



環境科学概論

早稲田大学創造理工学部
環境資源工学科
大気・水圏環境化学研究室



大河内 博

簡単な自己紹介

2分で分かる大河内研



- ・山や森が主な研究フィールドです。
富士山, 丹沢, 福島, 生田, カンボジア
- ・宮崎先生は大学院時代の後輩。現在は共同研究を行い、合同ゼミ合宿を開催。

質問は下記まで
hokochi@waseda.jp

大気・水圏環境化学研究室

空気・水・森林の環境診断
環境浄化技術の開発



山頂(3776 m)

富士山=観測塔

山麓(1300 m)

鉛直観測

越境汚染の監視

環境汚染物質

雨水の酸性化

酸性化・
重金属流出

森林樹木へ影響

窒素飽和

放射性物質の
森林内動態と森林除染



福島県浪江町の里山

富士山を「空」から眺める



協力：グリーンブルー

宮崎研究室と10年以上の交流



研究室創立10周年記念祝賀会 2015年11月7日
In リーガロイヤルホテル

6

2018年度 環境科学概論

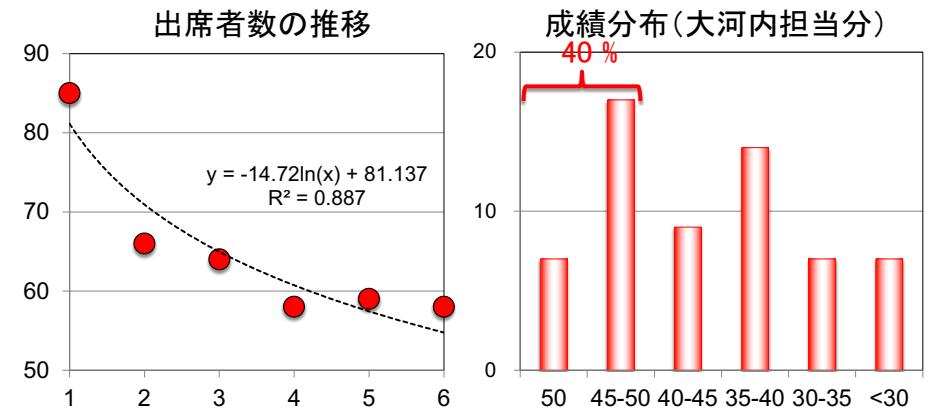
早稲田大学創造理工学部

大河内



この図は何でしょうか？

2017年度 環境科学概論



7

2018年度 環境科学概論

早稲田大学創造理工学部

大河内



環境科学概論 大河内 担当分

日程	内容
① 4/10	ガイダンス 環境科学とは？ 物質循環と物質収支
② 4/17	大気圏：地球大気の構造と性質， 大気汚染の実態
③ 4/24	水 圏：水の構造と性質， 水質汚染の実態
④ 5/ 1	生物圏：森林生態系サービス, 大気森林相互作用
⑤ 5/ 8	地球環境問題：酸性雨， 越境大気汚染， 地球規模汚染
⑥ 5/15	地球環境問題：地球温暖化， 成層圏オゾン
⑦ 5/22	学会参加のため休講：感想&レポート課題

* 成績評価: 試験 50点 + α (出席・課題・主体性) * 関数電卓必要
* 後半担当: 東京農工大学 片山葉子 教授 (必ず出席のこと)

8

2018年度 環境科学概論

早稲田大学創造理工学部

大河内



環境問題をどう解決するのか？

環境問題の解決 ➡ 正解はない！

では、どうするか？

- 1) 現状(現象)を正確に分析する。
- 2) その原因について確からしい仮説を立てる。
- 3) 調査・実験を繰り返して実証する。

そのためには...

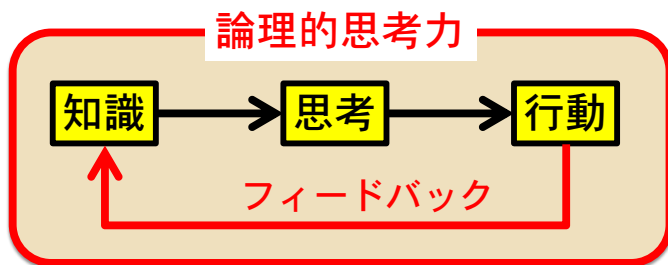
正しい知識が必要！

だから、皆さんは学んでいる



環境問題をどう解決するのか？

この手法は、環境問題の解決に限らない。



大学で学ぶ意義

知識を得ることはだけではない！

➡ **論理的思考力**を身につける

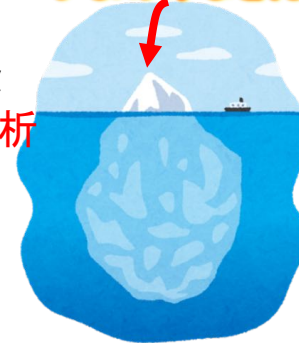


大学で何を学ぶべきか？

どこまで知識を得ればいいのか、どこまで考えればいいのか、誰も教えてくれない。**失敗を繰り返しながら、自分で身につけるしかない。**

根拠のない自信を持っている諸君、
自信をもてない諸君もいるでしょう。
根拠のある自信を持つには様々な
失敗を繰り返し、反省し、原因を分析
し、必要であれば**知識を得る**こと。
この繰り返しです。
みなさんの**潜在力は無量大**です。
大学時代に経験をたくさん積もう！

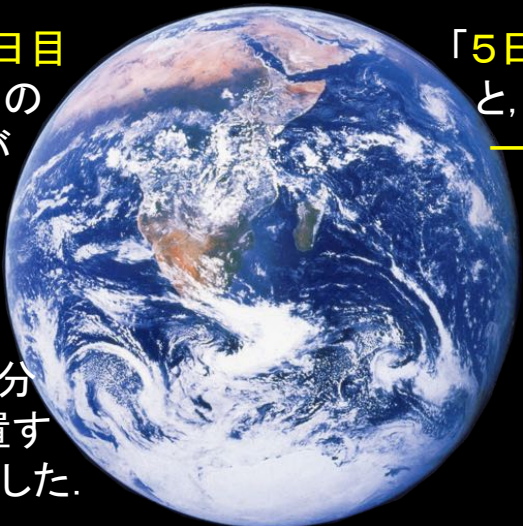
いまのみなさん



**宇宙からみた見た地球は
「blue marble (青いビー玉)」だった。**

「1日目と2日目
は、乗組員の
それぞれが
自分の国
を指さした。

3日目と4日
目には、自分
の国が位置す
る**大陸**を指した。



「5日目を過ぎる
と、全員が同じ
一つの地球に
住んでいる
ことを自覚
した。」

サウド宇宙飛行士(サウジアラビア)の言葉



宇宙船地球号

- ・提唱者：
バックミンスター・フラー
米国人・工学者
- ・提唱年：1962年
- ・考え方
地球：宇宙船
人類：操縦者
- ・地球を包括的にとらえ、**資源・エネルギーの有限性**を指摘

環境問題：
人間が操縦を誤った結果？





ガイア理論

・提唱者:

ジェームス・ラブロック

英国人・大気化学者

・考え方

地球: 自浄作用をもつ生命体

人類: 寄生虫?

