

グローバル・サプライチェーンのネットワーク構造に基づく紛争鉱物規制 Conflict mineral regulations based on network structure of global supply chain

水野 貴之^{*1}
Takayuki Mizuno

大西 立顕^{*2}
Takaaki Ohnishi

渡辺 努^{*3}
Tsutomu Watanabe

^{*1} 国立情報学研究所, 総合研究大学院大学複合科学研究科
National Institute of Informatics, School of Advanced Sciences, SOKENDAI (The Graduate University for Advanced Studies)

^{*2} 東京大学大学院情報理工学系研究科
Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

^{*3} 東京大学大学院経済学研究科
Graduate School of Economics, The University of Tokyo

We investigate the network structure of global supply chain using a dataset that contains information on business partners for about 500,000 firms worldwide. First, we show that this network has scale-free topology and that the shortest path length is around six. Second, we show through community structure analysis that the firms comprise a community with those firms that belong to the same industry but different home countries, indicating the globalization of firms' production activities. Finally, we discuss what such production globalization implies for the proliferation of conflict minerals (i.e., minerals extracted from conflict zones and sold to firms in other countries to perpetuate fighting) through global supply chain. We show that several bridge firms between some specific industries and countries play an important role in the global proliferation of conflict minerals.

1. はじめに

環境への負荷増大や貧困、難民問題、人種差別、テロ、地域紛争などへの懸念が地球規模で拡大するなか、グローバルに事業を展開する企業が果たすべき責任とはなにか。「世界を良い方向に変えていく」ための1つの手段として、世界的な視野に立ち、自社とそのサプライチェーン全体の透明性を高め、環境と人権問題に責任を果たすことが求められている。たとえば、英国政府は、大企業に対してサプライチェーンの上流に「労働者の人権を無視した無責任な企業」が含まれていないことを、求めている[1]。また、米国政府は、武装勢力の資金源である紛争地で採掘されたレアメタル（紛争鉱物）を製品に使わないことを求めている[2]。透明性を高めることは、製品の高品質を維持し、長期的な事業効率を改善して、持続可能なサプライチェーンの構築につながる。

グローバル・サプライチェーンに対して複雑ネットワーク解析をおこなうと、世界の90%以上の企業が1つのグローバル・サプライチェーン（最大連結成分）に属しており、しかも、それらの企業から任意に選んだ2社は、わずか平均6取引先を経由すれば繋がることが分かる[3,4]。このような特徴は、スモールワールド性と言われている。スモールワールド性があるために、もし、各企業がグローバル・サプライチェーン上の上流に向かって、無責任な企業が含まれていないか、調査をおこなうと、すぐに全数調査（つまり、全世界の企業を調べること）になってしまい、調査が破綻してしまう。そこで、我々は、グローバル・サプライチェーンのネットワーク構造を利用した、無責任な企業対策・紛争鉱物規制を提案する。

2. データ

我々は、S&P Capital IQ が提供する約50万社のグローバル

ル・サプライチェーンのデータセットと、Dow Jones が様々な報道資料から集めた約5万社のネガティブな報道がなされた無責任な企業（例えば、奴隷労働や環境破壊、紛争鉱物の仕入れ等がマスメディアによって指摘された企業）のリストを用いる。我々は、この2つのデータセットを、企業名や住所情報等を用いて結合した。

3. ネットワーク構造

企業はグローバルに繋がっている。図1は、企業間の取引関係を取引数の多い上位1000社について描いた図である。多くの米国企業、欧州企業、日本企業が密に繋がっていることが分かる。また、アフリカの企業であっても、欧州企業などを通じて、簡単に世界中の企業と繋がってしまうことが分かる。任意に選んだ2社が、いくつかの取引先を仲介して接続されるのかを調べた最短経路長（SPL）の確率密度分布が図2である。任意に選んだ2社は、わずか平均6取引先を経由すれば繋がることが分かる。つまり、無責任な企業がサプライチェーンの上流にないか、サプライチェーンをさかのぼって探すと、6社程度上流にさかのぼっただけで全社になってしまい、とても調査しきれない。

なぜ、6社という僅かな取引先の仲介で繋がってしまうのか。その理由の1つは、コミュニティ構造である。グローバル・サプライチェーンにおける、企業をノード、取引関係をリンクとして、サ

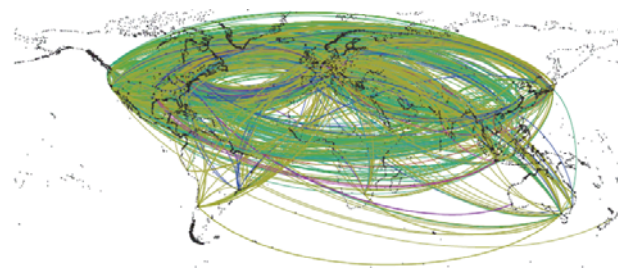


図1 グローバル・サプライチェーン

連絡先: 水野貴之, 国立情報学研究所, 東京都千代田区一ツ橋2-1-2. mizuno[at]nii.ac.jp

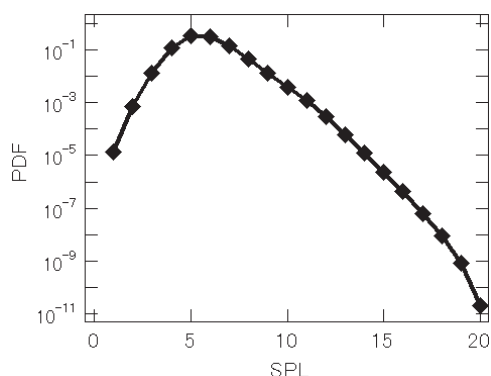


図2 企業間の最短経路長 (SPL) の確率密度分布

サプライチェーンにおける任意の部分のリンク密度を調べると、密になっている部分と疎になっている部分が見つかる。つまり、グローバル・サプライチェーンには、複数の企業コミュニティが存在しており、同じコミュニティに属する企業間には密に繋がっている。そして、少数の企業がコミュニティ間を橋渡しする構造になっている。つまり、どの企業でも橋渡しをする企業(我々は**ブリッジ企業**と呼ぶ)を通じて、世界中の企業と繋がっている。

このようなコミュニティは、ネットワークのコミュニティ検出と呼ばれるアルゴリズムで抽出することが可能であり、本論文では、代表的なアルゴリズムである Louvain 法[5]と MapEquation[6]で検出した。コミュニティは階層構造を持っており、上層のほとんどのコミュニティは、国をまたいで、各製品を生産する工程での原材料から加工、販売をおこなう企業が、ひとまとまりになっていた(つまり、大きな枠での産業を表している)。それらの上層のコミュニティには、国や地域を表す下層のコミュニティが、それぞれ複数所属している。

4. 無責任な企業が集中するコミュニティ

Dow Jones から提供された約 5 万社の無責任な企業が、特定のコミュニティに固まって存在することを示す。もし、この 5 万社がグローバル・サプライチェーン上にランダムに存在するのであれば、コミュニティ内に含まれる無責任な企業数はポアソン分布に従う。図3は、平均値0、標準偏差1に正規化されたポアソン分布と、同じく正規化されたコミュニティに含まれる無責任な企業数の確率密度分布である。この図では、コミュニティ検出に Louvain 法を用いたが、MapEquation でも結果に大差はない。無責任な企業数が、ポアソン分布から明らかに乖離しており、大多数のコミュニティが無責任な企業は殆ど含んでおらず、ポアソン分布での $+2\sigma$ の値を越えるような、ごく少数のコミュニティに無責任な企業が集中していることが分かる[7]。

5. 無責任な企業対策、紛争鉱物規制

4 章から、特定のコミュニティに無責任な企業が集中していることが分かった。つまり、そのコミュニティと、日本企業が属するコミュニティを繋ぐブリッジ企業を検出し、そのブリッジ企業で無責任な企業が生産した中間財が紛れ込んでいないか調査すれば、3 章で示したような全社調査をする必要はなく、僅かなブリッジ企業を調べるだけでよいので、大変、低コストで効率的である。また、調査対象をブリッジ企業だけに絞れるため、ブリッジ企業の川下にある企業のみ、ブリッジ企業から上流の企業の環境改善に責任を持てばよいので、どの企業に責任があるか責任の所在をハッキリさせることができる。

無責任な企業の1カテゴリーとして、紛争鉱物を扱う企業があるが、それらの企業と G8 の企業を結びつけるブリッジ企業は、

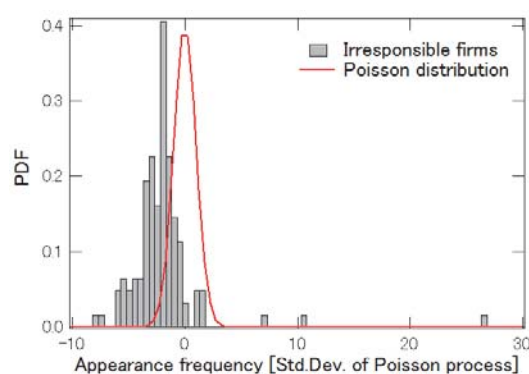


図3 コミュニティに含まれる無責任な企業数の確率密度分布

本論文の 50 万社の内、わずか 14 社である[7]。この 50 万社は、全ての上場企業を含んでおり、世界の大部分の取引量をカバーできているが、もちろん、このカバーできていない取引関係もある。従って、この 14 社のみで規制をおこなうのではなく、この 14 社と同じ属性を持つ企業で規制をおこなうほうがよい。紛争鉱物の場合のブリッジ企業は、スズ・タンタル・タングステン・金の精錬所や鉱物関係の商社であり、これらの企業で規制をおこなえば、紛争鉱物は除去できる。この結果は、2021 年に EU で導入しようとしている紛争鉱物規制の規制対象とほぼ同じである。

紛争鉱物に関する対応は 2010 年頃からおこなわれており、11 年をかけて OECD が中心となり、経験的に効率的な規制対象企業を、やっとの事で特定してきた。しかし、紛争鉱物を扱う企業という1カテゴリー以外の無責任な企業が生産する中間財に対する対策は、まだまだ未整備の状況である。本分析手法を使えば、違法伐採であれば特定の木材加工業、奴隷労働で作られた糸等はアパレルの中間財の卸売業など、簡単に規制対象の業種を特定することができる。本研究は、グローバル・サプライチェーンの透明性を高めることに貢献できる。ひいては、製品の品質を維持し、長期的な事業効率を改善して、持続可能なサプライチェーンの構築につながることが期待できる。

参考文献

- [1] Modern Slavery Act 2015, UK, Mar. 2015.
- [2] Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act, USA, Jul. 2010.
- [3] Takayuki Mizuno, Takaaki Ohnishi, Tsutomu Watanabe. The Structure of Global Inter-firm Networks. Social Informatics Lecture Notes in Computer Science 8852, pp. 334-338, 2015.
- [4] Takayuki Mizuno, Takaaki Ohnishi and Tsutomu Watanabe. Structure of global buyer-supplier networks and its implications for conflict minerals regulations. EPJ Data Science 5, 2 (15 pages), 2016.
- [5] Vincent D Blondell, Jean-Loup Guillaume, Renaud Lambiotte and Etienne Lefebvre. Fast unfolding of communities in large networks. Journal of Statistical Mechanics, 2008, P10008, 2008.
- [6] Martin Rosvall and Carl T. Bergstrom. Multilevel compression of random walks on networks reveals hierarchical organization in large integrated systems. PLoS ONE 6, e18209, 2011.
- [7] Takayuki Mizuno, Takaaki Ohnishi, Tsutomu Watanabe. Exploiting global buyer-supplier networks to improve supply chain due diligence. Submitted to EPJ Data Science.