

Introduction to Climate-Related Scenarios

February 2021

International Actuarial Association
Climate Risk Task Force

This content is the IAJ translation of Introduction to Climate-Related Scenarios prepared by the Climate Risk Task Force (CRTF) of the International Actuarial Association (IAA). IAA gave the IAJ permission to use its content for this translation. The IAJ is responsible for this Japanese translation.

気候に関するシナリオについての イントロダクション

2021 年 2 月

これは International Actuarial Association の許可のもとに作成した Climate Risk Task Force による文書の実用目的での翻訳です。

本文書の翻訳は日本アクチュアリー会により作成されたものです。本翻訳に関するすべての質問およびコメントの照会先は secretariat@actuaries.jp

注 意

本会は、本書に掲載した論説及び資料中の意見並びに内容について責任を負いません。また、本書に掲載した論説及び資料中の意見並びに内容については、本会・作成者が所属する組織等の見解を表すものではありません。

IAA ペーパー

気候関連シナリオについてのイントロダクション

本論文 は、国際アクチュアリー会 (IAA) の気候リスクタスクフォースが作成したものである。

IAA は、アクチュアリー専門職団体の世界的な組織であり、いくつかの専門部会や個々のアクチュアリーのためのワーキンググループを有している。IAA は、技術的に優れ、専門的に信頼できると認められている、アクチュアリーという世界的な専門職の発展を奨励し、公共の利益への貢献を確かなものとすることを目的としている。

気候リスクタスクフォースの役割は、2020 年 5 月 7 日に IAA 理事会で採択された「気候関連リスクに関する IAA の活動の趣意書 (SOI)」を実現することである。

- 本論文は、以下のメンバーで構成される、気候リスクタスクフォース によって任命されたサブグループによって執筆された。
- Micheline Dionne (Lead), FCIA (Canada);
- Loubna Benkirane, member of the Institute and Faculty of Actuaries (UK) and l'Institut des actuaires (France);
- Yves Guerard, FSA, FICA, HonFIA, PhD(hc) (Canada); and
- Philipp Leonard Keller, PhD math, member of the Association Suisse des Actuaire.

本論文は、IAA の公表方針に基づき、気候リスクタスクフォースによって、公表することが承認された。

Tel: +1-613-236-0886 **Fax:** +1-613-236-1386
Email: secretariat@actuaries.org
1203-99 Metcalfe, Ottawa ON K1P 6L7 Canada
www.actuaries.org

© International Actuarial Association/
Association Actuarial Internationale

目次

エグゼクティブ・サマリー.....	1
はじめに.....	2
1 ハイレベルな気候経路の紹介.....	4
1.1 気候変動に関する背景情報.....	4
1.2 気候変動のハイレベルな促進指標.....	5
1.3 パリ協定.....	6
1.4 IPCC の地球温暖化の経路.....	7
1.5 気候変動プロセスと相互作用の複雑性.....	8
2 気候関連のリスクと機会.....	11
2.1 物理的リスクと機会.....	12
2.2 移行リスクと機会.....	15
2.3 法的リスクとレピュテーションリスク.....	18
3 リスク分析への取り組み.....	20
3.1 凍結バランスシート.....	20
3.2 動的パス.....	20
3.3 長期的な分析.....	20
4 シナリオ：プロセス、基準および分析.....	21
4.1 シナリオを設計する際の注意点.....	21
4.2 シナリオの構成要素の分析.....	24
5 主要課題.....	29
6 次のステップ.....	30
APPENDIX 1 - シナリオに関する補足情報.....	32
A. 実例となるシナリオの概要.....	32
B. SHIFTING THE LENS レポートにおけるシナリオ.....	33
APPENDIX 2 - REFERENCES.....	37

エグゼクティブ・サマリー

様々な気候関連リスクは、世界的にますます注目されている。これらのリスクが、より頻繁で過酷な気象現象から生じるものであろうと、ネットゼロカーボン経済への移行から生じるものであろうと、アクチュアリーが実施する作業に結果的に重大な影響を及ぼす引き金となる可能性がある。したがって、アクチュアリーは、気候変動の根底にある科学と、それに対する政治的・経済的対応について常に最新の情報を得る必要がある。

シナリオ分析は、気候変動によるビジネス上・財務上の潜在的な影響を、意思決定に役立つ方法で評価するために用いることができる重要なツールである。不確実性の高い世界において、シナリオは「通常通りのビジネス」の前提から大幅に逸脱する可能性のある選択肢を探索することを目的としている。

アクチュアリーは、気候関連リスクが組織・顧客・社会に与えるビジネス上・財務上の潜在的な影響を検討することにより、ますます深く関与している。また、これらのリスクが特定、測定、監視、管理、報告されているという状況が確かなものとなるよう、アクチュアリーがシナリオ分析を使用する必要性が高まっている。この取り組みは、レジリエンスの構築だけでなく、適応策や緩和策の基礎を形成することになる。

本論文の内容は、以下の点に集約される。

1. 気候変動の分野では、アクチュアリーは、気候変動がもたらす広範な複数の影響ではなく、気候関連のリスクと機会に焦点を合わせている。
2. 気候関連リスクは、物理的リスク、移行リスク、法的・レピュテーションリスクの3つに大別できる。これらは、政府・企業・個人のイニシアチブによって影響を受ける。
3. 気候関連リスクは複雑であり、その影響の時期や強さについては高いレベルの不確実性を伴う。アクチュアリーが気候学者や他の専門家と協力してこれらのリスクを評価し、監視するために利用できる材料やツール、データは豊富にある。
4. 幅広い将来の可能性をカバーしたシナリオ分析は、政府にとってはファクトベースによる政策の選択肢、企業にとっては経営情報の開発に最も適している。このアプローチは、政策、戦略、ビジネスモデルの持続可能性を最大化することを目的としている。
5. 気候変動に関する基礎研究の主な情報源は、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) である¹。
6. シナリオは、線形ではなく複数のレベルで起こるリスク間の相互作用を織り込む必要がある。それらのリスクは異なる時系列や時間軸で起こり得るもので、またその影響は世界、地域、企業レベルで起こり得る。対策はそれぞれがリスクの一部だけをコントロールしている様々なステークホルダーによって取られ得るが、局所的と世界的の両方のレベルで調整されるべきである。

7. アクチュアリーは、必ずしも自分たちだけでシナリオを作成することを目指すべきではない。複数の分野からなるチームの一員として状況に応じたシナリオを作成することができることが望ましい。パラメータは、関連性があり、信頼性が高く、利用者のニーズに沿うような結果を出すためにカスタマイズされるべきである。
8. シナリオの基準、構成要素、満たすべき要件、および反復的でなければならないプロセスに関するガイダンスが提供されている。

はじめに

本論文は、IAA 気候リスクタスクフォースが今後数年間かけて作成する一連の論文の一部である。IAA ペーパー「アクチュアリーにとっての気候関連リスクの重要性」を踏まえて作成されており、併せて読まれることが望ましい²。

本稿では気候関連シナリオの開発のための原理を取り上げ、プロセスの概要を示すことを目的としている。気候変動に関連する財務上のリスクに焦点を当てているが、その影響を理解するのに必要な範囲を超えた気候変動の科学的根拠には立ち入らない³。本稿はアクチュアリー等が気候科学の基本的な語彙を習得することの助けとなることを目的としている。特に、気候研究の詳細に精通していないが、気候関連シナリオを作成・利用したいと考えている人に役立つ内容となっている。

本論文は、5つのセクションから構成されている。

- セクション 1 では、気候変動に関する歴史的背景を説明する。主な公的な情報源について説明した後、プロセスと相互作用の複雑性に着目する。また、パリ協定の重要な役割を指摘し、これによって国際社会が低炭素経済への移行を通じて温室効果を緩和することにより、気候関連リスクをコントロールすることを選択したことを示す。
- セクション 2 では、物理的リスクおよび緩和や適応に向けた努力によって生じる移行リスクによる、直接的な影響の範囲を特定する。また、時間の経過とともに生じる可能性のある法的、コンプライアンスおよびレピュテーションのリスクも指摘する。これらのリスクは地域に関連する側面を持ち、金融サービス、特に保険や投資に影響を与える可能性がある。また、新たな機会を生み出すかもしれない。
- セクション 3 では、想定される時間軸や、リスクのカバー範囲に応じた様々なリスク分析のアプローチ（凍結バランスシートから包括的な予測まで）を取り上げる。
- セクション 4 では、地球規模や地域レベルでの緩和や適応に向けた努力を組み込むために、気候関連リスクの変化をどのように測定・監視するかについて議論する。このような測定は、影響の時期や強さに関する不確実性の高さに対応する必要がある。また、国及び地球規模での行動を調整する必要性を認識する。最初のサブセクションでは、良いシナリオ分析に必要な条件を検討する。第二のサブセクションでは、シナリオを組み立てるための構成要素を検討し、アクチュアリーにとって利用可能ないくつかのツールについて考察する。
- セクション 5 では、効率的な行動を支援し、レジリエンスを構築するために克服しなければならない課題と障

壁を検討する。シナリオを作成する際には、これらの要因を考慮する必要がある。

本論文をフォローアップするために、特定の金融セクターに関連する気候問題を取り上げる、あるいはさらなる洞察を提供する、一連の補足的なペーパーを作成することを意図している。今後のペーパーについては、セクション 6 で述べる。

本論文に付随して、使用された用語集⁴を別途用意し、IAA では、気候関連リスクに関する新たなペーパーの作成にともない、これを更新していく予定である。

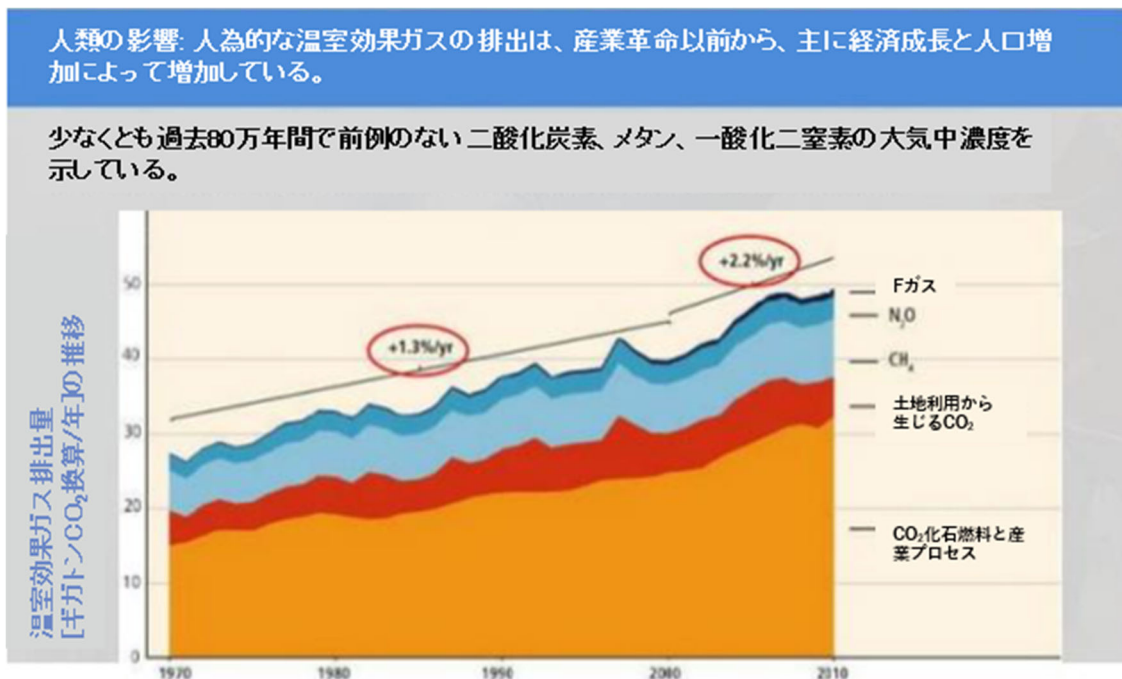
1 ハイレベルな気候経路の紹介

1.1 気候変動に関する背景情報

現在、気候変動は主に⁵大気中の二酸化炭素(CO₂)の増加によって引き起こされているというのが、圧倒的多数の科学的見解である。CO₂は、大気を温暖化させる温室効果ガス(GHG)の一つである。この増加の主要因は、増加するエネルギー需要を満たすために、または産業プロセスを支えるために、人類が化石燃料を燃やしたことである。また、人類の活動は、土地利用の変化を通じて、その他の排出量⁶の増加にも大きく影響している。特に影響が大きいのは、森林を破壊し、家畜のための牧草地に変更することで、メタン(CH₄)や一酸化二窒素(N₂O)を発生させることである。これらはいずれも CO₂よりも強力な温室効果ガスである。人類によるこれらの寄与は、人為的な影響とも呼ばれる。

文献上では「気候変動」という用語が一般的に使われているが、「地球温暖化」という表現を好む人もいる⁷。アクチュアリーは、気候変動によって発生するリスクに関心を持っている。これらは、「気候関連リスク」あるいは「気候関連の財務リスク」と呼ばれている。

図 1 - 大気中の温室効果ガス排出量⁸



IPCC は、気候関連リスクに関する世界的な主要な情報源である。独自に研究を行うのではなく、世界中の科学者が研究に貢献している。この科学者たちは毎年発表される何千もの科学論文を評価する。彼らは気候変動の要因、その影響と将来のリスク、そして適応と緩和によってそれらのリスクをどのように軽減できるかについて、既に知られていることの包括的な要約を提供する。IPCC は評価を通じて、さまざまな分野における科学的コンセンサスの強さを明らかにし、さらなる研究が必要な箇所を特定する。IPCC 評価報告書は幅広いコンセンサスに支

えられており、国際的な気候変動に関する議論や交渉に欠かせない情報源となっている。世界各国の政府による将来の適応策や緩和策など、様々なレベルの不確実性があるため、これらの報告書は将来の結果を詳細に予測しようとするのではなく、気候経路の一部を紹介することとしている⁹。

IPCC が 2014 年に発表した第 5 次評価報告書 (AR5) は、気候変動の科学に関する知見の状況を概観するものである。報告書は、統合報告書と政策立案者向け要約、および 3 つのワーキンググループからの報告書から構成されている。2018 年 10 月に発表された報告書「1.5℃の地球温暖化」では、温暖化を 1.5℃未満に抑えるために、今すぐ抜本的な対策を講じる必要性が示されている。達成されない場合、深刻な事態になる可能性がある」と指摘している。「気候変動下における海洋と雪氷圏に関する特別報告書」の「政策立案者向け要約」が 2019 年 9 月に発行された。国連環境計画 (UNEP) もエミッション・ギャップ・レポートを発行しており、前回は 2019 年版が発行された。

