

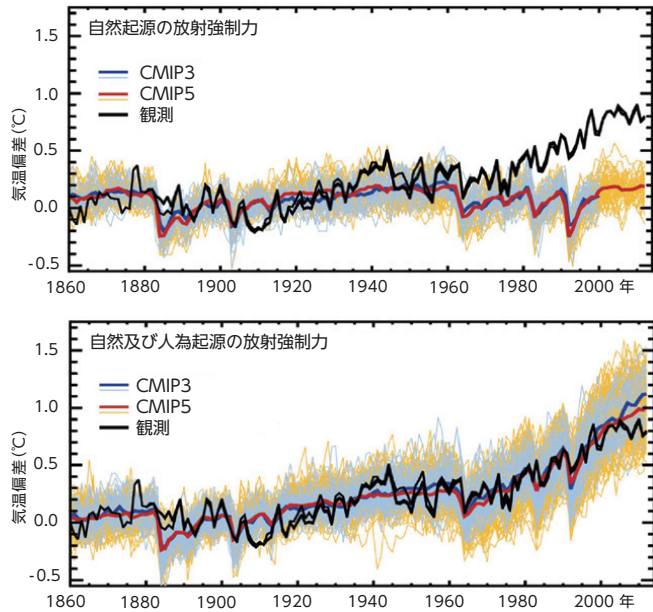
Q&A 本当に深刻? ここが気になる温暖化

Q 温暖化の主要因が人為的な温室効果ガスであるというのは本当か?

A 地球の平均気温を変動させる原因には、さまざまなものがあります。太陽活動の活発化や火山噴火などは、「自然起源」の強制力（外部から気候システムを変化させる力）といわれ、人間の活動が活発化する前は気候変動の主要因でした。しかし、IPCC 第5次評価報告書は、1951年から2010年に観測された世界平均気温の上昇の半分以上は、人間活動が引き起こした可能性が極めて高いとしています。つまり、最近の気候変動は、気候システム自体の内部の過程による変化（内部変動）や自然起源の強制力だけでは説明できず、温室効果ガスの排出や大気汚染などの人間活動に伴う「人為起源」の強制力が大きく影響していると考えられます。

気候変動の原因を決定するためには、内部変動に加えて、さまざまな外部からの強制力を取り入れた変化をコンピューターモデルでシミュレーションし、再現する必要があります。このとき、重要な鍵を握るのが、気候変動の歴史に刻まれた変化のパターン（比喩的に「指紋」と呼ばれる）です。20世紀後半に観測された地球の気温上昇を、自然起源の強制力だけを駆動要因に取り入れてシミュレーションを行っても十分に再現することができません。これに対し、自然起源に加え、温室効果ガス排出をはじめとする人為起源の強制力も含んだシミュレーションを行うと、実際に観測された気温上昇とよく似たパターンを再現することができます（右図）。

■ 1860年から2010年にかけての世界平均気温年差の観測値とシミュレーション結果



上の図は、自然起源の強制力だけを駆動要因とした2つの気候モデルの個々のシミュレーション結果（薄青と黄の細線）と、両モデルのアンサンブル平均（青と赤の太線）を示している。これらと黒線の観測値の変化のパターンは、1970年代以降は明らかに一致性が低い。これに対し下の図は、同じモデルだが、駆動要因として自然起源の強制力と人為起源の温室効果ガス及びエアロゾルの変化を両方含んでおり、観測値とよく一致する。（IPCC AR5 WGI FAQ 10.1）

Q ジオエンジニアリングは気候変動に対抗できるのか?

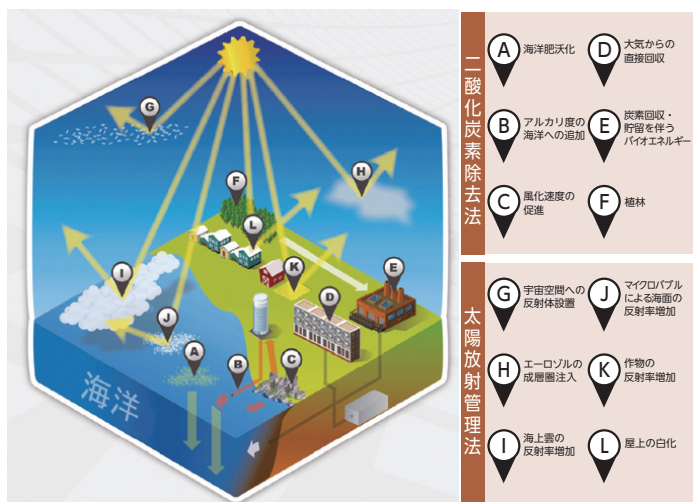
A ジオエンジニアリング（気候工学とも呼ばれる）とは、気候変動の影響を緩和するために、気候システムを意図的に改変する手法や技術のことで、「二酸化炭素除去」(CDR)と、「太陽放射管理」(SRM)に大きく分かれます。CDR法は大気中の二酸化炭素(CO₂)濃度を低減するもので、SRM法は地球の太陽光(放射)の反射率を高めることで人為起源の温室効果ガスによる温暖化を相殺するものです。

