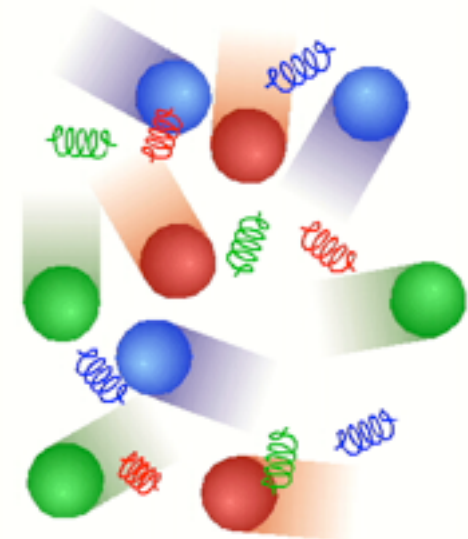


『宇宙の歴史を探る』

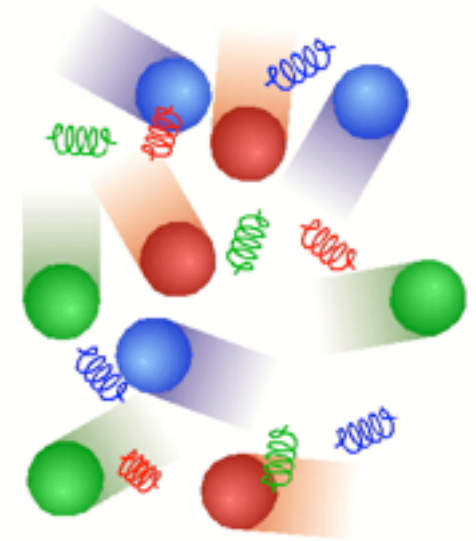
～ビッグバンからブラックホールまで～



時間	内容	担当
9:00～ 9:10	日程説明	三明、中井
9:10～10:20	講習（原子核）	三明
10:20～10:40	休憩	
10:40～12:00	講習（宇宙観測）	中井
12:00～13:00	昼食	中井、TA
13:30～15:30	JAXA見学	三明、中井、TA
16:00～16:40	認定試験	中井
16:40～17:00	アンケート	中井

『宇宙の歴史を探る』

～ビッグバンからブラックホールまで～
原子核パート



筑波大学・数理物質科学研究科・物理学専攻

教授 三明康郎

目次

第1章 ビッグバン宇宙論

膨張する宇宙と、その証拠

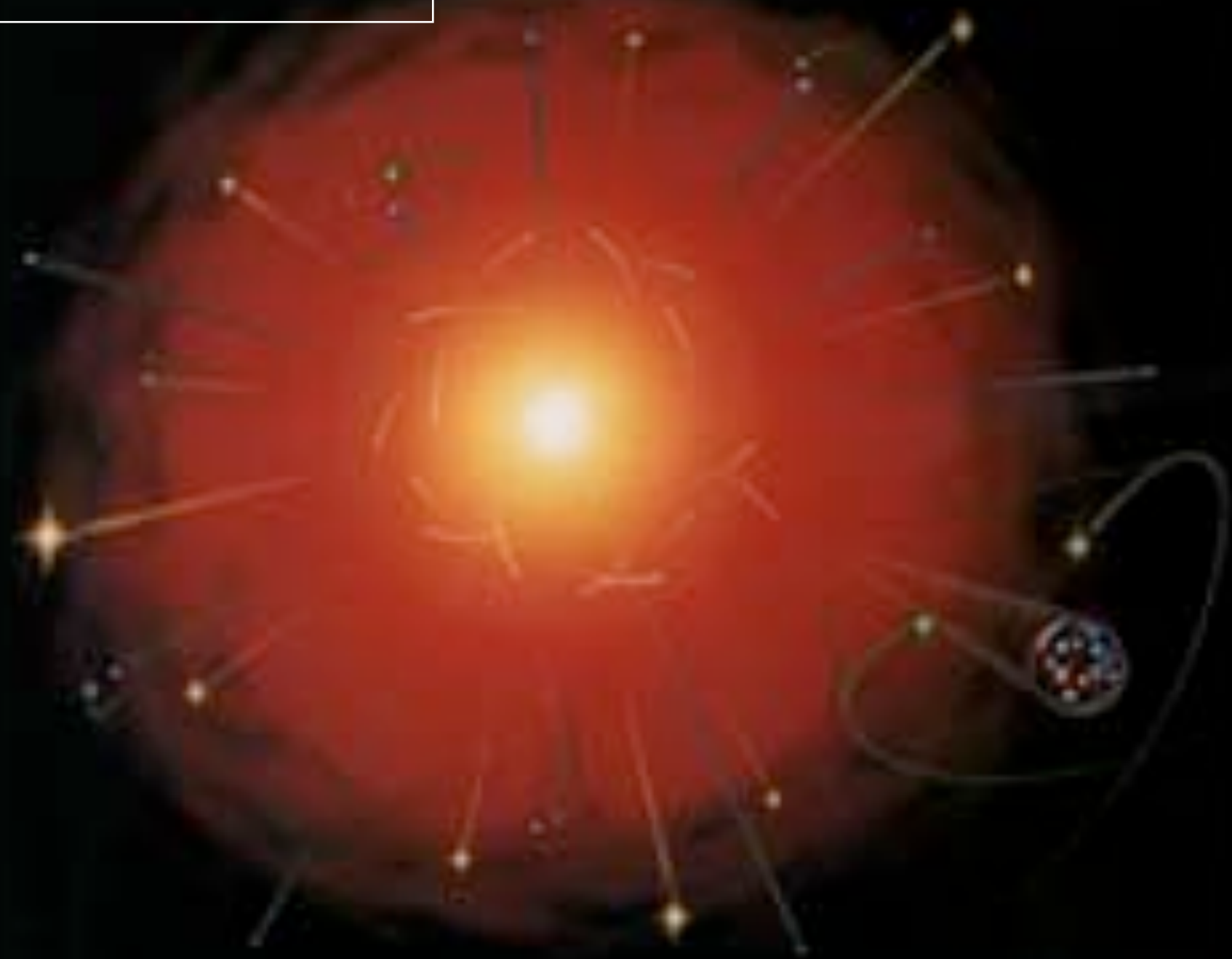
第2章 宇宙元素合成

私たちの体を構成する元素はいつどこで？

第3章 加速器を用いた初期宇宙再現実験

ついに始まったLHC実験

Big Bang



ビッグバン宇宙論

なぜ夜空は暗いのか？

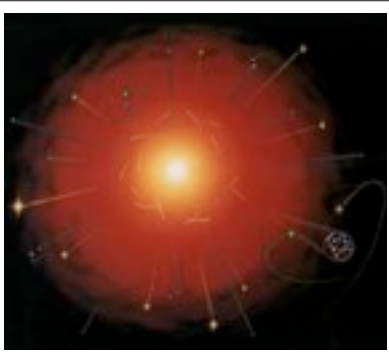
✓宇宙が限りなく存在していれば、無限個の星があるはず

- 無限個の星からの光が届く？
- 遠い星からの光は弱いから？

✓私たちの目に入る星の光の量を足しあわせてみよう！



無限大・一様な宇宙の場合

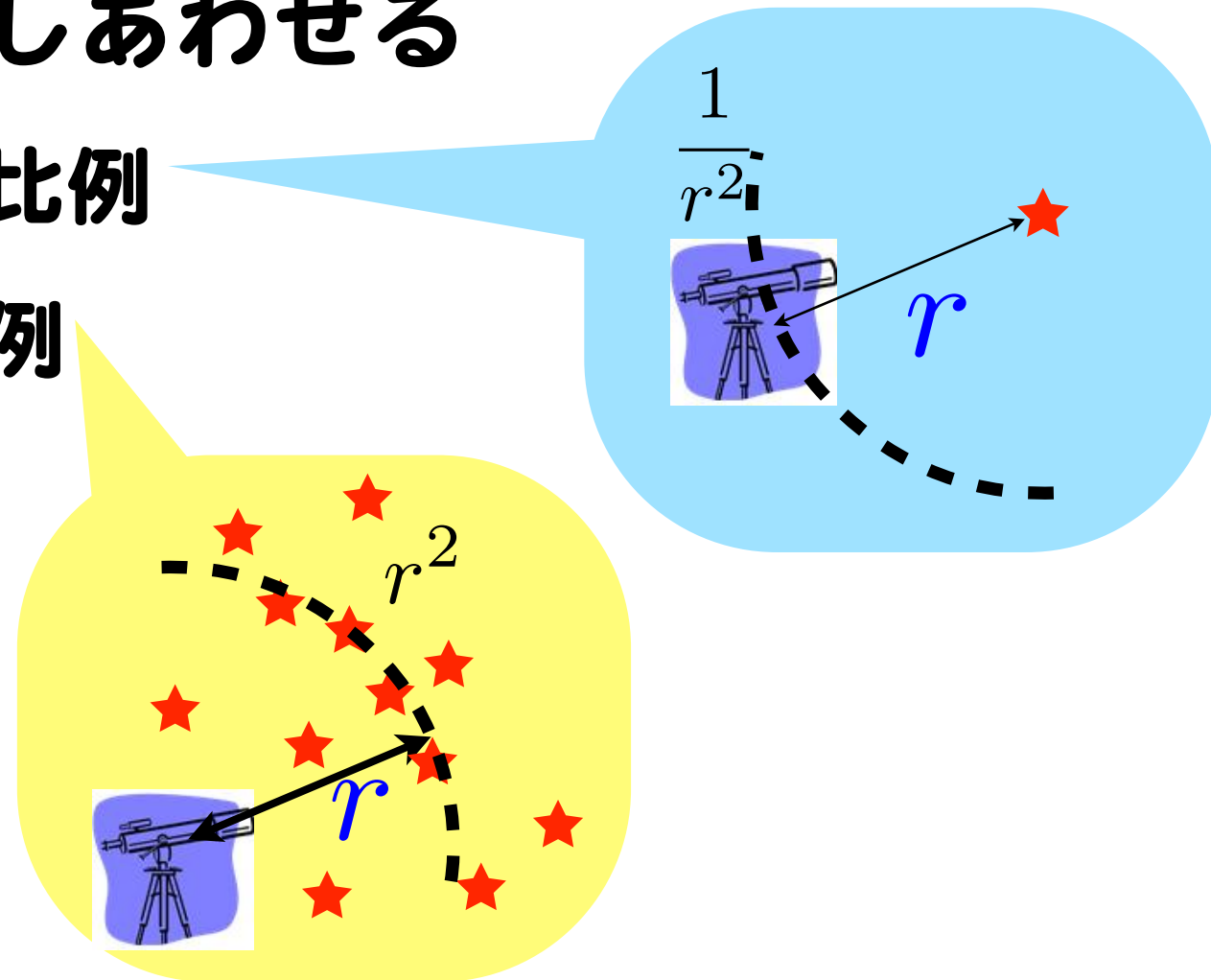


✓ すべての星からの光の量を足しあわせる

- 距離 r の星からの光量 ; r^2 に反比例
- 距離 r にある星の数 ; r^2 に比例

➡ 無限遠まで積分すると ∞ に！

$$\begin{aligned} Y_{\text{light}} &= \int_0^\infty \rho(r) dv \\ &= \int_0^\infty \frac{C}{r^2} 4\pi r^2 dr \\ &\rightarrow \infty \end{aligned}$$

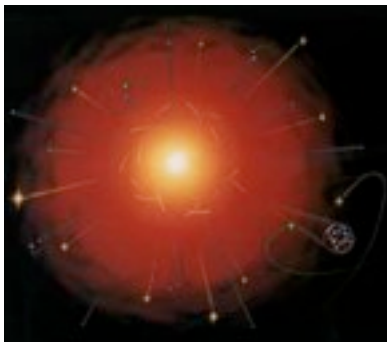


✓ 「限りなく一様が続く宇宙」の
夜空は明るい！

➡ つまり宇宙は有限？！

(オルパースのパラドックス)
光は途中で吸収されないことを仮定

遠い天体の観測



✓ エドウィン・ハッブルがウィルソン山天文台で観測

- 天体までの距離と、その天体が遠ざかる速さ（後退速度）を測定

➡ 明るさのわかっている星(銀河)

➡ 光のドップラー効果(赤方偏移)

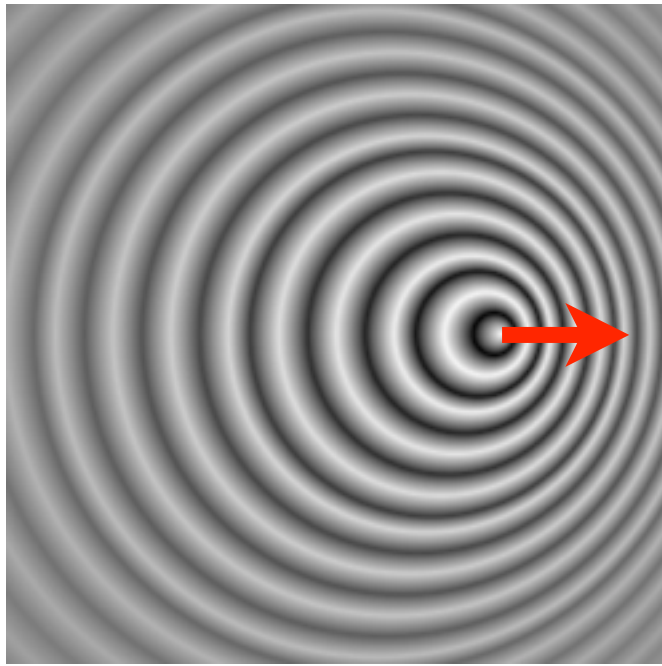
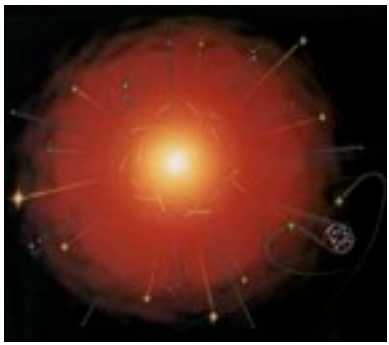
- 『遠い星ほど、より速く遠ざかっている！？』という観測結果



Wikipediaより

Yasuo MIAKE, 2010/8/5

赤方偏移(ドップラー効果)



進行方向では振動数が高く
反対方向では振動数が低く



高←振動数→低

✓ パトカーが通り過ぎる時、サイレンの音の高さが変化

- 近づくときは高く、遠ざかるときは低く聞こえる現象

⇒ 音のドップラー効果

⇒ 発生源と観測者の相対速度

✓ 光のドップラー効果

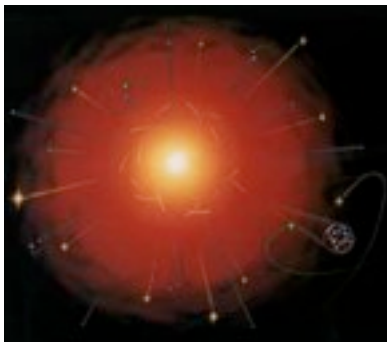
- 光源(星) が遠ざかるとき、光の振動数が低下→赤い方に偏移



Wikipediaより

Yasuo MIAKE, 2010/8/5

ハッブル則



A RELATION BETWEEN DISTANCE AND RADIAL VELOCITY
AMONG EXTRA-GALACTIC NEBULAE

By EDWIN HUBBLE

MOUNT WILSON OBSERVATORY, CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON

Communicated January 17, 1929

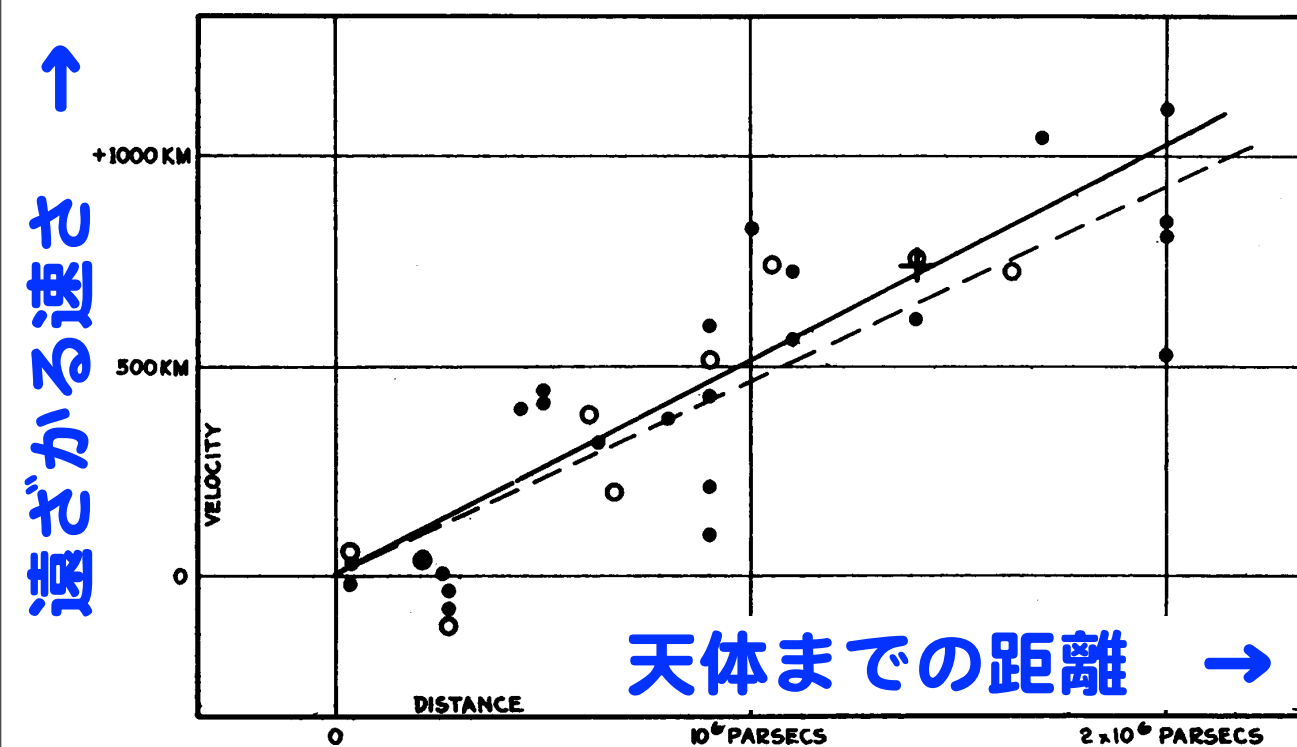


FIGURE 1

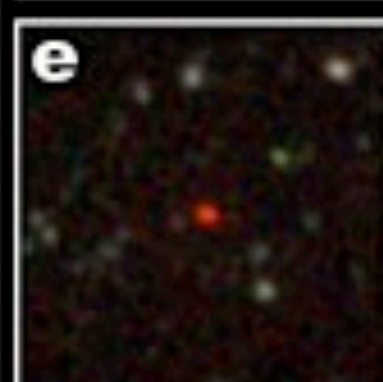
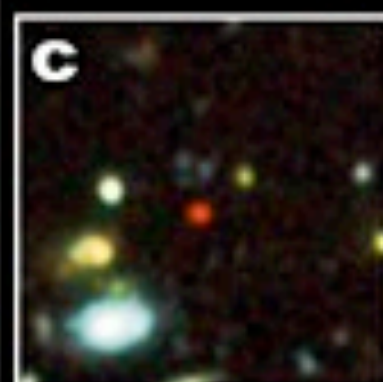
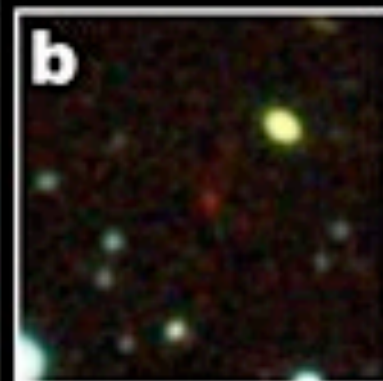
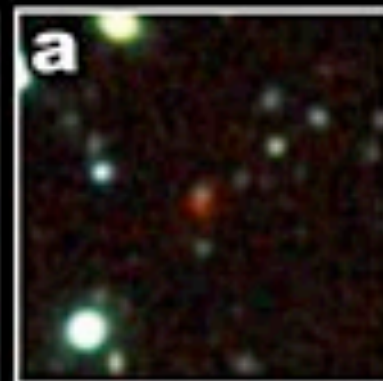
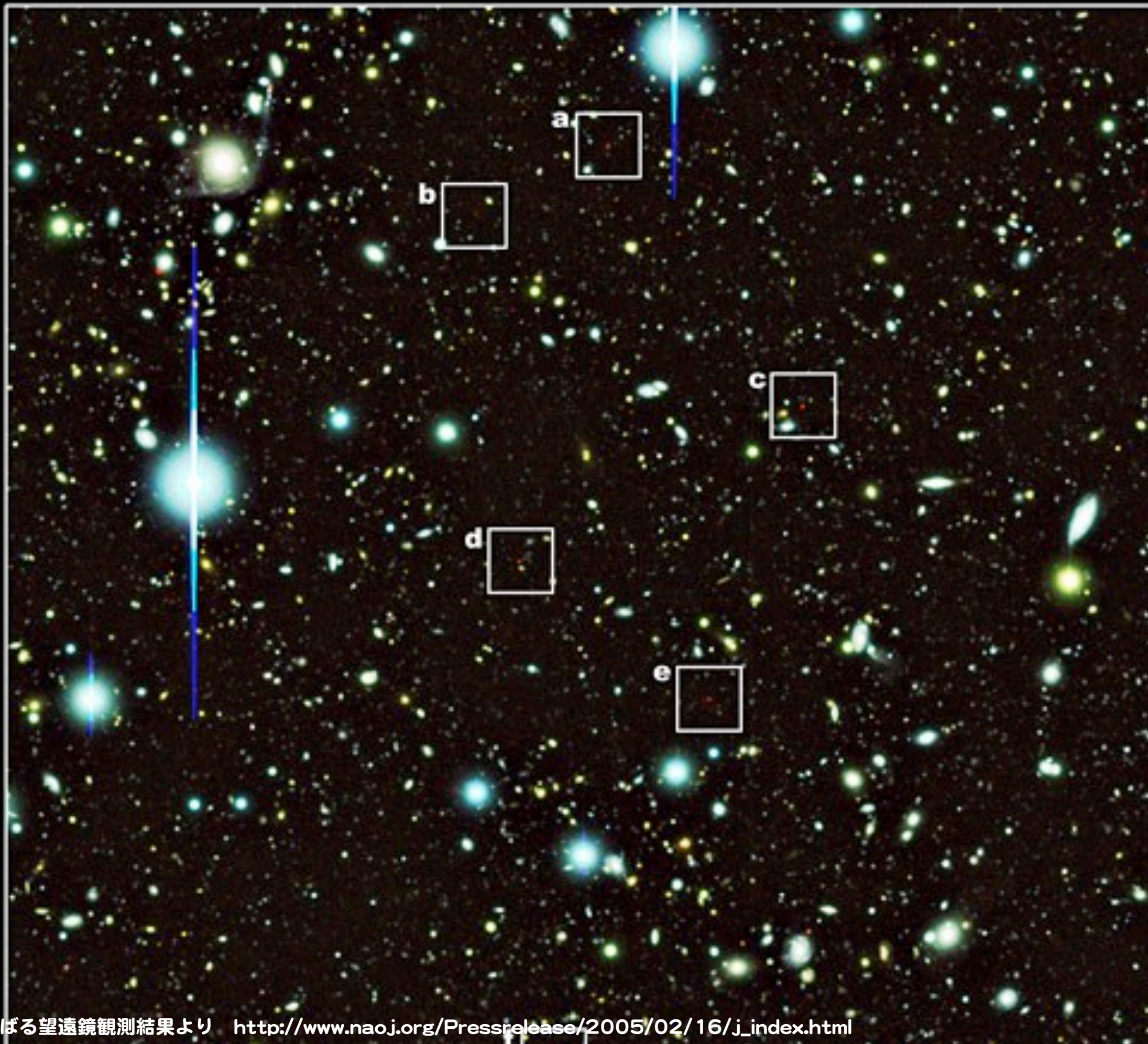
Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

