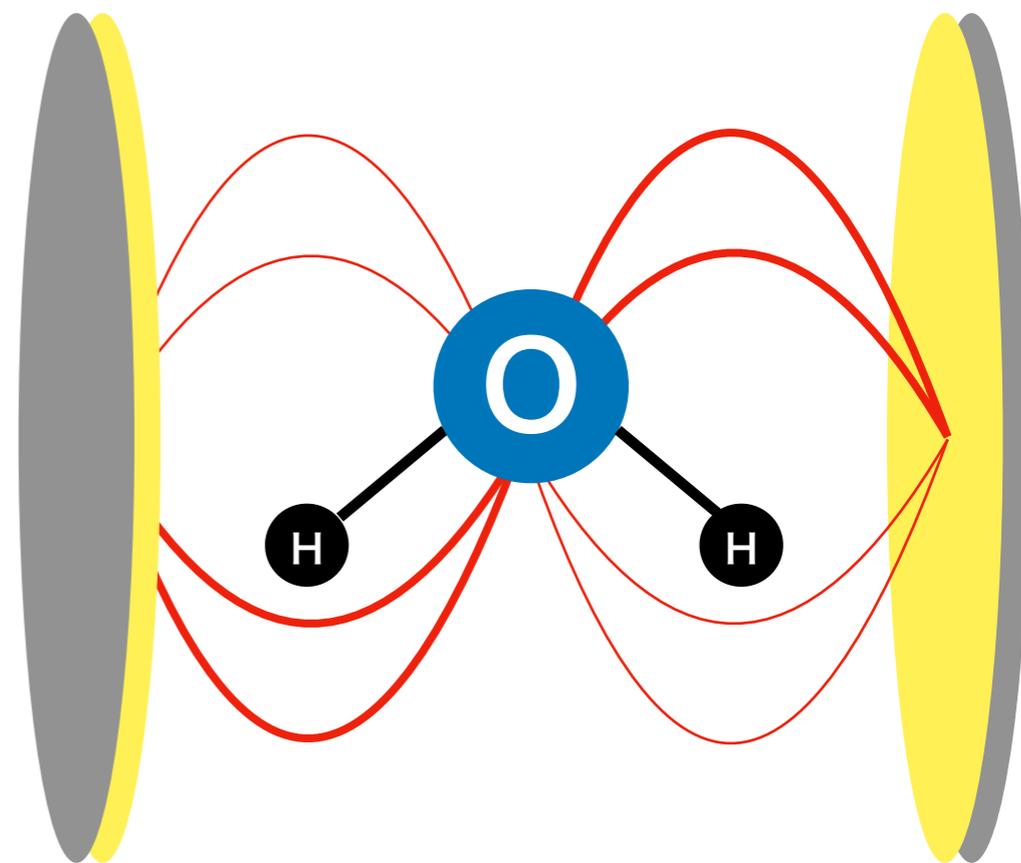


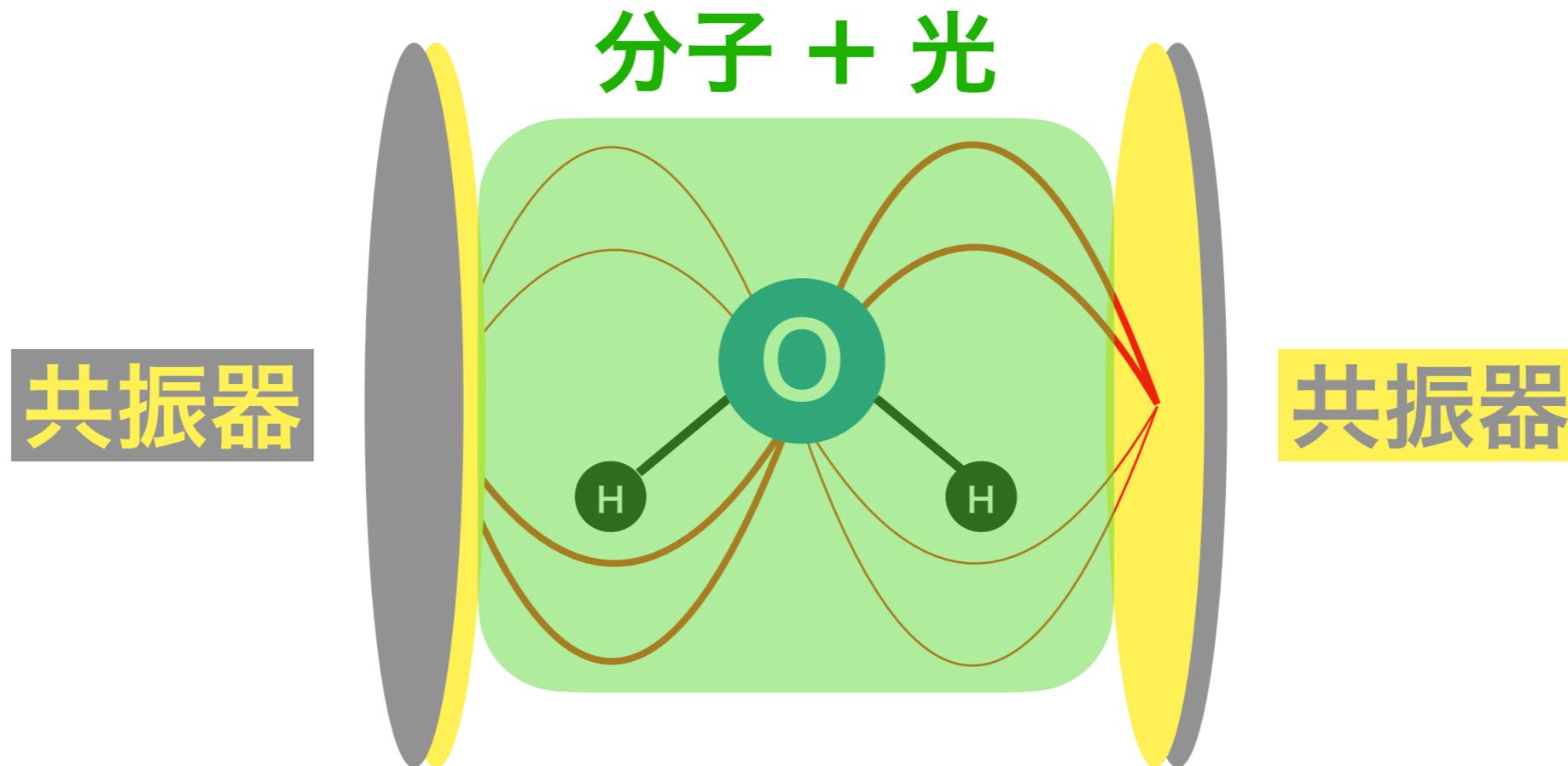
サイエンスカフェ in 静岡 第163話

# 共振器分子科学へのいざない ～分子を鏡で挟んでみたら～

静岡大学理学部化学科 松本 剛昭

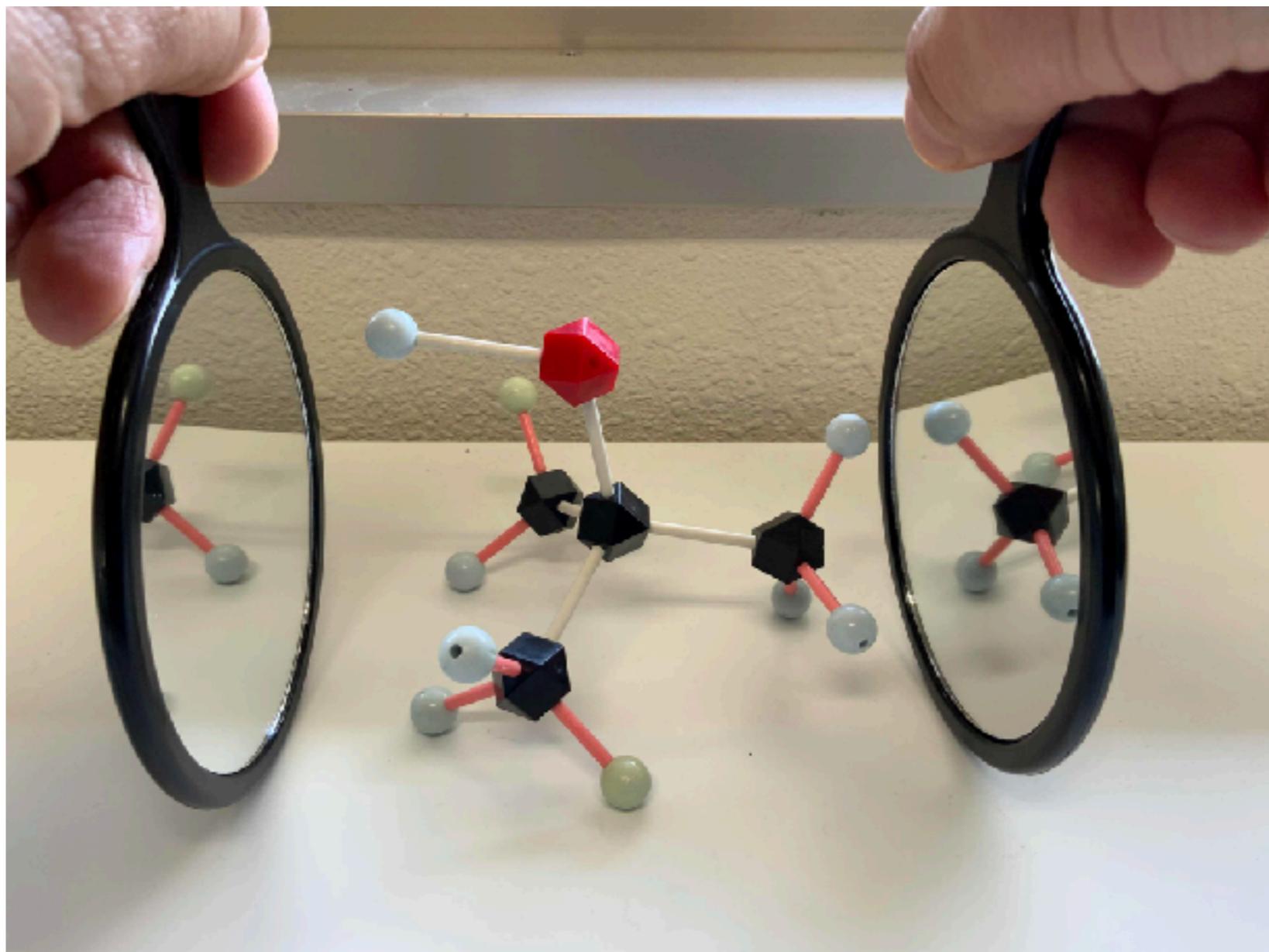


渾然一体となった不思議な状態



化学反応の常識を一変させる可能性

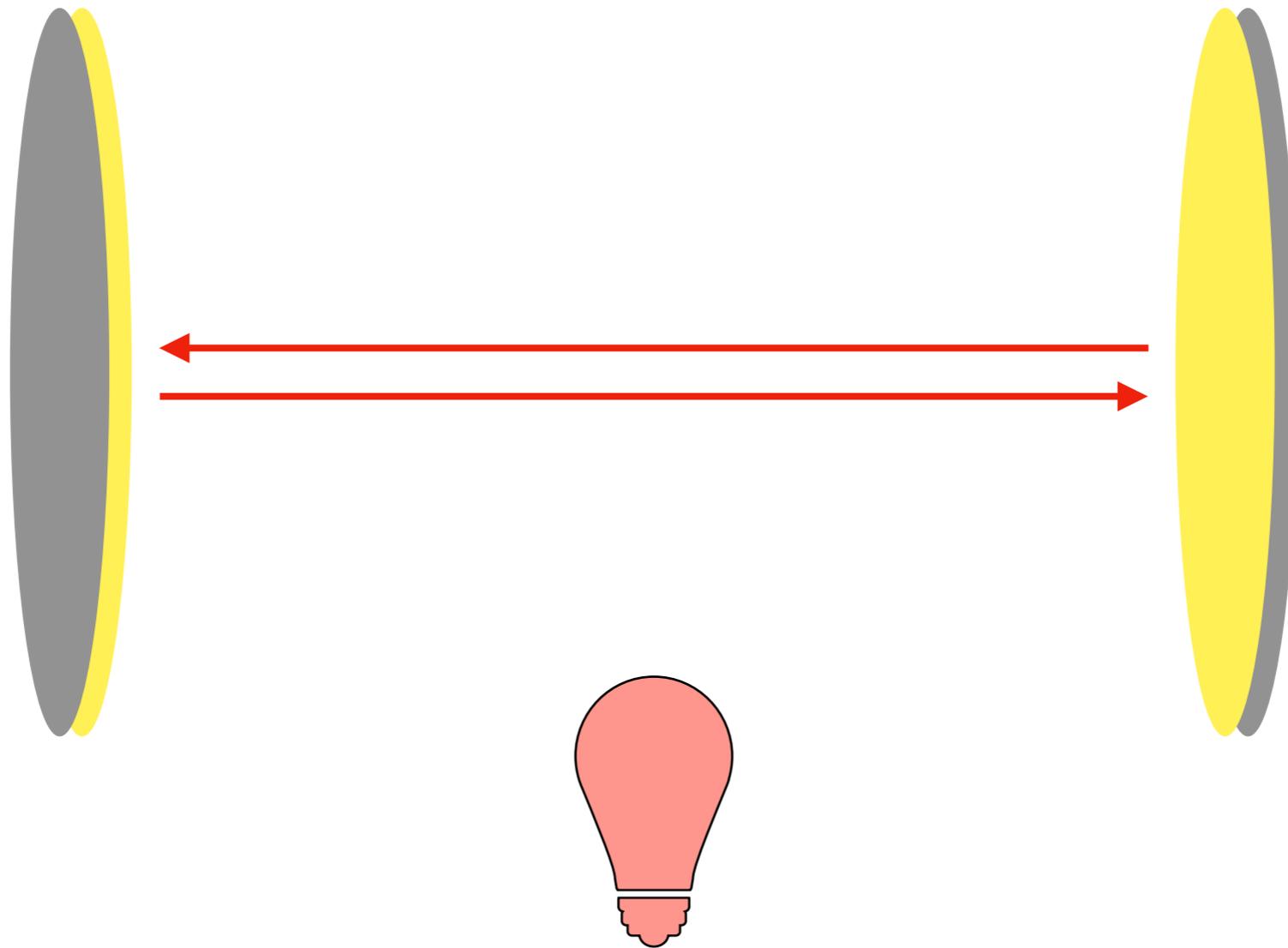
# 共振器とは？



合わせ鏡

# 共振器の最大の特徴

光を何回も往復させることができる！

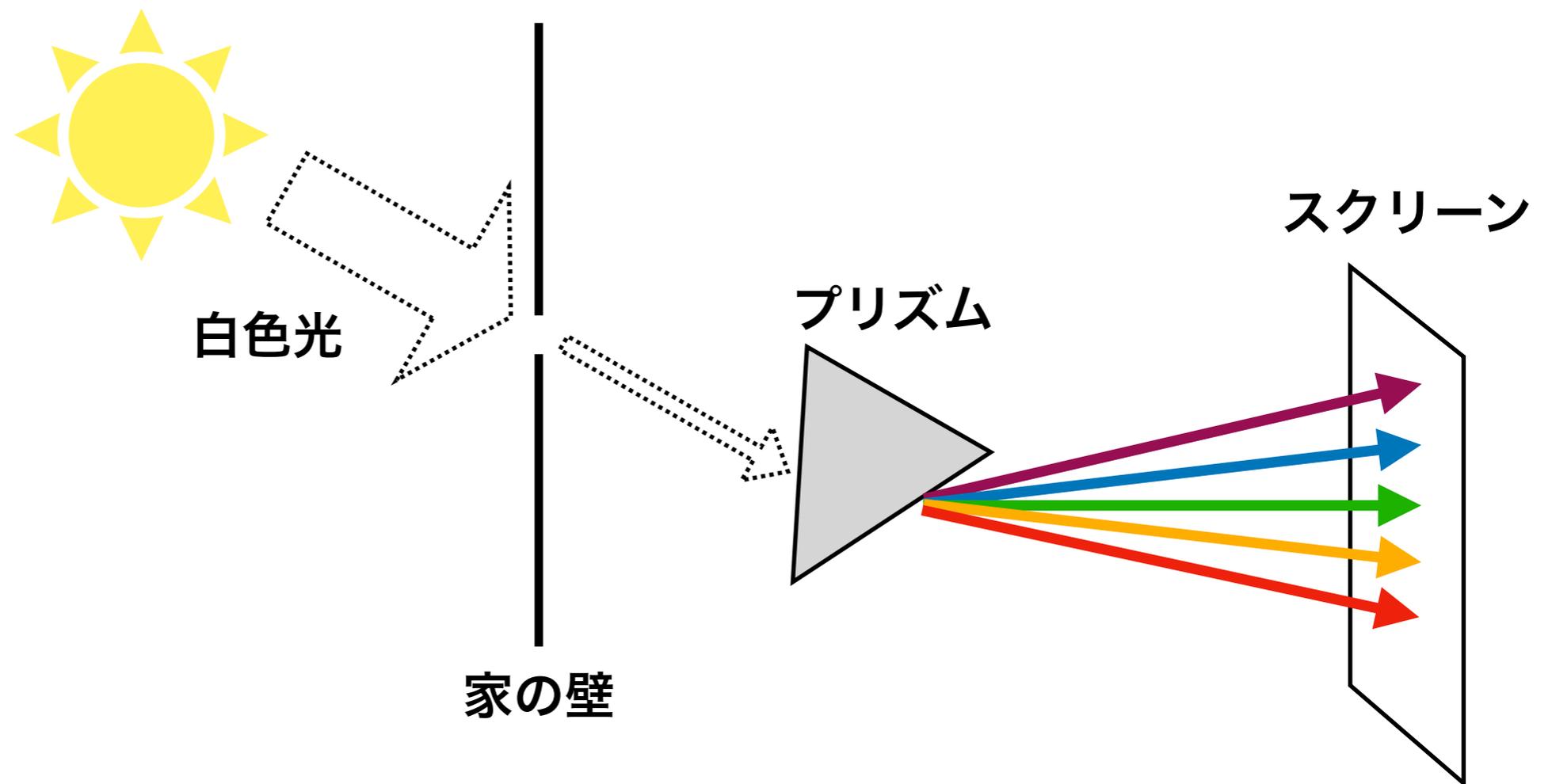


# 光とは何か？

歴史上で最初の革新的な研究はニュートンのスペクトル測定（1666）

