

宇宙と私達のつながり

大 石 雅 寿

国立天文台・天文データセンター

「生命はどうやって発生したのか」は人類の根源的問いの一つと言えます。「私達は宇宙で孤独な存在なのか、あるいは、他惑星に仲間がいるのか？」

地球の生命は約 35 億年前に誕生し、地球環境の変化と共に進化してきたと考えられています。生体内では多種多様な化学反応が起きており、生命を理解するためには非常に広範な科学分野の密接な連携が必要となります。そして、「宇宙における生命の起源・進化・分布・未来の研究」を目的とするアストロバイオロジーという新しい学問分野が1990年代末に提案され、大きく発展してきました。

地球誕生時の原始大気と思われていた水素、アンモニア、メタン、水の混合気体に放電したところ有機物が生成したという有名なミラーの実験に基づき、生命の起源は地球上の化学反応により始まったという考えが 20 世紀では支配的でした。しかし、宇宙の惑星形成領域の観測などから原始地球の大気には二酸化炭素がより多く含まれ、そのような環境では十分な量の有機物が生成できないことも分かってきました。そして、1995 年に太陽系外惑星が発見されたことにより、他の惑星における生命の存在について検討がなされるようになりました。

最近では、「生命の種」（アミノ酸、糖、核酸塩基やそれらの前駆体などの有機分子）を宇宙から初期惑星環境に持ち込むことが生命の発生にとって重要ではないかとのアイデアも出されています。太陽系外惑星が 1800 個以上も見つかってくると、もしかしたら他の惑星にも生命が存在するかもしれないとの期待も高まっています。

私達の体を構成するタンパク質は、アミノ酸がペプチド結合で連結した高分子です。私達がか用いているアミノ酸は L-アミノ酸のみであり、また DNA の基盤となる糖は全て D-体であることが知られています。このホモキラリティを説明するために提唱されているのが、円偏光によって元々ラセミ体となっているアミノ酸などの L/D 比が変化するというアイデアであり、シンクロトロン放射光を用いた実験も行われています。

本講演では、野辺山 45m 望遠鏡によるアミノ酸前駆体の観測結果、居住可能惑星での生命兆候（バイオマーカー）の話題、ホモキラリティの原因を宇宙の円偏光に求めようというアイデアなど、宇宙的観点から生命を理解しようとする活動の一端をご紹介します。（宇宙人の話ではありません！）

宇宙と私達のつながり

国立天文台／総合研究大学院大学
大石 雅 寿

masatoshi.ohishi@nao.ac.jp



講演概要

- 元素はどこから来たのか？
- 太陽系内の有機物質
- 星誕生現場での有機物質生成
- 太陽系外惑星
- 放射光と生命のつながり

生き物の体を作るもの

- タンパク質 (アミノ酸がたくさん繋がったもの)
: 体を構成する
- 糖: エネルギー源、DNAの基盤
- 脂質: エネルギー源
- 水
- 微量元素



水素(H)、炭素(C)
酸素(O)、窒素(N)

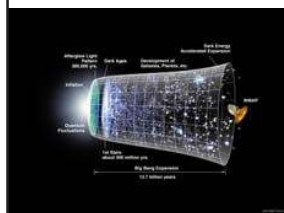
元素はどこから来たのか？

元素組成(ケイ素=1)

元素名(元素記号)	存在度	元素名(元素記号)	存在度
水素(H)	28000	ケイ素(Si)	1
ヘリウム(He)	2700	リン(P)	0.008
リチウム(Li)	0.0000004	硫黄(S)	0.45
ベリリウム(Be)	0.0000004	塩素(Cl)	0.009
ボロン(B)	0.000011	アルゴン(Ar)	0.1
炭素(C)	10	カリウム(K)	0.0037
窒素(N)	3.1	カルシウム(Ca)	0.064
酸素(O)	24	スカンジウム(Sc)	0.000035
フッ素(F)	0.001	チタン(Ti)	0.0027
ネオン(Ne)	3	バナジウム(V)	0.00028
ナトリウム(Na)	0.06	クロム(Cr)	0.013
マグネシウム(Mg)	1	マンガン(Mn)	0.0069
アルミニウム(Al)	0.083	鉄(Fe)	0.9

