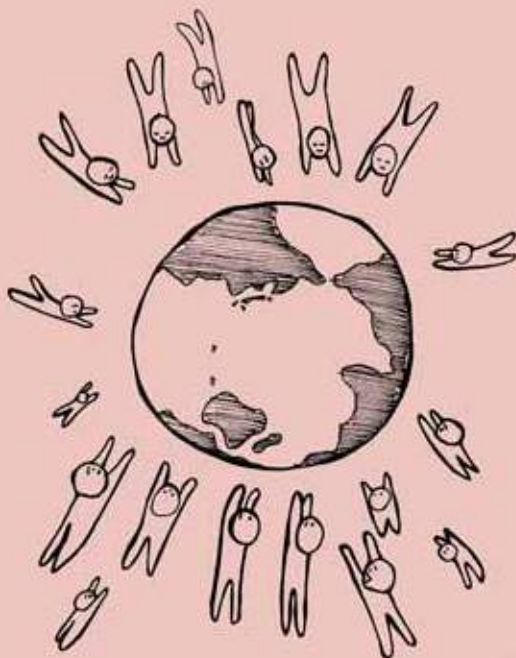


宇宙線 50のなぜ

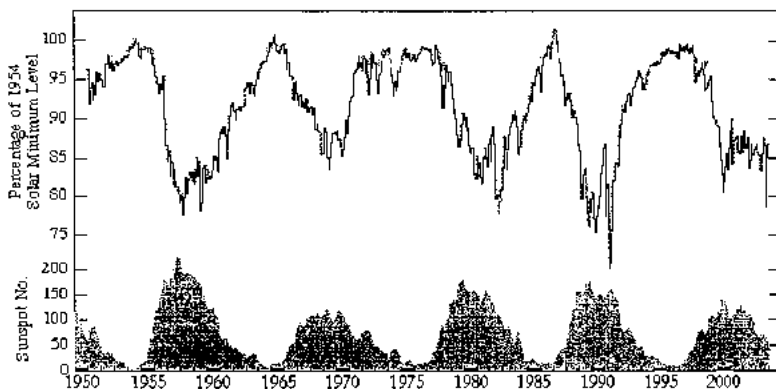
制 作

名古屋大学太陽地球環境研究所
りくべつ宇宙地球科学館
豊川市ジオスペース館

大村純子・絵



宇宙線のエネルギーは、エレクトロンボルト（eV）単位で表わす。1 カロリーは、 2.6×10^{19} eV に相当する。今日観測されている最もエネルギーの高い宇宙線は、ほぼ 4 カロリーのエネルギーを有している。



1951 年より Climax（米コロラド州）で観測されている、宇宙線の到来量（上のデータ）。変動量をパーセントで表記したもの。黒点数（下のデータ）との逆相関が見られる。（The University of New Hampshire, Neutron Monitors より）



も く じ

●・・・ 基礎編： 宇宙線ってなあに？

1. 宇宙線ってなあに？
2. どうやって宇宙線を見るの？
3. 霧箱はどう作るの？ — 宇宙線を見たい人のために
4. どうして霧箱で宇宙線が見えるの？
5. 宇宙線を霧箱以外で、確かめられないの？
6. 宇宙線はどうやって測るの？
7. 宇宙線はどのくらいの速さで飛んでくるの？
8. 宇宙線はどのくらいの数やってくるの？

●・・・ 発展編その1： 宇宙線はどうやって見つかったの？

9. 放射線と宇宙線は同じなの？
10. 宇宙線は安全なの？

11. 宇宙線はどうやって見つかったの？
12. 宇宙線には何が含まれているの？
13. 原子核ってなあに？
14. パイ中間子とミュー粒子の謎？
15. 素粒子ってなあに？
16. なぜミュー粒子は地表までやってくるの？
17. 宇宙線の中にどうしてクオークはないの？

●・・・発展編その 2： 宇宙線はどこで作られるの？

18. 宇宙線はどこで作られるの？
19. 太陽宇宙線はどのようにして作られているの？
20. 銀河宇宙線はどこからやってくるの？
21. チェレンコフ望遠鏡とは？ — のぞみはひかりより速い
22. 1006 年の超新星残骸からのガンマ線は何を意味しているの？
23. 宇宙線はどうやって加速されるの？
24. 宇宙線は他の惑星にもぶつかっているの？
25. 宇宙線の量はいつも一定なの？
26. 宇宙線は世界のどこでも一定なの？
27. 恐竜の時代に宇宙線はあったの？

●・・・応用編： 宇宙線のエネルギーは何かに利用できるの？

28. 宇宙線のエネルギーはどれ位なの？
29. 宇宙線のエネルギーは何かに利用できないの？
30. 宇宙線のエネルギーはどこまであるの？
31. 宇宙線のエネルギーはどうやって測るの？
32. 最高エネルギーの宇宙線が頭上に落ちたらどうなるの？

- 33. 宇宙線で火山のマグマの状況がわかる？
- 34. 宇宙線で惑星の水探索ができる？
- 35. 宇宙飛行士はなぜ3か月交代で勤務するの？
- 36. 人類は月で生活できるの？

●・・・ 最近の話題から

- 37. 太陽ニュートリノはどうやって作られているの？
- 38. 太陽ニュートリノの謎？
- 39. 小柴先生のノーベル賞は宇宙線とどう関係しているの？
- 40. 大気ニュートリノの謎？
- 41. 不思議な宇宙線？ — モノポール
- 42. 不思議な宇宙線？ — 反粒子宇宙線
- 43. 宇宙線は宇宙を何年旅してやってくるの？
- 44. 我々の銀河系外から宇宙線は来ているの？
- 45. 最高エネルギー宇宙線の謎？
- 46. 宇宙線起源の放射性同位元素を測ると、過去の太陽活動がわかる？
- 47. 宇宙線が地球の気候に影響を与えているの？
- 48. マウンダー極小期の寒冷化も宇宙線の影響？
- 49. フランクリンの実験と宇宙線？
- 50. ガリレオと近代科学？

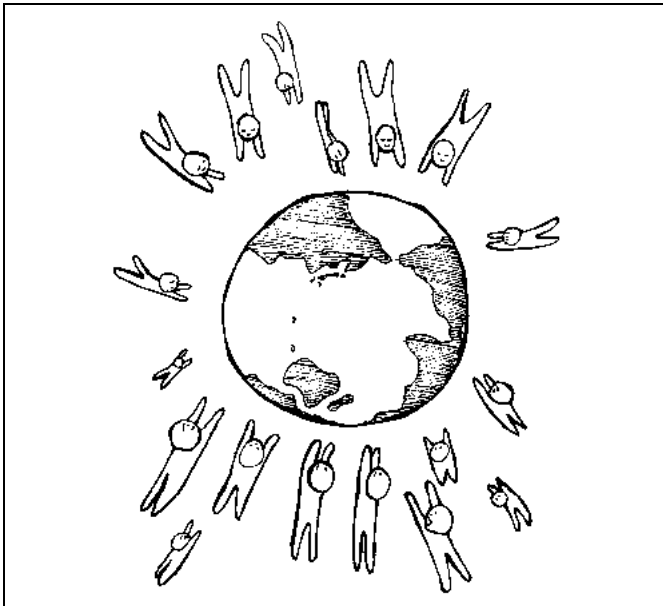
基礎編： 宇宙線ってなあに？

1. 宇宙線ってなあに？

宇宙線は“宇宙船”ではありません。宇宙から地球にやってくる、とてもとても小さい粒子のことです。

何もない空間を光線や X 線のように直進する、透過力の強い、宇宙からやってくる線、すなわち宇宙線と名前がつけました。

宇宙線は、どれ位小さいかと言うと、1 mm の 1,000,000,000,000 (1 兆) 分の 1 程度です。1 mm の 1 兆分の 1 の大きさがどの位小さなものかウイルスと比べてみましょう。ウイルスの大きさは 1 mm の 1 万分の 1 程度ですから、すごく小さいものです。宇宙線粒子がいかに小さなものかわかってもらえると思います。



2. どうやって宇宙線を見るの？

宇宙線はウイルスよりも小さいので、肉眼ではとうてい見ることはできませんね。ウイルスを見るときに使う電子顕微鏡を使っても見えません。

宇宙線を見るためには、“霧箱”という特別な道具を使う必要があります。下の写真は、霧箱を使って得られた宇宙線の姿です。この写真から、宇宙線というものが、実在する形のある粒子であると実感していただけたと思います。



霧箱にうつった宇宙線の飛跡

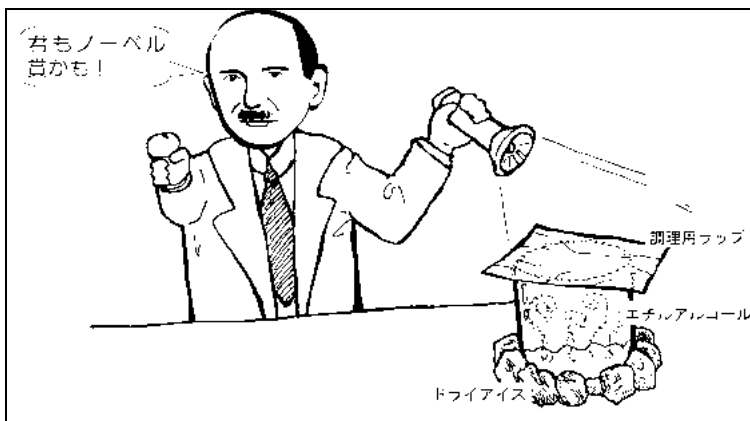
3. 霧箱はどう作るの？

ー 宇宙線を見たい人のために

それでは、宇宙線の実在を自分の目で確かめたい人のために、霧箱の作り方を伝授しましょう。霧箱とは、霧がいつも立ちこめている状態を人工的に作った箱のことです。霧箱を作るためには、エチルアルコール、ドライアイス、そしてビーカー、調理用ラップが必要です。エチルアルコールをビーカーの底に少量入れ、ビーカーの上を調理用ラップでふたをします。次に、ドライアイスをビーカーの底にあてて、冷やします。ビーカーは暗い部屋に置きます。しばらくすると、容器の中に霧が立ちこめてきます。

この状態で、ビーカーの中を懐中電灯の光を当てて注意深く見ていると、宇宙線の飛跡が瞬間的に見えます。宇宙線は絶えず地球にやってきましたから 1 年中 24 時間、いつでも見ることができます。

なお、霧箱は 1927 年ノーベル賞を受賞した、イギリスのウィルソン先生が発明したアイデアです。



4. どうして霧箱で宇宙線が見えるの？



まず、霧がどうやってできるのかを説明します。大気中には水蒸気が含まれていますが、水蒸気はいつも私たちの目に見えるわけではありません。しかし、だんだん気温が下がってくると窓に水滴が付くことから、空気中に水蒸気があることがわかります。19 世紀、ロンドンの冬は霧が立ちこめることで有名でした。これは、各家庭で暖房のために燃やす石炭の粉塵（粉々の小さな粒状になったチリ）に水蒸気がかっついてだんだん大きくなり、気温が下がると霧になったわけです。

粉塵だけでなく、イオンも霧を作ることが知られています。イオンが粉塵にくっつき、そして成長していく場合もあります。イオンというのは、原子や分子が電荷をもった状態のことです。

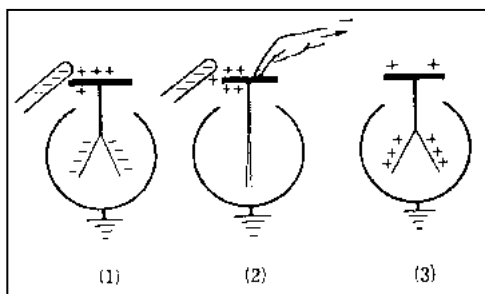
原子や分子は通常は電氣的に中性ですが、宇宙線が空気中を通過すると、空気の分子中の電子を切り離し、分子をイオン化してしまいます。分子はイオン化され、もはや中性ではなく、電気を帯びます。このイオンの周りに、他の分子が集まってきて、霧の水滴に成長していくのです。霧箱の場合、宇宙線が通過した後に作られたイオンが成長して水滴となり、それがつながって飛跡として見たのです。

5. 宇宙線を霧箱以外で、確かめられないの？

宇宙線は、コンクリートを突き抜けて建物の中にも入ってきます。宇宙線が部屋の中にやってきていることは、霧箱以外の方法でも確認できます。この冊子を読まれている方が中学生や高校生なら、学校の理科室をのぞいてみて下さい。そこには、箔検電器（はくけんでんき）というものがあるはずです。ガラス容器の中に、2枚のアルミの箔をつるしただけの、簡単なものです。自分で作ることもできますよ。

エボナイト棒を毛皮でこすって、この上に近づけます。エボナイト棒には静電気が起こって負の電荷が誘導されていますから、箔検電器の上の方には正の電荷が集まってきます。そのため、下の箔の方には反対の負の電荷が集まります。そして、同じ電荷同士は反発するので2枚の箔は開きます。そのままの状態、手で箔検電器の上端をさわって負の電荷を逃がします。その後、エボナイト棒も手も箔検電器から遠ざけます。箔検電器には正の電荷だけ残り、何もしなければ、箔は開いたままです。

しかしどうでしょう。観察していると、箔はやがてしぼんでしまい、最後にはくっついてしまいます。これはなぜかという、何か電気を持った目に見えない粒子が外部から飛んで来て、4で書いたように宇宙線はイオンを空気中で作るの、せつかく摩擦により誘導された電荷を、これらのイオンが中和して弱めてしまうためです。この電気をもった見えない粒子こそが、宇宙線なのです。



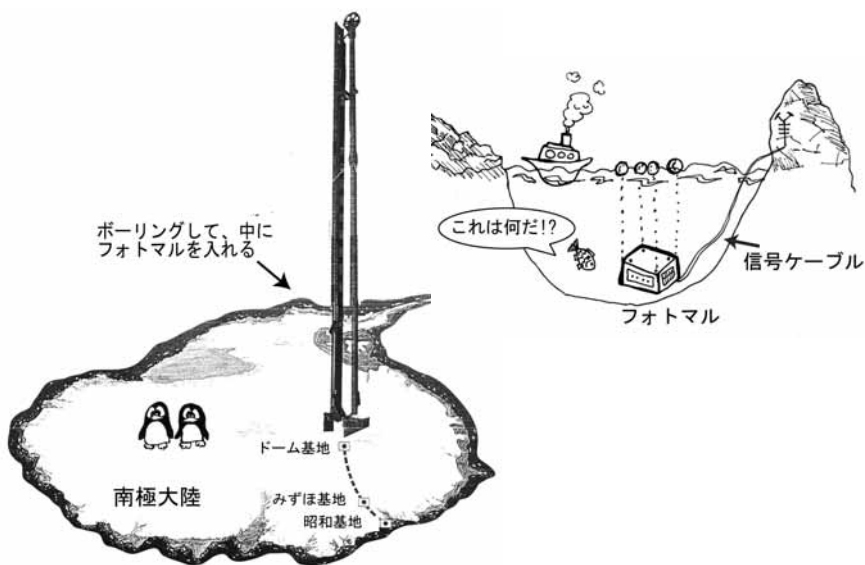
6. 宇宙線はどうやって測るの？

宇宙線を測るには、水を使う方法もあることをお話ししましょう。海水も利用できます。南極大陸の巨大な氷の固まりさえも利用できます。

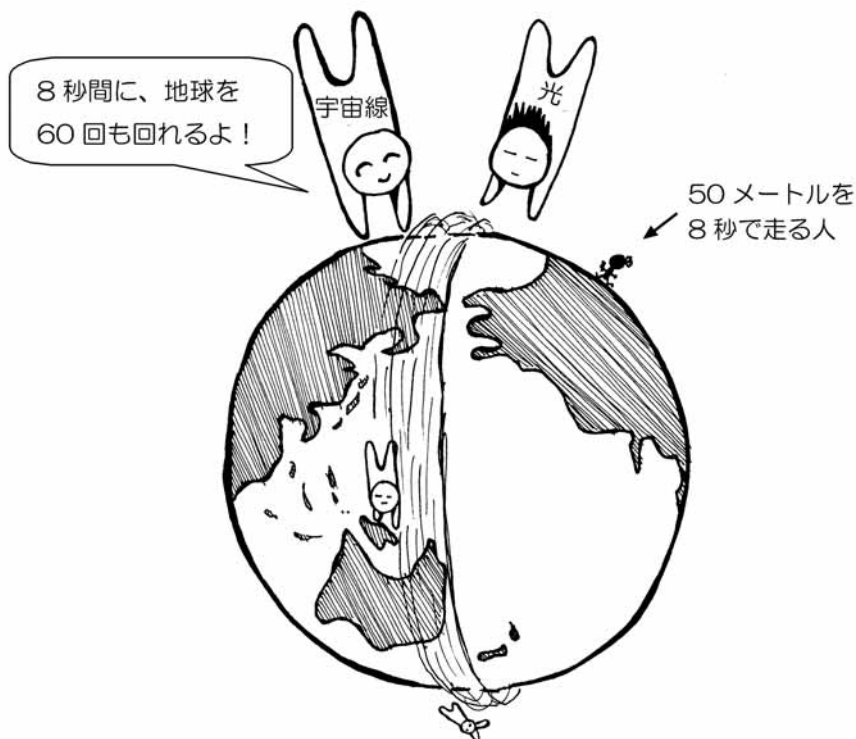
宇宙線が水や氷の中を通過すると、光を出します。その光をとらえるのです。その光は青色です。

