

「環境科学」第2章の問題解答 (2-3節, 2-4節)

2-3 ドリル問題

問題1 <解答例>

- ① IPCC→ Intergovernmental Panel on Climate Change (気候変動に関する政府間パネル)の略。
- ② GWP→ Global Warming Potential (温室効果係数)の略。二酸化炭素を基準にした温暖化に与える影響力の係数(大気中において、単位濃度の気体がもたらす温室効果の強さを、CO₂の温室効果と比較したもので、CO₂の値を1とする)。
- ③ PM2.5→ SPMのうちの粒径が2.5μm以下のものである。肺の深部に到達し、健康に悪影響を与える。
- ④ オゾンホール→ オゾン層は一定の厚さと濃度をもって対流圏をおおっているが、南極上空では毎年春先(9月～11月)になると、オゾンが激減した部分が穴のようになって現れる。これをオゾンホールと呼ぶ。オゾンホールの原因はCFCsなどのオゾン層破壊物質を大量に大気中に放出したためである。

[解説]: オゾンホールの形成には、南極の成層圏の気象条件が重要であるとされている。

オゾン層は通常、300m atm-cm程度のオゾン濃度であるが、オゾンホール内のオゾン濃度は220m atm-cm以下とされている。97年以降、北極でも同様な現象が見られている。

- ⑤ CFCs→ Chlorofluorocarbons (クロロフルオロカーボン類)の略。環境中で極めて安定で、成層圏のオゾンを破壊するという点で問題となり、モントリオール議定書で規制された。炭素、塩素、フッ素の3種の元素からなる化合物で、大部分は炭素数が1～3程度のもの。
- ⑥ モントリオール議定書→ (議定書とは、国際条約を部分的に強化するために条約本体とは別に定められた取り決めである。) オゾン層を保護するため、国際的な枠組みであるウィーン条約(オゾン層保護条約)が1985年に採択された。これに基づき、モントリオール議定書(1987年)が定められ、CFCsの全面的な利用規制と代替物への転換が国際的に合意された。
- ⑦ 代替フロン→ 代替フロンとは、オゾン層破壊効果の高いフロンの代わりとなる物質の総称のことで、分子内に水素原子を入れたハイドロクロロフルオロカーボン(HCFCs)などが、その代表的な例である。

[解説]: くわしく述べると、代替物質に必要な特性として、(1)成層圏オゾンの破壊能力が小さい、(2)フロンの性質に近い、(3)毒性が低い、(4)温室効果係数(GWP)が小さい、(5)不燃性である、などがある。性質(1)～(3)を満たすものにHCFCsやHFCsが

ある。これらのものは分子内に水素を含んでいるので、対流圏内で式 2-10~2-13 と類似の反応が進行し、ほとんどが除去される。このため、HCFCs や HFCs は成層圏オゾンの破壊能力がフロンに比べ、圧倒的に小さい。しかし、HCFC はオゾン層に与える影響がまったくゼロではないので、モントリオール議定書で、先進国は 2020 年までに全廃、開発途上国は 2040 年までに全廃する事が求められている。また、HCFCs および HFCs は性質(4)も満足していない(GWP は CO₂ のおよそ 100 倍~1 万倍)ので、代替フロンは温室効果ガスの増加をもたらす点でも問題がある。日本ではフロン回収破壊法により使用後の回収を義務づけられている

- ⑧ 湿性沈着→ 大気中の成分が雨や霧などの水滴(雪を含む)に取り込まれ、水滴と共に大気から除去されること。

硫酸、硝酸などの酸やそれらのアンモニウム塩などは雨に取り込まれ湿性沈着しやすいので、しばしば、酸性雨で問題になる。

- ⑨ 乾性沈着→ 大気中の成分が雨や雪などの降水現象を伴わない状況で、地表の土壌、植物、構造物あるいは水面に直接移行し、大気から除去されること。
- ⑩ 一次汚染物質→ 燃焼や生産などさまざまな人間活動の結果として発生する汚染物質で、工場からの煤煙や自動車からの窒素酸化物などがその典型例である。
- ⑪ 二次汚染物質→ 一次汚染物質が放出された後、大気中で光化学反応や酸化反応により変質した汚染物質である。
- ⑫ オキシダント→ オキシダントは、最も重要な大気汚染物質のひとつで、オゾンの主成分とする酸化性が強い成分の総称である。光化学スモッグ発生時にはオキシダントが著しく増加する。酸化性が強いので、人体や植物にも悪影響を与える。

