Chapter19: Factoring Transition Risk into Regulatory Stress-Tests for “Late & Sudden” Transition

　本章は、ESRB科学諮問委員会の報告書“Too late, too sudden?” にて挙げられている、「late & sudden」移行シナリオについて、既存のストレステストにどのように組み込めばよいのかについて提案した内容となっている。ここで、「late & sudden」とは、排出量抑制の重要性に対する認識が遅れたために、炭素集約的なエネルギー源の使用に対する量的制約が急に実施されることを想定したシナリオである。

本章では、2つの面で改善点を提案していた。１つ目は、気候変動ストレステストの設計方法と、設計者と金融監督者の間の調整についてである。2つ目は、既存のストレステストのシナリオは、マクロ経済指標、企業固有のミクロ経済指標、金融資産評価の間の潜在的な影響を捉えていないため、「late & sudden」移行シナリオの必要性についてである。

　また、本章ではボトムアップ・アプローチを用いて「late & sudden」移行シナリオを構築するための例示的な以下のフレームワークを紹介している。

1. 産業界の温室効果ガス排出量と企業収益との関係を示す、関連する財務指標の特定。
2. 上記の指標の適切な粒度を特定し、それぞれに対応する通常営業のデータを調達。
3. 幅広く定義した突然の「late & sudden」移行シナリオの策定(GHG connectionという手法を使用している。詳細な概要は、Annex A.に記載されていた。)
4. 各金融資産クラスに応じた適切な評価方法の特定
5. 各企業、ポートフォリオ、市場の通常営業(BAU)評価を、ステップIIIで策定したシナリオの範囲と比較してベンチマークの実施。

　この中で、株式価値の推定については、Gordonによる将来の配当金の流れに関する定式化をもとに推定されていた。

­

また、社債の推定は、Zmijewski’s modelを用いたデフォルト率の推定と確率加重型割引キャッシュフローにより推定されていた。

Zmijewski’s model

確率加重型割引キャッシュフロー

(所感)

本章では、「late & sudden」移行シナリオについて、フレームワークの構築など様々な提案をしていたが、詳細な内容については定まっていないように感じた。事実、上記で紹介したフレームワークは一例として提示されたものである。GHG connectionというシナリオの作成方法についても紹介がされていたが、概要のみで留まっていた。

以下原文、日本語訳

最近、気候変動リスクが金融安定性にとって重要であるかどうかについての議論が浮上しています。その背景には、気候変動リスクが、金融市場で顕著に見られる主要セクターの資産を拘束する可能性があるという確かな証拠があります。その結果、金融監督当局は、これらのリスクを既存のストレステストのフレームワークにどのように組み込むことができるかを検討し始めています。本研究では、金融監督当局が「遅くて突然の」移行シナリオを構築するための方法論を提案しています。このシナリオは、規制対象企業の伝統的なストレステストまたは気候固有のストレステストのいずれかに入力するために使用することができます。また、監督当局は、規制対象企業全体でこれらのシナリオの複数のシミュレーションを行い、システムや特殊性の「影響の許容範囲」について情報を提供し、最低限の回復基準の設定を可能にすることを提案しています。気候変動に敏感なセクター（化石燃料、電力、鉄鋼、セメント、自動車、航空）に関連する上場株式と社債に焦点を当て、このプロセスの例示的なアプリケーションを示しています。

今世紀末までに世界の気温を産業革命前の1.5°未満に抑えるためには、産業、エネルギー、農業、住宅、運輸の各セクターの移行のために、2035年まで毎年2.4兆ドルを投資しなければならないという試算が出ています（IPCC, 2018）。同様に、化石燃料の採掘、公益事業、ある種の高炭素製造業、輸送インフラなど、さまざまなセクターにおける現在の高炭素投資から、かなりの額の資本を移動させる必要があります。このようなグローバルな資金の流れの変化は、低炭素経済への移行に伴う新たな金融リスクを生み出します。このような「エネルギー移行」と呼ばれるリスクを予測できなければ、炭素集約型資産の大規模なミスプライスにつながる可能性があります（Delis et al.、2018）。

