

2020年7月27日 全10頁

金融当局による気候関連ストレステスト①

オランダ銀行が実施したストレステストの概要

中央銀行としては世界初の気候関連ストレステストを実施

金融調査部 研究員 柿沼 英理子

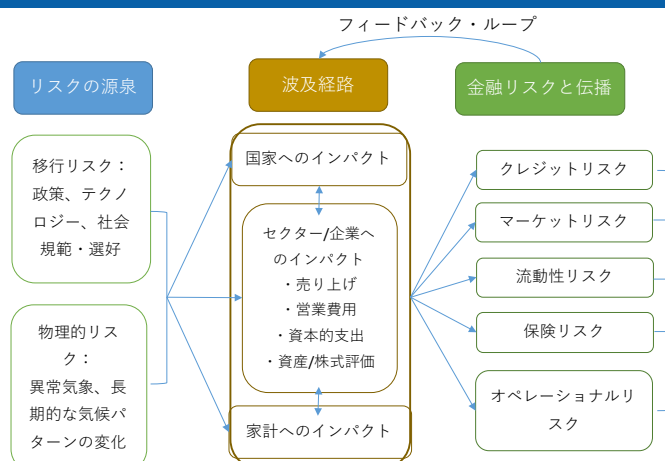
[要約]

- 気候変動に関連する物理的リスクや移行リスクは様々な経路を通じて金融システムに影響を及ぼすと考えられている。2020年1月にBIS（国際決済銀行）が公表したレポート「グリーンズワン」は、こうした気候関連リスクはブラックスワン（事前に発生の予測が困難であるが、発生時の影響が極端に大きい事象）的な金融危機を引き起こす可能性があると警鐘を鳴らした。
- こうした中、欧州を中心に、中央銀行や金融監督当局（以下、金融当局）はストレステストに気候関連リスクシナリオを取り入れ始めている。そこで、「金融当局による気候関連ストレステスト」レポートシリーズにおいて、各国の金融当局による気候関連ストレステストの結果や実施に向けた取り組みについて紹介する。
- シリーズ第1弾では、2018年10月に公表されたオランダ銀行の気候関連ストレステストの結果を紹介する。オランダ銀行は国内の銀行、保険会社、年金基金を対象にトップダウン・アプローチに基づくマクロ・ストレステストを実施した。テストの結果を受けて、オランダ銀行は気候関連リスクが金融機関にもたらす財務上の損失は小さくないものの、金融監督上の比率に対する影響はマネジメント可能であると結論づけた。

1. 気候関連リスクを評価するストレステストの目的

近年、各国の中央銀行や金融監督当局（以下、金融当局）は、気候変動に関連する様々なリスクが金融システムに及ぼす影響に注目している。気候変動に関連するリスク（物理的リスク [集中豪雨や台風など異常気象によって引き起こされる急性リスクや、海面・気温上昇など長期的な気候パターンの変化等に伴う慢性リスクがある] と移行リスク [気候変動の緩和や適応を進める際に発生しうる、政策変更や消費者行動の変化等に伴うリスク] の2つに大別される）が企業価値の低下や家計の可処分所得の減少をもたらし、これがクレジットリスクの上昇などを通じて金融システムの安定性に影響を及ぼす可能性があるためである（図表1）。こうした中、気候関連リスクシナリオを用いたストレステストを実施・検討する動きが各国の金融当局に見られる。

図表 1 移行リスク・物理的リスクが顕在化する経路



(出所) BIS (January, 2020) “The green swan: Central banking and financial stability in the age of climate change”より大和総研作成

BIS（国際決済銀行）が事務局を務めるグローバル金融システム委員会によれば、ストレステストは、「例外的だが蓋然性のあるイベントが発生した場合のリスクファクターの変動が金融機関の財務状況に与える潜在的な影響を検証する手法」¹であるとされている。これまでもリスク管理の指標としてVaR²が用いられてきたが、VaRは過去の観測データに基づき、統計的手法によって計測される値に過ぎず、確率分布の形状が変化するような環境の変化やテールリスク³を捕捉できないといった限界が指摘されていた。これに対し、ストレステストでは、リスクファクターの変動幅や複数のリスクファクターの相互依存関係は外生的に与えられるため、VaRの限界を補完するものとして活用されてきた。

