

# 「光と地球環境および環境計測」

名古屋大学 太陽地球環境研究所

松見 豊

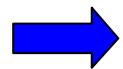
matsumi @ stelab.nagoya-u.ac.jp

<http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/ste-www1/div1/matsumi/>

2006年11月6日(月)

文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会光資源委員会

# 地球環境と光



## 1. 地球環境問題に関わる光

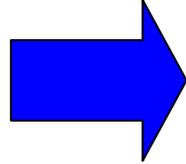
オゾン層破壊や地球温暖化などの地球環境問題の発生メカニズムには光が関与している

## 2. 光で計測する地球環境

光を応用した地球環境計測法の新しい展開

## 地球環境問題

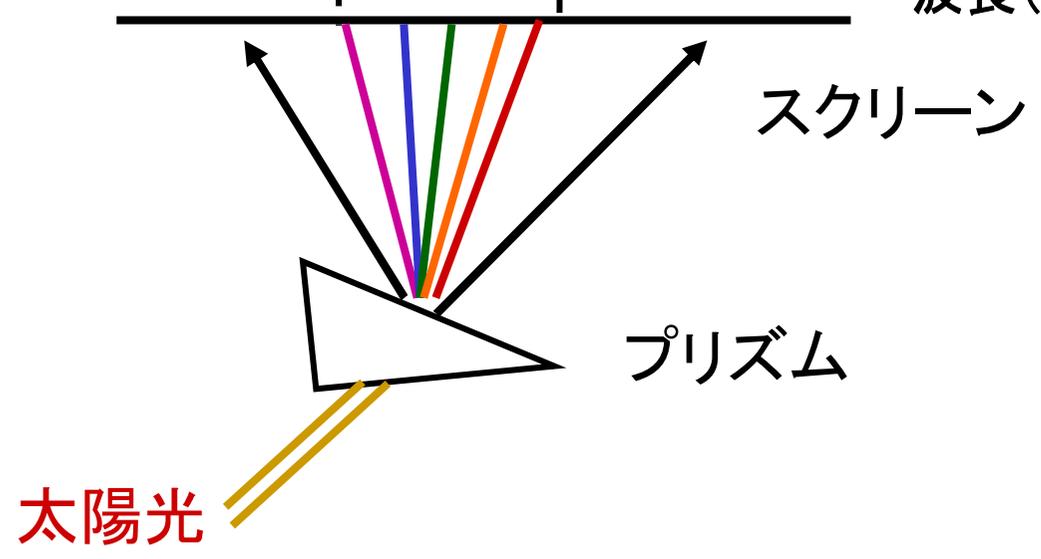
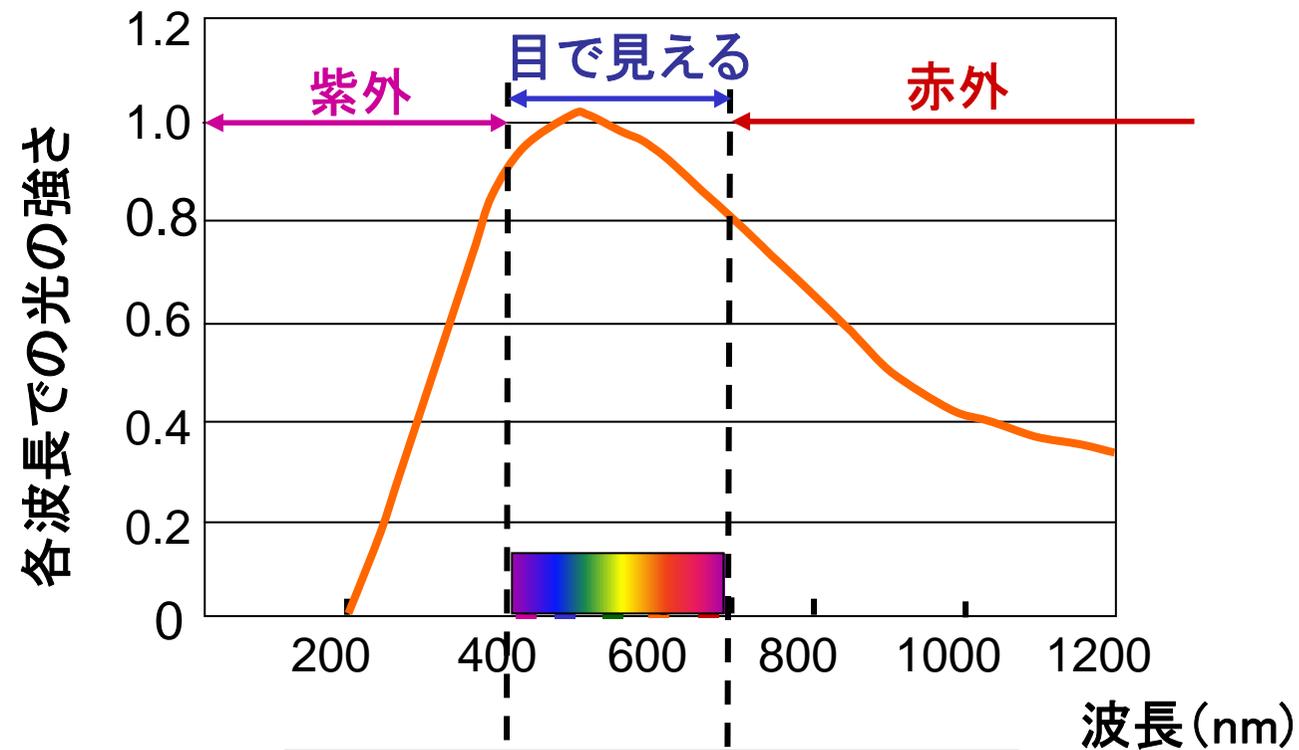
- オゾン層破壊
- 地球温暖化
- 光化学スモッグ  
など



すべて光が関連している

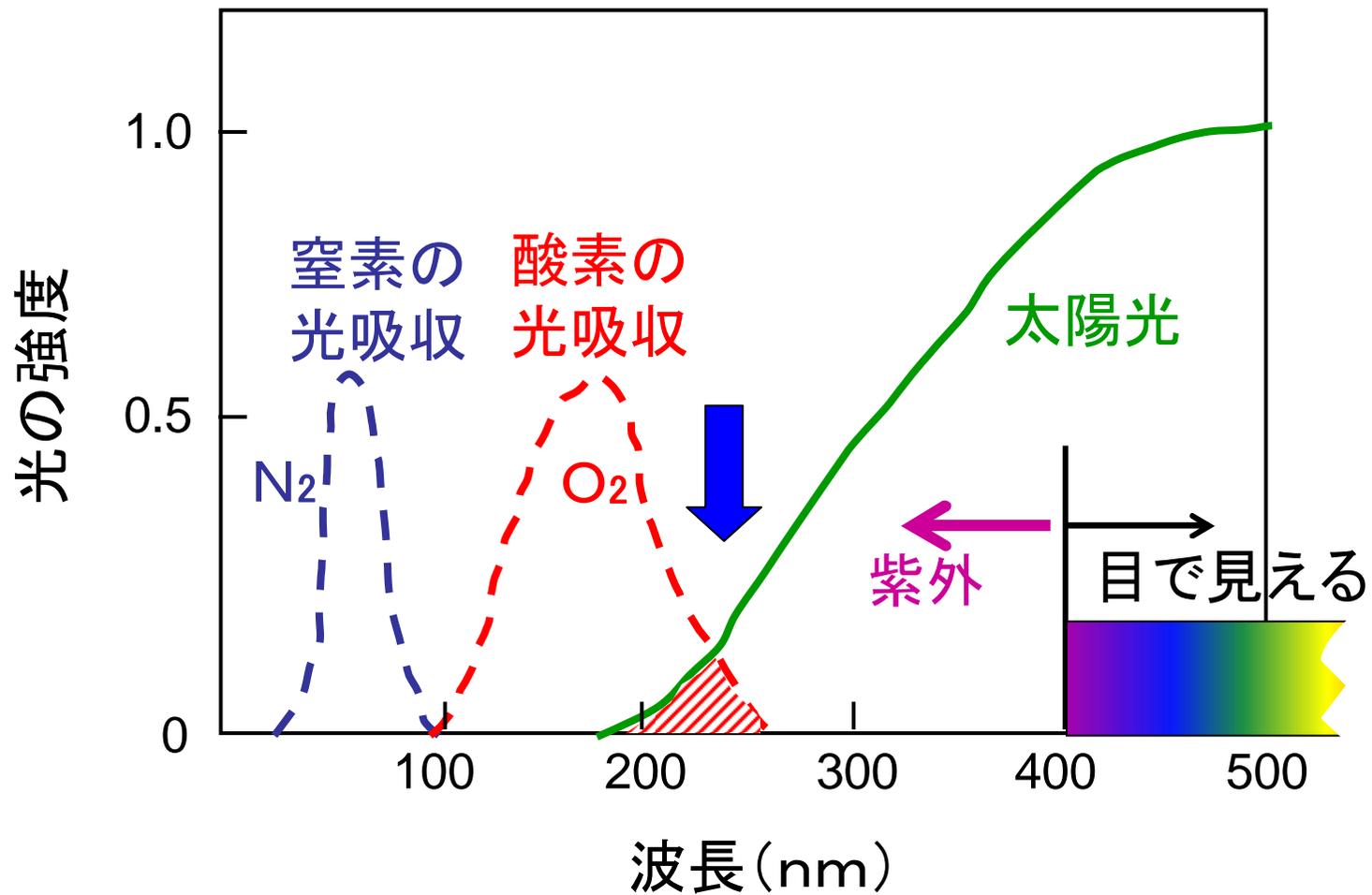
- 大気中の光化学反応
- 赤外線光吸収による温室効果  
など

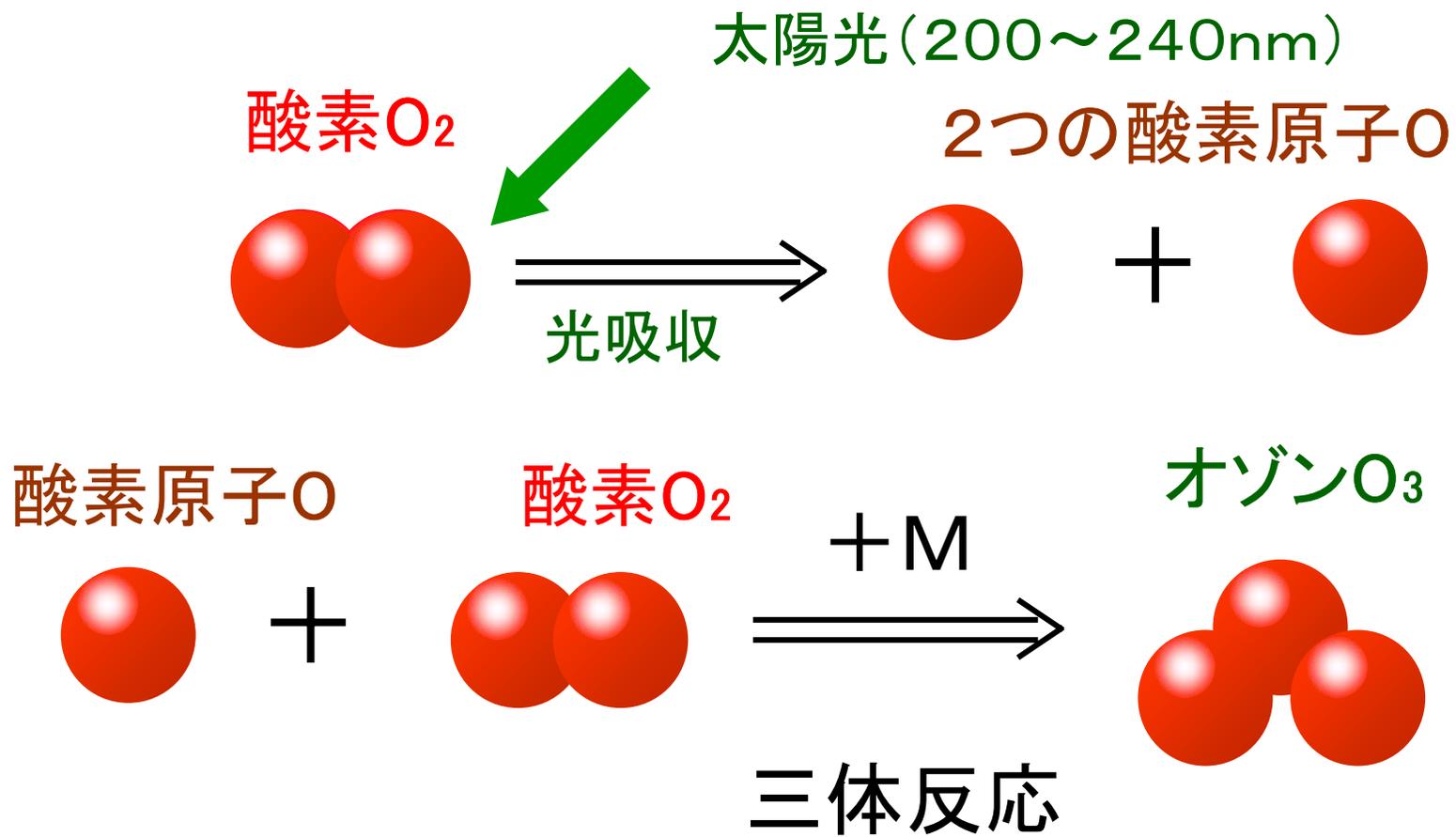
# 太陽光のスペクトル(波長強度分布)



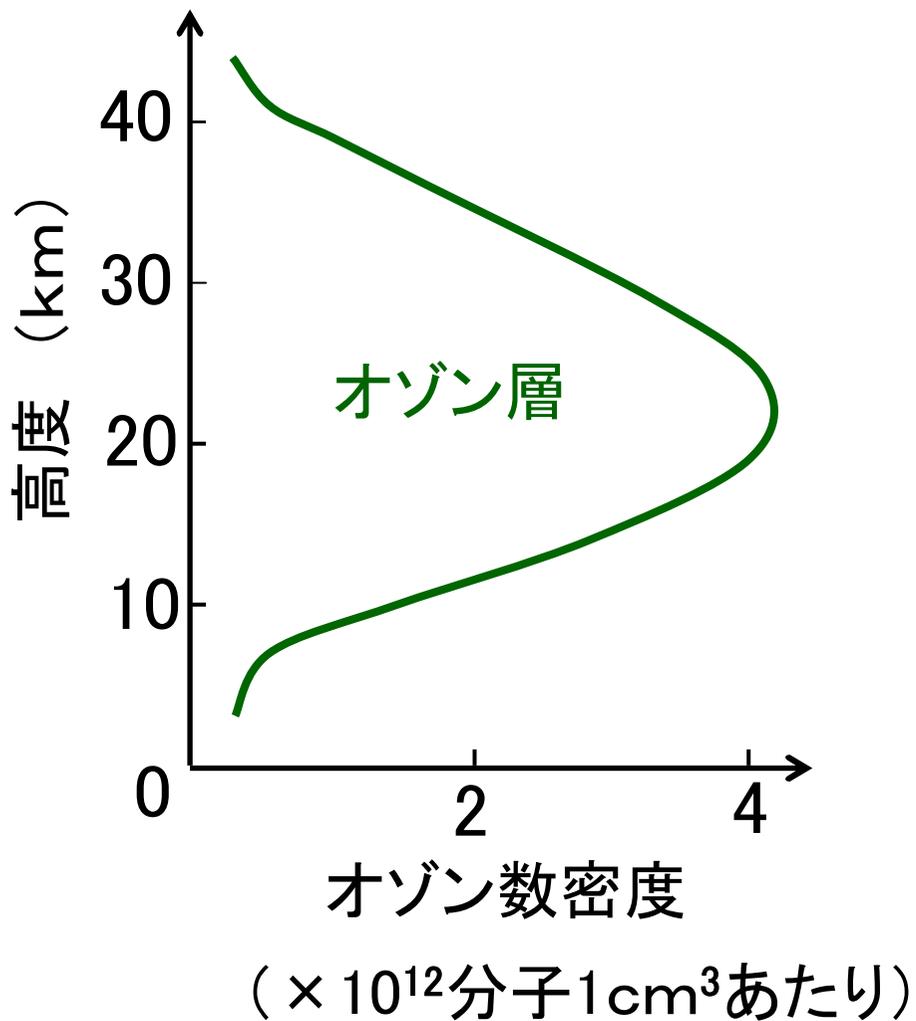
オゾン層問題→目では見えない紫外光が重要

太陽光の波長分布(大気の外)

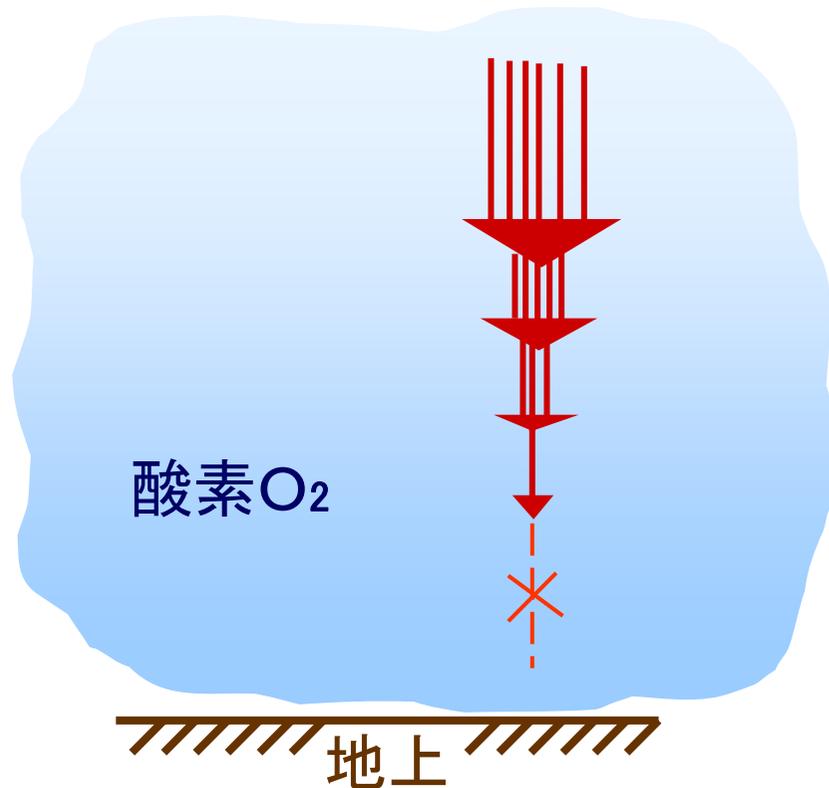




## オゾンO<sub>3</sub>の高度分布

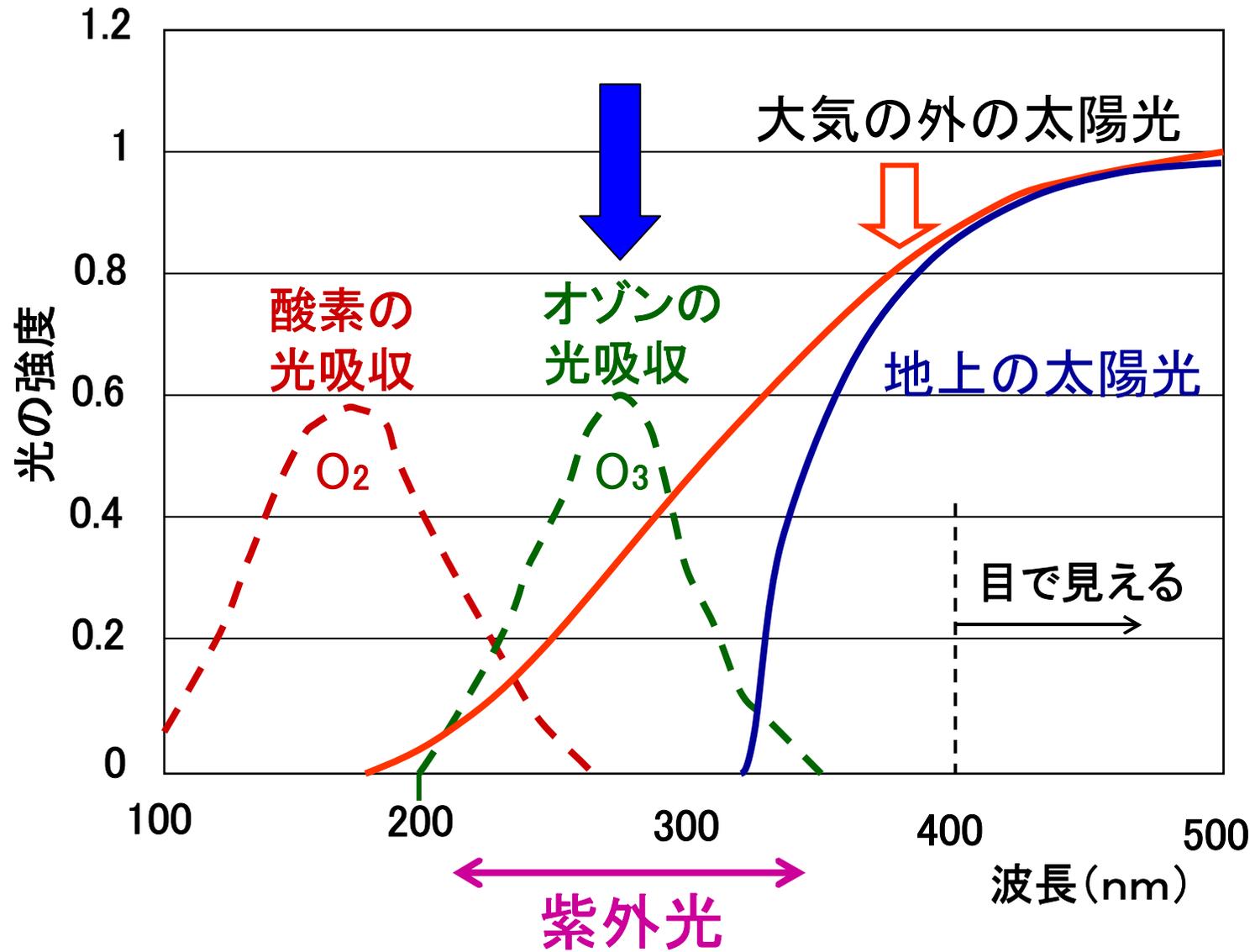


酸素O<sub>2</sub>の光吸収に有効な太陽光 (200~240nm)



