

McKinsey
Global Institute

Authors

Mekala Krishnan
Olivia White
Sylvain Johansson
Sven Smit
Annabel Farr
Kanmani Chockalingam

Editor

Stephanie Strom

日本語版監訳

山田 唯人、シニアパートナー

2026年6月

気候変動適応の 推進

暑熱対策から沿岸防護までの費用を可視化



マッキンゼー・グローバル・ インスティテュート

マッキンゼー・グローバル・インスティテュート (MGI) は、1990年の設立以来、経済やビジネス上の最重要課題に対する世界の企業や政策立案リーダーたちの意思決定を支援するためにファクトベースを提供することを目的に活動している。MGIはマッキンゼーの持つ地域、業界、機能に関するナレッジ、スキル、専門知識を最大限に活用しているが、編集の方向性や意思決定はMGIのディレクターとパートナーが全責任を負っている。

MGIの現在の主な研究テーマは次の5分野である。

- 生産性と繁栄: 世界規模の資産創出と生産的な活用
- 世界の資源: 持続可能な構築・強化と世界への供給
- 人材のポテンシャル: 潜在能力の最大化と有効活用
- グローバル・コネクション: 経済環境を変えるモノ・ヒト・資本・アイデアの流れの探求
- 未来のテクノロジーと市場: 新たな価値と競争を生む大規模カテゴリーの把握

MGIは独立したファクトベースの研究を目指している。MGIの研究は企業、政府、その他のいかなる組織から委託されたものではなく、マッキンゼー・アンド・カンパニーのパートナーによる全面的な資金提供の下に実施されており、成果を無償で公開している。外部の優れたアドバイザーが複数参加し、調査・研究面で支援を受けているものの、MGIの刊行物に提示された分析はMGIのみに帰属し、いかなる誤りもMGIが責任を負う。

MGIと研究に関する詳細は以下を参照: www.mckinsey.com/mgi You can find out more about MGI and our research at www.mckinsey.com/mgi.

MGI ディレクター

Shubham Singhal (chair)
Chris Bradley
Kweilin Ellingrud
Sylvain Johansson
Nick Leung
Olivia White
Lareina Yee

MGI パートナー

Arvind Govindarajan
Mekala Krishnan
Anu Madgavkar
Jan Mischke
Jeongmin Seong

目次

概要 3

はじめに 5

CHAPTER 1

世界各国は現在、年間1,900億ドルもの予算を
異常気象対策に費やしている 7

CHAPTER 2

2°Cシナリオで先進国水準の適応策を実施するには、
2050年までに年間1.2兆ドルが必要となる 24

CHAPTER 3

適応策に充当される費用はどの程度か 38

CHAPTER 4

世界における適応策の展望 42

CHAPTER 5

誰が支払うのか 48

謝辞 54

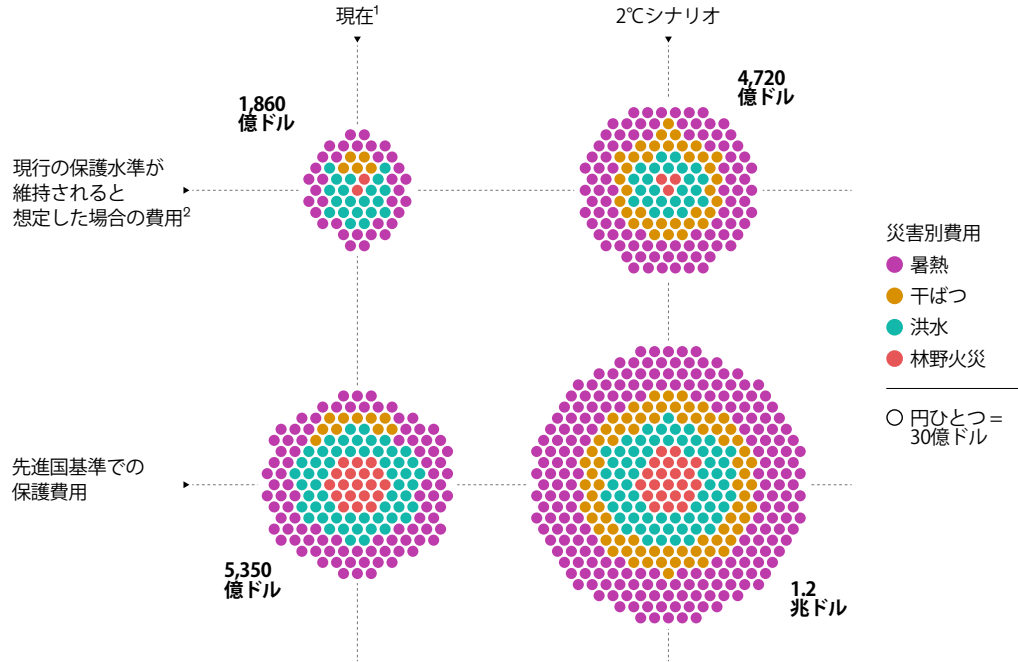
後注 55

概要

- **人類社会は何千年もの間、地球の気候に適応してきた。**メソポタミア人からインuitまで、異常気象はあらゆる人々の生活方式を決定づける要因となってきた。現在では効果が広く認められ、費用対効果に優れた適応策が既に多数存在していることから、ここではエアコン、灌漑設備、防潮堤など、そのうちの20種類を検証していく。
- **世界各国は現在、年間1,900億ドルもの予算を異常気象対策に費やしている。**しかしそうした対策で先進国水準に即して災害から守られている人々は12億人にすぎない。気候変動による災害の危険にさらされている場所で暮らしていて、適応に苦慮し、既にその対価を支払われている可能性のある人々は世界全体で41億人に達しているが、そうした人々全員を同水準の保護対策で守るには、おそらく5,400億ドルもの費用が必要になる。
- **気候の温暖化によって最も増加するのは、暑熱と干ばつにさらされる頻度である。**温暖化ガスの排出量動向が現状を維持すると、世界の気温は2050年頃までに産業革命前と比べて2℃上昇すると予想されている。これにより、暑熱ストレスの危険にさらされる人が22億人、干ばつの危険にさらされる人が11億人増加する可能性がある。一方、沿岸洪水の危険にさらされる人は4,000万人の増加にとどまるとみられる。
- **2℃シナリオでは、現行水準の対策を維持するための費用は現状の2.5倍になるとみられるが、先進国水準の対策をとるには、6.2倍の費用が必要となる見込みである。**そうした基準を世界全体で達成するには推定で1.2兆ドルが必要になるが、その半分以上は空調と灌漑に費やされることになるであろう。予想経済成長率に合わせて支出を増やせば総費用の60%をまかなえるが、低所得者層の多い地域では引き続き予算が不足すると考えられる。
- **適応策は予算を費やすに値するものだが、支出するのが当然というわけではない。**2℃シナリオのもとでは、適応策の便益は費用の7倍に上るが、支払い能力、競合する支出先との優先度、協調行動の難しさ、運用上のハードル、政治的意図といった要因のために、実施には様々な困難がつきまとう。今後は資金調達力、適応策や軽減策の規模拡大能力、更には異常気象による被害の推移と適応策の限界が、社会がどのようなリスクを負うかを定めることになるであろう。

2°Cシナリオの下で現行の保護水準を維持するには現在の2.5倍の費用が、更に先進国の基準で保護するには6.2倍の費用がかかる

災害適応に必要な運営費用と資本支出償却分の年間平均額、2020-50年（2020年ドル換算）



注記 本分析は現状の排出動向を想定しており、それに基づく世界の平均気温は産業革命前比で今後約30年のうちに約2°C上昇する見込み（数十年単位の平均気温に基づいて測定）。費用は暑熱、林野火災、干ばつ、洪水という4カテゴリーの災害に対する20種の適応策に関するものである。各災害の定義については付録の技術資料を参照のこと。本分析は以下情報源も含め、既存の確立された気候モデルと技法に依拠している。

¹世界の気温観測データによると、地球の気温は2020年までの10年間で、産業革命以前の水準に比べて1.1°C上昇している。2020年は本分析が開始された年で、本レポートでは同年を「現在」と呼んでいる。

²現行の適応支出と1.1°Cシナリオの下で先進国基準に即した適応策を実施する場合にかかる総支出額の割合が、災害別にみても人口集団別にみても、2°Cシナリオの場合と変わらないと想定。

資料: Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6)、2021年、NASA NEX-GDDP、2021年、Fathom Global Flood Map Fathom 3.0、2021年、Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project Phase 2b (ISI-MIP2b)、2017年、Kummu、TakaおよびGuillaume、2018年、EU Global Human Settlement Layer、マッキンゼー・グローバル・インスティテュート分析

McKinsey & Company

はじめに

人類の社会と経済は何千年にもわたって一帯の気候に適応してきた。メソポタミア文明が干ばつと戦い、農業活動を維持するために大規模な灌漑システムを開発したのは、およそ8,000年前のことである。また現在オランダの国土となっている場所では、人々が2,000年以上前から洪水から身を守るために「テルペン」と呼ばれる人工の盛り土を築き始めた。1,000年前には北極圏で暮らすトゥーレ族の人々が雪を固めて作ったブロックでイグルーという家を作り始め、それによって外気温が -45°C を下回る環境でも生活を営めるようになった。古代エジプトでは、建築家たちは分厚い泥レンガの壁や採風塔といったエネルギーを消費しない冷房技術を開発し、場合によっては 45°C を上回る砂漠の炎暑に対処した。

現在では多種多様な対策が考案され、試行錯誤の結果、猛暑から極寒まで、更に深刻な干ばつから大洪水まで、様々な危険から身を守れるようになってきている。例えばオランダはデルタ計画という大規模かつ先進的な洪水対策を進めているが、これは一連のダム、水門、閘門、堤防、高潮防止壁によって繰り返し起こる洪水から国土を守る仕組みである¹。またシンガポールの初代首相リー・クアンユーは、エアコンがシンガポールの成功の鍵になったとして、インタビューで以下のように語っている。「エアコンは我々にとって最も重要な発明であり、おそらく歴史上まれにみる発明のひとつといえるであろう。エアコンのおかげで熱帯地域の開発が可能になり、文明のあり方が変わったのだ²。」

しかし災害耐性には世界の国々の間で大きな差異が見られる。人類は全員が現在の異常気象から身を守れるわけではなく、それは気候がこれからどう変動するかを考慮しなくても変わらない。一般に使用されている気候変動適応策は20種類あり、そのうち少なくとも1つで守られている人は約10億人で、残り30億人は無防備なままである³。当然ながら格差は低所得地域の方が大きい。保護策の対象から外れている人のうち約7億人は高所得地域の住民である。世界の気温が上昇するにつれて災害のパターンや発生状況は変化し、適応策が必要になる部分も変わってくる。

したがって、現在と将来両方の適応策に関して理解を深めることが不可欠である。最終的には、個人、政府、企業が、支出能力やリスク許容度から政治的意志や運用可能性まで、様々な考慮事項に基づいて、対応策を実施するか否かを決定する。しかし適応策に予算を費やす場合、単に予算が確保できればよいわけではない。問題になるのはむしろ、限られた予算や人材をどのような形で優先的に配分すれば、エネルギー転換、自治体サービス、家計支出といった互いに競合する需要に対処できるかという点である。十分な情報に基づいて適応策に関する意志決定を行うには、まず現状の災害耐性に関する格差を特定し、それがどう変化するかを予測し、現状と今後発生し得る災害から身を守るには何が必要かを判断しなければならない。

確かに、綿密に練り上げられた適応計画がこのところ増えてきている。2025年10月の時点では正式な適応計画を策定済みの国が141カ国と、5年前の84カ国から増加している⁴。しかし優先順位が明確に示され、費用の見積もりが盛り込まれているのはその中のごく一部にすぎない⁵。

本稿ではピクセル単位の詳細な地理空間分析を用いて、従来と全く異なる形で現在および2050年までの適応費用を包括的に分析している⁶。調査対象とした20種類の適応策は、暑熱、森林火災、干ばつ、洪水という4カテゴリーの災害から幅広く身を守るためのもので、幅広い経済圏に適用可能である。災害がどのような形で発生し得るのか、適応するには何が必要でどのような便益があるのかを理解することで、各国の指導者は、現在も今後も含め、長期にわたって災害耐性に関する十分な情報に基づいた意思決定を行うことができる。

気候モデルには、どのようなものであれ、必ず補足事項がいくつかある。気候モデルは他の複雑現象のモデル作成と同じで、現在も改良と議論が続けられている分野であり、不確実性を伴っている。本稿の執筆者は気候学者ではないので、主に気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第6次評価報告書に使用されている外部の気候モデルを使用している⁷。更にいえば、こうした不確実性は、特定の都市や特定区画など、地理的な範囲を狭く絞れば絞るほど顕著になる。また本稿はあらゆる災害、あらゆる場所、あらゆるセクター、あらゆるカテゴリーの影響を検証しているわけではなく、例えば小島嶼国とその生物多様性、サプライチェーンに対する影響などについては、本稿の範囲外の適応策が必要となる可能性がある⁸。本考察はあくまで叩き台的な分析を提供し、幅広い人口集団や地域の意思決定に役立てていただくことを意図したものである。



世界各国は現在、年間1,900億ドルもの予算を異常気象対策に費やしている

地球上の陸地の約40%が、このところの異常気象の影響で、周期的に猛暑、大規模森林火災、長期的干ばつ、大規模洪水に見舞われている⁹。そうした地域で暮らす人々はおよそ40億人にのぼっており、これは世界人口のほぼ半数に相当する¹⁰。本稿で「気候災害」と呼んでいるこれらの異常気象は、稀にしか発生しないこともあれば、毎年発生することもあるが、地球温暖化の進行によって発生箇所が増えたり、特定の場所で激甚化したりする可能性がある。更に世界の35%が極寒に見舞われているが、この割合は地球の気温上昇に伴って減少する可能性がある(p.9のコラム「本稿で考察対象とした災害」を参照)。

個人、政府、企業は現在、合計で年間約1,900億ドルもの予算を費やして、暑熱、森林火災を引き起こしやすい気象条件(本稿では「森林火災」と表記)、農業地域における干ばつ(同「干ばつ」)、洪水(p.11のコラム「寒波についてはどうか」を参照)対策用の資本支出と運営経費に充当している¹¹。こうした投資によって、世界中で12億人の人々とその生活が少なくとも一部は守られている¹²。

しかしそれでも世界で30億人の人々が異常気象から守られておらず、災害の危険性にさらされている¹³。そうした人々は、本稿で「災害耐性格差」と称している格差にさらされ、現状の保護状況が先進国で現在一般的に確立されている基準を下回っている。当然だが、そうした基準も必ずしも守られているとはいえず、高所得層の多い都市部の中でさえ、若干ながら災害耐性の格差が存在する。

4カテゴリーの災害はいずれも防御策を講じるに値するものだと考えられているが、すべてが同列に扱えるものではなく、その影響は大幅に異なる場合がある。例えば、暑熱には二つの形態がある。本稿で「暑熱ストレス」と称しているものは、年間1カ月以上にわたって極めて高温多湿な気候が続き、生産性が低下し、健康を害する可能性のある期間と定義されている¹⁴。「熱波」はそれより発生頻度が低く、持続時間が短いもので、1週間以上にわたって局地的に高温が続くものを指す¹⁵。こうした状況は、よりわけ社会的弱者にとっては現実的なリスクとなりうるが、毎年発生するわけではなく、発生したとしても比較的短期間なので、多くの場合、全般的にみると暑熱ストレスより影響が小さい¹⁶。

災害耐性に関する格差が存在する場合、それはリスクを明らかに受け入れるという選択、例えば森林火災や洪水が高頻度で発生する地域に家を建てるという選択をする人がいるということかもしれない。また、不完全な情報、政治的な行き詰まり、資金不足といった要因によって、リスクをどの程度取るかが決まる場合もある。そうした格差がなぜあるのかはひとまず措くとして、それを解消し、現にリスクを抱えながら生活している30億人もの人々を災害から守るには、どれほどの費用がかかるのであろうか。

本稿で考察対象とした災害

本稿では暑熱、森林火災、干ばつ、洪水という4つのカテゴリーにまたがる8種類の災害を分析し、現状と今後について、人々と各地がどのような形で災害の危険にさらされるかを理解し、適応策にかかる費用を分析している。またそれとは別に、寒波がどう変化していくかについても注視している。

災害はしばしば「異常気象」と言われるが、気候科学においては慢性的災害と急性的災害の両方を幅広く指す用語である。本稿で考察した暑熱ストレスと森林火災という災害は慢性的なもので、発生の危険性がある場所では毎年発生している。本稿の分析対象となった残り6種類の災害、すなわち沿岸洪水、河川(河口)洪水、過度の降雨(豪雨)による洪水、熱波、致命的酷暑、農業地域の干ばつの危険は急性で、激甚ではあるが頻度は少ない事象である。急性災害の場合、その場所に災害発生の危険性があっても、実際に当該災害が毎年発生するとは限らない。

これらの災害は、強度、頻度、持続時間が連

続的に変化する形で発生する可能性があり、この状態になったら災害であると定義するには、各々について閾値が必要になる。閾値は様々な方法で設定できる。本稿の主眼は適応にかかる費用を把握、定量化することなので、先進国で一般に確立されている保護水準を用いて定義している。もちろん、本稿で考察対象とした災害はいずれも防御策を講じるに値するものだと考えられているが、すべてが同列に扱えるものではなく、その影響は大幅に異なる場合がある。暑熱ストレスとは年間1カ月以上にわたって極めて高温多湿な気候が続く事態を、熱波とは発生頻度こそ低いものの、数日間にわたって局地的に高温が続く事態を指し、その影響の特性や程度は著しく異なるが、どちらも重大な事態で、対策を打つ意味が十分にあると考えられている。同様に、先進国の沿岸洪水防御水準は一般に100年に一度規模の洪水に耐えることを目標としている一方で、豪雨による洪水の防御水準は多くの場合、20年に一度規模の洪水に耐えられることとなっている。

保護水準は厳密に定義されているわけではないため、閾値の選定についてはある程度独自の判断力を働かせ、更に気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の一般的な災害に関する定

義とその影響に関する文献を用いて検証を行った(図表1)¹。強力かつ比較可能な方法を開発して災害の影響とそれが適応指標とどう関連するのかを定量的に把握するには、継続的な取り組みが必要である。

当然ながら、影響は特定の閾値を超えたときに限って現れるわけではない。本稿の閾値はむしろ、被災の危険度と保護水準を次元化し、一般的な保護設計基準に沿って一貫したアプローチを適用するための手法である²。本稿は以下3つの基準を満たす気候災害のサブセットに焦点を当てている。(1)気候変動が主な要因であることが明確で、気候変動との直接的な関連があること、(2)緩慢に進行する事象(影響が徐々に現れるタイプ)は対象外であること、(3)空間的分析を行う上で十分なデータがあること³。

例えば水分ストレスと気候変動の関係は直接的なものではないが、これは他の要因、特に人口増加や水需要の拡大が関わっているためである⁴。こうした災害は、他の災害も含め、所定の場所における適応計画のあり方に大いに関係している可能性があるが、本稿のグローバルな分析の範囲からは外れている。詳細は付録の技術資料を参照されたい。

¹ 災害の定義に用いる閾値の評価にあたり、暑熱ストレスについては Camilo Mora et al. 「Global risk of deadly heat」、Nature Climate Change、2017年7月、第7巻、熱波については Alessandro Dosio et al. 「Extreme heat waves under 1.5 °C and 2 °C global warming」、Environmental Research Letters、2018年5月、第13巻5号と Cong Yin et al. 「Changes in global heat waves and its socioeconomic exposure in a warmer future」、Climate Risk Management、2022年、第38巻、致命的酷暑については Eun-Soon Im, Jeremy S. Pal, and Elfatih A. B. Eltahir 「Deadly heat waves projected in the densely populated agricultural regions of South Asia」、Science Advances、2017年8月、第3巻8号、森林火災については John T. Abatzoglou, A. Park Williams, Renaud Barbero 「Global emergence of anthropogenic climate change in fire weather indices」、Geophysical Research Letters、2019年1月、第46巻1号、干ばつについては Yadu Pokhrel et al. 「Global terrestrial water storage and drought severity under climate change」、Nature Climate Change、2021年3月、第11巻、沿岸洪水については Robert J. Nicholls et al. 「A global analysis of subsidence, relative sea-level change and coastal flood exposure」、Nature Climate Change、2021年4月、第11巻4号、河川洪水と豪雨による洪水については Jun Rentschler, Melda Salhab, Bramka Arga Jafino 「Flood exposure and poverty in 188 countries」、Nature Communications、2022年6月、第13巻など IPCC が参照した文献を活用した。

² 一部事例では、閾値は局所的なパラメータ、すなわち局所的な異常気象の強度に基づいている。例えば干ばつ被害発生の危険度を定義する際、IPCCの文献に基づいて、土壌水分量の絶対値ではなく、土壌中の水分の局所的な最小値を反映する形で行った。こうしたアプローチを採用したのは、農業活動がその土地の気候条件に依存しており、これら条件に対する相対的な変化が適応策の指針として最も適切であると考えたためである。これと対照的に、暑熱ストレスにさらされる危険度は、人間の生産性低下に関連する絶対的な生理的閾値に基づいて設定している。その理由とは、適応策が必要になる時期を決定づけるのは、ここでもこれらの閾値だからである。

³ 本稿では塩水侵入のように時間をかけて発生するリスクは除外しているため、一部地域における主要リスク、例えば淡水不足のリスクにさらされている小島のコミュニティのように、2°Cシナリオをめぐる処し難い制約が存在する可能性のあるリスクが対象から外れていることは認識している。詳細は「Key risks across sectors and regions」表 16.3、「Climate Change 2022:Impacts, Adaptation and Vulnerability」、気候変動に関する国際パネル第6次評価報告書、第2作業部会寄稿、ケンブリッジ大学出版局、2022年所収を参照のこと。

⁴ 気候変動に関する国際パネル第6次評価報告書、第1作業部会寄稿、Climatic Impact-Driver framework(AR6 WGI 第12章、§ 12.2 参照)と Jacob Schewe et al. 「Multimodel assessment of water scarcity under climate change」、米国科学アカデミー紀要、2014年3月、第111巻、第9号の議論を参照。

本レポートでは世界が現時点で発生危険にさらされている慢性災害と急性災害について考察している

災害	定義
暑熱 ・暑熱ストレス	平均的な年に1カ月以上にわたって高温多湿な日や乾燥した暑い日が発生する状態
・熱波	現行基準で5%（20年に1度）の確率で7日以上にわたって現地基準の高温が続く状態
・致命的酷暑	1%（100年に1度）の確率で異常な高温多湿が1日以上発生する状態
氷点下寒波	平均的な年に1カ月にわたって氷点下の気温が続く状態
林野火災	平均的な年に高温、乾燥、強風が2週間以上にわたって続き、大規模林野火災発生危険性がある状態
干ばつ	現行基準で5%（20年に1度）の確率で半年以上にわたって異常な乾燥状態が続く可能性がある状態
洪水 ・豪雨	5%（20年に1度）の確率で浸水深が15cm以上の洪水が発生する可能性がある状態
・河川洪水	1%（100年に1度）の確率で浸水深が50cm以上の洪水が発生する可能性のある状態
・沿岸洪水	1%（100年に1度）の確率で浸水深が50cm以上の洪水が発生する可能性のある状態

注記: 詳細は付録の技術資料を参照のこと。
資料: マッキンゼー・グローバル・インスティテュート分析

効果が広く認められ、費用対効果に優れた異常気象対策が存在する

人類は、少なくとも原則論から言えば、異常気象から身を守る術を持っている。多くのアプローチ、つまり本稿で「適応策」と呼んでいるものは、既にそうした気象パターンから身を守る役ごとに寄与している。本稿では費用対効果が高く、多様な経済圏に幅広く適用可能で、分析対象とした4カテゴリーの災害から広く身を守るための対策を20種類検討する(「適応策のライブラリ」を参照)。そうした対策には、例えば沿岸洪水を防ぐ堤防、豪雨や地表水氾濫を迂回させる雨水排水ネットワークなど、多くの人々を守り、連携や集団行動を必要とする大規模な対策から、エアコンや扇風機といった暑さを和らげる機器のように個人や企業が導入できる対策まで、様々なものがある。(他の適応策やアプローチについては、p.12のコラム「適応策とは、その限界とは」を参照)

こうした対策は今日、世界中のあらゆる場所で行われている。例えば、冷房ソリューションとしてよく利用されているのがエアコンである。暑熱ストレスの影響を受けやすい地域では、主に高所得層の多い場所で、推定1億台のエアコンが約3億4,000万人の人々を熱中症から守っている。更に一部地域では他の暑熱対策も行われている。例えばドバイでは集中型地域冷房システムによって住宅や商業ビルに冷気が供給され、スペインでは地域密着型の熱波対策警報システムが導入されている¹⁷。

コラム

寒波についてはどうか

温暖化が進むにつれて、凍りつくような寒さに襲われる日は減少すると予想されている。このことは一部には利益をもたらすかもしれない。寒さによって病気や死亡のリスクが高まり、農作物が傷み、交通網が麻痺するためである。例えば、寒さが原因で亡くなる人は人口10万人につき70人近くに達しているという推計があるが、気温が氷点下になる日が少なくなるにつれ、この数字は減

少していくであろう¹。もちろん凍てつくように寒い日が減少すると、氷河からの淡水供給量が減少したり、永久凍土が融解したりするというようなリスクも発生する²。

本稿の分析で平均気温が0℃を下回る日、すなわち氷点下の日が1年に1カ月以上ある地域の多くが、既に対応策を実施している。例えばカナダのモントリオールでは、暖房付きのトンネルや地下鉄、除雪システム、長時間の寒さに耐えられるように設計された送電網などが整備されている³。また個人住宅にも厚い断熱材と効果的な暖房が備えられて

本稿の分析によると、2050年までに気温が2℃上昇すると、現時点で気温が氷点下になる日のある土地の約3%でそうした日がなくなる見通しである。気温が氷点下になる日がある地域で暮らす人の数は、予想される人口の増加幅を加味しても、現在の12億人から20%減少して約10億人になると考えられる。更に気温が氷点下になる日がなくなる場所でも、そうした日にさらされる期間が短くなり、暖房費は世界平均で25-35%減少すると予想される。

¹ Qi Zhao et al. 「Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: A three-stage modelling study」, Lancet, 2021年7月。

² 「Climate Change 2021: The Physical Science Basis」、気候変動に関する政府間パネル第6時評価報告書に対する第1作業部会の寄稿、ケンブリッジ大学出版局、2021年8月、「IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate」、気候変動に関する政府間パネル、ケンブリッジ大学出版会、2019年。

³ 「After 1998: A more robust grid」、Hydro-Québec、1998年2月、「Montréal's Underground City: How to explore the network of corridors」モントリオール観光局、2024年10月、「Snow removal」モントリオール市、閲覧日2025年11月21日および「About Énergir urban heating and cooling」、Énergir Chaleur et Climatisation Urbaines、閲覧日2025年11月21日。

適応策とは、その限界とは

本稿でいう「適応」とは、現時点で発生している異常気象と、気候変動によって発生すると考えられる異常気象の両方から身を守る対策を指す¹。それは異常気象が発生してからその被害に対処する災害対応策や復旧策、更に保険のような経済的損失を転嫁するリスク移転策とは別のものである。「適応」という用語は研究文献では「災害耐性」と同じ意味で用いられることもあるが、「災害耐性」はより広い意味を有し、ショックを吸収し、調整し、回復する能力を表す言葉としても使われる²。

適応策を実施すると脆弱性や被災の危険度が下がり、リスクが軽減される³。それを実現するには、的を絞って適応プロジェクトを実施する手法と、幅広い投資案件に災害耐性強化策を盛り込むという手法、例えばインフラプロジェクトで洪水に強い建物を新設するという手法の両方を採用することができる。

災害に対する脆弱性は、防潮堤の建設、灌漑システムの設置、作業スケジュールの変更など、物理、行動、運営面の措置を通じて軽減できる。例えば住宅を計画的に移転したり、新規開発の区画設定を慎重に行う形で住民や資産を危険から遠ざけたりすることによって、被害にあう危険性を減らすことができる⁴。観光のような経済活動を被災リスクの高い地域からそれ以外の地域に分散させる、営農場所をより適性の高い地域に移動させる、気候の変化に伴って生まれる新たな機会を活用するといった手法からも、同様の効果もたらされるであろう。

適応策は特定セクターに的を絞って実施することが可能で、例えば食品サプライチェーンにおけるコールドチェーン物流の活用、鉱業における砂防を通じた洪水対策などがこれに相当する。あるいはセクターを横断する形で幅広い保護策を実施することも可能で、そうした横断的対策の例としては堤防、水害対策、エアコンなどがあげられる。

本稿ではそうした一般に使用されている分野横断的適応策のうち、多様な経済圏で活

用可能なもの20種類を重点的に取り上げている。そうした対策の大半は災害に対する脆弱性の軽減を主眼としたもので、対象は幅広いが、もちろんあらゆる影響を除去してくれるわけではない。一部の災害、場所の種類、被害カテゴリー、例えば小島嶼国とその生物多様性、サプライチェーンに対する影響などについては、本稿の範囲外の適応策が必要となる場合がある⁵。