なぜ光を出すのでしょうか。宇宙線は光の服を着ていると思って下さい。水の中を宇宙線は光速に近い速さで走り抜けますが、光の服の方は、水中を光速で走れません。宇宙線についていけなくて落ちこぼれるのです。

宇宙線の出すこの青い光は肉眼では見えません。これを見るためには、もっと感度の高い電子の目、フォトマルという道具が必要です。この青い光は、発見者のロシア人チェレンコフの名前をとって、チェレンコフ光とも呼ばれます。この原理については発展編の 21 で説明しましょう。



7. 宇宙線はどのくらいの速さで飛んでくるの？



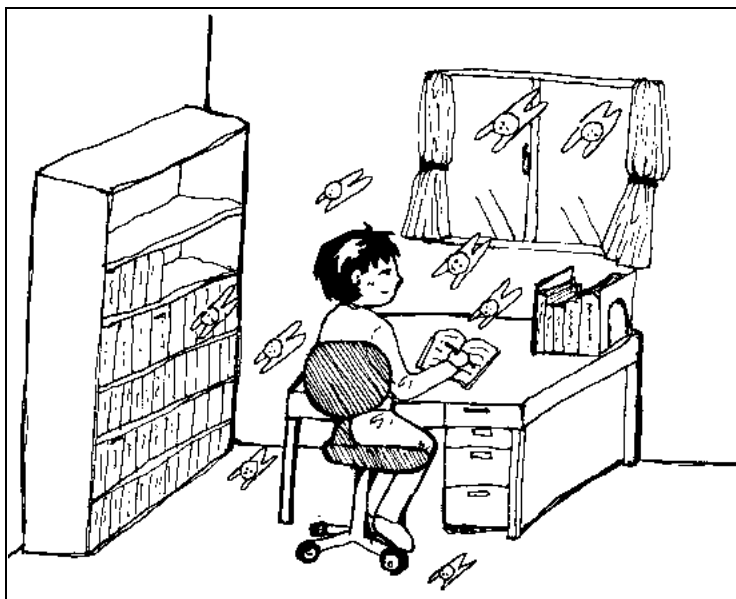
それでは宇宙線は、宇宙から一体どの位の速さで飛んで来るのでしょうか？ 宇宙線は、ほぼ光の速さで飛んできます。光の速さは、1 秒間に 30 万 km です。これは、1 秒間に地球の赤道上空を 7 回転半するという事を意味しています。

50 m 走を測定したことがあるでしょう。君が 50 m を 8 秒で走ったとすると、その間に宇宙線は地球を 60 回も回っていることになります。いかに宇宙線が速い速度で宇宙から地球までやってくるのか、これでわかっていただけましたか。

8. 宇宙線はどのくらいの数やってくるの？

宇宙線は宇宙から地球にどの位の数、飛んでくるのでしょうか？ 皆さんのお部屋にある勉強机の上には、1 秒間におよそ 140 個位降り注いでいます。でもこれで驚いてはいけません。スペースシャトルに乗って宇宙空間に行くと、宇宙線は地表より 100 倍多くやってきているのです。宇宙では宇宙線が無数に飛び交っています。それに比べれば、君たちの机の上に飛んでくる 140 個は、ほんのわずかなのです。

それでは、なぜ地表で測ると、宇宙線の数 は 100 分の 1 にま
でなってしまうのでしょうか？ それは、多くの宇宙線が地球の大
気の中で、吸収されてしまうからです。地球の大気は、生命に有
害な紫外線を吸収するだけでなく、宇宙線も吸収しているという
ことです。



ここまでの話を整理しておきましょう。

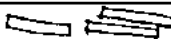
宇宙線は—

- ① 宇宙から飛んでくる粒子である。
- ② 小さいので、肉眼では見ることができない。
- ③ 霧箱で見ることができる。
- ④ 光の速さで飛んでくる。
- ⑤ 大気で吸収される。
- ⑥ 電気を持っている。
- ⑦ 透過力があり、建物の中にも入ってくる。

○月
×日
(火)

日直

あま
まへ



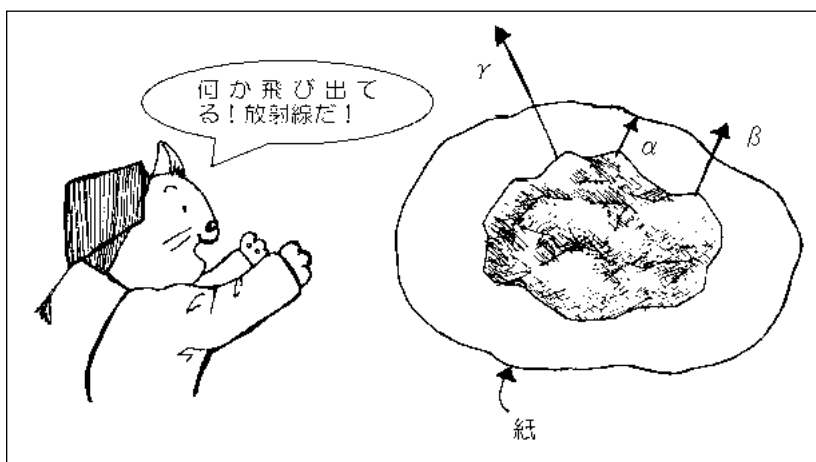
発展編その1： 宇宙線はどうやって見つかったの？

9. 放射線と宇宙線は同じなの？

これで皆さんは宇宙線がどういうものなのか、大体のイメージは持っていただけたでしょう。大空の彼方から絶えずやってくる、宇宙の小さなメッセンジャーであるということが、わかっていただけたと思います。どうです、少し格好良いと思いませんか？

それでは、発展編でもっと宇宙線について勉強してみましょう。まず、宇宙線と放射線は同じものなのでしょうか？ そこで放射線って何かを説明しましょう。

1900年頃、地球上の岩石から、目に見えない粒子が飛び出していることがわかりました。その粒子は、岩石を覆っておいた物質を通り抜けることができました。ウラニウムを多く含んだ鉱石の近くに写真フィルムをしばらく置いておいた後、現像してみると、写真フィルムが真っ黒になっていました。写真フィルムを感光させる「何か」が岩石から飛び出してきていることがわかったのです。この岩石に含まれている不思議な作用を生じる性質を、



放射能と名付けました。目には見えないけれど、写真には写るわけです。

放射線にはアルファ、ベータ、ガンマの 3 種類があります。アルファ線は、紙一枚で遮断することができます。ベータ線はもうすこし透過力があり、アルミの板で遮断できます。ガンマ線は鉛の板で遮断できます。今日ではアルファ線は正の電荷を持ったヘリウムの原子核、ベータ線は負の電荷を持った電子、ガンマ線は電荷を持たないエネルギーの高い光の粒であることがわかってきました。実は、宇宙線は放射線的一种なのです。しかし、宇宙線のエネルギーは、放射線よりはるかに高いのです。

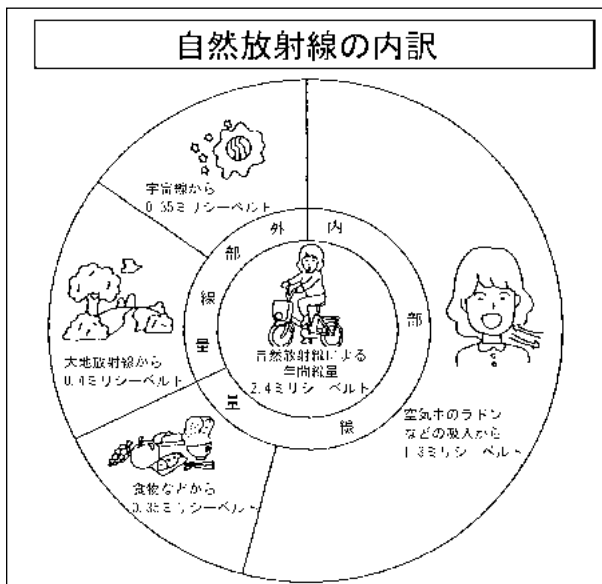
それでは、宇宙線は体に毒なのでしょうか？ それを次に説明します。

10. 宇宙線は安全なの？

宇宙線は自然の放射線であると書きました。宇宙線は、私達の体の中をすいすいと通過しています。このような放射線を浴びても、私達は安全なのでしょう。

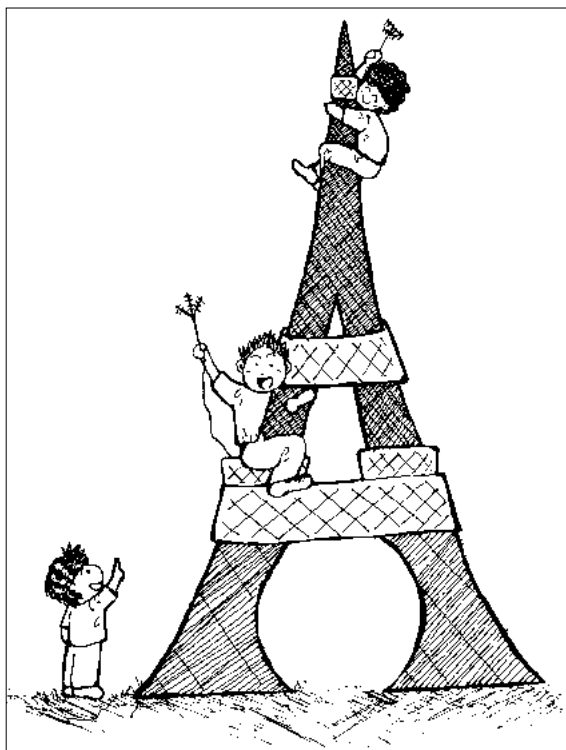
地表にいる限り安全です。なぜなら、放射線としての強度が弱いからです。しかし宇宙に出ると注意が必要です。大気上空では、地表の 100 倍もの放射線を常に浴びることになるからです（8 参照）。私達が生命を維持する上で重要な情報は、DNA の中に詰め込まれています。この DNA は、放射線によってダメージを受けます。しかし、地上では大気が自然放射線を弱めるので、私達の DNA は破壊されることなく、生命を維持できたと言えるでしょう。

ここで、自然放射線からの被爆量を、具体的に数字で挙げておきます。被爆量の単位はミリシーベルトで表されます。宇宙線や



ラドンによる自然界からの被爆は、年間 2.4 ミリシーベルト、一般人に許される年間被爆線量は 50 ミリシーベルト。宇宙での被爆量は年間 300 ミリシーベルトです。広島原子爆弾で亡くなった方々が受けた被爆は、8000 ミリシーベルトです。日常の被爆量は年間 2.4 ミリシーベルトですから、生命の危険はないといえるでしょう。

11. 宇宙線はどうやって見つかったの？



宇宙からの放射線である宇宙線は、いつ、どうやって見つかったのでしょうか？

1911年頃、オーストリアのヘスは箔検電器を中和させる“目に見えないもの”は、岩石からの放射線ではないかと考えました。そこでヘスは、パリのエッフェル塔の上に検出器を持っていきました。エッフェル塔の上までいけば、岩石からの放射能は空気で吸収され減少すると考えたからです。なぜならヘスは、当時最強の放射能であったラジウム 1.5 g を使い、放射能が空気中でどの

位減るのかを調べて知っていたからです。しかし、結果はどうだったでしょう。強度は全然弱まりませんでした。そこで次に、4000 m級の高山に行ったり気球に乗って調べました。さらに放射線の強度は強まったのです。これらの実験結果から、岩石からの放射線説が否定されました。つまり、上空へ行くほど強度が強くなったからです。

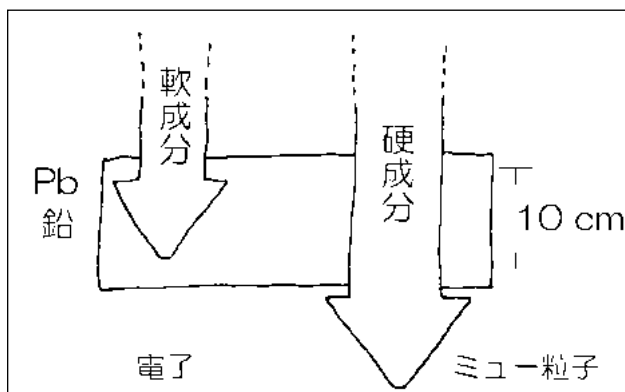
こうして、この放射線は地球の外側、つまり宇宙からやってきていることがわかり、宇宙線と命名されました。今日では、ウラン鉱石など岩石からの自然放射能と区別して、宇宙放射線と呼ぶ人もいますが、ここでは宇宙線と呼ぶことにします。ヘスはこうした功績により、ノーベル賞を受賞しました。1936年のことです。

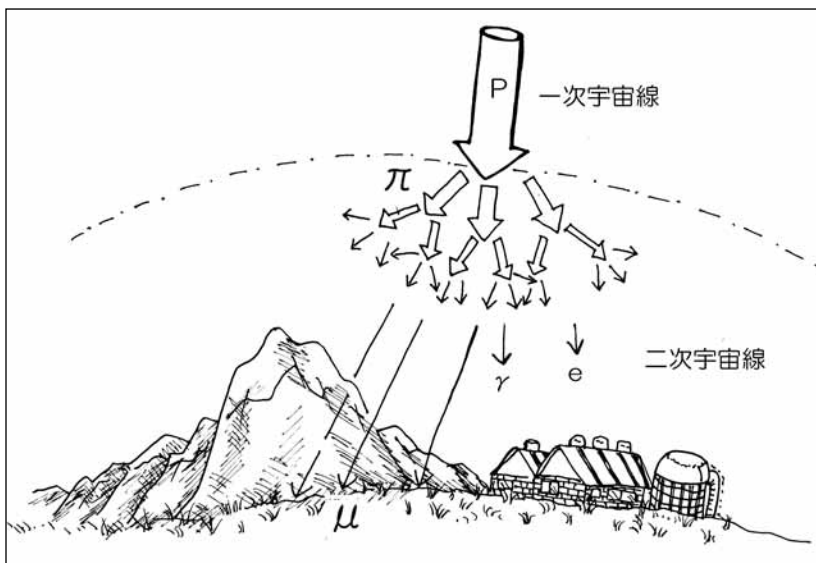
12. 宇宙線には何が含まれているの？

ヘスが宇宙線を見つけた当初は、宇宙線の成分まではまだよく知られていませんでした。1945年以降になってようやく、地上に降ってくる宇宙線の中には、物質を透過するものと、吸収されやすいものが混在することがわかってきたのです。透過力の強いものは硬成分、弱いものは軟成分と分類されました。今日では、硬成分はミュー粒子、軟成分は電子であることが知られています。

