

「原子量表（2022）」について

日本化学会 原子量専門委員会

元素の原子量は1961年、「質量数12の炭素 (^{12}C) の質量を12（端数無し）としたときの相対質量とする」と決められた。以来、質量分析法等の物理的手法による各元素の核種の質量と同位体組成の測定データは質、量ともに格段に向上した。国際純正・応用化学連合（IUPAC）の、原子量および同位体存在度委員会（CIAAW）では、新しく測定されたデータの収集と検討をもとに、2年ごと（奇数年）に原子量表の改定を行っている。これを受けて、日本化学会原子量専門委員会では、毎年4月にその年の原子量表を発表している。以下に示す2022年版の原子量表の数値はIUPACにおいて2021年に承認された原子量の改定^{*1}に基づいている。さらに詳しいことはIUPACのCIAAWの報告書^{*2}および総説^{*3}を参照していただきたい。なお、2019年5月になされた単位の定義改定により、モルの定義はアボガドロ定数に基づく定義へと改定された。これに伴い、従来の $M(^{12}\text{C})=12\text{ g/mol}$ は、不確かさを持つ量となった。ただし、その相対不確かさは 10^{-9} 未満であり、ほとんどの計測において無視できる。

原子量表に記載されている各元素の原子量の値は、単核種元素（一つの安定核種からなる元素）以外の元素では、その元素を含む物質の起源や処理の仕方などによって変わりうる。これは原子量がそれぞれの元素を構成している安定核種の相対存在度（元素の同位体比）に依存するからである。測定技術の進歩によって、各元素の同位体存在度はかならずしも一定ではなく、地球上で起こる様々な過程のために変動し、それが原子量に反映されることがわかってきた。そうした背景から、2009年IUPACは10の元素については原子量を単一の数値ではなく、変動範囲で示すことを決定した^{*4}。日本化学会原子量専門委員会ではこの変更について検討し、「原子量表（2011）」以降、IUPACの方針を反映し、このような元素の原子量を変動範囲で、それ以外の元素については従来通り不確かさを伴う単一の数値で示すことにした。

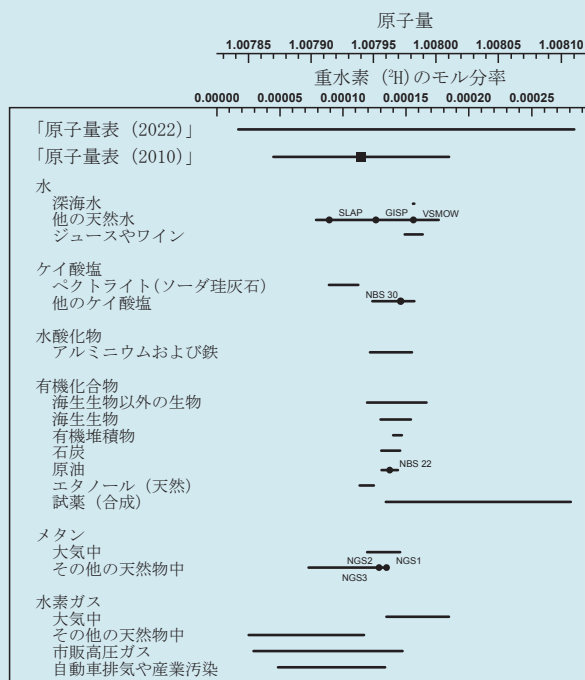
変動範囲による原子量の表記について

現在、水素、リチウム、ホウ素、炭素、窒素、酸素、マグネシウム、ケイ素、硫黄、塩素、アルゴン、臭素、タリウム、鉛の14元素の原子量に変動範囲で示されている。これらの元素は地球上で採取された試料や試薬中の同位体組成の変動が大きいことが知られている。以前は変動範囲が概ね含まれるように原子量の値とその不確かさが定められ、その範囲に含まれない地質学的試料がある場合には“g”，人為的な同位体分別を受けた試薬が一般的に利用されている可能性がある場合には“m”の注が記された。また、このように変動範囲が大きいため測定技術が進歩しても精度のよい原子量を与えることができない元素には“r”という注が記された。例えば水素について様々な試料の同位体組成とそれに対応する原子量を下図に示す。最上段に原子量の変動範囲1.00784~1.00811、次に「原子量表（2010）」の値 1.00794 ± 0.00007 が示されており、その下に様々な試料で測定された値が示されている。黒丸で示された点は代表的な同位体標準物質の値で、水素の同位体組成の測定精度は“best measurement”^{*5}で $\pm 0.000\,000\,05$ であり、「原子量表（2010）」までの値に付けられていた不確かさに比べて1/1000以下である。このような状況において不確かさを伴った単一の数値で表記すると、次のような問題点があった：

- ・原子量の不確かさを測定精度と誤解される恐れがある。
- ・原子量の値の分布は元素によって様々であり、ガウス分布をするとは限らない。
- ・新しい測定がそれまでの原子量の範囲を超えた場合、その値を含むように不確かさだけでなく原子量の値も変更しなければならない可能性がある。
- ・定められた原子量の値を持つ実際の物質を見つけることはしばしば難しく、場合によっては不可能である。

この改定でこのような元素の原子量は1つの値ではなく、知られているすべての試料の原子量が含まれるように変動範囲で表され、原子量は一定ではないことを明確に示した。また、この変動範囲の中での分布は原子量表には示されておらず、元素によって様々な分布を持っている^{*4,*6}。したがって、下記の点に注意してこの変動範囲を使用する必要がある：

- ・変動範囲の中間点を原子量の値、変動幅の半分を不確かさとして表記しないこと。



- ・ 上限, 下限の値は地球上の通常の物質の測定値に測定誤差を加味して定められているが, それ自体の値は不確かさを持っていない。
- ・ 原子量の値として可能な限りの桁数を与えているので, 場合によっては最後の桁がゼロである場合も表記する。

具体的な計算を行う際は下記の例を参考のこと^{*7}：

- ・ 対象とする元素について由来等の情報がなく原子量表の値のみから計算する場合は, 不確かさや変動範囲で示されている範囲に真の原子量が同じ確率で存在すると考える (長方形分布)。この場合, 計算で用いる原子量の値は変動範囲 $[a, b]$ とすると $(a+b)/2$ であり, 標準不確かさは $(b-a)/(2\sqrt{3})$ となる。同様に, 原子量が $A \pm u$ で表されている元素においても, 正規分布ではなく長方形分布であるとすると, 標準不確かさは $u/\sqrt{3}$ となる。

