



記載の記事は宇宙線研究所ホームページ ([http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/ICRR\\_news](http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/ICRR_news)) からでも御覧になれます。

## CONTENTS

|                          |       |    |
|--------------------------|-------|----|
| 平成21年度共同利用研究成果発表会報告..... | 佐川 宏行 | 1  |
| 宇宙線が気候変動に与える影響を探る.....   | 宮原ひろ子 | 7  |
| 人事異動.....                |       | 12 |
| ICRR-Seminar.....        |       | 12 |
| ICRR-Report.....         |       | 12 |

## 平成21年度共同利用研究成果発表会報告

佐 川 宏 行

【宇宙線研究所】

今年度の共同利用研究成果発表研究会が、平成21年12月18日(金)と19日(土)の2日間にわたって開催された。本発表会は、宇宙線研究所の共同利用研究として採択された課題の成果報告の場であり、発表内容の多様性は研究所の共同研究の幅広さを示している。今年度は40の成果報告の他、共同利用実施専門委員会委員長から研究会開催に関する採択課題に

ついでの報告も行われた。以下に当日のプログラムならびに各発表者より提出いただいた講演概要を付記する。なお、発表資料は、以下の宇宙線研究所ホームページに掲載されているので、そちらを参照されたい。

[http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/infomation/workshop/2009/kyodoriyo/Program\\_H21.html](http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/infomation/workshop/2009/kyodoriyo/Program_H21.html)

平成21年度 宇宙線研究所 共同利用研究成果発表研究会プログラム  
12月18日(金)

| 開始時間  | 講演時間 | 発 表 者          | 講演タイトル                                                                 |
|-------|------|----------------|------------------------------------------------------------------------|
| 10:00 | 0:05 | 吉田 滋 (千葉大学)    | 開会の挨拶                                                                  |
| 10:05 | 0:15 | 大橋 英雄 (東京海洋大学) | 地下実験室の環境連続計測／天然放射性核種 <sup>7</sup> Be、 <sup>210</sup> Pb 降下量の季節変動に関する研究 |
| 10:20 | 0:15 | 福岡 孝昭 (立正大学)   | 南極宇宙塵の化学的研究／南極隕石の <sup>26</sup> Al 放射能の測定                              |

|         |        |                  |                                                                     |
|---------|--------|------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 10 : 35 | 0 : 20 | 櫻井 敬久 (山形大学)     | Be-7、Na-22などによる宇宙線強度時間変化の検出／年輪中の放射線炭素測定と微量放射性同位元素分析による過去の宇宙線強度変動の研究 |
| 10 : 55 | 0 : 15 | 伊藤 真人 (気象庁高層气象台) | 乗鞍岳におけるブリューワー分光光度計を使用したオゾン・紫外線の観測                                   |
| 11 : 10 | 0 : 20 | 宗像 一起 (信州大学)     | 乗鞍岳におけるミューオン強度の精密観測                                                 |
| 11 : 30 | 0 : 15 | 丸田恵美子 (東邦大学)     | 高山植物の生理生態的機能と環境形成作用                                                 |
| 11 : 45 | 0 : 15 | 小島 浩司 (愛知工業大学)   | 大型ミューオンテレスコープによる銀河宇宙線強度の観測                                          |
| 12 : 00 | 1 : 00 | 休憩               |                                                                     |
| 13 : 00 | 0 : 15 | 村木 綏 (甲南大学)      | 最高エネルギー太陽宇宙線の観測的研究                                                  |
| 13 : 15 | 0 : 20 | 松原 豊 (名古屋大学)     | 第24太陽活動期における太陽中性子の観測                                                |
| 13 : 35 | 0 : 15 | 土屋 晴文 (理化学研究所)   | 雷や雷雲からのX線・ $\gamma$ 線を利用した電場による粒子加速の検証                              |
| 13 : 50 | 0 : 15 | 清水 雄輝 (宇宙線研究所)   | T2K 実験                                                              |
| 14 : 05 | 0 : 15 | 金行 健治 (宇宙線研究所)   | 100万トン水チェレンコフ検出器 (ハイパーカミオカンデ) の開発研究                                 |
| 14 : 20 | 0 : 15 | 本田 守広 (東海大学)     | 大気ニュートリノフラックスの精密計算                                                  |
| 14 : 35 | 0 : 15 | 吉田 滋 (千葉大学)      | Ice Cube 宇宙ニュートリノ観測実験のためのシミュレーション研究                                 |
| 14 : 50 | 0 : 15 | 梅原 さおり (大阪大学)    | 48Ca の二重ベータ崩壊の研究                                                    |
| 15 : 05 | 0 : 15 | 休憩               |                                                                     |
| 15 : 20 | 0 : 15 | 福田 善之 (宮城教育大学)   | 低エネルギー太陽ニュートリノ観測を目的としたインジウム・リン半導体検出器の開発研究                           |
| 15 : 35 | 0 : 15 | 宗像 一起 (信州大学)     | スーパーカミオカンデによる10TeV 宇宙線強度の恒星時日周変動の観測                                 |
| 15 : 50 | 0 : 20 | 平出 克樹 (宇宙線研究所)   | XMASS 実験の現状                                                         |
| 16 : 10 | 0 : 15 | 中村 正吾 (横浜国立大学)   | 液体キセノンの発光スペクトルの研究                                                   |
| 16 : 25 | 0 : 15 | 田阪 茂樹 (岐阜大学)     | 極低濃度ラドン測定システムの開発                                                    |
| 16 : 40 | 0 : 15 | 今西 祐一 (海洋研究所)    | レーザー伸縮計と超伝導重力計の同時観測による地球の固有振動の研究                                    |
| 16 : 55 | 0 : 15 | 川崎 雅裕 (宇宙線研究所)   | 宇宙の進化と素粒子模型                                                         |
| 17 : 10 | 0 : 15 | 河合 誠之 (東京工業大学)   | MITSuME (爆発変動天体の多色撮像観測) プロジェクト                                      |
| 17 : 25 | 0 : 20 | 吉田 滋 (千葉大学)      | 研究会報告                                                               |

12月19日 (土)

| 開始時間    | 講演時間   | 発表者            | 講演タイトル                           |
|---------|--------|----------------|----------------------------------|
| 9 : 00  | 0 : 25 | 石野 宏和 (岡山大学)   | スーパーカミオカンデ実験                     |
| 9 : 25  | 0 : 15 | 身内賢太郎 (京都大学)   | ガス飛跡検出器による方向に感度を持つ暗黒物質探索実験       |
| 9 : 40  | 0 : 15 | 榊 直人 (青山学院大学)  | 高山における大気発光現象と雲による反射、散乱の測定        |
| 9 : 55  | 0 : 15 | 立山 暢人 (神奈川大学)  | ポリイミドフィルムの宇宙線に対する耐性の研究           |
| 10 : 10 | 0 : 15 | 吉田 健二 (芝浦工業大学) | エマルションチェンバーによる高エネルギー宇宙線電子の観測     |
| 10 : 25 | 0 : 15 | 休憩             |                                  |
| 10 : 40 | 0 : 15 | 増田 公明 (名古屋大学)  | Knee 領域および最高エネルギー領域での宇宙線反応の実験的研究 |

|       |      |                          |                                                      |
|-------|------|--------------------------|------------------------------------------------------|
| 10:55 | 0:20 | 鳥居 祥二 (早稲田大学)            | 長期間気球観測による高エネルギー宇宙線加速天体の研究                           |
| 11:15 | 0:30 | 榎本 良治 (宇宙線研究所)           | カンガルー実験および TeV 将来計画                                  |
| 11:45 | 1:00 | 休憩                       |                                                      |
| 12:45 | 0:30 | 野中 敏幸 (宇宙線研究所)           | テレスコープアレイ実験                                          |
| 13:15 | 0:15 | 山本 常夏 (甲南大学)             | Auger 計画の最高エネルギー宇宙線データの解析 II                         |
| 13:30 | 0:30 | 瀧田 正人 (宇宙線研究所)           | チベット高原での高エネルギー宇宙線の研究                                 |
| 14:00 | 0:25 | 常定 芳基 (東京工業大学)           | ボリヴィア空気シャワー共同実験                                      |
| 14:25 | 0:20 | 佐々木真人 (宇宙線研究所)           | 全天高精度素粒子望遠鏡計画 Ashra 観測                               |
| 14:45 | 0:15 | 休憩                       |                                                      |
| 15:00 | 0:15 | 黒田 和明 (宇宙線研究所)           | 大型低温重力波望遠鏡の開発 (XI)                                   |
| 15:15 | 0:15 | 大橋 正健 (宇宙線研究所)           | 神岡での重力波観測 (VIII)                                     |
| 15:30 | 0:15 | 三代木伸二 (宇宙線研究所)           | CLIO 用 Local Suspension Point Interferometer の開発 (I) |
| 15:45 | 0:15 | 鈴木 敏一<br>(高エネルギー加速器研究機構) | LCGT のための単結晶サファイア鏡懸架の開発 (V)                          |
| 16:00 | 0:05 | 梶田 隆章 (宇宙線研究所)           | 閉会の挨拶                                                |

## 1. 大橋 英雄 (東京海洋大学)

「地下実験室の環境連続計測」

柏地下実験室では、今年度は設定ミスもあったが、ラドンモニターのトラブルがあり、かなりの期間欠測した。モニターの更新・借用および液体窒素運搬の安全対策を検討している。

「天然放射性核種  $^7\text{Be}$ 、 $^{210}\text{Pb}$  降下量の季節変動に関する研究」

降雨中の天然放射性核種を捕集した試料を柏地下室の  $\gamma$  線検出器で測定した。両核種とも雨量依存性が高いが、 $\text{Be-7}$  では春秋に降下量が多く、夏冬に少なかった。 $\text{Pb-210}$  は  $\text{Be-7}$  とは起源が異なり、高度分布も全く一致しないが、季節・降雨量に関わらず相関が強いことから、吸着されるエアロゾルの粒径等、大気中での挙動が似ていると考えられる。

## 2. 福岡 孝昭 (立正大学)

「南極宇宙塵の科学的研究」

南極ドーム Fuji 基地での氷床コア掘削時に生じた切削氷 (1700m 深) からは、明確な宇宙塵粒子が見つかっていない。その原因として、粒子が微細過ぎる可能性を考え、フィルターのままの分析の準備中である。

「南極隕石の  $^{26}\text{Al}$  放射能の測定」

南極やまと隕石の落下年代を知る目的で、 $^{26}\text{Al}$  放射能を地下測定施設で測定している。同一隕石について、鋸山のデータ、AMS のデータを比較検討している。

## 3. 櫻井 敬久 (山形大学)

「 $\text{Be-7}$ 、 $\text{Na-22}$  などによる宇宙線強度時間変化の検出」

「年輪中の放射線炭素測定と微量放射性同位元素分析による過去の宇宙線強度変動の研究」

2000年から10年間の大気中宇宙線生成核種  $\text{Be-7}$  濃度の日変動、季節変動、年変動測定結果と太陽活動および大気運動の関連について報告した。また、古木年輪中の微弱放射性同位元素の測定について報告した。

## 4. 伊藤 真人 (気象庁高層気象台)

「乗鞍岳におけるブリューワー分光光度計を使用したオゾン・紫外線の観測」

ブリューワー分光光度計のアジア地区校正センター構築のため、中緯度の高地に位置する乗鞍観測所において、オゾン・紫外線の観測を試みた。その結果、乗鞍ではオゾン量が安定し測器常数の校正が可能で、紫外線量も非常に多いこと等が明らかとなった。

## 5. 宗像 一起 (信州大学)

「乗鞍岳におけるミューオン強度の精密観測」

電源復旧時に観測を自動的に再開させるための「IP スイッチ」と、遠隔操作で FPGA レコーダ回路を書換可能なシステムの導入により、冬季観測の可動率が大幅に改善された。蓄電池の増設等により、今後可動率の向上と安定な連続観測を目指す。

## 6. 丸田恵美子（東邦大学）

「高山植物の生理生態的機能と環境形成作用」

乗鞍岳の森林限界を形成するオオシラビソ個体群の動態を明らかにするために、幹直径の肥大成長を継続測定し1年間の肥大量を求めた。その結果、樹齢は約300年から連続的に分布し、安定した個体群が形成・維持されてきたことが推定された。