元素は全て宇宙で生まれた

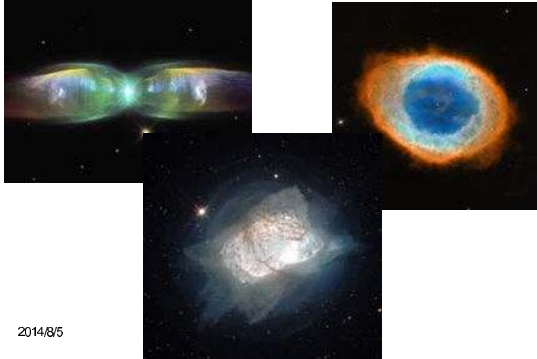
- ビッグバン
 - 水素&ヘリウム
- 星の内部での核反応
 - 水素 → ヘリウム
 - ヘリウム → 炭素、酸素、窒素
 - 鉄まで
- 超新星
 - ウランまで合成



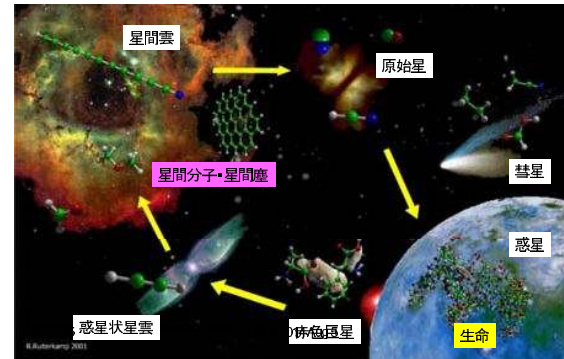
2014/8/5

佐賀LS 2014 Aug 5

元素の放出：星から宇宙空間へ



宇宙における物質の輪廻



私達の体の主な材料は
宇宙にたくさんある物質

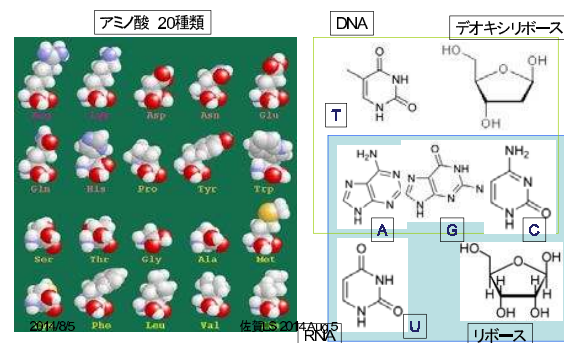


宇宙にたくさんある物質を
使って私達(生命)が生まれた

2014/8/5

佐賀LS 2014 Aug 5

タンパク質・核酸(DNA/RNA)の構成分子

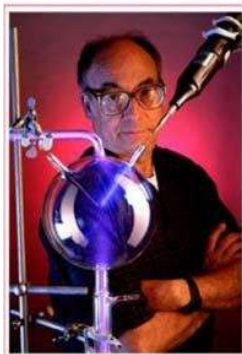


ミラーの実験 (1953)

- 当時想定された原始地球大気(無機物)から有機物が生成するか
- メタン (CH_4), アンモニア (NH_3), 水素 (H_2), 水蒸気 (H_2O)

