

I. 分子構造と分光学

1. 分子の光吸収と光放出

1.1 ランベルト-ベール則

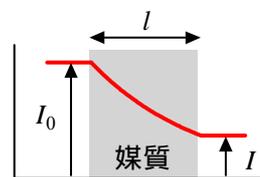
$$I = I_0 10^{-\varepsilon c l}, \quad \log_{10} \frac{I}{I_0} = -\varepsilon c l \quad (1.1a)$$

$$I = I_0 e^{-\sigma c l}, \quad \ln \frac{I}{I_0} = -\sigma c l \quad (1.1b)$$

I_0 : 入射光強度, I : 透過光強度, c : 濃度, l : 光路長
 σ, ε : 吸光係数 [次元: 濃度⁻¹ 長さ⁻¹]

〈透過率〉 = I / I_0

〈吸光度〉 = $-\log_{10}(I / I_0)$ あるいは $-\ln(I / I_0)$



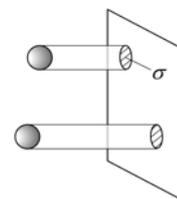
ランベルト-ベール則

[吸光係数]

例:

モル吸光係数 ε (底 e or 10): $M^{-1} cm^{-1}$ ($= dm^3 mol^{-1} cm^{-1}$)

吸光断面積 σ (底 e): $(molecules\ cm^{-3})^{-1} cm^{-1}$
 $= cm^2 [molecule^{-1}]$
 通常省略される



吸光「断面積」
 \approx 分子 1 個の「影」の面積

問題 1.1

太陽光は、光路長 1 cm に圧縮すると濃度 $7.0 \times 10^{18} molecules\ cm^{-3}$ に相当するオゾン層を通過して地表に到達する。成層圏オゾン濃度が 5% 減少したとき、地表に到達する波長 290 nm の紫外光は、どの程度、増加するか? $\sigma(O_3, 290\ nm, \text{底 e}) = 2.0 \times 10^{-18} cm^2$ である。

* 必要であれば以下を用いよ。

$\exp(10) = 2.20 \times 10^4$, $\exp(6) = 403$, $\exp(5) = 148$, $\exp(2) = 7.39$, $\exp(1) = 2.72$, $\exp(0.7) = 2.01$,
 $\exp(0.5) = 1.65$, $\exp(0.2) = 1.22$, $\exp(0.07) = 1.073$, $\exp(0.02) = 1.020$

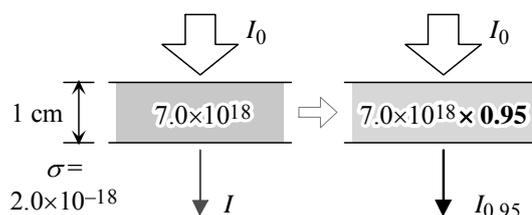
(解)

O_3 が 5% 減少したときの透過光強度 $I_{0.95}$ と、減少前の強度 I の比は、

$$\frac{I_{0.95}}{I} = \frac{I_0 \exp[-\sigma(0.95c)l]}{I_0 \exp[-\sigma c l]} = \exp[\sigma(0.05c)l]$$

$$= \exp(2 \cdot 10^{-18} \times 0.05 \times 7 \cdot 10^{18} \times 1) = \exp(0.7) = 2.0_{14}$$

