

日本の名前がつくかもしれない！
～新元素113番のはなし～



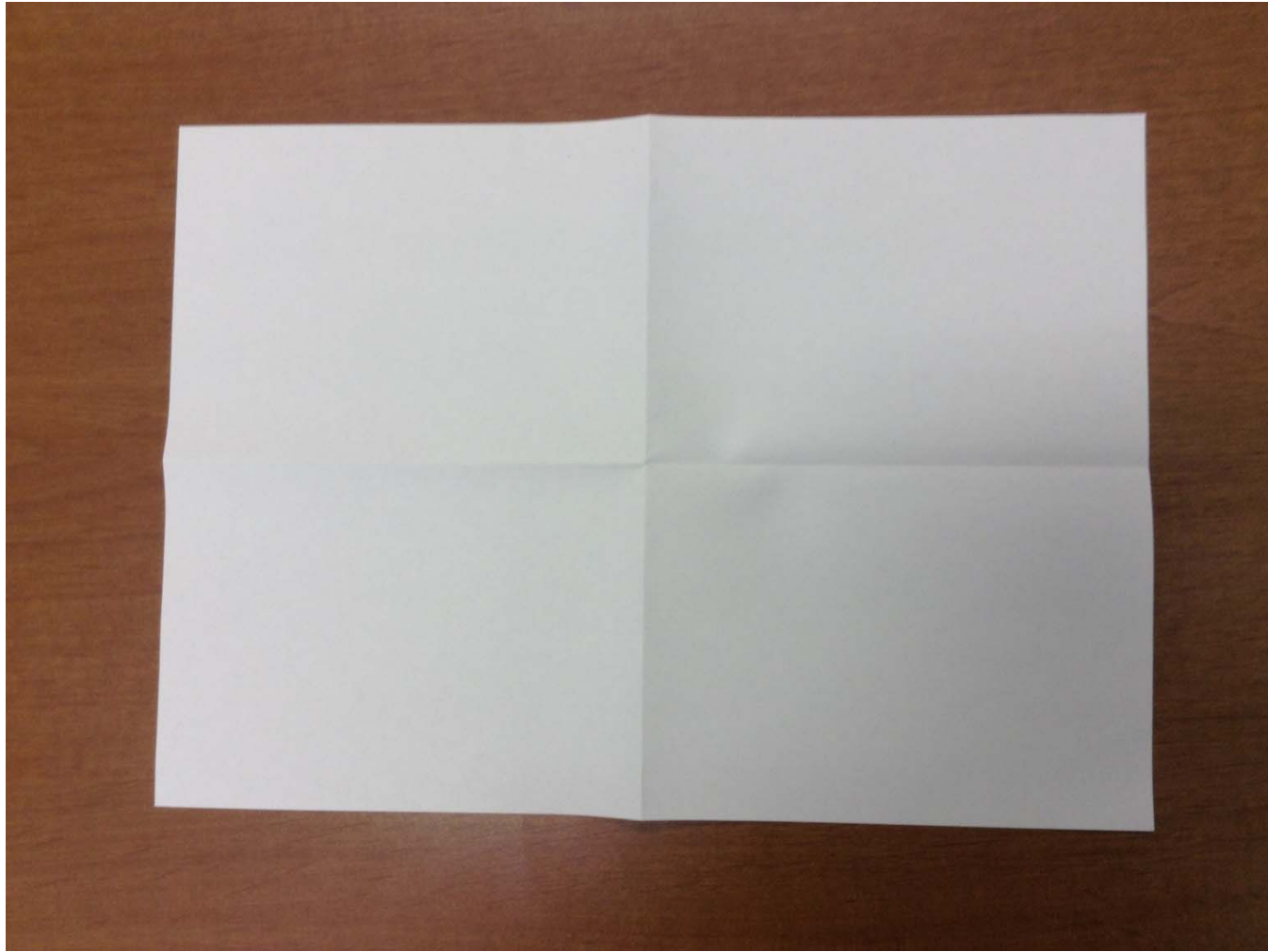
TOHOKU
UNIVERSITY



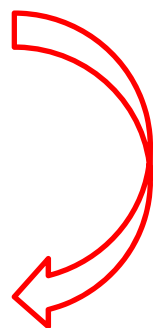
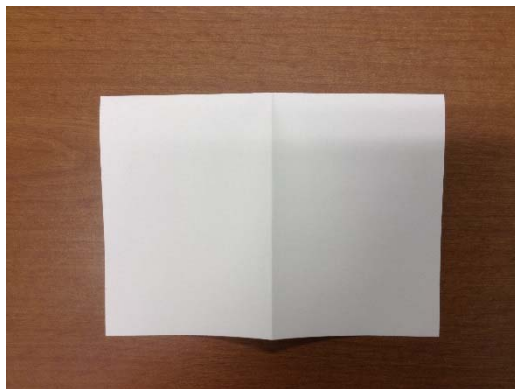
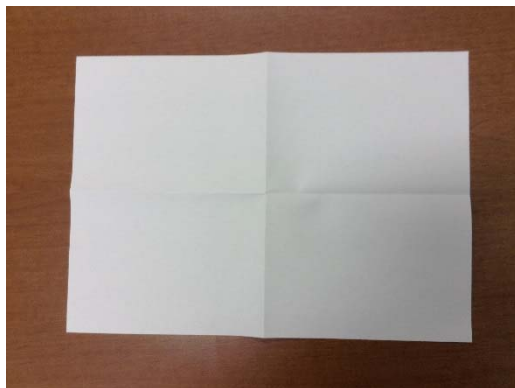
萩野浩一

東北大学大学院理学研究科
物理学専攻
原子核理論研究室

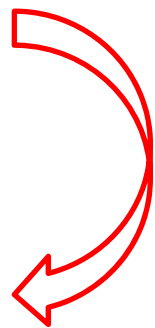
一枚の紙



一枚の紙



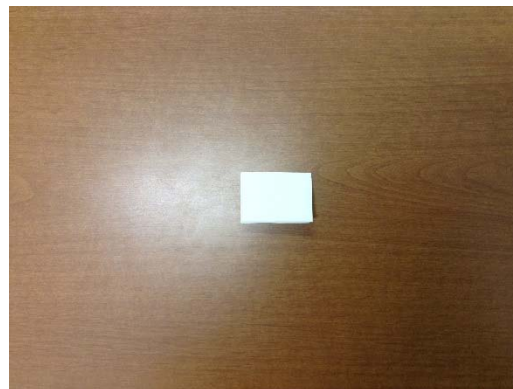
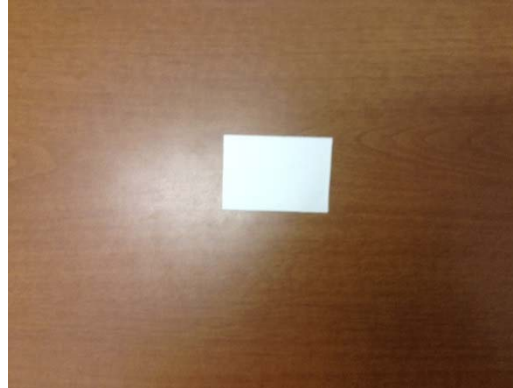
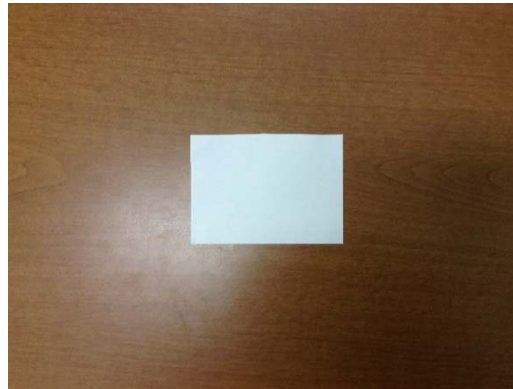
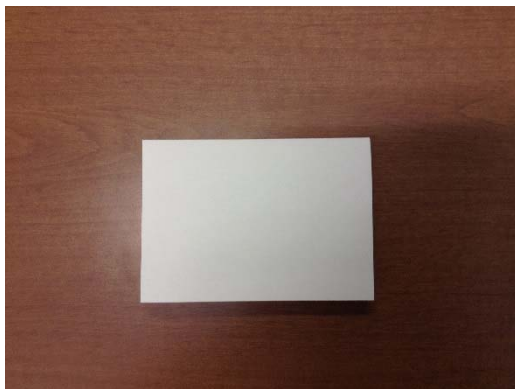
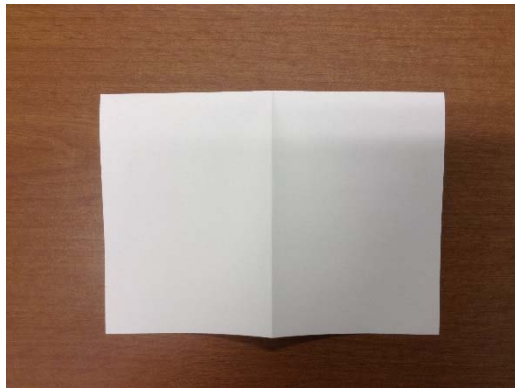
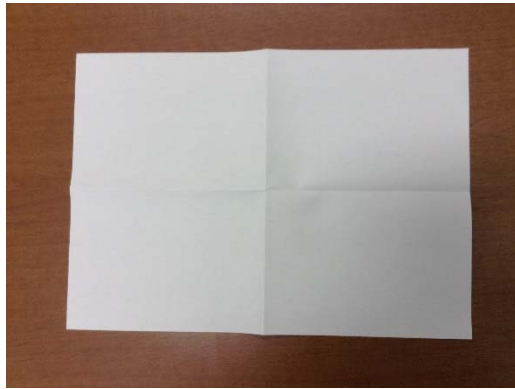
半分



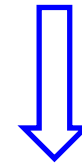
半分

小さな紙

一枚の紙



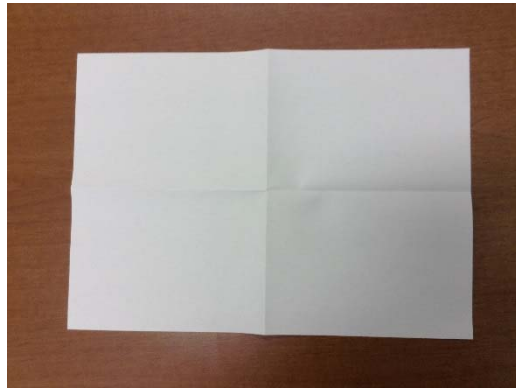
だんだん小さく
なるけど紙は紙。



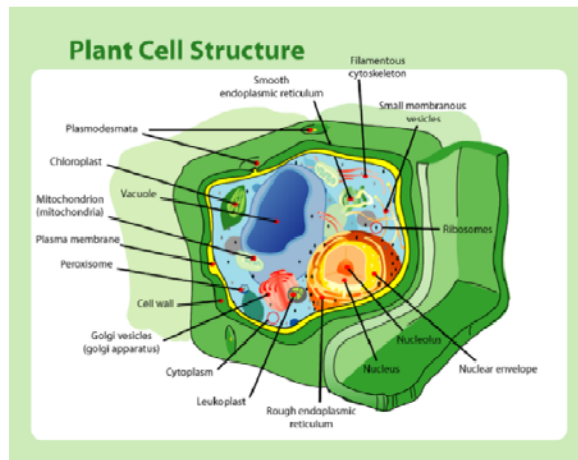
いつまでも紙は
紙なのか？



木(植物)



紙(A4だと21cm x 29.7cm)



11~15回半分に
すると



細胞(5~100 μm)

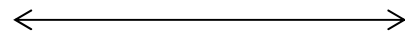
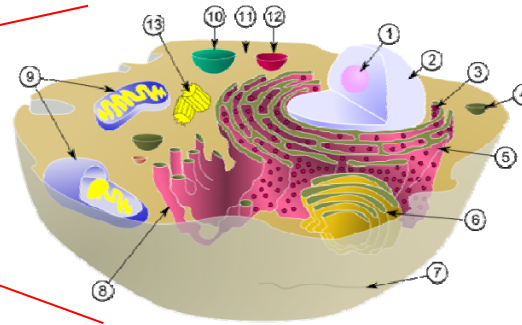
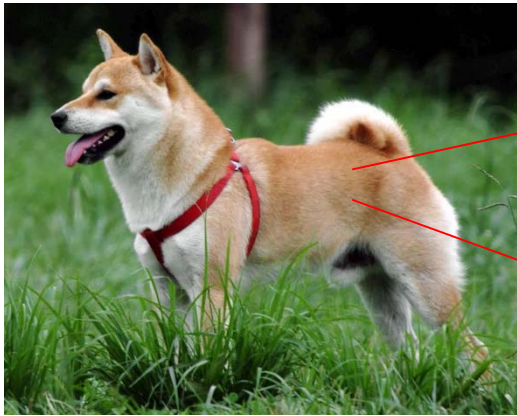
動物の場合でも。。。



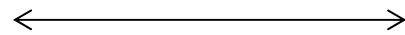
拡大してみると?



