ハイパーカミオカンデ実験の中間水チェレンコフ検出器における 13 Multi-PMTモジュール単体での事象再構成の評価 国際先導研究会「ニュートリノによる宇宙創生の解明」 慶應義塾大学理工学研究科 西村研究室 深澤 雅光

1. ハイパーカミオカンデ実験

- J-PARCで生成したニュートリノビームをハイパーカミオカンデ(HK)で観測し ニュートリノ振動を測定する、2027年開始予定の実験計画
- ニュートリノでCP対称性の破れを確実に発見し、測定精度を高めるため ビーム下流1kmに中間水チェレンコフ検出器(IWCD)を建設中



- ニュートリノが水分子と衝突・荷電粒子を生成
- → 円環状のチェレンコフ光を検出
- → 検出時刻・光量から 荷電粒子の位置や運動量を再構成
- IWCDでは再構成精度向上のためMulti-PMTを使用



2. Multi-PMT

… 8 cm PMTを19 本束ねたセンサモジュール IWCDにおけるミューオンイベントの IWCDでは368本のMulti-PMTを使用



50 cm

・ IWCDはHKより小型なため ニュートリノ反応の位置が 壁面近くになりやすい





3. 目的

Multi-PMT単体での迅速な 発光位置再構成が可能なら トリガー効率向上
バックグラウンドの除去
イベントの分類の容易化

5. シミュレーション上での検証

WCSim上にてMulti-PMT単体での事象再構成の有効性を検証した

以下の条件によるシミュレーションで角度方向の再構成精度を評価

- 光強度は、最も多く検出されるPMTで約7.5p.e.
- (100 MeV のミューオンによるチェレンコフ光と同程度の光量)
- 光源座標 $(r, \theta, \phi) = (33 \text{ cm}, 0.5 \text{ rad}, 0 \text{ rad})$

ーシミュレーションにおける角度方向の再構成結果(500イベント)



IWCDのジオメトリにおいて 水チェレンコフ光伝播シミュレーション(WCSim)を用い、 19本のPMTによる光源位置再構成手法の開発を目指した



今回は光源として等方性点光源を利用

検出光電子数 N と 入射光の距離 l,角度 α の関係から 光源位置の再構成できる

各PMT (i)の距離 l_i ,角度 α_i により予測光電子数をモデル化



6. Multi-PMT実機での検証

実機の一部で、Multi-PMT単体での事象再構成の有効性を検証した

8 cm PMTを、Lineダイノード電極が外側に来る向きでMulti-PMT内に設置した
 9本での測定を3回行い、19本分の光量データを取得した



シミュレーションと同じ条件下で、角度方向の再構成精度を評価

─ 実機における角度方向の再構	事成結果(500イベント)
$ \begin{array}{c} \text{study} & s$	$ \begin{array}{c} \hline \mu_{\phi} = -0.02 \text{ rad} \\ \sigma_{\phi} = 0.82 \text{ rad} \\ \hline \end{array} \end{array} \begin{array}{c} \pm 0.2 \text{ rad} (11 \text{ deg}) \mathcal{O} \mathcal{O} \\ & \text{ 再構成功率は} \\ \theta : 51\% \phi : 26\% \end{array} \end{array} $







1 イベントに注目し、<math>5 Multi-PMT断面上をスキャンし $a,b,c をパラメータとして<math>\chi^2$ を最小化

> 距離 r 方向の決定感度なし 角度方向は再構成可能







Multi-PMT単体での事象方向の再構成を行うことができた (壁面から 33 cm、最大光電子数が約 7.5 p.e.の条件下)

• 実機では方位角の精度が悪化したが、実用化への可能性を確認

- 展望
 今後は今回の手法に検出時間も組み合わせることで
 より高精度な再構成を目指す
 - IWCDへの応用により検出精度向上につなげたい