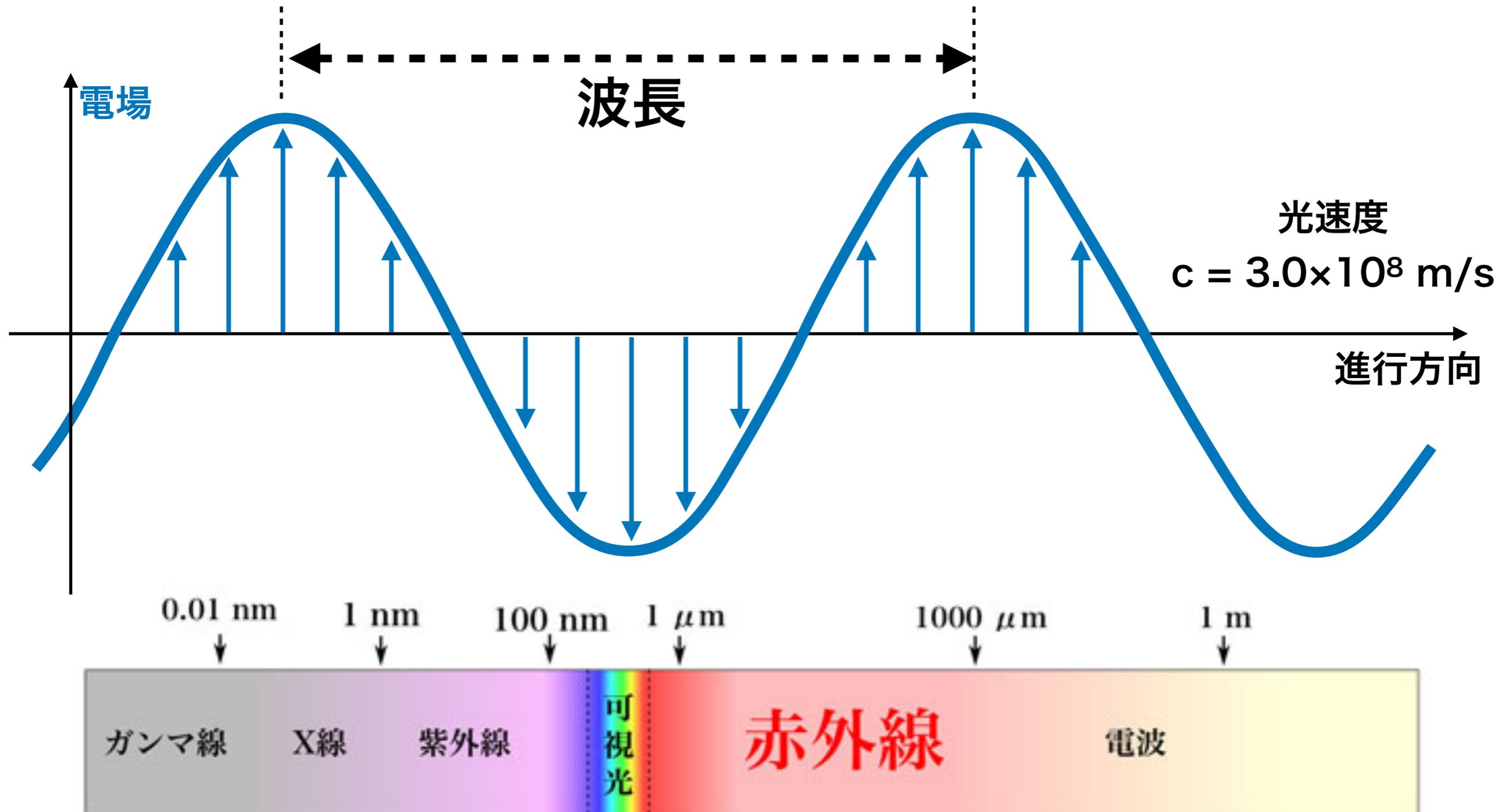


<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=37337>による

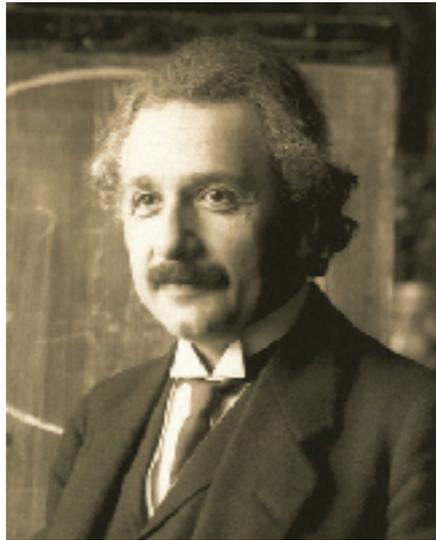


- 太陽の白色光は全ての色の光が混ざったものである
- 色のちがいによって屈折する角度が違う

# 光の種類は波長で区別される



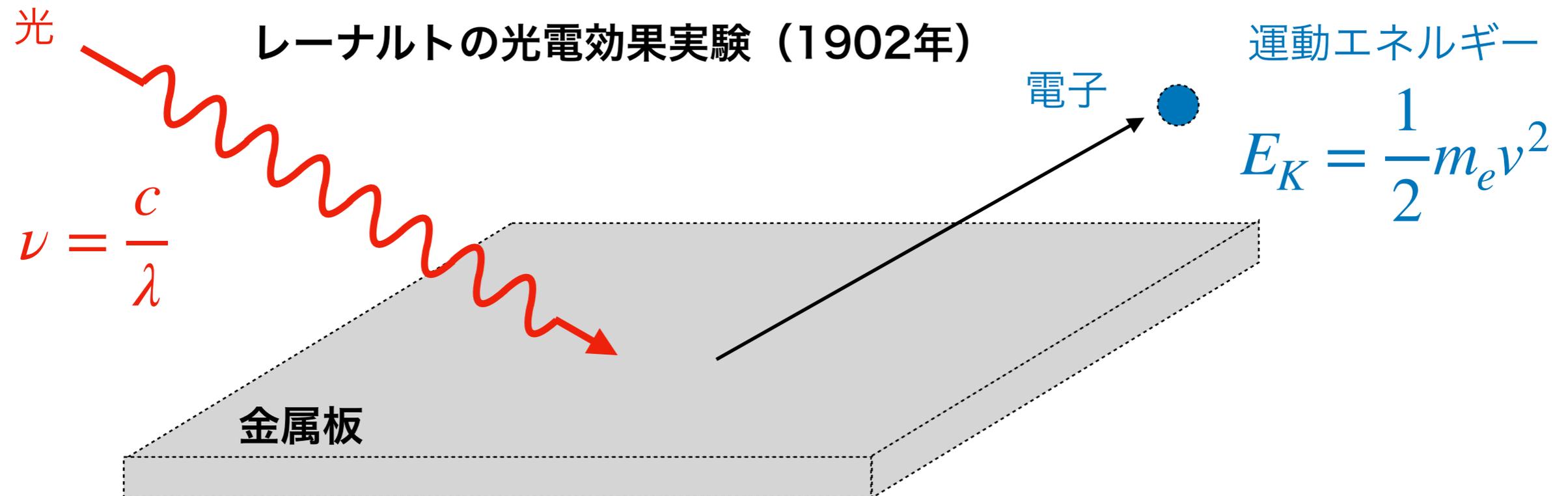
# 光は粒子としての性質ももっている



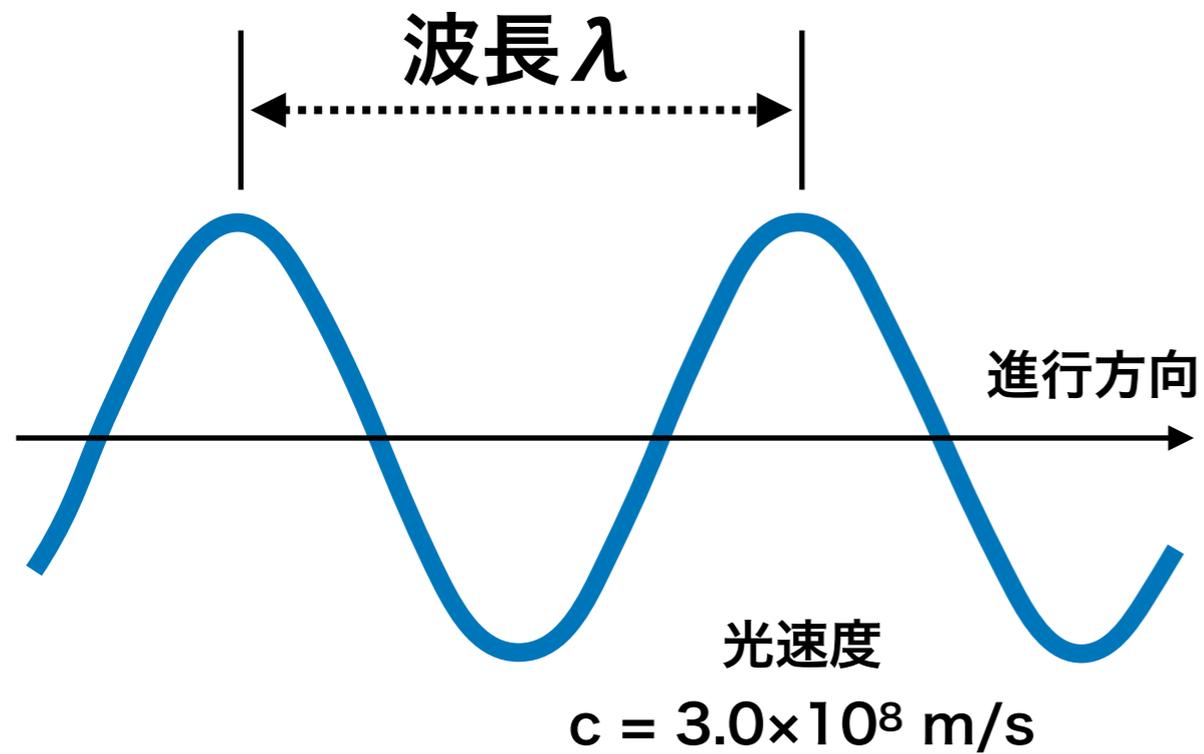
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1089438>による

