

内航一般貨物船のトリップ連鎖パターンに関する分析

Analysis on Characteristics of Cyclic Patterns of Trip Chains by Coastal Cargo Ships

岡山 正人*・小谷 通泰**

by Masato OKAYAMA and Michiyasu ODANI

The purpose of this paper is to analyze the characteristics of coastal cargo ship's operations on the basis of cyclic patterns of trip chains, made of the ships which start from and return to their base port through several trips. First, the most significant factor to form the cyclic patterns is shown to be the length of their first trip, and with this factor, an estimation model of the cyclic patterns is suggested. Second, the cargo transport activities in each trip pattern are classified into the several groups, and the relationship between the transport and the trip lengths in each group is also analyzed.

1. はじめに

従来から筆者らは、ある一定期間内の船舶の交通軌跡をトリップの連鎖（トリップチェーン）とみなして、その連鎖パターンに着目して船舶の運航実態の分析を試みてきた¹⁾（ここでは、港間の移動をトリップとする。）。すなわち、起終点調査の結果にもとづき、貨物船や油送船など内航船舶の数船種を対象に、ベース港の決定方法を示すとともに、トリップ連鎖パターンの類型、および連鎖パターンごとの貨物の輸送形態などを明らかにしてきた。

そこで本研究では、分析対象を内航船舶の主要船種である一般貨物船に限定し、トリップ連鎖パターンを形成する要因や、貨物の輸送形態からみた訪問港の選択要因を連鎖パターンごとに解析することを目的としている。

本研究の内容は以下のとおりである。まず、使用データの概要を示すとともに、船舶におけるベース港を決定した上で、トリップの連鎖パターンを類型化する。

次に、類型化された連鎖パターンを形成する要因を明らかにし、これを用いて連鎖パターンを確率的に推計するモデルを提案する。

さらに、各連鎖パターンにおける貨物の輸送形態を類型化するとともに、それぞれの輸送形態における港間の位置関係を分析することにより、訪問港の選択に影響を与える要因を考察する。

2. 使用データの概要

2-1 調査内容

本研究で使用したデータは、大阪湾とその周辺海域を航行する内航船舶を対象に、昭和59年10月1日から10月31日の1カ月間に（社）神戸海難防止協会（大阪湾交通システム調査研究委員会）によって行われた起終点調査である²⁾。ここで大阪湾とその周辺海域とは、大阪府、兵庫県（日本海側を除く）、和歌山県に面した海域をさす。また、起点もしくは終点は、大阪湾とその周辺海域内は個々の港ごとに31地点、それ以外の海域は各港をその港が所在する都道府県名で代表させ合計36地点、総計67地点が設定されている。

キーワード：内航船舶、トリップ連鎖パターン

*正会員 商船修 広島商船高等専門学校 助手 流通情報工学科（〒725-02 広島県豊田郡東野町4272-1）

**正会員 工博 神戸商船大学 助教授 輸送システム工学講座（〒658 神戸市東灘区深江南町5-1-1）

主たる調査内容は、a. 船舶の属性（船種・船型）、b. 1カ月間の全航海の記録、c. 1カ月間の全積載貨物の種類と量およびその仕出港・仕向港などで、船舶の流動とそれによって輸送される貨物の流動とを同時に把握できることを大きな特徴としている。

2-2 分析対象船舶

本研究では上記の調査データより、内航船舶における主要船種である一般貨物船を分析対象とした。なお、調査結果の有効船舶隻数1,263隻の内、一般貨物船は557隻で44%を占めていた。図-1はこれらの一般貨物船557隻の船型分布を調べたものである。これによれば、60%以上が200総トン未満の船舶であり、700総トンを越える船舶は非常に少なくなっているのがわかる。また、内航貨物船の保有隻数に対するサンプリング率（＝サンプル隻数／全内航貨物船保有隻数）は24.3%（＝557隻／2,293隻（日本商船船腹統計1984年版より））、平均船型では調査結果で365.7総トン、保有船舶全体で346.2総トン（日本商船船腹統計1984年版より）となっており、本調査では比較的良好なサンプルが得られていると考えられる。

