京都大学
KYOTO UNIVERSITY

報道発表・Press Release

総務部 広報課 国際広報室
075.753.5727
comms@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp

配布先：京都大学記者クラブ
解禁時間：2020 年 4 月 22 日（水）18 時（新聞は 23 日朝刊より）

2020 年 4 月 20 日

新しい周期表を考案

―原子核の周期表「ニュークリタッチ」―

概要

まず下の新しい周期表をご覧ください。中学の教科書にも登場する元素の周期表に似ていますが、元素記号の並び方が異なります。すい・へー・りー・べー（水素 H・ヘリウム He・リチウム Li・ベリリウム Be）の順は同じなのですが、ヘリウムの下には希ガス安定元素のネオン、アルゴンなどではなく、酸素、カルシウムなどが並んでいます。

実はこれは「原子核」の周期表です。原子核に含まれる陽子の数が、魔法数（マジック・ナンバー）と呼ばれる 2, 8, 20, 28…になるとき原子核が安定になることは良く知られています。しかし、意外なことにそれを周期表の形にした例はこれまで見当たりませんでした。この新しい周期表は、京都大学大学院理学研究科の萩野浩一・前野悦輝両教授が考案したものです。

この成果は、Springer Nature 社の発行する学術雑誌 Foundations of Chemistry に 2020 年 4 月 22 日（予定）に掲載されます。

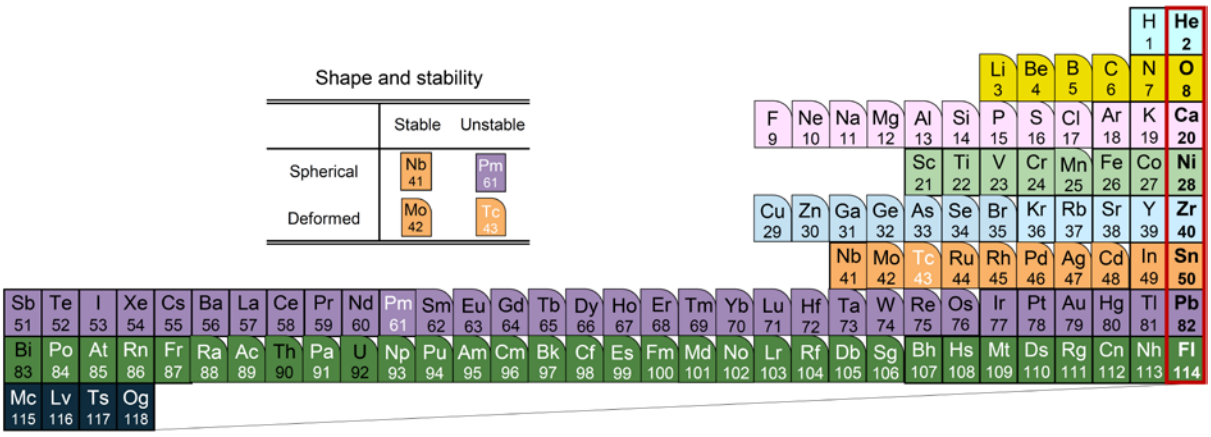


図１：新しい原子核の周期表

１．背景

元素を構成する原子の中心には原子核があり、その周りを電子がまわっています（図２）。原子核に含まれる陽子の数が「原子番号」です。そして元素記号を原子番号の順に並べて、似た性質の元素が周期的に現れることを表現したのが「元素の周期表」です（図３）。昨年 2019 年は、メンデレーエフ（Dmitri Mendeleev）が元素周期律の発見に基づく周期表を発表してから 150 周年で、ユネスコ国際周期表年として世界中で活動が展開されました。現在、世界中でひろく使われている周期表は、実はメンデレーエフ

の考案した「短周期表」ではなく、ヴェルナー（Alfred Werner）が考案した「長周期表」に基づいています。

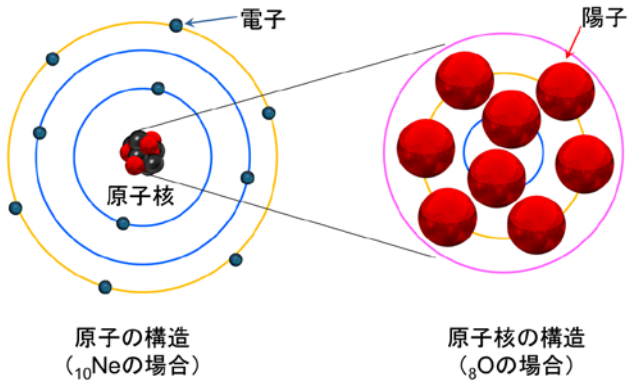


図２：原子と原子核の構造の模式図。
原子核には陽子（赤）と中性子（黒）が詰まっています。例として、原子は希ガスの Ne（ネオン）の電子の軌道、原子核は魔法数を持つ O（酸素）の陽子の軌道を示します。また、それぞれの円は軌道の殻を表しています。

