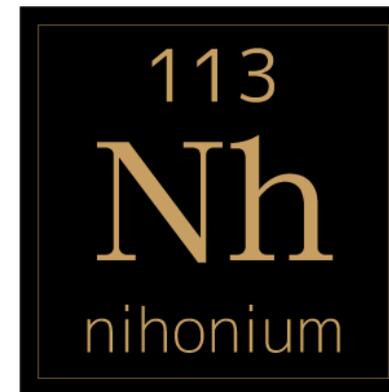
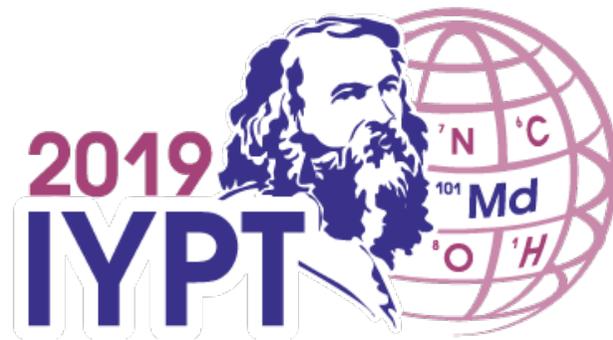


ものは何でできている？ ～元素のお話～

京都大学大学院理学研究科 教授
萩野浩一



- 元素ってなんだろう？
- ニホニウムってなんだろう？
- 宇宙と元素のつながりは？



「原子」と「元素」の違いって説明できますか？

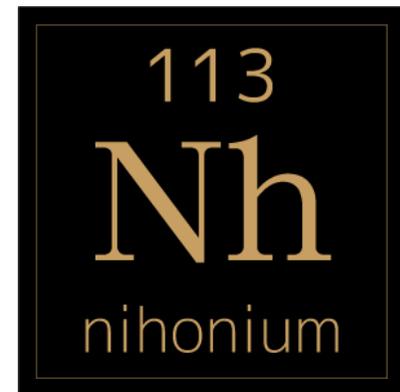
1. 説明できる。
2. 何となく違いが分かるけど、説明はできない。
3. う～ん、よくわからない。。





ニホニウムって知っていますか？

1. 聞いたことはない
2. 名前は聞いたことはあるけど、よくわからない
3. バッチリ知っています！



「もの」とは何だろうか？
ものは何からできているのだろうか？

げんそ 元素

この世の中にあるものは、
すべて元素からできています。

元素 = すべてのものを作る材料



↑ 材料



↑ 材料

元素

ものは何からできているのだろうか？

げんそ 元素

古代ギリシャ人：この世の中のものは火、風、水、土の4つの元素からつくられていると考えた。



ものは何からできているのだろうか？

げんそ 元素

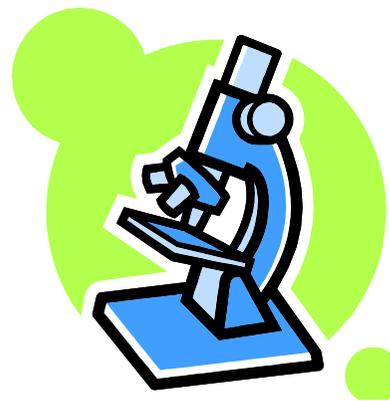
古代ギリシャ人： この世の中のものは火、風、水、土の4つの元素からつくられていると考えた。



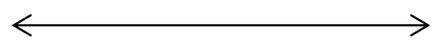
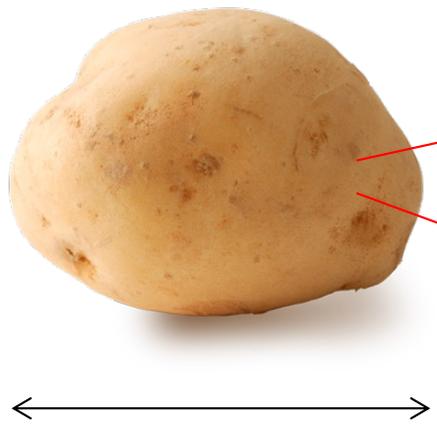
今では、ものを小さくしていくと
「原子」
になることが分かっている。



