

葛飾区郷土と天文の博物館

第61回 星の講演会 2011年10月29日

宇宙のはじまり

— 地球・生命の起源をもとめて —

野沢 貴也

東京大学 国際高等研究所
数物連携宇宙研究機構(IPMU)

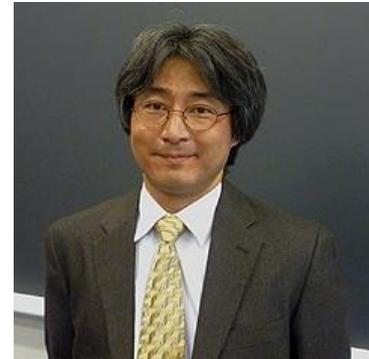
takaya.nozawa@ipmu.jp



数物連携宇宙研究機構

Institute for the **Physics** and **Mathematics**
of the **Universe (IPMU)**

- 世界トップレベル研究拠点プログラム
- 2007年10月、東京大学柏キャンパスに設立



村山斉: 数物連携
宇宙研究機構長

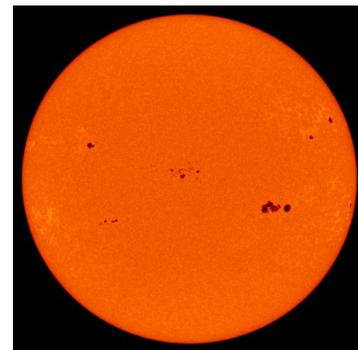


数物連携宇宙研究機構の目的

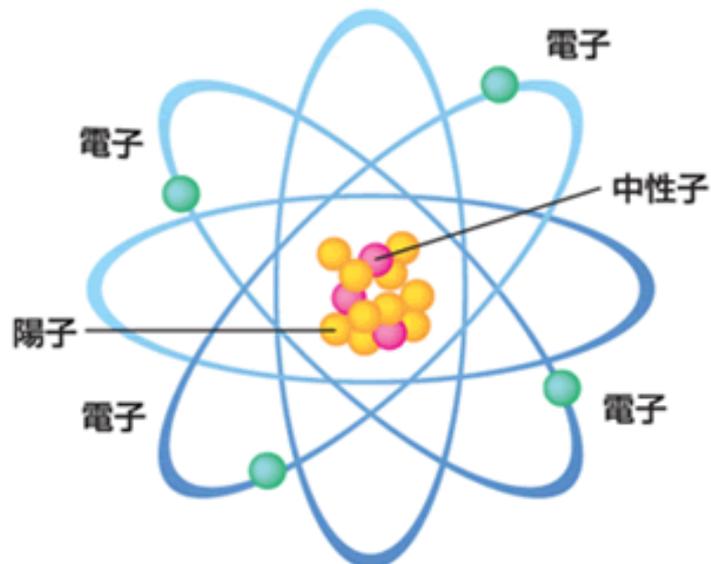
数学者 + 物理学者 + 天文学者

- 
- 宇宙はどうやってはじまったのか？
 - 宇宙は何でできているのか？
 - 宇宙はこれからどうなるのか？
 - 私たちはなぜ宇宙に存在するのか？

我々の体や太陽系の諸天体は 何でできているか？



すべての物質はおよそ
100種類の**原子**の組
み合わせでできている



四国電力のHPより転載

元素周期律表

元素周期表

http://www.jogmec.go.jp/mric_web/tani/periodic_table-f.html

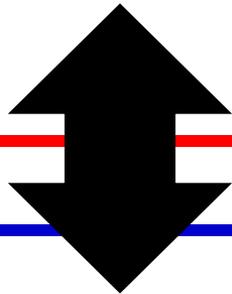
族	I a	II a	III b	IV b	V b	VI b	VII b	VIII	I b	II b	III a	IV a	V a	VI a	VII a	O		
1	1 H 水素															2 He ヘリウム		
2	3 Li リチウム	4 Be ベリリウム									5 B ホウ素	6 C 炭素	7 N 窒素	8 O 酸素	9 F フッ素	10 Ne ネオン		
3	<div style="border: 2px solid blue; background-color: yellow; padding: 10px; text-align: center;"> <p>全ての物質の素である元素はどこで できたのか？</p> </div>															18 Ar アルゴン		
4																36 Kr クリプトン		
5																54 Xe キセノン		
6	55 Cs セシウム	56 Ba バリウム	57-71 La-Lu ランタニド	72 Hf ハフニウム	73 Ta タンタル	74 W タングステン	75 Re レニウム	76 Os オスマウム	77 Ir イリジウム	78 Pt 白金	79 Au 金	80 Hg 水銀	81 Tl タリウム	82 Pb 鉛	83 Bi ビスマス	84 Po ポロニウム	85 At アスタチン	86 Rn ラドン
7	87 Fr フランシウム	88 Ra ラジウム	89-103 Ac-Lr アクチニド	104 *	105 *	106 *												

57-71 ランタニド	57 La ランタン	58 Ce セリウム	59 Pr プラセオジウム	60 Nd ネオジウム	61 Pm プロメチウム	62 Sm サマリウム	63 Eu ユーロピウム	64 Gd ガドリニウム	65 Tb テルビウム	66 Dy ジスプロシウム	67 Ho ホルミウム	68 Er エルビウム	69 Tm ツリウム	70 Yb イットルビウム	71 Lu ルトテチウム
88-103 アクチニド	89 Ac アクチニウム	90 Th トリウム	91 Pa プロトアクチニウム	92 U ウラン	93 Np ネプツニウム	94 Pu プルトニウム	95 Am アメリシウム	96 Cm キュリウム	97 Bk バークリウム	98 Cf カリホルニウム	99 Es アインシュタインウム	100 Fm フェルミウム	101 Md メンデルビウム	102 No ノーベリウム	103 Lr ローレンシウム

宇宙はどうやってはじまったのか？

ビッグバン理論（火の玉宇宙論）

「宇宙には始まりがあり、超高温・超高密度の状態から、爆発的に膨張して現在のようになった」



定常宇宙論（1948年、フレッド・ホイルら）

「宇宙の基本的な構造は、時間によって変化しない」



宇宙は広がっている！

ハッブルの法則（1929年）

「遠くの銀河ほど、距離に比例して早い速度で遠ざかっている」



エドウィン・ハッブル



ドップラー効果

時速 60km だ！

波長が短くなる

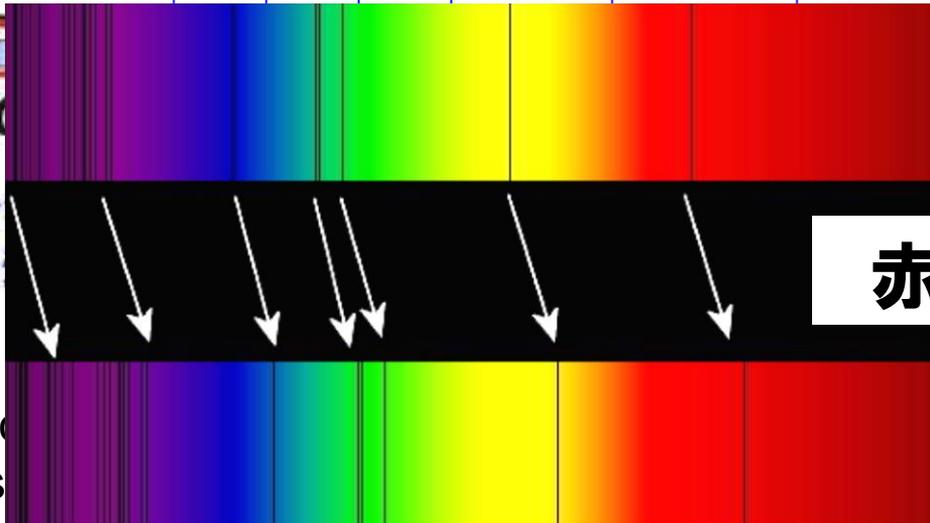
波長が長くなる



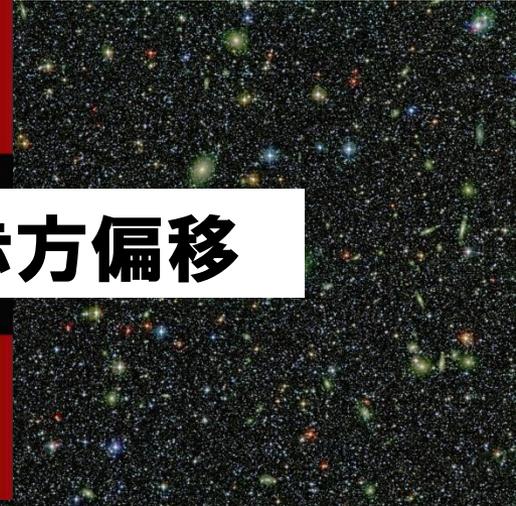
ソ #ードー
ソ #ードー



ソー
ソー



赤方偏移



「火の玉宇宙」の提唱

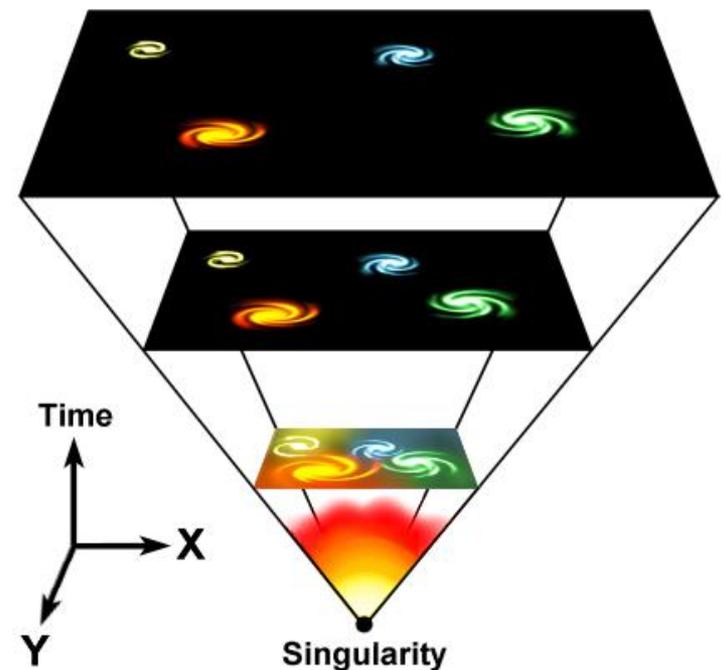
ガモフの予言（1948年）

- 宇宙膨張を過去に戻せば、宇宙の最初は全ての物質とエネルギーが一か所に集まる高温高密度状態である

- 宇宙は火の玉の名残である5K(-268°C)の光で満ちているはず



ジョージ・ガモフ