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{をもつ粒子}$$

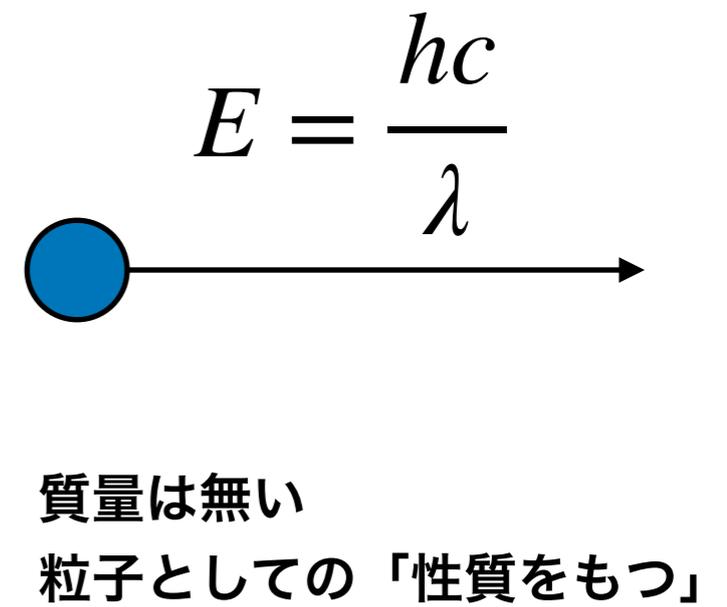
エネルギー



# 波と粒子の二重性

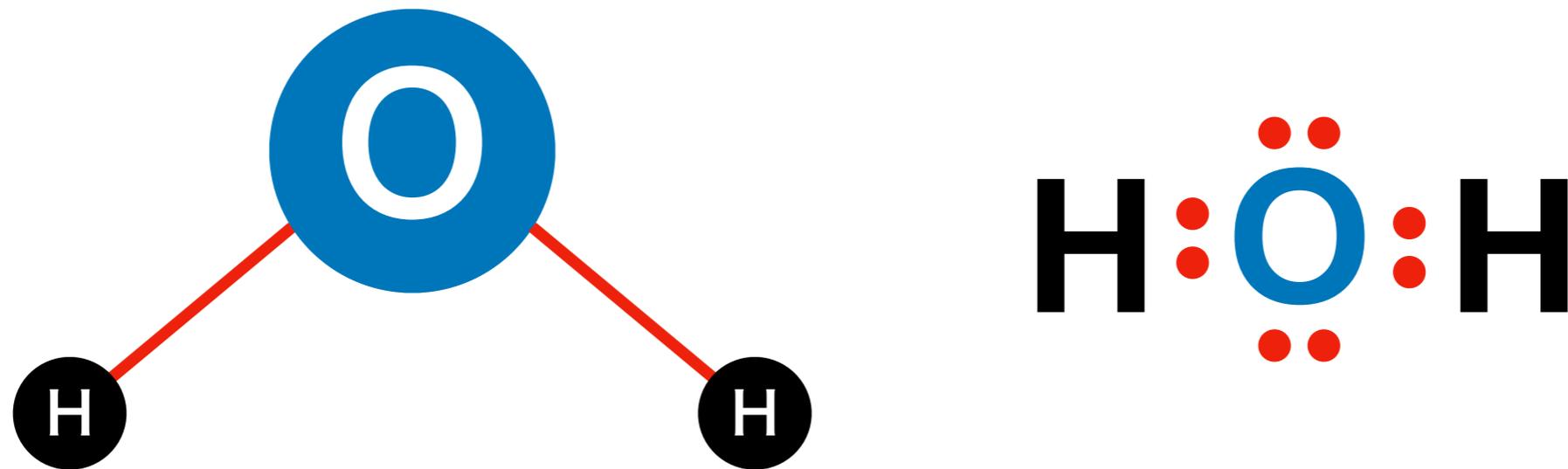


＝  
等価



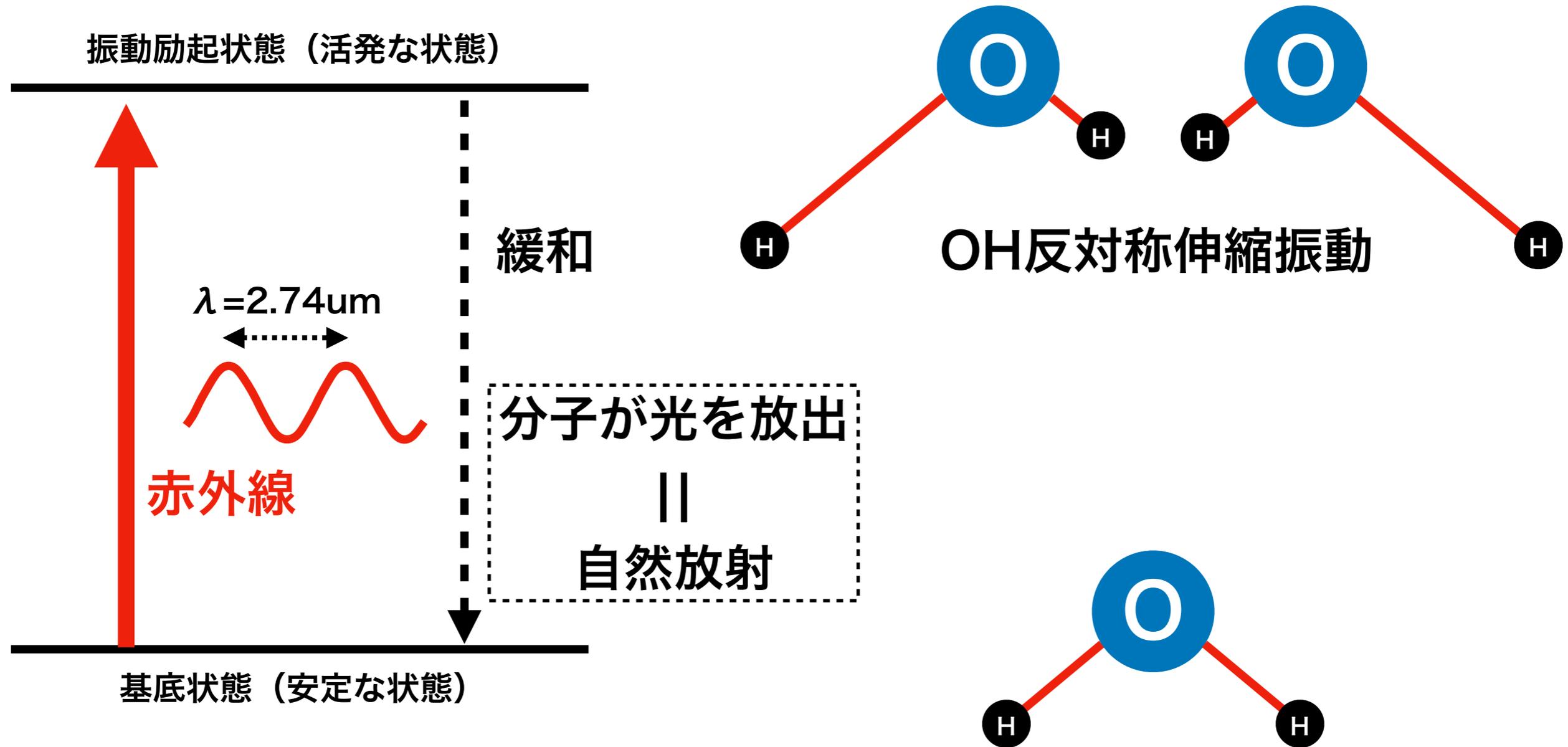
# 分子とは？

二つ以上の原子から構成される物質



電子が化学結合を作る接着剤の役割を果たしている

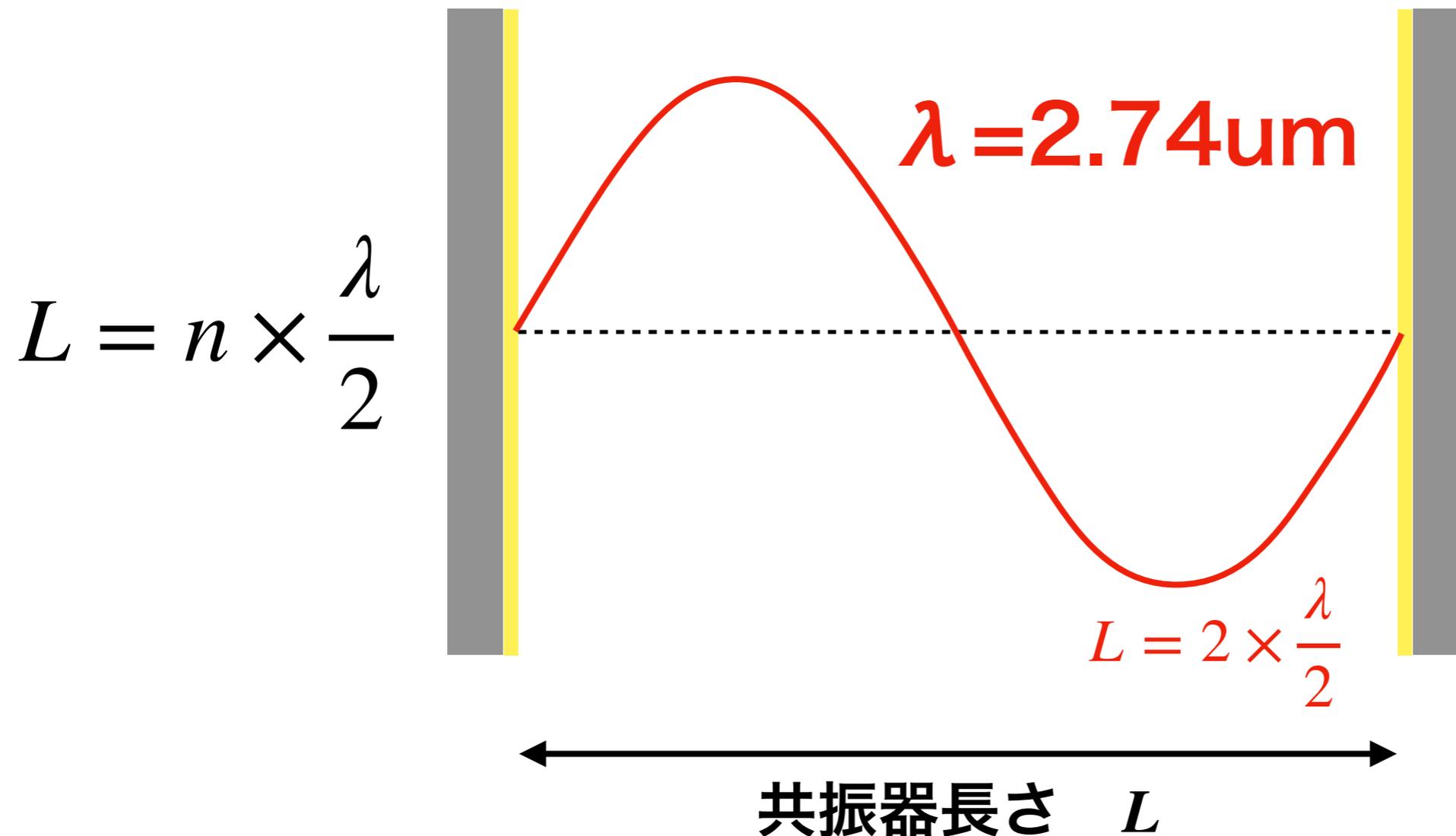
