

## 序

本書は、機器分析化学の骨格を1つ1つ削り出し、その骨のそれぞれをただ単に羅列したものであって、相互の絡りの様子についてはまったく考慮されていないので、その内容の把握、理解は授業および自主的な学習によって達成されるものであることを基本として構成されている。

したがって、本テキスト内の余白への十分な書込みによって、既成の本にはない独自性のある一つの完成した冊子が出来上がるであろうことを期待する。

内容としては、すでに古く、過去の分析法となっている領域も一つの歴史的なもの、あるいは機器分析化学全体を把握するために必要なものとして取上げた。しかしながら、技術革新の激しい現在、X線フлуオロメトリー分析法、電子分光法 (ESCA) や核四重極共鳴分析法などの新しい分析法が近い将来 実際分析の場に登場するのは確実であるが、本書の骨格からは除いてある。いずれ、これらの領域についても取上げるべき秋が来るであろう。

1984年 9月 7日

## 序(再改訂版)

初版(1977年, 2単位授業テキスト)の後, 先の版(の基本部分)を3単位(90授業単位時間)の授業を前提にしてつくったのは, 13年前の1984年である。

その後, 学科の授業科目, 授業単位の見直しによって, 一部の内容を割愛することになってしまった。具体的には, ネフェロメトリー, 比濁分析法, ラマン分光分析法, イオンクロマトグラフィ, 薄層クロマトグラフィ, ペーパークロマトグラフィ, 電気分析法の一部, 放射線分析法など。

この版では, 短時間で授業効果を上げるために, 以前の版に比べて, より良い図表の選択とより多くの図表の掲載を心がけた。

ただ, このテキストが, 『授業を前提として』つくられているという基本方針は, 以前の版と, まったく同じである。従って, 「『授業に基づかない』自学自習用のテキストとしては不<sub>レ</sub>適<sub>当</sub>」であり, そのような用途には利用できない。もし, 自学自習のためのテキストを必要とするならば, 各分析法の章末にあげてある参考書を読んで欲しい。

最後に, それら章末の参考書は, このテキストの作成におおいに利用したが, このテキストを用いた授業を, 完全にカバーするものではないことに注意してほしい。この授業で取り上げた各分析法を大まかに知るには, 章末の参考書のいずれか1冊を読むことで可能であると思われる。しかしながら, この授業での学習内容を完全に理解するには, 章末の参考書のいずれか1冊を読むだけでは, 不<sub>レ</sub>充<sub>分</sub>である。

1997年 6月 23日

## 目 次

序	( i )
序(再改訂版)	( ii )
目次	( iii )
物理化学定数・基本単位	( iv )
S I 単位	( v )
元素・元素記号・原子量	( vi )
電磁波・ギリシャ文字	( viii )
周期表	( ix )
1 比色分析法	2
2 蛍光分析法	2 2
3 炎光分析法	2 8
4 発光分析法	3 6
5 原子吸光分析法	4 6
6 紫外分光分析法(U V)	5 6
7 質量分析法(M S)	6 6
8 赤外分光分析法(I R)	9 2
9 <sup>1</sup> H-核磁気共鳴分析法	1 2 8
1 0 <sup>13</sup> C-核磁気共鳴分析法	1 7 2
1 1 電子常磁性共鳴分析法	2 1 2
1 2 ガスクロマトグラフィ(G C)	2 2 0
1 3 液体クロマトグラフィ(L C)	2 4 6
1 4 ゲルパーミエーションクロマトグラフィ(G P C)	2 5 8
1 5 電気分析法	2 6 4
1 6 X線分析法	2 7 8
1 7 熱分析法	2 9 2