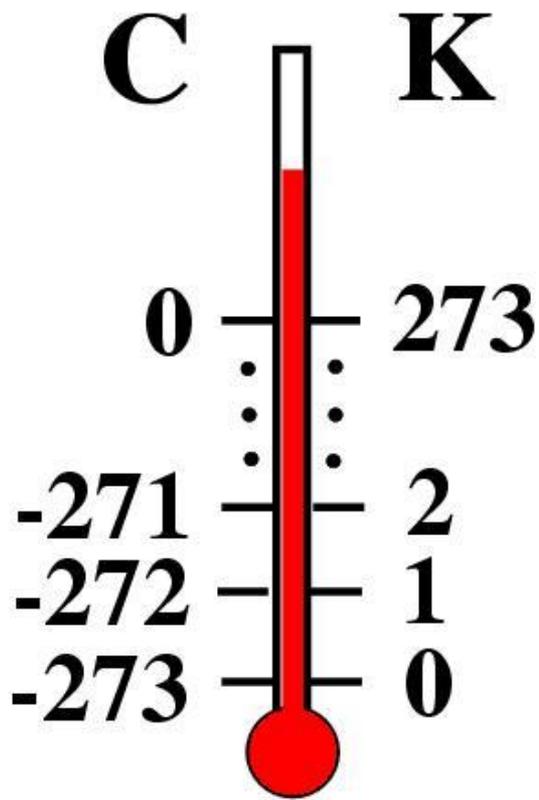
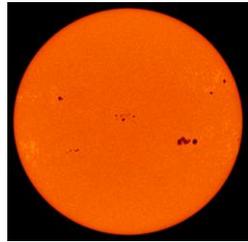


絶対温度(単位K):
絶対零度から測った温度

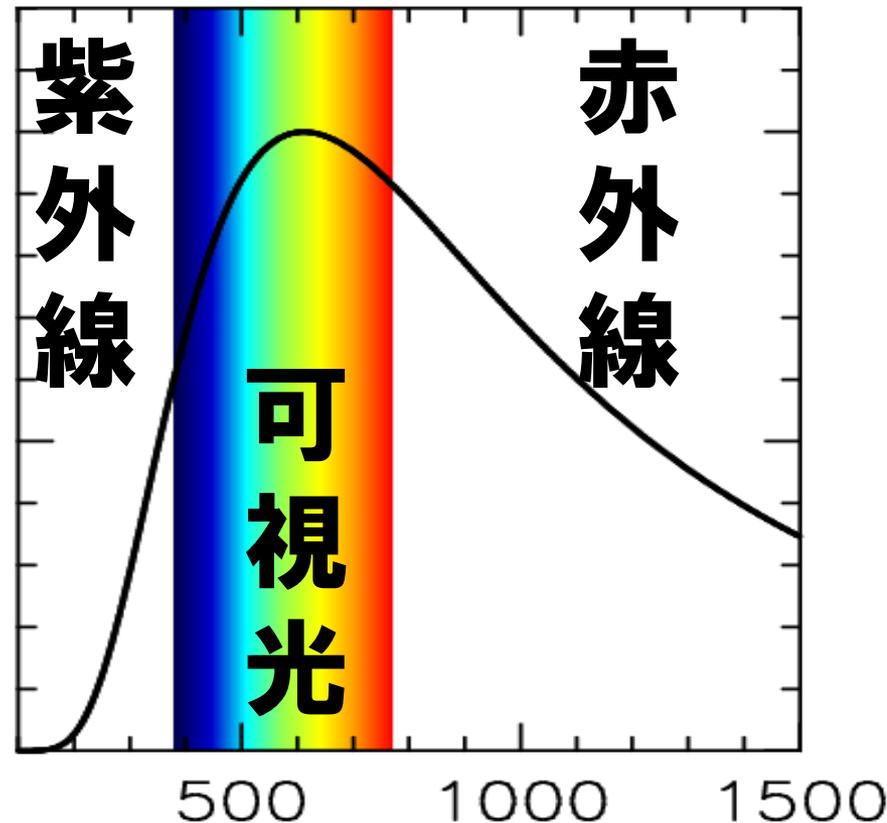
あらゆるものは温度に
応じた光を出している

絶対温度
= 摂氏の温度+273K

例: 太陽
表面温度: 5780K



強
↑
光の強度
↓
弱



エネルギー増加 ←

→ 波長増加

波長

0.0001 nm 0.01 nm 10 nm 1000 nm 0.01 cm 1 cm 1 m 100 m

ガンマ線

エックス線

紫外線

赤外線

電波

レーダー TV FM AM

可視光

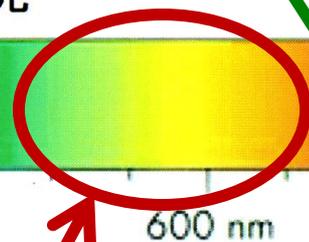
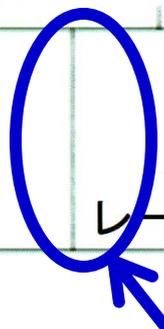
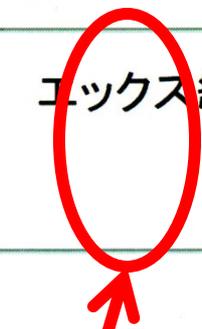
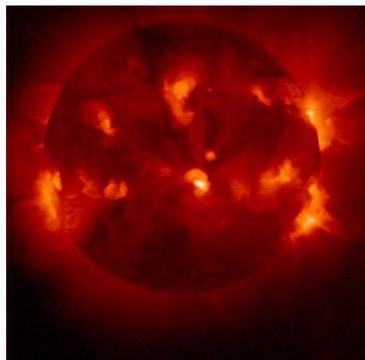
nm 500 nm 600 nm 700 nm