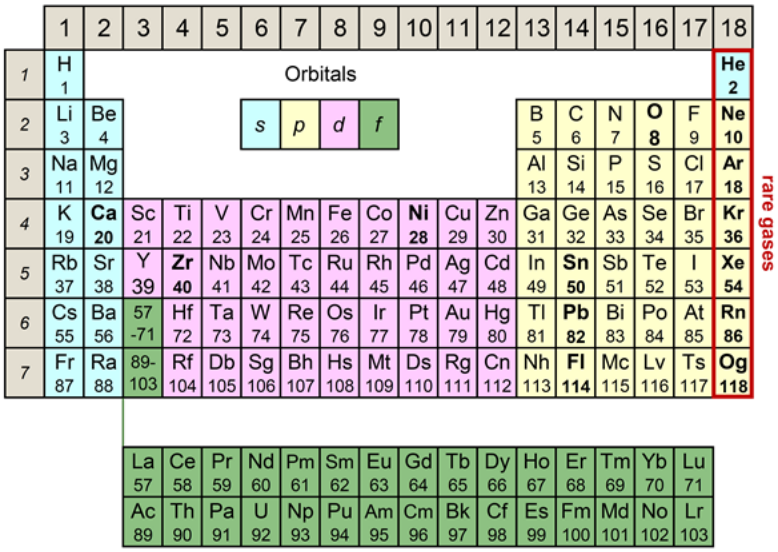


図３． 元素の周期表（ヴェルナーの長周期表）

原子核は陽子の数に比例したプラスの電気をもっています。その周りをまわる電子がエネルギーの低い軌道から順番に詰まっていく様子を表現したのが元素の周期表です。図３の色は軌道の違いを表します。右端の列のヘリウム、ネオンなどは希ガスと呼ばれ、電子が軌道の殻をちょうど埋め尽くした状態にあるので、とても安定で化学反応を起こさない元素です。

実は、原子核そのものの中でも、それを構成する陽子や中性子に対して同様の軌道運動を考えることができます。原子核ではその中心にさらに別の「核」があるわけではありません。しかし、陽子や中性子にはたらく相互作用（湯川秀樹が考えた「核力」とよばれる強い相互作用）によって、電子のようにいくつかの殻に分かれた軌道ができ、エネルギーの低い軌道から順に詰まっていきます。これは原子核の殻模型（からもけい、シェルモデル）（注）と呼ばれます。魔法数の原子核は殻がちょうど埋まった原子核になり、希ガスに対応しています。しかし、電子と陽子・中性子とでは図２にあるように環境（ポテンシャル）が異なるので、各殻が収容できる最大の粒子数は原子の場合と原子核の場合で大きく異なります。軌

道の殻が埋まって安定になるのは、原子の場合は電子の数が 2, 10, 18, 36, 54, 86 ですが、原子核の場合は陽子の数が 2, 8, 20, 28, 50, 82, 114 になるときです。また、陽子の数が 40 になるときにも程度は小さいものの同様の性質を示します。中性子にも同様の魔法数があり、114 の代わりに 126 になっている以外は陽子と同じ数になっています。

2．発想と成果

それでは、原子核の周期表は作れないものでしょうか? 原子核の中には陽子以外に中性子も含まれるので、同じ元素でも中性子の数の異なる同位体が存在します。中性子の数も原子核の安定性に大きく影響します。それらをすべて網羅した核図表は知られていますが、元素の周期表との対応性は見えません。

そこで、それぞれの元素に対して最も代表的な同位体を選ぶことで、冒頭の図 1 でご紹介した元素の周期表に対応する原子核の周期表を考案しました。右端には希ガスに対応して、陽子の数が魔法数となる元素が並んでいます。不思議なことにこのような原子核の周期表はこれまで知られておらず、世界で初めてとなります。

下の図 4 は、陽子の軌道殻を元素の周期表（図 3）にならって色分けしたものです。原子の魔法数と原子核の魔法数の違いも視覚的にわかるようになっています。青い背景色は丸く広がった *s* 軌道（図 2 の青い円）を表します。3 番目の 3*s* 軌道からなる殻が埋まるのは、電子では 12 番元素のマグネシウム(Mg)ですが、陽子では 70 番元素のイッテルビウム(Yb)となり、電子と陽子の軌道の性質の大きな違いが反映されています。

