

# マクロ・レベルにおける戦争の動態 「多様性の中の法則性」と「法則性の中の多様性」

伊藤 岳  
東京大学大学院 総合文化研究科  
2010年12月10日

## 1. 序論

英国の物理学者リチャードソン (L. F. Richardson) が半世紀以上前に発表した論文以来、戦争の規模の分布はべき乗分布 (power-law distribution) に従うことが知られている (Richardson 1948, 1960)。この分布は理論的な示唆に富み、また国際関係に見られる最も強固な経験的法則の1つとまで評される (Cederman 2003; Roberts and Turcotte 1998)。

ところが、従来の国際関係論はこの法則を議論の対象から遠ざけてきた。例えば、近年の研究は二国間 (ダイアッド) レベルに代表されるマイクロ・レベルにおいて多くの成果をあげる一方、この法則を含むマクロ・レベルの経験的法則に関する成果に乏しい。そこでは、リチャードソンが指摘したようなマクロ・レベルにおける戦争の法則性が議論の対象となる余地はほとんどない (Cederman et al. 2010; Fearon and Latin 2000)。

個々の戦争を特徴づけるマイクロ・レベルの要因や法則性は常に重要とはいえ、無数の背景や詳細を乗り越えて生じるマクロ・レベルの法則性を読み解く作業もまた、戦争という現象を理解する上で避けられない。特に、べき乗分布が成立する事象の背後には、全ての事象に共通する普遍的なメカニズムが働いている可能性が高く、国際関係論の理論研究に対しても示唆に富む (Clauset et al. 2009; Newman 2005)。そこで本稿は、経験的なデータとマルチ・エージェント・シミュレーション (multi-agent simulation 以下、MAS) により、マクロ・レベルにおける戦争の法則性を検討し、その含意と起源を考察する。本稿の意義は、このようなマクロ・レベルの経験的パターンについての知見を深め、それを読み解く MAS のモデルを提示する点にある。

本稿の構成は以下の通り。まず第2章では、べき乗分布の特性と戦争のべき乗分布に関する先行研究を整理する。続いて、国家間戦争、国内における戦争、非国家主体が関与する戦争の経験的データを考察し、「多様性の中の法則性」(戦争の多様性にもかかわらず存在する法則性)と「法則性の中の多様性」(法則性の中に存在する、戦争の類型毎の多様性)という2つのパターンを明らかにする。第3章では、既存研究の理論モデルを踏まえつつ、交戦主体の「動員力」に着目した簡潔なモデルを導入し、「多様性の中の法則性」と「法則性の中の多様性」を再現する。最後に、本稿の全体像と示唆をまとめた上で、今後の課題に触れる。

## 2. 「多様性の中の法則性」と「法則性の中の多様性」

### 2.1. ベキ乗分布の特性：「重い裾野」と「スケール不変性」

ベキ乗分布を正規分布などの他の分布から区別する特徴の1つは、「重い裾野 (heavy tail)」にある。すなわち、ベキ乗分布に従う事象においては、平均値からかけ離れた規模の事象が数多く発生する。このような特徴をもつベキ乗分布においては、直感的には「例外」のように思える非常に大きな (小さな) 事象が高い頻度で発生する。

厳密には、ベキ乗分布とはある事象の規模を  $m$  としたとき、その頻度  $p(m)$  が式 1 のようにベキ乗関数に比例する分布を指す (確率密度関数)。この分布は、両対数グラフにプロットした場合直線上に並び、ベキ指数  $\alpha$  が分布の「傾き」を決定する。

$$p(m) \propto m^{-\alpha} \quad (\text{式 1})$$

したがって、 $m$  の具体的な値に関係なく、その  $n$  倍の規模の事象が発生する確率は、ベキ指数  $\alpha$  に比例して増減する。例えば、 $\alpha=3$  のベキ乗分布においては事象の規模が 2 倍になる度その頻度は  $8 (2^3)$  分の 1 に、 $\alpha=1.5$  の場合は約  $2.82 (2^{1.5})$  分の 1 になる。

より直感的な例を挙げよう。仮にアメリカ人の背丈が、アメリカ人の所得の分布と同じベキ乗分布に従うとすれば、我々は以下のような世界を目の前にする。身長が約 2.7m の人々が約 60,000 人いる一方、1 億 8,000 万人の人々の身長は 17cm 程度に過ぎない。一方で、最も巨大な人の身長はエンパイア・ステート・ビルほどの高さ (381m) に達する (Crook 2006)。この例が示すように、「重い裾野」を持つベキ乗分布においては事象間に極端な不平等が存在し、「例外的」や「典型的」といった言葉が意味をなさない。

第 2 に、ベキ乗分布は「スケール不変性 (scale invariance)」と呼ばれる特性を持つ。上記のように、 $m$  の規模に関係なくその頻度がベキ指数  $\alpha$  に比例して増減することは、小規模な事象の背後にも、大規模な事象の背後にも、同様のメカニズムが働いていることを示唆する。すなわち、少なくとも統計的には、ベキ乗分布に従う事象において大規模な事象と小規模な事象とを区別して、別個にその背景を探る姿勢には合理性が乏しい。

戦争の例に引きつけて言えば、小規模な局地戦争の背後にも、第 2 次世界大戦のような大規模な戦争の背後にも同様のメカニズムが働いていることを、ベキ乗分布の存在は示唆している。スケール不変性はベキ乗分布についてのみ成立し、指数分布 (exponential distribution) や対数正規分布 (log-normal distribution) といった重い裾野を伴う他の分布とベキ乗分布を質的に区別する (Clauset et al. 2009; Newman 2005)。

