

気候システムがティッピングポイント（臨界点）を
超えるリスクについて

2026年7月1日

東京大学未来ビジョン研究センター教授

江 守 正 多

1. 気候変動の現状とティッピングポイントを考える意義

人為起源の温室効果ガス排出により、世界平均気温はすでに産業革命前に比べて大きく上昇している。世界気象機関（World Meteorological Organization: WMO）によれば、2024 年の世界平均気温は産業化前水準を約 1.55°C 上回り、観測史上最も高い年となった（WMO, 2025）。単年の 1.5°C 超過は、パリ協定の 1.5°C 目標が直ちに破られたことを意味するものではない。しかし、近年の高温は一時的な例外ではなく、長期的な温暖化の進行の中で生じている。欧州連合の気候監視機関である Copernicus Climate Change Service によれば、近年の複数年平均で見ても、世界の温暖化水準はすでに約 1.4°C に達している（Copernicus Climate Change Service, 2026）。

このように、世界はすでに 1.5°C に極めて近い状態にある。すでに地球システムの一部が危険な水準に近づいており、その中には、ある閾値を超えると変化が自己増幅的に進み、元に戻すことが困難になるものがある。このような現象を理解するために重要なのが、ティッピング要素およびティッピングポイントという概念である。ティッピング要素とは、気候システムや生態系の中で、一定の外力に対して非線形に応答し、ある臨界的条件を超えると大きく異なる状態へ移行しうる構成要素をいう。ティッピングポイントとは、そのような移行が起こり始める臨界的な閾値である。

ティッピングポイントを考える重要性は、通常の気候影響評価だけでは捉えにくいリスクを示す点にある。通常の気候影響は、気温上昇に応じて影響が徐々に大きくなるものとして理解されることが多い。しかし、ティッピング要素では、ある範囲を超えると、変化が自己増幅的に進み、影響が急に大きくなったり、長期的に取り返しがつかなくなったりする可能性がある。したがって、被害が完全に顕在化してから対応するのでは遅い場合がある。とくに、氷床、永久凍土、森林、海洋循環などの変化は、人間社会の時間スケールを超えて長期的に続き、将来世代に大きな影響を残しうる。

本意見書では、国際的な専門家グループにより 2025 年に公表された Global Tipping Points Report 2025（Lenton et al., 2025; 以下、GTP2025）を主に参照し、まず第 2 章において、比較的確信度と重要性が高い主要なティッピング要素について、どの程度の温暖化で、どのようなメカニズムにより、どのような時間スケールで変化が起こりうるかを整理する。次に第 3 章では、それらのティッピングポイント超過が、人間社会および生態系にどのような影響をもたらしうるかを整理し、日本への直接的・間接的な波及可能性も述べる。最後に第 4 章では、以上の知見を踏まえ、ティッピングポイントのリスクが気候変動対策にどのような含意を持つかをまとめる。

2. 主要なティッピング要素についての最新知見

ティッピングポイントの閾値は、正確な一点として決まっているわけではない。研究やモデルにより幅があり、「何°C 付近」または「何°C から何°C の範囲」として評価される。したがって、1.5°C 付近にティッピングポイントがあるという表現は、1.5°C を超えた瞬間に

必ず変化が始まるという意味ではなく、その水準に近づくにつれてリスクが高まり、さらに 0.1°C 上昇するごとにリスクが増すという意味である。

以下では、現在の知見において比較的確信度と重要性が高い要素として、グリーンランド氷床、西南極氷床、暖水性サンゴ礁、永久凍土、アマゾン熱帯林、大西洋南北熱塩循環（AMOC）を取り上げる。

2.1 グリーンランド氷床

グリーンランド氷床は、完全に失われれば世界平均海面を約 7m 上昇させる規模を持つ。GTP2025 は、グリーンランド氷床を 1.5°C 付近にティッピングポイントを持つ可能性が高い要素の一つとして整理している。

