

# 同盟ネットワークのトポロジー特性

古川園 智樹<sup>1,a)</sup> 井庭 崇<sup>2</sup>

**概要:** 国家をネットワークのノード, 同盟をネットワークのエッジとして捉えると, 国際政治システムをネットワークとして分析することができる. 我々は, この同盟ネットワークを, "the World Alliance Web(WAW)" と呼ぶことにする. 本論文の目的は, WAW のトポロジー特性とその変化を分析することで, 国際政治システムの特徴を明らかにすることにある. 本論文では, 1816 年から 2000 年までのデータを一日毎に分析する. その結果, WAW は冷戦開始を境にノードとエッジが急激に増加し, 米国を中心とするネットワークとソ連を中心とするネットワークが出現していることが明らかになった. また, それぞれのネットワークのトポロジー特性の変化から, 米国とソ連の安全保障戦略が明らかになった.

**キーワード:** 同盟ネットワーク, ネットワーク分析, スモールワールドネットワーク

## Topological properties of the World Alliance Web

FURUKAWAZONO TOMOKI<sup>1,a)</sup> IBA TAKASHI<sup>2</sup>

**Abstract:** By defining nations as nodes, and alliances as edges, it becomes possible to look at international political system as undirected networks, which we call "the World Alliance Web (WAW)". In this paper, we explore the characteristics of international political system by analyzing topological properties of WAW. We analyze day-to-day data of alliances from 1816 to 2000. The results show that the number of nodes and edges rapidly increased after the beginning of the Cold War and a connected component with USA as center and a connected component with USSR as center have emerged. In addition, we can observe security strategies of USA and USSR from topological properties of WAW.

**Keywords:** World Alliance Network, Network Analysis, Small-World Network

### 1. はじめに

歴史上, 国家が単独で存在することは極めて稀であり, 多くの場合, 周辺諸国と戦争, 貿易などさまざまな活動を行ってきた. 国家は, 他の国家と様々な相互作用をすることで, 国際システムを構成している [1]. 冷戦終了後, 市場経済が全世界的に広がるグローバリゼーションによって, 国際システムの国家と国家の結びつきは以前にも増して強くなってきている.

こうした国際システムは国政政治学や国政経済学において多くの分析がなされてきた. 特に, 近年の経済物理学においては, 国際貿易を, "the World Trade Web(WTW)" と呼ばれるネットワーク網として分析する, 新しい研究が注目されている [2], [16]. WTW の研究では, 国家をネットワークの点 (ノード), 輸出入をネットワークの線 (エッジ) とみなすことで, 国際貿易全体をネットワークとして分析し, 国際貿易システムの構造の特徴を明らかにしている.

国家をネットワークの点 (ノード), 相互作用をネットワークの線 (エッジ) とみなす考え方は貿易以外の相互作用にも応用することができる. 国家をネットワークのノード, 同盟条約をネットワークのエッジとして考えれば, 国家政治システムもネットワークとして分析することができる. 我々は, この同盟ネットワーク網を WTW に倣って,

<sup>1</sup> 慶應義塾大学 環境情報学部  
Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

<sup>2</sup> 慶應義塾大学 総合政策学部 政策・メディア研究科  
Faculty of Policy Management, Graduate School of Media and Governance, Keio University

a) zono@sfc.keio.ac.jp

“the World Alliance Web(WAW)” と呼ぶこととする。

本論文では、この WAW という同盟ネットワーク網のトポロジー特性を明らかにする。WAW は、国家の独立、植民地化などによってノードが出現、消滅する。同時に、同盟の締結、終了によってエッジも出現、消滅する。これらることによって、WAW のトポロジー特性は日々変化する。そこで本論文では、WAW のトポロジー特性が一日毎にどのように変化したのかを、複雑ネットワーク解析の手法 [17]Pastos2003 を用いて、明らかにする。

WAW という同盟ネットワーク網全体を分析することで、個別の同盟を分析するのではなく、個々の同盟が全体としてどのようなネットワークを構成しているのか、ということ进行分析することができる。同時に、そのようなネットワークを構成する各国の安全保障戦略も考察することができる。本論文では、WAW のトポロジー特性とその一日毎の変化を分析し、その特性とその変化を生み出す原因を考察する。