(例) 炭素とモリブデンの原子量

元素	原子量	不確かさの分布	値	標準不確かさ
C	[12.0096, 12.0116]	長方形分布	12.0106	0.0006
Mo	95.95 ± 0.01	長方形分布	95.95	0.006

- ・ 分子量などを計算する場合は上記の値と標準不確かさを入れ, 誤差伝播の式を用いて求める。

$$u^2(M_r) = \sum_E v_E^2 u^2(A_r(E))$$

ここで $u(M_r)$ は分子量の標準不確かさ, $u(A_r(E))$ は元素 E の標準不確かさ, v_E は元素 E の係数である。

(例) エタノール (C₂H₆O) の分子量

元素／分子	原子量	不確かさの分布	値	標準不確かさ	係数	不確かさの寄与
C	[12.0096, 12.0116]	長方形分布	12.010 60	0.000 58	2	0.001 15
H	[1.007 84, 1.008 11]	長方形分布	1.007 975	0.000 078	6	0.000 47
O	[15.999 03, 15.999 77]	長方形分布	15.999 40	0.000 22	1	0.000 22
C ₂ H ₆ O			46.068 45			0.001 26

※炭素の変動範囲が大きいので, エタノールの分子量の標準不確かさの 8 割以上が炭素の寄与である。より精密な分子量が必要な場合は, 炭素などの由来を明らかにして文献 (例えば^{*6}) や実測により変動範囲を絞って計算する必要がある。

- ・ より複雑な計算を行う場合, モンテカルロ法による不確かさの解析も行われる。

- * 1. IUPAC Inorganic Chemistry Division, CIAAW : STANDARD ATOMIC WEIGHT OF LEAD REVISED (<https://iupac.org/standard-atomic-weight-of-lead-revised/>) (<https://www.ciaaw.org/atomic-weights.htm>)
- * 2. T. Prohaska *et al.*: Standard Atomic Weights of the Elements 2021 (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, in press. J. Meija *et al.*: Atomic Weights of the Elements 2013 (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, **88**, 265 (2016).
- * 3. J. R. De Laeter *et al.*: Atomic Weights of the Elements: Review 2000 (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, **75**, 683 (2003).
- * 4. M. E. Wieser and T. B. Coplen: Atomic Weights of the Elements 2009 (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, **83**, 359 (2011).
- * 5. M. Berglund and M. E. Wieser: Isotopic Compositions of the Elements 2009 (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, **83**, 397 (2011).
- * 6. T. B. Coplen and Y. Shrestha: Isotope-abundance variations and atomic weights of selected elements: 2016 (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, **88**, 1203 (2016). (Erratum, *Pure Appl. Chem.*, **91**, 173 (2019))
- * 7. A. M. H. van der Veen *et al.*: Interpretation and use of standard atomic weights (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, **93**, 629 (2021). A. Pos-solo *et al.*: Interpreting and propagating the uncertainty of the standard atomic weights (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, **90**, 395 (2018)

原 子 量 表 (2022)

原子量 $A_r(E)$ を原子番号順に元素名および元素記号と共に示した。元素の英語名のうちよく使われる aluminium (アルミニウム) と caesium (セシウム) は, aluminum や cesium と表記される場合もある。原子量は, 元素により不確かさ付きの単一の値あるいは範囲で示されている。原子量は, 統一原子質量単位に対するその原子の平均質量の比として表される。ここで示した不確かさは, 通常の物質に対する不確かさであり, 測定の不確かさと天然での変動を考慮して示している。この表の備考は, 表中の値を超える変動が認められる元素について, その変動の要因(脚注の対応する記号に記載)を示している。14 の元素について, 通常の物質中の原子量の変動範囲を 4 列目に $[a, b]$ で示す。この場合, 元素 E の原子量 $A_r(E)$ は $a \leq A_r(E) \leq b$ の範囲にある。ある特定の物質に対してより正確な原子量が知りたい場合には, 別途求める必要がある。その他の 70 元素については, 原子量 $A_r(E)$ とその不確かさを示す。

Table 1. Standard atomic weights of the elements (Table of Standard Atomic Weights 2022).

Standard atomic weights, $A_r(E)$, are listed in increasing atomic number (column 1) with the element name (column 2) and element symbol (column 3). Commonly used alternative spellings for aluminium and caesium are aluminum and cesium. Standard atomic weights are given as single values (column 4) with uncertainties (column 5) or as intervals (column 4). Standard atomic weights are expressed as the ratio of the average mass of the atom to the unified atomic mass unit. The stated uncertainties (column 5) are uncertainties for normal materials and include evaluations of measurement uncertainty and natural variability. The footnotes (column 6) to this table elaborate the types of variations that may occur for individual elements and that may lie outside the values listed.

Standard atomic weight intervals are given in column 4 with the symbol $[a, b]$ to denote the set of atomic weight values in normal materials for 14 elements ($a \leq A_r(E) \leq b$ for element E).

1	2	3	4	5	6
原子番号 Atomic number	元素 Element	元素記号 Symbol	原子量 Standard atomic weight	不確かさ Uncertainty ‡	備考 Footnote
1	水素	hydrogen	H	[1.007 84, 1.008 11]	m
2	ヘリウム	helium	He	4.002 602	g r
3	リチウム	lithium	Li	[6.938, 6.997]	m
4	ベリリウム	beryllium	Be	9.012 1831	0.000 0005
5	ホウ素	boron	B	[10.806, 10.821]	m
6	炭素	carbon	C	[12.0096, 12.0116]	
7	窒素	nitrogen	N	[14.006 43, 14.007 28]	m
8	酸素	oxygen	O	[15.999 03, 15.999 77]	m
9	フッ素	fluorine	F	18.998 403 162	0.000 000 005
10	ネオン	neon	Ne	20.1797	0.0006
11	ナトリウム	sodium	Na	22.989 769 28	0.000 000 02
12	マグネシウム	magnesium	Mg	[24.304, 24.307]	
13	アルミニウム	aluminium	Al	26.981 5384	0.000 0003
14	ケイ素	silicon	Si	[28.084, 28.086]	
15	リン	phosphorus	P	30.973 761 998	0.000 000 005
16	硫黄	sulfur	S	[32.059, 32.076]	
17	塩素	chlorine	Cl	[35.446, 35.457]	m
18	アルゴン	argon	Ar	[39.792, 39.963]	
19	カリウム	potassium	K	39.0983	0.0001
20	カルシウム	calcium	Ca	40.078	0.004
21	スカンジウム	scandium	Sc	44.955 907	0.000 004
22	チタン	titanium	Ti	47.867	0.001
23	バナジウム	vanadium	V	50.9415	0.0001
24	クロム	chromium	Cr	51.9961	0.0006
25	マンガン	manganese	Mn	54.938 043	0.000 002
26	鉄	iron	Fe	55.845	0.002
27	コバルト	cobalt	Co	58.933 194	0.000 003
28	ニッケル	nickel	Ni	58.6934	0.0004
29	銅	copper	Cu	63.546	0.003
30	亜鉛	zinc	Zn	65.38	0.02
31	ガリウム	gallium	Ga	69.723	0.001
32	ゲルマニウム	germanium	Ge	72.630	0.008

