

よくある質問と回答

**FAQ 6.1 | 永久凍土の融解や海洋の温暖化によるメタンと二酸化炭素の急速な放出は、温暖化をかなり加速するのだろうか？**

永久凍土は永続的に凍結した土壌であり、主に北極域の高緯度域で見られる。永久凍土（北極海の浅い陸棚にある海底永久凍土を含む）は、古い有機炭素堆積物を含んでいる。その一部は最終氷期から残存したもので、現在大気中に二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)として存在する炭素の少なくとも2倍の量を保持している。この炭素のかなり大きな一部がメタンや二酸化炭素として放出されれば、大気中濃度が増加し、気温の上昇につながるだろう。そうなれば、さらに多くのメタンと二酸化炭素が放出されて正のフィードバックをもたらし、それがさらに地球温暖化を増幅することになる。

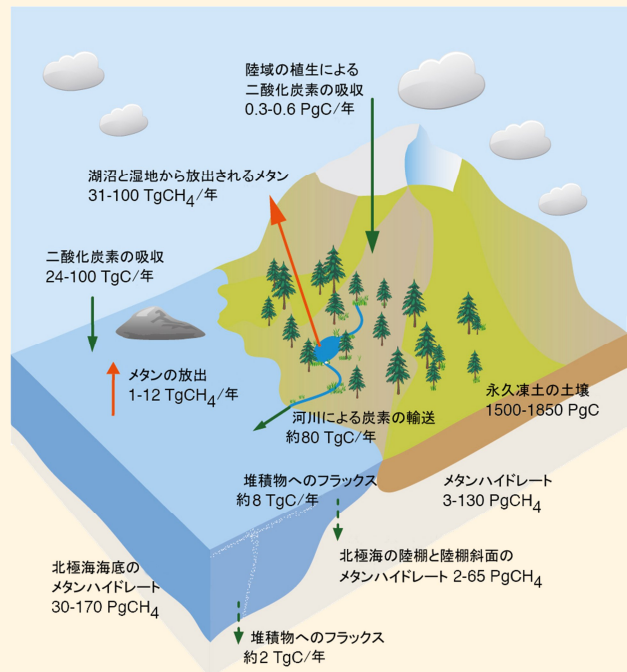
北極域は現在正味の二酸化炭素吸収源となっている。すなわち、植生の成長によって1年当たり約0.4 ± 0.4 PgC<sup>[註1]</sup>を補足し、現在の世界の陸域吸収量の約10%を占めている。北極域はメタン(CH<sub>4</sub>)の適度な大きさの放出源でもある。主として季節によって凍らない時期がある湿地から1年当たり15~50 Tg(CH<sub>4</sub>)<sup>[註2]</sup>が放出され、これは世界の湿地メタン放出源の約10%に相当する。これら2種類の温室効果ガスの現在の地球規模での収支に融解が寄与しているかどうかについては、まだはっきりした証拠はない。しかし、北極域の温暖化が持続する場合、モデル研究と専門家の判断は、中程度の一致度で、2100年までの二酸化炭素とメタンを合わせた潜在的な放出量が二酸化炭素換算で最大350 PgCになるだろうとしている。

陸上と陸棚における永久凍土の土壌は、有機炭素の大きなプールを含んでいる。この有機炭素は、大気中に(大部分は二酸化炭素として)放出されるには、まず融解して微生物によって分解されなければならない。水分を多く含む土壌のように酸素が限られている場所では、一部の微生物がメタンも生成する。

陸域では、永久凍土は「活動層」によって地表面を覆われており、この活動層が夏季に融解してツンドラ生態系の一部を形成する。春季と夏季の気温が平均で上昇した場合、活動層は厚みを増し、微生物に分解され得る有機炭素が増える。しかし、夏季の気温が上昇すると、北極域の植生による光合成を通じた二酸化炭素の吸収も増加する。つまり、北極域の正味の炭素バランスは、吸収の増加と放出の増加との間の微妙なものであることを意味する。

夏季の融解期間中の水文条件も重要である。陸上の融解が池や湖沼で水がよどむ状態をもたらす可能性があり、酸素不足の部分ではメタンの生成を誘発するだろう。気候の温暖化の下での北極域の景観は複雑であり、こうした様々な過程のうちどれが地域規模で卓越するのかについての確信度は低い。熱の拡散と永久凍土の融解には時間がかかるため(実際、北極域の永久凍土の深部は、今なおゆっくりと減退している最終氷期の残存構造とみなすこともできる)、永久凍土の土壌炭素の大きな放出が起きるとしても長い時間スケールでのことになる。