## 2. 分析データ

本論文の分析に使用したデータは、The Correlates of War Project(COW) \*1 の Formal Alliances(v3.03) である [23], [24]。COW のデータは、1816 年 1 月 1 日から 2000 年 12 月 31 日までの同盟の種類、開始日、終了日、加盟国を明らかにしている。

COW のデータでは、同盟を「defense」(防衛条約)、「neutrality or non-aggression」(中立条約あるいは不可侵条約)、「entente」(協商) の 3 つの種類に分類している。できるだけ多くの同盟をネットワークとして分析するために、本論文では、これら 3 つを区別せずに、全て同じエッジとして分析する。同盟の開始日と終了日に関しては、COW はほぼ全ての同盟の開始日と終了日を特定している。しかし、いくつかの同盟については、開始月と終了月までは判明しているものの、開始日と終了日までは特定できていない。そういった同盟は、開始日と終了日を、暫定的に月の真ん中である 15 日として分析することにした。\*2 また、北大西洋条約機構 (NATO) のような同盟組織に関しては、加盟国の加入日、脱退日、組織の解散日などが全て特定されている。そこで、こういった同盟組織に関しては、加盟国が同盟組織に参加した場合、他の加盟国全てとエッジを結ぶものとする。

## 3. WAW の全体像

まず初めに、WAW の全体像を理解するために、1816 年 1 月 1 日から 2000 年 12 月 31 日までの国家数 (ノード数)

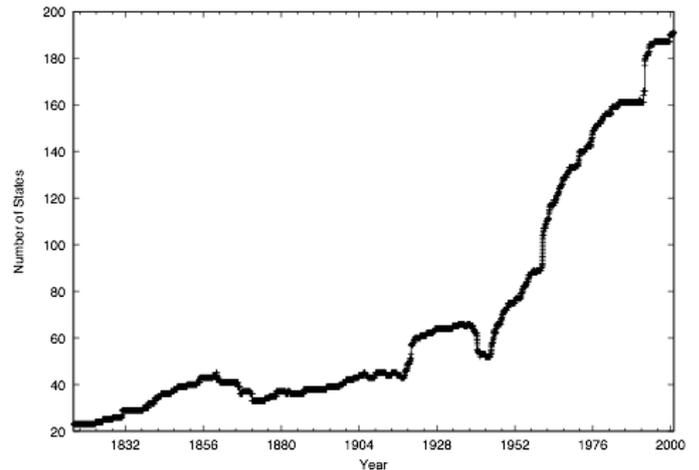


図 1 国家数の変化

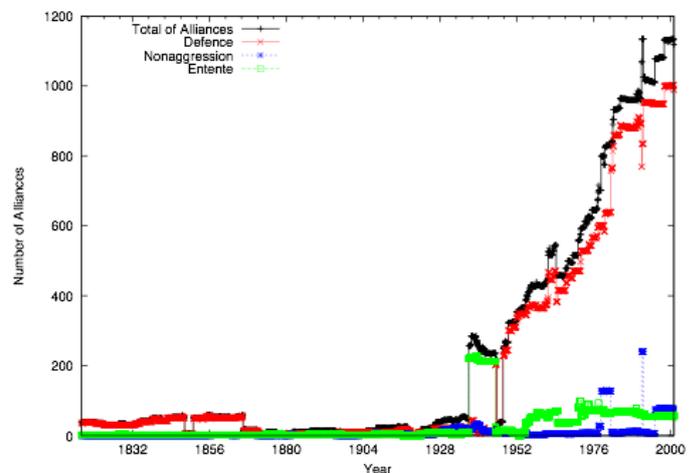


図 2 同盟数の変化。黒は全同盟数、赤は防衛条約数、青は不可侵条約数、緑は協商数。

と同盟数 (エッジ数) の変化を調べる。図 1 と図 2 は、1816 年 1 月 1 日から 2000 年 12 月 31 日までの国家数 (ノード数) と同盟数 (エッジ数) の一日毎の変化を表している。

図 2 が示しているように、1936 年にエッジ数が急激に増加している。1936 年以前は、同盟数は最大でも 15 程度であったが、1936 年以降は少なくとも 250 以上もの同盟が存在するようになった。例えば、図 3 は 1850 年 1 月 1 日時点での、WAW のスナップショットである。この時点では、同盟はほとんど存在していない。1936 年以前においては、国家数も同盟数も極めて少なかったと結論付けることができる。

