



The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

南極上空で捉えられた二つの異常な電波パルス はいまだ未解明 — 「新粒子」説への支持は弱 まっている

南極上空の気球実験が何年も前に記録した二つの異常な電波パルスには、今も合意された説明がない。ピエール・オージェ観測所による専用探索では、それらが示唆するはずのシャワーは見つからず、エキゾチックな「新粒子」解釈は大幅に考えにくくなった一方、異常そのものは未解決のまま。

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Laura Nesso · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Search for the Anomalous Events Detected by ANITA Using the Pierre Auger Observatory*, Pierre Auger Collaboration, Physical Review Letters 134, 121003 (2025) · DOI: 10.1103/PhysRevLett.134.121003



ANITA の 48 基のアンテナは、高さ 25 フィートのゴンドラから南極の水床へ向けられている。

Christian Miki / University of Hawai'i at Mānoa fair-use assertion

気球、氷、そして下方から来た二つのパルス

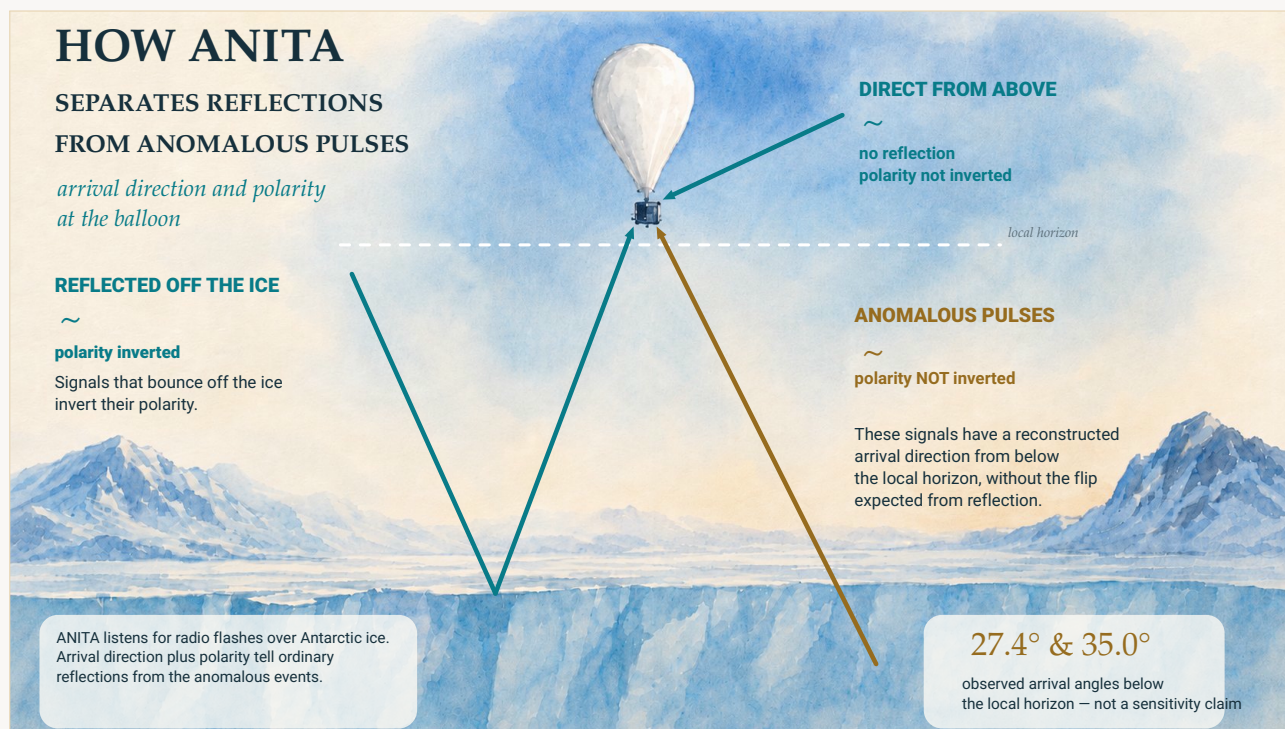
稼働期間の大半、Antarctic Impulsive Transient Antenna（南極衝撃過渡アンテナ、ANITA）は NASA の気球の下、地上 30 数キロメートルを漂う。地球上でもっとも何もない場所の上を何週間も流されながら、ひたすら耳を澄ませている。

ANITA が聞いているのは、宇宙から来る電波信号だ。非常に高エネルギーの粒子——宇宙線やニュートリノ——が大気や氷に衝突すると、多数のより小さな粒子からなるシャワーへと崩れ、そのシャワーが短い電波の閃光を放つ。南極はそれを捉えるのにほとんど理想的な場所である。数キロメートルもの清浄で冷たい氷は、電波にとってほとんどガラスのように透明で、何百キロメートルにもわたって信号を乱すものがない。ANITA の仕事は、その閃光を捉え、波形とタイミングから何がそれを生んだのかを読み取ることだ。