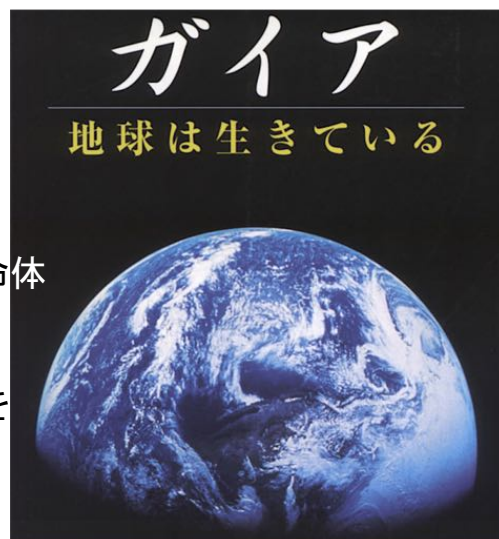
・地球と地球に住む生物が
相互に影響しあい、環境を
形成

→地球と人類との共生

環境問題:

人間の影響が大きくなりすぎた??

地球生理学, 地球システム科学へ発展



SDGs: 2016年~2030年までの国際目標

SDGs (持続可能な開発目標)

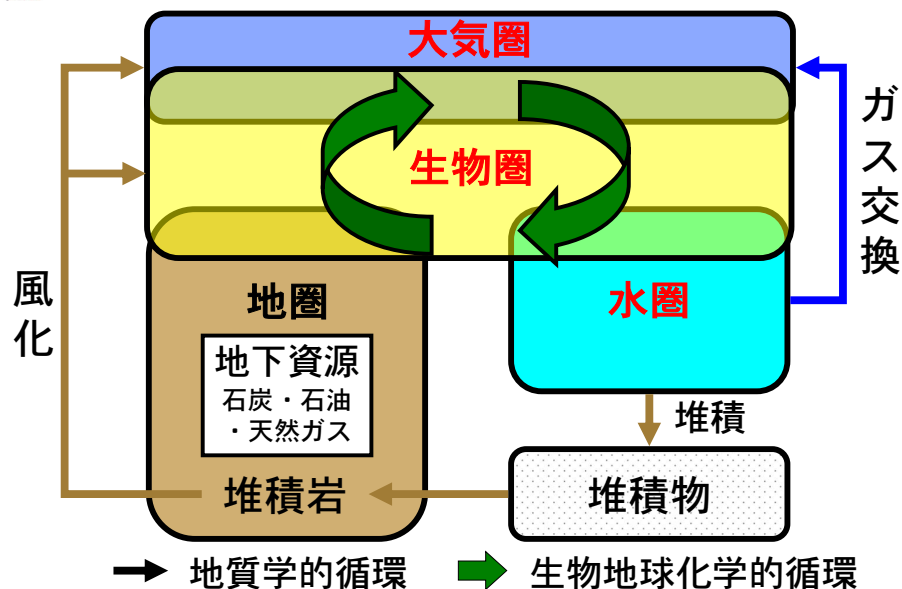
持続可能な開発のための2030アジェンダ



ゴール: 17
ターゲット: 169



地球表層の構成: 本講義の対象範囲



環境科学クイズ

1) 地球を直径40cmのビーチボールとすると
空気が存在する範囲はどれほど?

答: 紙の厚さ(約0.03 cm)

2) 飛行機の飛ぶ高さは高度何m?

答: 1万メートル (10 km)

3) 地球表層5kmまでで一番多い物質は?

答: 水

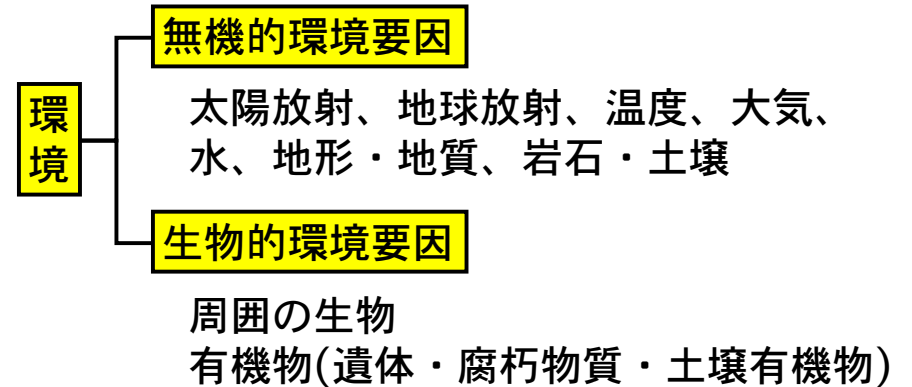
地球表層を平均水深3800 mで覆う

→ 水の惑星



環境とは？

生物を取り巻いて、生物の生活に影響を与えているすべてのもの



環境科学とは？

- ・地球環境問題
 - 成層圏オゾンの消失
 - 地球温暖化
 - 酸性雨
 - ・地域・局地環境問題
 - 大気汚染
 - 土壌・水質汚染
- の解決に貢献

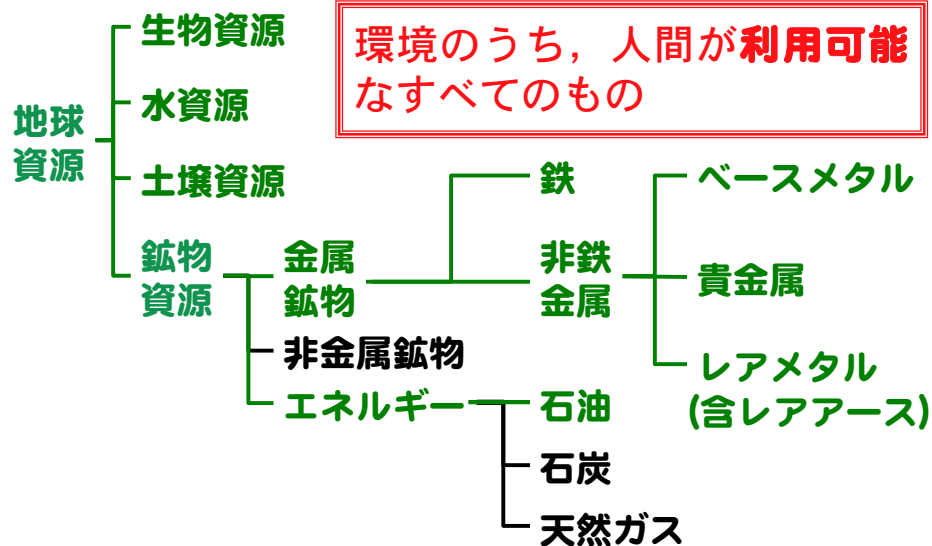
汚染のみに関する学問分野ではない

汚染とは何か？

環境とは？



資源とは？





汚染とは？

三段論法

- 1) 水道水中に水銀が検出された。
- 2) 水銀は毒である。
- 3) ゆえに、水道水は毒である。

ノダック(W.Nodack, ドイツ, 1925年 Reの発見者)