### 2.2. 戦争におけるベキ乗分布：法則性と多様性

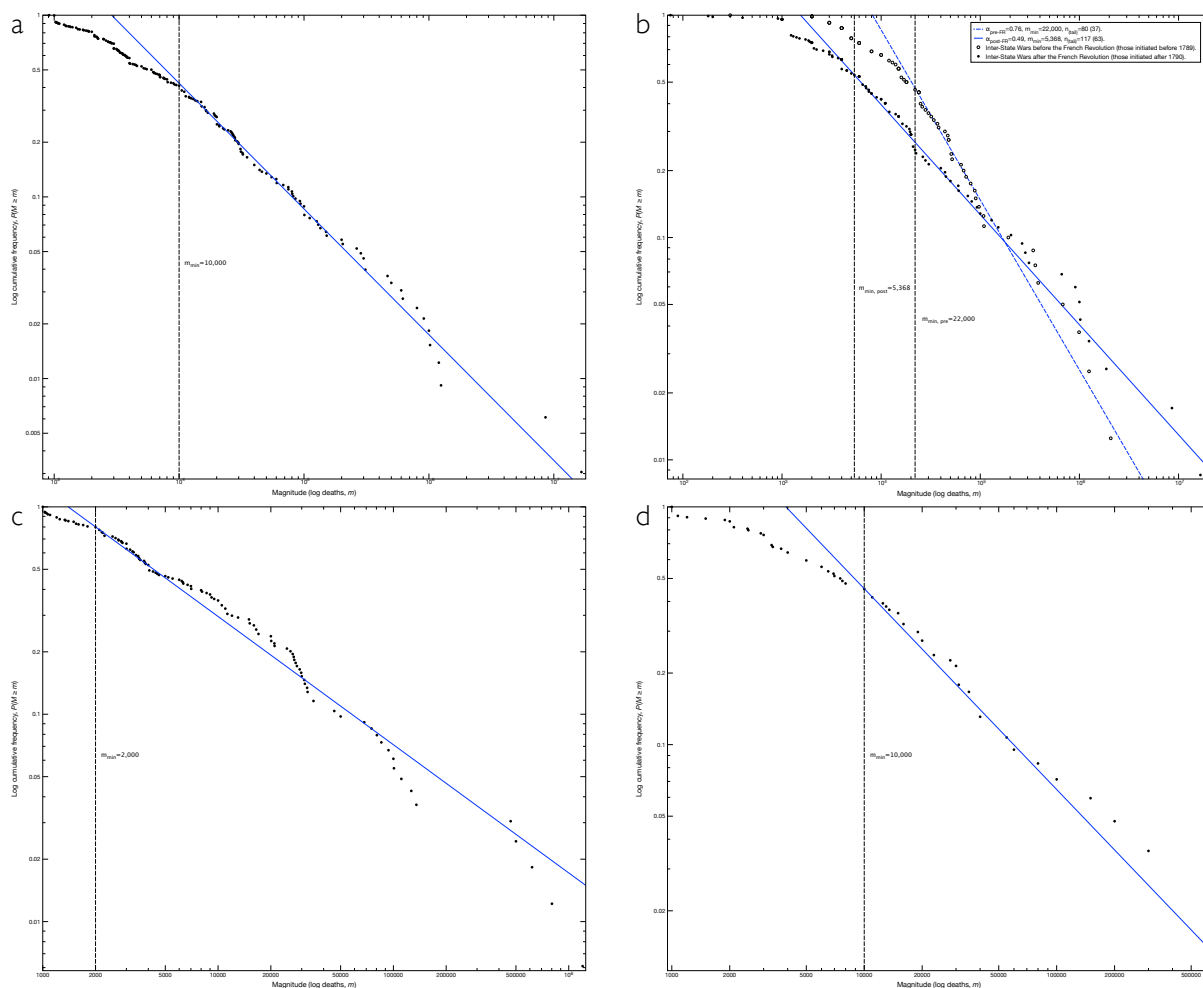
国家間戦争においてベキ乗分布が成立することを最初に指摘した研究は、リチャード

ソンが60年以上前に発表した論文にまで遡る (Richardson 1948, 1960)。この先駆的な研究は長らく国際関係論の対象から外れてきたが、データの充実と地震や森林火災などの様々な事象でベキ乗分布が見出されたことに刺激され、いくつかの後続研究が発表されている。国際関係論においては、セーデルマン (L.-E. Cederman) が国家間戦争のベキ乗分布を説明するシミュレーション・モデルを提示している (Cederman 2003, see also Cioffi-Revellia 1991; Roberts and Turcotte 1998)。さらに、統計物理学の研究によって、1968年以降に世界各地で起こったテロ攻撃の規模の分布もベキ乗分布に従うことが明らかになっている (Bogen and Jones 2006; Clauset and Young 2005; Clauset et al. 2006)。加えて、イラク、アフガニスタン、コロンビア、セネガル、インドネシアといった各地の国内における戦争・紛争の「内部」における戦闘の規模の分布もまた、ベキ乗分布に従うことも指摘されている (Bohorquez et al. 2009; Dobias 2009; Johnson et al. 2005, 2006)。

以上の先行研究は、国家間戦争やテロリズム、個々の戦争といった、一見全く異なっ  
て見える事象の奥底に、ある普遍的な法則性が潜んでいることを示唆している。ここから、いくつかの疑問が浮かぶ。まず、このリチャードソンの法則はどこまで普遍的なものなのだろうか。すなわち、先行研究が検討していない戦争の規模の分布についても、この法則は通用するのだろうか。特に、国家間戦争とは全く異なる動態が潜むように見える、内戦や非国家主体が関与した戦争の通時的な分布についても、この法則は成立するのだろうか。さらに、もしこれらの多様な形態の戦争についてベキ乗分布が成立するならば、傾きを示す $\alpha$ についてもパターンを見出すことができるのだろうか。また、これらの問いに対応するパターンが見られるなら、それをいかに説明できるだろうか。

上記の疑問に答えるため、本稿では Correlates of War Project (以下、COW) を中心としたいくつかのデータセットを用いて、最大で1495年から2007年までの多様な戦争の規模の分布を考察する。COWのデータセットでは、国家間戦争 (Inter-State Wars, 1816-1997)、国内における戦争 (Intra-State Wars, 1816-1997)、国家と国家以外の主体との戦争 (Extra-State Wars, 1816-2007)、国家以外の主体間の戦争 (Non-State Wars, 1816-2007) という4つの種類の戦争のデータが公開されている (Sarkees et al. 2003)。また、Gleditsch (2004) は、COWの国家間戦争のデータを基本としつつ、時系列を2005年まで延長している。上記のデータがウィーン体制以降 (1816年以降) を対象としているのに対し、Levy (1983) は1495年から1973年までの国家間戦争のデータセットを作成し、19世紀以前の戦争も考察の対象としている。

図表1には、以上3つのデータセットから抽出した (1) 全ての戦争 (図表1-a) (2) 国家間戦争 (a. フランス革命以前, 1495-1789年, b. フランス革命以降, 1790/1816年以降. とともに図表1-b), (3) 国内の戦争 (図表1-c), (4) 非国家主体が関与した戦争 (図表1-d), という種類の戦争の規模の分布を図示した。図表2には、同じサンプルについての主要な統計的指標をまとめている。



図表 1 | 近代国際システムにおける戦争の「マグニチュード」分布, a-d.

備考：(a) 全ての戦争, (b) 国家間戦争, (c) 国内の戦争, (d) 非国家主体が関与した戦争の相補累積分布 (complementary cumulative distribution). 横軸は戦死者数  $m$  の対数 (マグニチュード), 縦軸は相補累積分布関数  $P(M \geq m)$  の対数, 青線は近似線, 黒の点線は  $m_{\min}$  を示す.