主なメカニズムは、氷床が低くなるほど融けやすくなる正のフィードバックである。氷床表面の高度が下がると、より暖かい低高度の大気にさらされ、融解がさらに進む。また、雪氷面が減ることで太陽光の反射率が下がり、吸収される熱が増える。

ただし、グリーンランド氷床のティッピングは、突然の全面崩壊を意味しない。閾値を超えると、氷床が長期的に縮小する経路に入り、数世紀から数千年にわたって海面上昇を進める可能性が高まるという性質のものである。

2.2 西南極氷床

西南極氷床も、GTP2025 において 1.5°C 付近にティッピングポイントを持つ可能性が高い要素として扱われている。西南極氷床は、その大部分が海面下の基盤上に載る海洋性氷床であり、完全に失われれば世界平均海面を数メートル上昇させる可能性がある。

中心的なメカニズムは、海洋性氷床不安定性である。西南極の一部では、氷床の基盤が内陸へ向かうほど深くなる逆勾配地形を持つ。暖かい海水が棚氷を下から融かすと、内陸の氷を支える力が弱まり、接地線が後退する。接地線が後退するほど氷が厚い場所へ移る場合、海へ流れ出す水量が増え、さらに後退が進む。この自己増幅過程が問題である。

西南極についても、閾値を超えると氷床後退が加速し、数十年から数世紀以上にわたって海面上昇を大きくする可能性がある。

2.3 暖水性サンゴ礁

暖水性サンゴ礁は、GTP2025 で最も強く警告されている要素である。GTP2025 は、暖水性サンゴ礁の熱的ティッピングポイントの中心推定値を産業化前比 1.2°C とし、この水準はすでに超えられたと評価している。また、閾値の範囲はおおむね 1~1.5°C であり、1.5°C で温暖化を安定化できたとしても、世界全体で機能的なサンゴ礁を維持することは非常に難しいとされる。

メカニズムは、高水温による白化である。サンゴは体内の共生藻類から栄養を得ているが、海水温が高すぎる状態が続くと、この共生関係が壊れて白化する。短期間であれば回復することもあるが、白化が頻繁かつ強くなると、回復する前に次の白化が起り、死亡や繁殖力低下が進む。

白化は数週間から数か月で起り、複数回の白化が重なることで、数年から十数年のう

ちにサンゴ優占の生態系が大きく劣化し得る。したがって、サンゴ礁については、将来の可能性というより、すでに閾値超過が進行している要素と理解すべきである。

2.4 永久凍土

永久凍土には、大量の有機炭素が凍結保存されている。温暖化によって永久凍土が融解すると、微生物分解が進み、二酸化炭素やメタンが放出される。これがさらに温暖化を強め、融解を促進する可能性がある。

GTP2025 は、陸域永久凍土を 1.5°C 付近にティッピングポイントを持つ可能性が高い要素の一つとして整理している。ただし、永久凍土は、全球的に単一の閾値を超えると一斉に崩壊するというより、地域的な急速融解が積み重なるものとして理解するのが適切である。

重要なメカニズムは、氷を多く含む土壌が融けて地面が沈下し、湖沼や湿地が形成される急速融解である。こうした場所ではメタンが発生しやすく、地表条件の変化がさらに融解を促す。局所的には数年から数十年で大きな変化が起こり得る一方、炭素放出による全球的な温暖化増幅は、数十年から数世紀にわたる累積的過程である (Turetsky et al., 2020)。

2.5 アマゾン熱帯林

アマゾン熱帯林は、炭素貯蔵、生物多様性、水循環において極めて重要な役割を持つ。GTP2025 は、アマゾンが、気候変動と土地利用変化の相互作用により、1.5~2°C の範囲で大規模な森林劣化やレジームシフトに近づいていると整理している。

主なメカニズムは、森林—降水フィードバックである。熱帯林は雨を受け取るだけでなく、蒸散によって大気中に水蒸気を供給し、地域の降水を維持している。森林が失われると蒸散が減り、降水が減少し、乾季が長くなる。その結果、残った森林も乾燥ストレスを受け、火災が起きやすくなり、さらに森林が失われる。