[答] 約 2 倍になる

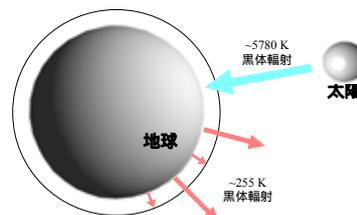


1.2 波長領域と分子運動

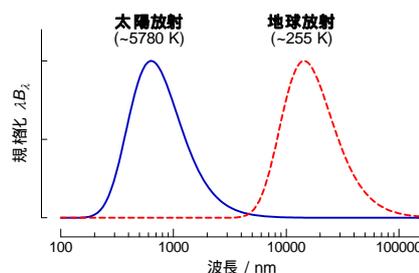
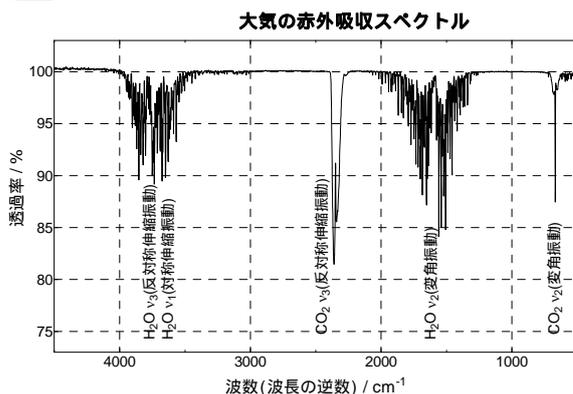
[地球温暖化]

1.3 地球温暖化

- 〈加熱〉 太陽光 (可視 peak ~ 500nm) ↔
- 〈冷却〉 地球の黒体放射 (赤外 peak ~ 11 μm)
- 大気は可視光に透明 / 赤外に分子吸収
- CO₂ などの増加 → 大気による赤外吸収の増加 → 温暖化

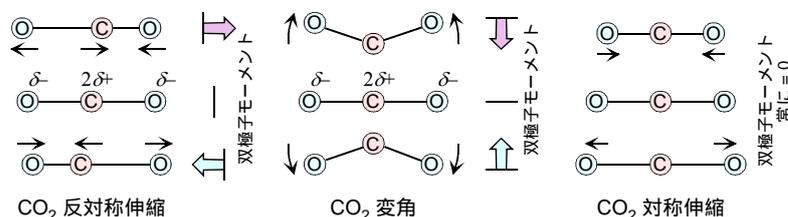


1.4 大気の赤外吸収スペクトル



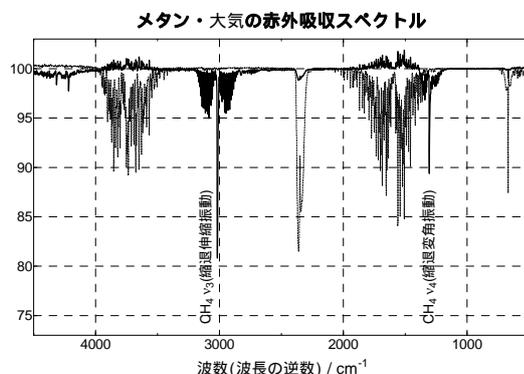
- 分子は振動運動と同じ周波数の電磁波 (赤外光) を吸収

2.4 CO₂ の振動



- CO₂ の対称伸縮振動は赤外スペクトル中がない
- 対称伸縮は双極子モーメントを変化させないので「赤外不活性」
- 大気の主成分 N₂, O₂ の振動の吸収は赤外スペクトルにない
- 双極子モーメントを持たないので、「赤外不活性」(等核二原子分子)

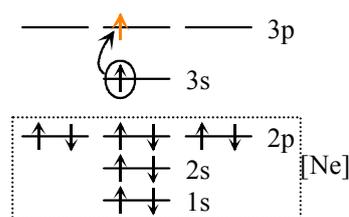
2.1 大気とメタン (CH₄) の赤外吸収



- メタンは水蒸気・CO₂ の吸収のない赤外光を吸収 → 強い温室効果気体
- 微細な分裂は回転構造 (H₂O の微細な構造も同じ)

