

## 23. 宇宙線研究所

I	宇宙線研究所の研究目的と特徴	23-2
II	「研究の水準」の分析・判定	23-4
	分析項目 I 研究活動の状況	23-4
	分析項目 II 研究成果の状況	23-12
III	「質の向上度」の分析	23-16

## I 宇宙線研究所の研究目的と特徴

### 1 宇宙線研究所の研究の基本方針

宇宙線研究所は、共同利用・共同研究拠点として、非加速器素粒子物理学・素粒子天体物理学を含む広い意味の宇宙線物理学及び関連する研究を行う。宇宙粒子線を研究手段として動的な宇宙の解明を目指すとともに、加速器物理の伝統的手段とは異なる方法で素粒子物理の研究を行う。(資料 23-1、資料 23-2)

### 2 東京大学の研究の目標との関連

東京大学の中期目標の方針「総合研究大学として、人文学・社会科学から自然科学に至るまで多様な分野で世界最高水準の研究を実施すること」、「徹底した大学改革と教育研究の国際化を全学的に推進し、国際協力関係を醸成して、我が国の世界的存在感を高め、ひいては国際競争力を強化するとともに、魅力溢れるトップレベルの教育研究を行い、人類社会に貢献する」ことに従い、基本方針に記した研究を行う共同利用・共同拠点として、宇宙線研究所は国内外の研究者コミュニティに貢献する。

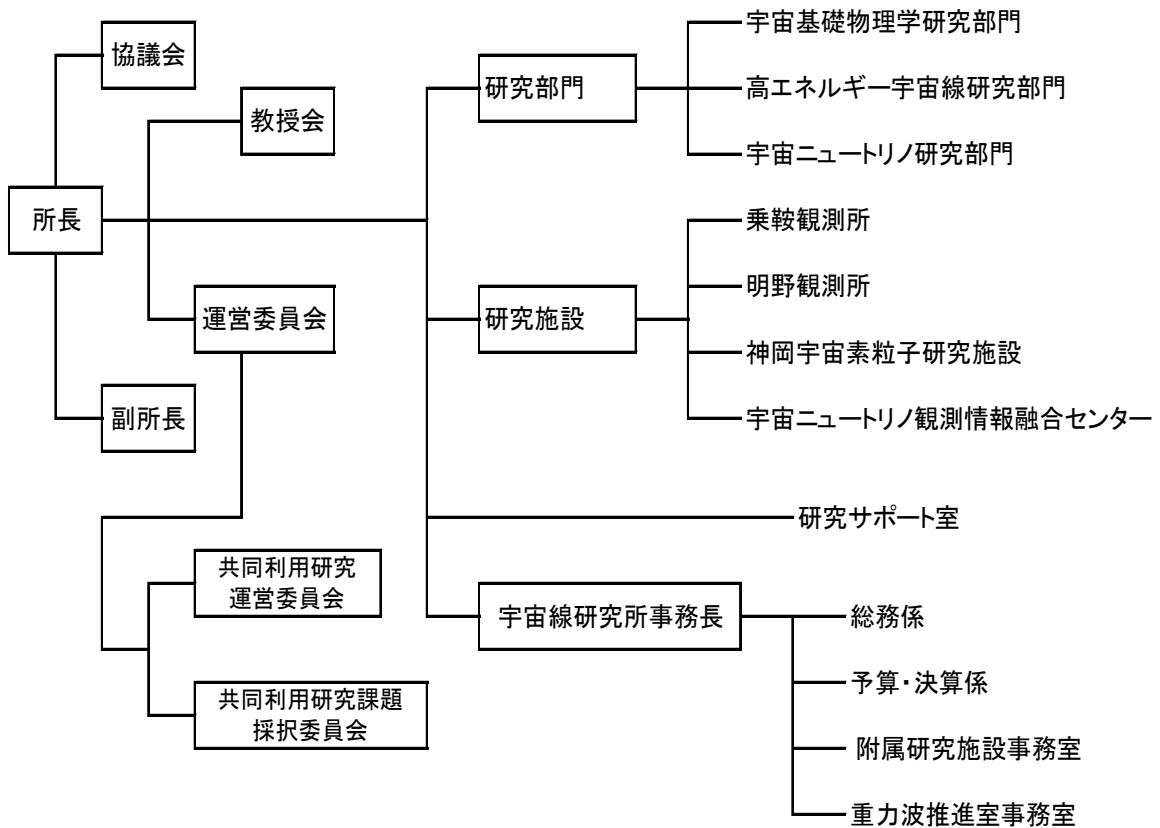
### 3 達成しようとする基本的な成果

- 1) 長い間の謎である宇宙線の起源の問題に解決の手掛りを探り、宇宙における非熱的現象の研究を行う。また最高エネルギー宇宙線の謎を解明することを目的とした研究を行う。
- 2) 宇宙ニュートリノ研究とニュートリノ振動研究をとおして素粒子物理の研究を行う。また、その他の宇宙物理学・非加速器素粒子物理学における重要課題にも挑む。
- 3) 宇宙での爆発現象などから発生する重力波の検出と重力波天文学分野の創成を目指す。
- 4) 宇宙論の定量的検証、及び多様な天体物理学の定量的研究を行う。
- 5) 広い意味での宇宙線物理学に関わる、小規模ではあるが伝統的な研究を継続すると共に、新しい発想に基づく実験的及び理論的研究を推進する。

#### [想定する関係者とその期待]

宇宙線研究所の想定する関係者とは、世界の宇宙線物理学及び近隣研究分野の研究者並びに全国共同利用の研究者である。またその期待は、学部や研究科では建設や維持が困難である大型研究設備を用いて、上記 3 で記述した宇宙線に関係する科学的研究成果を達成することである。

<資料 23-1 「東京大学宇宙線研究所組織図」>



<資料 23-2 「東京大学宇宙線研究所規則（抜粋）」>

東京大学宇宙線研究所規則  
 (平成16年4月1日 東大規則第75号)

(趣旨)

第1条 この規則は、東京大学基本組織規則(以下「基本組織規則」という。)に定めのあるもののほか、東京大学に附置する宇宙線研究所に関し、必要な事項について定める。

(目的)

