コンテナ埠頭の連続バース方式と複数単独バース方式の比較

鳥取大学　正会員　奥山育英
鳥取大学大学院　学生会員　○大石寛人

1．はじめに

海上コンテナの伸びは目覚ましく，開発途上国においてもコンテナ埠頭や荷役機械の整備が進展し，雑貨貨物はそのほとんどがコンテナ化したといっても過言ではない．また，復路の空コンテナの輸送を利用して，従来では考えられなかった一部のバラ貨物もコンテナで輸送されることが多くなり，ますますコンテナ化に拍車をかけている．最近では8,000個を越すスーパーコンテナ船も就航し，雑貨輸送の港湾形態は一変した．しかし，コンテナ船を始めとしてガントリークレーン，埠頭内大型荷役機械，夥しい数のコンテナバン，陸上輸送機器，大水深岸壁など莫大な資本投下が必須である．そこで，施設の有効利用が図られ，単独ターミナルでなく連続ターミナル方式が採用されることが多い．

そこで，本研究はコンテナ埠頭における連続バース方式と複数単独バース方式をシミュレーションによって比較することを目的とする．シミュレーション結果をもとに上記２方式における平均系内船数，平均待ち船数，平均揚げ積みコンテナ貯留数，平均積みコンテナ貯留数，平均揚げコンテナ貯留数を求め，２方式の比較を行った．

2．コンテナ荷役の方法

（１）単独バース方式

１つの船社で１つのターミナルを使用するため数船が続けて入港する際にバース待ちが生じやすい．また１ターミナルしか利用できないためコンテナの数が増えた場合ターミナルに収まりきらない状態が生じやすい．

（２）連続バース方式

バース，ヤード共に複数の船社で利用することから，単独バース方式と比較するとバース，ヤード面積ともにスケールメリットが生じる．

3．シミュレーション方法

シミュレーションはイベントシークエンシャルで進める．ターミナルでの行動（イベント、事象）は①船の到着，②船の出発，③積コンテナ搬入，④揚コ
ンテナ搬出，⑤船とのコンテナ揚げ積みであり，最も早く起こる事象を見つけ，その処理を行ってから時計を進めて，次の最早事象を見つけて時刻を進めて行く．各イベントの処理後，系内船数，接岸船数，揚げ積みコンテナ数等の統計を記録する．このようにして時間を進めて行き，あらかじめ設定したシミュレーション終了時刻を過ぎるとシミュレーションを終了する．シミュレーションのフローチャートを図１に示す．

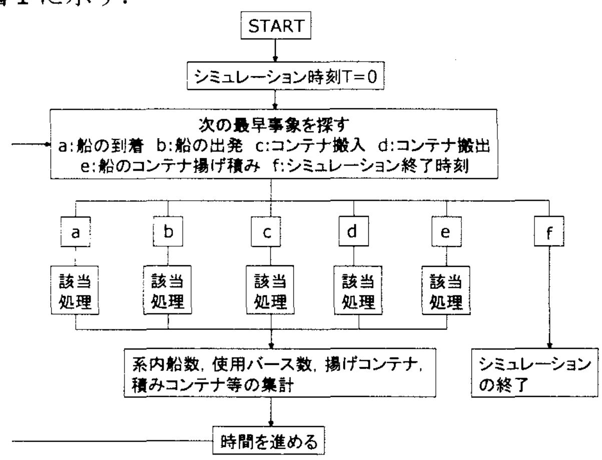

図１　シミュレーションのフローチャート

4．船舶のコンテナ積載量

本研究では船舶のコンテナ積載量n個を１個としてシミュレーションを行った．理由として到着の場合平均λのポアソン到着の時，時刻tまでにk回到着する確率は$P_k(t)=\left[e^{-\lambda t}(\lambda t)^k/k!\right]$であり，平均$\lambda t$，分散$\lambda t$，標準偏差$\sqrt{\lambda t}$である．ここで，$n=2$（１個を２分割したと考えた）とき，平均$2\lambda t$，分散$2\lambda t$，標準偏差$\sqrt{2\lambda t}$となる．しかし，２個来て１個とみなすため，標準偏差は$\sqrt{2\lambda t}/2=\sqrt{\lambda t/2}$となる．よって$n$個の場合は，標準偏差が$\sqrt{\lambda t/n}$となり，$n$を無限大にすると，標準偏差は０になる．$n$個の場合

の平均は1個の場合の平均λtをn倍すればよい，すなわち$n\lambda t$である．搬出の場合コンテナの貯留時間Tは指数分布に従う．従って平均貯留時間を$1/\mu$とすると，$P_k(T<t)=1-e^{-\mu t}$が成立する．ここで，時刻0で，n個あったときに時刻tでk個残存している確率は，

