

2008 年度冬学期

環境物質科学
(松尾基之教官)
試験対策プリント
演習問題集

目 次

前書き	授業内容について
演習問題 1	語句説明問題
演習問題 2	【全章まとめ】空欄補充問題
演習問題 3	単位・濃度問題
演習問題 4	大気圏の基礎知識確認問題
演習問題 5	水圏の基礎知識確認問題
演習問題 6	化学物質に関する小問
演習問題 7	地球温暖化に関する問題
演習問題 8	オゾンホールに関する問題
演習問題 9	酸性雨に関する問題
演習問題 10	考察問題

製作

2008 年度理科ⅡⅢ類 7 組

高橋 めぐみ

前書き

★授業内容

環境問題の大枠は以下の6つだそうです。①酸性雨②地球温暖化③オゾン層破壊④砂漠化⑤森林破壊⑥ごみ問題。環境物質科学の講義では、環境問題を主に物質の循環という観点から論じています。

第1章 序論

- 1-1 地球環境問題
- 1-2 環境問題の質と変遷
- 1-3 化学で用いられるSI単位と接頭語
- 1-4 濃度の単位
- 1-5 物質収支と定常状態
- 1-6 物質の移動

第2章 大気を通じての物質循環

- 2-1 大気構成
- 2-2 大気中の化学成分
 - 2-2-1 気体成分
 - 2-2-2 エアロゾル態の成分
- 2-3 大気圏からの物質の除去過程
 - 2-3-1 降水現象
 - 2-3-2 化学物質の降下
- 2-4 大気-海洋間の物質交換

第3章 水圏を通じての物質循環

- 3-1 水の分布
- 3-2 海水
 - 3-2-1 水は生命の故郷
 - 3-2-2 海洋の構成
 - 3-2-3 海水中の化学成分
- 3-3 0.0001%の河川水
- 3-4 水とともに移動する化学元素

第4章 地球温暖化

- 4-1 地球のエネルギー収支
- 4-2 温室効果
- 4-3 大気中のCO₂濃度
- 4-4 温暖化が地球に与える影響

第5章 オゾンの化学

- 5-1 オゾンとは
- 5-2 オゾン層とは
- 5-3 オゾン層の発見
- 5-4 オゾン層の観測
- 5-5 オゾン層の形成
- 5-6 オゾン層の破壊

第6章 フロンとオゾンホール

- 6-1 フロンとは
- 6-2 フロンによるオゾン層の破壊
- 6-3 南極上空のオゾンホール
 - 6-3-1 オゾンホールの発見
 - 6-3-2 生成のメカニズム
- 6-4 モントリオール議定書と代替フロン

第7章 酸性雨

- 7-1 汚染のない雨のpH
- 7-2 酸性雨検討の歴史
- 7-3 酸性雨の原因
- 7-4 酸性雨による影響
- 7-5 土壌による酸性雨の中和

第8章 生物圏・生活圏の環境

- 8-1 森林の減少・砂漠化の増大
- 8-2 野生生物の危機
- 8-3 世界人口の増大
- 8-4 環境にやさしいプラスチック
- 8-5 素顔のダイオキシン
 - 8-5-1 化学的性質
 - 8-5-2 発生過程
 - 8-5-3 生物への影響
 - 8-5-4 日本での汚染レベル

D系列だけど頑張ってみました。授業ノート・資料・過去問はアップローダーから別途落としてください。演習問題がある程度できれば多分良がきます。シケプリに不備がある場合はご連絡ください。なお、日本語の不備は仕様ですのでご了承ください。

2学期からシケ対が活動しないクラスもある中、今学期もシケ長として任務を遂行できたのもみなさまの助力あってこそです。まだ必修科目の試験もありますが頑張りましょう！数2が可以外取れる気がしません(^ω^)

演習問題 1

環境物質科学に関連した次の用語を説明せよ。

(1) ボックスモデル

物質収支を数式化したモデルのこと。物質の収支の場としてリザーバーを考え、リザーバー内の物質と単位時間当たりの流入量と流出量との関係を数式化する。

(2) リザーバー

ボックスモデルを考えるある空間。

(3) 平均滞留時間

ある物質がリザーバーに滞留する平均時間。

(4) エアロゾル

海塩粒子・土壌粒子・火山や流星からの粒子・煤煙粒子・硫酸アンモニウムなどの気体からできた粒子の総称で、存在量が少ないものの τ が短いため、物質移動への寄与が大きい。

(5) Enrichment Factor

Enrichment Factor とは濃縮係数のことを示す。例えば地殻物質に対する Ef 値を考えるとすると、評価したい元素 X と地殻を主な起源とする参照元素 R（例えば Al、Fe）の空気中における濃度の比を分子、地殻中における濃度比を分母としたときの値である。R には地殻以外からの寄与が少ない元素を用いることが望ましい。

$$Ef_{crust} = \frac{\left(\frac{X}{R}\right)_{air\ sample}}{\left(\frac{X}{R}\right)_{crust}}$$

海洋物質に着目するなら参照元素として Na などを用いる。

(6) レインアウト・ウォッシュアウト

両者とも、大気中の物質の降水による除去過程を示す。レインアウトは雲の中で雲滴に解けて降下することによる除去過程で濃度は降り始めも終わりもほぼ同じ。ウォッシュアウトは雲底下で雨滴に捕捉されることで降下する除去過程で濃度は降り始めに高い。

(7) ドライフォールアウト

大気中の物質が降水によらない方法で除去される過程。例えば、重力による自然落下や樹木などに捕捉されたものが雨により流されるといったものがある。

(8) アルベド

大気や地球の表面で錯乱あるいは反射される太陽エネルギーの割合。

(9) 温室効果

対流圏オゾン・二酸化炭素・メタンといった温室効果ガスの影響により起こる大気圏内の温度上昇をさす。温室効果ガスは地表により反射された赤外光領域の波長を吸収する。光波は $E = h\nu$ のエネルギーを持つので、吸収された分だけ大気圏内にとどまる熱は増加することになる。

(10) missing sink of CO_2

人類が排出した二酸化炭素の全量と考えた場合、大気圏に放出されているのはおよそ半分である。海洋への溶解を考えたとしてもそれは4分の1に過ぎない。この行方のわからない二酸化炭素の行き先として、バイオマス（緑色植物）といった陸域生態系による吸収が考えられる。

(11) 光化学スモッグ

窒素酸化物や炭化水素が紫外線の影響で光化学反応を起こし生成する有害な光化学オキシダント（オゾンやアルデヒドなど）やエアロゾルが空中に停留しスモッグ状になること。

(12) オゾン全量

大気の上端から下端までに存在するオゾンの量を鉛直方向に積分した量。ドブソン単位で表される。

(13) ドブソン単位

オゾン全量を示す単位。 $0^{\circ}\text{C} \cdot 1 \text{ atm}$ におけるオゾン層の厚さで、1 ドブソンは $1/1000 \text{ atm} \cdot \text{cm}$ (ミリアトモスフィアセンチメートル) のことをさす。220 ドブソンを下回るとオゾンホールとみなされる。

(14) 触媒反応サイクル

成層圏中の塩素原子などの塩素系・臭素系反応性物質は、オゾンの触媒反応サイクルの触媒として成層圏オゾンの分解を引き起こす。1 個のフロン分子が触媒反応サイクルを終えるまでに数万個のオゾン分子を分解するといわれている。

(15) フロン番号

フロン番号とは、多くの種類存在する炭素・水素・塩素・フッ素からなるクロロフルオロカーボンの略称である。1 の位は 1 分子中にふくまれる「F の個数」、10 の位は「H の個数 + 1」、100 の位は「C の個数 - 1」を示していて、「C の個数 + 2 - F の個数 - H の個数」が Cl の個数である。

(16) オゾンホール

南極や北極上空の成層圏オゾン層の春季においてオゾン濃度が著しく減少している箇所。

(17) フロン

フロンは冷媒・洗浄剤・エアロゾル噴射剤・プラスチック発泡剤としての実用性を備え過去多く用いられてきたが、対流圏で分解されないため成層圏まで上昇する。成層圏に達するとオゾン層破壊を起こしてしまうため、現在は使用に規制がかかっている。

(18) 特定フロン

オゾン層保護のため国際条約により規制の対象となっているフロンのこと。(モントリオール議定書では、11, 12, 113, 114, 115 が特定フロンに定められた。)

(19) 代替フロン

フロンの実用性を兼ね備えるが環境に対する悪影響の少ない化学物質をさす。代替フロンは①温室効果への影響の少ない②対流圏で分解されることで成層圏に到達しない②' 成層圏でも分解されないといった特徴を持つが、②' は今後どのように環境へ影響するかがわからないので除外されるべきである。

(20) 酸性雨

pH の定義から考えると 7.0 より小さければ酸性を示すことになるが、酸性雨とは pH が 5.6 以下の雨を示す。(大気中の二酸化炭素が雨に解けたと考えた場合の雨の pH は 5.7 であり、人為的に排出された硫黄化合物や窒素化合物が雨滴に取り込まれることで pH が下がってしまった雨のことを酸性雨と定義しているから)

(21) Acid Neutralization Capacity

酸中和能のことを示し、「土壌間隙水の pH が 4.7 に低下するまでに土壌 100g が消費する H^+ の量」のこと。

(22) 砂漠化

乾燥地帯において植物を育てられなくなった土地と化すこと。砂漠化している土地は現在 35 億 ha 存在する。

(23) 生分解性プラスチック・崩壊性プラスチック

生分解性プラスチックとは土壤中の微生物で分解されるプラスチックのことである。ポリ乳酸やセルロース・キトサン系生分解性プラスチックは微生物に完全に分解される。一方、崩壊性プラスチックとは、一般のプラスチックにでんぷんやPVA（ポリビニルアルコール）を混合することで、でんぷん・PVAの部分が土壌生物に分解されるためで土壌中で粉々になる。ただし完全には分解されない。

(24) ダイオキシン

ダイオキシン類とは、PCDD（ポリ塩化ジベンゾパラジオキシン）・PCDF（ポリ塩化ジベンゾフラン）・Co-PCB（コプラナーポリ塩化ビフェニル）の総称であり、塩素を含む物質の不完全燃焼や薬品類合成の際の意図しない複合成物として発生する。常温で無色の固体で水に溶けにくく油に溶けやすい。自然界で安定で分解されにくい。

(25) Toxicity Equivalency Quantity

ダイオキシン類の毒性の強さを、ダイオキシン類の中で最も毒性の強い2,3,7,8-TCDDに換算した値。

(26) ppmv

ppmとは百万分率のことをしめす。重量濃度でも体積濃度でもppmを用いることができるため、これらの区別をつけるために体積濃度を示すときはppmvと表記する。

(27) 黄砂

黄砂とは、東アジアや中央アジア内陸部の砂漠または乾燥地帯の砂塵が、強風を伴う砂嵐によって巻き上げられ飛来し、遠方の地域に沈殿する現象。

(28) ODP・GWP

ODP（Ozone Depletion Potential）とはCFC11を1とした重量あたりのオゾン破壊能力の推定相対値であり、オゾン破壊係数とも言う。GWP（Global Warming Potential）はCFC12を1とした重量あたりの温室効果の推定相対値である。

(29) モントリオール議定書

ウィーン条約に基づき、オゾン層を破壊するおそれのある物質を特定し、該当する物質の生産、消費及び貿易を規制することをねらいとしている。5種類のフロンと3種類のハロンを1986年を基準として1994年までに20%削減し、1999年までに50%削減することを定めた。（具体的には、成層圏オゾン層破壊の原因とされるフロン等の環境中の排出抑制のための削減スケジュールなどの規制措置を定めている）

(30) ニンバス7号

ニンバス7号とは、TOMS(オゾン全量広域分布測定用スペクトルメーター)を実装した人工衛星であり、毎日一枚オゾンの世界分布図を記録している。オゾン総量は太陽の紫外線吸収スペクトルと相関しているため、地表や雲で反射された太陽紫外光を観測することでオゾン総量を推定することができる。