イングランド銀行のマーク・カーニー総裁（当時）は、2019年3月21日に欧州委員会で行った演説の中で、金融監督当局が気候ストレステストを実施して、規制対象となっている企業のこうしたリスクに対する耐性を評価する必要性を強調し、特に「気候ミンスキー・モーメント」、すなわち気候リスクの突然の顕在化という事態を考慮する必要があると述べています。同様に、欧州システムリスク委員会（ESRB）は、移行リスクを主流の銀行のストレステストの枠組みにどのように組み込むことができるかを検討することを推奨し、その科学諮問委員会の報告書「遅すぎ、突然すぎ？」の中で、「遅すぎ＆突然」の移行シナリオが全体的な金融安定性にどのような影響を与えるかについて述べています（ESRB, 2016）。

本章の目的は、なぜ現在のストレステストが真の「遅い＆突然の」経済的脱炭素化の性質を捉えていないのかを概説し、新しいアプローチを求めることです。そして、金融監督者に対して、規制対象となる企業の伝統的なストレステストまたは気候固有のストレステストにインプットするための、後期＆突発的な移行シナリオの構築に役立つ方法論を提供します。この方法論は、特に気候変動に敏感なセクター（化石燃料、電力、鉄鋼、セメント、自動車、航空）に関連する株式と社債に焦点を当てています。本章のセクション1では、伝統的な規制のストレステストの範囲を説明し、過去の気候ストレステストの取り組みをレビューしています。セクション2では、なぜ現在のストレステストが適切でないかもしれないのか、なぜ突然の遅さと突然の移行シナリオが必要なのかについて議論しています。セクション3では、金融規制当局が市場、ポートフォリオ、企業の「影響許容度」指標を提供するために、気候変動の影響を受けやすいセクターの株式や債券に対する遅延・突然のシナリオの影響を推定するための方法論を詳細に説明しています。最後に、セクション4では、この方法論を適用して得られた例示的な結果を示します。

従来の規制によるストレステストの範囲

イングランド銀行によると、「ストレステストとは、対象物やシステムに厳しい圧力をかけて、極端な状況下でどれだけ回復力があるかをテストすることである。銀行に適用される場合、ストレステストは、深刻な景気後退や金融危機などの仮想的な不利なシナリオに、これらの機関がどのように対処するかを分析することになります」（Bank of England, 2016）。ストレステストは、金融機関がリスク管理戦略の一環として内部で実施するもの、規制当局がマクロプルーデンス政策の枠組みの一部として実施するもの、あるいは外部の分析を提供する外部のアクターが実施するものです。

ストレステストは通常、3つの主要部分で構成されています。(i) いくつかの破壊的な経済シナリオとそれがどのように金融セクターに伝播するかについての定性的な説明、(ii) マクロ経済およびセクターのパラメーターのリストとそれらが上記の各シナリオの下でとる値、および (iii) 各シナリオが金融セクターにどのような影響を与えるかを反映した影響指標。シナリオの時間軸は通常3年であり、表示されるシナリオ・パラメータや影響指標は十数種類に限られることが多い。表19-1は、米国ではFed reserveが、欧州ではESRBが毎年実施しているストレステストの主な特徴を示している。

気候変動のストレステストに対する規制当局の関心の高まり

気候変動リスクが金融の安定にとって重要であるかどうかについての議論が高まっています。この議論の背景には、気候変動リスクが、金融市場で重要な役割を果たしている主要産業部門（エネルギー、公益事業など）に価値の破壊をもたらす可能性があるという確固たる証拠があります。実際、Moody'sの分析によると、9兆ドルの格付けされた債務が、環境リスクに対応して直ちに、または格下げのリスクが高まっている可能性があります（Thomä & Dupré, 2017）。株式市場の時価総額のうち約15～20兆ドルが、国際エネルギー機関の脱炭素化シナリオでカバーされている企業と結びついている（Thomä & Dupré, 2017）。

その結果、金融監督当局は、気候変動リスク、特に移行リスクを既存のストレステストのフレームワークにどのように統合できるかを検討し始めています。このようなリスクの統合に関連する提言は、UNEPの調査（Dupré et al. 欧州システムリスク委員会（ESRB）も、移行リスクを主流の銀行のストレステストのフレームワークにどのように統合できるかを検討するよう勧告しています（ESRB, 2016）。これらの路線に沿った研究イニシアチブは、スウェーデン、オランダ、英国、フランスの金融監督当局によって開始されました（Chenet et al.、2015）。以下では、最も注目すべきイニシアチブのいくつかについて詳しく説明します。