Wars	$\alpha^*$	$m_{\min}^{**}$	$m_{\max}$	$\mathcal{N}$ (tail)	$P_{ks}$
COW All Wars, 1816–2007	1.69	10,000	16,634,907	327 (134)	0.38
Inter-State Wars, Pre-French Revolution 1495–1789	1.68 <sup>(1)</sup> 1.76 <sup>(2)</sup>	238 <sup>(1)</sup> 22,000 <sup>(2)</sup>	23,468 <sup>(1)</sup> 2,071,000 <sup>(2)</sup>	80 (49) <sup>(1)</sup> 80 (37) <sup>(2)</sup>	0.25 <sup>(1)</sup> 0.42 <sup>(2)</sup>
Inter-State Wars, Post-French Revolution 1790–1973 <sup>(1)</sup> /1790–2005 <sup>(2)</sup> / COW 1816–1997 <sup>(3)</sup> /1816–2005 <sup>(4)</sup>	1.33 <sup>(1)</sup> 1.49 <sup>(2)</sup> 1.48 <sup>(3)</sup> 1.54 <sup>(4)</sup>	16 <sup>(1)</sup> 5,368 <sup>(2)</sup> 10,000 <sup>(3)</sup> 6,000 <sup>(4)</sup>	93,665 <sup>(1)</sup> 16,634,907 <sup>(2, 3, 4)</sup>	35 (29) <sup>(1)</sup> 117 (63) <sup>(2)</sup> 79 (38) <sup>(3)</sup> 110 (58) <sup>(4)</sup>	0.58 <sup>(1)</sup> 0.58 <sup>(2)</sup> 0.29 <sup>(3)</sup> 0.42 <sup>(4)</sup>
COW Intra-State Wars, 1816–1997	1.62	2,000	1,200,000	164 (131)	0.54
COW Extra-/Non-State Wars, 1816–2007	1.84	10,000	600,000	85 (38)	0.21

図表 2 | 戦争のべき乗分布の統計的指標の概要.

\*  $\alpha$  は確率密度関数  $p(m) \propto m^{-\alpha}$  のべき指数  $\alpha$  を示す. 相補累積分布関数  $P(M \geq m) \propto m^{-\mu}$  のべき指数  $\mu$  は,  $\mu = \alpha - 1$ .

\*\*  $m_{\min}$  は「データがべき乗分布に従う」という帰無仮説を棄却できない区間の下限値を示す.

備考：(1) Levy (1983) の intensity (欧州の人口一人当たりの戦死者数). (2) 図表 1-b, Levy (1983) の severity (戦死者数) 及び Gleditsch (2004). なお, Levy (1983) では 30 年戦争は 4 つの個別の戦争としてコードされているが, (1) と (2) ではともに「30 年戦争」として 4 つを合算し, 戦死者数を再計算した. (3) COW Inter-State War data. (4) Gleditsch (2004). また, COW の Intra-, Extra-, Non-State Wars のデータセットについては, 戦死者数が 9 あるいは 999 (NA) とコードされている戦争は除外してデータを抽出した.

これらの図表から以下の2点を読み取ることができる。第1に、様々な時代や地域において多様な争点を巡り、多様な主体によって行われたにもかかわらず、全ての戦争の分布はベキ乗分布に従う。個々の戦争を「木」に、個々の戦争の類型を「森」に例えるなら、「木」や「森」の多様性にもかかわらず、「森」の形にはベキ乗分布という一定のパターンが生じている。本稿では、このパターンを「多様性の中の法則性」と呼ぶ。

第2に、ベキ乗分布という共通のパターンに従う一方で、個々の分布の具体的な形を特徴づける、ベキ指数 $\alpha$ と $m_{\min}$ にはばらつきが見られる。なお、 $\alpha$ が小さくなるにつれて分布が緩やかになり、大規模な事象が生じやすい分布となることを示し、 $m_{\min}$ が大きくなることは、小さな規模の事象がより多く発生している（小さな $m$ がベキ乗分布から逸脱する）ことを意味する<sup>1</sup>。すなわち、一定の法則性に従いながらも、それぞれの戦争の分布の具体的な形は微妙に異なる。いわば、それぞれの「森」は一定の法則性に従いながら、それぞれの形にはその「森」の個性が現れる。「多様性の中の法則性」に対して、本稿ではこのパターンを「法則性の中の多様性」と呼ぶ。戦争のベキ乗分布に取り組んだ先行研究はいずれも、国家間戦争や個々の戦争の内部といった単一の類型の説明に終始し、ここで指摘した類型を横断するパターンに説明を与えることはできない（Bohorquez et al. 2009; Cederman 2003; Dobias 2009; Johnson et al. 2005, 2006）。

以上のパターンは2つのことを示唆している。第1に、「多様性の中の法則性」は、一見全く異なって見える個々の戦争や類型の奥底には、戦争の規模を決定する普遍的なメカニズムが潜んでいることを示唆する。従来の国際関係論の議論においては、どのような分析視角や手法を用いるにせよ、個々の戦争の事例研究や、戦争の類型毎に法則性を紐解く試みが主流をなし、全ての戦争を通底するような普遍的なメカニズムは議論の対象となつてこなかった。ところが、この「多様性の中の法則性」という不思議なパターンは、正にこのような普遍的なメカニズムの存在を示唆している。

第2に、「法則性の中の多様性」は、戦争の烈度と交戦主体との関係性についての示唆を与える。図表1と図表2はともに、交戦主体によって戦争を区別している。この分類と $\alpha$ 及び $m_{\min}$ に見られる差異を素直に読むならば、交戦主体がより強固な、高い動員力を持つ主体になるにつれて、戦争の烈度が上昇するというヒントが浮かぶ<sup>2</sup>。

この視点は、従来の国際関係論の議論、特に国民国家の台頭とそれに伴う動員力の拡大と、戦争の烈度や頻度の変化との関係性を指摘する研究との親和性・了解性が高い(e.g.

---

<sup>1</sup> なお、ベキ指数 $\alpha$ と $m_{\min}$ の推定には、クローセット (A. Clauset) らが提示している最尤法 (maximum likelihood estimate, MLE) による推定を用いている。 $\alpha$ の推定について最小二乗法を用いる研究もあるが、この方法ではMLEに比べて推定値に誤差が生じやすい。また、データがベキ乗分布に従うかいないかを検定する際には、MLEに加えて一標本KS検定を用いた。これらの点については、Aaron Clauset, Cosma R. Shalizi, and M. J. E. Newman. 2009. "Power-Law Distributions in Empirical Data." *SIAM Review*. Vol.51: 661–703.を参照。

<sup>2</sup> なお、ウェストファリア条約以前の戦争(1495–1648年)の分布は、 $\alpha=1.90$ ,  $m_{\min}=173$ ,  $P_{KS}=0.25$ 。すなわち、中世的な秩序が残り、国家の主権や領域性が曖昧だった時代から、明確な領域性を基盤とする領域主権国家の時代への変遷が生じた際にも、戦争の烈度が上昇していることが確認できる。

Bukovansky 1999; クラウゼヴィッツ 1832–37 (2001) ; Cederman et al. 2010; Howard 1976 (2009); Snyder 2000; Walt 1996; Wimmer and Min 2006)。特に、国家間戦争の規模については、他の要因の制御や他の時代区分との比較を考慮してもなお、フランス革命を境に、分布に有意な変化が生じていることが明らかになっている (Cederman et al. 2010)。

これらの既存研究の知見は、国家の性格の変容というマイクロ・レベルの変化が、国家間の相互作用（戦争）の性質（動員される戦力の規模）を変化させ、戦争の規模の分布というマクロ・レベルの構造変容を引き起こしたという仮説を提示する。より一般的に言えば、マイクロ・レベルの変数（交戦主体の動員力）が、マクロ・レベルの構造・特徴（戦争の規模の分布）を変化させるという図式が浮かび上がる<sup>3</sup>。次章のモデルの検討でも、「法則性の中の多様性」に対する説明力、既存の国際関係論の議論との対応を考慮し、この視点を中心に据える。

