

McKinsey
Global Institute

エグゼクティブサマリー

気候変動リスクと その対応策

物理的リスクと社会経済的影響



2020年1月

マッキンゼー・グローバル・インスティテュートのご紹介

マッキンゼー・グローバル・インスティテュート(MGI)は、マッキンゼー・アンド・カンパニーのビジネスと経済に関する研究部門として、1990年の設立以来、各業界のリーダーに対し経営・政策に関する意思決定のための知見を提供することを目的に活動してきた。

MGIの研究手法は、経済学の分析ツールとともに各業界のビジネスリーダーが持つビジネス上の知見を活用しつつ、経済学と経営理論を合わせたものである。MGIは「ミクロからマクロへ」と呼ばれる方法論により、ミクロの産業トレンドを精査することで事業戦略や公共政策に影響を与えるマクロ経済の潮流への理解を深めている。研究対象は20カ国以上の国と30以上の産業にわたり、焦点を当てるテーマは、生産性と経済成長、天然資源、労働市場、金融市場の進化、テクノロジーとイノベーションが経済に与える影響、都市化の6つである。最近のレポートでは、デジタルエコノミー、人工知能と自動化が雇用に及ぼす影響、収入の不平等、生産性向上の課題、男女不平等などの解消による経済効果、グローバル競争の新時代、中国における変革、デジタルおよび金融のグローバルイノベーションを取り上げている。

マッキンゼー・アンド・カンパニーのサステナビリティ研究グループとの協働

マッキンゼー・アンド・カンパニーのサステナビリティ研究グループは、企業・政府が低炭素社会への移行におけるリスクを回避し、破壊的影響に対応し、また機会を実現できるようサポートする。マッキンゼーはエネルギー、運輸から農業、消費財まであらゆる産業分野、また戦略、リスク管理からオペレーション、デジタルテクノロジーまであらゆるビジネス機能に対して統合された、システムレベルの見解を有しており、クライアント企業はそれらの恩恵を享受できる。マッキンゼーは独自のリサーチツールやテクノロジー・ツールを活用し、ビジネスリーダーや政策当局が確信を持って大胆な施策を実行するうえで必要となる厳密なファクトベースを構築・提供する。

MGIは、マッキンゼー・アンド・カンパニーのジェームス・マニーイカ(James Manyika)、スヴェン・シュミット(Sven Smit)、ジョナサン・ウーツェル(Jonathan Woetzel)のディレクター3名が率いており、シュミットとマニーイカはMGIの共同議長も務める。マイケル・チュウイ(Michael Chui)、スーザン・ルンド(Susan Lund)、アヌ・マドガカー(Anu Madgavkar)、ジャン・ミシュク(Jan Mischke)、シュリ・ラーマスワミー(Sree Ramaswamy)、ヤーナ・レメス(Jaana Remes)、ジョンミン・ソン(Jeongmin Seong)、ティルマン・タツケ(Tilman Tacke)がMGIのパートナーを務めている。マカラ・クリシュナン(Mekala Krishnan)はMGIのシニアフェローである。

プロジェクトチームは、MGIのパートナーを筆頭にシニアフェローのグループがリードし、世界各地のマッキンゼー・アンド・カンパニーのコンサルタントが参加する。チームは、マッキンゼー・アンド・カンパニーのパートナー陣、および産業やマネジメントの専門家からなる世界的なネットワークを活用する。MGIカウンスルは、世界各地のマッキンゼーのオフィスや産業別研究グループのリーダーらで構成され、メンバーにはマイケル・バーシャン

(Michael Birshan)、アンドレ・カデナ(Andres Cadena)、サンドリーヌ・デビヤール(Sandrine Devillard)、アンドレ・ドゥア(André Dua)、ケイリン・エリングラッド(Kweilin Ellingrud)、タレク・エルマズリ(Tarek Elmasry)、ケイティ・ジョージ(Katy George)、ラヤット・グプタ(Rajat Gupta)、エリック・アザン(Eric Hazan)、アチャ・リーク(Acha Leke)、ゲイリー・ピンカス(Gary Pinkus)、オリバー・トーンビー(Oliver Tonby)、エックハート・ヴィントハーゲン(Eckart Windhagen)がいる。カウンスルメンバーのサポートのもと、リサーチのアジェンダを策定し、インパクトの高いリサーチを遂行し、得られた所見を世界中の意思決定者らに共有する。また、ノーベル賞受賞者を含む世界屈指のエコノミストもリサーチアドバイザーとして参加している。

MGIのリサーチは、マッキンゼー・アンド・カンパニーのパートナーが資金を提供して実施しており、企業、政府その他のいかなる組織に委託されたものでもない。MGIについての詳細とレポートのダウンロードはwww.mckinsey.com/mgiをご覧ください。

その結果は新規参入・既存企業のいづれにもビジネスモデル進化を促し、持続可能な業績改善を可能にする最先端ソリューションとなる。

www.mckinsey.com/sustainability

マッキンゼー・アンド・カンパニーのグローバルリスク研究グループは、クライアント企業と協働し、単なるリスク管理の域を超えたレジリエンス(弾力性)の向上と価値創出を目指している。今日の組織は新たなリスク源が引き起こす、これまでになく複雑かつ多様なリスクに直面している。テクノロジーの進化がもたらすサーバーセキュリティへの脅威や気候変動も、そうしたリスクに該当する。さらには、ソーシャルメディアの発達により風評被害リスクの情勢も加速的に進化し、増大している。

我々は深い技術的専門性や産業に対する広範な洞察、革新的な分析アプローチを駆使し、組織があらゆるリスク領域に対してリスク対応力とアセットを構築できるようサポートする。対応リスク領域には財政リスク、資本やバランスシートに関するリスク、非財政リスク(サイバーリスク、データ気密性、コンダクトリスク、金融犯罪)、コンプライアンスや企業統制、企業リスクの管理や、リスク文化、モデルリスク管理、危機対応やレジリエンシーが含まれ、アドバンスドアナリティクスを活用してリスク管理を変革するセンター・オブ・エクセレンスが存在する。

www.mckinsey.com/business-functions/risk

気候変動リスクと その対応策

物理的リスクと社会経済的影響

2020年1月

ジョナサン・ウーツェル(Jonathan Woetzel)

ディコン・ピナー(Dickon Pinner)

ハミッド・サマンダリ(Hamid Samandari)

ハウケ・エンゲル(Hauke Engel)

メカラ・クリシュナン(Mekala Krishnan)

ブロディー・ポーランド(Brodie Boland)

カーター・ポウイス(Carter Powis)

| 上海

| サンフランシスコ

| ニューヨーク

| フランクフルト

| ボストン

| ワシントン DC

| トロント

序

マッキンゼーは1970年代前半に環境持続可能性に関するクライアントプロジェクトを実施して以来、長年にわたりこの課題に重点的に取り組んでいる。2007年には温室効果ガスの限界費用低減コスト曲線を開発、2009年の更新を経て、ブラジル、中国、ドイツ、インド、ロシア、スウェーデン、英国及び米国を含む各国別の削減プロジェクトを実施している。近年の刊行物に、『低炭素成長の実現に向けて:その意思決定フレームワーク』(「気候変動適応対策の経済性作業部会」との共同発表(2009年))、『循環型経済に向けて』(エレン・マッカーサー財団との共同刊行物(2013年))、『モビリティの未来への統合的視点』(2016年)、『産業各分野の脱炭素化:次なるフロンティア』(2018年)がある。マッキンゼー・グローバル・インスティテュートも『資源改革:エネルギー、素材、食糧、水のグローバルニーズに対応するには』(2011年)、『スーパーサイクルを超えて:テクノロジーによる資源改革』(2017年)など、持続可能性に関する同様のレポートを発表している。

本レポートでは、気候変動がもたらす物理的影響を検証する。今日及び今後30年におけるリスクを洗い出し、事例を検証しながら気候変動による物理的影響が社会経済的リスクを増大させる仕組みを理解する。また、潜在インパクトの発生可能性や規模についても推計する。本レポートで提供する情報が、世界中の意思決定者にとって気候変動の物理的リスクをよりの確に評価し、適応し、低減するうえで役立てば幸甚である。

本レポートは、MGI、マッキンゼーの持続可能性研究グループ及びリスクマネジメント研究グループが中心として、マッキンゼー・アンド・カンパニーが一年に及ぶ領域横断的な調査を実施し、まとめたものである。調査はMGIのディレクターで上海オフィス所属のJonathan Woetzel、同シニアフェローでボストンオフィス所属のMekala Krishnanの指導のもと、マッキンゼーのシニアパートナーでサンフランシスコオフィス所属のDickon Pinner、同ニューヨークオフィス所属のHamid Samandari、フランクフルトオフィスのパートナーHauke Engel、ワシントンDCオフィスの準パートナーBrodie Bolandらとの協働により行われた。プロジェクトチームはTilman Melzer、Andrey Mironenko、Claudia Kampelをリーダーとし、Vassily Carantino、Peter Cooper、Peter De Ford、Jessica Dharmasiri、Jakob Graabak、Ulrike Grassinger、Sebastian Kahlert、Dhiraj Kumar、Hannah Murdoch、Karin Östgren、Jemima Peppel、Pauline Pfuderer、Carter Powis、Byron Ruby、Sarah Sargent、Erik Schilling、Anna Stanley、Marlies Vasmel、Johanna von der Leyenが参加した。Brian Cooperman、Eduardo Doryan、Jose Maria Quiros、Vivien Singer、Sulay Solisはモデリング、分析、データサポートを実施した。またMichael Birshan、Jacques Bughin、David Fine、Lutz Goedde、Cindy Levy、James Manyika、Scott Nyquist、Vivek Pandit、Daniel Pachthod、Matt Rogers、Thomas Vahlenkampは重要なインプットや高い専門性を提供してくれた。

マッキンゼーは数多くの気象学者を擁するが、気候研究機関ではない。ウッズホール研究所(Woods Hole Research Center:WHRC)は、気候変動の物理的影響を科学的に分析し、1985年以来、気候科学に的を絞った研究を行っている。同所の科学者らは主要科学雑誌に広く研究成果を発表し、世界中の政策立案者に対する証言を行い、主要報道機関へも定期的に情報を提供する。手法論の設計や成果は、オックスフォード大学気候変動研究所の上席科学者による独立的な審査によって公平性を担保し、本レポートで採用した新しい分析の科学的根拠を検証した。最終的な設計の選定及び気候がもたらす結果の解釈は、WHRCが行った。また、WHRCの科学者は調査結果を地図上で表しデータを視覚化した。

ここに、マッキンゼーの考察に対する疑問点を指摘し新たな洞察を与えてくださったハーバード大学国際経済学教授Maurits C. BoasのRichard N. Cooper博士、オックスフォード大学スミス企業環境大学院の環境経済学教授で持続可能性経済プログラムのディレクターを務めるCameron Hepburn博士、フランクフルト大学SAFE研究所プログラムディレクターでハーバード大学ヨーロッパ研究所レジデントフェローのHans-Helmut Kotzに、心より謝意を表したい。

本レポートの刊行にあたり、諮問委員会メンバーとして深い学識と貴重な意見を頂いた中国石化前会長の傅成玉、Willis Towers WatsonのCEOであるJohn Haley、清華大学前公共政策学部長の薛澜、米中グリーン基金(US China Green Energy Fund)議長の徐林、ナショナル・ジオグラフィック協会会長兼CEOのTracy Wolstencroftにも、感謝の意を表す。また、イングランド銀行(Bank of England)各位とは、多くの有意義な議論をさせていただいた。特に、同行の気候変動リスク作業部会エグゼクティブスポンサーSarah Breedonには、報告書へのフィードバックに多くのお時間を頂戴した。また、BlackRockのCEOであるLaurence Fink、同社のサステナブル・インベストメントのグローバルリーダーBrian Deeselにも貴重な意見をいただいた。ここに改めて深謝したい。

マッキンゼーの気候変動リスク作業グループはこの一年間、調査の実施と指導をサポートしてきた。DWSの上級ESGストラテジストMurray Birt、ウズホール研究所(WHRC)のAndrea Castanho博士、同研究所熱帯気候プログラム主任のMichael T. Coe博士、Willis Towers Watsonキャピタルサイエンス及び政策研究グループ主席のRowan Douglas、ウズホール研究所(WHRC)所長兼専務取締役のPhilip B. Duffy博士、Willis Towers Watsonリスクアナリティクス主任のJonathon Gascoigne、ウズホール研究所(WHRC)シニアフェローのSpencer Glendon、Willis Re取締役副社長のPrasad Gunturi、SYSTEMIQのシニアマネージングパートナーのJeremy Oppenheim、Willis Towers Watsonの気候変動レジリエントファイナンス部門ディレクターのCarlos Sanchez、ウズホール研究所(WHRC)準サイエンティストでリスクプログラム主任のChristopher R. Schwalm博士、Jupiter Intelligence社CEOのRich Sorkin、並びにウズホール研究所(WHRC)プロジェクトサイエンティストのZachary Zobelには、深く感謝の意を表したい。

調査を進めるにあたって貴重なお時間、データ、専門知識を提供いただき、寛大なる協力を頂いたAECOM、Arup、アジア開発銀行、ブリストル市議会、CIMMYT(国際トウモロコシ・コムギ改良センター)、First Street Foundation、国際食糧政策研究所(IFPRI)、Jupiter Intelligence、KatRisk、SYSTEMIQ、ベトナム国家大学ホーチミン市校、アムステルダム自由大学、Willis Towers Watson、世界資源研究所を始めとする各組織、及び助言をくださった世界経済フォーラムのMarco Albani博士、アジア開発銀行気候変動シニアエキスパートのCharles Andrews、IFPRI環境・生産技術部門主任のChanning Arndt博士、BBraunの施設工学・施設マネジメント主任のJames Bainbridge、ケンブリッジ大学実在リスク研究学科学術プロジェクトマネジャーのHaydn Belfield、世界資源研究所(World Resources Institute)グローバル適応調査会シニアフェローのCarter Brandon、カリフォルニア州エネルギー委員会のDaniel Burillo博士、国際環境マネジメントセンター(ICEM)長官のJeremy Carew-Reid博士、マイアミ大学のAmy Clement博士、Climate Resilience Consulting創設者兼社長のJoyce Coffee、Florida Council of 100議長のChris Corr、Arupのブリストル支社気候変動アドバイザーチーム主席のAnn Cousins、憂慮する科学者同盟(Union of Concerned Scientists)上級気候科学者のKristina Dahl、CATDATの災害リスクコンサルタントでカールスルーエ工科大学のJames Daniell博士、First Street Foundationの設立者兼専務理事のMatthew Eby、DWSのESG戦略主任のJessica Elengical、ウズホール研究センター(WHRC)のシニア地理空間アナリストのGreg Fiske、S&P Globalの持続可能な経済・ビジネス及びイノベーションのグローバルリードであるSusan Gray、ハーバード大学環境センターのJesse Keenan、国際トウモロコシ・コムギ改良センター(CIMMYT)のKindie Tesfaye Fantaye博士、マサチューセッツ工科大学主席科学研究員のXiang Gao博士、米国気候変動適応専門家協会(American Society of Adaptation Professionals)理事のBeth Gibbons、オックスフォード大学教授のCharles Godfray卿、ブリストル市議会洪水管理局長のPatrick Goodey、オックスフォード大学環境変動研究所のLuke J. Harrington博士、ラフバラー大学の環境生理学・環境人間工学教授であるGeorge Havenith博士、IFPRIのリサーチアナリストのBrian Holtemeyer、CIMMYT上級科学者のDavid Hodson、ブリストル市議会洪水リスクモデル作成担当のAlex Jennings-Howe、ジョーンズ・ホプキンス大学の21世紀都市イニシアチブ主任Matthew Kahn博士、マイアミ大学の海洋・大気学共同研究所長兼気候・環境ハザードコンピューターサイエンスセンター所長のBenjamin Kirtman博士、世界資源研究所(World Resources Institute)の環境経済学アソシエイトNisha Krishnan、ファニーメイの経済担当主幹Michael Lacour-Little博士、Black & VeatchのプロジェクトエンジニアJudith Ledlee博士、KatRiskの最高経営責任者のDag Lohmann、コロラド大学ボルダー校のコンシューマーファイナンス関連意思決定研究センターRyan Lewis教授、Princeton Hydroの水生態系プログラム参与Fred Lubnow博士、First Street Foundationのデータサイエンティスト主任Steven McAlpine、Medina Capital 創設者兼マネージングパートナーのManuel D. Medina、ポツダム気候インパクト研究所(Potsdam Institute for Climate Impact Research)のIlona Otto博士、BBraunのエンジニアリング部長のKenneth Pearson、First Street Foundationの学術研究パートナーのJeremy Porter博士、ブリストル大学の洪水時輸送システム専門家のMaria Pregolato博士、アジア開発銀行ベトナム担当副参事のJay Roop、Broadcomの技術開発ディレクターRich Ruby博士、マサチューセッツ工科大学の地球変動科学・政策協働プログラムで科学研究副主任を務めるAdam Schlosser博士、アムステルダム自由大学環境研究所のPaolo Scussolini博士、マイアミ大学准教授のKathleen Sealey博士、プリンストン大学研究員のTimothy Searchinger、国際トウモロコシ・コムギ改良センター(CIMMYT)の地理情報システム部門長のKai Sonder博士、AECOMのレジリエンス一部長Joel Sonkin、ブリストル市議会洪水リスク管理担当のJohn Stevens、ベトナム国営大学ホーチミン市校のThi Van Thu Tran博士、IFPRIのシニアリサーチフェローのJames Thurlow博士、IFPRIのシニアリサーチフェローのKeith Wiebe博士、Arupの洪水対策グローバルリーダーで前テムズ川堤防担当ディレクターのDavid Wilkes、カリフォルニア大学バークレー校教授のBrian Wright博士、AECOMの副統括責任者兼エンジニアリング部長のWael Youssefら各位にも、厚く御礼を申し上げます。

マッキンゼーの農業分野のアドバンスドアナリティクスのセンター・オブ・エクセレンスであるACRE、マッキンゼー農業改革センター、マッキンゼー・コーポレート・パフォーマンス・アナリティクス、Quantum Black、MGIエコノミクス研究所を含むマッキンゼーの各専門グループからも、分析や専門知識の面で協力を得た。また、マッキンゼー及びMGIの現日の同僚であるKnut Aliche、Adriana Aragon、Gassan Al-Kibsi、Gabriel Morgan Asaftei、Andrew Badger、Edward Barriball、Eric Bartels、Jalil Bensouda、Tiago Berni、Urs Binggeli、Sara Boettiger、Duarte Brage、Marco Breu、Katharina Brinck、Sarah Brody、Stefan Burghardt、Luís Cunha、Eoin Daly、Kaushik Das、Bobby Demissie、Nicolas Denis、Anton Derkach、Valerio Dilda、Jonathan Dimson、Thomas Dormann、Andre Dua、Omar El Hamamsy、Travis Fagan、Ignacio Felix、Fernando Ferrari-Haines、David Fiocco、Matthieu Francois、Marcus Frank、Steffen Fuchs、Ian Gleeson、Jose Luis Gonzalez、Stephan Gorner、Rajat Gupta、Ziad Haider、Homayoun Hatamai、Hans Helbekkmo、Kimberly Henderson、Liz Hilton Segel、Martin Hirt、Blake Houghton、Kia Javanmardian、Steve John、Connie Jordan、Sean Kane、Vikram Kapur、Joshua Katz、Greg Kelly、Adam Kendall、Can Kendi、Somesh Khanna、Kelly Kolker、Tim Koller、Gautam Kumra、Xavier Lamblin、Hugues Lavandier、Chris Leech、Sebastien Leger、Martin Lehnich、Nick Leung、Alastair Levy、Jason Lu、Jukka Maksimainen、John McCarthy、Ryan McCullough、Erwann Michel-Kerjan、Jean-Christophe Mieszala、Jan Mischke、Hasan Muzaffar、Mihir Mysore、Kerry Naidoo、Subbu Narayanaswamy、Fritz Nauck、Joe Ngai、Jan Tijss Nijssen、Arjun Padmanabhan、Gillian Pais、Guofeng Pan、Jeremy Redenius、Occo Roelofsen、Alejandro Rojas、Ron Ritter、Adam Rubin、Sam Samdani、Sunil Sanghvi、Ali Sankur、Grant Schlereth、Michael Schmeink、Joao Segorbe、Ketan Shah、Stuart Shilson、Marcus Sieberer、Halldor Sigurdsson、Pal Erik Sjatil、Sven Smit、Kevin Sneader、Dan Stephens、Kurt Strovink、Gernot Strube、Ben Summers、Humayun Tai、Ozgur Tanrikulu、Marcos Tarnowski、Chris Thomas、Oliver Tonby、Chris Toomey、Christer Tryggestad、Andreas Tschiesner、Selin Tunguc、Magnus Tyreman、Roberto Uchoa de Paula、Robert Uhlaner、Soyoko Umeno、Gregory Vainberg、Cornelius Walter、John Warner、Olivia White、Bill Wiseman、Carter Woodらからも、貴重なインプットを提供してもらった。

本レポートは、MGIのシニアエディターであるAnna Bernasek、編集ディレクターPeter Gumbel、プロダクションマネジャーJulie Philpot、デザイナーとしてMarisa Carder、Laura Brown、Patrick Whiteの3名、及び写真エディターNathan Wilsonが制作を担当した。最後に、マッキンゼーの同僚であるDennis Alexander、Tim Beacom、Nienke Beuwer、Nura Funda、Cathy Gui、Deadra Henderson、Kristen Jennings、Richard Johnson、Karen P. Jones、Simon London、Lauren Meling、Rebeca Robboy、Josh Rosenfieldも、本レポートに協力しサポートしてくれた。ここに感謝の意を表したい。

本レポートの調査はMGIの他の調査と同様、マッキンゼーの視点を反映し独立的に実施されたものであり、企業、政府及びいかなる組織からも報酬を受けたものではない。本レポートに関するご意見・ご感想はMGI@mckinsey.comまでお寄せいただきたい。

ジェームス・マニカ(James Manyika)

マッキンゼー・グローバル・インスティテュート
共同議長兼ディレクター
マッキンゼー・アンド・カンパニー
サンフランシスコ

スヴェン・シュミット(Sven Smit)

