

# ティッピング・ポイントを考える

## 第1回 ティッピング・ポイントとは？

早川 光俊 (CASA専務理事)

ティッピング・ポイントとは、物事がある一定の閾値(いきち)を超えると一気に全体に広まっていく時点のことと説明されます。日本語では、「転換点」とか「臨界点」とかと訳されます。一般的には、なかなか売れなかったものがある時点から急に売れ出すというように、それまで小さく変化していた物事が急に爆発的に流行、普及して社会に広まる際の「きっかけ、時点」を意味するとされています。しかし、気候変動問題で用いられるときは、大気中の温室効果ガス濃度や平均気温の上昇があるレベルを超えると、様々な事象が制御不能になり、後戻りできない状況(不可逆的)になることを意味します。そして、人間の活動による大気中の温室効果ガスの増加や平均気温の上昇により、様々な事象が後戻りできないティッピング・ポイントに近づいているとされています。もうすでにティッピング・ポイントを超えてしまっている事象もあるとの指摘もあります。今回の特集では、気候変動におけるティッピング・ポイントについて考えてみたいと思います。

### 気候変動問題におけるティッピング・ポイントとは

環境省が発行している2020(令和2)年版の環境白書は、ティッピング・ポイントについて、以下のよう

に記述しています。

ティッピング・ポイント(tipping point)とは、少しずつの変化が急激な変化に変わってしまう転換点を意味します。気候変動についても、人為起源の変化があるレベルを超えると、気候システムにしばしば不可逆性を伴うような大規模な変化が生じる可能性があることが指摘されています。地球環境の激変をもたらすこのような事象は、「ティッピング・エレメント」と呼ばれています。現在指摘されているティッピング・エレメントの例として、グリーンランドや南極の氷床の不安定化などが指摘されています。

2007年に発表されたIPCCの第4次評価報告書(AR4)では、「気候変動はいくつかの不可逆的な影響をもたらす可能性が高い」として、種の絶滅や大西洋の深層循環が21世紀中に弱まる可能性が高いことを記述しています。

2013年9月に公表されたIPCC第5次評価報告書(AR5)の第1作業部会報告書では、ティッピング・

ポイントという表現はありませんが、「気候変動の不可逆性」との表現で、「二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の排出に起因する人為的な気候変動の大部分は、大気中からCO<sub>2</sub>が大規模に継続して除去されない場合は、数百年から千年規模の時間スケールで不可逆である」としています。

2019年9月に公表された「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関するIPCC特別報告書」(海洋・雪氷圏特別報告書)では、「急激な変化がティッピング・ポイント(転換点)となり、急激な変化が起こる前の状態に戻ることなく、海洋や雪氷圏、さらにそれらの生態系や気候システム全体に新たな状態をもたらす可能性もある。」と、IPCCの報告書としては、初めて「ティッピング・ポイント」の表現を使っています。

### ティッピング・ポイントのエレメント(要素)

では、どのような事象が「大規模な変化が生じる可能性がある」のでしょうか。

論者によって、大規模な変化が生じる事象は異なっていますが、以下のような事象がティッピング・ポイントのエレメント(要素)としてあげられています。

#### (1) 氷

##### ① グリーンランドの氷床の融解

グリーンランド氷床は、氷床の厚さが平均で約

1700 mあり、その量は地球上にある淡水の約11%を占めています。そのグリーンランド氷床の融解が、1990年代と比べて7倍の速度で進行していると言われています。AR5では、平均気温が工業化(1850年頃)以前より1~4℃程度上昇すると、1000年あるいはそれより長期間をかけて氷床がほぼ完全に消失し、海面水位を最大7m上昇させると予測しています。

## ② 南極の氷床の融解

南極氷床は、氷床の厚さが平均で約2000 mあり、その量は地球上にある淡水の約88%以上を占めています。南極の氷床については、温暖化したことにより降雪量が増えて、氷床全体の量は増加しているとの報告もあり、単純ではありません。心配されているのは、南極の西南極の棚氷(陸上の氷河や氷床が海に押し出され、陸上の氷河や氷床と繋がって洋上にせり出た氷床)の崩壊です。2017年7月には、東京の23区の9倍の以上の面積(約5800 km<sup>2</sup>)、厚さが約300 mの南極半島のラーセンC棚氷が崩壊しました。南極の西南極の棚氷の崩壊は、棚氷がせき止めていた氷河が海に流れ出すことを意味し、それによって海面上昇と海水の塩分濃度の局所的低下に大きな影響を与えるとされています。AR5では、世界平均地上気温の上昇に伴い、21世紀末に南極の海水面積と体積は減少すると予測しています。

