

研究報告書

「輸送と渋滞に関する諸現象の統一的解析と渋滞解消」

研究期間：平成19年10月～平成23年3月

研究者：西成 活裕

1. 研究のねらい

現代の車社会において交通渋滞は大きな社会問題であり、年間の経済損失は国家予算の約7分の1に相当する。また近年、大災害時やイベントでの群集の殺到やパニックに対する安全性確保に関心が高まっている。さらに、企業では収益性を向上させるため、製造工場における在庫削減や物流の効率化などに真剣に取り組みはじめている。これらは全て「渋滞」という言葉で統一的に捉えることのできる社会問題であり、この広い意味での渋滞のメカニズムを数理科学的な手法で解析し、そしてその緩和や解消方法を社会へ提言することが研究のねらいである。

流れや輸送に伴う渋滞はこのように車だけのものではなく、人やアリ、インターネット、そして我々の体内にも存在する。これらを最新の数理科学を用いて抽象化し統合的に研究することで、車や人、在庫の渋滞緩和に役立つ新しい知見を探す分野横断型の研究を進める。また同時に現実のデータを詳細に分析し、新たに実験も行なうことで、現実をきちんと見据え理論と現実の両面からバランス良く研究してゆく。このように、厳密な数理を用いた解析により、結果の信頼性や高精度化を図り、また様々な渋滞データの分析により実際の現象の本質を見極めることで、具体的な「車・人・在庫物流」の諸問題について渋滞予測や解消方法を考える。そして最終的に社会での実践を目指し、関係機関に提言しながら数理を基盤に渋滞解消へのブレークスルーをめざす。

2. 研究成果

●高速道路における車の渋滞について、渋滞発生直後にその領域への車の流入を上流から抑制することで、渋滞を緩和する社会実験に成功した。これは車間距離で渋滞を吸収するためにペースメーカー車を走らせ、また速度を徐々に落とすことで流量を調整し、さらに車間距離を動的にコントロールすることで2次渋滞を防ぐものである。実際に相模湖バス停付近で時速50km近くまで落ち込んだ流れを時速80km近くまで回復することに成功した(図1)。

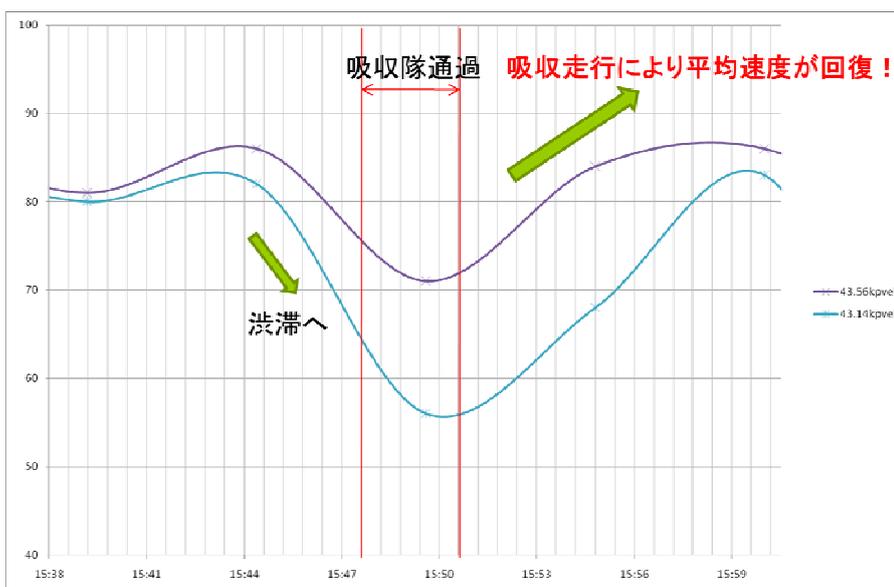


図1: 相模湖バス停付近の速度データ(縦軸: 速度、横軸: 時刻)。午後15時44分ごろに渋滞が発生したが、その後渋滞吸収車が通過することで速度が回復した。

● 渋滞形成実験をすることで、ボトルネック無しでも自然渋滞が発生することを示した。しかも渋滞発生直前に、メタ安定の様流れができ、それが崩壊する様子を観測することができた(図2)。これは車の追従モデルの理論による渋滞形成を支持する重要な結果となった。