3. ベース港の決定とトリップ連鎖パターンの分類

3-1 ベース港の決定

筆者らはすでに、各船舶の寄港地のうちで貨物の積み込み量の最も多い港をその船舶にとってのベースとすることを提案し、その有効性を確かめている。本研究ではそれに従い、積み込み貨物量が最も多い港をその船舶のベース港とすることとする。

図-2は各船舶の寄港地のうちで貨物の積み込み貨物量の多い上位5港について、その船舶の全積み込み量に対する各港での比率（以下、積み込み率）を求め図示したものである。これによれば、1位港での積み込み率が60%近くあり、1位港がその船舶にとって重要な貨物の積み出し拠点となっているものと考えられる。また、このような積み込み貨物量1位の港をベースとしたトリップ連鎖パターンを考えると、貨物の揚げ積みがその連鎖パターン内でほぼ完結していることや、積み込み貨物量1位の港は寄港回数も他港に比べ非常に多くなっていることなど、この積み込み量1位の港はベースとなる条件を非常によく満たしていると言える。

3-2 トリップ連鎖パターンの分類

本研究では、3-1のように決定したベース港を出発

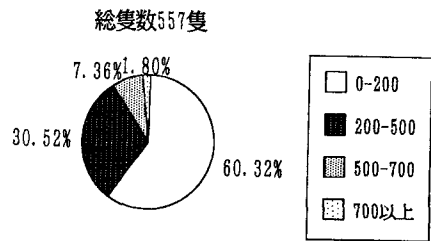


図-1 船型分布

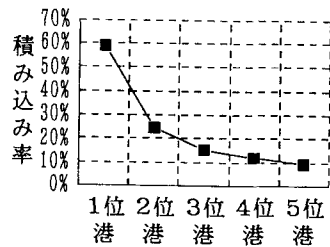


図-2 積み込み貨物量上位5港の平均積み込み率

し、再びこのベース港に戻ってくるまでの1つのサイクルを1つのトリップ連鎖パターンとして類型化した。

表-1はその代表的なパターンの頻度比率を示したものである。これによれば、「同一港間型」、「ピストン型」、「三角型」、「四角型」の4つで全体の83.6%を説明でき、中でも「ピストン型」が約半分を占めているのがわかる。また、

表-1 各トリップ連鎖パターンの生成頻度

トリップ連鎖パターン	生成頻度 (%)
a. 同一港間型 	366 (15.3)
b. ピストン型 	1087 (49.6)
c. 三角型 	273 (12.7)
d. 四角型 	137 (6.3)
e. その他	359 (16.4)
平均生成頻度 (回/1ヶ月)	3.9

注) ◎のベース港、●は訪問港を示す。

表-2 連鎖パターンの形成要因の分析

外的基準 説明変数	ピストン型 = 1 三角型 = 2 四角型 = 3
総トン数	-0.1535** (34.0)
第1トリップ長	0.3860** (210.6)
ベース港の 移出貨物量	-0.0821** (10.5)
ベース港の 移入貨物量	0.1385** (29.2)
重相関係数	0.4240

注) 数字は標準偏回帰係数、下位の () 内はF値を示す。また、*は有意水準5%で、**は1%で有意であることを示す。

「同一港間型」を除いたパターンでは訪問港（ベース港以外の寄港地）の数が多いパターンほど頻度比率が小さくなる傾向がある。さらに、各船舶はこうしたパターンを1カ月に平均してほぼ4回行っていることがわかる。

なお、以下では貨物輸送を伴うことが比較的少ない同一港間を除いた3パターン、すなわち、ピストン型、三角型、四角型について分析を進めていく。

4. トリップ連鎖パターンの推計モデル

4-1 トリップ連鎖パターンの形成要因の分析

ここでは、3-2で分類したトリップ連鎖パターン（同一港間型を除く3パターン）が、どのような要因に基づいて形成されるのかを調べた。要因として考えたものは、船型、その船舶がベース港としている港の規模、各トリップ連鎖パターンにおける1番目のトリップ、すなわちベース港を起点として最初の訪問港を終点とするトリップの長さ（以下第1トリップ長という）、の3つである。

表-2は、各連鎖パターンの訪問港の数（ピストン型=1、三角型=2、四角型=3）を外的基準にとり、説明変数に、船型の要因として船舶の総トン数、ベース港の規模の要因としてその港の移出貨物量と移入貨物量（いずれもフレート・トン数）、そして第1トリップ長（単位はマイル）をそれぞれ説明変数にとって、重回帰分析を行った結果を示したものである。

