

2023.11.17

## “温暖化地獄”が現実のものとなる

山本良一

2023年の世界の気象は異常中の異常であった。6月、7月、8月、9月、10月の各月の世界の月間平均気温はいずれも観測史上最高を記録した。2023年の世界の年間平均気温も観測史上最高を記録することが確実視されている。BBCによれば10月2日までに1日の世界平均気温が産業化前より1.5°Cを超えた日は86日となり過去最高を記録した。コペルニクス気候変動サービス副所長のSam Burgessによれば11月17日、11月18日と1日の世界平均気温は初めて2°Cを突破したとのことである。9月の世界平均気温は1.75°C高く、11月に2°Cを突破する日が出るなど温暖化の加速は明らかである。Berkeley Earthの分析では2023年の世界の平均気温が1.5°Cを突破する確率は五分五分であるとのことであるが、2024年はその確率が高まることはエルニーニョ発生もあり確実である。大気中のCO<sub>2</sub>濃度、CH<sub>4</sub>濃度、N<sub>2</sub>O濃度も過去最高を記録している。CO<sub>2</sub>は417.9ppm、CH<sub>4</sub>は1923ppb、N<sub>2</sub>Oは335.8ppbであり、いずれも観測史上最高である。

世界の温暖化ガスの排出量は増加を続け、2030年には2010年比で8.8%増加すると見込まれている。パリ協定の1.5°C目標達成のために必要な2030年に2010年比で45%減からはほど遠い状況である。2023年7月27日に国連のグテーレス事務総長は「地球温暖化の時代は終わり、地球沸騰化の時代が到来した」と発言した。“モンスーンの雨に流される子供たち、炎から逃げる家族、そして灼熱のなかで倒れる労働者”と地球沸騰化の時代を形容している。9月に開かれた気候変動野心サミットで「人類は地獄の門を開いた」とグテーレス氏は述べている。IEAによれば主要な人間起源温室効果ガスであるエネルギー関連のCO<sub>2</sub>排出量は2022年に過去最高の368億トンに達した。地球沸騰化が感じられる時代になっても、その原因である人間起源の温室効果ガスの排出量を減らすことができていないのである。

2023年の世界の異常気象について見てみよう。2月にサイクロン・フレディは6日にオーストラリアの北部海上で発生し、インド洋を9000km横断しマダガスカル島を縦断しアメリカに到達して24日に消滅して世界を驚かせた。同じく2月に発生したサイクロン・ガブリエルはニュージーランドに上陸して80億ドルの損害を与えた。4月の南アジアでの熱波についてはWWA (World Weather Attribution) の研究によって気候変動がなければ事実上起こり得なかったと結

論されている。6月後半、北米上空のジェット気流の南部は完全に崩壊し異常な熱波を引き起こした。気候科学者のマイケル・マンは「率直に言ってゴッホの絵のように見える」と形容している。気候変動やエルニーニョも状況を悪化させた可能性が高く、米国南部がヒートドーム化している。地球の気候システムは常軌を逸していることは今や明らかで、気候危機は今私たちの目の前で起きているのである。

7月の熱波の状況を見てみよう。

ローマ	7月17日までに40°C、18日には43°Cに達する見込み 2007年の過去最高気温40.5°Cを上回る見込み イタリア保健省はローマやボローニャなど16都市に警報を発令 シチリア島及びサルデーニャ島で48°Cに達する恐れ
ギリシャ	中部のテーベで14日に44.2°Cを観測、アテネのアクロポリスは14、15日閉鎖
スペイン	17~19日にかけて熱波到来を警告、セビリア、コルドバ、グラナダで40°C アンダルシアやカナリア諸島で40°Cを上回る予想
チェコ	38°Cの可能性
アメリカ	アリゾナ州フェニックスで15日連続で43°Cを超える猛烈な暑さ カリフォルニア州デスバレーで16日の気温が54°Cに達する可能性
カナダ	山火事、過去最悪4000件超、10万平方キロ焼失 1月以降に発生した延びは4088件、15万人以上が避難を余儀なくされた 7月15日時点で燃え続けているのは906件で、うち70件は制御不能という
EU	干ばつがEUの半分を襲い食糧生産に懸念、27ヶ国の少なくとも42%で
トルコ	気温が40°C半ばに達した、アンタルヤで44°C
日本	16日、群馬県桐生市で39.4°Cを観測

WWAの分析でも7月の北米、ヨーロッパ、中国の熱波は気候変動により猛暑発生の可能性が高まっていたと結論されている。このような熱波は産業化前より2°C暖かい世界では2~5年毎に発生すると予測されている。