IPCC の第 6 次評価報告書 (AR6) は 2021 年に、統合報告書は 2022 年 6 月に予定されている。

1.2 気候変動のハイレベルな促進指標

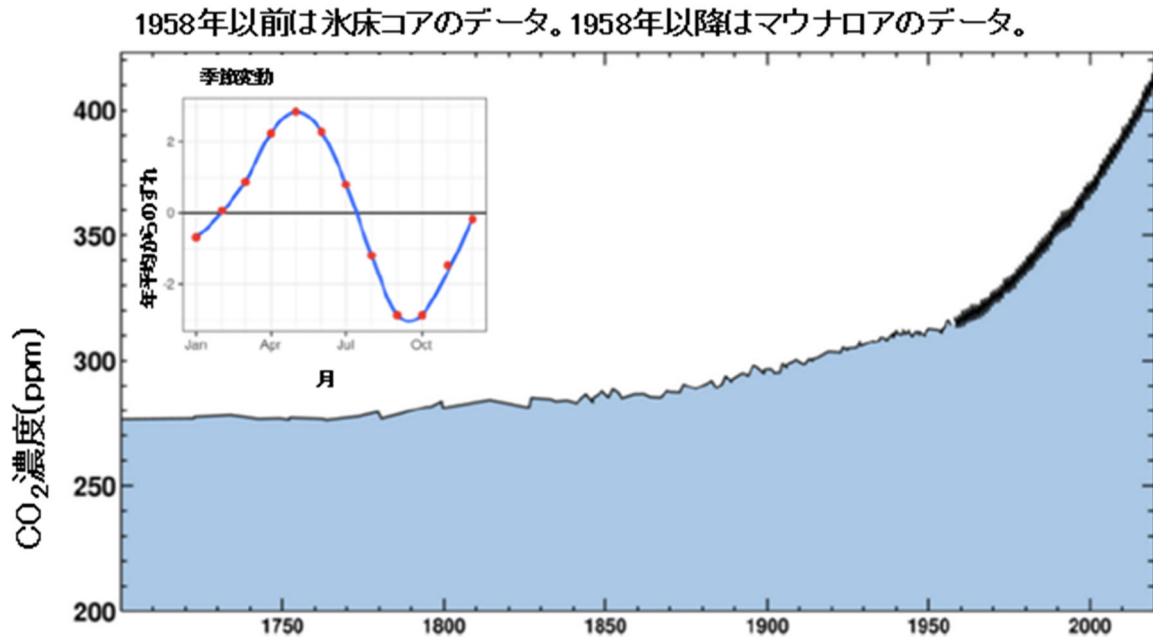
気候関連シナリオは、多くの場合、将来の温室効果ガス排出量の予測に基づくものである。これらは、専門家が気候変動に対する将来の脆弱性、将来の気候変動の緩和や適応の必要性を評価するために使用される。これらのシナリオの目的は、未来を予測することではない。むしろ、ユーザーが不確実性や生じる幅広い結果を理解し、最適な意思決定を行うための一助となるものである。シナリオは、わかりやすくするために、指標の時間的な変化をたどる「経路」と呼ばれる曲線で表現される。経路はしばしば信頼区間によって補足される。シナリオは通常、目標とした時点までの世界の将来の状態を表す、関連する影響や関連する要因を要約した内容を含んでいる。

促進指標としては、温度 (℃) 単位で表した更なる温暖化、温室効果ガス排出量 (CO₂ e¹⁰ ギガトン)、大気中の CO₂e 濃度 (ppm) などが考えられる。これらの指標は、全世界で収集された報告書に基づく推定値である。例えば、ハワイのマウナロア天文台での地球大気中の CO₂ 濃度 (ppm) の日々の測定データは、スクリップス海洋研究所によって 1958 年から現在に至るまで、継続的に提供されている。過去の日々の値のグラフは、キーリング曲線と呼ばれている (図 2 参照)。

CO₂ 濃度は、継続的なモニタリングの対象となり、信頼できる先行指標と見なされる (すなわち、濃度の増加は、一般に温暖化の増加に先行する) ため、望ましい指標の一つである。排出量に基づく指標は、報告の誤差を含む推定値であり、海洋や森林による吸収割合を考慮して大気中の濃度に換算する必要がある。これに対し、キーリング値は正味の濃度を直接測定するものである。キーリング曲線は、予測の開始点を決めるのにも、過去の予測と実際の観測結果を比較するのにも有効である。

どのような指標であれ、IPCC の報告書や様々なモデルから推定される影響は、確率に基づいており、通常定量化されていることに留意すべきである。IPCC が言うところの「濃度を 450ppm 以下に抑えることで温暖化を 2℃以下に抑えられる可能性が高い」という表現は、気温上昇が 2℃を超えない確率を 66.7%と推定していることを意味している。

図 2 - キーリング曲線¹¹



1.3 パリ協定

パリ協定¹² (第四条第二項)では、各締約国に対し、自国が達成する意図を有する国が決定する累次の貢献 (NDC) を作成、報告、及び継続することを要求している。締約国は、当該コミットメントの目的を達成するため、緩和に関する国内措置を遂行することに合意している。締約国が作成する NDC は自発的なものである。NDC は、国の総排出量を削減し、気候変動の影響に適応するための各国の取り組みを具体化したものである。各政府は、自主的に政策目標を設定し、それを達成するための必要措置やイニシアチブを実施する責任を負っている。

NDC はパリ協定とその長期目標の達成の中心である。署名国は、3 つの主要な行動を通じて、気候変動の脅威に対する世界的な対応を強化することに合意した。

- 緩和: 平均気温の上昇を産業革命前の水準から 2° C より十分下方に抑えるとともに、気温上昇をさらに 1.5° C に制限する努力を継続すること
- 適応: 気候変動の悪影響に適応する各国の能力を高めること
- 資金: 資金の流れを、GHG (温室効果ガス) 排出の低減及び気候変動に強い開発への経路とより整合させること

パリ協定では、拠出金が合意された目的を達成するのに十分でない場合、5 年ごとに増額されることになっている。最初の改定は、2020 年 11 月にグラスゴーで開催される COP 26 (国連気候変動会議) の際に行われる予定であった。しかし、COVID-19 のパンデミックのため、2021 年 11 月に延期された。

地球温暖化はすでに 1.1°C に達し、目標の半分をはるかに超えている。一方で、GHG 排出量の大幅な削減は見られない状況である。同じ気温目標に対して、政府が共同で早期に行動し、物理的リスクを軽減し、低炭素世界への段階的な移行（移行リスクが低い）を可能にすることができる。あるいは、行動開始を遅らせることもあり得るが、それは物理的リスクを増大させ、急激で極端な政策行動や経済調整を強いられる可能性を高める。行動の遅延は、移行リスク、法的/レピュテーションリスクを高めると予想される。

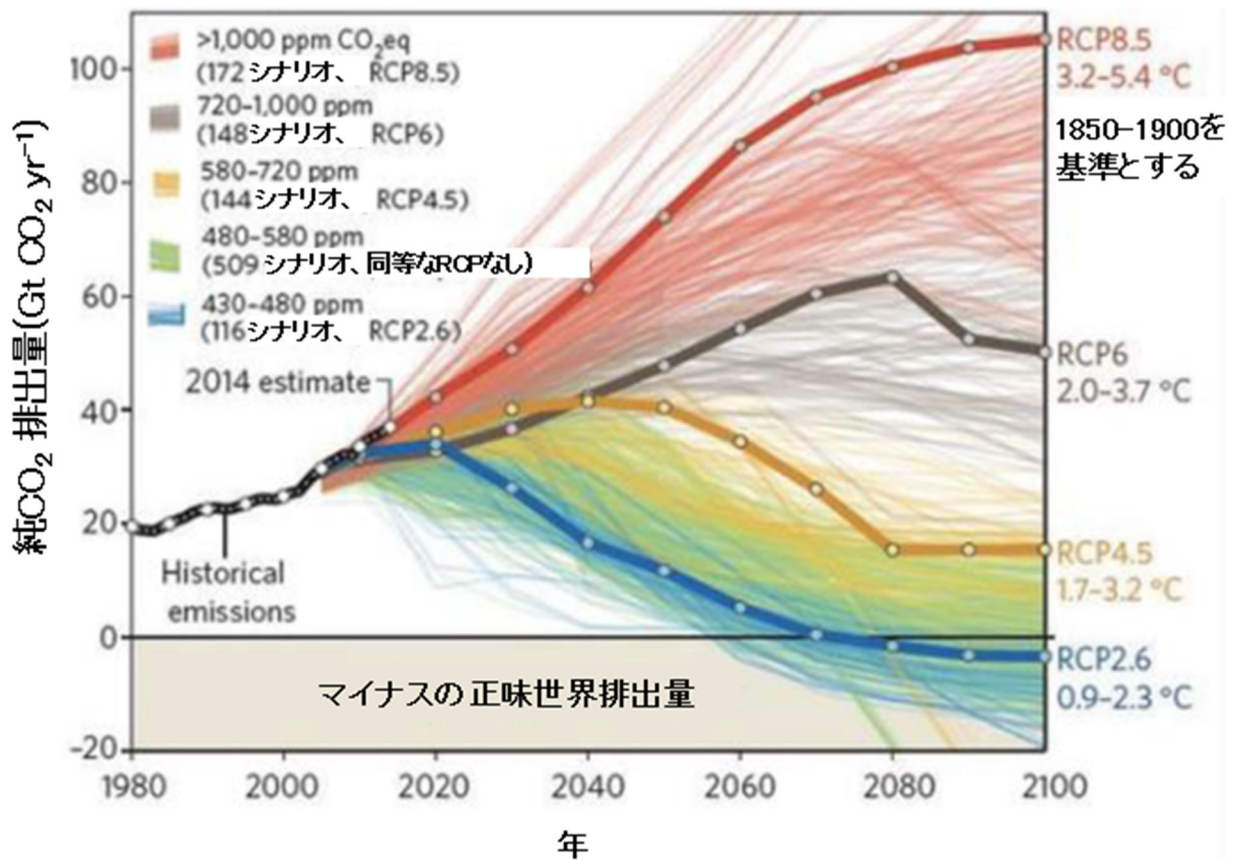
1.4 IPCC の地球温暖化の経路

IPCC 経路は、GHG 排出、その他の大気汚染物質や土地利用の変化などによる大気の構成の変化による、地球の気候システムのエネルギーバランスへの影響を記述している。

IPCC の AR 5 報告書には、正味の放射強制力（大気に吸収されるエネルギーと宇宙に放射されるエネルギーの差）によって特定された 4 つの経路が含まれている。これらは 21 世紀末の大気の異なる組成を示している。IPCC 経路とそれに関連する代表濃度経路（RCP）は図 3 に示されており、以下のように要約される。

- **RCP 2.6** は GHG 排出量の意欲的な削減と整合的であり、GHG 排出量は 2020 年頃（転換点と考えられている）にピークを迎える。その後、パリ協定の目標である、産業革命前の気温から 2°C 上昇以下に地球温暖化を抑えることを目的とした直線的な経路で減少している。これは 2°C シナリオとしても知られている。
- **RCP 4.5** は中間排出シナリオであり、相対的に意欲的な排出削減を実現した将来と整合的で、GHG 排出量が 2040 年頃に減少し始める前にわずかに増加する。このような相対的に意欲的な排出削減行動にもかかわらず、RCP 4.5 はパリ協定の、 2°C の上限/ 1.5°C の目標には届かない。RCP 4.5 は、2015 年 NDC を 2030 年まで実施し、その後 2080 年までに世界の排出量を急速に 50%削減した結果として生じるであろう GHG 排出プロファイルとおおよそ一致している。それは約 2.4°C の温暖化をもたらす可能性が高いと考えられている。
- **RCP 6.0** は、高から中程度の排出量のシナリオであり、GHG 排出量は 2060 年頃にピークに達し、その後今世紀を通して減少するシナリオである。それは約 2.8°C の温暖化をもたらす可能性が高いと考えられている。
- **RCP 8.5** は現在の政策と概ね整合している。これは高排出シナリオであり、排出削減のための政策変更がない場合の将来の状況と一致しており、大気中の高い GHG 濃度につながる GHG 排出量増加によって特徴づけられる。それは 4.3°C の温暖化を引き起こす可能性が高いと考えられている。また、BAU(Business-As Usual)シナリオを表していると考えられているが、必ずしも最悪のシナリオではない。

図3 - IPCC 経路 ¹³



「NDC シナリオ」は、2016 年に 185 の署名国によって提出された NDC を集計することによって導き出されている。主だったものは 2025 年または 2030 年まで続く誓約期間後も、その貢献は継続されると推定される。この初期の NDC シナリオでは、2100 年までに約 3.2° C と推定される温暖化を伴うであろう。

これらの経路や、その後にさまざまな組織によって作成されたその他の経路は、活用方法や地域の状況についてより具体的なシナリオを生成するための基礎として使用されるかもしれない。

1.5 気候変動プロセスと相互作用の複雑性

気候の変化は、急激な物理的影響(例えば、熱波、地滑り、洪水、山火事、熱帯低気圧、暴風雨などの異常気象の深刻さと頻度の増加)と慢性的影響(例えば、降水量の変化、異常気象変動、海洋酸性化、海面と平均気温の上昇)の両方を生じさせると予測される。

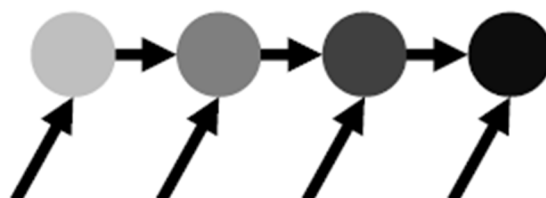
低炭素経済への円滑な移行には、多くの適応策と緩和策が必要であり、それらを同期させる必要がある。例えば、化石燃料から持続可能なエネルギーの生成と貯蔵への移行は、継続的な供給を確保するために調整されなければならない。適応策は、気候変動の影響によるリスクを軽減することができるが、その効果には限界がある。多くの適応策や緩和策が気候変動への対処に役立つが、どのような選択肢も単独では十分とは言えない。効果的

な実施は、あらゆるレベルの政策と協力に依存し、適応策と緩和策を他の社会的目標と結びつける統合的な対応によって強化することができる。

シナリオ分析は、一連の条件について定義ならびにその詳細な内容を特定し、その影響を評価することからなる。シナリオは、影響の分析に関連するすべての効果を含むことになる。詳細な内容は、対象となる財務上の損失またはその他の影響について定性的または定量的な推定を得ることが可能であるようなものでなければならない。気候変動の場合には困難が伴う。というのは、時間とともに出現する多くの影響があり、それらには明確なものもあれば不明確なものもあるからである。気候の変化だけでなく、関連する他の領域への影響も考慮する必要があるため、問題は一層難しくなる。最終的には、保険会社、年金基金、その他の企業体や組織のバランスシートやビジネスモデルに影響を与える可能性がある。

気候変動のような非常に複雑なシステムは、それが影響を与える領域とともに、影響を伝播させる多くのドライバーを持つことになる。例えば、気候関連シナリオを策定するアクチュアリーや、シナリオを地域や特定の金融機関のエクスポージャーに適合させるアクチュアリーは、そうした影響を定量的、定性的、あるいはその両方から検討することになる。各種の影響の相互作用には様々なものがあるが、そのいくつかを以下に紹介する。

