

ナゴヤドーム渋滞形成実験

杉山雄規¹, 菊池誠², 只木進一³, 中山章宏⁴, 柴田章博⁵, 西成活祐⁶, 湯川諭⁷, 吉田立⁸

¹名古屋大学情報科学研究科 ²大阪大学サイバーメディアセンター ³佐賀大学学術情報センター

⁴名城大学理工学部 ⁵KEK 計算科学センター ⁶東京大学先端科学技術研究センター

⁷大阪大学理学研究科 ⁸中日本自動車短期大学

概要

2009年12月ナゴヤドームにおいて、円周サーキット上の車両走行による渋滞形成実験を行った。
実験方法の概略と preliminary な結果について報告する。

Experiment of traffic jam in Nagoya Dome

Yuki Sugiyama¹, Makoto Kikuchi², Shin-ichi Tadaki³ Akihiro Nakayama⁴,
Akihiro Shibata⁵, Katsuhiro Nishinari⁶, Satoshi Yukawa⁷, Taturu Yoshihida⁸

¹Department of Complex Systems Science, Nagoya University ²Cyber Media Center, Osaka University,

³Information Center, Saga University ⁴Department of Physics, Meijo University

⁵Computing Research Center, KEK ⁶RCAST, University of Tokyo

⁷Department of Physics, Osaka University ⁸Nakanohon Automotive College

Abstract

We report the experiment of emergence of a jam on a circular track in Nagoya Dome.

1 はじめに

交通流の研究は、1990年代後半に数理模型のシミュレーションにより、渋滞形成を動的相転移現象と理解する観点が導入された。我々は、さらに協同現象による揺らぎの増幅が渋滞発生に至ることを実証するため、2001年中日本自動車短期大学のグラウンドにおいて円形サーキット走行実験を行い、渋滞形成に成功した。渋滞形成には、臨界密度以上であればボトルネックなどの他の要因は本質ではないという理論の例証として大きな反響を得ている。その報告論文[1]は、NJPの2008年BestPaperに選ばれ、Science, NewScientist, Telegraphや海外数10件のWebジャーナルの記事に掲載され(図1), Discoveryなど数ヶ国の科学番組でテレビ放映、世界的に報道され、問い合わせが続いている。また実験映像はYouTubeに掲載され、現在アクセス数は100万回を超えている。”Shockwave traffic jam recreated for first time”と報じている。

The screenshot shows a news article from NewScientistTech dated March 2008. The headline reads "Shockwave traffic jam recreated for first time". The article discusses how researchers recreated the phenomenon on a test-track. It includes a small video thumbnail showing a circular track with cars.

図1: NewScientist の Web: 2001 年中日本自動車短大における円周サーキットによる渋滞形成実験

昨年2009年、ナゴヤドームにおいて天候に左右されず、より大きな円周サーキットにより組織的な渋滞形成実験を行い、回転レーザスキャナにより各車

両運動の時系列詳細データを得た。このレポートでは、その実験についての preliminary な報告を行う。

2 実験の設定

2.1 実験場と走行計画

前回 2001 年の実験では、円周 $230m$ で走行車両台数は 22 台と 23 台であった。今回 2009 年の実験では、円周 $300m$ (図 2) で、20 ~ 40 台の車両で走行し、20 回のランを実施した。戸外のサーキットと違い、ドームの場合は周辺の景色がほぼ均一で、データ測定の点でも有利である。実験に使用したテストカーは同一の車種(ヴィッツ、色はシルバーではほぼ統一)50 台をレンタカーで調達し、実験ドライバーは 50 名(中日本自動車短大の学生諸君)であった。実験走行は 2 日間にわたり、初日前半はドーム内の走行に慣れるためのテストランを実施、午後から 20 ~ 40 台の間で 5 台ごとに台数を増やし、5 回の走行により臨界密度のおおまかな estimation を行った。2 日目は、渋滞発生台数の下限と上限を求めるために、臨界密度と思われる台数付近で 10 回のランを行った。またドライバーによる不定性の少ない結果を得るために、同じ台数で数回のランを行った。また、台数を増やさない限りは同じ車両を使い、ドライバーのみを入れ替えるようにした。

