



科学の眼

まなこ

発行: 姫路科学館 (〒671-2222 姫路市青山 1470-15 電話: 079-267-3961)
<http://www.city.himeji.lg.jp/atom/>

物理・化学シリーズ

スーパーカミオカンデが見ているもの

チェレンコフ放射

Cherenkov radiation

姫路科学館 学芸・普及担当 徳重 哲哉

2015年のノーベル物理学賞は、東京大学宇宙線研究所長の梶田隆章博士とカナダのクイーンズ大学名誉教授アーサー・マクドナルド博士に授与されました。今回の受賞はニュートリノ振動を発見した功績に対するものです。素粒子の標準理論では、ニュートリノは電荷も質量も持たないと考えられていましたが、ニュートリノ振動の発見により、わずかながらも質量を持つことが分かったのです。これは、物理学の常識を揺るがす大発見でした。

■＜ニュートリノ観測装置＞スーパーカミオカンデ

ニュートリノは物質とほとんど相互作用しないため、観測が極めて難しい素粒子です。全く観測できないのでは調べようがありませんが、大量に物質があるところでは、ごくまれにニュートリノが電荷を持った粒子（荷電粒子、例えば電子）と相互作用（衝突）し、超高速で弾き飛ばします。荷電粒子の動きならば、観測はそれほど難しくありません。

梶田博士が観測に用いたスーパーカミオカンデは、ニュートリノ観測装置ではなく、正しくは「水チェレンコフ検出器」です。その本体は、岐阜県神岡の地下 1000 メートルに設置された 5 万トンの純水をためたタンクと、その内側に並んだ 1 万 3 千個の光電子増倍管（検出器）です。観測は 24 時間自動で行われ、ニュートリノを大量放出する超新星爆発などの突発現象を見逃さないよう見張っています（写真）。水タンク内部に光電子増倍管が並んだ姿は昆虫の複眼のようです（図 1）。ただし、昆虫の複眼は外



写真 スーパーカミオカンデのモニター室
中央上の大型モニターに観測結果がリアルタイムで表示される。突発現象や事故に備えて研究者も待機する。(2014年に筆者撮影)

の様子を見張るのに対し、光電子増倍管の複眼はタンクの中のわずかな光を見張ります。その光がチェレンコフ放射です。

■チェレンコフ放射～光の速さは超えられない

1934年に、パーヴェル・チェレンコフは、水を入れた^{びん}瓶に放射線を照射したところ、瓶の中の水が青く発光するのを発見しました。この発光現象をチェレンコフ放射といいます。後にフランクとタムによって原理が解明され、3人は1958年に共同でノーベル物理学賞を受賞しています。では、どのようにしてチェレンコフ放射が生じるのでしょうか？

アインシュタインの相対性理論によると、光の速さを超えることはできません。真空中の光の速さ c (299,792,458 m/s) に対し、空気や水などの^{ばいしつ}媒質中を進む光の速さ v は c よりも遅くなります。放射線の粒子などが水中の光の速さ $v_{水}$ を超える速さ $v_{入射}$ で水中に飛び込むと、 $v_{入射} - v_{水}$ に相当する余分なエネルギーを光として放出します。これがチェレンコフ放射で、進行方向に対して $\cos \theta = v_{水} / v_{入射}$ となる角度 θ の方向に放射されます (図2)。

チェレンコフ放射は、超音速で飛ぶ飛行機の衝撃波や、船の波に例えられます。船が停まっているときは、船が作る波紋は同心円状に水面の波の速さで広がります (図3 細破線)。船が水面の波の速さより速く進むと (図3 太線)、波紋が重なり合ったV字型の波 (図3 破線：衝撃波に相当) が生じ、船の進行方向に対し斜め前方に進みます。

■スーパーカミオカンデとニュートリノ振動

チェレンコフ放射は、荷電粒子の進行方向に対し角度 θ で円錐状に放出されます。スーパーカミオカンデの光電子増倍管の配列はこれを光のリングとして捉える (図1のリング) ため、光の強さの他に、その位置と光を感じた時刻のずれから、荷電粒子の進行方向 (ニュートリノの入射方向) を観測できます。

梶田博士は初代カミオカンデの頃から、地球大気で生じるニュートリノを観測してきました。素粒子の標準理論では飛んでくるニュートリノの数が方向によらず一定のはずなのに、上から降ってくる数と下から地球を通り抜けてくる数に差があることを発見し、これがニュートリノ振動なしには説明できないことを示しました (1988年)。この結果は観測数が少なく学界に認められませんでした。1996年にスーパーカミオカンデが稼働すると観測数が大幅に増え、方向による数の違いは疑いなくなりました。そして、1998年の国際会議で発表した時には^{かつさい}大喝采で受け入れられ、今回のノーベル物理学賞に結びつきました。

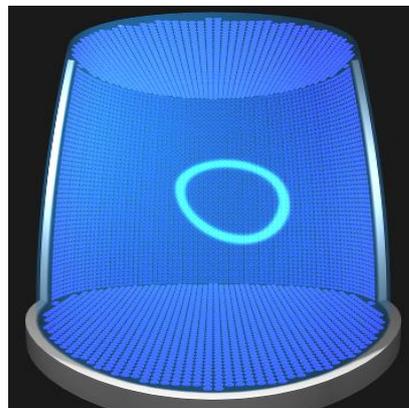


図1 スーパーカミオカンデ側壁をカットし内部を見た想像図。姫路科学館プラネタリウム用映像より。(作画イメージファクトリー)

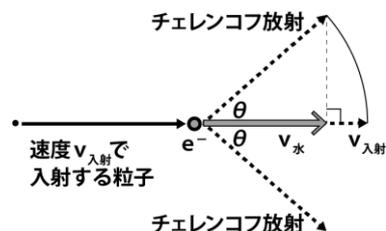


図2 荷電粒子の減速とチェレンコフ放射の方向

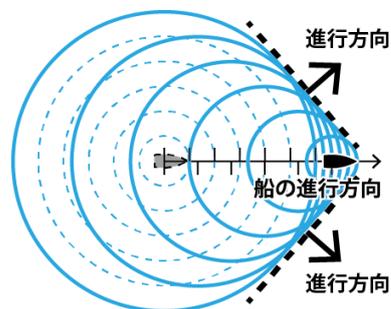


図3 進む船と波紋