

## 空港の渋滞解消に向けたイベントモデルの応用

木村, 紋子  
東京大学工学研究科

西成, 活裕  
東京大学工学研究科、科学技術振興機構さきがけ

<https://doi.org/10.15017/14297>

---

出版情報：応用力学研究所研究集会報告. 20ME-S7 (25), 2009-02. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン：

権利関係：

応用力学研究所研究集会報告 No.20ME-S7  
「非線形波動の数理と物理」(研究代表者 矢嶋 徹)  
共催 九州大学グローバル COE プログラム  
「マス・フォア・インダストリ教育研究拠点」

Reports of RIAM Symposium No.20ME-S7  
*Mathematics and Physics in Nonlinear Waves*

Proceedings of a symposium held at Chikushi Campus, Kyushu University,  
Kasuga, Fukuoka, Japan, November 6 - 8, 2008

Co-organized by  
*Kyushu University Global COE Program*  
*Education and Research Hub for Mathematics - for - Industry*

Article No. 25 (pp. 150-154)

# 空港の渋滞解消に向けた イベントモデルの応用

木村 紋子 (KIMURA Ayako),  
西成 活裕 (NISHINARI Katsuhiko)

( Received January 27, 2009 )



Research Institute for Applied Mechanics  
Kyushu University  
February, 2009

# 空港の渋滞解消に向けたイベントモデルの応用

東京大学 工学系研究科 航空宇宙工学専攻 木村紋子 (Ayako Kimura)  
(独) 科学技術振興機構さきがけ 西成活裕 (Katsuhiko Nishinari)

## 概要

本稿では、イベント会場などの人の出入りがある場所における混雑状況をマクロに把握するためのツールとしてイベントモデルを提案する。さらにイベントモデルの拡張を行なって、拡張されたモデルの安定性・振動性を議論する。本モデルの数値シミュレーションと成田空港の入国審査場における計測の比較を行なう。

## 1 はじめに

私たちの身の回りには渋滞があふれている。駅、空港、商業施設、イベント会場などが人でごった返しているのを見た、あるいは経験した方も多いのではないだろうか。人間の群集運動に関する研究は、古くは社会心理学などの分野で行なわれてきたが、現在では数学や物理を利用した群集運動の研究も盛んになってきている。本研究は先に挙げたような人の出入りのあるような場所における渋滞現象に対して、空間内のマクロな滞在人数変化を把握し、分析するための手法としてイベントモデルを提案する。イベントモデルにより滞在人数のマクロな挙動を知り、人数調整あるいは渋滞の解消に役立てることが本研究の目的である。特に近年、成田空港などの国際空港ではラッシュ時の非常な混雑が利用者を悩ませており、渋滞解消が急務となっている。今回は空港内の入国審査場に注目し、その渋滞の様子をモデル化した。入国審査場での混雑状況がマクロに把握できることにより、今後審査官の人数配分や配置に関する助言ができるようになると思われる。さらには、入国審査場に限らず空港内全体の渋滞にモデルを適用し、渋滞予測を行なうことにより、快適に空港を利用できるようにするはずである。

## 2 イベントモデルの紹介

イベント会場などの人の出入りがある場所の混雑状況のモデルとして、イベントモデルを提案する。人の出入りについて次のように考えてモデル化してみよう。

1. ある空間内に滞在している人数を時刻の関数として  $n(t)$  とする。
2. 滞在人数  $n(t)$  の時間変化は入場者数と退場者数の差と考える。
3. 入場者は滞在人数  $n(t)$  に引き付けられて入ってくるとし、退場者は入場後、滞在時間  $\tau$  を過ぎてから出ていく。

入場者を引き付ける効果（中でどんなイベントが行なわれているか気になる効果）を  $\alpha$ 、退出させる効果（空間内にいる滞在人数のうち何割かが退出する効果）を  $\beta$  という係数でみると、イベントモデルは次のような微分方程式で表すことができる。

$$\frac{dn(t)}{dt} = \alpha n(t) - \beta n(t - \tau) \quad (1)$$

ここで (1) 式は線形の微分差分方程式であるので、簡単に厳密解を求めることができそうであるが、時間遅れの項  $n(t - \tau)$  があることによって非線形性を持ち、解析が困難であることに注意する。

### 3 イベントモデルの拡張

#### 3.1 国際空港の入国審査場への応用

国際空港の入国審査場の渋滞にイベントモデルを応用する。入国審査場における入場者は、到着した航空機から降りてくる人々であるので、半ば強制的に入場させられる。

そのため、イベントモデルを変形し、入場者数を審査場内にいる人数によらないようにする。

$$\frac{dn(t)}{dt} = \alpha(t) - \beta n(t - \tau) \quad (2)$$

$$\alpha(t) : \text{航空機の到着分布} \quad (3)$$

$\tau$  を入国審査場における待ち時間、 $\beta$  を入国審査官が処理できる能力とする。審査官が処理できる能力は、審査官の技量もさることながら、審査官の人数・審査対象となる人の種類及び人数（日本人であるか外国人であるか）などの要因によって刻々と変化していることが予想される。そのため、 $\beta(t) = \beta n(t - \tau)$  と簡略化して考える。また、 $\beta, n(t), \tau$  は相互に関係を持っていると考えられるが、今回はお互いに独立として解析を行なう。

