は、一般に次の5つの要素に分けられる。

- 1) 世界経済発展のシナリオの設定
- 2) 消費と生産の予測
- 3) 輸入と輸出の予測
- 4) 世界貿易フローの予測
- 5) スエズ運河関連の海上貿易フローの予測

長期予測手順の概略は、図2.2に示すとおりである。各要素の相互関係が、図に示されている。世界全体は、貨物の種類ごとに輸出地域グループと輸入地域のグループに大別することができる。各地域kは次のように表わされる。

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{輸出地域} & j : i = 1 \sim N \quad (k = 1 \sim N) \\ \text{輸入地域} & j : j = 1 \sim L \quad (k = N + 1 \sim N + L) \end{array} \right.$$

以下において各要素の説明を順次行う。

1) 世界経済発展のシナリオ

長期予測の場合には、各地域の経済発展に関する整合性のある仮説群を選択する必要がある。同程度に起きそうないくつかの仮説群がある場合は、各々に対して経済発展の姿を記述するシナリオを作成する。

シナリオを設定するためには、国際連合、OECD等の各種機関による既存の予測結果を十分抽出する必要がある。抽出されたシナリオには、最も可能性の高いものおよび基本的に異なる仮説から導かれるものを含まれていることが必要である。

シナリオは多くの因子から構成されており、最も重要な因子は、各地域のGDP成長率である。GRkは地域GDP成長率を表わす。GRk以外に、バルク貨物の品目別の消費弾性値、資源の埋蔵量分布、輸出国の政策等の事柄について設定しておく必要がある。

2) 消費と生産

以下は、貨物の品目別に消費、生産、輸出、輸入等の予測を行う。

地域kの弾性値（消費増加率/GDP成長率）ekによって予測される。次式は、消費量を予測する量も標準的なものである。

$$C_k^n = C_k^0 \cdot (1 + e_k \cdot GR_k)^n \dots\dots\dots (2-1)$$

ここで、Ck⁰およびCkⁿは、地域kの基準年と第n年度目の消費量を表わす。ekとGRkは、

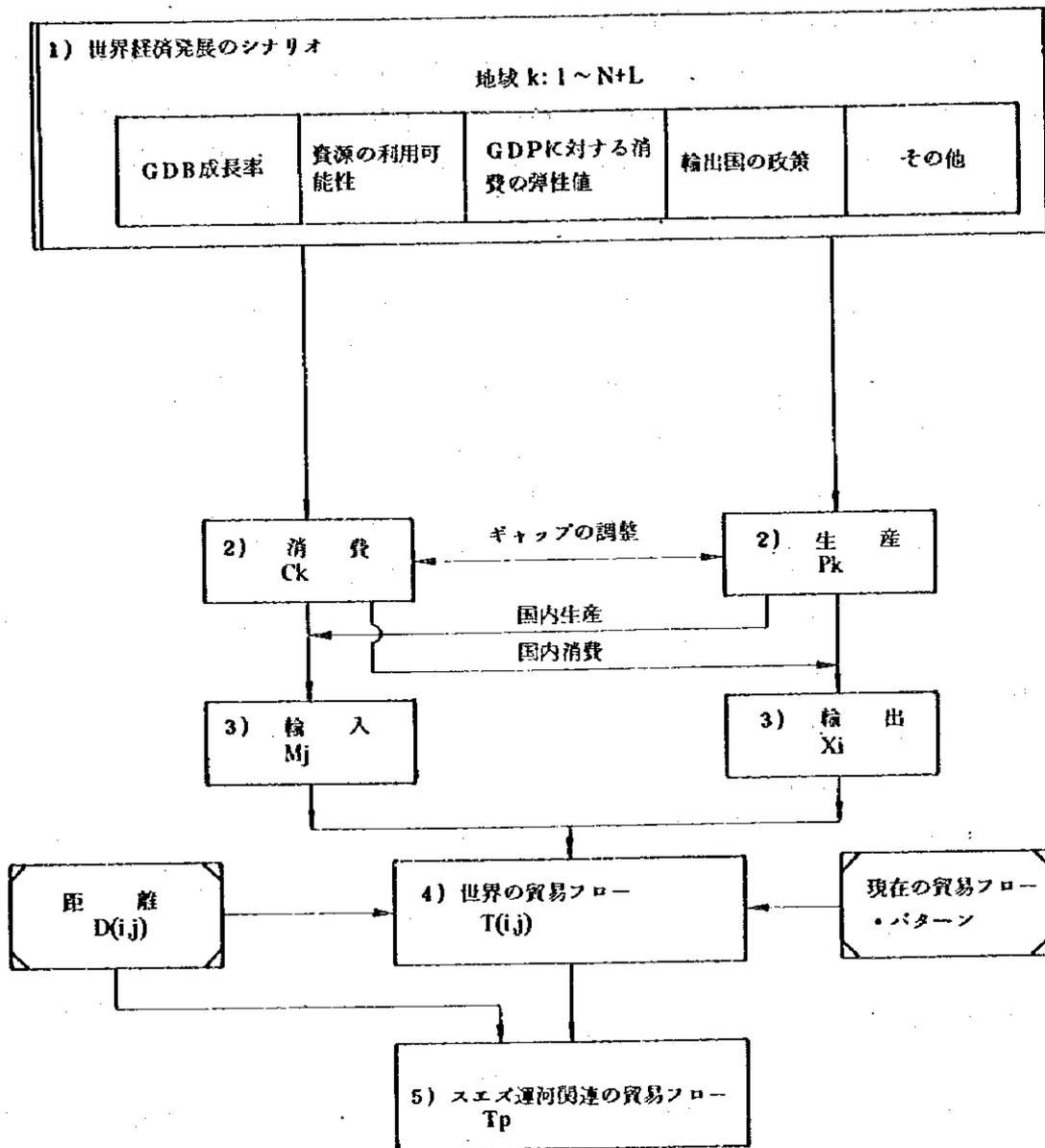


図2-2 主要バルク貨物貿易フローの長期予測手順(手法A)

