

利用課題名：岩塩ニュートリノ検出器におけるレーダー法の開発研究

英文利用課題名：Research and development of Radar method in salt neutrino detector

千葉 雅美¹⁾ 上條 敏生¹⁾ 矢吹 文昭¹⁾ 荒川 葉子¹⁾ 沼沢 栄佑¹⁾ 内海 倫明²⁾
平 勝良²⁾Masami CHIBA Toshio KAMIJO Fumiaki YABUKI Yoko ARAKAWA Eisuke NUMAZAWA
Michiaki UTSUMI Katsuyoshi TAIRA¹⁾首都大学東京 ²⁾東海大学

(要約 2～3 行)

岩塩を標的とした超高エネルギーニュートリノ検出器の開発研究を行った。周波数 435MHz の電波を岩塩標的に照射しながら電波反射を測定しながら、2MeV の電子ビームを岩塩標的に照射したところ電波反射を観測した。

キーワード：超高エネルギーニュートリノ、岩塩、レーダー、干渉性電波反射、電子ビーム
(1 行あける)

1. 目的

超高エネルギーニュートリノは宇宙空間を満たしている宇宙背景輻射(温度 3K の黒体輻射の光子と超高エネルギー宇宙線との衝突で定常的に生成されることが確実視されています。この超高エネルギーニュートリノ(約 10^{18} eV)の検出器の開発研究を目的にしています。飛来頻度が $1/(\text{km}^2 \cdot \text{day})$ と低い為、サイズの大きな巨大質量(50Gt)の天然岩塩鉱(米国、 $3 \times 3 \times 3 \text{km}^3$)を利用します。これは電波に対する透明度がよいことは試料挿入孔封鎖型摂動空洞共振器による測定で判明しています。放射光 X 線を利用した研究で導波管中の電離された岩塩標的へマイクロ波の照射行ったところ温度上昇に比例し、減衰時間 8 秒程度の電波反射が測定されました。この効果が低い周波数において自由空間に設置された大きな岩塩標的でも起きるかどうかを確かめます。電波反射原因が局所的な温度上昇に伴う誘電率の増加であるならば、他の誘電体においてもこの効果がおきることが推測されます。その結果、南極の氷床も検出媒質として利用可能となります。

2. 方法

従来から米国や我々で計画してきた電波検出法(アスカラヤン効果あるいは干渉チェレンコフ効果)は超高エネルギーニュートリノが岩塩と反応時に発生する電波を検出します。発生電波電力は岩塩中の電波減衰長の長い低周波数では小さいので 100-500MHz 程度での検出が必要となります。この周波数では減衰長が 300m 程度と短く、電波検出アンテナの 300m 間隔の設置には 100 本の深さ 3km の井戸を掘削する高額な費用を必要とします。ニュートリノ反応によっても同様の電離状態が発生します。電波反射効果を岩塩中でレーダー法として利用可能ならば減衰長が 7km にもおよぶ 10MHz で井戸なしで既存の岩塩掘削空間の床面設置の表面アンテナで済むこととなります。検出器建設費用の主要部分である井戸掘削費用を大幅に削減することが可能となります。

実際の超高エネルギーニュートリノシャワーは 5m 程の長さとなります。X 線照射に利用した岩塩標的は長さ 1cm の短いものです。実際の岩塩鉱に少しでも近い熱的状态である温度上昇が少なく、サイズの大きい岩塩試料($10 \times 10 \times 10 \text{cm}^3$)を用いて、電波反射の実験を行います。微弱照射電波強度に対応して電子ビーム強度は 1 秒あたり 10^{20} eV/s のエネルギーの高強度の電子ビームを必要とします。1号加速器では 2MV で 1mA 以

