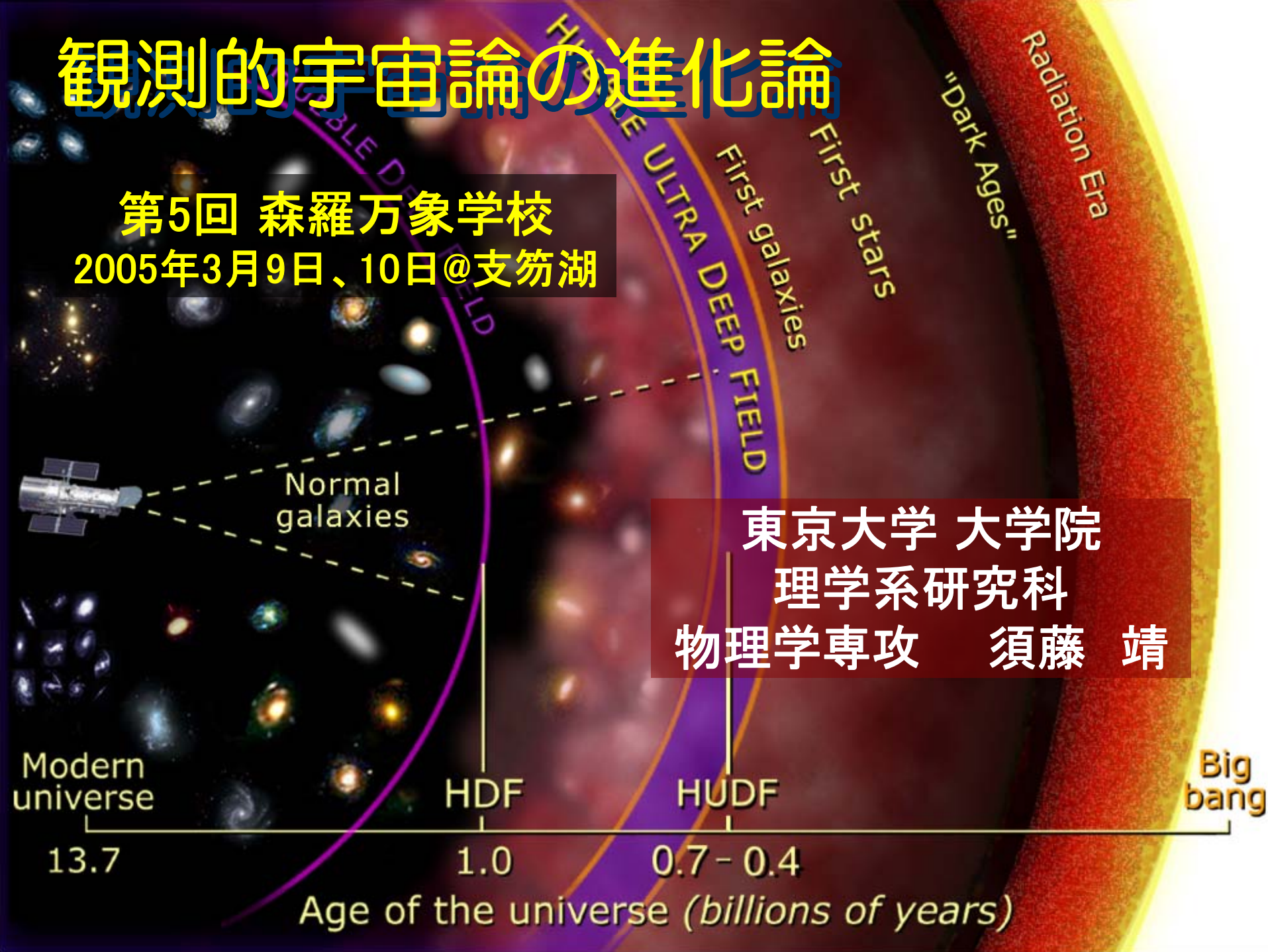


観測的宇宙論の進化論

第5回 森羅万象学校
2005年3月9日、10日@支笏湖

東京大学 大学院
理学系研究科
物理学専攻 須藤 靖



今回の話の目次

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2005j.html

- 1. 宇宙論研究のゴール
- 2. 宇宙論研究の歴史年表
- 3. ビッグバン宇宙論の基礎
- 4. 宇宙論パラメータの決定
- 5. 宇宙論と人間原理
- 6. 進化する宇宙論