# 分子の振動運動



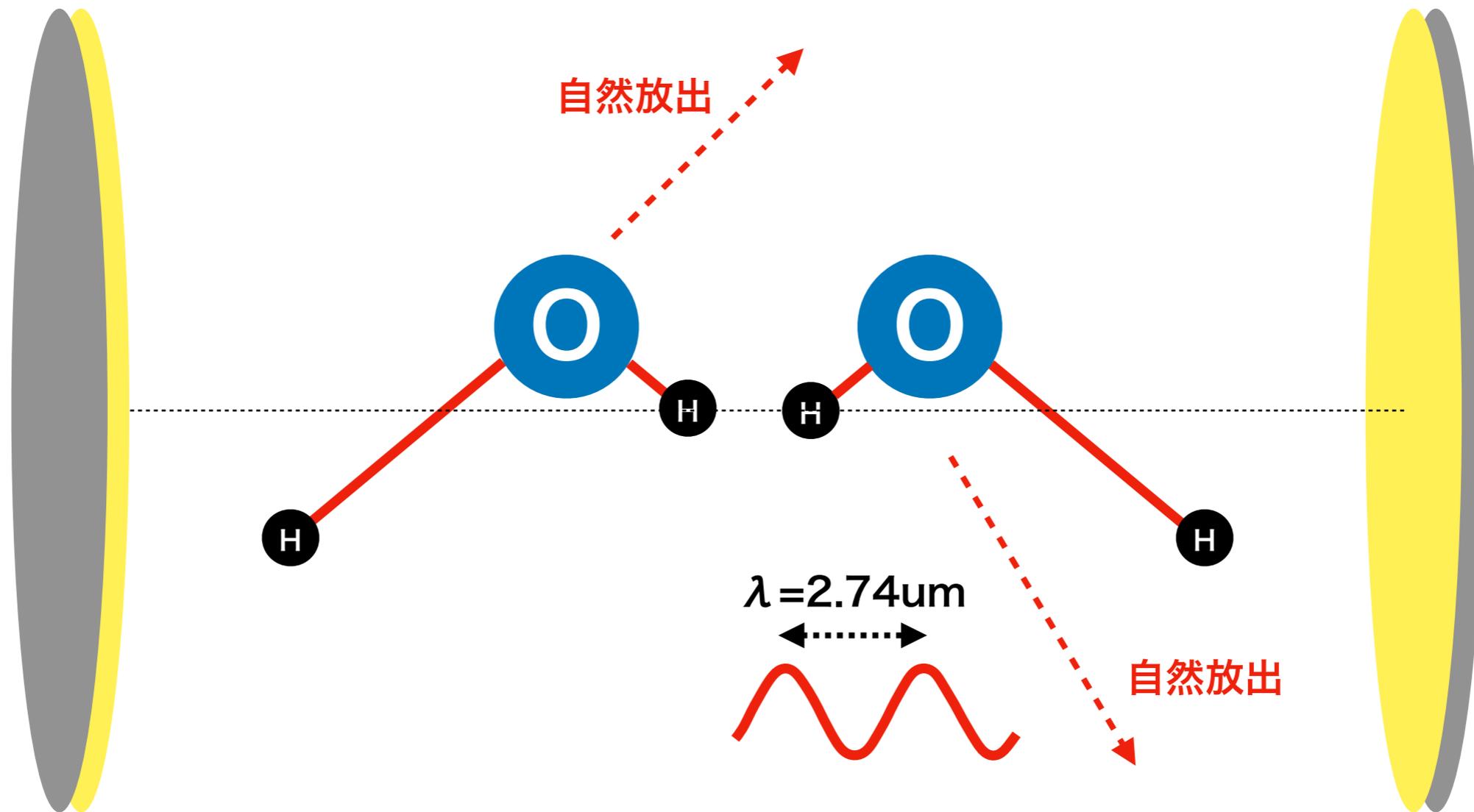
# 共振器の中での光のふるまい

共振器の長さを精密に制御すれば

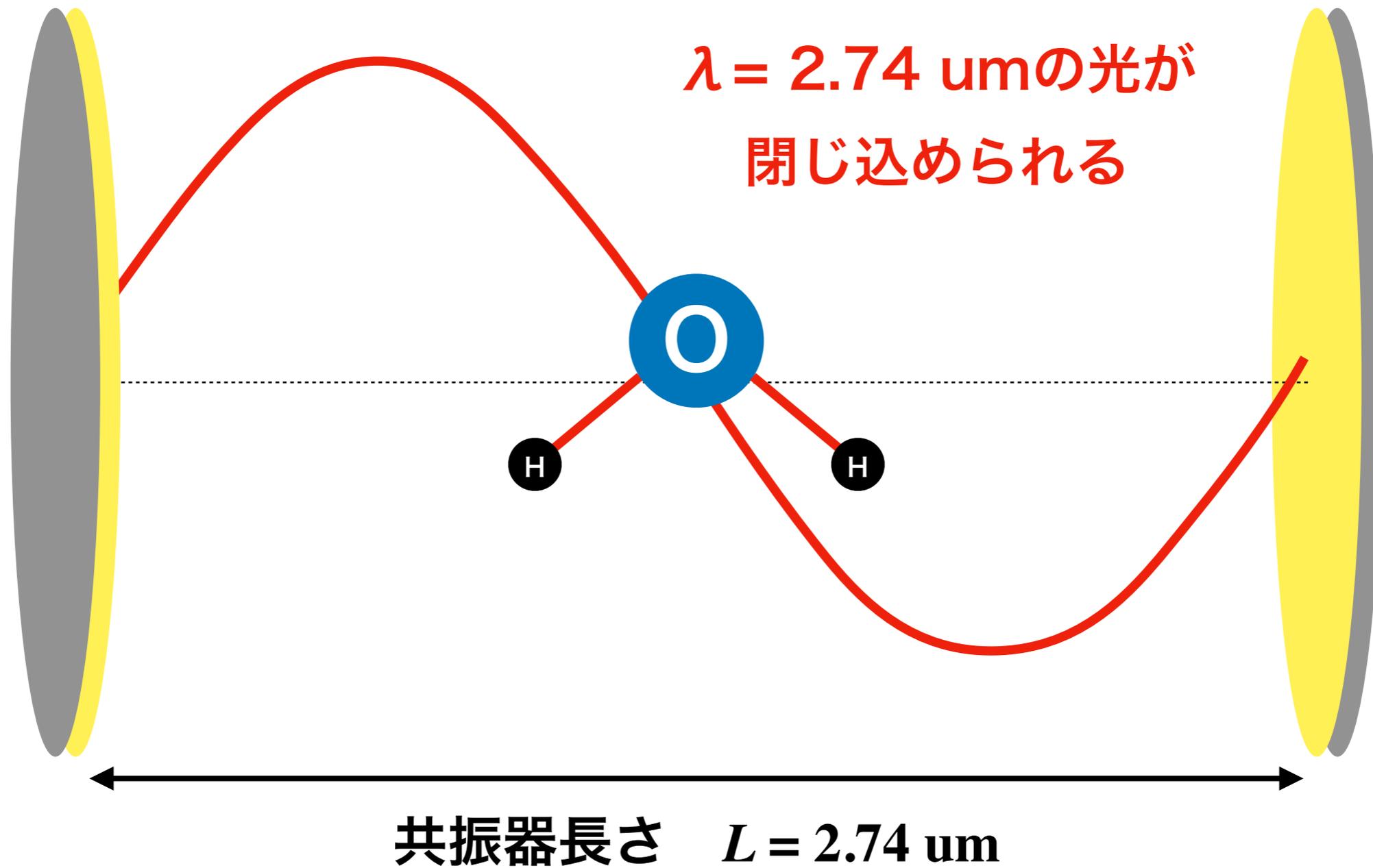
特定の波長の光だけを内部に閉じ込めることができる



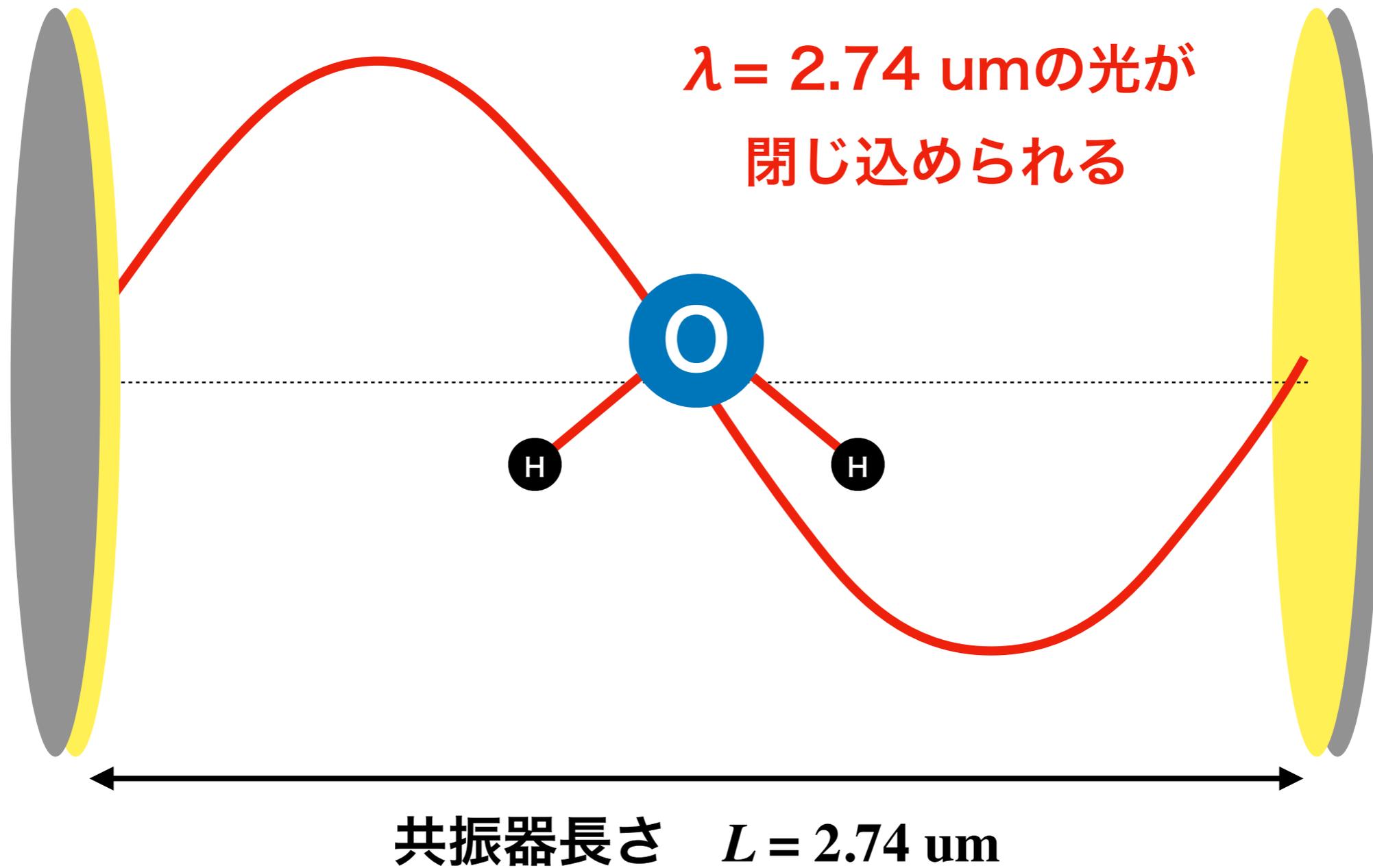
# 共振器に振動励起したH<sub>2</sub>Oを置いてみる



# 共振器に振動励起したH<sub>2</sub>Oを置いてみる



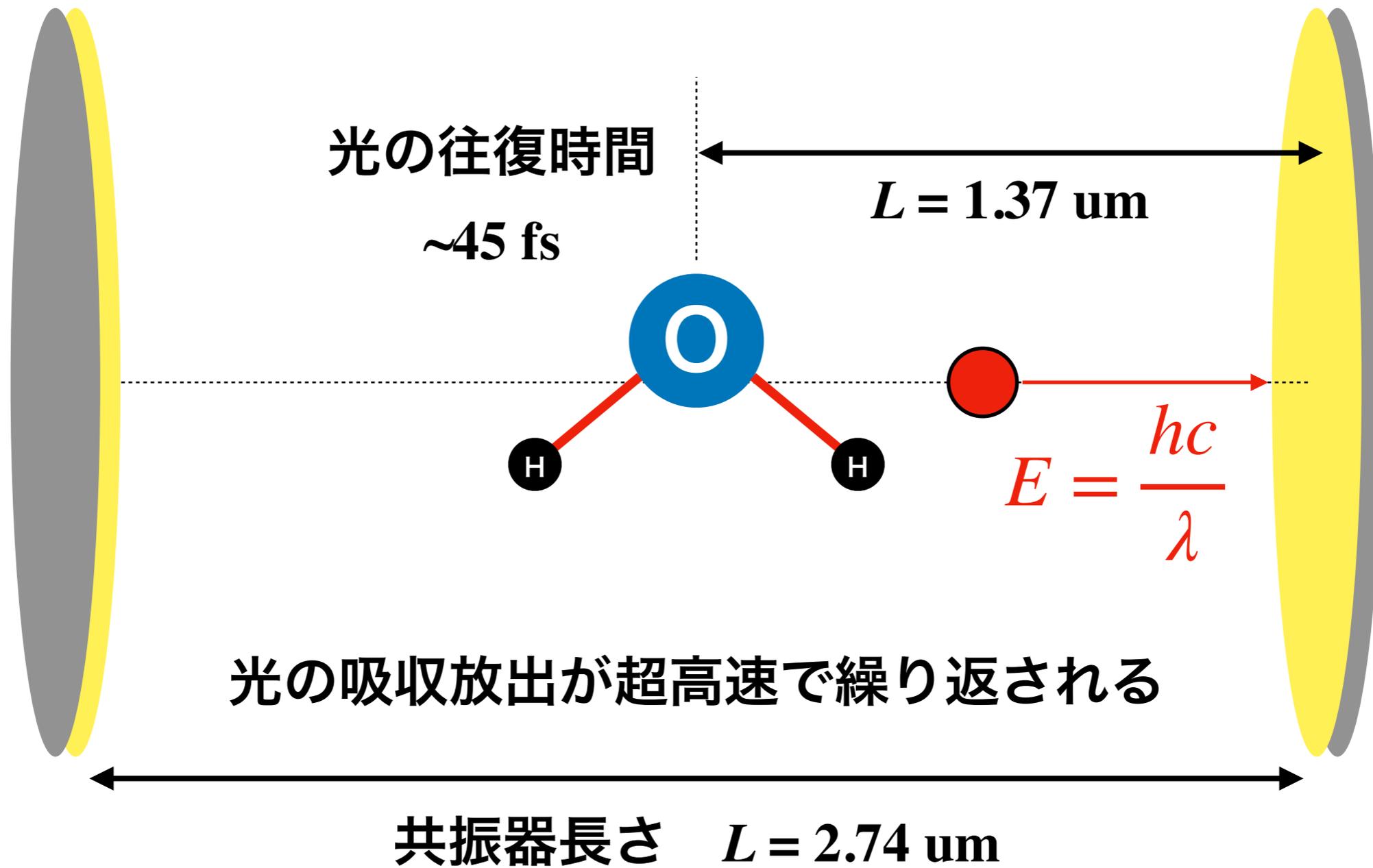
光が波の性質をもつことに注目すれば…



