

歴史事象の発生間隔はベキ乗分布をなすか？

大西 輝明

(2014年11月)

歴史事象発生時刻の間隔頻度に関する確率分布形状を調べ、それを説明するモデルを提案した。紛争や戦争、およびそれに類する歴史の継続期間中での事象発生の間隔を十数件にわたって調べた結果、これらの多くは概ね $-1 \sim -2$ の範囲のベキ値を持つベキ乗型分布をなす可能性が判明した。モデルでは多数のステークホルダーと多数の事象アイテムからなる社会を考慮し、各ステークホルダーははじめに発生した事象 (impact action) の reaction として様々なアイテムに属する事象を生起させ得ること、事象のこの生起確率はその時点での impact action の記憶の強さに非線形に依存していること、インパクトの強さの記憶は時間とともに非線形に減衰することなどを前提とした。当該モデルはベキ乗型や stretched exponential 型の確率分布をよく説明できることがわかった。

キーワード: 歴史事象、発生時刻間隔、ベキ乗分布、stretched exponential、記憶、忘却、生起率、非線形性

1. はじめに

ある自然現象が独立事象であり、その時間的な発生確率がランダムである場合には当該現象は(発生頻度が時間に関してポアソン分布をなす)ポアソン過程となる。この場合、発生する事象間の時間間隔に関する確率分布関数は指数関数で与えられるものとなる。しかし、自然現象の統計分布ではこの関数はベキ乗型をなしているものも多く、その場合には現象毎に固有の機構が介入しており、それによってランダム過程が変容したことによると考えられている(1~5)。人間の関与する現象では個人の意思や個性、目的をもって行動しようとする人本来の特性などが顕現する結果、事象が時間的にランダムに発生するということはほとんど期待できない。この場合一般に、ふたつの発生事象間の時間間隔の分布関数はベキ乗型、または(指数関数型とベキ乗型の間隔的な) stretched exponential 型となることが多い。このような例は、eメール発信(time-rescaled e-mail)(6,7)、郵便物の応答(8)、計算機のプリントアウト(printing behavior)(9)、Web サイトアクセス(Web browsing)(10~14)、図書貸し出し(library loan)(15)、有料映画鑑賞(rating movies)(16)、ツイッター(17)、単行本売上ランキング(book sale rankings)(18)等、人の関与する多数の統計現象で指摘されている。

こうした現象の特徴は長い静止期間と集中的な発生期間(burst)との繰り返し

であることに注目し、Goh らは、事象間の時間間隔分布の様相は事象相互の相関挙動、すなわち記憶と関連して理解できる可能性を指摘している(19)。同様に Vazquez(20)は人々の記憶が次の行動に影響をあたえとするモデルで情報発信のベキ乗分布が、Sano ら(17)はブログへのアクセス数分布がそれぞれ再現できるとした。Hanら(12)は人の行動に関する interest-based model を、Vazquezら(6, 15, 21)は decision based queuing model をそれぞれ提唱し、これらによってベキ乗分布を説明しようとした。Zhou(16)らは、有料映画鑑賞のような interest-driven system ではベキ乗型の事象時間間隔分布が集団レベルだけではなく、個人レベルでも現れることを指摘している。一方 Hidalgo(22)は、多数のポアソン過程を重畳した集団レベルでは、分布はベキ乗型に帰着することを指摘している。

こうした従来の研究では特性のそろった人々を対象とし、これらの人々の関与する(eメール返信や郵便返信などの)「単一事象」の発生時刻間隔を議論するものであった。では、考慮する事象が多岐にわたる場合や、多くの対象層(人々)が混在し、それぞれが異なった価値観や判断基準を有している、いわば「汚い」サンプルについてもなお、発生時刻間隔はベキ乗分布を有するのであろうか。こうした事柄を検討するためにここでは歴史事象を取り上げ、それらの発生時刻間隔の頻度分布を見てみることにする。用いる資料は歴史年表である。

第2章ではこうした資料から抽出した時間間隔頻度分布のいくつかの例を示す。第3章では、歴史事象は多数のステークホルダー(利害関係者)が関与した複雑系で、事象のインパクトの強さと忘却する記憶量とに依存して次に続く事象が発生するとするモデルを提示し、これによってベキ乗型や stretched exponential 型の分布が説明できることを議論する。第4章は concluding remarks である。

2. 歴史事象発生間隔の頻度分布例

いま、内政や外交、産業や文化などの事象の(分類上の)種類を事象アイテムと呼ぶことにする。独立した主体が時間的にランダムに事象を発生するならば、その発生時刻間隔の頻度分布(確率分布)は、既述のとおり指数関数型となる。すなわち閉じた社会で、ある特定のアイテム(事柄)に係る事象が突発するような場合には、当該アイテムの事象の時間間隔分布は指数関数形となる。