(31) オゾンゾンデ ※授業ノートのオゾンゾンデという表記は間違い

オゾンの高度分布を測定する方法。オゾン検出器を気球に積んで飛ばして、オゾンと反応液が反応し発生する電流量を記録することでオゾン濃度を測定する。高度約35kmまで測定可能で、データは無線地上に送信される。

(32) 二段燃焼

低温で燃焼することでCOを発生させ、さらにボイラーに通すことで、燃焼により発生した窒素酸化物を還元する燃焼方法。

演習問題 2

次の空欄に適切な言葉を埋めよ。

産業革命から始まった科学技術の躍進に伴い、人類は多くの問題に直面している。そのなかでも近年大きく取り上げられている問題は地球環境問題である。地球環境問題は、ごみ問題や有機水銀の流出により発生した水俣病などの公害という有害物質による局所的な被害とは異なり、地球温暖化や酸性雨やオゾン層破壊といった自然環境を破壊する越境する地球規模の被害による問題のことを指す。地球環境問題には、（被害者）と（加害者）の区別がなく、その被害の対象は特定の人物や生物のみにとどまらない。また、二酸化炭素などの（人体に有害ではない）化学物質が原因となることが多く、被害が（越境）し、（長期化）する傾向にある。なぜ（人体に有害ではない）化学物質が原因となることが多いのかというと、その（濃度）が問題となるからである。本来とは異なる（濃度）の化学物質が地球上に存在することは、地球本来の物質循環サイクルを乱し、結果地球環境問題へとつながるのである。

このように、物質収支に着目することが地球環境問題を考えるにあたり重要である。その物質収支を理解する方法としての数式を用いたモデル化に着目してみよう。

例：一度定常状態が崩れた後、再び定常状態になるまでの時間変化

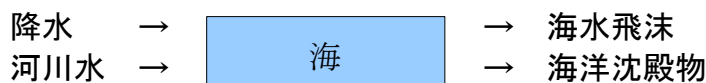
$$J_{out} = KN$$
$$N = N_0 e^{-kt} + \frac{J_{in}}{K} (1 - e^{-kt})$$

J_{out} : (単位時間当たりのリザーバーからの流出量)
 J_{in} : (単位時間当たりのリザーバーへの流入量)
 N_0 : (リザーバー内の物質量の初期値)
 N : (リザーバー内の物質量)
 K : 任意の比例定数

このようなモデルと（ボックスモデル）という。このとき、 $\frac{N}{J_{in}}$ を（平均滞留時間） τ という。

次に物質の循環について考えてみよう。まずは大気圏について考える。大気圏内の気体成分を平均滞留時間という観点から3種類に分類してみよう。まず、 τ が 10^3 年以上と長い気体成分として窒素・酸素・希ガスがあげられる。これらの気体は大気中での濃度変動は殆ど見られない。次に、 τ が数年程度の気体成分は、二酸化炭素・水素・メタン・フロンなどがあげられる。最後に、 τ が数ヶ月以内と短い気体成分は、水蒸気・二酸化硫黄・二酸化窒素などであり人口源の寄与が大きく水に溶けやすいものが多い。ここで、 τ の短い物質である（エアロゾル）に着目してみる。エアロゾルには、（海塩粒子）・（土壌粒子）・（火山や流星からの粒子）・（煤煙粒子）・（気体でできた粒子）などがあげられる。存在量も少なく、 τ も7～10日くらいと短いので物質移動への寄与が大きい。大気圏からの物質の除去過程には、降水による除去過程と降水によらない除去過程の2つが存在する。水蒸気の影響の平均滞留時間は約9日と短く大気圏内における循環が盛んであるので大気の物質循環に寄与するところが大きい。降水による除去過程は、雲の中で雲滴にとけて降下する（レインアウト）と、雲の下からでてくる雨滴に捕捉されて降下する（ウォッシュアウト）の2種類が存在する。一方、降水に寄らない除去過程は（ドライフォールアウト・乾式除去）と呼ばれる。この過程として、（重力）による沈降や（樹木などに捕捉されたものの雨による除去）があげられる。また、大気圏中の物質の増減は（海洋）との物質交換によっても起こる。この交換方法は3通り存在する。1つ目は、（海塩粒子）の海から陸への物質移動である。（海塩粒子）の輸送量は、（海岸からの距離）・（高度）・（気象条件）に左右される。2つ目は、（土壌粒子）の陸から海への物質移動である。例えば、北太平洋域での大気中の（土壌粒子）の濃度は、（陸からの距離）とともに減少し、（季節変動が大きい）ことが特徴といえる。3つ目は、（気体の交換）である。単位時間に単位面積あたりの海の表面膜を通過する気体の量は、（濃度勾配）に比例する。

次に水圏を通じての物質循環について考える。地球上に存在する水の97%が（海洋）中に存在する。人体の元素組成は海水とよく似ていることを考えると、海は生命の故郷と言えるであろう。海水中の塩分濃度は約（3.5% = 3.5%）であり、その濃度は場所により異なるが組成はほぼ一定である。海水の主成分であるNa, Mg, Ca, K, Sr, Clなどは平均滞留時間が長く、また陽イオンが陰イオンより多く存在するためにpHはおおよそ（8）で弱アルカリ性であることが特徴である。一方で、微量成分である（Fe, Cu）などの金属陽イオンは海水の塩類により（塩析）されてしまうため比較的 τ が短い、（錯体）を形成すると τ が長くなるといった特徴を持つ。海水中には栄養塩とよばれる生物生産において不足する元素である（N, P, Si）を含む塩も含まれている。この塩は表層では使い尽くされてしまうが、（湧昇流）により深海の塩が補給されることで補われる。ここで海における化学物質の循環を考えるために（降水）と（河川水）をinput、（海水飛沫）と（海洋沈殿物）をoutputと考えた場合の海をボックスモデル化してみよう。海上では海水飛沫として出ていった分が降水として戻ってくる定常状態と近似してよい。ゆえに、正味のinputは（河川水）に由来すると考えてよく、それがそのまま（海洋沈殿物）になると考えてよい。主要成分では、 J_{in} に大してはN大きいので τ は大きく 10^6 年以上であるが、微量成分では J_{in} に対してNは小さいので τ が小さい。



今度は具体的な環境問題について取り上げていく。

まずは地球温暖化について考える。地球のエネルギー収支は、inputが（太陽光からのエネルギー）（400~800nm）、outputが（地表からの放射熱）（主に赤外光）である。太陽光のおよそ3分の1は大気や地球の表面で錯乱あるいは反射される。この反射される太陽エネルギーの割合を（アルベド）とよぶ。残りの太陽エネルギーは大気圏内に吸収され、シュテファン・ボルツマンの放射法則に従い大気圏内の温度上昇に寄与する。また太陽光の一部は地表で反射されるわけだが、そのうち赤外光の波長域に属する光波は（対流圏オゾン）や（二酸化炭素）に吸収される。このように、赤外光を吸収することで大気の上昇に寄与する気体を（温室効果）ガスと呼ぶ。つまり、温室効果ガスの濃度が上昇するとより多くの赤外光を吸収することになり大気圏内の温度は上昇することになるのである。地球の温暖化とは、産業革命以降、化石燃料の使用により増え続ける二酸化炭素の排出量の増加とそれに伴う大気圏内の二酸化炭素濃度の上昇による温度上昇をさしている。地球温暖化によりもたらされる地球環境への影響は、（地球の平均気温の上昇）のみならず、陸上の氷の溶解による（海水面の上昇）や（降水量の増加）などがあげられる。

次に、オゾン層の破壊について考えよう。オゾンとは（漂白・脱臭）効果のある毒性のある分子であり、酸素分子を満たした容器内で（放電）するか（242nm以下の紫外線）を照射すると生成する。光化学オキシダント（光化学スモッグの際に生成する酸化性物質の総称）の主成分でもある。大気圏内の高度15~25kmには（成層圏オゾン）とよばれるオゾン濃度の高い高度圏が存在する。オゾン層は1881年に、太陽紫外線吸収パターンとオゾンの紫外線吸収スペクトルを比較することでハトリにより発見された。オゾンは（200~300nm）の紫外線を吸収するという特徴を持ち、300nm以下の光波を有害とする生物の陸上への進出と繁栄にオゾン層の存在は不可欠であるといえる。しかし、（冷媒）や半導体の（洗浄剤）や（エアロゾル噴射剤）や（プラスチック発泡剤）としてのフロン（正式名称（クロロフルオロカーボン））といい、炭素・水素・フッ素・塩素からなる化学物質の総称である。フロンは化学的に安定であり（対流圏では分解しない）ために、成層圏まで上昇する。成層圏で紫外線により分解されると（塩素原子）を放出する。塩素原子が生成すると、それが触媒となりオゾンの（触媒反応サイクル）が活性化されオゾン分解が促され、結果オゾン層の崩壊につながる。そのため、モントリオール議定書ではフロンの削減が求められることとなった。しかし、フロンのような化学物質は現代不可欠なのである。そのため（代替フロン）と呼ばれる、（対流圏内）で分解され温室効果が小さいもののフロン同様の機能を果たす化学物質がフロンの代わりに現在用いられている。また、代替フロンの特徴として、（成層圏内で分解されにくい）という事項もあげられていることがあるが、これは将来環境に対しどのような影響をもたらすか定かでない。

はないためこの項目は削除すべきなのではないだろうか。

3つ目は、酸性雨である。大気中の二酸化炭素濃度における雨の pH は（5.7）である。この値は、人為により発生した化学物質の影響による pH の影響を考慮しなかった場合の雨滴の pH である。一方で、酸性雨の pH は（5.6）以下と定義されている。酸性雨の主な原因としては、（二酸化硫黄もしくは硫黄酸化物）と（二酸化窒素もしくは窒素酸化物）と二酸化炭素があげられる。二酸化硫黄は硫黄を不純物として含む（化石燃料の燃焼）により発生し、二酸化窒素は（燃焼炉）や（エンジン）などの高温による（空気中の窒素分子の酸化）により発生する。酸性雨の影響で、湖の pH が低下することでプランクトンが減少して水中の生物の生存は困難になってしまう。また、地殻中のアルミニウムが溶解することで発生するアルミニウムイオンは、（魚のえらの機能）を阻害したり、（種子植物の成長）を抑制することで森林は（枯死）してしまう。また、大理石や金属でできた建造物が酸化・腐食してしまうといった被害も確認されている。

4つ目は、森林の減少である。17世紀以降森林は減少し続けており、20世紀になってからは（熱帯雨林）も減少してきている。熱帯雨林には生物種の半数以上が生息しているため、絶滅の危機にさらされている植物・動物が増加している。この絶滅危機の原因としては、熱帯雨林の減少以外に（環境の悪化）・（侵入種の影響）などがある。

5つ目。森林の減少と同様に問題視されているのが砂漠化である。砂漠化とは、乾燥地域において（土地が植物を育てられない）状態になることで、現在35億 ha の砂漠が存在するといわれている。荒廃した土地では生物が生息することは困難であり、耕作もできない。また、（黄砂）などの被害ももたらす。

6つ目は、ごみ問題である。ここではプラスチック廃棄物について考えてみよう。近年、ごみ焼却場から発生するダイオキシンが問題となっているが、一部のプラスチック（特に塩素を含むもの）の燃焼がダイオキシン発生の一因ではないかと考えられている。勿論、プラスチックを燃焼すると二酸化炭素が発生するため温室効果ガスの増加につながる。また、プラスチックごみは景観を損ねるだけでなく、生分解されにくいいため長期間地上に残り、生物が誤食したり、釣り糸が絡まって野鳥が死んでしまうなどの被害をもたらしている現状である。そのため、製造コストは高いものの、生分解性プラスチックが普及してきている。

