

アーランサービスサイクルキューの厳密解法のシステム化

京都大学工学部 正員 吉川 和広

京都大学工学部 正員 山本 幸司

京都大学大学院 学生員 月野木 勝也

京都大学工学部 学生員 石井 健次

1. はじめに 土木施工の分野では、しゅんせつ船団によるしゅんせつ工事、スクレーパ等による切盛土工事、ポンプ車とミキサ車によるコンクリート打設工事のように作業状況が循環待ち合わせ系としてモデル化できる現象が数多い。これら进行分析する方法としては、待ち行列理論を適用する方法とモンテカルロシミュレーションによる方法があるが、本研究では土木機械の稼働状態をアーランサービスサイクルキュー（以下アーランサービスCQと略す）としてモデル化し、生起状態確率の厳密解法プロセスのシステム化と、アーランサービスCQおよび循環待ち合わせ系の評価基準について提案するとともに、しゅんせつ工事を事例としてその最適しゅんせつ船団の決定に対する実証的考察を行なう。

2. 厳密解法プロセスのシステム化 アーランサービスCQの厳密解法に関しては、すでに吉川・山太らの研究がある。このアルゴリズムは、①すべての生起状態を列挙し、②定常状態における状態方程式を作成し、③これを連立一次方程式系に変換し共役勾配法によって厳密解を求める、というもので、①②に関しては手作業に頼るものであった。しかしアーランサービスCQは任意の時刻において客がどの窓口を占有しているかだけではなく、その客がどの仮想窓口にいるかまでを記述しなければならないことから生起状態数が非常に大きくなってしまう。そのために位相数 k_i やサービス窓口数 S_i 等の増加とともに手作業による生起状態の列挙や状態方程式の作成は非常に困難であった。そこで本研究ではこれらのプロセスをシステムティックに処理する方法を提案するとともに、それをコンピュータプログラミング化した。以下ではその内容を概説する。

(1) 生起状態の列挙；生起状態を記述する方法として2通りの考え方が提案できる。1つは各位相に何人の客がいるかを記述する方法で、1つのサービスステージ i に着目すれば位相数 k_i に対応する k_i 次元ベクトルで記述できる。他方は個々の客がどの位相を占有しているかを記述するもので、窓口数 S_i に対応する S_i 次元ベクトルで記述できる。土木機械の作業時間分布の特性から判断すれば通常は明らかに $S_i < k_i$ であるため、ここでは後者の方法を考え、すべての生起状態をシステムティックに列挙するプログラムを作成した。一例として図-1のようなCQモデルの生起状態は、 $(2; 1.5.5; 1, 3)$ と記述できる。

(2) 状態方程式の作成；本研究では2.で述べたアーランサービスCQの厳密解法のアルゴリズムにおいて、生起状態の記述から直ちに連立一次方程式としての係数行列 A を決定することを考えた。状態方程式作成の基本は、ある状態 E へ推移してくる可能性のある状態 E' を見つけ出すことである。ここでは客の推移パターンを、①状態 E 自身へ推移する場合、②同一ステージ内の仮想窓口間での移動によって状態 E へ推移する場合、③ステージ間の移動によって状態 E へ推移する場合、という3通りに分け、状態 E と E' との間に成立すべき条件式を求めることにより、係数行列 A の非零要素を決定する方法を考えた。

(3)連立一次方程式の解法；係数行列 A は(2)のプロセスで得られた行列 A^* の任意の一行を全確率の和が1になるという条件式で置きかえたものであるが、いずれにしても「対角要素が非零で非常に疎な非対称行列」であるため、反復法として有効な共役勾配法の導入を考えた。

3. CQの評価基準 一般に待ち行列モデルの評価基準としては平均待ち行列長 L および平均待ち行列時間 W が考えられ、平均到着率 λ との間に $L = \lambda W$ という関係が成立する。しかしCQでは W を直接算出することができず、また $L = \lambda W$ が成立するかどうか不明である。このためCQの評価基準としては生起状態確率から直接算定することが可能な平均待ち行列長 L (もしくは平均サービス率 H) を考えた。しかし、CQとしてモデル化した循環待ち合わせ現象を評価・分析するためには、平均待ち行列長だけでは不十分であり、明らかに土木工事の3大管理目標に応じた評価基準を設定しなければならない。たとえば経済性の追求に着目すれば、遊休損失コストなどが考えられる。

本研究では以上に述べた各プロセスを1つのコンピュータプログラムにまとめたため、各サービスステージの客数 S_i 、アーランサービスの平均値 $1/\mu_i$ 、位相 λ_i 、および客数 N をインプットすれば、生起状態確率および L 、 H 等の評価基準を自動的に出力することができる。

4. しゅんせつ工事Aの適用例 ここではアーランサービスCQの適用事例としてしゅんせつ船、押船、土運船からなるしゅんせつ船団をとりあげ、押船と土運船の隻数、および押船距離をパラメータとし、次式で示される遊休損失単価 C (円/日) を評価基準として最適船団の決定方法について実証的考察を試みた。

$$C = \{ (C_M(M-H_1) + C_A(A-H_2) + C_N(N-H_1-H_2)) \} / (24 \cdot 60 \cdot R \cdot r \cdot H_1 \cdot \mu_1)$$

ここに C_M, C_A, C_N : しゅんせつ船、押船、土運船の遊休損失費用 (円/日・隻)。 M, A, N : しゅんせつ船、押船、土運船の隻数。 H_1, H_2 : しゅんせつ船、押船の平均稼働隻数。 R : 土運船の平均積載容量。 r : しゅんせつ船の実稼働率。 $1/\mu_1$: しゅんせつ船の平均サービス時間。

ここでは最終的な結果を図-2に示し、適用事例計算の内容等は講演時に説明する。

その結果、①作業時間分布が高次のアーラン分布となる場合もこれを位相が5程度の低次のアーラン分布で近似してさしつかえないこと、②作業時間分布の標準偏差 σ と位相 λ との間には $\lambda = 1/\sigma^2$ という関係があることから、 σ の影響はきわめて微少であること、などが明らかとなった。

図-1 生起状態の1例

(但し、 $S_1=1, S_2=3, N=4$)

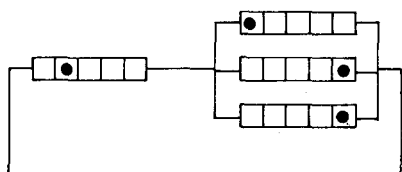


図-2 遊休損失費用 C とサイクルタイム $1/\mu_1$ の関係