図1(a)は1930~2003年の間の2296件にわたる近現代中国における政治関連事象(23)の発生時刻間隔分布である。当図を含め以下の図では、頻度が0となるような(しかし、隣接するビンでの頻度は0ではないような)大きい Δt の場合には、そこで有限の頻度となるよう Δt のビン幅を大きくとって統計的に調節している。この分布はほぼ指数関数型、または複数個(例えば2個)の指数関数を重畳した型をなしており、発生事象はそれぞれ独立に生じたものと捉えることができる。

以下では、ある時刻での発生事象を action、それに続く発生事象を reaction として捉え得るようなアイテムに限定して考慮することにしよう。こうしたアイテムの一つとして、ここでは戦争や紛争、緊張関係を有する組織の歴史などを例として考えてみる。

図1(b)は西暦 413 ~ 1881 年における西洋での 402 件の戦争間(24)の時間間隔分布を示す。当図の分布は指数関数型をなしていると言える。これは、戦争の発生が時間に関してランダムなポアソン過程であり、戦争相互間にはほとんど因果関係がないことを示唆している。Richardson(25)は西暦 1500 ~ 1931 年間の戦争では5年と15年の周期があると推測する一方、戦争の年間発生確率がポアソン分布をなすことも指摘している。図(a)は Richardson の戦争発生がポアソン過程であるとする所説と矛盾はしない。

一方、図(c)は朝鮮戦争中の 1950 年 6 月 25 日 ~ 1953 年 7 月 27 日における 47 件の Major conflict events(26)に関する事象時間間隔の分布(conflict events のみの時間間隔であり、これ以外の事象は含まない)であるが、事象数が少なく統計的に不確かではあるが、これも明らかな指数関数型分布をなしているように見える。戦争当事者間では通常、相互のコミュニケーションはないので、朝鮮戦争では相手に対する攻撃は(相手の攻撃に対しての反撃といったものではなく)独自の作戦に基づいて、相手の攻撃とは独立に行われたことになる。もしこれが真実ならば攻撃の頻度はポアソン過程に近いものとなり、分布が指数関数形となったことは理解できることになる。

図(d)は 2001 ~ 2004 年におけるイスラエル国内でのテロ事件関連事象 232 件、(e)は同じく 2001 ~ 2004 年での USA 国内での 259 件、さらに 2002 ~ 2004 年におけるイラクでのテロリズムとその周辺事項 228 件の発生時刻間隔分布を示している(27)。頻度分布は に関してスムーズに挙動するとは言えないが、これらテロリズム事象は総じてベキ乗分布をなしているといえよう。Kolmogorov-Smirnov statistic(28)を最小にするようなベキ値は、イスラエル、USA、イラクのケースでそれぞれ -1.13 、 -0.91 、および -1.97 であり、その平均値は -1.34 となる。1968 ~ 2006 年間のテロリズムの(被害者の)規模の頻度分布は -1.4 のベキ乗分布となる(28)。従って、少なくともテロリズムに関しては、規模と発生時刻間隔の双方がベキ乗分布をなすことになる。

テロリストの実体は常に dynamical に離合集散する(29,30)とされている。しかし、一国内でのテロリストの総体を一つの集合体とみれば、連続するテロ事件はこうした集合体(たとえば権力に敵対する勢力など)とそれに対峙する組織や権力との間の action, reaction の一連の結果であるとも解釈できよう。単純な模式化が可能なこのような例は、それを素過程と考えることができ、モデル化を行う場合にはそうしたイメージからの出発が可能となろう。しかし一般に、相続く歴史事象

は多くのステークホルダーが関与し、これらのステークホルダーの一つがある特定のアイテムに関して生起させた事象が他のステークホルダーの他のアイテム生起の原因ともなるという、極めて複雑なシステム挙動の結果であることにも注意する必要がある。

図(f)は西暦1080～1571年における十字軍と騎士団に関する89件(31)、および1071～1336年での十字軍関連事象116件(32,33)、(g)は1096～1291年におけるアラブ側から見た十字軍関連事象93件(34)の事象時間間隔をそれぞれ示す。これらに関する事象数は多くはなく、分布の形状決定は信頼性を欠く。しかし、(f),(g)は共通して200年以上の長期に亘る事象を対象としており、こうした対象期間中、考慮する事象に係るステークホルダーの特性に変化が生じた可能性が大きい。図(f)や(g)が複数の成分から成るように見えるのは、こうしたことに起因するのかもしれない。しかしこれらの分布形は全体としてみれば、 β に関してベキ乗分布をなし、ベキ値はそれぞれ(d)-1.40、および-1.87、(e)-1.47となる。

