IV-199 流通港湾における混雑費用と混雑料金

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

流通港湾においては，入港する船舶による混雑現象がしばしば発生する。この混雑現象は，国民経済に対してある種の外部不経済を必然的にもたらす。すなわち，公共輸送基盤施設として建設，整備される流通港湾のふ頭施設は社会的共通資本とみなされ，それが提供するサービスは市場機構における取引対象にならないので，市場メカニズムによっては社会厚生上の資源の最適配分は実現できない。しかしながら，従来，入港する船舶によってひきおこされる混雑に起因した外部不経済すなわち混雑費用の定式化は，流通港湾においてはほとんどなされていない．したがって，本研究では，一般雑貨を取扱う公共ふ頭において発生する混雑現象を工学的，経済学的観点から統一的に分析し，ふ頭施設の最適な利用レベルの決定およびそのレベルを実現するための適切な管理運営方法（料金政策）に関して考察を加える。

2．流通港湾における船舶の動態分析モデル

流通港湾には，種々の荷主・船社などが所有する多数の船舶が来港する。それらの船舶は，入港時にすべてのバースが他の船舶によって使用されておればいずれかのバースが空くまで待ち，逆に空きバースがあればただちにサービス（貨物の陸揚げと船積み）を受けることができる。ここで，入港船舶は同一船型であり，また経済学的に同質とみなされるものと仮定する。従来の多数の研究により，流通港湾における船舶の動態を分析するためには，$M/M/S(\infty)$ および $M/E_k/S(\infty)$ のタイプの待ち行列理論モデルが最も適切かつ実際的であることが明らかである。いま，港内で発生する船舶の混雑現象を時間的に把握するための指標として，上記の各モデルの定常状態に対して得られている船舶の平均在港時間を用いることにする。しかし，後者の場合，船舶の平均在港時間に関する解析的な解は存在しない。そこで，いま $M/G/S(\infty)$ モデルにおける船舶の平均待ち時間を $M/M/S(\infty)$ モデルにおけるそれと関係づけたLee-Longtonの公式を用いれば，$M/E_k/S(\infty)$ モデルにおける船舶の平均在港時間 $\bar{t}_s$ は，

$$\bar{t}_s=\bar{t}_{b,s}+\bar{t}_{w,s}$$
$$=\frac{1}{\mu}+\left\{\frac{1+(1/k)}{2}\right\}\left[\frac{a^s}{\mu(S-1)!(S-a)^2}\left\{\sum_{n=0}^{S-1}\frac{a^n}{n!}+\frac{a^s}{(S-1)!(S-a)}\right\}^{-1}\right] \tag{1}$$

となる。ここに，$\bar{t}_{b,s}$, $\bar{t}_{w,s}$ はそれぞれバース数がSのときの船舶の平均サービス時間(日/隻)，平均バース待ち時間(日/隻)であり，a はトラフィック密度($=\lambda/\mu$)，λ は船舶の平均到着率(隻/日)，μ は船舶の平均サービス率(隻/日)である。μ の値が同一であれば，両モデルにおける $\bar{t}_{b,s}$ の値は常に等しい。しかし，$\bar{t}_{w,s}$ および $\bar{t}_s$ に関しては，λ, μ およびSの値が同じでも，船舶のサービス時間分布のアーラン次数 k の値が大きくなるにつれてそれらの値は小さくなる。なお式(1)においては，$\rho=\lambda/S\mu<1$ の平衡条件が成立している必要がある。ここに ρ はバースの利用率である。

3．流通港湾における混雑現象と混雑費用

いま，港湾施設のサービス供給面すなわちSおよび μ の値は与件として与えられており，流通港湾における混雑の程度はもっぱらふ頭施設の利用に対する船舶需要量の相対的な大きさによってのみ影響を受けるものと考える。すると，混雑程度を示す指標の1つである $\bar{t}_s$ は，λ のみの関数になる。以下では，港内の混雑により各船舶に及ぼされる時間的損失を経済的損失すなわち費用に変換して考察する。

①バース関係費用

いま，C_S^b：バース数がSのときの1日あたりバース関係総費用(円/日)，C_b：1バース1日あたりの費用(円/日·バース)とすると，$C_S^b=C_b\cdot S$ となり，これは λ とは独立であるので固定費用である。さらに AC_S^b：バース

