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

2020年4月22日（火）

新しい周期表を考案
—原子核の周期表　「ニュークリタッチ」—

京都大学　大学院理学研究科

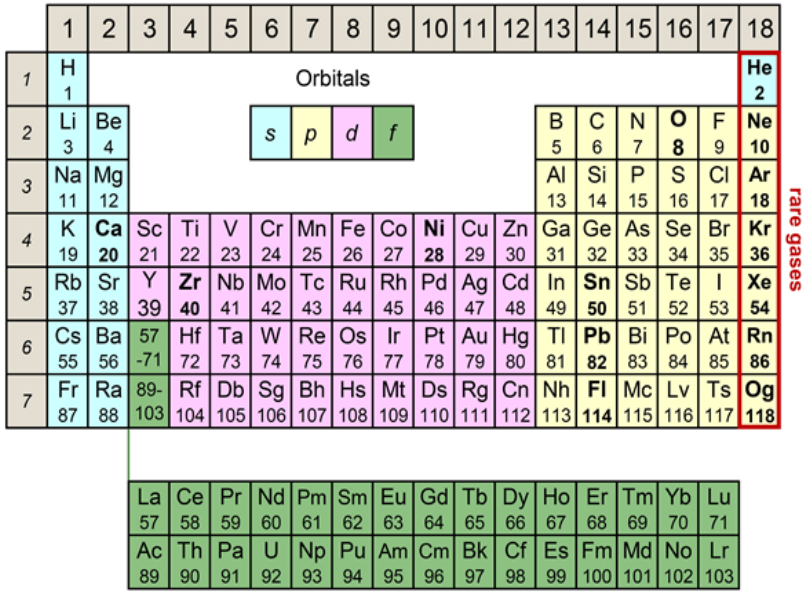
物理学第一専攻　教授
まえのよしてる
前野悦輝
（低温物理学、超伝導）

物理学第二専攻　教授
はぎのこういち
萩野浩一
（原子核理論）

概要： 新しい周期表を考案

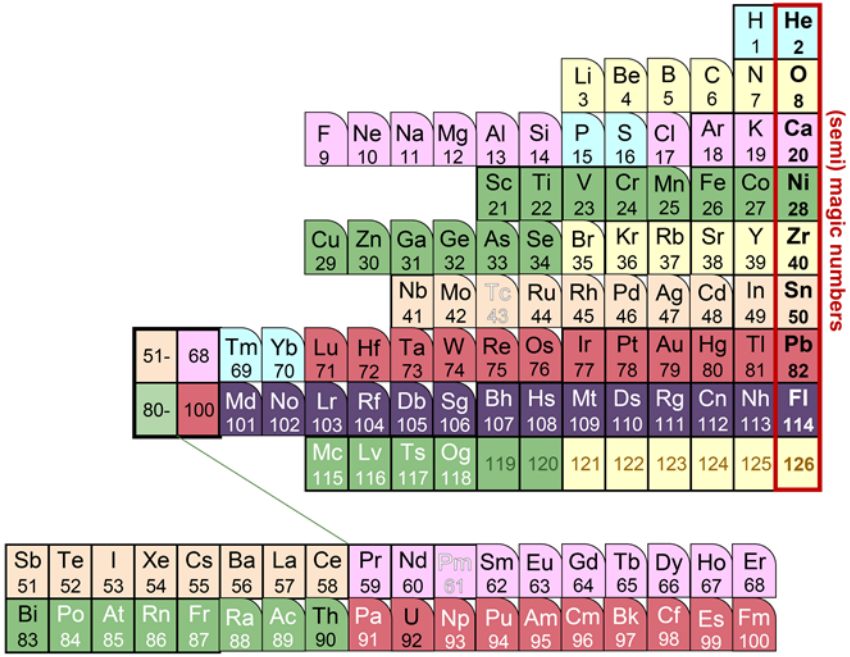
従来の周期表

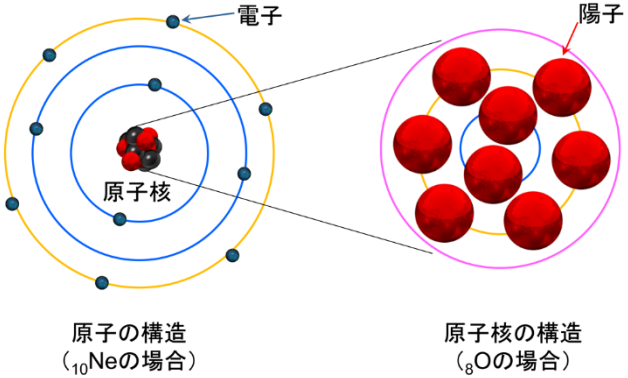
「原子の元素周期表」



萩野・前野が考案した新しい周期表

「原子核の元素周期表」





【注】上の図は、左の図と対応良くなるように、発表論文の図（「報道発表」の図4）を少し整形したものです。

新しい周期表を発表した論文

論文タイトル：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 (Springer Nature 社） 2020年4月21日掲載

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

または　**https://rdcu.be/b3F3W**

（どなたでも無料で、スマホからでも簡単に、ダウンロードできます。）

Foundations of Chemistry
https://doi.org/10.1007/s10698-020-09365-5

全7頁

・式は一つだけ

・平易な英語

・カラフル

高校生や一般の方に、「学術雑誌論文」をダウンロードしていただける絶好の機会!

