

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

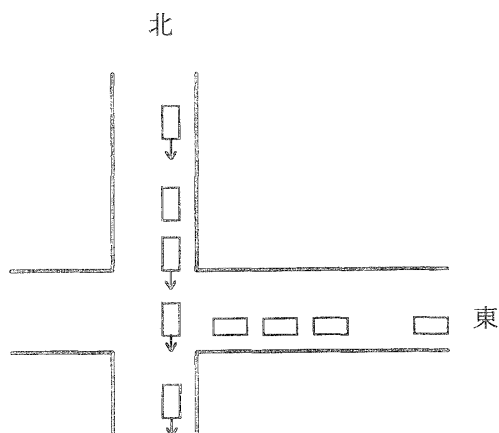
Smith, J.M. (1994), Application of state-dependent queues to pedestrian/vehicular network design, Operations Res. vol. 42.3, pp.414-427.

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、切換え時間の途中に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

の容易さからランダムな到着分布である Poisson 分布が仮定されていましたが (例えば [4]), 1970年代になると, より現実的なモデル化を行うためいろいろなバースト到着が考えられました。単位時間あたりの到着台数が離散 Markov 連鎖をなすモデルの解析 [3] や, 車の群を直接モデル化するために, 群のサイズを任意の分布, 群の中の車の到着間隔を 1, 群の最後尾と次の群の先頭の車の到着間隔は幾何分布に従うと仮定した研究 [2] がそれです。すなわち, 通信システムにおけるバースト性が話題になる10年以上も前に, 同等な到着過程が考えられていたのです。

しかし, この後交通流におけるバースト到着の研究は, 大きく進展しませんでした。これは, 交通流のバースト性が通信網のそれと比べてあまり高くないのと, 交通流自体それほど重要な問題ではなかったからだと思像されます。

最近, 通信システムのバースト入力モデルとして考えだされた MAP (Markovian Arrival Process) を交差点モデルの到着分布に用いた論文 [1] が発表さ

れました。応用分野の要求は待ち行列理論を発展させ, その理論がまた新しい応用分野に適用されているのです。

参考文献

- [1] Alfa, A.S., and Neuts, M.F.: Modelling Vehicular Traffic using the Discrete Time Markovian Arrival Process, *Transportation Sci.*, Vol.29 (1995), pp.109-117.
- [2] Cowan, R.: An Improved Model for Signalised Intersections with Vehicle - Actuated Control, *J. Appl. Prob.*, Vol.15 (1978), pp.384-396.
- [3] Lehoczky, J.P.: Traffic Intersection Control and Zero - Switch Queues under Conditions of Markov Chain Dependence Input, *J. Appl. Prob.*, Vol.9 (1972), pp.382-395.
- [4] Darroch, J.N., et al.: Queues for a Vehicle - Actuated Traffic Light, *Operations Research*, Vol.12 (1964), pp.882-895.

ハキリアリの収穫行動のモデル

三好 直人 (京都大学)

少し変わった待ち行列の応用として, 昆虫の社会的行動の説明に用いられた例を紹介しましょう。

ハキリアリ (*Atta* spp.) というアリ科の昆虫の収穫行動は, 沢山のアリが1枚の葉から少しずつ切端を切り取って運ぶ集団行動であるという点で, 個々がばらばらに動き回って食糧を集めて来るミツバチなど他の多くの昆虫のそれとは大きく異なります。さらに, 複数のアリが同時に別々の葉に取り掛かったり, 大勢が1枚の葉のいろいろなところから切り始めたりするのではなく, 大抵の場合は, 同じ葉の前の者が切り取った跡から切り始めるので, 仲間たちは前の者が去った後でないと作業に取り掛かれません。こうして, ア

リたちは葉をサーバとみなした待ち行列をつくることになります。

さて, アリたちはどのようにして自分の荷物 (葉の切端) の大きさを決めているのでしょうか。一般に, アリが運ぶ葉の切端はアリ自身よりはるかに重く, 切端が重くなるほどそれを運ぶスピードは遅くなります。葉の切端の大きさと, アリがそれを切り取る時間や運ぶスピードとの関係を調べた実験により, 実際の収穫活動で運んでいる切端の大きさは, 個々のアリの作業効率を最大にする大きさよりずっと小さいことが報告されています [1]。収穫を集団の協力的行動ととらえると, 自分勝手に大きな切端を切り取ろうとして仲間が作業に取り掛かるのを遅らせるよりも, 個々の作業時間を短くすることによって, 1匹当たりの荷物は小さくなくても, 単位時間当たりに作業に取り掛かるアリの数を増やして, 群れとして効率の良い収穫を行っているのではないかと考えられます。

アリは半円の弧を切り, 半円形の切端を得ると仮定しましょう。すると, 切り取りにかかる時間 t と得られた切端の重さ M との関係は, $M = \delta(ct)^2 / (2\pi)$ と表されます。ただし, δ は葉の密度, c はアリが葉を切