2020年1月にBISが公表した「グリーンスワン」（“The green swan: Central banking and financial stability in the age of climate change”）は、気候関連リスクによって引き起こされる金融危機を、ブラックスワン（事前に発生の予測が困難であるが、発生時の影響が極端に大きい事象）になぞらえ、大きな反響を呼んだ。BISレポートにおいても、グリーンスワン・イベントが発生する可能性は過去のデータからは予測できないテールリスクであるため、ストレステストのようなフォワードルッキングなアプローチを用いてリスクを評価する必要があると指摘している。

ストレステストの形態はマイクロ・ストレステストとマクロ・ストレステストに大別される。前者は個別の金融機関のポートフォリオにおけるウィークスポット（その変動が自行の損益に対して大きなインパクトを持つリスク要因）やマクロ経済ショックに対する耐性を評価するために実施され、結果は個別金融機関のリスク管理に活用される。後者のマクロ・ストレステストは金融当局によって金融システム全体の耐性を評価するために行われる。一般的に、中央銀行が

¹ 「大規模金融機関におけるストレステスト: ストレステストの現状とテスト結果の集計に関する論点」日本銀行による仮訳。

² Value at Riskの略。過去の一定期間（観測期間）のデータから、保有資産を将来のある一定期間保有し続けた場合、ある一定の確率の範囲内で被る可能性のある最大損失額を統計的に推定する。

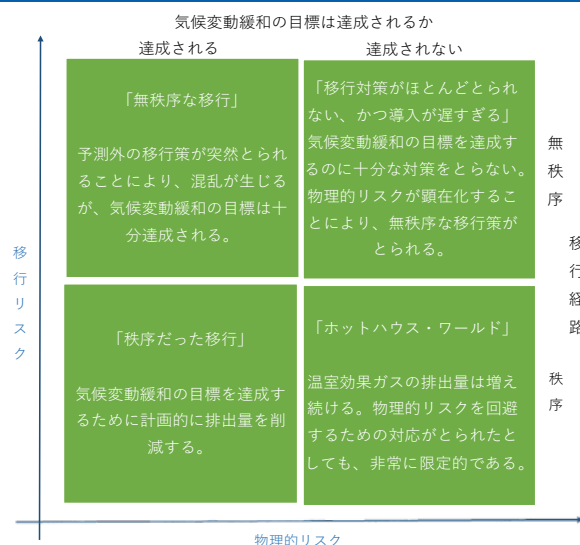
³ 発生確率は低いものの、発生すると非常に大きな損失を被ることになるリスク

マクロ・ストレステストを実施する場合、金融システム全体の安定性の評価にとどまる一方、金融監督当局が実施する場合には、個別の金融機関の自己資本充実度の評価を伴う傾向にある。

マクロ・ストレステストの手法には、トップダウン・アプローチとボトムアップ・アプローチがある。トップダウン・アプローチでは、金融当局がマクロ・ストレスシナリオに加え、マクロ変数をリスクパラメーターに変換するモデルまで設定し、民間金融機関のバランスシート上のエクスポージャーから、ストレスが与えられた時の金融システムへの影響を評価する。これに対して、ボトムアップ・アプローチでは、マクロ・ストレスシナリオは当局が設定するが、個別の金融機関に対するインパクトの推計は各金融機関が行い、最終的な結果（金融システムに対するインパクト）は金融当局が個別の金融機関のストレステストの結果を集計して算出する。

