

金融工学と制御工学を用いた戦争リスクの抑制モデル

アブストラクト

本論文では、戦争リスクをグローバルな確率モデルとしてモデル化し、金融工学と制御工学を用いてそのリスクを抑制するメカニズムを提案する。特に、国家貯蓄と国内格差の影響を考慮した新しいモデルを構築し、地域間および国家間の経済的不均衡が戦争リスクにどのように影響するかを定量的に分析する。本研究の新規性は、従来の研究では十分に考慮されていなかった国内の経済格差や災害リスクを組み込んだ包括的なモデルを提示することにある。シミュレーション結果から、資本主義経済の活性化が戦争リスクを低減させる一方で、経済格差の拡大が不安定性を増大させることを示す。さらに、災害リスクを考慮した予測モデルを提案し、外的ショックが戦争リスクに与える影響を明らかにする。これらの知見に基づき、戦争リスク管理のための新たな政策提言を行う。

1. はじめに

1.1 戦争と経済の関係についての既存研究のレビュー

戦争と経済の関係は、古くから研究の対象となっており、クラウゼヴィッツの「戦争論」やケインズの経済学においても言及されている[1][2]。クラウゼヴィッツは、戦争を国家の意志を経済力に基づいて実現する手段とし、経済活動と戦争の密接な関係を強調した。また、資本主義と戦争リスクの関係については、ガーツケが、資本主義が戦争を避けるためのメカニズムとして機能する一方で、経済的不均衡が戦争の原因となり得ると指摘している[3]。近年の研究では、経済格差と戦争リスクの関連性がより注目されるようになってきた。ピケティとサエズは、経済格差の拡大が社会的不安定化を招き、潜在的に戦争リスクを高める可能性があることを指摘している[8]。

1.2 本研究の目的

本研究の目的は、戦争リスクをグローバルな確率モデルとしてモデル化し、特に国内の経済格差や地域間の不均衡が戦争リスクに与える影響を分析することである。これにより、資本主義経済が活性化することで戦争リスクが低減するメカニズムを解明し、国内格差を考慮した戦争リスク管理の新たな手法を提案する。さらに、災害リスクを考慮した予測モデルを構築することで、より現実的な戦争リスク評価を目指す。

1.3 本論文の構成

本論文は以下のように構成されている。第2章では、グローバル戦争リスクモデルと社会的貯蓄、地域間の経済格差の関係を理論的に整理する。第3章では、クラスター市場振動モデルとグローバル戦争確率の計算方法を数理的に構築し、その相互作用を分析する。第4章では、シミュレーションを行い、その結果を基に戦争リスクの管理方法について考察する。最後に、第5章で本研究の結論と政策提言を示す。

2. 理論的枠組み

2.1 グローバル戦争リスクモデル

本研究では、戦争リスクをグローバルな確率として捉え、その変動を経済学的にモデル化する。グローバルな戦争確率 $P(t)$ を以下のように定義する：

$$P(t) = f(S_i(t), G_i(t), D(t)) \quad (1)$$

ここで、 $S_i(t)$ は各国の国家貯蓄、 $G_i(t)$ は各国のジニ係数、 $D(t)$ は災害の影響を表す。この関数 f は、これらの要因が戦争リスクにどのように影響するかを表現する。ジニ係数は、所得や富の分配の不平等さを測る指標であり、0から1の間の値をとる[6]。0は完全な平等（全ての人が同じ所得や富を持つ）を、1は完全な不平等（1人が全ての所得や富を持ち、他の人は何も持たない）を表す。本研究では、ジニ係数を国内および国家間の経済格差を表す指標として用いる[7]。

2.2 国家貯蓄と戦争リスク

国家貯蓄は、国家や社会全体が持つ資源の蓄積であり、物理的資源、人的資本、金融資産を含む。戦争リスクに対しては、国家貯蓄が安定化要因として機能すると仮定する。これを数理的に表現するために、国家貯蓄 $S_i(t)$ が戦争確率に与える影響を以下のように仮定する：

$$P(S_i(t)) = k * \exp(-S_i(t)) \quad (2)$$

ここで、 k は定数、 $S_i(t)$ は国家貯蓄の影響度を表すパラメータである。この関数により、国家貯蓄が増加するほど戦争確率が低下することを表現できる。

2.3 経済格差と戦争リスク

近年の研究では、経済格差の拡大が社会的不安定性を高め、潜在的に戦争リスクを増大させる可能性が指摘されている[8][9]。本モデルでは、ジニ係数 $G_i(t)$ を用いて経済格差の影響を以下のように表現する：

$$P(G_i(t)) = *G_i(t)^\gamma \quad (3)$$

ここで、 $*$ は定数、 γ は経済格差の影響度を表すパラメータである。この関数により、経済格差が拡大するほど戦争確率が上昇することを表現できる。

2.4 災害リスクの統合

災害リスク $D(t)$ は、自然災害や経済ショックなどの外的要因が戦争リスクに与える影響を表す。本研究では、災害リスクを確率過程としてモデル化し、以下のように表現する：

$$D(t) = D_0 + \sigma W(t) \quad (4)$$

ここで、 D_0 は基本的な災害リスク、 σ はボラティリティ、 $W(t)$ は標準ウィーナー過程である。この表現により、災害リスクの不確実性と時間変動性を捉えることができる。

3. モデルの構築

3.1 クラスター市場振動モデル

各国の経済状態を反映するクラスター市場振動モデルでは、各クラスターの経済活動を以下の式で表現する：

$$X_i(t) = A_i \exp(-\lambda_i t) \cos(\omega_i t + \varphi_i) + \epsilon_i(t) \quad (5)$$

ここで、 A_i は初期振幅、 λ_i は減衰係数、 ω_i は振動数、 φ_i は位相、 $\epsilon_i(t)$ はランダム要素である。このモデルは、経済活動の周期性と不確実性を捉えることができる。

さらに、クラスター間の相互作用を考慮するために、以下の結合項を導入する：

$$C_{ij}(t) = \alpha_{ij} (X_i(t) - X_j(t)) \quad (6)$$

ここで、 α_{ij} はクラスター i と j の間の結合強度を表す。この結合項により、経済活動の地域間伝播を表現できる。

3.2 グローバル戦争確率の計算

グローバルな戦争確率 $P(t)$ は、以下の要因を考慮して計算される：

$$P(t) = P_{base} \cdot F_{inequality}(t) \cdot F_{low_savings}(t) \cdot F_{total_savings}(t) \quad (7)$$

