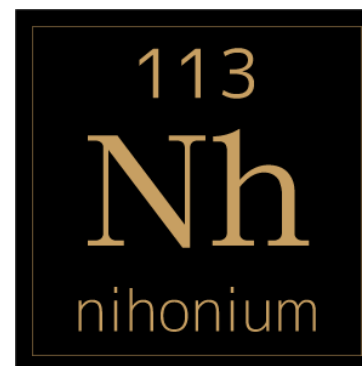


鉄腕アトムは宇宙へ ～素粒子の世界を拓いた湯川博士～

京都大学大学院理学研究科 教授
萩野浩一



続・湯川博士の贈り物 サイエンス編

続・湯川博士の贈り物 2022.2.27

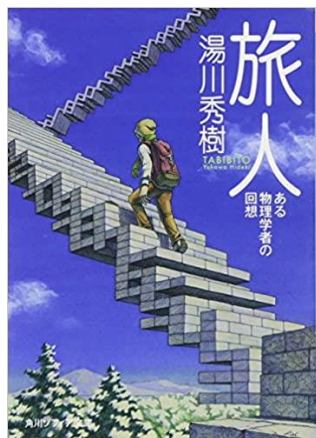
自己紹介

萩野浩一（はぎのこういち）

- 出生：宮城県仙台市、出身高校：千葉県銚子市
- 東北大学出身（1998年3月学位取得）
- 1998年～2000年 アメリカ（シアトル）でポスドク研究員
- 2000年～2004年 京都大学基礎物理学研究所 助手
- 2004年～2019年 東北大学理学研究科 助教授・准教授
- 2019年～ 京都大学理学研究科 教授

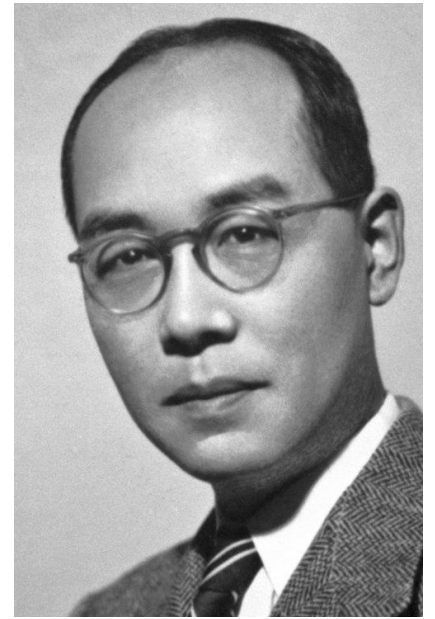
専門：原子核物理（理論）

私と湯川秀樹



湯川秀樹のことば

「私の中にあって、何十年にもわたって、私を動かし続けているのは、未知の世界へのあこがれである。私にとって、それは美しい世界であると期待されている。」
湯川秀樹 「自己発見」より



Wikipedia

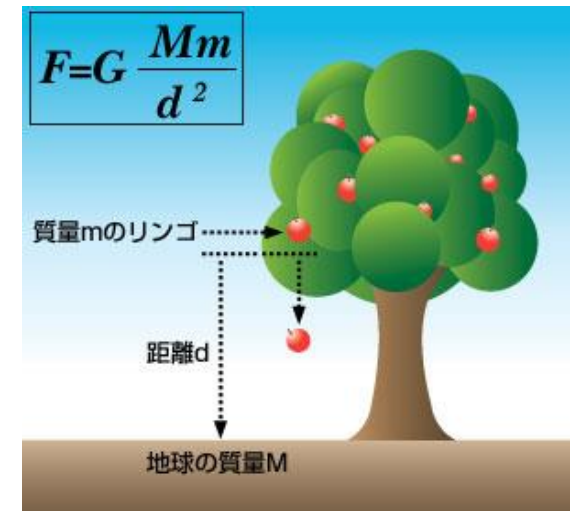
「未知の世界を探求する人々は、地図を持たない旅行者である。地図は探求の結果として、できるのである。」湯川秀樹 「旅人」より

湯川秀樹はどのような「未知の世界」を探求したのか

湯川秀樹は何をした人なのか？

4つの力

- 重力(万有引力)
- 電磁気力(電気や磁石の力)
- 強い力(原子核の力)
- 弱い力(ニュートリノが関係する力)



JAXAのページより

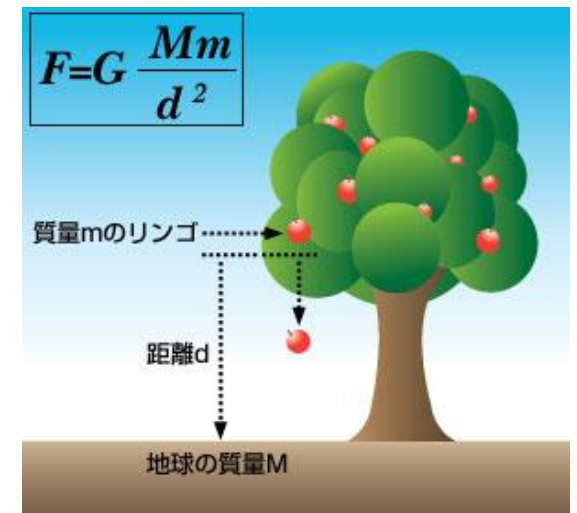


Wikipedia

湯川秀樹は何をした人なのか？

4つの力

- 重力(万有引力)
- 電磁気力(電気や磁石の力)
- ➔ • **強い力(原子核の力)**
- 弱い力(ニュートリノが関係する力)



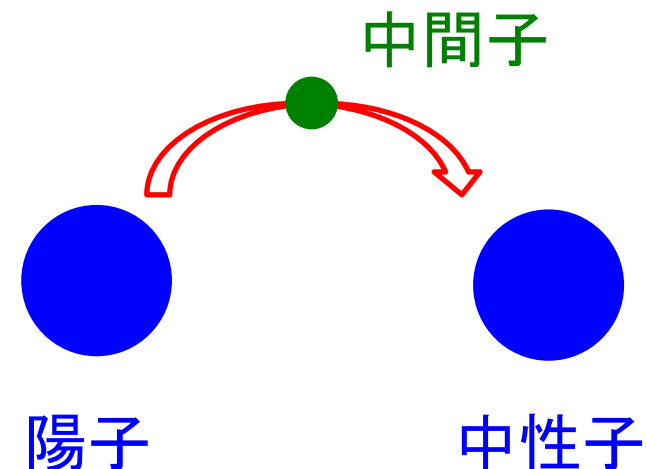
JAXAのページより



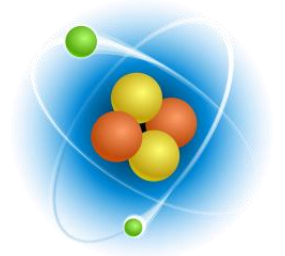
Wikipedia

□ 「強い力」を解明し、
「中間子論」を提唱。
(1935年 昭和10年)

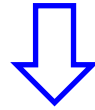
□ 1949年日本初の
ノーベル賞受賞



「元素」の正体は「原子」



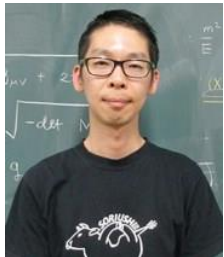
「原子」にも中身がある: 電子と原子核 (1911年)



原子核がなぜ存在しているのかというのが謎だった
(当時はまだ重力と電磁気力しか分かっていなかった)。

湯川秀樹はこれを解明(1935年)。

こちらの話は



4/24の回に

今日はこちら側の話

- 元素
- 原子
- 原子核

素粒子
物理学

原子核
物理学

湯川秀樹は素粒子物理学・原子核物理学を開拓した人



湯川秀樹著
「目に見えないもの」
(講談社学術文庫)

