# Ⅳ－302　石炭埠頭鉄道駅における石炭列車到着の確率分布モデルについて

九州大学　学生員　○厲　国権　　九州大学　正員　樗木　武
九州大学　学生員　　黄　文吉

## １．はじめに

石炭の鉄道輸送と埠頭荷卸しシステムが結節する石炭埠頭鉄道駅では，列車の到着分布を明らかにすることが駅ヤード計画の最も基礎となるものである．

普通鉄道駅の列車到着分布については，待ち行列システムの観点から見れば，従来の研究は、列車の到着状態の独立性，斉時性および希少性などにもとづく指数分布やアーラン分布を仮定したモデルの適用である．しかし，石炭埠頭鉄道駅の列車到着についての研究は著者の知る限り見当たらない。そこで、ガンマ分布、指数分布、アーラン分布および混合分布などに基づいて，列車の到着時間間隔に関する確率分布とその特性を明らかにすることが本研究の目的である．

## ２．石炭埠頭鉄道駅における石炭列車の到着状況およびデータの整理

本研究は石炭埠頭鉄道駅を対象とし，中国東北部の石炭埠頭鉄道駅で列車到着実態の調査を行った．調査では毎日２４時間の石炭列車の到着時刻を観測した．

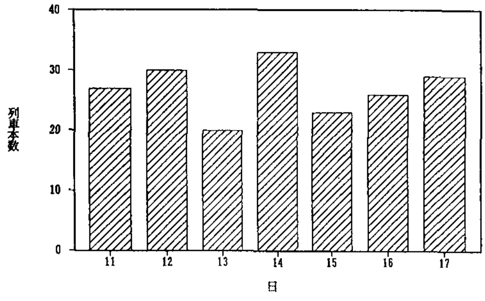


図-1　石炭列車の日変動

列車の到着の日々の変動は図-１に示すとおりである．一週間の総数は189本で，最大は33本/日であり，最小は20本/日であり，平均27本/日である．日によって変動するが，極端に差があるというほどではなく，概ね毎日が同様の到着状態であると見なし得る．従って，以下は特に日変動は考慮せず，全体を通して解析を進めることとする．石炭列車の到着について，その確率分布を明らかにするため，同石炭埠頭鉄道駅に到着する列車の間隔に関し一週間にわたる観測を時間帯別に整理すれば，図-２のとおりである．

その上で夜の時間帯および昼の時間帯に対する列車到着時間間隔の平均値および標準偏差に有意の差があ

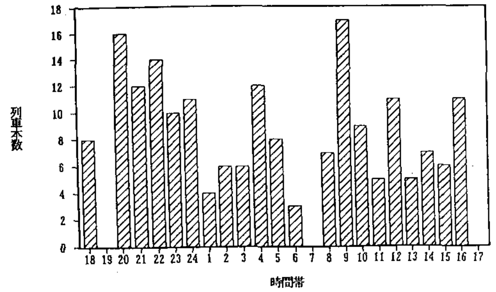


図-2　１週間における時間帯別の到着列車本数

るか否かの検定を行った．すなわち，到着時間間隔を正規母集団と仮定の上，分散比の検定を行えば表－１に示すとおりである．夜間の方が小さいといえるが，検定の上では両者は必ずしも異なるといえず，同じ母集団からのものとみなすことも可能である．そこで，分散が同じであると仮定して，平均値の差を検定すれば，表に示すごとく，やはり必ずしも差異があるとはいえない．これらのことから，特に時間帯を区分することなく，石炭列車の到着分布を求めることとする．

表-1　列車の到着時間間隔の母数検定

| | 到着時間間隔 | |
|---|---|---|
| 時間帯 | 18:00--8:00 | 8:00--18:00 |
| 列車本数 | 110（本） | 78（本） |
| 平均値 | 33.04（分） | 39.18（分） |
| 標準偏差 | 25.85（分） | 32.25（分） |
| t-統計量 | 1.4<t(0.05)=2.3 | |
| F-統計量 | F(0.95)=0.65<0.66<F(0.05)=1.5 | |

## ３．理論分布のはてはめ

石炭列車の到着分布を理論的に表すために，いくつかの適当な確率分布のあてはめを試みるが，ここでは，アーラン分布，混合アーラン分布，対数正規分布，ガンマ分布，指数分布などの５種類の適用を考える．列車の到着時間間隔の各理論分布の適合度をKS検定および次式で与えられるK値により評価すれば，表－２のとおりである．

$$K=\Sigma(\text{実際の相対頻度}-\text{理論の相対頻度})^2*100$$

各理論分布とも有意水準5%で適合するといえるが，K

表-2　石炭列車に対する到着間隔時間の確率分布の適合度

| 間隔時間の区分 | 平均値（分） | 指数分布 | | ガンマ分布 | | アーラン分布 | | 混合分布 | | 対数正規分布 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | KS値 | K値 | KS値 | K値 | KS値 | K値 | KS値 | K値 | KS値 | K値 |
| 5分間 | 35.75 | 0.116 | 2.5 | 0.084 | 1.6 | 0.08 | 1.28 | 0.074 | 1.3 | 0.052 | 0.72 |
| 10分間 | 35.75 | 0.115 | 2.9 | 0.088 | 1.9 | 0.07 | 1.2 | 0.098 | 1.8 | 0.09 | 1.2 |