これによれば、重相関係数は0.4240とあまり高くはないものの、いずれの変数も有意水準1%で有意となり、

頻度比率

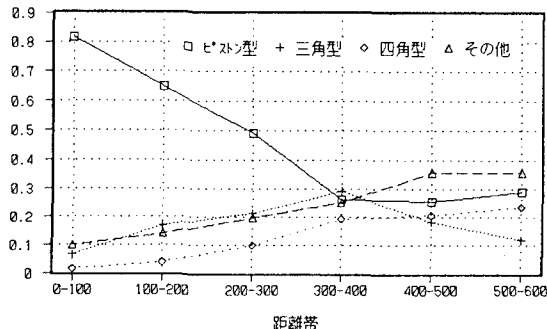


図-3 第1トリップのトリップ長による各連鎖パターンの頻度比率

これらの要因が少なからず連鎖パターンの形成に影響を与えているものと考えられる。

この中において、第1トリップ長のF値が210.6と他に比して大きな値となっており、トリップ連鎖パターンの形成において非常に大きな要因となっていることがわかる。以下では、この第1トリップ長と各連鎖パターンの関係についてより詳しく分析を進めることとする。

4-2 第1トリップ長による連鎖パターンの生成比率

図-3は、各連鎖パターンの生成比率が第1トリップ長によりどのような違いがあるかを調べるため、第1トリップ長を100マイルごとの距離帯に区切り、各距離帯における各トリップ連鎖パターンの生成比率を求め図示したものである。これによれば、ピストン型の生成比率は、第1トリップの長さが長くなるほど小さくなるのに対して、三角型の生成比率は、300-400マイルの距離帯がピークになっている他、四角型の生成比率は、第1トリップの長さが長くなるほど大きくなっているのがわかる。このように、第1トリップ長によって連鎖パターンの生成頻度が大きく左右されることがわかる。

4-3 第1トリップ長による連鎖パターンの推計モデル

(1) 推計モデルの定式化

ここでは、4-2で示した第1トリップ長が長くなると、ピストン型の生成比率が小さくなるという性質と、1つの連鎖パターン内における訪問港数の生起確率が幾何分布に従うという仮定のもとに、第1トリップ長からいずれの連鎖パターンを形成するかを確率的に推計するモデルを提案する。

なお、近藤ら³⁾や加藤ら⁴⁾は、1日を単位としたトリップチェーンにおける立ち回り数の生起確率が幾何分

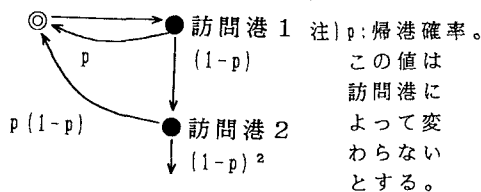


図-4 船舶の訪問港への推移

布に従うとしているのに対し、本研究では、1つのサイクル（ここでは、1つのトリップ連鎖パターン）内における立ち回り数（訪問港数）の生起確率が幾何分布に従うものと仮定しており、この点で弱冠の相違がある。以下では提案するモデルについて説明する。

まず、訪問港数 s の生起確率を $P(s)$ ($s=1, 2, 3, \dots$) とする。すなわち、 $P(1)$ 、 $P(2)$ 、 $P(3)$ のそれぞれは、

$P(1)$: ビストン型の生起確率

$P(2)$: 三角型の生起確率

$P(3)$: 四角型の生起確率

$n \geq 4$ の時

$P(n)$: 訪問港数 n の連鎖パターンの生起確率

を意味する。ここで、 s 番目の訪問港でベース港に帰港する確率（帰港確率 p ）がいずれの訪問港でも一定であると考え、それぞれの訪問港数の生起確率が図-4で示されるような幾何分布に従うとすると、