「すべての物質中には**すべての元素が存在**」
= **元素の普存律**

汚染: 何と比較するのか？

→ **自然界の存在量**
(バックグラウンド)



環境科学とは？

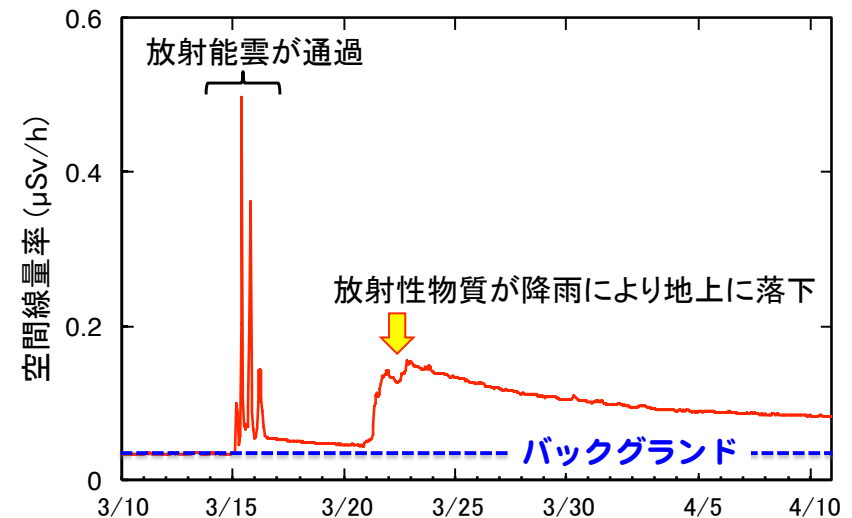
環境理解と環境問題を解決するための科学

- ① 自然界の**化学プロセス**(物質循環)を理解
- ② 自然界の物質循環に及ぼす**人類活動の影響**を評価
- ③ **環境問題解決**のために、科学の諸法則をどのように適用すべきかを解明

人類と地球との共生 = 環境問題の解決



バックランドとは…



2011

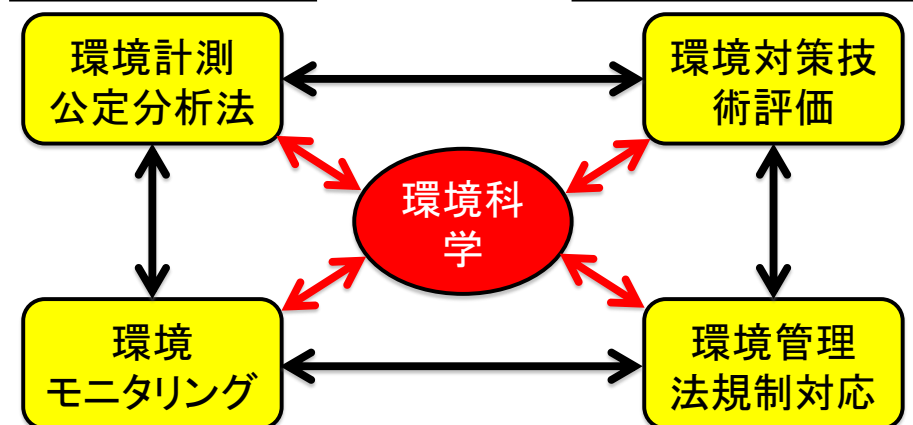
新宿区 東京都健康安全研究センター



環境科学の目的と意義

リスクアセスメント

リスクマネジメント



目的: 環境変化によるヒトや生態系への被害軽減
評価: 定量的 → 環境基準・排出基準(環境基本法)

物質を輸送する媒体

- ①地球表層の構成と物質循環
- ②物質を輸送する媒体



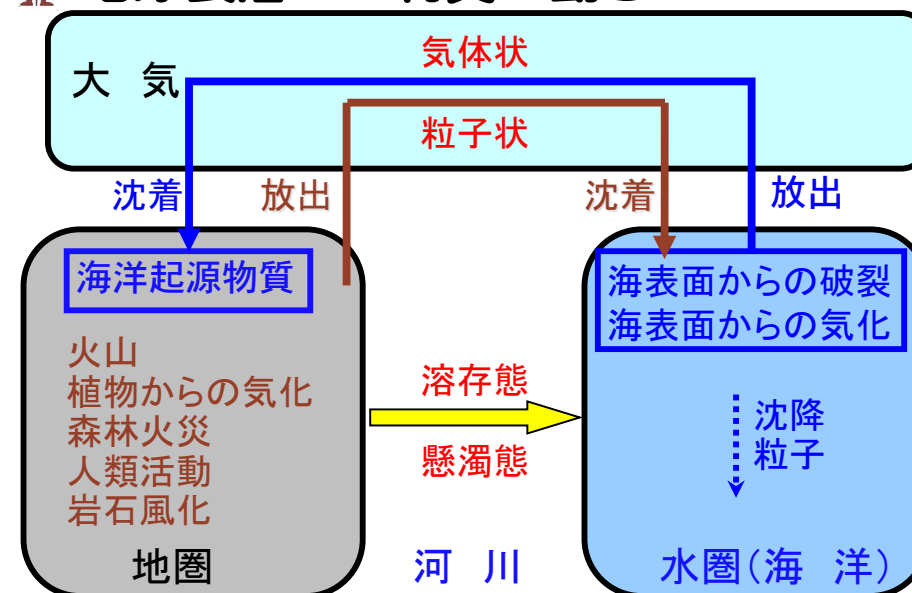
物質を輸送する媒体

- ① 大 気: 地球の自転 気圧差 降水
- ② 河 川: 重力 (高所→低所)
- ③ 海 洋: 地球の自転 風 密度差
- ④ 生 物
例) プラクトンによる水中養分吸収
- ⑤ 人 類
例) 動植物、地下資源から製品製造と廃棄