すでにシナリオの設定の段階で決定されている。

さらに、地域 k における生産能力 (P_k) は、資源の埋蔵量、輸出国の政策などを考慮して予測される。生産能力の予測後、全世界消費量予測値と生産能力と比較して、次のような修正を生産および消費に対して加える。このようにして、全世界の需給バランスのとれた各地域の生産量および消費量を予測することができる。

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^{N+L} C_k \leq \sum_{k=1}^{N+L} P_k \text{ の場合} \dots\dots \sum_{k=1}^{N+L} C_k = \sum_{k=1}^{N+L} P_k \text{ となるように } P_k \text{ を修正。} \\ \sum_{k=1}^{N+L} C_k \geq \sum_{k=1}^{N+L} P_k \text{ の場合} \dots\dots \sum_{k=1}^{N+L} C_k = \sum_{k=1}^{N+L} P_k \text{ となるように } C_k \text{ を修正。} \end{array} \right.$$

3) 輸入と輸出

地域 j への輸入 (M_j) と地域 i からの輸出 (X_i) は、次式によって概ね予測することができる。

$$\left\{ \begin{array}{l} M_j = \begin{cases} C_j = P_j & \dots\dots C_j \geq P_j \text{ の場合} \\ 0 & \dots\dots \text{それ以外} \end{cases} \\ X_i = \begin{cases} 0 & \dots\dots C_i \geq P_j \text{ の場合} \\ P_i - C_i & \dots\dots \text{それ以外} \end{cases} \end{array} \right. \dots\dots (2-2)$$

4) 世界貿易フロー

地域間の貿易フローは、輸出入の予測値、現在の貿易フロー・パターン、地域間の距離などに基づいて予測される。O/Dパターンを予測する数学的手法として下記のような各種のものが開発され適用されている。

- a) Constant - Factor Method by Origins
- b) Constant - Factor Method by Destinations
- c) Furness Method
- d) Average-Factor Method
- e) FRATOR Method
- f) Detroit Method
- g) Gravity Model

以下に詳しく紹介する FRATOR 法は、上記の手法の中では最も複雑なもの1つである。

FRASOR 法

FRATOR 法で用いるデータは次のとおりである。

$T^{(0)}(i, j)$: 地域 i から地域 j への基準年の貿易量
 $T^{(0)}(i)$: 基準年の地域 i からの輸出量
 $M^{(0)}(j)$: 基準年の地域 j への輸入量

$$X^{(0)}(i) = \sum_{j=1}^L T^{(0)}(i, j) \dots\dots\dots (2-3)$$

$$M^{(0)}(j) = \sum_{i=1}^N T^{(0)}(i, j) \dots\dots\dots (2-4)$$

$X(i)$: 将来の地域 i からの輸出量予測値
 $M(j)$: 将来の地域 j への輸入量予測値

入力データの形式は、表 2-1 に示すとおりである。将来の貿易フロー $T(i, j)$ の予測値は、上記のデータを用いて次のステップに従って行われる。

1) 第 1 次近似 $T^{(1)}(i, j)$

まず、Growth Factors (F と G) の第 0 近似値を次式で求める。

$$F^{(0)}(i) = X(i) / X^{(0)}(i) \dots\dots\dots (2-5)$$

$$G^{(0)}(j) = M(j) / M^{(0)}(j) \dots\dots\dots (2-6)$$

次に、第 1 次近似値は、上記の値を使って下記の式で求められる。

$$T^{(1)}(i, j) = T^{(0)}(i, j) \cdot F^{(0)}(i) \cdot G^{(0)}(j) \cdot \frac{U^{(0)}(i) + V^{(0)}(j)}{2} \dots\dots (2-7)$$

$$U^{(0)}(i) = X^{(0)}(i) / \left[\sum_{j=1}^L (T^{(0)}(i, j) \cdot G^{(0)}(j)) \right] \dots\dots\dots (2-8)$$

$$V^{(0)}(j) = M^{(0)}(j) / \left[\sum_{i=1}^N (T^{(0)}(i, j) \cdot F^{(0)}(i)) \right] \dots\dots\dots (2-9)$$

2) 第 2 次近似 $T^{(2)}(i, j)$

$$X^{(1)}(i) = \sum_{j=1}^L T^{(1)}(i, j) \dots\dots\dots (2-10)$$

$$M^{(1)}(j) = \sum_{i=1}^N T^{(1)}(i, j) \dots\dots\dots (2-11)$$

$$F^{(1)}(i) = X(i) / X^{(1)}(i) \dots\dots\dots (2-12)$$

$$G^{(1)}(j) = M(j) / M^{(1)}(j) \dots\dots\dots (2-13)$$

$$U^{(1)}(i) = X^{(1)}(i) / \left[\sum_{j=1}^L (T^{(1)}(i, j) \cdot G^{(1)}(j)) \right] \dots\dots\dots (2-14)$$

$$V^{(1)}(j) = M^{(1)}(j) / \left[\sum_{i=1}^N (T^{(1)}(i, j) \cdot F^{(1)}(i)) \right] \dots\dots\dots (2-15)$$

$$T^{(2)}(i, j) = T^{(1)}(i, j) \cdot F^{(1)}(i) \cdot G^{(1)}(j) \cdot \frac{U^{(1)}(i) + V^{(1)}(j)}{2} \dots\dots\dots (2-16)$$