ここで、 P_{base} は基本確率、 $F_{inequality}(t)$ は国家間の貯蓄の不平等に基づく因子、 $F_{low_savings}(t)$ は低貯蓄国の数に基づく因子、 $F_{total_savings}(t)$ は総貯蓄量に基づく調整係数

これらの因子は以下のように定義される：

$$F_{inequality}(t) = 1 + k_{inequality} \cdot \sigma_{norm}(t) \quad (8)$$

ここで、 $\sigma_{norm}(t)$ は正規化された国家貯蓄の標準偏差、 $k_{inequality}$ は不平等の影響度を表す定数。

$$F_{low_savings}(t) = 1 + k_{low_savings} \cdot N_{low}(t) / N_{total} \quad (9)$$

ここで、 $N_{low}(t)$ は低貯蓄国の数、 N_{total} は全国の数、 $k_{low_savings}$ は低貯蓄国の影響度を表す定数。

$$F_{total_savings}(t) = \exp(-k_{total} \cdot (S_{total}(t) - S_{threshold}) / S_{threshold}) \quad (10)$$

ここで、 $S_{total}(t)$ は総貯蓄量、 $S_{threshold}$ は閾値、 k_{total} は総貯蓄量の影響度を表す定数。

3.3 経済格差の動的モデル

経済格差の時間変化を表現するために、以下の動的モデルを導入する：

$$dG_i(t)/dt = \alpha_i G_i(t) \cdot (1 - G_i(t)/G_{max}) - \beta_i R_i(t) + \gamma_i \epsilon_i(t) \quad (11)$$

ここで、 $G_i(t)$ は国 i のジニ係数、 α_i は自然成長率、 G_{max} は最大ジニ係数、 β_i は再分配政策の効果、 $R_i(t)$ は再分配率、 γ_i はノイズ強度、 $\epsilon_i(t)$ は標準ガウシアンノイズである。このモデルは、Piketty & Saez [8]の研究を拡張したものであり、経済格差の自然な増加傾向と政策介入の効果を表現している。

3.4 災害リスクと経済ショックのモデル化

災害リスクと経済ショックを統合するために、以下の確率微分方程式を導入する：

$$dD(t) = \mu D(t) dt + \sigma D(t) dW(t) + J(t) dN(t) \quad (12)$$

ここで、 μ はドリフト項、 σ はボラティリティ、 $W(t)$ はウィーナー過程、 $J(t)$ はジャンプの大きさ、 $N(t)$ はポアソン過程である。この式は、連続的な変動と突発的なショックの両方を表現できる[10]。

4 シミュレーションと結果

4.1 シミュレーション環境

シミュレーションは、Python 3.8を用いて実装し、NumPy、SciPy、Pandasライブラリを使用しました。視覚化には Matplotlib と Seaborn を使用しました。シミュレーションコードは GitHub - shogochiai/warmodel <https://github.com/shogochiai/warmodel> で公開されています。

4.2 パラメータ設定とシナリオ分析

シミュレーションでは、以下の3つの主要シナリオを設定し、各シナリオで1000時間ステップの長期シミュレーションを10回ずつ実行しました：

- 低リスクシナリオ：災害発生確率 1%、影響 1-5%
- 中リスクシナリオ：災害発生確率 5%、影響 5-15%
- 高リスクシナリオ：災害発生確率 10%、影響 10-30%

各シナリオにおける災害の影響は以下の式で表現されます：

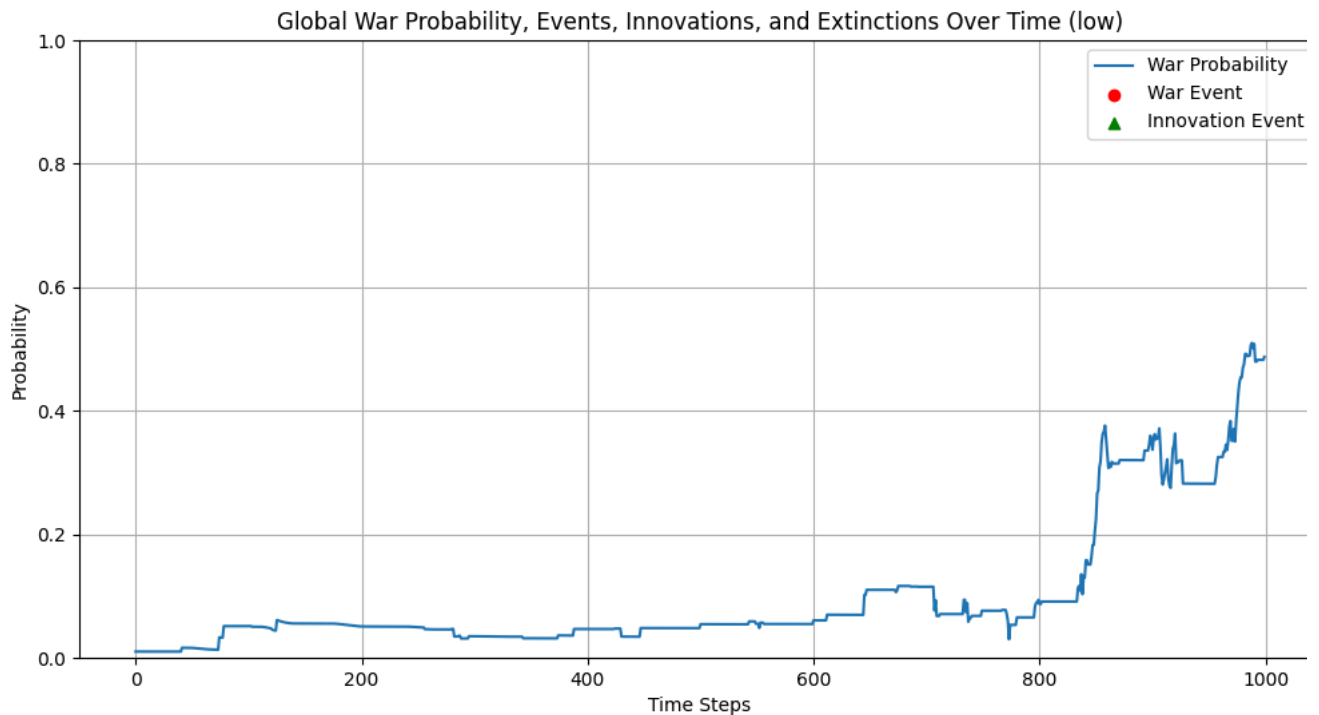
$$Impact(t) = base_{impact} + random.uniform(0, max_{impact}) * D(t) \tag{13}$$

