IV－148　流通港湾の最適配置と最適規模の決定に関する一考察

関西大学工学部　正会員　則武　通彦
関西大学工学部　正会員　○木村　作郎

1. まえがき

従来，流通港湾の公共一般雑貨埠頭計画に関しては，最適バース数の決定に主眼が置かれてきた。すなわち，従来の研究では，ある特定の対象港湾における年間取扱貨物量は計画目標としてあらかじめ与えられ，その計画目標を達成することのできる当該港湾の最適バース数を決定するための計算手法の開発に多大の努力が傾注されてきた。しかしながら，実際的な問題として，一国あるいは一地域内に複数の流通港湾が存在する場合には，それら各港湾の年間取扱貨物量は与件値として単独に設定されうるものではなく，各港湾に建設・整備されるべきバースの数と相互に関係して同時最適化されなければならない。本研究では，国民経済的な立場に基づいて，一国における流通港湾の最適な配置と規模を同時決定する方法論について考察するものである。

2. 一般雑貨輸送システムのモデル化

一般に，公共埠頭を経由して外国へ輸出入される一般雑貨の流れは，図-1のようにモデル化される。図-1において，各記号は次の意味をもつ。

i：国内の貨物生産地(あるいは消費地)，$(i = 1, 2, \cdots, m)$，

j：わが国の流通港湾$(j = 1, 2, \cdots, n)$。

図-1に示される一般雑貨の輸送システムにおいて費やされる総費用C_T(円/年)は，総内陸輸送費用C_I(円/年)と総港湾輸送費用C_P(円/年)とに大別され，それらは次のように定式化される。

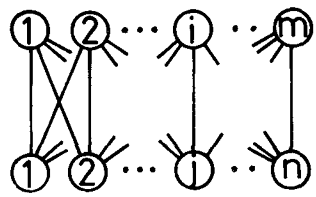

図-1　一般雑貨の輸送システム

$$C_T = C_I + C_P \quad (1), \qquad C_I = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}x_{ij} \quad (2), \qquad C_P = \sum_{j=1}^{n} C_j^S \quad (3)$$

ここに，c_{ij}：地域iから港湾jへの内陸輸送費用(円/トン)，x_{ij}：地域iから港湾jへの貨物輸送量(トン/年)，C_j^S：港湾jにおけるバース数がSのとき，その港湾で消費される年間輸送費用(円/年)である。また，貨物需要量に関する制約条件(式(4))および非負条件(式(5))が満足されていなければならない。

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = d_i \quad (4), \qquad x_{ij} > 0 \quad (5)$$

ここに，d_i：地域iにおける発生・吸収貨物量(トン/年)である。

式(2)は線形計画法における輸送問題のタイプであるから，取り扱いは簡単である。しかし，式(3)に関しては，次のような考察が要求される。

3. 港湾輸送費用(C_j^S)の分析[1)]

C_j^Sは，港湾に建設・整備されるバースに関係する費用と港湾に在港する船舶に関係する費用との和であり，

$$C_j^S = c_b TS + c_s T\bar{n}_S \qquad (6)$$

となる。ここに，c_b：バースの1日当り費用(円/日)，c_s：船舶の1日当り費用(円/日)，T：考察の対象とされる港湾オペレーションの期間(通常は1年＝365日)，$\bar{n}_S$：バース数がSのとき，期間Tの間の船舶の平均在港隻数である。いま，パラメータの数を減らすために，式(6)の両辺をc_sTで割れば，

$$r_j^S = C_j^S/c_sT = (c_b/c_s)S + \bar{n}_S = r_{bs}S + \bar{n}_S \qquad (7)$$

が得られる。ここに，r_j^S：港湾jにおけるバース数がSのとき，船舶1隻当りの年費用に対する港湾jでの年間輸送費用の比率，r_{bs}：バース・船舶費用比率である。ところで，式(7)に含まれている船舶の平均在港隻数$\bar{n}_S$を計算するために，$M/E_k/S(\infty)$のタイプの待ち行列理論モデルに対するCosmetatosの近似公式を用いれば，

$$r_j^S = r_{b\delta} S + \frac{a^{S+1}}{(S-1)!\,(S-a)^2}\left\{\sum_{n=0}^{S-1}\frac{a^n}{n!}+\frac{a^S}{(S-1)!\,(S-a)}\right\}^{-1}\cdot\left\{\frac{1+(1/k)}{2}+\left(1-\frac{1}{k}\right)\left(1-\frac{a}{S}\right)(S-1)\frac{\sqrt{4+5S}-2}{32a}\right\}+a \quad (8)$$