2017年、Battistonらは、欧州の金融機関の化石燃料生産部門やエネルギー集約型部門へのエクスポージャーを評価し、化石燃料部門の時価総額が任意の100％ショックを受けた場合に、これらの金融機関が負担する損失を分析しました。その結果、化石燃料セクターの株式価値にショックが生じても、欧州の金融安定性を脅かすことはないが、特定の銀行が大きな影響を受ける可能性があると結論づけました。

同年、オランダ中央銀行は、洪水が信用損失に与える潜在的な影響を評価し、オランダの金融機関の移行リスクへのエクスポージャーを定量化しました（Regelink et al.、2017）。この報告書に続いて、移行リスクとその金融機関の予想損失への影響について、別のより詳細な分析が行われた（Vermeulen et al. この後者の分析は、計算可能一般均衡モデル（CGE）を用いて行われ、その生産関数はいくつかの移行シナリオの結果を反映するように修正され、その後、マクロ経済的な影響は相対的な排出強度に基づいて各部門に分配されました。

2018年、カリフォルニア州保険委員会は、2° Investing Initiative（2°II）と共同で、カリフォルニア州で活動する保険会社の気候シナリオ分析を実施しました。これは、移行リスクに対するこれらの機関の現在および将来のエクスポージャー、およびバランスシートの資産側の物理的リスクを定量化することを目的としています。しかし、これらのリスクが顕在化した場合の影響については定量化されていません。イングランド銀行は、2019年に実施する英国の保険会社のストレステストに、気候変動の影響と移行の遅れの影響も含めていますが、これは一部、本研究で紹介した方法に基づいています。最後に、Battiston（2017年）の論文に基づいて、Battiston & Monasteroloは、2019年に、エネルギー・電力セクターの株式や社債の今日の価値、およびソブリン債の価値に移行リスクを値付けすることを目的としたストレステストの方法論を発表した。

移行シナリオの選択

低炭素社会への移行がどのような形で行われるかについては、多くの不確定要素が残っています。ESRB科学諮問委員会の報告書「Too late, too sudden? (ESRB, 2016）では、シナリオの結果として、「緩やかな」滑らかな野心的シナリオと、「遅い＆突然の」シナリオの2種類を挙げています。この概念は、2018年に国連PRIが「必然的な政策対応」という前提で運用し、さらに発展させています（PRI, 2018）。より野心的な2つのシナリオに加えて、移行の結果には「何もしない」アプローチや気候変動への野心が限定されることも考えられますが、移行リスクの重要性を評価する上ではほとんど関心がありません。

ストレステストの目的が、最悪のシナリオが金融システムに与える影響を評価することであることを考えると、スムーズな移行を描いたシナリオよりも、遅くて突然のシナリオの方が適しています。このような後期＆突発的なシナリオでは、数年間は限定的な気候変動対策が取られるが、その後、今世紀末までに2℃の閾値を下回るような野心的な行動が取られると想定しています。このアプローチでは、気候変動対策が実施された瞬間に「センチメント」ショックが発生し、金融資産の価格が急激に変動することも想定しています。

しかし、このようなシナリオは、マクロ経済モデルやエネルギー経済モデルではまだ十分に検討されておらず、経済的な影響を定量化するための情報もほとんどありません。このギャップを埋めることを目的とし、PRIが委託したプロジェクトが現在進行中ですが（PRI, 2019）、このプロジェクトは代替的なベースラインシナリオを確立することに焦点を当てており、テールリスクを表す「ストレステスト」のような結果ではありません。

方法論的アプローチの選択

エネルギー転換が取引可能な金融資産の価値に与える影響を推定する前に、まず、エネルギー転換、特に「遅すぎ、突然すぎ」の転換によって、これらの証券を発行している企業の利益がどのように影響を受けるかを理解する必要があります。一般的には、表19-2のように、トップダウンまたはボトムアップのいずれかの方法で行います。

気候変動のストレステストと突然の遅かれ早かれのシナリオのための標準化されたフレームワークのケース

以上のように、金融機関のポートフォリオの気候変動リスクに対するエクスポージャーを定量化する方法論は既に存在しており、これらのリスクが顕在化した場合に金融機関が被るであろう潜在的な損失を評価するための第一歩が踏み出されています。本章の目的は、2つの面で「アップグレード」を提案することです。一つ目は、気候変動ストレステストの設計方法と、設計者と金融監督者の間の調整についてです。2つ目は、現在のストレステストのシナリオは、マクロ経済指標、企業固有のミクロ経済指標、金融資産評価の間の潜在的な影響を捉えていないため、突然の遅刻や突然のシナリオの必要性についてです。

