


VI 夜空の向こうの物理学 ～まとめ～

Galaxy Cluster SDSS J1004+4112: "Quintuple Quasar"  HUBBLESITE.org

「夜空の向こうの物理学」の意味

- 宇宙の果てを観測する
 - 宇宙論
- 宇宙を満たしている物質を探る
 - 素粒子論
- 第二の地球を探す
 - 惑星形成論、宇宙生物学
- 地球外文明はあるか
 - 人間原理、宇宙社会学、宇宙比較文化論

地球外知的生命はいるか？：ドレイクの式

$$N = (N_s / L_s) \times f_p \times n_e \times f_L \times f_I \times f_C \times L$$

銀河系内に
ある交信可
能な知的文
明の数

銀河系内の(生命に適した)恒星の数

その恒星の寿命

その恒星が惑星を伴っている確率

その惑星の中で、生物が存在可能な
環境にある地球型惑星の期待値

その惑星に生物が発生する確率

その生物が知的生命に進化する確率

その知的生命が他の文明と交信を行う確率

その文明の継続時間



Frank Drake博士

Nの値は良くわかっていない。0.003個(つまり、我々の地球以外には存在し得ない!)と推定する研究者から200万個と推定する研究者までいる。ドレイク博士自身は1万個程度であると考えた。

自然界における必然と偶然

- 生命の誕生・進化を議論する場合、必然性と偶然性（物理法則と初期条件あるいは外的要因と言い換えても良い）の役割はある程度分離して議論できる
 - 星内部での元素合成と超新星爆発による元素循環
 - その原材料から化学進化によって生命原材料物質が生成
 - これらの物質から（具体的な過程は不明だが）生命が誕生
 - 深海熱水噴出孔？地球外宇宙塵上？
 - 自然淘汰・適者生存
 - 地球の存在、小天体大衝突、気候変動
- 一方、宇宙の誕生の場合には両者の関係は自明ではない
 - 何が初期条件で何が物理法則？

↑必然

偶然↓

メタ宇宙原理から人間原理へ

- 天文学・宇宙論の歴史は、我々の存在が唯一絶対なものではなく普遍的・自然な存在であることを証明する方向に進んできた
- とすれば、我々の宇宙が唯一無二のものであるという考え方は、時代に逆行しているのではないか？
 - メタ宇宙原理(今回私が仮に名づけただけ):我々が存在する宇宙は決して唯一絶対的なものではなく無限に存在するもののなかの一例にしか過ぎない
 - universeという概念から multiverse (M.J.Rees)へ
- 生物学のみならず、宇宙そのものに対しても自然淘汰・適者生存という考え方が浸透しつつある
 - では、「適」とは何に対して適なのか？ ⇒ 人間原理

我々の宇宙における不思議な事実

- 無生物から生物が誕生
- 原始生物から意識・文明を持つような人類が誕生
- 宇宙の現在の年齢 \doteq 太陽系の年齢 \doteq 星の年齢 \doteq 生命誕生から知的文明誕生までの所要時間
- 宇宙の大きさは、基本物理定数から決まる値に比べて異常に大きすぎる \doteq 宇宙の密度が低すぎる
- 宇宙の暗黒物質密度 \doteq バリオン密度 \doteq ダークエネルギー(宇宙定数)密度

人間原理の立場

- これらの「偶然」を、(未知の、本当にあるかさえもわからない)究極理論によって自然に説明することなどできるのだろうか？
- すべてのことに「自然」な説明が存在するはずである、というのは物理屋が陥りやすい一種の信仰に過ぎないのでは？
- とすれば、この偶然は「人類(知的文明)が誕生する」宇宙でのみ実現されているだけではないのだろうか？という信仰(人間原理)の自由もまた保障されるべきではないか？

人間原理の算数

- 極度にありえない事象を同等にありえない事象が成り立つ場合の条件付確率として理解してはどうか？
- $P(\text{不思議なこと}) \ll 1$ であるが、 $P(\text{人間の存在})$ もまた $\ll 1$ であるから、「不思議なこと」と「人間の存在」が相関していたならば、その条件付確率 $P(\text{不思議なこと} | \text{人間の存在}) \approx 1$ となることはあり得る

$$P(\text{不思議な事} | \text{人間の存在}) = \frac{P(\text{不思議な事、人間の存在})}{P(\text{人間の存在})} \gg P(\text{不思議な事})$$

- 不思議さが減り、何か心が安らぐような気がする（自然科学かどうかは別として宗教としては本質的）

人間原理

- 我々の宇宙が唯一無二である必然的理由はない
 - (少なくとも) 10^{500} 個以上の因果的に切り離された宇宙が存在する可能性が素粒子論から指摘されている
- これらの宇宙では物理法則が異なっているかもしれない
 - 物理定数(重力定数、光速度、素電荷、プランク定数)さらには宇宙定数の値が違っているかもしれない
- それらのなかで、たまたま人間を生むような偶然が可能となる宇宙が我々の宇宙
 - ほとんどの「当たり前」の宇宙では人間は誕生しない。そこでは、「これが当たり前」と気づいてくれる人間が存在し得ない。
 - 「例外的に珍しい」宇宙でのみ人間が誕生する。そこに「なぜこの宇宙はこのように不思議なのだろうか」と思い悩む人間が存在するのは当然。全宇宙から見れば確かに「珍しい」宇宙。
 - とすれば、人間が生まれるような奇跡・偶然がなぜ起こりえたのか不思議に思う必要は本来ない

