

# 無機化学II イン트로ダクション

担当：西條 純一（29号館1104号室）

## 成績評価

- ・毎週出す課題(3点×14回=42点)
- ・期末に行う試験(約80点, 持ち込み可)

## 基本となるテキスト

シュライバー・アトキンス『無機化学(第六版)』

※第四版も内容はほぼ変わらないので, そちらもOK

講義に用いるプレゼン用ファイルと課題は  
以下のアドレスで公開します。

<http://www.molecularscience.jp/lecture>

事前にダウンロードや印刷しておく  
(基本的には)ノート無しでも何とかかなると思います。

講義時間内に必死でノートに写すよりは、  
講義を聞く事に集中したほうがよく頭に入る  
.....かも知れません。

課題に関して:

毎週講義内容に関連した課題を出しますので,

## 「その週の水曜日の深夜」

までに解答を作成して, 29-1104(西條の居室)に提出してください(木曜朝回収).

毎回3点満点×14回で最大42点が配分されます.

※今日もあります.

課題は、『提出すれば点がもらえる』などという甘いものではありません. 全問不正解なら提出してようがなんだろうが0点です.

試験に関して:

試験は期末試験のみ

期末試験は講義の最終回(補講期間中)に行います.

各種資料持ち込み可.

配点は約80点です. 課題の42点と合わせ, 122点中60点が取れれば単位が来ます.

だからといって余裕ではありません.

油断している人はかなりの確率で単位を落とします.

進級できなからうがなんだろうが, 規定の点数に到達しなかった場合は全て落とします.

※課題をほとんど提出せずに試験だけで単位を取るのも不可能ではありませんが, 最初からそれを狙うのは危険だと思います.

なお、昨年度(2017年度)は、

- ・課題は複数人でやる(そして理解していない)
- ・試験は「なんとかなるだろ」と楽観視する

人が多かったのか、**6割ほどの人が落ちました。**  
(受講者の6割ではなく、試験を受けた人の6割)

しっかりと勉強をせず授業を理解しないような学生は大嫌いですので、出来が悪ければバツサリ落とします。

「ちまちまと毎週の課題なんぞやってくれるか！  
試験一発勝負が良い！」

という人がいたら、今日中に申し出て下さい。  
課題を一切考慮に含めず、その代わりに試験の点数を  
約1.5倍にして計算します。

(通常は課題42点+試験80点の計122点満点のところ、  
試験のみで122点満点に換算して評価します)

※なお、途中で切り替えることは出来ません。

# この講義ではどんな事をやるのか？

- ・以下の元素単体と, その化合物の性質

sブロック元素(最外殻電子がs電子)

水素, ヘリウム(18族とまとめる)

アルカリ金属 (Na, K, Rb, Cs, (Fr))

アルカリ土類 (Be, Mg, Sr, Ba, (Ra))

pブロック元素(最外殻のsとp軌道に電子)

13族 (B, Al, Ga, In, Tl), 14族 (C, Si, Ge, Sn, Pb)



15族 (N, P, As, Sb, Bi, ), 16族 (O, S, Se, Te, Po)

17族 (F, Cl, Br, I, At, ), 18族 (Ne, Ar, Kr, Xe, Rn)





# 授業計画

9/10	1. イントロダクション&水素原子の電子構造	
(祝日) 9/17	2. 多電子原子の電子配置と周期律	
(祝日) 9/24	3. 化学結合	 復習
10/ 1	4. 水素とその化合物	 新規
(祝日) 10/ 8	5. 第1族元素とその化合物(1)	
10/15	6. 第1族元素とその化合物(2)	
10/22	7. 第2族元素とその化合物	
11/29	8. 第13族元素とその化合物	
11/12	9. 第14族元素とその化合物(1)	
11/19	10. 第14族元素とその化合物(2)	
11/26	11. 第15族元素とその化合物	
12/ 3	12. 第16族元素とその化合物	
12/10	13. 第17族元素とその化合物	
12/17	14. 第18族元素とその化合物	
1/21	15. まとめ & 期末試験	

## この講義を通して学ぶ内容

### 【全体に通じる理屈】

- ・周期表を横にずれると、性質がどう変わるか？  
またその理由は何か？
- ・周期表を縦に降りていくとどうか？  
何が似ていて、何が変わるのか？なぜ？

### 【各論】

- ・それぞれの原子は、どんな性質か？
- ・どんな化合物があり、どんな性質で、どこで使われているのか？

- 元素の性質は、何で決まるのか？
- どんな傾向があるのか？
- 異なる元素間で、どんな点が似ているのか？  
どこが異なっているのか？



- 未知物質の性質を予測出来る
- 毒性，危険性を予測出来る
- 性質をちょっと変えた化合物の作成  
(より優れた特性を持つ物質を作る)

電子を出しやすい

電子をもらいやすい



半径が大きい

電子を出しやすい

1																	2
H																	He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116		118
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	112	113	114	115	116		118

超重元素

ランタノイド

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Tb	Lu

アクチノイド

89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

結合本数を多くできる

周期表には明確な傾向がある(理由は?)

性質の類似性は非常に重要

例えば：性質が似ているからこそ毒になる

S(酵素などでよく使われる)

→ Se(Sと間違っ取取込まれ不活化)

P(生体分子の主要な原料の一つ)

→ As(Pと間違っ取取込まれる)

\*直接タンパク質を変性させる効果も強い

Ca(骨の主要成分の一つ)

→ Sr(Caに紛れて骨に取り込まれる)

放射性Srの骨への蓄積と内部被爆



# 近い元素で似た性質を引き出す

- C:黒鉛(シート内は堅く, 熱伝導性も高い)
- BN:窒化ホウ素(似ているが, 絶縁体)

電子が一つ多い

電子が一つ少ない

1																	2
H																	He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	118	
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	112	113	114	115	116	118	

超重元素

ランタノイド

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Tb	Lu

アクチノイド

89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

# Ge:半導体

→ GaAs:半導体(組成を変えたり, 他の元素と混ぜる事で特性制御が容易)

電子が一つ多い

電子が一つ少ない

1																	2
H																	He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	118	
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	112	113	114	115	116	118	
超重元素																	
ランタノイド		57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
アクチノイド		89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Tb	Lu	
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	



# 傾向から性質を予想する

燃えやすいが、水とは反応しない

水と緩やかに反応

水と激しく反応

水と非常に激しく反応するだろう

1																	2	
H																	He	
3	4											5	6	7	8	9	10	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
11	12											13	14	15	16	17	18	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116			118
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	112	113	114	115	116			118

超重元素

ランタノイド	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Tb	Lu
アクチノイド	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

- ・危険(毒, 発火, 爆発, 腐食)を避ける
- ・新物質の開発をする

これらのためには, 元素の特性を知る必要がある

また, 元素はイオンや分子になると違った性質も出る.  
そのため各元素を含む代表的な分子についても学ぶ.

無機化学II 第1回(復習1)  
水素原子の電子構造

# 本日のポイント

原子軌道(原子中で電子がとれる状態)

## 量子数

原子軌道を特徴付けるいくつかの整数  
この数値で原子軌道のエネルギー, 位置,  
形, 向いている方向が特定出来る.

