

Vane 原稿

「気候非常事態—気候がティッピング・ポイント（転換点）を超えた、  
今こそカーボンニュートラルのアクションプランを」

山本良一 東京大学名誉教授

気候システムがティッピング・ポイントを超えることが気候非常事態 (Climate Emergency) だと考えられる。先ず WMO (世界気象機関) の報告書 (United in Sciences 2022) によって地球温暖化の現状を復習しておこう。CO<sub>2</sub> 濃度は Mauna Loa で 2022 年 5 月に 420.99ppm となり昨年の 419.13ppm より増加している。化石燃料由来の CO<sub>2</sub> 排出量は 2020 年に世界的なコロナウィルスによるロックダウンで 5.4%低下したが、その後社会経済活動の回復に伴い増加し、2022 年 1 月～5 月の世界の排出量は 2019 年の同時期の排出量を 1.2%上回った。2015 年～2021 年の 7 年間の世界の平均気温は観測史上の最高温度を記録し、2018 年～2022 年 (6 月まで) の平均気温は産業化前平均 (1850～1990 年) と比べて  $1.17 \pm 0.13^{\circ}\text{C}$  高い。2022～2026 年の各年の平均気温は  $1.1 \sim 1.7^{\circ}\text{C}$  の範囲と予測され今後 5 年のうち 1 年がパリ協定の目標値  $1.5^{\circ}\text{C}$  を超える確率は 48%と計算されている。現在の各国の気候政策では今世紀中に世界の平均気温は 66%の確率で  $2.8^{\circ}\text{C}$  上昇 ( $2.3 \sim 3.3^{\circ}\text{C}$  範囲) すると予測されている。すなわち私たちは間違った方向に進んでいるのである (We are heading in the wrong direction)。世界人口の 55%の 42 億人が都市に居住し、世界の CO<sub>2</sub> 排出量の 70%を占めている。2050 年までに 970 都市に居住する 16 億人が 3 ヶ月間、平均気温少なくとも  $35^{\circ}\text{C}$  にさらされると予測されている。都市は気候変動との戦いにおける主戦場なのである。

2022 年 9 月に雑誌 Science に最新の論文が掲載され、ティッピング・ポイントを再評価したところ  $1.5^{\circ}\text{C}$  を上回る地球温暖化で複数のティッピング・ポイントが突破される可能性が高いと結論された (参考文献 1)。筆者は 2007 年～2009 年にかけて『温暖化地獄』3 部作をダイヤモンド社から出版した (参考文献 2)。2008 年に出版した 2 冊目の本では当時論文が公開されたばかりのティッピング・ポイントについて詳細に紹介している。本稿ではこの 15 年間の間に気候のティッピング・ポイントについて科学的理解がどのように深められたかについて、また気候政策上の意義について述べてみたい。

ティッピング・ポイント (気候転換点) に本当に接近しているとすれば、それは気候非常事態であり、気候非常事態宣言を発出して市民全体で危機意識を共有し、カーボンニュートラル実行計画を作成して社会を挙げて実施しなければならない。2021 年 6 月に日本政府はグリーン成長戦略を打ち出した。2050 年カーボンニュートラル宣言をする自治体も 785 を超えたが、気候非常事態宣言

を発生した自治体は 124 にとどまっている。

ティッピング・ポイント (Tipping Point) の言葉のティッピングとはどんな意味だろうか。ティッピング・ポイントはもともとマルコム・グラッドウェルが使った言葉である。あるアイデア、流行、社会的行動がしきい値を超えると一気に野火のように広がることを指している。米国北東部の比較的古い都市において、アフリカ系アメリカ人の人口比率が約 20%に達すると、その地に残っていた白人が一斉に市外へ脱出することを社会学者が町が傾く (tip) と形容したのが起源とされる。その後ほんのわずかの地球の表面温度 (世界の年間平均気温) の変化により地球気候のサブシステムが急激に状態変化を起こすことにティッピングという言葉が使用されるようになった。2005 年 9 月にベルリンの英国大使館で英独ワークショップが開催されティッピング・ポイント (気候転換点) のある地球気候システムの部分系 (ティッピング・エレメンツ) について討議が行われた。Lenton と Schelnhuber らは今世紀に問題になりそうな次のようなティッピング・エレメンツを取り上げた。