原著論文 ; <http://skyserver.sdss.org/edr/jp/astro/universe/universe.asp>

✓ 遠い星ほど、速く
遠ざかっている！？

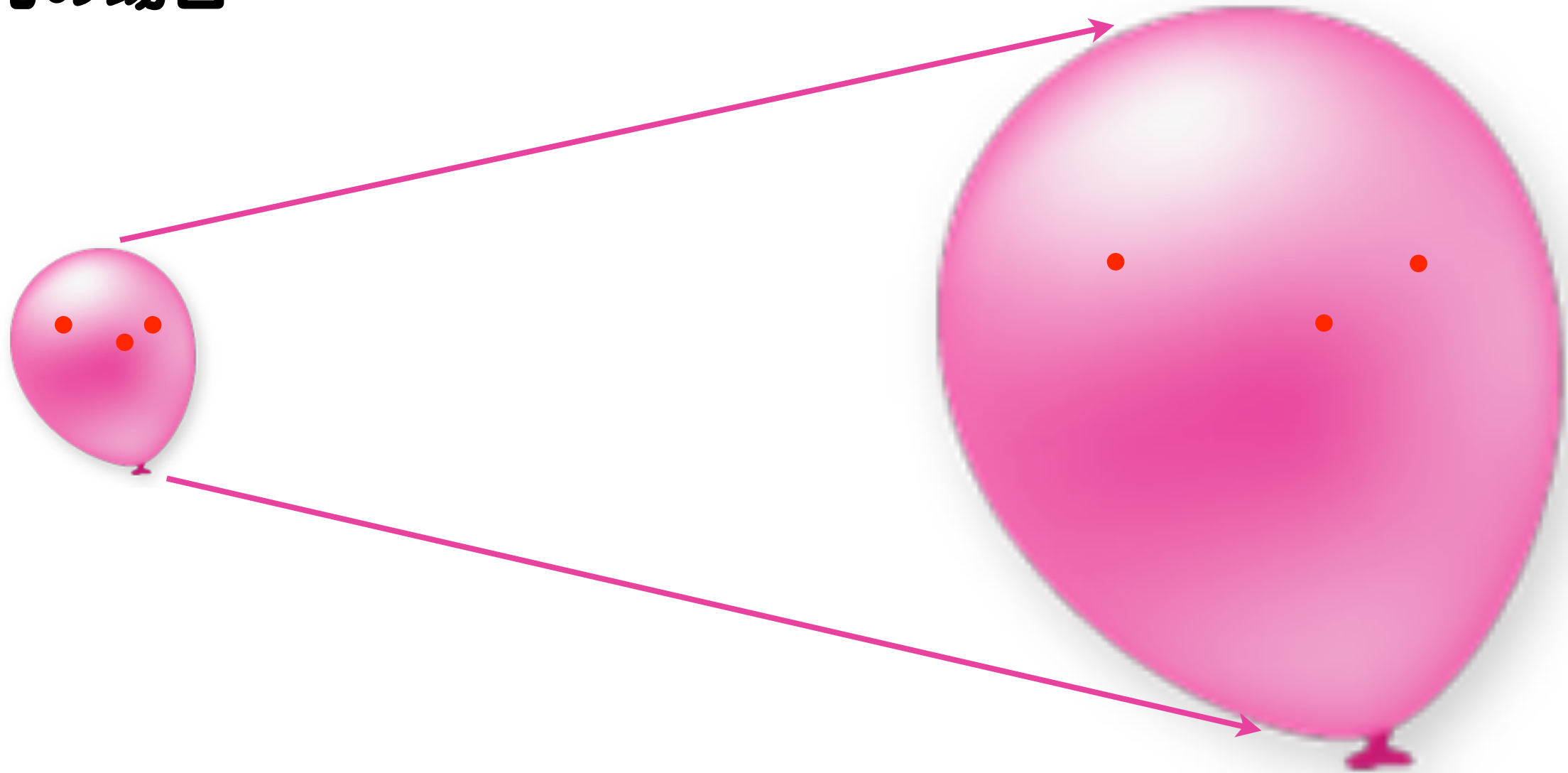
✓ 例外なく、遠い星ほど、
より速く遠ざかっている！

$$v = H_0 D$$



遠い天体ほど速く遠ざかる →空間の膨張

2次元の場合

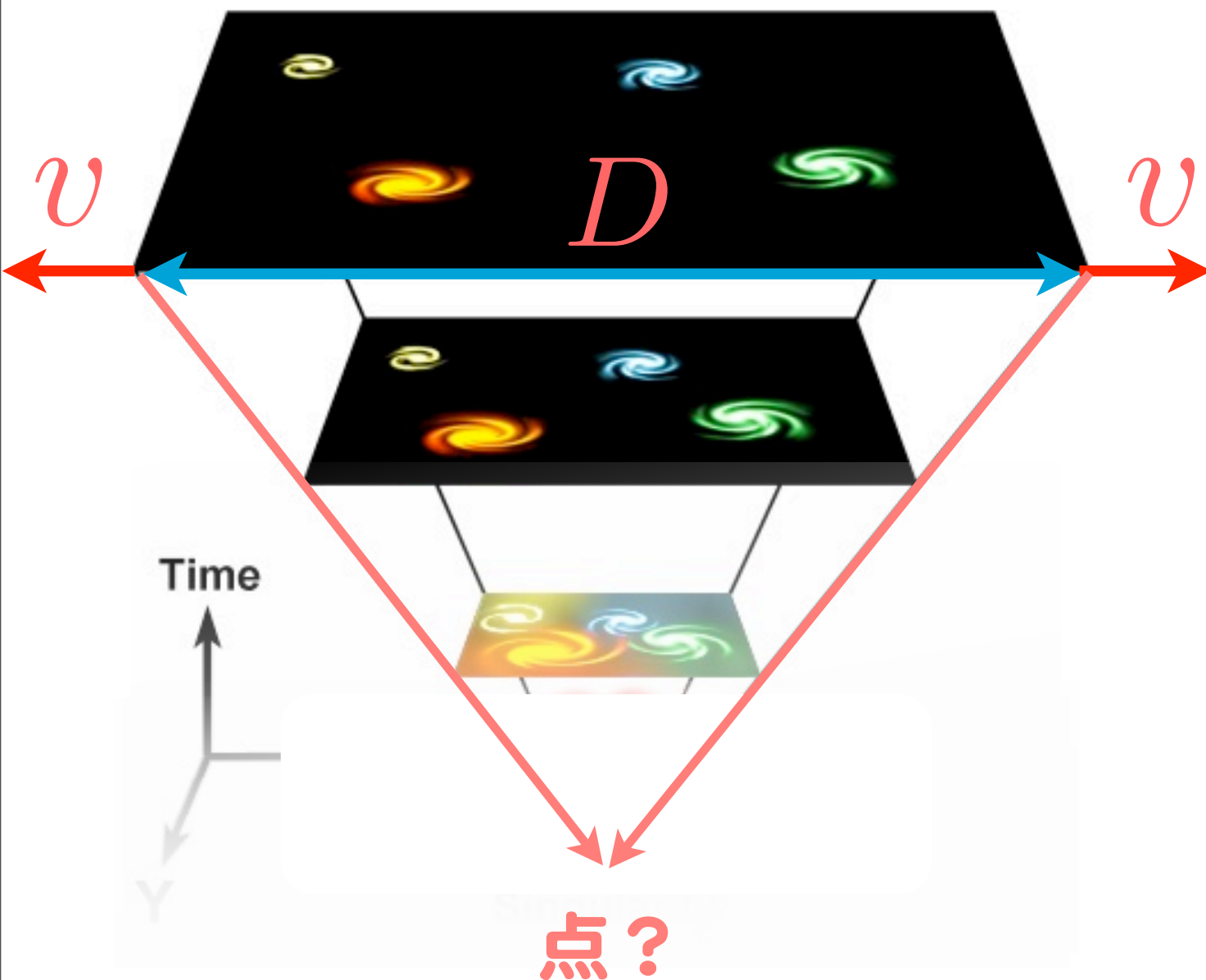


✓ 膨張しつつある風船の表面の2点間の距離

- 遠い2点ほど速く遠ざかる

膨張宇宙

$$v = H_0 D$$



✓ ハッブル則

- 宇宙は膨張している
 - ⇒ ハッブル則 H_0 の逆数が宇宙の年齢
- 宇宙は点から始まった
 - ⇒ ビッグバン宇宙論

✓ もし本当なら、宇宙初期には高温状態があったはず

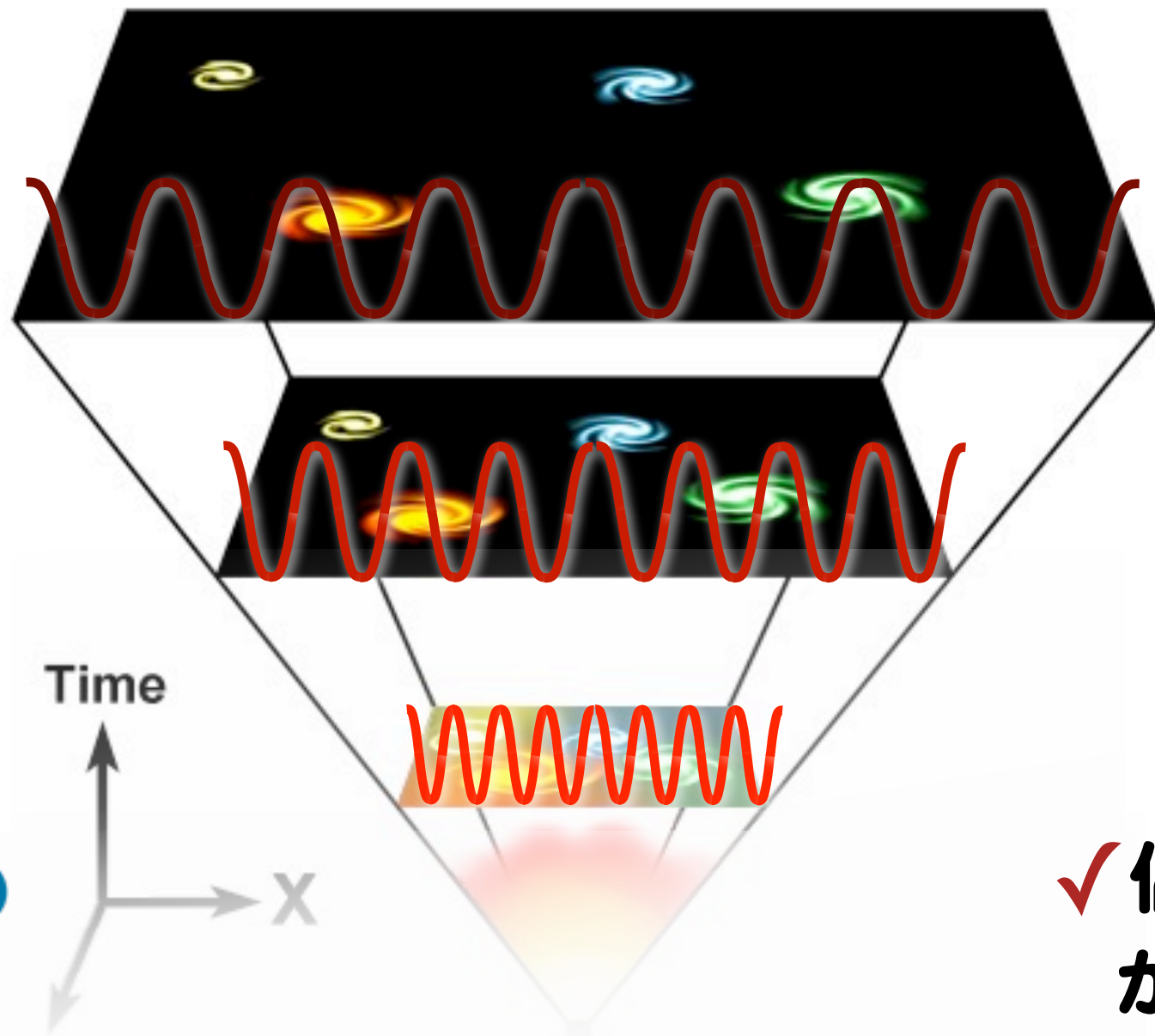
⇒ 宇宙背景放射の予言
(G. Gamowら)



Wikipediaより

Yasuo MIAKE, 2010/8/5

宇宙背景放射



宇宙背景放射の特徴

- 1) ほぼ等方的
- 2) ほぼ黒体放射に一致

✓ 初期宇宙が非常に高温状態だったならば、その痕跡は宇宙全体に残っているはず (ガモフら)

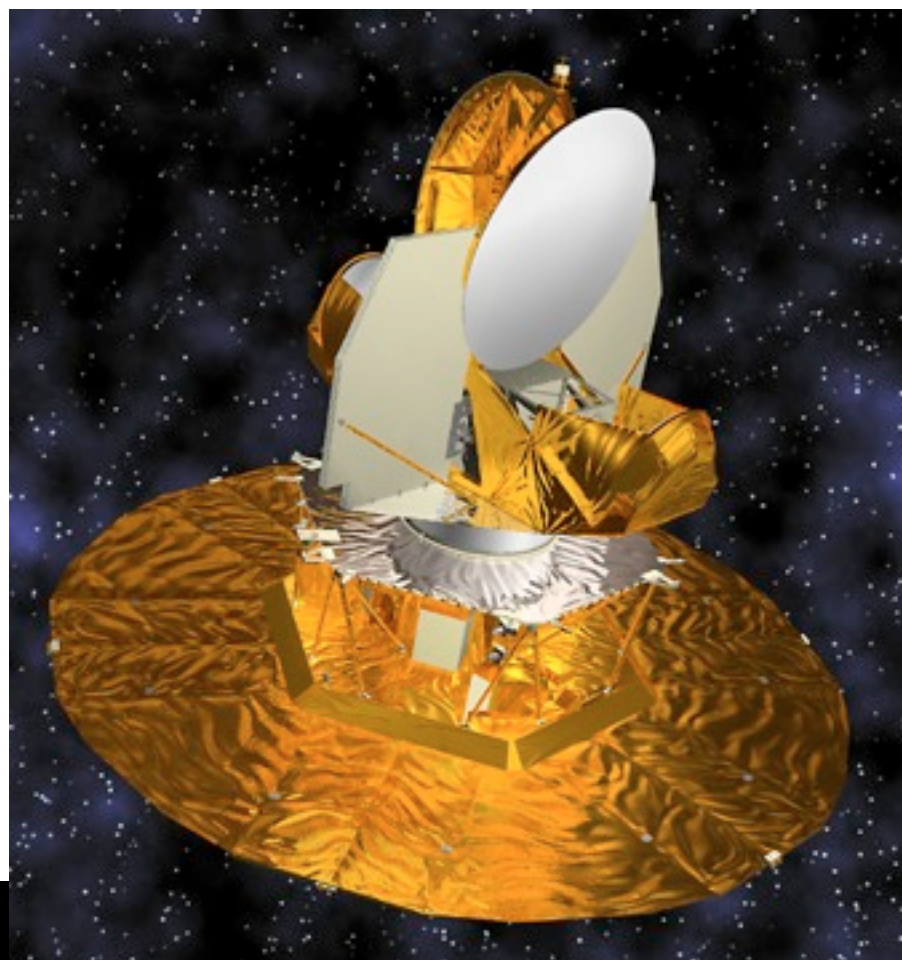
● 宇宙背景放射



✓ 偶然に宇宙のあらゆる方向から電波が観測

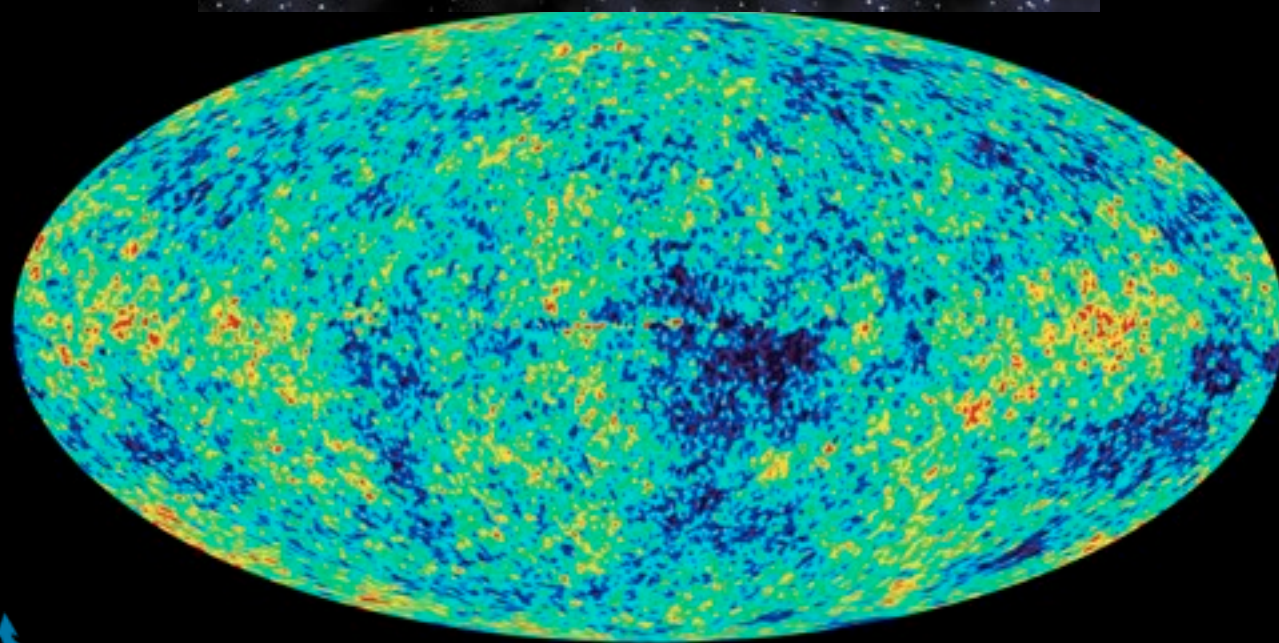
- ウィルソンらがアンテナの開発研究において空からの「雑音」を発見 (1964)