主量子数が増える

→ エネルギー高い, 原子核から遠い

s, p, d軌道

s軌道は原子核の近くにも電子が分布

# 原子軌道

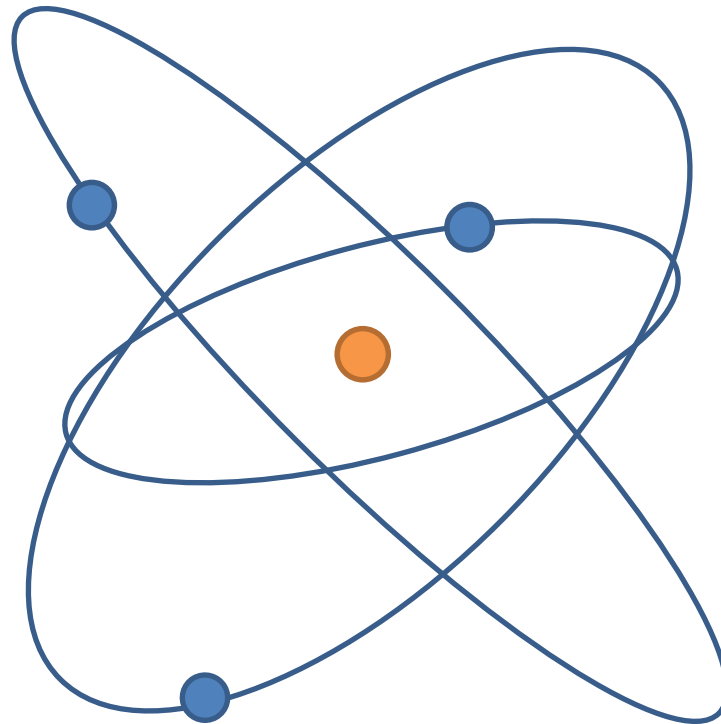
原子中の電子は、好きな状態になれるわけではない。  
『特定のいくつかの状態』のうちの一つ(※), をとる.

※通常はエネルギーの低い状態

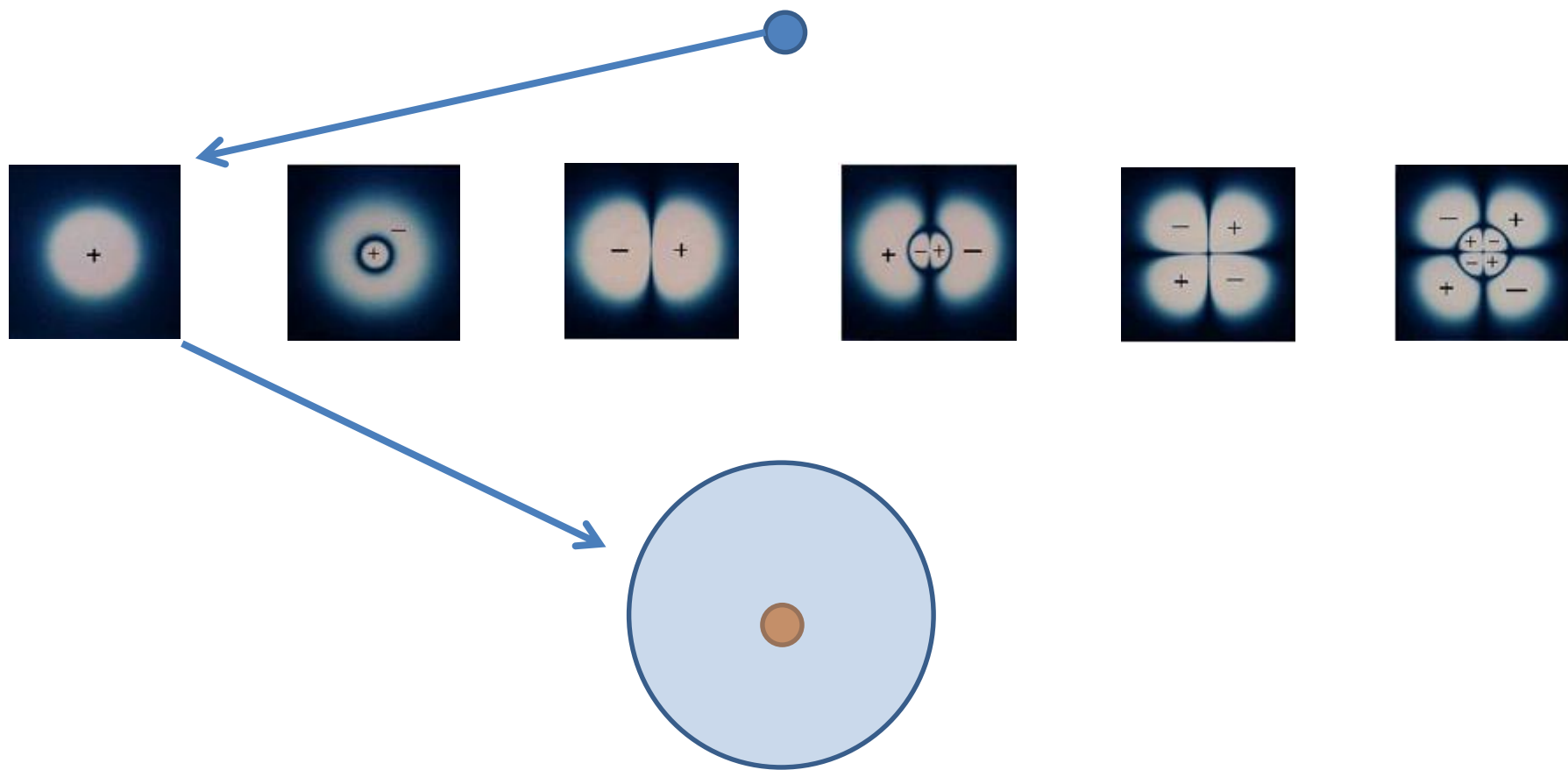
『特定のいくつかの状態』 → 原子軌道

細かいことを言うと、「シュレディンガー方程式」という問題を解くと、その答えとして出てくる関数が電子の状態を表す式(波動関数)になっている。

古典力学: 電子は好きな軌道で運動して良い  
(粒子は好きな場所を移動できる)