細胞



~ 50 cm



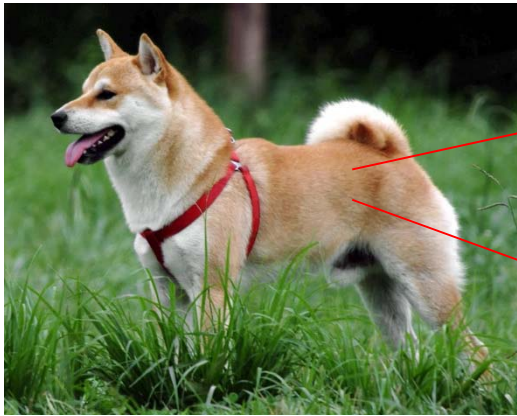
~ $\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$



50万倍

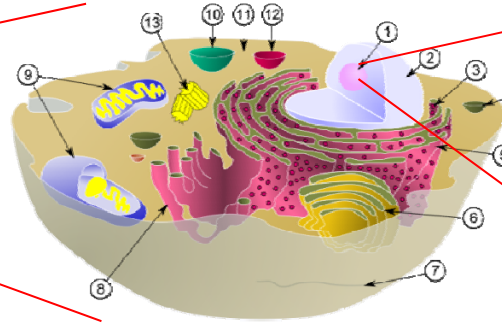
すべての生物(動植物)は細胞が基本単位。

➤ 生物以外のものも含めると基本単位は何?



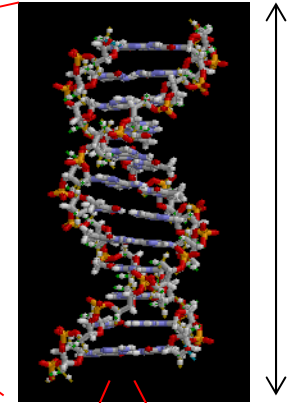
~ 50 cm

細胞



~ $\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$

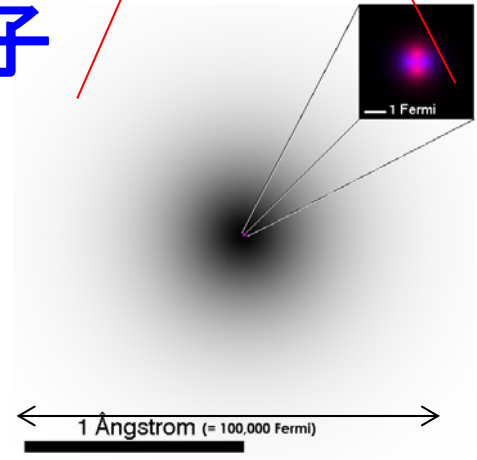
DNA



~ 10^{-8} m

100倍

原子



~ 10^{-10} m

100倍

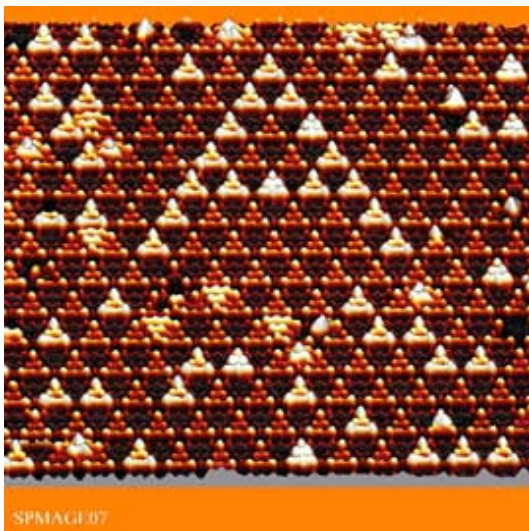
50万倍



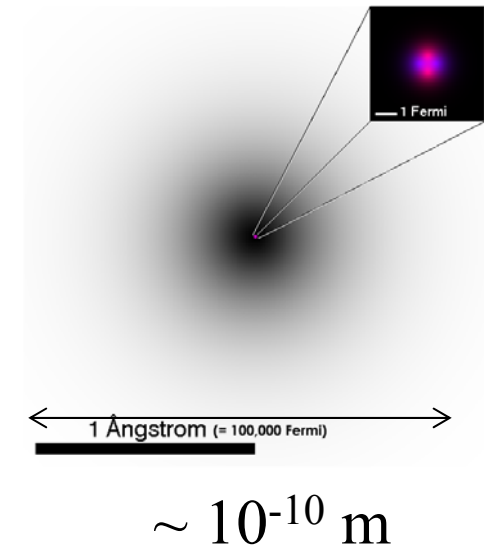
すべてのものは原子から組み立てられる



- タレス、デモクリトス(古代ギリシャ)
- ドルトン(19世紀初頭の化学者)
- ボルツマン(19世紀後期)
- アインシュタイン(1905年)



走査トンネル顕微鏡
の写真
(東北大学物理学専攻
表面物理研究室)



すべてのものは原子から組み立てられる

たった一つの文章しか次世代の人間に継承されないとしたら、どんな文章を残せば最小限の言葉で最大限の情報を伝えられるだろうか。その文章とは、「万物は原子から構成されている」である。

(リチャード・ファインマン)

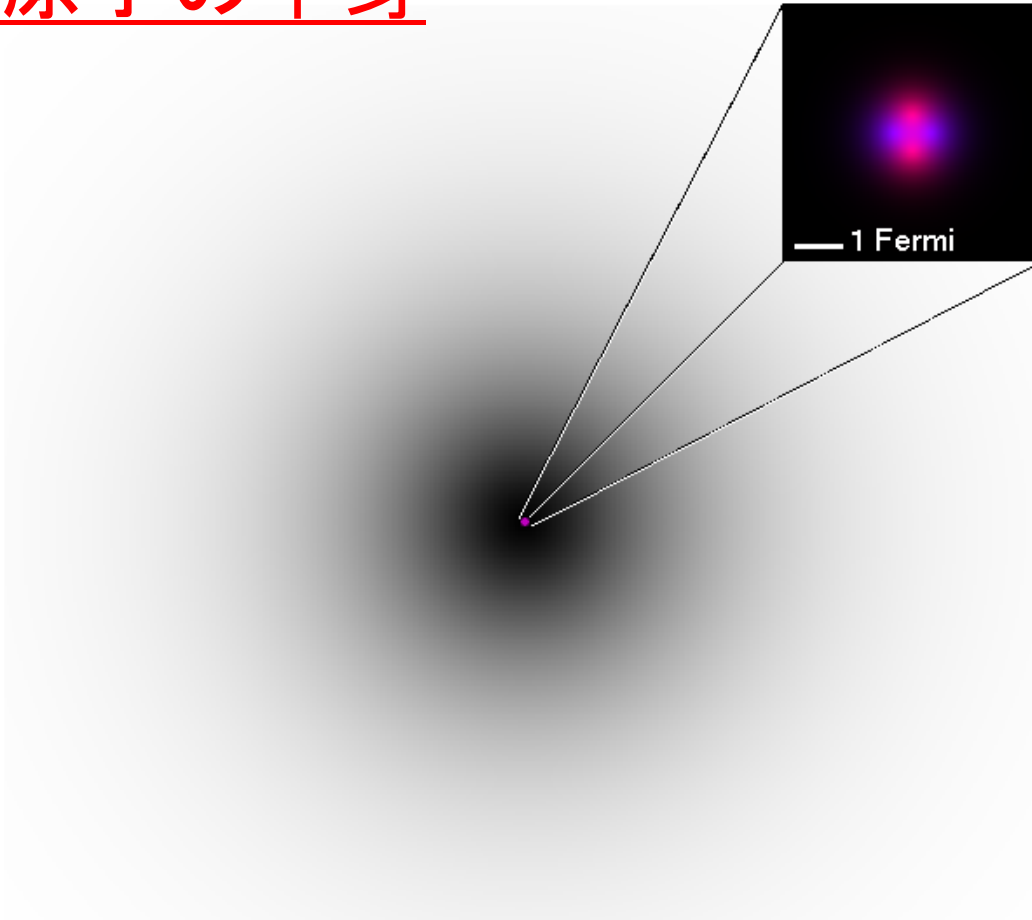


リチャード・ファインマン
(1918-1988)

1965年ノーベル物理学賞
受賞

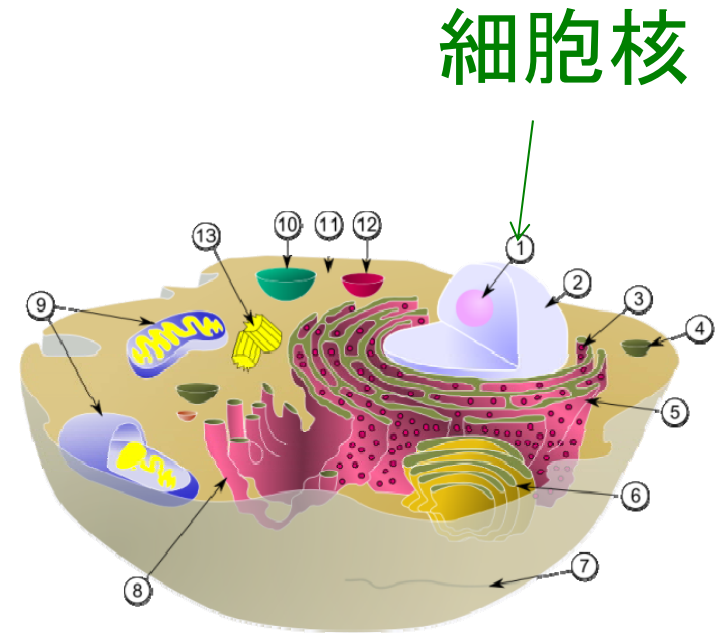
(写真: The Nobel Foundation)

原子の中身



原子の中身

原子の核(原子核)



(参考)細胞の中身

原子の中身

原子核

陽子 (プラスの電気)

中性子 (電気なし)

10万倍
に拡大

電子の雲
(マイナスの電気)

0.000000000001 m

- 陽子の数 = 電子の数
- 化学的な性質 = 電子の数

元素の周期表

Group → ↓ Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
Lanthanides			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
Actinides			89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

化学的な性質 (= 電子の数 = 陽子の数) によって
原子を並べたもの = 元素

人の体はどんな元素から出来ている？

酸素 43 kg
炭素 16 kg
水素 7 kg
窒素 1.8 kg
カルシウム 1.0 kg
リン 780 g
カリウム 140 g
硫黄 140 g
ナトリウム 100 g
塩素 95 g
マグネシウム 19 g
鉄 4.2 g
フッ素 2.6 g
亜鉛 2.3 g
ケイ素 1.0 g
ルビジウム 0.68 g
ストロンチウム 0.32 g
臭素 0.26 g
鉛 0.12 g
銅 72 mg
アルミニウム 60 mg
カドミウム 50 mg

セリウム 40 mg
バリウム 22 mg
ヨウ素 20 mg
スズ 20 mg
チタン 20 mg
ホウ素 18 mg
ニッケル 15 mg
セレン 15 mg
クロム 14 mg
マンガン 12 mg
ヒ素 7 mg
リチウム 7 mg
セシウム 6 mg
水銀 6 mg
ゲルマニウム 5 mg
モリブデン 5 mg
コバルト 3 mg
アンチモン 2 mg
銀 2 mg
ニオブ 1.5 mg
ジルコニウム 1 mg
ランタン 0.8 mg

ガリウム 0.7 mg
テルル 0.7 mg
イットリウム 0.6 mg
ビスマス 0.5 mg
タリウム 0.5 mg
インジウム 0.4 mg
金 0.2 mg
スカンジウム 0.2 mg
タンタル 0.2 mg
バナジウム 0.11 mg
トリウム 0.1 mg
ウラン 0.1 mg
サマリウム 50 µg
ベリリウム 36 µg
タングステン 20 µg



John Emsley,
“The Elements”,
3rd ed. Clarendon Press,
Oxford, 1998

元素の周期表

Group → ↓ Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn

周期的に同じ性質を持つ元素が並ぶ
(メンデレーエフ 1869年)

→ 未知の原子の性質が予言できる

ガリウムの発見 (1874年)

ゲルマニウムの発見 (1879年)

幻の元素、ニッポニウム (Np)

1908年:「43番目の元素」として新元素を発見し
ニッポニウム (Np) と命名したと発表。

→ その後疑問視され、周期表からは落とされる
(実は75番元素レニウム(当時未発見)だった)



小川正孝
(1865－1930)



東北大学第4代総長
(1919－1928)

写真提供:宮城の
新聞



モリブデナイト
(モリブデン鉱石)