$$P(s) = p(1-p)^{s-1} \dots \dots \dots (1)$$

となる。

本研究では、各訪問港におけるのベース港への帰港確率 p が、第1トリップの長さのみによって決まるものと考え、次式によって求めることができるものとする。

$$p = \alpha + \beta \cdot \log_e(Dst) \dots \dots \dots (2)$$

Dst : 第1トリップ長
 α, β : パラメーター

ここで、帰港確率 p は式(1)より訪問港数が1である連鎖パターンの生起確率と同値であるから、ビストン型の

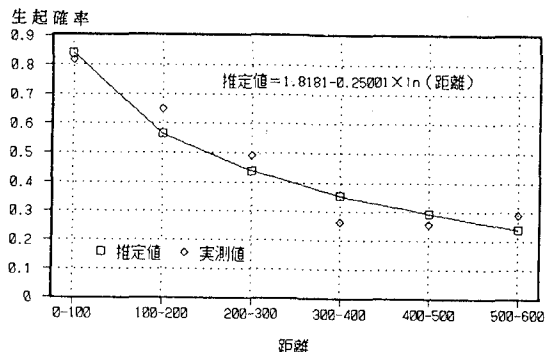


図-5 帰港確率（ビストン型の生起確率）の推定値と実測値

生起確率に等しい。そこで、パラメーター α 、 β は図-3の第1トリップ長における各距離帯の階級値と、それに対応するビストン型の生成比率の実測値から最小二乗法により求める。

表-3 帰港確率の推定式のパラメータ値

パラメータ	パラメータ値
α	1.8181
β	-0.2500
相関係数	0.9580

注) α, β はそれぞれ式 $p = \alpha + \beta \cdot \log(Dst)$ のパラメータ α, β を意味する。

本モデルでは、まず式(2)により第1トリップ長の距離帯から距離帯別に帰港確率 p を求め、次にこの p を式(1)に代入することで、対応する距離帯における各連鎖パターンの生起確率を推計する。

(2) モデルの適用と有効性の検討

表-3は(1)で示した方法により式(2)のパラメーター α, β の推定結果と相関係数を示したもので、この式により推定される p の値はそのまま各距離帯におけるビストン型の生起確率の推定値になっている。また、この推定値と実測値とを比較、図示したのが図-5である。

これらによれば、相関係数も0.9580と高くなっており、 p の推定結果、すなわちビストン型の生起確率の推定結果は良好であると言える。

図-6 a, bは、それぞれ(1)で述べた方法で三角型および四角型の推定値と実測値を比較、図示したものである。また、表-4は三角型、四角型の推定値と実測値の相関係数、およびビストン型、三角型、四角型、3つのパターン全体としての相関係数を示したものである。

これによれば、三角型、四角型の相関係数はそれぞれ0.7767、0.7802とビストン型のそれほど高くないもの

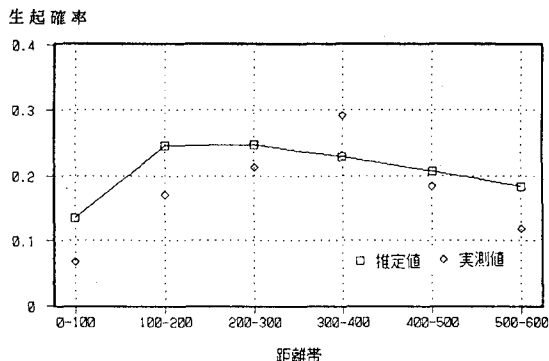


図-6a 三角型の生起確率の推定値と実測値

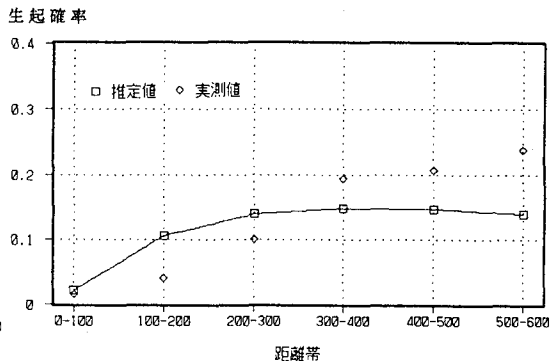


図-6b 四角型の生起確率の推定値と実測値

表-4 連鎖パターンの生成確率の推定値と実測値の相関係数

連鎖パターン	相関係数
三角型	0.7767
四角型	0.7802
全体	0.9466

注) ピストン型の相関係数は表-3の帰港確率の相関係数と同値

の、全体としては0.9466と高い相関を示しており、ほぼ満足できる結果であると言える。

このように、トリップ連鎖パターンを推計す

るの、半分以上を占めている。また、形態3に見られるように貨物の配送を行う形態も1割程度ではあるが存在している。

さらに四角型についてみると、貨物輸送、空船回航、貨物輸送、空船回航と交互に行っている形態(形態1)が12%と非常に大きな比率を占めているのがわかる。また、この四角型においても1割程度、貨物の配送を行う形態(形態2)が存在している。