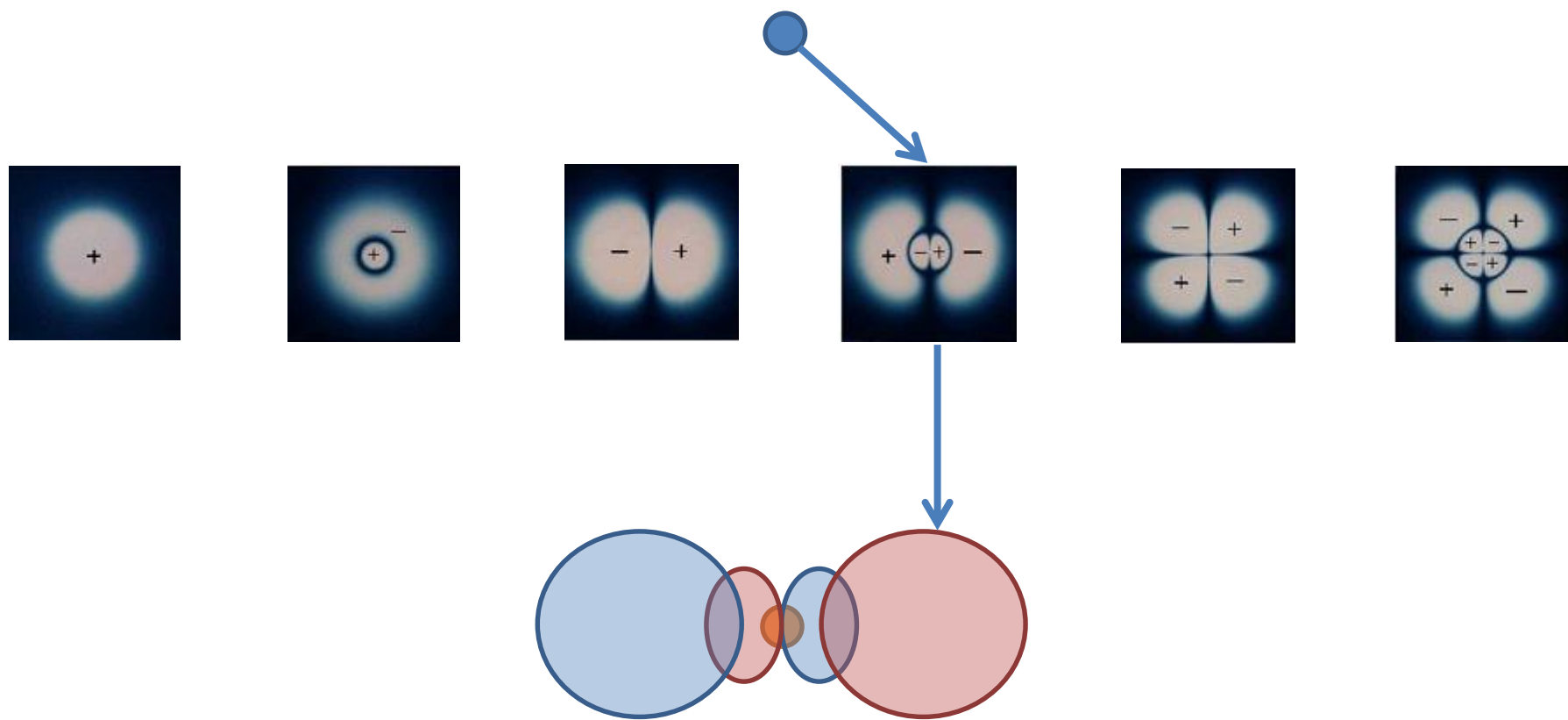


量子力学: 決められた配置に入ることしか出来ない  
(既に座席があって, そのどれかに座る事しか出来ないようなもの)





量子力学: 決められた配置に入ることしか出来ない  
(既に座席があって, そのどれかに座る事しか出来ないようなもの)



『原子軌道』は3つの整数で特徴付けられる

→ 主量子数, 方位量子数, 磁気量子数

主量子数: 核からの平均距離や, エネルギーが決まる.

主量子数が大きい = 核から遠く, エネルギーは高い

方位量子数: 軌道の形を決める. 電子の回転に対応.

方位量子数 0 → 丸い(等方的)

方位量子数 1 → 2方向に直線状に延びる

方位量子数 2 → 4方向に十字型に延びる etc.

磁気量子数: 軌道の向きに対応.

X方向を向くのか, Y方向を向くのか etc.

これら量子数には、上下関係がある。

主量子数  $n$ : 好きな正の整数 (1, 2, 3.....)

ただし  $n$  が小さい方がエネルギーが低く安定なので、通常は小さな  $n$  をとる。

方位量子数  $l$ : 0 から  $n-1$  までの整数。

$n = 1$  なら  $l = 0$  (丸い) だけ

$n = 2$  なら  $l = 0$  (丸い) または  $l = 1$  (棒状)

$n = 3$  なら  $l = 0$  (丸い) または  $l = 1$  (棒状)

または  $l = 2$  (十字型) までOK。

磁気量子数  $m$ :  $-l$  から  $+l$  まで。例えば

$l = 1$  なら  $m = -1, 0, 1$

$l = 2$  なら  $m = -2, -1, 0, 1, 2$  が許される。

## 例1: 主量子数 $n$ が1の軌道

方位量子数  $l$  は0しか許されない ( $\because l \leq n-1$ )

磁気量子数  $m$  も0しか許されない ( $\because |m| \leq l$ )

従って、主量子数 $n$ が1の軌道は1つしかない。

この軌道を1s軌道, と呼ぶ

(1が主量子数を表し, sが方位量子数が0を意味する)

## 例2: 主量子数 $n$ が2の軌道

方位量子数  $l$  は1か0 ( $\because l \leq n-1$ )

磁気量子数  $m$  は1か0 ( $\because |m| \leq l$ )

$\{ n, l, m \}$  の組み合わせとしては,

$\{2, 1, 1\}$ ,  $\{2, 1, 0\}$ ,  $\{2, 1, -1\}$ ,  $\{2, 0, 0\}$

の4つがある.

$\{2, 0, 0\} \rightarrow 2s$ 軌道と呼ばれる

$\{2, 1, 1\}$ ,  $\{2, 1, 0\}$ ,  $\{2, 1, -1\} \rightarrow 2p$ 軌道と呼ばれる

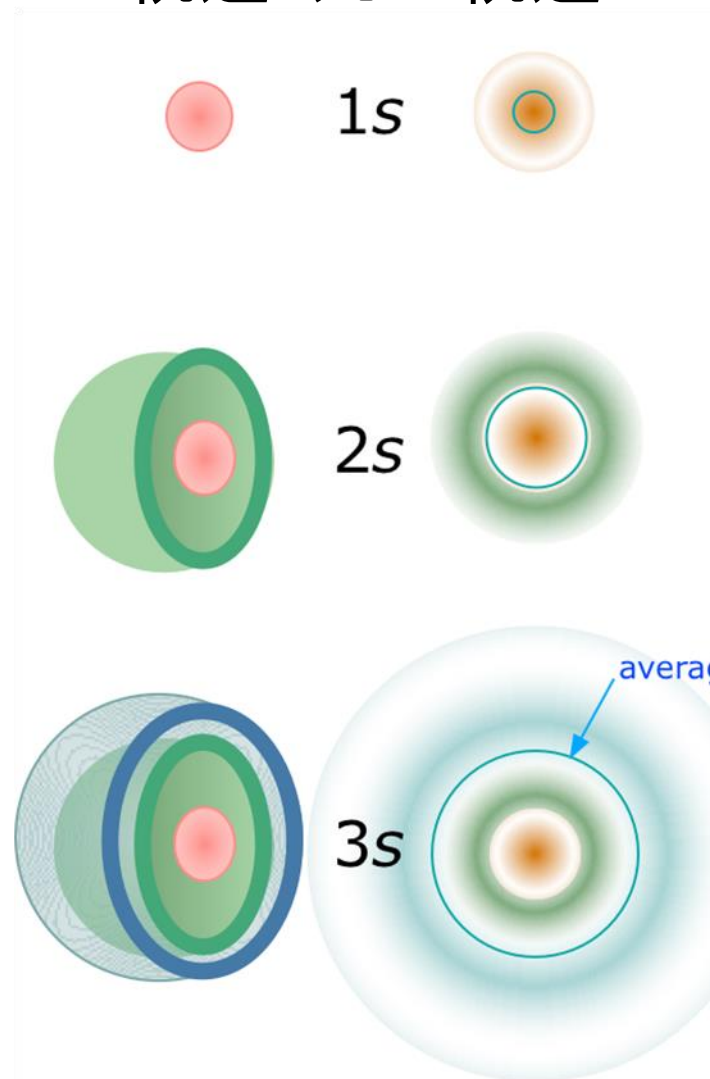
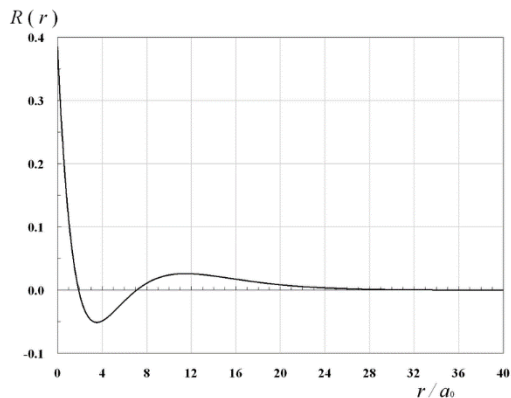
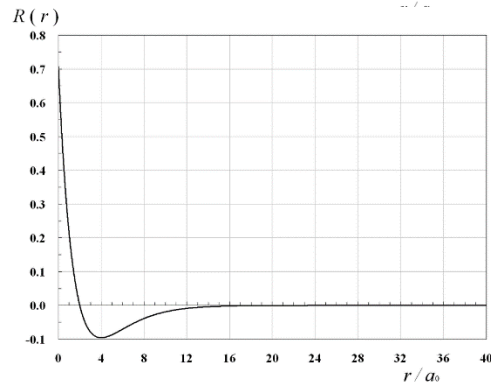
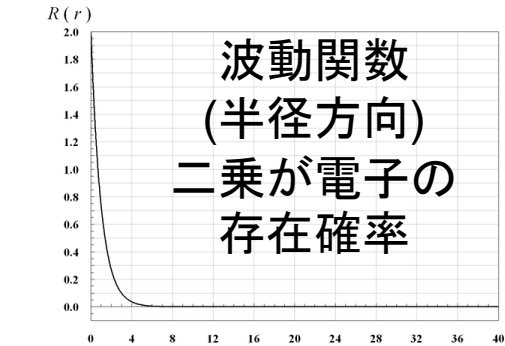
方位量子数が0, 1, 2, 3の軌道を, s, p, d, f 軌道と呼ぶ

# 主量子数と、存在する軌道の一覧

主量子数	方位量子数	軌道の名前
1	0	1s
2	0	2s
	1	2p <sub>1</sub> , 2p <sub>0</sub> , 2p <sub>-1</sub>
3	0	3s
	1	3p <sub>1</sub> , 3p <sub>0</sub> , 3p <sub>-1</sub> ,
	2	3d <sub>2</sub> , 3d <sub>1</sub> , 3d <sub>0</sub> , 3d <sub>-1</sub> , 3d <sub>-2</sub>
4	0	4s
	1	4p <sub>1</sub> , 4p <sub>0</sub> , 4p <sub>-1</sub>
	2	4d <sub>2</sub> , 4d <sub>1</sub> , 4d <sub>0</sub> , 4d <sub>-1</sub> , 4d <sub>-2</sub>
	3	4f <sub>3</sub> , 4f <sub>2</sub> , 4f <sub>1</sub> , 4f <sub>0</sub> , 4f <sub>-1</sub> , 4f <sub>-2</sub> , 4f <sub>-3</sub>

軌道の形 = 電子の確率分布を見た方がわかりやすい。

## s軌道：丸い軌道



電子の状態を表すもの = 『波動関数』

値が正になったり負になったりと、振動する関数

→ 振動 = 波としての性質を持つ

波動関数は空間に広がって存在

→ 1個の電子がもやっと広がって存在している、  
と見ても良い(この辺の解釈は複雑).

波動関数の値がプラスとかマイナスとかは何？

何が正になったり負になったり振動してるの？

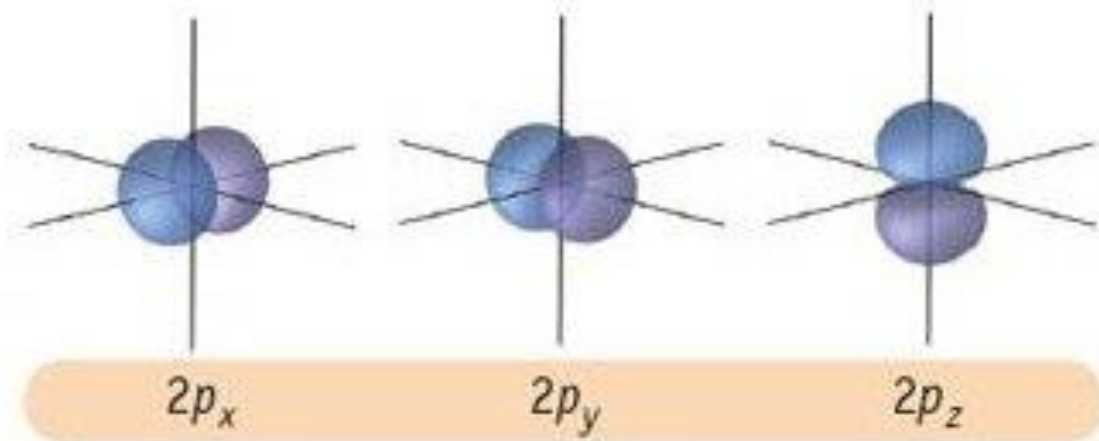
→ 正体は不明. 「そういうものだ」と思うしかない.  
別の軌道との間の重なりを考える時だけ重要



# 具体例：p軌道 ( $l = 1$ , 2方向に伸びる)

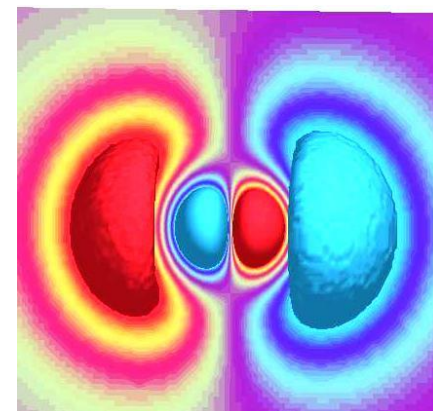
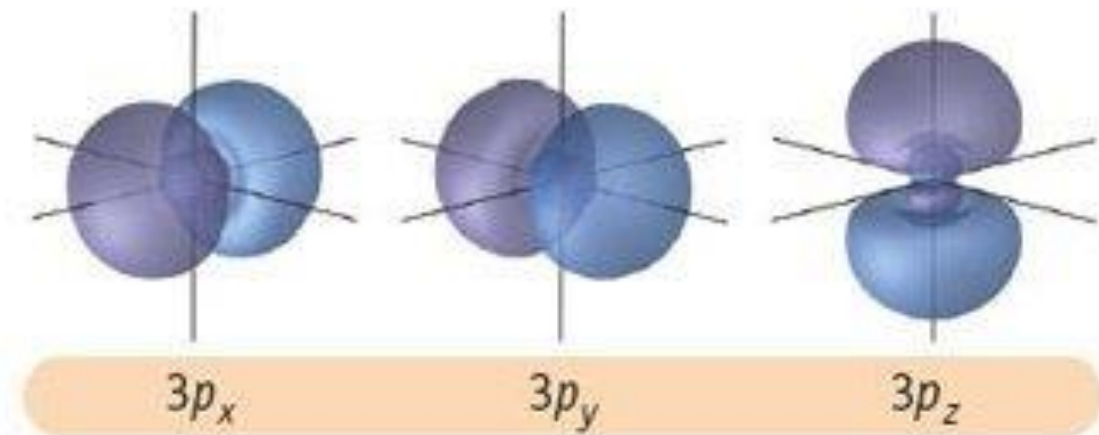
なおこういった軌道の形(曲面)は, その内側で電子を見つける確率が75%だとか90%だとかになるように描かれている.

(波動関数自体は, 無限に遠くまで薄く広がっている)



※ 1p軌道は存在しない  
( $l < n$  だから)

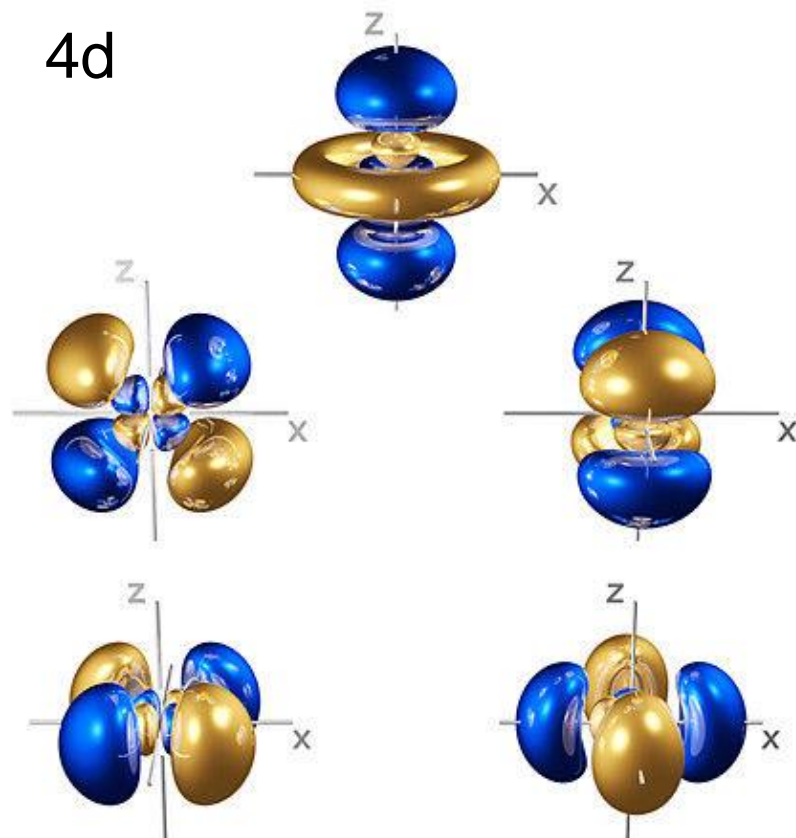
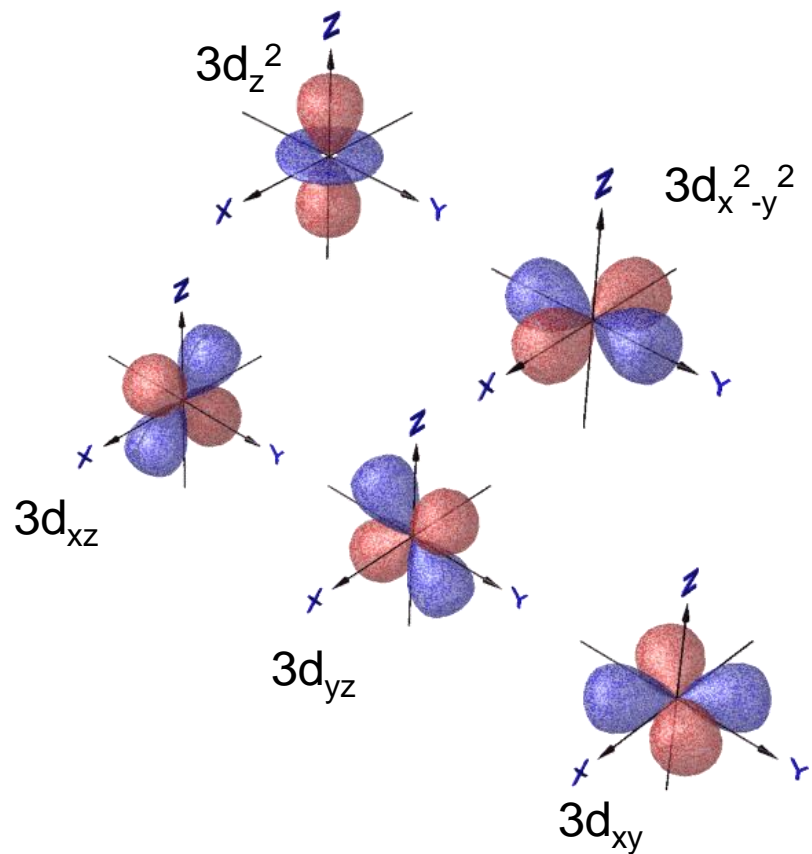
← 磁気量子数の違い



(左) [http://www.fccj.us/e\\_config/movies/3pxYMov.html](http://www.fccj.us/e_config/movies/3pxYMov.html)

(右) <http://faculty.ycp.edu/~jforesma/educ/pchem/chm344.htm>

# 具体例：d軌道 ( $l = 2$ , 4方向に伸びる)



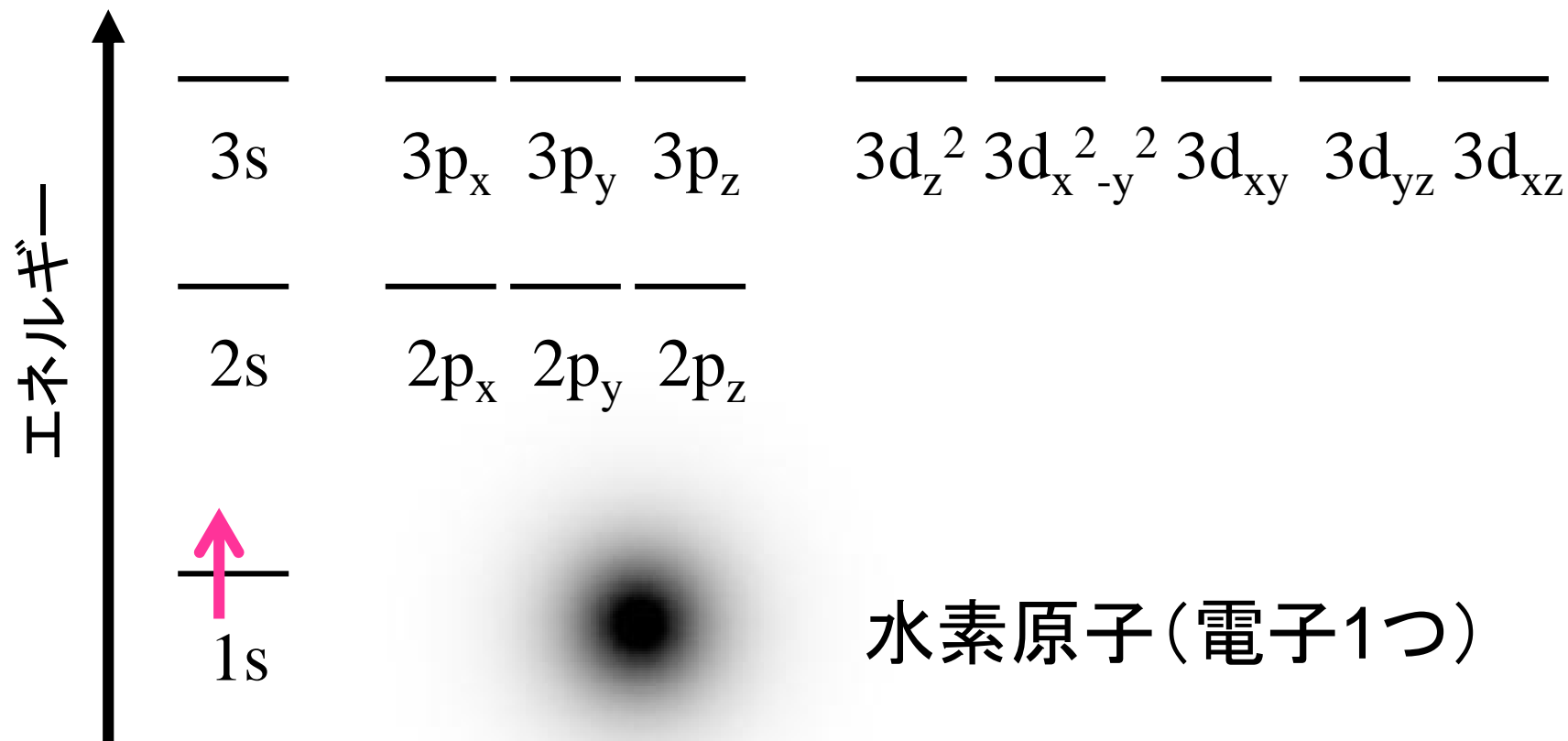
d軌道があるのは主量子数3以降

SCIENCEPHOTOLIBRARY

(3d) [http://faculty.concordia.ca/bird/c241/notes\\_ch2-cwp.html](http://faculty.concordia.ca/bird/c241/notes_ch2-cwp.html)

(4d) <http://www.sciencephoto.com/media/2190/enlarge>

原子核 + 電子1個の範囲 (= 水素原子) では  
主量子数と同じなら, エネルギーも同じ



水素原子 (電子1つ)

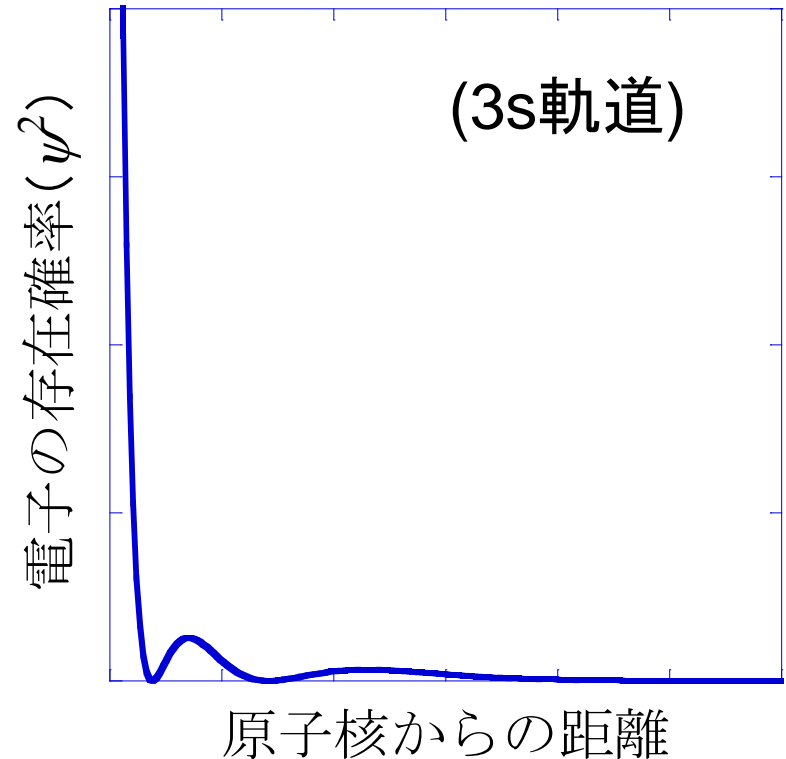
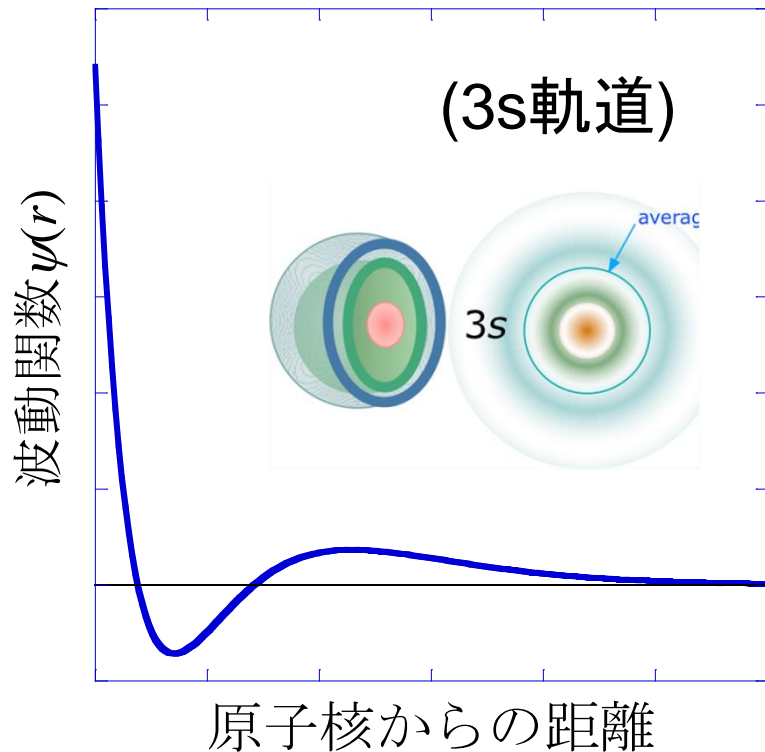
原子核からどのぐらいの距離に電子がいるのか？

「動径分布関数」

# 「電子が一番見つかりやすい距離」はどこか？

3s軌道 (主量子数  $n = 3$ , 方位量子数  $l = 0$ )

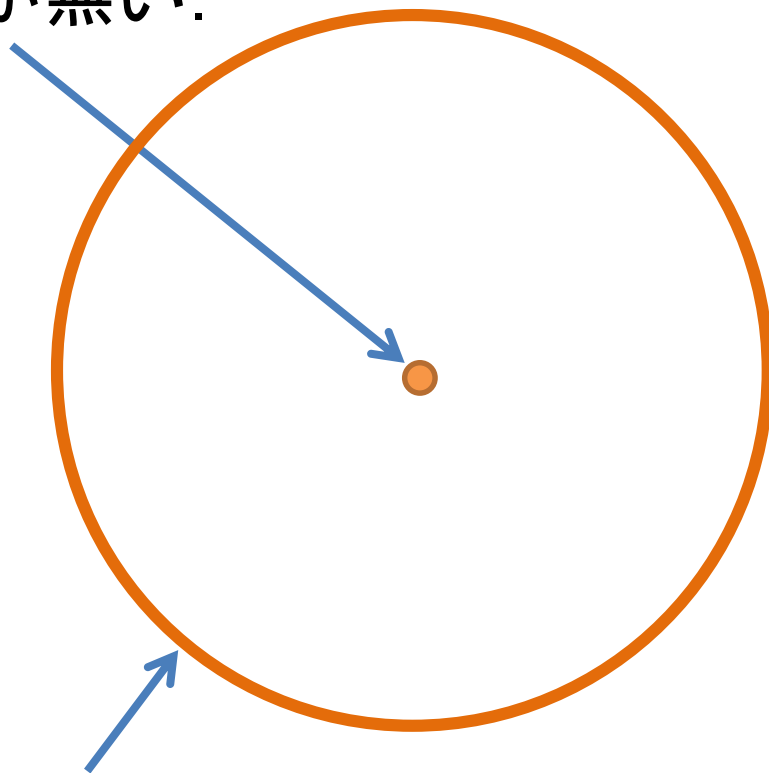
の波動関数と電子の存在確率



電子の存在確率は距離ゼロ, つまり原子核の上が最も大きい. つまり電子が一番見つかるのは距離ゼロの点?

「原子核から距離  $r$  の点」というのは沢山ある。  
全部足さないと、「距離  $r$  に電子が居る確率」は出ない。

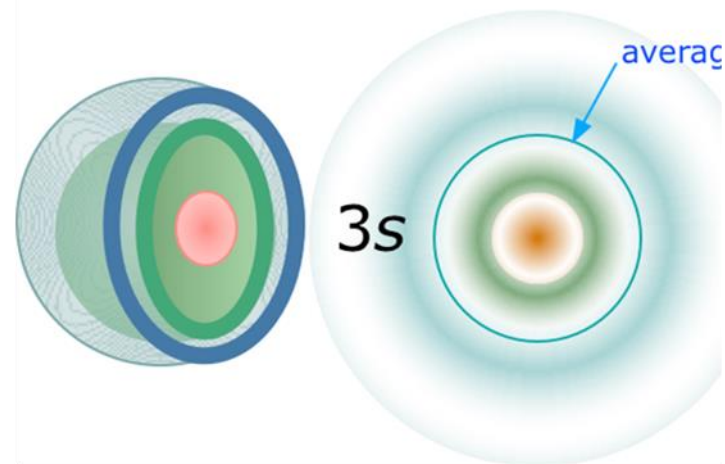
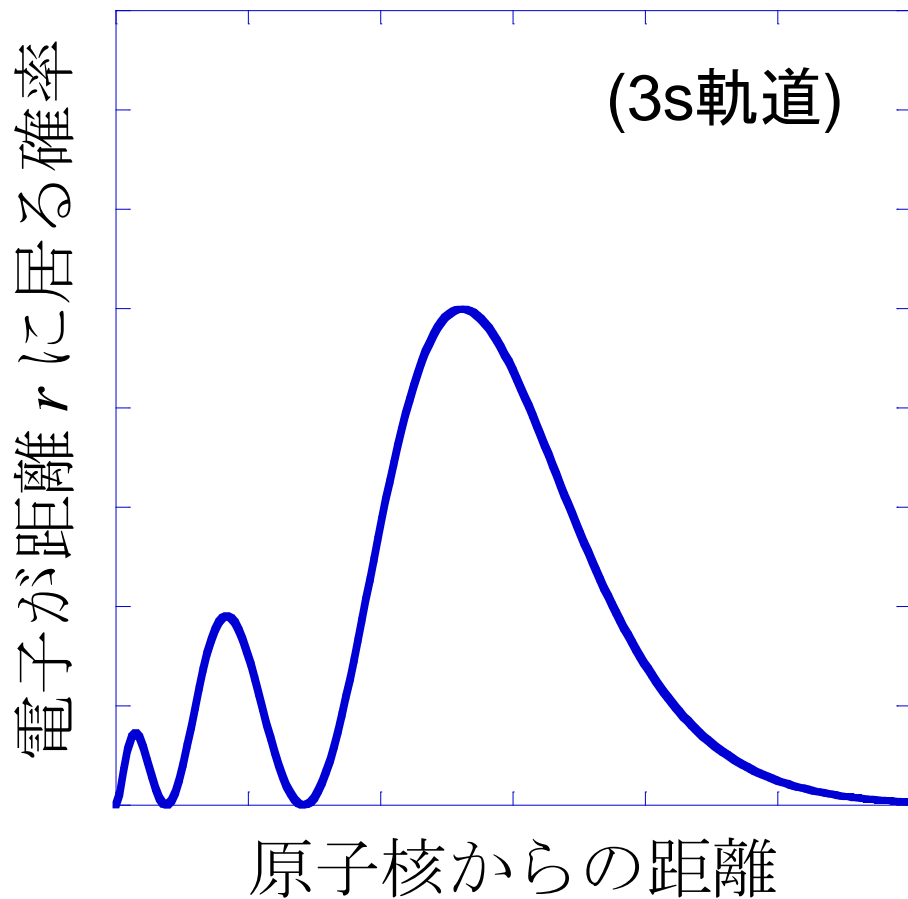
距離ゼロの位置： $\psi^2$ は大きい  
が、  
点は1つしか無い。