3) 第m次近似 $T^{(m)}(i, j)$

$$T^{(m)}(i, j) = T^{(m-1)}(i, j) \cdot F^{(m-1)}(i) \cdot G^{(m-1)}(j) \cdot \frac{U^{(m-1)}(i) + V^{(m-1)}(j)}{2} \dots\dots\dots (2-17)$$

以上のような反復計算は、すべての $F^{(m)}(i), G^{(m)}(j), U^{(m)}(i), V^{(m)}(j)$ が 1.0 に収束するまで続けられる。通常、この計算はコンピュータによって行われる。こうして得られた結果は、表2-2に示す形式で表わされる。

Gravity Modelを採用する場合は、表2-1のデータの他に地域間の距離データも使用される。以上の方法によって、将来における地域間のバルク貨物海上荷動量(貿易フロー)を予測することができる。

5) スエズ運河に関連した貿易フロー

地域間の距離データを用いて、スエズ運河を通ることによって距離が節約できるO/Dペア(p)を抽出することができる。抽出されたO/Dペアに対して貿易フローを整理すると、スエズ運河に関連した貿易フロー(T_p)が求められる。(表2-3参照)。

表2-1 現在の貿易フロー表

		$T^{(0)}(i, j)$							(in million metric tons)
Importing Area \ Exporting Area		1	2	3	4	j	L-1	L	Total
1									$X^{(0)}(1)$
2									$X^{(0)}(2)$
3									$X^{(0)}(3)$
4									$X^{(0)}(4)$
i						$T^{(0)}(i, j)$			
N-1									$X^{(0)}(N-1)$
N									$X^{(0)}(N)$
Total		$M^{(0)}(1)$	$M^{(0)}(2)$	$M^{(0)}(3)$	$M^{(0)}(4)$		$M^{(0)}(L-1)$	$M^{(0)}(L)$	$T^{(0)}$

表2-2 将来の貿易フロー表 (出力結果)

$T(i, j)$

(in million metric tons)

Importing Area Exporting Area	$T(i, j)$ (in million metric tons)							
	1	2	3	4	j	L-1	L	Total
1								X(1)
2								X(2)
3								X(3)
4								X(4)
i					$T(i, j)$			
N-1								X(N-1)
N								X(N)
Total	M(1)	M(2)	M(3)	M(4)		M(L-1)	M(L)	T

表2-3 スエズ運河関連のバルク貨物海上輸送量

No. of O/D Pair	Trade Flow		Trade Volume (in MMT)	Distance Saving (in miles)
	Origin	Destination		
1				
2				
3				
4				
5				
p			T_p	
Total				

2.3 乾貨物貿易フロー（手法B）

この方法は、5大バルク以外のバルク貨物と一般貨物の貿易フローを予測する際に用いられることが多い。5大バルクに対しても簡略化した予測を行う場合にはこの手法を適用することができる。予測手法Aに比べて手法Bは必要とするデータが少なくすむばかりでなく、運河通航実績データを利用できることから予測精度上でも有利な面があるため、大型船による輸送が少ない貨物の場合は、この手法が有力といえよう。

手法Bでは、以下のステップに従って予測を行う。

- 1) GWP (Gross World Products) の成長率の予測。
OECD, 世界銀行等で予測されている成長率を参考にして想定する。
- 2) 世界の海上貿易量のGWPに対する弾性値の推定
貨物の種類ごとに、過去のデータに基づいて推定する。
- 3) 世界の海上貿易成長率の計算
- 4) 世界の海上貿易量の予測
- 5) 世界の海上貿易中でスエズ運河を通行する割合の予測
貨物の種類ごとに、過去のデータに基づいて予測する。
- 6) スエズ運河通行量の予測

予測の手順を、図2-3に示す。また、具体的な予測式は下記のとおりである。

$$g_i^{(t)} = e_i^{(t)} \cdot GR^{(t)} \quad \dots\dots\dots (2-18)$$

$$Q_i^{(t)} = (1 + g_i^{(t)}) \cdot Q_i^{(t-1)} \quad \dots\dots\dots (2-19)$$

$$T_{iL}^{(t)} = \alpha_{iL}^{(t)} \cdot Q_i^{(t)} \quad \dots\dots\dots (2-20)$$

ここで、各変数の意味は次に示すとおりである。

- $GR^{(t)}$: 第t年次におけるGWPの成長率
- $e_i^{(t)}$: 第t年次における貨物iの弾性値
(世界海上貿易量の成長率/GWPの成長率)
- $g_i^{(t)}$: 第t年次における世界海上貿易量(貨物i)の成長率
- $Q_i^{(t)}$: 第t年次における貨物iの世界海上貿易量
 $Q_i^{(0)}$ は、現在値である。
- $\alpha_{iL}^{(t)}$: 第t年次における貨物iのスエズ運河通行割合(南北行別)
(スエズ運河通行量/世界の海上貿易量)
- i : 貨物の種類

l : 南北行別 ($l=1 \dots$ 北行, $l=2 \dots$ 南行)