全体としては、ピストン型の形態1が全体の半分程度を占めており、貨物を配送するような形態は非常に少ない。

るために1つの有用なモデルが提案できたと考えられる。

表-5 各連鎖パターンにおける貨物の輸送形態

5. 連鎖パターンにおける貨物の輸送形態の分析

5-1 連鎖パターンにおける貨物の輸送形態の類型化

表-5は各連鎖パターンにおける貨物の輸送形態を、ピストン型では2形態、三角型では3形態、四角型では2形態に分類し、それぞれ各パターン内における頻度比率と3つの連鎖パターン全体における頻度比率を示したものである。これによれば、まず、ピストン型についてみると、復路では貨物輸送を行わず空船回航を行う形態(形態1)が80%以上を占めており、往路、復路とも貨物を輸送しているような形態は13%程度しかないことがわかる。

次に三角型では、連続して貨物輸送を行う形態(形態2)より、中間に空船回航をはさむ形態(形態1)が多く、三角型の形

	輸 送 形 態	頻 度	パターン内での頻度比率	全体での頻度比率
ピストン型	形態1	832	81.5%	49.1%
	形態2	132	12.9%	7.8%
三角型	形態1	138	53.9%	8.1%
	形態2	45	17.6%	2.7%
	形態3	31	12.1%	1.8%
四角型	形態1	95	72.0%	5.6%
	形態2	13	9.8%	0.8%

注) 全体での比率には自港間のパターンを除いている。◎はベース港を、●は訪問港を示す。→ は貨物輸送、---→ は空船回航

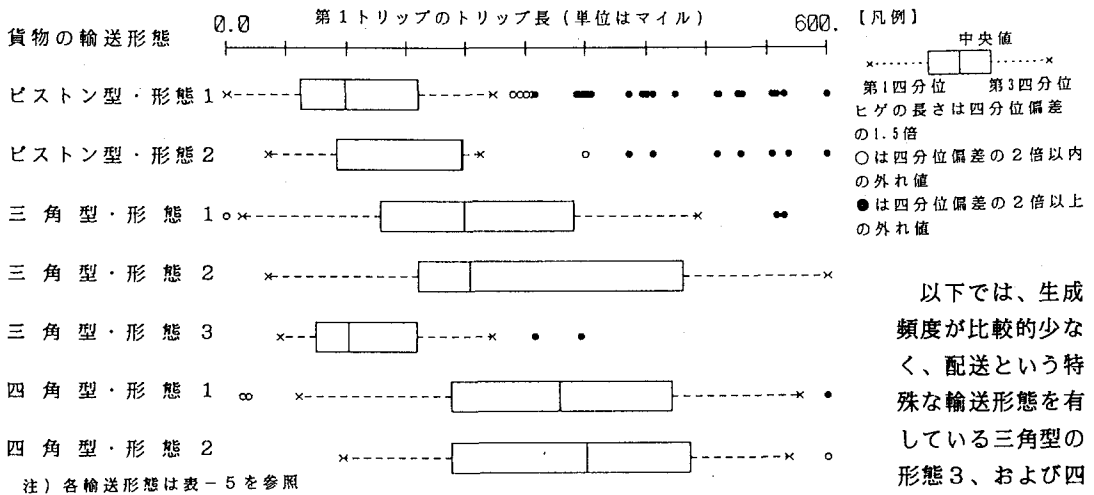


図-7 各輸送形態と第1トリップのトリップ長

以下では、生成頻度が比較的低く、配送という特殊な輸送形態を有している三角型の形態3、および四角型の形態2を除いた5形態について

いことがわかる。また、これら7つの形態でピストン型、三角型、四角型の3つの連鎖パターンにおける貨物輸送の91.3%を占めており、これらの形態でほとんどが説明できるものと思われる。