図(h)は1859年から1869年間の南北戦争時を中心とする11年間の時代でのアメリカの代表的全事象217件(26)、(i)は1969～1996年の期間、北アイルランド紛争に関して日本で報道された事象(36)560件の、(j)は1970～2002年におけるアフガニスタン紛争に係る事象476件(青37)、および1950～1996年における同様な211件(赤、38)についてである。さらに(k)は1961～1992年にわたるベトナム戦争に係る事象132件(緑39)、1961～1975年に渡る同事象の342件(赤40)、および同じく1961～1975年における1093件(青、41)のそれぞれに関する事象時間間隔の頻度分布を示している。ベキ乗値はそれぞれ(h)-1.43、(i)-1.47、(j)-1.46、および-1.80、(k)-1.11、-1.63、および-2.30である。(j)および(k)は、採用する資料の違いによって、頻度分布にどれ程の差異が生ずるかも示している。これら(h)～(k)の資料中の事象は、紛争や戦争に直接かかわる周辺事項(背景、政治、国際関係など)をも含んだ幅広いものであり、(d),(e)などのような単一のアイテムに関する(敵、味方)間の単純な応答ではないことに注意したい。

さらに戦争や紛争ではないが、それに類似する緊迫状況下で発生する事象を見てみよう。図(l)は1941～1993年におけるユーゴスラビア史の全般的な事項530件(42,43)についての頻度分布である。これはユーゴスラヴィアの統一、内政、外交、軍事、分裂に係る主として政治的事象の移り変わりに係る事項が中心である。ユーゴスラビアでの事象は当事国内外における多数のステークホルダーの思惑や力関係の結果として発生した場合が多く、そのアリーナ(arena)は複雑である。

