

「拡大と疲弊の相互作用が生む戦争規模の法則性」 補遺：追加的な感度分析

伊藤 岳[†]

First draft: December 27, 2013

This version: March 22, 2014

1 序論

本稿の目的は「拡大と疲弊の相互作用が生む戦争規模の法則性」(伊藤 近刊)において報告した分析結果の頑健性を検証することにある。(1) 国家間戦争の規模が時代を問わずベキ乗分布という一定の法則性を示すこと、および(2) フランス革命(1790)を境に分布を特徴付けるパラメータ α が変化したという従来のモデルでは十分説明できなかった経験的なパズルに、伊藤 (近刊) はマルチエージェント・モデルを用いて説明を与えた。詳細は省略するが、モデルの振舞いは(1) 戦争が戦争を呼ぶポジティブ・フィードバックと(2) 戦争が疲弊を呼ぶネガティブ・フィードバックという正負のフィードバック過程が戦争規模とその分布を規定するという構図を示した。この結果は、戦争規模のベキ乗分布とモデルの振る舞いは大規模な戦争に特有な原因の不在や、戦争を理解する上で戦争の生起過程だけではなく拡大・終結過程にも着目する必要性を、経験的・理論的に示唆する。

とはいえ、伊藤 (近刊) のモデル分析には以下の課題が残る。シミュレーションが展開する空間のサイズや初期エージェント数といったパラメータの変化に対して、分析結果が頑健であることを十分示していない。本稿では、伊藤 (近刊) のモデルについて追加的な感度分析を行い、この課題を解決する。

2 感度分析

伊藤 (近刊) のモデルの主要なパラメータは表1の通りである¹。伊藤 (近刊) では(1) すべてのパラメータを表1の通り設定したベースラインの試行と、(2) 戦争生起の蓋然性のベースラインをコントロールする定数 β_0 と表1のシェード部の4つのパラメータを一様乱数値に設定した20000試行による“現実的な”戦争規模の分布の生成条件の2つを主要な検証作業として提示した。

[†] 東京大学大学院 総合文化研究科; 日本学術振興会 特別研究員 (DC1) ; gakuatgu@gmail.com

¹ 各パラメータやモデル・ルールの形式的な記述、主要な分析結果の詳細は、伊藤 (近刊) を参照。

* 本稿は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (A) 「実証的マルチエージェントモデルによる国際関係分析法の開発」(課題番号24243023代表 山影進) による研究成果の一部である。

本稿では、伊藤 (近刊) では固定していた (1) 終了ステップ数 T , (2) 空間の大きさ s , (3) 開戦・勝敗閾値 τ を変化させた場合のモデルの振る舞いを検証する。具体的な検証手順は、Laver and Sergenti (2012, chap.4) が整理・提案した (1) グリッド・スイープ (grid sweeping, GS) 法と (2) モンテカルロ・パラメータ設定 (Monte Carlo parameterization, MCP) 法の 2 つを用いる。GS は関心のある特定のパラメータの値を、他のパラメータ値を固定した上で順次変化させた試行を繰り返す方法であり、特定のパラメータのモデルの振る舞いに対する影響を検証する上で有用となる。一般的には、特定のパラメータを変化させた場合の影響を検討する際には、GS 法が用いられることが多い。

他方で、GS 法ではパラメータの設定値をどの程度の幅で変化させれば十分かという疑問が生じることに加え、特定のパラメータの影響が他のパラメータの値 (の組み合わせ) に依存する可能性を排除することが難しい。これに対して MCP 法では、複数のパラメータの設定値 (パラメータの組み合わせ) を乱数によって設定した試行を繰り返し (事前分布)、そのうち関心のある状態が系に生じるときのパラメータ値の組み合わせ (事後分布) を抽出する。こうした作業を行うことで、上記のような GS 法に残る疑問を緩和しつつ、関心のある現象 (モデルの振る舞い) を生むパラメータの組み合わせ (生成条件) を特定できる。特に、現実を観察された何らかの特徴量を再現・説明する論理・条件を特定する上で、MCP 法は特に有用となる (e.g. ?Weidmann and Salehyan 2013)。他方で、検証に必要な試行数が比較的多くなり、また事後分布を抽出する条件の恣意性、それに対する検証結果の依存性が問題になりやすい。

伊藤 (近刊) は、MCP 法を用いて“現実的な”戦争規模の分布 (現実を観察されるものと同等の戦争規模のベキ乗分布) がモデルにおいて生じる条件を明らかにしたが、特定のパラメータの影響を検討する上では GS 法で十分あるいは効率的な場合も多いため、本稿では GS 法を基本としつつ MCP 法を補完的に用いる。

2.1 $T = 5000$ の妥当性

伊藤 (近刊) のモデルにおける時間の経過はステップ数 t という離散的単位でカウントされ、1 回の試行は t が終了ステップ数 T に達すれば終了する。伊藤 (近刊) の検証作業では一貫して $T = 5000$ と設定していたため、これが妥当か否かという疑問が残る。特に、このステップ数内で、1 回の試行において生じる戦争が十分に集計できていない場合、このパラメータ設定の妥当性に疑問が生じる。

ここでは、(1) $T = 10000$ とした試行結果と、(2) 時間 (ステップ数 t) の経過とモデルにおいて生じている戦争数の推移を検討する。(1) すべてのパラメータを表 1 のベースライン値に設定した 300 試行の集計結果は表 2 の通りであり、これは 100 試行を集計した伊藤 (近刊) とほぼ同一の値を示している。これに対して、 $T = 10000$ に設定した 300 試行 (他のパラメータ値は表 1 の通り) から集計した結果を表 3 に示す。表 2 と表 3 を比較すれば明らかな通り、終了ステップ数 T の差は、終了時に出力される戦争規模の分布の特性に顕著な質的影響を与えることはない。