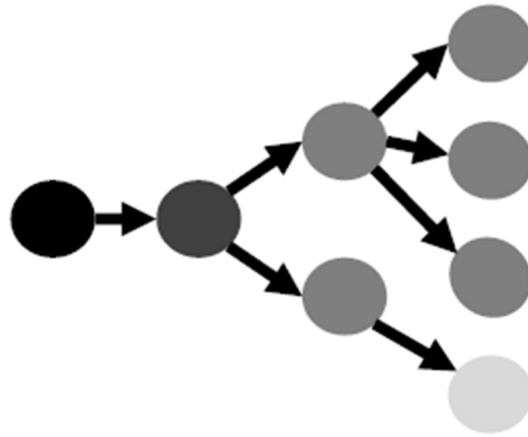
気候変動の要因は、**累積的な影響**を引き起こす可能性がある。例えば、化石燃料の燃焼のような行為により徐々に起こる影響は、時間の経過とともに積み上がる可能性がある。累積的な効果は、線形に近い場合もあれば非線形に近い場合もあり、システムが新しい状態に入る「**転換点**」(Tipping Points)につながる可能性がある¹⁴。



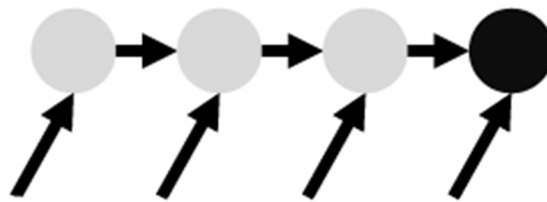
ある出来事がきっかけで、**ドミノ倒し**のように連鎖していく可能性がある。COVID-19 のパンデミックは、最初の流行が広がり、サプライチェーンに影響を与え、特定の商品が買いだめされ、商品の自由な流れに影響を与え、資本市場に影響を与え、さらに多くのものに影響を与えるドミノ効果の例を多く提供している¹⁵。



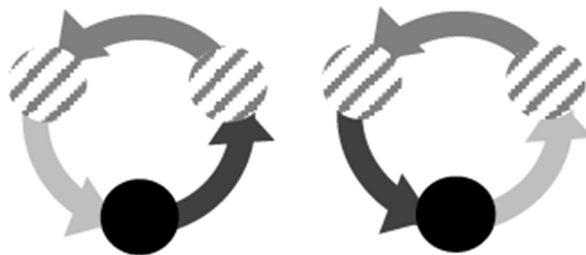
気候変動の**波及効果**は、さまざまな領域で伝播する可能性がある。二酸化炭素は海の酸性化を招き、貝類に影響を与え、海の温暖化はサンゴの生態系に影響を与える可能性がある。これらはいずれも人体に影響を与え、沿岸部の住民は移住を余儀なくされる可能性があり、ひいては社会と経済の両方に影響を及ぼすことになる。これらの影響は、特に長期間にわたって顕著に現れる。



転換点とは、わずかな変化でシステムの状態や発展が質的に変化する閾値のことである。北極の氷の融解の加速が、反射される太陽エネルギーを減少させ、海洋循環を突然変化させる可能性があるなど、気候そのものには転換点が多く存在する。グローバルシステム全体にはより多くの転換点があり、そこに至れば少なくともシステムの一部が未知の結果を伴う新しい状態に入る可能性がある¹⁶。



フィードバックループとは、場合によってはいくつかの段階を経て、最初のドライバーを減衰(負のフィードバックループ)または強化(正のフィードバックループ)させる効果のことである。気候には多くのフィードバックループが存在する。よく知られた正のフィードバックループは、温暖化によって永久凍土が融解し、メタンと二酸化炭素が放出され、さらに温暖化が進むというものである¹⁷。



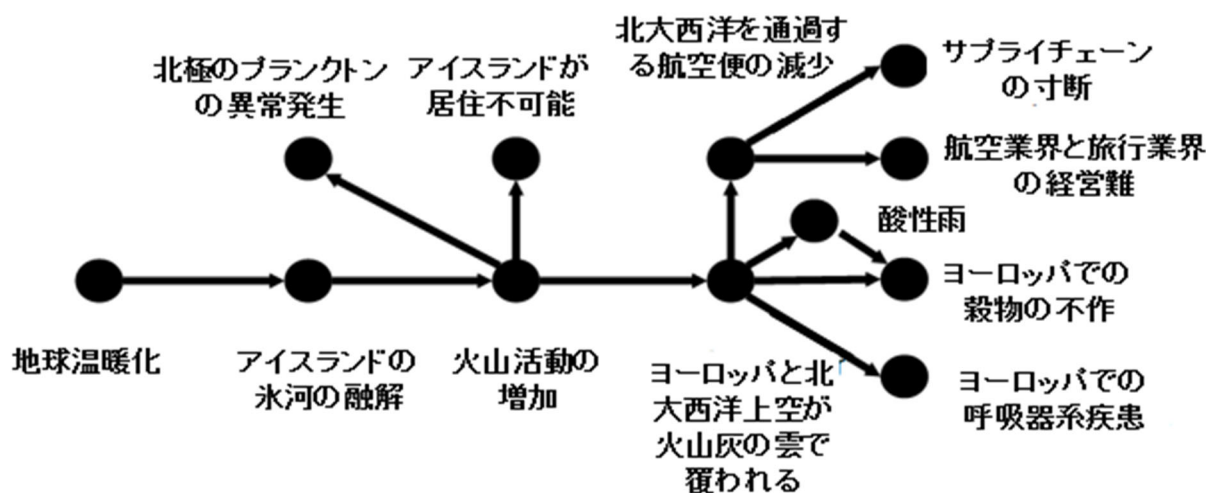
これらの影響がどのように展開するかを予測することは、不可能ではないとしても困難である。多くの影響は非常に不確実であり、合理的な予測やモデリングを行うにはデータが不十分であるかもしれない。このような様々な影

響は、確実に発生するもしくは発生するであろうと考えられるものであっても、シナリオに含まれることになる。例えば、農業や医療システム、社会への影響を考慮せずに、産業革命以前の水準より 3℃ も高い地域の気温上昇を想定したシナリオは、信憑性に欠けるだろう。その他の影響は、特に転換点を過ぎた後にシステムが新しい状態に入る可能性がある場合にはより推測に基づくこととなる。このような場合、アクチュアリーは、情報に基づき一定の幅の見積もりを行うかもしれない。気候変動の影響を検討するための手法には、様々な職種の専門家による分析、ワークショップ、図解、あるいはモデルの構築など、数多くのものが存在する。

気候変動に関連するシナリオを作成するためには、専門家集団による学際的なアプローチが最も有効であろう。明確に区分された領域に気候変動が及ぼす影響を分析するために、関連する専門家の意見が求められるかもしれない。異なる領域間の相互作用を評価するためには、知識の豊富なジェネラリストの力を借りる方が有効な場合が多い。特に気候変動とその影響のような複雑なシステムを分析するためには、学際的な作業の必要性を強調することが重要である。

気候変動のような複雑なシステムで起こりうる影響を定性的に考えるために、図解を採用することが有効であろう。気候の多くの要素やサブシステムは関連しており、気候が変化すると、その影響はさまざまな領域にわたって伝播する。

以下の例のような図解を使用することによって各種の影響について熟考したり、フィードバックループとなり得るものをより明確に示すことができる。



2 気候関連のリスクと機会

気候関連リスクには、物理的リスク、移行リスク、法的・レピュテーションリスクの 3 種類があり、物理的リスクと移行リスクは機会も生み出す可能性がある。それぞれのリスクは独自のパターンを持っており、時間経過や地域によって異なる形で顕在化する。以下、それぞれのリスクについて、モデリングやアクチュアリーの業務に与える影響に

ついて解説する。

2.1 物理的リスクと機会

気候関連財務情報開示タスクフォース(TCFD)は、物理的リスクを、事象駆動的(急性)気候変動、または、気候パターンの長期的シフト(慢性)による気候変動がもたらすリスクと定義している。物理的リスクは、資産への直接的な損害や、サプライチェーンの途絶による間接的な影響など、組織にとって財務的な影響を及ぼす可能性がある。組織の財務パフォーマンスは、水の利用可能性・調達・品質の変化、食料安全保障の変動、更には大規模な気温変動による建物・業務・サプライチェーン・輸送ニーズ・従業員の安全に影響を受ける可能性がある¹⁸。

気候変動によって引き起こされたり、悪化したりする可能性のある物理現象はいくつかある。気温が高いということは、大気中のエネルギーが多いということだ。そのため、風雨が強くなり、ハリケーンや竜巻の発生頻度や降雨パターンが変化し、ある地域では雨が多くなり、別の地域では干ばつがより顕著になる可能性がある¹⁹。気温の上昇によって、ある地域では熱波がより長く、より極端になり、農業や漁業に変化をもたらす可能性がある。更には、火山活動の活発化²⁰や海洋資源の変化の可能性も推測しうる。

アクチュアリーにとって、直接的な影響と並んで、物理的リスクが金融市場に及ぼす影響も考慮することが重要である。大規模災害は株式や社債のポートフォリオに損失をもたらす可能性がある。大規模災害はまた、金融市場の長期的な凍結を引き起こし、流動性のひずみを生じさせるかもしれない。気候変動の影響を大きく受けた地域から資本が流出し、流動性の問題がさらに深刻化する可能性もある。政府は、金利の調節や産業の国有化によって、このような気候変動の影響に対応するかもしれないが、これもまた市場損失や流動性の低下につながる可能性がある。気候変動の物理的影響は、ダムなどの建設、都市全体や人口の移転、新しい医療施設の建造などの需要増加につながる。これは、金利上昇をもたらすかもしれないが、雇用や投資機会の増加につながる可能性もある。

物理的リスクは、直接的にも間接的にも保険会社のエクスポージャーやその業務に影響を与える可能性がある。ハリケーン、暴風雨、洪水、森林火災、熱波などは、保険引受ポートフォリオ・エクスポージャーに影響を与え、直接的に損失をもたらすこともあれば、保険会社の運営を困難にし、その投資資産を棄損させることもある。

間接的な影響としては、例えば、土壌の塩性化や海の酸性化などがある。これらは農業や漁業に影響を与え、また金融市場にも影響を与える可能性がある。

このような事象によって、保険会社だけでなく、年金基金やその他の金融機関も影響を受ける可能性がある。年金基金では、気候変動が定年退職者の寿命に与える影響により、不確実性が増すかもしれない。保険会社と同様に、金融機関も物理的な影響が投資ポートフォリオに及ぼす潜在的な影響に直面する。

2.1.1 地域への影響

気候変動は地球規模の現象であるが、その物理的影響は地域によって異なる。気候変動は、その種類もレベル

も地域によって異なる影響をもたらす可能性がある。ある地域では、気温の上昇によって乾燥化が進み、別の地域では降雨量が増えるかもしれない。気候変動によって農業生産性の向上という恩恵を受ける地域もあれば、気温の上昇によって壊滅的な打撃を受ける地域もある。例えば、オーストラリア中部やカタールなど、すでに暑い地域は、極端な熱波が長く続くため、エアコンなしでは住めなくなる可能性がある。また、北米のような地域では、竜巻やハリケーン、暴風雨がエネルギーを増し、より頻繁に発生し、影響を受けるかもしれない。このような理由から、IPCC はより詳細な地域別・セクター別経路を開発することを目指している。地域別のモデルは、多くの場合、世界全体のモデルよりも高精度なものを必要とする。ある地域にとって非常に重要な特定の影響に関する詳細なモデリングは、世界全体のモデルにとってはあまり重要ではないかもしれない。

地域内であっても、気候変動は様々な影響をもたらす、それは時間とともに変化する可能性がある。沿岸地域は、海面上昇の影響を受ける可能性が高く、更に海洋の多様性が減少し、漁業に影響を与える可能性もある。さらに内陸部では、氷河が溶けて山の斜面が不安定になり、ウィンタースポーツ観光業が壊滅する可能性があり、山の谷間の村の安全を保つための防護施設の建設が必要になるかもしれない。また、他の地域では、新たな野生動物や昆虫との接触によって、それまで存在しなかった感染症がもたらされるかもしれない、その結果、もしかしたら、地域の動物相と植物相のバランスがく不可逆的に乱されるかもしれない。

コストとリスクは、政府による物理的な対策にも依存する。これらの対策は、気候変動に対するその地域の具体的なエクスポージャーに依存する。沿岸地域では、洪水を軽減するために防御施設が建設されるかもしれない、それによって不動産へのリスクが低下するかもしれないし、区画整理法が変更されるかもしれない。また、極端な熱波の影響を受ける地域もあるかもしれない。その場合、政府は在宅勤務を可能にするインフラを整備し、冷房が常に利用できるように電力供給を強化したり、自然冷房を導入するために建築基準を変更したりするかもしれない。

地域間の違いは、その立地条件やエネルギーミックス、さらには気候変動の影響を緩和または適応させるために各国がとっている対策から生じる。国によって、法的規制からインフラ整備に至るまで、様々な対策が取られると思われる。これら全てが、保険会社、再保険会社、その他の資産保有者のエクスポージャーと潜在的な損失に影響を与えることになる。したがって、気候変動が金融機関のバランスシートに与え得る影響を分析する際、アクチュアリーはエクスポージャーの場所を考慮する必要がある。例えば、エクスポージャーとしては、金融機関が保険引受する建物や、金融機関が保有し、インフラプロジェクトに長期資金を供給する金融商品などがこれにあたる。

地球規模の気候変動が地域に与える影響は様々である一方で、地域レベルの気候変動の影響は地球規模にも及びうる。気候変動は非常に複雑なシステムであり、一見すると小さな局地的な事象が浸透して広がり、地球規模の影響を及ぼすことがある。熱波や水・食料不足のために人々は移転して遠く離れた場所で新しい家を見つけることを余儀なくされるかもしれない。大型ハリケーンや大洪水のような物理的事象は、グローバルなサプライチェーンを寸断し、地域的な物資不足を引き起こす可能性がある。金融市場は、局地的な事象の影響を世界中に波及させるもう一つの伝達経路である。このため、気候変動の影響は、ある地域だけでなく、世界的な影響の起源となり得る他の地域についてもおそらく考慮する必要がある。

2.1.2 保険業界への影響

気候変動の影響による保険会社のコストは、管轄区域における法的要件の変更や対策に大きく依存する可能性がある。ハリケーンが発生した場合、耐ハリケーン建築を義務付ける建築基準法がある管轄区域は、そのような要件を満たす必要のない建築物がある管轄区域よりも損害額が低くなる可能性が高いことは明らかである。保険会社の損失規模に影響を与えるその他の法制度としては、気候関連損失への参加義務(例:プール)、気候関連リスクを国内事業者と再保険契約する義務などが考えられる。

物理的リスクの増大は、特定のエクスポージャーを保険でカバーできなくなる事態を招きかねない。洪水、森林火災、ハリケーン、熱帯低気圧などの潜在的な事象のコストの増加や不確実性により、保険会社が手頃な価格で特定の不動産をカバーすることが不可能になる可能性がある。その結果、特定の場所をあきらめなければならなくなったり、損失を不動産の所有者が全額負担しなければならなくなったりする可能性がある。そのため、公的保険や複数の保険会社が参加するプールが利用される可能性がある。保険料の上昇を軽減するために、この種の事象による損害に対する建物の耐性を高めることが考えられる。アクチュアリーは、リスクを保険でカバーし続け、保険契約者と社会に保障を提供するという課題にどのように貢献できるかを検討する必要がある。