通常、ANITA が聞く信号は行儀がよい。上空から直接届く閃光もあれば、氷で反射してアンテナへ戻ってくるものも多い。そして反射した信号には決定的な手掛かりがある。氷面で跳ね返ると波が上下反転する、つまり信号の極性が反転するのだ。物理学者なら一目で分かる特徴であり、反射波

か直接波かを見分ける方法でもある。

ところが二度だけ、その規則を破るものが届いた。



気球から見ると、上空から直接来るパルスは極性が反転せず、氷で反射したパルスは極性が反転する——これが通常の反射のしるしだ。ところが二つの異常パルスは、局所的な地平線より大きく下方の再構成された方向から到来したにもかかわらず、反射なら生じるはずの極性反転がなかった。「下から」というのは、この到来方向を指すのであって、粒子が地球の内部から這い上がってきたという意味ではない。

Original hybrid diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

2006 年の飛行と 2014 年の飛行でそれぞれ一度ずつ、ANITA は地平線より急角度で下——それぞれ 27.4° と 35.0° 下——から来たパルスを捉えた。まるで南極大陸の内部から上向きに飛び出してきたかのような方向で、しかも極性反転がなかった。つまり、単純な反射ではない。氷から上向きに進み、気球へ向かった何かのように見えた。

これがなぜ大問題なのか。これほど急な上向き角度でアンテナへ届くには、パルスを生んだものは地球本体——6000～7000 キロメートルもの固い岩石——を通り抜けてこななければならない。そんなことができるものはほとんどない。通常の物質をほとんど意に介さず通過できることで知られる粒子がニュートリノであり、地球全体すらすり抜けることがある。そこで自然な発想は、ニュートリノが岩石を上向きに通る抜け、氷のすぐ下で原子に衝突し、上向きに走る粒子シャワーを作り、その電波閃光を ANITA が捉えた、というものだ。

しかし厄介なねじれがある。この信号を作れるほど高エネルギーのニュートリノは、実は物質との相互作用が十分に強くなり、これほど厚い岩石を抜ける途中で何度も吸収されるはずなのだ。しかも、そのうち二つが地球を抜けて ANITA に届くほど強いニュートリノ流が存在したなら、まさにそれを探すために造られた巨大検出器にも現れているはずだった。きれいに話を閉じる説明は、どれも成立しなかった。

こうして二つのパルスは、説明されないまま残った。発見ではない——二事象だけで発見とは呼べない——が、無意味でもない。本物の異常事象だ。標準模型の亀裂なのか、それとも氷、アンテナ、あるいは解析上の癖にすぎないのか、まだ誰にも分からないからこそ面白い。

ここで、ある種の報道は「謎めいた」という言葉を持ち出し、照明を暗くして、南極の下に何が潜んでいるのかと問い始める。そこには乗らないほうがいい。本当の問いは一度も「氷の中に何の怪物がいるのか」ではなかった。科学を実際に前へ進めるのは、地味で辛抱強い問いだ。どうすれば確かめられるのか？

著者たちは何をしたのか

刺激的な説明を検証する、すっきりした方法がある。ANITA のパルスが、通常のタウニュートリノであれ提案された新粒子であれ、実在して繰り返し発生する上向き粒子シャワーの流れから来るのなら、それを狙って十分に大きな検出器で見れば、その一部を捉えるはずだ。

アルゼンチンにある Pierre Auger Observatory (ピエール・オージェ観測所) は、史上最大の宇宙線検出施設で、この検証に適している。共同研究チームは蛍光検出器を使い、2004~2018 年のデータから上向き空気シャワー (天頂角 110° 超、エネルギー 0.1 EeV 超) を探索した。重要なのは、全データを見る前に選別条件をすべて固定したことだ。「ブラインド」解析にすることで、期待する結果へ都合よく条件を調整できないようにした。

何が見つかったのか

ブラインドを解除した後、候補として残った事象は **1 件** だった。これは、通常の宇宙線がまれに上向きと誤再構成されることで予想される 0.27 ± 0.12 件と完全に整合する。つまり、本物の上向き信号は見えず、予想通りのわずかな背景事象だけだった。

結果の強さは、予測との比較にある。ANITA のパルスが定常的な上向きシャワーの流れから来たのなら、オージェは**多数**を記録しているはずだった。妥当なエネルギースペクトルの一例では約 34~69 件、意図的に保守的な仮定を置いても少なくとも約 8 件である。実際に見つかったのは 1 件で、背景と整合した。著者らは、これを上向きシャワー解釈との「強い不一致」と表現している。

これはおそらく何を意味するのか

これほど大きな非検出は、有益な情報だ。ANITA の事象が、あの方向から来る実在の粒子集団——通常のタウニュートリノであれ、説明のために提案された仮説上の新粒子であれ——によるものなら、オージェの長い観測期間で相当数が見えているはずだった。見えなかった。特殊で作為的な条件を持ち込まない限り、これは事実上「上向きシャワーの拡散フラックス」という説明を排除する。標準模型を超える多くの提案も、このカテゴリーに入る。