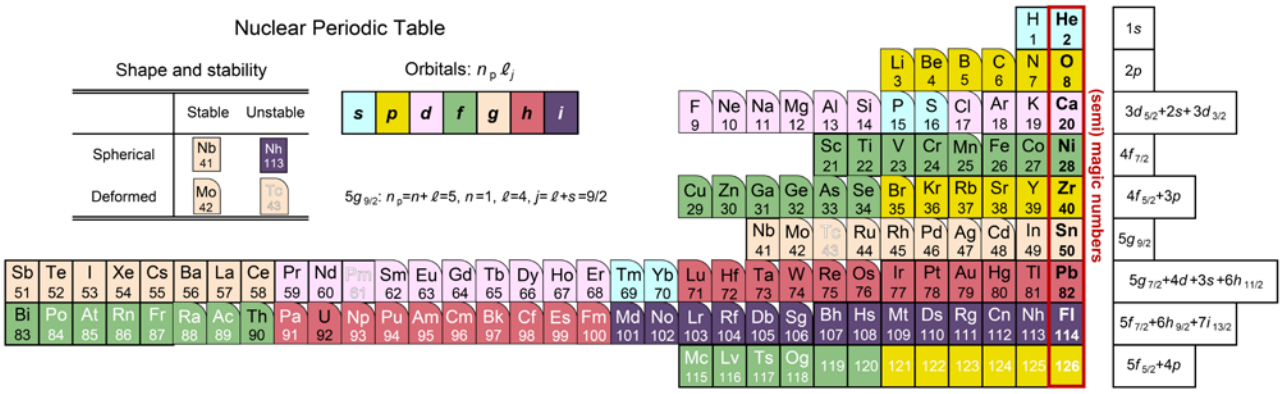


図 4． 陽子の軌道ごとに色分けした原子核の周期表

この周期表を見ると、魔法数を満たす安定な原子核は球形に近い形をしています。これに対して、魔法数から離れるほど、ラグビーボールのように変形した原子核（角の丸い箱）が多く、また鉛（Pb）より原子番号が小さくても自然崩壊してしまう不安定な原子核（白抜き元素記号）が出てきます。このように、この新しい原子核の周期表では、殻構造だけでなく、それぞれの元素の原子核の変形や安定性も一目でわかります。

さらに、よく用いられる図 3 の原子の元素周期表に類似の形にしたものが図 5 です。ここで注意すべき大きな違いがあります。原子の周期表では、同じ列（族）に属する上下の元素は、同じ色で表したように同じ性質の軌道の電子をもつため性質に類似性があります。しかし原子核の周期表では、上で述べたような魔法数の周りでの性質の周期性はあるものの、色の違いから分かるように同じ列の上下では異なる軌道の陽子を持つため、それらの性質に特に類似性はありません。