## ③ 北極海の海氷

北極海は温暖化の影響が最も顕著に現れている領域であり、2000年代に入り夏期の海水面積が1970~80年代に比べ半分近くに減少しています。AR5は、早ければ2050年ごろには夏期の北極海の海氷はほとんど消失するという予測をしています。

## (2) 陸地

### ① アマゾンの熱帯雨林

アマゾン熱帯雨林は、地球上で最大の熱帯雨林で、大気中の酸素の約20%を供給する「地球の肺」と言われると同時に、炭素を蓄えている重要な場所で、地球温暖化のスピードを緩やかにすると言われていま

す。ところが、アマゾンの熱帯雨林が急速に減少し、今後30年の間にアマゾン全体の半分以上の地域が熱帯雨林から草原(サバンナ)へと変化する可能性があるとの研究もあります。このことは、アマゾンが、これまで考えられていたよりも早期に、CO<sub>2</sub>の吸収源ではなくなり地球温暖化が加速することを意味します。

### ② 永久凍土の融解

永久凍土の大部分は北半球に存在し、北半球の陸地の約4分の1を覆っています。平均気温の上昇により永久凍土が融解することで、閉じ込められていた有機物が分解され、CO<sub>2</sub>とメタン(CH<sub>4</sub>)が大気中に放出されます。さらに永久凍土地帯には、メタンハイドレード\*<sup>1</sup>も存在し、メタンハイドレードが融解することでCO<sub>2</sub>の25倍もの温室効果をもつCH<sub>4</sub>が大量に放出されることとなります。このように永久凍土からの温室効果ガス放出はさらなる温暖化を招き、それによって永久凍土の融解がさらに進むという悪循環に陥ってしまう恐れがあります。

## (3) 海

### ① サンゴ礁

サンゴ礁は、魚類をはじめ様々な生物が生息する生物多様性の宝庫です。温暖化による海水温の上昇によって、1979年以降サンゴ礁の白化が世界中で見られるようになり、2016年の記録的な海水温の高温化により、世界最大のサンゴ礁であるグレートバリアリーフの90%以上で白化現象が起こったと言われています。2018年IPCCが公表した「1.5℃特別報告書」では、平均気温が2℃上昇すると、世界のほぼすべてのサンゴが死滅すると警告しています。

### ② 深層循環の停滞

図1にあるように深層循環とは、北大西洋のグリーンランド沖と南極周辺で海水が冷却され、低温・高塩分の重くなった海水が深層まで沈み込み、1000年ほどかけて世界の海洋を一周する大循環です。しかし地球温暖化によって海水温が上昇し、さらに高緯度地域での降水量の増加や氷床の融解などによって塩分濃度

\*1 「メタンガス」が水分子と結びつくことでできた、氷状の物質で、海底や永久凍土の地下などに存在する。「燃える氷」とも呼ばれます。

が低下することによって、深層循環が弱まると考えられています。また、深層循環の停滞によって酸素量が減少し、貧酸素水域が拡大すると言われています。

### ③ 海洋の酸性化

海洋にCO<sub>2</sub>が吸収されることによって海洋の酸性化が進んでいます。生物多様性条約事務局は、このままいくと2050年には海洋の酸性度が150%上昇するという予測をしています。この上昇スピードは、過去2千万年間の自然変動のおよそ100倍に相当するため、生物が適応する時間はほとんどないとしています。さらに海洋に溶け込んだCO<sub>2</sub>は除去ができないため、いったん海洋の酸性化が起こってしまうと、もとに状態に戻すことはできなくなります。