この本に書かれていることを
少しかみ砕いて紹介します。

小中学生向けに話します。

小中学生向けの参考書

三宅泰雄著「空気の発見」



板倉聖宣著
「もしも原子がみえたなら」



大隅良典先生(ノーベル生理学・医学賞)
「科学者を志すきっかけになった本」

「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。



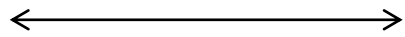
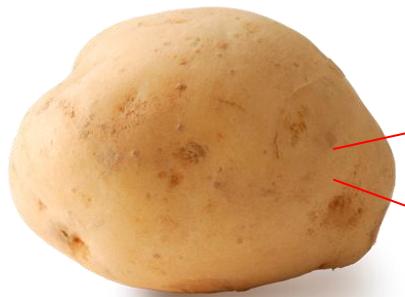
今では、ものを小さくしていくと
「原子(げんし)」
になることが分かっている。



~ 10 cm

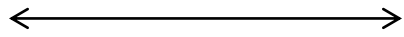
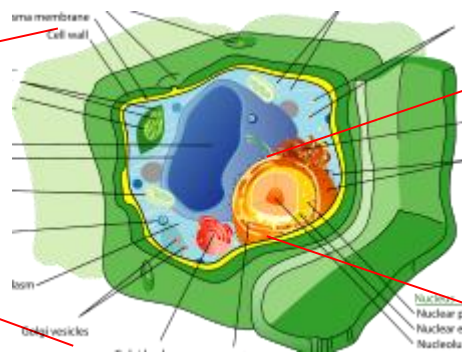


拡大して見てみると。。。？



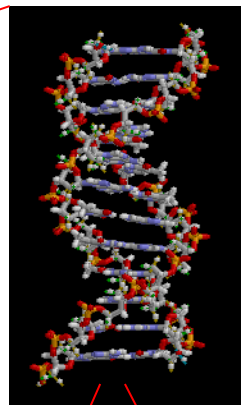
~ 10 cm

さいぼう
細胞



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

DNA



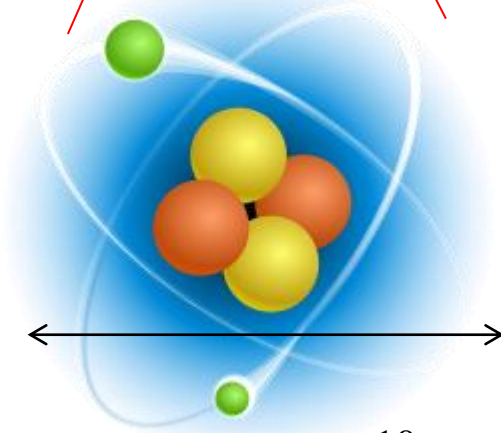
~ 10^{-8} m

100倍



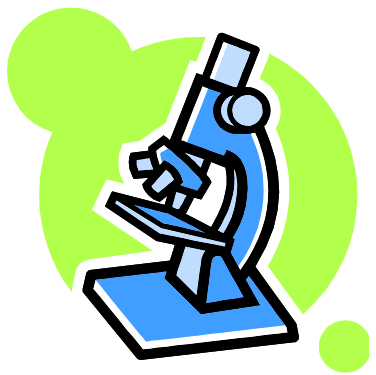
10万倍

げんし
原子



~ 10^{-10} m

100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) 日本:江戸時代後期
- ボルツマン(19世紀後期) 日本:明治時代前期

ドルトンの倍数比例の法則

一酸化炭素では炭素:酸素=1:1、二酸化炭素では 1:2 など

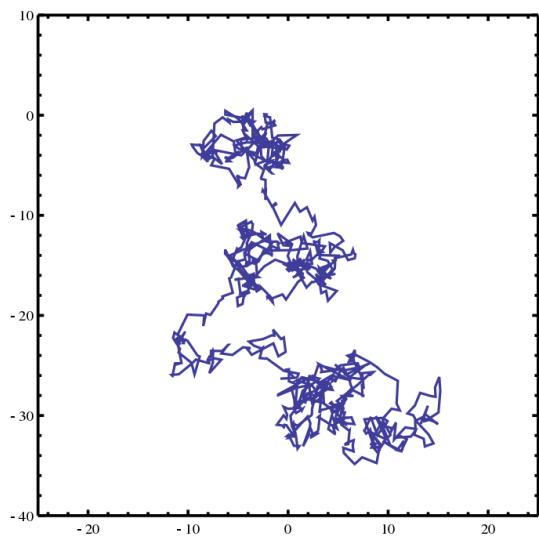
ボルツマン

原子論に基づき熱力学を構築

すべてのものは原子から組み立てられる



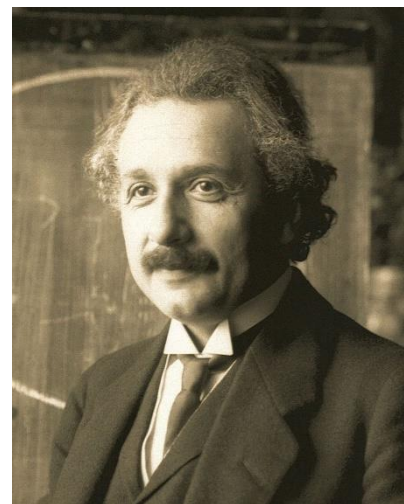
- タレス、デモクリトス(古代ギリシャ)
- ドルトン(19世紀初頭の化学者) 日本:江戸時代後期
- ボルツマン(19世紀後期) 日本:明治時代前期
- **アインシュタイン(1905年)**



ブラウン運動

花粉から出た微粒子の運動。
1827年ブラウンが発見。

Wikipedia



すべてのものは原子から組み立てられる

たった一つの文章で現代科学の
成果をまとめると:

「すべてのものは原子からできて
いる」

(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)



湯川秀樹も中学生のときに兄茂樹と「分子はもっと分けることができるのか」という議論をした(?)。

このような議論をしてつかみあいのケンカになることもしばしば。その時には長兄の芳樹が力づくで仲裁。

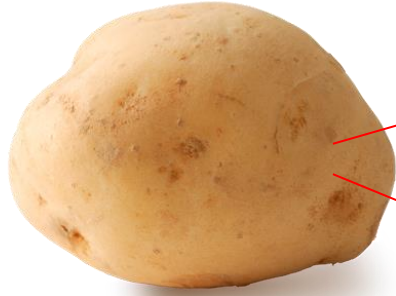
「二人の間にけんかが起ると、いつも長兄芳樹が仲裁に入った。それがまた乱暴な方法である。

口をきいて、弟たちを納得させようとはしなかった。とっくみ合った二人のそばに歩みよると、芳樹は両の手をそれぞれ二人の弟の後頭部にあてがい、いきなり弟たちの頭と頭を、こつんと突き合わせるのだった。

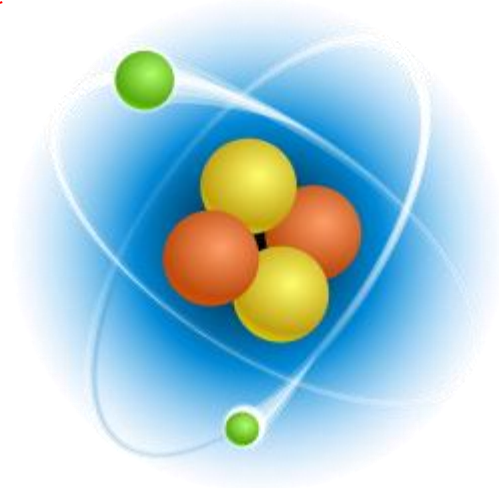
痛い仲裁であった。くやし泣きに、泣き出すこともあった。」

(湯川秀樹 「旅人」より)

ジャガイモも拡大すると原子の集まり



100億倍

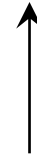


げんし
原子

100グラムのジャガイモの中には、

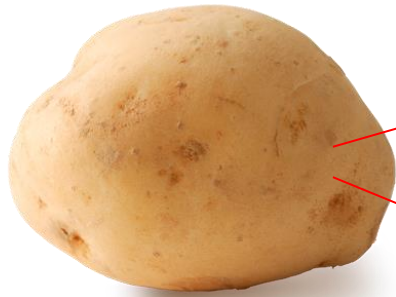
約100000000000000000000000000000 個

(10²⁵個)の原子が入っている!!