アマゾンのティッピングでは、特に乾燥しやすい南部・東部などで、干ばつ、火災、伐採、森林劣化が重なり、地域的に森林機能が失われていく可能性が高い。したがって、温暖化を抑えることに加え、森林伐採と劣化を止めることが、ティッピングリスクを下げるうえで不可欠である。

2.6 AMOC

大西洋南北熱塩循環 (Atlantic Meridional Overturning Circulation: AMOC) は、北大西洋で冷たく塩分の高い海水が沈み込み、熱を低緯度から高緯度へ運ぶ大規模な海洋循環である。GTP2025 は、AMOC を 2°C 付近にティッピングポイントを持つ可能性が高い要素の一つとして扱っている。ただし、閾値や発生時期には大きな不確実性がある。

主なメカニズムは、塩分—密度—沈み込みフィードバックである。北大西洋表層に淡水が増えると、海水の塩分が下がり、密度が小さくなる。その結果、海水が沈み込みにくくなり、AMOC が弱まる。AMOC が弱まると、低緯度から北大西洋へ運ばれる高塩分水も減るため、北大西洋はさらに淡水化し、循環がさらに弱まる可能性がある。

IPCC 第 6 次評価報告書は、21 世紀中に AMOC が弱化する可能性は高い一方、21 世紀中の急激な崩壊については可能性が低いと評価していた (IPCC, 2021)。しかし、その後の研究では、不確実性が大きいことが強調されている。AMOC については、「何°Cで崩壊する」と断定することはできないが、2°C未満でもリスクを無視できず、温暖化が進むほどリスクが高まると整理するのが適切である。

AMOC がティッピングを超えた場合、変化は数十年から 1 世紀程度で大きく進む可能性がある。したがって、AMOC は、発生確率や時期は不確実であるものの、いったん起これば広域的で深刻な影響を及ぼす高影響リスクとして扱う必要がある。

2.7 小括

以上のように、主要なティッピング要素は、温度閾値、時間スケール、メカニズムにおいて大きく異なる。共通して重要なのは、ティッピングポイントの超過が、自己増幅的で不可逆的または準不可逆的な変化に入る可能性を意味することである。閾値には幅があり、不確実性も残るが、温暖化が 1.5°C に近づき、さらにそれを超えるにつれて、複数の重要な地球システム要素がリスク域に入ることは、現在の科学的知見から十分に懸念すべき事態である。

3. ティッピングポイント超過がもたらしうる影響

前項で見たように、主要なティッピング要素は、温度閾値、時間スケール、メカニズムにおいて異なる。しかし、共通して重要なのは、いずれも人間社会と生態系の基盤に大きな影響を及ぼしうる点である。GTP2025 は、地球システムのティッピングポイントは、食料安全保障、水資源、健康、エネルギー、経済安定、社会的結束、安全保障に及ぶリスクであり、影響は国境を越えて波及すると整理している。

3.1 グリーンランド氷床

グリーンランド氷床のティッピングがもたらす主要な影響は、長期的な海面上昇である。海面上昇は、単に海岸線が後退するという問題にとどまらない。高潮や高波による浸水リスクを高め、港湾、発電所、道路、鉄道、上下水道などのインフラを脅かす。地下水や農地への塩水侵入も進み、沿岸湿地や干潟などの生態系も失われる。さらに、住民移転、土地・不動産価値の低下、保険・自治体財政への影響、文化遺産や地域共同体の喪失にもつながりうる。

グリーンランド氷床の影響は、急激な災害というより、長期にわたって沿岸社会の前提を変えていくリスクである。しかし、影響の発現が遅いことは、重要性が低いことを意味しない。いったん長期的な海面上昇が固定化されれば、将来世代はその影響を避けることが極めて困難になる。

