

基礎研 レター

気候変動問題-転換点への意識 エンドゲームに入る前にどれだけ効果的な対策を打てるか

保険研究部 主席研究員 篠原 拓也
(03)3512-1823 tshino@nli-research.co.jp

1—はじめに

気候変動問題を巡る動きが世界中で活発になっている。日本では、台風や豪雨などの極端な気象現象による災害の激甚化・頻発化が懸念されている。世界では、南極やグリーンランドの氷床の融解による海面水位の上昇、大規模な干ばつや山林火災の発生など、地球温暖化によるさまざまな影響が出始めている。

ただ、一般に気候変動問題はさまざまな要素が関係・影響するため、複雑でわかりにくい。ある要素と事象の間に相関関係があることが確認できても、因果関係があるのかどうかは未解明というケースもある。その一方で、地球温暖化の転換点が迫りつつある、との声も高まっている。

本稿では、気候変動問題が抱える複雑さを踏まえたうえで、いくつかの転換点を意識することで、その深刻度を把握していくこととしたい。

2—気候変動の波及の複雑さ

まず、気候変動問題が複雑で理解しにくい点について、簡単に確認していこう。

1 | 因果関係が不明瞭

気候変動問題に限らず、社会で起こるさまざまな問題には複数の要因があつて、しかも要因ごとに問題への影響の仕方が異なることが一般的と言えるだろう。ただ、気候変動問題の場合は、要因の全貌がわからなかったり、要因の問題への波及構造が不明確であつたりすることが多い。