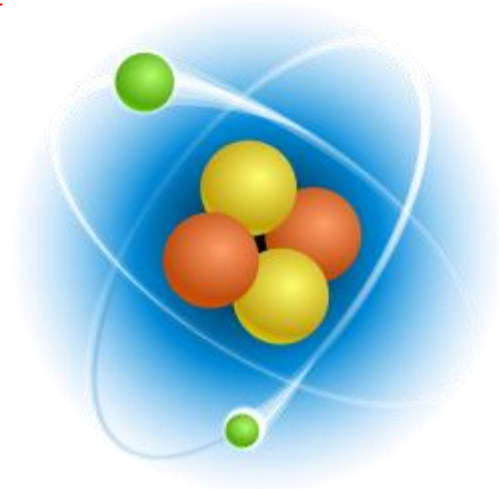


なんとゼロが25 個!!

一、十、百、千、万、億、兆、
京、垓、**序(じょ)**、穰(じょう)、...



100億倍



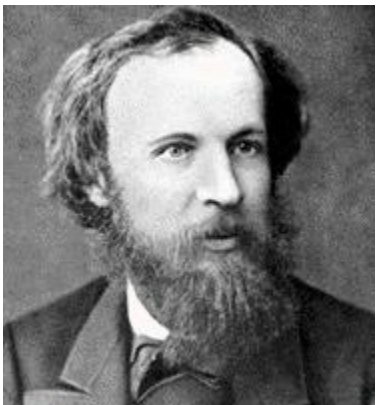
げんし
原子

原子にもいろいろな種類 = 元素

- 水素(すいそ) H
- 酸素(さんそ) O
- 炭素(たんそ) C
- カルシウム Ca
- マグネシウム Mg
- 硫黄(いおう) S

地球上にある原子は
約90種類

など。



メンデレーエフの元素周期表(オリジナル)

Ann. Suppl. 8, 133 (1871).

未知の元素
を予言できた

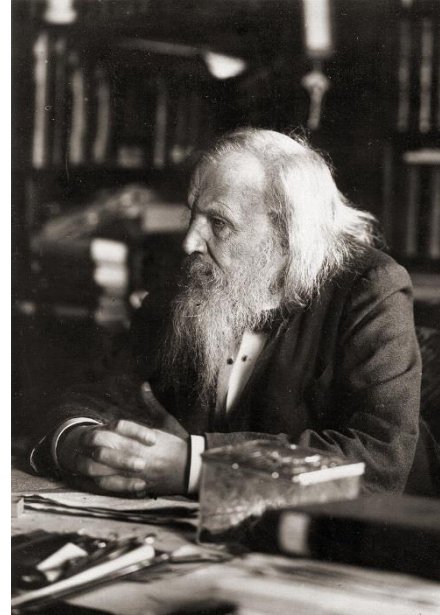
① 水系 重さ 1						性質の 1-2113
② リチウム 重さ 7	③ ベリリウム 9.4	④ ほう素 11	⑤ 炭素 12	⑥ 窒素 14	⑦ 酸素 16	⑧ フッ素 19
⑨ ナトリウム 23	⑩ マグネシウム 24	⑪ アルミニウム 27.3	⑫ けい素 28	⑬ 珪素 32	⑭ 硫黄 32	⑮ 塩素 35.5
⑯ カルシウム 39	⑰ カルシウム 40	⑱ ? 44 ? 46	⑲ チタン 50?	⑳ バナジウム 51	㉑ クロム 52	㉒ マンガン 55
㉓ 銅 63	㉔ 亜鉛 65	㉕ ? 68 ? 70	㉖ ? 72 ? 74	㉗ ひ素 75	㉘ セレン 78	㉙ 臭素 80
㉚ アルミニウム 85	㉛ シリコン 87	㉜ ? 88 ? 90	㉝ ? 90 ? 92	㉞ ニオブ 94	㉟ タングステン 96	㊱ イリジウム 100
㊲ 銀 108	㊳ パラジウム 112	㊴ インジウム 113	㊵ 錫 118	㊶ 白金 196		



ガリウムの発見
(1874)

ゲルマニウムの発見
(1879)

元素の周期表

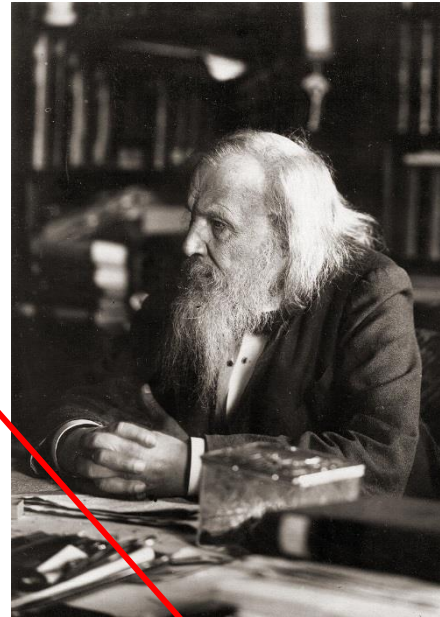


メンデレーエフ
(1834-1907)

Group	1	2	3	4	5	6	7		2	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		

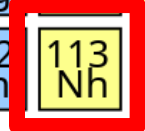
元素の周期表

ニホニウム



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		





ニホニウム命名記念式典（平成29年3月14日、日本学士院）

皇太子殿下（当時）：「高校2年生の時の化学の夏休みの宿題は元素の周期表を30枚以上手書きで書くというものでした。」

人名に
ちなんだ
元素

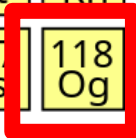
- 96. キュリウム Cm (キュリー夫妻)
- 99. アインシュタニウム Es (アインシュタイン)
- 101. メデレビウム Md (メンデレーエフ)
- 102. ノーベリウム No (ノーベル)
- 111. レントゲニウム Rg (レントゲン)
- 112. コペルニシウム Cn (コペルニクス)
- など

オガネソン

Group → 1
Period ↓

1	1 H											2 He				
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	
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	
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	
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	
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	
			* 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

湯川の名前をお札と元素名に！



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



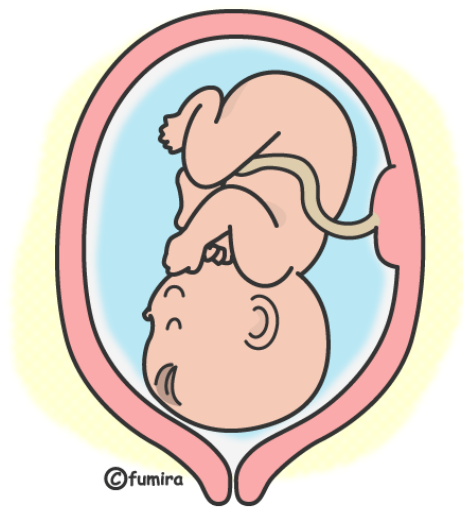
John Emsley,
“The Elements”,
3rd ed. Clarendon Press,
Oxford, 1998

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				





羊水に含まれる主な元素

1. 水素
2. 酸素
3. ナトリウム
4. 塩素
5. カリウム
6. カルシウム
7. マグネシウム

海水に含まれる主な元素

1. 水素
2. 酸素
3. ナトリウム
4. 塩素
5. マグネシウム
6. 硫黄
7. カリウム
8. カルシウム

生命は海から生まれた?