物理・化学定数

原子質量単位	$m_u$	$1.66053873(13) \times 10^{-27}$	[k g]
アボガドロ定数	$N_A$	$6.02214199(47) \times 10^{23}$	[mol <sup>-1</sup> ]
ボルツマン定数	$k$	$1.3806503(24) \times 10^{-23}$	[J · K <sup>-1</sup> ]
ファラデー定数	$F$	$9.64853415(39) \times 10^4$	[C · mol <sup>-1</sup> ]
1モルの気体定数	$R$	8.314472(15)	[J · K <sup>-1</sup> · mol <sup>-1</sup> ]
完全気体の体積 (0°C, 1 atm)	$V_0$	$2.2413996(39) \times 10^{-2}$	[m <sup>3</sup> · mol <sup>-1</sup> ]
真空中の光速度	$c$	$2.99792458 \times 10^8$	[m · s <sup>-1</sup> ]
真空中の透磁率	$\mu_0$	$1.2566370614 \dots \times 10^{-6}$	[NA <sup>-2</sup> ]
真空中の誘電率	$\epsilon_0$	$8.854187817 \dots \times 10^{-12}$	[F · m <sup>-1</sup> ]
万有引力定数	$G$	$6.673(10) \times 10^{-11}$	[Nm <sup>2</sup> k g <sup>-2</sup> ]
プランク定数	$h$	$6.62606876(52) \times 10^{-34}$	[J · s]
素電荷	$e$	$1.602176462(63) \times 10^{-19}$	[C]
磁束量子	$h/2e$	$2.067833636(81) \times 10^{-15}$	[W b]
フォン・クリツィング定数	$R_K$	$2.5812807572(95) \times 10^4$	[Ω]
ボーア磁子	$\mu_B$	$9.27400899(37) \times 10^{-24}$	[J · T <sup>-1</sup> ]
核磁子	$\mu_N$	$5.05078317(20) \times 10^{-27}$	[J · T <sup>-1</sup> ]
電子の質量	$m_e$	$9.10938188(72) \times 10^{-31}$	[k g]
陽子の質量	$m_p$	$1.67262158(13) \times 10^{-27}$	[k g]
中性子の質量	$m_n$	$1.67492716(13) \times 10^{-27}$	[k g]
ミュオン粒子の質量	$m_\mu$	$1.88353109(16) \times 10^{-28}$	[k g]
電子の磁気モーメント	$\mu_e$	$-9.28476362(37) \times 10^{-24}$	[J · T <sup>-1</sup> ]
自由電子の g 因子	$2\mu_e/\mu_B$	2.0023193043737(82)	[-]

-----  
CODATA (CommitteecmDataforScienceandTeckmology) 1998推奨値

基本単位

**時間** [s] (second)

<sup>133</sup>C s 原子の基底状態の2つの超微細準位 (F = 4, M = 0 および F = 3, M = 0) の間の遷移に対応する放射の 9 1 9 2 6 3 1 7 7 0 周期の継続時間である。

**長さ** [m] (metre)

光が真空中で 1 / 2 9 9 7 9 2 4 5 8 s の間に進む距離である。

**質量** [k g] (kilogram)

国際キログラム原器の質量をキログラムとする。

**電流** [A] (ampere)

真空中に 1 m の間隔で平行に置かれた、無限に小さい円形断面積を有する、無限に長い 2 本の直線状導体のそれぞれを流れ、これらの導体の長さ 1 m ごとに  $2 \times 10^{-7}$  N の力を及ぼし合う一定の電流である。

**温度** [K] (kelvin)

水の三重点の熱力学温度の 1 / 2 7 3 . 1 6 である。

**物質質量** [mol] (mole)

0.012 k g の <sup>12</sup>C に含まれる原子と等しい数の構成要素を含む系の物質質量である。モルを使用するときは、構成要素を指定しなければならない。構成要素は原子、分子・イオン・電子その他の粒子またはこの種の粒子の特定の系の集合体であつてよい。

**光度** [cd] (candela)

周波数  $5.40 \times 10^{12}$  H z の単色放射を放出し所定の方向の放射強度が 1 / 6 8 3 Wsr<sup>-1</sup> である光源の、その方向における光度である。