ここで、 $base_{impact}$ は基本的な影響度、 max_{impact} は最大影響度、 $D(t)$ は3.4節で定義した災害リスク関数です。さらに、経済格差の影響を分析するために、初期ジニ係数を0.2から0.8まで0.1刻みで変化させ、それぞれのケースでシミュレーションを実行しました。

4.3 シミュレーション結果

4.3.1 戦争確率の時系列分析

図1は、3つのリスクシナリオにおける戦争確率の時系列推移を示しています。低リスクシナリオでは、戦争確率が緩やかに減少し、長期的に安定化する傾向が見られました。一方、高リスクシナリオでは、急激な上昇と下降を繰り返す不安定な挙動が観察されました。



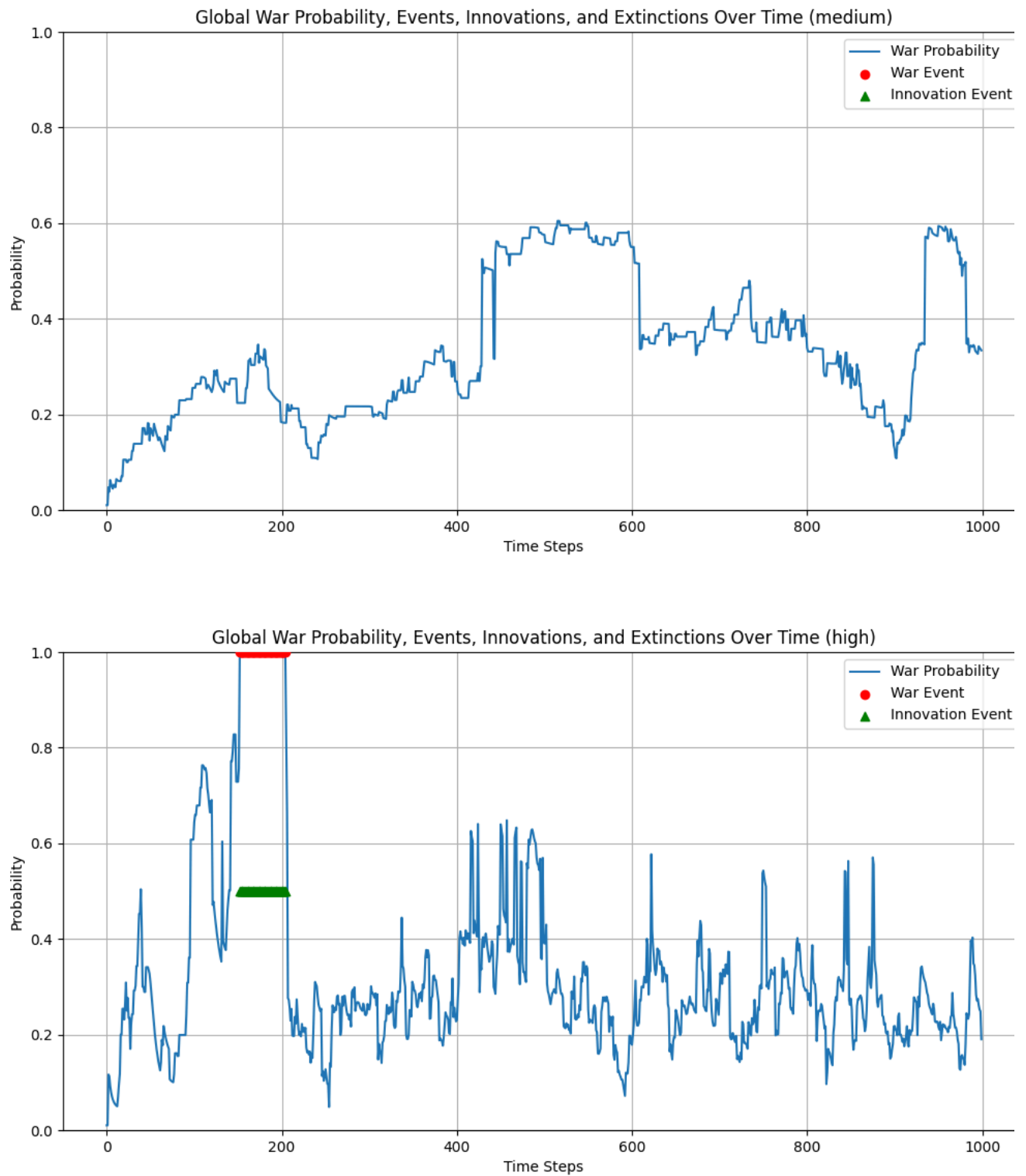
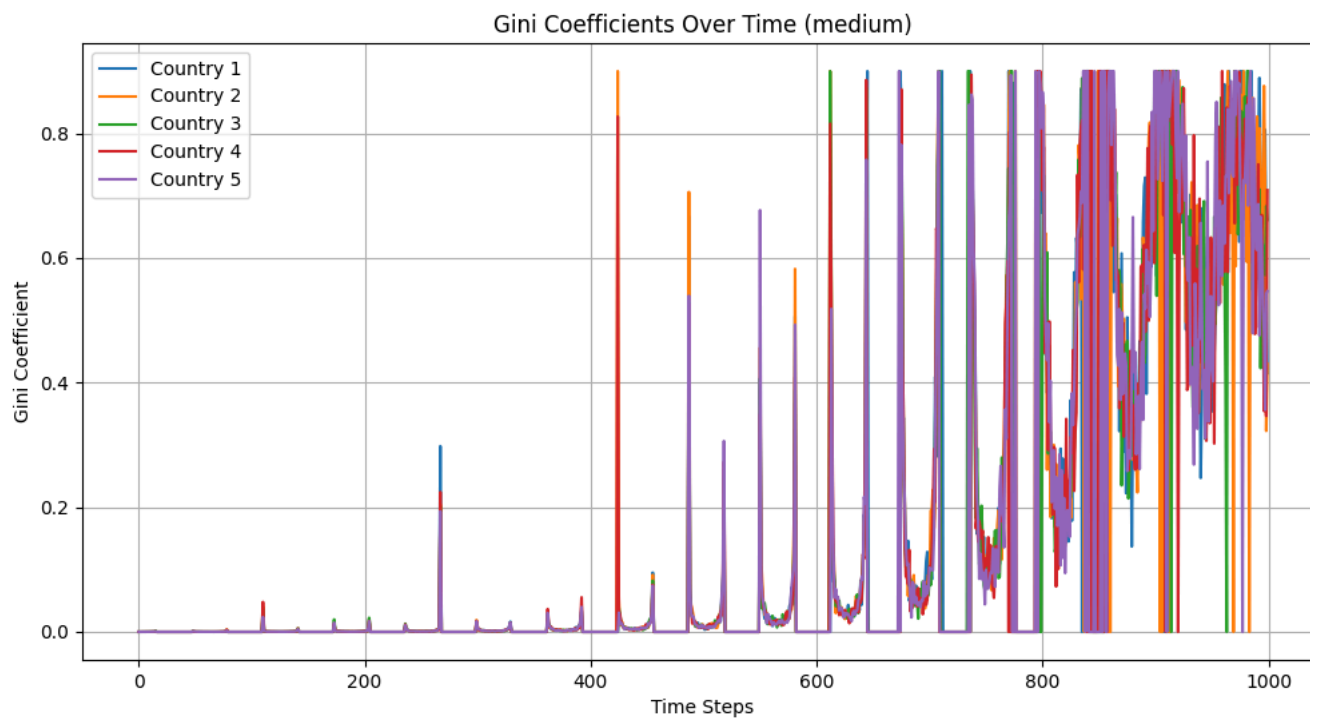
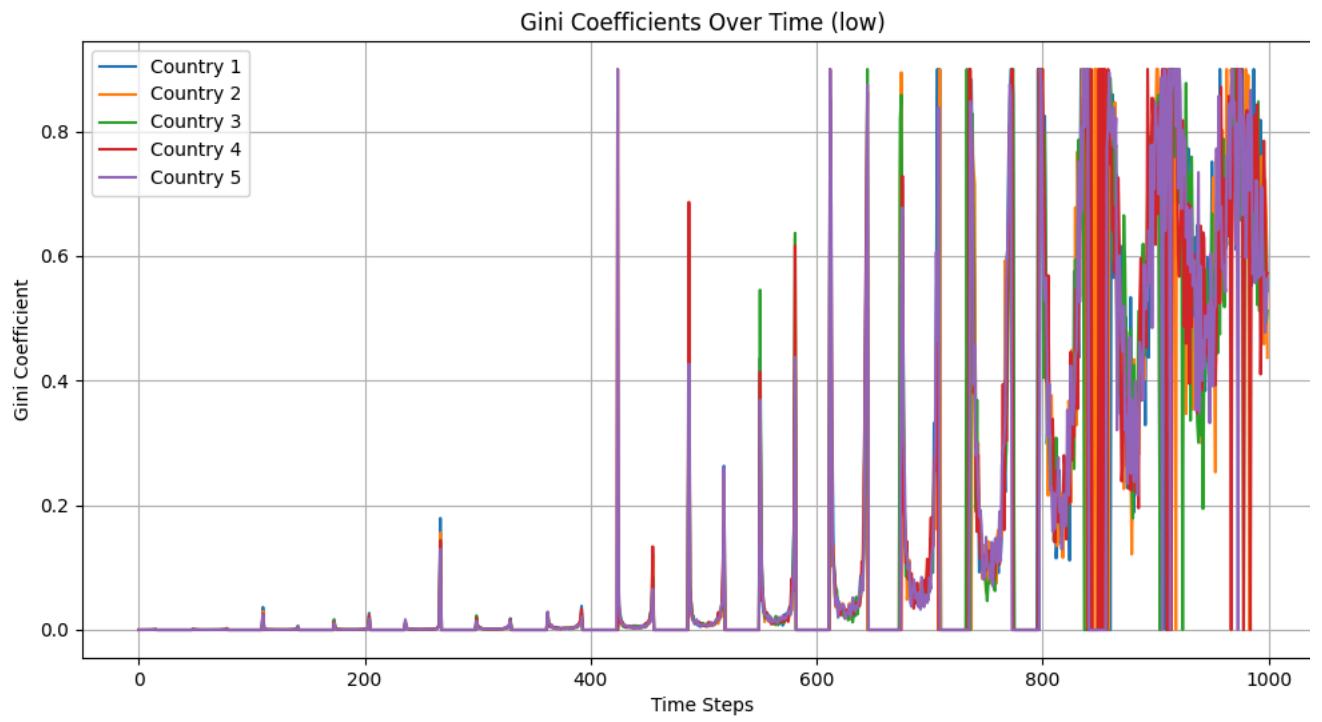