マッキンゼー・グローバル・インスティテュート
共同議長兼ディレクター
マッキンゼー・アンド・カンパニー
アムステルダム

ジョナサン・ウーツェル(Jonathan Woetzel)

マッキンゼー・グローバル・インスティテュート
ディレクター
マッキンゼー・アンド・カンパニー
上海

2020年1月

気候変動リスクとその対応策

物理的リスクと社会経済的影響

地球の気候は1万年以上にわたって比較的安定した状態を保ち、人類はその間に文明を築いたが、今や変化の時が訪れている。平均気温の上昇とともに熱波の襲来や洪水といった過酷な災害が頻度の上でも深刻度の上でも増加し、干ばつや海水面の上昇といった長期的問題も深刻になってきた。本論では気候変動がもたらす物理的リスクの特徴と程度を今後30年という単位で理解し、考察する。物理的リスクを考察するのは、それが変動リスクと信頼性リスクという二種類のリスク両方の基礎をなすものであることを踏まえてのことである。考察の対象は内在する物理的リスク、すなわち適応策や緩和策をとらなかった場合のリスクに限定することで、問題の様相を把握し、対応策が必要な部分を明らかにしたいと思う。気候科学ではほとんどの場合、CO2濃度が比較的低水準(代表的濃度経路(RCP)2.6)から高水準(RCP 8.5)までのシナリオが用いられるが、排出量の多いシナリオを採用すると追加的脱炭素化施策をとらなかった場合の物理的リスクの評価が可能になることから、本論ではRCP 8.5のシナリオを採用することにした。

そうした観点に立ち、気候モデルを経済予測と連動させることで、気候変動が極限に達し、物理的限界に近くなった場合の影響を表す9種類のケースについて見ていく。それぞれのケースについて6種類の指標を調べる地理空間的評価を行い、世界105カ国における社会経済的影響を評価する。本研究によって、各国の政策決定者に自国独自の背景に照らしたリスクを試算する枠組と手法を提供することも可能になる。以下にその主な判明点を列挙する。

気候変動は地方レベルで眺めると世界のあらゆる地域で既に深刻な物理的影響をもたらしており、影響を受ける地域は数の上でも面積の上でも引き続き増大する見通しである。1880年代と比較すると世界の平均気温は約摂氏1.1度上昇しており、上昇幅には地域によって大幅なばらつきがみられる。それによって気温が極端に上下動し、災害の深刻度が増す確率が高まっている。気候変動がこれから10年、さらにおそらくその後も続くということは、その甚大な物理的影響を受ける地域の数と範囲が引き続き増加するということである。

その影響を直接的に被るのは、5種類の社会経済システム、すなわち居住適合性、労働適合性、食料供給システム、有形資産、社会資本、自然資本となるだろう。

気候変動の社会経済的影響は線形的なものではない。これはシステムが限界に達し、連鎖的拡大が生まれるためである。これまでに災害の直接的影響が増大してきた原因の大半は、災害の影響範囲が災害の平均的強度や最低強度の高まり以上に増大してきたことにある。これからは災害の強度が増すとその影響力の範囲はますます増えていくだろう。リスクの高い社会や制度は物理的な面でも生物学的な面でも限界に近づいている。例えばインドがRCP 8.5のシナリオをたどるとすると、気温上昇と降雨量増加の影響で、2030年までに1億6千万人から2億人の国民が平均年間5%の確率で熱波に襲われる可能性があるが、これは何らかの適応策をとらなければ健康な生活を送れなくなるという居住適合性上の目安を超えている。海水温の上昇によって漁獲高が減少し、6億5千万から8億人の漁業従事者の生計が立ち行かなくなるという事態に陥る可能性もある。ホーチミン市では100年に1度クラスの洪水によるインフラの直接的被害額が現在の2~3億ドルから2050年には5~10億ドルに増加し、連鎖的被害によるコストも現在の1~4億ドルから15~85億ドルに増加する可能性がある。

気候変動は人類の生活だけでなく、物的資本や自然資本にも影響をおよぼすので、気候変動が世界全体におよぼす社会経済的影響は甚大なものになる可能性がある。本研究の対象となった105カ国はすべて、筆者が特定した社会経済的影響の指標6種類のうち最低1種類が2030年までに増加する可能性がある。RCP 8.5シナリオによると、致命的な熱波に遭遇する可能性のない地域に居住する人の数は現在のゼロから2050年には7~12億人に達すると見込まれる(エアコンの普及率は勘案していない)。異常高温や大雨のために、その影響を受ける地域で1年間に屋外労働ができなくなる時間の平均的な割合は、世界的にみて現在の15%から2050年には20%に増加する。1901~1925年と比較して異なる気候区分に分類される地域の面積は、現在の25%からおよそ45%に上昇する可能性がある。

金融市場は資本配分や保険の変革を行うことで、影響を受ける地域においてリスクの認知度を高める役割を果たす可能性がある。気候変動のリスクをより深く理解することで、長期的な借り入れができなくなったり、関連保険のコストや付保力が影響を受けたり、評価額が低下したりするかもしれない。それがきっかけで、資本の再配分や資産評価額の見直しが発生する可能性もある。

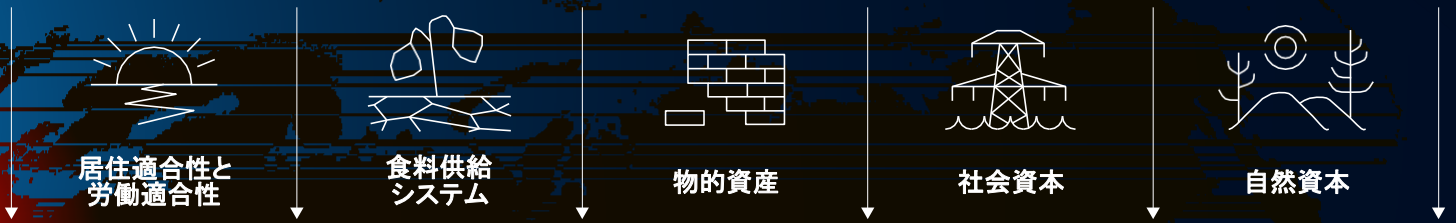
例えばフロリダ州では過去の傾向に基づいて試算を行った結果、2050年までに洪水被害によって、他の条件はすべて同一であっても、住宅の資産価値が額にして300億~800億ドル、率にして15~35%低下する可能性がある。

一人当たりGDPが比較的低い国と地域では、一般によりリスクが高い。所得が低い地域は気候的にも物理的限界に近いという傾向がある。そうした国々は屋外労働と自然資本への依存率が高く、迅速に対応できる金融的手段が少ない。ただし、気候変動は一部の国には恩恵ももたらす。例えばカナダでは農業生産高が増加する可能性がある。

気候変動の物理的リスクに対処するには、より体系的なリスク管理、適応策の加速、脱炭素化が必要である。世界各国の政策決定者は気候科学の知見を活用し、過去のデータの限界を認識した上で、系統的なリスク管理と確固たるモデル作成を行い、気候変動に起因する物理的損害や財務的損害を軽減する必要がある。影響を受けやすい地域では適応策の実施に多額の費用がかかり、困難な選択を迫られる可能性もあるが、適応策はリスク管理の基礎になり得る。防波堤や冷却シェルターの設置にせよ、干ばつに強い作物の作出にせよ、適応の準備には協調行動が必要で、とりわけどこに投資を行い、どこから資金を引き上げるかという面ではその傾向が強い。適応策の実施は喫緊の課題であり、実施対象は多数存在するが、気候科学の知見によると、温室効果ガスの純排出量をゼロにする以外に温暖化やリスクの増加を止める方法はない。

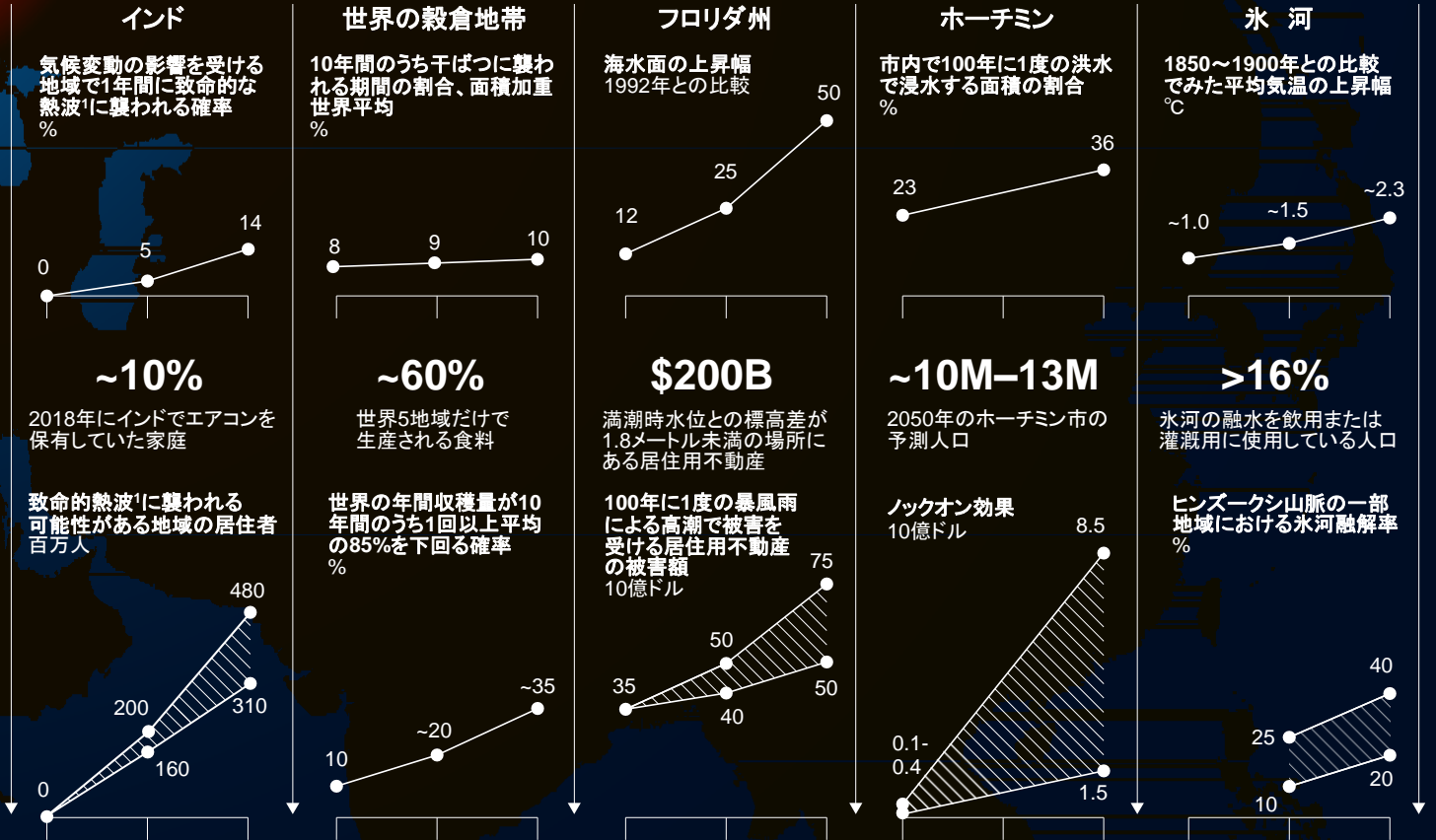
気候変動が社会経済システムに与え得る影響

気候変動の影響を直接的に被る5つのシステム

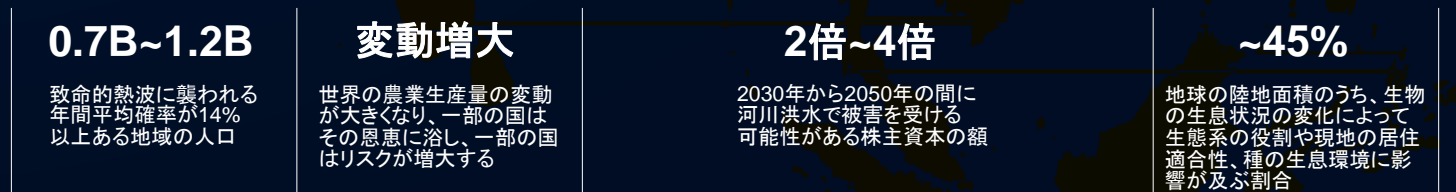


あらゆる地域とセクターが気候変動によって直接的に被る物理的影響の例、現在、2030年、2050年

本研究は気候変動の危険性と物理的影響を評価するもので、適応策や緩和策をとらなかった場合の「本来的リスク」シナリオに基づいている。分析は温室効果ガス濃度のRCP 8.5シナリオのモデルに基づいて実施した。



世界的視野で見た2050年までの気候リスクの地理的評価



気候変動の物理的リスク拡大に適応するためにできることは



¹ 致命的熱波とは3日間の平均最高湿球温度が日陰で休んでいる状態の生存限界値を超えた状態と定義する。本論の数字にはエアコンの普及率は勘案していない。予測には将来的な大気エアロゾルの挙動や都市のヒートアイランド効果またはクーリングアイランド効果に起因する不確実性が伴う。日付に関しては、現在の気候状況とは1998年から2017年の平均的状況を、2030年の気候状況とは2021年から2040年の平均的状況を、2050年の気候状況とは2041年から2060年の平均的状況を指す。



Coping with rising temperatures in Singapore.
© Getty Images

エグゼクティブサマリー

マッキンゼーでは、長年にわたり、気候変動の経済的影響について研究を行っており、過去10年間で、実現可能な排出削減コストカーブを含むさまざまな研究成果や、気候変動の適応策の経済的影響を理解し、資源生産性を向上させるポテンシャルを特定するためのレポートを公表している¹。本研究では、今までの研究結果をもとに、今後30年の気候変動の物理的リスクの特性とその意味合いを理解することに焦点を当てている。

本レポートでは、気候モデルによる温暖化予測に基づき、世界の気候はどのように変化してきたのか、今後どのように変化していくのか、気候変動によってどのようなリスクや不確実性が新たに出現するのか、そして、どうすればこれらのリスクや不確実性に適切に対処できるのかを示している。気候変動研究では、幅広く、様々なシナリオが活用されており、4つのRCP(代表的濃度経路)シナリオが気候モデルの標準のインプットとされている。RCPシナリオでは、2005年から2100年にかけての温室効果ガスの濃度の推移のパターンが示されている。もともと、RCPは、低排出シナリオ(RCP2.6)から高排出シナリオ(RCP 8.5)までの4つのシナリオに基づき、将来予測される多様な排出経路のサンプリングを行うために設計されたものである。各RCPシナリオは、独立したモデリングチームによって作成され、一貫性のある社会経済的パラメータは想定されていない。4つのRCPシナリオが想定している2100年時点での地球温暖化の進行度合いは大きく異なるが、2050年にかけてはその差はそれほど小さくなく、2030年にかけてはほとんど変わらない。本レポートでは、物理的リスクの特性を理解することに焦点を当てているため、高排出量で特段対策のないシナリオ、つまりRCP 8.5を主に取り上げ、脱炭素化が進まなかった場合に生じる物理的リスクを検証している(図表E1)。

また、本レポートでは、物理的リスク、つまり、気候変動による物理的影響に関連したリスク(人、コミュニティ、自然資源、有形資産、経済活動に与える影響ならびに企業、政府、金融機関、個人への意味合いを含む)に焦点を当てている。物理的リスクは、脱炭素社会への移行に伴う影響を表す移行リスクや、気候変動による賠償責任リスク²に影響を与えるが、ここではこれら2つのリスクには焦点を置いていない。脱炭素化とそこに潜むリスクと機会を理解することは重要ではあるが、本レポートでは、今後10～30年間で排出削減が進まなかった場合、気候はどのように変化し、どのようなリスクを負うことになるのかについて取り上げている。

¹ *Economics of Climate Adaptation - Shaping climate-resilient development: A framework for decision-making* (2009年)、“Mapping the benefits of the circular economy,” マッキンゼー・クォーターリー(2017年6月)、*Resource revolution: Meeting the world's energy, materials, food, and water needs*, マッキンゼー・グローバル・インスティテュート(2011年11月)、*Beyond the supercycle: How technology is reshaping resources*, マッキンゼー・グローバル・インスティテュート(2017年2月) 削減コスト曲線の詳細は*Greenhouse gas abatement cost curves*, McKinsey.comを参照。

² 移行リスクは低炭素社会への移行によるリスク、信用リスクは気候変動による信用格付けへの影響により損失補填を要するリスクと定義できる。*Climate change: What are the risks to financial stability?* Bank of England, KnowledgeBankを参照

本レポートでは、行動を呼びかけると同時に、気候変動による社会経済的リスクの評価に有用なツールや手法を提示し、洪水やハリケーン等の単発的な現象や温暖化等の長期的な気候の変化による慢性的な問題による社会経済的リスクを検証している³。検証対象期間は、現在から2030年、2030年から2050年までの2つとし、気候科学者による気候災害リスクデータを活用し、気候災害リスクの変化を考慮し、社会経済的影響を導き出すことに焦点を当てている(コラムE1「マッキンゼーの研究手法」参照)。マッキンゼーでは、気候変動によるリスクと推定値についての不確実性を定量化するための手法を考案した(コラムE2「不確実性を考慮したマッキンゼーの手法」参照)。本レポートの最後では、気候変動の物理的リスクに対処するためにステークホルダーが自分自身に問うべき問いをまとめている(コラムE3「各ステークホルダーが問うべき問い」参照)

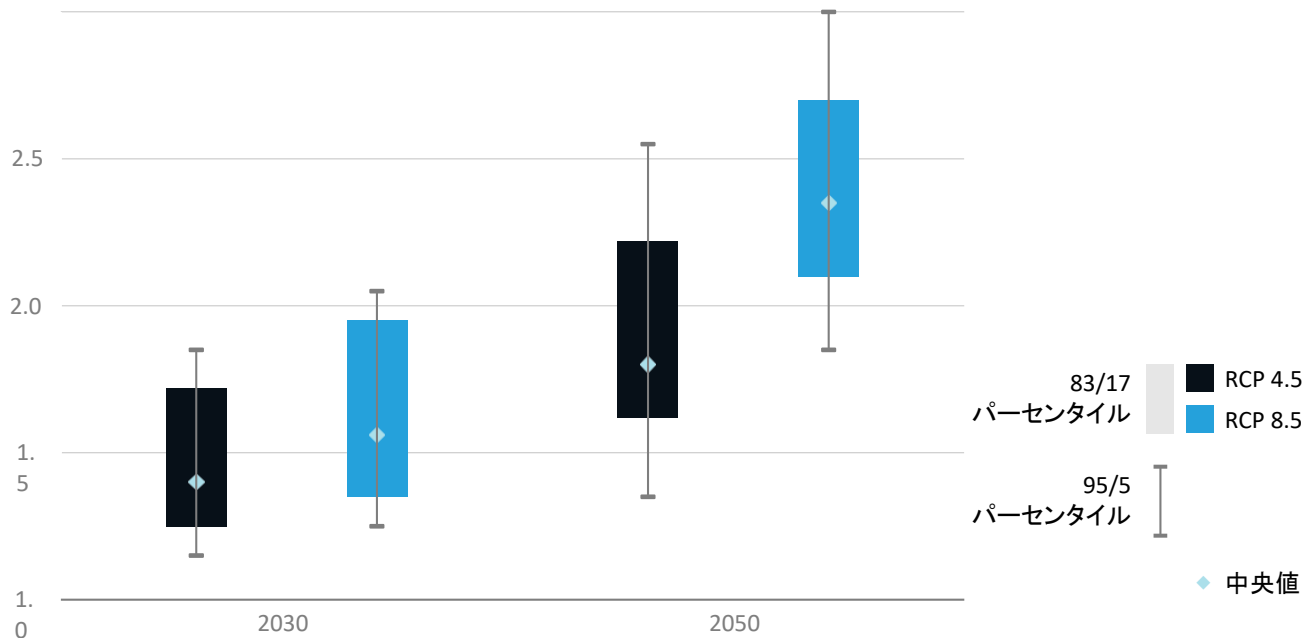
図表 E1

高排出シナリオ(RCP 8.5)に基づいて、排出削減が進まなかった場合の物理的リスクを検証

世界の平均陸上気温・海面水温の偏差(1850年～1900年の平均値との差)

°C

3.0



注記: 95/5パーセンタイルを超える外れ値は含まれていない。本図表ではRCPシナリオによる違いを示すため、気候モデルで最も一般的に使われている2つのRCPシナリオを示している

資料: Intergovernmental Panel on Climate Change, The Physical Science Basis, 2013

³ ここでのハザードとは、気候変動が誘発する物理的影響のうち自然生態系や社会経済学的システムに影響しうるものを指す。

コラム E1 マッキンゼーの研究手法

本レポートでは、気候変動が人間、有形資産や自然界に与える影響を検証している。マッキンゼーには、気候科学者を含む数多くの科学者が在籍しているが、気候モデリング機関ではないため、ここでは気候科学データに基づいて物理的リスクを評価し、ステークホルダーへの意味合いを導出することに焦点を絞っている。本レポートで行われている気候学的分析の大半はウッズホール研究センター(WHRC)によるもので、その他に、世界資源研究所(WRI)などの機関が公開している気候科学データを活用している。なお、WHRCでは、最も広く使用され、綿密な評価プロセスを経ている気候モデルを活用して気象事象の発生確率を推計している。主な研究方法は以下の通りである。

ケーススタディ

気候変動の物理的リスクを社会経済的影響に結び付けるため、気候変動が極限に達し、物理的限界に近くなった場合の影響を示した9つのケースを検証している。ここでは、様々な産業や地域を対象とし、MGI独自の「ミクロからマクロへ」の手法を用いている。今回、ケースの選定にあたって、気候災害がもたらしうる直接的影響に関する文献調査や専門家へのヒアリングを行い、これに基づいて気候災害、産業、地域の30以上の組み合わせを検討した。気候災害が影響を与える社会経済システムとしては、「居住性・作業性」、「食料システム」、「有形資産」、「インフラサービス」と「自然資源」の5つが挙げられる。