A nuclear periodic table

K. Hagino[1] · Y. Maeno[1]

© The Author(s) 2020

Abstract
There has been plenty of empirical evidence which shows that the single-particle picture holds to a good approximation in atomic nuclei. In this picture, protons and neutrons move independently inside a mean-field potential generated by an interaction among the nucleons. This leads to the concept of nuclear shells, similar to the electronic shells in atoms. In particular, the magic numbers due to closures of the nucleonic shells, corresponding to noble gases in elements, have been known to play an important role in nuclear physics. Here we propose a periodic table for atomic nuclei, in which the elements are arranged according to the known nucleonic shells. The nuclear periodic table clearly indicates that nuclei in the vicinity of the magic numbers can be understood in terms of a shell closure with one or two additional nucleons or nucleon holes, while nuclei far from the magic numbers are characterized by nuclear deformation.

Keywords Atomic nuclei · Magic numbers · Shell closure · Nuclear deformation · Periodic table

Introduction

Atomic nuclei are located at the center of atoms and carry almost all the fraction of the mass of atoms. They consist of a small number of protons and neutrons, collectively called

model, inspired by a similar spiral model of the atomic periodic table "*Elementouch*"

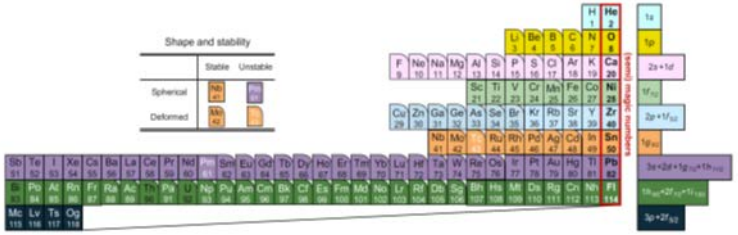
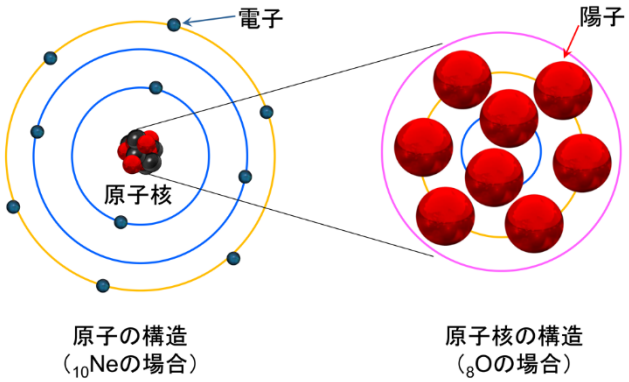


Fig. 2 A nuclear periodic table based on the proton magic numbers. The rightmost column shows the elements with the proton magic and semi-magic numbers. The other elements are arranged according to the nuclear shell structure shown in Fig. 1, for which the single-particle levels for the valence protons are denoted with different colors. In the legend for the single-particle levels, those without j include both of the spin orbit partners, e.g. f for $f_{5/2}+f_{7/2}$. The elements shown in round-corner boxes are those whose nuclei are deformed in the ground state (see Möller *et al.* (Möller *et al.* 2016) for the actual values for the deformation parameter). Elements with black symbols have stable nuclei, while those with white symbols represent those with all the isotopes unstable. Even though Bi and Th are unstable, we do not include them in the unstable elements since their decay half-lives are of the order of the age of the universe or longer. Likewise, we do not include U in the unstable elements, since the half-life is similar to the age of the earth