$P_k(t)={}_nC_k e^{-k\mu t}(1-e^{-\mu t})^{n-k}$であり，平均$ne^{-\mu t}$，分散$ne^{-\mu t}(1-e^{\mu t})$，標準偏差$\sqrt{ne^{-\mu t}(1-e^{-\mu t})}$である．$n$個全体を1として，その$1/n$の貯留時間が各々平均$1/\mu$の指数分布に従うとすると，時刻$t$における平均は$e^{-\mu t}$，分散と平均は$e^{-\mu t}\left(1-e^{-\mu t}\right)/n$，

$\sqrt{e^{-\mu t}\left(1-e^{-\mu t}\right)/n}$となり，$n$を無限大にすると，分散，標準偏差共に0となる．よって，n個の場合の平均は1個の場合の平均$e^{-\mu t}$をn倍すればよい，すなわち$ne^{-\mu t}$である．

5．実施ケース（5単独バースと連続5バース）

シミュレーションでS単独バースと，連続Sバースを比較する．単独バースの場合は平均λ隻／日でランダムに到着し，接岸時間は1／μ日，積コンテナの到着はランダムで平均ν_1個／日，揚コンテナのターミナル滞在日数は平均1／ν_2日の指数分布とした．連続バースでは同一条件下では，各々，Sλ，1／μ，Sν_1，1／ν_2となる．

具体的にはS＝5として，結果が発散しないように，船舶についてはρ＝λ／Sμを0.1から0.8まで0.1おきに，ρ’＝ν_1／λ＝Sν_1／Sλ=0.7，および　1／ν_2＝3とした．

シミュレーションケースとして，ρ=0.1から0.8まで0.1おきに，5単独バースと連続5バースの各々について16ケースのシミュレーションを実行した．シミュレーション時間は1／μ＝1日として，全ケースとも10000日分行った．

6．結果と考察

最終的に系内船泊数と各コンテナ貯留数の同時状態確率および周辺状態確率を3で述べた方法により求め，L（平均系内隻数），Lq（平均待ち隻数）,TC（平均総コンテナ貯留数）,LC（平均積みコンテナ貯留数）,UC（平均揚げコンテナ貯留数）を求めた．16ケースのシミュレーションによる上記5平均値を図2に示す．

5単独バースよりも連続5バースとする方がバースもヤードも効率的利用が図れることと予想されるが，具体的な効率化がシミュレーション結果である**図2**より，数値で示された．**図2**においてスムーズな曲線となっていないのは開発言語をベーシックとしたため，乱数列が1つしか取れなかったことに起因すると思われる．

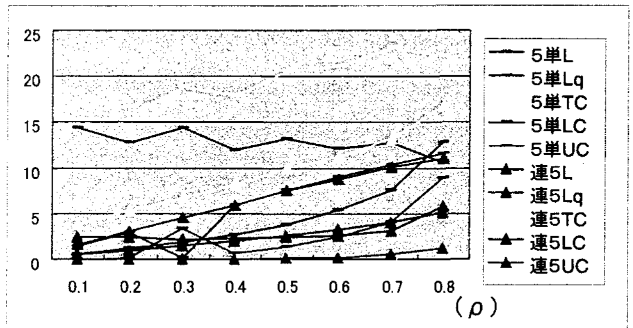

図2　連続5バースの系内船数の状態確率

ここではρ=0.7 のときの比較を表1に示す．**表1**より，スケールメリットの具体的な数量が明確に求められ，結果の信頼性についてはランダム性から解析解の得られる数値については良好な一致を見た．これによって他の分布の場合にも乱数を変えるだけで適用可能なことが確かめられた．

表1　5単独バースと連続5バースの比較

	平均系内船数（隻/日）	平均待ち船数（隻/日）	平均積みコンテナ貯留数（個/日）	平均揚げコンテナ貯留数（個/日）	平均揚げ積みコンテナ貯留数（個/日）
1バース×5	8.1925	4.634	11.4385	10.7365	22.4314
連続5バース	3.9802	0.5016	3.3205	10.1035	13.424

乱数を制御することによって，これらの値は任意の分布にすることができる．

参考文献

1）奥山　育英，中井　典倫子，久保　重美：コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察，港湾技術研究所報告，10巻，3号

2）奥山　育英，工藤　和夫：埠頭のシステム設計について

3）三根　久，奥山　育英，“ほか”：モンテカルロシミュレーション

4）本間　鶴千代：待ち行列の理論