最終的には、これらのシステムを考慮して、極限的な気候に晒されるリスクと現時点での物理システム、人間システム、自然システムの限界点への近さに基づいて9つのケースを選んだ。よって、これらのケースは最新の気候変動リスクといえる。気候災害による直接的リスクは、災害の深刻度と発生確率、人間、有形資産、自然資源といったさまざまな資源が受ける影響、そして、これらの資源の災害への耐性(建物の浸水防止対策が採られているなど)によって決まる。また、ケーススタディを通じて、川下産業や消費者へのノックオン効果(波及効果)の検証も行っている。ノックオン効果の検証については、過去の事例や経験則に基づく推定を主に活用しており、社会経済システムの複雑性から、すべてを網羅しているわけではない。この「ミクロな」手法により、意思決定者に対し、気候変動の物理的リスクとその特性と考えられるノックオン効果を評価する手段を提供している。

グローバルな地理空間分析

別の分析では、地理空間データを用いて、世界105カ国における今後30年間の気候変動に関する見解を示している。この地理空間分析は、ケーススタディと同じ5つのシステムから成るフレームワークを活用している。これらの各システムについて、ケースを通じて特定した指標を可能な限り使用しながら気候変動の影響度指標を特定している。

上述の手法と同様に、分析はグリッドセルレベルで、災害に関するデータ(様々な浸水深の洪水とその発生確率など)、その災害に晒されるリスク(洪水の危険にさらされる財産など)、災害に対する耐性を示す被害関数(さまざまな水位の洪水にさらされた場合、どの程度の財産が被害を受けるのかなど)を組み合わせで行っている。そして、グリッドセルレベルの数字を国やグローバルな数字と組み合わせで検証を行っている。本分析は直接的な影響を評価することを目的としているものの、データの有効性の問題から、社会経済的影響に関する5つの指標と気候災害に関する1つの指標(干ばつ)を採用している。分析対象とした105カ国は世界の人口の90%、世界のGDPの90%を占める。できるだけ多くのリスクと国の分析を試みたものの、データに限りがあることからカバーできなかったものもある(森林火災や高潮の影響など)。

本レポートがカバーしていない、あるいは意図していないこと

本レポートは、気候変動の物理的リスクとその影響を理解することを目的としているため、取り上げていない事項もある。

- 気候モデルの有効性を評価するのではなく、気候科学に関する文献から最善の手法を取り入れ、主な不確実性を特定する
- 地理空間分析を通じて、気候変動による恩恵の一部の定量化は行っているものの、カナダの一部地域において農作物の収量が増加する可能性など、気候変動によって恩恵がもたらされる地域や業種を詳細には調べていない。
- 物理的リスクの影響が発生するにしがたい、適応策が採られ、フィードバック効果が生じる可能性がある。本レポートでは、ケースごとに適応策を示している。これらの適応策についてボトムアップの詳細な費用便益分析は行っていないが、既存の文献や専門家へのヒアリングを基に、最も重要な施策とそのコスト、効果や実行上の課題を理解した上で世界的な適応コストを推計している。
- 気候変動リスクを管理する手法として脱炭素化の重要性は認識しているものの、本レポートでは、脱炭素化については細かく取り上げていない。
- 気候変動の直接的な影響によるノックオン効果を定性的に(そして可能な限り定量的に)解明しようと試みているものの、社会経済システムの複雑さゆえに限界があることも事実であるため、本分析で取り上げていないノックオン効果が生じる可能性がある。よって、ここでは気候変動が世界のGDPに与える影響については評価していない(詳細については、第4章のコラム4を参照)。
- 本レポートではリスクの評価を行っており、予測や決定論的予測は行っていない。気候は経時的な気象パターンを統計的にまとめたもので、確率的な性質を持っている。よって、標準の手法に従い、マッキンゼーは「統計的な期待値」、つまり気候学的出現確率が高いあるいは低い事象について統計上、期待される平均的な影響を示している¹。

¹ 我々は、「テールリスク」の規模についても報告する。例えば100年に一度の規模の台風など、発生可能性は低くてもインパクトの高い事象について、年間・累計ベースの両方で評価する。例えば、年次1パーセントの確率で発生する洪水(「1/100年の規模の洪水」)を考察する。持ち家の所有期間を30年とした場合、その間に自宅が1/100年の規模の洪水に一回以上遭遇する確率は累計26%と推定できる

不確実性を考慮したマッキンゼーの手法

気候変動の物理的リスクを理解するうえで最も大きな課題の一つとして「不確実性の幅」が挙げられる。リスクは因果の連鎖から生まれる。CO₂の排出は世界そして地域の気候変動に影響を与え、それは特定の気候災害(干ばつ、海面上昇など)のリスクを高め、それにより物的被害(不作、インフラの破壊など)のリスクが高まり、最終的には経済的損害を被るリスクも高まる。ここでは、他の分析と同様に、因果の連鎖に関する仮説に基づいて分析を行っている(排出経路、適応策、グローバルおよび地域レベルの気候モデル、被害関数、ノックオン効果など)。連鎖を追究しようとするほど、モデルの不確実性は高まる。

リスク管理の観点から、今後30年間の気候変動の本来的リスク、適応策や緩和策を採らなかった場合のリスクの見通しを意思決定者に提示するための手法を開発した。これとは別に、ケーススタディを通じて、どのような適応策をとることでリスクを低減できるかについて取り上げている。また、可能な場合は、適応コストの推計も行っている。

この手法は、ステークホルダーが気候変動の影響の度合いを理解し、必要な対策を検討するうえで有効であると考えている。

主な不確実性としては、排出経路、温暖化のペース、気候モデルの精度と自然変動、直接的・間接的な社会経済的影響の度合い、適応策・対応策などが挙げられる。災害の予測については「より悪影響を及ぼす結果」の発生可能性として不確実性を捉える傾向があり、直接的な物理的リスクに関連して生じるノックオン効果のモデリングが難しいことから、マッキンゼーのアプローチでは控え目な推計値になる¹。

排出経路と温暖化のペース

前述の通り、追加的脱炭素化施策をとらなかった場合の物理的リスクの評価が可能になることからRCP 8.5のシナリオを採用している。本シナリオによると、2050年までに世界の平均気温は、産業革命以前の時代の気温を2℃上回る水準まで上昇するとされている。

しかし、排出削減対策をとることによって、温暖化(気候災害の発生やその影響拡大を含む)を2050年以降に遅らせることができる。例えば、RCP 8.5では、2050年までに世界の平均気温は2.3℃上昇するとしているが、RCP 4.5では、2050年には1.8℃上昇するとされており、2.3℃上昇するのは2080年と予測されている。

気候モデルの精度と自然変動

今後30年間について、強固な分析結果を導出するために、気候科学の知見を活用した。特定の気候モデルに関連する不確実性を最小限に抑えるためにも、気候モデルのアンサンブルの予測値の平均または中央値(モデル化する変数によって判断)を使用し、気候関連の文献で示されている標準的な手法を採用した。気候モデルによる温暖化予測では「悪い結果」の発生可能性として不確実性を捉える傾向があり、世界的に気温が低下するのではなく、上昇するという予測に偏る傾向がある。また、ここで使用する気候モデルでは、温暖化の進行につながる永久凍土の融解による温室効果ガス排出を含む、重要な生物的フィードバックは考慮していない。

¹ Naomi Oreskes and Nicholas Stern, "Climate change will cost us even more than we think," *New York Times* (2019年19月23日)を参照

地域分析に気候モデルを適用するために、気候関連文献に定められた手法を採用している²。

物理的変化にかかわる他の不確実性としては、人間ではなく、自然を起点とするメカニズムの変化である。自然気候変動は、複数年にわたる大気と水の循環の変化によって発生し(エルニーニョ現象やラニーニャ現象など)、世界あるいは各地の気温、降水量やその他の気候変数に一時的に影響を与える。自然気候変動は、統計上の気候変動の進行を一時的に加速させる、あるいは遅らせる可能性があるため、災害の進化に関する不確実性が高まる³。今後10年間は、自然気候変動による温暖化の進行・遅延効果よりも、気候変動のスピードが緩やかになると思われるため、この不確実性が極めて重要となる。

直接的・間接的な社会経済的影響

気候変動に伴う社会経済的影響の分析には不確実性が伴うため、控え目な推定値となっている。直接的な影響については、一般に公開されている脆弱性評価データを活用しているが、特定の資産あるいは場所の脆弱性を正確に捉えているとは限らない。間接的な影響については、社会経済システムの複雑さゆえに気候変動によるすべてのノックオン効果を捉えきれていない。

ほとんどのケースについては、定性的な手法あるいは経験則に基づいた推定によってノックオン効果を検証している。そのため、ホーチミン市における洪水によるノックオン効果やフロリダの不動産価格の下落といった、気候変動の本来のリスクの直接的な影響を過小評価している可能性がある。ただし、ここでは直接的な影響のみを検証することを目的としているため、世界105カ国の地理空間分析を行ううえで問題にはならない。よって、地域あるいは国レベルで公表されている脆弱性評価データを活用している。

適応策・対応策

リスクの度合いは、どの程度対策ができていくかによって変わってくる。物理的インフラの強化、人や資産の移転、バックアップの確保といった対応策をとることで気候災害の影響をおさえ、リスクを減らすことができる。マッキンゼーでは、まずリスクを評価したうえで、考えられる対応策を検証する手法を採用している。ここでいうリスクとは、気候変動の確率や深刻度を低減するために何も措置を講じなかった場合のリスクを指す。これらの対応策についてボトムアップの詳細な費用便益分析は行っていないが、既存の文献や専門家へのヒアリングを基に、最も重要な施策とそのコスト、効果や実行上の課題を理解したうえで世界的な適応コストを推計している。

気候変動リスクを管理する手法として脱炭素化の重要性は認識しているものの、本レポートでは、脱炭素化については細かく取り上げていない。

意思決定者が経営判断においてこれらの不確実性をどう捉えるかは、リスク選好やリスク管理のアプローチによって変わってくる。最も可能性が高いとされている結果を想定して動きたい(一般的な選択)と考える人もいれば、それよりも悪い、あるいは最悪のシナリオを想定して動こうと考える人もいるだろう。前述の複雑さを踏まえると、この重要な領域についてはさらなる研究が必要と思われる。ただし、気候変動に伴う影響の推計にはかなりの不確実性が伴うものの、科学や社会経済学的分析を通じて、意思決定者に対して実行可能なインサイトを提示することは可能と考える。主な不確実性と対応策については第1章をご参照いただきたい。

² 詳細は「付録: テクニカルノート」を参照

³ Kyle L. Swanson, George Sugihara, and Anastasios A. Tsonis, "Long-term natural variability and 20th century climate change," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Volume 106, Number 38(2009年9月)

気候変動によるリスクはすでに存在し、日増しに高まっている。今回、マッキンゼーでは様々なケースから得られたインサイトに基づいて、リスクの特性を明らかにすることで、ステークホルダーはリスクをどのように評価し、対処するべきかを示している。気候変動による物理的リスクの主な特性としては、以下の7つが挙げられる。

- **増大:** 9つのケースすべてで、気候変動による物理的リスクは2030年、そして2050年にかけて年々高まり続け、2050年には、その社会経済的影響の度合いは現在の水準の2倍から20倍にまで達する見込みである。また、気候変動は一部の国には一定の恩恵をもたらすものの(カナダ、ロシアやヨーロッパ北部の一部地域における農作物の収量の増加など)、世界中で物理的リスクが高まるとみられる。
- **空間的:** 気候災害は局所的に発生するため、地理的エリアを定義したうえで物理的リスクの直接的影響を検証する必要がある。リスクは各国間そして国内でも異なる。
- **非定常:** 温暖化の進行とともに、物理的リスクも変化し続ける。気候モデルや基礎物理学によると、地球物理学システムの慣性が作用し、今後10年間で温暖化が進むことは「不可避」で、そこに社会技術システムの慣性が働き、今後数十年にわたって地球の温度は上昇し続けると予測されている⁴。気候科学の知見によると、温室効果ガスの純排出量をゼロにする以外に温暖化やリスクの増加を止める方法はない。また、地球の熱慣性を考えると、純排出量をゼロにしたとしても、温暖化の進行を完全には止められない可能性がある⁵。そのようなリスクを管理するために、「新常态(ニューノーマル)」に移行するほどではないとしても、世界の絶え間ない変化に対応する能力が必要となる。金融市場、企業、政府や個人は、これまで絶えず変化し続ける環境に対処しなければならない状況に置かれたことがほとんどなく、過去の経験に基づく意思決定が役に立たない可能性がある。例えば、特定の地域のインフラ設計についてはパラメーターを再考し、自家所有者の場合、特定の地域では長期的な借り入れを見直す必要があるだろう。
- **非線形:** 人間システム、物理システム、あるいは自然システムがほとんど機能しない、あるいは破綻してまったく機能しなくなってしまうほどの災害が起きた場合、その社会経済的影響は非線形化する。それは、これらのシステムは過去の気候条件に合わせて経時的に進化してきた、あるいは最適化されてきたためである。例えば、一定の水位の浸水に耐えられる建物の設計、あるいは特殊な気候の地域における農作物の栽培について考えてみる。一部のシステムについては、比較的早く適応が進むと思われるが(建物の耐水化など)、現在の温暖化のスピードは、過去6,500万年間の気候記録上、桁違いに早いとされているため、農作物などの自然システムは到底追いつけない⁶。気候変動によって、ほんの少しでもシステムが限界点を超過してしまうと、その影響は甚大なものとなる。また、複数のケースで見られたように、特定の地域で複数のリスク要因が重なることによっても影響は非線形化する(複数の災害が同時に発生する可能性、対策を講じるための資金調達力、自然災害の影響を受けやすい業種への依存度の高さなど)。
- **連鎖:** 気候変動が与える影響は局所的なものに留まるとはいえ、相互連結した社会経済システムと金融システムにより、地域や業界の枠を越えてノックオン効果が生じる可能性もある。例えば、フロリダで洪水が起きた場合、住宅が被害を受けるだけでなく、保険料が上がり、不動産の資産価値が下がり、固定資産税の収入は減る。物理的システムと同様に、経済システムや金融システムの多くは気候変動の影響を受けやすい構造となっている。例を挙げると、サプライチェーンや食品製造システムのようなグローバル生産システムは、耐障害性ではなく効率性重視の設計となっているため、災害の強度が増し、重要な製造ハブが機能しなくなった場合、その影響範囲は拡大していく。保険システムは、毎年財物保険料を見直す仕組みにはなっているものの、自家所有者は30年以上の返済期間で借り入れしているケースがほとんどである。

⁴ H. Damon Matthews et al., "Focus on cumulative emissions, global carbon budgets, and the implications for climate mitigation targets," Environmental Research Letters, Volume 13, Number 1(2018年1月)

⁵ H. Damon Matthews et al., "Focus on cumulative emissions, global carbon budgets, and the implications for climate mitigation targets," Environmental Research Letters, Volume 13, Number 1 (2018年1月), H. Damon Matthews & Ken Caldeira, "Stabilizing climate requires near zero emissions". Geophysical Research Letters Volume 35(2008年2月), Myles Allen et al., "Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth ton." Nature, Volume 485(2009年4月)

⁶ Noah S. Diffenbaugh and Christopher B. Field, "Changes in ecologically critical terrestrial climate conditions," Science, Volume 341, Number 6145(2013年8月), Seth D. Burgess, Samuel Bowring, and Shu-zhong Shen, "High-precision timeline for Earth's most severe extinction," Proceedings of the National Academy of Sciences, Volume 111, Number 9(2014年3月)

このミスマッチにより、自家所有者は、(リスク増大に伴う)保険料の引き上げ、あるいは保険加入の可否などのかたちで大きな負担とリスクを背負うことになる。また、多くの地域で債務水準は閾値を越えているため、地方債などの比較的流動性の低い金融商品へのロックオン効果も考慮する必要がある。

- **逆進性:** どのケースにおいても、所得が低い地域が最も大きな影響を受ける。105カ国の分析対象国すべてについて、2030年にかけて、社会経済的影響の6つの指標のうち少なくとも1つは上昇することが確認された。新興国は、居住性・作業性の面で最も大きな影響を受ける可能性がある。所得が低い地域は、屋外労働や自然資源への依存度が高く、迅速に適応策をとるための財政的手段も少ない。その一方で、ヨーロッパの南部から北部への観光客の流入が増えるなど、気候変動は一部の国には恩恵をもたらす。
- **準備不足:** 企業や地域は気候変動リスクを抑えるための対応策を進めてはいるものの、急速に高まるリスクに対応するためにさらにスピードを高め、規模を広げていく必要がある。気候変動の影響に適応するためには、膨大なコストと難しい選択(人材や資産の確保あるいは再配分に投資するかなど)に直面する。よって、各ステークホルダーが連携して取り組むことが重要となる。

気候変動による大きな物理的影響はすでに局所レベルで明らかになっており、今後、さらに深刻化し、何倍にも広がっていく

地球の気候は変動し続けており、今後10年、そしておそらくそれ以降もこれを回避することは難しい。1880年代以降、地球の平均気温は約1.1°C上昇している⁷。これは衛星観測データや世界の数十万もの気象観測所の観測データの分析結果に基づいて確認されている。地球の極氷の量が減少していることも、この裏付けとなっている。温暖化のスピードは、過去6,500万年間の気候記録上、桁違いに早い⁸。

平均値だけでは、上下限値の大きな変化は把握できない。統計的には、気温の分布は右寄り(温暖化)で広がりがつある。つまり、多くの場所で日平均気温が上昇しており(「平均値の上昇」)、猛暑になる可能性が高くなっていることを意味する(「最低・最高気温の平坦化」)。例えば、北半球の100平方kmブロック毎の夏季の平均気温の変化の分布をみると、平均気温が年々上昇していることが分かる(図表E2)。北半球の夏季の平均気温から標準偏差の2倍の離れた猛暑の発生確率は15倍以上増え(1%未満から15%に上昇)。また、北半球の夏季の極暑の発生頻度(平方km単位)は、0%から0.5%に上昇し、標準偏差の3倍の平均気温となっている。

平均値だけでは、地域間の大きな違いも把握できない。温暖化によって世界の気温が1.1°C上昇した時期のアフリカ南部と北極圏の平均気温の上昇幅はそれぞれは0.2°C～0.5°Cと4°C～4.3°Cとなっている⁹。一般的に、地表面温度は世界平均の1.1°Cを上回るスピードで上昇しているが、熱容量が高い海洋は気温の上昇率は低い。

今後少なくとも10年間、そしておそらくそれ以降も気候変動の進行は不可避である。過去200年間の気温上昇の主要因は、二酸化炭素(CO₂)や温室効果ガス(メタンや亜酸化窒素など)の人為的な排出が増加したことにある¹⁰。18世紀半ばの産業革命以来、人間は約2.5兆トンのCO₂を排出しており、大気中のCO₂濃度は年々2ppmv以上増加し続け、280ppmvから418ppmvにまで上昇している。

⁷ NASA GISTEMP (2019年)及びNathan J. L. Lenssen et al., “Improvements in the GISTEMP uncertainty model,” *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Volume 124, Number 12(2019年6月)

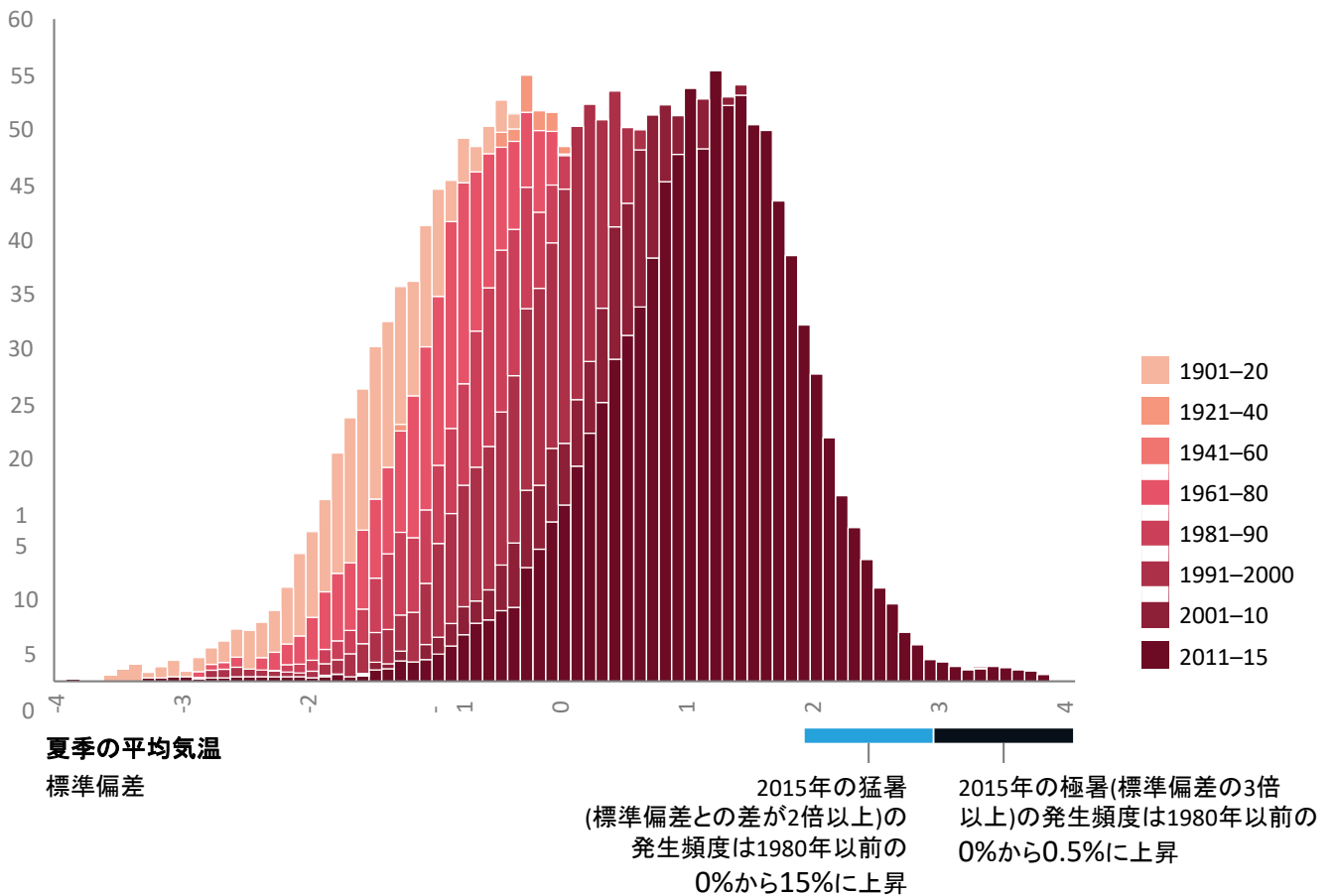
⁸ Noah S. Diffenbaugh and Christopher B. Field, “Changes in ecologically critical terrestrial climate conditions,” *Science*, Volume 341, Number 6145(2013年8月)、Seth D. Burgess, Samuel Bowring, and Shu-zhong Shen, “High-precision timeline for Earth’s most severe extinction,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Volume 111, Number 9(2014年3月)

図表E2

平均値では微々たる変化だが、分布の大きな変化により猛暑・酷暑の発生頻度が大幅増加

北半球の夏季の気温平年差

観測回数、千回



注記: 1980年以前は、人為的な温室効果ガス排出を示す強い兆しは見られなかったため、上図の早い時期の分布は重複部分が大きく、見えにくい。北半球の陸面を 100km x 100km のグリッドセルに分割。標準偏差はすべてのグリッドセルと都市のすべてのサンプルデータを測定して算出
資料: Sippel et al., 2015; McKinsey Global Institute analysis with advice from University of Oxford Environmental Change Institute

⁹ Goddard Institute for Space Studies (GISS), GISTEMP Reanalysis dataset (2019年)

¹⁰ 1850年以降に観察された温暖化の98~100パーセントは、大気中の温室効果ガス濃度の上昇に起因し、約75%はCO2に直接起因する。その他は、メタンガスや黒色炭素など一時的に発生する温室効果ガスによるものである。というのも、これらの物質は大気中で減少するので、排出量(またはフロー)に応じて地球の温度を上昇はさせるが排出量には累積されないからである

CO2はもともと数百年にわたり大気中に存在してきたものである¹¹。大気中のCO2を減らすために人間が本格的に取り組まなかった結果として、温暖化が常態となっている¹²。さらに、海洋は熱慣性が大きいいため、排出経路に関わらず、今後10年間で更に温暖化が進むことは不可避である。2030年以降については、温室効果ガス排出量を実質ゼロにしない限り、温暖化の進行とリスク上昇を食い止めることはできないことが気候科学によって明らかになっている¹³。

気候モデルを見ると、世界の平均気温上昇に伴い、世界の気候災害の発生確率上昇している。気候科学の知見によると、更なる温暖化は致命的な熱波、極端降水やハリケーンといった過酷な災害が発生頻度の上でも深刻度の上でも増加し、干ばつ、熱ストレス、海面上昇等の長期的問題も深刻化する¹⁴。ここでは、ウッズホール研究センター(WHRC)が分析した気候モデルによる予測と、RCP 8.5シナリオについて公表されている一部の災害データを取り上げている(図表E3およびE4):

- **平均気温の上昇**¹⁵: 世界の平均気温は、今後30年間も上昇し続ける見込みで、RCP 8.5シナリオでは、2050年には産業革命以前の時代に比べて2.3°C(+0.5/-0.3)上昇すると予測されている。これは地域によっては、平均気温が現在に比べて1.5~5.0°C上昇することを意味する。特に北極圏は他の地域よりも速い速度で気温が上昇する見込みである。
- **極端降水**¹⁶: 1950年から1981年にかけては50年に1度(つまり年2%の確率)の頻度で起きるとされていた極端降水現象が世界各地で頻発する可能性がある。特に、中国の一部地域、中央アフリカや北米東海岸では極端降水現象の発生頻度が4倍以上増すと予測されている。
- **ハリケーン**¹⁷: 気候変動によってハリケーンなどの熱帯性低気圧の発生頻度が変わる可能性は低いと思われるが、気候モデルや基礎物理学の知見によると、これらの平均的な深刻度は増す(つまり、強い熱帯性低気圧は増える)とされている。1981年~2000年にかけては年1%程度の確率で起こるとされていた強い熱帯性低気圧による極端な降水が、2040年には米国南東部の一部地域で2倍、東南アジアの一部地域では3倍にまで増加する見込みである。これらはいずれも人口密度が高く、大規模にグローバルな経済活動を展開している地域である。
- **干ばつ**¹⁸: 温暖化が進むにつれ、多くの地域が長期間にわたり、干ばつによる影響を受けられると思われる。地中海沿岸、アフリカ南部、中・南米を中心に、10年間のうち干ばつに襲われる期間の割合は2050年にかけて最大80%にまで増える見込みである。

¹¹ David Archer. "Fate of Fossil Fuel CO2 in geological time." *Journal of Geophysical Research*, Volume 110(2005年3月)

¹² H. Damon Matthews et al., "Focus on cumulative emissions, global carbon budgets, and the implications for climate mitigation targets," *Environmental Research Letters*, Volume 13, Number 1(2018年1月), David Archer. "Fate of Fossil Fuel CO2 in geological time." *Journal of Geophysical Research*, Volume 110 (2005年3月), H. Damon Matthews & Susan Solomon. "Irreversible does not mean unavoidable." *Science*. Volume 340, Issue 6131(2013年4月)

¹³ H. Damon Matthews et al., "Focus on cumulative emissions, global carbon budgets, and the implications for climate mitigation targets," *Environmental Research Letters*, Volume 13, Number 1(2018年1月), H. Damon Matthews & Ken Caldeira, "Stabilizing climate requires near zero emissions". *Geophysical Research Letters*, Volume 35(2008年2月), Myles Allen et al, "Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth ton." *Nature*, Volume 485(2009年4月)

¹⁴ この気候ハザードリストは全体の一部の例示であり、完全バージョンのリストはフルレポートに掲載する。データ及びモデリングの制約により、ここには下記のハザードは含めない: 森林火災の頻度及び深刻度の上昇、疫病や疾病による生物学的及び生態学的インパクトの上昇、ハリケーンの風速や高潮の深刻度の上昇、海面上昇による沿岸部への洪水の頻度や深刻度の上昇

¹⁵ KNMI Climate Explorer (2019年)より、CMIP5の全モデル群の平均を使用

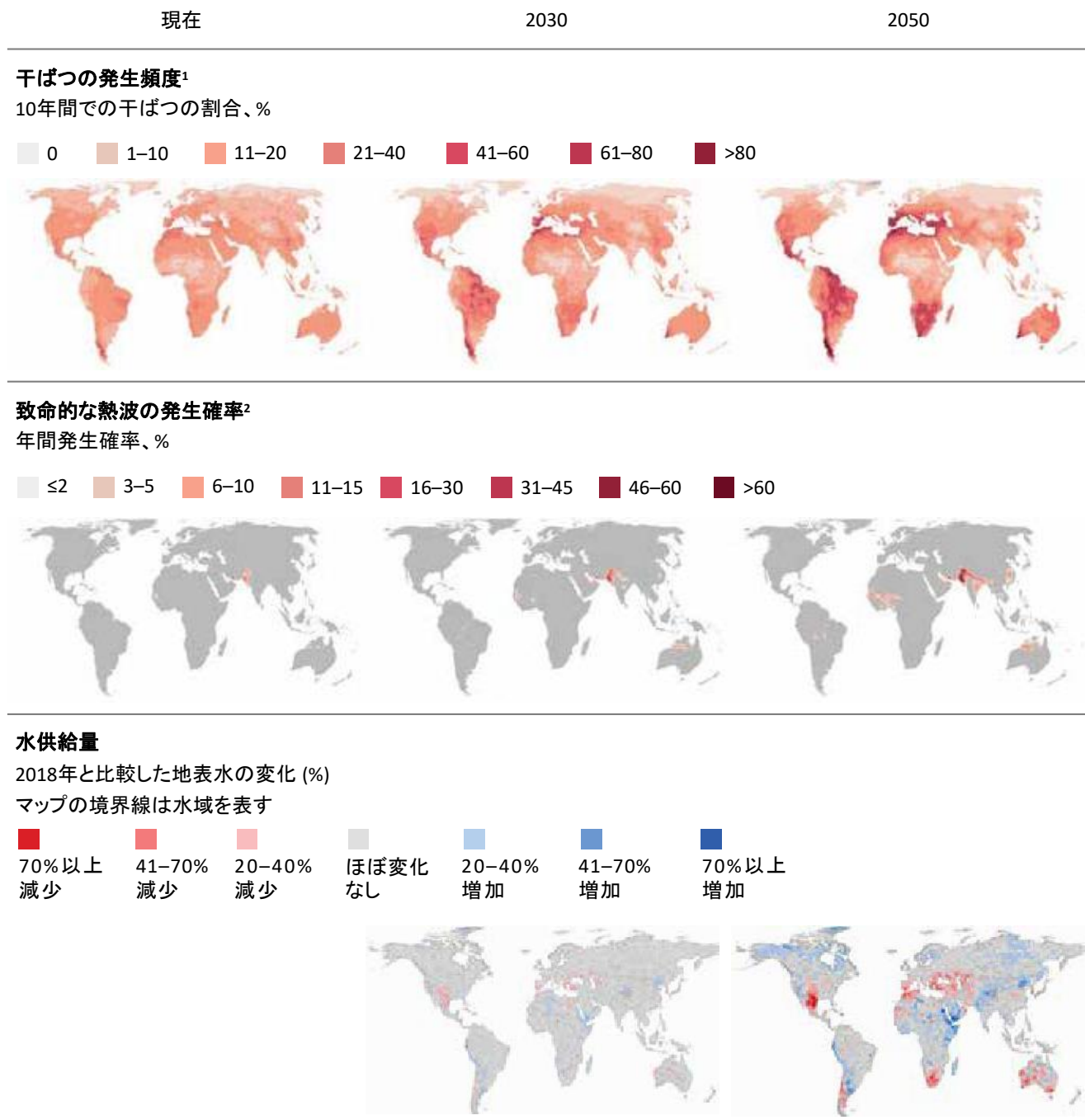
¹⁶ WHRCがCMIP5の計20のGlobal Climate Models (GCM)のメディアン予測を用いてモデル化した。甚大な豪雨事象の発生確率を正確に推計すべく、統計的ブートストラップ法として知られる工程を適用。ここで算出するのは絶対値ではなく経時的变化であるため、バイアス補正は実施しない

¹⁷ 2019年にマサチューセッツ工科大のKerry Emanuelが発表したCoupled Hurricane Intensity Prediction System (CHIPS)を用いてWHRCがモデル化した。ハリケーンのモデリングが可能な期間は1981~2000年(ベースライン)及び2031~2050年(将来)。これらは世界のハリケーンの2大発生地域のモデリング結果であり、インド亜大陸を含むその他の地域はモデリングしていない

¹⁸ WHRCがCMIP5の計20のGlobal Climate Models (GCM)のメディアン予測及びを用いてモデル化し、自動修正式のPalmer Drought Severity Index (PDSI)を適用した。予測結果は大気中のCO2濃度の上昇を考慮して修正した

世界各地で気候災害の深刻度が増す見込み(続き)

RCP 8.5シナリオに基づく



1. 3か月のローリング平均を使用して測定。3か月単位の Palmer Drought Severity Index. (PDSI)の平均値が-2の状況を渇水状態として定義。PDSIは、温度と降水量に基づいた渇水指標で、過去の平均からの差異に基づいて算出される。値は +4 (渇水の深刻度が極めて低い) ~ -4 (渇水の深刻度が極めて高い)の範囲となっている。

2. 致命的な熱波とは、3日間の最高湿球温度が34°Cを超える状態として定義。湿球温度は、ある空気塊を一定気圧に保ちながら、その空気塊の中に水を蒸発させることによって、飽和に達するまで断熱的に冷却した場合に、その空気塊が持つ温度を表す。一般的に、人が生存可能な湿球温度の限界値は35度と考えられており、大都市では中心部でヒートアイランド現象により、35°Cの閾値を超える熱波が生じる可能性があることからこの閾値を設定した。この状況下では、木陰で風にあたっており、健康で、十分な水分補給を行ない、熱順化している人でも約4~5時間後には熱射病で死に至る恐れがあるレベルにまで深部体温が上昇する状況となる。これらの予測は、大気中エアロゾルや都市のヒートアイランドあるいはクールアイランド現象の影響にかかわる不確実性も含まれている。

注記: RCP 8.5シナリオをベースとしている理由についてはTechnical Appendixを参照のこと。すべての予測はRCP 8.5シナリオ、CMIP 5マルチモデルアンサンブルに基づいて行っている。熱量データのバイアスは修正済み。標準的な手続きにしたがい、数十年間にわたる気候的挙動の平均として、現在と未来(2030、2050)を定義している。現在の気候状態は1998年から2017年の平均、2030年は2021年から2040年の平均、2050年は2041年から2060年の平均として定義している。

資料: Woods Hole Research Center; World Resources Institute Water Risk Atlas (2018); World Resources Institute Flood Risk Analyzer; McKinsey Global Institute analysis

- **致命的な熱波¹⁹**: 致命的な熱波は、木陰で風にあたっており、健康で、十分な水分補給を行ない、熱順化している人でも熱射病で死に至る恐れがあるレベルにまで深部体温が上昇してしまう状況が3日間連続して続く現象として定義されている²⁰。RCP 8.5シナリオでは、インドとパキスタンの一部の都市が、人の生存限界値を超える熱波が起きる最初の地域になると予想されており、2050年には比較的小規模な地域でもこのような熱波の発生確率が年間60%以上となるとされている。
- **水供給²¹**: 利用可能な再生可能水量は降雨パターン、蒸発、融雪時期やその他の要因の変化の影響を受ける。南アフリカやオーストラリアなどでは水の供給量が減る見込みである一方で、エチオピアや南米の一部地域では増える見込みである。また、地中海沿岸の一部、米国やメキシコの一部地域については、2050年にかけて、地表水の年平均利用可能量が70%以上減る見込みである。このように利用可能量が大幅に減少すると、慢性的に水不足が続き、水ストレスが増大し、水資源を巡る競争が激化する恐れがある。

気候変動が進行し、システムが限界点を超えるとその社会経済的影響は非線形化し、ノックオン効果をもたらす

気候変動は、人間の生活以外にも、経済活動を支える生産基盤、さらには豊かさの維持・向上にも影響を及ぼす。ここでは、人間システム、物理システムや自然システムが破壊される、あるいは崩壊してしまうほどの気候変動の影響とその社会経済的影響を測定している。経済活動への影響(GDPで測定)は、これらのシステムが直接的な影響を受けた結果である。

気候変動は既に大きな社会経済的影響を生み出している。このような気候変動と関連付けられる社会経済的影響は世界各地にて見られている。マッキンゼーでは、これらの影響を5つのシステムから成るフレームワークを使って分類した(図表E5)。コラムE1に示したように、本フレームワークは気候災害が生み出す社会経済的影響の範囲を捉えるためのものである。

¹⁹ WHRCがCMIP5の計20のGlobal Climate Models (GCM)より日平均最大表面温度及び日平均相対湿度の予測値を用いてモデル化した。各モデルはERAの中間データセットを用いて独立的にバイアス修正を行った

²⁰ ある空気塊を一定気圧に保ちながら(その空気塊の中に水を蒸発させることによって飽和に達するまで)冷却した場合にその空気塊が持つ温度を湿球温度と定義し、致命的熱波とは3日間の平均最高湿球温度が摂氏34度を超える状態と定義する。この基準値を選択した理由は、ヒトの生存可能な湿球温度の限界値は一般的に摂氏35度とされており、都市部での著しいヒートアイランド効果によって湿球温度摂氏34度の熱波が摂氏35度の限界値を超えうためである。この温度下では、健康なヒトの場合、日陰で休んでいる状態の生存限界値は4~5時間である。予測には将来的な大気エアロゾルの挙動や都市のヒートアイランド効果またはクーリングアイランド効果に起因する不確実性が伴う。今日のモデル上で特定地域における致命的熱波の発生可能性がゼロでなかった場合も、CMIP5モデルでは当該地域で高い大気中エアロゾルレベルの出現が少ないことを考慮し、ゼロとカウントする。大気エアロゾルの濃度が高ければ、冷却効果が起こり、気温上昇リスクと相殺される。詳細はインドの事例及び「付録: テクニカルノート」を参照。分析はRCP8.5のシナリオに基づいて実施した

²¹ 6つの基本的CMIP5モデルに基づいた、World Resources Instituteの Water Risk Atlas (2018年)より。ローデータセットの基準期間は、2020年、2030年及び2040年を中心とした20年である。1998~2017年、及び2041~2060年のデータは、基準データセットに示す60年トレンドから線形予測した

気候変動による社会経済的影響はすでに顕在化しており、全世界に広がっている



影響を受ける経済システム	気候変動の影響を受けた地域	社会経済的影響	気候変動による影響
居住性・作業性	1 ヨーロッパの熱波(2003)	150億ドルの損失	発生確率が2倍に上昇
	2 ロシアの熱波(2010)	~55,000人が死亡	発生確率が3倍に上昇
	3 オーストラリアの熱波(2013-14)	~60億ドルの生産性損失	発生確率が最大3倍に上昇
	4 東アフリカ干ばつ(2017)	~80万人がソマリアから避難	発生確率が2倍に上昇
	5 ヨーロッパの熱波(2019)	フランスで~1,500人が死亡	フランスでは発生確率が~10倍上昇
食料システム	6 南アフリカの干ばつ(2015)	農業生産高が15%減少	発生確率が3倍に上昇
	7 海洋温暖化	北大西洋における漁獲量が最大35%減少	世界的に海面水温が0.7°C上昇
有形資産	8 ハリケーン・サンディ(2012)	620億ドルの被害	発生確率が3倍に上昇
	9 フォートマクマレーの山火事(カナダ、2016)	100億ドルの被害、150万エーカーの土地が焼失	発生確率が1.5~6倍に上昇
	10 ハリケーン・ハービー(2017)	1,250億ドルの被害	被害が8-20%拡大
インフラサービス	11 中国大洪水(2017)	35.5億ドルの経済損失(甚大なインフラ被害を含む)	発生確率が2倍に上昇
自然資源	12 北極海の氷水面積が観測史上最少に(2012年)	雪面アルベド低下により温暖化が進行	70-95%は人為的気候変動が原因
	13 ヒマラヤ氷河の減少	2.4億人以上への水供給量が減少	人為的気候変動により、過去20年間で世界の氷河が~70%減少

資料: R. Garcia-Herrera et al., 2010; K. Zander et al., 2015; Yin Sun et al., 2019; Parkinson, Claire L. et al., 2013; Kirchmeier-Young, Megan C. et al., 2017; Philip, Sjoukje et al., 2018; Funk, Chris et al., 2019; ametsoc.net; Bellprat et al., 2015; cbc.ca; coast.noaa.gov; dosomething.org; eea.europa.eu; Free et al., 2019; Genner et al., 2017; iopscience.iop.org; jstage.jst.go.jp; Lin et al., 2016; livescience.com; Marzeion et al., 2014; Perkins et al., 2014; preventionweb.net; reliefweb.int; reuters.com; Peterson et al., 2004; theatlantic.com; theguardian.com; van Oldenburgh, 2017; water.ox.ac.uk; Wester et al., 2019; Western and Dutch Central Bureau of Statistics; worldweatherattribution.org; McKinsey Global Institute analysis

気候災害は複数のシステムに影響を与える恐れがある。例えば、熱波により、人々が働けなくなると、コミュニティに影響が出るだけでなく、食料システムが変化し、インフラサービスは機能しなくなり、氷河などの自然資源が危険にさらされることになる。極端降水や洪水は、有形資産やインフラを破壊し、海岸や川沿いのコミュニティの安全を危険にさらす。ハリケーンはグローバルサプライチェーンに影響を及ぼし、バイオーム(生物群系)の変化は、生態系サービスに影響を与える。マッキンゼーのフレームワークは次の5つのシステムで構成されている。

- **居住性・作業性:** 熱ストレスなどの災害は屋外で働く人々に影響を及ぼし、究極的には命を危険にさらすこともある。熱中症予防のために無理をしないために休憩をとる必要が出てくるため、労働生産性は落ちる。また、温暖化により、病原体の特性が変化し、人の健康に有害な影響を与える恐れがある。
- **食料システム:** 干ばつ、極端な温度の変化や洪水は土地や農作物に影響を与えるため、食料供給が滞る恐れがある。気候変動は、食料システムにとって良い面も悪い面もあり、多かれ少なかれ変動が生じる。つまり、一部の農作物の収量が増えることもあれば、一部の農作物の収量がゼロになることもある。
- **有形資産:** 大規模降雨、高潮、森林火災やその他の災害により、建物などの有形資産が損傷または破壊される恐れがある。災害によって、都市の中心部にあるビジネス街などさまざまな資産から成るネットワーク全体が深刻な被害を受ける可能性もある。
- **インフラサービス:** インフラは、機能が破壊される、あるいは崩壊することでサービスが停止、あるいはサービスコストが上昇する恐れがある。例えば、電力系統は極度の高温にさらされると性能が低下する。熱害、風害や水害といった様々な災害はインフラに大きな被害をもたらす、そのインフラに依存する他のセクターにノックオン効果を与える恐れがある。
- **自然資源:** 気候変動は、生態系を変え、人間社会にとって重要な自然資源(氷河、森林、海洋生態系など)を破壊し、人間の生活環境や経済活動が危険に晒される。その影響は非線形化し、温暖化による氷河の融解など不可逆的な影響になる可能性もあるため、モデル化することは難しい。また、森林火災や水不足など、人間の管理不行き届きに起因する被害もあるが、その程度と影響の度合いは気候変動の影響と相まって更に高まる。

直接的影響やノックオン効果、適応コストや戦略を含め、マッキンゼーが検証する各地域や業種の気候変動の物理的リスクの9つのケースでは、人間システム、物理システム、あるいは自然システムに気候災害が与える社会経済的影響を取り上げている。ケースでは、5つのシステムをカバーし、時に同じ場所で同時に発生する可能性がある様々な気候災害を想定している。そして、気候変動に対する脆弱性も幅広く取り上げている。

具体的には、インドと地中海沿岸の居住性・作業性、世界の主要穀物地帯とアフリカの農業に基づいた食料システムへの影響、フロリダの住宅や半導体や重希土類金属のサプライチェーンにおける物的被害、5種類のインフラサービスへの影響(特に都市部における水害リスク)、そして氷河、海洋・森林に影響が与えることによる自然資源の破壊といった観点で気候変動の影響を検証している。

ケーススタディでは、物理的リスクは非線形的に増大していることが明らかになっている。地域内で起こる災害が深刻さを増すにつれて、他の地域への物理的影響も広がっている。

直接的な物理的リスクの度合いを評価するために、災害の深刻度とその発生確率、人間、資産あるいは経済活動に対する災害の影響範囲、災害に対する各システムの脆弱性の範囲を検証した。研究者が、保険データに基づいて自然災害による損害を検証した結果、影響が広がっている背景には、気候災害の発生確率の高まり以上に、災害の影響範囲が増大してきたことが判明した²²。また、今後の気候の変化も大きく影響してくる。温暖化が進むにつれ、人間システム、物理システムや自然システムは、過去の気候条件に合わせて経時的に進化してきた、あるいは最適化されてきたため、物理的な耐性の限界点を超過してしまうと、災害の強度が少し増すだけでも深刻な結果を招く恐れがある。

マッキンゼーが検証したすべてのシステムに限界点は存在する。例えば、人間の場合、37°Cという深部体温が身体の機能を正常に保つうえで適しているが、これを超えると心身ともに影響が生じ、場合によっては死に至る恐れもある。また、気温が20°Cを超えるとトウモロコシの収穫量は大幅に減少し、一定の風速に耐えられる仕様で設置された携帯電話基地局も倒壊する可能性がある(図表E6)。

限界点を越えた場合、甚大な影響が生じる。例えば、RCP 8.5シナリオでは、効果的な適応策がとられなかった場合、2030年にはインドで人が健康に生きていられる限界値を超えた、致命的な熱波が起きる確率が年5%の地域に居住する人の数は1億6,000万人から2億人になると推定している(ここでは、エアコンの普及率は勘案していない)²³。

屋外作業の生産性も低下し、屋外での実労働時間も減る(図表E7)。2017年時点で、インドでは、屋外労働がGDPに占める割合は約50%、GDP成長率に占める割合は約30%、労働者人口に占める割合は約75%(3億8,000万人規模)となっている²⁴。2030年には、日中の平均労働損失時間が増し、GDPが年率2.5-4.5%で減少する可能性が推定されている。

²² 今日まで様々な研究者が、これら各要素が経済損失の進行にどう影響したか、特定を試みてきた。洪水、ハリケーン、森林火災などの深刻な自然災害による損失についての保険記録から、実損は経時的に増大する傾向が見て取れる。また分析の結果、多くの場合、エクスポージャーの増大がその推進要因であることも判明している。この分析はGDPや資産、エクスポージャーが増大した場合の実損の正規化に基づいており、エクスポージャーの増大による影響を明らかにしている。Roger Pielke, "Tracking progress on the economic costs of disasters under the indicators of the sustainable development goals," *Environmental Hazards*, Volume 18, Number 1(2019年)を参照。Pielkeの考察では、正規化後の損失データには経済的インパクトの増大傾向は見られない。実際に1990年以降、GDPに占める損失の割合は減少している。他の研究者もGDP、資産、人口の影響を踏まえた上で、若干の回復傾向を指摘しており、今日の経済損失に対する気候変動の潜在的役割について提言している。Fabian Barthel and Eric Neumayer, "A trend analysis of normalized insured damage from natural disasters," *Climatic Change*, Volume 113, Number 2(2012年)、Robert Muir-Wood et al., "The search for trends in a global catalogue of normalized weather-related catastrophe losses," *Climate Change and Disaster Losses Workshop*(2006年5月)、Robert Ward and Nicola Ranger, *Trends in economic and insured losses from weather-related events: A new analysis*, Centre for Climate Change Economics and Policy and Munich Re(2010年11月)を参照。例えば、Muir-Woodらは保険業界の1970~2005年のデータを分析し、資産、人口の成長や移動、インフレ等の変化を踏まえたうえで、天候に起因する甚大な損失は1970年代以降、毎年2パーセントずつ上昇していると特定した。(但しオーストラリア、インド及びフィリピンを含む一部地域では同様の損失が減少していることを特筆しておく)。Munich Reの分析によると、米国とドイツでは過去30~40年にわたり、気象関連事象に対する損失補償には統計的に優位な増加が認められる

²³ 致命的熱波とは3日間の平均最高湿球温度が摂氏34度を超える状態と定義する。この基準値を選択した理由は、ヒトの生存可能な湿球温度の限界値は一般的に摂氏35度とされており、都市部での著しいヒートアイランド効果によって湿球温度摂氏34度の熱波が摂氏35度の限界値を超えうためである。予測には将来的な大気エアロゾルの挙動や都市のヒートアイランド効果またはクーリングアイランド効果に起因する不確実性が伴う。今日のモデル上で特定地域における致命的熱波の発生可能性がゼロでなかった場合も、CMIP5モデルでは当該地域で高い大気エアロゾルレベルの出現が少ないことを考慮し、ゼロとカウントする。大気エアロゾルの濃度が高ければ、冷却効果が起こり、気温上昇リスクと相殺される。詳細はインドの事例を参照。この分析では、統計的優位性が低い領域を除外するため、致命的熱波の発生確率が1パーセント未満の場合のグリッドセルは除外した

²⁴ 該当分野は農業、鉱業、採石業などの完全なる屋外産業、及び空調の普及度が低い製造業、ホスピタリティ、輸送などの屋内産業を含む。Reserve Bank of India, Database on Indian Economy (dbie.rbi.org.in/DBIE/dbie.rbi?site=home)

図表E6

限界点を超えると気候変動による直接的影響は非線形化する

システム	例	非線形的な変化
人間	気温と湿度が屋外労働者に与える影響	<p>一定の時間における作業能力の割合¹ %</p> <p>湿球温度² °C</p>
物理	洪水による浸水がイギリスの駅に与える影響	<p>資産被害³ 単位:百万ドル</p> <p>浸水深 M</p>
物理	電力系統が過負荷状態に陥ることによる影響(高温による出力低下など) ⁴	<p>トリップ頻度</p> <p>負荷 公称容量に占める割合, %</p>
自然	気温が農作物の収穫量に与える影響	<p>トウモロコシの生殖成長率 %</p> <p>気温 °C</p>

1. 即時的効果。曝露時間が長くなるほど、身体に悪影響が生じる。人間は湿球温度が35°Cの環境下では、4-5時間ほどなら耐えられる。この時間では短時間の作業が可能であるため、WBGTが35°Cの場合(木陰の場合の湿球温度は35°C)でも労働時間はゼロにはなっていない。

2. 木陰の場合のWBGT(湿球黒球温度、または暑さ指数)に基づく。WBGTは、気温・湿度・気流・輻射(放射)熱が人体に与える影響を加味して算出される値。

3. イギリスの駅が受ける影響/コストを算出するにあたって、世界の駅新設コストの平均値を使用。耐性の限界点を超えた場合、資産の残存価値はゼロになると想定。

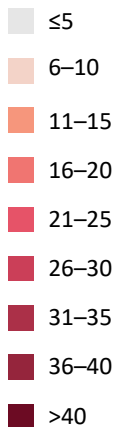
4. 洪水、火災や台風などの単発的な現象や温暖化等の長期的な問題の両方の影響を受けて、出力低下が生じる可能性がある。
資料: Dunne et al., 2013, adjusted according to Foster et al., 2018; Henneaux, 2015; Korres et al., 2016; CATDAT global database on historic flooding events; McKinsey infrastructure benchmark costs; EU Commission Joint Research Centre damage functions database; historical insurance data and expert engineer interviews on failure thresholds; McKinsey Global Institute analysis

図表E7

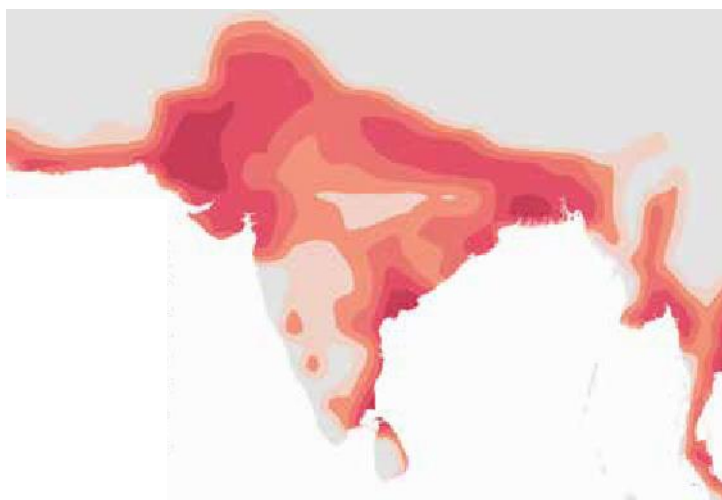
極端な気温や湿度に晒される地域とその確率は増え続けており、労働損失時間も増えていく

RCP 8.5シナリオに基づく

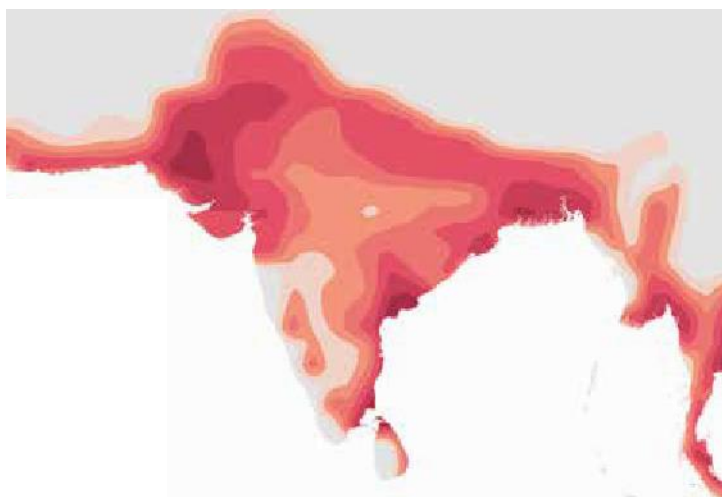
年間の実労働時間の損失割合¹
%



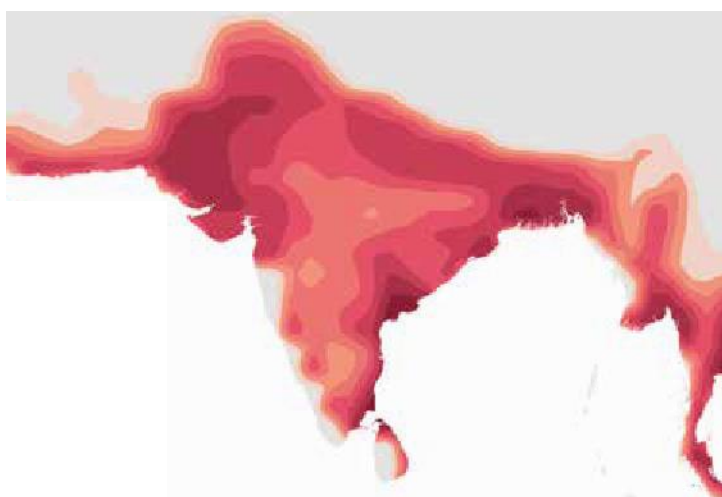
現在



2030



2050



1. 労働損失時間には、労働者の生産性低下の他に休憩も含まれる(気候モデルのアンサンブル平均である平均年に基づく)

注記: RCP 8.5シナリオをベースとしている理由についてはTechnical Appendixを参照のこと。すべての予測はRCP 8.5シナリオ、CMIP 5マルチモデルアンサンブルに基づいて行っている。熱量データのバイアスは修正済み。標準的な手続きにしたがい、数十年間にわたる気候的挙動の平均として、現在と未来(2030、2050)を定義している。現在の気候状態は1998年から2017年の平均、2030年は2021年から2040年の平均、2050年は2041年から2060年の平均として定義している

資料: Woods Hole Research Center

経済および金融システムも同様に、一定のレベルのリスクを想定して設計・最適化されているため、災害の頻発化・深刻化により、脆弱性が増す可能性がある。既に述べたように、サプライチェーンは、生産拠点を特定の地域に集約したり、在庫水準を低く抑えるなど、レジリエンスではなく効率性重視の設計となっている。食物生産システムも集中しており、5つの「主要穀物地帯」地域が世界の穀物収量の約60%を占めている。気候災害が頻発化・深刻化すると、重要な製造ハブが影響を受け、これらのシステムが機能しなくなる恐れがある。金融や保険システムについても脆弱性は存在する。これらのシステムは一定のリスクに対応しているものの、気候災害が深刻化すると限界点を超過してしまう可能性がある。フロリダの不動産市場を例として挙げてみる(図表E8)。自家所有者は、洪水などのリスクに備えるために保険に加入しているが、リスク増大に伴い、保険料が上がる可能性があり、自宅の資産価値が下がったとしても、それを補償する保険はない。融資機関は、自家所有者が債務不履行に陥った場合、一定のリスクを負う可能性がある。その他にも考えられる影響を想定して、連邦政府は予防的措置をとっているものの、さらなる財政支援に備える必要がある。

その他のケースでは、限界点を越えた場合の大規模なノックオン効果について取り上げている。これは、特に影響を受ける人や資産が各地の経済の要を担っており、他の経済・金融システムと結びついている場合に生じる影響である。

一例としては、モンスーンや高潮による氾濫の影響を受けやすい都市であるホーチミン市が挙げられる。100年に1度の規模の高潮がもたらすインフラ被害は約2億～3億ドルに上ると思われる。そして、追加の対応策がとられなかった場合、被害額は2050年には5億～10億ドル規模に拡大する(これには不動産関連への影響は含まれていない)。このような直接的な影響以外のノックオン効果による被害も大きくなると推定しており、現在の1億～4億ドルの水準から2050年には15億ドル、最悪の場合は85億ドルにまで膨れ上がる可能性がある。ホーチミン市については、2050年にかけて、少なくとも200億ドルの新規インフラ投資を推定しており、重要資産の数は2倍以上増加すると推定している(図表E9)。これらの新規インフラの多く、特に地下鉄は水害に備えた設計となっている。ただし、海面が180cmに上昇した場合など、最悪のケースでは多くの場所で限界値を超過してしまう²⁵。

フロリダの沿岸部の不動産のケーススタディでは、気候災害がどの程度不測の経済的影響をもたらすかを示している。フロリダは、海岸線が長く、海拔が低く、多孔質な石灰岩質地盤という地理的特性により、洪水に対する脆弱性が高い。対応策がとられなかった場合、不動産への直接的被害は気候変動によって大きくなる可能性がある。ハリケーンによる高潮災害による年間平均被害額は現時点で20億ドルに上る。そして、高潮に晒される可能性が現在と同じ水準あるいは上昇した場合、2050年には30億～45億ドルにまで増加する見込みである²⁶。100年に1度の規模のハリケーンが発生した場合の高潮災害による被害額は現在で350億ドル、2050年には500億～750億ドルになる可能性がある。

²⁵ これは極端なシナリオであって2050年までの発生確率は極めて低い。とはいえ、発生確率が大幅に低減しない限り、2050年以前に完成予定のインフラは2060年以降のどこかの時点で新たに大きな変化を経験する可能性があることを、このシナリオは示唆する

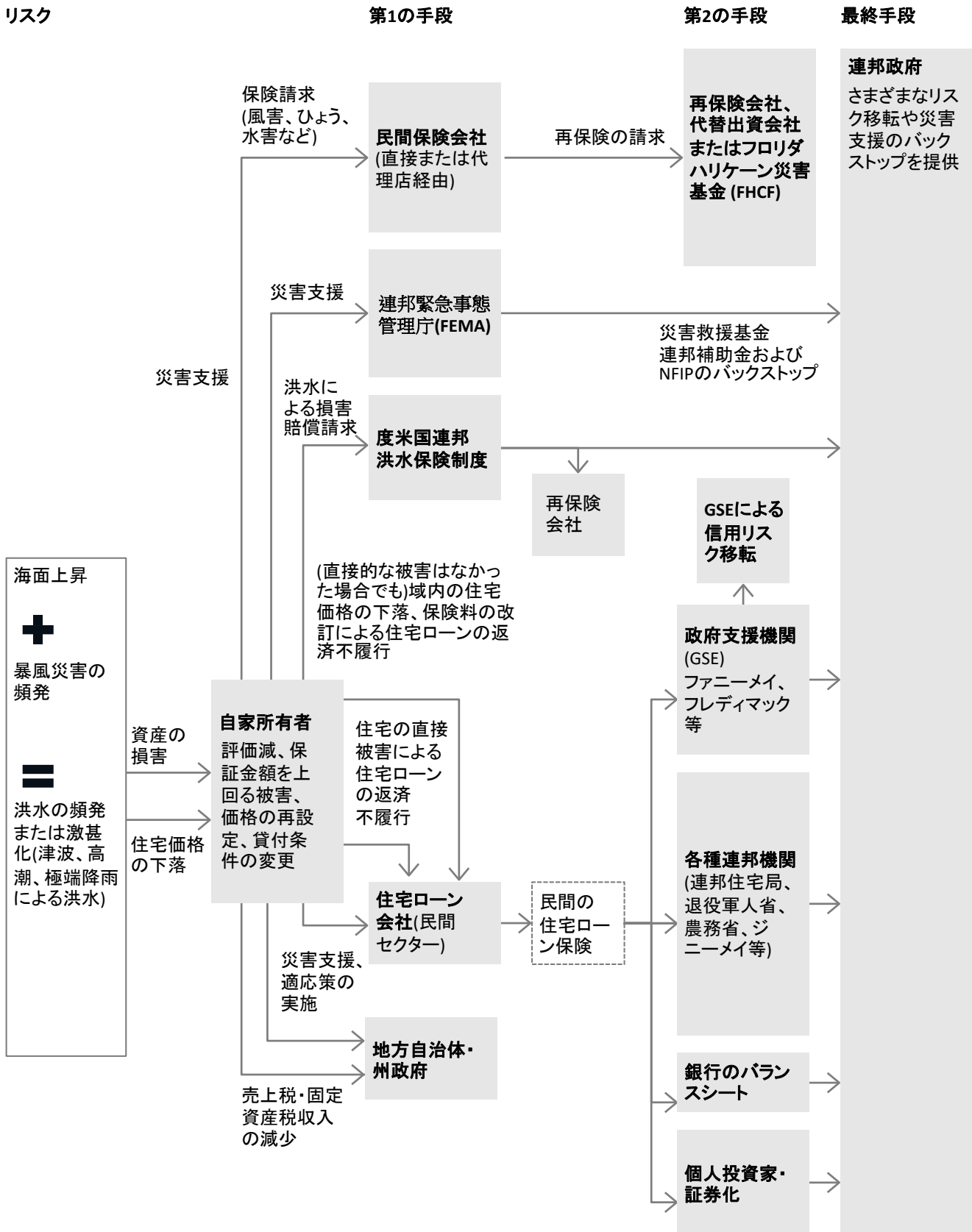
²⁶ KatRisk(2019年)、全ての居住用不動産(被保険及び無保険)に対する直接損失の年間平均。これは各年に予測される長期的な損失平均を示しており、気候ハザードの発生確率にハザードによる損失を乗じ、全事象の発生確率の総和を算出してモデルを割り出した。海面上昇に基づく分析は、Southeast Florida Regional Climate Change Compactの推奨曲線のひとつであるUS Army Corps of Engineers high curveに従った。Southeast Florida Regional Climate Change Compact Sea Level Rise Work Group, *Unified sea level rise projection: Southeast Florida*(201510月)。ハリケーンハザードをより広く検討するとき、例えばハリケーンの総頻度は変化なしまたは気候変動によって微減すると想定した場合、地球の平均気温が摂氏2度以上上昇しただけでハリケーンの累積雨量、平均強度及びカテゴリ4-5の強度に達する割合が増加する。Thomas Knutson et al., *Tropical cyclones and climate change assessment: Part II. Projected response to anthropogenic warming*, American Meteorological Society(2019年)。エキスポーザーの状態評価、例えばエキスポーザーを一定とするか、過去の居住用不動産の成長率をベースにするかによって、レンジは異なる

