

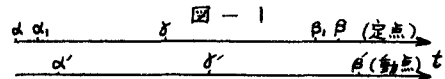
京都大学工学部 正員 長尾 義三

京都大学工学部 学生員 ○金井 萬造

清水建設 正員 市来 秀康

1 まえがき 国内貨物輸送において、内航海運は大量長距離輸送と中心として、今後とも主要な役割を果すことであろう。内貿貨物の輸送需要の増加に対応して、輸送施設としての内貿港湾施設の整備が重要となる。本研究においては、内貿碼頭を日発定期航路用碼頭と不定期船用碼頭に大別し、日発定期航路の碼頭に対しては、待ち合わせ理論を適用し確率の概念を導入してエアロン必要面積の算定モデルを提案する。不定期船を対象とした碼頭に対しては、シミュレーションの手法により入港船舶の平均バース待ち時間を求め、これを用いて最適バース延長を決定する方法を考察する。

2 日発定期航路船を対象としたエアロンの必要面積算定モデル 日発定期航路船を対象とした碼頭においては、その作業が1日単位でスケジュールに従って行なわれる。船舶は定刻に入港接岸し、その日の計画離岸時刻に出港し、その間に荷役が行なわれる。したがって種々の要因より定期船が計画より遅れて入港した場合は、荷役速度を上昇させて計画出港時刻に出港させることが要求される。また一方、その遅れによりエアロン上においては、船舶よりエアロンへの貨物の到着状態、陸上背後地よりのトラックの到着状態、フォークリフトなどによる荷役状態により貨物およびトラックの滞留が生じる。これに対して、ターミナルとしての機能を発揮させるためには、日発定期航路船用碼頭におけるエアロン必要面積の算定が重要となる。モデル化に際



して、図-1に示す時刻を設定すると定点 α, β, γ に対して動点 α', β', γ' がどのような位置にあるかが重要な因子となる。なお計画とおりの接岸時刻 α から離岸時刻 β までをその休憩時間帯を除いて m 個の単位時間帯 T に細

図-1 α, α' (定点) β, β' (動点) γ (動点) γ' (動点)

α : 計画接岸時刻 β : 計画離岸時刻 γ : 計画陸揚開始時刻 γ' : 計画陸揚終了時刻

α' : 実績接岸時刻 β' : 実績離岸時刻 γ : 実績陸揚開始時刻 γ' : 実績陸揚終了時刻

分し、 $\alpha \equiv 0, \beta \equiv m$ とおく。陸揚および船積作業における荷役速度が等しいと仮定すると、 $\gamma = km$ (1) と表わされる。ここに k は $k = \frac{\gamma}{m}$ (2) とし、 γ : 陸揚貨物量、 γ_N : 船積貨物量である。時刻 t における必要エアロン面積 $C_s(t)$ は、 $C_s(t) = Q_s(t) + Q_L(t) + b_s(t) + b_L(t) + c(t) + d$ (3) と表わす。ここに $Q_s(t)$: 時刻 t における陸揚貨物の占める面積、 $Q_L(t)$: 時刻 t における船積貨物の占める面積、 $b_s(t)$: 時刻 t における陸揚貨物用トラックの占める面積、 $b_L(t)$: 時刻 t における船積貨物の占める面積、 $c(t)$: 時刻 t における荷役機械の占める面積、 d : エアロン上の通路であり、エアロン必要面積 C_s は、 $C_s \equiv \{C_s(t)\}_{\max}$ (4) として算出する。(3)を計算するにあたっては、入港船の到着時刻が $\frac{T}{2}$ までの場合は0とみなし、 $(\frac{1}{2}-1)T$ と $(\frac{1}{2}+1)T$ の間の場合は $\frac{1}{2}T$ とみなして求めることにする。(1は整数で $0 \leq L \leq N$)。入港船は有限時刻 N 以上遅れることはないものとして、その計画入港時刻より L 時間おくれる確率 $P(L)$ は、 $\sum_{L=0}^N P(L) = 1$ (5) とする。 $L \leq \frac{1}{2}$ の場合と $L > \frac{1}{2}$ の場合により本船に対する荷役速度が異なることによりエアロン上でのトラックの流動、貨物の動態がことなるので2つの場合に分けて考える。 $Q_s(t)$ を求めるにあたって、①入港船の接岸時刻 t_1 が $t_1 \leq \frac{1}{2}$ の場合、 $0 \leq t \leq km$ において $Q_s(t)$ を求めるに必要な $P(t)$ すなわち時刻 t においてエアロン上に貨物が γ 単位ある確率は貨物の動態をうきのように考え、

