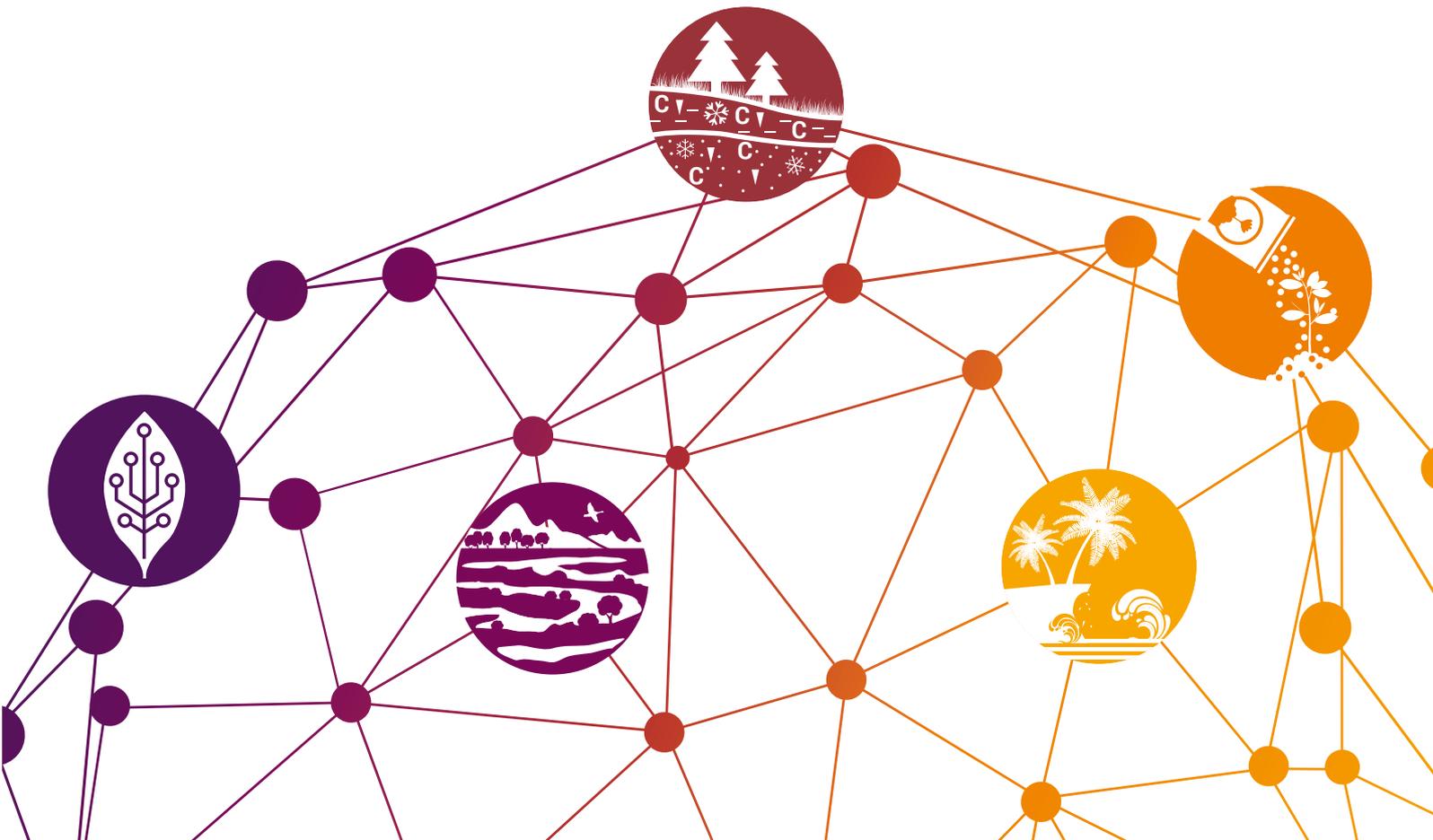


フロンティア 2018/19

新たに懸念すべき環境問題



© 国連環境計画 (2019年)
ISBN: 978-92-807-3737-0
Job No: DEW/2221/NA

免責事項

本報告書は、教育または非営利目的に限り、出典を明記した場合に、著作権者からの特別許可なしに形式を問わず全体または一部を複製することができる。本報告書を出典として使用した出版物のコピーを国連環境計画に送付して頂ければ幸いである。

国連環境計画からの書面による事前の許可なしに、本報告書を再販目的またはその他の商業目的で使用することはできない。使用の場合には、使用目的及び範囲について記載し、以下に申請が必要である。

Director, Communication Division, UN Environment, P. O. Box 30552, Nairobi, 00100, Kenya.

本報告書で使用されている名称及び提示された資料は、国、領土、都市、またはその権限の法的地位に関する、あるいは国境や境界に関する国連環境計画の見解を示すものではない。本報告書における地図の使用に関する一般的なガイダンスについては、以下を参照のこと。

<http://www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm>

本報告書における企業や製品についての言及は、国連環境計画の承認を意味するものではない。専有商品に関する本報告書からの情報を宣伝または広告目的で使用することはできない。

地図、写真、図の著作権は明記されている通りである。

引用表記 (推奨)

UNEP (2019). Frontiers 2018/19 Emerging Issues of Environmental Concern. United Nations Environment Programme, Nairobi.

制作

Science Division
UN Environment
P.O. Box 30552
Nairobi, 00100, Kenya
Tel: (+254) 20 7621234
E-mail: publications@unenvironment.org
Web: www.unenvironment.org

本版は国連環境計画 (UNEP) 「Frontiers 2018/19: Emerging Issues of Environmental Concern」の「Maladaptation to Climate Change: Avoiding Pitfalls on the Evolvability Pathway」章の日本語翻訳版である。

国連環境計画は、
世界において、そして自らの
活動において環境的に健全な
取り組みを推進している。配布に
あたっては、国連環境計画のカーボン・
フットプリント削減を目指している。

はじめに



20世紀はじめに二人のドイツ人化学者、フリッツ・ハーバーとカール・ボッシュは、安価で大規模に合成窒素を生産する方法を開発した。その発明は窒素肥料の大量生産を加速し、世界の農業を転換させた。これは同時に、地球の窒素バランスに対する我々の長期的な干渉のはじまりでもあった。毎年、推定2,000億米ドル分の反応性窒素が環境に排出され、土壌を劣化させ、大気を汚染し、河川や湖沼における「デッドゾーン」や有毒な藻類繁殖の拡大を引き起こしている。

多くの科学者が「人新世 (Anthropocene)」を現代の地質年代の公式名とすべきだと唱えるのも無理はない。ほんのここ数十年で、人類は自然変化の170倍もの速さで地球の温度を上昇させてきた。人類はまた、地球の陸面の75%以上を意図的に改変し、世界の河川の93%以上の流れを不可逆的に変えてしまった。生物圏に大きな変化をもたらしているだけでなく、今や人類は生命の基本構成単位を書き換えることや、新たに創り出すことさえも可能になった。

