

論 文

ネットワーク理論と災害発生型テール・リスクの実証研究に関するサーベイ

石 川 清 貴

I. はじめに

マクロ経済のパフォーマンスを評価する上で、地域や産業、個々の企業といったミクロナ視点が必要になりつつある。所得、付加価値、雇用といった地域経済の指標は、都市と地方、産業あるいは国間で重大な不平等が存在することを示しており、この状態がマクロ経済のボトルネックになる可能性がある。従来、部門間の経済的格差を説明する要因として、調整コスト、産業集積、価格の硬直性といった構造が取り上げられてきたが、既存の格差それ自体が、新たな格差を再生産するだけでなく拡大させる原因であることが指摘されている。その背景にあるものが、ミクロナ経済主体の間にある様々な取引の不均衡である。例えば、様々な財の生産に供給される中間投入財の生産拠点である地域があるとすると、その地域に生じた生産性のショックはサプライチェーンを降って（あるいは遡って）他の産業や地域に伝播し、それらの影響が総体としてマクロ経済にまで波及する可能性がある。

ときに生じる大規模な景気低迷の背景にはこうした現象があることが数々の実証研究により明らかにされてきた。本稿では、サプライチェーンに代表される経済主体間の取引を介したリンケージにおける不均衡が、ミクロナ経済主体に生じたショックを増幅し、マクロ経済に影響を及ぼす現象を取り扱った研究を取りまとめる。これはマクロ経済的なテール・リスクと呼ばれるものであり、特に、自然災害、異常気象、政策変更といった特異な（発生確率は非常に低い影響は大きい）災害級のショックを根源としたものに焦点を当てたい。

最初に、テール・リスクの定義とその経済的特徴について明らかにしておく。ほとんどのマクロ経済に関する実証研究は、GDPなどの一国の経済活動を総計した経済指標の変動は正規分布にしたがうと仮定する。分析上の利便性とい

う目的から設けられたものだが、この仮定は、OECD諸国におけるマクロ経済指標の変動をおおむね近似的に捉えることが出来ていた¹。しかしながら、近年の数々の研究は（例えばAcemoglu et al. (2017)）、米国をはじめとするOECD諸国のGDP成長率の分布形状がベルカーブから著しく離れていることを指摘している。すなわち、極端に大きい成長率が正規分布よりも著しく頻繁に観測され、分布形状の裾野が高くかつ広い（図1）。このような分布を一般に、ファット・テールと呼ぶ。したがって、従来の長期経済予測などでは、大規模な景気低迷の頻度をかなり過少予想していることになる。マクロ経済指標におけるテール・リスクとは、（その変動に正規分布を仮定すれば）まれにしか起こらないはずの想定外の暴騰・暴落が実際に発生するリスクのことを意味する。

実際のテール・リスクがどのようなものか、米国のGDP成長率を例に実証してみよう。図2は、戦後の米国のGDP成長率のQ-Qプロットを表している²。

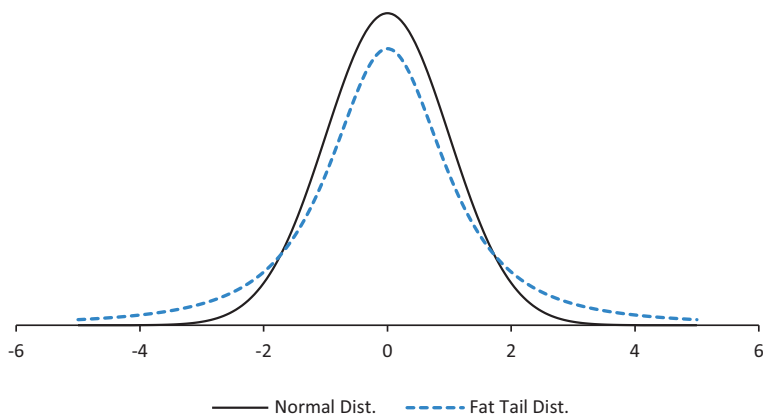


図1 正規分布とファット・テール分布

- 1 過去の観測値をプロットすると、安定成長期にある国のマクロ経済指標はおおむね正規分布にしたがう。マクロ経済のシミュレーションや予測などにおいても、将来の経済指標の変動は確率的に正規分布にしたがうことを仮定することが多い。
- 2 縦軸に観測値が正規分布にしたがうと仮定した場合の期待値、横軸に実際の観測値をプロットした。

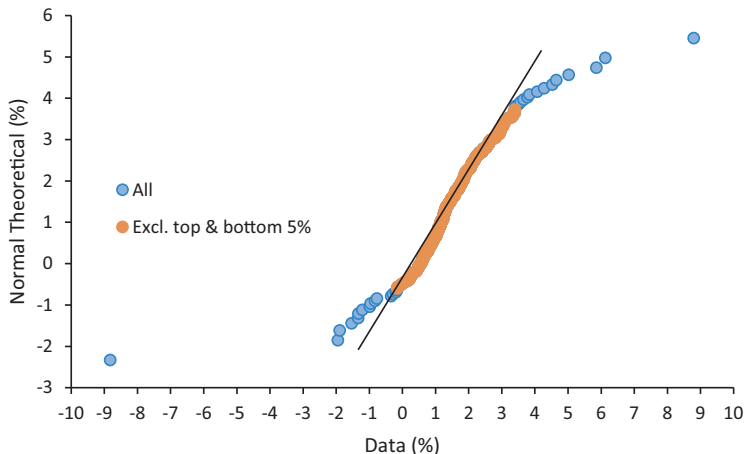


図2 米国GDP成長率（1947Q1-2022Q3）のQ-Qプロット
出所：U.S. Bureau of Economic Analysisをもとに筆者作成

実際の観測値から上位および下位5%を除いた部分については、おおむね正規分布を仮定した期待値に一致していることから、マクロ経済指標の変動は正規分布にしたがうとする従来の近似は、確かに妥当である。しかし、図から明らかのように、実際には正規分布を表す直線からの系統的な偏差が正負のいずれの領域にも見られる。しかも、正規分布から逸脱している観測値には、特異な災害的要因によるもの以外にも、ビジネスサイクルの帰結による景気変動が含まれる³。つまり、通常の景気循環でさえ正規分布から予想される範囲を外れており、大規模な変動がかなりの頻度で発生していることが示唆される。

