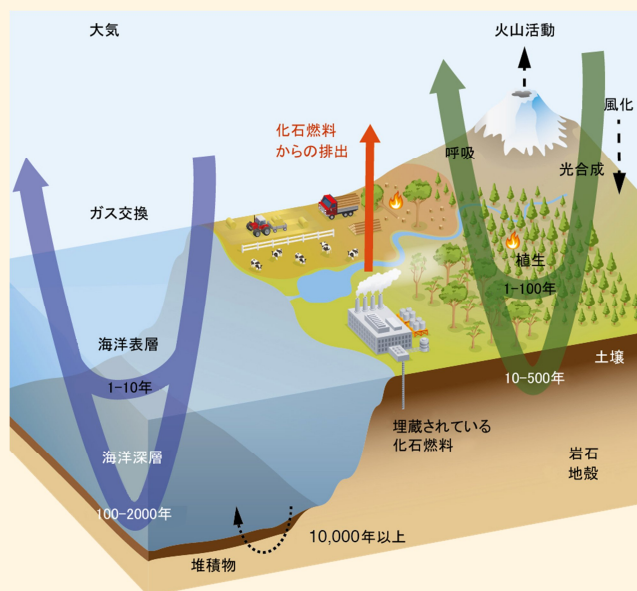


よくある質問と回答

FAQ 6.2 | 大気中に放出された二酸化炭素はどうなるのか？

大気中に放出された二酸化炭素(CO₂)は、まず大気、海洋表層、植生の間に急速に分配される。その後炭素は、土壌、深海、岩石といった、地球規模の炭素循環の様々な貯蔵庫の間を移動し続ける。こうした交換の中には非常にゆっくりと生じるものもある。放出された二酸化炭素の総量に応じて、その15%から40%は最大2000年間にわたって大気中に残留し、その後大気、陸域生物圏、海洋の間で新たなバランスが確立される。地質過程は数万年から数十万年、おそらくそれ以上をかけて、さらに地質学的貯蔵庫に炭素を再分配する。したがって、現在の排出による高い大気中二酸化炭素濃度と、その気候への影響は、将来非常に長い期間持続することになる。

二酸化炭素はほとんど非反応性の気体であり、1年未満で対流圏全体にわたって急速に混合される。メタンのように消失過程によって除去されて分解される大気中の反応性化合物とは異なり、炭素は地球規模の炭素循環における様々な貯蔵庫間で再分配され、最終的にはいく通りもの時間スケールで再循環して大気に戻る。FAQ 6.2 図1は地球規模の炭素循環の概略図である。矢印は、炭素原子が様々な貯蔵庫を通して移動するのに要する標準的な期間を示している。



FAQ 6.2 図1 | 地球規模の炭素循環の概略図。炭素が主要な貯蔵庫を通して循環する際の標準的な時間スケールを表す。

海洋上では、二酸化炭素分子はガス交換によって大気-海洋の境界を通過する。二酸化炭素は海水中で水分子と相互作用して炭酸を生成し、炭酸は海中に大量に貯蔵された溶存無機炭素、すなわち重炭酸イオン及び炭酸イオンと、きわめて早く反応する。海流と、(深層に)沈むような高密度水の形成が、海洋の表層と深層の間で炭素を輸送する。海洋生物も炭素を再分配する。海洋生物は表面海水中で有機組織と石灰殻を生成し、これらは死後海中深く沈み、そこで溶解と微生物分解によって溶存無機炭素の貯蔵庫に戻る。ごく一部は海底まで達し、堆積物の中に取り込まれる。

人為起源の排出による炭素の増分は、大気中の二酸化炭素分圧を増加させる効果があり、分圧の増加が、今度は二酸化炭素分子の大気から海洋への交換量を増加させる。海洋表面では、炭酸塩化学がその二酸化炭素の増分を素早く受け入れる。その結果、浅い海洋表層水は1~2年以内に大気との平衡に達する。表層水から中層水、深層水への炭素の移動にはさらに時間がかかる(数十年から数世紀)。より長い時間スケールでは、侵入してきた二酸化炭素による酸性化が、海底の炭酸塩堆積物を溶解し、さらに海洋の吸収を強化する。とはいえ、現在の理解では、海洋循環にかなりの変化が起こらない限り、プランクトンの成長にはほとんど変化はないことが示唆されている。というのは、プランクトンの成長は、無機炭素の利用可能性ではなく、栄養素や光などの環境要因で制限されているので、人為起源の二酸化炭素の海洋吸収にさほど寄与しないためである。(次ページに続く)

FAQ 6.2(続き)