距離  $r$  の点： $\psi^2$ はあまり大きくないが、  
該当する位置は  $\pi r^2$  個（円周1週分）存在する。

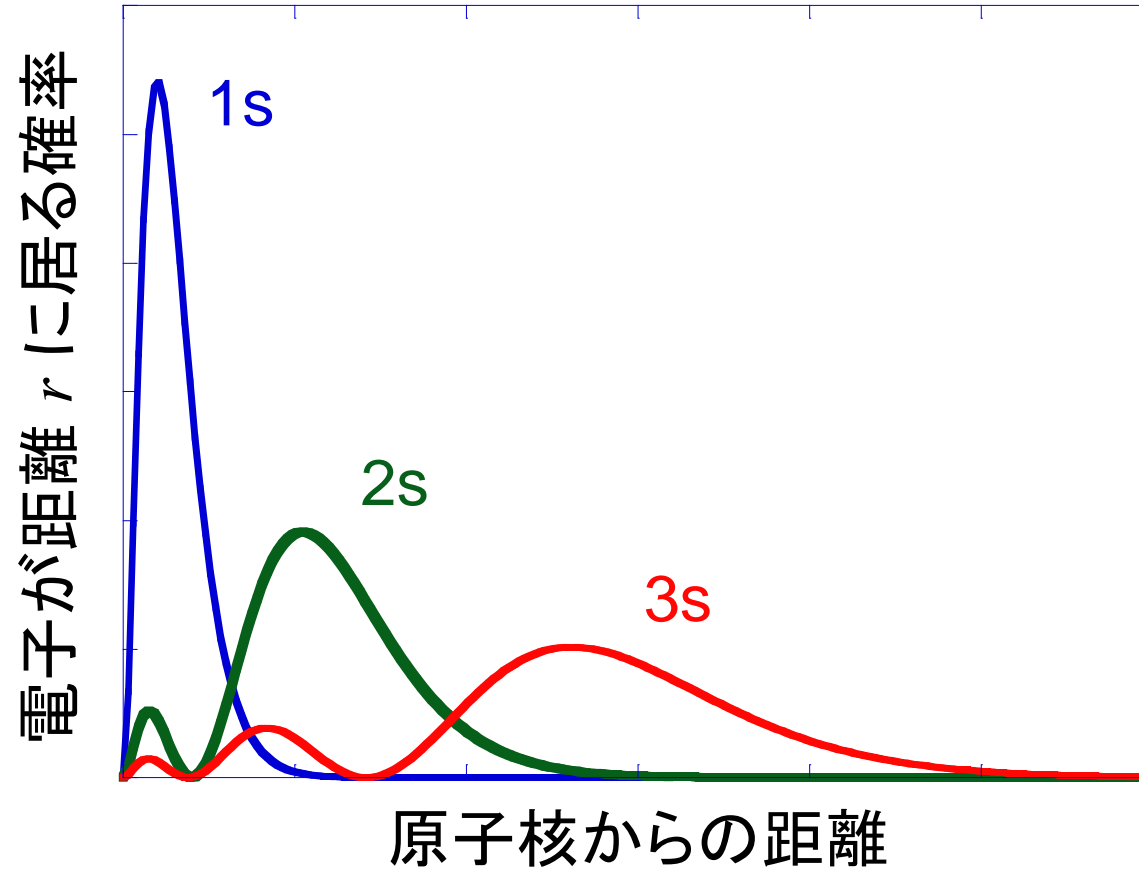
「電子が距離  $r$  に居る確率」

$$= \text{「距離 } r \text{ の1点に居る確率」} \times \text{「} \pi r^2 \text{」}$$



距離  $r$  の確率を足し合わせたこれを、**動径分布関数**と言う

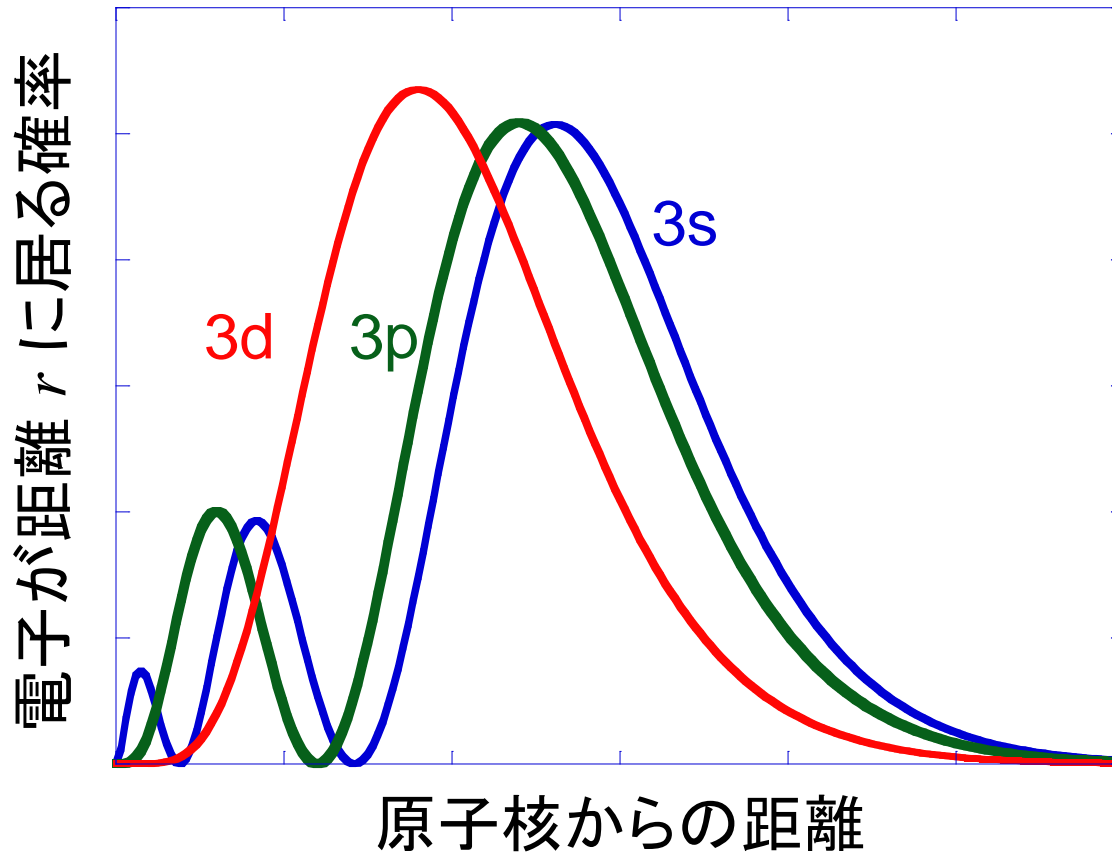
# s軌道の動径分布関数



- ・主量子数が増えるごとに、山が一つ増える.
- ・主量子数が大きいほど、原子核から遠くに電子が居る.
- ・主量子数が大きくても、原子核の近くに少しは存在する.



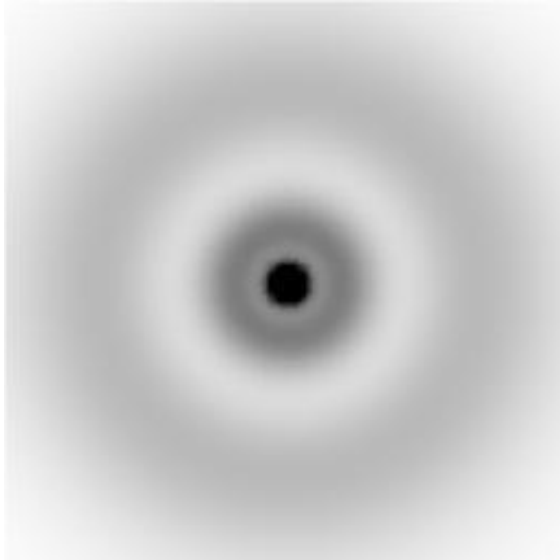
# 主量子数3の軌道の動径分布関数



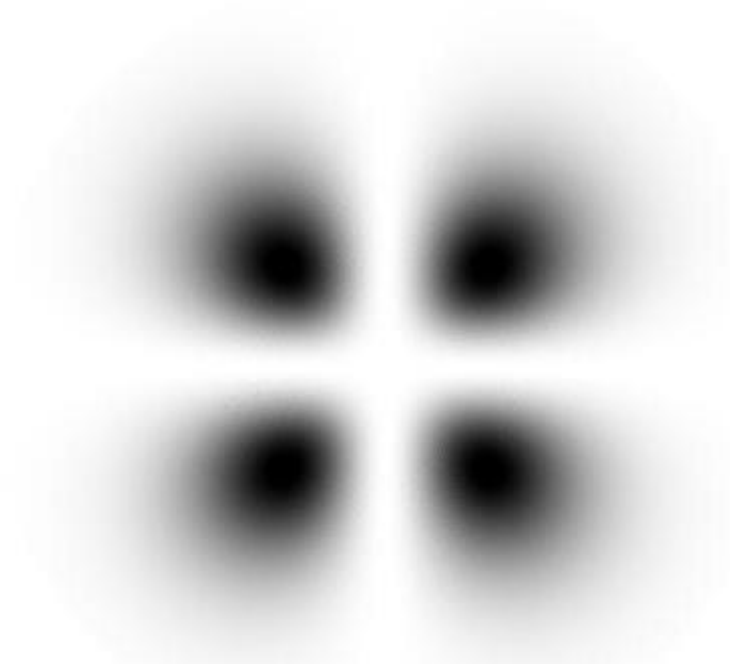
- (図ではわかりにくいですが)核からの平均距離は全部同じ.
- s軌道は原子核の近くに少し, 遠くに沢山.
- p, d軌道に行くほど, 原子核のそばには存在しない.

断面図で書くと, こんな感じ.

3s軌道



3d軌道



繰り返しになるが, s軌道は原子核の近くにも(少しだけ)電子の存在確率がある.

これが, 水素以外の原子では効いてくる(次回に解説).

# 本日のポイント

原子軌道(原子中で電子がとれる状態)

## 量子数

原子軌道を特徴付けるいくつかの整数  
この数値で原子軌道のエネルギー, 位置,  
形, 向いている方向が特定出来る.

主量子数が増える

→ エネルギー高い, 原子核から遠い

s, p, d軌道

s軌道は原子核の近くにも電子が分布