吸収されつくして  
低いところまで  
届かない

# 太陽光の波長分布



生物に有害な光をオゾン層が吸収

太陽

紫外線  
UV光

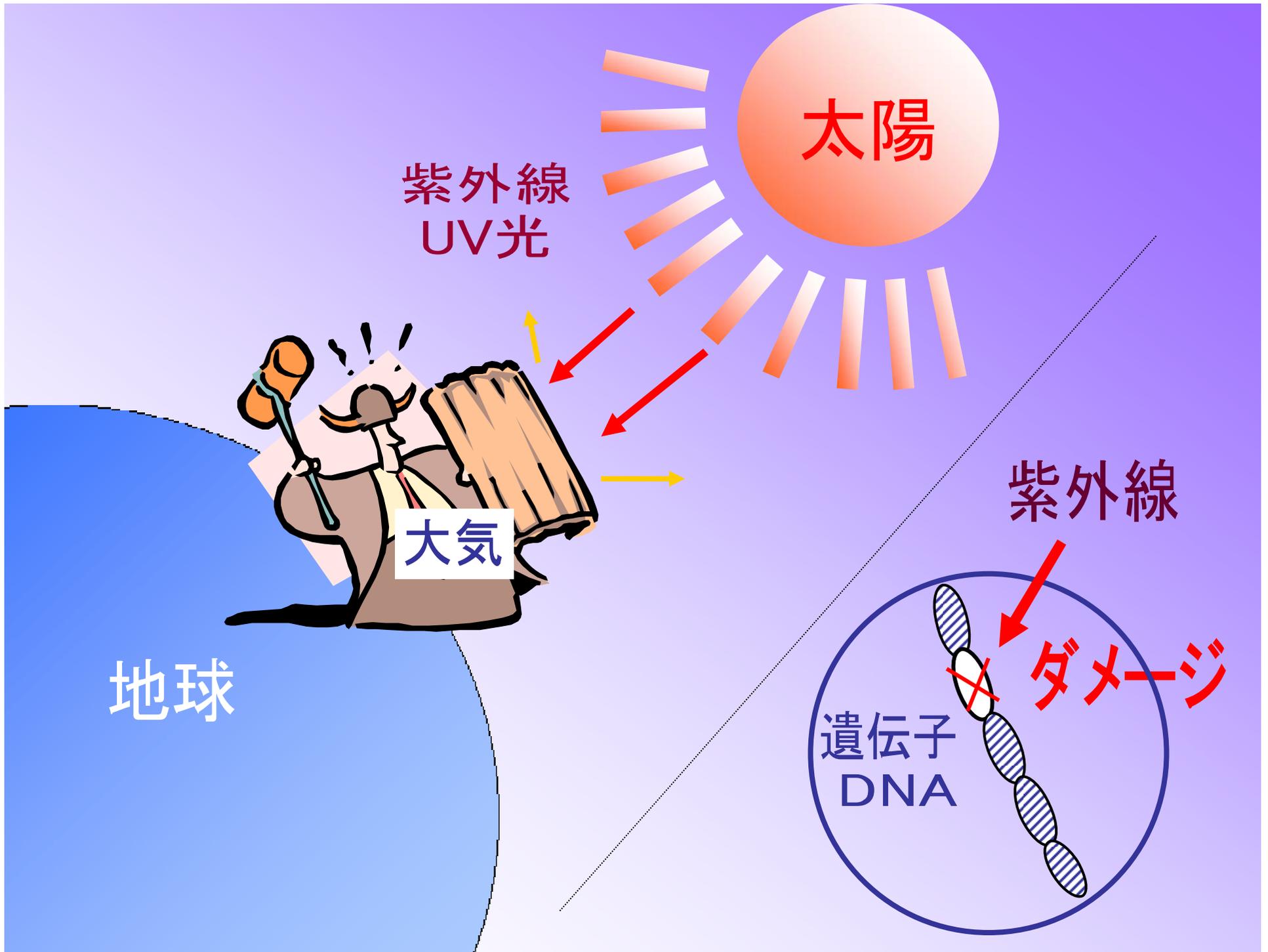
紫外線

ダメージ

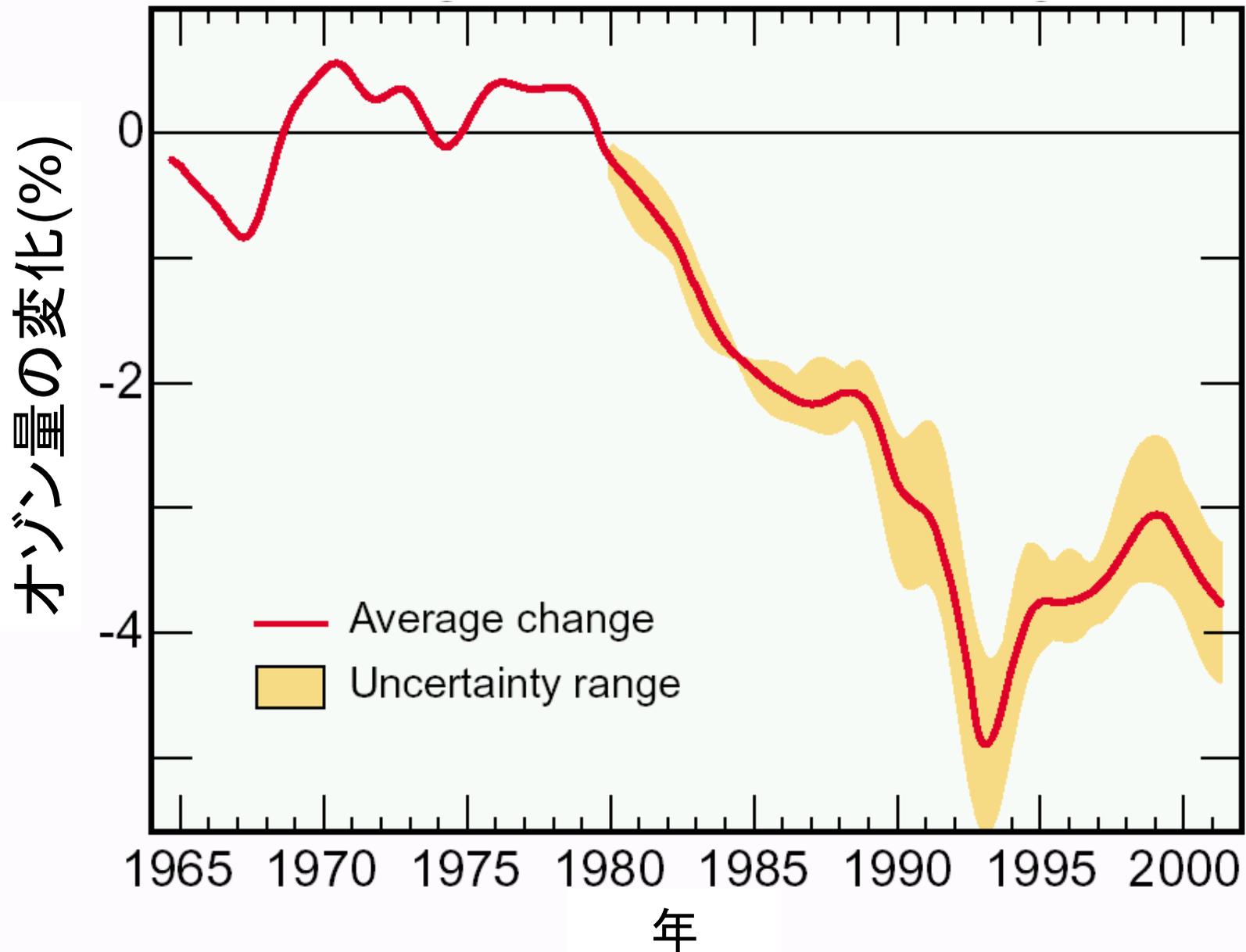
大気

遺伝子  
DNA

地球



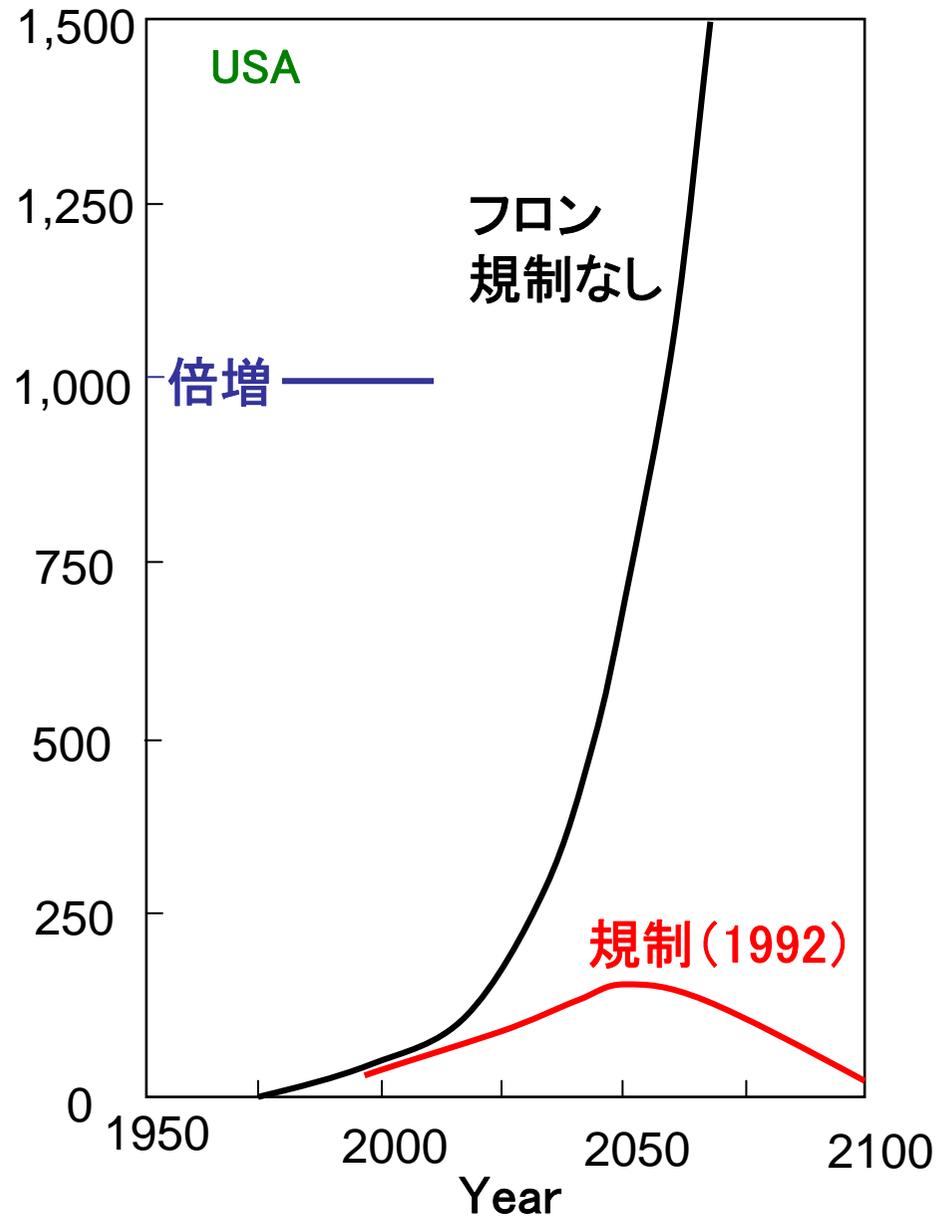
## 世界的なオゾン全量の変化



(WMO, 2003, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002より)

# 皮膚ガン増加

Excess cases  
(per million per year)



(WMO, 2003, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002 Q-29より)

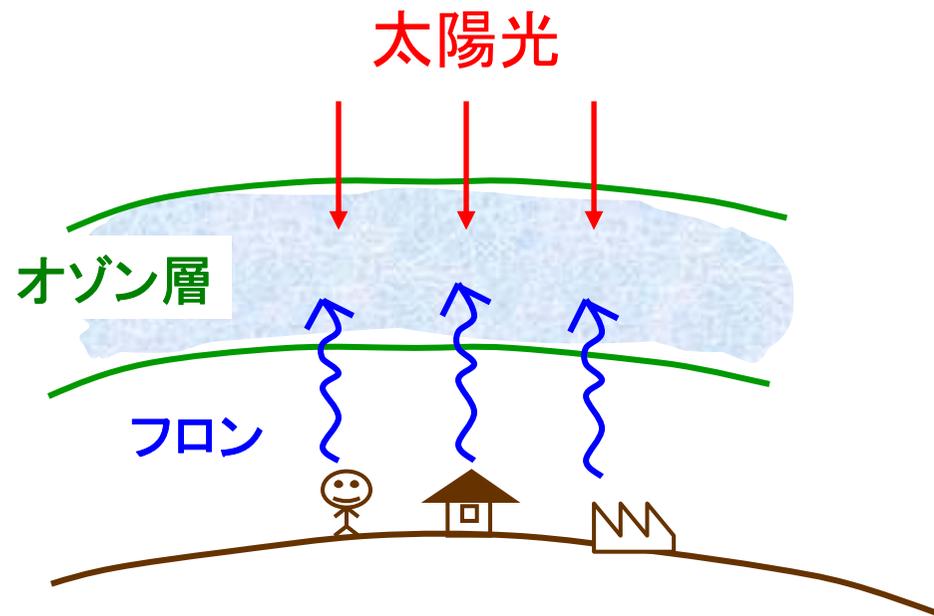
# オゾン層の破壊

フロン、ハロン(塩素Cl、臭素化Br化合物) 人類が放出



フロン：非常に化学的に安定 ←だから有用だった

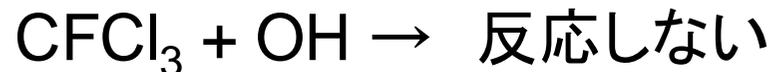
大気中に出ると  
フロンがオゾン層  
まで拡散してゆく



## フロン(CFC)および代替フロンの大気中での寿命

| 化合物                                    | 寿命   | オゾン破壊係数(ODP) |
|--|------|--------------|
| $\text{CFCl}_3$ (CFC-11)               | 50年  | 1            |
| $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ (CFC-12)      | 102年 | 0.82         |
| $\text{CH}_3\text{Br}$                 | 1.3年 | 0.64         |
| $\text{CClF}_2\text{H}$ (HCFC-22)      | 13年  | 0.04         |
| $\text{CHF}_2\text{-CHF}_2$ (HFC-134a) | 14年  | ~ 0          |

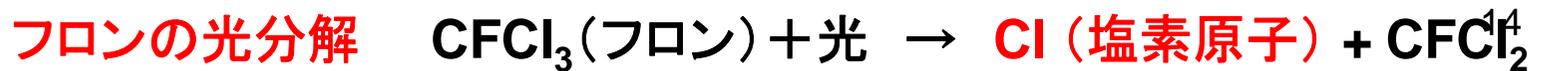
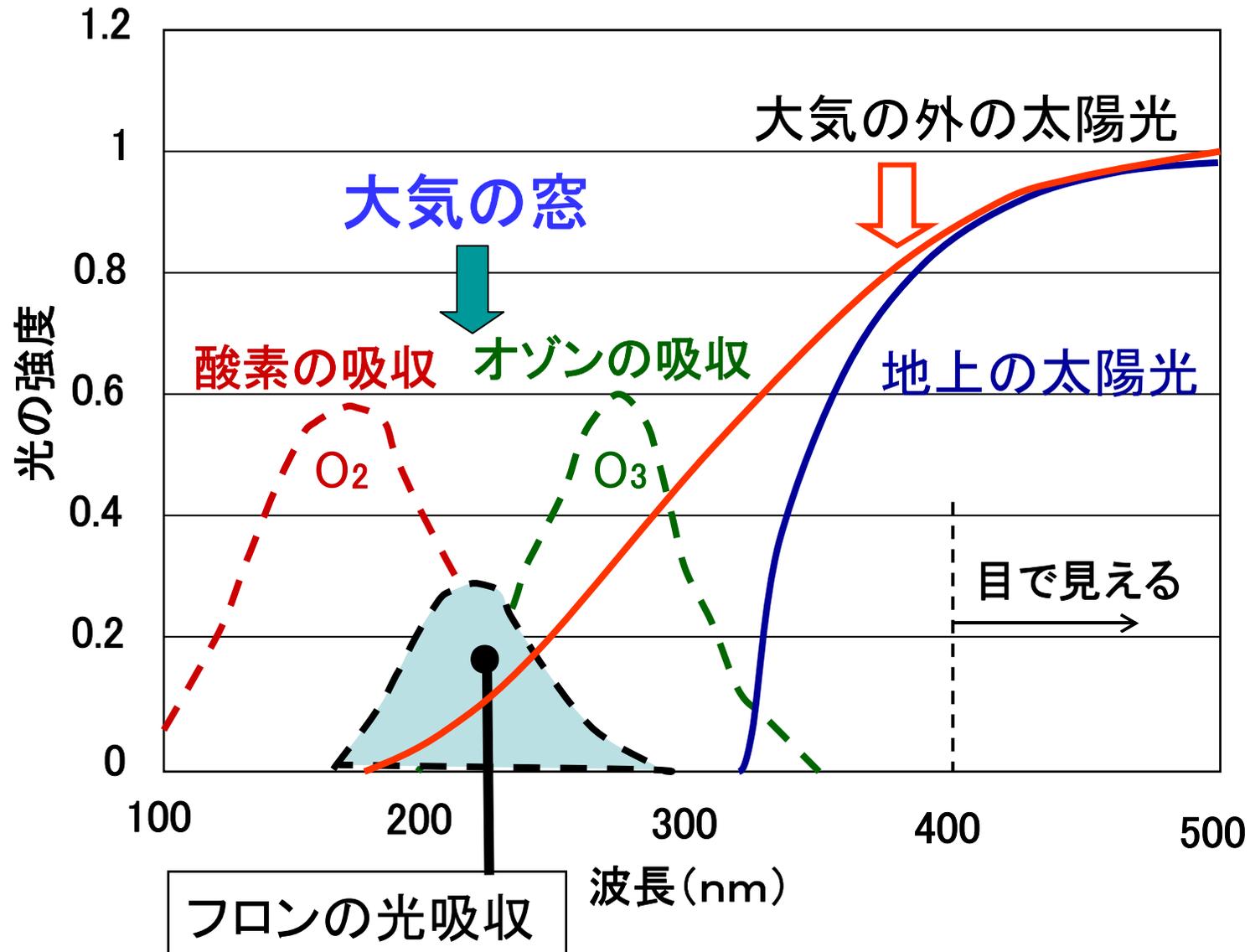
① OHと反応するかどうか ⇐ OHは大気の掃除屋