## 7. 小島 浩司（愛知工業大学）

「大型ミュオンテレスコープによる銀河宇宙線強度の観測」

明野観測所及び GRAPES 3 でのミュオン強度変動の同時観測は「太陽面フレアなどにより発生する惑星間空間衝撃波の到来予想」等を主たる目的として観測を続けている。2009年度には、落雷等による機器及びネットワークの故障によりほとんどの期間まともな観測ができなかったが、いくつかの対策を講じた。

## 8. 村木 綏（甲南大学）

「最高エネルギー太陽宇宙線の観測的研究」

今年度は昨年作成したアンチカウンターを本体に取り付けた。そして宇宙線中の中性子、ガンマ線および荷電粒子の区別ができるようにした。もし100GeVの粒子が太陽から到来したら中性子のみならずガンマ線やミュオンも検出されることがSimulationから予想されているので、その観測が可能となる。またGeant 4を用いてそれぞれの粒子の検出効率を求め元のスペクトルに焼き戻す計算式を求めた。

## 9. 松原 豊（名古屋大学）

「第24太陽活動期における太陽中性子の観測」

乗鞍での太陽中性子観測は、第24太陽活動期で太陽高エネルギー粒子加速の解明を行うために、自然エネルギーでの安定した電力供給が肝要である。本年度は新しい風力発電の設置工事を行い、バッテリーも充電した。その甲斐あり、これまで以上に安定した電力の供給が可能となった。

## 10. 土屋 晴文（理化学研究所）

「雷や雷雲からのX線・ $\gamma$ 線を利用した電場による粒子加速の検証」

雷や雷雲からのガンマ線の観測を通じて、電場加速の詳細を知るため、乗鞍観測所の屋外で夏季に観測をしている。今年度はデータ取得システムを刷新

したが、有意な信号は得られなかった。

## 11. 清水 雄輝（宇宙線研究所）

「T2K 実験」

J-PARC-SK間のビームタイミング転送やSKにおけるデータリダクションの研究・開発を行い、ビームランにおいて動作を実証した。2010年からの本格的なビームラン開始に備え、検出器シミュレーションの改良やニュートリノ振動観測における感度評価を行った。

## 12. 金行 健治（宇宙線研究所）

「100万トン水チェレンコフ検出器（ハイパーカミオカンデ）の開発研究」

100万トン水チェレンコフ検出器の開発研究として、候補地における空洞のクラックテンソル解析をおこなったところ、初期値圧が重要な要素であることがわかった。建設候補地の空洞掘削事前調査として、初期値圧測定を含むいくつかの測定を行う予定である。

## 13. 本田 守広（東海大学）

「大気ニュートリノフラックスの精密計算」

大気ニュートリノフラックスの計算を、PHITS相互作用を取り入れ、人工衛星のデータ等も用いて精密化している。今回は計算方法の改良とガンマ線によるハドロン生成の影響について報告した。計算方法の改良によって効率的に統計誤差を抑えることができ、また、ガンマ線によるハドロン生成は大気ニュートリノフラックスに1%以下の影響しかないことが分かった。

## 14. 吉田 滋（千葉大学）

「IceCube 宇宙ニュートリノ観測実験のためのシミュレーション研究」

IceCubeは2010年1月に今年度の建設を終え、全体で79本のstring埋設を終了した。現在commissioningの最中で、切削穴の再凍結が終わる4月ごろのデータ取得開始を目指している。残る10本のstring埋設を来季に完遂させてフルオペレーションに入る行程で予定どおり推移している。物理解析は2008年の40strings（フルIceCubeの50%サイズ）時のデータが主対象となっており、約1年の観測で、PeV領域ではWaxman-Bahcall流量のfactor1.5-2上、EeV領域ではGZKモデル予測値のfactor5以上に予想感度が到達する見込みである。

## 15. 梅原さおり (大阪大学)

「 $^{48}\text{Ca}$  の二重ベータ崩壊の研究」

$^{48}\text{Ca}$  の二重ベータ崩壊の測定のため、 $\text{CaF}_2$  シンチレータを用いた CANDLES システムの開発を進めている。本年度は、神岡地下実験室への検出器移設を進めた。現在、光電子増倍管の取り付けがほぼ終了し、来年度に測定開始することを予定している。

## 16. 福田 善之 (宮城教育大学)

「低エネルギー太陽ニュートリノ観測を目的としたインジウム・リン半導体検出器の開発研究」

世界最大の InP 半導体検出器による放射線応答性およびバックグラウンドの評価と MIS 構造による暗電流低減化の効果を測定した。また、液体キセノンを  $\gamma$  線検出シンチレータとして利用するための、光学応答性の可能性を議論した。

## 17. 宗像 一起 (信州大学)

「スーパーカミオカンデによる  $10\text{TeV}$  宇宙線強度の恒星時日周変動の観測」

恒星時異方性に見られた太陽圏尾部の非対称構造に起因すると思われる特徴的な成分をモデル化し、異方性の大規模構造と併せて、太陽圏尾部の磁場構造や局所銀河磁場との関係を議論した。

## 18. 平出 克樹 (宇宙線研究所)

「XMASS 実験の現状」

XMASS 実験は液体キセノンをを用いた低バックグラウンド環境での多目的検出器である。現在、暗黒物質探索のための  $1$  トン級の検出器を建設中であり、その準備状況を報告した。

## 19. 中村 正吾 (横浜国立大学)

「液体キセノンの発光スペクトルの研究」

液体キセノンの発光波長を、光子の同時計数により精度  $1\text{ nm}$  以下で決定する実験を行なっている。光学系とガス系の組立でも順調に進み、最近液体キセノンを貯めることにも成功した。年内にも最初の結果を出そうとしている。

## 20. 田阪 茂樹 (岐阜大学)

「極低濃度ラドン測定システムの開発」

極低濃度ラドン測定システムのラドン処理プロセス、1) 脱気、2) 除湿、3) 吸着、4) 脱離、5) 計測、の基本特性試験を実施した。その後、ラドン

測定システムを製作して、スーパーカミオカンデ外水槽の純水中ラドン濃度の測定を行った。外水槽の純水中ラドン濃度の測定結果は  $7.3 \pm 0.6$  ( $\text{mBq/m}^3$ ) となった。

