

「作って学ぶ元素の立体周期表」

前野悦輝 京都大学国際融合創造センター・大学院理学研究科 e-mail: maeno@scphys.kyoto-u.ac.jp

元素の周期表

宇宙などにおける極限環境は別として、我々を取り巻く物質も生物もすべて、僅か百あまりの元素の組み合わせで出来ている。これだけでも自然の摂理の深遠さを思い知らせてくれるに十分である。その元素の規則性を一枚の表にまとめた元素の周期表は、自然科学全般にとってまさに基本中の基本の道具のひとつといえる。

現在、世界的に広く用いられているのは、表1に示したおなじみの長周期表である。これはメンデレーフ(D.I. Mendeleev)によって1869年に発表された短周期表から出発して、1905年にヴェルナー(A. Werner)とパイファー(P. Pfeiffer)によって改良されたものに基づくらしい。¹⁾しかしこの表を眺めてみると、一見気になる不合理な点もある。それらの点に着目してこの長周期表を一旦解体し、再構築することによってできる新しい立体的な周期表を考案したので本稿でご紹介したい。この立体周期表は、その製作を通じて、従来の長周期表に対する理解も深められるような教材として利用できる。

長周期表の問題点

長周期表は最も完成度の高い周期表といえるが、まずあえて長周期表に関する問題点を3つ挙げておきたい。

1. 表に不連続性、ギャップがある。

ベリリウム₄Be(原子番号4)とホウ素₅B、またマグネシウム₁₂Mgとアルミニウム₁₃Alの間隔が随分空いている(表1)。すぐ下の4周期目にd電子系遷移金属元素が配置されていること以外に、この間隔を取るべき十分な理由は見当たらない。

2. d電子系とf電子系の遷移金属元素が対等に扱われていない。

3族から13族までのd電子系遷移金属元素(スカンジウム₂₁Scから亜鉛₃₀Znなど)は周期表の中央に組み込まれているのに対し、f電子系遷移金属元素は下に別表扱いになっている。このため、原子番号57のランタノイド元素の隣りが同72のハフニウムになっているなどの不連続性が生じる。²⁾現代ではランタノイド元素は工業的にも極めて重要で身近な元素といえ、長周期表成立時とは意味合いが大きく異なる。もはや別表扱いにしておくことの合理性は見当たらない。

3. 化合物中での元素の性質が十分表現されていない。

1985年以前には2族と12族はそれぞれ2A族、2B族と呼ばれていた。これらはいずれも化合物中では+2価イオンになりやすく、そもそもメンデレーフの短周期表では、これらは同一の列のなかに配置されていた。これは金属元素が酸化物を作るときに最も安定な電子価数を表現したことが主な理由と考えられる。周期表が元素単体の性質の表現を中心に据えるのは当然としても、その反面、化合物中の性質は長周期表では表現し切れていない。具体的な例として、+2価の非磁性イオンになりやすく、イオン半径の値も似通った2族の₂₀Ca(酸素8配位で0.112 nm)と12族の₄₈Cd(同0.110 nm)、また同様に+4価の非磁性イオンになりやすい4族の₂₂Tiと14族の₅₀Snは、表1の長周期表では一見、無関係の位置にある。また原子番号71のルテチウム₇₁Luは3価で非磁性イオンとなる点で、ランタノイドを含む希土類元素のうち₃₉Yや₅₇Laと類似しているが、長周期表ではそれが明らかではない。これらの元素の類似性もなんとか明示的に表現できないものだろうか。

立体周期表の構築

以上の問題点をふまえて、まず一旦、長周期表を解体してみよう。表1の長周期表をはさみとテープで切り貼りして、原子番号1から112まで順に並べて図1のようなリボン状の元素列を作る。この作業過程で、長周期表の問題点1の不連続性や、問題点2のd電子系・f電子系の非対等性にあらためて気が付くだろう。さてこのリボンを円筒容器、例えば缶コーヒーの空き缶に巻きつけていって、問題点3を解消するような周期性を元素列に持たせると、図2の立体周期表が出来上がる。