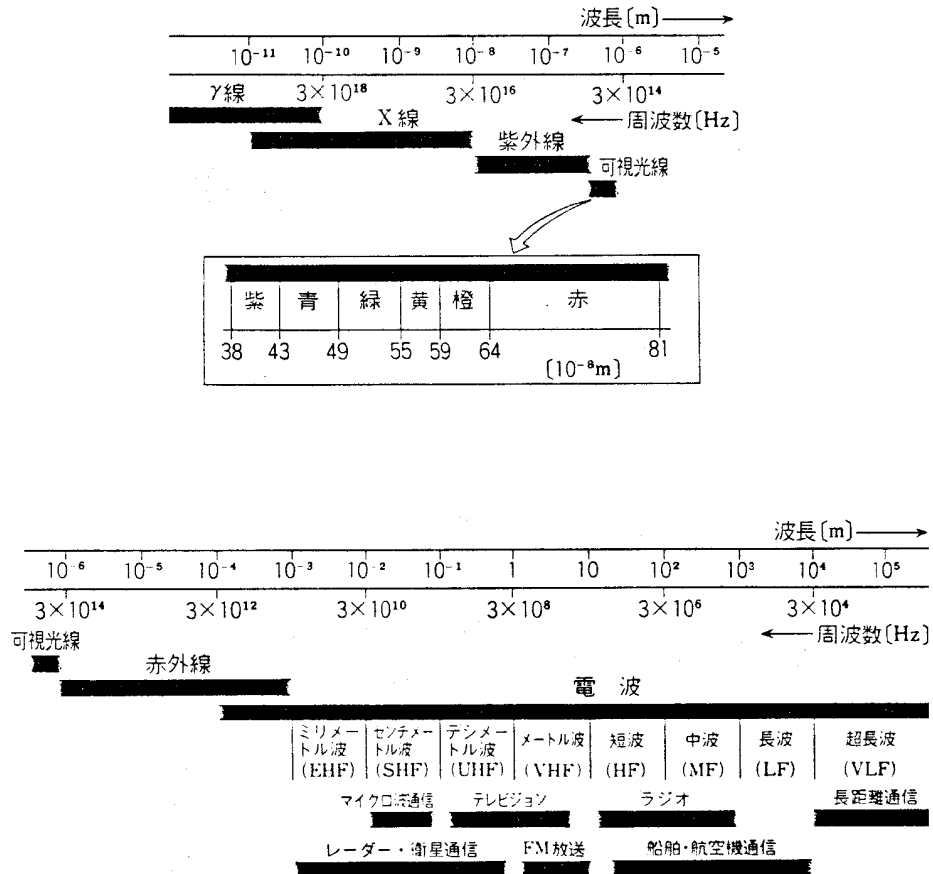
S I 組立単位			
量	単 位	単位記号	別の表し方
平面角	ラジアン	rad	
立体角	ステラジアン	sr	
周波数	ヘルツ(hertz)	H z	$s^{-1}$
力	ニュートン(newton)	N	$m \cdot k g \cdot s^{-2}$
圧力, 応力	パスカル(pascal)	P a	$m^{-1} \cdot k g \cdot s^{-2}$
エネルギー 仕事・熱量	ジュール(joule)	J	$m^2 \cdot k g \cdot s^{-2}$
仕事率, 電力	ワット(watt)	W	$m^2 \cdot k g \cdot s^{-3}$
電気量, 電荷	クーロン(coulomb)	C	s A
電圧, 電位	ボルト(volt)	V	$m^2 \cdot k g \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
静電容量	ファラド(farad)	F	$m^{-2} \cdot k g^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
電気抵抗	オーム(ohm)	$\Omega$	$m^2 \cdot k g \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンズ(siemens)	S	$m^{-2} \cdot k g^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
磁束	ウエーバー(weber)	W b	$m^2 \cdot k g \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
磁束密度	テスラ(tesla)	T	$k g \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー(henry)	H	$m^2 \cdot k g \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度	$^{\circ}C$	(K)
光束	ルーメン(lumen)	lm	cd·sr
照度	ルクス(lux)	lx	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$
放射能	ベクレル(becquerel)	B q	$s^{-1}$
吸収線量	グレイ(gray)	G y	$m^2 \cdot s^{-2}$
線量当量	シーベルト(sievert)	S v	$m^2 \cdot s^{-2}$

S I 接頭語					
名称	記号	大きさ	名称	記号	大きさ
ヨタ(yotta)	Y	$10^{24}$	ヨクト(yocto)	y	$10^{-24}$
ゼタ(zetta)	Z	$10^{21}$	zepto	z	$10^{-21}$
エクサ(exa)	E	$10^{18}$	アト(atto)	a	$10^{-18}$
ペタ(peta)	P	$10^{15}$	フェムト(femto)	f	$10^{-15}$
テラ(tera)	T	$10^{12}$	ピコ(pico)	p	$10^{-12}$
ギガ(giga)	G	$10^9$	ナノ(nano)	n	$10^{-9}$
メガ(mega)	M	$10^6$	マイクロ(micro)	$\mu$	$10^{-6}$
キロ(kilo)	k	$10^3$	ミリ(milli)	m	$10^{-3}$
-----					
ヘクト(hecto)	h	$10^2$	センチ(centi)	c	$10^{-2}$
デカ(deca)	da	10	デシ(decy)	d	$10^{-1}$

原子番号	元素	英語	元素記号	原子量
1	水素	Hydrogen	H	1.00794(7)
2	ヘリウム	Helium	He	4.002602(2)
3	リチウム	Lithium	Li	[6.941(2)]
4	ベリリウム	Beryllium	Be	9.012182(3)
5	ホウ素	Boron	B	10.811(7)
6	炭素	Carbon	C	12.0107(8)
7	窒素	Nitrogen	N	14.0067(2)
8	酸素	Oxygen	O	15.9994(3)
9	フッ素	Fluorine	F	18.9984032(5)
10	ネオン	Neon	Ne	20.1797(6)
11	ナトリウム	Sodium	Na	22.989770(2)
12	マグネシウム	Magnesium	Mg	24.3050(6)
13	アルミニウム	Aluminium	Al	26.981538(2)
14	ケイ素	Silicon	Si	28.0855(3)
15	リン	Phosphorus	P	30.973761(2)
16	硫黄	Sulfur	S	32.065(5)
17	塩素	Chlorine	Cl	35.453(2)
18	アルゴン	Argon	Ar	39.948(1)
19	カリウム	Potassium	K	39.0983(1)
20	カルシウム	Calcium	Ca	40.078(4)
21	スカンジウム	Scandium	Sc	44.955910(8)
22	チタン	Titanium	Ti	47.867(1)
23	バナジウム	Vanadium	V	50.9415(1)
24	クロム	Chromium	Cr	51.9961(6)
25	マンガン	Manganese	Mn	54.938049(9)
26	鉄	Iron	Fe	55.845(2)
27	コバルト	Cobalt	Co	58.933200(9)
28	ニッケル	Nickel	Ni	58.6934(2)
29	銅	Copper	Cu	63.546(3)
30	亜鉛	Zinc	Zn	65.39(2)
31	ガリウム	Gallium	Ga	69.723(1)
32	ゲルマニウム	Gennanium	Ge	72.64(1)
33	ヒ素	Arsenic	As	74.92160(2)
34	セレン	Selenium	Se	78.96(3)
35	臭素	Bromine	Br	79.904(1)
36	クリプトン	Krypton	Kr	83.80(1)
37	ルビジウム	Rubidium	Rb	85.4678(3)
38	ストロンチウム	Strontium	Sr	87.62(1)
39	イットリウム	Yttrium	Y	88.90585(2)
40	ジルコニウム	Zirconium	Zr	91.224(2)
41	ニオブ	Niobium	Nb	92.90638(2)
42	モリブデン	Molybdenum	Mo	95.94(1)
43	テクネチウム	Technetium	Tc	[99]
44	ルテニウム	Ruthenium	Ru	101.07(2)
45	ロジウム	Rhodium	Rh	102.90550(2)
46	パラジウム	Palladium	Pd	106.42(1)
47	銀	Silver	Ag	107.8682(2)
48	カドミウム	Cadmium	Cd	112.411(8)
49	インジウム	Indium	In	114.818(3)
50	スズ	Tin	Sn	118.710(7)
51	アンチモン	Antimony	Sb	121.760(1)
52	テルル	Tellurium	Te	127.60(3)
53	ヨウ素	Iodine	I	126.90447(3)
54	キセノン	Xenon	Xe	131.293(6)
55	セシウム	Caesium	Cs	132.90545(2)
56	バリウム	Barium	Ba	137.327(7)
57	ランタン	Lanthanum	La	138.9055(2)