1	2			3	4	5	6
原子番号 Atomic number	元素 Element			元素記号 Symbol	原子量 Standard atomic weight	不確かさ Uncertainty ‡	備考 Footnote
33	ヒ	素	arsenic	As	74.921 595	0.000 006	
34	セ	レ	selenium	Se	78.971	0.008	r
35	臭	素	bromine	Br	[79.901, 79.907]		
36	ク	リ	krypton	Kr	83.798	0.002	g m
37	ル	ビ	rubidium	Rb	85.4678	0.0003	g
38	ス	ト	strontium	Sr	87.62	0.01	g r
39	イ	ット	yttrium	Y	88.905 838	0.000 002	
40	ジ	ル	zirconium	Zr	91.224	0.002	g
41	ニ	オ	niobium	Nb	92.906 37	0.000 01	
42	モ	リ	molybdenum	Mo	95.95	0.01	g
43	テ	ク	technetium*	Tc			
44	ル	テ	ruthenium	Ru	101.07	0.02	g
45	ロ	ジ	rhodium	Rh	102.905 49	0.000 02	
46	パ	ラ	palladium	Pd	106.42	0.01	g
47		銀	silver	Ag	107.8682	0.0002	g
48	カ	ド	cadmium	Cd	112.414	0.004	g
49	イ	ン	indium	In	114.818	0.001	
50	ス		tin	Sn	118.710	0.007	g
51	ア	ン	antimony	Sb	121.760	0.001	g
52	テ	ル	tellurium	Te	127.60	0.03	g
53	ヨ	ウ	iodine	I	126.904 47	0.000 03	
54	キ	セ	xenon	Xe	131.293	0.006	g m
55	セ	シ	caesium	Cs	132.905 451 96	0.000 000 06	
56	バ	リ	barium	Ba	137.327	0.007	
57	ラ	ン	lanthanum	La	138.905 47	0.000 07	g
58	セ	リ	cerium	Ce	140.116	0.001	g
59	プ	ラ	praseodymium	Pr	140.907 66	0.000 01	
60	ネ	オ	neodymium	Nd	144.242	0.003	g
61	プ	ロ	promethium*	Pm			
62	サ	マ	samarium	Sm	150.36	0.02	g
63	ユ	ウ	europium	Eu	151.964	0.001	g
64	ガ	ド	gadolinium	Gd	157.25	0.03	g
65	テ	ル	terbium	Tb	158.925 354	0.000 007	
66	ジ	ス	dysprosium	Dy	162.500	0.001	g
67	ホ	ル	holmium	Ho	164.930 329	0.000 005	
68	エ	ル	erbium	Er	167.259	0.003	g
69	ツ	リ	thulium	Tm	168.934 219	0.000 005	
70	イ	ッ	ytterbium	Yb	173.045	0.010	g
71	ル	テ	lutetium	Lu	174.9668	0.0001	g
72	ハ	フ	hafnium	Hf	178.486	0.006	g
73	タ	ン	tantalum	Ta	180.947 88	0.000 02	
74	タ	ン	tungsten	W	183.84	0.01	
75	レ	ニ	rhenium	Re	186.207	0.001	
76	オ	ス	osmium	Os	190.23	0.03	g
77	イ	リ	iridium	Ir	192.217	0.002	
78	白		platinum	Pt	195.084	0.009	
79		金	gold	Au	196.966 570	0.000 004	
80	水		mercury	Hg	200.592	0.003	
81	タ	リ	thallium	Tl	[204.382, 204.385]		
82		鉛	lead	Pb	[206.14, 207.94]		
83	ビ	ス	bismuth*	Bi	208.980 40	0.000 01	

1	2	3	4	5	6
原子番号 Atomic number	元素 Element	元素記号 Symbol	原子量 Standard atomic weight	不確かさ Uncertainty ‡	備考 Footnote
84	ポ ロ ニ ウ ム	polonium*	Po		
85	ア ス タ チ ン	astatine*	At		
86	ラ ド ン	radon*	Rn		
87	フ ラ ン シ ウ ム	francium*	Fr		
88	ラ ジ ウ ム	radium*	Ra		
89	ア ク チ ニ ウ ム	actinium*	Ac		
90	ト リ ウ ム	thorium*	Th	232.0377	g
91	プロトアクチニウム	protactinium*	Pa	231.035 88	
92	ウ ラ ン	uranium*	U	238.028 91	g m
93	ネ プ ツ ニ ウ ム	neptunium*	Np		
94	プ ル ト ニ ウ ム	plutonium*	Pu		
95	ア メ リ シ ウ ム	americium*	Am		
96	キ ュ リ ウ ム	curium*	Cm		
97	バ ー ク リ ウ ム	berkelium*	Bk		
98	カリホルニウム	californium*	Cf		
99	アインスタイニウム	einsteinium*	Es		
100	フ ェ ル ミ ウ ム	fermium*	Fm		
101	メンデレビウム	mendelevium*	Md		
102	ノーベリウム	nobelium*	No		
103	ローレンシウム	lawrencium*	Lr		
104	ラザホージウム	rutherfordium*	Rf		
105	ド ブ ニ ウ ム	dubnium*	Db		
106	シーボーギウム	seaborgium*	Sg		
107	ボ ー リ ウ ム	bohrium*	Bh		
108	ハ ッ シ ウ ム	hassium*	Hs		
109	マイトネリウム	meitnerium*	Mt		
110	ダームスタチウム	darmstadtium*	Ds		
111	レントゲニウム	roentgenium*	Rg		
112	コペルニシウム	copernicium*	Cn		
113	ニ ホ ニ ウ ム	nihonium*	Nh		
114	フレロビウム	flerovium*	Fl		
115	モスコビウム	moscovium*	Mc		
116	リバモリウム	livermorium*	Lv		
117	テ ネ シ ン	tennessine*	Ts		
118	オ ガ ネ ソ ン	oganesson*	Og		