毎年、世界中の科学者、専門家、および研究機関のネットワークは、国連環境計画と協力して我々の社会、経済、および環境に大きな影響を与える新たな問題を見いだして分析している。これらの問題の幾つかは、思いがけない用途と不確定なリスクを伴う新技術とリンクし、その他は、自然景観の断片化および長期間凍結していた土壌の融解といった永続的な問題である。もう一つの問題、窒素汚染は、生物圏における数十年の間活動の非意図的な結果をあらわしている。本報告書で取り上げた最後の問題、気候変動への不適切な適応は、変わりゆく世界に対する十分かつ適切な順応に我々が失敗することに注目している。

良い知らせもある。当該箇所を読むとわかるとおり、窒素管理という世界的な問題に対する全体的なアプローチが始まりつつある。中国、インド、および欧州連合において、窒素肥料のむだを減らして効率を改善する前途有望で新たな取り組みが成されている。究極的には、その他の価値ある栄養塩や素材と同様に窒素を回収して再循環させることが、クリーンで持続的な農業を助ける。真の循環型経済である。

本報告書で取り上げた問題を通じて、我々の自然への介入は常に、全球規模でも分子レベルでも、我々の住まう地球に長期的な影響を引き起こすリスクを伴うことを認識すべきである。しかし、先見の明を持って協働することにより、問題の一步先を進み続け、何世代も先までを見据えた解決策を創造できるだろう。

Joyce Msuya
国連環境計画
事務局長代理



タイ・バンコクにおける2011年の洪水
Photo credit: Wutthichai / Shutterstock.com

気候変動への不適切な適応： 進化可能性経路上の落とし穴を回避する

気候変動の文脈において 適応と不適切な適応を定義する

メタファー（比喩）は論理的な思考に不可欠である。気候変動の研究と政策に利用されている「適応」と「不適切な適応」という用語は、進化生物学に由来している¹。基本的に、遺伝的突然変異は種のあらゆる世代に自然発生的に現れ、外部環境によって課される自然の選択過程がこれらの突然変異の成功または失敗の両方、そして結果として種の決定を左右する。この考えは、バクテリア、動植物、生態系、そして人間の行動にさえも応用することができる。成功する適応の重要な特徴は進化可能性、すなわち周囲の状況が変化を続けるにつれて、さらなる適応を通じて進化し続ける能力である²。進化生物学においては、不適切な適応の特徴を特定するのは、進化可能性の欠如である。それは行き止まりである。

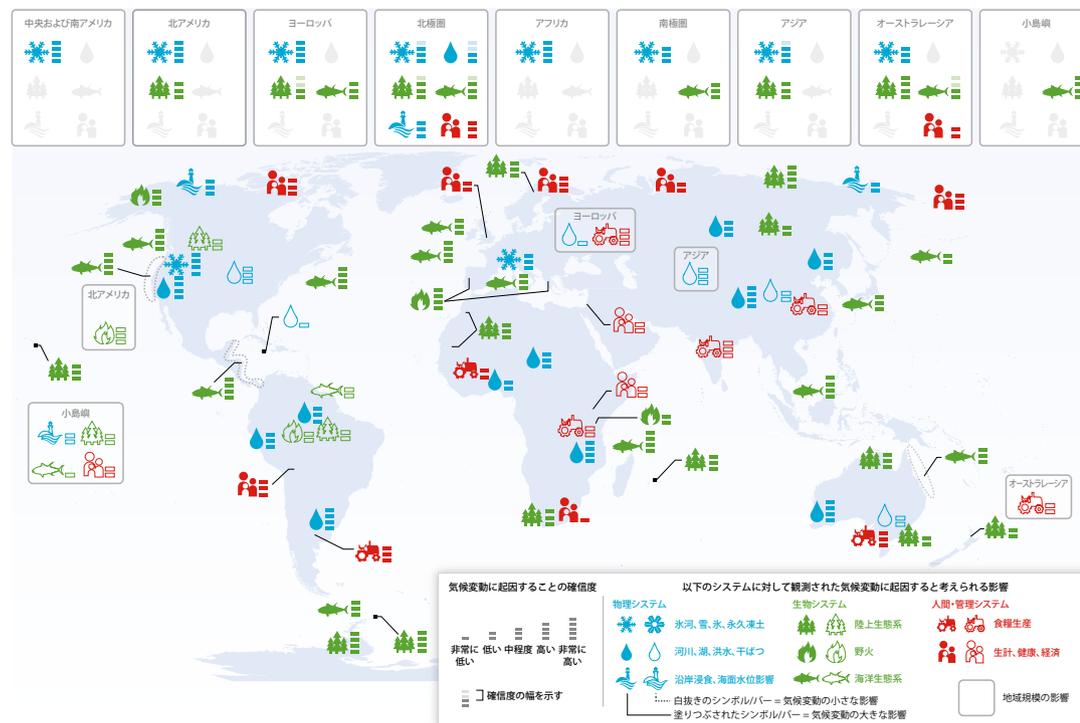
適応は進化生物学に由来するものであるが、環境変化に対する人間の対応の成功を表す用語としての採用は、災害対策とともに始まった。この分野では、人類の変化への対応はすべて適応にあたり、それらは災害の原因を軽減または遮断する努力を含む³。適応からの軽減(abatement)と呼ばれるものの区別は、国連気候変動枠組条約(UNFCCC)に関する交渉において現実化した。それらを区別するための1つの根拠は、もし簡単に適応できるのであれば、交渉者が軽減や緩和(mitigation)のための合意に目を向けなくてもよいのではないかということであった⁴。別の説明としては、先進国は、地方に焦点を当てた適応目標よりも、大気中からの二酸化炭素の削減といったグローバルな成果を上げた努力のみを支持するだろうということである⁵。

気候変動交渉が進むにつれて、研究者らは、どのように、なぜ、いくつかの適応行動がうまくいかないのか、特に相当な量の人的資源、自然資源、もしくは財政的資源を浪費した行動について調査した⁶。これらの見解が展開するにつれて、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は正確かつ曖昧でない用語の重要性を認識した。2001年にIPCCは、生物学や行動科学における用法とは異なるニュアンスで、不適切な適応の定義を「脆弱性の低減に成功せず代わりにそれを増加させる適応」と提案した⁷。議論はさらに不適切な適応と不成功の適応(unsuccessful adaptation)との違いに焦点を当てた。不成功の適応は中立的か、あるいはそれは単に行動がうまく機能しないという意味かもしれない。しかし、計画された適応が他の集団や部門に脆弱性の増加をもたらすとき、それは不適切な適応である⁸。同時に、不成功の適応や不適切な適応は、偽りの適応(適応として示された無駄なプロジェクト。例えば、実際の気候変動へのレジリエンス