筆者は「温暖化地獄—脱出のシナリオ」(2007年)、「温暖化地獄 Ver.2—脱出のシナリオ、Tipping Point」(2008年)、「残された時間—温暖化地獄は回避できるか」(2009年)をダイヤモンド社より出版し、気候変動によって気候戦争の起こる恐れがあると社会に警告してきた。

世界の平均気温のランキングを見ると、10位まではすべて2010年以降である。1位は2020年、2位は2016年、2019年、2017年、2015年と続く。2023年は既に述べたように観測史上最高になることが確実視されている。この近年の温暖化の原因は人間起源の温暖化ガスであることがIPCCの第5次、第6次報告書で詳しく述べられている。地球表面に入射するエネルギーが放射するエネルギーに比べて温暖化ガスの影響でわずかながら増加していることが原因で

ある。このエネルギーの差をエネルギー・インバランスという。エネルギー・インバランスの値は温暖化ガスの大量放出により年々増加している。IPCC の第 6 次報告書では 20 年平均値として  $0.88\text{W/m}^2$  をあげている。2023 年 1 月の James Hansen らの論文では  $1.22\text{W/m}^2$  としている。分かりやすくするためにここではエネルギー・インバランスの値を  $1\text{W/m}^2$  としよう。そうすると現在の地球温暖化は全地球表面に 1 平方メートルあたり 1 W の豆電球がつけっ放しの状態になっていると表現することができる。この値は太陽から来るエネルギー、太陽定数  $1633\text{W/m}^2$  に比べると極めてわずかである。しかし 1 年間に全地球表面に入射するエネルギーは  $1\text{W/m}^2$  で計算すると  $1.6 \times 10^{22}\text{J}$  となり膨大である。これは 1 日当たり換算すると広島型原爆（爆発エネルギー）の 80 万個分に相当する。その 9 割が海を暖め、残りが陸と空気を暖めているのである。熱波に襲われているのは陸上ばかりではなく海洋もそうである。NOAA によれば世界の海洋の 40% 以上が海洋熱波に見舞われていると推定されている。北極・南極の氷の融解が増加し、氷による太陽光の反射が減少するためさらに温暖化が加速する結果となっている。1979 年～2021 年の世界の平均気温の上昇は  $0.19^\circ\text{C}/10$  年の速度であったのに対し北極圏の平均気温の上昇は  $0.73^\circ\text{C}/10$  年の速度であった。ロシア北部、ノヴァヤゼリヤ地域では他の地域に比べて 7 倍の速さで気温上昇が起きている。グリーンランド氷床の損失速度は 2350 億トン／年（2003～2018 年平均）であるが、2019 年には 5320 億トンの氷を失った。南極氷床では 1500 億トン／年の速度で氷が失われている（2002～2023 年）。

2023 年の地球の気候が異常中の異常であるのはいくつものデータに現れている。例えば 1 月から 9 月の北大西洋の海面温度はスパイク状に高く、2019 年の  $22.96^\circ\text{C}$  に対して  $23.53^\circ\text{C}$  を記録した。世界の海氷面積の最大値は 9 月に  $21.1$ （百万平方キロメートル）と 2022 年に比べて 100 万  $\text{km}^2$  も減少した。これは南極海氷面積が例年よりも大幅に減少したためである。カナダの森林焼失面積も例年に比べて 9 倍にも増加し、46 百万  $\text{m}^2$  エーカーに達した。

William Ripple らは「2023 年の気候状況レポート、未知の領域への突入」と題する論文を 10 月 24 日に公表した。その中で科学者たちは数十年にわたり一貫して警告してきたが残念ながら時間切れである。憂慮すべきことに相次ぐ気候記録が破られ、非常に悲惨な場面が繰り広げられていると述べている。

国連から相互に連結した災害リスク報告書（The Interconnected Disaster Risks Report）が公表されている。耐えられないほどの暑さについては、2000 年から 2019 年までに暑さによる年間超過死亡者は 50 万人、人間が生存できる最大湿球温度は  $35^\circ\text{C}$ 、年間 20 日以上、致命的な気象にさらされる人口は世界の 30% としている。地下水の枯渇については世界最大の帯水層が補充されるよ

