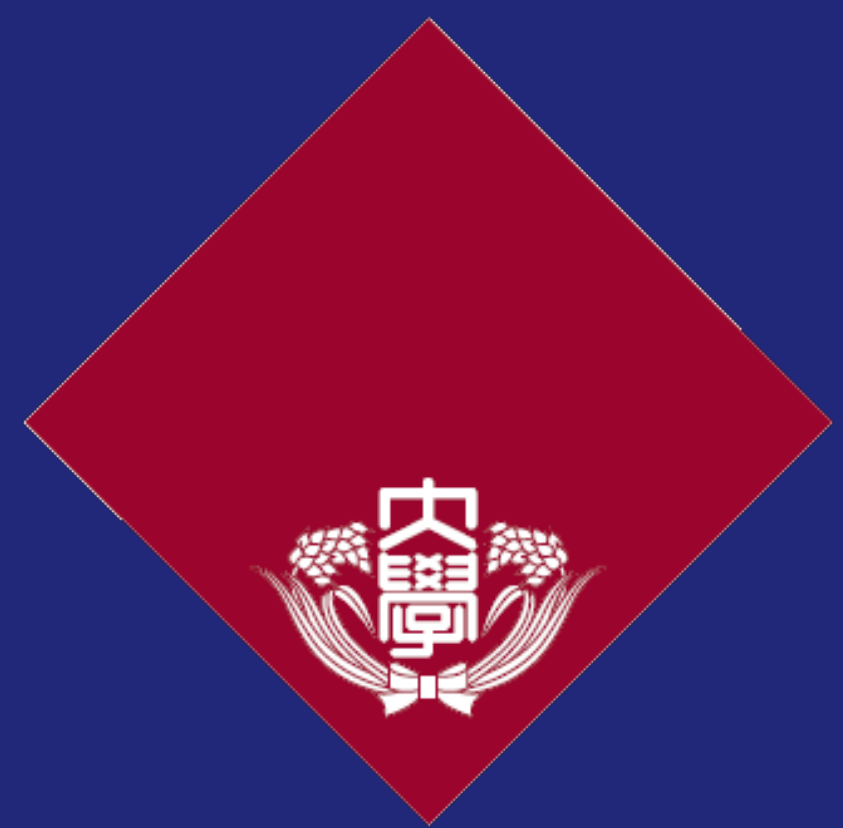




ISS軌道上におけるCALETの電荷識別性能



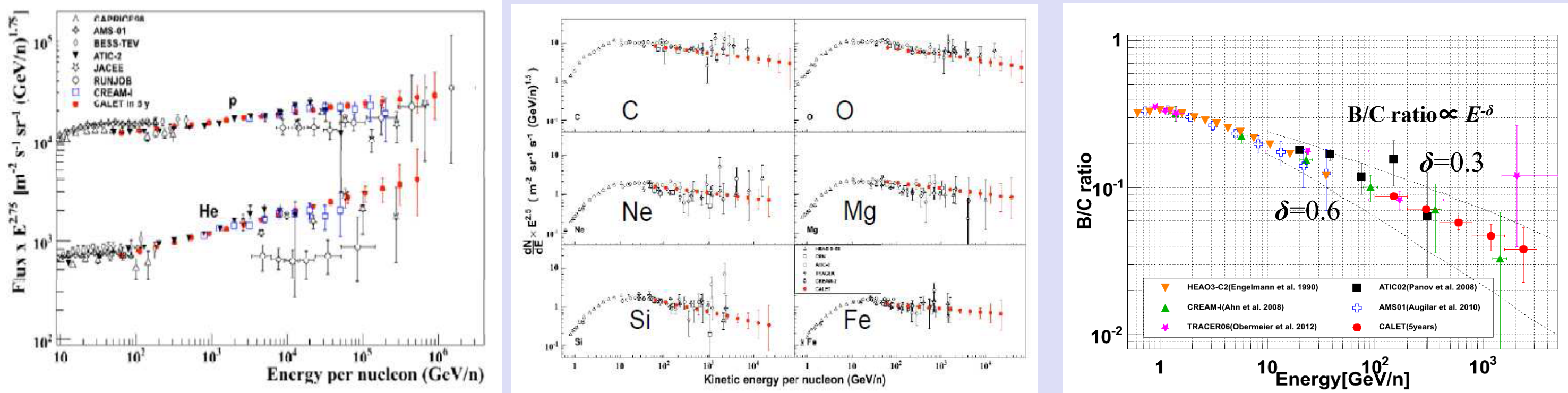
小澤俊介¹, 赤池陽水¹, 浅岡陽一², 植山良貴¹, 岡田侑子¹, 笠原克昌¹,
佐藤文佳¹, 田中真文¹, 田村忠久³, 土川恵理子¹, 鳥居祥二^{1,2}, Holger Motz⁴
他CALETチーム

1: 早稲田大学先進理工, 2: 早稲田大学理工研, 3: 神奈川大学, 4: 早稲田大学理工国際教育センター

ISSに搭載されたのCALET宇宙線観測装置にによる数10GeV-1000TeVの宇宙線原子核成分の観測が行われている。原子核成分の電荷識別にはプラスチックシンチレータを用いた電荷検出器(CHD)を主に用い、測定精度向上のための解析手法の開発を進めている。本発表では、CERN-SPS加速器による重イオンビーム照射測定と軌道上観測の初期解析の結果を報告する。

CALET-CHD(電荷弁別型検出器)による宇宙線原子核成分の観測

CALET宇宙線電子、ガンマ線望遠鏡は、宇宙線近傍加速源の同定及び銀河系内の宇宙線伝播機構の解明のため、国際宇宙ステーション日本実験モジュール(きぼう)の船外曝露部に設置し、5年間の観測を計画している。検出装置は**解像型カロリーメータ(IMC)**、**全吸収型カロリーメータ(TASC)**で構成され、これらの検出器の最上段に**入射粒子の電荷を弁別するための検出器 - Charge Detector(CHD) -**を配置した。CHDはプラスチックシンチレータと光電子増倍管(PMT)からなるシンチレーション検出器で、通過する粒子の電荷量の2乗に比例した出力信号が得られることから、**入射した宇宙線の原子番号を同定することが可能**である。この検出装置により、銀河系内宇宙線のKneeと呼ばれる幕の変化について各原子核成分ごとの精密測定を行い、宇宙線の加速機構についての知見を得る。また、超新星爆発で合成される核子成分と星間物質との相互作用によって生じる**二次的な核子成分との存在比**を明らかにし、宇宙線の伝播過程の解明を目指す。鉄核よりも重い原子核にも感度を持つようにデザインされており、これまで高統計量での観測がなされていなかった**原子番号40程度までの超重原子核**についての観測も可能となる。



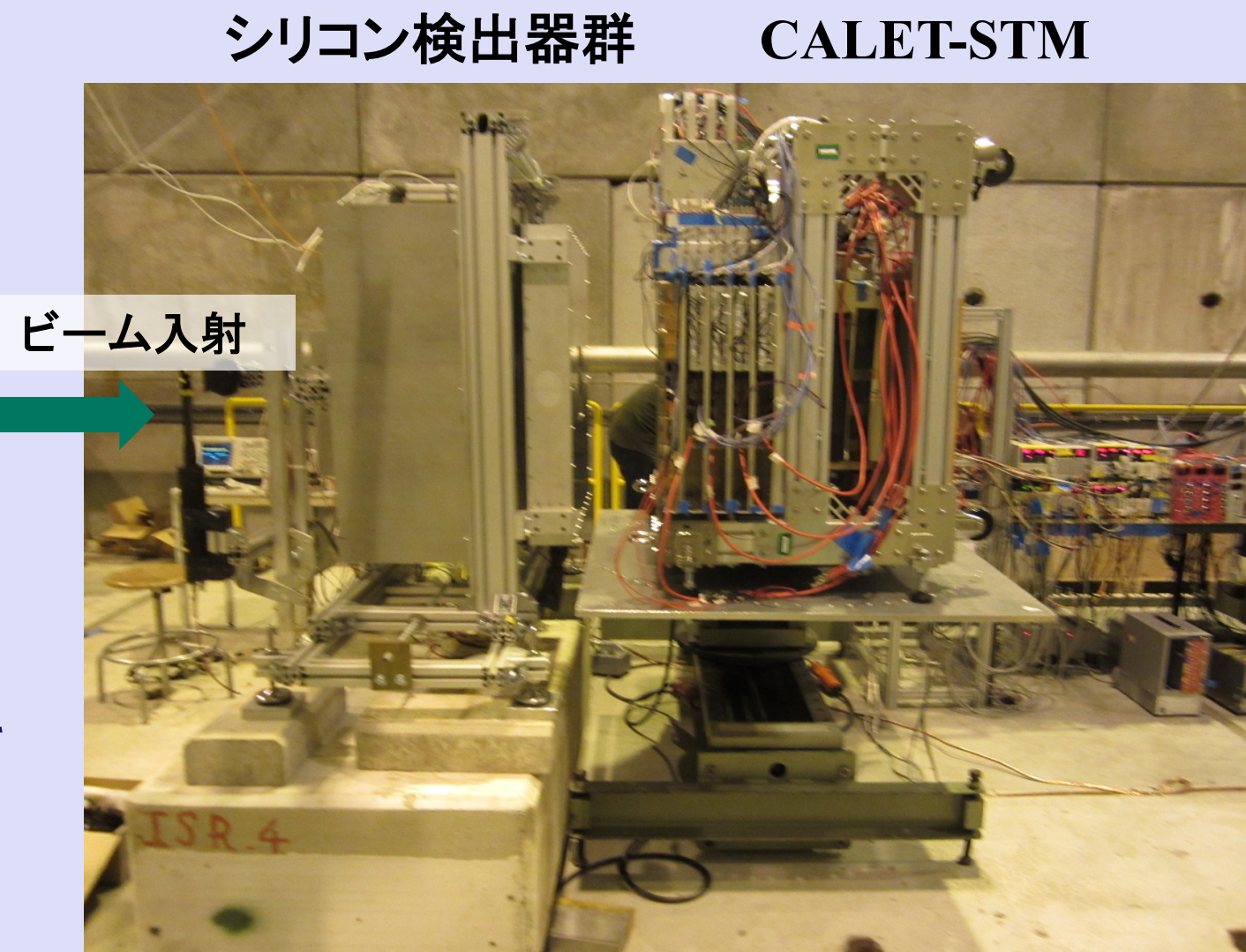
宇宙線各原子核成分のCALETで5年間観測した場合の予想観測強度(左・中図中の赤丸)と、これまでなされている観測を比較したもの。100TeV/nを超える領域まで高統計での観測が可能である。右図は同じくCALETで5年間観測した場合のB/C比の予測(赤丸)とこれまでの観測結果。

CERN-SPSにおける原子核照射実験

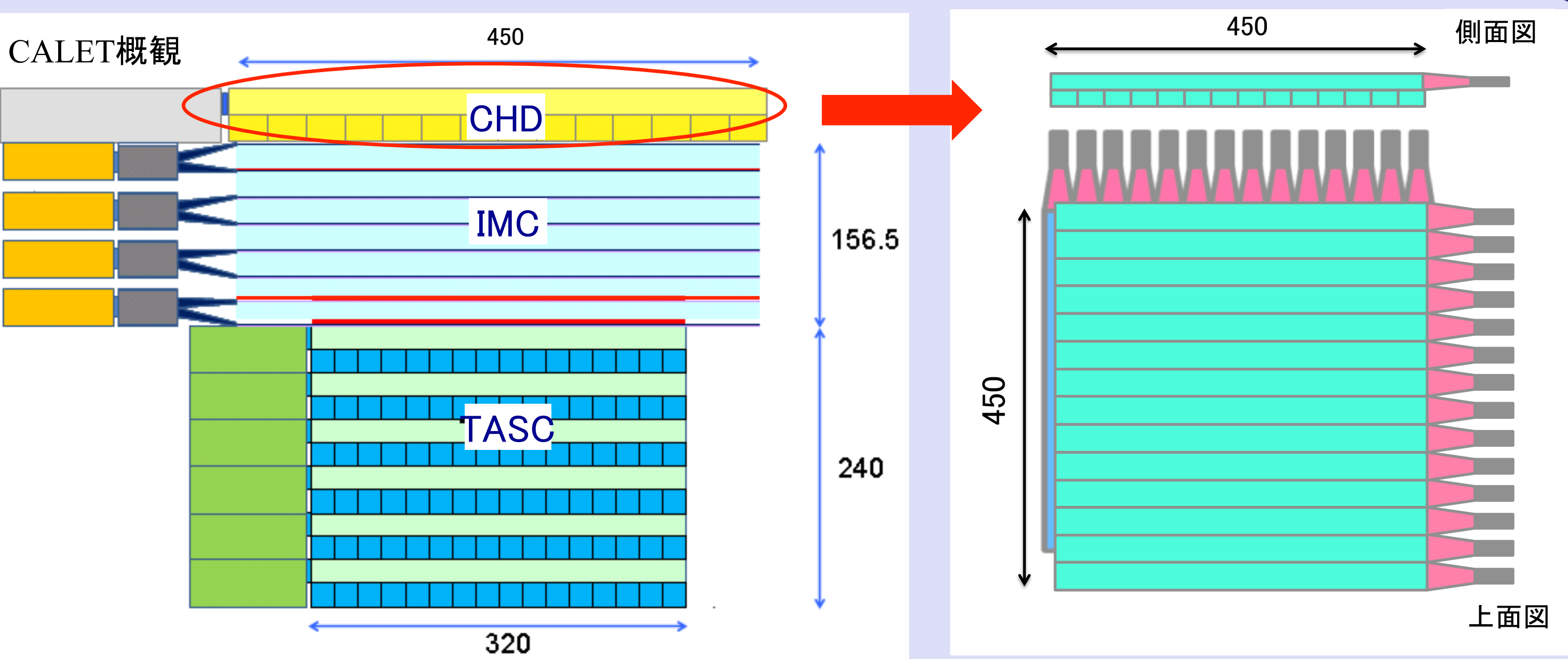
CERN-SPS加速器において、原子核の破碎核を用いたビーム照射実験を行った。CHDの前方にシリコン半導体検出器群(ピクセルアレイ/ストリップ)を配置し同時測定することで、検出器に入射した原子核種、を同定することが可能で、CHDの検出信号の特性について、高精度な検証を行うことが可能である。

CERN-SPS実験

SPSによる重原子核照射実験は2013年と2015年に行っている。2013年はCHDのEnd-to-End性能検証として回路系を含んだ単体実験を行い、2015年にはCALET-STMを用いた総合性能検証と、CHD単体実験を行った。ビームはPb, Arの破碎核を用いており、照射調整時にA/Zをそろえて照射している。2015年の単体実験では、ビーム上流側の物質中で発生する電子群(δ -ray)による出力信号の変化について検証を行った。この際、ビーム入射角度を変化させ、電荷分解能の変化についても測定を行っている。



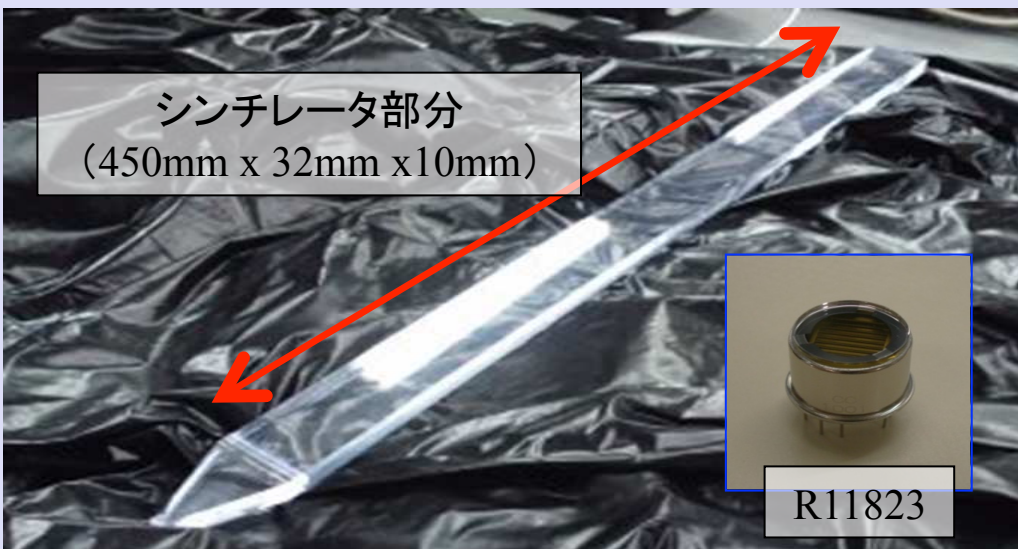
SPSビーム照射時のセットアップ



CALET-CHD

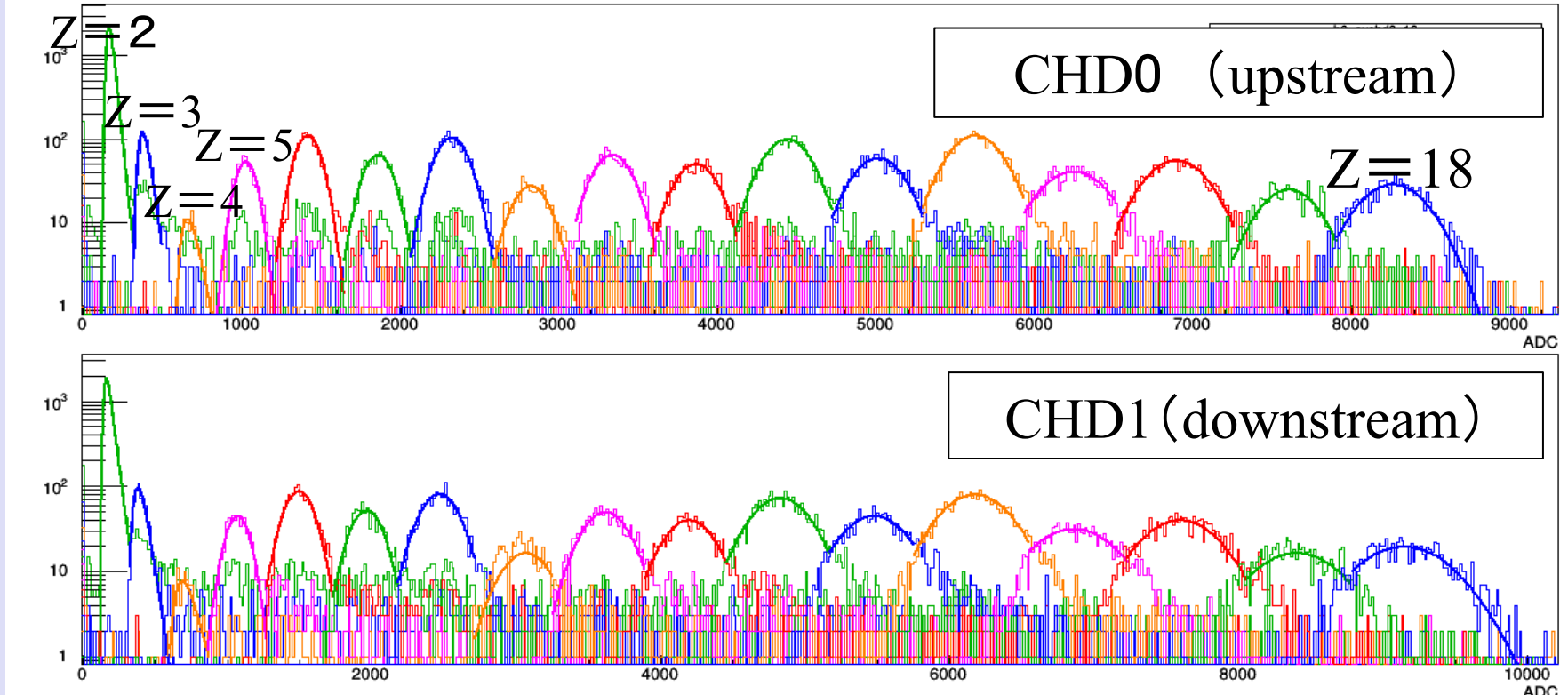
CHDはCALETの最上部に設置され、450mm x 32mm x 10mm の短冊状のシンチレータを14本平行に並べたものを、X-Yに2層積層して構成される。各短冊状のシンチレータはアクリル製のライトガイドによってPMTに接続し、各シンチレータごとに信号を検出することにより、粒子の多重入射、下方の検出器からの後方散乱による影響を少なくし、精度の良い入射核種弁別が可能になるようデザインされている。

右図は性能検証用に製作したCHD。EJ-200(ELJEN社製プラスチックシンチレータ)とアクリル製ライトガイドを光学接着し、浜松ホトニクス社製のR11823型光電子増倍管(PMT)で読み出す。PMTは、耐振動補強されており、高量子効率のものを用いている。これらを反射材(Vikuiti ESR,3M社製)で包装し、収集光量の入射位置による依存性を抑制している。



CHD電荷分解能検証

ビーム照射によって得られたデータをシリコン検出器にて電荷選別し、その時のCHD出力分布からCHD電荷分解能の見積りを行った。また、 δ -rayによる出力変化、入射角度による電荷分解能の変化について、前方物質の影響なども考慮し、モンテカルロシミュレーションを用いた検証を行った。



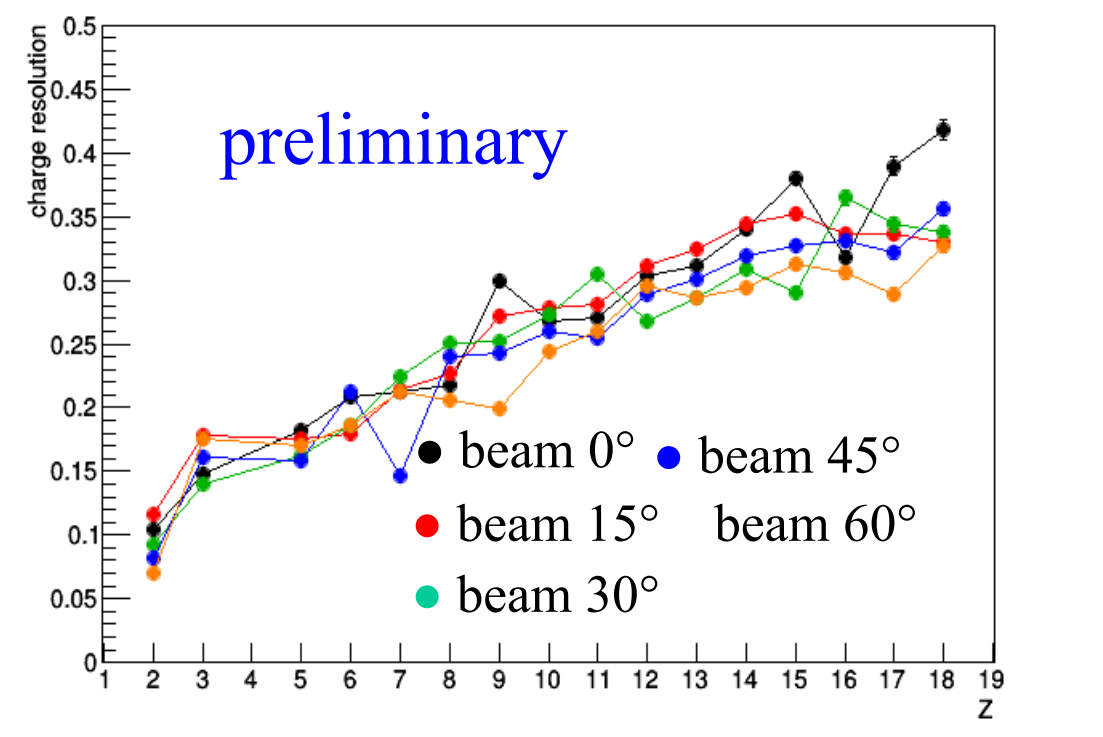
重原子核によるCHD信号の分布(2015年, Ar破碎ビーム) シリコン検出器による選別を行っている

電荷測定誤差の見積り

電荷分解能 R_z を

$$R_z = \frac{\sigma_z}{\mu_{z+1} - \mu_z}$$

と定義し、それぞれのZについて電荷分解能を評価した。



原子核種による電荷分解能の変化 ビーム入射角度による電荷分解能の依存性

ISS軌道上におけるCALET重原子核観測

ISS軌道上におけるCALET観測

CALETは2015年8月19日にHTV5号機に搭載され打ち上げられ、ISSのJEM-FEM9番ポートに搭載、その後全機能のチェックアウトを経て、10月から初期観測を開始した。観測開始後は観測上の大きなトラブルは無く、順調にデータ取得が進行中である。

観測条件

主にはCALET観測のメインターゲットである電子($E > 10\text{GeV}$)の観測条件

- IMC7,8層目の出力総和が7.5MIP以上
- TASC X1層目の出力総和が55MIP以上

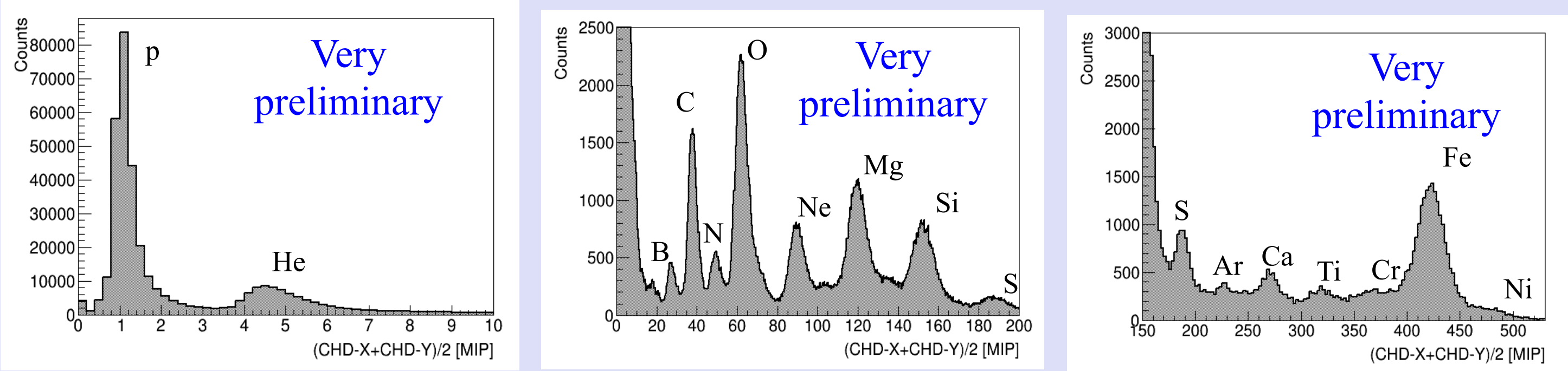
での観測を行っている。この条件下において、酸素核以上($Z > 8$)の原子核は、検出器内でカスケードシャワーが未生成であってもイベントトリガー条件を満たす。このため、原子核成分のカロリーメトリックなエネルギー測定について、モンテカルロシミュレーションを用いたトリガー効率の算出、エネルギー測定の高精度化により、電荷測定を実施する。

重原子核観測の初期解析

初期解析として、以下の手順で解析を行った

- IMCで再構成した飛跡を基にCHDにおける粒子入射位置を特定
- CHDのX,Y層の該当箇所のパルスハイト(MIP)値の平均値の分布
- 入射天頂角に応じてCHDの通過距離を補正

この解析により観測開始から約1ヶ月の観測期間で鉄核まで検出できていることがわかった。ただし、機器の特性補正などは行っていないため、現在、より詳細な解析を進めている。



IMCにてイベント選別を行い算出した粒子通過CHDの出力分布。

加速器によるビーム照射試験により、CALETの重原子核観測データの解析において、電荷分解能は0.1e~0.4e程度と見積もられたほか、より詳細なシミュレーション計算を実施するにあたり有用なデータが得られており、これらの結果を用いて、これまでよりも高精度なシミュレーションが可能になった。実観測データは順調に取得されており、現在、シミュレーションによるデータ解析手法の改良と合わせ、高精度な観測データ解析を進めている。