* : 安定同位体がなく放射性同位体だけがある元素。ただし, Bi, Th, Pa, U の4元素は例外で, これらの元素は地球上で固有の同位体組成を示すので, 原子量が与えられている。

‡ : $A_r(E)$ とその不確かさは, 通常の物質に与えられたもので, 測定の不確かさや原子量が適用可能な天然での変動から評価されている。通常の物質中の原子量は, 本表で示された最小値と最大値の範囲に高い確度で収まっている。もし $A_r(E)$ の不確かさが, 測定可能な原子量の変動を示す目的には大きすぎる場合, 個々の試料の測定によって得られる $A_r(E)$ の不確かさはより小さくなることもある。

g : 当該元素の同位体組成が通常の物質が示す変動幅を越えるような地質学的なあるいは生物学的な試料が知られている。そのような試料中では当該元素の原子量とこの表の値との差が, 表記の不確かさを越えることがある。

m : 不詳な, あるいは不適切な同位体分別を受けたために同位体組成が変動した物質が市販品に見いだされることがある。そのため, 当該元素の原子量が表記の値とかなり異なることがある。

r : 通常の地球上の物質の同位体組成に変動があるために表記の原子量より精度の良い値を与えることができない。表中の原子量および不確かさは通常の物質に適用されるものとする。

* : Element has no stable isotope, only radioactive isotopes. For four elements (Bi, Th, Pa, and U) a standard atomic weight is tabulated because these elements have a characteristic terrestrial isotopic composition; for the other 34 elements a standard atomic weight cannot be determined.

‡ : $A_r(E)$ values and their uncertainties are given for normal materials and include evaluations of measurement uncertainty as well as natural variations in atomic weight where applicable. The atomic weight of a normal material is expected to lie within the lower and upper endpoints of the standard atomic weight with great certitude. If the uncertainty in $A_r(E)$ is considered too large for a user's purpose for an element with measurable variations in atomic weight, a value of $A_r(E)$ with a lower uncertainty might be obtained by measurement of an individual specimen.

g : Geological and biological materials are known in which the element has an isotopic composition outside the limits for normal material. The difference between the atomic weight of the element in such materials and that given in the table may exceed the stated uncertainty.

m : Modified isotopic compositions may be found in commercially available material because the material has been subjected to some undisclosed or inadvertent isotopic fractionation. Substantial deviations in atomic weight of the element from that given in the table can occur.

r : Range in isotopic composition of normal terrestrial material prevents a more precise standard atomic weight being given; the tabulated value and uncertainty should be applicable to normal material.

4 桁の原子量表 (2022)

(元素の原子量は、質量数 12 の炭素 (^{12}C) を 12 とし、これに対する相対値とする。)

本表は、実用上の便宜を考えて、国際純正・応用化学連合 (IUPAC) で承認された最新の原子量に基づき、日本化学会原子量専門委員会が独自に作成したものである。本来、同位体存在度の不確定さは、自然に、あるいは人為的に起こりうる変動や実験誤差のために、元素ごとに異なる。従って、個々の原子量の値は、正確度が保証された有効数字の桁数が大きく異なる。本表の原子量を引用する際には、このことに注意を喚起することが望ましい。

なお、本表の原子量の信頼性はリチウム、亜鉛の場合を除き有効数字の 4 桁目で ± 1 以内である (両元素については脚注参照)。また、安定同位体がなく、天然で特定の同位体組成を示さない元素については、その元素の放射性同位体の質量数の一例を () 内に示した。従って、その値を原子量として扱うことは出来ない。

原子番号	元 素 名	元素記号	原子量
1	水	素 H	1.008
2	ヘ リ ウ ム	He	4.003
3	リ チ ウ ム	Li	6.94 [†]
4	ベ リ リ ウ ム	Be	9.012
5	ホ ウ 素	B	10.81
6	炭 素	C	12.01
7	窒 素	N	14.01
8	酸 素	O	16.00
9	フ ッ 素	F	19.00
10	ネ オ ン	Ne	20.18
11	ナ ト リ ウ ム	Na	22.99
12	マ グ ネ シ ウ ム	Mg	24.31
13	ア ル ミ ニ ウ ム	Al	26.98
14	ケ イ 素	Si	28.09
15	リ ン	P	30.97
16	硫 黄	S	32.07
17	塩 素	Cl	35.45
18	ア ル ゴ ン	Ar	39.95
19	カ リ ウ ム	K	39.10
20	カ ル シ ウ ム	Ca	40.08
21	ス カ ン ジ ウ ム	Sc	44.96
22	チ タ ン	Ti	47.87
23	バ ナ ジ ウ ム	V	50.94
24	ク ロ ム	Cr	52.00
25	マ ン ガ ン	Mn	54.94
26	鉄	Fe	55.85
27	コ バ ル ト	Co	58.93
28	ニ ッ ケ ル	Ni	58.69
29	銅	Cu	63.55
30	亜 鉛	Zn	65.38*
31	ガ リ ウ ム	Ga	69.72
32	ゲ ル マ ニ ウ ム	Ge	72.63
33	ヒ 素	As	74.92
34	セ レ ン	Se	78.97
35	臭 素	Br	79.90
36	ク リ プ ト ン	Kr	83.80
37	ル ビ ジ ウ ム	Rb	85.47
38	ストロンチウム	Sr	87.62
39	イ ッ ト リ ウ ム	Y	88.91
40	ジルコニウム	Zr	91.22
41	ニ オ ブ	Nb	92.91
42	モ リ ブ デ ン	Mo	95.95
43	テ ク ネ チ ウ ム	Tc	(99)