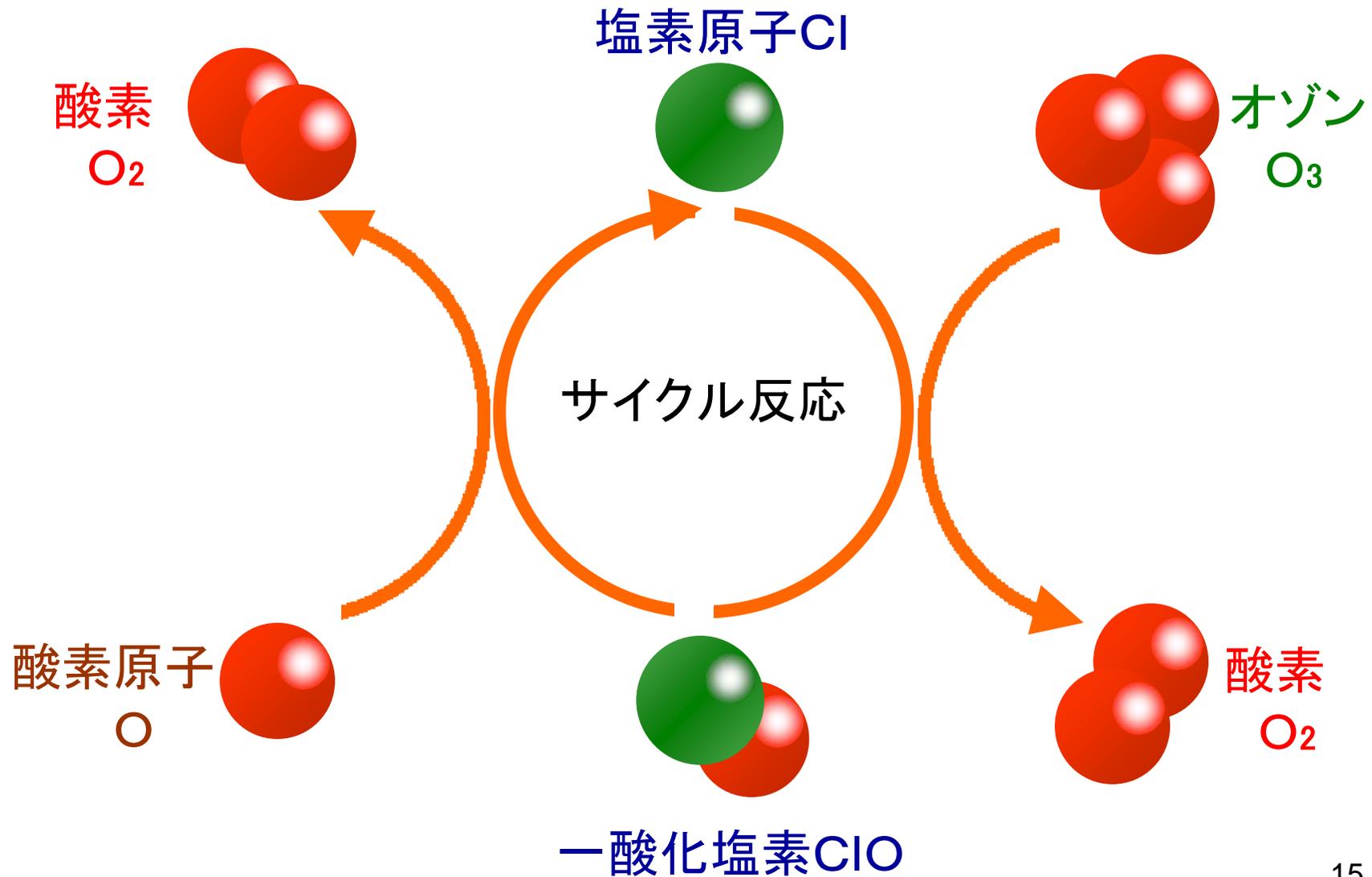
② 対流圏で光分解するかどうか ⇐ 太陽光  $\lambda > 300 \text{ nm}$

300 nmより長波長で光分解するかどうか

# 高い高度には短い波長の太陽紫外光



フロンの光分解で生成した1つの塩素原子が  
100.000個のオゾンをこわす



## 成層圏オゾン層の今後の課題

フロン<sup>1</sup>の減少とともに成層圏オゾン層が復活するか

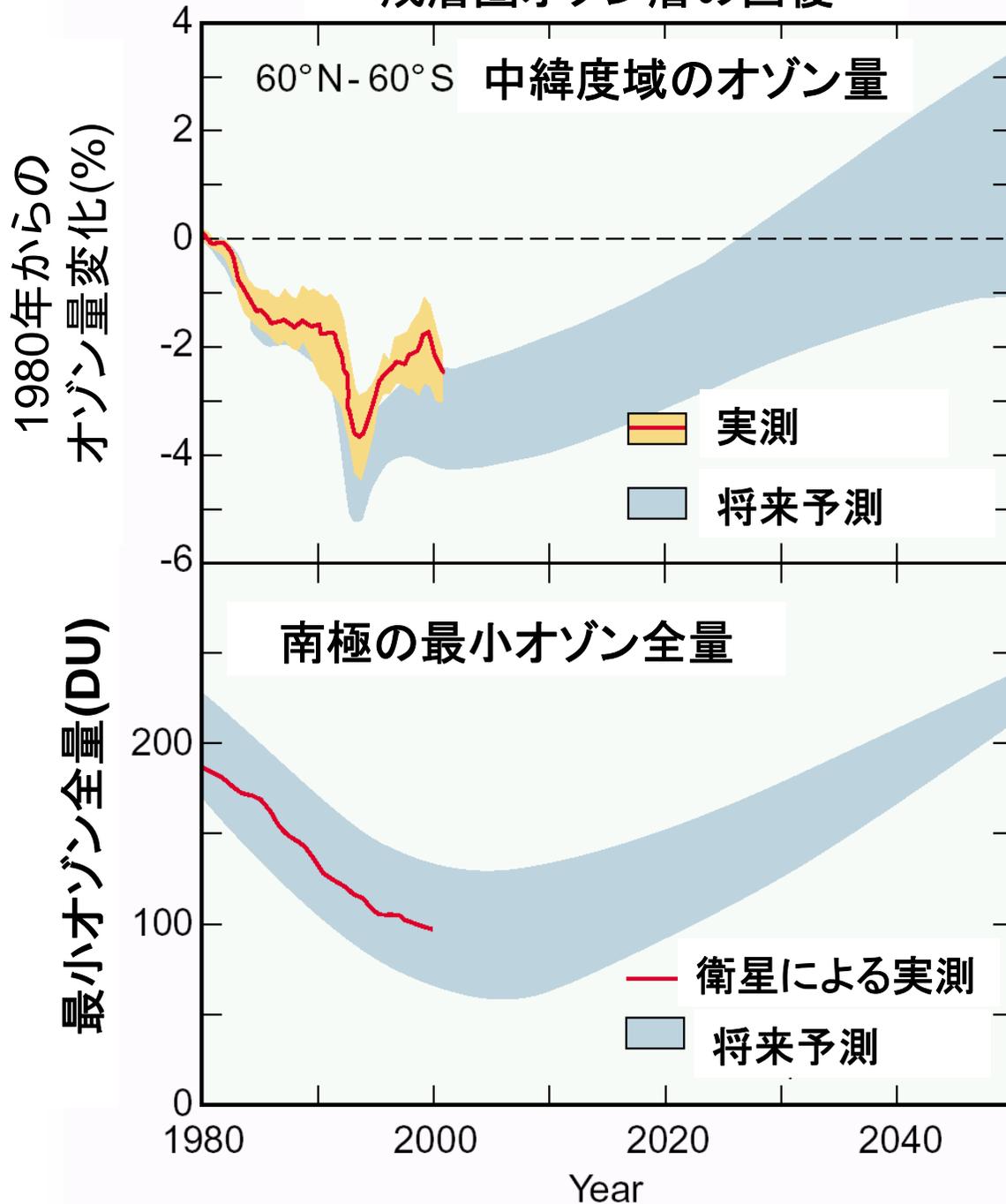
国際的なフロンガスなどの生産・使用・禁止の取り決めの効果、フロン回収の取り組みの効果

現在がオゾン破壊の最も大きな時期であり、これから回復に向かう予測 — 予測どおりに回復するか

気候変動がオゾン層破壊にどのような影響を与えるか

地球温暖化 → 成層圏の温度の低下をもたらす。  
オゾン破壊反応の不均一反応の活発化の予測

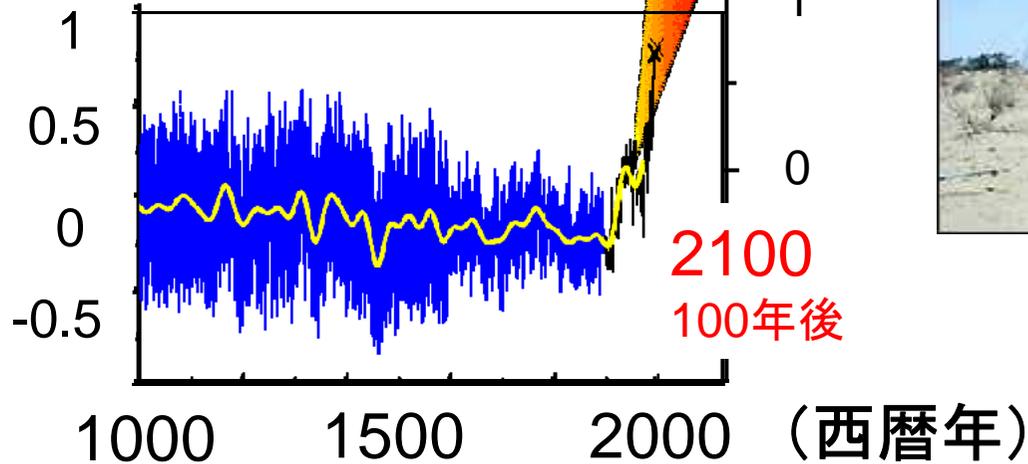
# 成層圏オゾン層の回復



(WMO, 2003, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002 より)

# 地球温暖化

北半球の  
平均温度(°C)



温度上昇

気候変動も引き起こす

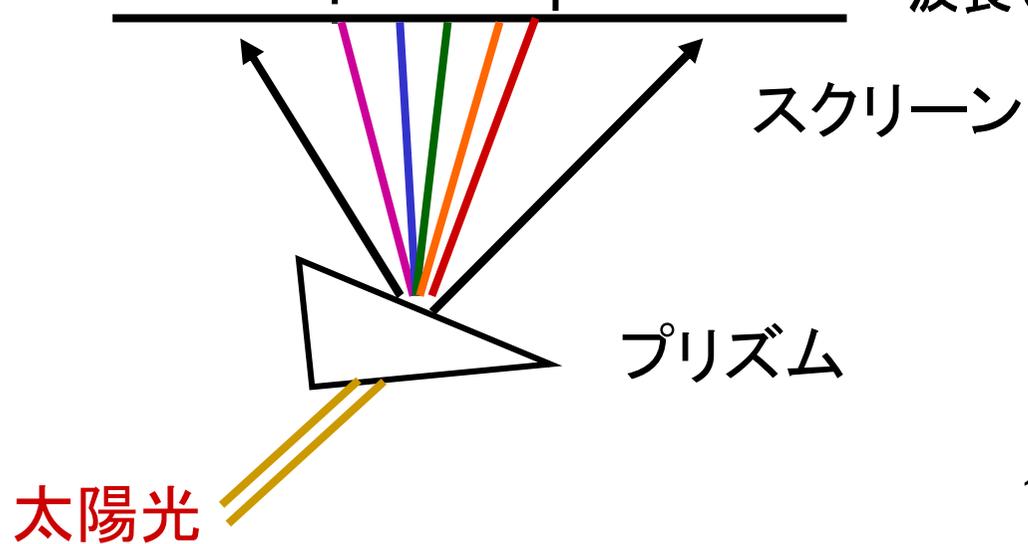
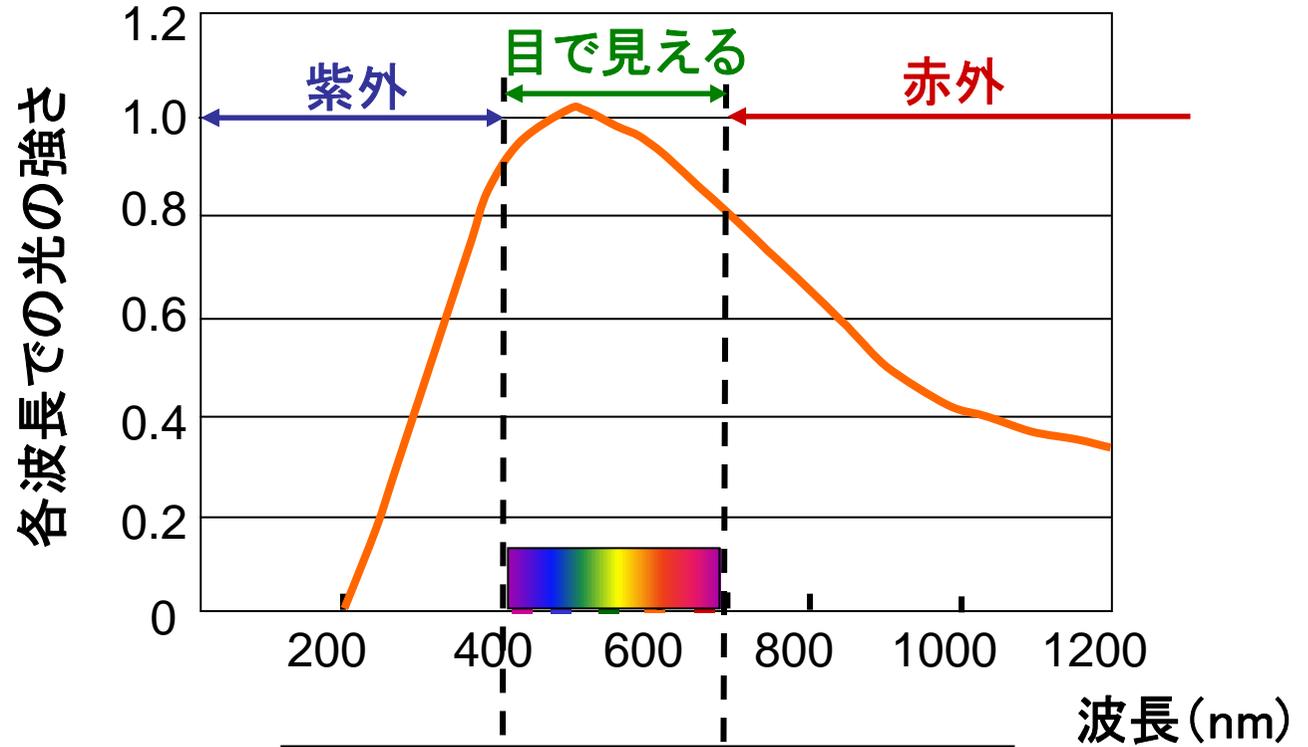
洪水