3.2 西南極氷床

西南極氷床のティッピングも、主要な影響は海面上昇である。ただし、西南極では、海洋に接する氷床の不安定化により、比較的速い氷流出の加速が起こりうるため、数十年か

ら数世紀の時間スケールで沿岸リスクを大きく高める可能性がある。

3.3 暖水性サンゴ礁

暖水性サンゴ礁のティッピングは、生態系への影響が最も明確に現れている例である。サンゴ礁は、海洋生物多様性の重要な基盤であり、多数の魚類や無脊椎動物の生息場、産卵場、成育場となっている。サンゴ礁が劣化すると、単にサンゴが失われるだけでなく、礁に依存する生物群集全体が大きく変化する。

人間社会への影響も大きい。サンゴ礁は、沿岸漁業、観光、沿岸防護、文化的価値を支えている。礁構造が失われると、波浪や高潮を弱める自然の防護機能が低下し、沿岸集落や観光地の災害リスクが高まる。また、漁業資源の減少は、島嶼国や熱帯沿岸地域の食料安全保障と生計に直接影響する。

GTP2025 は、暖水性サンゴ礁がすでに熱的ティッピングポイントを超えつつあり、その劣化が数億人の生活に影響しうると整理している。この点で、サンゴ礁は、将来のリスクではなく、現在進行中の生態系喪失と社会影響の例である。

3.4 永久凍土

永久凍土の融解は、二つの経路で影響を及ぼす。第一に、融解によって二酸化炭素やメタンが放出され、温暖化をさらに増幅する。これは、世界全体の気候安定化を難しくするフィードバックである。人間が直接排出した温室効果ガスではないが、人為的温暖化によって誘発される追加的な排出であり、将来の排出削減努力をより困難にする。

第二に、永久凍土地域では、地盤沈下、斜面崩壊、湖沼形成、沿岸侵食などが起こり、地域社会と生態系に直接影響する。道路、建物、パイプライン、水道、通信施設などのインフラが損傷し、維持費が増大する。河川・湖沼・湿地の環境も変化し、魚類、野生動物、植生、食料採取に影響する。北極域・亜北極域の先住民や地域住民にとっては、生活基盤だけでなく、文化、健康、伝統的知識にも関わる問題である。

永久凍土の影響は直接的には高緯度地域で現れるが、温室効果ガス放出を通じて全球的に波及する。

3.5 アマゾン熱帯林

アマゾン熱帯林のティッピングは、生物多様性、炭素循環、水循環、地域社会に大きな影響を及ぼす。アマゾンは膨大な種を支える生態系であり、その劣化は、地球規模の生物多様性喪失を加速する。また、森林が炭素を吸収・貯蔵する機能が弱まると、温暖化を抑える地球システムの能力も低下する。

地域的には、森林の減少により降水が減り、乾季が長くなり、火災が増えやすくなる。これにより、農業、水力発電、水資源、都市の熱ストレス、大気汚染に影響が及ぶ。森林火災や煙害は、呼吸器疾患などの健康影響をもたらす。また、先住民や伝統的コミュニティにとって、森林は生活、文化、精神的価値の基盤であり、その喪失は単なる経済損失ではない。

GTP2025 は、気候変動と森林伐採が重なることで、アマゾンが 2°C 未満でも大規模な劣

化リスクにさらされ、1 億人以上が影響を受けうると整理している。アマゾンの影響は南米にとどまらず、炭素循環、国際的な農産物市場、生物多様性保全を通じて世界全体に波及する。

3.6 AMOC

AMOC のティッピングは、影響範囲が非常に広い。AMOC が大きく弱化または崩壊すると、北大西洋周辺の気候、熱帯降水帯、モンスーン、海洋生態系が大きく変化する。GTP2025 は、AMOC の崩壊が世界の食料・水安全保障を根本的に損ない、北西ヨーロッパに厳しい冬をもたらす整理している。

AMOC が弱まると、北大西洋高緯度への熱輸送が減り、ヨーロッパや北大西洋周辺の気候が大きく変化する可能性がある。また、熱帯降水帯の位置が変わり、西アフリカ、南アジア、中南米などの降水パターンやモンスーンに影響する。これは、農業生産、水資源、食料価格、感染症リスク、移住、社会的不安定化に波及する。