1950年頃には、新しい粒子が宇宙線の中で続々と見つかってきました。宇宙線は1種類ではなく、たくさんの種類があることがわかってきたのです。

今日では、宇宙から飛来する宇宙線の主な成分は、陽子であることがわかっています。その他にも、ヘリウムの原子核や鉄の原子核、それに電子も含まれています。ごくわずかですが、ウランウムの原子核やガンマ線もやってきます。共通する事実、これらの宇宙線は非常に高いエネルギーを持っているということです。そして大気に入ると、多くの子供の粒子を作ります。その一



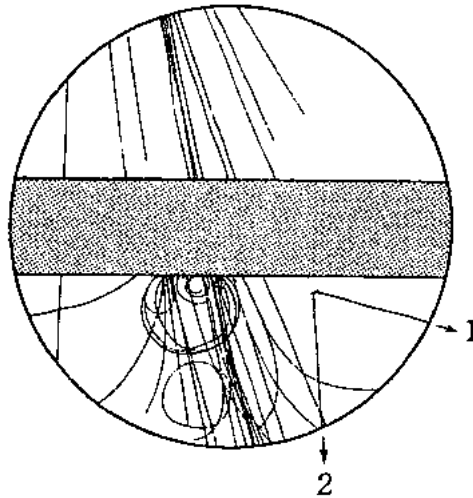


つがパイ中間子であり、またその崩壊したミュー粒子であり、電子であり、 V 粒子（次ページの註参照）なのです。

それらのうち、エネルギーの余ったものは地表に到達します。宇宙から直接やってくる粒子と区別して、大気中で作られる粒子は二次宇宙線と言われます。それに対して、宇宙からやってくる粒子は一次宇宙線と言われます。つまり、宇宙線の生成過程により、一次宇宙線、二次宇宙線の2種類に分類されます。

ここで原子核や新しい粒子という言葉ができましたので、次に原子核と素粒子について説明します。

【註】 V 粒子とは？



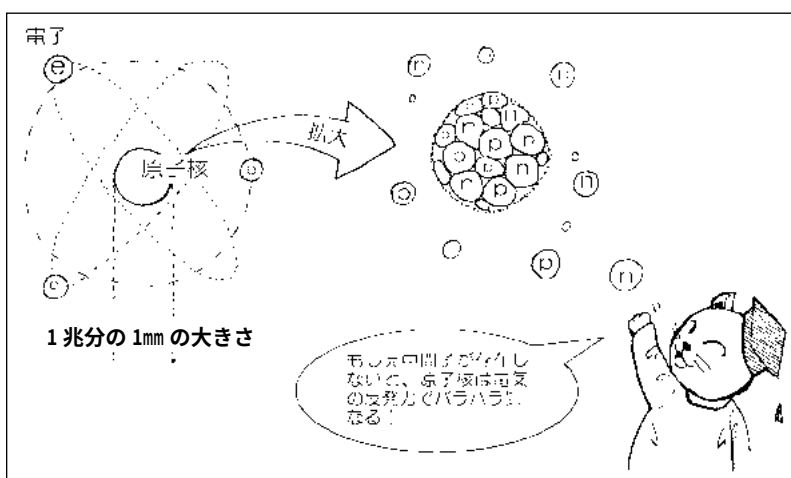
ロチェスターとバトラーが、1947 年に霧箱の中で発見した不思議な 2 本の軌跡（図の 1 と 2）。鉛の層（図の中央の黒い部分）で作られた中性粒子（飛跡がうつらない）が霧箱のガスの中で崩壊して、正の電荷をもったパイ中間子と、負の電荷をもったパイ中間子になったと考えられる。1 と 2 の飛跡が V 字形になっているので、V 粒子と名付けられた。今日では K 粒子と呼ばれている。

13. 原子核ってなあに？

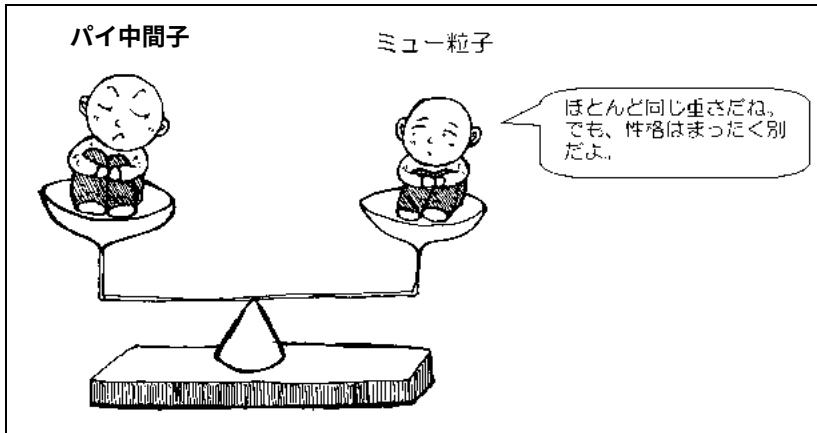
原子は、原子核と電子からできていることはご存知ですか。原子核は、ニュージーランドのラザフォードによって見つけられました。原子核は、正の電気を持った陽子と、電荷を持たない中性子から構成されています。負の電荷をもった電子は、この陽子の正の電荷にひかれて原子核の周りを回っています。従って、外から見ると原子は電氣的に中性です。プラス、マイナス、ゼロということです。

原子核という狭い空間に閉じこめられた陽子は、お互いに正電荷間の反発力が働き、原子核はそのままでは、ばらばらになってしまいますね。

1935 年、この原子核を壊れないように安定に保つ粒子、“パイ中間子”を予言していたのが日本の湯川先生だったのです。1947 年、アンデス山脈に置かれていた原子核乾板に、パイ中間子が崩壊してミュー中間子になり、さらにミュー中間子が崩壊して電子になる例が見つかりました。そこで、パイ中間子の存在を予言した湯川先生とパイ中間子を発見した英国のパウエルに、それぞれ 1949 年と 1950 年にノーベル賞が与えられました。



14. パイ中間子とミュー粒子の謎？



そこでもう少し詳しく、パイ中間子とミュー粒子の謎について紹介しましょう。

パイ中間子は、およそ 20 km 上空の大気中で一次宇宙線により作られます。しかし、パイ中間子は原子核では“にかわ”の役目をしますので、大気原子核ともすぐ衝突する性質があり、簡単には大気を透過できません。

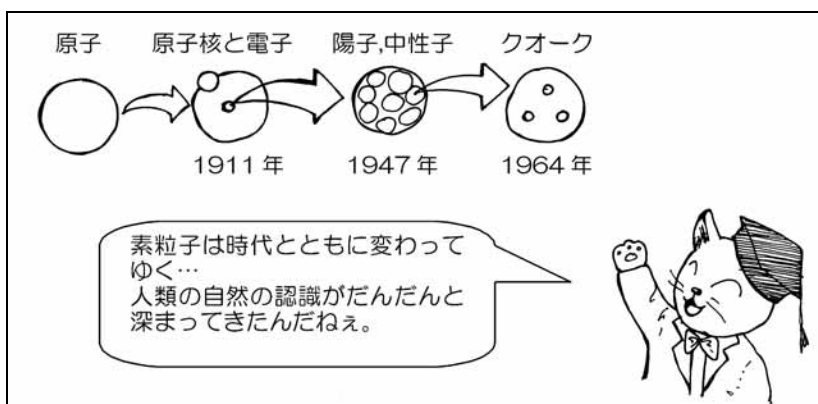
しかし、観測されているミュー粒子は、物質をすいすいと通り抜ける性質があります。教室の屋上のコンクリートを平気で貫いて、教室の中までやってきます。このミュー粒子の性質はパイ中間子の性質と異なるものであり、1947 年頃は大きな謎でした。なぜなら、パイ中間子とミュー粒子は質量が似かよっており、兄弟粒子と考えられたからです。でも、今日では二つの粒子は全く異なる種族に属していることがわかっています。

15. 素粒子ってなあに？

13 では原子核の話を、また 14 ではパイ中間子の話をしました。それまで物質の最小単位と思われていた原子が、さらに原子核と電子とでできているとわかったとき、世界中が驚きました。1947 年ころから、原子核は陽子と中性子とパイ中間子で構成されていることがはっきりしてきたので、今度はこれらのものが物質を構成する最小単位であると考えられました。1964 年ころまでのことです。

その後、陽子や中性子の中には 3 個クォークが存在していることが判明し、クォークが物質を構成する最小単位の“素粒子”であると考えられ、現在に至っています。

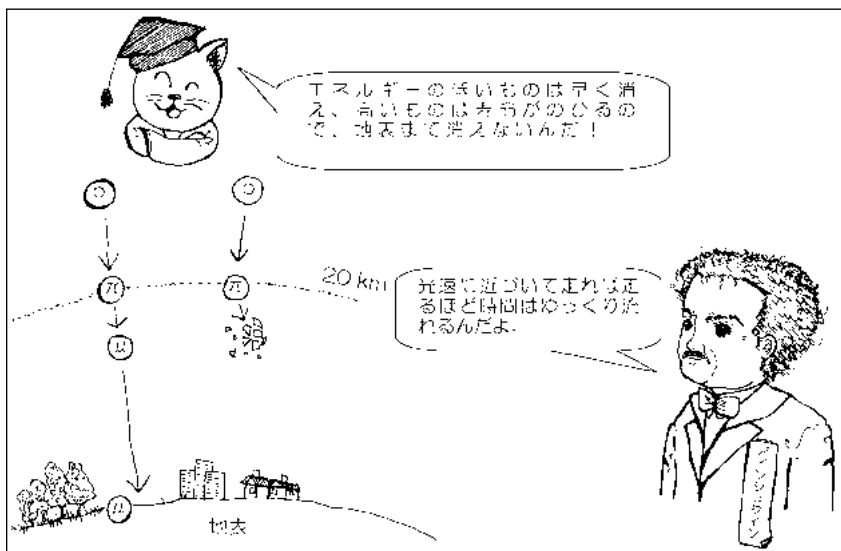
このように、素粒子の定義は、科学の進歩と共に変化してきました。粒子には陽子や電子のようにその寿命が非常に長いものもあれば、短寿命のものもあります。

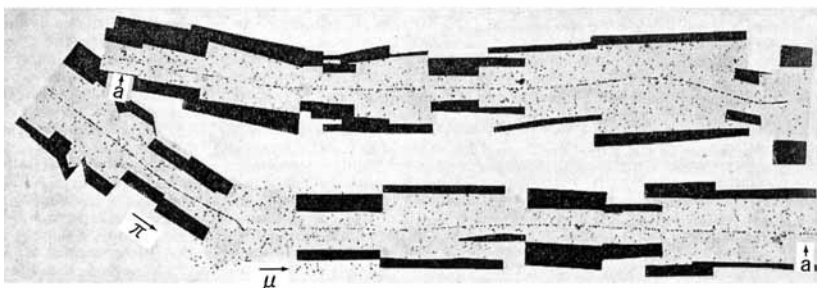


16. なぜミュー粒子は 地表までやってくるの？

ここで、アインシュタインの相対性理論にかかわる話を紹介しましょう。13 と 14 で、パイ中間子はミュー粒子に崩壊すると書きました。ミュー粒子も短命で、50 万分の 1 秒という短い時間で死んでしまいます。こんな短い時間しかこの世に出現しないのです。ミュー粒子は大気の上層部、地上から約 10 km 上空で作られます。光の速さで走っても、走れる距離は、およそ 600 m にしかありません。これでは地上に達することはできませんね。

しかしアインシュタインは特殊相対性理論の中で、物体は光速に近づくほど、寿命が延びる、つまり時間がゆっくり流れると预言しました。彼の理論が正しければ、ミュー粒子の寿命は 50 万分の 1 秒ではなく、10 倍ほど寿命が延びます。すると 600 m で





日本に最初のノーベル賞をもたらした一枚の証拠写真。下の左の方からパイ（ π ）中間子が入ってきて崩壊し、ミュー（ μ ）中間子が放出され（写真では水平に走っている）、やがてエネルギーがなくなって静止した。下の図の右端が上の写真の左側につながり、上の写真の右端で静止している。この写真は 5500 m のボリビアのチャカルタヤ山頂で得られた。

ミュー中間子やパイ中間子は、昔は中間子という名前がついていたが、今ではミュー粒子、パイ粒子と呼ばれている。本冊子では、発見当初の頃の話には中間子をつけている。

はなく 10 倍走ることができて、6000 m の間は消滅せず走れるようになり、ミュー粒子は地表まで飛来できるというわけです。

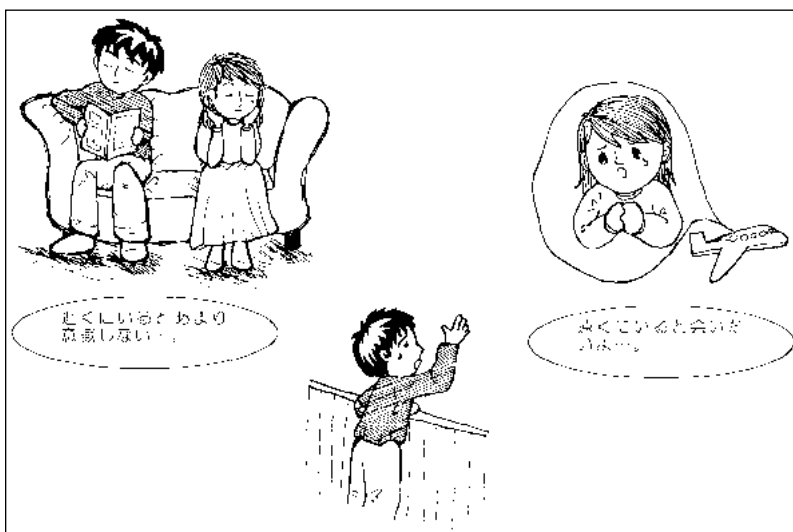
しかしパイ中間子は、寿命がミュー粒子よりさらに 100 倍も短いので、とてもとても地表まで走ってくることはできません。パイ中間子を捕えるために、英国のパウエル、オッカリニ、それに大学院生であったブラジルのラッテスらは写真乾板を持ってアンデスの高地に行ったのでした。高地ならパイ中間子が吸収されず、かつ死なずにやってくると思ったからです（写真参照）。

17. 宇宙線の中に どうしてクオークはないの？

1964 年頃ゲルマンという米国の学者が、陽子の中には、 $1/3$ や $2/3$ という分数で電荷をもつ、より基本的な粒子が存在するはずであると発表しました。クオークと呼ぶ素粒子です。

そこで、多数の宇宙線の中からクオークを見つける作業が盛んに行われました。しかし 40 年を経た現在、未だにクオークは見つかっていません。存在するのにどうして取り出せないのか？ 現代の大きな謎です。学者は、クオーク間には、“引き離そうとすればするほど強い力で離れないでおこうとし、放っておくとほとんどくっつかずにいる”という、不思議な強い力が存在していると説明しています

ここで、ゲルマンについてのおもしろい話を紹介しましょう。1980 年頃、私が中東のアルメニア共和国に行った時、聞いた話



です。当時アルメニア共和国は、ソ連邦の一つの国でした。ゲルマンがアルメニアの研究所に着いた時、盛んにアルメニア語がどのような言語なのかを聞いたそうです。そして 30 分後に、彼はアルメニア語の文法はこうだろうと言って、正確にアルメニア語の文法を語り、みんなを驚かせたそうです。ゲルマンは素粒子の分類だけでなく、文法の天才であるということになりました。