### 3. 提案モデル：「動員力」と戦争の烈度

#### 3.1. モデル化の目的

本章では、MAS のモデルによって第 2 章で明らかにした 2 つのパターンを近似的に再現することを通して、「多様性の中の法則性」と「法則性の中の多様性」を読み解く示唆を得る。問いの形に書き直せば、本章は (1) なぜ個々の戦争や戦争の種類の多様性にもかかわらず、ベキ乗分布という法則性が生じるのか、及び (2) なぜ法則性にもかかわらず、その中には多様性が生じるのか、という 2 つの問いを紐解いていく。

付言しておく、ここで提示するモデルの目的は「多様性の中の法則性」と「法則性の中の多様性」というパターンを最も単純なモデルによって再現することであり、現実の国際関係に見られる経験的な因果関係や多くの側面を意識的に無視している。言い換えれば、本稿のモデル化の試みの目的は上記の問いに対する完全な答えを提示することではなく、(1) 上述の 2 つのパターンを再現する最小限の条件を提示することで、今後のモデル化の基盤を構築すること、及び (2) 特に「法則性の中の多様性」を読み解く上で、主体の変容とシステム全体のマクロな特徴の変化という仮説の妥当性を限定的ながら考察すること、の 2 点にある。

---

<sup>3</sup> このような、マイクロ・レベルの変数がマクロ・レベルの構造・特徴を変化させるという構図は、MAS の技法とも親和性が高い。他方、国際関係論の議論においては、このマイクロとマクロを接合する分析視角は従来からその重要性が指摘されながら、方法論の欠如故に十分に取り組みされてこなかった (Robert Gilpin. 1981. *War and Change in World Politics*. Cambridge: Cambridge University Press; and Lars-Erik Cederman. 2010. "Complexity and Change in World Politics: Resurrecting Systems Theory," in Mathias Albert, Lars-Erik Cederman, and Alexander E. Wendt eds. *New Systems Theory of World Politics*. New York: Palgrave Macmillan).

### 3.2. 提案モデルの概要：動員、解除、戦争

本稿のモデルは、統合-分裂モデル (coalescence-fragmentation model) と呼ばれる一連のモデルと、その個々の戦争内に見られるベキ乗分布の再現に応用した先行研究を基礎としている (Eguiluz and Zimmermann 2000; Johnson et al. 2005, 2006; Clauset et al. 2006; Bohorquez et al. 2009; Rusczycki et al. 2009; Zhao et al. 2009; Clauset and Wiegand 2010). この種のモデルでは、ある社会における集団 (クラスター) の盛衰を、より大きな集団への統合と小さな単位への分裂を繰り返す過程と捉え、以下のような単純なルールに落とし込む。モデルの空間に散らばったエージェントが、(1) 確率  $p$  で統合してより大きな集団 (クラスター) を形成し (coalescence), (2) 確率  $q$  (あるいは  $(1-p)$ ) で小さな単位へと集団が分裂する (fragmentation) という過程を繰り返す。加えて、(3) 確率  $(1-p-q)$  で対立する集団が衝突する (ただし  $(p+q)<1$ ), あるいは (4) 一部のエージェントが集団から離反する、といったルールが追加されることもある (e.g. Palla et al. 2007).

これらルール (ミクロ・レベルの変数) は非常に単純ながら、その結果生成される集団の規模 (成員数) の分布 (マクロ・レベルの特性) は、現実に見られるようにベキ乗分布に従うことが知られている (Eguiluz and Zimmermann 2000; Zhao et al. 2009). このような性質から、統合-分裂モデルは、現実の社会に見られる集団の規模の分布や、関与する集団の規模に影響される事象の規模の分布を再現する際に頻繁に応用される。

戦争の規模の分布を読み解く上でこのモデルを応用するという発想は、以下の理由から許容されよう。第1に、どのような交戦主体が行うにせよ、戦争は複数の政治集団間で生じる衝突といえる。第2に、戦争の規模 (戦死者数) は、技術力その他の要因の影響も排除できないものの、衝突する集団の規模 (兵力) に規定される。そして第3に、実際の戦闘において衝突する集団は、ある種の統合と分裂を繰り返す。例えば国家間戦争であれば、ある国の兵力は国民を何らかの形で「動員」することで戦力を形成される (集団の統合)。他方、ある国の兵力は常に最大限動員されている訳ではなく、一旦動員された兵力も時を経て動員が解除されることもある (集団の分裂)。このような、統合と分裂を繰り返す集団の動態と、集団の規模に規定される集団間の衝突の規模という構図は、統合-分裂モデルが描くイメージとの整合性が高い。また、その簡潔性の故に、「多様性の中の法則性」と「法則性の中の多様性」という経験的パズルを読み解く始点としてこのモデルを用いることは妥当だろう。

さて、本稿のモデルは2つの対立する陣営 A と B が存在する世界を仮定する。ここでは「陣営」という曖昧な言葉を使うが、国家間戦争であれば交戦国、国内における戦争であれば政府軍と反政府軍といった具合にモデル上解釈される。この世界には、それぞれの陣営が「動員」し得る「戦力単位」(潜在的な戦力) が存在している。やや変則的ではあるが、本稿のモデルではこの「戦力単位」がエージェントとなる。

シミュレーションが進むに連れて、この戦力が一定確率で「動員」され、「戦争」を行う際に衝突する兵力となる。ただし、どの程度の戦力を動員し得るかを規定する確率は、陣営 A と B の「動員力」に左右される。陣営の「動員力」が高ければ大きな戦力を継続的に保持しやすい一方、「動員力」が低ければ相対的に小さな戦力しか保持することができない。そして、いずれかの陣営がすでに十分な戦力単位を動員したと考えれば、相手陣営に攻撃を仕掛け、戦争が勃発する。このとき生じた被害の大きさを「戦争の規模」と捉え、シミュレーションから生成された分布を考察する。いわば、本稿のモデルは統合-分裂モデルのモデルにおける集団形成を戦力の「動員」、分裂を「動員解除」、衝突を「戦争」と捉え、2つの陣営の間で繰り返される戦争をモデル化する。

陣営の「戦力単位」と「動員力」を設定するため、以下のパラメータを設定する。

$N_A$ : 陣営 A が最大で動員し得る戦力単位の数。例えば、国家間戦争の場合であれば動員の対象となる「人口」と解釈される。

$N_B$ : 陣営 B が最大で動員し得る戦力単位の数。

$v_A$ : 陣営 A の動員力。  $v_A$  が低い値をとるほど、陣営 A の動員力は高くなる ( $v_A \in [0,1]$ )。

$v_B$ : 陣営 B の動員力 ( $v_B \in [0,1]$ )。

次に、このモデルにおけるエージェントは以下の属性を持つ。

$s$ : エージェントの戦力。初期状態では全てのエージェントに 1 が割り振られているが、後述する「動員」を通じてより大きな戦力を有する 1 つのエージェント集合へと統合していく（動員されていく）。  $s$  の戦力を持つ陣営 A のエージェント数を  $n_s^A$  とすると、陣営 A の総戦力は、  $\sum n_s^A$  となる。戦争により戦力が失われた一時的な状態を除き、  $N_A = \sum n_s^A$  という関係性を保つ（後述のルール 5。陣営 B も同じ）。