「〇〇番」元素とは？

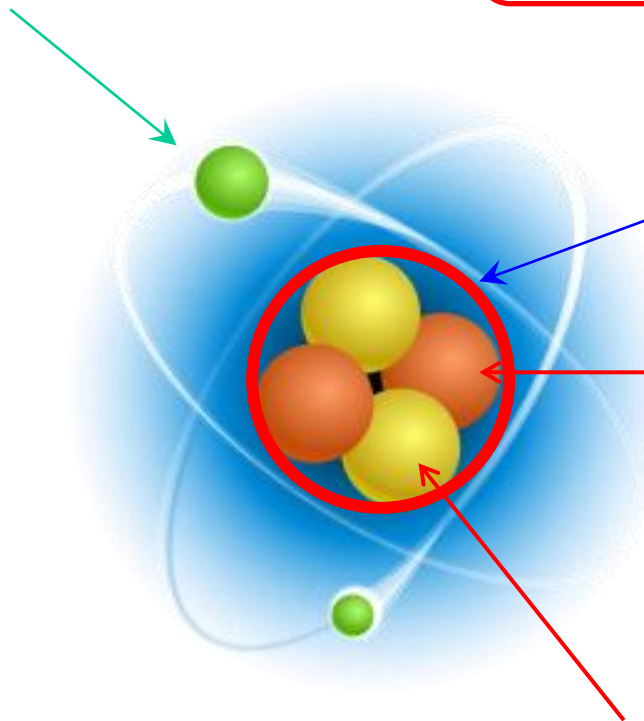
原子の中身

電子(でんし)
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)

ただし、この図は
大間違い！

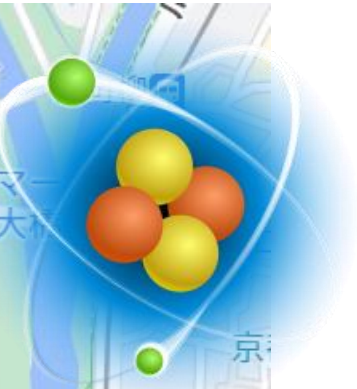


原子核(げんしかく)