58	セリウム	Cerium	Ce	140.116(1)
59	プラセオジウム	Praccodymium	Pr	140.90765(2)
60	ネオジウム	Neodymium	Nd	144.24(3)
61	プロメチウム	Promethium	Pm	[145]
62	サマリウム	Samarium	Sm	150.36(3)
63	ユウロピウム	Europium	Eu	151.964(1)
64	ガドリニウム	Gadolinium	Gd	157.25(3)
65	テルビウム	Terbium	Tb	158.92534(2)
66	ジスプロシウム	Dysprosium	Dy	162.50(3)
67	ホルミウム	Holmium	Ho	164.93032(2)
68	エルビウム	Erbium	Er	167.259(3)
69	ツリウム	Thulium	Tm	168.93421(2)
70	イツテルビウム	Ytterbium	Yb	173.04(3)
71	ルテチウム	Lutetium	Lu	174.967(1)
72	ハフニウム	Hafnium	Hf	178.49(2)
73	タンタル	Tantalum	Ta	180.9479(1)
74	タングステン	Tungsten	W	183.84(1)
75	レニウム	Rhenium	Re	186.207(1)
76	オスミウム	Osmium	Os	190.23(3)
77	イリジウム	Iridium	Ir	192.217(3)
78	白金	Platinum	Pt	195.078(2)
79	金	Gold	Au	196.96655(2)
80	水銀	Mercury	Hg	200.59(2)
81	タリウム	Thallium	Tl	204.3833(2)
82	鉛	Lead	Pb	207.2(1)
83	ビスマス	Bismuth	Bi	208.98038(2)
84	ポロニウム	Polonium	Po	[210]
85	アスタチン	Astatine	At	[210]
86	ラドン	Radon	Rn	[222]
87	フランシウム	Francium	Fr	[223]
88	ラジウム	Radium	Ra	[226]
89	アクチニウム	Actinium	Ac	[227]
90	トリウム	Thorium	Th	232.0381(1)
91	プロトアクチニウム	Protactinium	Pa	231.03588(2)
92	ウラン	Uranium	U	238.02891(3)
93	ネプツニウム	Neptunium	Np	[237]
94	プルトニウム	Plutonium	Pu	[239]
95	アメリシウム	Americium	Am	[243]
96	キュリウム	Curium	Cm	[247]
97	バークリウム	Berkelium	Bk	[247]
98	カリホルニウム	Californium	Cf	[252]
99	アインスタイニウム	Einsteinium	Es	[252]
100	フェルミウム	Fermium	Fm	[257]
101	メンデレビウム	Mendelevium	Md	[258]
102	ノーベリウム	Nobelium	No	[259]
103	ローレンシウム	Lawrencium	Lr	[262]
104	ラザホージウム	Rutherfordium	Rf	[261]
105	ドブニウム	Dubnium	Db	[262]
106	シーボーギウム	Seaborgium	Sg	[263]
107	ポーリウム	Bohrium	Bh	[264]
108	ハッシウム	Hassium	Hs	[265]
109	マイトネリウム	Meitnerium	Mt	[268]
110	ウンウンニリウム	Ununnilium	Uun	[269]
111	ウンウンウニウム	Unuilunium	Uuu	[272]
112	ウンウンビウム	Ununbium	Uub	[277]
114	ウンウンクアジウム	Ununquadium	Uuq	[289]
116	ウンウンヘキシウム	Ununhexium	Uuh	[289]
118	ウンウンオクチウム	Ununoctium	Uuo	[293]