$c_i$ : エージェントの陣営内動員達成率。エージェント  $i$  がある時点で保有している戦力を、その時点での自陣営の総戦力で割った値として定義する。例えば、エージェント  $i$  が陣営 A に属する場合、  $c_i = s_i / N_{A,t}$  となる。つまり、  $c_i$  はあるエージェント（集合）に、所属陣営の戦力がどの程度集中しているかを示す。この値が高いほど、陣営 A（B）が当該エージェントを用いて戦争を仕掛ける可能性が高くなる。言い換えれば、2つの陣営は単一のエージェントに戦力が集中するほど（動員が進むほど）、戦争を仕掛ける可能性が高くなる。

そして、具体的なルールとしては、以下の 5 つを設定する。

ルール 1 活性化：毎ステップ、ランダムに選択された 1 つのエージェント  $i$ （戦力単位）が活性化される（陣営は問わない）。

ルール 2 「動員解除（fragmentation / demobilization rule）」：活性化されたエージェント  $i$  が陣営 A（B）ならば、確率  $v_{A(B)}$  で「動員」が解除される。具体的には、エージェント  $i$  に統合されていた戦力が、1 の戦力を保持する  $s_i$  個のエージェントに分裂する。

ルール 3 「戦争（war initiation rule）」：動員が解除されなかった場合（確率  $(1-v_{A(B)})$ ）、確率  $c_i$  でエージェント  $i$  の戦力を用いて、当該陣営は戦争を仕掛ける。具体的には、相手陣営に属するエージェント  $j$  をランダムに取り出し、攻撃する。この際、両者の戦力の大きさ



を比べ、小さい方のエージェントの戦力分の被害が両者に生じ、これを「戦争の規模」として集計する。例えば、 $s_i > s_j$  の場合、戦争の規模は  $(s_j \times 2)$  となる。この場合、エージェント  $i$  は  $s_j$  分の戦力を失い、エージェント  $j$  は消滅する。 $s_i = s_j$  の場合は、両方のエージェントが消滅する。

ルール 4 「動員 (coalescence / mobilization rule)」: 動員が解除されず、かつ十分な戦力が集まっておらず戦争を開始しなかった場合 (確率  $(1-c_i)(1-v_{A(B)})$ )、「動員」を開始する。具体的には、同じ陣営に属する他のエージェント  $k$  をランダムに選び、と自らの戦力を統合し、新たな 1 つのエージェントを形成する。新たなエージェント  $l$  の戦力  $s_l$  は  $(s_i + s_k)$  となる。

ルール 5 補充: 戦争により、ある時点  $t$  におけるいずれかの陣営の総戦力  $\sum n_s^A$  が  $N_A$  を下回った場合、 $N_A$  に達するまで 1 ステップ 1 つのエージェントを補充する (陣営 B も同様)。

以上のルールに従い、「動員」と「動員の解除」、そして「戦争」が繰り返される。その結果生じる戦争の規模の分布の形状と傾き、及びそのパラメータの組み合わせによる変動を考察することで、「多様性の中の法則性」と「法則性の中の多様性」に接近する。

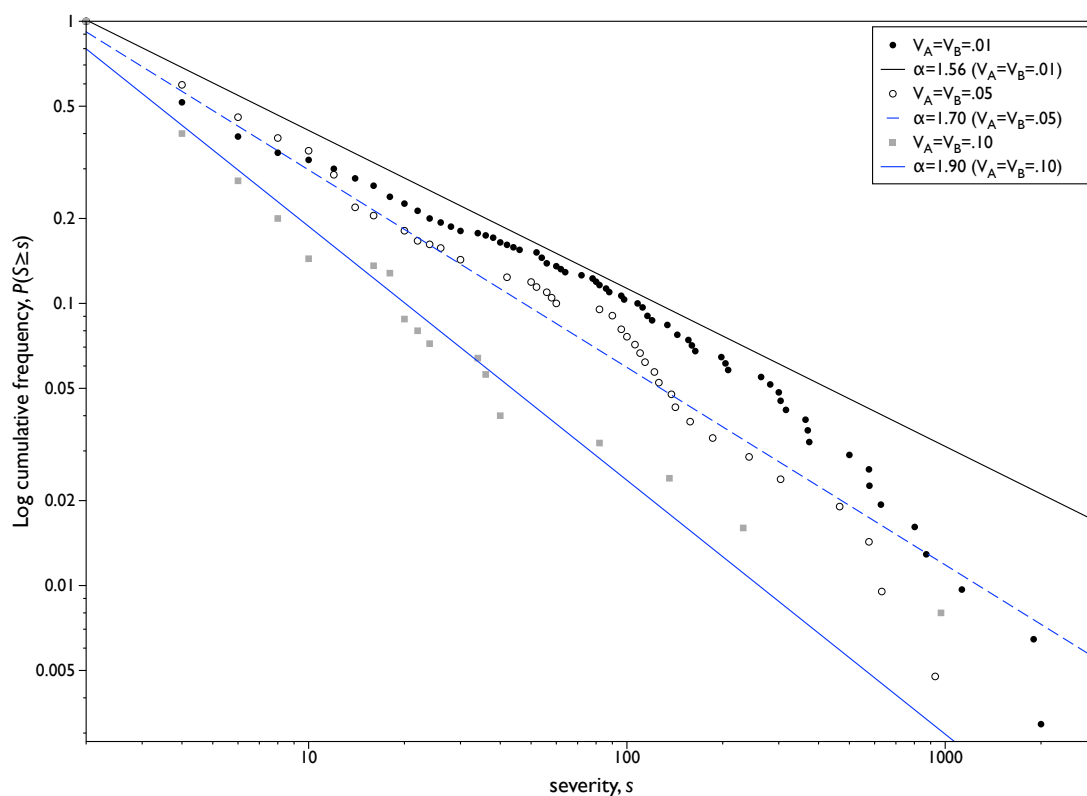
### 3.3. 試行の概要と考察

試行では、パラメータ  $N_A$  と  $N_B$  を 1,000 に固定し、時間単位を示す  $t$  が 20,000 に達するまでシミュレーションを行った。その上で、 $v_A$  と  $v_B$  を 0.01 から 0.10 の区間で 0.01 ずつ変化させ、動員力の高低及び対称性によって、戦争の規模の分布がどのように変動するかを考察した。なお、試行に当たっては、1 つのパラメータの組み合わせ当たり 20 回の試行を行った。その上で、それぞれの試行についてベキ乗分布に従うか否かを検定し、 $\alpha$  についてはパラメータの組み合わせ毎に平均した (手法については第 2 章及び脚注 2) <sup>4</sup>。以下、いくつかの代表的なサンプルを例示しつつ、結果を考察する。