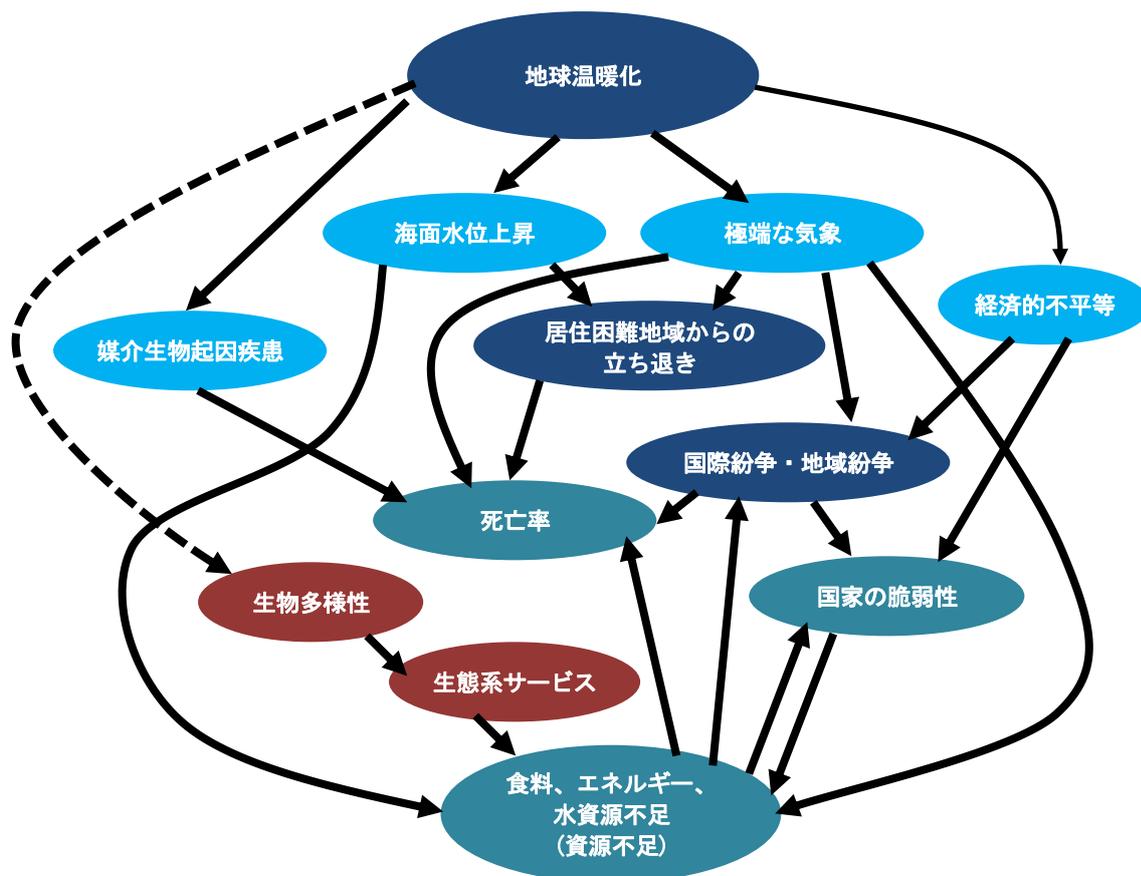
2 | 波及は連鎖的、循環増幅的、非線形的に進む

次の図は、2022年に米国科学アカデミー紀要(PNAS)¹に記載された、問題事象と要因の関係性を表した図を参考に、筆者が作成した波及関係の例だ。地球温暖化が、極端な気象の発生や海面水位の上昇などを引き起こし、国際紛争・地域紛争や、食料・エネルギー・水資源の不足などにつながり、死亡率の上昇といった影響をもたらすことが描かれている。各事象・要因が複数の矢印につながっており、

¹ PNASは、The Proceedings of the National Academy of Sciencesの略。

波及関係が複雑であることがうかがえる。

図表 1. 気候変動問題の事象と要因の波及関係の例



* 実線は正のフィードバック、点線は負のフィードバック

※ “Climate Endgame: Exploring catastrophic climate” (PNAS, 2022)のFigure 3を参考に、筆者作成

この図には、気候変動問題の波及の特徴が、いくつか描かれている。

(1) 連鎖的 (カスケード)

波及は、1つの要因が次の要因に影響し、更にその次の要因の発現につながる、といった連鎖的な構造を持っている。ドミノ倒しのような波及だ。このような構造では、一旦走り出してしまうと、次々に波及が進んでしまう。

(2) 循環増幅的 (フィードバック)

波及には、正のフィードバック効果もある。いくつかの要因の間を循環するうちに、波及の勢いが増幅していくというものだ。雪だるま式の増大と言うこともできる。転がり出した雪だるまがなかなか止められないのと同様、加速した気候変動の波及を止めるのは難しいものと考えられる。

(3) 非線形的 (ノン・リニア)

波及は、非線形的に進む。例えば、気温が2度上昇した場合には、1度上昇した場合に比べて、台風などの極端な気象の発生の可能性が2倍ではなく、それを超えて高まる。この非線形性は、非常に小さな出来事が予想もつかない大きな出来事につながる、という「バタフライ効果」にも通じる²。

² そもそもバタフライ効果という言葉は、気象の数値予報から生じた。1972年に気象学者のエドワード・ローレンツ氏が行

3—さまざまな転換点

上記の通り、気候変動問題の波及は複雑である。この複雑な波及構造は、気候変動にさまざまな転換点を生じさせる。転換点に達すると、突然の変化が起こったり、不可逆的な変化があらわれたりするとされる。

1 | 転換点に達すると突然の変化が起こる

米国研究評議会(NRC)のレポート³によると、気候変動問題における突然の変化には、物理的な気候システムの突然の変化である「突然の気候変動」。徐々に変化する気候変動によって生じる、物理学的、生物学的、または人間のシステムへの突然の影響である「突然の気候影響」、の2つのタイプがあるという。

このうち、「突然の気候変動」は、通常、数年から数十年といった時間軸で、気候システムが変化して、別の局面に移行することを指す。いわば、局面の変化である。その背景には、物質の相変化⁴や、化学反応などの、物理や化学上の変化があることが一般的である。

一方、「突然の気候影響」は、人間や自然のシステムが、適応困難なほど急激かつ不意に変化する影響を受けることをいう。海岸堤防を例にとれば、温暖化による海面水位の上昇を背景に、堤防と水位の差が縮小していく。そして、あるとき低気圧の襲来に伴って堤防を超える高潮が発生して、沿岸地域が水没してしまう被害に見舞われる、といった状況が考えられる。