~ 10 cm

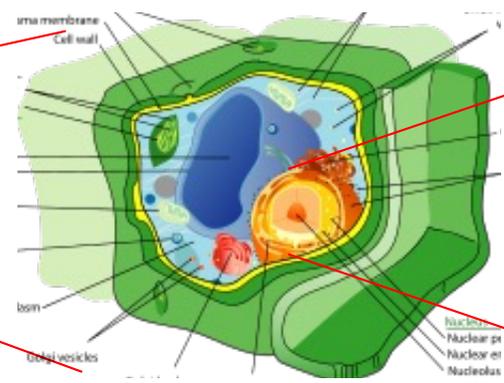


拡大して見てみると。。。？



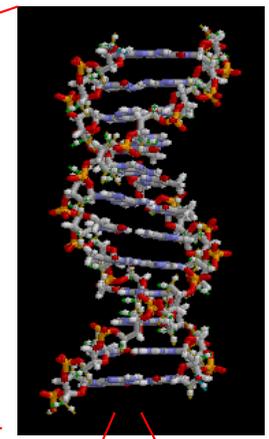
~ 10 cm

細胞



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

DNA



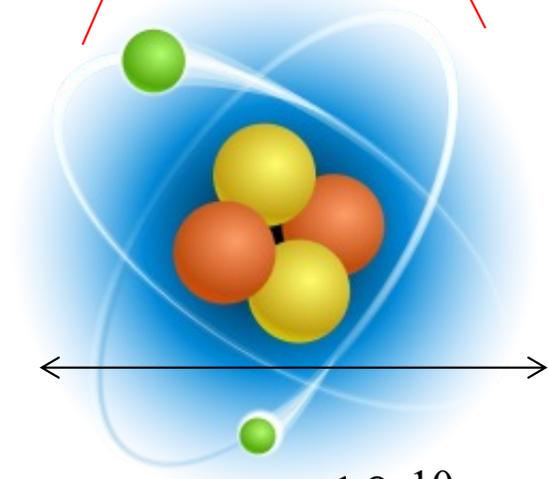
~ 10^{-8} m

100倍



10万倍

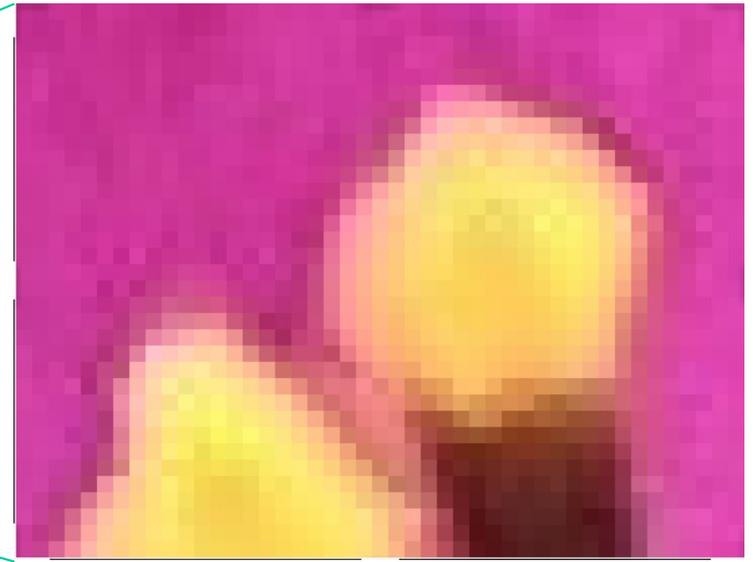
原子



~ 10^{-10} m

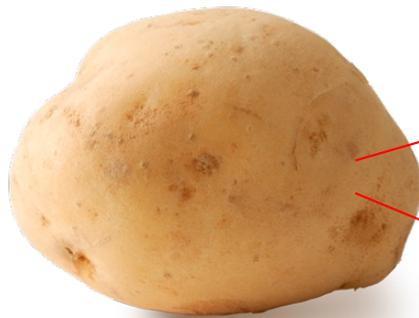
100倍



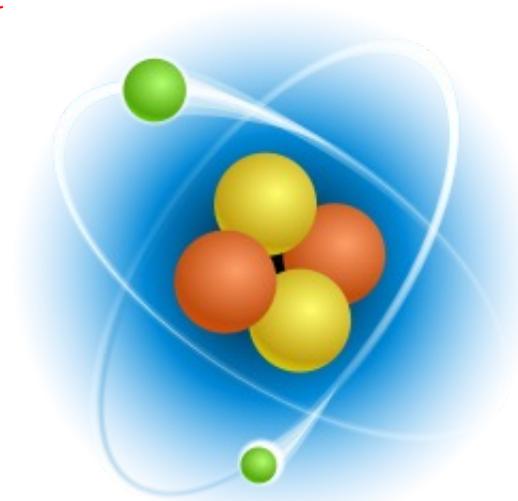


拡大すると点の集まり(画素)