陽子(ようし)
プラスの電気

中性子(ちゅうせいし)
電気なし

原子の大きさを京都御苑
くらいの大きさだとすると。。。

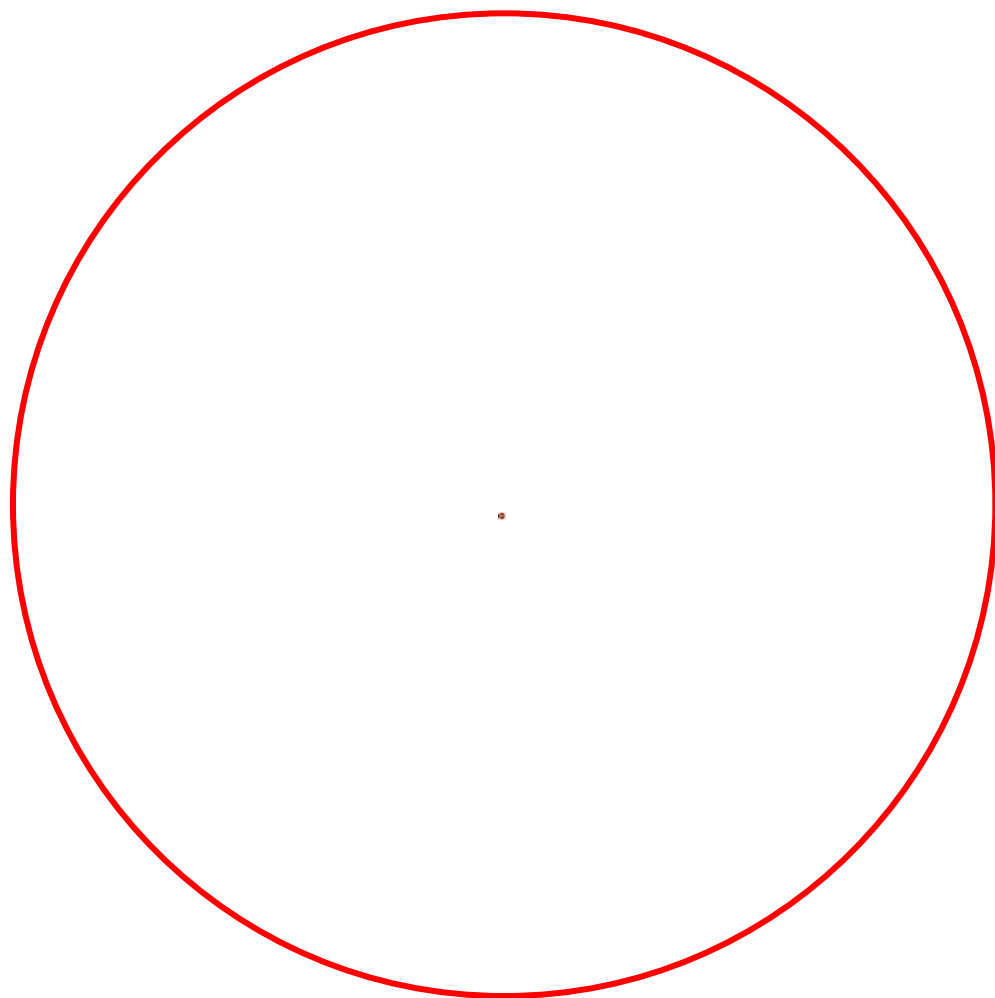


原子の大きさを京都御苑
くらいの大きさだとすると。。。



~1.3 km



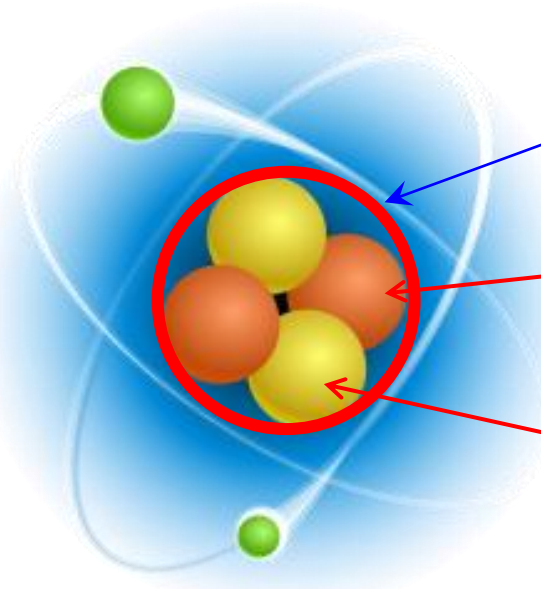


原子の大きさを京都御苑
くらいの大きさだとすると。。。



~1.3 km





原子核

陽子(ようし)
プラスの電気

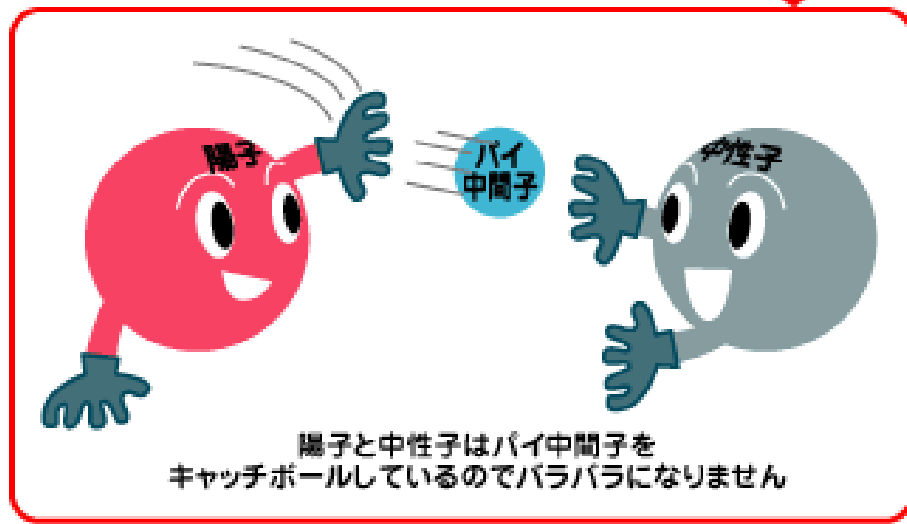
中性子(ちゅうせいし)
電気なし

湯川秀樹が挑戦した謎

どうやって原子核のような小さな場所に陽子を閉じ込めておけるのか？

十の電気と十の電気は反発。距離が近ければ近いほど反発力は大きい。



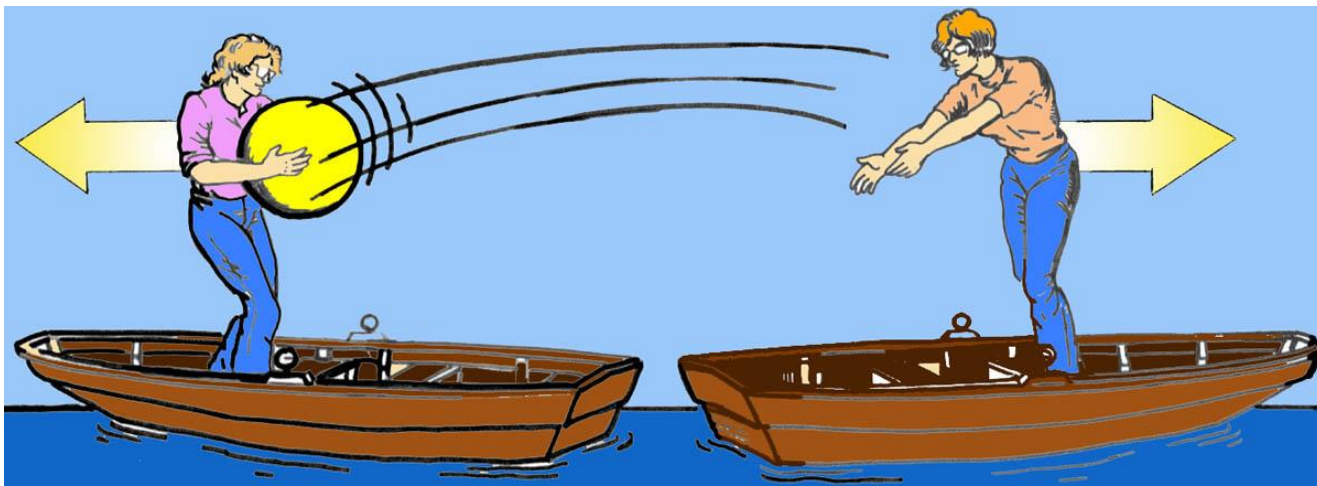


国立科学博物館の図より

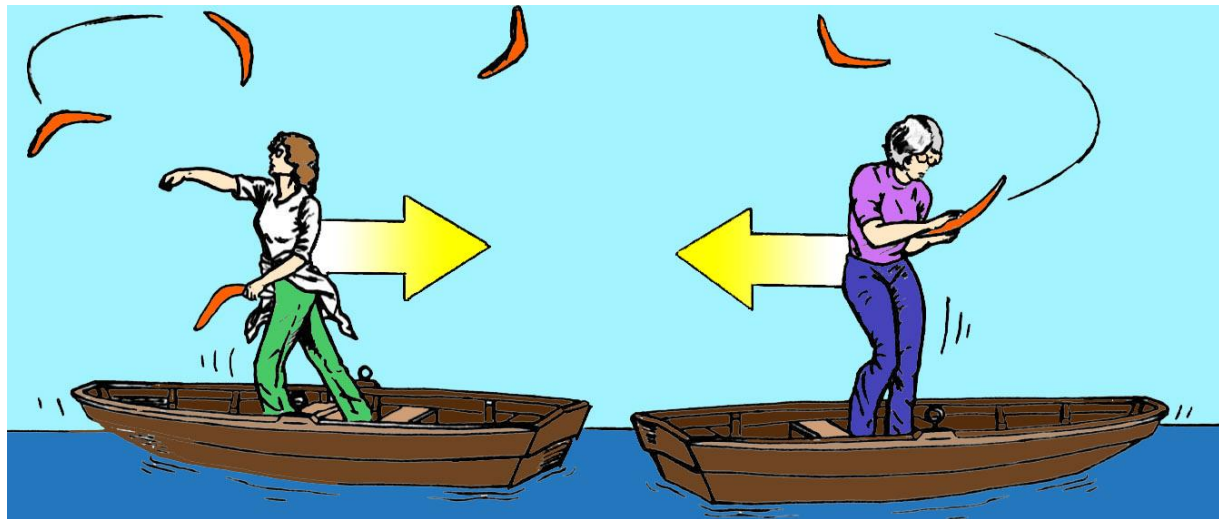
湯川秀樹の答え(1935年)