まず、図表 3 には  $v_A = v_B = 0.01$ ,  $v_A = v_B = 0.05$ ,  $v_A = v_B = 0.10$  のそれぞれのパラメータの組み合わせから生成された戦争の規模の分布を図示した。これらのサンプルのいずれについても、ベキ乗分布に従うという帰無仮説を棄却できず (Kolmogorov-Smirnov 検定)、パラメータの値に依存せず、戦争の規模がベキ乗分布に従うことが確認できた (その他のパラメータの組み合わせの試行についても同様の検定を行い、ベキ乗分布に従うことを確認した)。加えて、全ての試行においてベキ指数  $\alpha$  の平均値は約 1.5 から 2.0 の区間に収まり、経験的なデータに近い値を示している。パラメータの変化に対する全般的な傾

<sup>4</sup> なお、 $N_{A(B)}$  を変化させて行った事前の試行 (a.  $N_{A(B)} = 1,500$ , b.  $N_{A(B)} = 2,000$ , c.  $N_{A(B)} = 3,000$ , いずれも  $v_{A(B)} = 0.01$ ) から、 $N_{A(B)}$  の具体的な値を変化させても、試行結果がベキ乗分布から逸脱するといった顕著な変化が出ないことを確認した。

ただし、本稿の試行では検討していない総戦力の対称性 ( $N_A/N_B$ ) が、動員力の高低・対称性と並んで試行結果に影響を与える可能性は排除できない。しかしながら、総兵力の対称性や時代毎の変容についての経験的なデータの特徴を特定し、モデルに反映することは困難なことに加え、既存研究の議論との対応を踏まえて有意義な示唆を導くことも難しいことから、ここでは捨象した。第 2 章で論じた通り、特に既存研究との対応の観点から見れば、「動員力」との対応を考察する方が有益な視点を提供できよう。



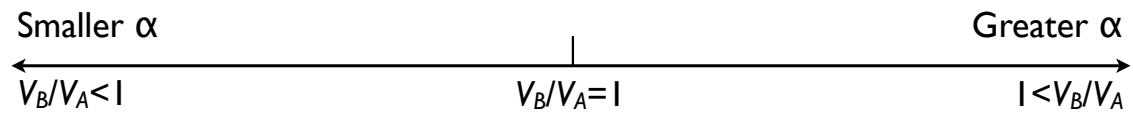
図表 3 |  $v_A=v_B=0.01$ ,  $v_A=v_B=0.05$ ,  $v_A=v_B=0.10$  の場合の戦争のマグニチュード分布。

備考： $v_A=v_B=0.01$ ,  $v_A=v_B=0.05$ ,  $v_A=v_B=0.10$  における戦争の規模の相補累積分布。横軸は被害  $s$  の対数（マグニチュード），縦軸は相補累積分布関数  $P(S \geq s)$  の対数。

向としては、 $v_{A(B)}$  が小さくなるほど  $\alpha$  は小さな値をとることが図表 3 のサンプルからも見て取れる。すなわち、動員力が対称な場合、衝突する陣営の動員力が高くなるほど、分布の傾きは緩やかになる。

次に、 $v_A$  あるいは  $v_B$  いずれかの変化が、ベキ指数  $\alpha$  の振舞いにどのような影響を与えるかを考察した。すなわち、図表 3 の試行が交戦主体間の動員力が対称な場合 ( $v_A=v_B$ ) を想定していたのに対して、ここでは動員力が非対称な場合 ( $v_A \neq v_B$ ) を検討する。この際、図表 3 に示したものと同様の  $v_A=v_B$  ( $v_B/v_A=1$ ) のケースをベースラインとして、 $v_B$  が増加した場合と減少した場合のそれぞれについて傾向を確認した。この考察から、以下 2 つの傾向が確認できた。第 1 に、 $v_B$  の増加につれて ( $1 < v_B/v_A$ , 陣営 B の動員力が低下するにつれて)、 $\alpha$  は大きな値をとる。第 2 に、 $v_B$  の減少につれて ( $v_B/v_A < 1$ , 陣営 B の動員力が向上するにつれて)、 $\alpha$  は小さな値をとる (図表 4)。

例えば、 $v_A=v_B=0.01$  をベースラインとして、 $v_B$  のみを増加させた試行 (陣営 B の動員力が低下する場合) ではベースラインの  $\alpha$  の平均値は約 1.58 に対して、 $v_B=0.10$  ( $v_A=0.01$ ,  $v_B/v_A=10$ ) の場合には約 1.69 となる。他方、 $v_A=v_B=0.10$  をベースラインとして、 $v_B$  を減少させた試行 (陣営 B の動員力が向上する場合) では、ベースラインの平均値 1.91 に対して、 $v_B=0.01$  ( $v_A=0.10$ ,  $v_B/v_A=0.10$ ) の場合には約 1.69 となる。すなわち、一方の交戦



図表 4 |  $v_B/v_A$  を変化させた場合の  $\alpha$  の変動.

備考:  $v_A=v_B=0.01$  をベースライン (図中央) とし,  $v_B$  のみを増加させた試行では,  $v_B$  の増加 (動員力の低下,  $1 < v_B/v_A$ ) に伴ってベキ指数  $\alpha$  は大きくなる (傾きが急になる). 他方,  $v_A=v_B=0.10$  をベースラインとし,  $v_B$  を減少させた試行では,  $v_B$  の減少 (動員力の向上,  $v_B/v_A < 1$ ) に伴って  $\alpha$  は小さくなる (傾きが緩やかになる). この傾向は, 試行を行った範囲に関しては,  $v_A$  及び  $v_B$  の値に依存せず観察された.

主体の動員力が一定でも, 他方の動員力が (ベースラインとなる状態に比べて) 低い場合には分布が急になり (国家間戦争よりも国内における戦争, 非国家主体が関与する戦争の経験的なデータの分布に近づく), 高い場合には分布が緩やかになる (国内における戦争, 非国家主体が関与する戦争よりも国家間戦争に近づく) ことが示された.

以上の結果のみをもって「多様性の中の法則性」と「法則性の中の多様性」を完全に説明することはできないが, これらの経験的なパターンについて示唆を得ることはできよう. 第 1 に, モデル化されていない他の要因の影響は排除できないものの, 統合 (動員)・分裂 (動員の解除)・衝突 (戦争) という 3 つの単純なルールのみによって, 経験的なデータに近い分布の形状と傾きを生成することができた<sup>5</sup>.

もちろん, このモデルとは異なるルール設定やその他のパラメータを組み込むといったアプローチは考えられる. しかしながら, 現実の分布を最低限再現するための最も単純な始点を提示するという本稿のモデルの目的は一応達成されたといえよう. 本章冒頭の問いに本稿のモデルから得られた知見から答えを与えるとすれば, 「動員」「動員の解除」「戦争」という 3 つの最も基本的な戦争の過程が, 「多様性の中の法則性」を生み出す原因に他ならない. 本稿の「トイ・モデル」よりも発展的なモデルを構築し, 戦争のベキ乗分布を読み解く試みにおいても, この 3 つの仕組みは参照点を提供する.