注：KS検定5%有意水準で採択

S値とK値の比較から，５分刻みの集計では，対数正規分布と，また，１０分刻みの集計では，アーラン分布（$k=2$）あるいは対数正規分布が最もよくあてはまるといえる．これらから，結局は列車の到着時間間隔分布として対数正規分布を提案するものである．

## 4．列車到着分布モデルについて

提案する対数正規分布を用いれば次式で表される．

$$a(t)=\frac{1}{m\sqrt{2\pi}\ t}\,exp\left(-1/2\left(\left(ln\,t-l\right)/m\right)^{2}\right) \qquad (1)$$

ここに，t: 列車の到着時間間隔，

$a(t)$ ：到着時間間隔の確率密度関数，

$m, l$ ：パラメータ．

図-3,4はパラメータ$m, l$ と毎日の到着の列車本数との関係を示すものであり，両者に関し，指数曲線を仮定して回帰分析を行えば次式がえられる．

$$m=2.6767\,(NL)^{-0.4070} \quad (R=0.961) \qquad (2)$$

$$l=6.7321\,(NL)^{-0.2041} \quad (R=0.850) \qquad (3)$$

ここに，NL: 日到着列車本数．

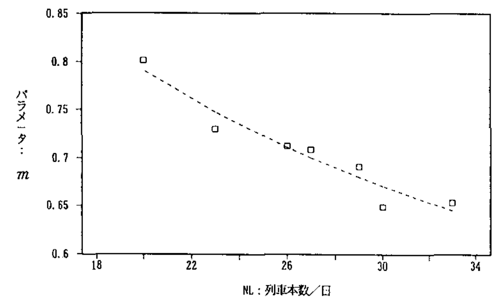


図-3 パラメータ $m$ と日到着列車本数との関係

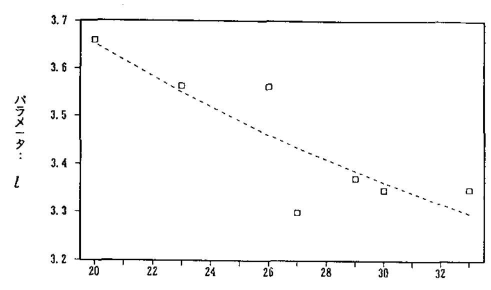


図-4 パラメータ $l$ と日到着列車本数との関係

各式の相関係数は0.961および0.850であり，いずれのパラメータも日到着列車本数により推定可能である．式(2)，(3)を式(1)に代入すれば列車の到着分布が記述できることになり結果は次式のとおりである．これが提案する列車到着の確率分布モデルである．

$$a(t)=\frac{1}{2.6767\,(NL)^{-0.4070}\sqrt{2\pi}\ t}\,exp\left[-1/2\left(\left(ln\,t-6.7321\,(NL)^{-0.2041}\right)/\left(2.6767\,(NL)^{-0.4070}\right)\right)^{2}\right] \qquad (4)$$

さらに，式（４）により日列車本数の到着分布を算出した結果を図－５に示す．日到着列車本数が多くなれば，列車の到着分布はピーク性が高い分布型になり，以下少なくなるに従って順次平たくなる．

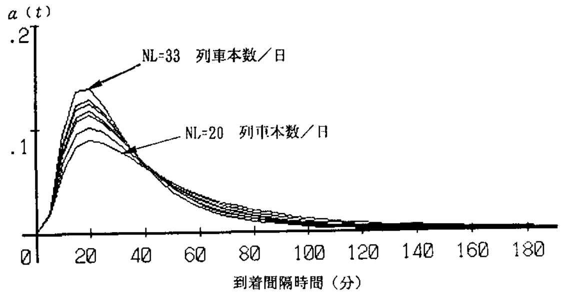


図-5 日列車本数により到着分布

また，図－６はこのモデルの適用例と，データとの比較である．このことから，提案したモデルはよく適合していることが確認できる．

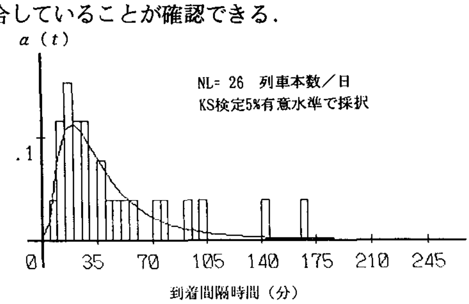


図-6 到着分布モデルの適用例

## 5．おわりに

本稿は石炭埠頭鉄道駅での石炭列車の到着時間間隔の理論分布について，指数分布、ガンマ分布、アーラン分布および混合分布を用い検討したものである．その結果，対数正規分布が最もよく適合するといえ，また，これに相応的した列車到着分布モデルを作成した．

今後の課題は，ここに構築した確率分布モデルに基づく石炭埠頭鉄道駅システムの待ち行列の特性と，駅システムにおける施設規模の関係を論じ，駅システムの計画手法を確立することである．

**参考文献**


1) E.R. Petersen: Railway Modeling: Part Ⅰ. Prediction of Put-Through Time, Transportation Sci. Vol. 11, No.1, February 1977.

2) 樗木 武，渡辺義則：土木計画数学(1)，森北出版，1983.11