「物」も拡大すると原子の集まり

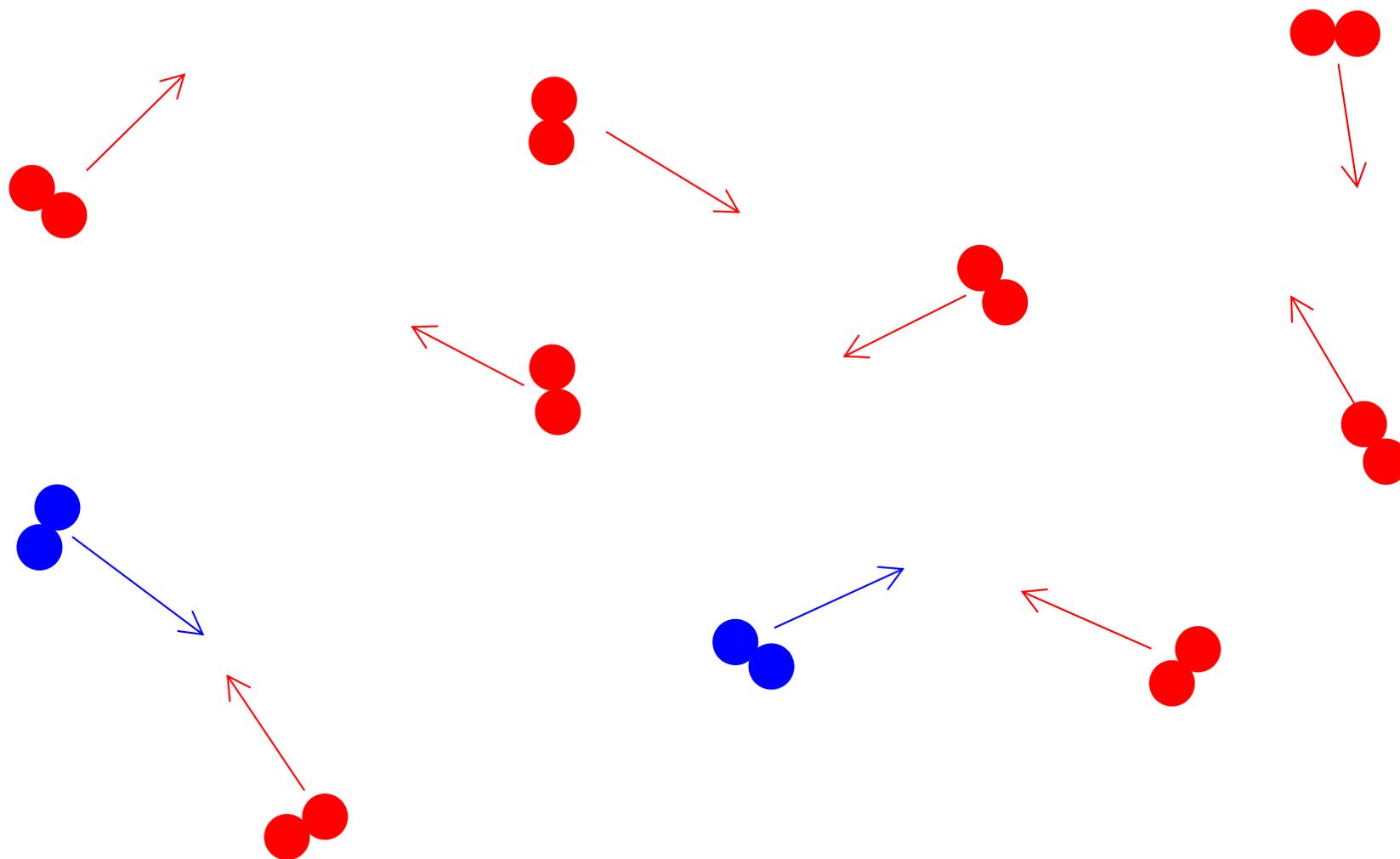


100億倍

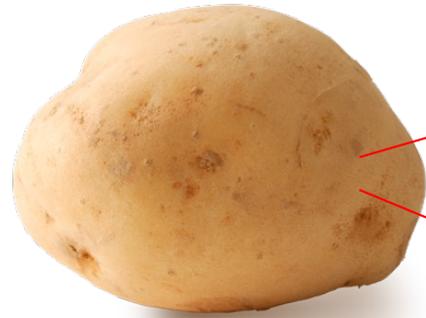


原子

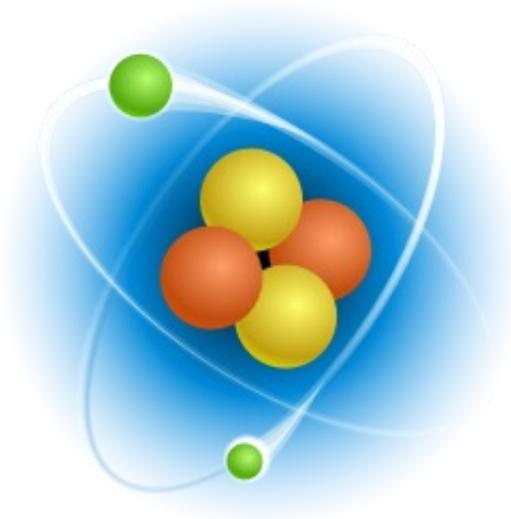
室温で分子は秒速約300メートル
で飛んでいる(新幹線の約4倍の速さ)



口を開けていると1秒あたり約3序個の分子が飛び込んでくる!!



