

201602-04 ニュートリノ電波環境

ニュートリノ環境と電波環境

地上でのエネルギーの流れ

一般に目に見えない存在は無視される。空気も目には見えないが、風が吹くと肌を刺激するし、呼吸して生きているのだから存在はよく見えている。太陽の光は生物サイクルや気象現象の原因である。水が液体で存在する適当な太陽からの距離にある生命の星になったのであり、石油などの化学エネルギーも原始生物起源である。太陽光は単に視覚で“見える”だけでなく、このエネルギー流は様々な現象の原因なので、その存在はよく“見える”とも言える。目には見えないが様々な自然現象を通して“見える”エネルギーの流の一つに地熱もある。温泉や火山や地震の元だが、平均すれば太陽光の一万分一以下である。

“見えない”電波のエネルギーの流れ

スマホに熱中している街中の風景を見ていると人々の行動を引き起こしている見えない存在が空間を満たしていることに気付かされる。ニュートリノと同様に見えない、人工電波というエネルギー流の存在である。タッチすると瞬時に応答が画面に現れる体験をするとインターネット上のあらゆる情報が予め空間に漂っているような錯覚に囚われる。この人工電波のエネルギー流は太陽光と比べるとどれ程なのであろうか？

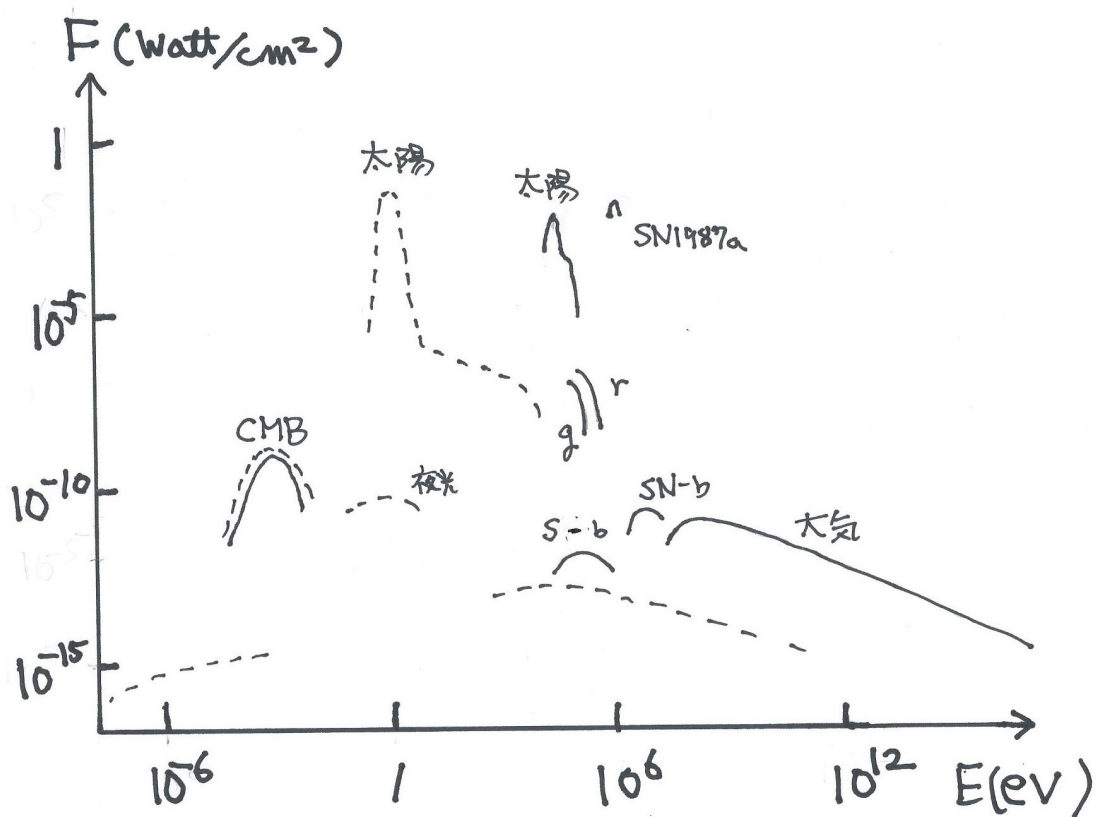
太陽ニュートリノのエネルギー流

ニュートリノでのノーベル賞の度に、膨大な量のニュートリノがこの生活空間を飛び交っているのだと報道させるが、何の実感も湧かずに直ぐに忘れさられてしまう。手のひら（約 10cm^2 ）を一秒間に一千万個ものニュートリノが通過するというのに。