第2条 東京大学宇宙線研究所(以下「研究所」という。)は、非加速器素粒子物理学・素粒子天体物理学を含む広い意味の宇宙線物理学および関連する研究を行うことを目的とする。

(全国共同利用)

第3条 研究所は、学校教育法施行規則(昭和22年文部省令第11号)に定める共同利用・共同研究拠点として、他大学の教員その他の者で研究所の目的たる研究と同一の研究に従事するものにその施設を利用させることができる。

・・・<中略>・・・

(研究部門)

第7条 研究所に、次に掲げる研究部門を置く。

- 宇宙ニュートリノ研究部門
- 高エネルギー宇宙線研究部門
- 宇宙基礎物理学研究部門

II 「研究の水準」の分析・判定

分析項目 I 研究活動の状況

観点 研究活動の状況

(観点に係る状況)

宇宙線研究所では、前項の達成目標を目指して様々な研究活動を推進している。資料 23-3①、②に宇宙線研究所における主な研究プロジェクトについて示した。これらのほとんどは国際共同研究として推進されている。これらの研究活動は 2013 年に外国人 4 人を含む 8 人の委員で行われた外部評価報告において高く評価されている (資料 23-4)。

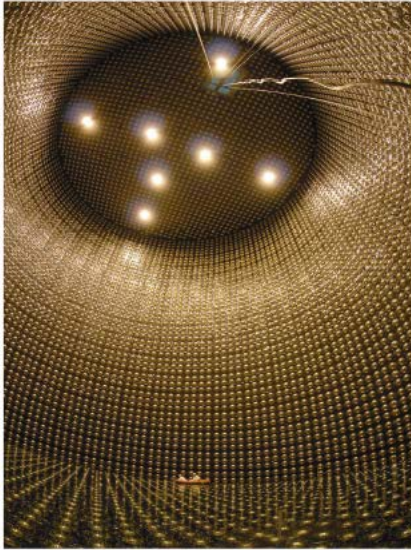
<資料 23-3-① 宇宙線研究所が関わる第 2 期中期目標期間における主な研究プロジェクト>

研究プロジェクト名 (主な研究分野、装置設置場所)	宇宙線研究所の 研究部門	外国人研究者数(日 本以外の参加国数)	日本人研究者数(参 加研究機関) 注：含宇宙線研	現在の状況	備考
スーパーカミオカンデ (ニュートリノ、岐阜県神岡)	宇宙ニュートリノ	63 人 (7 カ国)	76 人 (12 機関)	観測中	○
T2K (ニュートリノ振動、 日本(茨城県東海及び岐阜県神岡))	宇宙ニュートリノ	357 人 (10 カ国)	94 人 (7 機関)	観測中	○
XMASS (暗黒物質、岐阜県神岡)	宇宙ニュートリノ	8 人 (1 カ国)	33 人 (9 機関)	観測中	○
CANGAROO (ガンマ線、オーストラリア)	高エネルギー 宇宙線	7 人 (1 カ国)	46 人 (12 機関)	第 2 期中期目標 期間中に終了 (2011 年度)	○
CTA (ガンマ線、スペイン及びチリ)	高エネルギー 宇宙線	1100 人 (31 カ国)	107 人 (28 機関)	建設中	
テレスコープアレイ (TA) (最高エネルギー宇宙線、 米国・ユタ州)	高エネルギー 宇宙線	46 人 (4 カ国)	70 人 (16 機関)	観測中	○
チベット AS-γ (高エネルギー宇宙線・ガンマ線、 中国・チベット)	高エネルギー 宇宙線	49 人 (1 カ国)	36 人 (15 機関)	観測中	○
CLIO (重力波、岐阜県神岡)	宇宙基礎物理学	0 人 (0 カ国)	17 人 (7 機関)	観測中	
KAGRA (重力波、岐阜県神岡)	宇宙基礎物理学	78 人 (13 カ国)	161 人 (43 機関)	建設中	○

注：○は宇宙線研究所がホスト研究機関となつて行う国際研究プロジェクトである。

<資料 23-3-② : 宇宙線研究所の観測装置・計画一覧>

スーパーカミオカンデ  
(ニュートリノ研究)



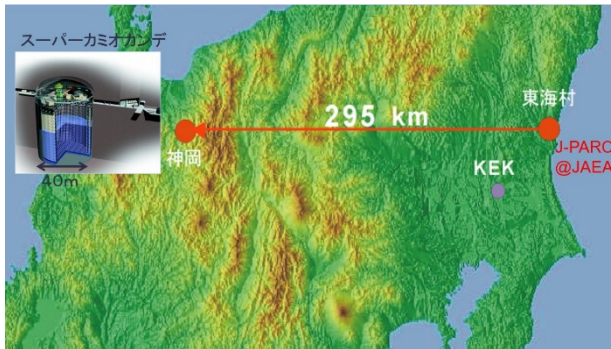
チベット空気シャワー検出器



最高エネルギー宇宙線望遠鏡TA



T2K 実験 (超基線ニュートリノ振動実験)

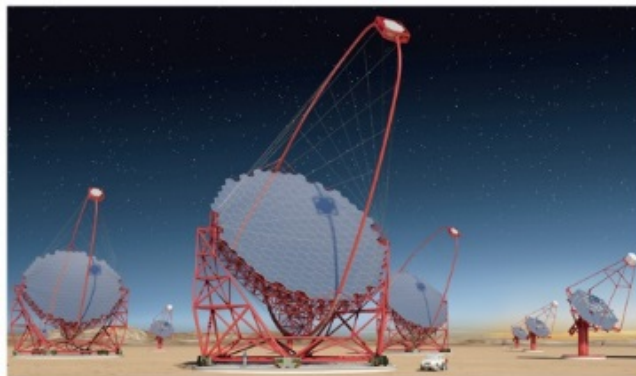


大型低温重力波望遠鏡 KAGRA



<資料 23-3-③ : C T Aガンマ線望遠鏡 (スペイン領ラパルマ島、2015年10月着工) >

C T A 想像図 (C T A コンソーシアム提供)