↓火花放電

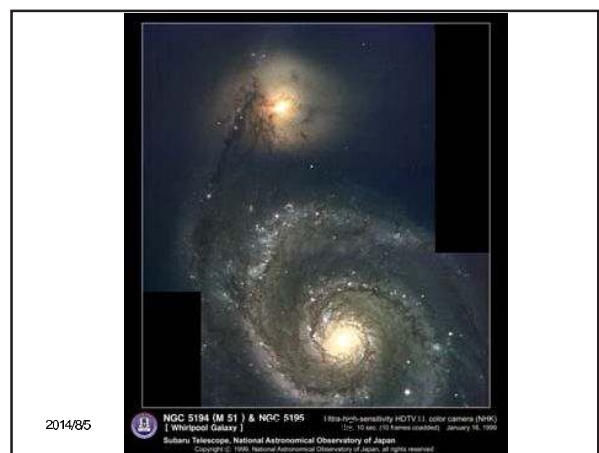
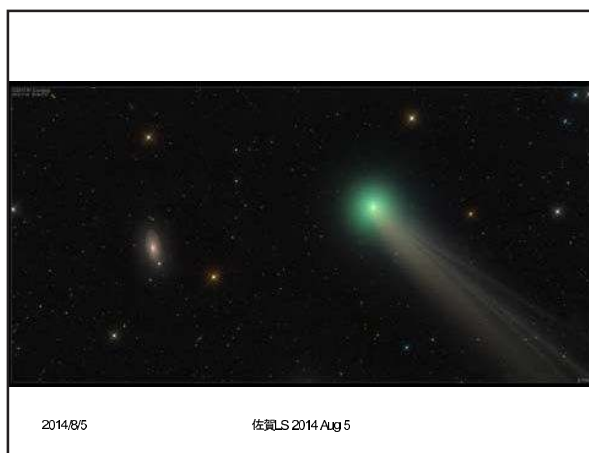
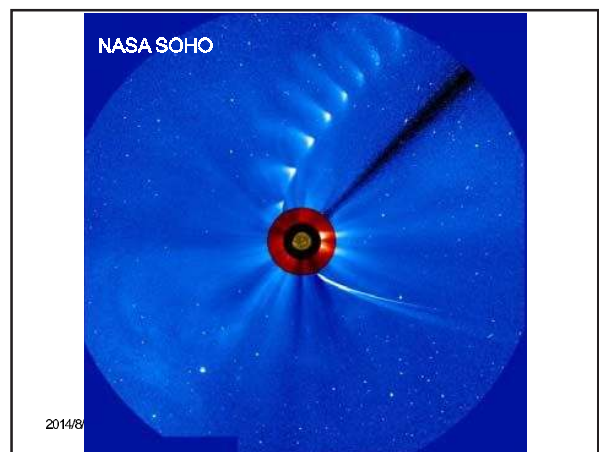
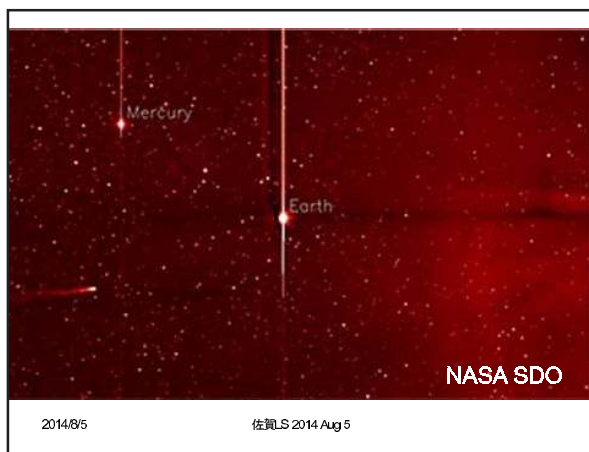
無機的にアミノ酸・尿素・カルボン酸などが生成
昔は、生物のみが有機物を作ると信じられていた。

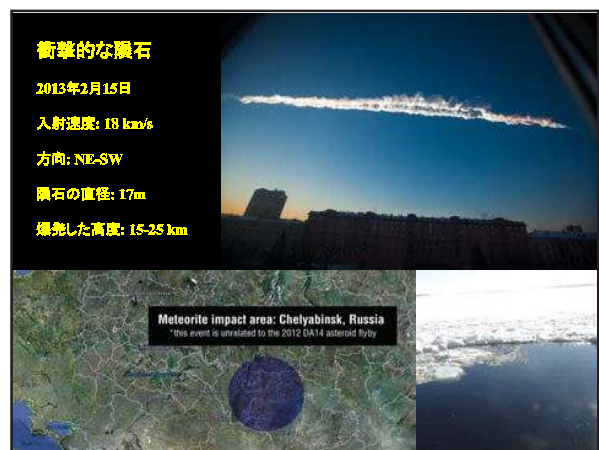
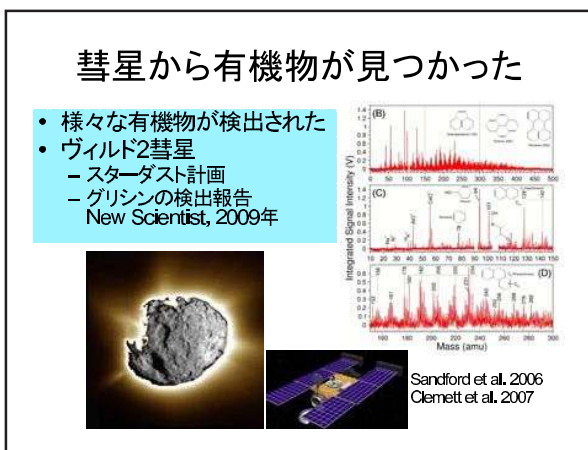
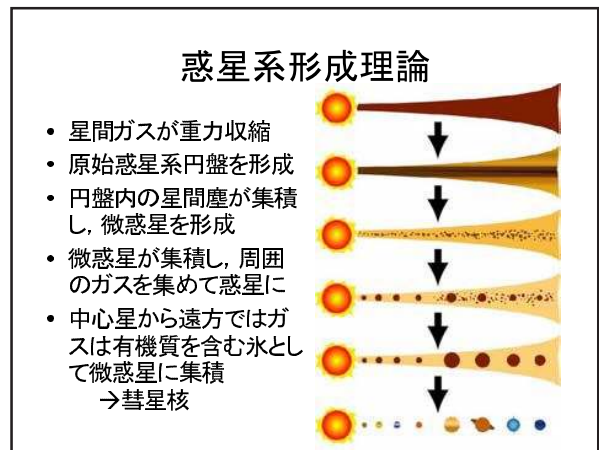
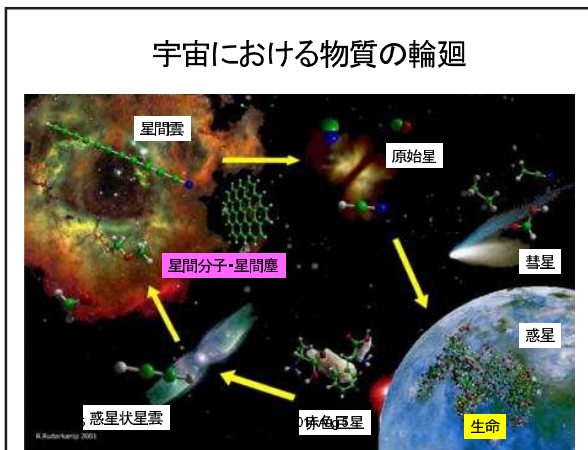
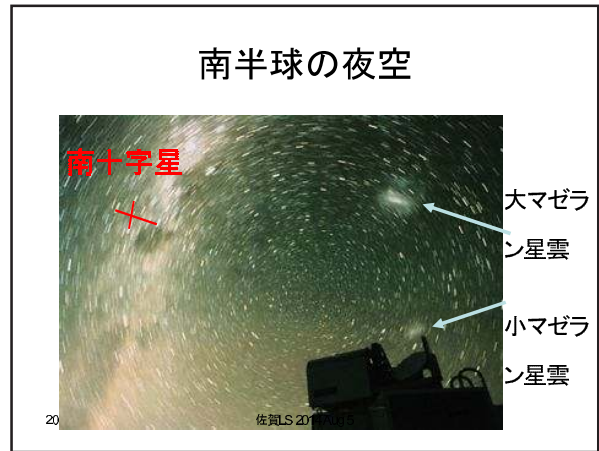
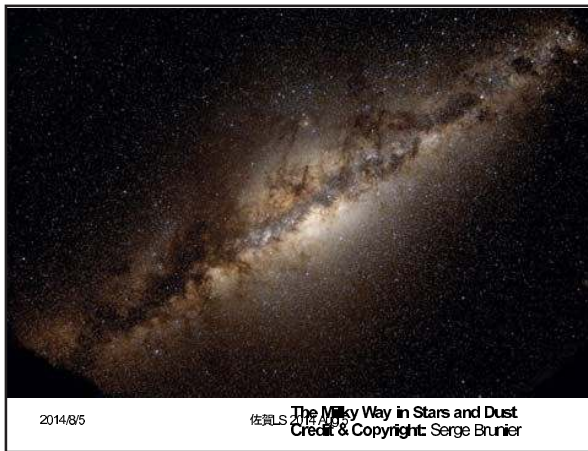