1936 年に同盟数が急激に増加したのは、米国主導のもとアメリカ大陸諸国同士で協商\*3 を締結したからである。1936 年に同盟数が急激に増加したものの、第二次大戦中は同盟数は横ばいであった。第二次大戦中、枢軸国側の同盟数が少なかったために、WAW に大きな変化は起きていない。第二次大戦の終了とともに、アメリカ大陸諸国での協

\*3 Treaty on the Prevention of Controversies

\*1 <http://www.correlatesofwar.org/>

\*2 ただし、これらの同盟は 19 世紀前半の記録の少ない時代のものなので、開始日と終了日を暫定的に 15 日としたことの全体への影響はほとんど無い。

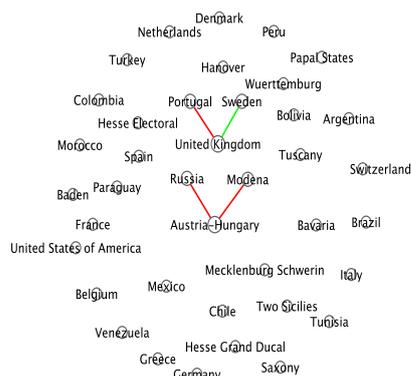


図 3 1950 年 1 月 1 日時点での WAW。赤は防衛条約，緑は協商。同盟を全く締結していない国家も含めて描画している。

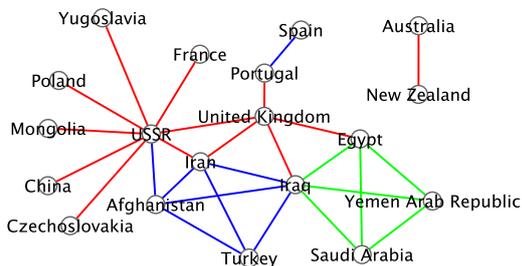


図 4 1946 年 1 月 1 日時点での WAW。赤は防衛条約，青は不可侵条約，緑は協商。同盟を全く締結していない国家は除外して描画している。

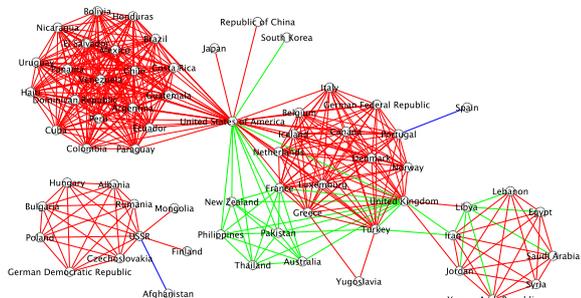


図 5 1955 年 6 月 1 日時点での WAW。赤は防衛条約，青は不可侵条約，緑は協商。同盟を全く締結していない国家は除外して描画している。

商も解消された。

しかし、冷戦はこうした状況を一変させた。冷戦が始まると、米国とソ連は、北大西洋条約機構 (NATO) やワルシャワ条約機構のような同盟を、世界中で次々と結んでいった。日米安全保障条約もその一つである。これ以降、同盟数は右肩上がりに増加していくことになる。第二次大戦直後は、ソ連が連合国側に属していたこともあって、図 4 が示しているように、小規模ではあるがまとまった連結成分が存在していた。この連結成分は、米ソの対立構造を反映して、大きく 2 つに分裂する。図 5 は 1955 年 1 月 1 日時点での WAW のスナップショットである。米国

を中心とする西側ブロックの連結成分 (the Western Bloc Component:WBC) と、ソ連を中心とする東側ブロックの連結成分 (the Eastern Bloc Component:EBC) に WAW が分裂していることがわかる。冷戦中は WAW は基本的にこの WBC と EBC に分裂していた\*4。

冷戦開始以前の WAW は、ノードの数も少なく、しかもそれがほとんど連結していなかった。冷戦によって東西両陣営が集団安全保障を世界中に拡大することによって、WAW 内のノードが一気に連結した。この変化は「相転移」として捉えることもできるだろう。WAW には、巨大な連結成分が出現し、米ソ対立を反映して、2 つの成分に分裂した。冷戦が終結し米国の一極体制になると、EBC は消滅して、米国を中心とする連結成分が出現した。