上の電子ビームが得られますのでこの条件を満たします。

岩塩試料への電子ビーム照射方向に対して垂直方向へ八木アンテナを設置します。発振器からの信号を八木アンテナへ供給して電波を試料へ照射し、その反射電波を同一の八木アンテナで受信します。送信電波周波数は435MHzで微弱な電力強度です。送信信号と受信信号はサーキュレータで分離します。極微弱な信号を受信するために、高周波ブリッジ回路を利用したゼロ位法で電子ビームを照射しないときの出力をゼロに調整し、電子ビームを照射したときの電波反射信号を増幅、検波してデータロガーに岩塩温度を記録する熱電対信号と同時に記録します。

電波を照射し、その反射電波の受信しながら電子ビームの1分間照射します。電子ビームシャッターを開閉すると電波反射が大きく影響を受けるので開放の状態で照射します。電子ビームの電流を変化させて、電波反射電力が電子電流の2乗に比例して増加することから電波反射効果が干渉性であることを確かめました。

3. 研究成果

宇宙の高エネルギー状態を調べる上で超高エネルギー宇宙線（主に陽子）は宇宙背景輻射（温度3Kの黒体輻射の光子）との衝突でエネルギーを失い約1.5億光年（宇宙サイズの約1%）以遠の情報をもたらしません。超高エネルギー γ 線の情報はさらに近距離の情報のみです。超高エネルギーニュートリノのみが宇宙全体の高エネルギー状態の情報をもたらしてくれますが、未だに検出されていません。それは飛来頻度が $1/(\text{km}^2 \cdot \text{day})$ と低く巨大質量の検出媒質を必要とするためです。巨大検出媒質中で発生した超高エネルギーニュートリノ反応の情報を知るには検出媒質中での減衰長の長い電波検出が必要となります。この研究の結果、減衰長の長い低い周波数で人工的に高出力が得られるレーダーパルスで超高エネルギーニュートリノ反応の電離状態へ照射し、その反射を測定可能性が得られました。

岩塩へ電子ビームを照射した際の電波反射電力が電子ビーム電流の2乗に比例した結果から多数の局所的熱上昇点からの電波反射波の位相が揃い建設的干渉が起きたとの推測に矛盾しない結果が得られました。

4. 結論・考察

KEK PF-ARリングからの放射光X線をXバンド導波管にかけたX線導入小孔を通して内部の小さな岩塩標的($2 \times 2 \times 10 \text{mm}^3$)へ照射したときに9.4GHzマイクロ波の反射が測定されました。この測定においてはX線照射による導波管の温度上昇による導波管の機械的歪によるマイクロ波反射の増加あるいは岩塩標的の温度上昇による導波管中の岩塩標的位置の変化によるマイクロ波の増加の可能性を消去しきれませんでした。さらに小型の導波管の内部に熱電対を挿入できないので岩塩標的の温度を導波管中でマイクロ波反射と同時に測定出来ませんでした。今回は大きな岩塩標的($10 \times 10 \times 10 \text{cm}^3$)を導波管中ではなく自由空間に置いて435MHzの電波反射を測定したもので、岩塩標的以外からの電波反射の効果でないことが確認されました。岩塩試料の電子ビーム照射による温度上昇と電波反射電力の良い比例関係と電子ビーム照射終了後温度低下に比べて急激な電波反射電力の低下が観測されました。これは岩塩標的中の電子ビーム照射による多数の局部的温度上昇点の誘電率の増加による各点からの電波反射の位相が揃い干渉反射が起きていることが電波反射効果の原因であることを示唆しています。実際の超高エネルギーニュートリノの5m以上の長さの反応生成物が分布する場合でも、局部温度上昇点の間隔が電波波長よりも十分短いならば同様の電波反射率が得られことを示しています。以上の結果は以下の引用文献に記されています。

5. 引用(参照)文献等

Masami Chiba, Yoko Arakawa, Toshio Kamijo, Fumiaki Yabuki, Osamu Yasuda, Yuichi Chikashige, Keisuke Ibe, Tadashi Kon, Yutaka Shimizu, Yasuyuki Taniuchi, Michiaki Utsumi, and Masatoshi

Fuji: Radar for salt ultra-high-energy neutrino detector and contribution of W-gluon fusion process to collision of neutrinos against protons, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research*, **A604**(2009)S233-S235.