太陽の中心(1千万K)

太陽(6000K)

5Kの光

人間(310K)



ビッグバンの証拠

宇宙マイクロ波背景放射の発見

(1965年、ペンジアスとウィルソン)



2.96Kの温度に対応

する強い光(電波)

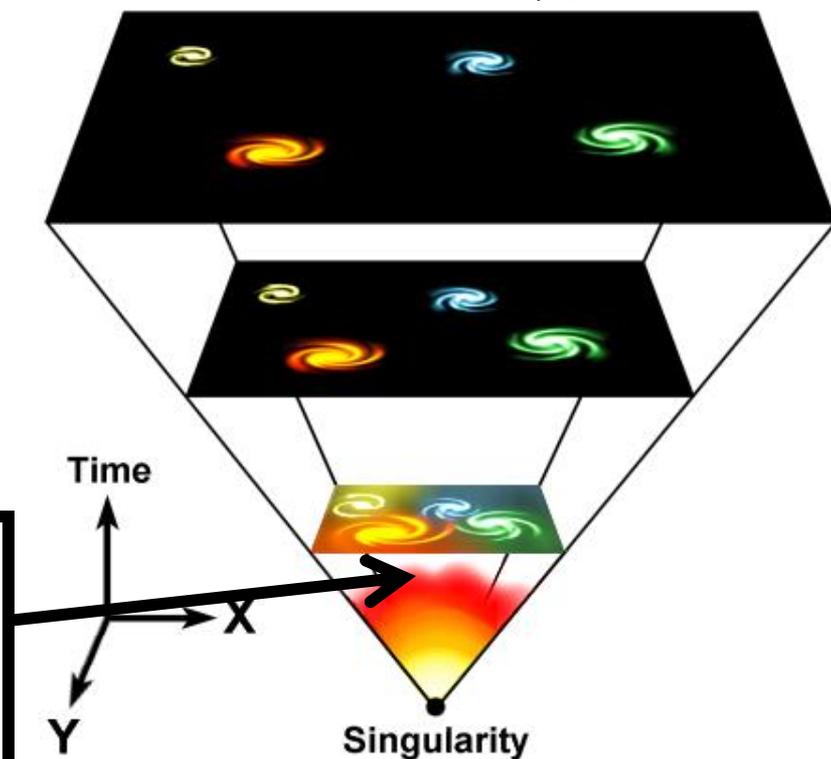
宇宙のあらゆる方向

から均等にくる

現在~3K

ビッグバンの表面

温度:~3000K



ビッグバンと元素の起源

ガモフのもう一つの予言

「ビッグバンによって、ウラン(U)までのすべての元素が作られた」



- 宇宙の水素(75%)とヘリウム(25%)の存在量(質量比)をうまく説明
- ビッグバン数分後から20分までの間
→ 炭素より重い元素は作れない

元素周期律表

元素周期表

http://www.jogmec.go.jp/mric_web/tani/periodic_table-f.html

族 周期	I a	II a	III b	IV b	V b	VI b	VII b	VIII	I b	II b	III a	IV a	V a	VI a	VII a	O		
1	1 H 水素															2 He ヘリウム		
2	3 Li リチウム	4 Be ベリリウム									5 B ホウ素	6 C 炭素	7 N 窒素	8 O 酸素	9 F フッ素	10 Ne ネオン		
3	11 Na	12 Mg									13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar ゴン		
4																6 Kr プトン		
5																4 Xe ノン		
6	85 Cs セシウム	86 Ba バリウム	87-90 La-Lu ランタニド	91 Th ハフニウム	92 Pa タンタル	93 U タングステン	94 Np レニウム	95 Pu オスミウム	96 Am イリジウム	97 Cm 白金	98 Bk 金	99 Cf 水銀	100 Es タリウム	101 Fm 鉛	102 Md ビスマス	103 No ポロニウム	104 Lr アスタチン	105 Rn ラドン
7	87 Fr フランシウム	88 Ra ラジウム	89-103 Ac-Lr アクチニド	104 *	105 *	106 *												

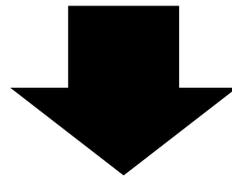
ビッグバンではここ
までしかできない！

炭素より重い元素(重元素)は、星の内部と超新星爆発によって作られる！

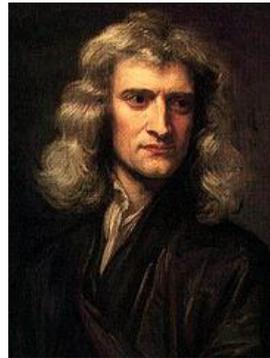
57-71 ランタニド	57 La ランタン	58 Ce セリウム	59 Pr プラセオジウム	60 Nd ネオジウム	61 Pm プロメチウム	62 Sm サマリウム	63 Eu ユーロピウム	64 Gd ガドリニウム	65 Tb テルビウム	66 Dy ジスプロシウム	67 Ho ホルミウム	68 Er エルビウム	69 Tm ツリウム	70 Yb イッテルビウム	71 Lu ルテチウム
88-103 アクチニド	89 Ac アクチニウム	90 Th トリウム	91 Pa プロトアクチニウム	92 U ウラン	93 Np ネプツニウム	94 Pu プルトニウム	95 Am アメリシウム	96 Cm キュリウム	97 Bk バークリウム	98 Cf カリホルニウム	99 Es アインシュタインウム	100 Fm フェルミウム	101 Md メンデレビウム	102 No ノーベリウム	103 Lr ローレンシウム