残るのは、シャワーを作る粒子の流れではない説明だ。もっともよく議論されているのは、氷と地平線近傍の幾何学に特有の反射・伝播効果、あるいは装置や解析に固有のアーティファクトである。どれも確認はされていない。したがって率直な要約はこうなる。もっとも刺激的な解釈には大きな打撃が加わったが、原因そのものはいまだ不明だ。

この研究からは言えないこと

- 二つのパルスの正体が判明したわけではない。「新物理が強く不利になった」は「解決した」と同義ではない。
- 平凡な原因が確認されたわけでもない。有力候補の一つである南極の表層下からの反射は、依然として仮説であって結果ではない。
- 文字通り「氷の下から」何かを検出したわけではない。ANITA のアンテナは南極の上空を飛ぶ気球に吊られている。「下から」とは電波パルスの再構成された到来方向を表すだけで、氷の内部から出た音や声、その他の何かという意味ではない。
- 新粒子が確認されたという主張を支持するものでもない。広く拡散したこの話のイメージとは、証拠の向きはむしろ逆である。

証拠をどう評価するか

限定的であり、論文もそのように扱っている。

- 標準模型を超える物理への関心は、実質的に二度の ANITA 飛行で得られた **2 事象** に基づく。
- この論文は **ヌル結果** である。可能性を排除する力は強いが、事象の正体が何かは教えてくれない。
- 排除は定量的で強い（数十件が予想されるのに、背景らしい 1 件だけ）が、対象は「上向きシャワーのフラックス」解釈であって、考え得るすべての原因ではない。
- 有力な平凡な説明（表面近傍での反射）はもっともらしいが未証明である。一方、特定の遷移放射モデルなど、別の候補は他の研究で不利になっている。
- 元の異常を独立に再現した実験はない。

これは、小さいがしぶとい謎に対して鋭い制約を一つ加えた研究であって、発見ではない。

なぜ重要なのか

提案された説明の中には、エキゾチックな新粒子まで含まれていた。しかし研究者たちは、もっとも刺激的な案を追いかけるのではなく、地味なことをした。独立した、はるかに大規模な検出器でそのアイデアを検証したのだ。そしてデータは「ノー」と答えた。より大型で高感度の後継装置 PUEO も、再び確かめるために建設されている。

この異常は、結局ありふれた原因だったと分かるかもしれない。それでも失敗ではない。説明のつかない測定について、消えてなくなるまで、あるいは本物の発見を迫るまで可能性を狭めていくことこそ研究である。そして今の正直な答えがなお「分からない」だからこそ、見届ける価値がある。

要点

ANITA の 2006 年と 2014 年の南極気球飛行で検出された二つの電波パルスは、標準模型では説明しにくい、地平線より大きく下方の角度から来たように見える。2025 年にピエール・オージェ観測所で行われた専用探索では候補は 1 件だけで、背景と整合した。もしパルスが上向きシャワーのフラックスに由来するなら数十件が予想されていた。この結果は、エキゾチックな「新粒子」解釈を強く不利にし、ANITA に特有の反射、伝播、あるいは装置上の効果をより有力にするが、原因は今なお本当に不明である。確認された新粒子でも、氷の内部から来た謎の信号でもない。

冷静に見ると

論文が示したこと：2004～2018 年のデータを使ったピエール・オージェ観測所のブラインド探索では、上向き空気シャワー候補が 1 件見つかった。これは宇宙線背景として予想される 0.27 件と整合する。ANITA の異常がそのようなシャワーのフラックスから来るなら、オージェは約 34～69 件（保守的な仮定でも少なくとも約 8 件）を捉えるはずだった。したがって、標準模型を超える「新粒子」シナリオを含む上向きシャワー解釈は強く不利になった。

もっともらしいが未証明のこと：氷面・地平線近傍での反射や電波伝播効果、あるいは ANITA 固有の装置・解析アーティファクト。

論文が示していないこと：新粒子が原因であること、氷の下から来る信号であること、超常現象・人工的なもの・可聴音が関係すること、原因がすでに分かったこと。

主な限界：標準模型を超える物理への関心は約 2 事象に基づく。この研究は原因を特定するのではなく制約を与えるヌル結果である。排除対象は特に「シャワーフラックス」解釈であり、元の異常は独立に再現されていない。

一般読者はどの程度確信してよいか？これは確認された新粒子ではなく、氷の内部から来た信号でもなく、エキゾチックなフラックス解釈が現在は強く不利になっている、という点には高い確信を持ってよい。真の原因についての確信は低く、まだ未解決である。妥当な姿勢は「おそらく平凡な原因だが、まだ解けていない異常への好奇心」だ。

出典

Phys. Rev. Lett. 134, 121003 (2025)

<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.134.121003>

Original ANITA-I event (Gorham et al. 2016)

<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.117.071101>

Original ANITA-III event (Gorham et al. 2018)

<https://arxiv.org/abs/1803.05088>

Subsurface-reflection explanation (Shoemaker et al. 2020)

<https://arxiv.org/abs/1905.02846>

PUEO successor instrument —white paper (2021)

<https://arxiv.org/abs/2010.02892>