100億倍



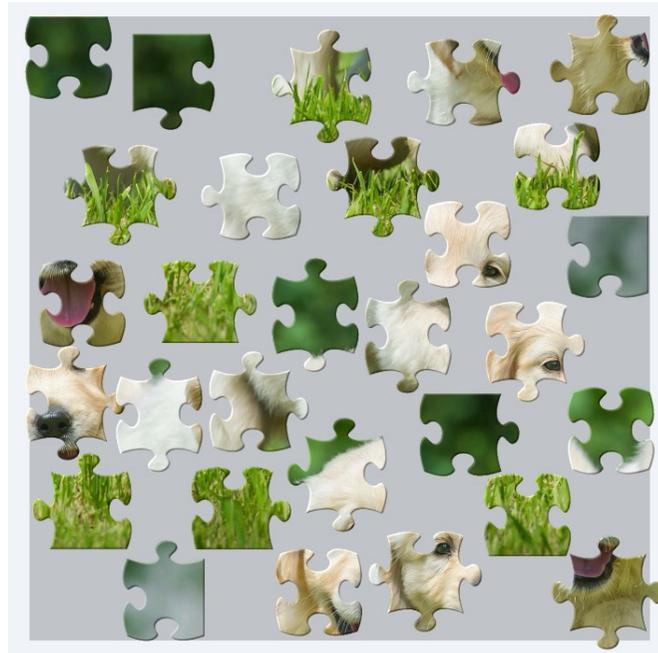
原子

原子にもいろいろな種類 = 元素

- 水素 H
- 酸素 O
- 炭素 C
- カルシウム Ca
- マグネシウム Mg
- 硫黄 S

地球上にある原子は
約90種類

など。



ジグソーパズルのピース
←これが「原子」

ピースにもいろいろな種類←これが「元素」



角0型



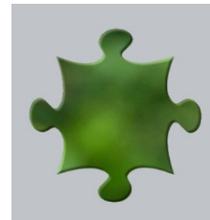
角1型



角2型



角3型



角4型



はじ型



かど型

原子

水素元素

酸素元素

炭素元素

など

パズルのピース

角0型



角1型



角2型



など

動物

哺乳類



鳥類



魚類



両生類

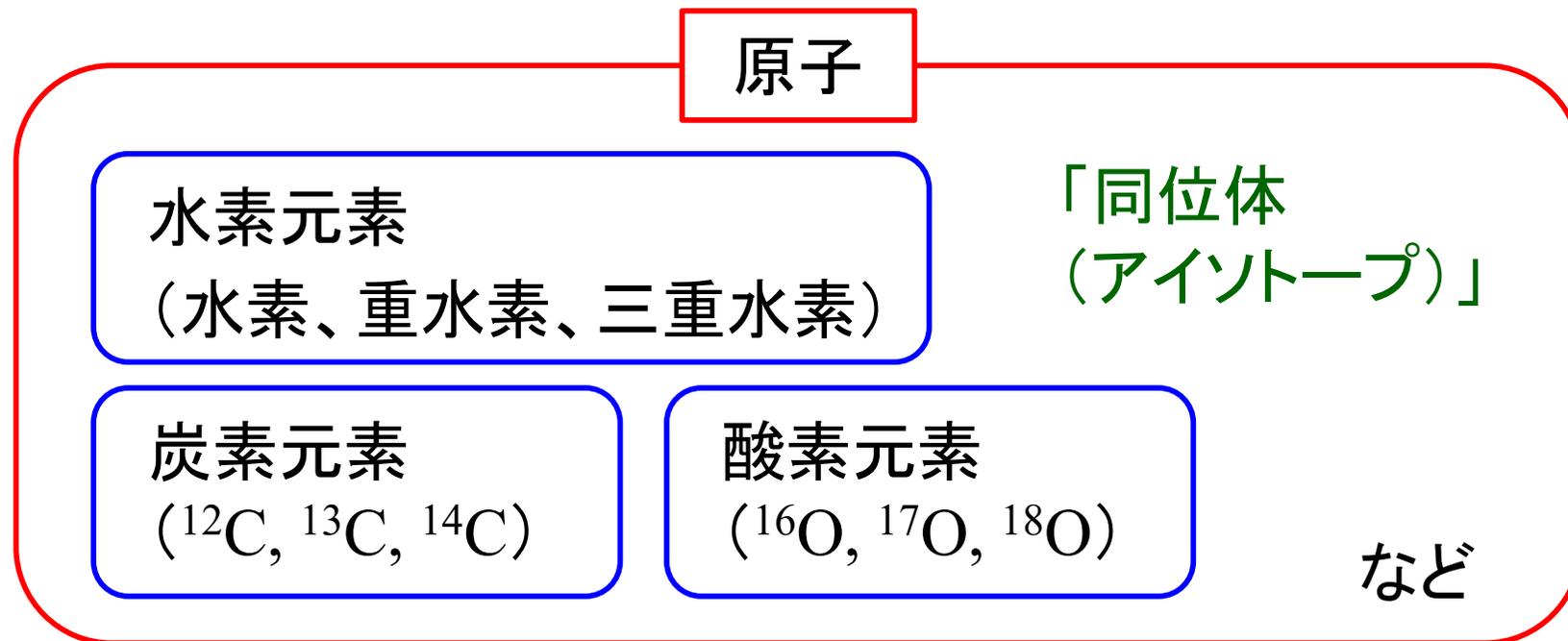


など

ところで: 同じ「角2型」でも2種類ある(「はじ型」や「かど型」も何種類か)



同じように、おなじ「元素」でも何種類か→「同位体(アイソトープ)」



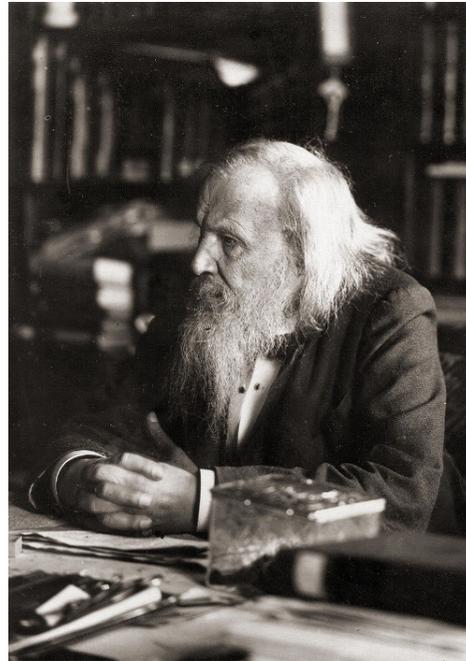
原子核物理学の最先端: それぞれの元素で何個同位体があるのか?

この世の中には約90種類の元素がある

軽い順に並べると

- | | | | | |
|------------|-------------|------------|-------------|---------------|
| 1. 水素 | 20. カルシウム | 39. イットリウム | 58. セリウム | 77. イリジウム |
| 2. ヘリウム | 21. スカンジウム | 40. ジルコニウム | 59. プラセオジウム | 78. 白金 |
| 3. リチウム | 22. チタン | 41. ニオブ | 60. ネオジウム | 79. 金 |
| 4. ベリリウム | 23. バナジウム | 42. モリブデン | 61. プロメチウム | 80. 水銀 |
| 5. ホウ素 | 24. クロム | 43. テクネチウム | 62. サマリウム | 81. タリウム |
| 6. 炭素 | 25. マンガン | 44. ルテニウム | 63. ユウロビウム | 82. 鉛 |
| 7. 窒素 | 26. 鉄 | 45. ロジウム | 64. ガドリニウム | 83. ビスマス |
| 8. 酸素 | 27. コバルト | 46. パラジウム | 65. テルビウム | 84. ポロニウム |
| 9. フッ素 | 28. ニッケル | 47. 銀 | 66. ジスプロシウム | 85. アスタチン |
| 10. ネオン | 29. 銅 | 48. カドミウム | 67. ホルミウム | 86. ラドン |
| 11. ナトリウム | 30. 亜鉛 | 49. インジウム | 68. エルビウム | 87. フランシウム |
| 12. マグネシウム | 31. ガリウム | 50. スズ | 69. ツリウム | 88. ラジウム |
| 13. アルミニウム | 32. ゲルマニウム | 51. アンチモン | 70. イッテルビウム | 89. アクチニウム |
| 14. ケイ素 | 33. ヒ素 | 52. テルル | 71. ルテチウム | 90. トリウム |
| 15. リン | 34. セレン | 53. ヨウ素 | 72. ハフニウム | 91. プロトアクチニウム |
| 16. 硫黄 | 35. 臭素 | 54. キセノン | 73. タンタル | |
| 17. 塩素 | 36. クリプトン | 55. セシウム | 74. タングステン | 92. ウラン |
| 18. アルゴン | 37. ルビジウム | 56. バリウム | 75. レニウム | |
| 19. カリウム | 38. ストロンチウム | 57. ランタン | 76. オスミウム | |

元素の周期表



メンデレーエフ
(1834-1907)

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period 1	1 H																	2 He
Period 2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
Period 3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
Period 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
Period 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
Period 6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	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
Period 7	87 Fr	88 Ra	* 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
			* 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		
			* 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		

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)

