

# MDAレポート

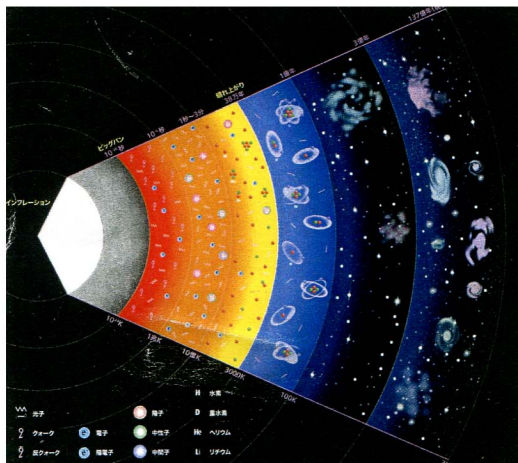
No.72号

2016年1月19日

## 電子のはなし

### 宇宙の物質の構成……（1）

#### 元素の起源



ビッグバンによって宇宙が生まれた最も単純な元素が作られた（H, He）。しかし地球や物質や我々の大部分はより重い元素も入ってきている。これらの元素は何世代にもわたる星の誕生と死の繰り返しによって作られた。

17～18世紀にかけて周期率表にある92種の元素（原子番号1の水素から元素番号92のウラン）が発見されました。これらの元素の原子の構造は原子核 $\oplus$ と電子 $\ominus$ からなり、電子は原子核のまわりを光子によって媒介された電気磁気力によって高速でまわっているのです。原子核は陽子 $\oplus$ 、中性子、中間子からなり、これらの核子は、素粒子から構成されています。

陽子は2ケのアップクォークu、と1ケのダウンクォークdから、中性子は1ケのアップクォークuと2ケのダウンクォークdとから構成されています。原子核の中で陽子と中性子は強い力で結ばれています。この強い力はグルオンという粒子が媒介しています。

そしてこの強い力は色荷（赤、青、緑、）をもったクォークにのみ影響を及ぼすのです。クォークを単独に取り出そうとしても強い力でクォーク同士がむすばれていますので取り出すことができないのです。ちょうどゴムひもで結ばれていて引っ張れば引っ張るほど弾性が強くなって取り出せない状態を想像してください。一方で例えば中性子の中にあるダウンクォークdをアップクォークuに変えることで中性子を陽子に変えてしまいます。この現象は放射能に関わるベータ崩壊現象で、原子核の中でしか作用しない弱い力がクォークやレプトンに及ぼしたことによるものです。

原子の質量の大部分は原子核が占めている。元素の化学的性質は陽子の数によってきまります。化学反応は電子のやりとりで進行します。例えば化学反応～3000℃迄、一方、原子核反応～1000万℃以上となります。





ビッグバン137億年前に宇宙の創成以来、宇宙全体の中で観測可能な物質の割合は4%にしか過ぎずその大半は水素とヘリウム（光スペクトルで見ると）でその他の元素はごく微量であるとしています。残りの23%は暗黒物質で73%は暗黒エネルギーであることがNASAが打ち上げたWMAP衛星観測からわかったとしています。

地球は地殻の中心部は鉄で地表は炭素や酸素その他の元素である。H、Heがずっと希少であるのは気体であるので地球形成のとき殆ど散逸してしまったためとしている。太陽系では太陽光のスペクトルと隕石の化学分析の2種類を組み合わせると太陽系全体の組成がかなり正確にわかる。その存在比率水素原子 $10^{12}$ 当たりHe原子 $10^{11}$ 、炭素C原子 $10^2$ 以下である。そして陽子数が偶数の原子より安定して存在比が大きい。

宇宙創成してから2~3秒後；温度が $10^{10}$ ℃となり陽子以外の複合原子核が存在できる最大の温度陽子は→中性子に変わり、また中性子は陽子に変わっていた。その結果平均的に陽子7ヶに対し中性子1ヶの割合で存在。自由な中性子は不安定で通常の状態では平均10分ほどで陽子と電子に崩壊する。しかしこの崩壊が起こる前に中性子は陽子と結合して重陽子（重水素の原子核）そして重陽子は他の陽子と反応してHe原子核を作った。

計算の結果水素原子10ヶに対し、He1ヶ、また少量の重水素も反応せずに残った。これらの理論的推定値は実測と一致した。これはピッ

クバン説の強力な証拠である。H、Heよりも重い元素は宇宙のわずか1%占めるに過ぎない。

このような重い元素は星の中心の原子核融合反応によって作られた。星は大量のガスを自分自身の重力で収縮することがあり、圧縮によって中心部の温度が上がり十分な温度になると融合して重い原子核が作られる。核融合により星は高温を保ち光輝く。最初に起こる原子核融合反応では水素原子核が融合してHeを作る。星の中心部はHeが蓄積してHeの芯が作られる。水素が燃えつきて出るエネルギーが減ってくると星の中心は再び収縮を始め、更に熱くなる芯のほうから縮まるにつれて外層は膨張し赤色巨星となる。比較的軽い星の場合はHeの芯がそのまま高密度の物体として残り、その大きさは地球程度で白色矮星となる。