汚染物質の排出 輸送 → 被害の拡大



地球表層での物質の動き

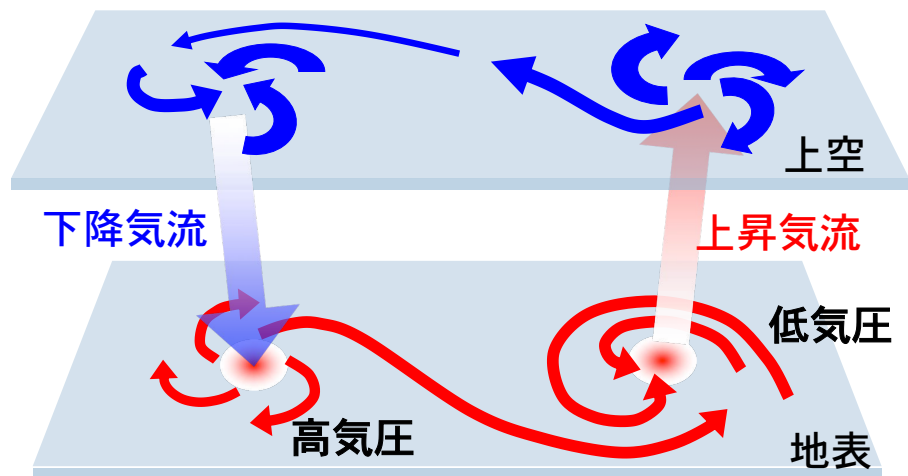


大気における物質輸送の支配要因

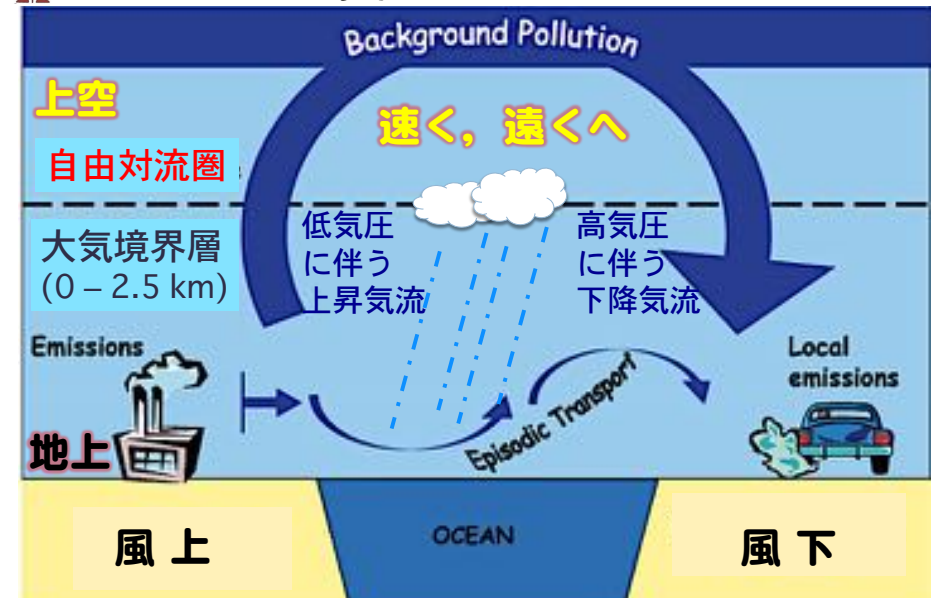
- 物質特性: 放出量 到達高度 滞留時間
- 大気特性: 風向 風速
 - a. 地球規模の大規模な流れ
 - 中緯度域(緯度30—60度): 偏西風
中心は高度12 km付近
夏(15 m/s) < 冬(35 m/s)
 - 熱帯域(赤道—緯度30度): 貿易風
 - b. 季節風 : 夏は海→陸、冬は陸→海
 - c. 海陸風 : 昼は海→陸、夜は陸→海