<資料 23-4 「2013年宇宙線研究所外部評価レポートの抜粋 (和訳)」 >

「2013年宇宙線研究所外部評価委員会報告書」の和訳 (抜粋)

1a. 研究活動全般に関する概要

前回2006年の外部評価以降、宇宙線研究所が主宰または共同主宰した各種プロジェクト・プログラムからは衆目を集める数多くの研究成果が挙っている。本委員会では以下の業績を特に賞賛する。

- スーパーカミオカンデはニュートリノ宇宙物理学において引き続き世界を先導してい

る。  $\theta_{23}$  混合角を  $0.39 < \sin^2 \theta_{23} < 0.63$  の範囲で決定し、 $\nu\tau$ 出現の証拠を初めて得た。

- T2Kは $\nu\mu \rightarrow \nu e$ 振動の兆候を初めて観測した。これは  $\theta_{13}$ 混合角が零でないことを意味する。それに加え、同研究グループは $\nu\mu$ 消失現象の初めての解析結果を発表し、パイ中間子の Off-axis ビームを用いた  $\theta_{23}$ と $\Delta m^2_{32}$ の計測も行った。これは今後の T2K の成功の見込みを更に強めるものである。
- 宇宙線空気シャワー実験およびガンマ線天体物理学についてまとめる。テレスコープアレイは超高エネルギー宇宙線 (UHECR) のエネルギースペクトルが  $4 \cdot 10^{19}$ eV 以上において急激に減少することを確認した。一方、チベット ASyは数 10TeV のエネルギー領域において、はくちょう座領域やパルサーに関連づけられるガンマ線を検出した。
- 観測的宇宙論グループは、かつて宇宙線研究所が SDSS に関与したときのように、Hyper Suprime-Cam と ALMA サブミリアレイにより取得されたデータの解析作業に着手したところである。また、素粒子物理学、宇宙物理学の理論的な研究活動は国際的に広く評価されている。

本委員会は、この困難な時代に数々の新規プロジェクト・プログラムを成功裡に立ち上げたことに対し、宇宙線研究所とその関連共同研究機関および関連科学コミュニティに賛辞を贈る。最も注目すべきは、神岡鉱山に設置される斬新な重力波検出器 (KAGRA) である。また、23m チェレンコフ望遠鏡を建設するための大型科学研究費を獲得したが、これは国際プロジェクト「チェレンコフ望遠鏡アレイ (CTA)」に日本がより大きく貢献する第一歩となる。さらに、神岡鉱山で行われる二つの実験、ダークマター探索をめざす XMASS、過去の超新星からのニュートリノ探索を目指す GADZOOKS!はフルスケールの完成に向けて着実な進展を示している。

今や、宇宙線研究所は科学の広汎な分野に関わる学際的研究機関として認知されるようになった。

本委員会が、進行中・建設中・提案中にある多彩なプロジェクト・プログラム間の検討を進めるにつれ、宇宙線研究所がそのプロジェクト/プログラム運営の歴史において新たな時代を迎えていることが明らかになった。宇宙線研究所はこれまでも、AGASA や CANGAROO、カミオカンデといった大規模な実験における施設建設や運用のように、大学の小規模なグループでは維持することの困難な支援や業務の提供を日本の宇宙線研究コミュニティから委任され、これを遂行してきた。予算面で 10 億円、人的資源では 5 名の宇宙線研究所スタッフがそれらの典型的な規模である。ここで、高エネルギー研究所 (KEK) と東京大学理学部との大規模な共同研究であったカミオカンデは例外である。カミオカンデは幾度かに渡って改良を重ね、今では約 110 人のメンバーからなる大規模な国際共同研究計画であるスーパーカミオカンデ (Super-K) に至っている。現在 KAGRA が予算面および技術上の複雑さにおいて Super-K を凌駕しつつあるが、これは 100 人を超える技術者や科学者が必要となることを意味するものである。CTA、XMASS-1.5、そして次期 TA 計画には、おそらくそれぞれ 15~50 億円の予算が要求されるが、これは科学研究費の上限に近いが、または超えている。ハイパーカミオカンデ (Hyper-K) に至っては 500 億円を超える予算が要求されるであろう。これらに必要となる予算や人的資源の総計は、宇宙線研究所のこれまでの運営規模を大きく超えるものとなる。それゆえに、宇宙線研究所は提案されているプロジェクトやプログラムに明確な優先基準を設ける必要がある。また予算要求や人員配置に関して戦略的に計画を立ていくことも必要である。

宇宙線研究所が東京大学のメインキャンパス (本郷キャンパス) での大学院プログラムの強化により多くの力を注ぎ込み始めていることは大変喜ばしいことである。学部生を対象とする宇宙線研究所スプリングスクールの開校は賞賛されるべきものであり、これらの努力が既にプラスの結果をもたらしていることを知って、本委員会としては喜ばしく思っている。

本委員会は、宇宙線研究所所長・梶田隆章教授が 2012 年日本学士院賞を受賞されたことにお祝いを申し上げる。この受賞は、ニュートリノ振動の発見に梶田教授、宇宙線研究所、そしてカミオカンデ/Super-K グループが果たした偉大な貢献を証するものである。

注 1 : 本抜粋は、報告書のうち、「研究活動全般に関する概要」の部分をそのまま抜き出したものである。

注 2 : 本外部評価委員会は平成 25 年 1 月 16-18 日 (3 日間) に開催された。

注 3 : 外部評価委員名簿

Halzen, Francis: ウィスコンシン・マディソン大学・教授

Hofmann, Werner: マックスプランク核物理学研究所 (ハイデルベルク)・所長 海部宣男: 放送大学・教授、国立天文台・名誉台長 釜江常好 (議長): スタンフォード大学、東京大学・名誉教授 西村純: 宇宙科学研究所、東京大学・名誉教授 Reitze, David: カリフォルニア工科大学 LIGO 研究所・理事 鈴木厚人: 高エネルギー加速器研究機構・機構長 Watson, Alan: リーズ大学・教授
--