適応策の評価は多くの場合、費用便益分析を通じて行われる。便益は一般に損害回避額として数値化されるが、収量の増加や食料安全保障の改善といった副次的便益をもたらす対策も多い。本稿の分析では損害回避額だけに基づいて便益費用比率を評価している。しかし他の研究の中には、それ以外に別種の便益も勘案して評価を行っているものがあるかもしれない⁶。

適応策の多くは、便益が費用を上回っているという点で費用対効果が高いにもかかわらず、一部対応策には適応不全が発生するリスクがある。つまり保護の強化に取り組んだ結果、思わぬところに新たな脆弱性が生

¹ IPCCは適応という用語を「現時点までの気候や今後予想される気候、およびその影響に適応することで、被害の緩和や有益な機会の活用を可能にするプロセス」と定義している。「用語集」については「Climate Change 2022:Impacts, Adaptation and Vulnerability」、気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書に対する第2作業部会の寄稿、ケンブリッジ大学出版局、2022年を参照のこと。

² Sara Mehryar「What is the difference between climate change adaptation and resilience」、グランサム気候変動・環境研究所、2022年9月。

³ 別の著名な研究グループは、適応策を実施するとどのような仕組みでリスクが軽減されるのかを説明する枠組みを開発している。詳細は例えば2023年12月の国連気候変動会議で採択された、地球規模の気候災害耐性強化策に関するEmirates Framework for Global Climate Resilience(UAE Framework)、気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書に対する第2作業部会の寄稿「Climate Change 2022:Impacts, Adaptation, and Vulnerability」、ケンブリッジ大学出版局、2022年、「Climate bonds resilience taxonomy」、気候債券イニシアチブ、2025年5月を参照のこと。

⁴ 「被災の危険性を減らす」という考え方は、変革的適応という概念と一致する。変革的適応とは気候変動に対する脆弱性の根本原因を軽減する対策を指す。詳細は「Decision-making options for managing risk」(「Climate Change 2022:Impacts, Adaptation and Vulnerability」、気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書に対する第2作業部会の寄稿に所収)、ケンブリッジ大学出版局、2022年、「Cities, settlements and key infrastructure」(「Climate Change 2022:Impacts, Adaptation and Vulnerability」、気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書に対する第2作業部会の寄稿に所収)、ケンブリッジ大学出版局、2022年を参照のこと。

⁵ 様々な研究が示す通り、災害の影響はサプライチェーンを通じて段階的に拡大する可能性があり、その問題に対応するための実用的な適応策が存在する。例えば企業レベルの調査で示されたところによると、サプライヤーの拠点が猛暑が発生するとサプライヤーの生産性が低下し、生産州で干ばつが発生すると州間の輸出と川下の食品生産量が減少し、2011年のタイのような洪水が発生すると自動車やエレクトロニクスのネットワークが混乱する可能性がある。サプライチェーンの耐性は本稿で分析した20種類の適応策によって確立可能だが、対策は他にも存在する。例えば複数調達先の確保、在庫バッファの維持と戦略的備蓄、キャパシティの確保、柔軟な契約の採用、物流計画の改善、災害発生時の危険性がより低い地域への施設移転といった戦略がこれに相当する。詳細はNora M. C.PankratzおよびChristoph M. Schiller「Climate change and adaptation in global supply-chain networks」、The Review of Financial Studies、2024年、第37巻6号、Hyungsun YimおよびSandy Dall'erba「Impact of extreme weather events on the U.S. domestic supply chain of food manufacturing」、Proceedings of the National Academy of Sciences、2025年10月、第122巻41号、Masahiko HaraguchiおよびUpmanu Lall「Flood risks and impacts:A case study of Thailand's floods in 2011 and research questions for supply chain decision making」International Journal of Disaster Risk Reduction、2015年第14巻第3部、Ying Guo et al.「Supply chain resilience:A review from the inventory management perspective」Fundamental Research 2025年3月号、第5巻、第2号を参照。

⁶ Harald Heubaum et al.「The triple dividend of building climate resilience」、世界資源研究所、第1.0版、2022年11月。

適応策とは、その限界とは

まれ、悪影響がおよぶ場合があるということである⁷。気候予測に不確実な部分があることも、適応不全の一因となり得る。例えば干ばつの発生が予測されたために灌漑システムを整備したのに、実際には発生せず、設備が過剰になる場合がこれにあたる⁸。したがって適応策の実施にあたってはトレードオ

フを慎重に検討し、リスクを効果的に管理しなければならない。

適応策にも克服可能な制約と克服不能な制約がある。克服可能な制約は財政的あるいは物流的な障壁が適応策の実施に影響をおよぼすために生じ、克服不能な制約は災害が防護能力を超える場合に生じる。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)によると、1.5°Cシナリオのもとでは小島嶼群が淡水不足によって克服不能な制約に直面する可能

性があり、2°Cシナリオのもとでは東アフリカでサンゴ礁の白化現象が広範囲に発生する可能性がある⁹。気温上昇が2°Cを超えると、この2つの制約がいずれも大きくなり、世界中の生物多様性、水の安全保障、沿岸の生活が脅かされることになる¹⁰。IPCCは更に、地域の生物多様性が失われ、種の絶滅が起きる危険性は2°Cシナリオより1.5°Cシナリオの方が有意に低いと明言している¹¹。

⁷ 適応不全の例としては、流域レベルでの取水可能量や需要の競合を考慮せずに灌漑を拡大して水不足がかえって悪化する、ある地域に防潮堤や洪水防御施設を建設したために、思いもよらず洪水が別の場所に押し寄せるといった事例があげられる。更に、エネルギー使用や冷媒からの温室効果ガス排出に対処しないことがエアコンへの依存度拡大の一因となっていることも、その一例と考えられる。エアコンはCO₂換算で推定年間19億5,000万トンの温室効果ガス(世界全体の3.94%)を排出している。詳細は Jason Woods et al. 「Humidity's impact on greenhouse gas emissions from air conditioning」、Joule、2022年4月、第6巻4号を参照。

⁸ 気候予測には大きな不確実性が伴うため、不確実性が高い地域における適応戦略は、単一の予測結果に基づいて対策を最適化するというものではなく、対策に柔軟性、可逆性、長期的調整能力を持たせることを優先したものとすべきである。一つの気候変動シナリオに過剰に力を注ぐと、干ばつの発生に備えて恒久的なインフラを建設する場合のように、状況が予想と異なる展開を見せるとかえって長期的に脆弱性が増大してしまう可能性がある。詳細は Stéphane Hallegatte 「Strategies to adapt to an uncertain climate change」、Global Environmental Change、2009年5月、第19巻2号を参照のこと。気候モデリングで不確実性に対処する方法の詳細については付録の技術資料を参照されたい。

⁹ 詳細は Small islands 「Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability」、気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書に対する第2作業部会の寄稿)、ケンブリッジ大学出版局、2022年、「Key risks across sectors and regions」(「Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability」、気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書に対する第2作業部会の寄稿の表16.3、ケンブリッジ大学出版局、2022年を参照のこと。

¹⁰ 「Key risks across sectors and regions」(「Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability」、気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書に対する第2作業部会の寄稿の表16.3)、ケンブリッジ大学出版局、2022年。

¹¹ Ove Hoegh-Guldberg, et al. 「Impacts of 1.5 °C Global Warming on Natural and Human Systems」(「Global Warming of 1.5 °C」第3章)、気候変動に関する政府間パネル、2018年。

稼働中の適応策

オーストラリアにおける送電線の地中化を通じた森林火災リスクの軽減

2009年、「暗黒の土曜日」と呼ばれる森林火災がオーストラリアのビクトリア州を襲い、173人が死亡、広大な面積が焼失した。調査の結果、消失が激しかった場所の多くで送電線が火元となっていたことが判明した。これを受けて、同州は2011年に「Powerline Bushfire Safety Program」を立ち上げた。その目的は、暑くて風の強い日でも送電線から出火しないようにすることにあった。

ビクトリア州は最もリスクの高い区間で優先的に送電線の地中化を行った。作業員たちが沿道に溝を掘り、被覆のない架空電線の代わりに地下ケーブルを敷設したので、電線が木の枝とぶつかったり風になびいたりすることはなくなった。電力会社が地中化した送電線の総延長は500キロ以上に達している。

地中化は非常に効果的だが、送電線すべてに適用すると費用がかかりすぎる。そこで残りの架空電線について、同州は即効性のある遮断装置を追加設置し、危険性の高い部分を絶縁して放電リスクを軽減した。送電線を地中化し、架空送電線を絶縁することで、処置済みの箇所では発火の確率を推定98%以上軽減することができた。

ビクトリア州は送電網の処置だけでなく、計画的に火入れを行って、植生管理と可燃物の削減に努めている。こうした対策を組み合わせることで、送電線に起因する大規模火災の発生確率を抑制し、万が一火災が発生した場合でも、その火力と延焼を抑えることができる¹⁸。



稼働中の適応策

インドにおける命を守るための暑熱対策計画の実施

アーメダバードはインド西部にある人口700万人の都市だが、2010年5月に致命的熱波に襲われ、1,300人以上が死亡した。そこで同市は2013年に南アジア初の都市暑熱健康行動計画を立ち上げた。具体的には色分けした早期警報システムを導入して国の予報と連動させ、それに応じて自治体から明確なメッセージを発信、特別冷房室や水分補給室を開放し、病院の準備態勢を整え、主要拠点に優先的に電力を供給するといった対策を実施している。

更に最近では低コストの「クールルーフ」で室内の暑さを軽減する取り組みを行っている。2017年と2018年の試験的プロジェクトでは、約3,000世帯の低所得世帯の屋根に断熱効果のある塗料を塗布し、2020年には不法居住者入植地で暮らす約15,000世帯と公共建築1,000カ所の屋根を塗装する計画を発表した。高温が続くと市民が疲弊するため、同市はバス停に冷房を設置する、利用者の多い待合所に日光を反射する屋根を設置するといった改良を加えている¹⁹。



稼働中の適応策

ブラジルにおけるマングローブの修復を通じた洪水抑制

リオデジャネイロ州グアナバラ湾では洪水が頻発し、海岸の浸食が進んで、水辺に建つ家屋やインフラが脅かされている。こうした状況を打破するため、Guardiões do MarやInstituto Mar Urbanoといった地元団体が2021年にマングローブ林の修復に着手し、植生を利用した緩衝地帯を設けて高潮の遅延と海岸の安定化を図り、周辺住民の暮らしと資産を守る取り組みに乗り出した。

作業員たちは2024年までに12ヘクタールの敷地に3万本以上のマングローブの苗木を植え、湾内では過去10年以上で最大の地域主導の取り組みとなった。その後の経過観察によると、苗木の約90%が順調に成長して樹高4メートルに達し、一時期は激しい浸食がみられた海岸線沿いに広がっている。その効果が試されるような大規模沿岸洪水はまだ発生していないが、同様の環境に関する研究によって、健全で成熟したマングローブは波のエネルギーを軽減し、土砂を安定させ、浸食を抑制し、沿岸地域を洪水から守る役割を果たすことが示されている²⁰。



本稿の調査対象となった適応策がもたらす便益は、回避できた経済的損失の額という形で測定することができるが、世界平均で1.5倍以上、実施費用を上回っている²¹。また対策の多くが損失回避以外の利益をもたらす可能性もある。例えば灌漑を行うと干ばつによる被害が防げるだけでなく、作物の収量が増えるし、都市緑化を進めれば日陰ができて涼しくなるだけでなく、都市生活の質が高まるという効果も期待できる²²。

各対策が提供できる保護の程度は様々である。中には対象となる災害に対して全面的な防御効果を発揮するものもある。例えば堤防や雨水排水ネットワークが適切に設計され、効果的に実施されていれば、日常生活や仕事が途切れることはなく、インフラや不動産は無傷で、農作物や家畜のような自然資本が防御対象となる災害の規模に影響されることはない。だがそれ以外の対策は、災害被害のかなりの部分を軽減できるが、被害を全面的に防ぐことはできない。例えばマングローブのような自然植生を利用した防御策は、高潮による被害を軽減することはできるが、洪水を全面的に防ぐことはできない²³。

災害耐性の格差は、低所得地域では高所得地域の3倍以上に上る

各々の都市、町、農村地域は、立地環境や地形、更には異常気象の詳細なパターン、そしてそれをどう経験し、そう適応していくかという点で、一つとして同じものはない。例えば暑熱ストレスは農村の零細農家で労働を困難にする一方で、高所得都市の冷房の効いたオフィスで働く労働者の生産性には影響をおよぼさない。すべての政治が現地に根ざしたものであるように、適応策もすべてその土地に固有のものである。

災害発生の危険性と災害に対する脆弱性の各地域における動態をグローバルに把握するため、本稿では世界を1平方キロ単位のピクセルに分割し、所得水準と都市化の程度に基づいて9つの人口集団に分類したp.18のコラム「本稿の調査手法」を参照)²⁴。次に、各集団のピクセルが、先進国なら高頻度で防御できる規模の各種異常気象にどの程度さらされているかを検証した。その上で、暑熱、森林火災、干ばつ、洪水など8種類の個別災害について、現状ではそうした災害から保護されている場所と、災害耐性に関する格差が残っている場所を特定した²⁵。暑熱ストレスと森林火災という2つの災害は慢性的なもので、発生の危険性がある場所では毎年発生している。一方、残りの6種類、すなわち沿岸洪水、河川洪水、豪雨による洪水、熱波、致命的酷暑、農業地域の干ばつは急性である。こうした災害は激甚だが発生頻度が低く、毎年発生するとは限らない。

本稿の調査手法

本稿では世界的な保護対策のニーズと適応費用を試算し、現時点と1.5℃シナリオ、2℃シナリオにおける異常気象の影響を考察している。各種試算によると、数十年単位でみた世界の平均地表温度は2030年頃までに産業革命以前の水準を1.5℃上回り、2050年頃までに上昇幅は2℃に達し、それ以降も更に上昇する見通しである¹。適応策の中には実施に10年以上かかるものもあるため、少なくとも2050年にかけて、世界の気温が2℃上昇するとしてニーズを予測するのが妥当であって、世界各国が排出削減に取り組んだとしても、それは変わらない²。こうした分析に基づき、本稿で1.5℃または2℃シナリオという場合、それぞれ2030年と2050年までにその気温に達するシナリオを念頭においている。

本稿の執筆者は気候学者ではないので、外部の気候モデルを使用して災害のパターンが世界的にどう変化するかを検討している。本稿のアプローチでは、気候変動に関する政府間パネルの第6次評価報告書(AR6)の大半で使用されている第6期結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)のモデルを、NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections(NEX-GDDP)を用いてダウンスケールしたものを用いている³。更にInter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project Phase 2b(ISIMIP 2b)とFathomのソースも活用している⁴。

気候モデリングは積極的に改良が加えられている分野で、将来的な排出量の動向、自然変動による長期的なトレンドの不明瞭さ、モデルが複雑な物理的プロセスを表現する方法の違いなど、不確実な部分が多数残っている。そうした部分に対処するため、本稿ではモデルのアンサンブルや複数年平均

の使用といった標準的手法を適用しているが、もちろんそうした手法では根本的な不確実性や複雑性に全面的に対処することはできない⁵。

本稿では災害の「発生範囲」を世界の人口とGDPのグリッド上に約1平方キロメートルの解像度でマッピングし、世界全体で1億3,000万ピクセルを作成している⁶。更にそれを所得水準と都市化によって9つの人口集団に分類し、適応策決定の地域的ダイナミクスを把握している。人口統計データと気候データの整合性を確保するため、温暖化のレベルをおおよその年数とリンクさせ、現行の排出動向とあわせる形で2020年までに1.1℃、2030年までに1.5℃、2050年までに2℃とした⁷。本稿ではそうした一般に使用されている分野横断的適応策のうち、多様な経済圏で活用可能なもの20種類を重点的に取り上げている。もちろん、災害、場所の類型、セクター、被害カテゴリーによっては、この範

¹ 本稿では25種類の現行軌道排出シナリオを、IPCC、NGFS、IEAが発表あるいは実施した政策に基づいて評価し、幅広い気候影響の試算を反映した。これらシナリオによると、ある年を中心とした20年間の平均値として気温上昇を測定し、産業革命以前の平均値と比較した場合、世界の気温が産業革命前の水準を1.5℃上回るのは2025年から2035年までの間のことになる。25種類のシナリオでは、2030年の気温が産業革命前の水準を1.45℃から1.55℃上回っている。IPCCのシナリオでは2050年までの気温上昇幅の中央値は2.0℃で、NGFSとIEAの最新シナリオでも2℃である。2100年までについて同じモデル一式によって試算した気温は、3.0℃(IPCCシナリオの平均、最大3.7℃)、2.9℃(NGFSとIEA現行政策)、2.5℃(IEA公表政策)である。IPCCとNGFSのシナリオは、現在発表済みの政策が維持されるという前提に基づいている。NGFSについては、国家の気候政策のうち、2024年3月時点で法制化され、支援制度が機能しているものが対象となっている。IPCCのシナリオの場合、具体的にどの政策が反映されているかはモデルによって異なる。一方、IEAの現行政策シナリオ(2025年)では、既に法律や規制という形で導入されている政策だけが検討され、政府がその意向を示している場合でも将来的に変更はないという想定に立っていて、新しいエネルギー技術の導入がどの程度のペースで進み、エネルギーシステムに統合されるかという点については慎重な見方がとられている。IEAの公表政策シナリオでは、法制化された政策だけでなく、正式に提案された政策やその他公式戦略文書で政策の方向性が示されているものも取り入れ、政策環境をより幅広く解釈したものが検討されている。詳細はIEA「World Energy Outlook 2025」(2025年11月)を参照のこと。

² 更に、現在実施中の対策の中には雨水排水ネットワークのように耐用年数が数十年におよぶものもあるため、災害が数十年後にどう変化している可能性があるかを検討し、将来的に高額な改修費用が発生しないよう気を配るべきである。

³ 使用したモデルはACCESS-CM2、ACCESS-ESM1-5、CNRM-ESM2-1、EC-Earth3、GFDL-ESM4、IPSL-CM6A-LR、MIROC6、MPI-ESM1-2-HR、MRI-ESM2-0、NorESM2-MMである。気候モデルのアンサンブル選択とダウンスケールリングの詳細については付録の技術資料を参照。詳細はVeronika Eyring et al.「Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization」、Geoscientific Model Development, 2018年3月、NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP-CMIP6)、NASA、2025年2月、NASA Earth Exchange、NASA Ames Research Centerを参照。

⁴ Global Flood Map、Fathom-Global 3.0、Fathom、2025年6月およびISIMIP2b、Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project、2025年6月。

⁵ 気候モデルの不確実性については、David Stainforth「Predicting Our Climate Future: What We Know, What We Don't Know, and What We Can't Know」、オックスフォード大学出版局、2023年を参照のこと。更に地球仮想エンジン(EVE)イニシアチブが立ち上げられた背景には、既存の気候モデルアンサンブルでは将来的な気候の挙動を適切に表現できないという前提があった。立ち上げの目的は、地球の気候をキロメートル単位で数十年にわたって予測する小規模アンサンブルをより粗い粒度の粗いアンサンブルと並置し、データ空間を継続的に拡大、品質管理、更新することにある。Bjorn Stevens et al.「Earth Virtualization Engines (EVE)」、Earth System Science Data、2024年4月参照。

⁶ 災害のモデリングは様々な解像度で実施しており、暑熱と森林火災は25キロメートル、干ばつは50キロメートル、洪水は1キロメートルとした。人口とGDPのデータベースを1平方キロメートルの解像度で構築し、被災の危険性をモデル化した。活用した情報源は以下の通りである。Matt Kummu、Maija Taka、Joseph H.A. Guillaume「Gridded global datasets for gross domestic product and Human Development Index over 1990–2015」、Scientific Data、2018年2月、Global Human Settlement Layer database、欧州連合、閲覧日2024年6月1日。人口集団の定義には、世界銀行が提供している所得層と都市化レベルに関する最新のしきい値を使用した。低所得地域は一人当たりGDPが4,000ドル未満、中所得地域は同4,000ドルから12,000ドル、高所得地域は同12,000ドル以上の地域。都市は人口密度が1平方キロ当たり1,500人以上で総人口が50,000人以上、町は人口密度が1平方キロ当たり300人以上、1,500人で総人口は5,000人以上、その他地域はすべて農村部とした。1平方キロ単位の人口予測については、国連「世界人口見通し」の中心出生率推計値に依拠し、国連「世界都市化見通し」(2018年)に記載された都市人口の割合に関する国別データを用いて農村部と都市部の人口増加率に差をつけた。GDP予測にはTobias Geiger et al.「Continuous national gross domestic product (GDP) time series for 195 countries: Past observations (1850–2005) harmonized with future projections according to the Shared Socioeconomic Pathways (2006–2100)」、Earth Systems Science Data、2018年4月、第10巻2号のSSP2予測を使用した。

干ばつが農作物の収量に及ぼす一次的影響(主に農村部に影響するが、時には近隣の町にもおよぶ)に重点をおいて分析を行っているため、干ばつ発生危険性の大きさを、その地域の農地として分類される各グリッドセルの割合に応じて拡大縮小している。農地の特定は、欧州宇宙機関(ESA)が主導する気候変動イニシアチブ(CCI)の2020年時点における解像度300メートルの植物機能型(PFT)データセットを用いて実施している。農地の割合(元のデータセットでは「GRASS-MAN」となっている)を1平方キロのグリッドにバイリニア補間した結果、世界の農地面積は推定で約21億ヘクタールとなった。同様に、森林火災は植生(樹木や草地)に覆われた場所では発生しない。地表が植生に覆われているか否かの判断には、干ばつと同じデータセットと方法を使用している。樹木の割合については、樹木に関する4つの植物機能型(PFT)を合算し、樹木全体の割合を求めた。草地に関するデータはGRASS-NAT PFTから採った。地表が灌木に覆われている割合は世界的にみるとごくわずかなので、ここには含めていない。

⁷ 世界の気候観測データによると、地球の気温は2020年までの10年間で、産業革命以前の水準に比べて1.1℃上昇している。2020年は本分析が開始された年で、本稿ではその年の気象を「現在」または「現時点」の気象条件と呼んでいる。(2015年から2024年までの10年間における最新推定値の平均は1850年から1900年までの世界気温より1.24℃上昇している。)いわゆる現行の政策シナリオはすべて、温暖化を所定の年を中心とする20年間の平均値として測定し、産業革命以前の平均値と比較した場合、数十年単位でみた世界の平均地表温度は2030年頃までに産業革命以前の水準を1.5℃上回り、2050年頃までに上昇幅は2℃に達するとしている。

本稿の調査手法

圏外の適応策が必要になる場合もある。本稿では災害、被災の危険性、適応費用の分析を2050年までしか行っていない。それ以降については、被災の危険性や温暖化のレベルが高くなると、ここで検討した適応策を実施するための費用が拡大する可能性がある。

現行支出の試算にあたっては、国別のエアコン所有率や保護対策が施されている海岸線の総延長といったデータを用い、暑熱、森林火災、干ばつ、洪水に関するこれら20種類の対策が現状でどの程度普及しているかを評価した⁸。その上で、そうした普及率に、防潮堤の1キロ当たりの費用や防潮堤の高さといった資本支出や運営費用などの標準的単価を乗じている⁹。単価については地域別区分を行って、9つの人口集団を横断する形

で状況や支払い能力の違いを反映し、資本支出については各対策の予想耐用年数に基づいて年率換算している。

人々を先進国の水準に即して災害から守るための適応費用を現在、1.5℃シナリオ、2℃シナリオについて試算するにあたっては、先進国の保護水準をベンチマークとして使用している。また保護の提供に最も適した適応策を評価するにあたっては、物理的な実現可能性と費用対効果を考慮し、それぞれの場所で最も適切な対策を特定している¹⁰。これらの考慮事項のいずれかが満たされない場合、保護策としての効果とその次に高いオプションを特定している。こうした評価は10地域とその中の9つの人口集団について実施した。もちろん現実には費用対効果が低い対策、すなわち直接的な便益費用比率が低い対策であっても、人々を保護する能力が高い場合、あるいはより広範な便益をもたらす場合があるため、各地域で採用される場合がある。

次に上記と同じ手法を用いて様々な温暖化レベルに関する費用を算出し、災害発生危険にさらされている人々の数や場所の面積に単価を乗じて適応費用の総額を見積もっている¹¹。先進国で確立された水準に即した保護策に必要な費用から現行支出を差し引いたものが、災害耐性格差の解消にかかる費用となる。

最後に、将来的に必要となりそうな適応支出を、考えられる2つの条件について試算している。一つは現行の保護水準が維持されると想定した場合、もう一つは今後の経済成長に合わせて適応支出が増加すると想定した場合である。どちらの場合も、分析は災害別に人口集団単位で行っている。

本稿で提示した知見は予測ではなく、様々な人口集団や地域の意思決定で参考情報になり得る叩き台的な分析である。詳細は付録の技術資料を参照されたい。

⁸ 本稿では最も保護効果の高い対策や費用が高い対策の現状の普及率に関するデータを、国単位、あるいは更に詳細な単位で収集することができた。対策によっては普及率のデータが入手できないものがある。そうしたものについては、同じ災害を対象とする他の適応策の普及率と同等と想定している。この種の想定にたった解決策は、合計しても現行の適応支出全体の10%程度と、ごくわずかにすぎない。

⁹ 工学関連の文献、学術研究、民間プロジェクトなど、幅広い情報源に基づく。

¹⁰ どのような地域的背景の違いによって人々が気候の影響をどのように受け、どのような適応策を決定するかが決まるのかという点を反映するため、本稿では9つの人口集団を現地状況の代わりに使用し、集団を横断する形で20種類の適応策の適合性を評価している。また各々の地域、人口集団、災害について、物理的な実現可能性（例えばマングローブで洪水を防げるのは特定の緯度のみ）、費用対効果（BCR、便益は年間平均損失回避額、費用は年間資本支出額および運営経費として測定）を考慮し、最も防御効果の高い対策を評価している。ある対策の費用対効果が高いとは、BCRが1.5を上回った場合をいう。費用対効果が高いと考えられる対策が複数特定された場合、採用可能な選択肢の中で最も高い保護効果を発揮する可能性があるものを検討した。

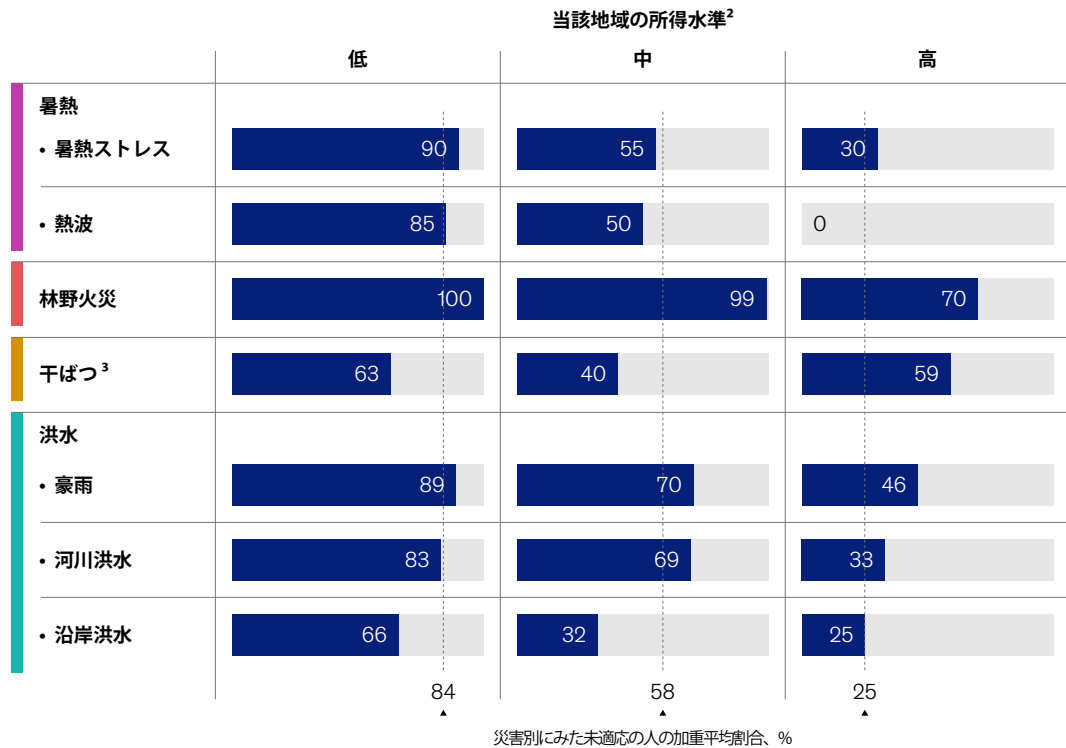
¹¹ 技術の進歩によって資本支出が減少する可能性があるが、例えば灌漑システムの価格が下がる場合などがこれに相当する。同様に運営費用も変わる可能性がある。エアコンのエネルギー効率を向上するかもしれないが、暑さがピークに達した時の電気料金が上昇することで、節減分が相殺されてしまう可能性がある。更に水不足によって灌漑用水のコストが上昇する可能性もある。こうした変化を鑑みると、2℃温暖化シナリオに適応するための費用は、費用低下要因だけを勘案すると約10%低下し、費用上昇要因、例えば土地絡みで発生する費用だけを見ると約10%上昇することになり、正味の影響は中央試算値の約5%以内にとどまった。