$T_{il}^{(t)}$: 第 t 年次における貨物 i のスエズ運河通行量

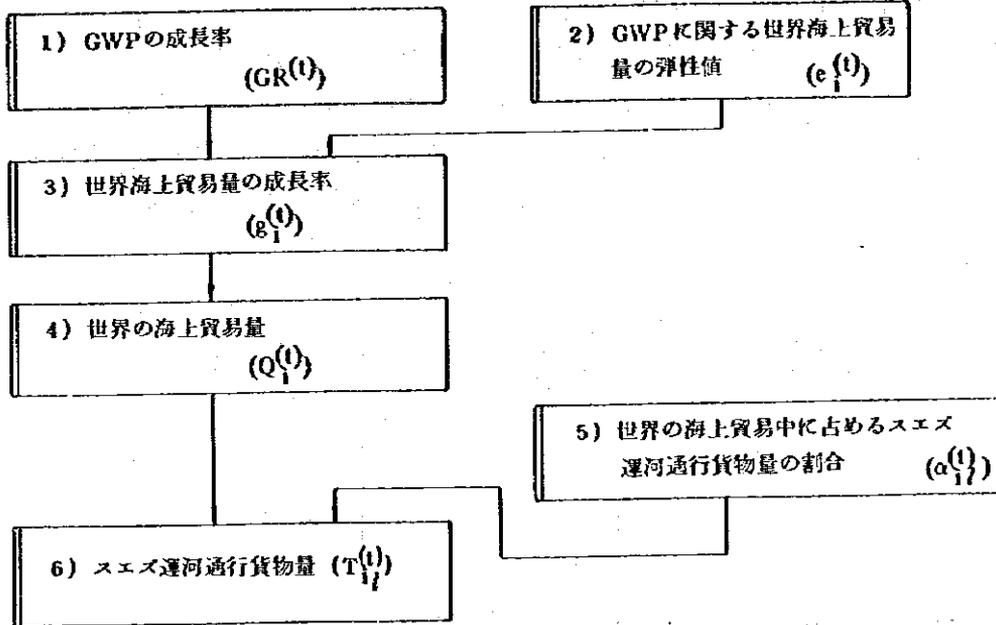


図2-3 貿易フローの長期予測手順(手法B)

第3章 ノン・タンカーのスエズ運河通航量

3.1 バルク・キャリアの運河通航量（手法A）

スエズ運河のバルク・キャリア通航量の予測は、先に求めた運河関連ODの5大バルク貨物海上貿易フロー、世界バルク・キャリアの構成および輸送コストをもとに、運河の各拡張段階での通航量（重量トン）を求めるものである。この予測は図3-1の予測フローにしたがって行われる。まず、運河のドラフト制限がないものとして、スエズ運河と代替ルート（喜望峯回り）との利用率が決定される。

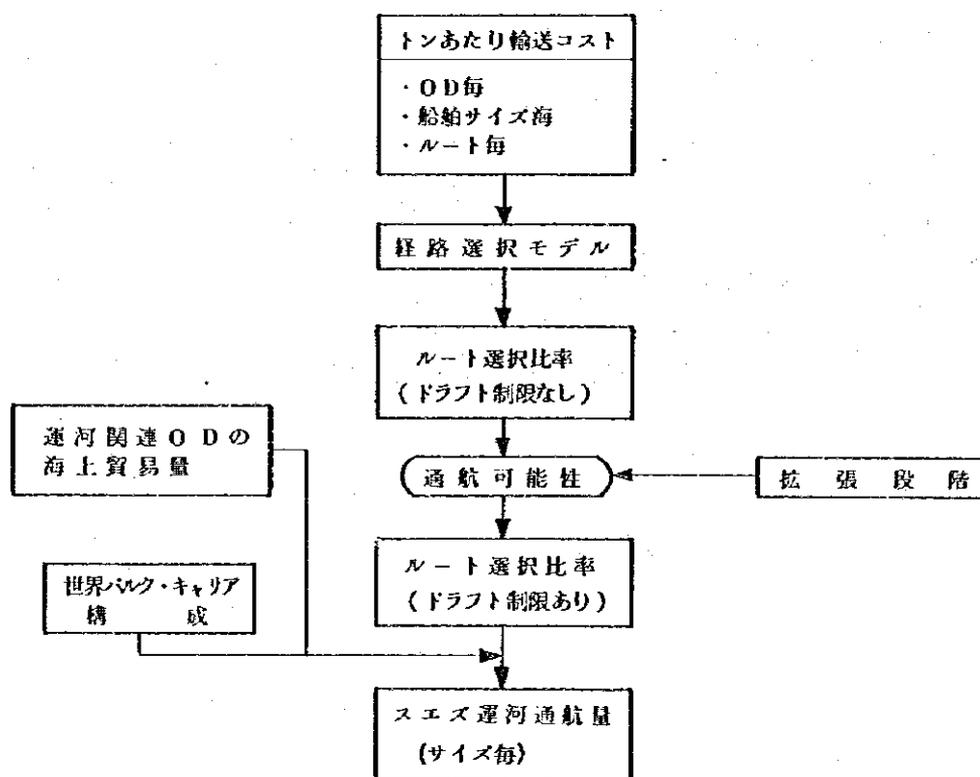


図3-1 バルク・キャリア通航量予測のフロー（手法A）

これは、両ルートの輸送コスト差をもとにして経路選択モデルによって行われる。

次に各拡張段階での運河通航可能性を考慮して、通航不可能な量を喜望峯に配分することにより、実際にスエズ運河を利用する比率を船舶サイズ毎に求める。この比率とあらかじめ配分された船舶サイズ毎の輸送量からサイズ毎のスエズ運河通航量が求められる。

