

気候変動 2014

統合報告書

本文

序	3
Box 序.1: 不確実な将来のリスク及びそのマネジメント	3
Box 序.2: 評価された知見の確信度に関する表現	4
トピック 1: 観測された変化及びその原因	5
1.1 気候システムの観測された変化	5
1.1.1 大気	7
1.1.2 海洋	7
1.1.3 雪氷圏	8
1.1.4 海面水位	9
Box 1.1: 近年の気温の変化傾向及びその意味合い	10
1.2 過去及び近年の気候変動駆動要因	11
1.2.1 自然起源及び人為起源の放射強制力	11
1.2.2 排出の駆動要因に影響を及ぼす人間活動	13
1.3 気候変動及びその影響の原因の特定	17
1.3.1 気候システムに人間と自然が及ぼす影響の気候変動への原因特定	17
1.3.2 気候変動に起因する観測された影響	20
1.4 極端現象	24
1.5 曝露及び脆弱性	25
1.6 気候変動に対する人間の対応: 適応と緩和	25
トピック 2: 将来の気候変動、リスク及び影響	27
2.1 将来の気候の主要な駆動要因及び予測を行うための基礎	27
Box 2.1: 地球の気候システムのモデリングにおける進歩、確信度及び不確実性	27
Box 2.2: 「代表的濃度経路 (RCPs)」	28
Box 2.3: 気候変動のリスク、脆弱性及び影響を推定するモデル及び手法	29
2.2 気候システムにおいて予測される変化	30
2.2.1 気温	30
2.2.2 水循環	34
2.2.3 海洋、雪氷圏及び海面水位	34
2.2.4 炭素循環と生物地球化学	35
2.2.5 気候システムの応答	35
2.3 気候変動に起因する将来のリスクと影響	38
2.3.1 海洋、沿岸、陸上と淡水域における生態系及び生態系サービス	40
2.3.2 水、食料及び都市システム、人間の健康、安全保障及び生計	43
Box 2.4: 気候変動に関する懸念の理由	48
2.4 2100年以降の気候変動、不可逆性及び突然の変化	49
トピック 3: 適応、緩和及び持続可能な開発に向けた将来経路	52
3.1 気候変動についての意思決定の基礎	52
3.2 緩和及び適応によって低減される気候変動リスク	54
Box 3.1: 気候変動リスクの経済的評価の限界	57
3.3 適応経路の特徴	57

3.4 緩和経路の特徴	68
Box 3.2: 温室効果ガス計量基準（メトリック）及び緩和の経路	69
Box 3.3: 二酸化炭素除去及び太陽放射管理 地球工学技術—可能な役割、選択肢、リスク及び状況.....	70
3.5 緩和、適応、及び持続可能な開発の間の相互作用	72
Box 3.4: コベネフィットと副次的悪影響	73
トピック 4: 適応及び緩和	74
4.1 適応及び緩和対応に関する共通の実現要因と制約	74
4.2 適応のための対応選択肢	76
4.3 緩和のための対応選択肢	81
4.4 適応及び緩和、技術及び資金調達のための政策手法	89
4.4.1 適応と緩和についての国際協力と地域協力	89
4.4.2 国家及び準国家の政策	91
4.4.3 技術開発及び技術移転	96
4.4.4 投資と融資	96
4.5 トレードオフ、相乗効果及び統合型対応	98

序

IPCC第5次評価報告書（AR5）統合報告書（SYR）は、2007年のIPCC第4次評価報告書（AR4）公表以降の新たな成果に重点をおいて、気候変動の科学に関する既知の知識の概観を提示する。統合報告書は、第1作業部会（自然科学的根拠）、第2作業部会（影響、適応及び脆弱性）、第3作業部会（気候変動の緩和）、及び2つの付加的報告書（「再生可能エネルギーに関する特別報告書」及び「気候変動への適応推進に向けた極端現象及び災害のリスク管理に関する特別報告書」）の成果に基づいてAR5（IPCC）の主要な知見を統合したものである。

AR5統合報告書は4つのトピックに分かれている。トピック1（観測された変化及びその原因）では、気候が変化していることを示す観測証拠、この変化によって引き起こされる影響及びこの変化に対する人間の寄与に焦点をあてる。トピック2（将来の気候変動、リスク及び影響）では、将来の気候変動の予測及びその結果として予測される影響とリスクを評価する。トピック3（適応、緩和及び持続可能な開発に向けた将来経路）では、気候変動のリスクを低減しマネジメントするための相互補完的戦略としての適応と緩和について考察する。トピック4（適応及び緩和）では、適応及び緩和の選択肢と政策手法について個別に説明する。さらに、トピック4では適応及び緩和を他の社会的目標と結びつける統合的対応についても言及する。

リスク及び不確実性を理解しマネジメントする上での課題は、本報告書における重要なテーマである。Box 序.1（「不確実な将来のリスク及びそのマネジメント」）及びBox 序.2（「評価の知見の確信度に関する表現」）を参照。

本報告書は、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）第2条に関連する情報を含んでいる。

Box 序.1:不確実な将来のリスク及びそのマネジメント

気候変動は、人々、社会、経済部門及び生態系をリスクにさらす。リスクとは、多様な価値が認識されるなか、価値のある何かが危機にさらされ、その結果が不確実であるとき、望ましくない結末が生じる可能性があることである。{WGIII 2.1, WGII SPM 背景事由に関する Box SPM.2, SYR 用語集}

気候変動の影響のリスクは、ハザード（気候変動に関連する事象もしくは変化傾向により引き起こされる）、脆弱性（悪影響に対する感受性）及び曝露（リスクにさらされる人々、資産又は生態系）の間の相互作用から生じる。ハザードには、激しい暴風雨のような短時間の事象から数十年にわたる干ばつあるいは数世紀にわたる海面水位上昇といったゆっくりとした変化傾向にいたる広範な過程が含まれる。脆弱性及び曝露は共に、広範な社会的及び経済的過程の影響を受けやすく、開発経路に依存して増大あるいは縮小しうる。リスクとコベネフィットは、気候変動の緩和あるいは適応を目指す政策によっても生じる。（1.5）

リスクは、危険な事象又は変化傾向の発生確率とそれらの事象が発生した場合の被害規模の積として表されることが多い。したがって、高い確率で起こる結果のみならず、起こる確率は低い非常に甚大な被害を伴う結果からも高いリスクがもたらされる可能性がある。このことから、確率が低くめったに起こらない結果から、起こる可能性が非常に高い結果まで、起こりうるすべての範囲の結果を評価することが重要となってくる。例えば、世界の平均海面水位が今世紀中に1メートル以上上昇する可能性は低いですが、より大きな水位上昇の結末は非常に深刻となりうるため、この可能性はリスク評価における重要な部分となる。同様に、確信度は低い重大な被害をもたらすような結果もまた政策に関連する；例えば、アマゾンの森林の応答が気候変動を大幅に増幅する可能性については、現段階で我々がその結果を予測する能力が不完全であるにもかかわらず、検討する価値がある。（2.4,表2.3）{WGI 表13.5, WGII: SPM A-3,4.4, Box 4-3, WGIII Box 3-9,SYR 用語集}

リスクは、定性的又は定量的に理解することができる。広範にわたる公式もしくは非公式のツールや手法をしばしば反復的に用いることで、リスクを低減しマネジメントすることができる。リスクをマネジ

メントする有用な手法は、リスク水準を正確に定量化できることを必ずしも必要としない。倫理的、心理的、文化的、あるいは社会的要素に基づく多様で定性的な価値、目標及び優先順位を認める手法によって、リスクマネジメントの有効性を増加させることができる。{WGII 1.1.2, 2.4, 2.5, 19.3, WGIII 2.4, 2.5, 3.4}

Box 序.2: 評価された知見の確信度に関する表現

IPCC 報告書の総体的な特徴は、基になっている評価の知見の科学的理解の深さと不確実性に関する表現にある。不確実性はリソースが広範であることの結果である可能性がある。過去及び現在の不確実性は、特に稀な事象について有効な測定結果が限られていること、また物理、生物、及び人間システムにわたる可能性がある複雑又は複数要素からなる過程において原因を評価することの難しさの結果である。将来については、気候変動において様々な結果の可能性が変化することもある。多くの過程やメカニズムはよく理解されているが、理解されていないものもある。時間とともに変化する複数の気候影響と気候以外の影響間の複雑な相互作用は、絶えざる不確実性につながり、回りまわって予期しない事象が引き起こされる可能性にもつながる。過去の IPCC 報告書と比較して、AR5 は、科学、技術及び社会経済分野の極めて広範な知識基盤を評価している。{WGI, 1.4, WGII SPM A-3, 1.1.2, WGIII 2.3}

IPCC の不確実性に関するガイダンスノート^aは、評価過程の知見における確信度の度合いを評価及び表現するための共通の手法を定義している。各々の知見は、基礎となっている証拠と見解一致度の評価にその基盤を置く。多くの場合、証拠と見解一致度を統合したものが、割り当てられた確信度を裏付けており、特に、より強い見解一致度と複数の独立した一連の証拠がある知見についてはそうである。評価された主要な各知見における確信度は、証拠（例えば、データ、機構的理解、理論、モデル、専門家の判断）の種類、量、質及び一貫性、並びに見解一致度に基づいている。証拠についての要約的表現は「限定的」、「中程度」、「確実」、見解一致度については「低い」、「中程度」、「高い」である。確信度は、「非常に低い」、「低い」、「中程度」、「高い」、「非常に高い」、の 5 段階の表現を用い、「確信度が中程度」のように斜体字で記述する。ある結果について評価された可能性の度合いを示すために、次の用語を用いる。「ほぼ確実」：確率 99～100%、「可能性が非常に高い」：確率 90～100%、「可能性が高い」：確率 66～100%、「どちらも同程度」：確率 33～66%、「可能性が低い」：確率 0～33%、「可能性が非常に低い」：確率 0～10%、「ほぼあり得ない」：確率 0～1%。適切な場合には追加で以下の用語を用いることがある。「可能性が極めて高い」：確率 95～100%、「どちらかと言えば可能性が高い」：確率>50～100%、「どちらかといえば可能性が低い」：確率 0～<50%、「可能性が極めて低い」：確率 0～5%。可能性の評価結果は、「可能性が非常に高い」のように斜体字で記述する。特に明記しない限り、可能性の用語が割り当てられている知見は、*確信度が高い*もしくは*確信度が非常に高い*、に関連づけられている。適切な場合には、不確実性を示す用語を用いず、知見を事実として記述することもある。{WGI SPM B, WGII 背景事由に関する Box SPM.3, WGIII 2.1}

^a Mastrandrea, M.D., C.B. Field, T.F. Stocker, O. Edenhofer, K.L. Ebi, D.J. Frame, H. Held, E. Kriegler, K.J. Mach, P.R. Matschoss, G.-K. Plattner, G.W. Yohe, and F.W. Zwiers, 2010: 「IPCC 第 5 次評価報告書執筆責任者向け、「不確実性」の一貫した取り扱いに関する指針」気候変動に関する政府間パネル (IPCC) スイス・ジュネーヴ, 4 pp.

トピック 1: 観測された変化及びその原因

気候システムに対する人為的影響は明らかであり、近年の人為起源の温室効果ガス排出量は史上最高となっている。近年の気候変動は、人間及び自然システムに対し広範囲にわたる影響を及ぼしてきた。

トピック 1 では、気候が変化していることを示す観測に基づく証拠、この変化によって引き起こされる影響及びこの変化に対する人間の寄与に焦点をあてる。第 1.1 節では観測された気候の変化について、第 1.2 節では気候に対する外部からの影響（強制力）について、強制力のうち人為起源のものを区別し、さらに経済部門別及び温室効果ガス別の強制力の寄与について論じる。第 1.3 節では、観測された気候変動の原因を特定し、人間及び自然システムへの影響がどの程度気候変動に原因を特定できるかを究明しつつ、これらの影響の原因として気候変動を特定する。変化する極端現象の発生確率とその原因については第 1.4 節で議論し、それに続いて第 1.5 節ではリスクを背景とした曝露と脆弱性について説明し、さらに第 1.6 節では適応及び緩和の経験について説明する。

1.1 気候システムの観測された変化

気候システムの温暖化には疑う余地がなく、また1950年代以降、観測された変化の多くは数十年から数千年間にわたり前例のないものである。大気と海洋は温暖化し、雪氷の量は減少し、海面水位は上昇している。

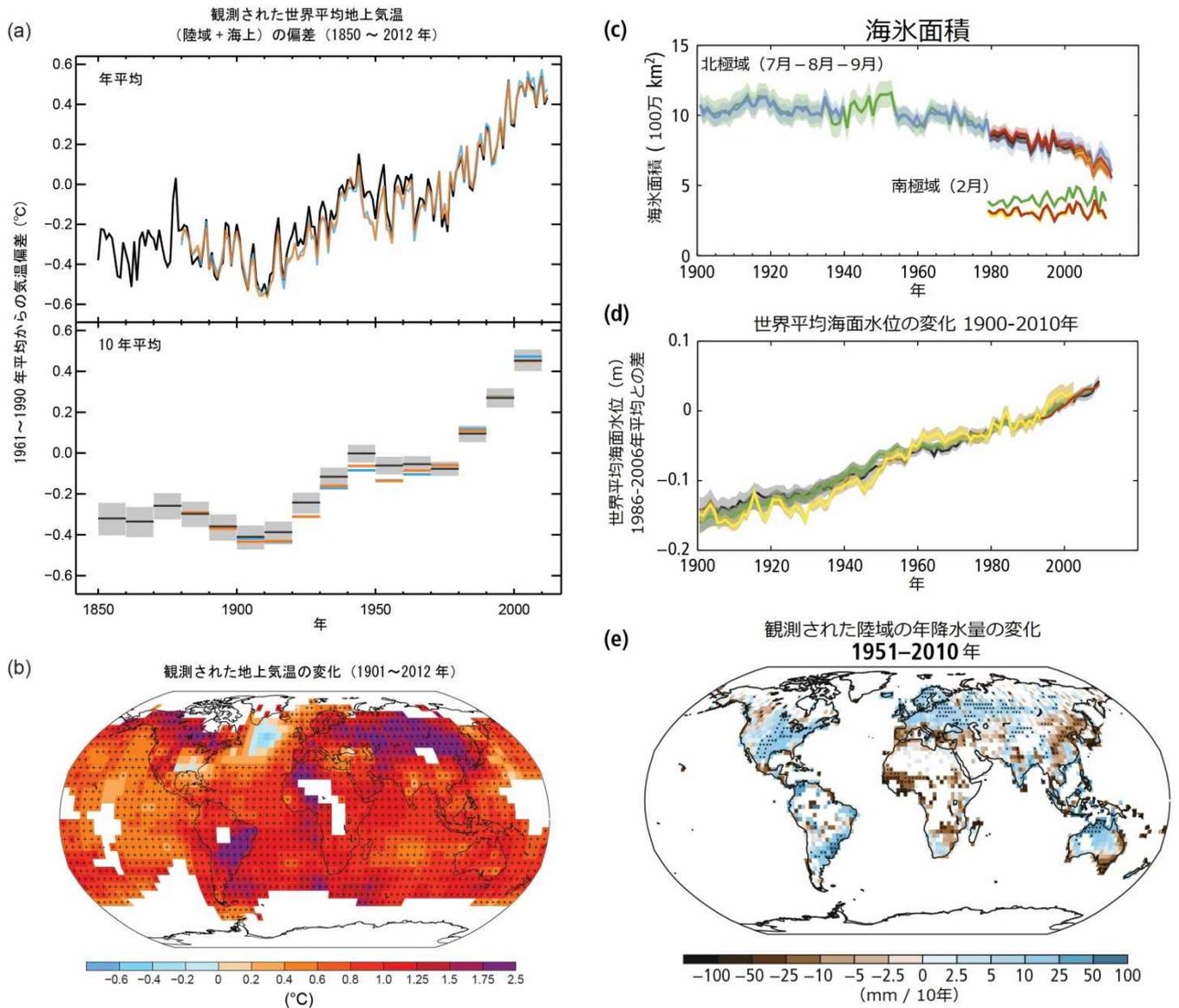


図1.1：世界全体の気候システムの変化を示す複数の観測された指標。(a)陸域と海上とを合わせた世界平均地上気温観測値の偏差(1866～2005年の年平均値及び10年平均値を基準)。1つのデータセットに含まれる10年平均値の不確実性の推定値が灰色の陰影で示されている。[WGI 図SPM.1, 図2.20; データセットの一覧及び更に詳細な技術情報は、WGI技術要約の補足資料 WGI TS.SM.1.1に記載](b)図(a)のオレンジ色のデータセットから線形回帰で求めた気温の変化傾向による1901～2012年の地上気温変化の分布。変化傾向は、データが有効で確実な推定が可能である場所(すなわち、70%以上の完全な記録がそろっており、かつ期間の最初の10%と最後の10%においてそれぞれ20%以上のデータが利用可能な格子のみ)について計算されており、それ以外の領域は白色としている。危険率10%の水準で変化傾向が有意である格子点を+の記号で示す。[WGI 図SPM.1, 図2.21, 図TS.2; データセットの一覧と、更に詳細な技術情報は、WGI技術要約の補足資料 WGI TS.SM.1.2に記載](c)北極域(7～9月の平均)及び南極域(2月)の海水面積。[WGI 図SPM.3, 図4.3, 図4.SM.2; データセットの一覧と、更に詳細な技術情報は、WGI技術要約の補足資料 WGI TS.SM.3.2に記載](d)最も長期間連続するデータセットの1986～2005年平均を基準とした世界平均海面水位。全データは、衛星高度計データの初めの年である1993年で同じ値になるように合わせてある。全ての時系列(色つきの線はそれぞれ異なるデータセットを示す)は年平均値を示し、不確実性の評価結果がある場合は色つきの陰影によって示している。[WGI 図SPM.3, 図3.13; データセットの一覧と、更に詳細な技術情報は、WGI技術要約の補足資料 WGI TS.SM.3.4に記載] (e)1951～2010年の期間に観測された降水量変化の分布図; 年降水量の変化傾向は図(b)と同じ判定基準を用いて計算されている。[WGI 図SPM.2, TS TFE.1, 図2, 図2.29. データセットの一覧と、更に詳細な技術情報は、WGI技術要約の補足資料 WGI TS.SM.2.1に記載]。

1.1.1 大気

地球の表面では、最近30年の各10年間はいずれも、1850年以降の各々に先立つどの10年間よりも高温であり続けた。長期にわたる評価が可能である北半球では、1983～2012年の期間が最近800年間で最も温暖な30年間であった可能性が非常に高く（確信度が高い）、最近1400年間で最も温暖な30年間であった可能性が高い（確信度が中程度）。{WGI 2.4.3, 5.3.5}

陸域と海上を合わせた世界平均地上気温は、線形の変化傾向から計算すると、独立して作成された複数のデータセットが存在する1880～2012年の期間に0.85 [0.65～1.06] °C²⁰上昇している。1850～1900年の期間平均に対する2003～2012年の期間平均の上昇量は、現時点で最も長期間にわたっている単一のデータセットに基づく、0.78 [0.72～0.85] °Cである。地域的な変化傾向の計算が十分そろった最も長い期間（1901年から2012年）では、ほとんど地球全体で地上気温の上昇が起きている（図1.1を参照）。{WGI SPM B.1, 2.4.3}

数十年にわたる明確な温暖化に加えて、世界平均地上気温は十年規模や年々でかなりの大きさの変動性を含んでいる（図1.1を参照）。この自然の変動性が要因で、短期間の記録に基づく変化傾向は、その期間の始点と終点の選び方に非常に敏感であり、一般的には長期的な気候の変化傾向を反映していない。一例として、強いエルニーニョ現象の年から始まる過去15年の気温の上昇率（1998～2012年で、10年当たり0.05 [-0.05～0.15] °C）は、1951年以降について求めた気温の上昇率（1951～2012年で、10年当たり0.12 [0.08～0.14] °C; Box 1.1を参照）より小さい。{WGI SPM B.1, 2.4.3}

測定結果による複数の独立した解析に基づく、20世紀半ば以降、地球全体で対流圏が温暖化し、下部成層圏が寒冷化していることはほぼ確実である。気温の変化率やその鉛直構造については、北半球温帯の対流圏では確信度が中程度である。{WGI SPM B.1, 2.4.4}

1901年以降の世界の陸域で平均した降水量の変化の確信度は、1951年まででは低く、それ以降は中程度である。北半球中緯度の陸域平均では、降水量が1901年以降増加している可能性が高い（1951年までは確信度が中程度、それ以降は確信度が高い）。その他の緯度帯については、領域平均した長期的な増加又は減少の変化傾向の確信度は低い（図1.1を参照）。{WGI SPM B.1, 図SPM.2, 2.5.1}

1.1.2 海洋

気候システムに蓄積されているエネルギーの増加量の大部分は海洋の温暖化で占められており、1971～2010年の間に蓄積されたエネルギーの90%以上を占め（確信度が高い）、大気中における蓄積は約1%に過ぎない。世界規模で、海洋の温暖化は海面付近で最も大きく、1971～2010年の期間において海面から水深75 mの層は10年当たり0.11 [0.09～0.13] °C昇温した。1971～2010年において、海洋表層（0～700 m）で水温が上昇したことはほぼ確実であり、また1870年代から1971年の間については水温が上昇した可能性が高い。1957年から2009年にかけて水深700～2000mの層で海洋は温暖化し、1992年から2005年にかけて、水深3000 mから海底まで海洋は温暖化した可能性が高い（図1.2を参照）。{WGI SPM B.2, 3.2, Box 3.1}

²⁰特に明記しない限り、90%の信頼区間の範囲は角括弧内に示されている。90%の信頼区間の範囲とは、推定すべき対象の真の値をその範囲に含んでいる可能性が90%であることを意味する。信頼区間の範囲は、必ずしも対応する最良の推定値を中心として対称であるとは限らない。最良の推定値が利用可能である場合はその値も示される。

地球の気候システム内部のエネルギー蓄積量

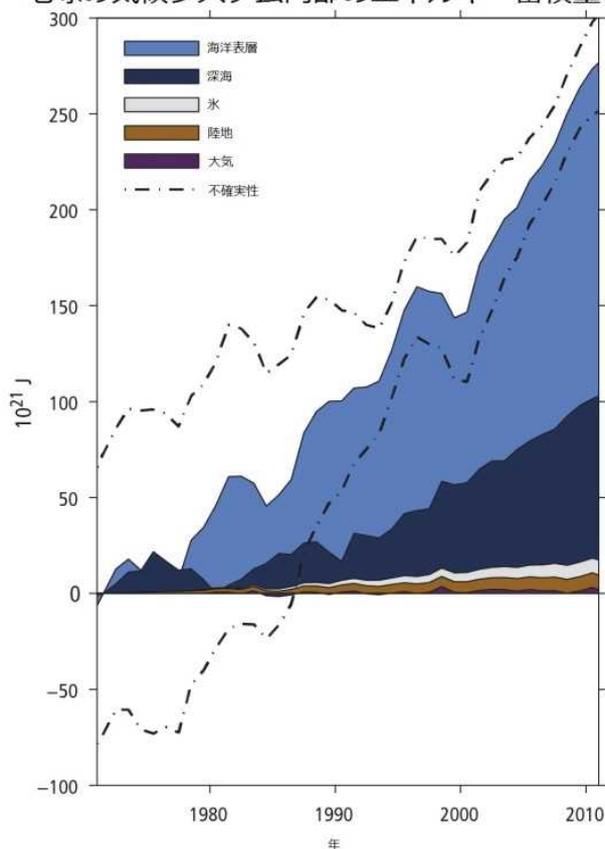


図1.2：地球の気候システム内部のエネルギー蓄積量。特に明記しない限り、推定値は単位が 10^{21} Jで、1971年を基準とした1971～2010年の値が示されている。図中に示されている項目は、海洋表層（水深700mより上層）、海洋深層（水深700mより下層；1992年から始まった2000m以深の層の推定値も含む）、氷の融解（氷河及び氷冠、1992年から始まったグリーンランド及び南極域の氷床の推定値及び1979～2008年の北極海の海水の推定値）、大陸（陸域）の温度上昇、及び大気（気温）の上昇（1979年から推定開始）である。不確実性は、90%の信頼区間で5つの項目全てから生じる誤差として見積もった。{WGI Box 3.1, 図1}

1950年代以降、蒸発が卓越している表層の高塩分領域では塩分はより高くなり、一方で降水が卓越している低塩分領域では塩分はより低下している可能性が非常に高い。これらの海洋塩分の地域的な変化傾向は、海上の蒸発量と降水量が変化していることの間接的な証拠であり、したがって世界全体の水循環が変化していることを裏付けている（確信度が中程度）11。大西洋子午面循環（AMOC）の長期的な変化傾向を示す観測上の証拠はない。{WGI SPM B.2, 2.5, 3.3, 3.4.3, 3.5, 3.6.3}

工業化時代の始まり以降、海洋による二酸化炭素の吸収が海洋酸性化をもたらしてきた。海面付近の海水のpHは0.1低下しており（確信度が高い）、これは水素イオン濃度として測定される酸性度が26%増加したことに相当する。温度上昇と並行して、1960年代以降、沿岸域及び多くの海洋域の外洋水温躍層における酸素濃度が低下してきていること（確信度が中程度あり）、ここ数十年間で熱帯の酸素極小層が拡大した可能性が高い。{WGI SPM B.5, TS2.8.5, 3.8.1, 3.8.2, 3.8.3, 3.8.5, 図3.20}

1.1.3 雪氷圏

過去20年にわたり、グリーンランド及び南極の氷床の質量は減少している（確信度が高い）。氷河はほぼ世界中で縮小し続けている（確信度が高い）。北半球の春季の積雪面積は減少し続けている（確信度が高い）。南極域の海水面積の変化傾向には強い地域差があること（確信度は高く、総面積では増加している可能性が非常に高い）。{WGI SPM B.3, 4.2~4.7}

20世紀を通して氷河の質量は減少しており、海面水位の上昇に寄与している。グリーンランド氷床の氷質量の減少率は、1992年から2011年の期間に著しく増加し、結果として2002年から2011年の期間の質量減少が1992年から2011年の期間の減少量に比べて大きい**可能性が非常に高い**。南極氷床、主として南極半島北部と西南極のアムンゼン海部分の氷質量の減少率も、2002年から2011年の期間の方がより大きい**可能性が高い**。{WGI SPM B.3, SPM B.4, 4.3.3, 4.4.2, 4.4.3}

北極域の年平均海氷面積は1979年（衛星観測が開始された年）から2012年の期間にわたって減少した。その減少率は10年当たり3.5～4.1%の範囲にある**可能性が非常に高い**。北極域の海氷面積は、1979年以降の季節も、連続するいずれの10年間でも減少しており、夏季の10年平均した面積の減少が最も急速である（**確信度が高い**）。夏季の海氷面積の最小値の減少率については10年当たり9.4～13.6%（10年当たり73～107万km²）の範囲にある**可能性が非常に高い**（図1.1を参照）。南極域の年平均海氷面積は1979～2012年の期間に10年当たり1.2～1.8%（10年当たり13～20万km²）の割合で増加した**可能性が非常に高い**。但し、南極域において強い地域差があることの**確信度は高く**、面積が増加している地域もあれば、減少している地域もある。{WGI SPM B.5, 4.2.2, 4.2.3}

20世紀半ば以降、北半球の積雪面積が減少していることの**確信度は非常に高く**、1967年から2012年の期間で3月と4月の平均については10年当たり1.6 [0.8～2.4] %、6月については10年当たり11.7%の割合で減少している。永久凍土の温度が1980年代初頭以降、北半球のほとんどの地域で上昇していることの**確信度は高く**、厚さと面積が減少している地域もある。上昇した地上気温と変化する積雪域に対応して、永久凍土の温度が上昇している。{WGI SPM B.3, 4.5, 4.7.2}

1.1.4 海面水位

1901～2010年の期間にわたり、世界平均海面水位は**0.19 [0.17～0.21] m**上昇した（図1.1）。19世紀半ば以降の海面水位の上昇率は、それ以前の2千年間の平均的な上昇率より大きかった（**確信度が高い**）。{WGI SPM B.4, 3.7.2, 5.6.3, 13.2}

世界平均海面水位の平均上昇率は、1901年から2010年の期間で1年当たり1.7 [1.5～1.9] mm、1993年から2010年の期間で1年当たり3.2 [2.8～3.6] mmであった**可能性が非常に高い**。潮位計データと衛星高度計データは、1993年から2010年の期間に高い上昇率となっている点で整合的である。また、1920年から1950年の期間に、1993年から2010年の期間と同程度の高い上昇率となっていた**可能性が高い**。{WGI SPM B.4, 3.7, 13.2}

1970年代初頭以降について、温暖化による氷河の質量損失と海洋の熱膨張を合わせると、観測された世界平均海面水位上昇の約75%を説明できる（**確信度が高い**）。1993年から2010年の期間については、世界平均海面水位の上昇は下記の観測に基づく寄与の合計と**高い確信度**で整合的である。その内訳は、温暖化による海洋の熱膨張、氷河の変化、グリーンランド氷床の変化、南極氷床の変化、及び陸域の貯水量の変化である。{WGI SPM B.4, 13.3.6}

海洋循環の変動によって、広範囲にわたる海面水位上昇率が、数十年単位で世界平均海面水位上昇よりも数倍大きかったり小さかったりすることがある。1993年以降、西太平洋の地域的な上昇率が世界平均より最大で3倍大きい一方で、東太平洋の大部分における上昇率はほぼゼロもしくは負の値である。{WGI 3.7.3, FAQ 13.1}

最終間氷期の期間（12万9千年前から11万6千年前）に、世界平均海面水位の最大値は、数千年にわたって、現在より少なくとも5m高かったことの**確信度は非常に高く**、また、現在より10mを超えて高くなかったことの**確信度は高い**。最終間氷期の期間の高い世界平均海面水位に対して、グリーンランド氷床が1.4～4.3mの間で寄与をした**可能性が非常に高い**。これは**確信度が中程度**で南極氷床が高い世界平均海面水位に付加的な寄与をしていたことを示唆している。この海面水位の変化は地球の軌道要素が現在と異なることによる強制力のもとで起こり、高緯度域の地上気温は数千年にわたる平均で現在より少なくとも2°C高かった（**確信度が高い**）。{WGI SPM B.4, 5.3.4, 5.6.2, 13.2.1}

Box 1.1: 近年の気温の変化傾向及びその意味合い

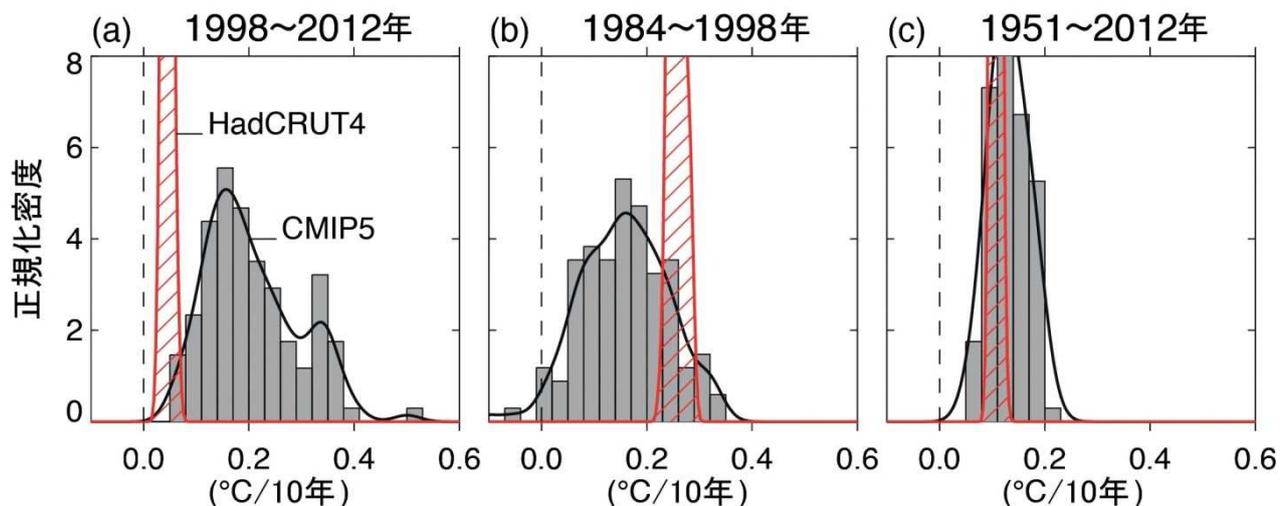
観測によると、1951年から2012年の期間に比べ、1998年から2012年の期間における地上気温の上昇の変化傾向は弱まっている。これは放射強制力の変化傾向の弱まりと、自然起源の内部変動性をもたらす寒冷化が概ね同程度に寄与しており、後者には熱が海洋中で再分配されている可能性も含まれる(確信度が中程度)。1998~2012年の期間に観測された世界平均地上気温の上昇率は、1951~2012年の期間における変化傾向の約1/3~1/2と推定される(Box 1.1, 図1a, 図1c)。地上気温の上昇傾向が弱まっているにもかかわらず、気候システムが1998年以降、熱を蓄積し続けている可能性は非常に高く(図1.2)、海面水位は上昇し続けている(図1.1) {WGI SPM D.1, Box 9.2}

気候システムの放射強制力は、それに対する寄与が最も大きい大気中二酸化炭素濃度と同様に、2000年代において増加し続けている。ただし、火山噴火による冷却効果及び2000~2009年の期間が太陽活動周期の冷却期の位相に入っていることにより、1984~1998年あるいは1951~2011年に比べると、1998~2011年の放射強制力の増加率は小さくなっている。しかしながら、地上気温上昇率低下の原因として放射強制力の変化傾向の役割を定量化することについては確信度が低い。{WGI 8.5.2, Box 9.2}

114個の利用可能な気候モデルシミュレーションのうちの111個が、1998~2012年の期間について観測値より大きい地上気温の上昇傾向を示している(Box 1.1, 図1a)。モデルと観測の間のこの差異が、かなりの程度で自然起源の気候の内部変動性に起因することについての確信度は中程度である。自然起源の気候の内部変動性は、外部からの長期的な強制による気温上昇傾向を、ある時は強め、ある時は弱める(Box 1.1の図1aと図1bを比較されたい; 1984~1998年の期間、ほとんどのモデルシミュレーションは観測値より小さい気温上昇傾向を示している)。自然起源の内部変動性は、このように長期的気候変動に対する短期的変化傾向の関連性を弱めてしまう。モデルと観測の間の差異には、モデルで用いられている太陽、火山及びエアロゾルの強制力が不適当なこと、またいくつかのモデルでは、温室効果ガスや他の人為起源強制力(エアロゾルの効果が大部分を占める)の増加に対する応答の過大評価が寄与している可能性もある。{WGI 2.4.3, Box 9.2, 9.4.1, 10.3.1.1}

1951~2012年のより長い期間でみると、シミュレーションにより再現された地上気温の上昇傾向は観測された上昇傾向と一致する(確信度が非常に高い Box 1.1, 図1c)。さらに、放射強制力、地上気温の上昇及び蓄熱量の観測値(1970年以降、利用可能)の独立した推定値を合わせて地球の熱収支を求めると、可能性が高いと評価された平衡気候感度の範囲(1.5~4.5°C)と整合している²¹。このように、観測された気候変動の記録は、平衡気候感度及び過渡的気候応答(トピック2を参照)を含む、将来の温暖化に影響を与える気候システムの基本的特性の評価を可能にしてきた。{WGI Box 9.2, 10.8.1, 10.8.2, Box 12.2, Box 13.1}

²¹熱収支と平衡気候感度(大気中の二酸化炭素濃度の倍増を仮定した時の長期的地上気温上昇)の関係は、地上気温上昇が宇宙空間への放射を増大させ、地球が保持する熱量の増加を弱めるようにはたらくことから生じる。ある地上気温の上昇量に対し宇宙空間への放射がどれだけ増大するかは、平衡気候感度を決定するフィードバック過程(例えば、雲フィードバック、水蒸気フィードバック)と同じ過程に依存する。



Box 1.1, 図1 (a)1998~2012年、(b)1984~1998年、及び(c)1951~2012年における世界平均地上気温の変化傾向。赤は観測値、灰色の棒グラフは現世代の気候モデルによる114の利用可能なシミュレーション結果である。灰色の棒の高さは、114のシミュレーションの中で、ある大きさの変化傾向(単位:°C/10年)がどの程度の頻度で起こるかを示している。赤の斜線部の幅は、個々の観測点のデータから世界平均を作成していることで生じる統計的不確実性を示している。この観測値の不確実性は第1.1.1節の文章に引用されている不確実性とは異なる;1.1.1節では自然起源の内部変動性の推定値も含まれている。対照的に、ここでは自然起源の内部変動性の大きさはモデルアンサンブルのばらつきによって特徴づけられている。{WGI Box 9.2, 図1に基づく}

1.2 過去及び近年の気候変動駆動要因

人為起源の温室効果ガスの排出は、工業化以降増加しており、これは主に経済成長と人口増加からもたらされている。2000年から2010年の排出量は史上最高であった。これまでの排出によって、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素の大気中濃度は、少なくとも過去80万年間で前例のない水準にまで増加し、気候システムによるエネルギーの吸収をもたらしている。

地球のエネルギー収支の変化をもたらす自然起源及び人為起源の物質や過程は、気候変動の物理的駆動要因となる。放射強制力 (RF) は、これらの駆動要因に起因する地球システムへのエネルギーの摂動を定量化するものである。正の放射強制力は地表面付近の温暖化を、負の放射強制力は寒冷化をもたらす。放射強制力は、現場観測、遠隔測定、温室効果ガスやエアロゾルの特性、及び数値モデルを用いた計算に基づいて推定される。1750~2011年の期間における主要なグループ毎の放射強制力を、図1.4に示す。「他の人為起源」グループへの寄与が最も大きいのはエアロゾルの変化に起因する寒冷化の効果で、その他には、オゾンの変化、土地利用変化による反射率の変化、及び寄与が小さい他の項目からも多少寄与がある。{WGI SPM C, 8.1, 8.5.1}

1.2.1 自然起源及び人為起源の放射強制力

大気中の温室効果ガス濃度は、少なくとも過去80万年間で前例のない水準である。二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)の濃度は、1750年以降全て大幅な増加(それぞれ40%、150%、20%)を示している(図1.3)。二酸化炭素濃度は、2002~2011年の増加率が10年当たりの観測値で見ても2.0±0.1 ppm/年と最も速い変化速度で増加している。メタン濃度は1990年代後半以降ほぼ10年間安定していた後、2007年以降再び増加し始めたことが大気濃度測定により示された。一酸化二窒素濃度は、最近30年にわたり0.73±0.03 ppb/年の速度で着実に増加している。{WGI SPM B5, 2.2.1, 6.1.2, 6.1.3, 6.3}

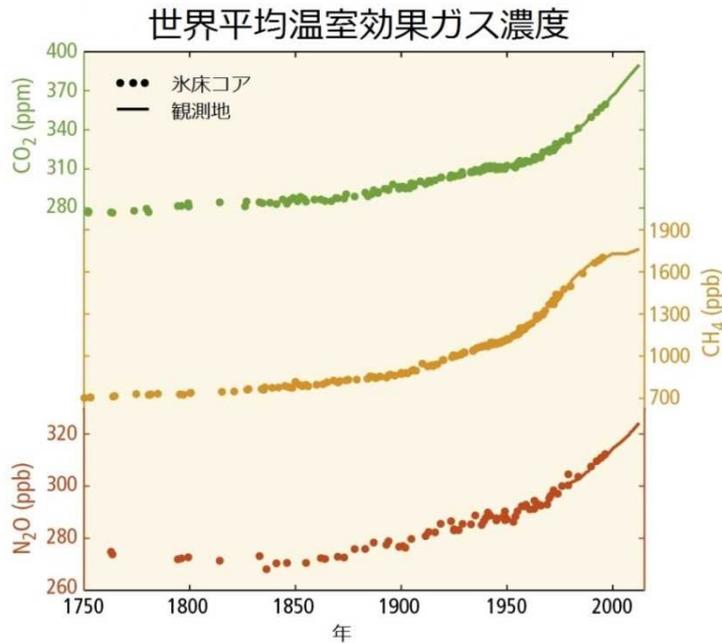


図 1.3: 観測された大気中温室効果ガス濃度の変化。二酸化炭素(CO₂、緑色)、メタン(CH₄、オレンジ色)、一酸化二窒素(N₂O、赤色)の大気中濃度。氷床コアからのデータ(点)及び直接大気測定の結果(線)が重ね書きされている。{WGI 2.2, 6.2, 6.3, 図 6.11}

1750年から2011年における人為起源の放射強制力は、総計すると2.3 [1.1～ 3.3] Wm⁻²の温暖化効果があると計算され(図1.4)、1970年以降はそれ以前の数十年間に比べて急速に増加している。二酸化炭素は、1750～2011年の期間における放射強制力及び1970年以降の放射強制力の増加傾向に単独で最も寄与している原因物質である。2011年における合計人為起源放射強制力の推定値は、第4次評価報告書(AR4)で報告された2005年における推定値よりもかなり大きい(43%)。これは、大半の温室効果ガスの濃度が継続して増加したことと、エアロゾルの放射強制力の見積りが改善されたことの両方が原因である。{WGI SPM C, 8.5.1}

エアロゾルによる放射強制力(雲調節を含む)に対する理解は向上し、AR4の内容よりも冷却効果が弱いことが示されている。1750年から2011年の期間におけるエアロゾルによる放射強制力は、-0.9 [-1.9～-0.1] W m⁻²と推定される(確信度が中程度)。エアロゾルによる放射強制力は2つの競合する要素を持つ: すなわち、大半のエアロゾル及びそれらの雲調節による卓越した冷却効果と、それを部分的に相殺する黒色炭素が太陽放射を吸収することによる温暖化への寄与である。世界平均のエアロゾルの合計放射強制力が、よく混合された温室効果ガスの放射強制力のかなりの部分を相殺しているということの確信度は高い。エアロゾルは、合計放射強制力の見積りに対して最も大きな不確実性をもたらしている。{WGI SPM C, 7.5, 8.3, 8.5.1}

太陽放射照度の変化や火山性エアロゾルは、自然起源の放射強制力の原因となる(図1.4)。成層圏の火山性エアロゾルによる放射強制力は、大規模な火山の噴火のあと数年間、気候システムに大きな冷却効果をもたらさう。全太陽放射照度における変化は、1750年を基準とした2011年における合計放射強制力のわずか約2%しか寄与していないと算定されている。{WGI SPM C, 図SPM.5, 8.4}

1750年を基準とした2011年における放射強制力

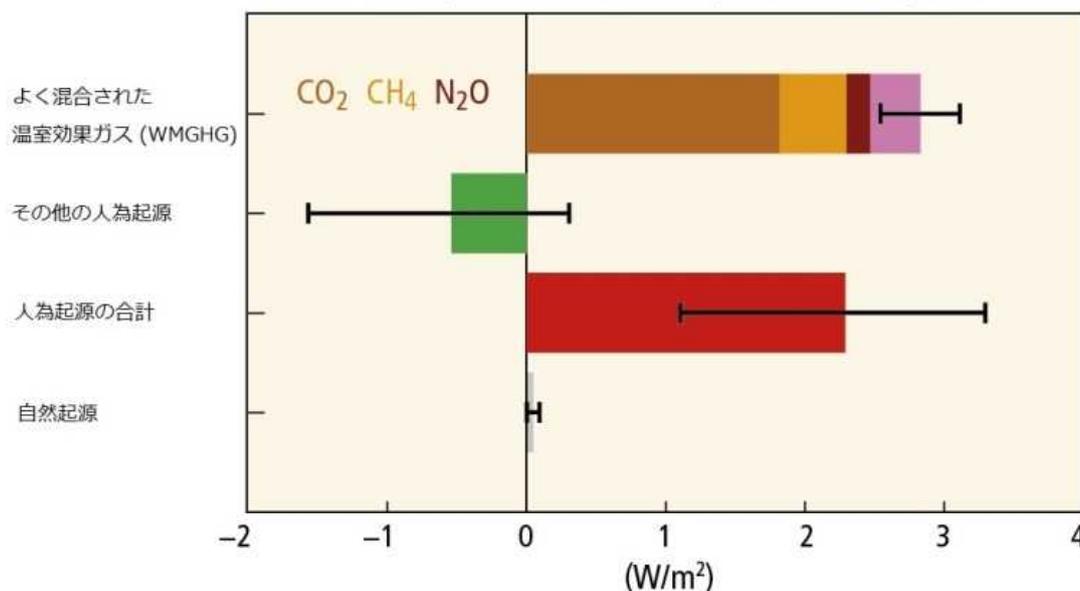


図 1.4: 工業化時代(1750~2011年)における気候変動の放射強制力(RF)。各棒グラフはよく混合された温室効果ガス(WMGHG)、その他の人為起源強制力、人為起源強制力の合計及び自然起源の強制力を示す。エラーバーは5~95%の不確実性を示す。その他の人為起源強制力には、エアロゾル、土地利用による地表面反射率の変化及びオゾンの変化が含まれる。自然起源の強制力には太陽及び火山の影響が含まれる。1750年を基準とした2011年の人為起源の放射強制力の合計は 2.3 W m^{-2} (不確実性の範囲: $1.1 \sim 3.3 \text{ W m}^{-2}$)である。これは、二酸化炭素換算濃度(用語集参照)で430ppm(不確実性の範囲:340~520ppm)に相当する。{WGI 7.5 及び表 8.6 のデータ}

1.2.2 排出の駆動要因に影響を及ぼす人間活動

1750~2011年の人為起源の二酸化炭素の累積排出量のおよそ半分は、過去40年の間に排出されたものである(確信度が高い)。1750~2011年の期間、人為起源二酸化炭素の大気への累積排出量は、2040の累積排出量は、 $2040 \pm 310 \text{ GtCO}_2$ であった。1970年以降の化石燃料燃焼、セメント製造、ガスフレアリングからの累積 CO_2 排出量は約3倍になり、林業及びその他の土地利用(FOLU)²²からの累積 CO_2 排出量は約40%増加した(図1.5)²³。2011年における化石燃料の燃焼、セメント製造及びガスフレアリングからの CO_2 の年間排出量は $34.8 \pm 2.9 \text{ GtCO}_2/\text{年}$ であった。林業及びその他の土地利用による2002~2011年の年間排出量の平均は $3.3 \pm 2.9 \text{ GtCO}_2/\text{年}$ であった。{WGI 6.3.1, 6.3.2, WGIII SPM.3}

²²熱収支と平衡気候感度(大気中の二酸化炭素濃度の倍増を仮定した時の長期的地上気温上昇)の関係は、地上気温上昇が宇宙空間への放射を増大させ、地球が保持する熱量の増加を弱めるようにはたらくことから生じる。ある地上気温の上昇量に対し宇宙空間への放射がどれだけ増大するかは、平衡気候感度を定めるフィードバック過程(例えば、雲フィードバック、水蒸気フィードバック)と同じ過程に依存する。

²³ WGI 6.3 からの数値を GtCO_2 の単位に換算した。第3作業部会による累積排出量{WGIII SPM.3, TS.2.1}との僅かな差異は、四捨五入の方法の違い、最終年の違い及び FOLU からの排出量について異なるデータセットを使用したことによる。不確実性を考慮すると、推定値は極めて近い値を保持している。

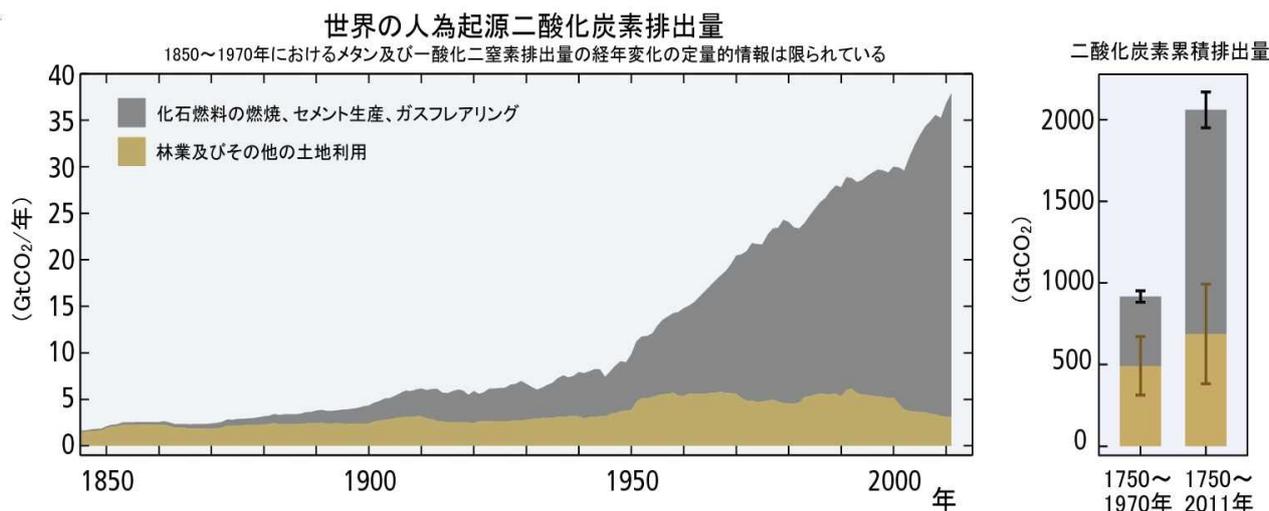


図1.5: 1750～2011年の期間における化石燃料の燃焼、セメント生産、ガスフレアリング並びに林業及びその他の土地利用(FOLU)による世界の人為起源二酸化炭素の年間排出量(GtCO₂/年)。累積排出量とそれらの不確実性は、右側にそれぞれ棒グラフとエラーバーで示している。メタンと一酸化二窒素の排出量の蓄積の世界規模の効果は、図1.3に示される。1970～2010年の温室効果ガス排出量データは図1.6に示されている。{WGI 図TS.4及び WGIII 図TS.2を改変}

この人為起源二酸化炭素の排出量の約40%が、1750年以降大気中に残留している(880 ± 35 GtCO₂)。残りは吸収源によって大気から取り除かれ、自然の炭素循環の貯蔵庫に蓄積された。海洋吸収及び土壌を含む植生による吸収源は、二酸化炭素累積排出量の残差を同程度に占めている。海洋は排出された人為起源の二酸化炭素の約30%を吸収し、海洋酸性化を引き起こしている。{WGI 3.8.1, 6.3.1}

人為起源のGHG年間排出量は、1970～2010年にわたって増え続け、2000～2010年はより大きな明白な増加を見せている(確信度が高い)。気候変動を緩和する政策が増えているにもかかわらず、人為起源の温室効果ガス総排出量は、1970～2010年にかけては平均で毎年4億トンCO₂換算(1.3%)ずつ増加していたが、2000～2010年にかけては平均で毎年10億トンCO₂換算(2.2%)ずつ、増えている(図1.6)。²⁴ 人為起源のGHGの総排出量は、2000～2010年で人類史上最高値に達し、2010年には490(±45)億トンCO₂換算/年になった。2007/2008年の世界経済危機の時期は一時的に排出量が減少したに過ぎなかった。{WG III SPM.3 1.3, 5.2, 13.3, 15.2.2, Box TS.5, 図15.1}

1970～2010年の期間におけるGHG総排出量の増加の約78%を化石燃料の燃焼及び工業プロセスから排出される二酸化炭素が占めており、2000～2010年の期間も同程度のパーセンテージで寄与している(確信度が高い)。化石燃料関連のCO₂排出量は、2010年には、320(±27)億トン/年に達し、さらに2010年から2011年の間では3%増加し、2011年から2012年の間では1～2%増加した。CO₂は依然として主要な人為起源のGHGであり、その量は、2010年の全ての人為起源のGHG排出量の76%を占めた。総排出量のうち、16%がメタン(CH₄)由来及び6.2%が一酸化二窒素(N₂O)、2.0%はフッ素化ガス由来である(図1.6)²⁵。1970年以降、人為起源のGHG排出の年間約25%はCO₂以外の気体であった²⁶。{WGIII SPM.3, 1.2, 5.2}

²⁴ 二酸化炭素換算排出量は、異なる温室効果ガスの排出量を比較する共通尺度である。統合報告書を通して、過去の温室効果ガス排 GtCO₂ eq の単位で提供される場合は、特に明記しない限り、IPCC 第2次評価報告書(SAR)から取り入れているタイムスケール100年での地球温暖化係数(GWP₁₀₀)によってデータが重み付けされている。{Box 3.2, 用語集}

²⁵ SARからの地球温暖化係数GWP₁₀₀値の代わりに第5次評価報告書WGI 8.7からの最新GWP₁₀₀値を用いると、世界の温室効果ガス総排出量はわずかに高くなり(1年あたり52GtCO₂換算)、二酸化炭素以外の気体の排出量が占める割合は、メタンが20%、一酸化二窒素が5%、及びフッ素化ガスが2.2%となる。

²⁶ この報告書におけるフッ素化ガスを含む二酸化炭素以外の温室効果ガスに関するデータは、EDGAR データベース(WGIII 付録II.9)から取られている。これは、京都議定書第一次約束期間で対象となった物質を扱っている。