数がSのときの入港船舶1隻あたりバース関係平均費用(円/隻)とすれば，次式のようになる。

$$AC_S^b = C_S^b/\lambda = C_b S/\lambda \qquad (2)$$

AC_S^b は平均固定費用になり，各入港船舶によってバース使用料として負担されるべきものと考えられる。

②船舶関係費用

いま，C_S^a：バース数がSのときの1日あたり船舶関係総費用(円/日)，C_a：船舶1隻1日あたりの費用(円/日·隻)，$\bar{n}_S$：バース数がSのときの平均在港隻数とすると，$C_S^a = C_a\bar{n}_S$となる。Littleの公式を用いると$C_S^a = C_a\lambda\bar{t}_S$となり，これは可変費用である。また，$AC_S^a$：バース数がSのときの入港船舶1隻あたりの船舶関係平均費用(円/隻)とすると，

$$AC_S^a = C_S^a/\lambda = C_a\bar{t}_S \qquad (3)$$

となり，AC_S^aは平均可変費用である。さらにMC_S^a：バース数がSのときの入港船舶の船舶関係限界費用(円/隻)とすると，これはC_S^aのλに関する1次導関数である。よって，MC_S^aは次式のようになる。

$$MC_S^a = dC_S^a/d\lambda = d(\lambda\cdot AC_S^a)/d\lambda = C_a\bar{t}_S + C_a\lambda(d\bar{t}_S/d\lambda) \qquad (4)$$

上式の右辺第1項はAC_S^aそのものであり，平均的な在港船費の大きさを表わす。右辺第2項は，限界的な船舶の入港によって，在港するすべての船舶に及ぼされる外部不経済すなわち混雑費用の大きさを示している。いま，バース数がSのときの1日あたりの港湾総費用(円/日)，入港船舶1隻あたり港湾平均総費用(円/隻)，入港船舶の港湾限界総費用(円/隻)をそれぞれC_S^T, AC_S^T, MC_S^Tとすれば，それらは，

$$C_S^T = C_S^b + C_S^a = C_b S + C_a\lambda\bar{t}_S \qquad (5)$$

$$AC_S^T = C_S^T/\lambda = AC_S^b + AC_S^a = C_b S/\lambda + C_a\bar{t}_S \qquad (6)$$

$$MC_S^T = dC_S^T/d\lambda = C_a\bar{t}_S + C_a\lambda\cdot d\bar{t}_S/d\lambda \qquad (7)$$

となる。式(6)から明らかに，AC_S^T曲線とAC_S^a曲線の間の垂直距離はAC_S^b曲線の縦距の大きさに等しい。さらに，式(4)あるいは(7)より，混雑費用はMC_S^T曲線(あるいはMC_S^a曲線)とAC_S^a曲線の間の垂直距離に等しい。MC_S^Tの値を算定する場合，Sが大きいときには理論的解析が困難になるので，本研究では，Lagrangeの補間近似公式を用いた数値微分法を使用した。

4．混雑料金の導入による流通港湾の最適利用

図-1は，ある流通港湾で消費される費用がλの関数として定性的に描かれている。一方，その港湾に入港する船舶の需要曲線はDで示されるものとする。これは，船舶が入港に対して認める価値を表わす社会的限界評価曲線である。各曲線とDとの交点は，それぞれ図中の記号を用いて表わされる。

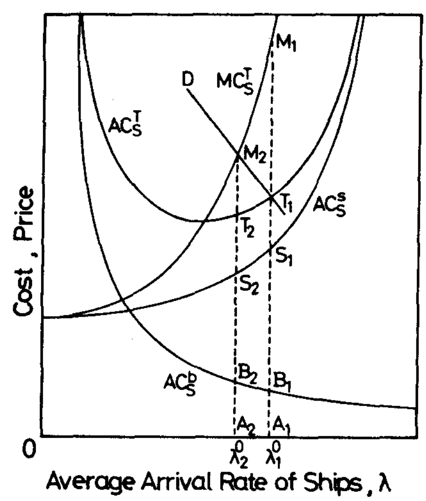

図-1 流通港湾における費用曲線と需要曲線

いま，対象とする港湾が提供する輸送サービスの市場は完全競争の状態にあり，またその市場では船舶の入港による混雑以外の外部性は何ら存在しないものと仮定する。そうすると，その港湾は交点T_1で均衡する。なぜなら，点T_1においては，入港船舶が認める限界価値(A_1T_1)と限界費用(バース使用料A_1B_1と在港船費A_1S_1の和)が一致するからである。しかしながら，対象港湾における社会的限界費用(A_1M_1)は入港船舶の限界便益(A_1T_1)を上回っているので，ふ頭施設は社会的には過剰利用の状態にあり国民経済的な最適は達成されていない。そこで社会的な最適状態を実現するためには，交点M_2に対応した船舶の平均到着率(λ_2^0)まで船舶の入港を制御する必要が生じる。そのため，T_2M_2に相当する金額を入港船舶に混雑料金(あるいは混雑税)として課せば，各船舶が実際に負担する費用は，各船舶自身の私的限界費用A_2T_2(=A_2B_2+A_2S_2)と混雑料金T_2M_2の和すなわちA_2M_2になり，それはそのときの社会的限界費用と一致する。よって，国民経済的に最適な流通港湾の均衡が達せられることになる。