「〇〇番」元素とは？

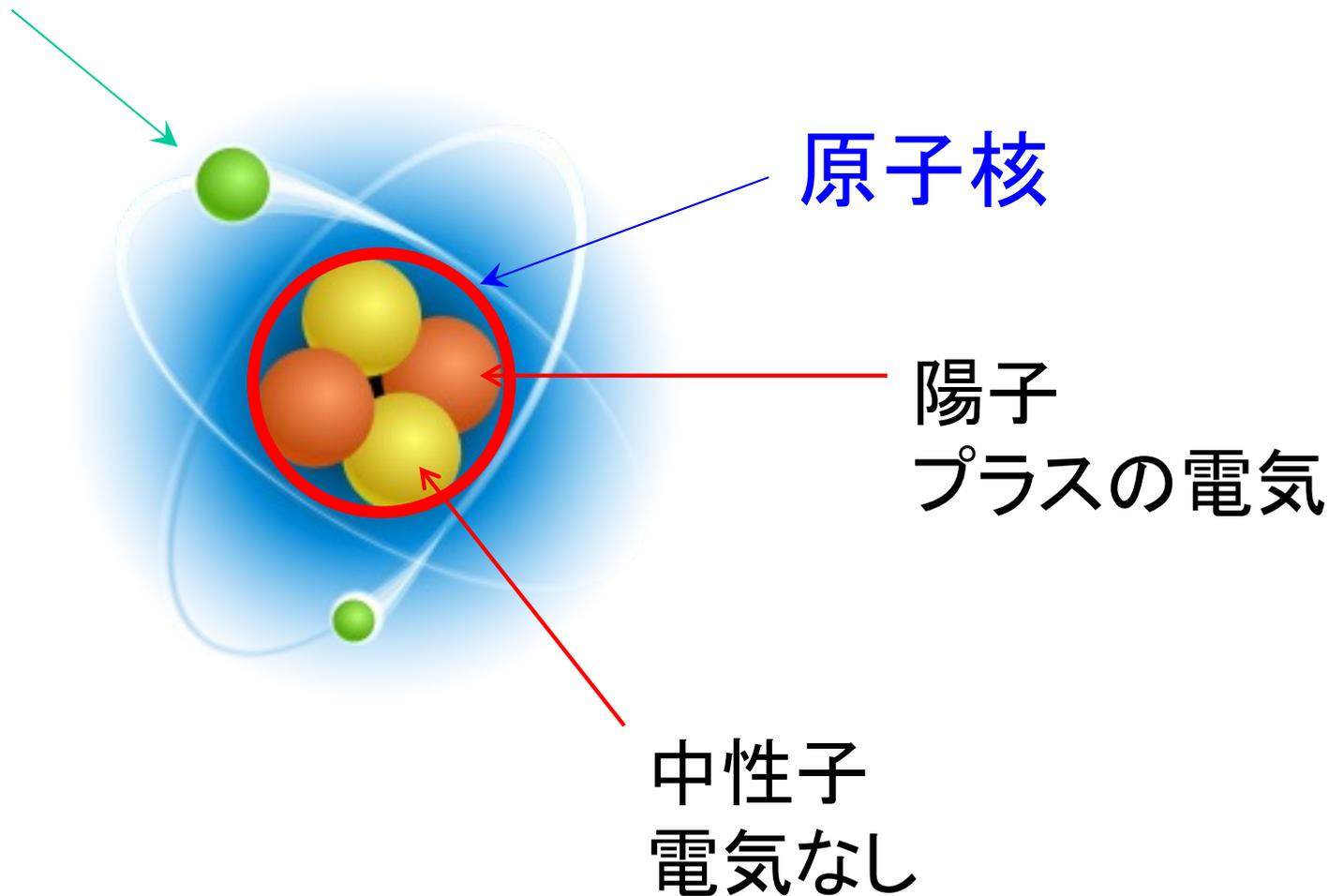
原子の中身

電子

マイナスの電気

例えば、酸素は8番元素

=陽子が8個
(電子も同数)



原子

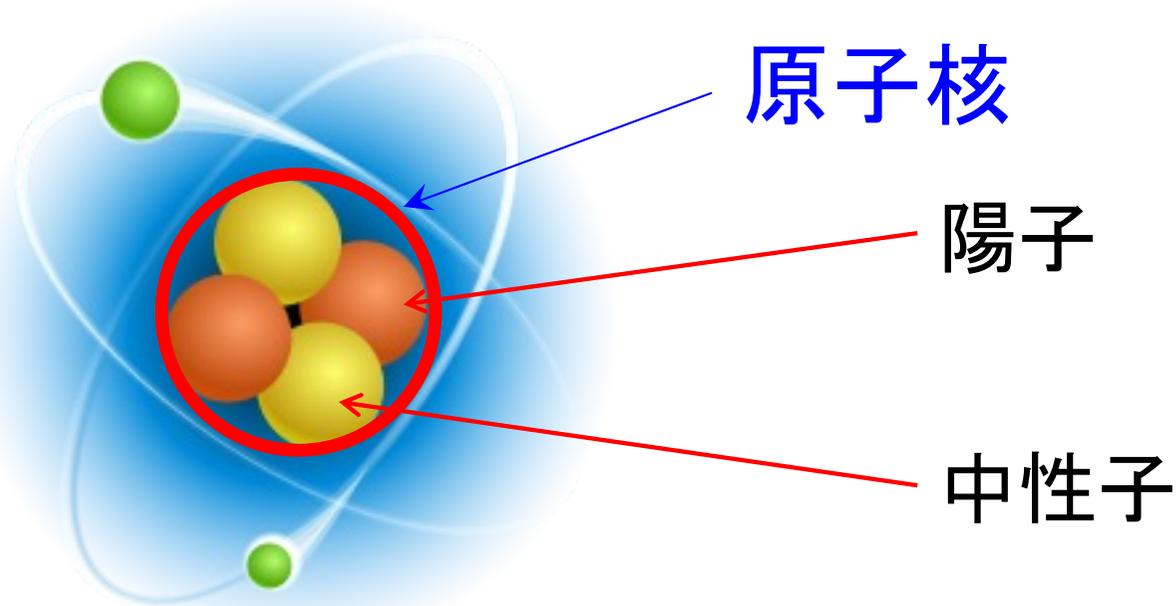
水素元素
(水素、重水素、三重水素)

「同位体
(アイソトープ)」

炭素元素
(^{12}C , ^{13}C , ^{14}C)

酸素元素
(^{16}O , ^{17}O , ^{18}O)

など



アイソトープ: 陽子の数が同じだけど、中性子の数が違うもの

人間の体の中には何種類くらいの
元素がある？

1. 15種類くらい？
2. 30種類くらい？
3. 50種類以上

人間の体の中には何種類くらいの
の元素がある？

1. 15種類くらい？
2. 30種類くらい？
3. 50種類以上

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 μ g
ベリリウム 36 μ g
タングステン 20 μ g

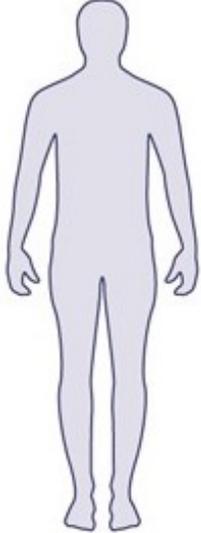


John Emsley,
“The Elements”,
3rd ed. Clarendon Press,
Oxford, 1998

人の体はどんな元素から出来ている？

元素周期表

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po		
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv		
La	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm				
Ac	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md				