## 電磁波



## ギリシャ文字

Α	Β	Γ	Δ	Ε	Ζ	Η	Θ
α	β	γ	δ	ε	ζ	η	θ
alpha	beta	gamma	delta	epsilon	zeta	eta	theta
アルファ	ベータ	ガンマ	デルタ	イプシロン	ゼータ	エータ	シータ
Ι	Κ	Λ	Μ	Ν	Ξ	Ο	Π
ι	κ	λ	μ	ν	ξ	ο	π
iota	kappa	lambda	mu	nu	xi	omicron	pi
イオータ	カッパ	ラムダ	ミュー	ニュー	グザイ	オミクロン	パイ
Ρ	Σ	Τ	Υ	Φ	Χ	Ψ	Ω
ρ	σ	τ	υ	φ	χ	ψ	ω
rho	sigma	tau	upsilon	phi	chi	psi	omega
ロー	シグマ	タウ	ウプシロン	ファイ	カイ	プサイ	オメガ



元素の周期表

1 H 1.00794																	2 He 4.002602
3 Li (6.941)	4 Be 9.012182											5 B 10.811	6 C 12.0107	7 N 14.0067	8 O 15.9994	9 F 18.9984032	10 Ne 20.1797
11 Na 22.989770	12 Mg 24.3050											13 Al 26.981538	14 Si 28.0855	15 P 30.973761	16 S 32.065	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948
19 K 39.0983	20 Ca 40.078	21 Sc 44.955910	22 Ti 47.867	23 V 50.9415	24 Cr 51.9961	25 Mn 54.938049	26 Fe 55.845	27 Co 58.933200	28 Ni 58.6934	29 Cu 63.546	30 Zn 65.39	31 Ga 69.723	32 Ge 72.64	33 As 74.92160	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80
37 Rb 85.4678	38 Sr 87.62	39 Y 88.90585	40 Zr 91.224	41 Nb 92.90638	42 Mo 95.94	43 Tc [99]	44 Ru 101.07	45 Rh 102.90550	46 Pd 106.42	47 Ag 107.8682	48 Cd 112.411	49 In 114.818	50 Sn 118.710	51 Sb 121.760	52 Te 127.60	53 I 126.90447	54 Xe 131.293
55 Cs 132.90545	56 Ba 137.327	57~71 *	72 Hf 178.49	73 Ta 180.9479	74 W 183.84	75 Re 186.207	76 Os 190.23	77 Ir 192.217	78 Pt 195.078	79 Au 196.96655	80 Hg 200.59	81 Tl 204.3833	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98038	84 Po [210]	85 At [210]	86 Rn [222]
87 Fr [223]	88 Ra [226]	89~103 ***	104 Rf [261]	105 Db [262]	106 Sg [263]	107 Bh [264]	108 Hs [265]	109 Mt [268]	110 Uun [269]	111 Uuu [272]	112 Uub [277]		114 Uuq [289]		116 Uuh [289]		118 Uuo [293]

*	57 La 138.9055	58 Ce 140.116	59 Pr 140.90765	60 Nd 144.24	61 Pm [145]	62 Sm 150.36	63 Eu 151.964	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92534	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93032	68 Er 167.259	69 Tm 168.93421	70 Yb 173.04	71 Lu 174.967
**	89 Ac [227]	90 Th 232.0381	91 Pa 231.03588	92 U 238.02891	93 Np [237]	94 Pu [239]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [252]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]	103 Lr [262]

\* ランタノイド      \*\* アクチノイド