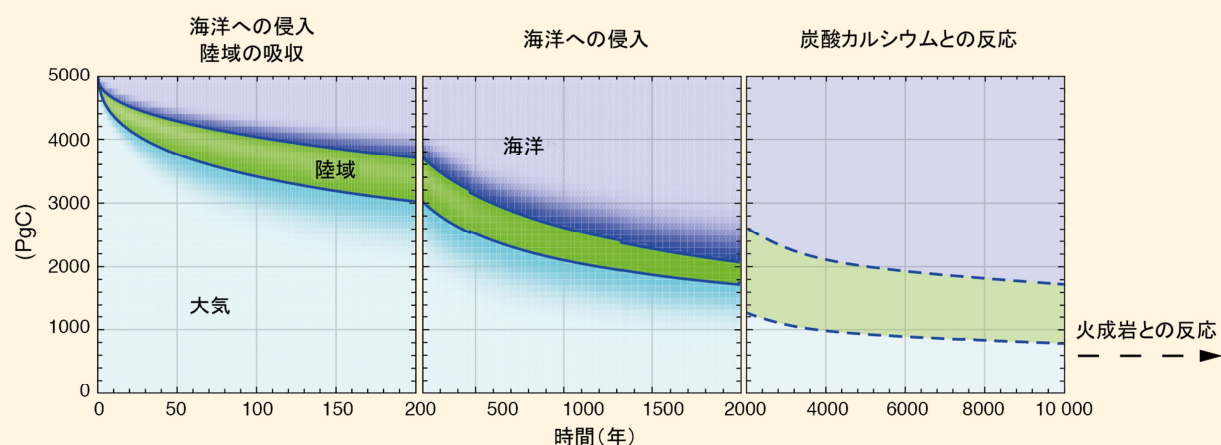
陸域では、植生が光合成によって二酸化炭素を吸収し、有機物に変える。この炭素の一部は、植物の呼吸によってすぐに二酸化炭素として大気に戻される。残りの炭素は植物が成長のために利用する。枯れた植物体は土壌に取り込まれ、最終的には微生物によって分解され、呼吸により二酸化炭素として大気中に戻される。さらに、植生と土壌の中の炭素は、火災、昆虫、草食動物のほか、植物の収穫とその後の家畜や人間による消費によっても二酸化炭素に戻される。一部の有機炭素は、水流や河川によってさらに海洋まで運ばれる。

大気中の二酸化炭素の増加は光合成を促進し、それによって炭素吸収を増進させる。さらに、高くなった二酸化炭素濃度は、乾燥地域の植物が地下水をより効率的に利用する助けになる。そうすると今度は、植生と土壌中のバイオマスが増え、陸域の炭素吸収源を発達させることになる。もっとも、この吸収源の大きさは、水や栄養素の利用可能性といった他の要因にも極めて大きく依存する。

気候-炭素循環結合モデルは、気候が温暖化すると海洋と陸域が取り込む炭素は少なくなるという、正の気候フィードバックがあることを示している。この効果には多くの異なる要因が寄与している。例えば、海水が温暖化すると二酸化炭素溶解度は低下するため、炭素の化学反応が変化した結果、大気中の二酸化炭素増分を海洋が吸収する量が減る。陸域では、気温の上昇により温帯とそれよりも高緯度側における植物の生長期間が長くなるが、土壌炭素にまつわる呼吸の過程も速まる。

新しい炭素分配バランスに到達するためにどれだけの時間を要するのかは、炭素が様々な貯蔵庫を通過して移動する時間によって異なり、多くの時間スケールが存在する。炭素はまず「速い」炭素貯蔵庫(大気、海洋表層、陸域植生、土壌など)の間で、最大数千年の時間スケールで交換される。さらに長い時間スケールにおいては、きわめてゆっくりとした二次的地質過程、すなわち炭酸塩堆積物の溶解と地殻への堆積物埋没が重要になる。

FAQ 6.2 図2は、大気中に排出された大量の過剰な二酸化炭素(5000 PgC^[訳注]、これは工業化時代の始まりからこれまでに排出された累積二酸化炭素の約10倍)が減衰し、時間をかけて陸域と海洋に再分配される過程を説明している。最初の200年間は、海洋と陸域は同程度の量の炭素を取り込む。より長い時間スケールになると、海洋の貯蔵庫のサイズ(およそ38,000 PgC)が陸域(およそ4000 PgC)や大気(工業化時代以前は589 PgC)より大きいことから、主に海洋の吸収が卓越する。海洋化学を考えると、最初の投入量の大きさが重要になる。排出量が多いということは、二酸化炭素の大気中残留部分が大きくなることを意味する。2000年が経過した後、大気はまだ最初の二酸化炭素排出量の15%~40%を含んでいる。炭酸塩堆積物の溶解や火成岩との反応(ケイ酸塩の風化や堆積物埋没など)によるさらなる減少には、数万年から数十万年、あるいはそれ以上の期間を要する。



FAQ 6.2 図2 | ゼロ年に大気中に排出された過剰な量(5000 PgC)の二酸化炭素が、時間の関数として陸域と海洋に再分配されて減衰する過程。気候-炭素循環結合モデルにより算出。彩色面の大きさは、それぞれの貯蔵庫による炭素吸収量を表す。最初の2つの図はモデル相互比較実験から得られた複数モデルの平均値を示す(Joos et al., 2013)。最後の図は、より長期間にわたる再分配(炭素質堆積物の海洋溶解を含む)を示したもので、中程度に複雑な地球システムモデルによって計算している(Archer et al., 2009b)に従って描画)。

【訳注】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。