(2) 図 1・図 2 には、時間の経過と戦争数の推移との対応関係を示した。これら

の図の横軸はステップ数 t を、縦軸は各 300 試行から集計した当該ステップにおいて生じていた戦争数の平均値を示す。図 1・図 2 から、このモデルにおいて戦争は試行の初期 ($t < 3000$) に集中して生じている。また、図 1 a, b, c には空間の大きさ s を 2000, 3000, 4200 の 3 つの異なる値に設定した場合の結果を示した。 s とそれに対応する初期エージェント数 n_0 が異なれば潜在的に生じ得る戦争数もまた異なる（エージェント数が増加すれば戦争が生じ得る機会も多くなる）ため、戦争数平均は s と比例する様子が見て取れる。とはいえ、この傾向は、試行の初期に戦争が集中して生じその後は低位で安定するという上記の傾向を変化させることはない。図 2 には $T = 5000$ (a) の場合と $T = 10000$ (b) の場合とを比較して示したが、 $T = 10000$ の場合も戦争数は $t = 5000$ 以降に低位で安定している。

$T = 5000$ の場合と $T = 10000$ の場合の戦争規模の分布特性の比較より、 T の値は試行から最終的に得られる結果に顕著な変化を与えない（表 2・表 3）。また、モデルにおいて戦争が試行の初期に集中して生じ、継続中の戦争数が $t = 3000$ 頃までに落ち着きを見せる。以上から、伊藤 (近刊) の検証結果が $T = 5000$ というパラメータ設定に依存しているとはいいいがたい。

2.2 空間の大きさ s の効果

伊藤 (近刊) のモデルは、図 3 に示した六面格子空間において展開する。パラメータ s はこの空間を構成する六面格子の数を示す。伊藤 (近刊) の検証作業では一貫して横の格子数 $nx = 60$ 、縦の格子数 $ny = 50$ の $s = 3000$ の六面格子空間を用いた。とはいえ、 s を変化させた場合、伊藤 (近刊) が報告した結果に顕著な変化が生じないのかという疑問が残る。

この疑問に答えるため、 $s = 2000$ ($nx = 50, ny = 40$) と $s = 4200$ ($nx = 70, ny = 60$) に設定した試行結果を示す²。 s を変化させた場合、戦争数の時間的経過には上述の通り顕著な変化は生じない（図 1）。図 4 には、 s を 2000, 3000, 4200 に設定した 300 試行、合計 900 試行から集計した戦争規模の分布の記述統計量を示す。試行から最終的に得られる戦争規模の分布特性については、戦争数 n_{wars} 、ベキ乗分布で近似できる分布の範囲における戦争規模の最小値 $\log_{10} x \min$ 、および戦争規模の最大値 $\log_{10} x \max$ は s と比例して増加するが、ベキ指数 α には一貫した変化は生じない。

以上の通り、モデルにおける戦争数の時間的変化・最終的に得られる戦争規模の分布特性のいずれについても、空間の大きさ s が顕著な質的变化を与えることはない。これに加えて、伊藤 (近刊) で提示した主要な分析結果、すなわち (1) ベキ乗分布の生成条件と (2) 主要パラメータのベキ指数に対する影響についても、空間の大きさ s への依存性を検証する。ここでは、 $s = 2000 \cdot s = 4200$ の場合についても伊藤 (近刊) ($s = 3000$) と同様の検証作業を行う。ここでは (1) 主要なパラメータ ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \gamma, \zeta$) を任意の区間の一様乱数に設定した試行を 20000 回行い（事前

²初期エージェント数 n_0 は伊藤 (近刊) と同様に $\frac{s}{10}$ とした (表 1 参照)。 $s = 2000$ の場合 $n_0 = 200$ 、 $s = 4200$ の場合 $n_0 = 420$ となる。したがって、以下の感度分析は空間の大きさ s の影響を検討するものであり、試行開始時の「エージェントの密度」に対する感度分析ではない。

分布; パラメータ空間 Θ_1), その内 (2) “現実的な” 分布が生じるパラメータの組み合わせ (パラメータ・ベクトル) を抽出 (事後分布; パラメータ空間 Θ_2, Θ_3) することで “現実的な” 分布の生成条件を明らかにする. 加えて, (3) “現実的な” 分布のベキ指数 α に対する各パラメータの影響を回帰分析によって明らかにする. なお, ここでいう “現実的な” 分布とは, H_0 「データはベキ乗分布に従う」を棄却できず, かつ (a) $\alpha < 2.0$ あるいは (b) $pr_{tail} > 0.5$ のいずれかを満たすものを指す. 伊藤 (近刊) では, (a) を用いる定義を定義 **a**, (b) を用いる定義を定義 **b** とし, それぞれの定義を満たす分布を生成するパラメータの組の集合をそれぞれパラメータ空間 Θ_2, Θ_3 とした. 以下でもこの表現を用いる³.

図5・図6・図7には, $s = 2000, 3000, 4200$ のそれぞれの場合について “現実的な” 分布が生じるパラメータ空間 Θ_2, Θ_3 (事後分布) を抽出し, Θ_1 (事前分布; 一様乱数の組み合わせ) と比較して示した⁴. なお, ベースライン (図5) では20000試行のうち, 定義 **a** を満たす “現実的な” 分布が生じたのは2543試行 (12.7%; Θ_2), 定義 **b** を満たすものは805試行 (4.0%; Θ_3) だった. $s = 2000$ の場合は同様に3227試行 (16.1%; 定義 **a** $\cdot \Theta_2$) $\cdot$ 1414試行 (7.1%; 定義 **b** $\cdot \Theta_3$), $s = 4200$ の場合は同様に2230試行 (11.2%; 定義 **a** $\cdot \Theta_2$) $\cdot$ 603試行 (3.0%; 定義 **b** $\cdot \Theta_3$) だった. 試行の大半はこれに漏れたものの, パラメータ空間 Θ_2 および Θ_3 に含まれるパラメータ値の組み合わせは現実の戦争規模の分布を説明する上で有用な検証基準となる.