発展編その1 まとめ

- ① 宇宙線を発見したのはヘスである。
- ② 宇宙からやってくる宇宙線の主成分は陽子である。
- ③ 宇宙線は大気中でたくさんの子供粒子を作る。
- ④ それらも宇宙線と呼ばれる。
- ⑤ 二次宇宙線の中にはパイ中間子やミュー粒子がある。
- ⑥ パイ中間子は湯川博士によって予言され、宇宙線中に見つかった。
- ⑦ ミュー粒子には透過力があり、コンクリートの建物も透過できる。ミュー粒子はパイ粒子と異なる、全く別の種類の素粒子である。
- ⑧ 陽子の中にはクォークがあり、現在ではクォークが素粒子であると思われる。
- ⑨ しかし、クォークはまだ宇宙線中では見つかっていない。

○月×日(火)

日直

（あきこ）



発展編その2： 宇宙線はどこで作られるの？

18. 宇宙線はどこで作られるの？



宇宙線がどこで作られているのかは、今まで大きな謎でした。宇宙線は太陽フレアの時に大量に地球にやって来るので、太陽で作られていることは確かです。しかしフレアが終了しても宇宙線はやってきます。ですから、太陽系の外からもやってきているということです。

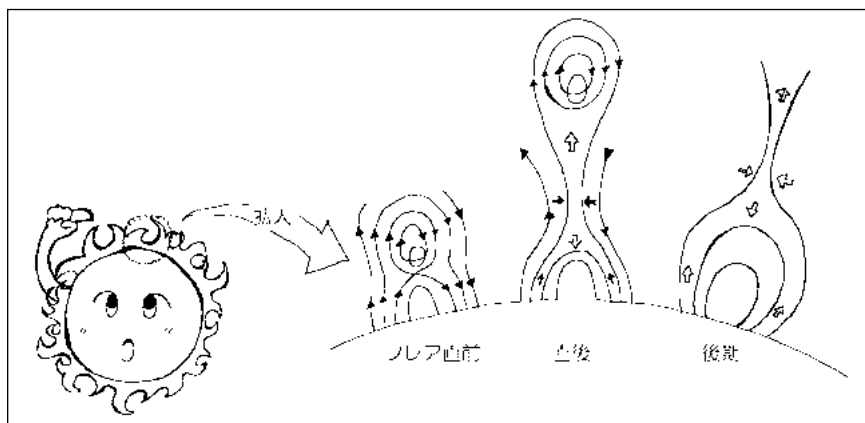
それでは、太陽系外からやってくる宇宙線はどこで作られているのでしょうか。それも長い間の謎でした。わからなかった理由は、私達の銀河が磁場をもっているため、電荷をもっている宇宙線は磁場で曲げられ、作られた場所の記憶を失ってしまうからです。近年、電荷を帯びない高いエネルギーのガンマ線を使うことによって、生誕の地を調べることができるようになりました。その結果、宇宙線は超新星爆発の起こった場所（超新星残骸）からやってきていることがわかってきたのです。

19. 太陽宇宙線はどのようにして 作られているの？

私達の最も身近な星である太陽で、宇宙線がどうやって作られているのでしょうか。

皆さんが知っているように、太陽の表面は非常に高温です。そのため、太陽の周辺にある水素原子の原子核と電子は、切り離されてバラバラになっています。この状態を“プラズマ”状態と言います。太陽には内部から吹き出した磁力線があり、“うちわ”状に広がっています。この磁力線が互いに衝突すると、そこでとても強い電場が形成され、この電場で、電荷をもった粒子（水素原子の原子核と電子）がエネルギーを得て宇宙線になるというわけです。

こうして作られる電場は、10 億ボルトという途方もない強い電場です。雷の作る電場の 1 万倍も強い電場です。このように、太陽表面では壮大なスケールの電場が作られていて、宇宙線はそこからやってくるのです。



20. 銀河宇宙線はどこからやってくるの？

それでは、太陽系外で宇宙線はどうやって作られているのでしょうか？

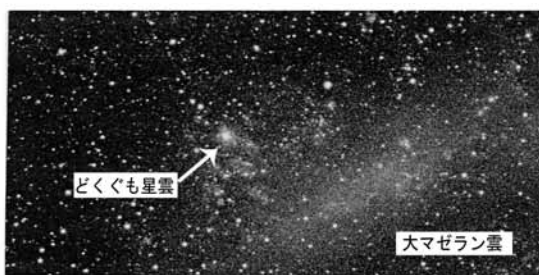
星は燃烧のためのエネルギーを費やした最後に大爆発を起こし、その一生を終了します。その時、星は明るく天空に輝きます。これが超新星です。

最近では、1987年にマゼラン雲に出現した超新星が有名ですね（写真参照）。それは383年ぶりの、肉眼で見える超新星でした。ケプラーが超新星を観測して以来のできごとです。

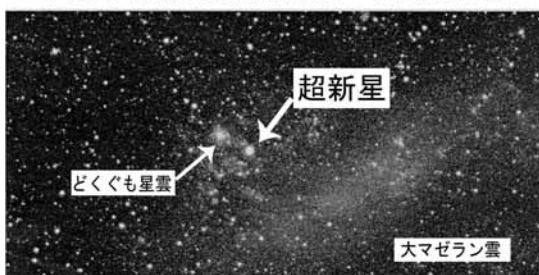
鎌倉時代初期に藤原定家を書いた日記「明月記」の中に、1054年にも客星（超新星）が天空に現われたと書かれています。古文書に残されるほど、明るく輝く新星が夜空に現われたようです。

現在この天体を光学望遠鏡で見えますと、爆発に伴って作られたガスが、蟹の形に明るく輝いて見えるので、カニ星雲と名前が付いています。この天体は、蟹座ではなく、牡牛座にあります。米国ホイップル天文台のウィークス氏は、高エネルギーガンマ線を検出できるように工夫した、チェレンコフガンマ線望遠鏡をカニ星雲に向けたところ、1兆電子ボルトの高エネルギーガンマ線が到来していることを発見しました。カニ星雲の中心部には、中性子でできたパルサーと呼ばれる星が毎秒33回、回転しています。

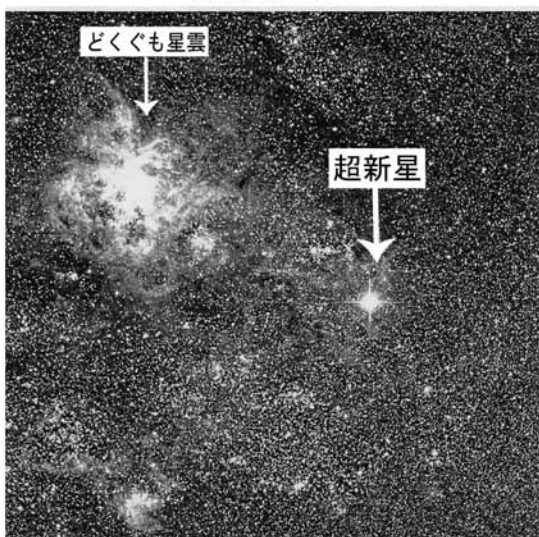
パルサーは磁化されています。巨大な棒磁石が高速回転していると思って下さい。これは発電所で電気を起こすのと同じ原理で、磁石が回転すると電場が作られます。この電場の中で、電子が高いエネルギーを得ているわけです。このように、太陽系外からの宇宙線は、超新星爆発の後に残された所がふるさとであると考えられます。



↑ どくぐも星雲の右側には何も無い ↓ 超新星が出現



上を拡大すると…



大マゼラン雲 (南天) に 1987 年 2 月 23 日突然出現した超新星 1987A。

21. チェレンコフ望遠鏡とは？

ー のぞみはひかりより速い

それでは、チェレンコフ望遠鏡の原理を説明しましょう。

アインシュタインの特殊相対性理論が予言していることの一つに、「全ての物質は光速を超えて走ることはできない。光が一番速い。」があります。しかし、これは宇宙空間のような真空中に近いところでの話で、水の中では事情は異なります。水中では、宇宙線の方が光より速いのです。宇宙線は水中では、光の服を脱ぎ捨てながら水中を通過するというわけです。しかし、真空中では光の服は脱げません。この光の服がチェレンコフ光と呼ばれるものです。

1999年に茨城県東海村で起きたJCOの臨界事故の時、「青い光を見た」という証言がありましたが、これはチェレンコフ光の青い光です。目で見たのは、多数の放射線が青い光を出したの



で、肉眼でも見えたのだろつと言われていす。光が大気から水の中に入った時、屈折するのは、光速度が異なるために起こるのです。

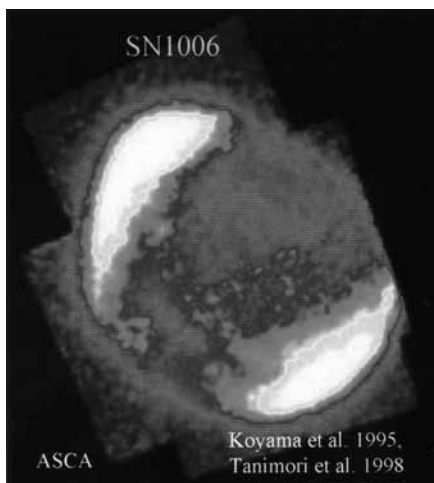
新幹線ができた時、光は一番速いので「ひかり」という名前が付きましたが、今は「のぞみ」が一番速いすね。水の中では、「のぞみ」が宇宙線と考えればよいのです。実は宇宙線が大気中を走ると、チェレンコフ光を出します。空気は真空ではないので、空気中を宇宙線が走るとチェレンコフ光を出すのです。チェレンコフ光は、水中では宇宙線の進行方向に対して 42° に出ますが、空気中では 1° に放出されます。この光をとらえるように工夫された望遠鏡が、チェレンコフ望遠鏡です。望遠鏡の口径は大きく 10 m 位ありますが、光が大気中で 1° 位のコーンの中に拡がって放出されるので、すばる望遠鏡のような鏡面精度は要りません。

22. 1006年の超新星残骸からのガンマ線は何を意味しているの？

明月記によると、1006 年にも星が爆発して、超新星（SN1006）として輝きました。当時は、南の水平線ぎりぎりに見えたのだと思います。実は、この時の爆発により生じたガスが、1000 年を過ぎた今でも宇宙空間に存在しています。

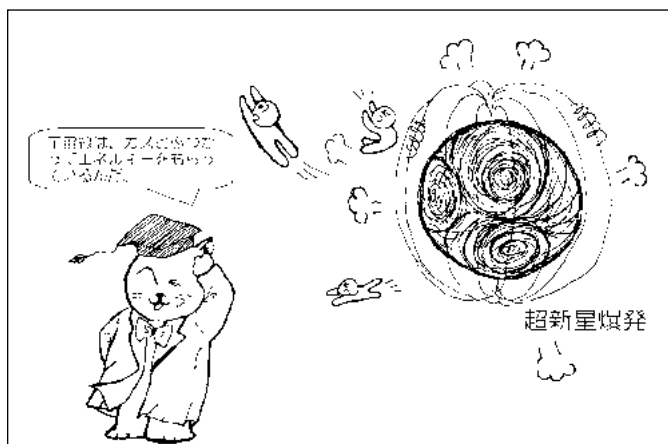
この残骸物の方向に、日本の X 線望遠鏡「あすか」を向けたところ、ハの字型に短い波長の X 線を出している部分があることが見つかりました（写真）。中心には何も残っていません。高エネルギー電子は磁場で曲げられた時、波長の短い X 線を出します。従って X 線がやってきているということは、このハの字の部分には高エネルギー電子があることを意味しています。

さらにこの天体（SN1006）を日豪共同研究で作られたガンマ線望遠鏡で調べたところ、そこから非常に高いエネルギーのガンマ線がやってきていることもわかりました。この観測結果は、超新星が出現した場所が、宇宙線のふるさどであるということ、ますます明瞭に私達に知らせてくれていると思います。



「あすか」に搭載された X 線望遠鏡で見た、超新星残骸 SN1006 の姿。

23. 宇宙線はどうやって加速されるの？



このように、超新星残骸から高いエネルギーのガンマ線がやってきていることにより、宇宙線がどうやって高いエネルギーを得ているかが想像できるでしょう。陽子やヘリウムの原子核が、どこで、どのようにして高いエネルギーを得ているのかを説明する、最も有力な説をここで紹介しましょう。

超新星 SN1006 の観測結果からもわかるように、その星の周辺には、約 1000 年前の爆発のとき吹き飛ばされたガスの固まりが今でも存在しています。このガスの固まりは、秒速 2900 km 位で爆発の中心から遠ざかっていきます。このガスの固まりと陽子は、何度も何度も衝突を繰り返すことより、次第にガスの運動エネルギーをもらって、粒子自身が高いエネルギーをもつようになっていくと考えられます。

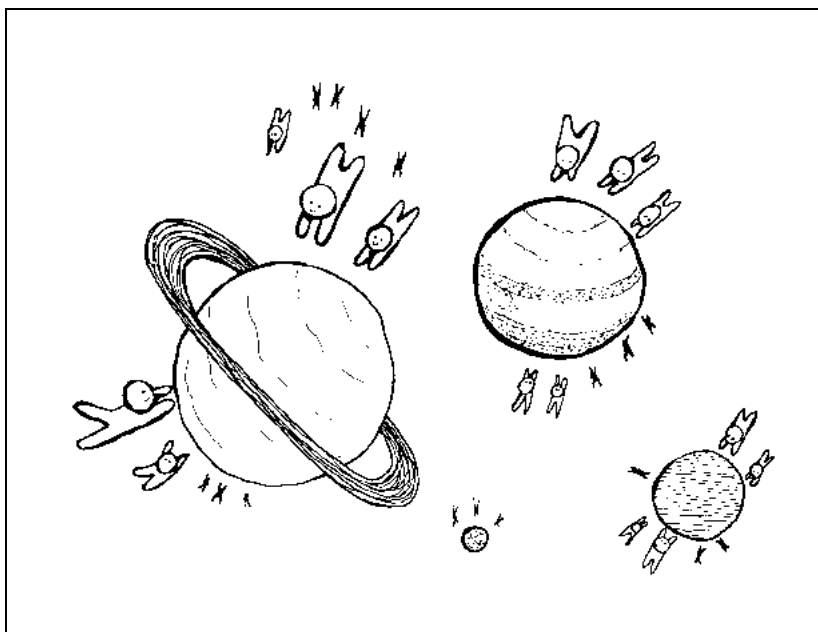
このように、粒子が次第にエネルギーを得てゆく過程を“加速される”といいます。粒子が周辺のガスから十分なエネルギーを得るまでには、1000 年の歳月がかかると言われています。ガスの固まりは衝撃波とかショックと呼ばれるので、粒子がエネルギーを次第に得てゆく過程を説明するこの考え方を、ショック加速の理論と呼んでいます。

24. 宇宙線は他の惑星にもぶつかっているの？

宇宙線は火星や木星、土星にも飛んできているのでしょうか？

もちろん飛んできます。銀河宇宙線と太陽宇宙線の両方が、火星や木星あるいは土星まで飛来していることが、人工衛星の観測で確認されています。

米国のレーガン大統領が、アメリカ建国 200 年を記念して火星に人類を送ろうと言い出したことがありました。火星に人を送るときの最大の障害は、無重力状態に長くいると宇宙飛行士の骨が弱くなることと、太陽爆発の宇宙線や銀河宇宙線に長期間さらされることでした。宇宙線の頻度は各惑星で異なりますが、宇宙線は他の惑星にも同じように降り注いでいるのです。