上記の状況を踏まえ、以下、[1] 各プロジェクトの研究活動状況、[2] 研究成果発表等の状況、[3] 研究資金の獲得状況、[4] 研究推進方策の状況、の4項目に分け、それぞれを詳述する。

[1]各プロジェクトの研究活動状況

資料 23-5 に各プロジェクトについての活動状況が記載されているように、宇宙線研では第2期中期目標期間 (以下「第2期」) において、実験装置の本格的運用による実験・観測データの蓄積を行うとともに、新たな実験装置の建設によるさらなる実験の精密化・高度化を目指すなど研究活動が活発に行われている。

<資料 23-5 各プロジェクトについての研究活動状況>

	実験等名	研究活動状況
[1-1]	スーパーカミオカンデ実験	第1期中期目標期間 (以下「第1期」) に引き続き大気・太陽ニュートリノの精密観測を行いニュートリノ振動の全貌解明を目指すとともに、新たにガドリニウム (Gd) を純水に溶かし、中性子を同時計測することによって宇宙の初めからの超新星爆発ニュートリノを捉える計画 (SK-Gd 計画) を進め、2015 年度までに試験用タンクでの実証試験を行った。
[1-2]	T2K 実験	第1期に建設を終え、第2期には第3のニュートリノ振動モードから予想されるミュー型ニュートリノが電子型ニュートリノに変化する現象の探索、およびニュートリノ振動パラメータの精密測定をおこなった。
[1-3]	XMASS 実験	暗黒物質直接検出を目指し、2010 年に 800kg の液体キセノンを観測装置に導入し、コミッションングランを 2012 年6月まで行った後、2013 年11月から本格的な暗黒物質探索のための連続データ取得を開始した。
[1-4]	CTA 実験	高エネルギーガンマ線望遠鏡感度の革新を目指す国際計画で、第2期において、科研費 (特別推進研究) による大型望遠鏡 LST の試作を行い、2015 年10月にスペイン領ラパルマ島への設置工事が開始された。
[1-5]	テレスコープアレイ (TA) 計画	最高エネルギー宇宙線の起源と伝搬機構の解明を目指して最高エネルギー宇宙線事象データを蓄積し、さらに、統計精度の大幅向上と低エネルギーへの拡張を目指し、TAX4 計画 (科研費特別推進研究)、TALE 計画 (科研費基盤 S) の2つを2015年度に開始した。
[1-6]	チベット AS- $\gamma$ 実験	第1期に引き続き宇宙線・宇宙ガンマ線の観測を行い、宇宙線の異方性観測を1太陽周期以上の長期間に観測し、太陽近傍の磁場構造の解明に向けた貴重なデータを得た。
[1-7]	CLIO 実験	第1期に引き続きレーザー干渉計における鏡の熱雑音低減のために鏡を極低温に冷却する手法の実証実験を行った。
[1-8]	KAGRA 重力波望遠鏡	重力波天文学の創始と超強重力場での重力の研究を目指して2010年に建設を開始し、2013年度のトンネル掘削完了を経て、真空パイプや光学系の設置及びネットワークを含む計算機制御システムの構築を進め、2016年3月に試験運転を実行した。

[2]論文や学会での研究成果発表等の状況

宇宙線研究所の教員は活発な研究活動をしており、最終成果の英文査読付国際的学術誌への報告と共に、国内外での研究集会での研究成果の報告を頻繁に行っている (資料 23-

## 東京大学宇宙線研究所 分析項目 I

6)。資料 23-6 によれば第 1 期における査読論文、プロシーディングス論文の合計数（年平均）は 54.5、60.8 であり、第 2 期においてもほぼ同数の高水準（それぞれ 47.3、41.7）が維持されている。（見かけの論文数とプロシーディングス論文数が減少しているのは、第 1 期は総論文数で算出したのに対し、第 2 期は主著者（第一著者あるいはコレスポンディング著者）が研究所構成員である論文数で算出したためである）。

### <資料 23-6 「研究成果発表数(2010-2015 年度)」>

査読付き国際的学術雑誌に出版された論文数								
（研究所教員・大学院学生が主著者（第一著者またはコレスポンディング著者）である論文に限る。なお、実験系の論文では、大学院学生が主著者である場合、指導教員である研究所教員が含まれるのが通例であるが、理論系の場合には大学院学生のみによる論文の場合もある。）								
(年度)	第 1 期 年平均	2010	2011	2012	2013	2014	2015	合計
宇宙ニュートリノ研究部門 (14)	9.25	6	6	11	4	14	9	50
高エネルギー宇宙線研究部門 (14)	5	8	4	7	9	4	7	39
宇宙基礎物理学研究部門 (9)	40.3	33	25	27	30	42	38	195
合計(37)	54.5	47	35	45	43	60	54	284
国際会議等での発表にもとづくプロシーディングス論文等								
	第 1 期 年平均	2010	2011	2012	2013	2014	2015	合計
宇宙ニュートリノ研究部門 (14)	19.3	14	10	6	12	3	15	60
高エネルギー宇宙線研究部門 (14)	28.8	19	29	7	54	10	48	167
宇宙基礎物理学研究部門 (9)	12.8	3	10	4	4	0	2	23
合計(37)	60.8	36	49	17	70	13	65	250

注：各研究部門の 2015 年度の専任教員数を括弧内に示す。また第 1 期年平均値は第 1 期の現況調査表を参考に算出した。

### [3] 研究資金の獲得状況

研究を支える研究資金の多くは科研費などの外部資金である。研究所の主要なプロジェクトであるチベット AS- $\gamma$  実験、TA 計画、XMASS 実験、CTA 実験などは科研費によって支えられてきたプロジェクトであり、科研費は研究所の研究活動に無くてはならない財源となっている。科研費等は競争的な資金であり、一般に年度ごとの変動が大きい。宇宙線研究所では 2010 年以降、専任教員あたり毎年約 1 件の研究資金を獲得しており、第 1 期に引き続き高い水準を維持している（資料 23-7）。