最後にダイオキシンについて取り上げよう。ダイオキシンは（PCDD, PCDF, Co-PCB）の総称であり、その一部は毒性を持っている。（殺菌剤や除草剤の製造過程）・（塩素を含む製品の燃焼過程）・（塩素殺菌や塩素漂白）において発生し、その殆どは（都市ごみ焼却）により発生している。化学的に安定で人体に入ると脂肪に蓄積し、平均滞留時間は7年と長い。動物実験において、ダイオキシンは体内のホルモンと似たような働きをすることにより、甲状腺機能が低下したり、生殖器官が小さくなったり精子数が減ったり、また免疫機能が低下したりすることが報告されている。また、WHO の国際がん研究機関では、平成9年2月に2,3,7,8-TCDD は、人に対する発がん性があるという評価を行なっている。

演習問題 3
 次の空欄に適切な語句および単位を埋めよ。

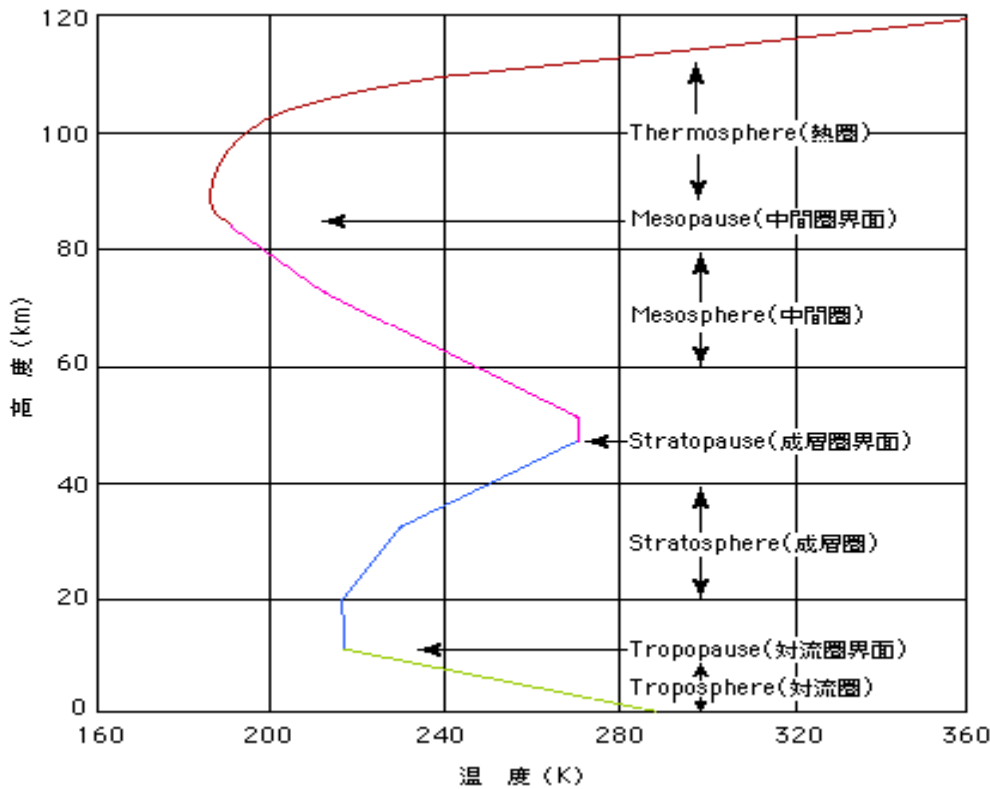
接頭語

	10	10 ²	10 ³	10 ⁶	10 ⁹	10 ¹²	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹	10 ⁻¹²
読み	デカ	ヘクト	キロ	メガ	ギガ	テラ	デシ	センチ	ミリ	マイクロ	ナノ	ピコ
表記	da	h	k	M	G	T	d	c	m	μ	n	p

濃度

	百分率	千分率	百万分率	十億分率	一兆分率
表記	%	‰	ppm	ppb	ppt
読み	パーセント	パーミル			

演習問題 4
 次の空欄に適切な語句を埋めよ。



熱圏	80/90km-	窒素原子や酸素原子が紫外線やX線を吸収しているので、高度が高くなるにつれ温度が（高くなる）。
中間圏	50km-80/90km	高度が高くなるにつれ温度は減少する。最低（173K）にまで達する。これより上空では密度は急激に小さくなる。
成層圏	圏界面-50km	東向きに（ジェット気流）があり、（対流）は生じにくい。上層ほど温度が高い。
圏界面	極地方 8km 赤道地方 14km	成層圏と対流圏の境界（これ以上雲は上昇できない）
対流圏	0km-圏界面	気温は 100m につき平均 0. 65K 減少する。（対流）が生じている。

演習問題 5

次の空欄に適切な語句を埋めよ

海洋の平均水深は（3700m）といわれている。

表層	0-100m	冬に厚く夏に薄い。（対流）により混合されやすく、塩分濃度・密度・温度は上部下部で（変化は殆どみられない）。
中層	100-1000m	対流が起こらないため、深さとともに温度が（低下）し密度は（増大）する。
深層	1000m-	上下には混ざりにくいが（水平方向へ水の流れ）が存在する。

塩分濃度	表層では一定。深度（700）m付近で密度は最も（小さく）なる。
密度	表層では一定。深度が増すにつれ密度は（増加）する。
温度	表層では一定。深度が増すにつれ温度は（低下）する。

演習問題 6

以下の問に答えよ。

問 1. フロンの化学的性質について述べよ。

フロンとは、炭素・水素・フッ素・塩素からなる分子のことを示す。化学的に安定であり熱分解しにくい。対流圏では分解されず、成層圏で紫外線を吸収することで分解する。燃焼しにくく、人体に無毒であり、熱伝導性が低い。

問 2. ダイオキシン類の化学的性質について述べよ。

ダイオキシン類は、PCDD・PCDF・Co-PCB の総称で、常温で無色の固体である。水に溶けにくく有機溶媒に溶けやすい。そのため人体の平均滞留時間は7年と長い。ダイオキシン類の中には毒性を示すものがある。

問 3. 次のフロン番号から分子式を決定せよ。

① 1 1 ② 1 4 ③ 1 1 3 ④ 1 4 2

① CCl₃F ② CF₄ ③ C₂Cl₃F₃ ④ C₂H₃ClF₂

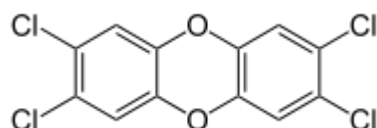
問 4. PCDD, PCDF, Co-PCB のモデル構造式を記し、以下の空欄を埋めよ。

構造式 → 授業ノート 8-5-1

略称	正式名称（日本語）	異性体数	毒性種数
PCDD	ポリ塩化ジベンゾパラジオキシン	7 5	7
PCDF	ポリ塩化ジベンゾフラン	1 3 5	1 0
Co-PCB	コプラナーポリ塩化ビフェニル	1 3	1 3

問 5. 最も毒性の高いダイオキシン類の名称と構造式を記せ。

2,3,7,8-TCDD

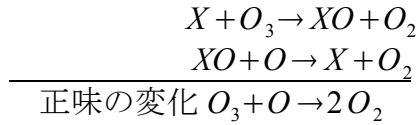


問6. 以下の物質について① τ が 10^3 年以上のもの② τ が数年～数十年のもの③ τ が数ヶ月以内のものに分類せよ。

(i) N_2 (ii) H_2O (iii) SO_2 (ix) CF_2Cl_2 (x) CO_2 (xi) H_2S (xii) Ar

①(i) (xii) ②(ix) (x) ③(ii) (iii) (xi)

問7. オゾンを壊す触媒反応サイクルの化学方程式を記せ。



問8. 生分解プラスチックである、ポリ乳酸およびセルロース・キトサン系プラスチックの構造式を記せ。

→ 授業ノート 8-5

演習問題7

地球温暖化に関連した次の各問に答えよ。

問1. 極地の氷原のアルベドは約0.8、極地の海のアルベドは約0.2である。このアルベドの違いに基づいて、極地の温度がわずかに上昇するだけで大量の氷原が溶け始める機構を説明せよ。

→ 資料 7.2

問2. 二酸化炭素が温室効果ガスといわれる理由を記せ。

→ 授業ノート 4-2

問3. 人為による二酸化炭素の半分は大気に放出される。では残り半分はどのような形で吸収されたか記せ。

→ 授業ノート 4-3

演習問題8

オゾンホールに関連した次の各問に答えよ。

問1. 10月ごろ南極上空にオゾンホールができる原因について解説せよ。

→ 授業ノート 6-3-2 & 授業ノート 捕捉

問2. 大気中のオゾン濃度やオゾン全量を測定する方法について知るところを記せ。

→ 授業ノート 5-4

問3. 成層圏において、オゾンがいわゆる層状に存在する理由を記せ。

→ 授業ノート 5-5

演習問題 9

酸性雨に関連した次の各問に答えよ。

問 1. 酸性雨の定義を記せ。またなぜそのように定義されているか論ぜよ。

→ 授業ノート 7-1 & 演習問題 1

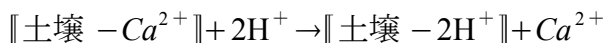
問 2. 土壌には、酸性雨を中和する能力があるといわれている。どのような土壌が酸中和能の高い土壌であるか、中和のメカニズムにも触れながら解説せよ。

→ 授業ノート 7-5

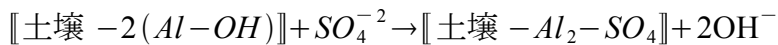
a. 炭酸塩による中和



b. 土壌中のイオン交換性イオンによる中和 $\text{Na}^+ \text{K}^+ \text{Mg}^{2+} \text{Ca}^{2+}$

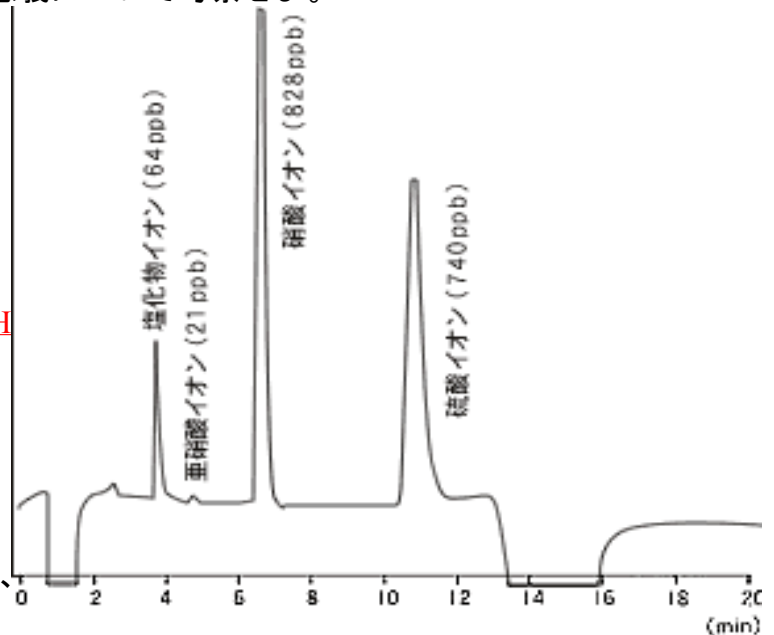


c. 降水中の硫酸イオンと鉄・アルミニウムの水和酸化物あるいは非晶質鉱物の OH 基との配位子交換による中和



問 3. 酸性雨に含まれる陰イオンを分析する意義について考察せよ。

この箇所はノートに記されていないので解説します。左の図は雨水中の陰イオン分布サンプルです。この分布サンプルの示す化合物は塩化物イオン・亜硝酸イオン・硝酸イオン・硫酸イオンと酸性を示す物質が電離したことにより生じるイオンです。おそらく、陰イオンを分析すること、雨水中にどのくらい pH を酸性に傾ける物質が含まれているかという指標を得ようとしているのではないでしょうか。これら 4 つのイオンが多く存在するほど、雨滴中に大気汚染物質が多く存在し酸性物質が多く降下していると考えてよく、実際研究の場においては、実際の酸性雨による被害を考えるときは陰イオンの降下量を問題としているようです。