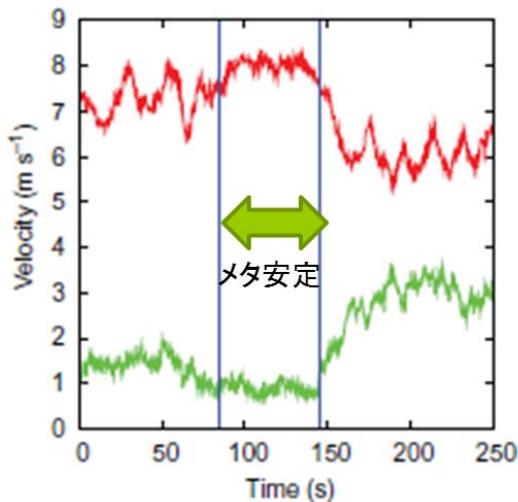


図2: 円周上を走行する車群の平均速度(赤)と速度の分散(緑)。渋滞直前に平均速度が上昇して分散が低くなることから分かる。

● 群衆が扉などのボトルネックから退出する際に、ポールなどの障害物を置くことで逆に流出がスムーズになることを実験的に検証した(図3)。さらに平均場近似による理論を構築し、障害物の条件について明らかにした。さらにこの人の密集状態と粉粒体の流れを比較するために、粉粒体の実験を行った。粉粒体の場合には、障害物による流量上昇はみられなかった。



図3: ボトルネックからの人の流出実験。障害物としてポールを設置した方が、流動係数(単位時間、単位幅当たりの流量)が上昇した。

● アリの流量と密度を詳細に観測し、自然環境でアリは渋滞しないことを見出した。自然環境では、密度は約0.7以上上昇することはない、また速度も密度の上昇があってもほとんど低下しないことが示された(図4)。

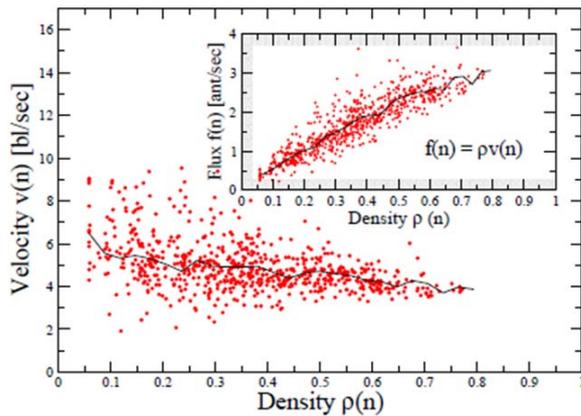


図4: アリの速度—密度図と、流量—密度図。渋滞相が存在しないことが分かる。

3. 今後の展開

単純な流れの基礎モデルは完成したため、今後は目的に応じてより車らしく、そして人らしくモデルのルールを拡張していくことが必要になる。例えば、複数車線ある場合の車両挙動、サグ部やトンネルでの運転特性、また大型車や小型車での加速性能の違いなど、車のモデルのより現実に近い拡張が課題である。そして道路のネットワーク構造を加味した大域的なモデル化も重要だろう。人のモデルに関しても、これまでは単純で均一な群衆を考えていたが、実際はグループを形成し、また年齢や文化背景、そして感情状態の違いによる行動変化がある。こうした特性を加味したモデルはこれまでほとんど研究がなされておらず、今後発展が期待できる分野である。

そして近年は観測機器の発達により、高精度のデータが取得可能になってきた。特に、GPSや加速度計など、様々なデバイスを使って行動を追跡できるようになった。こうした機器により、これまでのモデルの検証を精緻に行うとともに、新しい行動特性の発見も期待できる。

そして研究成果を社会に還元していくことが今後の展開として最も重要であると考えている。既にこれまでいくつかの社会実験を行い、高速道路での渋滞緩和が成功している。また、人の混雑に関しても、障害物の設計方法などに関して実用上有益な知見が得られている。物流に関しても、混流生産時の最適なロットサイズが計算できる場合が分かってきており、こうした結果を実際に関係機関と協力して社会還元をしていきたい。

4. 自己評価

3つの研究の柱、つまり車、人、モノの流れについて、その統一的な数理モデルの作成、及びその結果の社会実践を行う、という当初の目標は十分に達成されたといえる。車の新しいモデルの作成とそれによる交通流の数理解析は実車を用いた実験と高精度で合うことが分かった。そして渋滞を相転移現象として捉え、渋滞領域への流量を抑制することで渋滞解消が可能であることを実験により示すことができた。さらにその実験映像が実際に本年2月より阪神高速道路のSA等で流されることが決まり、数理的的手法による渋滞緩和方法が社会的に認知されるようになってきた。また、昨年10月から供用開始した羽田国際空港の物流ターミナルの出入り口設計に渋滞理論が取り入れられ、現在入場ゲートの運用に使われている。このように理論だけでなく社会貢献を進めることができ、応用面では当初の目標をはるかに上回る成果を上げることができた。