現在、低所得地域では、気候リスクへの適応が遅れている²⁶。実際、人口の約85%が、本稿で分析した4カテゴリーの災害への対策を十分に講じられていない。一方で、高所得地域では、同様の災害への対策が不十分な人は約25%にとどまる(図表1)。世界的にみると、資金面の制約、リスクに対する認識、リスク許容度、政治的意思、運用上の障壁といった様々な要因が、当該地域でどの程度の金額が適応策に投じられるかという点に影響を及ぼしている²⁷。

図表1

災害耐性の格差は所得水準によって異なり、低所得地域で最も大きい

災害耐性格差：現時点で異常気象に適応していない人々の割合¹, %



注記: 手法の詳細は付録の技術資料を参照のこと。災害耐性格差の評価は先進国で確立された保護基準に基づいている。この評価では本レポートで検討した20種の適応策のうち、各災害に対して最も防御効果が高い適応策を検討している。¹世界の気温観測データによると、地球の気温は2020年までの10年間で、産業革命以前の水準に比べて1.1℃上昇している。2020年は本分析が開始された年で、本レポートでは同年を「現在」と呼んでいる。

²暑熱、林野火災、干ばつについては所得水準による災害耐性の格差を国単位で、洪水については1平方キロメートル単位で測定。

³灌漑に適した作物を栽培している地域のみを対象としている。高所得地域で灌漑による干ばつからの保護水準が相対的に低いのは、遺伝子組み換えで作出された干ばつに強い作物を利用するなど、他の保護手段を用いているためである。

資料: Fathom Global Flood Map Fathom 3.0、2021年、マッキンゼー・グローバル・インスティテュートによる各種文献の分析

McKinsey & Company

災害耐性の格差は、暑熱対策に関するものが最も大きい。例えばインドの全人口の60%とナイジェリアの全人口の30%は、暑熱ストレスを毎年経験している場所で暮らしている。しかし両国ではエアコンがまだ普及しておらず、インドでは普及率が約10%、ナイジェリアでは同3%にとどまっている²⁸。一方、現在米国ではエアコンの普及率は90%を上回っており、暑熱ストレスを経験しているのは、本稿の定義によると全人口の4%にすぎない。全般的にみて、先進国は様々な適応策の普及率が比較的高い(図表2)²⁹。

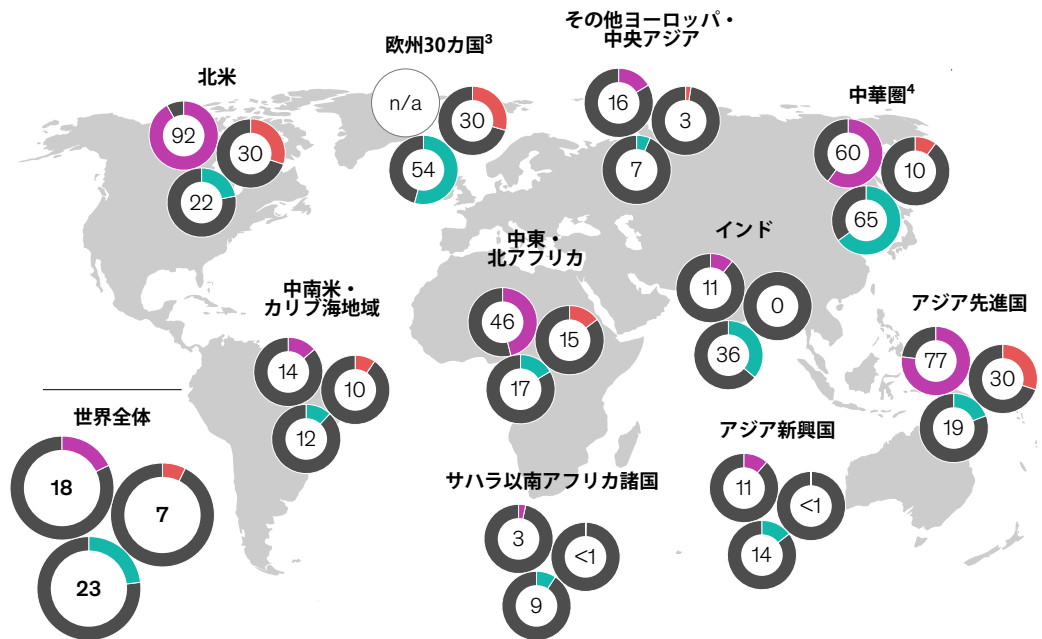
低所得層や低所得地域は、適応策への投資はおろか、住宅や食料といった基本的で差し迫ったニーズさえなかなか満たせない場合がある。しかし適応策の主な利点は将来的な費用の発生を回避できることにあるのであって、そうした費用は本当に発生するのかが否かが不確定で、災害が実際に発生してみないと明らかにならない性質のものである。様々な学術調査から、富裕層は保険に投資する傾向が高いことが分かっているが、これは気候変動対策に資金を費やす意欲の高さを示す指標のひとつである³⁰。

図表2

適応策の導入状況は地域によって異なり、新興国が最も低い

現在の異常気象に対する各地域の適応状況、一部適応策¹, %

- 暑熱ストレスにさらされる場所に住む人々のエアコン普及率
- 林野火災の危険にさらされている場所における地下送電線の長さが送電線の総延長全体に占める割合
- 沿岸洪水の危険にさらされている場所で保護対策を実施済みの海岸線の長さが海岸線の総延長に占める割合²



注記: 本分析は様々な文献に基づいている。各災害の定義については付録の技術資料を参照のこと。
¹世界の気温観測データによると、地球の気温は2020年までの10年間で、産業革命以前の水準に比べて1.1℃上昇している。2020年は本分析が開始された年で、本レポートでは同年を「現在」と呼んでいる。

²海岸線は、少なくとも100年に1度発生する高さ50cmの洪水に耐えることができれば、保護されているとみなしている。

³欧州30カ国とはEU加盟27カ国にノルウェー、スイス、英国を加えたもので、現時点で同地域には本レポートの定義でいう暑熱ストレスにさらされている人はいない。

⁴エアコンの普及率については、入手可能なデータのうち2020年に最も近い2018年のデータを用いて推計している。中華圏ではエアコンの普及率が急上昇しており、2025年には更に高まると予想されている。

資料: Fathom Global Flood Map Fathom 3.0, 2021年、マッキンゼー・グローバル・インスティテュート分析

全般的にみて、都市は所得水準に関わりなく、適応策の普及度が高い。例えば高所得都市で暮らす人々の5分の4は、防御策によって10年に一度の頻度で発生する50cm以上の河川洪水から守られている。こうした対策の恩恵を受けているのは、農村部の住民では35%にすぎない³¹。防潮堤のような適応策の多くは特定の土地区画を保護するものなので、人口密度の高い都市では一人当たりの適応費用が農村部より低くなる。また都市とその住民は、適応策に資金を投じる能力が農村部より高い可能性もある。

先進国の基準に即した保護策で現状の世界の全人口を災害から守るには、年間5,400億ドルの予算が必要

世界各国は現在、1,900億ドルもの予算を費やし、本稿の調査対象となった20種類の適応策のうち一つを用いて、国民を災害から守っており、総計12億人もの人々が何らかの形態の防御策の対象となっている³²。先進国で一般に確立されている基準に即して、現状で異常気象発生の危険性にさらされている場所すべてで適応策を実施しようとする、おそらく現状の3倍、すなわち年間5,400億ドルもの予算を費やして、現状で災害の危険性にさらされている41億人全員を災害から守る必要がある。したがって、災害耐性の格差を埋めるために必要な費用、すなわち現状で費やしている費用と先進国水準の対策を講じるための費用との差は3,500億ドルになる。この費用は低所得地域で最も高く、約2,000億ドルに達していて、これは中高所得地域の各々750億ドルの2.7倍に相当する(図表3)³³。

日本は海岸線が長く、降雨量が多いため、気候災害の影響を特に受けやすい。国土の5分の1が既に気候変動に由来する災害の危険にさらされており、人口でも同程度の人々が影響を受けている。本稿の調査によると、日本は現在、適応策に年間約20億ドル(約2,135億円³⁴)の予算を費やしている。災害の危険性にさらされている地域で暮らす2,000万人全員を先進国水準で保護するには、その約2倍の年間約40億ドル(約4,270億円)が必要となる。

どの所得層であれ、都市が現状の災害耐性に関する格差を埋めるために費やす予算の額は、災害によるGDPの目減り分に対する割合で見ると、町や農村部より少なく構わない。例えば高所得ではあるが現状では災害防御策がとられていない都市の場合、災害耐性に関する格差を埋めるための出費はGDPの0.3%ですむが、農村部では所得水準が高い場所でも0.8%の出費が必要になる。災害耐性格差は中低所得層になると更に大きくなり、農村部の災害耐性格差を解消するにはGDP比にして都市部より1.0から1.5パーセント多い予算が必要になる。

世界が適応策に費やしている年間1,900億ドルの予算の半分以上が、現状では暑熱災害、中でも暑熱ストレス対策に充当されている。しかし災害耐性に関する格差がいまだに最も大きいのが、低所得地域を暑さから守る対策である。この格差を解消するには約1,250億ドルの予算が必要になる。また中低所得地域における過度の降雨による洪水の対策には約400億ドル、全所得層における森林火災対策の格差解消には500億ドルの予算が必要になる。実際、森林火災は所得水準の高い都市で最も対策の進んでいない災害である。

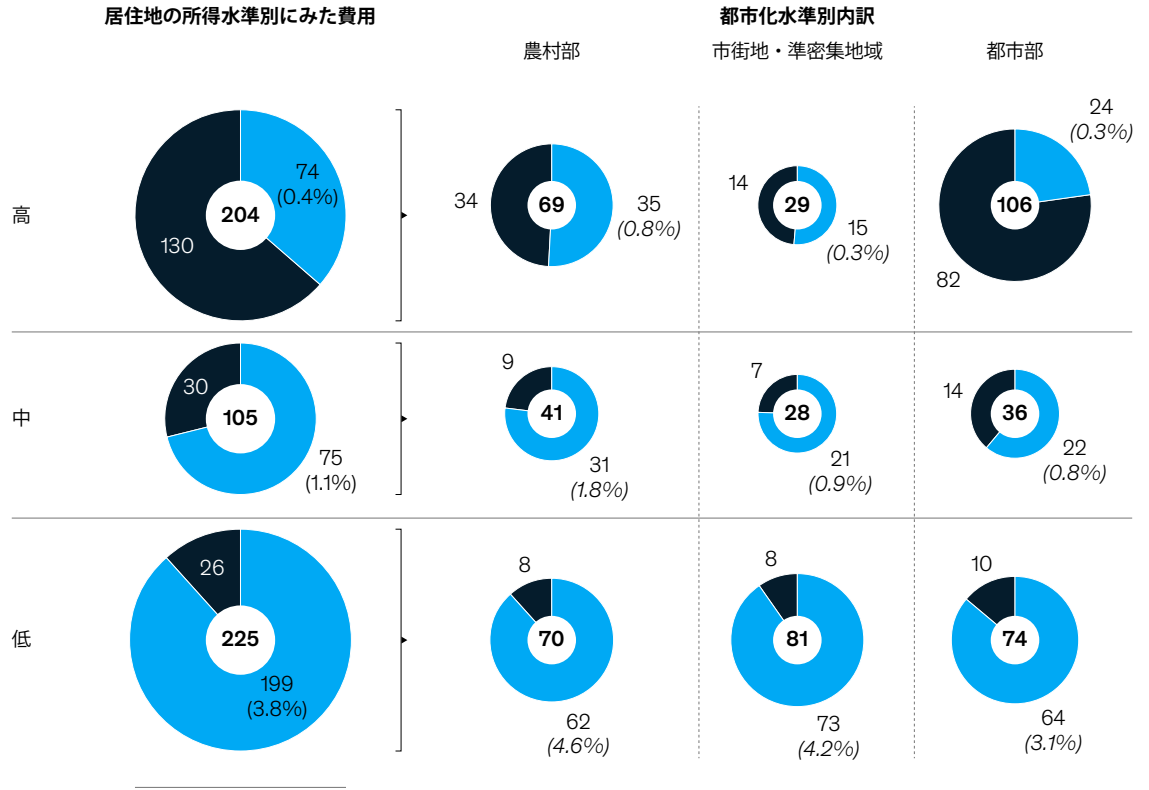
もちろん先進国の防御基準を世界各国に適用する場合、全適応策がどこでも実現可能というわけではないことには注意が必要である。個々の利害関係者は支出に関して意思決定を行う際、費用対効果や適応策の物理的な実現可能性についても考慮する。例えば、所得水準の低い農村部で防潮堤を設置する場合、その費用は損害回避額を大幅に上回るものになるかもしれない。しかしマングローブ植林のような対策なら、同水準の保護は望めないが、はるかに費用対効果が高い場合が多い。同様に、電気のきていない場所ではエアコンは物理的に不可能なので、自然の力を利用した冷房手法がより現実的な選択肢となる。本稿の試算では費用対効果と物理的な実現可能性をいずれも考慮対象としており、その評価は人口集団と地域別に行っている³⁵。また現実的に考えると、利害関係者が適応策に関する意思決定を行う際、他にも様々な事項を検討している可能性がある。

図表3

低所得地域の災害耐性格差を埋めるためにかかる費用は中高所得地域の2.7倍に達している

現在の異常気象への適応に必要な運営費用と償却資本支出の年間平均額¹、十億ドル（2020年ドル換算）

○の大きさ = 総費用、十億ドル ■ 現行支出額 ■ 災害耐性格差の解消にかかる費用²
 （危険にさらされている地域の2020年のGDPに占める費用の割合）



年間総費用
 ■ 3,490億ドル
 ■ 1,860億ドル

注記これは1平方キロメートルの区画を所得と都市化の度合いで分類した地理空間分析で、費用は暑熱、林野火災、干ばつ、洪水という4カテゴリーに適応するための20種の対策にかかるものである。年間平均費用は2020年から2050年までにかかるものを表している。本分析は以下情報源も含め、既存の確立された気候モデルと技法に依拠している。端数処理のため合計が100%にならない場合がある。

¹世界の気温観測データによると、地球の気温は2020年までの10年間で、産業革命以前の水準に比べて1.1℃上昇している。2020年は本分析が開始された年で、本レポートでは同年を「現在」と呼んでいる。

²災害耐性格差の評価は先進国で確立された保護基準に基づいている。

資料: Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6)、2021年、NASA NEX-GDDP、2021年、Fathom Global Flood Map Fathom 3.0、2021年、Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project Phase 2b (ISI-MIP2b)、2017年、Kummu、TakaおよびGuillaume、2018年、EU Global Human Settlement Layer、マッキンゼー・グローバル・インスティテュート分析



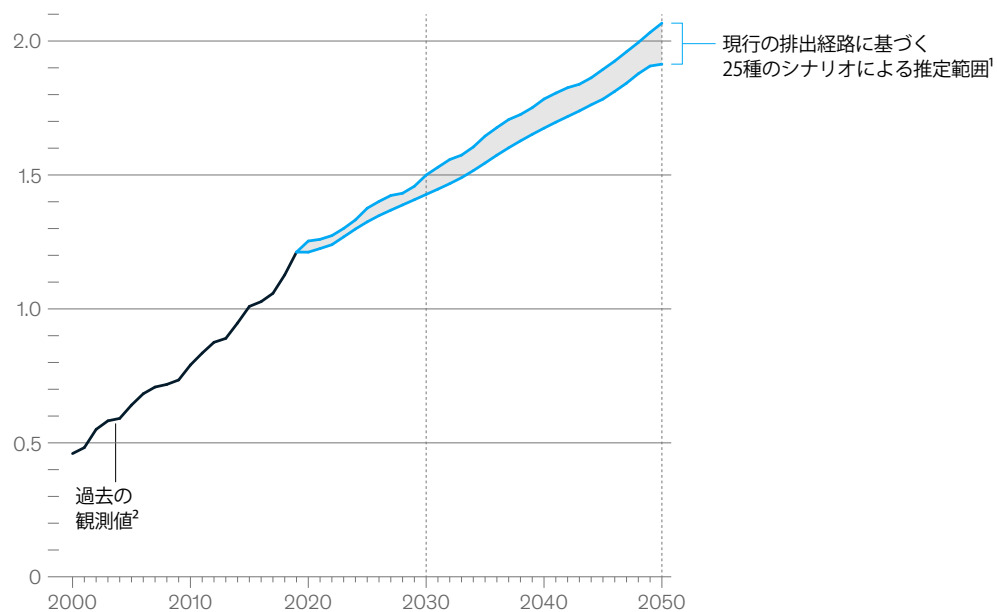
2°Cシナリオで先進国水準の適応策を実施するには、2050年までに年間1.2兆ドルが必要となる

温室効果ガス排出量が現行のペースを保った場合、地球の気温は上昇すると予想されている(図表4)。各種試算によると、数十年単位でみた世界の平均地表温度は2030年頃までに産業革命以前の水準より1.5°C上回り、2050年頃までに上昇幅は2°Cに達し、それ以降も更に上昇する見通しである³⁶。適応策の中には

図表4

現状の排出動向でいくと、2030年頃には産業革命以前の水準より1.5°C、2050年頃には2°C温暖化が進む可能性がある

産業革命前（1850-1900年の平均）との比較でみた気温の上昇幅、°C



注記: 現状の排出動向を基に試算したところ、2050年以降は温暖化が更に進行することが判明したが、それについては示していない。これらのシナリオでいくと2100年までに産業革命以前の水準を23°Cから3.7°C上回る温暖化が予想される。

¹ 範囲は現状の排出動向の下で、現在発表済みの施策、場合によっては実施済みの政策に基づいてモデル化した世界平均気温の動向を示したもの。範囲の形成にあたってモデル操作全体で50/パーセンタイル(中央値)の結果を使用しており、結果は経年変動を除いた長期的な温暖化傾向として示している。25種のシナリオとは以下を指す。

- ・ IPCC AR6データベースから抽出したもので、C5、C6、C7経路のうち50/パーセンタイルGSAI MAGICCv7.5変数を使用して現行政策の排出動向に対応するもの19種
- ・ NGFSフェーズ5データベース、現行政策シナリオ(CPS)からMAGICC7.5の50/パーセンタイルGSAIの結果を使用して抽出したものの4種
- ・ IEA World Energy Outlook 2025 Stated Policies Scenario(STEPS)とCurrent Policies Scenario(CPS)からMAGICC7気候モデルを通じてシナリオ排出動向を操作することで抽出したものの2種

² 過去の年平均地球表面温度の産業革命前水準に対する偏差はNOAAから入手し、年ごとの変動性/循環性を、対応年を中心とする11年間のローリング平均(当該年の5年前から5年後までの平均)を取ることで平滑化している。

資料: 米国海洋大気庁(NOAA Global Temp v6.0.0.202507)、金融システムグリーン化ネットワーク(NGFS Phase V)、国際応用システム分析研究所(IIASA hosted IPCC AR6 Scenario Explorer and Database)、国際エネルギー機関 World Energy Outlook 2025、マッキンゼー・グローバル・インスティテュート分析

実施に10年以上かかるものもあるため、少なくとも2050年にかけて、世界の気温が2℃上昇するとしてニーズを予測するのが妥当であって、世界各国が排出削減に取り組んだとしても、それは変わらない³⁷。したがって本稿で1.5℃または2℃シナリオという場合、それぞれ2030年と2050年までにその気温に達するシナリオを意味する。

現在、地球上の陸地の約40%で、先進国なら普通に防御できる程度の異常気象が発生している。例えばホーチミン市は沿岸洪水に見舞われ、アリゾナ州のフェニックスは暑熱ストレスにさらされている。

1.5℃シナリオでいくと、こうした災害の危険にさらされる場所が更に増える可能性がある。例えばアジア北部では熱波が、南米の一部では森林火災が新たに発生する可能性がある。現在災害の危険にさらされている場所でも、状況が深刻化する可能性や災害の発生頻度が高まる可能性がある。

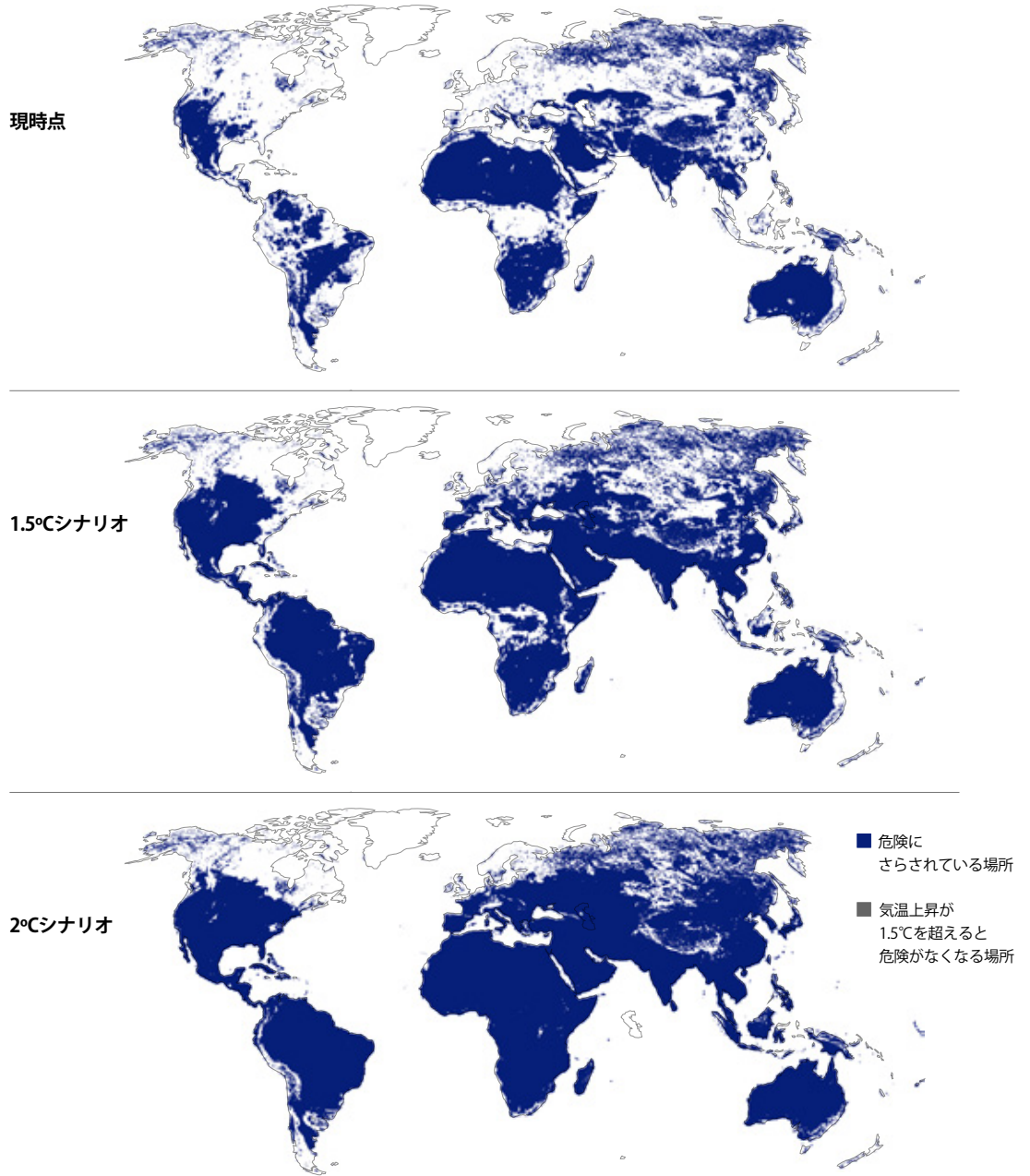
温室効果ガス排出量が現状の動向をたどると地球の気温が2℃上昇し、災害の発生が地理的に拡大し、一部で深刻度が増大するという傾向が継続し得る。例えば欧州では複数の都市が熱波にさらされ、サハラ以南アフリカ諸国の一部で新たに豪雨による洪水が発生する可能性がある。

豪雨による洪水や干ばつといった災害は世界の多くの地域で深刻さを増しているが、地域によっては限定的ながら深刻度が下がる可能性もある。また、氷点下となる日数は世界的に減少すると見込まれており、増加する地域はと考えられる。このように、災害は世界中で増加するものの、その影響は地域によって異なり、適応策のあり方も変わっていくであろう。災害は、あらゆる地域で発生するわけではなく、同じように発生するわけでもなく、一度に発生するわけでもない。

図表5

温暖化が進むにつれて災害の危険にさらされる場所が増える可能性がある

先進国基準¹に基づく暑熱、林野火災、干ばつ、洪水の危険にさらされている場所



注記: 暑熱、林野火災、干ばつ、洪水という4カテゴリーの災害に関するもの。本分析は以下情報源も含め、既存の確立された気候モデルと技法に依拠している。災害の定義は先進国で確立された保護基準に基づいて実施している。詳細は付録の技術資料を参照のこと。

¹ 世界の気温観測データによると、地球の気温は2020年までの10年間で、産業革命以前の水準に比べて1.1°C上昇している。2020年は本分析が開始された年で、本レポートでは同年を「現在」と呼んでいる。

資料: Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6)、2021年、NASA NEX-GDDP、2021年、Fathom Global Flood Map Fathom 3.0、2021年、Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project Phase 2b (ISIMIP2b)、2017年、マッキンゼー・グローバル・インスティテュート分析

2°Cシナリオのもとでは、先進国の基準で災害対策を行うと現状の6倍以上の費用が必要

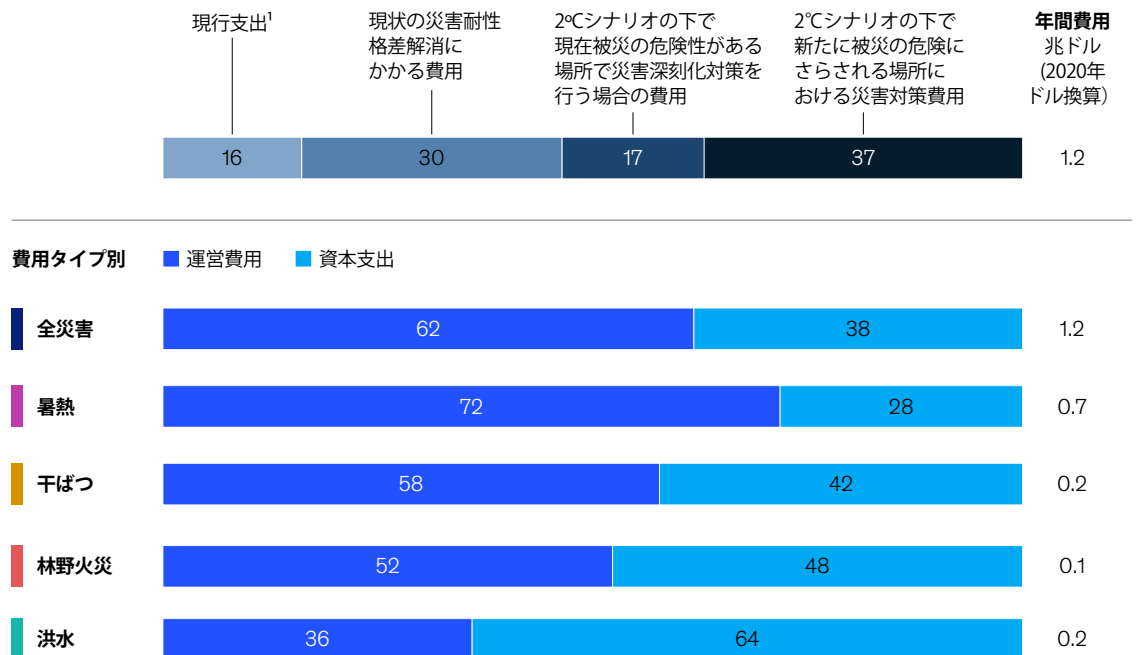
世界の気温が上昇し、人口が増加するにつれて、気候災害の影響を受ける場所や人は増加し、時には深刻度も増すと考えられる。2050年までに気温が2°C上昇すると想定した場合、気候災害の危険がある場所で暮らす人の数は、先進国の保護基準に則って考えると約89億人に達する。

その結果、先進国の基準で災害対策を行った場合の費用は上昇することになる。20種類の適応策を物理的に実現可能で費用対効果の高い方法で実施した場合、先進国の基準を満たす適応策にかかる年間費用は現在の6.2倍に増大する。総費用は現状保護策の5,400億ドルから、1.5°Cシナリオでは8,000億ドルに上昇し、2°Cシナリオでは2050年にかけて1.2兆ドルに達すると考えられる(図表6)³⁸。この金額は2050年までに気候災害の危険にさらされる地域におけるGDPの約0.8%に相当する。