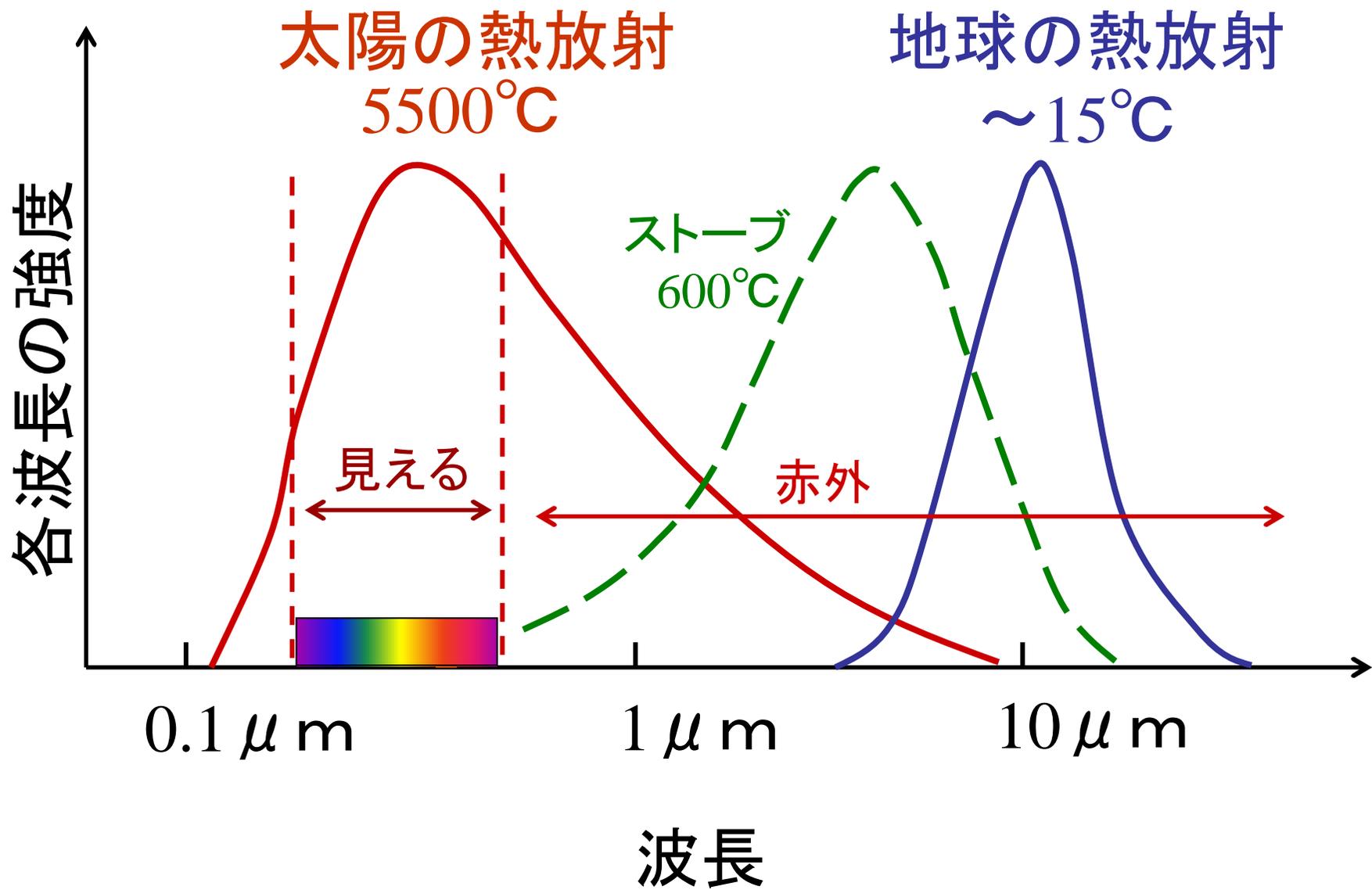


旱魃

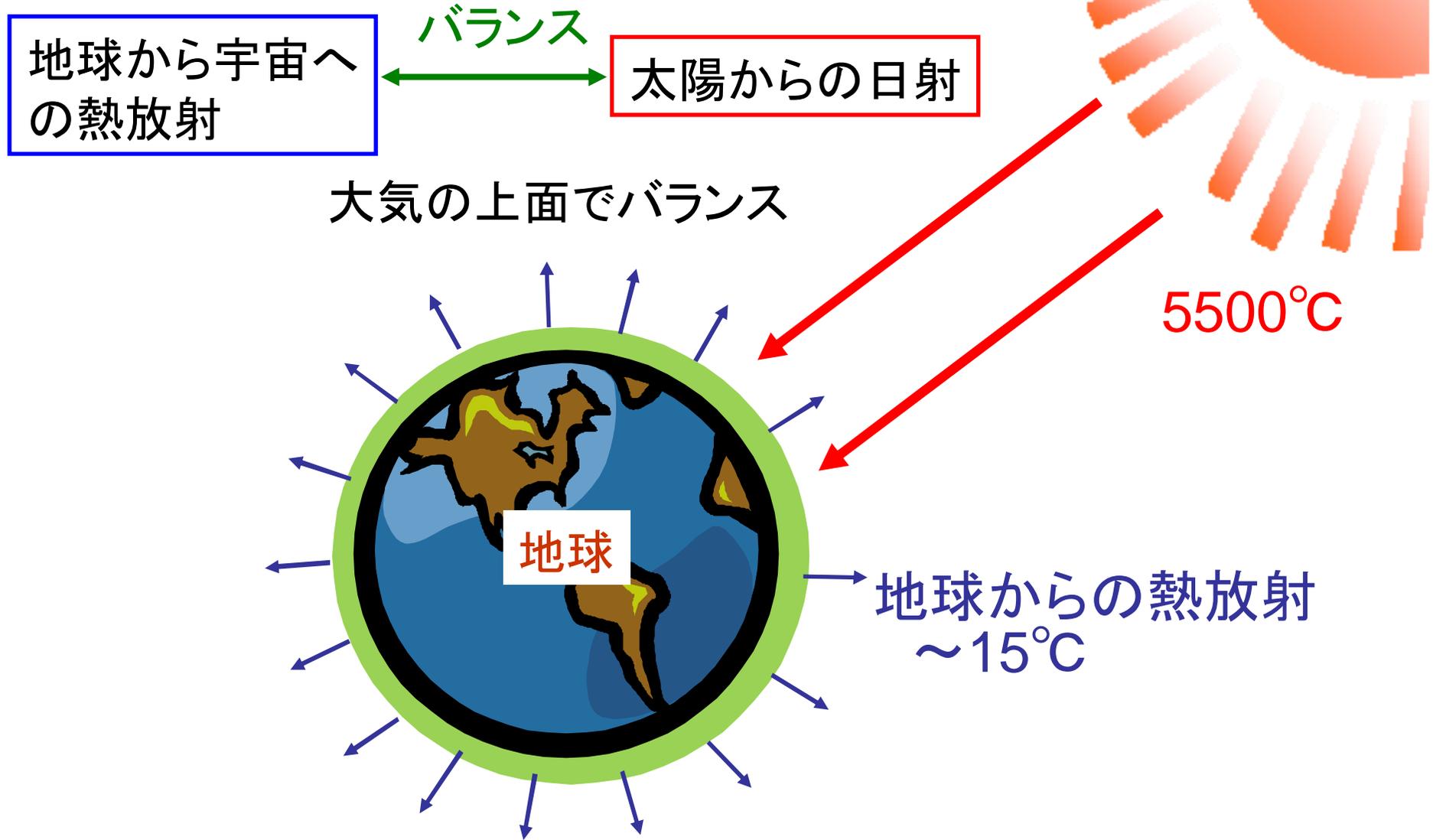


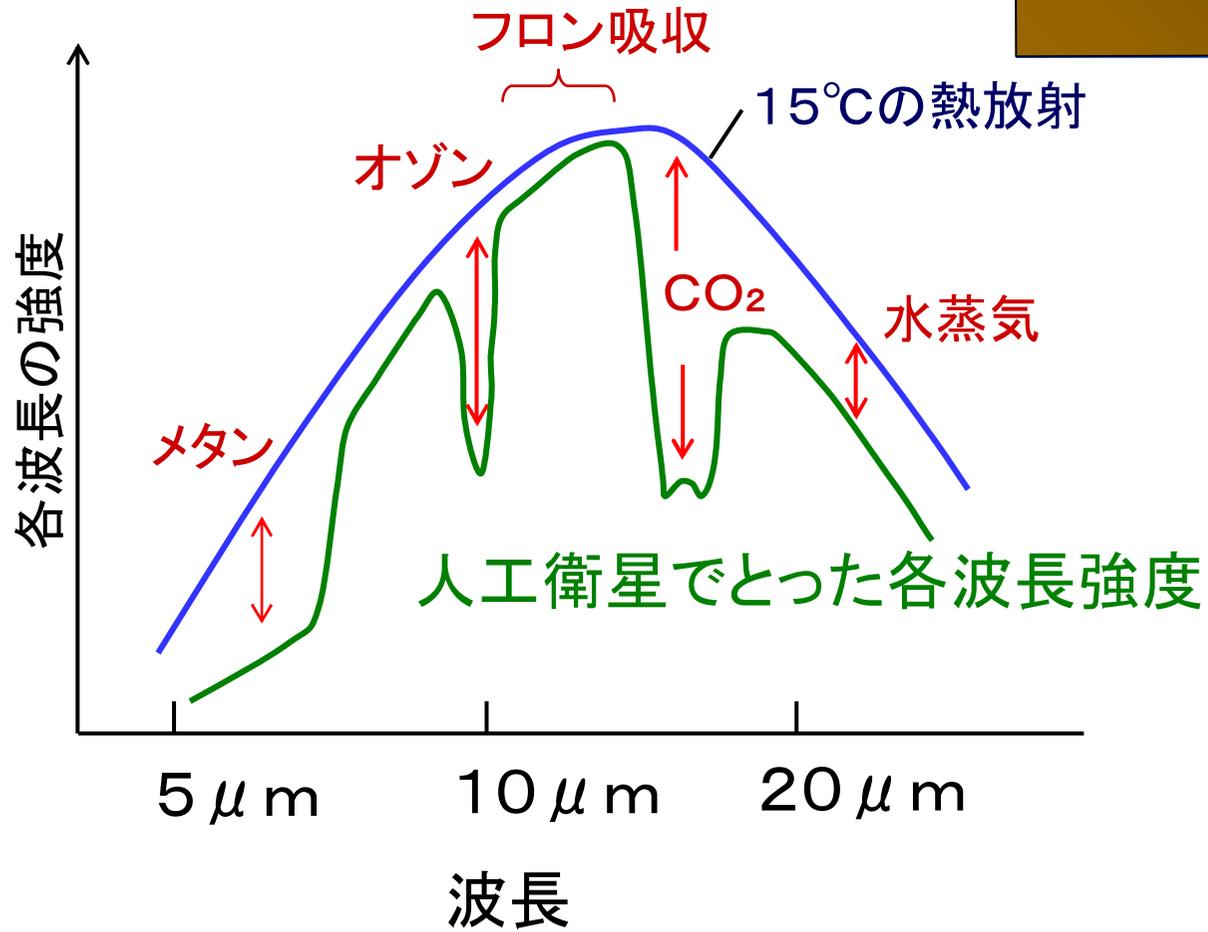
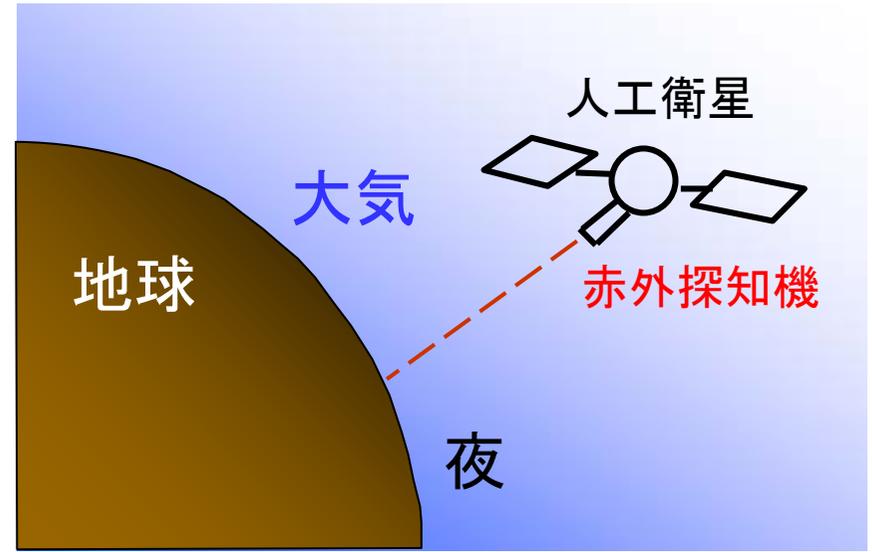
# 太陽光のスペクトル(波長強度分布)

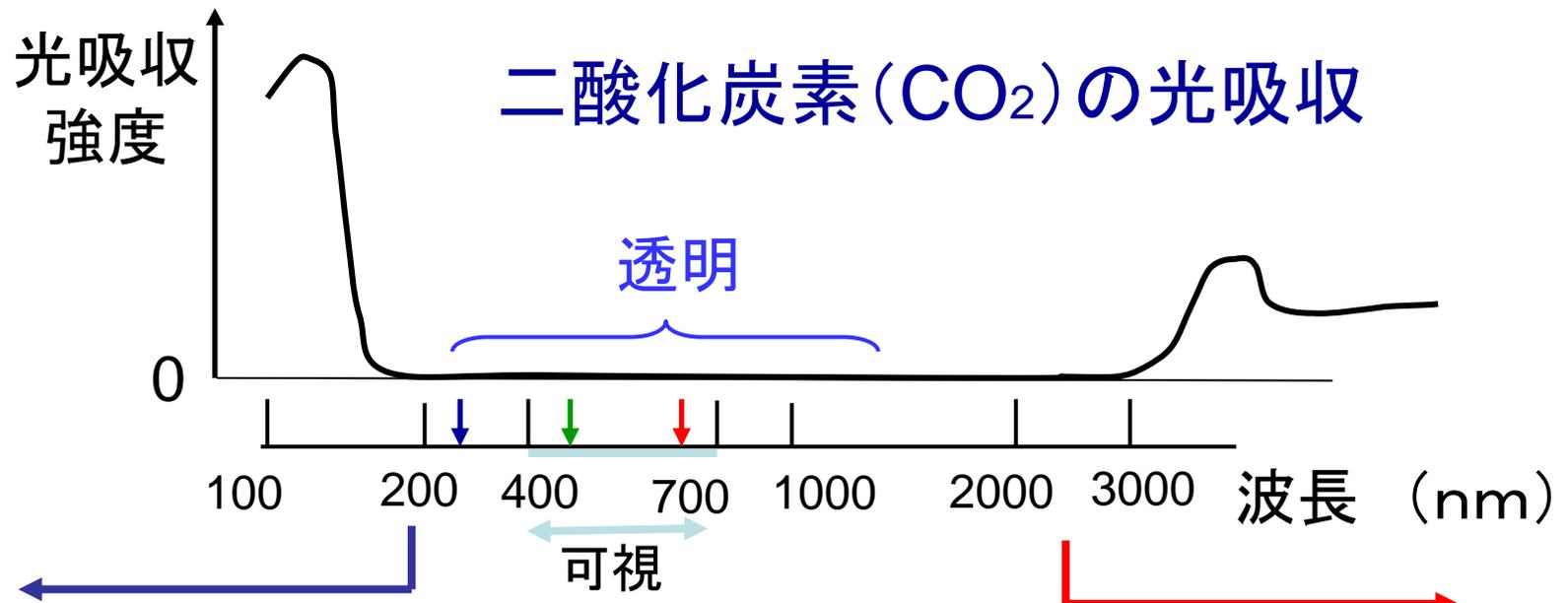




地球の温度を決めるもの

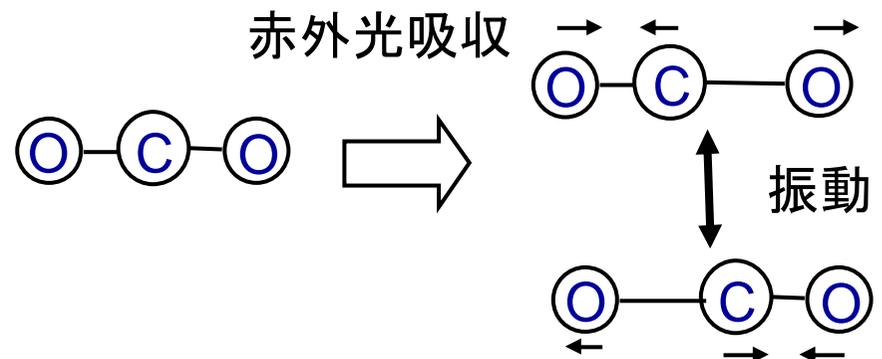
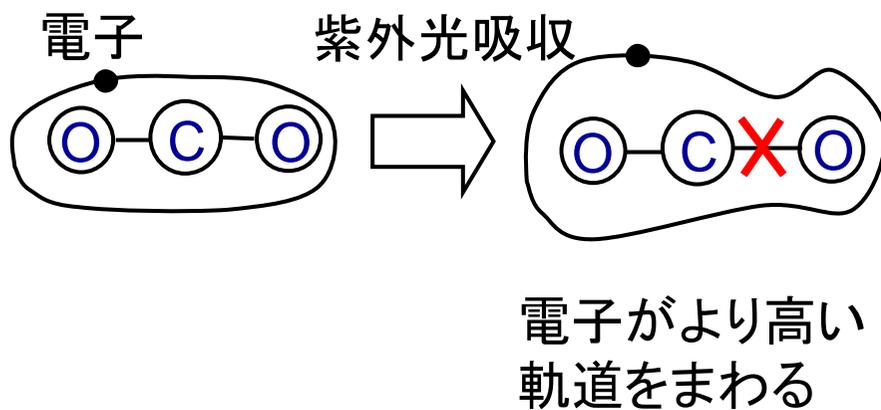