# 光が**粒子**の性質をもつことに注目すれば…

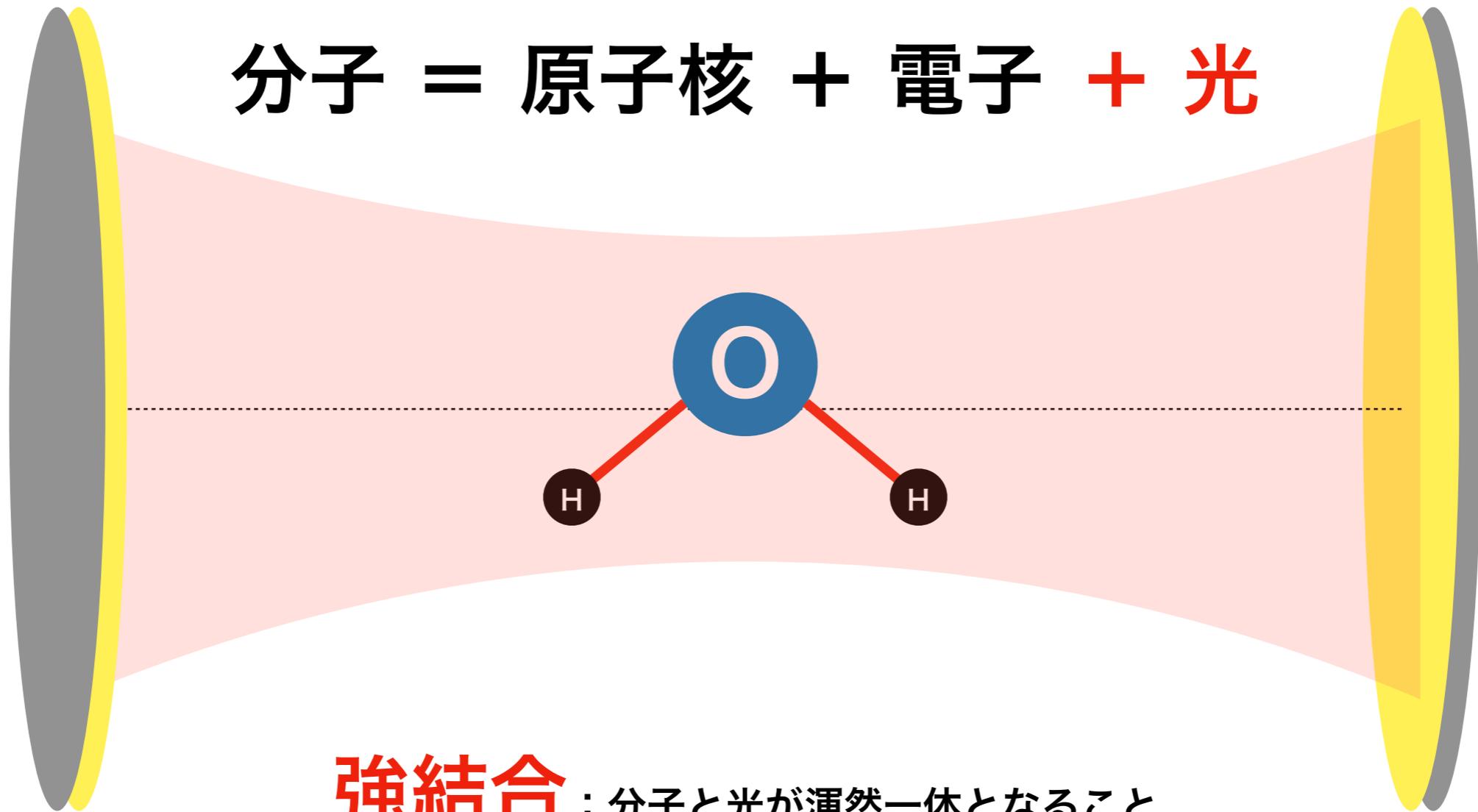


# 光の粒子を分子と共振器でキャッチボール



# 分子と光が渾然一体

分子 = 原子核 + 電子 + 光



**強結合** : 分子と光が渾然一体となること

**ポラリトン** : 強結合で形成された物質

# 化学の究極目標？

人類にとって有用な機能をもつ新規化合物を  
自由自在に生成するための**制御方法を確立**すること

## 触媒

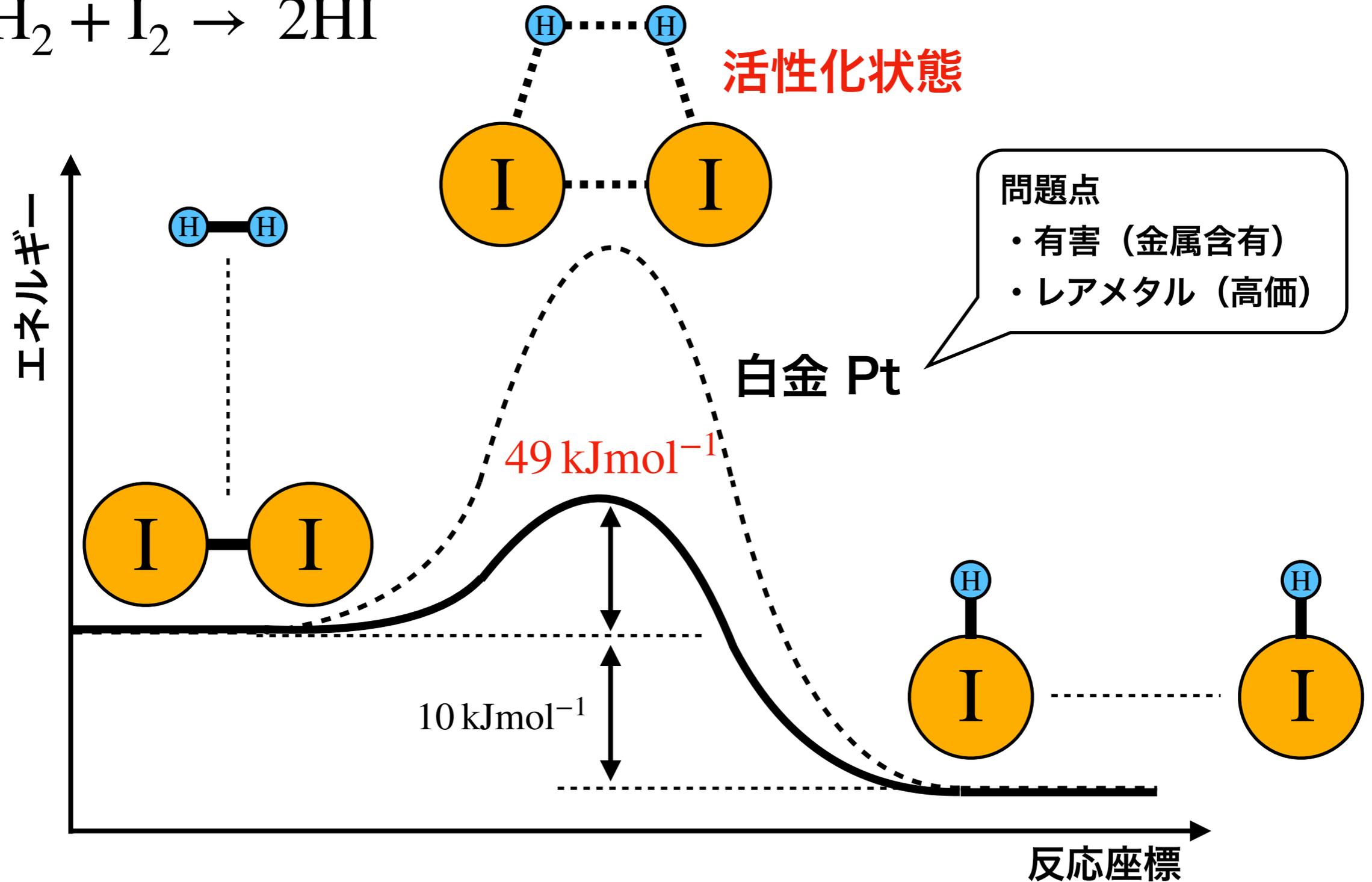
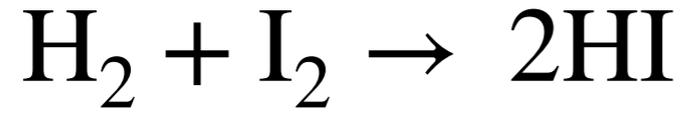
反応速度を速める物質でありながら、それ自身は反応前後で変化しない