図表6

2°Cシナリオの下で先進国基準に則って災害対策を行う場合、2050年までに年間1.2兆ドルの適応支出が必要になる

先進国基準に則って気候災害に適応するために必要な運営費用と資本支出償却分の年間平均額の分布、2020-2050年、%



注記: 費用は暑熱、干ばつ、林野火災、洪水という4カテゴリーの災害に対する20種の適応策に関するものである。災害耐性格差の評価は先進国で確立された保護基準に基づいている。本レポートの気候分析は現状の排出動向を想定しており、それに基づくと、数十年単位の平均気温に基づいて測定した場合、世界の平均気温は産業革命前比で今後約30年のうちに約2°C上昇する可能性がある。本分析は以下情報源も含め、既存の確立された気候モデルと技法に依拠している。

¹世界の気温観測データによると、地球の気温は2020年までの10年間で、産業革命以前の水準に比べて1.1°C上昇している。2020年は本分析が開始された年で、本レポートでは同年を「現在」と呼んでいる。

資料: Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6)、2021年、NASA NEX-GDDP、2021年、Fathom Global Flood Map Fathom 3.0、2021年、Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project Phase 2b (ISI-MIP2b)、2017年、Kummu、TakaおよびGuillaume、2018年、EU Global Human Settlement Layer、マッキンゼー・グローバル・インスティテュート分析

しかしこの数字は実際の支出を予測したものではない。結局のところ、先進国の基準で現状の災害から身を守るために必要な予算は5,400億ドルだが、世界各国が費やしている予算は計1,900億ドルでしかない。むしろこの計算は、意思決定者が将来的に適応策を検討する際の基準となるであろう。

適応策にかかる年間1.2兆ドルの費用の約40%は資本支出に充てられる。例えば堤防や遊水池といったインフラの建設、エアコンや扇風機といった耐久消費財の購入がこれに相当する。残りの60%は、インフラの保守、冷却技術を動かすための電気代、灌漑に用いる水の料金といった運営経費に費やされることになるであろう。

資本支出と運営経費の内訳は、災害の種類によって異なる。例えば洪水防御費用の3分の2近くは堤防のような構造物の建設に伴う資本支出であり、多額の先行投資を必要とする。一方、暑熱対策にかかる費用の約4分の3は、エアコンの運転などによって継続的に発生する運営経費である。

以上の費用は2050年にかけて気温が2℃上昇するとした場合の防御策だけにかかるものである。温暖化が更に進めば適応策の費用は更に上昇し、ここで検討した以上の適応策が必要になると思われる。

暑熱と干ばつ対策は2℃シナリオにおける先進国基準に即した適応費用の4分の3以上を占める

2℃シナリオのもとでは、適応策にかかる1.2兆ドルの予算のうち半分以上が暑熱対策に充てられ、エアコンのような人口の冷却ソリューションがその最大割合を占めることになるであろう³⁹。干ばつはその5分の1を占め、その中で最大割合となる約15%は灌漑システムの設置に関わるものになると考えられる。堤防や遊水池を建設して河川の洪水や豪雨による洪水を軽減する対策にも莫大な投資が必要となる(図表7)⁴⁰。適応策予算の構成は、1.5℃シナリオでもだいたい同様である。

暑熱ストレス対策には総費用の大半が費やされるが、海面上昇に由来する沿岸洪水の対策に費やされるのが総費用のほんのわずかの割合でしかないというのは意外に思われるかもしれない⁴¹。しかし2050年までに気温が2℃上昇するというシナリオでは、暑熱ストレスの危険にさらされる場所で暮らす人々は総人口の40%以上であるのに対し、沿岸洪水の危険にさらされる地域で暮らす人々は同1%弱である。ただし、たとえ地球の気温が横ばいで推移したとしても、海面の上昇は続くので、この割合は時が経つにつれて上昇する可能性がある⁴²。

どのような対策を実施するかという観点でみると、費用の半分以上が空調設備の導入、建物や設備ごとの浸水対策、農作物の日よけ対策といった個人や企業が主体となって実施する民間の取り組みに充てられる。約30%は、防潮堤、堤防、マングローブ林、早期警報システムといった公共財への投資に、残りの20%は灌漑など、民間主導または公的プログラムを通じて実施可能な対策に割り当てられる。

2℃シナリオのもとでは、日本がとるべき適応策の費用は年間70億ドルを上回る可能性がある。そのおよそ50%は、防潮堤、雨水排水、堤防といった洪水対策に充てられることになるであろう。費用がこれほど上昇するのは、災害がより広範囲に拡大し、深刻度が増すためである。日本の人口の95%近くが2050年までに1つ以上の気候災害にあうと予測されている。具体的に述べると、例えば沿岸洪水が激甚化し、地域によっては洪水時の水深が15-20cmも増加して、防潮堤の設置費用が上昇すると見込まれている。

その対策の実施にあたっては、慎重に計画を立てて適応不全を避ける必要がある。具体例をあげると、ある特定地域に防潮堤や洪水防御施設を建設すると、思いもよらず別の場所に洪水が押し寄せる可能性がある。灌漑の規模を拡大する際は流域レベルで取水可能量と水利用の競合に関して検討する必要があるし、エアコンを導入する場合はエネルギー使用と冷媒に関わる排出量が有意に増加する可能性があるため、注意しなければならない⁴³。

2℃シナリオのもとでは、適応策のもたらす便益は費用の約7倍に達する可能性がある

災害と同様、適応策もすべて同じというわけにはいかない。20種類の対策は費用、便益、保護水準がそれぞれ異なるため、投資の選択肢も様々である(図表8)⁴⁷。

暑熱対策は様々な手法があるものの好例である。例えばエアコンは、電気が使えて設置可能な場所では暑熱による被害をほぼなくし、屋内労働者を保護することができる。便益費用比率 (BCR: Benefit-Cost Ratio) はおよそ3から5である。一方、扇風機は保護性能こそ劣るが、エアコンよりはるかに安価なため、BCRは高い。同様に、屋根に白色塗料を塗布するという対策もエアコンよりBCRが高い。保護性能は半以下だが、費用もはるかに安い。

森林火災の適応策については、1種類の適応策で火災を完全に防ぐことはできない。送電線を埋設すると送電線の放電による発火リスクは抑えられるが、高額な資本支出が必要になる。一方、可燃物の管理を行うと延焼を抑制できるが、継続的な維持管理が必要になるため、BCRは送電線の埋設とほぼ同等になる。

洪水対策用の防潮堤や遊水池、干ばつ対策用の灌漑システムといった構造物を用いる対策は、効果的に実施されれば、防御対象となる災害の強度とその影響分を上限として、住民を保護することができる。BCRを左右するのは主として建設と維持にかかる相対的費用である。

上記のBCRは災害の危険にさらされている場所における対策全体の平均値で、実際の数字は地域によって大幅に異なる可能性があるが、特定の場所における適応計画を立てるには必要な検討事項である。例えば都市部は経済活動が集中しているため、防潮堤を設けようとするBCRが10を上回るが、農村部に防潮堤を築く場合は、経済活動が都市部より少ないのでBCRが1.5を下回る。

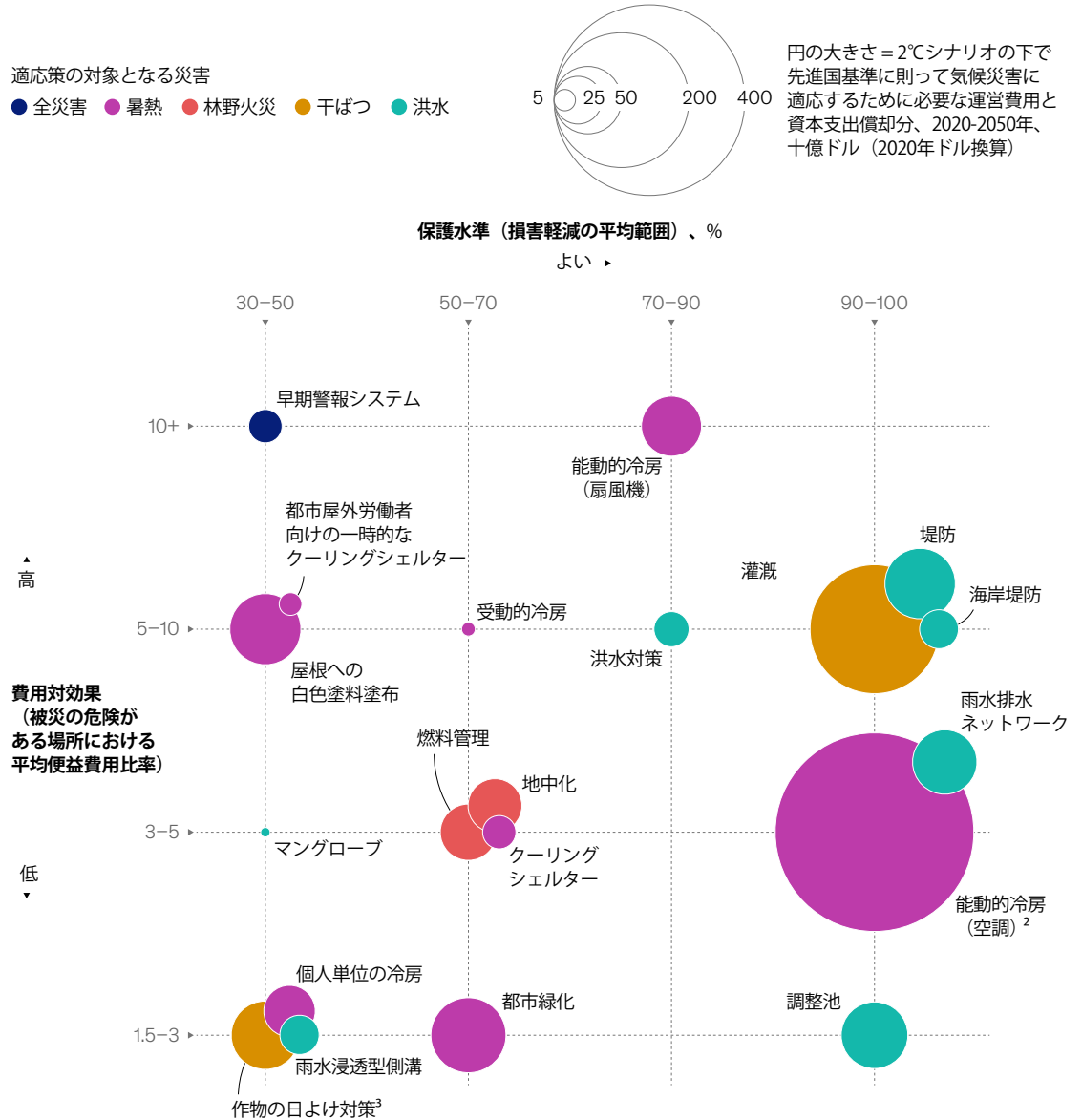
対策全体を横断的に見ると、適応費用の80%以上が、BCRが平均で3倍を上回っている対策に振り向けられることになる。更に合算でみると、これら適応策の平均BCRは2℃シナリオでは7に達する可能性がある。ちなみに1.5℃シナリオの場合の平均BCRは4、現状の気候を維持した場合はおよそ3である。災害が深刻化するにつれて適応策の費用は上昇するが、そのスピードは損害回避額の増加より緩やかであることが多い。例えば、エアコンは暑熱ストレスの激化に伴って、更には保護対象となる人口の増加に伴って、冷却能力や稼働日数を拡大する必要がある。しかしその費用の増加スピードは、少なくとも気温が2℃上昇するまでは、便益の増加スピードよりも緩やかになると考えられる。(p.12のコラム「適応策とは、その限界とは」を参照)⁴⁸。日本では適応費用の75%以上が、BCRが3以上の対策に充てられることになる。

もちろんこれら20種類の対策は、あらゆる災害、あらゆる影響、あらゆる場所を保護するものではない。例えば一時的な冷却シェルターは熱波にさらされる地域で働く都市部の屋外労働者には役立つかもしれないが、農業その他セクターは職場が地理的に分散していて利用が困難であることから、労働者を保護するのは難しいといえるかもしれない。暑熱ストレスと熱波の両方にさらされる地域の屋外労働者については、ここで説明した以外の対策を検討する必要があるかもしれない。例えば労働時間の変更、定期的な休憩、適切な水分補給の維持といった行動面での適応策、農業や鉱業のような仕事で可能なら空調設備付きの機器類を使用するなど、他産業と異なる対策の活用が考えられる⁴⁹。更に、小島嶼開発途上国のように2℃以上のシナリオでは、適応の限界に直面する国も出てくる可能性がある。これはリスクの上昇幅が対策の効果を上回り、脆弱性の軽減策ではとりわけその傾向が顕著なためである(適応の限界に関する議論については、p.12のコラム「適応策とは、その限界とは」を参照)。

図表8

適応策の費用対効果や保護水準は様々である

本レポートで検討した20種の適応策の2°Cシナリオにおける費用対効果と保護水準¹



注記: 本分析は現状の排出動向を想定しており、それに基づく世界の平均気温は産業革命前比で今後約30年のうちに約2°C上昇する見込み（数十年単位の平均気温に基づいて測定）。
¹被害軽減率とは、ある適応策が最も活用可能なユースケースにおいて、災害による被害をどの程度効果的に軽減できるかを示す。便益は当該適応策を実施することで回避できる損害の年間予想額として、費用は同適応策の資本支出と運営費用の年額として測定する。
²能動的冷房にかかる費用は現時点で最も効果的な暑さ対策のひとつであるエアコンを使用して評価している。ヒートポンプ、蒸発冷却器、扇風機といった対策もあるが、まだ普及率が低いか、あるいは効果が低い。³本レポートの試算では、作物の日よけ対策にかかる費用の80%以上は干ばつ対策に、残りの費用は暑熱ストレス対策にかかる。
 資料: Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6)、2021年、NASA NEX-GDDP、2021年、Fathom Global Flood Map Fathom 3.0、2021年、Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project Phase 2b (ISI-MIP2b)、2017年、Kummu、TakaおよびGuillaume、2018年、EU Global Human Settlement Layer、マッキンゼー・グローバル・インスティテュート分析

適応策の費用は、災害の発生場所が拡大し、時に深刻化することで上昇する

トロント、ワルシャワ、京都といった都市は、現状では本稿の定義に基づく4カテゴリーの災害の危険性にさらされていないが、気温が2℃上昇する頃にはさらされる可能性がある⁵⁰。同時に、現状より深刻な災害に見舞われる場所も出てくるであろう。例えば暑熱ストレスの平均持続期間が現在の12週間未満から、気温が2℃上昇すると約16週間に延び、エアコンの運転時間が長くなるため、電力網の需要が増加し、運転費用が増加する可能性がある。

これら要因を合わせると、先進国で確立された基準を守るための年間費用が現行の5,400億ドルから2℃シナリオになるとなせ1.2兆ドルに増加するのかが説明できる。この増加分の約3分の2は新たに危険にさらされる地域の人々の保護に充てられ、残りは災害の深刻化対策に充てられる(詳細については、p.36のコラム「災害パターンの深化」を参照)。

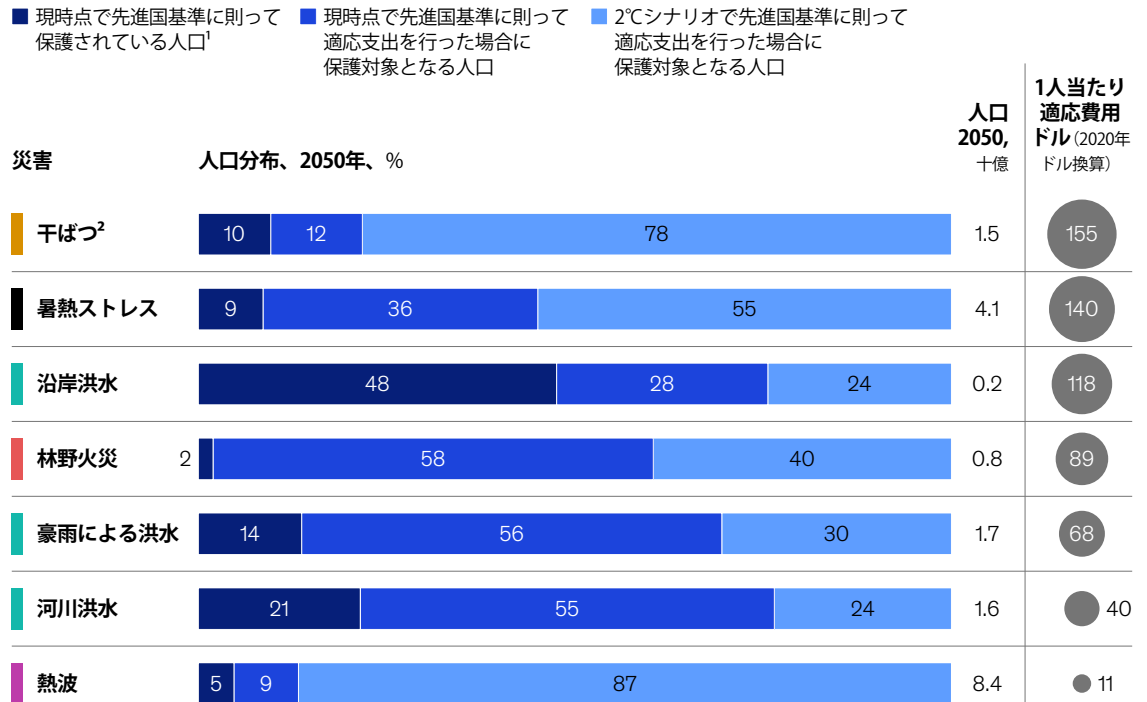
個別災害のレベルでみると、一人当たり適応費用が最も高いのは暑熱ストレス、干ばつ、沿岸洪水である。2℃シナリオでは、先進国の基準に則って保護策を提供するという事は、エアコンの設置や屋根への白色塗料塗布、灌漑や農作物の遮光、防潮堤や洪水防止といった対策を通じて、約41億人を暑熱ストレスから、15億人を干ばつから、2億人を沿岸洪水から保護することを意味する(図表9)。保護が必要な人の数が現在と比べて最も増加するのは暑熱ストレスと干ばつで、それぞれ22億人と11億人増えると予想されている。その一方で、高さ50cm以上の100年に一度規模の沿岸洪水にさらされる危険性のある場所で暮らす人の数は4,000万人増える可能性がある。しかしそれらの人々全員についてみると、そうした災害にあふ頻度は平均で8倍になる可能性がある。

熱波対策については、先進国の基準に即して適応策を実施するために必要な費用は一人当たりわずか10ドル程度である。熱波とはその地域の平均気温を著しく上回る高温が7日以上継続する場合を指すが、その温度は場所によって異なり、例えばフランスのニースでは1日の最高気温が35℃以上、ニューデリーでは同45℃以上である。2℃シナリオのもとでは、こうした熱波に襲われる地域が増える可能性がある⁵¹。全般的にみると長期にわたる暑熱ストレスに比べれば衰弱は少ないが、それでも熱波が発生すると、特に社会的弱者に甚大な影響がおよぶ可能性がある。先進国で確立された水準で保護するという事は、たとえ10年や20年に一度規模であっても、世界のあらゆる場所でこうした熱波の発生に備えるということの意味する。先進国の基準で保護すれば、早期警報システムや冷却シェルターといった必要に応じて作動する安価な対策でも多くの人々を守ることができると考えられる。

図表9

先進国基準に則って保護されている人の数とその費用は災害によって大幅に異なる

2°Cシナリオの下で先進国基準に則って適応策が打てる地域の人口と1人当たり適応費用、2020-50年



注記費用は20種の適応策を実施するためのものである。本レポートの気候分析は現状の排出動向を想定しており、それに基づくと、数十年単位の平均気温に基づいて測定した場合、世界の平均気温は産業革命前比で今後約30年のうちに約2°C上昇する可能性がある。本分析は以下情報源も含め、既存の確立された気候モデルと技法に依拠している。すべての災害が同等の影響をおよぼすわけではない。例えば、本レポートの定義による暑熱ストレスは毎年1か月以上続くことがあるが、熱波の持続時間は短いうえ、一世代に一度しか起こらない。各災害の定義については付録の技術資料を参照のこと。

世界の気温観測データによると、地球の気温は2020年までの10年間で、産業革命以前の水準に比べて1.1°C上昇している。2020年は本分析が開始された年で、本レポートでは同年を「現在」と呼んでいる。

²干ばつ対策にかかる1人当たり費用は農業に適した場所に住む人々の人口に基づいている。

資料: Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6)、2021年、NASA NEX-GDDP、2021年、Fathom Global Flood Map Fathom 3.0、2021年、Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project Phase 2b (ISIMIP2b)、2017年、Kummu、TakaおよびGuillaume、2018年、EU Global Human Settlement Layer、マッキンゼー・グローバル・インスティテュート分析

McKinsey & Company

GDPとの比較でみると、適応費用は低所得地域の方が高くなる

2°Cシナリオのもとでは、適応策の費用は人口集団ごとに不均等なものになる。災害の危険にさらされている低所得地域を先進国の基準で保護しようとする、その地域のGDPの平均1.7%の費用がかかる(図表10)。低所得の農村部を災害の危険から守るには、GDPの2.5%もの費用が更に多く必要になる。一方、より富裕な地域をみると、適応策に必要な費用がGDPに占める割合は高所得地域で平均わずか0.5%、中所得地域でも同0.8%と、大幅に少ない。こうした格差が生まれる原因は、災害の危険にさらされている場所に住んでいる人が多いこと、更に低所得地域のGDPが低いことにある。

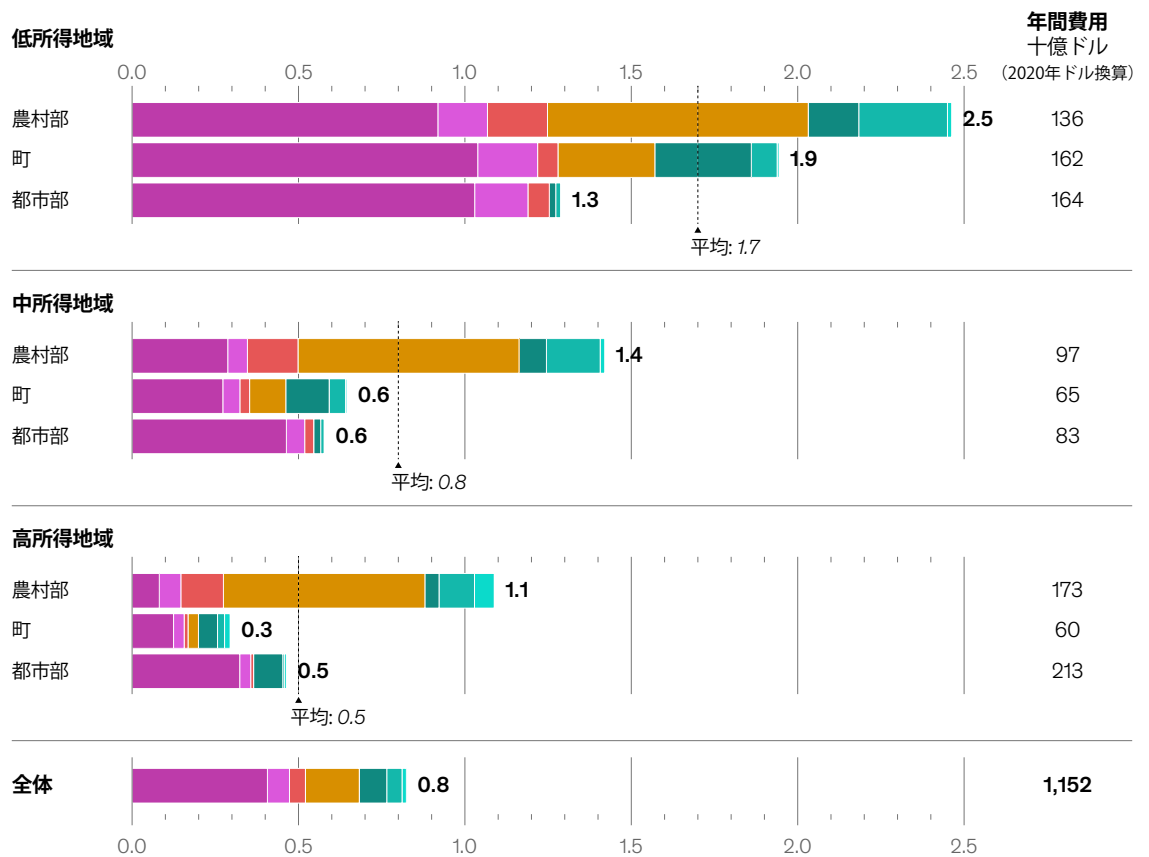
所得層を横断してみると、本稿で試算した都市における適応費用の60-80%が暑熱ストレス対策に充てられることになる。対照的に、農村部は人口密度が低く(そのため一般的に冷房費が低めで、その多寡は一般に1人当たりの金額で把握される)、干ばつの発生が多いため、適応費用の試算額は、複数災害にわたってより均等に分散する可能性がある。

図表10

適応費用がGDPに占める割合は低所得地域の方が高い

2°Cシナリオの下で先進国基準に則って気候災害に適応するために必要な運営費用と資本支出償却分の年間平均額が2050年のGDPに占める割合、所得層別、2020-2050年、%

災害: ■ 暑熱ストレス ■ 熱波 ■ 林野火災 ■ 干ばつ ■ 豪雨による洪水 ■ 河川洪水 ■ 沿岸洪水



注記：費用は20種の適応策を実施するためのものである。これは1平方キロメートルの区域を所得と都市化の度合いで分類した地理空間分析で、本分析は現状の排出動向を想定しており、それに基づくと世界の平均気温は産業革命前比で今後約30年のうちに約2°C上昇する見込み(数十年単位の平均気温に基づいて測定)。この範囲には致死熱も含まれていて、その対策費用は他の暑熱関連災害の対策費用に組み込まれている。本分析は以下情報源も含め、既存の確立された気候モデルと技法に依拠している。手法の詳細と出典は付録の技術資料を参照のこと。
資料：Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6)、2021年、NASA NEX-GDDP、2021年、Fathom Global Flood Map Fathom 3.0、2021年、Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project Phase 2b (ISI-MIP2b)、2017年、Kummu、TakaおよびGuillaume、2018年、EU Global Human Settlement Layer、マッキンゼー・グローバル・インスティテュート分析

McKinsey & Company

災害パターンの進化

気温が産業革命以前の水準と比較して1.5℃または2℃上昇すると、多くの場所で災害の深刻度が現状より拡大し、一部では発生頻度も高まると予想される。こうした変化を理解しておくことは、適応策の費用がどう推移するかを試算する上で重要である。また、適応計画のあり方をどのように変える必要があるかを考える上でも重要である。

災害の深刻度について考えてみていただきたい。一部の気候災害は気温が2℃上昇すると強度や頻度が増したり、あるいは長期化したりすると予測されている。例えば、現在災害の危険にさらされている場所で消耗的な暑熱ストレスが持続する平均期間は、現状の12週間未満から2℃シナリオの下では約16週間に増加する可能性があり、結果として冷房用の電力需要が増加し、運営費用が上昇する(図表1)¹。

同様に、現時点で100年に一度規模の沿岸洪水は、2℃シナリオになると13年に一度の頻度で起きようになり、結果的に年間平均損害額が増加する可能性がある²。また洪水の激甚度や水深も拡大する可能性がある

ため、より高い防潮堤が必要となる。しかし将来的に100年に一度規模で発生する洪水の水深は平均すると現在より10%程度しか高くない可能性があるため、堤防の高さを増す対策に関わる資本支出の増加幅は世界的に小幅なものにとどまるであろう。増加幅がその程度ですむなら、適応費用が急増することはないと考えられる。おそらく支出水準より重要なのは、洪水の高さがどう変化するかを理解し、災害が激甚化しても適応策が効果を発揮するような設計を行うことであろう。

だが、あらゆる災害が深刻化するわけではない。世界的にみると、現時点で既に危険な場所での河川の増水や豪雨による内陸洪水の発生頻度は、他の災害について予測される深刻度の変化以上に急拡大する可能性は低く、森林火災を誘発する気象条件の持続時間もわずかに増加する程度と予測される(ただし、特定の地域では深刻度が更に増加する可能性がある)。

一つの災害だけでなく、複数災害に対する防護を考える必要性も高まっているかもしれない。現時点では、気候変動に由来する災害の危険性にさらされている陸地のうち約60%が複数災害の危険に直面しており、2℃

シナリオになるとこの割合は80%に上昇する可能性がある。例えば現時点で暑熱ストレスにさらされている人々が直面する他の災害は1つだけだが、今後は熱波、干ばつ、森林火災に対する防御も検討する必要があるかもしれない。

こうした変化は適応費用の増加だけでなく、適応計画のアプローチにも影響をおよぼす可能性がある。一部地域では適応策の設計にあたって、激甚化、長期化、頻度拡大といった災害の特性変化も勘案する必要があると考えられる。その方策としては、雨水排水ネットワークのような耐用期間の長い資産を将来的な気候の変化に耐えられるように建設する、電力網の設計を工夫してより高い冷房負荷に対応できるようにするといった手法が考えられる。一部では新たな能力を開発することで新たな災害に対処する必要があるかもしれないし、複数災害の危険に直面している地域では総合的な計画や相乗的な適応策を採用する必要があるかもしれない。例えばインフラの耐水化によって様々な種類の洪水に対処できるようにする、複数災害の管理に効力を発揮する早期警報システムを導入するといった手法が考えられる。