生態系面では、北大西洋の海水温、栄養塩供給、海洋生産性、漁業資源が変化する可能性がある。AMOC は、単一地域の環境変化ではなく、世界の気候・水・食料システムを結びつける循環であるため、その変化は国際的な連鎖影響をもたらす。

3.7 日本への影響の波及

以上のティッピング要素の多くは、日本国内で直接起こるものではない。しかし、それらの影響は日本にも直接・間接に波及する。第一に、氷床の縮小による海面上昇は、日本の沿岸都市、港湾、工業地帯、交通インフラ、低平地に影響する。東京湾、伊勢湾、大阪湾などの沿岸域では、高潮や高波のリスクが高まり、防災・都市計画・港湾管理の前提を変える可能性がある。

第二に、暖水性サンゴ礁の劣化は、沖縄・南西諸島を含む日本周辺のサンゴ礁生態系、観光、漁業、沿岸防護に関わる。世界的なサンゴ礁劣化は、海洋生物多様性と漁業資源の変化を通じて日本に影響する。

第三に、永久凍土やアマゾンの劣化は、温室効果ガスの追加放出や炭素吸収能力の低下を通じて、世界全体の温暖化を増幅する。その結果、日本でも猛暑、豪雨、海面上昇、生態系変化などの気候リスクが高まる。また、アマゾンの劣化や AMOC の変化が世界の農業生産や水資源に影響すれば、食料や飼料、資源、エネルギーの国際価格や供給安定性を通じて、日本経済にも影響が及ぶ。

第四に、AMOC の変化や熱帯降水帯の変化は、日本の気候に直接単純な形で現れるとは限らないが、世界の気候パターン、農業生産、海洋生態系、国際物流、移住、地政学的安定を通じて、日本の安全保障と経済に影響する。日本は食料、エネルギー、資源を国際市場に大きく依存しているため、海外で生じる気候ショックは、価格高騰、供給不安、国際協力の負担増として波及しやすい。

したがって、ティッピングポイントの影響は、「遠い地域で起こる自然現象」として切り離して考えることはできない。氷床、サンゴ礁、永久凍土、アマゾン、AMOC の変化は、

それぞれ異なる経路を通じて、日本の沿岸防災、生態系、食料安全保障、経済、国際関係に影響しうる。日本にとっても、ティッピングポイントの回避は、地球環境保全だけでなく、国内の安全と社会経済の安定に関わる課題である。

4. まとめと含意

以上で見たように、世界平均気温はすでに産業化前比で約 1.4°C に達しており、1.5°C に極めて近い状態にある。2024 年には、単年平均で 1.5°C を超える水準に達した。これは、長期平均としての 1.5°C 目標を直ちに超過したことを意味するものではないが、世界がすでに危険な温暖化水準に近づいていることを示している。

本意見書では、比較的確信度と重要性が高い要素として、グリーンランド氷床、西南極氷床、暖水性サンゴ礁、永久凍土、アマゾン熱帯林、大西洋南北熱塩循環（AMOC）を取り上げた。これらは、いずれも温度閾値、変化の時間スケール、メカニズムが異なるが、共通して、いったん一定の水準を超えると、変化が自己増幅的に進み、人間社会の時間スケールでは回復が極めて困難になりうる。

暖水性サンゴ礁については、すでに熱的ティッピングポイントを超えつつあり、生態系機能の喪失が現在進行している。グリーンランド氷床と西南極氷床については、変化の完了には長い時間を要するが、閾値を超えると、長期的な海面上昇を止めにくくする可能性がある。永久凍土は、地域的な急速融解と炭素放出を通じて温暖化を増幅しうる。アマゾン熱帯林は、気候変動と森林伐採が重なることで、森林劣化が自己増幅的に進む可能性がある。AMOC は、発生確率や時期に大きな不確実性があるが、崩壊すれば、世界の気候、食料、水資源、生態系に広範な影響をもたらす。