太陽で発生するニュートリノのエネルギー流は可視光よりは小さいが、太陽光の数パーセントもある。さらに太陽光は昼間でも空気や雲による宇宙空間への反射で地上に達する量は減少する。雨天中なら百分の一以下の明るさである。それに対して太陽からのニュートリノ流は昼夜関係なく一定である。だから太陽ニュートリノは星明かりの一億倍ぐらゐの大ききで、地表から上向きのエネルギー流として存在する。

地球表面でのニュートリノ環境

図 1 には地表の空間を行き交っているニュートリノのエネルギー流の概略を実線で示す。またこの図 1 には電磁波（電波、光、X線、ガンマ線、・・・）のエネルギー流も比較のため点線で書き込んである。このグラフの横軸は一個の量子（光子またはニュートリノ）のエネルギー（プランク定数 $h\nu$ [振動数]）である。そして縦軸はエネルギー流である。何れの軸でも対数目盛である。例えば $10^{-5} = 1/100,000$ は「十万分の 1 である」である。



晴天昼の太陽光が「太陽」点線であり、新月夜間の明るさが「夜光」点線である。その左の「CMB」点線はビッグバン宇宙の残光背景放射、その左下（電波）と右下（X線・ γ 線）の点線も地球外での背景放射であるが、これらは地上のものではなく大気外でのものである。

ニュートリノを見るとやはり「太陽」実線が圧倒的に大きい。1987年2月の超新星爆発で現れたのが「SN1987a」実線であるが定常的な「太陽」と数十秒間のみ一時的に同程度であった。「大気」実線は随分小さいが量子エネルギーが千倍

も大きいために検出し易くなっている。他の実線の「g」は地球ニュートリノ、「r」は原子力発電所 100km、「S-b」は恒星による背景ニュートリノ、「SN-b」は超新星ニュートリノの背景放射である。「CMB」実線は大量の数の低エネルギーのニュートリノが存在するのがビッグバン説の予言である。その検出は出来ていないが、ニュートリノが十分な質量があれば暗黒物質となって銀河の大規模構造の形成に関係する。しかし、最近の実験は小さな質量を示唆しておりこの可能性は少なくなった。

太陽ニュートリノ・小柴ニュートリノ・梶田ニュートリノ

地上環境の視点では太陽ニュートリノが圧倒的な存在だが、小柴ノーベル賞も梶田ノーベル賞もこの太陽ニュートリノの話ではない。ちなみに小柴と同時受賞したデイビスと梶田と同時受賞したマクドナルドはともに太陽ニュートリノの測定に関わった研究である。

小柴ノーベル賞は 1987 年 2 月にマゼラン星雲に現れた超新星 1987a の爆発であったし、そして梶田ノーベル賞は銀河宇宙線により大気中で発生する大気ニュートリノに関わるものである。

夜はビッグバンの残光が一番

地上でのエネルギー流は太陽からの可視光とニュートリノが圧倒的であり、可視光は夜にないからニュートリノが一番である。月の反射で太陽光が潜り込まない新月の夜だと、夜の明るさは太陽系内のチリによる太陽光の反射である黄道光と遠い星光の集積としての夜光である。しかし地球に降り注ぐ電磁波のエネルギー流として一番大きいのは宇宙ビッグバンの残光である CMB (宇宙マイクロ波背景放射) である。それなのに 1965 年にやっと見つかった。無線通信、ラジオ放送、テレビ放送、電波天文学が始まって数十年も経ってからの出遅れた発見であった。二十世紀の二代大発見ともいえる DNA と CMB の発見は、各々、X 線とマイクロ波の技術が可能にしたものだ。

電波天文学

天文学は長年、可視光で宇宙を見てきたが、二十世紀の後半になって電波、X 線、ガンマ線、赤外線、ニュートリノ、重力波・・・などの“新しい目”で宇宙を観測している。ロケットや人工衛星の宇宙技術が出来てはじめて X 線天文学は可

能になった。これに対して、電波は地上からも観測可能なので第二次大戦後に各地で一斉に始まった。筆者が大学院に入った頃(1960年)すでに電波天文学はクエサー発見などで湧いていたが X 線天文はまだなかった。日本での電波天文は強度の強い太陽電波から始まり、宇宙電波は計画の議論が始まった頃だった。みさと天文台にある電波望遠鏡はいくつも組み合わせて太陽電波の変動を見る野辺山にあったアンテナの一つを貰い受けたものだ。

電波通信ビジネスと CMB

CMB はこうした電波天文学の流れで発見されたのではなかった。偶然テレビ中継アンテナに引っかかったのである。理由の一つはマイクロ波から遠赤外かけての波長域では大気の吸収があり、地上からよく見えないからである。BS や携帯端末の電波が雨に弱いことが知られている。水分子や OH 分子はマイクロ波を吸収するのである。そしてこれを利用したのがマイクロ波電子レンジである。