(例) だ液中のアミラーゼという酵素

でんぷん (炭水化物) を糖に分解する反応を劇的に促進

→ お米を噛んでると甘くなりますよね、アレです。

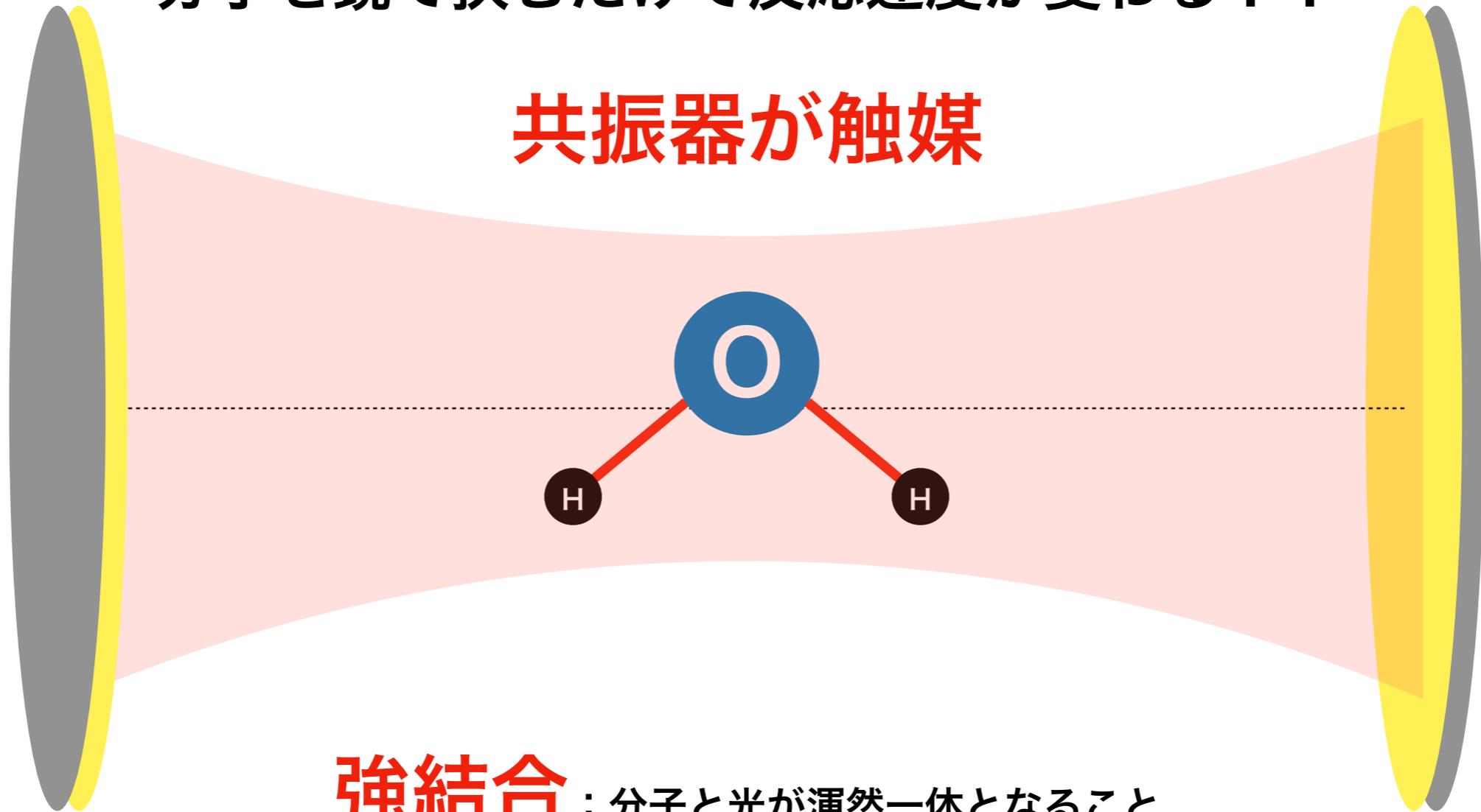
# 触媒は活性化エネルギーを下げる



# 共振器が世界を変えてくれるかも！

分子を鏡で挟むだけで反応速度が変わる！！

**共振器が触媒**

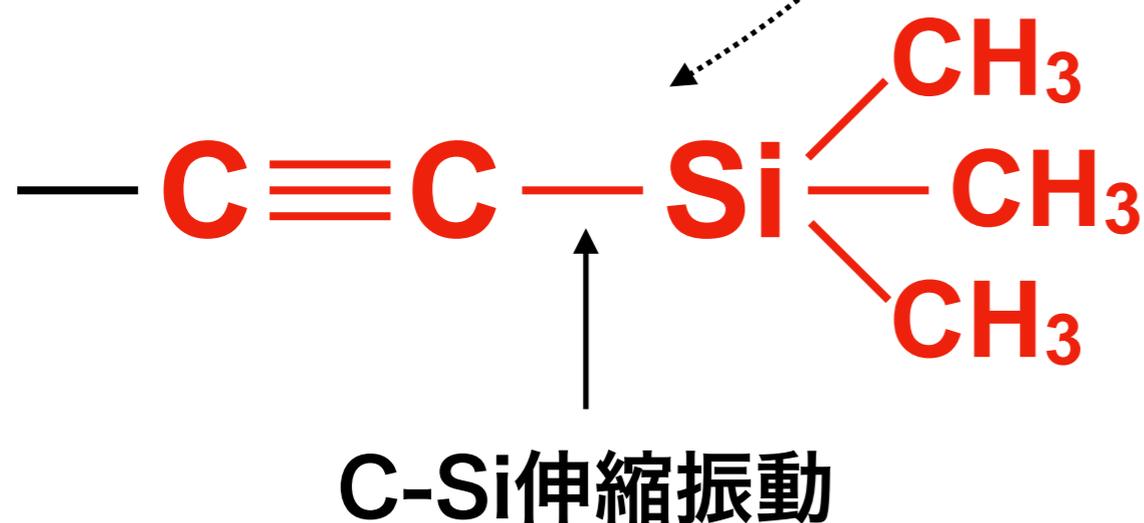
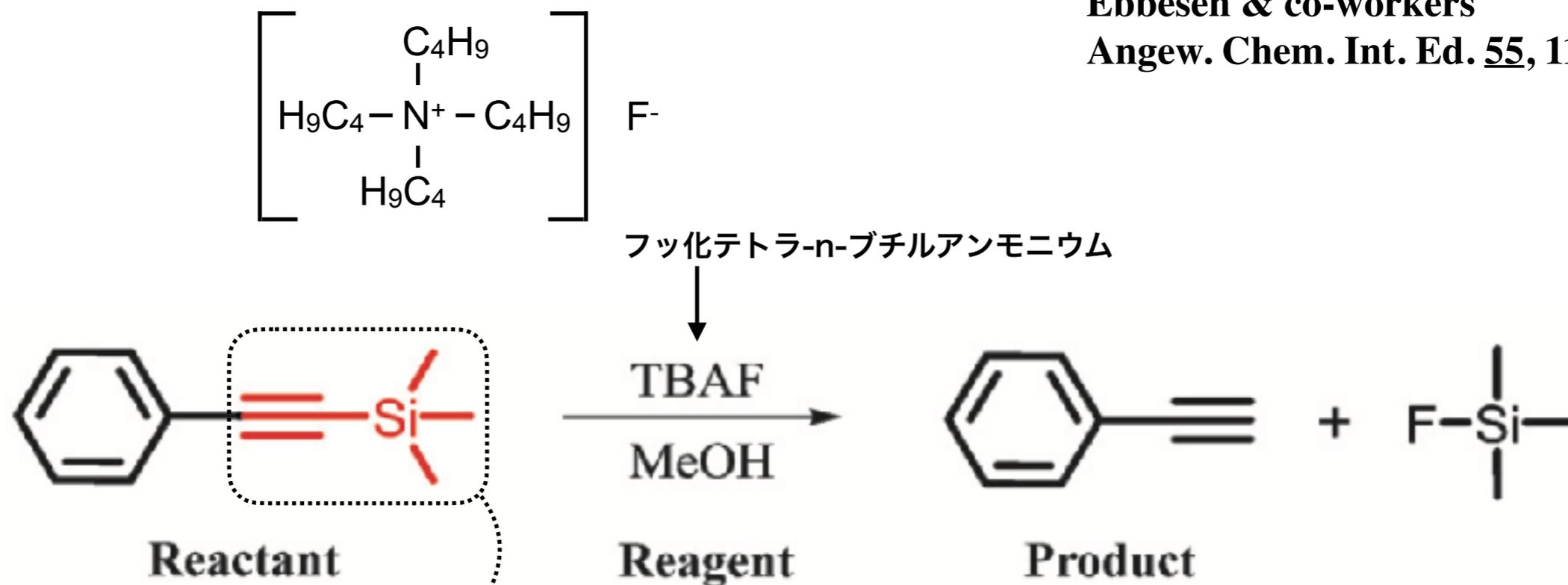


**強結合**：分子と光が渾然一体となること

**ポラリトン**：強結合で形成された物質

# アルキニルシラン化合物のシリル基脱離反応

Ebbesen & co-workers  
Angew. Chem. Int. Ed. **55**, 11462 (2016)

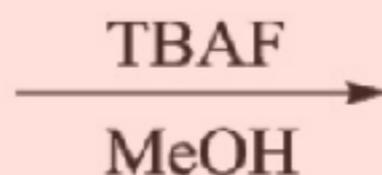
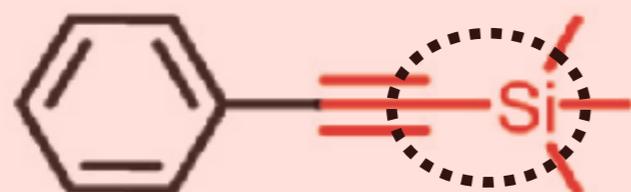


# アルキニルシラン化合物のシリル基脱離反応

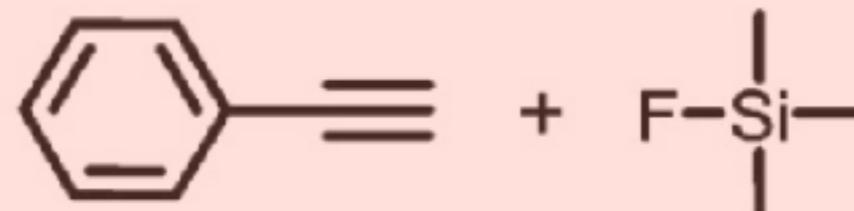
Ebbesen & co-workers  
Angew. Chem. Int. Ed. **55**, 11462 (2016)

## 強結合によるパラリトン生成

11.6  $\mu\text{m}$ の赤外線で  
振動運動を励起



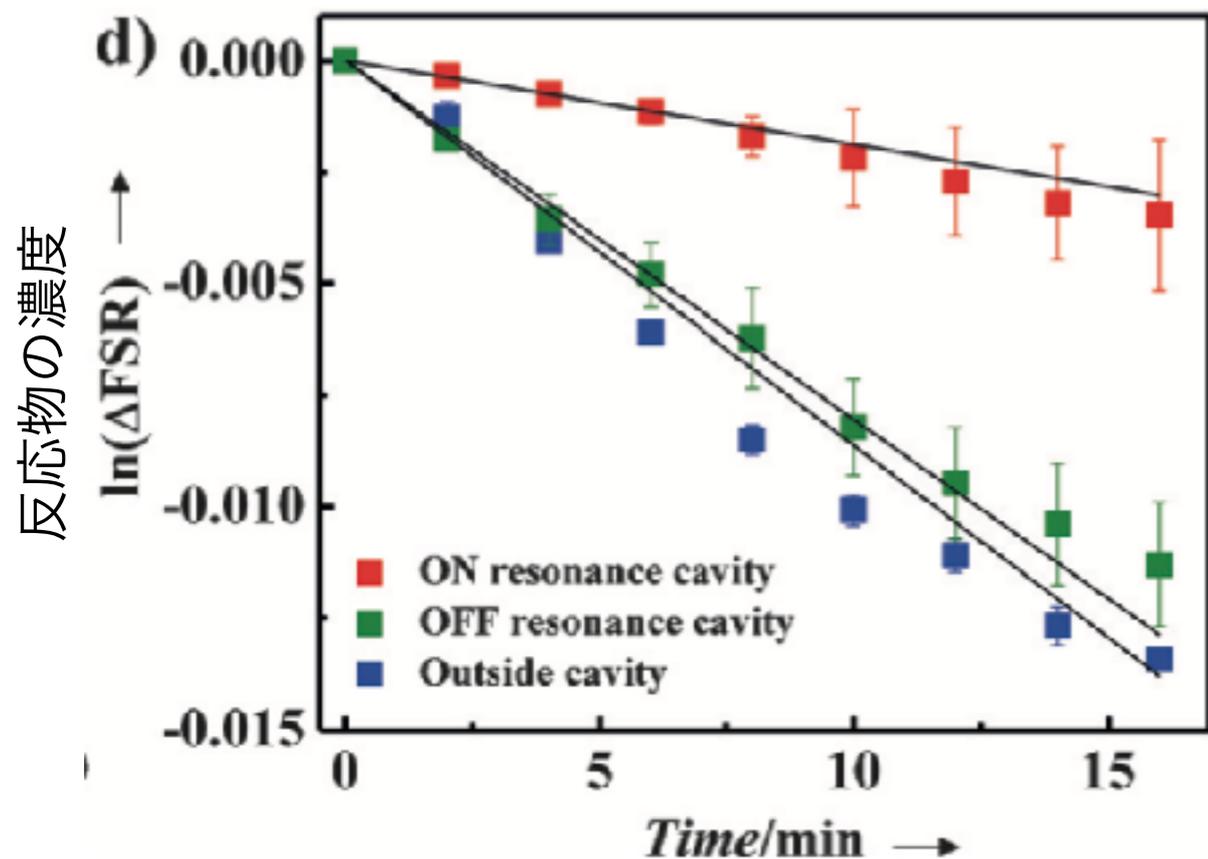
Reagent



$$11.6 \mu\text{m} \times 2 = 23.2 \mu\text{m}$$

# アルキニルシラン化合物のシリル基脱離反応

Ebbesen & co-workers  
Angew. Chem. Int. Ed., 55, 11462 (2016)



