

環境学 3回目

地球の物質循環

- 大気循環
- 水循環
- 炭素循環
- 窒素循環
- リン循環



地球

太陽系の中で、
大気と水と生態系が確認
できる唯一の天体



ハビタブルゾーン


恒星の周辺で、惑星に十分な大気と水が存在できる範囲のこと。
恒星からの距離と恒星から受ける放射エネルギー量で決定される。
太陽系において、地球はまさにハビタブルゾーンに位置する。



水星 金星 地球 火星

木星 土星 天王星 海王星

他の恒星系のハビタブルゾーンに位置する惑星は、次々と発見されている



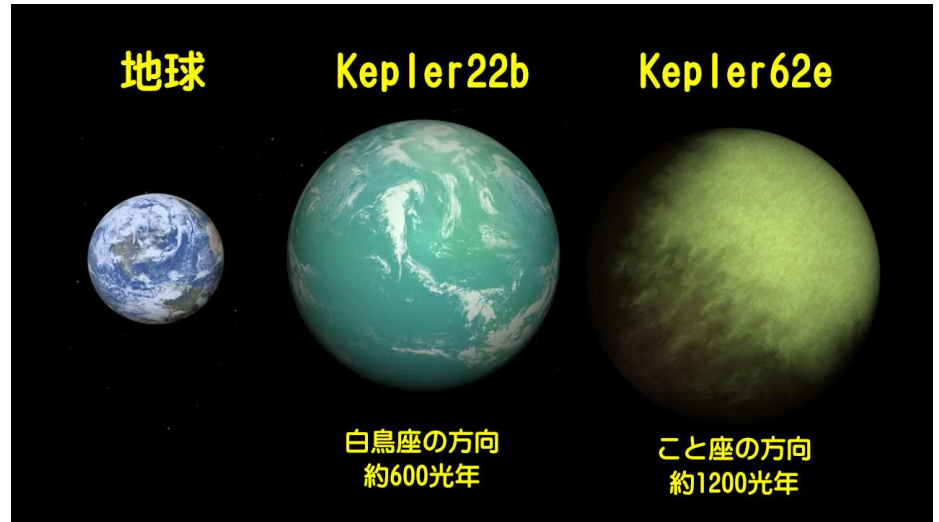
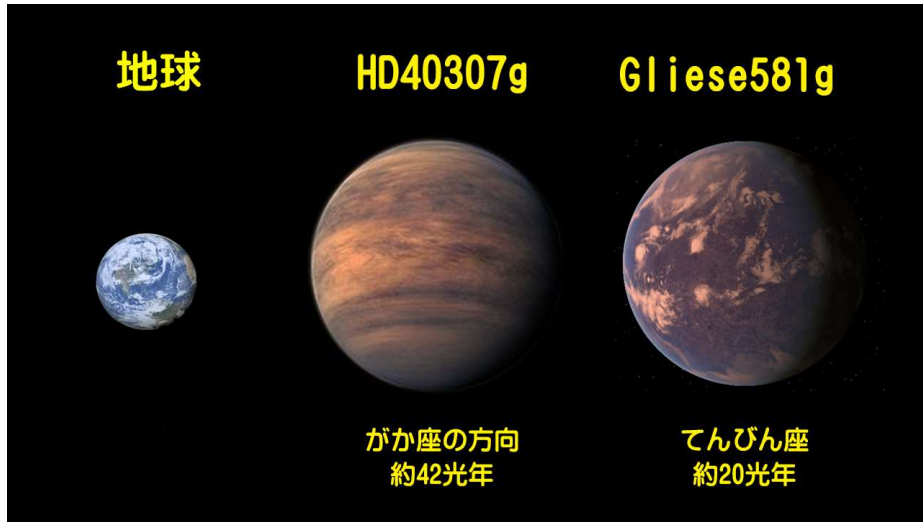
■ ハビタブルゾーン = 水が液体として存在できる温度領域

■ 中心星から受ける放射量で定義

Image Credit: Chester Korman
Planets: PH, et UPR Areobio, NASA/JPL/UMD/Arizona

Center star distance [Astronomical Unit]

Kasting, Kopparapu, Ramirez & Harman (2013)



地球の大気

大気とは、地球表面を層状に覆っている気体。地球科学で「地表を覆う気体」を扱う場合は「大気」といい、身近に存在する大気として扱う場合は「空気」という。

大気が存在する範囲を大気圏といい、その外側を宇宙空間という。大気圏と宇宙空間との学術的な境界は、一般的には、大気が無くなる高度約 100km のカーマン・ラインより外側を宇宙空間とする。