ストレステストの作成方法に対処するためには、シナリオとストレステストの結果の相互比較を 可能にする指導的なフレームワークが必要です。統一されたフレームワークの必要性は、一貫性のある開示されたインプットや方法論を 用いて一貫性のあるシナリオを作成する監督機関の能力が不足していることから生じています。例えば、実体経済の活動に関する情報（例えば、非金融企業の将来の生産と設備投資計画）、マクロ経済指標とセクター別指標の関係（現在は、原油価格とGDPなどの過去の関係に基づいている）、経済指標と金融指標の関係（例えば、GDPと非金融企業の個別収益）など、すべてを考慮する必要があります。

突然の低炭素社会への移行において、市場がどのように振る舞うかを予測しようとすることは、そのような状況下での経済・金融指標の関係についての前例や知識がないことから、困難な作業となります。このような不確実性に対処するためのアプローチとして、現在の研究課題である「特定のシナリオでどのような金融機関や市場が破綻するか」を、「金融機関や市場がソルベンシーの懸念に対して重要な安定性を示すシナリオはいくつあるか」に発展させることが考えられます。これを可能にするためには、シナリオを作成するための共通のフレームワークが必要です。これにより、突然の低炭素社会への移行時に市場がどのように振る舞うかという投機的な性質から生じる誤差や不確実性を軽減し、金融市場の回復力を見積もることができるだけでなく、このような評価を行うための取引コストを削減することができます。

abrupt late & sudden シナリオ

現在のシナリオとそれを適用した評価では、いくつかの点で、世界経済の突然の遅かれ早かれの脱炭素化の性質を捉えていない。具体的には、現在の評価では以下の属性の1つ以上をカバーしていない。

- 非金融企業の部門別生産量（または価値）の変化は非線形であり、その大きさは何もしないでいると蓄積されていくだろう。

- 移行期にあるセクターの非金融企業が発行する金融資産の評価に強い差異が生じている。

- セクターごとの生産や収入の変化は周期的ではない。

- 需要の変化があまりにも急激であるため、市場の力を利用して将来の供給のコストを最小化することができず、これが市場のセンチメントにどのように反映されるかは不明であると考えられます。

あるセクターや特定の技術の需要に直線的なショックを与える現在のシナリオでは、枯渇し続ける絶対的な炭素予算と、温室効果ガス濃度を削減するために必要となる行動の真のダイナミックさを捉えることができない。必然的な政策対応」は、セクターや技術の需要の転換点を引き起こし、それが将来のある時点で顕在化することになります。その結果、必要とされる変化の大きさは、炭素バジェットが消費されるにつれて時間の経過とともに蓄積され、その結果、より大きな行動が早急に必要とされることになります。ストレステストの従属変数は金融資産の評価であり、それは常に将来のキャッシュフローの関数であるため、ティッピングポイントがいつ発生するかは、ショックの大きさとは無関係に結果にも影響を与えます。したがって、政策対応が実施される時期は、必要な対応の大きさに強い影響を与えることになり、ショックの大きさと発生時期の両方にわたってテストを実施する必要があります。

一部のセクターの脱炭素化の性質は、一部のセクターや一部の技術にリバウンドがないため、循環的な性質を示すことはありません。伝統的なストレステストの時間軸は3年であり、周期性を仮定すると、移行セクターの企業は一般的にこの時間軸内でリバウンドする適応能力を持っていることになる。これは、例えば、化石燃料の採掘と生産のみを行っている非金融企業にはあり得ないと思われます。ストレステストの結果としては、セクターの価値にリバウンドがない場合に、これらの企業がどれだけ無期限に支払能力を維持できるかということになるはずです。

株式や債券の評価の変化（センチメント・ショック）は、IEAや統合評価モデリング・コンソーシアムのメンバーが作成したような伝統的な統合評価モデルが現在理論的に表現している需要側の変化を直接評価するものではありません。なぜなら、早期警報システムがなければ、ティッピングポイントがあまりにも急激であるため、市場の力を利用して将来の供給をコスト最小で展開することができないからです。これは特に、従来のストレステストの期間である3年以内に当てはまります。