保険会社は、地球レベルとは言わないまでも、地域レベルで気候変動の影響に働きかけることができる。保険の対象となるエクスポージャーに対して気候変動のリスクと潜在的なコストをプライシングすることで、適切な対策を講じるインセンティブを与えることができる。保険会社は、顧客が気候変動に適応するため、あるいは気候変動の影響を緩和するために取る措置を考慮することで、顧客のエクスポージャーに対してより安く保険を提供することができる。プライシングは、気候変動の影響を緩和する可能性のある政府の施策(例えば、建築基準法の変更、ダム建設、重要インフラの強化など)も考慮する必要がある。何の対策も講じられないような極端な場合には、保険会社は特定のリスクの引き受けを拒否する可能性がある。

しかし、保険会社は政府や超国家的組織が行う対策に取って代わることはできないことに注意しなければならない。保険会社はビジネスのために競争しなければならず、株主のために利益を上げることが期待されている。CO₂排出や環境破壊など、企業が引き起こす外部性が課税されず、会計の枠組みで適切に考慮されない場合、これらの事業が引き起こすコストは、その製品やサービスから現在利益を得ている人々が負担するのではなく、将来の世代に移転されることになる。保険会社は、このような外部性を適切にコスト計算するにあたって欠如しているものを自力で是正することはできない。アクチュアリーは、あらゆる関連コスト、特に気候変動に関連するコストを考慮した評価・会計システムの開発に貢献することができる。これが達成されてはじめて、価格は、地球温暖化を抑制する資源配分のための適切なシグナルとなる。

2.1.3 銀行やその他の金融機関におけるアクチュアリー

保険会社以外の銀行や金融機関でも、アクチュアリーの仕事が増えてきている。そこでは、様々な角度から気候関連リスクに関する問題に取り組むことができる。

銀行の主な経済的機能の一つは、資本配分である。アクチュアリーは、銀行の投融資がもたらす経済的・社会的便益とリスクを評価する幅広いチームに関与することもある。そこでは、気候変動の影響や、割り当てられた資本が物理的・移行リスクをどのように悪化させ、あるいは軽減させるかについて、専門的な評価を行わなければなら

なくなる可能性がある。また、気候変動や気候関連リスクに対する企業への影響評価が必要となる新規株式公開へ関与する可能性もある。

銀行が住宅ローンを発行する際、例えば、洪水、森林火災、暴風雨、その他気候変動により将来増加すると予想されるリスクなど、物理的・移行的な気候関連リスクに対する建物の財務的エクスポージャーの分析が、アクチュアリーに任される場合もある。

金融規制当局に雇用されたアクチュアリーは、パリ協定に対する管轄国のコミットメントを支援し、規制金融機関によるこの分野での優れた実践の採用を促すための規則や規制を分析し、その策定についてアドバイスすることが求められるかもしれない。中央銀行に勤務しているアクチュアリーは、気候変動やその他の気候関連事象から生じるシステミックリスクについて意見を述べなければならないかもしれない。

また、アクチュアリーは、気候関連の問題やリスクについて意見を述べたり、助言を与えたりするフォーラム、協議会、パネル、機関、シンクタンク、支援組織、ロビー団体に参加することがある。そこでは、アクチュアリーとしての視点を提供することが期待されるかもしれない。

2.2 移行リスクと機会

低炭素経済への移行には、気候変動に関連する緩和策や適応策を講じるために、政策、テクノロジー、市場に大規模な変化が必要となるだろう。このような変化の性質、スピード、焦点に応じて、移行リスクは組織に様々なレベルの財務リスクをもたらす可能性がある。

- **政策リスク** – 気候変動に関する政策行動は進歩し続けている。その目的は、一般に、気候変動に悪影響をもたらす行動を抑制しようとする政策行動と、気候変動への適応を促進しようとする政策行動の 2 つに大別される。政策変更に伴うリスクと財務上の影響は、それぞれの政策変更の性質や時期によって異なる。
- **テクノロジーリスク** – 低炭素でエネルギー効率の高い経済システムへの移行を支える技術的な改善やイノベーションは、組織や社会に大きな影響を与える可能性がある。新しい技術が古いシステムを置き換え、既存の経済システムの一部を破壊する限り、この「創造的破壊」のプロセスから勝者と敗者が生まれる。しかし、テクノロジーの進歩と展開のタイミングは、テクノロジーリスクを評価する上で重大な不確実要素である。
- **市場リスク** – 市場が気候変動の影響を受ける仕組みは様々で複雑であるが、一つの主要な波及ルートは、気候関連のリスクと機会がますます考慮されるようになり、特定の商品、製品、サービスの需要と供給が変化することである²¹。

2.2.1 移行推進要因

経済の脱炭素化を目指す気候政策は、低炭素経済への移行を推進する。パリ協定の署名国によって採択されたこれらの政策は、地球温暖化を 2°C 未満に抑えるのに適合するレベルまで GHG の累積排出量を削減することを目的としている。気候変動の緩和とは別に、低炭素経済は、生態系の回復力、貿易、雇用、健康、エネルギー

安全保障、産業競争力など、さまざまな利益をもたらす。

緩和策には、エネルギーシステム、土地システム、産業、輸送、農業に変更を加えることや、消費者行動に影響を与えること(例えば、食品廃棄物の削減や一般的な消費の削減など)が含まれるかもしれない。これらの変化は、人類の活動を化石燃料への依存から、エネルギー利用の効率化、土地システムの利用の最適化、農業と産業における排出量の削減へと移行させるように設計されていると思われる。

移行リスクは、緩和努力の性質と強度に依存する。したがって、アクチュアリーが 1.5°C 以下のようなより厳しいシナリオを選択した場合、特に資産価値への影響という点で、2°C シナリオの場合よりも高い移行リスクを予測する必要がある。同様に、低炭素経済への移行がより無秩序な「too little too late」シナリオは、より重大な長期的リスクをもたらす。

脱炭素化のためのインセンティブは、パリ協定の下で提出された NDC に基づき各国政府が政策を実施する中で、国レベルで定義されることになるとと思われる。例えば、規制・コンプライアンス負担やカーボンプライシングがそうであろう。自動車や工業生産の基準、太陽光パネルや風力タービンへの補助金、石炭火力発電所の廃止など、排出削減の要件も同様であろう。また、パリ協定を支持していない国からの輸入品に関税をかけることを検討するなど、各国が貿易政策に気候変動目標を反映させ始めている。

2.2.2 地域別の影響

低炭素経済への移行において重要なことは、エネルギー源の大きな変化である。エネルギー源の変化は各国に不均等に影響を与え、グローバルなコンセンサスへの意義申し立てにつながり、その結果、円滑な継続的発展の見込みに対する不確実性を高める。包括的な報告書「The Geopolitics of Renewable Energy²²」によると、世界のエネルギーシステムは何兆ドルものレガシーインフラを伴い、また非常に広大であるため、小さな変化でも一部の地域やセクターでは桁外れの影響を及ぼす可能性がある。化石燃料生産者への財政的影響に加え、多くの国にとって化石燃料は重要な収入と政治的権力の源であるため、国際秩序に大きな政治的影響を及ぼす。

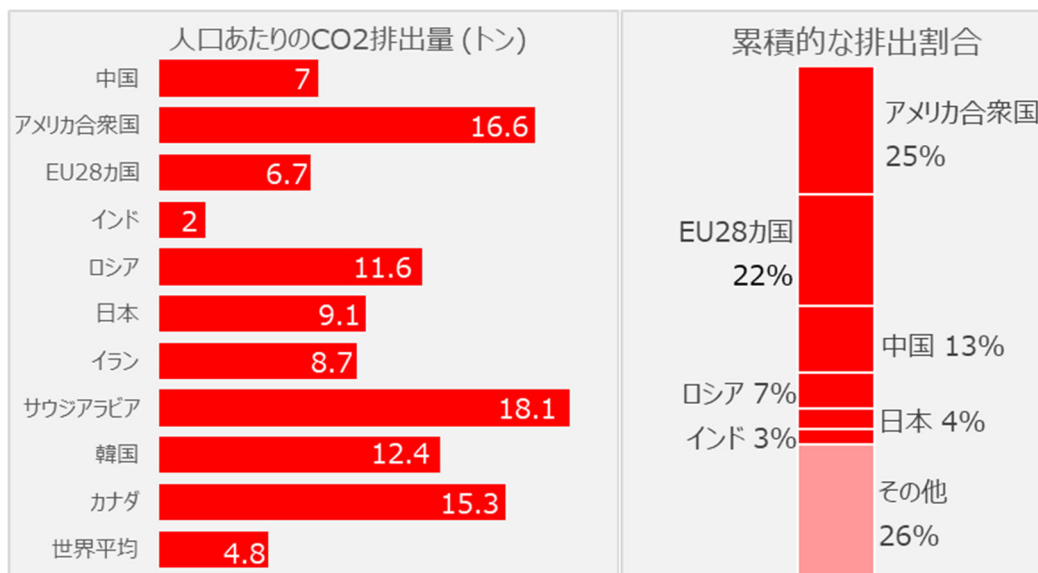
多くの新興国は、温室効果ガスの削減を自国の経済発展に対する制約とみなしている。先進国が地球温暖化の原因となる CO₂ 濃度を高めることで発展を遂げてきたのだから、同じ機会が得られないのは不公平だというのが、彼らの政治的主張である。

ちなみに、2016 年の一人あたりの CO₂ 排出量は、米国が年間 15.5 トン、コンゴ民主共和国が 0.66 トンであった²³。発展途上国の中には、低炭素経済では価値を失うエネルギー資源である石炭を豊富に埋蔵する国もある。この問題を解決するために、一部の先進国は、発展途上国経済の低炭素経済への移行を補助する基金への拠出を申し出ている。低炭素経済への移行は、移行によって失われる仕事が同等またはより質の高い別の仕事へ置き換えられる可能性があるにもかかわらず、雇用を破壊すると見なされることが多い。

このような困難から、化石燃料の燃焼を 2°C 目標に適合させるために、二酸化炭素回収・貯留 (CCS) 技術などの代替ソリューションが推進されている。ただ、最大規模の CCS プラントで 500 万トンの二酸化炭素を回収しても、

それは1年間に排出される360億トン²⁴に対してごくわずかであり、また将来の二酸化炭素漏れのリスクも未知数であることから、必要とされる規模の技術がまだ存在しない以上、将来に対するリスクの高い賭けであると言える。

図4 - 人口あたりの排出量および累積的な排出割合²⁵



地域経済の推進力は、地理的な位置と市場需要の構成に依存する。それらは、化石燃料と再生可能エネルギーによるエネルギー生産の地域的なバランスと、地域のインフラ事業への投資機会に依存する。

アクチュアリーは、物理的リスクのエクスポージャーとは別に、雇用主やクライアントの経営、資産や投資に対する脱炭素化の影響に対するエクスポージャーを評価する必要がある。まず、投資について、アクチュアリーは各企業のカーボンフットプリントのデータを考慮することができるが、これらのデータは、企業が将来のリスクに対してビジネスモデルや投資戦略を適応させ、サプライチェーンの混乱と向き合い、製品やサービスに対する需要の変化に対処する準備がどの程度できているかの情報を提供するものではない。

より一般的には、低炭素経済への移行は、継続性を確保するための独立したステークホルダー間の同期と、サプライチェーンの秩序ある調和を必要とする複雑なオペレーションである。アクチュアリーは、最終的な温暖化レベルをめぐる不確実性と時間の経過が移行リスクを高めるという事実を適切に考慮する必要がある。さらに、この不確実性は、困難な政治的選択に対する公的支援を提供するために個人を動員することをより困難にする。最近では、COVID-19の大流行によるマスク着用への抵抗が、個人の文化的習慣を変えることの難しさと政治問題化のリスクを実証している。

2.2.3 市場リスク - 座礁資産

ネットゼロエミッションを達成するためには、化石燃料の使用を段階的に削減し、再生可能エネルギー（水力、太陽光、風力、波力、潮力、地熱、水素技術など）やエネルギー変換手段（水素、バッテリー、超電導磁気コイル、

フライホイールなど)を開発する必要があることは広く認識されている。

このことは、脱炭素化²⁶、つまり炭素ベースの経済から低炭素(あるいはゼロ)炭素の経済へのシフトを意味する。IPCC の報告書では、2℃目標に合致する最大濃度である 450ppm 以下に抑えるために排出できる CO₂ 量の上限が示されている。つまり、この予算を超える化石燃料は採掘してはならないということであり、(CCS が大規模に開発されない限り)超過分は余剰となり、その経済的な価値が失われる。そうすると、化石燃料の余剰分はいわゆる「座礁資産」となり、その量は既知の埋蔵量の 60～80%に相当すると考えられている²⁷。座礁資産は、政策や規制の変更、風評被害、新技術による市場の変化、物理的リスクなどによっても発生する可能性がある。

座礁資産の概念は、採掘、輸送、発電所、内燃機関のメンテナンスなど、化石燃料の使用を支えるインフラにも及ぶ。これは、資産価値だけでなく、化石燃料の取引や消費によって生み出されるキャッシュフローにも影響を与える。その影響を評価・モニタリングするために、アクチュアリーは他の関連する専門家とともに、化石燃料、および化石燃料と関係のある収入への依存度を評価するための関連する指標を確立することになるであろう。他の種類の資産も、たとえば以下のように座礁資産となる可能性がある。

- 海面上昇により都市が放棄される、あるいは人々の移住によりインフラが余剰となる可能性がある。
- セメントや鉄鋼製造など、炭素集約型のプロセスを行う産業設備は、廃棄されるか、あるいは炭素集約度の低い技術に置き換える必要があるかもしれない。

これらの座礁資産は、現れつつある移行経路次第で、または投資家の懸念材料になることで、潜在的な投資損失を突然もたらす可能性がある。このような場合について、緩和活動によってもたらされる新たな投資機会について考慮する必要がある。

2.3 法的リスクとレピュテーションリスク

2.3.1 法的リスク

近年、不動産所有者、自治体、州、保険会社、株主、公益団体などが裁判所に提訴する気候関連の請求が増加している。このような訴訟の理由には、以下のようなものがある

- 組織が気候変動への影響を緩和できなかったこと
- 気候変動へ適応できなかったこと
- 重要な財務リスクに関する情報開示が不十分であること²⁸

気候変動に起因する損失や損害の額が高まるにつれ、訴訟リスクも増加すると考えられる。そして事実として、気候関連の訴訟は著しく増加している。2020 年 1 月の時点で、Norton Rose Fulbright は、少なくとも 33 カ国でこれまでに 1,444 件のこうした気候関連の訴訟があったと推定している²⁹。ほとんどの訴訟は、憲法や人権法に基づき、政府や石油生産者に気候変動への対応を迫るものである。これらの訴訟では、パリ協定に基づく政府の

