

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想像されます。

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進展させ, 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

数理情報科学シリーズ18

数論を学ぶ人のための

相互法則入門

平松豊一著/A5判・本体3,200円

現在、斯学で最も注目されている相互法則について例を中心に解説した入門書。古典的数論から説き起し、ヘッケの立場からの数論入門へと導く。ラングランズの哲学、H. J. S. スミスに焦点を当てた数論小史、等々、興味ある話題豊富。

Visual Basic プログラミング入門

原田康平著/B5判・本体1,800円

DOS/Vユーザを対象に Visual Basic 5.0 プログラミングの実際を解説した初学者向き入門書。例題と演習を豊富に配し、例題で学んだ内容を演習を通して再確認後、さらに応用へと導く構成をとる。4.0との比較も示す。

文科系の情報数学入門

角谷敦著/A5判・本体1,700円

経済・経営系学生を対象に、コンピュータのアルゴリズムに関する基本的な内容をやさしく解説した教科書。扱うテーマは数理的にならないよう配慮するとともに、アルゴリズムの記述にはフローチャートを中心に展開。Cプログラム付。

経営システムのモデリング学習

—STELLAによるシステム思考—

森田道也編著/A5判・本体2,800円/CD付

システムダイナミックスとパソコンを導入し、経営・経済システムに関する基礎的概念を学習するための教科書。巻末に添付したSDソフトSTELLAのデモ版を使って、画面のモデルを操作しながら具体的に学習可能。

理工系システムのモデリング学習

—STELLAによるシステム思考—

岡野道治ほか著/A5判・本体2,400円/CD付

高校や大学教育にシステムの思考を導入する必要性が強く叫ばれている今日、本書は、著者たちがSTELLAを利用したシステムの思考教育を試みた経験をもとにまとめた意欲的教科書。物理、化学、生物の基礎から工学的諸問題まで。

★価格は税別

発行=牧野書店

114-0024 東京都北区西ヶ原3-60-18
電話 03(3949)2344
振替 00190-0-661932

発売=星雲社

112-0012 東京都文京区大塚3-21-10
電話 03(3947)1021・FAX.03(3947)1617

る速度です。また、実験の分析結果に従って、アリの大きさ x と切端の重さ M との関係を $M = ax^b$ 、速度 c との関係を $c = c_1 + c_2x$ と仮定します。このパラメータの組 (a, b) を“切り取り政策”と呼ぶことにしましょう。このとき、アリの大きさとサービス時間（切端を切り取るのにかかる時間）との関係は、

$$t(x) = \frac{1}{c_1 + c_2x} \left(\frac{2\pi ax^b}{\delta} \right)^{1/2}$$

となります。さらに、1つの群れが同時に収穫に取り掛かる葉の数は一定であると仮定し、アリたちは常に行列をつくっていて、どれか1つのサーバ（葉）が空くとすぐに作業に取り掛かるものとします。

以上の仮定のもとで、アリの大きさの分布の密度関数を $f(x)$ とすると、サービス率（単位時間当たりに1枚の葉から作業を終えて去るアリの数の平均）は $\mu = (\int_0^\infty t(x)f(x)dx)^{-1}$ によって求めることができます。

観測結果から、 $\delta, c_i (i=1, 2)$ の値とアリの大きさの分布 $f(x)$ を推定し、単位時間当たりに得られる葉の切端の総量を最大にする切り取り政策 (a, b) を求めたところ、アリたちが実際に運んでいる切端の大きさは、最適政策による大きさをほぼ中心にして分布していることが報告されています [2]。はたして、ハキリアリの収穫行動は、群れ全体の効率を考慮して切端の大きさを調節する知的行動なのでしょう？

参考文献

- [1] Burd, M.: "Foraging performance by *Atta Colombica*, a leaf-cutting ant," *The American Naturalist*, vol.148 (1996), pp.597-612.
- [2] Burd, M.: "Server system and queueing models of leaf harvesting by leaf-cutting ants," *The American Naturalist*, vol.148 (1996), pp.613-629.