この予測手順は、前章で手法Aを用いた場合に必要となり、その詳細な方法は、タンカーの場合と基本的には同じものである。

3.2 ノン・タンカーのスエズ運河通航量（手法B）

前章で述べた手法Bで貨物通行量を予測した場合には、以下に述べる手法を使って、ノン・タンカーのスエズ運河通航量を予測する必要がある。

予測は、下記手順に従って進めることができる。

- 1) 貨物の種類ごとに船種構成を実績データに基づいて推定する。(表3-1参照)
- 2) 船種別の貨物量予測(貨物の種類別)を行う。

前章で求められた通行貨物量を、船種構成に従って配分する。

- 3) 船種別に貨物量からスエズ運河登録純トン(SCNRT)への変換係数を実績データに基づいて推定する。(表3-2参照)

- 4) 船種別の通航量をSCNRT単位で予測する。

船種別の貨物量を、上記の変換係数を使って通航量(SCNRT単位)に変換する。

- 5) 船種別に船型構成を、実績データと将来動向に基づいて予測する。(表3-3参照)

- 6) 船種・船型別の通航量を、SCNRT単位で積載船について予測する。

船種別通航量を船型構成に従って配分することによって求められる。

- 7) 船型ごとに代表サイズを、実績データと将来動向に基づいて予測する。(表3-4参照)

- 8) 船種・船型別の通航隻数を積載船について予測する。

船種・船型別の通航量と船型ごとの代表サイズで除することによって隻数が求まる。

- 9) 空船について、船種・船型別の通航隻数を予測する。

南北行別に船種・船型別の通航隻数がバランスするように、空船の通航隻数を船種・船型別に求める。

- 10) 空船について、船種・船型別の通航量(SCNRT単位)を予測する。

空船の通航隻数に代表サイズを乗じることによって通航量を求める。

予測の手順を図3.2に示す。ノン・タンカーのスエズ運河通航量は、上記の1), 3), 5)および7)を推定することによって、具体的には以下の予測式を使って南北行別、船種・船型別、積載・空船別に予測することができる。また、同時に通航隻数も求めることができる。

$$2) \quad X_j^l = \sum_{i=1}^I T_{il} \cdot P_{ij}^l \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

$$4) \quad Y_j^l = X_j^l \cdot f_j^l \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

$$6) \quad Z_{jk}^l = Y_j^l \cdot q_{jk} \quad \dots\dots\dots (3-3)$$

$$8) \quad N_{jk}^l = Z_{jk}^l / r_{jk} \quad \dots\dots\dots (3-4)$$

$$9) \quad M_{jk}^l = \begin{cases} N_{jk}^1 \geq N_{jk}^2 & \rightarrow \begin{cases} M_{jk}^1 = 0 \\ M_{jk}^2 = N_{jk}^1 - N_{jk}^2 \end{cases} \\ N_{jk}^1 < N_{jk}^2 & \rightarrow \begin{cases} M_{jk}^1 = N_{jk}^2 - N_{jk}^1 \\ M_{jk}^2 = 0 \end{cases} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (3-5)$$

$$10) \quad B_{jk}^l = M_{jk}^l \cdot r_{jk} \quad \dots\dots\dots (3-6)$$

$$N^l = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K N_{jk}^l \quad \dots\dots\dots (3-7)$$

$$M^l = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K M_{jk}^l \quad \dots\dots\dots (3-8)$$

ここで、各変数の意味は次のとおりである。

$$l = \begin{cases} 1 & \dots\dots \text{北行} \\ 2 & \dots\dots \text{南行} \end{cases}$$

i : i = 1 ~ I (貨物の種類)

j : j = 1 ~ J (船種)

k : k = 1 ~ K (船舶のサイズ)

Tie : 貨物 i のスエズ運河通行量 (貨物トン)

P_{ij}^l : 貨物 i の船種構成

X_j^l : 船種 j によって運ばれる貨物量

r_j^k : 船種別の貨物量からスエズ運河登録純トン (SCNRT) への変換係数

Y_j^l : 船種 j の運河通航量 (SCNRT)

Q_{jk} : 船種 j の船型 (サイズ) 構成

Z_{jk}^l : 船種 j ・ 船型 k の運河通航量 (積載船)

r_{jk} : 船種 j ・ 船型 k の代表サイズ (SCNRT/隻)

N_{jk}^l : 船種 j ・ 船型 k の運河通航隻数 (積載船)

M_{jk}^l : 船種 j ・ 船型 k の運河通航隻数 (空船)

B_{jk}^l : 船種 j ・ 船型 k の運河通航量 (空船)

N^l : 南北行別運河通航量 (積載船)

M^l : 南北行別運河通航量 (空船)