気候ストレステストと遅かれ早かれのシナリオ開発のためのフレームワーク

筆者らの知る限り、現在のところ、真に「遅かれ早かれ」のシナリオがセクターの付加価値に与える影響を評価したエネルギー経済モデルはない。以下のセクションでは、ボトムアップ・アプローチを用いてシナリオを構築するための例示的なフレームワークと方法論を概説する。まず、フレームワークの概要をポイント形式で説明し、次に、このような演習を完了するための我々の最初の試みを示します。最後に、このようなフレームワークを2つの理論的な株式と債券のポートフォリオに適用した結果を示しています。

本章では、1つのシナリオしか実行していませんが、本章の重要なメッセージは、多くのシナリオを実行することが可能であり、異なるシナリオでのソルベンシーが市場の安定性と回復力に関する有益な洞察を提供するということです。さらに、本研究では、特定のインデックスのセクター別および技術別の利益の変化に焦点を当てていますが、ボトムアップ・アプローチでは、市場レベルの分析、企業レベルの分析、およびポートフォリオ・レベルの分析を行うことができます。その結果、脱炭素化の遅れや急激な変化に対する特質的な感応度とシステム的な感応度の両方を知ることができます。

アプリケーションフレームワークは以下の要素で構成されています。

- 産業界の温室効果ガス排出量と企業収益との関係を示す、関連する財務指標の特定

- 上記の指標の適切な粒度を特定し、それぞれに対応するビジネスアズノーマルのデータを調達する。

- 幅広いシナリオを想定した上での「突然」「遅かれ早かれ」「突然」のシナリオの策定

- 各金融資産クラスに応じた適切な評価方法の特定

- 各企業、ポートフォリオ、市場のBAU評価を、ステップIIIで策定したシナリオの範囲と比較してベンチマークを行う。

通常通りのシナリオにおける入力と指標

モデルを構築するための最初のステップは、金融資産の評価を左右する関連データのインプットと指標を定義し、通常通りのシナリオの下で、これらのデータの適切な粒度と一貫したソースを特定することです。純利益を計算する独立変数は、簡単に言うと、生産量、価格、固定費と変動費です。以下の表19-3は、移行リスク、特に「遅すぎ、突然すぎ」の移行に起因するリスクが、「利益のバリューチェーン」全体にわたって炭素集約型産業の利益にどのような影響を与えるかを示しており、これらの影響をそれぞれ定量化するために必要な指標の詳細を示している。

さまざまなイニシアチブがすでに、「スムーズな」エネルギー移行のセクター別の影響を定量化しようとしており、表19-3で詳述した利益の決定要因に対する影響を定量化できるいくつかの指標を提供している。この点で関連する2つのイニシアチブは、EUのH2020資金提供によるET Riskプロジェクトと、UNEP FIの移行リスクに関するワーキンググループである（UNEP FI & Mercer, 2018）。しかし、筆者らの知る限り、移行が遅れた場合のセクター別利益への影響を理解するための研究はまだ行われていないが、この問題を検討するイニシアチブは進行中である（特に、国連責任投資原則が「必然的な政策対応」作業の一環として主導している）（PRI, 2019）。

この策定に基づき、以下の表19-4では、ここで使用した「遅すぎ、突然すぎ」のシナリオを構築するために使用した指標とそのデータソースの詳細を示している。

急激な移行の下での価格と生産量の推定

各指標のベースライン値が定義されたら、次のステップは、表19-2に示した必要な指標で表現された後期および突然のシナリオを作成するためのフレームワークを開発することである。

将来の生産プロファイルを推定するためには、様々なアプローチがあり、これらのモデルからは様々な結果が得られます。例えば、将来の生産プロファイルを推定することによって、地球温暖化の可能性について情報を提供するために使用される統合評価モデルは何十種類もあり、その結果は何千種類もあります。したがって、気候ミンスキーの瞬間を迎えた世界市場を表す正確な生産プロファイルがどのようなもので、どのように策定されるべきかは定かではありません。しかし、これらの異なる結果に対する金融市場の耐性を測定するためには、生産プロファイルを作成する正確な方法は、それほど洗練されたものである必要はないかもしれません。ここでは、気候的ミンスキー・モーメントを迎えた世界市場の将来の生産プロファイルを推定するための2つのシンプルなアプローチを紹介します。

