

研究種目：若手研究 (B)
研究期間：2008～2009
課題番号：20740124
研究課題名 (和文) 宇宙由来ニュートリノ事象の波形データに基づく高精度再構築
研究課題名 (英文) High precision reconstruction of cosmic neutrino events based on waveform data
研究代表者
間瀬 圭一 (MASE KEIICHI)
千葉大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号：80400810

研究成果の概要(和文)： 波形情報を用いた高エネルギーニュートリノ事象の再構築を行った。氷の不定性が大きく詳細な波形情報を活用できないことが分かった。これを改善するために氷中に埋められた較正用の光源を用いて氷の性質を詳細に求めた。

研究成果の概要 (英文)： Reconstruction for high energy neutrino events were performed with waveform information. It turned out that the waveform information could not be fully utilized due to presence of ice uncertainty. In order to overcome the situation, the ice property was measured precisely by using calibration light sources installed in ice.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：数物系科学

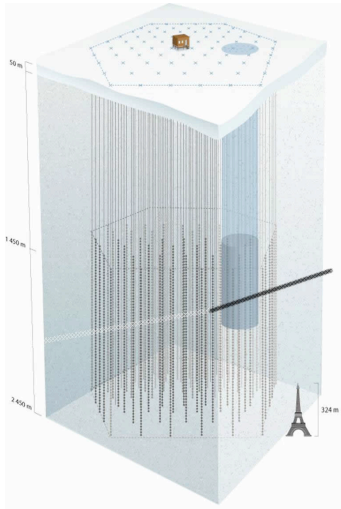
科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙線 (実験)

1. 研究開始当初の背景

現在までに 10^{20}eV を超える超高エネルギー宇宙線が AGASA, HiRes, Auger 等の検出器により検出されている。このような非常にエネルギーの高い粒子が生成される機構は未だ謎に包まれており、様々なモデルが乱立するのが現状である。このモデルとしてはコ

ズミックストリングの崩壊等、少しエキゾチックなものや、活動銀河核やガンマ線バースト等の高エネルギー天体中で加速するモデルなどがある。この謎に包まれた超高エネルギー宇宙線の起源に対し、ニュートリノという新しいプローブで迫る事が本研究の最終的な目的である。



IceCube 実験は南極氷河中に 4,800 本もの光電子増倍管 (PMT) を埋め、高エネルギーニュートリノからの信号を捕らえる非常にユニークな実験である (左図参照)。この検出器の有効体積は約 1km^3 であり、ノーベル賞を受賞したカミオカンデ実験の後継機であるスーパーカミオカンデタンクの約 2 万倍の大きさを誇る。このような巨大な検出器を用いる事で非常に希少な超高エネルギー宇宙ニュートリノ ($E > 10^7 \text{GeV}$) の観測が可能となる。

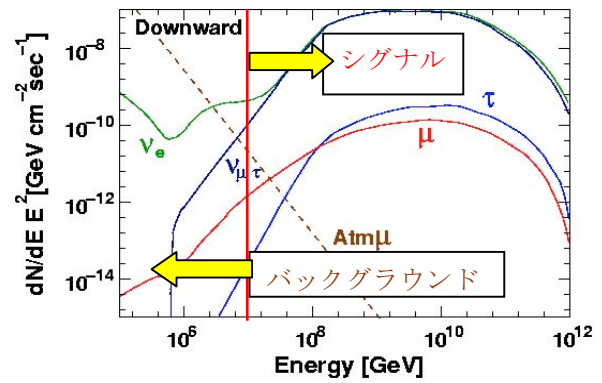
IceCube は 2008 年当時約 3 分の 1 の検出器が完成し、世界最大の高エネルギーニュートリノ検出器として稼働中であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は現在世界最高の検出器体積を誇る IceCube 検出器を用い、 10^{20}eV を超える超高エネルギー宇宙線からの超高エネルギーニュートリノを捕らえることで、未だ謎に包まれた超高エネルギー宇宙線の起源に迫る事である。このために、今まで殆ど活かされていなかった波形データ情報を用いた高精度のニュートリノ事象再構築を行うことで、超高エネルギーニュートリノに対する感度を上げる。