## 21. 今西 祐一 (海洋研究所)

「レーザー伸縮計と超伝導重力計の同時観測による地球の固有振動の研究」

神岡坑内に設置されている超伝導重力計により、地震にともなうパーマネントな重力変化の検出を試みている。これまでの成果と最近の二三の結果について紹介し、観測における問題点について議論した。

## 22. 川崎 雅裕 (宇宙線研究所)

「宇宙の進化と素粒子模型」

宇宙初期の真空の相転移の際に生成されるドメイン・ウォールの生成とその崩壊に伴って放出される重力波のスペクトルを  $3$  次元格子シミュレーションを用いて定量的に評価し、将来の重力波観測で検出できる可能性があることを指摘した。

## 23. 河合 誠之 (東京工業大学)

「MITSuME (爆発変動天体の多色撮像観測) プロジェクト」

明野観測所にて口径  $50\text{ cm}$  の望遠鏡を設置し、ガンマ線バーストおよびブレーザーの  $g'$ ,  $R_c$ ,  $I_c$  の  $3$  バンド同時撮像観測を行っている。2009年には、10個の GRB の観測を実施し、そのうち  $3$  個で検出に成功した。また、GRB 通報を待機しつつ約  $30$  個のブレーザーの可視光モニターを2008年より実施し、フェルミ衛星によるガンマ線強度の変動との相関を調べている。

## 24. 石野 宏和 (岡山大学)

「スーパーカミオカンデ実験」

スーパーカミオカンデは電子回路入れ替え後も順調に稼働している。大気・太陽ニュートリノ、陽子崩壊、モノポール探索の解析において、新しい結果や解析方法の大きな進展があった。また、ガドリニウムを導入するための研究が進んでいる。

## 25. 身内賢太朗 (京都大学)

「ガス飛跡検出器による方向に感度を持つ暗黒物質探索実験」

独自開発の「マイクロ TPC」を用いた方向に感度を持つ暗黒物質探索実験「NEWAGE」の地下実験室での first result を本年度に公表した。ガス循

環システムを導入し、ラドン起源のピークを1/10に低減し、また、波形持続時間を入れた解析を行い、ガンマ線除去能力を2倍に高めた。

## 26. 榊 直人 (青山学院大学)

「高山における大気発光現象と雲による反射、散乱の測定」

JEM-EUSO ミッションにおける雲上での夜光量を見積もるために乗鞍観測所において夜光観測を継続している。雲海が出るような天候にはならなかったが、新月期の300-400nm間の8波長帯での夜光スペクトルを得た。昨年度に比べ人工光の影響が大きかったと考えられる。

## 27. 立山 暢人 (神奈川大学)

乗鞍宇宙線観測所の屋内・屋外にポリイミドフィルム (PMD系PI[KAPTON<sup>®</sup>], [APIKAL<sup>®</sup>], BPDA系PI[UPILEX<sup>®</sup>-RN], [UPILEX<sup>®</sup>-S] 及び発泡体[UPILEX<sup>®</sup>-FOAM BF301]) を暴露し、宇宙線・紫外線による物理的変化や強度変化を調べた。結果: BPDA系PIは暴露初期に強度・伸びに増減が見られたが以後比較的安定していたのに対し、PMD系PIは強度・伸びともに減少傾向が見られ、BPDA系PIが耐久性に優れていることがわかった。

## 28. 吉田 健二 (芝浦工業大学)

「エマルションチェンバーによる高エネルギー宇宙線電子の観測」

気球観測による高エネルギー宇宙線電子の観測では、大気電子がバックグラウンドとなる。我々は、核相互作用モデルや一次宇宙線フラックスの不確定性の影響を受けない手法として、大気ガンマ線の観測データから大気電子スペクトルを推定する手法を開発しているが、Dalitz decayまで取り入れる等、その精密化を行った。

## 29. 増田 公明 (名古屋大学)

「Knee領域および最高エネルギー領域での宇宙線反応の実験的研究 (LHCf実験)」

LHC加速器が2009年12月に450GeVの陽子衝突を実現し、LHCf実験は約5,800の有効な事象を測定した。2010年1月にTAグループ等と今回の暫定解析結果と今後の測定に関して議論を行い、超高エネルギー宇宙線反応におけるハドロン相互作用モデルを検証する。

## 30. 鳥居 祥二 (早稲田大学)

「長期間気球観測による高エネルギー宇宙線加速天体の研究」

平成21年度にCALETプロタイプbCALET-2による気球による電子、ガンマ線観測を実施し、装置性能の実証化と1-100GeV領域の電子観測に成功した。2013年のISSへの搭載を目指してCALETの開発を実施している。

## 31. 榎本 良治 (宇宙線研究所)

「カンガルー実験およびTeV将来計画」

スピン・ダウン・ルミノシティが非常に大きなパルサーPSR B1706-44の周りに0.3度程度に広がったガンマ線天体を発見し、すぐにHESSによって確認された。またHESS J1614-518からのガンマ線を追確認した。他に査読論文3篇。

## 32. 野中 敏幸 (宇宙線研究所)

「テレスコープアレイ実験」

SDは安定に観測を継続している。LRFDステーションが無人化された。小型加速器は設置作業が完了しカメラ間更正のための可搬レーザーの製作も進んでいる。大気蛍光法による化学組成解析も進行中である。

## 33. 山本 常夏 (甲南大学)

「Auger計画の最高エネルギー宇宙線データの解析II」

本研究により、宇宙線研究所のコンピュータシステムを利用し、Pierre Auger観測所で収集された宇宙線観測データの解析を行った。この解析結果は共同研究者に定期的に配信され、より詳細な解析のために役立てられている。

## 34. 瀧田 正人 (宇宙線研究所)

「Tibet AS $\gamma$ 実験」

Tibet AS $\gamma$ 実験は、Knee領域全粒子エネルギースペクトルの尖りが近傍加速源からの重い原子核に起因する可能性のspeculation、6TeVでMILAGRO実験が主張している恒星時異方性のLOSS CONEの深さに関する年変化が観測されなかったこと、及びFERMI-LATのbright source listとTeV領域 $\gamma$ 線放射に有意な相関があることを報告した。

## 35. 常定 芳基 (東京工業大学)

「ボリヴィア空気シャワー共同実験」

Knee 領域以上の宇宙線をターゲットとした空気シャワーアレイが稼働中。また空気チェレンコフ光同時観測のための装置開発も進められている。太陽起源中性子検出器は順調に稼働中であり、今年度からは新たに大気放射線量計測も開始された。

### 36. 佐々木 真人 (宇宙線研究所)

「全天高精度素粒子望遠鏡計画 Ashra 観測」  
光学閃光の高効率広視野監視を継続し、計15シーズンで2000時間以上の積算観測時間を蓄積、全時間の19%という高 Duty を達成している。タウニュートリノ起源チェレンコフ観測に関しては、論文出版に向けて最終準備中である。また、広視野 TeV ガンマ線観測の準備として、ファイバーバンドルの製作やトリガー撮像用 HPD の開発を行っている。このように平成20-21年度の目標を達成しつつある。

### 37. 黒田 和明 (宇宙線研究所)

「大型低温重力波望遠鏡の開発・設計 (XI)」  
大型低温重力波望遠鏡 (LCGT) 計画は、世界に先駆け重力波を発見し、その後世界的な観測網の一翼を担うことにより、重力波天文学の創生と展開に貢献する計画である。平成23年度の概算要求に向け、TAMA と CLIO により確立された技術をもとに LCGT の詳細設計を進める一方で、LCGT 推進組織の充実をはかった。

### 38. 大橋 正健 (宇宙線研究所)

「神岡での重力波観測 (VIII)」

神岡レーザー干渉計 CLIO の近況を報告した。昨年度に常温ベスト感度（振り子と鏡の熱雑音で決まっている）を達成したので、鏡を冷却して熱雑音の低減による感度向上実験を行っている。

### 39. 三代木伸二 (宇宙線研究所)

「CLIO 用 Local Suspension Point Interferometer の開発 (I)」

CLIO の鏡を防振するための振り子の低温時における共振揺れ止め性能を向上するために、タンデム干渉計を2セット用意し、アッパーマスの光軸とヨーの動きを検知し、アクティブにその動きを制御する方法がとられ、アナログ、デジタルの両方において成功した。

### 40. 鈴木 敏一 (高エネルギー加速器研究機構)

「LCGT のための単結晶サファイア鏡懸架の開発 (V)」

LCGT 主鏡を懸架するロッドをサファイア製の部品から接着接合で組み立てるため、300K と4.2K において、接合サンプルの剪断強度を測定した。4.2K における最大剪断強度はほぼ40MPa に達し、300K に比べて4.2K での強度は上がっている傾向が見られた。

## 研究紹介

# 宇宙線が気候変動に与える影響を探る

宮 原 ひろ子

【宇宙線研究所】

## 1. はじめに

地球温暖化問題を受け、100年後の気候の予測を見据えた気候モデルの構築が現在盛んに進められている。人間活動が100年後の気候をどのように変えるのか、それを正確に見積もるには、気候システムの内的な気候駆動要因と、太陽活動や宇宙線変動などの外的要因を正確に理解し、気候モデルに余すところなく組み込むことが必要不可欠である。しかしながら、駆動の素過程が明らかでない、あるいはフォーシングに対する何らかの応答が少なくとも定

量的な数値として見積もられていないパラメータについては、モデルに組み込むことができない。外的要因の主要素である日射、太陽紫外線、宇宙線（図1参照）の中でも、宇宙線が果たす役割については特に理解が遅れており、未だ気候モデルには一切組み入れられていない。しかし、気候モデルに一般的に組み込まれるようになってきた日射量の変動だけでは過去の太陽活動と気候変動の関係を十分に説明することができないため、その溝を埋める1つの可能性として宇宙線に多大な注目が集まっている。

宇宙線が気候に影響している可能性については、

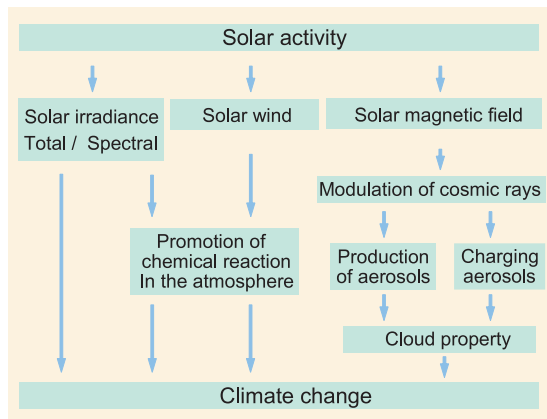


図1：太陽活動が気候変動に影響する主な経路。

1970年代から議論がなされてきた。宇宙線が気候変動に影響するメカニズムとしては、宇宙線が雲凝結核を作るというものと、宇宙線がエアロゾルの帯電率を増加させ雲を増やすというものがある。いずれも、宇宙線が雲量の変化を通して太陽からの放射エネルギーの収支を変化させ、結果として気候を駆動するというものであるが、詳細なプロセスはまだ解明の途上である。

宇宙線と雲の関係性についての理解が進まない理由は、一つはプロセスの複雑さにあるが、もう一方で、Svensmarkら（1997、2007）によって示された宇宙線量の11年変動と低層雲との相関の真偽についても、未だ激しい議論が進められている。雲被覆率データが、対象としている時間スケールに比べて寿命が短い衛星による観測に依存していることや、データが未だ30年足らずにしかないことが、宇宙線と気候変動の関わりを探る上での障壁となっている。

そこで我々は、宇宙線と気候変動とのかかわりの確証を得るため、また宇宙線の可変性を明らかにし、宇宙線に対する気候システムの応答について明らかにするため、プロキシ（代替指標）を用いて宇宙線と気候変動のデータを過去に拡張する作業を進めている。また、日々の気象に宇宙線が果たす役割についても明らかにすべく、衛星データを用いた研究も開始した。本稿ではそれらの研究について紹介するとともに、ここ2～3年の太陽活動異常とそれにとまう宇宙線の増加についても簡単に紹介する。

## 2. 太陽活動の長期変動と11年周期

宇宙線生成核種の1つである炭素14を用いた宇宙線変動の復元は1960年代に開始された。1980年代には過去約1万年間についての樹木年輪中の炭素14の10年値データが得られ、太陽活動の数十～数千年ス