の改善または脆弱性の低減を伴わず、小集団の利益にしか役立たない高価なインフラストラクチャーなど)と混同されるべきではない⁹。

不適切な適応の考え方は進歩し続けており、影響力のある研究のひとつは、結果に基づいて問題を検討し、代替の選択肢と比較する場合の不適切な適応の5つの類型を特定した。この分析によると、不適切な適応は、「温室効果ガスを排出する行動」、「最も脆弱な人々に不釣り合いに負担をかける行動」、「高い機会費用をもたらす行動」、「適応の動機を減少させる行動」、もしくは「将来世代の利用可能な選択肢を制限する行動」である⁸。これらのパラメーターは、2014年のIPCC第5次評価報告書によって、さらに明確にされ、広められた¹⁰。適応と不適切な適応の概念がより明確になり、我々が両者の違いを明確に区別することができるようになるにつれて、気候変動対策はそれほど手ごわいものではなくなるはずである。

観測された気候変動影響の世界的なパターン



上部のパネルの塗りつぶされた各シンボルは、各地域内で物理システム、生物システム、人間・管理システムの少なくとも1つのシステムで観測された変化において、気候変動が大きな影響を与えているクラスを示している。気候変動に起因するかどうかの確信度の幅はバーによって示されている。気候変動が小さな影響を与えている地域の地域規模の影響は、各地域のボックスに白抜きのシンボルで示されている。準地域の影響は、その発生のおおよそのエリアに配置された地図上のシンボルで示されている。影響を受けるエリアは、特定の場所から主要な河川流域などの広いエリアまでさまざまである。物理(青)、生物(緑)、人間(赤)のシステムへの影響は色によって区別されている。この図において気候変動の影響の表示がないことは、そのような影響が発生していないという意味ではない。

グラフィックとキャプションの典拠: IPCC第5次評価報告書¹¹

不適切な適応の規模

気候変動に直面し、不適切な適応の概念は、「機能しない適応」から、「資源にダメージを与え、将来の選択肢を狭め、脆弱な人々の状況を悪化させ、解決の責任を次世代に持ち越すような適応行動」へと移行してきている。適応行動が、持続可能な開発、社会的公正、および貧困撲滅の目標に対して負の影響となる場合、それが特に脆弱な人々の負荷を拡大させるという意味では、その適応行動は不適切な適応となる¹²。大規模な不適切な適応を回避する取り組みとして、主要リスクを特定する調査とインフラ資産ライフサイクル全体にわたる適応戦略がある。これは、行政、調査、計画、建設、運転・維持管理、投資、保険等各団体の意思決定や行動変革への判断材料となりうる¹³。不適切な適応の脅威は、取り組みの規模が大きくなればなるほど拡大するとされている。生物学の進化可能性の特徴を思い起こすことは、不適切な適応行動に対する予備的な評価となり得るほか、進化可能性の保全を優先することは、重大なミスを未然に防ぐことにつながる。

将来的な適応の選択肢として、防波堤のようなものを所有地に建設する場合、それ自体が問題の原因となり、隣国の選択肢を制限するため、不適切な適応と見なされる可能性もあり得るが、それらの影響は通常地域周辺までに留まる。しかし、十分に検討されていない取り組みが、当初の問題をさらに悪化させたり、地域または世界規模で将来的な適応の選択肢を制限させたりする場合、はるかに危険な不適切な適応となる。拡大した規模において、そのような不適切な適応は、進化可能性を制限するだけでなく、生態系のレジリエンス、生活様式、および社会全体を脅かす可能性がある。特に温室効果ガスの排出量を増加させたり、生態系を著しく劣化させたりする不適切な適応行動の規模は、地球システムの機能を臨界状態にする生物物理学的フィードバックに寄与する可能性がある。永久凍土、サンゴ礁、アマゾン熱帯林の消失など、多くのティッピングエレメントが不可逆的であり、不可逆性は地球を閾値へと導きかねない¹⁴。

2018年にIPCCが発表した特別報告書「1.5℃の地球温暖化」は、効果的な適応に必要な複数の条件を特定しており、気温上昇が許容範囲内であるうちに、気候に配慮した計画と実施が重要であることを示



気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第5次評価報告書での不適切な適応の要約¹⁰

2014年に公表されたIPCC第5次評価報告書において、影響・適応・脆弱性に関する第2作業部会は、不適切な適応を「現在から将来にかけて、気候変動による悪影響のリスク上昇、気候変動への脆弱性の増加、または福祉の低下につながる行動」と定義しており、12のカテゴリー別に表にまとめている。

それらカテゴリーの二つは、既知のことを意図的に無視する行動として、「将来の気候予測の失敗」と「広範囲での影響を考慮していない適応行動」を挙げている。その他、「後々の脆弱性につながる資源の消耗」、「早すぎたり遅すぎたりする行動」、「維持できないインフラの導入」、「支払いを提供するスキームによってリスクテイクが奨励されるモラルハザード」など、短期的な利益と長期的な脆弱性のトレードオフに関するカテゴリーが含まれる。

さらに、「一つのグループ(多くの場合エリート)を他のグループより優位にすること」がカテゴリーに含まれ、特権の永続化は衝突の原因となると警告している。「現地の知識、伝統、関係を無視する行動」もカテゴリーに含まれている。しかし、「伝統的でありながらも適切でなくなった対応に固執すること」も、同様に不適切な適応と考えられている。

第2作業部会は、「容易に修正できない道筋に依存する行動」および、生態系を活用した適応策(EbA)といった「代替アプローチを妨げる(特に工学的な防御や解決策の)行動」に対しても警告している。最後に、状況と結果に応じて、「適切な適応または不適切な適応(もしくは両方)となり得る移住」もカテゴリーに含まれている。

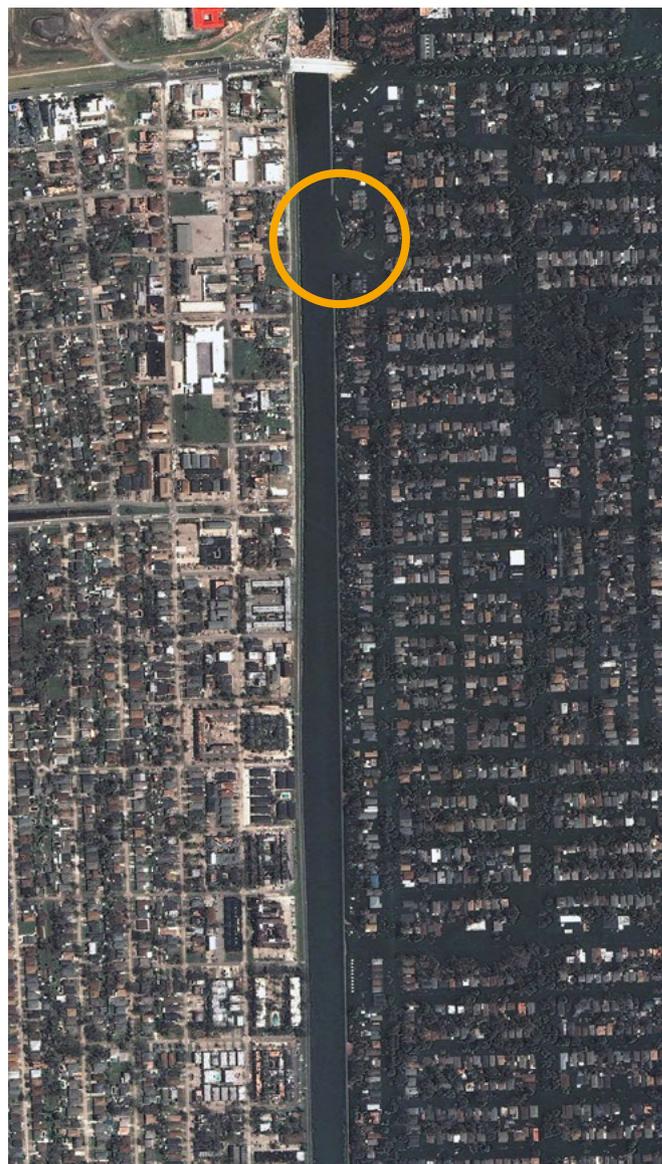
している¹⁵。不適切な適応を回避することは、この過渡期において重要である。気候変動によって混乱をきたした将来に直面するとき、気候変動対策か否かに関わらず、いくつかの地域規模の事例は良好実践事例として役立てられる。これらは簡易例として、IPCC第5次評価報告書およびその他の文献の抜粋で示されている。