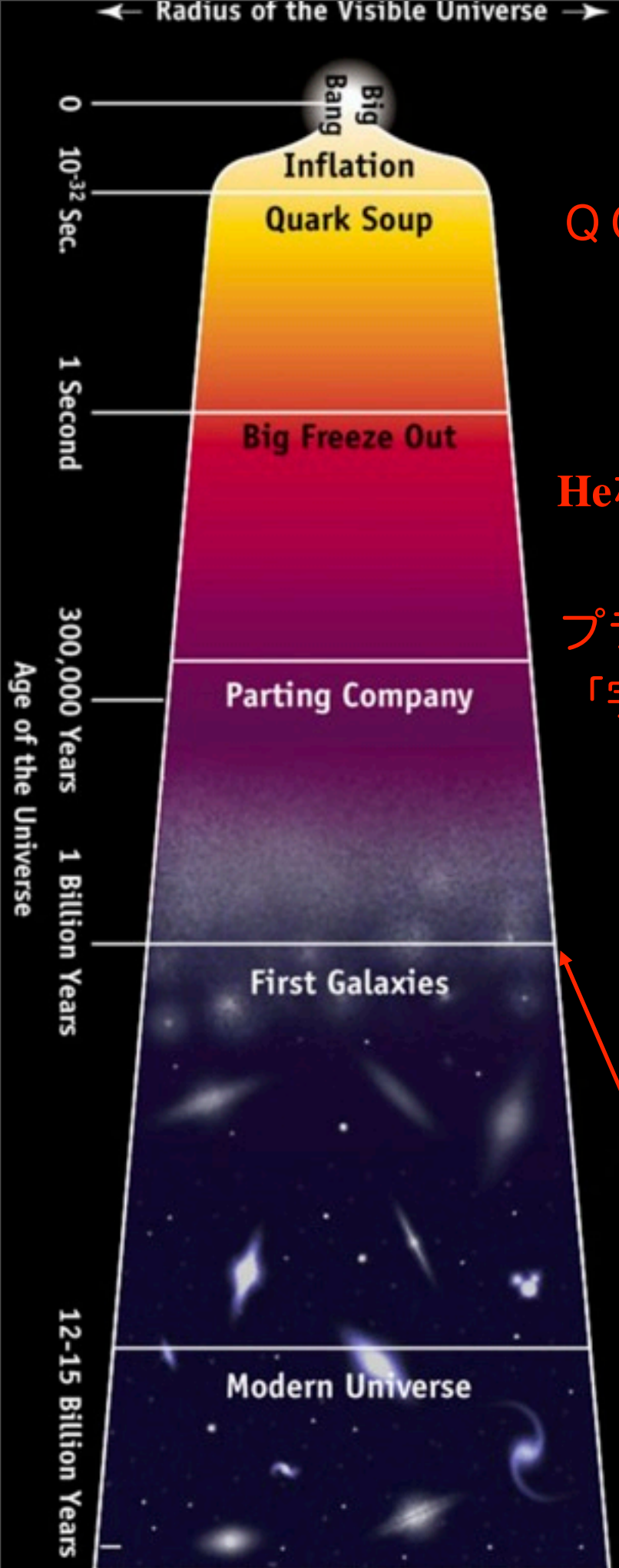
宇宙背景放射観測による 膨張宇宙の研究



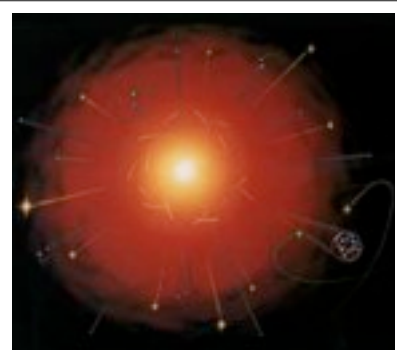
✓ WMAP観測衛星による 宇宙背景放射の精密測定

- 2001年打ち上げ
- 宇宙進化の様子が明快に
 - ➡ ハッブル定数； 71 km/s/Mpc
 - ➡ 宇宙の年齢；137億年
 - ➡ 宇宙の大きさ；780億光年以上





ビッグバン宇宙論



Q G P → ハドロンガス

Heなどの元素合成

プラズマ → 中性原子
「宇宙の晴れ上がり」

電離状態から中性
に変化し、光が散乱
されなくなった

原始銀河の形成

✓ ビッグバン宇宙論

- 137億年前に大爆発とともに私たちの宇宙が発生
- 想像もつかない高温・高密度状態から膨張し、膨張と共に温度が低下してきた

✓ 宇宙の進化を遡る研究

⇒ (10億年) 遠方銀河の赤方偏移

Hubble則

⇒ (30万年) 宇宙の晴れ上がり

宇宙背景放射

⇒ (3min) 元素合成

元素の存在比

→ ビッグバン宇宙論を
支持する証拠

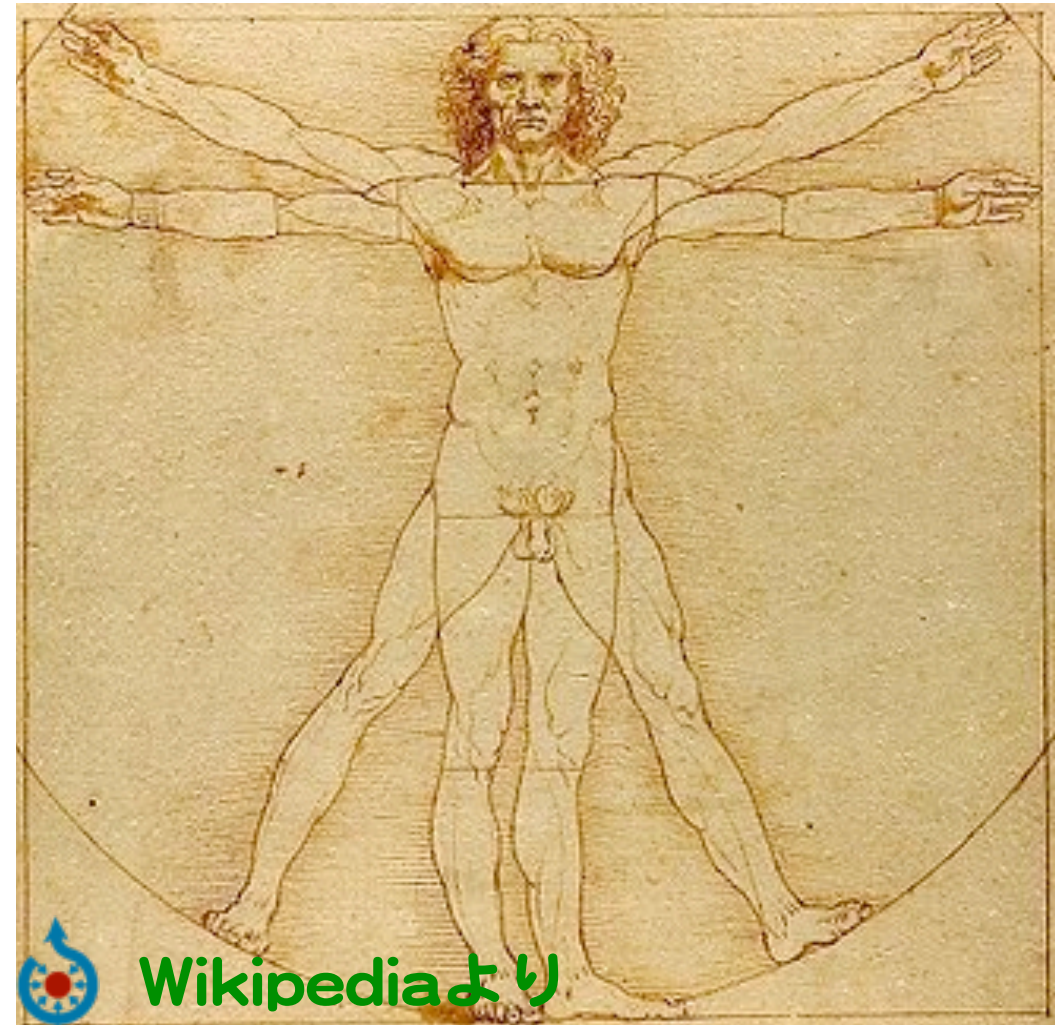
宇宙元素合成

1 H																	2 He		
3 Li	4 Be													5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg													13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
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		
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		
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		
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 Uuq	114 Uup	115 Uuh	117 Uus	118 Uuo		
119 Uun																			
* 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			

私たちの体を作る元素



元素	記号	割合(%)
水素	H	60.3
酸素	O	25.5
炭素	C	10.5
窒素	N	2.4
リン	P	0.1
硫黄	S	0.1
ナトリウム	Na	0.7
カルシウム	Ca	0.2
カリウム	K	0.04
塩素	Cl	0.03
マグネシウム	Mg	
鉄	Fe	
亜鉛	Zn	
銅	Cu	
...



Wikipediaより

✓ ほとんどは水(H_2O)だが、それ以外にも様々な元素

- 29種類
- 役割の不明な元素も

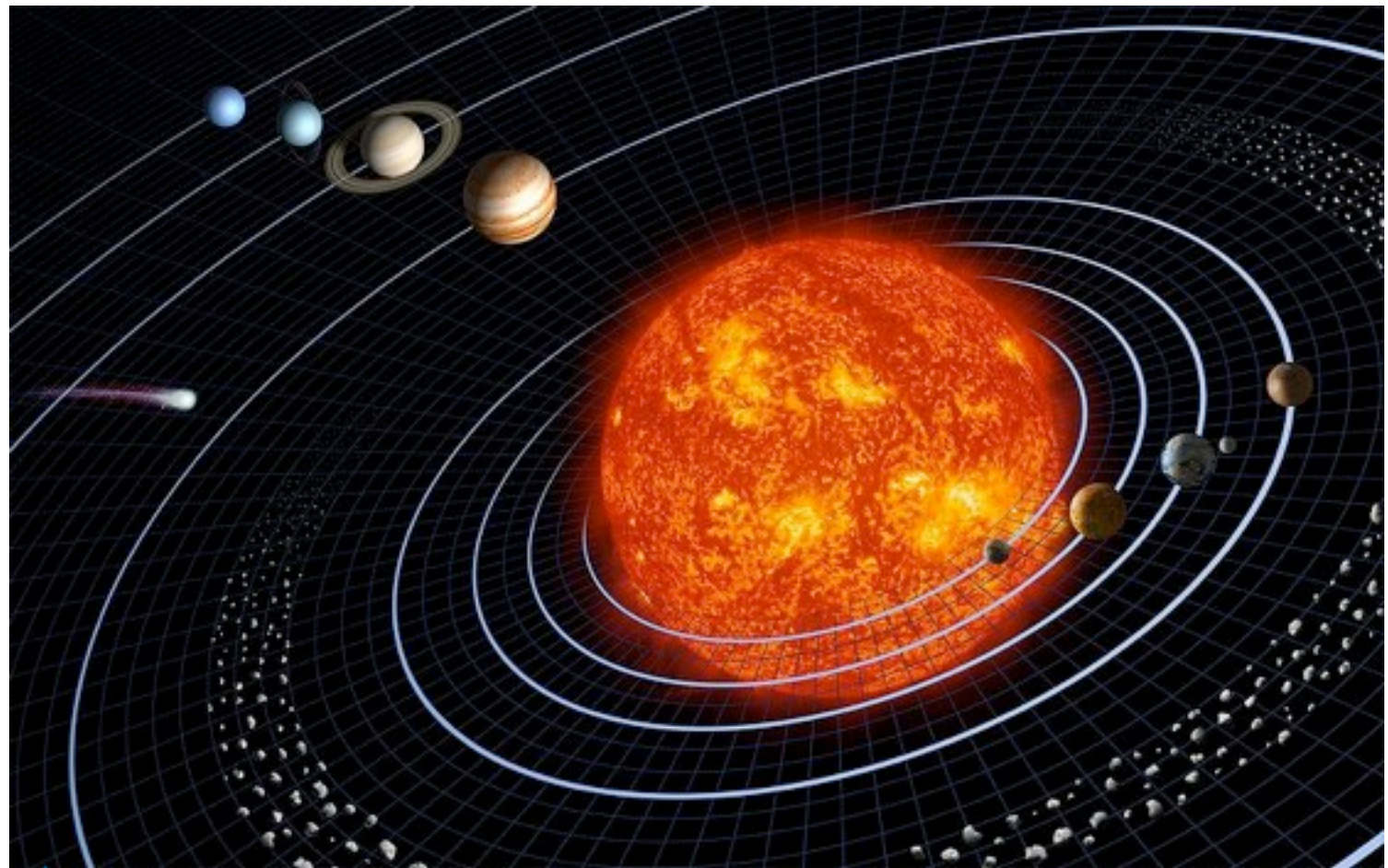
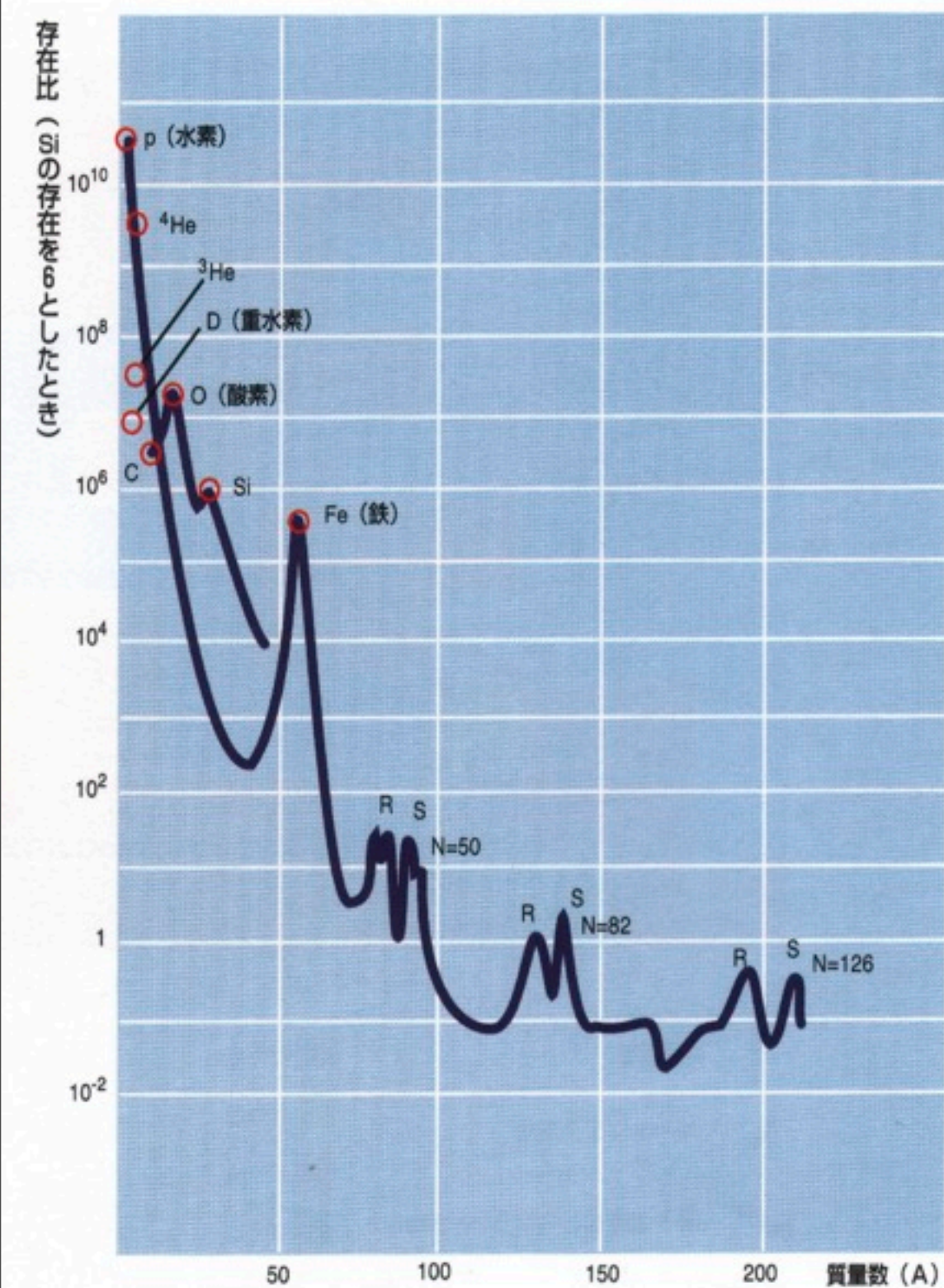
私たちの体を作る元素

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H 1.00794	<div> <div>多量元素</div> <div>その他、生体にとって必要な元素</div> <div>生体に含まれるが、働きが不明な元素</div> </div>																2 He 4.002602
3 Li (6.941)	4 Be 9.012182											5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.00674	8 O 15.9994	9 F 18.9984032	10 Ne 20.1797
11 Na 22.989768	12 Mg 24.3050											13 Al 26.981539	14 Si 28.0855	15 P 30.973762	16 S 32.066	17 Cl 35.4527	18 Ar 39.948
19 K 39.0983	20 Ca 40.078	21 Sc 44.955910	22 Ti 47.867	23 V 50.9415	24 Cr 51.9961	25 Mn 54.93805	26 Fe 55.845	27 Co 58.93320	28 Ni 58.6934	29 Cu 63.546	30 Zn 65.39	31 Ga 69.723	32 Ge 72.61	33 As 74.92159	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80
37 Rb 85.4678	38 Sr 87.62	39 Y 88.90585	40 Zr 91.224	41 Nb 92.90638	42 Mo 95.94	43 Tc [99]	44 Ru 101.07	45 Rh 102.90550	46 Pd 106.42	47 Ag 107.8682	48 Cd 112.411	49 In 114.818	50 Sn 118.710	51 Sb 121.760	52 Te 127.60	53 I 126.90447	54 Xe 131.29
55 Cs 132.90543	56 Ba 137.327	57~71 ※	72 Hf 178.49	73 Ta 180.9479	74 W 183.84	75 Re 186.207	76 Os 190.23	77 Ir 192.217	78 Pt 195.08	79 Au 196.96654	80 Hg 200.59	81 Tl 204.3833	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98037	84 Po [210]	85 At [210]	86 Rn [222]
87 Fr [223]	88 Ra [226]	89~103 ※※	104 Unq [261]	105 Unp [262]	106 Unh [263]	107 Uns [262]	108 Uno [265]	109 Une [266]	※ランタノイド元素 ※※アクチノイド元素								
※	57 La 138.9055	58 Ce 140.115	59 Pr 140.90765	60 Nd 144.24	61 Pm [145]	62 Sm 150.36	63 Eu 151.965	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92534	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93032	68 Er 167.26	69 Tm 168.93421	70 Yb 173.04	71 Lu 174.967		
※※	89 Ac [227]	90 Th 232.0381	91 Pa 231.03588	92 U 238.0289	93 Np [237]	94 Pu [239]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [252]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]	103 Lr [262]		