第 2 に, 「法則性の中の多様性」に対しても, モデルの振舞いは示唆を与えてくれる. 交戦主体の動員力が高まるほど分布の傾きが緩やかになるというモデルの振舞い (図表 3) は, 第 2 章で指摘したフランス革命を境に変化した国家間戦争の振舞いと整合性が高い (フランス革命前:  $\alpha \approx 1.76$ , フランス革命後:  $\alpha \approx 1.50$ ). この結果は先行研究の知見を補強し, 他の条件が一定でも, 交戦主体の動員力というマイクロ・レベルの変数の変化が, 分布の傾きの変化というマクロ・レベルの結果を生むことを示している.

加えて, このモデルの振舞いは, 国家間戦争と国内における戦争, 非国家主体が関与する戦争との間に見られるベキ指数  $\alpha$  の差異とも整合的といえる. 例えば, 政府軍 対 反政府軍といった国内における戦争 ( $\alpha \approx 1.64$ ) や, 植民地の反乱や非国家主体間の戦

<sup>5</sup> イラクやアフガニスタン, コロンビアなどの内戦に見られる戦闘規模のベキ乗分布を対象にした研究のモデルでは,  $\alpha$  は 2.5 付近に収束し, 本稿が対象とするより戦争のベキ乗分布の値を再現できない

(Bohórquez, Juan Camilo, Sean Gourley, Alexander R. Dixon, Michael Spagat, and Neil F. Johnson. 2009. “Common Ecology Quantifies Human Insurgency.” *Nature*. Vol.462, No.17: 911–14).

争を含む非国家主体が関与する戦争 ( $\alpha \approx 1.84$ ) においては、国家間戦争 ( $\alpha \approx 1.50$ ) に比べて交戦主体の動員力に大きな非対称性が存在すると考えられる。

図表 4 に示したモデルの振舞いは、このような差異をよく捉えているといえよう。すなわち、両陣営ともに高い動員力を持つ国家間戦争を  $v_B/v_A=1$  のベースライン (図表 4 の中央)、国内における戦争や非国家主体が関与する戦争を  $1 < v_B/v_A$  の動員力が非対称な戦争 (図表 4 の右半分) と捉えれば、このモデルは後者のベキ指数が前者に比べて大きくなること (傾きが急になること) を予測する。

もう 1 つの解釈として、フランス革命前後の国家間戦争と同様に、これら 3 つの戦争の類型の間には動員力の高低において差異が存在すると考えることもできる。すなわち、国家間戦争においては交戦主体の動員力が高く、それ以外の戦争においては (フランス革命前の国家間戦争と同様に) 交戦主体の動員力が比較的低いと考えれば、それぞれの戦争のベキ指数の間に見られる差異を整合的に解釈できる。図表 3 に示した通り、本稿のモデルは、交戦主体の動員力が高くなるにつれてベキ指数  $\alpha$  の値が大きくなることを予測する。いずれの解釈をとるにしても、このモデルの予測は経験的なデータに見られるベキ指数  $\alpha$  の振舞いと一致し、少なくとも規模の分布を語る上では、それぞれの戦争を別個に論じるよりも、直線上に並ぶ連続的なものと捉える視点が求められることを示唆している。

#### 4. 結論

「戦争と平和のテーマは、国際政治学のアルファであり、オメガである」と言われて久しい (神川 1957: 1)。個々の戦争や類型に着目し、ミクロ・レベルの詳細や法則性を読み解く作業は、確かに戦争を理解する上で欠かせない。しかしながら、ミクロ・レベルに固有な詳細があるように、マクロ・レベルからしか見えないパターンや法則性も確かに存在する。個々の戦争を取り巻く無数の詳細を乗り越えて立ち現れるベキ乗分布という法則性は、一旦マクロな視座に立たなければその存在に気づくことさえできない。

本稿は、過去 5 世紀に及ぶ戦争の経験的データと MAS の技法を用いて、このマクロ・レベルの法則性を読み解くことを試みた。その結果、第 1 に、無数の詳細を乗り越えて「多様性の中の法則性」と「法則性の中の多様性」という 2 つの経験的パターンが存在すること、及び第 2 に、交戦主体の「動員力」というミクロ・レベルの特徴をモデル化することで、「法則性」と「多様性」というマクロ・レベルのパターンに一貫した説明を与えることができること、の 2 点を明らかにした。これらの点は、戦争には、個々の戦争や類型に規定されない法則性が存在し、その背後には戦争の規模を規定する普遍的なメカニズムが潜んでいる可能性を示唆している。

冒頭で触れたように、本稿の意義は以下2点にある。第1に、本稿は、従来十分に検討されてこなかったマクロ・レベルにおける戦争の法則性を紐解き、全ての戦争に通底する普遍的メカニズムの可能性を明らかにした。国家間戦争についてベキ乗分布を指摘した古典的研究、個々の戦争の内部でのベキ乗分布の存在を指摘した最近の研究と合わせ、本稿の試みはマクロ・レベルにおける戦争の法則性を巡る議論をさらに発展させる。

第2に、本稿は交戦主体の「動員力」に着目した簡潔なモデルを用いて「多様性の中の法則性」と「法則性の中の多様性」という2つの経験的なパターンを再現した。第3章で詳述した通り、このモデルから得られた知見は一部の既存研究の議論を補強する。同時に、本稿の議論は国家間戦争や国内における戦争といった具合に、戦争を類型毎に考察する試みの限界を示唆している。ミクロ・レベルにおける戦争の法則性を探る上でこれらの試みが必要なことは言うまでもないが、そのみに徹しては全ての戦争を通底するマクロ・レベルの法則性に気づくことも、紐解くこともできない。少なくとも、戦争の規模の分布やその変容といった経験的パズルを紐解く上では、従来の類型論を横断する視点が求められる。

とはいえ、残る課題も多い。上記の意義に対応させるなら、本稿の課題もまた2つの点に集約できる。第1に、経験的なデータについてより詳細な検討を行う必要がある。本稿では3つのデータセットを用いて戦争の経験的なパターンを検討したが、使用するデータセットによってどうしても何らかのバイアスが生じてしまう (Spagat et al. 2009)。この問題を可能な限り回避するため、他の組織が提供しているデータセットとのクロス・チェックなどにより、データセット自体の妥当性を高める作業は欠かせない。

第2に、モデルの改良と精緻化も課題として残る。本稿のモデルは経験的なパターンを再現することができたが、簡潔性と引き換えに既存の国際関係論の成果を過剰に捨象した側面がある。特に、交戦主体の意思決定ルールは現実の国際関係とはほど遠く、また領土や地理的条件のような物理的制約を一切捨象している点は、本稿のモデルに残された重大な問題といえる。今後は、これらの点について、ミクロ・レベルの理論モデルや経験的なパターンを反映させる、物理的制約を表現するルールを導入するなどの改良を加え、国際関係論のモデルとしての妥当性を高めると同時に、本稿で報告した結果の頑健性を検討することが欠かせない。

