

流通港湾における混雑費用の計測

関西大学工学部 正会員 則武 通彦
 関西大学工学部 正会員 O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、公共輸送基盤施設の1つである流通港湾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、混雑に起因した外部不経済すなわち混雑費用の定量化は、流通港湾においてはほとんどなされていない。よって、本研究では、一般雑貨を取扱う公共ふ頭施設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、混雑費用の計測を行う。

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。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 $\bar{t}_s$ は次のようになる。

$$\begin{aligned}\bar{t}_s &= \bar{t}_{b,s} + \bar{t}_{w,s} \\ &= \frac{1}{\mu} + \left\{ \frac{1 + (1/\rho)}{2} \right\} \left[\frac{\alpha^S}{\mu(S-1)!(S-\alpha)^2} \left\{ \sum_{n=0}^{S-1} \frac{\alpha^n}{n!} + \frac{\alpha^S}{(S-1)!(S-\alpha)} \right\}^{-1} \right] \quad (1)\end{aligned}$$

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、 α 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、

Michihiko NORITAKE, Sakuo KIMURA

流通港湾における混雑の程度はもっぱら入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する。すると、混雑程度を示す指標の1つである $\bar{t}_s$ は、入のみの関数になる。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、これは入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。

$$AC_s^b = C_s^b / \lambda = C_b S / \lambda \quad (2)$$

AC_s^b は平均固定費用となり、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である。

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、

$$AC_s^a = C_s^a / \lambda = C_a \bar{t}_s \quad (3)$$

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 の入に関する1次導関数である。よって、

$$MC_s^a = dC_s^a / d\lambda = d(C_a \lambda \bar{t}_s) / d\lambda = C_a \bar{t}_s + C_a \lambda (d\bar{t}_s / d\lambda) \quad (4)$$

となる。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、それらは次のようになる。

$$C_s^T = C_s^b + C_s^a = C_b S + C_a \lambda \bar{t}_s \quad (5)$$

$$AC_s^T = C_s^T / \lambda = AC_s^b + AC_s^a = C_b S / \lambda + C_a \bar{t}_s \quad (6)$$

$$MC_s^T = dC_s^T / d\lambda = C_a \bar{t}_s + C_a \lambda \cdot d\bar{t}_s / d\lambda \quad (7)$$

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、Lagrange の補間近似公式を用いた数値微分法を使用した。図-1は、10バースの場合の各費用曲線を示している。

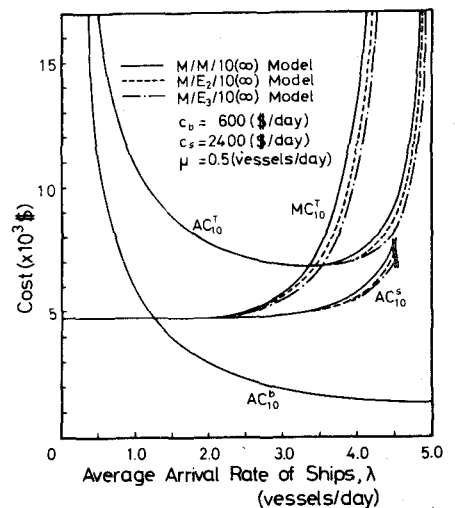


図-1 10バースの場合の費用曲線