大阪大学谷畑先生講演ノートより

Yasuo MIAKE, 2010/8/5

太陽系を作る元素

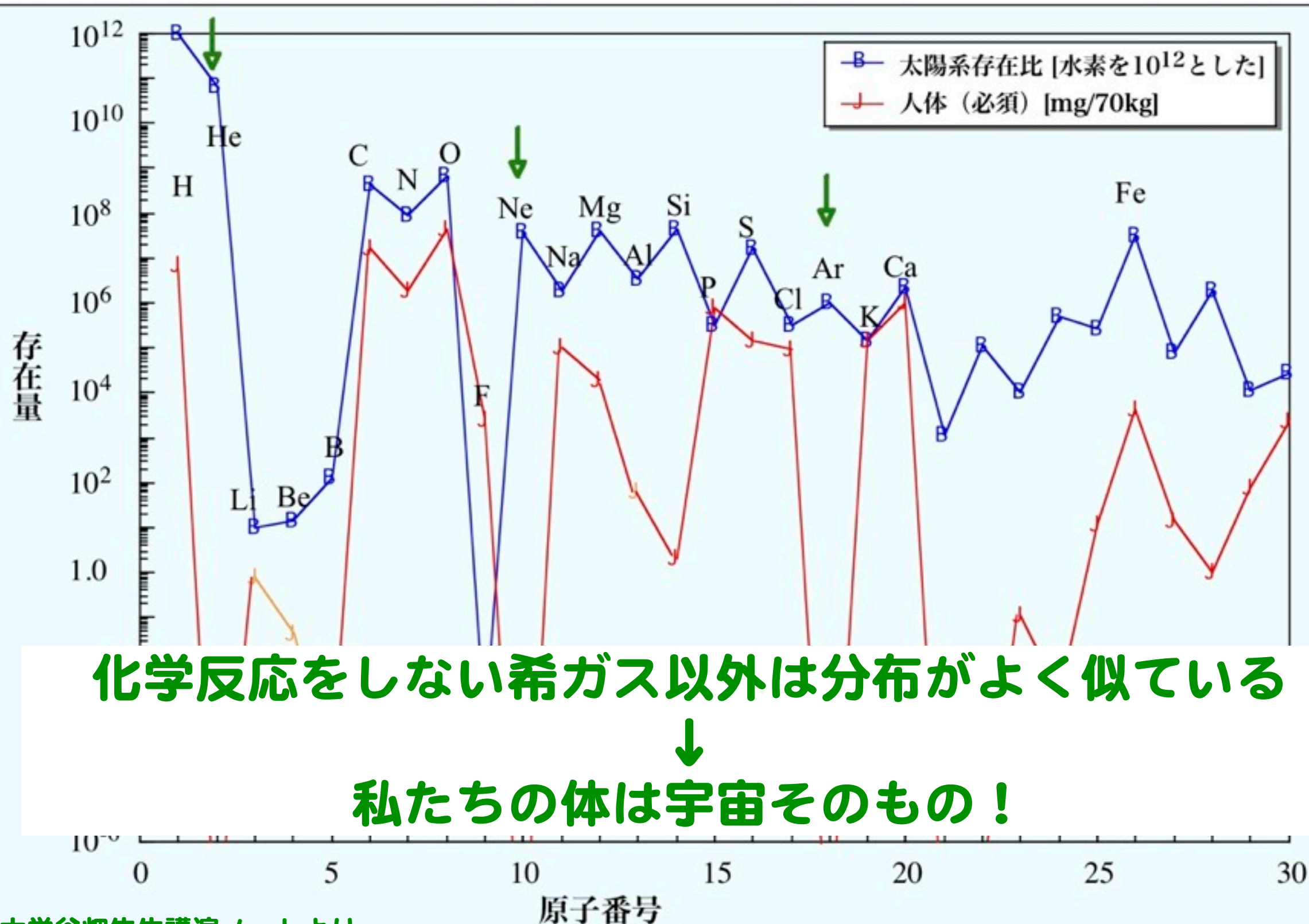


Wikipediaより

✓ 太陽系も多くの元素を含んでいる

- 元素の割合はどうして？
- 元素はどうやって作られた？

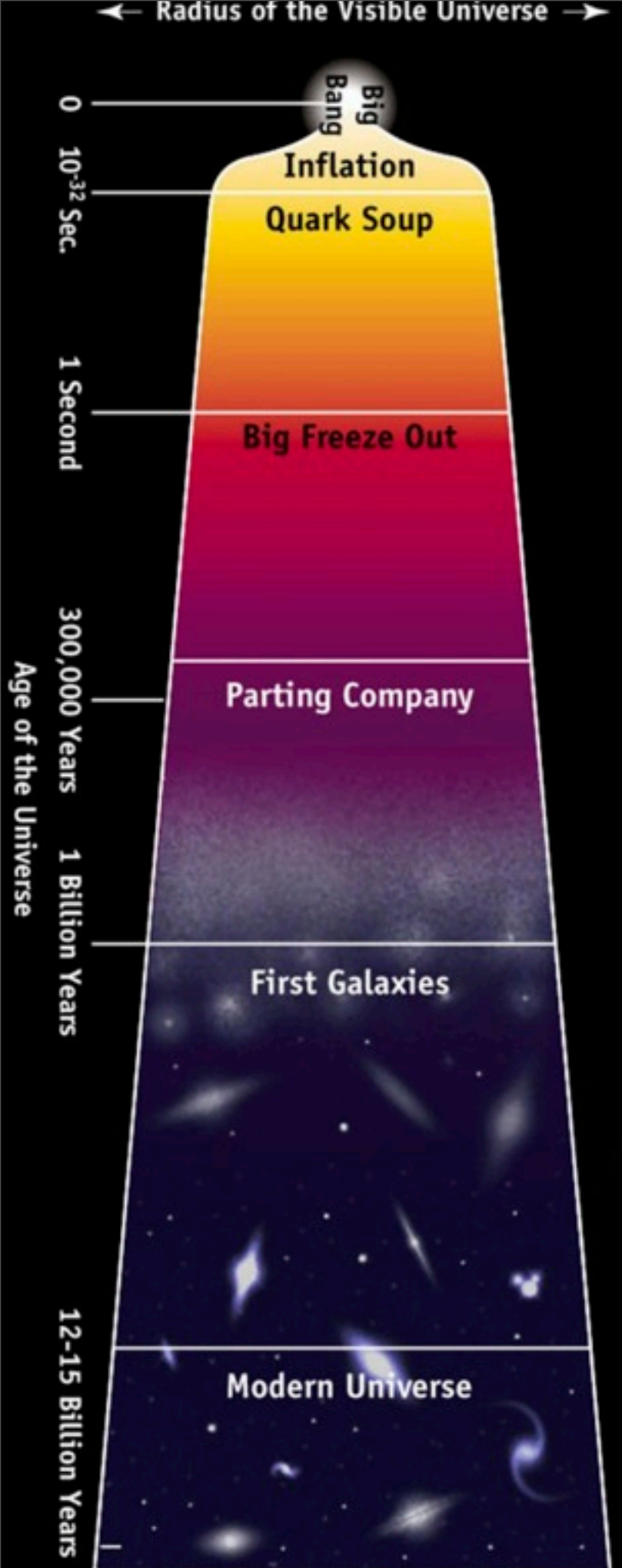
宇宙と生体の軽い元素



化学反応をしない希ガス以外は分布がよく似ている



私たちの体は宇宙そのもの！



宇宙元素合成

✓ ビッグバン直後には元素はなかった

- 宇宙の歴史と共に元素が生成されてきた
- 私たち自身の成り立ちを知ること

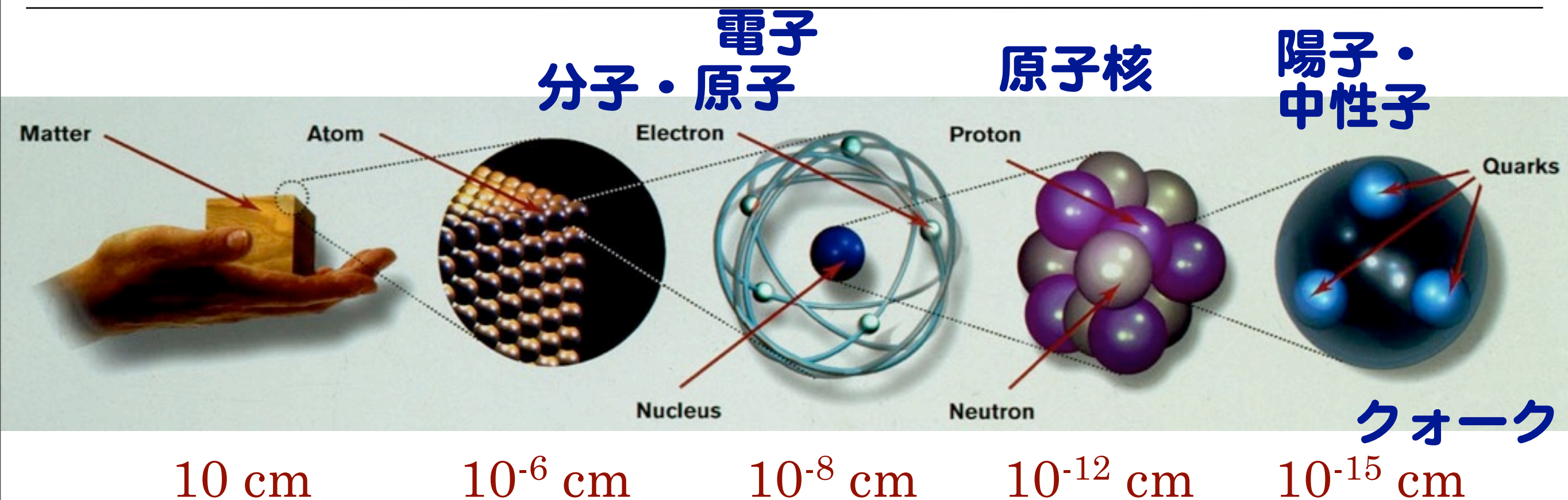
➡ 原子核物理学の最前線の研究分野の一つ
「宇宙元素合成」

✓ 3つの元素合成の舞台

- 1) ビッグバン直後3分頃
- 2) 恒星内部の核融合
- 3) 超新星爆発

➡ まず、「原子核物理学」の基礎

物質の成り立ち



$$10^{-6} = \frac{1}{1,000,000}$$

✓ 原子 = 原子核 + 電子

- 化学的性質を示す最小単位
- 電子の数（原子番号）が化学的性質を決定
- 元素は原子番号で決まる

✓ 原子核 = 陽子と中性子の集合体

- 陽子の数が原子番号

化学反応と原子核反応



1.5 V

✓ 個々の化学反応は、 $\sim \text{eV}$

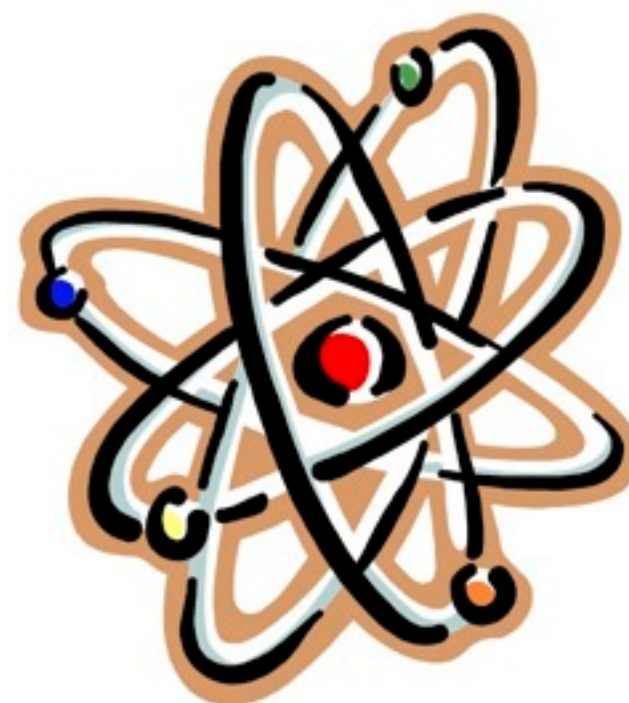
✓ 原子核反応は、 $\sim \text{MeV} = 10^6 \text{ eV}$

✓ $\rightarrow 100 \text{ 万倍！}$

エネルギーの単位；eV

1 eV；1 個の電子が 1 V の電圧から得るエネルギー

[1 eV = $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$]



$\sim \text{MeV}$

\rightarrow 電氣的な力

\rightarrow 核力 (強い相互作用)

\rightarrow 支配している力の種類が異なる

様々な原子核

${}^1_1\text{H}$

●
陽子
 $Z=1$
 $N=0$

${}^2_1\text{H}$

●●
重陽子
 $Z=1$
 $N=1$

${}^4_2\text{He}$

●●●●
ヘリウム
 $Z=2$
 $N=2$

${}^{12}_6\text{C}$

●●●●●●●●
炭素
 $Z=6$
 $N=6$

● ● ● ●

${}^{238}_{92}\text{U}$

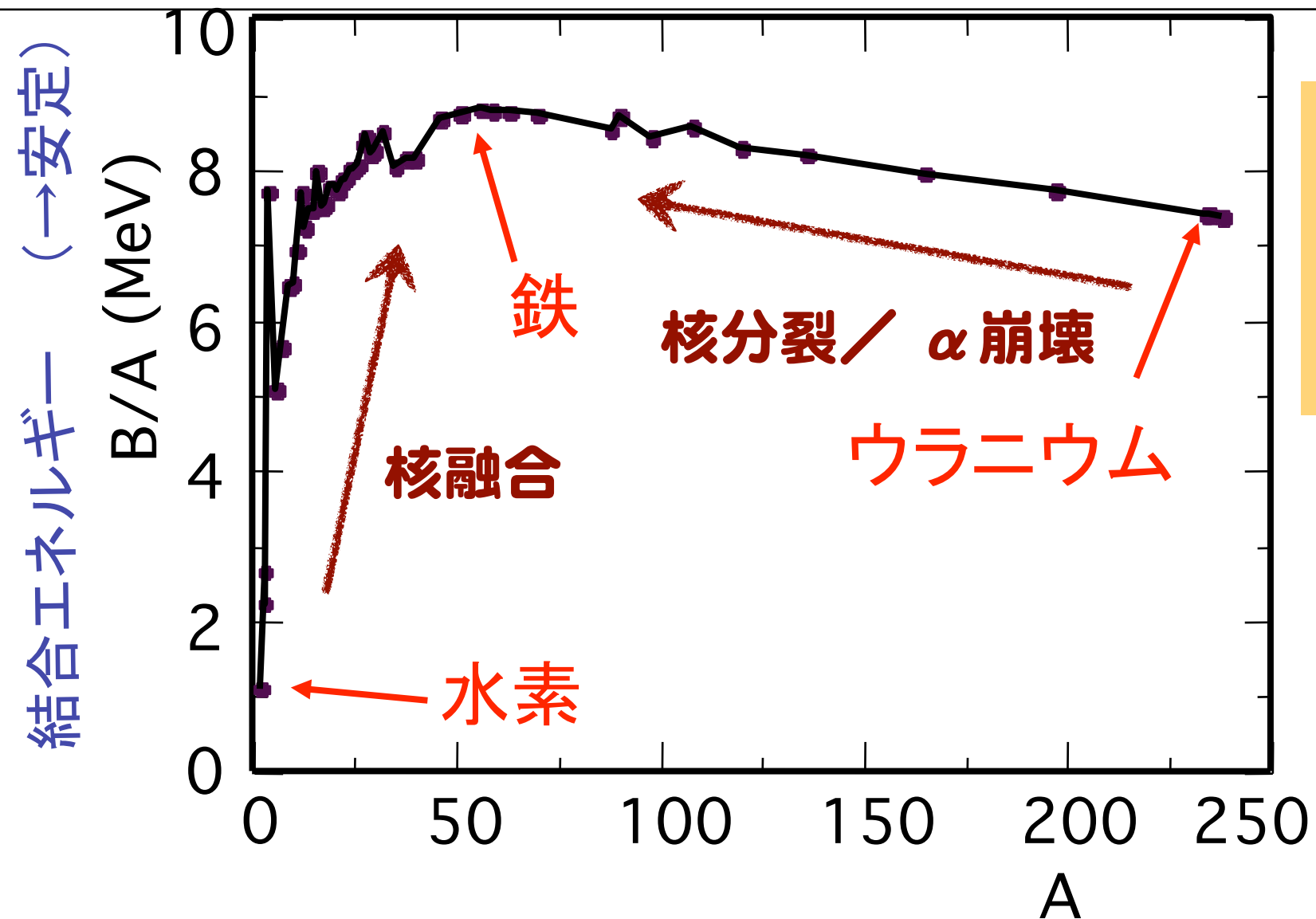
ウランウム
 $Z=92$
 $N=146$

$$A = N + Z$$
$$= 238$$

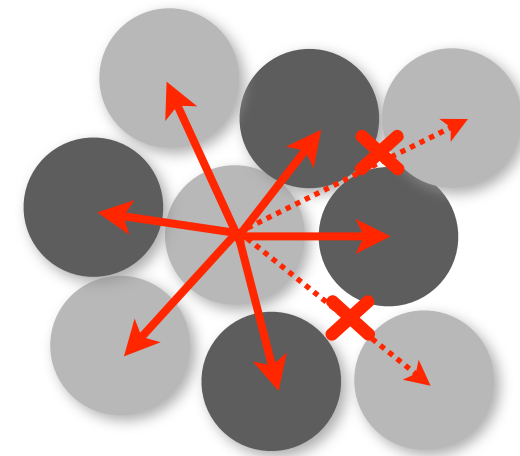
✓ 原子核

- 原子の中心に存在し、原子の質量の殆どを占める
- 多くの核子（陽子や中性子）が集まった原子核ほど大きい
- 原子核の安定性；核子数と、陽子数と中性子数のバランスが重要

原子核の安定性：結合エネルギー



原子核の結合エネルギー；
原子核の核子をばらばらにする
ために必要なエネルギー。
どのくらいしっかりと核子が結
合しているかを示す。

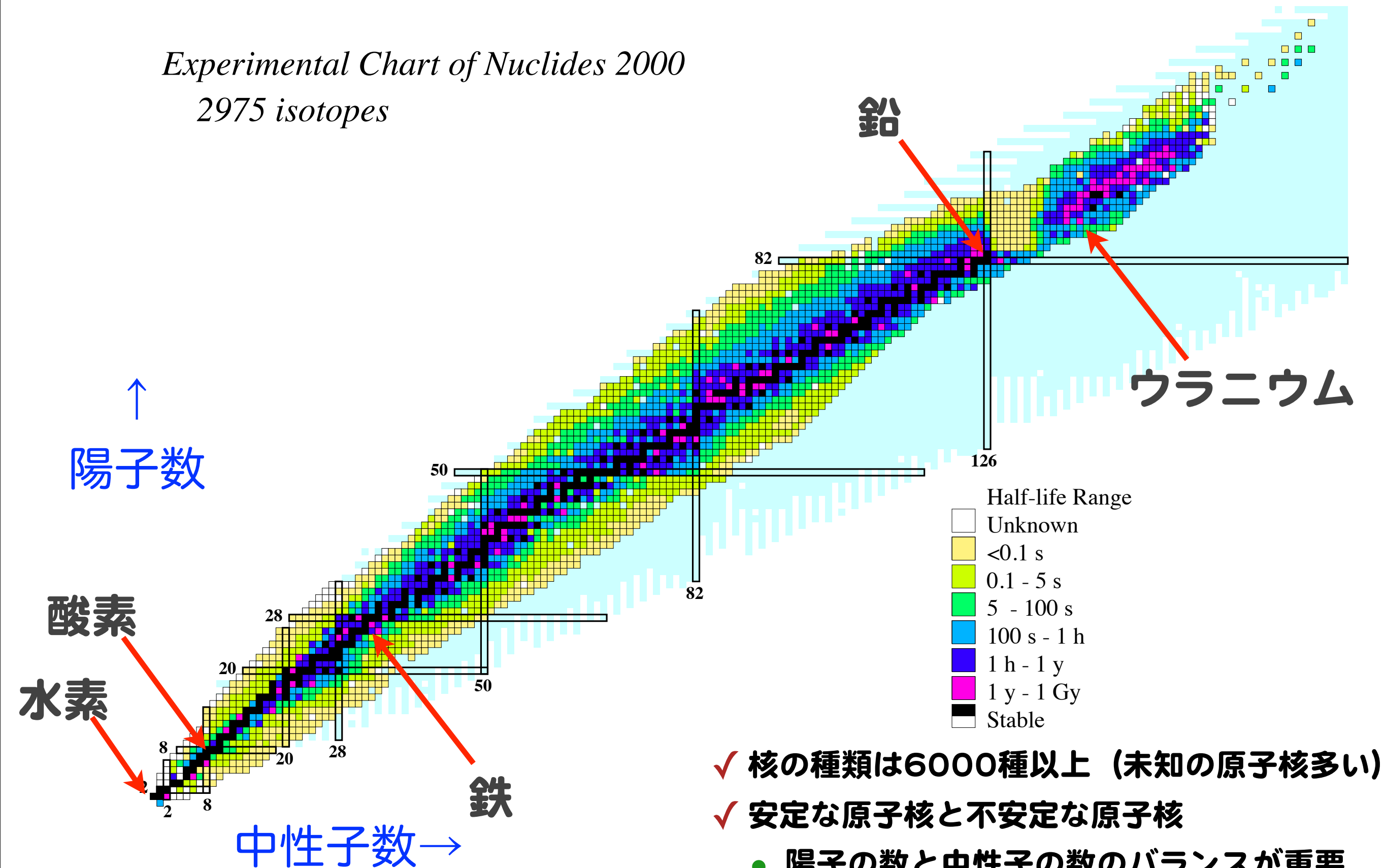


✓ 核子（陽子や中性子） 1 個あたりの結合エネルギー

- 隣り合った核子間で強い引力が働く → 一定の値 ~ 8 MeV
- 陽子と陽子の間には電気的な斥力が働く
- 鉄あたりが最も安定な原子核 → (核融合と核分裂)

多種多様な原子核

Experimental Chart of Nuclides 2000
2975 isotopes



- ✓ 核の種類は6000種以上 (未知の原子核多い)
- ✓ 安定な原子核と不安定な原子核
 - 陽子の数と中性子の数のバランスが重要

多種多様な原子核



安定な原子核

陽子数 (Z)