[解説]: オキシダントは「中性ヨウ化カリウム水溶液からヨウ素を遊離するものに限り、二酸化窒素を除く」と定義されている。オキシダントには、パーオキシアセチルナイトレートや過酸化水素なども含まれる。

- ⑬ PM→ Particulate Matter (粒子状物質) の略で、大気に浮遊状態で存在する粒子状の物質のことである。

[解説]: 「粒子」は固体を指すが、「粒子状」とは「粒子のような」という意味で、PM は固体、液体、およびそれらの混合状態で存在する。その大きさは 10nm~数十 μm で、大気に懸濁した巨大な固まりとみなせる。PM を構成する成分には、発生源の性質を反映してさまざまなものがあるが、東京近郊の都市域では自動車に由来する有機物とすす状の炭素が全重量のおよそ半分~2/3 を占めることがわかっている。

- ⑭ SPM→ Suspended Particulate Matter (浮遊粒子状物質) の略。大気中に浮遊する PM(粒

子状物質)で直径が $10\mu\text{m}$ 以下のものを指す。長期間(数日～2週間程度とされる)大気に浮遊するとされる。呼吸により気管や肺に入りやすいことから、人体への影響が大きく、せき、たん、呼吸困難などを引き起こす原因物質の一つといわれる。

[解説]： PM に関しては本に示したようにさまざまな用語がある。それらの中で SPM は環境基準が定められているので、これまでに 30 年以上の長期にわたる測定がなされており、最も広く使われている。粒径が小さいため、大気中での滞留時間が長く、呼吸により気管や肺に入りやすいことから、人体への影響が大きく、せき、たん、呼吸困難などを引き起こす原因物質の一つといわれる。

- ⑮ 逆転層→ 一般に対流圏では上空へ行くにしたがって気温が一定の割合で低下するが、この気温減少率より気温の減少が少ない空気の層を逆転層と呼んでいる。逆転層の内部では、大気の上下の混合が起こらないので、逆転層の下に汚染物が蓄積される。

[解説]： 図 2-15 は逆転層の極端な例で、地表に接して気温の逆転が発生するので接地逆転と呼ばれる。この図のようなケースでは汚染物は上空に運ばれず、地表付近に蓄積して汚染がひどくなりやすい。そのような現象は晩秋から初冬にかけてしばしば見られ、深刻な都市大気汚染が発生する気象上の要因として知られている。

問題 2 <解答>

- (1) 6%
- (2) 二酸化炭素, 一酸化二窒素
- (3) 中国 アメリカ EU インド ロシア 62%
- (4) オゾン層 90 %
- (5) 約 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (0.976°C) , $0.65\text{ }^{\circ}\text{C}$
- (6) 25, 100

問題 3 <解答：○をつけるもの> SPM, 一酸化炭素, 炭化水素類, NO_x

問題 4

- (1) 逆転層の内部では、対流による上下混合が抑制されるため、汚染された空気塊が上空に運ばれないため。
- (2) ①放射性逆転：日没から日の出でまでにできやすく、地面の方が上空の空気よりも放射冷却で熱を失いやすいため、地面に接する空気が先に冷えて、発生する。②地形性逆転：放射性逆転が山間部で起きると、冷気は重いので山側から谷川に下り、谷間に暑い冷気の層ができる。冷

え込みが厳しく、風がない状態で安定な逆転層ができると、日中でも逆転層が解消されないことがある。それに、谷間に発生源があるなどのことが重なると汚染物質が蓄積され続ける。

問題5 <解答例>

(1) 現象としては、以下の①～⑬が考えられる。

1. 気候変動の中の現象として、

①平均気温の上昇、②降水量と降水パターンの変化、③異常気象の頻発、④台風の大型化、などがあげられる。

2. ①、②に伴って生物への影響として、

⑤動植物の分布の変化、⑥熱帯、亜熱帯に特有の病気(マラリアなど)の流行地域の北上、⑦植物の開花・芽吹きของ早まりや落葉の遅れ、などがあげられる。

3. その他、気温の上昇により、

⑧陸地の乾燥化(砂漠化)、⑨氷河の後退・消滅、⑩北極海の海水の減少・消滅、⑪南極の雪氷の減少、などが起こると考えられている。温暖化が進行すると、海水温も上昇して海水が膨張する。これに加えて、⑨～⑪のために、⑫海水面の上昇、が起こる。