### <資料 23-7 「外部資金の獲得状況」>

単位：百万円								
(年度)	第 1 期 年平均	2010	2011	2012	2013	2014	2015	合計
科研費	331(22)	307(23)	311(28)	305(26)	282(30)	328(29)	499(37)	2,032(173)
受託研究	116(3)	29(2)	35(1)	0(0)	36(2)	38(2)	17(1)	155(8)
民間等との 共同研究	0(0)	1(1)	1(1)	0(0)	3(1)	0(0)	1(1)	6(4)
寄付金	17(3)	1(3)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(3)
合計	464(28)	338(29)	347(30)	305(26)	321(33)	366(31)	517(39)	2,194(188)

注：括弧内は件数。第 1 期年平均値は第 1 期の現況調査表を参考に算出した。



[4]研究推進の方策とその効果

4-1) 2013年度にリサーチ・アドミニストレータ1名の雇用を開始し、それと同時に研究サポート室を設置して、研究所の関係する研究を様々な形でサポートしている。具体的な成果をあげれば、2015年度の科研費の申請にあたり、希望者に宇宙線分野の研究者ではない立場で申請書を読んでアドバイスする活動（所内レビューと呼んでいる）を行い、所内レビューを受けた申請15件に対し、採択数8件と53.3%の高採択率（レビュー未実施32.1%、本学全体37.4%）を得た。

4-2) 一般向けの情報発信活動として、講演会や公開講座等のさまざまなアウトリーチ活動を毎年継続して実施している。資料23-8に小規模な一般講演会（SSH等での講義を含む）や他機関から依頼されて講師を派遣した講演会も含む実施件数の推移を示した。ここ数年増加傾向で、特に、2015年には合計55回であり、第1期よりも活発に情報発信活動をしている。そのうちの主なイベントを資料23-9に示す。

<資料23-8 一般向け情報発信活動実施件数の推移>

(年度)	第1期 年平均	2010	2011	2012	2013	2014	2015
一般向け情報発信活動	20.5	32	25	13	37	43	55

<資料23-9 一般向け情報発信活動として行った主なイベント（2015年度の例）>

イベント名	開催日	参加者数
第12回東京大学宇宙線研究所・カブリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli IPMU) 合同一般講演会	2015年4月18日	382人
ジオ・スペース・アドベンチャー 及びGSAサイエンスセミナー	2015年7月18, 19日(2日間)	計850人
ひらめきときめきサイエンス	2015年8月3, 7日(2日間)	計53人
東京大学柏キャンパス一般公開2015	2015年10月23-24日(2日間)	4880人
一般相対性理論誕生100年記念市民講演会	2015年11月7, 14日(2日間)	計220人
富山市科学博物館サイエンスカフェ	2016年1月15日	50人
スプリングスクール2016	2016年3月8-12日(5日間)	30人

(水準) 期待される水準を上回る。

(判断理由)

研究成果発表数・研究資金獲得件数ともに第1期に引き続き高い水準を維持しており、研究活動が活発に行われている。また、各プロジェクトの研究活動においては、実験装置の本格的運用による実験・観測データの蓄積を行うとともに、新しい研究活動を多方面に展開している。外部評価委員会報告にも明らかなようにこれらの活動は世界的に高い評価を得ている。第2期において特筆すべきなのは、重力波観測装置「KAGRA」の試験運転開始、高エネルギーガンマ線望遠鏡 (CTA) の工事開始、最高エネルギー宇宙線観測計画 (TA) の拡張工事開始、スーパーカミオカンデにおけるSK-Gd計画の実証実験成功、暗黒物質探索実験XMASSの開始であり、いずれも数年後に目覚ましい成果を挙げるものと期待されている。また、アウトリーチ活動も第1期より活発に行っている。このことから想定する関係者の期待する水準を上回ると判断する。

**観点 大学共同利用機関、大学の共同利用・共同研究拠点に認定された附置研究所及び研究施設においては、共同利用・共同研究の実施状況**

(観点に係る状況)

宇宙線研究所は、共同利用・共同研究拠点として共同利用研究を重視している。研究所教員であっても、共同利用研究に申請し、認められた上で研究を遂行することが求められている。また、大型計算機システムや観測施設内の設備等を含めて宇宙線研究所の管理・保有する全ての研究設備を共同利用に供している。

資料 23-10 の共同利用の研究件数が示すように、研究所専任教員数 (37 名) の約 3 倍の件数の共同利用研究が取り組まれている。第 1 期と比べた研究件数の増加率(第 1 期年平均数 91.25→第 2 期年平均数 109.3 で 20%増)に比べ、共同利用研究員受入数の増加率(1178→2272 で約 93%増)が高いが、それは T2K、KAGRA、CTA の大型国際プロジェクトの開始により、国内外の共同研究者数が急増したからである。更に、資料 23-11 に共同利用研究の一環として行われた研究会及び共同利用研究者に開かれたセミナーの実施件数 (研究会は第 1 期 6→第 2 期 22 で約 267%増。セミナー件数は横ばい (17→15.5) だが、これはセミナー開催回数をこれ以上増やすことが物理的に不可能だからである) を示す。資料 23-12 には 2015 年度に開催された主な研究会を示す。

<資料 23-10 「共同利用研究の受入件数と共同利用研究員受入人数」>

共同利用研究受入件数							
(年度)	第 1 期 年平均	2010	2011	2012	2013	2014	2015
宇宙ニュートリノ研究部門 (14)	40.25	42	43	45	45	47	39
高エネルギー宇宙線研究部門 (14)	43.5	42	46	43	49	48	50
宇宙基礎物理学研究部門 (9)	7.5	12	15	17	23	24	26
合計(37)	91.25	96	104	105	117	119	115
共同利用研究員受入数							
(年度)	第 1 期 年平均	2010	2011	2012	2013	2014	2015
宇宙ニュートリノ研究部門 (14)	584	888	894	1071	1168	930	870
高エネルギー宇宙線研究部門 (14)	459	669	937	868	952	1001	1021
宇宙基礎物理学研究部門 (9)	135	192	285	353	470	543	522
合計(37)	1178	1749	2116	2292	2590	2474	2413