#### 4. WBC と EBC のトポロジー特性

##### 4.1 WBC と EBC の特徴

WAW には、冷戦によって、米国を中心とする西側ブロックの連結成分 (the Western Bloc Component:WBC) と、ソ連を中心とする東側ブロックの連結成分 (the Eastern Bloc Component:EBC) という 2 つの巨大な連結成分が出現した。それ以前には、連結成分はほとんど無かった。そこで、以下の分析では、WBC と EBC に着目して、そのトポロジー特性を分析する。

分析する期間は、北大西洋条約機構 (NATO) が設立された 1949 年 4 月 4 日から 2000 年 12 月 31 日までとする。分析開始時点を NATO の設立時点にしたのは、このことによって WAW に巨大な連結成分が出現したからである。注意が必要なのは、上記で説明したように、まだこの時点ではこの巨大な連結成分は WBC と EBC には分裂していない。1955 年 5 月 15 日にワルシャワ条約機構が設立されると、WAW は WBC と EBC という 2 つの巨大な連結成分に分裂する。従って、分析開始時点から 1955 年 5 月 15 日までは WBC と EBC の分析結果は一致するが、当初の巨大な連結成分も分析対象とするために、1949 年 4 月 4 日から分析することとする。また、1984 年 11 月 28 日から 12 月 5 日の間だけ、マルタを介して WBC と EBC が結合しており、その期間の WBC と EBC の分析結果も一時的に一致していることに注意する必要がある。また、1989 年に冷戦が終了した後、WBC と EBC は 1990 年 10 月 29 日に接続するので、それ以降の分析結果も一致する。ただし、1991 年 12 月 26 日にはソ連が崩壊し EBC 自体が消滅するので、それ以降には EBC の分析結果はない。

図 6 は、1949 年 4 月 4 日から 2000 年 12 月 31 日までの国家数 (ノード数) の一日毎の変化を表したものである。EBC は、当初は WBC と比較してノードの数は非常に少ない。しかし、1970 年代に徐々にノード数を増加させて、