気温の上昇は様々な影響を与えるとされ、⑬中緯度地方の都市大気汚染(光化学スモッグ)を悪化させる、という指摘もなされている。

(2) 硫黄酸化物、窒素酸化物、塩化水素、揮発性有機化合物など

(3) 東アジア、北米、北東ヨーロッパ、そのうちで進行が激しいのは東アジア。

(4) 人間には目や喉への刺激や息苦さ、重篤な場合はチアノーゼや呼吸困難などの症状をもたらす。

植物では、果物の生育阻害、アサガオなどの葉に特有の変色を生じさせる。

(5) ① 新建材やシロアリ対策などで一般住宅にホルムアルデヒドや殺虫剤などの化学薬品が含まれる建材が使われるようになった。

② 建物の密閉性が増加した。

③ 建物内での料理や暖房などで汚染物や水蒸気が発生して、それらによる汚染や結露によるカビの発生が問題となってきた。

(6) ホルムアルデヒド、トルエン、p-ジクロロベンゼン、クロルピリホス、フタル酸ジ-n-ブチル、フタル酸ジ-2-エチルヘキシ、エチルベンゼン、スチレン、テトラデカン、ダイアジノン、アセトアルデヒド、フェノプロカルブなど

問題6 <解答>

まず、表 2-17 の最上段の「住宅、アパート」で必要換気量 ($\text{m}^3/(\text{人}\cdot\text{時})$) を求めると、

$$3.3 \times 9.0 = 29.7 \text{ m}^3/(\text{人}\cdot\text{時})$$

となる。次段以降を計算しても、 $30\text{m}^3/(\text{人}\cdot\text{時})$ 程度の値となる。したがって、表 2-17 の参考値は、 $30\text{m}^3/(\text{人}\cdot\text{時})$ を必要換気量として定められたことがわかる。

2-4 ドリル問題

問題1 <解答例>

- ① 排煙脱硫→ 化石燃料などの燃焼によって発生した排気ガスや工場等の排気ガスに含まれる硫黄酸化物を除去するプロセスや技術であり、酸性雨や大気汚染の防止を目的として行われる。
- ② 排煙脱硝→ 化石燃料などの燃焼によって発生した排ガスや工場等の排ガスに含まれる窒素酸化物を除去するプロセスや技術であり、酸性雨や大気汚染の防止を目的として行われる。わが国では乾式法の一つであるアンモニア接触還元法が広く用いられている。
- ③ ろ過集じん装置→ グラスウールなどで造られたフィルターに排ガスを通過させて、微少な粒子を漉(こ)し取る装置。消石灰や活性炭の粒子を上流側で吹き込むことで、塩化水素やダイオキシン類の除去効率を高めることが可能で、廃棄物焼却炉で広く利用されるようになった。
- ④ 石灰スラリー吸収法→ 排煙脱硫において、化学的に硫黄酸化物を除去する方法の一つで、わが国で広く用いられている。石灰スラリーは消石灰や石灰石の懸濁液であり、これを吸収剤として用いると、排ガス中に含まれていた硫黄酸化物は硫酸カルシウムとなり、建築材料などに使用できる石膏(セッコウ)として回収・除去される。
- ⑤ 2 段燃焼法と排ガス再循環燃焼方式→ これらの方法は、燃焼炉内温度を低下させ、燃焼域での酸素濃度も低下させることにより、サーマル NO_x の生成を抑制するために、よく用いられる。