ストレステストのうち、1つのリスクファクターのみを変動させてそのインパクトを測る手法を感応度分析という。これに対し、将来発生しうるイベントを複数のリスクファクター（金利、GDP、物価、不動産価格など）が同時に変動する形で表現し、イベント発生時の金融機関のポートフォリオやバランスシートへのインパクトを分析する手法をシナリオ分析という。気候関連ストレステストでは、シナリオを用いて物理的リスクや移行リスクが相互作用する様相を表すことができる。図表2は、NGFS（Network for Greening the Financial System）による、気候関連リスクシナリオの考え方を示している。

図表2 気候関連リスクシナリオの考え方



（出所）NGFS（April, 2019）“A call for action: Climate change as a source of financial risk. First Comprehensive report” より大和総研仮訳

物理的リスクと移行リスクの総和が最小となるのは早期から計画的に移行政策が執られた「秩序だった移行」のシナリオである。一方、物理的リスクと移行リスクの総和が最大となるのは、甚大な物理的リスクが顕在化して初めて急速な移行政策が導入される「移行政策がほとんどとられない、かつ導入が遅すぎる」シナリオである。「無秩序な移行」は、厳しい移行政策が急速に導入されることにより、物理的リスクを回避できるシナリオを表しており、「ホットハウス・ワールド」では温暖化が進んだ世界に照準を合わせて移行政策がスムーズに導入されるこ

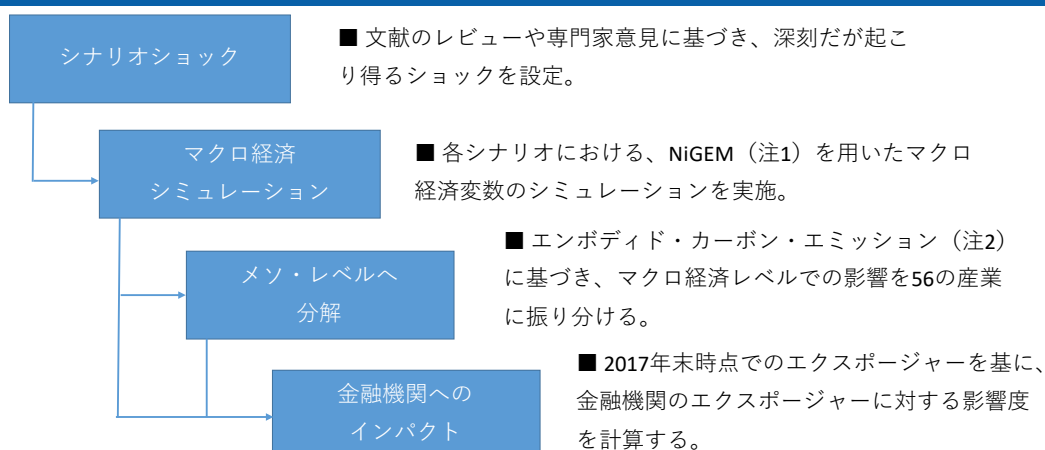
とで、物理的リスクは大きいに移行リスクは小さくなるシナリオを表している。

2. オランダ銀行が実施した気候関連ストレステスト

(1) オランダ銀行のストレステストの概要

シリーズ第1弾となる本稿では、オランダ銀行（以下 DNB）が実施した気候関連リスクシナリオを用いたストレステストの概要とその結果を紹介する。オランダ銀行は中央銀行としては世界で初めて気候関連のリスクを評価するストレステストを実施し、その結果を 2018 年 10 月に公表した⁴。当該ストレステストは、DNB の従来のストレステストの手法と同じトップダウン・アプローチが採用され、オランダ国内の銀行、保険会社、年金基金を対象に実施された。DNB のトップダウン・アプローチの全体像は図表 3 で示す通りである。

図表 3 オランダ銀行のトップダウン・アプローチの全体像



（注1）英国の National Institute of Economic and Social Research が開発した世界経済モデル。

（注2）最終財・サービスのバリューチェーン全体における CO2 排出量。

（出所）DNB（October, 2018）“An energy transition risk stress test for the financial system of the Netherlands”より大和総研仮訳