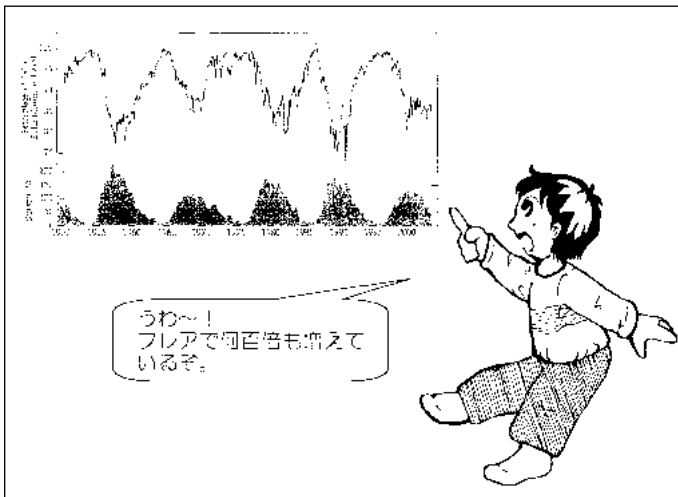


25. 宇宙線の量はいつも一定なの？

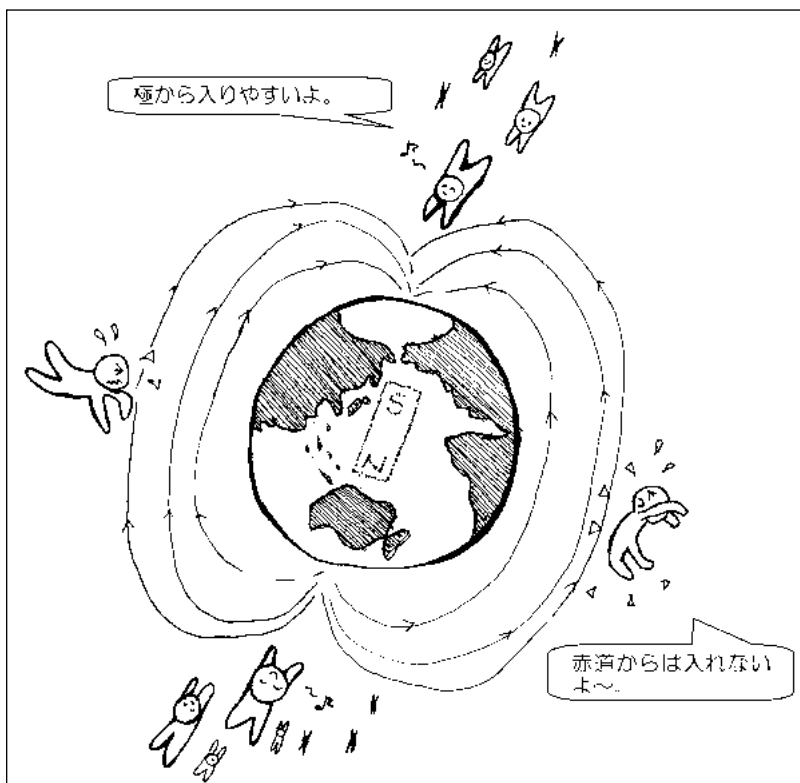
地球にやってくる宇宙線の量は、いつも一定で変わらないのでしょうか？ 太陽の熱エネルギーは、太陽定数と言われるほど極めて安定した量です。宇宙線の量はどうでしょう。

宇宙線の量は、太陽光ほど一定というわけではありません。しかしエネルギーの高い方は、ほぼ一定と言えるでしょう。一方エネルギーの低い方は、太陽活動により大きく影響されます。太陽の 11 年周期活動のうちわずか数回ですが、エネルギーの高い太陽宇宙線が地球に飛来するため、宇宙線の強度がいつもより 20－30%程度、世界中で増大することがあります。しかしその増加は、数時間で元の値 ($1/\text{cm}^2 \cdot \text{分}$) に戻ります。

逆に太陽爆発に伴って、コロナ質量放出 (CME) という磁場を有したプラズマの雲がやってくると、銀河宇宙線は強い CME の磁場ではね飛ばされ、地球にやって来る数が減ります。このように 11 年周期の太陽活動に連動し、宇宙線も 11 年周期の増減を繰り返します。表紙の裏に、宇宙線の強度が 11 年変動している観測データをのせておきます。



26. 宇宙線は世界のどこでも一定なの？

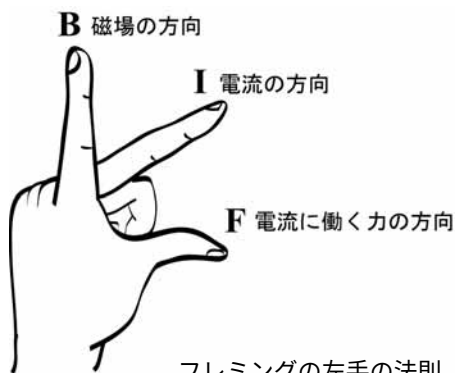


宇宙線は地球の磁場の影響も受けます。また宇宙線は一般に地球磁場の影響で、赤道上空へは進入しにくく、極地方へは進入しやすい特徴があります。これは太陽フレアの時、赤道付近では太陽宇宙線は 20%しか増えないのに、南北両極地方で 2 倍も増えることからわかります。

その理由は、南北両極地方では磁力線の方が垂直に近いので、宇宙線が磁力線につかまって侵入しやすいからです。また、宇宙線は正の電荷をもった陽子が主成分です。そのため、東側より西

側から進入しやすいことが知られています。これを宇宙線の東西効果といいます。

それでは、もう少し詳細に東西効果を説明しましょう。皆さんは理科の時間にフレミングの左手の法則を習ったと思いますが、それを思い出して下さい。左手の中指を電流の方向（**I**）に、人差し指の方向を磁場の方向（**B**）にとると、この電流に働く方向（**F**）は、親指の方向になるという法則です。宇宙線は正電荷ですので、宇宙線の進行方向が電流方向となります。すると、西側から入ってくる宇宙線には地球に対して外向きの力が働き、東側から入ってくる宇宙線には内向きの力が働きます。話をわかりやすくするために、次のように考えましょう。正の電荷を持った宇宙線（陽子）が地球に入ってくることは、負の電荷を持った宇宙線（反陽子）を地球から発射するのと同じなのです。地球上から西方向に反陽子を発射した場合と、東側に発射した場合を比較します。するとどうでしょう。西側に発射された反陽子は地球の外へ出て行くのに対して、東側に発射した宇宙線は、地球上に落下してしまいます。すなわち、東側には宇宙線が入れない死角があるということです。このため、西からやってくる宇宙線の数の方が、東側に比べると多いのです。実は、宇宙線は正の電荷を有した粒子であるということは、この東西効果を利用してわかったのです。



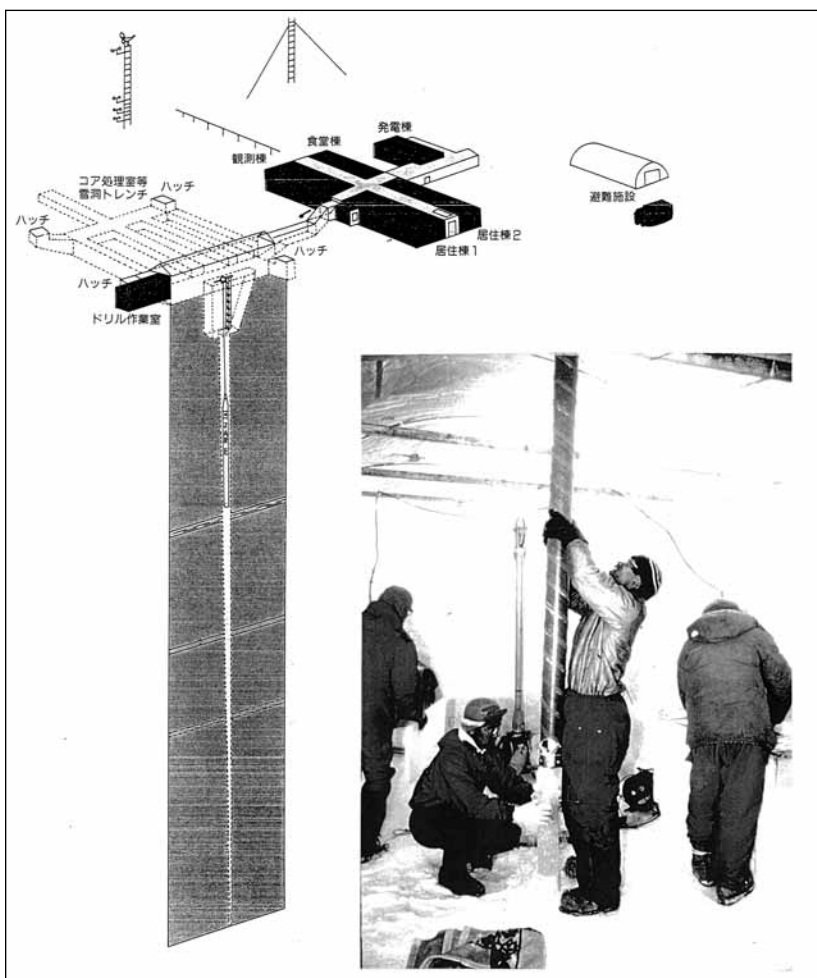
27. 恐竜の時代に宇宙線はあったの？

これは大変おもしろい質問ですね。過去 10 万年前までは、ベリリウム 10 という宇宙線が作った同位元素の量を調べればわかります。同位元素というのは、原子核の中の陽子の数が同じで、中性子の数が異なるものを指します。

南極やグリーンランドに出かけて行って、ボーリングをして氷の柱を取り出します。その中には、過去の地球大気が泡となって取り込まれているのです。これを研究すれば、地球環境が過去 10 万年の間にどう変わったかがわかります。日本でも国立極地研究所が南極のドーム富士に出かけて行き、氷のボーリングをしています。氷の柱を溶かして、その中にあるベリリウム 10 の数を加速器質量分析器で調べます。

調べた結果、宇宙線の飛来した数は、過去 1 万年前と比べると、現在では 10%程度減少していることがわかりました。これは地球磁場の変化を表すものとして注目されています。地磁気が0になれば、銀河宇宙線が大量に地球に降ってくるからです。

過去 10 万年間には、宇宙線の変動は 2 倍程度あったと考えられますが、それ以上は変動していないようです。またそれより古い時代は、隕石を調べてわかります。その結果も、過去 100 万年間は宇宙線の変動はあっても 2 倍程度であったと考えられます。恐竜の住んでいた 1 億年前となると、そのときの宇宙線の量を調べる良い同位元素がありません。ベリリウム 10 も、150 万年前で崩壊して無くなってしまうからです。



ドーム富士で氷の柱を採取しているところ。南極の昭和基地の奥地にある、日本のドーム富士基地では、地表から 3000 m までボーリングして、同時に氷の柱を取り出す作業が進んでいます。氷の柱に含まれている空気の泡やベリリウム 10 を調べると、過去の地球環境がわかるからです。南極大陸の上に降った雪は、地表から 2000 m 下まで沈降するのに、14 万年位かかると言われています。

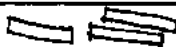
発展編その2 まとめ

- ① 宇宙線には、太陽からの宇宙線と、銀河からの宇宙線がある。
- ② 太陽宇宙線は太陽の電場で加速される。
- ③ 銀河宇宙線は、超新星爆発の時に作られたガスとの衝突で加速される。
- ④ 宇宙線は電荷をもっているので、その生まれた場所の情報はなくなっている。
- ⑤ しかし、近年ガンマ線天文学が宇宙線の生誕の地を明らかにしつつある。
- ⑥ 銀河宇宙線の故郷は超新星残骸である。
- ⑦ 宇宙線は他の惑星にもやってきている。
- ⑧ 宇宙線の強度は過去 10 万年間は 2 倍以上は変動しなかった。

○月
×日
火

日直

あき



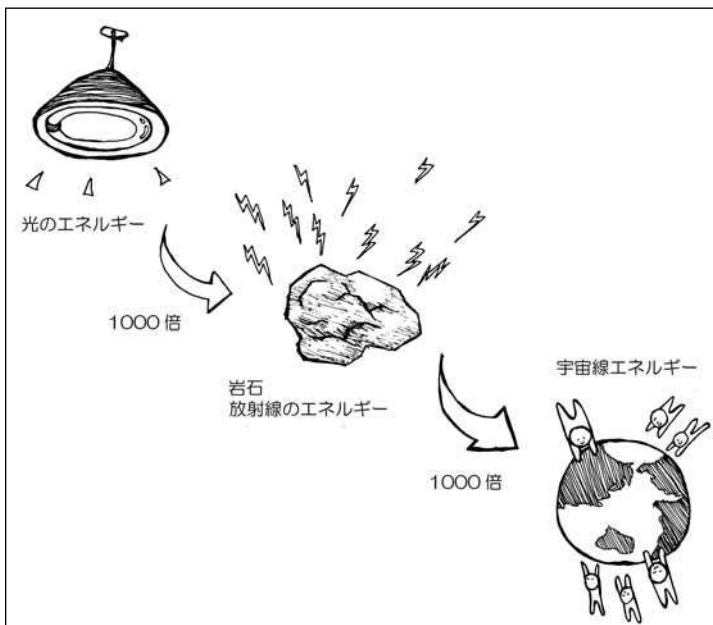
応用編： 宇宙線のエネルギーは何かに利用できるの？

28. 宇宙線のエネルギーはどれ位なの？

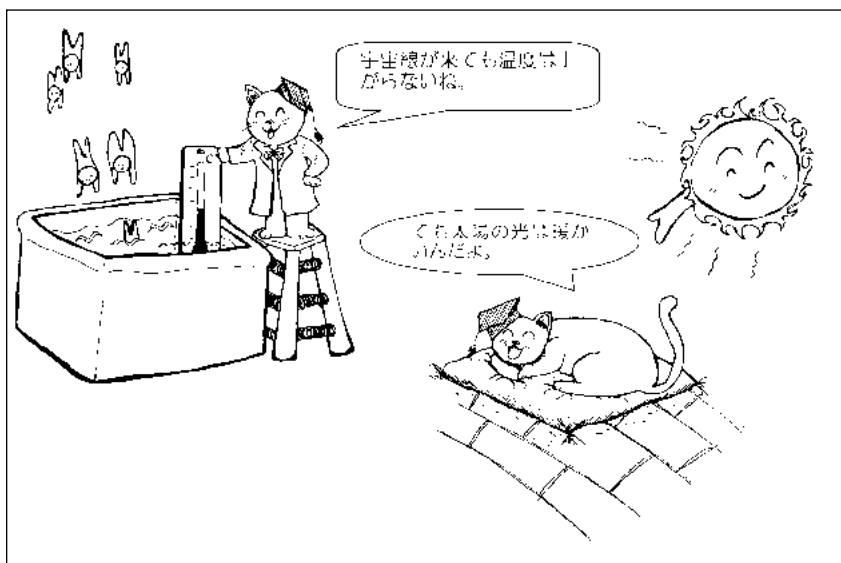
宇宙線のエネルギーはどれ位大きいのでしょうか？

まず蛍光灯を思い浮かべて下さい。蛍光灯がどうして光るのかというと、エネルギーを注入された原子が元の状態に戻る時、もらったエネルギーを光として放出するため光っているのです。その時のエネルギーは、2 電子ボルト (eV) 程度です。

この単位で考えてみますと、宇宙から地球にやってくる宇宙線は 10 億電子ボルト以上もの高いエネルギーを持ってやってきます。蛍光灯の光に比べると、なんと大きなエネルギーを持っていることでしょう。宇宙線は放射線と比べても、千倍以上も高いエネルギーを持っています。従って、地球の大気をも突き抜けて、やって来ることができるのです。