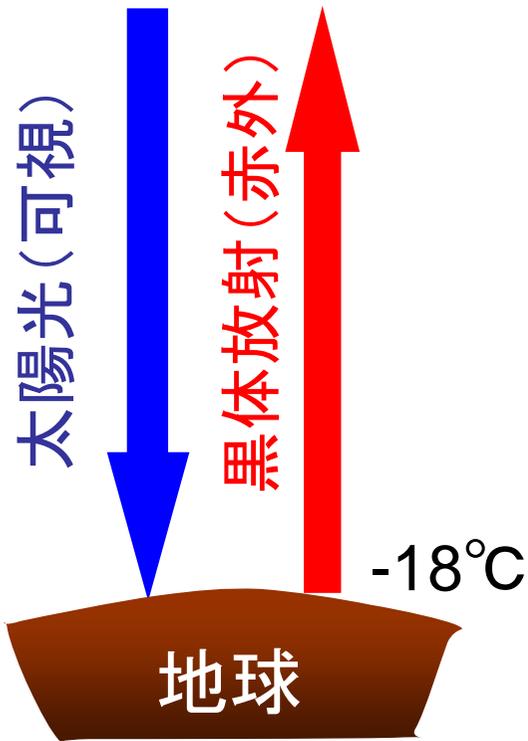
可視・紫外の吸収  
電子励起による

赤外の吸収  
振動励起による



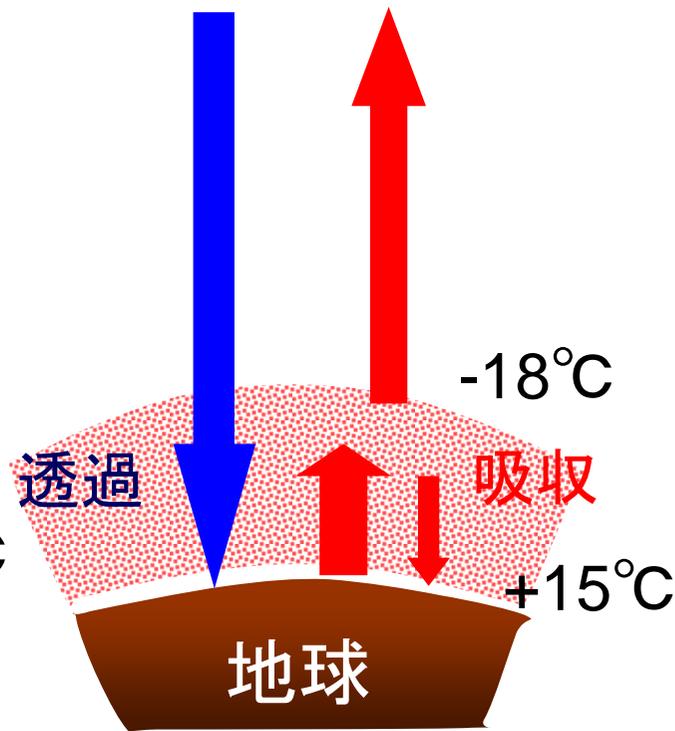
# 温室効果

エネルギー  
バランス



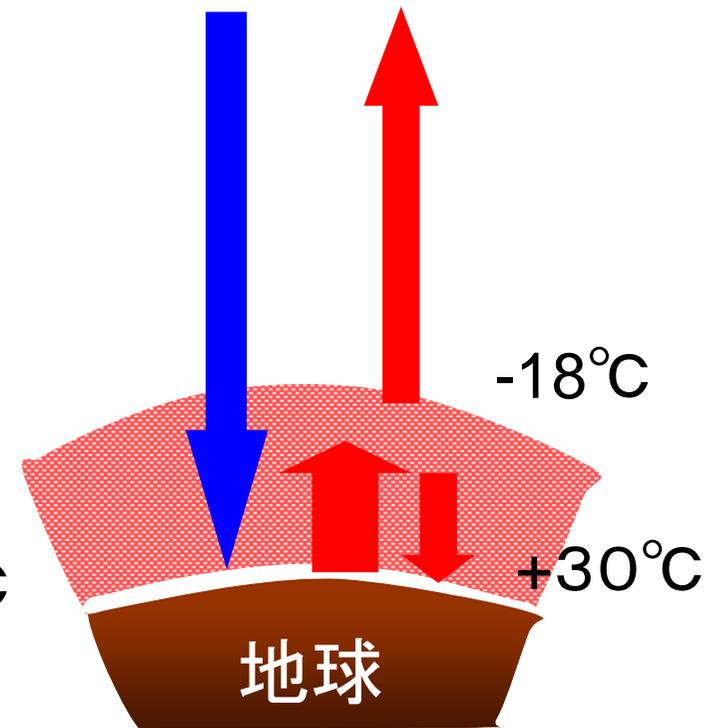
大気なし

エネルギー  
バランス



現状

エネルギー  
バランス



温室効果気体増大

単位面積あたりの黒体放射強度

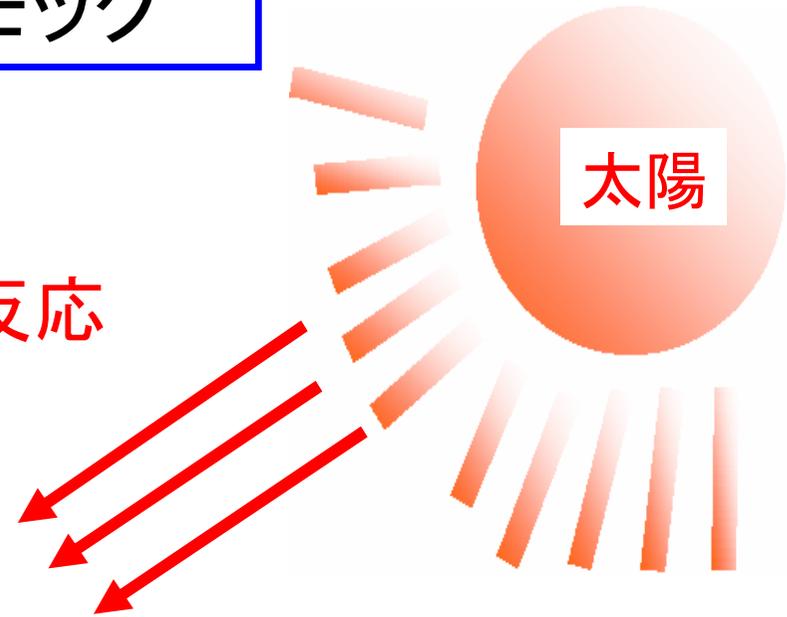
$$\sigma T^4,$$

$\sigma$ : Stefan Boltzmann定数

# 光化学スモッグ



光化学反応

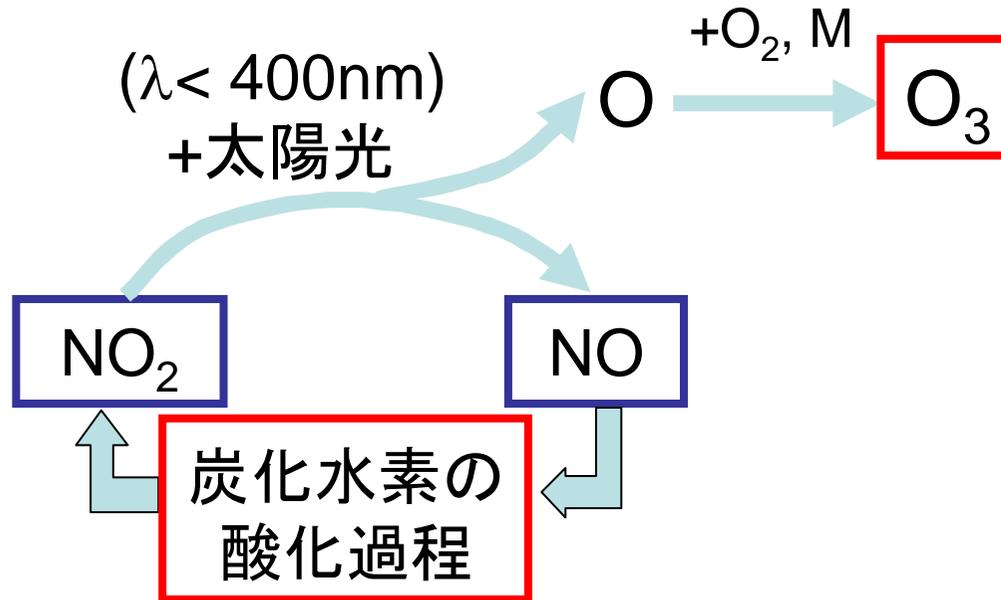


風が弱く  
日差しが強い



目がチカチカする  
息苦しい  
頭痛がする

# 光化学スモッグ — オキシダント(O<sub>3</sub>)の発生



オゾン(オキシダント)生成に必要なもの

$\text{NO}_x$  (=  $\text{NO} + \text{NO}_2$ )

炭化水素類

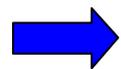
太陽紫外線 ( $\lambda < 400 \text{ nm}$ )



# 地球環境と光

## 1. 地球環境問題に関わる光

オゾン層破壊や地球温暖化などの地球環境問題の発生メカニズムには光が関与している



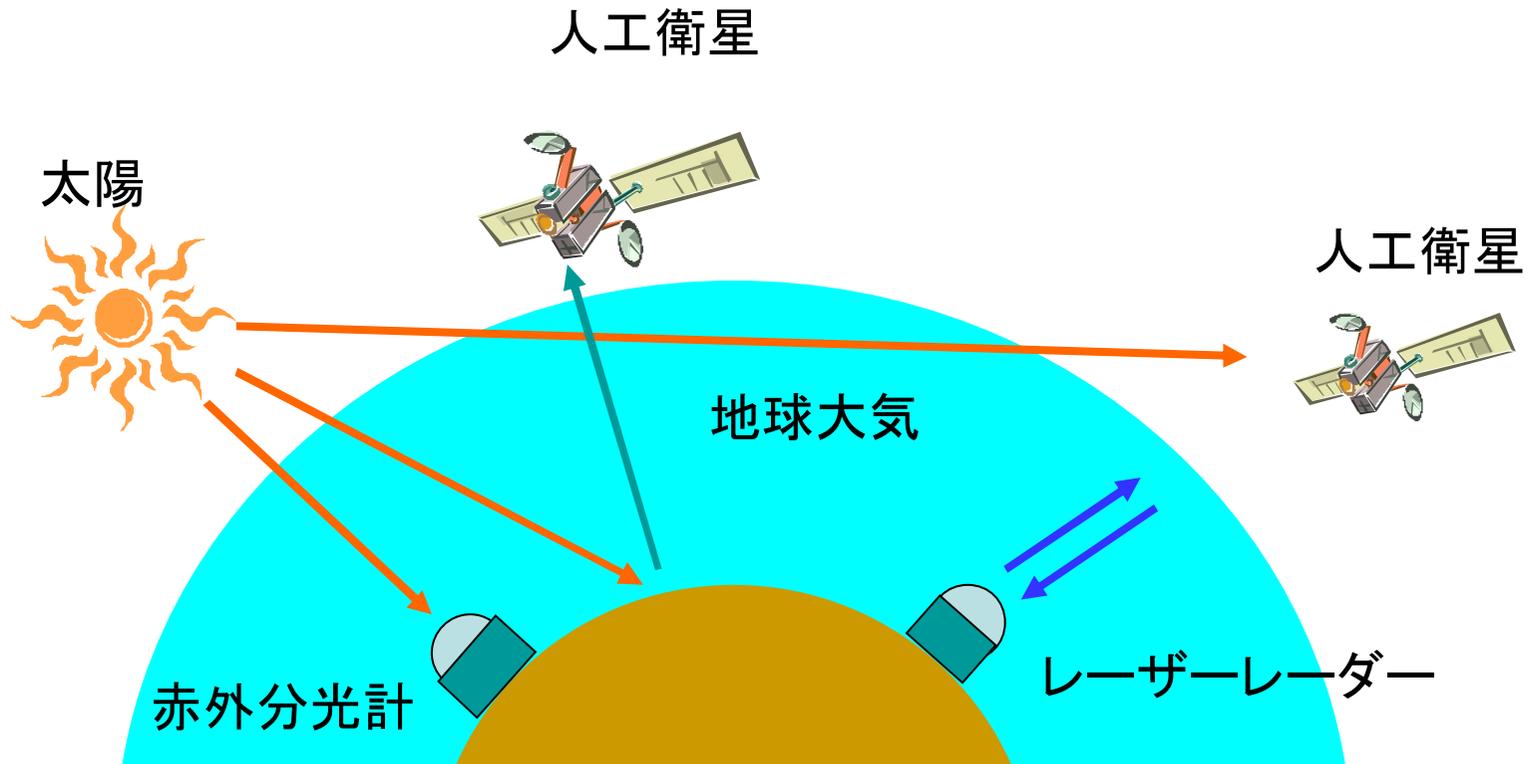
## 2. 光で計測する地球環境

光を応用した地球環境計測法の新しい展開



- 遠隔計測
- その場計測

# 光を用いた遠隔計測法で地球大気を観測



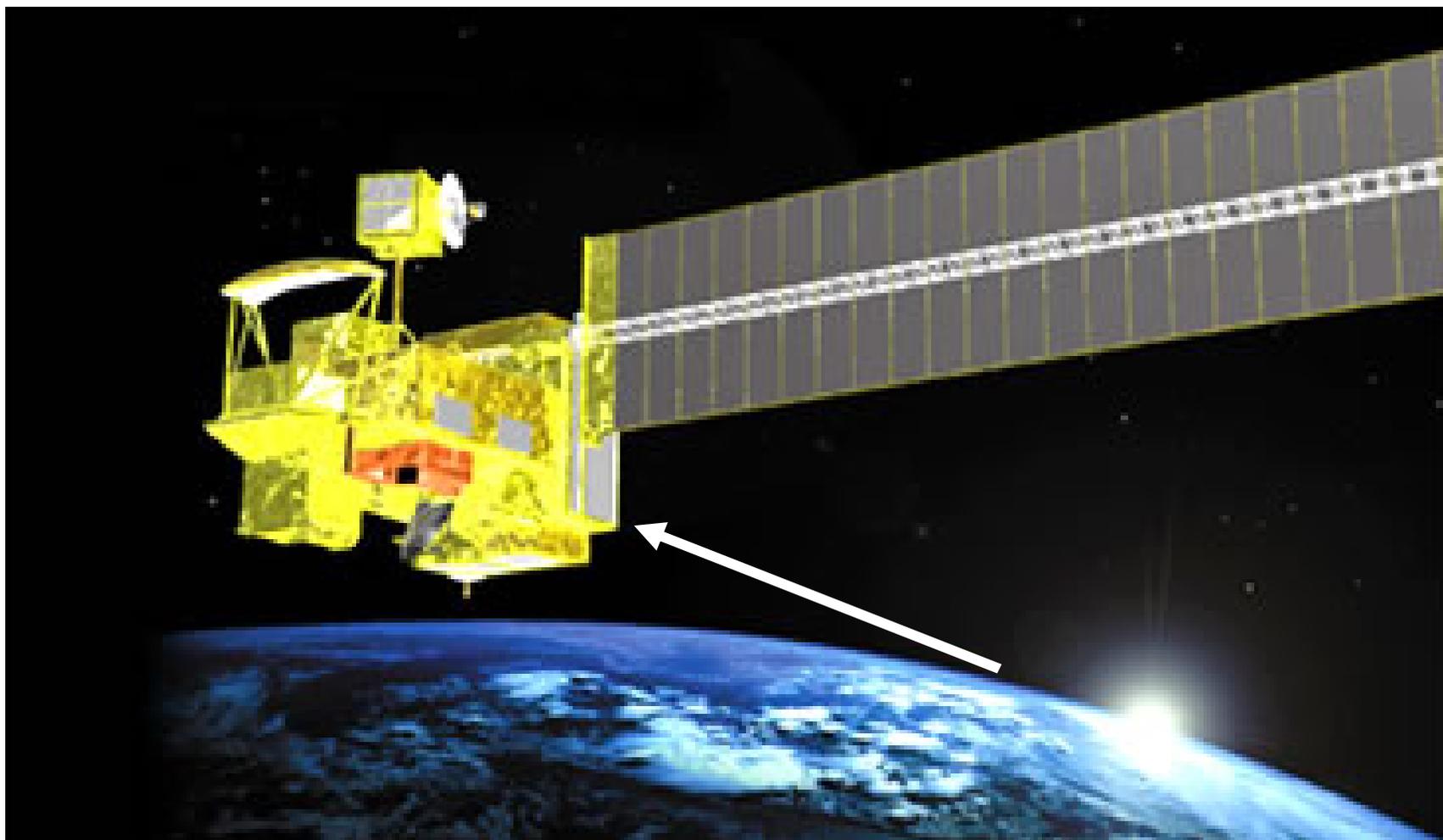
# 衛星観測 — 太陽掩蔽法

地球大気を通して太陽光を測定



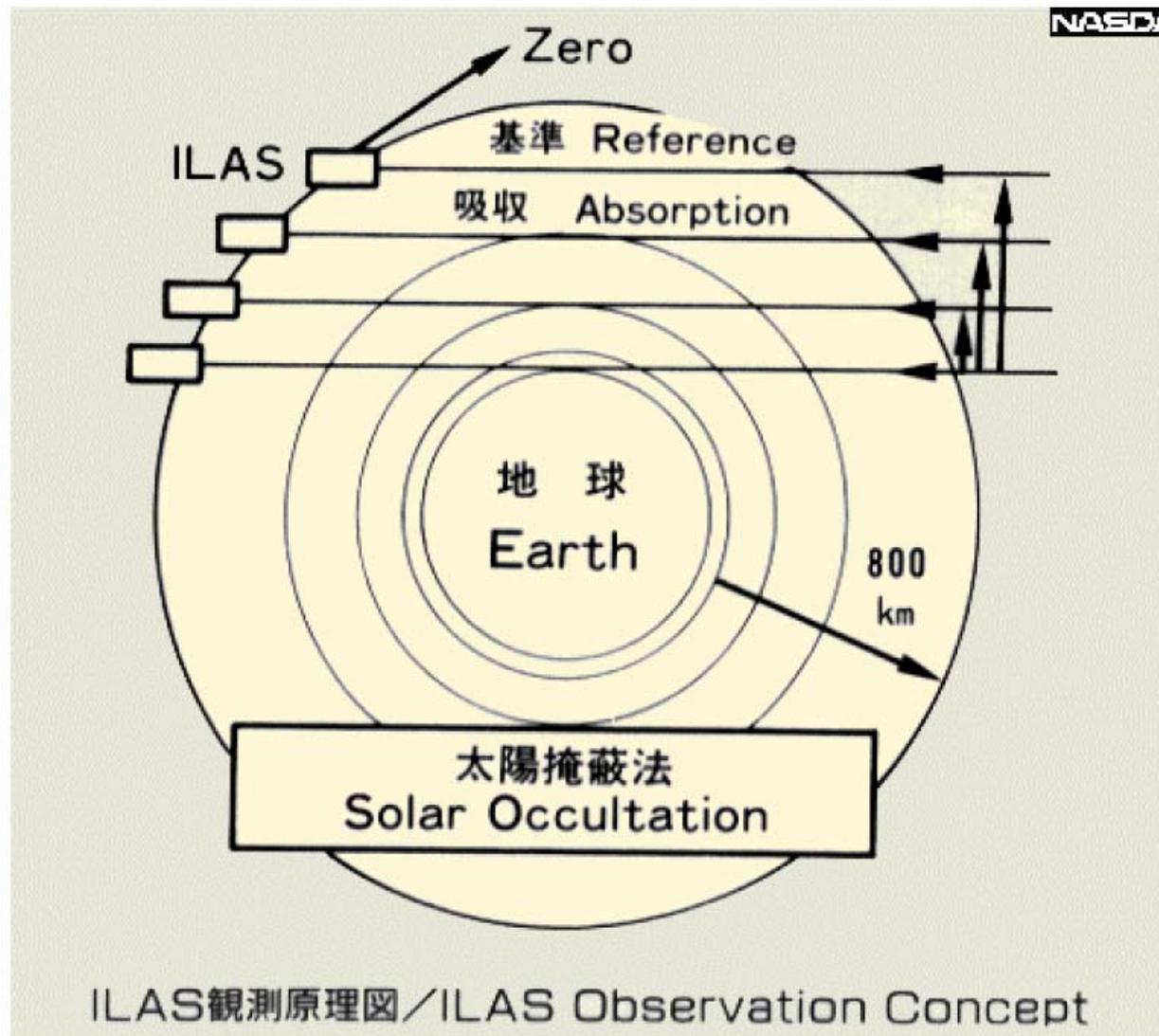
# ILAS I, II 日本の人工衛星(みどりI, II)

(1996-1997, 2003年)

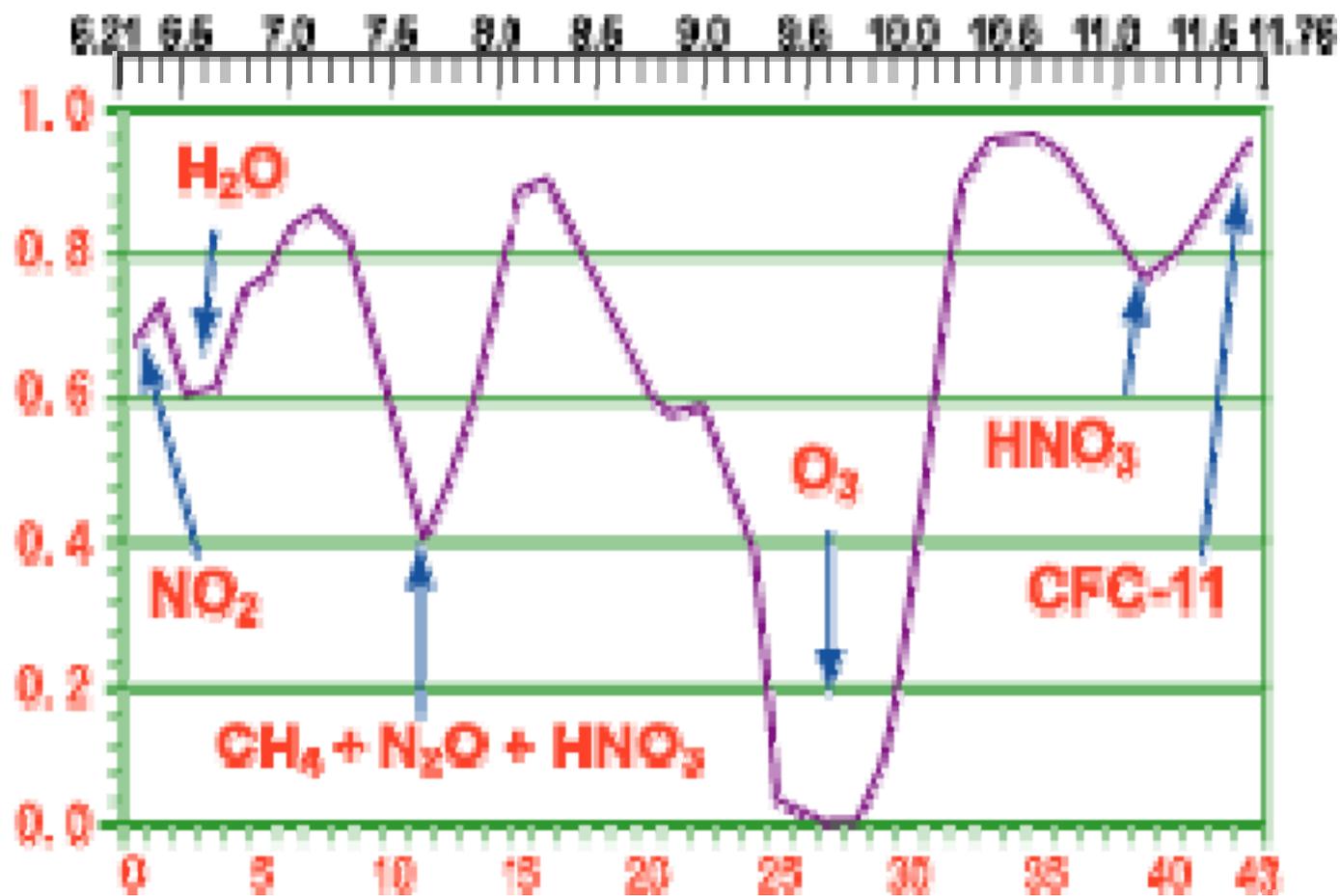


(国立環境研究所 ILAS II ホームページより)