図5は伊藤 (近刊) で提示したものと同様であり, 戦争が戦争を呼ぶ (戦争拡散) のポジティブ・フィードバックの強度を示すパラメータ β_1 と戦争が疲弊を呼ぶネガティブ・フィードバックの強度を示す β_2 が, Θ_2, Θ_3 いずれにおいても Θ_1 のそれと顕著に異なる分布を示している. この傾向は図6 ($s = 2000$) $\cdot$ 図7 ($s = 4200$) の場合にも同様に観察され, (1) 戦争が戦争を呼ぶポジティブ・フィードバックが強く (β_1 が大きく), (2) 戦争が疲弊を呼ぶネガティブ・フィードバックが弱い (β_2 が大きい) 場合に, “現実的な” 戦争規模の分布が生じるという伊藤 (近刊) の結果は s の変化に対して頑健であることを示している.

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \gamma, \zeta$ のベキ指数 α に対する影響については, 伊藤 (近刊) (表4) と同様の回帰分析を $s = 2000 \cdot s = 4200$ の場合についても行った (表5・表6)⁵. 図8に, この回帰分析から得た各パラメータの回帰係数 (標準化偏回帰係数) を示す (縦軸が回帰係数を示す). 図8から明らかな通り, ここでも正負のフィードバックの強度を示す β_1, β_2 がベキ指数 α を規定する様子が見て取れる. 図8が示す通り, $s = 2000 \cdot s = 4200$ いずれの場合においても, $s = 3000$ の場合と同様に, β_1 と β_2 が大きくなるほど (戦争が戦争を呼ぶポジティブ・フィードバックが強く, 戦争が疲弊を呼ぶネガティブ・フィードバックが弱くなるほど) α は減少する⁶.

以上より, 空間の大きさ s が伊藤 (近刊) の分析結果に顕著な変化を与えない.

³以上の定義の詳細と妥当性については, 伊藤 (近刊) を参照.

⁴ β_0 はエージェントの「活性化しやすさ」の (相互作用に依存しない) ベースライン値を設定するパラメータであり, 図5・図6・図7では省略している.

⁵表4・表5・表6から明らかな通り, 正負のフィードバックの強度を示す β_1, β_2 以外のパラメータが有意 ($p = 0.05$) となるか否かは, パラメータ設定・回帰分析の対象となるパラメータ空間に依存する. 他方, β_1, β_2 は一貫して有意となった.

⁶ただし, パラメータ空間 Θ_2 を用いた回帰分析 (Model 2) においては, s が増加するほど β_1 の回帰係数は大きく (影響が小さく) なり, β_2 の回帰係数は小さく (影響が大きく) なる.

2.3 閾値 τ の効果

伊藤 (近刊) の分析では、戦争開始・勝敗決定閾値 $\tau = 3.0$ に固定していた。攻撃側エージェントと被攻撃側エージェントのパワー・バランスが τ よりも攻撃側エージェントに有利な場合、戦争が発生し攻撃側エージェントが勝利する。閾値 τ の設定値はモデルが最終的に生成する戦争規模の分布を構成する個々の戦争の生起・継続しやすさを直接規定するため、分析結果にも影響を与えると考えられるため、 τ を変化させた場合にモデルの振る舞いに変化が生じるか否かが問題となる。

ここでは、 $\tau = 2.5 \cdot \tau = 3.5$ に設定した試行を各 300 回行った。このモデルでは、 τ が小さくなるほど戦争が生じやすく、逆に τ が大きくなるほど戦争が生じにくくなる。なお、他のパラメータは表 1 のベースライン値に設定した。図 9 には、以上のパラメータ設定から得た戦争規模の分布について記述統計量をまとめた。上述の図 4 (s を変化させた場合の記述統計量) とは異なり、 τ を変化させた場合にはベキ指数 α に一貫した傾向が見られる。すなわち、 τ が小さくなるほど α も小さくなり、逆に τ が大きくなるほど α も大きな値を示す。戦争数 n_{wars} も同様に τ と比例する傾向を示す。他方、戦争規模の最大値 $\log_{10} x_{max}$ とベキ乗分布で近似できる範囲の下限值 $\log_{10} x_{min}$ は τ に反比例する。言い換えれば、閾値 τ が小さくなり戦争が生起・継続しやすくなるほど戦争数は少ないものの大規模な戦争が生じやすい分布が生じる一方、 τ が大きくなり戦争が生起・継続しにくくなるほど戦争数は多いものの大規模な戦争が生じにくい分布が生じる。

こうした一貫した傾向は観察されるものの、 τ が変化するとモデルが戦争規模のベキ乗分布を生成しなくなるといった質的な変化が生じることはない。したがって、上記のパラメータと同様に、閾値 τ もまた伊藤 (近刊) が報告した結果を揺るがすようなモデルの振る舞いを生じさせることはない。

3 結論

伊藤 (近刊) は従来の理論・モデルが必ずしも解答を与えられなかった戦争規模のベキ乗分布とその変動を説明するモデルを提示した一方、そのモデル分析には感度分析を行っていないパラメータが残るという課題が残っていた。本稿はこの問題を踏まえ、試行の継続時間 T 、空間の大きさ s 、閾値 τ について、GS 法・MCP 法に基づいて追加的な感度分析を行い、伊藤 (近刊) が報告した結果の頑健性を検証した。本稿の分析は、閾値 τ はベキ指数 α に一貫した変化を生じさせるものの、いずれのパラメータの変化も伊藤 (近刊) の主要な分析結果を揺るがすような顕著な質的な変化をモデルに生じさせることはないことを明らかにした。

とはいえ、本稿は感度分析に射程を限定し伊藤 (近刊) のモデルの拡張には取り組んでいない。たとえば、伊藤 (近刊) のモデルには戦争の連鎖・拡大に影響すると考えられる同盟 (e.g. Siverson and Starr 1991) や地理的制約 (e.g. ボールディング 1971[1963]) を捨象しているという課題が残る。こうした点を解決し、モデルの国際関係の現実との対応を深めつつ、主要な分析結果が変化するか否か、また拡張を通して新たな知見が得られるか否かを明らかにすることが、今後の課題となる。