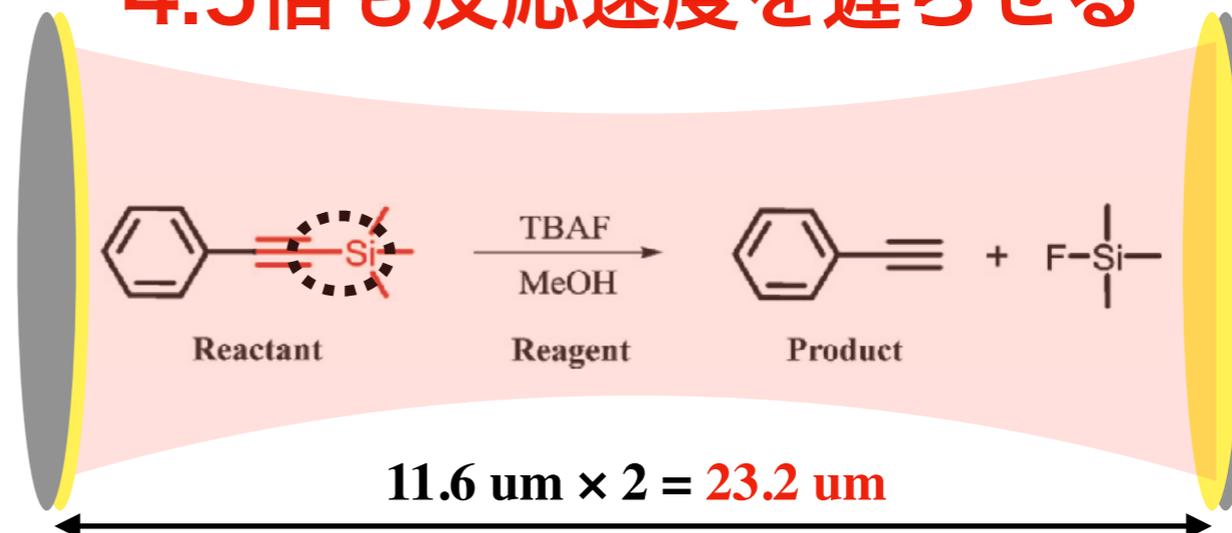
ポラリトン

時間経過に伴う反応物の減少量を測定

普通の分子

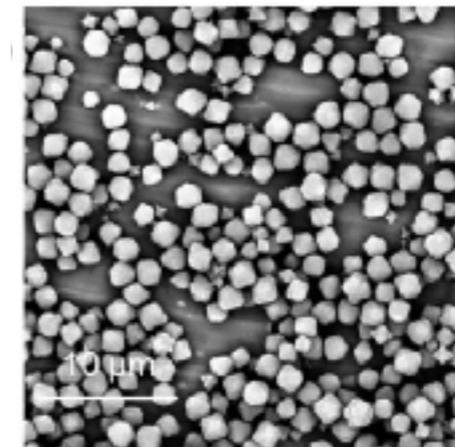
4.5倍も反応速度を遅らせる

∴ 共振器 = 阻害剤

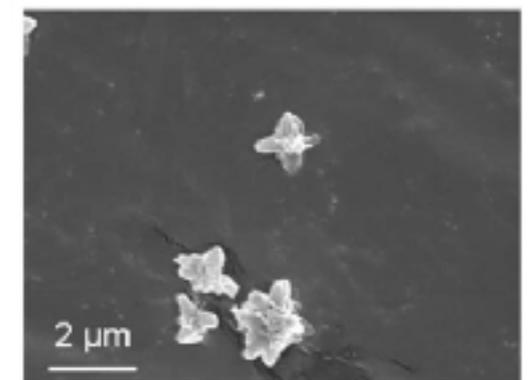


# 金属有機構造体の選択的な結晶化

Hirai & co-workers  
Chem. Sci., 12, 11986 (2021)



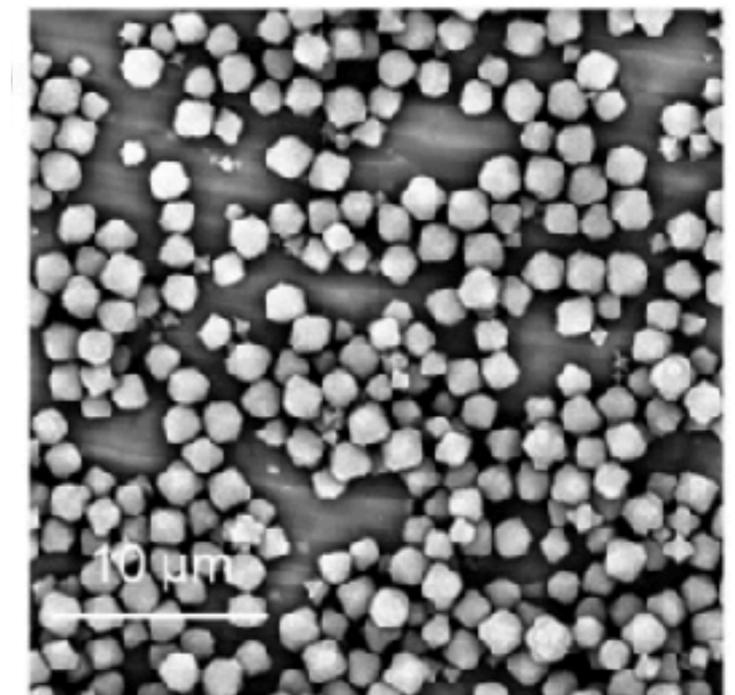
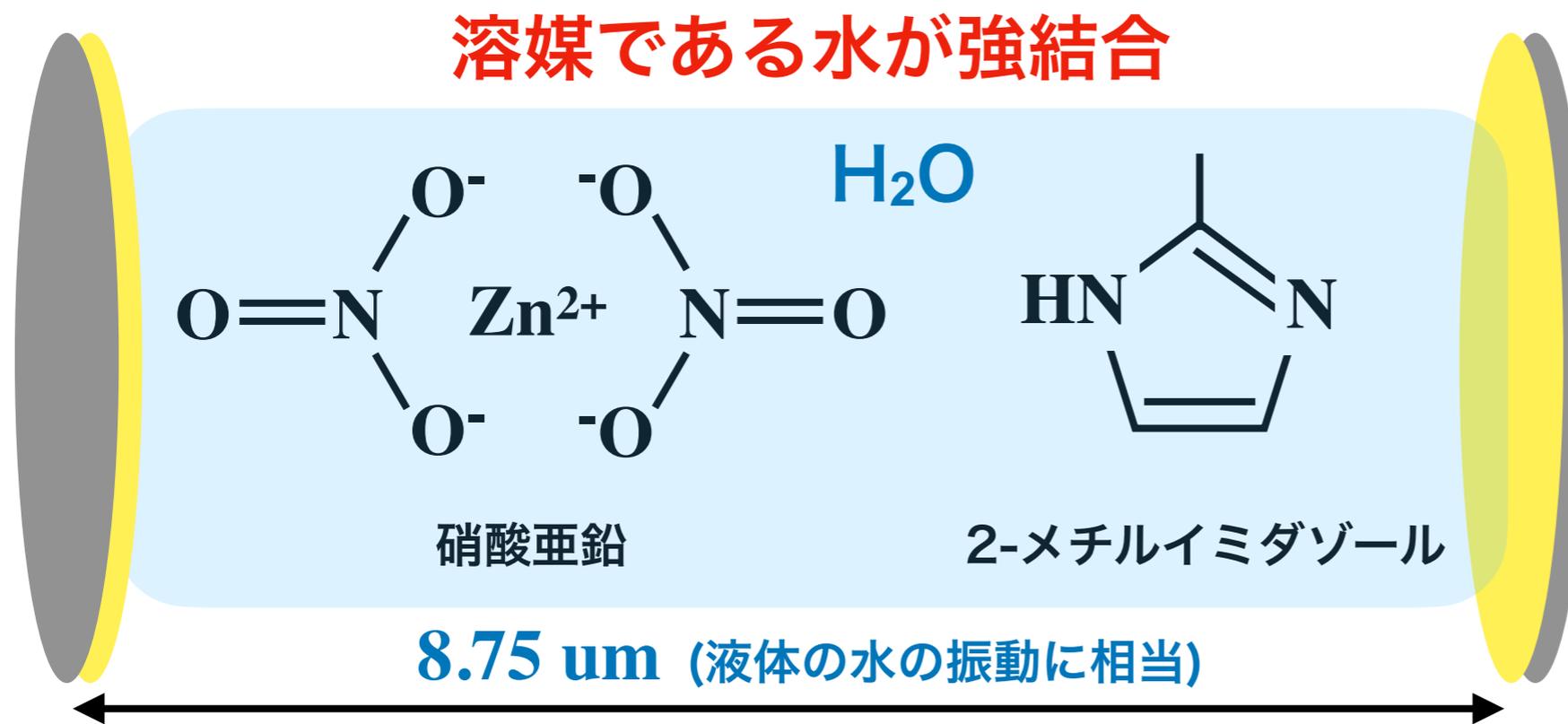
ZIF-8



ZIF-L

# 金属有機構造体の選択的な結晶化

Hirai & co-workers  
Chem. Sci., 12, 11986 (2021)



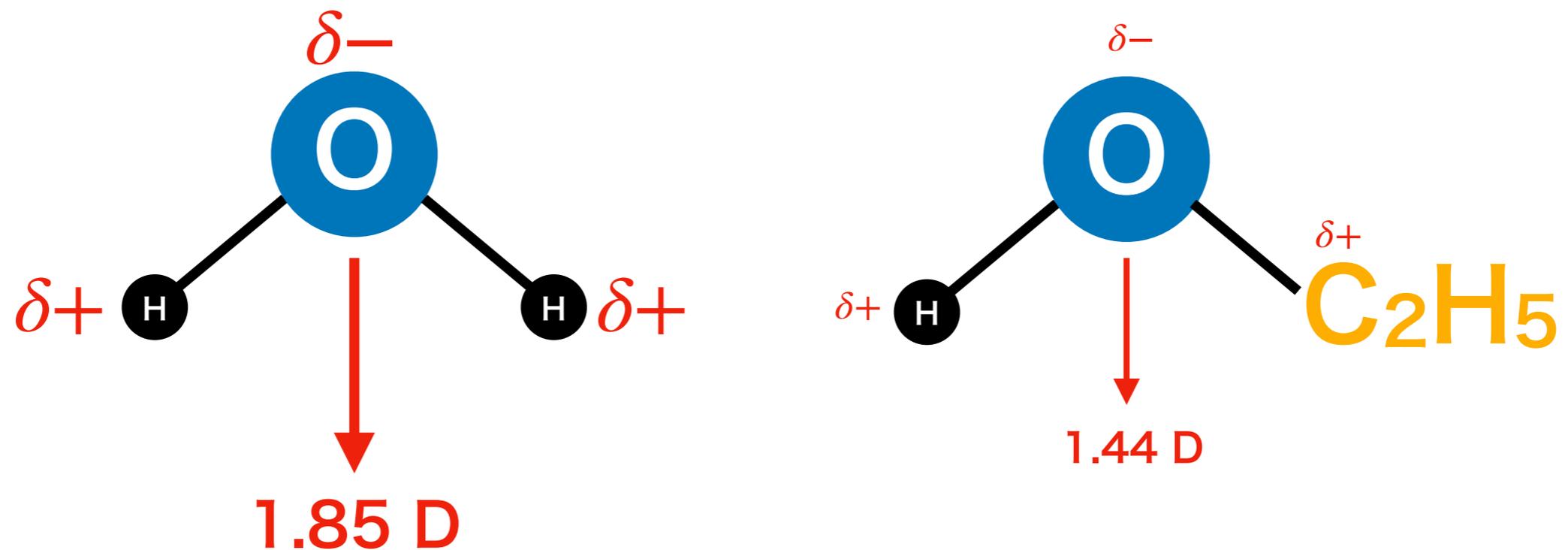
ZIF-8

生成速度の加速化

# なぜZIF-8だけが生成？

ヒント：エタノール中ではZIF-8が選択的に生成

Hirai & co-workers  
Chem. Sci., 12, 11986 (2021)

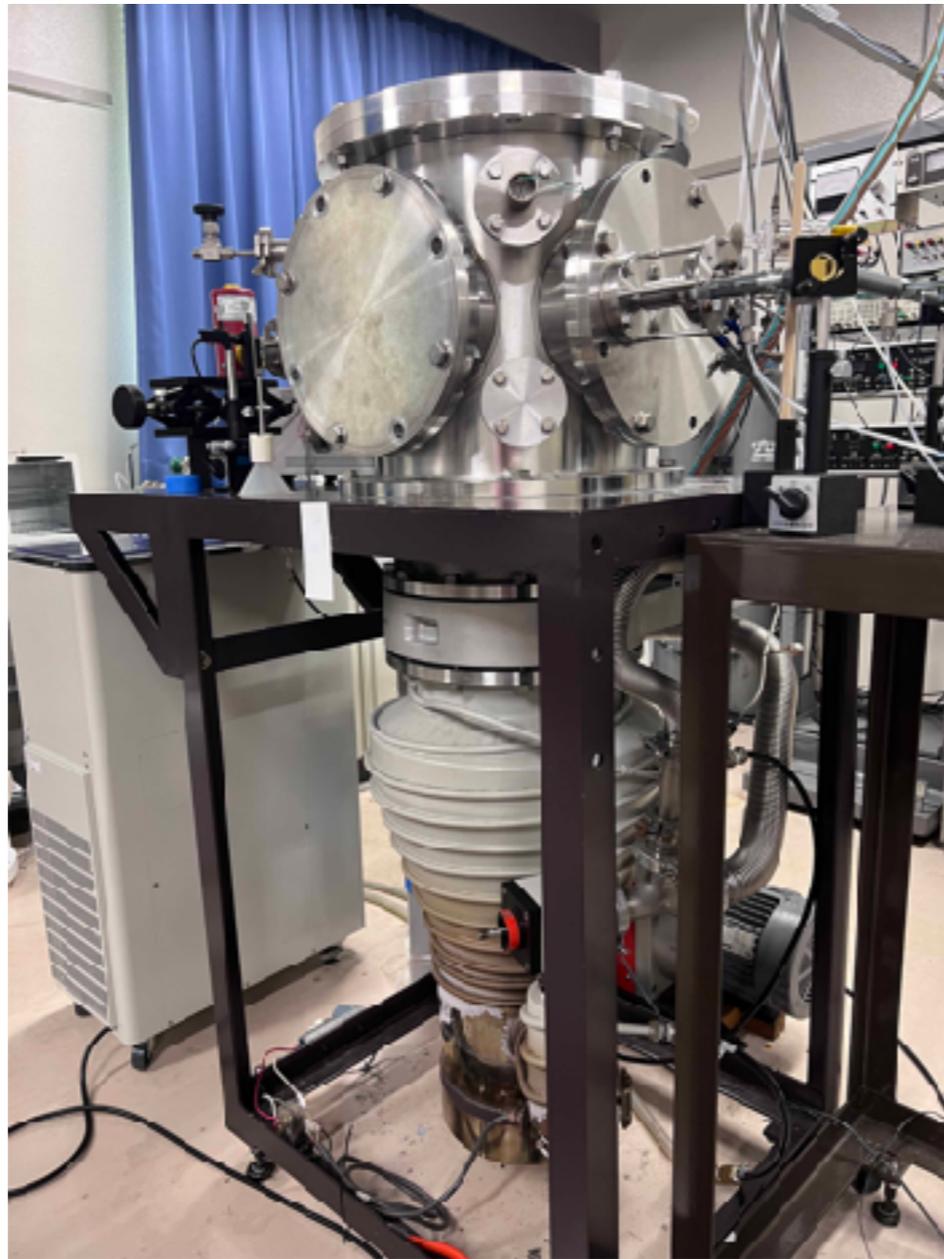


強結合によりH<sub>2</sub>Oの双極子モーメントが小さくなっているかも

松本の妄想：まさか強結合でOH結合距離が短くなってる??  
だとしたら…面白すぎるぞ

# 松本と共振器分子科学

## 赤外分光による分子クラスターの構造解明



高真空の金属容器

$\sim 3 \times 10^{-6}$  Torr  
( $\sim 10$ 億分の1気圧)