図表E8

リスクを抱えているのは誰か

フロリダの居住用不動産市場のステークホルダーの全体図

■ ステークホルダー → トランザクション



資料: McKinsey Global Institute analysis

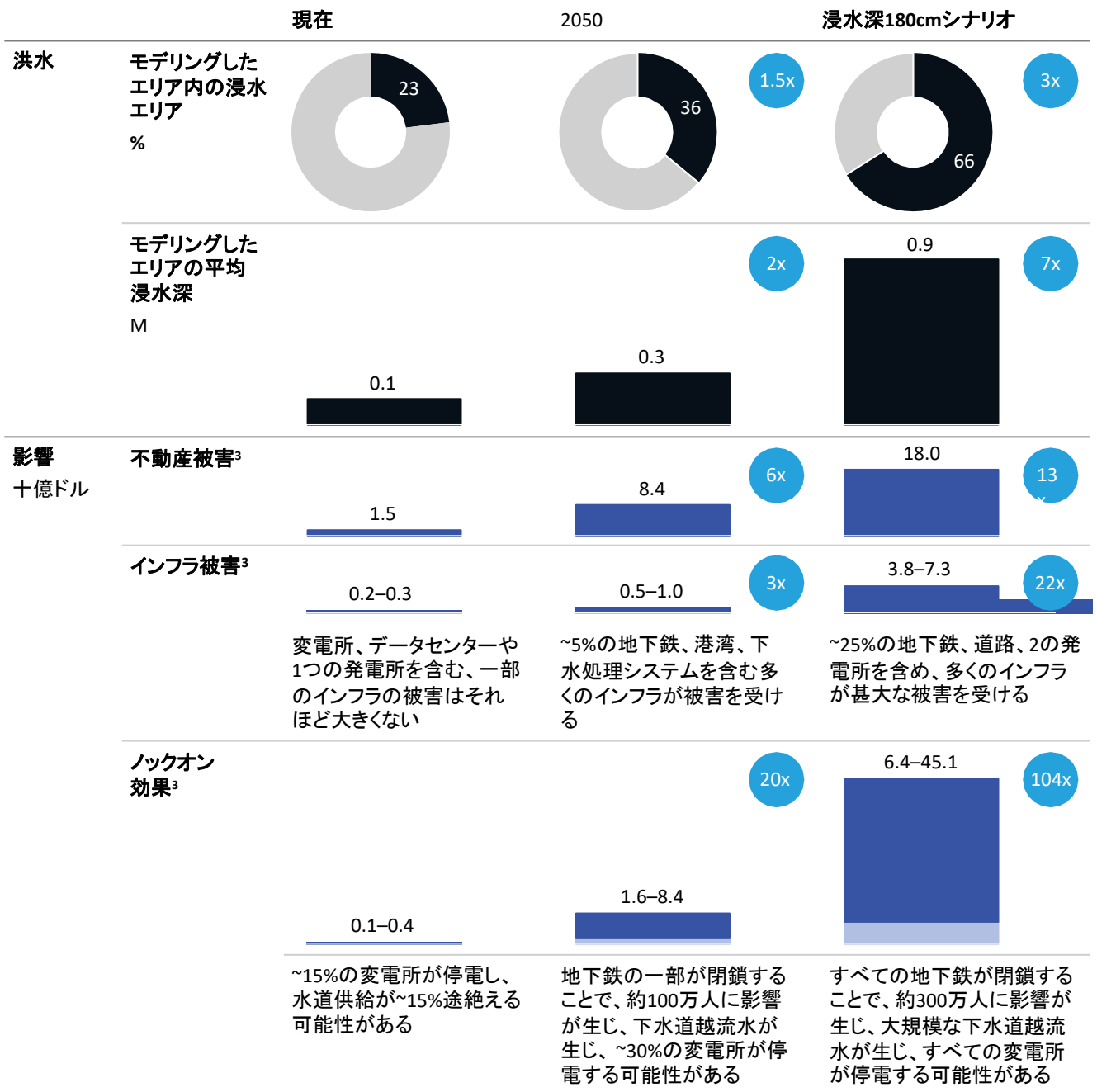
図表E9

2050年にホーチミン市が大洪水で受ける経済的影響は現在の5~10倍にまで膨れ上がる

RCP 8.5シナリオに基づく

ホーチミン市における100年に1度の規模の洪水の影響¹

x 現在との比較 ■ 大 ■ 小



1. 修繕・交換コスト。被害やノックオン効果の定性的説明を以前のシナリオに追加

2. 大規模な気候変動対策がとられなかった場合、現在計画されている、設計寿命の長い資産(地下鉄など)は今世紀末にかけて発生確率が1%の洪水が起きる浸水深180cmの最悪ケースのシナリオに直面す可能性がある。

3. 洪水がもたらす社会的影響(インフラ被害に関わるもの)としては、貨物の喪失、データ収益の低下、電気、水や地下鉄にアクセスできないことによる労働損失時間などが挙げられる。2050年のシナリオと浸水深180cmシナリオの両方について、2050年にかけての経済・人口成長を考慮。

注記: RCP 8.5シナリオをベースとしている理由についてはTechnical Appendixを参照のこと。すべての予測はRCP 8.5シナリオ、CMIP 5マルチモデルアンサンブルに基づいて行っている。熱量データのバイアスは修正済み。標準的な手続きにしたがい、数十年間にわたる気候的挙動の平均として、現在と未来(2030、2050)を定義している。現在の気候状態は1998年から2017年の平均、2030年は2021年から2040年の平均、2050年は2041年から2060年の平均として定義している。更なる適応策はとられないと想定。四捨五入のため、合計は100にならない

資料: Asian Development Bank; BTE; CAPRA; CATDAT disaster database; Daniell et al., 2017; Dutch Ministry of Infrastructure and Environment; ECLAC; EU Commission; HAZUS; Oxford Economics; People's Committee of Ho Chi Minh City; Scussolini et al., 2017; UN; Viet Nam National University, Ho Chi Minh City; World Bank; historical insurance data; review of critical points of failure in infrastructure assets by chartered engineering consultants; McKinsey Global Institute analysis

これらの数字には、浸水被害を受けた不動産の潜在的な評価損は含まれていない。他の条件が変わらなければ、被災した住宅の評価損は2050年にかけて300億ドル～800億ドル、または15～35%に膨れ上がる見込みである²⁷。不動産価格の下落は、(国家収入源である)固定資産税収入の減少、自家所有者の資産・支出の減少、転入者の減少・停滞、転出者の増加や財政支出の見直しといったノックオン効果を生み出す。例えば、(州全体としての減収幅は約2～5%に留まる可能性があるものの)最も被害が大きい郡によっては、住宅の評価損により、固定資産税収入が約15～30%減少すると推計されている。事業活動にも支障が生じ、高リスクな郡では保険・住宅ローン利用の可否や保険料の面で影響が出てくる。金融市場では、これらのリスクに前倒しで対処するために、将来の大きな変化を見越して、価格調整が行われる可能性がある。気候変動リスクの認識により、長期借入の金利が引き上げられる、あるいは利用できなくなったり、評価額が下がる可能性がある。リスクの認識はあつという間に進み、その影響はたちまち全体に波及する恐れがある。

気候変動は不均衡を生み出し、一部の地域には恩恵がもたらされ、一部の地域には被害がもたらされる。例えば、気温上昇により、ヨーロッパ北部の観光業は活性化する可能性があるが、その一方で、ヨーロッパ南部の観光地の経済活力が失われる恐れがある。また、アフリカ北部、ギリシャ、スペイン流域の水量は2050年にかけて15%以上減る一方、ドイツやオランダ流域の水量は1～5%増える見込みである²⁸。地中海沿岸の穏やかな気候は一変し、2050年には気温が上昇し、フランスの港町であるマルセイユの気候はアルジェのような気候となり、観光業や農業に大きな影響を与える可能性がある²⁹。

これらの地域の中でも、貧困率が高いコミュニティや国ほど、気候変動によって受ける影響は大きい。そして、このような地域には、気候変動の影響を回避するための財政的手段がないことが多い。例えば、過酷な災害によって、複数の主要穀物地帯地域は不作に見舞われ、米、小麦、トウモロコシや大豆の主要生産地の2カ所以上の収量が平均を大幅に下回る可能性がある。今後10年間で収量が15%以上減少する可能性は現時点で10%、2030年にかけて18%に上昇し、収量が10%以上減少する可能性は46%～69%に上昇すると推定している³⁰。現時点で、小麦の備蓄量は多く、消費量の約30%相当はあることから、世界から小麦が完全に消えることはない。ただし、歴史的先例を見ると、収量が15%以上減少し、備蓄量が減った場合、短期的に価格が100%以上高騰する恐れがある。これによって最も深刻な影響を受けるのは、国際貧困ライン以下の所得水準の7億5,000万人を含む貧困率が高いコミュニティである。

気候変動は、人間システム、物理システム、自然システムに直接影響するため、世界に与える社会経済的影響は極めて大きい

マッキンゼーのケーススタディでは、気候変動による局所的な影響を取り上げているものの、温暖化は世界的なトレンドである。そこで、気候変動がもたらす災害様態の変化を理解するために、世界105カ国を対象に、今後30年間について地理空間分析を行った³¹。ここでも、前述の5つの人間・物理・自然システムから成るフレームワークを活用している。そして、ケーススタディで採用したリスク指標や、幅広い国を対象とした調査や入手可能なデータに基づいて考えられる最善の指標を選択するかたちで、システムごとに気候変動の影響を定義するための指標を1つ以上特定している³²。

²⁷ First Street Foundationのサポートによる2019年の分析。レンジは洪水が頻発(年間50回以上)する居住用不動産に基づいており、評価額の低下が著しいものとそうでないものがある。その他、住宅価格に影響しうるが価格に反映されない要因もある。多くの文献が、少なくとも歴史的には、ハザード曝露のある住宅はそうでない住宅に比べて住宅価格の上昇が緩やかではあるが、絶対的な下落ではないと指摘している。詳細は、フロリダのケーススタディを参照

²⁸ World Resources Institute Water Risk Atlas(2018年)

²⁹ Jean-Francois Bastin et al., Understanding climate change from a global analysis of city analogues. PLoS ONE 14(7): e0217592(2019年)

³⁰ 可能性を算出するには、AgMIPモデルライブラリから収穫モデルを採用し、気候モデルのアウトプットを各グリッドセルモデルの収穫高に換算する。ここでは、使用可能な20年分の全気候モデルを用いて、各作物の収穫高の確率分布を各グリッドセルに表す。我々は、CO₂レベルの上昇(「CO₂の施肥」)による植物の成長増加現象を楽観的予測として捉えている。分析は、農業生産性の改善がゼロ(「本来的リスク」枠組みとの整合)との想定に基づく。詳細は、穀倉地帯のケースを参照

³¹ この分析では、Woods Hole Research CenterのCMIP5 Global Climate Modelの分析結果、World Resources InstituteのEuropean Center for Medium-Range Weather Forecasts及びRubielaらのデータ(National Oceanic and Atmospheric Administrationより入手)を含む気候ハザードの地理空間的データを信用して使用した。人口の地理空間的データ、株主資本及びGDPデータは、European Commission Global Human Settlement (GHS)及び国連のGlobal Assessment Report on Disaster Risk Reduction、及び第4章に詳述するその他のデータソースから入手した。ここでは特に、起こり得る気候ハザードのサブセット(殺人的熱波、気温・湿度の実行可能性への影響、水ストレス、河川の氾濫、干ばつ、気温上昇による及び降水の変化による生物群系のシフトへのインパクト)の分析に絞った。分析はRCP8.5のシナリオに基づいて実施した

例えば、居住性・作業性については、致命的な熱波に襲われる確率が0%以上の地域に居住する人口の割合、そして、極端な気温や湿度に晒される屋外労働時間の年間総実労働時間に占める割合を指標としている。これは、インドのケーススタディの手法と類似している。

調査対象の105カ国すべてが、2030年にかけて、人間・物理・自然システムにかかわる影響を少なくとも一つは受ける見込みである。気候災害が深刻化すると、数百万人もの人々の命だけでなく、数兆ドル規模の経済活動や物的資産や自然資源が危険に晒される。つまり、世界的にこれまで経験したことのないリスクの領域に足を踏み入れることになる。

一 **居住性・作業性:** RCP 8.5シナリオに基づいた、マッキンゼーの研究では、2030年には、人が健康に生きていられる限界値(居住性の指標。ここではエアコンの普及率は勘案していない)を超えた、致命的な熱波が起きる確率が0%以上の地域に居住する人の数は2億5,000万人から3億6,000万人になると推定している³³。2030年にかけて、高リスク地域に住む人が、致命的な熱波に少なくとも1回は晒される平均確率は60%と推定している³⁴。ただし、高リスク地域でも確率がこれよりも低いところもあれば、高いところもある。2050年には、致命的な熱波に晒される地域に居住する人は7億人から12億人にまで増える可能性がある(ここでもエアコンの普及率は勘案していない)。つまり、世界で最も人口が集中している地域には、最も気温や湿度が高い地域が含まれるが、今後、更に気温や湿度が上昇することを示している。現在、インドのエアコン普及率は約10%、中国では約60%となっている³⁵。高リスク地域における気温や湿度の上昇に伴う、世界の平均労働損失時間(作業性への影響に関する指標)は2050年には約2倍となり、10%から15~20%に増加する見込みである。これは、世界で影響を受ける地域が拡大することに加え、影響を受ける地域ではさらに気温や湿度が高まるためである。マッキンゼーでは、この予測に基づいて、労働損失時間がGDPに与える影響を推定し、2050年にかけての世界のGDP損失は年平均で4兆ドルから6兆ドルとしている(図表E10)。これは2050年のGDPの2~3.5%相当で、現在の水準(1.5%)を上回っている³⁶。

³² 我々の地理空間的分析に用いた指標には、致命的熱波の年間発生可能性がゼロ以上の地域に住む人口の割合、気候ハザードへの曝露地域において異常な高温及び湿度の影響を受ける屋外実効作業時間の割合、水の年間供給量に占める年間水需要の割合によって算出した水ストレス(上記3つは居住適合性と労働適合性の指標としてインド及び地中海地域のケースで検討)、気候ハザードへの曝露地域における洪水による損害リスクのある株主資本の年間シェア(資産の損壊及びインフラサービス。フロリダ及び洪水のケースでは株主資本への損害について同様の指標を使用)、10年間で干ばつに瀕する期間の割合(洪水システムの指標。地中海地域のケースでは干ばつのインパクトも考慮)、気候区分が毎年変わる地表の割合(天然資源の指標。地理空間的分析で使用し、天然資源リスクのグローバル基準を策定する)を含む。特に干ばつは、この枠組み内ではリスクでなくハザードの指標となる。これは、農業収穫高の動向予測に用いられるAgMIPの気候モデルは各国レベルではなく比較的広範な穀倉地帯にのみ使用されるため、国別の農業収穫高へのインパクトに関して限定的なデータしか取得できないためである。AgMIPの結果からは穀倉地帯のグローバル動向や、広域の穀倉地帯に係る結果を提示できる。ただし、そうした結果は国別の分析には含まない。ハリケーン、高潮、森林火災といったハザードに起因するリスクも、確実かつ十分な粒度の各国データの収集は難しいため、分析からは除外した。詳細は第4章を参照

³³ 前述と同様、致命的熱波とは3日間の平均最高湿球温度が摂氏34度を超える状態と定義する。この基準値を選択した理由は、ヒトの生存可能な湿球温度の限界値は一般的に摂氏35度とされており、都市部での著しいヒートアイランド効果によって湿球温度摂氏34度の熱波が摂氏35度の限界値を超えうるためである。予測には将来的な大気エアロゾルの挙動や都市のヒートアイランド効果またはクーリングアイランド効果に起因する不確実性が伴う。今日のモデル上で特定地域における致命的熱波の発生可能性がゼロでなかった場合も、CMIP5モデルでは当該地域で高い大気エアロゾルレベルの出現が少ないことを考慮し、ゼロとカウントする。大気エアロゾルの濃度が高ければ、冷却効果が起こり、気温上昇リスクと相殺される。詳細はインドの事例を参照。この分析では、統計的優位性が低い領域を除外するため、致命的熱波の発生確率が1パーセント未満の場合のグリッドセルは除外した。これらの数字ではエアコンの保有率を勘案しないため、上限を考慮すべきである。詳細は第2章を参照。分析はRCP8.5のシナリオに基づいて実施した

³⁴ この数字は概算である。年間発生確率を約9パーセントと想定し、2030年を中心と10年間の各年に適用する。まず、この10年間に熱波が発生しない累計確率を91パーセントとし10のべき乗で表す。10年間に熱波が1回以上発生する累計確率は、1からその数を引いた数字である

³⁵ India Cooling Action Plan Draft, Ministry of Environment, Forest & Climate Change, Government of India(2018年9月)、The Future of Cooling in China, IEA, Paris(2019年)

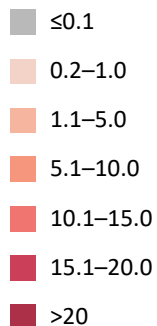
³⁶ ここでのレンジは、各国のセクター別の移行ベースに基づく。経済の大部分を屋外労働が占める場合、景気変動リスク(GDP at risk)は高くなる。レンジの下限域は、今日の産業構成が継続する想定であり、上限域はIHS Markitの「Economics & Country Risk」の分野別移行予測に基づく

極端な気温や湿度に伴う労働損失時間がGDPに与える影響は増加する見込み

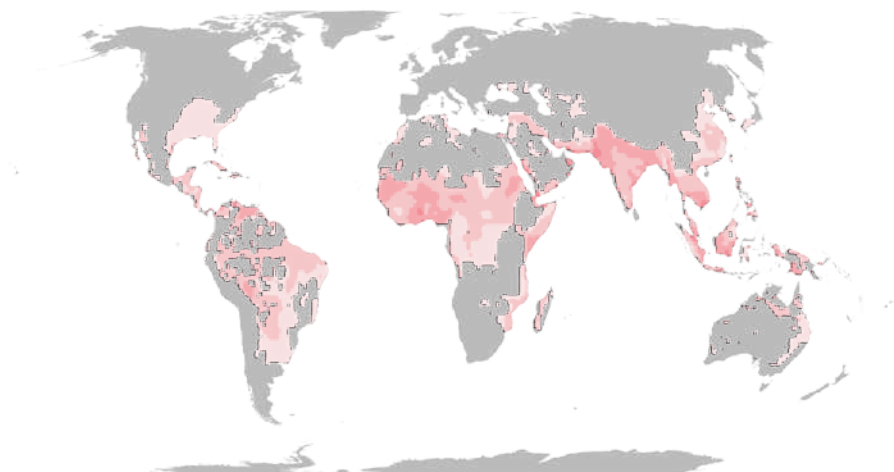
RCP 8.5シナリオに基づく

極端な気温や湿度に伴う労働損失時間がGDPに与える影響(直接的な影響のみ、セクターの移行なし)

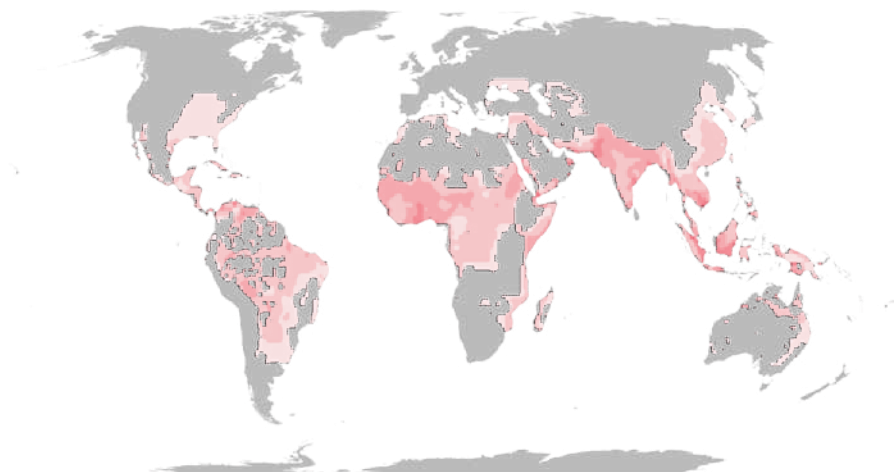
%



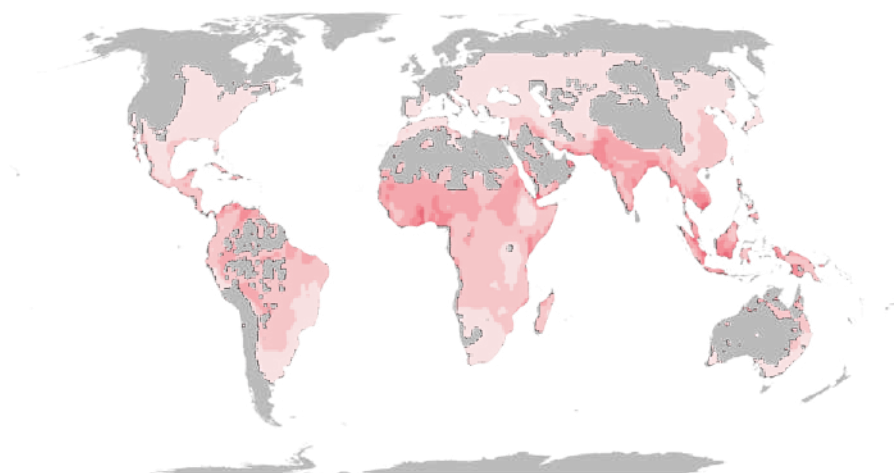
Today



2030



2050



注記: RCP 8.5シナリオをベースとしている理由についてはTechnical Appendixを参照のこと。すべての予測はRCP 8.5シナリオ、CMIP 5マルチモデルアンサンブルに基づいて行っている。熱量データのバイアスは修正済み。標準的な手続きにしたがい、数十年間にわたる気候的挙動の平均として、現在と未来(2030、2050)を定義している。現在の気候状態は1998年から2017年の平均、2030年は2021年から2040年の平均、2050年は2041年から2060年の平均として定義している

資料: IHS Markit Economics and Country Risk; Woods Hole Research Center; McKinsey Global Institute analysis

- **食料システム:** マッキンゼーの研究結果によると、世界的に農作物の収量は変動性が高まり、減少傾向が強まる。例えば、2050年には小麦、トウモロコシ、大豆や米の収量が10%以上減少する確率は年6%から18%に高まる見込みである³⁷。一方、収量が10%以上増加する確率は年1%から6%に上昇する見込みである。このトレンドはすべての国に当てはまるものではなく、収量が増加する国もあれば、減少する国もある。例を挙げると、ヨーロッパとロシアの平均的な主要穀物地帯地域では、2050年にかけて平均収量は4%増加する見込みである。収量が10%以上減少する確率は、2050年にかけて年8%から11%に上昇するが、収量が10%以上増加する確率も年8%から18%に上昇する。
- **有形資産とインフラサービス:** 高潮、森林火災、ハリケーンや熱波を含む様々な災害によって、数多くの資産やインフラサービスが被害を受ける可能性がある。統計上、河川氾濫による被害を受ける資産は、2030年には現在の水準の2倍、2050年には4倍に達するとされている。利用可能なデータが限られていたことから、高潮、火災や暴風雨による影響について同様に推計することはできなかった³⁸。
- **自然資源:** 気温の上昇と降水量の変化に伴い、世界各地でバイオーム(生物群系)が変化する見込みである。バイオームとは、特定の地域に生息する植物や動物から成る群集を指す。本レポートでは、ケッペンの気候区分を使ってバイオームの変化を示している³⁹。例えば、熱帯雨林は気温や降水量で特徴づけられる特定の気候エンベロープに含まれる。世界の多くの場所では、このエンベロープが乾季の長い熱帯サバナ気候へと移行することで、熱帯雨林が減少する恐れがある。現時点で1901~1925年の期間に比べてすべての大陸で約25%のバイオームが変化している。そして、2050年には約45%のバイオームが変化する見込みである。ほぼすべての国がバイオームが変化するリスクを抱えており、生態系サービス、地域住民の生活や動植物の生息環境に影響が起きる。