29. 宇宙線のエネルギーは 何かに利用できないの？



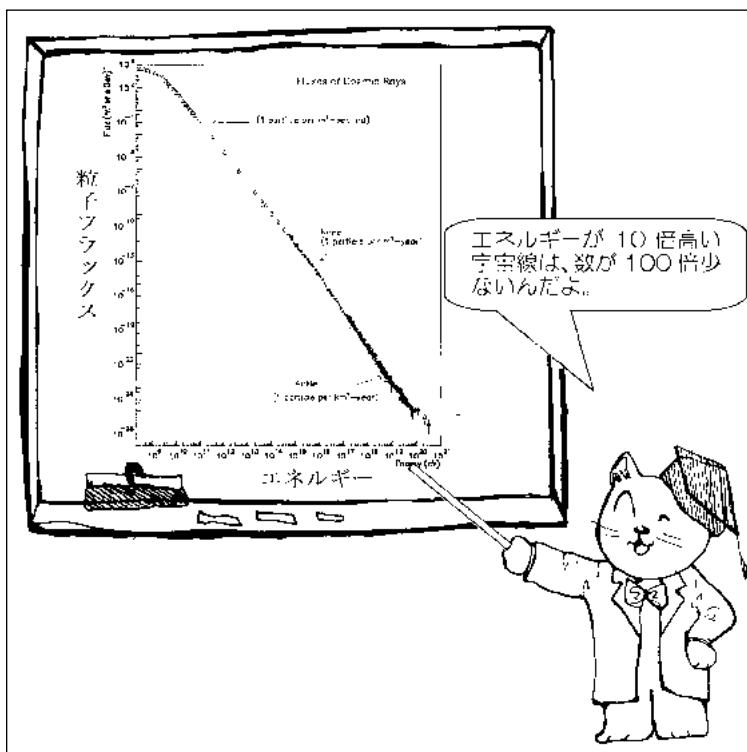
宇宙線がそんなに高いエネルギーを持っているのなら、これを利用して、太陽光や風力と並んで自然のエネルギーとして、発電に利用ができないのでしょうか。

残念ながら、宇宙線のエネルギーは確かに高いのですが、飛来する宇宙線量が少ないため、そのエネルギーを利用することはできません。宇宙線の中には、数カロリーの高いエネルギーのものも含まれています。しかしそういう粒子は、1 年間に地上 100 平方キロに 1 個程度しか降ってこないのです。こんなに少ないのでは、とてもエネルギー問題の解決になりません。

太陽のエネルギーは、1 分間に地表 1 平方センチあたり 2 カロリーです。太陽の方がはるかに強いエネルギーを私達に送っており、このことは日差しを浴びると暑いということからも実感できるでしょう。

30. 宇宙線のエネルギーはどこまであるの？

それでは、宇宙線のエネルギーの最高値はどの位なのでしょう
か？ 最も高いエネルギーをもっている宇宙線は、どれ位のものが
見つかっているのでしょうか？ まず宇宙線のエネルギーが高くな
ると、その数はぐんと減ります。大まかに言いますと、エネル
ギーが 10 倍高い宇宙線の数、低い宇宙線の数より 100 倍少
なくなるので、エネルギーの高い粒子はごく少数ということにな
ります。一番高い宇宙線は 1 個が 4 カロリーのエネルギーを持っ
ており、岩石から出てくる自然放射能の約 100 兆倍のエネルギ
ーを有しています。



31. 宇宙線のエネルギーはどうやって測るの？

宇宙線が大気に入ると、多くの子供の粒子を作ります。非常に高いエネルギーの宇宙線はどうやって測るのでしょうか？どうやって高いエネルギーの粒子であるとわかるのでしょうか？そのためには、空気シャワーを測って求めるのです。

一番エネルギーの高い宇宙線は、1000 億個の粒子を作ることができます。この二次宇宙線の中には様々な粒子が含まれていますが、主要な成分は、電子、陽電子、ガンマ線、ミュー粒子です。

この膨大な数の粒子は、ちょうど滝の水が勢いよく落下するように空から降ってくるので、カスケード（滝）シャワーとか、大気中でのシャワー、空気シャワーと言われます。お風呂のシャワーのように、粒子のシャワーが私たちの頭の上に常に降り注いでいると思っていただければ良いと思います。この1個1個の粒子は、平均 20 億電子ボルトのエネルギーを持っているので、この値を総粒子数の 1000 億個かければ全部のエネルギーになります。かくして、入射した宇宙線が今まで観測されたものの値を超えて、最高のエネルギーを持っているということがわかります。



32. 最高エネルギーの宇宙線が 頭上に落ちたらどうなるの？

それでは万が一、一番エネルギーの高い宇宙線が頭上に降ってきたらどうなるのでしょうか？

1000 億個も粒子が体の中を通過していくのでしょうか？ それは違います。作られた二次宇宙線は 1 平方キロメートル全体に広がるから、頭のうえに降って来る粒子の数は 40 万個程度です。

でも 40 万個も粒子が通過するなんて、被爆しないのでしょうか？

心配無用です。私たちが 1 年間に受ける宇宙線の量の方が、まだ 1000 倍も大きいのです。

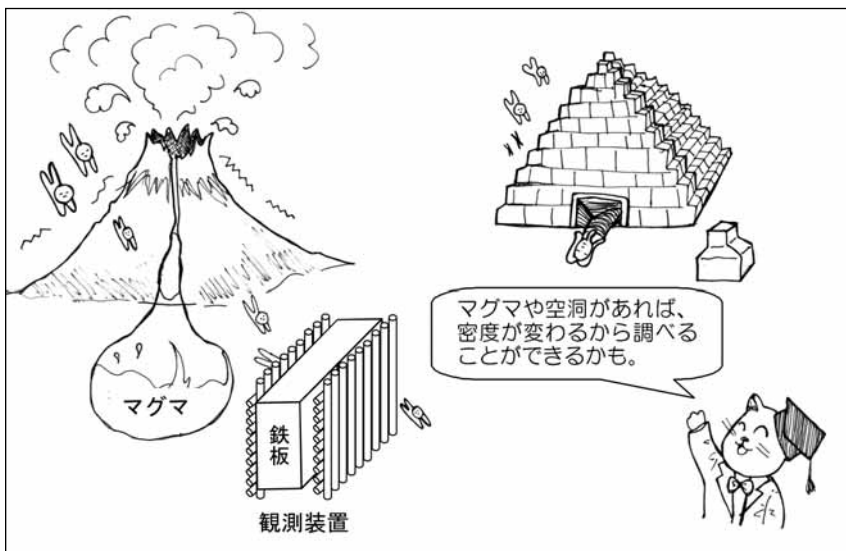


33. 宇宙線で火山のマグマの状況がわかる？

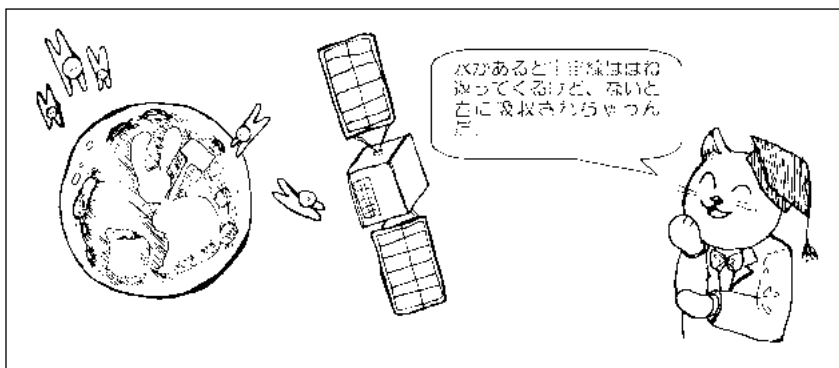
宇宙線のエネルギーは、どうやら使えそうにないことがわかりました。それでは、全然役に立たないものなののでしょうか。ここでは宇宙線が役立つ例を紹介しましょう。

宇宙線の中には、1 km 位は岩石を平気で突き抜けることができるミュー粒子が含まれています。このミュー粒子の性質を利用して、ピラミッドの中に秘密の洞窟があるかないかを調べた人がいました。秘密の洞窟があればミュー粒子の数が増え、洞窟がなければピラミッドの岩石中で吸収されて数が減るのでわかります。

また最近では、浅間山や乗鞍岳にミュー粒子を観測する装置を設置して、火山の中心部のマグマの様子がわかるかどうか調べた人もいます。結論は、大規模な装置を置けば、雲仙普賢岳のマグマの状態を、X線写真のようにミュー粒子を使って見ることはできます。しかし、費用が500億円程かかるということです。



34. 宇宙線で惑星の水探索ができる？



もう一つ、宇宙線が役立つ例を紹介します。

月面や火星に水が存在するかどうかは重要な問題です。火星に人工衛星を軟着陸させるのは、なかなか難しいようですが、軟着陸させなくても上空から調べる方法があります。火星には大昔、海があったといわれています。この時の水分は土の中に浸透し、氷となって残っていると考えられます。月でも極地には、水が太陽光で暖められて飛んでしまわずに、土の中に存在しているのではないかとされています。30 年後に月面基地で人類が活躍する頃、こういう水は貴重な存在になるはずです。

水があるかないかは、宇宙線のヘリウム原子核の反応を利用するか、陽子の散乱を見ればわかるのです。宇宙線中の最も頻度の高い陽子は、土の中 50 cm 位は侵入できます。水があれば、水分子 (H_2O) 中の水素 (H_2) の原子核と弾性散乱して、陽子が後方にどんどん跳ね返ってくるのです。丁度玉突きと同じ原理です。水分子がなければ反射してくる陽子は少なくなり、比較することで水の存在がわかります。このように、宇宙線は非常に有効な使い方があります。

35. 宇宙飛行士はなぜ 3ヶ月交代で勤務するの？

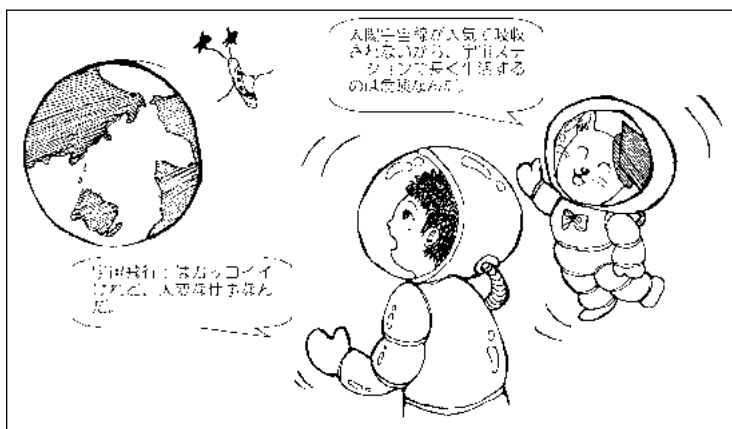
応用編の最後として 35 と 36 では、放射線としての宇宙線の脅威について説明しておきます。

宇宙飛行士の宇宙空間での滞在が長くなってくると、宇宙飛行士はホームシックになって、家族や友達に早く会いたいとか、おいしいものを食べたいとか、様々な心理的な問題が発生してきます。また、無重力状態の所に長くいると骨が弱くなります。

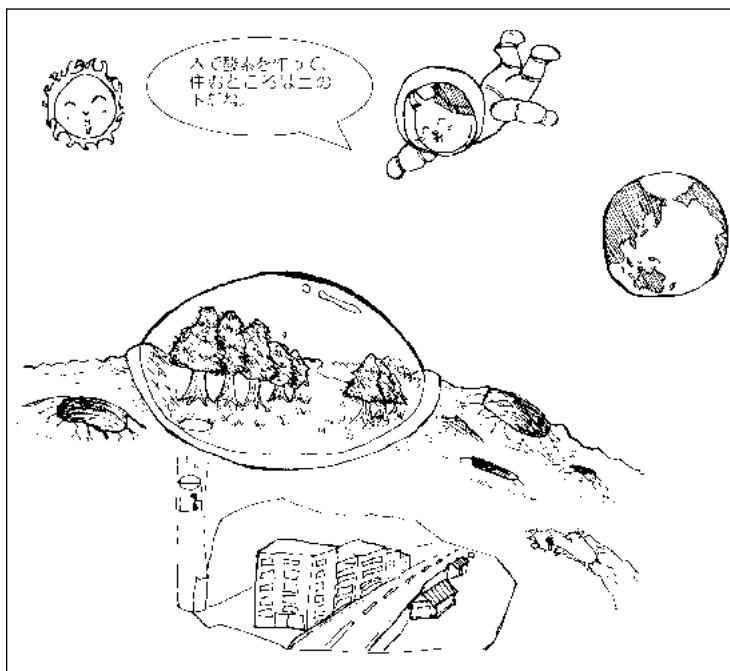
しかし、それよりも大きな交代理由は、健康上の問題です。宇宙線の飛び交う宇宙空間に長く滞在すると、体に毒だからです。つまり放射線障害の危険性がでてくるということです。宇宙では宇宙線は人間にとって毒になります。

繰り返しになりますが、人間が地表に暮らせるのは、私たちが大気で守られているからです。大気は紫外線を吸収してくれているだけでなく、有害な宇宙線も吸収してくれています。

また、太陽宇宙線は人間だけでなく、人工衛星の太陽電池パネルの発電能力を弱めるという悪さをするということでもよく知られています。



36. 人類は月で生活できるの？



人類は狭い地球に飽きて、将来は月で生活するようになるかもしれません。実際 2030 年ころには月面基地ができる可能性が高いのです。そこでは、純粋な科学研究のみならず、きっと資源探索が行われるでしょう。

その時人類は月の表面で暮らせるのでしょうか？ もちろん食料は地球から運び、また空気も運ばなければなりません。食物は、現地で温室のような施設で生産できるかもしれません。しかし月には大気がありませんから、もろに宇宙線の脅威にさらされます。そのため、月面基地の居住区は、地下室になるでしょう。砂が大気に代わって宇宙線を吸収してくれるからです。人類は将来もぐらになるかもしれません。

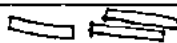
応用編 まとめ

- ① 宇宙線の最も高いエネルギーを持ったものは1粒子が4 カロリーも持っている。
- ② しかしそのようなエネルギーの高いものは、年間 100 平方キロメートルに 1 個程度しかやってこないで、そのエネルギーを利用できない。
- ③ 宇宙線のミュー粒子を利用すると、火山のマグマの動きを調べられる可能性がある。
- ④ 宇宙線を使って月面や火星表面の水の探索ができる。
- ⑤ 宇宙で生活すると宇宙線は有害な放射線。

○月×日(火)

日直

あきこ



37. 太陽ニュートリノはどうやって 作られているの？

太陽からやってくるもう一つの粒子、太陽ニュートリノは太陽の何処で作られているのでしょうか。

太陽宇宙線の中の、高いエネルギーに加速された陽子が太陽表面のガスと衝突して、太陽表面でニュートリノを作ってもよいと考えられます。しかしその量は非常に少なく、太陽の中心部での核融合により作られるニュートリノの数の方が多いのです。

巨大な装置が将来できれば、太陽フレアに伴うニュートリノも観測される時が来るかもしれません。太陽ニュートリノを検出したことで、米国のディビィスは 2002 年にノーベル賞を受賞しました。ともあれニュートリノは非常に物質と衝突しにくい粒子で、地球の中もすいすいと通り抜けるため、検出には大きな装置が必要となります。