- ✓ 電気の力とは全く違う力
- ✓ 新しい粒子「中間子」をキャッチボール
→原子核がバラバラにならない。

宇宙を作っている一番元の力がわかった！



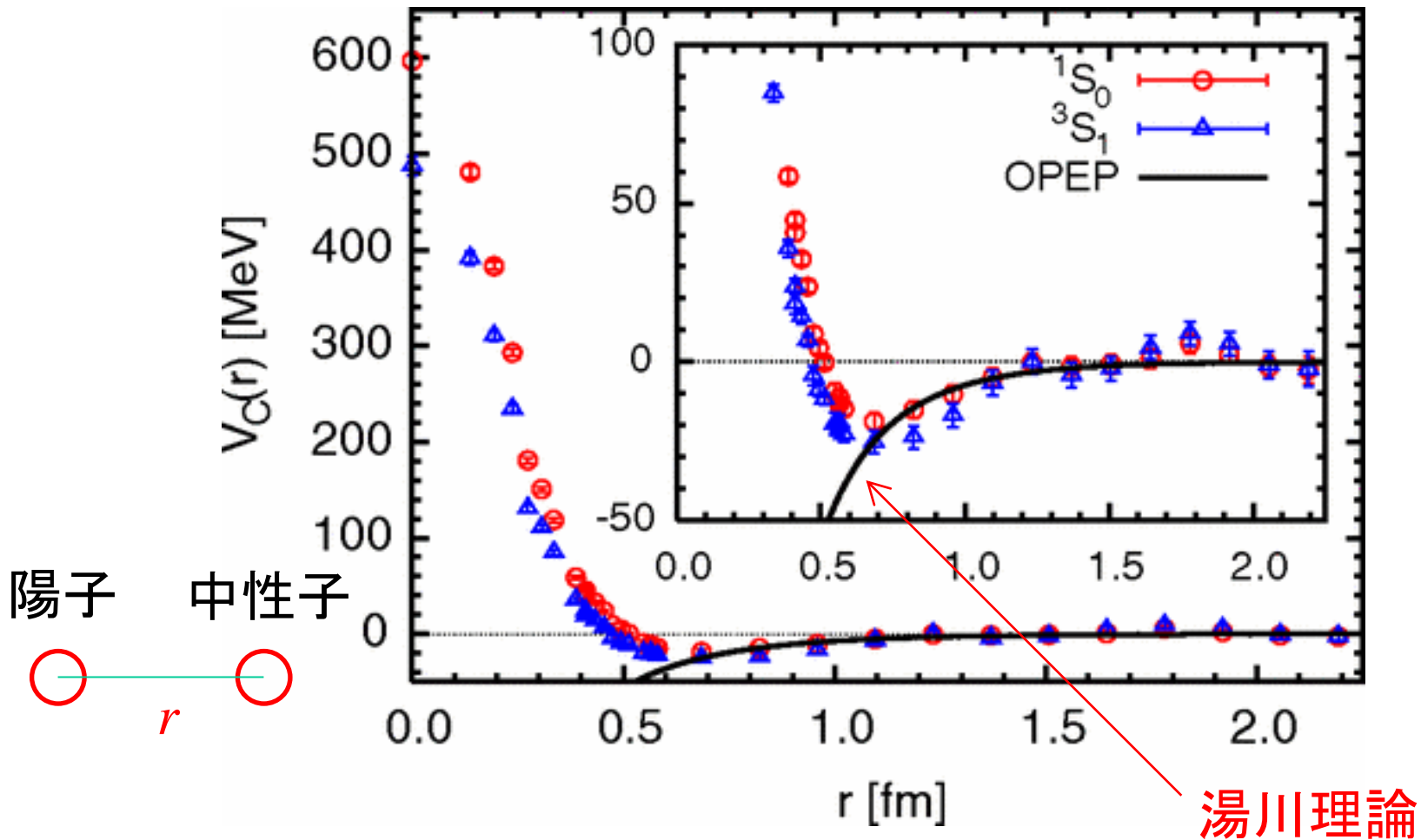
https://www.fnal.gov/pub/today/archive/archive_2013/images/NS130315_Figure01.jpg



<https://makemephy.wordpress.com/2013/10/10/exchange-particles-and-feynman-diagrams/>

中間子はその後、実在が確かめられた(1947年、パウエル)
→湯川秀樹ノーベル賞受賞 (1949年)