元素の周期表

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

Lanthanides

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Actinides

89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

最も重い元素は何？

元素の周期表

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

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

最も重い元素は何？

自然界: プルトニウム (Z=94) → 極微量存在

ウラン (Z=92) 何がこの番号を決めている？

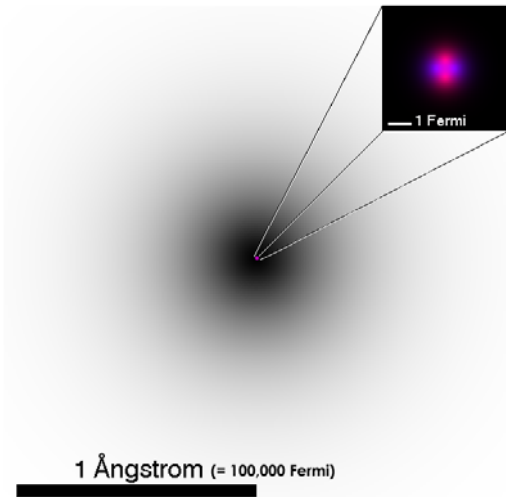
Lanthanides	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Actinides	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

最も重い元素は何？

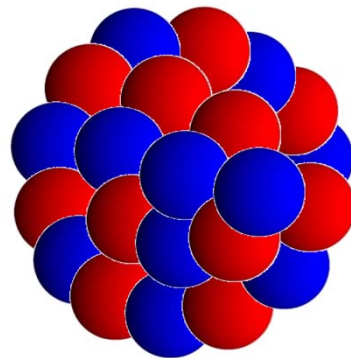
自然界にある元素： プルトニウムPu (Z=94) → 極微量存在
 ウランU (Z=92)

何が最も重い元素の番号を決めているのか？

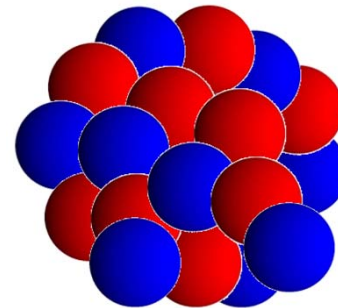
原子核 重い原子核 → 電氣的反発力が大



↓
 α 粒子を出して安定になる

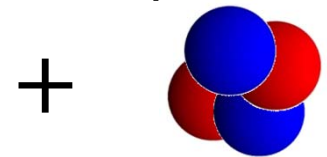


(Z,N)



(Z-2,N-2)

${}^4\text{He}$ 原子核
 = α 粒子



(Z=2,N=2)

重い原子核の寿命

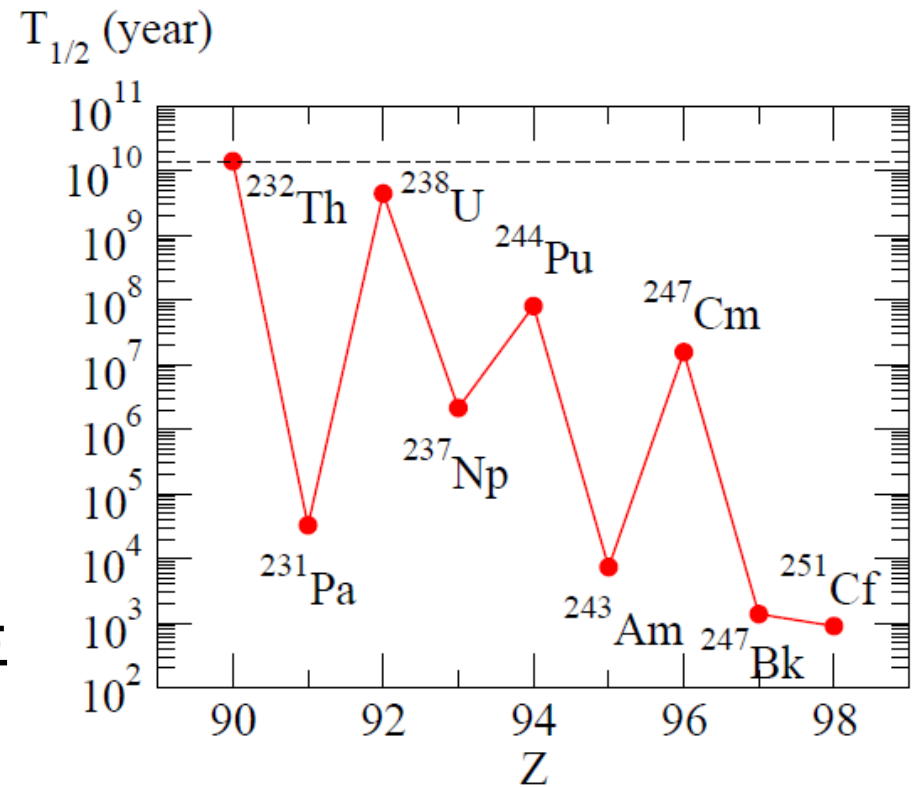
^{232}Th 140.5 億年

^{238}U 44.7 億年

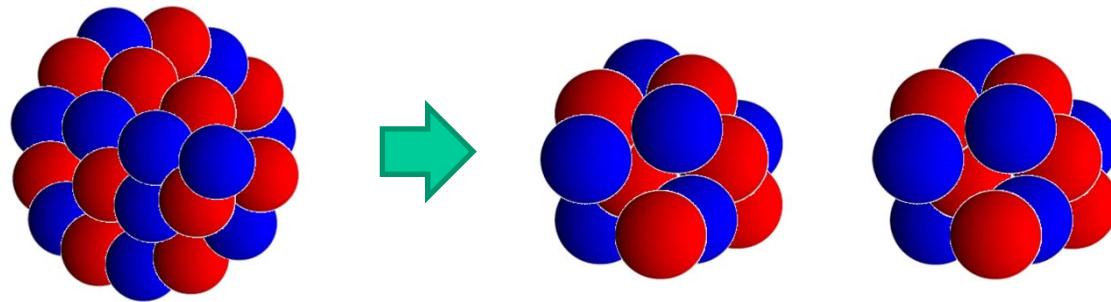
^{244}Pu 8000 万年

^{247}Cm 1560 万年

(参考) 宇宙の年齢: 137億年
地球の年齢: 45.4億年



* もっと重い原子核は核分裂で壊れることも:

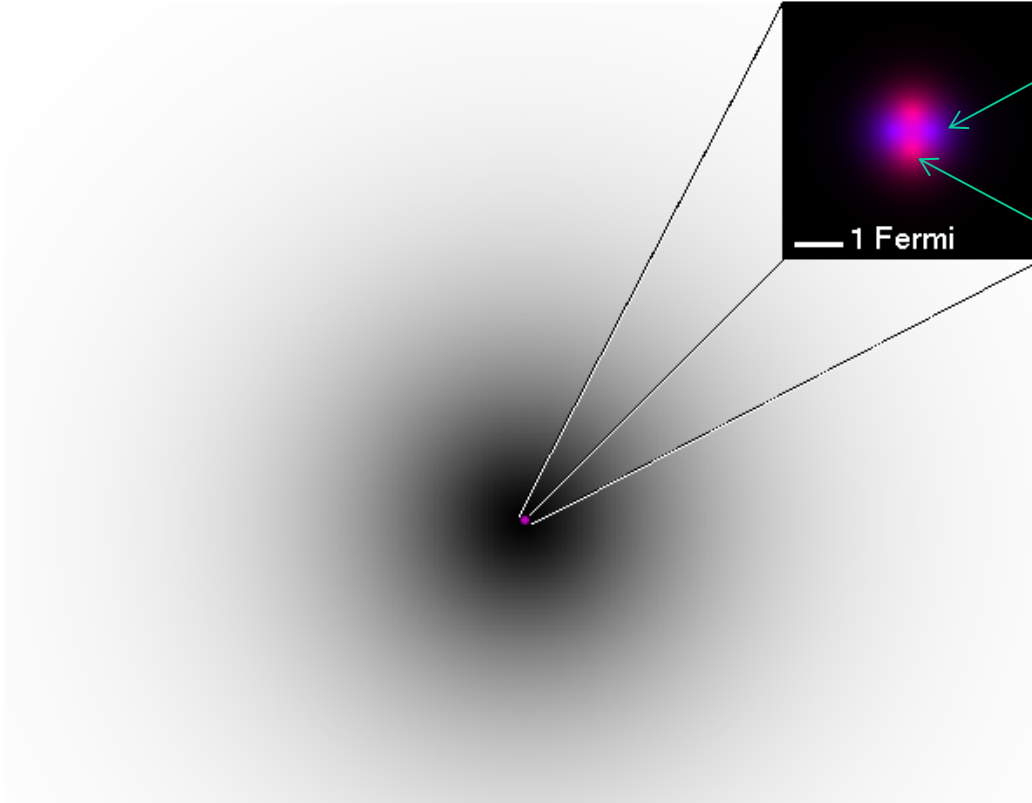


原子の中身

原子核

陽子 (プラスの電気)

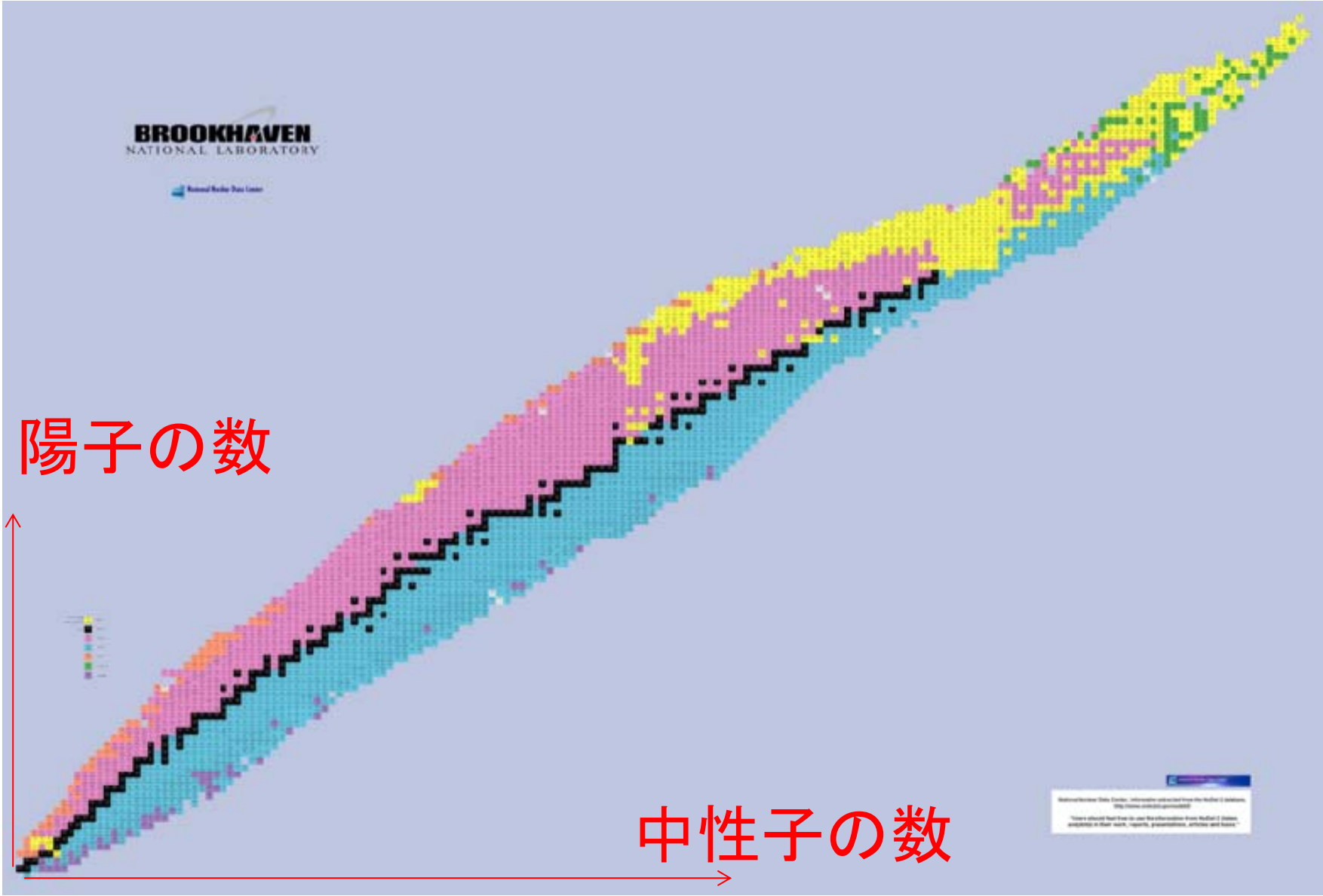
中性子 (電気なし)