長期的レジリエンスに向けた計画と短期的需要のバランス

バングラデシュ南西部での海岸気候対策のインフラプロジェクトは、短長期的な利益のバランスを考慮した場合の不適切な適応の事例研究として示されている¹⁶。海面上昇によって地域が浸水するため、考慮する点は、2050年までの長期的な不適切な適応の費用と、今後20年の適応による利益である。不適切な適応により考えうる結果として、移住者の地域への流入・流出双方の複雑な問題の発生がある。投資家は、沿岸地域の住民が内陸に移住を考えた場合、新たなマーケットやより良い道路網、橋梁、排水設備、そしてサイクロンシェルターの設置によって、それら住民が移住を思い留まると予想している。これらの施設は、自然災害によってすでにダッカに移住した違法住民を含め、新たな移住の誘発となる可能性が大きい¹⁹。

最も脆弱な人々への過度な負荷

複数の河川地域で変化する状況に適応しようとする場合、場合によって特定のグループに不適切な適応となり得る。2005年のハリケーン・カトリーナがニューオーリンズとその周辺地域に壊滅的な影響を及ぼした後、洪水に対する都市のレジリエンスを構築するための新たな緑地計画が立ち上がり、初期計画では貧困層のアフリカ系アメリカ人が所有する低地を買収が集中した^{12,19}。都市再生案は承認されなかったものの、研究によると、再生案が頓挫して10年以上経っても、もともと所有していた土地を多くの人々が取り戻せておらず、かなりの割合の人々がこの地域からの移住を余儀なくされた^{12,20}。



2005年8月に発生したハリケーン・カトリーナは、ニューオーリンズ市の低い土地を洪水や高潮から守るように設計された堤防の多くを破壊した。この衛星写真は、堤防の決壊(黄色い○の箇所)によって流入した洪水がどのように運河の東側の住宅地を氾濫させたか示したもので、西側は水浸しにならないで済んだ一方、東側は数十億ドルの物的損害を被った。

Photo credit: Digital Globe (www.digitalglobe.com)

不適切な適応

右図の事例は、さまざまなスケールにおける気候変動適応の手法を示す。いくつかの事例は意図しなかった結果により不適切な適応となったり、近い将来不適切となる事例である。他は不適切な適応を回避するためさまざまな検討を行った後の行動である。

不適切な適応とは、「現在または将来にわたり気候関連被害のリスクを増加させ、また気候変動脆弱性を強め、福祉を減らす気候変動適応策」と、IPCCにより定義されている。

不適切な適応は、劣った選択や温室効果ガスの増加をもたらす選択であり、最も脆弱な人々に不平等な負担を強いて、不当なコストを発生させ、適応へのインセンティブを減らし、また将来世代の選択肢を減らすものである。

科学や
より広い視点、
起こりうる結果を
無視した意思決定

一方の利益団体を
他方より優先し、
将来的な摩擦や被害
の基となる行動

思慮の足りない
トレードオフ：
短期的 vs 長期的な利益、
リスク vs 報償
(モラルハザード)、
短すぎる vs 長すぎる
検討期間

経路を決定して
しまい、将来世代の
選択肢をなくしたり
将来を決めて
しまう行動

人々を
より危険な条件にさ
らしてしまう移住

干ばつ

気候変動は水循環を妨害する。干ばつはさらに強くなり、頻繁かつ長期的になる。すべての人間活動や生態機能を危険にさらす。長期的な干ばつ条件は地下水の過剰利用につながり、また雨による水源の涵養も不十分となる。

2025年までに、
地球上の48%の
土地が乾燥地と
なりうる。

繰り返す干ばつに
より、ソマリアの放牧農家の
70%は木炭の生産をせざるを
得なくなった。それによる林地
の減少は砂漠化を促進し、
さらに脆弱性を強めた。

農業

長引く異常気象は農業生産システムを脅かす。異常気象があまりにも頻繁かつ予測不能なほど長期的に起こるため、農家にとって適応が常に懸念される。

気候の不確実性に
備えるために、ジンバブエの
農家には殺虫剤散布を
増やす場合が見られる。
多くの場合、有益な昆虫まで
除去されてしまい、さらに
条件が悪化する。

特定の気象条件下
でのみ栽培可能な品種
の導入とともに二期作が
ブラジルで始まった。
これは降水パターンが
変動するにつれ、不適切
な適応となる。

水不足

2050年には
57億人が水不足
地域に住んでいる
かもしれない。
水不足に対して、
地下水の過剰揚水や
給水制限で対応し
始めている地域もある。
これらの対策は
長期的に不適切となりうる。

メキシコ市は
水不足に直面している。
遠方の地下水源の過剰揚水は
短期的な解決策でしかない。
雨水利用や中水処理・再利用
など、本来の適応は長期的な
対策に投資しなければ
ならない。



健康

気候帯の変化や
異常気象の頻度・
強度の増加は
健康に影響を及ぼす。
また、作物の損失や
ベクター媒介性感染症の
拡大により植物・動物種、
また人間を危機にさらす。

畜産の問題を
予防し治療するために
抗生物質が過剰かつ誤った
用途に利用されている。
ベクター媒介性感染症への
不適切な適応は抗生物質
耐性への危険を
増幅させる。

研究によると、
抗生物質を投与された
牛は、そうでない牛に比べて
糞からのメタン発生が多かった。
また、余剰の抗生物質は
フンコロガシの内臓
細菌も変化させた。



海面上昇

地球上で海面上昇が続いており、構造物や地下水資源、天然バリア(防波)島や沿岸部コミュニティを脅かす。

海拔の低い国や小島嶼国にとって特に脅威となり、何百万人もの生活に影響を及ぼしている。

州法によりハワイの先住民は文化や自給漁業を目的として沿岸部を利用することができる。海面上昇はこうした公的利用を限定し、特に貧困層に対して大きな影響を及ぼす。私益用途の開発は続けられる。