湯川の予言は、最近になってスパコンを使った大規模計算でも確かめられた。



N. Ishii, S. Aoki, and T. Hatsuda, Phys. Rev. Lett. 99 (2007) 022001

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。

東京大学大学院
理学系研究科教授
早野龍五
糸井重里



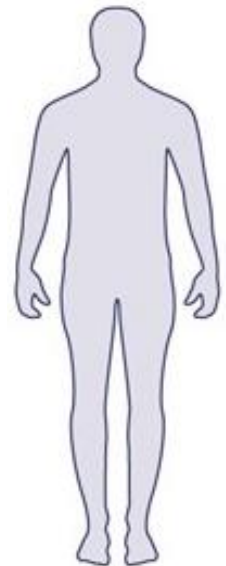
新潮文庫

「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

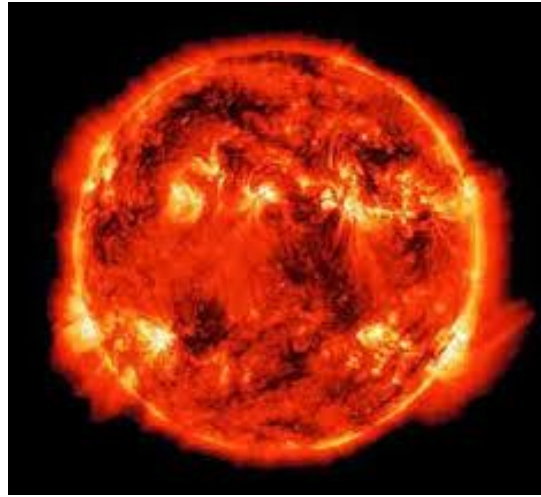


(大質量)星の内部での核融合反応
————→ 恒星が光っているもと

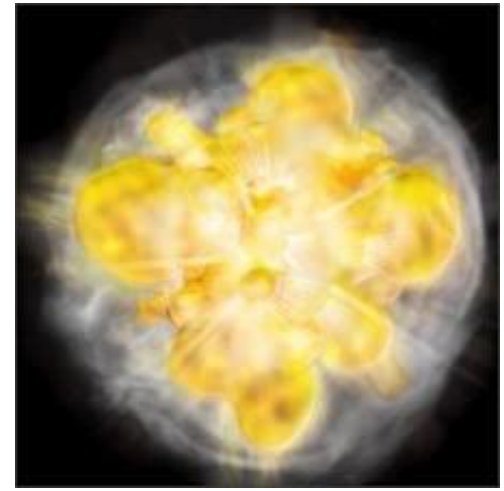
星の一生



星間ガス



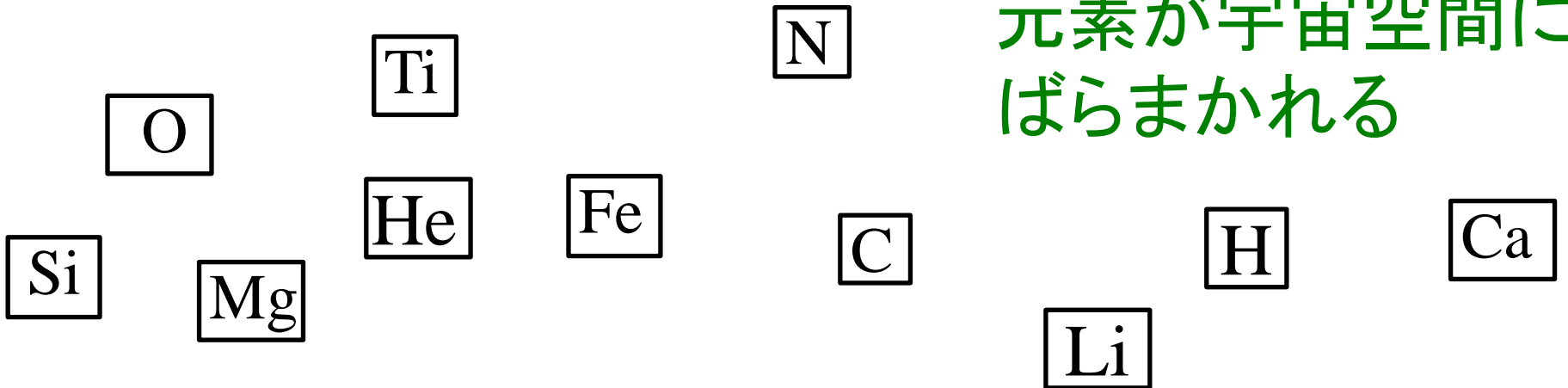
星ができる



超新星爆発



元素が宇宙空間にばらまかれる

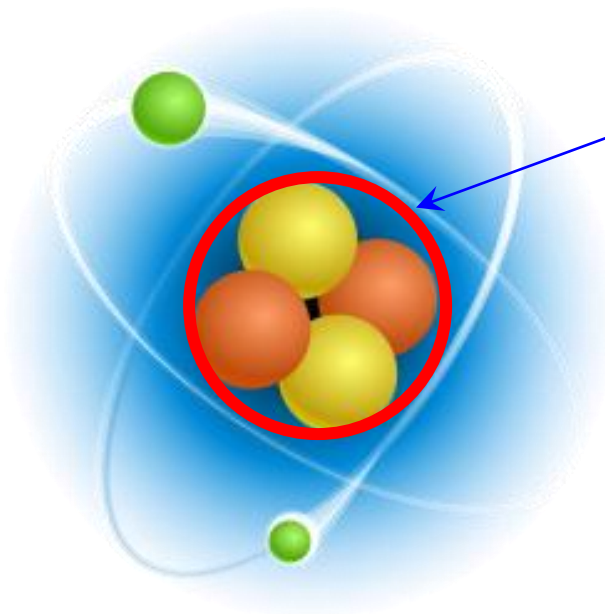


ニホニウムの作り方

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？

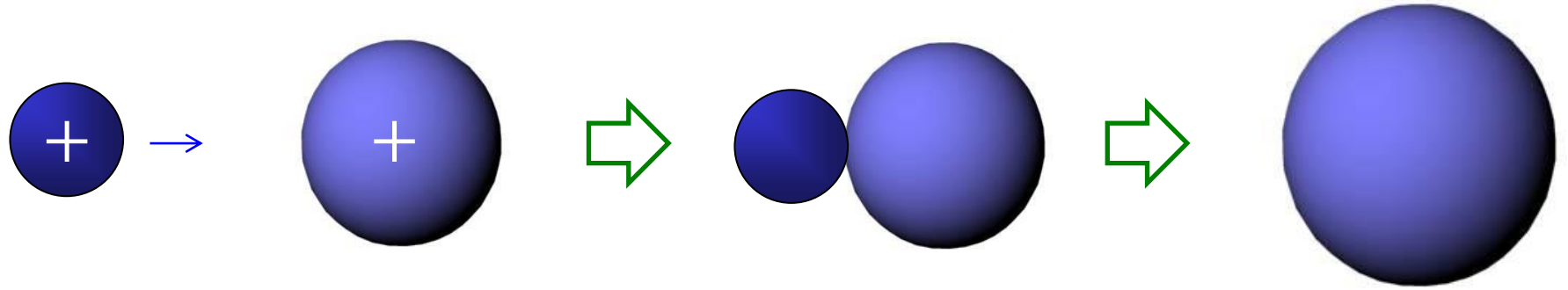
→ あります。でも人工的に作らなければなりません。



原子核

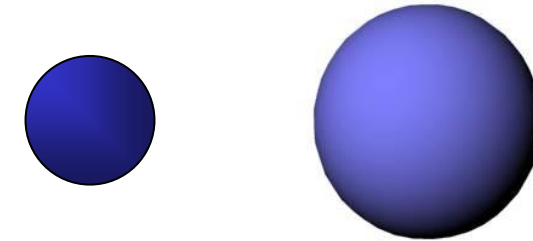
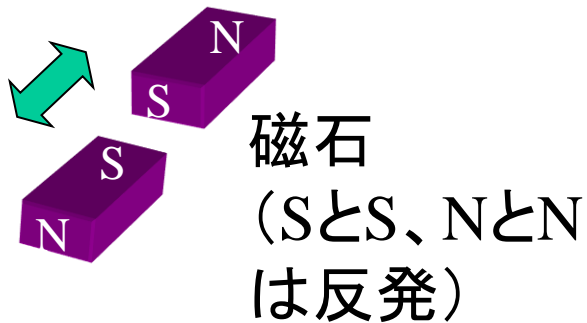
原子核と原子核をくっつけて
大きな原子核を作る

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



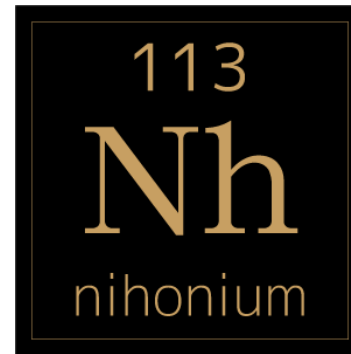
でも、ほとんどはくっつけても
すぐ離れてしまう
(大きな原子核ができない)



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				

次のステップは？



Group → 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Period ↓

1	1 H																	
2	3 Li	4 Be										5 B	6 C	7 N				
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	57 La	* 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	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
8	119 Ns?	120* Yk?	* 121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136
9			* 137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152

113
Nh
nihonium

118
Og
oganeson

119
Ns?
120*
Yk?

第7周期がすべて埋まる → 次は第8周期へ！

理研では、119番元素の探索中

まとめ

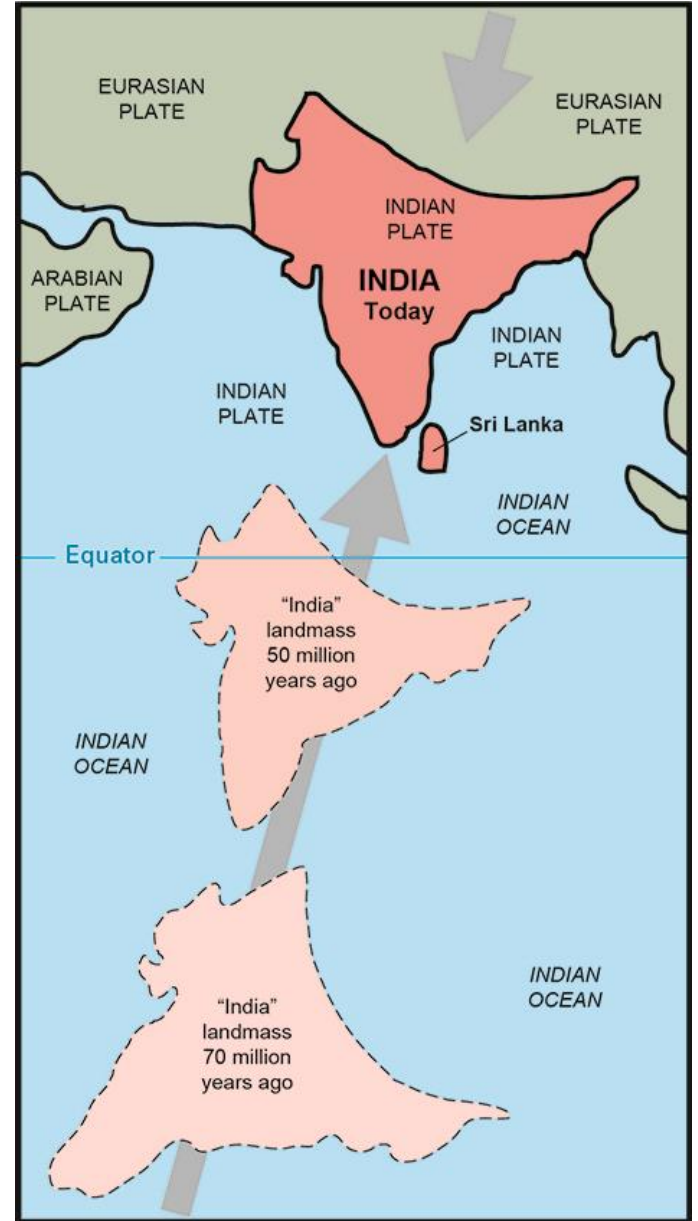
- ✓ この世の中はすべて元素からできている。
- ✓ この世の中にある元素は約90種類
- ✓ 重い元素は人工的に作ることもできる→ニホニウム
- ✓ 湯川秀樹は元素の元になっている力を解明した人