(2) 4つの移行リスクシナリオとマクロ経済シミュレーションの結果

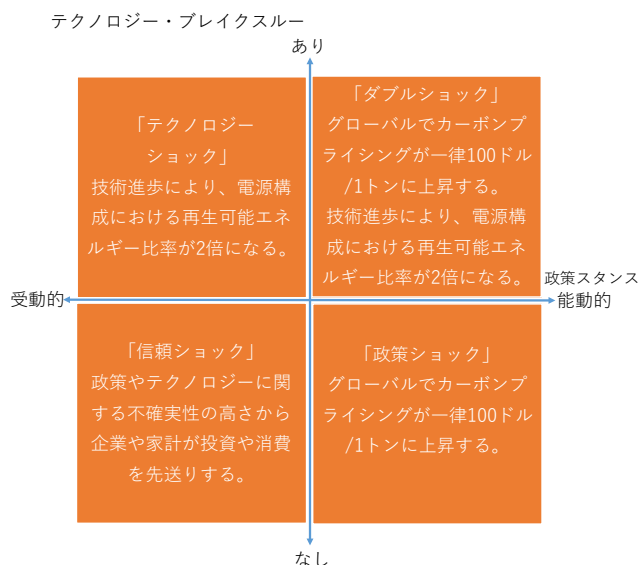
DNB は気候関連リスクシナリオとして、移行リスクに関する「深刻だが起こり得る」4つのシナリオを用意した（図表 4）。なお、物理的リスクは考慮されていない。

移行リスクの源泉は、政策ショックとテクノロジーショックの 2 つであり、前者は気候変動の緩和のための厳しい政策措置が突然導入されることによるショック（通常、気候変動の緩和のための移行政策は段階的に導入される）、後者は CO2 の排出量削減に寄与する技術革新が起これるとともに、これによって経済システムの一部に混乱がもたらされることによるショックを表している。シナリオではこれらの政策変更や技術革新はグローバルに発生すると仮定している。また、脱炭素社会に向けた移行プロセスは長期化すると予想されるものの、近年、気候変動対策

⁴ [DNB \(October, 2018\) “An energy transition risk stress test for the financial system of the Netherlands”](#)

が急速に進展していることを踏まえ、DNB はストレステスト実施時点から 5 年の短期間で移行リスクが顕在化すると仮定している。

図表 4 オランダ銀行の気候関連リスクシナリオ



(出所) DNB (October, 2018) “An energy transition risk stress test for the financial system of the Netherlands”より大和総研仮訳

① 政策ショックシナリオ

当該シナリオでは、異常気象が頻発していることなどを背景に、政府が直ちに CO2 排出量を制限する厳しい措置を取ることは起こり得るとし、CO2 排出量 1 トンあたり 100 ドルのカーボンプライシングが導入されるケースを想定している。DNB はマクロ経済モデル(前掲図表 3 の NiGEM)を用いて、カーボンプライシングが石炭、石油、天然ガス価格の上昇を通じてマクロ経済にもたらすインパクトを算出した(図表 5)。政策ショックシナリオの下では、生産コストの上昇が企業収益の低下を招き、設備投資は抑制され、株価は低下する。また、物価の上昇を受けて家計の実質可処分所得は減少し、中央銀行は金融引き締め策をとるため金利は上昇する。設備投資と消費の減少の結果、GDP は低下する。一方、5 年以内に金利はベースラインに戻り、マクロ経済は回復するという結果が示された。なお、カーボンプライシングによる税収入を分配することは考慮されていない。

図表 5 政策ショックシナリオのマクロ経済へのインパクト (ベースラインとの比較)

年	GDP	HICP	10年金利	グローバル株価指数
1	-1.3%	+2.1%	+1.0pp	-5.3%
2	-3.2%	+2.3%	+0.6pp	-5.4%
3	-2.8%	+2.2%	-0.0pp	-2.6%
4	-1.3%	+2.7%	-0.2pp	-0.8%
5	-0.5%	+3.5%	-0.0pp	-0.3%