元素のルーツ: 元素のファミリーヒストリー

→ 元素はすべて宇宙で生まれた



ビッグバン
(138億年前)



Li



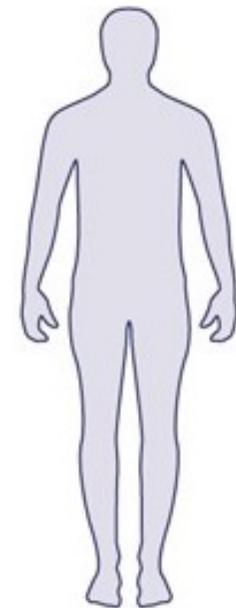


「知ろうとすること。」
早野龍五、糸井重里 著
新潮文庫

「僕たちの体の中の水素は
138億歳。」

つまり、ビッグバンの時に
できた水素が巡り巡って
僕たちの体の中にある。」

酸素 43 kg
炭素 16 kg
水素 7 kg



体重70キログラム

Fe までの元素はどのように出来たのか?

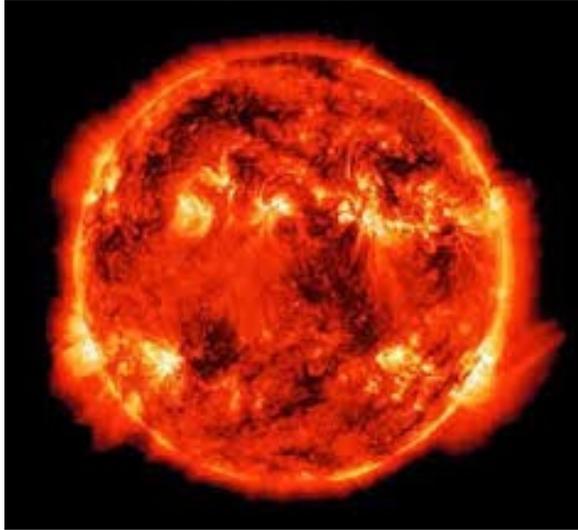
Feまでの元素の起源



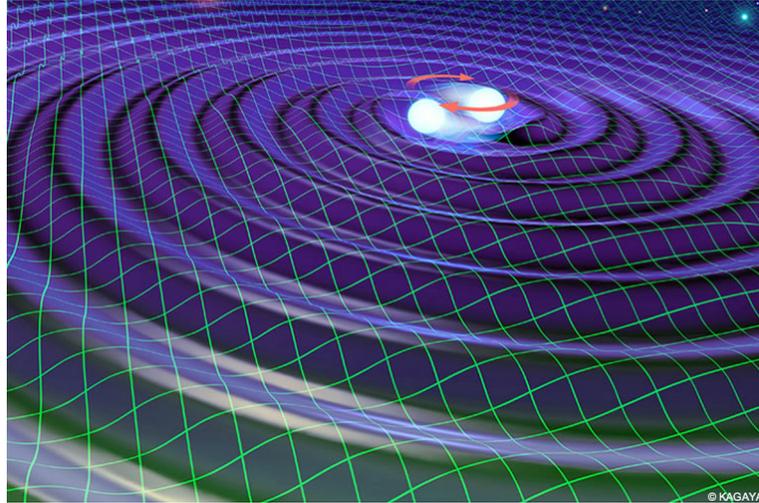
(大質量)星の内部での核融合反応
→ 恒星が光っているもと

Fe より重い元素はどのように出来たのか?