Figures and tables

表 1 パラメータの一覧とベースライン値

記号表記	パラメータ	ベースライン値
n_0	初期エージェント数	$\frac{s}{10} (= 300)$
$s(nx, ny)$	空間の大きさ	3000(60, 50)
T	終了ステップ数	5000
β_0	定数	-4.0
β_1	拡散係数 ($\beta_1 \geq 0$)	20
β_2	耐久係数 ($\beta_2 \leq 0$)	0.0
γ	資源量 ($\gamma > 0$)	1000
ζ	多数効果 ($\zeta \geq 0$)	1.0
τ	閾値 ($\tau > 0$)	3.0

表 2 ベース・ラン 300 試行の出力結果 ($T = 5000$)

	α	$x_{\min}$	D_{KS}	pr_{tail}	n_{wars}	$m_{\min}$	$m_{\max}$
Min	1.32	546	0.02	0.04	61	171.1	2629000
1st Qu.	1.55	1214	0.04	0.30	174.2	367.6	11510000
Median	1.69	3452	0.06	0.54	238	432.5	17390000
Mean	1.72	26360	0.06	0.57	259.9	446	24340000
3rd Qu.	1.85	22940	0.07	0.90	321	520.5	27220000
Max	2.48	537700	0.14	1.0	749	880.1	159200000

300 試行のうち H_0 「データはベキ乗分布に従う」を棄却できない 294 試行から算出 ($p > 0.05$) . $x_{\min}$ は H_0 を棄却できない範囲の下限值, $m_{\min}$ と $m_{\max}$ はデータの下限值と上限値, pr_{tail} は H_0 「データはベキ乗分布に従う」を棄却できない範囲のサンプルが全体に占める割合を示す.

表 3 $T = 10000$ の 300 試行の出力結果

	α	$x_{\min}$	D_{KS}	pr_{tail}	n_{wars}	$m_{\min}$	$m_{\max}$
Min	1.31	497.9	0.02	0.04	12	56	39020
1st Qu.	1.57	1267	0.05	0.45	66	183.8	12520000
Median	1.70	11920	0.06	0.45	110	246.5	17650000
Mean	1.74	58370	0.06	0.54	137.2	271	29320000
3rd Qu.	1.87	42010	0.08	0.88	182.8	329.2	32430000
Max	2.62	1538000	0.11	1.0	644	904	247800000

300 試行のうち H_0 「データはベキ乗分布に従う」を棄却できない 288 試行から算出 ($p > 0.05$) . $x_{\min}$ は H_0 を棄却できない範囲の下限值, $m_{\min}$ と $m_{\max}$ はデータの下限值と上限値, pr_{tail} は H_0 「データはベキ乗分布に従う」を棄却できない範囲のサンプルが全体に占める割合を示す.

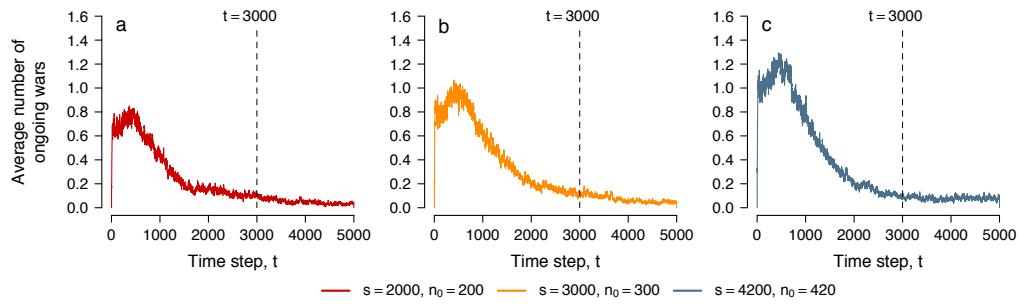


図 1 s, n_0 を変化させた場合の平均戦争数の推移

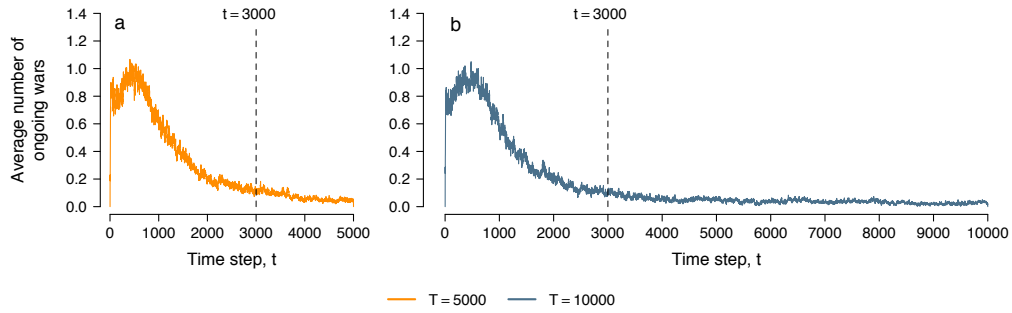


図 2 T を変化させた場合の平均戦争数の推移

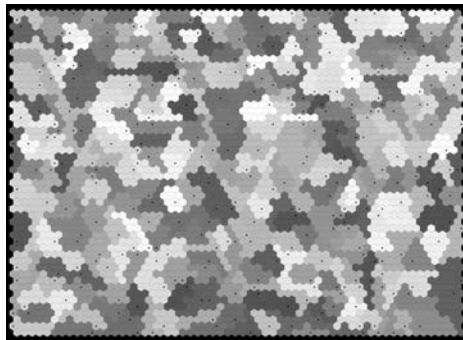


図 3 モデル空間：六角格子は領土セルを，セルの色彩の境は「国境」を，点はエージェントを示す．なお，空間の上下左右には何も存在しないものとして扱う（トーラス空間ではない）．