(注) HICP: Harmonised Index of Consumer Prices、EU 基準消費者物価指数

(出所) DNB (October, 2018) “An energy transition risk stress test for the financial system of the Netherlands”より大和総研作成

② テクノロジーショックシナリオ

テクノロジーショックシナリオでは、再生可能エネルギーの貯蔵能力の大幅な向上などの技術革新が起こることによって再生可能エネルギー価格が低下し、電源構成における再生可能エネルギー比率が5年以内に2倍になるとともに、炭素集約型の資本（例えば、石炭火力発電所や石炭鉱山など）が座礁資産化することを想定している。このシナリオの下では、1年目には新技術に対する投資需要が増すことでGDPが押し上げられるが、既存の資本ストックの一部が減損するほか、生産要素の再配分が起きることによって、2、3年目のGDPはベースライン対比で低下する。しかし、エネルギー価格の低下によって経済全体の産出量が徐々に増加していき、4年目以降のGDPは上昇する。減損処理のため、当初株価は下落するが、その後GDPの上昇を背景に回復していく。金利については、1～2年目までは資本財への需要の高まりやインフレ率の上昇を受けてやや上昇するが、エネルギー価格の下落に伴い物価が下落することで低下する。

図表6 テクノロジーショックシナリオのマクロ経済へのインパクト（ベースラインとの比較）

年	GDP	HICP	10年金利	グローバル株価指数
1	+1.6%	+0.2%	+0.2pp	-2.8%
2	-0.3%	+0.1%	+0.1pp	-2.5%
3	-1.0%	-0.6%	-0.4pp	+0.5%
4	+0.8%	-1.3%	-0.7pp	+0.3%
5	+2.0%	-1.5%	-0.6pp	-1.4%

(注) HICP: Harmonised Index of Consumer Prices、EU基準消費者物価指数

(出所) DNB (October, 2018) “An energy transition risk stress test for the financial system of the Netherlands”より大和総研作成

③ ダブルショックシナリオ

ダブルショックシナリオでは、政策ショックとテクノロジーショックが同時に発生するケースを想定している。急激な政策転換とイノベーションは相まって発生しやすいことから、特に起こり得るシナリオであると考えられている。GDPはテクノロジーショックシナリオと同様、投資需要で1年目は押し上げられるが、資産の減損によって2～3年目にかけて急落する。4年目もマイナスではあるが、後半からエネルギー価格の下落を受けて回復、5年目にプラスに転じる。金利もエネルギー価格下落の影響を受けて、3年目以降、ベースライン比でマイナスに推移する。株価は当初大幅に下落し、調整が入ることで期間を通じてボラティリティが高まる。

図表7 ダブルショックシナリオのマクロ経済へのインパクト（ベースラインとの比較）

年	GDP	HICP	10年金利	グローバル株価指数
1	+0.4%	+2.3%	+1.3pp	-8.0%
2	-3.5%	+2.5%	+0.7pp	-8.4%
3	-4.0%	+1.9%	-0.3pp	-3.3%
4	-1.1%	+1.8%	-0.7pp	-1.8%
5	+0.9%	+2.5%	-0.5pp	-2.8%

(注) HICP: Harmonised Index of Consumer Prices、EU基準消費者物価指数

(出所) DNB (October, 2018) “An energy transition risk stress test for the financial system of the Netherlands”より大和総研作成

④ 信頼ショックシナリオ

信頼ショックシナリオでは、政府が十分に気候変動の緩和策を取らないことによって、気候変動リスクに対する不確実性が増し、消費者や生産者、投資家心理が急速に悪化することが想定されている。このシナリオの下では、短期的に消費や民間投資が抑制され、GDPが低下する。また、投資家がリスク回避的になり、高いリスクプレミアムを要求することで株価は大幅に下落する。5年以内にGDPは回復基調をたどるものの、ベースライン比でマイナスのままである。期初に景気が後退することでデフレ圧力が加わり、金利は低下する。