原子核の周期表の特徴

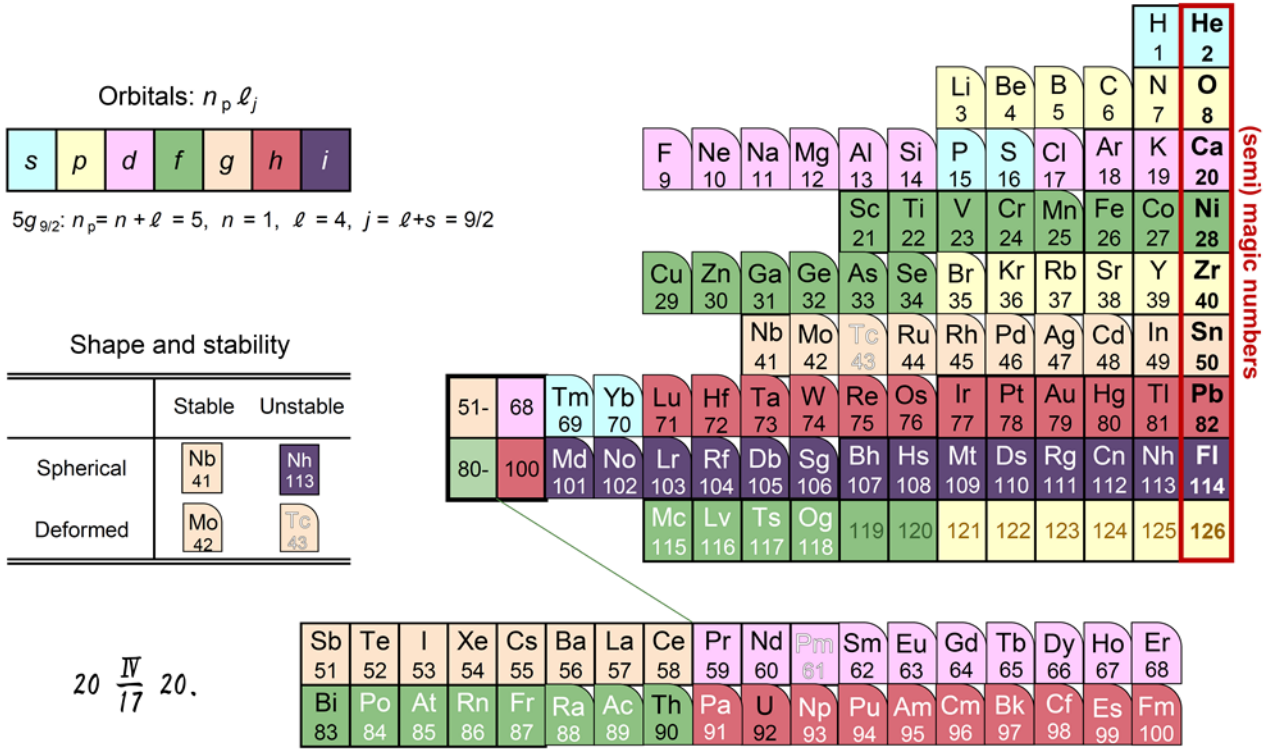


特に安定な原子核：He, O, Ca, Ni, Zr, Sn, Pb, Fl

原子番号(陽子の数)：2, 8, 20, 28,40, 50, 82,114

魔法数（マジック・ナンバー）

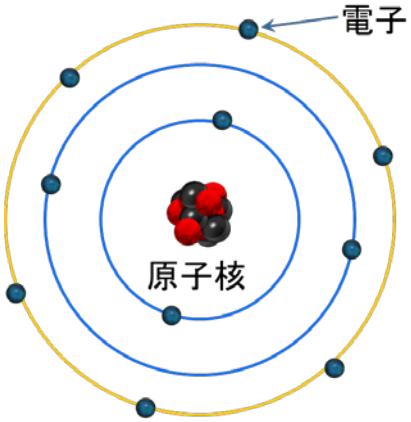
→ この性質を取り入れた新しい周期表を考案



右端の列に
魔法数の
原子核を持つ
元素を並べる

魔法数周りの
原子核の変形、
原子核の安定性に
周期性が見られる

1. 背景： 元素の周期表 ＝ 原子の元素周期表



電子軌道の「殻」がちょうど埋め尽くされると原子は安定になる。

原子番号：2, 10,18, 36, 54, 86, 118

→ 化学反応不活性な「希ガス」

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H 1																	He 2
2	Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
3	Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
6	Cs 55	Ba 56	57 -71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
7	Fr 87	Ra 88	89-103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111	Cn 112	Nh 113	Fl 114	Mc 115	Lv 116	Ts 117	Og 118

Orbitals: *s* *p* *d* *f*

rare gases

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

右端の列に
希ガス元素を
並べる

メンデレーエフの周期律発見：1869年

2019 IYPT

International Year of the Periodic Table of Chemical Elements

国際周期表年

メンデレーエフ
(1834-1907)

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pd = 106,6	Os = 199
H = 1			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	J = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

「周期律」発見に基づく周期表（短周期表）を発表。
未発見元素の存在と性質を予言。

ヴェルナー

1913年
ノーベル化学賞

現在、世界中でひろく使われている周期表（長周期表）は、ヴェルナーが1905年に考案したものに基づく。「ヴェルナーの周期表」

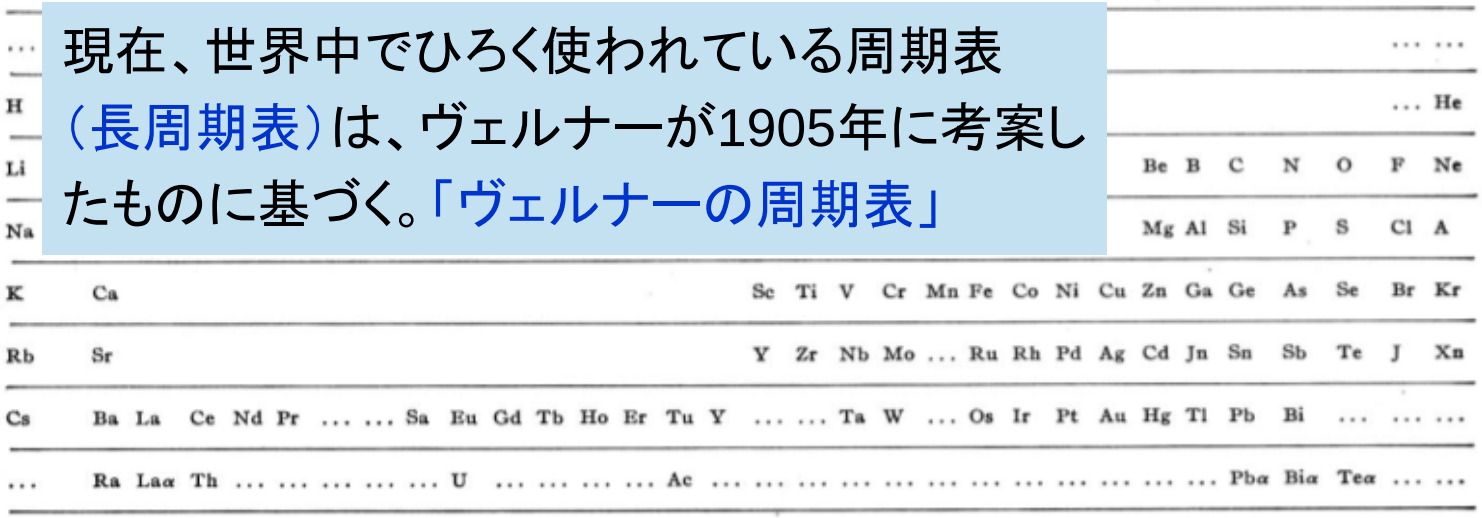


FIGURE 8.—WERNER'S PERIODIC TABLE

国際周期表年：日本でも盛んな取り組み

https://iypt.jp/jp.html

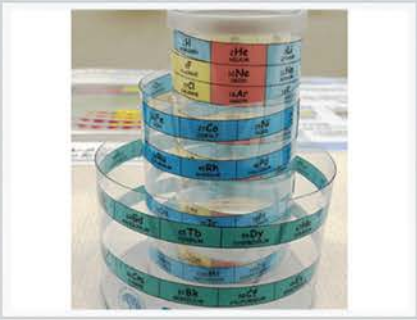
United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization

International Year
of the Periodic Table
of Chemical Elements

④日本人周期表作家たちの最新でユニークな周期表を味わい尽くす！

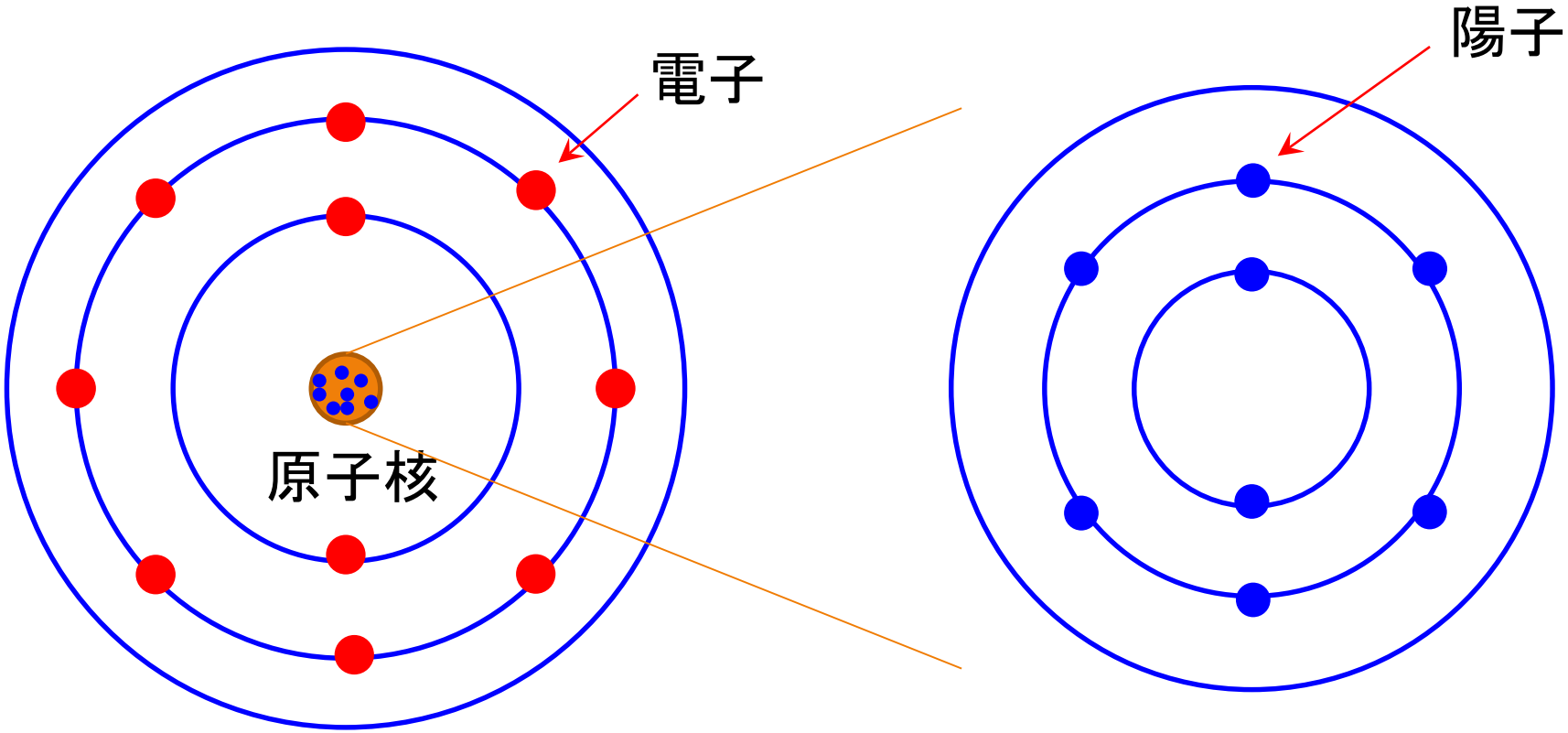
周期表は編者の視点とセンスで千変万化。日本で活躍する周期表作家たちが教える周期表表現の無限の可能性に触れよう。