演習問題 10

以下の設問に答えよ。

問 1. 同じ物質に着目したとしても、環境化学と地球化学ではその捉え方は異なる。その差異がわかるように説明せよ。

環境化学は、自然界で発生する、化学的または生化学的な現象を研究分野とする。物質を定量分析することで自然界の物質循環に関する理解を深めるとともに、それが生態系に与える影響を考察する。一方で地球化学では、土壌や水質や大気などの化学組成を分析し、地球における化学物質やエネルギー輸送を自然科学の立場から考察する。

問 2. プラスチックによる環境破壊にはどのようなものがあるか述べてよ。
→ 演習問題 2

問 3. 以下の空欄に適切な言葉を埋めよ。

環境問題	原因
砂漠化	(気候変動) ・ (人為的な森林破壊) ・ (過放牧) ・ (耕作による土地荒廃) ・ (不適切な水管理)
地球温暖化	(温室効果ガス) が赤外光を吸収することによる対流圏内の熱エネルギーの滞留
酸性雨	(化石燃料の燃焼) により生じる (硫黄酸化物) や (高温状態) における窒素の酸化により生じる (窒素酸化物) の雨滴への溶解
オゾン層破壊	フロンが成層圏に到達し紫外線により分解されることでできる生成物により触媒反応サイクルの加速
森林破壊	(正しくない焼畑農業) ・ (換金作物の栽培) ・ (商業用木材の伐採) ・ (収畜) ・ (道路やダム建設) ・ (戦争による破壊)

問 3. 砂漠化の進行を抑制するためにどのような対処策が考えられるか述べてよ。

問 4. 地球温暖化の進行を抑制するためにどのような対処策が考えられるか述べてよ。

問 5. 北欧と比べ日本は雨滴自体の pH は 4.4~4.5 と低いにもかかわらず酸性雨による被害は少ないのはなぜか。また、日本で降る酸性雨の特徴について述べてよ。
【参考 1】北欧の土壌が、酸性雨の影響を中和する能力が小さい花崗岩質の土壌であるのに対して、日本の火山性土壌ならびに沖積土壌の中和能力が高いらしいです。
【参考 2】季節風により、発展途上国の多い東アジア地域から大気汚染物質が日本上空まで飛来してきて、それが雨滴に溶けて降下することによる被害が近年問題となってきました。

問 6. オゾン層破壊を抑制するためにどのような対処策が考えられるか述べてよ。

★問 3～6 は各々の原因を解決する方法を述べる問題なので各自考察してください。

第1章 序論

1-1 地球環境問題

公害 (有害物質による局所的被害) Hg, Cd

⇩

環境問題 (非有害物質による地球規模被害) $CO_2, 70\%$

1-2 環境問題の質の変遷

- ① 被害者と特定企業の周辺の人に限らない
- ② 被害者と加害者の区別がない
- ③ それ自体は害ではない化学物質
- ④ 被害が国を越える (例: 中国からの越境酸性雨)
- ⑤ 時間的にも広がり
- ⑥ "検出"されたことの意味

被害のタムラカ・長期化

量が重要

1-3 化学で用いられるSI単位と接頭語

量	記号	単位	単位の記号
長さ	l	メートル	m
重さ	m	キログラム	kg
物質量	n	モル	mol
時間	t	秒	s
電流	I	アンペア	A
温度	T	ケルビン	K

SI基本単位

10	10^2	10^3	10^6	10^9	10^{12}
デカ	ヘクト	キロ	メガ	ギガ	テラ
da	h	k	M	G	T
10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
デシ	センチ	ミリ	マイク	ナノ	ピコ
d	c	m	μ	n	p

接頭語

1-4 濃度の単位

%	‰	ppm	ppb	ppt
百分率	千分率	百万分率	十億分率	一兆分率
パーセント	パーミル			

$\mu g/g$
 cm^3/m^3

ng/g
 mm^3/m^3

pg/g

重量濃度 例 $NaCl_{aq}$
体積濃度 例 70%

・試量が液体のとき

$$g/m^3 \div 1000 = \text{‰}$$

$$mg/dm^3 \div 1000 = ppm$$

※体積濃度を ppm^v ppb^v ppt^v と書くこともできる
(重量濃度と区別するため)

・モル濃度

例 海水中でヨウ素は I^- (原子量 127) IO_3^- (分子量 175)
ヨウ素イオン ヨウ素酸イオン

[全ヨウ素として定量 $51 \mu g/l$ ($\div ppb$)
ヨウ素酸イオンの定量値 $65 \mu g/l$ ($\div ppb$) 全ヨウ素定量を上回っている
 \downarrow モル濃度が重要になる

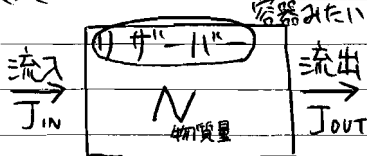
モル濃度 全ヨウ素 $0.40 \mu mol/l$
ヨウ素酸イオン $0.37 \mu mol/l$ \rightarrow ヨウ素イオン $0.03 \mu mol/l$

※モル濃度にイオンの電荷数をかけたものをバールという

⊕イオンのバールの合計 = ⊖イオンのバールの合計 (イオンバランス)

1-5 物質収支と定常状態

物質収支を数式を用いてモデル化



ボックスモデル

容器みたいなもの (地球のある対象とする部分)

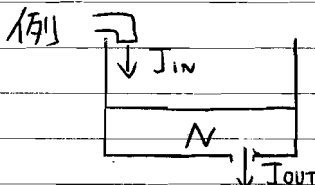
J_{IN}, J_{OUT} は単位時間あたりの値

※流出量は N に比例することが多い

N の時間変化

$$\frac{dN}{dt} = J_{IN} - J_{OUT} \dots ①$$

($J_{IN} = J_{OUT}$ なら $N = \text{const}$ (定常状態))



N ... 水自体の量

いつか $\frac{dN}{dt} = 0$ に達する

「 J_{OUT} は N に比例する」 $\rightarrow J_{OUT} = KN$

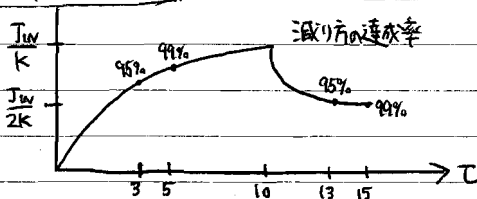
$$\frac{dN}{dt} = J_{IN} - KN \dots ②, \text{定常状態では } J_{IN} = KN \dots ③$$

1度定常状態が崩れた後の再び定常状態になるまでの時間変化

$$N = N_0 e^{-kt} + \frac{J_{IN}}{K} (1 - e^{-kt}) \dots ④$$

物質がリザーバー
にといまる
平均時間

(平均滞留時間 τ) $\tau = \frac{N}{J_{IN}} \dots ⑤$ (③より $\tau = \frac{1}{K}$ に相当)



70年 $\tau = 100$ yr として全く70年が生成しないにしても
半減に300 yr がかかる

$$\tau = \frac{N}{J_{IN}} \leftarrow \text{リザーバーの大きさ} \text{と} \text{流入量} \text{の関係}$$

例 $\tau = 1000$ yr \rightarrow 1年間にリザーバーを通過する物質量の1000倍の物質がリザーバー中にある

1-6 物質の移動

天然における物質の移動は流体の流れと流体の中の拡散による

流体の流量は、一般に M T時間 (ex. kg/s)

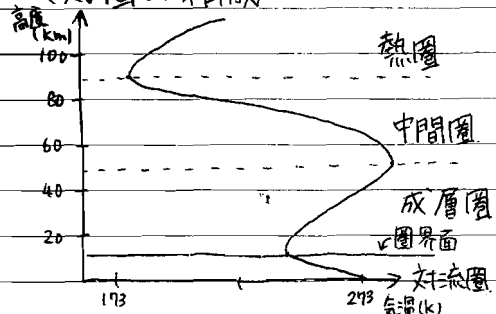
単位面積あたりの流量もよく用いられる $ML^{-2}T^{-1}$ (ex. $kg/s \cdot m^2$)

$J = \rho U$ で表せる

$kg/m^3 \cdot m/s = kg/s \cdot m^2$

第2章 大気を通じての物質循環

2-1 大気圏の構成



対流圏... 気温は100mにつき平均0.65K減少
 圏界面... 極地方で約8km, 赤道地方で約14km
 成層圏... 圏界面から約50km, 東向きにジェット気流あり
 空気は上下に混ざりにくい
 中間圏... 約50kmから80-90kmの所まで。
 気温は173Kに達する
 熱圏... それより高いところ

2-2 大気中の化学成分

2-2-1 気体成分

物質循環の尺度として、濃度の他に平均滞留時間が重要となる

a) 反応性が乏しく、 τ が 10^3 年以上

$N_2, O_2, Ar, Ne, He, Kr, Xe$ ※大気中での濃度変動は殆どみられない
 希ガス

b) 反応性が比較的小さく、 τ が数年程度

$CO_2, CH_4, H_2, N_2O, O_3, C_2F_2, C_2Cl_2, CFCl_3$ ※大気中での濃度変動は小さい
 70年、 τ は数十年

c) 反応性が大きく、 τ が数ヶ月以内

$H_2O, CO, NO_2, NH_3, SO_2, H_2S$ 人工源の寄与が大きい
 ※雪や雨に溶けやすいものが多い

2-2-2 エロソリル態の成分

- ・海塩粒子, 土壌粒子, 火山や流星からの粒子, 煤煙粒子, 気体からできた粒子 (ex. $(NH_4)_2SO_4$)
- ・エロソリルは存在量は少なくても、 τ が短いので、物質移動への寄与が大きい
 7~10日位

★エロソリル化学組成と濃縮率 ※濃度変動が大きいため、濃縮率を考える

地殻物質に対する濃縮率

$$Ef_{crust} = \frac{(X/A)_{air\ sample}}{(X/A)_{crust}}$$

Crust... 地殻, X... ある元素

Al... 地殻の主成分, 土壌以外からの寄与が小さい

⇒ある元素Xの $Ef_{crust} = 1.0$ の時、Xは地殻起源と考えられる

海塩粒子との区別に問題にあるとき

$$Ef_{sea} = \frac{(X/A)_{air\ sample}}{(X/A)_{sea}}$$

Clは人類活動起源のものもあるため
 ※Naの方を分母にする

2-3 大気圏からの物質の除去過程

2-3-1 降水現象

大気中の水蒸気循環... 水蒸気の τ は約9日 ⇒ 1年間に約40回入れ替わっている

2-3-2 化学物質の降下

a) 降水による除去過程 (湿式除去)

⇒ ドライアウト ... 雲の中で雲滴に吸着, 降り始めから終わりまで濃度変化なし

⇒ ウォッシュアウト ... 雲底下で雨滴に捕捉されて落ちる, 濃度は降り始めに高い

b) 降水によらない除去過程 (乾式除去) ドライファールアウト

・重力沈降 (自然落下)

・樹木などに捕捉されたものが雨で洗い落とされる

重要

環境物質科学 11月17日

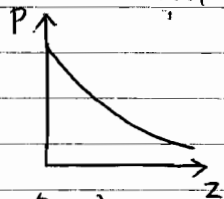
2-4 大気-海洋間の物質交換

・海塩粒子(海から陸へ)

海塩粒子の輸送量は、海岸からの距離、高度、気象条件に左右される

日本へのCl⁻の年間降下量のほとんどは

Tsunogai 5 日本海測 $P = 18.3 \exp(-0.029Z)$ ← この差は海の荒れによる
太平洋測 $P = 7.9 \exp(-0.035Z)$



Pの単位 $\text{Cl}^- \text{の } \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$
Zは海岸からの距離 m

・土壌粒子(陸から海へ)

北太平洋域での大気中の土壌粒子濃度は、距離とともに減り季節変動が大きい
噴砂... 深海堆積物中の粘土粒子の堆積速度とほぼ一致

・気体の交換(大気から海へ)

気体の交換速度: 単位時間に単位面積当りの表面膜を通過する気体の量F

$$F = -D \frac{\Delta C}{\Delta Z} \rightarrow \text{濃度勾配}$$

分子拡散係数



要因 = pH, 温度...