コミットメントに言及されることが多い。今のところほとんど敗訴しているが、いくつかは勝訴している。一例として、英国の控訴院は、ヒースロー空港の拡張がパリ協定に違反するとして、第3滑走路の建設計画を阻止した。オランダでは、ウルゲンダ財団¹対オランダの裁判で、オランダに対して GHG 排出量の 25%削減を命じた。一方、ドイツでの同様の事例では、裁判所は、気候変動に関する公約の達成方法について、政府にある程度の裁量権があると判断した。

原告がより効果的なアプローチを求めるなかで訴訟の方法は進化しており、因果関係を証明するために科学的知見を根拠とする訴訟も増えている。米国では、訴訟は政府ではなく、排出者自身に向けられるのが一般的である。これらの訴訟は、通常、消費者、消費者保護団体、規制当局から提起される。

訴訟は、実際に起こった損害を修復するため、または潜在的な損害が起こることを回避するために利用される。後者は立証するのが難しい。気候関連リスクについて、多くの訴訟の引き金は、気候関連リスクに直面した際に、合理的かつ慎重に行動しなかったことである。

また、もう一つの主な原因として、排出に関する不適切な情報開示が挙げられる。マサチューセッツ州対エクソンの裁判では、エクソンは「マサチューセッツ州の消費者を欺く広告、および化石燃料による気候変動がエクソンのビジネスにもたらすリスク(システム金融リスクを含む)についてマサチューセッツ州の投資家を欺いた」として提訴されている³⁰。

法的リスクは、保険によって軽減することができる。保険会社が法的リスクを補償する場合、この法的リスクは保険会社のバランスシート上で、他のすべての保険種目とともに保険債務として報告され、自社の法的リスクと区別される。気候関連リスクに直面した場合、保険会社は補償内容や価格設定を変更し、最新の商品を提供することになる。新しい補償は、望ましくないリスクを補償対象としないような制限を設けることで、より新しい形のリスクに対応する可能性がある。システムックリスクの中には、グローバルリスクをプールしても分散できないため、保険として提供できないと結論付けられるものもあるかもしれない。リスクレベルの評価において、アクチュアリーは、クライアントがいかにか合理的で慎重であるか、また、リスクの適切な開示がなされているかを評価する必要がある。気候変動に明示的に言及していない保険でも、例えば既存の会社役員賠償責任保険などを通じて、法的リスクに対する補償を既に提供している場合がある。

2.3.2 レピュテーションリスク

気候変動は、低炭素経済への移行に対する組織の貢献度や不貢献度に対する顧客やコミュニティの認識の変化に関するレピュテーションリスクの潜在的な原因として認識されている。レピュテーションリスクは、法的リスクと似ているが、裁判所ではなく、顧客や一般社会によって判断される点が異なる。レピュテーションリスクは、損失を評

¹ (訳者註:ウルゲンダは、オランダの非営利財団で国内、欧州、国際的な環境条約の施行を支援することを目的としている。)

価値するのが非常に難しいため、保険をかけるのが困難である。それでもなお、これは現実のリスクである。

3 リスク分析への取り組み

リスクの分析にはさまざまな方法がある。世の中が変わらないと仮定した場合のバランスシート上の既存のリスクと、世の中が変わることで発生しうるリスクがある。世の中が変われば、混乱が生じるので、準備が必要である。気候関連のリスクと機会の難しさは、気候変動とその影響の進展が遅いことと、長期的な性質と変数間の多数の相互作用のために、将来の変化を予測することが困難であることである。期待される分析の目的や深さに応じて、この間に対するアプローチの仕方は様々である。

3.1 凍結バランスシート

第一の分析は、現在の負債と資産のポートフォリオを見て、その構成要素を、環境の変化に対する感応度にしたがってランク付けすることである。環境の変化については、場合によっては短期、中期、長期のバケットに分割して、それぞれのバケットに関連する影響を調べる。このようなアプローチの利点は、異なる組織間の比較を容易にすることである。また、モデル化しやすいので、気候変動のような複雑なリスク分析の導入としてふさわしい。主な欠点は、(a)ポートフォリオを調整するための是正措置がとられないと仮定していること、(b)動的パスを考慮することが困難なことである。このアプローチは特に、座礁資産の影響を検討し、資産ポートフォリオを調整する際に有効である。

3.2 動的パス

すべてのリスクが「凍結バランスシート」アプローチで捕捉できるわけではない。すべての変数が関係するため、動的モデルを通じて、多くの変数の相互作用の影響を時系列で見る方が有用な場合がある。このようなモデルは、より現実的な予測を与えることや、相互関連の理解を容易にするために、あらかじめ定義された経路を確認することを目的としている。

動的パスでは、一度に一つの変数が変化した場合の影響や、一連の状況の変化の複合的な影響を検討することができる。また、リスクが発生・顕在化した際には、それに対する対応がとられるものと考えられるが、動的パスではリスクそのものやリスクへの対応に遅れが生じた場合の影響も検討することができる。アクチュアリーは、独自のシナリオを構築することも、既存のシナリオを使用することもできる。既存のシナリオを使用することで、外部の聴衆、さらには社内の非専門家への結果開示が容易になる。

もちろん、この動的パスによるアプローチは「凍結バランスシート」アプローチよりもはるかに複雑である。また、中期的にはより多くの情報を得ることができるが、以下に示す真の長期的な予測には十分とはいえない。

3.3 長期的な分析

より広範で長期的な分析には、その潜在的な副次的影響と共に、すべての要因を含んだ包括的な予測が必要である。そのためには、資源(土地、水、食料供給)の量と扱いやすさ、および資源の必要性(人口規模、分配の不

公平さ)の両面からの予測が必要である。長期的な分析では、技術的な進歩、消費の量や種類の変化など、環境に適応するための新しい手段の影響を予測することとなるだろう。この種の分析の主な欠点は、必要とされる仮定と相互作用の数が非常に多く、取り扱い、検証、説明が複雑になることである。

どのような分析方法を選択するにしても、モデルが内部的に整合的で一貫していることが重要である。多くの場合、複数のモデルが使用され、その結果を組み合わせるには、整合性や一貫性が必要である。シナリオの構築、特に複雑なシナリオの構築には、アクチュアリーが気候科学者、経済学者、人口統計学者、エンジニアなどと協力し、学際的な作業を行う必要があると思われる。

シナリオが金融機関のバランスシートに与える影響を評価する際、アクチュアリーは将来の損失または利益の現在価値を決定しなければならない。このため、割引率³¹を使用する必要がある。そこでアクチュアリーは、使用する適切な割引率について決めるという重要な決定を下す必要があり、社会がどのように現在のコストに対して将来のコストを相対化しているのかを反映するように設定される社会的割引率³²という概念を考慮することがある。

実際、現在の行動により、人間の生活環境が人間にとって適さないものになる可能性があり、割引によってその影響を不当に小さく見積もることは、世代間の公平性に反するものである。

4 シナリオ：プロセス、基準および分析

4.1 シナリオを設計する際の注意点

気候関連のシナリオは、地球温暖化の傾向が継続するかそれとも気候が安定化するかどうか、あるいは GHG の新規排出がネットゼロになるかならないかといった、想定される経路を表していると見ることができる³³。これらのシナリオの多くは、地球温暖化の傾向が永遠に続くわけではないことを想定している。低炭素経済への移行は、それによって生じる変化の相互作用を反映した様々な経路により実現する可能性がある。

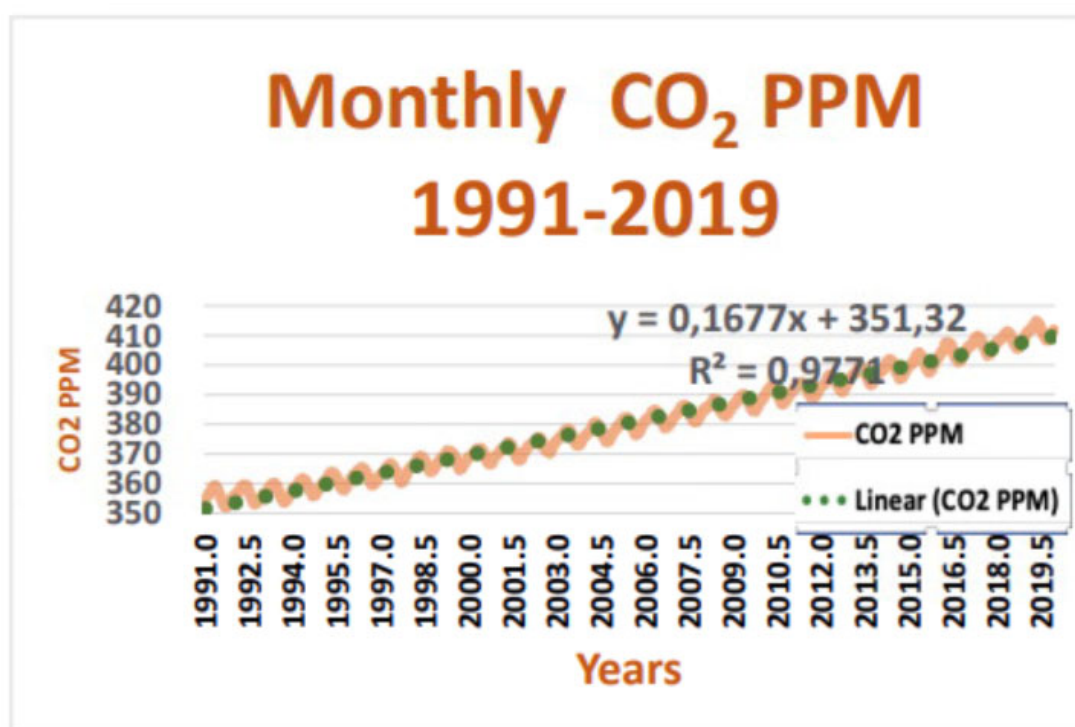
アクチュアリーは、自らのニーズに加えて、TCFD 提言³⁴を考慮する必要がある。これらの提言は、気候関連のリスクと機会の開示におけるシナリオ分析の活用を促すものである。2017 年に TCFD 提言が公表されて以来、気候関連の開示に対する要求は著しく高まっている³⁵。気候関連の開示をする意図がなくても、リスク管理のための分析ツールとして、この提言にて示されたフレームワーク³⁶をどの組織も自由に活用することが出来る。

これらの提言が強制的なものではないにせよ、規制当局や政府が開示を要求する傾向にあるのは明らかである³⁷。最適なシナリオは、ベンチマーキングや同業他社との比較といった分析の目的に応じて、利用者および第三者にとって重要なリスクを包含するべきである。したがってシナリオを、市場や投資家の期待および金融規制当局や格付機関の潜在的な要求に応えるように設定することは、重複の回避や報告負担の最小限化およびレピュテーションリスクの回避という観点から、アクチュアリーにとって有益である。

図 5 に示すように、各国が排出量削減に取り組んでいるにも関わらず、1990 年以降の CO₂ 大気中濃度は、ほぼ直線的に増加していることが分かる。したがって、過去のデータと同じ傾向が続くと、年率 2ppm 程度でいつま

でも増加し続けることになるが、これは必ずしも最良推定とはいえない。排出量が想定を上回っていることから、現在、UNEP FI(国連環境計画・金融イニシアティブ)³⁸は、+2℃シナリオをバージョンアップした「2050年ネットゼロ」シナリオを、温暖化を+2℃未満に抑える経路を示したものとして推進している。この経路では、排出量は2020年にピークを迎え、2050年から2075年の間にネットゼロとなる。

図5 CO₂大気中濃度の推移³⁹

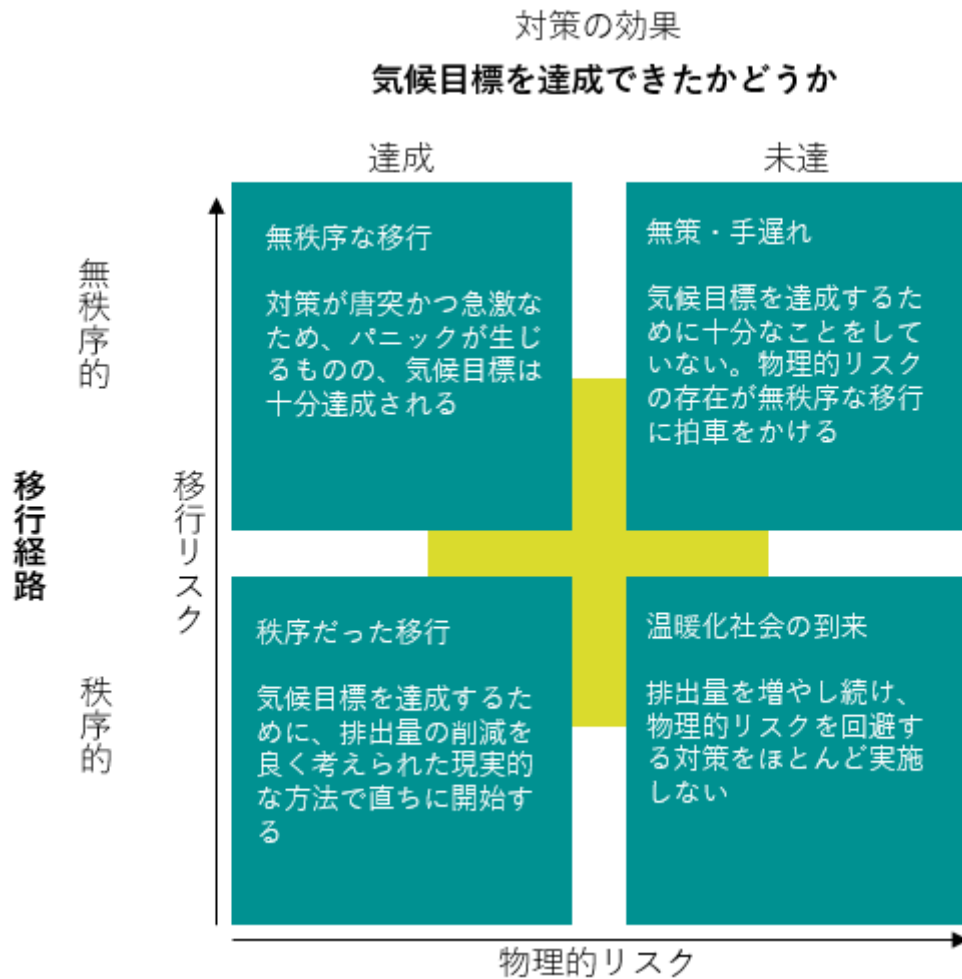


シナリオは、最終的な温暖化の進行度合いと排出量が安定化する年という2つの観点から分類することができる。ただし、年間のGHG排出量がネットゼロになっても、すぐに地球温暖化の進行が止まるわけではなく、過去の排出による影響の遅効性により温暖化は継続するだろう。