- ◆ 夏の北極海氷の消失
- ◆ グリーンランド氷床の融解
- ◆ 北方林の枯死
- ◆ 大西洋南北熱塩循環
- ◆ サハラの新緑化と西アフリカモンスーンのシフト
- ◆ アマゾン熱帯雨林の枯死
- ◆ エルニーニョ南方振動
- ◆ 西南極大陸氷床の崩壊

この中でも夏の北極海氷の消失は既にティッピング・ポイントを超え、グリーンランド氷床の融解もティッピング・ポイントに近いと考えられた。40 年前には 750 万平方キロメートルあった 9 月の北極海氷面積が 2007 年 9 月 16 日に 413 万平方キロメートルまで減少し、当時の衛星観測史上の最小値を記録したことがその結論の背景にある。

その後 Lenton と Schelnhuber らの論文以降、200 余りの論文が発表され、それらを基にティッピング・ポイントの詳細な再評価を行ったのが 2022 年 9 月に公表され David Armstrong McKay らの研究である (参考文献 1)。その結果世界的に重要なティッピング・ポイント 9 個と地域的なティッピング・ポイント 7 個が取り上げられた。ティッピング・ポイントの値の小さい順 (世界の平均気温の上昇と共に早く突破される順) に示すと次の通りである。

- ◆ グリーンランド氷床崩壊
- ◆ 西南極大陸氷床崩壊
- ◆ 熱帯サンゴ礁枯死

- ◆ 北方永久凍土の突発的融解
- ◆ バレンツ海氷の消失
- ◆ ラブラドル海流崩壊
- ◆ 山岳氷河消失
- ◆ 西アフリカモンスーンのシフト
- ◆ 東南極大陸氷河崩壊
- ◆ アマゾン熱帯雨林枯死
- ◆ 北方永久凍土崩壊
- ◆ 大西洋海流崩壊
- ◆ 北方森林枯死一南
- ◆ 北方森林拡大一北
- ◆ 冬の北極海氷崩壊
- ◆ 東南極大陸氷床崩壊

ここで **Climate Tipping Point** (気候転換点) を **CTP** と略記することにする。

表1にティッピング・ポイント(転換点)の最良評価値、その範囲、タイムスケールの最良評価値を示した。McKayらの原論文には更に詳細なデータが示されている。2007年時点では取り上げられたティッピング・ポイントと2022年に再評価されたティッピング・ポイントを比較するといくつか入れ替わっていることが分かる。これはティッピング・ポイントそのものの定義がまだ十分に定まっていないことにもよる。

McKayらはティッピング・ポイントを次のように定義している。小さな付加的な強制力がシステムに作用してある観測時間後に自己永続的な質的な変化を引き起こす臨界点(しきい値)のことをティッピング・ポイントと呼んでいる。しきい値を超えると自己永続的な変化が起こり、非線形的インパクトはその後強制力が働かなくとも反転することが困難になる。自己永続化(**Self-perpetuating**)はシステム内の正のフィードバックによって起こり、それが十分に強い場合には暴走(**runaway**)条件に達する。しかしほとんどの正のフィードバックはこの条件を満たさず最初の強制力の効果を限定的に増幅するだけである。McKayらはティッピング・ポイント後の状態変化に非可逆性を求めず、タイムスケールも数世紀から1万年までも含めてティッピング・ポイントを議論している。

空間スケールについては少なくともサブ・コンチネンタル(～1000 km)の規模で起こるものを世界的に重要なCTPとして分類している。詳細は省くがMcKayらの研究ではCTPをIPCC第6次報告書よりも広く捉えて議論している。IPCC第6次報告書ではティッピング・ポイントに関心を持つ理由として以

下の 14 を挙げている。

- ◆ アマゾンの森林枯死
- ◆ 北方林枯死
- ◆ 氷床
- ◆ 氷河
- ◆ グローバルな海洋温度
- ◆ 海面水位上昇
- ◆ 海洋循環 (AMOC)
- ◆ 永久凍土の炭素
- ◆ 北極海氷
- ◆ 北半球の雪のカバー
- ◆ グローバルモンスーン
- ◆ エルニーニョ南方振動 (ENSO)
- ◆ メタンクレスレート

意外だったのは夏の北極海氷消失が CTP から除外されたことである。2007 年 9 月には 413 万平方キロメートルにまで面積が減少した北極海氷は既にティッピング・ポイントを超えたのではないかと疑われていたのである。2012 年に 342 万平方キロメートルまで減少したがその後増減を繰り返し 2022 年 9 月の北極海氷の平均面積は 487 万平方キロメートルである。これは 1981~2010 年の 9 月の北極海氷の平均面積より 154 万平方キロメートル小さい。しかし減少の傾向は直線的であってこれまでに急激な減少は見られないのである。北極海氷の厚さや体積の減少も報告されている。この減少は氷-アルベドフィードバックで増幅されているのであるが、十分に強くなく暴走的海氷消失を防いでいるのである。最新のコンピューターシミュレーションによれば世界の平均気温が 1.5°C を超えると、9 月の北極海氷には時折氷の無い (ice-free) 状態が出現し、2°C を超えるとそれが普通になり、3°C 付近で永久に無くなるという結果が得られているが、しきい値は特定できないのである。そのため夏の北極海氷消失はしきい値のないフィードバックの CTP に分類されたのである。また北極海氷が消失すると世界の平均気温は 0.25°C 上昇することが予想されている。十分な証拠がなく不確実として CTP から除外されたものには、この他にインドの夏のモンスーン、エルニーニョ南方振動、北極ジェット気流 (JETS) などがある。北極圏の温暖化増幅により北極ジェット気流が不安定化し、蛇行して北半球中緯度地方に極端な気象をもたらしているという仮説が提唱され、Steffen らによって CTP に分類された。そのティッピング・ポイントは 3~5°C とされた。しかしその証拠が示されなかったのと長期間のデータセットにより相関が認められなかった。IPCC 第 6 次報告書でも専門家の間で合意は低いと判定されており、

McKay からも JETS をティッピング・エレメンツから除外している。

さて表 1 を見ると既にしきい値の範囲の下限を超えている CTP が 5 つある。現在世界の平均気温は産業化前と比べて 1.1°C 高いことを思い起そう。グリーンランド氷床崩壊、西南極大陸氷床崩壊、熱帯サンゴ礁枯死、北方永久凍土の突発的融解、ラブラドル海流崩壊である。これは何を意味するのか。既にティッピング・ポイントを超えたかも知れないと思わせる現象が現在起きているということである。McKay らは CTP を超えた可能性がある (Possible) と CTP を超えた可能性が高い (Likely) の 2 つの言葉を使い分けている。Possible は世界の平均気温がしきい値の温度範囲の下限を超えた場合に使用し、Likely は世界の平均気温が彼らが計算したしきい値の最良の評価値を超えた場合に使用している。周知のように IPCC では Likely は発生確率が 66% 以上の場合に用いられている。パリ協定の 1.5°C 目標に達すると 4 つの CTP が Likely となり突破された可能性が高いことになる。これが本当なら人類にとって恐るべきことである。特にグリーンランド氷床崩壊、西南極大陸氷床崩壊により海面水位の上昇は今世紀中に数メートルに達することが不可避的になるからである。現在の各国の表明している気候政策では今世紀中に世界の平均気温が 2~3°C 上昇する可能性がある。

以下に特に重要なティッピング・エレメンツについて McKay らの論文を基に紹介しよう。

### グリーンランド氷床崩壊 Greenland Ice Sheet (GrIS)

グリーンランド氷床 (GrIS) の面積は 173 万平方キロメートル、氷の厚さは平均で 1,515 メートル、地球上の淡水の 10% を占めていると言われる。全て融解すると世界の海面水位を 7 メートル上昇させるほどの氷がある。その一部では既に自己永続的フィードバックが働き不可逆的な氷床損失が起きており、これは遂には 3.5 メートルの海面水位の上昇を引き起こすと考えられている。McKay らによればティッピング・ポイントの最良評価値は 1.5°C (0.8~3°C) である。グリーンランド氷床は普通 6 月から 8 月にかけて融解するが、2022 年は 9 月初めに 59.2 万平方キロメートルの面積の氷河が融解していて科学者を驚かせた。これはグリーンランド氷床崩壊のティッピング・ポイントを既に超えていることを示している可能性がある。

### 南極大陸氷床

南極大陸は周知のように氷の大陸で全部融解すると海面水位を 70 メートル上昇させる膨大な氷を貯蔵している。東南極大陸氷床と西南極大陸氷床では氷の

厚さ、安定性に大きな差がある。氷の平均の厚さは東南極大陸では 2,638 メートルに対して西南極大陸では 1,781 メートルである。この違いは氷床の下にある岩盤の標高が大きく異なっていることに由来している。東南極大陸では平均 15 メートルであるのに対して西南極大陸では何とマイナス 440 メートルでそのほぼ全域が海面下にあるのである。したがって氷床が岩盤に接地している線（接地線）が後退すると氷床不安定化への強い正のフィードバックが働くのである。西南極大陸のスウェイツ氷河の大崩壊は不可避であると考えられている。西南極大陸氷床崩壊により海面水位は 5 メートル上昇すると見積もられている。

### 東南極氷底盆地氷床崩壊 East Antarctic sub-glacial basins (EASB)

長年、東南極大陸氷床はきわめて安定と考えられてきた。東南極大陸氷床 (EASI) のいくつかの氷底盆地、特に Wilkes、Aurora、Recovery 盆地の氷河は海氷崖不安定性 (MISI=Marine ice cliff instability) によって影響を受けることが観測データやモデルによって示されている。MISI では浮いている棚氷の崩壊によって氷河の海岸端に不安定な氷の崖が生じ、それが内陸へ急速に後退することで氷床損失が起こる。しかしこのプロセスがどれ程度重要なのかについては議論が続いている。

2022 年 3 月 15 日からわずか 2 週間で東南極大陸の 1200 平方キロメートルのコンゴ氷が崩壊して科学者たちを驚かせた。当時大気の流れの影響で棚氷周辺の気温は 12°C となり平年気温を 40°C 上回ったこともその原因の 1 つと考えられている。別の研究では 1992~2017 年に東南極大陸氷床は毎年平均して正味で 50 億トンの氷を失っており、地球温暖化の影響が既に及んでいると考えられている。McKay らは EASB のティッピング・ポイントの最良の評価値を 3°C (2~6°C) としている。これは世界的に重要な CTP に分類されている。

### 北極、南極以外の山岳氷河消失 Extra-polar mountain glaciers (GLCR)

低緯度にあるアルプスの氷河は個々の質量バランス・しきい値と標高フィードバックを持っている。しかしいくつかのキーとなる地域ではある地球温暖化の水準において大規模な同期した氷河の消失が予想されている。ヨーロッパの山岳氷河は 1°C の温暖化でピークウォーターとなり 2°C でほとんど消失すると考えられている。1.5~2°C の地球温暖化でほとんどの山岳氷河は最終的に失われるだろう。アジアの高山の氷河は他の場所の氷河に比べて長持ちするが 2°C でピークウォーターとなり南アジアに大きな影響を及ぼすことが憂慮される。McKay らは低緯度の山岳氷河を地域的なインパクトを及ぼすティッピング・エレメントに分類している。そのティッピング・ポイントの最良の評価値は 2°C (1.5~3°C) である。タイムスケールは 200 年 (50~1000 年) と評価された。

## ラブラドル海対流崩壊 Labrador Sea Convection (LABC)

北西大西洋のラブラドル海の大対流は温暖化によって引き起こされる階層化により突然崩壊することがいくつかのモデルで示されている。高緯度で冷却された塩分密度の高くなった海流は降下し深層海流を形成する。自己励起対流フィードバックで維持される 2 つの安定状態は深い対流がある状態と無い状態である。LABC は sub-polar gyre (SPG、サブポーラー循環) の一部である。SPG 崩壊は AMOC 崩壊より早く起こる。SPG 崩壊により北大西洋に地域的寒冷化 2~3°C をもたらすが地球全体については 0.5°C の寒冷化にとどまり、ジェット気流の北方への移動とヨーロッパに極端気象をもたらす。SPG のティッピング・ポイントは 1.8°C (1.1~3.8°C)、タイムスケールは 10 年 (5~50 年) と評価された。

## 大西洋海流崩壊 (AMOC)

Atlantic meridional overturning circulation (AMOC)、大西洋南北熱塩循環はグローバルコンベヤーベルトとも呼ばれ熱帯の熱を緯度の高い北方に運ぶなどの役割をしている。そのため北西ヨーロッパやアメリカ、カナダの東海岸の気候が高緯度にもかかわらず穏やかになっている。ところがグリーンランド氷床の融解により真水が北大西洋に注ぎ込まれることによって海流の塩分密度が薄まり深層循環が阻害され循環の弱화가指摘されている。AMOC は過去 50 年間で 15% 弱化したと報じられている。AMOC が停止すると大西洋北部は熱帯からの熱が供給されなくなるため地域的に寒冷化することが予想される。これが 2004 年に公開された映画“デニアフター・トゥモロー”のモチーフとなっている。今回の研究では AMOC のティッピング・ポイントの最良の評価値は 4°C (1.4~8°C) でタイムスケールは 100 年 (15~300 年) とされている。

## アマゾン熱帯雨林枯死 (AMAZ)

アマゾン熱帯雨林 (AMAZ) には 1500~2000 億トンの炭素が貯留されており、歴史的に人間起源の CO<sub>2</sub> 排出の強力な吸収源とされてきた。しかし 1990 年代以降、この吸収源は劣化しつつあり、気候変動に誘起された乾燥化傾向、干ばつ、南部や東部での森林伐採などにより全体として炭素の排出源になりつつある。

降雨は更に減少すると予想され、乾期も温暖化に伴い森林の南部と東部で長期化し、この傾向を悪化させる可能性が高い。1970 年代以降、17% のアマゾン熱帯雨林が伐採され、2019 年以来森林伐採は加速している。アマゾン熱帯雨林は平均して降雨量の 3 分の 1、場所によっては 70% をリサイクルしている。し

かし森林を失うと自己励起型の乾燥化が生じ劣化したあるいはサバンナのような状態に変化してしまう。AMAZ のティッピング・ポイントの最良の評価値は  $3.5^{\circ}\text{C}$  ( $2\sim 6^{\circ}\text{C}$ ) である。森林伐採の効果を入れれば、このしきい値は低下する。タイムスケールは 100 年 ( $50\sim 200$  年) と評価された。40%の枯死により 300 億トンの炭素が放出され、世界の平均気温は  $0.06^{\circ}\text{C}$  (地域的には  $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ ) 上昇すると見積もられている。Thomas Lovejoy や Carlos Nobre らの研究によれば 20~25%の森林伐採によりサバンナのような状態に変化してしまうとされている。

### 北方永久凍土崩壊 Boreal permafrost

永久凍土には  $\text{CO}_2$  や  $\text{CH}_4$  として放出される膨大な炭素が貯蔵されている。その量は 10,350 億トンと見積もられている。永久凍土の融解は 3 つに分けて取り扱われている。

- a. ゆっくりとした融解 gradual thaw (PFGT)  
しきい値なしのフィードバック
- b. 突発的な融解 abrupt thaw (PFAT)  
地域的にインパクトを与えるティッピング・エレメンツ
- c. 崩壊 collapse (PFTP)

PFAT のティッピング・ポイントの最良の評価値は  $1.5^{\circ}\text{C}$  ( $1\sim 2.3^{\circ}\text{C}$ )、PFTP のティッピング・ポイントの最良の評価値は  $4^{\circ}\text{C}$  ( $3\sim 6^{\circ}\text{C}$ ) とされている。

### 北方針葉樹林 (タイガ) の枯死及び拡大 Boreal forest

アルベドと火災によるフィードバックがあり、2 つの CTP を考える。

- a. 南端における突破的な枯死 (BORF)
- b. 北端における突発的な拡大 (TUND)

BORF と TUND のティッピング・ポイントの最良の評価値はそれぞれ  $4^{\circ}\text{C}$  ( $1.4\sim 5^{\circ}\text{C}$ )、 $4^{\circ}\text{C}$  ( $1.5\sim 7.2^{\circ}\text{C}$ ) である。BORF の 50%の枯死で 520 億トンの炭素が放出される一方で TUND の 50%の拡大で 310 億トンの炭素が吸収される。

### ティッピング・ポイントの気候政策上の意義

世界の平均気温が  $2^{\circ}\text{C}$  上昇するとアマゾン熱帯雨林枯死や大西洋海流崩壊もしきい値を超える可能性がある (Possible)。ここで注意すべきはしきい値の評価は他の CTP との相互作用を考慮していないことである。所謂カスケード (玉突き) 作用を考慮するとしきい値の最良評価値が小さくなることが考えられる。そうすればアマゾン熱帯雨林枯死や大西洋海流崩壊のティッピング・ポイントを超えるのはさらに早まるかも知れない。

世界の平均気温がパリ協定の 2°C 目標を突破すると夏は北極海氷が消失し、陸上の炭素吸収源は炭素排出源に変わる。現在の各国の気候政策が改善されなかった場合 2100 年までに世界の平均気温が 4°C 上昇することもあり得る。3°C で大規模な永久凍土の崩壊、3.5°C 以上でアマゾン熱帯雨林の枯死、4°C 以上でタイガの移動、不確実性は高いが北大西洋海流崩壊、4.5°C 以上で冬の北極海氷が消失する。今世紀中に起こる可能性は無いが 5°C 以上の状態が数世紀続くと東南極大陸氷床が崩壊して遂には海面水位は 55 メートル高くなる。このように見てくるとあらためてパリ協定の 1.5°C 目標の達成の重要性が再認識される。既に述べたように 1.5°C 目標は現状のように排出量が非常に多い場合は早ければ 2020 年に突破され、2°C 目標は 2040 年代に突破されてしまうのである。

ここで注意しなければいけないのは、世界の平均気温が一時的に 1.5°C を超えて 4 つのティッピング・ポイントの突破が **Likely** になったとしても直ちに氷床が大崩壊して海面水位が急上昇してくる訳ではないことである。新たな状態に移るには相当な時間がかかるためである。したがってその後急速に世界の平均気温の上昇を 1.5°C よりも低下させることが出来れば最悪の影響を回避することができるのである。このような意味で人類にはまだ希望がある。

McKay らの論文が公表されると問題の重要性から様々なメディアで一斉に報道された。論文の筆頭著者のエクセター大学の McKay はこの研究は **Good First Step** (最初の第一歩としては良い研究) だと述べている。ティッピング・ポイントモデルの相互比較プロジェクト研究 (TIPMIP) を推進すべきだとも述べている。

2022 年 5 月 25 日に「気候ティッピング・ポイント、不可逆性と社会、環境、経済への影響」についてスイスで会議が開催されベルン大学の Thomas Stocker は IPCC へティッピング・ポイントについての特別報告書の作成を提唱し、スイス政府が IPCC に提案した。IPCC の第 7 次報告書の作成作業の一環として行い、2026 年までの公表を求めている。Stocker はティッピング・ポイントの科学はまだ未熟であると述べている。しかし過去 15 年間に公表された CTP 研究を総括した今回の研究は画期的でありティッピング・ポイント研究のティッピング・ポイントと評価する声もある。

人間社会は環境・生態系に依存している以上、環境・生態系の方がティッピング・ポイントを超えればその影響は人間社会の方に及ぶことは必至である。気候関連のティッピング・ポイントが大量移住や社会的混乱の引き金をどのように引くのかについても研究がなされている。気候のティッピング・ポイントに対して社会のティッピング・ポイントが問題である。気候がティッピング・ポイント

を超える前に社会の方がティッピング・ポイントを超えるという説もあるが十分研究されてはいない。気候にティッピング・ポイントを超えさせないために社会の構造的転換を図ろうとする研究が行われている。9月12～14日には英国エクセター大学で「気候危機からのポジティブな社会転換へのティッピング・ポイント」を主題としたシンポジウムが Tim Lenton と Johan Rockstrom によって開催された。

表1：気候ティッピング・ポイント  
(McKay らによる参考文献1より山本が作成)

気候ティッピング・ポイント	しきい値の最良評価値(°C)	しきい値の範囲(°C)	タイムスケール最良評価値(年,y) k=1000
グリーンランド氷床崩壊	1.5	0.8~3.0	10ky
西南極大陸氷床崩壊	1.5	1.0~3.0	2ky
熱帯サンゴ礁枯死	1.5	1.0~2.0	10
北方永久凍土の突発的融解	1.5	1.0~2.3	200
パレンツ海水消失	1.6	1.5~1.7	25
ラブラドル海流崩壊	1.8	1.1~3.8	10
山岳氷河消失	2.0	1.5~3.0	200
西アフリカモンスーンのシフト	2.8	2.0~3.5	10
東南極大陸氷床崩壊	3.0	2.0~6.0	2ky
アマゾン熱帯雨林枯死	3.5	2.0~6.0	100
北方永久凍土崩壊	4.0	3.0~6.0	50
大西洋海流崩壊	4.0	1.4~8.0	100
北方森林枯死—南	4.0	1.4~5.0	50
北方森林拡大—北	4.0	1.5~7.2	50
冬の北極海氷崩壊	6.3	4.5~8.7	20
東南極大陸氷床崩壊	7.5	5.0~10.0	10ky 以上

このティッピング・ポイントの表を見て気が付くのは、日本周辺にティッピング・ポイントが見当たらないことである。地球の気候システムがティッピング・ポイントを突破すればその影響は日本にも及ぶことは勿論であるが、日本はその気候状態の転換の現場からは離れているのである。これが日本人の気候危機に対する感受性を鈍らせている一因かも知れないと筆者には思える。

エクセター大学での討論では脱炭素社会への転換を促すポジティブなティッピング・ポイントについても議論された。さて Otto らは社会的ティッピング・ポイント (STP=Social Tipping Point) の候補と臨界的なしきい値としては次のようなものを挙げている (参考文献 3)。

気候政策の強化	暮らしから化石燃料の除去
情報フィードバック	製品・サービスのカーボンフットプリントの見える化
金融市場	化石燃料産業の市場価値が他に比べて低下
エネルギーの生産・貯蔵	再エネコストが化石燃料と比べて減少する
知識システム	マイノリティの世界観が指導者のマジョリティへ拡大
テクノロジー	持続可能生産のための水準までエネルギー需要が低下
価値と規範	マイノリティから指導者のマジョリティへ拡大
居住	新たなインフラプロジェクトで再エネが優先して使用される
ライフスタイル	マイノリティから人口のマジョリティへ拡大
市民関与	一部の運動からグローバル市民運動へ
教育システム	気候変動などの需要概念が主要カリキュラムの一部となる
人口抑制	持続可能な人口まで減少

STP のタイムスケールについては次のように評価された。

社会的ティッピング・ポイントと引き金を引くために要する時間の評価

エネルギーの生産と貯蔵	10～20 年
居住	10 年
金融市場	非常に早い、数時間以内
規範と価値システム	30～40 年
教育システム	10～20 年
情報フィードバック	数年

STP の事例としてはノルウェーにおける電気自動車の急速な普及がある。2020 年に世界の新車販売に占める電気自動車の比率は世界では 9%なのに対して、ノルウェーでは 54%である。

そこで筆者は次のような気候危機突破の勝利の方程式を考えてみた。

気候ティッピング・ポイントの深刻さを共有して気候非常事態宣言を行う。気候非常事態宣言を公的に行うことによって組織のカーボンニュートラル実行計画を作成する。カーボンニュートラル実行計画を実施することによってグリーン成長を達成する。グリーン成長によって様々な社会のティッピング・ポイントを超え、社会の構造転換を実現する。

図式的には CTP⇒CED⇒Carbon Neutral Action Plan⇒Green Growth⇒STP である。気候のみならず新型コロナウイルスの拡大による非常事態や戦争による非常事態もある。この複合的な非常事態を人類は希望を持って乗り越えなければならない。

#### 【参考文献】

1. Updated assessment suggests >1.5 °C global warming could trigger multiple climate tipping points  
David I. Armstrong McKay et al  
Science, 9 Sept. 2022, Vol.377, Issue 6611
2. 温暖化地獄 山本良一著 (ダイヤモンド社 2007年)  
Tipping Points 温暖化地獄 Ver2 山本良一著 (ダイヤモンド社 2008年)  
2°C Points of No Return 残された時間 山本良一著 (ダイヤモンド社 2009年)
3. Social tipping dynamics for stabilizing Earth's climate by 2050  
Ilona M. Otto et al  
PNAS, February 4 2022, Vol.117 No.5 p2354-2365