

人の流れの解析

逆瀬川 浩孝 (早稲田大学)

待ち行列理論といえば多くの人々は銀行の窓口やスーパーのレジの前に並ぶ行列のように人の待ち行列を思い浮かべますが、最近の話題はインターネットに代表される通信ネットワークとか、コンピュータネットワークでの目に見えない「客」の待ち時間が主になっています。その中であって、人の流れとその混雑現象をネットワーク待ち行列モデルを利用して分析した例が報告されています。それを紹介しましょう。出典はアメリカのOR学会が出版している論文誌 Operations Research の中にある OR 事例 (OR practice) のコラムです。

建物の中にある目的地に向かって、不特定多数の人が建物の外から到着するというケースを考えます。建物の入り口から目的地までは狭い通路を通らなければならないとしたら、その混雑はどのように評価されるでしょうか。この状況を待ち行列モデルを用いてモデル化してみます。建物の入り口に到着してから目的地に到着するまでを「サービス時間」と考えるのです。

通路が混雑してくると歩くスピードが落ちて、目的地に着くまでの時間が増えますから、サービス時間はダイナミックに変化します。通路の混雑状況は一様ではなく、場所によって濃淡はありますが、それを無視して通路上にいる人の数によって歩くスピードが決まると考えましょう。このモデル化では通路にいる人はすべてサービス中の客ですから、結局サービス中の客の数によってサービスの速さが変化するようなサービスを考えることになります。窓口の数は通路に入れる人の数の上限とすればよいでしょう。通路が人で一杯のときは新たな客は入ることをあきらめる、ということにしておけば、 $M/G(N)/C/C$ という呼損系のモデルができ上がります。

通路が直線の廊下だけでなく、途中で階段があった

り、エレベータがあったり、ロビーがあったり、あるいは曲り角があったりする場合は、なるべく均質な部分に分割してその1つ1つを窓口と考え、それらを順に通過することによって目的地に到着すると考えれば、いわゆる直列型の待ち行列モデルとしてモデル化することができます。したがって、各ノードの平均系内容数を求めれば通路のどの部分が混雑しているか見当がつけられますし、平均滞在時間を合計すれば目的地に到着するまでの所要時間を見積もることができます。

また、同じ通路を通して目的地から建物の入り口へ向かう(帰る)人の流れがあると、歩くスピードはますます複雑になってゆきますが、やはり大雑把に考えて、通路にいる人の数すなわちサービス中の客の数に依存したサービス時間を受ける、というモデルを使うことにします。ただし、客のタイプ、という概念を導入して、目的地に向かう客か、建物の外に出ようとしている客かを区別することにします。

さらに構造を複雑にして、入り口も目的地も複数あり、それぞれを結ぶ通路もいろいろな経路が考えられる、という場合でも、上と同じような考え方でモデル化することができるでしょう。その場合は、廊下、階段、エレベータホール、などをいろいろな目的を持った客が利用しますから、それらをノードとするネットワークの上を(目的地が違う)いろいろな種類(クラス)の客が動き回るといって、複数クラス、複数タイプの客を持つネットワーク型の待ち行列モデルを考えることになります。このモデルは適当な仮定の下で積形式解と呼ばれる定常解を持つことが知られていますから、例えば平均値解析 MVA を用いた数値解パッケージを用いて分析ができます。

このモデルを病院の施設設計画の評価のために実際に適用し、設計プランの人の流れや混雑具合を分析した結果の報告が下の論文です。2つの診療棟と300床を持つ病院の診療施設が手狭になり、さらに1つの診療棟を増設することになりましたが、新しい診療棟は入り口から遠いところにあるため、今ある診療施設を通らないと行けないようになっています。完成後の人の流れが相当に悪くなることを心配した病院の管理スタッフが確率モデルの専門家に調査を依頼してきた、という設定です。

上のモデルを適用するために客のクラス、タイプを

設定し、各種のデータからモデルのパラメータを推定し、評価指標をパッケージを用いて計算する、というプロセスについてはあまり詳しくは書かれていませんが論文を参照してください。誘導路をうまく設定することによって混雑を減らすことができる、ということが結論になっています。

論文のページ数の制約から、必ずしもモデルのすべてが理解できたわけではありませんが、このタイプの問題は普通に考えると診療室とか検査室、病室等をノ

ードとするネットワークとしてモデル化しそうですが、通路をセグメント化してノードにしてしまう、という考え方が興味深かったので紹介しました。

参考文献

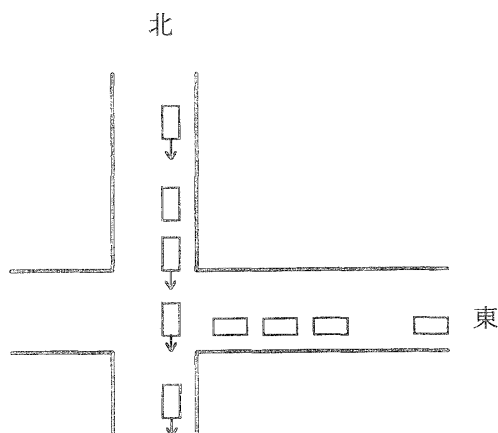
Smith, J.M. (1994), Application of state-dependent queues to pedestrian/vehicular network design, Operations Res. vol. 42.3, pp.414-427.

交差点での交通流モデル

山下 英明 (東北大学)

交通流の解析にも古くから待ち行列は用いられています。交通流の数学的解析では、流体モデルにおいて、偏微分方程式を用い交通密度波の伝播を解析する研究がよく知られています。しかし、ここでは待ち行列理論を直接適用した例として、車が途切れたときに信号が換わるような交差点のモデルを紹介します。

簡単のため、図のように北側と東側からだけ車が到着する交差点を考えましょう。北側の信号が青になると、それまで交差点の前で待っていた車は順々に交差点を通過します。信号は、青になってから到着した車も含めてすべての北側の車がなくなるまで、青を維持



します。いったん北側の車が途切れると、今度は東側の信号が青になり、同様に東側の車が途切れるまで青を維持します。信号の切換えに要する無駄な時間を考慮すると、このように信号を制御することによって車の平均待ち時間が最小になることが解ります。

このモデルを一方の道路（例えば北側）からみて、北側の信号が赤である時間を遊休期間 (Vacation Period), 停止中の前の車が交差点に進入してから次の車が進入するまでの追従遅れ時間をサービス時間, 北側の車の待ち行列が解消されてから北側のすべての車が交差点を通過し終わるまでの時間を切換時間 (Switchover Time) に置き替えると、このモデルはよく知られている遊休のある待ち行列モデルになります。この場合、切換え時間の途中で新たに北側から車が到着すると、その車は待たずに交差点に進入でき、切換え時間はその車が交差点を通過し終わるまで延長されます。すなわち、切替時間の長さは切替時間中の車の到着に依存し、この点は遊休のある待ち行列の基本的なモデルとは異なります。これまでの研究では、車1台のサービス時間中に北側と東側から到着する車の平均台数をそれぞれ ρ_1, ρ_2 とすると、 $\rho_1 + \rho_2 < 1$ のとき定常状態をもつことが示され、車の平均待ち時間等が解析されています。交通流モデルのもう1つの特長は、車の到着がランダムではないことです。速度の遅い車の後には車が連なっているでしょうし、赤信号によっても車の群ができるでしょう。この結果、交差点に到着する車は、ある程度の群をなしていると考えられます。これは、ATM 交換機等の通信システムの到着過程として、この10年間盛んに研究されてきたバースト入力と同じ性質です。

交差点のモデルに対する1960年代の研究では、解析