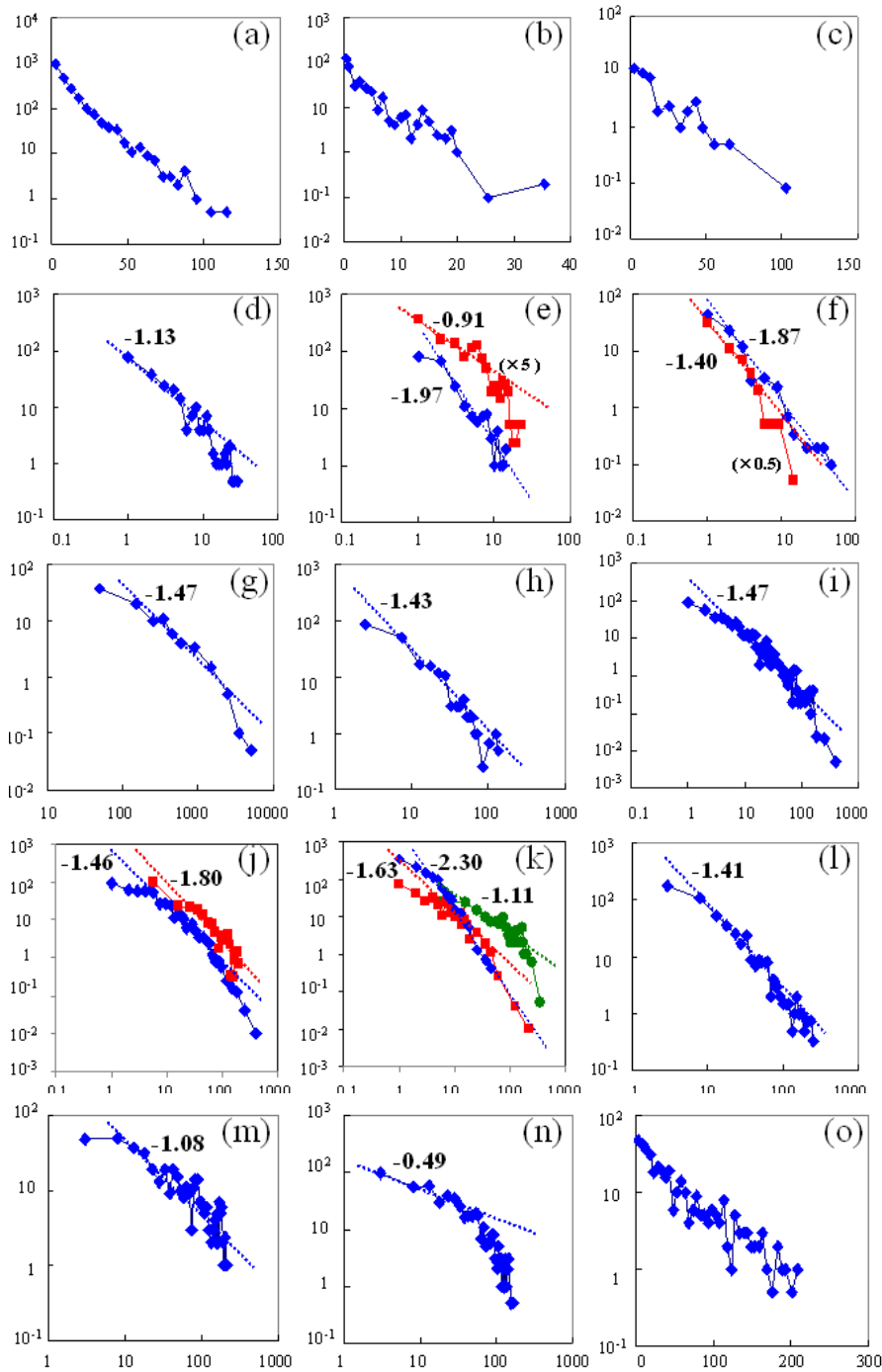


図1. 歴史事象の発生時刻間隔頻度分布。横軸は図(a)～(c)および(o)のみがリニア、他は対数スケール。横軸単位は図(b),(f)のみが年、他は日。破線とそれに付加した数字はKolmogorov-Smirnov staticを最小にするべき乗直線とそのべき値。(a)近現代中国政治、(b)世界戦争、(c)朝鮮戦争、(d)イスラエルでのテロリズム、(e)USA(赤)およびイラク(青)でのテロリズム、(f)十字軍(赤(31)、青(32、33))、(g)アラブから見た十字軍、(h)南北戦争時代のUSA、(i)北アイルランド紛争、(j)アフガン紛争、(k)ベトナム戦争(赤(40)、青(41)、緑(39))、(l)ユーゴスラビア、(m)中国 ソ連・ロシア関係、(n)中国 台湾関係、(o)中国 USA 関係

最後の例として、図(m)に 1941～2008 年における中国とソ連・ロシア間との interactive relation に関する事項 254 件(44)に関する頻度分布を示す。これらは中国とソ連・ロシアの外交とそれに付随する周辺事項の集合である。分布はベキ乗型となり、そのベキ値は-1.08 である。一方図(n) は中国と台湾政府との間で発生した事象 503 件(27)に関する頻度分布を示す。この分布は正確な指数関数形やベキ乗型ではなく、stretched exponential $X^a \exp(-bx)$ とでも言えるものに相当し、aに相当するベキ乗値は-0.49 である。中国内での14世紀以降の戦乱発生間隔の頻度分布についても、同様な概形をとることが指摘されている(45)。

さらに図(o)に (m), (n) と同一資料(44)から抽出した中国 USA 間の interactive relation 380件の頻度分布を示す。分布は指数関数型に近い。すなわち、中国の場合、対応する国家の違いによって発生事象間隔が異なる分布を持つことになるが、これは中国の対外国政策や外交問題への接し方(さらに相手国からの反応)が相手国によって異なっていたことを示唆させる。一般に、二国間で安定した外交関係を構築するには時間を要する。自然現象のベキ乗分布はそれに係る環境が自己組織臨界状態にある場合に出現するものであるが(46)、そうした解釈が当該問題にも敷衍可能ならば、この時代における中国と台湾、および米国との外交関係は成熟しておらず、未臨界(subcritical)の遷移状態にあったとでも言えよう。

3. 複雑系における記憶の忘却モデル

社会で発生する一連の事象(事件)を特徴的に模式化する場合、以下のようなモデルのイメージが得られよう。

(1) 社会では無数の事象アイテムが混在しており、これらが次々に事件として表出する結果、歴史が形成される。一つのアイテムに係わりを持つ多くの(ある場合には無数の)ステークホルダーが存在する。考慮するアイテムの新たな事象は、力関係や利害関係などの結果、こうしたステークホルダーの一つの働き(または複数競合すること)によって発生する。発生した一つの事象(事件)は全てのステークホルダーに対してインパクト(重要度、影響度)を持つが、これはステークホルダーごとに異なった強さとして感受される。考慮するアイテムの事象発生のタイムスケールが長時間にわたる場合には、記憶の忘却効果を無視できない。すなわち、先に発生した事象のインパクトは時間の経過とともにステークホルダーの記憶から薄れ、重要性が減衰するとともに、その社会的意味合いも変容することとなる。この場合、先の事象(action)の反応(reaction)として生ずる次の事象は、その特性(アイテム)やその reaction のつよさ(インパクト)が action のそれらとは異なったものとなっているはずである。こうして新たに生ずる reaction が次のステー