人為起源温室効果ガスのガス種別年間総排出量1970～2010年

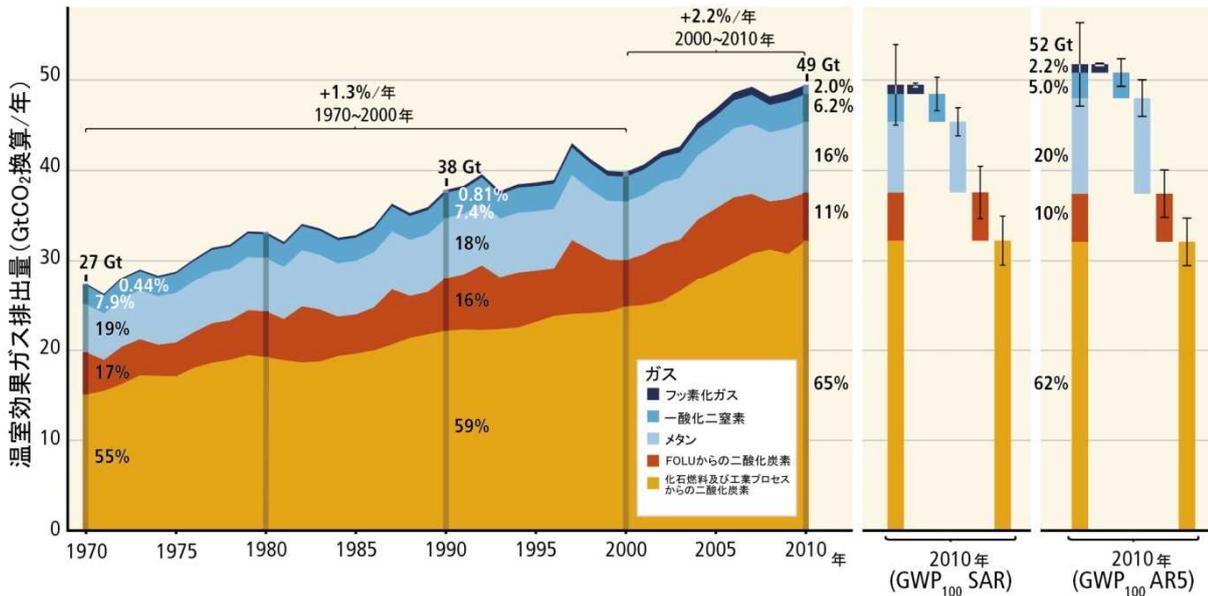


図1.6: 1970～2010年におけるガス種別人為起源温室効果ガス(GHG)年間総排出量(1年あたりCO₂換算ギガ(10億)トン、GtCO₂換算/年):化石燃料の燃焼及び工業プロセス由来の二酸化炭素、林業及びその他の土地利用(FOLU)による二酸化炭素、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)、京都議定書対象の規定に含まれるフッ素化ガス(F-ガス)。右側には、第2次評価報告書(SAR)及び第5次評価報告書(AR5)による(地球温暖化係数の)値に基づいた二酸化炭素換算排出量の重み付け係数をそれぞれ用いた2010年の排出量を示した。特に明記しない限り、本報告書における二酸化炭素換算排出量は、SARによる地球温暖化係数100年値(GWP₁₀₀)に基づいて計算された京都議定書対象ガス(二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素及びフッ素化ガス)を含んでいる(用語集を参照)。AR5による最新の地球温暖化係数100年値を用いると(右側の棒グラフ)、メタンの寄与が増大するため、温室効果ガス年間総排出量はより大きくなるが(52 GtCO₂換算/年)、長期変化傾向を著しく変えるものではない。他の指標を用いると、それぞれのガスの寄与が変化するだろう(Box 3.2参照)。2010年の値は、要素毎に不確実性(90%の信頼区間)を示すエラーバーを付けて、再掲したものである。化石燃料燃焼由来の世界全体の二酸化炭素排出量は、8%(90%の信頼区間)の不確実性マージンを持つことが知られている。FOLU部門からの二酸化炭素排出量には非常に大きな(±50%程度)不確実性がある。メタン、一酸化二窒素、フッ素化ガスの世界の排出量の不確実性は、それぞれ20%、60%、20%と推定されている。本報告書のためにデータを切り出した時点で、全ての気体の排出量統計及び不確実性の評価が基本的に完了した直近の年が2010年である。不確実性の見積りは、排出量の不確実性のみから構成されており、(WGI 8.7に示されており)地球温暖化係数の不確実性は考慮していない。{WGIII 図SPM.1}

2000年から2010年までに、人為起源のGHGの年間排出量は約100億トンCO₂換算増加した。この増加を部門別にみると、エネルギー供給部門(47%)と産業部門(30%)、運輸部門(11%)、建設部門(3%)からのものである(確信度が中程度)。間接的な排出で評価すると、建築及び産業部門の寄与が大きくなる(確信度が高い)。2000年以降、GHGの排出量が農業、林業及びその他の土地利用(AFOLU)部門以外の全部門で増加し続けている。2010年は、GHG排出量の35%がエネルギー供給部門由来であり、24%がAFOLU部門(正味の排出量)、21%が産業部門、14%が運輸部門、6.4%が建築部門由来であった。電力及び熱生産からの排出を最終消費の部門(すなわち間接排出)に帰属させると、産業及び建築部門のGHG排出はそれぞれ31%、19%に増加する(図1.7)。{WGIII SPM.3, 7.3, 8.1, 9.2, 10.3, 11.2} 100年基準の地球温暖化係数GWP₁₀₀以外の指標に基づく様々な部門からの寄与についてはBox 3.2も参照のこと。

経済部門別の温室効果ガス排出量

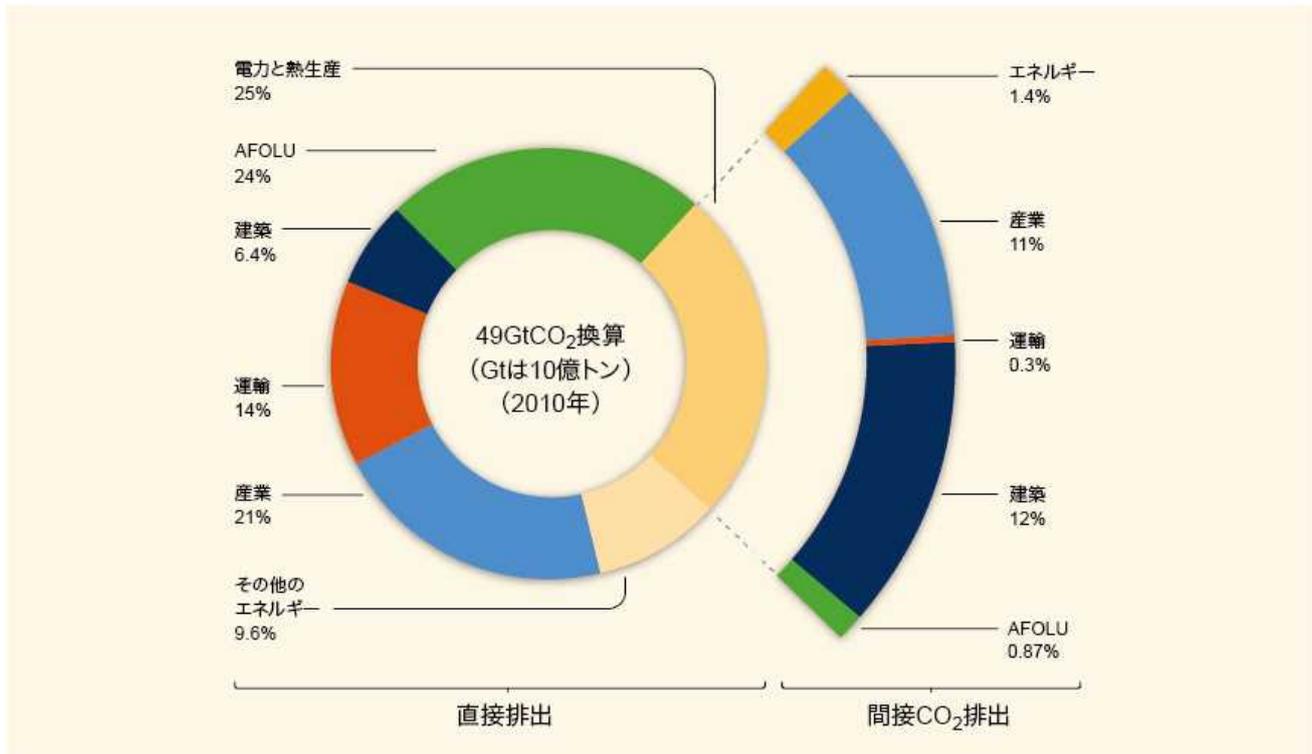


図1.7: 2010年における経済部門別の人為起源のGHGの年間総排出量(GtCO₂換算/年)。円グラフは2010年の5つの経済部門からの温室効果ガスの直接排出の割合(人為起源温室効果ガス総排出量に対する%)を示している。引き出した図は、電力と熱生産からの間接的CO₂排出を最終エネルギー消費部門に振り分けた割合(人為起源温室効果ガス総排出量に対する%)を示している。「その他のエネルギー」はWGIII報告書付録IIで定義されているように、電力と熱生産部門以外のエネルギー部門における全GHG排出源を指す[WGIII 付録 II.9.1]。農林業及びその他の土地利用(AFOLU)部門からの排出データには、WGIII報告書の11章に記載される林業及びその他の土地利用(FOLU)準部門からの正味のCO₂フラックスにほぼ相当する、森林・泥炭火災、及び泥炭分解からの土地利用ベースの正味のCO₂フラックスが含まれている。排出量はIPCC第2次評価報告書の100年基準の温暖化係数GWP₁₀₀を基にCO₂に換算されている。部門の定義はWGIII付録II.9に示している。[WGIII 図SPM.2]

世界的には、経済成長と人口増加が、化石燃料燃焼によるCO₂排出量増加の最も重要な駆動要因となっている状態が続いている。2000～2010年の期間における人口増加の寄与はそれ以前の30年とほぼ同じである一方、経済成長の寄与が大きく伸びている。(確信度が高い)。2000年～2010年の期間では、これらの要因(経済成長と人口増加)がGDPのエネルギー原単位の改善による排出削減を凌駕した(図1.8)。他のエネルギー源と比べて石炭の使用量が増加したことにより、世界のエネルギー供給が徐々に低炭素化するという長期的傾向(すなわち、エネルギーの炭素強度の低減)が逆転した。[WGIII SPM.3, TS.2.2, 1.3, 5.3, 7.2, 7.3, 14.3]

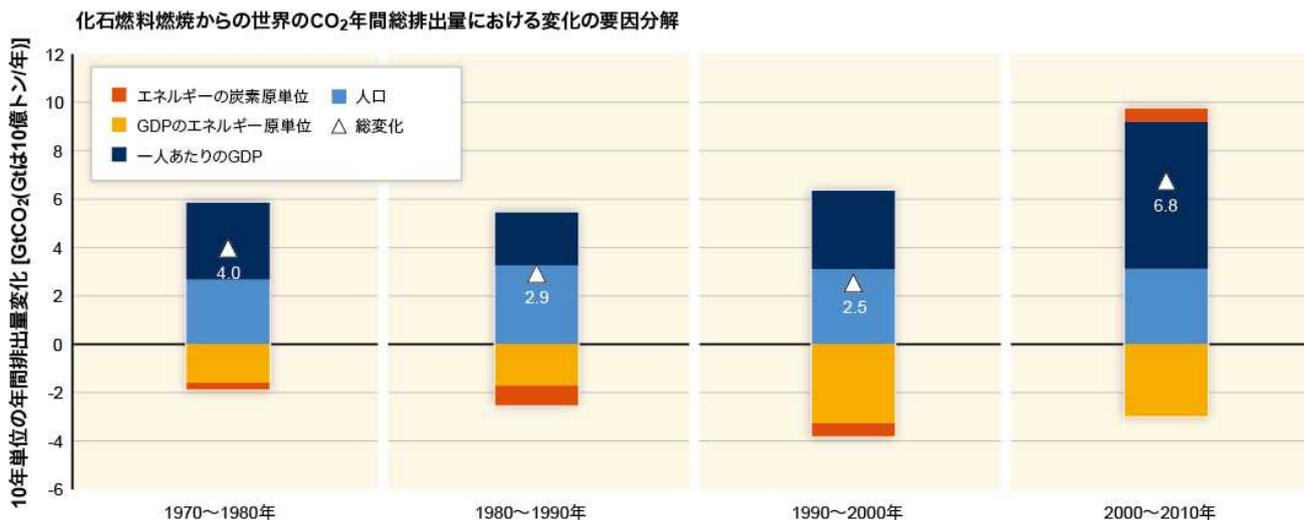


図 1.8:

10年毎の化石燃料燃焼由来のCO₂年間総排出量変化の要因分解:人口、1人あたりの所得(GDP)、GDPのエネルギー原単位、及びエネルギーの炭素原単位の4つの駆動要因に分解。棒のそれぞれの区間は、他の要因を一定に保った場合の、それぞれの要因単独での変化を表している。排出量の総変化は△で示してある。それぞれの10年間の排出量の変化は年当たりのGt(10億トン)単位のCO₂[GtCO₂/年]で評価されている。所得は購買力平価を用いて、共通単位に変換した。。(WGI/III SPM.3)

1.3 気候変動及びその影響の原因特定

気候システムに対する人為的影響に関する証拠は、AR4以降増加し続けている。気候に対する人為的影響は、大気と海洋の温暖化、世界の水循環の変化、雪氷の減少及び世界平均海面水位の上昇において検出されている；そして人間による影響が20世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な原因であった可能性が極めて高い。ここ数十年、気候変動は、全ての大陸と海洋にわたり、自然及び人間システムに影響を与えている。影響は観測された気候変動によるものであり、その原因とは関わりなく、変化する気候に対する自然及び人間システムの感度を示している。

気候システムにおいてだけでなく、気候から影響を受ける自然システムあるいは人間システムにおいて観測された変化の要因は、一貫した一連の方法にしたがって立証される。検出することで、気候もしくは気候からの影響を受ける自然システムあるいは人間システムが、統計的な意味で実際に変化したかという問いに対処することになる。一方、原因特定においては、観測された変化あるいは事象に対する様々な原因因子の相対的寄与について統計的確信度を割り当てて評価する。²⁷ 気候変動の原因を特定することにより、観測された気候変動と人間活動のみならず他の自然起源の気候の駆動要因との間の関係が定量化される。対照的に、観測された影響の原因が気候変動であると特定する場合は、その原因に関わらず、自然システムあるいは人間システムにおいて観測された変化と観測された気候変動との関係を検討する。気候変動の原因特定に関する研究の成果は、放射強制力の変化に対応する温暖化の程度の見積りを提供することにより、将来の気候変動予測を裏付ける(トピック2参照)。影響の原因を気候変動と特定する研究の成果は、将来の気候変動に対する自然システムあるいは人間システムの感受性を強く示す指標を提供する。(WGI 10.8, WGII SPM A-1, WGI/II/III/SYR用語集)

1.3.1 気候システムに人間と自然が及ぼす影響の気候変動への原因特定

²⁷定義は、「人為起源の気候変動に関連する検出と原因特定に関するIPCC専門家会議で合意された成果物である、検出と原因特定に関する優良実践の手引書」より引用；用語集参照

1951年から2010年の世界平均地上気温の観測された上昇の半分以上は、温室効果ガス濃度の人為的増加とその他の人為起源強制力の組合せによって引き起こされた可能性が極めて高い(図1.9)。温暖化に対する人為起源の寄与の最良の見積りは、この期間において観測された温暖化と同程度である。1951年から2010年の期間にわたる世界平均地上気温の上昇に対する、温室効果ガスの寄与は0.5~1.3°Cの範囲である可能性が高く、加えてエアロゾルの冷却効果を含むそれ以外の人為起源強制力、自然起源の強制力及び自然起源の内部変動性の寄与もある(図1.9を参照)。これらの評価された寄与の合計は、同じ期間に観測された約0.6~0.7°Cの温度上昇と整合している。{WGI SPM D.3, 10.3.1}

人為起源の影響、特に温室効果ガスの増加と成層圏オゾンの破壊は、1961年以降の対流圏の温暖化という検出可能な観測された分布と、それに対応する下部成層圏の寒冷化をもたらした可能性が非常に高い。{WGI SPM D.3, 2.4.4, 9.4.1, 10.3.1}

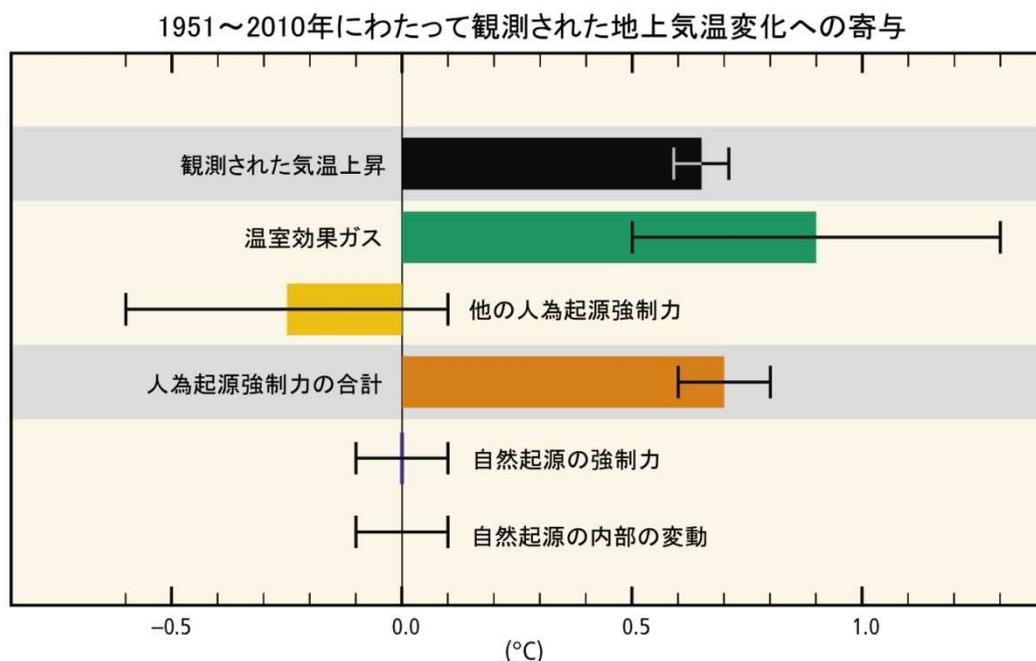


図 1.9: 1951~2010年の期間における気温上昇の変化傾向に対して評価された、各強制力の寄与の可能性が高い範囲(エラーバー)及びその中間値(棒グラフ)。原因となる、よく混合された温室効果ガス、他の人為起源強制力(エアロゾルの冷却効果や土地利用変化の効果を含む)、合算した人為起源強制力、自然起源の強制力及び自然起源の気候の内部変動性(強制力がなくても気候システム内部で自然に生じる気候変動性の要素)の寄与をそれぞれ示す。観測された地上気温変化は黒い棒グラフで、観測の不確実性に起因する5~95%の不確実性の範囲を合わせて示してある。原因として特定された気温上昇の幅(色)は、観測値と、観測された気温上昇に対する個々の外部強制力の寄与を見積もる気候モデルシミュレーションを合わせた結果に基づいている。合算した人為起源強制力の寄与は、温室効果ガスからの寄与と他の人為起源強制力からの寄与を別々に見積もるよりも小さい不確実性で見積もられる。これは、二つの寄与が部分的に相殺され、その結果、シグナルが観測値とよりよく整合することによっている。{図 WGI TS.10に基づく}

南極を除くすべての大陸域において、20世紀半ば以降の地上気温の上昇に人為起源強制力がかなり寄与をしていた可能性が高い(図1.10)。南極大陸については、観測の不確実性が大きいため、利用可能な気象観測点にわたる平均として観測された温暖化に人為起源強制力が寄与していたことについての確信度は低い。対照的に、20世紀半ば以降の北極域の大幅な温暖化に対して人為起源の寄与があった可能性は高い。人為的影響は多くの亜大陸域における昇温に寄与した可能性が高い。{WGI SPM D.3, TS.4.8, 10.3.1}

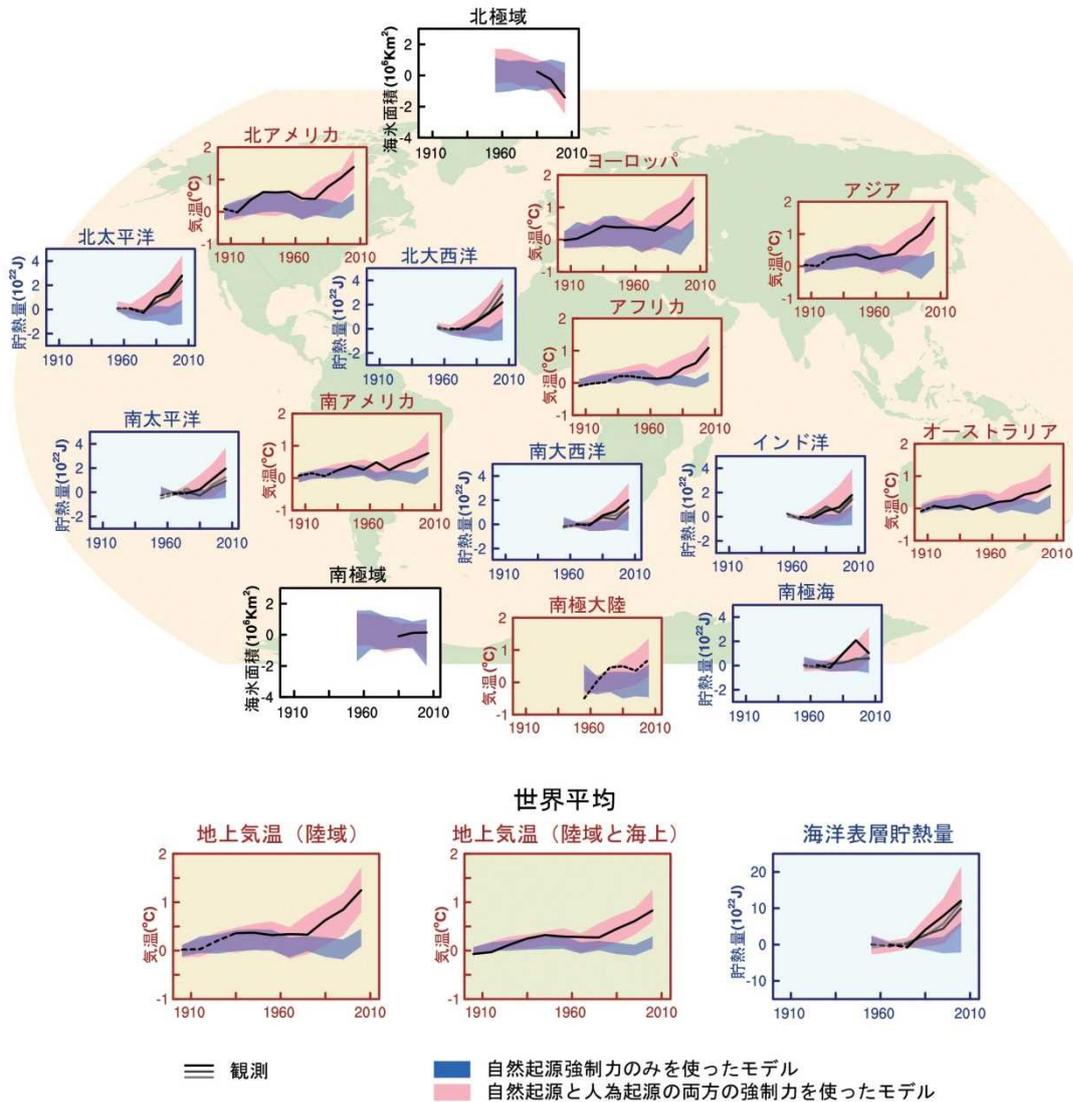


図 1.10: 観測及びシミュレーションにより再現された変化の比較。大陸上の地上気温の変化(黄背景の図)、北極域及び南極域の 9 月の海氷面積(白背景の図)の変化、主要な海域における海洋表層の貯熱量(青背景の図)の変化。世界平均の変化も示す。地上気温については、1880~1919 年平均、海洋貯熱量については 1960~1980 年平均、海氷については 1979~1999 年平均を基準とした偏差を示している。時系列は全て 10 年平均で、10 年間の中心年の位置に表示している。気温の図では、調査がなされた領域の空間被覆率が 50%以下である場合には、観測値は破線で示される。海洋貯熱量と海氷の図では、データ被覆率が良好で品質がより高い年代は実線で、データ被覆率がかろうじて妥当な水準でそのため不確実性が大きい年代は破線で示される(異なる線は異なるデータセットを示すことに注意; 詳細は WG1 図 SPM.6 参照)。モデル結果として第 5 期結合モデル相互比較計画 (CMIP5) の複数のモデルによるアンサンブル平均の範囲を示しており、陰影部分は 5~95%の信頼区間を示している。{WG1 図 SPM 6; 詳細は WG1 図 TS.12 参照}

1979 年以降の北極域の海氷の減少に人為的影響が寄与していた可能性が非常に高い (図 1.10)。南極海の海氷面積にわずかな増加が観測されていることの科学的理解については確信度が低い。これは、変化の要因の科学的説明が不完全かつ互いに競合していることと、南極域の自然起源の内部変動性の大きさの見積りの確信度が低いためである。{WGI SPM D.3, 10.5.1, 図 10.16}

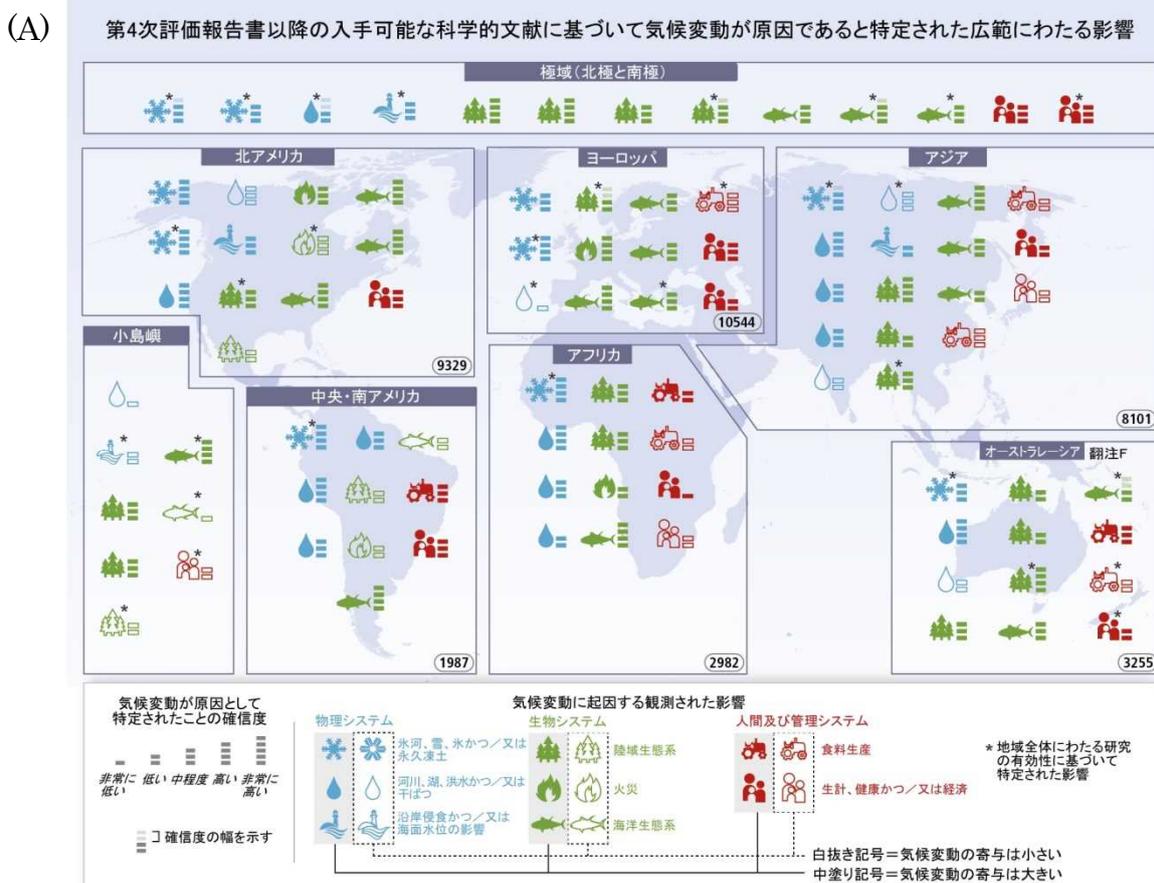
1960 年代以降の氷河の後退と、1993 年以降のグリーンランド氷床の表面融解量の増加に人為的影響が寄与していた可能性が高い。しかし、科学的理解の水準が低いため、過去 20 年間にわたって観測されている南極氷床の質量損失の原因特定については確信度が低い。観測されている 1970 年以降の北半球の春季の積雪面積の減少に人為的寄与があった可能性が高い。{WGI 4.3.3, 10.5.2, 10.5.3}

1960年以降の世界の水循環に人為的影響があった可能性が高い。人為的影響は、大気中に含まれる水蒸気量の観測された増加（確信度が中程度）、陸上の降水分布の世界規模での変化（確信度が中程度）、十分なデータがある陸域における大雨の強まり（確信度が中程度；第1.4節参照）、海面や海洋表層の塩分の変化（可能性が非常に高い）に寄与している。{WGI SPM D.3, 2.5.1, 2.6.2, 3.3.2, 3.3.3, 7.6.2, 10.3.2, 10.4.2, 10.6}

人為起源強制力は、1970年代以降に観測された世界の海洋表層の貯熱量（0～700m）の増加にかなり寄与していた可能性が非常に高い（図1.10）。個別の海域のいくつかにおいて人為的影響の証拠がある。1970年代以降の世界平均海面水位の上昇にかなりの人為起源の寄与があった可能性が非常に高い。これは、熱膨張と氷河質量損失という海面水位上昇の二大要因に対する人為的影響の確信度が高いことに基づいている。人為起源の二酸化炭素の海洋による吸収は、海洋表面水の漸進的酸性化の原因になっている（確信度が高い）。{WGI SPM D.3, 3.2.3, 3.8.2, 10.4.1, 10.4.3, 10.4.4, 10.5.2, 13.3, Box 3.2, TS 4.4, WGII 6.1.1.2, Box CC-OA}

1.3.2 気候変動に起因する観測された影響

ここ数十年、気候変動は、全ての大陸と海洋にわたり、自然及び人間システムに影響を与えている。影響は観測された気候変動によるものであり、その原因とは関わりなく、変化する気候に対する自然及び人間システムの感度を示している。観測された気候変動の影響の証拠は自然システムにおいて最も強くかつ最も包括的に現れている。人間システムに対する影響の一部も気候変動が原因として特定され、他の影響から区別可能な気候変動の影響を大なり小なり伴っている（図1.11）。人間システムへの影響はしばしば地理的に不均一である。これは、影響が気候変数における変化のみならず社会的、経済的要因にも依存するからである。したがって、地方レベルで変化を観測するのはより容易である一方、原因特定は難しいままになる可能性がある。{WGII SPM A-1, SPM A-3, 18.1, 18.3-18.6}



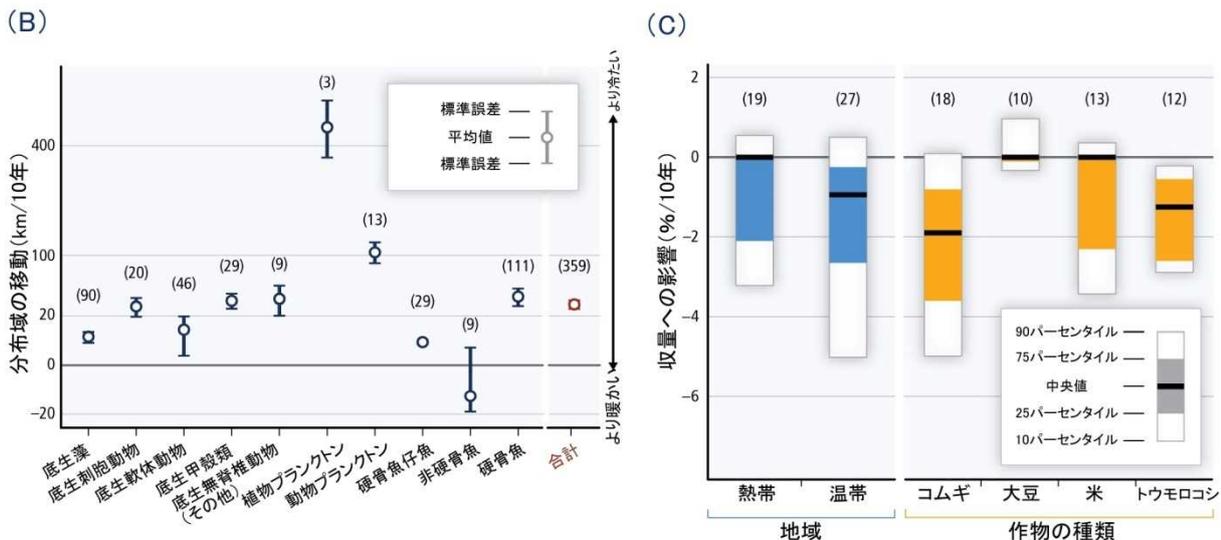


図1.11: 変化する世界において広範囲に及ぶ影響。(A)AR4以降の入手可能な研究に基づく、ここ数十年におけるかなり多くの影響が、今では気候変動に原因特定されている。原因特定には、気候変動が果たす役割について定義された科学的証拠が必要である。気候変動に原因特定される追加的影響がこの地図上に示されていないことも意味するものではない。気候変動に起因する影響を裏付ける文献は知識基盤の拡大を反映しているが、文献は多くの地域、システム及びプロセスについて未だに限定的であり、データ及び研究におけるギャップを浮き彫りにしている。記号は、気候変動に起因する影響の項目を示しており、観測された影響に対する気候変動の相対的寄与度(大もしくは小)及び気候変動を原因として特定した確信度を示す。各記号は、第2作業部会報告書表SPM.A1の1つあるいはそれ以上の事項を参照しており、関連する地域規模の影響をグループ化している。楕円中の数字は2001~2010年の間に公表された気候変動に関する文献の地域別の総数で、英語による文献を対象とするスコパス文献データベースにおける表題、要旨またはキーワードで言及されている各国名に基づいている(2011年7月現在)。これらの数字は気候変動に関する入手可能な研究文献について地域間を比較する総合的尺度を与えているが、各地域における気候変動影響の原因特定を裏付ける公表文献数を示すものではない。文献を原因特定評価に含めるかどうかに関しては、第2作業部会報告書第18章で定義されているIPCCの科学的証拠の判定基準に従った。極域及び小島嶼に関する研究は隣接する大陸地域のものに合わせて分類している。原因特定の解析で検討された公表文献は、AR5第2作業部会報告書で評価されたより広範囲に及ぶ文献に由来する。原因特定された影響に関する説明については、第2作業部会報告書の表SPM.A1を参照されたい。(B)1900~2010年の観測に基づく海生動物植物群の分布域の平均移動速度(km/10年)。温暖化に対応した移動方向を正で示している。(かつてはより低温だった水域への移動。一般に極方向に移動。)分析された応答の数を分類群ごとに示した。(C)1960~2013年に観測された気候変動が、温帯及び熱帯地域における主要4作物の収量に及ぼしたと推定される影響の要約。分析されたデータ地点数も各分類群の括弧内に示した。{WGII 図SPM.2.Box TS.1図1}

多くの地域において、降水量又は雪氷の融解の変化が水文システムを変化させ、量と質の面で水資源に影響を与えている(確信度が中程度)。気候変動によって、ほぼ世界中で氷河が縮小し続けており(確信度が高い)、流出や下流の水資源に影響を及ぼしている(確信度が中程度)。気候変動が高緯度地域や標高の高い地域で永久凍土の温度上昇や融解を引き起こしている(確信度が高い)。
{WGII SPM A-1}

陸域、淡水及び海洋の多くの生物種は、進行中の気候変動に対応して、その生息域、季節的活動、移動パターン、生息数及び生物種の相互作用を変移させている(確信度が高い)。今までのところ、近年に発生した生物種の絶滅において、気候変動に起因すると特定されているものは僅かであるが(確信度が高い)、現在の人為起源の気候変動よりも遅い速度の世界的な自然起源の気候変動は、過去数百万年の間に重大な生態系の遷移や種の絶滅をもたらした(確信度が高い)。世界中の多くの場所で観測されている樹木の枯死の増加は、いくつかの地域において気候変動が原因とされている。干ばつ、暴風、火災、害虫発生といった生態系擾乱の頻度又は強度の増大が、世界の多くの地域で検出されてきており、気候変動が原因とされるものもある(確信度が中程度)。ここ数十年にわたりすべての海盆で行われた多数の観測によると、気候の変化傾向を追従するように、海洋の魚類、無脊椎動物及び植物プランクトンは、生息数を変化させ、その分布を極方向かつ/又はより深くより低

温の水域へと移動させてきていて（確信度が非常に高い）、生態系構成が変化（確信度が高い）していることが示されている。一部の暖水性の造礁サンゴやそのサンゴ礁は、温暖化に対し、生息地消失の原因になる生物種の置き換わり、白化及びサンゴ礁被覆の減少という形で応答してきた（確信度が高い）。翼足類及び有孔虫の殻の薄弱化（確信度が中程度）からサンゴの成長率の低下（確信度が低い）まで、海洋生物に対する海洋酸性化の影響の一部は、人為的影響に起因するとされている。水温が上昇して成層化が進んだ海洋において、大気に接していた海水の海洋内部への潜りこみ及び酸素溶解度が低下したことにより、酸素極小域が熱帯太平洋、大西洋及びインド洋で徐々に拡大しており、魚類の生息域を狭めている（確信度が中程度）。{WGII SPM A-1, 表 SPM.A1, TS A-1, 6.3.2.5, 6.3.3, 18.3–18.4, 30.5.1.1, Box CC-OA, Box CC-CR}

広範囲にわたる地域や作物を網羅している多くの研究の評価によると、作物収量に対する気候変動の負の影響は、正の影響に比べてより一般的にみられる（確信度が高い）。正の影響を示す比較的少ない数の研究は、主に高緯度地域に関連しているが、それらの地域で影響の収支が正か負かはまだ明らかになっていない（確信度が高い）。気候変動は、多くの地域及び世界全体の総計で見ると、コムギやトウモロコシの収量に負の影響を及ぼしてきた（確信度が中程度）。米と大豆の収量に対する影響は主要生産地域及び世界で比較的小規模であり、利用可能なデータ全体で、収量変化の中央値はゼロである。ただし、大豆についての利用可能なデータは他の作物に比べて少ない（図1.11C参照）。観測された影響は、食料安全保障上の食料の入手可能性あるいはその他の項目よりも、主に食料安全保障の生産面に関連している。AR4以降、主要生産地域における気候の極端現象による食料や穀物価格の複数期間での急速な上昇は、他の要因の中でも気候の極端現象に対して現在の市場が敏感であることを示している（確信度が中程度）。{WGII SPM A-1}

現在のところ、気候変動による人間の健康障害により世界規模で生じている負担は、他のストレス要因の影響に比べて相対的に小さく、十分に定量化されていない。しかし、一部の地域では温暖化の結果として暑熱に関連する死亡率が増加し、寒さに関連する死亡率が減少してきている（確信度が中程度）。気温や降水量の局地的変化は、一部の水媒介性感染症や病原媒介生物の分布を変化させてきた（確信度が中程度）。{WGII SPM A-1}

気候変動の「連鎖的」影響は現在、物理的気候から中間的システムを通して人々へとつながる一連の証拠に沿って、原因特定されうる。（図1.12）連鎖反応になだれ込む気候の変化は、人為的駆動要因に関連付けられる場合（例えば、北米西部における春季の雪塊中の水量の減少）もあれば、連鎖反応につながる観測された気候変動の原因の評価が入手可能でない場合もある。すべての場合において、各々の影響の連鎖の下流に行けば行くほど、観測された気候変動を検出しそれに原因を特定する確信度は低下する。{WGII 18.6.3}

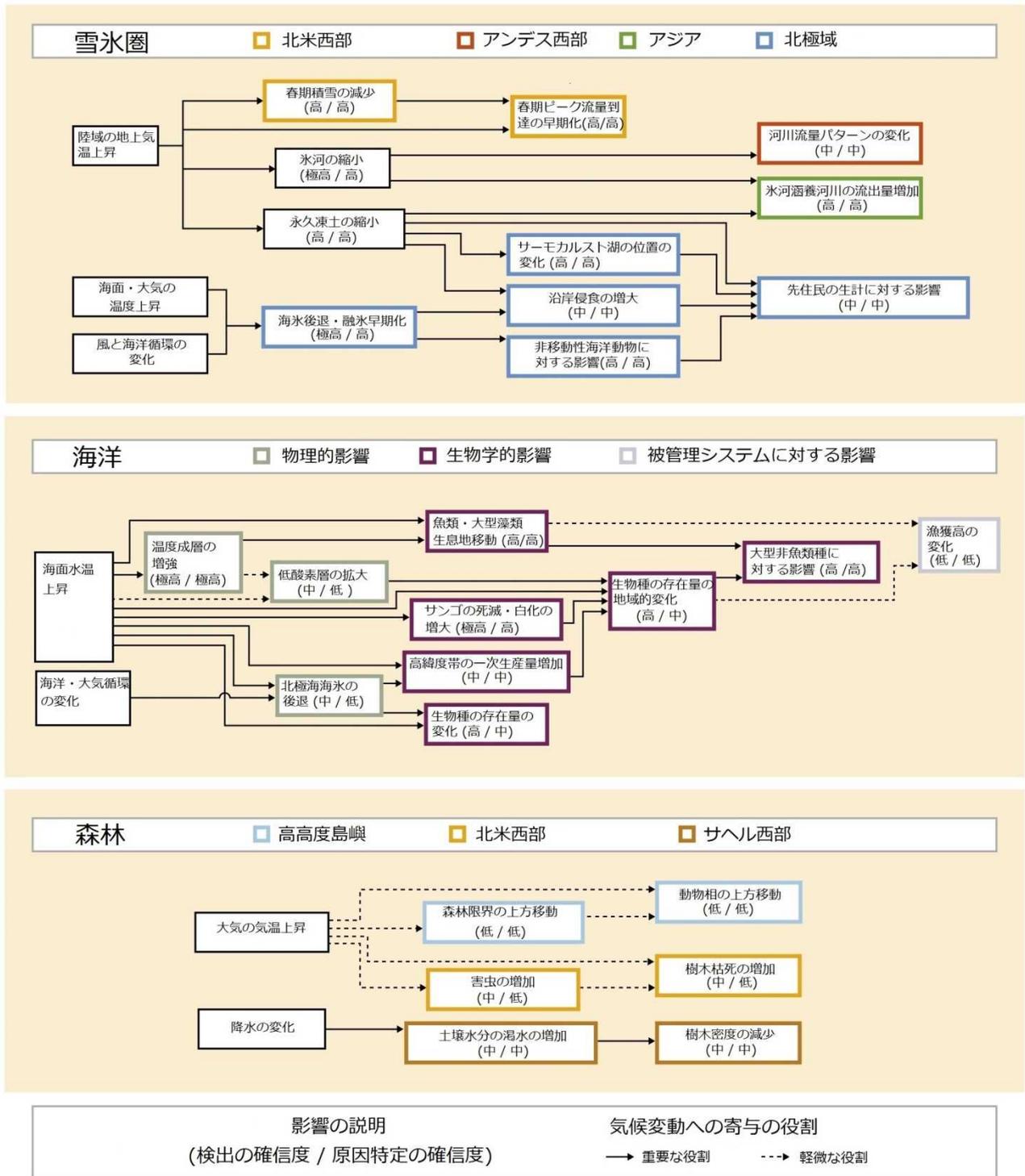


図 1.12: 複数の自然及び人間のサブシステムを通して近年の気候変動から受ける相互に関連した「連鎖的」影響の存在を新たな証拠が示す主要なシステム。気候変動影響の検出及び観測された影響が気候変動に原因を特定できることの確信度は、括弧内に示す。気候変動の役割が重大なものは実線の矢印、軽微なものは破線の矢印で示した。初期の証拠が示すところによると、海洋酸性化は、人間システムに与える影響に関して海洋温暖化と類似した変化傾向を辿っている。[WGII 図 18-4]

1.4 極端現象

1950年頃以降、多くの極端な気象及び気候現象の変化が観測されてきた。これらの変化の中には人為的影響と関連づけられるものもあり、その中には極端な低温の減少、極端な高温の増加、極端に高い潮位の増加、及び多くの地域における強い降水現象の回数の増加といった変化が含まれる。

世界規模で、寒い日や寒い夜の日数が減少し、暑い日や暑い夜の日数が増加している**可能性が非常に高い**。ヨーロッパ、アジア、オーストラリア各地域の大部分で熱波の頻度が増加している**可能性が高い**。20世紀半ば以降において日別の極端な気温の頻度や程度の世界規模の変化が観測されていることに人為的な影響が寄与している**可能性が非常に高い**。いくつかの場所で人為的影響により熱波の発生確率が2倍以上になっている**可能性が高い**。{WGI SPM B.1, SPM D.3, 表SPM.1, FAQ 2.2, 2.6.1, 10.6}

観測されている温暖化により、いくつかの地域において暑熱に関連する人間の死亡率が増加し、寒さに関連する死亡率が減少していることの**確信度は中程度**である。極端な暑熱事象が現在、北米において死亡率及び罹病率の増加をもたらした（**確信度が非常に高い**）、ヨーロッパにおいては人々の年齢、場所及び社会経済的要因によって異なる影響力を伴って、死亡率及び罹病率の増加をもたらしている（**確信度が高い**）。{WGII SPM A-1, 11.4.1, 表23-1, 26.6.1.2}

陸域での強い降水現象の回数が増加している地域は、減少している地域よりも多い**可能性が高い**。強い降水現象の頻度及び強度は、北アメリカとヨーロッパで増加している**可能性が高い**。他の大陸では、降水現象の変化傾向についての**確信度はせいぜい中程度**である。世界全体の地表面付近及び対流圏の大気比湿は、1970年代以降に増加した**可能性が非常に高い**。評価に十分な観測がある陸域においては、20世紀後半の地球規模での大雨の強まりに人為起源の放射強制力が寄与したことの**確信度は中程度**である。{WGI SPM B-1, 2.5.1, 2.5.4-2.5.5, 2.6.2, 10.6, 表SPM.1, FAQ 2.2, SREX 表3-1, 3-2}

人為起源の気候変動が世界規模で河川の氾濫の頻度及び規模に影響を及ぼしてきたことについての**確信度は低い**。主として管理されていない流域における長期記録の欠如が原因で、証拠の頑強さが限られている。さらに、洪水は流域に影響を与える人間活動に強く影響されることが、検出された変化を気候変動に原因特定することを難しくしている。しかし、いくつかの流域において、極端な降水と流量の増加傾向が最近検出されており、地域規模での洪水リスクが増大していることを示唆している（**確信度が中程度**）。1970年代以降、洪水被害に関連するコストは世界規模で増大してきたが、このコスト増大の一部は人々や資産の曝露が増大したことにもよっている。{WGI 2.6.2, WGII 3.2.7, SREX SPM B}

干ばつについて世界規模で観測されている変化傾向に関しては、直接観測の不足、推定される変化傾向が干ばつの定義の選び方に依存すること、また干ばつの変化傾向に地理的な不一致があることから、**確信度は低い**。また、20世紀半ば以降の世界全体の陸域における干ばつの変化の原因特定についての**確信度も低い**。これも同様に、観測の不確実性及び長期の変化傾向から干ばつの数十年規模の変動性を識別することが難しいことによっている。{WGI 表SPM1, 2.6.2.3, 10.6, 図2.33, WGII 3.ES, 3.2.7}

熱帯低気圧の活動度の長期変化が確実であることについて**確信度は低く**、世界規模の変化を何か特定の要因に帰することについての**確信度も低い**。しかし、1970年以降、強い熱帯低気圧の活動度が北大西洋で増加していることは、**ほぼ確実**である。{WGI 表SPM 1, 2.6.3, 10.6}

主に平均海面水位が上昇した結果として、1970年以降、（例えば、高潮の時に経験するような）極端に高い潮位が増加している**可能性が高い**。研究の不足及び沿岸システムに対する他の変容からそういった影響を識別することが難しいため、海面水位上昇の影響についての利用可能な証拠は限られている。{WGI 3.7.4-3.7.6, 図3.15, WGII 5.3.3.2, 18.3}

熱波、干ばつ、洪水、低気圧及び火災といった最近の気候関連の極端現象の影響は、一部の生態系及び多くの人間システムが、現在の気候の変動性に対して深刻な脆弱性を持ち、曝露されていることを明らかにしている（確信度が非常に高い）。そのような気候関連の極端現象の影響には、生態系の変化、食料生産や水供給の断絶、インフラや住居の損害、罹病率や死亡及び精神衛生と人間の福祉への影響が含まれる。いずれの開発段階にある国にとっても、これらの影響は、一部の分野における現在の気候の変動性への備えの重大な欠如と一致する。{WGII SPM A-1, 3.2, 4.2-3, 8.1, 9.3, 10.7, 11.3, 11.7, 13.2, 14.1, 18.6, 22.2.3, 22.3, 23.3.1.2, 24.4.1, 25.6-8, 26.6-7, 30.5, 表18-3, 表23-1, 図26-2, Box 4-3, Box 4-4, Box 25-5, Box 25-6, Box 25-8, Box CC-CR}

気象に関連した災害の損失（直接的損失及び被保険損失）は、ここ数十年で世界的にも地域的にもかなり増加した。人々及び経済資産の曝露が増していることが、気象関連災害及び気候関連災害による経済損失の長期的増加の主因である（確信度が高い）。{WGII 10.7.3, SREX SPM B, 4.5.3.3}

1.5 曝露及び脆弱性

気候変動と極端現象による影響の特徴と重大性は、気候に関連するハザードだけではなく、人間及び自然システムの曝露（リスクにさらされる人々と資産）及び脆弱性（危害に対する感受性）にも依存するリスクから出現する。

曝露と脆弱性は、広範にわたる社会的、経済的及び文化的要因並びに過程に影響されるが、それらはこれまで不完全にしか考慮されておらず、曝露と脆弱性の将来の変化傾向の定量的評価を難しくしている（確信度が高い）。これらの要因として、富とその社会全体にわたる配分、人口動態、移住、技術や情報の利用可能性、雇用パターン、適応による対応の質、社会的価値、ガバナンスの構造及び紛争解決の制度があげられる。{WGII SPM A-3, SREX SPM B}

気候以外の要因や、不均等な開発過程によってしばしばもたらされる多元的不平等から、脆弱性や曝露に違いが生じる（確信度が非常に高い）。これらの違いが気候変動による異なるリスクを形成する。社会的、経済的、文化的、政治的、組織的に、もしくはその他の理由で社会の主流から取り残された人々は、気候変動及び一部の適応及び緩和策に対して特に脆弱である（証拠が中程度、見解一致度が高い）。この脆弱性の増大が単一の原因によることはまれである。むしろ、社会経済的地位及び所得の不平等並びに曝露における不平等を引き起こす社会的過程の交差によってもたらされたものである。そのような社会的過程には、例えば、ジェンダー、階級、民族性、年齢、能力及び障害に基づく差別が含まれる。{WGII SPM A-1; 図 SPM.1, 8.1-8.2, 9.3-9.4, 10.9, 11.1, 11.3-11.5, 12.2-12.5, 13.1-13.3, 14.1-14.3, 18.4, 19.6, 23.5, 25.8, 26.6, 26.8, 28.4, Box CC-GC}

気候関連のハザードは、特に貧困の中で生活する人々にとってしばしば生計に負の結果をもたらしつつ、他のストレス要因を悪化させる（確信度が高い）。気候関連のハザードは、貧困な人々の生活に対し、生計への影響、作物収量の低下、又は住居の崩壊を通じて直接的に影響を与え、また、食料価格の上昇や食料不足等を通じて間接的に影響を与える。貧困層や社会の主流から取り残された人々への正の影響として観測されたものは限られており、間接的であることが多いが、社会的ネットワークや農業慣行の多様化といった事例がある。{WGII SPM A-1, 8.2-8.3, 9.3, 11.3, 13.1-13.3, 22.3, 24.4, 26.8}

暴力的紛争は、気候変動に対する脆弱性を増大させる（証拠が中程度、見解一致度が高い）。大規模な暴力的紛争は、インフラや制度、自然資源、社会資本及び生計の機会など適応を促進する資産に被害をもたらす。{WGII SPM A-1, 12.5, 19.2, 19.6}

1.6 気候変動に対する人間の対応：適応と緩和

歴史を通じて人々や社会は、成功の程度にばらつきはあるものの、気候、気候の変動性及び極端現象に順応し対処してきた。今日の変動する気候の中で、適応と緩和の努力とともに経験を積み重ねることは、学習と改善の機会を与えてくれる。（トピック3及びトピック4参照）{WGII SPM A-2}

世界の人為起源温室効果ガスの排出が増加し続けてはいるが、適応と緩和の経験は各地域や規模にわたって蓄積されつつある。

適応は一部の計画立案過程に組み込まれつつあるが、実施されている対応はより限定的である（**確信度が高い**）。工学的及び技術的選択肢は一般的に実施されている適応策であり、災害リスクマネジメントや水管理のような既存の計画に統合されることが多い。社会、制度、生態系に基づく対策の価値や適応できる範囲に対する認識は高まりつつある。{WGII SPM A-2, 4.4, 5.5, 6.4, 8.3, 9.4, 11.7, 14.1, 14.3-14.4, 15.2-15.5, 17.2-17.3, 21.3, 21.5, 22.4, 23.7, 25.4, 26.8-26.9, 30.6, Box 25-1, Box 25-2, Box 25-9, Box CC-EA}

