

---

# イオンー分子錯体の赤外分光と反応

井口佳哉

構造物理化学研究グループ

# 謝辞

---



江幡孝之 教授 (広島大)  
永田 敬 教授 (東京大)  
西 信之 教授 (分子研)  
村岡 梓 博士 (東京大)  
小林悠亮 さん, 川上愛子さん,  
松島陵子 さん, 土井啓右 さん (広島大)



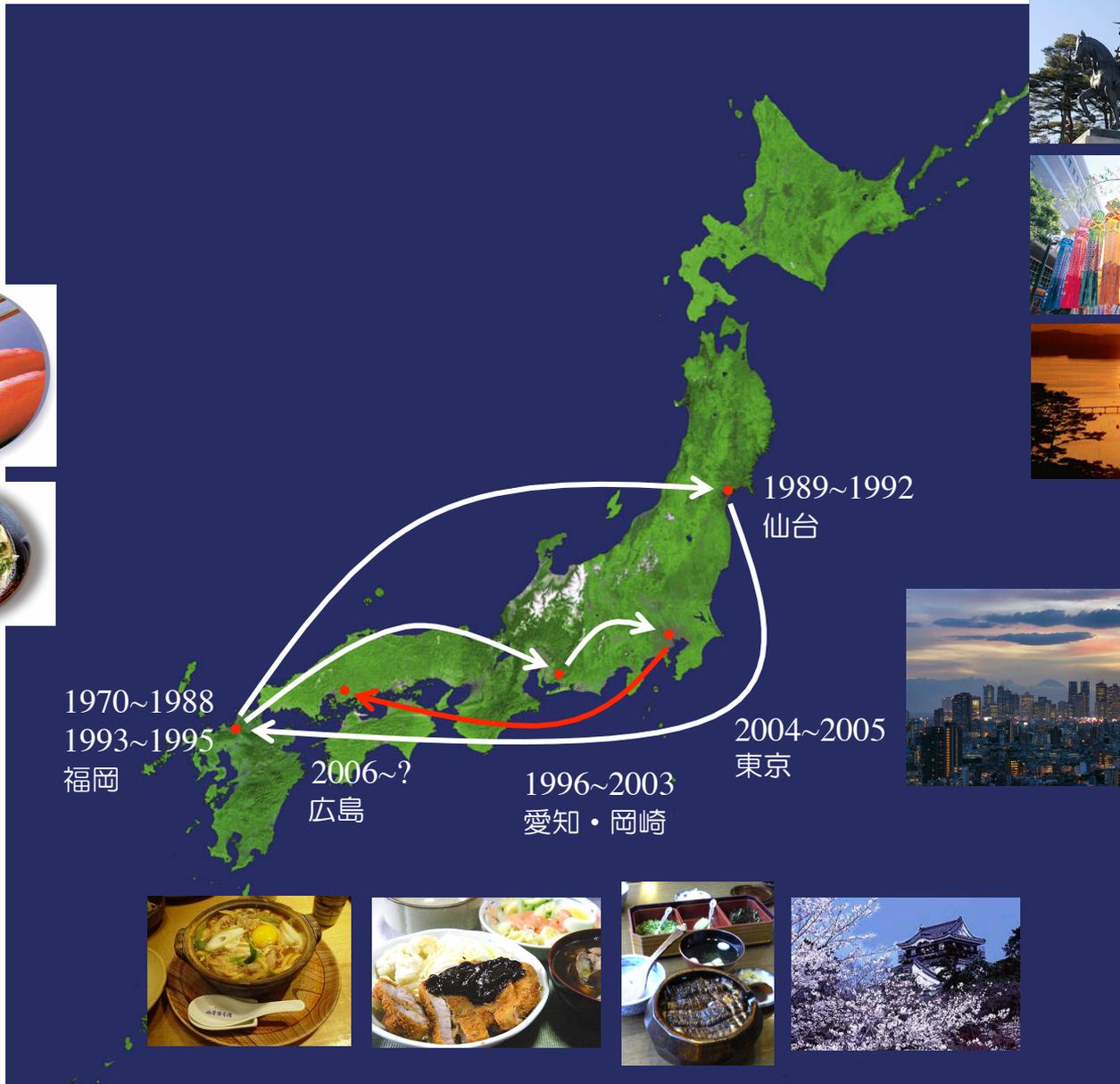
文部科学省 科学研究費補助金  
三菱化学研究奨励基金

# あらすじ

---

- なぜイオン-分子錯体を研究するのか？
- どんな実験を行っているか？
- その実験結果からどんなことがわかるか？

# いろいろ行きました



# なぜイオン？

---

温泉が好きです、特に  
源泉かけ流しが。。。

広島県江田島市 能美海上ロッジ

泉質 ナトリウム・カルシウム-塩化物泉  
成分総量 22 g/kg

島根県赤来町 加田の湯

泉質 ナトリウム・カルシウム-炭酸水素塩・塩化物泉  
成分総量 7.33 g/kg

指示用新泉質名	旧泉質名(塩類泉表記)	新泉質名(イオン表記)	※化学的特徴は赤字で表記
単純温泉	1.単純温泉	単純温泉・アルカリ性単純温泉	泉温が25℃以上で、固形成分は水1kg中100mg未満。一般に無色透明、無味、無臭
二酸化炭素泉	2.単純炭酸泉	単純二酸化炭素泉	二酸化炭素1000mg以上含み酸味
炭酸水素塩泉	3.重碳酸土類泉	カルシウム(マグネシウム)-炭酸水素塩泉	除イオンは炭酸水素イオン 陽イオン+カルシウムイオンと マグネシウムイオンが主成分
	a.単純炭酸土類泉	カルシウム(マグネシウム)-炭酸水素塩泉	
	b.含純炭一土類泉	含二酸化炭素-カルシウム(マグネシウム)-炭酸水素塩泉	
	c.含食塩-重碳酸土類泉	カルシウム(マグネシウム)・ナトリウム-炭酸水素塩・塩化物泉	
	d.含芒硝-重碳酸土類泉	カルシウム(マグネシウム)・ナトリウム-炭酸水素塩・硫酸塩泉	
	4.重曹泉	ナトリウム-炭酸水素塩泉	
	a.純重曹泉	ナトリウム-炭酸水素塩泉	
	b.含炭酸-重曹泉	含二酸化炭素-ナトリウム-炭酸水素塩泉	
	c.含食塩-重曹泉	ナトリウム-炭酸水素塩・塩化物泉	
	d.含芒硝-重曹泉	ナトリウム-炭酸水素塩・硫酸塩泉	
e.含食塩・芒硝-重曹泉	ナトリウム-炭酸水素塩・塩化物・硫酸塩泉		
f.含土類-重曹泉	ナトリウム・カルシウム(マグネシウム)-炭酸水素塩泉		
塩化物泉	5.食塩泉	ナトリウム-塩化物泉	除イオンは塩素イオン 陽イオン+ナトリウムイオンが主成分 塩辛い
	a.純食塩泉	ナトリウム-塩化物泉	
	b.含炭酸-食塩泉	含二酸化炭素-ナトリウム-塩化物泉	
	c.強食塩泉	ナトリウム-塩化物強塩泉	
	d.弱食塩泉	ナトリウム-塩化物泉	
	e.含重曹-食塩泉	ナトリウム-塩化物・炭酸水素塩泉	
	f.含芒硝-食塩泉	ナトリウム-塩化物・硫酸塩泉	
	g.含芒硝-重曹-食塩泉	ナトリウム-塩化物・硫酸塩・炭酸水素塩泉	
	h.含塩化土類-食塩泉	ナトリウム・カルシウム(マグネシウム)-塩化物泉	
	i.含土類-食塩泉	ナトリウム・カルシウム(マグネシウム)-塩化物・炭酸水素塩泉	
	j.含土類・石膏-食塩泉	ナトリウム・カルシウム-塩化物・炭酸水素塩・硫酸塩泉	
	k.含臭素-食塩泉	ナトリウム-塩化物泉	
	l.含ヨウ素-食塩泉	ナトリウム-塩化物泉	
	m.含臭素・ヨウ素-食塩泉	ナトリウム-塩化物泉	
n.含水ウ酸-食塩泉	ナトリウム-塩化物泉		

指示用新泉質名	旧泉質名(塩類泉表記)	新泉質名(イオン表記)	※化学的特徴は赤字で表記	
硫酸塩泉	6.硫酸塩泉	硫酸塩泉	除イオンは硫酸イオンが主成分 カルシウムイオン・ナトリウムイオン 芒硝泉(石膏泉)を主成分	
	a.純硫酸塩泉	硫酸塩泉		
	b.正苦味泉	マグネシウム-硫酸塩泉		
	c.芒硝泉	ナトリウム-硫酸塩泉		
	d.石膏泉	カルシウム-硫酸塩泉		
	e.含食塩-芒硝泉	ナトリウム-硫酸塩・塩化物泉		
	f.含食塩-石膏泉	カルシウム・ナトリウム-硫酸塩・塩化物泉		
	g.含食塩-正苦味泉	マグネシウム・ナトリウム-硫酸塩・塩化物泉		
	7.鉄泉	鉄泉		炭酸鉄泉は、除イオンは炭酸水素イオンが主成分 湯出時は無色だが、空気中で酸化して 褐色の沈殿物を生じやすい
	(1)炭酸鉄泉	(鉄)炭酸水素塩泉		
a.単純炭酸鉄泉	単純鉄( )炭酸水素塩型			
b.含炭素-鉄泉	含鉄・二酸化炭素-カルシウム-炭酸水素塩泉			
c.土類炭酸鉄泉	カルシウム(マグネシウム)・鉄( )炭酸水素塩泉 or 鉄( )カルシウム(マグネシウム)-炭酸水素塩泉			
・純土類炭酸鉄泉	カルシウム(マグネシウム)・鉄( )炭酸水素塩泉 or 鉄( )カルシウム(マグネシウム)-炭酸水素塩泉			
・含食塩-土類炭酸鉄泉	カルシウム(マグネシウム)・ナトリウム・鉄( )炭酸水素塩・塩化物泉 or 鉄( )カルシウム(マグネシウム)・ナトリウム-炭酸水素塩・塩化物泉			
・含芒硝-土類炭酸鉄泉	カルシウム(マグネシウム)・ナトリウム・鉄( )炭酸水素塩・硫酸塩泉 or 含鉄( )カルシウム(マグネシウム)・ナトリウム-炭酸水素塩・硫酸塩泉			
(2)重曹炭酸鉄泉	ナトリウム鉄( )炭酸水素塩泉 or 含鉄( )ナトリウム-炭酸水素塩泉			
a.純重曹-炭酸鉄泉	ナトリウム鉄( )炭酸水素塩泉 or 含鉄( )ナトリウム-炭酸水素塩泉			
b.含食塩-重曹炭酸鉄泉	ナトリウム・鉄( )炭酸水素塩・塩化物泉 or 含鉄( )ナトリウム-炭酸水素塩・塩化物泉			
c.含芒硝-重曹炭酸鉄泉	ナトリウム・鉄( )炭酸水素塩・硫酸塩泉 or 含鉄( )ナトリウム-炭酸水素塩・硫酸塩泉			
d.含食塩・芒硝-重曹炭酸鉄泉	ナトリウム・鉄( )炭酸水素塩・塩化物・硫酸塩泉 or 含鉄( )ナトリウム-炭酸水素塩・塩化物・硫酸塩泉			
(3)重曹炭酸鉄泉	ナトリウム・カルシウム(マグネシウム)・鉄( )炭酸水素塩泉 or 含鉄( )ナトリウム・カルシウム(マグネシウム)-炭酸水素塩泉			
a.含土類-重曹炭酸鉄泉	ナトリウム・鉄( )塩化物・炭酸水素塩泉 or 含鉄( )ナトリウム塩化物(炭酸水素塩)泉			
(4)含食塩-炭酸鉄泉	ナトリウム・鉄( )硫酸塩・炭酸水素塩泉 or 含鉄( )ナトリウム硫酸塩(炭酸水素塩)泉			
(5)含硫酸塩-炭酸鉄泉				
8.緑礬泉	(鉄)硫酸塩泉	硫酸塩泉は、硫酸イオン以上を主成分硫酸水素を含まない 硫酸水素泉は、硫酸水素イオンを含む(ゆ卵の湯)を含まない 湯出時は無色透明だが、空気中で酸化して 黄色が沈殿して白濁する		
a.単純緑礬泉	単純鉄( )硫酸塩型			
b.酸性緑礬泉	酸性鉄( )硫酸塩泉			
c.含ヒ素緑礬泉	鉄( )硫酸塩泉			
d.含明礬-緑礬泉	アルミニウム・鉄( )硫酸塩泉 or 含鉄( )アルミニウム-硫酸塩泉			
含アルミニウム泉	含明礬-緑礬泉		アルミニウム・鉄( )硫酸塩泉 or 含鉄( )アルミニウム-硫酸塩泉	
含銅-鉄泉	含銅-酸性緑礬泉		酸性含銅・鉄( )硫酸塩泉	
硫酸泉	9.硫酸泉		硫酸泉	硫酸泉は、硫酸イオン以上を主成分硫酸水素を含まない 硫酸水素泉は、硫酸水素イオンを含む(ゆ卵の湯)を含まない 湯出時は無色透明だが、空気中で酸化して 黄色が沈殿して白濁する
	(1)硫酸泉		硫酸泉	
	a.単純硫酸泉		単純硫酸泉	
	b.含食塩-硫酸泉	含硫酸-ナトリウム-塩化物泉		
	c.含食塩重曹-硫酸泉	含硫酸-ナトリウム-塩化物・炭酸水素塩泉		
	(2)硫化水素泉	水素塩泉		
	a.単純硫化水素泉	硫酸泉(硫化水素型)単純硫酸泉(硫化水素)		
	b.酸性硫化水素泉	酸性含硫酸(ナトリウム)-硫酸塩泉(硫化水素型)		
	c.土類硫化水素泉	含硫酸-カルシウム(マグネシウム)-炭酸水素塩泉(硫化水素型)		
	・含食塩-土類硫化水素泉	含硫酸カルシウム(マグネシウム)ナトリウム炭酸水素塩・塩化物泉(硫化水素型)		
	・含石膏-土類硫化水素泉	含硫酸カルシウム(マグネシウム)-炭酸水素塩・硫酸塩泉(硫化水素型)		
	d.重曹硫化水素泉	含硫酸-ナトリウム-炭酸水素塩泉(硫化水素型)		
	・重曹硫化水素泉	含硫酸-ナトリウム-炭酸水素塩泉(硫化水素型)		
	・含芒硝-重曹硫化水素泉	含硫酸-ナトリウム-炭酸水素塩・硫酸塩泉(硫化水素型)		
	e.塩化物硫化水素泉			
	・食塩硫化水素泉	含硫酸-ナトリウム-塩化物泉(硫化水素型)		
	・塩化土類硫化水素泉	含硫酸-カルシウム(マグネシウム)-塩化物泉(硫化水素型)		
	・含重曹-食塩硫化水素泉	含硫酸-ナトリウム-塩化物・炭酸水素塩泉(硫化水素型)		
	・含石膏-食塩硫化水素泉	含硫酸-ナトリウム・カルシウム-塩化物・硫酸塩泉(硫化水素型)		
f.硫酸塩硫化水素泉				
・石膏硫化水素泉	含硫酸-カルシウム-硫酸塩泉(硫化水素型)			
・含食塩-芒硝硫化水素泉	含硫酸-ナトリウム-硫酸塩・塩化物泉(硫化水素型)			
・含食塩-石膏硫化水素泉	含カルシウム・ナトリウム-硫酸塩・塩化物泉(硫化水素型)			
酸性泉	10.酸性泉	単純酸性泉	塩酸や硫酸のような遊離鉱酸を構成し酸味がある	
a.単純酸性泉				
放射能泉	11.放射能泉	単純弱放射能泉 単純放射能泉 含弱放射能-〇-〇泉 or 含放射能-〇-〇泉	ラドンを100μBq/lの30 キュリー以上 またはラジウムを1μBq/l の10mg以上含む	