6

^{12}C

炭素

5

^{10}B ^{11}B

ホウ素

4

^9Be

ベリリウム

3

^6Li ^7Li

リチウム

2

^3He ^4He

ヘリウム

1

^1H ^2H

水素

1

2

3

4

5

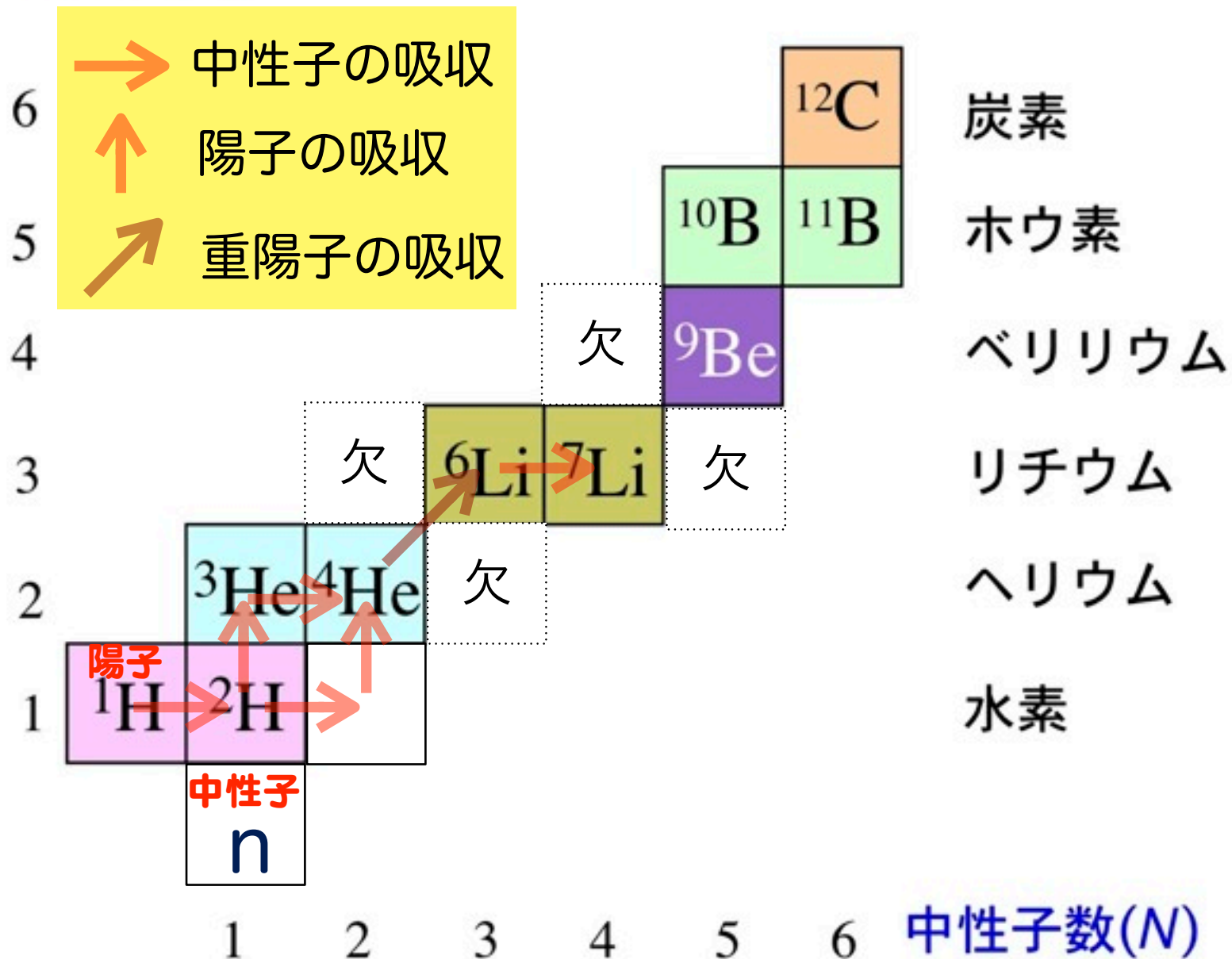
6

中性子数 (N)

1) ビッグバン元素合成



陽子数 (Z)



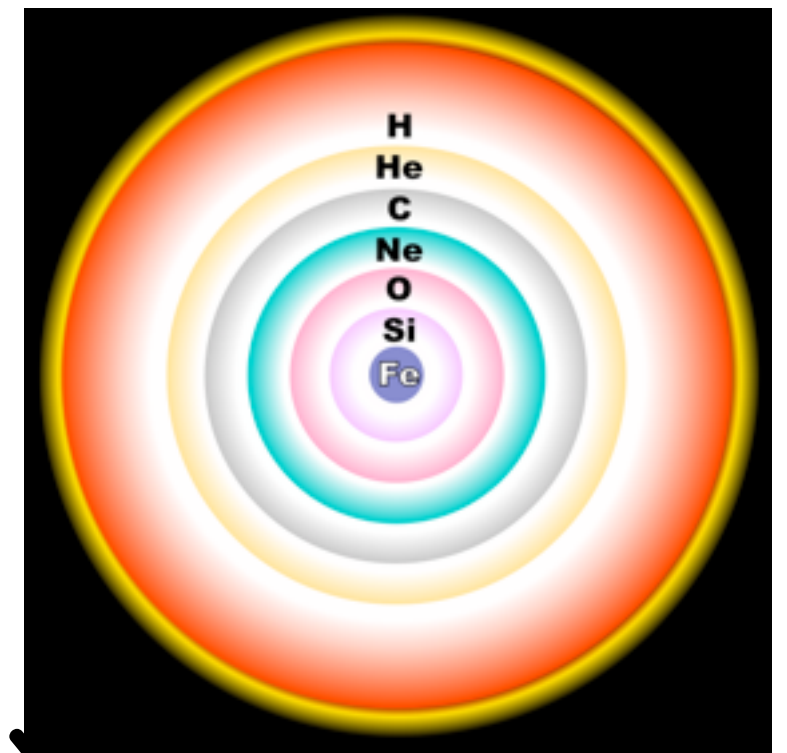
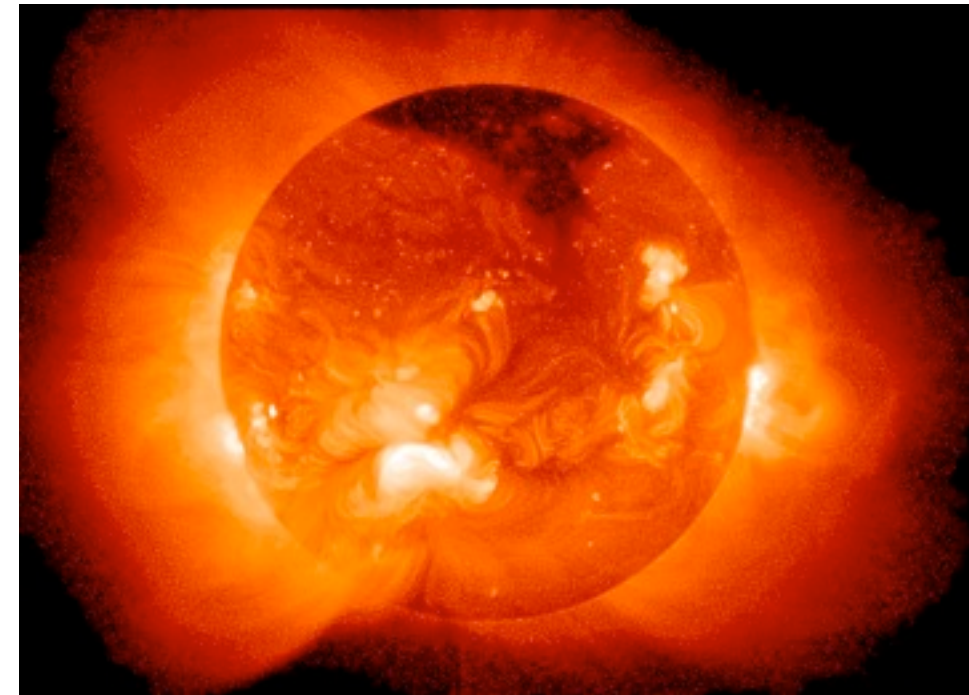
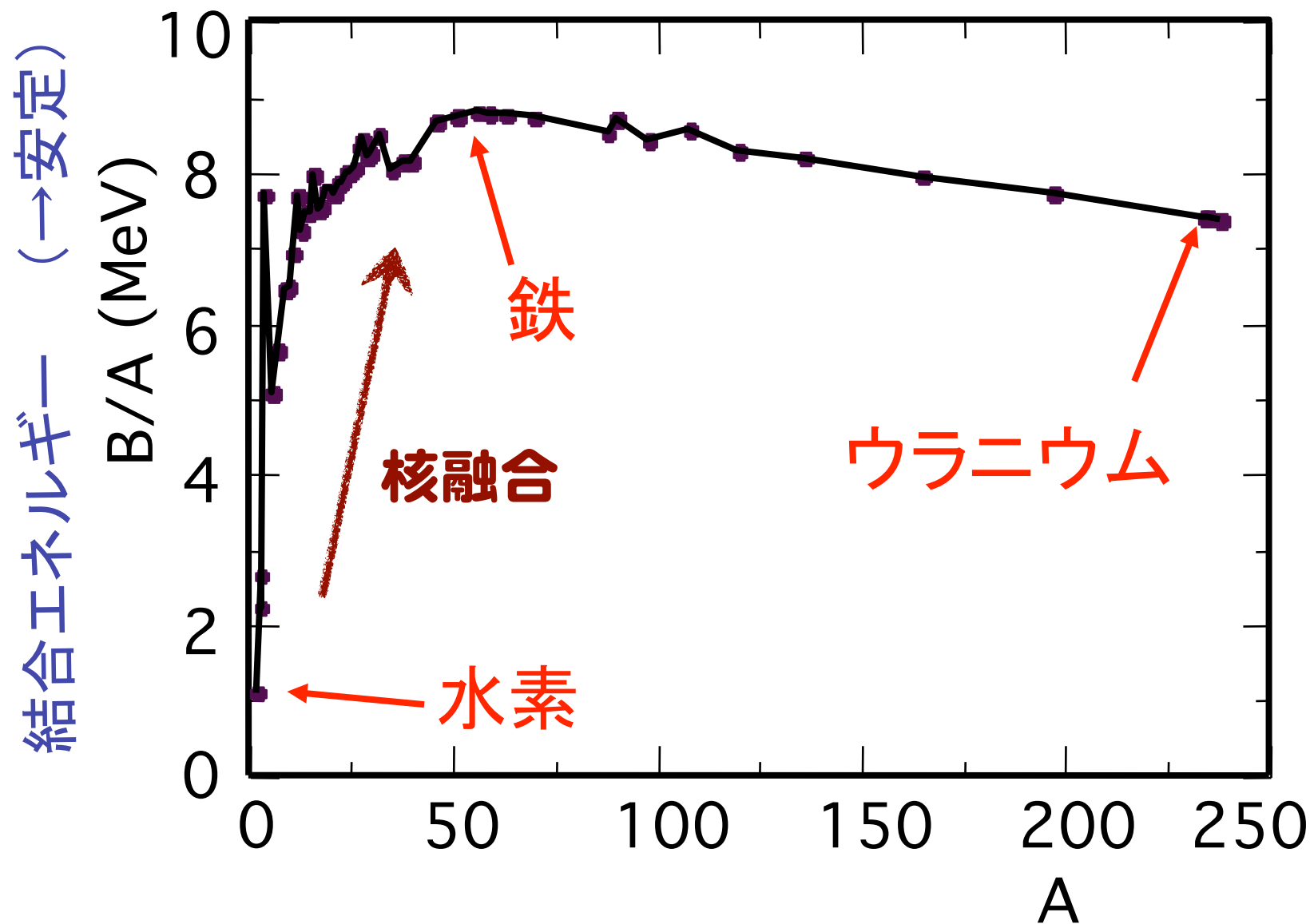
✓ 陽子と中性子から出発

- 中性子と陽子が結合して原子核になる
→ 衝突毎に成長していくが、核子数5と8の安定核は存在しない
- 中性子は10分で崩壊
- 宇宙膨張で密度・温度が下降し、20分程度で元素合成は止まった
→ 水素(~80%)
→ ヘリウム(~20%)
→ リチウム(極少量)

2) 恒星内部の核融合



A standard periodic table of elements, color-coded by groups. It includes the main groups, transition metals, and the lanthanide and actinide series at the bottom.

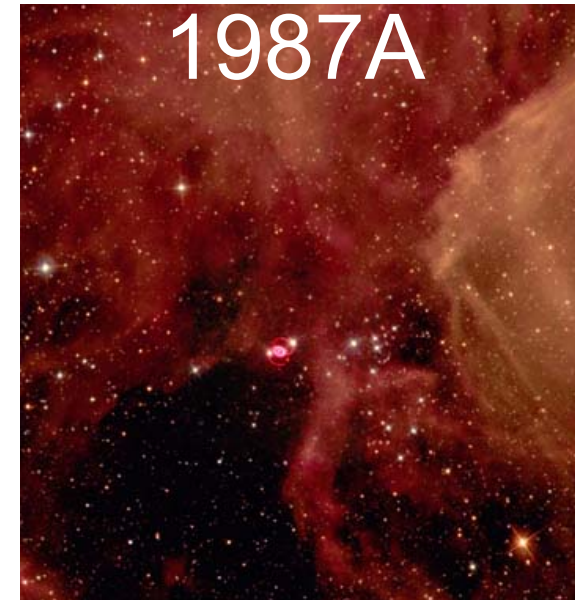
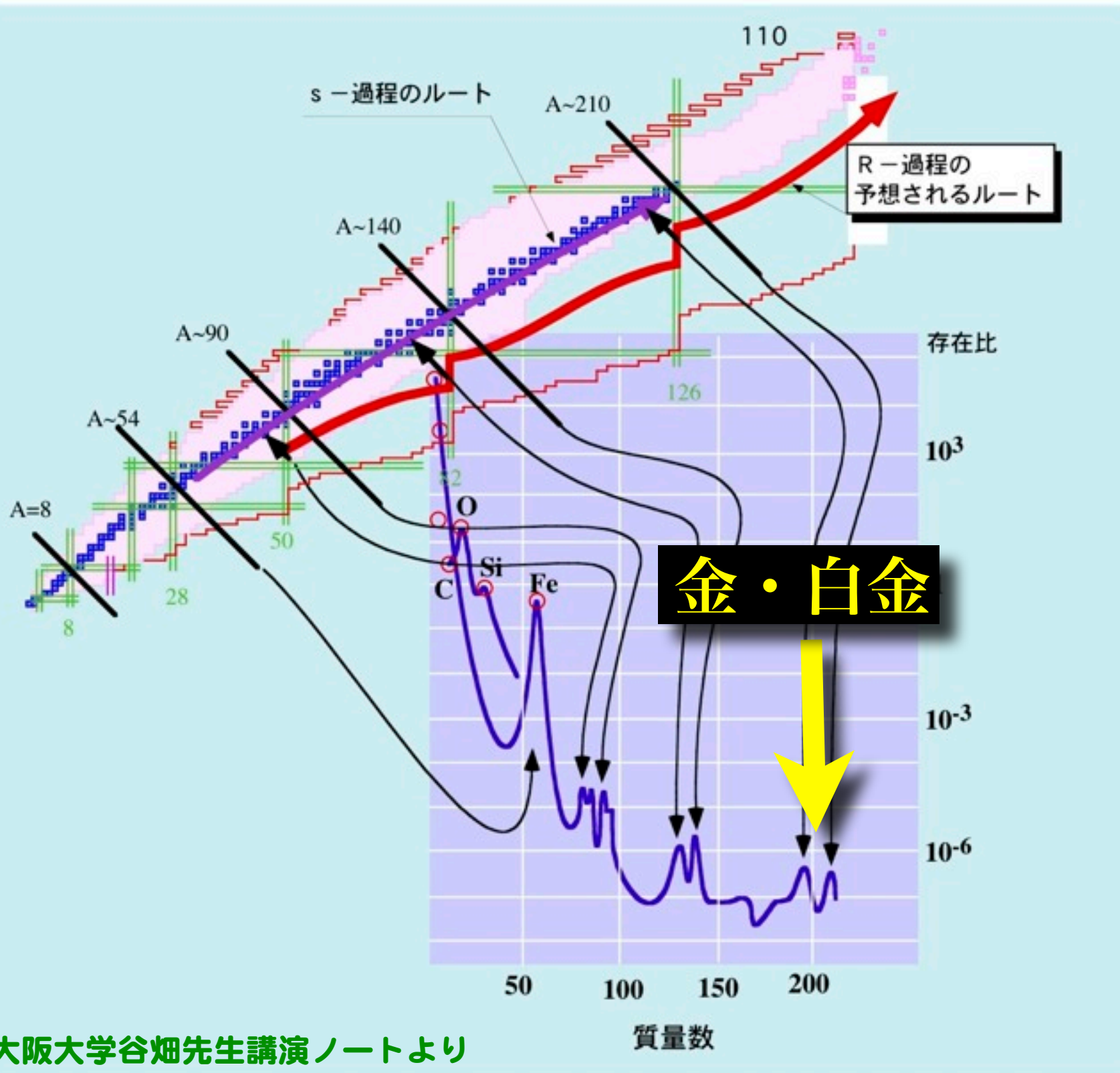