\*4 1984 年 11 月 28 日から 12 月 5 日の間だけ、マルタを介して両連結成分が結合したことがある。

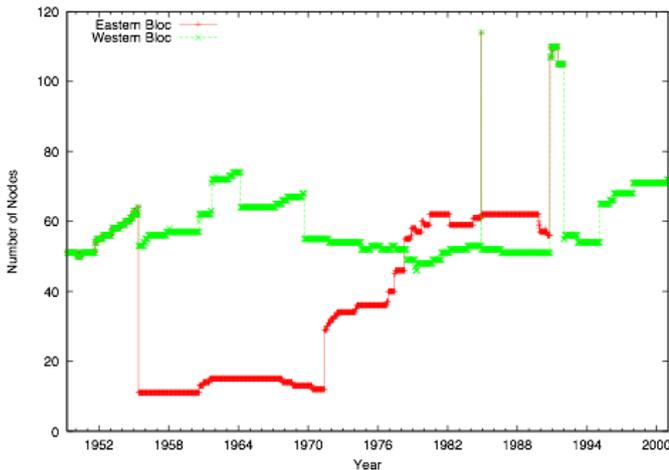


図 6 WBC と EBC のノード数の変化．赤が EBC，緑が WBC

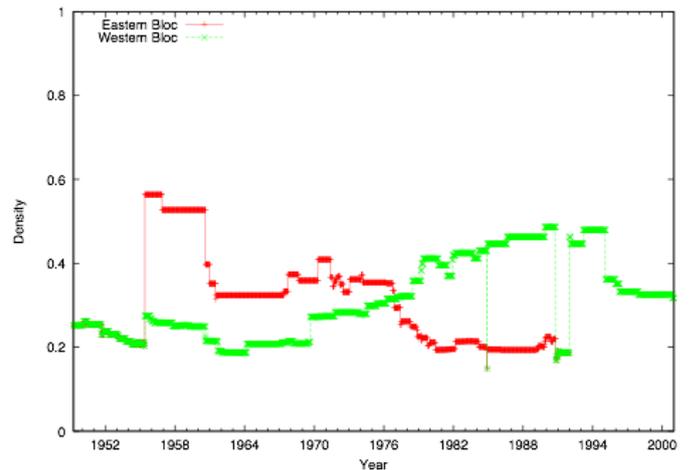


図 9 WBC と EBC の密度の変化．赤が EBC，緑が WBC

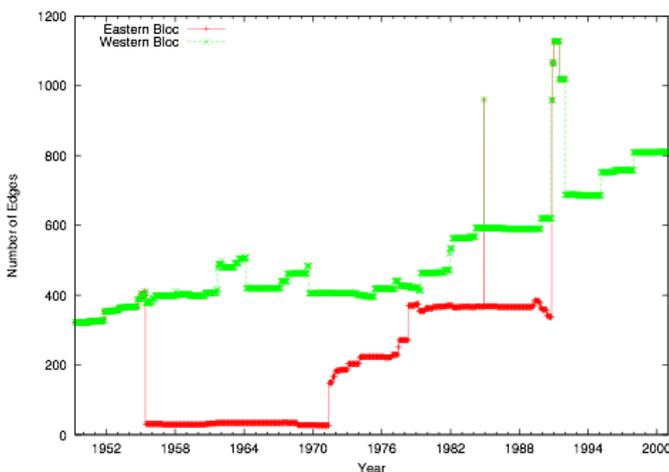


図 7 WBC と EBC のエッジ数の変化．赤が EBC，緑が WBC

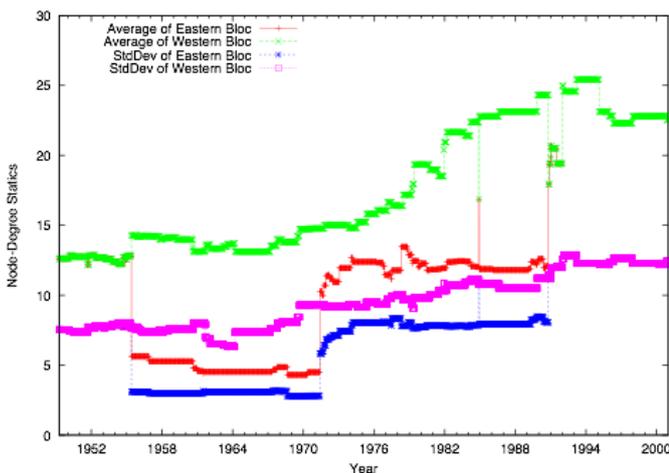


図 8 WBC と EBC の平均次数の変化．赤が EBC の平均次数，緑が WBC の平均次数，青が EBC の標準偏差，紫が WBC の標準偏差

1980 年代には逆転している．一方、WBC のノード数は約 50 から 60 でほぼ安定しており、急激な増加や減少はない。

図 7 は 1949 年 4 月 4 日から 2000 年 12 月 31 日までの

同盟数 (エッジ数) の一日毎の変化を表したものである．EBC のエッジの数は、WBC と比較するとはるかに少ない．1970 年代にノード数の増加と併せて、エッジ数も徐々に増加させて 1980 年代前半に大幅に差が縮まるが、結局 WBC のエッジ数を上回ることにはなかった．一方、WBC のエッジ数は 1980 年代まで約 400 程度であった．以後、徐々に増加していき、2000 年には約 800 まで増加することとなる．

図 8 は 1949 年 4 月 4 日から 2000 年 12 月 31 日までの平均次数とその標準偏差の一日毎の変化を表したものである．WBC の平均次数は、1970 年代前半まで約 13 で安定していたが、それ以降は徐々に増加し、1990 年代半ばには約 25 までになる．一方、EBC の平均次数は、当初は WBC と比べて遥かに少なく、約 5 であった．1970 年代前半に約 12 まで急激に増加するものの、結局 WBC の平均次数を上回ることにはなかった．この結果は、エッジ数の変化とほぼ同じである．

図 9 は、1949 年 4 月 4 日から 2000 年 12 月 31 日までの WBC と EBC の密度の一日毎の変化を表したものである．WBC の密度は、1970 年まで約 0.2 であった．それ以降から 1990 年代半ばまで約 0.5 まで徐々に増加している．一方、EBC の密度は、当初は約 0.6 であったが、1960 年あたりで約 0.3 まで急激に減少する．そこから 1970 年代後半まで安定するものの、1970 年代後半に約 0.2 まで減少する．このことで、EBC の密度は WBC より低くなってしまった．