が得られる。ここに，a：トラフィック密度(=Q/RT)，Q：港湾取扱貨物量(トン/年)，R：バース1日当りの平均荷役率(トン/日)，k：船舶のサービス時間分布のアーラン次数である。また，システムの平衡条件として，$(a/S)<1$ なる不等式が満足されていなければならない。図-2は，上式(8)において，$k=1$，$r_{b\delta}=0.25$ の場合の r_j^S と a の間の関係をバース数Sをパラメータとして示したものである。

4. 可分計画法によるモデルの解法

3. における分析より明らかなように，式(1)のうち C_I は輸送貨物量に関して線形であるが C_P は非線形である。よって，式(1)をそのままの形で最小化することは困難である。しかし，図-2に示されているように r_j^S を区分線形関数によって近似し，一般雑貨輸送システムのモデルを可分計画法によって解くことは可能である。この場合，図-2における区分線形関数は次式によって定義される。

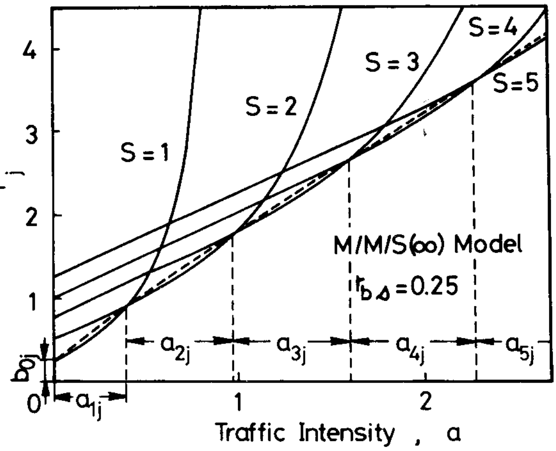

図-2 r_j^S と a の間の関係

◦ Cost Equation：

$$r_j^S = b_{0j}\cdot v_{0j} + b_{1j}\cdot v_{1j} + b_{2j}\cdot v_{2j} + \cdots \quad (9)$$

◦ Grid Equation：

$$a_j = a_{1j}\cdot v_{1j} + a_{2j}\, v_{2j} + \cdots \quad (10)$$

ここに，a_j：港湾jにおけるトラフィック密度，$a_{1j}, a_{2j}, \cdots$：a_j に関係した定係数，$b_{0j}, b_{1j}, \cdots$：r_j^S に関係した定係数，$v_{0j}, v_{1j}, \cdots$：スペシャル変数である。ただし，すべてのスペシャル変数は0と1の間の値をとらなければならない。また，b_{0j} の値は $r_{b\delta}$ の値に等しい。さらに，$a_{1j}, a_{2j}, \cdots$，および $b_{1j}, b_{2j}, \cdots$ の値は，それぞれ図-2に示される a および r_j^S の区分間隔であり，k と $r_{b\delta}$ の値が与えられれば一意的に決定される。

5. 適用例

前述された流通港湾の最適な配置と規模を決定する方法論の有効性を例示するため，図-3に示される簡単な輸送モデルを解く。与件として，C_{ij} ($/トン) と d_i (トン/年)の値は表-1に示されている。そして，港湾1,2における船舶の動態は M/M/S(∞) および $M/E_3/S(\infty)$ モデルで表わされ，また，各港でのバース1日当りの平均荷役率は $R_1=1200$，$R_2=800$ (トン/日)とする。さらに，両港において $C_\delta=2400$，$C_b=600$ ($/日)，T = 365日である。これらより，図-3に示される輸送モデルの最適解は，$C_T=3.95\times10^7$ ($) ($C_I=3.16\times10^7$ ($)，$C_P=0.79\times10^7$ ($)) となり，そのときの x_{ij} の値は表-2に示されている。この x_{ij} の値は，内陸輸送システムだけを最適化した場合の x_{ij} の値と異なる。なお，最適バース数は，港湾1で5バース，港湾2では6バースとなる。本研究においては，実際の計算を行うためにFACOM MPS/X プログラムを用いた。その際，SETBOUND プロシジャを用いる場合と用いない場合との最適解を比べ，さらにそれらの値と図式解法で求めた最適解と比べることにより，得られた最適解が大域的最適解であることを確認した。(C_Tの誤差 -0.13 %)

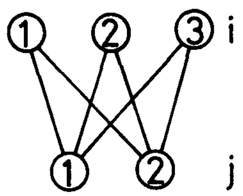

図-3 適用例の輸送モデル

表-1 C_{ij} と d_i の値

i \ j	C_{ij} 1	C_{ij} 2	d_i
1	11	24	6
2	20	19	5
3	28	15	10

($/トン)　(×10⁵トン/年)

表-2 最適貨物量(x_{ij})

i \ j	1	2
1	6	0
2	5	0
3	0	10

(×10⁵ トン/年)

1) 則武・木村：公共埠頭における最適バース容量の決定に関する研究，土論集，No. 301, 1980-9.