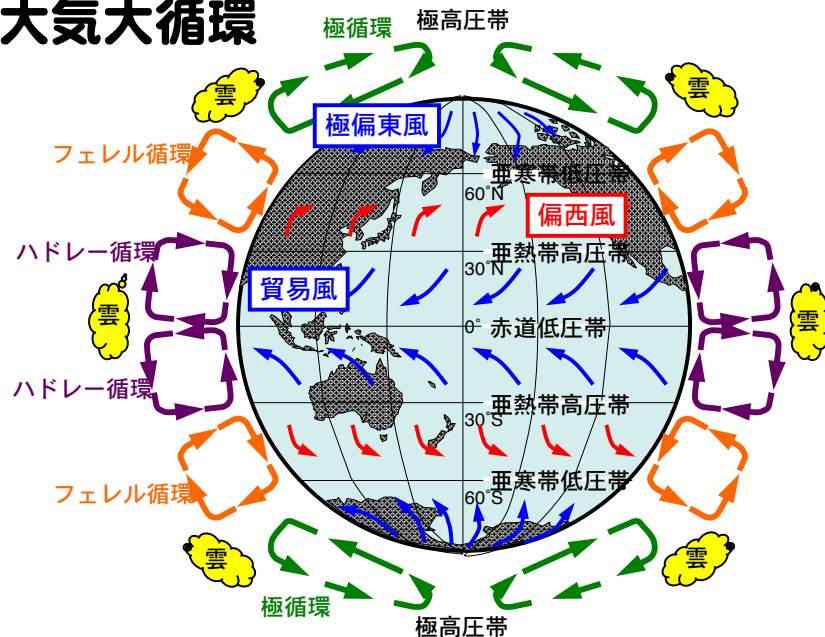
大気の動き：低気圧と高気圧



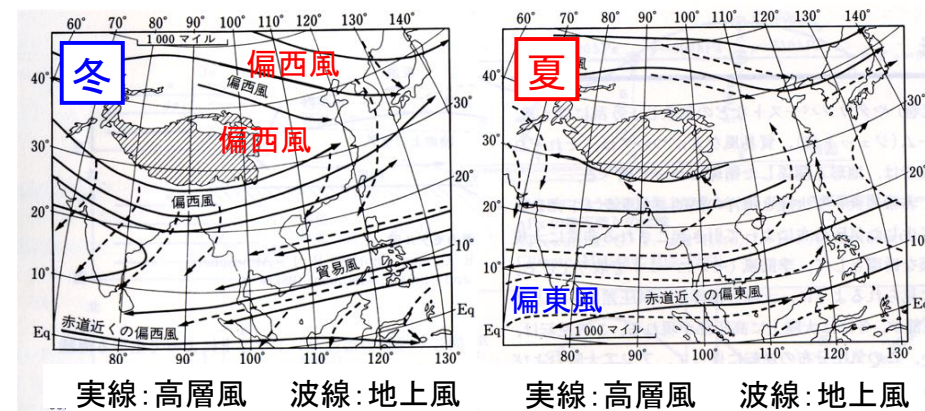
大気汚染物質はどこを運ばれる？



大気大循環



季節による変化：季節風

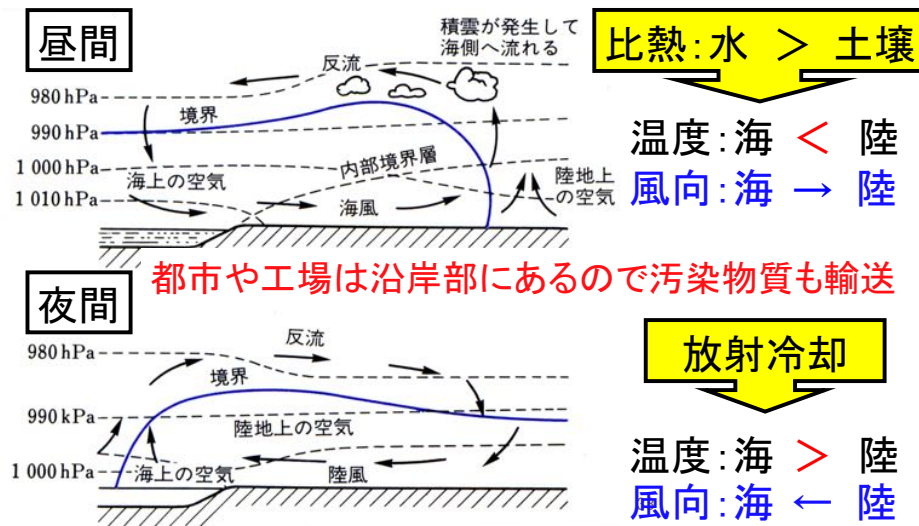


大陸に高気圧
日本：地上部で北西風

大陸に低気圧
日本：地上部で西～南西風



1 日周期の変化：海陸風



地球規模の粒子状物質の大気輸送

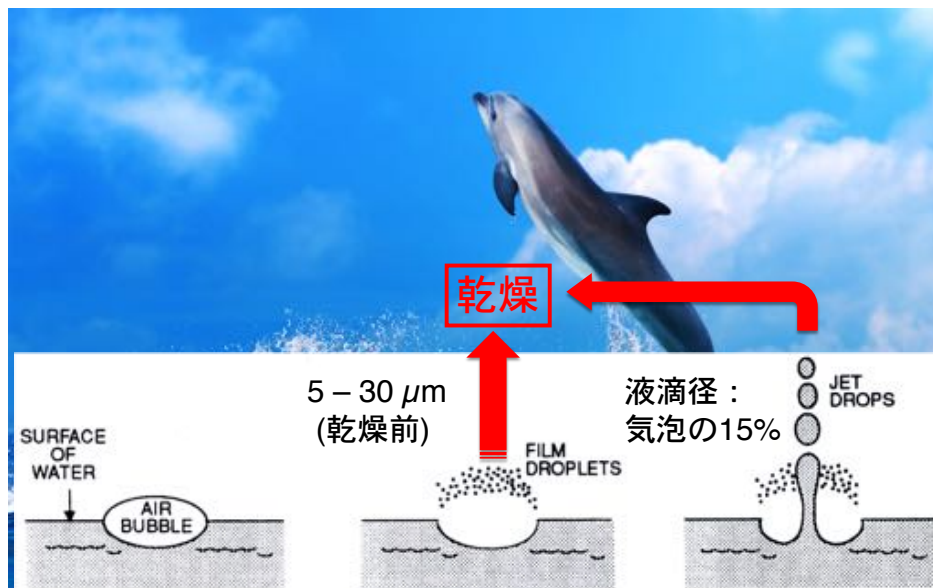
種類	輸送量(10 ⁹ kg/y)
海塩粒子	1000 - 1500
土壌粒子	500 - 750
火山灰	25 - 50
森林火災起源粒子	35