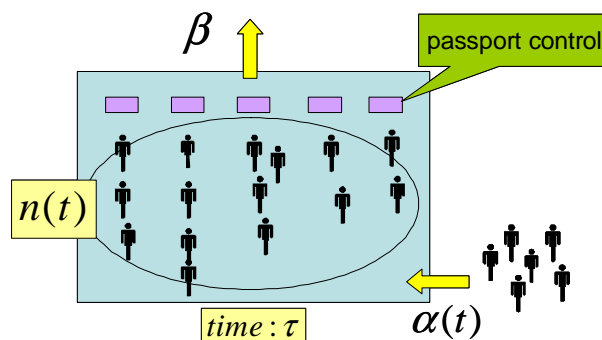


図1 モデルの概念図

#### 3.2 モデルの安定性及び振動性

入国審査場用イベントモデルの安定性及び振動性解析を行なう。簡単のため  $\alpha(t) = 0$  とする。本モデルの解として  $n(t) \propto e^{(-\gamma + i\omega)t}$  という解を仮定すると、滞在人数が発散しないためには  $\gamma > 0$  であることが必要

である。これより安定性が切り替わるのは  $\gamma = 0$  のときであると考えられる。[1],[2] また、振動性が切り替わるのは  $\omega = 0$  のときである。

まず (2) 式に  $n(t) \propto e^{i\omega t}$  を代入し、 $\gamma = 0$  のときの  $\tau_{c1}$  (滞在時間の臨界値) を求める。

$$\tau_{c1} = \frac{\pi}{2\beta} \quad (4)$$

同様にして  $n(t) \propto e^{-\gamma t}$  を代入し、 $\omega = 0$  のときの  $\tau_{c2}$  を求める。

$$\tau_{c2} = \frac{1}{\beta e} \quad (5)$$

以上から本モデルの安定性及び振動性は図 2 のようにまとめることができる。

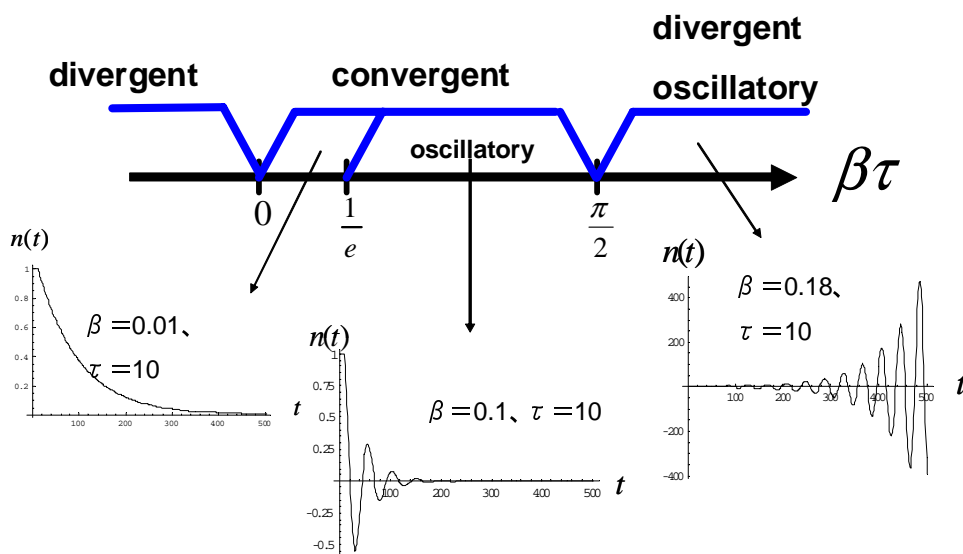


図 2 イベントモデルの安定性及び振動性

### 3.3 入国審査場用イベントモデルのシミュレーション

入国審査場用イベントモデルの  $\alpha(t)$  (到着分布) を適当に設定することにより、シミュレーションを行なう。さらに、実際に成田空港の入国審査場で行なった計測結果と比較する。

2008年3月7日(通常期)と2008年9月7日(繁忙期)に成田空港の入国審査場において計測を行い、滞在者数の時間変化を示したグラフが図4、図6である。

さらに当日の到着分布を矩形波で近似し、 $\alpha(t)$  としてシミュレーションを行なった結果が図5、図7である。

これらから、入国審査場用イベントモデルのシミュレーションと計測結果を比較すると、定量的には一致していないものの、ピークの回数が一致しており、振動の様子が似ている。しかし、図7において、滞在人数が負となっており現実と合わない。

