

ジオエンジニアリングは温暖化の処方箋となるか

◆ 第三の温暖化対策であるジオエンジニアリング

「ジオエンジニアリング（気候工学）」とは、地球の気候を人工的に操作する手段であり、温室効果ガスの排出を削減する「緩和策」、気候被害を抑制する「適応策」に続く、第三の温暖化対策とされている。

ジオエンジニアリングという言葉は、国際応用システム分析研究所のMarchetti研究員が化石燃料由来のCO₂を海洋貯留する概念を提案するために、1976年の報告書で初めて用いられた。その後、温室効果ガスを削減しないための言い訳とされるとの理由から、長年、異端の研究テーマとして忌避されてきた。ところが、世界が大気汚染防止を推し進めると、大気中のエアロゾルが減少し、むしろ温暖化が急激に進む危惧があることを、オゾンホール研究でノーベル賞を受賞したCrutzen博士が指摘し、成層圏にエアロゾルを人為的に散布する技術の実効性と副作用の検証の必要性を2006年に訴えた。

これを契機として、ジオエンジニアリングは再び注目を浴び、大気からCO₂を取り除く「CO₂除去（CDR）」と、太陽光を遮って地球を冷やす「太陽放射管理（SRM）」が混在する体系となった。近年、IPCCが「1.5℃特別報告書」（18年）でこれらを区分したことを受け、現在では別個の技術として評価されている。

◆ 脱炭素社会移行の本命として脚光を浴びるCO₂除去

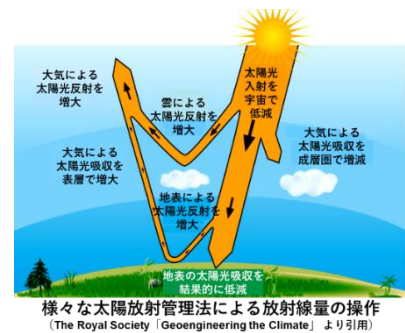
CDRには様々な手法が提案されているが、大気中から工学的にCO₂を取り出す、「直接空気回収技術」の実用化が望まれており、カナダのCarbon Engineering、スイスのClimeworks、米国のGlobal Thermostatが商業化を進めている。また、回収されたCO₂を固定化して安定貯蔵する方法も研究されている。例えば、藻類や細菌の光合成が検討されているが、呼吸でCO₂が大気に戻ってしまう。他方、CO₂を重炭酸塩に転換して建材に利用する方法や（Blue Planet）、海岸の沖合にかんらん石を堆積して自然の風化プロセスでCO₂を固定化する方法（Project Vesta）なども提案されている。しかし、CRDの実現手段は、いずれもコストが高く、技術的難度が高い。

21年1月、イーロン・マスクが主催する、CDR技術のコンペティションの応募が発表された。出場者には、年1,000トン以上のCO₂回収装置のデモ稼働や、年数10億トンのCO₂を除去する持続可能な道筋の提案が求められ、受賞者には計1億ドルが寄贈される。6月の時点では、日本からの提案者を含む、約3,300件のチームが参加を表明しており、25年4月に最終結果が発表される。

◆温暖化抑止の劇薬として敬遠される太陽放射管理法

一方、SRMの技術的難度は高くはなく、安価な技術も検討されている。但し、人工的な気候操作による副作用のリスクが未知数であるため、その検討実施には国際的なガバナンスの仕組みが必要である、と東京大学の杉山准教授は述べる。

具体的には、上述のエアロゾル散布以外にも、「建物外壁を白く塗る」、「砂漠に反射板を置く」、「大地から熱を吸収する巻雲を制御する」、「ガラス粒子を北極の氷床に撒いて融解を抑止し、太陽光を反射する」、「海の反射率を高める」、「宇宙に反射鏡を設置する」などの方法が提案されている。



91年のフィリピンのピナツボ火山の噴火で放出された火山灰とガスによって、地球の平均気温が一時的に約0.5℃低下した。つまり、Crutzen博士が提案した、エアロゾル効果は自然界には実例がある。しかし、人工的に地球を冷やすには、粒子散布の影響を計算モデルで正確に予測しつつ、精密に制御できる方法を確認しておく必要がある。