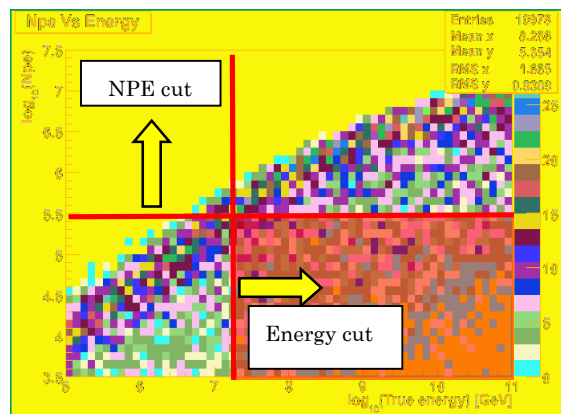
本研究対象である超高エネルギーニュートリノを検出する上でバックグラウンドとなるのは宇宙線と大気との相互作用により生成される大気ミュオンである。大気ミュオンバックグラウンドは低エネルギー側 ($< 10^7 \text{GeV}$) ではその数でシグナルを凌駕するが、その数をエネルギーとともに急激に下げるので、 10^7GeV を超えるシグナル領域においては皆無となる。(右上図参照)

この超高エネルギーニュートリノ探索は検出器面積が約 10 分の 1 であった当時のデータを用いて行われていた。この探索においては事象から得られる全ての PMT が検出する光電子数を積分したもの (全光電子数



S. Yoshida et. al. (2004) Phys. Rev. D 69 103004

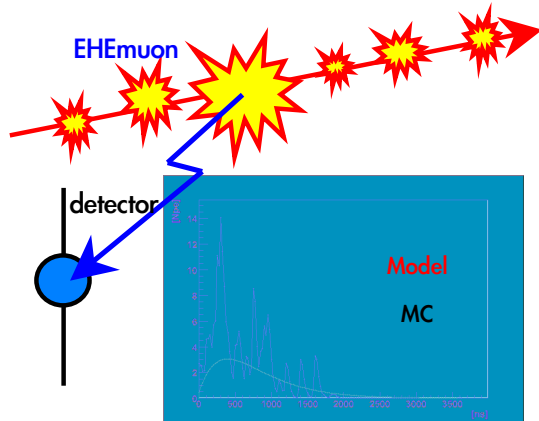
(NPE)) が事象のエネルギーを推定する方法として用いられている。下図の示すようにこの NPE とエネルギーには良い相関がある。シグナルを先に述べた大気ミュオンバックグラウンドから区別するために NPE が大きいものを選ぶ必要があるので、NPE においてカットをかけることになる。この際、本来エネルギーの高いはずの下図の右下の領域 (赤で薄く塗られた領域) の事象が抜け落ちる。このような事象はエネルギーが高いにも関わらず検出器から遠くを通るために暗く見える事象であり、NPE カットにより 4 割近くの事象は解析から抜け落ちる。本研究では詳しい波形情報を用いることで事象再構築の精度を上げ、このような検出器から遠くを通るため暗く見える事象をエネルギーが高い事象と正しく再構築をすることを目指す。これにより超高エネルギーニュートリノ事象の統計を上げ、超高エネルギー宇宙線の起源に迫る。



3. 研究の方法

本研究計画では超高エネルギーニュートリノの 2 次粒子である超高エネルギーミュオン (タウオン) の事象再構築に

焦点を当てる。10 TeV を超えるような高エネルギーミューオンの最大のエネルギー損失はイオン化損失ではなく、電子対生成、制動放射、光パイオン生成等の確率的な相互作用によるエネルギー損失である。この相互作用により発生したカスケード中の荷電粒子からのチェレンコフ光が氷中を伝搬して検出器に届き、検出器は波形データを記録する。(下図参照。)



全波形情報を用いた事象再構築の方法として最尤推定法を用いる。その際、尤度はある時間 (i^{th} bin) でのデータの値 (n_i) とその時間におけるあるモデルの期待値 (μ_i) からポアソン分布を仮定することで求める。最終的な、ある事象の尤度は各 PMT で求めた上記の尤度を掛け合わせることで、その事象の尤度とする。この尤度が最も高くなるような、変数の組 (到来方向、エネルギー等) を探すことで、事象再構築を行う。