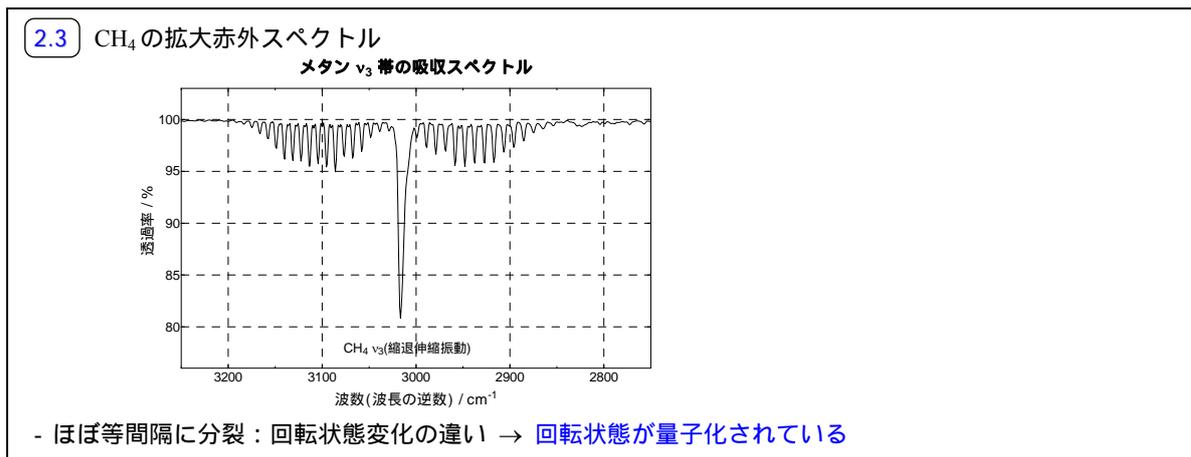
[波長領域]

紫外	10 ~ 380 nm	電子遷移
可視	380 ~ 780 nm	//
赤外	780 nm ~ 300 μm	振動遷移 ~ 回転遷移
マイクロ波	300 μm ~ 1 m	回転遷移

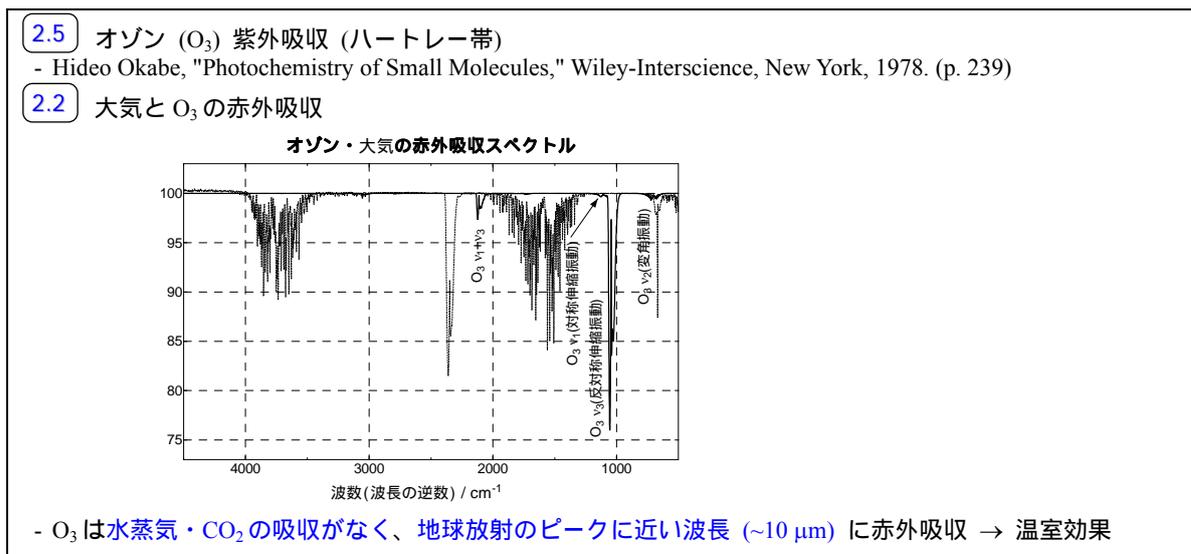


ナトリウム原子の D 線遷移

- 例 1 (可視)
 - Na-D 線 (~589 nm 橙色: Na ランプ, Na の炎色反応)
 - 電子遷移: $[\text{Ne}]3s^1 \rightarrow [\text{Ne}]3s^0 3p^1$
- 例 2 (赤外/回転構造)
 - メタンの赤外吸収 (3.3 μm) = C-H 結合の伸縮振動



- 例 3 (マイクロ波)
 - オリオン星雲からの 88632 MHz のマイクロ波
 - 純回転遷移: HCN 分子の回転量子数 1 → 0 の遷移
- 例 4 (紫外と赤外)
 - 大気中のオゾン
 - 成層圏: 紫外光(電子遷移)を吸収
 - 対流圏: 赤外吸収(振動)による温室効果