図表8 信頼ショックシナリオのマクロ経済へのインパクト（ベースラインとの比較）

年	GDP	HICP	10年金利	グローバル株価指数
1	-1.4%	-0.1%	-0.0pp	-11.3%
2	-2.7%	-0.8%	-0.0pp	-3.7%
3	-2.3%	-1.8%	-0.4pp	+0.8%
4	-1.4%	-2.4%	-0.8pp	+0.8%
5	-0.6%	-2.7%	-1.1pp	-0.9%

(注) HICP: Harmonised Index of Consumer Prices、EU 基準消費者物価指数

(出所) DNB (October, 2018) “An energy transition risk stress test for the financial system of the Netherlands”より大和総研作成

(3) 脆弱性ファクターの決定

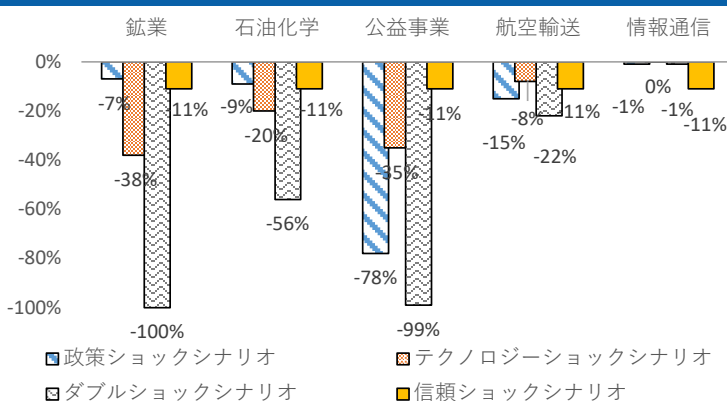
前掲図表3で示したように、DNBのトップダウン・アプローチでは、金融機関（銀行、保険会社、年金基金）の各産業に対するエクスポージャーから、金融機関のポートフォリオに対するインパクトを分析している。インパクトの算出にあたり、DNBは56の産業別に政策ショック、テクノロジーショック、信頼ショックに対する脆弱性ファクターを設定した。政策ショックについては、各産業の最終財・サービスのバリューチェーン全体において排出されるCO₂（エンボデイド・カーボン・エミッション）が多い産業ほどカーボンプライシングの上昇に対して脆弱であると想定した。テクノロジーショックについても、高炭素集約型の産業ほど資本や技術が陳腐化するため脆弱性が高まると想定した。また、化石燃料が市場シェアを失うことにより、化石燃料の採掘・精製を行う産業では追加的に脆弱性が高まるとした。信頼ショックによる経済の減速はすべての産業が一律に受けると仮定し、これに対する脆弱性ファクターはすべての産業において等しくなるように設定した。この結果、工業、石油化学、公益セクターにおいて移行リスクに対する脆弱性が最も高いことが分かった。

各シナリオにおける株式の市場超過リターンはマクロ経済モデル（NiGEM）によるシミュレーションから算出され、脆弱性ファクターに応じて各産業に振り分けられる。図表9はこれを基に算出されたセクター別の株価へのインパクトを表している。情報通信を除く4つのセクターでは、ダブルショックシナリオの下での株価への負のインパクトが最も大きい。鉱業、公益事業セクターについてはダブルショックシナリオの下で株式価値は消滅するという結果になった。

債券価格は、リスクフリー・レートとクレジット・スプレッドの影響を受ける（リスクフリー・レート、クレジット・スプレッドが大きいほど債券価格は低下する）。そこで、DNBのスト