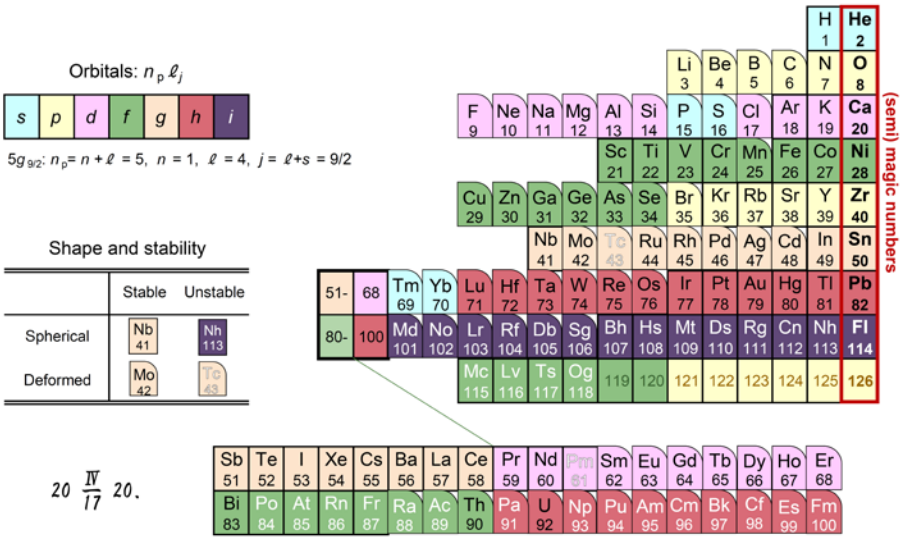
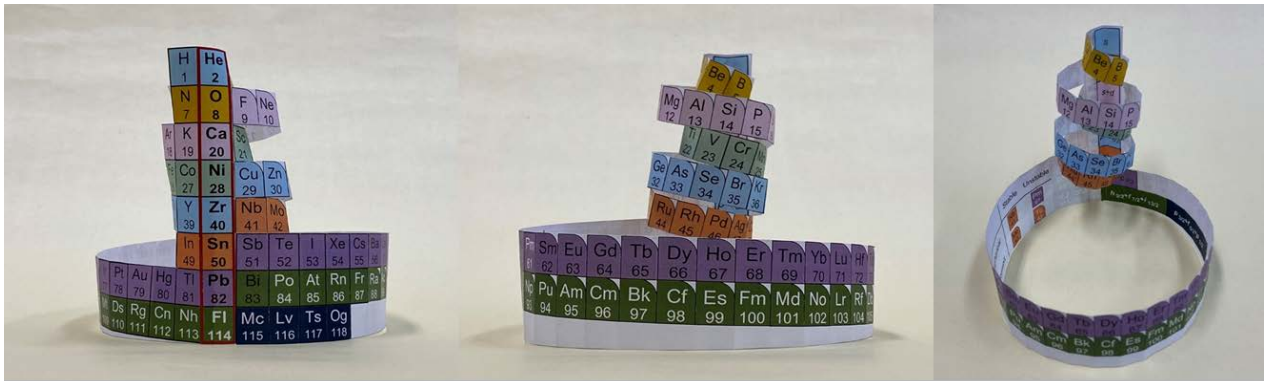


図５．元素の周期表（図３）と類似の形に整理した原子核の周期表

３．今後の展開

元素の周期表との比較が容易な原子核の周期表ができたことで、魔法数を含めて原子核の性質を学ぶ上での新しい指標ができます。今後は大学の教科書などにもこの原子核の周期表が掲載されて、教育に活用していただけるように願っています。

原子核の周期表は、立体的にもできます。図１（掲載論文の Fig. 2）を紙に印刷してはさみとセロテープの工作で下の写真（図６）のモデルが簡単に作れます。立体的な元素の周期表については、前野が約 20 年前に考案した「エレメンタッチ」が知られており、京都大学グッズとして販売もされています。これに対応して、原子核（nuclei、ニュークリアイ）の立体周期表は「ニュークリタッチ」と名付けました。



(a) (b) (c)

図６．原子核の立体周期表　ニュークリタッチ

４．支援を受けた研究プロジェクトについて

「国民との科学・技術対話」の活動にあたり、以下のプロジェクトからの支援を受けました。

・日本学術振興会　拠点形成事業（A: 先端拠点形成）（代表者：前野悦輝）（2017-2021 年度）.

・日本学術振興会　科学研究費補助金・基盤Ｓ（代表者：前野悦輝）（2017-2021 年度、No. JP17H06136）.

・日本学術振興会　新学術領域研究・計画研究（代表者：前野悦輝）（2015-2019 年度、No. JP15H05852）.

＜語句の説明＞

（注）殻模型(からもけい、シェルモデル)：核子が他の核子が作る平均的なポテンシャル（平均場）の中をそれぞれ独立に運動しているという観点から、1949 年、ゲッパート＝メイヤーとイェンセンは独立に原子核の魔法数を説明することに成功しました。そこでは、強いスピン・軌道力が本質的な役割を果たしていることが示されました。この功績で 2 人は 1963 年のノーベル物理学賞を受賞しました。これまで 3 名の女性がノーベル物理学賞を受賞しましたが、ゲッパート＝メイヤーはその 2 番目でした。

＜論文タイトルと著者＞

タイトル：A Nuclear Periodic Table

著　　者：Kouichi Hagino and Yoshiteru Maeno（萩野浩一，前野悦輝）

掲 載 誌：Foundations of Chemistry

D　O　I：https://doi.org/10.1007/s10698-020-09365-5

（どなたでも無料でダウンロードできます。）

＜お問い合わせ先＞

前野 悦輝（まえの よしてる）

京都大学大学院理学研究科・教授（低温物理学、超伝導）

TEL: 075-753-3783, E-mail: maeno@scphys.kyoto-u.ac.jp

萩野浩一（はぎの こういち）

京都大学大学院理学研究科・教授（原子核理論）

TEL: 075-753-3873, E-mail: hagino.kouichi.5m@kyoto-u.ac.jp