生命に至る過程

- 化学進化
 - 単純な分子の反応により複雑な物質(前生命物質)が形成、集積
 - CO_2 が多かった原始地球を模した環境ではうまくできない?? → 地球外から生命の種を持ち込む
- 閉鎖系の形成
 - 膜で外界と仕切られた構造 – 膜を通じてエネルギーや物質を交換
- 生物進化
 - 遺伝機能(自己複製)

太陽系内の有機物質







有機物質の惑星への運搬

隕石や彗星

- 後期重爆撃期: ~40億年前(38~41億年) ← アポロ宇宙船が持ち帰った月の石の年代分析
- 惑星衝突時の熱でかなりの部分は破壊されるだろうが、一部は残る?
- 彗星による有機物の持ち込みは、地球上における生成量の1000倍(Ehrenfreund et al, 2002)

- 一旦有機物が持ち込まれれば、さらに化学進化が続き、生命発生までの時間を短縮(?)

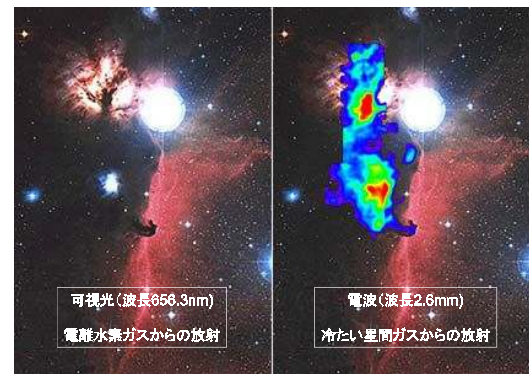
2014/8/5

佐賀LS 2014 Aug 5

星間雲中で生命に向けた
化学進化が起きていても
不思議ではない

2014/8/5

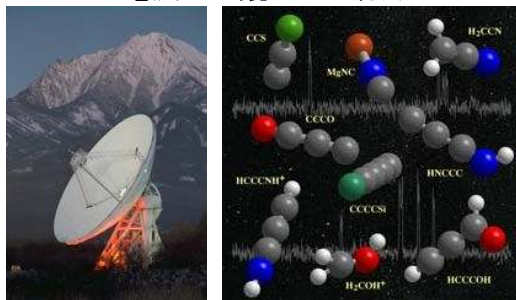
佐賀LS 2014 Aug 5



2014/8/5

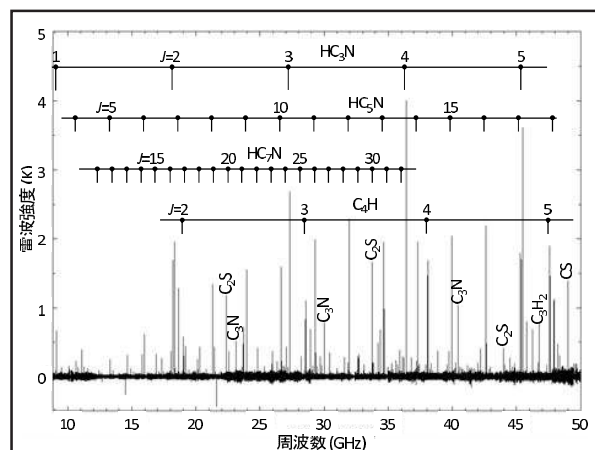
佐賀LS 2014 Aug 5

どういう物質があるの?
~電波望遠鏡による観測~



2014/8/5

佐賀LS 2014 Aug 5



宇宙の有機物質(主なもの)