- ✓ ゆっくりと核融合反応が起こる
- ✓ 但し、原子核の安定性から鉄まで、



Wikipediaより

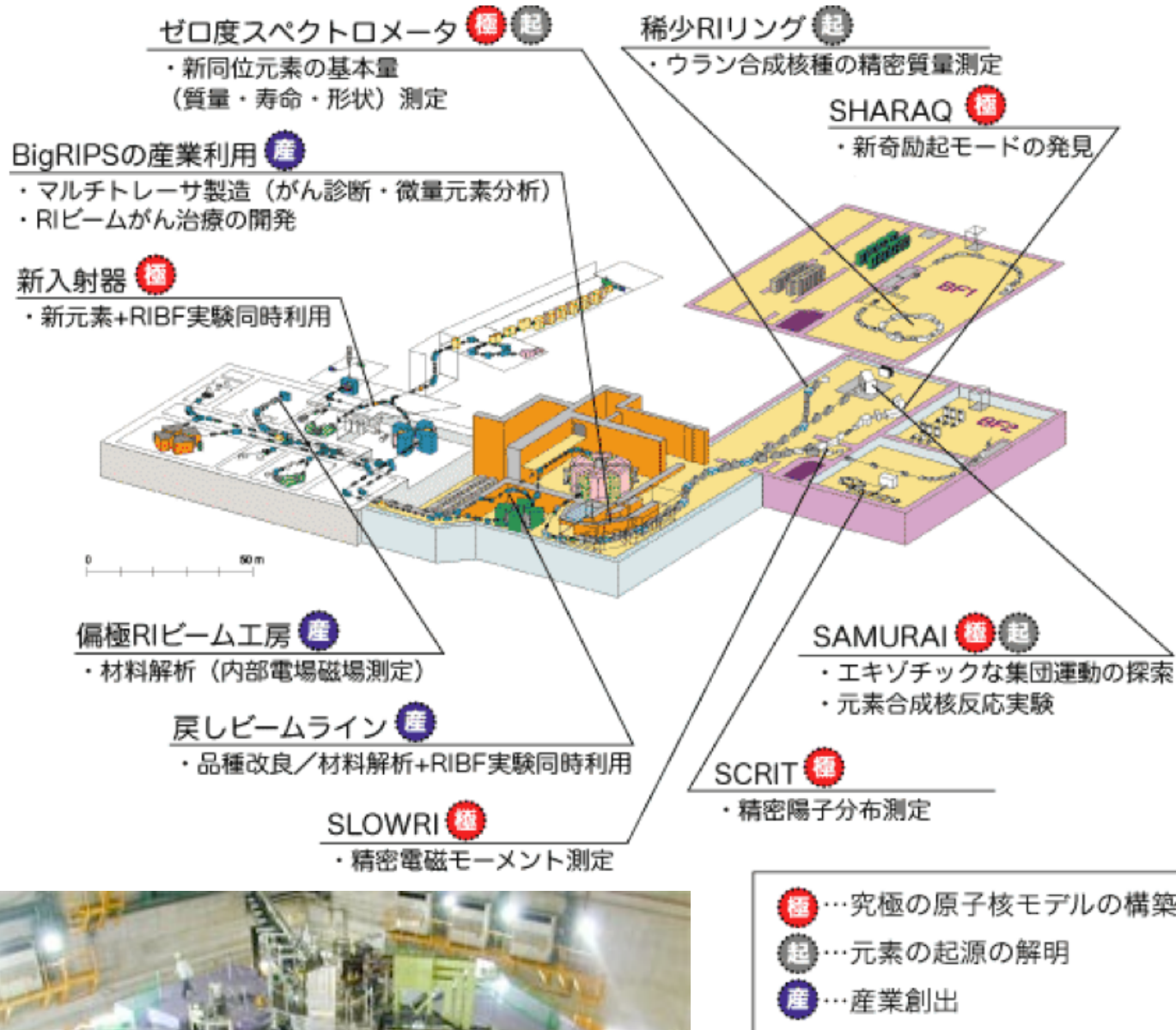
3) 超新星爆発中の元素合成



- ✓ 核融合材料を使い尽くした星の最期
- ✓ 短時間に爆発的な元素合成が起こった？
- ✓ 未知の原子核領域を通過する反応

➡ 加速器を用いて
研究

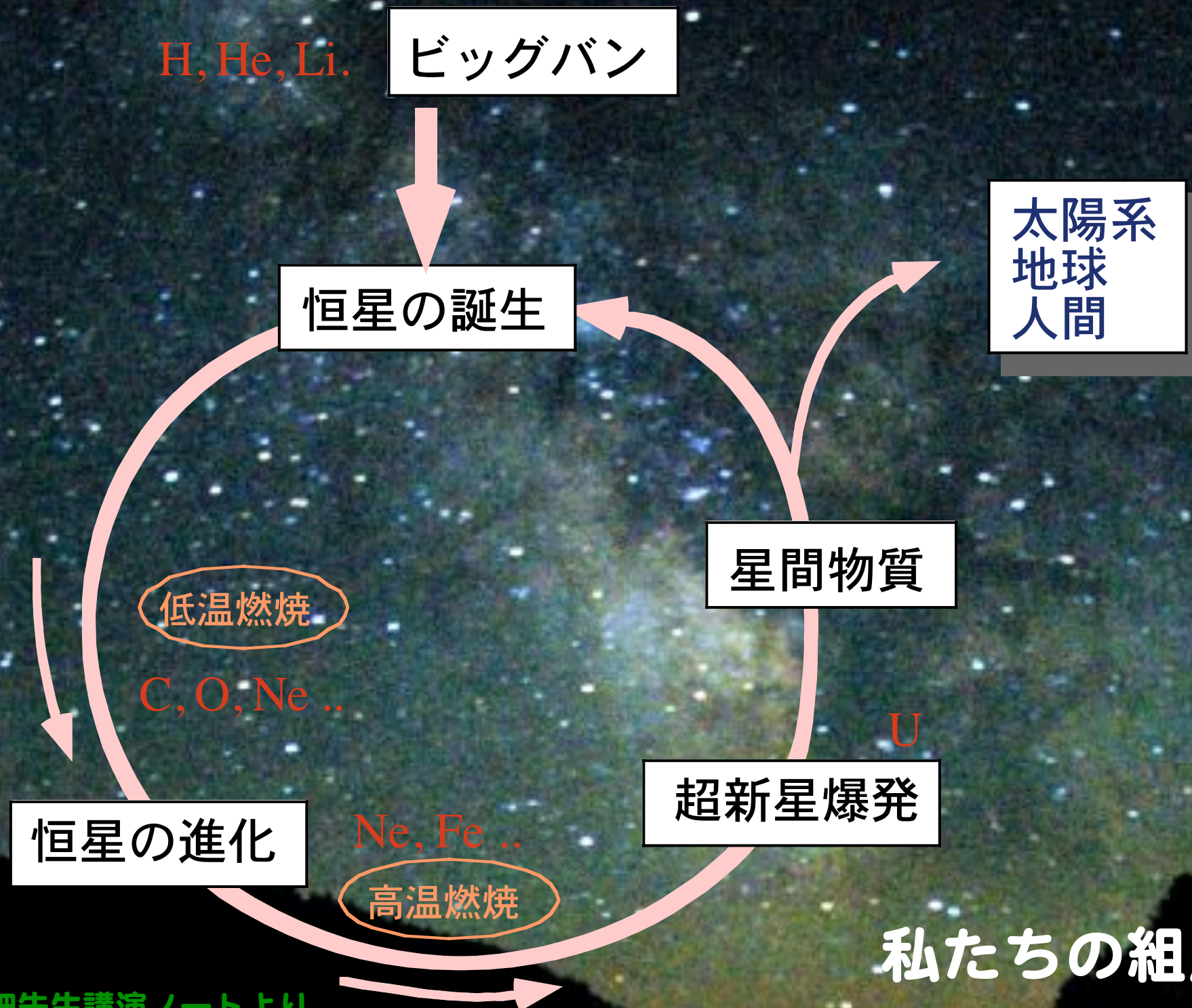
RIビームファクトリー



- ✓ 理化学研究所の加速器
研究施設
- ✓ 未知の原子核を加速器
で製造
- ✓ 元素合成、特に超新星
に伴う爆発的要素合成
の仕組み

理化学研究所HPより

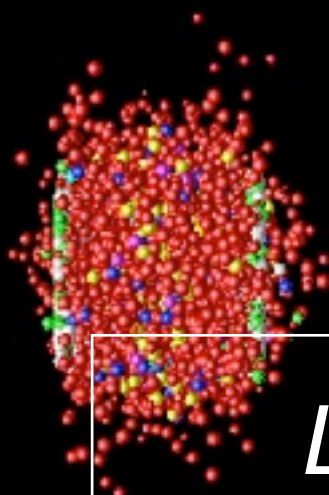
元素は宇宙の進化とともに作られてきた



私たちの組成は宇宙と同じ

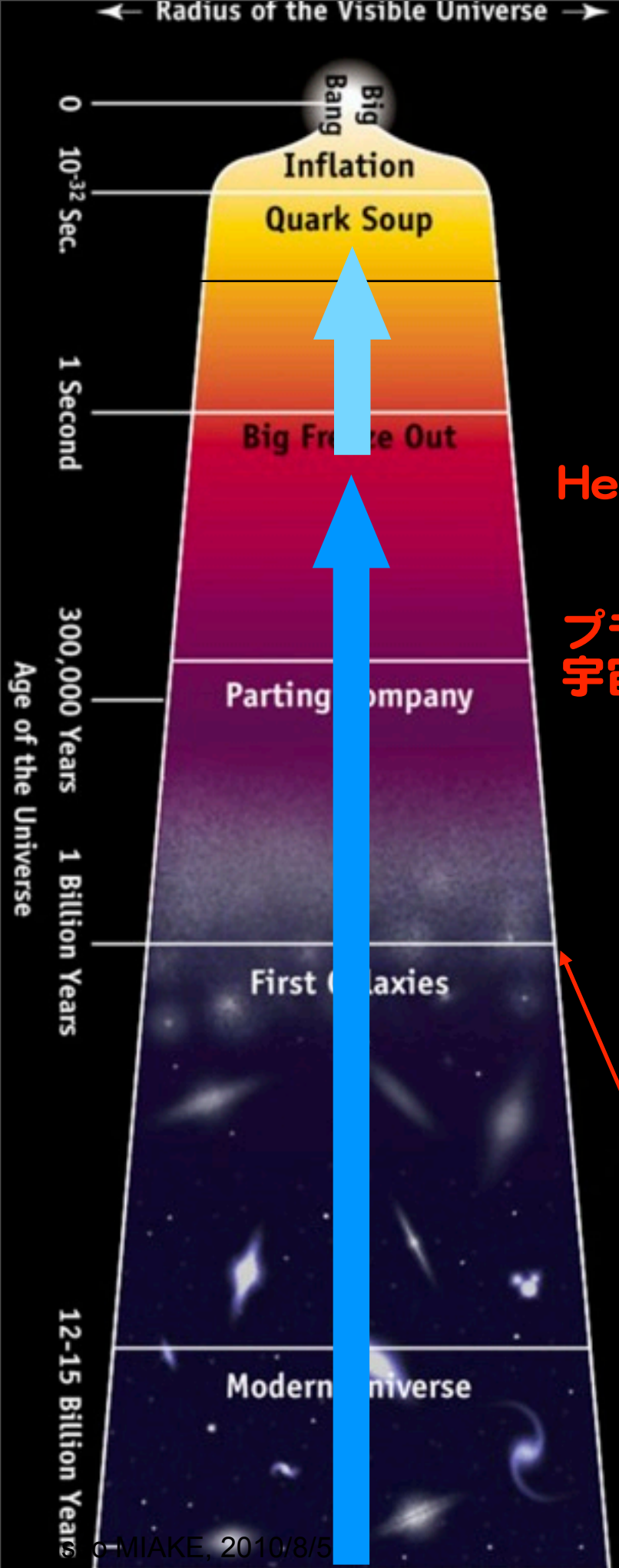
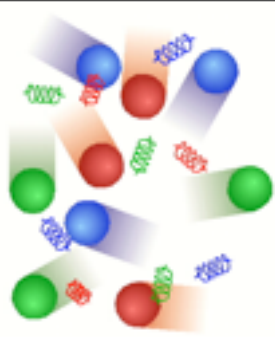
Big Bang

加速器を用いた 初期宇宙の研究



Little Bang

さらに一步先へ



✓ ビッグバン宇宙論

- 137億年前に大爆発とともに私たちの宇宙が発生
- 想像もつかない高温・高密度状態から膨張し、膨張と共に温度が低下してきた

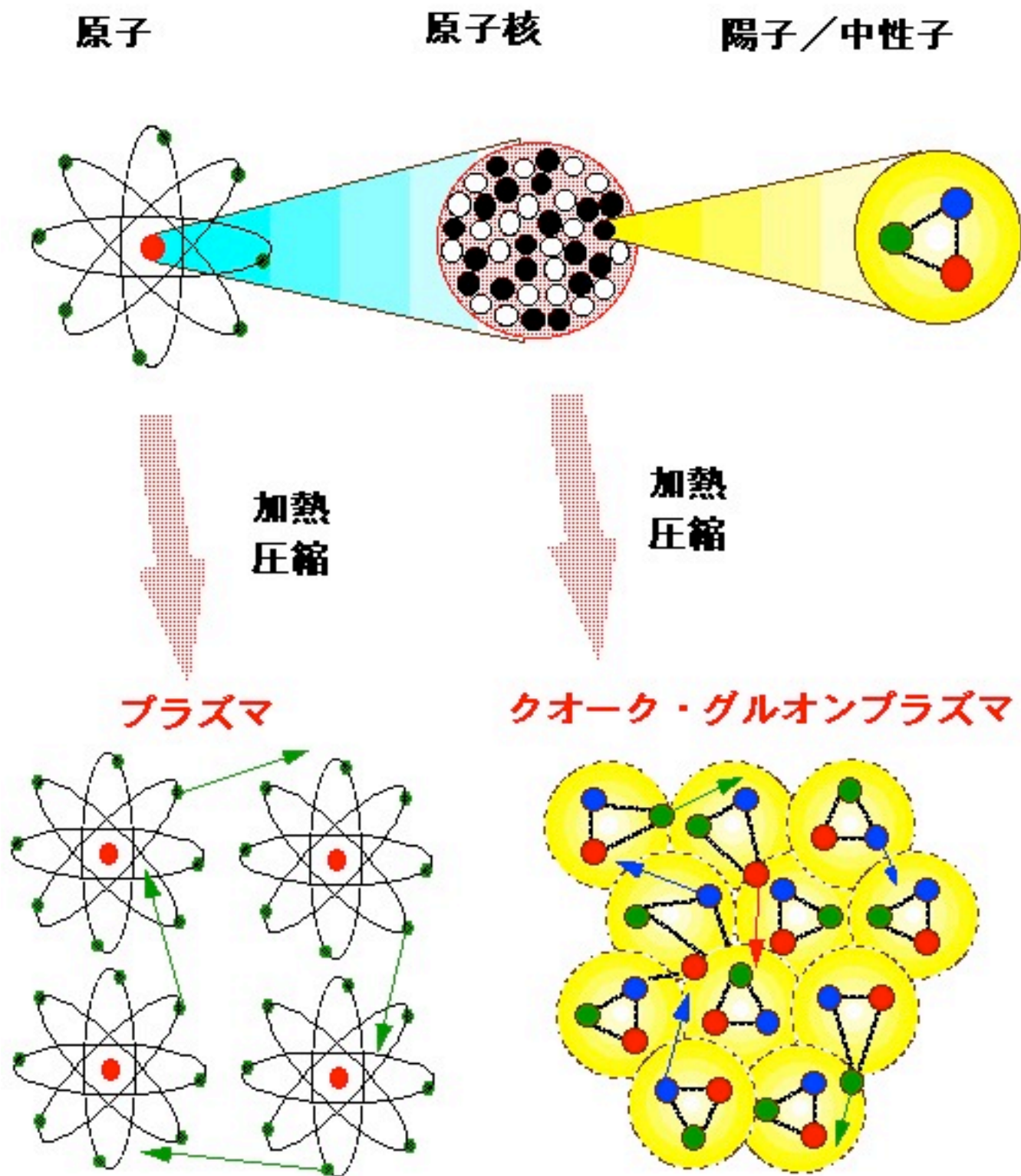
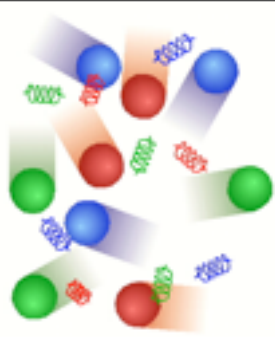
✓ 宇宙の進化を遡る研究

- ⇒(10億年)遠方銀河の赤方偏移
- ⇒(30万年)宇宙背景放射
- ⇒(3min)ビッグバン元素合成

✓ 宇宙創生3分後より、さらに遡る！

- 陽子や中性子の出来るより前の高温・高密度物質とは？

未知なる物質状態

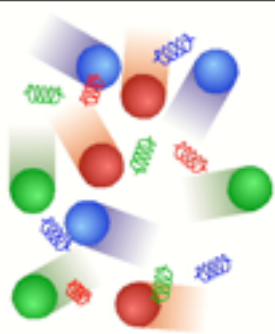


✓ 陽子や中性子などが存在する
より前の高温・高密度状態に
おける物質の存在の仕方

⇒ クォーク・グルーオン
プラズマ状態

- 物質の存在の仕方として全く
未知
- 宇宙初期の物質状態

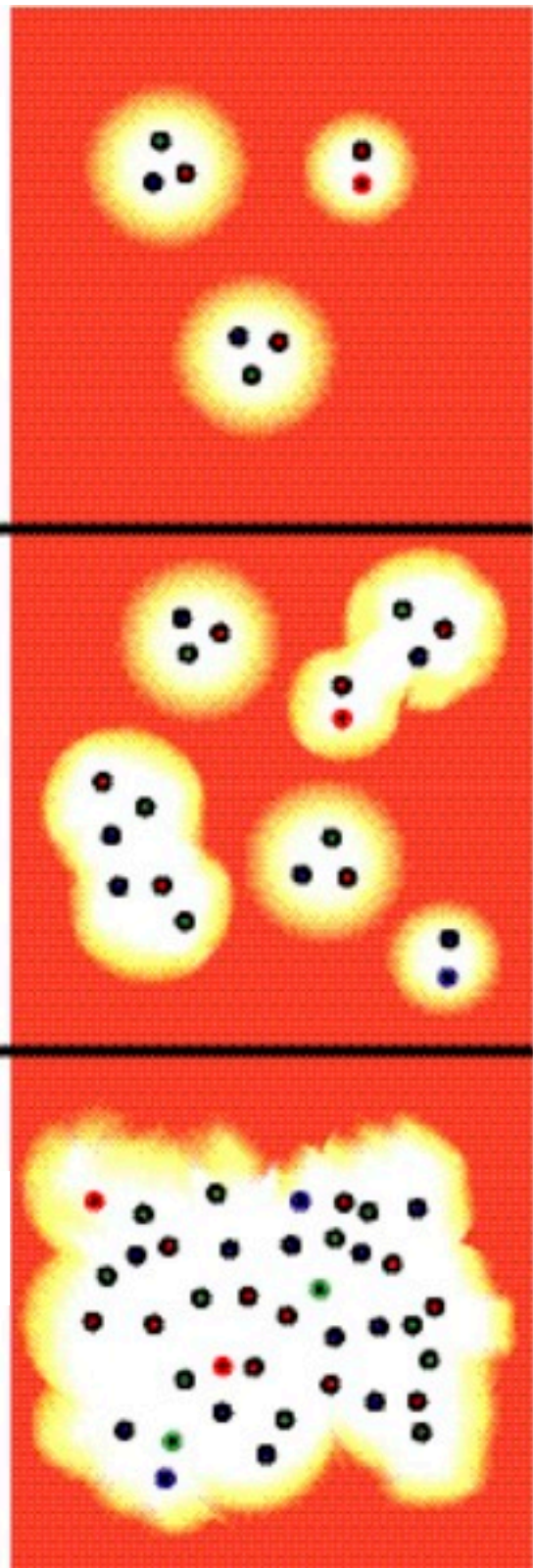
クォーク・グルーオンプラズマ



陽子、中性子や
中間子など
 T, ρ low

相転移
phase transition
 T, ρ critical

クォーク・グルーオン
プラズマ状態
 T, ρ high



✓ 陽子や中性子

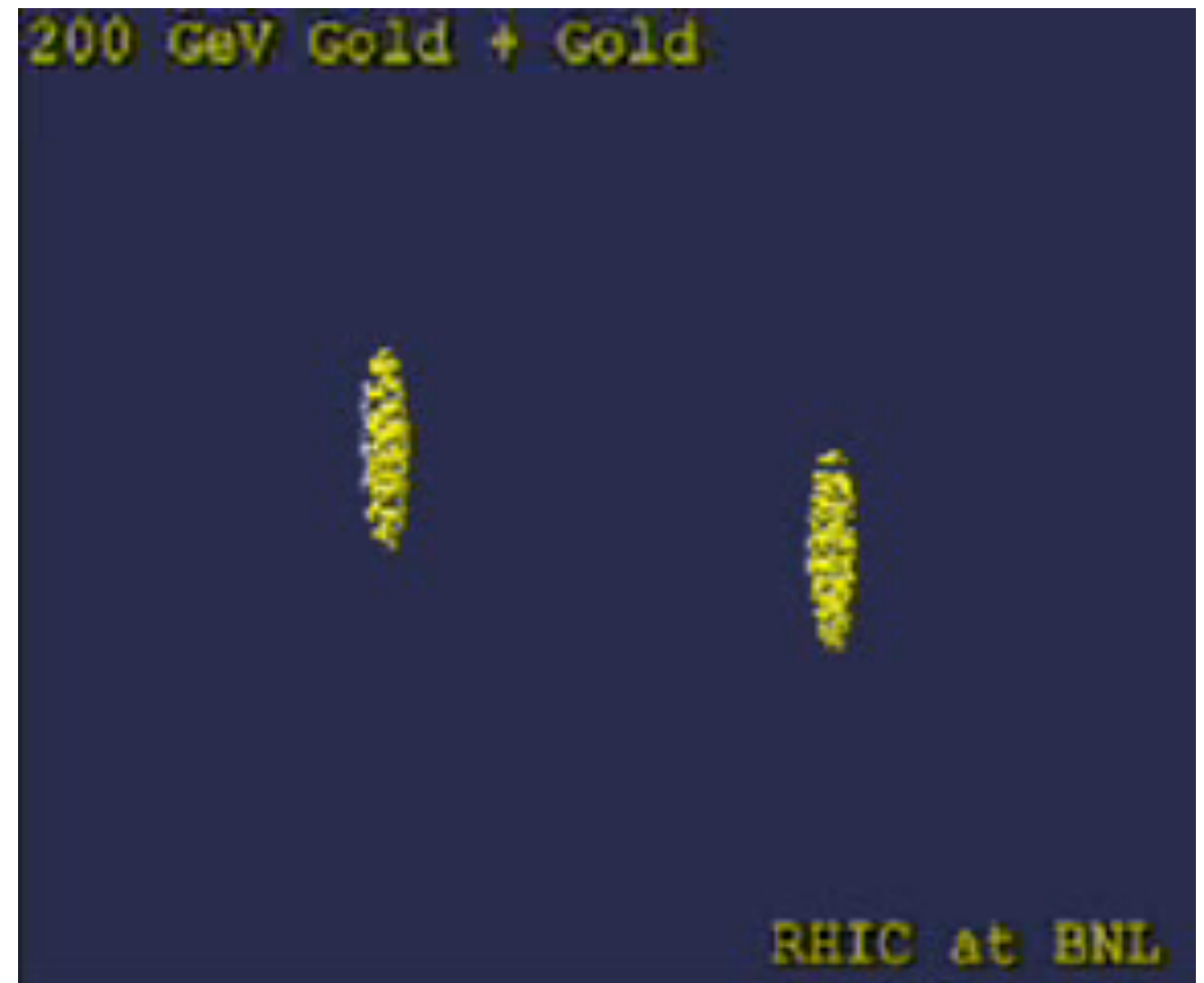
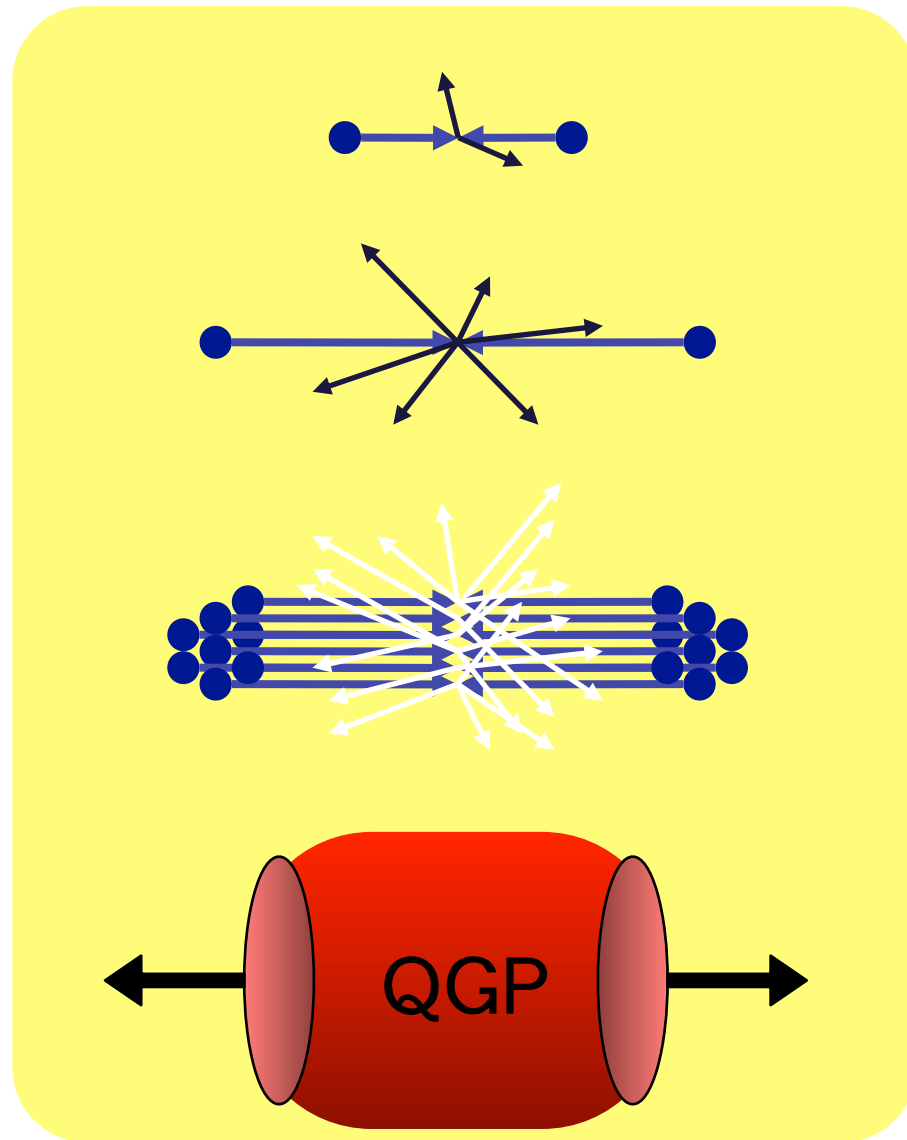
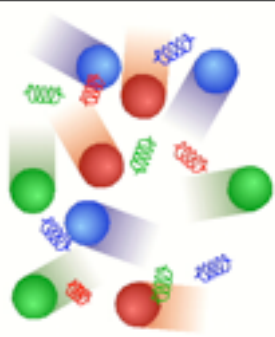
- ハドロン（陽子、中性子や中間子）は、1fm程度の大きさを持ちクォークと媒介粒子グルオンから構成されている。
- 3つのクォークかクォーク・反クォーク対
- 量子色力学（QCD）の世界
 - ➡ クォークの閉じ込め
 - ➡ 漸近的自由度
- バッグ模型によるハドロンの構造の理解