様々な階層の行政機関が適応計画や政策を策定し始め、より幅広い開発計画の中に気候変動に関する検討を統合しつつある。世界の全ての地域に適応事例がある。（適応の選択肢及びそれらの実施を支援する政策に関する詳細はトピック 4 を参照）{WGII SPM A-2, 22.4, 23.7, 24.4-24.6, 24.9, 25.4, 25.10, 26.7-26.9, 27.3, 28.2, 28.4, 29.3, 29.6, 30.6, 表 25-2, 表 29-3, 図 29-1, Box 5-1, Box 23-3, Box 25-1, Box 25-2, Box 25-9, Box CC-TC}

世界中の多くの地域で緩和活動が行われている一方で、人為起源排出量と気候影響が世界的に増大している。準国家～世界規模の間の様々な緩和イニシアティブが開発され、実施されているが、それらの効果に関する完全な評価は時期尚早であるだろう。{WGIII SPM.3, SPM.5}

トピック 2: 将来の気候変動、リスク及び影響

温室効果ガスの継続的な排出は、更なる温暖化と気候システムの全ての要素に長期にわたる変化をもたらし、それにより、人々や生態系にとって深刻で広範囲にわたる不可逆的な影響を生じる可能性が高まる。気候変動を抑制する場合には、温室効果ガスの排出を大幅かつ持続的に削減する必要があり、適応と合わせて実施することによって、気候変動のリスクの抑制が可能となるだろう。

トピック2では、将来の気候変動及びその結果生じるリスクと影響の予測を評価する。将来の気候変動を決定づける要因（将来の温室効果ガス排出シナリオを含む）の要点を第2.1節で説明する。気候、影響及びリスクを予測するのに用いる手法とツールについての説明、及びそれらのAR4以降の進歩については、Box2.1～2.3に示した。気候システムにおいて予測される変化の詳細は、予測において関連する不確実性及び専門家による確信度も含め、第2.2節に記載されている。気候変動が自然及び人間システムに将来与える影響及び関連するリスクは第2.3節で評価される。第2.4節においては、不可逆的变化、急激な変化及び2100年以降の変化について評価を行ってトピック2を締めくくる。

2.1 将来の気候の主要な駆動要因及び予測を行うための基礎

21世紀終盤及びその後の世界平均の地表面の温暖化の大部分は二酸化炭素の累積排出量によって決められる。温室効果ガス排出量の予測は、社会経済発展と気候政策に依存し、広範にわたる。

気候モデルは地球の気候システムにおける重要な過程を数学的に表現するものである。簡略で理想化されたモデルから、中程度に複雑なモデル、そして炭素循環も再現する地球システムモデル (ESMs) のような包括的な大気大循環モデル (GCMs) まで階層をなす気候モデルの結果が、本報告書で検討されている。大気大循環モデルは大気と海洋の温度、降水量、風、雲、海流及び海水面積といった多くの気候の側面を再現する。モデルは、過去の観測値と比較することにより広くテストされている (Box 2.1)。{WGI 1.5.2, 9.1.2, 9.2, 9.8.1}

気候変動予測を得るために、気候モデルは温室効果ガスや大気汚染物質の排出及び土地利用パターンに関するシナリオに記載されている情報を用いる。シナリオは、簡略で理想化された実験から統合評価モデル (IAMs、用語集参照) まで広範な手法によって生み出される。人為起源の温室効果ガス排出量の変化を決める主要な要因は、経済成長と人口増加、生活様式と行動様式の変化、それらに関連するエネルギー利用及び土地利用の変化、技術的变化及び気候政策の変化であり、これらは根本的に不確かである。{WGI 11.3, 12.4; WGIII 5, 6, 6.1}

AR5 で用いられる一連の標準シナリオは、代表的濃度経路 (RCPs、Box 6.2.2) と呼ばれている。{WGI Box SPM.1}

Box 2.1: 地球の気候システムのモデリングにおける進歩、確信度及び不確実性

IPCC第4次評価報告書 (AR4) 以降の気候モデルの改良は、大陸規模の地上気温、大規模の降水、モンスーン、北極海の海氷、海洋の貯熱量、いくつかの極端現象、炭素循環、大気化学とエアロゾル、成層圏オゾンの影響及びエルニーニョ南方振動のシミュレーションにおいて明らかである。気候モデルは、20世紀半ば以降のより急速な温暖化や、大規模火山噴火直後の寒冷化を含め、観測された地上気温の大陸規模の分布や数十年にわたる変化傾向を再現している (確信度が非常に高い)。降水量の大規模な分布のシミュレーションはAR4以降やや改善しているが、モデルの降水量の再現性能は依然として地上気温ほど高くない。雲とエアロゾルを含む過程の代表制についての確信度は依然低いままである。{WGI SPM D.1, 7.2.3, 7.3.3, 7.6.2, 9.4, 9.5, 9.8, 10.3.1}

海洋の熱膨張、氷河及び氷床、及びこれらから求められる海面水位をシミュレートする能力は、AR4以降向上してきたが、グリーンランド氷床及び南極氷床の力学を表現するにはまだ大きな課題が残っている。このシミュレーション能力が、科学的な理解と能力における進歩とともに、AR4に比較した本報告書の海面水位予測の向上につながっている。{WGI SPM E.6, 9.1.3, 9.2, 9.4.2, 9.6, 9.8, 13.1, 13.4, 13.5}

大規模な変化のパターンに関するAR4とAR5の気候モデルの予測の間には全体的な一貫性があり、不確実性の大きさも著しく変わってはいないが、新たな実験や研究が長期予測においてより完全に厳密な不確実性の特性評価につながっている。{WGI 12.4}

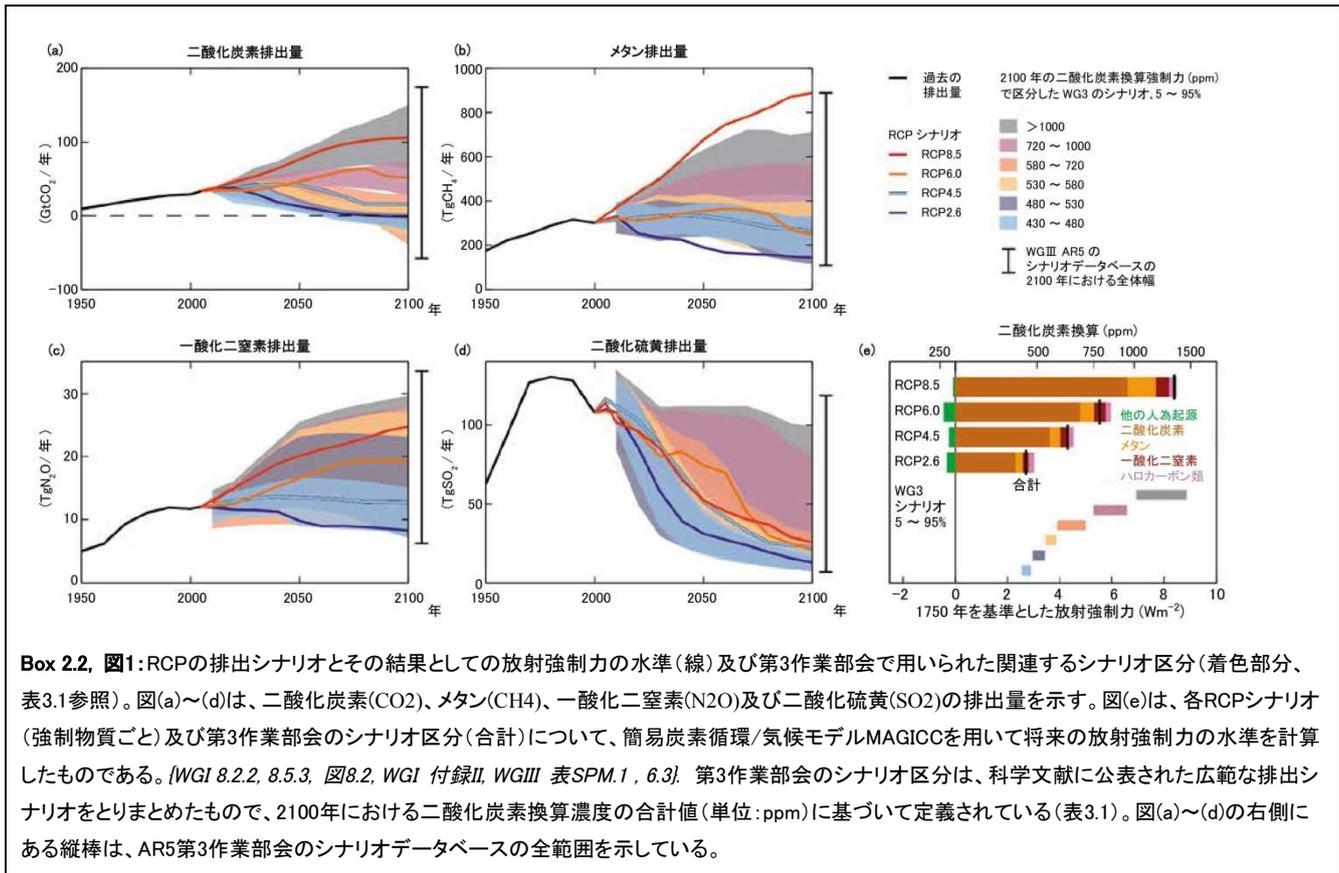
Box 2.2: 「代表的濃度経路」(RCP)

RCP シナリオは、温室効果ガスの排出量及び大気中濃度、大気汚染物質の排出並びに土地利用についての 21 世紀の 4 つの異なる経路を表現している。RCP シナリオは、その結果として気候システムにもたらされる結末を予測する広範な気候モデルシミュレーションへの入力として、統合評価モデル (IAM) を用いて開発された。これらの気候予測は、続いて影響及び適応の評価に用いられる。RCP シナリオは、第 3 作業部会によって評価された緩和に関する文献に記載されている広範なシナリオと整合的である²⁸。これらのシナリオは、特定の濃度経路と整合的な排出削減に伴う費用を評価するのに用いられる。RCP シナリオは、より広範に及ぶ多数の文献に記載されている温室効果ガスの排出の範囲を表現しており (Box 2.2, 図 1)、RCP シナリオには、1 つの厳しい緩和シナリオ (RCP 2.6 シナリオ)、2 つの中間的シナリオ (RCP 4.5 シナリオ及び RCP 6.0 シナリオ)、1 つの非常に高い温室効果ガス排出となるシナリオ (RCP 8.5 シナリオ) が含まれる。排出を抑制する追加的努力を行わないシナリオ (「ベースラインシナリオ」) では、RCP 6.0 と RCP 8.5 の間の範囲の経路につながる。RCP 2.6 は、工業化以前に対する世界平均の気温上昇を 2°C 未満に維持する可能性が高くなることを目指すシナリオを代表するものである。モデルの大半は、RCP 2.6 と同等の強制力レベルを満たすシナリオが、2100 年までに平均して 1 年あたり約 2 GtCO₂ というかなり大きな正味の負の排出²⁹によって特徴づけられることを示している。RCP の土地利用シナリオは、全てのシナリオにおける予測と整合し、正味の森林再生からさらなる森林減少に至る広範な将来の可能性をともに示している。二酸化硫黄のような大気汚染物質について、RCP シナリオは仮定される大気汚染対策及び温室効果ガス緩和政策の結果として、一貫した排出削減を仮定している (Box 2.2, 図 1)。重要なこととして、これらの将来シナリオは自然起源の強制力において起こりうる変化 (例えば、火山の噴火) については考慮していない (Box 1.1 参照)。{WGI Box SPM.1, 6.4, 8.5.3, 12.3, 付録 II, WGII 19, 21, WGIII 6.3.2, 6.3.6}

RCP シナリオは、気候政策を伴うシナリオも表現できるよう、これまでの評価で用いられた「排出シナリオに関する特別報告書」(SRES) のシナリオよりもより広範囲を網羅した。強制力の合計値で見ると、RCP 8.5 は SRES A2/A1FI シナリオに広い意味で相当し、RCP 6.0 は B2 に RCP 4.5 は B1 に相当する。RCP 2.6 については、SRES に同等のシナリオはない。結果として、AR4 と AR5 の気候予測の大きさの違いは、より広い範囲で評価した排出量を含んでいるかに大きく依存している。{WGI TS Box TS.6, 12.4.9}

²⁸ おおよそ 300 のベースラインシナリオと 900 の緩和シナリオが、2100 年までの二酸化炭素換算濃度(CO₂-eq)によって区分されている。二酸化炭素換算濃度には、すべての温室効果ガス(ハロゲン化ガスと対流圏オゾンを含む)、エーロゾル及びアルベドの変化による強制力が含まれている(用語集参照)。

²⁹ 正味の負の排出は大気中へ排出されるより多くの温室効果ガスが隔離される場合(例えば二酸化炭素回収・貯留と結合したバイオエネルギーを用いる場合)に達成可能である。



気候変動の結果生じる将来の影響及びリスクを推定するのに用いる手法を Box2.3 に記載した。本報告書ではモデルにより得られた将来影響を評価しており、ほとんどは RCP シナリオを用いた気候モデルの予測に基づいているが、いくつかのケースでは古い方の「排出シナリオに関する特別報告書」(SRES)に基づいている。{WGI Box SPM.1, WGII 1.1, 1.3, 2.2-2.3, 19.6, 20.2, 21.3, 21.5, 26.2, Box CC-RC}

気候に関連するハザード(災害外力)(危険な事象や傾向などを含む)と、適応する能力を含む人間及び自然システムの脆弱性や曝露との相互作用の結果もたらされる。代替的な開発経路は、温室効果ガス、汚染物質及び土地利用への影響を通じて気候事象の可能性や変化傾向を変えることにより、また脆弱性と曝露を変えることにより、リスクに影響を与える。{WGII SPM, 19.2.4, 図 19-1, Box 19-2}

将来の影響とリスクを推定するのに用いられる実験、観測及びモデルは、AR4以降、分野や地域にまたがる理解の増進に伴って向上してきた。例えば、知識基盤の向上により、人間の安全保障と生計のリスク及び海洋のリスクについて評価を拡大することが可能になった。気候変動及び気候変動影響のいくつかの側面については、将来の結果についての不確実性が低減した。その他については、不確実性は今後残るだろう。今後残る不確実性のいくつかは、気候変動の規模や速度を制御するメカニズムに根差している。その他の不確実性は、変化する気候と、根本にある人々、社会及び生態系の脆弱性及び曝露との間の潜在的に複雑な相互作用から浮かび上がってくる。主要なメカニズムの中にある根強い不確実性と複雑な相互作用の見通しが複合していることが、本報告書でリスクに焦点をあてる動機である。リスクは可能性と結果の両方を含むため、シミュレーションが難しい低確率かつ重大な影響も含め、あらゆる結果の全てを考慮することが重要である。{WGII 2.1-2.4, 3.6, 4.3, 11.3, 12.6, 19.2, 19.6, 21.3-21.5, 22.4, 25.3-25.4, 25.11, 26.2}

Box 2.3: 気候変動のリスク、脆弱性、及び影響を推定するモデル及び手法

AR5ではこれまでの報告書と同様、実験、アナロジー及びモデルを通して、将来の気候関連のリスク、脆弱性及び影響を推定している。「実験」では、例えば、予想される将来の状態を反映するた

めに、関心の対象に影響を与える1つあるいはそれ以上の気候システムの因子を、対象に影響を与える他の因子を一定に保ちつつ、意図的に変える。「アナロジー」は、既存の変動を活用するもので、倫理的制約、広大な面積あるいは長い時間の必要性、高度なシステムの複雑性が原因で対照実験が現実的でない場合に用いる。気候及び影響の予測に用いられアナロジーは、2種類ある。空間的アナロジーでは、現在経験している状況と類似する状況を将来経験すると予測される世界の他の地域を特定する。時間的アナロジーでは、時に古生態学データから推測した過去の変化を用いて、将来の変化を推測する。「モデル」は、一般的に現実世界にあるシステムの数値シミュレーションであり、実験による観測値あるいはアナロジーを用いて校正及び検証され、その後、将来気候を表す入力データを用いてモデル計算が行われる。モデルには、シナリオ構築時に用いられるような、起こりうる将来に関する総じて記述的なストーリーを含めることもできる。定量的モデルと記述的モデルはしばしば共に用いられる。影響がモデルによって再現されているものの中には、水資源、陸上の生物多様性及び生態系サービス、内陸水、海洋と氷体の他、都市のインフラ、農業生産性、健康、経済成長及び貧困が挙げられる。{WGII 2.2.1, 2.4.2, 3.4.1, 4.2.2, 5.4.1, 6.5, 7.3.1, 11.3.6, 13.2.2} {WGII 11.3, 19.2, 21.1, 21.3-5, 25.3-4, 25.11, 26.2}

リスクは、地球システムにおいて予測される変化と社会及び生態系における多様な側面を持つ脆弱性との相互作用に基づいて評価される。ある結果が起こる可能性を直接推定するためのデータが十分にそろっていることはめったにない; そのため、特定のハザードを背景とした曝露と脆弱性を考慮したうえで、結果の深刻度と発生の可能性をリスク評価と関連付ける多様な情報源を統合するために、特定の基準（影響の規模が大きく可能性が高い又は不可逆であること、影響のタイミング、リスクに寄与しいつまでも続く脆弱性又は曝露、もしくは適応又は緩和を通じたリスク低減の可能性が限られていること）を用いた専門家の判断が活かされている。{WGII 11.3, 19.2, 21.1, 21.3-21.5, 25.3-25.4, 25.11, 26.2}

2.2 気候システムにおいて予測される変化

地上気温は、評価された全ての排出シナリオにおいて21世紀にわたって上昇すると予測される。多くの地域で、熱波はより頻繁に発生しまたより長く続き、極端な降水がより強くまたより頻繁となる可能性が非常に高い。海洋では温暖化と酸性化、世界平均海面水位の上昇が続くだろう。

第2.2節における予測された変化は、特に明記しない限り、1986～2005年平均に対する2081～2100年平均の変化である。

2.2.1 気温

2016～2035年における世界平均地上気温の1986～2005年平均に対する変化は、4つのRCPシナリオで類似しており、0.3～0.7°Cの間である可能性が高い（確信度が中程度）³⁰。これについては、大規模な火山噴火又はいくつかの自然発生源（例えば、メタンや一酸化二窒素）における変化がないこと、あるいは全太陽放射量の予期せぬ変化がないことを仮定している。将来の気候は、将来の人為起源の排出や自然の気候変動性のみならず、過去の人為起源の排出に起因する既に避けられない温暖化にも依存する。21世紀半ばまでには、予測される気候変動の大きさは、どのシナリオを選択するかによって、かなりの影響を受けることとなる。シナリオ間の気候変動の差は、2100年まで及びそれ以降広がり続ける（表 2.1, 図2.1）。特定のRCPシナリオ（表2.1）及び下記第2.2節に示される変化の幅は、課される強制力に対する気候モデルの感度の違いから主として生じる。{WGI SPM E.1, 11.3.2, 12.4.1}

³⁰ 1986～2005年の期間は、1850～1900年の期間より約0.61°C [0.55～0.67] °C 気温が高かった。{WGI SPM E, 2.4.3}

1850～1900年平均と比較した21世紀末(2081～2100年)における世界平均地上気温の変化は、RCP4.5シナリオ、RCP6.0シナリオ、RCP8.5シナリオでは1.5℃を上回って上昇する可能性が高い(確信度が高い)。RCP6.0シナリオ、RCP8.5シナリオでは2℃を上回って上昇する可能性が高く(確信度が高い)、RCP4.5シナリオではどちらかと言えば2℃を上回るが(確信度が中程度)、RCP2.6シナリオでは2℃を超える可能性は低い(確信度が中程度)。

{WGI SPM E.1, 12.4.1, 表12.3}

北極域は世界平均より速く温暖化し続けるだろう(図2.2)(確信度が非常に高い)。陸上の平均気温上昇は、海上の平均気温上昇より大きく(確信度が非常に高い)、世界平均気温上昇より大きくなるだろう(図2.2)。{WGI SPM E.1, 11.3.2, 12.4.3, 14.8.2}

世界平均地上気温が上昇するにつれて、ほとんどの陸域で日々及び季節の時間スケールで極端な高温がより頻繁になり、極端な低温が減少することはほぼ確実である。熱波の頻度が増加し、より長く続く可能性が非常に高い。たまに起こる冬季の極端な低温は引き続き発生するだろう。{WGI SPM E.1, 12.4.3}

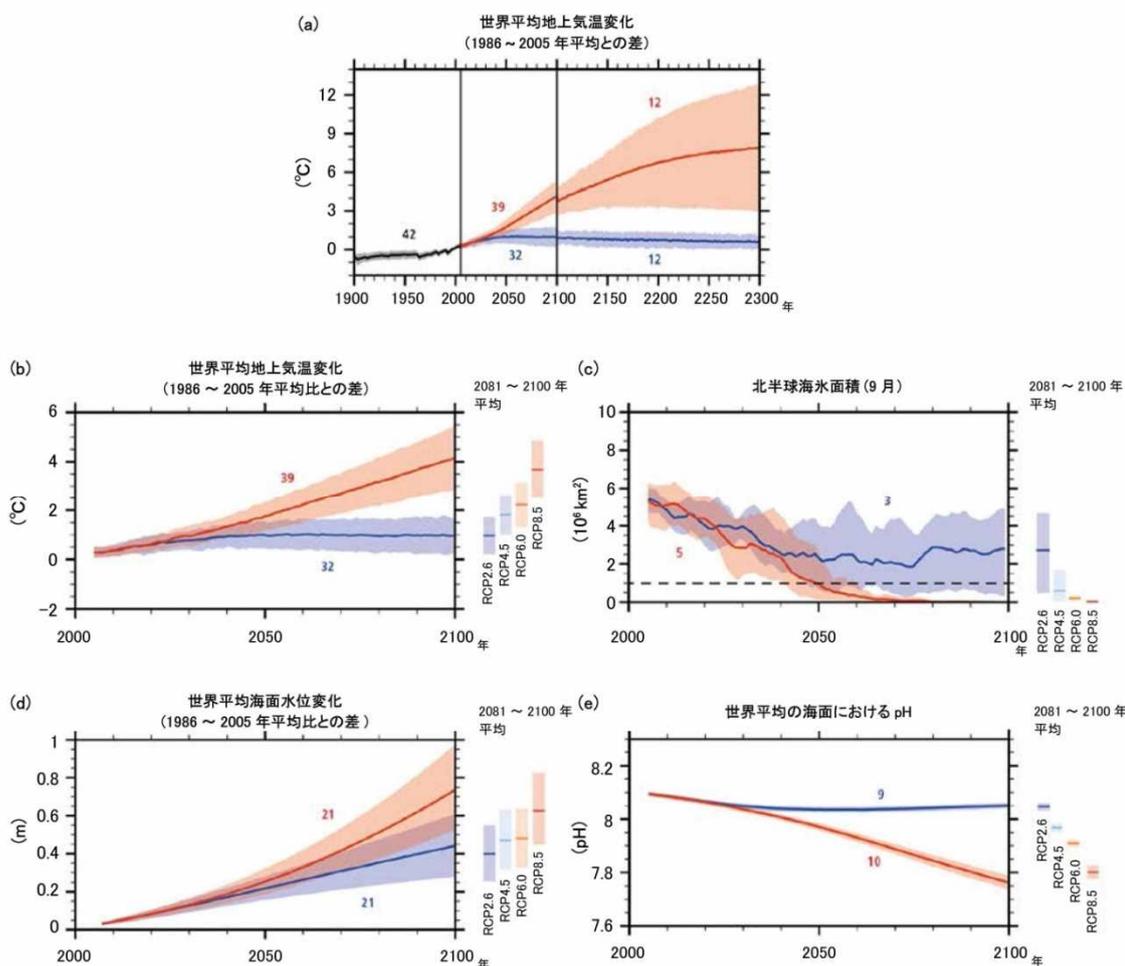


図2.1: (a) 第5期結合モデル相互比較計画(CMIP5)の濃度駆動実験から得られた1986～2005年平均に対する1900～2300年の世界平均地上気温の変化。予測は複数のモデルの平均値(実線)及び個々のモデルの値が分布する5～95%の範囲(陰影)で示されている。灰色の実線と陰影はCMIP5による過去についてのシミュレーション結果を表す。2100年におけるデータの不連続性は、21世紀以降の計算ができるモデルの数が異なることによるもので、物理的意味はない。(b) (a)と同じであるが1986～2005年平均を基準とし2006～2100年の期間を対象としている。(c)北半球の9月の海氷面積の変化(5年移動平均)。破線は海氷がほとんど存在しない状態(すなわち、9月の海氷面積が少なくとも5年連続で10⁶ km²未満)である

ことを示す。(d)世界平均海面水位の変化。(e)海洋表面のpHの変化。すべての図で、予測値及びその不確実性(陰影)の時系列を、RCP2.6(青)及び RCP8.5(赤)の2つのシナリオについて示した。複数モデル平均を計算するのに使用された第5期結合モデル相互比較計画(CMIP5)のモデルの数を図中に示してある。2081～2100年の期間の平均値とその不確実性は、すべてのRCPシナリオについて(b)～(e)の各図の右側に色つきの縦棒で示した。海面面積(c)については、北極海の海氷における気候学的な平均状態と及び1979～2012年の変化傾向を現実にかなり近く再現した一部のモデルについてのみ、予測の平均値と不確実性(最小値～最大値の幅)を示した。海面水位(d)については、(観測、物理的理解及びモデリングから得られる)現在の理解に基づくと、世界平均海面水位の上昇が21世紀において可能性の高い予測幅を大幅に超えて引き起こされ得るのは、南極氷床の海洋を基部とする部分の崩壊が始まった場合のみである。この追加的な寄与による、21世紀中の海面水位上昇が数十cmを超えない確信度は中程度である。[WGI 図SPM.7, 図SPM.9, 図12.5, 6.4.4, 12.4.1, 13.4.4, 13.5.1]

表2.1: 1986～2005年平均を基準とした、21世紀半ばと21世紀末における、世界平均地上気温と世界平均海面水位上昇の変化予測。[WGI 表SPM.2, 12.4.1, 13.5.1, 表12.2, 表13.5]

		2046～2065年		2081～2100年	
	シナリオ	平均	可能性が高い予測幅 ^(c)	平均	可能性が高い予測幅 ^(c)
世界平均 地上気温の変化(°C) ^(a)	RCP2.6	1.0	0.4～1.6	1.0	0.3～1.7
	RCP4.5	1.4	0.9～2.0	1.8	1.1～2.6
	RCP6.0	1.3	0.8～1.8	2.2	1.4～3.1
	RCP8.5	2.0	1.4～2.6	3.7	2.6～4.8
	シナリオ	平均	可能性が高い予測幅 ^(d)	平均	可能性が高い予測幅 ^(d)
世界平均 海面水位の上昇(m) ^(b)	RCP2.6	0.24	0.17～0.32	0.40	0.26～0.55
	RCP4.5	0.26	0.19～0.33	0.47	0.32～0.63
	RCP6.0	0.25	0.18～0.32	0.48	0.33～0.63
	RCP8.5	0.30	0.22～0.38	0.63	0.45～0.82

注:

a CMIP5アンサンブル平均に基づく。変化は1986～2005年平均に対して求めた。HadCRUT4とその不確実性の推定値(5～95%の信頼区間)を用いると、1850～1900年から参照期間である1986～2005年までに観測された気温上昇は0.61 [0.55～0.67] °Cである。より過去の参照期間(1850～1900年)を基準とした可能性が高い予測幅は、モデル及び観測における不確実性を組合せるための手法が文献からは通常得られないため、評価されてこなかった。予測された変化と観測された変化を足し合わせるだけでは、観測と比較した場合のモデルのバイアスの潜在的影響や、観測値がある参照期間における自然起源の内部変動性は説明しきれない。[WGI 2.4.3, 11.2.2, 12.4.1, 表12.2, 表12.3]

b 21個のCMIP5モデルに基づく。変化は1986～2005年平均に対して求めた。(観測、物理的理解及びモデル計算による)現状の理解に基づくと、世界平均海面水位の上昇が21世紀中に可能性の高い予測幅を大幅に超えて引き起こされ得るのは、南極氷床の海洋を基部とする部分の崩壊が始まった場合のみである。この追加的な寄与による21世紀中の海面水位上昇が数十cmを超えないことの確信度は中程度である。

c モデル予測の5～95%の信頼区間として予測値から計算した。これらの幅は、モデルに含まれる追加的不確実性あるいは確信度のさまざまなレベルを考慮した上で、可能性が高い予測幅として評価される。自然起源の内部変動性の相対的重要性、及び温室効果ガス以外による強制力並びに応答における不確実性が2081～2100年の期間に比べるとより大きいため、2046～2065年の世界平均地上気温の変化予測の確信度は中程度である。2046～2065年の可能性が高い予測幅の評価には、近未来(2016～2035年)の世界平均地上気温変化の評価された範囲がモデルの予測結果の幅の5～95%を下回る原因となる因子の影響がありうことは考慮に入れていない。これは科学的理解が不十分なために、これらの因子がより長期の予測に及ぼす影響が定量化されていないためである。[WGI 11.3.1]

d モデル予測の5～95%の信頼区間として予測値から計算した。これらの幅は、モデルに含まれる追加的不確実性あるいは確信度のさまざまなレベルを考慮した上で、可能性が高い予測幅として評価される。世界平均海面水位上昇予測の確信度は両期間において中程度である。

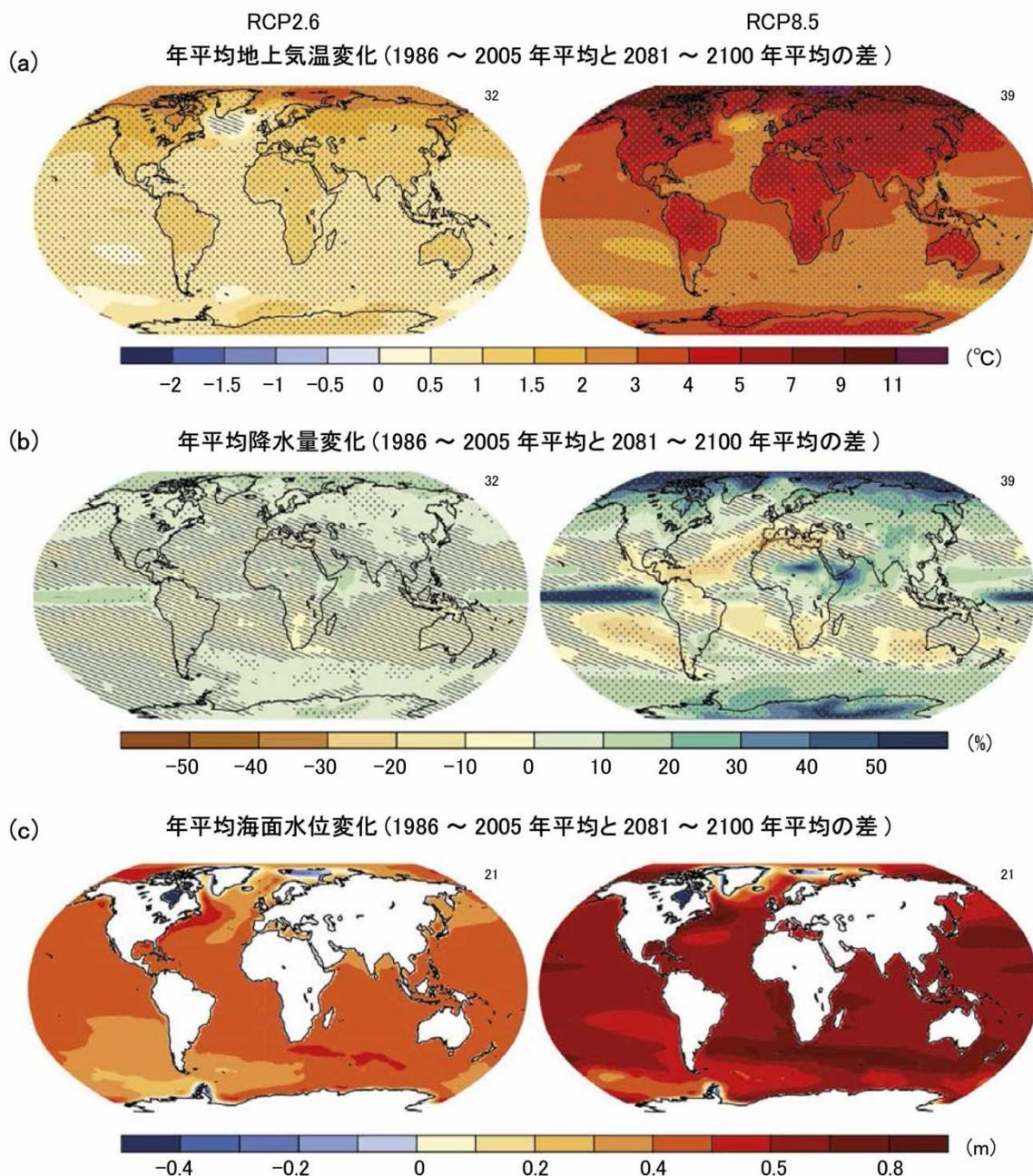


図2.2: 2081~2100年におけるRCP2.6(左)及びRCP8.5(右)のシナリオによるCMIP5複数モデル平均予測(すなわち、利用可能なモデル予測の平均)。(a)年平均地上気温の変化、(b)年平均降水量の変化率(%)、(c)平均海面水位の変化。変化は1986~2005年平均を基準として示した。それぞれの図の右上隅に、複数モデル平均を算出するために使用したCMIP5モデルの数を示してある。(a)と(b)の点描(ドット)は、予測された変化が自然起源の内部変動性に比べて大きく(すなわち、20年平均における内部変動性の2標準偏差より大きい)、かつ少なくとも90%のモデルが同じ符号の変化をしている領域であることを示す。(a)と(b)の点の網掛け(斜線部)は、予測された変化量が20年平均における自然起源の内部変動性の1標準偏差未満である領域を示す。{WGI 図SPM.8, 図13.20, Box 12.1}

2.2.2 水循環

温暖化する世界における降水量の変化は一様ではないだろう。高緯度域と太平洋赤道域では、RCP8.5シナリオにおいて、今世紀末までに年平均降水量が増加する可能性が高い。RCP8.5シナリオにおいて、中緯度と亜熱帯の乾燥地域の多くでは年平均降水量が減少する可能性が高く、一方、多くの中

緯度の湿潤地域では年平均降水量が増加する可能性が高い (図 2.2)。{WGI SPM E.2, 7.6.2, 12.4.5, 14.3.1, 14.3.5}

世界平均地上気温が上昇するにつれて、中緯度の陸域の大部分と湿潤な熱帯域において、極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が非常に高い。{WGI SPM, E.2, 7.6.2, 12.4.5}

全てのRCPシナリオにおいて、世界全体で、モンスーンシステムに含まれる領域は拡大する可能性が高く、モンスーンの降水は強まる可能性が高い。地域規模のエルニーニョ・南方振動 (ENSO) に関連した降水量の変動性は強まる可能性が高い。{WGI SPM E.2, 14.2, 14.4}

2.2.3 海洋、雪氷圏及び海面水位

21世紀の間、世界全体で海洋は昇温し続けるであろう。最大の海洋の昇温は熱帯域と北半球亜熱帯域の海面において予測されている。より深い深度においては、昇温は南極海で最も大きいだろう (確信度が高い)。{WGI SPM E.4, 6.4.5, 12.4.7}

大西洋子午面循環 (AMOC) は、21世紀を通じて弱まる可能性が非常に高く、弱化の最良推定値とモデルの範囲は、RCP2.6シナリオで11% (1~24%)、RCP8.5シナリオで34% (12~54%) である。にもかかわらず、AMOCが21世紀中に突然に変化又は停止してしまう可能性は非常に低い。{WGI SPM E.4, 12.4.7.2}

全ての RCP シナリオにおいて北極域の海氷面積は通年で減少すると予測されている。観測値³¹を現実にかなり近く再現したモデルの予測によると、RCP8.5 シナリオでは今世紀半ばまでに9月の北極海で海氷がほとんど存在しない状態となる³²可能性が高い (確信度が中程度) (図 2.1)。南極域においては、海氷面積と体積の減少が予測されているが、その確信度は低い。{WGI SPM E.5, 12.4.6.1}

北半球の春季の積雪面積は、モデル平均では21世紀末までにRCP2.6シナリオで7%、RCP8.5シナリオで25%減少する可能性が高い (確信度が中程度)。{WGI SPM E.5, 12.4.6.1}

世界平均地上気温の上昇に伴い、北半球高緯度における地表付近の永久凍土面積が減少することはほぼ確実である。地表付近 (上部 3.5m) の永久凍土面積は、複数モデル平均では 37% (RCP2.6 シナリオ) から 81% (RCP8.5 シナリオ) の間で減少する可能性が高い (確信度が中程度)。{WGI SPM E.5, 12.4.6}

南極周辺の氷河 (及びグリーンランドと南極の氷床) を除いた世界の氷河体積は、RCP2.6シナリオで15~55%、RCP8.5シナリオでは35~85%減少すると予測されている (確信度が中程度)。{WGI SPM E.5, 13.4.2, 13.5.1}

21世紀の間、世界平均海面水位は上昇を続けるだろう (表2.1, 図2.1)。AR4以降、海面水位変化の理解と予測は著しく向上した。全てのRCPシナリオについて海面水位の上昇率は、1971年から2010年の期間に観測された上昇率2.0 [1.7~2.3] mm/年を超える可能性が非常に高く、RCP8.5シナリオ下での2081年から2100年の期間の上昇率は1年当たり8~16mmである (確信度が中程度)。{WGI SPM B4, SPM E.6, 13.5.1}

海面水位上昇は地域によって一様ではないだろう。21世紀末までに、海洋面積の約95%以上で海面水位が上昇する可能性が非常に高い。海面水位上昇は、二酸化炭素の累積総排出量のみでなく、その排出経路にも依存する。例えば、累積排出量が同じ場合、早い時期に排出量を削減した方が、遅い時期の削減よりも、海面水位上昇のより大きな緩和に繋がる。世界の海岸線の約70%で、世界平均の±20%以内の大きさの海面水位変化が起こると予測されている (図 2.2)。2100年までに一部の地

³¹北極海の家氷面積の気候学的平均状態と1979~2012年の変化傾向。

³²海氷面積が少なくとも5年連続して10⁶km²未満のとき。

域において、将来の極端な海面水位の発生が著しく増加する可能性は非常に高い。{WGI SPM E.6, TS 5.7.1, 12.4.1, 13.4.1, 13.5.1, 13.6.5, 13.7.2, 表 13.5}

2.2.4 炭素循環と生物地球化学

人為的に排出された二酸化炭素の海洋への吸収は、4つの全ての RCP シナリオにおいて 2100 年まで継続し、高濃度の経路ほど高い吸収量となるだろう（確信度が非常に高い）。陸域の炭素吸収が将来どう変化するかはあまり確かではない。大部分のモデルは全ての RCP シナリオにおいて陸域での炭素吸収が継続すると予測しているが、幾つかのモデルは気候変動と土地利用変化の複合効果のために、陸域の炭素が減少することを予測している。{WGI SPM E.7, 6.4.2, 6.4.3}

地球システムモデルによると、気候変動と炭素循環の間のフィードバックが地球温暖化を増幅するとの確信度は高い。気候変動は、大気中の二酸化炭素の増加によって引き起こされる陸地と海洋の炭素吸収の増加の一部を相殺するだろう。その結果、大気中に排出された人為起源の二酸化炭素のうち、より多くが大気中に残り、温暖化をさらに強めるだろう。{WGI SPM E.7, 6.4.2, 6.4.3}

地球システムモデルは全ての RCP シナリオにおいて 21 世紀末までに海洋酸性化が世界的に進行することを予測しており、RCP2.6 シナリオでは、今世紀半ば以降にゆっくりと回復する。海面の pH の低下量の幅は、RCP2.6 シナリオで 0.06~0.07（酸性度で 15~17%増）、RCP4.5 シナリオで 0.14~0.15（酸性度で 38~41%増）、RCP6.0 シナリオで 0.20~0.21（酸性度で 58~62%増）、RCP8.5 シナリオで 0.30~0.32（酸性度で 100~109%増）である（図 2.1）。{WGI SPM E.7, 6.4.4}

21 世紀中に、地上気温の上昇に応答して海洋の溶存酸素量が、主に中緯度の海洋表層で数%減少する可能性が非常に高い。外洋における低酸素水域の量が将来どう増大するのかについては、潜在的な生物地球化学的影響と熱帯海洋力学の変化における不確実性が大きいため、合意は得られていない。{WGI TS 5.6, 6.4.5, WGII TS B-2, 6.1}

2.2.5 気候システムの応答

気候モデルと過去及び近年の気候変動の解析の両方から、外部強制力に対する応答を決定づける気候システムの特徴が推定されてきた。平衡気候感度（ECS）³³は 1.5~4.5°C の範囲である可能性が高く、1°C 未満である可能性は極めて低く、また 6°C を超える可能性は非常に低い。{WGI SPM D.2, TS TFE.6, 10.8.1, 10.8.2, 12.5.4, Box 12.2}

21 世紀終盤及びその後の世界平均の地表面の温暖化の大部分は二酸化炭素の累積排出量によって決められる。複数の証拠は、2100 年までの範囲では正味の二酸化炭素累積排出量（二酸化炭素除去の影響も含む）と予測される世界平均気温の変化量の間、強固で、整合的で、ほぼ比例の関係があることを示している（図 2.3）。過去の排出量と観測されている気温上昇が、不確実性の範囲内において、この関係を裏付けている。どの温暖化レベルでも、ある範囲内の二酸化炭素累積排出量（二酸化炭素以外の駆動要因に依存する）と関連づけられ、このため、例えば、それ以前の数十年でより多く排出すると、後の年代により少ない排出しかできないことが示唆される。{WGI SPM E.8, TS TFE.8, 12.5.4}

二酸化炭素として排出される炭素 1 兆トン（1000 GtC）当たりの世界平均地上気温変化は、ピーク時で 0.8~2.5°C の範囲である可能性が高い。累積炭素排出量に対する過渡的気候応答（TCRE）と呼ばれるこの量は、モデル計算及び観測証拠の両方によって裏付けられており、約 2000GtC までの累積排出量に適用される。{WGI SPM D.2, TS TFE.6, 12.5.4, Box 12.2}

二酸化炭素の排出に起因する温暖化は、大気中から二酸化炭素を除去するための対策を講じない限り、数百年の時間スケールで事実上不可逆である。二酸化炭素が引き起こす気温上昇が 2°C 未満にとどまる可能性が高い範囲に確実に収めるためには、人為起源の排出源からの二酸化炭素の累積排出量を約 3650GtCO₂（1000GtC）未満に抑える必要があるが、2011 年までに既にこの半分以上が排出されている。{WGI SPM E.8, TS TFE.8, 12.5.2, 12.5.3, 12.5.4}

³³工業化以前を基準として二酸化炭素濃度が倍増した場合の世界平均地上気温上昇の平衡状態として定義。

複数モデルの結果によると、人為起源の全気温上昇（二酸化炭素及び他の人為的要因が気候に与える影響の両方を考慮）を、66%を超える確率で1861～1880年平均を基準として2°C未満に抑える場合には、RCP2.6シナリオと同様に二酸化炭素以外の強制力を考慮した場合、1870年以降の全ての人為起源発生源からの二酸化炭素総排出量を約2900GtCO₂未満に抑えることを要する。この推定値には、第3作業部会が検討したシナリオ全体にわたる二酸化炭素以外の駆動要因の変動から生じる2550～3150 GtCO₂の幅がある（表2.2）。約1900 [1650～2150] GtCO₂が、2011年までに既に排出されており、この気温目標に適うには、1000GtCO₂の追加排出しか残されていない。{WGI SPM E.8, TS TFE.8, 図1, TS.SM.10, 12.5.4, 図12.45, WGIII 表SPM.1, 表6.3, 表7.2}

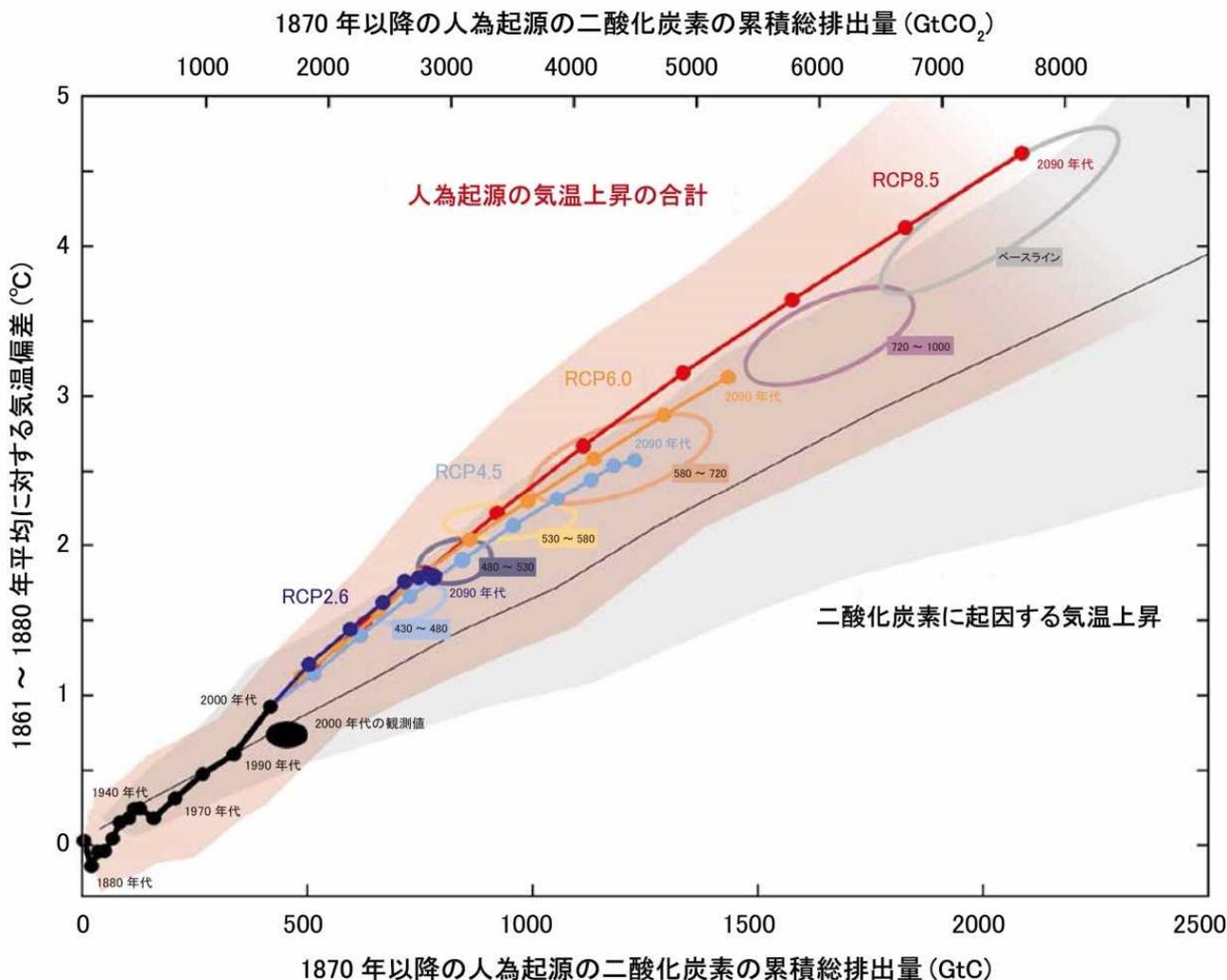


図2.3: 世界全体の二酸化炭素の累積総排出量の関数として示した、様々な一連の証拠による世界平均地上気温の上昇量。2100年までの各RCPシナリオについて様々な階層の気候-炭素循環モデルから得られた複数モデルの結果を示した(色付の線)。過去の期間(1860～2010年)のモデル結果は黒で示されている。着色されたプルーム状部分は4つのRCPシナリオにわたる複数モデルの幅を表しており、RCP8.5シナリオにおいて利用できるモデルの数が減少するとともに陰影を薄くしてある。点は10年平均値を示し、選ばれた10年間にラベルを付した。楕円は、第3作業部会で使用されたシナリオ区分の下で簡易気候モデル(気候応答の中央値)から得られた、1870～2100年の二酸化炭素累積排出量に対する2100年における人為起源の全気温上昇量を示している。気温は全て1861～1880年平均を基準とした変化の値として、排出量は1870年からの累積排出量として示してある。黒で塗りつぶされた楕円は、2005年までに観測された排出量に対する2000～2009年の10年間の気温観測値を関連する不確実性とあわせて示したものである。{WGI SPM E.8, TS TFE.8, 図1, TS.SM.10, 12.5.4, 図12.45, WGIII 表SPM.1, 表6.3}

表2.2: 様々な種類の証拠に基づいて算定した、目標とする気温上限未滿への温暖化抑制に見合う達成確率水準別二酸化炭素累積排出量。{WGI 12.5.4, WGIII 6}

1870年以降の二酸化炭素累積排出量 (GtCO ₂)									
正味の人為起源気温上昇 ^a	< 1.5°C			< 2°C			< 3°C		
目標を達成するシミュレーションの割合 ^b	66%	50%	33%	66%	50%	33%	66%	50%	33%
複雑モデル、RCPシナリオのみ ^c	2250	2250	2550	2900	3000	3300	4200	4500	4850
簡易モデル、WG3シナリオ ^d	データなし	2300 ~ 2350	2400 ~ 2950	2550 ~ 3150	2900 ~ 3200	2950 ~ 3800	該当なし ^e	4150 ~ 5750	5250 ~ 6000
2011年以降の二酸化炭素累積排出量 (GtCO ₂)									
複雑モデル、RCPシナリオのみ ^c	400	550	850	1000	1300	1500	2400	2800	3250
簡易モデル、WG3シナリオ ^d	データなし	550 ~ 600	600 ~ 1150	750 ~ 1400	1150 ~ 1400	1150 ~ 2050	該当なし ^e	2350 ~ 4000	3500 ~ 4250
2011年時点で利用可能な化石炭素総量 ^f : 3670 ~ 7100 GtCO ₂ (埋蔵量), 31300 ~ 50050 GtCO ₂ (資源量)									

注

^a 二酸化炭素及び二酸化炭素以外の駆動力による気温上昇。気温の値は、1861~1880年平均を基準として示してある。

^b 表中の66%の範囲は、表SPM.1及び表3.1並びにIPCC AR5第3作業部会の表SPM.1に記載の可能性に関する表現と同じとすべきではないことに注意。第3作業部会の表における評価は、第3作業部会の全シナリオアンサンブルについて単一気候モデルを用いて計算した確率に基づいているだけでなく、気候モデルがカバーしていない気温予測の不確実性に関する第1作業部会の評価にも基づいている。

^c CMIP5の複雑なモデルであるESM(地球システムモデル)とEMIC(中程度の複雑さの地球システムモデル)によるシミュレーション結果の66%、50%又は33%が気温の各しきい値を超える時点での二酸化炭素累積排出量。ただし、RCP8.5シナリオに従い二酸化炭素以外の強制力を仮定している。同様の累積排出量が他のRCPシナリオでも暗黙に定義されている。ほとんどのシナリオとしきい値の組み合わせにおいて、しきい値超過後も排出と気温上昇は続く。にもかかわらず、二酸化炭素排出量は累積するという性質により、これ等の数値は、RCPのようなシナリオ下でCMIP5モデルシミュレーションによって示唆される二酸化炭素累積排出量の指標を与える。なお、50に最も近い数値は四捨五入した。

^d 第3作業部会のシナリオから得られる気温上昇ピーク時の二酸化炭素累積排出量。世界平均気温の上昇を各しきい値未滿に保つ気候シミュレーション数の割合、すなわち66%以上(66~100%)、50%以上(50~66%)、33%以上(33~50%)別に示す。範囲の幅は、第3作業部会のシナリオにわたる二酸化炭素以外の駆動要因の違いから生じる二酸化炭素累積排出量の変動の大きさを示す。各シナリオにおける気候シミュレーションの数の割合は、確率モードでの簡易な炭素循環気候モデル(MAGICC6)の600メンバーのパラメータアンサンブルから算出した。このアンサンブルの中で、パラメータとシナリオの不確実性を調査した。構造的な不確実性を単一モデルの設定で調査することはできない。範囲はシナリオの不確実性が与える影響を示しており、ある一定の割合のシミュレーションが指定された範囲内で二酸化炭素累積排出量を示すシナリオは80%である。簡易モデルの計算値は、過去の世紀にわたる観測データにより拘束されるが、モデル構造における不確実性は考慮されておらず、いくつかのフィードバック過程が省略されている可能性があることから、これらはCMIP5の複雑なモデルの計算値よりわずかに大きい。なお、50に近い数値は四捨五入してある。

^e 66%以上の割合(66~100%)で3°C未滿に抑えるための二酸化炭素累積排出量の計算結果は、2°C目標も達成する多数のシナリオに大きく影響されるため、他の気温しきい値からの計算結果とは比較できない。