フロリダでは水路の水位を調整することによって、地下水への**海水浸入**を防いでいる。しかしまた、水路の水位を上げることは洪水リスクを上げることにもなる。

洪水

洪水は最も観測されている気候変動影響のひとつである。従来の洪水調節設備や水管理設備ではすでに不十分である。気候が変動するにつれ不適切な適応にならないよう、適応を考慮した管理やさまざまなステークホルダーの理解と参加が必要になってくる。

計画・投資の不足によりバンコクの都市部は洪水が起きやすい。無計画・無調整の**自治的な適応**は下流域に洪水を起こし、下水道全体を弱める。2011年の行政による洪水対応は富裕層を守り脆弱な人々に負担を与えた。

野火

世界的に見て、1979年から2013年にかけて一年のうち野火のみられる時期は19%増加した。野火は生態系に対し重要な役割を持つが、破壊力の大きさから社会経済システムを破綻させることがある。地域によっては通常の管理戦略が条件を悪化させることもある。

何世紀にもわたる野火抑制および5年間の干ばつを経て、カリフォルニア州の森林は**燃えやすい、いわば燃料**に満ちている状態にある。危険を回避するための第一歩として、州政府では**計画的な野焼き**を始めた。

都市

2050年までに、地球上の人口の70%は都市にしていると予測されている。世界全域にわたり都市において熱波、洪水、適応の失敗などの形で気候変動をすでに経験している。都市の適応は政策、インフラ開発、また技術的修復などの形を取る。

多くの場合、これらの適応策が全住民にとって利益をもたらすことはなく、脆弱な集団を脅かす場合もある。

オーストラリア・メルボルン市では温暖化や水不足によりエアコンや海水淡水化の利用が増加した。これらは不適切な適応である。温室効果ガス排出量を増やすことにより、他のシステムやセクター、コミュニティにおいて脆弱性を促進させることになる。

社会的脆弱性

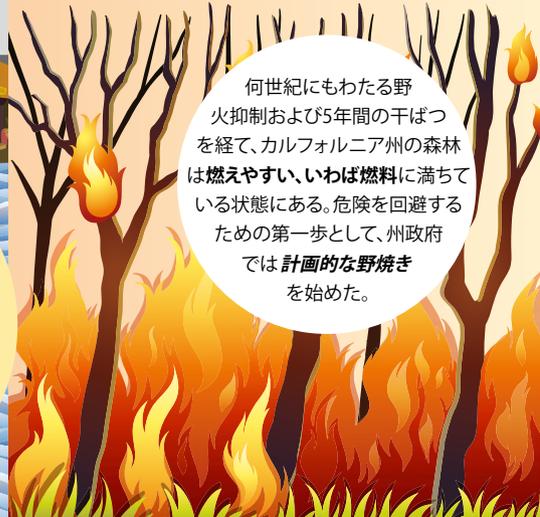
世界中で、人々は気候影響にさまざまな方法で適応した。水資源の再考、保険、生活戦略の変化、自主的および強制的な移住、再定住プロジェクトなどが挙げられる。これら善意から出た手法が地元の条件にそぐわないとき、また問題を多面的な角度から見ていないとき、脆弱性が高まることもある。

中国の気候変動適応再定住事業は経済的なインセンティブを提供し、生活水準を上げた。しかし、元の場所へ残った人やすでに移住した人、また特に貧しい人に**重い負荷**をかけた。

異常気象に対し**農作物保険**で対応する農家もあるが、他の適応戦略を怠る原因となる場合がある。

危険な場所に復興することを支援したり、変動する条件に基づき再計画よりも移動・移住を優先する場合には**保険戦略**は不適切な適応となりうる。気候の危険が強まるにつれ、**保険は偽りの安心感**を生むことがある。

小さな島国では、高まり続ける波が沿岸部に流れ込み、水源や作物を駄目にする。研究によると、再定住による不適切な適応を防ぐには**労働移動性(labour mobility)**が長期的に見た最善策である。