その特徴をみてみよう。元素列は共通軸周りの3つの筒の表面に沿って、原子番号の順に連続的にらせんを描いて並んでいる。これらの筒は最外殻電子の軌道角運動量 l の違いを表現している。内側の円筒には $l=0, 1$ のs・p電子系典型元素、真中の長円の筒には $l=2$ のd電子系遷移金属元素、そして外側の長円の筒には $l=3$ のf電子系遷移金属元素が並ぶ。原子番号順の連続性が回復したと同時に、d電子系・f電

子系も s・p 電子系と対等に表現出来たといえる。図 3 (a)の上面図を見ると、共通軸周りの 3 つの筒は、原子核の周りの s・p 軌道、d 軌道、f 軌道に電子が順に入っていく状況を示唆的に表現している。

化合物中での性質、安定な原子価についてはどうであろうか。図 3 (b)の側面図は左から順に、2 価、3 価、4 価になりやすい元素がそれぞれ縦に一列に並ぶのを示している。カラーでお見せできないのが残念だが、典型元素と遷移金属元素の違いは、色の違いで区別表現している。上の例では Ca と Cd、Y と La と Lu、そして Ti と Sn がそれぞれ縦一列に並んでいる。

授業の小道具としての利用法

この立体周期表は授業の教材として、学部初年次の物理・化学の講義や、高等学校の化学の授業などにも利用できるだろう。私の場合、主に学部 1 回生を対象とした全学向けの講義「低温科学」において、高温超伝導体の新物質合成の方法を解説するときこの立体周期表を用いたところ、学生の反応がとてもよかった。

学生が実際に製作する場合、上で述べたリボン状の元素列を貼り付けていくのが、考えながら作るという点では教育的である。長周期表と見比べながら組み立てれば、従来の周期表の仕組みに対する理解も一層深まるはずである。時間をかけずに仕上がりきれいな立体周期表を作るには、A4 の紙に図 4(a)のパターンをカラー印刷したもの、また図 4(b)のように OHP フィルムにカラー印刷したものを用いればよい。紙に印刷する場合は、d と f の遷移金属に対しては裏に OHP フィルムを貼り付けて補強するのが望ましい(図 2)。

この立体周期表はペン立てとしての実用性もあるので、私どもは実験室や研究室の机に置いて日常使っている。作った後、身近に置いてずっと使えるというのは教材としての価値を高めてくれるだろう。

ここでご紹介した立体周期表は、その発想の単純さからいっても、これまで提唱されたことが無かったとはとても考えにくい。³⁾ 長周期表をそのまま 3 つの外隣接する筒として組み立てた立体周期表は既に高校教材として市販されているようである。⁴⁾ ここでご紹介したような、共通軸周りの筒上に元素記号が並んでいる縦長の立体周期表について、過去の報告例をご存知でしたら筆者にお教えいただけるとありがたい。

最後に、この立体周期表について有用なアドバイスを頂いている、京都大学国際融合創造センターの扇谷高男氏と㈱リクルートのテクノロジーマネジメントディビジョンの伊原智人氏、また OHP フィルムで製作するアイデアを頂いた広島市立美鈴が丘高等学校の池永寛氏に感謝を表したい。

- 1) 近角聰信, 木越邦彦, 田沼静一: 『最新元素知識』(東京書籍, 1975) p.244.
- 2) 原子番号 57 の位置には $_{57}\text{La}$ から $_{71}\text{Lu}$ までのランタノイド元素を一旦すべて押し込み、これらは下の別表にあらためて表示するのが普通である。アクチノイド元素についても同様。
- 3) らせん状の元素配列自体は、メンデレーフ以前にシャンクルトア(De Chancourtois)によって 1862 年に提唱されたものが知られている。上の文献 1 の p.242.
- 4) 板倉聖宣: 筆立て式『原子の立体周期表』, 仮説社 (1984)。その他、以下の Web サイトにも立体周期表が紹介されているが、本稿でご紹介したものとはいささか異なる:
<http://periodictable.com/pages/3AAE3D.html>; <http://www.ecn.ab.ca/prosci/t04/t04s000/t04s000.html>