[波長-周波数/波数/エネルギー]

	記号	単位
波長	λ	nm, μm (断らない限り真空中)
周波数	ν	s^{-1} , Hz
波数	$\tilde{\nu}$	cm^{-1}
エネルギー	$\varepsilon, h\nu$	J (= J photon $^{-1}$, or J molecule $^{-1}$), kJ mol $^{-1}$, cm $^{-1}$

* cm $^{-1}$ は、エネルギーの単位としても使われる

c_0 : 真空中の光速 $\equiv 299792458 \text{ m s}^{-1}$, N_A : アボガドロ数 $= 6.0221 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$,

h : プランク定数 $= 6.6261 \times 10^{-34} \text{ J s}$

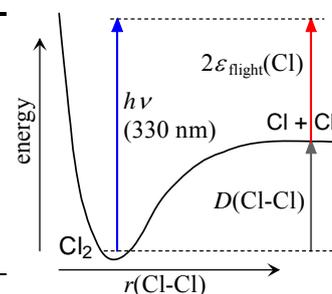
$$\nu = c_0 / \lambda, \quad \tilde{\nu} = 1 / \lambda, \quad \nu = c_0 \tilde{\nu}$$

$$\varepsilon = h\nu = hc_0 / \lambda = hc_0 \tilde{\nu} \quad (1 \text{ 粒子あたり})$$

$$E = N_A h\nu = N_A hc_0 / \lambda = N_A hc_0 \tilde{\nu} \quad (1 \text{ モルあたり})$$

問題 1.2

$^{35}\text{Cl}_2$ を 330 nm で光分解した。分解直後の ^{35}Cl 原子の飛行速度を求めよ。Cl-Cl 結合エネルギーは $242.6 \text{ kJ mol}^{-1}$ である。光分解後の 2 個の ^{35}Cl 原子は運動量保存則に従い、同じ速度で逆方向に飛行する。光分解前の $^{35}\text{Cl}_2$ の飛行速度は無視してよい。



* 光吸収では 1 分子は 1 光子を吸収し、1 光子の持つエネルギーは $h\nu$ (h : プランク定数, ν : 周波数) である。一方で、結合解離エネルギーは 1 モルあたりのエネルギーで与えられていることに注意せよ。

* 必要であれば以下を用いよ。

c_0 (真空中の光速) $= 2.9979 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$, N_A (アボガドロ定数) $= 6.0221 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$,

h (プランク定数) $= 6.6261 \times 10^{-34} \text{ J s}$,

$M_{\text{Cl-35}}$ (^{35}Cl 原子のモル質量) $= 34.969 \text{ g mol}^{-1}$ (*注: kg ではない)

(解)

1 光子の
エネルギー

1 分子の結合
エネルギー

Cl 原子 2 個の
運動エネルギー

$$\begin{aligned} \cdot \quad \frac{hc_0}{\lambda} - \frac{D_{\text{Cl-Cl}}}{N_A} &= 2 \times \frac{1}{2} \frac{M_{\text{Cl35}}}{N_A} v_{\text{Cl}}^2 \\ \cdot \quad v_{\text{Cl}} &= \left[\frac{N_A}{M_{\text{Cl35}}} \left(\frac{hc_0}{\lambda} - \frac{D_{\text{Cl-Cl}}}{N_A} \right) \right]^{1/2} \\ &= \left[\frac{6.0221 \cdot 10^{23}}{34.969 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{6.6261 \cdot 10^{-34} \times 2.9979 \cdot 10^8}{330 \cdot 10^{-9}} - \frac{242.6 \cdot 10^3}{6.0221 \cdot 10^{23}} \right) \right]^{1/2} \\ &= \left[\frac{1}{5.8068 \cdot 10^{-26}} (6.0195 \cdot 10^{-19} - 4.0285 \cdot 10^{-19}) \right]^{1/2} \\ &= \left[\frac{1.9910 \cdot 10^{-19}}{5.8068 \cdot 10^{-26}} \right]^{1/2} = (3.4287 \times 10^6)^{1/2} \\ &= 1.85 \times 10^3 \text{ m s}^{-1} \end{aligned}$$

[答] $1850 (1.85 \times 10^3) \text{ m s}^{-1}$