中性子の吸収



赤色巨星



中性子星の合体

↑
重力波



実は、金の起源
はよくわかってい
ない

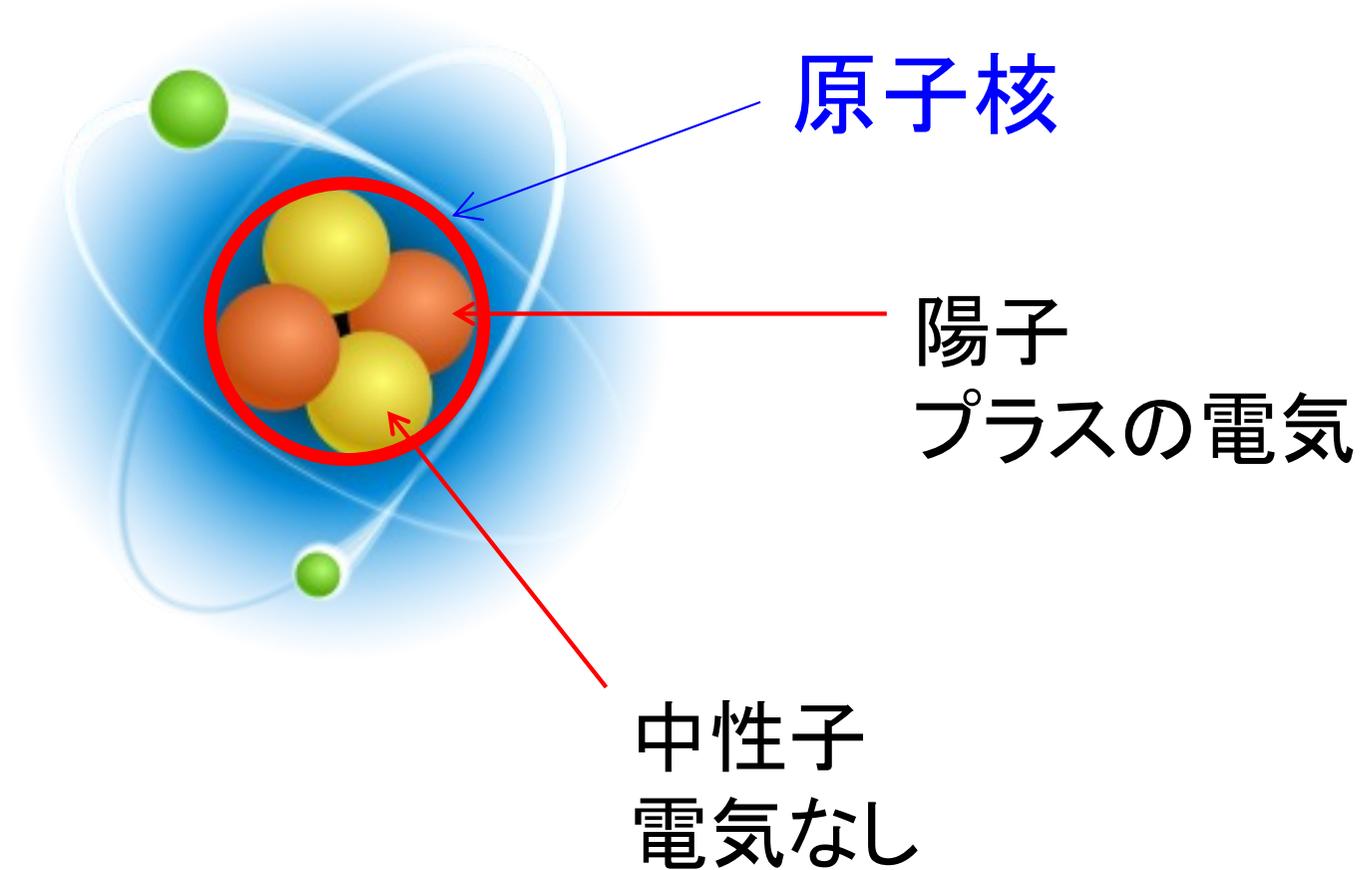
なんで自然に元素は90種類
くらいしかないの？

1. 他の元素とくっついて違う元素
になってしまうから。
2. 重い元素は壊れてしまうから。
3. よくわかっていない。

なんで自然に元素は90種類
くらいしかないの？

1. 他の元素とくっついて違う元素
になってしまうから。
- 2. 重い元素は壊れてしまうから。
3. よくわかっていない。

元素が壊れるってどういうこと？



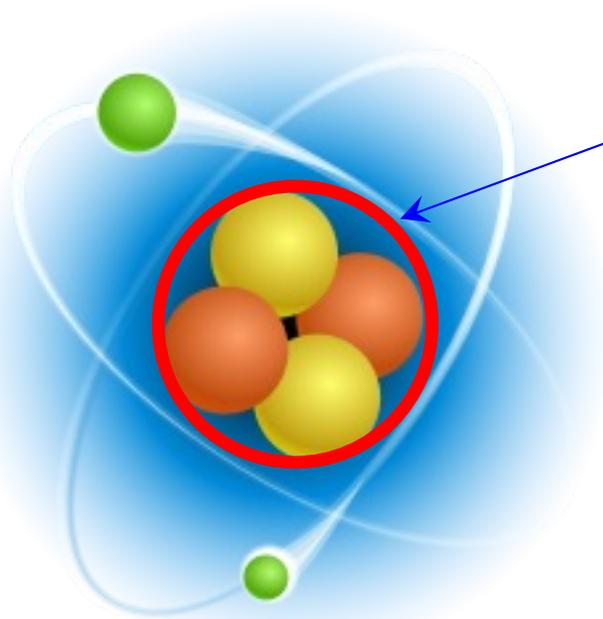
元素が壊れる = 原子核が壊れる

ニホニウムの作り方

地球上には約90種類の元素（ウランが一番重い）

もっと重い元素はないの？

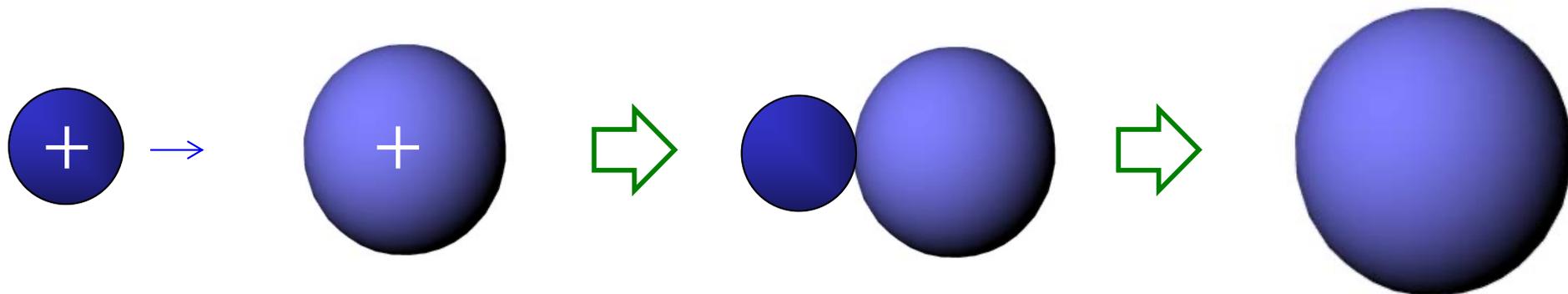
→ あります。でも人工的に作らなければなりません。



原子核

原子核と原子核をくっつけて
大きな原子核を作る

原子核と原子核をくっつける



加速器を使って
勢いよくぶつける

大きな
原子核



A small blue sphere and a larger blue sphere are shown side-by-side, separated by a gap. A large green arrow points down from the top diagram to this one, indicating that the fusion process fails.