温泉の中には  
イオンがいっぱい

# こういう商品もあります

SHARP

製品情報トップ

白物家電ポータルトップ

リビング・生活家電製品一覧

検索

GO

## プラズマクラスターイオン発生機

プレゼンテーションをみる

使う場所・目的に合わせて選べるラインアップ、新登場。

家族の健康と環境を考えた  
プラズマクラスター  イオン発生機

リビングタイプ  
**NEW** IG-B200

パーソナルタイプ  
IG-A100

ポータブルタイプ  
**NEW** IG-B20

<http://www.sharp.co.jp/pcig/index.html>

お部屋の中もイオンで  
いっぱいにしてませんか？

# プラズマ，クラスター，OHラジカル

## プラズマクラスターイオン発生機

プラズマクラスターイオン発生機トップ > 高濃度プラズマクラスター

さらに進化した空中除菌力、高濃度「プラズマクラスター」

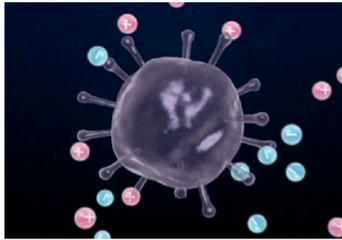
さらに進化した空中除菌力  
高濃度「プラズマクラスター」

- プラズマクラスターのしくみ
- プラズマクラスターの効果
- 信頼と実績の空中除菌力

### プラズマクラスターのしくみ

自然界にあるのと同じ+(プラス)と-(マイナス)のイオンをプラズマ放電により作り出し放出。浮遊するカビ菌やウイルスを空中で分解・除去するシャープ独自の空中除菌技術が「プラズマクラスター」技術です。

シャープの特許(特許第3680121号 取得済み)



- 当商品には、浮遊ウイルス等を分解・除去する機能はありますが、これによって無菌状態がつけられるものではなく、感染予防を保証するものではありません。
- それぞれの実際のイオン個数や除菌・浄化効果は、お部屋の状況や使い方によって異なります。

\* 当技術マークの数字は、高濃度プラズマクラスターイオン発生ユニット搭載のプラズマクラスターイオン発生機を壁際に置いて、風量最大運転時に適用床面積の部屋の中央付近(床から高さ1.2m)の地点で測定した空中に吹き出される1cm<sup>3</sup>当たりのイオン個数の目安です。

### ラインアップ

- ▶ IG-B200 リビングタイプ
- ▶ IG-A100 パーソナルタイプ
- ▶ IG-B20 ポータブルタイプ

さらに進化した空中除菌力  
高濃度「プラズマクラスター」

プラズマクラスターで、  
おうち、まるごと、いい空気。

### 広告ライブラリー

シャープ  
なるほど劇場

### お客様サポート

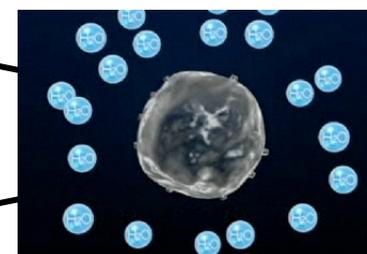
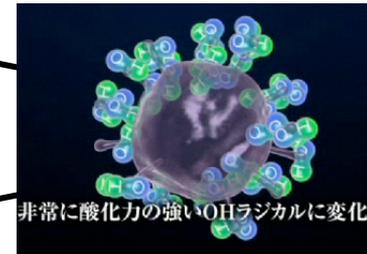
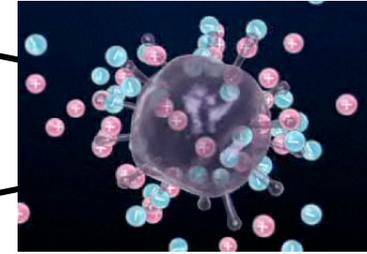
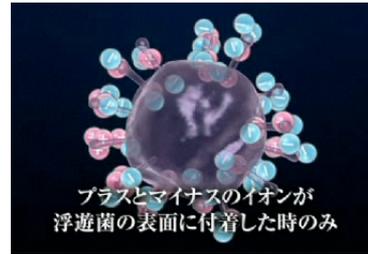
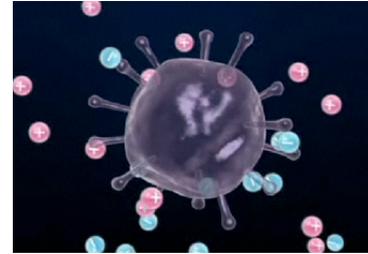
サポート・お問い合わせ

### 交換用プラズマクラスターイオン発生ユニット

- ▶ IG-B200用
- ▶ IG-A100用
- ▶ IG-B20用

### いい暮らしストア

みんなまでよろよう進めよう  
みんなまでよろよう進めよう  
みんなまでよろよう進めよう



<http://www.sharp.co.jp/pcig/feature>

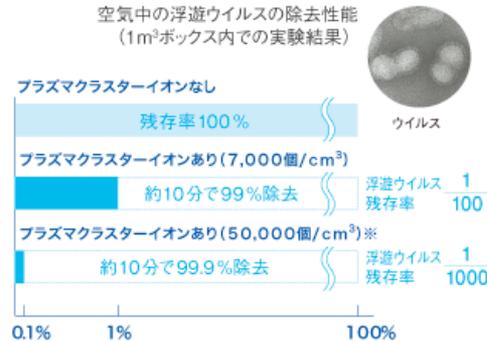
反物のみなさん，OHラジカルですよ！

# こんなところに広島大が

## プラズマクラスターの効果

### ウイルスを分解・除去

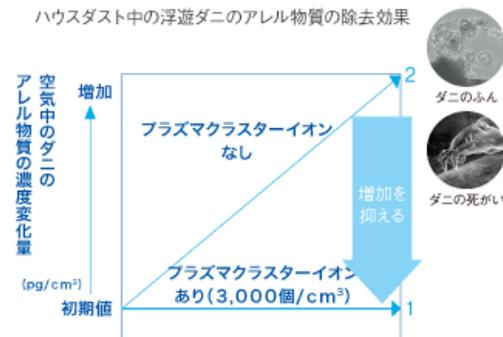
高濃度「プラズマクラスター」が浮遊ウイルスを強力に分解・除去。浮遊ウイルスを1/1000まで除去します。



- 試験機関: イギリス レトロスクリーン・バイロロジー社
- 試験方法: 1m<sup>3</sup>ボックスにウイルスを浮遊させ、空気中のウイルス除去率を測定。
- ※ IG-A100において、風量「強」運転時、本体から吹き出し方向に水平に1m(IG-B200は1.5m、IG-B20は0.25m)、床面からの高さ1.5m(IG-B200、IG-B20は1m)の地点で測定したイオン濃度です。

### アレル物質を分解・除去

ダニのふん・死がいなどの浮遊アレル物質のタンパク質を切断して除去、作用を低減します。



- 試験機関: 広島大学大学院 先端物質科学研究科
- 試験方法: 掃除をしない実際の居住空間(約8畳)でのダニのアレル物質の作用をELISA法で測定。結果より当社にて換算し、平均値を算出。(プラズマクラスターイオン濃度: 3,000個/cm<sup>3</sup>)

● 試験機関: 広島大学大学院 先端物質科学研究科

### カビ菌を分解・除去

浮遊カビ菌表面の細胞膜のタンパク質を切断して除去、活動を抑制します。

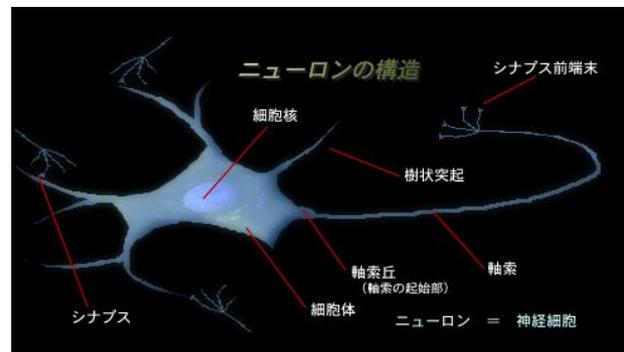
### 付着カビ菌を増殖抑制

高濃度化により浮遊カビ菌の分解に加え、付着しているカビ菌の増殖まで抑制します。

# イオンの特殊な機能

## ◆神経細胞における情報伝達

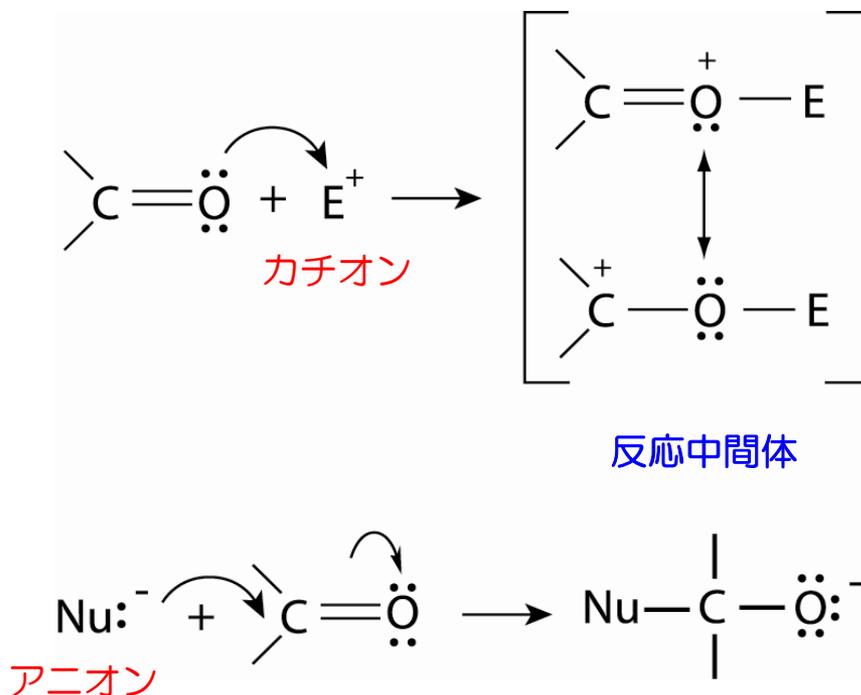
細胞膜におけるカリウムイオンチャネルの高いイオン選択性  
 $\text{Na}^+$ の $10^4$ 倍の透過率  
(cf. イオン半径:  $\text{Na}^+$  (0.97 Å),  $\text{K}^+$  (1.33 Å))