注：第 1 期年平均値は第 1 期の現況調査表を参考に算出した。

<資料 23-11 「共同利用の一環としての研究会及び ICRR セミナー実施件数の推移」>

(年度)	第 1 期 年平均	2010	2011	2012	2013	2014	2015
共同利用による研究会	6	12	29	29	21	25	17
ICRR セミナー	17	16	22	17	10	12	16

注：第 1 期年平均値は第 1 期の現況調査表を参考に算出した。

<資料 23-12 「共同利用研究の一環として行われた主な研究会 (2015 年度の例)」>

研究会名	開催日	参加者数
GPAW2015(重力波研究国際会議)	2015 年 6 月 17-20 日(4 日間)	133 人
The workshop for Neutrino Programs with facilities in Japan	2015 年 8 月 4-6 日(3 日間)	74 人
第 10 回 TeV Particle Astrophysics (TeVPA) 国際会議	2015 年 10 月 26-30 日(5 日間)	169 人

東京大学宇宙線研究所 分析項目 I

10th International Workshop on Neutrino-Nucleus Interactions in the Few-GeV Region	2015年11月16-21日(5日間)	109人
H27年度共同利用研究成果発表会	2015年12月18, 19日(2日間)	112人
高エネルギーガンマ線でみる極限宇宙 2015	2016年1月13, 14日(2日間)	68人

共同利用研究に関して特徴的なことは、宇宙線研究所の実施する共同利用研究課題の多くはスーパーカミオカンデに代表されるような大型実験装置を大きな研究グループとして共同利用するものの、個々の課題は比較的少人数の研究者により構成され、そのメンバーの科学的興味にもとづいて研究を遂行していることである。すなわち、大きい研究グループにあっても、研究者の科学的興味に従って研究が遂行できる仕組みになっている。このように本研究所では共同利用研究は活発に行われている。

(水準) 期待される水準を上回る

(判断理由)

共同利用研究の受入件数と共同利用研究員受入人数、研究会開催数は第1期と比較して大幅に増加しており、共同利用・共同研究が活発に行われていることを示している。このように宇宙線研究所の共同利用・共同研究の実施状況は世界の関連研究者コミュニティが期待する水準を上回ると結論できる。

分析項目Ⅱ 研究成果の状況

**観点** 研究成果の状況(大学共同利用機関、大学の共同利用・共同研究拠点に認定された附置研究所及び研究施設においては、共同利用・共同研究の成果の状況を含めること。)

(観点に係る状況)

宇宙線研究所における研究は研究所教員による研究を含めそのほとんどが共同利用研究として行われており、学術面において数々の重要な成果を上げている。これらの成果は、国立大学法人評価の年度評価では、毎年度注目事項として取り上げられ、共同利用・共同研究拠点の期末評価では、最高のS評価を受けている。これらの高い評価は在籍教員・研究者の受賞に反映している(資料23-13)。特筆すべきは2015年度の梶田隆章所長のノーベル賞受賞・文化勲章受章であるが、その他にも若手賞・奨励賞を含む多数の賞を受けており、国内外から高い評価を受けている。

<資料23-13 受賞者一覧(2010-2015年度)>

受賞者氏名	賞名	受賞年月	受賞対象となった研究課題名
鈴木 洋一郎	ブルーノ・ポンテコルボ賞	2011.2	大気ニュートリノおよび太陽ニュートリノ振動の発見
中畑 雅行	戸塚洋二賞	2011.3	長年に亘る太陽ニュートリノとニュートリノ振動の研究
佐古崇志	日本物理学会若手奨励賞	2011.10	チベット空気シャワーアレイにおける高エネルギー宇宙線異方性の研究
福来 正孝	戸塚洋二賞	2012.3	レプトン起源の宇宙のバリオン数非対称機構の提唱
伊部 昌宏	素粒子メダル奨励賞	2012.3	超対称性の破れにおける現象論敵宇宙論的制限を満足する新しいシナリオの構築と検証
宮原 ひろ子	文部科学大臣表彰若手科学者賞	2012.4	太陽活動および宇宙線が気候に及ぼす影響の研究
梶田 隆章	日本学士院賞	2012.6	大気ニュートリノ振動の発見
大内 正己	ティンズリー・スカラー・アワード(銀河系外天文学)	2013.3	遠方宇宙観測による広範囲な研究
永野 元彦	ヨド賞	2013.7	最高エネルギー宇宙線分野における先駆的研究
鈴木 洋一郎	ジュセッペ・ヴァンナ・コロニ賞	2013.7	太陽ニュートリノの全フレーバー測定による太陽ニュートリノの謎の解明
梶田 隆章	ユリウス・ヴェス賞	2013.12	スーパーカミオカンデ実験による大気ニュートリノ振動現象の発見
川崎 雅裕	湯川記念財団・木村利栄理論物理学賞	2014.1	重力まで含めた相互作用の統一理論の構築における功績
大内 正己	文部科学大臣表彰若手科学者賞	2014.4	可視光広域深探査による宇宙進化の研究
塩澤 真人	戸塚洋二賞	2015.3	加速器ミューニュートリノビームによる電子ニュートリノ出現現象の発見

東京大学宇宙線研究所 分析項目Ⅱ

梶田 隆章	ノーベル物理学賞	2015. 10	大気ニュートリノの観測によるニュートリノ振動の実証
梶田 隆章	文化勲章	2015. 11	同上
梶田 隆章	基礎物理学ブレークスルー賞	2015. 11	ニュートリノ振動の発見とその研究についての功績
小野 宜昭	日本天文学会研究奨励賞	2016. 3	深宇宙探査観測による宇宙再電離や銀河の形成と進化の研究

資料 23-14 には、2010 年 4 月以降に出版された論文のうちトップ 1%論文に該当する、宇宙線研究所関連の 28 編（研究業績説明書にあげた論文のうちの 6 編を含む）を示す。