ストレステストでは各シナリオの下で予測されている10年債利回りの変化をすべての償還期におけるリスクフリー・レートの変化として代用した。リスクフリー・レートはすべての産業に等しく影響し、特に政策ショック、ダブルショックシナリオ下で大きく低下する（5年のデュレーションでそれぞれ-5%、-7%）。一方、クレジット・スプレッドについては、脆弱性が大きい産業ほど大きくなる可能性があるため、産業ごとに算出した。算出にあたっては、DNBの従来のストレステストの手法を用い、信用格付けや残存期間を考慮した上で、GDPの変化（マクロ経済シミュレーションから算出）と産業ごとに算出した株式リターンを基にデフォルト確率を計算した。

図表9 セクター別の株価へのインパクト

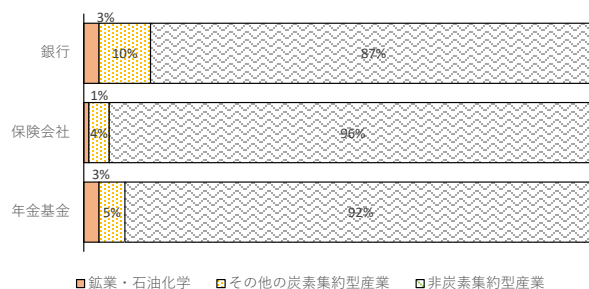


(出所) DNB (October, 2018) “An energy transition risk stress test for the financial system of the Netherlands” より大和総研作成

(4) 金融機関の炭素集約型産業に対するエクスポージャー

ストレステストはオランダの銀行、生命保険、年金基金が保有する2,256億ユーロの資産を対象に行われた。このうち、970億ユーロは銀行、1,067億ユーロは年金基金が保有している。各金融機関における炭素集約型産業へのエクスポージャーは図表10の通りである。銀行の炭素集約型産業（鉱業・石油化学+その他の炭素集約型産業）に対するエクスポージャーは保険会社、年金基金と比べて高いものの、鉱業・石油化学へのエクスポージャーは3%にとどまっている。

図表10 金融機関の炭素集約型産業へのエクスポージャー



(出所) DNB (October, 2018) “An energy transition risk stress test for the financial system of the Netherlands” より大和総研作成

(5) 財務上のインパクト

DNB は各シナリオの下での金融機関の資産へのインパクトを①特定の炭素集約型産業（鉱業・石油化学、公益事業、基幹産業、運輸）に対するエクスポージャー、②その他の産業に対するエクスポージャー、③リスクフリー・レートの変化、の3つのリスク要素に分解して算出した。この結果、各金融機関が保有する資産に対する総損失は、銀行において最大-3%、保険会社において最大-11%、年金基金において最大-10%となった（いずれもダブルショックシナリオの下での損失が最大）。

銀行では、金利変化による長期国債価格の変動が損失の主な要因となった。政策ショックシナリオならびにダブルショックシナリオの下では、損失の40%が金利変化に起因し、残り60%の部分では、特定の炭素集約型産業とその他の産業に対するエクスポージャーによる影響をほぼ等しく受けた。特定の炭素集約型産業に対するエクスポージャーの総損失に占める割合は、信頼ショックシナリオの下では20%、ダブルショックシナリオでは50%であった。

保険会社については、信頼ショック以外の3つのシナリオにおいて、金利変化が損失の要因の大部分を占めた。保険会社はデュレーションが長期の債券を多く保有しており、利子率の上昇によって債券ポートフォリオの価格は大きく低下する。一方、信頼ショックの下ではその他の産業に対するエクスポージャーが損失のほとんどを占めた。

年金基金では、政策ショックシナリオの約半分、ダブルショックシナリオの5分の2の損失が金利変動に起因するという結果が示された。年金基金は銀行や保険会社と比べて株式の保有割合が高いため、金利変動の影響を受けにくい。一方、年金基金の炭素集約型産業へのエクスポージャーはわずか8%であるにもかかわらず（前掲図表10）、これに起因する損失はダブルショックシナリオの下では3分の1以上を占めた。信頼ショックシナリオの下での損失は、年金基金が最も大きかった。これも年金基金の株式保有割合が高いことによる（信頼ショックに対する脆弱性ファクターはすべての産業において等しく設定されている）。

