

東ドイツおよびポーランド における待ち行列の研究

東京理科大学 理工学部 宮沢 政清

今日、待ち行列の問題に点過程(point process)の理論を用いる方法は、重要な理論的成果をあげており、多くの研究者の注目を集めています。この方法の1つの中心地が東ドイツ(DDR)ですが、私は今年はじめ、古都ドレスデンの近くにあるフライベルク鉱山大学(Berg-Akademie Freiberg)数学科のD. König教授を訪ねる機会に恵まれました。D. König教授は、初めて点過程を待ち行列の解析に応用した人の1人で、今日でも若い研究者を育て活発な研究活動をしています。今回の旅行の主目的は、ポーランドで開かれる待ち行列シンポジウムへの参加でしたが、D. König教授から、この機会に東ドイツにも来るようにと招待されました。シンポジウムの始まる前の約1週間は東ドイツに滞在し、その後は、ポーランドでの待ち行列研究の中心となっているプロツワフ(Wroctaw)大学も訪ねてきました。約3週間の小旅行でしたが、この間に得た知識などをもとに、東ドイツおよびポーランドの待ち行列研究と今回のシンポジウムについて報告しようと思いましたが、そのまゝに、両国の国情や研究環境などを簡単に紹介します。

1. 東ドイツとポーランドについて

両国は隣接した位置にあり、西側は西ドイツ、東側はソ連に囲まれています。また、両国の民族や言葉は異なり、当然、国民性にも違いがあります。東ドイツのある人は、ポーランド人は少しメランコリックなところがあり、ドイツ人とはすぐ見分けられると言っていました。旅行者の目からは、列車で東ドイツからポーランドへ入ると家並がなんとなく雑然とすることが感じられます。しかし両国には共通点もあります。第1に気候が厳しく資源の少ないことです。ポーランドには石炭があるのでまだよいのですが、東ドイツには、石油はもちろん石炭さえほとんどないそうです。厳寒期で、太陽もあまりない時機だったせいもありますが、日本は資源小国と騒いでいる割にはなんと恵まれているかと思いました。第2は、ソ連圏諸国であることです。町で簡単な英語が通じなく、日本で英語を中学から学ぶように、これらの国ではロシア語を勉強していることなど英語圏ではないことをつくづく思い知らされました。もっとも日本にお

ける英語教育と同じように誰もがロシア語に堪能であるとは必ずしも言えないようで、知り合った東ドイツの研究者なども長年ロシア語を学んだけれど苦手であると話していました。とはいえ、研究者の多くがソ連へ留学した経験をもち、ソ連との人的交流も盛んなようです。

東欧のOR一般についてほとんど知識がなく、事情はよくわかりませんが、これら両国の待ち行列システムの研究者は、みな大学の数学科の所属でした。そのためか、研究内容は理論志向の強いものが多く、応用にはあまり関心が払われていないようでした。東ドイツなどでも町の中で結構待ち行列の現象に出会います。たとえば、フライベルクのあるスーパーでは店内の買い物かごが店内でゆったりと買物できるだけの数しかなく、買い物かごのない客は店の外で待ち行列を作ります。これには、うまいコントロールをしていると感心しました。これなど待ち行列理論を応用するには面白い例だと思のですが、まったく考えていないようでした。東欧の研究者と話して感じたことは、実際の必要性とは関係なく数学的興味から研究をしていることです。にもかかわらず、応用性豊かな理論を作りつつあるのは何か逆説的で面白く感じました。

2. 東ドイツの待ち行列研究

この国の確率論、特に点過程の研究は、ご存知の方も多いかと思いますが、すぐれた成果をあげています。点過程の研究は、もともと待ち行列の問題に関連したところから発生し、ソ連や東欧では、1950年代から研究されています。東ドイツでは、この影響のもとに、J. Kerstan, K. Matthes, J. Mecke等の優秀な研究者が多く輩出し、数学理論として研究されています。彼らも、その発生の由来から待ち行列モデルに関心をもっていたものの、その応用は難しいと考えていたようです。これは点過程が、ポアソン過程や再生過程に比べはるかに一般的なものだからです。こうした中で、60年代のはじめに、MatthesやKönigは、待ち行列システムのinsensitivityを調べるために点過程を用い始めました。ここで、insensitivityとは大雑把にいって、待ち行列システムを記述するパラメーターの値を変えても、その特性が不変であることを意味します。たとえば、ある待ち行列システムは、その系内人数の定常分布が、平均の等しいサービス時間に対して、その分布形を変えても不変であるとき、平均の等しいサービス時間の分布に関しinsensitivityをもつといいます。有名な例として、客が s コのサービス窓口をもち待ち合い室のないシステムにポアソン過程で到着する、いわゆる呼損系 $M/G/s$