待ち合わせ理論を適用して求める。陸揚貨物の船舶よりエアロンへの到着とサービス窓口への到着と陸上背後地より、エアロン上に到着したトラックに積載されて搬出されることにより、その貨物のサービス終了とする。時刻 $t = \alpha_i$ においてエアロン上に貨物が i 単位あり、時刻 t で j 単位になる確率 $P_{ij}(t)$ は非定常の待ち合わせモデル $M/M/2$ の解として求められる。したがって、時刻 t でエアロン上に残留貨物が j 単位ある確率は、 $P_j(t) = \sum_{i=0}^{\infty} P_{ij}(t - \alpha_i)$ (6) ここに α_i はトラックの到着開始時刻であり、 $P_0(\alpha_i)$ は時刻 α_i において、エアロン上に貨物が i 単位ある確率であり、 $P_0(\alpha_i) = \frac{(\lambda \alpha_i)^i}{i!} e^{-\lambda \alpha_i}$ (7)である。 $t \geq \alpha_m$ の場合、本船からエアロン上へ到着する貨物はなく、エアロンからのトラックによる搬出のみである。この単位時間あたりの搬出貨物量の平均値はトラックの平均到着台数と等価の貨物量には等しく、平均値 λ_1 のポアソン分布とすると、時刻 $t = km + \alpha_2$ において搬出される貨物量の総和が f となる確率 $P_f(km + \alpha_2)$ は、 $P_f(km + \alpha_2) = \frac{(\lambda_1 \alpha_2)^f}{f!} e^{-\lambda_1 \alpha_2}$ (8)となる。時刻 $t = km$ において、残留貨物が i 単位であったものが時刻 $t = km + \alpha_2$ において Y 単位となる確率 $P_{ir}(km + \alpha_2)$ は、 $P_{ir}(km + \alpha_2) = \frac{(\lambda_1 \alpha_2)^{Y-i}}{(Y-i)!} e^{-\lambda_1 \alpha_2}$ (9)となり $P_{ij}(t)$ は同様にして求める。④入港船が定刻より遅れて接岸した場合も同様の方法を適用して求める。このようにして入港船が時刻 t に到着して、時刻 t でエアロン上の残留貨物が j 単位である確率 $P_{ij}(t)$ が求められる。つぎに入港船の遅れの確率を考慮した場合のエアロン上における残留貨物が i 単位である確率 $P_i^*(t)$ は時刻 t で、残留貨物が i 単位である確率と、その場合の入港船の遅れの確率との積の和として表わせるから、 $P_i^*(t) = \sum_{j=0}^{\infty} P_{ij}(t) \cdot P_{\delta}(t)$ (10)となる。本研究では時刻 t における陸揚貨物によるエアロン面積は確率的に考えて、 $\sum_{i=0}^{\infty} P_i^*(t)$ の値がある値 δ 以上になる最小の n に相当する面積が必要であると考える。 $\sum_{i=0}^{\infty} P_i^*(t) \geq \delta$ (11) による n を求め、 $Q_s(t)$ は、 $Q_s(t) = P_i(t) F_K$ (12)により計算する。ここに F_K は単位貨物によるエアロン占有面積を表わす。これは貨物輸送においてその港務施設整備による直接的な効果および間接的な効果を考慮して総合的に決定されるべきものである。(13)式の他の項も同様の方法を適用して計算し、エアロン必要面積は(14)式により算定する。

3. 不定期船を対象とする最適バース延長決定のシミュレーション 最適バース延長を求めるに

あたっては、適正回頭能力モデルを用いるがここでは船舶の平均待ち時間をシミュレーションで求める。

シミュレーションモデルの手順は、入港船の船型を2種類に分け、バース延長を与えて船舶の接岸可能な組合せを求める。入港船の大型船、小型船の比率を求める。到着時間間隔はそれぞれ指数分布に従うとして乱数発生により求め入港船と到着時刻順にならべ夜間入港の場合は、午前6時ずて待ち時間として午前6時に入港させる。時刻 t において、時刻 $t-1$ と t の間に出港する船舶を出港させ、バース延長でのけい岸している船舶の組合せを計算し、接岸可能な隻数と組合せを知る。入港船を時刻順に入港させ待ち行列に加之、待ち行列の最初の船舶から接岸できるかを調べる。接岸できる場合は接岸させ、乱数発生させてけい岸時間を計算し、出港時刻を求め、夜間出港の場合は時刻補正を行ない、入港船の待ち時間を計算する。そして窓口が小さがるか、あるいは待ち行列がなくなるまで繰返し、 $t = t+1$ として同様のことを行なう。