ケールの変動について一通りの理解が得られた（Stuiver et al., 1989）。～90年、～200年の周期性のほか、1500～2400年程度の長周期が発見されている。ここ最近の太陽活動の様相としては、西暦900～1200年頃に中世極大期と呼ばれる活発期があり、その後、太陽活動極小期と呼ばれる数十年にわたる無黒点期が立て続けに4つ発生したことが知られるようになった（ウォルフ極小期、シュペーラー極小期、マウンダー極小期、ダルトン極小期）。19世紀以降は～90年程度の周期性で僅かな増減を見せつつも比較的太陽活動は安定して活発な時期を保っていた（以下に述べるが、最近その活発期が終わる兆しが見え始めている）。

我々は、未だ多くの謎が残る太陽ダイナモの長期変動の物理や宇宙線変調の物理に迫るため、屋久杉などを用いて炭素14データの時間分解能を1年値に向上させ、太陽活動の基本周期である11年周期の情報や宇宙線の詳細な可変性に関する情報を取得してきた。その結果、17世紀に発生したマウンダー極小期において11年周期が14年程度に伸びていたことや（Miyahara et al., 2004）、中世の太陽活動活発期に周期が多少短くなっていたことが明らかになってきた（Miyahara et al., 2008）。現在重点的に分析を進めている過去1200年間においては、一番短縮した場合で8～9年程度に、長い場合で～14～15年程度に伸びている。また、太陽活動極小期の発生直前の1～2太陽周期においてすでに周期の伸長が見られることが明らかになり、長期的な太陽活動低下を予測できる可能性がでてきた。

ここで、1996年に開始した太陽サイクルの異常についても簡単に触れておきたい。図2に示すように、1996年の中頃に開始した太陽サイクル23（太陽サイクルは1750年に開始したサイクルを起点としてカウントする）は、本来の太陽活動のリズムからすると、2007年頃に終了し太陽サイクル24に突入するはずであった。ところが、黒点数はようやく2009年の中頃

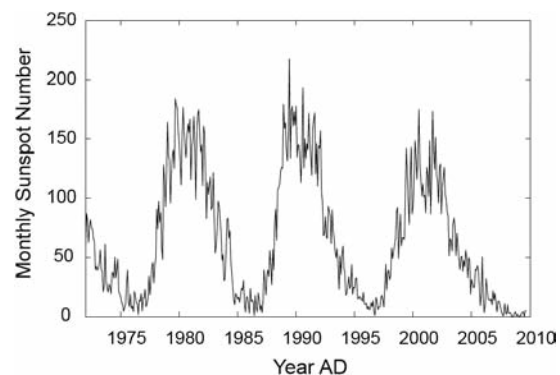


図2：過去40年間の黒点数の月平均値。

に増加の兆しが見え始めるまで減少を続けた。通常の11年周期のリズムが崩れ、マウンダー極小期のように周期が若干長くなっている。周期が伸びると次のサイクルのピーク時の太陽活動度が低くなることが経験則として知られており、数十年スケールで太陽活動が低い状態が続くことが示唆される。このような事態は実に約100年ぶりである。また、次サイクルも周期が伸びた場合は、マウンダー極小期のような大規模な太陽活動の低下が起こる可能性がある。しばらく太陽活動から目が離せない状態が続くそうである。

### 3. 太陽活動の長期変動の正確な理解に向けて

屋久杉の分析により明らかになった太陽の基本周期の伸縮は、過去の太陽活動度を厳密に復元するための一つの指標となる可能性を持っている。上述のように、太陽活動は宇宙線生成核種によって復元されるが、用いる核種や用いる試料の産地によって復元された長期変動に差異が見られる。たとえば、炭素14以外では氷床中のベリリウム10がよく用いられるが、氷床コアがグリーンランド産か南極産かによって復元された変動パターンに差が見られる。気候変動が降雪や核種の拡散に影響することなどが主な原因として考えられる。このような不確定性は、気候モデルへのインプットとして正確な太陽活動変動のシナリオが必要である際に問題となる。気候モデルの妥当性を検証する1つの方法として、中世温暖期と小氷期を再現するものがあるが、太陽活動の歴史が正確に決定されないうちはその再現実験にもそれほど意味がないということになる。この問題点を受けて、現在、太陽活動度の変化を正確に理解するために、宇宙線研所有の屋久杉のほか、最古のもので2万4千年前の埋没木年輪を用いて11年周期の復元を進めている。

### 4. 宇宙線の22年変動と気候変動

太陽活動の変動が気候変動に影響し得る経路はいくつかあるが(図1参照)、太陽放射と宇宙線が気候に与える影響を見分けることは、通常非常に難しい。数千年以下のスケールにおいては、太陽活動と宇宙線はほぼ同調して変動しているためである。宇宙線の到来量が日射量に関係なく変化する、地磁気変動あるいは銀河系内における太陽系の移動の時間スケールを対象とすることもできるが、通常それらの時間スケールは非常に長く、時代をさかのぼればさかのぼるほど、プロキシデータが得にくくなる、あるいはデータの誤差が大きくなるなどの問題点がある。

数千年以下のスケールにおいて、太陽放射と宇宙線の変動が唯一異なってくるのは、宇宙線変動に特有な22年変動である。図3に示すように、太陽サイクルの極大で反転する太陽双極子磁場の向きに応じて、地球への宇宙線の到来量の変動パターンには僅かながら差がある。さらには、太陽活動の長期変動にともなって太陽表面磁場の構造が変化するとその22年変動パターンが大幅に変化してくる可能性のあることが、宇宙線の太陽変調を数値シミュレーションによって調べた研究により分かってきている(Kota & Jokipii, 2001)。図4は、Kota & Jokipii (2001)の計算結果をもとに太陽活動の長期変動にともなう宇宙線変動パターンの変化を推定したものである。現在の宇宙線変動は、図4bに近い状態にあるが、太陽活動が低下すると図4aに変化する可能性があり、実際マウンダー極小期で宇宙線の22年変動パターンが図4aに近い状態であった可能性が高いことが、我々の炭素14の分析、グリーンランド氷床のベリリウム10(Berggren et al., 2009)の分析により明らかになってきた(Miyahara et al., 2009)。マウンダー極小期では、負極性の太陽サイクル極小時に宇宙線が急増し、結果的に22年変動が増幅するのが特徴的である(ただし、基本周期が14年に伸びているため、倍周期の実際の長さは28年である)。当時の気温を復元したデータと比較してみると、やはり28年変動が増大しており、28年間で最も宇宙線到来量が増加する負極性の太陽サイクル極小時に北半球で急激な寒冷化が認められている(Miyahara et al., 2008)。衛星データだけでは確認の持てなかった宇宙線と気候変動とのかわりか、マウンダー極小期までさかのぼることではっきり見えたことになる。