エベレストに何で貝殻の化石が？

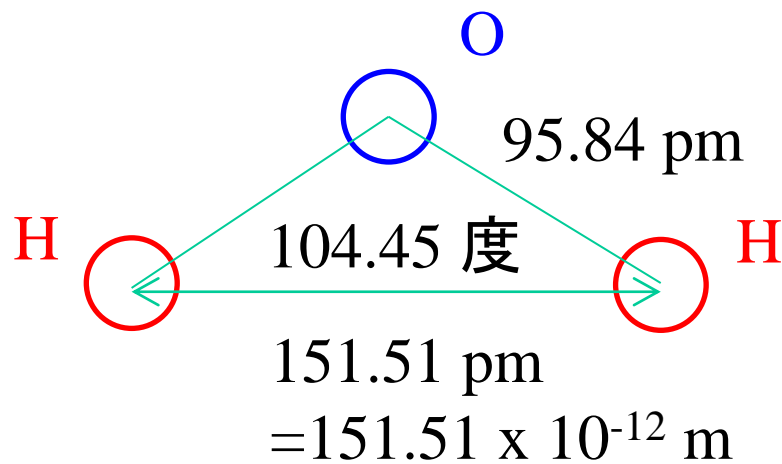


大陸移動説



どうやって計算したのか？

- 水 18g の中には 6×10^{23} 個 (アボガドロ数) の水分子 H_2O が入っている。
- じゃがいも 100 g がすべて水で出来ていると仮定する。
- そうすると、この中には $100\text{g}/18\text{g} \times 6 \times 10^{23}$ 個 $= 33 \times 10^{23}$ 個の水分子が入っている。
- 水分子 H_2O には3個の原子が入っているので、原子の数は $3 \times 33 \times 10^{23} = 99 \times 10^{23} \sim 100 \times 10^{23} = 10^{25}$ 個。



じゃがいも 100g 中の水分子を1直線に並べると、

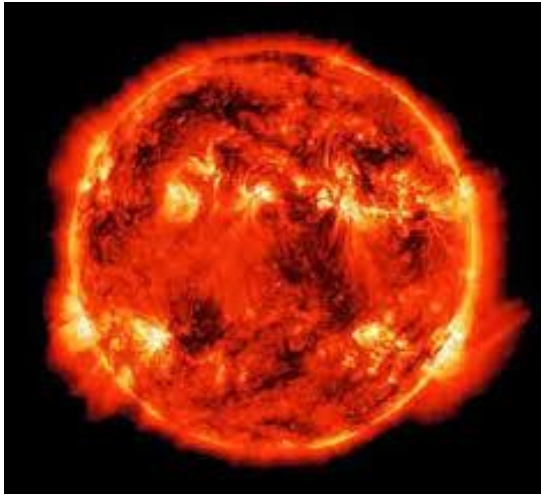
$$151.51 \times 10^{-12} \text{ m} \times 33 \times 10^{23} \text{ 個} \\ = 5 \times 10^{14} \text{ m}$$

地球1周は 4×10^7 m (4万キロ) なので、約 10^7 周分。

元素はどのように出来たのか？

中性子の吸収

(電荷がないので吸収されやすい)

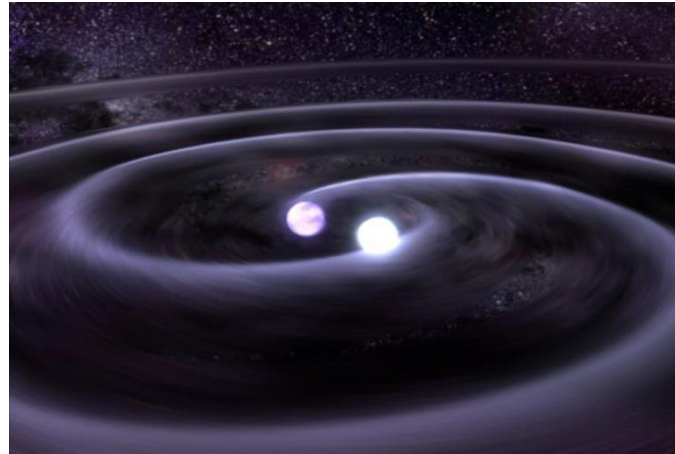


赤色巨星



s-プロセス

Ba, La, Pb, Bi など



超新星爆発

や中性子星の合体

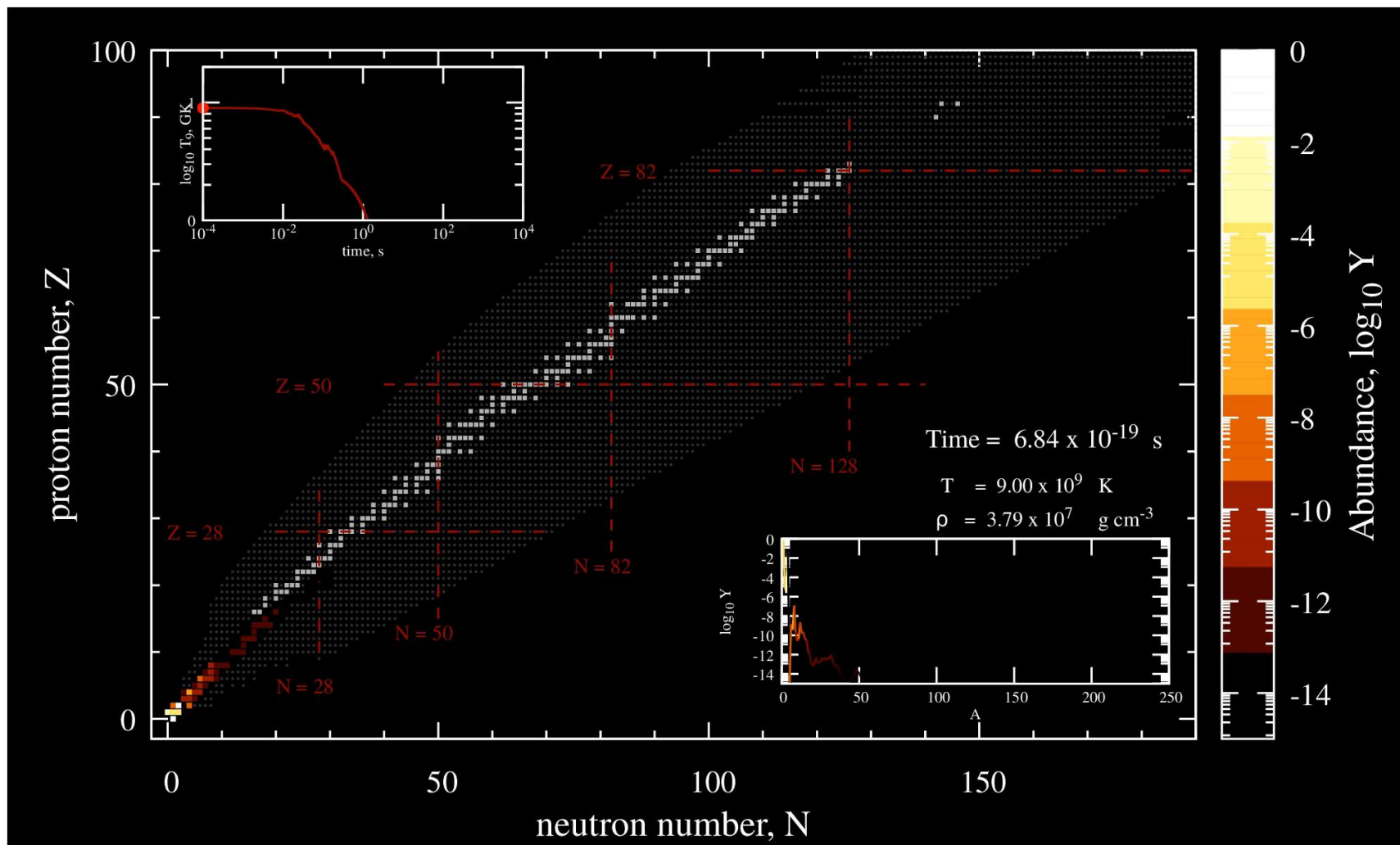


r-プロセス

Th, Eu, U など



r-プロセス元素合成の動画



西村信哉氏(理研)

s-プロセスに比べて r-プロセスにはよくわかっていないことが多い



→ 金やウランがどうやって出来たのかは実はあまりよくわかっていない。