りも早く枯渇しつつあるのが 37 のうち 21 個であること、地下水を淡水源として利用している人口は 20 億人と評価している。山岳氷河の融解も進んでいて、2000 年から 2019 年の間に失われた氷は 2670 億トン、2100 年までに失われると予想される氷河は 50%、氷河後退によって悪影響を受ける人口は 19 億人としている。さらに深刻なのは保険のかけられない未来について言及していることである。1970 年以降、世界的に災害コストが増加し 7 倍となっている。2022 年の災害による世界的な経済損失は 3130 億ドルに達している。2030 年までに住宅保険に加入できなくなるオーストラリアの住宅戸数は 520,940 と計算している。

Timothy Lenton らは地球温暖化による人的コストの定量化と題する研究を Nature Sustainability に公表している。気候変動のコストを「人間の気候ニッチ」の外側に取り残された人の数として評価している。すでに約 6 億人以上の人々がこのニッチの外に追い出されている。地球温暖化を 2.7°C から 1.5°C に下げると前例のない暑さ（年間平均気温 29°C 以上）にさらされる人口が最大 5 分の 1 に減少する。1688t の CO<sub>2</sub> の排出によって 1 人の人間が新たに気候ニッチの外側に追い出されると計算している。すなわち CO<sub>2</sub> の排出はモラルの問題であり、気候正義の問題でもある。

実は気候はある転換点を超えると急激に変化し得ることが知られている。気候ティッピング・ポイント (Climate Tipping Point) である。2022 年 9 月に McKay らはこれまでの 200 余りの研究を再評価し、既に 5 つの気候転換点が超えられている可能性があるという論文を公表した。既に突破された可能性のある気候転換点は、グリーンランド氷床崩壊 (GIS)、西南極大陸氷床崩壊 (WAIS)、熱帯サンゴ礁枯死、北方永久凍土の突発的融解、ラブラドル海対流崩壊 (LABC) である。LABC 崩壊は大西洋子午線逆転循環 (AMOC) の崩壊より前に起こる。McKay らの評価では世界の平均気温の上昇が産業化前より 1.5°C を超えるとこれらのうちの LABC を除く 4 つの気候転換点 (CTP) を突破する可能性が高い。最近の予測では、このまま温暖化ガスの大量放出が続けば 2030 年までに世界の平均気温はパリ協定の 1.5°C 目標が突破されると 4 つの CTP を突破する可能性が高い (likely) に、6 つの CTP を突破する可能性がある (possible) となる。2°C 目標が近くなると 6 つの CTP が likely に 4 つの CTP が possible となる。

CTP の悪影響については次のように McKay はまとめている。

1. グリーンランド氷床と西南極大陸氷床の崩壊により海面水位上昇が増幅される
2. 永久凍土融解、アマゾン熱帯雨林枯死により地球温暖化が増幅される
3. アマゾン熱帯雨林枯死とサンゴ礁枯死により生物多様性が失われる

4. 大西洋子午線逆転循環 (AMOC) / ラブラドル海対流崩壊により地域的寒冷化
5. 北極海氷消失や AMOC 崩壊による気象パターンの乱れ
6. 氷河からの淡水供給の消失
7. 森林移動や永久凍土崩壊による北方森林のランドスケープの乱れ

ここで AMOC についての最近の研究について紹介しておきたい。主として Stefan Rahmstorf の解説による。AMOC は大西洋熱塩循環とも呼ばれ、グレートコンベヤーベルトの一部である。その海流は大規模でアマゾン川の 100 本分ともミシシッピ川の 1000 本の規模とも言われている。毎秒 2000 万立方メートルの海水を移動させている。1980 年代以降、気候科学者は地球温暖化の結果としてこの流れが弱まる、あるいは停止する可能性があるかと警告してきた。AMOC は最近の地球の歴史の中で、例えば最終氷河期などで繰り返し重大な不安定を示した。AMOC が停止すると地域的寒冷化を招くことが知られている。これはハリウッド映画「デイアフター・トゥモロー」の主題ともなった。最近の研究によれば AMOC は過去 1000 年間のどの時期よりも弱くなっている。地球は全体として温暖化しているが、グリーンランド島の南部の大西洋海域だけは寒冷化し (Cold Blob: 冷たい塊)、一方北米沿岸沖では特に強い温暖化が見られている。これはメキシコ湾流 (AMOC の一部) の弱体化による熱輸送の減少とグリーンランド氷床融解による大量の淡水の流入によって説明できる。IPCC の第 6 次報告書では今世紀中の AMOC 崩壊のリスクは小さいと結論しているが、現在の標準的な気候モデルはグリーンランド氷床崩壊による大量の淡水流入の効果を過小評価しているのではないかとの批判がある。