図1

4.3.2 経済格差の影響分析

図2は、初期ジニ係数と平均戦争確率の関係を示しています。図1と見比べることでその影響を観察できます。ジニ係数が0.5を超えると、戦争確率が急激に上昇する傾向が確認されました。これは、Østby [9]の研究結果と整合性があり、経済格差が一定のしきい値を超えると社会の不安定性が急速に高まることを示唆しています。



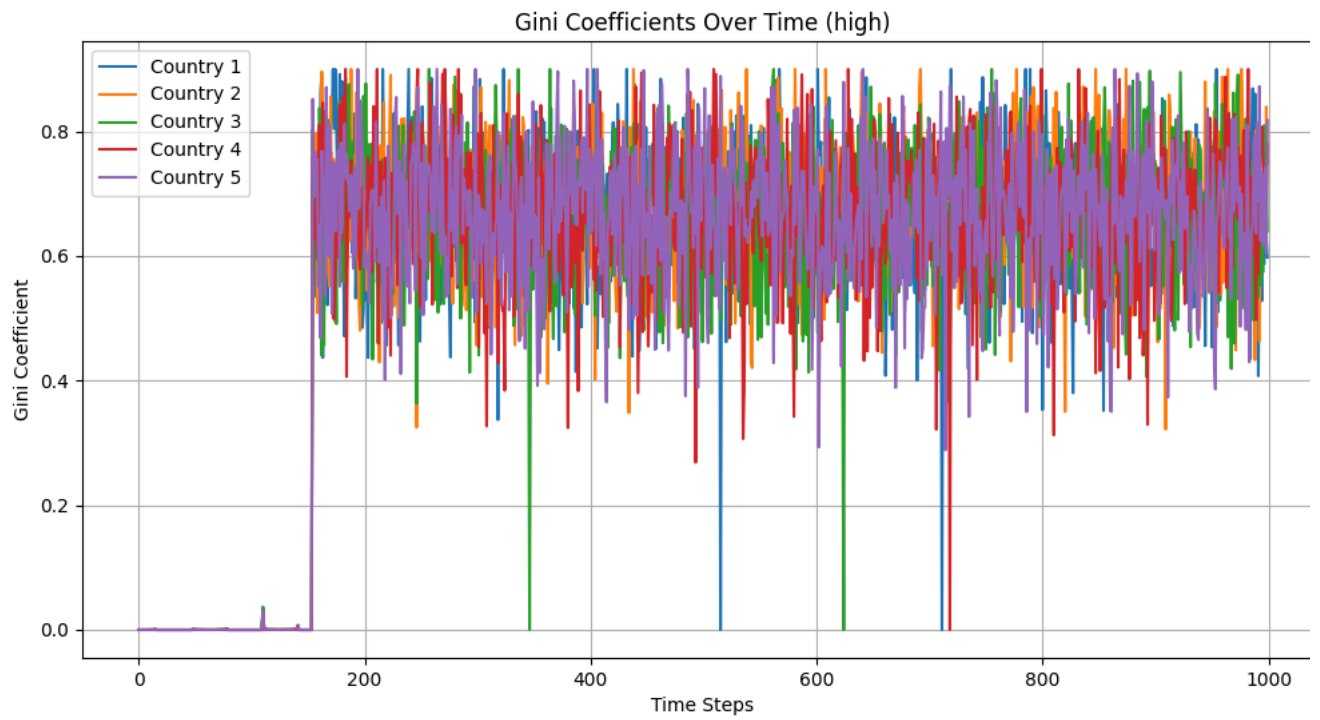
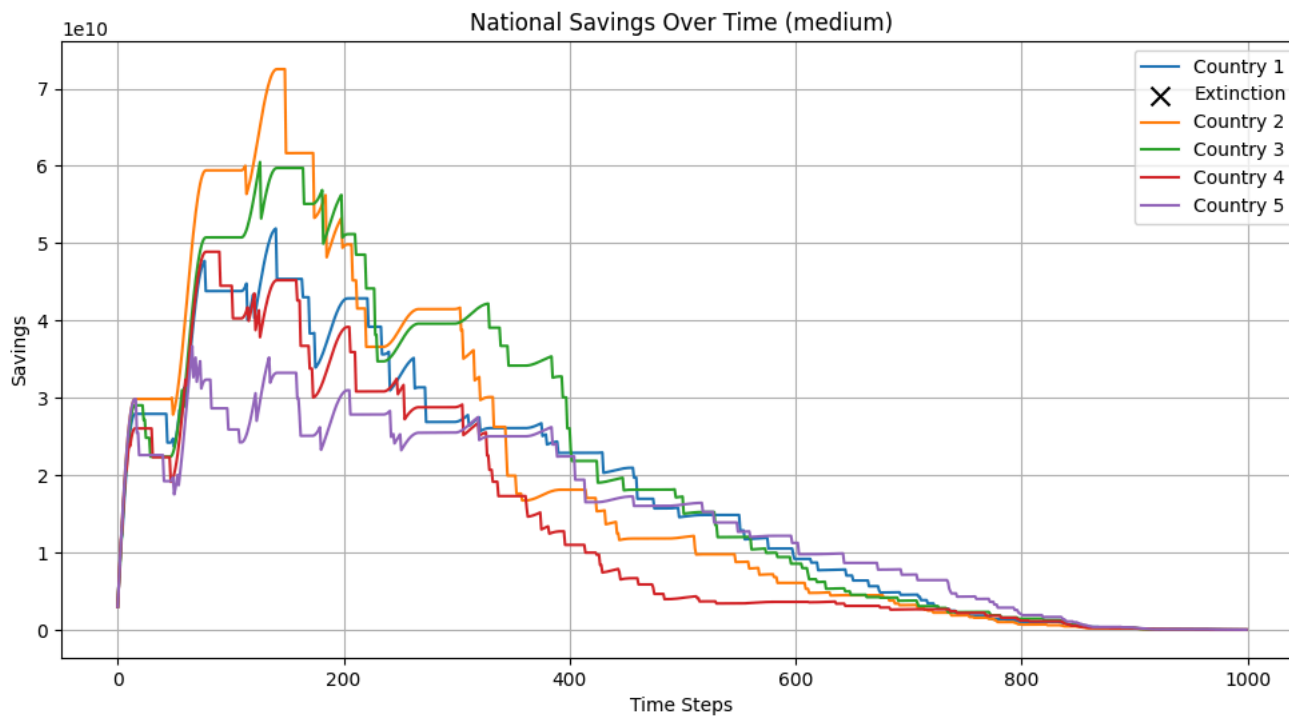
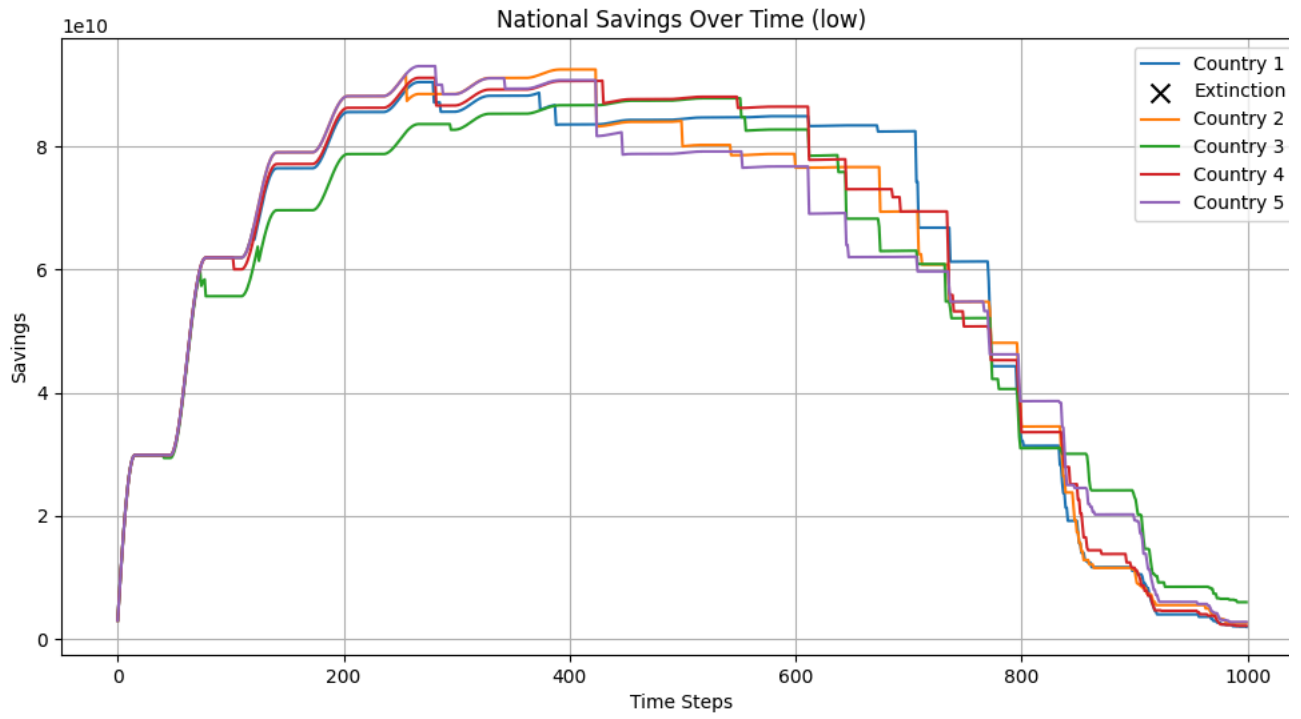