# イオンの特殊な機能

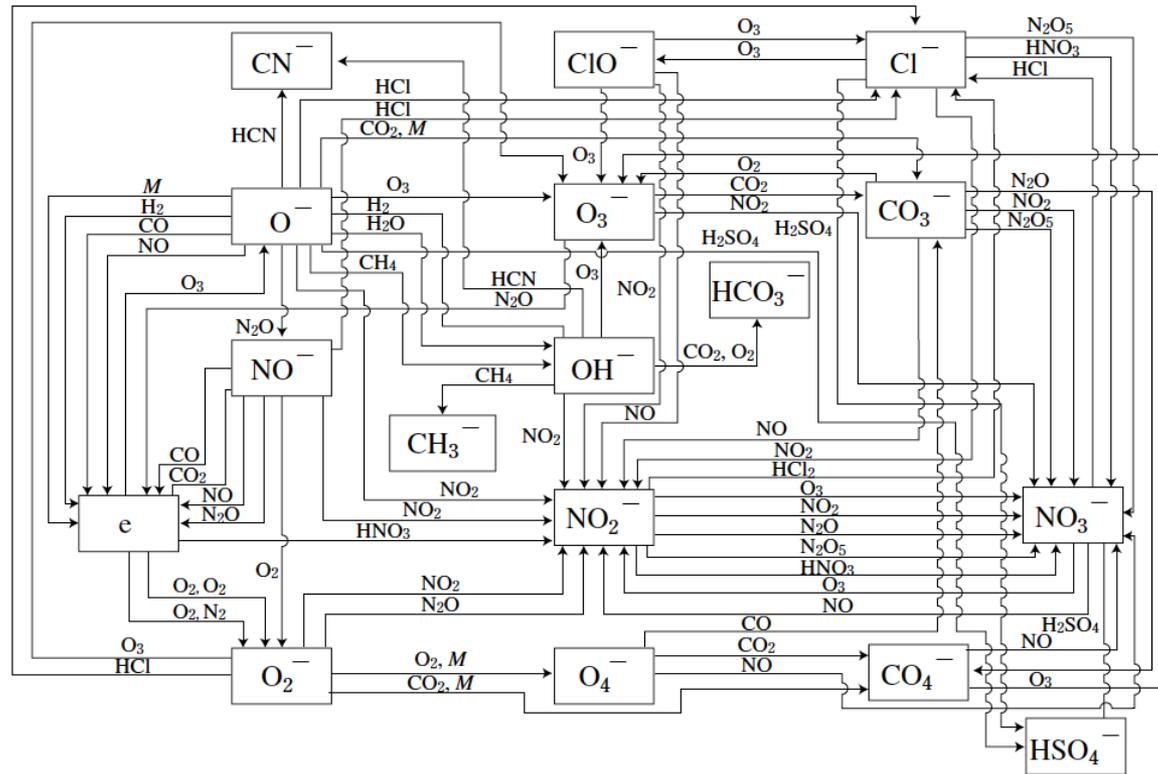
## ◆カルボニル基の求核付加反応

カルボニル基にイオンがアタック  
反応性が高まる



# イオンの特殊な機能

## ◆対流圏での負イオン反応



K. Nagato, エアロゾル研究, **18**, 15 (2003).

# なぜイオンなのか？

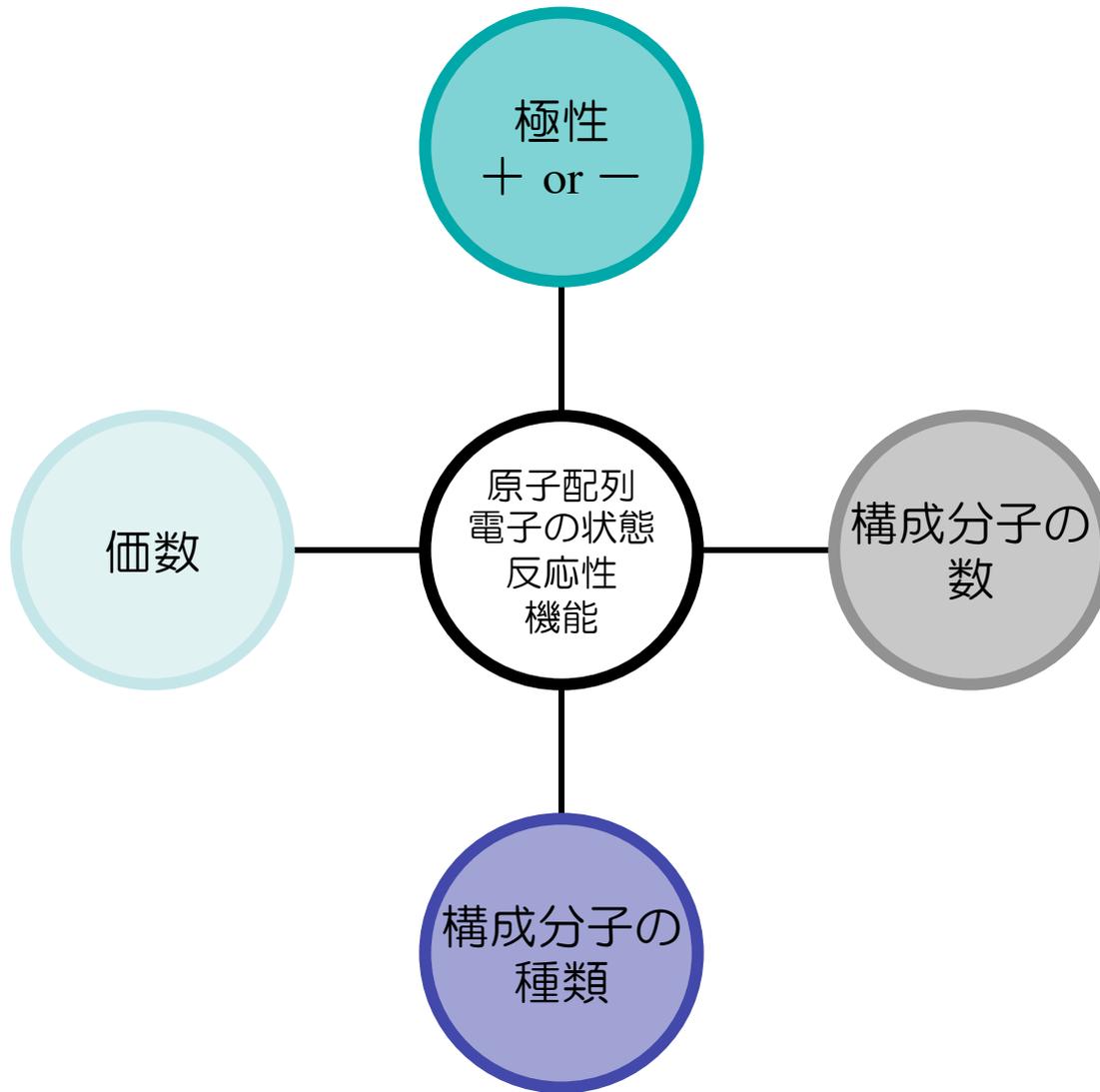
---



イオンは化学現象の源である!

# イオン-分子錯体の性質

---



質量選別法を  
併用した  
方法が有効

# 実験の手順

---

イオン-分子錯体を生成させる



質量選別で  
目的の種類 of 錯体を得る

飛行時間型  
質量分析計



吸収スペクトルを測定する

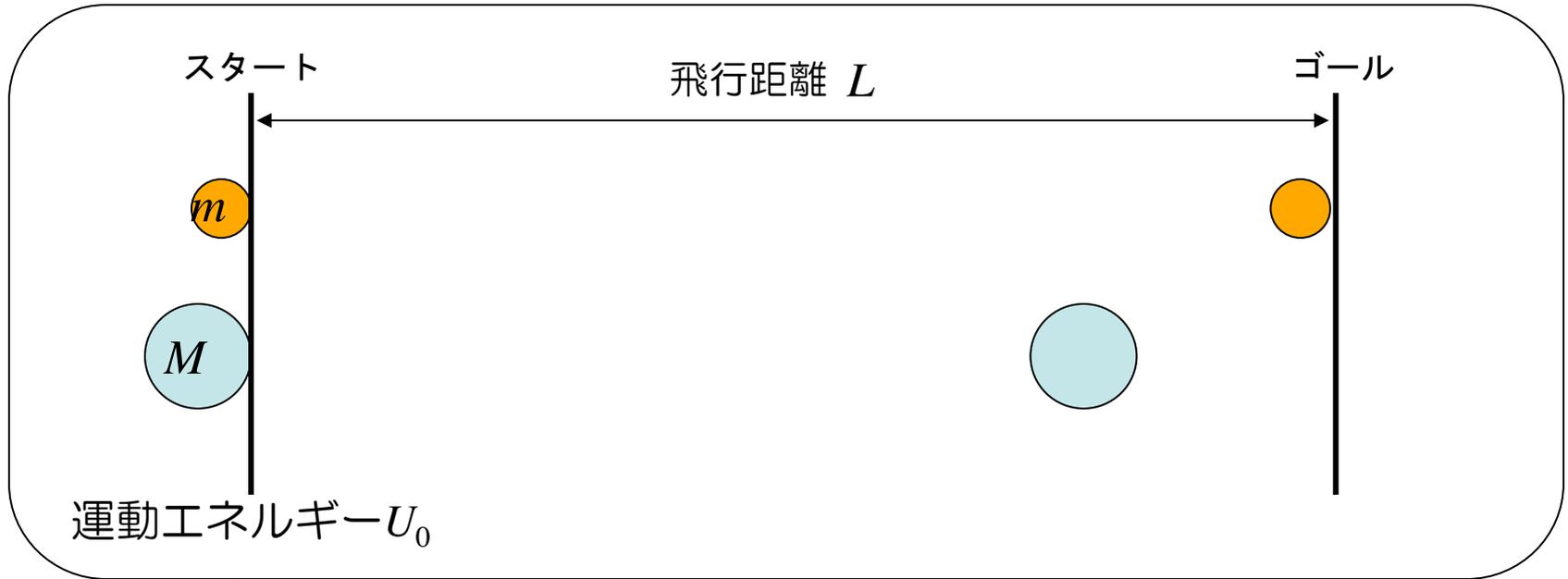
光解離分光法



スペクトルを解析して  
構造, 反応性の情報を得る

量子化学計算

# 飛行時間型質量分析計のしくみ



真空容器

$$\frac{1}{2}mv^2 = U_0$$

$$\text{速度 } v = \sqrt{\frac{2U_0}{m}}$$

$$\text{飛行時間 } t = \frac{L}{v} = \sqrt{\frac{m}{2U_0}} \propto \sqrt{m}$$

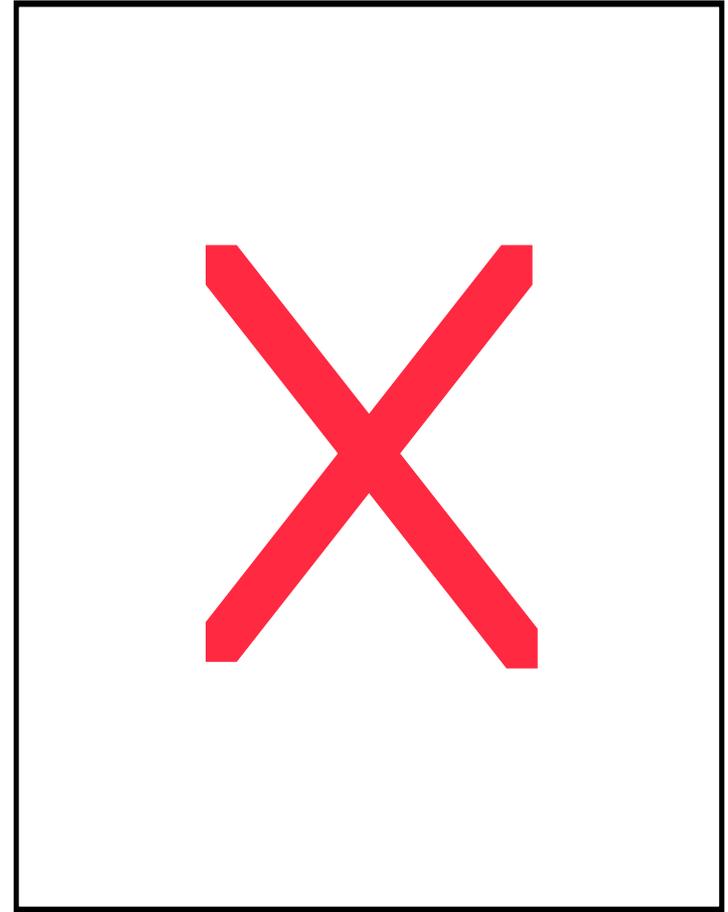
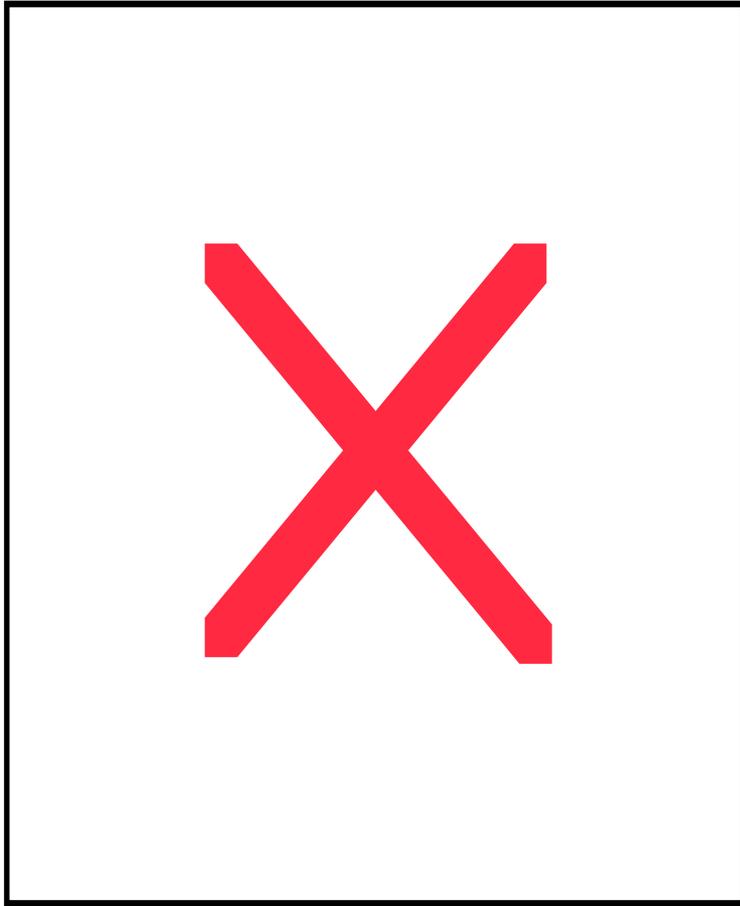
飛行時間は質量のルートに比例する

- 飛行時間から質量がわかる
- ある特定の質量のイオンのみを分けることができる

# 構造を調べるには，赤外分光が良さそう

---

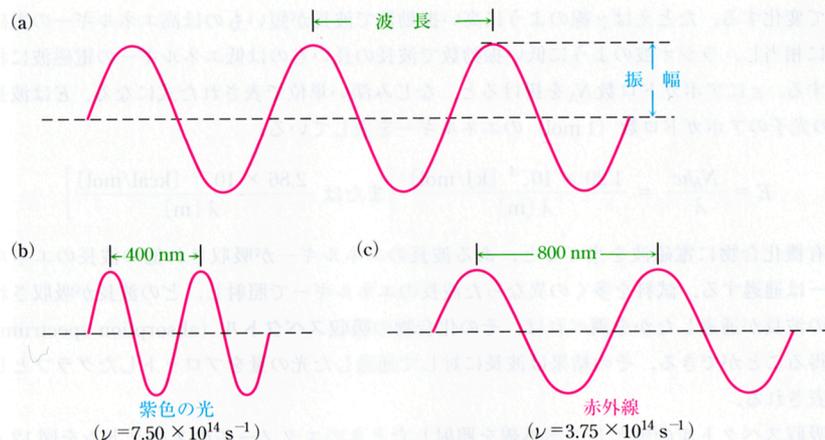
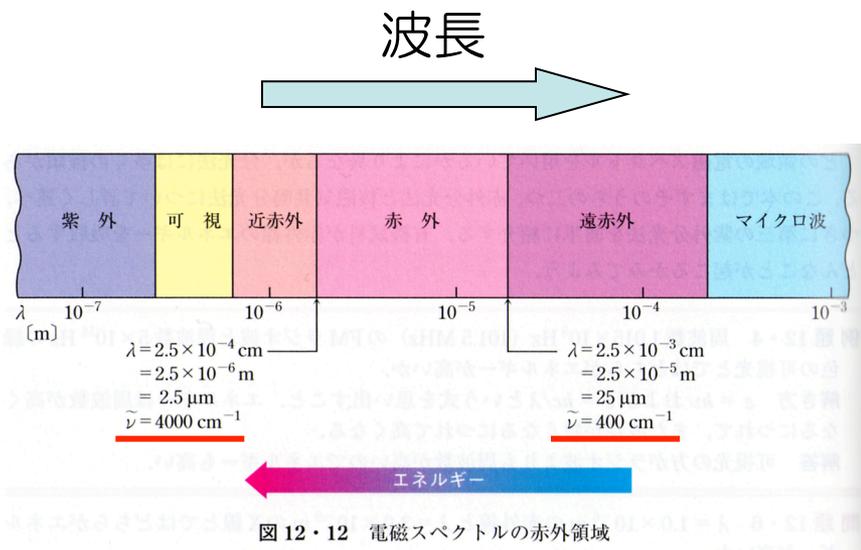
原子核の振動の様子（固有振動数）を観測する