参考文献

- 「宇宙を見る新しい目」(日本評論社、2004)
- 須藤 靖 “WMAPの成果” パリティ 19(2004) 1月号, pp.46-48.
- 須藤 靖 “進化する宇宙論” 日本の科学者 38(2003)10月号 pp.4-9.
- 以下は <http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto> にある
 - 須藤靖:東北大学 大学院集中講義 2002年講義録 「観測的宇宙論」
 - 須藤靖:埼玉大学 大学院集中講義 2002年講義録 「宇宙定数」
- 須藤 靖 “不惑の宇宙論?” 日本惑星科学会 会誌 遊・星・人 11 (2002) pp.94-106.
- 須藤 靖 “精密宇宙論から有朋自遠方来不亦乐乎的宇宙論へ” 岩波 科学 71(2001) 8月号 pp.1036-1046.
- 須藤靖 “宇宙の大構造 -その起源と進化 -”、培風館 NEW COSMOS SERIES 第4巻 (1992)

「宇宙を見る新しい目」(日本評論社) 日本物理学会編:2004年3月刊

宇宙を見る
新しい目

日本物理学会[編]

宇宙を見る
新しい目

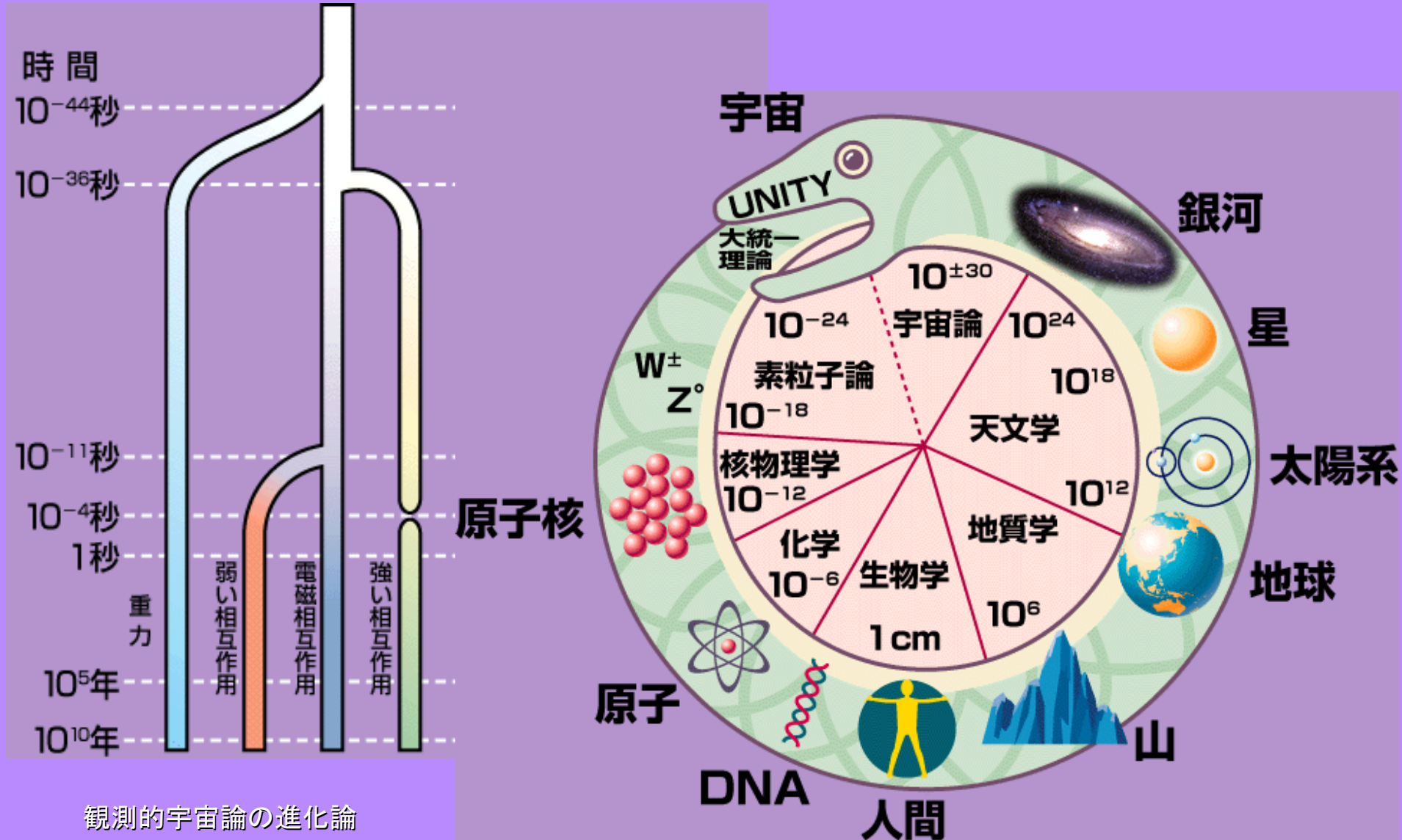
日本物理学会[編]