- H_2CO
- CH_3OH
- $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
- CH_3COOH
- HCOOCH_3
- $(\text{CH}_3)_2\text{O}$
- $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$
- CH_2OHCHO



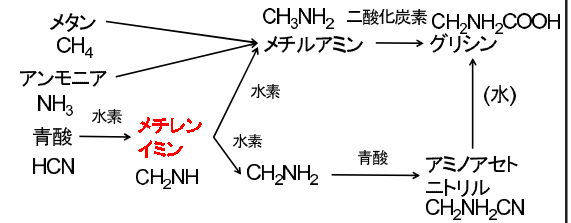
アミノ酸は未発見!

2014/8/5

佐賀LS 2014 Aug 5

宇宙でのグリシン生成仮説

- 紫外線照射下のダスト上での生成

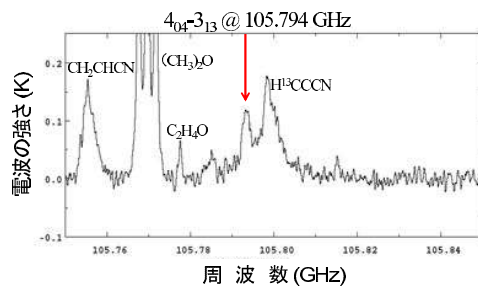


メタン、アンモニア、二酸化炭素、青酸、水は宇宙に豊富に存在する

2014/8/5

佐賀LS 2014 Aug 5

オリオン大星雲でのメチレンイミン



2014/8/5

佐賀LS 2014 Aug 5

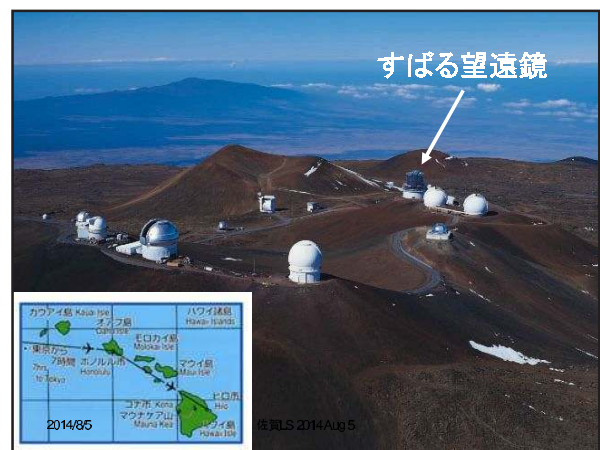
ALMA (初期科学運用中)



太陽系外の惑星達

2014/8/5

佐賀LS 2014 Aug 5



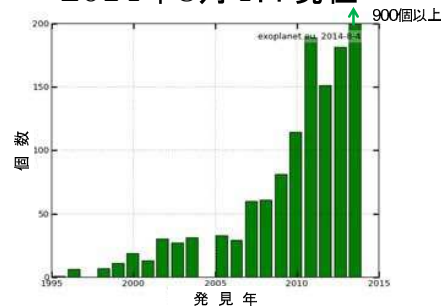
すばるで
見たオリオン
大星雲の
中心部



2014/8/5

Orion KL
Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan
CISCO (H2 (v=1-0 S(1)) - Core)
January 26, 1999