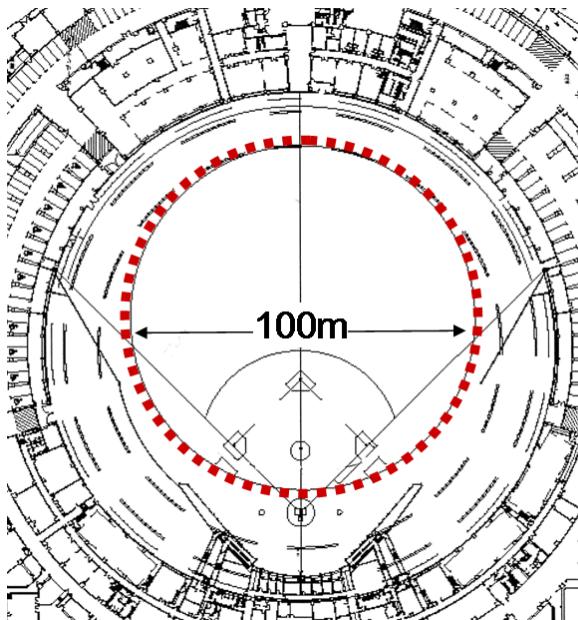


図 2: ナゴヤドームアリーナ内に設定した円周サー
キット

2.2 データ測定方法

前回は、円周サーキット中心(地面)に全周ミラー全方位ビデオカメラを設置し、円周状に走行する全車両のビデオ動画像から、各車両の点をプロットし、各時刻におけるサーキット上の位置(角度座標)を手作業でデータ化した。

今回は、円周サーキット中心(床面)に高速度で回転するレーザースキャナを設置し、各時刻における全車両の円周上の位置を 0.1 秒単位でコンピュータにオンラインでデータ化し、実験ランの進行と同時に収録していった。これにより、20 回の各ランの様子を直接データ化することが可能となった(図 3)。



図 3: 高速回転レーザースキャナ

また同時に、デジタルデータを補完する必要が生じた場合も考慮に入れ、全周ミラー全方位ビデオカメラ(図 4)をドームに備えつけられているセンター ユニットに取り付け、円周中心上方に設置し(図 5)、全車両が一斉に走行している状態の動画像ムービーも収録した。さらに、デモンストレーション用にスタンド 2 階席上方の 4 回所より、バードビューの走行動画像も撮影した。

3 Preliminary な実験結果

3.1 今回の実験目的

前回の実験は、理論の実証という意味でとにかくも、ボトルネックの無い均一な走行条件における実際の車両の走行実験によって渋滞が発生することを示すこと自体が大きな目的であった。慣らしランも含めて数回の試行であった。今回は、走行条件も整



図 4: ナゴヤドームセンターユニットに取り付けられた、全周ミラーを使った全方位ビデオカメラ。上部に全周ミラーがあり下部にビデオカメラが取り付けられている。



図 5: 円周サーキット床面の中心に設置されたレーザースキヤナとセンターユニットにより円周中心上方に設置された全方位ビデオカメラ。

え、データ収録方法もシステム化され、本格的な実験の体裁になったといえよう。

今回は、10 数回のランにより、渋滞形成が起こる車両密度の範囲（下限-上限）を測定することに目的を絞り、走行結果を考察しながら台数を変化させていった。また、レーザースキヤナにより詳細な車両運動の時系列データを得られることより、前回の実験データの解析により示唆された渋滞発生直前のメタ安定状態の出現など [2]、非平衡動的過程についての詳細情報を解析できると期待している。

3.2 概観

二日目は、25 ~ 34 台までの範囲で 10 回のランを実施した。その結果、おおよそ 30 台から 34 台のあたりが渋滞形成が起こる一様流の不安定相の領域と思われた。前日の 20 ~ 40 台のランの結果と総合し、25 台以下では明らかに不安定性は見られず、28 台あたりを二度ドライバーを替えて走行したが不安定性は見られるものの明確な渋滞発生には至らなかつた。30, 34 台では明瞭な渋滞が見られた。35 台では一様な低速運転が続き、40 台ではかなり低速で、走行可能な限界の密度と思われた。図は 34 台の走行で、綺麗に渋滞ができている様子のスナップショットである。

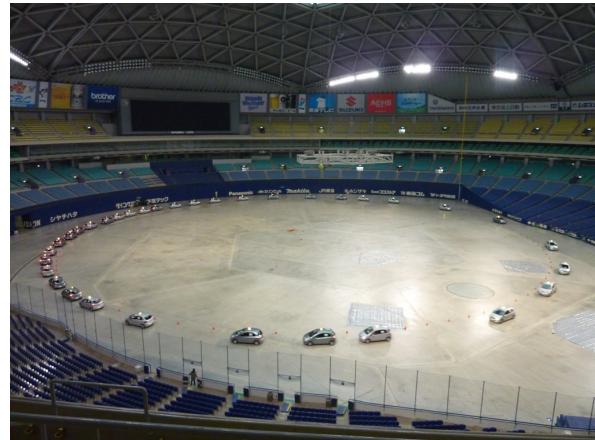


図 6: 34 台の走行のバードビュースナップショット。

今回の実験で得られた、渋滞が発生すると思われる不安定領域の車流密度は、平均車両間隔で約 8.8 ~ 10.0m であり、前回実験の渋滞が発生した 2 ランでは 10.0, 10.45m で、このあたりが 300m 程度の走行の長さ・速度スケールにおける臨界車間の範囲であろうと思われる。高速道路では、大体 1km あたり 25 台が下限の渋滞密度であり、臨界平均車間は 40m