気候変動への不適切な適応：進化可能性経路上の落とし穴を回避する

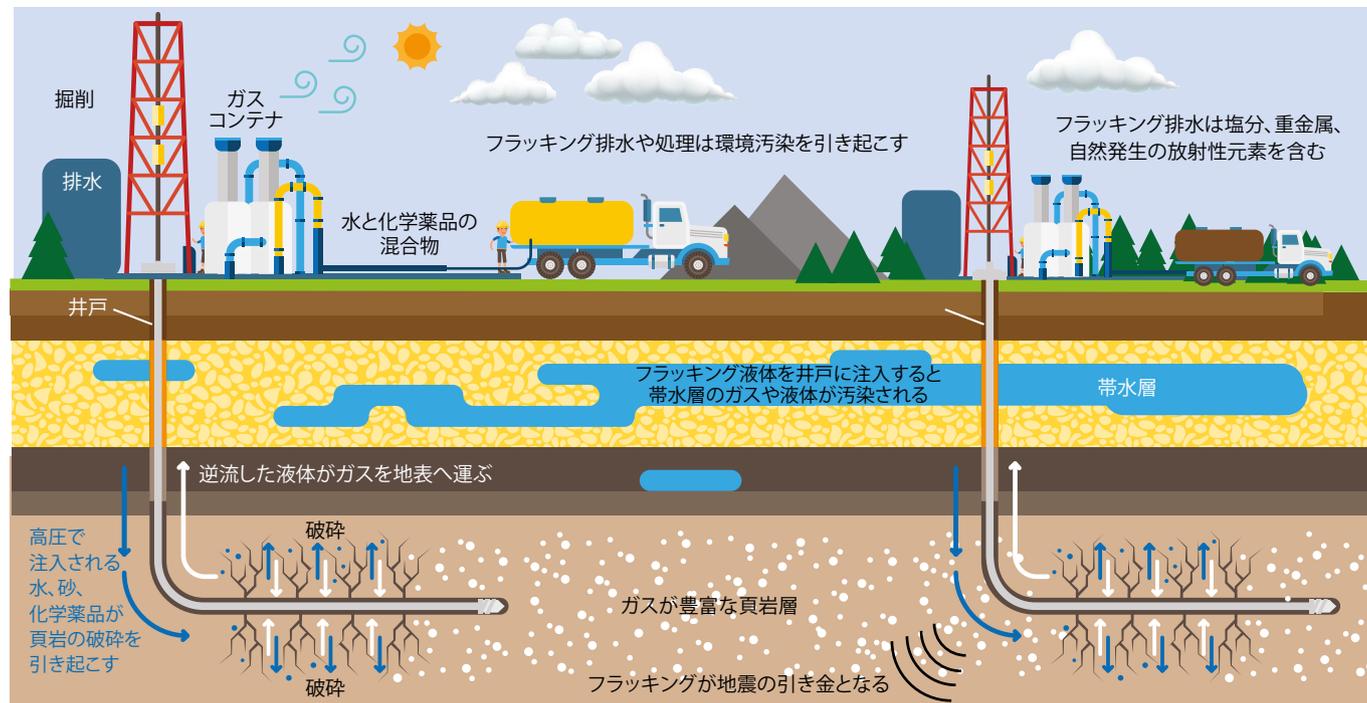
将来の行動に対する選択肢の制限

石油地質学者やエンジニア達は、帽岩構造に覆われた地下深部にある貯留層から石油やガスを抽出する能力を築いた²¹。何世紀にも長期にわたり、いくつかの枯渇した貯留層は、二酸化炭素の隔離に適していると考えられていた²²。その適合性は貯留層の浸透性と貯留層を密封する帽岩層の質によるものと理解されていた^{21,23}。天然ガスが緩和策の一つとして推進されたとき、つまり、石炭と石油が再生可能エネルギーへと橋渡しされたときに投資が拡大され、技術は進化した²⁴。しかしその橋渡しには最初に予想したよりもさらに多くの問題があり、その大部分は水圧破砕法あるいはフラッキングと呼ばれる抽出技術の進化に関連するものである^{25,26}。この技術は水、砂、化学物質の混合物を高圧で注入することで意図的に貯留層に裂け目を作り、天然ガスを放出させる。裂け目を作ることから、帯水層の枯渇、採掘や注入の際に使用される化学薬品による汚染、メタンの環境へ

の漏出や地震活動度の増加を含む多くの環境課題が発生する²⁷⁻³⁰。さらに帽岩による密封は、枯渇した貯留層を炭素隔離させることに役立つが、水圧破砕法により破壊される可能性が示唆されている^{31,32}。

IPCC特別報告書「1.5℃の地球温暖化」は、世界平均気温の上昇を産業革命以前の水準より1.5℃に抑える目標を達成する排出量の削減と、大気中の温室効果ガスの制限の二つの経路について詳述している。どちらの経路も地層において炭素が密封されるという見込みに大きく依存している¹⁵。この水圧破砕産業政策は二つの面での不適切な適応を示している。前述の短期的な収益に対する長期的な便益が発生する可能性と、将来の資源に損害を与えることによる経路依存性である。同時にフラッキングは、生産サイクルを通じてメタンを漏出させ、温室効果ガスの排出を増加させる^{26,33-35}。

水圧破砕法またはフラッキング





Jonah gas field, Wyoming, United States

Photo credit: EcoFlight

1.5°Cの制約される将来における 不適切な適応の回避

IPCC特別報告書「1.5°Cの地球温暖化」での展望や気温上昇を目標値に抑制する知恵は、官民部門の当該者や市民社会が判断する気候変動の因果関係についてより広く検討する必要があることを示唆している¹⁴。不適切な適応の概念を適切ではないと狭めてしまうことや、適応策として公式に見なされている行動結果を複雑化することよりも、さまざまなレベルの政策助言者や意思決定者、機関がおのの計画段階において気候変動の不適切な適応を回避するために幅広く検討することができるといえる。

1.5°C特別報告書においても、国連2030アジェンダと持続可能な開発目標(SDGs)、とりわけ平等性と公平性に関する目標を強調している¹⁴。将来の気候変動を起因とする課題に対するビジョンは、価値ある未来に焦点を当てており、今日までに多くの人々が経験してきた未来より優れたものである。摩擦、戦争、不安定、貧困、移住の根本的な原因を低減させることは、この見通しの重要な要素である。人類は常に状況の変化に適合してきており、生まれながらに順応性のある生き物である。試行錯誤による学びは、適応を導く信頼できる

手段であるものの、我々人類は洞察力を使い、事前に計画する生き物でもある。我々は自分たちの未来を設計することができる。不適切な適応を回避することは自分たちの過ちからだけでなく、世界の人々や共同体の経験から学ぶことでもある。洞察力を用いるには、各集団が抱く疑念や憶測、野望にさえ制限されず、科学的実証性と現実的な可能性に基づく必要がある。

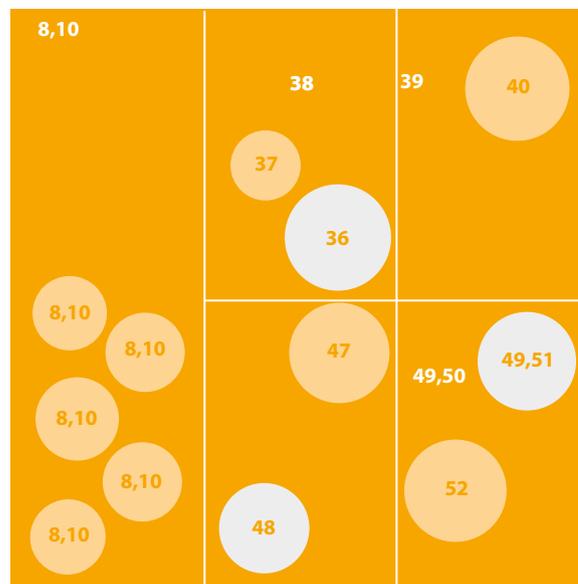
社会に存在するあらゆる集団の相乗利益を含む費用と便益を評価し、誰が勝ち組で誰が負け組か、そしていかに負荷をよりよく分担できるかを明確にすることで、不適切な適応を回避できることを証明している。将来世代の利益に注目しなくなる傾向は、世界平均気温を管理可能な範囲内に抑えるIPCC1.5°Cのいずれの経路にも対応しない。今我々は、1992年の気候変動枠組条約合意時にほとんど考慮されなかった未来にいる。不適切な適応の発生を回避することは、将来に対する変化への可能性を封じ込めることや経路依存性に陥ることを防ぎ、代わりに進化可能性を最も望ましい形に広げていくことである。さもなければ、生物学的に行き詰まりの状態であることを理解するだろう。