マクロ経済的なテール・リスクが発生するメカニズムとして、企業や産業部門といったミクロな経済主体間の取引を介したリンケージが、景気後退の規模

3 景気後退を表す観測値のうち、規模が大きい順に2020年Q2の-8.82%、2008年Q3の-1.95%、1949年Q1の-1.90%となる。2020年Q2はCOVID-19によるロックダウンの影響であり、次いで2008年Q3のリーマンショックだが、1949年Q1以降の下位5%観測値のほとんどがビジネスサイクルによる景気後退である。景気拡張についても同様で、上位5%観測値のほとんどが通常の景気循環によるものである。

と頻度を決定づける重要な役割を担うことについて、最近の研究は活発に議論している。Acemoglu et al. (2012) は、その端緒となった研究だが、中間投入財を供給する企業がすべての産業部門においておおむね対称的な役割を果たしているとすれば（すなわち、中間財投入財の供給が特定の産業に偏らない均整のとれた投入・産出構造であれば）、GDP成長率の変動は正規分布にしたがひ、大規模な景気後退が発生する確率は極めて低いことを示した。換言すれば、特定部門への依存がミクロな経済主体に生じたショックを増幅させ、マクロ経済的なテール・リスクを結果的に発生させている。Bernanke et al.(1996) が述べた「小さなショックから生ずる大きなビジネスサイクル」問題に対するアプローチとして、Acemoglu等は、投入・産出構造とマクロ経済指標の変動の分布形状の間にある相関が解決の端緒であるとしている。

本稿の構成は以下の通りである。Ⅱ章では、前述のAcemoglu et al. (2012)をはじめ、マクロ経済的なテール・リスクに対するアプローチとして発展したネットワーク理論についての主要な研究をまとめる。Ⅲ章では、ネットワーク理論を応用した実証研究について、経済主体を産業と企業に分けてレビューする。続いてⅣ章では、災害的なイベントに起因するテール・リスクに焦点を当てた実証研究を網羅し、災害の種類別に系統立ててレビューする。最後に、Ⅴ章で今後の研究の方向性を示し、Ⅵ章で結論を述べて本稿を締めくくる。

Ⅱ. ネットワーク理論の発展

Long & Plosser (1983) によって最初に提唱された複数部門の一般均衡モデルは、投入・産出構造に相当する部門間のリンケージの総体（これを以下、ネットワークと呼ぶ⁴）が大数の法則に対して中立である、すなわち、ある部門が他の部門への供給者として特に重要である場合（e.g. エネルギー、インフラ、輸送）、その部門に生じた特異的なショックは他部門に生じたショックに

4 後章の実証研究のレビューで具体的に述べるが、ネットワークそのものは企業や産業部門間のリンケージの総体を指す。特に、サプライチェーンに代表される企業間の中間投入財の取引関係を表す場合は生産ネットワーク、銀行間の債権持ち合いや銀行と企業の融資関係を表す場合は金融ネットワークなど、研究対象とするリンケージにより異なる。

よって完全には相殺されず、マクロ経済変数の変動に波及する可能性があることを示唆している。この成果を基づいて、Acemoglu et al. (2012) は、ネットワーク・モデルを提案し、その理論的枠組みにおいて、広大な投入・産出構造において中心的な役割を果たす産業部門の規模が有意に大きい場合、マクロ経済指標の変動はその部門固有のショックからも生じることを示した。

Acemoglu et al. (2012) が提唱したネットワーク理論は、具体的には次の事項を理論的に証明した。第一に、大規模な景気収縮の頻度は、ミクロな経済主体に生じたショックの性質に依存している。特に非対称な投入・産出構造のもとでは、ミクロな経済主体に生じたショックの分布が僅かでもファット・テールであれば（発生確率が非常に低い災害級のイベントが実際に起こるならば）、大規模な景気後退が発生する確率が大きく高まる。このことは、多数の企業や産業部門と取引関係のある重要なプレイヤーが経済に存在するならば、この経済のテール・リスクは大きなものになることを示唆している。

第二に、マクロ経済指標に生じた特に大きな変動を（特殊な災害の帰結として捨象し）正規分布に近似して捉えられるととも、ミクロな経済主体に生じるショックの分布によっては、経済に重大なテール・リスクが発生する可能性がある。この帰結は、図2に示した米国のGDP成長率の変動パターンとも整合する。前述の通り、COVID-19やリーマンショックといった災害的ケースを除外したとしても、景気循環による中程度の変動さえ正規分布から乖離することから、テール・リスクの規模と幅は、分析対象とする経済によって大きく異なるであろう。大規模な景気後退の決定要因を研究する重要性を、この図は強調している。

最後に、ミクロな経済主体に生じるショックの分布の正規性と経済主体間のリンケージの非対称性の間には一種の互換性がある。正規分布にしたがうショック（ie. 発生確率が非常に低い災害級のイベントは減多に起こらない）のもとで非対称なリンケージをもつ経済のテール・リスクは、ファット・テールなショック（ie. 発生確率が非常に低い災害級のイベントが実際に起こる）のもとで対称的な経済のそれと同様である。

ところで、Hultenの定理（Hulten（1978））は、特定の企業や産業といったミクロレベルの生産性変化と、それらを足し合わせた総生産レベルのTFP変化との関係を、それぞれの部門のドーマー・ウエイト（企業や産業といった部

門の生産額が総生産に占める割合) を用いて表せることを示している。

$$d\log TFP = \sum_i \lambda_i d\log A_i \quad (1)$$

すなわち、ミクロな部門*i*に生じたショックによる総産出への(ファースト・オーダーの)影響はその部門のドーマー・ウエイトを比重として決定されることを意味する。この定理を用いると、非対称なリンケージとマクロ経済的なテール・リスクの関係を次のように捉えることもできる。すなわち、ある部門*i*が経済において特に重要であるほど (i.e. ある部門*i*のドーマー・ウエイトが大きいほど)、その部門に生じた生産性の変動は総生産の変動へと伝播しやすい。また、部門*i*がさほど重要でなくとも、その部門に特異なショックが生じたならば (i.e. ショックの規模が際立って大きいならば)、同様に総生産の変動として現れることがある。

Baqae & Fahri (2019a) は、Hultenの定理にセカンド・オーダーの影響を考慮し、ショックとマクロ経済指標との関係を非線形で捉えている。この研究は、中間投入財の代替・補完関係や投入規模に対する収穫といった部門別のミクロ経済的な基礎付けと総産出の変化との関係を包括的に体系化した一般的なモデルを提唱しており、理論研究として応用範囲が非常に広い。