黄砂

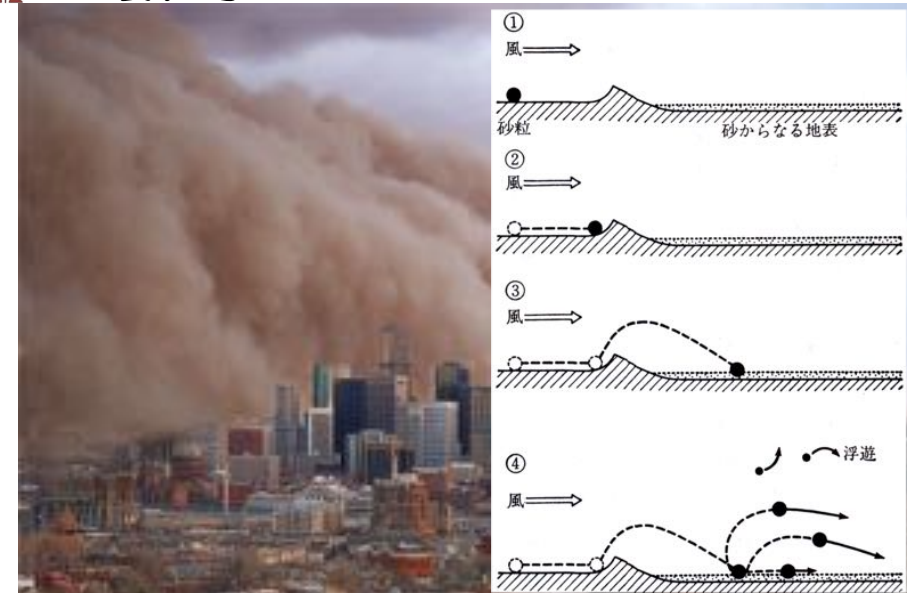
- ・ 春に中国大陸奥地→日本
- ・ 移動速度 500 km/日



海塩粒子とは？

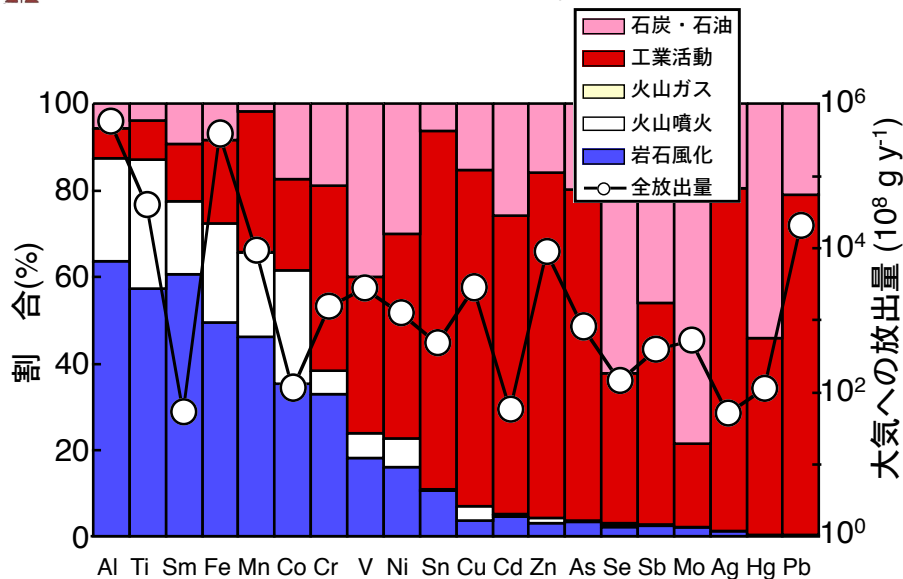


土壌粒子とは？

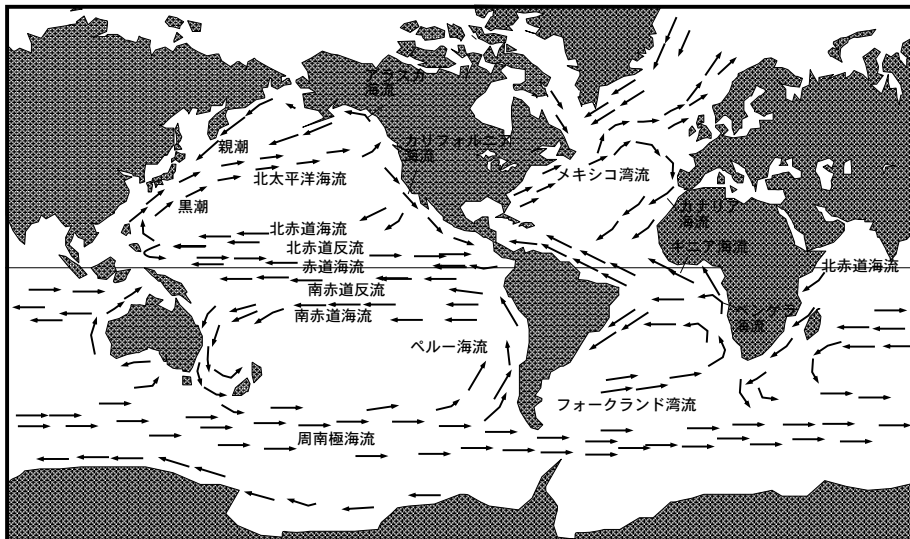




地上から大気への元素放出量



海洋循環：風成循環（表層海流）



海洋循環

➤ 風成循環：海面上の風と地球の自転

- ・亜熱帯循環：中緯度地方

北半球：時計回り 南半球：反時計回り

黒潮(日本海流)：亜熱帯循環の一部

幅：100 - 200 km、表面流速：1.5 m/s

- ・海洋組成を均質化（表面～500 m）

➤ 熱塩循環：海水の密度差

- ・高緯度：海水は低温 → 高密度 → 沈降
- ・深層水：高緯度 → 低緯度（1 cm/s 以下）
- ・陸供給物質の海洋全体へ拡散

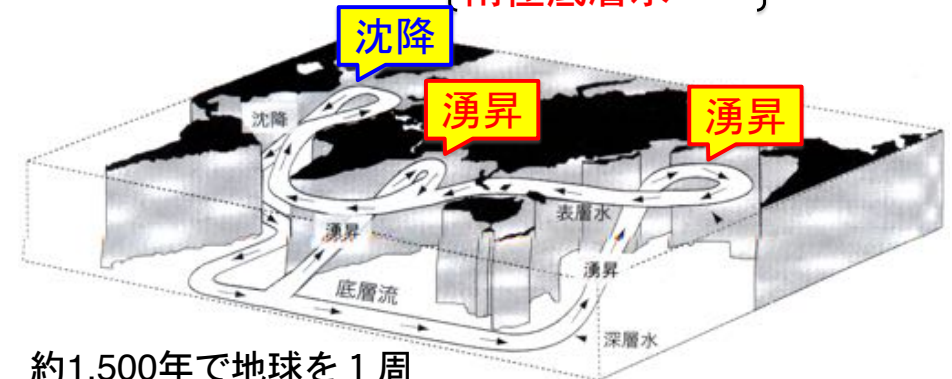


海洋循環：熱塩循環（深層循環）

北極海と南極海で海水が氷結

➡ 表層海水の塩分濃度：増加

➡ 表層海水の沈降 { 北大西洋深層水
南極底層水 } を形成



約1,500年で地球を1周

河川を通じた物質輸送

河川：陸から海へ物質を輸送するパイプ

世界河川の年間流量： 40×10^{15} L
 河川中の溶存成分濃度：100 mg/L
 河川中の懸濁物質濃度：400 mg/L

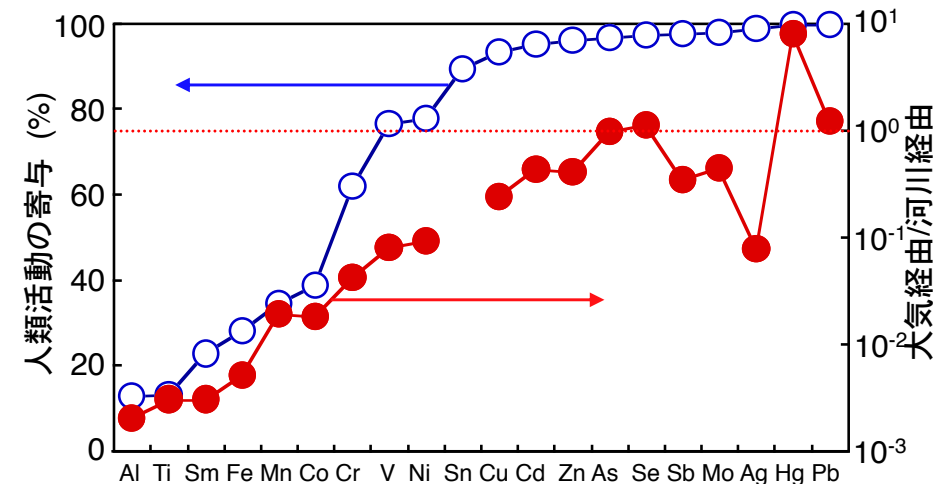
年間輸送量 20×10^{12} kg

- 溶存物質： 4.0×10^{12} kg
- 懸濁物質： 16×10^{12} kg
 (無機物： 12×10^{12} kg)

大気経由の土壌粒子輸送量より1桁大

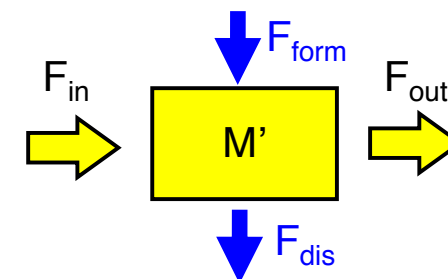
海洋への流入経路：大気 vs 河川

人為起源の物質：大気を通じて海洋に運ばれる！



物質収支 (Mass Balance) とは？

ある系に投入した物質質量と、その系から得られた物質質量との収支



化学反応を伴う場合

物質収支 $M' = F_{in} - F_{out} + F_{form} - F_{dis}$

蓄積項 流入項 流出項 生成項 消失項

43 平均滞留時間

①物質収支とは？

流速と流束

②定常状態と平均滞留時間

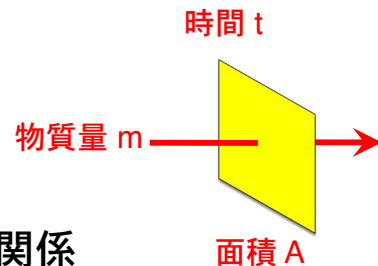
③水の分布と平均滞留時間

④海水中元素濃度と平均滞留時間



流速と流束

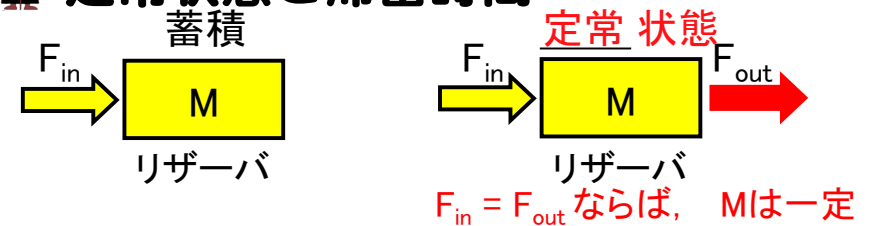
- 流束 Flux = $m/(A t)$
単位時間に単位面積
を通過する物質質量