一人当たりGDPが低い国ほど高いリスクに晒される

すべての国が気候変動による影響を受けるものの、一人当たりGDPが低い国ほど、気候的にも物理的限界に近いこともあり、高いリスクに晒されることが研究によって明らかになっている。リスクの上昇パターンは国によって異なるものの、大まかには6つのグループに分類できる(図表E11、E12、E13)⁴⁰。

³⁷ 世界全体の収穫量は、小麦、大豆、トウモロコシ、コメの4穀物の世界生産高の70パーセントを占める6大穀倉地帯の分析に基づく。2030年及び2050年を中心とした10年間に生産高が減少する累計確率を、2030年期、2050年期それぞれにおける気候状況の年間確率を用いて算出した。生産高の偏差は1998~2017年の平均生産高との比較により測定した

³⁸ 詳細は第4章を参照

³⁹ Köppenの気候システムでは、気候を大きく5つのグループに分類し、さらに各グループを季節降水量や気温パターンに基づきサブグループに分類する。この気候システムは、生体群系の所在や構成を評価するには不十分であるが、これら2つの特性は気候分類上は密接な相関関係にあるため、生体群系の破壊的変化のリスクを評価する代替手法としては妥当と評価された

⁴⁰ これらのパターンは主に、居住適合性と労働適合性、食糧システム及び自然資本に関連する指標の観察に基づく。気候ハザードへの曝露地域で河川洪水の損害リスクがある株主資本の年間額を検討したが、低リスク国のグループを除き、国別グループの特性を定義するには至らなかった

気候変動リスクの上昇パターンに応じて各国を6つのグループに分類

RCP 8.5シナリオに基づく

リスクが減少または横ばいで推移
 リスクがわずかに減少
 リスクがわずかに上昇
 リスクが大幅に上昇

国	居住性・作業性		食料システム	有形資産とインフラサービス	自然資源	
	致命的な熱波に襲われる確率が0%以上の地域に居住する人口の割合 ¹	極端な気温や湿度に晒される屋外労働時間の年間総実労働時間に占める割合	水ストレス	10年間ででの渇水の発生率	河川氾濫によって被害を受ける可能性がある資産の割合(年間)	気候区分が変わる陸面の割合
著しく高温多湿化する国						
バングラデシュ						
インド						
ナイジェリア						
パキスタン						
その他: ベニン、ブルキナファソ、カンボジア、コートジボワール、エリトリア、ガーナ、ミャンマー、ニジェール、セネガル、タイ、ベトナム、イエメン						
平均 (グループに含まれるすべての国)						
高温多湿化する国						
エチオピア						
インドネシア						
日本						
フィリピン						
その他: アンゴラ、カメルーン、チャド、エクアドル、ギニア、ガイアナ、ヨルダン、ラオス、リベリア、マダガスカル、パプアニューギニア、サウジアラビア、ソマリア、スリナム、タンザニア、ウガンダ、ウルグアイ、ザンビア						
平均 (グループに含まれるすべての国)						
気温が上昇する国						
コロンビア						
コンゴ民主共和国						

1. 致命的な熱波とは、3日間の最高湿球温度が34°Cを超える状態として定義。一般的に、人が生存可能な湿球温度の限界値は35度と考えられており、大都市では中心部でヒートアイランド現象により、34°Cの湿球温度で35°Cの閾値を超える熱波が生じる可能性があることからこの閾値を設定した。これらの予測は、大気中エアロゾルや都市のヒートアイランドあるいはクールアイランド現象の影響にかかわる不確実性も含まれている。

2. 水ストレスは、水の年間供給量に占める需要量の割合として算出。今回の分析では、水の需要は安定的に推移し、気候変動のみの影響を測定できると想定。予測の精度にかかわる懸念から、乾燥した、降雨量の少ない地域は対象外とした。

3. リスク値は、「期待値」つまり、確率で加重したバリューアットリスクに基づいて算出。

注記: RCP 8.5シナリオをベースとしている理由についてはTechnical Appendixを参照のこと。すべての予測はRCP 8.5シナリオ、CMIP 5マルチモデルアンサンブルに基づいて行っている。熱量データのバイアスは修正済み。標準的な手続きにしたがい、数十年間にわたる気候的挙動の平均として、現在と未来(2030、2050)を定義している。現在の気候状態は1998年から2017年の平均、2030年は2021年から2040年の平均、2050年は2041年から2060年の平均として定義している

資料: Woods Hole Research Center; World Resources Institute Water Risk Atlas, 2018; World Resources Institute Aqueduct Global Flood Analyzer; Rubel and Kotteck, 2010; McKinsey Global Institute analysis

図表E12

気候変動リスクの上昇パターンに応じて各国を6つのグループに分類(続き)

RCP 8.5シナリオに基づく

リスクが減少または横ばいで推移
 リスクがわずかに減少
 リスクがわずかに上昇
 リスクが大幅に上昇

国	推移(2018-50, pp) 致命的な熱波に襲われる確率が0%以上の地域に居住する人口の割合 ¹	居住性・作業性		食料システム	有形資産とインフラサービス	自然資源
		極端な気温や湿度に晒される屋外労働時間の年間総実労働時間に占める割合	水ストレス	10年間ででの渇水の発生率	河川氾濫によって被害を受ける可能性がある資産の割合(年間)	気候区分が変わる陸面の割合
気温が上昇する国 (続き)						
マレーシア						
韓国						
その他: ボツワナ、中央アフリカ共和国、キューバ、ガボン、グアテマラ、ホンジュラス、ハンガリー、リビア、マラウイ、マリ、モーリタニア、モザンビーク、ナミビア、ニカラグア、オマーン、パラグアイ、コンゴ共和国、ルーマニア、セルビア、ベネズエラ、ジンバブエ						
平均 (グループに含まれるすべての国)						
水ストレスが増す国						
エジプト						
イラン						
メキシコ						
トルコ						
その他: アルジェリア、オーストラリア、アゼルバイジャン、ブルガリア、ギリシャ、イタリア、カザフスタン、キルギスタン、モロッコ、ポルトガル、南アフリカ、スペイン、シリア、タジキスタン、チュニジア、トルクメニスタン、ウクライナ、ウズベキスタン						
平均 (グループに含まれるすべての国)						
リスク上昇がなだらかな国						
フランス						
ドイツ						

1. 致命的な熱波とは、3日間の最高湿球温度が34°Cを超える状態として定義。一般的に、人が生存可能な湿球温度の限界値は35度と考えられており、大都市では中心部でヒートアイランド現象により、34°Cの湿球温度で35°Cの閾値を超える熱波が生じる可能性があることからこの閾値を設定した。これらの予測は、大気中エアロゾルや都市のヒートアイランドあるいはクールアイランド現象の影響にかかわる不確実性も含まれている。

2. 水ストレスは、水の年間供給量に占める需要量の割合として算出。今回の分析では、水の需要は安定的に推移し、気候変動のみの影響を測定できると想定。予測の精度にかかわる懸念から、乾燥した、降雨量の少ない地域は対象外とした。

3. リスク値は、「期待値」つまり、確率で加重したバリューアットリスクに基づいて算出。
 注記: RCP 8.5シナリオをベースとしている理由についてはTechnical Appendixを参照のこと。すべての予測はRCP 8.5シナリオ、CMIP 5マルチモデルアンサンブルに基づいて行っている。熱量データのバイアスは修正済み。標準的な手続きにしたがい、数十年間にわたる気候的挙動の平均として、現在と未来(2030、2050)を定義している。現在の気候状態は1998年から2017年の平均、2030年は2021年から2040年の平均、2050年は2041年から2060年の平均として定義している

資料: Woods Hole Research Center; World Resources Institute Water Risk Atlas, 2018; World Resources Institute Aqueduct Global Flood Analyzer; Rubel and Kottek, 2010; McKinsey Global Institute analysis

気候変動リスクの上昇パターンに応じて各国を6つのグループに分類(続き)

RCP 8.5シナリオに基づく

リスクが減少または横ばいで推移
 リスクがわずかに減少
 リスクがわずかに上昇
 リスクが大幅に上昇

国	居住性・作業性		食料システム	有形資産とインフラサービス	自然資源
	致命的な熱波に襲われる確率が0%以上の地域に居住する人口の割合 ¹	極端な気温や湿度に晒される屋外労働時間の年間総実労働時間に占める割合	水ストレス	10年間ででの渇水の発生率	河川氾濫によって被害を受ける可能性がある資産の割合(年間)
リスク上昇がなだらかな国 (続き)					
ロシア					
イギリス					
その他: オーストリア、ベラルーシ、カナダ、フィンランド、アイスランド、モンゴル、ニュージーランド、ノルウェー、ペルー、ポーランド、スウェーデン					
平均 (グループに含まれるすべての国)					
多様な気候をもつ国					
アルゼンチン					
ブラジル					
中国					
米国					
その他: チリ					
平均 (グループに含まれるすべての国)					

潜在的影響の変化、2018-50⁴ (パーセントポイント)

リスクが減少	n/a	n/a	<0	<0	<0	n/a
リスクがわずかに減少	0.0-0.5	0.0-0.5	0-3	0-3	0-0.05	0-5
リスクがわずかに上昇	0.5-5.0	0.5-5.0	3-7	3-7	0.05-0.10	5-10
リスクが大幅に上昇	>5.0	>5.0	>7	>7	>0.10	>10

1. 致命的な熱波とは、3日間の最高湿球温度が34°Cを超える状態として定義。一般的に、人が生存可能な湿球温度の限界値は35度と考えられており、大都市では中心部でヒートアイランド現象により、34°Cの湿球温度で35°Cの閾値を超える熱波が生じる可能性があることからこの閾値を設定した。これらの予測は、大気中エアロゾルや都市のヒートアイランドあるいはクールアイランド現象の影響にかかわる不確実性も含まれている。

2. 水ストレスは、水の年間供給量に占める需要量の割合として算出。今回の分析では、水の需要は安定的に推移し、気候変動のみの影響を測定できると想定。予測の精度にかかわる懸念から、乾燥した、降雨量の少ない地域は対象外とした。

3. リスク値は、「期待値」つまり、確率で加重したバリューアットリスクに基づいて算出。

4. 一定の状態が続くと想定して算出(つまり、人口や資産の増加や人口や資産の空間的構成の変化は考慮していない)。これは気候変動のみの影響を切り離して検証するためである。各列の色は当該指標に関する各国の分類を示している。

注記: RCP 8.5シナリオをベースとしている理由についてはTechnical Appendixを参照のこと。すべての予測はRCP 8.5シナリオ、CMIP 5マルチモデルアンサンブルに基づいて行っている。熱量データのバイアスは修正済み。標準的な手続きにしたがい、数十年間にわたる気候的挙動の平均として、現在と未来(2030、2050)を定義している。現在の気候状態は1998年から2017年の平均、2030年は2021年から2040年の平均、2050年は2041年から2060年の平均として定義している

資料: Woods Hole Research Center; World Resources Institute Water Risk Atlas, 2018; World Resources Institute Aqueduct Global Flood Analyzer; Rubel and Kottek, 2010; McKinsey Global Institute analysis

- **著しく高温多湿化する国:** インドやパキスタンのような高温多湿な国々は、2050年にかけて更に高温多湿化が進む。このグループには、アフリカの赤道に近い地域、アジアやペルシャ湾などの国々が分類される。特徴としては、気温や湿度の大幅な上昇によって作業性が損なわれるだけでなく、水ストレスが減少することが挙げられる。気温と湿度の両方が上昇することから、居住性への影響も増すと思われる。
- **高温多湿化する国:** フィリピン、エチオピア、インドネシアが含まれる。これらの国々は赤道を中心に北緯 30 度から南緯 30 度 までの間に位置しており、気温と湿度の上昇に伴い、作業性が大きく損なわれる可能性はあるものの、居住性の限界点を超えるほどの影響は受けない。また、このグループについても水ストレスは減少する見込みである。
- **気温が上昇する国:** コロンビア、コンゴ民主共和国、マレーシアが含まれ、赤道近くの国々が大半を占めている。特徴としては、気温や湿度の上昇によって、作業性が大きく損なわれることが挙げられるが、居住性の限界点を超えるほどの影響は受けない。これらの国々では湿度はそれほど上昇しないため、乾燥が進み、水ストレスが増す可能性がある。
- **水ストレスが増す国:** エジプト、イラン、メキシコといった北緯または南緯30度線に貫かれている国が含まれる。特徴としては、水ストレスがや渇水の発生確率が大幅に上昇し、バイオームが最も大きく変化することが挙げられる。これらの地域では、ハドリーセル(熱を熱帯から輸送する現象で、砂漠が形成される場所)が拡大しており、雨量が減少する見込みである。
- **リスク上昇がなだらかな国:** ドイツ、ロシア、イギリスなどが含まれ、その多くは北緯または南緯30度線の外に位置し、比較的気温が低い国々である。一部の国では、多くの指標について影響が減ることが見込まれる。特徴としては、気温や湿度の上昇による影響は極めて低く、水ストレスや渇水に晒される時期も減る見込みであることが挙げられる。ただし、温暖化の進行に伴う、極域の気候変化によって、バイオームが最も大きく変化する恐れがある。また、一部の国では、河川氾濫によって被害を受ける物的資産の割合が大きく増える可能性がある。
- **多様な気候をもつ国:** 緯度に幅があり、多様な気候をもつ国が含まれ、例としては、アルゼンチン、ブラジル、チリ、中国、米国などが挙げられる⁴¹。平均値だけを見ると、リスクの上昇幅は小さく思えるものの、地域によって大きい差が存在する。例えば、米国の南東部は高温多湿な熱帯雨林気候で、屋外労働できないほどの熱波に襲われる可能性が大幅に増加する見込みであるものの、水不足に晒されるリスクは少ない。一方、西海岸地域では屋外労働できないほどの熱波に襲われる可能性は低いものの、水不足や渇水のリスクが高い。アラスカは、北方のバイオームが変化し、それに付随して生態系が壊れるリスクに晒されている。

気温や湿度の上昇が作業性に与える影響にかかわるリスクは、貧困率が高い国々が気候変動の影響を受けやすいことを示す一つの例である(図表E14)。

⁴¹ 多くの国々は、国境域内での多様なリスクをある程度まで経験している可能性がある。ここでは気候変動が大きく、また経度範囲が広いために同一国内でも地域によってアウトカムに差が生じる国々に絞った

図表E14

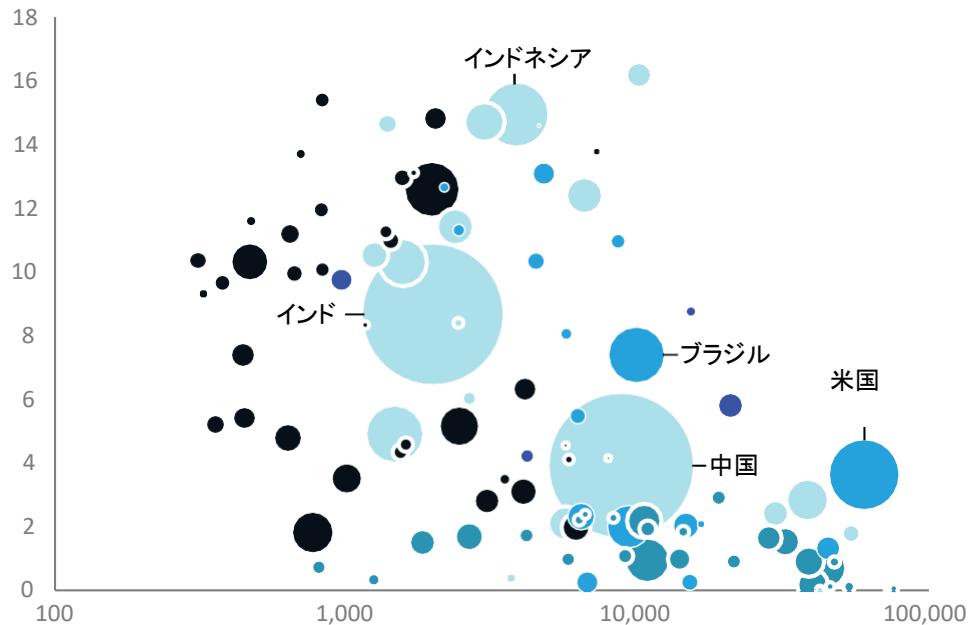
1人当たりのGDPが低い国ほど、場合によっては最も大きな気候変動リスクに晒される

RCP 8.5シナリオに基づく

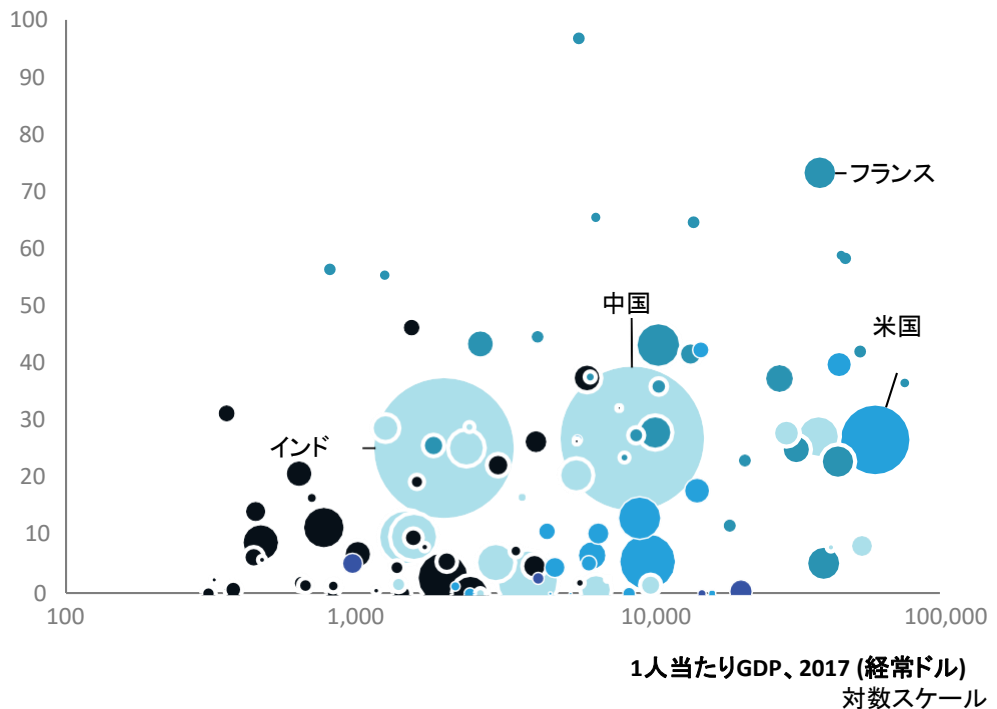
推移、2018-50
パーセントポイント

● アフリカ ● アメリカ ● アラブ諸国 ● アジア太平洋 ● ヨーロッパ、中央アジア

極端な気温や湿度に晒される屋外労働時間の年間総実労働時間に占める割合
相関係数: $r = -0.49$



気候区分が変わる陸面の割合
相関係数: $r = 0.35$



1人当たりGDP、2017 (経常ドル)
対数スケール

1. 致命的な熱波とは、3日間の最高湿球温度が34°Cを超える状態として定義。一般的に、人が生存可能な湿球温度の限界値は35度と考えられており、大都市では中心部でヒートアイランド現象により、34°Cの湿球温度で35°Cの閾値を超える熱波が生じる可能性があることからこの閾値を設定した。これらの予測は、大気中エアロゾルや都市のヒートアイランドあるいはクールアイランド現象の影響にかかわる不確実性も含まれている。

注記: 正確な縮尺ではない。RCP 8.5シナリオをベースとしている理由についてはTechnical Appendixを参照のこと。すべての予測はRCP 8.5シナリオ、CMIP 5マルチモデルアンサンブルに基づいて行っている。熱量データのバイアスは修正済み。標準的な手続きにしたがい、数十年間にわたる気候的挙動の平均として、現在と未来(2030、2050)を定義している。現在の気候状態は1998年から2017年の平均、2030年は2021年から2040年の平均、2050年は2041年から2060年の平均として定義している

資料: Woods Hole Research Center; Rubel and Kottek, 2010; IMF; Harvard World Map; McKinsey Global Institute analysis

作業性に関する指標(つまり、極端な気温や湿度によって奪われる屋外労働時間の割合)を見ると、2050年にかけてのリスク上昇幅は、上位25%の国々(一人当たりGDPに基づく)で約1~3パーセントポイント、下位25%の国々で約5~10パーセントポイントとなっている。致命的な熱波と一人当たりGDPの相関は弱いものの、バングラデシュ、インドやパキスタンなど高リスクな国々の一人当たりGDPは比較的低い水準にあることは見逃すことのできない事実である。

一方、北極圏や南極圏の国々ではバイオームの変化の影響が見込まれている。これらの国々の多くは、一人当たりGDPが高い水準にあるため、発展の度合いと正の相関があることが分かる。

リーダーは、気候変動リスクの影響に関する理解を深めると同時に、適応策や緩和策を迅速に推進していく必要がある

これらの課題に対処するために、政策立案者やビジネスリーダーは適切なツール、アナリティクス、プロセスやガバナンス体制を整備し、気候変動リスクを正しく評価し、不可避なリスクについては適応策を講じ、脱炭素化を進め、リスク増大を防ぐ必要がある。本レポート末のコラム E3では、リスクを管理するうえでステークホルダーが問うべき問いをまとめている。

気候変動リスクを考慮した意思決定

民間企業や公的機関では、意思決定において情報システムやサイバーリスクを考慮するようになってきているが、気候変動も考慮するべきである。民間企業の場合、それは資本配分の決定、製品・サービスの開発やサプライチェーン管理において気候変動を考慮することを意味する。行政の場合、都市計画に関わる意思決定を下す際に、気候変動の視点が重要となる。金融機関は気候変動の視点からポートフォリオのリスクを検討できる⁴²。さらに、本レポートは物理的リスクに焦点を絞っているものの、包括的なリスク管理戦略を策定するためには、脱炭素社会への移行に伴う影響を表す移行リスクや、気候変動による賠償責任リスク、そしてこれらのリスク間の相互作用も考慮する必要がある。