これらの知見から導かれる第一の含意は、世界のどこで生じた人為的な温室効果ガス排出であっても、地球全体の気候システムに寄与するということである。二酸化炭素などの温室効果ガスは大気中で広く混合されるため、排出場所がどこであるかにかかわらず、追加的な排出は世界平均気温を上昇させる方向に働く。個々の排出量が世界全体に比べて小さいとしても、その排出は累積的な温暖化に寄与し、結果として地球システムをティッピングポイントに近づける効果を持つ。これは、気候変動が多数の主体による排出の累積によって生じる問題であることの当然の帰結である。

第二の含意は、ティッピングポイントを超えた場合、その影響は発生地域にとどまらず、世界全体に波及するということである。氷床の縮小は世界の沿岸域に海面上昇リスクをもたらす。永久凍土やアマゾンの劣化は、温室効果ガス放出や炭素吸収能力の低下を通じて、世界全体の温暖化を増幅しうる。AMOC の変化は、北大西洋周辺だけでなく、熱帯降水帯、モンスーン、食料生産、水資源に影響しうる。サンゴ礁の喪失は、熱帯沿岸地域の漁業、観光、沿岸防護、生物多様性を損なう。これらの影響は、貿易、金融、食料価格、移住、国際関係を通じて国境を越えて広がる。

したがって、ティッピングポイントの影響は、日本にとっても無関係ではない。氷床起

源の海面上昇は、日本の沿岸都市、港湾、工業地帯、低平地のリスクを高める。サンゴ礁の劣化は、沖縄・南西諸島を含む日本周辺の生態系、観光、漁業、沿岸防護に影響する。永久凍土やアマゾンの変化が温暖化を増幅すれば、日本でも猛暑、豪雨、海面上昇、生態系変化などのリスクが高まる。AMOC や熱帯降水帯の変化は、日本の気候に直接単純な形で現れるとは限らないが、世界の農業生産、食料価格、資源供給、物流、地政学的安定を通じて、日本社会にも影響を及ぼしうる。

第三の含意は、ティッピングポイントを超えてから、その原因や責任を問うのでは遅いということである。ティッピングポイントの本質は、変化が一度始まると自己増幅的に進み、後から止めることや元に戻すことが極めて難しくなる点にある。氷床の縮小や海面上昇は、いったん長期的に固定化されれば、将来世代がその影響を受け続ける。サンゴ礁や森林生態系の喪失は、回復に長い時間を要し、場合によっては元の状態に戻らない。AMOC のような大規模循環の変化も、発生後に人間社会が容易に制御できるものではない。

したがって、ティッピングポイントのリスクに対しては、被害が完全に顕在化してから対応するのではなく、予見可能な段階で温室効果ガス排出を削減し、閾値超過の可能性を低下させることが不可欠である。

参考文献

- Copernicus Climate Change Service. (2026). *Global Climate Highlights 2025*. Copernicus Climate Change Service. <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2025-was-third-hottest-year-record>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Lenton, T. M., Milkoreit, M., Willcock, S., Abrams, J. F., Armstrong McKay, D. I., et al. (eds.). (2025). *The Global Tipping Points Report 2025*. University of Exeter. <https://global-tipping-points.org/lana-download/global-tipping-points-report-2025-full-report/>
- Turetsky, M. R., Abbott, B. W., Jones, M. C., Anthony, K. W., Olefeldt, D., Schuur, E. A. G., Koven, C., McGuire, A. D., Grosse, G., Kuhry, P., Hugelius, G., Lawrence, D. M., Gibson, C., Sannel, A. B. K., & McGuire, A. D. (2020). Carbon release through abrupt permafrost thaw. *Nature Geoscience*, 13, 138–143. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0526-0>

- World Meteorological Organization. (2025). *WMO confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55° C above pre-industrial level*. World Meteorological Organization. <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level>