2 | 不可逆的な変化が生じる

IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の第1ワーキンググループが2021年に公表した、第6次評価報告書は、気候変動の不可逆的な変化について説明している。それによると、ある状態からの自然なプロセスによる回復が、対象となる時間軸に比べて大幅に長くかかる場合、「特定の時間軸で、不可逆的である」とされる。不可逆的な変化には、回復までに何千年もの時間を要するものもある。また、ある生物種が絶滅することにより、生態系が変化してしまい、完全に同じ姿に回復することはできない、といった事象も含まれる。

3 | 転換点が示されている

IPCCの第6次評価報告書では、15個の転換点要素が示されている。

モンスーンや植生から、海氷、氷床、海洋酸性化など、さまざまな要素をもとに気候変動の状況を把握していくことが企図されている。そして、各要素ごとに、突然の気候変動の可能性や、不可逆性の評価が短い文章で表現されている。なお、これらの表現には、確信度や可能性についての言及がなされており、各要素の転換点の深刻度をうかがい知ることができる。⁵

った『ブラジルでの蝶の羽ばたきはテキサスでトルネードを引き起こすか』というタイトルの講演に由来している。蝶の羽ばたきのような初期条件のわずかな違いが、遠く離れた場所での竜巻の発生につながるかもしれない。そのため、計測の精度をどれだけ向上させても、気象を正確に予測することは困難、という趣旨だ。

³ “Abrupt Impacts of Climate Change - Anticipating Surprises” (NRC, 2013)を指す。なお、NRCは、National Research Councilの略

⁴ 固体・液体・気体といった相の変化のこと。

⁵ 転換点要素は以前の評価報告書や特別報告書でも取り上げられ、評価されている。第6次評価報告書では、「評価の変更」として、以前の報告書での評価との違いを示している。

図表 2. IPCC 評価報告書に示された 15 の転換点要素

地球システム構成要素・転換点要素	突然の気候変動の可能性	強制力が反転した場合の不可逆性(時間軸を加味)	温暖化が続いた場合の今世紀の変化予想	評価の変更
世界的モンスーン	あり(AMOS 衰退) [中]	可逆(数年~数十年間) [中]	世界的モンスーンの増加 [中]、アジア・アフリカの強大化と北米の弱小化 [中]	AR5 よりも多面的な証拠
熱帯雨林	あり [低]	不可逆(何十年間も) [中]	植物の炭素蓄積の増加は人間しだい [中]	AR5 よりも確信度上昇
北方林	あり [低]	不可逆(何十年間も) [中]	低緯度域の枯死と極域の拡大の相殺は人間しだい [中]	AR5 よりも確信度上昇
永久凍土の炭素	あり [高]	不可逆(数百年間) [高]	炭素の純変化で、永久凍土中は低下 [ほぼ確実]	SROCC よりも確信度上昇
北極の夏季海水	なし [高]	可逆(数年~数十年間) [高]	完全な喪失 [可能性が高い]	SROCC よりも特定度上昇
北極の冬季海水	あり [高]	可逆(数年~数十年間) [高]	通常の冬季での喪失 [高]	SROCC よりも特定度上昇
南極の海水	あり [低]	不明 [低]	通常の冬季・夏季での喪失 [低]	CMIP6 のシミュレーション改善
グリーンランドの氷床	なし [高]	不可逆(数千年間) [高]	全シナリオで大規模喪失 [ほぼ確実]	SROCC よりも多面的な証拠
西大西洋の氷床・氷棚	あり [高]	不可逆(数十年~数千年間) [高]	全シナリオで大規模喪失 [可能性が高い]、3°C超上昇の予想下での動向 [不確実性が深い]	3°C超上昇の予想下で、不確実性が深いを追加
世界の海洋熱容量	なし [高]	不可逆(数百年間) [非常に高]	海洋の高温化が進む [非常に高]	平衡気候感度(ECS)や過渡的気候応答(TCR)との整合性改善
世界の海面水位上昇	あり [高]	不可逆(数百年間) [非常に高]	上昇が継続 [非常に高]、3°C超上昇の予想下での動向 [不確実性が深い]	3°C超上昇の予想下で、不確実性が深いを追加
大西洋子午面循環(AMOS)	あり [中]	可逆(数百年間) [高]	低下 [可能性が非常に高い]、衰退がない [中]	SROCC よりも多面的な証拠
南大西洋子午面循環	あり [中]	可逆(数十年~数百年間) [低]	強度が減少 [中]	SROCC よりも多面的な証拠
海洋酸性化	あり [高]	表層は可逆、深層は不可逆(数百年~数千年間) [非常に高]	CO2 増加とともに継続 [ほぼ確実]、極域の炭酸カルシウム飽和 [可能性が高い]	SROCC よりも多面的な証拠
海洋貧酸素化	あり [高]	表層は可逆、深層は不可逆(数百年~数千年間) [中]	貧酸素化度と低酸素状態の増加 [中]	CMIP6 のシミュレーション改善