- 1章 宇宙マイクロ波背景輻射で見る宇宙...小松英一郎
- 2章 X線で見る宇宙...大橋隆哉
- 3章 ガンマ線で見る宇宙...谷森達
- 4章 重力波で見る宇宙...三尾典克
- 5章 最高エネルギー宇宙線...手嶋政廣
- 6章 コンピュータシミュレーションから見る宇宙...吉田直紀
- 7章 超新星で測る宇宙膨張とダークエネルギー...土居守
- 8章 ニュートリノと素粒子物理...梶田隆章
- 9章 超新星ニュートリノで見る宇宙...佐藤勝彦
- 10章 究極の宇宙論:太陽系外惑星探査...須藤靖

人間原理関連参考文献

- J.D.Barrow & F.J. Tipler : “The anthropic cosmological principle” (1986, Oxford Univ. Press)
- S.Weinberg : “The cosmological constant problem”, Rev.Mod.Phys. 61(1989)1-23
- M. Tegmark : “Parallel universes” Scientific American 2003 May issue (日経サイエンス2003年8月号)
- M.Tegmark : astro-ph/0302131, 0410281
- 松田卓也: 「人間原理の宇宙論」 (1990、培風館)
- 池内了: 「宇宙と自然界の成り立ちを探る」 (1995、サイエンス社) 12章、13章

1. 宇宙論研究のゴール



宇宙論研究の目的

- 我々の来し方行く末をつらつらと考える
 - 宇宙の誕生・起源 (量子重力理論)
 - 宇宙の質量 (ダークマター、宇宙定数)
 - 宇宙の年齢 (距離尺度、ハッブル定数)
 - 宇宙の果て (宇宙は有限か、無限か)
 - 宇宙の未来