表 1 元素の長周期表。本文中で問題にした元素については濃淡をつけて表示している。

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

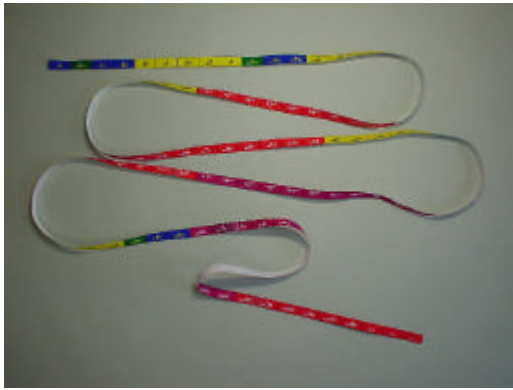


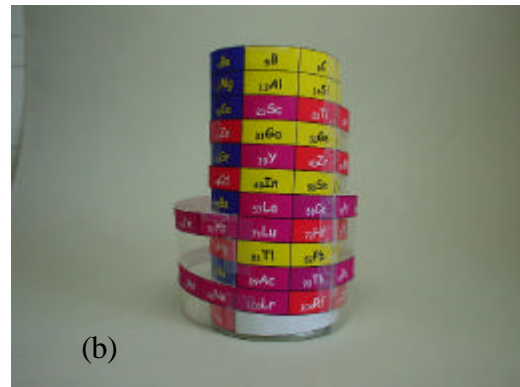
図1 1本のリボン状元素列 .



図2 元素の立体周期表 .

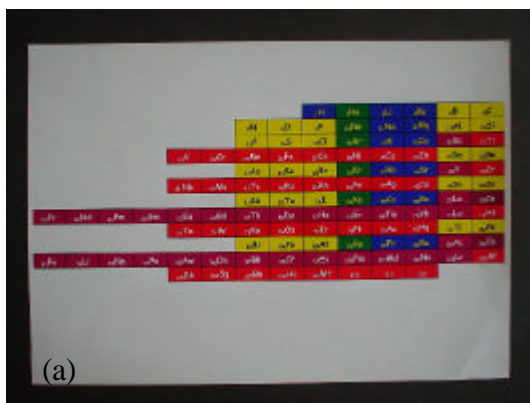


(a)

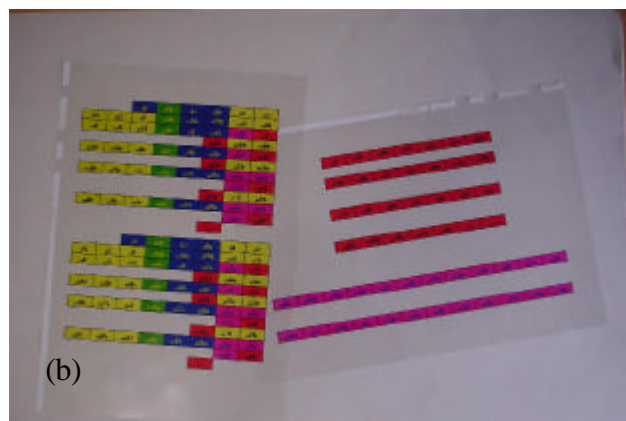


(b)

図3 (a)立体周期表の上面図 . 3つの筒は内側から順に、それぞれ $s \cdot p$ 電子系典型元素、 d 電子系遷移金属元素、 f 電子系遷移金属元素を表す . (b) 立体周期表の側面図 . 2価、3価、4価イオンになり易い元素は、それぞれ縦一列に並んでいる .



(a)



(b)

図4 立体周期表を組み立てるための印刷パターン . (a)A4の紙に印刷する場合、(b)OHPフィルムに印刷する場合 . これらのパターンは次のサイトからダウンロードできる：
<http://www.ss.scphys.kyoto-u.ac.jp/elementouch/>