* []内は、確信度等の評価。(「非常に高」は確信度が非常に高い。「高」は確信度が高い。「中」は中程度の確信度。「低」は確信度が低い。)

** AR5 は第 5 次評価報告書(2013)。SROCC は、「海洋・雪氷圏特別報告書」(2019)を指す。また、CMIP6 は、結合モデル相互比較計画の第 6 期(最新)を指す。

*** 平衡気候感度(ECS)とは、大気中 CO2 濃度を倍にして、気候システムがふたたび平衡化した時の全球地表気温上昇量。過渡的気候応答(TCR)とは、大気中 CO2 濃度を漸増(1%/年)して、倍になる 70 年目の全球地表気温上昇量。(「今さら解説一気候感度って何? ~定義から WCRP 評価論文、パターン効果まで~」渡部雅浩(東京大学大気海洋研究所, 2021 年 4 月 27 日)より。)

※ “Climate Change 2021 - The Physical Science Basis” (IPCC WG1, 2021)の Table 4.10 をもとに、筆者作成

4——死亡率・罹患率への波及

気候変動が転換点に達すると、人間の死亡率や罹患率にも影響が生じる可能性がある。転換点を越えた後はエンドゲーム(終盤戦、大詰め)⁶の状態といえる。PNASによると、エンドゲームの状態では、主に4つの波及経路が考えられるという。食料不足、極端な気象、紛争、媒介生物に起因する疾患である⁷。

1 | 食料不足の懸念には具体的な経路がいくつも考えられる

気候変動問題が食料不足を引き起こし、人々の健康に悪影響をもたらす可能性がある。飽食の時代ともいわれる現在の日本では、なかなかイメージしづらいかもしれない。

しかし、世界的には、小麦などの穀倉地帯で干ばつが進み、穀物生産が大きく低下するリスクが強く懸念されている。干ばつは、水資源確保に伴う紛争の問題とも関係するため、根が深いといえるだろう。

また、生物学的な視点からは、昆虫による作物の受粉の停滞が考えられる。気候変動による環境変化は、さまざまな生物種に特異な変化をもたらす。昆虫の発生と作物の開花の時期がずれると、作物は受粉できない。その結果、作物の生産が滞る。

別の例として、海洋の酸性化が挙げられる。海洋環境が損なわれれば、魚類や貝類などの養殖が打撃を被り、海産物の生産減少につながる。

他にも山林火災によって、山林の保水力が低下することで豪雨時に洪水や土砂災害が起こり、田畑が被害を受けるケース。気温上昇が、作物の生育を妨げて収穫量を低下させるケース。害虫の繁殖が増えて、作物の枯死を招くケース、などさまざまな経路が考えられる。

2 | 高温状態では、温度が上がるにつれ急速かつ非線形に死亡率が上昇

一般に、先進主要国では、暑さによる死者よりも、寒さによる死者の方が多い。暑さと寒さの死亡率への影響の仕方は異なるとされる。

寒さによる死亡リスクについては、生存可能な最低温度を下回る低温では、温度が下がるごとに緩やかに直線的に上昇する。一方、暑さによる死亡リスクに関しては、過度の高温状態になると、温度が上がるごとに急激に上昇するとの研究結果もある⁸。

したがって温暖化に伴う気温の上昇により、高温期(北半球では夏季)の死亡増加分が、低温期(同冬季)の死亡減少分を上回り、年間を通じた死亡リスクが高まる可能性がある。

3 | 気候変動問題に関連する紛争も死亡リスクを高める

気候変動問題が転換点を超えると、世界各地で干ばつが進み、水不足が生じる恐れがある。水資源

⁶ エンドゲームは、もともとチェスの用語で、勝負の行方を決する終盤戦を意味する。

⁷ “Climate Change and Environmental Risks” (Society of Actuaries, Dec. 2020)などの内容を筆者がまとめた。