地球外周	約 40,000 km
地球自転	約 24 時間
地球表面速度	1,670 km/h
	464 m/s
音の速度	340 m/s

大気循環について

太陽から地球への熱の供給が原因となって発生する大気の大規模な循環現象をいう。

大気の流れは絶えず変化しているようにみえるが、地球規模で観察すると大気の流れは基本的には一貫しており、大規模な循環の構造ができあがっている。

太陽光

極循環 冷たい空気 地軸

フェレル循環 緯度60度 緯度30度 緯度90度 極地風 偏西風 偏西風

赤道 貿易風 貿易風

赤道 偏西風 偏西風

地軸

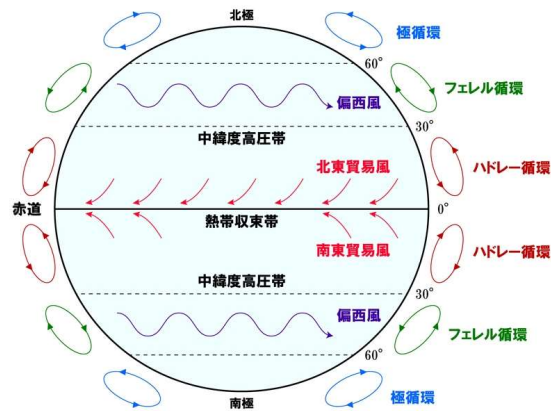
ハドレー循環 暖かい空気

温度差と地球の自転という2つの原因で、風が発生する。

偏西風は、フェレル循環の力と南北の温度差が関係し、自転の効果も加わる中緯度地帯で発生する東向きの風である。

偏東風は逆に、地球の周りを東から西へ向かって吹く風のこと、南北の温度差はあまりないが、ハドレー循環の力と地球の自転が最も影響する赤道付近で発生する。

この偏東風を「貿易風」とも呼んでいる。



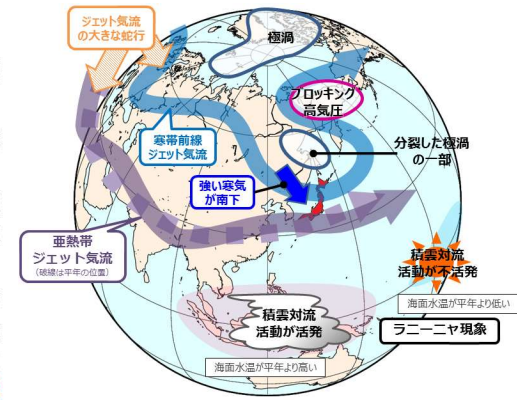
ジェット気流

ジェット気流とは、対流圏上層に位置する強い偏西風の流れ。

気流の中心に近いほど風速が速く、普通の風とは異なる。

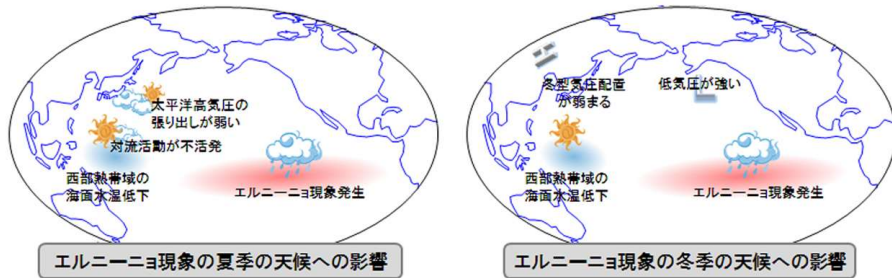
成層圏などにも存在するが、単に「ジェット気流」という場合は対流圏偏西風のことを指す。

特に上空 8~13km付近で風速が最大となる。主要なものとして北緯40度付近の**寒帯ジェット気流**と北緯30度付近の**亜熱帯ジェット気流**がある。



エルニーニョ現象

エルニーニョ現象とは、太平洋赤道域の日付変更線付近から南米沿岸にかけて海面水温が平年より高くなり、その状態が1年程度続く現象。日本では、冷夏と暖冬になりやすい。



ラニーニャ現象

ラニーニャ現象とは、太平洋赤道域の日付変更線付近から南米沿岸にかけて海面水温が平年より低くなり、その状態が1年程度続く現象。日本では夏は猛暑、冬は厳冬になりやすい。