数値シミュレーションからの類推によれば、太陽活動が活発化した場合も図4cのように22年周期変動は増大する。中世活発期において気候変動から11年周期が失われ、22年変動が増幅していたことが謎であったが、それも宇宙線の変動パターンの特性でうまく説明できる可能性がある。日射量変動の場合は、言うまでも無く太陽活動が活発化すれば11年変動が増幅し、低下すれば11年変動は減少する。また、22年変動はほとんど見られない。マウンダー極小期では、宇宙線の変動パターンと太陽放射のパターンの違いが特に顕著になるため、太陽放射と宇宙線との影響が見分け易い時期といえる。

上述のように太陽活動が100年ぶりの低下を見せたことによって、現在宇宙線到来量は図5のように観測史上最高のレベルに達している。太陽表面の磁場構造はマウンダー極小期の状態にはまだ近づいて

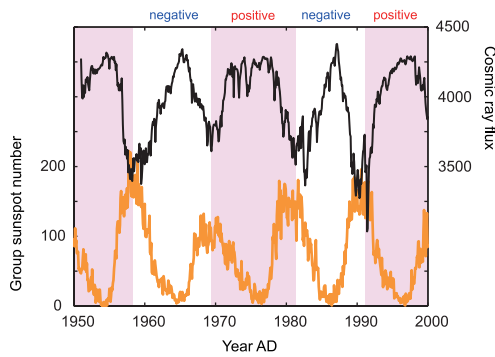


図3：黒点数変動（橙）と宇宙線変動（黒）。

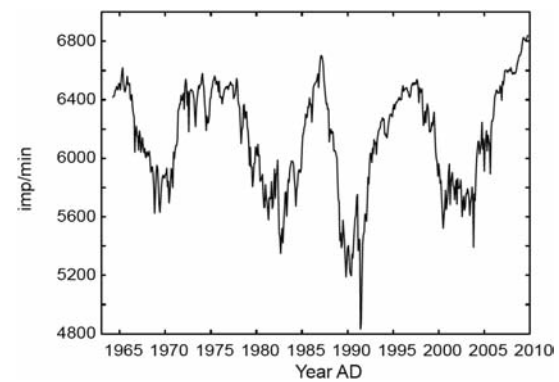


図5：オウル大学の中性子モニターによって観測された宇宙線量変動 (<http://cr0.izmiran.rssi.ru/oulu/main.htm>)。2009年後半から2010年にかけて、観測史上最高レベルを記録した。

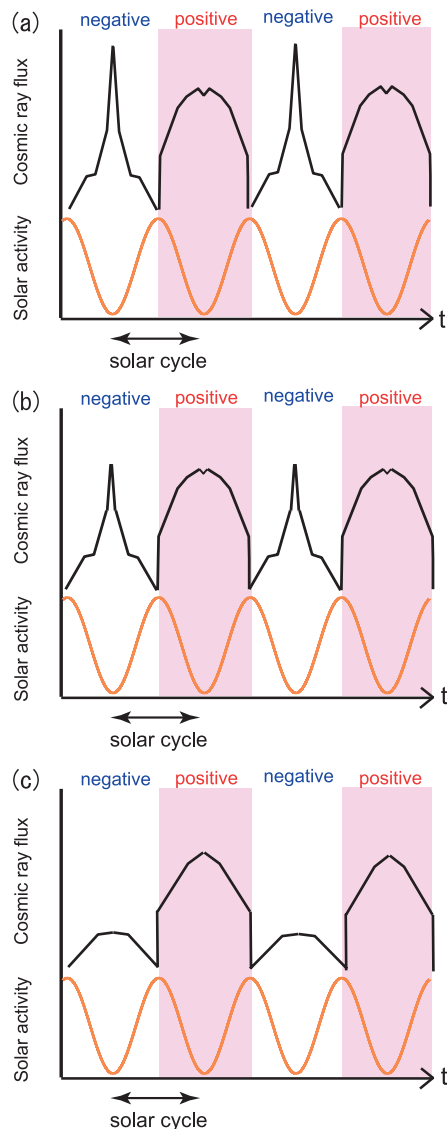


図4：それぞれ、(a) マウンダー極小期、(b) 通常時、(c) 中世活発期、の宇宙線変動（黒）と太陽サイクルの模式図（橙）。Kota & Jokipii (2001) による宇宙線（2 GeV proton）の太陽変動シミュレーションと、宇宙線生成核種のデータにもとづき、時系列パターンを作成した（Miyahara et al., 2009）。ただし、Solar cycle は、太陽活動の減増とともなって伸縮する。

いないが、太陽磁場強度が大きく低下したことが観測史上最大の宇宙線の増加をもたらしたと考えられる。太陽磁場の低下に加えて、太陽表面の磁場構造がマウンダー極小期のような状態に近づく、宇宙線量がさらに高いレベルに達することが予想される。

今年に入って、ワシントン DC に約100年ぶりの大雪が降ったことは記憶に新しい。宇宙線の約60年間の観測史上最高となる異常増加が気候変動に何らかの影響を及ぼしたのかどうか、その解明が急務である。

## 5. 太陽の自転と雲量変動

我々にとってより身近な時間スケールである太陽自転周期（27日周期）と気候変動との関連性も興味深い。太陽黒点の寿命が長いもので数週間におよぶことから、太陽の自転にともなって太陽放射、宇宙線とも変化する。ただし、この時間スケールにおいては、太陽放射と宇宙線の影響を見分けるのは困難である。

熱帯海域に生成する雲塊に30～60日程度の周期性がみられることは広く知られているが、その周期性が何によって決定されているのかは不明であった。そこで、雲塊の変動と太陽の自転周期との関係性を調べた。宇宙線と低層雲量に相関があることが指摘されて以来、より詳細な解析が進められ、宇宙線変動の影響を受容しやすい地域としにくい地域があることが多くの研究グループによって指摘されてきていたが、実際に、27日周期の影響を受容する地域は非常に限られていることが明らかになった。図6に示すように、海水温が高く雲生成が活発なインドネシアの近海でのみ雲量変化に27日周期が検出される。図7に示すように、27日周期とその倍の周期性がきれいなダブルピークとして検出されるのが特徴

