



価を行うための部分モデルとして考えられたものである。たとえば待合室の無いモデルは古い型の電話交換機をモデル化したものだし、優先権のあるモデルは計算機の中で緊急性や計算時間の異なるジョブを最適にコントロールするために利用された。

### 3 待ち行列ネットワーク

実際のコンピュータや通信システムは、多数の待ち行列がネットワーク状に複雑につながったものになっている。しかしシステム全体をモデル化し解析することは容易でなく、通常は前節のような部分モデルをつないで近似解析をしている。しかしそれでは正確性に欠けるため、できる範囲で直接待ち行列ネットワークを解析する試みが始められた。生産システムのモデル化として盛んに研究された直列型待ち行列モデルや巡回型待ち行列を除くと、その先駆けとなったのは J.R. Jackson 等による、いわゆる Jackson 型待ち行列ネットワークの解析である。これは仮定はきついかれども平衡状態確率がきれいな形になることで、画期的なものであった。

このモデルでは、待ち行列がネットワーク状につながっており、各ノード(待ち行列)では客は指数分布に従ってサービスされる。またサービス終了後、客が次に進むノードは確率的に選ばれる。このようなネットワークでは、大雑把な言い方をすると、システムの平衡確率は、各ノードを標準的 M/M/s 待ち行列モデルとみなしたときの平衡確率の積に比例する(積形式解)。そのため、客がシステムの外からポアソン過程にしたがって到着する閉ネットワークでは、各ノードを確率的に独立であるかのように考えて解析してもよいことがわかる。

一方、客の出入りがなく一定の数の客がネットワークの中を巡っている閉ネットワークでは各ノードが独立とはならないが、平均値解析法(Mean Value Analysis)などを用いて数値計算をすることができる。この平均値解析法は、積形式解という性質と Little の公式と呼ばれる基本関係式を巧みに利用した実に見事なアルゴリズムである。

Jackson 型ネットワークモデルは、さらに Baskett 等によって拡張され、BCMP 型モデルとして、現在、計算機システムや情報通信ネットワークの性能評価モデルとして日常的に使用されている。

BCMP 型モデルは仮定が厳しく、ごく特殊なケースであることは否めない。指数分布の仮定が崩れた

ときの影響などは、これからの研究課題である。

### セントラルサーバーモデル

計算機システムの代表的モデルとして、Central Server Model がある。これは 1つの CPU と複数の I/O (Disks) の間を一定数のジョブが巡る閉ネットワークである。このモデルを解析してみると、ジョブ数を増やしていくとき、CPU かひとつの I/O のところに必ずほとんどのジョブが溜まってしまう。これはネットワークの 1箇所がボトルネックとなり、ジョブを均等にばらすことはできないことを示している。

### 4 新しい情報通信ネットワークとコンピュータ

新しい情報通信ネットワークとして ISDN が現実のものとなりつつあるが、これは待ち行列理論にとってまた新たな課題とチャレンジを提供してくれている。ISDN では動画像、静止画像、ファイルデータ、音声など、多様なデータがひとつの情報通信ネットワークの中に入ってくる。そのため、ポアソン到着や一定間隔到着でモデル化するのでは十分でない。到着過程はバースト性と呼ばれる自己相関性のたいへん強い性質をもっており、それがネットワークを通して拡散していくプロセスはたいへん複雑である。現状では、バースト性をもった入力過程を MMPP (マルコフ変調ポアソン過程) や流体モデル(水漏れバケツモデル)で近似して、単一ノードの挙動を研究するのがせいぜいである。これからさらにネットワーク全体の性能を評価する方法へと研究を進展させていくことが必要であろう。

また、コンピュータの分野では、分散化や並列化、ネットワーク化が進行している。ここでも、資源配分や割り当ての問題が待ち行列と数理計画の融合問題となるように、待ち行列ネットワークの他にも新しい問題がたくさんあり、積極的に研究することが求められている。ぜひ、若い人たちにチャレンジしていただけたらと思う。

### 参考：OR 誌特集号

- [1] vol.26, no.4 (1981), 「待ち行列の現状」
- [2] vol.30, no.7 (1985), 「待ち行列網のパッケージとシミュレータ」
- [3] vol.33, no.5 (1988), 「待ち行列のいま」
- [4] vol.36, no.4 (1991), 「確率モデルとその周辺」