二段燃焼法・・・燃焼の第 1 段階で完全燃焼に必要とされる空気の 8～9 割を供給し、第 2 段階で不足する空気を補って全体として完全燃焼させる技術である。

排ガス再循環燃焼法・・・燃焼排出ガスを燃焼用空気に混入させる(再循環)方式で、小型の燃焼炉で広く用いられている。

[解説]： 例示した図 2-19 は、二段燃焼法と排ガス再循環燃焼法の 2 つを合わせたものといえる。

- ⑥ アンモニア接触還元法→ 排ガス中の窒素酸化物を除去するために、排ガス中にアンモニア

を吹き込み、触媒層を通すことで窒素酸化物を窒素ガスと水に分解する方法。

- ⑦ 触媒→ 自分自身は変化することなく、化学反応の速度や収率を変化させる物質のことである。反応には関与しない担体と呼ばれる固体物質に触媒を分散固着させたものも単に触媒と呼ばれる。
- ⑧ 除塵→ 排ガス中のダストなどの固体微粒子を除くプロセスや技術。
- ⑨ バグフィルタ→ ろ過集塵装置のこと、あるいはその装置で用いられるフィルターのこと。
- ⑩ 三元触媒法→ 触媒を用いて、自動車排ガス中の一酸化炭素、炭化水素、窒素酸化物を同時に除くために用いられる方法。多くの場合、白金、ロジウム、パラジウムを成分とした触媒を担体に塗付したカートリッジを、マフラーに取りつけて用いる。
- ⑪ 排気微粒子→ 排気ガスに含まれる微粒子のことであるが、特にディーゼルエンジンからの排出が多いので、排気微粒子というとディーゼル排気粒子（DEP と称される）を指すことがある。DEP は人間に対するさまざまな健康影響(肺ガン、アレルギー性鼻炎、生殖機能への悪影響、気管支喘息など)が懸念されている。
- ⑫ ディーゼル排気微粒子除去装置→ DEP への対策として、排ガス出口にセラミック製フィルターなどを装備して、付着した粒子を加熱・燃焼などで除去する方法。
- ⑬ ハイブリッド車→ 自動車の動力に、一般のエンジンと電気を組み合わせて用いる車。
なお、燃費が良いので温室効果ガスの排出量が少なく、燃料使用量を普通車の半分程度に削減できるものもある。
- ⑭ 再生可能エネルギー→ 地球上で得られる自然エネルギーのことで、地熱、太陽光(熱)、風力、バイオマスなどを指す。人類の歴史のスケールでは枯渇することがないと考えられているエネルギー源である。

問題2 <解答例>

- (1) ①石灰； 石灰には生石灰と消石灰がある。前者は CaO 、後者は Ca(OH)_2 である。

②石灰石の主成分； CaCO_3

[解説]：石灰石は石灰岩ともいい、その主成分は炭酸カルシウムである。

③石こう； $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

- (2) 燃料の選択→ 硫黄分の少ない LNG のような燃料を用いる。

燃料の改質→ 燃料中の硫黄分を除く。これには石油では水素化脱硫法、石炭では乾式選炭などがある。

排ガス処理→ 石灰スラリー吸収法などを用いる。

- (3) 排煙脱硫装置； 図 2-18 に示すように、1970 年代前半に年率で 1.8 倍に達するほど設

置・処理能力が急速に増加した。それ以降も年率で 1.1 倍程度の着実な進展を見せてきたが、産業構造の変化で施設の閉鎖などがあり、1998 年を境に設置基数・処理能力が減少に転じて現在に至っている。

排煙脱硝装置； 図 2-20 に示すように、設置が始まった 1972 年以降、設置基数・処理能力は、ほぼ年率で 1.1～1.2 程度で現在まで増加してきた。ただし、1999 年以降はほぼ横ばいとなっている。

- (4) ①有機窒素化合物の少ない燃料の使用， ②燃焼域での酸素濃度の低下
③高温域での滞留時間の減少， ④生成した NO_x の分解，除去
- (5) 重力沈降， 慣性衝突， ろ過， 液捕集， 電気力
- (6) 初期投資や運転費用が少なく管理も比較的容易であるなどの利点があるが，数 μm 以下の人間の健康に影響する微細な粒子の捕集が困難であるといった欠点がある。
- (7) ①排ガス中の有害物質の除去(浄化)，②燃料の転換により排ガスの成分を変える，③駆動方式を電気にするなどで，排ガス自身が発生しないものとする。
③について解説すると、ディーゼル燃料の軽油をアルコールに替えると PM が出なくなることや、燃料をガソリンからエタノールに替えると、オキシダントを生成しやすいガソリンの未燃焼成分が出なくなることが期待できる。