原子番号	元 素 名	元素記号	原子量
44	ル テ ニ ウ ム	Ru	101.1
45	ロ ジ ウ ム	Rh	102.9
46	パ ラ ジ ウ ム	Pd	106.4
47	銀	Ag	107.9
48	カ ド ミ ウ ム	Cd	112.4
49	イ ン ジ ウ ム	In	114.8
50	ス ズ	Sn	118.7
51	ア ン チ モ ン	Sb	121.8
52	テ ル ル	Te	127.6
53	ヨ ウ 素	I	126.9
54	キ セ ノ ン	Xe	131.3
55	セ シ ウ ム	Cs	132.9
56	バ リ ウ ム	Ba	137.3
57	ラ ン タ ン	La	138.9
58	セ リ ウ ム	Ce	140.1
59	プ ラ セ オ ジ ム	Pr	140.9
60	ネ オ ジ ム	Nd	144.2
61	プ ロ メ チ ウ ム	Pm	(145)
62	サ マ リ ウ ム	Sm	150.4
63	ユ ウ ロ ビ ウ ム	Eu	152.0
64	ガ ド リ ニ ウ ム	Gd	157.3
65	テ ル ビ ウ ム	Tb	158.9
66	ジ ス プ ロ シ ウ ム	Dy	162.5
67	ホ ル ミ ウ ム	Ho	164.9
68	エ ル ビ ウ ム	Er	167.3
69	ツ リ ウ ム	Tm	168.9
70	イ ッ テ ル ビ ウ ム	Yb	173.0
71	ル テ チ ウ ム	Lu	175.0
72	ハ フ ニ ウ ム	Hf	178.5
73	タ ン タ ル	Ta	180.9
74	タ ン グ ス テ ン	W	183.8
75	レ ニ ウ ム	Re	186.2
76	オ ス ミ ウ ム	Os	190.2
77	イ リ ジ ウ ム	Ir	192.2
78	白 金	Pt	195.1
79	金	Au	197.0
80	水 銀	Hg	200.6
81	タ リ ウ ム	Tl	204.4
82	鉛	Pb	207.2
83	ビ ス マ ス	Bi	209.0
84	ポ ロ ニ ウ ム	Po	(210)
85	ア ス タ チ ン	At	(210)
86	ラ ド ン	Rn	(222)

原子番号	元 素 名	元素記号	原子量
87	フ ラ ン シ ウ ム	Fr	(223)
88	ラ ジ ウ ム	Ra	(226)
89	ア ク チ ニ ウ ム	Ac	(227)
90	ト リ ウ ム	Th	232.0
91	プロトアクチニウム	Pa	231.0
92	ウ ラ ン	U	238.0
93	ネ プ ツ ニ ウ ム	Np	(237)
94	プ ル ト ニ ウ ム	Pu	(239)
95	ア メ リ シ ウ ム	Am	(243)
96	キ ュ リ ウ ム	Cm	(247)
97	バ ー ク リ ウ ム	Bk	(247)
98	カ リ ホ ル ニ ウ ム	Cf	(252)
99	アインスタイニウム	Es	(252)
100	フ ェ ル ミ ウ ム	Fm	(257)
101	メ ン デ レ ビ ウ ム	Md	(258)
102	ノ ー ベ リ ウ ム	No	(259)

原子番号	元 素 名	元素記号	原子量
103	ロ ー レ ン シ ウ ム	Lr	(262)
104	ラ ザ ホ ー ジ ウ ム	Rf	(267)
105	ド ブ ニ ウ ム	Db	(268)
106	シ ー ボ ー ギ ウ ム	Sg	(271)
107	ボ ー リ ウ ム	Bh	(272)
108	ハ ッ シ ウ ム	Hs	(277)
109	マ イ ト ネ リ ウ ム	Mt	(276)
110	ダ ー ム ス タ チ ウ ム	Ds	(281)
111	レ ン ト ゲ ニ ウ ム	Rg	(280)
112	コ ペ ル ニ シ ウ ム	Cn	(285)
113	ニ ホ ニ ウ ム	Nh	(278)
114	フ レ ロ ビ ウ ム	Fl	(289)
115	モ ス コ ビ ウ ム	Mc	(289)
116	リ バ モ リ ウ ム	Lv	(293)
117	テ ネ シ ン	Ts	(293)
118	オ ガ ネ ソ ン	Og	(294)

†: 人為的に⁶Liが抽出され、リチウム同位体比が大きく変動した物質が存在するために、リチウムの原子量は大きな変動幅をもつ。従って本表では例外的に3桁の値が与えられている。なお、天然の多くの物質中でのリチウムの原子量は6.94に近い。

*: 亜鉛に関しては原子量の信頼性は有効数字4桁目で±2である。

元素の周期表(2022)

周期\族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	族／周期																																								
1	1 H 水素 1.00784~ 1.00811	<table><tr><td>原子番号</td><td>元素記号^{注1}</td></tr><tr><td colspan="18">元素名</td></tr><tr><td colspan="18">原子量(2022)^{注2}</td></tr></table>																		原子番号	元素記号 ^{注1}	元素名																		原子量(2022) ^{注2}																		2 He ヘリウム 4.002602	1
																				原子番号	元素記号 ^{注1}																																						
元素名																																																											
原子量(2022) ^{注2}																																																											
2	3 Li リチウム 6.938~ 6.997	4 Be ベリリウム 9.0121831																			10 Ne ネオン 20.1797	2																																					
3	11 Na ナトリウム 22.98976928	12 Mg マグネシウム 24.304~ 24.307																			18 Ar アルゴン 39.792~ 39.963	3																																					
4	19 K カリウム 39.0983	20 Ca カルシウム 40.078	21 Sc スカンジウム 44.955907	22 Ti チタン 47.867	23 V バナジウム 50.9415	24 Cr クロム 51.9961	25 Mn マンガン 54.938043	26 Fe 鉄 55.845	27 Co コバルト 58.933194	28 Ni ニッケル 58.6934	29 Cu 銅 63.546	30 Zn 亜鉛 65.38	31 Ga ガリウム 69.723	32 Ge ゲルマニウム 72.630	33 As ヒ素 74.921595	34 Se セレン 78.971	35 Br 臭素 79.901~ 79.907	36 Kr クリプトン 83.798	4																																								
5	37 Rb ルビジウム 85.4678	38 Sr ストロンチウム 87.62	39 Y イットリウム 88.905838	40 Zr ジルコニウム 91.224	41 Nb ニオブ 92.90637	42 Mo モリブデン 95.95	43 Tc [*] テクネチウム (99)	44 Ru ルルチウム 101.07	45 Rh ロジウム 102.90549	46 Pd パラジウム 106.42	47 Ag 銀 107.8682	48 Cd カドミウム 112.414	49 In インジウム 114.818	50 Sn スズ 118.710	51 Sb アンチモン 121.760	52 Te テルル 127.60	53 I ヨウ素 126.90447	54 Xe キセノン 131.293	5																																								
6	55 Cs セシウム 132.90545196	56 Ba バリウム 137.327	57~71 ランタノイド	72 Hf ハフニウム 178.486	73 Ta タンタル 180.94788	74 W タングステン 183.84	75 Re レニウム 186.207	76 Os オスミウム 190.23	77 Ir イリジウム 192.217	78 Pt 白金 195.084	79 Au 金 196.966570	80 Hg 水銀 200.592	81 Tl タリウム 204.382~ 204.385	82 Pb 鉛 206.14~ 207.94	83 Bi [*] ビスマス 208.98040	84 Po [*] ポロニウム (210)	85 At [*] アスタチン (210)	86 Rn [*] ラドン (222)	6																																								
7	87 Fr [*] フランシウム (223)	88 Ra [*] ラジウム (226)	89~103 アクチノイド	104 Rf [*] ラザホージウム (267)	105 Db [*] ドブニウム (268)	106 Sg [*] シーボーギウム (271)	107 Bh [*] ボーリウム (272)	108 Hs [*] ハッジウム (277)	109 Mt [*] マイトネリウム (276)	110 Ds [*] ダームスタチウム (281)	111 Rg [*] レントゲニウム (280)	112 Cn [*] コベルニシウム (285)	113 Nh [*] ニホニウム (278)	114 Fl [*] フレロビウム (289)	115 Mc [*] モスコビウム (289)	116 Lv [*] リバモリウム (293)	117 Ts [*] テネシン (293)	118 Og [*] オガネソン (294)	7																																								