(0)は、サービス時間が独立、同一分布であるとき、平均の等しいサービス時間の分布形に関して insensitivity の成り立つことが知られています (Sevastianov (1957)). König らは、このモデルでサービス時間の同一性や独立性をなくしたとき insensitivity が成り立つかどうかを調べました。この場合、独立性の条件を落したため、従来のマルコフ過程的な扱いが難しく、点過程の理論を必要としました。insensitivity については、その後 König やその弟子の U. Jansen などが研究しています。最近、西ドイツの R. Shassberger が同じ問題を別の角度から研究しています。これらの研究は、最近の待ち行列ネットワークの問題とも関連し、興味ある結果を提供しています。

König らのグループとは別に、P. Franken は、1967年に点過程の理論を用いて、Little の公式 ' $L=\lambda W$ ' を証明し、いわゆる invariance relation の証明に対しても点過程が有用であることを示しました。ここに、invariance relation とは、待ち行列システムのいくつかの特性量の間サービス時間分布や客の到着過程によらず広く成り立つ関係をいいます。私自身も同じ頃、J. D. C Little (1961) や S. L. Brumelle (1971) による ' $L=\lambda W$ ' の証明を改良するために点過程の適用を考えていました。さて、invariance relation については、その後、König らが、ポーランドの T. Rolski と協力して、やはり点過程を用い intensity conservation law という強力な公式を導きました (1978)。この公式は、定常な確率過程では、状態空間の部分集合 A に対し、外から A に入る単位時間当りの回数が、A から出てゆくその回数に等しいことに注目したものです。考え方は簡単ですが、その結果は、invariance relation を求めるうえでたいへん有用です。最近、König らは、Stochastic geometry に対し点過程からの接近を試みています。なお、König, Franken らは 'Queues and point processes' という本を書いており近々 Wiley より出版されるそうです。

この他、東ドイツの研究に、確率的順序関係があります。これは、D. Stoyan が待ち行列システムに適用し、その有用性を示しました。現在、Karl-Marx 大の R. Bergmann がこの方面の研究をしています。

3. ポーランドの待ち行列研究

この国の研究は、一般的に、マルコフ過程による古典的解析が主流のようで、現在も、英語で公表される論文は少なく、よくわかりませんが、独自の研究があるようです。そのため既知の結果を再び証明したりもしていま



左より U. Jansen, Prof. D. König, D. Stoyan
そして V. Schmit.

すが、すぐれたアイデアもあります。たとえば、先にあげた Rolski は確率的順序関係や piecewise マルコフ過程について興味ある研究をし、これが König との共同研究のもとになりました。また、B. Kopociński & I. Kopocińska は $GI/G/s$ (入力が再生過である複数窓口系) に対し、各種の invariance relation を導びいています。ただしポーランドでの待ち行列研究の歴史はまだ浅く、研究者は若い人が中心になっているようです。

4. シンポジウム

この研究会は、Symposium on queueing theory and related topics といい、1月9日より1月17日までポーランドのカルパッチ (Karpacz) で開かれました。主催は、プロツワフ大学で、世界14カ国から50人ほどが参加しました。主な出席者は、A. Borovkov, V. S. Koroliuk (ソ連), J. Tomko (ハンガリー), D. König, P. Franken (東独), R. Shassberger (西ドイツ), R. L. Disney, S. Jr. Stidham (米), P. Bremaud (仏), N. K. Jaiswal (インド), E. Arjas (フィンランド) などです。講演は各自1時間ほどで、英語で行いました。また別にOR学会でとり入れているペーパー・フェアに当る poster session もありました。発表には点過程の待ち行列への応用と insensitivity の話が多かったのですが、印象に残ったものは特にありませんでした。多くの人が自分の仕事をやさしく解説することに力をそいでいることが印象的でした。私にとっては語学力の不足が決定的ハンデでしたが、50人ほどが毎日顔をつき合っているのですから自然といろんな人と話することになり、専門の分野では突っこんだ議論もできよい勉強となりました。さらに朝食時には愉快的催しがあったり、遠足や山登りも時々、企画され楽しく過すことができました。将来、日本においてもこの種の会合ができればすばらしいことと思います。