ジの action となり、こうした過程がくりかえされることになる。

歴史や歴史年表などは、こうした事象を発生時刻順に並べただけのものであり、記載された事象のインパクトの大きさについては何の情報もない。前章ではこうした年表を資料として使用したが、それに関しては更に以下のような問題がある。

(2) 歴史的に記録された事象のうち、どれを年表中の事項として採用するかは、年表編者の主観による。また、時間的に近接した複数の事象は省略、統合などによって簡略化を図るとともに、年表中のスペース利用の均質化を図ろうともするであろう。すなわち、小さい時間間隔での事象が見落とされ、その発生数が相対的により少なく見積もられる可能性は高い。従って、このような人為的な選別効果は避けられないが、後者の、「限られたスペースに多すぎる材料」という場合に補正因子を導入するならば、それは、強すぎる放射線を計測する場合の dead time や計数効率 (47) といった量を思い出させる、類似のものとなろう。しかし、以下ではこうした人為的な効果は無視して検討することにしよう。

いま S 個のステークホルダー、 E 個の事象アイテムがある社会を考慮する。時刻 t においてアイテム e' ($=E$) のある事象が発生したとする。個々の事象の発生は時間的にランダムで、ポアソン過程に従うとする。すなわち、時刻 t から だけ経過した時点 ($t + \tau$, $t + \tau + \delta\tau$) での事象の発生数 $(N)_{se}$ は、

$$\zeta_{se}(\tau) \delta\tau = a \lambda_{se} \cdot \exp(-\lambda_{se} \tau) \cdot \delta\tau \quad (1)$$

ここで a は定数、 λ_{se} は時刻 $t + \tau$ においてステークホルダー s ($=S$) によって生じられるアイテム e の事象発生率とする。この事象は時刻 t で発生したアイテム e' の事象(action)の reaction として発生するものとしよう。

ところで、 s が感ずる時刻 t でのアイテム e' の事象の(規格化した)インパクトの強さ $I'(t)$ は、ステークホルダー s 毎に異なるはずである; $I'(t) = I'_{se}(t)$ 。この $I'_{se}(t)$ に対して、 s はアイテム e 、強さ $I''_{se}(t)$ の reaction を起こそうとするとしよう。 I' と I'' とは一般には異なり、 $I'' > I'$ では事件はエスカレート(48)、 $I'' < I'$ の場合には事態はしだいに沈静化することになる。この場合、入力 I'_{se} と出力 I''_{se} との関係を与える関数を $\phi(I''_{se}; I'_{se})$ としよう。たとえば、これらの関係が truncate されたガウス分布に従うとすれば、関数 ϕ は以下のようになるが、これは I' から I'' への一種の写像関数であるともいえる。

$$\phi(I''_{se}; I'_{se}) = b_{see} \exp\left\{-\varepsilon_{see} (I'_{se} - I''_{se})^2\right\}, \quad I'_{se}, I''_{se} \in [0, 1] \quad (2)$$

ここで b_{see} , ε_{see} は s, e, e' によって変わる定数となる。

時刻 t において事象 e の反応を起こそうとする意図の強さ I''_{se} は時間の経過とともにしだいに減衰し、時刻 $t + \tau$ では I''_{se} とは異なる値 I_{se} となるであろう。これは社会環境の変化にもよるが、事象の記憶量が時間とともに非線形に減衰することに主として起源(49, 50)するであろう。忘却の非線形性は I''_{se} のべき乗に反比

例するとする前提にたてば、 I''_{se} と I_{se} との関係は以下ようになる。

$$I_{se}(\tau) = \tau_0^\alpha I''_{se} \cdot (\tau_0 + \tau)^{-\alpha} \quad (3)$$