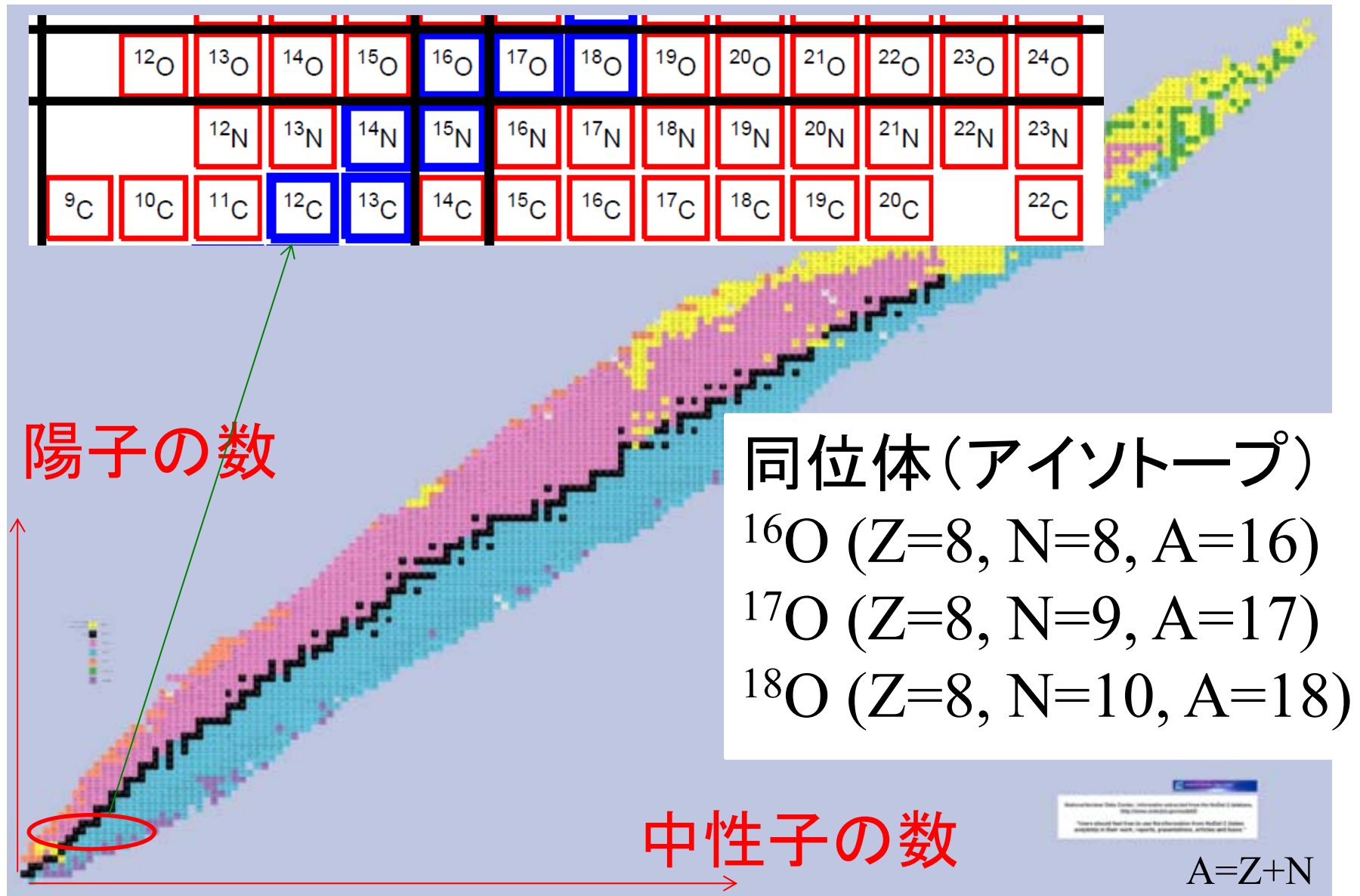
Group → ↓ Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr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

← 中性子は?