$K = \frac{P}{\Delta C}$ としてKは交換速度という

第3章 水圏を通じての物質循環

3-1 水の分布

海洋 97.2% 氷河(万年氷) 2.15% 地下水 0.62% 淡水湖 0.009%
塩水湖 0.008% 土壌湿気 0.005% 大気 0.001% 河川 0.0001%

3-2 海水

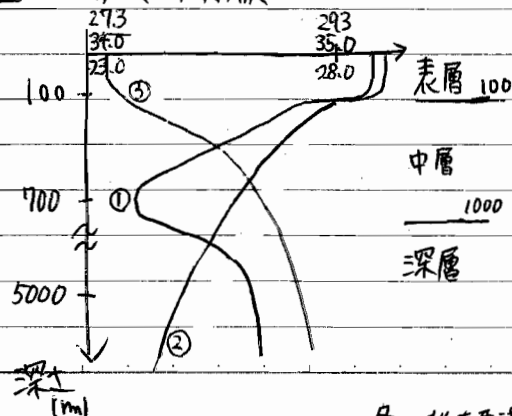
3-2-1 海は生命の故郷

地球型生命の故郷が海水である根拠の1つ

(※) 平均水深 3800m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	表層 (0~100m)
人体	H	O	C	N	Na	Ca	P	S	K	Cl	Mg	冬は厚く夏は薄い
海水	H	O	Na	Cl	Mg	S	K	Ca	C	N		対流によりよく混合される
地殻	O	Si	H	Al	Na	Ca	Fe	Mg	K	Ti		中層 (100~1000m)
大気	N	O	Ar	C	H	Ne	He	Kr	Xe	S		深かとともに温度が低下し 密度が増大。上下混合しにく

3-2-2 海洋の構成



- ① ... 塩分濃度 (‰)
- ② ... 温度 (K)
- ③ ... 密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ から 1000 をひいたもの)

50~100m 上下に海水が混ざり(対流)
↑ ①②③ がほぼ一定
冬は表面が冷却されるため厚くなる

冬の北大西洋と南極海での表面温度が小さいため深層海水が生じる。
(北大西洋より南下 → 南極海 → 北太平洋 (大循環))

真水と海水の凍りやすさ

凝固点降下のみか?

No.

5

4°C が密度最大

海水は凝固点 -1.9°C まで密度が増える

境界は 24.7%

3-2-3 海水の化学成分

塩分 約35% ... 組成はほぼ一定だが、濃度は場所により多少異なる

※プリント付表Vの平均濃度として参照

海水中のイオンの供給源 ... 岩石の風化

。主要成分 Tが10⁶年以上

Na, Mg, Ca, K, Sr, Cl, S(SO₄²⁻), Br

強電解質、陽イオン > 陰イオン

電荷バランス ... 弱電解質の陰イオン CO₃²⁻, HCO₃⁻ など

強電解質陽イオンの過剰部分をアルカリ度という

④ 海水の pH はおよそ 8 で弱アルカリ性

∴ 主成分は Na₂CO₃ から強電解質陽イオンと弱電解質陰イオンのアンバランス

。微量成分と海水での存在形

Fe, Cu など 金属陽イオン、Tは比較的短い

(∴ コロイド粒子を形成し、海水中の塩類によって電荷を失い(塩析)、凝縮して沈殿する)

⇒ 逆に錯体を形成するとよく溶けてTが長くなる

例 ウランは炭酸錯体 [UO₂(CO₃)₃]⁴⁻

。栄養塩

N, P, Si ... 生物生産に不足するもの(陸上では N, P, K)

表層では栄養塩が使いつくされていることが多い

湧昇流(下から上の海水の流れ)によって、深海の栄養塩供給 → プラクトン生長

。放射性核種 半減期5570年

① C, ²¹⁰Pb, ② H - 半減期12.5年

X線

"表層がどのように混ざるか" → 海水の動きや海水中の物質の除去過程をさぐる

⇒ トレーサとしての役割

3-3 0.0001% の河川水

河川水の源は降水であり、その源は大気中の水蒸気 12.9×10¹⁵ℓ

1年間の平均降水量を1000mmとする → 地球の表面積を考慮すると、12.9×10¹⁵ℓは9.2日分

⇒ 水蒸気のTは9.2日(約10日)

水蒸気の供給源は海水の蒸発

深さ4000m → 4000年で全て蒸発する(∴ 平均降水量1m/年) ⇒ 海水のTは4000年

3-4 水とともに移動する化学元素

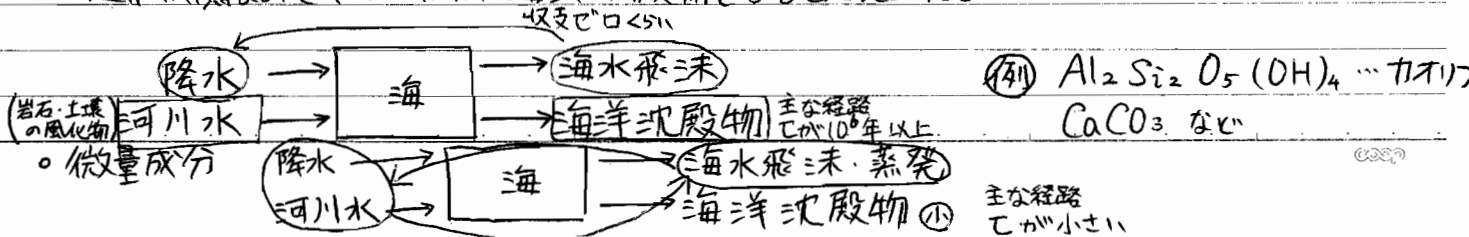
。主要成分 化学成分のinput ... 海上の降水と河川水

= output ... 海水飛沫と海洋沈殿物

海上では、海水を沫として出ていった分が海上の降水として戻ってくると考えられる

全河川水量 × 平均主要化学成分濃度 = 正味のinput (正確には海塩粒子起源分を差し引く)

定常状態なので、その分が海洋沈殿物となると考えられる



環境物質科学 12月1日

第4章 地球の温暖化

4-1 地球のエネルギー収支

input ... 太陽光のエネルギー (主に可視光) 400~800 nm

定常状態

output ... 地表からの放射熱 (主に赤外線)

input = output

・ウィーンの変位則

$$\lambda_{\text{ピーク}} = \frac{2.90 \times 10^6}{T} \text{ nm}$$

例 太陽光の最高波長 483 nm $\Rightarrow T \approx 6000 \text{ K}$ 地球の温度 290 K \Rightarrow 波長 $\approx 10000 \text{ nm}$

・シュテファン・ボルツマンの放射法則

$$\text{放射エネルギー流束} = 82 \times 10^{-12} T^4 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$$

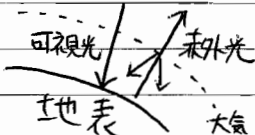
エネルギー フลักス

 \rightarrow 太陽定数 約 $2 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$

アルベド ... 大気や地球の表面で散乱あるいは反射される太陽エネルギーの割合 平均 34%

$$\text{Sun} \Rightarrow \left(\frac{\pi R^2}{4\pi R^2} \right) 82 \times 10^{-12} T^4 = \frac{2}{4} \times 0.66 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \rightarrow T = 252 \text{ K}$$

4-2 温室効果

input ... 可視光 \rightarrow 大気を透過する (透明である)output ... 赤外線 $\rightarrow \text{N}_2, \text{O}_2, \text{Ar}$ に対して透明 $\lambda_{\text{H}_2\text{O}} \neq \lambda_{\text{CO}_2}$ $\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2$ に対して不透明 $\Rightarrow \text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2$ などに吸収される
(熱エネルギーが大気圏内にとどまる)

色々な見慣れにより、温室効果ガスによる地球の温度上昇約 35 K

①, ②より $(252 + 35) \text{ K} = 287 \text{ K} \rightarrow$ ③にほぼ等しい4-3 大気中の CO_2 濃度

産業革命以前	1958	1980	1989	1998	2006
280 ppm	312	337	350	363	385

(ppm)

 \uparrow 1.44 ppm/y \uparrow 1.44 ppm/y \uparrow 1.44 ppm/y \uparrow 2.75 ppm/y
人類が出した CO_2 が全て大気中に存在すると仮定 \Rightarrow 大気中の CO_2 増加はその 50% (吸収されている) CO_2 の吸収源として海洋がある (HCO_3^-) \leftarrow およそ 25%さらなる吸収源は? (missing sink of CO_2)バイオマスなどが考えられる
(緑色植物)

4-4 温暖化が地球に与える影響

化石燃料の燃焼 約 270億トン/年 → 国別CO₂排出量
 火山や温泉からの放出 約 1億トン/年 米21.6% 中16.6% 日6.6% 日4.5%
 全人類の呼吸 約 17億トン/年 1人当たりでみると日本は13位

CO₂ 2倍時で 地球の平均気温 $3 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 上昇

海水面は 海水膨張により、数十cm 上昇

降水量は 温度上昇により全体として増加。降水は集中豪雨化する

第5章 オゾンの化学

5-1 オゾンとは

O₃ ... 漂白・脱水効果あり ← 毒性あり

酸素分子を満たした容器内で放電するが、242nm以下の紫外線を照射する

光化学スモッグ ... オキシダントの主成分

5-2 オゾン層とは

高度 15~25km → 成層圏オゾン (数密度 5×10^{12} 個/m³)

このオゾン層を地上にもっていくと、約 200 ppbv

相対濃度で見ると、高度 33 km が最も高く、約 10 ppmv

オゾン層は紫外線 (主に 200~300nm) を吸収する

UV-A 400~320nm

UV-B 320~280nm

* 300nm 以下が生物に有害

UV-C 280nm 以下

5-3 オゾン層の発見

1881年 ダブリン大学のハートリ

太陽光の紫外線吸収スペクトル ← 実験室での O₃ の紫外線吸収スペクトル

5-4 オゾン層の観測

太陽紫外光の吸収スペクトルで観測

太陽と地上の間にあるオゾンの量がわかる

鉛直光路で積分した量をオゾン全量という

0°C 1atm で 地上においた時、厚さが何 cm になるか?

1000 atm·cm (ミリアトモスフィア・センチメートル) を 1 ドブソン単位という

実際約 0.3cm → 300 ドブソン

・人工衛星 ニーバス7号

... TOMS (オゾン全量広域分布)
(測定用スペクトルメーター)

オゾンの世界分布図を1日1枚

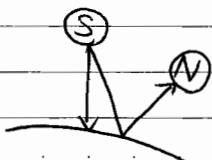
・オゾン高度分布

オゾンゾンデ ... オゾンを検出器を気球に

積んで飛ばす。

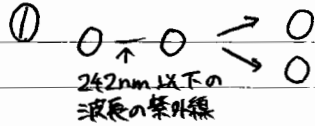
約 30km まで。

データは無線で地上に送る

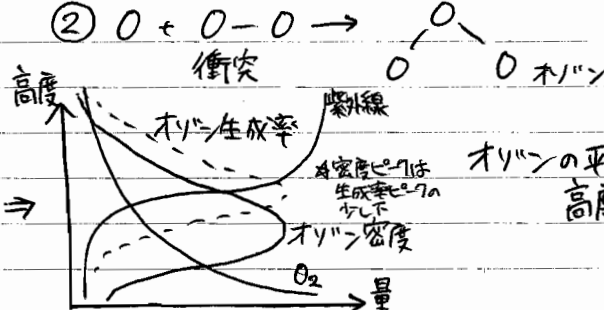


* 地表や雲で反射された
太陽紫外光を観測

5-5 オゾン層の形成

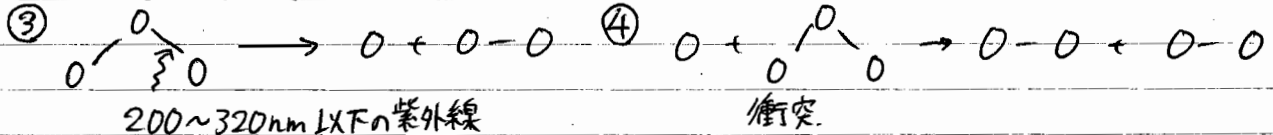


大気のある高度範囲のみ
オゾンが大量に存在する
理由



オゾンの平均寿命
高度 40km 1日以下
30km 10日位
20km 1年位

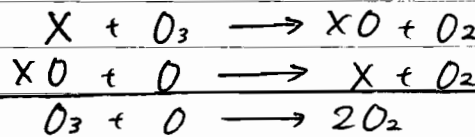
5-6 オゾン層の破壊



このような反応は、実験室内で明らかにされた(1920年代)
大気中での精密な定量的議論は1950年代の終わりになって可能になった
→ 大気中(成層圏)のオゾン密度を計算により推定『計算値』
→ オゾンを壊す未知の反応?