# ILAS : Improved Limb Atmospheric Spectrometer (改良型大氣周緣赤外分光計)



波長 ( $\mu\text{m}$ )



チャンネルナンバー

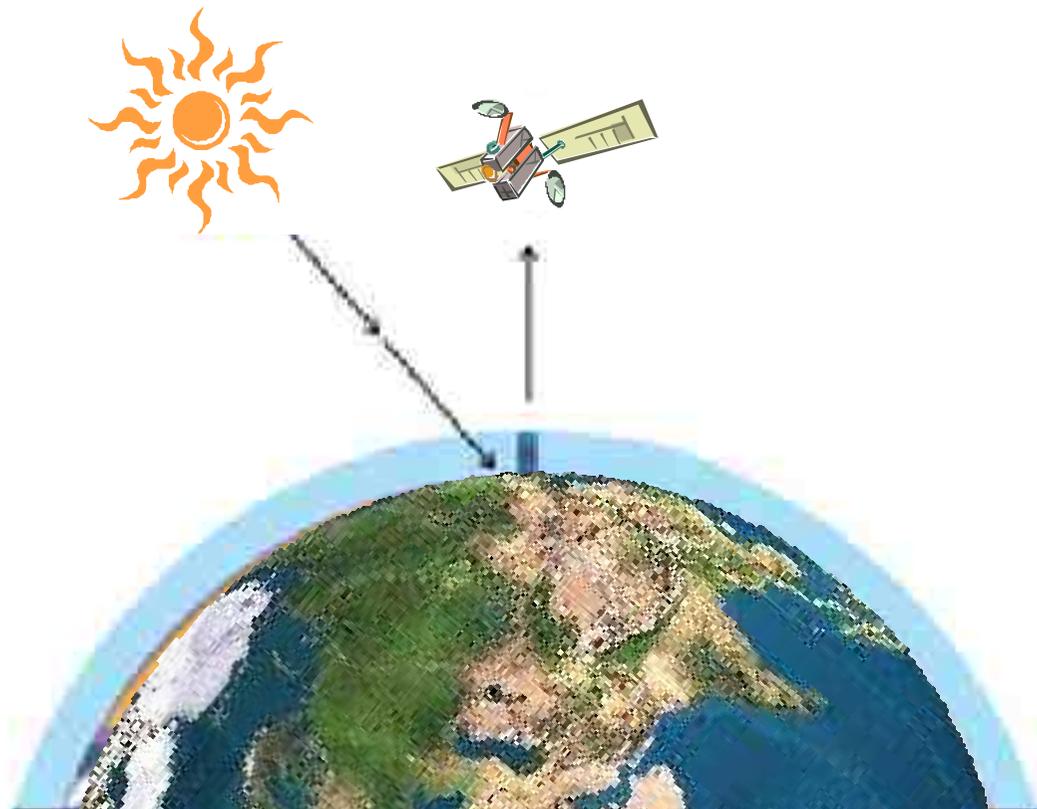
## GOSAT (2008年予定)

地球温暖化の温室効果気体(CO<sub>2</sub>)の濃度分布を測定

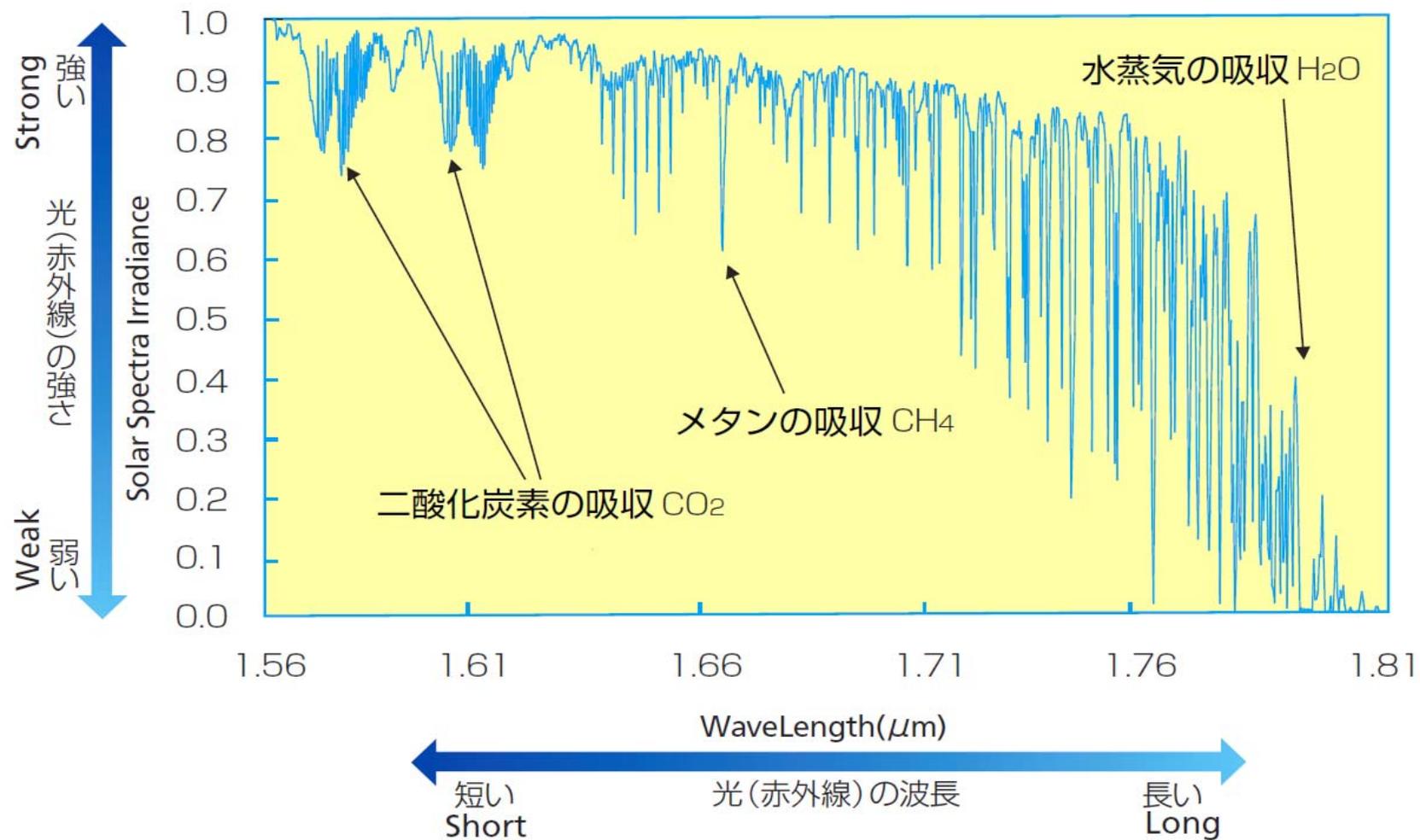


(宇宙航空研究開発機構 GOSAT ホームページより)

## 衛星觀測 — 太陽光後方散乱検出法

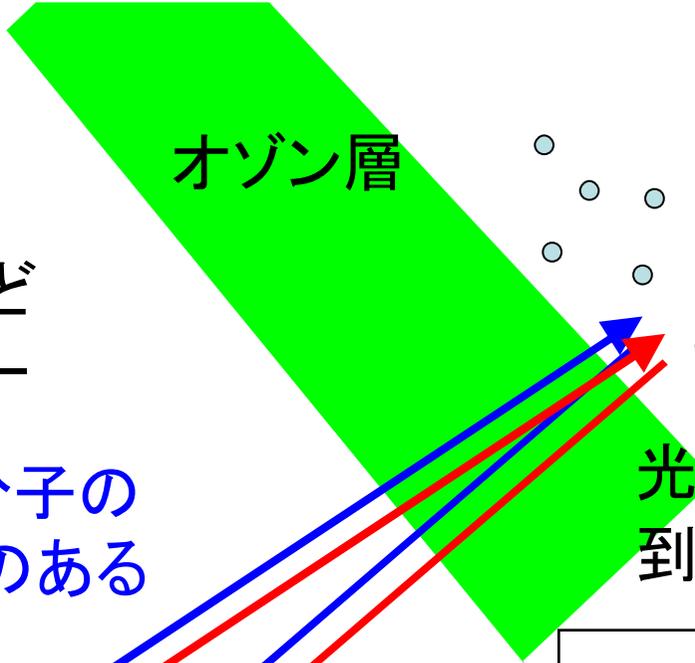


GOSAT搭載センサの地上モデルで観測した太陽光スペクトルと吸収線  
Solar Spectrum Observed by Ground Model of the GOSAT Sensor



**レーザーレーダー**

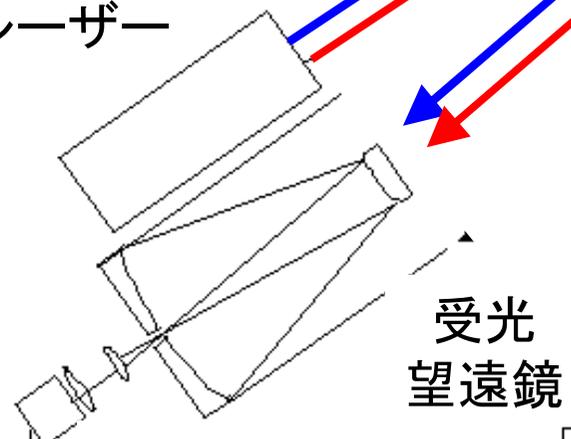
オゾン、NO<sub>2</sub> など  
差分吸収ライダー



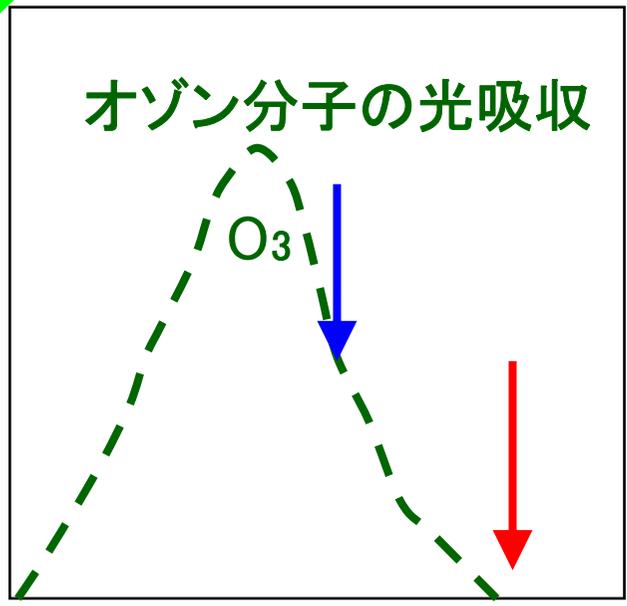
オゾン分子の  
光吸収のある  
波長

オゾン分子の  
光吸収がない  
波長

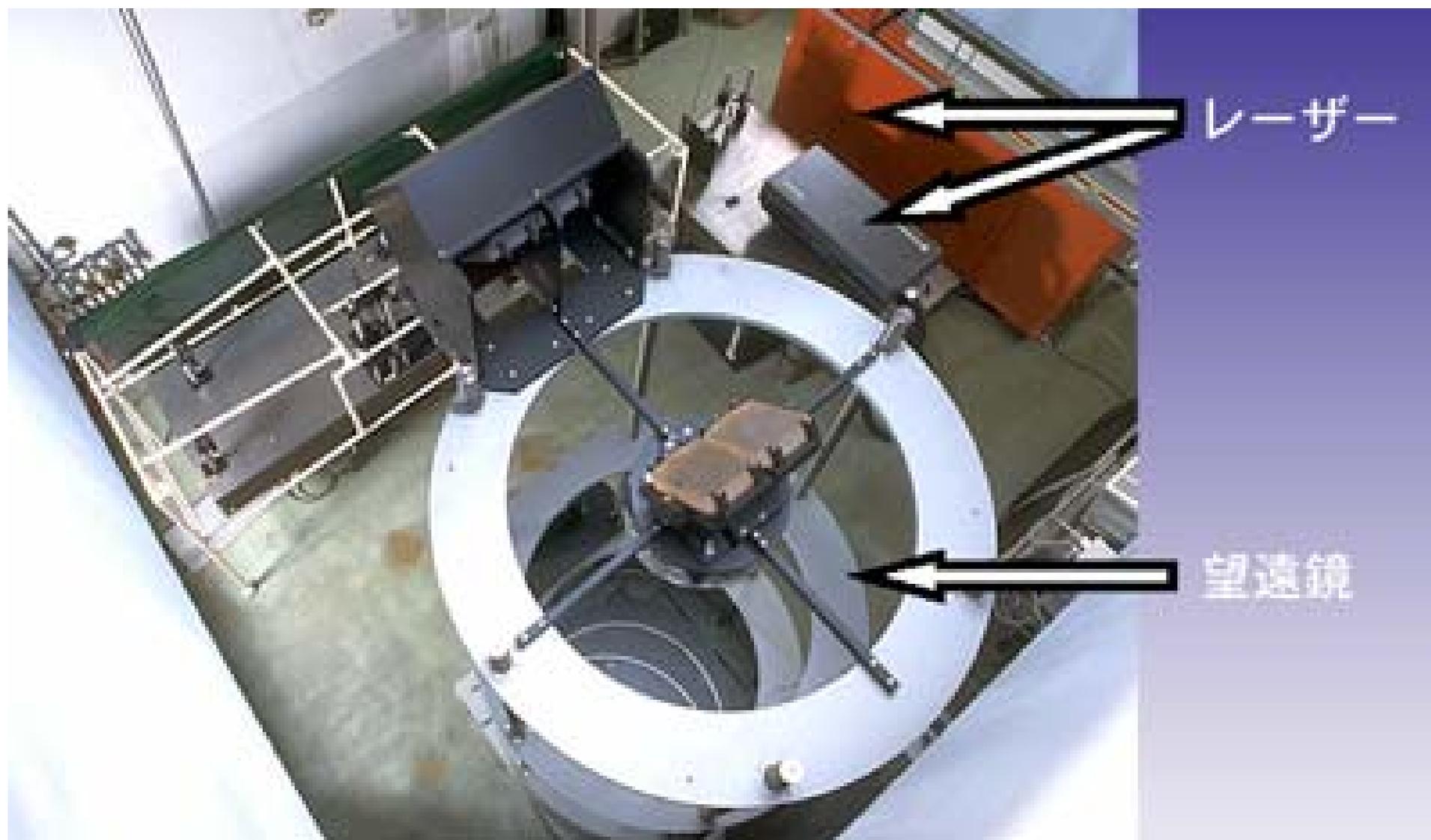
2色の  
レーザー



データ  
処理系

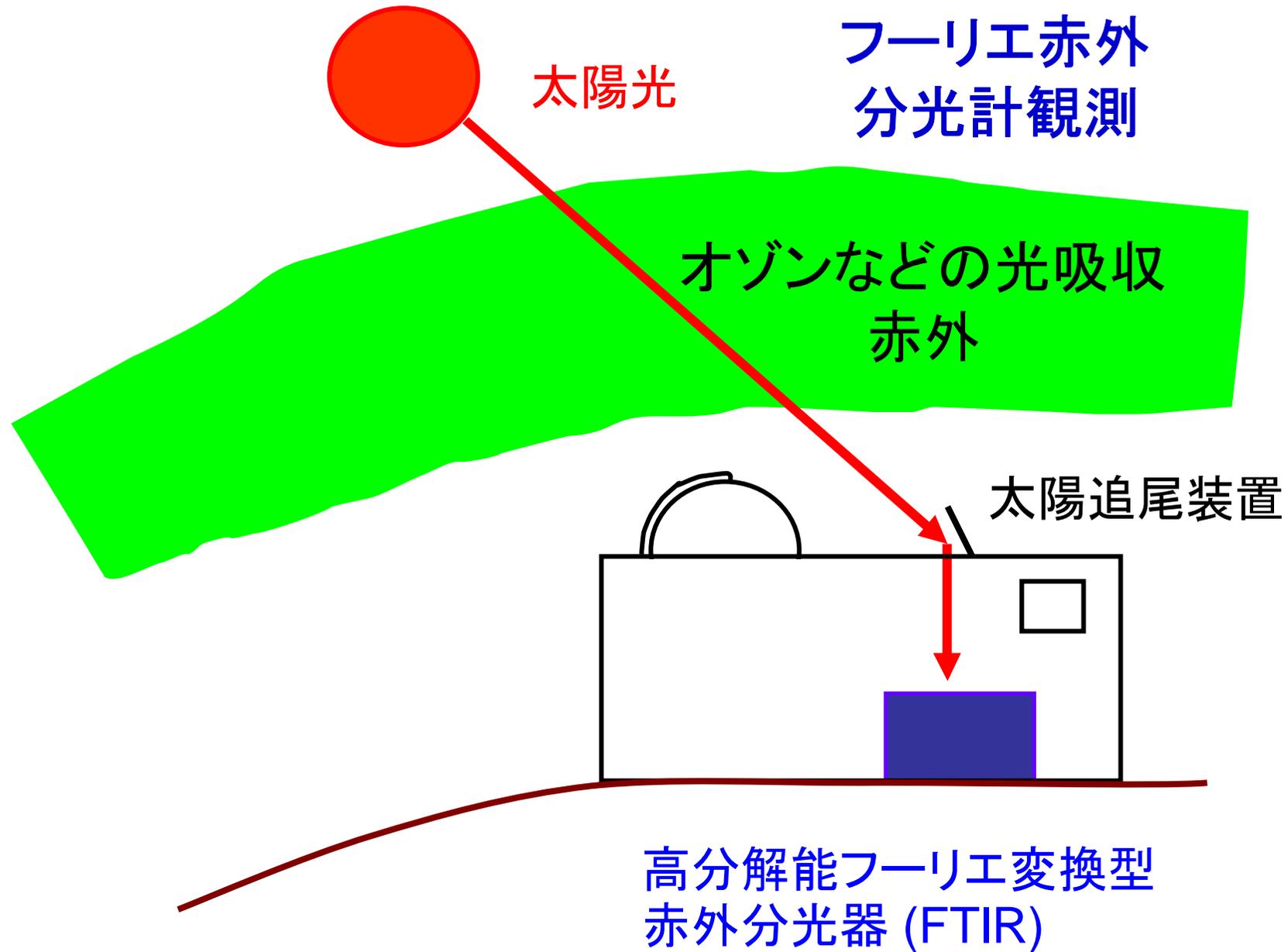


200 300 400  
波長 (nm)