⁸ “Climate change and temperature extremes: a review of heat- and cold-related morbidity and mortality concerns of municipalities” Carina J. Gronlund, Kyle P. Sullivan, Yonathan Kefelegn, Lorraine Cameron, Marie S.O’Neill (Maturitas 114 (June): 54-59., 2018)が研究結果の例。それによると、アメリカ・デトロイトでの死亡率に対する気温の影響に関する研究で、極度の暑さで死亡率と入院が急激に上昇する一方で、低温での死亡率は明確な閾値がなく緩やかに上昇することが指摘されている。

を巡る紛争が発生して、戦乱に伴う人命の損失はもとより、交通やパイプライン等の社会インフラの毀損が起り、人々の生活に支障が生じることが考えられる。

その結果、例えば、エネルギー供給が滞り、夏季や冬季にエアコンや暖房機器が使用できないために、熱中症や低体温症が増加する恐れがある。

4 | 媒介生物に起因する疾患や死亡も増加

媒介生物が繁殖することで、熱帯性の感染症などの病気が流行する可能性もある。エキノコックス、野兎(やと)病、ウエストナイルウイルス、ハンタウイルス、ダニ媒介性脳炎、ライム病、シンドビスウイルスを含む多くの病気が、寒冷地域で増加するとの予想もある。

特に、マラリアをはじめ、ジカ熱、デング熱、チクングニア熱などの、蚊が媒介する疾患が流行し、世界的に感染症のリスクを高めるとの予想も数多く出されている。

5 | エンドゲームでの対策は効果が限られる

以上のように、主に4つの経路で死亡率・罹患率への波及が考えられる。これらの波及を軽減する対策は、対症療法的なものとなりがちで、効果は限られる。転換点に達したエンドゲームの状態では、地球温暖化が進んでしまうため、根本的な対策は打ちにくいこととなる。

やはり、気候変動問題は、エンドゲームに入る前の現在の段階で、どれだけ効果的な対策を打てるかがカギといえるだろう。⁹

5—おわりに (私見)

本稿では、気候変動問題の波及の複雑さや転換点などについて見ていった。2022年11月にエジプトのシャルムエルシェイクで開催されたCOP27(国連気候変動枠組み条約第27回締約国会議)では、世界平均気温を産業革命前(1850~1900年平均)に比べて、1.5°Cに抑えるという目標に向けて、温暖化ガスの削減目標の強化と実施を進めることが確認された。この1.5°Cを超えて、2°Cを上回るようだと、2°C近辺にあるといわれるいくつかの転換点に達してしまう恐れがある。

世界平均気温はすでに2011~20年(10年平均)で産業革命前に比べて1.09°C上昇しており、1.5°C目標まで残り「0.41°C」となっている。

本稿で見たとおり、転換点に達してエンドゲームに入ってしまうと、根本的な対策は打ちにくいものとみられる。そうなる前の現在の段階で、効果的な対策を打つことが必要と考えられる。

引き続き、気候変動の動向や、各国の打ち出す対策について、注意していくこととしたい。

⁹ 気候変動問題を、人間の健康状態で例えれば、現在は重病に至る前の未病段階と言えるだろう。この段階で、療養や摂生を効果的に開始すれば、健康状態を取り戻せる可能性が高い。

(参考資料)

“Climate Endgame: Exploring catastrophic climate” (PNAS, 2022)

“Abrupt Impacts of Climate Change - Anticipating Surprises” (NRC, 2013)

“Climate Change 2021 - The Physical Science Basis” (IPCC WG1, 2021)

「今さら解説－気候感度って何？ ～定義から WCRP 評価論文、パターン効果まで～」渡部雅浩(東京大学大気海洋研究所, 2021年4月27日)

“Climate Change and Environmental Risks” (Society of Actuaries, Dec. 2020)

“Climate change and temperature extremes: a review of heat- and cold-related morbidity and mortality concerns of municipalities” Carina J. Gronlund, Kyle P. Sullivan, Yonathan Kefelegn, Lorraine Cameron, Marie S.O’Neill (Maturitas 114 (June): 54-59., 2018)