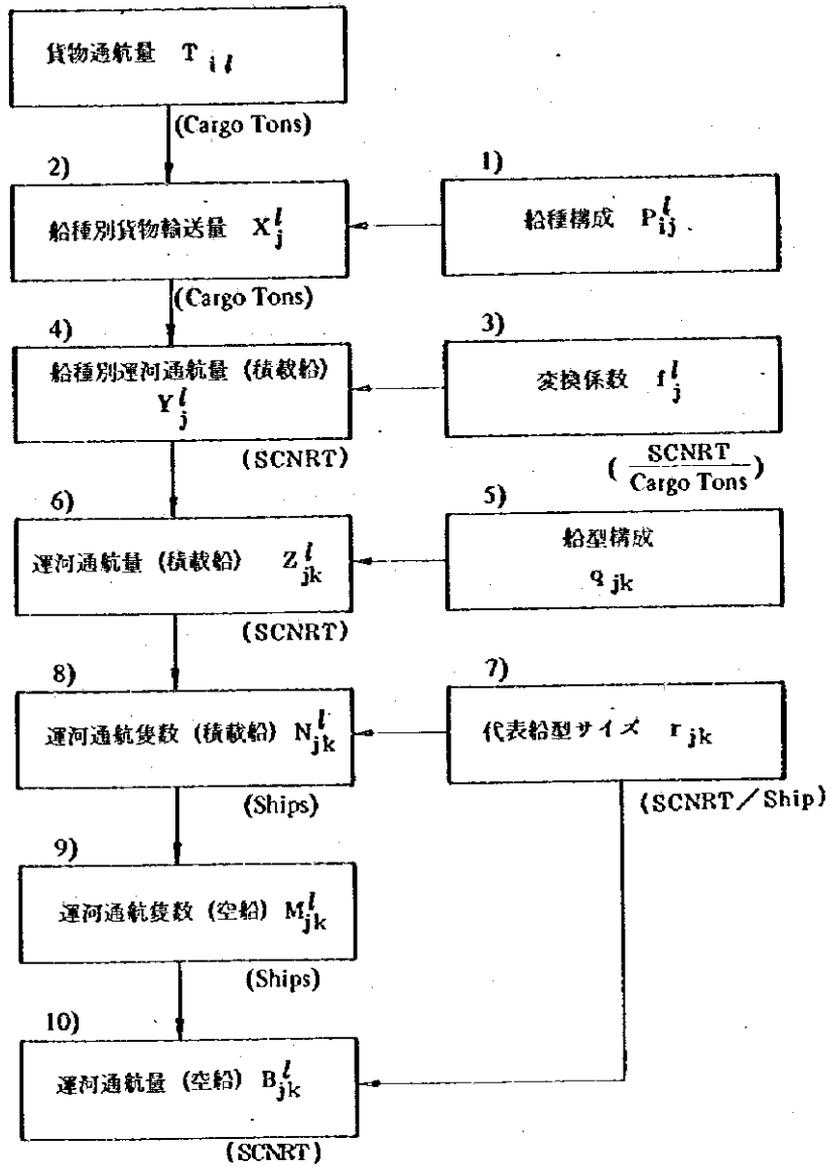


図3-2 運河通航量の予測プロセス(手法B)

表3-1 船種構成

(%)

貨物の種類 I		船種 j					
		1	2	3	...	J	Total
1	Northbound						100
	Southbound						100
2	Northbound			P_{23}^1			100
	Southbound			P_{23}^2			100
3	Northbound						100
	Southbound						100
4	Northbound						100
	Southbound						100

表3-2 変換係数

(SCNRT/Metric ton)

方向 I		船種 j				
		1	2	3	...	J
Northbound I=1		f_1^1	f_2^1	f_3^1	...	f_J^1
Southbound I=2		f_1^2	f_2^2	f_3^2	...	f_J^2

表3-3 船型構成 (q_{jk})

(%)

船種 j		船型 (サイズ) k					
		1	2	3	...	K	Total
1					...		100
2		q_{21}	q_{22}	q_{23}	...	q_{2K}	100
3					...		100
...					...		100
J					...		100

表3-4 代表船型サイズ (r_{jk})

(SCNRT/Ship)

船種 j		船型 k				
		1	2	3	...	K
1		r_{11}	r_{12}	r_{13}	...	r_{1K}
2		r_{21}	r_{22}	r_{23}	...	r_{2K}
3					...	
...					...	
J					...	

第4章 ノン・タンカーからの運河収入

4.1 バルク・キャリアからの運河収入（手法A）

主要バルク貨物に対して前章までに述べた手法Aを用いた場合には、以下の方法で運河収入の予測を行う。

1) バルク・キャリアの運河通航料金

スエズ運河通航料金算定の基準となるスエズ運河登録純トン（SCNRT）1単位にたいするスエズ運河通航料は、積載条件によって異なっている。SCNRTはDWTと相関しており、これらの定量的関係の把握のためには回帰分析を用いる。次式は過去のデータに最もフィットする関係式のひとつである。

$$\text{SCNRT} = a \times (\text{DWT})^b \dots\dots\dots (4-1)$$

上式の係数 a , b は、現在の実績データに基づいて推定する。

2) スエズ運河通航隻数

各経路の貨物通航量が決まっている場合、その輸送に要するバルク・キャリアの隻数は通航量をバルク・キャリア容量で割ることにより求められる。バルク・キャリアの容量は、DWTに積載率 R を乗じて求める。したがって次の式により算定される。

$$\text{通航隻数} = \text{貨物通航量} / ((\text{DWT}) \times \text{積載率})$$

上式で算定した、経路 S/S , C/S , C/C の通航隻数から、スエズ運河の南行、北行別の通航隻数が次の式により算定される。

$$\begin{aligned} \text{スエズ運河北行隻数} &= (S/S) \text{の隻数} \dots\dots\dots (4-2) \\ &\quad (\text{積載}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{スエズ運河南行隻数} &= (S/S) \text{の隻数} + (C/S) \text{の隻数} \dots\dots\dots (4-3) \\ &\quad (\text{空船}) \end{aligned}$$

3) 運河通航バルク・キャリアによる収入

上記で求めたサイズ別通航隻数に各サイズの代表船型（DWT）に応じた通航料を乗ずることにより、スエズ運河を通航するバルク・キャリアからの運河通航収入が求められる。

4.2 ノンタンカーからの運河収入（手法B）

前章までの予測で手法Bを用いてきたものについては、ノン・タンカーからの運河収入を下記の手順で求めることができる。

1) 積載ノン・タンカーからの運河収入（U）

$$U = \sum_{l=1}^2 \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Z_{jk}^l \cdot U_{jk} \quad \dots\dots\dots (4-4)$$