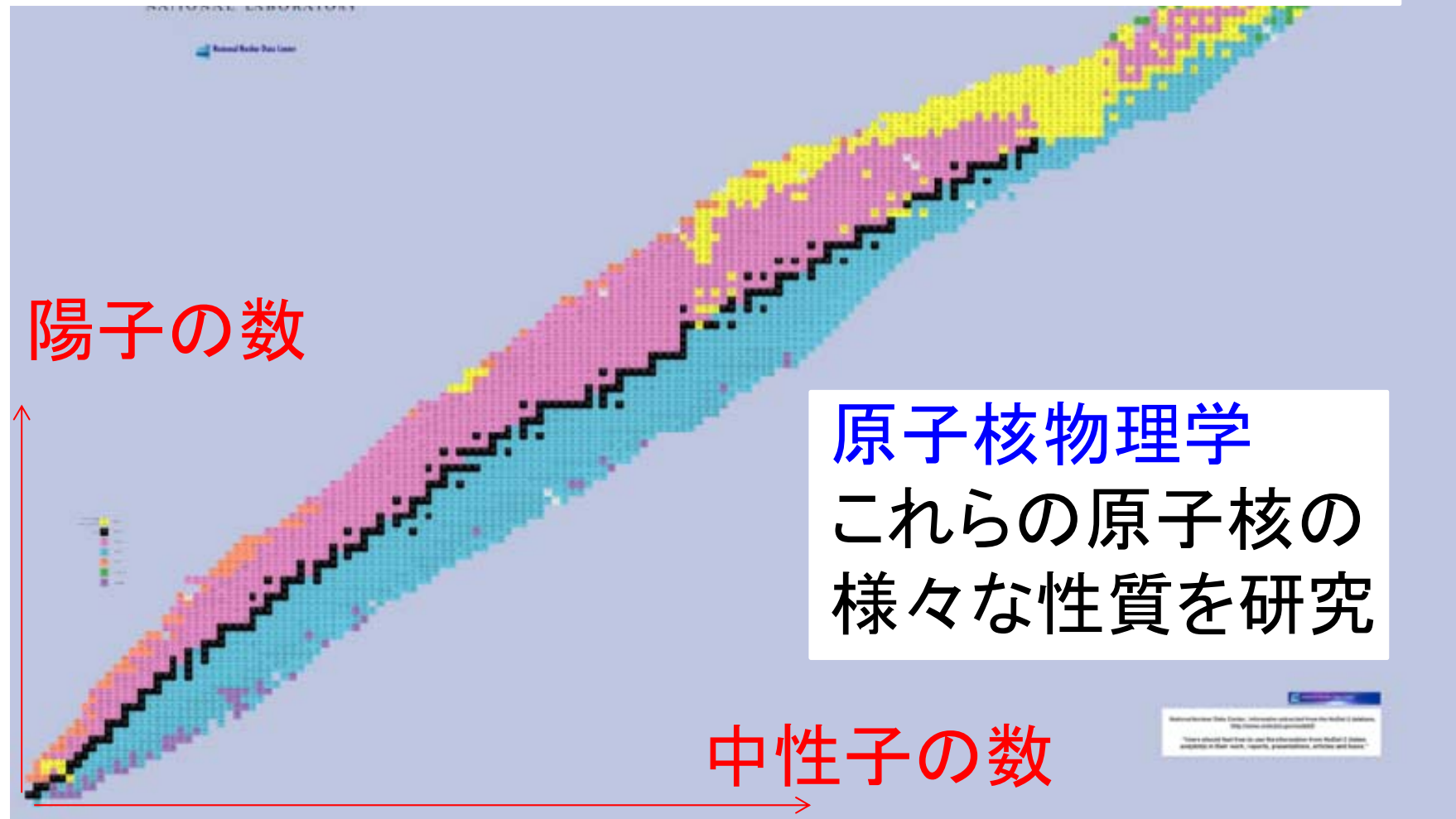
核図表: 原子核の地図



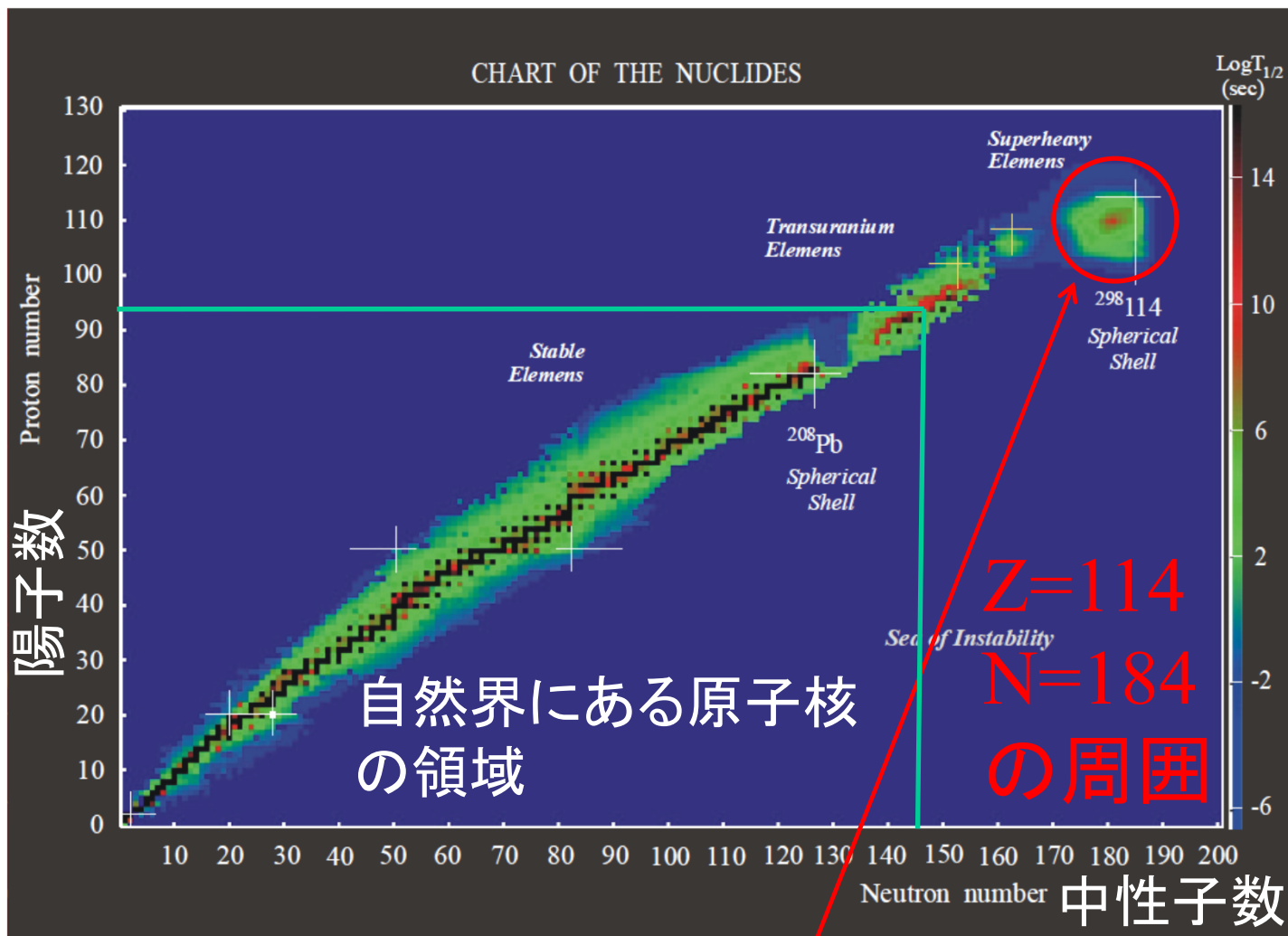
核図表: 原子核の地図



- 自然界にある安定な原子核：287種
- これまで人工的に作られた原子核：約3,000種
- 理論上存在が予想される原子核：約10,000種



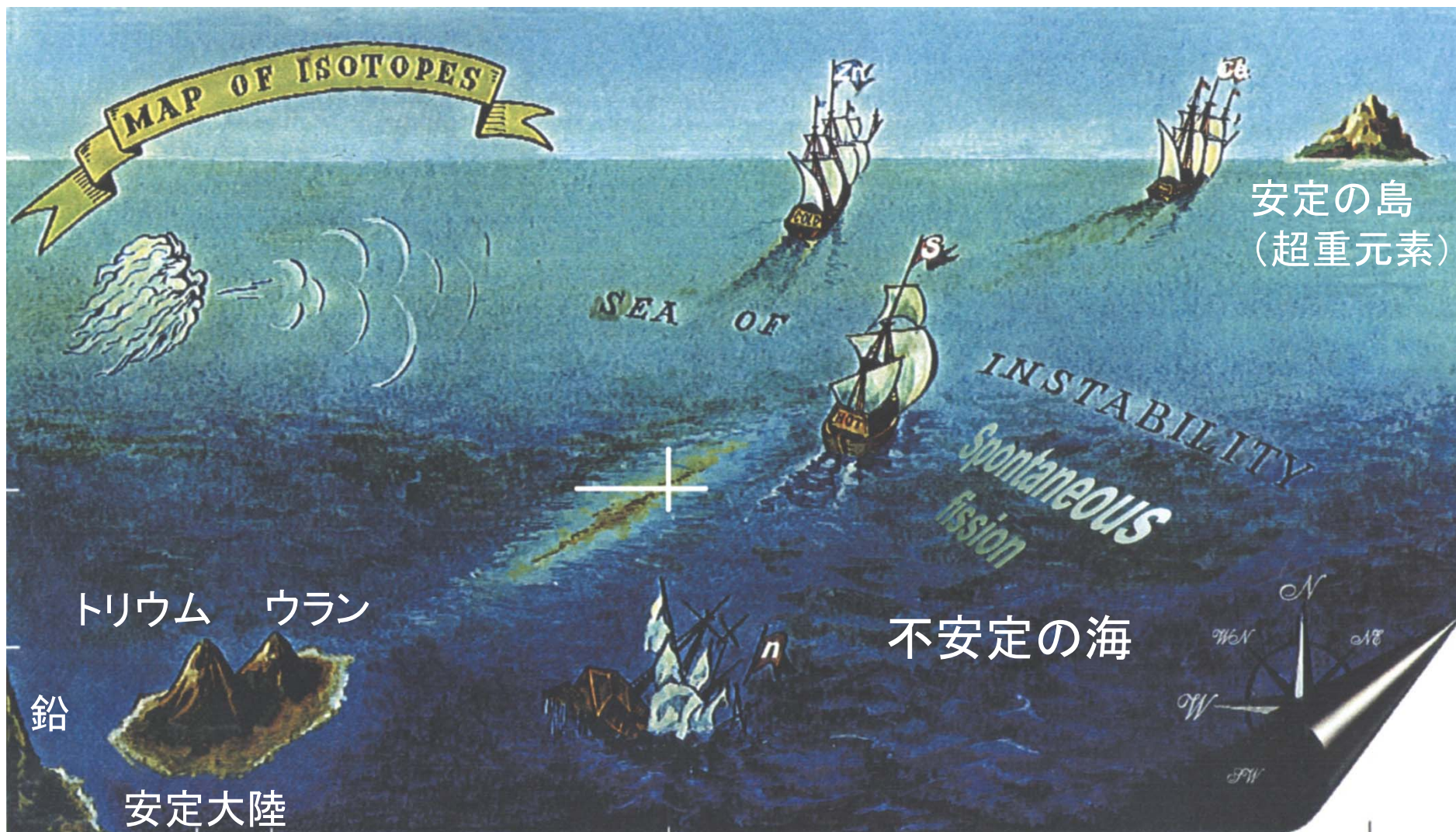
超重元素(超重原子核)



Yuri Oganessian

原子核の安定領域の理論的予言
(1966年:スビアテッキラ)

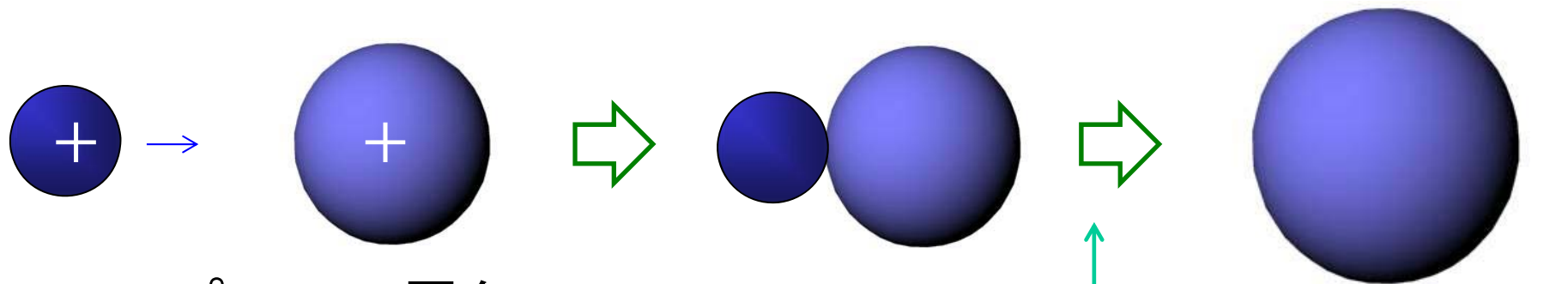
安定の島(超重元素)を目指して



Yuri Oganessian

どのように超重元素(=人工元素)を作る?

核融合反応(例えば ${}^{70}\text{Zn} + {}^{209}\text{Bi} \rightarrow {}^{279}113$ 反応)

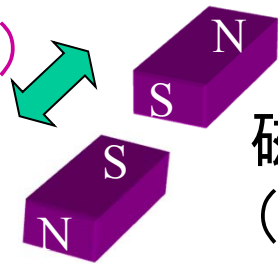


2つのプラスの電気の固まりは反発



加速器を使って勢いよく近づける

(参考)



磁石

(SとS、NとNは反発)

強い相互作用
(核力)核子を

くっつける力

(湯川秀樹によって説明)

大きな
原子核

これまでに到達した超重元素

87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
----------	----------	--	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------	-----------	------------	-----------	------------	------------

Z=110	ダームスタチウム(Ds)	1994	独
Z=111	レントゲニウム (Rg)	1994	独
Z=112	コペルニシウム (Cn)	1996	独
Z=113	名無し	2003	露 / 2004 日
Z=114	フレロビウム (Fl)	1999	露
Z=115	名無し	2003	露
Z=116	リバモリウム (Lv)	2000	露
Z=117	名無し	2010	露
Z=118	名無し	2002	露

*いずれも安定の島は未確認

新元素の名前

IUPAC/IUPAP 合同作業部会で新元素の認定
→ 発見者に命名権が与えられる



IUPAC = 国際純正・応用化学連合

IUPAP = 国際純正・応用物理学連合

化学や物理の世界の国連

超重元素を作ることの難しさ

$10^{11} = 100,000,000,000$

1000億回に**1回**くらい
しか**核融合**しない！
(Ni+Pb 反応の場合)

$10^6 = 1,000,000$

99,999,000,000

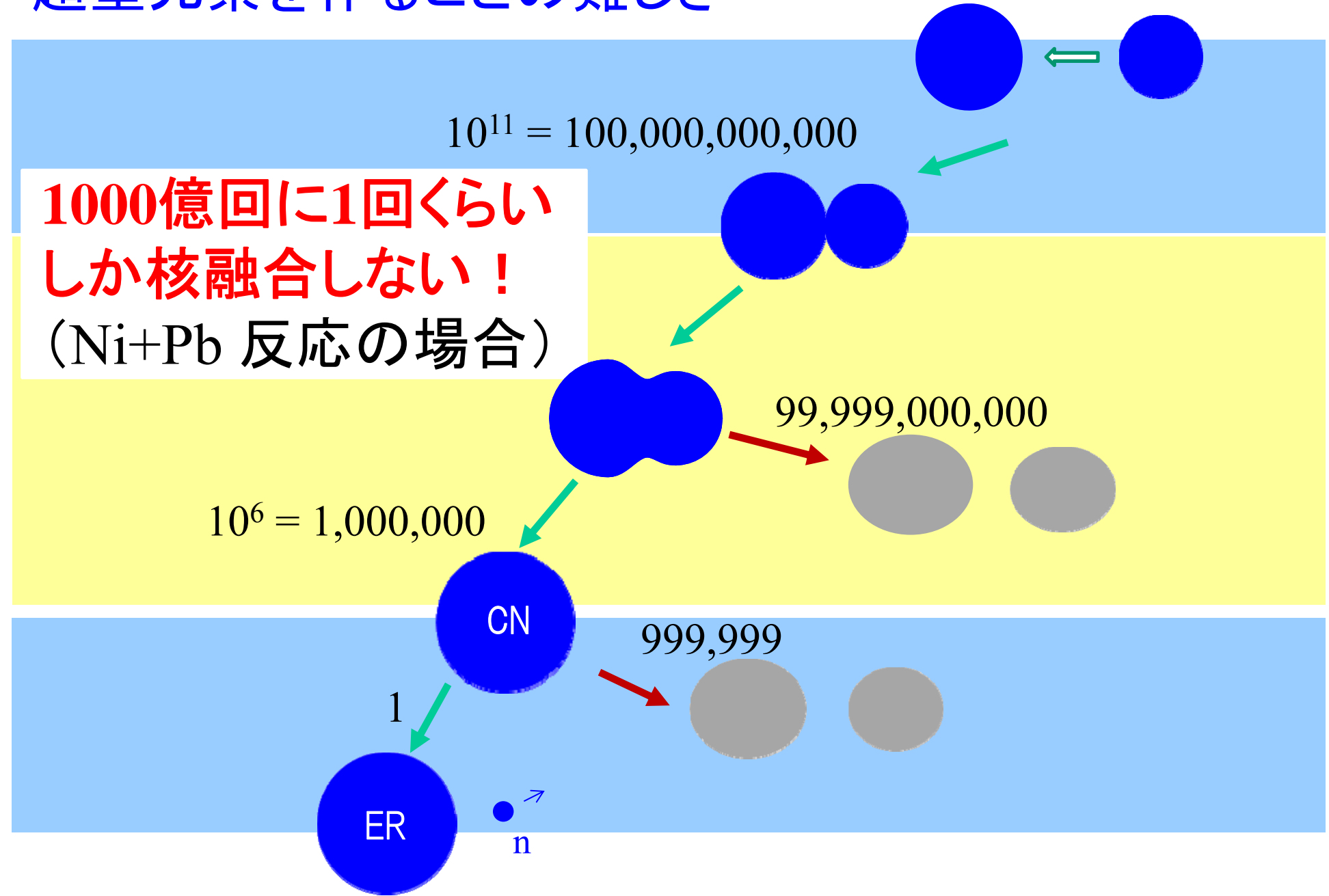
999,999

1

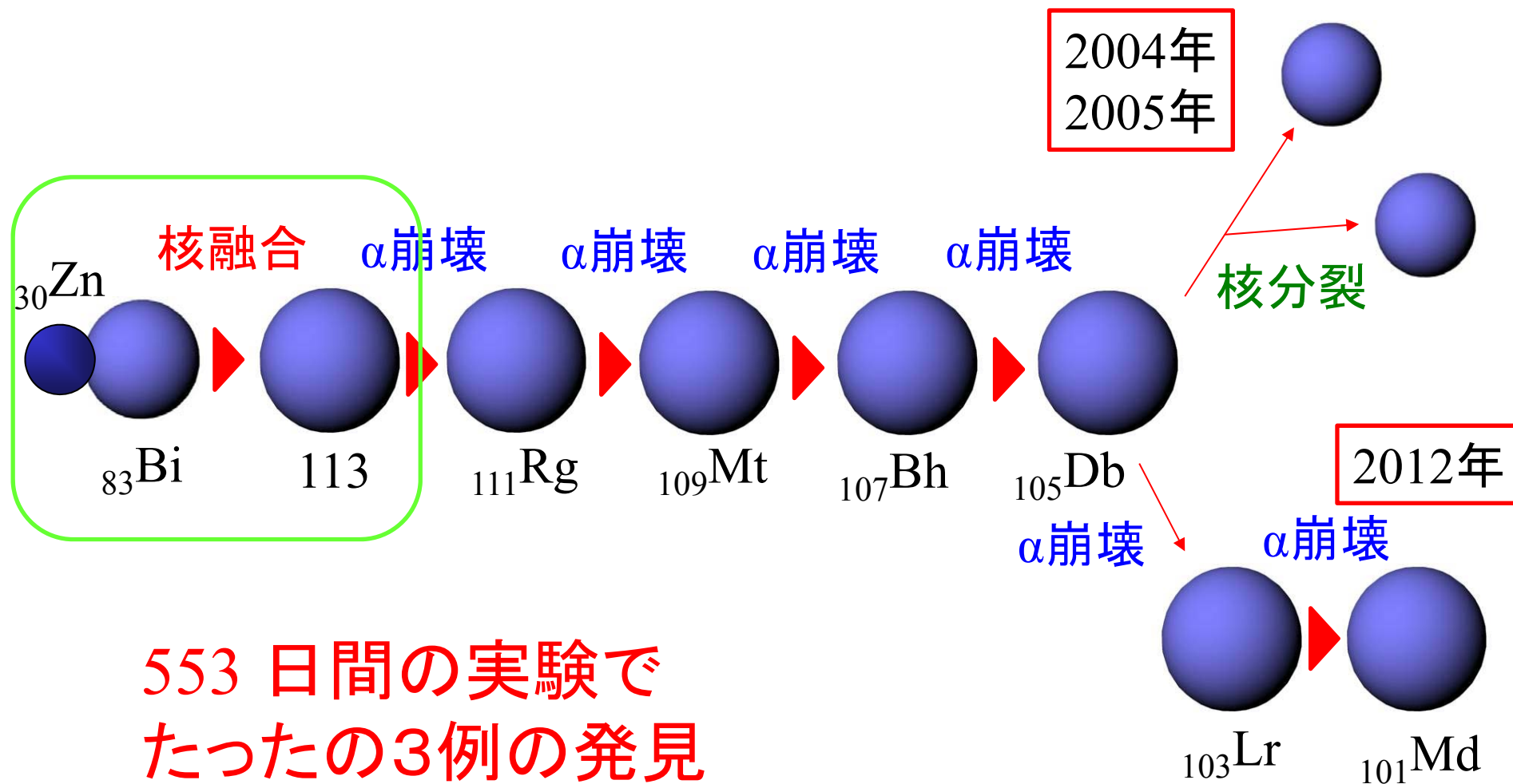
ER

CN

$n \rightarrow$



新元素113番 (理化学研究所・九大 森田浩介博士)