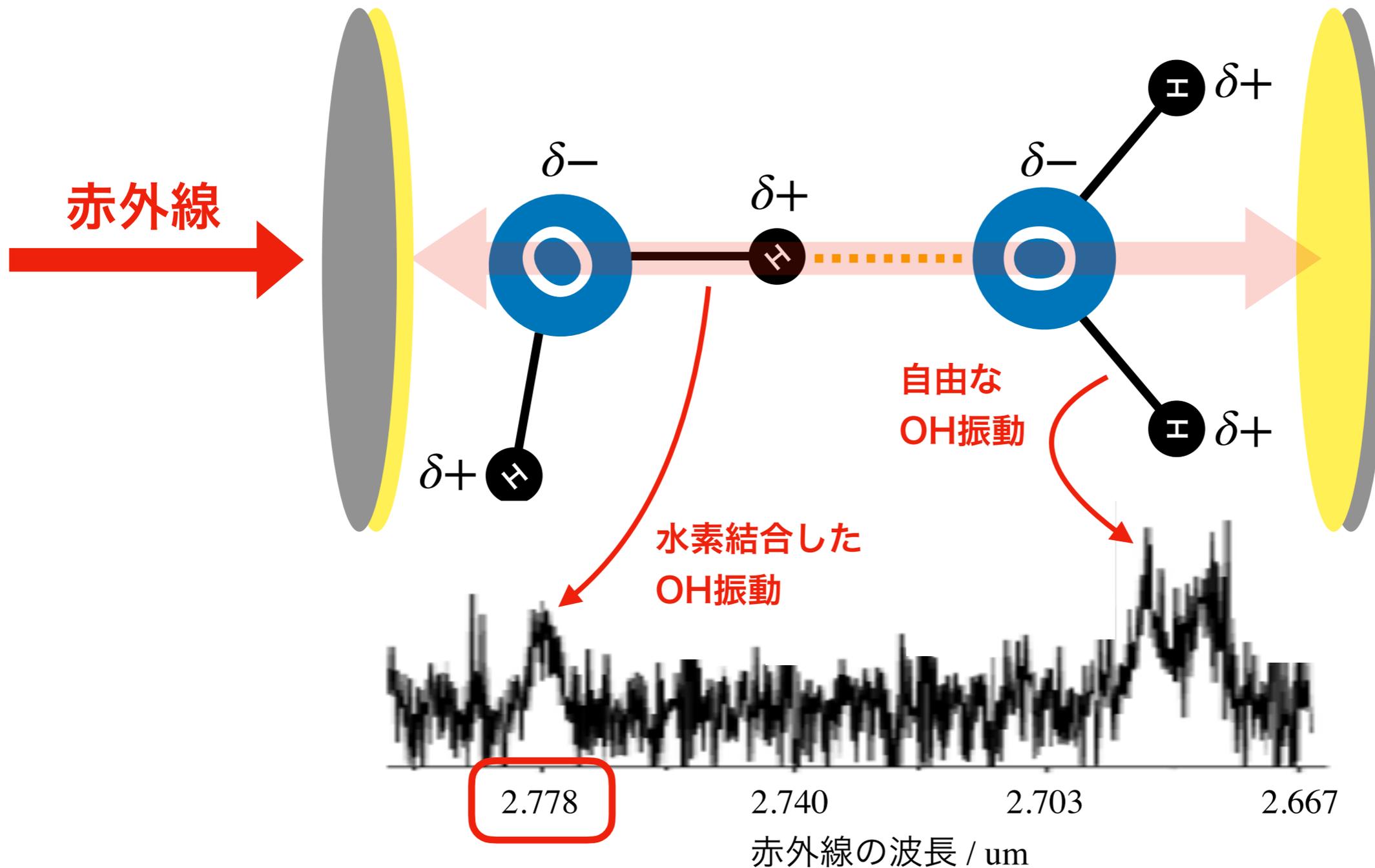
# 松本と共振器分子科学

## 赤外分光による分子クラスターの構造解明



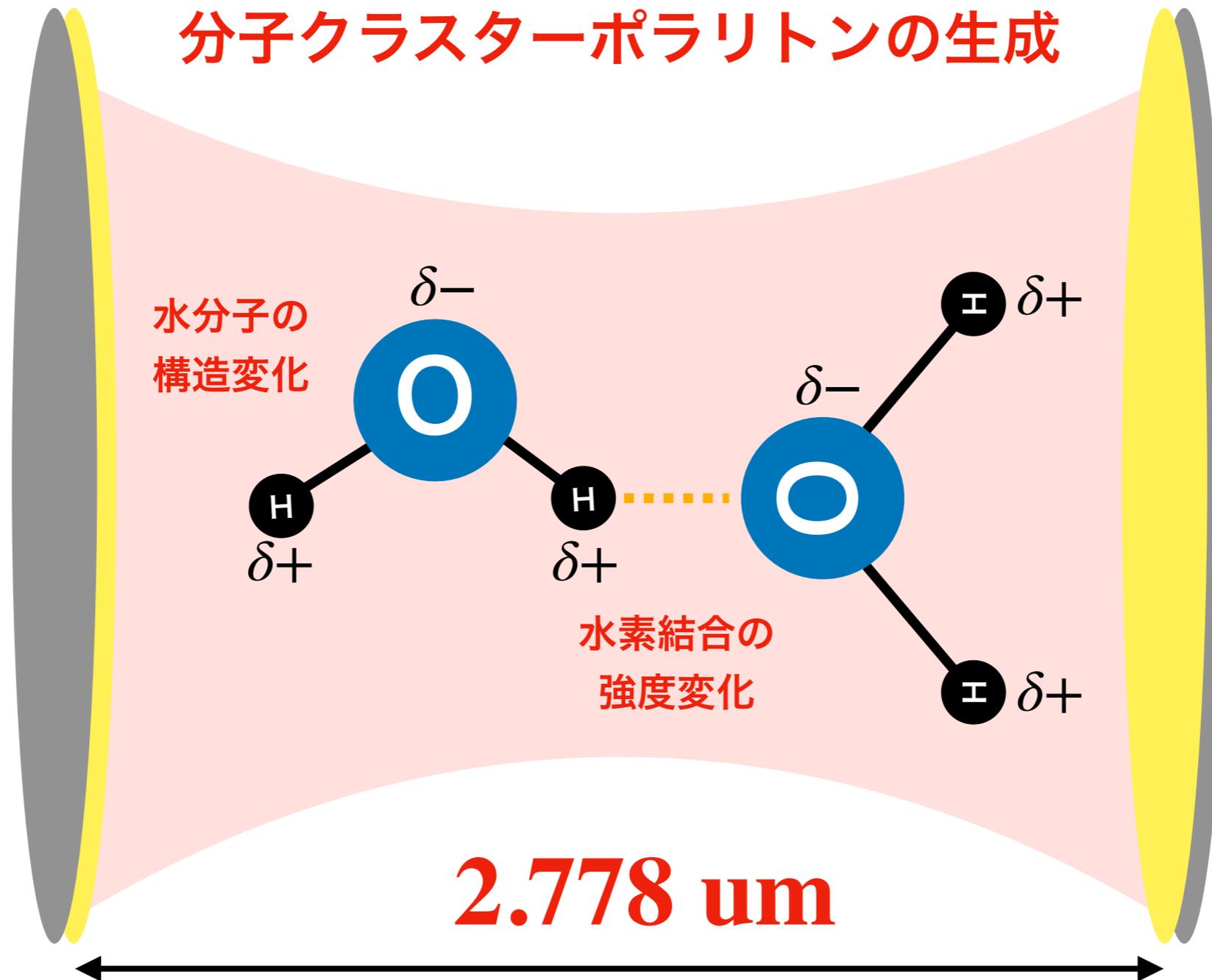
# 松本と共振器分子科学

## 赤外分光による分子クラスターの構造解明



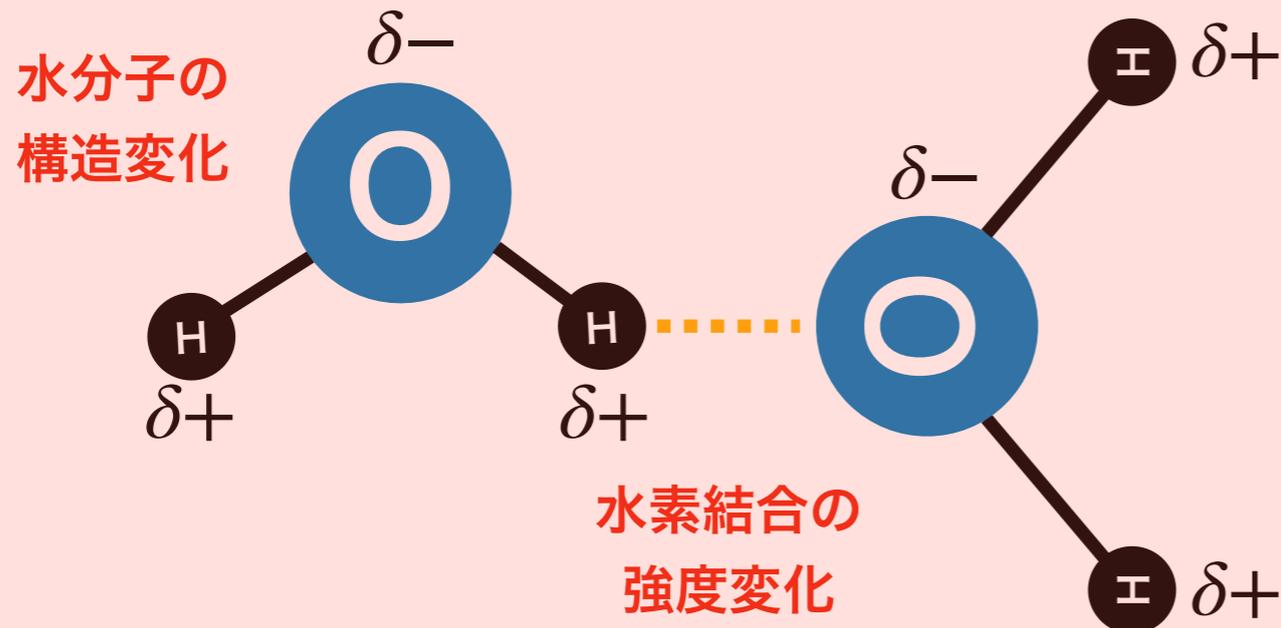
# 未来の共振器分子科学

## 分子クラスターポラリトンの生成



# 前途多難です…

## 分子クラスターポラリトンの生成



**2.778  $\mu\text{m}$**

## 究極の低濃度

空気中の水蒸気の10億分の1



一般的なポラリトン生成は  
クラスターの10億倍の濃度

## 構造決定の困難さ

どうやって赤外スペクトルを測定？

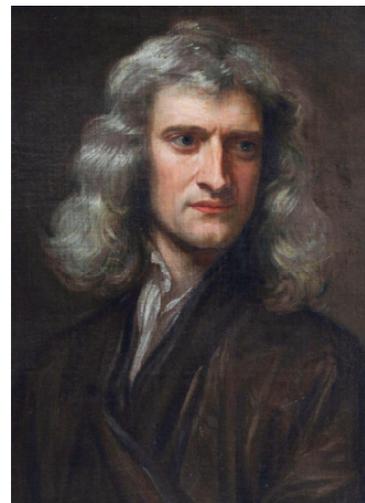
5年後のサイエンスカフェで  
お話できればいいなあ…

# 最後に…

- 人類の長い歴史は、危機的状況の遭遇とそれを克服しての勝利を繰り返して進んできたのだと思います。
- 時間が経ってこのコロナ禍を振り返ったとき、「大変だったが、あれがあったからこそ人類の発展があったのだ」と思いたい。

歴史上で最初の革新的な研究はニュートンのスペクトル測定 (1666)

ペストの大流行



<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=37337>による