星の質量が太陽の0.4倍以上では中心部の温度は $10^8$ ℃で、He原子核同士が反応してより重い原子核を生育する。Heが融合するとBe、さらにHeと反応して炭素C、つぎに酸素Oが生成される。C/Oの比率は星の質量によって決まる。

太陽の0.4~8培の星ではCやOが中心部に蓄積し、核融合反応は終了し、白色矮星となる。最重量級の星では芯が更に高温になり、CやOが融合してイオウSが生成する。さらに反応は段階的に進み最終的には中心にFe（陽子26ヶ）及び同程度の重さの原子核が生成される。一連の反応はここで停止する。なぜならばFeはあらゆる元素のなかで最も安定な原子核であり核融合反応を起こすことはできないからである。鉄Feの芯のまわりでは別な核反応が進行している。

少数派の反応によって徐々にFeよりも重い原子核を作る。天文学者がS過程（Slowの意味）とよんでいる。即ち反応で中性子が作られ、それから他の原子核に吸収され、その結果原子核の質量が増加し、ひとたび原子核にとらえられると陽子に変わり原子核の中心は陽子と中性子の両方の数を増やすことができる。これにより83個の陽子をもつピスマスまでの元素が作



## 元素の周期表

	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8	8	8	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	0				
1	1 H 1.0 水素																	2 He 4.0 ヘリウム				
2	3 Li 6.9 リチウム	4 Be 9.0 ベリリウム	金属元素									● 金属元素と非金属元素 の境界にある元素は、 両方の性質をあわせも っている。					5 B 10.8 ホウ素	6 C 12.0 炭素	7 N 14.0 窒素	8 O 16.0 酸素	9 F 19.0 フッ素	10 Ne 20.2 ネオン
3	11 Na 23.0 ナトリウム	12 Mg 24.3 マグネシウム	非金属元素									13 Al 27.0 アルミニウム	14 Si 28.1 ケイ素	15 P 31.0 リン	16 S 32.1 硫黄	17 Cl 35.5 塩素	18 Ar 39.9 アルゴン					
4	19 K 39.1 カリウム	20 Ca 40.1 カルシウム	21 Sc 45.0 スカンジウム	22 Ti 47.9 チタン	23 V 50.9 バナジウム	24 Cr 52.0 クロム	25 Mn 54.9 マンガン	26 Fe 55.8 鉄	27 Co 58.9 コバルト	28 Ni 58.7 ニッケル	29 Cu 63.5 銅	30 Zn 65.4 亜鉛	31 Ga 69.7 ガリウム	32 Ge 72.6 ゲルマニウム	33 As 74.9 ヒ素	34 Se 79.0 セレン	35 Br 79.9 臭素	36 Kr 83.8 クリプトン				
5	37 Rb 85.5 ルビジウム	38 Sr 87.6 ストロンチウム	39 Y 88.9 イットリウム	40 Zr 91.2 ジルコニウム	41 Nb 92.9 ニオブ	42 Mo 95.9 モリブデン	43 Tc (98) テクネチウム	44 Ru 101.1 ルテニウム	45 Rh 102.9 ロジウム	46 Pd 106.4 パラジウム	47 Ag 107.9 銀	48 Cd 112.4 カドミウム	49 In 114.8 インジウム	50 Sn 118.7 スズ	51 Sb 121.8 アンチモン	52 Te 127.6 テルル	53 I 126.9 ヨウ素	54 Xe 131.3 キセノン				
6	55 Cs 132.9 セシウム	56 Ba 137.3 バリウム	57-71 ラタノイド	72 Hf 178.5 ハフニウム	73 Ta 180.9 タンタル	74 W 183.9 タングステン	75 Re 186.2 レニウム	76 Os 190.2 オスミウム	77 Ir 192.2 イリジウム	78 Pt 195.1 白金	79 Au 197.0 金	80 Hg 200.6 水銀	81 Tl 204.4 タリウム	82 Pb 207.2 鉛	83 Bi 209.0 ヒスマス	84 Po (209) ポロニウム	85 At (210) アスタチン	86 Rn (222) ラドン				
7	87 Fr 223 フランシウム	88 Ra 226 ラジウム	89-103 アクチノイド																			