¹ 災害の深刻度の拡大は、強度、頻度、持続時間の拡大として測定している。本分析における数値は所定の土地面積における平均値を表しているが、同様の傾向は個別の場所にも現れるであろう。そうした強度、頻度、持続時間の変化は各種文献と一致している。具体例は Simone Russo et al. 「Half a degree and rapid socioeconomic development matter for heatwave risk」、Nature Communications、2019年1月、G. Naumann et al. 「Global changes in drought conditions under different levels of warming」、Geophysical Research Letters、2018年3月、Michael Wehner et al. 「Changes in extremely hot days under stabilized 1.5 and 2.0°C global warming scenarios as simulated by the HAPPI multi-model ensemble」、Earth System Dynamics、2018年3月、第9巻1号を参照のこと。

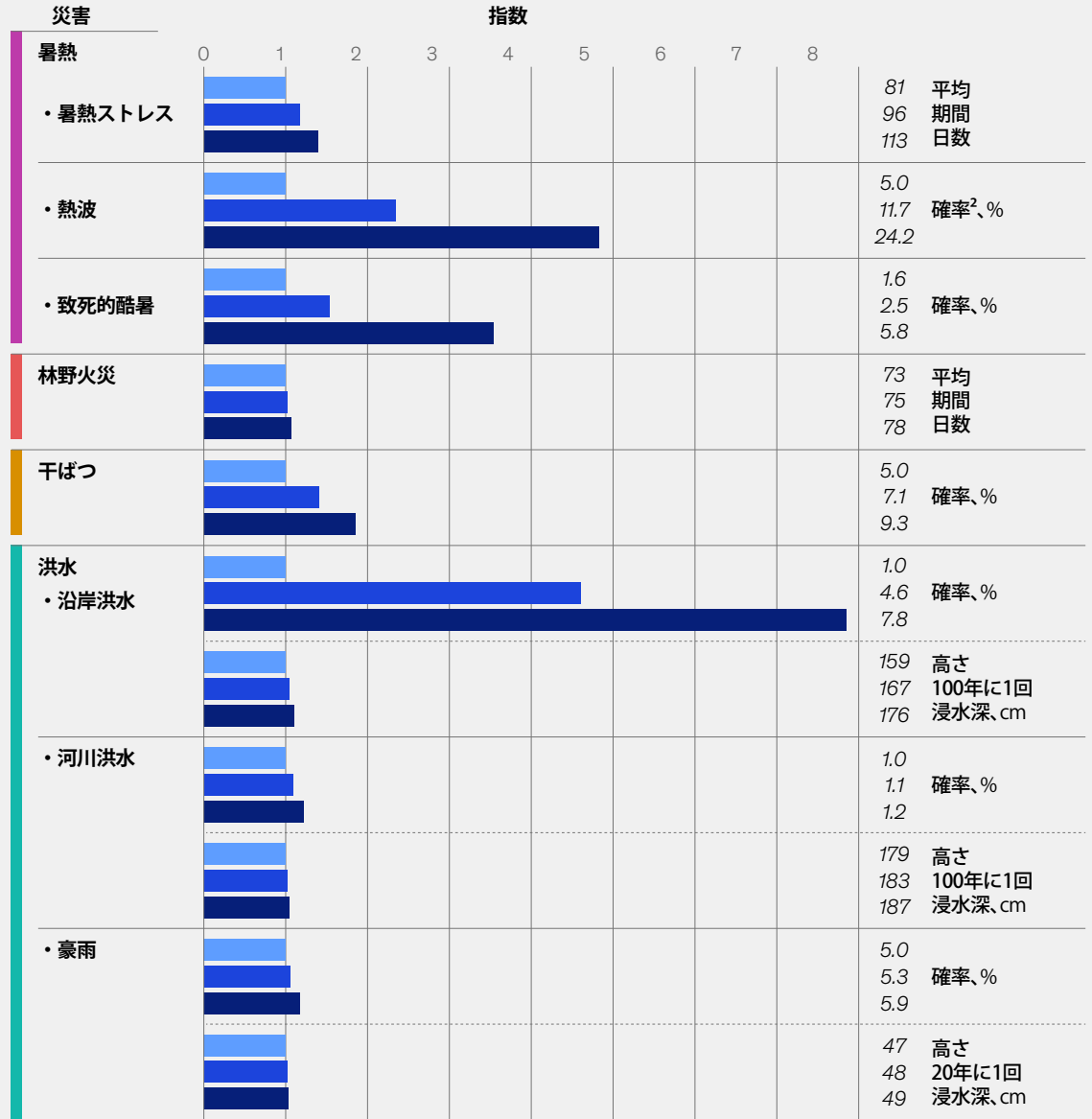
² Stéphane Hallegatte et al. 「Future flood losses in major coastal cities」、Nature Climate Change、2013年8月。

図表

地球温暖化が進むにつれて災害の発生頻度と持続期間が拡大する可能性がある

1.1°Cシナリオで被災の危険がある場所における災害拡大の例¹指数 (1.1°Cレベル = 1)

災害の深刻度: ■ 1.1°C ■ 1.5°C ■ 2°C



注記: 本分析は以下情報源も含め、既存の確立された気候モデルと技法に依拠している。
¹深刻度、持続時間、発生確率を土地面積で加重平均したもの。世界の気温観測データによると、地球の気温は2020年までの10年間で、産業革命以前の水準に比べて1.1°C上昇している。2020年は本分析が開始された年で、本レポートでは同年を「現在」と呼んでいる。
²確率には所与の年に災害が発生する確率を反映している。
 資料: Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6)、2021年、NASA NEX-GDDP、2021年、Fathom-Global 3.0、Sectoral Impact Model Intercomparison Project Phase 2b (ISIMIP2b)、2017年、Kummu、TakaおよびGuillaume、2018年、European Union Global Human Settlement Layer、マッキンゼー・グローバル・インスティテュート分析



適応策に充当される費用はどの程度か

適応策に対する支出額を費用と便益の経済性だけに基づいて決定していたら、現在のような災害耐性の格差は生まれなかったことであろう。ここまで議論したように、本稿で分析した20種類の適応策の便益を合計すると現行の適応費用の約3倍になり、2℃シナリオのもとでは便益費用比率は約7倍に増加する⁵²。明らかなことだが、各々の家庭、政府、企業が異常気象から身を守るためにどの程度の金額を支出するかは費用と便益の経済性以外にも複数の要因によって決まっているのであって、同様の検討事項一式が2℃シナリオにおける適応策の選択にも影響を及ぼす可能性がある。未来が見える水晶の玉などというものはないので、本稿では複数の筋道をだまかに設定し、2050年までに気温が2℃上昇するというシナリオにあわせて適応策を講じるために、ステークホルダーがどの程度の額を支出する可能性があるのかを探った。

2℃シナリオで必要となる先進国水準の防護費用が、ステークホルダーに十分負担されない可能性がある背景

当然のことであるが、政府、企業、個人は経済発展やエネルギー安全保障のような国家的優先事項から市政の優先課題や個人のニーズのような一地域の検討課題まで、様々な要求を懐に抱えている。こうした要求の競合状態は、資源に制約のある中で、利害関係者それぞれのリスク許容度やリスク認識の水準とあいまって、適応策に関する支出の優先順位を決定づける要因となっている。

現在、先進国の基準にあわせて災害対策を実施すると1人当たり平均約130ドルの費用がかかるが、実際の支出額は1人当たり平均約45ドルにすぎない⁵³。1人当たりの適応費用は、2℃シナリオのもとでは現在とだいたい同額になる⁵⁴。場所によっては、これは管理可能な費用といえるであろう。例えば、130ドルという金額は米国の平均賃金の4時間分弱、あるいは自動車保険の平均最低保険料の約6分の1に相当する⁵⁵。しかしバングラデシュでは、この金額は月平均世帯収入のおよそ半分に相当し、その40%以上が食料の購入に充てられている⁵⁶。

適応策の機能は損害の回避という形をとるので、状況は更に複雑になる。これは目に見えるのものではないので、評価が難しい。またこれまで述べてきたように、適応策の機能は災害が実際に発生しなければ実現しない。実例が示す通り、人には異常気象の直後、つまり適応策のもたらす便益がすぐにでも明らかになりそうな時期に投資を行う傾向がある⁵⁷。例えばカリフォルニア州の政府機関や企業は、2025年にロサンゼルスで山火事が発生したあとに防火策への投資を加速した⁵⁸。そうした出来事の影響力は、発生から時間が経てば経つほど弱まっていく⁵⁹。更にリスク認識は現在の気候に合わせる形で変化するかもしれないが、世界の気温が2℃上昇すると、先述のように適応策に対するニーズは全く違ったものになってしまう可能性がある。

更に、適応策への投資に対するインセンティブが整合性を欠く場合がある。投資する人が必ずしも恩恵を受ける人とは限らないため、支出意欲が減退するのである。例えば従来の資金調達方式では納税者全員が防潮堤のようなプロジェクトに資金を提供する一方で、その直接的な恩恵に浴するのは特定の沿岸地域だけである。

資金面の問題以外にも、適応プロジェクトは実行段階で困難に直面したり、展開が遅れたり、時に中止されたりすることさえある。サプライチェーンの問題は、技術的課題、調整面の障害、政治的意志とともに、大規模プロジェクトの進展を妨げる要因となる可能性がある。例えばオランダの「川のための貯水空間」プログラムは、オランダの河川デルタ地帯で暮らす400万人の人々の安全確保を意図したもので、複数階層にわたるステークホルダー間の調整と協議に10年もの月日が費やされた⁶⁰。

2℃シナリオのもとで現状の保護水準を維持するには、年間4,700億ドル、すなわち現状の2.5倍の費用が必要

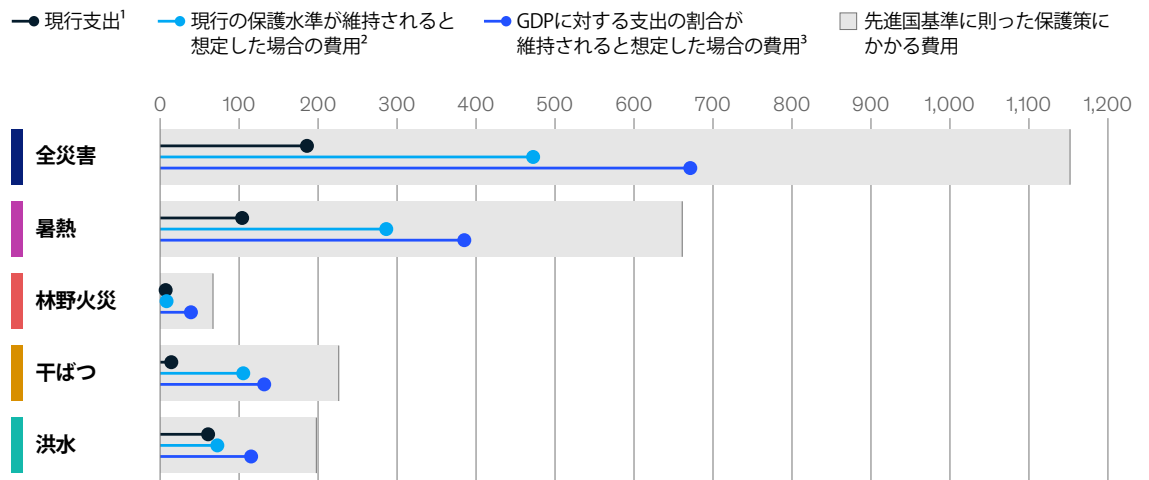
地球温暖化が進むと、新たに災害の危険にさらされる地域、あるいは災害が激甚化する地域では、気候条件や人口動向が似ていて、既に災害発生の危険にさらされている地域を見本にして支出が決定されたり、トレードオフが検討されたりする可能性がある。言い換えれば、現状で各地域の適応策に対する支出の決定に影響を与えている要因は、現行の保護水準をみれば明らかのように、今後も変わらない可能性があるということである。例えば現状で都市部の高所得世帯の70%が暑熱ストレス対策の対象となっているなら、将来も同様の割合を想定して対策を講じようとするかもしれない。

こうした場合、2℃シナリオのもとで適応策にかかる費用は、2050年にかけて年間約4,700億ドルに達する可能性がある。これは先進国が設定した基準で適応策を行う場合の支出総額1.2兆ドルの約40%に相当する(図表11)⁶¹。これは現行支出の約2.5倍である。この考え方でいくと、災害別にみて相対的に格差が最も大きいのは森林火災対策である。現状で対策がとられている土地の面積が森林火災の危険にさらされている土地全体の約10%でしかないことを考えれば、これは当然であろう。

図表11

現行の保護水準を維持するためにかかる費用は先進国基準に則った保護策にかかる適応費用の40%に相当する

2℃シナリオの下で先進国基準に則って気候災害に適応するために必要な運営費用と資本支出償却分の平均年間支出試算額、2020-2050年、十億ドル (2020年ドル換算)



注記：本分析は現状の排出動向を想定しており、それに基づく世界の平均気温は産業革命前比で今後約30年のうちに約2℃上昇の見込み（数十年単位の平均気温に基づいて測定）。費用は暑熱、林野火災、干ばつ、洪水という4カテゴリーの災害に対する20種の適応策に関するものである。この範囲には致死性的酷暑も含まれていて、その対策費用は他の暑熱関連災害の対策費用に組み込まれている。本分析は以下情報源も含め、既存の確立された気候モデルと技法に依拠している。

¹ 世界の気温観測データによると、地球の気温は2020年までの10年間で、産業革命以前の水準に比べて1.1℃上昇している。2020年は本分析が開始された年で、本レポートでは同年を「現在」と呼んでいる。

² 現行の適応支出が適応策の費用総額に占める割合が2020年から2050年まで維持されると想定。³ 現行の適応支出がGDPに占める割合が2020年から2050年まで維持されると想定。

資料：Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6)、2021年、NASA NEX-GDDP、2021年、Fathom Global Flood Map Fathom 3.0、2021年、Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project Phase 2b (ISIMIP2b)、2017年、Kummu、TakaおよびGuillaume、2018年、EU Global Human Settlement Layer、マッキンゼー・グローバル・インスティテュート分析

2℃シナリオのもとでGDPの成長に比例して支出を拡大すると、年間6,700億ドルの費用が必要

世界的な経済成長が続けば、適応策のための支出能力も拡大する可能性がある。より多くの人々が裕福になってエアコンを買う余裕ができれば、都市の予算も増え、より強固な洪水対策を施すことができる。

しかし支出面で少し余裕ができることだけでなく、他の要因も人々や政府、企業にとっては将来的に支出を増やす動機となりうる。例えば異常気象の発生頻度がますます高まった場合などがそれに相当する。また上記した通り、適応策の費用と便益に関する経済性は温暖化の進展とともに改善する。

適応支出がどの人口集団でも予想所得の拡大に合わせて増加していくとすると、年間総支出額は約6,700億ドルに増加することになる⁶²。これは現行支出の3.5倍で、2℃シナリオのもとで先進国水準に即して適応策を講じるために必要な推定費用の約60%に相当する。

経済成長が2050年までに適応費用の充足にどの程度貢献するかは、世界各地で一様ではないと考えられる。適応支出を経済成長に連動する形で拡大すれば、高所得地域では2℃シナリオへの適応にかかる追加費用をほぼすべて相殺することができる。しかし低所得地域では、支出の拡大によって追加費用の一部を相殺することはできても、すべてを相殺することはできない。

適応費用と現行支出を地域単位でみていくと、こうした違いがよく分かる。北米を例にとってみよう。現状で気候変動の影響にさらされている場所では、平均するとGDPの0.4%が適応策に費やされている。経済が成長という見込みのもとで、支出額がGDPに占める割合が一定に保たれると想定した場合、これは2050年までに気温が2℃上昇するというシナリオのもとで先進国の水準に即して適応策を講じるための費用を賄うのに十分な額である。しかし新興国にはこれと異なる考え方がある。例えばアジア新興国では現在、気候変動による災害の危険にさらされている地域のGDPの平均0.6%に相当する金額が適応策に費やされているが、2℃シナリオのもとで先進国の基準に即して適応策を講じるための費用は、2050年までにGDPの1.4%に増加する可能性がある⁶³。

日本では2℃シナリオのもとで現行の災害別保護水準が維持された場合、適応費用の80%以上を賄える可能性があり、所得の拡大予想に合わせて支出を増やせば全額を賄える可能性さえある。

もちろん、支出がGDPに連動する形で拡大しない場合もある。国の経済が成長していても適応策に対する支出がGDPに占める割合が一定に保たれるという確証はない⁶⁴。オランダは何世紀にもわたって洪水対策に投資してきたが、総支出額が経時的に増加しているのに、GDPに占める割合は低下してきている⁶⁵。またGDPが同程度で特徴が比較的似ている地域同士でも、支出のパターンはそれぞれ異なる。例えばテキサス州とミズーリ州は1人当たりのGDPが比較的高水準だが、ミズーリ州では河川洪水に対する包括的な早期警報システムが開発されているのに対し、テキサス州の対策の進み具合は地域によってばらつきがある⁶⁶。

また経済発展の軌跡そのものも既に定まっているわけではない。重要なのは、適応策を講じるか講じないかということ自体が経済発展のペースに影響を与える可能性が高いということである⁶⁷。研究者複数の所見によると、平均湿球温度29.4℃以上の高温が毎日続くと、屋外労働者の労働生産性が25%低下する可能性がある⁶⁸。同様に、干ばつや洪水が発生すると農業生産性が低下して零細農家の所得の伸びが鈍り、ひいては農業への依存度が高い国の経済成長が勢いを失う可能性がある⁶⁹。



世界における適応策の展望

災害のあり方は世界各地で大きく異なる。それに適応するための費用も同様である。一般論として、先進国では2℃シナリオのもとで災害の危険にさらされる地域の割合が少ないので、適応費用は絶対額でもGDP比でも相対的に低いものになる。新興国は災害の危険にさらされる地域の割合がより大きくなるので、先進国水準で対策を講じると、より多額の費用がかかる可能性がある。暑熱と干ばつは世界のほぼ全域で普遍度を増し、費用全般に占める割合が最大になると考えられる。

先進国では適応費用をまかなえる割合が他より高くなる可能性が高い

絶対額で見ると、先進国で確立された基準に則って国民を守るための適応費用が最も高額になるのは中華圏とインドであると考えられ、2050年までに気温が2℃上昇するというシナリオに基づくと、それぞれ毎年2,000億ドル以上となる(図表12)。総額が他地域と比べて相対的に高くなっているのは、両国が災害発生の危険性がある場所に多くの人口を抱えているためである。しかもインドでは、1人当たり125ドルという金額までもが2025年の中央政府予算における1人当たり予算の3分の1以上に達している⁷⁰。

GDP比で見ると、先進国水準に則って対策を講じるための費用はサハラ以南アフリカ諸国が圧倒的に高く、域内で災害発生の危険性がある地域における予測GDPの3%に達すると考えられる。これは2024年に域内各国の政府が対外債務の返済に充てる金額の対GDP比を約50%上回っている⁷¹。中東・北アフリカとインドでこうした対策をとるのにかかる費用はこれと少し離れていて、それぞれ2位と3位である。

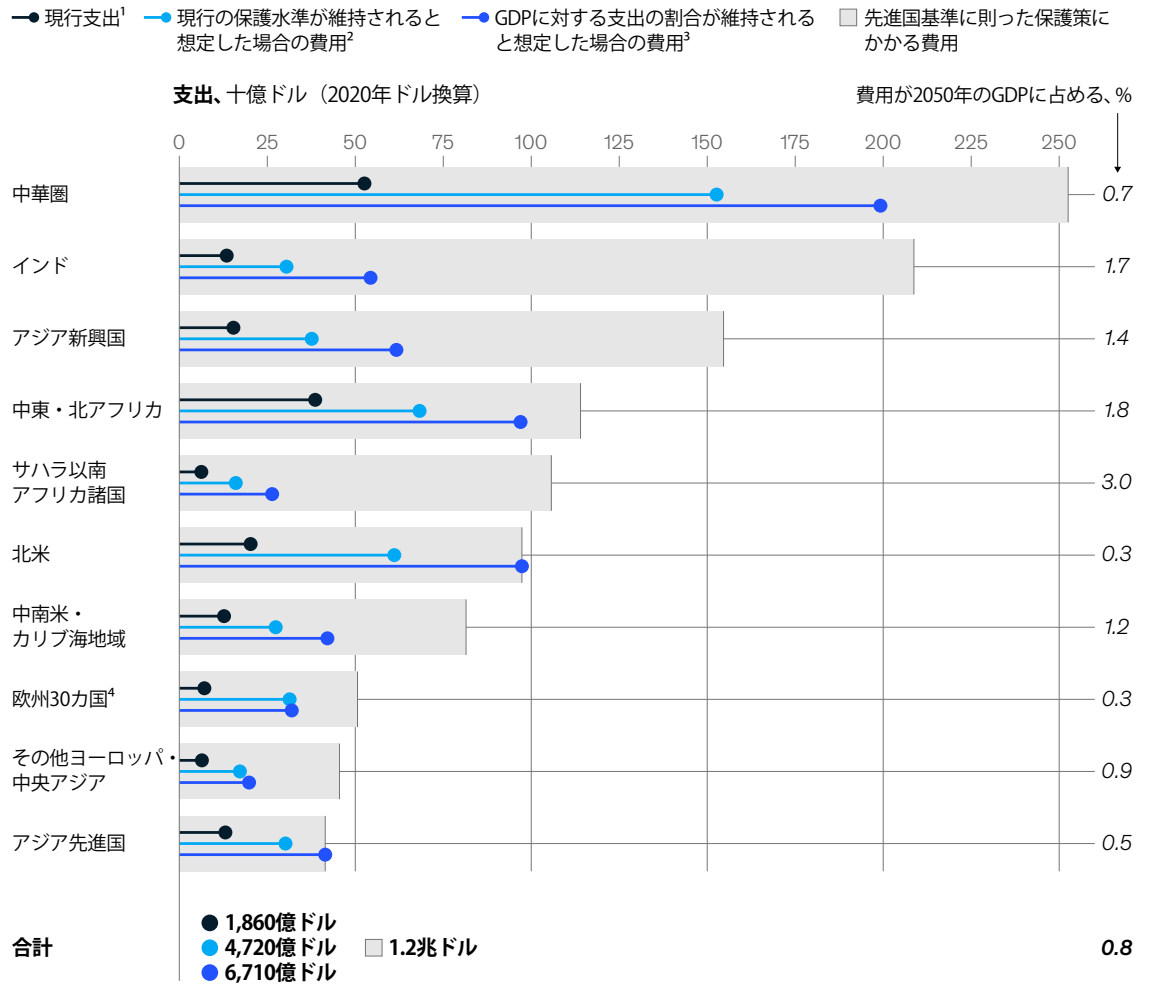
サハラ以南アフリカ諸国やインドといった低所得地域が2℃シナリオのもとで現行の保護水準を維持した場合、先進国水準に則って対策を打つのにかかる費用の約15%しか賄うことができない。仮にこれら地域の適応支出が予想経済成長率と歩調をあわせて増加したとしても、賄えるのは必要額のわずか25%にすぎない。

一方、先進国は前述の通り、現状でもより高い保護水準の恩恵に浴している。例えば2℃シナリオのもとでアジア先進国と北米がこの水準を維持した場合、これらの地域では適応費用の3分の2を賄える可能性があり、所得の増加予測に合わせて支出を増やすことで、2℃シナリオにおける適応費用を全額賄える可能性さえある⁷²。

図表12

潜在支出額の試算から、温暖化が2°Cのシナリオでは多くの地域が 適応支出の不足に直面する可能性があるとする

2°Cシナリオの下で先進国基準に則って気候災害に適応するために必要な運営費用と
資本支出償却分の平均年間支出試算額、2020-2050年



注記: 本分析は現状の排出動向を想定しており、それに基づくと世界の平均気温は産業革命前比で今後約30年のうちに約2°C上昇する見込み(数十年単位の平均気温に基づいて測定)。費用は暑熱、林野火災、干ばつ、洪水という4カテゴリーの災害に対する20種の適応策に関するものである。この範囲には致命的酷暑も含まれていて、その対策費用は他の暑熱関連災害の対策費用に組み込まれている。本分析は以下情報源も含め、既存の確立された気候モデルと技法に依拠している。

世界の気温観測データによると、地球の気温は2020年までの10年間で、産業革命以前の水準に比べて1.1°C上昇している。2020年は本分析が開始された年で、本レポートでは同年を「現在」と呼んでいる。

² 現行の適応支出が適応策の費用総額に占める割合が2020年から2050年まで維持されると想定。

³ 現行の適応支出がGDPに占める割合が2020年から2050年まで維持されると想定。

⁴ EU加盟国27カ国とノルウェー、スイス、英国を含む。

資料: Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6)、2021年、NASA NEX-GDDP、2021年、Fathom Global Flood Map Fathom 3.0、2021年、Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project Phase 2b (ISIIMP2b)、2017年、マッキンゼー・グローバル・インスティテュート分析

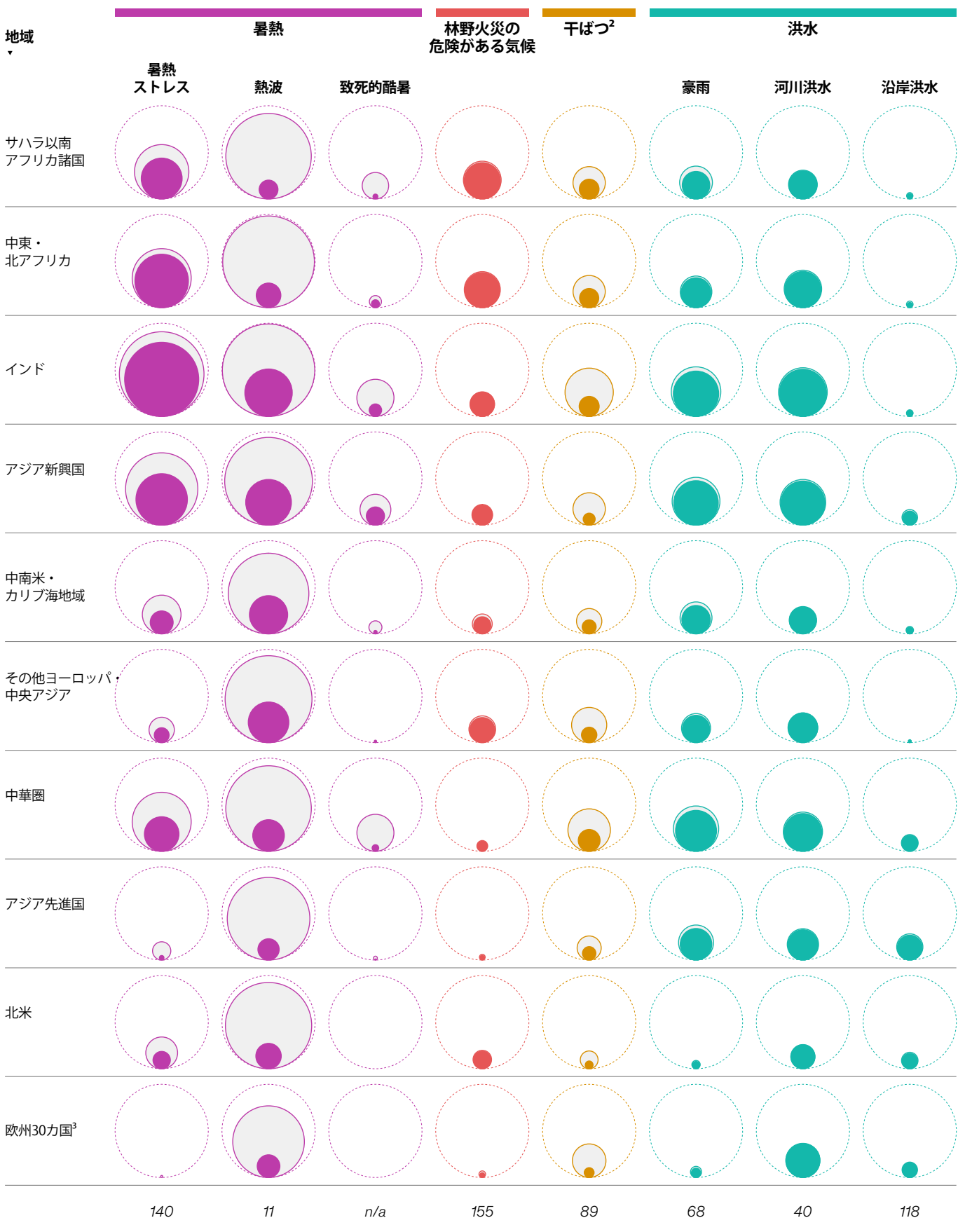
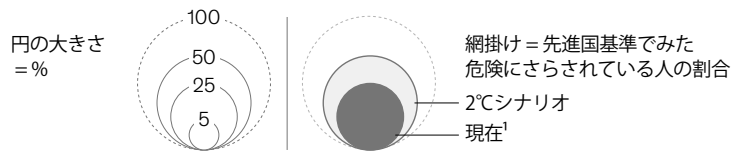
暑熱ストレスと干ばつは2℃シナリオのもとで先進国水準に則って対策を打つ場合の費用増加分に占める割合が最も高い