^f 埋蔵量とは既存の経済及び操業の状況下で回収できる量のこと、資源量とは経済的採取が潜在的に実現可能な量のことである。{WGIII 表7.2}

2.3 変化する気候に起因する将来のリスクと影響

気候変動は、既存のリスクを増幅し、自然及び人間システムにとって新たなリスクを引き起こすだろう。リスクは偏在しており、どのような開発水準にある国々においても、おしなべて、恵まれない境遇にある人々やコミュニティに対してより大きくなる。温暖化の程度が増大すると、深刻で広範囲にわたる不可逆的な影響が、人々、生物種及び生態系に及ぶ可能性が高まる。高い排出が継続すれば、生物多様性、生態系サービス及び経済発展に多くは負の影響がもたらされ、生計に対するリスク及び食料と人間の安全保障に対するリスクが増幅するだろう。

気候に関連した影響のリスクは、気候に関連するハザード（災害外力）（危険な事象や傾向などを含む）と、適応する能力を含む人間及び自然システムの脆弱性や曝露との相互作用の結果もたらされる^{訳注!}。気候システムにおける温暖化や他の変化の速度や程度の増加は、海洋酸性化とともに、深刻で、広範囲にわたり、場合によっては不可逆的な悪影響を起こすリスクを増大させる。将来の気候変動は、既存の気候関連のリスクを増幅し、新たなリスクを創り出すだろう。{WGII SPM B, 図 SPM.1}

主要なリスクとは、気候システムに対する危険な人為的干渉の理解に関連する潜在的に深刻な影響のことである。リスクが主要であると考えられるのは、ハザードが重大あるいはハザードにさらされる社会やシステムの脆弱性が高い、又はその両方の場合である。主要なリスクの特定は、影響の程度が大きいかあるいは確率が高いか。すなわち、影響の不可逆性あるいはタイミング、いつまでも続く脆弱性又は曝露、あるいはリスクを低減する可能性が限られるか、に基づく。個々の地域に特に関連するリスクもあれば（図2.4）、世界的なものもある（表2.3）。リスク評価については、発生確率は低いが大きな影響をもたらす結果も含め、できる限り広範囲にわたって起こりうる影響について評価を行うことが重要である。リスク水準はしばしば気温とともに増大し（Box2.4）、時に温暖化の速度、海洋酸性化の程度と速度及び海面水位上昇といった気候変動の他の側面とより直接的に結びつけられる（図2.5）。{WGII SPM A-3, SPM B-1}

複数の分野や地域に及ぶ主要なリスクには、以下のものがある（確信度が高い）。{WGII SPM B-1}:

1. 高潮、海面水位上昇及び沿岸域の氾濫；一部の都市域における内陸洪水；及び極端な暑熱期間がもたらす深刻な健康障害及び生計崩壊のリスク。
2. 気象の極端現象が、インフラ網や重要なサービスの機能停止をもたらすことによるシステムのリスク。
3. 特により貧しい住民について、食料及び水不足や農村の生計と収入を失うリスク。
4. 生態系、生物多様性及び生態系の財、機能及びサービスが失われるリスク。

将来の気候変動影響の全般的なリスクは、海洋酸性化も含めた気候変動の速度や程度を抑えることによって低減できる。一部のリスクには、世界平均気温が工業化以前の水準に比べて1°Cの上昇でさえかなり高くなるものがある。世界平均気温が4°Cまたはそれ以上上昇すれば、多くの世界規模のリスクは高い状態から非常に高い状態となる（Box2.4参照）。これらのリスクには、固有性が高く脅威にさらされるシステムへの深刻で広範な影響、多くの種の絶滅、食料安全保障に対する大きなリスク及び通常の間活動、例えば、ある地域のある時期における食料生産や野外活動など、が高温と多湿の複合により危険にさらされること、が挙げられる（確信度が高い）。急激で不可逆的な変化のきっかけとなるのに十分な気候変動の正確なレベルは不確実なままであるが、地球システムあるいは相互に連結した人間及び自然システムにおいて、そのようなしきい値を超えることに関連するリスクは、気温上昇に伴って増加する（確信度が中程度）。{WGII SPM B-1}

適応は気候変動影響のリスクをかなり低減することが出来るが、気候変動がより速い速度やより大きな程度になると、適応の限界を超える可能性が高まる（確信度が高い）。適応の可能性は、適応に対する制約や限界と同様、分野、地域、コミュニティ及び生態系によって異なる。適応の範囲は、時間の経過と共に変化し、また社会経済開発経路及び状況と密接に連動している。トピック3及び4とともに図2.4及び表2.3参照。{WGII SPM B, SPM C, TS B, TS C}

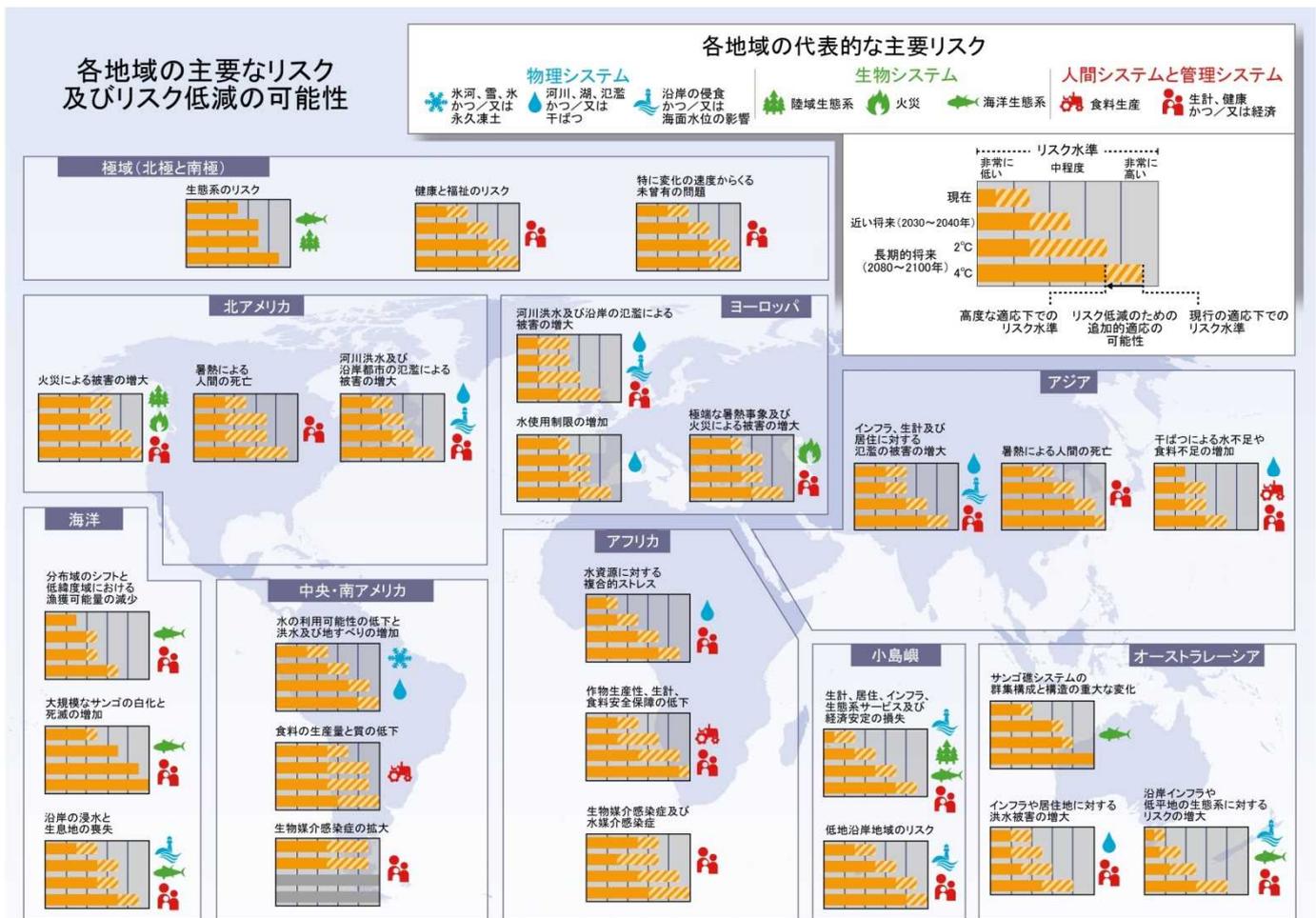


図2.4: 各地域の代表的な主要リスク。適応の限界とともに、適応と緩和によるリスク低減の可能性も示している。主要リスクの特定は、次の具体的基準を用いて、専門家の判断に基づいて行われた。すなわち、影響の程度が大きいこと、可能性が高いこと又は影響の不可逆性、影響のタイミング、リスクに寄与する持続的な脆弱性又は曝露、もしくは適応又は緩和によるリスク低減の可能性が限られていること、である。リスク水準は、3つの時間枠、すなわち、現在、近い将来（ここでは2030～2040年を評価）、長期的将来（ここでは2080～2100年を評価）について、非常に低い、低い、中程度、高い、非常に高い、で評価されている。近い将来については、世界平均気温上昇の予測される水準は、排出シナリオによって大きく変わるわけではない。長期的将来については、2つのあり得る将来（世界平均気温が工業化以前と比べて2℃及び4℃上昇）についてリスク水準が示されている。それぞれの時間枠で、リスク水準は現行の適応が続く場合と、現行あるいは将来の適応が高い水準であると仮定した場合について示されている。リスク水準は、特に地域間では、必ずしも比較可能ではない。[WGII SPM 評価に関する Box SPM.2 表1]

2.3.1 海洋、沿岸、陸上及び淡水域における生態系と生態系サービス

生態系及び人間システムに有害な影響が及ぶリスクは、温暖化、海洋酸性化、海面水位上昇及び気候変動の他の側面の速度と程度に伴って増大する（確信度が高い）。現在の人為起源の気候変動よりも遅い速度の世界的自然起源の気候変動が過去数百万年の間に陸域及び海洋において重大な生態系の遷移や生物種の絶滅をもたらしたという所見により、将来のリスクが高いことが示されている（確信度が高い）。多くの植物種及び動物種が21世紀中に、中～高の範囲の気候変動速度条件以下（RCP4.5、RCP6.0及びRCP8.5）では、適する気候に追従するために局所的に適応する、あるいは十分な速度で移動することができなくなるだろう（確信度が中程度）（図2.5.A）。サンゴ礁や極域の生態系は極めて脆弱である。{WGII SPM A-1, SPM B-2, 4.3-4, 5.4, 6.1, 6.3, 6.5, 25.6, 26.4, 29.4, Box CC-CR, Box CC-MB, Box CC-RF}

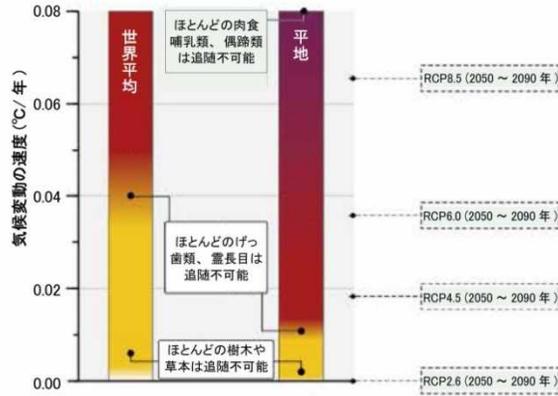
21世紀中及びその後の気候変動により、特に他のストレス要因と気候変動が相互作用する場合には、陸域、淡水及び海洋の多くの生物種が絶滅リスクの増大に直面する（確信度が高い）。気候変動の程度と速度の両方の結果として、全てのRCPシナリオ下で工業化以前及び現在と比較して絶滅リスクが増大する（確信度が非常に高い）。いくつかの気候関連駆動力（温暖化、海氷の消失、降水量の変化、河川流量の減少、海洋酸性化及び海洋の酸素レベルの低下）及びこれらの駆動力間の相互作用、さらにそれらと同時に起こる生息地の変容、資源の乱開発、汚染、富栄養化及び侵入生物種との相互作用によって、絶滅が進むだろう（確信度が高い）。{WGII SPM B-2, 4.3-4.4, 6.1, 6.3, 6.5, 25.6, 26.4, Box CC-RF, Box CC-MB}

気候変動下で、海洋生物種の世界規模の分布の変化及び影響を受けやすい海域における生物多様性の低減が、特に低緯度域において漁業生産性やその他の生態系サービスの持続的供給にとって課題となるだろう（確信度が高い）。21世紀半ばまでに、工業化以前の気温と比較して世界平均気温が2°C上昇すると、海洋生物種の生息域の地理的移動によって、種の豊かさや漁獲可能量が平均して中～高緯度で増大し（確信度が高い）、熱帯域及び半閉鎖性海域で減少するだろう（図2.6a）（確信度が中程度）。海洋における酸素極小域や無酸素「デッドゾーン」の拡大進行は、魚類の生息地をさらに制約するだろう（確信度が中程度）。外洋の純一次生産量の分布は変化し、2100年までに全RCPシナリオ下で世界的に落ち込むと予測されている（確信度が中程度）。乱獲や他の非気候ストレス要因の脅威に、気候変動が加わる（確信度が高い）。{WGII SPM B-2, 6.3-6.5, 7.4, 25.6, 28.3, 29.3, 30.6-30.7, Box CC-MB, Box CC-PP}

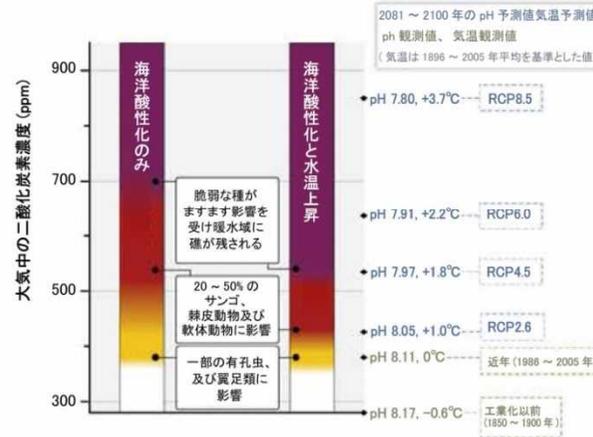
海洋生態系、特にサンゴ礁や極域の生態系は、海洋酸性化によるリスクにさらされている（確信度が中程度～高い）。海洋酸性化は、生理学的、行動学的及び個体数変動学的な影響を生物に与える。個々の生物種に対する影響や、ある生物群内で影響を受ける生物種の数、RCP4.5シナリオからRCP8.5シナリオに向かって増大する。高度に石灰化している軟体動物、棘皮動物及び造礁サンゴは、甲殻類（確信度が高い）や魚類（確信度が低い）より影響を受けやすい（図2.6b）。海洋酸性化は、他の世界的な変化（例えば、水温上昇、酸素レベルの漸進的低下）や局所的変化（例えば、汚染や富栄養化）とともに作用し、相互作用的で、複雑な、増幅する影響を生物種や生態系にもたらす（図2.5b）。{WGII SPM B-2, 図SPM.6B, 5.4, 6.3.2, 6.3.5, 22.3, 25.6, 28.3, 30.5, 図6-10, , Box CC-CR, Box CC-OA, Box TS.7}

RCP2.6 から RCP8.5 へと増大

(A) 気温上昇の速度により影響を受ける陸生種及び淡水種にとってのリスク



(B) 海洋酸性化のみにより、又は極端な水温上昇がそれに加わった影響を受ける海洋生物種にとってのリスク



(C) 海面水位上昇の影響を受ける沿岸の人間及び自然システムにとってのリスク

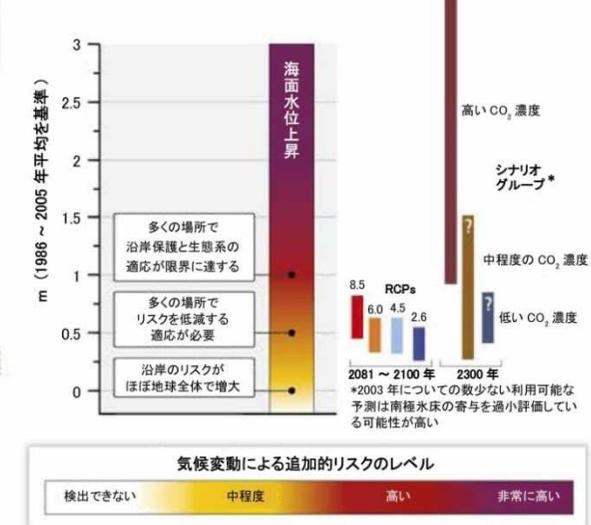


図 2.5: (a) 温暖化の速度に起因する陸域及び淡水域の生態系の群集構成崩壊リスク、(b) 海洋生物種が海洋酸性化(OA)の影響あるいは OA と極端な温度上昇の複合的影響を受けるリスク、(c) 沿岸の人間及び自然システムが海面水位上昇の影響を受けるリスク。リスク水準に関する基準は、Box2.4 で使われているものと同じで、それらの較正については各図の注釈で説明した。(a) 温暖化が早い速度で進む場合、陸域及び淡水域の生物種の主要なグループは、それらが適応できる気候の範囲が空間的に移動するのに伴って、その中に留まれるほど十分速く移動することができない。生物種の個体群が移動する観測あるいはモデルによって求められた速度の中央値 (km/10 年) が、2050~2100 年の期間で各 RCP について予測された気候変動速度の下で、地形を超えて移行する(生存可能な)気候範囲の速度と比較されている。結果は、世界全体のすべての地形の平均、及び(生存可能な)気候範囲が特に速く移行する平坦な地形について示されている。(b) 炭酸カルシウムの殻を形成する海洋生物種は、海洋酸性化に対する感度が高い。サンゴや甲殻類に見られるように、OA は熱に対する曝露の耐久水準を低下させることから、OA のリスクは水温上昇とともに増大する。(c) 50 年に 1 度の洪水の水位が多くの沿岸地点ですでに増大している。適応がない場合、0.5m の海面水位上昇の結果、多くの場所で洪水発生頻度が 10~100 倍以上に増加することになるだろう。1m 未満の海面水位上昇で、多くの場所において生態系及び人間システムの局所的適応能力(及び、特に保護)が限界に達する。(2.2.4, 表 2.1, 図 2.8) {WGI 3.7.5, 3.8, 6.4.4, 図 13.25, WGII 図 SPM.5, 図 4-5, 図 6-10, Box CC-OA, 4.4.2.5, 5.2, 5.3-5.5, 5.4.4, 5.5.6, 6.3}

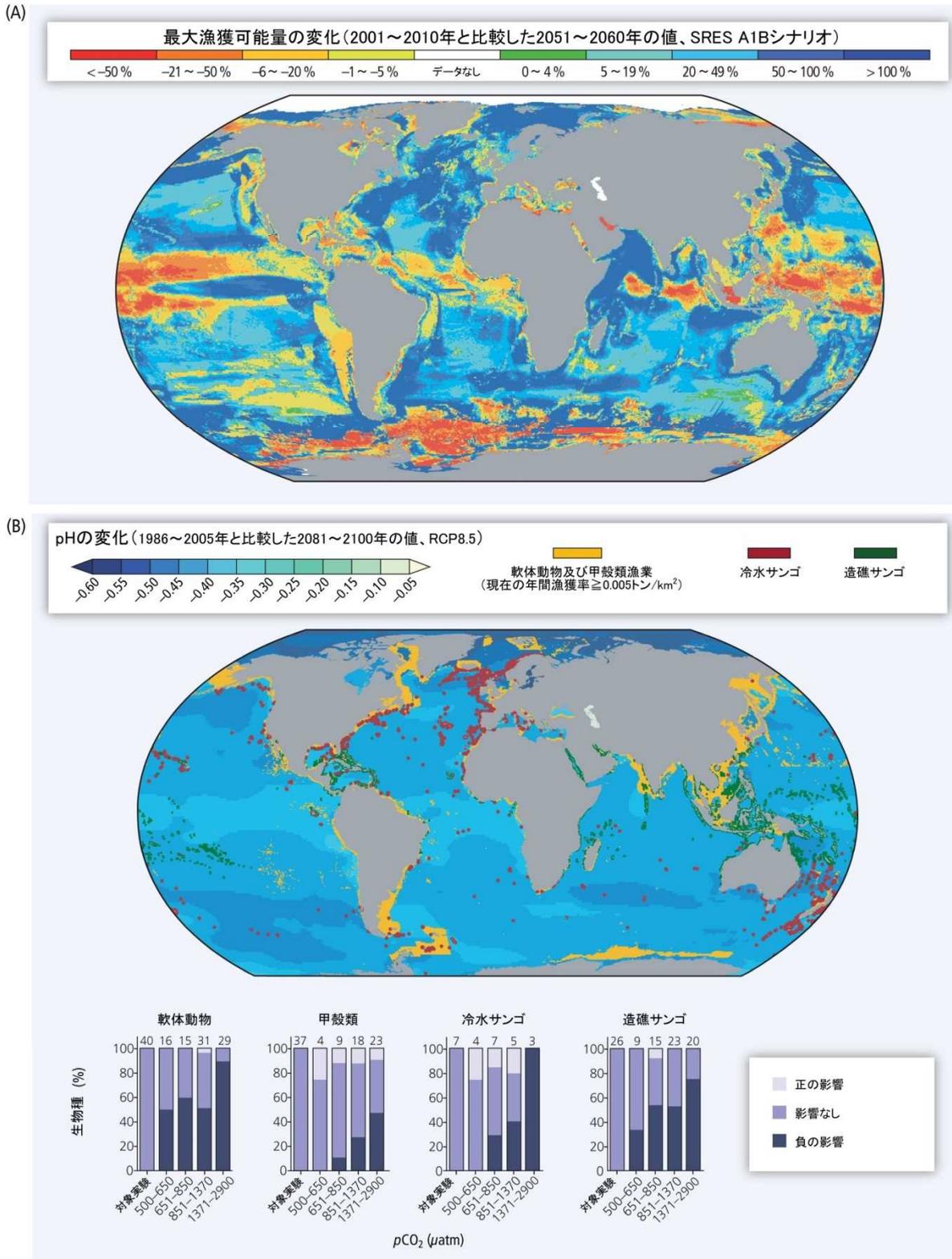


図2.6: 漁業における気候変動リスク。(A)およそ1000種の魚類及び無脊椎動物の最大漁獲可能量世界分布変化予測。予測は、乱獲または海洋酸性化の潜在的影響分析は行わず、中程度から高い程度で温暖化するシナリオ(工業化以前の気温と比較して 2°C 上昇)下で単一の気候モデルに基づく海洋の状態を使用して、2001~2010年と2051~2060年の10年平均を比較した。(B)RCP8.5における2100年までの海洋表面酸性化の世界予測分布図に示された海洋軟体動物と甲殻類漁業(現在の推定年間漁獲率 ≥ 0.005 トン/km²)及び既知の冷水サンゴ及び造礁サンゴの位置。下のグラフは、サンゴ、軟体動物、甲殻類といった社会経済的に関連のある(例えば、沿岸保全や漁業に)脆弱な動物門についての海洋酸性化に敏感な生物種の割合を比較したものである。研究を通じて分析された生物種の数が、CO₂上昇の各範囲について棒グラフの上に示されている。2100年について、CO₂分圧(pCO₂)の各範囲内に収まるRCPシナリオは次の通り: 500~650 μatmについてはRCP4.5、651~850 μatmについてはRCP6.0、851~1370 μatmについてはRCP8.5。2150年までに、RCP8.5は1371~2900 μatmの範囲内に収まる。対照実験は380 μatmに対応する(単位μatmは、ほぼ大気中のppmに相当)。{WGI 図SPM.8, Box SPM.1, WGII SPM B-2, 図SPM.6, 6.1, 6.3, 30.5, 図6-10, 図6-14}

陸域生物圏に貯蔵されている炭素は、気候変動、森林減少及び生態系の劣化の結果として大気中へ失われていきやすい（確信度が高い）。貯蔵されている陸域の炭素に及ぼす気候変動の直接的影響には高温、干ばつ、暴風雨があり、間接的影響には火災、害虫、疫病発生などのリスク増大がある。樹木の枯死やそれに伴う森林の立枯れの増加が、21世紀にわたって多くの地域で発生し（確信度が中程度）、炭素貯蔵、生物多様性、木材生産、水質、アメニティ、及び経済活動にリスクをもたらすと予測されている。{WGII SPM, 4.2-4.3, 図4-8, Box 4-2, Box 4-3, Box 4-4}

沿岸システム及び低平地は、21世紀及びその後を通じて海面水位上昇により、浸水、氾濫及び侵食をますます経験することになるだろう（確信度が非常に高い）。沿岸のリスクにさらされると予測される人々や資産は、沿岸生態系に対する人間の圧力と同様に、人口増加、経済発展及び都市化により、今後数十年で著しく増大するだろう（確信度が高い）。サンゴ礁に影響を及ぼす気候及び非気候駆動要因は生息域を侵食し、波や嵐への海岸線の曝露を増大させ、漁業や観光にとって重要な環境的特徴を劣化させるだろう（確信度が高い）。低平地の開発途上国や小島嶼国のいくつかは、非常に大きな影響に直面すると予想され、関連する被害や適応費用がGDPの数パーセントにのぼりうる（図2.5C）。{WGII 5.3-5.5, 22.3, 24.4, 25.6, 26.3, 26.8, 29.4, 表26-1, Box 25-1, Box CC-CR}

2.3.2 水、食料及び都市システム、人間の健康、安全保障並びに生計

水不足に見舞われ、大きな河川洪水の影響を受けるであろう世界人口の割合は、21世紀の温暖化水準とともに増大すると予測される（証拠が確実、確信度が高い）。{WGII 3.4-3.5, 26.3, 29.4, 表3-2, Box 25-8}

21世紀全体の気候変動は、ほとんどの乾燥亜熱帯地域において再生可能な地表水及び地下水資源を著しく減少させ（証拠が確実、見解一致度が高い）、分野間の水資源をめぐる競争を激化させると予測されている（証拠が限定的、見解一致度が中程度）。現在の乾燥地域では、RCP8.5シナリオ下で、干ばつの頻度が21世紀末までに増加する可能性が高い（確信度が中程度）。これに対し、高緯度において水資源は増加すると予測されている（証拠が確実、見解一致度が高い）。気温上昇、大雨によってもたらされる堆積物・栄養素・汚染物質負荷量の増大、干ばつ時の汚染物質濃度の増大、洪水時の処理施設の障害といった要因の相互作用が、水道原水の質を低下させ飲料水の質にリスクをもたらすだろう（証拠が中程度、見解一致度が高い）。{WGI 12.4, WGII 3.2, 3.4-3.6, 22.3, 23.9, 25.5, 26.3, 表3-2, 表23-3, Box 25-2, Box CC-RF, Box CC-WE}

食料安全保障のあらゆる側面は、食料の生産、入手可能性、利用、価格の安定などにおいて、潜在的に気候変動の影響を受けている（確信度が高い）。熱帯及び温帯地域のコムギ、米及びトウモロコシについて、その地域の気温上昇が20世紀終盤の水準より2°C又はそれ以上になると、個々の場所では便益を受ける可能性はあるものの、気候変動は適応なしでは生産に負の影響を及ぼすと予測される（確信度が中程度）。熱帯及び温帯地域のコムギ、米及びトウモロコシについて、その地域の気温上昇が20世紀終盤の水準より2°C又はそれ以上になると、個々の場所では便益を受ける可能性はあるものの、気候変動は適応なしでは生産に負の影響を及ぼすと予測される（確信度が中程度）。予測される影響は作物や地域また適応シナリオによって異なり、2030～2049年の期間についての20世紀終盤との比較では、予測の約10%が10%以上の収量増を示し、予測の約10%が25%以上の収量減を示している。20世紀終盤の水準より4°C程度かそれ以上の世界平均気温上昇は、食料需要が増大する状況では、世界的及び地域的に食料安全保障に大きなリスクをもたらさう（確信度が高い）（図2.4、2.7）。世界的な気温上昇と地域的な気温上昇の関係は、第2.2.1節を参照のこと。{WGII 6.3-6.5, 7.4-7.5, 9.3, 22.3, 24.4, 25.7, 26.5, 表7-2, 表7-3, 図7-1, 図7-4, 図7-5, 図7-6, 図7-7, 図7-8, Box 7-1}

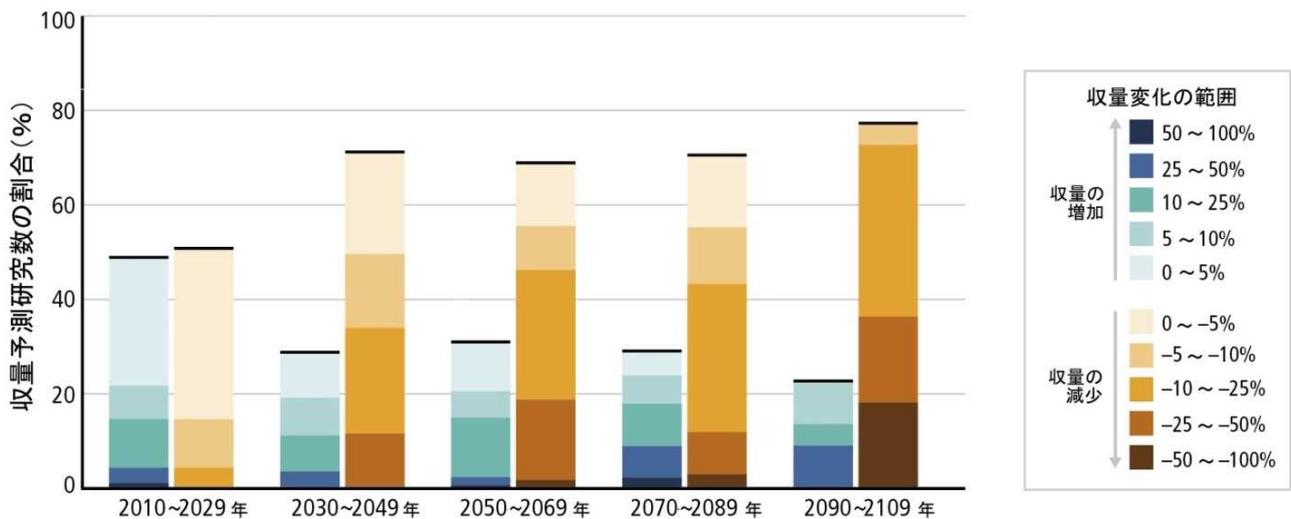


図2.7: 21世紀の気候変動による作物収量(大部分はコムギ、トウモロコシ、米及び大豆)の変化予測の図表化。図には、異なる排出シナリオ、熱帯及び温帯地域、並びに適応及び非適応ケースを対象とした作物モデルの予測で得られた1090のデータを結合したものである。予測値は20年の期間で区分けし(横軸)、その期間の中間に値がくるようにした。作物収量の変化は、20世紀終盤の水準を基準とし、各期間のデータは合計して100%となる。世界平均気温が4°C又はそれ以上上昇するシナリオについて作物システムへの影響が検討された研究は相対的に少ない。{WGII 図SPM.7}

今世紀半ばまでに、予測される気候変動は主に既存の健康上の問題を悪化させることで人間の健康に影響を与えるだろう(確信度が非常に高い)。21世紀を通じて、気候変動は、それが無いベースラインと比較して、多くの地域、特に低所得の開発途上国において、健康被害の増大をもたらすと予想される(確信度が高い)。健康影響として、より強力な熱波や火災による負傷や死亡の可能性の増大、食物・水媒介感染症リスクの増大、及び脆弱な人々の労働能力の喪失や労働生産性低下が挙げられる。貧困地域における栄養不足のリスクは増すだろう(確信度が高い)。動物媒介感染症のリスクは、病原媒介生物にとって暑くなりすぎた一部の地域で減少がみられるものの、感染地域と感染する季節の拡大により、温暖化とともに通常は増大すると予測される(確信度が中程度)。世界的には、有害な影響の程度や深刻度が有益な影響をますます上回るだろう(確信度が高い)。RCP8.5シナリオでは、2100年までに一部の地域では年間のある時期に高温かつ多湿となることが、農作業や野外労働などの通常の間活動活動を制限すると予測されている(確信度が高い)。{WGII SPM B-2, 8.2, 11.3-11.8, 19.3, 22.3, 25.8, 26.6, 図25-5, Box CC-HS}

都市域では、気候変動は、暑熱ストレス、暴風雨及び極端な降水、内陸部や沿岸域の氾濫、地すべり、大気汚染、干ばつ、水不足、海面水位上昇及び高潮などによる、人々、資産、経済及び生態系にとってのリスクを増大させると予測されている(確信度が非常に高い)。不可欠なインフラやサービスが欠如している人々、又は危険にさらされた地域に暮らす人々にとっては、これらのリスクが増幅する。{WGII 3.5, 8.2-8.4, 22.3, 24.4-24.5, 26.8, 表8-2, Box 25-9, Box CC-HS}

農村域は、世界全体での食料及び非食料作物の生産地域の移転など、水の利用可能性及び供給、食料安全保障、インフラ、並びに農業所得に大きな影響があると予想されている(確信度が高い)。これらの影響は、農村域における貧困層、例えば世帯主が女性である世帯や、土地、近代的な農業資材、インフラ及び教育の利用可能性が限られている世帯の厚生に不均衡な影響を及ぼすと予想される。{WGII 5.4, 9.3, 25.9, 26.8, 28.2, 28.4, Box 25-5}

総計した経済損失は、気温上昇に伴い拡大するが(証拠が限定的、見解一致度が高い)、気候変動による世界経済への影響は現時点では予測困難である。認識されている限界を踏まえると、工業化以前に比べ約2.5°Cの気温上昇に対する世界の年間経済損失についての既存の不完全な推計値は、収入の0.2~2.0%である(証拠が中程度、見解一致度が中程度)。人口、年齢構成、収入、技術、相対価格、生活様式、規制及びガバナンスにおける変化は、大部分の経済部門にとって気候変動より相対的に大きい影響力を持つと予測される(証拠が中程度、見解一致度が高い)。より深刻かつ/又は頻繁な気象ハザードは、災害関連の損失と損失の変動性を増大させ、特に開発途上国において手頃な価格の保険の提供を難しくすると予測される。国家間貿易や国際関係のような国際的次元も地域

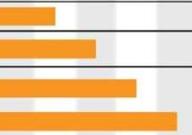
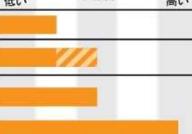
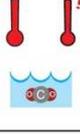
規模の気候変動リスクの理解にとって重要である。(Box 3.1) {WGII 3.5, 10.2, 10.7, 10.9-10.10, 17.4-17.5, 25.7, 26.7-26.9, Box 25-7}

貧困の観点では、気候変動の影響により経済成長が減速し、貧困削減がより困難となり、食料安全保障がさらにむしばまれると予測される。そして、既存の貧困の罨は長引き、新たな貧困の罨は特に都市域や新たな飢餓のホットスポットにおいて作り出されると予測される(確信度が中程度)。気候変動の影響は、ほとんどの開発途上国において貧困を悪化させ、先進国、開発途上国双方の不平等が拡大している国々において、新たな局所的貧困を作り出すと予想されている(図2.4)。{WGII 8.1, 8.3-8.4, 9.3, 10.9, 13.2-13.4, 22.3, 26.8}

気候変動によって、人々の強制移転が増加すると予測されている(証拠が中程度、見解一致度が高い)。計画的移住のための資金が不足している人々が、洪水や干ばつといった気象の極端現象により高度に危険にさらされる場合には、強制移転のリスクが高まる。移動機会の拡大は、そのような人々の脆弱性を低減させうる。移住パターンの変化は、気象の極端現象並びにより長期的な気候変動性及び変化のどちらにも対応することができ、移住も効果的な適応戦略になりうる。{WGII 9.3, 12.4, 19.4, 22.3, 25.9}

気候変動は、貧困や経済的打撃といったすでに十分に報告が存在する暴力的紛争の駆動要因を増幅させることによって、暴力的紛争のリスクを間接的に増大させうる(確信度が中程度)。気候の変動性とこれらの形の紛争を関連付ける複数系統の証拠が存在する。{WGII SPM, 12.5, 13.2, 19.4}

表2.3: 部門別の世界の主要リスクの例。適応の限界とともに、適応と緩和によるリスク低減の可能性も示している。それぞれの主要リスクは、非常に低い、低い、中程度、高い、非常に高い、で評価されている。リスク水準は、3つの時間枠、すなわち、現在、近い将来(ここでは2030~2040年)、長期的将来(ここでは2080~2100年)について示されている。近い将来については、世界平均気温上昇の予測される水準は、排出シナリオによって大きく変わるわけではない。長期的将来については、2つのあり得る将来(世界平均気温が工業化以前と比べて2℃及び4℃上昇)についてリスク水準が示されている。それぞれの時間枠で、リスク水準は現行の適応が続く場合と、現行あるいは将来の適応が高い水準であると仮定した場合について示されている。リスク水準は、特に地域間では、必ずしも比較可能ではない。関連する気候変動はアイコンで表示されている。{WGII 表TS.4}

影響をもたらす気候関連の要因									リスク水準及び適応の可能性	
									リスク低減のための追加的適応の可能性 	
温暖化傾向	極端な気温	乾燥傾向	極端な降水	破壊的な低気圧	氾濫	高潮	海洋酸性化	二酸化炭素施肥効果		
世界的リスク										
主要なリスク	適応の課題と展望	気候的動因	時間軸	リスク及び適応の可能性						
<p>陸域の炭素吸収源の減少: 陸域生態系に貯留された炭素は、気候変動に起因する火災発生頻度の増大や、気温上昇に対して生態系の呼吸が感度を持つことによって、大気中に戻る形で失われてしまいやすい(確信度が中程度)</p> <p>[4.2, 4.3]</p>	<ul style="list-style-type: none"> 適応の選択肢の例として土地利用(森林減少を含む)、火災その他のかく乱及び非気候ストレス要因の管理が挙げられる。 		現在 近い将来(2030~2040年) 長期的将来2℃(2080~2100年) 4℃							
<p>寒帯のティッピングポイント: 北極域の生態系は、永久凍土の融解、ツンドラにおける低木の拡大及び北方林における害虫及び火災の増加に関連する急激な変化に対して脆弱である(確信度が中程度)</p> <p>[4.3, Box 4-4]</p>	<ul style="list-style-type: none"> 北極域には適応の選択肢がほとんどない。 		現在 近い将来(2030~2040年) 長期的将来2℃(2080~2100年) 4℃							
<p>アマゾンのティッピングポイント: アマゾンの湿性林は、炭素密度のより低い、干ばつ及び火災に適応した生態系へと急激に変化する可能性がある(確信度が低い)</p> <p>[4.3, Box 4-3]</p>	<ul style="list-style-type: none"> 政策や市場対策により、森林減少や火災を低減できる。 		現在 近い将来(2030~2040年) 長期的将来2℃(2080~2100年) 4℃							
<p>生物種の絶滅リスクの増大: 評価対象種の大部分が絶滅しやすい状態にあり、その背景に気候変動があるが、多くの場合、他の脅威も相互に作用する。本質的に分散率の低い生物種(とりわけ気候速度が速いと予測される平地を占拠している場合)及び山頂部、島嶼あるいは狭い保護地域など、孤立した生息地に生息する生物種は、とりわけリスクが大きい。生物間の相互作用を通じた連鎖反応は、特に、生物季節学的変化に対して脆弱な生物種のリスクを増幅させる(確信度が高い)</p> <p>[4.3, 4.4]</p>	<ul style="list-style-type: none"> 適応の選択肢の例として、生息地の変容及び分断、汚染、乱開発、並びに侵入種の低減、保護区の拡大、分散の補助や生息地以外での保全が挙げられる。 		現在 近い将来(2030~2040年) 長期的将来2℃(2080~2100年) 4℃							
<p>海洋酸性化による、商業価値のある甲殻類及びその他の石灰質生物(例えば、造礁サンゴ、石灰質紅藻)の成長や生存の低減(確信度が高い)</p> <p>[5.3, 6.1, 6.3, 6.4, 30.3, Box CC-OA]</p>	<ul style="list-style-type: none"> 生物種によって、耐性や進化的適応が異なるという証拠は存在するが、それらはCO₂濃度や温度が高くなると限定的となる可能性が高い。 適応の選択肢の例として、よりレジリエントな生物種を利用、あるいは自然のCO₂濃度が低い生息地の保護のほか、その他のストレス(主に汚染)の低減や、観光及び漁業からの圧力の抑制が挙げられる。 		現在 近い将来(2030~2040年) 長期的将来2℃(2080~2100年) 4℃							
<p>気候変動の進行が速い状況での海洋生物多様性損失(確信度が中程度)</p> <p>[6.3, 6.4, 表30-4, Box CC-MB]</p>	<ul style="list-style-type: none"> 適応の選択肢は、他のストレス(主に汚染)の低減及び観光や漁業など沿岸での人間の活動からの圧力の抑制に限定される。 		現在 近い将来(2030~2040年) 長期的将来2℃(2080~2100年) 4℃							

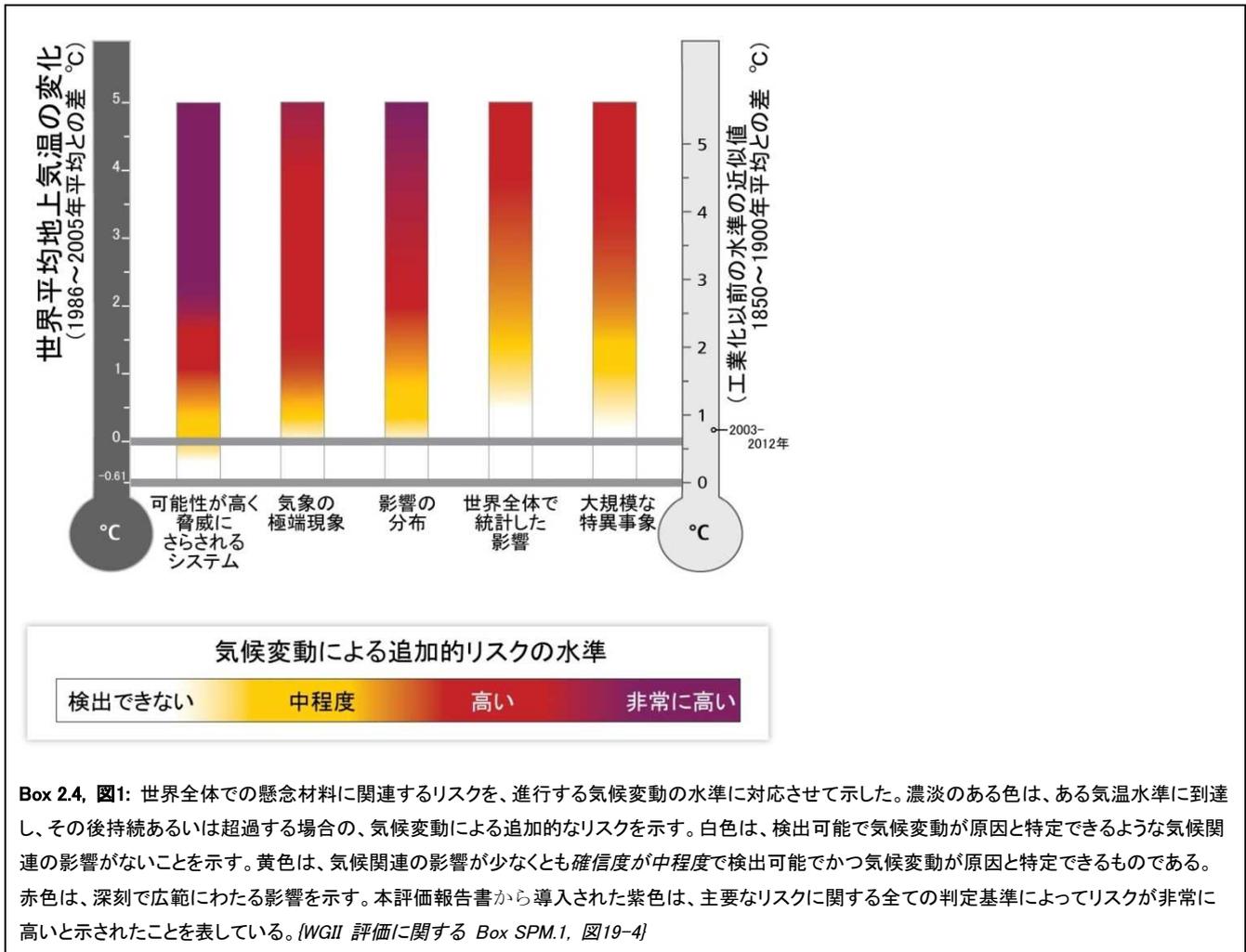
世界的リスク				
主要なリスク	適応の課題と展望	気候的動因	時間軸	リスク及び適応の可能性
<p>気候変動に起因する、平均作物収量に対する負の影響及び収量変動性の増大 (確信度が高い)</p> <p>[7.2～7.5, 図7-5, Box 7-1]</p>	<ul style="list-style-type: none"> 予測される影響は作物や地域また適応シナリオによって異なり、2030～2049年の期間についての20世紀終盤との比較では予測の約10%が10%以上の収量増を示し、予測の約10%が25%以上の収量減を示している。2050年以降、収量へのより深刻な影響のリスクは増大し、温暖化の水準次第となる。 		<p>現在</p> <p>近い将来 (2030～2040年)</p> <p>長期的将来2°C (2080～2100年)</p> <p>4°C</p>	<p>非常に低い 中程度 非常に高い</p>
<p>都市における給水システム関連のリスク (確信度が高い)</p> <p>[8.2, 8.3]</p>	<ul style="list-style-type: none"> 適応の選択肢の例として、ネットワーク・インフラへの転換のほか、十分な給水量と水質を確保するための需要側の管理、減少した淡水利用可能量を管理する能力の強化及び洪水リスクの低減が挙げられる。 		<p>現在</p> <p>近い将来 (2030～2040年)</p> <p>長期的将来2°C (2080～2100年)</p> <p>4°C</p>	<p>非常に低い 中程度 非常に高い</p>
<p>都市におけるエネルギーシステム関連のリスク (確信度が高い)</p> <p>[8.2, 8.4]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ほとんどの都市はエネルギー集約的で、エネルギーに関連する気候政策においては緩和策のみに焦点を当てている。基幹エネルギーシステムを対象に適応イニシアチブを進めている都市はまだ少ない。適応を考慮していない集中型エネルギーシステムは、影響を大きくし、局所的な極端事象により国家規模及び国境を越えた被害に繋がってしまう恐れがある。 		<p>現在</p> <p>近い将来 (2030～2040年)</p> <p>長期的将来2°C (2080～2100年)</p> <p>4°C</p>	<p>非常に低い 中程度 非常に高い</p>
<p>都市における住宅関連のリスク (確信度が高い)</p> <p>[8.3]</p>	<ul style="list-style-type: none"> 低品質で立地が不適切な住宅は大抵、極端事象に対して最も脆弱であることが多い。適応の選択肢の例として建築規制の施行や改築が挙げられる。いくつかの都市研究において、住宅を適応させ、緩和・適応・開発目標を同時に促進することの可能性が示されている。急成長している都市、あるいは災害から復興途上の都市には特に、レジリエンスを高める機会があるが、実現に至ることはまれである。適応が試されなければ、極端事象による経済損失のリスクは、高価なインフラや住宅資産を有する都市でかなり大きくなり、経済的影響が拡大する恐れがある。 		<p>現在</p> <p>近い将来 (2030～2040年)</p> <p>長期的将来2°C (2080～2100年)</p> <p>4°C</p>	<p>非常に低い 中程度 非常に高い</p>
<p>極端事象に関連する強制移転 (確信度が高い)</p> <p>[12.4]</p>	<ul style="list-style-type: none"> 極端事象への適応は十分理解されているが、現在の気候条件下でさえ、実施状況は低水準である。強制移転や非自発的な移住は大抵、一時的なものである。候リスクの増大に伴い、強制移転が恒久的の移住を含む可能性が一層高くなる。 		<p>現在</p> <p>近い将来 (2030～2040年)</p> <p>長期的将来2°C (2080～2100年)</p> <p>4°C</p>	<p>非常に低い 中程度 非常に高い</p>
<p>農業や牧畜など、資源に依存する生計の悪化から生じる暴力的紛争 (確信度が高い)</p> <p>[12.5]</p>	<p>適応の選択肢:</p> <ul style="list-style-type: none"> 気候(影響)の打撃に備える農村所得の緩衝措置、例えば生計の多様化、所得移転及び社会的セーフティネットの提供など。 効果的なリスク低減を促進するための早期警戒情報メカニズム。 暴力的紛争を収拾するための確立した戦略。これは効果的であるが多大な資源、投資及び政治的意思を必要とする。 		<p>現在</p> <p>近い将来 (2030～2040年)</p> <p>長期的将来2°C (2080～2100年)</p> <p>4°C</p>	<p>非常に低い 中程度 非常に高い</p>
<p>労働生産性の低下、罹病率の上昇(例えば、脱水症、熱中症及び熱性疲労)及び熱波曝露による死亡。特にリスクが大きいのは、農業従事者や建設作業員のほか、子ども、ホームレス、高齢者及び水汲みのため長時間歩かなくてはならない女性である (確信度が高い)</p> <p>[13.2, Box 13-1]</p>	<ul style="list-style-type: none"> 農業に依存し、農業用機械を買う金銭的余裕がない人々の適応の選択肢は限られている。 不確かな協定の下で多数の貧しい人々が働く建設部門では、適応の選択肢は限られている。 +4°Cの世界では、一部の地域では適応の限界を超えてしまうおそれがある。 		<p>現在</p> <p>近い将来 (2030～2040年)</p> <p>長期的将来2°C (2080～2100年)</p> <p>4°C</p>	<p>非常に低い 中程度 非常に高い</p>
<p>農村域及び都市域の貧困層における、水不足や水資源をめぐる競争の激化に起因する水の入手可能性の低下 (確信度が高い)</p> <p>[13.2, Box 13-1]</p>	<ul style="list-style-type: none"> 安全な水を十分に入手する手段を既に欠いている多数の人々にとっては、水使用量の節約を通じた適応は選択肢とはならない。水の入手手段は、例えばジェンダーや場所に起因する様々な形で差別される。貧困層や社会から取り残された人々の水利用は、産業、大規模農業及びその他の権力を持つ利用者による取水に太刀打ちできない。 		<p>現在</p> <p>近い将来 (2030～2040年)</p> <p>長期的将来2°C (2080～2100年)</p> <p>4°C</p>	<p>非常に低い 中程度 非常に高い</p>

Box 2.4: 気候変動に関する懸念材料

5つの「懸念材料」は、第3次評価報告書以降、主要なリスクをまとめるための枠組みを提供してきた。それらは、あらゆる分野や地域にわたり、温暖化の意味合いや、人々、経済及び生態系にとっての適応の限界とは何かを説明している。それらは、気候システムに対する危険な人為的干渉を評価するための1つの出発点を提供するものである。Box 2.4の文章に記載されている全ての気温上昇の水準は、1986~2005年平均との比較である。これらの気温上昇の水準に約0.6°Cを加えると、1850~1900年の期間（ここでは工業化以前を表現するための期間として利用）と比較した気温上昇のおおよその水準が得られる（Box 2.4 図1の右側の目盛）。{WGII 評価に関するBox SPM.1}

5つの懸念材料は以下の通り：

- 1. 固有性が高く脅威にさらされるシステム：**生態系や文化の一部には、すでに気候変動によるリスクに直面しているものがある（確信度が高い）。深刻な影響のリスクに直面する固有性が高く脅威にさらされるシステムの数は、約1°Cの気温上昇で増加する。適応能力が限られている多くのシステム、特に北極海水やサンゴ礁に関連するシステムは、2°Cの気温上昇で非常に高いリスクにさらされる。気温上昇の大きさに起因するリスクに加え、陸域の生物種は気温上昇の速度にも影響を受けやすく、さらに、海洋生物種は海洋酸性化の速度と程度に、沿岸システムは海面水位上昇に影響を受けやすい（図2.5）。
- 2. 気象の極端現象：**熱波、極端な降水及び沿岸域の氾濫のような極端現象による気候変動関連のリスクはすでに中程度である（確信度が高い）。1°Cの気温上昇によってリスクは高い状態になる（確信度が中程度）。極端現象のいくつかの種類（例えば、極端な暑熱）に伴うリスクは、さらに気温が上昇するにつれて徐々に高くなる（確信度が高い）。
- 3. 影響の分布：**リスクは人々のグループ間及び地域間に偏在している。リスクはどのような場所においても、おしなべて、恵まれない境遇にある人々やコミュニティに対してより大きくなる。特に作物生産に対しては観測されている気候変動の影響は地域によって異なるため、リスクはすでに中程度である（確信度が中程度~高い）。地域的な作物収量や水の利用可能性が減少するという予測に基づくと、不均一に分布する影響のリスクは2°C以上の気温上昇で高くなる（確信度が中程度）。
- 4. 世界全体で総計した影響：**世界全体で総計した影響のリスクは、地球上の生物多様性及び世界経済全体の両方への影響を反映し、1~2°Cの気温上昇で中程度である（確信度が中程度）。広範な生物多様性の損失に伴う生態系の財及びサービスの損失は、約3°Cの気温上昇でリスクが高くなる（確信度が高い）。総計した経済損失は気温上昇に伴い拡大するが（証拠は限定的、見解一致度が高い）、3°C以上の気温上昇の場合の定量的推計はほとんど存在しない。
- 5. 大規模な特異事象：**温暖化の進行に伴い、いくつかの物理システム及び生態システムは急激かつ/又は不可逆的な変化のリスクにさらされる（第2.4節参照）。暖水性サンゴ礁や北極生態系がどちらもすでに不可逆的なレジームシフトを経験しているという兆候があることから、そのようなティッピングポイントに関連したリスクは、0~1°Cの間の気温上昇において中程度となる（確信度が中程度）。1~2°Cの間では気温上昇に伴ってリスクは急速に増加し、気温上昇が3°Cを超えると大規模かつ不可逆的な氷床消失により海面水位が上昇する可能性があるため、リスクは高くなる。約0.5°Cより大きい（確信度が低い）、約3.5°C未満（確信度が中程度）のしきい値よりも大きい気温上昇が続くと、グリーンランド氷床のほぼ完全な消失が千年あるいはそれ以上かけて起こり、最終的には世界の平均海面水位を最大7メートル上昇させるのに寄与するだろう。