このような問題意識はもちろん古くから存在したが、観測データに基づく定量的検証が可能になったのは1990年代以降のことである。

我々の世界をもっとよく知りたい

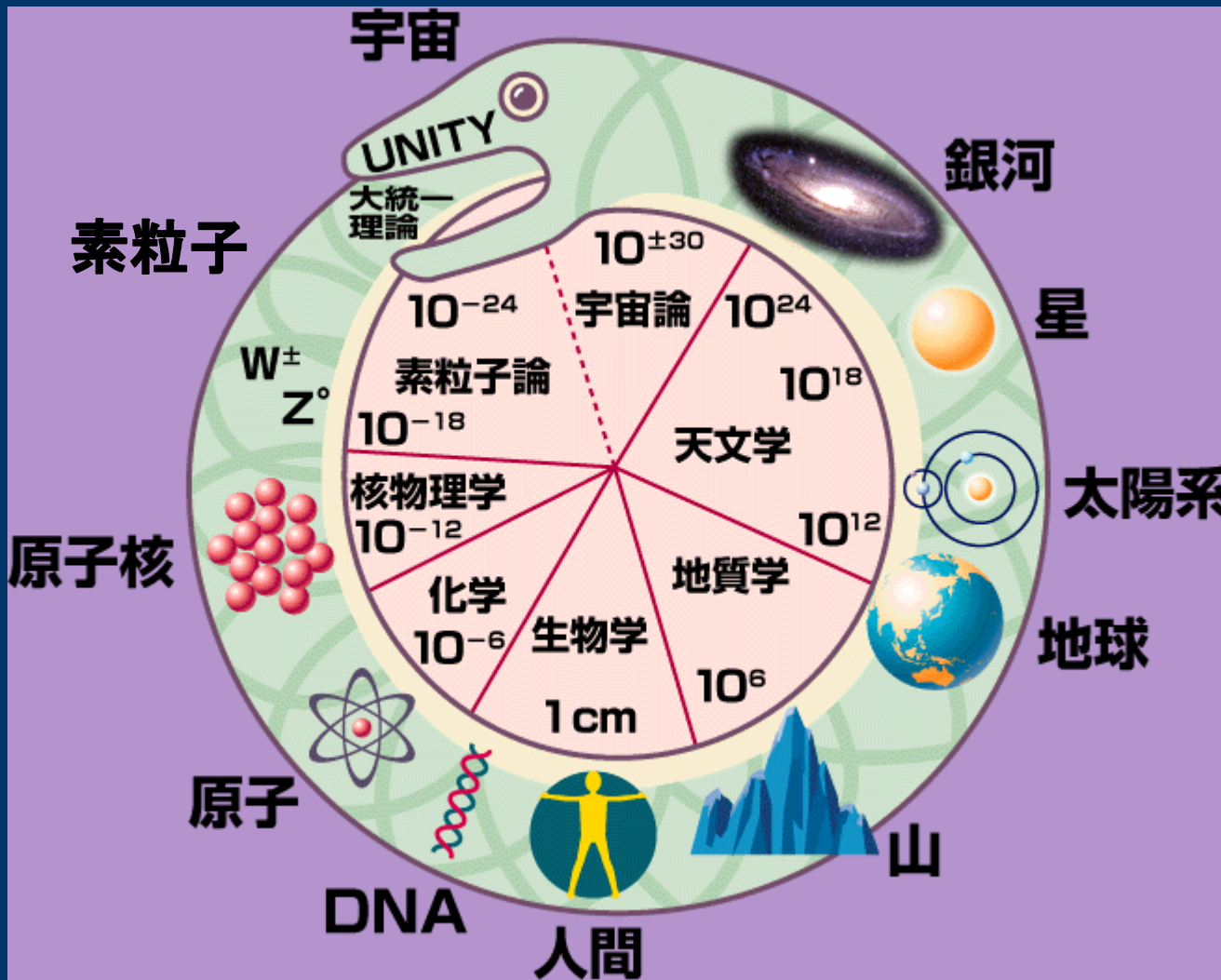
■ 微視的世界：物質は何からできているのだろうか？

- ものをどんどん分けていくとどうなるか？
- 分子⇒原子⇒原子核(バリオン)⇒素粒子(クォーク・レプトン)
- もはやこれ以上は分けることのできない最小構成要素が存在
- これ以外の物質(素粒子)は存在しないのか？

■ 巨視的世界：宇宙の果てには何があるのだろうか？

- 地球⇒太陽系⇒星団⇒銀河⇒銀河団⇒宇宙の大構造
- 宇宙の大きさ(=年齢)はどのくらいだろう
- さらに遠く(=過去)の宇宙はどうなっているのだろうか
- 宇宙を占めている物質は、我々がすでに知っている微視的世界の構成要素と同じなのだろうか

自然界の階層：ミクロとマクロをつなぐ



- 宇宙の大きさは約 10^{27} cm, すべての物質を形づくる素粒子の大きさは 10^{-24} cm以下
- この約50桁も離れた巨視的世界と微視的世界とが宇宙の研究を通じてより深く理解されつつある

シェルドン グラシヨー 著 ‘Interaction’ のなかの図をもとに作成

物理学と窮理学

- **物理学 = physics**
 - もともとは「自然学」とでも呼ぶべき言葉
 - 自然学(広義のphysics)
 - = 自然法則の究明 (natural philosophy)
 - + 断片的な事実の集積 (狭義のphysics)
 - プリンキピア *Philosophiae naturalis principia mathematica*
- **窮理学 = natural philosophy**
 - 17世紀頃英国で思弁的な哲学ではなく、多くの人々が教養として身につけるべき「実験的な自然の哲学」を意味するものとして誕生
 - 福沢諭吉等はこれを窮理学と訳した
 - 19世紀末頃から実用的な知識の重要性が認識され、natural philosophyがphysicsに置き換えられた