5-2 貨物の輸送形態と第1トリップ長の関係

4-2では各連鎖パターンの生成比率が第1トリップ長に大きく関係していることを示した。ここでは、5-1で類型化された連鎖パターンごとの貨物の輸送形態と、第1トリップ長との関係について分析を行った。

図-7は5-1で類型化した貨物の輸送形態それぞれの第1トリップ長が、どのように分布しているかを箱ヒゲ図で表したものである。これによれば、三角型の形態3を除き、各連鎖パターン内における輸送形態間の分布の差よりも、連鎖パターン間の分布の差の方が大きくなっているのがわかる。これは、第1トリップ長によって連鎖パターンを推計することは可能であるが、輸送形態まで推定することは困難であることを示唆している。

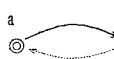
表-6 ピストン型の輸送形態の分散分析

要因	平均平方和	F 値
輸送形態ごとの港間の距離	433088.1	26.53**
誤差	16327.1	
全体	17222.4	

注) **は有意水準1%で有意を意味する。

【凡例】

ピストン型・形態1



ピストン型・形態2



て分析を進めるものとする。

5-3 貨物の輸送形態と港間の位置関係

ここでは、第1トリップ長によって確率的に決められた連鎖パターンが、その貨物の輸送形態によって、どのように訪問港を選択しているのかを、港間の距離に着目して分析を行った。

(1) ピストン型の輸送形態の分析

表-6はピストン型における輸送形態(形態1、形態2、その他)の違いによって、ベース港と訪問港間の距離に差があるかどうかを分散分析により調べたものである。これによれば、F値は有意水準1%で有意であり、輸送形態によりベース港と訪問港に差があることがわかる。

また、表-7は、表-6の分散分析の結果を踏まえて、Scheffeの方法により各輸送形態間の港間距離の差が統計的に有意かどうか、また、いずれの港間距離が長い(短い)かを検定したものである。これによれば、形態

表-7 Scheffeの方法による

各輸送形態の港間距離の差の検定

	平均値の差	F 値
形態1と形態2	-88.7	26.3**
形態1とその他	-1.5	0.0
形態2とその他	87.2	9.0**

注) **は有意水準1%で有意を意味する。

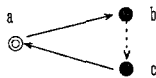
表-8 三角型の輸送形態の重回帰分析

ケース	ケース A	ケース B
外的基準	形態1=1 その他=0	形態2=1 その他=0
説明変数		
1. aとb の距離	0.1459* (0.4)	0.0803 (0.3)
2. aとc の距離	-0.3545** (3.3)	0.2034** (8.0)
3. bとc の距離	0.5042** (70.9)	-0.4271** (37.1)
重相関係数	0.6590	0.4719

注) 数字は標準偏回帰係数、下段の () 内はF値を示す。また、*は有意水準5%で、**は1%で有意であることを示す。

【凡例】

三角型・形態1



三角型・形態2



2が形態1やその他に比して、ベース港と訪問港の距離が長くなっているのがわかる。このように、形態2のように空船回航のない形態は形態1などより遠距離の港湾間で行われている。

(2) 三角型の輸送形態の分析

次に、三角型の連鎖パターンにおいて、その貨物の輸送形態によって、港間の位置関係にどのような違いがあるかを重回帰分析によって分析した。

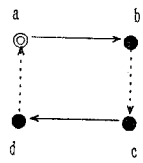
分析対象とした輸送形態は、表-5の三角型における形態1(ケースA)および形態2(ケースB)である。なお、分析対象としたこの2形態で三角型の71.5%を占めている。

表-8は、三角型の連鎖パターンについて、各港間の距離を説明変数とし、外的基準は、ケースAでは輸送形態が形態1の場合1、その他の形態(形態2を含む)の場合0、ケースBでは形態2の場合1、その他の場合(形態1も含む)0として重回帰分析を行った結果である。

これによれば、まず、ケースA、Bとも重相関係数は、0.4719、0.6590とさほど高いとはいえない。次に、有意となっている変数を見ると、まず、いずれのケースにおいても空船回航となっている港間、すなわち、ケースAでは「bとc」、ケースBでは「aとc」が負の相関を

【凡例】

四角型・形態1



示している。一方、貨物を輸送している港間、すなわち、ケースAの「aとc」、ケースBの「aとb」、「bとc」では、正の相関を示している。このように、空船回航は近距離の港間で、貨物輸送は遠距離