宇宙の一番星はどうやってできた？

星は非常に多くの原子からできている



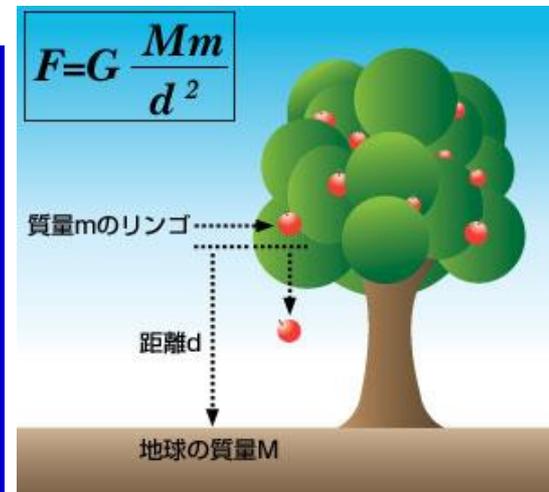
広がっている宇宙の中でどのようにして原子同士が集まるのか？



アイザック・ニュートン

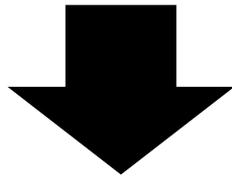
万有引力の法則（1687年）

「すべての物体は互いに引き合う力を及ぼし合っている」



最初の星を作るのに必要なもの①

宇宙初期は**一様・等方**



原子同士に働く力は
釣り合ってしまう

星を作るために、少し
のズレが必要である

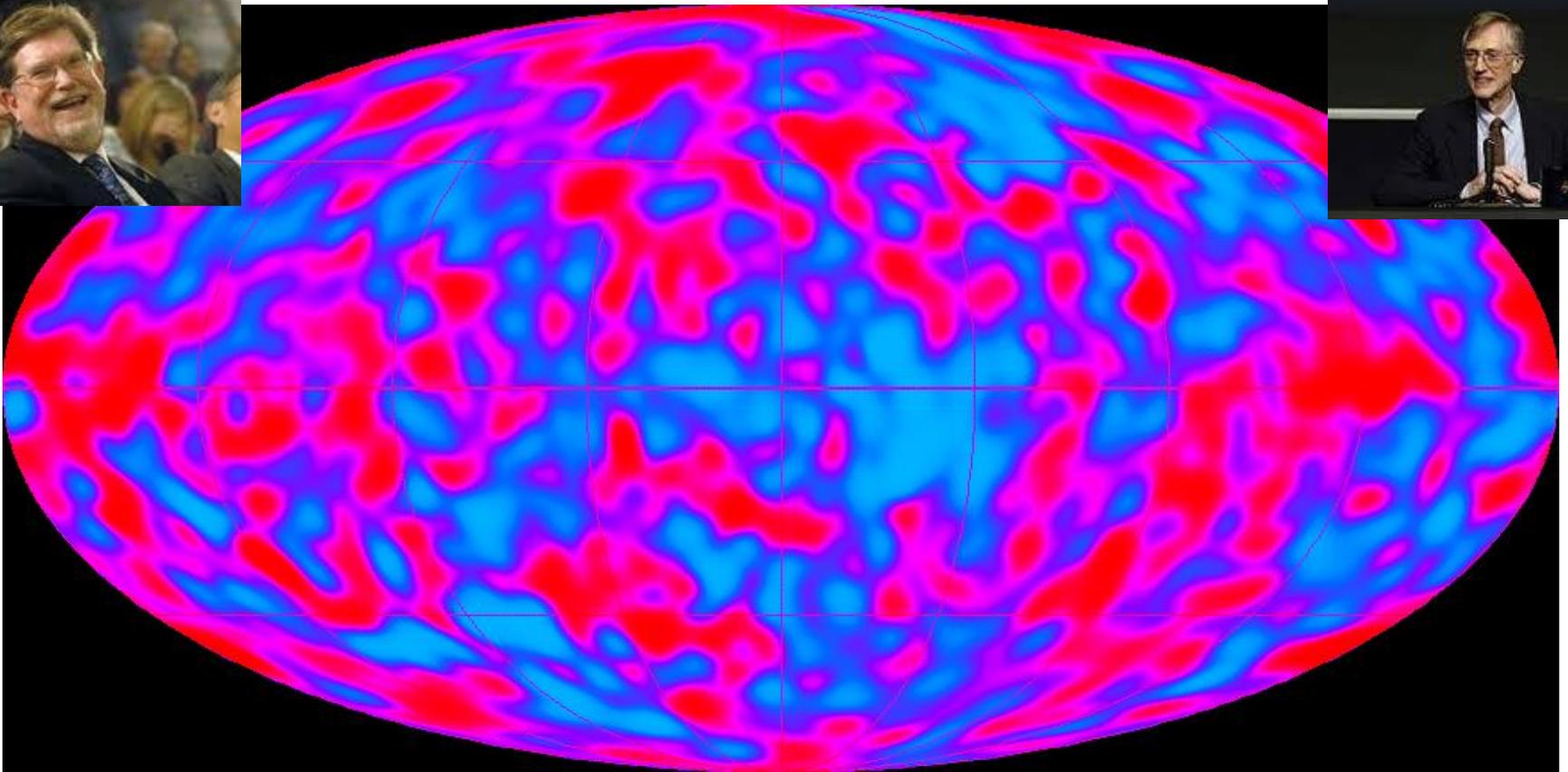
→ **宇宙のゆらぎ**



宇宙背景放射の非等方性の発見

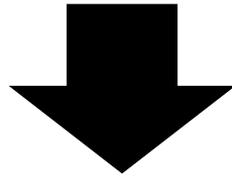
COBEが2.73Kの10万分の1の温度

ゆらぎを発見(1992年、スムートとマザー)



最初の星を作るのに必要なもの②

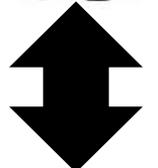
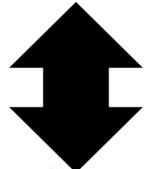
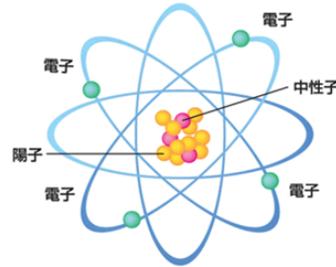
原子は軽いため、引力が小さい



星ができるのに時間がかかり
過ぎてしまう

目には見えないが、重力を
及ぼす物質が必要である

→ 暗黒物質(ダークマター)

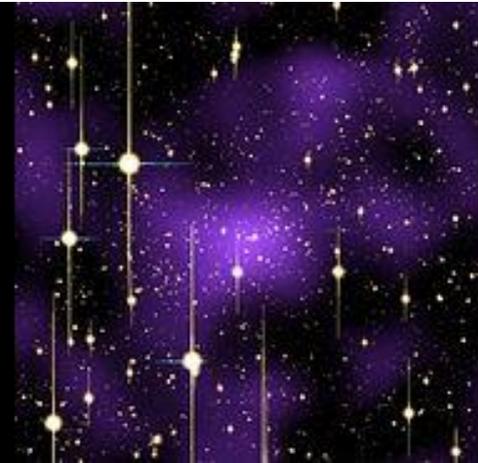
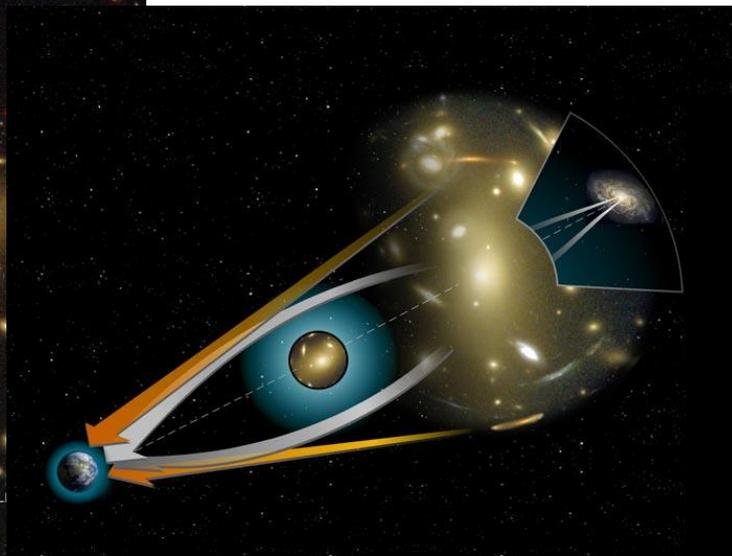


暗黒物質の間接的証拠

1) 銀河の回転曲線問題

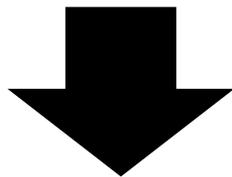


2) 重力レンズ効果



宇宙はこれからどうなるのか？

宇宙膨張はいずれ止まるはず



宇宙の膨張は加速している(1998年)

(ソール・パールマター、ブライアン・シュミット、アダム・リース)

(Ia型)超新星の観測から、遠方の宇宙は予想以上に早く遠ざかっていることを発見

何が宇宙膨張を加速しているのか？

→ 暗黒エネルギー

宇宙の終焉は、暗黒エネルギーが どう変化するかによって決まる

ビッグクラッシュ: 膨張から収縮に
転じ、全ての物質が一点に潰れる

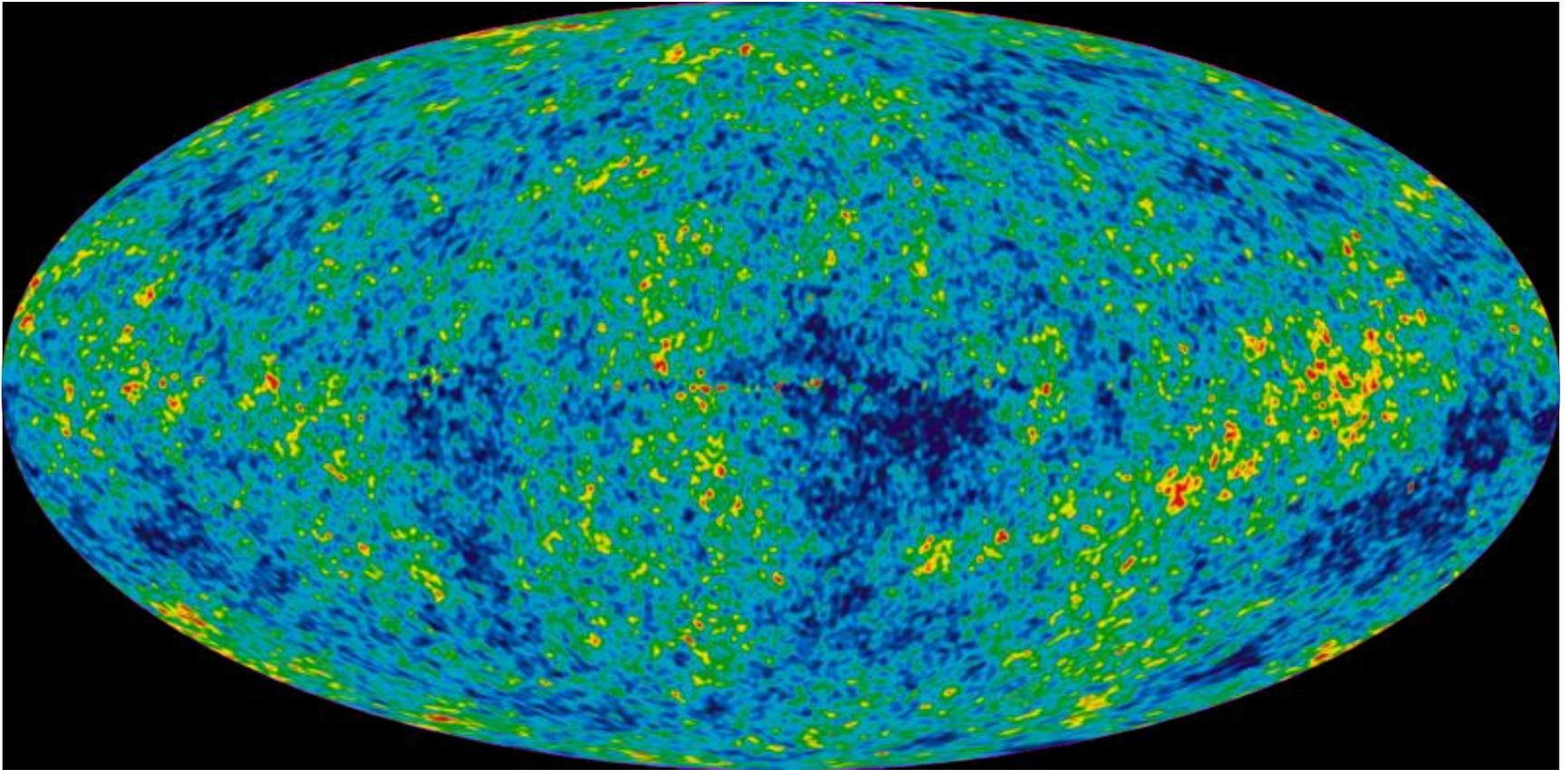


ビッグリップ: 永遠に加速膨張を
続け、全物質がバラバラになる



熱的死: 膨張し続ける限り、星形成は停止
し、原子・陽子は崩壊する

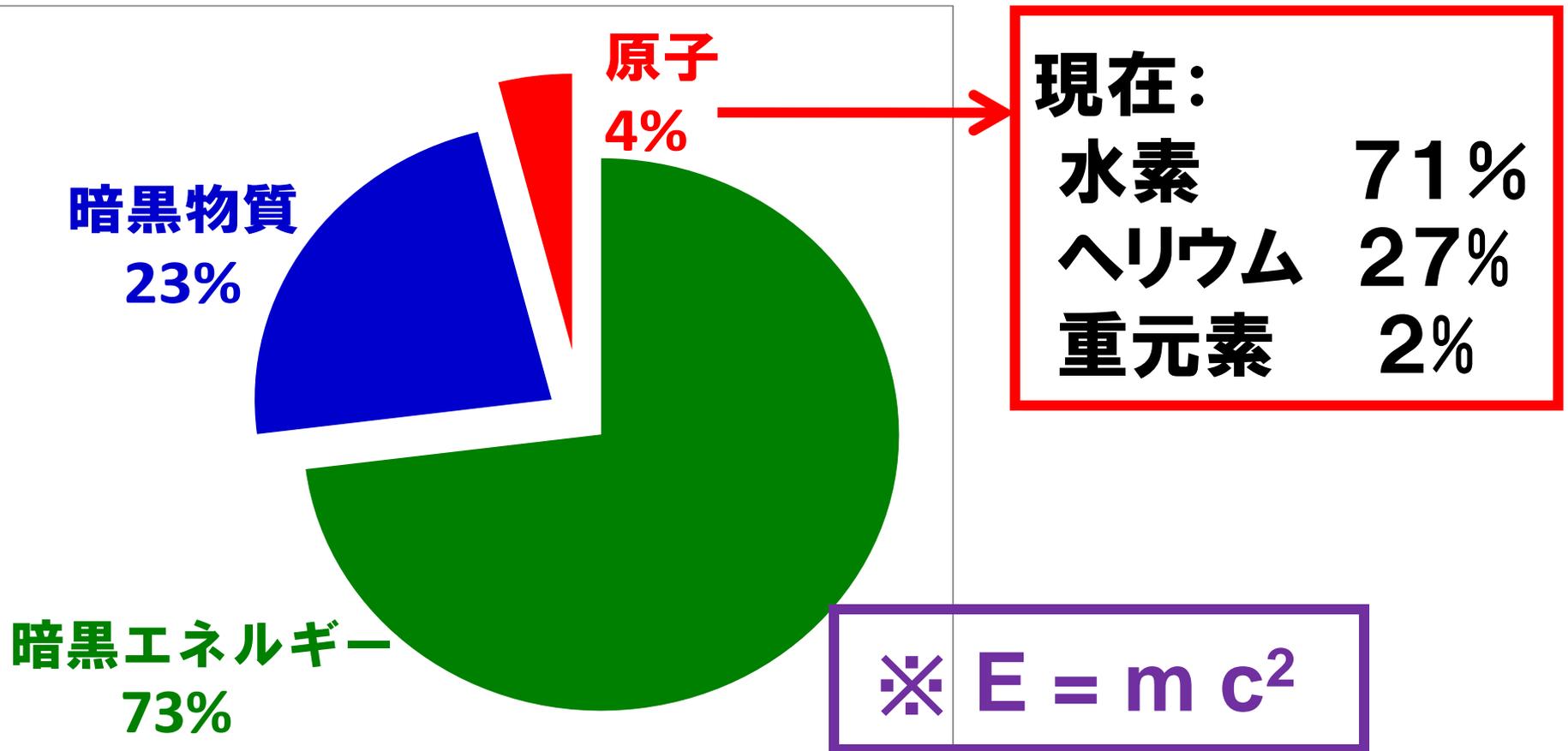
WMAPによる成果(2003、2005)