天文学と窮理学

- **天文学**: astronomy
 - astro (星、天体) + nemein (分布)
- **宇宙 = spacetime**:
 - 「四方上下謂之**宇**、往古來今謂之**宙**」(淮南子、齊俗訓)のように「宇」を空間、「宙」を時間とする説や、「**宇**」を天、「**宙**」を地とする説などがある (三省堂、大辞林)
- **窮理学**:
 - 窮理学とは**天地**万物の性質を見てその働きを知る学問なり (福沢諭吉、学問のすゝめ)

曜日の名前＝物質・宇宙の起源

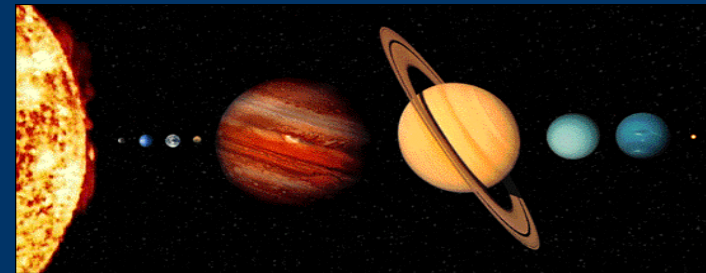
■ 古代ギリシャの4元説

- 空気、土、火、水（＋エーテル）

日月火水木金土

■ 中国の五行説

- （木、火、土、金、水） × （陽、陰）
- 甲乙 丙丁 戊己 庚辛 壬癸



■ 昔の中国では惑星（＝当時の宇宙）の名前は物質の起源にちなんでいる

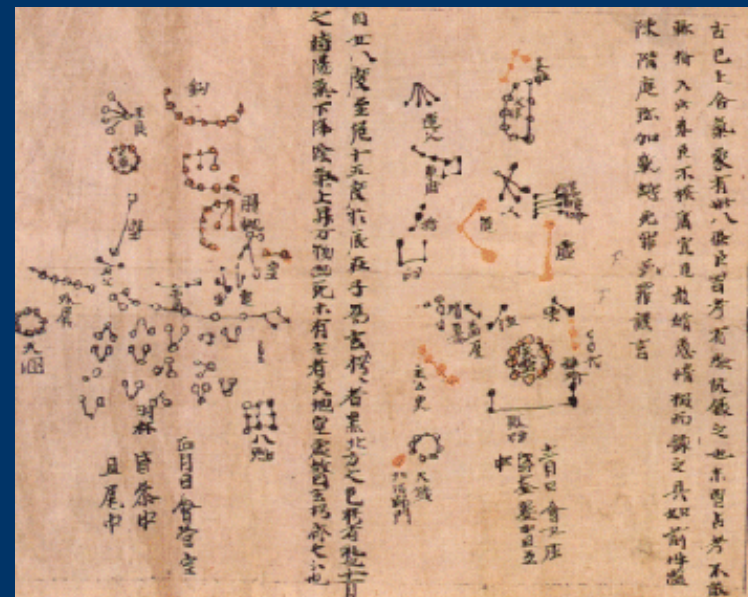
- 宇宙の起源 ⇔ 物質の起源 という考え方は、現在の素粒子的宇宙論におけるもっとも基本的な出発点

■ 我々は毎日この曜日の名前を用いている

- つまり、宇宙の起源＝物質の起源という考え方は、曜日の名前を通じて知らないうちに日本人の日常に入り込んでいる

遠くの世界はどうなっているのだろうか？

■ 宇宙の果てには何がある？



古代エジプトの宇宙像



古代中国の宇宙像



古代インドの宇宙像(象)



<http://www.isas.ac.jp/kids/firstlook/index.html>

■ 第二の地球はあるか？

■ 我々人類は広い宇宙でひとりぼっちなのか？

宇宙の歴史



量子ゆらぎの生成

第一世代天体の誕生

銀河の形成
銀河団の形成

宇宙の大構造

- $t \sim 10^{-40}$ 秒: インフレーション・量子ゆらぎの生成
- $t \sim 3$ 分: ヘリウム合成
- $t \sim 38$ 万年: 宇宙の中性化・宇宙の晴れ上がり
- $t \sim 2$ 億年: 第一世代天体の誕生
- $t \sim 8$ 億年: 宇宙の再電離ほぼ終了
- $t = 8$ 億年 \sim 137億年: 銀河形成、銀河団形成、宇宙の大構造
- $t \sim 137$ 億年: 現在

自然界の4つの相互作用と相転移