2.4 2100年以降の気候変動、不可逆性及び急激な変化

気候変動の多くの側面及び影響は、たとえ温室効果ガスの人為的な排出が停止したとしても、何世紀にもわたって持続するだろう。急激あるいは不可逆的な変化のリスクは、温暖化の程度が大きくなるにつれて増大する。

RCP2.6シナリオを除く全てのRCPシナリオにおいて、昇温は2100年以降も持続するだろう。人為的な二酸化炭素の正味の排出が完全に停止した後、数世紀にわたって、地上気温は高いレベルでほぼ一定のままとどまるだろう。(二酸化炭素の排出量と世界平均気温変化の関係については、第2.2.5節参照)。二酸化炭素の排出に起因する人為的な気候変動の大部分は、大気中から二酸化炭素の正味での除去を大規模に継続して行う場合を除いて、数百年から千年規模の時間スケールで不可逆的である。{WGI SPM E.1, SPM E.8, 12.5.2}

世界平均地上気温の安定化は、気候システムの全ての側面での安定化を意味していない。生物群の移行、土壌炭素の再平衡化、氷床、海洋の温度及び関連する海面水位上昇は、全て独自の内因的な長期の時間スケールを有しており、世界地上気温が安定した後、数百年から数千年にわたり継続する変化をもたらすだろう。{WGI SPM E.8, 12.5.2 - 12.5.4, WGII 4.2}

二酸化炭素の排出が続くならば、海洋酸性化が数世紀にわたって進行し、海洋生態系に強く影響し(確信度が高い)、その影響は水温の極値が上昇することによって悪化するだろう(図2.5b)。{WGI

世界平均の海面水位上昇が、2100年以降数世紀にわたって継続するだろう（ほぼ確実）。2100年以降に及ぶ予測結果が利用できる少数の解析によると、RCP2.6シナリオのようにピークに達した後減少し500 ppm未満を維持するような温室効果ガス濃度の場合、工業化以前と比べた2300年までの海面水位上昇は1 m未満である。RCP8.5シナリオのように2100年に700 ppmを超えるが1500ppmには達しない二酸化炭素換算濃度に相当する放射強制力の場合、予測された水位上昇は2300年までに1 mから3 m以上である（確信度が中程度）（図2.8c）。利用可能なモデルにおける南極氷床からの氷の流出の予測能力に対する確信度は低い。したがって、これらのモデルは南極氷床の寄与を過小評価し、その結果、2100年以降の海面水位上昇予測も過小評価されている可能性が高い。{WGI SPM E.8, 13.4.4, 13.5.4}

全球気候モデルにおいては、北極海が越年氷で覆われている状態から季節的に氷のない状態に遷移する中で、ある点を超えると海氷の減少が止められなくなり不可逆になるという転換点(ティッピングポイント)又は臨界値を示す証拠はほとんどない。{WGI 12.5.5}

解析の数が限られており、結果もはっきりしていないため、21世紀より後の大西洋子午面循環(AMOC)の変化に関する評価結果の確信度は低い。しかしながら、大規模な温暖化が持続することで21世紀より後においてAMOCが停止してしまう可能性を否定することはできない。{WGI SPM E.4, 12.4.7, 12.5.5}

氷床の持続的な質量損失が起これば、より大きな海面水位上昇が生じるだろう。そして、この質量損失の一部は不可逆的であるかもしれない。あるしきい値を超える世界平均気温上昇が持続すると、千年あるいは更に長期間をかけたグリーンランド氷床のほぼ完全な損失を招いて、最大7mに達する海面水位上昇をもたらすだろうということの確信度は高い。現在の見積もりでは、そのしきい値は工業化以前に対する世界平均気温の上昇量で約1°Cより大きく（確信度が低い）、約4°Cより小さい（確信度が中程度）とされている。南極氷床の海洋を基部とする部分の気候強制力に対する潜在的な不安定性により、急激かつ不可逆的な氷の損失が起こる可能性があるが、現在の証拠と理解は定量的な評価を行うには不十分である。{WGI SPM E.8, 5.6.2, 5.8.1, 13.4.3, 13.5.4}

21世紀中に、中程度から高い排出シナリオ（RCP4.5、6.0及び8.5シナリオ）に伴う気候変動の程度や速度は、海洋、陸域、及び湿地を含む淡水域の生態系（確信度が中程度）並びに暖水性サンゴ礁（確信度が高い）の構成、構造及び機能において、急激で不可逆的な地域規模の変化が起こるリスクを増大させる。気候変動を著しく増幅しうる例として、寒帯ツンドラ北極システム（確信度が中程度）やアマゾンの森林（確信度が低い）があげられる。{WGII 4.3.3.1, Box 4.3, Box 4.4, 5.4.2.4, 6.3.1-6.3.4, 6.4.2, 30.5.3-30.5.6, Box CC-CR, Box CC-MB}

世界平均気温の上昇が続くと、永久凍土面積が減少することはほぼ確実である。現在の永久凍土域は、正味の炭素（二酸化炭素及びメタン）排出源になると予測され、21世紀を通じてRCP8.5シナリオ下で180~920 GtCO₂（50~250 GtC）が失われる（確信度が低い）。{WGI TFE.5, 6.4.3.4, 12.5.5, WGII 4.3.3.4}

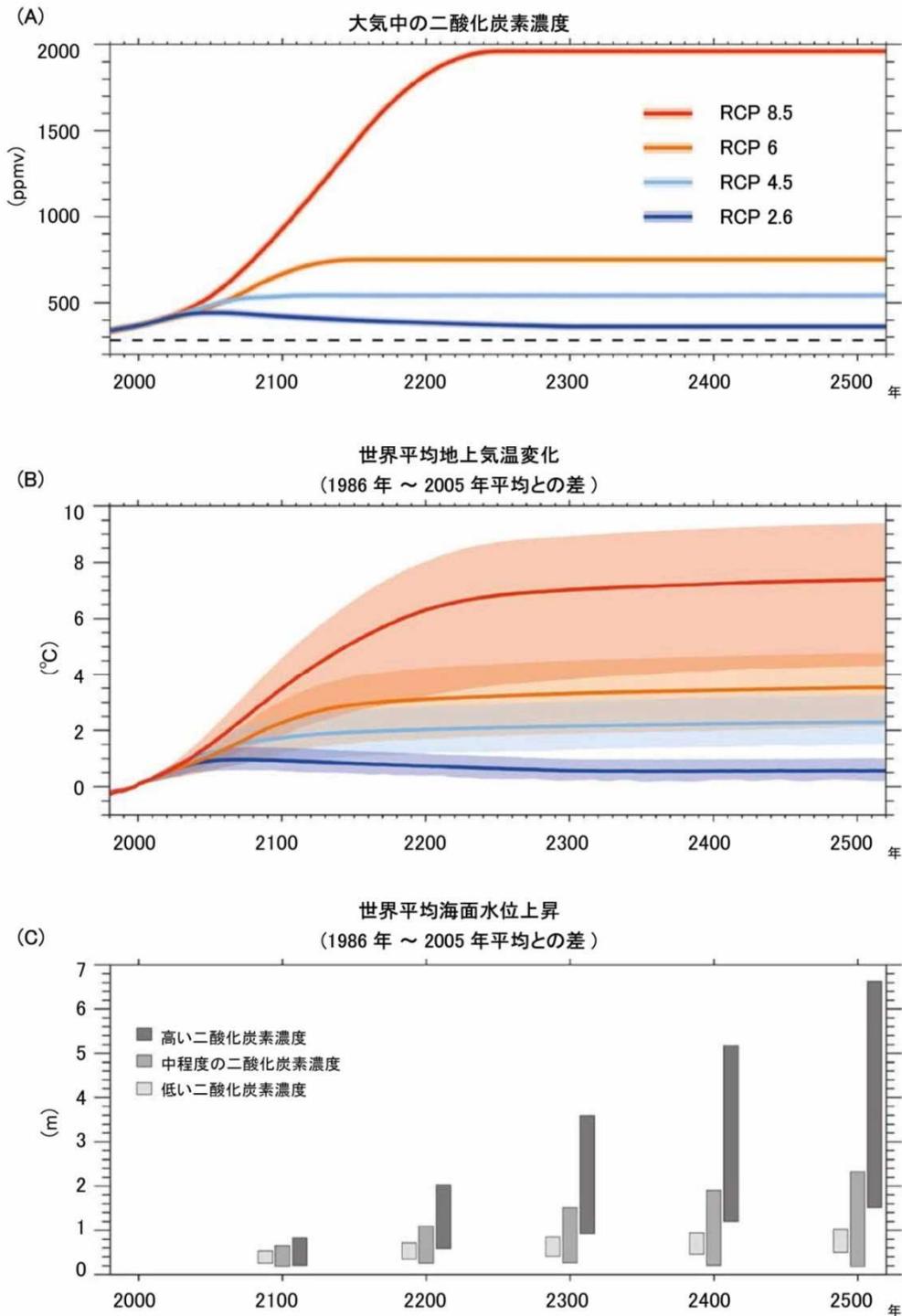


図2.8: (a) 大気中二酸化炭素濃度及び(b) 中程度の複雑さの地球システムモデル(EMIC)のシミュレーションにより再現された世界平均地上気温の予測。2300年までは(1986～2005年平均を基準として)4つのRCPシナリオ、その後は2300年の水準で放射強制力を一定にしてシミュレーションを実行した。10年の平滑化を適用した。図(A)の破線は工業化以前の二酸化炭素濃度を示す。(C)海面水位変動予測を2100年時点での温室効果ガス濃度(単位:CO₂eq)にしたがって3つに区分したもの(低:RCP2.6シナリオにあるように濃度がピークに達した後減少に転じ、500 ppm未満に留まり続ける場合。中:500～700 ppm(RCP4.5シナリオを含む)。高:RCP6.0及びRCP8.5シナリオにあるように、濃度が700 ppmより高く1500 ppmより低くなる場合)。図(C)の棒グラフは、数少ない利用可能なモデルの結果とともに得られる最大限可能な幅を示している(不確実性の範囲と解釈しないこと)。これらのモデルは南極氷床の寄与を過小評価し、その結果、2100年以降の海面水位上昇予測が過小評価になっている**可能性が高い**。
 [WGI 図12.43, 図13.13, 表13.8, WGII SPM B-2]

トピック3: 適応、緩和及び持続可能な開発に向けた将来経路

適応及び緩和は、気候変動のリスクを低減し管理するための相互補完的な戦略である。今後数十年間の大幅な排出削減は、21世紀とそれ以降の気候リスクを低減し、効果的に適応する見通しを高め、長期的な緩和費用と課題を減らし、持続可能な開発のための気候にレジリエントな(強靱な)経路に貢献することができる。

適応と緩和は、気候変動に対応するための2つの補完的な戦略である。適応は、現実の又は予想される気候及びその影響に対し、危害を和らげ又は回避し、もしくは有益な機会を活かすための調整の過程である。緩和は、将来の気候変動を制限するために、温室効果ガスの排出を低減又は吸収源を強化する過程である。適応と緩和のどちらも気候変動影響のリスクを低減しマネジメントしうる。しかし、適応と緩和が、便益だけでなく他のリスクを形成する可能性もある。気候変動に対する戦略的対応には、適応及び緩和行動のリスクとコベネフィットと共に、気候関連のリスクについての検討も含まれている。{WGII SPM A-3, SPM C, 用語集, WGIII SPM.2, 4.1, 5.1, 用語集}

緩和、適応及び気候影響はすべて、システムへの変革及びシステム内の変化に行きつく可能性がある。気候変動は、変動の速度と程度並びに人間及び自然システムの脆弱性と曝露に応じて、生態系、食料システム、インフラ、沿岸域、都市及び農村域、人間の健康及び生計を変えるだろう。変動する気候に適応で対応するには、漸進的な変化からより根本的で変革的な変化にわたる行動が必要である³⁴。緩和には、人間社会が生産し、エネルギーサービスと土地を利用する方法における根本的な変化が含まれる可能性がある。{WGII B, C, TS C, Box TS.8, 用語集, WGIII SPM.4}

本報告書のトピック3は、緩和と適応の戦略の評価に影響を与える要因を分析する。また、緩和、適応及び気候関連の残存影響の様々な組合せからの、便益、リスク、漸進的な変化及び潜在的変革を検討する。さらに、今後数十年間における対応がいかに長期的な気候変動を制限するための選択肢及び気候変動へ適応する機会に影響を与えるかについても議論する。最後に、不確実性、倫理的配慮及び他の社会的目標など、緩和と適応に関する選択に影響を与える可能性がある要因について考察する。トピック4ではその後、ツール、選択肢及び政策についての現状の知識に基づいて、緩和と適応の見通しを評価する。

3.1 気候変動に関する意思決定の基礎

気候変動とその影響を抑制する効果的な意思決定のための情報は、ガバナンス、倫理的側面、衡平性、価値判断、経済的評価、リスクや不確実性に対する多様な認識や対応の重要性を認識しつつ、予想されるリスクや便益を評価する幅広い分析的アプローチを行うことにより提供される。

持続可能な開発と衡平性が、気候政策の評価の基礎である。気候変動の影響を抑えることが、貧困の撲滅を含む持続可能な開発および衡平性の達成に必要である。各国が過去及び将来に、大気中の温室効果ガスの蓄積に対してどれだけ寄与しているかはそれぞれ異なる。また、各国は異なる課題及び状況に直面しており、緩和や適応の政策の実行能力にも差がある。緩和及び適応は、衡平性、正当性、及び公正についての課題を提起し、持続可能な開発と貧困の撲滅において必要不可欠である。気候変動に対して最も脆弱な国の多くは、温室効果ガスの排出にこれまでも現在もほとんど寄与していない。緩和を遅延させると、現在から将来へ負荷が先送りされ

³⁴本報告書において、変革はシステムの基本的な特性の変化を指すために用いている(用語集参照)。変革は複数のレベルで起こり得る。すなわち、国家水準では、変革は国の事情や優先順位に応じて持続可能な開発を達成するためのその国自体の構想や手法を反映する際、最も有効と考えられる。{WGII SPM C-2, 2-13, 20.5, WGIII SPM, 6-12}

るし、顕在化しつつある影響に対する不十分な適応対応により、持続可能な開発の基盤が既にむしばまれてきている。適応と緩和のどちらも、誰がコストを支払い誰が便益を受けるかに依存して、局所的、国家的及び国際的な配分の影響をもたらす。気候変動に関する意思決定過程、及びその過程が影響を受ける全ての人々の権利と視点をどの程度尊重するかも、公正であるための関心事である。{WG II 2.2, 2.3, 13.3, 13.4, 17.3, 20.2, 20.5, WG III SPM.2, 3.3, 3.10, 4.1.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6, 4.8}

各主体が、各々の関心事を個々に進めていては、効果的な緩和は達成されない。温室効果ガス(GHG)のほとんどは長期にわたって蓄積して世界中に広がり、またあらゆる主体(例えば個人、共同体、会社、国)からの排出が他の主体に影響を及ぼすことから、気候変動は世界的な集合行為問題という性質を有している。したがって、温室効果ガスの排出を効果的に緩和し、その他の気候変動問題に対処するためには、国際協力を含む協調的な対応が必要である。適応の効果は、国際協力を含むあらゆる層にわたる相互補完的な行動を通じて強化される。結果を衡平に見えるようにすることで、より効果的な協力が得られることを示唆する証拠がある。{WG II 20.3.1, WG III SPM.2, TS.1, 1.2, 2.6, 3.2, 4.2, 13.2, 13.3}

気候変動に関する意思決定には、多様な価値が存在する中で価値の査定と仲介が含まれ、いくつかの規範的規律についての分析的手法によって促進されるだろう。倫理学は、そこに含まれる異なった価値及びそれらの間の関係を分析する。近年の政治哲学は、排出がもたらす影響に対する責任という問題を調査してきた。経済学と意思決定分析は定量的な査定の手法を提供する。これらの手法は、費用便益分析及び費用対効果分析においては炭素の社会的費用の推定(Box 3.1参照)に、統合評価モデルにおいては最適化に、またあらゆるところで利用される。経済的方法は、非市場財、衡平性、行動的バイアス、付随する便益及び費用並びに人によって異なる様々な金銭的価値観を反映することができる。しかし、これらは裏付けのある制限を受ける。{WG II 2.2, 2.3, WG III SPM.2, Box TS.2, 2.4, 2.5, 2.6, 3.2-3.6, 3.9, 3.9.4}

分析的な査定手法では、緩和、適応、気候の残存影響の間に単一の最良バランスを特定することはできない。これについての重要な理由は、気候変動が極めて複雑な自然及び社会過程を含んでいること、考慮すべき価値についての広範な不一致があること、及び気候変動影響と緩和の手法が配分面で重大な影響を持つことである。それでもなお、既存のものにとって代わる気候目標及びリスク水準を目指す排出経路がもたらす結果に関する情報は、意思決定過程への有用な入力情報になりうる。気候変動への対応の評価には、発生確率は低くとも重大な影響を伴うものも含め、可能な限り広範な影響についての評価を取り込む。{WG II 1.1.4, 2.3, 2.4, 17.3, 19.6, 19.7, WG III 2.5, 2.6, 3.4, 3.7, Box 3-9}

気候変動の複雑な環境における実効性のある意思決定やリスクマネジメントは、反復的になりうる:戦略はその実施の最中に新たな情報や理解が発展するのに応じてしばしば調整が可能である。しかしながら、近い将来の適応や緩和の選択は、21世紀とその後を通して気候変動のリスクに影響を与え、持続可能な開発のための気候にレジリエントな経路の見通しは緩和を通して何が達成されるかに依存する。適応と緩和の間の正の相乗効果を活用する機会、特に緩和が非常に長い間先延ばしにされた場合、時間とともに少なくなっていく可能性がある。気候変動に関する意思決定は個人や組織がリスクと不確実性をどのように受け止め、考慮に入れるかにより影響される。個人や組織は時に、簡略化された意思決定のルールを用いたり、リスクを過大評価もしくは過小評価したり、さらには現状維持に偏向したりする。個人や組織はまた、リスク回避の程度、及び特定の行動が引き起こす短期的な派生影響と長期的な派生影響を対比してどちらにどれだけ重きを置くかで異なっている。不確実性の下で意思決定するために定式化された分析手法は、リスクを正確に考慮することができ、短期的及び長期的な結果の

どちらにも焦点を絞ることが出来る。{WG II SPM A-3, SPM C-2, 2.1-2.4, 3.6, 14.1-14.3, 15.2-15.4, 17.1-17.3, 17.5, 20.2, 20.3, 20.6, WGIII SPM.2, 2.4, 2.5, 5.5, 16.4}

3.2 適応及び緩和によって低減される気候変動リスク

現行を上回る追加的な緩和努力がないと、たとえ適応があつたとしても、21世紀末までの温暖化が、深刻で広範にわたる不可逆的な影響を世界全体にもたらすリスクは、高い～非常に高い水準に達するだろう(確信度が高い)。緩和はコベネフィット及び負の副次効果によるリスクの両方がある程度まで伴うが、これらのリスクは気候変動による深刻で広範にわたる不可逆的な影響と同程度のリスクの可能性を伴うものではなく、近い将来の緩和努力による便益を増加させる。

気候変動、適応、及び緩和のリスクは、その性質、時間スケール、規模及び持続性において異なっている(確信度が高い)。適応からのリスクには、適応の失敗と付帯的な負の影響が含まれる。緩和からのリスクには、低炭素技術の大規模導入による負の副次効果の可能性と経済コストが含まれる。気候変動リスクは数千年持続する可能性があり、その中には非常に高い深刻な影響のリスクと限られた適応能力と組み合わせさせた著しい不可逆性が存在する可能性がある。対照的に、気候政策の厳しさの度合いは、観測された影響とコストに対応してより素早く調整でき、不可逆的な結果のリスクをより小さくもできる。(3.3, 3.4, 4.3) {WGI SPM E.8, 12.4, 12.5.2, 13.5, WG II 4.2, 17.2, 19.6, WG III TS.3.1.4, 表TS.4, 表TS.5, 表TS.6, 表TS.7, 表TS.8, 2.5, 6.6}

緩和及び適応は、気候変動の影響のリスクを低減するための相互補完的なアプローチである。緩和と適応は、異なる時間スケールにわたって互いに作用し、リスクを低減する(確信度が高い)。適応からの便益は、現在のリスクへの対処においてすでに実現されており、将来においても新たなリスクへの対処において実現される。適応は今後数十年間にわたり気候変動の影響を低減する可能性があるが、一方緩和はこの時間スケールで気候の結果に与える影響は相対的に小さい。近い将来及び長期的将来の緩和及び適応が、開発経路と同様、今世紀半ば以降の気候変動のリスクを決定づけるだろう。緩和の長期的な便益が増大していく中で、適応の可能性は部門によって異なり、かつ制度的及び能力的な制約によって制限されるだろう(確信度が高い)。緩和の水準は、気候変動の速度と程度に影響し、気候変動がより早い速度やより大きな程度になると、適応の限界を超える可能性が高まる(確信度が高い)。(3.3) {WGI 11.3, 12.4, WGII SPM A-3, SPM B-2, SPM C-2, 1.1.4.4, 2.5, 16.3-16.6, 17.3, 19.2, 20.2.2, 20.3, 20.6}

現行を上回る追加的な緩和努力がないと、たとえ適応があつたとしても、21世紀末までの温暖化が、深刻で広範にわたる不可逆的な影響を世界全体にもたらすリスクは、高い～非常に高い水準に達するだろう(確信度が高い)(トピック2及び図3.1のパネルA)。追加的な気候緩和努力がない場合の2100年における気温上昇の推定値は、工業化以前と比べて3.7-4.8°C(過渡的気候応答(TCR)の中央値)である; TCRの5-95パーセンタイルの範囲を用いると、2.5-7.8°Cの範囲(図3.1; 図3.4; WGIII SPM.3)。工業化以前と比べて4°C又はそれ以上の気温となることに関連づけられるリスクには、固有性が高く脅威にさらされるシステムへの深刻で広範な影響、多くの種の絶滅、世界及び地域の食料安全保障に対する大きなリスク、結果として起こる通常の人間活動に対する制約、ティッピングポイント(危険なしきい値)の引き金をひく可能性の増大、及びいくつかの場合には適応の可能性が限られることが含まれる(確信度が高い)(Box 3.3)。気候変動のリスクのうち、固有性が高く脅威にさらされるシステムに対するリスクや気象の極端現象に関係づけられるリスクは、工業化以前と比べて1°Cから2°C高い気温で中程度から高いものとなる。{WGII SPM B-1, SPM C-2, WGIII SPM.3}

今後数十年にわたり温室効果ガス排出の大幅な削減を行えば、21世紀後半及びそれ以降における温暖化を抑制することによって気候変動のリスクを大幅に低減することができる(確信度が高い)。世界平均地上気温上昇の大部分は累積排出量によって決定づけられ(図3.1, パネルB)、累積排出量は異なる時間スケールにおける排出に関連づけられる。懸念材料にわたるリスクを抑制することは、二酸化炭素累積排出量の制限を意味する。そのような制限をする場合には、世界全体の正味の二酸化炭素排出量を最終的にゼロまで削減することを要する(図3.1)(確信度が高い)。緩和を通じた気候変動リスクの低減は、温室効果ガス排出量の今後数十年にわたる大幅な削減を伴う(図3.1; 図3.4)。しかし、適応と緩和を行っても残留するダメージによるリスクは不可避である(確信度が非常に高い)。関連する気候変動リスクのサブセットが総経済指標を用いて見積もられた。こういった経済的推計には、重大な制限が伴い、それゆえ長期緩和目標に関する意思決定について有用ではあるが根拠としては不十分である(Box3.1参照)。*{WGII 19.7.1, WGIII SPM.3, 図3.1}*

緩和はある程度までコベネフィットやリスクを伴うが、これらのリスクは気候変動による深刻で広範にわたる不可逆的な影響と同程度のリスクの可能性を伴うものではない(確信度が高い)。気温上昇を工業化以前と比べて2°C未満もしくは3°Cに抑制する可能性が高いシナリオは、今後数十年間にわたるエネルギーシステム及び潜在的土地利用の大規模な変化を伴う(3.4)。関連するリスクには、低炭素エネルギーを産生する技術選択肢の大規模な普及、緩和の総経済費用が高い可能性、及び脆弱な国や産業への影響に関連するリスクがある。他のリスク及びコベネフィットには、人間の健康、食料の安全保障、エネルギーの安全保障、貧困の削減、生物多様性の保全、水の利用可能性、所得配分、税システムの効率、労働力供給と雇用、都市乱開発、化石燃料輸出の収入、及び開発途上国の経済成長が関連している(表4.5)。*{WGIII SPM.4.1, SPM.4.2, TS.3.1.4, 表TS.4, 表TS.5, 表TS.6, 表TS.7, 表TS.8, 6.6}*

経済及び気候システムにおける惰性或気候変動がもたらす不可逆的な影響の可能性は、近い将来の緩和努力による便益を増加させる(確信度が高い)。今日とる行動が、将来排出量を削減し、気温変化を制限し、気候変動に適応するために利用できる選択肢に影響を与える。近い将来の選択が、意思決定上重要な固定化(ロックイン)のかなりの要素を形成、増幅あるいは制限しうる。固定化及び不可逆性は、気候システムの中で、その要素のいくつかにおける大きな惰性によって起こる。例えば、海洋表面から深部への熱伝達で、これは排出シナリオに関わらず何世紀にもわたって海洋を温暖化し続けることにつながる。また、大部分の人為起源の気候変動の不可逆性は、長期間にわたる大規模な人為的干渉を通して大気から二酸化炭素が取り除かれない限り、数世紀から千年の時間スケールの二酸化炭素の排出の結果もたらされる(Box3.3も参照)。社会経済システム及び生物システムにおける不可逆性もインフラの発達と長寿命の製品からもたらされ、種の絶滅のように気候変動の影響からもたらされるものもある。気候変動のリスクからもたらされる不可逆性と広範にわたる影響の可能性は緩和のリスクからもたらされる潜在性よりも大きく、短期的な緩和努力の便益を増す。追加的緩和の遅延あるいは技術的選択肢の制約は緩和の選択肢を制限し、所与の水準に気候変動影響をとどめておくための長期的な緩和費用及び中～長期的に被る他のリスクを増大させる(表 WG III.SPM.2, 青色部分)。*{WGI SPM E-8, WGII SPM B-2, 2.1, 19.7, 20.3, Box 20-4, WGIII SPM.4.1, SPM.4.2.1, 3.6, 6.4, 6.6, 6.9}*

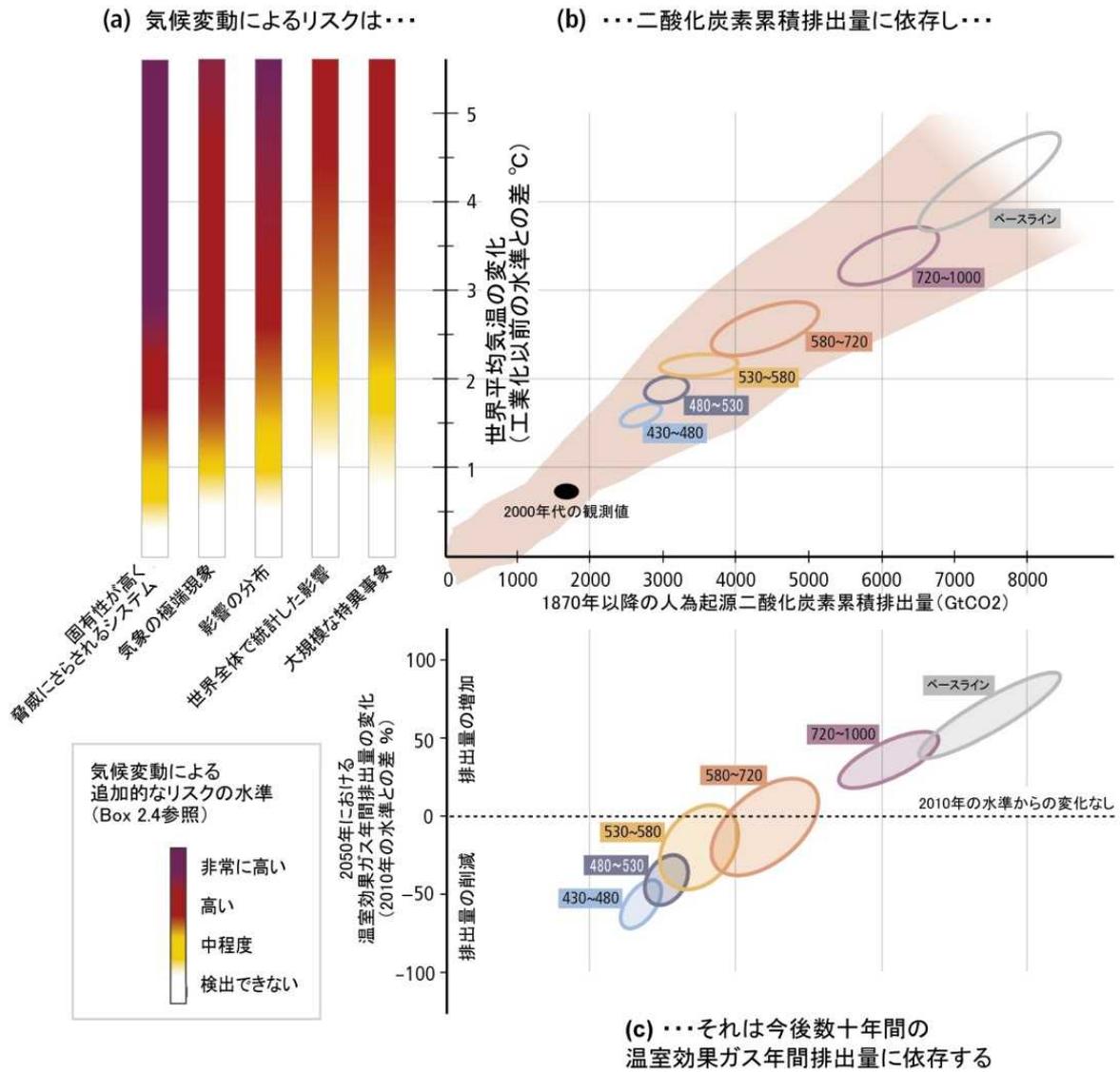


図 3.1: 気候変動によるリスク、気温の変化、二酸化炭素累積排出量及び 2050 年までの温室効果ガス年間排出量変化の間の関係。懸念材料におけるリスク(a)を抑えることは、将来の二酸化炭素累積排出量を抑え(b)、これから先数十年にわたる年間排出量を抑制する(c)ことを意味する。(a)は5つの懸念材料{Box 2.4}を再掲している。(b)は、気温の変化を1870年以降の二酸化炭素累積排出量(単位:GtCO₂)と関係づけている。この関係は、CMIP5シミュレーション(ピンクのブルーム)及びベースラインと5つの緩和シナリオ区分(6つの楕円)に対する簡易気候モデル(2100年時点の気候応答の中央値)に基づく。詳細は図2.3に示されている。(c)はシナリオ区分ごとの二酸化炭素累積排出量(GtCO₂)とそれらに対応する2050年までの温室効果ガス年間排出量の2010年水準を基準としたパーセンテージの変化(GtCO₂換算/年でのパーセント)との関係である。楕円は(b)と同じシナリオ区分に対応し、同じ手法で作成されている(詳細は図2.3を参照)。

Box 3.1: 気候変動リスクの経済的評価の限界

気候変動のリスク及び影響の一部は、しばしばGDPあるいは総所得といった総合経済指標を用いて測られる。しかしながら、推計は部分的であり、かつ概念及び経験上の大きな制約があり、それによって影響を受けている。工業化以前から気温が約2.5°C上昇した場合の世界の年間経済損失のこの不完全な推計値は、収入の0.2から2.0%の間にある(証拠が中程度、見解一致度が中程度)。損失は、この範囲より小さくなるよりはむしろ大きくなる可能性がどちらかと言えば高い(証拠が限定的、見解一致度が高い)。二酸化炭素を1トン多く排出することによる総合経済影響の増分(炭素の社会的費用)の推計がこれらの研究から得られており、その値は2000~2015年で炭素1トン当たり数ドルから数百ドルの間にある(証拠が確実、見解一致度が中程度)。これらの影響の推計は不完全で、多数の仮定に依存しており、しかもその仮定の多くは議論の余地がある。多くの推計は大規模な特異事象の可能性及び不可逆性、ティッピングポイント及び他の重要な要因、特に生物多様性の損失といった金銭化が難しいものについては考慮していない。総費用で推計すると、各部門、地域、国及びコミュニティにわたる影響の間の著しい差異が覆い隠されており、それゆえ、倫理的配慮、特に複数の国にわたる、あるいは各国内での損失の総計に依存する(確信度が高い)。世界全体の総合的な経済損失の推計は、限られた温度水準についてのみしか得られていない。21世紀についてのシナリオでは、追加的な緩和行動が実施されない限り、これらの(損失の)水準が超過し、追加的な経済費用が必要となる。異なる温度水準での総経済効果としては、緩和費用、緩和のコベネフィット、緩和の負の副次効果、適応費用及び気候変動による損害があげられるだろう。結果として、どんな所与の温度水準においても、緩和費用と便益の評価のために緩和費用と気候変動による被害の推計値を比較することはできない。現在の気温水準と比べて3°C上昇する場合の経済コストについて知られていることはほとんどない。気候変動リスク(及び緩和の便益)を正確に推計する場合、起こる可能性は低いが重大な結果が生じるものも含む、可能性のある気候変動の影響について全範囲を考慮に入れる。そうでない場合は、緩和の便益は低く推定されがちである(確信度が高い)。価値が不均質な場合、様々な時間と様々な個人にわたる影響を総計する上での課題といった、現状の推計におけるいくつかの制約は、知識がより豊富になったとしても避けられないだろう。これらの制約の観点から見ると、唯一にして最良の気候変動目標と気候政策を特定することは、科学の範疇を超えている(3.1, 3.4)。{WGII SPM B-2, 10.9.2, 10.9.4, 13.2, 17.2-17.3, 18.4, 19.6, WGIII 3.6}

3.3 適応経路の特徴

適応は気候変動影響のリスクを低減できるが、特に気候変動の程度がより大きく、速度がより速い場合には、その有効性には限界がある。より長期的な視点を持つことで、持続可能な開発の文脈においては、より多くの適応策を直ちに実行することが、将来の選択肢と備えを強化することにもなる可能性を高める。

適応は、現在及び将来における人々の福祉、資産の安全保障、及び生態系の財、機能並びにサービスの維持に貢献する。適応は場所や状況に特有のものであり、あらゆる状況にわたって適切な単一のリスク低減手法は存在しない(確信度が高い)。効果的なリスク低減や適応戦略では、脆弱性及び曝露やそれらと社会経済的過程、持続可能な開発及び気候変動とのつながりが検討される。IPCC第4次評価報告書(AR4)以降の適応の研究は、工学的かつ技術的な適応経路を主に検討するものから、より生態系を基盤とした制度的及び社会的な対策を含むものへと進化してきている。これまでは費用便益分析、最適化及び効率手法に焦点があてられていたが、トレードオフや制約を評価するための、より幅広い政策面及び倫理面の枠組内で統合された、リスク及び不確実性の

側面を含む多角的基準での評価の開発と共に、焦点が広がりつつある。持続可能な開発との関連同様(3.5)、特定の適応対策の範囲も拡大してきた(4.2, 4.4.2.1)。地方別、分野別の適応の費用と便益に関する多くの研究があるが、世界全体についての分析はほとんどなく、あってもその結果については**確信度が非常に低い**。{WGII SPM C-1, 表 SPM.1, 14.1, 14.ES, 15.2, 15.5, 17.2, 17.ES}

全てのガバナンスレベルにおける適応策の計画立案と実施は、社会的価値基準、目的及びリスク認識に左右される(確信度が高い)。多様な利害、状況、社会文化的背景及び期待を認識することが意思決定の過程に便益をもたらす。先住民の地域固有の伝統的知識体系や慣行は、コミュニティや環境に対する先住民の全体的視野を含め、気候変動への適応のために大きな手助けとなるが、これらは既存の適応の取組において一貫して利用されてきたわけではない。そのような形態の知識を慣行に統合することは、効果的な意思決定支援、関与、及び政策過程がそうであるのと同様、適応策の有効性の向上させる(4.4.2)。{WG II SPM C-1}

適応の計画立案と実施は、個人から政府まで、あらゆる層にわたる相互補完的な行動を通じて強化される(確信度が高い)。各国政府は、例えば、脆弱なグループの保護、経済多角化の支援、そして情報、政策及び法的枠組み、並びに財政支援の提供を通じて、地方公共団体及び準国家政府による適応努力がうまく機能するよう組織立てることができる(証拠が確実、見解一致度が高い)。地方公共団体や民間部門は、コミュニティ、家庭及び市民社会における適応策の規模の拡大や、リスクに関する情報や資金調達のマネジメントという役割があり、適応策を進展させるためにますます必要不可欠であると認識されている(証拠が中程度、見解一致度が高い)。
{WG II SPM C-1}

将来の気候変動への適応に向けた第一歩は、現在の気候の変動に対する脆弱性や曝露を低減することである(確信度が高い)、気候変動への短期的対応の一部は、将来の選択肢を制限する可能性もある。政策設計を含む計画立案や意思決定に適応を統合することは、開発と災害リスク低減の相乗効果を促進する。しかし、不十分な計画立案又は実施、短期的成果の過度な強調、又は結果を十分に予見しないことにより、将来における対象グループの脆弱性又は曝露、もしくはその他の人々、場所又は分野の脆弱性を増大させ、適応の失敗をもたらす(証拠が中程度、見解一致度が高い)。例えば、気候変動に曝された資産の保護の強化によって、さらなる保護措置への依存から抜け出せなくなりうる。適切な適応の選択肢は、コベネフィットと緩和の意味も含めることにより、より良く評価される(第 3.5 及び 4.2 節参照)。{WG II SPM C-1}

様々な相互作用する制約がはたらいて、適応策の計画立案と実施を妨げられる可能性がある(確信度が高い)。実施上のよくある制約は、財政的及び人的資源が限られること、ガバナンスの統合や調整が限られること、予測される影響に関して不確実性があること、リスク認識が異なること、価値の競合、主要な適応の指導者や主唱者の不在、そして適応の有効性をモニタリングする手段が限られていることなどから生じる。その他の制約としては、研究、モニタリング及び観測、そしてそれらを維持するための資金の不足がある。社会的過程としての適応の複雑性を過小評価すると、意図した適応策の成果を達成する予想が非現実的なものになりかねない(実施に関する詳細は第 4.1 及び 4.2 節を参照のこと)。{WG II SPM C-1}

気候変動がより速い速度やより大きな程度になると、適応の限界を超える可能性が高まる(確信度が高い)。主体の目的やシステムの要求に対する許容できないリスクを回避するための適応策をとりえない場合や、現時点で利用できない場合には、適応の限界が生じる。何が許容できないリスクかについての価値観に基づく判断は異なる

可能性がある。適応の限界は、気候変動と生物物理及び社会経済のいずれかあるいは両方の制約との間の相互作用から生じる。適応と緩和の間の正の相乗効果の利点を得る機会、特に適応の限界を超えた場合、時間とともに減少する可能性がある。世界の一部の地域では、新たな影響に対する不十分な対応が持続可能な開発の基盤を既にむしばんでいる。ほとんどの地域や分野において、将来の適応の限界をもたらすであろう気候変動の大きさを定量化するには、経験的証拠は十分ではない。さらに、経済発展、技術、及び文化的規範と文化的価値が、限界を避けるようにシステムの能力を強化もしくは低減するように時間とともに変化しうる。結果として、いくつかの限界は、時間とともに軽減されるかもしれない「ソフト」なものである。その他の限界は「ハード」で、許容できないリスクを避ける妥当な見通しがない。{WGII SPM C-2, TS}

経済的、社会的、技術的及び政治的な意思決定や行動における変革により、適応を強化し、持続可能な開発を推進することができる (確信度が高い)。 変革的な変化を考慮せずに、徐々に増大する変化に対する適応的対応を既存システム及び体制に限定すると、コストや損失が増大し、機会を逃す可能性がある。例えば、他の建築資産を保護するためのインフラの強化は費用が高く、増大する費用とリスクを最終的に負担できない。その一方、適応するための移転あるいは生態系サービスの活用といった選択肢は、現在及び将来においてさまざまな便益を提供してくれる可能性がある。変革的適応には、新たな技術又は実践方法の導入、新たな財政構造あるいはガバナンスシステムの形成、より大きいスケールもしくは程度での適応、及び活動場所の移動が含まれる。変革的適応を計画し実施することで、強化され、改変され又は方向づけられたパラダイムを反映することができ、将来に向けた様々な目標やビジョンを折合いをつけて調整し、できる限り公平で倫理的な意義に向けて取り組もうとするガバナンス体制に対する新たな要求を増大させる可能性がある。変革的適応の経路は反復的な学習、審議過程及び技術革新によって強化される。国家レベルで変革が最も効果的となるのは、国の事情や優先順位に応じて持続可能な開発を達成するその国自体の構想や手法をその変革が反映する場合と考えられる。{WGII SPM C-2, 1.1, 2.5, 5.5, 8.4, 14.1, 14.3, 16.2-7, 20.3.3, 20.5, 25.10, 表14-4, 表16-3, Box 16.1, Box 16.4, Box 25.1}

適応能力の構築は、適応選択肢の効果的な選定や実施に不可欠である (証拠が確実、見解一致度が高い)。 適応に成功するには、適応の選択肢を特定し、その費用と便益を評価するだけではなく、人間及び自然システムの適応能力を向上させることが求められる (証拠が中程度、見解一致度が高い)。これには、複雑なガバナンスの課題、並びに新たな制度及び制度的取り決めが関係しうる。{WGII 8.1, 12.3, 14.1-3, 16.2, 16.3, 16.5, 16.8}

緩和と適応の間や異なる適応策の間には、重大なコベネフィット、相乗効果及びトレードオフが存在し、相互作用は地域内及び地域にわたって起こる (確信度が非常に高い)。 気候変動を緩和しそれに適応する努力の増加は、特に、水、エネルギー、土地利用そして生物多様性との間の共通部分において、ますます相互作用が複雑化することを意味するが、それらの相互作用を理解し、マネジメントするための手法は依然として限られている。コベネフィットを伴う行動事例として、(i)エネルギー効率の向上とエネルギー源をよりクリーンにすることが、健康を害し気候を変える大気汚染物質の排出削減につながる、(ii)都市の緑化や水の再利用を通じて、都市域におけるエネルギーや水の消費量が削減されること、(iii)持続可能な農業と林業、そして(iv)炭素貯蔵やその他の生態系サービスのために生態系を保護することがあげられる。{WG II SPM C-1}

3.4 緩和経路の特徴

工業化以前と比べて温暖化を 2°C未満に抑制する可能性が高い緩和経路は複数ある。これらの経路の場合には、二酸化炭素及びその他の長寿命温室効果ガスについて、今後数十年間にわたり大幅に排出を削減し、21世紀末までに排出をほぼゼロにすることを要するであろう。そのような削減の実施は、かなりの技術的、経済的、社会的、制度的課題を提起し、それらの課題は、追加的緩和の遅延や鍵となる技術が利用できない場合に増大する。より低い又はより高い水準に温暖化を抑制する場合も同様の課題を抱えているが、時間尺度が異なる。

温室効果ガスの排出を削減する努力を現在行われているものに上乘せないと、世界の人口増加と経済活動の成長が駆動要因となって、世界全体の排出量の増大はいつまでも続くと予測される(図3.1) (確信度が高い)。追加的な緩和措置を含まないシナリオ(ベースラインシナリオ)の大部分における世界の温室効果ガス排出量は、2100年に約75 GtCO₂ eq/年とほとんど140GtCO₂ eq/年の間となる³⁵。この排出量は、RCP6.0シナリオとRCP8.5シナリオの間の経路を辿った場合の2100年の排出水準とほぼ同じである(図3.2)³⁶。ベースラインシナリオでは、温室効果ガスの濃度水準が 2030 年までに 450ppmCO₂換算を上回り、2100 年までには 750ppm CO₂換算から1300ppmCO₂換算を超すレベルに達する。2100年における世界平均地上気温は、気候応答の中央値によれば1850～1900年平均を約3.7～4.8°C上回る範囲で上昇する。気候の不確実性(5～95パーセンタイルの範囲)を考慮すると2.5～7.8°Cの範囲になる³⁷。将来シナリオは、気候システムにおける自然起源の強制力が変化する可能性については考慮に入れていない(Box1.1参照)。{WG III SPM.3, SPM4.1, TS.2.2, TS.3.1, 6.3, Box TS.6}

技術的、行動的及び政策的選択肢の様々な組合せを利用して、排出量を削減し、気温変化を抑制することができる(確信度が高い)。長期の気候目標達成に至る実行可能な経路を評価するため、異なった技術的、社会経済的及び制度的な変化を表現する約900の緩和シナリオが集められた。これらのシナリオ下での排出削減により、2100年における濃度が430ppm から720ppmCO₂換算を超える水準に及んでおり、これは2100年での放射強制力の水準がRCP2.6シナリオとRCP6.0シナリオの間にあることに相当する。2100年までに濃度水準が430 ppm CO₂換算未満となるシナリオも評価された。{WGIII SPM.4.1, TS3.1, 6.1, 6.2, 6.3, Annex II}

温室効果ガス濃度が2100年に約450ppmCO₂換算又はそれ以下となるシナリオは、工業化以前の水準に対する気温上昇を21世紀にわたって2°C未満に維持できる可能性が高い(確信度が高い)。2100年までに約500ppm CO₂換算の濃度水準に達する緩和シナリオでは、約530ppm CO₂換算の濃度水準を2100年以前に一時的に超えたりしなければ、工業化以前と比べた気温上昇を2°C未満に抑えることができる可能性はどちらかといえば高い。超える場合には、工業化以前の水準を基準とした気温上昇が2°C未満に留まる可能性はどちらも同程度である。2100年までに約650ppmCO₂換算の濃度を超えるシナリオが工業化以前の水準比で2°C未満に気温変化を制限する可能性は低い。2100年までに工業化以前の水準を基準とした気温上昇を1.5°C未満に抑制する可能性がど

³⁵特に明記しない限り、トピック3及びトピック4で引用されているシナリオの範囲は10～90パーセンタイルの範囲を参照している(表3.1参照)。

³⁶二酸化炭素換算(CO₂-eq)の排出量及び濃度についての議論は、温室効果ガスの測定基準と緩和経路に関するBox3.2及び用語集参照。

³⁷本文で言及されている範囲は、簡易気候モデルによる約300のベースラインシナリオの排出量についての気温上昇の結果に基づいており、1850～1900年の期間との比較で表現されている。トピック2.2で引用されている気温上昇の結果は、CMIP5地球システムモデルにおいて将来の温室効果ガス濃度をあらかじめ規定することにより得られている。結果として、1986～2005年平均を基準とすると、RCP2.6シナリオにおける平均気温上昇は1.0°C(5～95パーセンタイルの範囲:0.3～1.7°C)で、RCP8.5シナリオにおける平均気温上昇は3.7°C(2.6～4.8°C)である。同様の濃度駆動実験において、簡易気候モデルの手法による結果は整合している。1986～2005年平均を基準とした気温上昇の中央値は、RCP2.6シナリオにおいて0.9°C(0.5～1.6°C)、RCP8.5シナリオでは3.6°C(2.5～5.9°C)である。しかし、CMIP5地球システムモデルの範囲の上限は、より拘束されている。加えて、ここで引用されている気温上昇のベースラインは、上記で述べたRCP8.5濃度駆動実験よりもその幅が大きいが、これはより広範囲のシナリオに基づき、炭素循環の応答の不確実性を含み、又異なった基準年を用いていることによっている(2.2, 3.4)。

ちらかといえば高い緩和シナリオは、2100年までに濃度水準が430ppm CO₂換算未満となる特徴がある。これらのシナリオでは、気温は今世紀中にピークを迎えた後、低下する。{WGIII SPM.4.1, 表 SPM.1, TS.3.1, Box TS.6, 6.3}

2100年に約450ppm CO₂換算に達する緩和シナリオ(工業化以前と比べて2°C未満に気温上昇を維持できる可能性が高いことと整合)は、2100年に約500から550ppm CO₂換算に達する多くのシナリオと同様に、概して一時的な大気濃度のオーバーシュート³⁸を伴っている(表3.1)。オーバーシュートの程度にもよるが、オーバーシュートシナリオは、概して今世紀後半における二酸化炭素回収・貯留付バイオエネルギー(BECCS)及び新規植林の利用可能性とその広範な普及に依拠している(確信度が高い)。これらや及び他の二酸化炭素除去(CDR)技術及び手法の利用可能性や規模は不確実で、多かれ少なかれ、課題やリスクを抱えている(Box 3.3 参照)³⁹。CDRは、オーバーシュートがない場合も、緩和費用がより高い部門からの排出残分の補填のために、多くのシナリオでよく使われている。{WGIII SPM.4.1, 表 SPM.1, TS.3.1, 6.3, 6.9.1, 図 6.7, 7.11, 11.13}

工業化以前に比べて気温上昇を2°C未満に抑える可能性が高いとするには、エネルギーシステムとおそらくは土地利用も大規模に変化させることを通して、今世紀半ばまでに人為起源の温室効果ガスの排出を大幅に削減することが必要である⁴⁰。気温上昇をより高い水準に制限するには同様の変化が、より緩やかな速度で必要である。気温上昇をより低い水準に制限するには同様の変化が、より速い速度で必要である(確信度が高い)。気温上昇を2°C未満に維持する可能性が高いシナリオは、温室効果ガス排出量が2050年までに2010年と比べて40~70%削減され、2100年には排出水準がほぼゼロ又はそれ以下になるという特徴がある(図3.2, 表3.1)。2050年により高い排出になるシナリオは、今世紀半ば以降に二酸化炭素除去(CDR)技術により大きく依存するという特徴があり、逆の場合も同様である。気温上昇を2°C未満に維持する可能性が高いシナリオは、エネルギー効率のより急速な向上、並びに再生可能エネルギー、原子力エネルギー及び二酸化炭素回収・貯留(CCS)付き化石エネルギーあるいはCCS付きバイオエネルギー(BECCS)からのゼロ炭素及び低炭素エネルギー供給の割合を、2050年までに3倍から4倍近くにするを含んでいる(図3.2, 下のパネル)。シナリオでは広範にわたる土地利用変化が記述されているが、これはバイオエネルギー生産、新規植林及び森林減少の抑制の規模についての様々な仮定を反映している。2100年までに濃度が500ppm CO₂換算に達するシナリオは、2050年までに温室効果ガス排出量が2010年を基準として25~55%削減されるという特徴がある。工業化以前の水準を基準として3°Cの気温上昇に抑制する可能性が高いシナリオは、気温上昇を2°Cに抑制するものに比べそれほど急激な排出削減にはならない。2100年までに気温上昇を1.5°C未満に抑制する可能性がどちらかといえば高いシナリオは、限られた数の研究によってのみ検討されている。これらのシナリオでは、2100年までに濃度が430ppm CO₂換算未満となり、2050年の排出削減量は、2010年の70~95%の間となるという特徴がある。排出シナリオ、温室効果ガスの濃度及びそ

³⁸濃度が「オーバーシュート」するシナリオでは、濃度が今世紀中にピークを迎え、その後低下する。

³⁹ CDRの手法の地球規模のポテンシャルには、生物地球化学的及び技術的制約がある。どの程度の二酸化炭素排出量が100年の時間尺度でCDRによって部分的に相殺されるかを定量化するには知識が不足している。CDRの手法は地球規模での副次効果や長期的影響をもたらすかもしれない。

⁴⁰ この範囲は、AR4における同様の濃度区分に対する範囲とは異なっている(二酸化炭素のみでは2000年より50~85%小さい)。この差の理由には、本報告書がAR4より大幅に多い数のシナリオを評価していること、及び、全ての温室効果ガスを対象としていることがあげられる。加えて、新しいシナリオの大部分は二酸化炭素除去(CDR)技術を含んでいる。他の要因としては安定化水準の代わりに2100年濃度水準を利用したこと、参照年が2000年から2010年に移行したことがあげられる。2050年に高い排出があるシナリオは、今世紀半ば以降にCDR技術に大きく依存するという特徴がある。

の濃度によりある範囲の気温水準未滿に気温上昇が維持される可能性の特徴に関する包括的概要については、表3.1を参照。{WG III SPM.4.1, TS.3.1, 6.3, 7.11}