Z_{jk}^l : 船種 j ・ 船型 k の運河通航量（積載船）
 （単位：SCNRT）

U_{jk} : 船種 j ・ 船型 k の運河通航料金（積載船）
 （単位：\$/SCNRT）

l : $l=1$ 北行
 $l=2$ 南行

2) 空船ノン・タンカーからの運河収入（V）

$$V = \sum_{l=1}^2 \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K B_{jk}^l \cdot V_{jk} \quad \dots\dots\dots (4-5)$$

B_{jk}^l : 船種 j ・ 船型 k の運河通航量（空船）
 （単位：SCNRT）

V_{jk} : 船種 j ・ 船型 k の運河通航料金（空船）
 （単位：\$/SCNRT）

3) ノン・タンカーからの運河総収入（R）

$$R = U + V \quad \dots\dots\dots (4-6)$$

上記の手順によって、ノン・タンカーからの運河収入を予測することができ、主要バルク貨物に対して手法Aを適用した場合には、その結果と合計することによってノン・タンカーからの総収入を求めることができる。

第Ⅶ部

その他の調査

その他の調査

エコノミックユニットの主要業務の範囲は、プロジェクト評価、通航量予測、海運経済分析などに限られるが、ユニットの職員は自分自身の専門分野以外に、運河の技術的問題、運営上の問題についても知見を持つことが望まれる。この目的のためにこの部では、技術的問題、運営の問題について次に示す2つの既存のフィジビリティ調査の内容をチャートにして示す。チャートは総ての内容を含むものではないが、主要な項目は含まれている。

- 1) Development of the Suez Canal Feasibility Study, by Maunsell Consultant LTD., Vols. 2 and 3. (1976)
- 2) Suez Canal Development Feasibility Study, by Sogreah Consultant Engineers, Vols. 5 and 6. (1976)