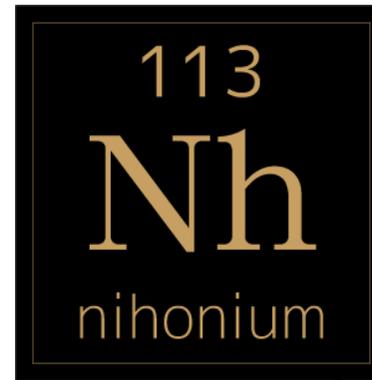
でも、ほとんどはくっつけても
すぐ離れてしまう
(大きな原子核ができない)



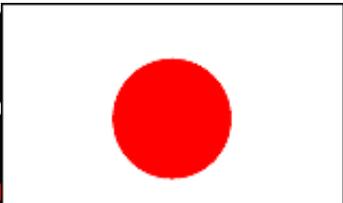
森田浩介さん

亜鉛 (30) とビスマス(83) をぶつけて113番
元素の合成に成功！

→ 約10年で3個の113番元素を作った

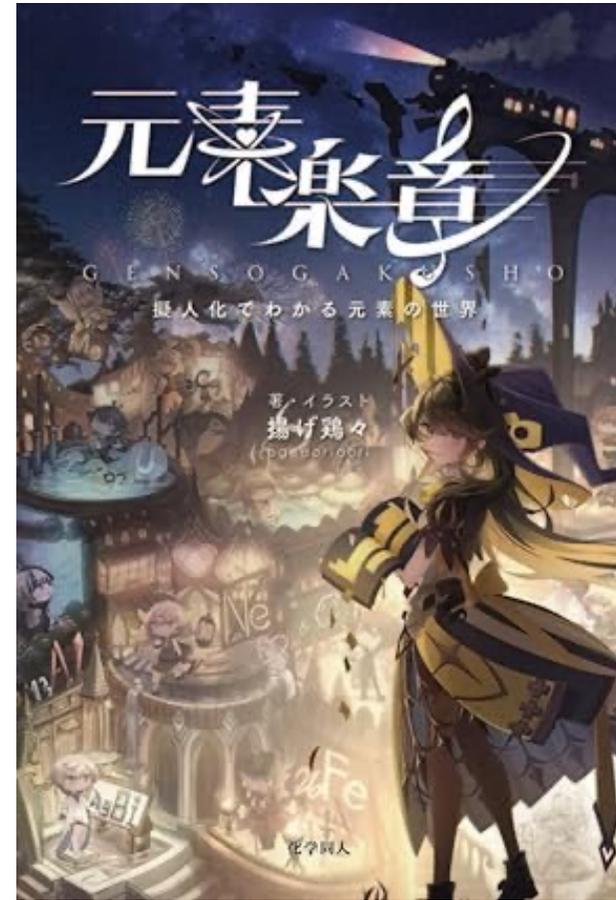


ニホニウム

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			53 I	54 Xe	
6	55 Cs	56 Ba	57 La	* 72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	85 At	86 Rn			
7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	* 104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
	*			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	
	*			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	

まとめ

- ✓ この世の中はすべて元素からできている。
- ✓ この世の中にある元素は約90種類
- ✓ 重い元素は人工的に作ることもできる→ニホニウム

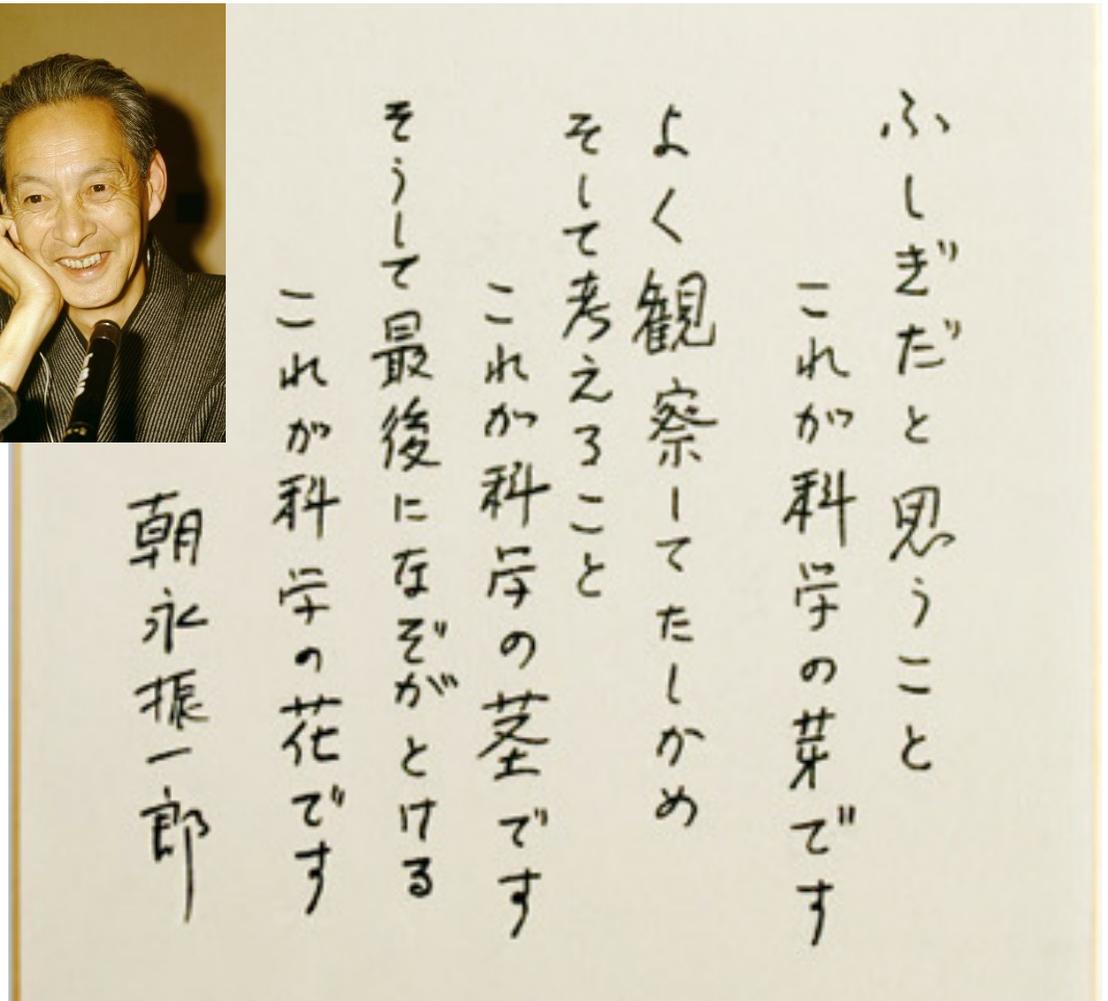


Cu



Ca





永田和宏「知の体力」より

「『どんな教師でも三回質問すれば答えに窮する。』

質問する。先生が答えてくれる。それに対してもう一度質問する。それを三回繰り返せば、先生といえども誰も自分では答えられない領域に踏み込まざるを得ないというのである。」

* 教師を「自分」に置き換えてもよい