マクマリー 有機化学

赤外吸収スペクトルより，イオン-分子錯体の構造がわかる

# 構造を調べるには，赤外分光が良さそう



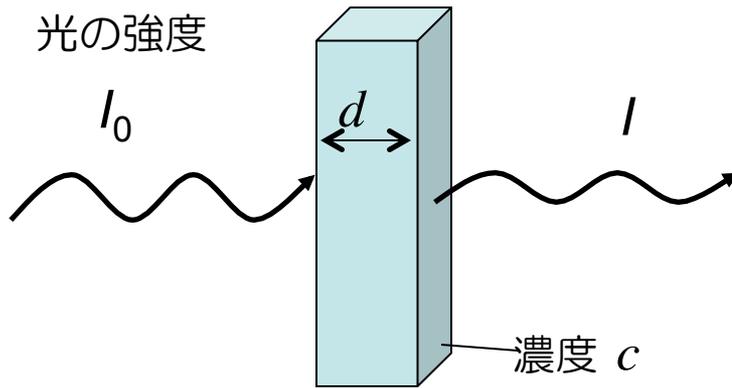
## マクマリー 有機化学

(光のエネルギー)  $\propto$  (振動数)  
 $\propto$  (波数)  
 $\propto 1 /$  (波長)

単位時間あたり光の波が振動する数。単位は  $s^{-1}$   
 1 cmあたりの光の波の山の数。単位は  $cm^{-1}$

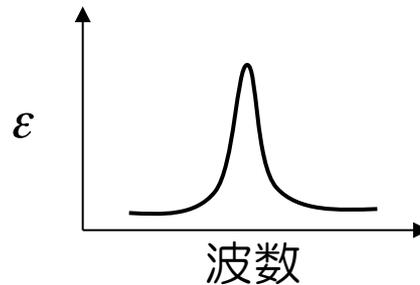
# 通常の吸収スペクトル

弱い光に大量の試料

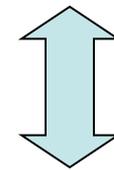


$$\varepsilon = -\frac{1}{cd} \log \frac{I}{I_0}$$

Lambert-Beerの法則



$10^{-4}$  mol/Lの溶液を  
1 mL準備する  
↓  
 $\sim 10^{18}$  個の分子が必要

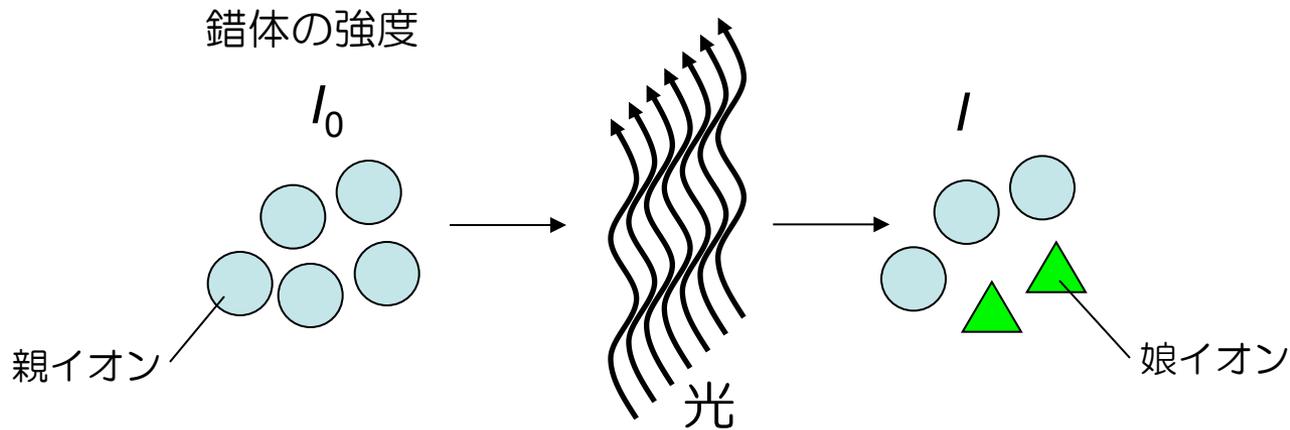


質量選別後の  
イオンの個数は  
 $\sim 10^6$  個

質量選別したイオン-分子錯体には使えそうにない

# 光解離分光法

強い光に少量の試料



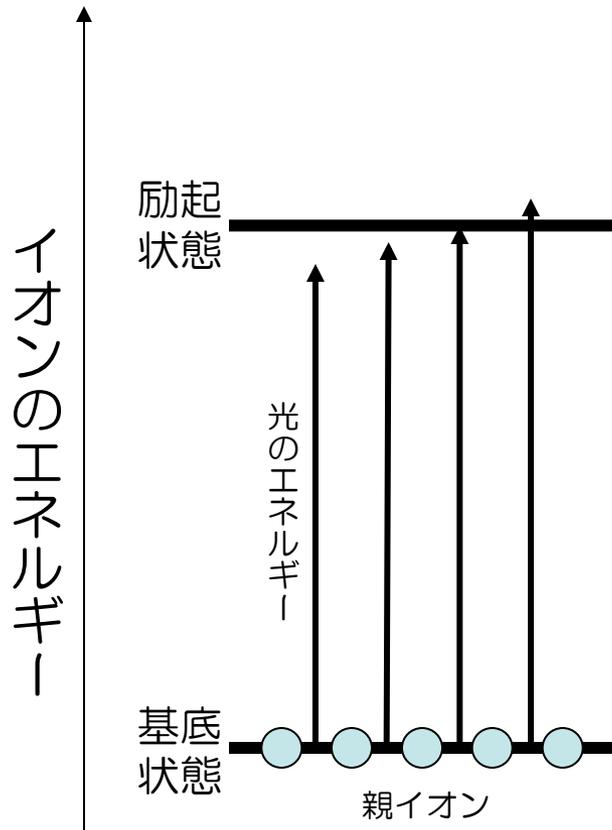
少量の親イオンに強い光のシャワーを浴びせる



光のエネルギーを吸収して、解離を起こす。  
親イオンの減少か、娘イオンの増加を検出する。

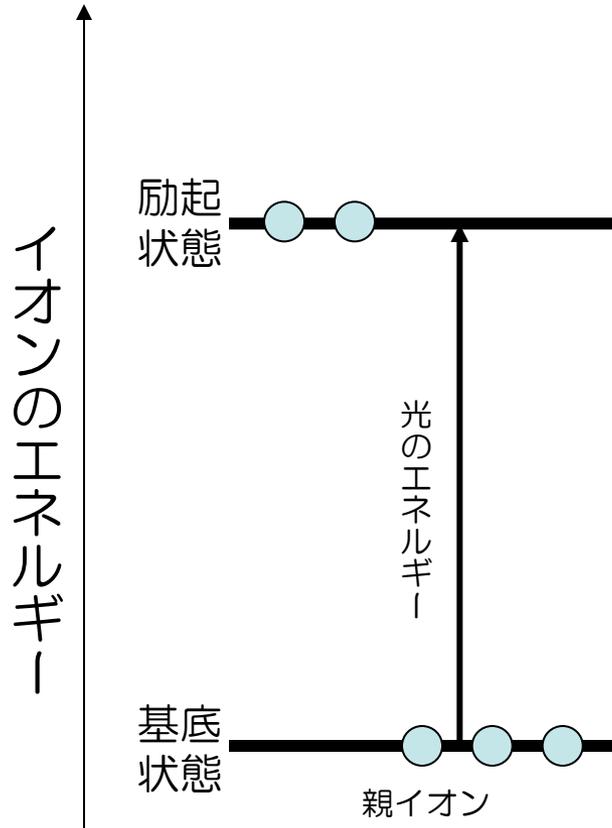
# なぜ光解離で吸収スペクトルが観測できるのか？

---



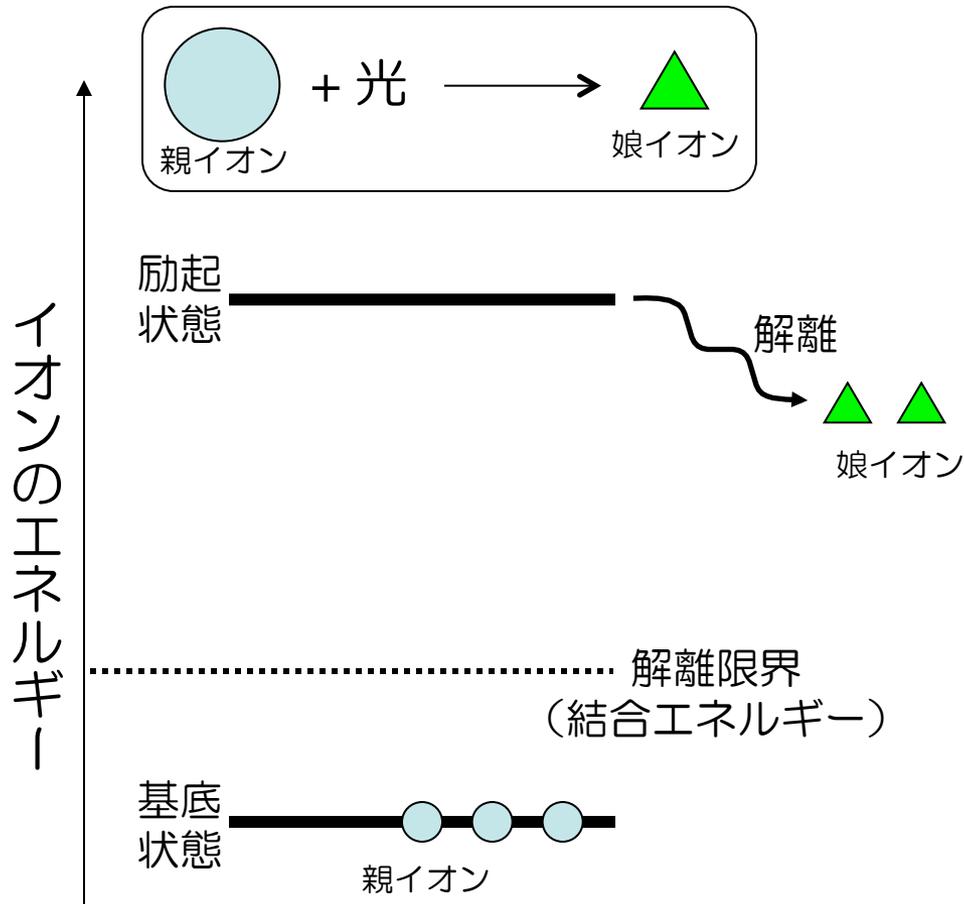
親イオンに対して  
光を照射し  
そのエネルギー（波数）を  
変えていく

# なぜ光解離で吸収スペクトルが観測できるのか？



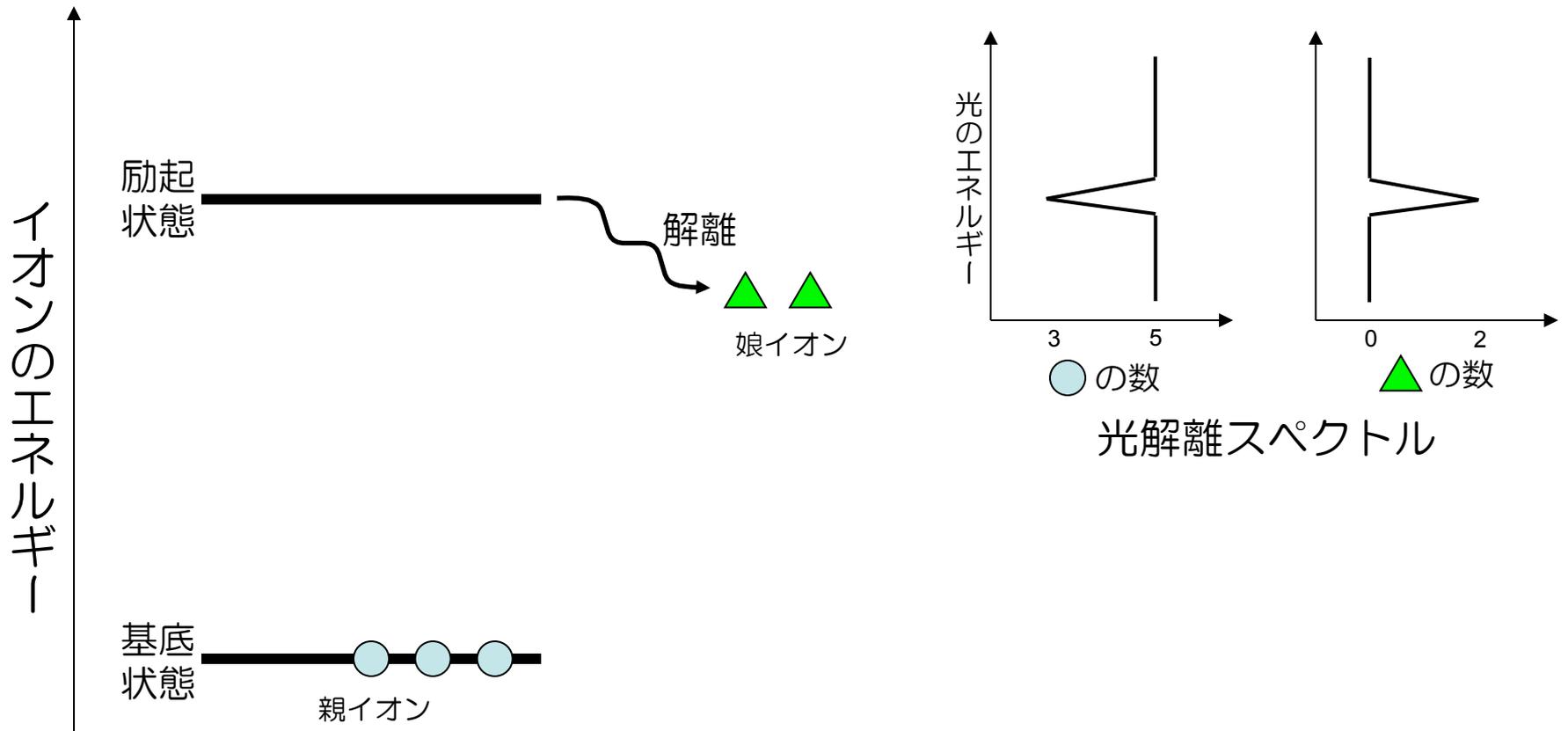
光のエネルギーが、状態間のエネルギー差に合ったとき、親イオンの一部は励起状態へと上がる。