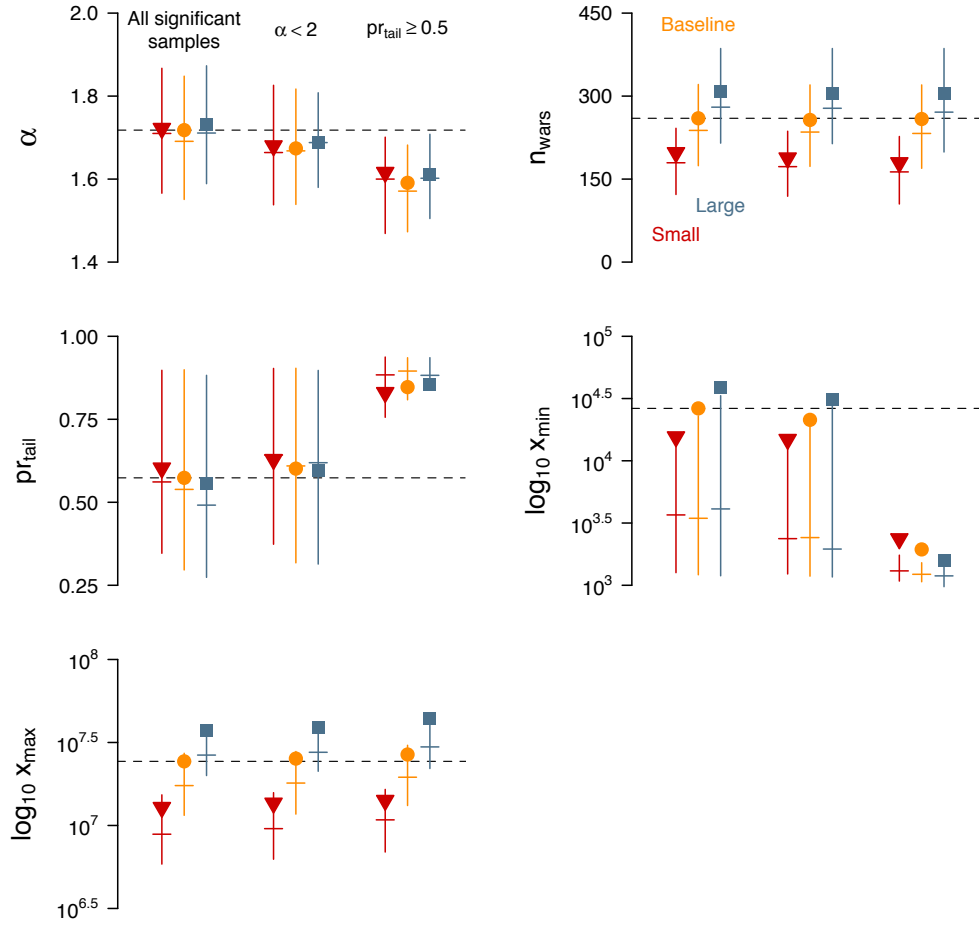


図 4 s を変化させた 900 試行の出力結果：記号は平均値，水平の実線は中央値，垂直の実線は第 1 四分位値から第 3 四分位値までの範囲，点線は表 1 の設定に等しい $s = 3000$ の 300 試行の平均値を示す．逆三角形は $s = 2000$ の，円は $s = 3000$ の，四角形は $s = 4200$ の集計値をそれぞれ示す．各パネルの内，左の 3 つは H_0 「データはべき乗分布に従う」を棄却できない ($p > 0.05$) 881 試行から集計した値，中央の 3 つは その内 $\alpha < 2.0$ を，右の 3 つは $pr_{\text{tail}} \geq 0.5$ を満たす試行（伊藤 近刊の“現実的な”分布の定義 **a**, **b** に対応）のみを集計した結果を示す ($s = 3000, n_0 = 300$ の場合，基準を満たす試行数は各 268, 152 試行)．なお， x_{min} は H_0 を棄却できない範囲の下限値， x_{max} はデータ全体の上限値， pr_{tail} は x_{min} 以上の範囲に含まれる戦争数が分布全体の戦争数に占める割合を示す．