✓ 大きさを持つハドロンを狭い空間に多重発生させると（高温・高密度状態）、が起こる？

- クォーク・グルオンが比較的大きな体積中を自由に飛び回る状態が実現する。

クォーク・グルオンプラズマ状態

実験室で作る方法

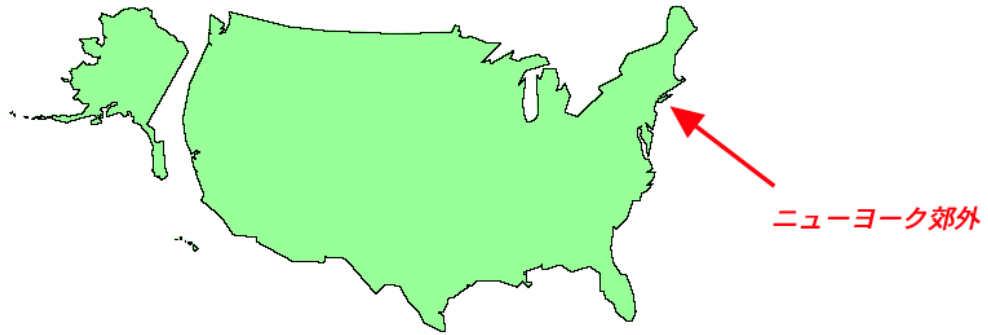
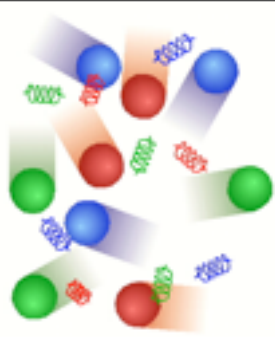


✓ 相対論的高エネルギーまで加速された原子核と原子核を正面衝突させる。

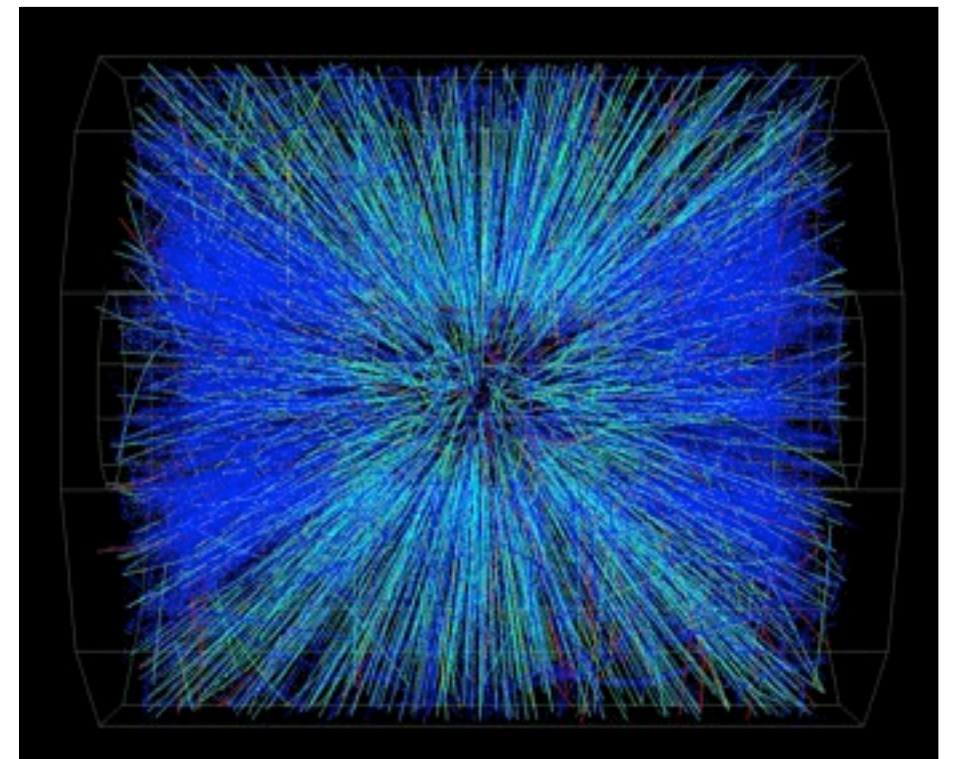
- 核子 ($m \sim 1 \text{ GeV}/c^2$) あたり $100 \sim 1000 \text{ GeV}$ まで加速
- 持ち込まれた運動エネルギーの一部が原子核程度の空間に解放される

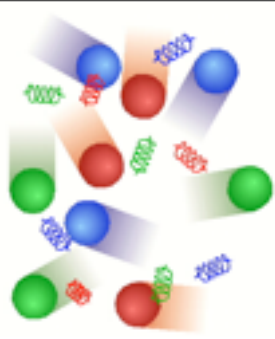
⇒ ⇒ $> \text{GeV} / \text{fm}^3$ の生成!

Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC)



- ✓ 全周約3.8 km
- ✓ 計864個の電磁石
- ✓ 実験室中央で右回りと左回りのビームが衝突
- ✓ 2000年から実験
→液体状のQGPの生成に成功

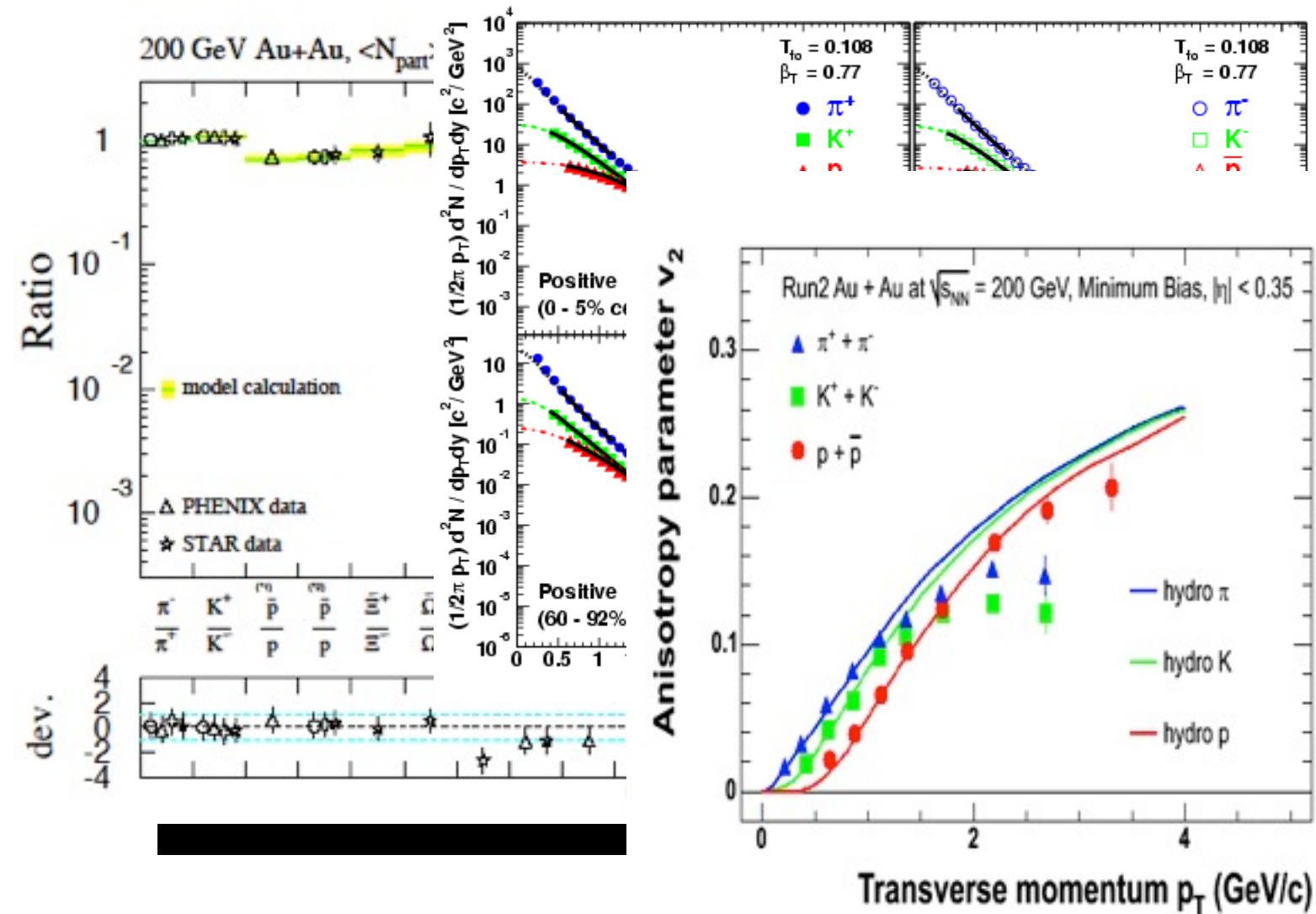




QGP生成の実験的証拠

様々な粒子

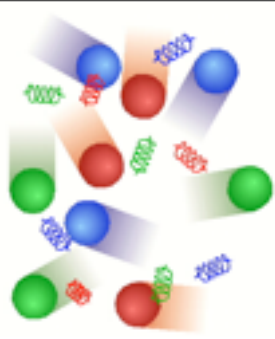
QGP



✓ 反応で発生する多数の粒子を詳細に分析

- 粒子比、エネルギー分布、角度分布すべてが高温物質の存在を示唆

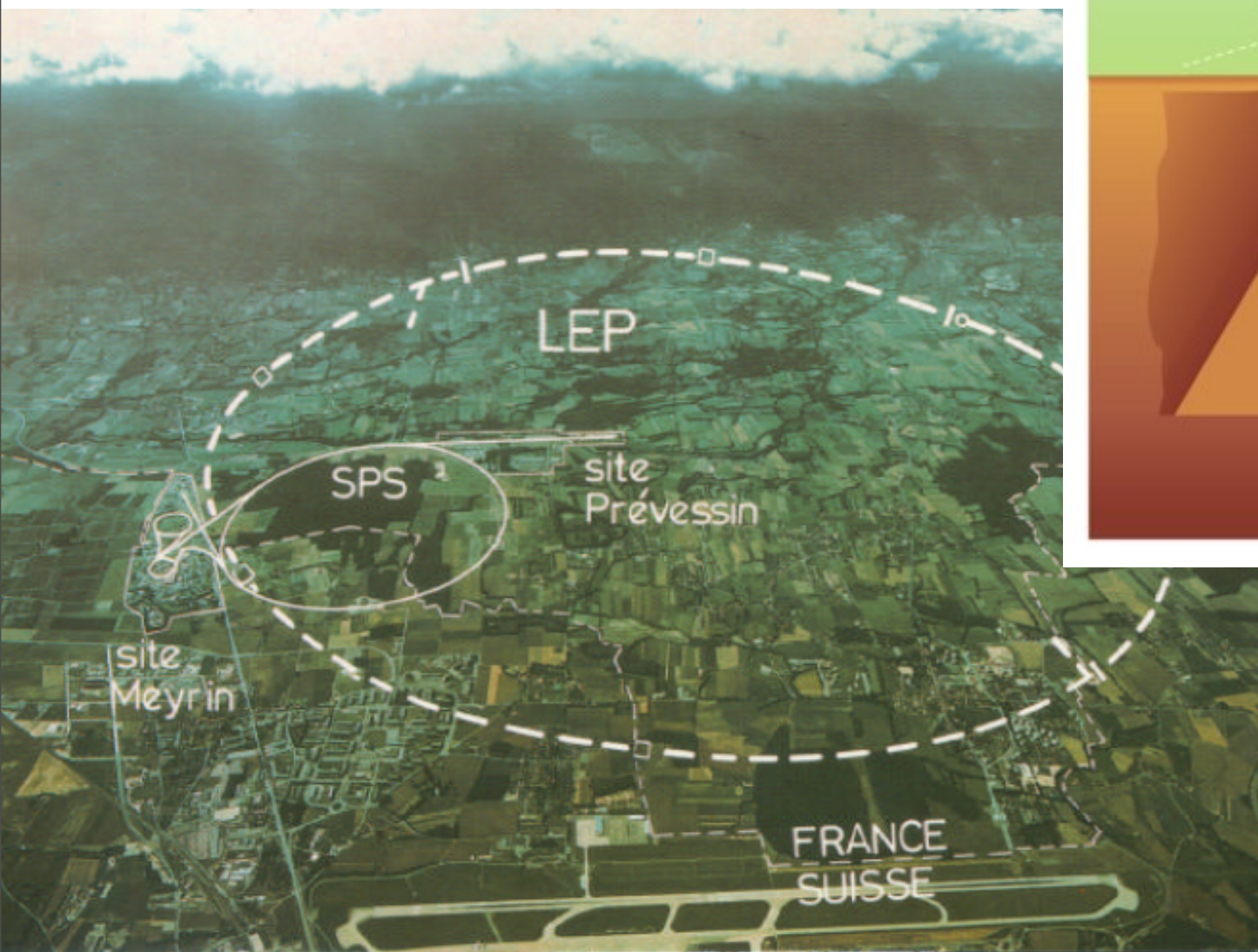
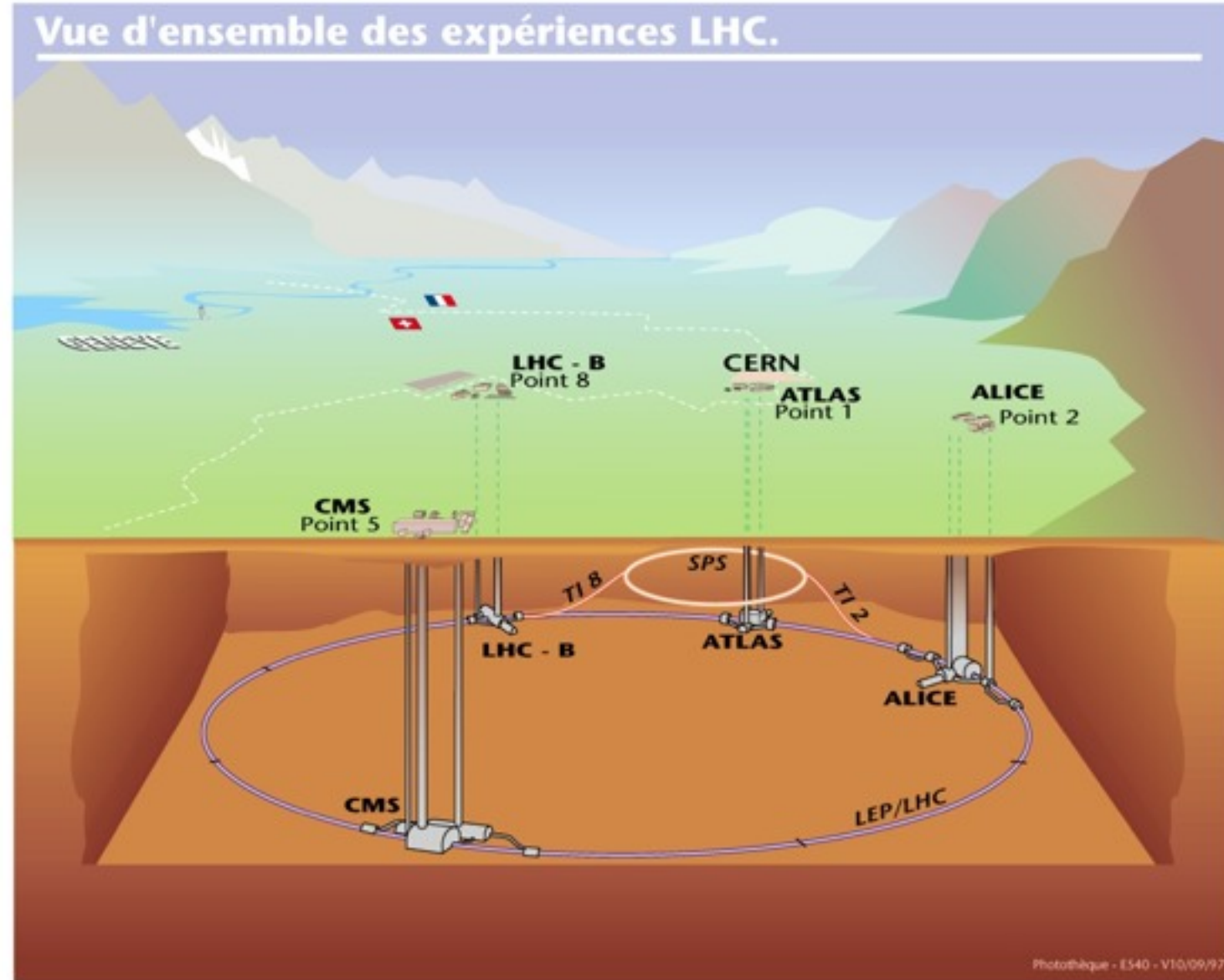
⇒ QGP生成！ 驚きの完全流体（粘性零）！？



新世代の巨大加速器 LHC



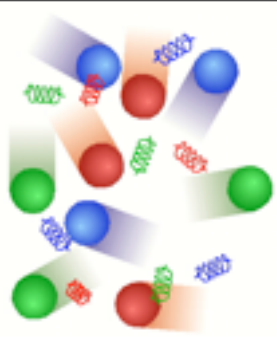
ジュネーブ郊外
フランスとスイス



全周27kmの世界最大・最高エネルギーの巨大加速器

鉛の原子核同士の衝突へ

LHCで何が変わるか？



	RHIC	LHC
$\sqrt{s_{NN}}$ (GeV)	200	5500
T/T_c	1.9	3.0-4.2
ε (GeV/fm ³)	5	15-60
τ_{QGP} (fm/c)	2-4	>10

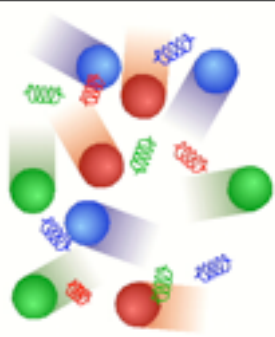
✓ 衝突エネルギーが20倍に！

- より高温に、より高エネルギー密度に、そして大きなクォーク・グルーオンプラズマ状態が生成されるはず
- 流体の性質が変化するかも？

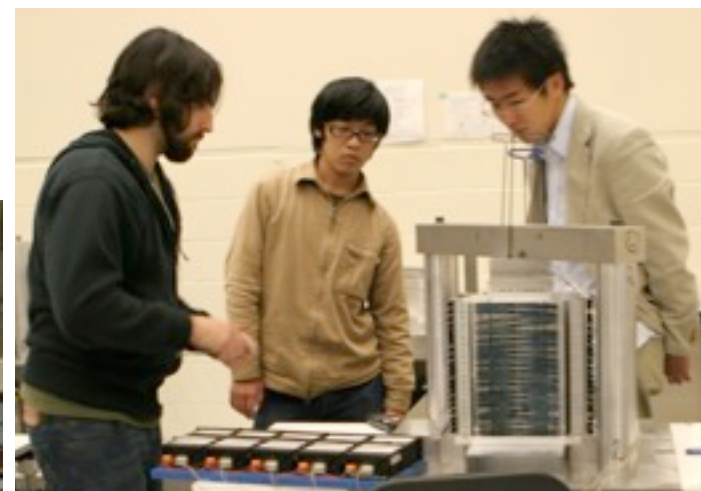
✓ 2010年11月に鉛・鉛衝突実験を開始

大阪科学医療グループ・石橋達平

国際共同研究と教育



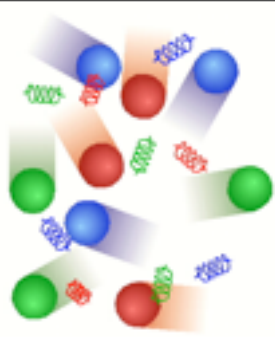
- ✓ 基礎科学研究を国際協力で進める
- ✓ 日常的な国際協力
- ✓ 教育の国際化
- ✓ 大学院生の活躍
 - 鍛える教育