ここで τ_0 は定数である。

ステークホルダー s が持つ意図 $I_{se}(\tau)$ が強い(大きい)ほど、 s が (e' に続く) 次の事象 e を引き起こす確率は高くなるであろう。実際、たとえばヴェトナム戦争では、相手側からの攻撃によって大きいダメージを受けた場合には、直ちに反撃に移ったが、ダメージの小さい場合にはそうではなかった(40)。この場合、大きいダメージ I'' を受け、このために強い反撃意図 I''_{se} (時刻後には $I_{se}(\tau)$) を持ったためであり、 $I_{se}(\tau)$ が大きい場合には事象発生率が高くなることに相当する。すなわち λ_{se} は $I_{se}(\tau)$ のある種の増加関数で表現できよう。それゆえ、この関数形をたとえば、以下のように与えることもできよう。

$$\lambda_{se} = d(I_{se}(\tau))^\beta = C(I''_{se})^\beta \cdot (\tau_0 + \tau)^{-\alpha\beta} \quad (4)$$

ここで d, C および β は定数である。

アイテム e 、事象時間間隔 τ の歴史的事象出現頻度 N_e に関しては以下の式が成立しよう。

$$\begin{aligned} \frac{dN_e}{d\tau} &= \sum_s \sum_{e'} \int_0^1 \int_0^1 \phi(I''_{se} : I'_{se'}) \zeta_{se}(\tau) \psi(I'_{se'}) dI'' dI' \\ &= C(\tau_0 + \tau)^{-\alpha\beta} \sum_s \sum_{e'} \int_0^1 \int_0^1 [\phi(I''_{se} : I'_{se'}) (I''_{se})^\beta \exp\{-C(I''_{se})^\beta (\tau_0 + \tau)^{-\alpha\beta} \tau\} \psi(I'_{se'})] dI'' dI' \end{aligned} \quad (5)$$

ただし、 $(I'_{se'})$ は時刻 t においてアイテム e' の事象がインパクト $I'_{se'}$ で発生する発生数である。 τ のべき乗項に注目し、式(5)の右辺を第零近似すると

$$\begin{aligned} \frac{dN_e}{d\tau} &\approx D_e (\tau_0 + \tau)^{-\alpha\beta} \exp\{-C(\langle I \rangle_e)^\beta (\tau_0 + \tau)^{-\alpha\beta} \tau\} \\ &\approx D_e \tau^{-\alpha\beta} \exp\{-C(\langle I \rangle_e)^\beta \tau^{1-\alpha\beta}\}, \quad \text{when } \tau \gg 0, \alpha\beta < 1 \\ &\approx D_e \tau^{-\alpha\beta}, \quad \text{when } \tau \gg 0, \alpha\beta \geq 1 \\ &\approx E_e, \quad \tau \rightarrow 0 \end{aligned} \quad (6)$$

ここで $\langle I \rangle_e$ はアイテム e に係る I の代表値 (I', I'', e' および s に関する平均値) とし、 D_e, E_e は定数である。すなわち、任意のアイテムについて事象時間間隔 τ で発生する事象の頻度は近似的には τ の小さい領域では一定値に、大きい領域では $\tau^{-\alpha\beta}$ の場合、stretched exponential 型に、 $\tau \rightarrow 0$ の場合には一定の傾きをもつべき乗型となる。いずれの形となるかは、記憶の忘却の程度() や反応の速さのインパクト強度依存性の程度() によっている。すなわち、時間が経過するほど最初のインパクトの重要性や意味合いは記憶のなかで薄れ、速やかな

reaction の必要性が減るが、その程度に依存しているということである。

4. おわりに

どのように単純な社会であっても、実際の社会では発生したひとつの出来事に対して複数のステークホルダー(利害関係者)が存在するはずである。考慮するシステムでのステークホルダーが二個であり、相互にコミュニケーションが存在しない場合には、事象の発生はポワソン過程となろう。二つのステークホルダーシステムで単一のアイテムについて action, reaction を相互に行いあう場合は、当モデルの素過程であるとも言える。これはたとえば図(d)、(e)などのテロリズムの例に見るように、事象時間間隔は明らかにベキ乗分布を示している(ように見える)。

一般に利害関係者は独自の立場から、発生した出来事と同一、または別種のアイテムの事象を生起させようとする。その結果、ステークホルダーの一つによって実際になんらかの事象が生起すれば、それが先の出来事に続く次の出来事となる。あらたな出来事はあらたな状況を生起するので、上の過程はリシャッフルされ、再び最初からあらたに繰り返されることになる。こうした状況が成立する場合には、この過程はマルコフ過程であるとも言える。このようなマルコフ過程が歴史的に長い時間に亘って繰り返された結果、そのアンサンブルの事象時間間隔には統計的傾向が現れることになる。

三個以上のステークホルダーの存在するシステムでは、はじめの出来事が何であれ、次に出現する出来事はどのステークホルダーによるどのアイテム事象であるかについては、一般には予想できない。こうした意味では、当該社会は複雑系である。こうしたシステムの内部では、情報は直ちに、全ステークホルダーに渡って伝播することが要請される場所であるが、そうした条件が満たされない場合には、上記のマルコフ過程の前提は消失し、結果としての事象時間間隔の頻度分布には擾乱が生ずることになる。