- 流速 Flow と流束 Flux の関係

$$\begin{aligned} \text{Flux} &= \frac{\text{Flow}}{\text{area}} = \left(\frac{\text{amount}}{\text{time} \times \text{area}} \right) = \left(\frac{\text{concn} \times \text{vol}}{\text{time} \times \text{area}} \right) \\ &= \left(\frac{\text{concn} \times \text{area} \times \text{height}}{\text{time} \times \text{area}} \right) = \left(\frac{\text{concn} \times \text{height}}{\text{time}} \right) \\ &= \text{concn} \times \text{speed} \end{aligned}$$

定常状態と滞留時間



- 平均滞留時間(mean residence time) τ

大気圏, 海洋など, ある系に物質が入り,
それが系から出るまでの平均の時間

$$\tau = \frac{M}{D}$$

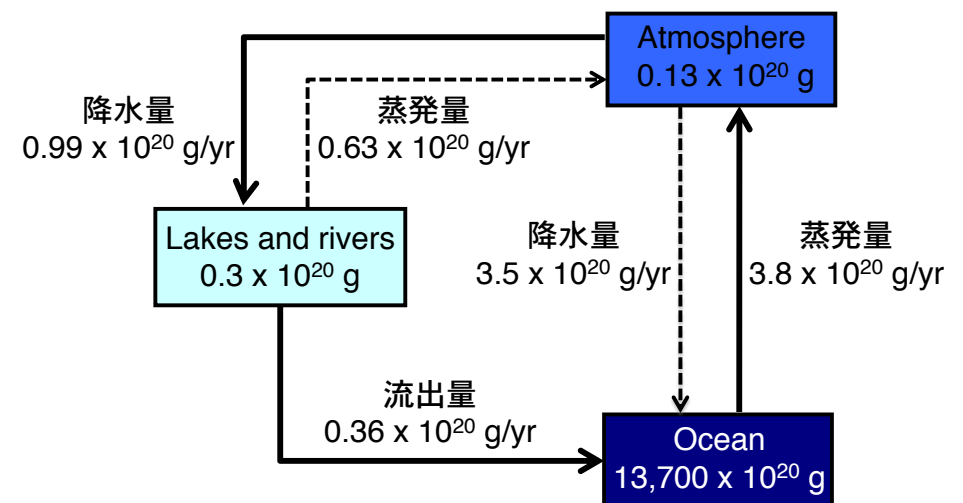
M : 貯蔵源中の貯留量
 D : 貯蔵源への供給速度

安定な物質 → 平均滞留時間: 大

地球表層における水の分布と滞留時間

水の種類	貯留量(10^3 km^3)	割合(%)	滞留時間
海水	1,350,000	97.5	3200 年
氷雪	24,230	1.75	9700 年
地下水	10,100	0.73	840 年
湖沼水	219	0.016	17 年
土壌水	25	0.001	0.3 年
河川水	1.2	0.00009	13 日
水蒸気	13	0.0009	10 日
合計	1,384,000 (淡水分 35,015)	100 (淡水 2.5%)	

水循環のボックスモデル





水の滞留時間の算出

- ・ 海洋 : 3550年

$$\frac{13,700 \times 10^{20} \text{ g}}{(0.36 + 3.5) \text{ g/y}} = 3550 \text{ y}$$

- ・ 大気 : 11日

$$\frac{0.13 \times 10^{20} \text{ g}}{(3.8 + 0.63) \times 10^{20} \text{ g/y}} = 0.03 \text{ y} = 11 \text{ days}$$

- ・ 河川 & 湖沼 : 110日

$$\frac{0.3 \times 10^{20} \text{ g}}{0.99 \times 10^{20} \text{ g/y}} = 0.303 \dots \text{ y} = 110 \text{ days}$$