以上のことから、WBC と EBC の時系列的特徴が明らかになる．当初、EBC のノード数とエッジ数は、WBC と比較して、圧倒的に少なかった．1970 年代の「デタント」と呼ばれる時期は、この勢力差を埋めようとソ連が世界中で同盟を増やしていた時期であった．その成果もあって、1980 年代には EBC は WBC にかなり追いつき、同盟数が上回ることにはなかったが、同盟加盟数では WBC を上回る

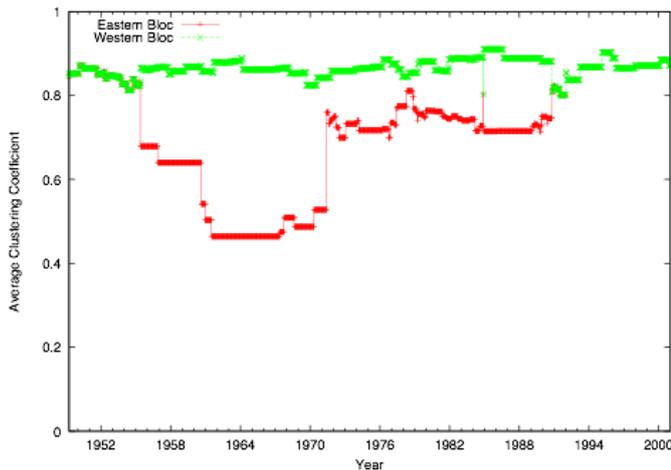


図 10 WBC と EBC の平均クラスター係数の変化．赤が EBC，緑が WBC

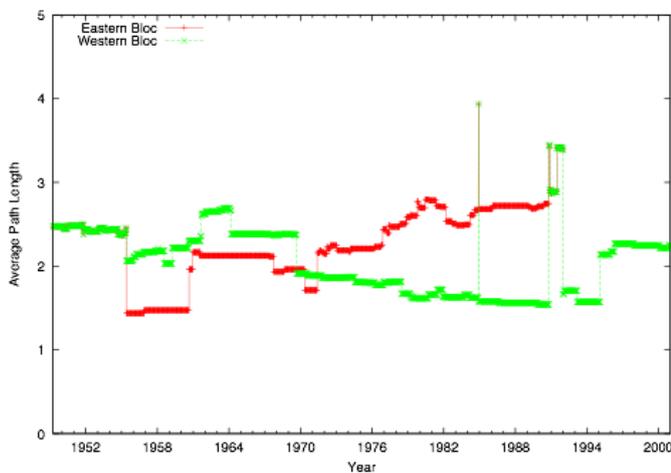


図 11 WBC と EBC の平均経路長の変化．赤が EBC，緑が WBC

こととなった。しかし、そのことは EBC の次数平均を増加させたものの、ネットワーク全体の密度をさらに低下させた。

一方で、WBC の同盟加盟数は冷戦期間を通して大幅に増加することはなかった。しかし、同盟数自体は 1970 年代以降徐々に増加し続け、その結果、WBC のネットワークの密度も次数平均も増大した。

#### 4.2 スモールワールド性

次に、WBC と EBC のスモールワールド性の変化を分析する。この点に関しては、主要国 (米国、イギリス、フランス、ドイツ、ソ連、日本) のクラスター係数と平均経路長の分析の結果、WBC も EBC もスモールワールドネットワークであることが明らかになっている [25]。本論文では、それをより細かく一日毎に分析することで、その時系列的特徴を明らかにする。

図 10 は、1949 年 4 月 4 日から 2000 年 12 月 31 日までの平均クラスター係数の一日毎の変化を表したものである。

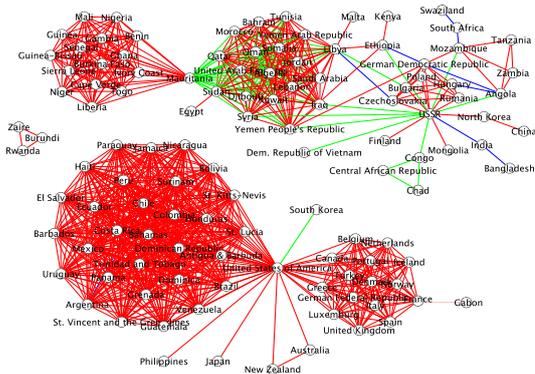


図 12 1985 年 1 月 1 日時点での WAW。赤は防衛条約、青は不可侵条約、緑は協商。同盟を全く締結していない国家は除外して描画している。

WBC の平均クラスター係数は、全体を通して約 0.8 で安定している。一方、EBC のクラスター係数は、当初は約 0.6 で、1960 年代においては約 0.5 であった。1970 年代前半に約 0.7 にまで急激に増加し、以後は安定する。