CDR法の中には、右図のように、(A) 海洋肥沃化(海洋に栄養を追加することで生物起源炭素の一部を下方に運ぶ)や、(E) BECCS(炭素回収・貯留を伴うバイオエネルギーの利用)、(F) 植林などがあります。こうして大気中から取り除かれたCO₂は、陸上や海洋、地質の貯蔵庫に貯蔵されることになり、CDR法が効果を発揮するためには少なくとも数百年間貯蔵される必要があります。

一方、SRM法としては、(G) 太陽放射を反射するために宇宙空間に反射体を配置、(H) エアロゾルを成層圏に注入、(K) 反射率の高い作物を栽培、などが提案されています。SRM法が実現すれば、気温上昇の対策に一定の効果があるとされています。

ただし現状では、ジオエンジニアリング手法の科学的理解の水準は低く、その全ての手法についてリスクと副作用が伴うことも事実です。

■ 提案されている主なジオエンジニアリング手法



「二酸化炭素除去」(CDR)法は、(A) 海洋肥沃化、(B) 土壌鉱物のアルカリ度を海洋に追加、(C) ケイ酸塩岩の風化速度を促進し、溶存炭酸塩鉱物を海洋に運搬、(D) 大気中のCO₂を化学的に回収・貯留、(E) バイオマスを発電所で燃焼して炭素を回収・貯留、(F) 植林、など。「太陽放射管理」(SRM)法は、(G) 宇宙空間に反射体を配置、(H) エアロゾルを成層圏に注入、(I) 海上雲に凝結核を散布、(J) 海洋表層でマイクロバブルを生成（海面の反射率向上）、(K) 反射率が高い作物をより多く栽培、(L) 屋根などの建造物を白くする、など。

(IPCC AR5 WGI FAQ 7.3)

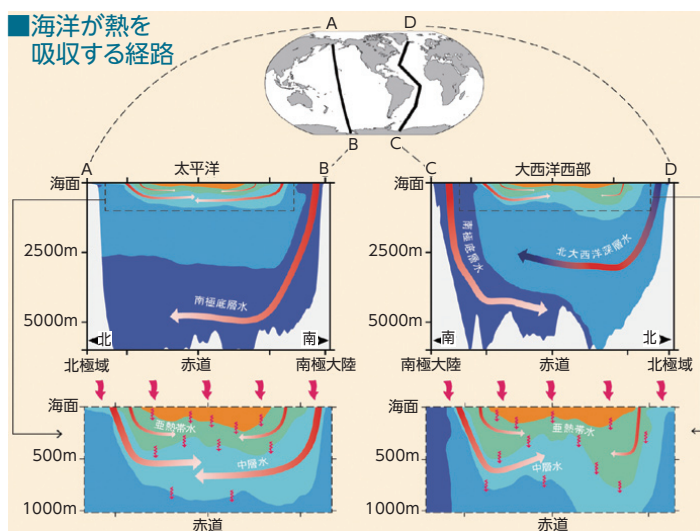
Q 海洋は本当に温暖化しているのか？

A 海洋は地球表面の約7割を占め、熱やCO₂を吸収することで大気中のCO₂濃度の上昇を抑え、地球温暖化を和らげる働きをします。しかし、海洋が熱やCO₂にさらされ続けることで、さまざまな海域、深さにおいて海水温度は明らかに上昇しています。

水深数百メートルの海洋の世界平均水温を推定できるようになったのは、1971年頃のことです。さらに2005年以降、国際的な海洋観測計画である「Argo」の水温／塩分自動観測フロートが全世界のほとんどの海域をカバーしたことで、確度の高い世界平均海洋表層水温を推定できるようになりました。