太陽放射管理法の比較 (The Royal Society 「Geoengineering the Climate」より引用)

SRMの技術分類	放射強制力の最大値 (W/m ²) (*1)	年間コスト (億ドル/年/W/m ²)	副作用の可能性	リスクレベル
居住地の太陽光反射率を上げる	-0.2	20,000	局所的な気候変化	低い
草原や農地の太陽光反射率を上げる	-1	—	局所的な気候変化 農地収穫量の減少	中程度 低い
砂漠の太陽光反射率を上げる	-3	10,000	局所的な気候変化 エコシステムの影響	高い 高い
雲の太陽光反射率を上げる (巻雲制御、有機硫黄化合物発生、海塩噴霧)	-4	2	終端問題 (*2) 局所的な気候変化	高い 高い
成層圏にエアロゾルを散布する	無制限	2	終端問題 局所的な気候変化 成層圏の化学変化	高い 中程度 中程度
宇宙に反射鏡/材を設置する	無制限	50	終端問題 局所的な気候変化 農地収穫量の減少	高い 中程度 低い
既存の気候変動の緩和策 (比較)	-2 ~ -5	2,000	農地収穫量の減少	低い

*1 放射強制力：太陽光吸収と宇宙輻射の差異。-4W/m²以下で温暖化は平衡化される。

*2 終端問題：臨時的、不測的なSRS停止に伴う、急激な気温上昇のリスク。

◆成層圏制御摂動法の実験中止

2021年6月4日、米国ハーバード大学のKeutsch教授の研究グループが主導する「成層圏制御摂動法」のフィールド試験が中止された。成層圏制御摂動法とは、炭酸カルシウムなどの微粒子を大気中に放出し、地球に入射する太陽光を宇宙に反射することで地球温暖化を抑止する技術である。Keutsch教授らは、地球物理モデルで豪雨と熱帯低気圧の発生頻度を計算し、成層圏制御摂動法によって地球の気温を冷やすことができれば、極端な降雨が緩和され、ハリケーンの強度増加の85%以上を抑制できると予測した（19年3月、Nature Climate Change）。

この計算予測の検証のために、高高度気球を用いてスウェーデンの上空20kmの大気圏に1kgの反射材を放出する実験が準備されていた。ところが、北欧諸国とロシアのトナカイ飼いを代表するサーミ協議会が、世界の約30の先住民団体から反対署名を集めた上、民間信仰上の理由から実験中止を求めた。これを受けて、成層圏制御摂動法の有効性を判断する基礎実験は中止を余儀なくされた。

◆健全な持続可能社会移行のためのジオエンジニアリングの処方箋

現状では、ジオエンジニアリングの実効性、副作用、操作法は明確ではない。しかし、「もしも再エネや脱炭素への投資を進めても気温上昇が1.5°Cを越えそうになると、世界各国が独自に展開する」と米国政府の国家情報会議は予測する（3月31日、Global Trends 2040）。

21年5月26日、米国スミソニアン学術協会のシンクタンクであるウィルソン・センターが、「SRMは効果が早く、安い、危険であり、CDRは遅いが、安全で、効果的である」との意見を公開した。SRMの即効性は魅力的であるが、持続性は一時的である。SRMの実施後の与えられた時間内にCO₂の排出を削減しなければ、大気に蓄積されたCO₂がSRMの操作後に一気に開放され、人間の適応能力を超えた急激な気温上昇が発生する。また、各国が独自に気候操作を実施してしまうと、制御不能となる懸念もある。地球の生態系が一蓮托生であることを考慮すれば、ジオエンジニアリングのガバナンスが精査される場合は国連しかない、と述べる。

世界が持続可能な社会に移行するには、二元論ではなく、継続的なCO₂除去で経済社会を健全な状態に戻しつつ、もしも温暖化が急進した場合の処方箋として太陽放射管理法を準備しておくことが、望ましい方策であろう。【酒向謙太郎】