物理的リスク・移行リスクがなんらかの組み合わせで将来発現することは確実に見込まれるが、それによる正確な結果や時期は依然として不確実である。これらのリスクのエコシステムへの将来の影響の大きさは、少なくとも部分的には、政府、組織、個人の行動によって変わってくるだろう。したがって、これらのリスクが金融システムに与える影響は、他の種類のリスクよりも大きいかもしれず、かつ非線形で不可逆的かもしれない。

さらに、リスクが顕在化するまでに要する時間がどの程度なのかは不確実であり、多くの場合には現在策定済の事業計画の期間より後に顕在化する可能性がある。リスクの顕在化には様々な可能性があり、良くなる可能性もあれば、悪くなる可能性もある。これらの結果は、技術革新、政治的な状況の変化、または新たな経験からのフィードバックといった、想定と異なる要素によって、変わりうる。したがって、想定に対してどのような進捗なのかを監視し、状況の変化に応じてシナリオを動的に調整する必要がある。図6には、4つの例が示されている。

図 6-2 2つの質問に対する回答に応じた状況の例示⁴⁰



新型コロナウイルス感染症の蔓延のような出来事は、一時的な排出量の減少を引き起こし、それを人々が継続的な傾向の変化であると誤解してしまうかもしれない。また、ロックダウンの影響によって、人々はさらなるライフスタイルの崩壊のリスクを回避するような行動をとるようになるかもしれない。

RCP 8.5 よりも悪いケースを排除することはできない。つまり、排出量の急増のような、地球温暖化が現在の予測の範囲を超えてしまうような厳しい状況に対するレジリエンスを分析する必要がある。

シナリオの選択と設定は、ユーザーが下記のような分析を行うために、情報の有用性を最大化するように行われなければならない。

- 複雑な気候変動の組み合わせへのエクスポージャーを評価する
- 企業やそのサプライチェーン、ビジネスモデル・事業計画への影響を理解する
- 将来のエコシステムに関連するリスクと機会を特定する

- より極端なシナリオに対するレジリエンスを分析する

シナリオは、明確に識別された要因に基づくシナリオ群のひとつであるとき、その機能をより良く発揮する。シナリオの選択は、ユーザーにとっての情報の有用性を最大化するように行われなければならない。TCFD は、シナリオの主な望ましい特性として、以下のものを挙げている。

- **妥当性** - シナリオ内の事象は、起こりうるものであり、また信憑性があるべきである
- **独自性** - 各シナリオは、明確に差異化された要因に基づくべきである
- **一貫性** - シナリオに記述された定性的、定量的要素間の相互作用は、厳格な論理に従うべきである。過去のトレンドからの逆転が予測される場合、その論理的な根拠を提供する必要がある
- (検討されている問題との)**関連性** - 検討されている具体的な問題は、シナリオの鍵となるべきである
- **チャレンジング** - シナリオは、一般的な将来像や現状に対して疑問を投げかけるものであるべきである
- **透明性** - シナリオは、適用する方法、仮定、選択の理由、結果、結論について明快であるべきである

地球全体での排出量は、年ごとに劇的に変化するわけではなく、削減に向けた努力が徐々に実現されていくものであると考えられる。したがって、その様々な経路は、多くの場合排出量がピークに達する年、排出量の減少速度、最終的な安定化レベルが異なる、連続的な曲線となる。IPCC RCP やその他のほとんどの経路は、物理法則や補外に基づく数学的予測である。したがって、それらは秩序だったものであり、また将来のある時点で安定に達するように見える。しかし、政治的な反応や世論の変化により、より早い排出削減が求められたり、反対に地球温暖化の急進を招いたりするような変曲点を排除することはできない。また、気候変動リスクの影響に本来備わるボラティリティは、地震やパンデミックなどの外部要因によって、いっそう大きくなる。

さらに重要なことは、まとまりのない多数の意思決定が集約された結果、予測不可能な人的要因が多数発生する可能性があることである。歴史は、約 200 カ国近い国々の合意を得ることがいかに困難であったかを示しており⁴¹、パリ協定はあらゆる妥協案と同様に不完全なものである。新型コロナウイルス感染症による危機は、地球規模の問題を解決するために行動と意思決定を調整することの難しさを裏付けている。

4.2 シナリオの構成要素の分析

シナリオを組み立てるための特効薬はないが、材料やツール、データは豊富にある。目的・ガバナンスの確立、報告・開示は重要なステップである。

AFEP(フランス民間企業協会)のシンクタンクである The Shift Project の報告書では、無料の公共シナリオの一覧が、その限界についての分析とともに提供されている⁴²。その他のシナリオは、営利目的のプロバイダーから有償で入手可能である。プロバイダーを評価するためには、幅、深さ、厳密さ、柔軟性、運用モデル、コストなど、さまざまな特徴を考慮する必要がある⁴³。

図 7・シナリオ分析プロセス 44

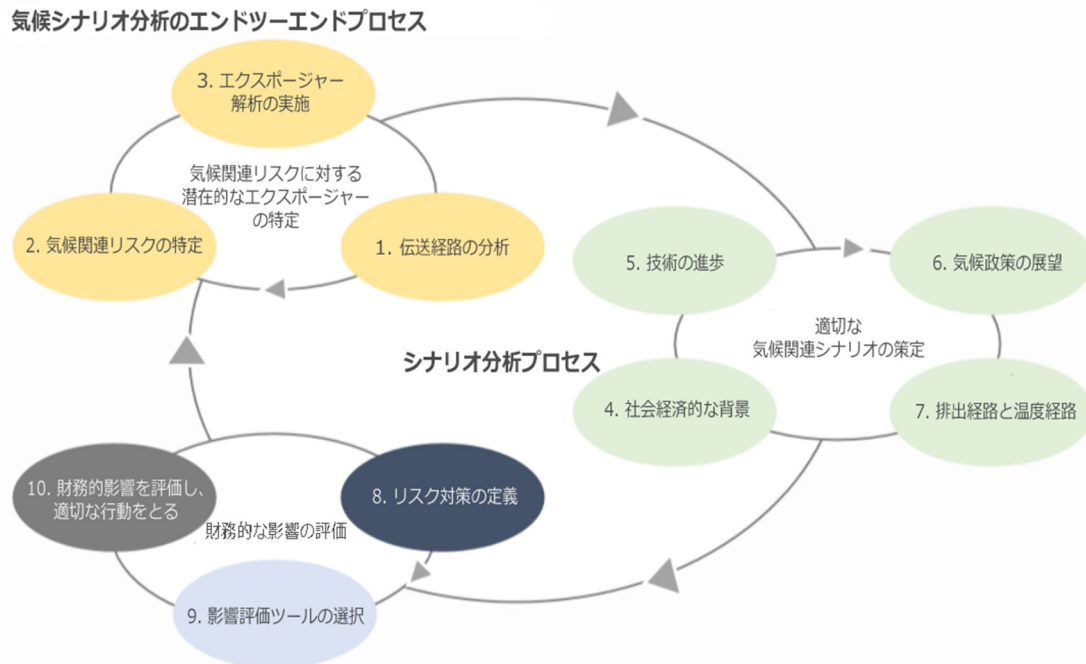


図 7 に示すように、徹底的な気候関連シナリオの分析プロセスを、繰り返し行う。適応プロセスに関連するリスク分析に重点を置いており、緩和の方法を特定するものではないが、温室効果ガス排出量を削減するためにどのような措置がとられているかに関心を持つ投資家もいる。このプロセスは、気候関連リスクへのエクスポージャーを十分にカバーするために、複数の主要な排出経路に適用される必要があり、また、実際の経験に応じてダイナミックに更新される必要がある。

企業によっては、ゼロから始めるのではなく、様々な参考シナリオからスタートして、自社のビジネスモデルに関連するように変更することを望むかもしれない。また、本格的なシナリオ分析に入るのではなく、「もしも」という問いかけから始めるのも一つの方法である。例えば、炭素の価格が 100 ドル/トンになったらどうするか、など。最終的には、これらのシナリオや「もしも」の疑問が財務に与える影響を評価することになる。財務影響分析から得られた知見は、新たなリスクと潜在的なエクスポージャーの精緻化と特定にフィードバックされ、シナリオの開発、および分析すべき新たなシナリオの可能性の特定に役立てられるはずである⁴⁵。

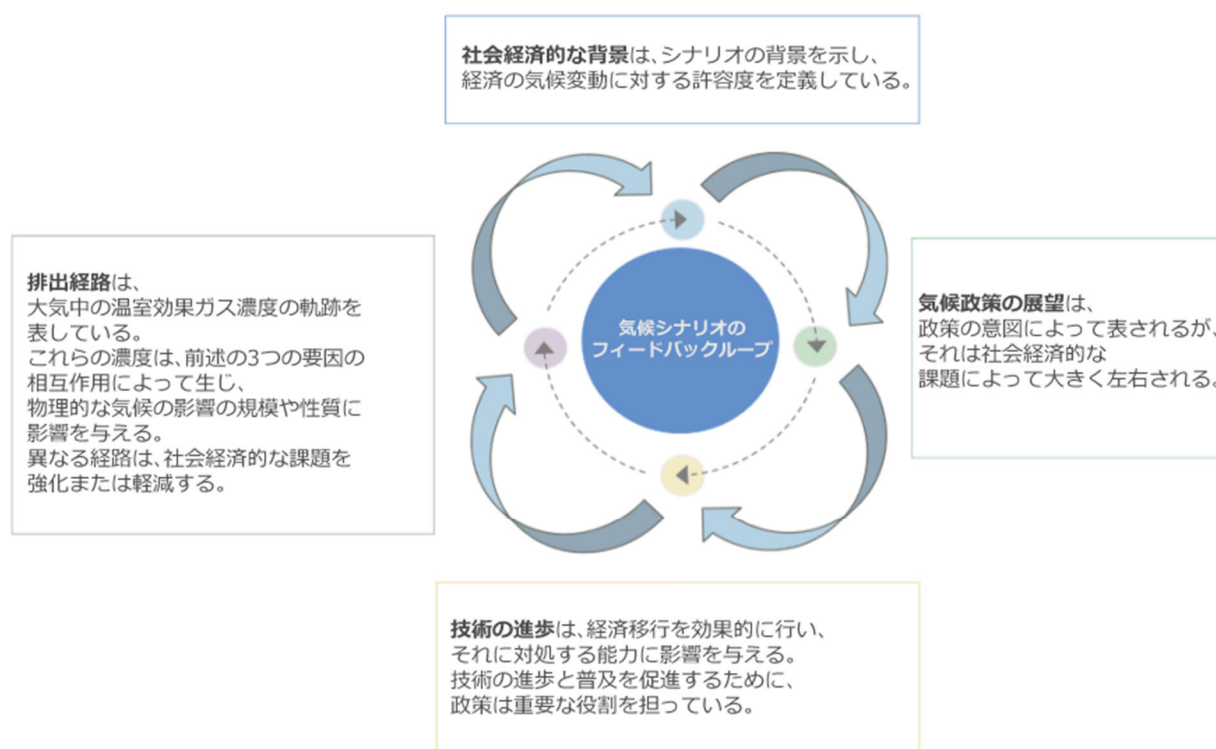
経路とは対照的に、気候関連シナリオは、通常、4 つの主要な構成要素の組み合わせで定義される。

1. **社会経済的な背景** – 共有社会経済経路 (SSP)⁴⁶ は、国際的に認知された学者チームによって開発され、その社会経済的なナラティブを設定することによって、気候変動の物理的影響の分析を支援するものである。
2. **気候政策の展望** – 将来時点における気候政策の目標と経済政策に関する仮定。排出量に直接 (例: 排出量に税や数量制限を課す)、または間接的に (例: 技術、材料、効率に関する規制を通じて) 影響を与える。

3. **技術の進歩** – 排出量削減のためには、価格と技術的効率の組み合わせによる自然エネルギーへのシフトが必要であり、その定量化が必要である。この構成要素では、炭素税、エネルギー源、コスト、自然エネルギーへの投資などのパラメータを設定する。
4. **排出経路** – さらに、気温、降水量、風、海面上昇など、関連する気候現象の時期や強度を構成する大気中の温室効果ガス濃度の変化にも関連している。基本的な情報は、IPCC の報告書⁴⁷ やシンクタンク、学術研究機関などから得ることができる。この構成要素では、タイムライン、地球温暖化の最終目標、ひいては物理的リスクと移行リスクのバランスを設定することになる。それぞれ、企業のビジネスモデルや財務計画に影響を与える可能性がある。

4 つの構成要素間の相互作用とフィードバックループを以下の図 8 に示す。

図 8 – 構成要素の相互作用⁴⁸

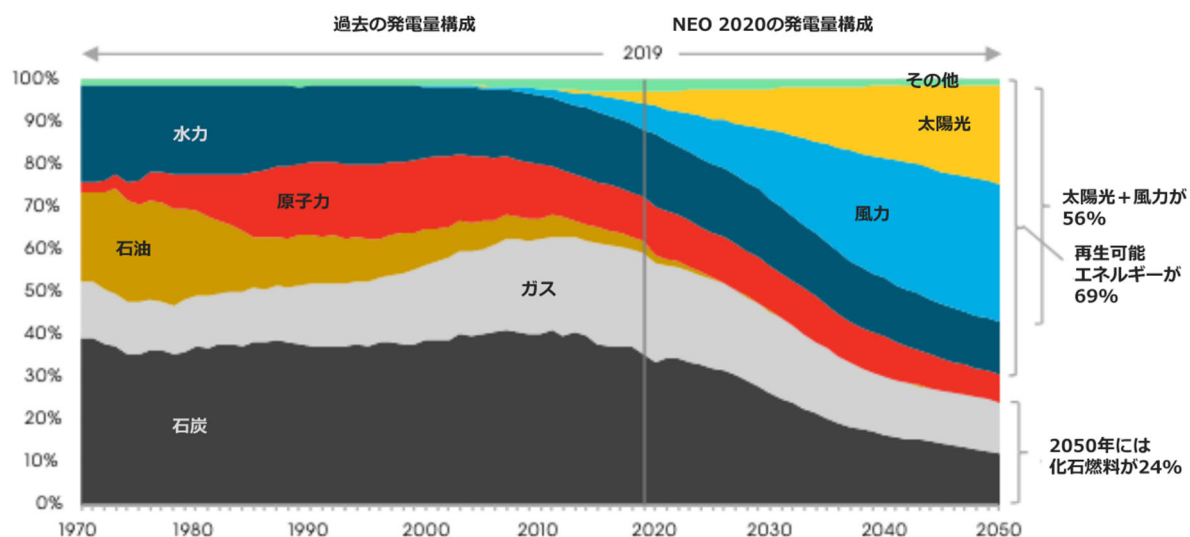


以下の図 9 は、技術進化による低炭素化社会への移行を図に表したもので、エネルギー源の構成が変化していることがわかる。このことは、パリ協定の目標達成に不可欠な、低炭素で強靱な開発経路にインフラを再調整する必要性を示している。経済協力開発機構(OECD)の報告書「Financing Climate Futures: Rethinking Infrastructure」⁴⁹ のエグゼクティブ・サマリーは、必要とされる投資の流れの再調整⁵⁰を次のように説明している。