気候が2℃温暖化すると、どの地域でも災害発生の危険性がある場所では暑熱と干ばつの発生回数が最も大幅に増加する可能性がある(図表13)。洪水や山火事はまた違った様相を呈する。どちらにせよ、現時点で既に災害の危険にさらされている場所に相当数の人々が暮らしている。しかし災害発生の危険性がある地域の地理的拡大は最小限にとどまるであろうが、現状で災害の危険性にさらされている場所の一部で、災害が発生した場合の被害が深刻化する可能性がある⁷³。そうした場所全体で先進国の保護水準を採用すれば、2℃シナリオのもとで災害の危険にさらされている場所に住む人々を守ることができる。

図表13

先進国の基準でみると暑熱と干ばつにさらされる危険の増加幅が最大

先進国基準で災害の危険にさらされている地域に暮らしている人の割合、地域別、2050年、%



2℃シナリオで温暖化防止策にかかる1人当たり適応費用、世界全体、ドル (2020年ドル換算)

注記: 本分析は現状の排出動向を想定しており、それに基づく世界の平均気温は産業革命前比で今後30年のうちに約2℃上昇する見込み(数十年単位の平均気温に基づいて測定)。本レポートでは先進国が適応策を打つきっかけとなるような規模の災害に見舞われる場所を災害発生の「危険性がある」場所と呼んでいる。そうした場所では当該災害が毎年発生する可能性(慢性災害の場合)、あるいは所定の年に一定確率で発生する可能性(急性災害の場合)がある。災害の影響はすべての災害で同じであるわけではない。例えば、本レポートの定義による暑熱ストレスは毎年1カ月以上続くことがあるが、熱波の持続時間は短いうえ、一世代に一度しか起こらない。各災害の定義については付録の技術資料を参照のこと。この範囲には致命的酷暑も含まれていて、その対策費用は他の暑熱関連災害の対策費用に組み込まれている。本分析は以下情報も含め、既存の確立された気候モデルと技法に依拠している。
¹世界の気温観測データによると、地球の気温は2020年までの10年間で、産業革命以前の水準に比べて1.1℃上昇している。2020年は本分析が開始された年で、本レポートでは同年を「現在」と呼んでいる。
²干ばつ対策にかかる1人当たり費用は農業に適した場所に住む人々の人口に基づいている。
³EU加盟国27カ国とノルウェー、スイス、英国を含む。
 資料: Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6)、2021年、NASA NEX-GDDP、2021年、Fathom Global Flood Map Fathom 30、2021年、Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project Phase 2b (ISI-MIP2b)、2017年、マッキンゼー・グローバル・インスティテュート分析

暑熱にさらされる場所の面積と居住人口は最も増加幅が大きいが、このパターンを適切に解釈するには、幅広い暑熱災害の危険性を理解しておく必要がある。暑熱ストレスは危険地域に毎年甚大な影響をおよぼす可能性があり、対策費用が最も高額な災害のひとつである。発生箇所では毎年最低1カ月は高温多湿の気候にさらされるため、生産性が低下し、涼しくして過ごせない住民の健康に影響がおよぼす可能性がある。2℃シナリオのもとでは多くの地域で暑熱ストレスにさらされる人が増加すると考えられ、低所得地域では同水準の温暖化で危険にさらされる人の数が最大になると予想される。中国、アジア新興国、インド、サハラ以南アフリカ諸国を合わせると、暑熱ストレスにさらされる場所に住んでいる人の数は人口の半数以上に達する可能性がある。対策がとられる場合、こうした場所で暮らす人々はエアコンの設置や都市緑化といった対策によって保護されることになる。

先進国で確立された保護水準でいくと、2℃シナリオのもとではどの地域でも現在より更に多くの場所が熱波にさらされることになる。熱波は社会的弱者にとりわけ大きな打撃を与えるが、前述の通り、この災害は比較的発生頻度が低く、発生期間も短いため、平均的な人々への影響は少ない⁷⁴。熱波は適応策の費用も比較的安価で、適応費用全体に占める割合はごくわずかである。先進国の水準に即して対策を打つということは、万が一の事態に備えて早期警報システムのような対策を講じることを意味する。

致命的酷暑は現時点ではほとんど理論上の懸念のようなものだが、世界の気温上昇が2℃に達すると、一部新興国でそれにさらされる危険が増加する可能性がある。致命的酷暑とは気温と湿度があまりにも高いために発汗によって身体を冷やすことができなくなる状態を指し、体温が上がりすぎて死に至る場合もある。致命的酷暑の危険にさらされた状態とは、そうした異常な高温と湿度が発生する確率が1%を上回ることをいう。致命的酷暑の危険にさらされた場所は一般に暑熱ストレスや熱波の危険にもさらされており、そうした災害に対する適応策は致命的酷暑に対する防御策にもなる。

2℃シナリオのもとで先進国水準に則って対策を打つための費用は、致命的酷暑発生の危険拡大に対応して地域全体で増加する。アジア新興国、中華圏、インド、中東および北アフリカ、サハラ以南アフリカ諸国では、2℃シナリオにおける適応費用の約70%が暑熱対策、主に暑熱ストレスが長期間続いた場合に体を冷やすための空調費に充てられる(図表14)。防御策が現行水準のままだったとしても、これらの地域は適応支出のほぼ4分の3を暑熱対策に充てることになる。

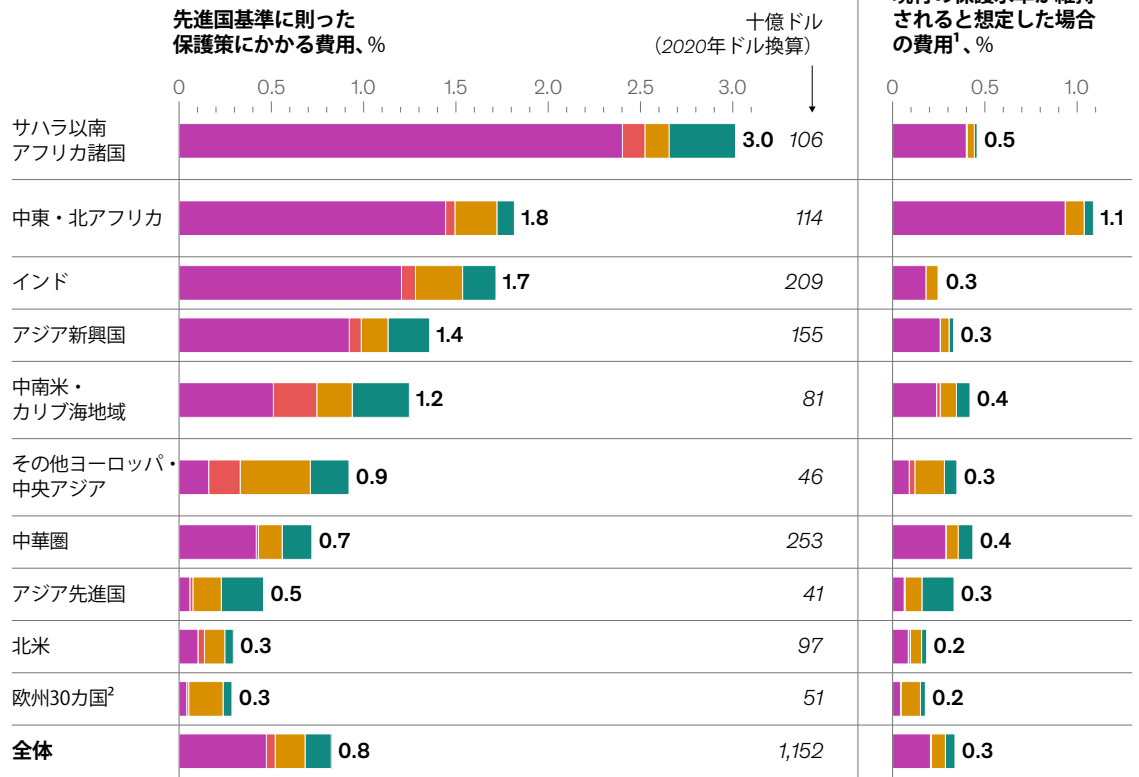
対照的に、欧州30カ国、北米、その他欧州および中央アジア諸国では、暑熱ストレスの危険にさらされる場所に住む人口は10%未満である⁷⁵。これらの地域では、2℃シナリオにおける支出で最大の割合を占めるのは干ばつ対策である。2℃シナリオのもとで現行の保護水準が維持された場合、その支出の40%以上が干ばつ対策に、3分の1強が暑熱ストレス対策に割り当てられることになる。

図表14

サハラ以南アフリカ諸国、中東・北アフリカ、インドでは適応費用の70%以上が暑熱対策に充てられる

2°Cシナリオの下で先進国基準に則って気候災害に適応するために必要な運営費用と資本支出償却分の平均年間支出額が被災の危険性がある地域の2050年のGDPに占める割合、%

災害：■ 暑熱 ■ 林野火災 ■ 干ばつ ■ 洪水



注記：費用は20種の適応策に関するもの。本分析は現状の排出動向を想定しており、それに基づく世界の平均気温は産業革命前比で今後約30年のうちに約2°C上昇する見込み（数十年単位の平均気温に基づいて測定）。この範囲には致死的酷暑も含まれていて、その対策費用は他の暑熱関連災害の対策費用に組み込まれている。本分析は以下情報源も含め、既存の確立された気候モデルと技法に依拠している。

¹ 現行の適応支出と1.1°Cシナリオの下で適応策を実施する場合にかかる総適応支出額の割合が、災害別にみても人口集団別にみても2°Cシナリオの場合と変わらないと想定。

² EU加盟国27カ国とノルウェー、スイス、英国を含む。

資料：Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6)、2021年、NASA NEX-GDDP、2021年、Fathom Global Flood Map Fathom 3.0、2021年、Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project Phase 2b (ISI-MIP2b)、2017年、マッキンゼー・グローバル・インスティテュート分析

McKinsey & Company



誰が支払うのか

手持ちの資金を何に使うかを最終的に決めるのは、家計、政府、企業である。前述したように、適応策の決定には費用と便益の経済性だけでなく、支払い能力からリスク許容度、運用上の課題に至るまで、様々な要因が絡んでくる可能性がある。重要なのは、適応策への支出は単に資金があるかどうかという問題ではなく、複数の競合関係にある需要に対してリソースをどのように優先順位づけして充当していくかということである(p.50のコラム「対応策を他の支出先との優先順位争いという観点からみる」も参照)。今後は資金調達力や適応策や軽減策の規模拡大能力、更には異常気象による被害の推移と適応策の限界が、社会がどのようなリスクを負うかを決めることになるであろう。

ステークホルダーは複数いるが、いかにして適応策を決定するのであろうか。その費用は最終的に誰が負担するのであろうか。重要なのは、こうした決断は単独でなされるものではないということである。ステークホルダーそれぞれがどのような意思決定を行うかは他のステークホルダーの選択によって決まり、それが逆に他のステークホルダーの選択を決定づけることにもなる。

個人と家庭は暑熱対策の最前線に立っている

2°Cシナリオのもとでの適応策に必要な費用1.2兆ドルの約半分は暑熱対策に関するもので、その約4分の3は運営費用である。エアコン、受動的冷房、太陽光を反射する屋根といった暑熱対策の多くは、経済的余裕があれば個人でも実施できる。前述の通り、経済発展に伴う個人の所得向上はその一助になる。だが家庭レベルの適応策は単なる個人の経済的問題ではない。政府は気候変動リスクに対する認識を改善し、リベートや税制優遇措置、コスト削減やサプライチェーン強化に向けた調達計画を通じて経済的負担を減らすことで、個人の意思決定のあり方に影響力をおよぼすことができる。オーストラリアのクイーンズランド州が実施している政府の洪水対策助成金を活用した改修の支援、カナダのトロントにおけるエコルーフ奨励プログラムは、的を絞った政策を行うと適用策の導入がどれほど進むかを端的に示している⁷⁶。またニューヨーク市はエアコンの購入と設置に関して社会的弱者に支援を提供している⁷⁷。後述するように、保険会社も適応策の導入を促すことができる。実際問題としては、民間の能力と公的支援のバランスによって、各家庭が適応策を導入する範囲と時期が決まることになる。

政府は特に洪水や森林火災に対する大規模な防護インフラを構築、整備することが可能

洪水防止用の堤防築造や森林火災予防策など、大規模なインフラ整備が必要な災害には年間約1,600億ドルもの資本支出が必要で、その実施にあたっては政府がより中心的な役割を果たす可能性がある。そうした場合、地域社会全体のリスク許容度やさらされる危険の程度が、リスクに適応するかそのまま受け入れるかの決定に影響する。

更に、そうしたプロジェクトには多額の資金が必要のため、資金調達をどうするか、納税者と投資の受益者にどのような形で費用を分担させるのが最善かという問題が生じる。一部にはロンドンで160億ポンドの予算をかけて進められている「テムズ河口2100年計画」のように、企業、開発業者、保護対象の土地所有者が計画義務や地域課徴金といった手段を用いて資金を拠出する「受益者負担」モデルを追求しているプロジェクトもある⁷⁸。

対応策を他の支出先との優先順位争いという観点からみる

ステークホルダーは対応策に資金をどう配分するかを決定する際、競合関係にある他の優先課題と比較検討した上で支出先を決めることになるであろう。したがって、幅広い支出対象の中に対応策をどう位置づけるかを理解することが不可欠である。

自然な流れとして、本稿で明らかになった対応策の費用を緩和策の費用と比較するというものが考えられる。対応策と緩和策にはどちらも気候災害の影響を軽減する力があるが、その手法はそれぞれ独自である。対応策とは現在の災害と温暖化に伴って将来的に発生する災害から人々を守るものである。一方、緩和策の目的は排出量の削減を通じて温暖化を遅らせたり食い止めたりすることで、必要な適応のレベルを抑えることにある。

MGIは過去の研究で、温暖化を1.5°Cに抑制できる排出軌道を達成するには、エネルギーと土地利用システム(太陽光発電やガス発電など)に対して、2050年まで年間約9.2兆ド

ルの高排出と低排出設備に対する資本支出が必要で、それ以降も継続的な投資が必要になると試算した¹。しかしこの数字と本稿における適応費用の試算額は直接比較できるものではないので、対応策の方が緩和策より費用がかからないと解釈するのは誤解である。

そうした比較を行わずに、気候リスクの削減における対応策と緩和策の相対的な役割について有意義な比較を行うには、様々な温暖化レベルにおけるそれぞれの費用を体系的に評価する必要がある。結局のところ、温暖化が2°C、あるいは3°C進んでも、エネルギーや土地利用のための資本支出は必要になる。そうした評価を行うには、温暖化に伴う気候災害被害の推移、温暖化レベルが上昇するにつれて増大する適応費用と潜在的制約、対応策と緩和策への投資による経済的な費用と便益両方への波及効果、残余リスクとそのリスクを負担し回復するための費用、適用すべき割引率に関する見解の相違など、他にも様々な要因を考慮する必要がある²。より広範な視点に立つと、相対的費用だけでなく、公平性、社会的弱者にとっての成果、自然に対する影響といった要素も、

利害関係者がそれぞれの相対的役割をどう見るかを決定する要因となり得る。

更に世界は資金面の制約にしばられているので、対応策の費用と、インフラ、教育、医療、その他生産性の原動力となるものへの投資といった経済発展の対価を比較するのも有用である。開発に対する支出のニーズは高く、格差も大きい。例えば発展途上国における国連の持続可能な開発目標への投資額は年間約4兆ドル不足しているという試算がある³。しかし、ここでも対応策と経済発展のバランスを慎重に比較検討しなければならない。本稿で明確に指摘しているように、開発には適応能力を高める力がある。都市計画の策定にあたって気候リスクを織り込んでおくなど、開発を慎重に行うことも災害耐性の強化につながる。同時に、適応が不十分だと発展が妨げられることになりかねない⁴。更にいえば、実は対応策の多くに開発を促進する力が備わっている。例えば灌漑システムには干ばつの影響を抑える機能以外に農業生産を拡大する力もあるので、優先課題の競合というより、相互補完的便益を生み出すことができる。

¹ 「The net-zero transition:What it would cost, what it could bring」、マッキンゼー・グローバル・インスティテュート、2022年1月。

² 気候変動対策費用すべてを体系的に比較しようと試みた学術研究もある。具体例については Simon Dietz et al. 「The economics of 1.5° C climate change」、Annual Review of Environment and Resources、2018年、第43巻、Martin C. Hänsel et al 「Climate economics support for the UN climate targets」、Nature Climate Change、2021年3月、Peter H. Howard および Thomas Sterner 「Few and not so far between: A meta-analysis of climate damage estimates」、Environmental and Resource Economics、2017年6月を参照のこと。

³ SDG Investment Trends Monitor、第4号、UNCTAD、2023年9月。

⁴ 「Rising to the challenge:Success stories and strategies for achieving climate adaptation and resilience」、世界銀行、2024年。

必要になる資金の額やプロジェクトの一般的な耐用年数を考えると、こうした対策は現在の気候条件だけでなく、将来的な気候変動も考慮に入れて慎重に設計する必要がある。そのためには、例えばプロジェクトに柔軟性やモジュール性を持たせて、リスクの変化に応じてアップグレードできるようにするといった手法が考えられる。その一例がテムズ河口計画の根幹となるテムズ川防潮可動堰で、この堰は海面上昇に合わせてゲートを増設し、防御力を高められるように設計されている⁷⁹。2°Cを上回る温暖化を念頭においておくことも特定の場所では重要で、長期的な視点に立つことで、短期的な視点しか考慮しない場合とは異なる施策を打ち出せる可能性がある。例えばゾーニングを行って、単なる防御設備を構築するのではなく、災害の影響を受けやすい地域における建造物の建設を制限するという手法が考えられる。更に

政府が都市計画プロジェクトやエネルギー転換関連のインフラ整備といった広範な公共インフラ投資を行う場合、そうした投資案件の設計仕様を気候変動に対する適応性を備えたものにすることもできる。

もう一つ検討すべき事項は、気候モデリングに伴う不確実性、とりわけ地域の意思決定に関わる微細なレベルでの不確実性をどのように管理するかという点である。それによって雨水排水ネットワークの流下能力、沿岸の洪水防御の高さといった設計のパラメータに影響がおよぶ可能性がある⁸⁰。適応計画の策定にあたっては、どのような予測シナリオのもとでも便益が得られる「後悔のない」対策の実施から、上述のようなより慎重または厳格な設計基準の適用や柔軟な戦略の採用まで、様々なアプローチを通じて不確実性を勘案することができる。トリガーポイントを設けておいて将来的に状況変化があれば介入できるようにするという手法もその一例である。

政府は大規模な公的適応プロジェクトで中心的な役割を果たすばかりではない。適応策の支援という点で縁の下での力持ちな役割も果たしている。例えば社会的保護を提供し、補助金の直接的な支払いやコミュニティレベルの投資によって最も弱い立場にある人々を支援することができる。ただし、アプローチはその場の状況や政治理念によって大きく異なる。例えばソウル市やアリゾナ州フェニックス市などでは低所得世帯を対象に、エアコンの設置や修理のような冷房対策に補助金を出している⁸¹。またインドでは公共機関が干ばつに強い作物の作出や灌漑システムに投資し、零細農家の適応に対する取り組みを支援している⁸²。もう一つのアプローチとしては、住宅浸水対策のような適応策の初期費用を補填し、固定資産税評価を通じて時間をかけて返済できるようにするというものがある⁸³。

政府が適応策の支援に用いる別手段として、計画策定や基準設定がある。土地利用を規制するとリスクの高い地域での新規開発を防ぐことができ、建築基準法を改正するとより強靱な不動産開発を促すことができる。こうした基準を設けておけば、将来起こりうる気候変動に事前に対処することが可能になる。例えばニューヨーク市は洪水が起こりやすい地域で建物の新規建設を制限しているし、フランスは公共建築を新築する際に遮光と換気を取り入れることを義務づけている⁸⁴。もうひとつのアプローチとしては、広く認められた基準を導入して保険会社など民間の利害関係者が適応策を推奨できるようにするという手法が考えられる。例えば米国のFORTIFIED Homeプログラムは暴風雨に強い物件を認証するもので、認証を取得した物件の保険料を安くする設定することができる⁸⁵。

企業は様々な災害に対する耐性を調べ、対策のメリットを比較検討することができる

極言すれば、企業は大企業から中小企業に至るまで、どこでどのように災害耐性強化策に投資し、どこでどの程度リスクを負担するかを決定する必要がある。もちろん大企業は資金も人材も潤沢なので目算は違ったものになるかもしれないし、中小企業は資金面の制約が大きいかもれない。

企業がどのような点に即して決断を下すにせよ、決断の内容は公共インフラや家計の所得水準といった、より広範な状況に左右される。政府が建設した堤防の背後で事業を営む企業は、直接的に洪水の危険にさらされる企業とは異なる目算を立てることになる。同様に、インドのインディラ・ガンディー運河のように政府が支援する大規模な灌漑システムのある地域で事業を行う企業と、公的機関が灌漑を管理していない地域で事業を行う企業とでは、干ばつリスクへの取り組み方が変わってくるであろう⁸⁶。

企業が事業運営やサプライチェーン、あるいは流通チャネルにおける直接的または間接的な被災確率の抑制策に投資する場合、投資手法には多数の選択肢がある。現時点でも公益企業から食品や飲料を扱う企業に至るまで、様々な企業が気候変動リスクの抑制方法を積極的に検討している。現在稼働中の対策としては、浸水対策、建物周囲の防火壁、マイクログリッド、冷却システムなど、事業所単位の防御策があげられる。

適応策に関する決定を将来予測的な資本計画にどう組み込むかという点も重要な検討事項である。例えばコーヒーやワインのような特殊作物は従来と異なる地域でも生育する可能性があるため、農業従事者の中には栽培区域の移動を検討するところがあるであろう。また施設を新設する場合は、被災の危険性が低い場所に建設することができる⁸⁷。

更に企業は従業員や顧客、更には周辺地域にまで支援を広げることができるし、既に多くの企業がそうしている。企業の一部には冷房ハブのような地域インフラに資金を提供したり、生態系の修復や水利用への取り組みを通じて農村部の生活を支援したり、更には生態系保護回廊を設けて干ばつや洪水の影響が周辺におよばないようにすることで、地域の災害耐性強化に向けた取り組みに直接的に投資しているところもある。

気候条件の変化によって、適応策に用いる製品やサービスの需要に応える機会が新たに生まれる可能性もある。個人や企業といった民間の活動主体が災害にあう危険を抑制しようとしていたり、政府が国民を守るために投資したりすることで、収益源が生まれるかもしれない。例えば暑熱や水害に対する建物の耐久力を高める屋根材、断熱材、防水材を扱う企業が収益機会を手にすることがあり得る。気候変動に適応する上で不可欠な要素のひとつは、企業が解決策の提供に加わることである。例えば企業がもたらすイノベーションによって、適応策の費用削減、送電線の地中埋設、灌漑、空調といった技術の効率化と有効化が促進される。

資本の解放：資金調達と適応策の拡大

資金調達なくして適応策はありえない。本稿で分析した20種類の適応策にかかる費用全体の約40%は資本支出で、洪水のように大規模なインフラを必要とする災害では、その割合は更に高くなる。エアコンのような消費者主導の対策は、事前に必要な資本支出は比較的少額かもしれないが、それでも投資額は個人や世帯にとってかなり負担の大きいものになる可能性がある。

いずれにせよ適応策向けの資金調達は困難で、構造的障壁が多数存在する。資金を拠出する側と恩恵を受ける側が必ずしも同一ではないため、投資のインセンティブが整合性を欠いたものになる可能性がある。便益は損害の回避という形でもたらされ、直接的な売上に結びつかないことが多いこと、根本的な気候変動リスクの評価が困難であることから、便益の価値や発生時期が不明確である。

本稿で検討した20種類の適応策を実施し、2°Cシナリオのもとで現行の保護水準を維持するには、2050年までに合計6兆ドルもの資本支出が必要になる⁸⁸。その一部は個人、政府、企業に適応策自体の資金を提供させることで賄えるが、多くは外部からの資金を必要とするであろう。金融機関はそうした資本を動員する上で極めて重要な役割を果たすことができるが、その第一歩となるのは既存金融商品の拡販である。例えば銀行は耐水化のような家庭の改修工事向けに融資を行うことが可能で、特に住宅ローンで関係を構築済みの場合は融資しやすいと考えられる。同様に、大規模インフラ案件のプロジェクトファイナンスに災害耐性強化用の先行投資を盛り込むこともできるであろう。

2°Cシナリオのもとで世界中の災害防御策を先進国水準まで引き上げるには総額約15兆ドルの資本支出が必要となり、資金需要は更に増大する。こうしたニーズを満たすには、従来の金融商品の規模を拡大したり、適応策に特化した新しい融資ソリューションを考案したりする必要があるであろう。

譲許的融資と市場金利による融資を組み合わせた混合融資モデルや地方債のような手段は既に適応策の支援に活用されており、規模を更に拡大することができる⁸⁹。例えばマイアミが4億ドルを拠出して創設したMiami Forever Bondは、気候変動対策だけでなく、インフラや公共安全施策など他の自治体の優先案件にも資金を提供している⁹⁰。

耐性強化債券のような新しい仕組みは更に進んでいて、資本の充当先を適応策だけに絞ったり、場合によっては支払い額を災害耐性強化の成果を数値化したものと直接的に連動させたりするという手法を採用している。東京都が認定を取得したレジリエンスボンドは、洪水対策や電柱の地中化といったプロジェクトに資金を振り向けている⁹¹。これと並行して、機関投資家も災害耐性強化策への資金提供や適応策向けの製品やサービスを提供する企業への投資に関心を示し始めている。そうした企業を特定し、重点的な投資戦略の策定を可能にする新たな分類法が登場してきていることも、その促進要因となっている⁹²。

金融機関はこうした適応資金調達市場の拡大に対応するため、気候リスクのモデル化、適応から得られるリターンの定量化技術、引受や投資の枠組みへのレジリエンス指標の組み込みなど、新たな能力を構築する必要がある。

最後に、適応策の資金調達額は当然ながら個人、政府、企業からのリスク管理策に対する需要がどの程度あるかという点に左右されるが、金融機関が需要を喚起し、規模拡大の促進をねらって積極的に対策を打っている例も一部にみられる。カリフォルニア州では保険会社が森林火災への適応策を導入する住宅所有者に対して損害保険の保険料割引を始めている。ただしそれがどの程度普及につながっているのかを判断するには時期尚早である⁹³。

事態の收拾：適応策がない場合、あるいは不十分な場合、誰が資金を拠出するのか

他のリスクも同様だが、気候変動に関するリスクを抑制したいと望んでいる人々や組織は、投資を通じて様々な度合のリスクに適応すること、あるいはリスクを分担することができる。これまでみてきたように、リスク許容度から支出の優先順位、他のステークホルダーの意思決定まで、家計、政府、企業の意思決定に影響をおよぼす要因は実に様々である。

リスクの一部または全部を負担することを選択した人は、保険を活用してその経済的負担を管理または移転することができる。一般的な損害保険のプランでは、契約者は年間保険料を支払い、例えば洪水被害が発生した場合に保険金を受け取る。パラメトリック保険はこの変異型で、特定の測定可能なトリガーイベント、例えば一定温度以上の熱波が一定日数以上発生した場合に、契約者に所定額が支払われる。従来の損害保険と異なり、パラメトリック保険は実際の物理的損害の評価を必要としないが、トリガーとなるパラメータの設定と監視は慎重に行わなければならない。最近ではインドの女性農業従事者や香港の建設労働者を対象に、猛烈な熱波襲来時の収入減を保障する保険プランの提供が始まった⁹⁴。

当然ながら、ステークホルダーは保険に頼らずにリスクを緩和することを選ぶかもしれない。保険は常に活用できるとは限らないし、高価すぎるかもしれない。リスクが深刻化している場合はなおさらである⁹⁵。また適応策が稼働している場合や保険が活用できる場合であっても、災害によって想定以上の損害が発生し、システムのどこかで吸収しなければならなくなる可能性がある。損失を吸収するには、一般家庭は貯蓄を取り崩すか借金をし、企業は資産を償却し、保険会社や再保険会社は保険金を支払う必要がある。所得の高い地域や人口集団の多くでは、公的機関が最終的に保険会社のような役割を果たしてくれるのではないかという期待感も、民間の適応策やリスク削減策を奨励する制度を弱体化する要因となる可能性がある⁹⁶。結局のところ、誰かがリスクを負担しなければならないのだ。

人類は長年にわたり、しばしば独創的な方法を用いて異常気象に適応し、干ばつ、森林火災、暑熱ストレス、洪水にさらされた世界を生き抜いてきた。世界では費用対効果の高い適応策が数多く開発され、現在も使用されている。しかし災害耐性の格差は解消せず、気候の変化とともに拡大、進化していくであろう。適応策にかかる費用を増やすか否か、どのようにして増やすかを決めるのは、最終的には各々の家庭、政府、企業である。現時点における災害耐性格差と将来的ニーズを理解しておくことは、こうした選択をする上での参考材料となり、更にはあらゆる人々の幸福と繁栄の増進を支える力となるであろう。