地球上にある水について

地球は「水の惑星」といわれるように、表面の約70%は海洋に覆われている。

このため、宇宙から見た地球は青く美しく輝いている。

地球上の水の総量は、14億Km と推定されており、その内訳は、海水が約97.5% 淡水が2.5%の割合となっている。

この淡水のほとんどが南極北極等の氷や氷河や地下水であり、生物が利用できる河川や湖沼等の水として存在する淡水は地球上の水の約0.01%なのである。

地球上の水資源



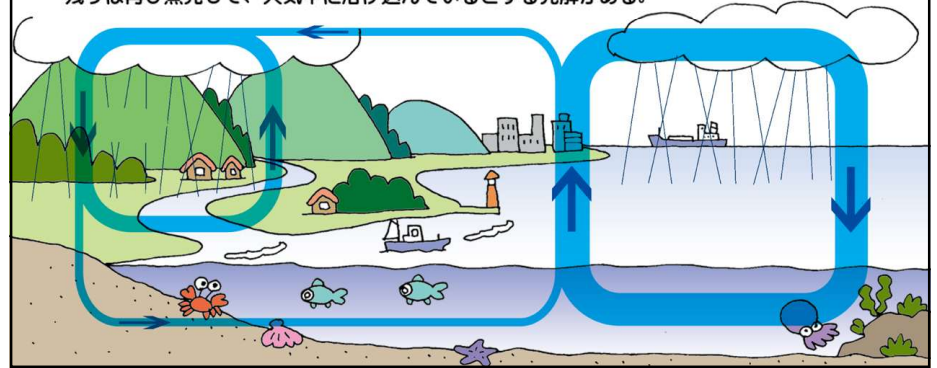
そのうち、人が利用できる水は

0.01%

出典：国土交通省 水管理・国土保全局 水資源部
『令和元年版 日本の水資源の現況』

水循環の主要な流れ

蒸発 → 凝結 → 雲の形成 → 降水 → 地表流 → 海 である。
太陽エネルギーと重力により、このサイクルが止めどなく繰り返される。
なお、降水のうち、河川となって海へ戻るのは、全体の約三分の一であって、残りは再び蒸発して、大気中に溶け込んでいるとする見解がある。



地球の物質循環

動植物の身体の9割以上（ほとんど全部）を占めるのは酸素、炭素、水素の三大元素である。

例えば、人体の構成元素では、酸素 61%、炭素 23%、水素 10%であり、これだけで 94%にあたる。はじめは植物が大気と土壤中から、これら三大元素を得て成長し、全ての地球上生物が植物を通じた食物連鎖で間接的に大気と土壤中から三大元素を獲得していることになる。

今回は、生物の構成元素として重要な、炭素・窒素・リンについて地球規模の循環を述べることにする。

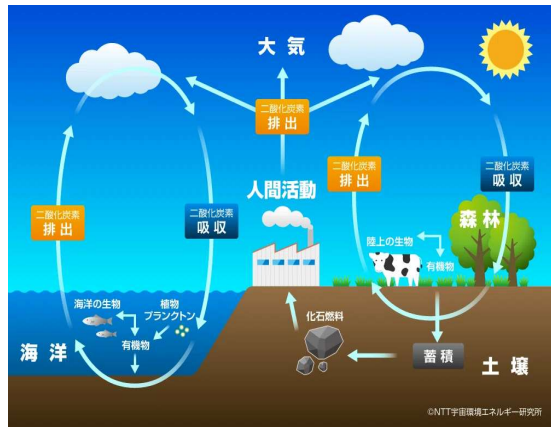


炭素の循環

炭素循環とは、地球上の大気、水、および陸地や海洋にいる様々な生物の間で炭素が循環することである。

炭素はその循環過程にて、二酸化炭素、有機物、化石燃料等、多様な形態に変化する。

産業革命以前では、大気中の二酸化炭素の量とそれ以外の炭素量の均衡がとれていたが、産業革命以降になると、大量な二酸化炭素が大気中に滞留するようになり、炭素循環の均衡が崩れてきた。