### (4) 生物の多様性

温暖化によって、多くの生物が絶滅の危機にさらされる可能性があります。中でも限られた地域に生息す

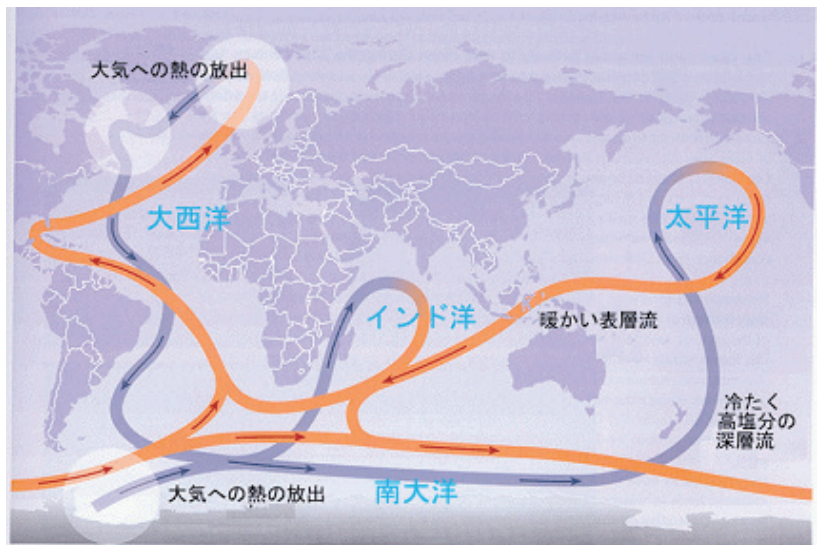
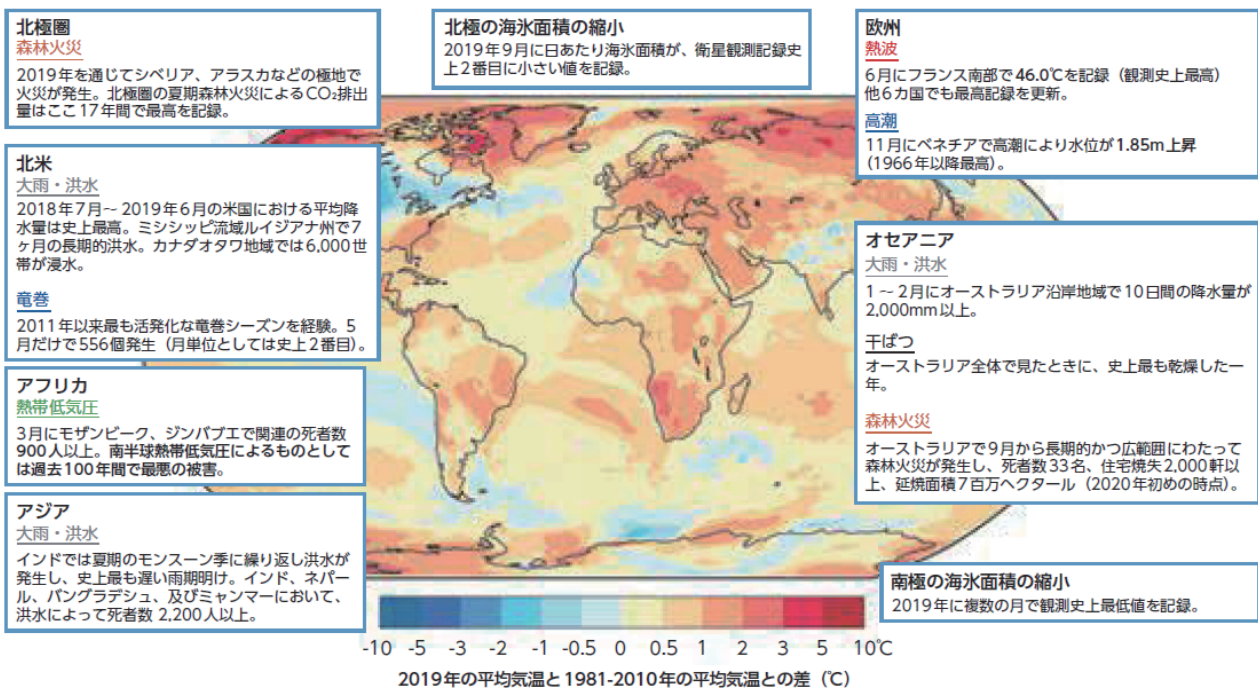


図1 深層循環の模式図 (出典：気象庁) 熱塩循環

る生物は、移動が制限されているためそのリスクは非常に高くなります。2006年に絶滅危惧種に指定されたホッキョクグマ(シロクマ)は海に浮かぶ氷を移動しながら餌であるアザラシを獲っています。しかし北極の氷が張る期間が短くなると、狩りの期間も短くなります。実際流水の減少によって、カナダのハド