# なぜ光解離で吸収スペクトルが観測できるのか？



励起された親イオンは娘イオンへと解離する

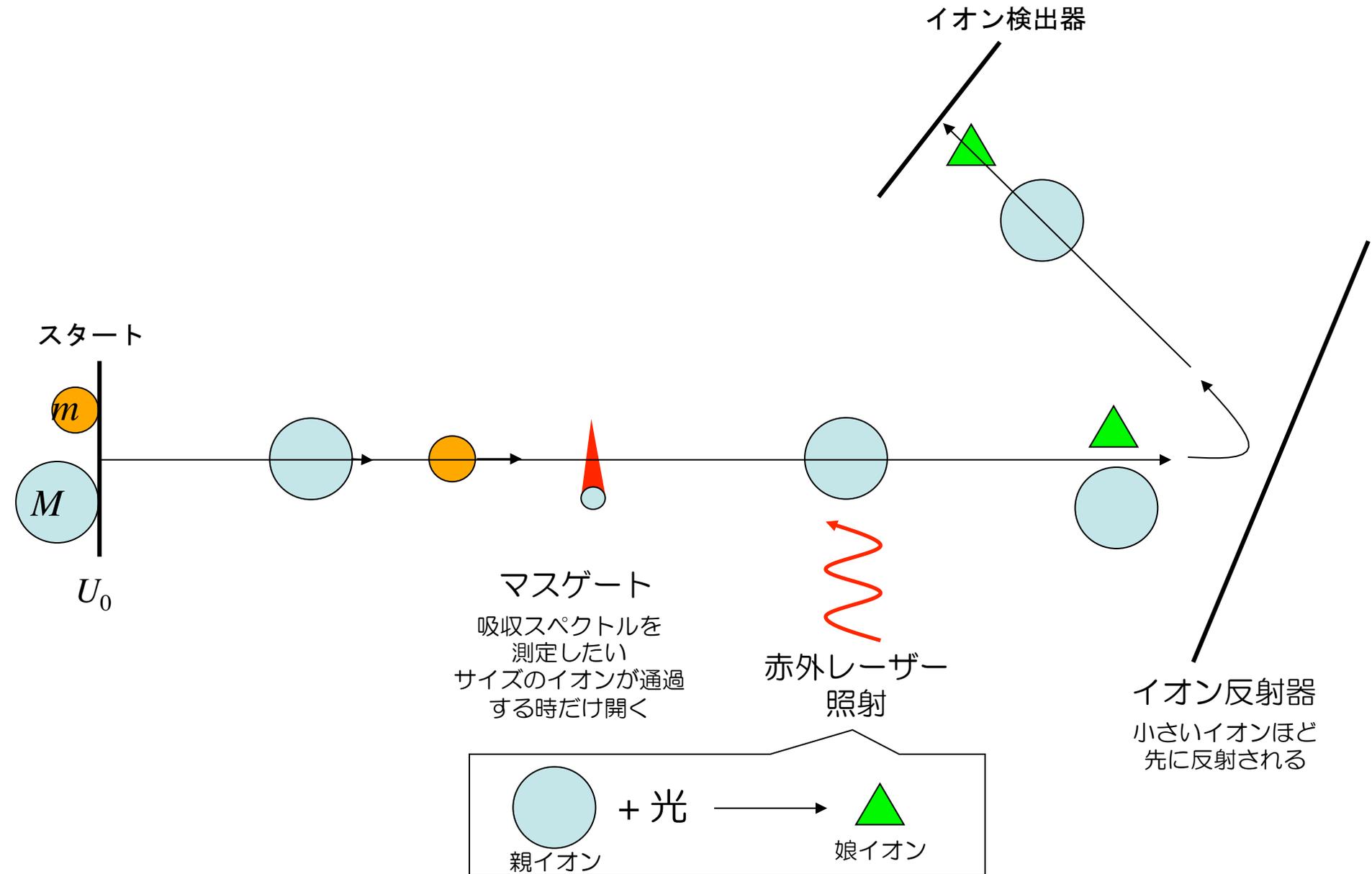
# なぜ光解離で吸収スペクトルが観測できるのか？



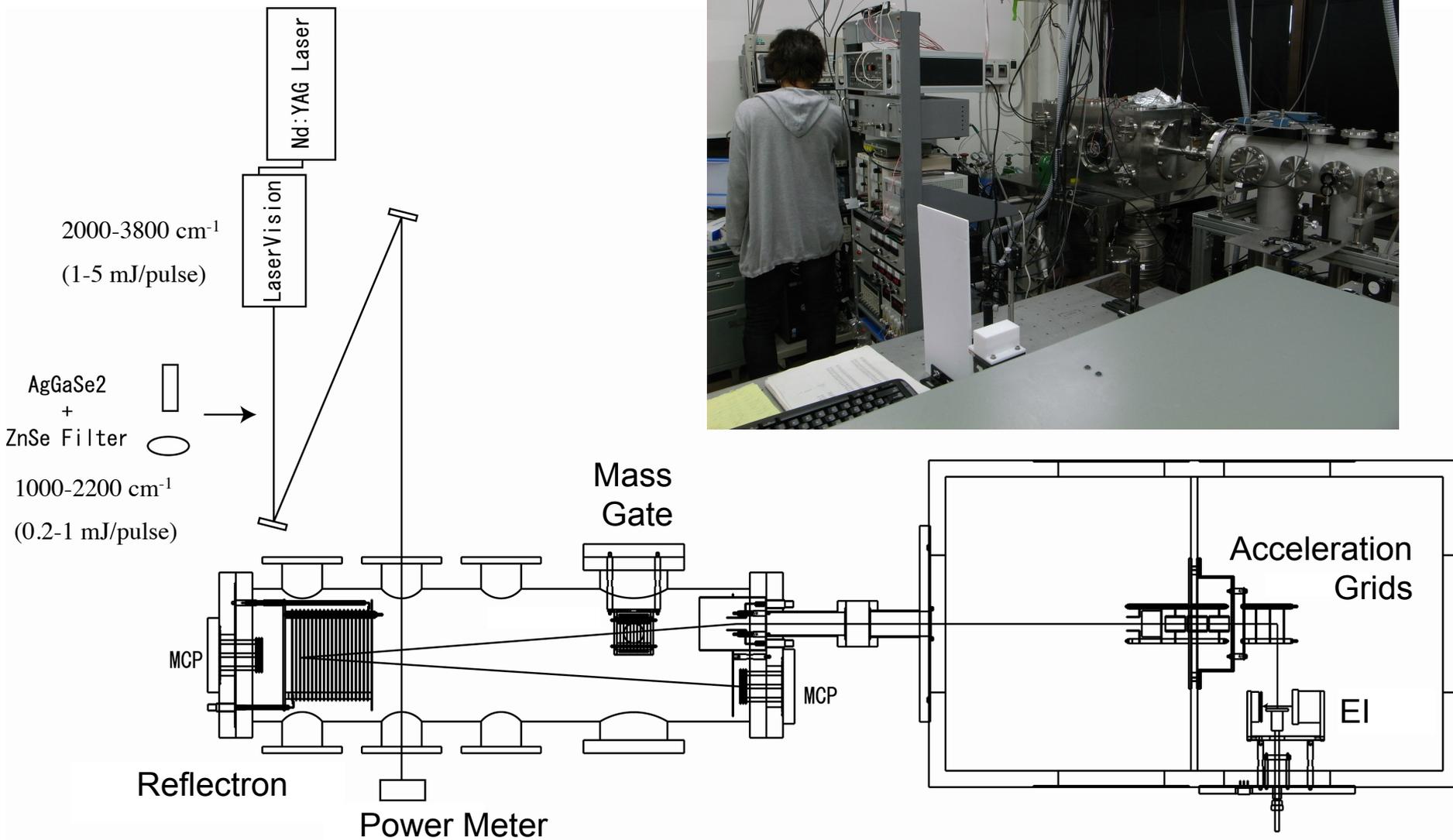
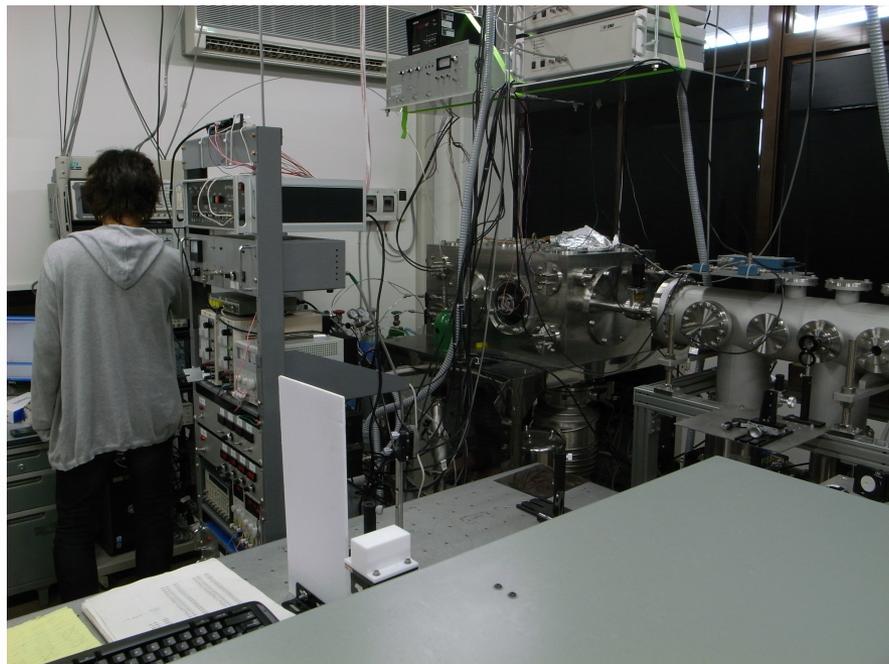
(光解離する確率) = (光を吸収する確率) × (解離する確率)