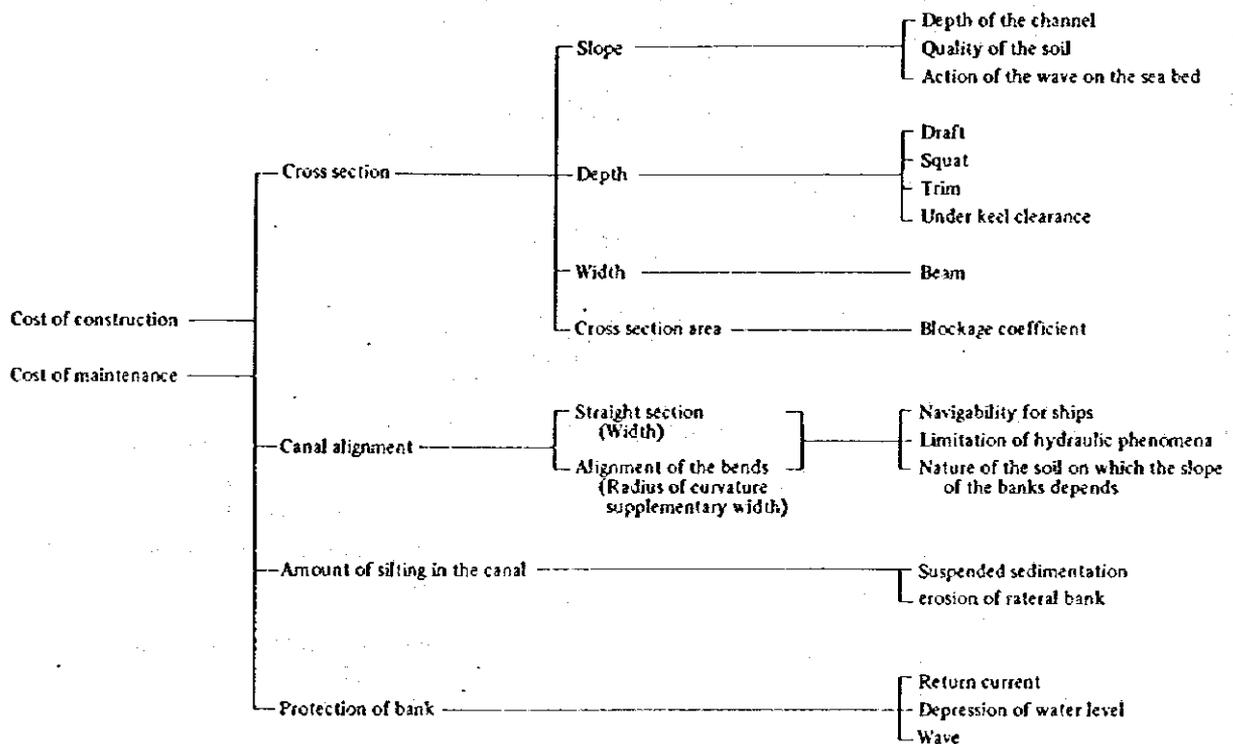


図 1-1 建設コスト及び運営コストに関連する要因

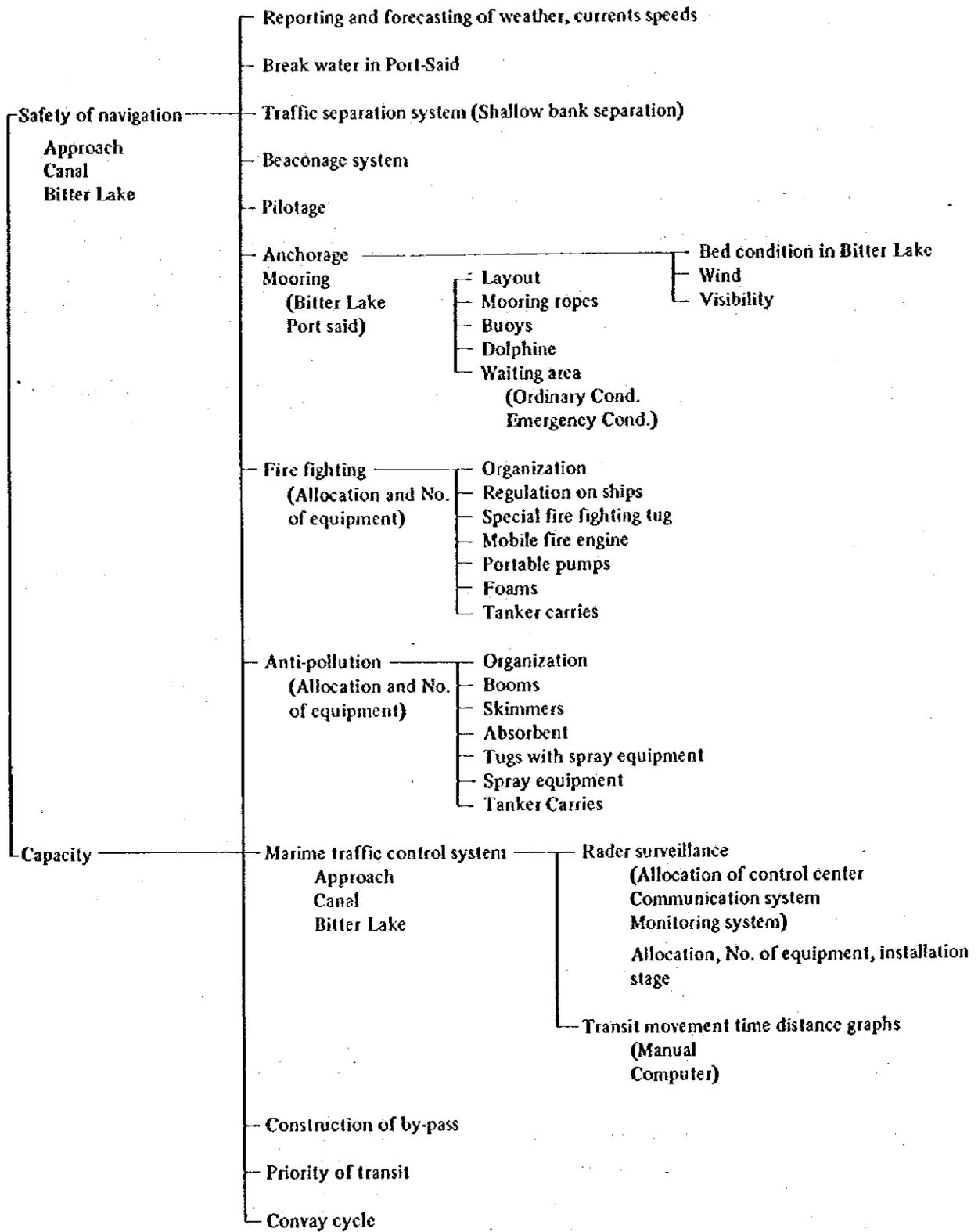


図1-2 航行の安全性と運河容量に関連する要因

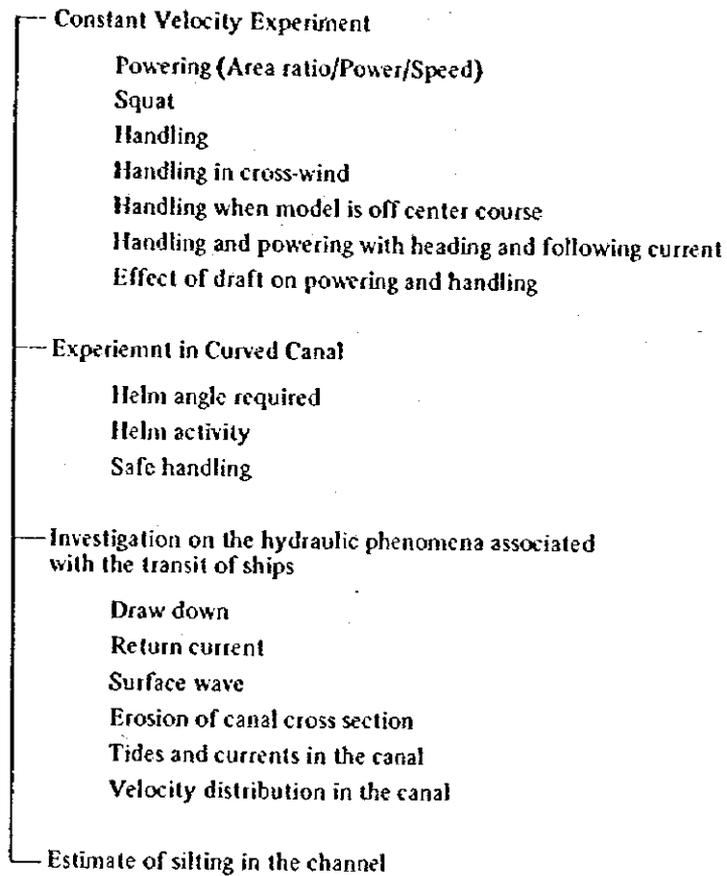


図 1 - 3 実施された実験及びモデル分析