資料 23-15 は「研究業績説明書」に挙げた業績について説明しているが、これらのほとんどは共同利用研究の成果であるとともに、研究成果のごく一部を紹介したものにはすぎないことを強調しておきたい。また、ここに挙げた業績の多くは資料 23-15 に示されているように各年度の評価で高評価を得たものである。研究業績説明書に記載した研究業績では、ミューニュートリノから電子ニュートリノへの新たなニュートリノ振動モードの世界初の発見（研究業績 2）、純粋重力伝搬型超対称標準模型の提唱（業績番号 6）、世界初の太陽近傍磁場構造判定とその太陽活動周期との相関解明（業績番号 7）、最高エネルギー宇宙線の局在化加速源の世界初の兆候検出及び最高エネルギー宇宙線の伝搬に関する GZK 予想の裏付け（研究業績 8）などの成果・実績が挙げられる。

<資料 23-14 被引用数トップ 1%論文 (2010-2015 年度)>

著者	論文	業績番号
LCGT Collaboration	Status of LCGT, Class. Quantum Grav. 27 84004(2010)	
Abbasi, R et al.	Indications of Proton-Dominated Cosmic-Ray Composition above 1.6 EeV, Phys. Rev. Lett. 104, 161101 (2010)	
Reid, Beth A et al.	Cosmological constraints from the clustering of the Sloan Digital Sky Survey DR7 luminous red galaxies, MNRAS 404, 60(2010)	
Super-Kamiokande Collaboration	Atmospheric neutrino oscillation analysis with subleading effects in Super-Kamiokande I, II, and III, Phys. Rev. D81, 92004 (2010)	
Schneider, D. P et al.	THE SLOAN DIGITAL SKY SURVEY QUASAR CATALOG. V. SEVENTH DATA RELEASE, The Astronomical Journal 139, 2360(2010)	
Supernova Cosmology Project	SPECTRA AND HUBBLE SPACE TELESCOPE LIGHT CURVES OF SIX TYPE Ia SUPERNOVAE AT $0.511 < z < 1.12$ AND THE UNION2 COMPILATION, Astrophys. J., 716 712(2010)	
Ouchi, M et al.	STATISTICS OF 207 Ly alpha EMITTERS AT A REDSHIFT NEAR 7: CONSTRAINTS ON REIONIZATION AND GALAXY FORMATION MODELS, Astrophys. J., 723 869(2010)	1
Super-Kamiokande Collaboration	Solar neutrino results in Super-Kamiokande-III, Phys. Rev. D83, 52010 (2011)	
Abe, K et al.	Indication of Electron Neutrino Appearance from an Accelerator-Produced Off-Axis Muon Neutrino Beam, Phys. Rev. Lett. 107, 41801 (2011)	3
CTA Consortium	Design concepts for the Cherenkov Telescope Array CTA: an advanced facility for ground-based high-energy gamma-ray astronomy, Exp. Astron. 32 193(2011)	
Abe, K et al.	The T2K experiment, Nucl. Instrum. Meth. A 659 106(2011)	
Ono, Y et al.	SPECTROSCOPIC CONFIRMATION OF THREE z-DROPOUT GALAXIES AT $z=6.844-7.213$ : DEMOGRAPHICS OF Ly alpha EMISSION IN z similar to 7 GALAXIES, Astrophys. J., 744 83(2012)	1

東京大学宇宙線研究所 分析項目Ⅱ

Supernova Cosmology Project	THE HUBBLE SPACE TELESCOPE CLUSTER SUPERNOVA SURVEY. V. IMPROVING THE DARK- ENERGY CONSTRAINTS ABOVE $z > 1$ AND BUILDING AN EARLY-TYPE-HOSTED SUPERNOVA SAMPLE, <i>Astrophys. J.</i> 746 85(2012)	
S. Friedhelm et al.	9,400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings, <i>P. Natl. Acad. Sci. USA</i> 109, 5967(2012)	
E. Richard S et al.	THE ABUNDANCE OF STAR-FORMING GALAXIES IN THE REDSHIFT RANGE 8.5-12: NEW RESULTS FROM THE 2012 HUBBLE ULTRA DEEP FIELD CAMPAIGN, <i>Astrophys. J. Lett.</i> 763 L7 (2013)	
CTA Consortium	Introducing the CTA concept, <i>Astroparticle Physics</i> , 43, SI, 3-18 (2013)	
Robertson, Brant E et al.	NEW CONSTRAINTS ON COSMIC REIONIZATION FROM THE 2012 HUBBLE ULTRA DEEP FIELD CAMPAIGN, <i>Astrophys. J.</i> 768 71(2013)	
Schenker, M. A. et al.	THE UV LUMINOSITY FUNCTION OF STAR-FORMING GALAXIES VIA DROPOUT SELECTION AT REDSHIFTS $z$ similar to 7 AND 8 FROM THE 2012 ULTRA DEEP FIELD CAMPAIGN, <i>Astrophys. J.</i> 768 196(2013)	
McLure, R. J et al.	A new multifield determination of the galaxy luminosity function at $z=7-9$ incorporating the 2012 Hubble Ultra-Deep Field imaging, <i>MNRAS</i> 432 2696(2013)	
T2K Collaboration	Evidence of electron neutrino appearance in a muon neutrino beam, <i>Phys. Rev. D</i> 88, 32002(2013)	3
KAGRA Collaboration	Interferometer design of the KAGRA gravitational wave detector, <i>Phys. Rev. D</i> 88, 43007 (2013)	
Ackermann, M et al.	Fermi-LAT Observations of the Gamma-Ray Burst GRB 130427A, <i>Science</i> 343 42(2014)	
T2K Collaboration	Observation of Electron Neutrino Appearance in a Muon Neutrino Beam, <i>Phys. Rev. Lett.</i> 112, 61802 (2014)	3
Fermi-LAT Collaboration	Dark matter constraints from observations of 25 Milky Way satellite galaxies with the Fermi Large Area Telescope, <i>Phys. Rev. D</i> 89, 42001 (2014)	
T2K Collaboration	Precise Measurement of the Neutrino Mixing Parameter $\theta_{23}$ from Muon Neutrino Disappearance in an Off-Axis Beam, <i>Phys. Rev. Lett.</i> 112, 181801 (2014)	
Ishigaki, M et al.	HUBBLE FRONTIER FIELDS FIRST COMPLETE CLUSTER DATA: FAINT GALAXIES AT $z$ similar to 5-10 FOR UV LUMINOSITY FUNCTIONS AND COSMIC REIONIZATION, <i>Astrophys. J.</i> 799 12(2015)	1
Super Kamiokande Collaboration	Search for Neutrinos from Annihilation of Captured Low-Mass Dark Matter Particles in the Sun by Super-Kamiokande, <i>Phys. Rev. Lett.</i> 114, 141301 (2015)	
T2K Collaboration	Measurements of neutrino oscillation in appearance and disappearance channels by the T2K experiment with $6.6 \times 10^{20}$ protons on target, <i>Phys. Rev. D</i> 91, 72010 (2015)	