持続可能なインフラ整備のために必要な何兆円もの資金を生み出すには、公共・民間の垣根を越えてリソースを

結集することが不可欠である。公的金融機関、銀行、機関投資家、企業、資本市場のすべてが、それぞれの立場で、また広範な金融エコシステムの一部として、重要な役割を担っている。

図9－世界の発電量構成⁵¹



出典：BloombergNEF, IEA

OECD の結論は、本論文の付録 1 に要約されている 4 つの例示的シナリオを比較した補足説明「Shifting the Lens」⁵² に記されている。科学的根拠に基づく IPCC シナリオとは対照的に、これらの予見に基づくシナリオは、重要な不確実性を考えられる未来に集積しており、意思決定に関連する相異なる特徴を持つため、それぞれ「オープンな国際主義 (Open Internationalism)」、「主張的国家 (Assertive States)」、「パッチワーク (Patchwork)」、「ショック事象下での協調 (Shocked Collaboration)」と名付けられている。

以下の図 10 には、様々なシナリオの影響を見積もるために考慮しなければならない変数を記載している。物理変数を金融市場の変数に変換し、予測モデルに反映させることは、気候関連シナリオを実際に実行する上で(たった 1 つのとは言わないまでも)最大の課題の一つである。これらの変数の重要性を考えると、その評価には複数の分野からなるチームが必要であると思われる。このことについては、今後の文書で取り上げる予定である。

図 10—定義される変数⁵³

気候変動リスク変数		マクロ金融変数	
物理変数	経済移行変数	マクロ経済変数	金融市場変数
- 世界的、地域的な気温経路 - 重要なエクスポージャーを有する地域における特定の気候関連の危険の頻度と強度（英国の洪水、地盤沈下、凍結を含む） - 長寿化 - 農業生産性	- 炭素価格経路 - 排出経路（全体および世界の地域・部門別） - 物価およびエネルギー価格（再生可能エネルギー含む）、燃料タイプ別 - エネルギーミックス	- 実質GDP（全体および部門別） - 失業率 - インフレ率 - 中央銀行金利 - 企業利益（全体および部門別） - 世帯収入 - 住宅用および商業用不動産価格	- 主要国の国債利回り - 主要国の社債利回り（投資適格債およびハイ・イールド債） - 株価指数 - 為替レート - 銀行金利

図 11 は、異なるタイプのリスクが組み合わさって、異なる時間軸で、ユーザーの目的・地理的位置・状況に応じたシナリオが定義される様子を示している。この図から、短期的な期間のみでシナリオを考えるべきでなく、時間軸を拡大する必要があることがわかる。また、リスクは、異なる強度および異なる時間軸で、ある程度独立して発展するため、同じ時間軸に収束しない可能性があることに注意を促している。

図 11 物理的リスクと移行リスク⁵⁴

	今後10-20年	今世紀半ば
物理リスク 	過去の温室効果ガス排出量があるため、気候への影響はシナリオに依存しない 物理的事象の発生確率を考慮	シナリオの選択が重要 2-4℃の代替シナリオを使い、物理リスクの範囲を検討
経済移行リスク 	シナリオの選択が重要 2-4℃の代替シナリオを使い、経済移行リスクの範囲を検討	

今後 10 年程度の物理的リスクは、温室効果ガス排出量の現在の水準ではなく、過去からの累積に依存するため、今現在行う措置はほとんど影響を及ぼさない。さらに、将来の物理リスクは、多数の政府、企業、さらには個人による意思決定のグローバルな影響に左右されるため、一事業者ではほとんど制御できない。物理リスクへの影

響は、現在の排出量が蓄積されるにつれて、徐々に進化する可能性が高い。一事業者が削減量をコントロールできないとしても、対応策についてはより自由に決定することができる。

一方、移行リスクは、地域ごとにとられる措置によって引き起こされるが、独立した管轄区域ごとに設定された政策に部分的に依存するため、部分的に一事業者の制御の下にあるに過ぎない。例えば、炭素税は国によって異なるが、ある管轄区域内では一律に適用される。一企業であれば、適切な計画を立て、ビジネスモデルを適応させることで、その影響を軽減することができるかもしれない。

これらのリスクは、世論や新たな経験に対する反応に左右される政治的決定に依存するため、急速に、さらには突然に変化する可能性がある。

政治的決定は、特に貿易に関連する場合、利害関係者の多くが関与していれば、同調圧力や交渉によって影響を受ける可能性もある。シナリオに関する追加情報(例示シナリオの概要と追加シナリオの一覧)は、Appendix 1に記載されている。

5 主要課題

実用的な気候関連シナリオを作成、利用する上で、検討しなければならない課題や障壁がある。これらの課題や障壁は、適応が理論から実践へと移るにつれて、個人、企業、政府が適応行動を計画・実施してレジリエンスを高めることを困難にする可能性が認識されつつある。こうした障壁には、特に長期的な意思決定に関する様々な問題があり、経済、政治、ガバナンス上の課題が含まれる。気候に適合した開発を進める上で、これらの障壁への対処は極めて重要である。シナリオ分析に取り組むアクチュアリーは、これらの障壁にどの程度うまく対処できそうかを検討する必要があるだろう。

これらの課題のいくつかは、気候変動リスク等に係る金融当局ネットワーク(NGFS)⁵⁵の第1回包括的報告書や、気候金融リスクフォーラム 2020 シナリオ分析ガイド⁵⁶の中で強調されている。

- **広範かつ大規模な影響** - 気候変動は、あらゆる業界や地域で、経済のすべての主体(家計、企業、政府)に影響を及ぼす。リスクは相関する可能性が高く、転換点において非線形的に悪化する可能性もある。つまり、気候変動による影響は、他の構造的変化による影響と比べて、はるかに甚大で、広範・多様なものでありうる。
- **予見可能性** - 正確な結果、時間軸、今後の道筋は不確実だが、増加し続ける物理リスクおよび移行リスクの何らかの組み合わせが、将来、顕在化することは確実である。比較的短い(高々数年の)時間フレームを用いる方が、現時点での意思決定に適しているように思われるかもしれないが、物理的リスクがもたらす最大の影響は、数十年かけて生じる。これに対して、移行リスクは、政策転換の機運が高まり、世論が変化すれば、(ディーゼル排気やレジ袋の使用に関して起きたように)比較的早期に発生する可能性がある。気候関連リスクが現実になるまでの時間軸は不確実で、その影響の全体像は、最新の事業計画期間を過ぎてから具体化する可能性が高い。これに対して、社会的転換点は、めったにモデル化されないものの、何らかの移行要素

が特定のセクターに突然影響を与えることになる可能性がある。ゆえに、過去のデータを無調整のまま使用することは、将来の経験の良い予測とはならないかもしれない。

- **短期的行動への依存** - 未来における影響の規模と性質は、今日の行動で決まる。それゆえ、今日の行動は、信頼性の高い未来志向の政策の道筋に従う必要がある。これには、政府、中央銀行、監督当局、金融市場参加者、企業、個人の行動が含まれる。
- **各種シナリオの作成・使用には認知バイアスの認識・説明も必要** - たとえば、人は無意識のうちに、過去の事例をどれだけ容易に思い出せるか、あるいは、起こりうる出来事をどれだけ容易に想像できるかということに基づいて、将来の出来事や結果の確率を評価するものである。気候の影響に関する多くの経済モデルは、まだ開発途上であり、また、データが常に利用可能であるとは限らない。
- **データの乖離とディスクロージャーの比較可能性** - 企業は、経済や事業に対する気候の影響を捉えるために、新しいデータや新しいモデル化手法を必要とする、追加的な指標を使わなければならないかもしれない。そのような変数には、物理的事象に関する危険因子や、特定の経済活動からの GHG 排出量などが含まれるかもしれない。企業は、自社の既存のリスクモデルを、気候要因を捉えるように適応させる必要があることに気付くだろう。
- **関連リスク** - 気候変動に関連する他のリスクもある。その一例は、生物多様性の消失に関するリスクである。気候変動に関しては比較的良い結果を示すシナリオが、生物多様性の消失に関しては厳しい結果となることもありうる。シナリオテストにおいて関連リスクをどのように考慮するかは、もう一つの大きな課題である。

6 次のステップ

本論文は、IAA 気候リスクタスクフォースが今後数年間かけて作成することを決定した、一連の論文の第 2 回である。第 1 回の論文は、「アクチュアリーにとっての気候関連リスクの重要性」と題されたもので、このシリーズの入門的な論文であった。アクチュアリーのニーズに応えるため、今後数年にわたり、以下のような論文を発表する予定である。

- 気候関連リスクシナリオと保険・年金のリスク・コストとの間を関連付ける、効果的かつ国際的に応用可能なリンクの発展をさらに促進することを目的とした論文
- 資産と負債の間のモデリングの整合性を促進するという重要な付随的目標を伴う、資産ポートフォリオへの気候関連リスクシナリオの応用に関する論文
- 気候関連のリスク管理や、新たな第三者機関の規制・報告・開示要件への対応に関する助言
- 移行と適応の段階における潜在的な効果に関する論文
- 気候関連リスクシナリオと社会保障制度の関連性に関する論文

また、気候関連リスクに関する乖離を特定、対処するために、既存の IAA 出版物のレビューも計画されている。

IAA 気候リスクタスクフォースは、これらの活動への意見や参加を歓迎・奨励する。

Appendix 1 – シナリオに関する補足情報

a. 実例となるシナリオの概要

概要における続編シナリオ（炭素排出量-GtCO ₂ -化石燃料と工業のみ） ⁵⁷		
	移行マイルストーンと解説	物理的被害のマイルストーンと解説
現在	● 2017年の排出量は37GtCO₂に達した。 ● 化石燃料がエネルギーミックスの80%を占める。 ● 排出量の80%はカーボンプライシングでカバーされていない。 ● 2017年のエネルギー供給投資の59%は化石燃料に対して行われた。 ● 2017年に330万台の電気自動車が走行していた。	● 気温は産業革命前に比べて1.1℃上昇した。 ● CO₂濃度は400ppm以上（これは300万年ぶりの高水準である）。 ● 海面上昇は22cmである。 ● 2016年以降、グレートバリアリーフの半分が白化死しており、生物多様性と洪水対策に大きな影響を及ぼしている。

概要における続編シナリオ（炭素排出量-GtCO ₂ -化石燃料と工業のみ） ⁵⁷		
	移行マイルストーンと解説	物理的被害のマイルストーンと解説
気温2° C 上昇シナリオ	積極的な気候変動対策: ● 2020年に排出量のピークを迎える。 ● 排出量は2050年までに16GtCO₂まで減少（2017年比57%減）。 ● 2080-2100年には排出量正味ゼロ（訳注：排出量から吸収量や除去量を差し引いた合計がゼロ）を達成。 2050年までに（2015年比）: ● エネルギー総需要が12%減少。 ● 石炭は積極的に徐々に廃止される。 ● エネルギー部門が電化される。 ● 発電量が60%増加（再生可能エネルギー55%、原子力8%）。 ● 石油・ガスの供給は10%減少（石油需要33%減、ガス供給20%増）。 ● 新車販売台数は、電気自動車（EV）50%、液化石油ガス（LPG）25%。	● 気温上昇を2℃未満に抑える確率は50%。 ● 2050年には気温は1.7℃上昇する。 温暖化が2℃進むことによる物理的被害の例は以下の通り: ● 平均海面が50cm程度上昇。 ● 年間最高気温が2.6℃上昇し、猛暑日が25%増加する。 ● 陸上における異常降雨の頻度が36%増加する。 ● 平均干ばつ期間が4ヶ月長くなる。 ● マラリアの伝播にとっての乾燥地帯の適合性が27%増加。 ● トウモロコシおよび小麦の平均収量がそれぞれ9%および4%減少する。

概要における続編シナリオ（炭素排出量-GtCO ₂ -化石燃料と工業のみ） ⁵⁷		
	移行マイルストーンと解説	物理的被害のマイルストーンと解説
気温3° C 上昇シナリオ	いくつかの気候変動対策はあるが、変革には至らず、気温上昇2℃未満を達成することはできない: ● 世界全体の排出量は2050年までほぼ横ばい、それ以降は緩やかに増加する。 ● 2050年に排出量は41GtCO₂に達する。 2050年まで（2015年比）: ● エネルギー総需要は18%増加。 ● 一次エネルギーの8割を化石燃料が占めている。 ● 石炭の使用量は減少するが、7%減に過ぎない。 ● 発電量は85%増加（自然エネルギー27%、原子力3%）。 ● 新車販売台数はEV37%、LPG35%。	● 2050年：気温が1.9℃上昇する。 ● 2100年：気温が3.2℃上昇する。 2100年までに、物理的被害の例として、ほぼ不可逆的（北極海の海氷が永久に失われる）と考えられており、以下のようなものがある: ● 海面が平均で約58cm上昇する。 ● 平均干ばつ期間が4ヶ月長くなる。 ● 利用可能な水が30%減少する。 ● 熱波や森林火災は近年より多くなる。 ● 海洋漁業へのリスク、農業や食糧生産へのネガティブな総合的影響は、飢饉の可能性を高める。

概要における続編シナリオ（炭素排出量-GtCO ₂ -化石燃料と工業のみ） ⁵⁷		
	移行マイルストーンと解説	物理的被害のマイルストーンと解説
気温4°C 上昇シナリオ	BAUシナリオ: ● 世界の年間排出量は、2050年までに2015年比で49%増加する。 ● 2100年には排出量が91GtCO₂に達する。 2050年まで（2015年比）: ● 一次エネルギー総量は28%増。 ● 2050年には一次エネルギーの84%を化石燃料が占める。 ● 発電量は再生可能エネルギー25%（加えて原子力5%）。	● 2050年：気温が2.0°C上昇する。 ● 2100年：気温が3.9°C上昇（より高くなる方向へ）。2100年までに、物理的被害の例として、ほぼ不可逆的（北極海の海氷が永久に失われる）と考えられており、以下のようなものがある: ● 海面が平均で約70cm上昇する。 ● 利用可能な水が50%減少する。 ● 最も強い北大西洋低気圧が80%増加する。 ● 熱波と森林火災のリスクは非常に高く、通常の屋外活動が危険にさらされることになる。 ● 海洋漁業と生態系へのリスク、魚類資源減少の中〜高リスク、さらに農業と食糧生産へのネガティブな総合的影響により、飢饉や食糧供給と雇用の減少の可能性が増大する。

b. Shifting the Lens レポートにおけるシナリオ

引き起こされる結果	シナリオ1. オープンな国際主義	シナリオ2. 主張的国家	シナリオ3. パッチワーク	シナリオ4. ショック事象下での協調
シナリオの概要	市場がオープンで、グローバル企業のコミュニティが強くあり、市民活動も活発、かつ国際的協調が継続的になされている。	政府が、世界経済、政策的要請と結びついた企業利益、長期の政策目標の優先順位付けといった事柄に対し強い影響力を持っている。	国家・地域・準国家主体の間の自律性が高まり、インフラへの需要が変化し、ローカルで、比較的に閉ざされた経済への投資が強化されている。	大きなショック事象により地球規模の影響が起こることで、官民の主体が、より意欲的に、国際的に協調するようになる。