光解離スペクトル ≐ 光吸収スペクトル

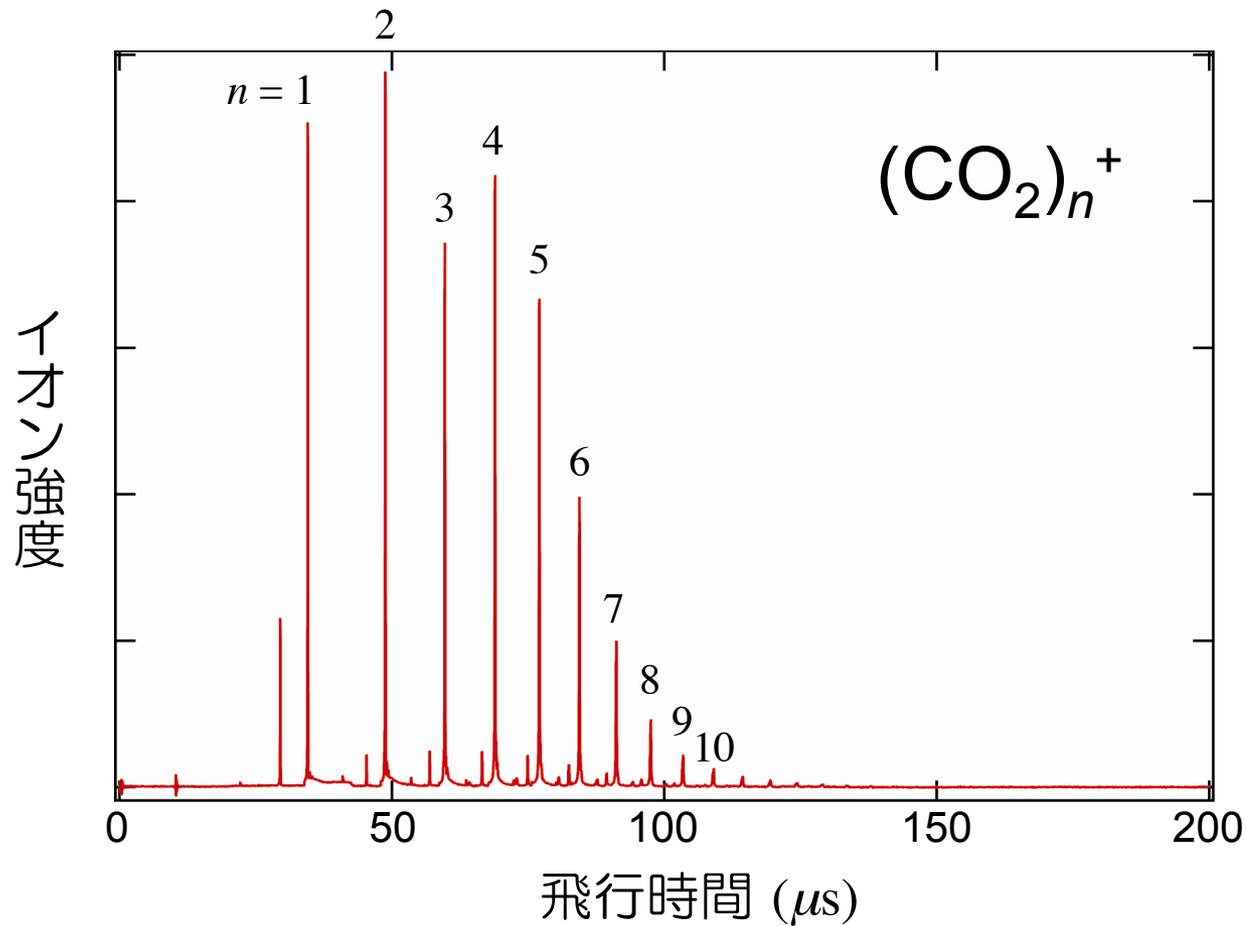
# 光解離分光法の装置のしくみ



# 実験装置図

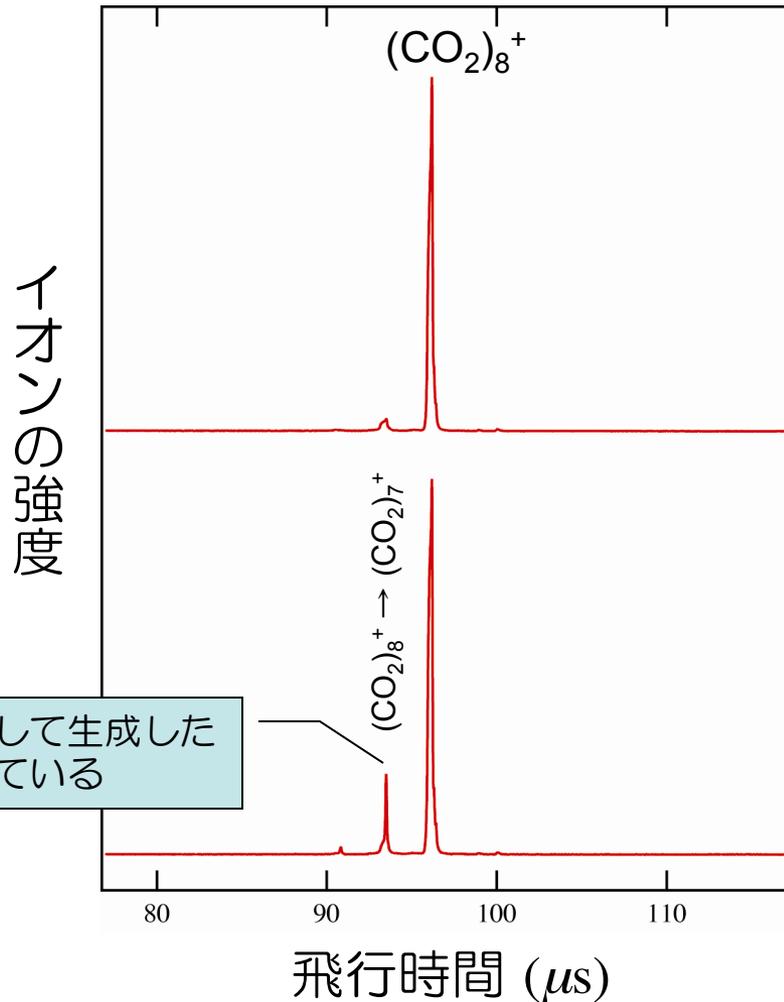


# 質量スペクトル



小さいサイズのイオンから順番に到着している

# 光解離の信号



マスゲート ON  
 $(\text{CO}_2)_8^+$ のみ取り出す

赤外レーザー ON  
@2350 cm<sup>-1</sup>

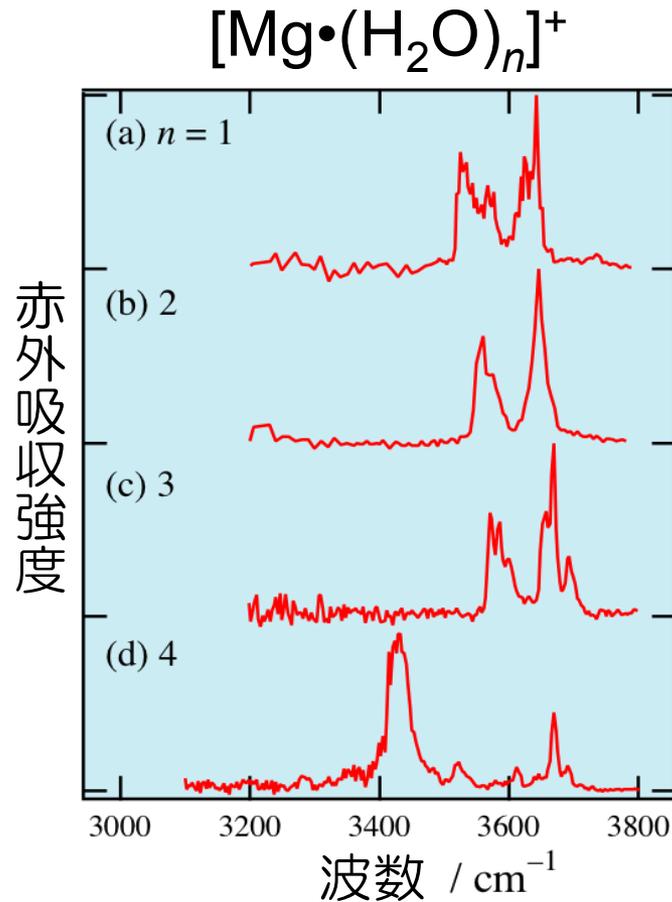
# 金属イオンの水和の問題

---



これに水を1個，2個と付けていくとどうなるか？

# $[\text{Mg}\cdot(\text{H}_2\text{O})_{1-4}]^+$ 赤外スペクトル



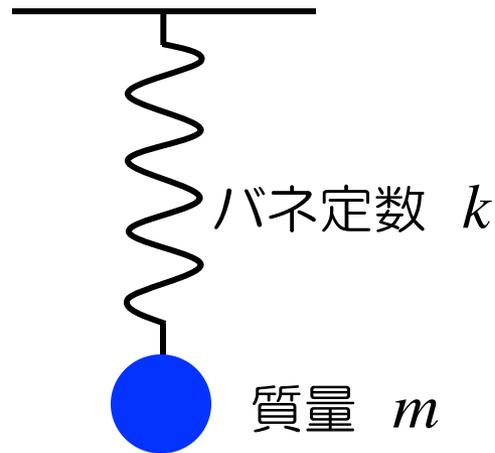
## O—H伸縮振動

$n = 3$ までは $3500 \text{ cm}^{-1}$ 以上に2本の吸収帯を観測。

$n = 4$ は $3500 \text{ cm}^{-1}$ 以下に強い吸収を示す。

# 分子の原子核の振動は，バネ振り子と同じ

---



振動数

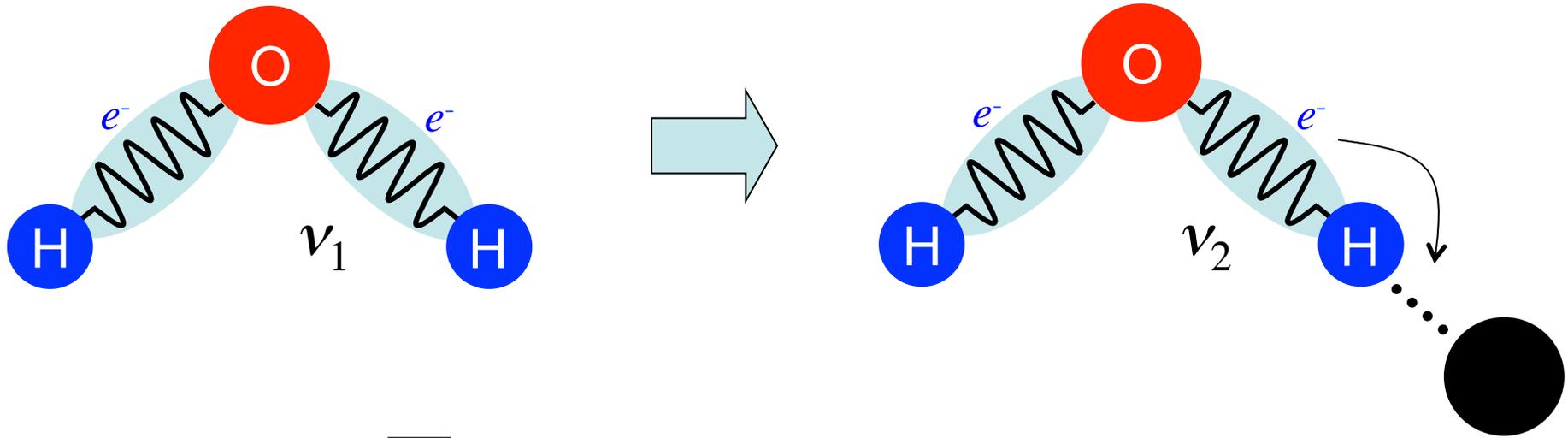
(1 秒間の間に振動する回数)

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

バネ定数のルートに比例

質量のルートに反比例

# 水が水素結合すると



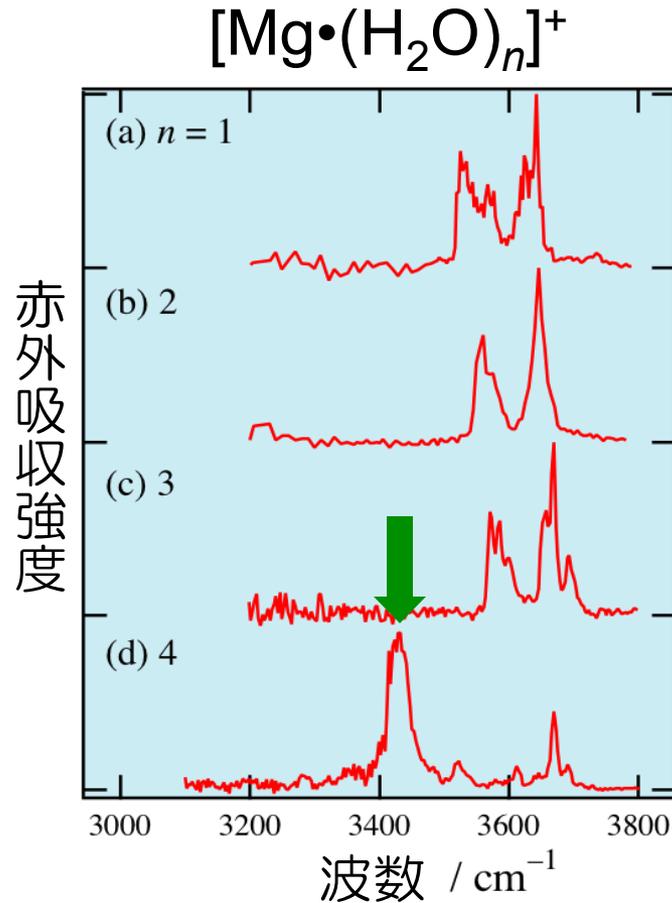
$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