1つ目の方法は、生産ショックが発生する年と、その期間を定義します。その後、生産の軌跡は、現在のIAMによる将来の需要予測のプロファイルに戻ります。この手法の目的は、排出量や将来の需要に対する影響とは無関係に、パラメータを変更した場合に金融資産価格がどのように反応するかを純粋に理解することにあります。

2つ目のアプローチは、非常に単純化された方法ではあるが、GHGの排出量をおおむね450ppm以内に収めることに近似した、グローバルな炭素収支計算アプローチを使用しようとするものである（詳細は附属書Aに記載）。このアプローチの目的は、今世紀末までに地球温暖化を2度以内に抑える可能性を維持するための政策対応の結果をシミュレートすることです。

最初のモデルを使って、気候ミンスキーモーメントに対する市場、企業、ポートフォリオの感度を理解するには、各地域と技術の生産プロファイルを、ショックの大きさ、ショックが発生する時期、期間のパラメータを使って繰り返し計算する必要があります。この生産・需要サイドのショックの影響を評価することで、DCFモデルや債券のデフォルト確率・価格設定モデルを通じた金融資産のプライシングが行われます。同様に、2つ目のモデルでは、ショックの発生年と、排出されたCO2の大気中での滞留時間である「気候ラグ」を想定し、適切な範囲の値で反復して計算します。その結果は、技術やセクターごとに、ショックの大きさと気候ミンスキー年の組み合わせに対する市場、企業、ポートフォリオの耐性を示すシンプルなマトリクスで表すことができます。

上記の2つのアプローチは、「遅すぎ、突然すぎ」の移行シナリオを作成するための貴重な第一歩ですが、いくつかの注意点があります。第一に、このアプローチでは、セクター間の相互作用の可能性を見落としている（実際には、ある産業では必要以上に排出量が減少し、別の産業では必要以上に排出量が増加する可能性がある）が、産業間のリスク伝播は考慮されている（例えば、原油価格の上昇は航空会社の経費に影響を与える）。第二に、代替案がない場合、非常に単純化された価格変動を特徴としています。最後に、代替手段がない場合、一部のセクターの純利益率の変化を無視しています。しかし、どちらの方法でも、表3に示した他のすべての指標を変化させることで、推定値の不確実性が市場、ポートフォリオ、企業レベルでの影響評価に反映されるかどうかを理解することができます。

遅すぎ、突然すぎ」の移行シナリオにおける株式価値の推定

以上のように、エネルギー転換は、企業の収益と費用に影響を与え、その影響の大きさは、企業の属するセクター、市場、ショックの発生時期によって異なります。このような企業の収益の変化は、弱体化した企業が発行する株式に対する需要が減少することで、企業の市場価値に影響を与えます。このような変化を捉えるために、私たちは標準的な評価手法を用いています。

too late, too sudden」というシナリオの下での株価の変化を推定するために、Gordonによる将来の配当金の流れに関する定式化に依拠します(Gordon, 1959)。時刻𝑡0における株式市場価格𝑉

の時刻𝑡0での値は次のように与えられる。

𝑉 𝐷1 は翌年の予想配当金、r は資本のコスト・リスクである。

𝐸,𝑡0=𝑟-𝑔

であり、gは配当の成長率である。

ある年の配当がその年の会社の純利益に比例すると仮定し、利益の将来の推移を明示的にモデル化すると、次の式が導かれる。

𝑃𝑉𝑡 𝐸,𝑡0=𝛼∑𝑏 𝑡

𝑡∗(1+𝑥) (1) 𝑡=𝑡0(1+𝑟)

Ptはt年目の会社の利益（2.1節で説明したようにモデル化されている）、tbはキャッシュフローを明示的にモデル化するまでの日付、xはターミナルバリューにおけるモデル化された価値の割合、αは純利益と配当の間の比例係数である。

簡単に言えば、ある企業の株主資本価値は、その企業の将来のキャッシュフローの正味現在価値に等しいと仮定される。BAUシナリオと「too late, too sudden」シナリオにおけるVE,t0の差は、移行によってリスクにさらされる株式価値である。