553 日間の実験で
たったの3例の発見

112~114番元素

	発見	認定
112:コペルニシウム (Cn)	1996 独	2011
113:名無し	2003 露 / 2004 日	未
114:フレロビウム (Fl)	1999 露	2011

ロシア:「熱い」タイプの核融合反応

出来る量は比較的多いが、出来たかどうかの判定がやや難しい

日本:「冷たい」タイプの核融合反応

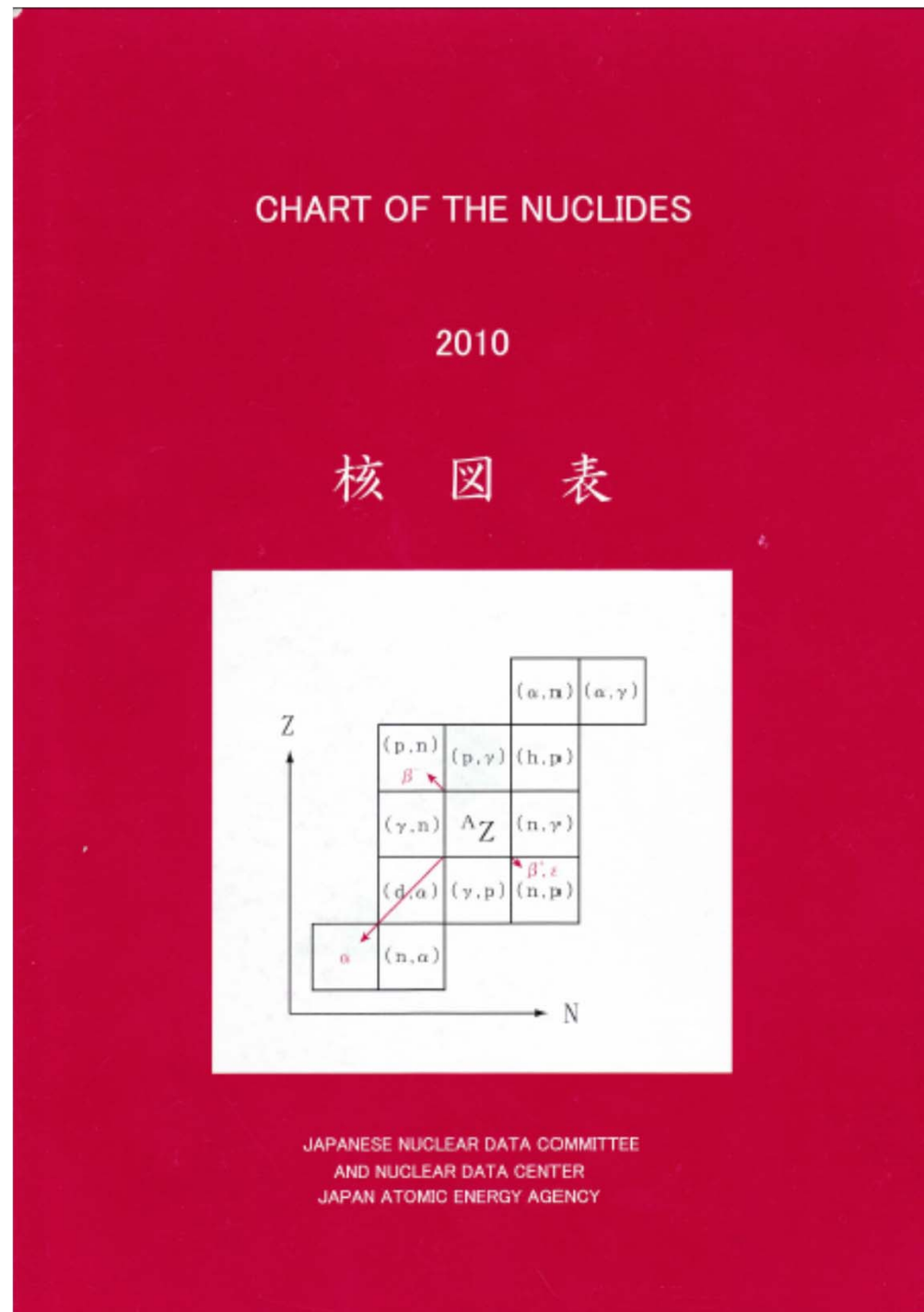
出来る量は少ないが、出来たかどうか確実

113番元素: IUPAC/IUPAP 合同作業部会で審議中
日本に命名権がくるといいのですが。。。

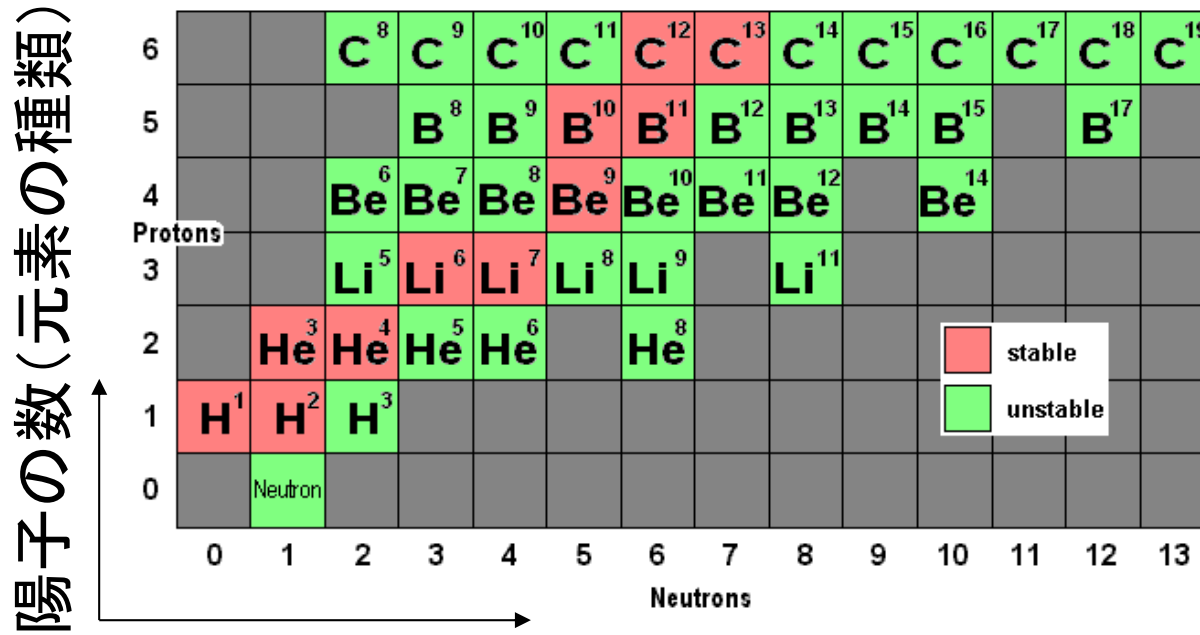
ご清聴ありがとうございました。

第二部： 「核図表」の見方

日本原子力研究開発機構
作成2010年版の核図表

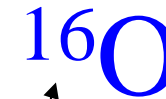


核図表：原子核の地図



中性子の数(同位体の種類)

原子核の名前の付け方



↑
元素記号



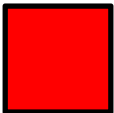
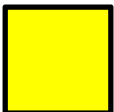
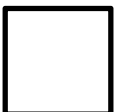
陽子の数
+ 中性子の数

→ 陽子の数: 8
中性子の数: 8

核図表:

- 箱ごとに一つの原子核
- 箱の色と種類の違いによって原子核の性質を表す

色の違い: 寿命を区別(壊れやすさの違い)

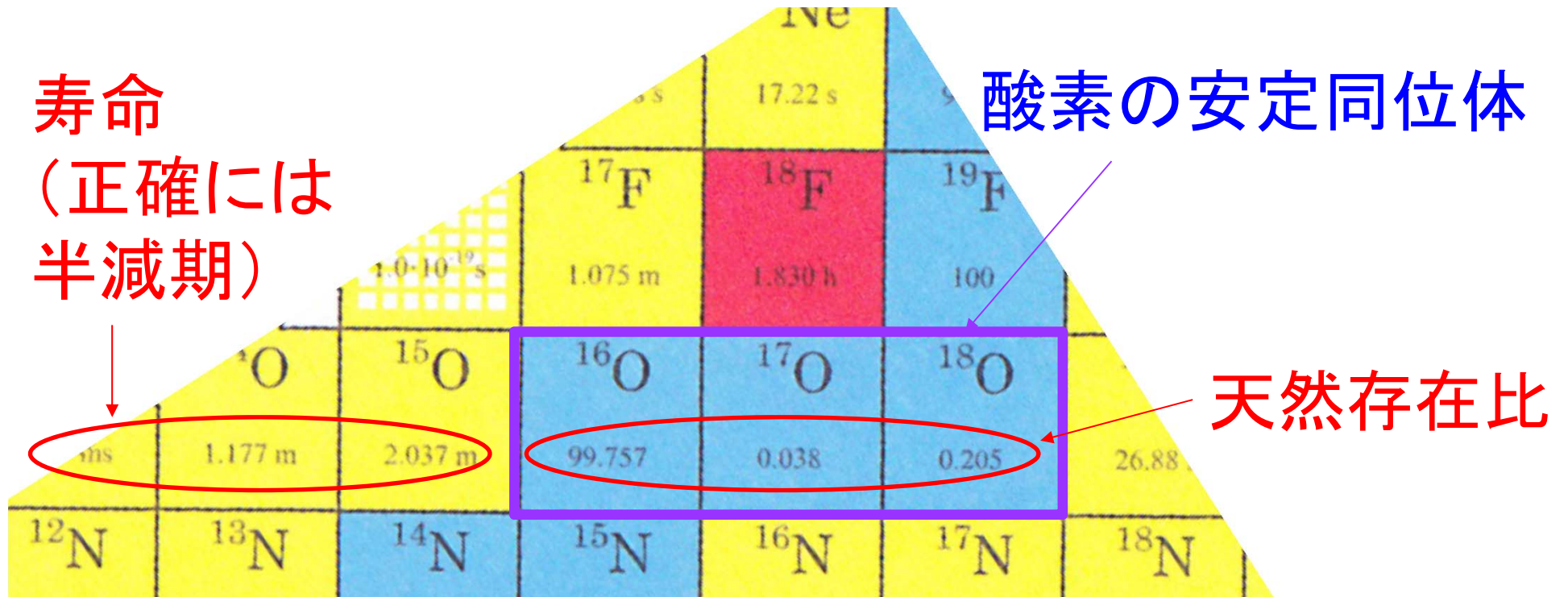
-  安定または長寿命な原子核(寿命が5億年以上)
-  寿命が30日以上5億年以下
-  寿命が10分以上30日以下
-  寿命が10分以下
-  実験的に未確認の原子核

* 原子核記号の下の数字は、天然存在比(青の場合)または寿命を表す(青以外の場合)

(y = 年, d = 日, h = 時間, m = 分, s = 秒

ms = ミリ秒 = 0.001秒、 μ s = マイクロ秒 = 0.000001秒)

^9C	^{10}C	^{11}C	^{12}C	^{13}C	^{14}C	^{15}C	^{16}C
26.5 ms	19.310 s	20.39 m	98.93	1.07	5700 y	2.449 s	0.747 s
9	10	11	12	13	14	15	16



寿命
(正確には
半減期)

酸素の安定同位体

天然存在比

例えば、酸素元素にも様々な種類(同位体)
自然界には ^{16}O : 99.757%, ^{17}O : 0.038 %, ^{18}O : 0.205%
(青色の箱)

その他の酸素同位体は不安定(ある寿命で壊れる)
(黄色の箱)

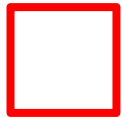
箱の種類の違い：壊れ方の違いを区別



安定(壊れない) : 箱の色が青の場合



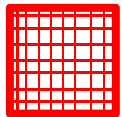
ベータ崩壊(中性子が陽子の変わる、または、
陽子が中性子に変わる)



アルファ崩壊(アルファ粒子= ${}^4\text{He}$ 原子核を出して
他の原子核に変わる)



核分裂で壊れる

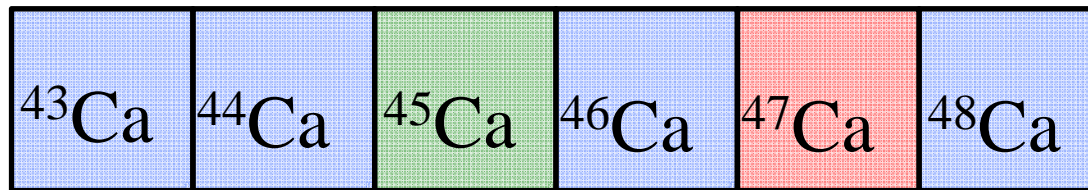


陽子放出崩壊(陽子を出して他の原子核に変わる)

* これらがいくつか合わさった箱もある。

議論のテーマ

- ① 鉛(82番)までの元素で青色の箱がない元素が2つあります。何と何でしょうか?
- ② ^{14}C の寿命と同じ時間遡ると日本は何時代?
- ③ 青色の箱がとびとびに出てくるところ:



カルシウム
(20番元素)

他にもネオジウム(60番)、セリウム(58番)など多数。

- ◆ 青と青に挟まれた不安定な原子核に共通する性質は何でしょうか?
- ◆ また、なんでとびとびになると思いますか?