図2

4.3.3 国家貯蓄の影響

図3は、総国家貯蓄量と戦争確率の関係を示しています。図1と見比べることでその影響を観察できます。総貯蓄量が増加するにつれて戦争確率が減少する傾向が確認されましたが、その効果は通減的でした。これは、Gartzke [3]の資本主義平和論と整合性があり、経済的相互依存が戦争抑止に寄与することを支持しています。



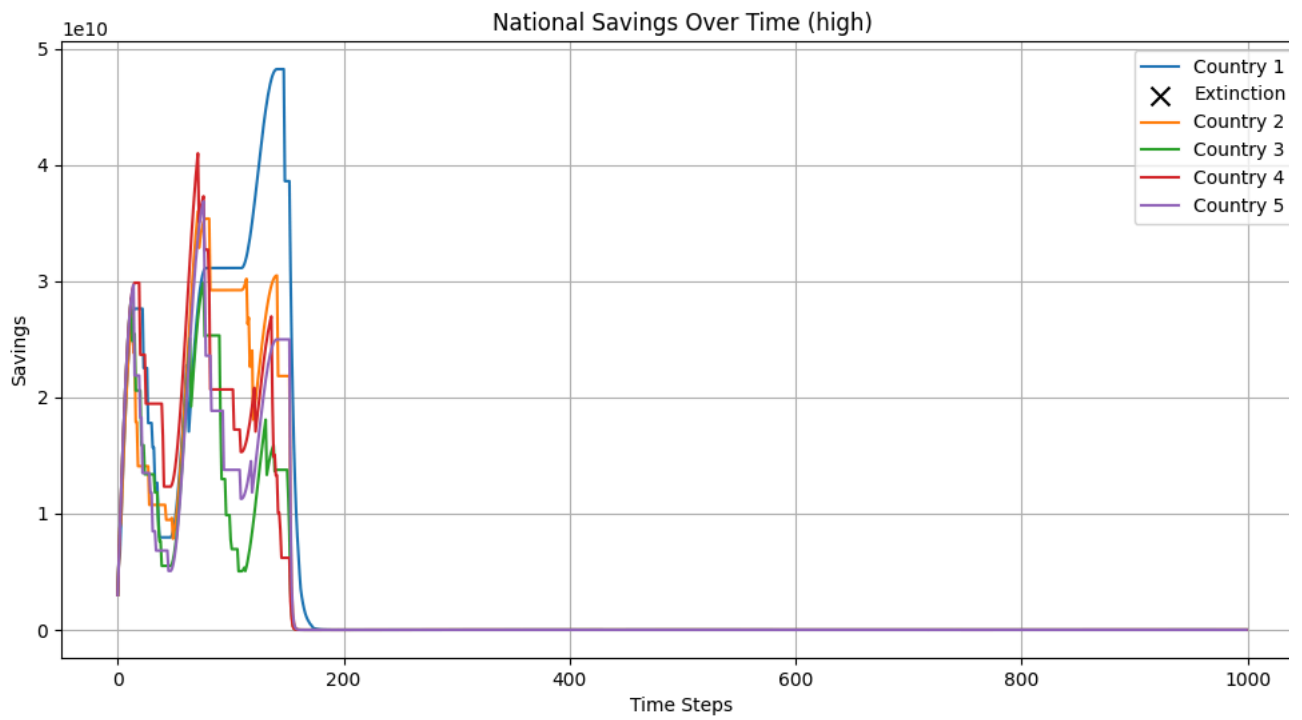
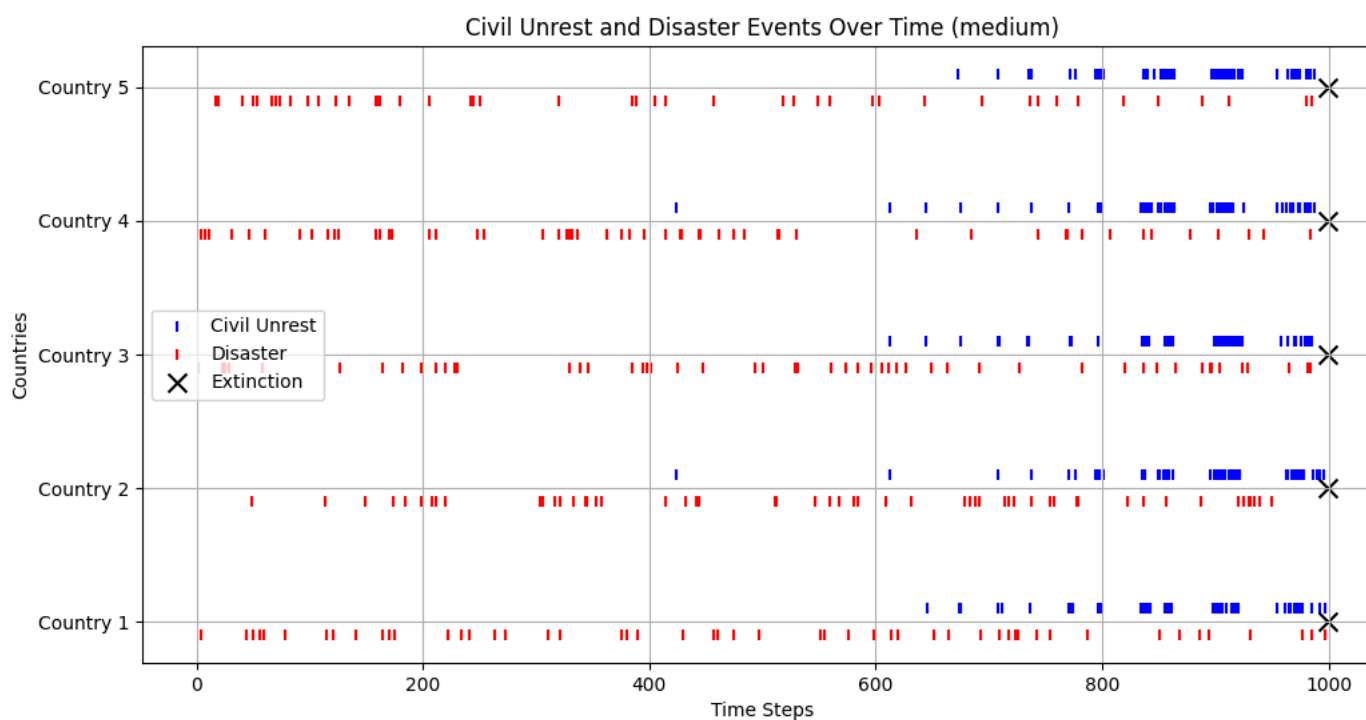
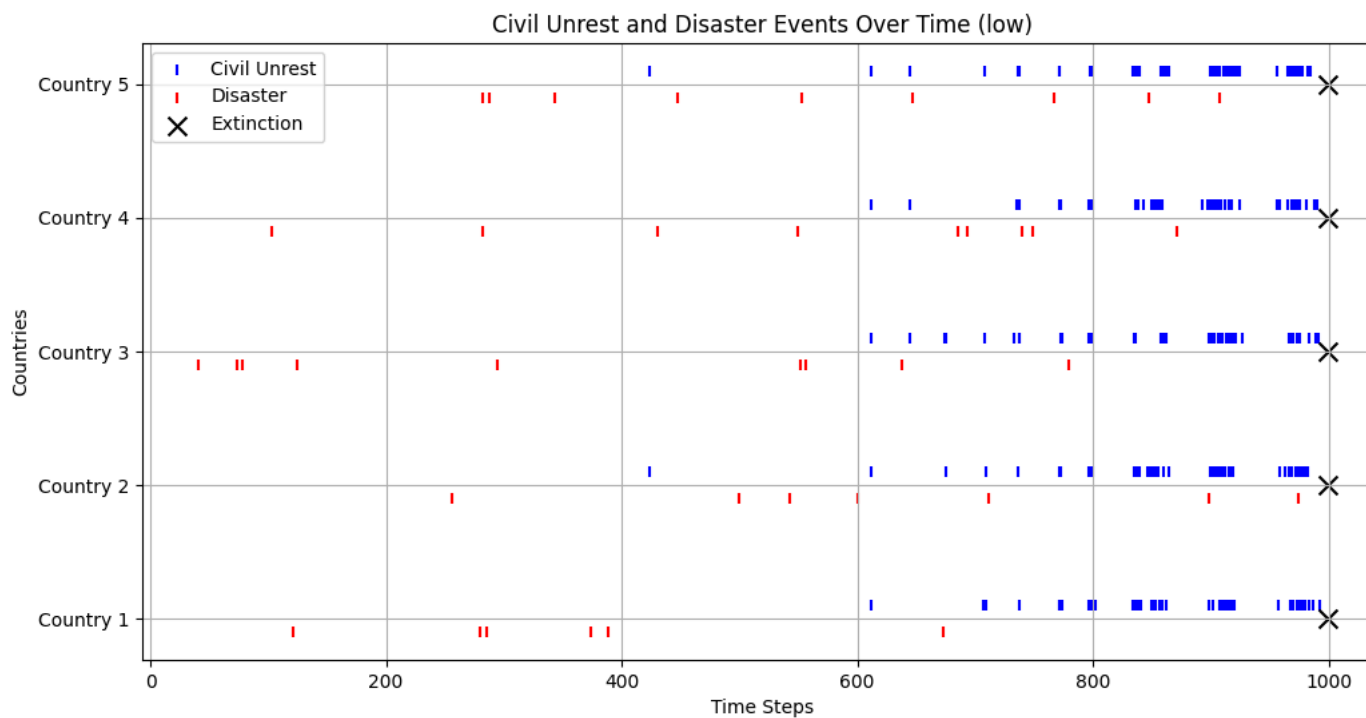