遅すぎ、突然すぎ」の転換期における社債の価値を推定する

シナリオ

債券の市場価値に最も影響を与える要因は、利回り、実勢金利（債券のキャッシュフローの割引率に影響するため）、債券のデフォルト確率である。ここでは簡単のために、「遅くて突然の」移行がインフレ、ひいては長期金利にどのような影響を与えるかについては仮定しません。したがって、本アプリケーションでは、移行シナリオにおける債券価値の変化の唯一の要因として、デフォルト・リスクに焦点を当てています。なお、割引率はすべてのシナリオで一定としています。

1) 移行シナリオにおけるデフォルト確率の推定

信用リスクの計算には多くの手法がありますが、それぞれ前提条件やデータが異なり、最終的な予測精度も様々です(Tanthanongsakkun et al., 2009)。商業信用格付けでは、マートンのデフォルトまでの距離モデルの派生モデル（Moody's KVMやBloombergの信用リスクモデルなど）が一般的に採用されています。それにもかかわらず、債券のデフォルト確率は、発行体の主要な財務比率と大きく相関していることは明らかです(Tang & Yan, 2010)。

計算上の便宜を図るため、Zmijewskiの破産モデルを用いて、通常通りのシナリオと、「遅すぎる・突然すぎる」シナリオの範囲で、時刻tにおけるデフォルト確率の変化を計算します。次に、このデフォルト確率の変化を、証券レベルで公表されているデフォルト確率に適用します。これは、我々のフレームワークでは捉えられない外生的なリスクに基づく結果を校正するのに役立ち、また、我々の単純化の一部を補うために想定されています。

Zmijewski氏のモデルを適用するために、純利益が𝑥%変化するとNI/TAも𝑥%変化すると仮定します。さらに、負債総額も流動資産も時間的に一定であると仮定して単純化することで、Zmijewskiに従って、ある時間𝑡での債券のデフォルトは次のように表すことができます。

𝑃𝐷𝑡 = φ(-4.336 - 4.513 𝑁𝐼𝑡 + 5.679 𝑇𝐿 + 0.004 𝐶𝐴) (2) 𝑇𝐴 𝑇𝐴 𝐶𝐿

ここで、PDは1年間のデフォルト確率、φは標準正規累積分布関数、NI/TA 純利益対総資産、TL/TA 総負債対総資産、CA/CL 流動資産対流動負債である。

Zmijewskiのモデルの限界を考慮して、NI/TAの経年変化を用いてPDの経年変化を算出する。

∆𝑃𝐷𝑡 = 𝑃𝐷𝑡 - 𝑃𝐷𝑡-1 (3) 市場またはインデックス内の各債券のデフォルト確率は、∆𝑃𝐷𝑡と債券の現在のデフォルト確率の積となる。

と時刻tにおける債券の現在のデフォルト確率の積となる。

移行シナリオにおける債券の価値の推定

債券の価値は、以下のように表される確率加重型割引キャッシュフローで与えられる。

𝑉 = ∑𝑇 𝑋 𝑃𝐷 (∏𝑡-1 (1 - 𝑃𝐷 )) (4) 𝑗𝑡=1𝑡𝑘=0 𝑘

Vj は債券 j の価値、T は債券の満期日、X は債券のキャッシュフローの正味現在価値 (以下に定義)、PDt は 2.4.1 節で計算したデフォルト確率である。

ここで、債券の将来キャッシュフローの正味現在価値は次のように与えられる。

𝑋=∑𝑇 𝐶𝑗𝐹𝑗+𝐹𝑗 (5)

𝑉 = ∑𝑇 𝐶𝑗𝐹𝑗 (∏𝑡 (1 - 𝑃𝐷 )) + 𝑅 ∑𝑇 𝑃𝐷𝑡

𝑗 𝑡=1 (1+𝑟)𝑡 𝑘=1 𝑘 𝑗 𝑡=1 (1+𝑟)𝑡

𝑃 𝐷𝑘)

(∏𝑡-1 (1 - 𝑃𝐷 )) + 𝑘=0 𝑘

𝐹𝑗 ∏𝑇 (1 -

(6)

𝑇 𝑡=1 (1+𝑟𝑗)𝑡 (1+𝑟𝑗)𝑇

ここで、Fjは債券jの額面金額、Cjは債券jのクーポンレート、Rはデフォルト時の回収率、rjはキャッシュフローの割引率である。

T期に満期を迎えると予想される債券で、毎期クーポンが支払われる場合、デフォルトがないと仮定した場合のキャッシュフローの流れの現在価値は、次のように書くことができます。