図 11 は 1949 年 4 月 4 日から 2000 年 12 月 31 日までの平均経路長の一毎の変化を表したものである。WBC の平均経路長は、1970 年まで約 2.5 であった。それ以降、1990 年代後半に約 1.5 になるまで減少し続ける。1990 年代後半になって、約 2.2 にまで突然増加し、以後安定する。EBC の平均経路長は、1960 年まで約 1.5 で、以後、約 2 から 3 まで徐々に増加する。WBC の平均経路長は 1970 年代以降は減少傾向にあったこともあって、EBC の平均経路長は 1970 年代以降は、WBC を上回るようになる。

以上の WBC と EBC の違いの原因は、米国とソ連以外の国家の同盟関係にある。

WBC は米国以外の国家同士も集団安全保障条約を通して、一貫して密接な同盟関係を構築していた。当初は二国間同盟条約だった国も、米国以外の国家と同盟関係に入ることによって、クラスター係数が増加し、平均経路長は低下した。

それに対して、EBC は当初、ソ連が中心となったネットワークであり、WBC と比較すると、ソ連以外の国家同士の同盟関係は少なかった。1970 年代に、ソ連は中東諸国のいくつかの国と同盟関係を築くことに成功する。それらの国々は周辺の中東諸国と集団安全保障条約を結んでいたため、EBC のクラスター係数も増加した。これは、1985 年 1 月 1 日時点での WAW である図 12 を見ると、よくわかる。ソ連はイラク、シリア、イエメンと同盟関係にあり、それらの国々は周辺の中東諸国と集団安全保障条約を結んでいる。また、アフリカ諸国も集団安全保障条約を結んでいるが、これらの国々と中東諸国はモーリタニアを介して接続している。このために、EBC のクラスター係数は以前よりも高くなったものの、平均経路長は WBC より上回っていることとなった。

## 5. 考察とまとめ

本論文では、国家をネットワークのノード、同盟をネットワークのエッジとすることで、国際政治システムをネットワークとして分析した。データは1816年1月1日から2000年12月31日までの同盟関係を対象とした。そのデータからネットワークを作成し、複雑ネットワークの手法を用いてそのトポロジー特性の一日毎の変化を分析した。

その結果、WAWは冷戦開始を境に大きく変化したことが明らかになった。それまではWAWにはノードの数も少なく、連結した成分も少なかった。この状態は冷戦の開始によって大きく変化した。冷戦の開始によって、米国とソ連はそれぞれ同盟を増加させ、結果としてWBCとEBCという2つの大きな連結成分がWAWに出現した。冷戦当初から、米国は北大西洋条約機構や米州条約機構といった集団安全保障を世界中に張り巡らせることに成功し、それがWBCの中心となった。WBCでは、米国以外の国家も徐々にお互いに同盟を結ぶようになり、より連結したネットワークを構成するようになった。

一方で、EBCは冷戦当初においてはWBCと比較して小さなネットワークであった。あくまでソ連を中心としたワルシャワ条約機構がその根幹であった。1970年代のデタント以降、ソ連はまだアメリカと同盟を結んでいない中東諸国やアフリカ諸国と関係を深めることで、その勢力の巻き返しを図った。中東諸国やアフリカ諸国は、それまでにその地域内において集団安全保障条約を締結しており、ソ連とそれらの国々のいくつかが関係を深めたことは、EBCの規模を拡大させトポロジー特性も大きく変化させた。だが、ソ連は中東諸国やアフリカ諸国と集団安全保障条約を結んだわけではなく、それらの国々の数カ国と同盟関係を築くことに成功したに過ぎなかった。EBCは規模を拡大させWBCと似た側面を持ち合わせるようになったものの、密度や平均経路長といった特性ではWBCとの違いは拡大した。