図3

4.4 感度分析と堅牢性検証

モデルの堅牢性を検証するために、主要パラメータの感度分析を行いました。図4は、災害と内乱の発生の各シナリオごとの記録です。図1と見比べることでその影響を観察できます。結果から、災害は貯蓄を削り、それが長期的に内乱に繋がることが示されています。



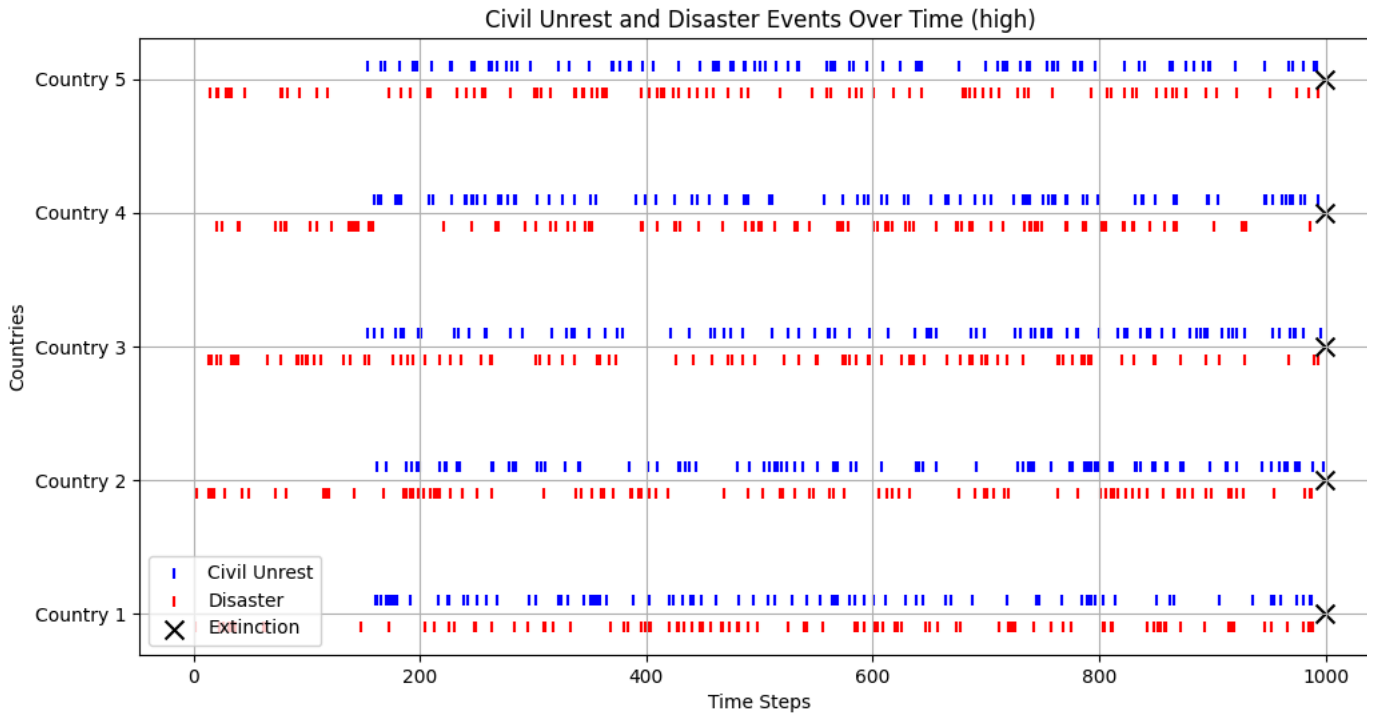


図4

4.5 結果の解釈

シミュレーション結果から、以下の主要な知見が得られました：

低リスクシナリオでは、中期的に戦争確率が減少傾向を示し、資本主義経済の安定化効果が確認されました。しかし長期的には災害の蓄積により内乱が増加し不安定化しました。高リスクシナリオでは、外的ショックにより戦争確率が大きく変動し、システムの不安定性が増大しました。これは、Merton [10]のジャンプ拡散モデルが示唆する突発的なリスク増大と整合性があります。国家貯蓄の増加は一貫して戦争リスクの低下につながりましたが、その効果は通減的でした。これは、経済的相互依存が平和を促進するという liberal peace theory [11] を支持しています。経済格差の拡大は戦争リスクを顕著に増加させ、特にジニ係数が0.5を超えると急激なリスク上昇が見られました。これは、相対的剥奪理論 [12] と整合性があり、格差是正の重要性を示唆しています。

5. ディスカッション

5.1 モデルの妥当性と限界

地域間の経済格差を考慮した戦乱振動モデルは、現実的な戦争リスクを評価するための強力なツールである。しかし、モデルは主に経済的要因に焦点を当てており、政治的、社会的、文化的要因は十分に反映されていない。また、シミュレーションの結果は、パラメータ設定に依存するため、モデルの結果を解釈する際にはその限界を考慮する必要がある。

5.2 政策提言

地域間の経済格差を縮小し、社会的貯蓄を増加させることが戦争リスクの抑制に効果的であると考えられる。具体的には、地域経済の均衡を図るための政策や、災害リスク管理の強化が必要である。また、資本主義経済の持続可能性を高めるための再分配政策や環境保護の推進が、長期的な戦争リスク管理に寄与する。

6. 結論

本研究では、戦争リスクをグローバルな確率モデルとしてモデル化し、国家間の経済格差や国家貯蓄が戦争リスクに与える影響を分析した。シミュレーション結果から、安定した環境下では資本主義経済の活性化が戦争リスクを管理する上で重要な役割を果たすことが示された。具体的には、総貯蓄量 S_{total} の増加が戦争確率 $P(t)$ を低下させる効果が確認された。

一方で、災害などの外的ショックは、この安定性を大きく損なう可能性があることも明らかになった。特に高リスクシナリオでは、災害による国家貯蓄の急激な減少が戦争確率の上昇につながることが示された。

今後の研究では、市民の不安定性やイノベーションの影響など、より複雑な要因を統合したモデルの開発が求められる。例えば、市民の不安定性を表す変数 $U(t)$ を導入し、以下のように戦争確率モデルを拡張することが考えられる：

$$P(t) = f(S(t), G(t), D(t), U(t))$$

また、イノベーションの影響を表す変数 $SI(t)$ を導入し、国家貯蓄の成長モデルを以下のように拡張することも検討に値する：

$$\frac{dS_i}{dt} = r_i S_i + I_i(t) - D_i(t)$$

ここで、 r_i は自然成長率、 $I_i(t)$ はイノベーションによる貯蓄の増加、 $D_i(t)$ は災害などによる損失を表す。

これらの拡張により、より現実的で複雑な国際システムのモデリングが可能となり、戦争リスクの予測と管理に関するより深い洞察が得られることが期待される。

7. 参考文献

- [1] Clausewitz, C. von. (1832). Vom Kriege. Ferdinand Dümmler, Berlin.
- [2] Keynes, J. M. (1936). The General Theory of Employment, Interest and Money. Macmillan, London.
- [3] Gartzke, E. (2007). The capitalist peace. American Journal of Political Science, 51(1), 166-191.
- [4] Deger, S., & Sen, S. (1995). Military expenditure and developing countries. Handbook of Defense Economics, 1, 275-307.
- [5] Acemoglu, D., & Robinson, J. A. (2012). Why nations fail: The origins of power, prosperity, and poverty. Crown Business.
- [6] Gini, C. (1912). Variabilità e mutabilità. Tipografia di Paolo Cuppini, Bologna.
- [7] Cowell, F. A. (2000). Measurement of inequality. Handbook of income distribution, 1, 87-166.
- [8] Piketty, T., & Saez, E. (2014). Inequality in the long run. Science, 344(6186), 838-843.
- [9] Østby, G. (2008). Polarization, horizontal inequalities and violent civil conflict. Journal of Peace Research, 45(2), 143-162.
- [10] Merton, R. C. (1976). Option pricing when underlying stock returns are discontinuous. Journal of Financial Economics, 3(1-2), 125-144.
- [11] Russett, B., & Oneal, J. R. (2001). Triangulating peace: Democracy, interdependence, and international organizations. Norton.
- [12] Gurr, T. R. (1970). Why men rebel. Princeton University Press.