十分な酸素がある場合、土壌中の有機物の分解には(堆肥と同様に)微生物による熱の放出が伴い、このことが夏季にはさらなる永久凍土の融解を促進する可能性がある。永久凍土の炭素と氷の含有量や、水文学的状況にもよるが、このメカニズムは温暖化の下では、局所的に比較的急速な永久凍土の融解を引き起こす可能性がある。(次ページに続く)



**FAQ 6.1 図1 | 北極域における現在の主要な炭素プールと炭素流動の概略図。陸域、大陸棚、海洋の永久凍土を含む。(McGuire et al., 2009 及び Tarnocai et al., 2009 から転載) TgC = 10<sup>12</sup> gC、PgC = 10<sup>15</sup> gC。**

## FAQ 6.1(続き)

永久凍土の動態と温室効果ガス排出についてのモデル研究によると、数百年の時間スケールでは比較的ゆっくりとした正のフィードバックが示されている。2100年までで、二酸化炭素として最大 250 PgC、メタンとして最大 5 Pg が放出され得る。メタンのほうが地球温暖化をもたらす潜在力が強いことから、この数値は 2100年までに二酸化炭素換算でさらに 100 PgC が放出されることに相当する。こうした放出量は、他の生物地球化学的フィードバック(例えば、陸域土壌の世界的な温暖化によって追加的に放出される二酸化炭素など)と同程度である。しかしながら現在のモデルは、湖沼や池の形成など、永久凍土が融解するときを生じる北極域の過程の複雑さを全て含んでいるわけではない。

メタンハイドレートは凍結固定された炭素のもうひとつの形態であり、永久凍土の土壌の深い部分、陸棚、陸棚斜面、さらに深い海底の堆積物に含まれている。メタンと水分子クラスターから成っており、特定の範囲の低温高圧下においてのみ安定する。陸域と海洋では、こうしたハイドレートのほとんどが海洋又は陸域の生物起源炭素を起源とし、酸素がない状態で分解され、適した温度・圧力条件下で水環境に取り込まれる。

永久凍土の土壌、海水、堆積物の温暖化及び／又は圧力の変化が起これば、こうしたハイドレートは不安定化して、中のメタンを海洋に放出する可能性がある。さらに大規模で散発的な放出の場合には、このメタンの一部は大気中にも放出されるかもしれない。これらのハイドレートの蓄積量は大きく、北極域だけでも、ハイドレートとして貯蔵されているメタンは、全地球の大気中に現在含まれているメタンの 10 倍以上になる可能性がある。

永久凍土の融解と同様に、地中のハイドレートの遊離はゆっくりとした過程であり、数十年から数百年の時間がかかる。海洋の深部と海底の堆積物では、さらに時間がかかり、その中のハイドレートを不安定化させるほど温度が上昇するには、数百年から数千年を要する。さらに、より深い水域で放出されたメタンは、気候に影響し得るためにまず海面と大気まで到達しなければならないが、大部分はそこに達する前に微生物に消費されると予想される。北極海の東シベリア北部のような、浅い陸棚にあるハイドレートから放出されたメタンだけが、実際に大気に到達して気候に影響を与え得るだろう。

最近の複数の研究によると、北極シベリアの陸棚とシベリアの湖沼から局所的にかなりのメタン放出量が記録されている。このメタンのどれだけが有機炭素の分解に由来し、どれだけがハイドレートの不安定化に由来するのかわかっていない。また、こうした放出源が最近の地域的な温暖化に刺激されてできたものなのか、あるいは既に存在していたのかを判断するための証拠もない。このメタンの漏出が最終退氷期以来存在していた可能性もある。いずれにしても、地球全体のメタン収支に対するこうした放出源の寄与はきわめて小さく、5%に満たない。このことは、大気中メタン濃度の観測によっても確認されており、北極域では実質的な増加は示されていない。

とはいえ、モデリング研究と専門家の判断によれば、北極域が温暖化すればメタンと二酸化炭素の排出量は増加し、正の気候フィードバックをもたらすことが示されている。数世紀にわたり、このフィードバックは、他の気候－陸域生態系のフィードバックと同程度の大きさであるだろう。もっとも、数千年以上の期間については、炭素とメタンハイドレートの大きな蓄えが絡んでくるため、永久凍土と陸棚／陸棚斜面からの二酸化炭素とメタンの放出ははるかに重要となる。

【訳注 1】 1 PgC = 1 GtC(炭素換算で 1 ギガトン=10 億トン=1000 兆グラム)。二酸化炭素換算では 36 億 6700 万トンに相当する。

【訳注 2】 1 Tg(CH<sub>4</sub>)はメタン換算の質量で 1 テラグラム=1 兆グラム=100 万トン。