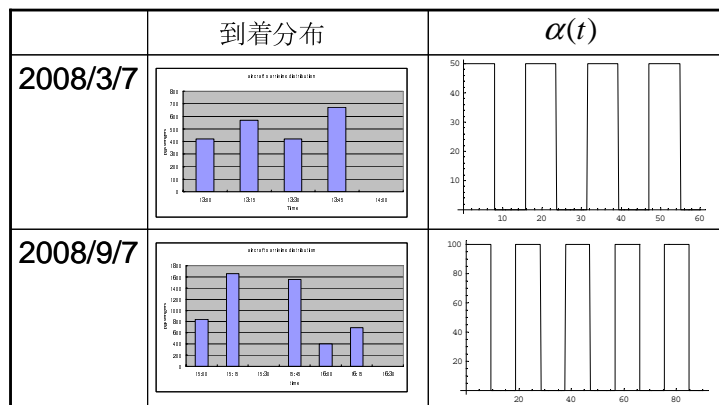


図3 当日の到着分布及びそれを近似した矩形波

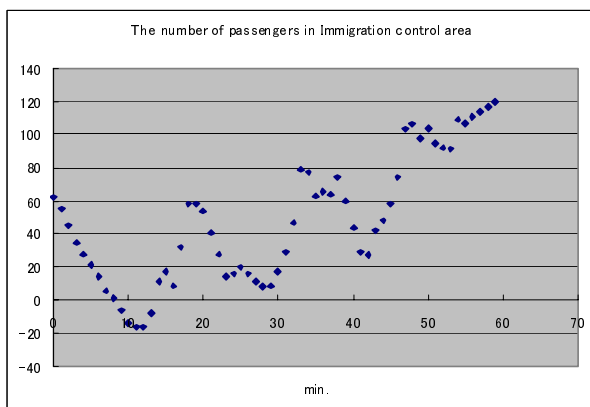


図4 2008/3/7の入国審査場における滞在人数

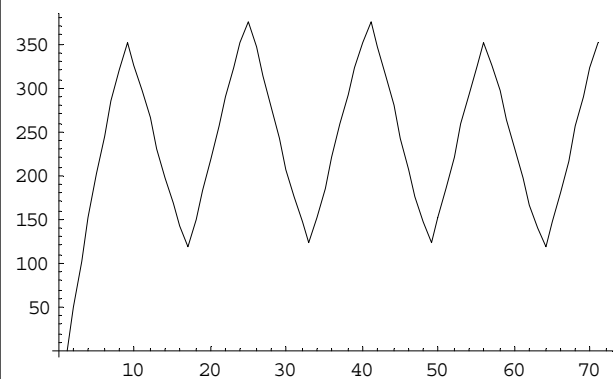


図5  $\beta = 0.1, \tau = 3$

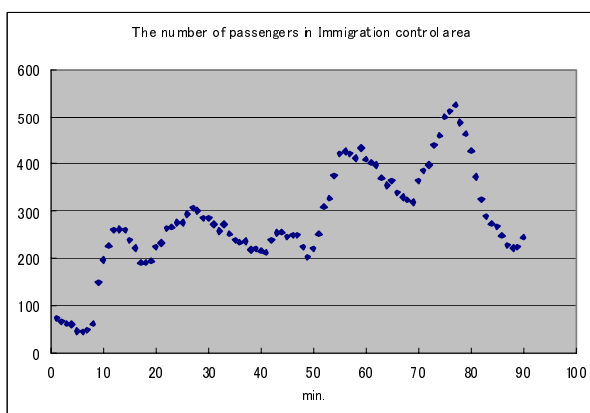


図6 2008/9/7の入国審査場における滞在人数

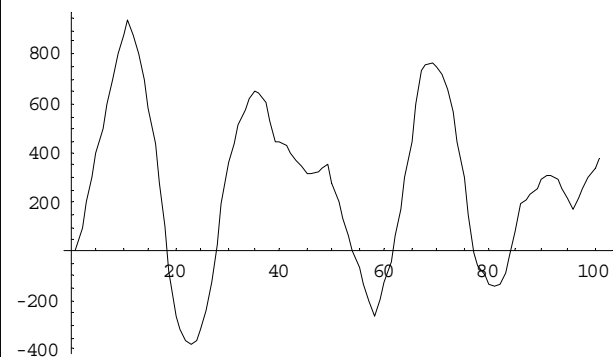


図7  $\beta = 0.2, \tau = 7$

## 4 まとめ

本研究ではイベントモデルというマクロな滞在人数を把握するためのモデルを提案した。さらに、イベントモデルを拡張し空港の入国審査場の混雑状況を表すモデルを構築した。この入国審査場用イベントモデルの解、及び安定性振動性について議論し、安定性・振動性解析の中で、係数  $\beta$  だけでなく滞在時間  $\tau$  の臨界値  $\tau_c$  が、安定性振動性に大きく寄与することがわかった。さらに、成田空港の入国審査場における渋滞のシミュレーションを行なった。シミュレーションと計測結果を比較すると、まだまだ改良の余地はあるものの定性的に渋滞現象を表すことができた。

今後、 $\beta, n(t), \tau$  の関係を明らかにしてモデルを改良し、より現実に近づけていきたい。

## 参考文献

- [1] 大平徹, ノイズと遅れの数理, 共立出版, 2006
- [2] 内藤敏機ほか, タイムラグを持つ微分方程式, 牧野書店, 2002
- [3] 池原止丈夫, 応用数学講義, 学術図書出版社, 1964