以下、Acemoglu et al. (2012) やHultenの定理との違いを、二つの観点から議論したい。まず一つに、生産技術についての仮定が大きく異なる。Long & Plosser (1983) やAcemoglu et al. (2012) のモデルは、複数部門から構成されるマクロ経済モデルにCobb-Douglas型の生産関数を仮定している。

$$y = \prod_j x_j^{\alpha_j} \quad (2)$$

ここで α_j は外生であり(ショックと中間投入財の投入比は無相関と仮定しており)、中間財および生産要素は完全代替関係にあることを仮定している。こうした強い仮定を許容する根拠として、大数の法則 (i.e. ミクロ経済主体が十分に小さければ、それぞれに生ずる特異なショックは相殺される) があるが、生産ネットワークにおいて重要な企業や産業に生ずるショックはマクロ経済指標に波及し得ることが示されている (Long & Plosser (1983))。

もう一つは、Hultenの定理の解釈についての違いである。本来、Hultenの定理は、ミクロレベルのショックとマクロ経済指標との関係を外生のドー

マー・ウエイトを介して線形と捉えるものであるが、非線形となるケースが先行研究で指摘されており (Gabaix (2011), Acemoglu et al. (2012), Acemoglu et al. (2017) など), それぞれが非線形性の原因を微妙に異なる事象 (ネットワークの非対称性, ドーマー・ウエイト分布の非正規性等) に帰していた。Baqae & Fahri (2019a) は, Hultenの定理の二次近似によりそれらを体系化し, 一般化されたネットワーク・モデルを提唱している。

$$\log Y \approx \log \bar{Y} + \sum_i \lambda_i \log A_i + \sum_i \frac{1}{2} \frac{d \lambda_i}{d \log A_i} (\log A_i)^2 \quad (3)$$

(3)式の右辺第3項にあるセカンド・オーダーの影響は, さらに次の二つの要素の分解できる。一つは部門間での相対的なドーマー・ウエイトの変化, もう一つはドーマー・ウエイトの総和 ($\xi \equiv \sum_{i=1}^N \lambda_i$) である投入産出乗数の変化である。これらは一般均衡における任意の産業間のリンケージの変化により決定されるものであり, その帰結として, ショック A_i が経済における部門 i の重要性を強化するなら ($d \lambda_i / d \log A_i$), マクロ経済指標への影響はHultenの定理による予測 ($\lambda_i \log A_i$) よりも有意に大きくなる。

なお, (2)式のCobb-Douglas型の生産技術を仮定することは, すなわちドーマー・ウエイト λ_i が外生かつ不変であることに相当する。すべての部門において生産技術が完全にCobb-Douglas型である場合は, (3)式の第3項がゼロとなり, Hultenの定理が一般に成り立つような特殊例である。

また, Baqae-Fahriの枠組みにおいては, 産業構造の変化に伴うセカンド・オーダーの影響の結果, Acemoglu et al. (2017) 等が指摘するテール・リスクの発生条件を満たさなくとも, 特定部門のショックからマクロ経済の変動リスクが生じることを示唆している。すなわち, 比較的ドーマー・ウエイトの小さい周辺的部門に生じたショックでさえ, 当該部門に繋がるリンケージによりマクロ経済に有意な影響を与える可能性があることを意味する。

さらにBaqae & Fahri (2019a) は, このモデル (以下, 一般化ネットワーク・モデルと呼ぶ) に米国の産業別産出額データを適用し, その理論的帰結を部分的に実証している。長期的観測から, 特に石油・天然ガス部門に生じたネガティブなショックが生産ネットワークを通じて総生産に波及し, Hultenの定理が予測する影響の総和よりも大きく総生産が変化していることを示している。特に, オイルショック期の米国経済では, セカンド・オーダー項の係数

$(d\lambda_i/d\log A_i)$ が0.2~1.3%程度と推定された。

しかしながら、計量的な実証分析に応用する場合、生産技術を決定づける代替の弾力性や投入産出乗数といったパラメータを外挿する必要があるが、その統計的推計の方法やカリブレーションに関する説明が少ない。一般化ネットワーク・モデルでは、生産技術にCES (Constant Elasticity of Substitution) 関数を仮定するため、モデルの振る舞いを決める代替の弾力性は重要なパラメータである。

次章に述べるとおり、既にBaqaee-Farhiを中心に一般化ネットワーク・モデルに基づく理論的拡張 (不完全競争市場, 開放経済, Heterogeneous agents 等) が進んでいるが、空間的なモデルへの応用がない。例えば、農業や食品製造業はドーマー・ウエイトこそ小さいものの、他産業に比べて産業立地の要因 (e.g. 気候, 流通, 消費者選好等) が独自であり、同じ部門の生産物でも地域間での代替性が低い。さらに、それぞれの地域に異なる動学要因 (e.g. 非対称な人口変動や気候変動等) がはたらいたとき、地域経済において生じる不均衡についても重要な示唆があると考ええる。

Ⅲ. 実証研究への応用

本章では、産業間や企業間のネットワークによりミクロ経済主体に生じたショックがマクロ経済に波及する現象について実証した研究をレビューする。企業の行動 (あるいは産業における代表的企業の行動) における取引関係 (e.g. 農林水産業にとって食品製造業は生産物を販売する顧客, 食品製造業にとって農林水産業は原材料を買い付ける仕入れ先) は、生産ネットワークの場合、取引額を観測することでその方向と数量を評価することができる。すべての主体間の取引関係をネットワークとして表し、ある主体に生じた特異なショックがネットワークを介して連鎖的に経済全体へと波及することを経済モデルとして記述することができる (ネットワーク・モデル)。

表1~3にネットワーク理論の発展に貢献した主たる理論研究と実証研究をまとめた。ただし、表1に挙げた実証研究は、特定の災害発生型のテール・リスクではなく、景気循環の範囲における一般的なマクロ経済指標の変動を対象とした (ie. ショックの特異性よりもむしろショックを伝播する経済主体間のリンケージの性質に焦点を当てた) ものである。以下では、モデルの構造と