研究予算もついて研究が活発化(1960~1970年代)

触媒反応サイクル

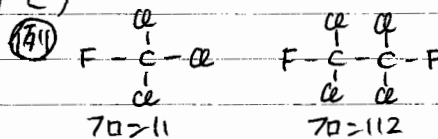


水素が
石炭
N₂O由来
X = H, HO, NO, Cl, CH₃Cl, CFC₃, CF₂Cl₂, F₂ON

第6章 フロンとオゾンホール

6-1 フロンとは... クロロフルオロカーボン(CFC)

フロン番号 1の位 ... Fの数
10の位 ... Hの数+1
100の位 ... Cの数-1



番号からC, H, Fを決定
→ 残りはCl

FC化合物 ... フッ素と炭素のみ
HFC化合物 ... 水素, フッ素, 炭素
HCFC化合物 ... 水素, 塩素, フッ素, 炭素

⑤ フォリント表 7.1, 7.2

6-2 フロンによるオゾン層の破壊

1974年 F.S.ローランドらにより、フロンによるオゾン層破壊の可能性が指摘された
フロンは安定で対流圏では分解しない → 成層圏まで達する
→ 紫外線により分解され、塩素原子を放出する

理論計算と実測データによりローランドの仮説を検証

→ いろいろな研究がされた。微量成分の分析法の開発 ⑥ フォリント図 7.1, 7.3

理論計算によると、オゾン層はゆっくりと破壊されるが実測できるほど減るのはまた「先」

6-3 南極上空のオゾンホール

6-3-1 オゾンホールの発見

1985年 英国ハレーバヤ基地(フォリント図 7.2) 毎年春(10月)になるとオゾン全量が減少(1970年代後半)

アメリカ... ニムス7号のデータを再解析(1978年打ち上げ) オゾンホールの生成が確認された

気球観測... 本来オゾンが最も多い所でゼロに近い

⑦ フォリント図 7.7

環境物質科学 1月12日

今回は字がきかないです。すみません。

6-3-2 生成のメカニズム

南半球高緯度地域...「極渦」強い偏西風 ※特に冬に発達

オリホール生成の取書はこれに付いたもので試験にはでないかも

南極上空の大気は北の暖い大気と遮断される(-90°C)

塩素貯蔵物質 ClO/NO_2 ないも冬季に生成 (←多分間違)

極夜...光が1日中届かない ↓光による分解

春先 9~10月に光がさす、 ClO や NO_2 ラジカルが生成

触媒反応サイクルがスタート

触媒反応サイクルの触媒

このあたりの説明が不十分なので、ノートの補足に詳しい説明を書いております

12月頃になるとオリホールは消える

6-4 モントリオール議定書と代替フロン

1987年 5種のフロンと3種のハロンを、1986年を基準として、1994年までに20%削減

1999年までに50%削減を決めた

その後 1990年 ロンドン改正

1992年 コハノンハーゲン改正

1997年 モントリオール改正

規制強化

代替フロン(→ODP, GWPを指標とする) (参)表-2)

1) 対流圏で分解されるor 1) 成層圏でも分解されない

2) 温暖化効果の小さいこと

⇒ 1)は今後どのように環境に影響してくるか

分からないので除外されるべき

★対策の結果 (参) 図30

※ 1) の場合は、C-Hの方がC-Cl C-Fより結合力が弱いのでHが分子中に存在する方がいい

※ 1) の例として CF_4 , $T=5 \times 10^4$ 年

第7章 酸性雨

7-1 汚染のない雨のpH

大気中の CO_2 で飽和した雨のpHは5.7 ⇒ pH 5.6以下の雨も酸性雨と定義 (参) フォリントP29 表17.3

有望視されている HFC 134a → CH_2FCF_3

分解生成物トリフルオロ酢酸(強酢酸、生態系への影響大)

7-2 酸性雨検討の歴史

酸性雨という用語は1872年 イギリス化学者 R.A. スミス

日本での最初の記録は1938年 三宅

※ この頃の日本の SO_2 濃度 0.005ppm 酸性雨なし → 1970年 0.1ppm (これ以降酸性雨が問題化)

ロンドン = 0.3 ppm = あり

日本の雨の平均pHは約4.4~4.5

7-3 酸性雨の原因

・硫黄を不純物として含む石炭・石油の燃焼

→ SO_2 ガス - (酸化・水) → H_2SO_4

・燃焼炉やエンジンなどの高温により空気中の N_2 が NO_2 になる(光) → HNO_3

★ 対策 硫酸系... 脱硫装置, 硫黄分の少ないものを使う

硝酸系... 低温で燃焼 → CO発生 二段燃焼

脱硝装置

7-4 酸性雨による被害

森林の枯死

湖の酸性化 → pHの減少でフナが減少し魚の生息を困難にする

(ルウェーの例) pH4.5以下で湖沼の98%に被害

魚が住めなくなった湖沼は73%

川に入った Al^{3+} は魚のえらの機能を阻害する

水中の Al^{3+} が0.1ppm以上になると種子植物の生長が抑制される

建築物が酸性雨によって侵される

7-5 土壌による酸性雨の中和

酸中和能 (Acid Neutralization Capacity)

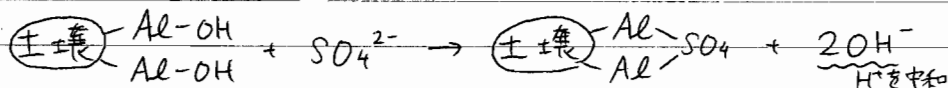
「土壌間隙水のpHが4.7に低下するまでに土壌100gが消費する H^+ 量」

a. 炭酸塩による中和 $CaCO_3 + 2H^+ \rightarrow Ca^{2+} + CO_2 + H_2O$

b. 土壌中のイオン交換性イオン($Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}$) $土壌-Ca^{2+} + 2H^+ \rightarrow 土壌-H^+ + Ca^{2+}$

c. 降水中の硫酸イオン(SO_4^{2-})と Al, Fe の水和酸化物

あるいは、非晶質鉱物OH基との配位子交換



第8章 生物圏・生活圏の環境

8-1 森林の減少・砂漠の増大

森林の消失が加速されたのは17世紀以降

フランス... かつては80%が森林におおわれていた → 1789年14%に減少

アメリカ... ヨーロッパからの入植前の $\frac{2}{3}$ に減少

オーストラリア... $\frac{1}{4}$ に減少

⇒ 広大な熱帯雨林があるから大丈夫? → 20世紀になって熱帯雨林が減少し始めた

・破壊の原因(正しくない畑農業、換金作物の栽培、商業用木材の伐採

収蓄、道路・ダム建設や戦争による破壊)

・砂漠化(乾燥地帯における植物を育てられなくなった土地、砂漠化している土地は35億ha)

・砂漠化の原因(気候変動、人為的な森林破壊、過放牧、耕作による土地荒廃、不適切な水管理)

8-2 野生動物の危機

世界の植物・動物の種の数が近年、急速に減少しつつある

・原因... 環境の悪化、乱獲、侵入種の影響

※ 生物種の半数以上が熱帯雨林に任んでいる

8-3 世界人口の増大 (←環境問題であるが、化学物質という観点からは...)

8-4 環境にやさしいプラスチック

プラスチック廃棄物 → 埋めるとかさばる、焼却すると有害ガスを発生するものあり
★ 土壌中の微生物に分解される生分解性プラスチック

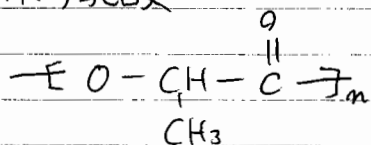
① テンブロン添加系崩壊性プラスチック

ポリエチレン袋の構造中に10%程度のでんぷんを挿入

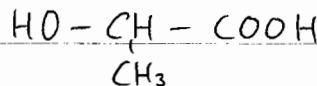
→ 土に入れるとでんぷん部分が分解されることで粉砕になる

∴ 完全な生分解性ではない → 崩壊性

② ホリ乳酸



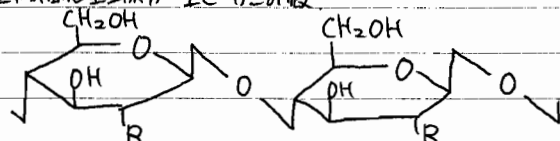
モノ-乳酸



→ 手術用の糸 (時間がたつと体内で分解吸収される)

③ セルロース・キトサン系 生分解プラスチック

植物細胞壁主成分 エビ・カニの殻



R = OH

セルロース

R = NHCOCH₃

キチン

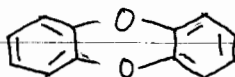
R = NH₂

キトサン

8-5 素顔のダイオキシン

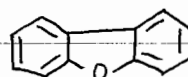
8-5-1 化学的性質

① PCDD



Poly Chlorinated Dibenzodioxin
異性体 75種 (7種毒性)

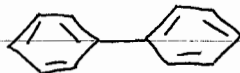
② PCDF



Poly Chlorinated Dibenzofuran
135種 (10種毒性)

★ 体内のT=7年

③ コプラターPCB



異性体 13種 (すべて毒性)

※ 最も毒性が高いのは 2,3,7,8-TCDD

白色粉末。水に溶けにくく油にとける

脂肪にこめられる

8-5-2 発生過程

- ・ 殺菌剤・除草剤の製造過程
- ・ 塩素を含む製品の燃焼過程
- ・ 塩素殺菌や塩素漂白

★ 日本における発生量

都市ゴミ焼却	3100 ~ 740	g-TEQ/year
有害廃棄物焼却	460	
自動車排ガス	0.07	
製鉄・製鋼	250	

※ Toxicity Equivalency Quantity (毒性等価量)

毒性を2,3,7,8-TCDDに換算したもの

環境物質科学 1月26日 ②

8-5-3 生物への影響

・耐容一日摂取量 $\text{pg} \cdot \text{TEQ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$
 各国で基準が違ふ

英10, 独10, 日4, 伊1, 米0.01, WHO 1~4

・半数致死量 2,3,7,8-TCDDの LD_{50} (mg/kg) 半数致死量

モルモット 0.001, サル 0.07, ラット 0.2, 人 3.0, ハムスター 5.0

8-5-4 日本での汚染レベル

・大気中 $0.3 \sim 1.65 \text{ pg}/\text{m}^3$, 欧米都市域 $0.1 \text{ pg}/\text{m}^3$

・日本人が生活環境中で体内にとりこむ量 $0.52 \sim 3.53 \text{ pg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$

補足 (過去ノートに載っていたけど今年度板書されていない事項)

・フロン⁺の化学的性質

きわめて反応しにくい → 対流圏では分解せず成層圏で紫外線により分解される

熱に対して安定で熱分解しにくい

可燃えない。無毒。熱伝導性が低い。

・特定フロン

国際条約上排出規制されているフロン

モントリオール議定書 (1987年) 11, 12, 113, 114, 115

・ダイオキシンの化学的性質

常温で白色固体。水に溶けず。有機溶媒・脂肪に溶けるため平均滞留時間は長く7年。

微生物による生分解性は低い。

化学的に安定で熱・酸・アルカリに強い

・オゾンホール生成のメカニズム

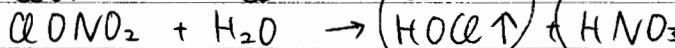
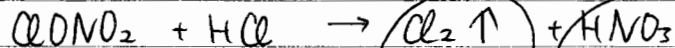
南半球の高緯度地方における強い偏西風「極渦」

→ 南極大陸上空の大気は北の暖かい空気と遮断される (気温 -90°C)

→ この非常に低い気温下で、水蒸気・硝酸ミストが極成層圏雲 (PSC) が生じる

・空気中の HCl は PSC の氷晶にとりこまれる

・塩素貯蔵物質 ClONO_2 は PSC に衝突すると H_2O 、 HCl と反応



空気に放出

氷晶に取り込まれる

★ 冬季の南極地方は極夜のため光はあたらさない

→ Cl_2 、 HOCl は分解されない

→ 春季になると光が当たるようになり、 Cl_2 、 HOCl が分解して Cl ラジカルを一気に発生させる

→ Cl ラジカルを触媒として触媒反応サイクルがスタート

反応物であるオゾンの濃度が高い所ほど分解反応は激しく起こる

→ オゾンホール



以上です。

試験はともだち、こわくないよ!!