一方、電波通信業はラジオの後にテレビに挑戦した。テレビでは桁違いに大きな情報伝送量が要求される。このために周波数のより大きな電波の利用技術を進歩させた。また大陸間では人工衛星による中継を考えて微弱な信号の受信技術が開発された。これが CMB 発見につながった。CMB 強度のピークの波長は数ミリ cm だから地上からは大気のために観測できないが、最初の発見は波長 7cm であった。しかし、現在、大容量の大陸間通信の主力はその後に開発された光ファイバーによる海底ケーブルに席をとられている。

東京スカイツリー周辺の人工電波

地上では横向きに人工電波が飛び交っている。今はラジオ、テレビ、携帯端末の公共電波だけでなく、個人で WiFi 電波を発信もしている。無人の山中と繁華街では行き交う電波エネルギーの差は相当なものだろう。

最近、健康への電波の悪影響が指摘されているので「電波防護指針基準値」という国の規制がある。この上限が FM ラジオが $0.2\text{mW}/\text{cm}^2$ 、テレビ $0.35\text{mW}/\text{cm}^2$ である。総務省関係の HP にはあちこちの実測値も示されている。例えば、電波が強そうな東京スカイツリーの近傍の実測値をみってみる。約 1 キロメートルの押上小学校での実測は NHK-FM(82.5MHz)で $13.79\text{nW}/\text{cm}^2$ 、テレビは 8 チャンネルあり NHK 総合 $6.50\text{nW}/\text{cm}^2$ 、NHK 教育 $28.07\text{nW}/\text{cm}^2$ 、フジテレビ

27.36nW/cm²、などと並ぶ。合計すると約 200nW/cm² ぐらいである。これは 0.0002mW/cm² だから規制値よりははるかに小さい。1mW=1000nW である。

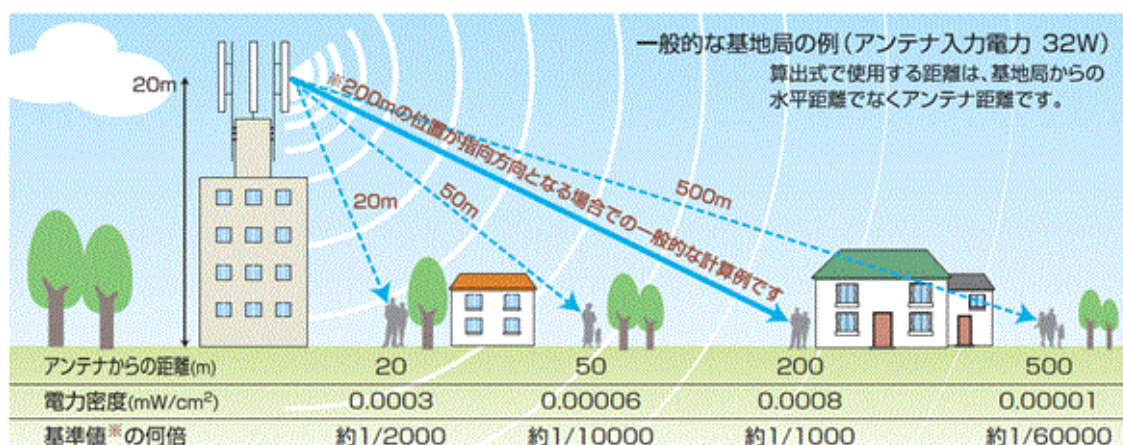
「人工」と「宇宙」の比較

図1の縦軸の単位は W/cm² である。また対数目盛りなので 10⁻¹⁰W/cm² とは 0.1nW/cm² のことである。CMB のピークは 10⁻⁸W/cm²=10nW/cm² くらいである。前記の強度と比べるとテレビ局一局と同程度であることがわかる。実際にはテレビの電波波長は数十倍長いから、その波長での CMB は 100 分の 1 以上小さい。

図2は総務省が電波の規制値について説明しているホームページにある図である。これは携帯電話アンテナの例だが先に述べた放送の場合と大体同じである。図中の「電力密度」とは電波の強度ことで、この図で一番左の地点(500m)での強度は 0.00001mW/cm²=10nW/cm² である。

人工電波の強度がわかってみると、CMB ピークの強度がそれと同程度であることに気づかされる。他の波長域での一様な電波はこれより十万分の一と小さい。

図2:携帯端末向きの電波アンテナの例。電波の安全性広報のHPから転載(図の出所:総務省中国総合局HP)