表1 ネットワーク理論の発展と実証研究への応用

出版年	著者	国・地域	データ	ネットワーク・モデルの特徴
2020	Acemoglu & Azar	理論研究	—	一般化ネットワーク・モデル
2020	Liu & Tsyvinski	理論研究	—	中間投入の調整コスト
2020	Hang et al.	中国, インド	企業	中間投入財市場の歪曲
2019a	Baqae & Farhi	理論研究	—	一般化ネットワーク・モデル*
2018	Baqae & Farhi	米国	産業連関表 (2007)	非対称な生産ネットワーク
2018	Baqae	理論研究	—	生産ネットワークにおける不完全競争
2017	Acemoglu et al.	理論研究	—	非対称な生産ネットワーク
2017	Atalay	米国	産業連関表 (1992)	産業間一般均衡モデル
2017	Baqae & Farhi	米国	企業 (1997-2015)	中間投入財市場の歪曲
2016a	Acemoglu et al.	米国	製造業 (1991-2009)	ネットワーク・モデル
2015	Stella	米国	企業 (1962-2011)	ネットワーク・モデル
2014	Atalay et al.	米国	企業 (1977-1992)	グループ企業間の垂直統合
2014	Di Giovanni et al.	フランス	企業 (1990-2007)	非対称な生産ネットワーク
2012	Acemoglu et al.	理論研究	—	ネットワーク・モデル*
1983	Long & Plosser	理論研究	—	リアル・ビジネス・サイクル

註：*は当該理論モデルをはじめに提唱した研究を指す。

表2 災害発生型テール・リスクに関する実証研究(1)

出版年	著者	国・地域	災害発生源	ネットワーク・モデルの特徴
2019	Boehm et al.	日本-米国*	東日本大震災	国際的な企業内サブプライチエーション分断
2018	Erhan Ünal et al.	世界	異常気象	異常気象のテレコネクション
2016	Barrot & Sauvagnat	米国	ハリケーン	代替不可の特殊な中間投入財
2016	Carvalho et al.	日本	東日本大震災	被災地域企業とのサブプライチエーション分断
2015	Todo & Nakajima	日本	東日本大震災	被災地域企業とのサブプライチエーション分断
2012	Hallegatte	米国	ハリケーン	中間投入財の在庫生産と柔軟性
2020	Olabisi	米国	国際貿易	輸出変動による部門間波及の不均衡
2019b	Baqatee & Farhi	世界	国際貿易	開放/閉鎖経済の双対性
2020	Defever et al.	中国	国際貿易	交易の利益のスピルオーバー
2019	Simola	世界	中国との国際貿易	産業間一般均衡モデル
2016c	Acemoglu et al.	米国	中国との国際貿易	輸入拡大による製造業の雇用減少

註：*においては、災害発生源は日本だが波及先の米国を分析対象としている。

表3 災害発生型テール・リスクに関する実証研究(2)

出版年	著者	国・地域	災害発生源	ネットワーク・モデルの特徴
2021	Inoue et al.	日本	COVID-19	都市封鎖によるサブプライチエーン分断
2020	Luo	米国	金融危機	中間投入財取引における企業間信用
2017	Cabrales et al.	理論研究	金融危機	リスク・シェアリングと伝染リスク
2015	Acemoglu et al.	理論研究	金融危機	銀行間における取引先破綻の波及
2014	Elliott et al.	欧州	金融危機	金融ネットワークにおける債権持ち合い
2019	Auer et al.	世界	インフレーション	生産ネットワークによるPPIの国際同期
2017	Argente & Lee	米国	インフレーション	所得階層別のCPI上昇率の不均衡
2015	Baqee	米国	財政政策	生産ネットワークにおける労働集約度
2021	Beaman et al.	マラウイ	技術普及	ソーシャル・ネットワークによる学習
2016b	Acemoglu et al.	米国	技術革新	特許の被引用ネットワーク
2013	Bloom et al.	米国	技術革新	R & Dの企業間スピルオーバー

註：政策や技術革新はポジティブな影響をもたらすため災害ではないが、正規分布から外れた大規模な経済変動をもたらし得るショックの一種であることから、サーベイ対象とした。

データの種類, すなわち経済主体を産業部門とするか企業とするかで実証研究を大別することとしたい。

1. 産業間のネットワーク

産業間のネットワークを分析した代表的な実証研究に, Acemoglu et al. (2016a) がある。この研究では, 米国の産業連関表を利用して製造業の部門間のネットワークを介した波及効果を前方連関(顧客への波及)と後方連関(仕入れ先や生産要素需要への波及)に分けて検証している。この研究では, 中国からの輸入拡大によるショックが米国の製造業に与える直接的影響とショックが他産業を介して製造業に波及した影響を比較し, 前者に対して後者の効果が5~8倍程度高いことが実証されている(i.e. 製造業において輸入増による国内産業への負の影響は, 他産業への波及を介して5~8倍にまで増幅される)。ここで, 他産業を介した波及による効果とは産業連関表から導出したレオンチェフ逆行列のことを指し, 実証で用いるデータの初年度の逆行列表を用いて17期の時系列データから実証している。その期間, 同じ逆行列表を用いていることから産業構造が頑健であることを暗に仮定しており, ショックによって産業構造が変化することには触れていない。一般化ネットワーク・モデルが示すように, 部門分類の細かさにもよるが, 通常は投入・産出関係における代替や補完によりネットワークそのものが変化する。この点, Acemoglu et al. (2016a) のネットワーク・モデルでは, 産業構造そのものがショックにより変化することの影響を捨象しているため, 現実には中国からの輸入による影響を過小評価している可能性がある。

ただし, Acemoglu et al. (2016a) はCobb-Douglas型の生産技術から導出される波及効果に加え, Geographic Overlay(地理的上乗せ効果)として産業の地理的集積による効果を実証している。その中で言及された例として, 地理的に近接するサプライヤーから労働や中間財をより多く調達する企業が生産を拡大させた場合, サプライチェーンの上流にある取引先企業への中間財需要の増加, 関連企業の雇用増加といった波及を介してその地域の付加価値が産業連関による乗数効果よりも大きく増加する。この産業集積の効果は, Autor et al. (2013) やMian et al. (2014) 等の実証でも示されている。Acemoglu等の枠組みにおいてこの地理的上乗せ効果はモデルには依拠しないアドホックなもの

して扱われているが、この産業集積による効果（i.e. 局地的な産業クラスターによる付加価値の非線形な変化）はBaqaeeらの言う特定部門におけるドーマー・ウエイトの変化と同義であることから、一般化ネットワーク・モデルで説明される1つのケースと見なせる⁵。

Acemoglu et al. (2017) では、上記の研究における課題に焦点を当て、理論的に二つの条件下で大規模な景気後退が発生する可能性を示唆している。一つは部門のドーマー・ウエイト（産業部門の生産額が総生産に占める割合）に著しい不均衡がある（i.e. 産業構造に著しい偏りがある）場合であり、もうショックの分布形状がファット・テールである部門が存在する場合である。しかしながら、こうした条件が、具体的にどのような国のどのような産業に当てはまるのかについて実証した研究は、筆者の知る限り行われていない。

産業間のネットワークを対象とした他の実証研究として、Atalay (2017) は米国の産業連関表を用いて、産業間一般均衡のもとで特定の産業に発生したショックが総生産に与える影響を検証している。分析によると、総生産のボラティリティ（変動率）のおよそ3分の2が特定の産業に生じたミクロなショックによるものである。同様に米国の産業連関表を用いたBaqaee & Fahri (2018) は、産業間一般均衡モデルにおいて、各産業に一つの代表的な経済主体を仮定する場合と異なる振舞いをする経済主体が混在する場合（Heterogeneous agents）を設定し、ショックの波及経路と総生産への影響の違いを試算して比較している。

2. 企業間のネットワーク

企業間のネットワークを分析した実証研究には、次章で紹介するものを含め、様々な研究実績が蓄積されている。特定のテール・リスクの分析については次章に譲り、ここでは企業間の取引を介したリンケージの特徴に焦点を当てた研究を取り上げたい。

Stella (2015) およびDi Giovanni et al. (2015) は、それぞれ対象とする国は異なるものの、特定の企業に生産が集中する中間投入財や代替が困難な中間投

5 Baqaee & Fahri (2019a) が提唱したモデルを「一般化」ネットワーク・モデルと呼称した所以であろう。

入財への依存度が高い経済では、総生産のボラティリティが上昇する傾向が確認された。産業は企業の集合であることから、前節において紹介したAcemoglu et al. (2017) と整合する結果が得られたことは必然とも言える。

さらにHang et al. (2020) は、特定の企業に生産が集中する中間投入財の問題点について、ひとたびショックが生じると企業間で資源配分が最適化されず、当該の中間投入財が供給不足に陥ることで総生産のTFP低下を誘発することが示されている。Baqae & Farhi (2017) は、企業間の生産ネットワークにマークアップなどの市場歪曲的な要素がまん延している場合、それを取り除くことでTFPが改善することを実証した。

Atalay et al. (2014) は、特に垂直統合された企業グループに着目し、グループ内の複雑なサプライチェーンにおいて、取引先という無形資産の効率的な伝達において垂直統合が重要な役割を果たすことをデータから実証している。具体的には、M&A等の経営統合の前後において、グループ傘下に入った企業の取引先が変化し、提携先企業のもとの取引先との類似性が有意に高まることが示されている。

Baqae (2018) は企業間の中間財投入の内生的な変化を捉えた理論研究であるが、不完全競争下の企業行動をモデル化した重要な研究であるため紹介する。この研究は、完全競争の場合と比較して不完全競争下では労働生産性に生じたショックにGDPが反応しやすくなり、結果的にマクロ経済指標のボラティリティが上昇すると主張している。そのメカニズムとして、取引先が限られマークアップ率が高い寡占状態にある産業における企業退出を端緒として、その産業の生産性の低下が生産ネットワークの川上と川下で連鎖的な企業退出を生み出すことで、寡占部門に生じたミクロなショックが増幅され波及していくことに言及している。

IV. 災害発生型テール・リスクに関する実証研究

本章では、災害的なイベントに起因するテール・リスクを対象とした実証研究をレビューする。ショックの種類と被害が及んだ部門によりこれを3つ分類し、自然災害、異常気象、それ以外の要因によるものに大別した。表2および表3に、国・地域および災害発生源の別に分類した研究一覧がある。災害発生型のテール・リスクを別にすると、金融機関の業務提携や債券取引等のネット

ワークによるグループ間や取引先へのリスクの伝播を取り扱ったAcemoglu et al. (2015) やElliott et al. (2014), 企業間の技術革新の波及を取り扱ったAcemoglu et al. (2016b) やBloom et al. (2013) などがある。技術革新のようにポジティブな影響の波及を取り扱った研究も含まれているが、正規分布から外れた大規模な経済変動をもたらす得るショックの一種であることから、サーベイ対象とした。

1. 自然災害

自然災害の発生に起因するテール・リスクを研究した実証としては、東日本大震災で経済的被害を受けた企業から取引先企業への波及を取り扱ったCarvalho et al. (2016) や、米国の自然災害データと企業の取引データを組み合わせ同様の検証を行ったBarrot & Sauvagnat (2016) やBoehm et al. (2019) などがある。

Carvalho et al. (2016) は、震災前後の企業間取引データを利用し、その変動から震災で被害を受けた企業からサプライチェーン上にある取引先企業への波及を前方連関と後方連関に分けて検証している。その際、取引関係の序数的距離 (e.g. 直接の顧客であれば1, 顧客の顧客に対する波及であれば距離を2とする等) に応じて、波及効果が減衰することを前方連関と後方連関の両方向において確認している。この研究では、企業の行動において中間財や生産要素の間の代替を許容するNested-CES型の生産関数を採用しネットワークの変化にも言及しているが、データの制約から一般均衡の下で任意の企業間の関係を記述することは困難であるとして、実証ではその機構を捨象し、取引関係の距離や被害企業の属性などを取引データに回帰する対数線型モデルの推定に終始している。

震災前後における国内総生産の減少のうち1.2%ポイントが被災企業と取引のある企業への波及によるものと特定している。震災による直接的な被害が大きかった4県 (青森県, 岩手県, 宮城県, 福島県) のGRP (Gross Regional Product) がGDPに占める割合は4.7%であり、震災前後における当該4県のGRP成長率は1.4%から-1.7%に落ち込んだ。他府県への間接的影響がないとするならば、GDP成長率の変化に占める震災の影響は高々 $(1.4 - (-1.7)) \times 0.047 = 0.15\%$ ポイントとなる。ところが実際には、震災前後で観測

された実質GDP成長率の変化は2.6%から1.8%へ0.6%ポイントである。この差は、被災地域以外に生じた何らかの間接的影響であり、それは被災4県が被った直接的影響よりも大きいことを意味する。Carvalho et al. (2016)はこの事実に着目し、自然災害による局地的なショックが生産ネットワークの中で双方向に増幅（あるいは減衰）しつつ波及していくメカニズムを明らかにした。波及効果はサプライチェーンにおける取引関係が離れると減衰し、後方連関（仕入れ先や生産要素需要への波及）よりも前方連関（顧客への波及）の効果が大きいことが理論的に導かれる。Carvalho et al. (2016)の実証により、波及効果はいずれの方向でも統計的に有意であることが確認された。実証枠組みにおいて留意すべき点として、震災前後の共通トレンドの存在が疑われるがこれはコントロールされている。また、生産ネットワークを介した波及効果以外の要因（e.g. 計画停電や節電）による影響ではないことも確認されている。Barrot & Sauvagnat (2016)などの同種の研究において、自然災害の影響を受けた企業がその顧客にも影響を及ぼし、これがさらに川下の企業にも連鎖的に波及していくことを示すエビデンスが複数ある。

ただし、これらの実証研究に共通する特徴として、波及効果の規模と範囲を決定する生産ネットワークのパラメータ（e.g. 特定の間投入財への依存度、最終財へと繋がるサプライチェーンの長さ、ネットワークの非対称度）への言及が少ない。実証の分析枠組みの設計がややad hocであり、背景にネットワーク理論の発展があるにもかかわらず、理論的な裏付けに欠ける傾向がある。また、波及効果に生産ネットワークとは異なるメカニズムで発生した他のチャネルによる影響が混在している可能性も否定できない。例えばCarvalho et al. (2016)では、被災地域から他地域への波及効果を計画停電や節電の影響をコントロールしつつ識別しているが、他にも物流網の混乱、行政・対事業所サービスの停止、復興優先による労働供給の不足、被災地域の生産物に対する風評被害など、複数のチャネルからの複合的影響の可能性も十分に考えられる。

2. 異常気象

自然災害のほとんどは一部の部門に発生する特異かつ再帰性のないテール・リスクだが、複数の部門において同時にかつ周期的に発生するようリスクもある。近年、世界各地において重大な異常気象が頻発しており、それが食料生

産の変動を、延いては食料価格の変動を介して各国の経済厚生水準を不安定化させている。IPCCはこうした異常気象が複数地域で同時発生した場合の連結リスクが特に重大であることを指摘している（IPCC（2014）; Dasgupta et al.（2014））。

Erhan Ünal et al.（2018）では、世界の主要国における農産物の生産性変動が貿易を介して各国の経済厚生に与える影響を試算している。通常、異なる気候帯に属する地域の食料生産性には独立同一分布を仮定するが、本研究では過去のデータから単収に地域間の相関があることを想定している。Teleconnections（遠く離れた複数の場所における大気や海洋の状態が相関をもつこと）を経済学へ応用した事例は少なく、エルニーニョ現象とラニーニャ現象といった気候サイクルと食料生産性の周期変動は知られていたが、生産性変動の空間的相関と市場を介した経済厚生への影響を計量した研究として初の試みである。

Erhan Ünal等は観測されたデータから地域間の相関を許容した生産性変動の分布を作成した上で、空間的な相関がないと仮定した生産性変動の分布を対照群としてMonte Carlo法から生成し、貿易を考慮したCGE（Computable General Equilibrium）モデルにより両者が経済厚生へ与えるリスクを試算して比較した。生産性変動のワースト5%のケース（ie.異常気象）における経済厚生の潜在的損失は、地域間の相関を考慮すると11.1~33.1%拡大すると分析している。また、経済厚生分布においては、輸入国ではその他の国で経済厚生の損失が生じると同様の損失が見込まれる一方、輸出国ではその他の国における経済厚生の損失が厚生改善の機会（e.g.穀物の生産減による国際価格の高騰）となる。すなわち、各地域の生産性変動を空間的に独立を仮定していた従来の研究は、市場価格の変動を介した経済的影響を過少評価していたことが指摘される。

しかしながら、CGEを用いた試算に共通することだが、生産性の変動が経済厚生に影響する経路の特定が困難であり、それが食料価格の高騰による消費者の厚生への影響なのか、数量効果が価格効果を上回ることによる生産者の所得減少による影響なのかは識別不可能である。さらに、Teleconnectionsの経済学への導入は興味深いだが、地域間の生産性変動の相関については観測値から推計した共分散行列を用いて分布を生成しているに過ぎないため、各地の異常気象が互いにどのように関係しているのかを裏付ける論拠に欠ける。

3. その他の要因

交易がもたらす利益は経済厚生に限らない。輸出入を介した国内産業の生産性への効果も重要である (Melitz & Redding (2014))。貿易自由化により生産性が向上することを裏付けとして、非効率企業の淘汰、スピルオーバー、投資誘発による品質の向上など諸説ある。先行研究 (Fieler et al. (2018); Tintelnot et al. (2018)) では中間投入財の輸入実績がない企業にも生産性向上が見られることが確認されているが、これはどのように生じた効果なのか。

Defever et al. (2020) は、国際的な生産ネットワークにおいて取引をファシリテートする貿易仲介業の役割に着目し、輸入代理店や商社を介した場合でも、中間投入財の関税削減は企業の生産性に影響することを実証している。各部門において生産性の異なる複数の経済主体を想定するMelitzモデルをベースとして、部門ごとに卸売を介した輸入割合を推計し、その割合が高い場合のみ卸売を介して間接的に輸入する企業にも生産性向上があることを示した。直接的に輸入財を投入する企業において、関税削減による中間財の減価により生産性が向上することは明らかだが、独占的競争下では企業淘汰により国内財は増値するため、国内財にしかアクセスできない企業の生産性は下がる一方、仲介業を介して間接的に輸入財にアクセスできる企業の生産性はある程度向上する。また、先行研究が主張する他の波及経路との違いを識別するため、競争構造、財のバラエティ、品質などを第三の説明変数として、これらが卸売を介した貿易自由化の効果と無相関であることを検証している。したがって、仲介業を介した生産性の向上は、その他の波及経路による影響とは無相関であり頑健であると言える。

このほか、国際的な生産ネットワークを介した交易の利益の波及を計測した研究がある一方 (Baqae & Fahri (2019b); Simola (2019)), 貿易の拡大が国内の産業間の不均衡を助長し経済のボラティリティを深刻化させたと主張する研究もある (Olabisi (2020); Acemoglu et al. (2016c))。貿易を介した波及はミクロ経済的諸条件の異なる複数の国をまたぐため、モデルが複雑化し、複数の研究の間で一貫した結論を導くことが困難な場合が多い。また、複数国における企業や産業部門ごとに、中間投入財に関する輸入実績を観測できるような大規模かつ詳細なミクロデータを必要とすることが研究の難度を高める傾向がある。Defever et al. (2020) に関して言えば、仲介業を介した輸入額の推計に

において、専ら企業の屋号から仲介業であるかどうかを判別しており、推計の精度に疑問が残る。

V. 今後の研究の方向性

本章では、IV章の各節において取り上げた代表的な研究の成果に基づき、災害発生型テール・リスクについての今後の研究の方向性を探る。

Carvalho et al. (2016) では、使用したデータのサンプルにおける被災企業数は全体の1.3%、被災地域における企業の平均的な売上変動率は-4.8%と推計されることから、日本の産出額全体における震災の直接的影響は高々 $0.048 \times 0.013 = -0.06\%$ であるはずが、実際の震災年の経済成長率は-1.9%であることから、被災地域外への波及効果が存在するとの仮説を立てた。実証の結果として、サプライチェーンが長く複雑なほどショックに曝されやすく、投入要素間の代替性が低いほどショックの波及効果は大きくなることが判明した。このことは、サプライチェーンのグローバル化や産業の細分化・専門化はテール・リスクを深刻にする可能性を示唆している。リスクの存在を前提とするなら取引関係の多元化が重要であり、短期的には取引コストを増大させるとしても、中長期的には経済厚生を大きく改善する可能性が考えられる。その意味で、レジリエントな取引関係を形成する効用と費用を考慮し、中長期的にネットワークを最適化できるような分析枠組みの提案が望まれる。

Erhan Ünal et al. (2018) では、気候変動による異常気象をテール・リスクとすると、気温、降雨、日射などの変量が同時発生的に極端な値となることによる影響を無視できないことがわかった。しかしながら、地域・国によって生産や消費の構造が異なるため、経済モデルによるシミュレーションのような網羅的な実証では経済厚生の変化を要因分解することが難しく、インプリケーションを得にくい。したがって、生産性変動による経済厚生への影響を計量する際、重要な波及経路に焦点を絞り、誘導形推計により評価するアプローチがあってもよいのではないかと⁶。

Defever et al. (2020) は、中間投入財の関税削減による経済効果を、仲介業

6 気候変動や国際市場のような複雑なシステムのもとでは様々な要因が互いに影響し合うため、誘導形に適合したチャンネルはかなり限定されると考えられる。

を介した輸入割合との交差項を設けることにより、Melitzモデルにおける企業の異質性をコントロールしつつ実証した。取引を円滑化する仲介業の存在は、企業が中間投入財の輸入先あるいは生産物の輸出先を決めるときに取引上の探索コストを要する場合、こうした専門業者が一手にそれを担うことで取引の利益を拡大できる可能性を示している。ただし、こうした仲介業が寡占状態にある場合、サービス手数料におけるマークアップが問題となる。さらに、中間投入財の国際価格の変動による川下への価格伝達が円滑でない場合、貿易自由化の効果の川下への波及が抑えられる可能性もあるため、不完全競争下においても同様の結果が得られるのか、比較検証する必要があるだろう。

VI. おわりに

大幅な景気後退の背景にあるメカニズムを解明することは、マクロ経済学において久しく中心的な課題とされてきた。これに対する有望なアプローチの一つとして、そうした景気後退の規模と頻度が企業レベルのショックと企業間にある取引関係のリンケージというマイクロ経済的要因に依存するという仮説は、マクロ経済が微細な経済活動の集合であることを考えると自然であるが、近年まで検証されることはなかった。従前よりマクロ経済学においても、企業行動の異質性や不完全競争などのマイクロ経済的な基礎づけが重要であることは認識されていたが、ネットワーク理論の発展に合わせて、生産、金融、貿易などの取引主体間のリンケージがマクロ経済的分析にも積極的に取り入れられることが望まれる。

引用文献

- Acemoglu, D., & Azar, P.D., “Endogenous production networks,” *Econometrica*, 88 (1), 2020, pp. 33-82.
- Acemoglu, D., Ozdaglar, A., & Tahbaz-Salehi, A., “Microeconomic origins of macroeconomic tail risks,” *American Economic Review*, 107(1), 2017, pp. 54-108.
- Acemoglu, D., Akcigit, U., & Kerr, W., “Networks and the macroeconomy: An empirical exploration,” *NBER Macroeconomics Annual*, 30(1), 2016(a), pp. 273-335.
- Acemoglu, D., Akcigit, U., & Kerr, W.R., “Innovation network,” *Proceedings of the*

- National Academy of Sciences*, 113(41), 2016(b), pp. 11483–11488.
- Acemoglu, D., Autor, D., Dorn, D., Hanson, G.H., & Price, B., “Import competition and the great US employment sag of the 2000s,” *Journal of Labor Economics*, 34(S1), 2016(c), pp. S141–S198.
- Acemoglu, D., Carvalho, V.M., Ozdaglar, A., & Tahbaz - Salehi, A., “The network origins of aggregate fluctuations,” *Econometrica*, 80(5), 2012, pp. 1977–2016.
- Acemoglu, D., Ozdaglar, A., & Tahbaz-Salehi, A., “Systemic risk and stability in financial networks,” *American Economic Review*, 105(2), 2015, pp. 564–608.
- Atalay, E., “How important are sectoral shocks?” *American Economic Journal Macroeconomics*, 9(4), 2017, pp. 254–280.
- Atalay, E., Horta ç su, A., & Syverson, C., “Vertical integration and input flows,” *American Economic Review*, 104(4), 2014, pp. 1120–1148.
- Argente, D., & Lee, M., “Cost of living inequality during the great recession,” *Journal of the European Economic Association*, 19(2), 2017, pp. 913–952.
- Autor, D.H., Dorn, D., & Hanson, G.H., “The China syndrome: Local labor market effects of import competition in the United States,” *American Economic Review*, 103(6), 2013, pp. 2121–2168.
- Auer, R.A., Levchenko, A.A., & Sauré, P., “International inflation spillovers through input linkages,” *Review of Economics and Statistics*, 101(3), 2019, pp. 507–521.
- Baqae, D.R., & Farhi, E., “Productivity and Misallocation in General Equilibrium,” *National Bureau of Economic Research*, No. w24007, 2017.
- Baqae, D.R., “Cascading failures in production networks,” *Econometrica*, 86(5), 2018, pp. 1819–1838.
- Baqae, D.R., & Farhi, E., “Macroeconomics with heterogeneous agents and input-output networks,” *National Bureau of Economic Research*, No. w24684, 2018.
- Baqae, D.R., & Farhi, E., “The macroeconomic impact of microeconomic shocks: beyond Hulten’s Theorem,” *Econometrica*, 87(4), 2019(a), pp. 1155–1203.
- Baqae, D., & Farhi, E., “Networks, Barriers, and Trade,” *National Bureau of Economic Research*, No. w26108, 2019(b).
- Baqae, D., “Labor Intensity in an Interconnected Economy,” *Working Paper, Harvard University*, 2015.
- Barrot, J.N., & Sauvagnat, J., “Input specificity and the propagation of idiosyncratic shocks in production networks,” *The Quarterly Journal of Economics*, 131(3), 2016, pp. 1543–1592.