エレメンタッチ



からくるりん

実は、同じような軌道が陽子にも考えられる



原子の構造
（Neの場合）

原子核の構造
（Oの場合）

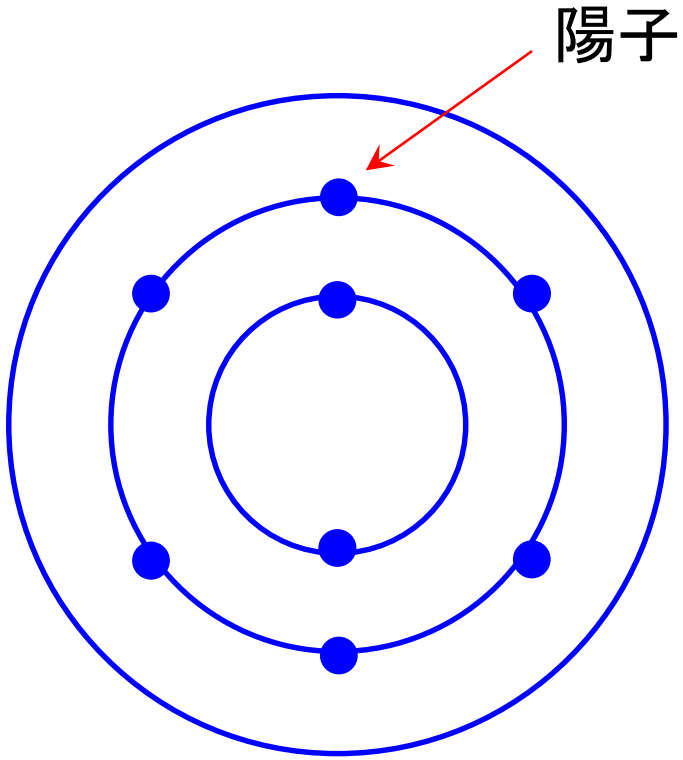
実は、同じような軌道が陽子にも考えられる

原子核をつくる中性子や陽子同士
にはたらく力（強い相互作用）によって
軌道ができる。

Nobel Foundation archive

湯川秀樹

強い相互作用の研究で
ノーベル物理学賞（1949年）



原子核の構造
（Oの場合）

実は、同じような軌道が陽子にも考えられる

希ガスのときのように軌道が埋まると
原子核が安定になる。

魔法数：2, 8, 20, 28, 50, 82, (126)