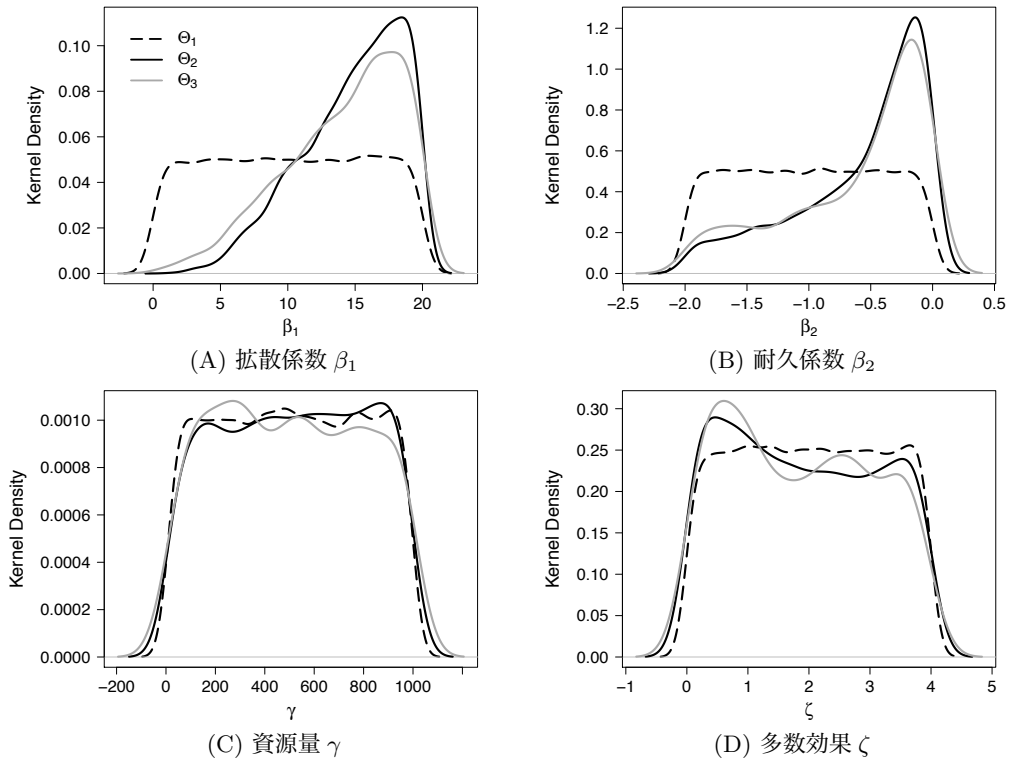


図 5 $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ におけるパラメータの確率密度：破線は Θ_1 に，黒の実線は Θ_2 （定義 a）に，グレーの実線は Θ_3 （定義 b）における $\beta_1, \beta_2, \gamma, \zeta$ の確率密度を示す。

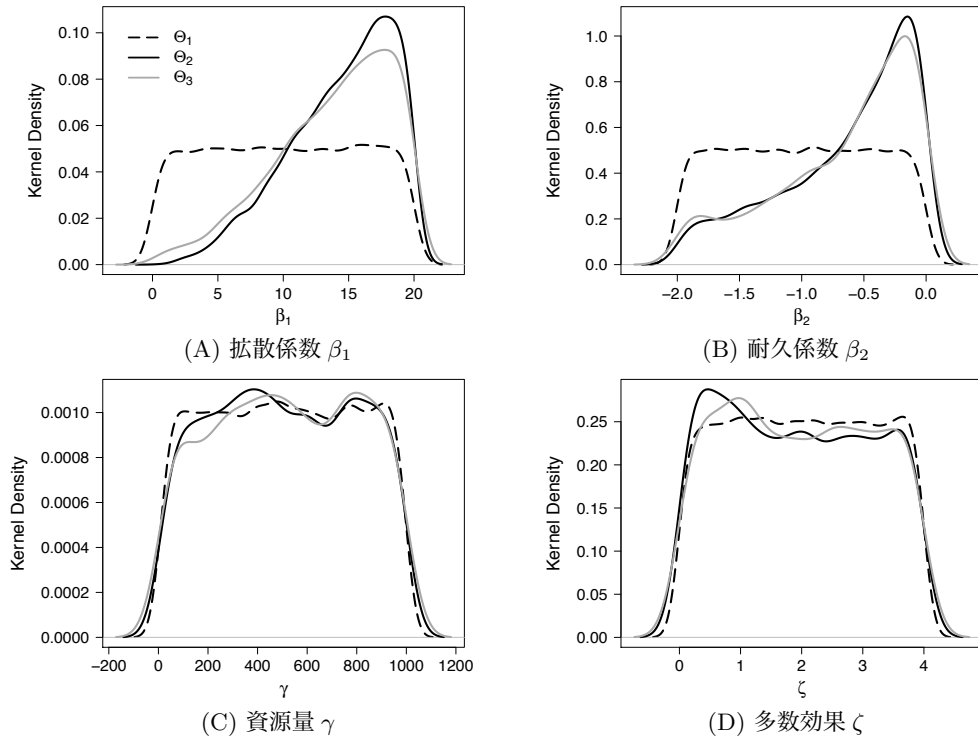


図 6 $s = 2000$ の場合の $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ における各パラメータの確率密度

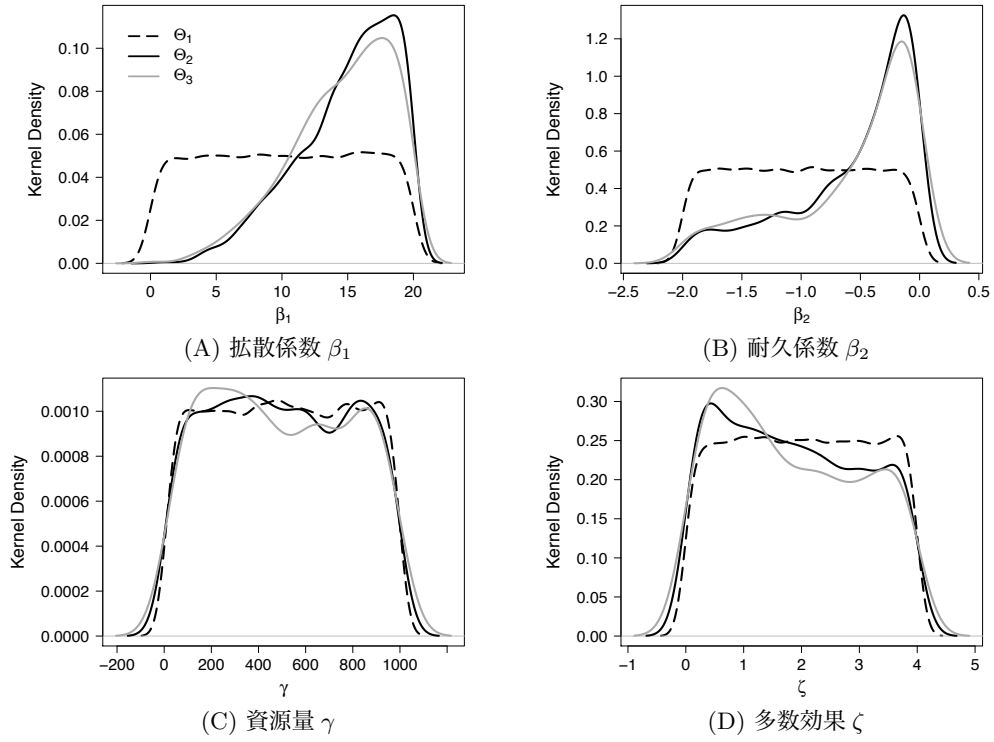


図 7 $s = 4200$ の場合の $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ における各パラメータの確率密度