- Beaman, L., BenYishay, A., Magruder, J., & Mobarak, A.M., “Can network theory-based targeting increase technology adoption,” *American Economic Review*, 111(6), 2021, pp. 1918–1943.
- Bernanke, B., Gertler, M. and Gilchrist, S., “The financial accelerator and the flight to quality”, *The Review of Economics and Statistics*, 78, 1996, pp. 1–15.
- Bloom, N., Schankerman, M., & Van Reenen, J., “Identifying technology spillovers and product market rivalry,” *Econometrica*, 81(4), 2013, pp. 1347–1393.
- Boehm, C.E., Flaaen, A., & Pandalai-Nayar, N., “Input linkages and the transmission of shocks: Firm-level evidence from the 2011 Tōhoku earthquake,” *Review of Economics and Statistics*, 101(1), 2019, pp. 60-75.
- Cabrales, A., Gottardi, P., & Vega-Redondo, F., “Risk sharing and contagion in networks,” *The Review of Financial Studies*, 30(9), 2017, pp. 3086–3127.
- Carvalho, V.M., Nirei, M., Saito, Y., & Tahbaz-Salehi, A., “Supply chain disruptions: Evidence from the Great East Japan Earthquake,” *Columbia Business School Research Paper*, 17–5, 2016.
- Dasgupta, P., Morton, J.F., Dodman, D., Karapinar, B., Meza, F., Rivera-Ferre, M.G. & Vincent, K.E., Rural areas. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. (Eds.) Field, C.B., & Barros, V.R., Cambridge University Press, 2014.
- Defever, F., Imbruno, M., & Kneller, R., “Trade Liberalization, Input Intermediaries and Firm Productivity: Evidence from China,” *Journal of International Economics*, 126, 103329, 2020.
- Di Giovanni, J., Levchenko, A.A., & Mejean, I., “Firms, destinations, and aggregate fluctuations,” *Econometrica*, 82(4), 2014, pp. 1303–1340.
- Erhan Ünäl, G., Karapinar, B., & Tanaka, T., “Welfare-at-risk and extreme dependency of regional wheat yields,” *Journal of agricultural economics*, 69(1), 2018, pp. 18–34.
- Elliott, M., Golub, B., & Jackson, M.O., “Financial networks and contagion,” *American Economic Review*, 104(10), 2014, 3115–3153.
- Fielor, A.C., Eslava, M., & Xu, D.Y., “Trade, quality upgrading, and input linkages: Theory and evidence from Colombia,” *American Economic Review*, 108(1), 2018, pp. 109–146.
- Gabaix, X., “The granular origins of aggregate fluctuations,” *Econometrica*, 79(3), 2011, pp. 733–772.
- Hallegette, S., “Modeling the roles of heterogeneity, substitution, and inventories in

- the assessment of natural disaster economic costs,” *World Bank Policy Research Working Paper*, 6047, 2012.
- Hang, J., Krishna, P., & Tang, H., “Input-Output Networks and Misallocation,” *National Bureau of Economic Research*, No. w27983, 2020.
- Hulten, C.R., “Growth accounting with intermediate inputs,” *The Review of Economic Studies*, 45(3), 1978, pp. 511–518.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. (Eds.) Field, C.B., & Barros, V.R., Cambridge University Press, 2014.
- Inoue H., Murase Y., Todo Y., Do economic effects of the anti-COVID-19 lockdowns in different regions interact through supply chains. *Plos one*, 16(7), e0255031, 2021.
- Liu, E., & Tsyvinski, A., “Dynamical Structure and Spectral Properties of Input-Output Networks,” *National Bureau of Economic Research*, No. w28178, 2020.
- Long Jr, J.B., & Plosser, C.I., “Real business cycles,” *Journal of Political Economy*, 91(1), 1983, pp. 39–69.
- Luo, S., “Propagation of financial shocks in an input-output economy with trade and financial linkages of firms,” *Review of Economic Dynamics*, 36, 2020, pp. 246–269.
- Melitz, M.J., & Redding, S.J., “Missing gains from trade?” *American Economic Review*, 104(5), 2014, pp. 317–321.
- Mian, A., Rao, K., & Sufi, A., “Household balance sheets, consumption, and the economic slump,” *The Quarterly Journal of Economics*, 128(4), 2013, pp. 1687–1726.
- Olabisi, M., “Input-Output Linkages and Sectoral Volatility,” *Economica*, 87(347), 2020, pp. 713–746.
- Simola, H., “Evaluating international impacts of China-specific shocks in an input-output framework,” *BOFIT Discussion Papers*, No. 17 2019, 2019.
- Stella, A., “Firm dynamics and the origins of aggregate fluctuations,” *Journal of Economic Dynamics and Control*, 55, 2015, pp. 71–88.
- Tintelnot, F., Kikkawa, A.K., Mogstad, M., & Dhyne, E., “Trade and domestic production networks,” *National Bureau of Economic Research*, No. w25120, 2018.
- Todo, Y., Nakajima, K., & Matous, P., “How do supply chain networks affect the resilience of firms to natural disasters the Great East Japan Earthquake,” *Journal of Regional Science*, 55(2), 2015, pp. 209–229.