電子の分布が流れてバネがゆるくなる  
バネの先のおもりが重くなる

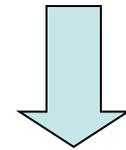
$$\nu_1 > \nu_2$$

水素結合をすると、その分子振動の  
固有振動数（波数）が小さくなる

# $[\text{Mg} \cdot (\text{H}_2\text{O})_{1-4}]^+$ 赤外スペクトル

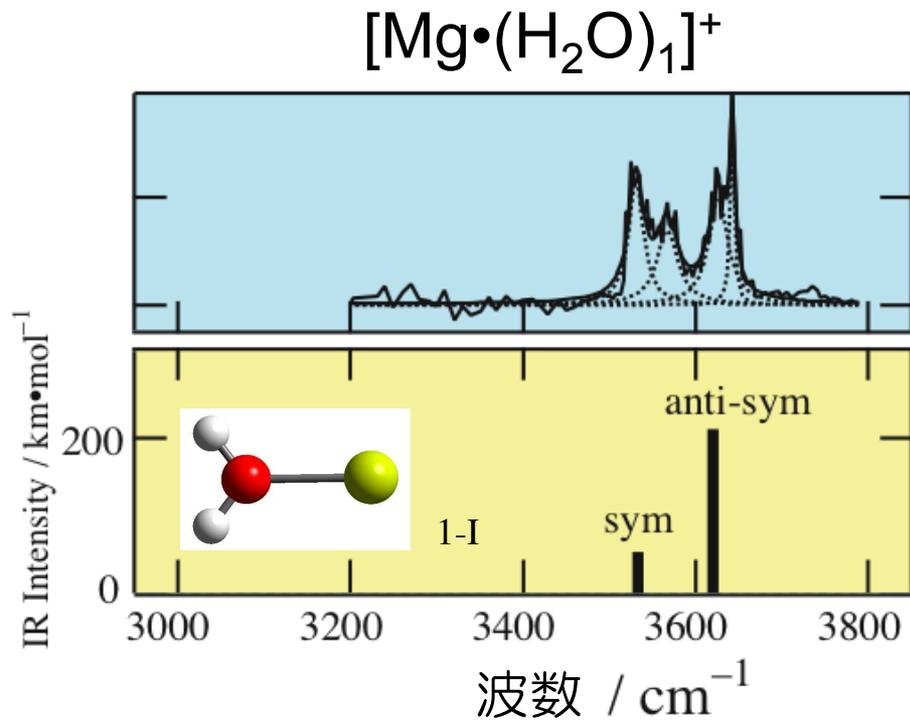


水4個から  
低波数のところに  
吸収が観測された



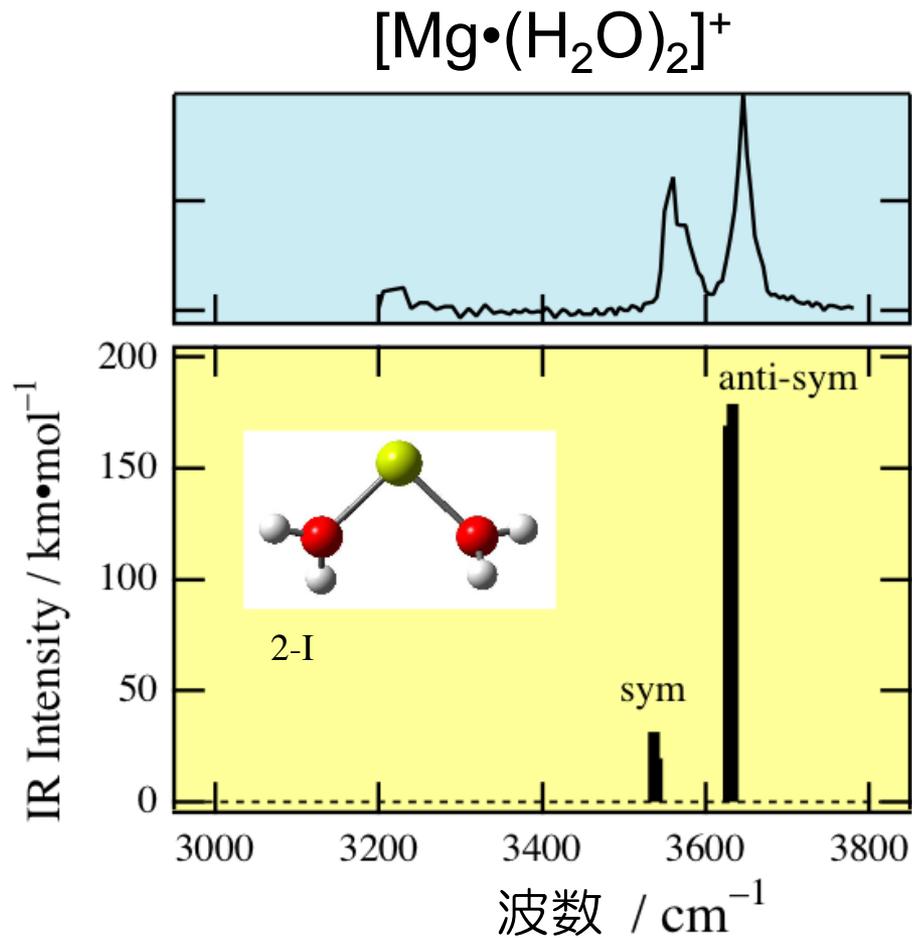
4個目の水は  
水素結合している

# $[\text{Mg}\cdot(\text{H}_2\text{O})_1]^+$



$\text{Mg}^+$ イオンに水が酸素を向けて溶媒和している

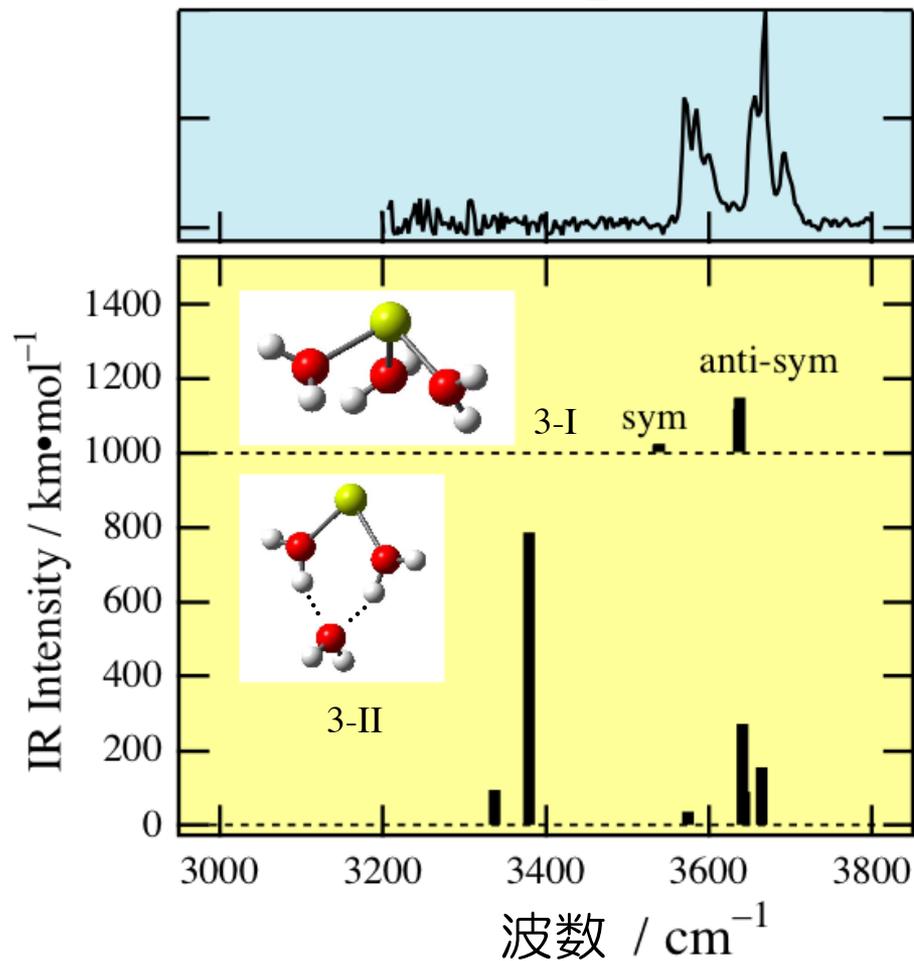
# $[\text{Mg}\cdot(\text{H}_2\text{O})_2]^+$



$\text{Mg}^+$ イオンに水が  
酸素を向けて  
溶媒和している

# $[\text{Mg}\cdot(\text{H}_2\text{O})_3]^+$

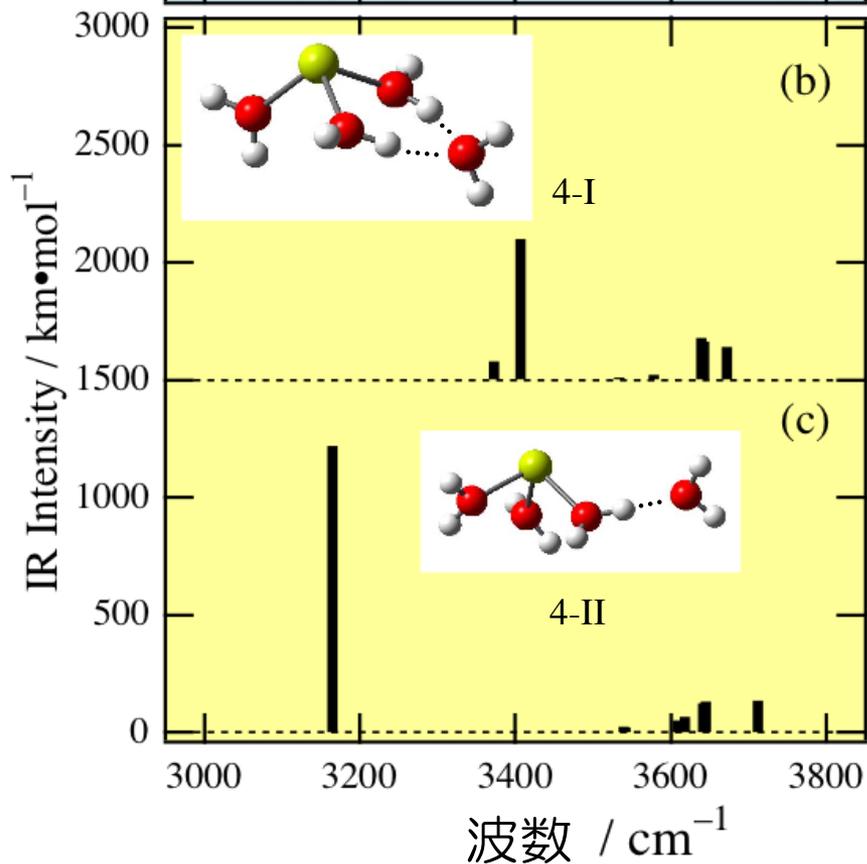
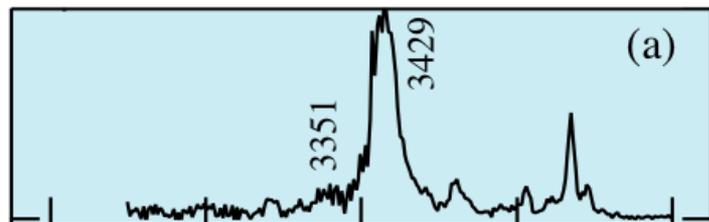
$[\text{Mg}\cdot(\text{H}_2\text{O})_3]^+$



$\text{Mg}^+$  イオンに対し偏った位置に水3分子が溶媒和

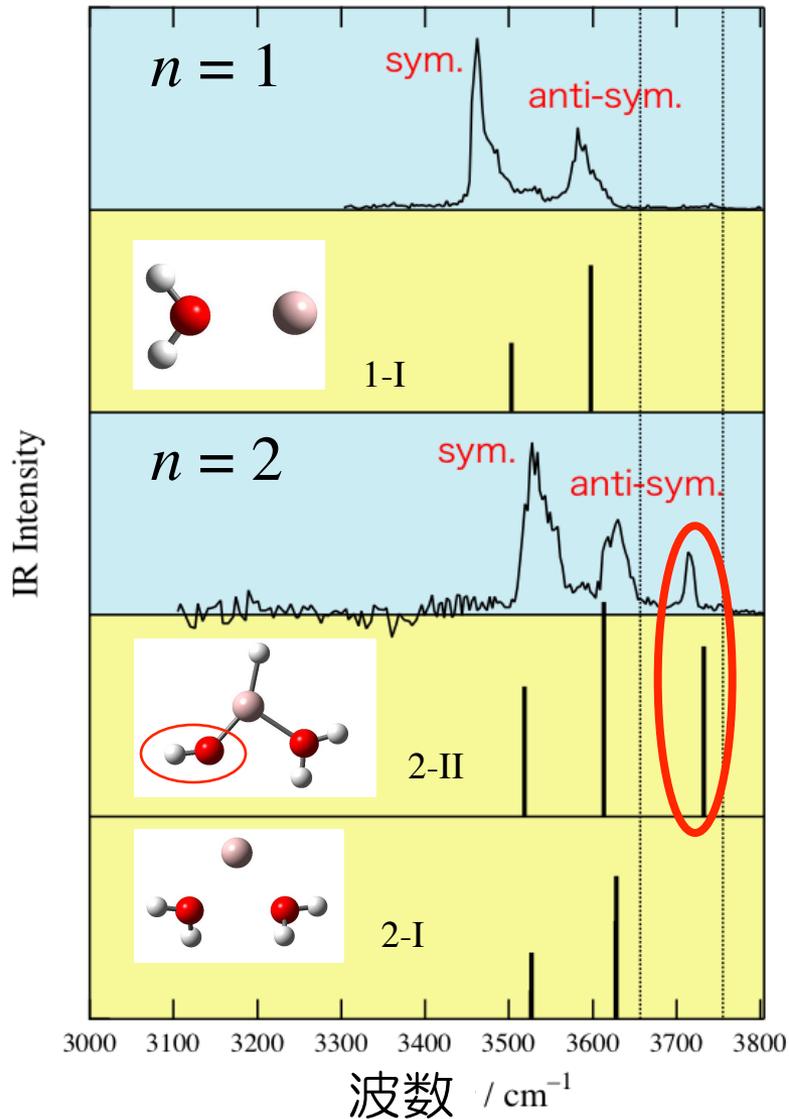
# $[\text{Mg}\cdot(\text{H}_2\text{O})_4]^+$

$[\text{Mg}\cdot(\text{H}_2\text{O})_4]^+$



水3分子で第一溶媒和圏を形成  
 $\text{Mg}^+$ と $\text{H}_2\text{O}$  3分子で環状構造をつくる

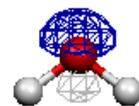
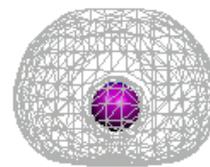
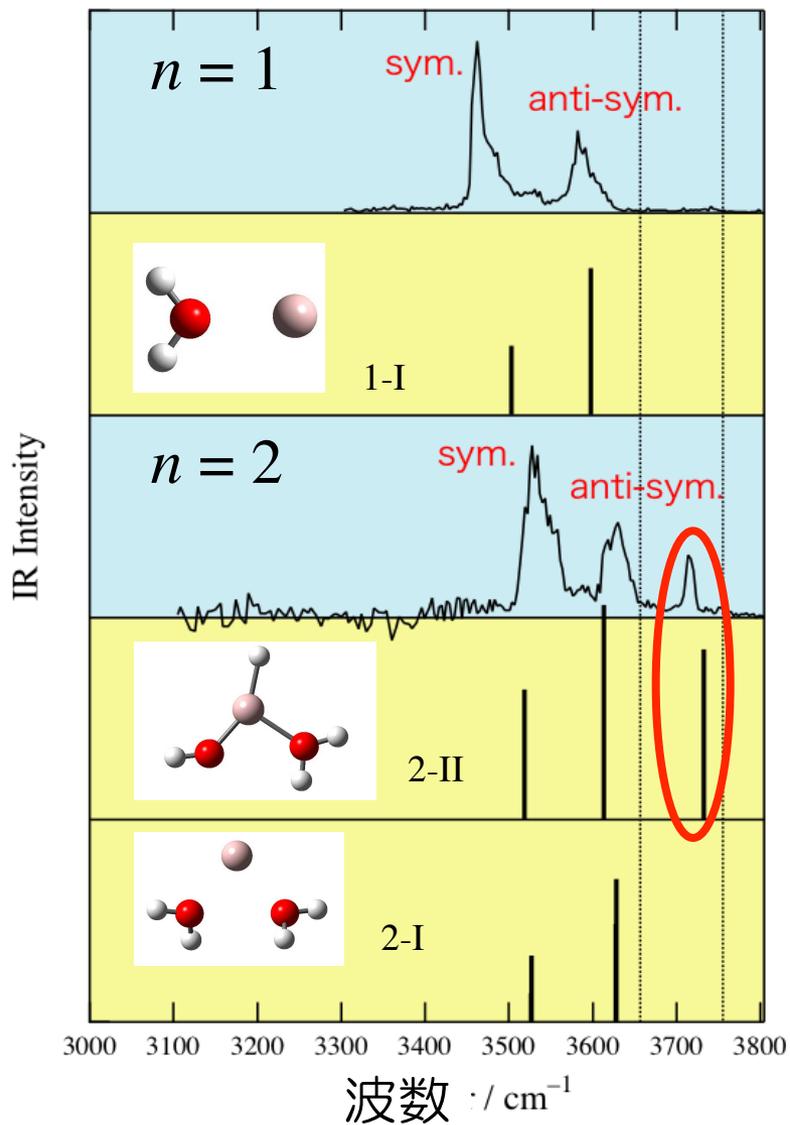
# $[\text{Al} \cdot (\text{H}_2\text{O})_{1,2}]^+$ 赤外スペクトル



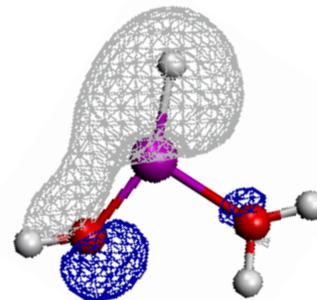
Al<sup>+</sup>イオンに水が酸素を向けて溶媒和している

Al<sup>+</sup>がH<sub>2</sub>OのOH間に入り  
[H-Al-OH]<sup>+</sup>イオンを形成

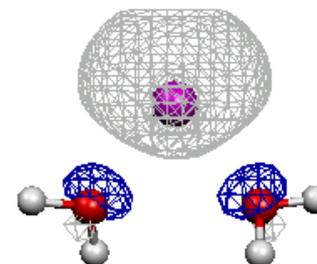
# [Al·(H<sub>2</sub>O)<sub>1,2</sub>]<sup>+</sup> の分子軌道