付表 IV 大気中の化学成分の濃度
と平均滞留時間

成分	濃度 (ppm, 体積)	平均滞留時間 (τ)
変動の少ないもの		
N ₂	7.8084×10 ⁵	~10 ⁶ y
O ₂	2.0946×10 ⁵	5×10 ⁵ y
Ar	9.34 ×10 ³	—
Ne	1.818 ×10	—
He	5.24	10 ⁷ y
Kr	1.14	—
Xe	8.7 ×10 ⁻²	—
変動のあるもの		
CO ₂	~3.30 ×10 ³	5 ~ 6 y
CH ₄	1.3~1.6	4 ~ 7 y
H ₂	~5 ×10 ⁻¹	6 ~ 8 y
N ₂ O	2.5~3.5×10 ⁻¹	~25 y
O ₃	1~5 ×10 ⁻²	~ 2 y
変動の大きいもの		
H ₂ O	0.004~4×10 ⁴	9 day
CO	0.5~2.5×10 ⁻¹	0.2~0.5 y
NO ₂	0.2~10 [*]	~ 5 day
NH ₃	0.1~10 [*]	2 ~ 30 day
SO ₂	0.1~10 [*]	2 ~ 5 day
H ₂ S	<0.01~1 [*]	<0.5 day
有機炭素	5 ~50 [*]	~ 2 day

* 単位は μg・m⁻³(STP)

付表 V 海水中の化学成分の平均濃度
と平均滞留時間

元素名	濃度 (mg・kg ⁻¹)	平均滞留時間 (τ) (y)	元素名	濃度 (mg・kg ⁻¹)	平均滞留時間 (τ) (y)
H	1.1×10 ⁶	—	B	4.5	(3 ×10 ⁶)
He	6.9×10 ⁻⁴	—	C	2.8×10 ⁴	(2 ×10 ⁶)
Li	1.8×10 ⁻¹	1 ×10 ⁷	N	1.3×10 ⁴	—
Be	2.5×10 ⁻⁷	2.5×10 ⁸	(N化合物)	3 ×10 ⁻¹	(4 ×10 ⁷)

(つづく)

元素名	濃度 (mg・kg ⁻¹)	平均滞留時間 (τ) (y)	元素名	濃度 (mg・kg ⁻¹)	平均滞留時間 (τ) (y)
O	8.8×10 ⁶	—	Ag	3 ×10 ⁻⁴	8 ×10 ⁴
CO ₂	6	—	Cd	8 ×10 ⁻⁴	1 ×10 ⁶
F	1.4	4 ×10 ⁶	In	1 ×10 ⁻⁷	2 ×10 ³
Ne	1.4×10 ⁻⁴	—	Sn	1 ×10 ⁻⁵	1 ×10 ⁴
Na	11.033	8 ×10 ⁶	Sb	2 ×10 ⁻⁴	2 ×10 ⁶
Mg	1.325	1.2×10 ⁶	Te	—	—
Al	2 ×10 ⁻³	5 ×10 ⁴	I	5.3×10 ⁻²	(4 ×10 ⁶)
Si	2	1.4×10 ⁴	Xe	5 ×10 ⁻⁵	—
P	5 ×10 ⁻²	1 ×10 ⁵	Cs	3 ×10 ⁻⁴	1 ×10 ⁵
S	926	(4 ×10 ⁶)	Ba	1.4×10 ⁻²	3 ×10 ⁴
Cl	19.833	(3 ×10 ¹¹)	La	4 ×10 ⁻⁵	4 ×10 ²
Ar	5.0×10 ⁻¹	—	Ce	4 ×10 ⁻⁵	2 ×10 ²
K	413	3.2×10 ⁷	Pr	6 ×10 ⁻⁷	2 ×10 ²
Ca	423	2.3×10 ⁷	Nd	3 ×10 ⁻⁴	2.5×10 ²
Sc	6 ×10 ⁻⁷	6 ×10 ¹	Sm	7 ×10 ⁻⁷	2 ×10 ²
Ti	—	—	Eu	1 ×10 ⁻⁷	2 ×10 ²
V	2	3 ×10 ⁴	Gd	9 ×10 ⁻⁷	3 ×10 ²
Cr	2 ×10 ⁻⁴	4 ×10 ³	Tb	1 ×10 ⁻⁷	2 ×10 ²
Mn	5 ×10 ⁻⁵	1 ×10 ²	Dy	9 ×10 ⁻⁷	4 ×10 ²
Fe	2 ×10 ⁻³	8 ×10 ¹	Ho	2 ×10 ⁻⁷	4 ×10 ²
Co	3 ×10 ⁻⁵	3 ×10 ²	Er	8 ×10 ⁻⁷	6 ×10 ²
Ni	5 ×10 ⁻⁴	3 ×10 ⁴	Tm	1 ×10 ⁻⁷	5 ×10 ²
Cu	2 ×10 ⁻⁴	7 ×10 ²	Yb	8 ×10 ⁻⁷	6 ×10 ²
Zn	4 ×10 ⁻⁴	2 ×10 ⁴	Lu	1 ×10 ⁻⁷	5 ×10 ²
Ga	3 ×10 ⁻⁵	3 ×10 ³	Hf	7 ×10 ⁻⁶	5 ×10 ³
Ge	4 ×10 ⁻⁶	1 ×10 ⁴	Ta	<2.5×10 ⁻⁶	—
As	2.3×10 ⁻³	2 ×10 ⁶	W	1 ×10 ⁻⁴	1 ×10 ⁶
Se	1.1×10 ⁻⁴	4 ×10 ⁶	Re	4 ×10 ⁻⁴	1.6×10 ⁶
Br	69	(4 ×10 ¹⁰)	Os	—	—
Kr	2.3×10 ⁻⁴	—	Ir	—	—
Rb	1.2×10 ⁻¹	2 ×10 ⁶	Pt	—	—
Sr	8	3.6×10 ⁷	Au	4 ×10 ⁻⁴	4 ×10 ⁶
Y	1.3×10 ⁻⁵	9 ×10 ³	Hg	4 ×10 ⁻⁴	1 ×10 ⁵
Zr	1 ×10 ⁻³ ?	—	Tl	1.5×10 ⁻⁵	2.3×10 ⁴
Nb	1 ×10 ⁻⁴ ?	—	Pb	3 ×10 ⁻⁵	4 ×10 ²
Mo	1.0×10 ⁻²	2 ×10 ⁷	Bi	2 ×10 ⁻⁵	2 ×10 ⁵
Ru	5 ×10 ⁻⁷	—	Ra	1.0×10 ⁻¹⁰	—
Rh	—	—	Th	1 ×10 ⁻⁷	2 ×10 ⁴
Pd	4 ×10 ⁻⁹	2 ×10 ⁸	U	3.3×10 ⁻³	2 ×10 ⁶

資料 7.1 フロンとオゾンホール

表 7.1 市販のおもなフロン

フロン番号	分子式	分子量	沸点(°C)
11	CCl_3F	137.4	23.8
12	CCl_2F_2	120.9	-29.8
13	CClF_3	104.5	-81.4
14	CF_4	88.0	-128.0
21	CHCl_3F	102.9	8.9
22	CH_2ClF_2	86.5	-40.8
23	CHF_3	70.0	-82.0
112	$\text{CCl}_2\text{FCCl}_2\text{F}$	203.8	92.8
113	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$	187.4	47.6
114	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$	170.9	3.6
115	CClF_2CF_3	154.5	-38.7
116	CF_3CF_3	138.0	-78.2
142b	CH_3CClF_2	100.5	-9.2
152a	CH_3CHF_2	66.0	-25.0

表 7.2 わが国におけるフロンの用途別・種類別の使用量 (1986 年)

用途	用途別 使用量割合 (t) (%)	フロンの種類別 使用割合 (%)
発泡剤	28,956 (21.1)	フロン 11 (65) フロン 12 (30) その他 (5)
溶剤・洗浄剤	51,319 (37.4)	フロン 113 (98) その他 (2)
冷媒	42,443 (31.0)	フロン 11 (5) フロン 12 (47) フロン 22 (45) その他 (3)
エプロン・噴射剤	11,910 (8.7)	フロン 11 (37) フロン 12 (61) その他 (2)
その他	2,432 (1.8)	
合 計	137,060	フロン 11 25,878 フロン 12 35,833 フロン 22 19,935 フロン 113 52,099 その他 3,315

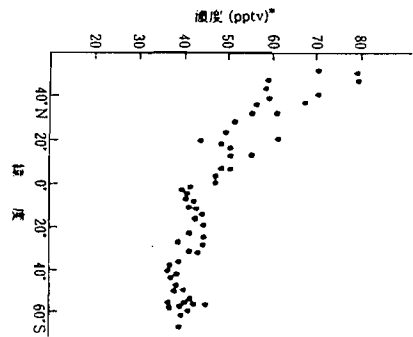


図 7.1 フロン 11 (CCl_3F) 大気濃度の緯度による変化
* pptv は体積で 1 兆分の 1.