## 118元素のすべて

- |          |            |            |            |              |              |
|----------|------------|------------|------------|--------------|--------------|
| ① 水素     | ②① スカンジウム  | ④① ニオブ     | ⑥① プロメチウム  | ⑧① タリウム      | ⑩① メンデレビウム   |
| ② ヘリウム   | ②② チタン     | ④② モリブデン   | ⑥② サマリウム   | ⑧② 鉛         | ⑩② ノーベリウム    |
| ③ リチウム   | ②③ バナジウム   | ④③ テクネチウム  | ⑥③ ユウロビウム  | ⑧③ ビスマス      | ⑩③ ローレンシウム   |
| ④ ベリリウム  | ②④ クロム     | ④④ ルテニウム   | ⑥④ ガドリニウム  | ⑧④ ポロニウム     | ⑩④ ラザホージウム   |
| ⑤ ホウ素    | ②⑤ マンガン    | ④⑤ ロジウム    | ⑥⑤ テルビウム   | ⑧⑤ アスタチン     | ⑩⑤ ドブニウム     |
| ⑥ 炭素     | ②⑥ 鉄       | ④⑥ パラジウム   | ⑥⑥ ジスプロシウム | ⑧⑥ ラドン       | ⑩⑥ シーボーギウム   |
| ⑦ 窒素     | ②⑦ コバルト    | ④⑦ 銀       | ⑥⑦ ホルミウム   | ⑧⑦ フランシウム    | ⑩⑦ ポーリウム     |
| ⑧ 酸素     | ②⑧ ニッケル    | ④⑧ カドミウム   | ⑥⑧ エルビウム   | ⑧⑧ ラジウム      | ⑩⑧ ハッシウム     |
| ⑨ フッ素    | ②⑨ 銅       | ④⑨ インジウム   | ⑥⑨ ツリウム    | ⑧⑨ アクチニウム    | ⑩⑨ マイトネリウム   |
| ⑩ ネオン    | ②⑩ 亜鉛      | ④⑩ スズ      | ⑥⑩ イッテルビウム | ⑧⑩ トリウム      | ⑩⑩ ダームスタチウム  |
| ⑪ ナトリウム  | ②⑪ ガリウム    | ④⑪ アンチモン   | ⑥⑪ ルテチウム   | ⑧⑪ プロトアクチニウム | ⑩⑪ レントゲニウム   |
| ⑫ マグネシウム | ②⑫ ゲルマニウム  | ④⑫ テルル     | ⑥⑫ ハフニウム   | ⑧⑫ ウラン       | ⑩⑫ コペルニシウム   |
| ⑬ アルミニウム | ②⑬ ヒ素      | ④⑬ ヨウ素     | ⑥⑬ タンタル    | ⑧⑬ ネプツニウム    | ⑩⑬ ウンウントリウム  |
| ⑭ ケイ素    | ②⑭ セレン     | ④⑭ キセノン    | ⑥⑭ タングステン  | ⑧⑭ プルトニウム    | ⑩⑭ ウンウンクアジウム |
| ⑮ リン     | ②⑮ 臭素      | ④⑮ セシウム    | ⑥⑮ レニウム    | ⑧⑮ アメリカニウム   | ⑩⑮ ウンウンベンチウム |
| ⑯ 硫黄     | ②⑯ クリプトン   | ④⑯ バリウム    | ⑥⑯ オスミウム   | ⑧⑯ キュリウム     | ⑩⑯ ウンウンヘキシウム |
| ⑰ 塩素     | ②⑰ ルビジウム   | ④⑰ ランタン    | ⑥⑰ イリジウム   | ⑧⑰ パークリウム    | ⑩⑰ ウンウンセプチウム |
| ⑱ アルゴン   | ②⑱ ストロンチウム | ④⑱ セリウム    | ⑥⑱ 白金      | ⑧⑱ カリホルニウム   | ⑩⑱ ウンウンオクチウム |
| ⑲ カリウム   | ②⑲ イットリウム  | ④⑲ プラセオジウム | ⑥⑲ 金       | ⑧⑲ アインスタイニウム |              |
| ⑳ カルシウム  | ②⑳ ジルコニウム  | ④⑳ ネオジウム   | ⑥⑳ 水銀      | ⑧⑳ フェルニウム    |              |

現在確認されている元素は人工的に合成したものを含めると118種類で、この中の90種類は自然に存在する元素です。

られる。

星の一生が最終段階に入るのは中心部のF e  
が大きくなったとき、重力によって圧縮しつづ  
けられて、その温度は何十億度まで上がる。芯  
で作られた元素も分解し、星の中心部は中性子  
でぎっしり詰まった高密度の固まりとなる。星  
の外層はいったん中心部に落ち込むがはね返っ  
て星の内容物を宇宙空間に吐き出す。即ち超新星  
の爆発が起こる。この爆発自体もさらに重い  
元素を作る。この過程 r 過程 (r 過程の意味)  
中性子が一度に数個の中性子が原子核に吸収さ  
れる。超新星の爆発で太陽の10億倍も輝く (1987  
直接目で観測できる超新星の爆発) この  
星で作られた元素が宇宙空間でばらまかれ、こ  
れが星間ガスとなり、後の世代の星に取り込ま  
れる。これの繰り返しによって太陽系の殆どの  
元素、物質は銀河系が生まれてから数十億年の  
間に起こった超新星の爆発によって作られたと  
言えよう。

---

※MDAレポートは皆様のミニコミです。

MDAレポートに関するご批判、ご意見  
ご提言、皆様の体験レポート (家庭用、  
工業用) あるいはご質問など何でも結構  
です。書欄にて当社までお寄せください。

〒921-8831

石川県野々市市下林4-499-2

丸子電子株式会社

TEL<076>246-6806

FAX<076>248-0103

MDA特性総合研究所

TEL<076>246-6863