当報文で取り上げた例でのベキ値の多くは $-1 \sim -2$ の範囲にあり、平均的には $-1.4 \sim -1.5$ の値をとる。こうした universality の成立は、人の関与する社会事象が相互に類似の力学法則に基づく自己組織化臨界(self-organized criticality)の状態にある可能性を示唆している。それは乱流に沿う渦の波数分布が、Reynolds 数の違いにも関わらず $-5/3$ 乗則に従うとする事実を想起させるものである。渦のアナロジーの見地からすれば、人の歴史的事象は一種の「渦」の時間発展のごとく、大きくて強い事象から時間の経過とともにしだいに小さくて弱い事象に、活力を消失しつつカスケード的、なだれ的に変化するとする解釈も成立しよう。こうした意味合いでは、少なくとも当論文で扱った社会現象に関しては、その関与する社会が「乱流的」であったと言えよう。

当報文では、新たな社会事象は、はじめに受けたインパクトの強さとその記憶の忘却の程度とに依存してその発生が決まるとするモデルを構築した。記憶の忘却に関しては式(3)の、新たな事象発生率に関しては式(4)のような非線形関係を前提として導入すれば、多数の事象アイテムと多数のステークホルダーからなる複雑システムであっても、歴史事象の事象時間間隔の頻度分布形を説明できる。しかし今後は、歴史事象の発生時刻間隔分布の更なる検証と精密化が求められるところでもある。

参考文献

1. G.M.Viswanathan, V.Afanasyev, S.V.Buldyrev, E.J.Murphy, P.A.Prince, H.E.Stanley, Levy flight search patterns of wandering albatrosses, *Nature* 381 (1996) 413-415.
2. S.Zapperi, A.Vespignani, H.E.Stanley, Plasticity and avalanche behavior in microfracturing phenomena, *Nature* 388 (1997) 658-660.
3. B.Suki, A.-L.Barabasi, Z.Hantos, F.Petak, H.E.Stanley, Avalanches and power-law behavior in lung inflation, *Nature* 368 (1994) 615-618.
4. P.Bak, K.Christensen, L.Danon, T.Scanlon, Unified scaling law for earthquakes, *Phys.Rev.Lett.* 88 (2002) 178501.
5. A.Corral, Local distributions and rate fluctuations in a unified scaling law for earthquakes, *Phys.Rev.* E68 (2003) 035102(R).
6. A.-L.Barabasi, The origin of bursts and heavy tails in human dynamics, *Nature* 435 (2005) 207-211.
7. J.-P.Eckmann, E.Moses, D.Sergi, Entropy of dialogues creates coherent structures in e-mail traffic, *Proc.Natl.Acad.Sci.USA* 101 (2004)14333-14337.
8. J.G.Oliveira, A.-L.Barabasi, Human dynamics: Darwin and Einstein correspondence patterns, *Nature* 437 (2005) 1251.
9. U.Harder, M.Paczuski, Correlated dynamics in human printing behavior, *Physica* A361 (2006) 329-336.
10. A.Johanson, Response time of internauts, *Physica* A296 (2001) 539-546.
11. Z.Dezso, E.Almaas, A.Lukacs, B.Racz, I.Szakadat, A.-L.Barabasi, Dynamics of information access on the web, *Physical Review* E73 (2006) 066132.
12. X.-P.Han, T.Zhou, B.-H.Wang, Modeling human dynamics with adaptive interest, *New J. Phys.* 10 (1998) 073010.
13. A.Johansen, Probing human response times, *Physica* A338 (2004) 286-291.