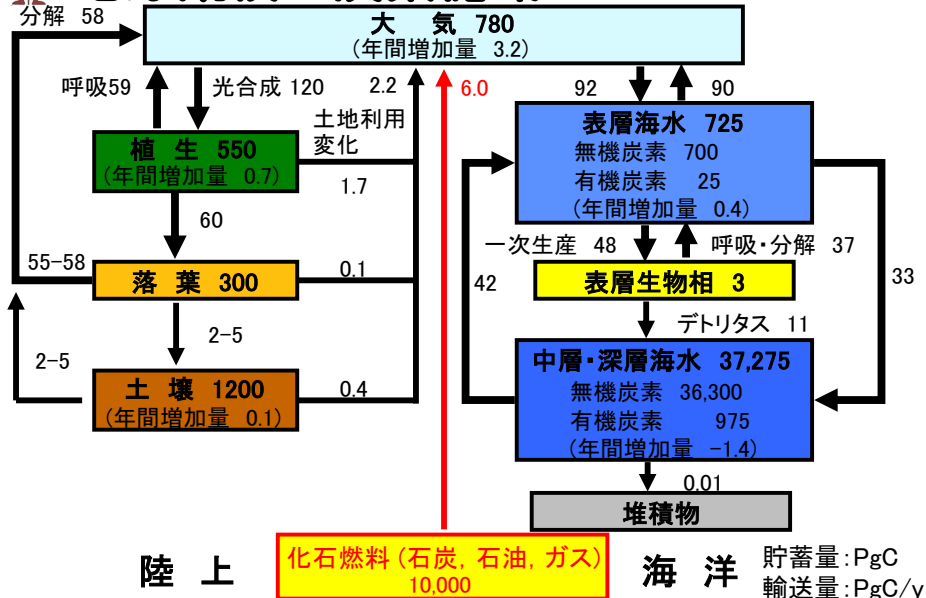
50

地球規模の物質循環

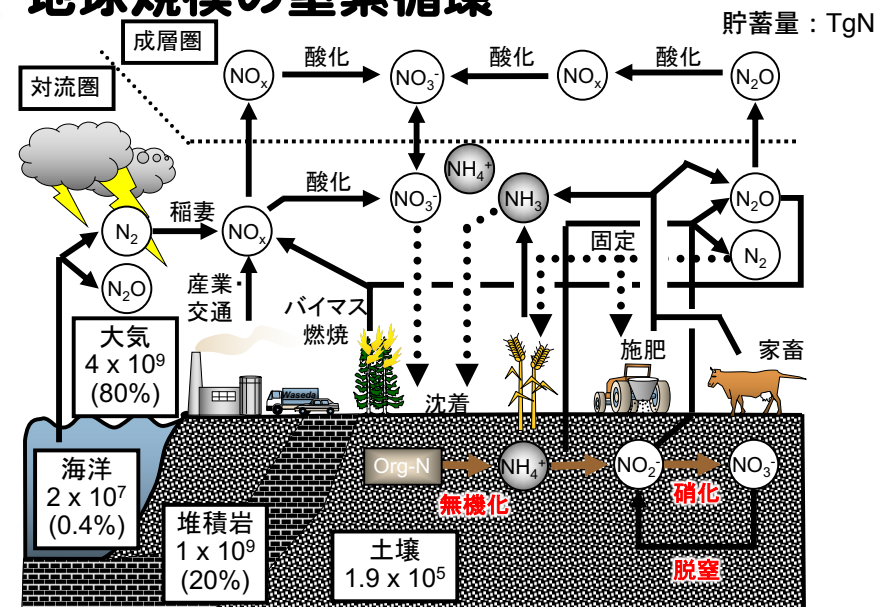
- ①炭素循環
- ②窒素循環
- ③硫黄循環



地球規模の炭素循環



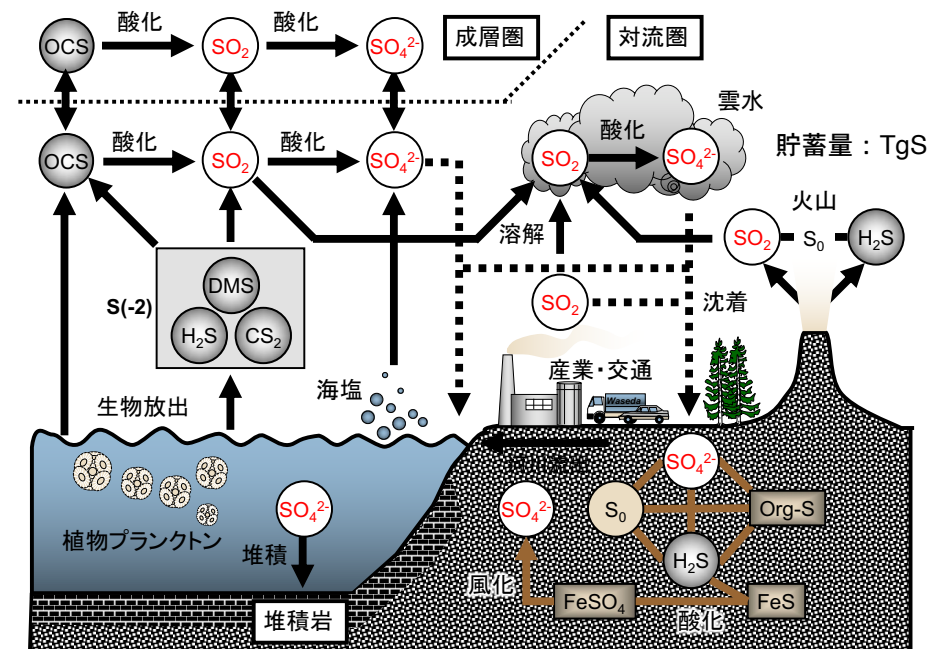
地球規模の窒素循環





地球規模の窒素放出

発生源	放出量 ($\times 10^{12}$ g/y)
化石燃料燃焼	24
土壌 (自然+人為)	12
森林火災	8
稲妻	5
アンモニアの酸化	3
航空機	0.5
成層圏からの輸送	0.1



地球規模の硫黄放出

$$\text{SO}_2 \begin{cases} \text{人為起源(化石燃料)}: 80 \times 10^9 \text{ kg-S/y} \\ \text{自然起源} : 70 \times 10^9 \text{ kg-S/y} \end{cases}$$

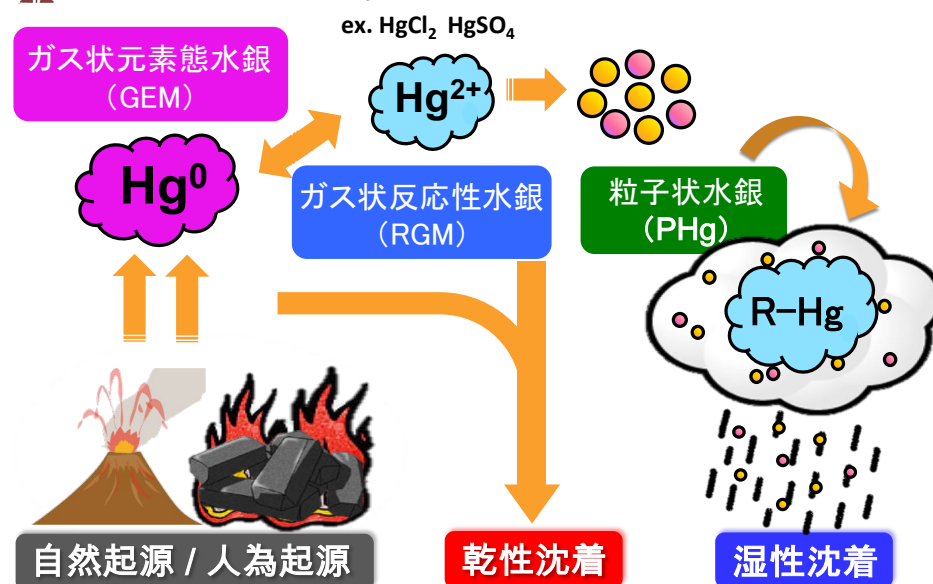
人為起源 \approx 自然起源

➤ SO₂以外: 主に 生物起源

化合物	分子式	濃度(ppb)	平均滞留時間
硫化カルボニル	COS	0.07 – 0.6	0.5 – 20 y
二硫化炭素	CS ₂	0.03 – 0.6	0.02 – 1 y
硫化ジメチル	(CH ₃) ₂ S	0.03 – 0.06	0.8 – 1 d
硫化水素	H ₂ S	0.01 – 4	0.5 – 3 d
二酸化硫黄	SO ₂	0.01 – 0.1	3 – 7 d



水銀の地球規模汚染





水銀の地球規模汚染

水銀の使用によって	0.24
石炭の燃焼によって	0.3
石油の燃焼によって	0.16
セメントの生産過程から	0.01
硫化鉱物の精錬，ばい焼から	0.3—3
人類活動による放出計	1.0—3.7

GEM(Hg^0)について

□ 大気中**95%**以上

□ **難溶**(水) + **化学的不活性**

→ **大気中寿命：1～2 年**

+ アジアの水銀排出量：**大**

cf. 世界の水銀排出量：**54%**

→ 風下地域に**広域拡散**