その他、核図表を見て気がついたことを何でも挙げて下さい。

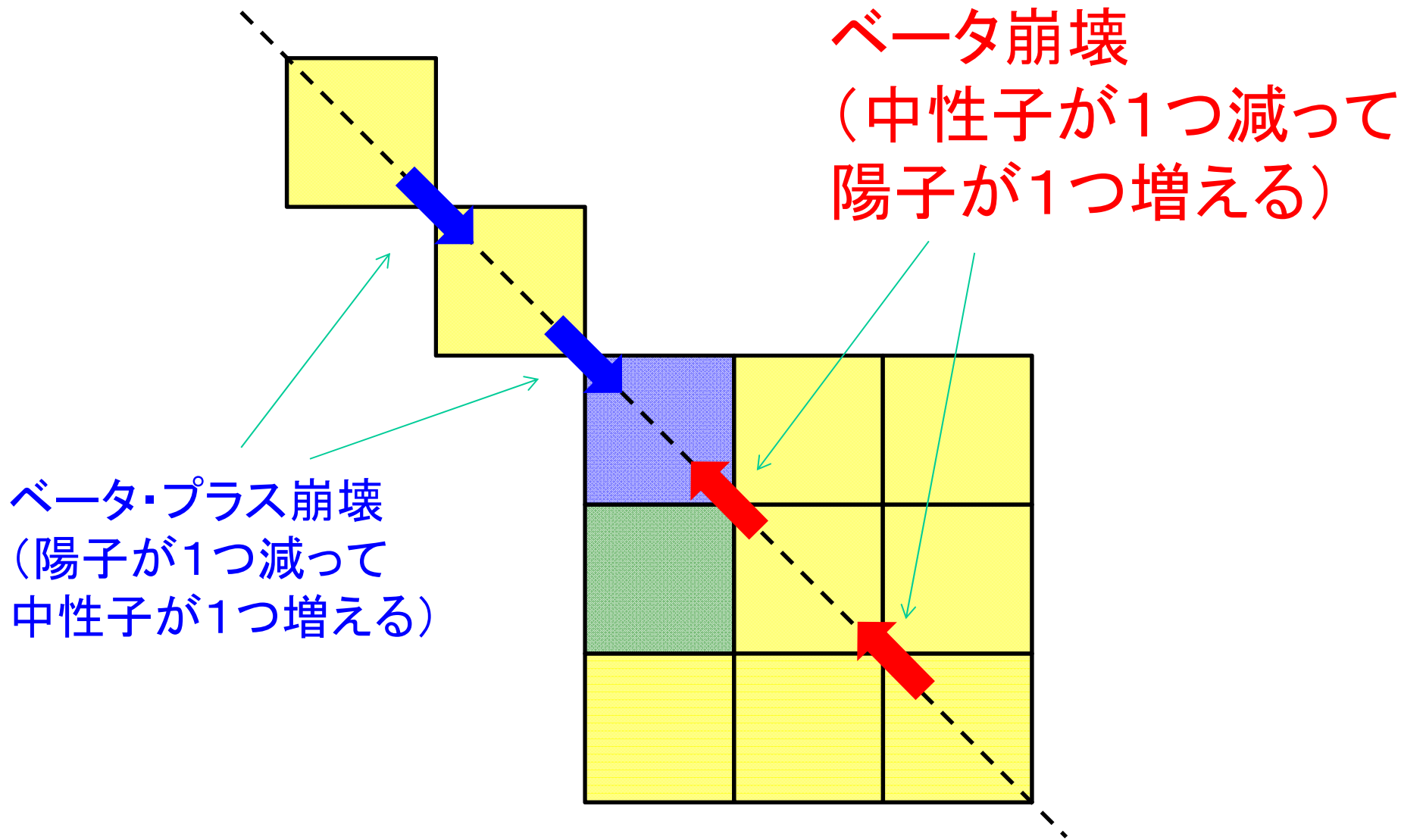
① 鉛(82番)までの元素で青色の箱がない元素が2つあります。何と何でしょうか?

テクネチウム Tc (43番元素)

	^{92}Tc	^{93}Tc	^{94}Tc	^{95}Tc	^{96}Tc	^{97}Tc	^{98}Tc	^{99}Tc	^{100}Tc	^{101}Tc	10
--	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-------------------	-------------------	----

プロメチウム Pm (61番元素)

m	^{140}Pm	^{141}Pm	^{142}Pm	^{143}Pm	^{144}Pm	^{145}Pm	^{146}Pm	^{147}Pm	^{148}Pm	^{149}Pm	15
---	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	----



斜めの線(中性子の数+陽子の数=一定)に沿って必ず青の箱が1個か2個(まれに3個)

安定な
原子核



不安定な
原子核



核図表の
右はじにある
原子核



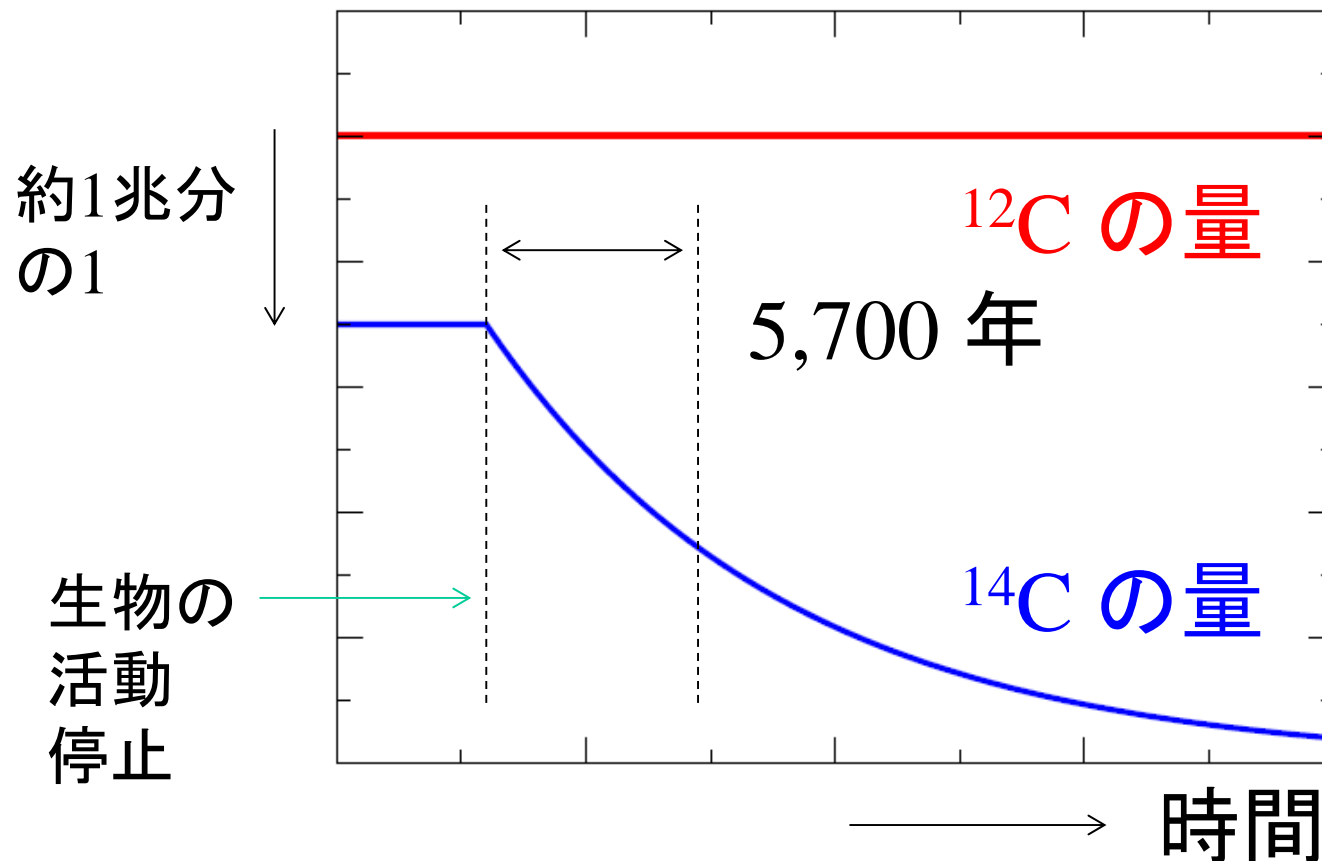
陽子

中性子

② ^{14}C の寿命と同じ時間遡ると日本は何時代?

^{12}C	^{13}C	^{14}C 5700y
-----------------	-----------------	--------------------------

縄文時代:
約1万6500年前
～約3000年前



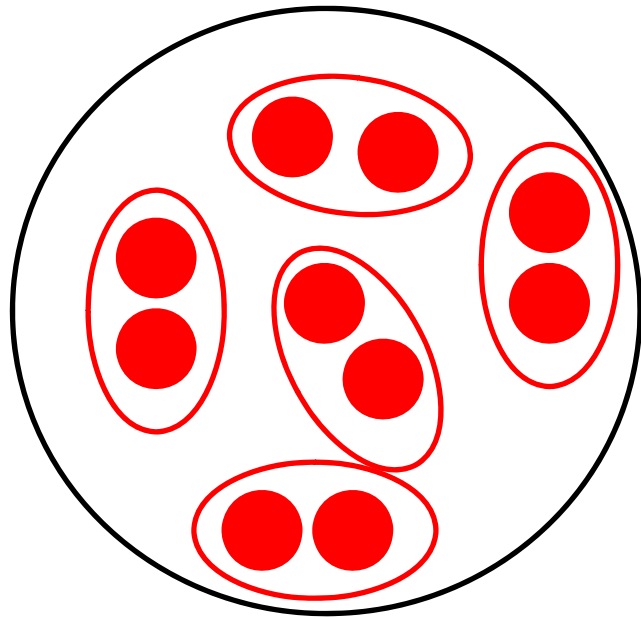
炭素14年代測定法

2万年くらい前までの年代が調べられる

cf. 富沢遺跡
(約2万年前)