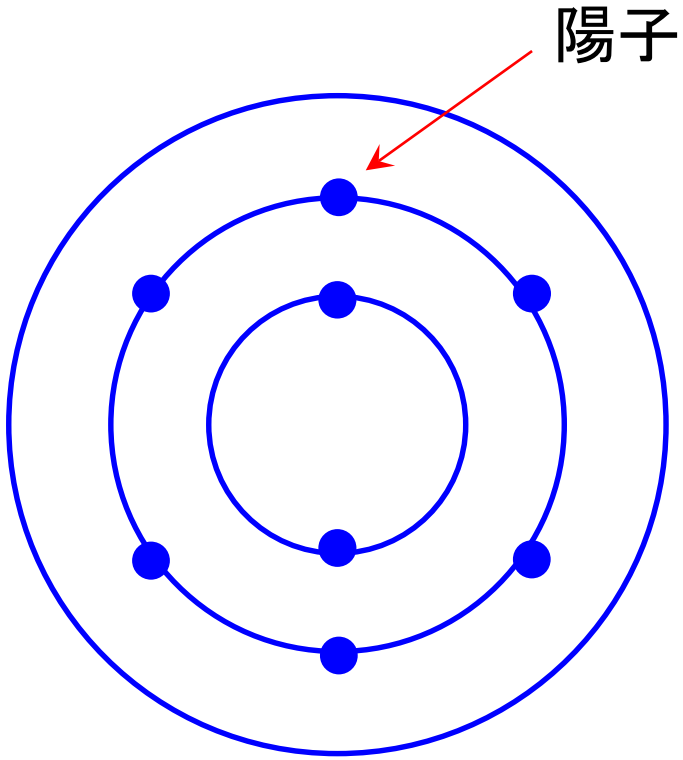
＊希ガスは 2, 10, 18, 36, 54, 86, 118

殻模型（からもけい）

メイヤー

イェンセン

Nobel Foundation archive

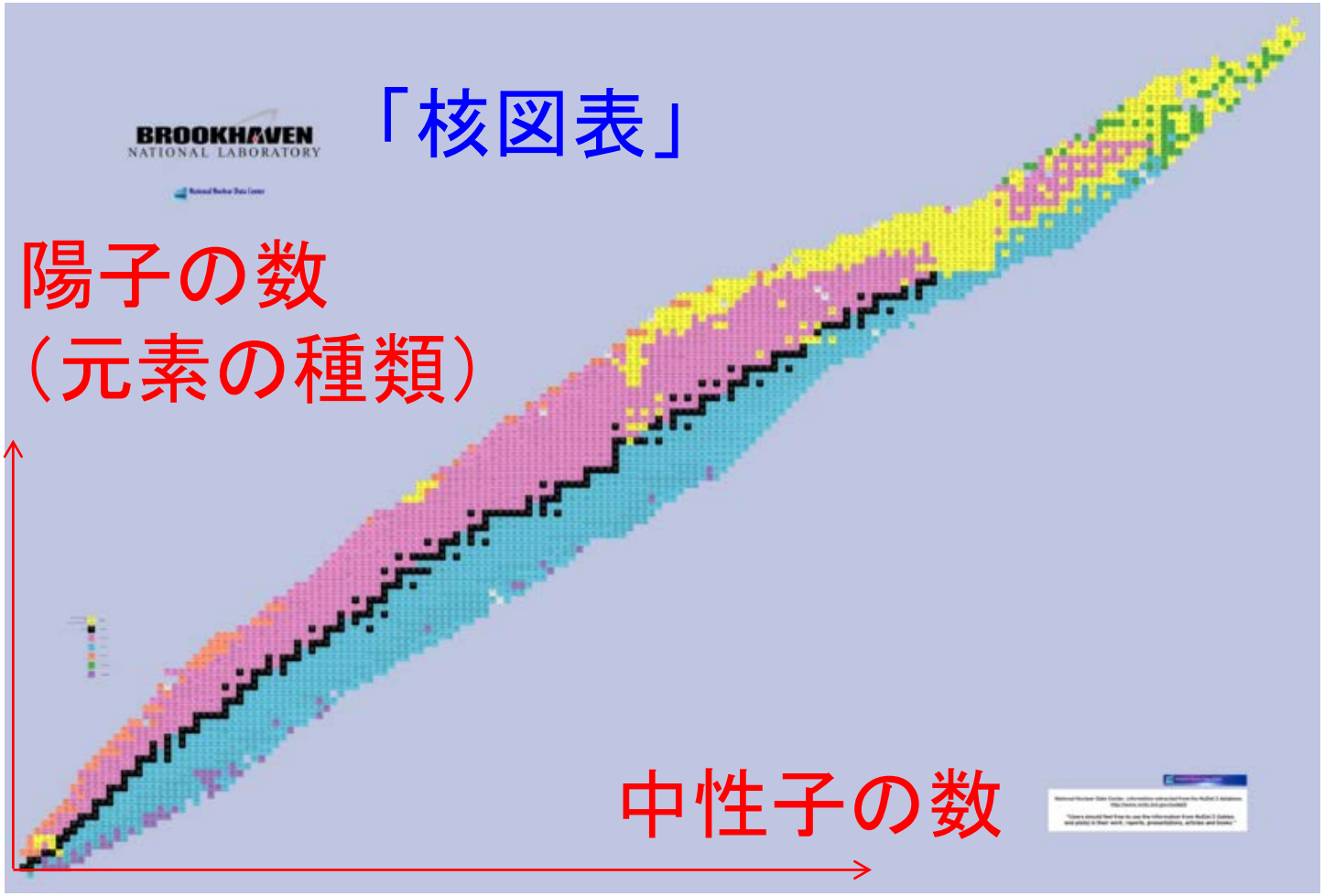


原子核の構造
（Oの場合）

1963年にノーベル物理学賞を受賞（メイヤーは2人目の女性受賞者）

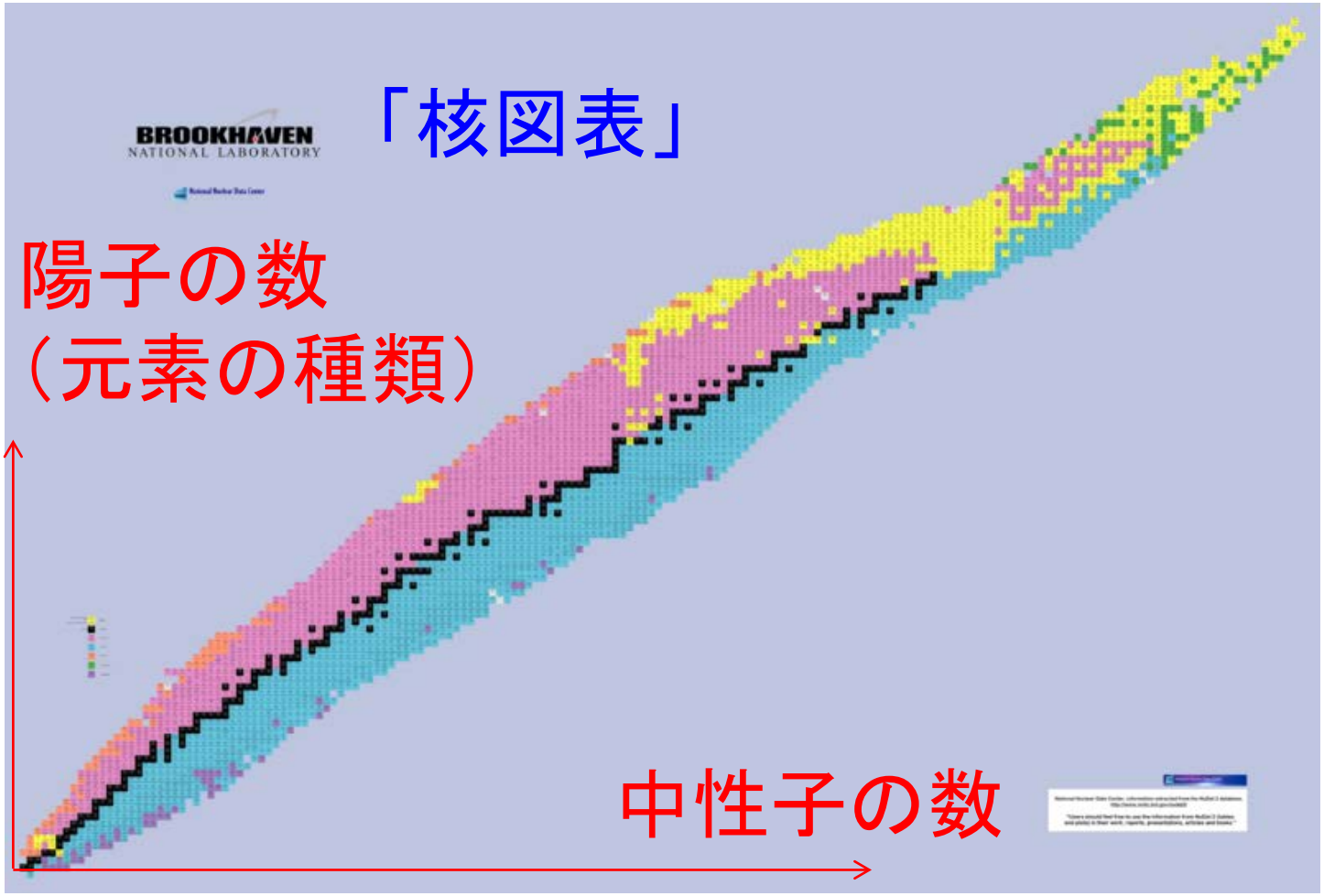
2. 発想と成果

原子核の周期表は作れないのか？



2. 発想と成果

原子核の周期表は作れないのか？



それぞれの元素から代表的な原子核を選ぶ（黒印の原子核）