であることが知られている。もちろん、高速道路と300mのサーキット実験では、最高速度もOV関数(車間-速度の関係)もスケールが異なるので、そのまま比較しても意味はなく、物理的なスケール変換(くり込み変換)が必要である。

3.3 全車両の時空間トレース図

34台のランは、三度ドライバーを替えて実施したが、不安定性は共通に見られ渋滞も現れるが、その様子はそれぞれに異なる。異なるドライバーでももちろん、同じドライバーでもその時の運転の仕方によっても違いは現れる。

図7と図8はいづれも34台の走行で、いづれも不安定な状態から渋滞が発生している。図7では、“弱い”渋滞が見える。渋滞クラスタ内でも車はゆっくりと走行しており、ときおり渋滞が解消しかけそうな場面も見られる。しかし、全体としてはあくまで渋滞が存在し、渋滞クラスタの孤立波は車の進行に対して後方に伝播していることがわかる。

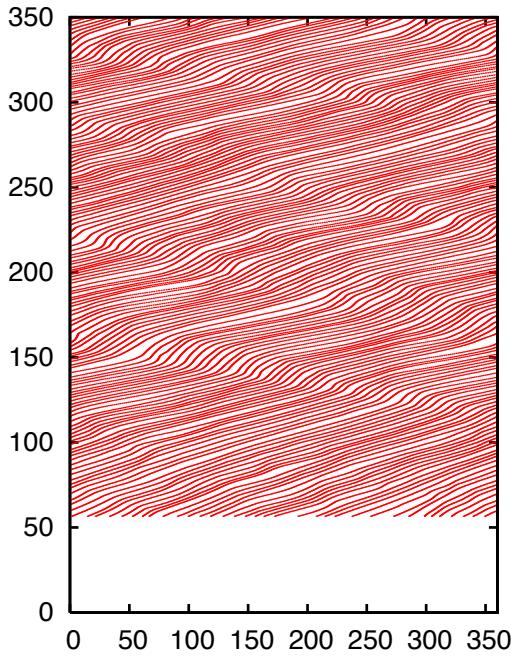


図7: 34台の全車両の走行の時空トレース(1)。縦軸は時間(単位秒)、横軸は円周の角度。

図8では、かなりはっきりした“強い”渋滞が形成されている。渋滞クラスタ内の車両の時空トレース線が縦軸に平行に立っており、クラスタ内で車がほぼ静止している完全なstop-and-go waveが形成されていることが観測される。

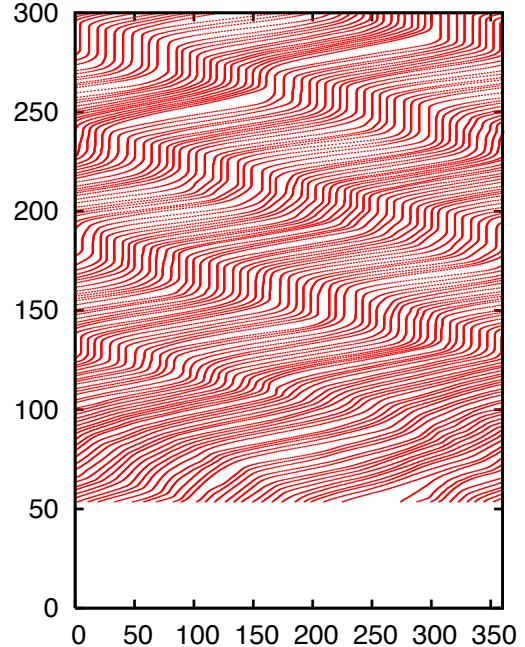


図8: 34台の全車両の走行の時空トレース(2)。

4 おわりに

今回の実験における20ランから得た測定データは、清浄化をほぼ終え、解析中である。今回の報告はほんの一部であるが、今後さらに多くの解析結果が得られ、渋滞形成による実測実験から、非平衡過程のクラスタ形成における様々な新しい知見が得られると期待している。

この実験は、科学研究費補助金基盤研究B、および三菱財團自然科学研究助成により行われた。測定装置の開発では株式会社ZICK、名古屋大学金工室の支援を受けた。実験車両の提供ではトヨタレンタリースに、実験ドライバーとなった中日本自動車短期大学の学生諸君、そして何より、実験場を提供していただいたナゴヤドームに心より感謝いたします。

参考文献

- [1] Y. Sugiyama, M. Fukui, M. Kikuchi, H. Hasebe, A. Nakayama, K. Nishinari, S. Tadaki, S. Yukawa, New Journal of Physics 10, 033001 (2008)
- [2] A. Nakayama, M. Fukui, M. Kikuchi, K. Nishinari, Y. Sugiyama, S.-i.Tadaki, S. Yukawa, New Journal of Physics 11, 083025 (2009)