表 4 ベキ指数 α を従属変数とする重回帰分析 ($s = 3000$)

Variable	Model 1 (Θ_2)			Model 2 (Θ_3)		
	<i>coefficient</i>	<i>std. coefficient</i>	<i>std. error</i>	<i>coefficient</i>	<i>std. coefficient</i>	<i>std. error</i>
β_0	-0.005*	-0.037*	0.002	-0.057***	-0.222***	0.006
β_1	-0.009***	-0.239***	0.001	-0.034***	-0.434***	0.002
β_2	-0.096***	-0.340***	0.005	-0.223***	-0.371***	0.012
γ	0.000	-0.004	0.000	0.000	-0.008	0.000
ζ	0.004*	0.035*	0.002	-0.008	-0.029	0.006
(Intercept)	1.879***		0.013	2.048***		0.033
N		2543			805	
Adjusted R^2		0.224			0.654	

*** $p < 0.01$; * $p < 0.05$. Model 1 は定義 $\mathbf{a} \cdot \Theta_2$ に, Model 2 は定義 $\mathbf{b} \cdot \Theta_3$ に基づく分析結果. 回帰係数は偏回帰係数と標準化偏回帰係数を報告. 標準化残差 $|e'_k| \geq 2.5$ の試行 (Model 1 では 27 試行, Model 2 では 19 試行) にはダミー変数を設定した (表では省略; 表右上の赤字は伊藤 近刊の誤植箇所).

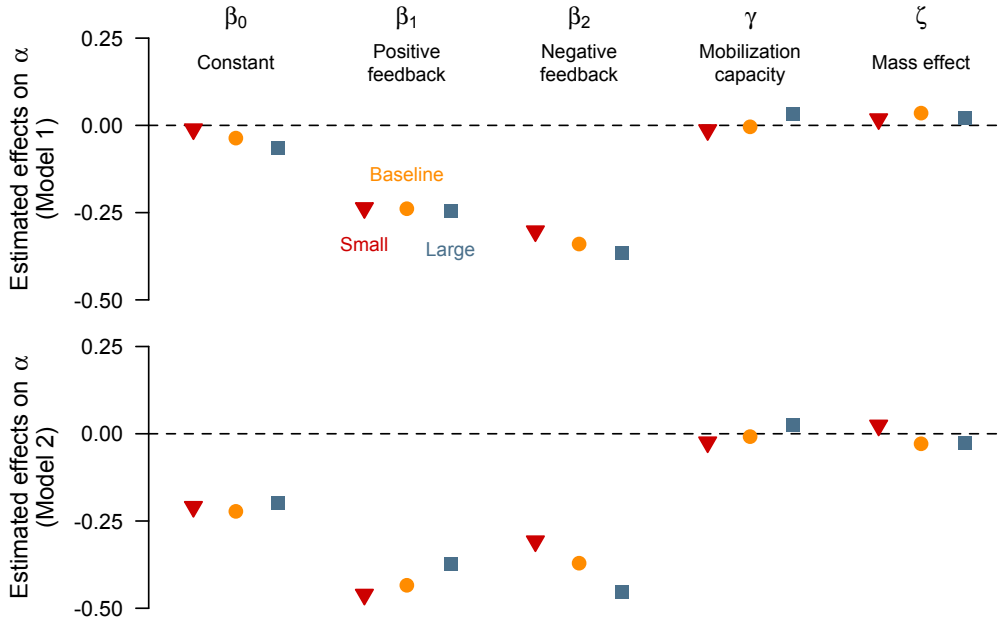


図 8 各パラメータのベキ指数 α への影響 (標準化偏回帰係数): $s = 2000$ (small) $\cdot s = 3000$ (baseline) $\cdot s = 4200$ (large) の場合の回帰分析結果をプロットした. 逆三角形は $s = 2000$ の, 円は $s = 3000$ (ベースライン) の, $s = 4200$ の場合の分析結果をそれぞれ示す.

表 5 ベキ指数 α を従属変数とする重回帰分析 ($s = 2000$)

Variable	Model 1 (Θ_2)			Model 2 (Θ_3)		
	<i>coefficient</i>	<i>std. coefficient</i>	<i>std. error</i>	<i>coefficient</i>	<i>std. coefficient</i>	<i>std. error</i>
β_0	-0.001	-0.011	0.002	-0.054***	-0.209***	0.004
β_1	-0.009***	-0.237***	0.000	-0.034***	-0.461***	0.001
β_2	-0.088***	-0.303***	0.005	-0.185***	-0.308***	0.010
γ	0.000	-0.001	0.000	0.000	-0.024	0.000
ζ	0.002	0.018	0.002	-0.006	-0.024	0.005
(Intercept)	1.860***		0.011	2.012***		0.026
N		3227			1414	
Adjusted R^2		0.182			0.604	

*** $p < 0.01$; * $p < 0.05$. Model 1 は定義 $\mathbf{a} \cdot \Theta_2$ に, Model 2 は定義 $\mathbf{b} \cdot \Theta_3$ に基づく分析結果. 回帰係数は偏回帰係数と標準化偏回帰係数を報告. 標準化残差 $|e'_k| \geq 2.5$ の試行 (Model 1 では 25 試行, Model 2 では 27 試行) にはダミー変数を設定した (表では省略).