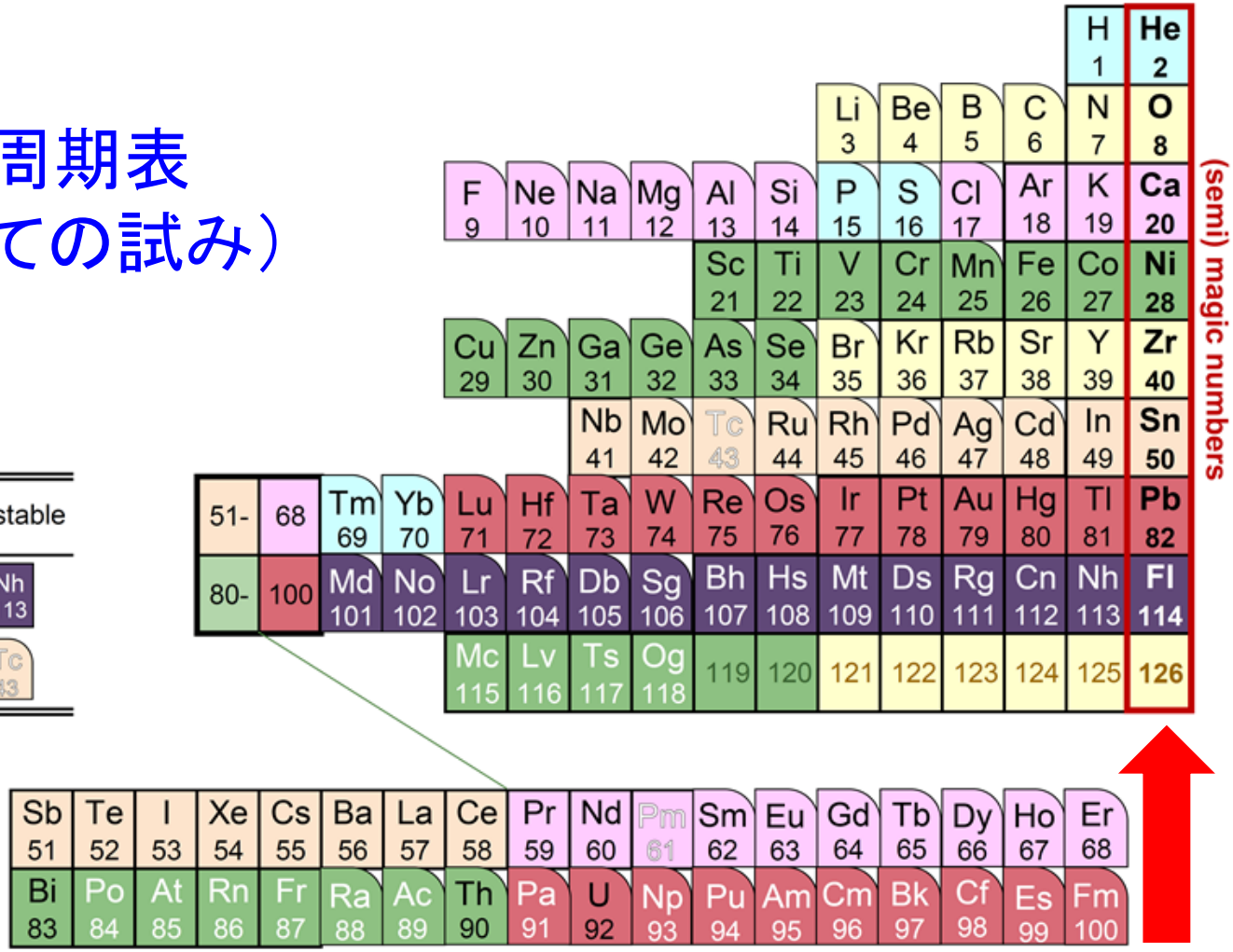
2. 発想と成果

原子核の周期表
（世界で初めての試み）

Shape and stability

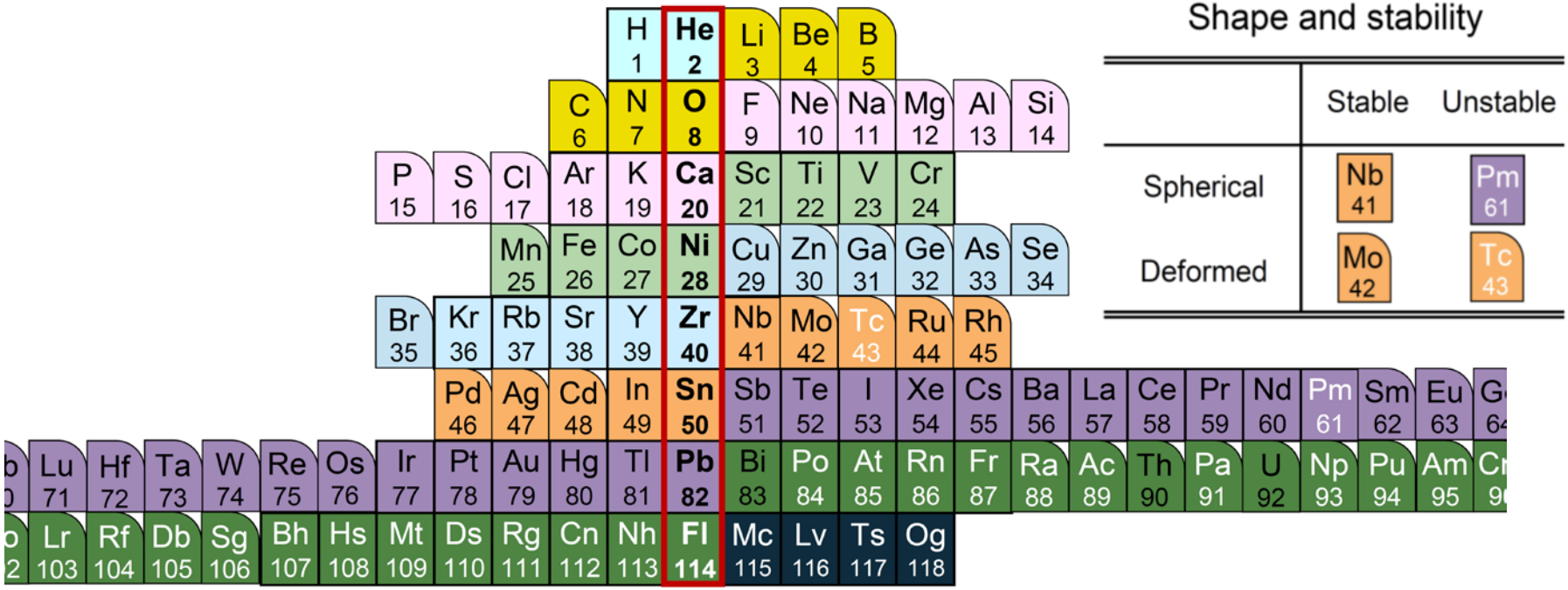
	Stable	Unstable
Spherical	Nb 41	Nh 113
Deformed	Mo 42	Tc 43

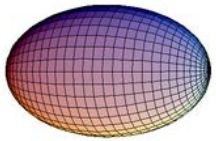
20 $\frac{\text{IV}}{17}$ 20.

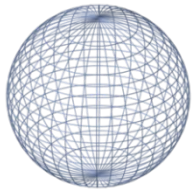


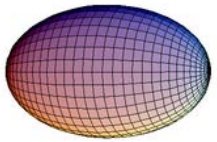
魔法数
（安定な
原子核）

✓ 原子核の形で箱の種類を変えた