謝 辞

本レポートはマッキンゼー・グローバル・インスティテュート (MGI) が気候変動への対応策を検討するために実施した広範な調査研究を土台に作成したもので、緩和策にかかる費用や、その実現に必要な手段に関する評価も盛り込まれている。

リサーチはMGIパートナーのメカラ・クリシュナン (Mekala Krishnan)、MGIディレクターのオリビア・ホワイト (Olivia White) およびシルヴァン・ヨハンソン (Sylvain Johansson)、MGI前会長のスヴェン・スミット (Sven Smit)、MGIシニアフェローのアナベル・ファー (Annabel Farr) とカンマニ・チョッカリンガム (Kanmani Chockalingam) が主導した。

日本語版に関しては東京オフィスパートナーの和田浩平、準パートナーの木原崇彰の協力を得た。

Credentials

リサーチにはマッキンゼーの同僚や元同僚も多数参加した。初期段階ではジリアン・ペイス (Gillian Pais) が共同指揮を執り、グアルティエロ・イエーガー (Gualtiero Jaeger) が作業チームを統率した。同チームにはライリー・ブレイディ (Riley Brady)、エンリコ・カルバネーゼ (Enrico Calvanese)、クラーク・ドーマン (Clark Doman)、ジェイミー・ダン (Jamie Dunn)、メレディス・フィッシュ (Meredith Fish)、マリー・フドウ (Marie Houdou)、キャロライン・ジュペ (Caroline Jupe)、ソーニャ・カララ (Sonya Kalara)、フランソワ・クライン (Francois Klein)、ディラージ・クマール (Dhiraj Kumar)、ジェイク・リーバーファーフ (Jake Lieberfarb)、ソフィア・リアン (Sophia Lien)、トレバー・リウ (Trevor Liu)、シルピタ・マシューズ (Shilpita Mathews)、リード・マクラウリン (Reid McLaughlin)、アダム・ノワコフスキー (Adam Nowakowski)、ブランドン・グエン (Brandon Nguyen)、シュレヤンギ・プラasad (Shreyangi Prasad)、カリヤニ・サンカル (Khalyani Sankar)、エイダン・サラゼン (Aidan Sarazen)、エミリー・スピトル (Emily Spittle) らが所属していた。チームの専門家メンバーには、ジャン・フランソワ・ラマ

ルク (Jean-François Lamarque) とヤン・レナーツ (Jan Lenaerts) がいた。

また、ロンドン・スクール・オブ・エコノミクス地理環境学部環境政策学科教授のサイモン・ディーツ (Simon Dietz) 氏、オックスフォード大学スミス・スクールおよび地理環境学部気候変動経済学・政策学科教授のサム・ファンクハウザー (Sam Fankhauser) 氏、王立気象学会フェロー、ロンドン・スクール・オブ・エコノミクス教授研究員のデビッド・スタインフォース (David Stainforth) 氏、ブリュッセル自由大学准教授のウイム・ティエリ (Wim Thiery) 氏 (方法論の設計と気候災害の進化に関する結果のレビューをお願いした)、ロンドン・スクール・オブ・エコノミクス気候変動と環境に関するグランサム研究所客員シニアフェローのジョン・ウォード (John Ward) 氏にはアカデミック・アドバイザーとして、リサーチの指針を提示し、時にチーム員の考え方に異議を唱え、議論の骨子を鮮明にしていた。心より感謝を申し上げたい。

さらに、ハーバード大学シニアフェローのサラ・ベッティガー (Sara Boettiger) 氏、パデュー大学地球・大気・惑星科学部教授のマシュー・ヒューバー (Matthew Huber) 氏、カリフォルニア大学ロサンゼルス校統計学部環境・持続可能性研究所准教授のカレン・アライン・マッキノン (Karen Aline McKinnon) 氏、イースト・アングリア大学気候適応学教授のロバート・ニコルズ (Robert Nicholls) 氏、カーネギー・サイエンス主任研究員でスタンフォード大学ドーア・スクール・オブ・サステイナビリティ助教授のロレンツォ・ローザ (Lorenzo Rosa) 氏、カナダ天然資源省森林局研究員のシアンリ・ワン (Xianli Wang) 氏には学問上の専門知識を生かして知見の提供や分析手法に関する助言をいただき、リサーチに大いに役立てることができた。また、Fathomの外部データパートナーにも謝意を表したい。

その他、アンタラ・バナジー (Antara Banerjee)、クリス・ブラッドリー (Chris Bradley)、ザック・ブルイック (Zach Bruick)、デイブ・アイクホルト (Dave Eickholt)、カンディス・ハーパー

(Kandice Harper)、ニック・キングスミル (Nick Kingsmill)、アダム・ルビン (Adam Rubin)、アレクシス・トリティポ (Alexis Trittippo)、ショーン・ターナー (Sean Turner)、ローラ・ヴォーツェル (Lola Woetzel) など、多くのマッキンゼーの同僚からも意見や助言をいただいた。

本レポートの編集・制作は、エグゼクティブエディターのステファニー・ストローム (Stephanie Strom)、シニアデータ・ビジュアライゼーションエディターのチャック・バーク (Chuck Burke)、データ・ビジュアライゼーションエディターのローラ・M・マンドウジャーノ (Laura M. Mandujano)、アシスタント・マネージングエディターのリシャブ・チャトゥルヴェディ (Rishabh Chaturvedi)、エディターのメアリー・ゲイエン (Mary Gayen)、リードデザイナーのネイサン・R・ウィルソン (Nathan R. Wilson) が担当した。最後に、スザンヌ・アルバート (Suzanne Albert)、アंकシュ・アローラ (Ankush Arora)、デヴィッド・バッチェック (David Batcheck)、ニエンケ・ブーワー (Nienke Beuwer)、アシュリー・グラント (Ashley Grant)、キャシー・グイ (Cathy Gui)、ステイブ・ランドー (Stephen Landau)、ジャネット・ミショー (Janet Michaud)、マリー・モリス (Marie Morris)、レベッカ・ロブボーイ (Rebeca Robboy)、レイチェル・ロビンソン (Rachel Robinson)、ジュリー・シュウェイド (Julie Schwade) の貢献とサポートにも感謝の意を表したい。

本レポートの趣旨は、ビジネスリーダーや政策立案者が世界経済に大きな影響を与える要因を理解するための支援を行うというMGIの使命に合致している。また、本レポートに関する調査研究は、MGIのほかのすべての調査研究と同様に独立的に実施したものであり、いかなる企業、政府、機関、組織からの依頼や報酬も受けていない。リサーチの実施にあたっては各方面から得た幅広い知見の恩恵を受けたが、本レポートではマッキンゼー独自の見解を提示している。どのようなものであれ、誤りがあればすべてマッキンゼーの責任である。

後注

- 「デルタ計画」、英国土木学会、閲覧日 2025 年 10 月 7 日、および Yannick Rack、「オランダはいかにして洪水対策における世界的リーダーになったか」、Our Industrial Life、2025 年 2 月。
- リー・クアンユー「The East Asian way—with air conditioning」New Perspectives Quarterly 2009 年 9 月号、第 26 巻 4 号。
- 暑熱、森林火災、干ばつ、洪水の 4 カテゴリーについて、気候災害に対する防御力を試算した。これら災害の詳細な定義についてはコラム「本稿で考察対象とした災害」を参照。
- 198 カ国について 2020 年 12 月と 2025 年 10 月に試算。各国の適応計画は国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) や欧州連合に正式に提出されたもの、あるいは独自に採択されたものを数計した。UNFCCC に適応計画を提出したのは 78 カ国。「Submitted NAPs from developing country parties」UNFCCC、2025 年 11 月 18 日、「NAPs shared by developed country parties」UNFCCC、2025 年 11 月 5 日参照。同様の分析については「Paving the way to resilience:Strengthening public-sector adaptation planning and execution」マッキンゼー、2023 年 11 月を参照。
- 198 カ国について 2020 年 12 月と 2025 年 10 月に試算。各国の適応計画は国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) や欧州連合に正式に提出されたもの、あるいは独自に採択されたものを数計した。UNFCCC に適応計画を提出したのは 78 カ国。「Submitted NAPs from developing country parties」UNFCCC、2025 年 11 月 18 日、「NAPs shared by developed country parties」UNFCCC、2025 年 11 月 5 日参照。同様の分析については「Paving the way to resilience:Strengthening public-sector adaptation planning and execution」マッキンゼー、2023 年 11 月を参照。
- 災害の危険性に関する地理空間分析には、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) でも使用されている気候モデルと科学的評価を用いている。当該災害が毎年発生する場合、(慢性災害)、あるいは当該災害がいずれかの年に発生する可能性がある場合 (急性災害) に、その場所には気候災害発生の「危険性がある」と表現する。「危険性がある」とは、気候災害によって実際に損害が発生することを指しているわけではない。例えば 100 年に一度の規模で発生する 50cm の洪水に見舞われる場所と、1 カ月以上暑熱ストレスに見舞われる場所は、どちらも災害発生の「危険性がある」のであって、どのような損害がどの程度の大きさで発生する可能性があるかが大幅に異なっている。危険性があることに変わりはない。災害の定義については、コラム「本稿で考察対象とした災害」と付録を参照されたい。
- 「Climate Change 2023:Synthesis Report」、気候変動に関する政府間パネル第 6 次評価報告書に対する第 1、2、3 作業部会の寄稿、気候変動に関する政府間パネル、2023 年。
- 様々な研究が示す通り、災害の影響はサプライチェーンを通じて段階的に拡大する可能性があり、その問題に対応するための実用的な適応策が存在する。例えば企業レベルの調査で示されたところによると、サプライヤーの拠点で猛暑が発生するとサプライヤーの生産性が低下し、生産州で干ばつが発生すると州間の輸出と川下の食品生産量が減少し、2011 年のタイのような洪水が発生すると自動車やエレクトロニクスのネットワークが混乱する可能性がある。サプライチェーンの耐性は本稿で分析した 20 種類の適応策によって確立可能だが、対策は他にも存在する。例えば複数調達先の確保、在庫バッファの維持と戦略的備蓄、キャンペーンの確保、柔軟な契約の採用、物流計画の改善、災害発生の危険性がより低い地域への施設移転といった戦略がこれに相当する。Nora M. C.Pankratz および Christoph M.Schiller、「Climate change and adaptation in global supply-chain networks」、The Review of Financial Studies、2024 年、第 37 巻、第 6 号、Hyungsun Yim および Sandy Dall'erba、「Impact of extreme weather events on the U.S. domestic supply chain of food manufacturing」、Proceedings of the National Academy of Sciences、2025 年 10 月、第 122 巻 41 号、Masahiko Haraguchi および Upmanu Lall、「Flood risks and impacts:A case study of Thailand's floods in 2011 and research questions for supply chain decision making」International Journal of Disaster Risk Reduction、2015 年 第 14 巻 第 3 部、Ying Guo et al.「Supply chain resilience:A review from the inventory management perspective」Fundamental Research 2025 年 3 月号、第 5 巻、第 2 号を参照。
- 世界の気温観測データによると、地球の気温は 2020 年までの 10 年間で、産業革命以前の水準に比べて 1.1℃上昇している。2020 年は本分析が開始された年で、本稿ではその年の気象を「現在」または「現時点」の気象条件と呼んでいる。(2015 年から 2024 年までの 10 年間における最新推定値の平均は 1850 年から 1900 年までの世界気温より 1.24℃上昇している。)2011 年から 2020 年にかけて観測された平均的な気候を 2020 年の社会経済状況に当てはめるため、気温が 1.1℃上昇した場合の気候災害を、2020 年の人口と GDP の基準値に合わせる形で評価した。本稿では通常の気候分析と同様、温暖化レベルは特定の年の気温ではなく、長期的な平均気温を指している。「Summary for policymakers」、「Climate Change 2021:The Physical Science Basis」、気候変動に関する政府間パネル第 6 次評価報告書に対する第 1 作業部会の寄稿に所収、ケンブリッジ大学出版局、2021 年所収)、「Indicators of Global Climate Change 2024:Annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence」(Earth System Science Data、Copernicus Publications、2025 年所収) を参照。南極大陸は人が住んでいないため、分析対象から除外。
- 2020 年に 1.1℃で気候災害発生の危険性がある場所に暮らしている人口が 41 億人という本稿の推定は先進国経済における適応基準の定義に基づくもので、世界銀行の推定 45 億人とほぼ一致しているが、災害の組み合わせは異なっている。世界銀行はサイクロンを含むが、本分析では含まれていない。本分析ではそれ以外に暑熱ストレス、致命的酷暑、森林火災も検討対象に加えている。更に同じような災害でも定義は様々なので、発生確率の数字全般に多少ばらつきがある。Miki Khanh Doan et al.「Counting people exposed to, vulnerable to, or at high risk from climate shocks」、Policy Research Working Paper 第 10619 号、世界銀行、2023 年 11 月を参照。
- 本稿では 4 カテゴリー 8 種類の災害を分析する。暑熱ストレスと山林火災 (本稿では「森林火災」とも称する) の危険性は慢性的で、発生の危険性がある場所では毎年発生している。分析対象となった残り 6 種類の災害、すなわち沿岸洪水、河川 (河口) 洪水、過度の降雨 (豪雨) による洪水、熱波、致命的酷暑、農業地域の干ばつ (本稿では「干ばつ」と称する) の危険性は急性で、激甚ではあるが頻度は少ない事象である。急性災害の場合、その場所に災害発生の危険性があっても、実際に当該災害が毎年発生するとは限らない。
- この投資によって少なくとも 1 つの気候災害に関して何らかの適応策を講じ、12 億人を当該災害から守ることができる。複数の気候災害から守られる必要があるにもかかわらず、1 種類の気候災害からしか守れない人もいる。そこで災害別のデータセットを幅広く分析し、各災害について最も一般的に実施されている適応策の浸透度を評価することで、災害別に保護されている人の数を評価した。
- 様々な研究者が気候災害による被害の額を試算している。ブルームバーグによると、物的損害、事業の中断、労働生産性、作物収量上の損失など、重大な影響が及ぶ世界的複合災害の被害額は、2020 年には約 1 兆ドルに達した。詳細は Bloomberg NEF「Ranking resilience:Assessing country climate adaptation」、2025 年 10 月を参照のこと。Swiss Re によると、2014 年から 2023 年にかけて、洪水による物的損害は年間 1,770 億ドル、森林火災による物的損害は 1,060 億ドルに上ると考えられている。詳細は Swiss Re「Changing climates:The heat is (still) on」2024 年 2 月、Swiss Re「Focus on natural catastrophes:Wildfires」2025 年 1 月を参照のこと。調査によって、被害額が時間の経過とともに増加していることも明らかになっている。そこからは、気候が産業革命以前の状態であっても発生していたと考えられる気候災害からの保護も不十分であること、また災害の一部は温暖化が進んだ現在の世界にあって、既に激甚化していることが読みとれる。調査結果からの推定に比べて、被害額が時間の経過とともに増加しているのは、大半が開発国のパターンに起因している。人々が十分な保護策をとらないまま、災害発生の危険性が高い場所に居住地域を拡大したのだ。Munich Re の NatCatSERVICE(1980 年～2021 年)によれば、災害による被害が増加したのは、主に災害発生の危険性が高い地域で人、資産、経済活動の密度が高まったためである。Pielke(2019 年)は歴史的研究によって、気候変動だけでなく、災害発生の危険性が高い場所での人口増加と社会経済的発展が災害被害拡大の主要因であることを明らかにしている。しかし気候そのものが目に見えて変化し、それが少なくとも部分的には被害の拡大に寄与しているという証拠も新たに出てきている。IPCC は人間活動に由来する温暖化によって酷暑の頻度と強度が増加し、

- 一部地域で豪雨、干ばつ、火災の発生頻度が拡大したと確信をもって指摘している。Stott et al.(2016年)のような帰属研究も同様に、最近の熱波や洪水の多くに関して、気候変動によって発生確率が著しく高まったことを示している。詳細は Munich Reinsurance Company, 「NatCatSERVICE: Loss events worldwide 1980–2021」、2022年、Roger Pielke 「Tracking progress on the economic costs of disasters under the indicators of the sustainable development goals」 Environmental Hazards 誌 2019年第18巻第1号、「Climate Change 2021: The Physical Science Basis」、気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書に対する第1作業部会の寄稿、ケンブリッジ大学出版局、2021年、Peter A. Stott et al. 「Attribution of extreme weather and climate-related events」、Wiley Interdisciplinary Review of Climate Change、2016年1月/2月、第7巻1号を参照されたい。
- 14 本稿の定義では、暑熱ストレス発生の危険性がある場所とは、日次平均湿球黒球温度(WBGT)、暑さと湿度を合わせた指標が29.4℃(労働生産性損失の約25%に相当)を上回る蒸し暑い日、あるいは1日の最高気温が40℃を超える乾燥した暑い日が平均的な1年のうちに28日以上続く場所を指す。
- 15 本稿の定義では、熱波発生の危険性がある場所とは、現地基準で高温といえる状態が7日以上連続して発生する確率が現行基準で5%(20年に一度の割合)に達した場所を指す。現地基準の高温状態とは、その場所の1日の最高気温の99パーセントイルが32℃以上になる状態を指す。
- 16 複数文献に記載された試算によると、健康、労働生産性、事業の中断、農業生産、資産損害を含む暑熱ストレスの被害関数は、災害発生の危険性のある場所では、平均して1.1℃シナリオにおける熱波の場合の7倍に達する。具体例については Yida Sun et al. 「Global supply chains amplify economic costs of future extreme heat risk」、Nature 誌 2024年3月号、Ludovic Subran et al. 「Global boiling: Heatwave may have cost 0.6pp of GDP」、Allianz SE、2023年8月を参照されたい。
- 17 Emicool、閲覧日2025年10月6日、Science Media Center (SMC) Spain、「How the Ministry of Health's extreme temperature alerts work」、2024年6月。
- 18 「Powerline bushfire safety program: Benefits realisation report」、Aurecon and the Victoria Department of Environment, Land, Water and Planning、2021年6月、「Rapid Earth Fault Current Limiter (REFCL)」レポート、2024年12月、ビクトリア州森林火災リスク管理報告書 2023-2024年、Victoria Department of Energy, Environment and Climate Action、2024年12月。
- 19 Sibi Arasu、「In one Indian city, reflective paint and bus stop sprinklers offer relief from killer heat」、AP通信、2025年5月13日、アーメダバード暑熱対策計画、アーメダバード市役所、2019年、Jeremy J. Hess et al. 「Building resilience to climate change: Pilot evaluation of the impact of India's heat action plan on all-cause mortality」、Journal of Environmental and Public Health、2018年11月、第2018巻、Amit Dave、Gloria Dickle、Shilpa Jamkhandikar、「Indian slums get 'cool roofs' to combat extreme heat」、ロイター、2025年3月10日、「Preparedness & response through passive infrastructure: Cool roofs in heat action plans」、NRDC-WHO Capacity Building Workshop on Health, sector action plan for preparedness and response to heat wave、2021年7月15日。
- 20 Peyalo Menendez et al. 「The Global Flood Protection Benefits of Mangroves」、Scientific Reports、2020年3月、第10号、Diarlei Rodrigues および Maurício Savarese、「Rio de Janeiro Bay reforestation shows mangroves' power to mitigate climate disasters」、AP通信、2025年5月14日。
- 21 「便益」とは適応策の実施によって回避できる損失の年間平均額で、損害の年間予想額という形で試算できる。年間平均損害額は研究文献から引用したもので、気候災害が人的資本、物的資本、自然資本に与える影響を表し、一般に直接的影響と二次的影響がいずれも含まれている。これは災害の深刻度や災害発生の危険性がある場所でのどのような経済活動が営まれているかによって、地域ごとに大きく異なる可能性がある。そうした損害は、経済全体が負担する総合的損失であって、単一の利害関係者グループが負担するものではない。費用の測定は年間資本支出と運営経費を通じて行っている。
- 22 Harald Heubaum et al. 「The triple dividend of building climate resilience」、World Resources Institute、第1.0版、2022年11月も参照のこと。
- 23 更に、森林火災に対する適応策の一部は、災害事態の発生確率を減らすことはできるが、完全にすることはできない。例えば送電線を地下に埋設すると、発火のリスクを下げるという効果はあるが、もちろん森林火災のリスクがなくなるわけではない。
- 24 更に、森林火災に対する適応策の一部は、災害事態の発生確率を減らすことはできるが、完全にすることはできない。例えば送電線を地下に埋設すると、発火のリスクを下げるという効果はあるが、もちろん森林火災のリスクがなくなるわけではない。
- 25 本稿では森林火災を引き起こしやすい気象条件のことを主に「森林火災」、農業地域の干ばつのことを「干ばつ」と表記している。干ばつが農作物の収量に及ぼす一次的影響(主に農村部に影響するが、時には近隣の町にもおよび)に重点をおいて分析を行っているため、干ばつ発生の危険性の大きさを、その地域の農地として分類される各グリッドセルの割合に応じて拡大縮小している。農地の特定は、欧州宇宙機関(ESA)が主導する気候変動イニシアチブ(CCI)の2020年時点における解像度300メートルの植物機能型(PFT)データセットを用いて実施している。農地の割合(元のデータセットでは「GRASS-MAN」となっている)を1平方キロのグリッドにバイリニア補間した結果、世界の農地面積は推定で約21億ヘクタールとなった。同様に、森林火災は植生(樹木や草地)に覆われた場所でしか発生しない。地表が植生に覆われているか否かの判断には、干ばつと同じデータセットと方法を使用している。樹木の割合については、樹木に関する4つの植物機能型(PFT)を合算し、樹木全体の割合を求めた。草地に関するデータは GRASS-NAT PFT から採った。地表が灌木に覆われている割合は世界的にみるとごくわずかなので、ここには含めていない。
- 26 災害耐性の格差とは、本稿で調査した各々の災害に対する最も有効な解決策の実施状況に格差があり、対策が施されないまま放置されている人々の割合を指す。本稿では暑熱、森林火災、干ばつから人々を守ることに関する災害耐性の格差を国別に測定した。そうした格差の測定にあたり、災害別に具体的な解決策、例えば暑熱ストレスではエアコン、熱波では早期警報システム、森林火災では送電線の地中化、干ばつでは灌漑を評価した。洪水対策については1平方キロ単位で測定を行った。
- 27 世界を9つの人口集団に分けたことで、地域間の災害に対する人々の脆弱性を示すことも可能になった。ただし、所得と都市化のレベルは災害の影響と災害対応能力の両方を示すことで脆弱性を把握する方法の一つにすぎない。世界銀行は同様に、気候災害に弱い人々を、悪影響を受けやすい傾向や素因を持つ人々とみなしている。その測定にあたっては、主に以下2要素を通じて把握が行われている。(1)水や電気といったライフラインが利用できなくなるなど、甚大な物的損害が発生しやすい傾向、(2)所得や教育水準の低さ、金融サービス利用の制約、社会保障制度の不在など、損失対処力、損失からの回復力の欠如。詳細は Miki Khanh Doan et al. 「Counting people exposed to, vulnerable to, or at high risk from climate shocks」、Policy Research Working Paper 第10619号、世界銀行、2023年11月を参照されたい。もう一つのアプローチはノートルダム大学グローバル応用イニシアチブ(ND-GAIN)のフレームワークで、脆弱性を3つの要素、すなわち物理的な気候リスクにどの程度さらされているか、気候感応度、つまりその国が雨水農業や淡水資源といった気候に左右されやすい要素にどの程度依存しているか、適応能力、つまり所得水準、ガバナンスの質、制度の盤石さといった要素で形成される災害対処力、災害からの回復力という面から定義している。
- 28 「The future of cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning」、国際エネルギー機関、2018年、Giacomo Falchetta et al. 「Inequalities in global residential cooling energy use to 2050」、Nature Communications、2024年9月、Giacomo Pavanetto et al. 「Air-conditioning and the adaptation cooling deficit in emerging economies」、Nature Communications、2024年9月、Lucas Davis et al. 「Air conditioning and global inequality」、Global Environmental Change、2021年5月、Marina Andrijevic et al. 「Future cooling gap in shared socioeconomic pathways」、Environmental Research Letters、2021年9月。
- 29 例外は北米の沿岸洪水対策で、洪水発生の危険性がある海岸線のうち、対策が施されているのはわずか22%であるのに対し、インドでは同36%である。こうした差が生まれるのは、主として北米で洪水発生の危険性がある海岸線の87%が農村部にあり、防潮堤のような防護インフラを建設しても費用対効果が見込めないことが多いためである。一方、インドでは洪水発生の危険性がある海岸線のうち、農村部にあるのはわずか63%で、既存防護施設の大半は、経済活動が旺盛で防護措置を施す意味のある都市部に集中している。
- 30 保険の選択から推測されるリスク選好度に関する議論については、Levon Barseghyan et al. 「The nature of risk preferences: Evidence from insurance choices」、American Economic Review、2013年10月を参照されたい。調査によると、富裕層ほど生命保険や損害保険に加入しようとする傾向がある。例えば Michael J. Gropper、Camelia M. Kuhnén 「Wealth and insurance choices: Evidence from U.S. households」、The Journal of Finance、2025年4月、Giovanni Millo 「The S-curve and reality」、The Geneva Papers、2016年参照。
- 31 本稿では2つのデータセットの差を計算することで、沿岸洪水と河川洪水から保護されている人の数を推定している。1つめのデータセットは「防衛策の対象外」層、すなわち防衛策が一切講じられておらず、本質的に災害の危険性にさらされている場所に

関するもの、2 つめのデータセットは「防御策の対象」層、すなわち堤防のような防御策を講じた後に災害被害にあふ危険性がどの程度残っているかを考慮したもので、いずれも 2021 年に発表された Fathom Global Flood Map Fathom 3.0 のデータを活用している。豪雨による洪水にも同様のアプローチを適用しているが、入手可能なデータは詳細度が劣っている。

32 総費用の試算額には、資産の耐用期間全体にわたって償却される資本支出額と、2050 年まで適応策を実施するための年間平均運営経費がいずれも含まれている。運営経費が人口増加に比例してどの程度増大するかについては、2020 年、2030 年、2050 年の人口をそれぞれ検討し、それらの期間を線形補間する形で予測している。本稿では取り上げた 20 種類の適応策について、現状で防御策に費やされている支出を試算した。ここでは現状で適応策に費やされている支出の試算額と、Climate Policy Initiative(CPI) が発表した 2023 年の適応策に関する資金フローの試算額 (1,300-1,520 億ドル) を比較した。この試算額には CPI の分類法で「適応する可能性が高い」家庭用 (650-870 億ドル) とプロジェクト単位の予算 (650 億ドル) がいずれも含まれている。CPI の数値は、都市の木々や冷房用シェルターなど、本分析で取り上げる災害や対策すべてを完全に捕捉しているわけではない。CPI の試算と直接比較可能な指標として、本稿では現状の支出額を 1,400 億ドルと見積もっているが、これは CPI の試算と一致している。

33 これらの数値は災害から身を守るため、あるいは災害に適応するための費用を示している。災害によって発生した損害や被害を表すものではない。Bloomberg によると、物的損害、事業の中断、労働生産性の低下、作物の収量減少といった重大な被害発生要因を通じた世界の複合災害の被害額は、2020 年には約 1 兆ドルに達するといふ。これは災害発生の危険性、文献に記された一般的な被害関数、現状の災害耐性格差を検討した本稿の試算額と一致する。Swiss Re によると、2014 年から 2023 年にかけて、洪水による物的損害は年間 1,770 億ドル、森林火災による物的損害は 1,060 億ドルに上ると考えられている。この数字も本稿の試算と一致している。詳細は Bloomberg NEF 「Ranking resilience: Assessing country climate adaptation」、2025 年 10 月、Swiss Re 「Changing climates: The heat is (still) on」、2024 年 2 月、Swiss Re 「Focus on natural catastrophes: Wildfires」2025 年 1 月を参照のこと。

34 1 ドル = 106.745 円: 2020 年に日本銀行が公表した 9:00 時点の対顧客電信売相場 (中値) の年平均

35 本稿では各々の地域、人口集団、災害について、物理的な実現可能性 (例えばマングローブで洪水を防げるのは特定の緯度のみ)、費用対効果 (便益費用比率、略称 BCR、便益は年間平均損失回避額、費用は年間資本支出額および運営経費として測定) を考慮し、最も防御効果の高い対策を評価している。ある対策の費用対効果が高いとは、BCR が 1.5 を上回った場合をいう。費用対効果が高いと考えられる対策が複数特定された場合、採用可能な選択肢の中で最も高い保護効果を発揮する可能性があるものを検討した。

36 本稿では 25 種類の現行軌道排出シナリオを、IPCC、気候変動リスク等に係る金融当局ネットワーク (NGFS)、国際エネルギー機関 (IEA) が発表あるいは実施した政策に基づいて評価し、幅広い気候影響の試算を反映している。これらシナリオによると、ある年を中心とした 20 年間の平均値として気温上昇を測定し、産業革命以前の平均値と比較し