表 6 ベキ指数 α を従属変数とする重回帰分析 ($s = 4200$)

Variable	Model 1 (Θ_2)			Model 2 (Θ_3)		
	<i>coefficient</i>	<i>std. coefficient</i>	<i>std. error</i>	<i>coefficient</i>	<i>std. coefficient</i>	<i>std. error</i>
β_0	-0.008***	-0.065***	0.002	-0.044***	-0.198***	0.006
β_1	-0.009***	-0.246***	0.001	-0.028***	-0.372***	0.002
β_2	-0.096***	-0.366***	0.005	-0.239***	-0.454***	0.014
γ	0.000	-0.035	0.000	0.000	-0.026	0.000
ζ	0.003	0.022	0.002	-0.006	-0.026	0.006
(Intercept)	1.881***		0.012	1.980***		0.038
N		2230			603	
Adjusted R^2		0.270			0.610	

*** $p < 0.01$; * $p < 0.05$. Model 1 は定義 $\mathbf{a} \cdot \Theta_2$ に, Model 2 は定義 $\mathbf{b} \cdot \Theta_3$ に基づく分析結果. 回帰係数は偏回帰係数と標準化偏回帰係数を報告. 標準化残差 $|e'_k| \geq 2.5$ の試行 (Model 1 では 31 試行, Model 2 では 11 試行) にはダミー変数を設定した (表では省略).

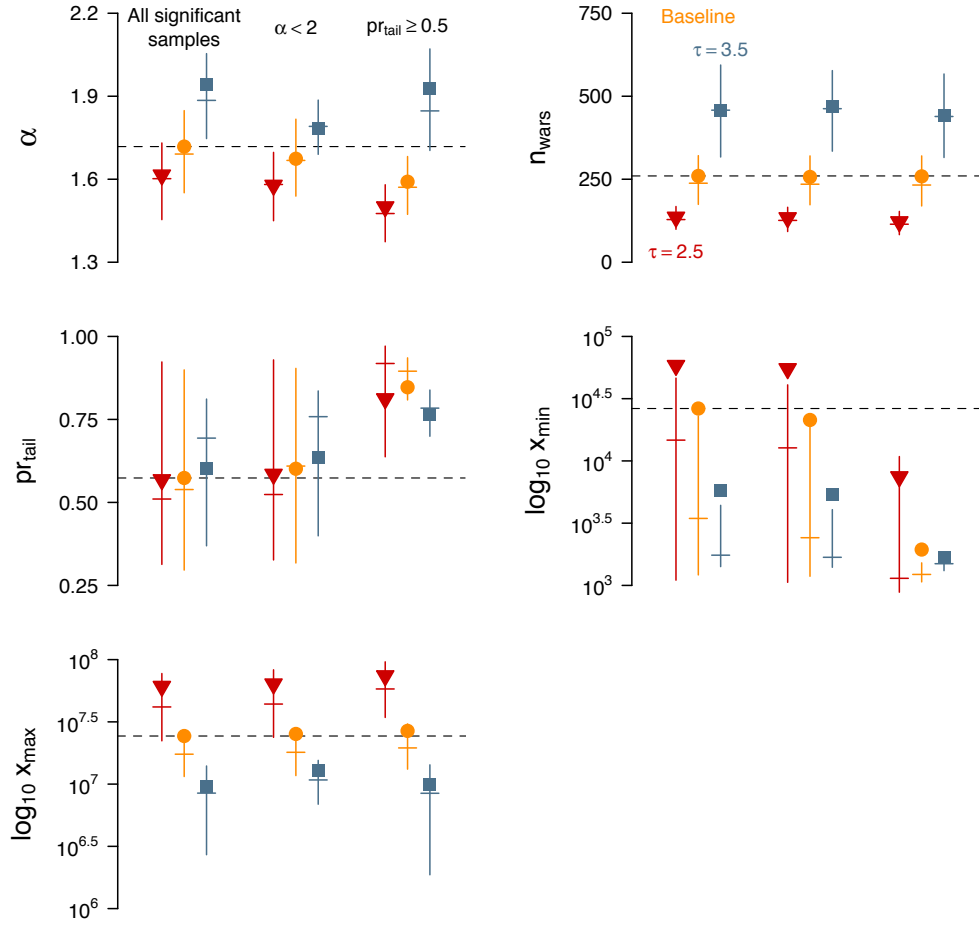


図 9 閾値 τ を変化させた 900 試行の出力結果：記号は平均値，横の実線は中央値，縦の実線は第 1 四分位値から第 3 四分位値までの範囲，点線は表 1 の設定に等しい $\tau = 3.0$ の 300 試行の平均値を示す．逆三角形は $\tau = 2.5$ の，円は $\tau = 3.0$ の，四角形は $\tau = 3.5$ の集計値をそれぞれ示す．各パネルの内，左の 3 つは H_0 「データはベキ乗分布に従う」を棄却できない ($p > 0.05$) 881 試行から集計した値，中央の 3 つはその内 $\alpha < 2.0$ を，右の 3 つは $pr_{\text{tail}} \geq 0.5$ を満たす試行（伊藤 近刊の“現実的な”分布の定義 a, b に対応）のみを集計した結果を示す ($s = 3000, n_0 = 300$ の場合，基準を満たす試行数は各 268, 152 試行)．なお， x_{min} は H_0 を棄却できない範囲の下限値， x_{max} はデータ全体の上限値， pr_{tail} は x_{min} 以上の範囲に含まれる戦争数が分布全体の戦争数に占める割合を示す．

References

- ボールディング, K. E. 1971[1963]. 『紛争の一般理論』 内田忠夫・衛藤濱吉訳, ダイヤモンド社.
- 伊藤岳. 近刊. 「拡大と疲弊の相互作用が生む戦争規模の法則性」 山影進編『アナキーの
もとの秩序：マルチエージェント国際関係論のフロンティア』 書籍工房早山.
- LAVER, MICHAEL, AND ERNST SERGENTI. 2012. *Party Competition: An Agent-Based Model*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- SIVerson, RANDOLPH M., AND HARVEY STARR. 1991. *The Diffusion of War: A Study of Opportunity and Willingness*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- WEIDMANN, NILS B., AND IDEAN SALEHYAN. 2013. “Violence and Ethnic Segregation: A Computational Model Applied to Baghdad.” *International Studies Quarterly* **57**(1): 52–64.