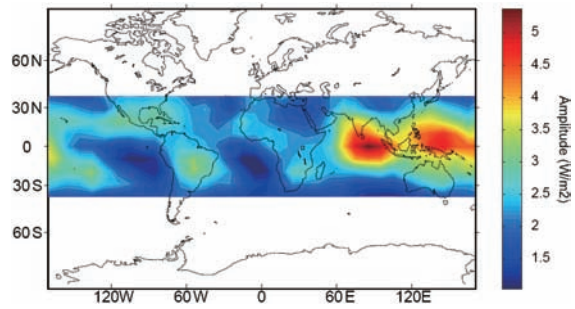


図6：OLR放射（雲量）の27日周期の振幅をマップにしたもの。赤い色ほど、27日周期にともなう変動振幅が大きいことを意味する。

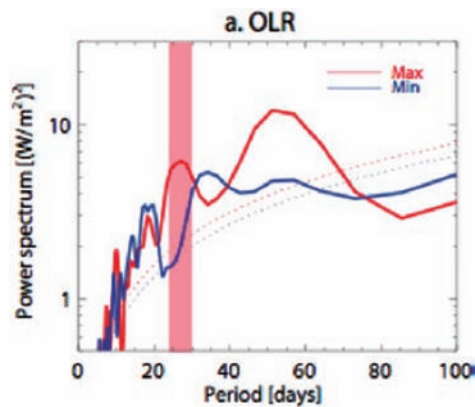


図7：太陽11年変動の活発期（赤）と衰退期（青）における雲の変動周期性（Takahashi et al., 2010）。赤い影が27日に対応する。黒点が多い太陽活動活発期にのみ太陽の自転周期の影響が雲量変動にみられる。

的である。これら2つの周期は、太陽活動の極大期にのみ検出されている。もともと内部振動によって準周期的に生成される雲塊のリズムを太陽活動が決定づけている可能性が高い。近い将来、太陽黒点の27日周期をモニターしながら天気予報を行う日が来るかもしれない。

## 6. まとめ

宇宙線が気候に与える影響について、樹木年輪の炭素14を用いた研究を中心に紹介した。樹木年輪によって得られる太陽活動や宇宙線変動の長期的な復元データは、太陽ダイナモ物理や宇宙線変調の基本原理の解明に役立つのみならず、長期的な気候変動予測への貢献も期待できる。また、現在我々は屋久



図8：屋久杉の埋没木（切り株）の調査（左上）。幼樹の切り株（右上）。宇宙線研所有の屋久杉の切り株（左下）。成長錐によって採取した年輪コア。

杉（図8）をはじめ日本各地の樹木を用いた気候変動の復元も進めている。これらのデータをもとに、宇宙線に対する気候システムの複雑な応答を明らかにし、気候変動の理解に役立てていきたいと考えている。

## 参考文献

- A.-M. Berggren et al., 2009, Geophys. Res. Lett., 36, L11801.
- J. Kota, J. R. Jokipii, 2001 Adv. Space Res., 27, 529.
- H. Miyahara, K. Masuda, Y. Muraki, H. Furuzawa, H. Menjo, T. Nakamura, 2004, Sol. Phys., 224, 317.
- H. Miyahara, Y. Yokoyama, K. Masuda, 2008, Earth Planet. Sci. Lett., 272, 290.
- H. Miyahara, Y. Yokoyama, Y. T. Yamaguchi, 2009, Proc. IAU Symp. No. 254, 427.
- M. Stuiver, T. F. Braziunas, 1989, Nature, 338, 405.
- H. Svensmark, E. Friis-Christensen, 1997, J. Atmos. Solar-Terrestrial Phys., 59, 1225.
- H. Svensmark, 2007, Astron. Geophys., 48, 118.
- Y. Takahashi, Y. Okazaki, M. Sato, H. Miyahara, K. Sakanoi, P. K. Hong, 2010, Atmos. Chem. Phys., 10, 1577.

## 人 事 異 動

| 発 令 日     | 氏 名             | 異 動 内 容 | 職     |
|-----------|-----------------|---------|-------|
| H22. 1. 8 | RUBTSOV Grigory | 新規採用    | 特任准教授 |
| H22. 2. 1 | 平 出 克 樹         | 新規採用    | 特任助教  |

## ICRR-Seminar 2009年度

12月11日(金) 今井 憲一氏(京都大学 理学研究科)

“Search for dark matter axion with Rydberg atom”

1月29日(金) 寺澤 敏夫氏(東京大学 宇宙線研究所)

“宇宙線空気シャワーのレーダー観測の R/D”

2月22日(月) 齋藤 直人氏(KEK)

“Challenges for New Muon g-2/EDM experiment at J-PARC”

## ICRR-Report 2009年度

ICRR-Report-556-2009-18 (December 23, 2009)

“Implications of CDMS II result on Higgs sector in the MSSM”

Junji Hisano, Kazunori Nakayama, and Masato Yamanaka

ICRR-Report-557-2009-19 (January 11, 2010)

“Stau relic density at the Big-Bang nucleosynthesis era consistent with the abundance of the light element nuclei in the coannihilation scenario”

Toshifumi Jittoh, Kazunori Kohri, Masafumi Koike, Joe Sato, Takashi Shimomura, and Masato Yamanaka

ICRR-Report-558-2009-20 (February 3, 2010)

“Gravitational waves from kinks on infinite cosmic strings”

Masahiro Kawasaki, Koichi Miyamoto and Kazunori Nakayama

ICRR-Report-559-2009-21 (February 8, 2010)

“Gravitational Waves from Collapsing Domain Walls”

Takashi Hiramatsu, Masahiro Kawasaki, and Ken'ichi Saikawa

No.72

2010年3月15日

東京大学宇宙線研究所

〒277-8582 千葉県柏市柏の葉5-1-5

TEL (04) 7136-3143又は0578-85-9609(神岡)

編集委員 佐々木真人 安部 航