参考文献

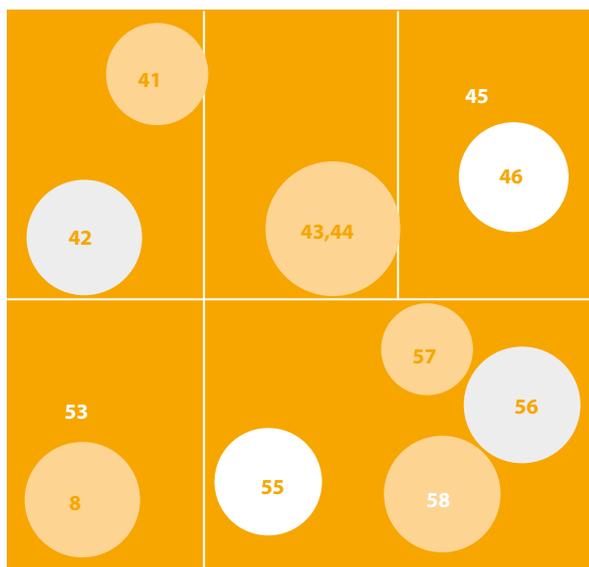
- Darwin, C.R. (1859). *On the origin of the species by means of natural selection*. London: John Murray.
- Martínez-Padilla, J., Estrada, A., Early, R. and García-González, F. (2017). Evolvability meets biogeography: evolutionary potential decreases at high and low environmental favourability. *Proceedings of the Royal Society B*, 284(1856), 20170516. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0516>
- Burton, I., Kates, R.W. and White, G.F. (1993). *The environment as hazard*. New York: Guilford Press.
- Greenhill, B., Dolšák, N. and Prakash, A. (2018). Exploring the adaptation-mitigation relationship: Does information on the costs of adapting to climate change influence support for mitigation? *Environmental Communication*, 12(7), 911-927. <https://doi.org/10.1080/17524032.2018.1508046>
- Bodansky, D. (1993). The United Nations Framework Convention on Climate Change: A commentary. *Yale Journal of International Law*, 18, 451. <https://digitalcommons.law.yale.edu/yjil/vol18/iss2/2>
- Burton, I. and van Aalst, M.K. (1999). Come hell or high water: integrating climate change vulnerability and adaptation into Bank work. Environment Department working paper No. 72, Climate change series. Washington DC: World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/212171468756566936/pdf/multi-page.pdf>
- McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J. and White, K.S. (eds.). (2001). Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press
- Barnett, J., and O'Neill, S. (2010). Maladaptation. *Global Environmental Change*, 2(20), 211-213. <https://www.sciencedirect.com/journal/global-environmental-change/vol/20/issue/2>
- Dolšák, N. and Prakash, A. (2018). The politics of climate change adaptation. *Annual Review of Environment and Resources*, 43, 317-341. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102017-025739>
- Noble, I.R., Huq, S., Anokhin, Y.A., Carmin, J., Goudou, D., Lansigan, F.P. et al. (2014). Adaptation needs and options. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E. et al. (eds.). Cambridge, UK: Cambridge University Press. 833-868. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap14_FINAL.pdf
- Cramer, W., Yohe, G.W., Auffhammer, M., Huggel, C., Molau, U., da Silva Dias, M.A.F. et al. (2014) Detection and attribution of observed impacts. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E. et al. (eds.). Cambridge, UK: Cambridge University Press. 979-1037. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
- Anguelovski, I., Shi, L., Chu, E., Gallagher, D., Goh, K., Lamb, Z. et al. (2016). Equity impacts of urban land use planning for climate adaptation: critical perspectives from the global north and south. *Journal of Planning Education and Research*, 36(3), 333-348. <https://doi.org/10.1177%2F0739456X16645166>
- Hayes, S. (2019). Adapting infrastructure to climate change: who bears the risk and responsibility? In *Asset Intelligence through Integration and Interoperability and Contemporary Vibration Engineering Technologies*. Mathew, J., Lim, C.W., Ma, L., Sands, D., Cholette, M.E. and Borghesani, P. (eds.). Proceedings of the 12th World Congress on Engineering Asset Management and the 13th International Conference on Vibration Engineering and Technology of Machinery. Switzerland: Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95711-1_24
- Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T.M., Folke, C., Liverman, D. et al. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(33), 8252-8259. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R. et al. (eds.). Switzerland: IPCC. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- Magnan, A.K., Schipper, E.L.F., Burkett, M., Bharwani, S., Burton, I., Eriksen, S. et al. (2016). Addressing the risk of maladaptation to climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7(5), 646-665. <https://doi.org/10.1002/wcc.409>
- Asian Development Bank (2018). *Bangladesh: Coastal Climate-Resilient Infrastructure Project*. Sovereign (Public) Project 45084-002. <https://www.adb.org/projects/45084-002/main>
- International Organization for Migration (2009). Climate Change and Displacement in Bangladesh - A Silent Crisis? <https://www.iom.int/migrant-stories/climate-change-and-displacement-bangladesh-silent-crisis>
- Kates, R.W., Colten, C.E., Laska, S., and Leatherman, S.P. (2006). Reconstruction of New Orleans after Hurricane Katrina: a research perspective. *Proceedings of the National Academy of Science*, 103(40), 14653-14660. <https://doi.org/10.1073/pnas.0605726103>
- Bleemer, Z. and van der Klaauw, W. (2017). Disaster (over-)insurance: the long-term financial and socioeconomic consequences of Hurricane Katrina. Staff Report, No. 807. New York, NY: Federal Reserve Bank of New York. https://www.newyorkfed.org/research/staff_reports/sr807
- Orr Jr, F.M. (2003). Sequestration via injection of carbon dioxide into the deep earth. In *The Carbon Dioxide Dilemma: Promising Technologies and Policies*. National Academy of Engineering and National Research Council. Washington, DC: The National Academies Press. <https://www.nap.edu/read/10798/chapter/3#17>
- Benson, S. M. and Orr, F. M. (2008). Carbon dioxide capture and storage. *MRS bulletin*, 33(4), 303-305. <https://doi.org/10.1557/mrs2008.63>
- Huppert, H.E. and Neufeld, J.A. (2014). The fluid mechanics of carbon dioxide sequestration. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 46, 255-272. <https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-011212-140627>

24. Weissman, S. (2016). Natural Gas as a Bridge Fuel – Measuring the Bridge. Center for Sustainable Energy, San Diego. http://energycenter.org/sites/default/files/docs/nav/policy/research-and-reports/Natural_Gas_Bridge_Fuel.pdf
25. Howarth, R.W., Santoro, R., and Ingraffea, A. (2011). Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations. *Climatic Change*, 106(4), 679. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0061-5>
26. United Nations Conference on Trade and Development (2018). Commodities at a glance. *Special Issue on Shale Gas 9*. New York and Geneva: UNCTAD. https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/suc2017d10_en.pdf
27. Chen, H. and Carter, K.E. (2016). Water usage for natural gas production through hydraulic fracturing in the United States from 2008 to 2014. *Journal of Environmental Management*, 170, 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.023>
28. U.S. EPA. (2016). Hydraulic Fracturing for Oil and Gas: Impacts from the Hydraulic Fracturing Water Cycle on Drinking Water Resources in the United States. United States Environmental Protection Agency/Office of Research and Development, Washington, DC. EPA/600/R-16/236Fa. <https://cfpub.epa.gov/ncea/hfstudy/recordisplay.cfm?deid=332990>
29. Drollette, B.D., Hoelzer, K., Warner, N.R., Darrah, T.H., Karatum, O., O'Connor, M.P., Nelson, R.K. et al. (2015). Elevated levels of diesel range organic compounds in groundwater near Marcellus gas operations are derived from surface activities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 112(43), 13184-13189. <https://doi.org/10.1073/pnas.1511474112>
30. Skoumal, R.J., Brudzinski, M.R. and Currie, B.S. (2015). Earthquakes Induced by Hydraulic Fracturing in Poland Township, Ohio. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105(1), 189-197. <https://doi.org/10.1785/0120140168>
31. Elliot, T.R. and Celia, M.A. (2012). Potential restrictions for CO2 sequestration sites due to shale and tight gas production. *Environmental Science & Technology*, 46(7), 4223-4227. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es2040015>.
32. Moriarty, P. and Honnery, D. (2018). Energy policy and economics under climate change. *AIMS Energy*, 6(2): 272-290. <https://doi.org/10.3934/energy.2018.2.272>
33. Jackson, R.B., Vengosh, A., Darrah, T.H., Warner, N.R., Down, A., Poreda, R.J., Osborn, S.G., Zhao, K. and Karr, J.D. (2013). Increased stray gas abundance in a subset of drinking water wells near Marcellus shale gas extraction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(28), 11250-11255. <https://doi.org/10.1073/pnas.1221635110>
34. Omara, M., Sullivan, M.R., Li, X., Subramanian, R., Robinson, A.L. and Presto, A.A. (2016). Methane Emissions from Conventional and Unconventional Natural Gas Production Sites in the Marcellus Shale Basin. *Environmental Science & Technology*, 50, 2099-2107. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05503>
35. Osborn, S.G., Vengosh, A., Warner, N.R. and Jackson, R.B. (2011). Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(20), 8172-8176. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100682108>