## 引用・参考文献

- Alvarez-Ramirez, J., C. Ibarra-Valdez, E. Rodriguez, and R. Urrea. 2007. "Fractality and Time Correlation in Contemporary War," *Chaos, Solitons and Fractals*. Vol.34: 1039–49.
- Bohórquez, Juan Camilo, Sean Gourley, Alexander R. Dixon, Michael Spagat, and Neil F. Johnson. 2009. "Common Ecology Quantifies Human Insurgency." *Nature*. Vol.462, No.17: 911–14.
- Bogen, Kenneth T., and Edwin D. Jones. 2006. "Risks of Mortality and Morbidity from Worldwide Terrorism: 1968–2004." *Risk Analysis*. Vol.26, No.1: 45–59.
- Bukovansky, Mlada. 1999. "The Altered State and the State of Nature: The French Revolution and International Politics." *Review of International Studies*. Vol.25, No.2: 197–215.
- Cederman, Lars-Erik. 2003. "Modeling the Size of Wars: From Billiard Balls to Sandpiles." *American Political Science Review*. Vol.97, No.1: 135–50.
- . 2010. "Complexity and Change in World Politics: Resurrecting Systems Theory," in Mathias Albert, Lars-Erik Cederman, and Alexander E. Wendt eds. *New Systems Theory of World Politics*. New York: Palgrave Macmillan.
- Cederman, Lars-Erik, T. Camber Warren, and Didier Sornette. 2010. "Testing Clausewitz: Nationalism, Mass Mobilization, and the Severity of War." *International Organization*. Forthcoming.
- Clauset, Aaron, and Maxwell Young. 2005. "Scale Invariance in Global Terrorism." Available at: <http://arxiv.org/abs/physics/0502014>, as of June 3, 2010.
- Clauset, Aaron, and Frederik W. Wiegand. 2010. "A Generalized Aggregation-Disintegration Model for the Frequency of Severe Terrorist Attacks." *Journal of Conflict Resolution*. Vol.54, No.1: 179–97.
- Clauset, Aaron, Cosma R. Shalizi, and M. J. E. Newman. 2009. "Power-Law Distributions in Empirical Data." *SIAM Review*. Vol.51: 661–703.
- Clauset, Aaron, Maxwell Young, and Kristian Skrede Gleditsch. 2006. "On the Frequency of Severe Terrorist Events." *Journal of Conflict Resolution*. Vol.51, No.1: 58–88.
- Dobias, Peter. 2009. "Self-Organized Criticality in Asymmetric Warfare." *Fractals*. Vol.17, No.1: 91–97.
- Eguiluz, V. M., and M.G. Zimmermann. 2000. "Transmission of Information and Herd Behaviour: An Application to Financial Markets." *Physical Review Letters*. Vol.85: 5659–62.
- Fearon, James D., and David D. Latin. 2000. "Violence and the Social Construction of Ethnic Identity." *International Organization*. Vol.54, Issue 4: 845–77.
- Galam, Serge. 2003. "Global Physics: From Percolation to Terrorism, Guerilla Warfare and Clandestine Activities." *Physica A*. Vol. 330, Issues 1–2: 139–49.
- Gilpin, Robert. 1981. *War and Change in World Politics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gleditsch, Kristian Skrede. 2004. "A Revised List of Wars Between and Within Independent States, 1816–2002." *International Interactions*. Vol.30, No.2: 231–62, the updated dataset through 2005 is available at: <http://privatewww.essex.ac.uk/~ksg/expwar.html>, as of June 16, 2010.
- Howard, Michael. 1976 (2009). *War in European History, updated edition*. Oxford and New York: Oxford University Press.
- Johnson, Neil, Michael Spagat, Jorge A. Restrepo, Juan Camilo Bohórquez, Nicolás Suárez, Elvira María Restrepo y Roberto Zarama. 2005. "From Old to New Wars and Global Terrorism." Preprint at: <http://arxiv.org/abs/physics/0506213>, as of June 17, 2010.
- Johnson, Neil F., Michael Spagat, Jorge A. Restrepo, Oscar Becerra, Juan Camilo Bohórquez, Nicolas Suárez, Elvira Maria Restrepo, and Roberto Zarama. 2006. "Universal Patterns Underlying Ongoing Wars and Terrorism." Preprint at: <http://arxiv.org/abs/physics/0605035>, as of June 16, 2010.
- Johnson, Neil F., Chen Xu, Zhenyuan Zhao, Nicolas Ducheneaut, and Nicholas Yee. 2009. "Human Group Formation in Online Guides and Offline Gangs Driven by a common Team Dynamic." *Physical Review E*. Vol.79, No.6: 066117–1–11.
- 神川彦松. 1957. 「戦争のリアリティーと平和のユートピア——戦争と平和の研究序説」『国際政治』第1号: 1–18頁.
- クラウゼヴィッツ, カール・フォン. 1832–37 (2001). 『戦争論 [レクラム版]』日本クラウゼヴィッツ学会訳, 芙蓉書房出版.
- Levy, Jack S. 1983. *Wars in the Modern Great Power System, 1495–1975*. Lexington: University of Kentucky Press.
- Newman, M.E.J. 2005. "Power Laws, Pareto Distributions and Zipf's Law." *Contemporary Physics*. Vol.46, No.5: 323–51.

- Palla, Gergely, Albert-Laszlo Barabási, and Tamas Vicsek. 2007. "Quantifying Social Group Evolution." *Nature*. Vol.446: 664–67.
- Richardson, Lewis F. 1948. "Variation of the Frequency of Fatal Quarrels with Magnitude." *American Statistical Association*. Vol.43, No.244: 523–46.
- . 1960. *Statistics of Deadly Quarrels*. Chicago: Quadrangle Books.
- Roberts, D.C., and D.L. Turcotte. 1998. "Fractality and Self-Organized Criticality of Wars." *Fractals*. Vol.6, No.4: 351–57.
- Ruszczycki, B., B. Burnett, Zhenyuan Zhao, and Neil F. Johnson. 2009. "Relating the Microscopic Rules in Coalescence-Fragmentation Models to the Cluster-Size Distribution." *European Physical Journal B*. Vol.72: 289-302.
- Sarkees, Meredith R., Frank W. Wayman, and J. David Singer. 2003. "Inter-State, Intra-State, and Extra-State Wars: A Comprehensive Look at Their Distribution over Time." *International Studies Quarterly*. Vol.47: 49–70.
- Snyder, Jack. 2000. *From Voting to Violence: Democratization and Nationalist Conflict*. New York: W.W. Norton.
- Spagat, Michael, Andrew Mack, Tara Cooper, and Jaokim Kreutz. 2009. "Estimating War Deaths: An Arena of Contestation." *Journal of Conflict Resolution*. Vol.53, No.6: 934–50.
- Walt, Stephen M. 1996. *Revolution and War*. Ithaca and London: Cornell University Press.
- Wimmer, Andreas, and Brian Min. 2006. "From Empire to Nation-State: Explaining Wars in the Modern World, 1816–2001." *American Sociological Review*. Vol.71, No.6: 867–97.
- Zhao, Zhenyuan, Juan Camilo Bohorquez, Alex Dixon, and Neil Johnson. 2009. "Anomalously Slow Attrition Times for Asymmetric Populations with Internal Group Dynamics." *Physical Review Letters*. Vol.103, No.14: 148701–1–4.