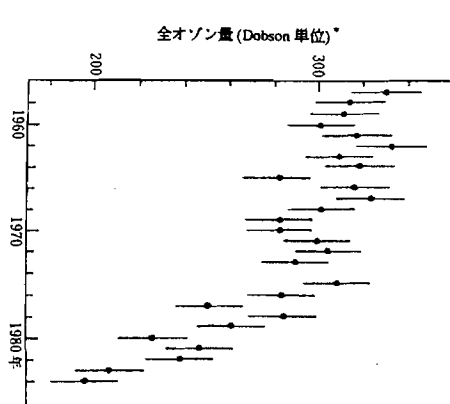


図 7.2 南極・北極における 10 月の月平均全オゾン量の経年変化 (1957-84 年)
* すべての高度を合計した垂直気柱の全オゾン量を示すもの、Dobson 分光光度計により、太陽を光源として、オゾンによる紫外光吸収を測定する。

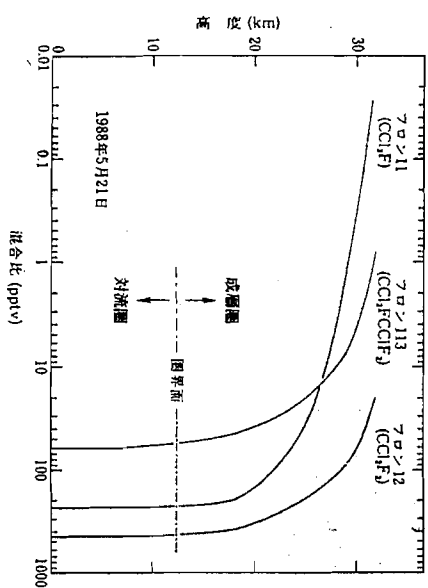


図 7.3 三陸沖上空の大気中におけるフロン 11、フロン 12、フロン 113 の高度分布 (クライオジェニック・サンプリング*による)
* 気圧の低い成層圏において、液体ヘリウムで冷却して大気試料を採取する方法。

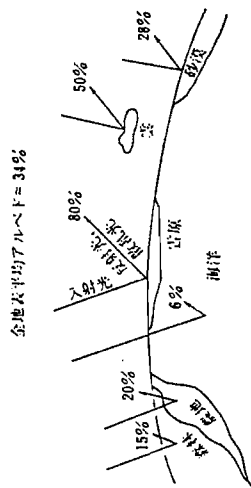


図 7.8 種々の地球表面におけるアルベド。

* アルベドとは大気や地球の面で散乱される太陽エネルギーの割合のこと。

雪溶け → アルバート → 雪溶け → カロリー

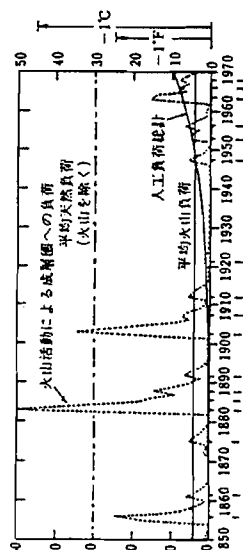


図 7.9 大気へ負荷される天然および人工の微小浮遊粒子

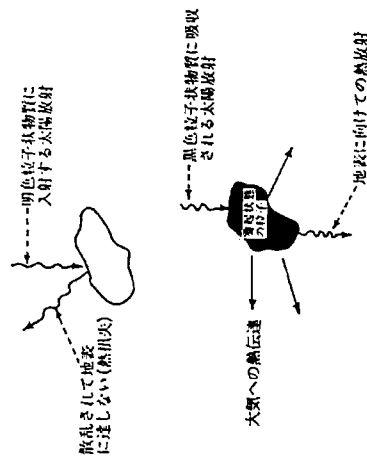


図 7.10 大気浮遊粒子による太陽光の散乱と吸収

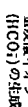
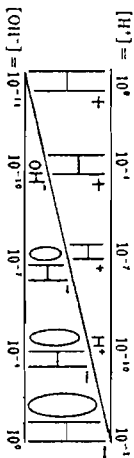
＜電離平衡＞



ただし $K_w = [H^+] \times [OH^-]$

＜酸性度と塩基性度＞

酸性度 碱性度



- $$1. \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \quad K_1 = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3] \text{ (mol/l)}}{P_{\text{CO}_2} \text{ (atm)}} = 10^{-1.5}$$

できない。



7

2.5

■により

解説 7.3 土壌中の水の化学変化

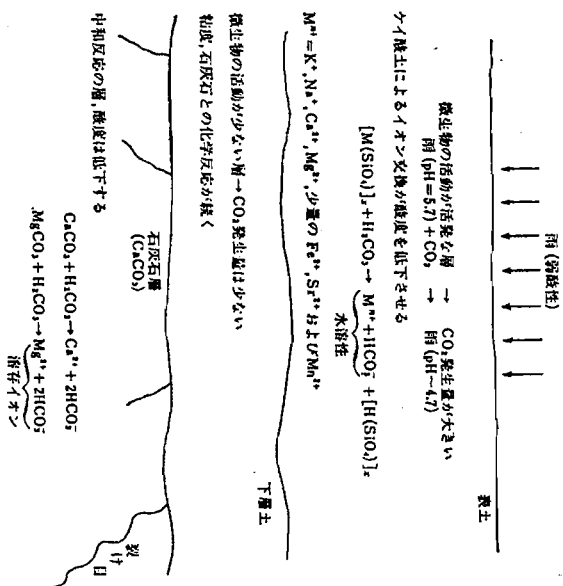


表 7.3 工業地帯の空気による酸性雨の例

北部ノルウェーとスウェーデンにおける雨の pH 変化 (1956~1975)		
年		pH
1956		6.0~5.5
1961		5.0~4.5
1966		4.5~4.0
1975		4.6~4.3

ニース・イングラッドにおける雨の pH (1970)		
場所		pH
ハーバー・ドゥルグダ (ニース・イングラッド州)		4.03
ハーバー・ドゥルグダ (ニース・イングラッド州)		4.29
トマス・ドゥルグダ (ニース・イングラッド州)		4.27
ニース・ドゥルグダ (ニース・イングラッド州)		3.81

ハーバー・ドゥルグダ (ニース・イングラッド州) の雨の中のイオン種	
	%
H ⁺	69 (陽イオンの中の%)
SO ₄ ²⁻	62 (陰イオンの中の%)
NO ₃ ⁻	23 (陰イオンの中の%)
Cl ⁻	14 (陰イオンの中の%)

資料 7.4 放射能

表 7.4 放射線の生体組織への効果

放射線の種類	飛程 (cm)	生物学的効果比*
α線	0.005	10~20
β線	3	1
γ線	~20	1

* 放射線の吸収線量が等しい場合の、生物に及ぼす実際の効果をγ線を1として表わした比。

表 7.5 毒性の強い放射性物質

同位体	放射線の種類	半減期	濃縮場所
²³⁹ Pu	α線	24,360年	骨, 肺
⁹⁰ Sr	β線	28.8年	骨, 歯
¹³¹ I	β線, γ線	8日	甲状腺
¹³⁷ Cs	β線, γ線	30年	全身

表 7.6 米国の対人放射線量

放射線源	平均年間吸収線量 (μGy)*
人工放射線 (1978)	
診断用 X線	750
治療用 X線	150
放射性降下物	500
原子力産業 (採鉱, 再処理を含む)	500
小計	1000
天然放射線	
地殻の放射性物質	600
宇宙線	300
体内放射性物質	250
小計	1150
計	2150

* 1 μGy = 物質 1kg 当たり 1J のエネルギーの吸収。

表-1 フロンガスの平均寿命

化合物	化学式	推定平均寿命 (年)
フロン11	OCl_2F	75~82
フロン12	OCl_2F_2	100~110
四塩化炭素	CCl_4	30~40
1,1,1-トリクロロエタン	CH_3CCl_3	6~7

表-2 特定フロンおよび主な代替フロン

フロン	構造式	沸点(°C)	ODP ^{a)}	GWP ^{b)}
CFC 11	CCl_3F	23.8	1.0	0.32
CFC 12	CCl_2F_2	-29.8	1.0	1.0
CFC 113	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$	47.6	0.8	0.3~0.8
CFC 114	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$	3.6	1.0	0.5~1.5
CFC 115	CClF_2CF_3	-38.7	0.6	2.4
HCFC 22	CHClF_2	-40.8	0.05	0.07
HCFC 123	CHCl_2CF_3	27.5	0.015	<0.1
HCFC 124	$\text{CHClF}_2\text{CF}_3$	-12	0.024	<0.1
HFC 125	CHF_3	-48.5	0	<0.1
HFC 134a	CH_2FCF_3	-26.3	0	<0.1
HCFC 141b	$\text{CH}_3\text{CCl}_2\text{F}$	32.0	0.03	0.05
HFC 152a	CH_3CHF_2	-25.0	0	<0.1
HCFC 225ca	$\text{CF}_3\text{CF}_2\text{CHCl}_2$	51.1		
HCFC 225cb	$\text{CClF}_2\text{CF}_2\text{CHClF}$	56.1		

- a) Ozone Depletion Potential: CFC11を1.0とした重量あたりオゾン破壊能力の相対値 (推定値)。オゾン破壊係数ともいう。
- b) Global Warming Potential: CFC12を1.0とした重量あたり温室効果の相対値 (推定値)。図-5のようにCFC11を1.0とする場合は、この表の数値を3.1倍する。

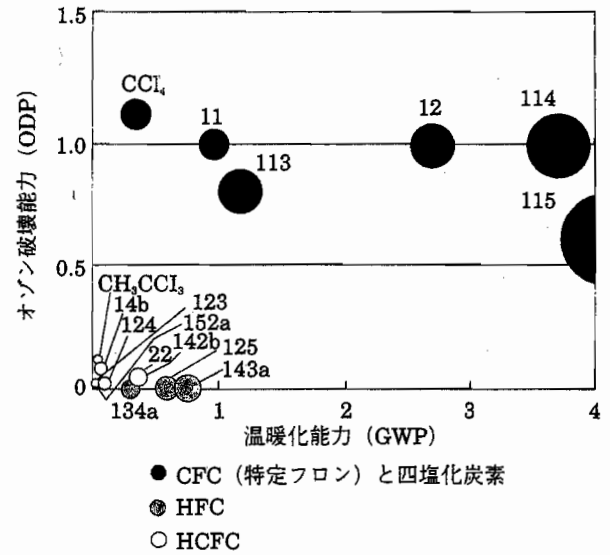


図-5 特定フロン、代替フロンなどの成層圏オゾンおよび気候への影響の比較 (Chem. Eng. News, 1989より、デュポン社の資料にもとづく。) 円の大きさが大気中寿命に比例するよう表してある。

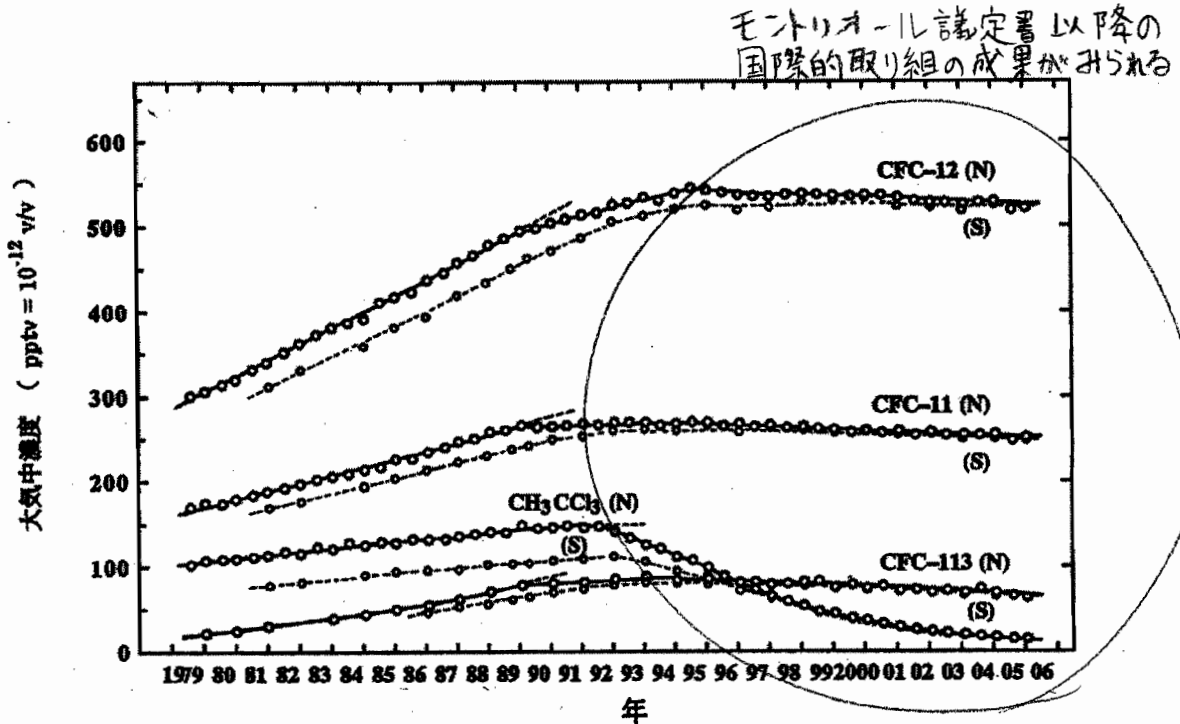


図30 北半球中緯度 (北海道) 及び南半球 (南極昭和基地) における特定物質の大気中平均濃度の経年変化

北半球中緯度 (北海道: N) 及び南半球 (南極昭和基地: S)
(出典) 東京大学巻出研究室測定結果