Multiverse

人間原理を適用するには
多重宇宙/並行宇宙の存在が大前提

- レベル1: 我々が観測可能な地平線の外の領域に存在
- レベル2: 無限の宇宙の中に島宇宙的にポツリポツリと存在
- レベル3: 量子力学の多世界解釈による宇宙
- レベル4: 数学的論理構造そのものが宇宙の形態として存在(プラトンの)

Level 1: Regions beyond our cosmic horizon
Features: Same laws of physics, different initial conditions
Assumptions: Infinite space, ergodic matter distribution
Evidence: - Microwave background measurements point to flat, infinite space, large-scale smoothness
- Simplest model

Level 2: Other post-inflation bubbles
Features: Same fundamental equations of physics, but perhaps different constants, particles and dimensionality
Assumption: Chaotic inflation occurred
Evidence: - Inflation theory explains flat space, scale-invariant fluctuations, solves horizon problem and monopole problems and can naturally explain such bubbles
- Explains fine-tuned parameters

Level 3: The Many Worlds of Quantum Physics
Features: Same as level 2
Assumption: Physics unitary
Evidence: - Experimental support for unitary physics
- AdS/CFT correspondence suggests that even quantum gravity is unitary
- Decoherence experimentally verified
- Mathematically simplest model

Level 4: Other mathematical structures
Features: Different fundamental equations of physics
Assumption: Mathematical existence = physical existence
Evidence: - Unreasonable effectiveness of math in physics
- Answers Wheeler/Hawking question: "why these equations, not others"

人間原理は自然科学の枠内か？

■ 究極理論 vs. 人間原理

- 我々の宇宙と物理法則は必然性があり唯一のもの
- 宇宙とそこでの物理法則の「母集団」はかなりブロードな分布をしているが「人間が存在する」という条件によって選択された結果として選ばれた特殊なものが我々の宇宙である
- 真実はおそらくこの中間で、むしろ人間原理的選択効果は究極理論と対峙するものではなくむしろその一部分として包含されるものかもしれない

■ 人間原理は多重宇宙/並行宇宙の存在を仮定しているが、レベル1か2程度までであれば、物理学的にみてもさほど奇妙な考えではない

- 一方、人間原理は興味深い考え方ではあるが、検証可能性という見地からはまだ自然科学というより哲学

一般相対論的人生観

- 世の中に絶対的な幸せはない
- 相対的な比較のみが重要
 - 本来は十分満ち足りていても、周りがもっと贅沢ならば、不満を感じてしまう
 - みんな平等に貧しければ貧しさなど気づかない
 - 富めば富むほど、人との関係を嫌い利己的になる
 - 貧しければ自然に助け合い、人間関係が濃くなる
 - 刹那的な物欲のために常に前へ進むことの愚かしさ
 - 街を歩いている人々の顔が輝いているか？
- 「次はどうする」、よりも、「いつ(どこまできたら)やめるか」のほうが重要でかつ難しい
 - 実際には、既存のしがらみのために極めて困難

貧しいけど幸せ・貧しいから幸せ



20世紀宇宙論の総括

- 1980年代以降、宇宙論は急速に進歩
 - 暗黒物質の存在が決定的
 - マイクロ波背景輻射の温度ゆらぎ発見
 - ハッブル定数が10%の精度で決定される
 - 銀河系内MACHOの検出
 - 宇宙定数(暗黒エネルギー)存在可能性
 - 素粒子論的宇宙論による初期条件
- 物理学として十分成熟・発展を遂げた
- 次はどう進むべきであろう？

21世紀宇宙論の展望

- 20世紀最後の数年間で急速に進展した宇宙を特徴付けるパラメータの値をさらに確定
 - ⇒ 精密宇宙論の時代へ
- 「値」の意味(≡宇宙の起源)の理論的解明
 - ⇒ 量子宇宙論の完成へ
- さらなる謎・未知の領域を探る
 - ⇒ 第一世代の原始天体
生命誕生の環境としての宇宙

Expanding the *expanding* universe

0th order	一様等方宇宙モデル	宇宙論パラメータ
1st order	密度揺らぎの線形摂動論	宇宙の大構造 マイクロ波背景輻射
2nd order	非線型重力進化	ダークマターの構造形成
3rd order	バリオンガスの進化	第一世代天体と元素の起源
4th order	銀河、星、惑星の形成進化	光り輝く銀河宇宙の誕生
...		
L-th order	生命の起源・進化	宇宙論的生物発生学
M-th order	知的生命体への進化	宇宙論的生物進化学
N-th order	文化・文明・宗教	宇宙論的社会学
...		

宇宙論研究の極

WMAP



値から理解へ :

本当の宇宙論研究はいよいよこれから!