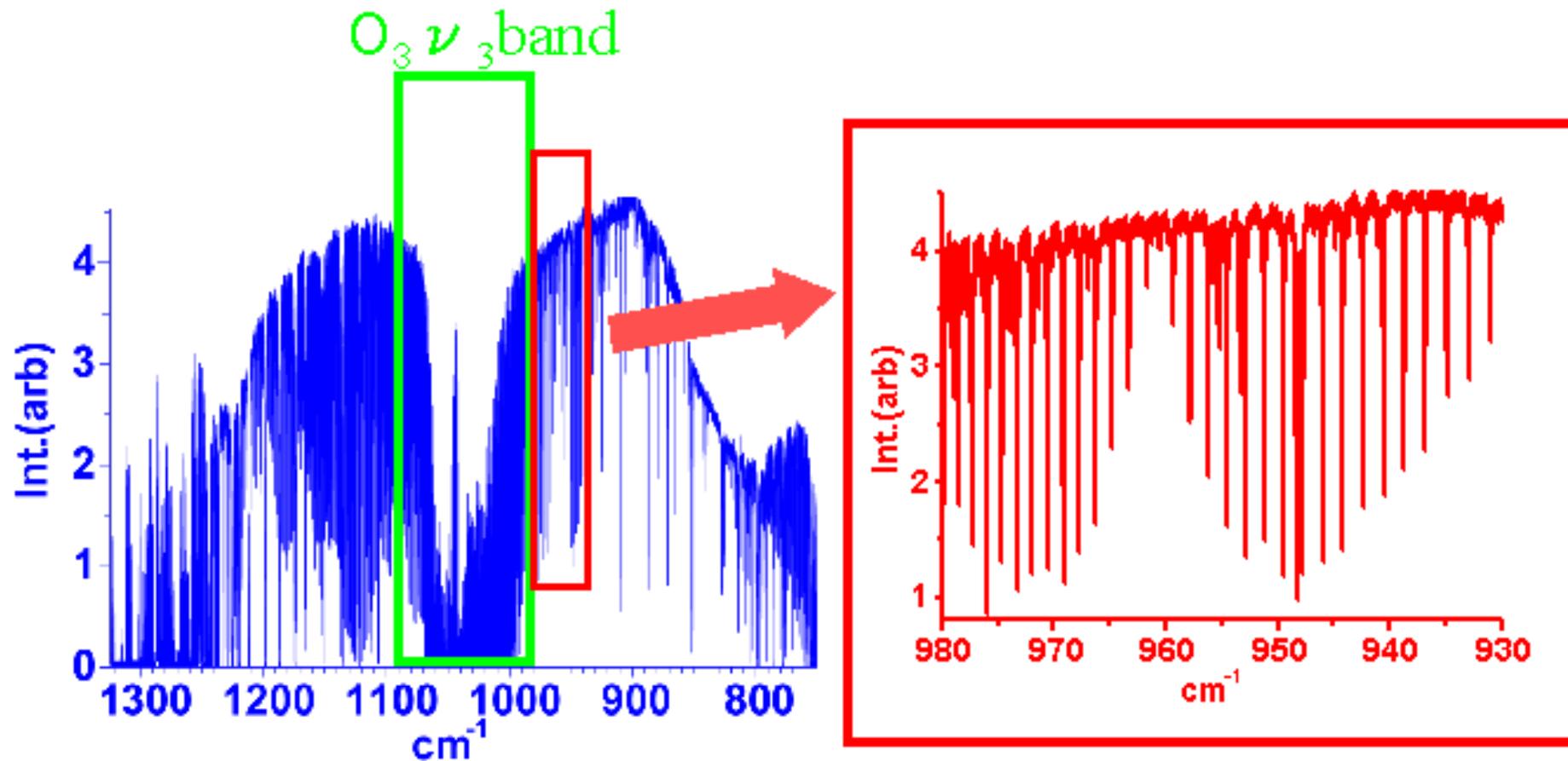


(国立環境研究所 地球環境研究センター ホームページより)

# 地上赤外分光による大気成分の計測



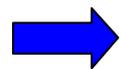
# 赤外地上分光によるオゾンの計測



# 地球環境と光

## 1. 地球環境問題に関わる光

オゾン層破壊や地球温暖化などの地球環境問題の発生メカニズムには光が関与している



## 2. 光で計測する地球環境

光を応用した地球環境計測法の新しい展開

- 遠隔計測



- その場計測

## 光を応用した環境計測－その場計測

### 広く用いられている計測技術

- 光吸収測定

オゾン $O_3$ の計測(JIS) 水銀灯253.7nmの光吸収

二酸化炭素 $CO_2$ の計測 非分散型赤外光吸収

- 化学発光検出

窒素酸化物 $NO_x$ の計測(JIS)  $NO + O_3 \rightarrow NO_2^* + O_2$

- 蛍光検出

硫黄酸化物 $SO_2$ の計測(JIS)  $SO_2 + h\nu (UV) \rightarrow SO_2^*$

## 光を応用した環境計測－その場計測

大気環境の**先端的な研究**に用いられている計測技術

- 光吸収測定

キャビティーリングダウン分光計測  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ , IO など  
長距離光路差分吸収測定(DOAS)

- 蛍光検出

レーザー誘起蛍光法 OH,  $\text{HO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  など

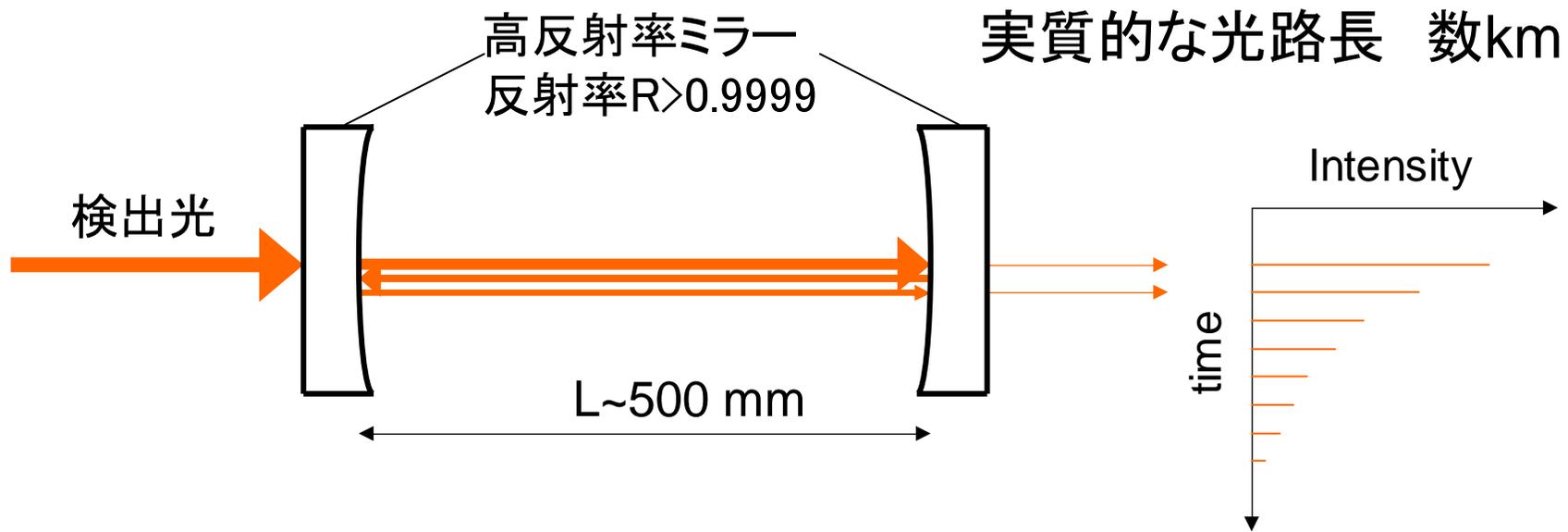
- 大気エアロゾル(微粒子)分析

レーザーイオン化による大気微粒子の個別粒子質量分析

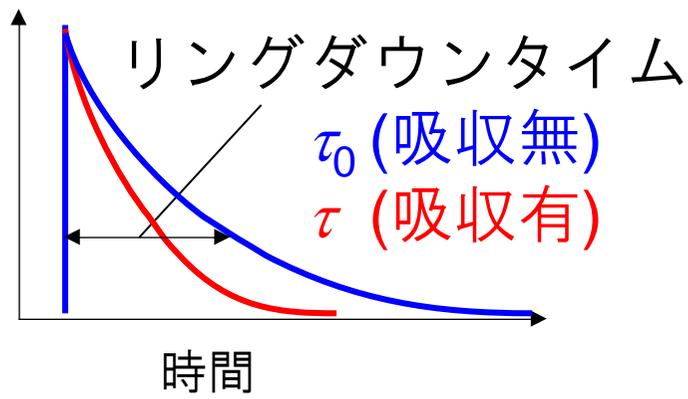
- 真空紫外光イオン化法

真空紫外レーザーによる有機物の高感度検出

# キャビティリングダウン計測の原理



実質的な光路長 数km

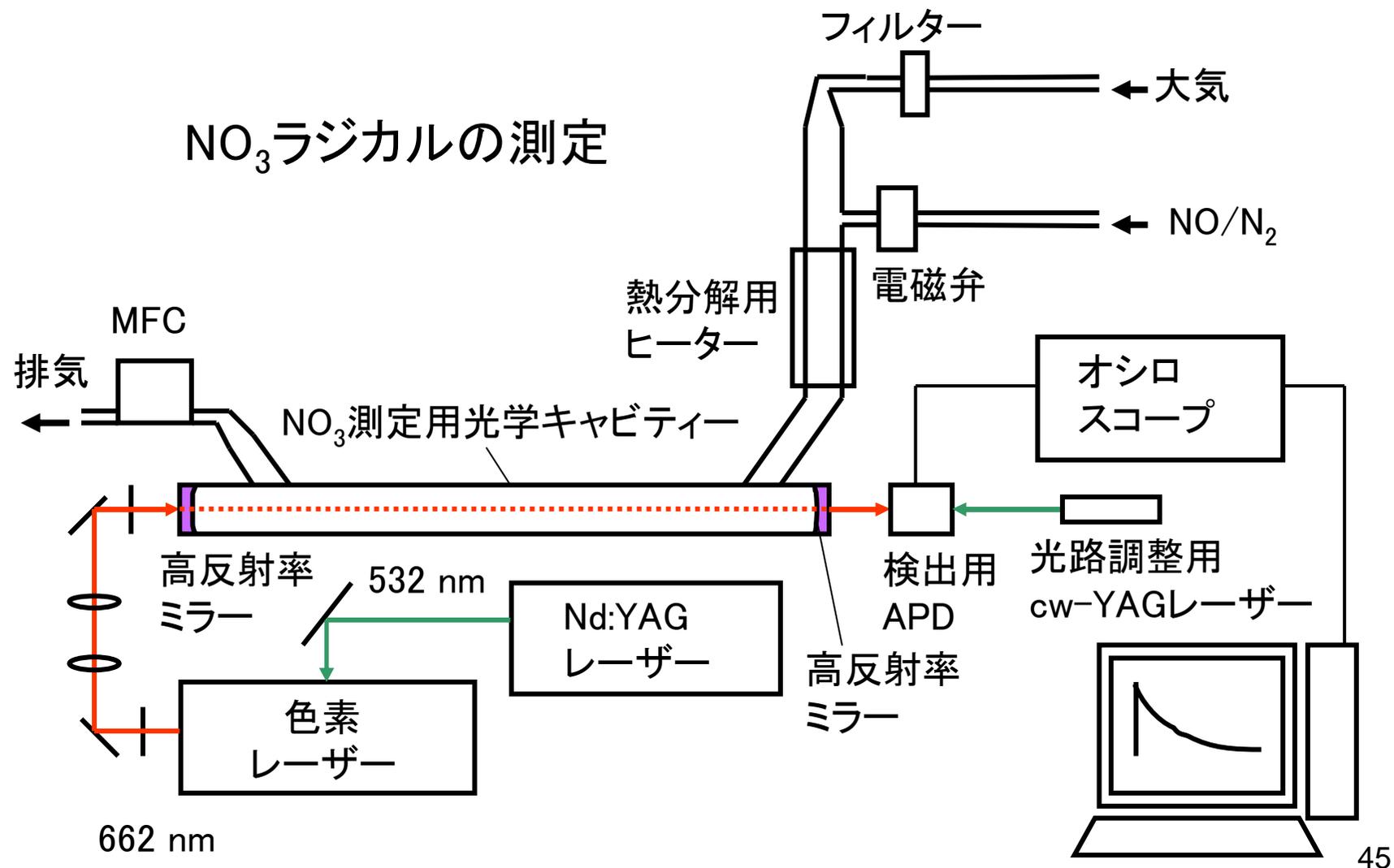


$$\tau_0 = \frac{L/c}{1-R}$$

$$\tau = \frac{L/c}{(1-R) + \sigma NL}$$

- R: ミラーの反射率
- L: 光路長
- c: 光速
- s: 吸収断面積
- N: 数密度

# キャビティリングダウン計測の実際



# レーザー誘起蛍光法による 大気OHラジカルの測定

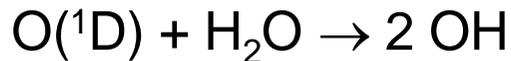
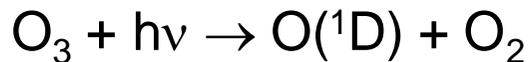
OHの計測はかなり難しい