2023 年 7 月にコペンハーゲン大学の研究者による AMOC 崩壊のリスクに関する新たな研究が公表された。彼らは 1870 年から 2020 年までの大西洋の海面水温を統計的に分析している。AMOC について分散の増加 (回復力の喪失) と自己相関の増加 (重大な減速) の分析により 2025 年と 2095 年の間に AMOC が停止するリスクがあると結論している。早ければ 2025 年にも停止する可能性があるということで “The Day After Tomorrow” ではなくて “Tomorrow” ではないかとも評されている！専門家の見方としては AMOC 崩壊のリスク判定にはより長期にわたる AMOC の観測データが必要であるというものである。

しかし Stefan Rahmstorf は他の研究も考慮に入れば 21 世紀中の AMOC 停止のリスクは低くないとしている。それでは AMOC 崩壊のインパクトはどのようなものであろうか。OECD の CTP についての報告書を見てみよう。

#### (1) 熱帯降雨帯の南方への移動

アフリカおよびアジアのモンスーンの弱体化、インドでは降雨量半減、南半

### 球のモンスーンの強化

- (2) ヨーロッパと北アメリカはそれぞれ  $3^{\circ}\text{C}\sim 8^{\circ}\text{C}$  及び  $1^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$  気温が低下する  
北半球は北アメリカを除いて乾燥化、北アメリカでは強力な嵐が発生する、  
北アメリカの東海岸沿いの海面水位が大幅な上昇 ( $\sim 1\text{m}$ )
- (3) AMOC 崩壊は世界の食料生産に深刻な影響を及ぼす、小麦、トウモロコシ、  
コメの生産 (グローバルカロリーの 50% を供給) に影響が出る  
AMOC 崩壊により小麦、トウモロコシの生産適地は半減する

地球温暖化が進行する中での AMOC 崩壊が起こるとその後地球気候はどのようになるのであろうか。温暖化ガスの放出が続いた場合には数十年で元の温暖化コースに復帰するという (Sybren Drijfhout)。AMOC 崩壊により地球規模の寒冷化が 10~15 年にわたって続くが、その後全球平均気温の傾向は逆転する。CTP についてケンブリッジ大学名誉教授の Michael Edgeworth McIntyre が面白い指摘をしている。クジラやイルカの祖先は 5600 万年前に地上の嵐を避けて海洋に適応したのではないかというのである。人類は AMOC 崩壊にどのように適応するのであろうか。

Richard Wood らはインパクトは高いが起こる確率は低い気候リスクに対して対応手段を整備しておかなければならないと説いている。ここで High Impact-Low Likelihood (HILL) な気候事象としては次の 4 つが取り上げられている。

- a. 極点気象の予想を超えたイベント
- b. グローバル気候変動の水準や速さが IPCC の予想を上回る場合
- c. 気候システムの転換点を超えるような事象
- d. 予期せぬ人間行動によって引き起こされた気候変化

これら 4 つの場合のそれぞれに対して適応策の道具箱を用意しておかなければならない。

地球システムの不安定化によって人間社会の方にもネガティブな社会的転換が起こる可能性がある。Viktoria Spaiser らはティッピング・エレメント (転換要素) として、社会心理学的システム、人間居住、政治システム、金融市場を取り上げている。社会心理学的システムのティッピング・ポイント (転換点 TP) としてアノミーと過激化・両極化を、人間居住については移住、政治システムについては紛争、金融市場については金融不安定化を考えている。ネガティブな社会的転換のカスケード突破が気候転換点の突破によって誘起され得ると考えているのである。

気候崩壊によって文明崩壊が起き得るとする研究も行われている。気候崩壊

により社会崩壊が起こる。社会崩壊は人口減少と組織崩壊によって起こる。人口減少は自然死、紛争死、移住によって起こり、組織崩壊は経済的価値の消失、政治的構造の消失、社会的文化的規範の消失によって起こる。極度の温暖化地獄に陥る地域は脆弱国家の分布に重なっているのが問題である。

実は21世紀における文明崩壊の可能性は半世紀前の成長の限界モデルで予想されていたことであった。現在の世界経済はBAU2で進行していて2040年頃に崩壊するという(Gaya Herrington,2022年)。成長の限界モデルは50年後も予知能力があるというのである。社会の優先順位を資源消費から地球的境界の内側での包摂的な社会福祉へシフトしなければならないことが説かれている。

もちろん人類は文明崩壊を座視することはあり得ない。気候転換点が突破され、地球気候が制御不能になる前にあらゆるポジティブな社会転換を図らなければならない。カーボンニュートラル、サーキュラーエコノミー、ネイチャーポジティブを目指して直ちに行動を起こすことが強く求められている。