本レポートに示した理由から、定量的な理解を深めることは難しく、そのためには新しいツール、指標やアナリティクスを活用する必要がある。数多くの企業やコミュニティが気候変動リスクに晒される度合いの評価を始めているが、依然として課題は多い。理解不足は、金融市場や社会経済システムのリスクや潜在的影響を増大させ、資本を高リスクな地域の高リスクな資産に配分したり、想定外の事態に見舞われる可能性を高める。

その一方で、気候変動によって創出される機会についても考慮する必要がある。物理的環境の変化によって、新たな産地や観光業のような新しい産業が生まれたり、新たな技術や手法を取り入れて気候変動リスクに対応することで機会が生まれることが考えられる。

最も大きな課題の一つは、誤ったモデルを使って、リスクを定量化することにある。これは資本配分を決定するための財政モデルから、構造物の設計に使用するエンジニアリングモデルまで様々なモデルが含まれる。前述のように、世界および各地の気候モデル、排出経路に関する仮説、そして、気候災害から生じる物的・金銭的損害の推計には不確実性が存在する。これらの不確実性は無視できるものではなく、過去の安定した気候データや経済データに基づいた現行モデルに依存し続けると「モデルリスク」が更に高まる。

⁴² Getting physical: Scenario analysis for assessing climate-related risks, Blackrock Investment Institute(20194月)を参照

気候変動を考慮する上で、現行モデルが適していない主な理由としては以下の3つが挙げられる。

- **地理:** 現行のモデルでは、地理空間情報が十分考慮されていない。気候変動が与える影響は局所的なものに留まるため、地理空間分析によりリスクに晒される度合いを理解する必要がある。例えば、企業は世界各地の自社そして主要サプライヤの拠点ごとにごのような気候変動のリスクに晒される可能性があるかを把握しておく必要がある。
- **非定常性:** 気候は非定常で、常に変化し続けているため、過去の先例や経験に基づいた仮説は見直す必要があり、例としては、新設工場の耐久性、新設インフラの負荷耐性や都市部の設計が挙げられる。今後、数十年間に渡って、気候は変化し続けていくことを想定して意思決定を下す必要がある。
- **サンプルバイアス:** しばしば意思決定者は、自身の経験を踏まえて判断を下す傾向がある。気候が変化し続ける状況下においては、非線形的な影響が生じ、見通しを誤る恐れがある。

適応施策の範囲拡大と加速の必要性

今までも、社会は気候の変化に適応し続けてきたが、スピードを更に加速させ、規模を拡大させていく必要がある。主な適応策には、人や資産の保護、耐性の強化、リスクの低減、適切な資金調達・保険制度の整備などが含まれる。

- **人や資産の保護:** 人や資産を最大限保護するための対策をとることでリスクを抑えることができる。対策としては、緊急対応の優先順位付けや熱中症対策シェルターの設置準備、屋外労働者の労働時間の調整など多岐に渡る。既存のインフラと資源を強化することが重要となる。国連環境計画(UNEP)によると、新興国で適応策を講じるためのコストは2030年にかけて1,400億ドル~3,000億ドルに達し、2050年には2,800億ドル~5,000億ドルにまで膨れ上がるとしている⁴³。ここでは、「グレー」インフラ(洪水が発生しやすい地域では基礎部分を高くする等)、そして自然資源あるいは「グリーン」インフラの両方を強化する必要がある。一例としては、氾濫を防ぐために川幅を拓げるオランダの「ルーム・フォー・ザ・リバープログラム」が挙げられる⁴⁴。この他の例としては、暴風雨等の被害を軽減するためのマングローブ植林プロジェクトが挙げられる。

人や資産を保護することを念頭において建物の新設時に対策をとることは、改修するよりも費用対効果が高い⁴⁵。例えば、かつては200年に1度の確率で発生するとされていた災害に耐えられるようなインフラや工場を設計することなどが考えられる。気候の変動に伴い、事象を引き起こす要因も変化するため、設計パラメータの見直しが必要となる。推計によると、今後10年間で、30兆~50兆ドルのインフラ投資が見込まれており、その大半は新興国が占めるとされている⁴⁶。気候変動リスクを想定してインフラを設計することで、その後の修繕・改修コストを低減できる可能性がある。さらに、環境に優しいエアコン(CO2排出量の少ない電源を使った省エネ効果の高いHVACなど)を含む冷却技術、避難シェルターや都市のパッシブデザイン(自然のエネルギーを受動的、効率的に利用した設計手法)など実際に人や資産を守るためのインフラが必要となる。

⁴³ Anne Olhoff et al., *The adaptation finance gap report*, UNEP DTU Partnership(2016年)

⁴⁴ Room for the Riverについてはruimtevoorderivier.nl/english/を参照

⁴⁵ Michael Della Rocca, Tim McManus, and Chris Toomey, *Climate resilience: Asset owners need to get involved now*, McKinsey.com(2009年1月)

⁴⁶ *Bridging global infrastructure gaps*, マッキンゼー・グローバル・インスティテュート(2016年6月)、*Bridging infrastructure gaps: Has the world made progress?* マッキンゼー・グローバル・インスティテュート(2017年10月)

- **耐性の強化:** 資産を強化するためには、気候災害のリスクに耐えられる、より堅牢なシステムを構築する対策も必要となる。耐性強化策の一つとしては、過剰供給や価格下落の時期をうまく活用して世界的に備蓄量を確保し、食料や原料不足のリスクを低減することが挙げられる。食料システムの耐性をさらに高めるためには、民間企業や公的機関が非生物的・生物的ストレスに強い農作物を生み出す技術の研究を進めることも考えられる。既に述べたように、気候変動によって、今までサプライチェーンのオペレーションの最適化に適用されてきた仮説は通用しなくなっている。よって、これらの仮説を再検証し、サプライチェーンの予備在庫を増やし、生産活動が中断された場合に備えたり、別の拠点やサプライヤから調達する手段を確保する必要がある。
- **リスクの低減:** 保護が難しい場合、特定の地域や資産から資産やコミュニティを移転することでリスクを低減する必要も生じる場合もある。有形資産の耐用年数の長さを考えると、ライフサイクル全体を考えて、適応戦略を練る必要がある。例えば、今後10年間に渡って、資産の強化に投資することだけでなく、資産のライフサイクル短縮化も必要になる可能性がある。今後、数十年間に渡って、気候災害が深刻化し、対応策の費用対効果が薄れてきた場合は、拠点を移し、一から設計し直すことも考えられる。
- **資金調達・保険制度の整備:** 保険だけでは気候変動によるリスクを排除することはできないものの、リスク管理の面では大きな備えになる⁴⁷。保険は、災害発生後の早期復旧、そしてロックオン効果の低減など、システムの耐性強化に役立つ。また、住宅購入者、融資機関や不動産投資家にリスクについて適切なシグナルを送るなど、ステークホルダーに行動変容を促す。

パラメトリック型保険や大災害債券(CATボンド)などは、気候災害への備えを提供し、経済的な被害を最小限に抑え、災害発生後の早期復旧を支援する。これらの商品は、災害発生後の再建費用の調達が難しい人々を助ける。保険は、リスク移転(例えば、作物保険の場合、渇水による収量変動リスクの移転を実現)や耐性強化(十分な資金が確保できない農村の灌漑・作物管理システムへの投資を可能にするなど)によってリスクに晒される度合いを低減するツールとしても活用できる。

しかし、気候変動の進展にしたがい、システムの脆弱性を増やさないために、常に耐性を維持できるよう、保険の内容を適応させていく必要がある。例えば、現在の保険料と保険会社の資本水準では、リスクの上昇に十分に対応できない恐れがあり、リスク移転の全体的なプロセス(保険者、保険会社、再保険会社、そして最後の頼みとしての公的機関)とそれぞれが役割を担ううえで求められる能力を確認し直す必要がある。リスクの低減・移転、プレミアムファイナンスや助成制度が変わらない限り、特定の分野のリスククラスは保険適用が難しくなり、政府が介入しない限り、すでに存在する保険の加入者と非加入者のギャップは広がり続けるばかりである。

保険不足によるギャップを解消するための画期的な手法も必要となる。しばし、国が運営し、助成金が付与される洪水保険のように、保険料の一部が補助されるものもすでに存在する。しかし、このような助成制度は慎重に見直し、リスクに晒される度合いが高まり、様々なロックオン効果が想定される状況下でのリスクについて適切なシグナルを送るなど、災害弱者サポートのバランスを取る必要がある。一つの案としては、災害弱者に対しては保険料負担を減らす割引制度を設ける一方で、適切なリスクを反映した保険料水準を維持することが挙げられる。

⁴⁷ Goetz von Peter, Sebastian von Dahlen, and Sweta Saxena, *Unmitigated disasters? New evidence on the macroeconomic cost of natural catastrophes*, BIS Working Papers, Number 394(2012年12月)

そして、民間保険と公的保険のトレードオフ、個人の場合はいつ自家保険をかけるべきかを新調に検討する必要がある。また、特定の災害が多い地域のリスクを低減するかたちで保険引受の可否を判断する必要も出てくる(建物新設時の規定、屋外労働時間に関する規則など)。これは、耐火性建築物を増やすために、各都市が定めた消防規則に類似している。保険期間に関するミスマッチも解消する必要がある。例えば、自家所有者は保険料はずっと変わらないと考えている一方で、保険会社は災害や被害の深刻化に応じて、毎年、保険料を見直す可能性がある。これは、現在整備されているサプライチェーンと今後計画されているサプライチェーンについても同じことが言え、手頃な保険料で提供することが重要な要件となってくる。

特に新興国を中心に、適応策を推進するための資金調達も重要となる。このためには、官民パートナーシップ(PPP)や多国籍機関の協力を得て、気候変動リスクが確認された高リスク地域からの資本逃避を防ぐ必要がある。これらの取り組みの規模と効果を広げるべく、最近では、画期的な商品やベンチャー企業が生まれている。CAボンドに地方債を組み込むことによって、評価が困難な気候変動リスクを気にせず、地方債を保有できるようにしているところもある。新興国の政府機関は、自然災害に対する耐性を高めると同時に、特定の地域への投資を検討している機関に保証を与えるため、保険・再保険会社や他の資本市場に頼るようになってきている。

- **適応策に関する難しい選択:** 様々な理由から適応策の実行が困難になる可能性がある。例えば、海面が上昇している沿岸域では、適応策の経済性が年月の経過と共に悪化する恐れがある。また、技術面あるいはその他の面で限界に直面することも考えられる。別のケースとしては、誰と何を守り、誰と何を動かすのかなど、厳しいトレードオフを迫られることもある。例えば、膨大な修繕費と納税者全員に影響を与える復興費に照らし合わせて、個人の自家所有者とコミュニティ全体への影響の重み付けを行う必要がある。

ほとんどの場合、個人による介入の効果はそれほど高くない。適応策を実行・推進するためには、複数のステークホルダーが連携して取り組むことが重要となる。具体的な取り組みとしては、建築基準や土地区画規制の策定、保険加入や情報開示の義務化、リスク共有の仕組みを通じた資本の移動、業界団体内外でのベストプラクティスの共有、イノベーションの推進などが挙げられる。様々な世代の視点を含め、多様な視点から物事を捉え、意思決定を下すことで合意形成が図りやすくなる。

大規模な脱炭素化に向けて

脱炭素化についての検証や道筋は、本レポートの対象範囲外である。しかし、気候科学の知見や他の研究によると、今後10年間で、回避不可能な温暖化に適応し、大規模な脱炭素化を通じてリスクの更なる上昇を防がなければならないことは明らかである⁴⁸。温暖化(つまりリスクの更なる上昇)を抑えるためには、温室効果ガスの純排出量をゼロにする必要がある。つまり、今後、経済活動によるCO₂の排出を最大限抑制し、すでに大気中に存在するCO₂を回収し、どうしても削減できない残留排出量をオフセット(つまり、ネガティブエミッションを実現)することを意味する⁴⁹。ここで考慮すべき重要事項は、気候科学は、北極域の永久凍土など、大量の温室効果ガスを排出する気候システムのフィードバックループが存在することを示しているということである。これらのフィードバックループが活性化すると、温暖化が更に進み、地球が「温室化(ホットハウス)」する恐れがある⁵⁰。科学者によると、気温の上昇幅を2°C未満に抑えることができれば、深刻な影響を生むフィードバックループのリスクを減らせるとしている⁵¹。温暖化は、累積排出量によって決まるため、1.5°Cまたは2°Cの気温上昇閾値に達するまでの排出枠が存在する(「カーボンバジェット」)⁵²。

科学者の推定では、現在の約40 GtCO₂の年間排出量のままでいくと、2°C未満に抑えるための1,000 GtCO₂ 相当の残余カーボンバジェットは25年ほどで使い切ってしまう⁵³。また、1.5°C未満に抑えるための約480 GtCO₂の残余カーボンバジェットは今のままだと12年ほどで使い切ってしまう。したがって、慎重にリスク管理するためには、累積排出量を一定量以下に抑え、フィードバックループが活性化するリスクを最小化する必要がある。本研究では脱炭素化には焦点を当てていないものの、適応策への投資と並行して脱炭素化への投資、特に再生可能エネルギーへの移行を進めることが重要となる。ステークホルダーは、脱炭素化のポテンシャルとそこから生まれる機会を検討する必要がある。

⁴⁸ Christina Figueres, H. Joachim Schellnhuber, Gail Whiteman, Johan Rockstrom, Anthony Hobley, & Stefan Rahmstorf. "Three years to safeguard our climate". *Nature*(2017年6月)

⁴⁹ Jan C. Minx et al. (2018年) "Negative emissions – Part 1: Research landscape and synthesis." *Environmental Research Letters*. Volume 13, Number 6(2018年5月)

⁵⁰ Will Steffen et al., "Trajectories of the Earth system in the Anthropocene," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Volume 115, Number 33(2018年8月)、M. Previdi et al. "Climate sensitivity in the Anthropocene." *Royal Meteorological Society*. Volume 139(2013年)、Makiko Sato et al. "Climate sensitivity, sea level, and atmospheric carbon dioxide." *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Volume 371(2013年)

⁵¹ Will Steffen et al., "Trajectories of the Earth system in the Anthropocene," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Volume 115, Number 33(2018年8月)、Hans Joachim Schellnhuber, "Why the right goal was agreed in Paris," *Nature Climate Change*, Volume 6(2016年)、Timothy M. Lenton et al., "Tipping elements in the Earth's climate system," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Volume 105, Number 6(2008年3月)、Timothy M. Lenton, "Arctic climate tipping points," *Ambio*, Volume 41, Number 1 (2012年2月)、Sarah Chadburn et al., "An observation-based constraint on permafrost loss as a function of global warming," *Nature Climate Change*, Volume 7, Number 5(2017年4月)、Robert M. DeConto and David Pollard, "Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise," *Nature*, Volume 531, Number 7596(2016年3月)

炭素収支は、メタン等の短期寿命気候汚染物質の排出率によって増減する。ただし、相対するCO₂排出量もあるので、短期寿命気候汚染物質が減少しその後も排出率が上昇しなければ、炭素収支は僅かだが増加する。H. Damon Matthews et al., "Focus on cumulative emissions, global carbon budgets, and the implications for climate mitigation targets," *Environmental Research Letters*, Volume 13, Number 1 (2018年1月)

⁵³ Richard J. Millar et al., "Emission budgets and pathways consistent with limiting warming to 1.5°C," *Nature Geoscience*, Volume 10(2017年)、Joeri Rogelj et al., "Estimating and tracking the remaining carbon budget for stringent climate targets," *Nature*, Volume 571, Number 7765(2019年7月)

各ステークホルダーが問うべき問い

どのステークホルダーも、気候変動リスクを考慮して意思決定を下すことにより、気候変動がもたらす様々な課題に対応できる。リスクに晒される度合いやリスク選好に基づいて、物理的な気候変動リスクへの備えを考えるうえで各ステークホルダーが問うべき問いを以下に示している。非金融会社が投資を行なうなど、ステークホルダーが複数のカテゴリーに当てはまることも考えられる。このリストはすべてを網羅しているわけではなく、気候変動の意味合いから他の意味合いが引き出される可能性もある。

保険会社

- 気候変動リスクを保険料に反映し、現在のポートフォリオや今後の投資の気候変動によるバリュー・アット・リスクを定量化するために、今後も将来を考慮した気候関連のモデリング能力に投資し続けるべきか。
- 保険証券の作成・管理などにかかるトランザクションコストの削減につながるパラメトリック型保険を開発したり、保証の上限金額設定や官民パートナーシップを検討して、イノベーションを推進するべきか。
- ターゲットコミュニティへの現在および将来生じうる気候変動リスクの啓蒙など、標準の保険商品を補足するリスクアドバイザリーサービスを提供し、リスクに備え、耐性を高めるためのツールキットを開発するべきか。
- 有形資産の整備など適応策を実行している人には何かしらの見返りを与えるなど、リスク低減につながる行動を促すうえで有効な施策やインセンティブとは何か。

- リスクに晒される度合いを高めることなく、保険がリスク低減に貢献できる領域とは。再保険者、国民保険、政府機関や他のステークホルダーと連携して手頃な保険を提供できるか(小規模農家向けの作物保険など)。

投資家・融資機関

- 気候変動関連財務情報開示タスクフォースによる提言をどのようにリスク管理に役立てられるか¹。透明性を上げるために、貸し手にも借り手にも気候変動リスクにかかわる財務情報を開示するよう促すべきか。
- ストレストスト、利用可能な最善の科学の知見に基づいた気候変動リスクを反映した確率的な前向きモデルで気候のバリュー・アット・リスク(VAR)を定量化した結果など、気候変動リスクの評価を、資産の配分や管理にかかわる意思決定にどのように反映できるか。
- 気候変動が様々な地域や期間の異なる融資や投資に与える影響を理解することで、気候変動リスクを新たな融資・投資活動に組み込み、今後の投資のVARを反映するかたちでクレジットポリシーを変更できるか。
- 気候変動の進行に伴い、資本調達ニーズが高まる中で、各業種やプロダクトクラスでは、どのような投資機会が存在するのか(災害に強いインフラ整備の財源となる債権など)。

- 現時点で利益がそれほど出ていないようなビジネスモデルが展開されている地域を中心に高まる適応のニーズに対応するために、いかに画期的な方法で資本を配分できるか(観光収入をサンゴ礁の保全に充てる、下水処理システムに長期投資を行ない、洪水による被害額を低減する、公庫とリスクシェアリング契約を結び、適応基金を立ち上げるなど)。

- 投資先に関する情報や能力をまとめるツールキットやデータマップの開発を含め、現在および将来生じうる気候変動リスクについて、以下に借り手を啓蒙できるか

規制当局、格付け機関、中央銀行

- リスク認知度を高めるための適切な対策とは(ストレストストに関するガイダンスの提供、前向きモデリングに関する能力構築の支援、リスク開示の支援など)
- 業界団体の招集やリスク管理に役立つツールキットを公開するなどして、民間セクターでベストプラクティスの共有を促せるか。
- 気候変動に伴う資本の不連続的な動き、あるいは「資本逃避」のリスクを抑えるために何ができるか(低所得で高い気候変動リスクに晒されている国の格付けの見直し要否およびその方法など)。

¹ Final report: Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures, Task Force on Climate-related Financial Disclosures, June 2017.

非金融系企業

- 業種や地域に特化した知見の構築を含め、物理的リスクを業界全体で共有する上でどのような機会が存在するか。
- どうすれば、最善の意思決定につながる体系的なリスク管理プロセスを取り入れ、気候変動による物理的リスクや移行リスクをコアビジネスの意思決定(調達、資本の計画・配分に関する意思決定)に組み込めるか。
- 気候変動によって、生産(生産が中断・停止あるいは生産要素のコストが上昇するリスク)、調達・流通(上流のサプライチェーンあるいは下流の流通網が機能しなくなり、品物の流通が遅延あるいは途絶え、コストが上昇あるいは価格が下がるリスク)、資金調達・リスク管理(資金不足あるいは資金調達・保険・ヘッジングのコスト上昇のリスク)やフランチャイズの価値(投資やのれんの価値が減少するリスクや営業権や法的責任に関わるリスク)はどのような影響を受けるのか。ビジネスモデルをどのように見直す必要があるのか。
- 最も関連性の高い気候変動リスクの規模と切迫度はどのくらいか。リスクに適応し、抑えるためにはリスク選好に基づいて、どのような対策をとるべきか(投入物の調達にかかわるリスクが特定された場合、代替サプライヤを選定するか、在庫水準を上げ、予備在庫を確保する。または、気候変動によってマーケットシフトが起きる、あるいは資産の残存価値が変わってくる場合は、成長投資ポートフォリオを見直すなど)。

政府機関

- 気候変動リスクの知見を、いかにインフラや経済開発計画に関わる政策や戦略アジェンダ(気候変動による物理的影響の確率的な前向きモデリングへの投資など)に組み込めるか。
- 市場の失敗や情報の非対称性が起きたり(ハザードマップを作成する、高リスク地域に適応策支援金を支給するなど)、エージェンシーが機能しなくなった場合(洪水保険など)、どう対応するべきか。
- リスクや費用対効果の分析に基づいて、いかに適切な適応策(公共インフラなど重要な資産の災害対策などを練り、実行できるか。難しい選択を迫られるような施策については、どのように検討するべきか(災害対策をとるべきか、あるいは移転するべきかなど)。
- どのようにすれば様々な声を取り入れ(フォーラム、地域住民の招集など)、より効果的に適応策のプランニングを支援し、波及効果を特定・軽減できるか(適応策を推進することによって近隣コミュニティにかかる想定外のコストなど)。

- 適応策の財政支出や復興支援のために、いかに財政面での耐性を強化できるか(グローバルレベルのコミットメントの定義、多国籍機関の巻き込み、投資家や融資機関との連会など)。
- (地域間でリスクをプーリングする潜在的機会を含め)保険提供に関わるべきか。関わる場合、どの部分で関わるべきか。

個人

- 対話や学習を通じて、気候変動について学び、周りにも共有し、意識を高めているか。
- 消費者(不動産を購入する場所など)、社員(会社が適切に行動するための情報共有など)、そして市民として、気候変動リスクを考慮した行動をとっているか。

McKinsey Global Institute

January 2020

Copyright © McKinsey & Company

Designed by the McKinsey Global Institute

www.mckinsey.com/mgi

 @McKinsey

 @McKinsey