ランタノイド	57 La ランタン 138.90547	58 Ce セリウム 140.116	59 Pr プラセオジウム 140.90766	60 Nd ネオジウム 144.242	61 Pm* プロメチウム (145)	62 Sm サマリウム 150.36	63 Eu ユウロビウム 151.964	64 Gd ガドリニウム 157.25	65 Tb テルビウム 158.925354	66 Dy ジスプロシウム 162.500	67 Ho ホルミウム 164.930329	68 Er エルビウム 167.259	69 Tm ツリウム 168.934219	70 Yb イットルビウム 173.045	71 Lu ルテチウム 174.9668
アクチノイド	89 Ac* アクチニウム (227)	90 Th* トリウム 232.0377	91 Pa* プロトアクチニウム 231.03586	92 U* ウラン 238.02891	93 Np* ネプツニウム (237)	94 Pu* プルトニウム (239)	95 Am* アメリシウム (243)	96 Cm* キュリウム (247)	97 Bk* バークリウム (247)	98 Cf* カリホルニウム (252)	99 Es* アインスタイニウム (252)	100 Fm* フェルミウム (257)	101 Md* メンデレビウム (258)	102 No* ノーベリウム (259)	103 Lr* ローレンシウム (262)

注1：元素記号の右肩の*はその元素には安定同位体が存在しないことを示す。そのような元素については放射性同位体の質量数の一例を（ ）内に示した。ただし、Bi, Th, Pa, U については天然で特定の同位体組成を示すので原子量が与えられる。

注2：この周期表には最新の原子量「原子量表（2022）」が示されている。原子量は単一の数値あるいは変動範囲で示されている。原子量が範囲で示されている14元素には複数の安定同位体が存在し、その組成が天然において大きく変動するため単一の数値で原子量が与えられない。その他の70元素については、原子量の不確かさは示された数値の最後の桁にある。

元素の同位体組成表（2022）

国際純正・応用化学連合（IUPAC）無機化学部門の原子量および同位体存在度委員会（CIAAW）は、原子量の改定の基礎となる同位体存在度の値を検討するため、同位体存在度測定小委員会を設けてデータの収集、評価を行い、必要に応じて改定を行っている。以下に示す 2022 年版の元素の同位体組成は上記小委員会が 2013 年版として発表した値^{*1}に基づいている。なお、最新の原子量表に対応する値は CIAAW のウェブサイト^{*2}に掲載されている。

この表を用いるにあたって特に次の点に注意する必要がある。

- (1) この表中の同位体存在度は普通の実験室でごく一般的に使われている試薬や物質中の元素の同位体存在度を示す。
- (2) これらの値は自然界に最も多く存在する物質に対する同位体存在度を示しているとは限らない。
- (3) IUPAC の 2013 年版で原子量が変動範囲で示されている 13 元素のうち、アルゴンを除く 12 元素では同位体組成も変動範囲で示されている。
[*a*, *b*] は同位体存在度が *a* 以上 *b* 以下の範囲にあることを表す。
- (4) () 内の数字は各同位体存在度の不確かさで、自然に、あるいは人為的に起こりうる変動の幅、および実験誤差を含んでいる。
- (5) この不確かさは原論文に記載されている同位体比データ、およびその測定方法を上記委員会が定めた基準を適用して求められたものであり、同位体存在度の有効数字はこの不確かさの程度によって決定されている。
- (6) 個々の物質の精密な同位体存在度を得たい場合には、同位体標準物質を入手して比較測定するか、適切な方法を用いて測定をする必要がある。
- (7) ヘリウム、窒素、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノンの同位体存在度は空気中に存在するそれぞれの気体の値である。
- (8) 半減期が 4×10^8 年以下の核種からなる元素は掲載されていない。ただしプロトアクチニウムについては ²³¹Pa（半減期： 3.28×10^4 年）が ²³⁵U からの壊変生成物として常に自然界に存在しているので例外的に単核種元素として記載されている。

*1. J. Meija *et al.*: Isotopic Compositions of the Elements 2013 (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, **88**, 293 (2016).