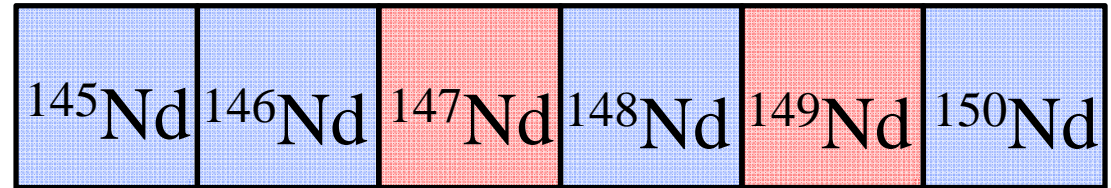
③ 青色の箱がとびとびに出てくるわけ

ペアリング



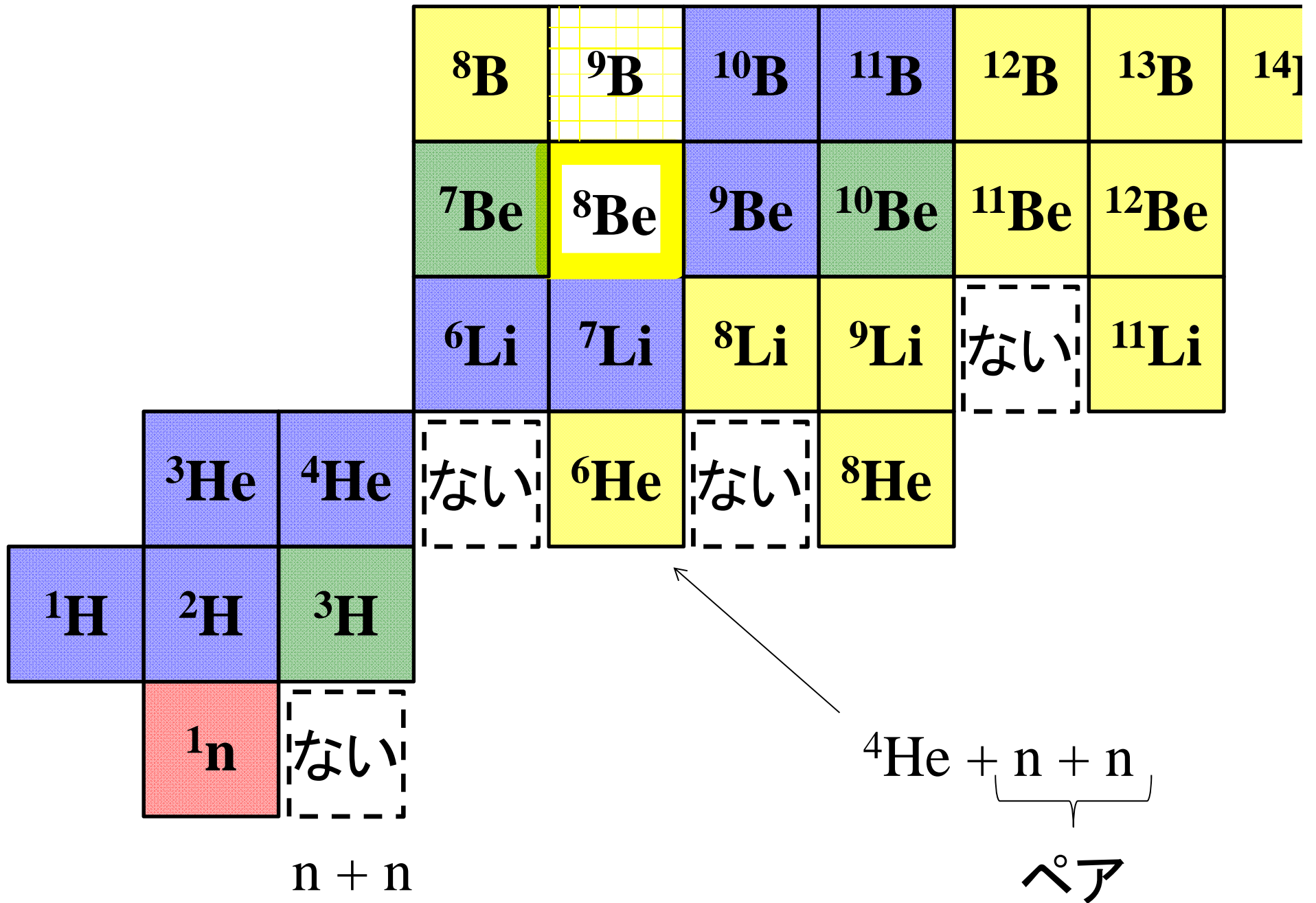
原子核

中性子や陽子が2つずつ
ペアを組むことで安定化

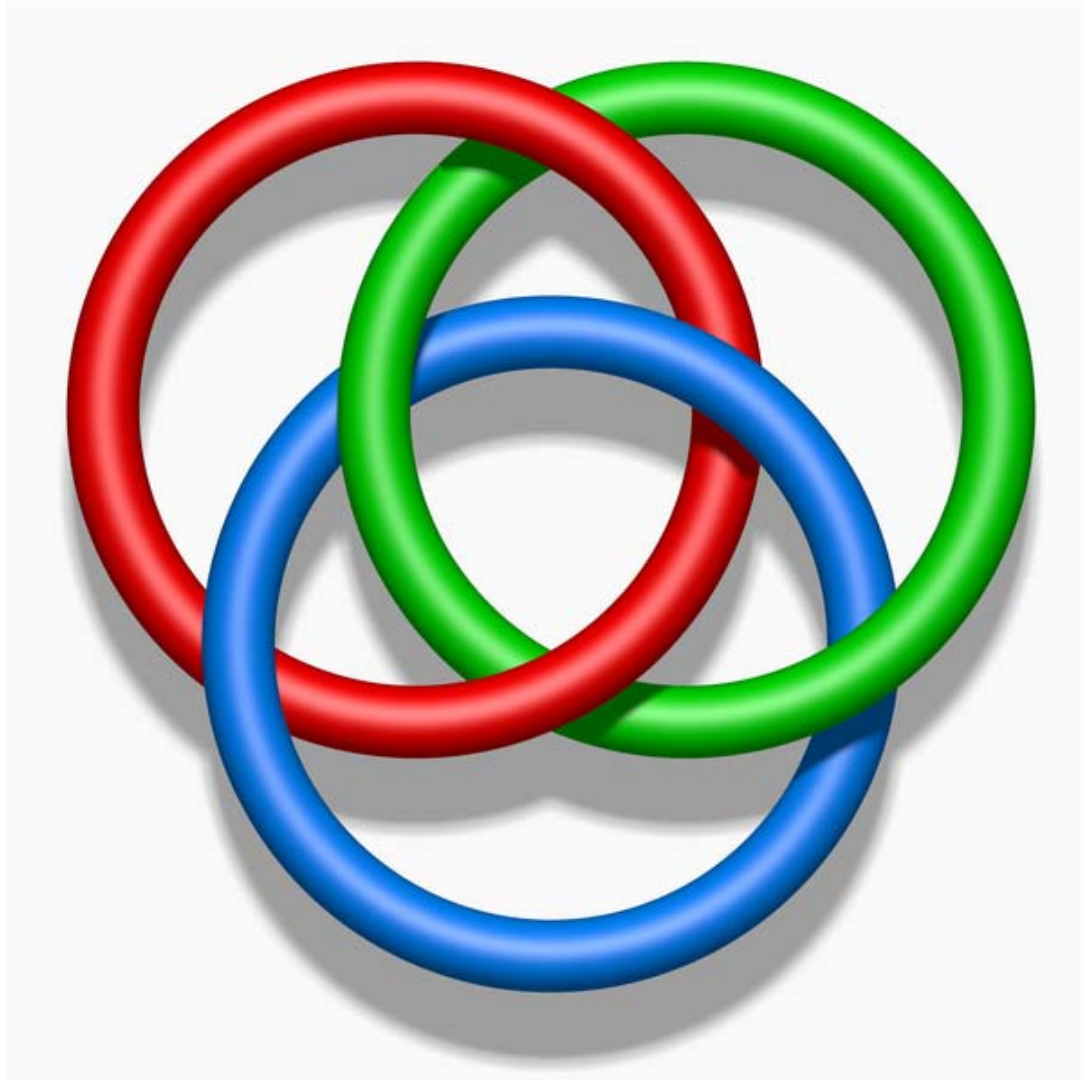


N = 85 86 87 88 89 90

中性子の数が奇数
(ペアを組めないものがある)



ボロミアン原子核

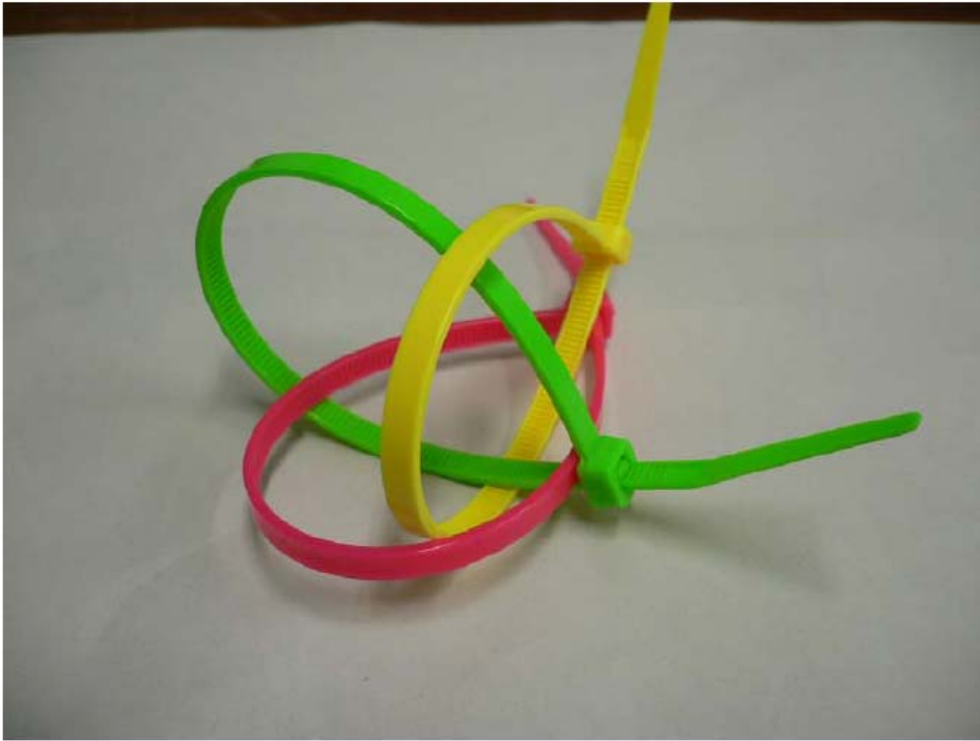


どれか1つの輪をとるとバラバラになる

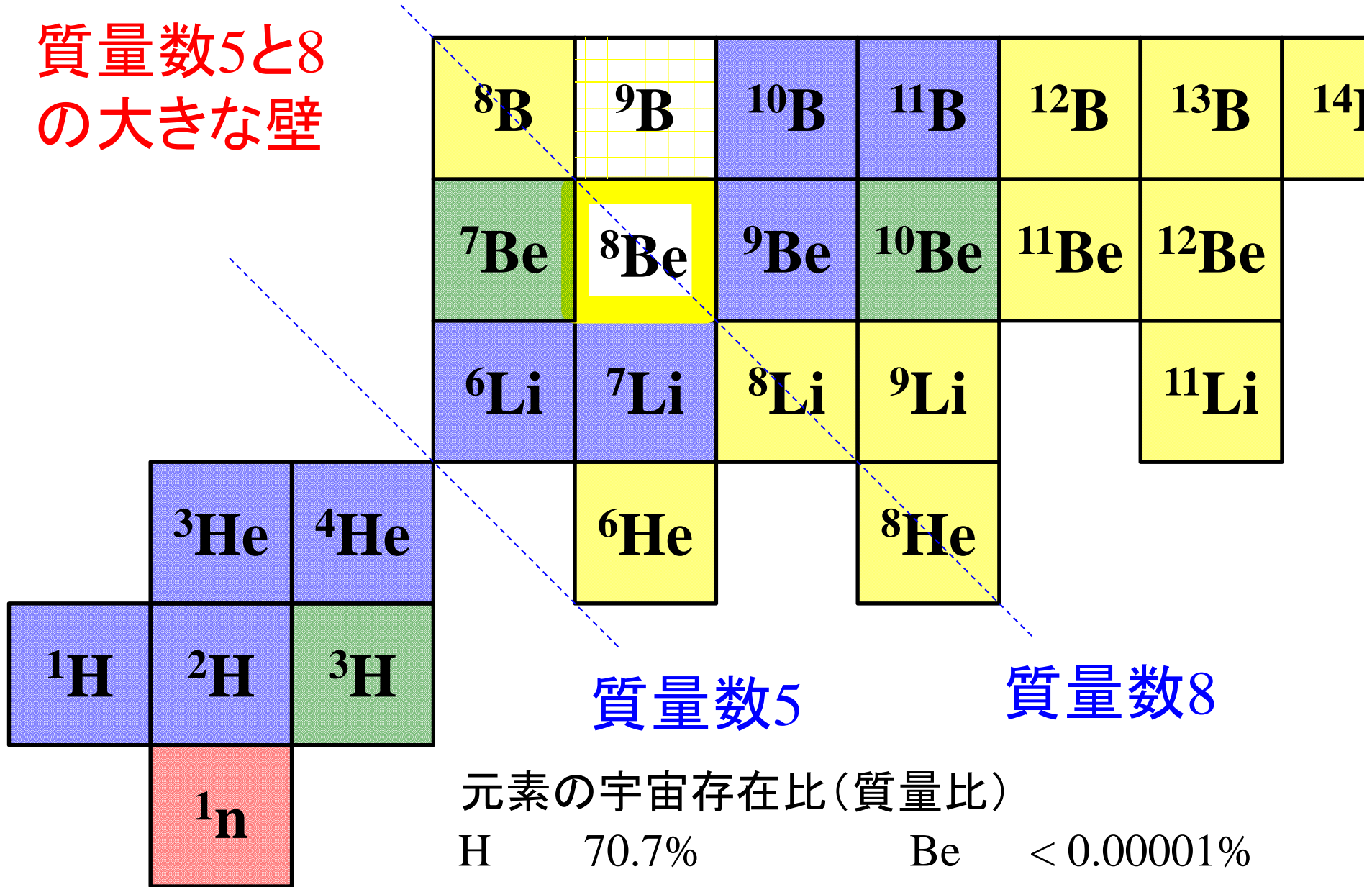
ボロメオ家の紋章
(イタリアの貴族)

三つ輪違い紋
(日本の家紋)

結束バンドやモールなど身近なもので
簡単に作れます



質量数5と8
の大きな壁



質量数5

質量数8

元素の宇宙存在比(質量比)

H	70.7%	Be	< 0.00001%
He	27.4%	B	< 0.00001%
Li	< 0.00001 %	C	0.3 %