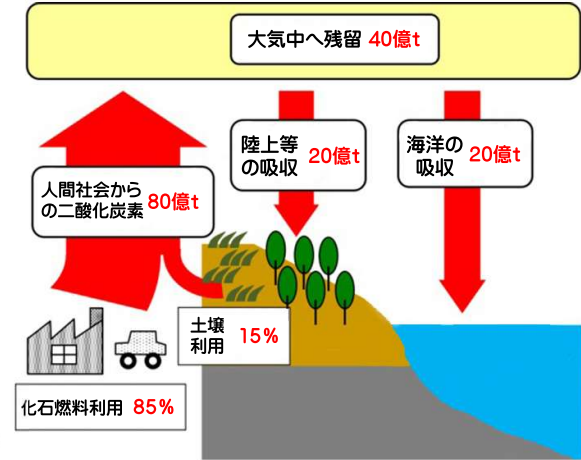


現代の炭素収支

石油・石炭など化石燃料の消費や、森林破壊等の人間活動によって大気中に放出される二酸化炭素は、炭素換算で年間約 8 Gt (Gt: 10億トン)。

このうちの約 2 Gt を海洋が吸収し、約 2 Gt を森林とその他の地球規模の吸収があるとしている。

残りの約 4 Gt が大気中に滞留すると見積もっている。

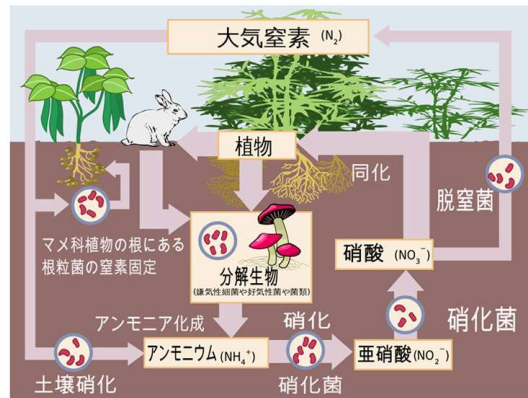


窒素の循環

窒素は大気中に酸素とともに存在し、また、植物や動物等の有機物の主要構成元素であり、自然界に普遍的に存在し、循環している。

窒素の循環は、細菌と植物のみが大気中の窒素を固定して有機物を合成していたため、うまく自然の循環が成立していた。

しかし、近代では化学工業が進歩し、大気中の窒素を利用した化学肥料を農地に散布するようになったため、循環量のバランスが大きく変化している。



窒素の利用と環境バランス

人間が使用する窒素を考えると、第一に、「化石燃料」があげられる。第二は、肥料を中心とする「工業的固定」、第三が衣食住、特に「食料」によるものとなる。これらの量的な割合は、それぞれおよそ 4 : 2 : 1 であると推計されている。

一方、人間が環境中に排出している窒素の量は、化石燃料の燃焼で約 6,000 万トン、廃棄物・肥料として約 4,700 万トンと推計され、総計で約 1 億 700 万トン/年の窒素を使用し、環境中に 1 億 700 万トン/年の窒素を排出していると考えられる。

窒素は、生態系の重要な構成元素であり、肥沃度等植物生産の重要な部分をなすとともに湖沼等の富栄養化の重要原因物質になっていることから、世界を巡るその収支がどうなっているかは、人間の生存基盤の現状を判断する重要な指標となる。

窒素による環境汚染

化石燃料等を燃焼させることによる大気中への窒素酸化物の放出は、近年、特に大都市地域を中心とする窒素酸化物に係る大気汚染といった問題をもたらしている。

強酸性を示す降雨や微粒子が降下する、いわゆる酸性雨の原因物質となっている。

酸性雨の問題はヨーロッパ、北米、中国等世界的な規模で発生し、スウェーデン、ノルウェー、カナダ等の湖沼では、魚が死滅するなどの影響が見られる。

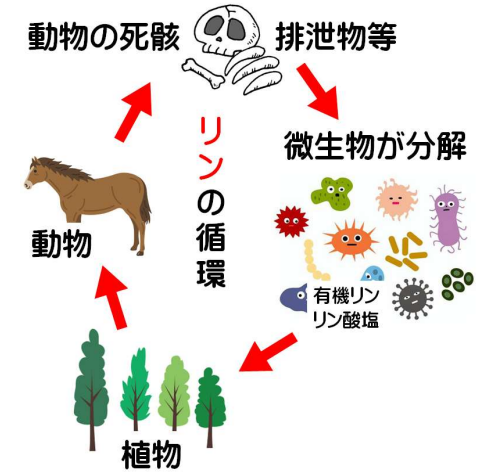


リンの循環

リンは、生物体の構成物質として重要であるが、基本的には岩石の風化による供給が主である。

造岩鉱物が風化され、その構成物質であるリン、カリウム、カルシウム、マグネシウムなどが溶出し、植物が利用可能になる。

植物体への吸収は、菌根菌の働きが大きく貢献している。植物に吸収されたリンは植物から動物へと移行し、生態系中を循環するが、長期的には水の流れにしたがって川から海へと流亡する。



リンの過剰による影響

リンは自然界においては基本的には不足しがちな物質なため、生物はそれを取り込むことに敏感であり、とくに水生生物の繁殖を左右する重要な元素である。

1970年代～1980年代にかけて合成洗剤（リン酸塩含有）を大量に河川に流したため、多くの海洋や湖水で藻類・植物プランクトンが大発生し水質悪化を起こした。

その後メーカーによる無リン洗剤の開発により水質の改善が進んだ。



現代社会とリン循環

リンは肥料以外にも、医薬品、染料、媒染剤、食品工業、可塑剤、界面活性剤、重合触媒、マッチ、半導体材料、発光ダイオードなどに広く用いられている。

現代は、排水にリンが多量に含まれており、しばしばリンの過剰による環境問題を起こしている。

その一方で石油と同様に、資源枯渇を招いている問題が起こっている。地球規模でリンの循環系の変化を捉え、人類の未来を見据えたリンの循環システムを構築する段階に来ているのである。