現在では、世界平均海洋表層水温が1971年から2010年にかけて10年規模の時間スケールで上昇していること、また表層だけでなく深海でも水温が上昇していることが分かっています。

右の図は、海洋が熱を吸収する経路を示しています。北大西洋北部や南極大陸周辺などの高緯度の海には、きわめて冷たい高密度の海水があり、海面付近から下に沈んで、低緯度の温かく密度の低い水



上の左右の図は海洋深層の経路、下の図は海洋表層の経路を示している。冷たい南極底層水（濃い青）は南極大陸の周囲で沈んでから、海底に沿って北方向に広がり、太平洋中央部や大西洋西部に達する（それぞれ左上、右上の図中の赤から白に薄くなっていく矢印、海水温度が上昇していることを示す）。南極底層水よりも温度が高く、軽い北大西洋深層水（薄い青）は、北大西洋北部で沈んでから南方向に広がる（北大西洋深層水の赤と青の矢印は、10年規模で昇温と降温を繰り返していることを示す）。一方、海洋表層の経路は、低温の中層水（青緑）が亜寒帯域で沈んでから赤道方向に広がり、高温の亜熱帯水（緑）が最も温度が高く軽い熱帯水（オレンジ）の下側を赤道方向に広がる（左下及び右下の図）。海面を通じて入ってくる大量の熱も、ゆっくりと下方に向かって混ざり合う（波形の赤い矢印）。

(IPCC AR5 WGI FAQ 3.1)

Q 気候変動でモンスーンによる降水量が増えるのはなぜか？

A モンスーンは一般に季節風と呼ばれ、アジアやオーストラリア、アメリカ、アフリカなどの熱帯域にある多くの地域において、年降水量の大部分をもたらしています。今後、気候が温暖化すると、こうしたモンスーン地帯では大雨が降る可能性が高まるといわれています。

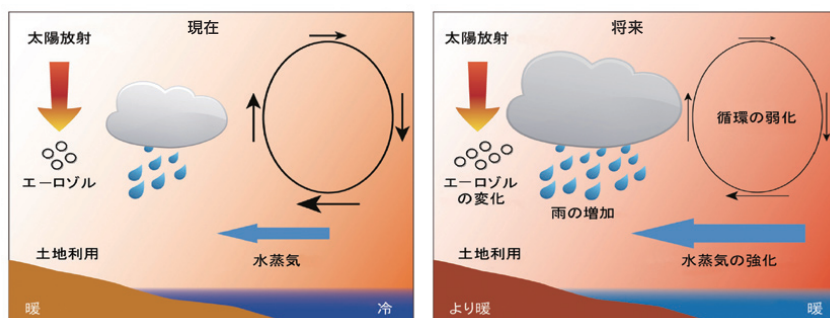
モンスーンは海と陸の温度差によって発生し、海洋から陸域へ水蒸気を運んでくることによって雨を降らせませす。温暖化で気温が上昇すると、温められた空気はより多くの水蒸気を含むため、海洋から陸域への水蒸気の輸送量が増え、結果として大雨の可能性が高まるというわけです。

気候変動がどのようにモンスーンに影響を与えるかについては、他にもたくさんの要素が関係しています。人間の活動による土地利用の変化によって地表面の反射率（アルベド）が増加したり、大気汚染によってエアロゾルが増加したりすると、大気と陸によって吸収される太陽放射量が増え、海陸の温度差を潜在的に和らげる効果をもたらします。

21世紀を通じた気候モデル予測によると、世界全体のモンスーン降水量

は、温室効果ガスの排出シナリオに応じて5%から15%程度増加するといえます。熱帯のモンスーンに伴う降水の総量は増加しますが、地域によっては熱帯の大気循環が弱まることによって降水量が減るところもあるとみえています。また、モンスーンが始まる時期については早まる、あるいはあまり変化しない可能性が高く、終わる時期は遅くなる可能性が高いため、結果としてモンスーンの期間は長期化すると予測されています。

■人間活動がモンスーン降水量に与える影響



気候が温暖化すると、温められた空気はより多くの水蒸気を含むため、海洋から陸域への水蒸気の輸送が増える。これによって、大雨の可能性が高まる。温暖化による大気循環の変化は、モンスーンの強さと広がりにも影響する。一方、土地利用の変化による地表面の反射率（アルベド）の増加や、大気汚染によるエアロゾルの増加などは、大気と陸によって吸収される太陽放射量に影響し、海陸の温度差を潜在的に和らげる。

(IPCC AR5 WGI FAQ 14.1)