*2. <http://www.ciaaw.org/isotopic-abundances.htm>

原子番号	元素記号	質量数	同位体存在度 [原子百分率]	備考	原子番号	元素記号	質量数	同位体存在度 [原子百分率]	備考
1	H	1	[99.972, 99.999]	M			30	[3.037, 3.110]	
		2	[0.001, 0.028]		15	P	31	100	
2	He	3	0.0002(2)	G R	16	S	32	[94.41, 95.29]	
		4	99.9998(2)				33	[0.729, 0.797]	
3	Li	6	[1.9, 7.8] ^a	M			34	[3.96, 4.77]	
		7	[92.2, 98.1] ^a				36	[0.0129, 0.0187]	
4	Be	9	100		17	Cl	35	[75.5, 76.1]	M
5	B	10	[18.9, 20.4]	M			37	[23.9, 24.5]	
		11	[79.6, 81.1]		18	Ar	36	0.3336(210)	G R
6	C	12	[98.84, 99.04]				38	0.0629(70)	
		13	[0.96, 1.16]				40	99.6035(250)	
7	N	14	[99.578, 99.663] ^b	M	19	K	39	93.2581(44)	
		15	[0.337, 0.422]				40	0.0117(1)	
8	O	16	[99.738, 99.776]	M			41	6.7302(44)	
		17	[0.0367, 0.0400]		20	Ca	40	96.941(156) ^c	G
		18	[0.187, 0.222]				42	0.647(23)	
9	F	19	100				43	0.135(10)	
10	Ne	20	90.48(3)	GM			44	2.086(110)	
		21	0.27(1)				46	0.004(3)	
		22	9.25(3)				48	0.187(21)	
11	Na	23	100		21	Sc	45	100	
12	Mg	24	[78.88, 79.05]		22	Ti	46	8.25(3)	
		25	[9.988, 10.034]				47	7.44(2)	
		26	[10.96, 11.09]				48	73.72(3)	
13	Al	27	100				49	5.41(2)	
14	Si	28	[92.191, 92.318]				50	5.18(2)	
		29	[4.645, 4.699]		23	V	50	0.250(10)	

原子 番号	元素 記号	質量数	同位体存在度 [原子百分率]	備考	原子 番号	元素 記号	質量数	同位体存在度 [原子百分率]	備考
24	Cr	51	99.750(10)		41	Nb	92	17.15(3)	
		50	4.345(13)				94	17.38(4)	
		52	83.789(18)				96	2.80(2)	
		53	9.501(17)				93	100	
		54	2.365(7)		42	Mo	92	14.649(106)	G
25	Mn	55	100				94	9.187(33)	
26	Fe	54	5.845(105)				95	15.873(30)	
		56	91.754(106)				96	16.673(8)	
		57	2.119(29)				97	9.582(15)	
		58	0.282(12)				98	24.292(80)	
27	Co	59	100		44	Ru	100	9.744(65)	
28	Ni	58	68.0769(190)	R			96	5.54(14)	G
		60	26.2231(150)				98	1.87(3)	
		61	1.1399(13)				99	12.76(14)	
		62	3.6345(40)				100	12.60(7)	
		64	0.9256(19)				101	17.06(2)	
29	Cu	63	69.15(15)	R	45	Rh	102	31.55(14)	
		65	30.85(15)				104	18.62(27)	
30	Zn	64	49.17(75)	R		Pd	103	100	
		66	27.73(98)				102	1.02(1)	G
		67	4.04(16)				104	11.14(8)	
		68	18.45(63)				105	22.33(8)	
31	Ga	70	0.61(10)		47	Ag	106	27.33(3)	
		69	60.108(50)				108	26.46(9)	
		71	39.892(50)				110	11.72(9)	
32	Ge	70	20.52(19)				107	51.839(8)	G
		72	27.45(15)				109	48.161(8)	
		73	7.76(8)		48	Cd	106	1.245(22)	G
		74	36.52(12)				108	0.888(11)	
		76	7.75(12)				110	12.470(61)	
33	As	75	100				111	12.795(12)	
34	Se	74	0.86(3)	R			112	24.109(7)	
		76	9.23(7)		49	In	113	12.227(7)	
		77	7.60(7)				114	28.754(81)	
		78	23.69(22)				116	7.512(54)	
		80	49.80(36)				113	4.281(52)	
35	Br	82	8.82(15)				115	95.719(52)	
		79	[50.5, 50.8]		50	Sn	112	0.97(1)	G
36	Kr	81	[49.2, 49.5]				114	0.66(1)	
		78	0.355(3)	GM			115	0.34(1)	
		80	2.286(10)				116	14.54(9)	
		82	11.593(31)				117	7.68(7)	
		83	11.500(19)				118	24.22(9)	
37	Rb	84	56.987(15)		51	Sb	119	8.59(4)	
		86	17.279(41)				120	32.58(9)	
		85	72.17(2)	G			122	4.63(3)	
38	Sr	87	27.83(2)				124	5.79(5)	
		84	0.56(2)	G R			121	57.21(5)	G
		86	9.86(20)		52	Te	123	42.79(5)	
		87	7.00(20) ^c				120	0.09(1)	G
39	Y	88	82.58(35)				122	2.55(12)	
		89	100				123	0.89(3)	
40	Zr	90	51.45(4)	G			124	4.74(14)	
		91	11.22(5)				125	7.07(15)	