定常流と重力波バースト

太陽は可視光でもニュートリノでも圧倒的に強力な発信源であることは想像

されることだが、電波に目を向けるとビッグバンの残光である CMB が意外と強力である。それらは、携帯機器の人工マイクロ波にも匹敵するものであることをみた。

南から北の方に向けて 0.4 秒くらい続いた 2015 年 9 月中旬の重力波のバーストでは、この短時間のエネルギー流は大雑把に太陽光の一万分の一程度もあったと思う。1987 年の超新星ニュートリノ・バーストの時も数秒間、太陽光の百分の一ぐらいのエネルギー流があった。

空気の熱エネルギー

地上の身近な現象を左右する太陽光に話を絞ろう。気になるのは空気中に熱の形で存在するエネルギーと放射で通過するエネルギー流との関係である。空気の熱エネルギーは気温によって違うが、絶対温度 (= 摂氏温度 + 273 度) に比例するので、真冬の摂氏 0 度と夏の 27 度での差は全体の一割の変動に過ぎない。簡単な数字になるように摂氏 27 度で計算すると $3 \times 10^5 \text{ J/m}^3$ の熱エネルギーとなる。この 1m 立方の体積に含まれる熱量は 25C の 1 リットル (10cm 立方) の水を沸騰 (100C) させるに要する熱量に相当する。

身体の温度

身体の体温は約摂氏 36.5 度である。これは芯温とも呼ばれ、心臓や動脈血液の温度である。芯温が一定に保たれているのに対して皮膚の温度は空気や日光といった外界の条件で 33~34 度あたりで変動している。この変動を人間は着物を着たり脱いだりして緩和している。しかし同じ恒温動物である鳥類などは着物をつけたり出来ないので身震いをしてその摩擦熱で保温に努めているという。体内の熱源は心臓などの筋肉運動の摩擦熱や脂肪を分解する際の化学反応に伴う熱などである。いずれも元を質せば食べ物や呼吸で外から供給される燃料を消費しているのである。

空気のぬくもりと日なたぼっこ

人間にとっての熱源には空気のぬくもりの熱と身体の熱の他に火や暖房がある。そして太陽光のエネルギーの流れもこうした熱源の一つである。空気の熱も食物のエネルギー源も元はみな太陽光だが、日なたぼっこのようにエネルギーの流れを直接熱に変えることもできる。地上に降り注ぐ太陽光のエネルギー流は

緯度や雲の具合で相当(千倍も)変動するが、大気上での最大値は 1.37kW/m^2 である。

太陽光は空気では殆ど吸収されない。地面や植物などにあって一部が吸収され、残りは反射光となる。そして光線で温められた物体の熱は一部は空気に伝えられて空気のぬくもりになる。一部は赤外線で放射される。吸収が大きい黒っぽい薄い鉄板は日光の下では触ると火傷するくらいに熱くなる。いま 1mm 厚さのこうした鉄板に先の「最大値」太陽光を真正面に受けたとすると、例えば 50 度上がるのに要する時間は 2~3 分となる。現実的には「最大値」の十分の一として約半時間となり、なんとなく実感とつながる。空気と物体との温度差が小さくなると熱の流出率も小さくなり、ある温度で「入」と「出」が釣り合って温度上昇は止まるのである。

大気と海の熱量

流れているエネルギー(太陽光など)と留まっているエネルギー(空気の熱など)の関係は地球温暖化が問題になってからよく話題にされる。先に身体の熱源という話をしたが、人々が暮らす地表の熱源には太陽光と地下から湧き出る熱の二つがある。後者は前者の約一万分の一である。地下からの熱の原因は地球形成時の余熱と放射性元素による加熱の二つだが、これに関する KamLand による反ニュートリノ観測について Mpc(2010 年 10-12 月)に書いた。

太陽のエネルギー流は大半は鏡の反射のようにすぐ外に出るのではなく、図のように蒸溜めに貯蔵されてから出ていく。このため大気内でのエネルギー流は太陽から達するエネルギー流れよりも大きくなる。このエネルギー循環は相当複雑だが、基本は太陽からのエネルギー注入と宇宙空間への放射によるエネルギーの放出であり、これが釣り合うところまで温もるという温室効果が基本であり、これでほぼ一定で環境の安定が保たれている。熱の「溜め」は大気と水(海)である。重量で比較して海水は大気の 500 倍もあり、熱容量としては海の方が千倍も大きい。大気的全熱量を太陽光のエネルギーで入れ替えようとするとなヶ月ぐらいかかる量である。

図 3: 太陽から地球へのエネルギー注入と宇宙空間への放出。地球は大気・地表面・水の三成分のシステムである。注入された 100 のエネルギーは大気による直接反射で 30 はすぐ宇宙空間に出るが、残りは大気・地表面・水の三成分の間

を行き来する複雑な過程でこのシステムに留まった後に宇宙空間に出ていく。