(6) 金融監督上の比率へのインパクト

DNB は、気候関連リスクによって引き起こされる各金融機関の財務上の損失は少なくないものの、監督上の比率に対するインパクト（図表11）はマネジメント可能であると結論づけている。銀行のCET1（普通株式等Tier1）比率⁵は普通株式と内部留保をリスクアセットで除して表される。CET1比率へのインパクトについては、直近のCET1資本から、各シナリオにおける損失額を差し引いて表し、リスクアセットはショックを与える前の値から期間中一定と仮定し、算出している。保険会社のソルベンシー比率⁶への負のインパクトは相対的に大きいものの、オランダの保険会社のソルベンシー比率は179%と最低要件の100%を大きく上回っており、対処可能であるとしている。年金基金における年金資産のカバレッジ比率⁷に対するインパクトは、年金

⁵ バーゼルⅢにおいて導入された自己資本規制比率。

⁶ 予測を超えるリスクに対する保険会社の支払い能力を示す指標であり、保険会社の健全性評価に使われる。

⁷ オランダの年金基金はDNBによってカバレッジ比率が規定されている。カバレッジ比率は年金資産の年金債務に対する比率を表す。

債務を新たな割引率で計算しなおした結果、信頼ショックシナリオを除く 3 つのシナリオでポジティブとなった（すなわち、カバレッジ比率は改善する）。なお、年金基金は金利リスクのうち、38%をヘッジしていると仮定している。また、年金支払い額をインフレ率と連動させた場合、政策ショック、ダブルショックシナリオの下での改善幅は小さくなるとしている。

図表 11 監督上の比率へのインパクト

	銀行 (CET1比率)	保険 (ソルベンシー比率)	年金基金 (カバレッジ比率)
政策ショックシナリオ	-3.4%pt	-6.9%pt	+10.2%pt
テクノロジーショックシナリオ	-1.8%pt	-4.4%pt	+0.6%pt
ダブルショックシナリオ	-4.3%pt	-10.8%pt	+11.8%pt
信頼ショックシナリオ	-2.8%pt	-16.2%pt	-5.5%pt

(出所) DNB (October, 2018) “An energy transition risk stress test for the financial system of the Netherlands”より大和総研作成

3. おわりに

DNB が実施した気候関連ストレステストの特徴として、まず、5年の短期期間において移行リスクのみを考慮している点が挙げられる。物理的リスク（特に慢性リスク）は長期に亘って顕在化するため、物理的リスクも捕捉するならば、シナリオの対象期間を長くとる必要がある。一方、移行政策とこれに対する気候反応の関係を明確に描くことは難しく、モデルの対象期間が長期になるほど不確実性が高まるというトレードオフの関係がある。

DNB の気候関連ストレステストのもう一つの特徴として、トップダウン・アプローチを採用している点が挙げられる。トップダウン・アプローチは個別金融機関のストレステストへの参加を必要としないため、実施が容易であることがメリットとして挙げられる。一方、ボトムアップ・アプローチと比べて正確さは劣る。実際に、DNB のストレステストでも対象の金融機関が保有する株式の 4 分の 1（主に海外向けエクスポージャー）については、産業を特定できなかった。一方、イングランド銀行ならびにフランス銀行が実施を予定しているストレステストは、ボトムアップ・アプローチが採用される予定であり、参加金融機関の負担が大きいものの、テストの精度は高いと期待される。両国の気候関連ストレステストの手法の比較については第 2 弾で詳しく見ていく。

参考文献

大山剛 編著、岡崎貫治・岸本浩一・桑原大祐・小西仁・才田友美・田邊政之・玉橋準・中山貴司・久永健生・村上泰樹 著『これからのストレステスト—金融危機に負けないリスク管理』一般社団法人 金融財政事情研究会（2012 年）