1) 反応活性なので定常濃度が非常に低い

地表付近  $10^5 - 10^7$  個/cm<sup>3</sup>

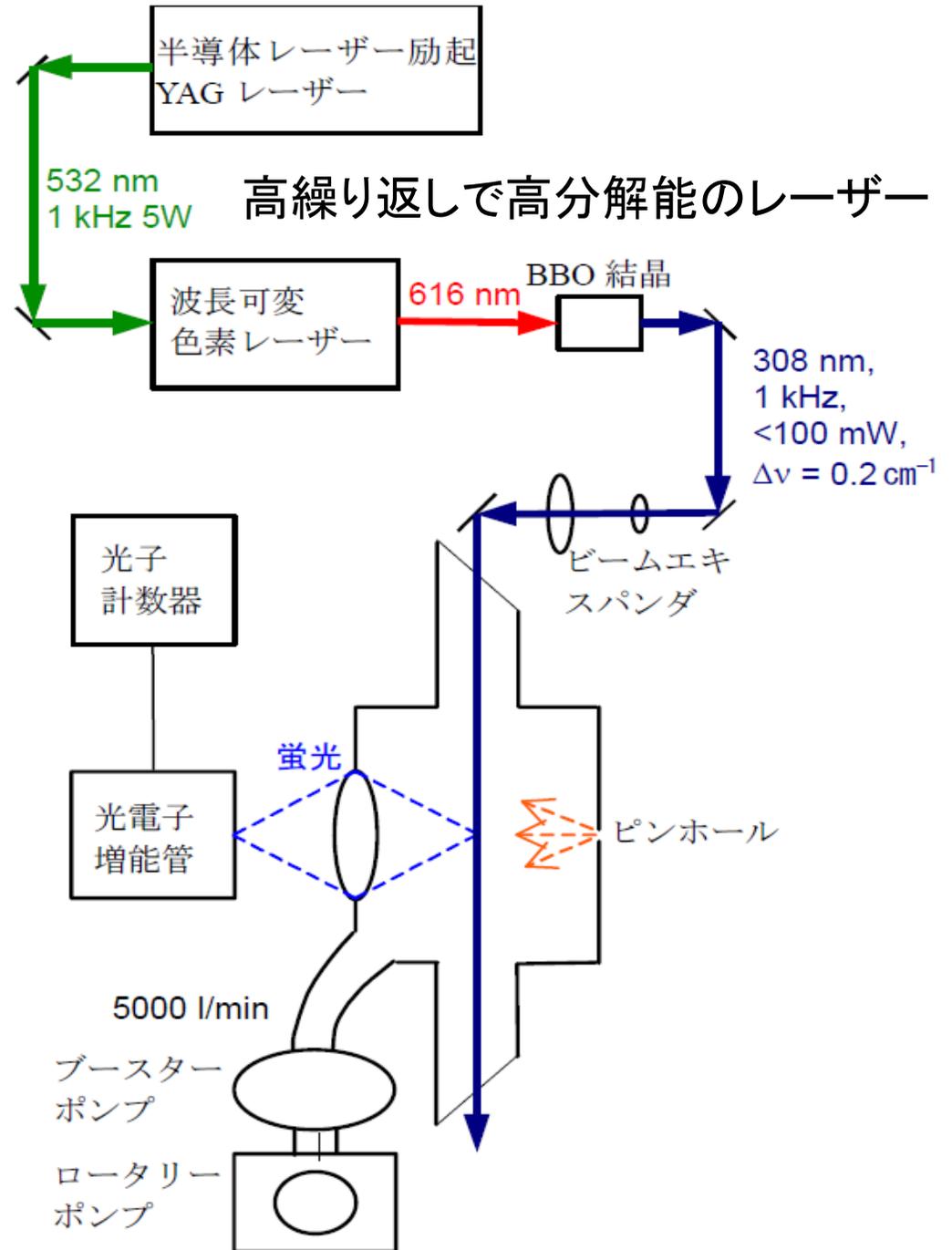
2) レーザーによる計測

オゾンによる化学干渉



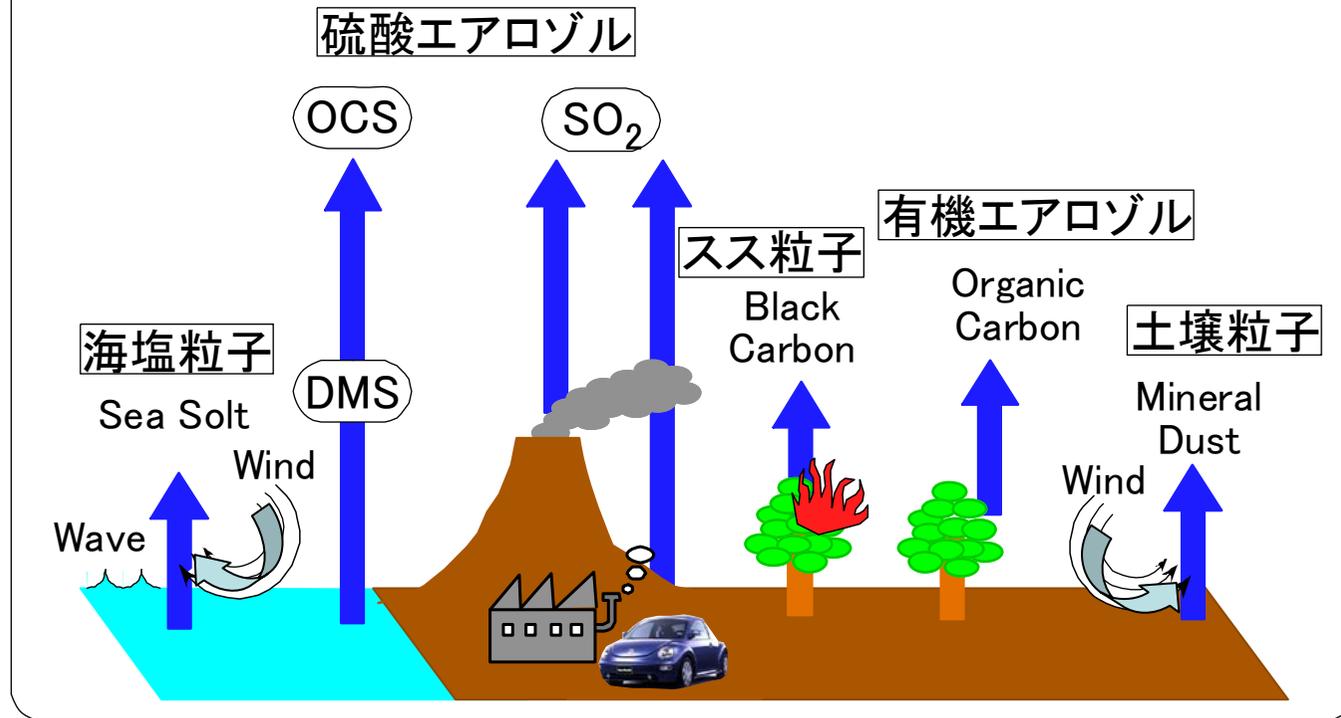
一つのレーザーパルスのうちに起こる

検出レーザー自身がOHをつくり出す。



# 大気中微小粒子の起源と環境影響

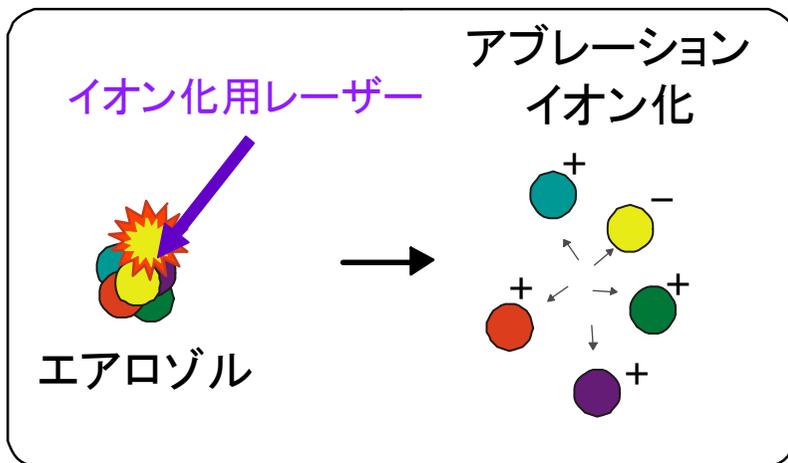
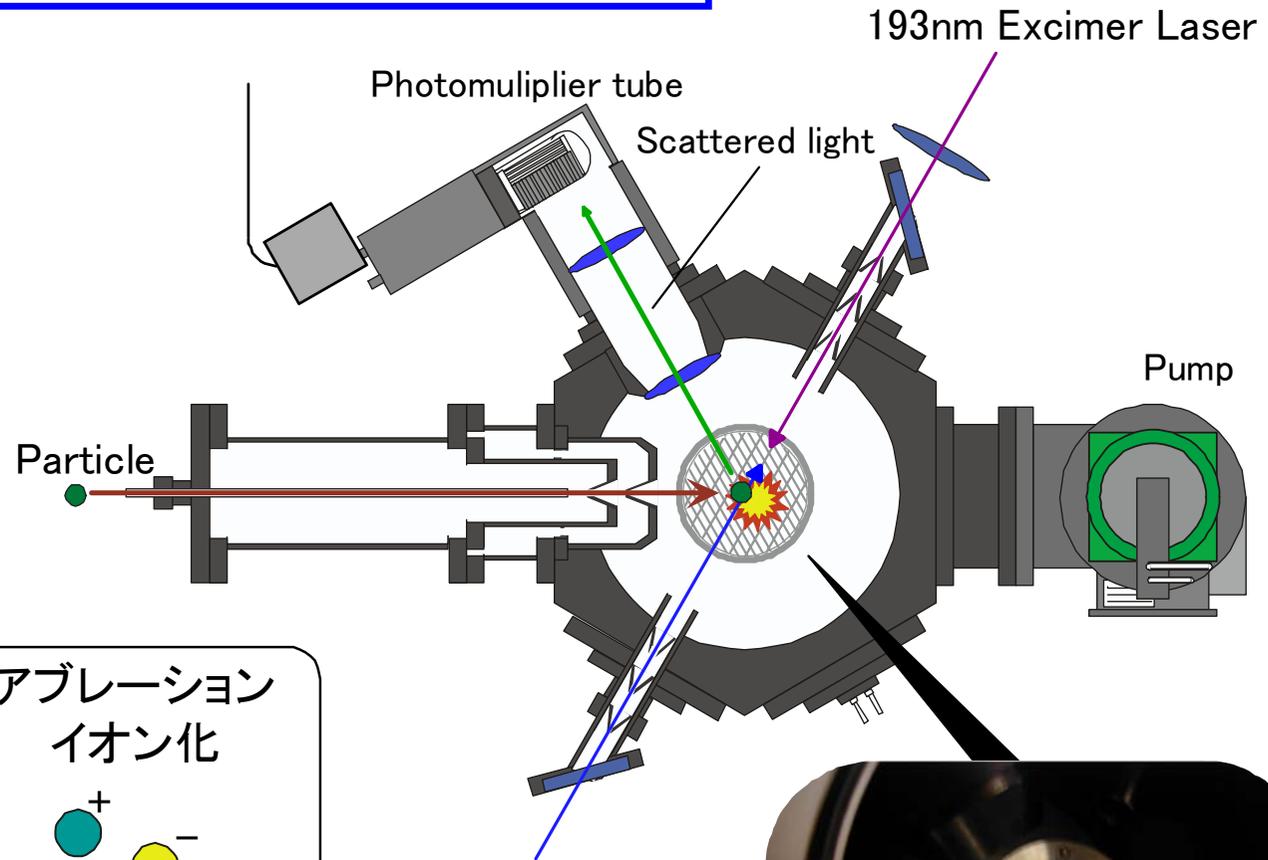
## 起源と種類



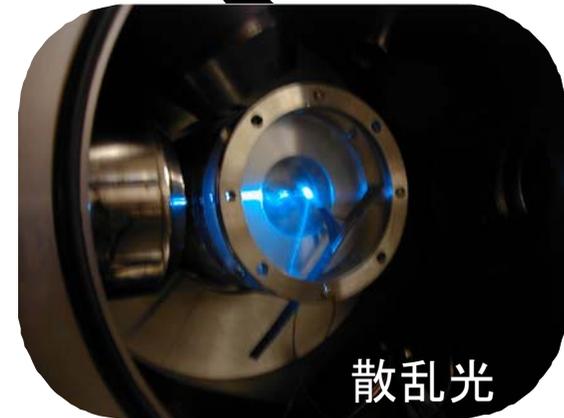
## 環境に及ぼす影響

気候変動に影響、人体に悪影響、大気反応に影響

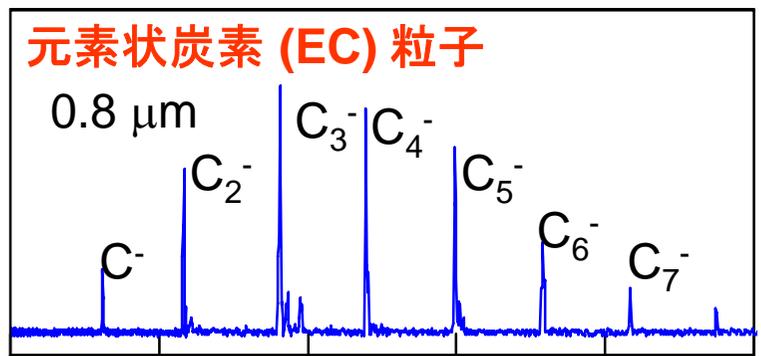
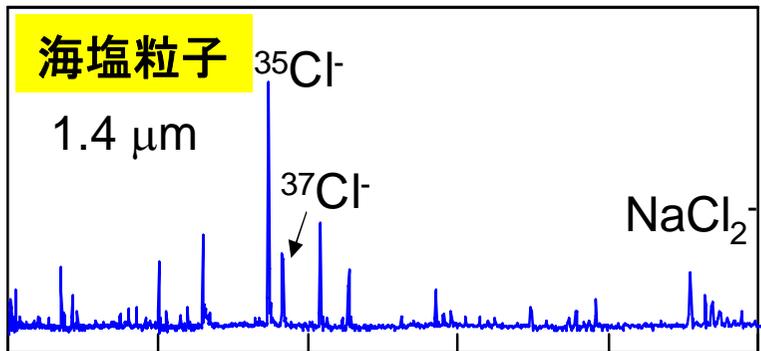
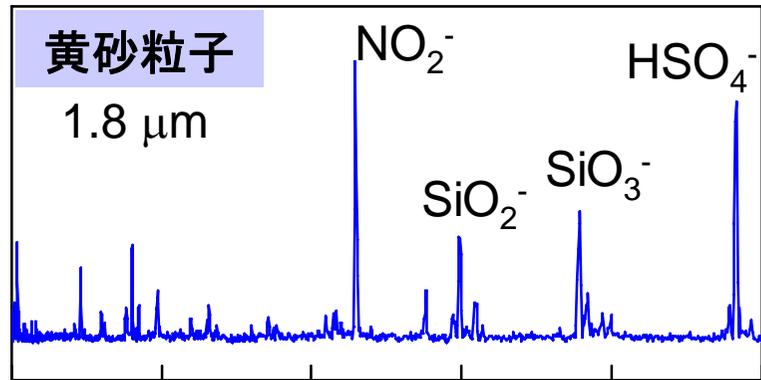
# エアロゾルの個別粒子の レーザーによる検出 & イオン化



514nm Ar ion Laser



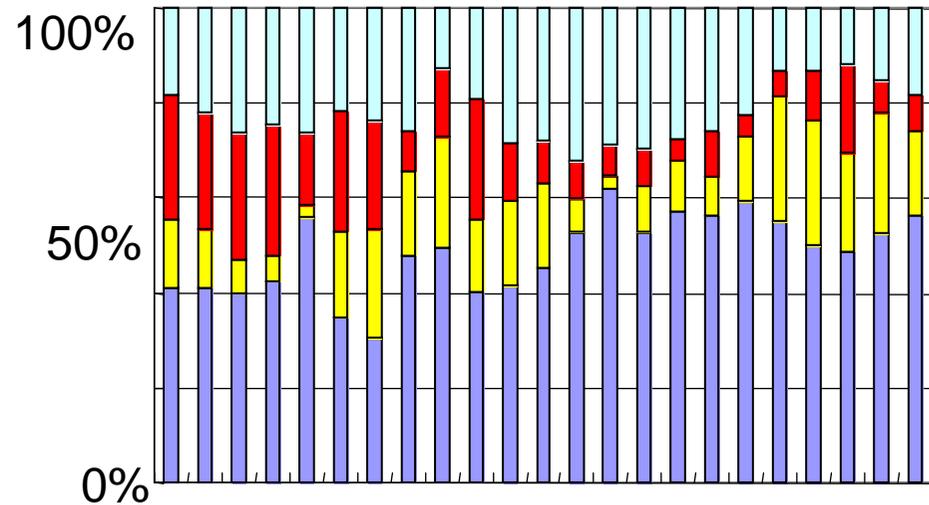
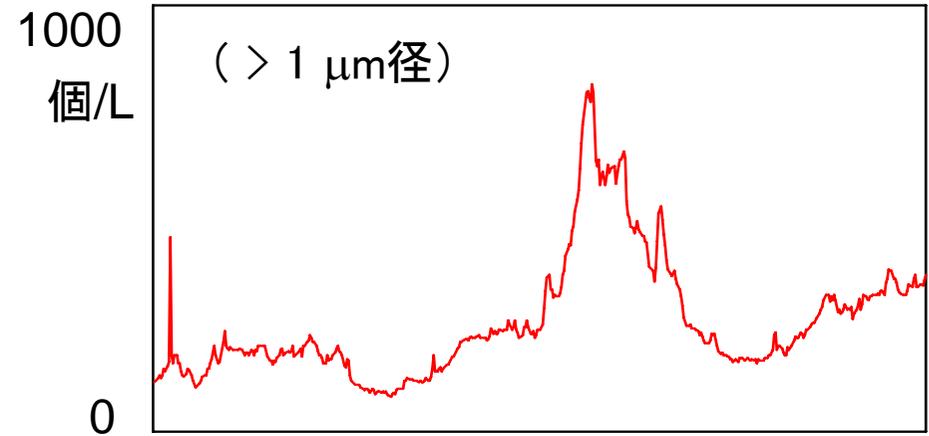
# 単一粒子質量スペクトルの例



0 20 40 60 80 100  
m/e

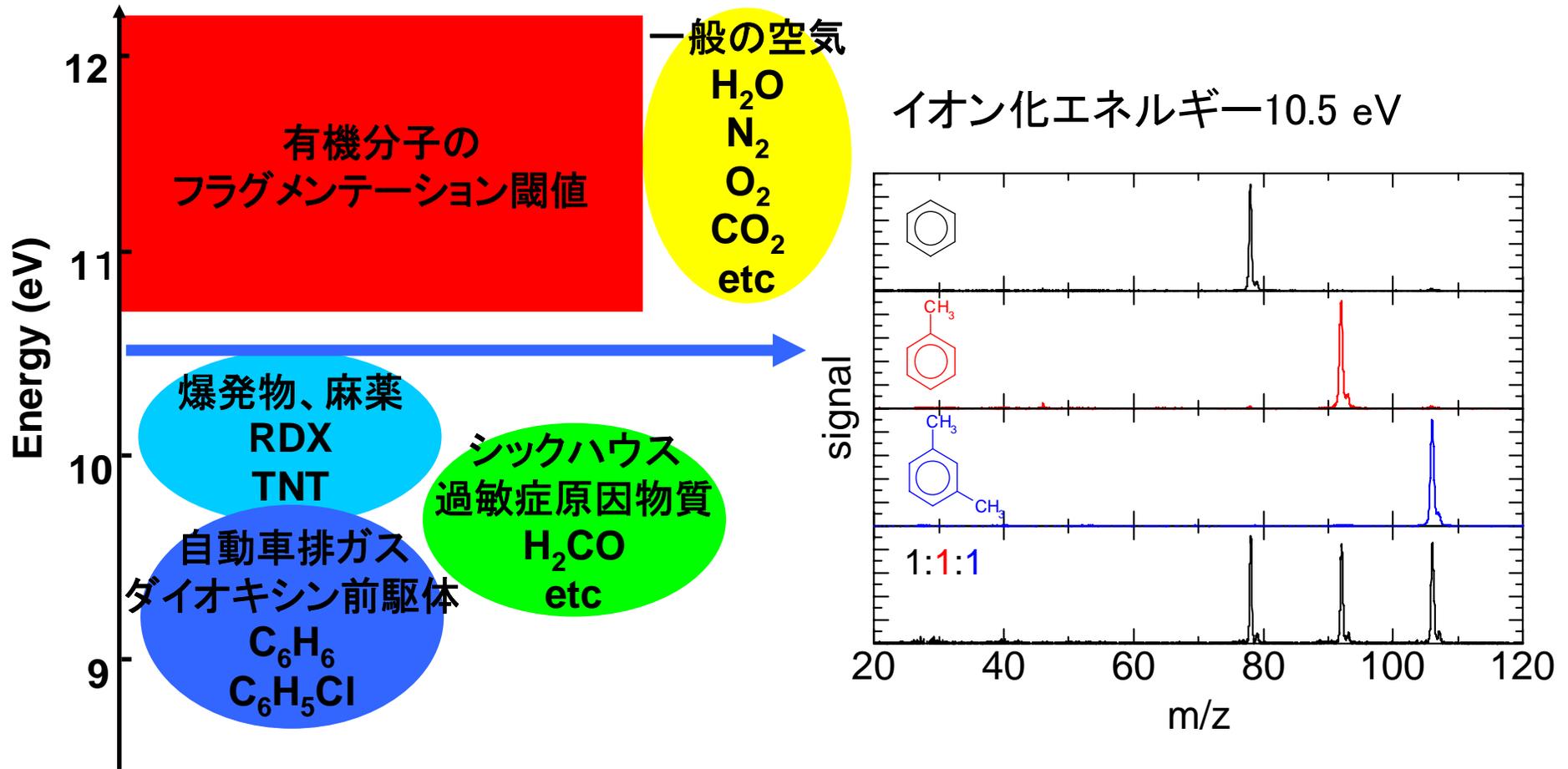
黄砂の飛来過程で  
Nitrate, Sulfate が付着

## エアロゾル個数・組成時間変化



■ 黄砂粒子      ■ 海塩粒子  
■ EC, 有機物    ■ その他

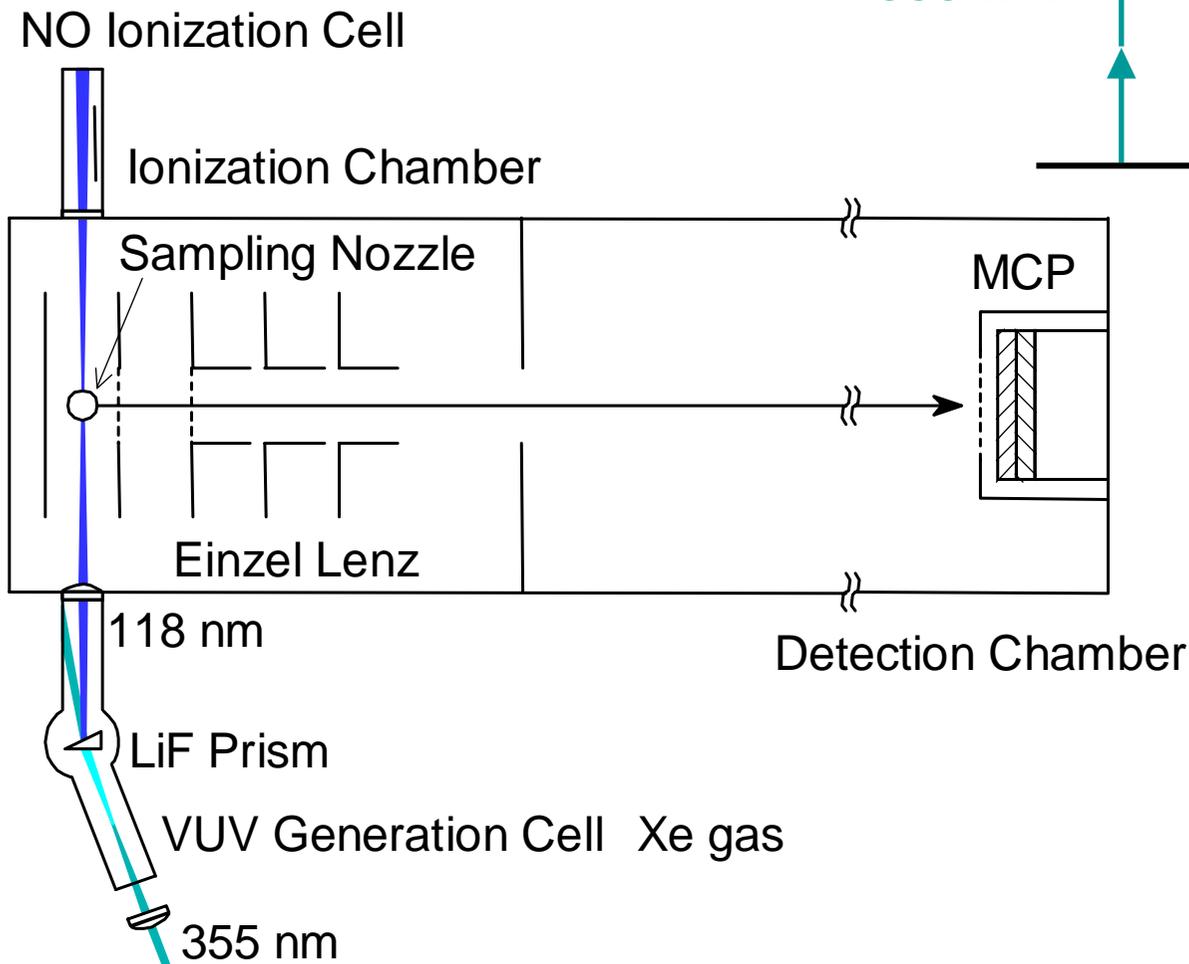
# 真空紫外光イオン化による有機物の検出



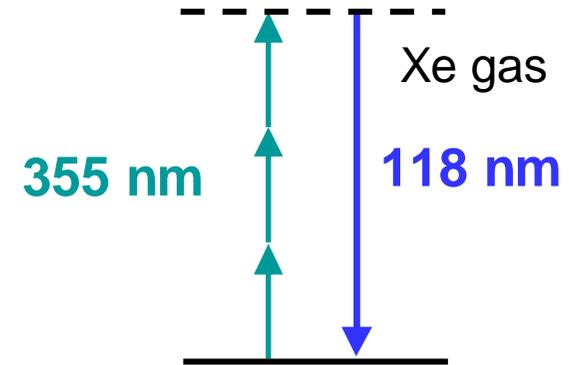
イオン化閾値近傍で効率よく親イオンのみへイオン化  
→フラグメンテーションフリー

混合系の同時測定に適する

# 真空紫外レーザー光による高感度な 大気中の有機物の検出器



非線形光学効果による  
118 nm 真空紫外光発生



# 地球環境と光

## 1. 地球環境問題に関わる光

オゾン層破壊や地球温暖化などの地球環境問題の発生メカニズムには光が関与している

## 2. 光で計測する地球環境

光を応用した地球環境計測法の新しい展開

**END**