引き起こされる結果	シナリオ1. オープンな国際主義	シナリオ2. 主張的国家	シナリオ3. パッチワーク	シナリオ4. ショック事象下での協調
気候	国際的協調への支持がある。ただし、短期主義や、市民・企業コミュニティ・国家的優先事項の利害関係のマトリックスによって希薄化する。	国際的協調への支持があり、それは比較的強力な国家の政策の優先順位によって推進される。結果として、気候対策の優先順位付けは、強調されるものの、ばらつきがある。	気候に関する国際的協調への支持が弱い。「フリーライディング」が増え、狭隘な政策や企業利益の主張が強まる。	強化された形での国際的協調が出現する。これは、強国によって実利的に構築・主導され、人道・復興・レジリエンスに焦点が当てられる。

引き起こされる結果	シナリオ1. オープンな国際主義	シナリオ2. 主張的国家	シナリオ3. パッチワーク	シナリオ4. ショック事象下での協調
グローバル化	持続的に、主に市場主導で、金融・データ・テクノロジーの国境を越えた流れが生じる。財やサービスの生産はローカル化する。	政策主導で、持続的な経済の統合が起こる。ローカル化の流れに直面し、政策に基づくグローバルスタンダードの断片化が起こる可能性が高まる。	閉鎖経済への移行が急速に進む。弱小国は、世界全体の付加価値に占めるシェアを維持するために奮闘する。	閉鎖経済への移行が減速する。これは協働的なイニシアチブが、レジリエンスへの投資を促進するためである。

引き起こされる結果	シナリオ1. オープンな国際主義	シナリオ2. 主張的国家	シナリオ3. パッチワーク	シナリオ4. ショック事象下での協調
テクノロジー	イノベーションが高い水準で起こるが、政府はほとんど関与せず、非常に不均等に、市場主導的に、そして比較的短い時間軸で展開される。	イノベーションが高い水準で起こる。政府は、調達や交渉による国境を越えた展開などを通じて、大きく関与する。	基準が断片化することで、国際規範が制約される。これにより、イノベーションが低水準な小国への普及が遅くなる可能性がある。	事象ベースで世界経済が弱体化する。一方で、合意された規範や基準に基づいて、技術の普及を加速させられる可能性がある。

引き起こされる結果	シナリオ1. オープンな国際主義	シナリオ2. 主張的国家	シナリオ3. パッチワーク	シナリオ4. ショック事象下での協調
市民	国内的活動と国際的活動への関与がともに強化される。これには、法的手段の活用、権利に基づく主張、インフラ投資への大規模な抵抗などが含まれる。	支配的な政策やマーケットベースのシグナルに関連する個人の行動の集積、インフラ投資が持つ気候関連の側面に対する低い支持や抵抗がある。	断片的で脆弱な市民の行動がある。国際的な行動を進めるための関与と有効性は低下し、可能な限り国内・地域に焦点が当てられる。	地域的にも国際的にも、市民の集団的な行動が増加する。

引き起こされる結果	シナリオ1. オープンな国際主義	シナリオ2. 主張的国家	シナリオ3. パッチワーク	シナリオ4. ショック事象下での協調
金融	公的な補助金がほとんどなく、民間資本の流れに大きく依存することに起因して、不均一かつ不十分に展開される。	政策主導型の金融が拡大し、インフラ投資は加速、また、政府間債務が増加する。	国境を越えた金融の流れが減少し、国内貯蓄への依存度が高まり、国際的な資本コストが上昇する。	縮小していく金融システムの流れが事象ベースで「枯渇」し、その後、国の指示・保証による高コストで大規模な資金調達が行われる。

引き起こされる結果	シナリオ1. オープンな国際主義	シナリオ2. 主張的国家	シナリオ3. パッチワーク	シナリオ4. ショック事象下での協調
ショック事象とビジネスサイクル	経済が落ち込むことで、長期的な公的・私的資金の流れが劇的に減少する。	経済の落ち込みに対する恐れから、インフラ投資が増加する。	弱小で、マーケットに依存している国は、投資の崩壊に苦しむ。一方で、財政的に強く、政策主導型の国では、インフラ投資が増加する。	短期的な人道的ニーズへの対応のために、長期的な資金の流れがまず崩壊する。その後、長期的な多国間の投資計画が始まる。

c. TCFD 提言

TCFD 提言の技術的補足⁵⁸には、「重要な検討事項: パラメータ、前提条件、分析上の選択肢、および影響 (Key Considerations: Parameters, Assumptions, Analytical Choices, and Impacts)」に関する情報が提示されており、また、一般公開されている複数のシナリオの比較も行われている。

d. CRO フォーラム

2019 年の CRO フォーラムによる報告書「The Heat Is On: Insurability and Resilience in a Changing Climate」⁵⁹では、1.5°、2°、3°、5° C の地球温暖化につながるようなシナリオについて、物理的・経済的な影響を比較している。

e. The Shift Project におけるシナリオ

The Shift Project による報告書⁶⁰の第 8 章「The public energy/climate-related scenarios: inventory and limits」では、以下の機関による 12 本を含む一般公開されたシナリオに対して、批判的分析がなされている。

IEA	International Energy Agency	International institution	International
IRENA	International Renewable Energy Agency	International institution	International
WEC	World Energy Council	International institution	International
PBL	Netherlands environmental assessment agency	Research centre	Netherlands
IIASA	International Institute for Applied Systems Analysis	Research centre	International
NIES	Japan National Institute for Environmental Studies	Research centre	Japan
PNNL	Pacific Northwest National Laboratory	Research centre	United States
PIK	N/A	Research centre	Germany
Greenpeace	N/A	NGO	International
Shell	N/A	Company	Netherlands
Equinor	N/A	Company	Norway
BP	N/A	Company	United Kingdom

その他のシナリオが参照できる文献を以下に示す。

- 気候変動リスク等に係る金融当局ネットワーク (NGFS) ⁶¹
- Climate Interactive⁶²
- イングランド銀行 ⁶³
- 気候金融リスクフォーラム ⁶⁴
- Bloomberg NEF (BNEF)⁶⁵
- Greenpeace⁶⁶
- 持続可能な開発に関する国際研究所 ⁶⁷
- 気候変動に関する機関投資家団体(IIGCC)⁶⁸

Appendix 2 – References

1. The IPCC was created in 1988 by the UN as an organization of governments. It has 195 members. A total of 189 nations have become signatories to the 2015 Paris Agreement, on the basis of the IPCC reports.
2. [Importance of Climate-Related Risks for Actuaries – September 2020](#)
3. In some countries the actuarial profession is publishing an Actuaries Climate Index (ACI) focusing on extreme weather events that is aimed at measuring changes in the frequency or intensity of six climate components. See actuariesclimateindex.org/home/
4. [Glossary of Defined Terms Used in IAA Climate-Related Risk](#)
5. Not all the effect is due to human impact as there are also long-term cyclical climate changes. It is the increase in atmospheric CO₂ concentration, caused by increased human activity, which is the basis of concern regarding the impact of the human activities. This is based on scientific knowledge of the greenhouse effect.
6. Under the Kyoto Protocol, GHG emissions comprise CO₂, CH₄, N₂O, hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs) and sulphur hexafluoride (SF₆). See www.ipcc.ch/sr15/chapter/glossary/
7. The consequences of this physical phenomenon (the GHG effect) have long been known: discovered in the late 19th century, they created collective concerns in the late 1960s. They have been the subject of almost universal scientific consensus since the Rio Summit in 1992. See page 17 of theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/11/Etude-Sc%C3%A9narios-Afep-TSP-Rapport-final-EN.pdf
8. www.ipcc.ch/report/ar5/syr/synthesis-report/
9. High-level climate scenarios are often represented by a curve, called a pathway or trajectory, which traces the evolution of a metric over time, often complemented by a confidence interval. Each scenario includes a narrative summarizing the associated impacts and relevant factors that describe the future states of the world up to a target date.
10. CO_{2e} or CO₂ equivalent is a unit that allows emissions of GHGs of different warming potential to be added together to simplify analysis and comparisons. However, the conversion does not fully reflect the differences in persistency and in the timing of the resulting warming effect.

11. sioweb.ucsd.edu/programs/keelingcurve/wp-content/plugins/sio-bluemoon/graphs/co2_800k_zoom.png. The Seasonal variation overlay has been added by the authors to signal the existence of annual minimums and maximums.
12. The Paris Agreement was negotiated by 196 state parties plus the European Union and adopted by consensus on 12 December 2015. The threshold for its entry into force was achieved on 5 October 2016. As of February 2020, it had been ratified by 189 of 197 Parties to the Convention. Iran and Turkey have not ratified it, and the USA gave notice of withdrawal, which became effective on 4 November 2020.
13. www.ipcc.ch/report/ar5/syr/synthesis-report
14. www.fs.usda.gov/ccrc/topics/cumulative-effects
15. www.scientificamerican.com/article/the-next-climate-frontier-predicting-a-complex-domino-effect/
16. www.pnas.org/content/105/6/1786
17. For many more examples, see https://climate.nasa.gov/nasa_science/science/
18. Task Force on Climate-related Financial Disclosures. Final TCFD Recommendations Report, June 2017. www.fsb-tcfd.org/publications/
19. www.soa.org/resources/research-reports/2019/weather-extremes/
20. Source: P. Huybers and C. Langmuir (2009), Feedback between deglaciation, volcanism and atmospheric CO₂, *Earth and Planetary Science Letters* 286 (3–4), 479–491.
21. Task Force on Climate-related Financial Disclosures. Final TCFD Recommendations Report, June 2017. www.fsb-tcfd.org/publications/
22. energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/CGEPTheGeopoliticsOfRenewables.pdf
23. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, United States.
24. www.globalccsinstitute.com/news-media/latest-news/new-wave-of-ccs-ambition-ten-large-scale-

[projects-announced/](#)

25. www.nature.com/immersive/d41586-019-02711-4/index.html?utm_source=Nature+Briefing&utm_campaign=093e3be58a-briefing-dy-4/
26. www.actuaries.org/IAA/Documents/Publications/Papers/Decarbonization-A Briefing for Actuaries FINAL.pdf
27. [publications.iadb.org/publications/english/document/Stranded-Assets-A-Climate-Risk-Challenge-\(Summary\).pdf](http://publications.iadb.org/publications/english/document/Stranded-Assets-A-Climate-Risk-Challenge-(Summary).pdf), page 3
28. Task Force on Climate-related Financial Disclosures. Final TCFD Recommendations Report, June 2017. www.fsb-tcfd.org/publications/
29. www.nortonrosefulbright.com/en/knowledge/publications/7d58ae66/climate-change-litigation-update/
30. www.mass.gov/lists/attorney-generals-office-exxon-investigation
31. www.actuaries.org.uk/system/files/field/document/IF%20Bulletin%20Issue%2001%20V05%20W EB.pdf
32. See, for example, www.soa.org/globalassets/assets/files/resources/research-report/2020/social-discounting-climate-change.pdf
33. The net-zero level refers to an overall balance between GHG emissions produced and GHG emissions taken out of the atmosphere by natural or new technological processes.
34. www.fsb-tcfd.org/wp-content/uploads/2017/06/FINAL-TCFD-Technical-Supplement-062917.pdf
35. www.fsb.org/2020/10/2020-status-report-task-force-on-climate-related-financial-disclosures/
36. www.fsb-tcfd.org/wp-content/uploads/2017/06/FINAL-2017-TCFD-Report-11052018.pdf
37. For instance, on 9 November 2020, the UK government announced new mandatory disclosure for large companies. See www.gov.uk/government/news/chancellor-sets-out-ambition-for-future-of-uk-financial-services

38. www.unepfi.org/climate-change/united-nations-convened-net-zero-asset-owner-alliance/
39. scrippsco2.ucsd.edu/data/atmospheric_co2/primary_mlo_co2_record and authors' calculations.
40. https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs_first_comprehensive_report_-_17042019_0.pdf (page 21)
41. www.nytimes.com/2018/08/31/podcasts/the-daily/climate-change-losing-earth.html
42. https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/11/Etude-Sc%C3%A9narios-Afep_TSP-Rapport-final-EN.pdf (see Chapter 8).
43. www.fca.org.uk/publication/corporate/climate-financial-risk-forum-guide-2020-scenario-analysis-chapter.pdf (see page 9, Table 1).
44. www.fca.org.uk/publication/corporate/climate-financial-risk-forum-guide-2020-summary.pdf
45. www.fca.org.uk/publication/corporate/climate-financial-risk-forum-guide-2020-summary.pdf
46. www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/CSE/PATHWAYS/2019/ws_Consult_14_15.May.2019/supp_doc/SSP2_Overview.pdf
47. www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/atlas-of-global-and-regional-climate-projections/
48. www.fca.org.uk/publication/corporate/climate-financial-risk-forum-guide-2020-scenario-analysis-chapter.pdf
49. www.oecd.org/environment/cc/climate-futures/policy-highlights-financing-climate-futures.pdf
50. Comparison can be made with current financial flows at www.ran.org/wp-content/uploads/2020/03/Banking_on_Climate_Change_2020_vF.pdf
51. about.bnef.com/new-energy-outlook/
52. www.oecd.org/environment/cc/climate-futures/interim-briefing-shifting-the-lens-financing-climate-futures-un-environment.pdf
53. www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/paper/2019/the-2021-biennial-exploratory-scenario-

[on-the-financial-risks-from-climate-change.pdf?la=en&hash=73D06B913C73472D0DF21F18DB71C2F454148C80](#)

54. [https://goo.gl/4vGW3q](#) in Cicero at [https://cicero.oslo.no/en/posts/news/scientists-demystify-climate-scenarios-for-investors](#)
55. [www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs_first_comprehensive_report_-_17042019_0.pdf](#)
56. [www.fca.org.uk/publication/corporate/climate-financial-risk-forum-guide-2020-scenario-analysis-chapter.pdf](#)
57. [www.mercer.com/our-thinking/wealth/climate-change-the-sequel.html](#)
58. [www.fsb-tcfd.org/wp-content/uploads/2017/06/FINAL-TCFD-Technical-Supplement-062917.pdf](#)
59. [www.thecroforum.org/2019/01/24/crof-eri-2019-the-heat-is-on-insurability-and-resilience-in-a-changing-climate/](#)
60. [theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/11/Etude-Sc%C3%A9narios-Afep_TSP-Rapport-final-EN.pdf](#)
61. [www.ngfs.net/en/ngfs-climate-scenarios-central-banks-and-supervisors](#)
62. [www.climateinteractive.org/tools/c-roads/](#)
63. [www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/paper/2019/the-2021-biennial-exploratory-scenario-on-the-financial-risks-from-climate-change.pdf](#)
64. [www.fca.org.uk/publication/corporate/climate-financial-risk-forum-guide-2020-scenario-analysis-chapter.pdf](#)
65. [https://about.bnef.com/new-energy-outlook/#toc-download](#)
66. [www.greenpeace.org/usa/research/an-abrupt-climate-change-scena/](#)
67. [www.iea.org/reports/world-energy-model/sustainable-development-scenario](#)

68. www.iigcc.org/resources/