た場合、世界の気温が産業革命前の水準を 1.5°C 上回るのは 2025 年から 2035 年までの間のどこかということになる。25 種類のシナリオでは、2030 年の気温が産業革命前の水準を 1.45°C から 1.55°C 上回っている。IPCC のシナリオでは 2050 年までの気温上昇幅の中央値は 2.0°C で、NGFS と IEA の最新シナリオでも 2°C である。2100 年までについて同じモデル一式によって試算した気温は、3.0°C (IPCC シナリオの平均、最大 3.7°C)、2.9°C (NGFS と IEA 現行政策)、2.5°C (IEA 公表政策) である。IPCC と NGFS のシナリオは、現在発表済みの政策が維持されるという前提に基づいている。NGFS については、国家の気候政策のうち、2024 年 3 月時点で法制化され、支援制度が機能しているものが対象となっている。IPCC のシナリオの場合、具体的にどの政策が反映されているかはモデルによって異なる。IEA の現行政策シナリオ (2025 年) では、既に法律や規制という形で導入されている政策だけが検討され、政府がその意向を示している場合でも将来的に変更はないという想定に立っていて、新しいエネルギー技術の導入がどの程度のペースで進み、エネルギーシステムに統合されるかという点については慎重な見方がとられている。一方、公表政策シナリオでは、法制化された政策だけでなく、正式に提案された政策やその他公式戦略文書で政策の方向性が示されているものも取り入れ、政策環境をより幅広く解釈したものが検討されている。詳細は IEA 「World Energy Outlook 2025」(2025 年 11 月) を参照のこと。

37 更に、現在実施中の対策の中には雨水排水ネットワークのように耐用年数が数十年におよぶものもあるため、災害が数十年後にどう変化している可能性があるかを検討し、将来的に高額な改修費用が発生しないよう気を配るべきである。

38 総費用の試算額には、資産の耐用期間全体にわたって償却される資本支出額と、2050 年まで適応策を実施するための年間平均運営経費がいずれも含まれている。国連環境計画の「Adaptation Gap Report 2025」では、2035 年までの適応策の年間費用が 3,100 億ドルと見積もられている。期間や地理的範囲、対象範囲が違っているので比較しにくい。本稿の分析を UNEP の対象範囲に合わせる年間約 1100 億ドルになり、重複外のカテゴリーを除外するとだいたい一致する。UNEP は中低所得国における住宅冷房など民間部門の費用が最低 2,500 億ドルに上るとも述べており、これは本稿の 2,900 億ドルという試算と近い。

39 一般に致命的酷暑にさらされる場所は暑熱ストレスや熱波にもさらされており、両者に対する適応策は致命的酷暑に対する防護策にもなる。したがって、致命的酷暑に対する防護策の費用は他の暑熱災害の費用に含まれている。干ばつと熱波については、保護レベルは急性災害の発生頻度によって定義されるが、適応策の費用に一般的な稼働条件が反映されるようにするため、試算は急性災害ではなく平均的な年の災害に基づいて行っている。そのため、上記 2 つの災害や、平均的な年にあわせてモデル化した慢性的災害である暑熱ストレスについては、所与の年の費用がここに示した年平均額より高くなる可能性がある。

40 様々な災害から身を守る費用は、それらの災害がどの程度甚大であれば先進国が一般的適応策をとるかという閾値によって変わるため、災害対策を導入する必要がある時期をどのように定義するかによって決まる。例えば本稿では IPCC の研究文献に沿って、干ばつ発生危険性を、土壌含水量の絶対的な尺度ではなく、土壌中の水分の局所的最小値に表れる 20 年に一度規模の事象と定義したが、これ

は農業活動がその土地の気候に基づくもので、気候との相対的關係の変化が適応策の選定にとって最大の判断材料になるためである。一方、暑熱ストレスの危険性は、人間の生産性低下に関わる絶対的な生理的閾値に基づいている。前にも述べたが、こうした閾値は適応策導入のきっかけとなるものに関連しているからである (コラム「本稿で考察対象とした災害」参照)。暑熱ストレスが絶対的な閾値として定義されていることから、暑熱対策の費用が干ばつ対策の費用より高くなっている理由の一端がうかがえる。

41 気候変動は、高潮の激しさ、熱帯低気圧の活発度、波浪状況の潜在的な変化といった複数の物理的機構を通じて、沿岸洪水に影響をおよぼす可能性がある。本稿では Fathom のグローバル沿岸洪水モデルを使用しているが、ここでは気候変動が平均海面の予測変化で表される。将来的な海面変動の局所的推定値は CMIP6 モデルに基づいて各地域の AR6 海面予測データから抽出され、基本海面に適用される。詳細は Oliver E. J. Wing et al. 「A 30 m global flood inundation model for any climate scenario」、Water Resources Research、2024 年 8 月、IPCC 「Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate」ケンブリッジ大学出版局、2019 年を参照されたい。

42 広範な調査によって、2°C シナリオのもとでは 2050 年までに暑熱にさらされる場所で暮らす人の数は多数に上るが、沿岸洪水対策の対象となる人の数は比較的少数にとどまるといふ説が裏付けられている。地球が温暖化しつつあるにつれて、世界の多くの場所で気温の高い日が増加する。詳細は Oriana Chegwidzen および Jeremy Freeman, 「Modeling extreme heat in a changing climate」、(carbon)plan、2023 年 9 月、Chao Li et al. 「Rapid warming in summer wet bulb globe temperature in China with human-induced climate change」、Journal of Climate、2020 年 7 月、Qiaohong Sun et al. 「Global heat stress on health, wildfires, and agricultural crops under different levels of climate warming」、Environment International、2019 年 7 月を参照のこと。熱波については、1.5°C から 2°C の温暖化シナリオに移行することで、頻度、期間、先進国の基準に即した保護が必要な人の数が大幅に増加することが、世界的、地域的分析で示されている。詳細は Alessandro Dosio et al. 「Extreme heat waves under 1.5°C and 2°C global warming」、Environmental Research Letters、2018 年 4 月、Simone Russo et al. 「Half a degree and rapid socioeconomic development matter for heatwave risk」、Nature Communications、2019 年 1 月、Ahmed Al Izzi Alnaqshbandi et al. 「The coldest year of the rest of their lives: Protecting children from the escalating impacts of heat waves」、UNICEF、2022 年 10 月を参照。沿岸洪水については、潮汐、高潮、波浪の状況、海面上昇を組み合わせた世界的なモデリングにより、危険にさらされる土地がいくぶん増加することが示されているが、それでも保護が必要になると予想される人口が現在および 2050 年の世界全体に占める割合は小さく、暑熱関連災害より少ないと考えられる。詳細は Ebru Kirezci et al. 「Projections of global-scale extreme sea levels and resulting episodic coastal flooding over the 21st century」、Scientific Reports、2020 年 7 月、Robert J. Nicholls et al. 「A global analysis of subsidence, relative sea-level change and coastal flood exposure」、Nature Climate Change、2021 年 4 月、第 11 巻 4 号を参照。

本稿の沿岸洪水に関する分析には海面上昇も含ま

れている。平均海面の上昇によって高潮や高波がより内陸まで到達するようになり、洪水の激甚度が上昇する。ここでは「一時的」な海面の変化と関連する平均海面の上昇、すなわち洪水発生時の海面の高さだけを検討対象に含めている。本稿では「不可避の」海面上昇に起因する追加的影響、すなわち気候システムの慣性（海洋による熱吸収と氷河性地殻均衡）によって、所与の温暖化レベルに続いて一定期間にわたって発生する平均海面水位の追加的上昇については検証していない。2050年までについては、IPCCのマーカーシナリオであるRCP2.6(2050年時点まで約1.7℃の気温上昇)では1986-2005年比で0.24m、RCP8.5(2050年時点まで約2.4℃の気温上昇)では0.32m上昇し、2100年までについては0.43mから0.84m、それぞれ海面が上昇すると予測されている。これによって2100年には沿岸洪水の危険にさらされる人々の数が増加する可能性があるが、その数値は人口増加シナリオに大きく左右される。詳細はIPCC「Sea level rise and implications for low-lying islands, coasts and communities」の図表4.2、Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, 2019年、Robert J. Nicholls et al.「A global analysis of subsidence, relative sea-level change and coastal flood exposure」Nature Climate Change, 2021年4月を参照。

43 研究者複数の試算によると、2022年にはエアコンが世界の温室効果ガス排出量の4%近くを占め、エアコンがエネルギーを使用することで排出量が2050年までに5倍に増加する可能性がある。エアコンの排出量はCO₂換算で年間19億5,000万トンと推定されている。そのうち5億3,100万トンは気温を下げる(顕熱冷却)ためのエネルギーに由来し、5億9,900万トンは湿度を下げる(潜熱冷却)ためのエネルギーに由来する。残りの排出量は冷媒の漏れによるものと、空調機器の製造や輸送に伴って発生する体化排出量である。執筆者は今後の見通しとして、送配電網の排出原単位や設備・建物の効率を一定に保たれ、気候変動による追加的な温暖化と湿度上昇を除外したとしても、人口増加とエアコン所有率の上昇によって、湿度負荷による排出量は2050年までにおよそ5倍に増加すると予測している。詳細はJason Woods et al.「Humidity's impact on greenhouse gas emissions from air conditioning」, Joule, 2022年4月、第6巻4号を参照。

44 欧州連合、「Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks」, 2007年11月参照。

45 国連食糧農業機関「Overcoming water scarcity with sustainable irrigation」FAO Agricultural Development Economics Policy Brief 第32号、2020年、Franklin Simtowe et al.「Impacts of drought-tolerant maize varieties on productivity, risk, and resource use: Evidence from Uganda」, Land Use Policy, 2019年11月、第88巻、記事番号104091を参照。

46 エアコンは現在、特に屋内で働く労働者にとって、暑さから身を守る上で最も効果的な対策のひとつである。2050年の年間冷房需要は推定およそ2,400TWhで、これはIEAの試算と一致する。詳細はIEA「World Energy Outlook 2024」2024年10月を参照。ヒートポンプはエネルギー効率と排出率がより高い代替策だが、まだ初期費用が高く、普及率も高くないことから、本稿の試算全般はヒートポンプが今後好ましい解決策になる可能性を示す範囲の中では下限となる可能性がある。蒸発式クー

ラーや扇風機といった他のより低価格な能動的冷房機器や受動的冷房手段、エネルギー効率と排出効率に優れた代替手段となり得るが、効果は著しく劣る。冷房技術の効率には大幅な向上余地がある。詳細は「The future of cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning」、国際エネルギー機関、2018年、Giacomo Falchetta et al.「Inequalities in global residential cooling energy use to 2050」、Nature Communications、2024年9月を参照。

47 保護水準の測定は、各適応策がどのような被害を対象としているのかという観点からみてしっかりと設計され、効果的に実施されることを前提として行われる。各適応策の保護レベルの評価に使用した防御対象となる被害の詳細については、「適応策のライブラリ」を参照のこと。しかし影響が実際にどう出るかは場所によって大きく異なる可能性があることに注意する必要がある。場所によっては保護水準が推定平均より低くなることもある。例えば小島嶼開発途上国の場合、生計が立ち行かなくなったり、インフラが破壊されたりすると損失の影響に加えて、海洋や沿岸の生物多様性の損失、生態系の劣化、水不足といった処し難い制約に直面する可能性もある。詳細は「Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability」、気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書に対する第2作業部会の寄稿に所収の「Small islands」、ケンブリッジ大学出版局、2022年を参照。本稿で試算した保護水準が当てはまるのは分析対象となった災害のみで、ハリケーンや海洋酸性化といった他の災害は対象に入らない。そして当然ではあるが、適応策は必ずしも最適に設計されているとは限らず、費用対効果が高くても普遍的に実施されるとは限らない。更にリスク認識、経済的余裕、制度的な能力といった要因によって導入が制限されることも多い。世界銀行は中低所得地域の適応策に関する学術調査複数を実証的に検証し、そうした対策によって損害が平均46%減少することを明らかにしている。詳細はJonah Rexer and Siddharth Sharma「Climate change adaptation: What does the evidence say?」、世界銀行、2024年3月を参照のこと。

48 BCRの試算における「便益」とは適応策の実施によって回避できる損失の年間平均額、損害の年間予想額という形で試算できる。年間平均損害額は研究文献から引用したもので、気候災害が人的資本、物的資本、自然資本に与える影響を表し、一般に直接的影響と二次的影響がいずれも含まれている。文献に記載されている災害全体でみたミクロレベルの被害関数は、特に海洋生態系がもつ経済的価値のような自然資本への影響を控えめにみていることが多く、適応策の処し難い限界を完全に把握することは困難であることから、そうした損害は本稿の分析対象から除外しているが、BCRの試算はそうした損害を含むものに限定している。災害の被害額を試算した文献の例としてはYida Sun et al.「Global supply chains amplify economic costs of future extreme heat risk」、Nature、2024年3月、Ebru Kirezci et al.「Global-scale analysis of socioeconomic impacts of coastal flooding over the 21st century」、Frontiers in Marine Science、2023年1月を参照のこと。マクロレベルでみると、モデルの限界、物理的リスクを経済的損害にどう反映するかという点の見積りも違い、人口動態や技術動向との相互作用、転換点や非線形的な気候影響の可能性などによって、被害額の試算というタスクは複雑化し、大幅な不確実性を生み出す要因となっている。IPCCの第6次評価報告書では20種類以上の試算が検討され、4℃温暖化シナリオにおける世界GDPの損失は0%少々から30%強の範囲となる可能性のあることが判明した。詳細は

「Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability」、気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書に対する第2作業部会の寄稿「Key risks across sectors and regions」の図表16.12、ケンブリッジ大学出版局、2022年を参照のこと。これら試算の一部には適応策によって回避できた損害の額を算入した後の損害額が反映されている。

49 国際労働機関「Heat at work: Implications for safety and health」2024年7月、米労働安全衛生局「Heat: Prevention: Engineering controls, work practices, and personal protective equipment」(閲覧日2025年11月20日)参照。

50 本稿の災害の危険にさらされている場所に関する評価は、先進国経済における一般的適応計画に基づく閾値の定義に基づいている。使われる正確な閾値は異なるかもしれないが、地球の気温が上昇するにつれて災害の危険にさらされる場所が増えるという説は広く受け入れられており、本稿の試算は研究文献に記載された既存の証拠とほぼ一致している。例えばSimone Russo et al.「Half a degree and rapid socioeconomic development matter for heatwave risk」、Nature Communications、2019年1月、およびJonathan Spinoni et al.「Global exposure of population and land-use to meteorological droughts under different warming levels and SSPs: A CORDEX-based study」、International Journal of Climatology、2021年7月を参照。

51 その土地の平均気温を著しく上回る高温とは、1.1℃シナリオでその場所の1日の最高気温の99パーセントイルが32℃以上である場合と定義する。

52 本稿では1.1℃、1.5℃、2℃シナリオにおける全般的なBCRを試算するため、個々の適応策のBCRを集計したが、これには温暖化のレベルを問わずばらつきがあって、その決定要因は特定の災害強度で回避できた損害の額、総合的な被災の危険性、対策費用などである。

53 本稿で1人当たり適応費用という場合、1.1℃と2℃シナリオで2050年まで1つ以上の災害の危険にさらされる場所における1人当たりの費用を指す。

54 保護対象1人当たりの適応費用は、2℃シナリオではほぼ同じで変わらないが、一部の場所では深刻度が増大する。これは保護対象となる人々の構成が現状の暑熱ストレスのような対策に高額の費用がかかる災害から2℃シナリオにおける熱波のような低費用の災害へとシフトすることで、深刻度の増大が相殺されるためである。

55 労働統計局によると、2025年8月の米民間部門従業員の平均時給は36.53ドルで、130ドルは3.6時間分に相当する。米国で保障額が最も低い自動車保険の保険料はBankrateによると年間806ドルで、130ドルはその約16%に相当する。「Average hourly and weekly earnings of all employees on private nonfarm payrolls by industry sector」、労働統計局、閲覧日2025年10月9日、Shannon Martin「Average cost of car insurance in October 2025」Bankrate、2025年9月10日。

56 バングラデシュ統計局の「家計所得支出調査2022」(2023年4月)によると、バングラデシュの世帯月収はおよそ266ドルで、130ドルはその約半分相当するが、世帯はその収入の43%を食費に充てている。

57 具体例についてはThijs Endendijk et al.「Flood experience and access to insurance contribute to differences in homeowners' post-disaster

- adaptation in a cross-border region of Western Europe」、Communications Earth & Environment、2025年6月を参照のこと。
- 58 Office of Governor Gavin Newsom「Governor Newsom signs legislation investing additional \$170 million to prevent catastrophic wildfires, issues executive order to fast-track projects」、Governor of California News、2025年、Pooja Menon「PG&E unveils \$73 billion spending plan to meet surging data-center energy demand」Reuters2025年9月29日。
- 59 Daniel Nohrstedt et al.「Exploring disaster impacts on adaptation actions in 549 cities worldwide」、Nature Communications、2022年。
- 60 オランダ公共事業局「Room for the River」オランダ公共事業局、オランダ政府、2019年、Dutch Water Sector「Room for the River Programme」2019年、Jeroen Frank Warner、Arwin van Buuren、Jurian Edelenbos、eds.「Making Space for the River:Governance Experiences with Multifunctional River Flood Management in the US and Europe」、IWA Publishing、2012年。
- 61 本稿では現行対策のパターンが対象となる気候災害についても人口集団についてもそのまま変わらないという想定に基づいて、現行の保護水準を維持するための費用を試算した。各人口集団は先進国の保護水準を達成するために必要な適応費用と同じ割合で支出を続けるという想定である。この試算は現行水準、すなわち異常気象対策にかかる費用全体の約35%より若干高いが、これは費用の内訳が現状の森林火災のように対策が手薄な分野から、暑熱ストレスのように手厚い対策がとられている分野へとシフトしているためである。
- 62 本稿では、現行の適応支出がGDPに占めるがどの人口集団、どの災害でも変化しないという想定にたつて、所得拡大にあわせて適応支出を増額する場合に必要な費用を試算した。
- 63 アジア新興国とはアフガニスタン、バングラデシュ、インドネシア、マレーシア、ミャンマー、ネパール、パキスタン、フィリピン、タイ、ベトナム、アジアおよび太平洋諸島のその他新興国などを指す。
- 64 世界銀行「Economics of adaptation to climate change:Synthesis report」、2010年。
- 65 「Water governance in the Netherlands:Fit for the future?」、OECD Studies on Water、2014年6月、J.S.Stijnen et al.「The technical and financial sustainability of the Dutch polder approach」、Journal of Flood Risk Management、2014年3月。
- 66 Rebecca Hersher「How flood sirens could have saved lives in Texas」NPR、2025年7月11日、Alejandra Martínez「Texas cities have limited flood-warning systems.Sirens alone aren't a solution, experts say」、Texas Tribune、2025年7月11日、「Missouri Hydrology Information Center (MoHIC)」Missouri Department of Natural Resources、閲覧日2025年11月20日。
- 67 「Rising to the challenge:Success stories and strategies for achieving climate adaptation and resilience」、世界銀行、2024年。
- 68 湿球黒球温度が24℃以下の状態における生産性を100%として比較。詳細はPeter Brode et al.「Estimated work ability in warm outdoor environments depends on the chosen heat stress assessment metric」、International Journal of Biometeorology、2017年4月、Brenda Jacklitsch et al.「Occupational exposure to heat and hot environments」、米国保健福祉省、2016年2月を参照。
- 69 気候変動が所得とGDPにどのような影響をおよぼすかについては、所得水準に影響をおよぼす、成長率に影響をおよぼす、あるいは両方に影響をおよぼすという説がある。詳細は「Climate Change 2022:Impacts, Adaptation and Vulnerability」、気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書に対する第2作業部会の寄稿の図16.12「Key risks across sectors and regions」、ケンブリッジ大学出版局、2022年、Maximilian Kotz、Anders Levermann、Leonie Wenz「The economic commitment of climate change」、Nature、2024年4月、Corey Lesk et al.「Compound heat and moisture extreme impacts on global crop yields under climate change」、Nature Reviews Earth & Environment、2022年12月、Michele Fornino et al.「A multi-country study of forward-looking economic losses from floods and tropical cyclones」International Monetary Fund Working Paper 第141号、2024年7月を参照。
- 70 インド財務省、「Budget at a glance 2025-26」、2025年。
- 71 「Sub-Saharan Africa maintains resilient growth but faces urgent jobs challenge」世界銀行、2025年10月7日。
- 72 アジア先進国とはオーストラリア、日本、ニュージーランド、シンガポール、韓国、その他アジア先進国およびその他太平洋諸島諸国などを指す。
- 73 洪水と森林火災については、2℃温暖化シナリオのもとで被災の危険性がある場所の地理的拡大はそれほどでもないが、既に災害発生期間がある場所では状況の深刻度が増す可能性がある。森林火災については、現時点で既に多くの場所が発生の危険性にさらされており、温暖化が更に進んでも発生面積の拡大はわずかにすぎないということからこの点の説明がつく。森林火災は必ずしも危険地域で毎年発生するわけではないことを踏まえると、これは意外に思えるかもしれない。しかし火災の発生を左右するのは、天候条件に加え、発火要因と可燃物の存在という要因がそろうか否かという点である。しかし温暖化によって森林火災が発生するリスクが高まる状況の継続期間が長期化し、影響のおよぶ地域では平均して1週間ほど長くなると予想される。洪水の場合、異常気象が発生しても水循環系には遅れて反応が現れるため、災害発生時の危険性に関する変化は暑熱関連の災害より緩やかに現れる。それでもなお、ある種の洪水の頻度は急激に増加する可能性がある。例えば、現時点で100年に一度の頻度で発生するとされる規模の沿岸洪水は、2℃温暖化シナリオのもとでは、約13年に一度の頻度で発生するようになる可能性がある。詳細はJohn T. Abatzoglou、A. Park Williams、Renaud Barbero「Global emergence of anthropogenic climate change in fire weather indices」、Geophysical Research Letters、2019年1月、第46巻1号、Ebru Kirezci et al.「Projections of global-scale extreme sea levels and resulting episodic coastal flooding over the 21st century」、Scientific Reports、2020年7月、Robert J. Nicholls et al.「A global analysis of subsidence, relative sea-level change and coastal flood exposure」、Nature Climate Change、2021年4月、第11巻4号、Jun Rentschler、Melda Salhab、Bramka Arga Jafino
- 「Flood exposure and poverty in 188 countries」、Nature Communications、2022年6月、第13巻を参照のこと。
- 74 複数情報源の推定によると、暑熱ストレスの被害関数は平均で1.1℃シナリオにおける熱波の7倍である。具体例についてはYida Sun et al.「Global supply chains amplify economic costs of future extreme heat risk」、Nature、2024年3月、Ludovic Subran et al.「Global boiling:Heatwave may have cost 0.6pp of GDP」、Allianz SE、2023年8月を参照されたい。
- 75 欧州30カ国とはEU加盟27カ国にノルウェー、スイス、英国を加えたものを指す。その他欧州および中央アジア諸国とはカザフスタン、ロシア、トルコ、ウクライナ、ウズベキスタンなどを指す。
- 76 オーストラリアのクイーンズランド州政府は補助金を活用し、洪水被害を受けた住宅所有者に洪水に強い資材で自宅を改修し、重要サービスを移転するよう奨励している。詳細はクイーンズランド州政府「Resilient Homes Fund:Resilient Retrofit program」、閲覧日2025年11月20日を参照のこと。トロントのエコルーフ奨励プログラムは、緑化屋根に1平米当たり100カナダドル(最高10万ドル)、クールルーフに1平米当たり2.5カナダドル(最高5万ドル)の助成金を支給するもので、2009年以降に助成対象となったエコルーフプロジェクトは65件に達している。詳細はトロント市「Eco-Roof Incentive Program」、閲覧日2025年11月20日を参照のこと。
- 77 ニューヨーク市の冷房補助金は対象世帯に窓用エアコンまたは扇風機(設置工事を含む)を提供し、家庭への冷房普及を支援するものである。受給資格があるのは家庭用エネルギー支援プログラムの収入その他要件を満たし、猛暑によって健康状態が悪化することが文書で証明された人、または年齢的弱者(60歳以上、または6歳未満)がいる世帯に限られる。詳細は「HEAP cooling assistance」ニューヨーク市、閲覧日2025年10月6日を参照のこと。
- 78 「Funding Thames Estuary 2100:Costs and investment」、英国政府、2023年。
- 79 「Managing future flood risk and Thames Barrier:Thames Estuary 2100」、英国政府、2023年4月。
- 80 気候モデルの不確実性については、David Stainforth「Predicting Our Climate Future:What We Know,What We Don't Know,and What We Can't Know」、オックスフォード大学出版局、2023年を参照のこと。
- 81 「Heat wave relief and warnings based on apparent temperature」ソウル特別市、2023年7月11日、キム・ヨンウォン「Seoul City to provide 50,000 won in cooling cost support per household」Asia、2025年7月23日、「Housing Repairs Program」、フェニックス市、閲覧日2025年11月20日、「Weatherization Assistance Program」、フェニックス市、閲覧日2025年11月20日。
- 82 「Pradhan Mantri Krishi Sinchayee Yojana (PMKSY)」、インド、ジャール・ジャクティエ省および農業・農民福祉省、2024年、「National Mission for Sustainable Agriculture (NMSA)」、インド農業・農民福祉省、2024年。
- 83 「What is a PACE loan?」、米国消費者金融保護局、2024年9月。

- 84 「Zoning for coastal flood resiliency」、ニュー
ヨーク市都市計画局、2021年5月、「Order
of August 4, 2021, relating to the energy and
environmental performance requirements for
building construction in metropolitan France and
approving the calculation method provided for in
Article R.172-6 of the Construction and Housing
Code」、フランス政府、2021年8月15日。
- 85 Insurance Institute for Business & Home Safety
(IBHS)、「FORTIFIED Home Program Overview」、
2023年。
- 86 「Raj reopens IG canal to supply drinking water to
border dists」、Times of India、2025年5月14日。
- 87 Cornelis van Leeuwen et al. 「Climate change
impacts and adaptations of wine production」、
Nature Reviews Earth & Environment、2024年
4月、Marcelo Teixeira 「Brazil poised to lead
global robusta coffee farming on expansion
potential, report says」、Reuters、2025年10
月2日、Roman Grüter et al. 「Expected global
suitability of coffee, cashew and avocado due to
climate change」、PLoS ONE、2022年1月、Craig
Saeurs 「Climate change is redrawing the global
wine map. Here's what it means for your future
vintages」、Euronews、2025年4月18日。
- 88 本稿では現行の保護パターンが気候災害と人口集
団の両方について一定であるという想定に立って、
現行保護水準の維持にかかる費用を試算した。各
人口集団は先進国の保護基準を達成するために必
要な適応費用と同じ割合で支出を続けるという想定
である。
- 89 What are resilience bonds and how can they
protect us against climate crises?, Global Center
on Adaptation, July 2020; and Private-public
partnerships (PPPs) for adapting and maintaining
infrastructure and services、Climate-ADAPT、
2025年。
- 90 「Miami Forever Bond」マイアミ市、閲覧日 2025
年11月18日。
- 91 「Tokyo Metropolitan Government to issue
world's first Climate Bond Certified using the
Resilience Criteria and Taxonomy」、Climate
Bonds Initiative、2025年10月。
- 92 例えば Global Adaptation and Resilience
Investment (GARI) の施策や MSCI の気候変動対
策分類法などがある。詳細は Global Adaptation
and Resilience Investment Working Group 「The
Unavoidable Opportunity: Investing in the
Growing Market for Climate Resilience Solutions」、
2024年3月、「Climate bonds taxonomy」、
Climate Bonds Initiative、閲覧日 2025年11月30
日、「EU taxonomy for sustainable activities」欧
州委員会、閲覧日 2025年11月30日、Ami Woo
et al. 「Report – Taxonomy of climate change
adaptation」、国連環境計画、2021年を参照のこと。
- 93 Avery Ellfeldt 「California insurers begin giving
discounts for fire-proofed homes」、E&E News
(Climatewire)、2024年9月19日。
- 94 「Insuring against extreme heat: Navigating risks in
a warming world」世界経済フォーラム、2025年1
月、Reema Nanavaty および Prerna Saxena 「How
heatwaves have sparked new ways for women
farmers in India to protect their crops」、世界経済
フォーラム、2025年3月25日。
- 95 「Managing the climate change-fueled property
insurance crisis」、Center for American Progress、
2025年4月、「Enhancing the insurance sector's
contribution to climate adaptation」、OECD、
2023年3月。
- 96 「Background note for principles on investment
and financing for water-related disaster risk
reduction」、High-level Experts and Leaders Panel
on Water and Disasters および OECD、2019年6月、
Diana Radu 「Approaching disaster risk financing in
a structured way」European Economy Discussion
Paper 第201号、欧州委員会、2024年5月、
Carolyn Kousky、Erwann O. Michel-Kerjan、Paul A.
Raschky 「Does federal disaster assistance crowd
out flood insurance?」、Journal of Environmental
Economics and Management、2018年1月。

マッキンゼー・グローバル・インスティテュート
(2026年6月)

Copyright © McKinsey & Company

Designed by the McKinsey Global Institute

mckinsey.com/mgi

 [@McKinsey_MGI](https://twitter.com/McKinsey_MGI)

 [@McKinseyGlobalInstitute](https://www.facebook.com/McKinseyGlobalInstitute)

 [@McKinseyGlobalInstitute](https://www.linkedin.com/company/mckinseyglobalinstitute)

MGIのLinkedInニュースレターの購読、

Forward Thinking: mck.co/forwardthinking