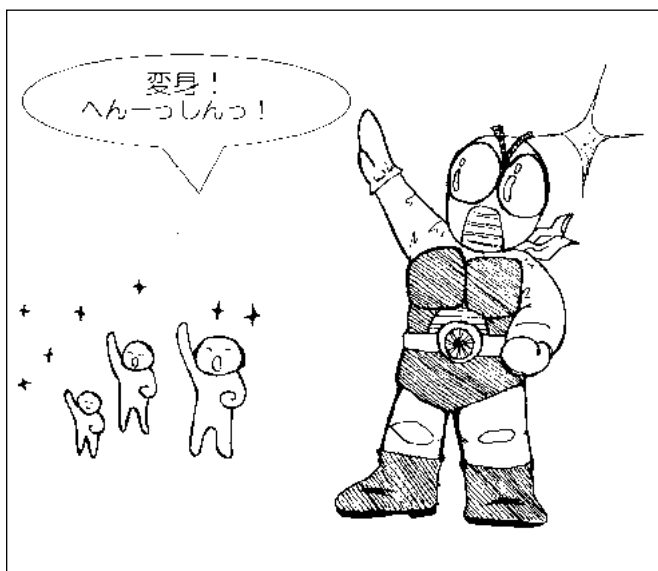


38. 太陽ニュートリノの謎？

太陽ニュートリノは、観測値が予想される値の半分しかなく、大きな謎になっています。

太陽ニュートリノの値を計算する時は、原爆実験と同じ特別なシミュレーションの技術が必要です。これは米国から門外不出のマル秘コードで、米国人以外の研究者は使用できません。米国人のバーコール先生（プリンストン大学）がそのコードを使って計算したのですが、誰にも検算ができないため、計算が正しいのか間違っているのかわかりませんでした。しかしイタリア・ローマ郊外のトンネルの中で、シミュレーションの値に影響を受けない太陽ニュートリノの実験がなされ、今では、太陽の中心温度（1500万度）と無関係に、ニュートリノに質量があり、検出できないのは、ニュートリノが変化したからだという説が有力視されています。

ニュートリノの変化に関しては、日本が理論でも実験でも一歩世界をリードしています。



39. 小柴先生のノーベル賞は 宇宙線とどう関係しているの？



2002年、小柴先生がノーベル賞を受賞しました。これは大マゼラン星雲の中で45万年前に爆発した超新星で作られたニュートリノを、世界で初めて検出するのに成功したからです（20の写真参照）。

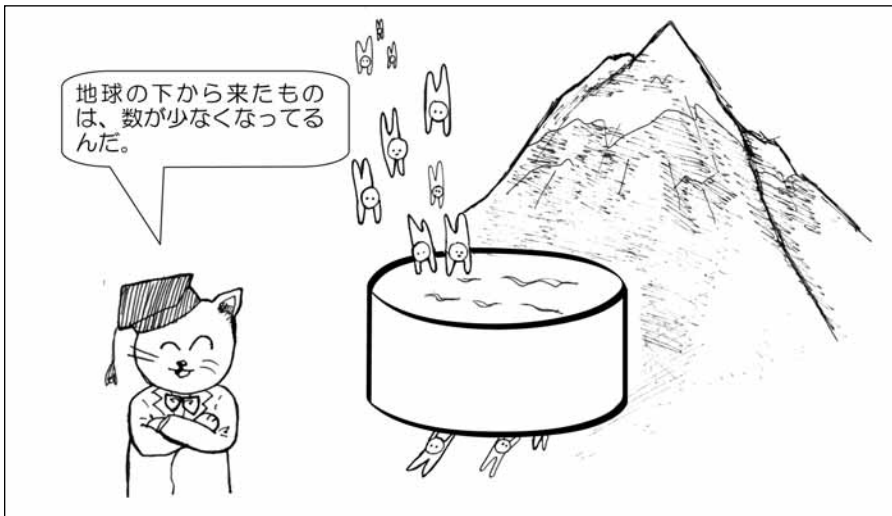
私達は、宇宙からやってくる粒子は全て宇宙線であると定義しています。従って、超新星ニュートリノも太陽ニュートリノと共に、立派な宇宙線なのです。

40. 大気ニュートリノの謎？

実はもう一つ、ニュートリノの変化についての大変興味深い実験結果があります。

宇宙線中のパイ中間子がミュー粒子に崩壊する時、ミューニュートリノとペアになって崩壊します。またミュー粒子が電子に崩壊する時、ミューニュートリノと電子ニュートリノを伴って崩壊します。従ってパイ中間子が崩壊すると、2 個のミューニュートリノと 1 個の電子ニュートリノが作られるというわけです。この比はおおむね 2 です。

ニュートリノは物質とほとんど衝突しないので、巨大な水槽を用意して実験をします。神岡鉱山の中で、大気中で作られた二次宇宙線中のミューニュートリノの数を、下から来たものと上から来たものと比較したところ、下から来たものが上から来たものより少ないことがわかったのです。この実験結果を解釈する最有力



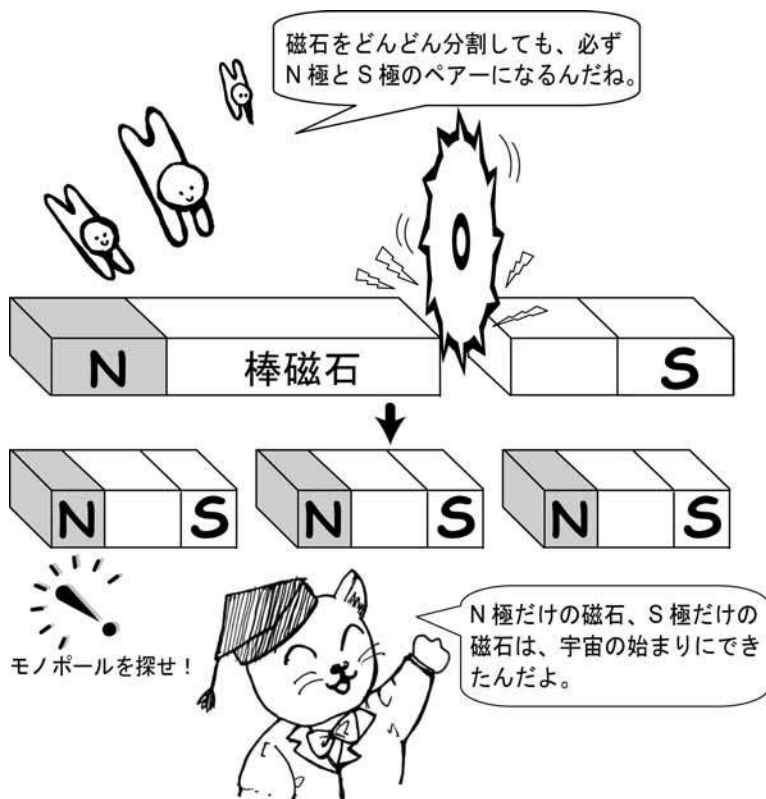
な考え方は、地球の下から長い距離を走る間に、ミューニュートリノは、タウニュートリノという別の種類に変身してしまったのだというものです。ヨーロッパでは、加速器ビームを使って、ニュートリノが変身して作ったタウ粒子を実際に見てみようという計画が進行中です。タウ粒子が写真乾板で見つかれば、パウエルがパイ中間子の崩壊を観測したのと同じような衝撃が走ると思われます。もう 1 個のノーベル賞が日本に来るかもしれませんね。

41. 不思議な宇宙線？ — モノポール

それでは、他にどんな宇宙線が宇宙からやってきているのか話しましょう。変種はあるのでしょうか？

宇宙線の中には、ウランウムの原子核も見つかっています。これらの重い原子核は、星が爆発した際、その周辺で核融合反応が起こり作られたものと考えられています。

特殊な宇宙線の例を二つあげてみます。まず、磁気単極子（モノポール）があげられます。この宇宙線の変種は、ぞうり虫の重さほどです。私達が知っている磁石は、N極とS極が必ず対（ペ

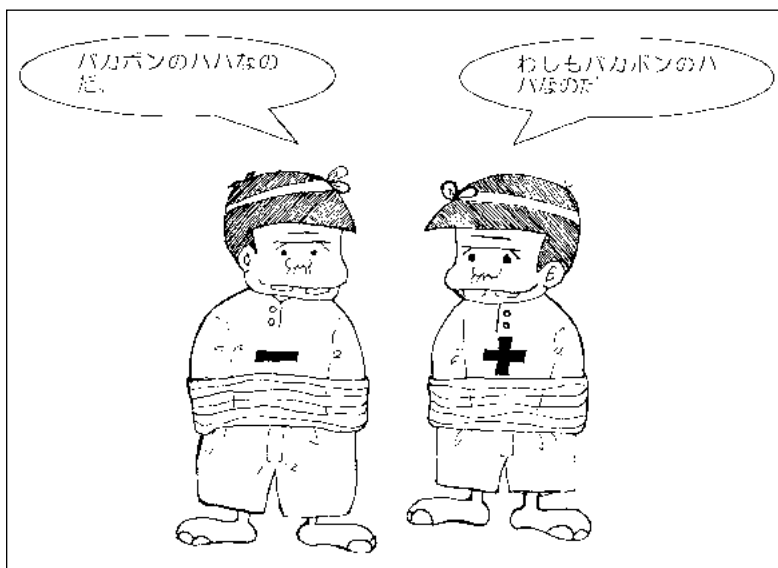


ア) で存在しています。しかし理論的には、N極だけ、S極だけの単極の磁石が存在しても良いのです。モノポールは大きな痕跡を物質中に残すので、とらえることはそれほど難しくありません。しかし必死で探索されましたが、まだ見つかっていません。本当にあるのでしょうか？ 研究者の間ではその存在が疑問視されています。わずかに一例だけ、見つかったという報告が、カリフォルニア大学のカブレラ氏から出されています。彼の作った装置そのものは信用できます。しかしモノポールが見つかった日がセントバレンタインデーであったため、大学院生が、先生がかawaiiそうになっていたずらをしたのではないか、といううわさも流れました。カリフォルニア大学はカブレラ氏が将来ノーベル賞をもらうといけないので、すぐ教授に昇格させたそうです。

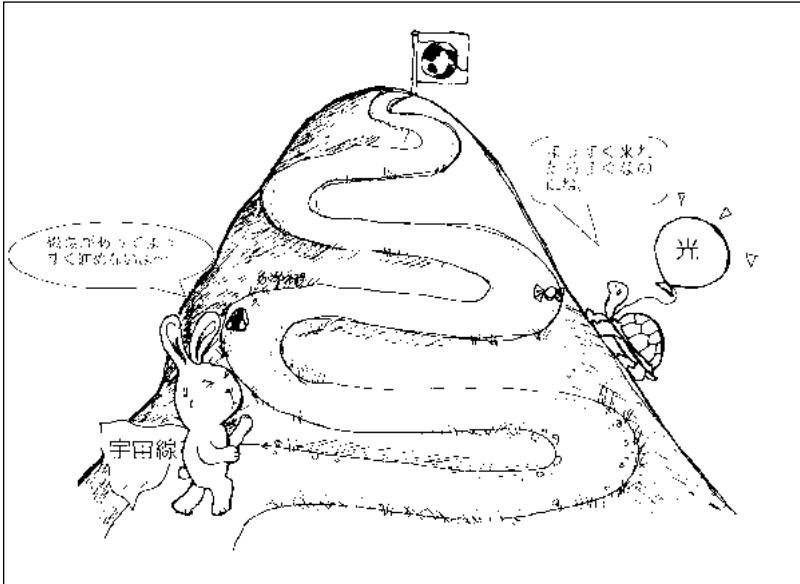
42. 不思議な宇宙線？ — 反粒子宇宙線

もう一つの不思議な宇宙線は、反粒子宇宙線と呼ばれているものです。私達の宇宙は、ビッグバンで始まった頃、物質と反物質が同じだけ作られたと考えられます。反物質というものは物質と全く同じ性質を持ちますが、電荷が反対のものです。例えば反水素原子は負の電荷をもった陽子と、正の電荷をもった陽電子で構成されているということです。

もちろん私達の世界にある水素、例えば水 (H_2O) の中にある水素は、正の電荷をもった陽子と負の電荷をもった電子から構成されています。もし負の電荷をもった反ヘリウムの原子核が発見されれば、これは反物質でできた世界がどこかにあるはずだということになります。しかし、反物質でできた宇宙の痕跡である反ヘリウムはまだ見つかっていません。反物質でできた銀河は存在しないという考え方が有力です。



43. 宇宙線は宇宙を何年旅して やってくるの？



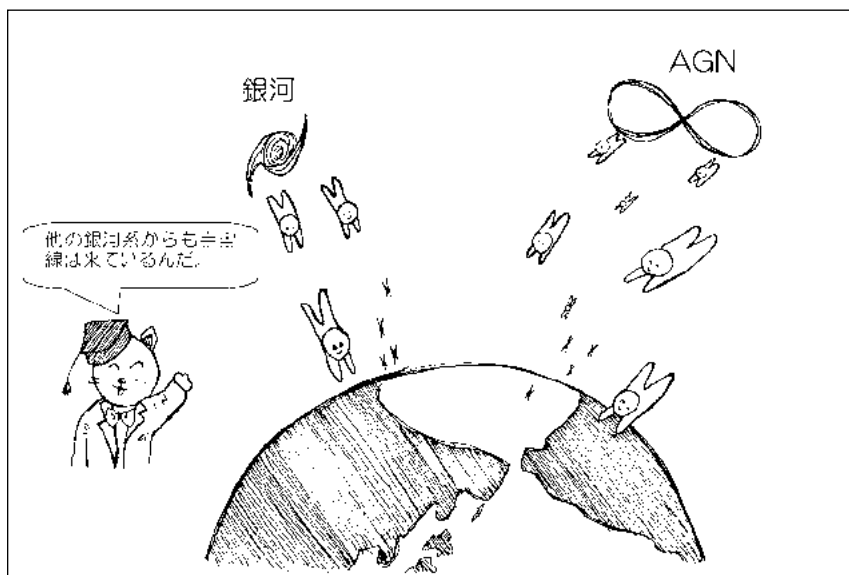
太陽からの宇宙線は、作られてから 1~2 日で地球にやってきます。太陽から出た光は、500 秒後に地球に到達します。これは 8 分 20 秒です。どうして宇宙線は旅するのに 1 日もかかるのでしょうか。

これは宇宙線が太陽の磁力線に絡まって進むため、余分に走る距離が必要だからです。つまり、宇宙線は光のように直進できないからです。私達の銀河の中心まで光子ロケットに乗って旅をしたとすると、2 万 6 千年もかかります。しかし宇宙線はそれ以上の、約 1 千万年も旅をして超新星爆発した星から地球にやってくるのです。銀河中心までの直線距離の約 400 倍も寄り道をしてやっけてきているということです。これは宇宙線中のベリリウムや硼素（ホウソ）、リチウムの原子核の量と、炭素や酸素、窒素の原子核の量を比較して求められました。

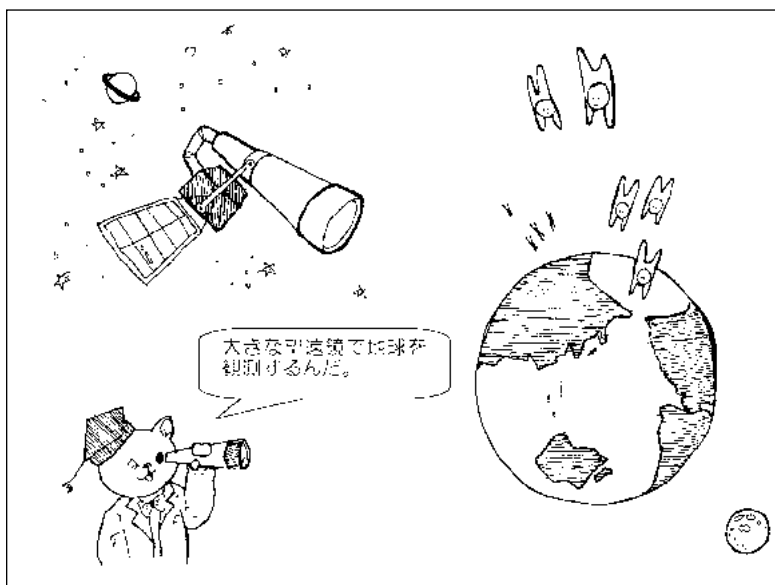
44. 我々の銀河系外から 宇宙線は来ているの？

私達の銀河には、地球磁場に比べて 100 万分の 1 程度弱い磁場があります。この磁場のため、宇宙線は銀河の中に閉じこめられ、先に書いたように、1000 万年位さまよって地球にやってきます。それでは私達の銀河系外の別の銀河、例えばアンドロメダ銀河や活動時銀河核（AGN）で作られた宇宙線は、地球にやってきているのでしょうか？