表3.1: 第5次評価報告書第3作業部会で集められ、評価されたシナリオ区分の主要な特徴。全てのパラメータについて、各シナリオ区分の10～90パーセンタイルで示されている。^a

2100年 CO ₂ 換算濃度 (ppm CO ₂ 換算) ^f 区分ラベル (濃度幅)	細区分	RCP シナリオの 相対的位置 ^d	2010年比のCO ₂ 換算排出量変化(%) ^c		21世紀にわたり(1850～1900年と比べて) 特定の気温水準未滿にとどまる可能性 ^{d,e}			
			2050年	2100年	1.5°C	2°C	3°C	4°C
<430	430ppmCO ₂ 換算未滿の水準について調査した個別のモデル研究は数が限られている ⁱ							
450 (430～480)	全体幅 ^{a,e}	RCP2.6	-72～-41	-118～-78	どちらかといえば 可能性が低い	可能性が高い	可能性が高い	
500 (480～530)	530ppmCO ₂ 換算の オーバーシュート無		-57～-42	-107～-73	可能性が低い	どちらかといえば 可能性が高い		
	530ppmCO ₂ 換算の オーバーシュート		-55～-25	-114～-90		どちらも同程度		
550 (530～580)	580ppmCO ₂ 換算の オーバーシュート無		-47～-19	-81～-59	可能性が低い	どちらかといえば 可能性が低い ^h		
	580ppmCO ₂ 換算の オーバーシュート		-16～7	-183～-86				
(580～650)	全体幅	RCP4.5	-38～24	-134～-50	可能性が低い	どちらかといえば 可能性が高い		
(650～720)	全体幅		-11～17	-54～-21		可能性が低い		
(720～1000) ^b	全体幅	RCP6.0	18～54	-7～72	可能性が低い ^h	どちらかといえば 可能性が低い		
>1000 ^b	全体幅	RCP8.5	52～95	74～178	可能性が低い ^h	可能性が低い ^h	どちらかといえば 可能性が低い	

- a 430～480 ppm CO₂換算濃度に区分される濃度シナリオの「全体幅」は、第3作業部会報告書の表6.3に示されている当該シナリオの細区分の10～90パーセンタイルの範囲に相当する。
- b ベースラインシナリオは、>1,000 ppm CO₂換算及び720～1,000 ppm CO₂換算の区分に該当する。後者の区分には緩和シナリオも含まれる。後者の区分に含まれるベースラインシナリオでは、2100年に1850～1900年平均より2.5～5.8°C高い気温に達する。>1,000 ppm CO₂換算に区分されるベースラインシナリオと合わせると、どちらの濃度区分のベースラインシナリオでも2100年における気温上昇の全体幅が2.5～7.8°C(気候応答の中央値に基づく幅:3.7～4.8°C)となる。
- c 2010年の世界全体の排出量は1990年の排出量より31%多い(本報告書に記載の過去の温室効果ガス排出量の推定値と整合している)。二酸化炭素換算排出量は京都議定書の規定に含まれるガス(二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素及びフッ素化ガス)合算量を含む。
- d ここでの評価は、科学論文として発表された多数のシナリオを扱っており、RCPシナリオに限定されたものではない。これらのシナリオの二酸化炭素換算濃度と気候との関係性を評価するために、MAGICCモデルが確率評価モードで使われた。MAGICCモデルの結果と第1作業部会で使われたモデルの結果との比較については、第1作業部会報告書12.4.1.2及び12.4.8並びに第3作業部会報告書6.3.2.6を参照。
- e この表の評価は、第5次評価報告書第3作業部会における全てのシナリオのアンサンブルについてMAGICCを用いて計算した確率、及び気候モデルによってカバーされていない気温予測の不確実性についての第1作業部会の評価に基づいている。したがって、その言明は、CMIP5におけるRCPシナリオの計算と評価された不確実性に基づいた、第1作業部会の言明と整合している。このため、可能性の記述には両作業部会からの様々な種類の証拠が反映されている。この第1作業部会の方法は、利用できるCMIP5の計算がない中間の濃度水準のシナリオにも適用されている。可能性の言明は参考指標としての扱いであり(第3作業部会報告書6.3)、第1作業部会SPMで気温の予測に使われた表現:可能性が高い66～100%、どちらかといえば可能性が高い>50～100%、どちらも同程度33～66%、可能性は低い0～33%、を概ね踏襲している。加えて、どちらかといえば可能性が低い0～<50%も用いている。
- f 二酸化炭素換算濃度(用語集参照)は、簡易な炭素循環/気候モデルであるMAGICCによる全強制力に基づいて計算されている。2011年における二酸化炭素換算濃度は、430 ppm(不確実性の範囲340～520 ppm)と見積もられている。これは、第1作業部会における1750年を基準とした2011年における合計人為起源放射強制力2.3 W m⁻²、不確実性の範囲1.1～3.3 W m⁻²の評価に基づいている。
- g この区分のシナリオの大半は、区分境界である480 ppm CO₂換算の濃度をオーバーシュートする。
- h この区分のシナリオについては、CMIP5の計算もMAGICCによる計算も、それぞれの気温水準未滿にとどまるものがない。それでも、現状の気候モデルによって反映されていない可能性のある不確実性を反映するために、「可能性が低い」という評価を与えている。
- i 580～650 ppm CO₂換算に区分されるシナリオには、オーバーシュートシナリオと、(例えばRCP4.5シナリオのように)高濃度側の区分境界水準を超えないシナリオの両方がある。後者のタイプのシナリオは、一般に、2°Cの気温水準を超えない可能性がどちらかといえば低いと評価され、前者はほとんどがこの水準を超えない可能性が低いと評価されている。
- j これらのシナリオでは、2050年における世界全体のCO₂換算排出量は2010年の排出量を70～95%下回り、2100年には2010年の排出量を110～120%下回る。

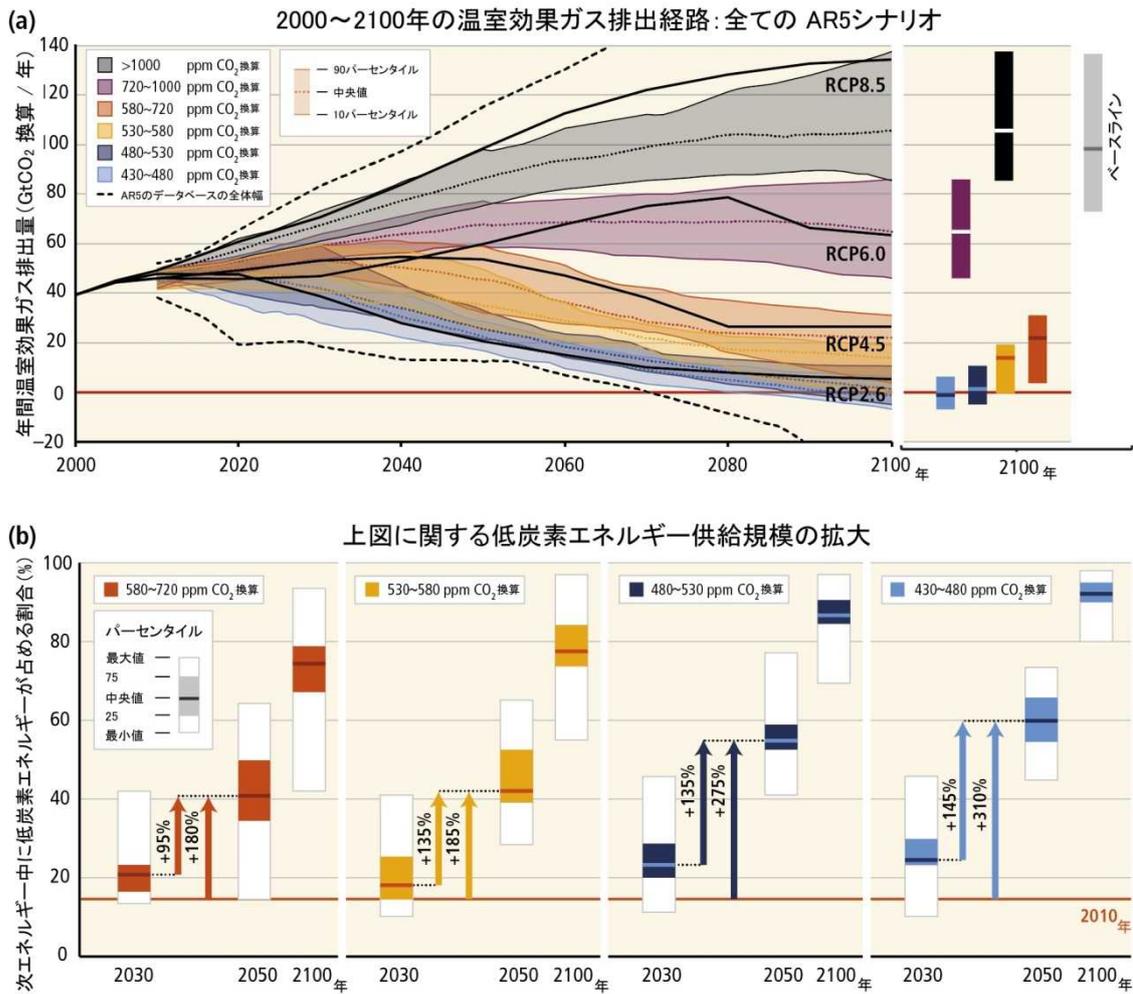


図3.2: ベースライン及び異なる長期濃度水準の緩和シナリオにおける、世界の温室効果ガス排出量(GtCO₂換算/年)(上図)、及び緩和シナリオにおいてそれらに関連づけられる2030年、2050年、2100年時点での2010年比でみた低炭素エネルギー拡大必要量(1次エネルギー全体に占める割合%)(下図)。{WG III SPM.4, 図6.7, 図7.16}[注: 二酸化炭素換算排出量は、IPCC第2次評価報告書による地球温暖化係数100年値(GWP₁₀₀)に基づいて計算された京都議定書の規定に含まれるガス(二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素及びフッ素化ガス)を含んでいる。]

二酸化炭素以外の気候強制力因子の排出量削減は、緩和戦略の重要な要素になりうる。二酸化炭素以外のガス(メタン、一酸化二窒素及びフッ素化ガス)の排出量は、京都議定書の規定に含まれるガスの2010年の総排出量の約27%を占めている。二酸化炭素以外のガスのほとんどにおいて、短期的で費用がかからない排出削減の選択肢が利用可能である。しかし、これらの二酸化炭素以外のガスの排出源には、肥料の使用による一酸化二窒素の排出や家畜からのメタン排出といった、緩和が難しいものもある。結果的に、厳格な緩和シナリオの下でさえも、大部分の二酸化炭素以外のガスの排出がゼロに削減されることはないだろう(図4.1参照)。二酸化炭素と二酸化炭素以外の気候強制力因子の放射特性と寿命の違いは、緩和戦略において重要な意味合いを持っている(Box 3.2も参照)。{WG III 6.3.2}

現在における全ての温室効果ガス排出量とその他の気候強制力因子は、今後数十年にわたる気候変動の速度及び程度に影響を及ぼす。特定の短寿命気候強制力因子の排出削減により気温上昇の速度を短期的に減速させることはできるが、主として二酸化炭素によって駆動されている長期的な気温上昇には限定的な効果しかないだろう。いくつかの短寿命気候強制力因子の気候影響に関連した大きな不確実性がある。メタンの排出による影響は解明されているものの、黒色炭素の影響に関する不確実性は大きい。冷却効果をもった成分が共に排出される場合、排出削減が気候に及ぼす影響はさらに複雑になり、小さくなってしまう可能性がある。二酸化硫黄の排出削減は温暖化の原因となるだろう。短寿命気候強制力因子を短期間で減少させることは、気候変動に比較的迅速に影響を与え、大気汚染にとってコベネフィットをもたらす可能性もある。{WG I 8.2.3, 8.3.2, 8.3.4, 8.5.1, 8.7.2, FAQ 8.2, 12.5; WG III 6.6.2.1}

2030年まで追加的緩和が遅れると、21世紀にわたり工業化以前と比べて気温上昇を2°C未満に抑制することに関連する課題がかなり増えることになる(確信度が高い)。可能性が高い〜どちらも同程度の可能性で工業化以前と比べて気温上昇を2°C未満に抑えることが出来る費用対効果が高いシナリオにおける2030年の温室効果ガス排出量は、約30~50 GtCO₂-eq/年の間である(2100年の大気中濃度は約450~500 ppm CO₂-eq) (図3.3、左のパネル)。温室効果ガスの排出水準が55 GtCO₂-eq/年を超えるシナリオでは、2030年から2050年にかけて十分に大きな割合で排出を削減し(推定の中央値は、費用対効果が高いシナリオでの3%に対し、6%; 図3.3、中央のパネル)、この期間にゼロ炭素及び低炭素エネルギーをより急速に拡大し(2010年を基準とした低炭素エネルギーの割合の2倍に対し、3倍以上; 図3.3、右のパネル)、長期にわたってCDR技術にさらに大きく依存し、より大きな経済的影響が過渡的かつ長期に及ぶことが必要になる(表3.2)。(3.5, 4.3) {WGIII SPM.4.1, TS.3.1, 6.4, 7.11}

カンクンプレッジに基づいた2020年の世界全体の排出水準の推定値は少なくともどちらも同程度の可能性で、工業化以前に比べて気温上昇を2°C未満に抑えられる費用対効果が高い長期的な緩和経路(2100年の濃度水準で約500ppm CO₂換算あるいはそれ以下)と整合していないが、この目標を達成する選択肢を排除してはいない(確信度が高い)。カンクンプレッジは、工業化以前の水準と比べて、温度上昇を3°C未満に抑える可能性が高い費用対効果の高いシナリオと広義では整合している。

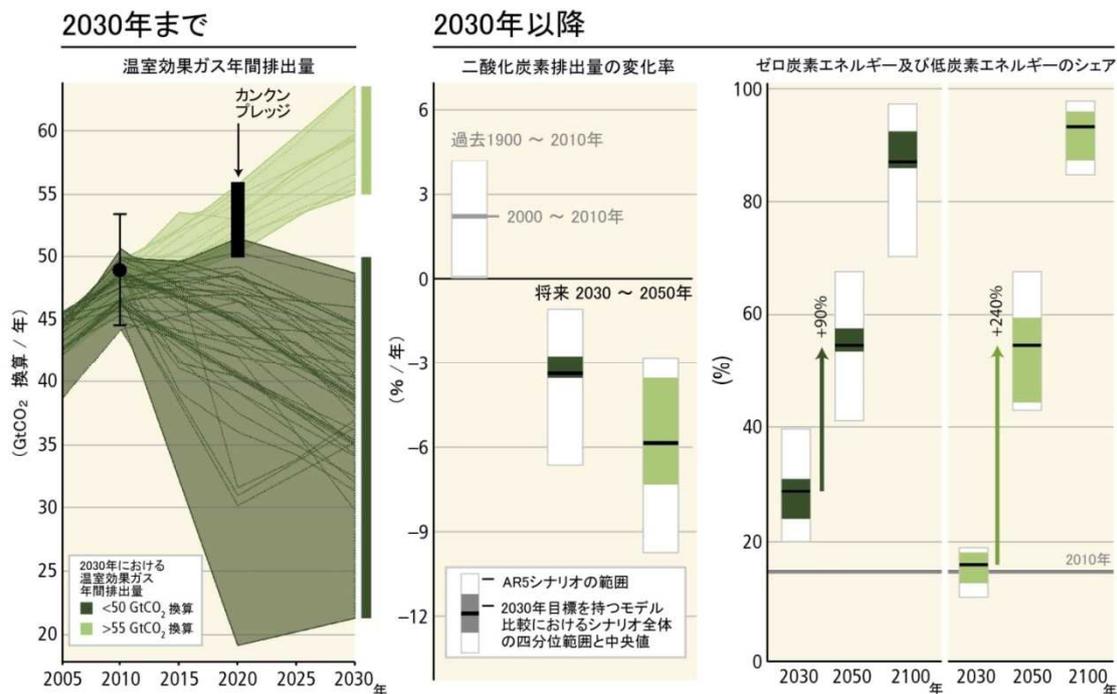


図3.3: 21世紀を通じて工業化以前と比べて気温上昇を2°C未満に抑えられる可能性が少なくともどちらも同程度の緩和シナリオ(2100年の温室効果ガス濃度が430~530ppm CO₂換算)における、種々の2030年温室効果ガス排出水準と、二酸化炭素排出量削減率及び低炭素エネルギー拡大との関係。これらのシナリオは2030年までの排出水準によってグループ化されている(緑の濃さにより色分けされている)。左の図はそれぞれの2030年水準に達する温室効果ガス排出量(GtCO₂換算/年)の経路を示す。エラーバー付きの黒い丸は、図1.6に示した2010年における温室効果ガス排出水準及びその不確実性である。黒い棒は、カンクン合意が意味する温室効果ガス排出量の不確実性の範囲を推定したものである。中央のパネルには、2030~2050年の年間二酸化炭素排出量削減率の平均を示している。この図では、最近のモデル間比較に用いた明確な2030年中間目標を持つシナリオ間の削減率の中央値及び四分位範囲と、AR5第3作業部会のシナリオデータベースのシナリオにおける削減率の範囲を対比している。過去の排出量の年変化率(20年間にわたって持続しているもの)も同様に示した。右のパネルの矢印は、2030年の各温室効果ガス排出水準について2030年から2050年までのゼロ炭素エネルギー及び低炭素エネルギーの供給拡大の規模を示している。ゼロ炭素エネルギー及び低炭素エネルギー供給には、再生可能エネルギー、原子力エネルギー及び二酸化炭素回収・貯留(CCS)付き化石エネルギー、あるいはCCS付バイオエネルギー(BECCS)などがある。シナリオのうち、根拠になっているモデルにおいて制限のない緩和技術を最大限用いるポートフォリオを適用(初期設定技術の仮定)しているもののみを示している。世界全体の排出量が正味で大きな負になっている(>20GtCO₂換算/年)シナリオ、外因による炭素価格を仮定しているシナリオ及び2010年の排出量が過去の範囲を著しく逸脱しているシナリオは除いてある。{WGIII 図SPM.5, 図6.32, 図7.16, 13.13.1.3}

緩和に係る総経済費用の推定値には、方法や前提によって大きな幅があり、緩和の厳しさに伴って増大する(確信度が高い)。全ての国が緩和の取組を直ちに開始し、世界で単一な炭素価格が導入され、全ての重要技術が利用可能というシナリオが、マクロ経済緩和費用を算出するための費用対効果が高いベンチマークとして用いられてきた(図3.4)。この想定では、21世紀を通じて工業

化以前と比べて気温上昇を2℃未満に抑制する可能性の高い緩和シナリオは、今世紀中いずれの場所でも300%から900%超も消費が拡大するベースラインシナリオと比較すると、2030年で1～4%(中央値:1.7%)、2050年で2～6%(中央値:3.4%)及び2100年で3～11%(中央値:4.8%)の損失が世界の消費において生じることになる⁴¹。ただし、気候変動軽減の便益(3.2)及びコベネフィットや負の副次効果(3.5、4.3)を考慮していない。これらの数値は、ベースラインにおける年率1.6～3%の消費の拡大と比べて、今世紀中の年率で0.04～0.14(中央値:0.06%)ポイント消費拡大が減少することに相当する(図3.3)。排出緩和技術(バイオエネルギー、CCS及びその組合せであるBECCS、原子力、風力/太陽エネルギーなど)が利用できないか利用に制限がある場合、想定する技術次第では緩和コストが大幅に増加しうる(表3.2)。追加的緩和の遅れは、短期的な費用を低減するが、中長期的な緩和費用を増大させる(表3.2)。追加的緩和がかなり遅れる、もしくはバイオエネルギー、CCS、及びその組合せ(BECCS)といった主要な技術の利用可能性が制限されると、多くのモデルでは21世紀にわたって高い可能性で生ずる気温上昇を工業化以前の水準に対して2℃未満に抑制できなかつた(確信度が高い)(表3.2)。{WGIII SPM.4.1, 表SPM.2, 表TS.2, TS.3.1, 6.3, 6.6}

緩和努力とそれに関連する費用は国によって様々であると予想される。費用の分配は行動自体の分配とは異なる可能性がある(確信度が高い)。世界全体で費用対効果が高いシナリオでは、緩和努力の大部分が、ベースラインシナリオで、将来、最も高い温室効果ガス排出量となる国において起こることになる。特に努力分担の枠組みを調査したいくつかの研究では、世界的な炭素市場の前提のもと、工業化以前に比べて21世紀中の気温上昇が2℃未満に抑制される可能性が高い。どちらかと言えば可能性が低いシナリオにおける緩和に関係した十分に大きい世界的な資金の流れがあると推定してきた。{WGIII SPM.4.1, TS.3.1, Box 3.5, 4.6, 6.3.6, Table 6.4, 図 6.9, 図 6.27, 図 6.28, 図 6.29, 13.4.2.4}

⁴¹ ここに記述されている緩和費用の範囲は、基礎となるサンプルの16～84パーセンタイルの範囲を示す(図3.4参照)。

ベースラインシナリオにおける世界全体での緩和費用と消費増加

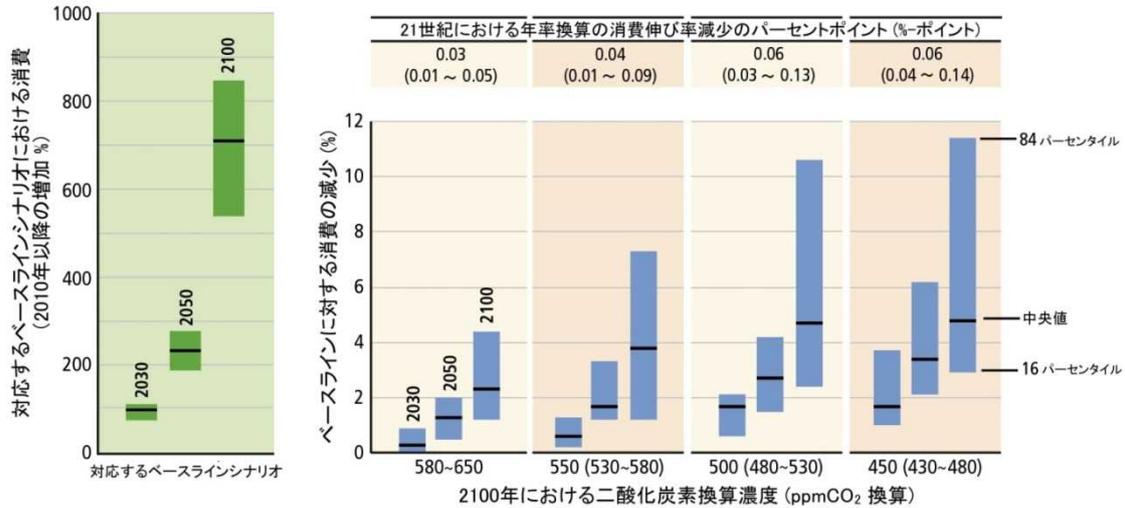


図3.4: 2100年の大気中濃度水準別にみた費用対効果の高いシナリオにおける世界全体での排出緩和費用(右のパネル)及び対応するベースラインシナリオにおける経済消費の伸び率(追加的緩和が無い場合)(左のパネル)。上部の表は、年率換算の消費伸び率1.6%~3%のベースラインに対する年間消費の伸びの減少をパーセントポイントで示したものである(例えば、緩和による消費の減少が0.06%ポイント/年、ベースラインの成長率が2.0%/年である場合、緩和を伴う成長率は1.94%/年となる)。費用対効果の高いシナリオでは、全ての国で直ちに緩和措置をとること、世界で一つの炭素価格、及びモデルで仮定する初期設定技術に対する追加的技術に制約が課せられないことを前提にしている。消費の損失は、気候政策なしで進展するベースラインに対して示されている。この表で示される費用の推定値は、気候変動の低減による便益あるいは緩和のコベネフィット及び負の副次効果は考慮していない。これらの費用の範囲の上限の推定値は、これらの目標を達成するために長期にわたって必要になる大幅な排出量削減を達成することに対して比較的融通が利かない、かつ/又は、費用を押し上げる市場の不完全性についての仮定を含むモデルから得られている。{WGIII 表SPM2, 図TS12,6.3.6, 図6.21}

技術の利用が限定されるシナリオにおける緩和費用の増加 ^d [技術の利用が限定されなかった場合の費用に対する 割引された総緩和費用(2015年~2100年)の増加(%)]					2030年までの追加的緩和が 遅れることによる緩和費用の増加 [即時的緩和に対する緩和費用の増加(%)]	
2100年での濃度 (ppmCO ₂ 換算)	OCS無し	原子力フェーズ アウト	太陽 / 風 エネルギーの制限	バイオエネルギー の制限	中期コスト (2030 ~ 2050年)	長期コスト (2050 ~ 2100年)
450 (430 ~ 480)	138% (29 ~ 297%)	7% (4 ~ 18%)	6% (2 ~ 29%)	64% (44 ~ 78%)	44% (2 ~ 78%)	37% (16 ~ 82%)
500 (480 ~ 530)	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし		
550 (530 ~ 580)	39% (18 ~ 78%)	13% (2 ~ 23%)	8% (5 ~ 15%)	18% (4 ~ 66%)	15% (3 ~ 32%)	16% (5 ~ 24%)
580 ~ 650	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし		

記号の凡例 - シナリオ生成に成功したモデルの場合(数字は成功したモデルの数を示す)

- 緑: 全てのモデルが成功
- 茶: 80 ~ 100% のモデルが成功
- 黄: 50 ~ 80% のモデルが成功
- 赤: 50% 以下のモデルが成功

表3.2: 特定技術の利用制限あるいは追加的緩和の遅れ¹による費用対効果の高いシナリオ²に対する世界全体の緩和費用の増大。費用の増加は、シナリオの推定値の中央値及び16~84パーセントイルの範囲(括弧の中)で示されている。さらに、各シナリオセットのサンプルサイズが色つきのシンボルで示されている³。シンボルの色は、系統的なモデル比較実験で目標とする濃度水準にうまく達することができたモデルの割合を示す。{WGIII 表SPM.2, 表TS.2, 図TS.13, 図6.24, 図6.25}

注

1 緩和が遅れるシナリオは、2030年の時点で温室効果ガス排出量が55GtCO₂換算以上となるものに関連づけられ、緩和費用の増加は同じ長期濃度水準となる費用対効果の高い緩和シナリオを基準として評価されている。

2 費用対効果が高いシナリオでは、全ての国で直ちに緩和措置をとること、世界で単一の炭素価格であること、及びモデルの初期設定の技術仮定に対して追加的な技術制約が課せられないことを前提にしている。

3 幅は中央のシナリオが、シナリオセットの16～84パーセンタイルの範囲内にある場合。2100年までの時間経過があるシナリオのみを含めている。2100年に530ppm CO₂換算を超える濃度水準に対して費用幅を持ついくつかのモデルでは、技術の限定的な利用かつ/又は追加の緩和の遅れを仮定した場合には2100年に530ppm CO₂換算未満の濃度水準となるシナリオが得られなかった。

4 CCS 無し: CCS はこれらのシナリオに含まれない。原子力発電のフェーズアウト: 建設中のもの以外追加的な原子力発電所はなく、現存の発電所はその耐用年数終了まで稼働させる。太陽エネルギー/風力の制限: これらのシナリオでは、どの年でも太陽エネルギーと風力による世界全体の発電量は最大 20%に限定している。バイオエネルギーの制限: 世界の近代的バイオエネルギー供給量を最大 100EJ/年とする(熱供給、発電、熱電供給及び産業に使用された近代的バイオエネルギーは、2008年には約 18EJ/年であった)。(EJ = 10¹⁸ ジュール)

5(一般均衡モデルから生成されたシナリオについての)ベースライン消費に占める消費損失の正味現在価値の増加(%)と、2015～2100年の期間について(部分均衡モデルから生成されたシナリオについての)ベースラインGDPに占める年5%で割りされた削減費用(%)。

Box 3.2: 温室効果ガスの測定基準及び緩和の経路

本 Box は、緩和戦略を策定し評価するための二酸化炭素換算排出量の計算に用いる排出ベースの測定基準に焦点を当てる。これらの排出量の測定基準は、統合報告書で用いられている濃度ベースの測定基準(「二酸化炭素換算濃度」とは異なる。二酸化炭素換算排出量と二酸化炭素換算濃度に関する説明は、用語集を参照)。

排出量の測定基準は、異なる温室効果ガスの排出量及び他の気候強制力因子を共通の単位(いわゆる「二酸化炭素換算排出量」)で表すことを可能にすることによって、複数の要素からなる気候政策を促進する。地球温暖化係数(GWP)は、IPCC 第1次評価報告書で導入され、1つの測定基準を用いて異なる物理的特性を持つ要素を比較することの困難さを説明するのにも用いられた。100年基準のGWPはUNFCCCとその京都議定書によって採択され、現在はデフォルトの測定基準として広く用いられているが、いくつもある排出量の測定基準及び評価時間のうちの1つに過ぎない。{WGI 8.7, WG III 3.9}

排出量の測定基準や評価時間の選択は、用途の種類や政策の文脈に依存するため、全ての政策目標にとって最適な単一の測定基準は存在しない。あらゆる測定基準には欠点があり、選択するには検討対象の気候影響や時間経過に伴う影響の重み付け(明示的又は黙示的に時間経過に伴う影響を割り引く)、気候政策の目標、及び

測定基準が経済的配慮を包含するか、あるいは物理的考察のみかの度合い、といった価値判断が含まれる。測定基準に関連する不確実性はかなり大きく、不確実性の程度は測定基準の種類と評価時間によって異なる。一般に、測定基準についての不確実性は、排出から影響に至る原因と結果の連鎖に伴って増大する。{WGI 8.7, WGIII 3.9}

二酸化炭素を基準として二酸化炭素以外の気候強制力因子に割り当てられる重みは、測定基準と評価時間の選択に強く依存する(証拠が確実、見解一致度が高い)。GWP は放射強制力に基づいて物質を比較し、選択された評価時間で積分する。世界気温変化係数(GTP;用語集参照)は、ある特定の時点における気温の応答に基づいており、選択された時点の前後の気温応答には一切重み付けしない。これらの測定基準に20年、100年あるいは500年といった固定した評価時間を採用することは、評価時間を超えて出現する気候の変化に必然的に重みを与えないことになる;このことは、二酸化炭素と同様に他の長寿命ガスにおいても重大である。評価時間の選択は特にメタンのような短寿命気候強制力因子の重み付けに著しく影響する(Box 3.2 表 1; Box 3.2 図 1 のパネル A 参照)。いくつかの測定基準(例えば、力学的 GTP;用語集参照)では、選択された目標年が近づくにしたがって時間経過と共に重みが増加する。{WGI 8.7, WG III 3.9}

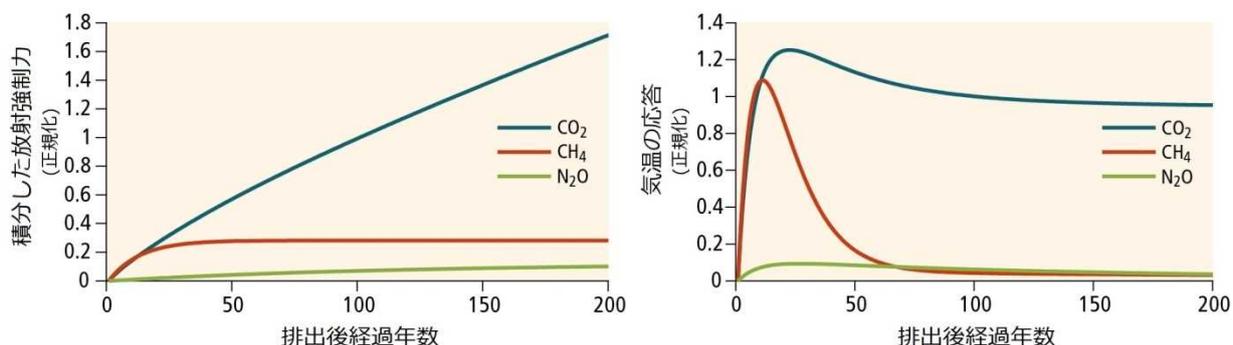
Box 3.2, 表1: 第1作業部会から引用した排出量の測定基準の値の例*

	寿命 (年)	GWP 地球温暖化係数		GTP 地球気温変化係数	
		20年	100年	20年	100年
二酸化炭素	**	1	1	1	1
メタン	12.4	84	28	67	4
一酸化二窒素	121.0	264	265	277	234
四フッ化炭素	50000.0	4880	6630	5270	8040
ハイドロフルオ ロカーボン-152a	1.5	506	138	174	19

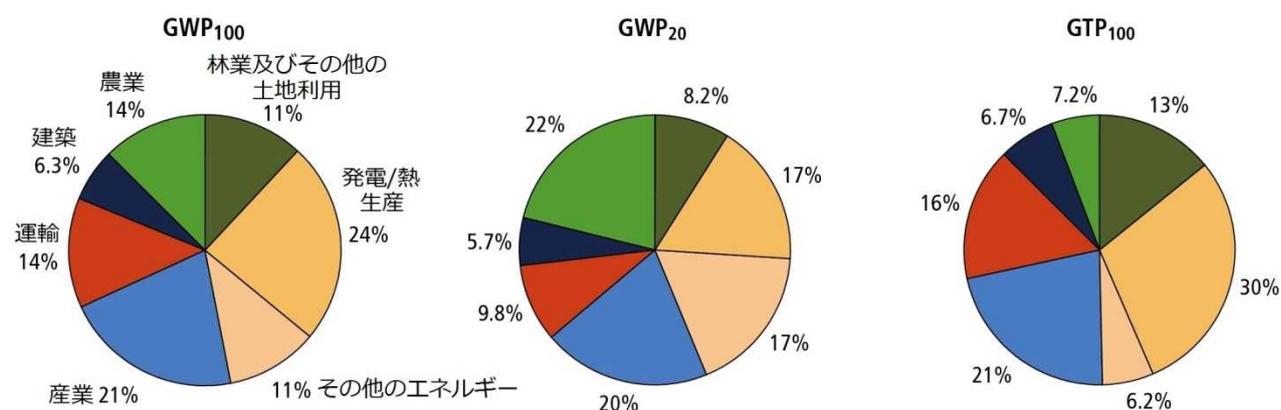
a GWP の値は一連の IPCC 報告書の中で更新されてきている;AR5 の GWP₁₀₀ の値は京都議定書第 1 約束期間で採択された IPCC SAR の値とは異なる。一貫性のため、この本統合報告書のいたるところでみられる二酸化炭素換算排出量は、AR5 の値ではなく SAR に基づくものであることに注意されたい。(排出量の比較のため、SAR と AR5 の GWP₁₀₀ の値を用いた 2100 年の排出量の値については、図 1.6 参照)b 二酸化炭素については寿命として単一の数値を付与することができない。{WGI Box 6.1, 6.1.1, 8.7}

排出量の測定基準の選択は、短寿命及び長寿命の気候強制力因子を低減するタイミングや重点の置き方に影響を与える。ほとんどの測定基準について、世界全体の費用の差は、世界全体が参加し費用を最小化する緩和経路のシナリオの下では小さいが、一部の国や部門にとって個別に意味合いがより重大になる可能性がある(見解一致度が高い、証拠が中程度)。異なる測定基準や評価時間は、様々な発生源/部門及び物質(特に短寿命気候強制力因子)からの寄与に著しく影響を及ぼす(Box3.2、図 1、パネル B)。メタンのような短寿命因子に対する重みを軽くし、時間を固定した独立測定基準(例えば、GWP₁₀₀ の代わりに GTP を使用)が 2100 年において同じ気候という結果を得るためには、より早くより厳しい二酸化炭素削減を必要とするだろう。動的 GTP といった時間依存性のある測定基準を用いると、近い将来においてはより少ないメタンの緩和に繋がるが、長期的には目標時点が近づくにつれてより多くの緩和に繋がる。これは、一部の(短寿命の)因子について、測定基準の選択が政策の選択や緩和のタイミングに影響することを意味している(特に、二酸化炭素以外の排出水準が高い部門や国にとって)。{WGI 8.7, WG III 6.3}

(a) 現在の排出の時間に関する重み付け



(b) 異なる計量基準を用いた、温室効果ガス総排出量に対する部門別寄与



Box 3.2, 図 1: 評価時間の具体例について部門別に見た温室効果ガスの排出及び寄与の重み付けにおける測定基準選択の意義。パネル (a): 最長200年間の評価時間において、2010年時点(それ以降は排出なし)での二酸化炭素、メタン及び一酸化二窒素の世界全体の正味の排出量による放射強制力を積分したもの(左のパネル)と、結果としての将来の任意の時点での気温上昇(右のパネル)。積分した放射強制力は地球温暖化係数(GWP)の計算に用いられる一方、将来の任意の時点における気温上昇は地球気温変化係数(GTP)の計算に用いられる。放射強制力と気温上昇は、第3作業部会報告書第5.2節からの2100年の世界排出量データ、並びに第1作業部会報告書第8.7節からの絶対地球温暖化係数及び絶対地球気温変化係数(それぞれ2010年の正味の二酸化炭素排出量に起因する100年後まで積分した放射強制力及び気温上昇を正規化したもの)に基づいて計算された。パネル(b): 評価時間100年のGWP(左)、評価時間20年のGWP(中央)、又は評価時間100年のGTP(右)、及び第3作業部会の2010年排出量データベースを用いて計算した、指標によって重み付けられた2010年の世界の温室効果ガス総排出量への異なる部門からの寄与の具体例。{WG III 5.2} SARからの値を用いると、GWP₁₀₀の場合のパーセンテージが多少異なることに注意されたい; トピック1、図1.7参照。各部門における排出に繋がる活動の詳細については第3作業部会報告書を参照。

Box 3.3: 二酸化炭素除去及び太陽放射管理のジオエンジニアリング技術—果たし得る役割、選択肢、リスク及び状況

ジオエンジニアリングとは、気候変動の影響を軽減するために、気候システムを意図的に変えることを目指して大規模に運用される一連の広範な方法及び技術を指す。ほとんどの手法が、気候システムにおいて吸収される太陽エネルギー量を低減する(太陽放射管理、SRM)か、気候を変えるために吸収源によって大気中から除去される二酸化炭素量を増加させる(二酸化炭素除去、CDR)ことを目的としている。(用語集参照)。証拠が限られていることが、CDRあるいはSRMの実現可能性、費用、副次効果及び環境への影響の総合評価を妨げている。{WGI SPME.8, 6.5, 7.7, WGII 6.4, 表6-5, Box 20-4, WGIII TS.3.1.3, 6.9}

CDR は多くの緩和シナリオで主要な役割を果たしている。二酸化炭素回収・貯留付バイオエネルギー(BECCS)

と新規植林がこれらのシナリオに含まれる唯一の CDR 手法である。CDR 技術は大気中濃度が一時的にオーバーシュートするシナリオにおいて特に重要だが、オーバーシュートが無い多くのシナリオでも、緩和費用がより高い部門からの排出残分の補填のためによく使われている。緩和と同様に、二酸化炭素濃度の大幅な低減を可能にするためには、CDR は大規模かつ長期間にわたって展開される必要がある。{WGII 6.4, WGIII SPM 4.1, TS.3.1.2, TS 3.1.3, 6.3, 6.9}

いくつかのCDR技術は潜在的に大気中の温室効果ガス(GHG)の濃度水準を低減しうる。しかし、生物地球化学的、技術的及び社会的制約があり、それらが異なる度合で、CDRの可能性を定量的に推計することを困難にしている。海洋や陸域の炭素貯蔵庫にこれまで蓄えられていた二酸化炭素の一部が放出されるため、CDRによる排出緩和量は除去された二酸化炭素の量より少ない。海底の地下への貯留は地域規模で実施され、今日まで漏出による海洋への影響の証拠はない。CDRの気候面、環境面の副次効果はその技術と規模に依存する。その実例として、新規植林による地表面反射率の変化、海洋施肥による海洋の脱酸素化が関連づけられている。大部分の陸域のCDR技術は、土地の需要と競合し、局所的及び地域的リスクを伴う可能性がある。一方海洋のCDR技術は、海洋生態系に対する重大なリスクを伴う可能性があるため、それらの技術の普及には国間の協力に追加的課題をもたらしうる。{WGI 6.5, FAQ 7.3, WG II 6.4, Table 6.5, WGIII 6.9}

SRM は試験されておらず、どの緩和シナリオにも含まれていないが、もし実現可能であれば、世界の気温上昇やその影響の一部をある程度相殺しうる。SRM は二酸化炭素の緩和に比べて急激な気温低下をもたらす可能性がある。成層圏エアロゾル注入を通じた SRM は、二酸化炭素濃度の倍増による放射強制力(RF)や温暖化に関連する一部の気候応答に対抗するまで大規模に実現可能であるかについての確信度は中程度である。同様に大きな負の逆向き放射強制力が、雲増白によって達成可能かどうかについては、理解が不十分なことにより見解一致に至っていない。また、陸域のアルベドの変化が、大きな逆向き放射強制力を生み出す可能性も見受けられない。仮に SRM が世界の平均気温上昇に対抗できたとしても、空間パターンの違いは残るだろう。他の SRM 技術に関する文献数の少なさが、その評価を妨げている。{WGI 7.7, WGIII TS.3.1.3, 6.9}

もしSRMが展開されれば、それには数多くの不確実性、副次効果、リスク及び欠点に伴うだろう。複数の証拠によると、SRMそのものが小さいが有意な世界全体の降水量の減少を引き起こすだろう(地域規模ではより大きな差異がある)。成層圏エアロゾルSRMは、極域の成層圏においてオゾン消失をやや増加させる可能性が高い。SRMを用いても、温暖化に関係しない生態系への二酸化炭素の影響や海洋酸性化を防止できないだろう。また、他の予期せぬ影響がある可能性もある。AR5で検討されている全ての将来シナリオについては、世界平均気温上昇に対抗できるようSRMを比例して増加させる必要があり、それは副次効果を悪化させるだろう。加えて、仮にSRMをかなりのレベルまで増大させ、その後中止するなら、(10年あるいは20年以内に)地上気温が急速に上昇する確信度は高い。これは気温上昇の速度に敏感なシステムにとってストレスとなりうる。{WGI 7.6-7.7, FAQ 7.3, WGII 19.5, WGIII 6.9}

SRM技術は、費用、リスク、ガバナンス及び開発と普及の倫理的意味合いについて問題を提起する。研究を調整し、できる限り試験や実施を制約する国際的な制度とメカニズムという特別な課題が浮上している。SRMが人為的な世界気温の増加を低減したとしても、それは時間的及び空間的にリスクを再配分したことを意味している。したがって、SRMは世代内及び世代間の公正に関する重要な問題を持ち込んでいる。SRMに関する研究は、そ

の最終的な実施と同様に、倫理的反対論の対象となってきた。一部のSRM実施技術は低い潜在的費用が見積もられてはいるものの、リスクと副次効果の範囲を考慮に入れると、費用対効果の試験を通るとは限らないだろう。SRMのガバナンス上の意味合いは、特に一方的な行動が他の人々に深刻な影響と費用をもたらすかもしれないので、とりわけ難題である。{WGIII TS.3.1.3, 1.4, 3.3, 6.9, 13.4}

3.5 緩和、適応及び持続可能な開発の間の相互作用

気候変動は衡平かつ持続可能な開発に対する脅威である。適応、緩和及び持続可能な開発は密接に関連しており、相乗効果とトレードオフの可能性を伴う。

気候変動は衡平かつ持続可能な開発にとっての脅威の増大をもたらす(確信度が高い)。開発に対する気候関連の影響は、既にいくつか観測されている。気候変動は脅威を増倍させる要因である。気候変動は、特に貧困層に追加的負担を負わせ、全ての人々にとって可能な開発経路を制約しつつ、社会及び自然システムにとっての他の脅威を悪化させる。現在の世界全体の方向性に沿った開発は、持続可能な開発の基礎をさらにむしばみつつ、気候リスクと脆弱性に寄与する可能性がある。{WGII SPM B-2, 2.5, 10.9, 13.1-13.3, 20.1, 20.2, 20.6, WGIII SPM.2, 4.2}

持続可能な開発に気候政策を整合させるには、適応及び緩和の双方に注目する必要がある(確信度が高い)。適応、緩和及び持続可能な開発の間の相互作用は、地域及び規模の範囲内でも、また地域及び規模間にまたがっても、多くの場合、多様なストレス因子が背景となって生じる。気候変動に対応するための選択肢の中には、他の環境費用及び社会的費用のリスクを課し、分配面の悪影響を及ぼし、貧困の撲滅を含む他の開発優先事項から資源を奪い取る可能性があるものもある。{WGII 2.5, 8.4, 9.3, 13.3-13.4, 20.2-20.4, 21.4, 25.9, 26.8, WGIII SPM.2, 4.8, 6.6}

適応と緩和の双方がかなりのコベネフィットをもたらさう(確信度は中程度)。コベネフィットを伴う行動事例としては、(i)大気質の改善(図 3.5 参照);(ii)エネルギー安全保障の強化、(iii)都市緑化と水の再生利用を通じた都市域におけるエネルギー及び水の消費量削減;(iv)持続可能な農林業;並びに(v)炭素貯留及び他の生態系サービスに対する生態系保護、が挙げられる。{WGII SPM C-1, WGIII SPM.4.1}

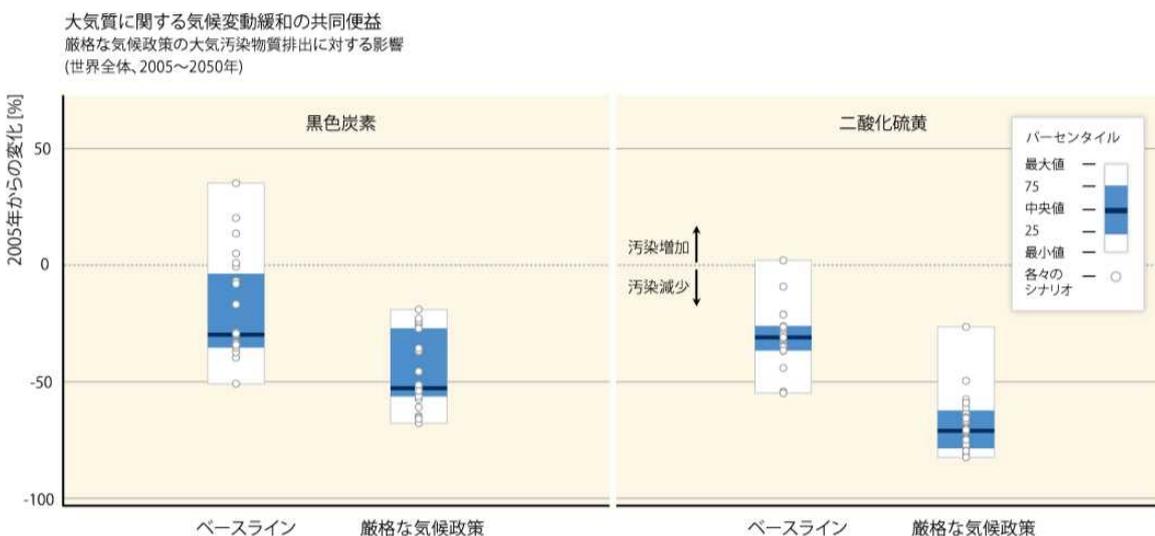


図3.5: 2005年と比較した2050年の黒色炭素(BC)と二酸化硫黄(SO₂)に対する大気汚染物質排出水準(2005年を0とする)。現在、置かれている水準以上にGHG排出を削減する努力をしないベースラインシナリオと2100年までに約450から500(430~530)ppm CO₂換算に達することと整合している厳格な緩和政策が比較されている。{WG III 図SPM.6, 図TS.14, 図6.33}

持続可能な開発への気候にレジリエントな経路に向かって進む戦略及び行動は、今進めることが可能であり、一方、同時に、生計、社会及び経済的福祉、並びに効果的な環境管理の向上に役立つ(確信度が高い)。気候にレジリエントな経路の見通しは、世界が気候変動の緩和で何を実現するかに関本的に關係する(確信度が高い)。緩和は温暖化の程度に加え、速度も低下させるため、特定の水準の気候変動に対して適応するために利用できる時間を、潜在的には数十年まで増加させる。緩和策の遅延は、将来における気候にレジリエントな経路への選択肢を低減しうる。{WGII SPM C-2, 20.2, 20.6.2}

Box 3.4: コベネフィットと負の副次効果

ある目的の達成を意図する政府の政策や措置は、良くも悪くもそれ以外の目的にも影響を与えることが多い。例えば、緩和政策は局所的な大気質に影響しうる(都市域の大気汚染レベルについては図3.5参照)。それが正の影響であれば「コベネフィット」もしくは「付随的な便益」と呼ばれる。負の影響であれば「負の副次効果」と呼ばれる。直接的な便益が直ちにもたらされない場合でも、対策の実施を正当化するだけのコベネフィットが十分にあれば、その対策は「ノーリグレット(後悔の無い)もしくは低リグレット(後悔が少ない)」と称される。コベネフィットと負の副次効果は、金銭的もしくは非金銭的単位で測定されうる。総体的社会福祉に気候政策がもたらすコベネフィット及び負の副次効果の影響はまだ定量的に検証されていないが、例外として最近行われた多目的研究がいくつかある。これらの多くは正確に定量化されておらず、影響は現地の環境に依存するため、影響は条件や場所に固有である。{WGII 11.9, 16.3.1, 17.2, 20.4.1, WGIII Box TS.11, 3.6, 5.7}

緩和のコベネフィットは、エネルギーの安全保障、大気質、生態系の影響に対処する努力、所得配分、労働力の供給及び雇用並びに都市のスプロール現象など、他の目的の達成に影響を与えうる(表4.2及び表4.5参照)。しかし、補完的政策がないと、一部の緩和措置が(少なくとも短期的には)例えば生物多様性、食料安全保障、エネルギーの入手しやすさ、経済成長及び所得配分などに負の副次効果を及ぼすおそれがある。適応政策のコベネフィットの例としては、インフラやサービスへのアクセス向上、教育及び保健制度の拡大、災害による損失の低減、より良いガバナンス及びその他が挙げられる。{WGII 4.4.4, 11.9, 15.2, 17.2, 20.3.3, 20.4.1, WGIII Box TS.11, 6.6}

持続可能な開発と整合した気候変動に対応する包括的戦略は、適応及び緩和双方の選択肢から生じる可能性のあるコベネフィット、負の副次効果、及びリスクを考慮するものである。総体的社会福祉への影響の評価は、気候変動への対応の選択肢と既に存在している非気候政策との間のこの相互作用によって複雑になっている。例えば、大気質についての観点では、化石燃料燃焼の低減による気候変動緩和に伴って二酸化硫黄(SO₂)が1トン余計に削減されることの価値は、二酸化硫黄規制政策の厳格さに大きく依存する。もし二酸化硫黄政策が厳格でないならば、二酸化硫黄削減の価値は大きくなるかもしれないが、既存の二酸化硫黄政策が厳格だと、その価値はほぼゼロの可能性もある。同様に、適応と災害リスクマネジメントについては、厳格でない政策が自然の気候変動性による人間及び経済の損失を増大させる適応の不足をもたらしうる。「適応の不足」とは、現状の気候の変動性による負の影響をマネジメントする能力の欠如を指す。既存の適応の不足は、気候の変動性や気候変動のマネジメントを向上させる適応政策の便益を増す。{WGII 20.4.1, WGIII Box TS.11, 6.3}

トピック4: 適応及び緩和

多くの適応及び緩和の選択肢は気候変動への対処に役立つが、単一の選択肢だけでは十分ではない。これらの効果的な実施は、全ての規模での政策と協力次第であり、他の社会的目標に緩和や適応がリンクされた統合的対応を通じて強化される。

トピック3では、気候変動のリスクをマネジメントするための適応と世界規模の緩和の双方についてその必要性和戦略の考察を示した。これらの洞察を踏まえて、トピック4では、そのような戦略目標の達成に役立つ近い将来の対応の選択肢を提示する。近い将来の適応行動と緩和行動は、開発状況、対応能力、また気候及び非気候の影響双方に関する短期的及び長期的願望を反映しつつ、分野や地域によって異なってくるだろう。適応と緩和は必然的に複数の目的の文脈で起こるため、コベネフィットを活用し、トレードオフを管理することが出来る統合された手法を開発し実行する能力が特に注目されている。

4.1 適応及び緩和にとって共通の有効な要因及び制約

適応及び緩和は共通の実現要因に支えられている。これらの要因は、効果的な制度とガバナンス、技術革新と環境面に優れた技術とインフラ（社会基盤施設）への投資、持続可能な生計、行動面と生活様式上の選択肢を含む。

技術革新及び環境保全型のインフラや技術への投資は、温室効果ガス(GHG)の排出量を削減し、気候変動に対するレジリエンスを強化することができる(確信度が非常に高い)。技術革新及び変化は、緩和と適応の選択肢の利用可能性かつ/又はその有効性を上げることができる。例えば、低炭素エネルギー及びカーボンニュートラルなエネルギー技術への投資は、経済開発のエネルギー強度、エネルギーの炭素強度、温室効果ガスの排出量及び長期的緩和費用を低減できる。同様に、新しい技術やインフラも、自然システムに対する悪影響を低減しつつ、人間システムのレジリエンスを増強しうる。技術やインフラへの投資は、政策を実現できる環境、資金や技術へのアクセス及び能力を強化するより広範な経済開発次第である(表4.1及び第4.4節)。{WGII SPM C-2, 表SPM.1, 表TS.8, WGIII SPM.4.1, 表SPM.2, TS.3.1.1, TS 3.1.2, TS.3.2.1}

適応と緩和は、経済開発、温室効果ガス排出量、資源の消費量、インフラと居住様式、制度的行動及び技術における世界的及び地域的な変化傾向の惰性によって制約される(見解一致度が高い、証拠が中程度)。そうした惰性は、温室効果ガス排出量を削減し、特定の気候しきい値未満の水準を維持し、あるいは悪影響を避けるための能力を制限する可能性がある(表4.1)。一部の制約は、新たな技術、財源、制度的実効性及びガバナンスの向上、あるいは社会的かつ文化的姿勢及び行動様式の変化によって克服できる可能性がある。{WGII SPM.C-1; WGIII SPM.3, SPM.4.2, 表SPM.2}

気候変動に対する脆弱性、温室効果ガスの排出及び適応・緩和能力は、生計、生活様式、行動及び文化に強く影響される(証拠が中程度、見解一致度が中程度; 表4.1)。よりエネルギー集約的な生活様式への移行はエネルギーと資源の消費増大に寄与し、それがエネルギー生産量と温室効果ガス排出量の増加と緩和費用の増大を促す。対照的に、消費様式の変化を通して、排出を大幅に低減させることができる(詳細については第4.3節参照)。気候政策の社会的受容性かつ/又は有効性は、地域にとって適切な生活様式又は行動面の変化にどの程度までインセンティブを与えるか、あるいは依存するかに影響される。同様に、気候に影響を受けやすい部門又は資源に依存する生計は、気候変動及び気候変動政策に対し特に脆弱であるかもしれない。経済開発及び空間の都市化が気候ハザードに曝露されると、人間の居住域がより大きく危険にさらされ、自然システムのレジリエンスを低減する可能性がある。{WGII SPM A-2, SPM B-2, 表SPM.1, TS A-1, TS A-2, TS C-1, TS C-2, 16.3.2.7, WGIII SPM.4.2, TS.2.2, 4.2}

多くの地域や分野にとって、強化された緩和能力や適応能力は、気候変動リスクを管理するために不可欠な基礎の一部である(確信度が高い)。そのような能力は、場所や状況に特有のものであり、それゆえすべての状況において適切な単一のリスク低減の手法は存在しない。例えば、低炭素で気候レジリエントな開発経路を進むにあたり、所得水準の低い開発途上国の財政面、技術面、及び制

度面の能力は最も低い。先進諸国は概して気候変動のリスクをマネジメントする能力に相対的に長けているが、その能力は必ずしも適応と緩和の選択肢の実施に直結するわけではない。{WGII SPM B-1, SPM B-2, TS B-1, TS B-2, 16.3.1.1, 16.3.2, 16.5, WGIII SPM.5.1, TS.4.3, TS.4.5, 4.6}

ガバナンスの調整や協力とともに制度の改善が、緩和、適応、災害リスク低減に関連する地域的制約を克服するのに役立つ（確信度が非常に高い）。緩和と適応に焦点を当てた複数国、国、準国家の制度が幅広く存在するにもかかわらず、世界の温室効果ガス排出量は増え続け、特定された適応のニーズについてもまだ十分に対処されていない。効果的な緩和と適応の選択肢の実施にあたっては、様々な規模にわたる新たな制度や制度的取決めが必要となる可能性がある（確信度が中程度、表 4.1）。{WGII SPM B-2, TS C-1, 16.3.2.4, 16.8, WGIII SPM.4.2.5, SPM.5.1, SPM.5.2, TS.1, TS.3.1.3, TS.4.1, TS.4.2, TS.4.4}

表4.1. 適応と緩和の選択肢の実施を制約する共通の要因

制約要因	適応の潜在的意味合い	緩和の潜在的意味合い
人口増加と都市化の有害な外部性	自然資源と生態系サービスの需要及びそれらへの圧力に加え、気候変動と気候変動性に対する人間集団の曝露の増大 {WGII 16.3.2.3, Box 16-3}	温室効果ガスの排出量増大をもたらす、経済成長、エネルギー需要及びエネルギー消費を駆動 {WGIII SPM.3}
知識、教育及び人的資本の不足	様々な適応選択肢の費用及び便益に加え、気候変動によりもたらされる自然、国、制度、個人レベルのリスク認知の減少 {WGII 16.3.2.1}	国、制度、個人レベルのリスク認知の減少、行動様式や慣行を変え、排出を削減して社会的技術的革新を取り入れる意欲の減少 {WGIII SPM.3, SPM.5.1, 2.4.1, 3.10.1.5, 4.3.5, 9.8, 11.8.1}
社会的文化的姿勢、価値及び行動の相違	気候リスクについての社会的合意の減少、したがって具体的な適応政策と措置の需要の減少 {WGII 16.3.2.7}	排出パターンへの影響；緩和政策及び技術の実用性についての社会的認知への影響；持続可能な行動と技術を追求する意欲への影響 {WGIII SPM.2, 2.4.5, 2.6.6.1, 3.7.2.2, 3.9.2, 4.3.4, 5.5.1}
ガバナンスと制度上の取決めにおける課題	適応政策及び措置を調整する能力、主体に適応計画を立案し実行する能力を与える能力の減少 {WGII 16.3.2.8}	緩和政策の開発に関する政策、インセンティブ、及び協力の弱体化、効率的でカーボンニュートラルな再生可能エネルギー技術の実施体制の弱体化 {WGIII SPM.3, SPM.5.2, 4.3.2, 6.4.3, 14.1.3.1, 14.3.2.2, 15.12.2, 16.5.3}
国家及び国際的気候資金へのアクセス欠如	適応政策及び措置への投資規模の縮小、それゆえその効果も減少 {WGII 16.3.2.5}	先進国及び特に開発途上国の排出削減政策と技術を追求する能力の減少 {WGIII TS.4.3, 12.6.2, 16.2.2.2}
不適切な技術	増大する気候変動の規模と速度によるリスクを低減あるいは回避する利用可能な適応選択肢の範囲と有効性が共に減少 {WGII 16.3.2.1}	社会がエネルギーサービスの炭素強度を低減し低炭素技術及びカーボンニュートラル技術へ移行する速度を減速 {WGIII TS.3.1.3, 4.3.6, 6.3.2.2, 11.8.4}
自然資源の不十分な質かつ/又は量	主体が対処する範囲、非気候要因に対する脆弱性、及び脆弱性を増大させる資源をめぐる対立の可能性が減少 {WGIII 16.3.2.3}	異なるエネルギー技術の長期にわたる持続可能性を減少 {WGIII 4.3.7, 4.4.1, 11.8.3}
適応と開発の不足	将来の気候変動のみならず現在の気候の変動性に対する脆弱性も増大 {WGII 16.3.2.4, TS.A-1, Table TS.5}	緩和能力を減少させ、過去の開発協力における不信感により気候に関する国際協力努力を弱体化 {WGIII 4.3.1, 4.6.1}
不平等	気候変動の影響及び適応の負担を、最も脆弱な人々へ不均等に押し付け、かつ/又は将来世代に移転 {WGII TS B-2, Box TS 4, Box 13-1, 16.7}	低所得水準の開発途上国、もしくは国内の様々なコミュニティや分野が温室効果ガス緩和に寄与する能力を制約 {WGIII 4.6.2.1}

4.2 適応のための対応の選択肢

適応の選択肢は全ての分野に存在するが、実施の状況や気候関連のリスクを低減する潜在性は分野や地域で異なる。いくつかの適応策は重大なコベネフィット、相乗効果、トレードオフを含む。増大する気候変動によって、多くの適応の選択肢にとっての課題は増加するであろう。

人々、政府及び民間部門は変化する気候に適応し始めている。IPCC 第4次評価報告書 (AR4) 以降、その便益、費用及び持続可能な開発とのつながりに関する知識の向上と共に、対応の選択肢に関する理解が増してきている。脆弱性の低減、災害リスクマネジメント、又は予防的な適応計画立案における状況に応じて、適応は多様な手法を取りうる。例えば以下のものがある（例と詳細については表 4.2 参照）：

- ・ 社会的生態学的資産とインフラの開発
- ・ 技術プロセスの最適化
- ・ 統合型自然資源管理
- ・ 制度的、教育的、行動的変化あるいは強化
- ・ リスク移転を含む金融サービス
- ・ 早期警戒情報及び予防的計画を支援する情報システム

社会（地域社会や先住民社会を含む）、制度、生態系に基づく対策の価値や適応できる範囲に対する認識は高まりつつある。効果的な戦略及び行動とは、より幅広い戦略的目標や開発計画の中でコベネフィットや機会の可能性を考慮するものである。{WGII SPM A-2, SPM C.1, TS A-2, 6.4, 8.3, 9.4, 15.3}

表4.2: 適応による気候変動リスクマネジメントの手法。これらの手法は個別ではなくむしろ重層的に検討されるべきであり、しばしば同時に進められる。事例は、不特定の順序で提示され、複数の項目に関連しうる。{WGII 表SPM.1}

重複している取組	項目	事例	
多くの後悔の少ない対策などの開発、計画立案及び実践を通じた脆弱性と曝露の低減	人間開発	教育、栄養、保健施設、エネルギーへの利用可能性向上、安全な住宅・居住地の構造・社会支援構造; ジェンダー不平等・その他の形での周縁化の低減	
	貧困緩和	地域資源の利用可能性・制御の向上; 土地保有権; 災害リスク軽減; 社会的セーフティネット・社会的保護; 保険制度	
	生活保障	収入、資産・生計の多様化; インフラの改善; 技術・意思決定に関する公開討論へのアクセス; 意思決定力の増大; 作物、家畜・水産養殖の慣行の変更; ソーシャルネットワークへの信頼	
	災害リスクマネジメント	早期警戒情報システム; ハザード・脆弱性マッピング; 水資源の多様化; 排水施設の改良; 洪水や低気圧に対する避難施設; 建築基準法・実践; 雨水、汚水の管理; 運輸及び道路インフラの改善	
	生態系管理	湿地・都市緑地空間の維持; 沿岸新規植林; 流域・貯水池管理; 生態系への他のストレス要因・生息地の断片化の低減; 遺伝的多様性の維持; 攪乱状況の操作; コミュニティベースの天然資源管理	
	空間あるいは土地利用計画	適切な住居、インフラ・サービスの提供; 洪水が起りやすい地域・他のリスクが高い地域の開発管理; 都市計画・改善計画; 土地区画整理についての法律、地役権; 保護区	
	構造的/物理的	工学的及び建築環境上の選択肢	防波堤・海岸保全施設; 堤防; 貯留施設; 排水施設の改良; 洪水や低気圧に対する避難施設; 建築基準法・実践; 雨水、汚水の管理; 運輸及び道路インフラの改善; 水上住宅; 発電所と電力グリッドの調整
		技術的選択肢	新たな作物・動物品種; 先住民の知識、伝統的な知識・その土地の知識、技術・方法; 効率的なかんがい; 節水; 海水淡水化; 保全型農業; 食品貯蔵・保管施設; ハザード・脆弱性マッピング・モニタリング; 早期警戒情報システム; 建物の断熱; 機械的冷却・受動的冷却; 技術開発、移転・普及
		生態系ベースの選択肢	生態回復; 土壌保全; 新規植林・再植林; マングローブ保全・再植林; 緑のインフラ(例: 日よけ用の木々、屋上緑化); 乱獲のコントロール; 漁業共同管理; 生物種の移動・分散支援; 生態的回廊; 種子バンク、遺伝子バンク・他の生息域外保全; コミュニティベースの天然資源管理
		サービス	社会的セーフティネット・社会的保護; フードバンク(困窮者用食料貯蔵配給所)・余剰食料の分配; 水・衛生設備などの自治体サービス; ワクチン接種プログラム; 必要不可欠な公衆衛生サービス; 救急医療サービスの強化
	制度的	経済面の選択肢	金融インセンティブ; 保険; キャット・ボンド(大災害債権); 生態系サービスへの支払い(PES); 誰にでも提供し儉約的な利用を促すための水価格設定; マイクロファイナンス; 災害非常予備基金; 送金; 官民パートナーシップ
		法及び規制	土地区画整理の法律; 建築基準と実践; 地役権; 水の規制・協定; 災害リスク低減を支援する法律; 保険購入を奨励する法律; 財産権の定義・土地保有権の保障; 保護地域; 漁獲割当; 特許ルール・技術移転
		国家及び政府の政策並びにプログラム	主流化を含む国家・地域の適応計画; 準国家・地方の適応計画; 経済の多様化; 都市のアップグレードプログラム; 自治体の水管理プログラム; 災害についての計画策定・備え; 統合的水資源管理; 総合沿岸域管理; 生態系ベースの管理; コミュニティベースの適応
	社会的	教育面の選択肢	意識向上・教育への統合; 教育における男女平等; 市民大学; 土地固有・伝統的・地域的知識の共有; 参加型行動リサーチ・社会的学習; 知識共有・学習プラットフォーム
		情報面の選択肢	ハザード・脆弱性マッピング; 早期警戒情報・対応システム; 体系的なモニタリング・リモートセンシング; 気候サービス; 先住民の気候観察の利用; 参加型のシナリオ開発; 総合評価
行動面の選択肢		各世帯での備え・評価計画立案; 移住; 土壌・水の保全; 雨天時の排水施設の流下能力確保; 生計の多様化; 作物、家畜・水産養殖の慣行の変更; ソーシャルネットワークへの信頼	
変化の領域	実践面	社会的・技術的革新、行動のシフト、あるいは成果の大幅なシフトを生み出す制度的・経営的变化	
	政治面	脆弱性・リスクを低減し、適応、緩和、持続可能な開発を支援することと整合性のある政治的、社会的、文化的、生態学的意思決定と行動	
	個人面	気候変動への対応に影響を与える個人・集団の了解、信念、価値観、世界観	

追加的及び変革的調整を含む
脆弱性と曝露の低減
適応

変革

適応の計画立案と実施を可能にする機会は全ての分野と地域に存在し、状況に応じて多様な可能性と手法がある。適応のニーズは関連する課題を伴いつつ、気候変動に伴って増加すると予測される（確信度が非常に高い）。特定の分野についての主要な適応の手法の事例を制約と限界も含めて下記にまとめた。{WGII SPM B, SPM C, 16.4, 16.6, 17.2, 19.6, 19.7, 表16.3}

淡水資源:

シナリオ立案、学習を基盤とする取組、柔軟で後悔の少ない解決策などの適応的水管理技術が、気候変動による不確実な水循環変化やその影響へ順応するために役立つ（証拠が限定的、見解一致度が高い）。戦略の例として統合的水管理の導入、供給の増強、水の需給不均衡の低減、非気候ストレス要因の低減、制度的能力の強化及びより水効率の高い技術や節水戦略の導入が挙げられる。{WGII SPM B-2, 評価に関するBox SPM.2 表1, SPM B-3, 3.6, 22.3-22.4, 23.4, 23.7, 24.4, 27.2-27.3, Box 25-2}

陸域及び淡水生態系:

マネジメント活動によって、陸域及び淡水生態系への気候変動による影響リスクを、除去することはできないものの低減することができる（確信度が高い）。マネジメント活動としては、遺伝的多様性の維持、生物種の移動と分散の補助、攪乱状況（例えば、火災や洪水）への巧みな対処及びその他のストレス要因の低減が挙げられる。生息地の改変、乱獲、汚染及び侵入生物種といった非気候ストレス要因を低減するマネジメントの選択肢は、変化する気候に適応するために生態系とその生物種が本来持っている能力を強化することが出来る。他の選択肢には早期警戒情報システム及び付帯する対応システムの改善などがある。脆弱な生態系間の接続性を増強することによって自律的適応が支援される可能性がある。生物種の移転については議論の余地があり、生態系全体がリスクにさらされると実行可能性が低くなると予想されている。{WGII SPM B-2, SPM B-3, 図SPM.5, 表TS.8, 4.4, 25.6, 26.4, Box CC-RF}

沿岸システム及び低平地:

沿岸域の適応選択肢は次第に、関連する戦略や管理計画において統合型の沿岸域管理、現地コミュニティの参加、生態系を基盤とした取組及び災害リスク低減が主流化されたものに基づいてきている（確信度が高い）。沿岸域の適応の分析と実施は、開発途上国よりも先進国でより著しく進展している（確信度が高い）。沿岸域の適応の相対的費用は地域及び国の間で、また地域内・国内で大きく異なると予想される。{WGII SPM B-2, SPM B-3, 5.5, 8.3, 22.3, 24.4, 26.8, Box 25-1}

海洋システム及び海洋:

海洋予報及び早期警戒情報システムは、非気候ストレス要因の低減と同様、漁業及び養殖業の一部に対するリスクを低減できる可能性があるが、サンゴ礁などの固有性の高い生態系に対する選択肢は限られている（確信度が高い）。高度先端技術かつ／又は多額の投資を伴う漁業や養殖業の一部は、環境モニタリング、モデリング及び資源評価のより一層の進歩により、適応できる高い能力を持つ。適応の選択肢の例として、産業としての漁業活動の大規模移転や、変動性と変化に反応できる柔軟な管理が挙げられる。比較的小規模の漁業や限られた適応能力しか持たない国々の場合、社会的レジリエンス、代替的生計及び職業的柔軟性の構築は重要な戦略である。サンゴ礁システムについての適応選択肢は、一般には他のストレス要因の低減に限られ、主に水質の向上と観光や漁業からの圧力を制限することによるが、その有効性は熱的ストレスが増加し、海洋酸性化が進むにつれて大幅に減少してしまうだろう。{WGII SPM B-2, SPM 評価に関するBox SPM.2表1, TS B-2, 5.5, 6.4, 7.5, 25.6.2, 29.4, 30.6-7, Box CC-MB, Box CC-CR}

食料生産システム／農村域:

農業についての適応選択肢の例として、技術的対応、小作農の信用貸し及びその他の重要な生産資源へのアクセスの拡充、地方～地域レベルでの制度強化、及び貿易改革を通じた市場へのアクセスの向上が挙げられる（確信度が中程度）。食料の生産量や質の低下への対応例として、二酸化炭素、気温及び干ばつの変化に適応できる新しい作物種の開発、気候リスクマネジメントの許容範囲の拡大及び土地利用変化の経済的影響の相殺が挙げられる。小規模農場の生産への金融支援の向上や投資も便益をもたらすだろう。農業市場の拡大や、世界貿易システムの予測可能性と信頼性の拡大は、

結果として市場の乱高下を低減し、気候変動に起因する食料供給不足の管理の一助となる。{WGII SPM B-2, SPM B-3, 7.5, 9.3, 22.4, 22.6, 25.9, 27.3}

都市域、主要な経済部門及びサービス：

都市における適応は、効果的で重層的なガバナンス、政策やインセンティブの合致、地方公共団体やコミュニティの適応能力の強化、民間部門との相乗効果、適切な資金調達と制度開発によって便益を受ける（確信度が中程度）。低所得層や脆弱なコミュニティの能力や、地方公共団体とのパートナーシップの強化も、有効な都市気候適応戦略となりうる。適応メカニズムの例として、大規模な官民協働によるリスク低減の取組及び経済の多様化、並びにリスクの多様化できない部分の政府の保険が挙げられる。場所によっては、特に予測される気候変動の上限部分において、対応には管理された後退といった変革的变化も必要となる可能性がある。{WGII SPM B-2, 8.3-8.4, 24.4, 24.5, 26.8, Box 25-9}

人間の健康、安全保障及び生計：

既存の提供システム及び制度のほか、保険や社会的保護戦略の強化に焦点を当てた適応の選択肢は、近い将来における健康、安全保障及び生計を向上することができる（確信度が高い）。近い将来における健康のための最も効果的な脆弱性低減策は、清潔な水や衛生施設の提供などの基本的な公衆衛生対策を実施及び改善し、予防接種や小児保健サービスなど重要な医療を確保し、災害に備え対応する能力を増強し、貧困を削減するプログラムである（確信度が非常に高い）。暑熱関連の死亡に対処するための選択肢として、対応戦略に関連付けられた健康被害警報システム、都市計画立案及び暑熱ストレス低減に向けた建築環境の改善が挙げられる。頑健な制度で多数の国境にまたがる気候変動影響を管理することにより、共有の自然資源を巡る紛争リスクを低減することができる。政策によって多角的貧困に対処する場合は、保険制度、社会的保護対策及び災害リスクマネジメントによって、貧困層や社会の主流から取り残された人々の間の長期的な生計及びレジリエンスを強化できる可能性がある。{WGII SPM B-2, 8.2, 10.8, 11.7-11.8, 12.5-12.6, 22.3, 23.9, 25.8, 26.6, Box CC-HS}

緩和と適応の間や異なる適応策の間には、重大なコベネフィット、相乗効果及びトレードオフが存在し、相互作用は地域内及び地域をまたいで起こる（確信度が非常に高い）。例えば、気候変動に適応する作物品種への投資によって干ばつに対処する能力が増強され、動物媒介感染症に対処する公衆衛生対策によって他の難題にも対処できる健康システムの能力が強化される。同様に、インフラを沿岸の低平地から離して設置することは、居住域と生態系が海面水位上昇に適応するのに役立つ。津波からも保護する。しかしながら、適応選択肢の中には、他の適応目標（例については表4.3参照）、緩和目標、あるいはより広範な開発目標との間に、実際のもしくは認知されているトレードオフを意味する負の副次効果を伴うものもあるかもしれない。例えば、生態系の保護が気候変動への適応に役立つとともに炭素の貯留を強化する一方で、建物内での快適温度を維持するためのエアコンの使用の増加、あるいは水資源の安全性を強化するための脱塩装置の利用はエネルギー需要を増大させ、その結果温室効果ガスの排出量を増加させる。{WGII SPM B-2, SPM C-1, 5.4.2, 16.3.2.9, 17.2.3.1, 表16-2}

表 4.3: 特定の管理目標を達成するために主体が実行しうる一連の適応の選択肢の具体例に関連した潜在的トレードオフの事例。{WGII 表16-2}

分野	主体の適応の目的	適応の選択肢	実際の又は認識されているトレードオフ
農業	干ばつと害虫に対する抵抗力を強化; 収量を増強	バイオテクノロジーと遺伝子組換え作物	公衆衛生と安全に対して認識されているリスク; 自然環境へ新たな遺伝的変異体を導入することに伴う生態系のリスク
	農業事業の継続を保証するため、農業者向け金融セーフティネットを提供	干ばつ時支援の助成金、作物保険	適切に管理されない場合の、モラルハザード（倫理的欠如）及び分配の不平等を形成
	作物収量を維持又は増強; 日和見的な農業害虫及び侵入種の抑制	化学肥料と農薬の使用を増加	I栄養剤の放出増加や環境への化学物質での汚染; 農薬使用による非標的種への悪影響; 温室効果ガス排出量の増加; 汚

			染物質への人間の曝露の増加
-	変化する気候状態に対し自然が適応、緩和する能力を強化	移動の回廊; 保護地域の拡大	有効性が未知; 土地取得に関する財産権についての懸念; ガバナンスの課題
	気候変動及び気候変動以外の変化に起因するリスクに潜在的にさらされている生物種の規制保護を強化	脆弱な生物種の重大な生息地の保護	生物種に対する主要な圧力よりも二次的な圧力に対処; 財産権の懸念; 地域経済の発展に対する規制による障壁
	気候の変化にしたがい代替地域に個体群を移すことによって貴重種の保護を促進	生息地移動の手助け	生息地移動の手助けの最終的成功の予測は困難; 新たな生態地域への生物種の導入による先住動植物への悪影響の可能性
沿岸域	浸水かつ/又は侵食から金融資産を短期的に保護	護岸	高額な直接費用及び機会費用; 衡平性の懸念; 沿岸湿地への生態学的影響
	自然の海岸過程及び生態系過程の存続を許容する; 財産や資産への長期的リスクを低減	(沿岸域の) 後退管理	私有財産権をむしばむ; 実施に関連するガバナンスに重大な課題を伴う
	公衆衛生と安全の保護; 財産への被害と標準資産のリスクを最小化	低平地からの移住	その場所らしさ及び文化的アイデンティティの喪失; 親族関係及び家族の結びつきの衰退; 受入れ側コミュニティへの影響
水資源管理	水資源の信頼性と干ばつに対するレジリエンスを増強	脱塩 (淡水化)	塩分を含んだ排出物の生態学的リスク; 高エネルギー需要とそれに伴う炭素排出; 保全への阻害要因の創出
	水管理及び水利用を最大限に高効率化; 柔軟性を増大	水貿易	水の公共の財/社会的側面を損なう
	利用可能な水資源を高効率化	水のリサイクル/再利用	公衆衛生と安全に対して認識されているリスク

4.3 緩和のための対応の選択肢

緩和の選択肢は、各主要部門で利用可能である。緩和はエネルギー消費及び最終消費部門の温室効果ガス排出強度の低減、エネルギー供給の脱炭素化、土地利用部門での正味の排出量の削減及び炭素吸収源の強化、といった対策を組み合わせる統合されたアプローチを用いた場合、費用対効果が高くなり得る。

温室効果ガスの排出強度を低減し、技術、行動、生産及び資源の効率向上を通じてエネルギー強度を改善し、構造の変化あるいは活動における変化を可能にする広範にわたる部門別の緩和の選択肢が利用可能である。加えて、農林業・その他土地利用（AFOLU）部門での直接的選択肢には、森林減少、森林劣化及び森林火災の低減、陸域システムでの（例えば新規植林を通じた）炭素貯蔵、及びバイオエネルギー原料供給による二酸化炭素排出削減がある。二酸化炭素以外の排出削減のための選択肢は、すべての部門にまたがって存在するが、最も顕著なのは農業、エネルギー供給及び産業部門である。部門別緩和選択肢と緩和ポテンシャルの概要を表4.4に示す。{WGIII TS 3.2.1}

適切に設計された組織的で部門横断的な緩和戦略は、個々の技術や部門に焦点を当てるより、排出削減において費用対効果が高くなり、ある部門における取組が他における緩和ニーズに影響する（**確信度が中程度**）。新たな緩和政策を伴わないベースラインシナリオでは、GHG 排出量は AFOLU 部門の正味の CO₂ 排出量を除き、全ての部門で増加すると予測されている（図 4.1、左図）。2100 年⁴³までに濃度が約 450ppmCO₂ 換算⁴⁴に達する緩和シナリオ（工業化以前と比べて気温上昇を 2°C に抑制する**可能性が高い**）には、エネルギー供給部門での大規模で世界的な転換が示されている（図 4.1、中央と右の図）。エネルギー供給部門で脱炭素化急速に進むと、一般的には、最終消費部門や AFOLU 部門の柔軟性がより大きくなり、一方、需要が大きく減少すると、エネルギーシステムの供給側での緩和の課題が少なくなる（図 4.1 及び図 4.2）。このように部門間には強い相互依存関係があり、結果的に部門を越えてどのような割合で緩和努力を行うかは、とくに BECCS や大規模植林の利用可能性や成果に大きく影響される（図 4.1、中央と右の図）。今後 20 年間、世界の都市の地域の大部分が開発されるので、都市域における緩和の機会が提供される。{WGIII SPM.4.2, TS.3.2}

発電の脱炭素化（すなわち、炭素強度の低減）は、低安定化レベル（約 450～500ppm CO₂ 換算、工業化以前と比べて 2°C までの気温上昇に抑える**可能性が少なくとも同程度**）を達成するために、費用対効果が高い緩和戦略に欠かせない要素である（**証拠が中程度、見解一致度が高い**）。ほとんどの統合モデルのシナリオでは、発電部門において、産業、建築、及び運輸部門より急速に脱炭素化が起こっている。2100 年までに 450 ppm CO₂ 換算に達するシナリオでは、エネルギー供給部門での世界全体の二酸化炭素排出量が、今後数十年にわたり減少することが予測されており、2040～2070 年の間に 2010 年水準の 90% 減あるいはそれ以上の削減によって特徴づけられている。{WGIII SPM.4.2, 6.8, 7.11}

2100 年までに約 450 から約 500ppmCO₂ 換算の大気濃度に達するシナリオにおいて、開発を阻害せずにベースラインシナリオと比べてエネルギー需要を削減するためには、効率性を向上させ、行動様式を変化させることが、鍵となる緩和戦略となる（**証拠が確実、見解一致度が高い**）。エネルギー需要を短期に減少させることは、費用対効果が高い緩和戦略の重要な要素であり、これによってエネルギー供給部門における炭素強度の削減に対してより柔軟性が高まり、関連する供給側のリスクがヘッジされ、炭素排出源単位の高いインフラの固定化（ロック・イン）が避けられ、さらに重要なコベネフィットが生まれる（図 4.2、表 4.4）。排出は、消費様式の変化（例えば、移動の需要と交通モード、家庭でのエネルギー使用、長寿命の製品の選択）や食生活の変化と食品廃棄物の減少を通して、十分に低下させることができる。金銭的及び非金銭的インセンティブを含む数多くの選択肢が、情報措置と共に行動様式の変化を促進する可能性がある。{WGIII SPM.4.2}

⁴³比較として、2011 年の CO₂ 換算濃度は、430ppm（不確実性の幅 340～520ppm）と推定されている。

⁴⁴二酸化炭素換算濃度及び二酸化炭素換算排出量については用語集参照。また、二酸化炭素以外の排出量を「二酸化炭素換算」で計算するための指標（メトリック）及びこれらが部門別削減戦略に与える影響については Box 3.2 を参照。

ベースライン及び緩和シナリオにおけるCCS有・無の場合のCO₂及び非CO₂のGHG排出量

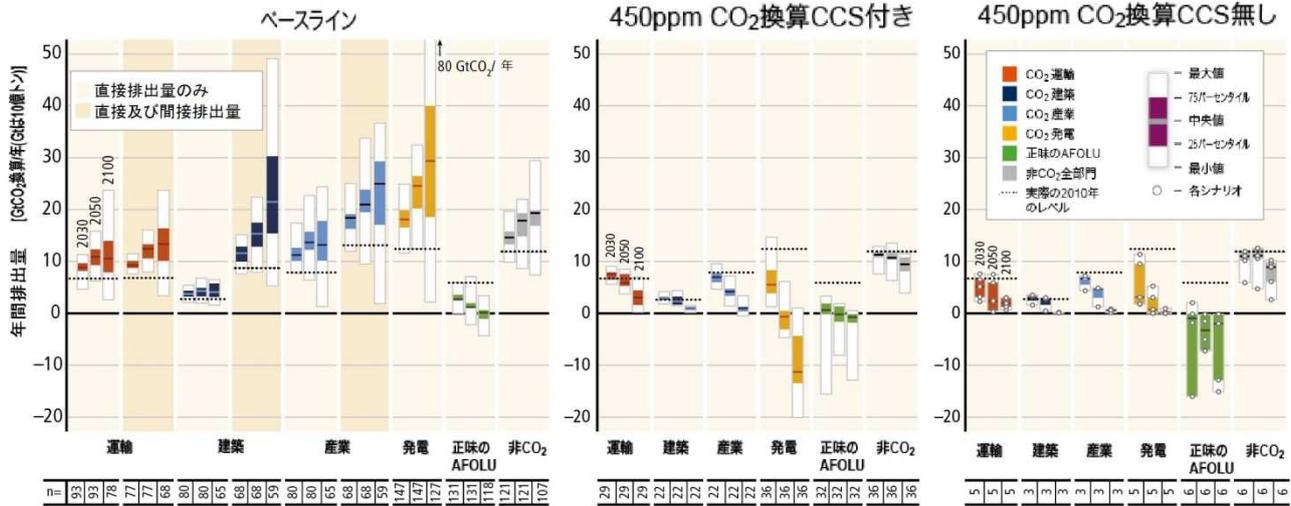


図 4.1: 部門別の二酸化炭素 (CO₂) 排出量と全部門を合計した二酸化炭素以外の温室効果ガス(京都議定書規定のガス)の排出量。ベースライン(左図)、二酸化炭素回収・貯留(CCS)を用い工業化以前と比べて 2℃の気温上昇に抑える可能性が高い 450(430~480) ppmCO₂ 換算に達する緩和シナリオ(中央の図)、同 CCS 無し(右図)。明るい黄色の背景は、ベースラインシナリオ及び緩和シナリオの両方に対する直接二酸化炭素排出量及び非二酸化炭素排出量であることを示す。加えて、ベースラインシナリオでは、エネルギー最終消費部門 (運輸、建築及び産業) からの直接及び間接排出量の合計も示されている (濃い黄色の背景)。緩和シナリオでは直接排出のみが示されている。しかし、最終消費部門における緩和は、上流のエネルギー供給部門における間接的排出削減にもつながる。このため、最終消費部門の直接排出量には、例えば電力需要の減少による供給側の排出削減が含まれない。間接排出量の計算については、発電の排出のみがエネルギー供給部門から最終消費部門へと割り当てられていることに注意されたい。グラフの下の数字はその範囲に含まれるシナリオの数であり、部門の解像度やモデルの対象期間が異なるため、その範囲が部門と期間によって異なる。CCS 無しには、ほとんどのモデルにおいて 2100 年までに 450ppmCO₂ 換算濃度に到達できないため、その結果として右図のシナリオ数が少ないことに注意されたい。発電部門における負の排出量は BECCS の適用による。「正味の」農林業・その他の土地利用 (AFOLU) 排出量は、森林減少の他、新規植林、森林再生を考慮している。{図 WGIII SPM.7, 図 WGIII TS.15}

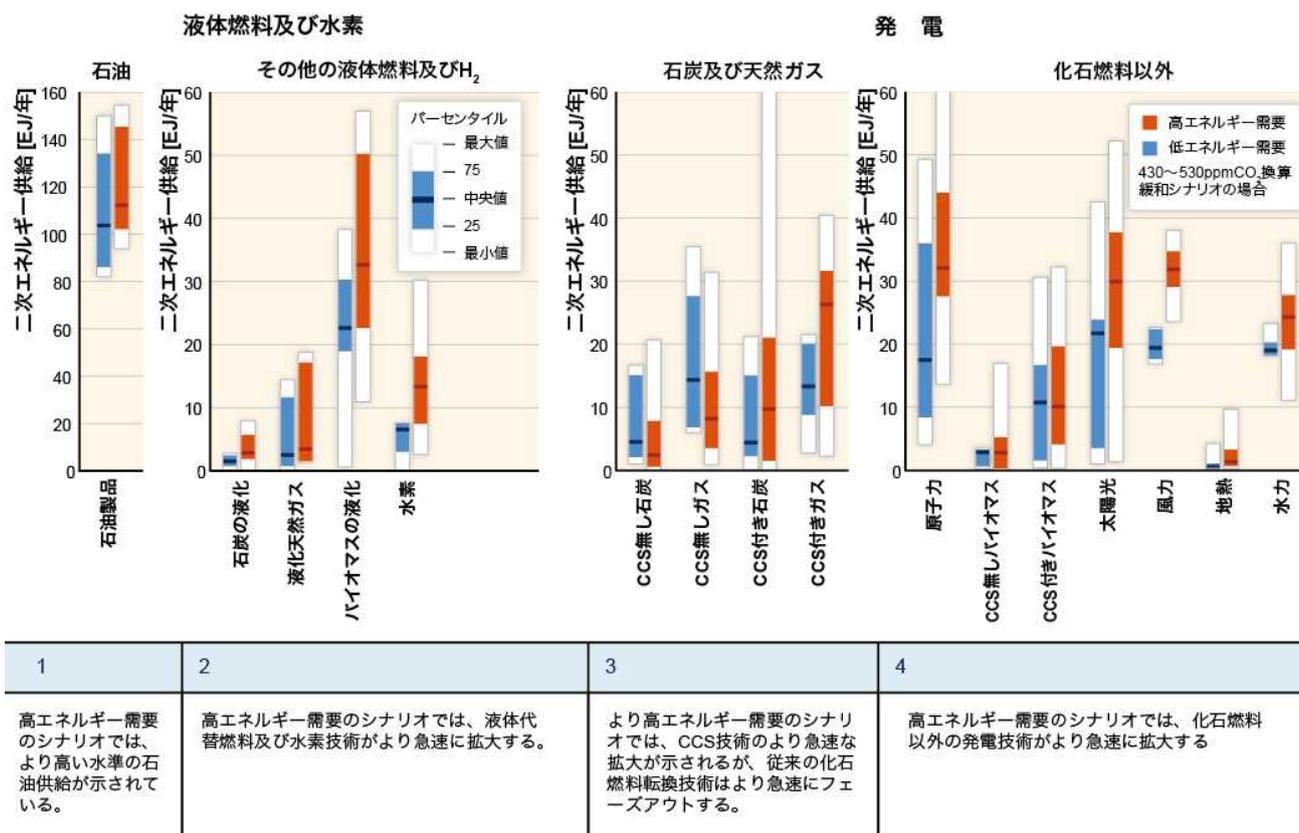
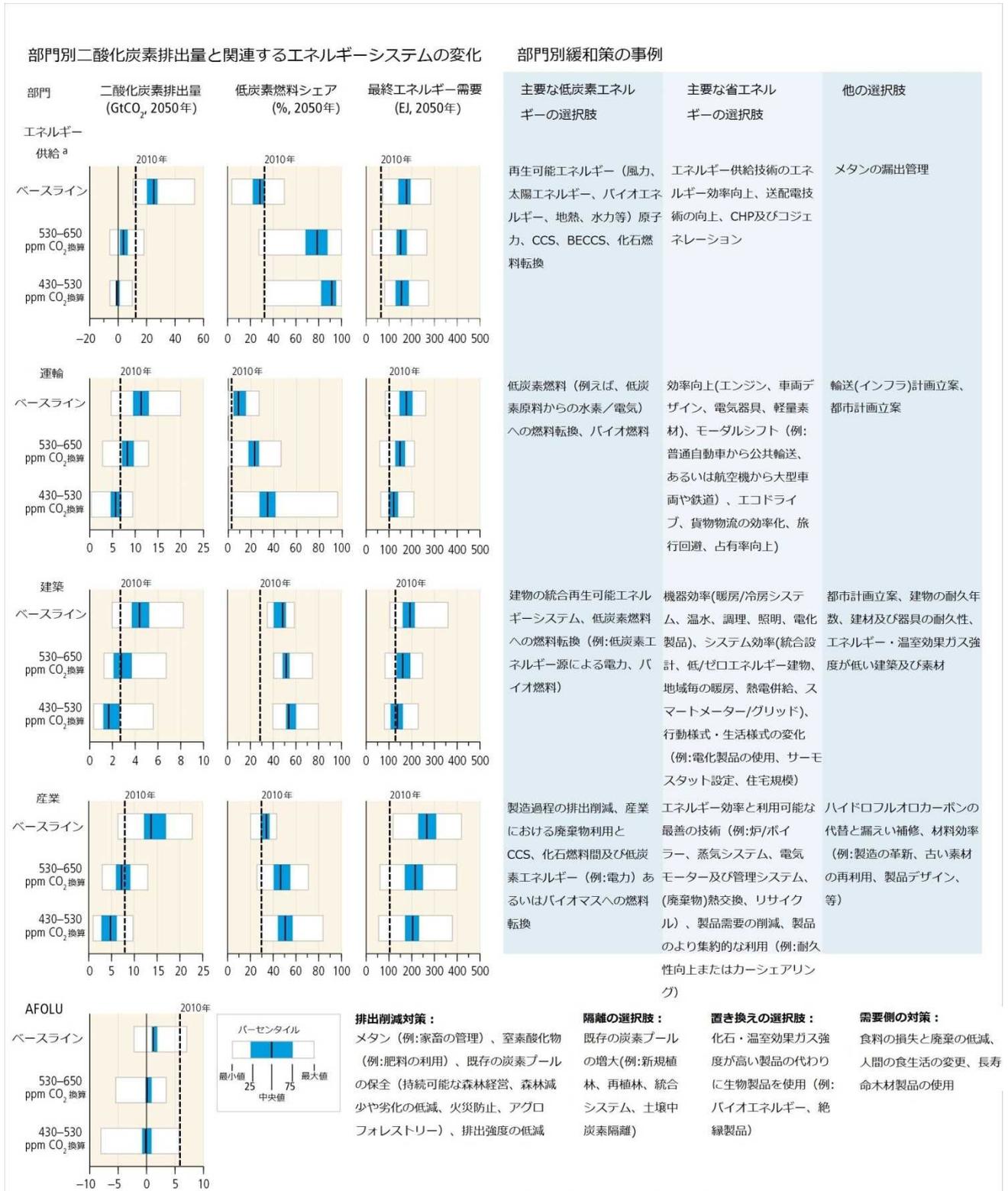


図 4.2: 2100年までに約450～約500 (430～530) ppmCO₂換算濃度に達する緩和シナリオ (工業化以前と比べて2°Cまでの気温上昇に抑える可能性が少なくとも同程度) における、2050年のエネルギー供給技術の普及にエネルギー需要が及ぼす影響。「低エネルギー需要」の青い棒は、2050年の最終エネルギー増加を2010年比で<20%に制限するシナリオにおける普及の範囲を示す。赤い棒は、「高エネルギー需要」(2050年に2010年比で>20%の増加)の場合の技術が普及する範囲を示す。それぞれの技術に関して、普及の中央値、4分位範囲及び全範囲が示されている。注: 技術制約を前提とするシナリオは除外している。範囲の中には、多くの異なる統合モデルの結果が含まれている。同一のモデルから得られた複数のシナリオ結果は、サンプリングの偏りを回避するために平均化されている。{WGIII 図TS.16}

エネルギー供給部門の脱炭素化 (すなわち炭素強度の低下) には、低炭素及びゼロ炭素の発電技術の規模の拡大が必要である (確信度が高い)。大多数の低濃度安定化シナリオ (約450～約500ppm CO₂換算、工業化以前と比べて2°Cまでの気温上昇に抑える可能性が少なくとも同程度) では、低炭素発電 (再生可能エネルギー (RE)、原子力及びBECCSを含むCCSで構成される) の割合が、現在の30%から、2050年までには80%を超えて、2100年までには90%に増加し、CCS無しの化石燃料発電は2100年までにはほぼ完全に姿を消している。このような低炭素技術の中で、AR4以降大規模に普及させることが可能となる成熟度に達したRE技術の数も増えており (証拠が確実、見解一致度が高い)、原子力エネルギーは成熟した低排出温室効果ガスのベースロード電源であるが、世界における発電割合は低下している (1993年以降)。天然ガスが利用可能で、採取と供給時のGHG漏出が小さい、又は緩和される場合、既存の標準的な石炭火力発電を最新の高効率天然ガス複合発電や熱電併給発電に置き換えることによって、エネルギー供給によるGHG排出を大幅に削減することが出来る。{WGIII SPM.4.2}

表 4.4 部門別二酸化炭素排出量、関連するエネルギーシステムの変化及び緩和対策の例（二酸化炭素以外のガスを含む；二酸化炭素以外の排出量の重みづけ及び削減に関する指標についてはBox 3.2参照）。{図 WGIII SPM.7, 図SPM.8, 表 TS.2, 7.11.3, 7.13, 7.14}



a 二酸化炭素の排出、低炭素燃料のシェア、及び最終エネルギー需要は、発電についてのみ示されている

行動様式、生活様式及び文化がエネルギー消費とそれに関連する排出にかなりの影響を及ぼしており、いくつかの部門では緩和の潜在力が高く、特に、技術的及び構造的変化を補完する場合には顕著である（**証拠が中程度、見解一致度が中程度**）。運輸部門においては、全ての交通モードを対象とする技術と行動様式に関する緩和措置と、新しいインフラと都市再開発への投資により、最終エネルギー消費をベースライン水準よりかなり減らせる可能性がある（**証拠が確実、見解一致度が中程度**）（表4.4）。低炭素燃料への切換えの機会が存在する一方、運輸部門における脱炭素化の速度は、エネルギー貯蔵及び低炭素燃料の比較的低いエネルギー密度に関連する課題によって制約される可能性がある（**確信度が中程度**）。建築部門では、近年の技術、ノウハウ、政策の進歩により、今世紀中頃までに世界のエネルギー消費をほぼ現在の水準にまで安定化又は削減する機会が提供される

（**証拠が確実、見解一致度が高い**）。加えて、性能と費用が近年改善されてきたことによって、非常に低いエネルギーの建物の建設、あるいは改修が経済的に魅力的となり、時には正味で負の費用となることさえある（**証拠が確実、見解一致度が高い**）。産業部門では、エネルギー効率に加えて、温室効果ガス排出効率や材料の使用効率の改善、材料及び製品のリサイクルとリユース、並びに製品需要（例えば、製品のより集中的な利用を通して）及びサービス需要の総体的な軽減が、温室効果ガス排出をベースライン未満に低減させることに役立つ。産業においてエネルギー効率の向上を促進するためによく実施されるアプローチとして情報プログラムがあり、経済的手法、規則的なアプローチ及び自主的行動がそのあとに続く。廃棄物管理における重要な緩和選択肢は廃棄物削減であり、リユース、リサイクル、エネルギー回収がその後続く（**証拠が確実、見解一致度が高い**）。{WGIII SPM.4.2, Box TS.12, TS.3.2}

林業において最も費用対効果の高い緩和措置は、新規植林、持続可能な森林経営、及び森林減少の抑制であり、その相対的重要性は地域によって大きく異なる。農業においては、農地管理、牧草地管理、及び有機土壌の回復が最も費用対効果の高い緩和措置である（**証拠が中程度、見解一致度が高い**）。林業における緩和可能量の約1/3が、20米ドル/トンCO₂換算未満の費用で達成できる。食生活の変更、食品サプライチェーンにおけるロスの削減といった需要側の措置は、食料生産からのGHG排出削減可能量は大きい、不確実である（**証拠が中程度、見解一致度が中程度**）。{WGIII SPM.4.2.4}

バイオエネルギーは、緩和において重要な役割を果たし得るが、実施の持続可能性やバイオエネルギーシステムの効率性等考慮すべき課題がある（**証拠が確実、見解一致度が中程度**）。ライフサイクル排出量が低いバイオエネルギーの選択肢は、既にいくつかは利用可能であり、GHG排出を削減し得ることを示す証拠がある。結果は場所によって変わり、効率的に統合された「バイオマスからのバイオエネルギー生産システム」及び持続可能な土地利用の管理とガバナンスに依存している。バイオエネルギーの大規模な普及への障壁には、土地からのGHGの排出、食料安全保障、水資源、生物多様性の保全及び生計などについての懸念がある。{WGIII SPM.4.2.4}

緩和策は、他の社会的目標と相互に影響し、コベネフィットや負の副次効果を伴う。こうした関係をうまく扱うことができれば、気候の緩和策に着手する基盤を強化できる（**証拠が確実、見解一致度が中程度**）。緩和は、人間の健康に関すること、食料安全保障、生物多様性、地域の環境の質、エネルギーの入手しやすさ、生計、衡平かつ持続可能な開発などに関連するような他の社会的目標の達成に、良くも悪くも影響し得る（第4.5節も参照）。また逆に、こうした社会目標のための政策も、緩和と適応の目標達成に影響を及ぼす。この影響は大きくなものになりかねないが、しばしば定量化することが困難であり、特に厚生観点では難しい。このように多目的な観点を持つことが重要となるのは、複数の目的達成に寄与する政策への支援が強固となる分野の特定に役立つからである。主な部門別緩和策における潜在的なコベネフィットと負の副次効果を表4.5に要約した。全体的には、エネルギー最終消費対策の潜在的なコベネフィットは、負の副次効果をしのいでいるが、証拠からすると、全てのエネルギー供給とAFOLU部門の措置については、これは当てはまらないかもしれない。{WGIII SPM.2}

表4.5: 主要緩和措置によって潜在的に生じる可能性のあるコベネフィット（青字）と負の副次効果（赤字）。コベネフィットと負の副次効果、及びそれらの全般的な正と負の効果は、地域の状況、及び実施の手法・速度・規模によって変わる。緩和政策に関連したマクロ経済的、部門横断的な効果の評価については、第3.4節を参照。括弧内の不確実性指標は、それぞれの効果に関する証拠と見解一致のレベルを示す。証拠量を表す略字：l=limited（限定的）、m=medium（中程度）、r=robust（確実）。見解一致度を表す略字：l=low（低い）、m=medium（中程度）、h=high（高い）。{WGIII 表TS.3, 表TS.4, 表TS.5, 表TS.6, 表TS.7, 表6.7}

部門別緩和措置	追加的目標／懸念への効果		
	経済的	社会的	環境的
エネルギー供給	バイオエネルギーへのバイオマス供給による上流での影響の可能性については「AFOLU」参照。		
原子力で石炭を置換	エネルギー安全保障（燃料の価格変動への曝露度の低減）（m/m）；地域雇用への効果（正味の効果は不明）（l/m）；廃棄物と廃炉のレガシー/費用（m/h）	大気汚染と採炭事故の低減を通しての健康への複合的影響（m/h）、原子力事故と廃棄物処理、ウラン採掘と精錬（m/l）；安全性と廃棄物に対する懸念（r/h）；拡散リスク（m/m）	大気汚染の低減（m/h）、採炭減少（l/h）、原子力事故（m/m）による生態系への複合的影響
再生可能エネルギー（風力、太陽光発電(PV)、集光型太陽熱発電(CSP)、水力、地熱、バイオエネルギー）で石炭を置換	エネルギー安全保障（r/m）；地元雇用（正味の効果は不明）（m/m）；水管理（一部の水力発電において）（m/h）；需要に合わせた特別措置（PV、風力、一部のCSP）（r/h）；PV及び風力タービンの直接駆動に必須の金属の使用増加（r/m）	大気汚染減少（バイオエネルギーを除く）（r/h）と採炭事故の低減（m/h）による健康への影響低減；（オフグリッド）エネルギーアクセスへの寄与（m/l）；立ち退きの脅威（大規模水力導入の場合）（m/h）	大気汚染の低減（バイオエネルギーを除く）（m/h）、採炭減少（l/h）、生息域への影響（一部水力）（m/m）、景観と野生生物への影響（風力）（m/m）を通しての生態系への複合的影響；水利用の減少/増加（風力、PV）（m/m）；バイオエネルギー、CSP、地熱、貯水池水力（m/h）
化石燃料CCSで石炭を置換	化石燃料産業における人的及び物理的資本の保全対固定化（m/m）；CO ₂ 貯蔵の長期モニタリング（m/h）	CO ₂ 漏洩のリスク及び上流のサプライチェーン活動（m/h）を通しての健康への影響（m/m）；安全性懸念（CO ₂ 貯蔵と輸送）（m/h）	上流のサプライチェーン活動の追加（m/m）と水利用の増加（m/h）による生態系への影響
メタンの漏出防止、回収あるいは処理	エネルギー安全保障（場合によってはガス利用の可能性）（l/h）	大気汚染減少による健康への影響の低減（m/m）；炭鉱での労働安全（m/m）	大気汚染減少による生態系への影響の低減（l/m）
運輸	低炭素電力による上流の影響の可能性については「エネルギー供給」参照。バイオマス供給については「AFOLU」参照。		
燃料の炭素原単位の削減	エネルギー安全保障（多様化、石油への依存度低減、及び原油価格変動リスク回避）（m/m）；技術の波及（l/l）	電力及び水素燃料（r/h）、ディーゼル（l/m）、騒音（l/m）による都市大気汚染の増大/低減による健康への複合的影響；道路の安全性（電気自動車の低速時の静かさ）（l/l）	都市部の大気汚染（m/m）、原材料利用（持続可能でない採鉱）（l/l）の低減を通しての電気・水素がもたらす生態系への影響
エネルギー原単位の低減	エネルギー安全保障（石油への依存度及び原油価格変動への曝露度の低減）（m/m）	都市大気汚染の低減による健康影響の低減（r/h）；道路の安全性（規格設計に依存する耐衝突性）（m/m）	都市部の大気汚染の低減による生態系や生物多様性への影響の低減（m/h）
コンパクトな都市形態及び運	エネルギー安全保障（石油への依存度	身体的活動の増加（r/h）、大気汚染への曝露	都市部の大気汚染の低減による生態系や