## 参考文献

- [1] 山本吉宣:「帝国」の国際政治学 冷戦後の国際システムとアメリカ, 東信堂 (2006).
- [2] A. Serrano, M. Boguñá, Topology of the world trade web, *Physical Review E* 68, 015101(2003)(R).
- [3] D. Garlaschelli, M. Loffredo, Fitness-dependent topological properties of the world trade web, *Physical Review Letters* 93, 188701(2004).
- [4] D. Garlaschelli, M. Loffredo, Structure and evolution of the world trade network, *Physica A* 355, 138(2005).
- [5] Giorgio Fagiolo, Javier Reyes, Stefano Schiavo, On the topological properties of the world trade web: A weighted network analysis, *Physica A* 387, 3868(2008).
- [6] G. Fagiolo, S. Schiavo, J. Reyes, World-trade web: Topological properties, dynamics, and evolution, *Physical Review E* 79, 036115(2009).

- [7] G. Fagiolo, S. Schiavo, J. Reyes, On the Topological Properties of the World Trade Web: A Weighted Network Analysis, *Physica A* 387, 3868(2008).
- [8] D. Galaschelli, T. Di Matteo, T. Aste, G. Caldarelli, M. Loffredo, Interplay between topology and dynamics in the World Trade Web, *The European Physical Journal B* 57, 1434(2007).
- [9] X. Li, Y. Y. Jin, G. Chan, Complexity and synchronization of the world trade web, *Physica A* 328, 287(2003).
- [10] A. Sellano, M. Boguñá, A. Vespignani, Patterns of dominant flows in the world trade web, *Journal of Economic Interaction and Coordination* 2, 111(2007).
- [11] G. Fagiolo, J. Reyes, S. Schiavo, The evolution of the world trade web, Tech. Rep. 2007-16, Sant'Anna School of Advanced Studies, LEM Working Paper (2007).
- [12] G. Fagiolo, Directed or undirected? A new index to check for directionality of relations in socio-economic networks, *Economics Bulletin* 3, 1(2006).
- [13] M. Barthélemy, A. Barrat, R. Pastos-Satorras, A. Vespignani, Characterization and modeling of complex weighted networks, *Physica A* 346, 34(2005).
- [14] K. Bhattacharya, G. Mukherjee, J. Sarämaki, K. Kaski, S. Manna, The International Trade Network: weighted network analysis, *Journal of Statistical Mechanics: Theory Exp.* A2, P02002(2008).
- [15] K. Bhattacharya, G. Mukherjee, S. Manna, The International Trade Network, in *Econophysics of Markets and Business Networks*, edited by A. Chatterjee and B. Chakrabarti(Springer-Verlag, Milan, Italy, 2007).
- [16] I. Tzekina, K. Danthi, D. Rockmore, Evolution of community structure in the world trade web, *The European Physical Journal B - Condensed Matter* 63, 541(2008).
- [17] R. Albert, A. -L. Barabási, Statistical Mechanics of Complex networks, *Rev. Mod. Phys.* 74, 47(2002).
- [18] D. Watts, S. Strogatz, Collective dynamics of 'small-world' networks, *Nature* 393, 440(1998).
- [19] R. Pastor-Satorras, Vázquez, A. Vespignani, Dynamical and correlation properties of the internet, *Physical Review Letters* 87, 258701(2001).
- [20] S. Dorogovtsev, J. Mendes, *Evolution of Networks: From Biological Nets to the Internet and WWW*, Oxford, Oxford University Press, 2003.
- [21] M. Newman, The structure and function of complex networks *SIAM Review* 45, 167(2003).
- [22] R. Pastos-Satorras, A. Vespignani, *Evolution and structure of the internet*, Cambridge, Cambridge University Press, 2003.
- [23] Douglas M. Gibler, Meredith Sarkees, Measuring Alliances: The Correlates of War Formal Interstate Alliance Data set, 1816-2000, *Journal of Peace Research* 41(2), 211(2004).
- [24] Douglas M. Gibler, *International Military Alliances from 1648 to 2008*, Congressional Quarterly Press Washington, DC (2009).
- [25] 古川園智樹, 鈴木祐太, 井庭 崇, 「国家間同盟ネットワークの歴史的变化」, 情報処理学会 第58回数理モデル化と問題解決研究会, Vol.2006, No.29 93(2006).