✓ 字の種類で原子核の安定性を区別した（不安定な原子核は白抜き）









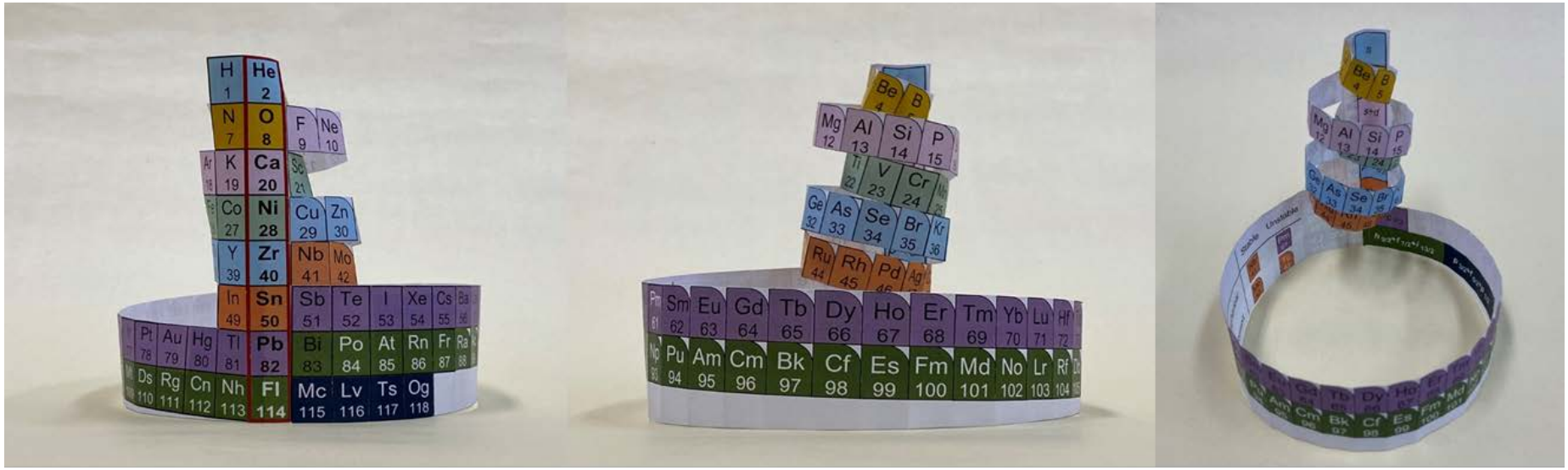
魔法数から離れる
につれ原子核が変形

魔法数の近くは
原子核が球形

魔法数から離れる
につれ原子核が変形

3. 今後の展開: 原子核の周期表

- 魔法数、原子核の変形、原子核の安定性 など原子核の性質を学ぶ上で便利
- 原子の周期表との対比で、自然界の階層性とそれぞれの類似性、相違性が一目でわかる



紙模型による原子核3D周期表「ニュークリタッチ」

cf.「エレメンタッチ」(前野)

教育の現場で活用していただけると嬉しいです。

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）.