原子番号	元素記号	質量数	同位体存在度 [原子百分率]	備考	原子番号	元素記号	質量数	同位体存在度 [原子百分率]	備考
		126	18.84 (25)				160	2.329 (18)	
		128	31.74 (8)				161	18.889 (42)	
		130	34.08 (62)				162	25.475 (36)	
53	I	127	100				163	24.896 (42)	
54	Xe	124	0.095 (5)	GM			164	28.260 (54)	
		126	0.089 (3)		67	Ho	165	100	
		128	1.910 (13)		68	Er	162	0.139 (5)	G
		129	26.401 (138)				164	1.601 (3)	
		130	4.071 (22)				166	33.503 (36)	
		131	21.232 (51)				167	22.869 (9)	
		132	26.909 (55)				168	26.978 (18)	
		134	10.436 (35)				170	14.910 (36)	
		136	8.857 (72)		69	Tm	169	100	
55	Cs	133	100		70	Yb	168	0.123 (3)	G
56	Ba	130	0.11 (1)				170	2.982 (39)	
		132	0.10 (1)				171	14.086 (140)	
		134	2.42 (15)				172	21.686 (130)	
		135	6.59 (10)				173	16.103 (63)	
		136	7.85 (24)				174	32.025 (80)	
		137	11.23 (23)				176	12.995 (83)	
		138	71.70 (29)		71	Lu	175	97.401 (13)	G
57	La	138	0.08881 (71)	G			176	2.599 (13)	
		139	99.91119 (71)		72	Hf	174	0.16 (12)	
58	Ce	136	0.186 (2)	G			176	5.26 (70) ^c	
		138	0.251 (2) ^c				177	18.60 (16)	
		140	88.449 (51)				178	27.28 (28)	
		142	11.114 (51)				179	13.62 (11)	
59	Pr	141	100				180	35.08 (33)	
60	Nd	142	27.153 (40)	G	73	Ta	180	0.01201 (32)	
		143	12.173 (26) ^c				181	99.98799 (32)	
		144	23.798 (19)		74	W	180	0.12 (1)	
		145	8.293 (12)				182	26.50 (16)	
		146	17.189 (32)				183	14.31 (4)	
		148	5.756 (21)				184	30.64 (2)	
		150	5.638 (28)				186	28.43 (19)	
62	Sm	144	3.08 (4)	G	75	Re	185	37.40 (5)	
		147	15.00 (14)				187	62.60 (5)	
		148	11.25 (9)		76	Os	184	0.02 (2)	G
		149	13.82 (10)				186	1.59 (64)	
		150	7.37 (9)				187	1.96 (17) ^c	
		152	26.74 (9)				188	13.24 (27)	
		154	22.74 (14)				189	16.15 (23)	
63	Eu	151	47.81 (6)	G			190	26.26 (20)	
		153	52.19 (6)				192	40.78 (32)	
64	Gd	152	0.20 (3)	G	77	Ir	191	37.3 (2)	
		154	2.18 (2)				193	62.7 (2)	
		155	14.80 (9)		78	Pt	190	0.012 (2)	
		156	20.47 (3)				192	0.782 (24)	
		157	15.65 (4)				194	32.864 (410)	
		158	24.84 (8)				195	33.775 (240)	
		160	21.86 (3)				196	25.211 (340)	
65	Tb	159	100				198	7.356 (130)	
66	Dy	156	0.056 (3)	G	79	Au	197	100	
		158	0.095 (3)		80	Hg	196	0.15 (1)	

原子番号	元素記号	質量数	同位体存在度 [原子百分率]	備考	原子番号	元素記号	質量数	同位体存在度 [原子百分率]	備考
		198	10.04(3)				207	22.1(50) ^c	
		199	16.94(12)				208	52.4(70) ^c	
		200	23.14(9)		83	Bi	209	100	
		201	13.17(9)		90	Th	230	0.02(2)	
		202	29.74(13)				232	99.98(2)	
		204	6.82(4)		91	Pa	231	100	
81	Tl	203	[29.44, 29.59]		92	U	234	0.0054(5)	GM
		205	[70.41, 70.56]				235	0.7204(6) ^a	
82	Pb	204	1.4(6)	G R			238	99.2742(10)	
		206	24.1(30) ^c						

「元素の同位体組成表（2022）」における注や備考欄の意味は下記の通りである。なお、大文字は元素全体についての注であり、小文字は各同位体についてのものである。

G：地質学的試料の中には、同位体存在度が示された不確かさの範囲をこえるものが存在する。

M：市販品の中には不詳な、あるいは不適切な同位体分別を受け、ここに示した同位体存在度から大幅にかけ離れた値を示すものが存在する。

R：通常の地球上の物質の同位体存在度に幅があるために、精度の良い同位体存在度が得られない。

a：⁶Liや²³⁵Uが抽出された後のリチウムやウランが試薬として出回っているので注意を要する。リチウムの場合、このような試薬中の⁶Liの存在度は2.007から7.672%の変動を示すことが知られており、天然に存在する物質中の⁶Liの値はこの範囲で最も高い値を示す。ウランの場合、²³⁵Uの存在度は0.21～0.7207%の範囲の報告があり、天然の値よりはるかに低いものが存在する。

b：測定された¹⁵N値から¹⁵Nの原子百分率を計算する際、空気中の窒素ガスの¹⁴N/¹⁵N比として272を用いることが委員会から勧告されている。

c：放射壊変による付加を受ける同位体の存在度は著しく変動する場合がある。

「原子量表」、「4桁の原子量表」、「元素の周期表」及び「元素の同位体組成表」の2022年版における主な改定点

- ・IUPACにおける2021年の決定^{1), 2)}に基づき、F, Sc, Y, Tb, Ho, Tm, Pbの原子量とその不確かさを以下の通り変更した。
- ・「4桁の原子量表」については実用上の便宜から、単一数値による形式を引き続き採用することにした。今回は原子量の変更に伴う数値の変更はないが、リチウムの大きな変動幅を考慮し、リチウムの原子量を4桁から3桁に変更した。
- ・原子量表の形式の変更に関する説明
これまで原子量の不確かさは原子量の値の後ろに括弧内に示されていたが、GUM³⁾で規定される不確かさではなく原子量委員会の判断による不確かさであるため±記号の後ろに示すように表示を改めた。また、これを明示するために原子量表に新たな脚注が追加された。

1) IUPAC Inorganic Chemistry Division, CIAAW: Standard Atomic Weight of Lead Revised, <https://iupac.org/standard-atomic-weight-of-lead-revised/> (<https://www.ciaaw.org/atomic-weights.htm>)

2) T. Prohaska *et al.*: Standard atomic weights of the elements 2021 (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, in press.

3) BIPM. Guide for Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), Bureau International des Poids et Mesures, Geneva (2008) <https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications>
<https://www.iso.org/sites/JCGM/GUM-JCGM100.htm>

原子番号	元素名	元素記号	原子量表		4桁の原子量表	
			2021年版	2022年版	2021年版	2022年版
3	リチウム	Li	[6.938, 6.997]	(変更無し)	6.941	6.94
9	フッ素	F	18.998403163(6)	18.998403162 ± 0.000000005	19.00	(変更なし)
21	スカンジウム	Sc	44.955908(5)	44.955907 ± 0.000004	44.96	(変更なし)
39	イットリウム	Y	88.90584(1)	88.905838 ± 0.000002	88.91	(変更なし)
65	テルビウム	Tb	158.925354(8)	158.925354 ± 0.000007	158.9	(変更なし)
67	ホルミウム	Ho	164.930328(7)	164.930329 ± 0.000005	164.9	(変更なし)
69	ツリウム	Tm	168.934218(6)	168.934219 ± 0.000005	168.9	(変更なし)
82	鉛	Pb	207.2(1)	[206.14, 207.94]	207.2	(変更なし)