宇宙の年齢: 137 ± 2 億年
宇宙の組成を精度良く決定

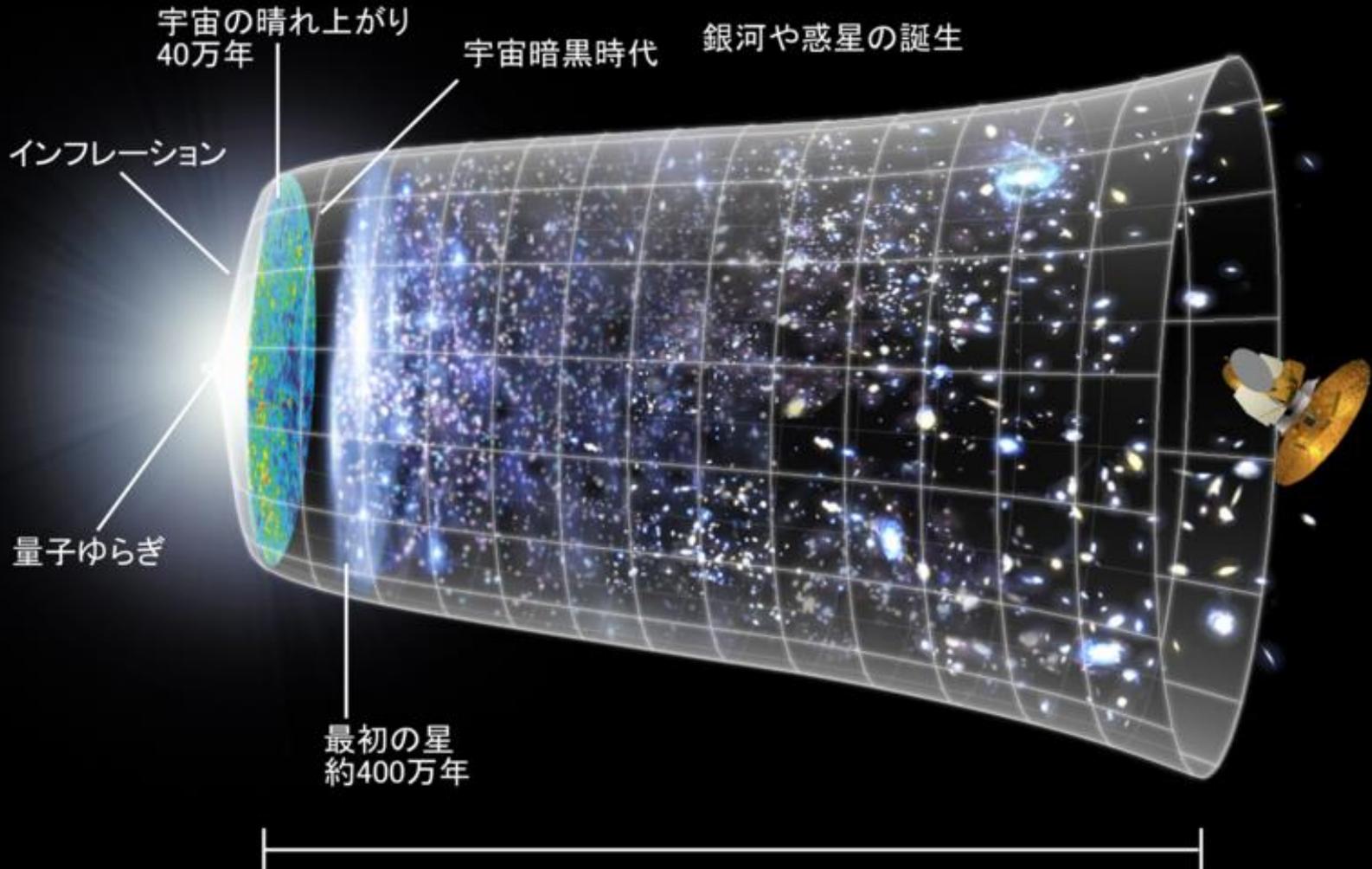
宇宙は何でできているか？

- 我々の目に見える物質は宇宙の4%に過ぎない



宇宙の進化

ダークエネルギーによる
宇宙の加速膨張



第一部のまとめ

- 宇宙はどうやってはじまったのか？

宇宙はビッグバンではじまった

→ 宇宙の最初の数分はまだわからない

- 宇宙は何でできているのか？

暗黒物質・暗黒エネルギーが96%を占める

→ 暗黒物質・暗黒エネルギーの正体は謎

- 宇宙はこれからどうなるのか？

暗黒エネルギーがどのように変化するか？