輸インフラの改善 モーダルシフト	及び原油価格変動への曝露度の低減 (m/m) ; 生産性 (都市の渋滞緩和、移動時間の短縮、安価なアクセスしやすい輸送) (m/h)	の潜在的増加 (r/h) 、騒音低減 (モーダルシフトと移動削減) (r/h) を通した動力源を持たない交通モードによる健康への複合的影響 ; 雇用機会に関わる交通利便性の公平性 (r/h) ; 道路の安全性 (モーダルシフトによる) (r/h)	生物多様性への影響の低減 (r/h) ; 土地利用競争の低減 (m/m)
移動の距離削減と回避	エネルギー安全保障 (石油への依存度及び原油価格変動への曝露度の低減) (r/h) ; 生産性 (都市の渋滞緩和/移動時間の短縮、徒歩) (r/h)	健康への影響低減 (動力源を持たない交通モードによる) (r/h)	都市部の大気汚染の低減 (r/h) 、新規/短縮された船舶経路 (r/h) を通しての生態系への複合的影響 ; 土地利用の競争の低減 (輸送インフラ) (r/h)
建築	燃料転換および再生可能エネルギーシステムによる上流の影響の可能性については「エネルギー供給」参照。		
排出原単位の削減 (例 : 燃料転換、再生可能エネルギーシステム導入、屋上緑化)	エネルギー安全保障 (m/h) ; 雇用への効果 (m/m) ; エネルギー補助金の需要低下 (I/I) ; 建物の資産価値 (I/m)	エネルギー需要低減による燃料不足の緩和 (m/h) ; エネルギーへのアクセス (エネルギー費用増加に関して) (I/m) ; 女性/子どもにとっての有意義な時間 (旧式の調理用具の置換に関して) (m/h)	(燃料不足低減 (r/h) 、屋内/屋外大気汚染低減 (r/h) 、都市ヒートアイランド効果の低減 (I/m) を通しての) 住宅建物内の健康及び生態系への影響の低減 ; 都市の生物多様性 (屋上緑化の場合) (m/m)
既存の建築物の改修、模範的な新規建築物、効果的な設備	エネルギー安全保障 (m/h) ; 雇用への効果 (m/m) ; 生産性 (商業ビル) (m/h) ; エネルギー補助金の需要低下 (I/I) ; 建物の資産価値 (I/m) ; 災害に対するレジリエンス (I/m)	エネルギー需要低減 (改修、高効率設備に関して) による燃料不足の緩和 (m/h) ; エネルギーへのアクセス (住宅費用高騰) (I/m) ; 温度快適性 (m/h) ; 女性/子どもにとっての有意義な時間 (旧式の調理用具の置換に関して) (m/h)	(燃料不足低減 (r/h) 、屋内/屋外大気汚染低減 (r/h) 、都市ヒートアイランド効果の低減 (I/m) 、屋内環境の改善 (m/h) などを通した) 健康及び生態系への影響の低減 ; 不十分な換気による健康リスク (m/m) ; 水の消費と汚水の発生低減 (I/I)
エネルギー需要の低下につながる行動変化	エネルギー安全保障 (m/h) ; エネルギー補助金の需要低下 (I/I)		(屋内環境条件の改善 (m/h) や屋外大気汚染低減 (r/h) などを通した) 健康及び生態系への影響の低減
産業	低炭素エネルギー供給 (CCSを含む) による上流の影響の可能性については「エネルギー供給」参照、バイオマス供給については「AFOLU」参照。		
二酸化炭素/二酸化炭素以外の排出原単位の削減	競争力と生産性 (m/h)	地域の大気汚染削減や労働条件改善 (アルミニウム製造時のパーフルオロカーボン) による健康への影響の低減 (m/m)	(地域の大気汚染や水汚染の削減を通した) 生態系への影響の低減 (m/m) ; 水の保全 (I/m)
新プロセスや技術を通じたエネルギー効率の向上	エネルギー安全保障 (エネルギー原単位の低減による) (m/m) ; 雇用への影響 (I/I) ; 競争力と生産性 (m/h) ; 開発途上国における技術の波及 (I/I)	地域汚染削減を通した健康への影響の低減 (I/m) ; 新規事業の機会 (m/m) ; 水の利用可能性と水質 (I/I) ; 安全性、労働条件及び雇用満足度 (m/m)	化石燃料の採取 (I/I) 、地域汚染及び廃棄物削減 (I/I) を通した生態系への影響の低減
製品の材料効率、リサイクル	中期的な国の消費税歳入 (I/I) ; 廃棄物	健康への影響と安全性の懸念の低減 (I/m) ;	地域の大気・水質汚染及び廃棄物処分の

ル	リサイクル市場における雇用効果 (I/I) ; 製造の競争力 (I/I) ;産業クラスター向け 新規インフラ (I/I)	新しい事業機会 (m/m) ; 地域紛争 (資源採取 量の減少) (I/m)	削減を通じた生態系への影響の低減 (m/m) ; 持続可能ではない資源採掘の減 少につながる原材料/バージン材料や天然 資源の使用低減、 (I/I)
製品需要の削減	中期的な国の消費税歳入 (I/I)	多様な生活様式の選択による福利の向上 (I/I)	消費後の廃棄物の削減 (I/I)
AFOLU	<i>注記：コベネフィットと負の副次効果は開発の背景や介入の規模（大きさ）に左右される。</i>		
供給側：林業、土地ベース の農業、畜産、統合システ ムとバイオエネルギー 需要側：食料サプライチェ ーンにおけるロス削減、人 間の食生活の変更、木材・ 林業製品の需要の変化	起業家育成 (m/h)、農業における 労働集約性の低い技術の使用 (m/m) を通じた雇用効果；収入 源と市場へのアクセスの多様化 (r/h)；持続可能な景観管理への 追加所得 (m/h)；所得の集中 (m/m)；エネルギー安全保障 (資 源の充足率) (m/h)；持続可能な資 源管理のための革新的な資金調達 メカニズム (m/h)；技術革新と技 術移転 (m/m)	統合システムと持続可能な農業の集約化を通じ た食用作物生産 (r/m)；非食用作物の大規模な単 作に起因する (地域的な) 食料生産 (r/I)；(持続 可能な) 森林管理と保全を通じた文化的居住地や レクリエーション地域 (m/m)；減農薬手法、焼 畑農業の削減、アグロフォレストリーや林間放牧 システムなどを通じた人間の健康と動物の福祉 (m/h)；(農業又はバイオエネルギーに) 焼畑農 業を用いる場合の人間の健康 (m/m)；参加及び 公正な便益の配分 (r/h) 及び便益の集中化 (m/m) による男女間、世代内・世代間の衡平性に対する 複合的影響	大規模な単一栽培 (r/h)、生態系保護、 持続可能な管理、持続可能な農業 (r/h) を通じた生態系サービスへの複合的影 響；土地利用の競合 (r/m)；土壌の質 (r/h)；侵食 (r/h)；生態系のレジリエ ンス (m/h)；アルベドと蒸発 (r/h) 地域レベルでの土地所有権及び使用権 (先住民及び地元共同体) (r/h) 並びに 土地管理における意思決定のための参加 型制度へのアクセス (r/h) に対する複合 的影響；持続可能な資源管理のための既 存政策の施行 (r/h)
人間居住とインフラ	<i>コンパクトな都市形態と運輸インフラの改善については「運輸」も参照のこと。</i>		
コンパクトな開発及びイン フラ	技術革新と効率的資源利用の増加 (r/h)； 賃料及び財産価値の上昇 (m/m)	身体活動の増加による健康の改善：「運輸」 参照	空地 (緑地) の保全 (m/m)
アクセス性の向上	通勤通学時間の節約 (r/h)	身体活動の増加による健康の改善：「運輸」 参照；社会的相互交流の増加及び精神衛生 (m/m)	大気質の改善及び生態系と健康への影響 低減 (m/h)
多目的土地利用	通勤通学時間の節約 (r/h)；賃料及び財 産価値の上昇 (m/m)	身体活動の増加による健康の改善 (r/h)；社 会的相互交流および精神衛生 (I/m)	大気質の改善及び生態系と健康への影響 低減 (m/h)

4.4 適応と緩和、技術、資金に関する政策手法

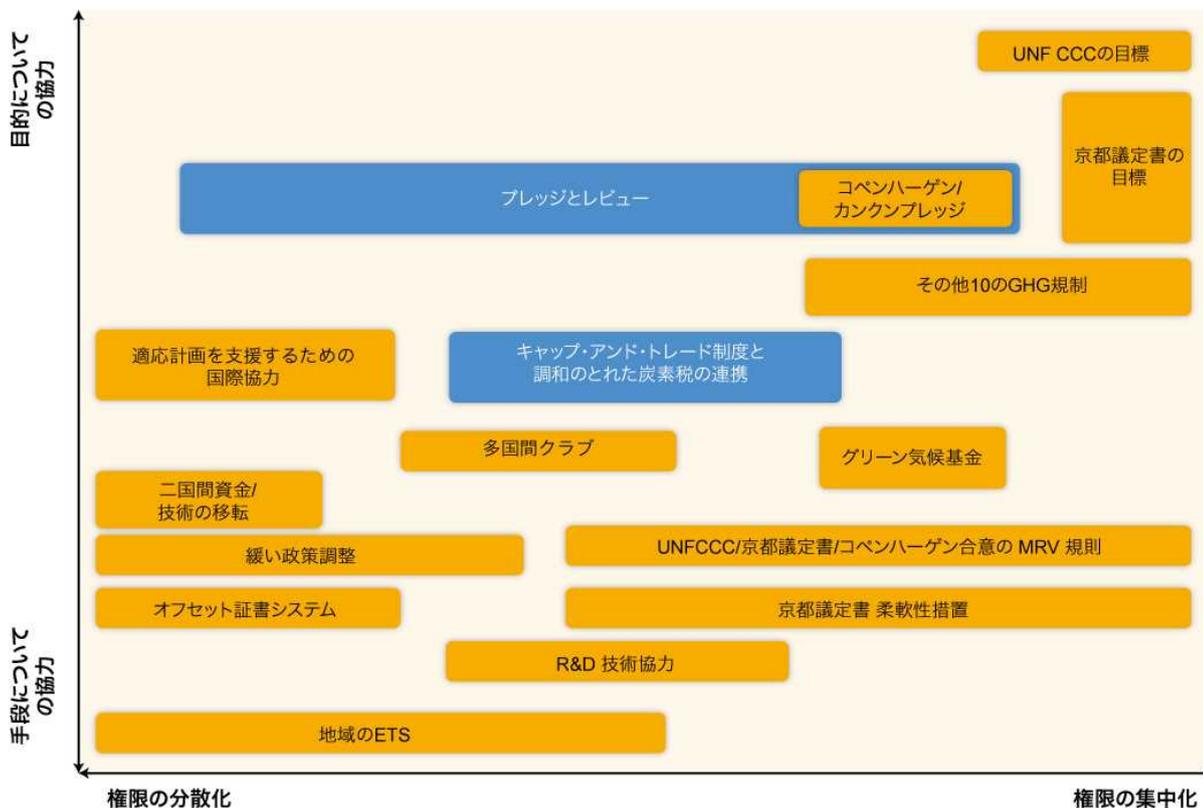
効果的な適応及び緩和は、国際的、地域的、国家的、準国家的な複数の規模にまたがった政策や対策に依存するだろう。気候変動に向けた技術の開発・普及・移転や気候変動対応に向けた資金を支援するあらゆる規模の政策は適応及び緩和を推進する政策の実効性を直接的に補完・向上しうる。

4.4.1 適応と緩和における国際協力と地域協力

気候変動は世界的な集合行為問題という性質を有しているため（第3.1節参照）、緩和にはその地方でのコベネフィットもありうるが、各主体が、各々の関心事を個々に進めていけば、効果的な緩和は達成されない。したがって、温室効果ガスの排出を効果的に緩和し、その他の気候変動問題に対処するためには、国際協力を含む協調的な対応が必要である。適応は、主に地方から国家規模の成果を焦点とする一方で、その有効性は、国際協力を含むガバナンスの規模全体での協調を通じて強化される。事実、国際協力によって国家、準国家及び地方レベルでの適応戦略、適応計画、適応行動の策定促進が支援されている。多様な気候政策手法が採用されており、緩和への取組並びに国家及び準国家規模での適応支援と促進のために、国際及び地域レベルでさらに多くの気候政策手法が採用されるだろう。結果が衡平と見做される場合、より効果的な協力につながり得ることを示唆する証拠がある。{WGII SPM C-1, 2.2, 15.2, WGIII 13.ES, 14.3, 15.8, SREX SPM, 7.ES}

国連気候変動枠組条約（UNFCCC）は気候変動への取組に焦点を当てた主要な多国間フォーラムであり、ほとんどの国が参加している。2010年の「カンクン合意」及び2011年の「強化された行動のためのダーバンプラットフォーム」を含む2007年からのUNFCCCの活動は、気候変動枠組条約の下での行動強化を追究し、国際的な気候変動協力のための制度や他の措置の増加につながってきた。異なるガバナンスレベルで組織されたそれ以外の機関は気候変動の国際協力を多様化させる結果となった。{WGIII SPM.5.2, 13.5}

気候変動についての既存及び将来の国際協力の合意は、その対象と、集権化(centralization)と連携(coordination)の程度において異なる。その範囲には、多国間合意、調和のとれた国内政策、集権化はされていないが調整のとれた国内政策、同時に地域政策や地域協調政策も含まれる(図4.3参照)。
{WGIII SPM.5.2}



緩い政策調整の例：超国家的な都市ネットワークと国内の適切な緩和行動（NAMA）。R&D 技術協力の例：エネルギーと気候に関する主要経済国フォーラム（MEF）、世界メタンイニシアティブ（GMI）、あるいは再生可能エネルギー及びエネルギー効率パートナーシップ（REEEP）。他の国際組織（IO）による GHG 規制の例：モントリオール議定書、国際民間航空機関（ICAO）、これらの例の詳細については WGIII 図 13.1 参照。

図4.3: 国際協力形態の選択肢。図は公表されている研究文献の調査に基づく、既存及び可能性のある国際協力の形態を表すが、既存あるいは潜在的に可能性のある政策構造を網羅することや、規定的であることは意図していない。オレンジ色の例は既存の合意。青色の例は文献で提案されている合意のための構造。それぞれのボックスの幅は、特定の合意に関して可能な集権化度の範囲を示す。集権化度は合意が国際機関に与える権限を示しており、合意交渉のためのプロセスを示すものではない。{WGIII 図13.2}

多くの新しい制度が適応への資金提供及び調整に焦点を当てている一方、国際気候政策において適応は、過去には緩和よりも注目されてこなかった（証拠が確実、見解一致度が中程度）。気候変動影響によるリスクを低減するためには適応を含めることがますます重要になっており、より多くの国々が関与することになるだろう。{WGIII 13.2, 13.3.3, 13.5.1.1, 13.14}

京都議定書は特に、参加、実施、柔軟性メカニズム及び環境に対する効果という点で、UNFCCC の究極目標達成に向けた教訓を与えている（証拠が中程度、見解一致度が低い）。議定書は、UNFCCC が提示した原則と目標の実施に向けた拘束的な第一歩であった。2013 年 10 月までに UNFCCC に提出された 2012 年までの国別温室効果ガスインベントリによると、定量的な排出制限（及び削減義務）を伴う付属書 B の締約国は、全体としては第一約束期間における総合排出削減目標を達成したかもしれないが⁴⁴、これには議定書が無かったとしても発生していたと考えられる排出削減の一部も数えられている。京都議定書のクリーン開発メカニズム（CDM）は、開発途上国からの排出量オフセットの市場を生み出した。この市場の目的は、付属書 I 国がその約束を達成する手助けをすることと、付属書 I 国以外の国の持続可能な開発の実現を支援することの二つである。CDM によって、2013 年 10 月までに 1.4 Gt CO₂ 換算超に相当する認証排出削減量（オフセット）が生じ、大きなプロジェクト投資につながり、又 UNFCCC 適応基金を含む様々な機能のための投資の流れを生み出した。しかし、その環境面での有効性については、プロジェクトの追加性（すなわち、プロジェクトが現状趨勢（BAU）とは異なる排出量をもたらすか否か）、ベースラインの妥当性及び排出のリーケージの可能性に関する懸念により、特にその初期の数年に関して疑問視されてきた（証拠が中程度、見解一致度が中程度）。このような追加性に関する懸念はあらゆる排出削減クレジット（オフセット）のプログラムに共通しており、CDM 特有のものでは無い。市場原理によって、単一の CDM プロジェクトのほとんどが限られた国々に集中してきたが、一方、「行動プログラム」は、数は少ないものの、より均等に配分されたものになっている。京都議定書が生み出した柔軟性メカニズムには、その他にも「共同実施」と「国際排出権取引」の 2 つがある。{WGIII SPM.5.2, 表 TS.9, 13.7, 13.13.1.1, 14.3}

努力分担のためのいくつかの概念モデルが、研究においては明らかにされている。しかし、実際の国際協力協定により現実化した分布には偏りが生じ、その影響は、採用された手法のみでなく、公平性を実現可能にするために適用される基準及び開発途上国の排出削減計画に対する資金拠出のやり方にも依存する。{WGIII 4.6, 13.4}

地域、国家及び準国家（sub-national）の気候政策間の政策連携は、しばしば潜在的な気候変動の緩和の便益を提供する（証拠が中程度、見解一致度が中程度）。連携は炭素市場間で確立されており、又原則として、性能基準といった市場ベースではない政策を含む異種の政策手法間でも確立することが出来る。潜在的な利点としては、緩和費用の低減、排出リーケージの減少、市場流動性の増大等がある。{WGIII SPM.5.2, 13.3, 13.5 13.6, 13.7, 14.5}

⁴⁴ 2014 年 10 月時点において、付属書 B の締約国による遵守に関する最終的な結論は京都議定書の下で審査待ちである。

国家間及び世界規模での地域イニシアティブが開発及び実施されているが、世界規模の緩和への影響はこれまでのところ限定的である（確信度が中程度）。気候政策の中には、貿易協定への緩和目標の統合あるいは炭素排出量の削減を促進するインフラの共同建設のように広範な地域にわたって実施されれば、環境面及び経済面でより高い効果を発揮できる政策もある。{WGIII 表 TS.9, 13.13, 14.4, 14.5}

適応の計画立案や実施を支援する国際協力により、国家、準国家及び地方レベルでの適応戦略、計画及び行動の構築支援が行われてきている（確信度が高い）。例えば、さまざまな多国間及び地域に対象を絞った資金調達メカニズムが適応のために創設されてきていること、国連機関、国際開発機関及びNGOが情報、方法論及びガイドラインを提供していること、開発途上国と先進国の双方において、世界及び地域のイニシアティブが国家適応戦略の作成を支援及び促進していることなどである。国際レベルで災害リスク低減と気候変動への適応をより密に統合し、この両方を国際開発支援において主流化することで、資源と能力のより効率的な利用を促進できるかもしれない。しかし、国際レベルでの努力を強化しても、地方レベルでの実質的で迅速な結果に繋がるとは限らない。{WGII 15.2, 15.3, SREX SPM, 7.4, 8.2, 8.5}

4.4.2 国家及び準国家の政策

4.4.2.1 適応

適応の経験は、公共及び民間部門並びにコミュニティ内で、各地域にわたって蓄積されつつある（確信度が高い）。これまでに採用された適応の選択肢（表 4.6 参照）は、漸進的調節とコベネフィットを重要視し、また柔軟性と学習を強調し始めている（証拠が中程度、見解一致度が中程度）。適応の評価のほとんどは、影響、脆弱性及び適応計画立案に限られており、実施過程又は適応行動の効果に関する評価はほとんどない（証拠が中程度、見解一致度が高い）{WGII SPM A-2, TS A-2}

表 4.6: 公共及び民間部門における各地域にわたる最近の適応行動{WGII SPM A-2}

地域	行動事例
アフリカ	ほとんどの国の政府が適応に向けたガバナンスシステムを立ち上げている。これまでのところ取組は個別に行われる傾向にあるが、災害リスクマネジメント、技術とインフラの調整、生態系を基盤とした手法、基本的な公衆衛生対策及び生計の多様化により脆弱性が低減されている。
ヨーロッパ	あらゆる行政レベルにわたって適応政策が策定されており、適応計画の中には沿岸管理及び水管理、環境保全及び土地計画、並びに災害リスクマネジメントの中に統合されているものもある。
アジア	一部の地域において、準国家レベルの開発計画における気候に対する適応行動の主流化、早期警戒情報システム、統合的水資源管理、アグロフォレストリー及びマングローブの沿岸林再生を通じて、適応が促進されつつある。
オーストラレーシア	海面水位上昇に対する計画、オーストラリア南部では水資源の利用可能性の低下に対する計画が広く採択されるようになっている。実施は断片的なままであるものの、過去20年にわたって海面水位上昇に対する計画立案は大幅に発展し、手法も多様化した。
北アメリカ	特に地方自治体レベルにおいて、行政機関が漸進的な適応の評価と計画立案に関与している。いくつかの先回りの適応策が、エネルギー及び公共のインフラへのより長期的な投資を保護するために行われている。
中央アメリカ・南アメリカ	保護地域、環境保全協定及びコミュニティによる自然地域のマネジメントといった生態系を基盤とした適応が行われている。一部の地域では、農業分野において、レジリエントな（強靱な）作物品種、気候予報、統合的水資源管理が採用されている。
北極圏	一部のコミュニティが、伝統的知識と科学的知識を組み合わせ、適応の共同マネジメント戦略や通信に関するインフラを配備しはじめた。

小島嶼	小島嶼は、多様な物理的及び人的特性を有する。コミュニティを基盤とした適応は、他の開発活動とともに行われた場合、より大きな便益をもたらすことが示されてきている。
海洋	国際協力や海洋空間計画立案が、空間規模やガバナンス上の課題による制約を伴いつつも、気候変動に対する適応を促進し始めている。

国家政府は、適応の計画立案及び実施において主要な役割を担っている（**証拠が確実、見解一致度が高い**）。AR4以降、国家適応戦略及び計画の開発において大きな進展があった。これには、後発開発途上国による国別適応行動計画(NAPAs)、国家適応計画(NAP)プロセス、及びOECD諸国での国家適応のための戦略的枠組が含まれる。各国政府は、例えば、脆弱なグループの保護、経済多様化の支援、そして情報、政策及び法的枠組、並びに財政支援の提供を通じて、地方公共団体及び準国家政府による適応努力がうまく機能するよう組織立てることができる。{WGII SPM C-1, 15.2}

地方政府や民間部門は、地域によって様々であるが、異なる機能を有しており、地域社会、世帯及び市民社会の適応の規模を拡大し、リスク情報のマネジメントや財政面でのその役割を考慮すると、適応を進捗させるためにますます重要と認識されてきている（**証拠が中程度、見解一致度が高い**）。AR4以降、先進国及び開発途上国の農村及び都市コミュニティにおいて地方レベルで計画された適応対応の数が著しく増加している。しかしながら、地方の議会や計画立案者は、地方の脆弱性や潜在的影響に関して指針となる情報もしくはデータを適切に入手できない状況にあり、しばしば適応の複雑さに直面する。地方の意思決定に適応を主流化するステップは特定されてはいるが、その実施には難題が残る。それゆえ、地方の適応対応を実施するにあたり、公共、市民及び民間部門の間のパートナーシップと同様に、国家及び準国家レベルの政府との連携が重要な役割を果たすことを、研究者達は強調している。{WGII SPM A-2, SPM C-1, 14.2, 15.2}

計画立案及び意思決定に適応を統合することを含め、適応ガバナンスの制度的側面は、適応の計画立案から実施への移行を推進する上での重要な役割を担っている（**見解一致度が高い、証拠が確実**）。適応の計画立案と実施にあたって、ほぼ共通して強調される制度面の障壁あるいは実現要因は、(1) 社会における異なる政治及び行政レベルにおける複数レベル間の制度調整、(2) 気候への適応を開始し、主流化し、その勢いを持続する主要な行動主体、提唱者及び擁護者、(3) 同様の行政レベルで運用される分野、主体及び政策間の水平方向の相互交流、(4) 計画立案と実施における政治的側面、及び(5) 気候への適応の効率、表現及び支援を増強するための、公式な政府行政機関と民間部門及び利害関係者の間の調整、である。{WGII 15.2, 15.5, 16.3, Box 15-1}

既存かつ新たな経済的手法が、影響を予測し低減するためのインセンティブを与えることによって、適応策を促進しうる（**確信度が中程度**）。手段としては、官民資金協力、ローン、環境サービスへの支払い、資源価格設定の改善、課徴金及び助成金、規範及び規制、並びにリスク分担及び移転のメカニズムがある。保険やリスクの共同管理のような公共部門及び民間部門のリスクファイナンスのメカニズムは、レジリエンスの増大に寄与するが、大きな設計上の課題に注意が払われなければ、阻害要因となったり、市場の失敗を招いたり、衡平性を低下させうる。政府は、しばしば最後の頼みの綱となり、規制者、提供者又は保険者として主要な役割を果たす。{WGII SPM C-1}

4.4.2.2 緩和

AR4以降、国家及び準国家の緩和計画及び戦略がかなり増加してきた。国家の法律や戦略の対象となっている世界の温室効果ガス排出量は、2007年の45%に対し、2012年では67%であった⁴²。しかし、世界的には未だに過去の排出傾向とほとんど変わっていない。これらの計画や戦略は多くの国では開発及び実施の初期段階にあるため、それらが将来の世界全体の排出へどう影響するか評価することが難しくなっている（**証拠が中程度、見解一致度が高い**）。{WGIII SPM.5.1}

AR4以降、複数の政策目標を統合し、コベネフィットを増大させ、負の副次効果を減少させるように設計された政策への注目度が増大している（**確信度が高い**）。政府はしばしば、気候政策と部門別政策、戦略のコベネフィットに明確に言及している。{WGIII SPM.5.1}

部門別政策が経済全体にわたる政策よりも普及している（表4.7参照、**証拠が中程度、見解一致度が高い**）。ほとんどの経済理論が、緩和のための経済全体にわたる政策の方が、部門別の政策より費

用対効果が高いことを示唆しているが、行政的及び政治的障壁があるために、経済全体にわたる政策の設計と実施が部門別政策より難しい可能性があることを示している。部門別政策の方が特定部門に特有な障壁や市場の欠陥に対処するために適切であることがあり、またそれらは、補完的な政策パッケージの一部に束ねられることもある。{WGIII SPM.5.1}

原理的には、キャップ・アンド・トレード制度や炭素税などの炭素価格を設定するメカニズムにより、費用対効果の高い形で緩和を実現できるが、政策設計に加えて国情等のために、効果には差がある形で実施されてきた。キャップ・アンド・トレード制度の環境面での短期的効果は、キャップが緩い又は拘束的でないことが判明するものだったため、限定されている（証拠が限定的、見解一致度が中程度）。いくつかの国では、温室効果ガスの排出削減に特に狙いを定めた税ベースの政策が、技術や他の政策と組み合わせたり、温室効果ガス排出と GDP の相関を弱めることに寄与してきた（確信度が高い）。さらに、多くの国において、燃料税は（必ずしも緩和目的で設計されたものではないにしても）部門別の炭素税と同様の効果を持つ（証拠が確実、見解一致度が中程度）。炭素税あるいはオークションで取引された排出枠からの歳入を、他の税金を減らすために用いたり、かつ/又は低所得者層の移転に供与している国々もある。このことは、政府の歳入を増やす緩和政策が一般的に、そうでない他のアプローチより、社会費用を引き下げるという一般原理を説明している。{WGIII SPM.5.1}

表 4.7: 部門別の政策手法{WGIII 表 15.2}

政策手法	エネルギー	運輸	建築	産業	AFOLU	人間居住とインフラ
経済的手法－税(炭素税は経済全体にわたる可能性あり)	－炭素税(例:電力あるいは燃料に適用)	－燃料税 －渋滞課金、車両登録料、有料道路 －自動車税	－炭素税及び/又はエネルギー税(部門別あるいは経済全体のどちらか)	－炭素税又はエネルギー税 －廃棄物処理に対する税又は課金	－酸化二酸化素削減のための、肥料税又は窒素税	－スプロール税、開発者負担金、強制取立、二段階税率財産税、タックス・インクレメント、改良税、渋滞課金
経済的手法－取引可能排出枠(経済全体にわたる可能性あり)	－排出量取引 －クリーン開発メカニズム(CDM)の下での排出量クレジット －取引可能なグリーン証書	－燃料及び車両基準	－エネルギー効率向上のための取引可能な証書(ホワイト証書)	－排出量取引 －CDMの下での排出量クレジット －取引可能なグリーン証書	－CDMの下での排出量クレジット －京都議定書以外のコンプライアンススキーム(国家スキーム) －自主的な炭素市場	－都市規模でのキャップ・アンド・トレード
経済的手法－補助金	－化石燃料補助金の廃止 －再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)	－バイオ燃料補助金 －自動車購入補助金 －フィーバート	－エネルギー効率の良い建築物・改築・製品への投資に対する補助金あるいは税控除 －奨励金付きローン	－補助金(例:エネルギー監査に関するもの) －資金的インセンティブ(例:燃料転換に対するもの)	－低炭素農業、持続可能な林業に対する融資枠(credit line)	－特別改善地区あるいは再開発地区
規制的手法	－効率あるいは環境性能に関する基準 －再生可能エネルギーに対する再生可能エネルギー使用基準(RPS) －電力グリッドへの衡平なアクセス －長期CO ₂ 貯留の法的立場	－燃費性能基準 －燃料品質基準 －GHG排出性能基準 －モーダルシフト(自動車から鉄道)を推進する法規制 －特定地域での自動車利用制限 －空港に対する環境能力制限 －都市計画及びゾーン制限	－建築基準法と基準 －設備・機器の基準 －電力小売業者に顧客のエネルギー効率改善投資の支援を委託	－設備のエネルギー効率基準 －エネルギー管理システム(自主的でもある) －自主協定(規制によって拘束される場合) －ラベリングと公共調達規制	－監視、報告、検証を含むREDD+支援のための国家政策 －森林減少を抑えるための森林法 －GHG前駆物質を制御する大気質・水質汚染防止法 －土地利用計画とガバナンス	－混合利用ゾーニング －開発規制 －低所得者住宅指令 －サイトへのアクセスの抑制 －開発権移転 －設計基準 －建築基準 －街路基準 －設計標準
情報化措置		－燃料のラベリング －燃費のラベリング	－エネルギー監査 －ラベリング措置 －エネルギー・アドバイザープログラム	－エネルギー監査 －ベンチマーキング －産業協力の仲介	－持続可能な林業活動の認証制度 －監視、報告、検証を含むREDD+支援のための情報政策	
政府による公共財・サービスの整備	－研究開発 －インフラの拡大(地域の熱/冷エネルギーまたは共通のキャリアー)	－公共交通及び人力輸送への投資 －代替燃料インフラへの投資 －低排出量車の調達	－エネルギー効率の良い建築物・設備の公共調達	－訓練と教育 －産業協力の仲介	－国有、州立、及び地方の森林の保護 －農業における革新的な技術の改良と普及に対する投資	－配電、地域の熱/冷エネルギー供給、排水連結等のインフラの整備 －公園の改善 －舗道の改善 －都市鉄道
自主的行動			－省エネ建築物のラベリング措置 －製品のエコ・ラベリング	－エネルギー目標又はエネルギー管理システムの採用、あるいは資源効率に関する自主協定	－規格開発と教育キャンペーンによる持続可能性の促進	

補助金形式の経済的手法は、複数の部門にわたって適用される可能性があり、税金還付又は免税、補助金、借款及び信用供与などの多様な政策設計を含む。多くの要因によって刺激され、補助金を含む再生可能エネルギー（RE）政策の数や種類がますます増加し、近年におけるRE技術の拡大成長を駆動してきた。RE技術の普及を加速する上で、国家の政策は決定的に重大な役割を担っている。エネルギーへのアクセス及び社会的・経済的発展が大多数の開発途上国において主な駆動要因となってきた一方で、安定したエネルギー供給と環境配慮が先進国において最も重要となっている。政策の焦点は、主としてRE発電に特化したものから、REによる冷暖房や輸送手段を含むものへと拡大してきている。{SRREN SPM.7}

様々な部門におけるGHGを排出する活動への補助金削減は、社会的及び経済的状況次第で排出削減を達成し得る（確信度が高い）。多くの部門で補助金が排出に影響を及ぼし得るが、ごく最近の文献のうちの多くが、化石燃料への補助金に焦点を当てている。AR4以来、少数だが増えつつある、経済全体のモデルに基づく研究が、化石燃料のための補助金を全ての国で完全に撤廃すると、今世紀の中頃までに世界の総排出量が減少する可能性があると予想してきた（証拠が中程度、見解一致度が中程度）。方法論、補助金のタイプと定義、及び段階的廃止を考えた場合の時間枠によって、様々な研究がある。特にこれらの研究では、どの補助金が無駄で不十分かを調べ、国の状況を考慮せずに全部の化石燃料補助金を完全に廃止した場合の影響を調べている。{WGIII SPM.5.1}

規制的手法や情報的措置は広く用いられており、しばしば環境に改善的な効果がある（証拠が中程度、見解一致度が中程度）。規制的手法の例には、エネルギー効率基準が含まれる。情報的措置の例としては、消費者が情報を知った上で意思決定できるようにするラベリング制度がある。{WGIII SPM.5.1}

緩和政策は化石燃料輸出者にとって化石燃料の資源価値を下げ、収入を減少させる可能性があるが、地域や燃料によって差がある（確信度が高い）。ほとんどの緩和シナリオは、主な輸出者の石炭や石油貿易からの収入減少と関係づけられている。天然ガス輸出収入への緩和の影響はより不確実性が高い。CCSの利用可能性が化石燃料資産の価値に対する緩和の負の副次効果を和らげる可能性がある（確信度が中程度）。{WGIII SPM.5.1}

2つ、あるいはそれ以上の緩和政策による相互作用は相乗効果を生むこともあるが、排出削減への追加効果を及ぼさないこともある（証拠が中程度、見解一致度が高い）。例えば、炭素税は再生可能エネルギーの供給への補助金等の政策に追加的な環境的効果をもたらし得る。逆に、キャップ・アンド・トレード制度において排出関連の意思決定に十分な影響を及ぼすほど厳しい拘束的なキャップがあれば、他の政策は、排出削減に追加的な効果を及ぼさなくなる（費用や将来的な厳しい目標の適用可能性には影響してくるであろうが）（証拠が中程度、見解一致度が高い）。いずれの場合にも技術革新と技術の普及に関する市場の失敗を補う追加的な政策が必要であるかもしれない。{WGIII SPM.5.1}

準国家の気候政策は、国家政策のある国でもない国でも、ますます普及してきている。これらの政策には、市場、規制的手法及び情報的手法、並びに準国家のキャップ・アンド・トレード制度を組み合わせた国及び地方の気候計画が含まれる。加えて、準国家の当事者、特に機関投資家、カーボンオフセット市場を運営しようとしているNGO、及び低炭素都市開発を作り出すのに協働しようとしている都市ネットワーク間で、国の枠組みを越えた協力が発生している。{WGIII 13.5.2, 15.2.4, 15.8}

緩和のコベネフィットや負の副次効果は、人間の健康、食料安全保障、生物多様性、地域の環境の質、エネルギーへのアクセス、生計、及び衡平性のある持続可能な開発に関連するような他の目標の達成に影響しうる。{WGIII SPM.2}

- 2100年までに約450あるいは約500ppmCO₂換算に達する緩和シナリオでは、大気質、エネルギー安全保障の目的を達成するための費用が下がるとともに、人間の健康、生態系への影響、及び資源の充足やエネルギーシステムのレジリエンス（強靱性）に対するかなりのコベネフィット

があることが示されている。{WGIII SPM.4.1}

- 緩和政策によっては、エネルギーサービスの価格を上げ、サービスが十分でない人々への新しいエネルギーサービスを拡大させる社会能力を損なう可能性がある（確信度が低い）。これらの潜在的な負の副次効果は、所得税還付または他の便益移転メカニズムなどの補完的政策の採用で回避することが可能である（確信度が中程度）。電気やクリーン燃料を料理と暖房のためにほぼ世界中で使えるようにするための費用は、温室効果ガスの排出増加を最小に抑え（証拠が限定的、見解一致度が中程度）、健康と大気汚染物質低減において複数の便益（確信度が高い）を伴う場合、2030年まで毎年720～950億米ドルであると予測されている。{WGIII SPM.5.1}

副次効果が現れるかどうか、及びどの程度まで副次効果が現れるかは、条件や場所によって異なり、地域の環境や実施規模、範囲及び速度に依存する。多くのコベネフィットや負の副次効果は、まだ十分に定量化されていない。{WGIII SPM.4.1}

4.4.3 技術開発と技術移転

技術政策（開発、普及、移転）は、国際規模から準国家規模まで、全ての規模にわたって他の緩和政策を補完するが、温室効果ガスの緩和を支援する研究への全世界での投資額は、公的研究の支出額に比べると小さい（確信度が高い）。技術政策には、テクノロジー・プッシュ（例えば、研究開発への公的ファンド）とデマンド・プル（例えば、政府調達プログラム）などがある。特許権保護のような政府の政策無しでは、研究開発努力による新しい技術や手法の発明は公共財の側面を持ち、市場原理だけでは供給過小となる傾向にあるため、このような政策は広くみられる市場の失敗に対処する。技術支援政策は十分な技術革新と新しい技術の普及を促進してきたが、このような政策の費用対効果はしばしば評価が困難である。技術政策は、特に長期にわたる場合、国際協力の取組への参加と遵守のインセンティブを増大させることができる。{WGIII SPM.5.1, 2.6.5, 3.11, 13.9, 13.12, 15.6.5}

多くの適応努力もまた、技術の普及と移転や管理実践に決定的に依存しているが、それらを効果的に利用できるかは、適切な制度的、規制の、社会的、及び文化的背景に依存している（確信度が高い）。適応技術はしばしばなじみがあり、すでに他の場所で適用されている。しかし、技術移転の成功には、財源と情報の提供だけでなく、政策と規制環境の強化、及び地方の実情に見合った技術を吸収し、取り入れ、改善する能力が必要である。{WGII 15.4}

4.4.4 投資と資金

十分な排出削減を行うには投資パターンの大きな変更が必要である（確信度が高い）。2100年までに430～530 ppm CO₂換算の範囲⁴⁵に（オーバーシュート無しで）安定化させる政策を扱う緩和シナリオでは、ベースラインシナリオに比べて、2010～2029年の間で年間投資フローが大きく変化することが導かれている。今後20年間（2010～2029年）では、発電部門に関連する従来型の化石燃料関連技術への年間投資額は、シナリオでは300（20～1660）億米ドル（中央値：2010年比で-20%）減少すると予想され、一方、低炭素発電（すなわち、再生可能エネルギー、原子力、CCS付き発電など）に対する年間投資額は、シナリオでは1,470（310～3,600）億米ドル（中央値：2100年比で+100%）に増えると予測されている（証拠が限定的、見解一致度が中程度）。加えて、運輸、産業、及び建築でのエネルギー効率への投資の年間増加額は、シナリオでは約3,360（10～6,410）億米ドルであると予測されている。エネルギーシステムへの世界の年間投資額は、現在、約12,000億米ドルである。この数字には、電力と熱のエネルギー供給とそれぞれの上流と下流の活動のみが含まれている。エネルギー効率への投資あるいは基礎となる部門への投資は含まれていない（図4.4）。{WGIII SPM.5.1, 16.2}

⁴⁵ この範囲は2100年までに430～480ppmCO₂換算濃度に達するシナリオ（工業化以前と比べて2℃に気温上昇を抑制する可能性が高い）及び2100年までに480～530ppmCO₂換算濃度に達するシナリオ（オーバーシュートなしで、工業化以前と比べて2℃に気温上昇を抑制する可能性がどちらかといえば高い）から構成される。

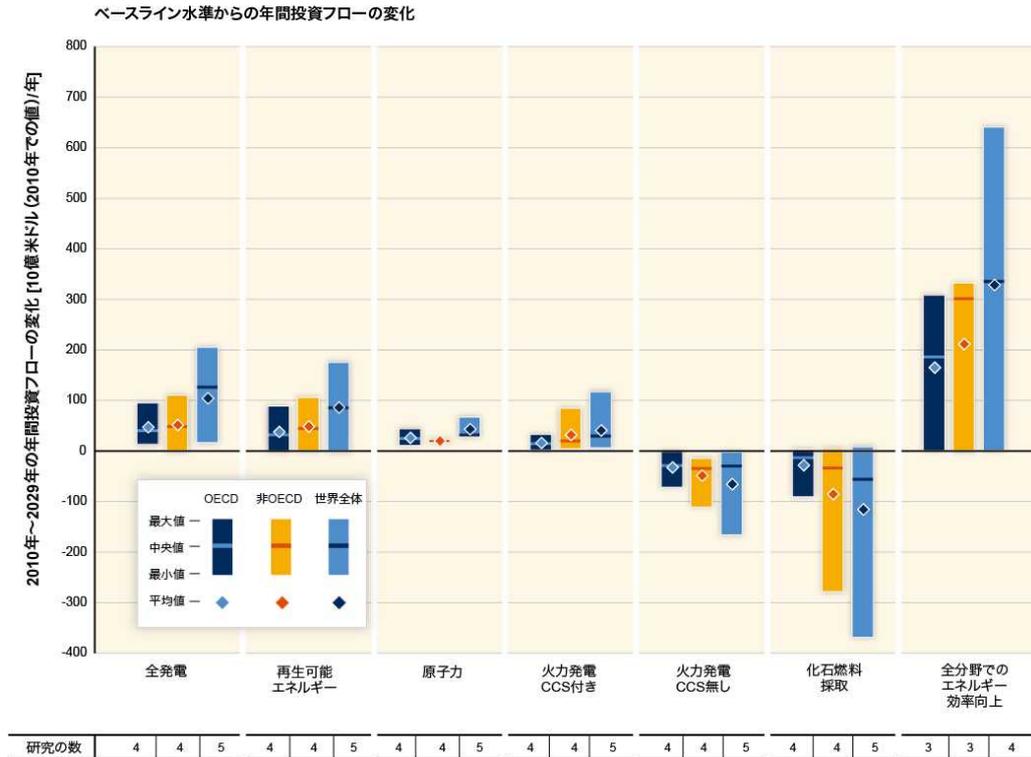


図 4.4: 2100 年までに、約 430~530 ppm CO₂ 換算の範囲内に濃度を（オーバーシュート無しで）安定化させる緩和シナリオにおける次の 20 年間（2010~2029 年）の年間投資フローの平均のベースライン水準からの変化。全発電（一番左端のカラム）は再生可能エネルギー、原子力、CCS 付発電、及び CCS 無しの化石燃料発電の総計である。縦棒は推定値の最小値と最大値の幅を示し、横線は中央値を示す。図下部の数字は本評価に用いた文献における研究の総数を表す。示されている個々の技術は異なるモデルシナリオで補完的あるいは相乗効果的に使われていることがわかっており、技術に固有の仮定、及び世界全体の気候政策の段階的導入のタイミングや野心レベルに大きく依存している。{WGIII 図 SPM. 9}

気候資金が何によって構成されるかについては広く一致した定義はないが、気候変動の緩和及び適応に関係した資金フローの推定値が利用可能である。気候資金の流れに関する概要については図 4.5 参照。正味の GHG の削減かつ/又は気候変動や気候の変動性に対するレジリエンスの強化が期待される効果である、現時点での全ての年間資金フローに関して発表された評価によれば、その値は世界で年間 3,430 から 3,850 億米ドルであると示されている（確信度が中程度）。このうち、発展途上国への全ての公的な気候資金の額は 2011 年と 2012 年で、年間 350 から 490 億米ドルの間にあると推定されている（確信度が中程度）。開発途上国に流れる国際的な民間気候資金の推定額は年間 100~720 億米ドル（2009 年/2010 年米ドル）の間にあり、それには 2008 年~2011 年の期間に年間 100~370 億米ドル範囲にある衡平性分の海外直接投資と貸付けが含まれている（確信度が中程度）。{WGIII SPM.5.1}

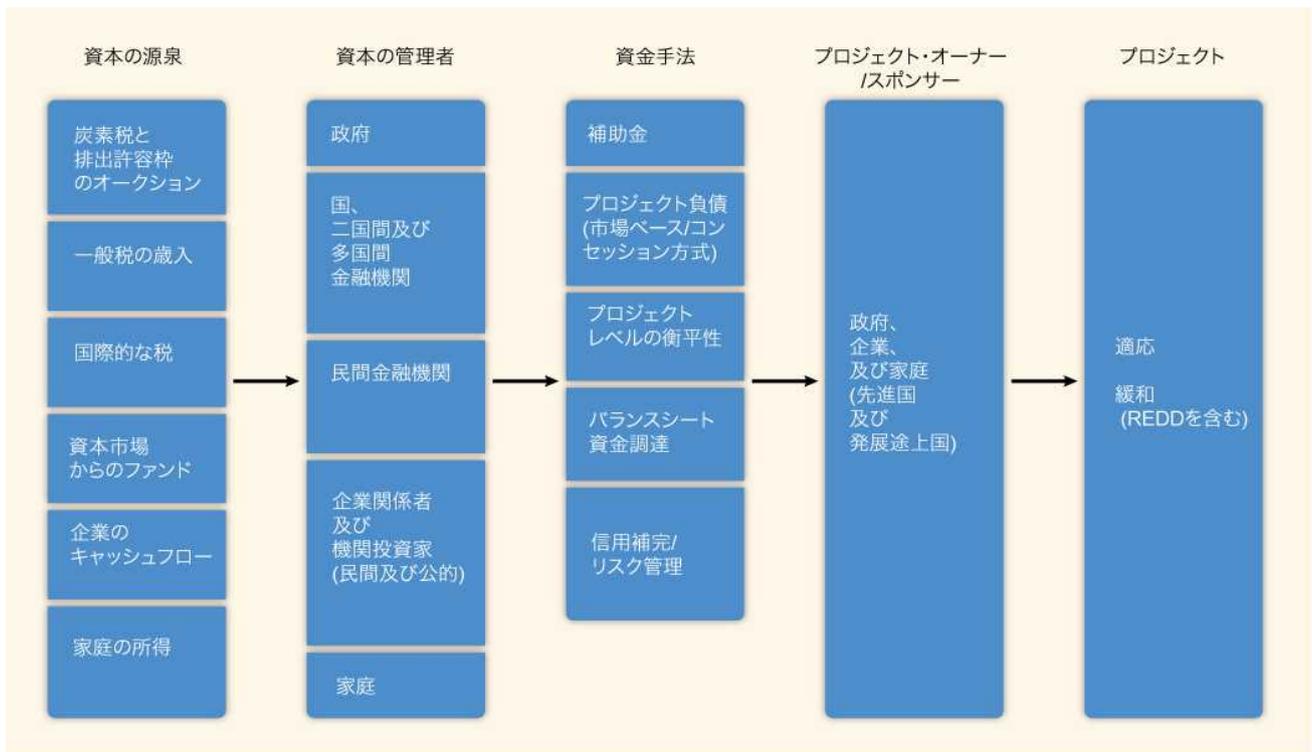


図 4.5: 気候資金フローの概要。注:「資本」には関連する全ての資金フローを含むことを理解しておくべきである。ボックスの大きさは資金フローの規模とは無関係である。{WGIII 図 TS.40}

多くの国では、民間部門が緩和や適応とともに排出に至るプロセスにおいて中心的な役割を果たしている。適切で有効な環境内では、公共部門とともに、民間部門が、緩和及び適応の資金面で重要な役割を担うことができる（証拠が中程度、見解一致度が高い）。民間部門からの全緩和資金の割合は、データが限られているが、世界全体の水準の2/3から3/4の間にあると推定されている（2010～2012年）（証拠が限定的、見解一致度が中程度）。多くの国では、政府及び国際的な開発銀行による公的な金融介入が、民間部門の気候投資を促進し、民間投資が限られている場合には資金を提供している。国の環境整備の質には、民間部門に関する制度、規制及びガイドラインの有効性、財産権の保障、政策への信頼度、及び民間企業が新たな技術とインフラに投資できるかに大きく影響するその他の要因が含まれる。専用の政策手法及び財源の仕組み、例えば信用保険、固定価格買取制度、譲渡的融資、又はレポートなどが、民間部門のリスクに対して利益を調整し向上することで、緩和への投資にインセンティブを与える。官民協働によるリスク低減イニシアチブ（保険システムの文脈におけるような）や経済の多様化は、民間部門の参入を可能にし、かつそれを頼りにする適応行動の例である。{WGII SPM B-2, SPM C-1, WGIII SPM.5.1}

先進国と開発途上国の双方において、緩和よりもゆっくりとではあるが、適応に対しても財源が利用できるようになってきた。世界の適応ニーズと適応に利用可能な資金とのギャップを示す証拠は限られている（確信度が中程度）。災害リスクマネジメント及び適応に対する国際金融間の潜在的な相乗効果はまだ完全には実現されていない（確信度が高い）。世界全体の適応策に要する費用、財源、投資のより良い評価を行う必要がある。世界全体の適応費用を算定する研究には、データ、手法、対象範囲が不十分という特徴がある（確信度が高い）。{WGII SPM C-1, 14.2, SREX SPM}

4.5 トレードオフ、相乗効果、及び統合的対応

統合的対応を通じ、緩和、適応及びその他社会的目標の追求とリンクする多くの機会が存在する（確信度が高い）。実施の成功は、妥当な手段、適切なガバナンスの構造、及び強化された対応能力に依存する（確信度が中程度）。

適応と緩和の間、及びそのコベネフィットと負の副次効果の間の密接な連携を示す証拠が増加しつつあり、気候政策にとっての包括的な背景として持続可能な開発が認識されている（第3.5節、第4.1節、第4.2節、及び第4.3節参照）。これらの連携に対処するツールの開発は、持続可能な開発の文脈における気候政策の成功にとって非常に重要である（第4.4節及び第3.5節も参照）。本節では、特定の政策領域における統合的対応の事例を、複数の目的の達成を狙いとする政策を推進もしくは妨害するいくつかの要因とともに提示する。

気候変動を緩和しそれに適応する努力の増加は、人間の健康、水、エネルギー、土地利用そして生物多様性との共通部分において、ますます相互作用が複雑化することを意味する（**確信度が非常に高い**）。緩和は他の社会的目標、例えば、人間の健康に関すること、食料安全保障、環境の質、エネルギーの入手しやすさ、生計、持続可能な開発の達成などに役立つ一方、負の影響ももたらしうる。適応措置も、緩和のコベネフィットをもたらす可能性があり（またその逆もありうる）、他の社会的目標の達成に役立つ場合もあるが、トレードオフが生じる可能性もある。{WGII SPM C-1, SPM C-2, 8.4, 9.3-9.4, 11.9, Box CC-WE, WGIII 表TS.3, 表TS.4, 表TS.5, 表TS.6, 表TS.7}

計画立案や意思決定に適応と緩和を統合することで、持続可能な開発との間に相乗効果を生み出すことができる（**確信度が高い**）。緩和政策、適応政策及び他の社会的目標を前進させる政策の間には、かなりの相乗効果とトレードオフが発生する可能性があるが、特に福祉の観点からは、時に定量化が難しい（第3.5節も参照）。政策立案に向けて複数の目的を持った手法は、これらの相乗効果とトレードオフをマネジメントするのに役立つ。複数の目標を前進させる政策は、より大きな支援も得られるだろう。{WGII SPM C-1, SPM C-2, 20.3, WGIII 1.2.1, 3.6.3, 4.3, 4.6, 4.8, 6.6.1}

効果的な統合的対応は、十分な能力に加え、適切な手段とガバナンス構造に依存する（**確信度が中程度**）。トレードオフと相乗効果をマネジメントすることは課題であり、相互作用の理解に役立ち、地方及び地域規模での意思決定を支援する手段が必要とされる。統合的対応はまた、適切な制度に支えられ、規模や分野にまたがった調整を可能にするガバナンスにも依存する。適切な手段とガバナンス構造の開発し実行するには、しばしば統合的対応を設計し展開するための人的及び制度の能力の向上が必要とされる。{WGII SPM C-1, SPM C-2, 2.2, 2.4, 15.4, 15.5, 16.3, 表14-1, 表16-1; WGIII TS.1, TS.3, 15.2}

コベネフィットの可能性と負の副次効果の存在に明確に対処するエネルギー計画の立案と実施に向けた統合的手法は、気候面、社会面及び環境面の複数の目的にわたる相補性を捉えることができる（**確信度が中程度**）。エネルギーの安全保障、大気質、健康及びエネルギーへのアクセスといったエネルギー政策の様々な目的（図3.5参照）の間、及び広範な社会・環境目的と気候緩和の目的（表4.5参照）の間には強い相互作用効果がある。統合的手法には、費用便益分析、費用対効果分析、多基準分析及び期待効用理論などのツールが役立つ可能性がある。また、適切な調整機関も必要である。{WGIII 図SPM.6, TS.1, TS.3}

水、食料、エネルギー及び生物学的炭素隔離の間の相互作用に関する明確な考察は、気候にレジリエントな経路のための効果的な意思決定を支える上で重要な役割を果たす（**証拠が中程度、見解一致度が高い**）。気候変動を緩和するために設計されたバイオ燃料を基盤とする発電と大規模新規植林の双方は、集水域の流出を減少させる可能性があるが、食料生産、人間による消費、あるいは生態系機能と生態系サービスの維持のための代替的水利用と対立するかもしれない（Box 3.4も参照）。逆に、灌漑は食料と繊維生産の気候に対するレジリエンスを強化するが、他の用途の水の可用性を減少させる。{WGII Box CC-WE, Box TS.9}

都市化に対する統合的対応は、レジリエンスの強化、排出削減、さらには、より持続可能な開発への大きな機会を提供する（**確信度が中程度**）。都市域の一次エネルギーの消費と、エネルギーに関するCO₂の排出量は、世界の半分以上と算出されており（**証拠が中程度、見解一致度が高い**）、気候変動のリスクに直面する人口と経済活動の大部分を擁している。急激に成長し都市化する地域では、空間計画及び高効率インフラの供給に基づく緩和戦略によって、高排出パターンへのロックイン（固定化）を避けることができる。混合利用ゾーニング、公共交通指向型開発（TOD）、密集度増加、職住近接により、直接的及び間接的エネルギー消費を部門横断的に削減することが可能である。コンパクトな都市空間の開発、及びインテリジェントな高密度化により、土地への炭素の貯蔵を維持し、

農業やバイオエネルギー向けに用地を確保することが可能になる。都市の緑化と水の再利用を通じて、都市域におけるエネルギーや水の消費量削減は、適応の便益を伴う緩和行動の事例である。レジリエントなインフラシステムの構築は、沿岸域の氾濫、海面水位上昇及び気候がもたらす他のストレスに対する都市居住域及び都市の脆弱性を低減しうる。{WGII SPM B-2, SPM C-1, TS B-2, TS C-1, TS C-2, WGIII SPM.4.2.5, TS.3}