エネルギーが非常に高い宇宙線は、銀河系の磁場の袋に閉じこめておくことができず、漏れだしてゆくと考えられます。従って最高エネルギー領域になると、宇宙線は私達の銀河から漏れ出ていって減るはずですが、しかし観測結果は逆に増えているのです。これは我々の銀河系外からも宇宙線がやってきているためと考えられます。



45. 最高エネルギー宇宙線の謎？



それでは、今まで観測された宇宙線の中で、最高エネルギー宇宙線はどこで作られているのでしょうか。一つの説は、我々銀河系外の活動的な銀河（AGN）で加速されてやってきているということです。また変わった考え方として、宇宙の始まりの時に作られた“宇宙紐”が今頃崩壊しているからだという説もあります。いろいろなモデルが提唱され、まだ結論は出ていません。

将来、宇宙ステーションに大きな望遠鏡を載せて、そこから宇宙ではなく、地球を見おろして、最高エネルギー宇宙線が作り出す発光現象を捕らえようという計画が進行中です。米国では OWL 計画、欧州では EUSO 計画という名前が付けられた実験計画が、真剣に議論されています。これらの観測により最高エネルギー宇宙線の謎は、近い将来きっと解かれるでしょう。

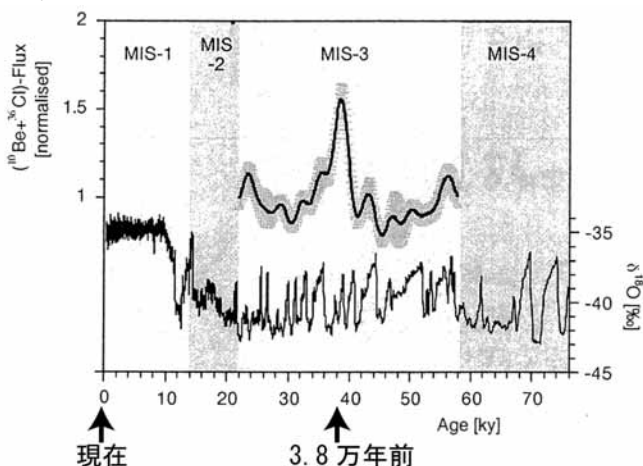
この計画の魅力は、地球を宇宙から見るので、地球物理や環境問題に係わるテーマも同時に実施できる点でしょう。

46. 宇宙線起源の放射性同位元素を測ると、過去の太陽活動がわかる？

宇宙線が地球大気に衝突すると、ベリリウム 10 とか炭素 14 という放射性同位元素を作ります。ベリリウム 10 は成層圏（地上約 20 km）から対流圏の上層部（地上約 10 km）で作られ、約 1～2 年でエアロゾル（大気微粒子や塵）にくっつき、極地に落下します。一方炭素 14 は炭素同化作用で樹木のセルロースに閉じこめられます。

これら宇宙線起源の同位元素は、過去 5000 年の太陽活動や地磁気の変化のトレーサーとなり、過去の太陽活動の痕跡を残しているのです。

どうして太陽活動に 11 年周期があるのか、木の年輪に 80 年周期が見出されるのか、こういう問題が太陽の対流圏の運動とどう関連しているのか、興味ある基礎データがいま続々得られつつあります。



Jürg Beer 氏による過去の宇宙線強度。38000 年前に強い宇宙線のピークがある。図の下は酸素 18 の変動で、38000 年前は大きく変動していない。

47. 宇宙線が地球の気候に 影響を与えているの？

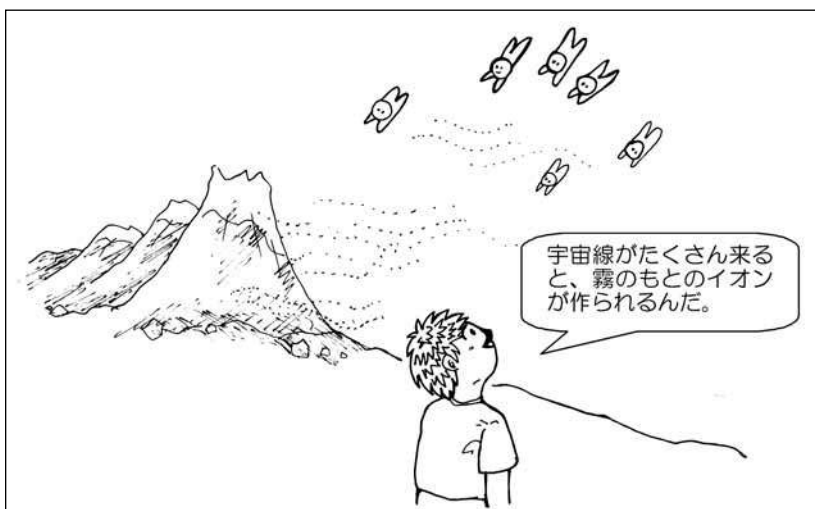
こんなちっぽけな宇宙線が、地球の気温に、ほんのわずかだけ（0.2 度程度）ですが、影響を及ぼしているという解析結果があります。

デンマークのフリツクリステンセンとスベンスマルクは、地球の海洋上の雲の量と、太陽活動の相関を調べました。するとどうでしょう。中層雲の雲の量が、太陽活動に伴う宇宙線の 11 年変動（25 参照）とよい相関があることがわかったのです。

彼らの解釈は次のとおりです。

- ◆ 太陽活動が弱くなると、銀河宇宙線の量が増大する。
- ◆ 銀河宇宙線は対流圏上層まで突入する。
- ◆ その間に大気をイオン化させ、このイオンを中心にして霧の粒が形成されやすくなり、やがて雲に成長する。

気象学者は懐疑的ですが、物理学者は本当かもしれないと思っています。

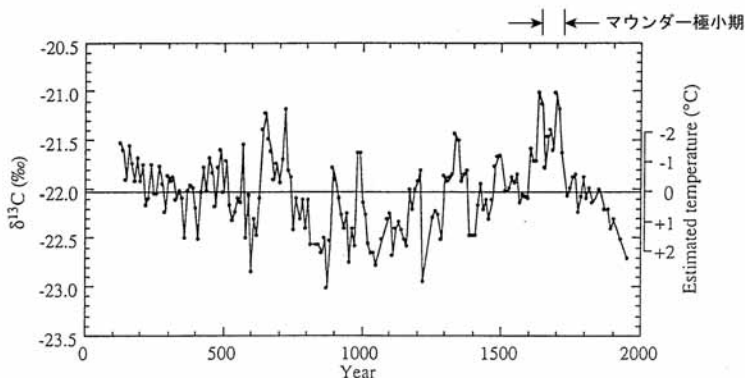


48. マウンダー極小期の寒冷化も 宇宙線の影響？

江戸時代の初めは、地球が寒冷化したことで知られています。その頃太陽表面には黒点はほとんど出現しませんでした。この事実は、放射性炭素やベリリウム 10 のデータからも追認されています。

でも太陽の表面から黒点が減ると、どうして地球が寒冷化するのでしょうか。寒冷化と言ってもグローバルに 1~2 度程度下がったということで、5 度も低かったというような話ではありません。

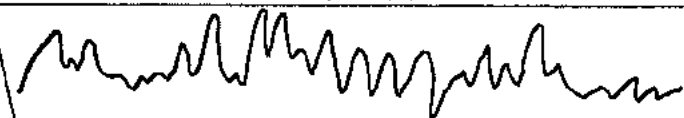
これもフリツクリステンセン・スペンスマルクの仮説を使えば簡単に説明できます。太陽活動が長期に弱まり（約 80 年間）、長期にわたって銀河宇宙線がたくさん地球にやってくることができた。そのため霧が作られやすくなり、雲がたくさん作られ、地表を覆ったため、太陽光が反射されて地球が寒冷化したと説明がつけられます。本当にこのプロセスが存在するのだと証明することが、これからの大切な仕事になると思います。



名古屋大学の松本、北川両氏らによる屋久杉の炭素同位元素 C13 の変動値。マウンダー極小期に相当する 1640 年から 1715 年頃、C13 が増大している。平均気温が約 2 度低かったことを示している。

< 図案 14 >

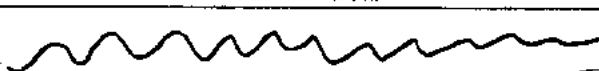
マウンダー極小期



1650

1850

シュベラー極小期



NO_x

V

< アイスコア >

この層久杉から
答えが出たのですか

シュベラー極小期は
どうなっているのでしょうか

マウンダー極小期に
太陽はゆっくり活動
していたのですよ



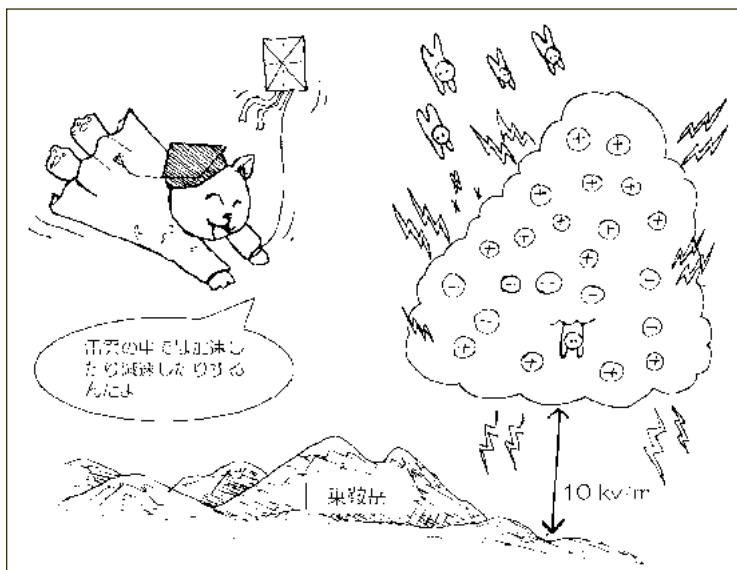
屋久杉

アイスコア

[冷凍室]



49. フランクリンの実験と宇宙線？



フランクリンは雷が強い電気を持っていることを、凧をあげて証明しました。彼が感電死しなかったのは運が良かったからだと言われています。

実は、雷雲がやってくると、二次宇宙線の強度が変化します。これはどうしてでしょうか。雷の電荷分布は上層部はプラスに帯電し中層部はマイナスに帯電、また下部には小さなプラスの電荷をもった部分があるというように、三極構造をしています。この雷雲の作る電場で、電荷をもった電子やミュー粒子は加速されたり減速されたりして、宇宙線の強度が変化するのです。この変化する時間間隔を解析したところ、太陽の自転周期と同じ 27 日周期が見つかったのです。

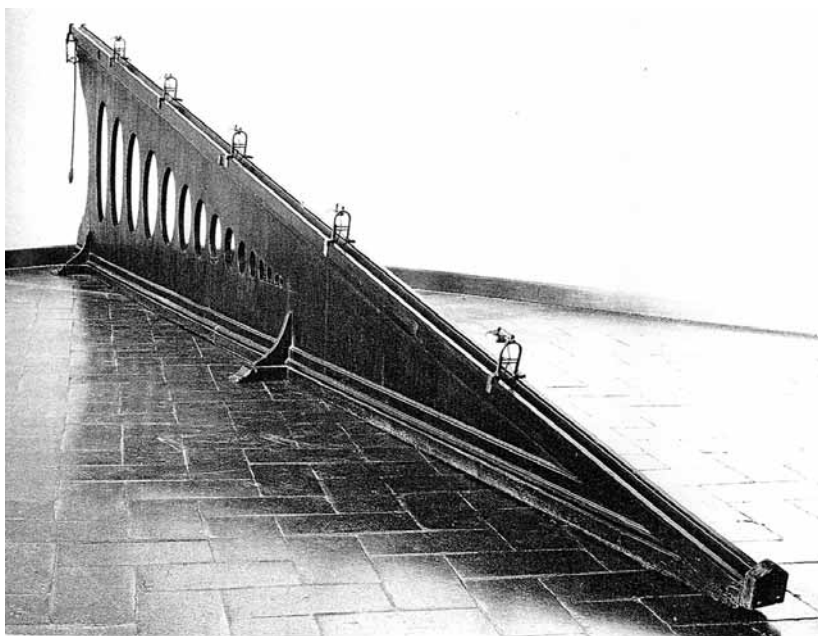
私達のまだ知らないような相関関係が、太陽地球空間には存在しているのでしょう。

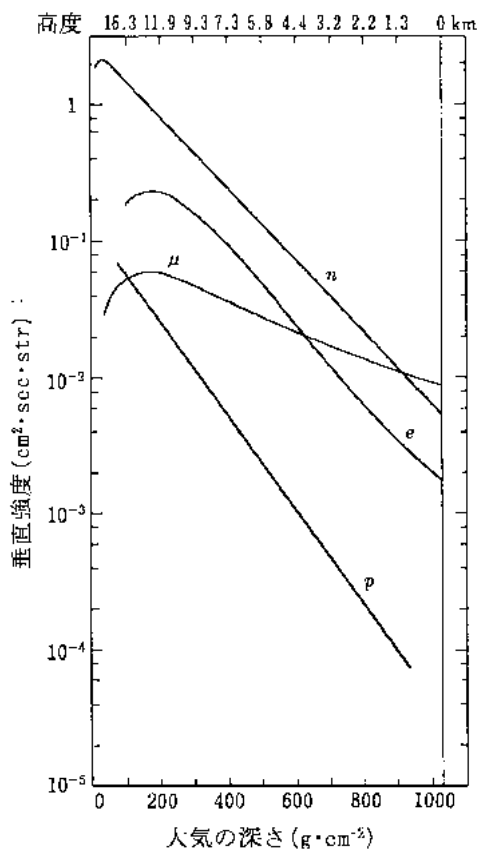
50. ガリレオと近代科学？

ガリレオが望遠鏡を発明して、木星の衛星や月のクレーター、太陽黒点を発見したことは有名ですね。ちょうど彼が望遠鏡を発明して間もなく、地球は寒冷化しました。

イタリアのフローレンスに科学博物館があります。そこには、ガリレオの望遠鏡も陳列されています。とりわけ印象的なのは、ガリレオが加速度が存在することをみんなの前で証明した装置です。彼は多くの人の前でその装置を使って、加速度が存在することを証明して見せました。今は誰でも知っている加速度も、こうして発見されたわけです。

誰がやってもいつでも証明できる。これこそ近代科学の原点です。素粒子のクォークは、近代科学を超える新しい科学を拓くのかもしれません。





地球大気中での、宇宙線の各成分の強度分布。横軸は地球の大気の厚さ。縦軸の数字は、1秒間に単位立体角あたり 1cm^2 にどれだけ二次宇宙線の各成分が到来するかを表わしている。n は中性子成分、μ は 1 ミュー中間子成分、e は電子、p は陽子を表わしている。(村山喬「宇宙物理学」より)

資料／イラストの提供・出典一覧

- 6 国立極地研究所（編集して使用）
 - 10 1988年国連科学委員会報告
 - 12 Nature, vol. 160, page 855, 1947.
 - 16 Nature, vol. 160, page 454, 1947.
 - 20 Nature, vol. 378, page 255, 1995.
 - 22 宇宙航空研究開発機構
 - 27 国立極地研究所
 - 46 スイス環境研究所
 - 50 フィレンツェ科学博物館
-

宇宙線 50のなぜ



発行日	2004 年 3 月 26 日
企画・制作	名古屋大学太陽地球環境研究所 りくべつ宇宙地球科学館 豊川市ジオスペース館
文 絵 編集	村木 綏 大村 純子 野田ゆかり
発行	名古屋大学 太陽地球環境研究所 (〒442-8507 豊川市穂ノ原 3-13) http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/
印刷／製本	大陽出版株式会社 (〒441-8077 豊橋市神野新田町ロノ割 200)

本冊子は、平成15年度文部科学省地域貢献特別支援事業の一環として制作されました。

All rights reserved.