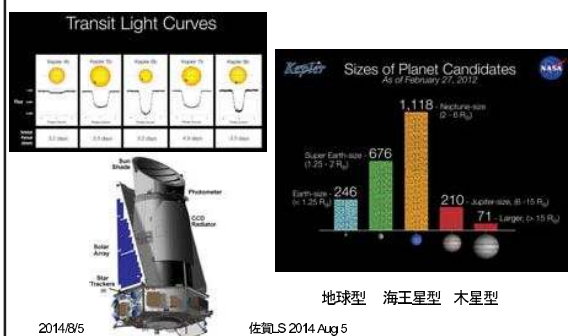
太陽系外惑星 (1811個) 2014年8月4日現在



2014/8/5

佐賀S 2014 Aug 5

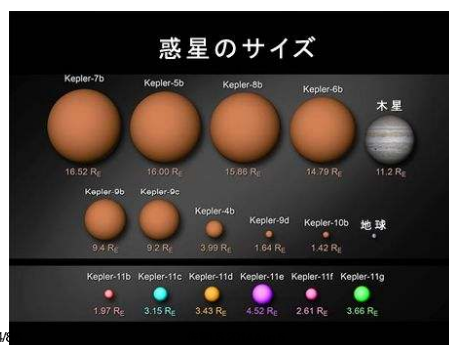
ケプラー衛星 - 多数の惑星候補



2014/8/5

佐賀S 2014 Aug 5

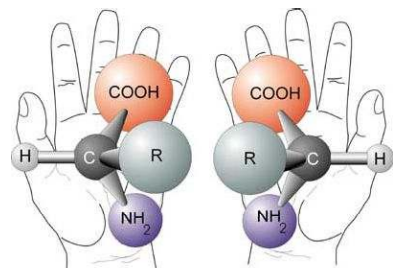
地球に似た惑星も



2014/8/5

放射光と生命のつながり

生体分子の非対称性の起源？



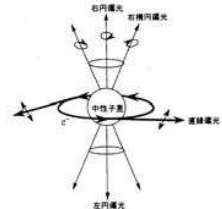
左手型(L-)アミノ酸 右手型(D-)アミノ酸
Dextro, Levorはそれぞれギリシャ語で右、左を意味

ホモキラリティの起源への提案

- 円偏光説
 - L/D体のLCP/RCPIによる光化学反応に対する感度が微小ながら違う
 - 円偏光の照射によりL/D体の非平衡が生じた
 - 左偏光 → L体過剰 / 右偏光 → D体過剰
- 弱い相互作用説 (Vester-Ulbricht仮説)
 - 弱い相互作用をするフェルミオンのヘリシティは左巻きのみ
 - この非対称性がL/D体間の非対称さを生んだ

宇宙における生体分子(アミノ酸)の非対称性の起源

1. マーチソン隕石中にアミノ酸の非対称性が見つかる(1997)
2. 宇宙において円偏光が検出される(1998).
3. 円偏光によるアミノ酸の不斉(非対称的)分解・生成実験



模擬星間有機物への円偏光紫外線照射によるアミノ酸不斉の創生

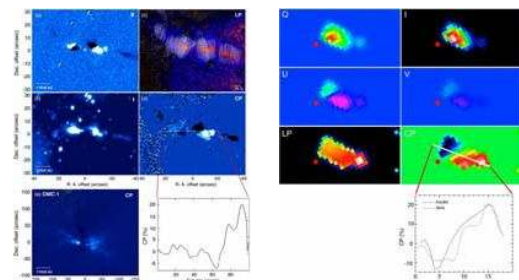
CPL beam	Energy / eV	Enantiomer ratio		Enantiomeric excess			Confidence level
		D / %	L / %	(D - L) / %*	SD**		
none		51.32	48.68	2.64	(0)	0.34	
RCPL	1.57 E 10	51.54	48.46	3.08	(+0.44)	0.30	> 95 %
LCPL	1.57 E 10	50.99	49.01	1.98	(-0.66)	0.22	> 99.8 %

* Figures in brackets are corrected values based on the non-irradiated sample.

** Standard deviations: Number of each set is 7.

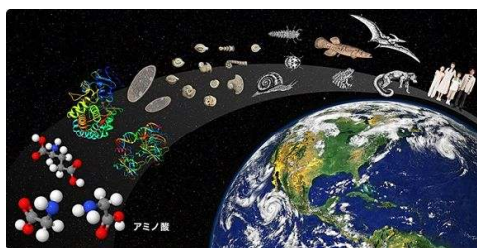
横浜国立大 小林憲生教授 ご提供

NGC6334(星形成領域)での円偏光観測



Kwon, J.M, et al, 2013 ApJ 765 L6

私達は、様々な形で宇宙と繋がっている



2014/8/5

佐賀LS 2014 Aug 5