以下のセクション3に表示される例では、Rj = 38%5, Fj = 1000, Cj = 5%, r = 5%としています。

ANNEX A: GHG集中度に応じて定型化された後期および突然の生産曲線の詳細な方法論

本付録では、後期および突発シナリオのストレステストの一般的な方法論を説明するために使用される近似生産曲線を導き出すための仮定を概説しています。

生産と効率。

- 各セクターにおいて、パリ協定（今世紀末までに地球温暖化を2度以内に抑える）を実現するという市場心理をミンスキーモーメントで捉えるためには、スムーズな移行シナリオと比較して、行動遅延シナリオでは移行開始前に発生する追加排出量（移行開始日）を相殺する必要があります。このように、ミンスキー・モーメントのタイミングは重要な独立変数であり、市場やポートフォリオは様々な時間軸でテストされるべきである。今回のシミュレーションでは、2040年までの生産をモデル化し、60年の気候ラグを想定しました（2100年の気温は、その60年前に排出されたGHGによって決まります）。

- これらの排出量をどのようにオフセットするかは、セクターによって異なります。一般的には、生産量を減らすか、効率を上げるか、あるいは生産量と利益の関係に影響を与える炭素除去活動によってオフセットを行うことができます。どのような方法で排出量を削減するかは、世界経済における各セクターの機能に基づいています。例えば、セメントは2050年に予想される100億人の人類に必要なインフラを構築するために不可欠な材料であるため、生産量が大幅に減少することを想定すると、（IAMで例示されているように）ETP2017のIEAのように、急激な研究開発努力によるエネルギー効率の急上昇の方が現実的だと思われます（あるいは代替製品の開発ですが、本研究ではこの可能性は考慮しませんでした）。

- オフセットは、経済レベル、すなわちIEA新政策シナリオ（またはこの種の世界のビジネスアズユアスシナリオ）で2025年以前に各セクターで発生する排出量を考慮して行うか、またはパリ協定資本移行評価（PACTA）移行モニターなどのツールを用いてポートフォリオレベルで行うことができる8。このツールは、「気候変動に関連する」セクターや技術（化石燃料：石油、石炭、天然ガス、電力：石炭、ガス、再生可能エネルギー、自動車：電気自動車、ハイブリッド車、ICE車）に対する投資ポートフォリオの現在のエクスポージャーを定量化し、2℃シナリオとの整合性を（ポートフォリオが出資している企業の生産・投資計画に基づいて）将来的に評価します。移行開始前に発生し、移行後に相殺しなければならない排出量は、現在ポートフォリオが出資している生産と、今後5年間に予想される生産の変化を反映したものとなります。このようにして，ポートフォリオに適用されるショックは，その現在の軌道に合わせて調整される。

- 本研究で表示される結果は、「グローバル・マーケット」アプローチに基づいている（すなわち、移行開始前の各セクターの生産量は、NPSシナリオに従っている）。

以下の図19-1は、石炭鉱業セクターに関するこれらの原則を示している。

価格と利益率

- 遅れて移行するシナリオでの化石燃料の価格は、需要に比例して変化する。「遅れて突然」移行が始まると、他のセクターの価格はゆっくりと「滑らかな」移行のレベルに達する。

- 建材産業（鉄鋼、セメント）については、移行が遅れた場合の粗利益や営業利益への影響を見積もる合理的な方法が見つからなかったため、想定していない。したがって、移行の遅れがこれらの産業の利益に与える影響は、過小評価されている可能性がある。

- 文献9によると、「遅すぎ、突然すぎ」シナリオでは、「スムーズ」な移行シナリオに比べて2040年の炭素価格が1.5倍になると仮定しており、「遅すぎ、突然すぎ」の移行が始まってからのエネルギー効率の改善を早めるためである。

上記のアプローチは、「遅すぎ、突然すぎ」の移行シナリオを作成するための貴重な第一歩ですが、いくつかの注意点があります。第一に、このアプローチは、セクター間の相互作用の可能性を見落としている（実際には、ある産業では必要以上に排出量が減り、別の産業では必要以上に排出量が減る可能性がある）が、産業間のリスク伝播は考慮されている（例えば、原油価格の上昇は航空会社の経費に影響を与える）。第二に、代替案がない場合、非常に単純化された価格変動を特徴としています。最後に、代替案がないため、一部のセクターの純利益率の変化を無視しています。