理論面では、人のボトルネック流れでの障害物効果による流量上昇について、新たに数理モデルを構築して理論解析を行い、それが実験結果を十分再現するものであることが分かった。この成果により日本応用数理学会論文賞を受賞することができた。さらに製造工場での混流

生産時におけるロットの決定について、渋滞理論から最適なロット組み合わせについて評価基準を作成することができた。これは現在関係企業と実験に向けて調整中である。以上、車、人、モノの流れについて理論および実践とも期間内に満足のいく結果を得ることができた。

5. 研究総括の見解

車だけではなく、人やアリ、インターネットなど「流れや輸送に伴う渋滞」を最新の数理科学を用いて抽象化し統合的な研究を行なった。現実のデータや新たな実験結果を厳密な数理を用いて解析することにより、結果の信頼性や高精度化を図るとともに、具体的な「車・人・在庫物流」の諸問題について渋滞予測や解消方法を提案することに成功した。より広く社会システムの数理的デザインという立場から今後の発展が期待される。

6. 主要な研究成果リスト

(1)論文(原著論文)発表

1. Katsuhiro Nishinari, Mitsuru Iwamura, Yukiko Umeno Saito and Tsutomu Watanabe, "The bursting of housing bubble as jamming phase transition", Journal of Physics: Conference Series vol.221 (2010) p.012006
2. Daichi Yanagisawa, Ayako Kimura, Akiyasu Tomoeda, Ryosuke Nishi, Yushi Suma, Kazumichi Ohtsuka, and Katsuhiro Nishinari, "Introduction of frictional and turning function for pedestrian outflow with an obstacle", Phys. Rev. E, vol.80(3), (2009) p.036110
3. Ryosuke Nishi, Hiroshi Miki, Akiyasu Tomoeda and Katsuhiro Nishinari, "Achievement of alternative configurations of vehicles on multiple lanes", Phys. Rev. E vol.79, (2009) p.066119
4. Alexander John, Andreas Schadschneider, Debashish Chowdhury and Katsuhiro Nishinari, "Trafficlike Collective Movement of Ants on Trails: Absence of a Jammed Phase", Phys.Rev.Lett., vo.102 (2009) p.108001
5. Y. Sugiyama, M. Fukui, M. Kikuchi, K. Hasebe, A. Nakayama, K. Nishinari, S. Tadaki and S. Yukawa, "Traffic jam without bottleneck – Experimental evidence for the physical mechanism of forming a jam" New Journal of Physics vol.10 (2008) p.033001

(2)特許出願

研究期間累積件数:3件

(3)その他(主要な学会発表、受賞、著作物等)

国際会議での招待講演

1. Transport and Crowd Management Workshop 2010(2010年5月2日、サウジアラビ, Jeddah)
"Mega-scale crowd management for safety and efficiency"
2. THE CROWD, A COLLECTIVE AGGREGATION AS DYNAMICAL PHENOMENON 2010 (2010年4月1日、イタリア, Milano-Bicocca 大学)
"Toward smooth motion of crowd: theory and experiments"
3. COMPLEX09(2009年11月4日, 中央大学)
"Physics of self-driven particles"
4. DARSシンポジウム(2008年11月18日, 筑波大学)
"Jamology –physics of self-driven particles–"
5. PED2008(2008年2月29日、ドイツ, Wuppertal 大学)
"Toward smooth motion of Crowd"

受賞

平成 22 年度日本応用数学会論文賞(応用部門), 2010/09/07

柳澤大地, 木村紋子, 友枝明保, 西遼佑, 須摩悠史, 大塚一路, 西成活裕,
"Analysis on an Impact of Conflict, Turning, and an Obstacle on
Pedestrian Outflow", 日本応用数学会論文誌, 19(3), pp. 279–292, 2009

著作

1. "Stochastic Transport in Complex Systems: From Molecules to Vehicles",
Andreas Schadschneider, Debashish Chowdhury, Katsuhiko Nishinari,
Elsevier Science (2010/12/8)
2. 「渋滞」の先頭は何をしているのか? (単著、宝島社新書, 2009 年6月10日)
3. 図解雑学シリーズ「よくわかる渋滞学」(単著、ナツメ社, 2009 年7月21日)

報道

1. Nature Japan <http://www.natureasia.com/japan/jobs/tokushu/detail.php?id=197>
2. NHK テレビ「ワンダー×ワンダー」(2009/9/19)
3. 日経新聞夕刊一面「拓くひと: 壁を越えて」(2009/5/13)
4. NHK テレビ NHKニュース(19時) (2009/5/3)
5. 日本テレビ「世界一受けたい授業」(2008/11/15)