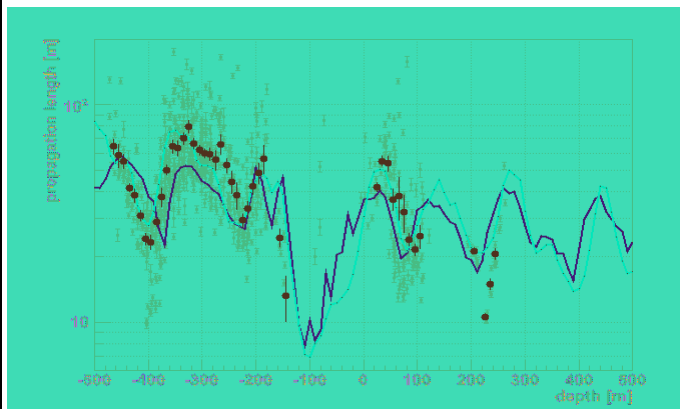
4. 研究成果

この高精度再構築をする上では期待される波形データの正確なモデルの構築が不可欠である。しかしながら、実際には検出器として自然の南極の氷を用いていて、その性質は深さ毎に異なり、その性質は良く分かっておらず、正確な氷のモデルの構築には至っていなかった。であるから、まず全波形情報は用いず、時間ビンを荒くまとめ直し、詳細な時間情報に寄らず、ロバストネスを上げた解析を試した。その結果、波形情報を積分し、各検出器毎の光量を用いる方がエネルギー分解能が上がる事が分かった。これは現在の氷のモデルが完全ではないことを意味する。現在までに得られたエネルギー分解能は170%である。この高精度再構築により求められた超高エネルギーニュートリノに対す

る準備的な感度は期待通り約40%改善した。

IceCubeにはこの氷の性質等を調べるために氷中に絶対較正された光源を埋めたり、各光検出器モジュールにLED光源が装着されている。これらの光源を用いたデータを使って、各検出器で受光した光量から光の伝搬具合を調べることで、氷の性質を詳細に調べた。その結果、今まで我々が標準的に用いていた氷の性質と検出器の下部で異なることが分かった。下図に見られるように、求められた各深さ毎の伝搬長(赤)は古いモデル(青)よりも新しいモデル(緑)を支持する。

今後この新たに求められた氷の性質のモデルを用いて、波形情報を用いた事象再構築を行い、本研究の目的を達成する予定である。



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計5件)

- ① 間瀬圭一, 石原安野, 稲場未南, 河合秀幸, 小野美緒, 長谷川裕介, 保科琴代^A, 宮本寛子, 吉田滋, D. Boersma, S. Grullon, F. Halzen, G. Hill, H. Johansson, A. Karle, C. Rott, 他 IceCube Collaboration, 「IceCube 実験 38 ~ 2007 年度データを用いた超高エネルギーニュートリノ探索 III」、日本物理学会、2008年9月22日、山形
- ② 間瀬圭一, 石原安野, 稲場未南, 河合秀幸, 小野美緒, 長谷川裕介, 保科琴代, 吉田滋, D. Boersma, S. Grullon, F. Halzen, G. Hill, H. Johansson, A. Karle, C. Rott, 他 IceCube Collaboration, 「IceCube 実験 40 ~ 2007 年度データを用いた超高エネルギーニュートリノ探索 IV」、日本物理学会、2009年3月27日、東京
- ③ 間瀬圭一, 石原安野, 吉田滋 for the

IceCube Collaboration、「The extremely high energy neutrino search with IceCube」、国際宇宙線会議、2009年7月14日、ウッチ、ポーランド

- ④ 間瀬圭一, 石原安野, 稲場未南, 小野美緒, 長谷川裕介, 保科琴代, 吉田滋, 他 IceCube Collaboration、「IceCube 実験 44 ～ 波形情報を用いた氷の性質の再精査」、日本物理学会、2009年9月12日、神戸
- ⑤ 間瀬圭一, 石原安野, 小野美緒, 長谷川裕介, 保科琴代, 吉田滋, 他 IceCube Collaboration、「IceCube 実験 48 ～ 氷の性質の再精査 II」、日本物理学会、2010年3月22日、岡山

6. 研究組織

(1) 研究代表者

間瀬圭一 (MASE KEIICHI)

研究者番号：80400810

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし