

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03982

研究課題名（和文）銀河宇宙線原子核の太陽変調の観測

研究課題名（英文）Observation of solar modulation of cosmic-ray nuclei

研究代表者

市村 雅一（Ichimura, Masakatsu）

弘前大学・理工学研究科・教授

研究者番号：20232415

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、太陽圏内での宇宙線伝播過程を詳細に検討するために必要な、粒子別の宇宙線強度の時間変動を求めることを目的としている。このため、地球磁場を用いた低エネルギー原子核の絶対強度算出方法の開発・実用化を行い、これをCALET検出器で観測された実際の観測データへ適用して鉄核の絶対強度算出を行った。この結果を他の実験による観測結果と比較したところ、良い一致を示した。これにより本研究で確立した方法の有効性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽磁気圏で宇宙線粒子のドリフトや拡散の様子が太陽の異なるフェイズでどのように変化するのかなど、太陽圏での宇宙線伝播を理解するためには宇宙空間での継続的な観測データが重要となる。また、地球を取り巻く地球磁気圏、太陽磁気圏内の宇宙線のふるまいは太陽活動と直結しており、これを常時観測することは太陽フレアや磁気嵐など地球の通信網や宇宙空間での人類の活動に影響を与える現象を理解し予測することにもつながっている。

研究成果の概要（英文）：This study aims to obtain the time variation of the intensity of the cosmic ray nuclei, which is necessary for a detailed investigation of cosmic ray propagation processes within the heliosphere. For this purpose, we have developed a method for calculating the absolute intensity of low-energy cosmic ray nuclei using the geomagnetic effect and applied it to the observed data by the CALET experiment, then the absolute intensity of iron nuclei has been obtained. This result showed a good agreement with the other experimental result. It is demonstrating that the method established in this study is enough effective for the aim.

研究分野：宇宙線物理学

キーワード：太陽変調 原子核 地磁気効果

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

銀河宇宙線が太陽磁気圏に達すると、太陽風に付随した太陽磁場と相互作用をしてエネルギーの弱いものは跳ね返され、地球での観測強度が変化する。太陽活動が活発なときは地球へ届く宇宙線の強度が下がり、太陽の静穏期には宇宙線の強度が相対的に上昇する。このような強度の変化を宇宙線の太陽変動と呼ぶ。太陽活動はおおよそ11年周期で変動しており、それにともなう地球で観測される銀河宇宙線の強度も変化している。また1サイクル(約11年)で太陽活動が最も活発な時期に太陽の磁極が反転することがわかっている。

太陽圏内の宇宙線の相互作用については様々な数値モデルが発表されているが、太陽サイクルの異なるフェイズにおいて、粒子の種類、Rigidity、時間とともに、ドリフトや拡散の様子がどのように変化するのか、その詳細はいまだに明らかになっていない。宇宙線の強度変化には11年周期にともなう長期的な変化のほかに、太陽の突発的な質量放出(CME)にともなう短期的な減少(Forbush Decrease)もあるので、太陽圏での宇宙線伝播を理解するためには宇宙空間での継続的な観測データが重要となる。

### 2. 研究の目的

本研究は、国際宇宙ステーションに設置された CALET 検出器によって得られた長期間観測データをもとに、太陽圏内での宇宙線伝播過程を詳細に検討するために必要な粒子別の宇宙線強度の時間変動を求めることを目的としている。このため、地球磁場を用いた低エネルギー原子核の絶対強度算出方法の開発・実用化を行い、これを実際の観測データへ適用して絶対強度算出を行う。

### 3. 研究の方法

#### (1) Cutoff Rigidity( $R_c$ ) の計算

宇宙線粒子が地球へ入射すると、地球磁場によって進行方向が曲げられる。磁場による曲率はRigidity(単位電荷あたりの運動量)で決まる。Rigidityは運動エネルギーと1対1に対応する量であるが、これが小さいと大きく曲げられて地球へ入射してこられない。この効果によって、ある緯度経度にある方向から入射できる宇宙線のRigidityには下限が存在する。これをCutoff Rigidity(以下  $R_c$ )と呼ぶ。つまり、地球磁場の構造がわかれば、ある緯度経度にある方向から入射してきた宇宙線粒子の最低エネルギーがわかるのである。これを利用すれば、宇宙線粒子の入射方向ごとの個数を数えるだけで、積分型強度を算出できる。

まず、ある緯度、経度、高度にある方向から入射する宇宙線陽子の  $R_c$  を計算するコードを作成した。観測地点から反陽子のあるRigidityである方向へ射出し、地球磁場モデルを用いて、磁場中の反陽子の軌跡を運動方程式を解きながら追跡する。反陽子が地球に衝突した場合はForbidden Region、磁気圏界面に到達するか地球半径の15倍以上に到達するかはAllowed Regionと判定する。Forbidden Regionの場合はその方向からそのRigidityで陽子が入射不可能なことを表しており、Allowed Regionの場合は入射可能と判断される。この計算を、粒子のRigidityを少しずつ変えながら繰り返し、Allowed RegionとForbidden Regionの境目を  $R_c$  とした。この方法を実際の観測地点に適用して  $R_c$  のTableを作成した。

#### (2) 入射方向の決定

CALET 検出器の最上部に設置されている CHD (CHarge Detector) は、1cm厚のプラスチックシンチレータ 2層からなっており、主に入射粒子の電荷を測定する。CHDの下に設置されたIMC(Imaging Calorimeter)は、1mm×1mmの正方形の断面を持つ長さ44.8cmのシンチレーティングファイバー448本からなるシートと、タングステン板を交互に重ねて構成されており、通過した粒子の入射方向を決定する。観測データには1本1本の入射粒子について、それぞれのシンチレータのシグナルが記録されているので、まず初めにIMC中のシンチレーティングファイバーのシグナルを用いて飛跡の再構成を行う。これにより、検出器に対してどの方向から入射してきたかがわかる。次に入射方向の座標変換を行う。入射方向の  $R_c$  と対応づけるためには、地球磁場に対する入射方向を知る必要がある。観測データにはイベント毎に赤道座標系に変換するための変換クォータニオン(四元量)が記録されているので、これを用いて入射方向を赤道座標系へ変換し、さらに時刻の情報を用いて地球表面に張り付いたLVLH系に変換した。

#### (3) 電荷決定

記録されたイベント毎に飛跡の再構成がされたので、それぞれの粒子が通過したCHD中のシンチレータが同定できる。CHDには2層のシンチレータがあるので、これらの値を用いて入射粒子の電荷決定を行う。具体的には、1層目、2層目それぞれのシグナルに天頂角補正を施した上でヒストグラムを作成すると、入射原子核の電荷に対応した複数のピークが確認できる。それぞれのピークがどの核種に対応しているかは経験的にわかるので、シグナルと電荷の変換曲線を作成し、これを用いてイベント毎に粒子の電荷推定を行った。ここでは、まず鉄核について強度算出を行うことにしたので、推定された電荷をもとに鉄核と推定されたイベントを取り出した。

#### (4) 検出効率の計算

鉄核を当面の解析対象としたので、CALET 検出器に鉄原子核が入射したときのモンテカルロシミュレーションを実行した。シミュレーションコードは COSMOS8.042+EPICS8.311 を使用した。まず、CALET 検出器の構造をコンピュータの中に再現し、様々な入射位置、角度、様々なエネルギーで鉄核を入射させ、検出器内で起こるすべての相互作用をシミュレートし、各シンチレータによって検出されるシグナルを保存する。こうして作成したシミュレーションデータに、実際の解析と同じアルゴリズムで飛跡再構成を行い、検出効率を算出した。

採用したシミュレーションコード中では、エネルギー領域によって複数の核反応のモデルを使い分けしており、鉄核のような重い原子核を扱う場合、破碎反応の際の部分断面積に有意な不一致があることがわかった。そこで、モデルの製作者へ協力を依頼し、モデルパラメータの調整を行った上で、各モデル間の整合性が極力成立するように調整を行い、その後あらためてシミュレーションを実行した。

#### (5) 絶対強度の算出

観測データに対して上述の手順を適用し、 $R_c$  の BIN 毎、天頂角 BIN 毎に数を数えて積分型のスペクトルを作成した。またこれを微分型に変換して、検出効率を考慮した上で絶対強度スペクトルの算出を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) Cutoff Rigidity ( $R_c$ ) の計算

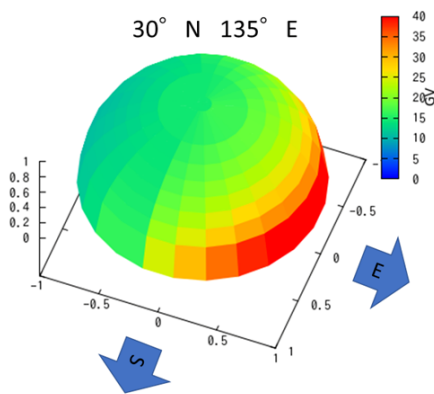


図1 ある点での 193 方向の  $R_c$

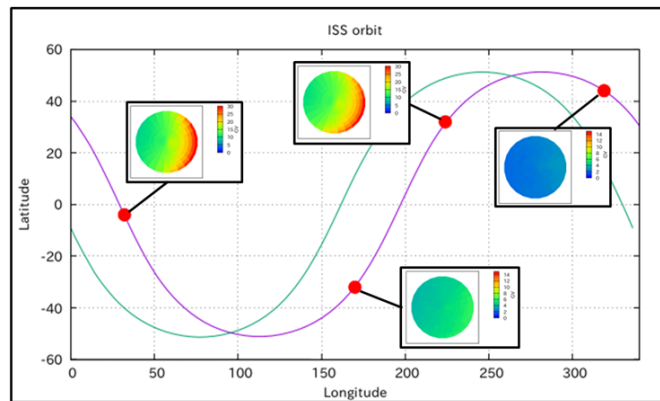


図2 宇宙ステーションの軌道に沿った  $R_c$  の計算

解析対象とした観測データは 2015 年 10 月から 2021 年 5 月までの 68 か月分である。この期間の観測地点について、193 方向に反陽子を射出し、これを追跡して  $R_c$  の計算を行った。その一例を図 1 に示す (北緯 30 度東経 135 度)。上半球を 193 個の立体角 BIN に分けて、それぞれの代表方向での  $R_c$  を色で表示している。赤色は  $R_c$  が大きいことを示しているが、東西効果をはっきりと見てとれる。図 2 に示したように、宇宙ステーションの軌道に沿って、1 月あたりおおよそ 25,000 地点についてこの計算を行い、 $R_c$  の Table を作成した。緯度が高いところと低いところで東西効果が明らかに異なるのが見て取れる。 $R_c$  を決めるために変化させる Rigidity の範囲は 1GV~50GV であり、 $\log_{10}$  スケールで 0.01 刻みで変化させながら粒子追跡を行った。

#### (2) 電荷決定

68 か月間にとらえられた宇宙線粒子のうち、ある程度 CHD のシグナルの大きいもの (おおよそ炭素核以上) について、飛跡再構成を行い、上層の CHD シグナル ( $CHD_x$ ) と下層の CHD シグナル ( $CHD_y$ ) のプロットを作成した (図 3)。入射粒子の電荷に対応してクラスタが確認できる。経験則から宇宙線中に含まれる主な核種はよく知られており、図中に示した酸素核、鉄核のように、どのクラスタがどの電荷に対応するかは明らかにわかる。このプロットを用いて、まず  $CHD_x$  と  $CHD_y$  の差が 10%以内のものを採用した。次に  $CHD_x$ 、 $CHD_y$  それぞれについてヒストグラムを作成し、炭素核から鉄核に至る各電荷に対応したシグナルのピーク値を読み取った。このデータに、Halo Model (Marrocchesi et al. 2011) と呼ばれるシンチレーションによる発光のモデルを適用して CHD シグナルから電荷へ変換する関数を作成した。この関数を用いて、イベント 1 つ 1 つにつき、 $CHD_x$ 、 $CHD_y$  それぞれに対応する電荷推定値  $Z_x$ 、 $Z_y$  に変換した。電荷に変換した後の  $Z_x$  と  $Z_y$  のプロットを図 4 に示す。電荷の範囲は 21~29 となっており、鉄のクラスタが鮮明に確認できる。同時に示してある楕円は  $1\sigma$  と  $2\sigma$  のラインである。解析では  $2\sigma$  のラインの内側にあるものを鉄核として採用した。

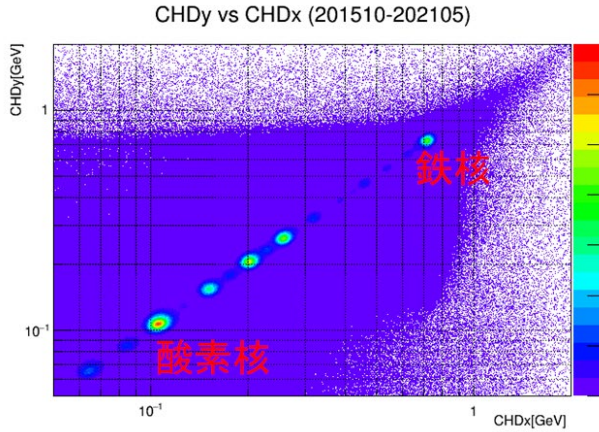


図 3 CHD シグナル

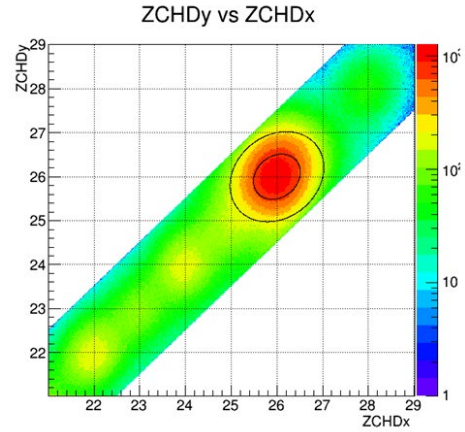


図 4 CHD から推定された電荷

### (3) 検出効率の計算

モンテカルロシミュレーションにより計算した検出効率を図5に示した。横軸は粒子あたりの運動エネルギーになっている。様々なエネルギーの鉄核を等方的に入射させ、観測データと同じように解析にかけて計算したものである。飛跡再構成や核衝突による検出効率は粒子の入射天頂角にも依存するため、天頂角0度から45.2度の範囲を5つの領域に分け、それぞれについて計算を行った。これを見ると入射天頂角が小さいものは広いエネルギー領域で98%程度、45度に近いところでは72%程度の効率となっている。30GeVより低いところで急激に落ち込むのは電離損失により検出器内でstopする領域だからである。これらの計算結果を用いて絶対強度を算出したところ、天頂角毎に求めた値がほぼ一致したため、天頂角依存性はうまく補正できていることが確認できた。

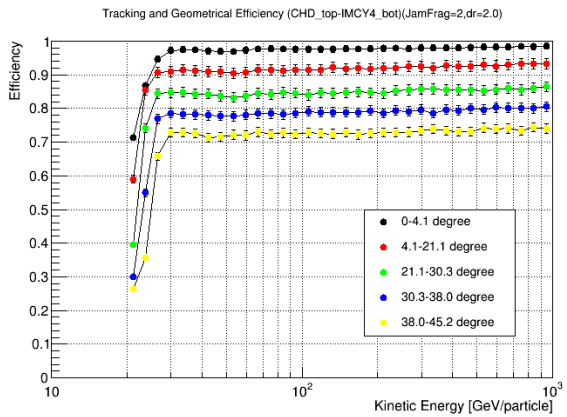


図 5 検出効率のエネルギー依存性

### (4) 絶対強度の算出

天頂角毎の結果を合わせて最終的に作成した鉄核の微分絶対強度を図6に示す。横軸はRigidityである。赤丸が本研究の結果であり、青丸は低エネルギー領域で信頼性が高いとされているAMS02実験の結果である。これを見ると、6GVから20GVの範囲で良い一致を示しているのがわかる。この結果から本研究で確立した地球磁場を用いた絶対強度算出法の有効性が示された。一方6GV以下の領域では20%程度の差異が確認されたため、現在この原因を確認するべく考えられる系統誤差を詳細に検討しているところである。検討が終わり次第、本方法で各種宇宙線原子核強度の時間変動を算出する予定である。

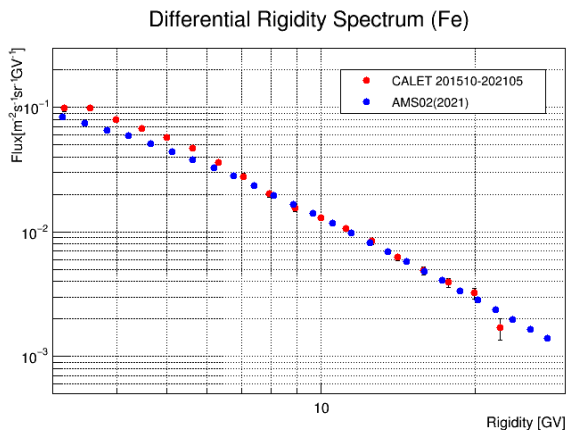


図 6 鉄核の絶対強度スペクトル

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 O. Adriani, Y. Akaïke, K. Asano, Y. Asaoka, E. Berti, G. Bigongiari, W.R. Binns, M. Bongi, P. Brogi, A. Bruno, J.H. Buckley, N. Cannady, G. Castellini, C. Checchia, M.L. Cherry, G. Collazuol, K. Ebisawa, H. Fuke, S. Gonzi, T.G. Guzik, T. Hams, K. Hibino, M. Ichimura 他	4. 巻 126
2. 論文標題 Measurement of the Iron Spectrum in Cosmic Rays from 10 GeV/n to 2.0 TeV/n with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.126.241101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 O. Adriani, Y. Akaïke, K. Asano, Y. Asaoka, E. Berti, G. Bigongiari, W.R. Binns, M. Bongi, P. Brogi, A. Bruno, J.H. Buckley, N. Cannady, G. Castellini, C. Checchia, M.L. Cherry, G. Collazuol, K. Ebisawa, A.W. Ficklin, H. Fuke, S. Gonzi, T.G. Guzik, T. Hams, K. Hibino, M. Ichimura 他	4. 巻 128
2. 論文標題 Direct Measurement of the Nickel Spectrum in Cosmic Rays in the Energy Range from 8.8 GeV/n to 240 GeV/n with CALET on the International Space Station	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.128.13110	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Brogi P, Adriani O, Akaïke Y, Asano K, Asaoka Y, Bagliesi M G, Berti E, Bigongiari G, Binns W R, Bonechi S, Bongi M, Bruno A, Buckley J H, Cannady N, Castellini G, Checchia C, Cherry M L, Collazuol G, Di Felice V, Ebisawa K, Fuke H, Guzik T G, Hams T, Hibino K, Ichimura M 他	4. 巻 95
2. 論文標題 CALET on the International Space Station: the first three years of observations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physica Scripta	6. 最初と最後の頁 074012 ~ 074012
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1402-4896/ab957d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Adriani O., Akaike Y., Asano K., Asaoka Y., Bagliesi M.G., Berti E., Bigongiari G., Binns W.R., Bongi M., Brogi P., Bruno A., Buckley J.H., Cannady N., Castellini G., Checchia C., Cherry M.L., Collazuol G., Ebisawa K., Fuke H., Gonzi S., Guzik T.G., Hams T., Hibino K., Ichimura M. 他	4. 巻 125
2. 論文標題 Direct Measurement of the Cosmic-Ray Carbon and Oxygen Spectra from 10GeV/n to 2.2TeV/n with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.125.251102	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Adriani O., Akaike Y., Asano K., Asaoka Y., Berti E., Binns W.R., Brogi P., Cannady N., Checchia C., Cherry M.L., Ficklin A.W., Ichimura M., Kasahara K., Kataoka R., Kawakubo Y., Kobayashi K., Maestro P., Marrocchesi P.S., Mori M., Torii S. 他60名	4. 巻 129
2. 論文標題 Observation of Spectral Structures in the Flux of Cosmic-Ray Protons from 50GeV to 60TeV with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.129.101102	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Adriani O., Akaike Y., Asano K., Asaoka Y., Berti E., Binns W.R., Brogi P., Cannady N., Checchia C., Cherry M.L., Ficklin A.W., Ichimura M., Kasahara K., Kataoka R., Kawakubo Y., Kobayashi K., Maestro P., Marrocchesi P.S., Mori M., Torii S. 他60名	4. 巻 129
2. 論文標題 Cosmic-Ray Boron Flux Measured from 8.4GeV/n to 3.8TeV/n with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.129.251103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 鳥居祥二, 赤池陽水, 小林兼好, 田村忠久, 森正樹, 浅岡陽一, 浅野勝晃, 福家英之, 日比野欣也, 市村雅一, 笠原克昌, 片岡龍峰, 片寄祐作, 加藤千尋, 川久保雄太, 三宅晶子, MOTZ Holger, 宗像一起, 中平聡志, 奥野祥二, 小沢俊介, 坂本貴紀, 清水雄輝, 塩見昌司, 常定芳基, 山岡和貴, 柳田昭平, 吉田篤正, 吉田健二, 他CALETチーム
2. 発表標題 ISS搭載CALETによる5年間の観測の最新成果報告
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤池陽水, 鳥居祥二, 小林兼好, 浅岡陽一, 笠原克昌, 市村雅一, Pier S. Marrocchesi, Paolo Maestro, Caterina Checchia, Francesco Stolzi
2. 発表標題 CALET5年間の観測による炭素・酸素・鉄のエネルギースペクトルとB/C比の観測結果
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鳥居祥二, 赤池陽水, 小林兼好, 田村忠久, 森正樹, 浅岡陽一, 浅野勝晃, 福家英之, 日比野欣也, 市村雅一, 笠原克昌, 片岡龍峰, 片寄祐作, 加藤千尋, 川久保雄太, 三宅晶子, MOTZ Holger, 宗像一起, 中平聡志, 奥野祥二, 小沢俊介, 坂本貴紀, 清水雄輝, 塩見昌司, 常定芳基, 山岡和貴, 柳田昭平, 吉田篤正, 吉田健二, 他CALETチーム
2. 発表標題 ISS搭載CALETによる6年間の観測最新成果報告
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 市村雅一, 赤池陽水, 浅岡陽一, 笠原克昌, 小林兼好, 鳥居祥二, 他CALETチーム
2. 発表標題 地球磁場を用いた10GeV/n以下の鉄核強度の算出
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鳥居祥二, 赤池陽水, 小林兼好, 浅岡陽一, 田村忠久, 森正樹, 浅野勝晃, 福家英之, 日比野欣也, 市村雅一, 笠原克昌, 片岡龍峰, 片寄祐作, 加藤千尋, 川久保雄太, 三宅晶子, MOTZ Holger, 宗像一起, 中平聡志, 奥野祥二, 小沢俊介, 坂本貴紀, 清水雄輝, 塩見昌司, 寺澤敏夫, 常定芳基, 山岡和貴, 柳田昭平, 吉田篤正, 吉田健二, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETによる5年間の軌道上観測の最新成果
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤池陽水, Paolo Maestro, 鳥居祥二, 浅岡陽一, 笠原克昌, 市村雅一, Pier S. Marrocchesi, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETによる炭素と酸素のエネルギースペクトル硬化の検出
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤池陽水, Paolo Maestro, 鳥居祥二, 浅岡陽一, 笠原克昌, 市村雅一, Pier S. Marrocchesi, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETによる10GeV/nから2.2TeV/nの炭素と酸素のエネルギースペクトル観測結果
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鳥居祥二, 赤池陽水, 小林兼好, 田村忠久, 森正樹, 浅岡陽一, 浅野勝晃, 福家英之, 日比野欣也, 市村雅一, 笠原克昌, 片岡龍峰, 片寄祐作, 加藤千尋, 川久保雄太, 三宅晶子, MOTZ Holger, 宗像一起, 中平聡志, 奥野祥二, 小沢俊介, 坂本貴紀, 清水雄輝, 塩見昌司, 常定芳基, 山岡和貴, 柳田昭平, 吉田篤正, 吉田健二, 他CALETチーム
2. 発表標題 ISS搭載CALETによる6.5年間の軌道上観測の最新成果
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤池陽水, 鳥居祥二, 小林兼好, 笠原克昌, 市村雅一, Pier S. Marrocchesi, Palo Maestro, Caterina Checchia, Francesco Stolzi, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETによる鉄とニッケルのエネルギースペクトルとB/C比の観測
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 市村雅一, 赤池陽水, 浅岡陽一, 笠原克昌, 小林兼好, 鳥居祥二, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETによる10GeV/n以下の鉄核の観測
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鳥居祥二, 赤池陽水, 小林兼好, 田村忠久, 森正樹, 浅岡陽一, 浅野勝晃, 福家英之, 日比野欣也, 市村雅一, 笠原克昌, 片岡龍峰, 片寄祐作, 加藤千尋, 川久保雄太, 三宅晶子, MOTZ Holger, 宗像一起, 中平聡志, 奥野祥二, 小沢俊介, 坂本貴紀, 清水雄輝, 塩見昌司, 常定芳基, 山岡和貴, 柳田昭平, 吉田篤正, 吉田健二, 他CALETチーム
2. 発表標題 ISS搭載CALETによる7年間の軌道上観測の最新成果
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 赤池陽水, Paolo Maestro, 鳥居祥二, 小林兼好, 笠原克昌, 市村雅一, Pier S. Marrochessi, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETによる8.4GeV/nから3.8TeV/nのホウ素/炭素比の観測結果
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------