図 1-2-2 2019年の世界各地の異常気象



資料：「WMO State of Global Climate in 2019」から環境省作成

図2 2019年の世界各地の異常気象

ソン湾のシロクマの体重は25年間で80～100kg減少し、小熊の個体数も減り続けていると報告されています。また温暖化の影響で今世紀末までに北米に生息する野鳥の半数が絶滅する恐れがあるとの予測もあります。AR5では、気候変化の進行に伴って、多くの陸域・淡水・海水生物が、分布域、季節活動、移動パターン、生息数および種の相互作用を変化させてきており、将来的にはすべての温暖化シナリオにおいて、絶滅リスクは増大し、21世紀中には、多くの生物が気候の変化に適応できなくなると予測しています。

### (5) 異常気象の増加

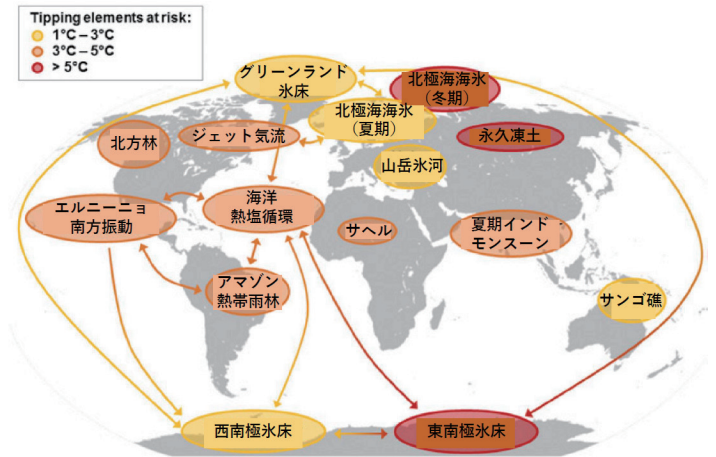
最近毎年のように、豪雨や台風のために「命を守るための行動を」とのニュースが流れます。日本の最近10年間(2010～2019年)の1時間降水量50mm以上の年間発生回数(約327回)は、統計開始からの最初の10年間(1976～1985年)の平均年間発生回数(約226回)と比べて約1.4倍に増加しています。

こうした異常気象は日本だけではなく、図2は、2019年の世界の異常気象を、世界気象機関(WMO)が作成したのですが、世界中で大雨や洪水、森林火災、熱波、干ばつなどの異常気象や異常事象が頻発しています。WMOによれば、2019年の世界の平均気温は観測史上、2016年に次いで2番目に高い年となり、ヨーロッパでは記録的な熱波に襲われました。2019年を通じてシベリア、アラスカなどの北極圏で火災が発生し、オーストラリアで2019年9月に発生した山火事は日本の面積の約半分の1800万ヘクタールを焼きつくし、33人が死亡、コアラやカンガルーなどの野生動物10億匹が焼死したとされています。

### 相互作用により影響が深刻に

このようなティッピング・ポイントのエレメントは、それぞれ個別に起こるのではなく、互いに影響し合っており、それによって深刻さも増加します。

図3は、ティッピング・ポイントのエレメントの連鎖を示した図です。



Steffen et al. (2018, PNAS) より

図3 ティッピングポイントのエレメントとその連鎖

グリーンランドや南極の氷床の融解が大西洋の深層循環を弱め、北大西洋の深層循環が弱まるとアマゾンの熱帯雨林のサバンナ化に影響を及ぼすとされています。海水温の上昇がサンゴ礁を白化させ、さらに海水の酸性化が、サンゴ礁の白化に拍車をかけます。グリーンランドや南極の氷床の融解が海水面を上昇させ、沿岸域の人間や生物の生息域を奪います。このように、ティッピング・ポイントのエレメントは相互に影響を及ぼし合っており、その影響を深刻化します。

### わたしたちの惑星は、気候変動の「ティッピング・ポイント」に近づきつつあるのか？

論者によっては、エレメントによっては、すでにティッピング・ポイントを超えてしまっているという人もいます。一方でまだ間に合うという人もいます。それぞれのティッピング・ポイントのエレメントが、どのレベルの大気中の温室効果ガス濃度や平均気温の上昇で、ティッピング・ポイントを超えるのかは、必ずしも明らかになっていません。しかし、ティッピング・ポイントが存在すること、わたしたちの「地球」が、気候変動の「ティッピング・ポイント」に近づきつつあることは間違いのないと思います。

次回からは、これらのティッピング・ポイントのエレメントについて、具体的に考えてみたいと思います。