の港間で行われる傾向がある。

(3) 四角型の輸送形態の分析

表-9は、四角型の形態1について、その港間の位置関係にどのような特徴があるかを重回帰分析によって分析したものである。ここでは、外的基準は輸送形態が形態1の場合1、その他の輸送形態の場合0とし、説明変数は各港間の距離を用いている。

これによれば、重相関係数は0.7413と比較的良好な値を示しているのがわかる。次に、統計的に有意となっている港間距離について見ていくと、まず、空船回航である「aとd」が負の相関、貨物輸送を行っている「cとd」が正の相関と、ここでも(2)の分析と同様、空船回航は短距離、貨物輸送を行っている港間では長距離となるような傾向が見てとれる。また、「aとc」が負の相関を示しており、c、d間での貨物輸送は、ベース港へ帰港する途中で行っているものであると考えられる。

6. おわりに

本研究では、内航船舶を対象として実施された起終点調査の結果から、内航一般貨物船におけるトリップ連鎖パターンの形成要因や、貨物の輸送形態からみた訪問港

表-9 四角型の輸送形態の重回帰分析

外的基準	形態1=1 その他=0
説明変数	
1. aとb の距離	0.2157* (4.3)
2. aとc の距離	-0.3358** (10.4)
3. aとd の距離	-0.4291** (18.8)
4. bとc の距離	-0.0568 (0.7)
5. bとd の距離	-0.0795 (0.8)
6. cとd の距離	0.5151** (22.0)
重相関係数	0.7413

注) 数字は標準偏回帰係数、下段の () 内はF値を示す。また、*は有意水準5%で、**は1%で有意であることを示す。

間の選択要因について分析を行った。

以下ではまず、本研究で得られた成果について要約する。

①寄港地のうちで積み込み貨物量1位の港をその船舶にとってのベースとし、トリップ連鎖パターンを類型化した。この結果、特定の4種のパターンで全体の80%以上が説明でき、その中でもピストン型の比率が半分近く占めていることがわかった。

②トリップ連鎖パターンの形成要因について分析をしたところ、第1トリップ長が非常に大きな要因となることがわかった。また、訪問港数が幾何分布に従うことを仮定することにより、第1トリップ長から連鎖パターンを確率的に推計するモデルを提案し、その有効性について示した。

③各連鎖パターンにおける貨物の輸送形態を、ピストン型、四角型で2形態、三角型で3形態、計7形態に分類した。この結果、この7形態で主要な3つの連鎖パターンの90%以上を説明でき、その中でも、ピストン型の復路が空船回航であるパターンが半分近く占めていることがわかった。また、三角型および四角型では、配送型の輸送形態も存在していたが、その比率はきわめて低いことがわかった。

④連鎖パターンごとに、貨物の輸送形態と港間の位置関係について分析をしたところ、いずれの場合においても、空船回航を行っている港間の距離は貨物輸送を行っている港間より短くなるように訪問港を選択していることがわかった。

このように本研究では、第1トリップ長によっていずれの連鎖パターンが行われるかを確率的に推計できることを示すとともに、各連鎖パターン内で行われる貨物の輸送形態、とりわけ空船回航の現れ方によって、訪問港の位置関係が大きく影響をうけることを示した。

今後は、貨物の輸送形態を決定づける要因を解明し、連鎖パターンとともに、貨物の輸送形態も同時に推計できるモデルを作成することが必要である。

最後に、内航船舶を対象とした起終点調査は、筆者らが参加した大阪港交通システム調査研究委員会のもとで（社）神戸海難防止研究会によって実施されたものである。

＜参考文献＞

- 1) 岡山・小谷：内航船舶の運航と貨物の輸送特性の分析，日本沿岸域会議論文集4，pp. 91～102，1992年3月
- 2) 神戸海難防止研究会：内航船舶による貨物輸送の実態解析報告書，昭和59年
- 3) 近藤勝直：交通行動分析，晃洋書房，pp. 158～162，1987年12月
- 4) 加藤・門田：時間帯別業務交通の推計手法に関する実証研究，土木学会論文集No. 431/IV-15，pp. 115～124，1991年7月
- 5) 岡山・小谷：内航一般貨物船の運航形態に関する一考察，土木学会第47回年次学術講演会（講演予定）