Yasuo MIAKE, 2010/8/5

2010年8月4日水曜日

まとめ



✓ ビッグバン宇宙論

- 膨張する宇宙と、その証拠

⇒ ハッブル則、宇宙背景放射、
初期元素合成

✓ 宇宙元素合成

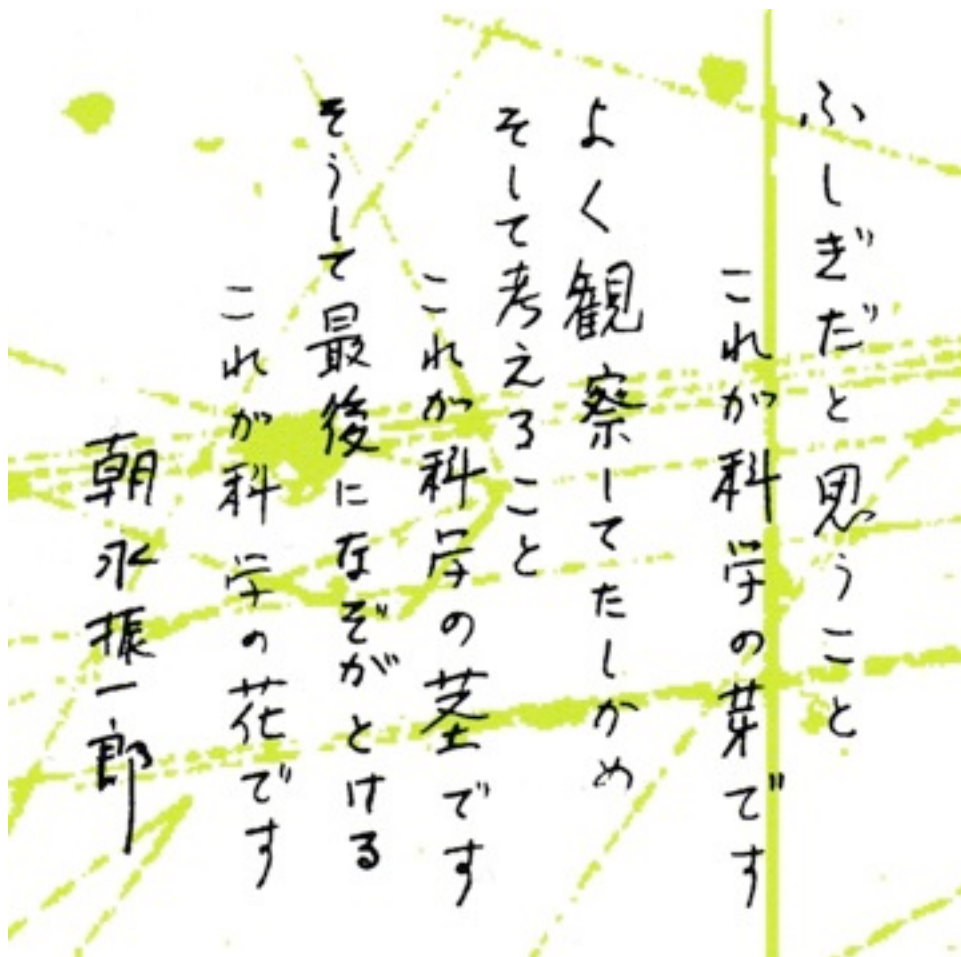
- 私たちの体は宇宙そのもの
- 宇宙の進化と共に元素が作られた

✓ 加速器を用いた初期宇宙再現

- LHCによる新しい時代の幕開け
- 国際協力と大学院生の重要性

⇒ 科学の営みは楽しい。楽しさを伝える努力を！

⇒ 常識に囚われず「真実」を見極める能力を！

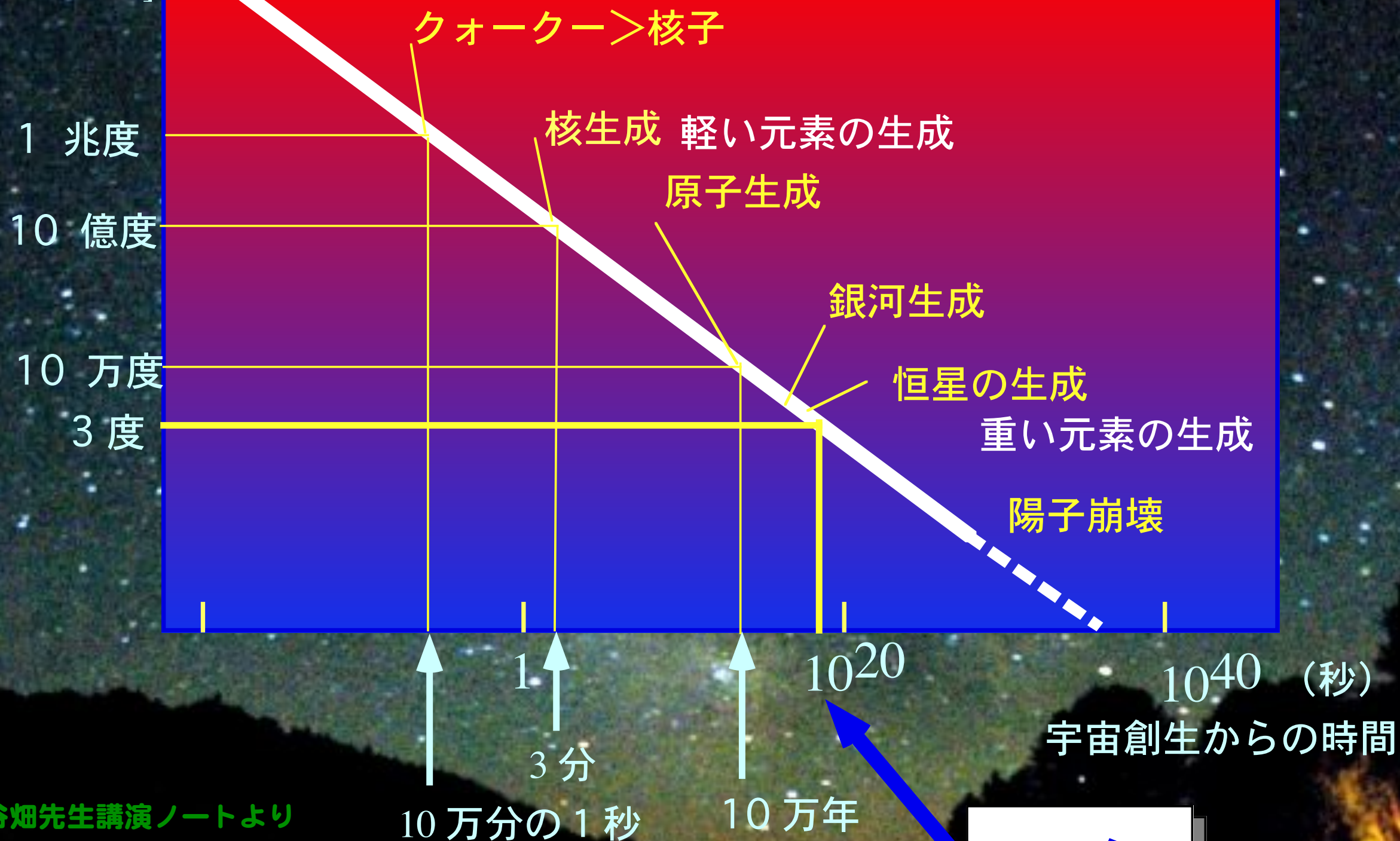


参考資料



宇宙の温度

絶対温度 (K)
[0 °C = 273 K]

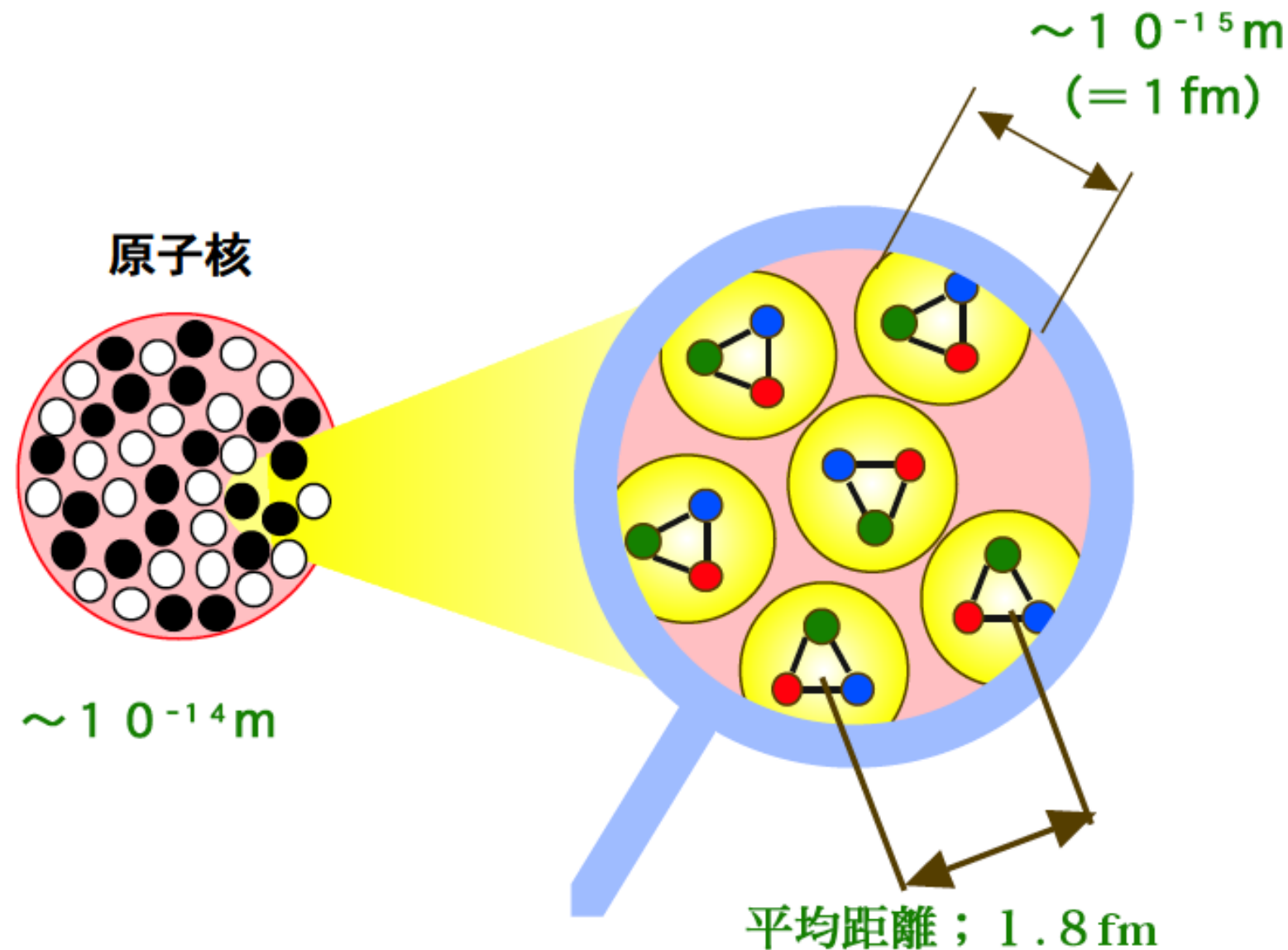
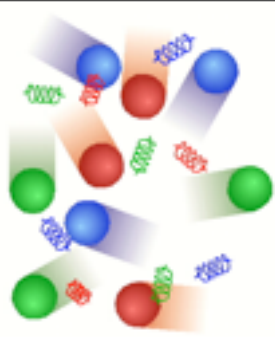


大阪大学谷畑先生講演ノートより



Wikipediaより

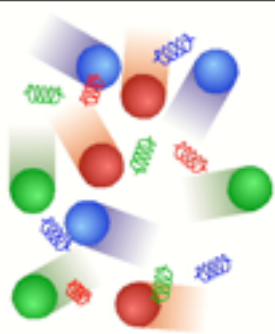
原子核は最も身近な高密度物質



→原子核を加熱・圧縮
すると、クォーク・グ
ルーオンプラズマを実
験室で作れる！？

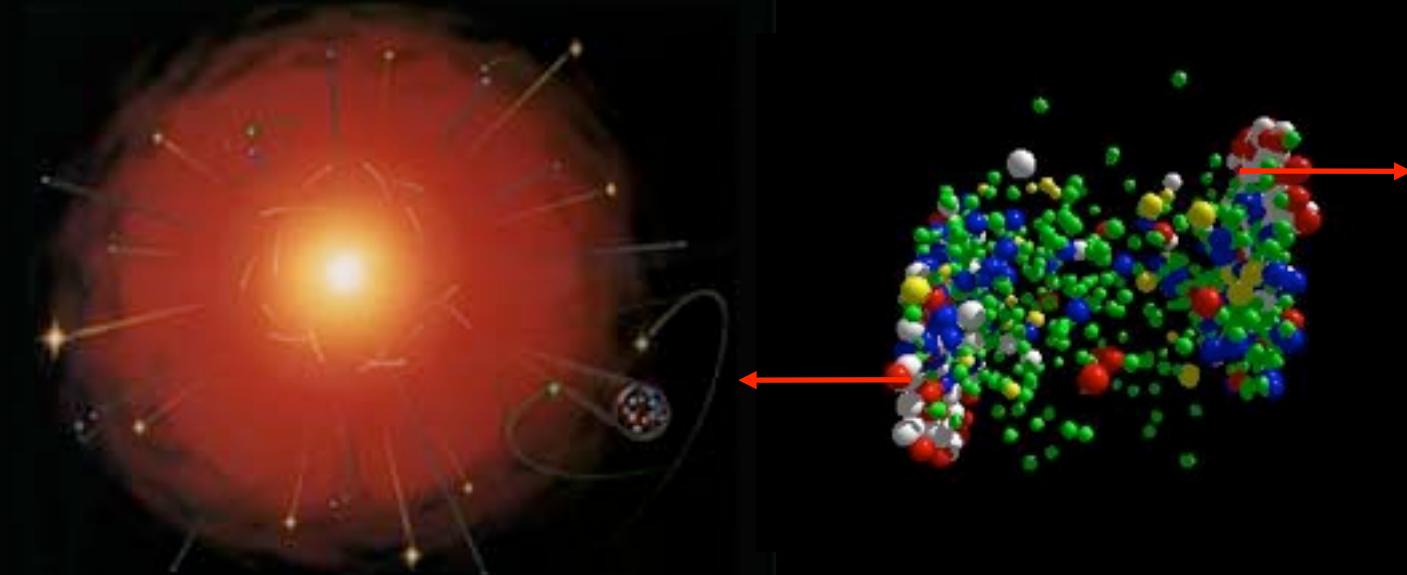
- ✓物質の密度； $\sim \text{g/cm}^3$
- ✓原子核密度； $\sim 10^{12}$ 倍 ~ 100 万トン/ cm^3
- ✓原子核内の核子の平均距離は意外と近い

ビッグバンとリトルバン



Big Bang

Little Bang



KEK homepageより

✓ ビッグバン

- 再現不可
- 3次元的膨張

✓ リトルバン

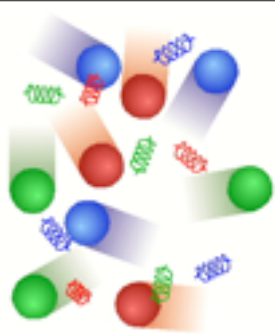
- “再現” 実験
- 高エネルギー原子核・原子核衝突
- 1次元的膨張

✓ CERN (欧州共同原子核研究機構) と米国ブルックヘブン国立研究所

ほぼ5年おきに新しい加速器が誕生する
ホットな研究領域

	Machine	Beam+Target	Ecm [GeV]
1987 -	米国・BNL・AGS	Si+Au	5A
1987 -	欧州・CERN・SPS	S + Pb	20A
1992 -	米国 BNL・AGS	Au + Au	4A
1994 -	欧州・CERN・SPS	Pb + Pb	17A
2000 -	米国・BNL・RHIC	Au + Au	130A - 200A
2009 -	欧州・CERN・LHC	p+p	9000
2012 -	欧州・CERN・LHC	Pb+Pb	6300A

新聞記事



「究極の粒子」探し新局面

米欧研究機関が火花

物質を限りなく細かくし、核の殻を破ってばらばらに分解し、何に行き着くのかというギリシャ時代以来のなぞの追究が、今年に入って新局面を迎えている。欧州共同原子核研究機関（CERN）が10日、原子核の構成要素であるクォーク

を、核の殻を破ってばらばらに分解し、何に行き着くのかという2種類の粒子で構成されており、それらはさらにクォークと呼ばれる究極の粒子でできている。原子核同士を光速に迫る猛スピードでぶつけると、3個のクォークが結び付いた陽子や中性子、2個が結び付いた中間子は生成されるが、単独のクォークはまだ確認されていない。ビッグバンで宇宙が誕生してから10万分の1秒後までは、クォークは単独で存在していたと考えられており、2個と3個に固まった状態以外のクォークを探することは、宇宙の物質の成り立ちを知ること、極めて重要だ。

米ブルックヘブン研の重イオン衝突型加速器（RHIC）は、今年4月ごろから稼働の予定。CERNの実験の10倍以上のエネルギーで金の原子核同士を正面衝突させる。うまく行けば、プラズマ状態から出てくる電磁波を、直接測定できるかもしれない。CERNとRHICの両方の実験に参加している三浦康郎・筑波大物理学系教授は、「CERNの結果が本物なら、RHICではもっとはっきりとプラズマ状態の証拠が見つかるはず」と説明する。

今回のCERNの発表は、RHICの稼働前に「プラズマ状態初確認」の公表を目指したライバル意識の表れとみる関係者もいる。ブルックヘブン側も「CERNは間接証拠を積み上げて、我々が直接証拠をつかむことになるプラズマ状態への期待を高めてくれた」とのメッセ

ージを、ホームページに掲載した。RHICのプロジエクトには、筑波大など日本の関係者も大勢参加している。三浦教授は「今年中に最初の成果を発表したい」と話している。

宇宙誕生解明へ手掛かり

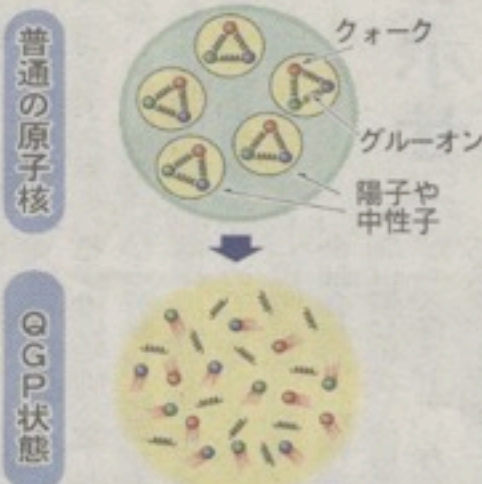
日本参加の国際チーム 再現実験に成功

宇宙が誕生したビッグバン直後の状態を、米ブルックヘブン国立研究所の大型加速器を使って再現する実験に、日本の大学や研究機関が参加する国際チームがほぼ成功した。フランスで十八日に始まった国際会議で発表する。



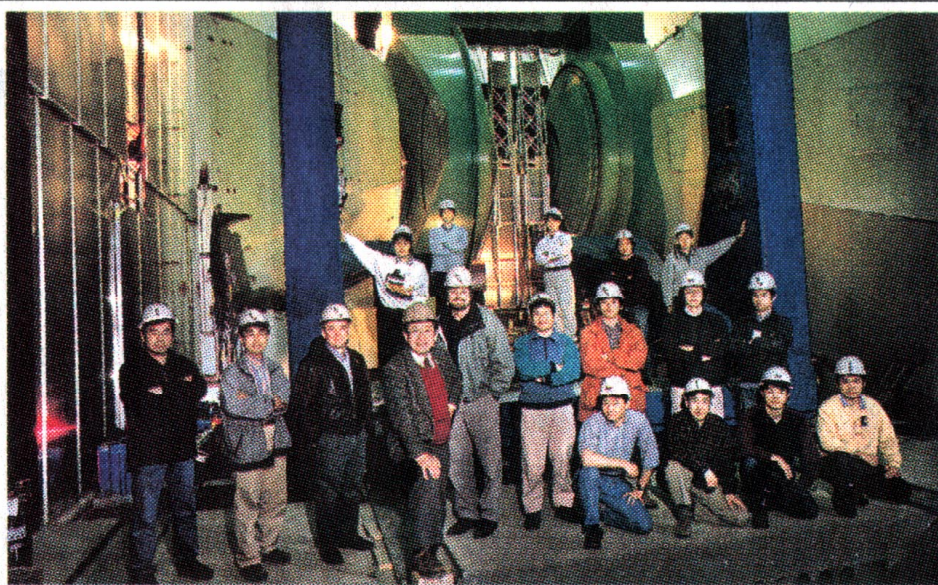
宇宙誕生直後のようなクォーク・グルーオン

原子核とクォーク・グルーオン・プラズマ（QGP）状態の模式図



この状態は、物質の基

2002年7月19日
RHICの成果
QM02国際会議を前に



「流れを見える」休みまし

RHICの測定装置「フエニックス」。日本人研究者も多数参加している（三浦教授提供）

た。

おこわり

「流れを見える」休みまし