1-I



2-II



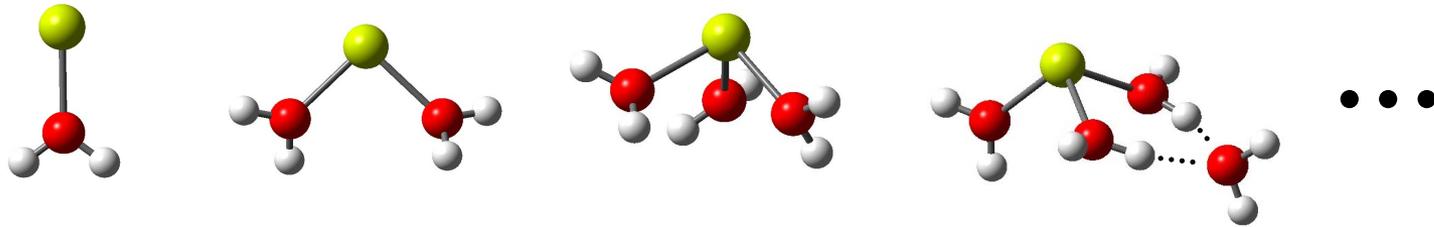
2-I

HOMO

# 電子構造とクラスター内反応

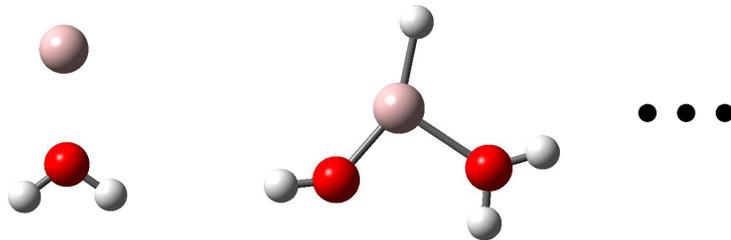
$\text{Mg}^+ (3s)^1$

$\text{Mg}^+$ イオンに水分子が溶媒和した、金属イオン-分子錯体



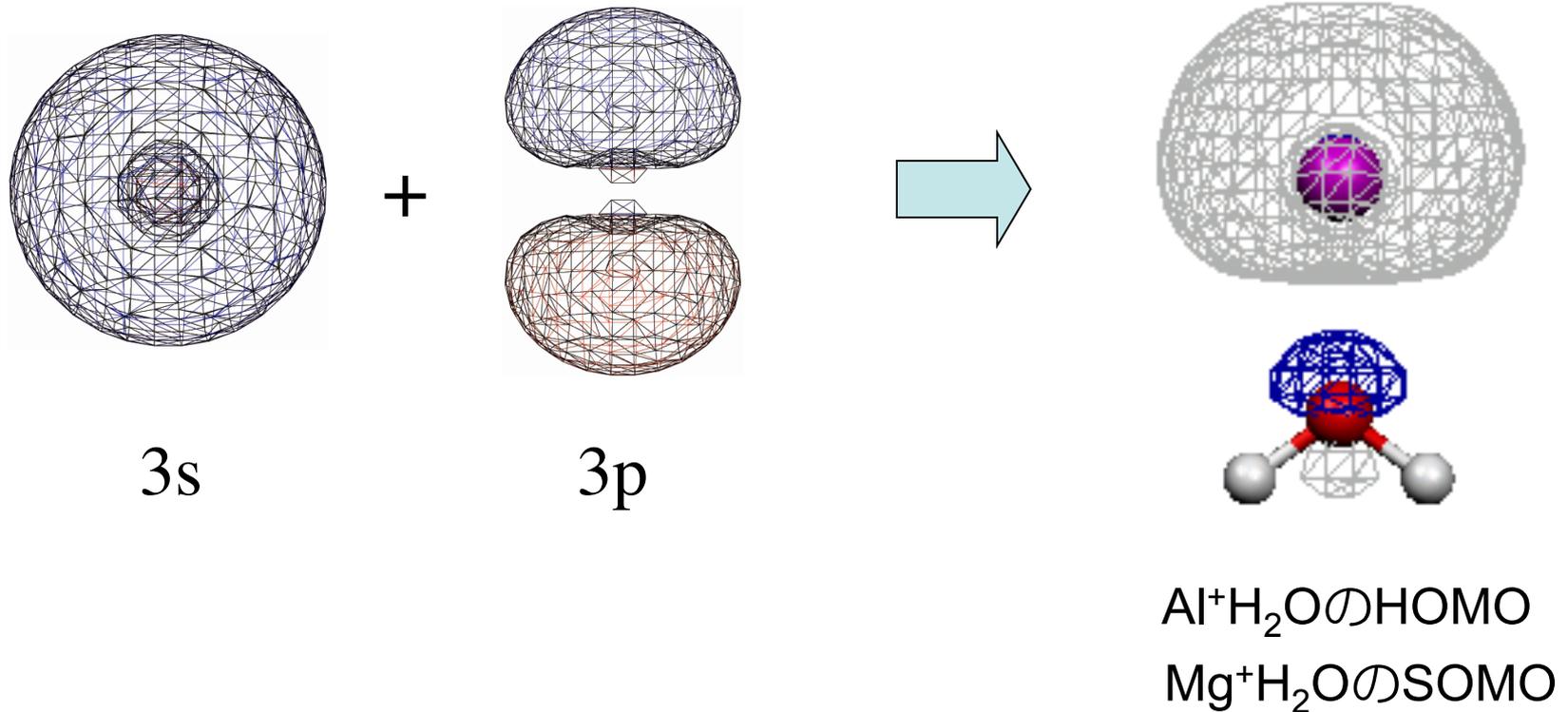
$\text{Al}^+ (3s)^2$

もはや $\text{Al}^+$ イオンに水分子が溶媒和しているとはいえない  
水のOH結合に $\text{Al}^+$ イオンが入り込んでいる！



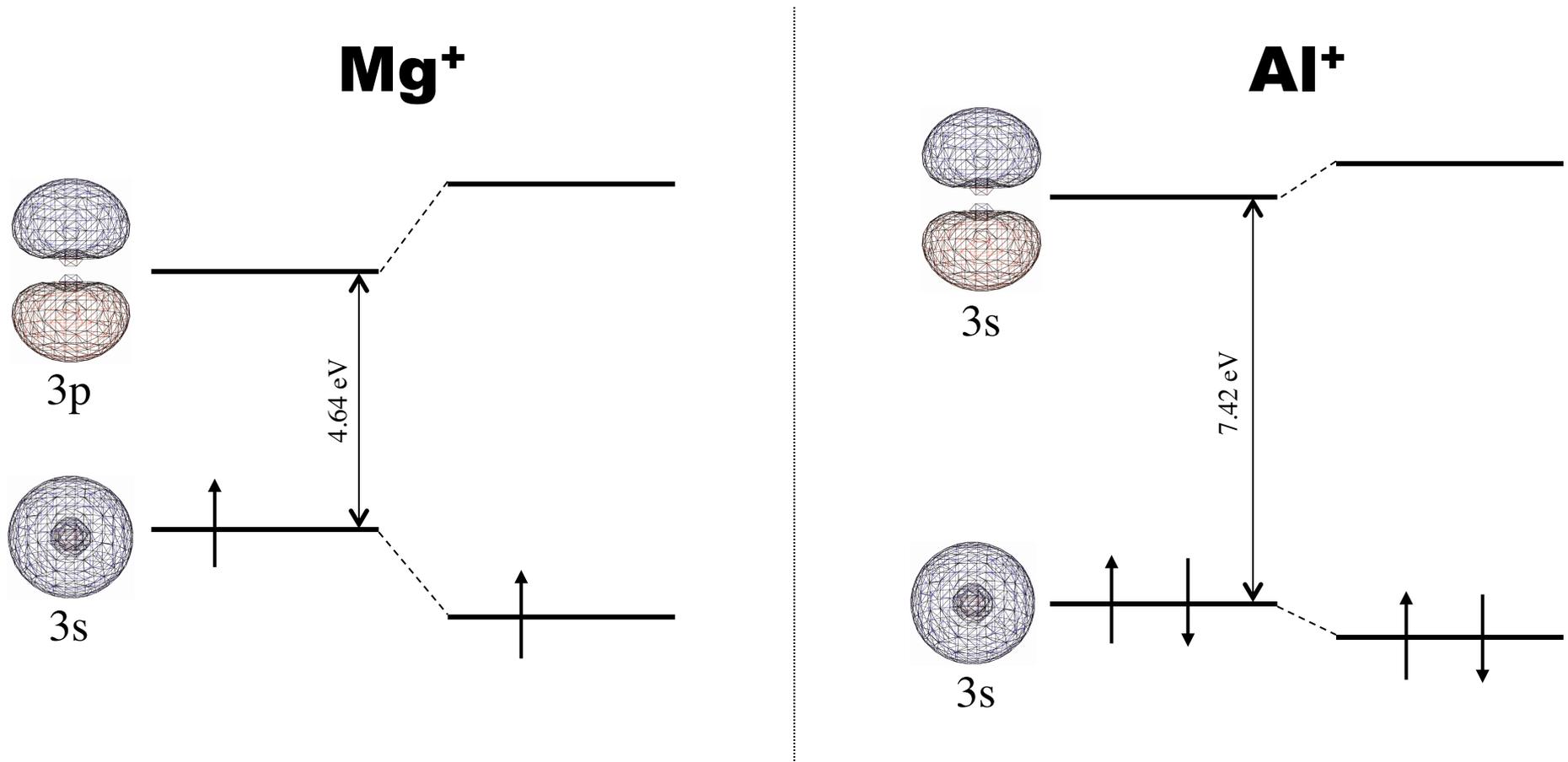
# なぜ**Mg<sup>+</sup>**は反応せず**Al<sup>+</sup>**は反応するのか？

水和の時に、金属イオンの3s電子をどう追いやるか？



sp混成により電子の分布を偏らせて、反対側に水を付けている

# なぜMg<sup>+</sup>は反応せずAl<sup>+</sup>は反応するのか？



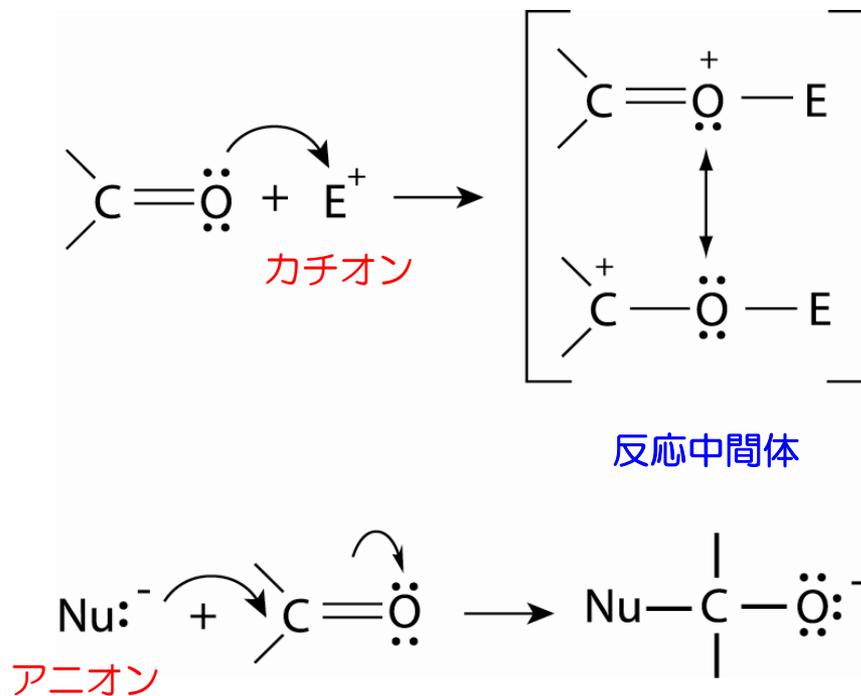
Al<sup>+</sup>の方が3sと3pのエネルギー差が大きく、分極しにくい  
Al<sup>+</sup>には追いやらなければならない電子が2個ある

Al<sup>+</sup>の方が反応性が高い

# 今後の展望 (1)

## ◆カルボニル基の求核付加反応

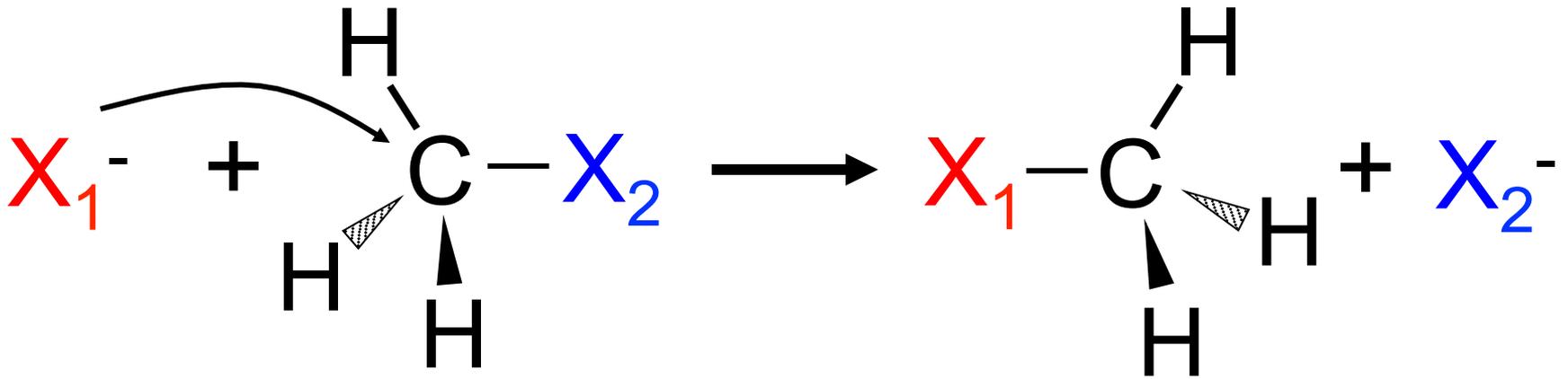
カルボニル基にイオンがアタック  
反応性が高まる



# 今後の展望 (2)

---

ハロゲン負イオン + ハロゲン化メチル



# でもしよせん気相中，真空中でしよ？

---

その通りです。でも

## So what?

より現実に則した系を

気相中で特異的に  
起こる現象を

本質を見極める力を試されている

これから

---



どの枝に  
よじ登ろうか？