Graphic references



36. Hartmann, I., Sugulle, A.J. and Awale, A.I. (2010). The Impact of Climate Change on Pastoralism in Salahley and Bali-gubadle Districts, Somaliland. Heinrich Böll Stift ung, East and Horn of Africa, Nairobi. https://ke.boell.org/sites/default/files/the_impact_of_climate_change_on_pastoralism_in_salahley_and_bali-gubadle_districts_-_somaliland.pdf
37. Huang, J., Yu, H., Guan, X., Wang, G. and Guo, R. (2015). Accelerated dryland expansion under climate change. *Nature Climate Change*, 6, pages166-171. <https://doi.org/10.1038/nclimate2837>
38. IPCC (2013). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
39. WWAP (2018). The United Nations world water development report 2018: nature-based solutions for water. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261424>
40. Tellman, B., Bausch, J.C., Eakin, H., Anderies, J.M., Mazari-Hiriart, M., Manuel-Navarrete, D. and Redman, C.L. (2018). Adaptive pathways and coupled infrastructure: seven centuries of adaptation to water risk and the production of vulnerability in Mexico City. *Ecology and Society*, 23(1):1. <https://doi.org/10.5751/ES-09712-230101>



41. Czajkowski, J., Engel, V., Martinez, C., Mirchi, A., Watkins, D., Hughes, J., Sukop, M. (2015). Economic impacts of urban flooding in south Florida: Potential consequences of managing groundwater to prevent salt water intrusion. Working paper no. 2015-10, Risk Management and Decision Processes Center, University of Pennsylvania. http://opim.wharton.upenn.edu/risk/library/WP201510_GWLevelsFloodClaims_Czajkowski-etal.pdf
42. Finkbeiner, E.M., Micheli, F., Bennett, N.J., Ayers, A.L., Le Cornu, E. and Doerr, A.N. (2017). Exploring trade-offs in climate change response in the context of Pacific Island fisheries. *Marine Policy*, 88, 359-364. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2017.09.032>
43. Limthongsakul, S., Nitivattananon, V. and Arifwidodo, S.D. (2017). Localized flooding and autonomous adaptation in peri-urban Bangkok. *Environment and Urbanization*, 29(1), 51-68. <https://doi.org/10.1177/0956247816683854>
44. Marks, D. (2015). The Urban Political Ecology of the 2011 Floods in Bangkok: The Creation of Uneven Vulnerabilities. *Pacific Affairs*, 88(3), 623-651. <http://dx.doi.org/10.5509/2015883623>
45. Jolly, W.M., Cochrane, M.A., Freeborn, P.H., Holden, Z.A., Brown, T.J., Williamson, G.J. and Bowman, D.M. (2015). Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*, 6:7537. <https://doi.org/10.1038/ncomms8537>
46. Little, J. B. (2018) Fighting Fire with Fire: California Turns to Prescribed Burning. Yale Environment 360. Yale School of Forestry & Environmental Studies. <https://e360.yale.edu/features/fighting-fire-with-fire-california-turns-to-prescribed-burning>
47. Zinyemba, C., Archer, E. and Rother, H-A. (2018). Climate variability, perceptions and political ecology: Factors influencing changes in pesticide use over 30 years by Zimbabwean smallholder cotton producers. *PLoS ONE*, 13(5): e0196901. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196901>
48. Pires, G.F., Abrahão, G.M., Brumatti, L.M., Oliveira, L.J.C., Costa, M.H., Liddicoat, S. and Ladle, R.J. (2016). Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228: 286-298. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.07.005>
49. Bett, B., Kiunga, P., Gachohi, J., Sindato, C., Mbotha, D., Robinson, T., Lindahl, J. and Grace, D. (2017). Effects of climate change on the occurrence and distribution of livestock diseases. *Preventive Veterinary Medicine*, 137, Part B, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.11.019>
50. UNEP (2016). UNEP Frontiers 2016 Report: Emerging Issues of Environmental Concern. United Nations Environment Programme, Nairobi. www.unenvironment.org/frontiers
51. UNEP (2017). Frontiers 2017: Emerging Issues of Environmental Concern. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://www.unenvironment.org/frontiers>
52. Hammer, T.J., Fierer, N., Hardwick, B., Sijmoki, A., Slade, E., Taponen, J., Viljanen, H. and Roslin, T. (2016). Treating cattle with antibiotics affects greenhouse gas emissions, and microbiota in dung and dung beetles. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283:20160150. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2016.0150>
53. UN (2014). World Urbanisation Prospects: the 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352). Department of Economic and Social Affairs. Population Division, New York: United Nations.
54. Ford, J.D., Labbé, J., Flynn, M., Araos, M. and IHACC Research Team (2017). Readiness for climate change adaptation in the Arctic: a case study from Nunavut, Canada. *Climatic Change*, 145(1-2), 85-100. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2071-4>
55. Lei, Y., Finlayson, C.M., Thwaites, R., Shi, G. and Cui, L. (2017). Using Government Resettlement Projects as a Sustainable Adaptation Strategy for Climate Change. *Sustainability*, 9, 1373. <https://doi.org/10.3390/su9081373>
56. O'Hare, P., White, I. and Connelly, A. (2016). Insurance as maladaptation: Resilience and the 'business as usual' paradox. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 34(6), 1175-1193. <https://doi.org/10.1177/0263774X15602022>
57. Bryant, C.R., Bousbaine, A.D., Akkari, C., Daouda, O., Delusca, K., Épule, T.E. and Drouin-Lavigne, C. (2016). The roles of governments and other actors in adaptation to climate change and variability: The examples of agriculture and coastal communities. *AIMS Environmental Science*, 3(3), 326-346. <https://doi.org/10.3934/environsci.2016.3.326>
58. ILO (2016). Labour Mobility and Regional Climate Adaptation. International Labour Organization Technical Note https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---migrant/documents/publication/wcms_534341.pdf

Lead Authors、Contributors及びReviewers等への謝辞については以下の原著にあるAcknowledgementsを参照のこと。
<https://www.unenvironment.org/resources/frontiers-201819-emerging-issues-environmental-concern>

日本語版出版：公益財団法人 地球環境戦略研究機関 (IGES)

翻訳の正確性について万全を期しているが、IGESは、翻訳により不利益等を被る事態が生じた場合には一切の責任を負わないものとする。
翻訳版と原典の英語版との間に矛盾がある場合には、英語版の記述・記載が優先する。