14. R.Crane, D.Sornette, Robust dynamics classes revealed by measuring the response function of a social system, *Proc.Natl.Acad.Sci.USA* 105 (2008) 15649-15653.
15. A.Vazquez, J.G.Oliveria, Z.Dezso, K.-I.Goh, I.Kondor, A.-L.Barabasi, Modeling bursts and heavy tails in human dynamics, *Physical Review E* 73 (2006) 036127.
16. T.Zhou, H.A.T.Kiet, B.J.Kim, B.-H.Wang, P.Holme, Role of activity in human dynamics, *EPL* 82 (2008) 28002.
17. Y.Sano, K.Yamada, H.Watanabe, H.Takayasu, M.Takayasu, Empirical analysis of collective human behavior for extraordinary events in the blogosphere, *Phys.Rev. E* 87 (2013) 012805.
18. D.Sornette, F.Deschatres, T.Gilbert, Y.Ageon, Endogeneous versus exogeneous shocks in complex networks: an empirical test using book sale rankings, *Phys.Rev.Lett.* 93 (2004) 228701.
19. K.-I.Goh, A.-L.Barabasi, Burstiness and memory in complex systems, *EPL* 81 (2008) 48002.
20. A.Vazquez, Impact of memory on human dynamics, *Physica A* 372 (2007) 747-752.
21. A.Vazquez, Exact Results for Barabasi model of human dynamics, *Phys.Rev.Lett.* 95 (2005) 248701.
22. C.A.R.Hidalgo, Condition for the emergence of scaling in the inter-event time of uncorrelated and seasonal systems, *Physica A* 369 (2006) 877-883.
23. 家近亮子、「増補版 中国近現代政治史年表」(晃洋書房、2004)
24. 伊藤政之助、「世界戦争史 別冊」(原書房、1985)
25. L.F.Richardson, *Statistics of Deadly Quarrels*, Pacific Grove, California, 1960.
26. B.Hannings, *The Korean War-an Exhaustive Chronology, Volume 3*, McFarland & Company Inc. Pub., Jefferson, North Carolina, 2007.
27. E.F.Mickolus, S.L.Simmons, *Terrorism 2002-2004, Volume 3*, Praeger Security international, Westport, Connecticut, 2006.
28. A.Clauset, C.R.Shalizi, M.E.J.Newman, Power-law distribution in empirical data, *SIAM Rev.* 51 (2009) 661-703.
29. N.F.Johnson, M.Spagat, J.A.Restrepo, O.Becerra, J.C.Bohorquez, N.Suarez, E.M.Resrepo, R.Zarama, Universal patterns underlying ongoing wars and terrorism, <http://arxiv.org/abs/physics/0605035>.
30. A.Clauset, K.S.Gleditsch, The developmental dynamics of terrorist organization, *PLOS One* 7(11) (2012) e48633.
31. 橋口倫介、「騎士団」(Military Religious Order)(近藤出版社、1971)、同「十字軍

- 騎士団」(講談社学術文庫、1994)
- 32 G.Tate, *L Orient des Croisade*, Gallimard, 1991.
 33. A.Jotischky, *Crusading and the Crusader States*, Pearson Education Ltd., London, 2004.
 34. A.Maalouf, *Les Croisades Yues par les Arabes*, Jean-Claude Lattes, 1983.
 35. 中村甚五郎 「アメリカ史「読む」年表事典 19世紀」(原書房、2011)
 36. 堀越智 「北アイルランド紛争の歴史」(論創社、1996)
 37. 前田耕作、山根聡 「アフガニスタン史」(河出書房新社、2002)
 38. L.W.Adamec, *Dictionary of Afghan War, Revolution, and Insurgencies*, The Scarecrow Press, Inc., Lanham, Maryland, 1996.
 39. 小倉貞男 「ドキュメント ヴェトナム戦争全史」(岩波現代文庫、2005)
 40. S.C.Tucker.(ed), *The Encyclopedia of the Vietnam War*, Volume 3, CABC-CLIO, LLC, Santa Barbara, California, 2011.
 41. 清水知久 「年表ベトナム戦争 1940-1975」(1983)
 42. S.Clissold (ed), *A Short History of Yugoslavia: from Early Times to 1966*, Cambridge University Press, 1966.
 43. クリソルド、S. 「ユーゴスラビア史 増補版第 2 版」 田中一生(カズオ)他訳 (恒文社、1993)
 44. 安藤正士、「現代中国年表 1941-2008」(岩波書店、東京、2010)
 45. D.-H.Tang, X.-P.Han, B.-H.Wang, Stretched exponential distribution of recurrent time of wars in China, *Physica A*389 (2010) 2637-2641.
 46. P.Bak, *How Nature Works*, Copernicus, NY, 1996.
 47. G.F.Knoll, *Radiation Detection and Measurement*, 4th edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2010.
 48. N.Johnson, S.Carran, J.Botner, K.Fontaine, N.Laxague, P.Nuetzel, J.Turnley, B.Tivnan, Pattern in escalations in insurgent and terrorist activity, *Science* 333 (2011) 81-84.
 49. T.Pollmann, On forgetting the historical Past, *Memory & Cognition* 26 (1998) 320-329.
 50. H.Ebbinghaus, *Memory: a Contribution of Experimental Psychology*, translated by H.A.Ruger and C.E.Bussenins, Teacher College, Columbia University, N.Y.,1913.