注：ESI 高被引用論文 (Highly Cited Papers 及び Hot Papers) 2016 年 1-2 月時点

<資料 23-15 研究業績説明書に記載した業績説明>

業 績	業績番号
世界最高感度の宇宙ニュートリノ測定器スーパーカミオカンデは、国内外の研究者約 120 人と共同利用研究を進めており、数々の重要な成果を生み出している。特に第 2 期中期目標期間には、大気ニュートリノの観測データから、ニュートリノ振動で出現したタウニュートリノの証拠を得、また太陽ニュートリノ振動における地球の物質の効果の証拠を世界で初めてとらえた。	2 (2012 年度国立大学法人評価の注目事項)
T2K 実験においては、ミューニュートリノから電子ニュートリノへのニュートリノ振動を発見し、3 世代ニュートリノ振動の全体像を得ることに成功した。	3 (2011、2012 年度国立大学法人評価の注目事項)

東京大学宇宙線研究所 分析項目Ⅱ

暗黒物質直接検出を目指す XMASS 実験ではエネルギーしきい値の低いデータをとることによって、DAMA 実験が主張している暗黒物質のパラメータの大半を排除することができた。また、極めて弱く相互作用をするボゾンが暗黒物質である可能性を世界で初めて検証し、その可能性を排除した。	4 (2010、2013 年度 国立大学法人評 価の注目事項)
米国ユタ州に建設したテレスコープアレイでは最高エネルギー宇宙線の局在化した加速源の兆候を世界で初めて見いだすとともに、それらの宇宙背景放射光子との衝突による強度減少 (GZK 予想) を裏付ける結果を得た。	8 (2013、2014 年度 国立大学法人評 価の注目事項)
チベット AS $\gamma$ 実験の広視野連続観測では、衛星観測により知られている銀河系内の明るい GeV 領域ガンマ線源に相関して TeV 領域ガンマ線が放射されていることを初めて実証した。また、地球に届く高エネルギー宇宙線が太陽に遮られることによってできる「影」の観測から、それが太陽活動周期と相関して変化していることを発見し、太陽近傍の磁場構造の初めての検証を行った。	7 (2013 年度国立 大学法人評価の 注目事項)
次世代高エネルギーガンマ線望遠鏡国際計画 CTA へ向けての予備的研究として、フェルミ衛星搭載のガンマ線望遠鏡と地上の MAGIC 望遠鏡の観測を組み合わせる活動銀河中心核のブラックホールの極く近傍の sub-horizon スケールの領域でガンマ線が生成されていることの証拠を得た。また、活動銀河核フレア時のガンマ線スペクトルを、乱流加速モデルにより精度よく再現する初めての理論モデルを提出した。	9
純粋重力伝搬型超対称性素粒子標準模型は様々な宇宙論的問題を解決するものとして期待されているが、そこで暗黒物質と予言されている W ボゾンの超対称性パートナーの対消滅が今後の宇宙ガンマ線探索によって検証可能であるという重要な結果を得た。	6
すばる望遠鏡の大規模深撮像探査などにより宇宙史初期に起こった再電離の歴史と物理的起源について宇宙再電離の加速的進化という描像を世界に先駆けて得た。さらに、赤方偏移 5-10 における紫外線放射率を求め、宇宙再電離の原因が銀河だけでは難しいことを示した。	1
重力波望遠鏡 KAGRA 開発に向け、地面振動等の外乱の少ない神岡地下環境の有利さを実証するとともに、鏡の極低温冷却システムの実証実験を行い、常温感度を上回ることに成功した。	5

(水準) 期待される水準を上回る。

(判断理由)

世界に類を見ない宇宙線研究に特化した研究所である宇宙線研究所は、多岐にわたる大学共同・国際共同研究のホスト機関あるいは主要な参加機関として、大型装置の運転を通じて研究の進展を担ってきた。本研究所の研究活動は、数々の賞を受賞するとともに、共同利用・共同研究拠点の期末評価で評価されている。また、2010年4月以降に出版された論文のうちトップ1%論文に本研究所関連の28編が該当するとともに、研究業績説明書の研究業績も、ミューニュートリノから電子ニュートリノへの新たなニュートリノ振動モードの世界初の発見、最高エネルギー宇宙線の局在化加速源の世界初の兆候検出及び最高エネルギー宇宙線の伝搬に関する GZK 予想の裏付けなど学術的に評価の高い成果が上がっている。これらのことから、本研究所の学術的な研究成果は、研究者コミュニティが本研究所に期待する水準を上回ると結論できる。

### Ⅲ 「質の向上度」の分析

#### (1) 分析項目Ⅰ 研究活動の状況

第1期に低温鏡の優位性を実証した重力波望遠鏡 KAGRA は、2010年の半ばに建設を開始し、トンネル掘削、真空パイプや光学系の設置及びネットワークを含む計算機制御システムの構築を進め、2015年度に試験運転を開始することができた。今後、2016年度初頭まで試験運転を継続した後、2017年度中に低温鏡を用いた本格稼働開始を予定しており、第3期における重力波観測と重力波天文学の創成が期待できる(資料23-3② P23-5)。

ガンマ線天文学の分野では、第1期以前から空気シャワー観測装置を運用してきたチベット AS $\gamma$  実験としては、100TeV 領域ガンマ線天文学の開拓を目指す地下ミュオン観測装置及び Knee エネルギー領域一次宇宙線の化学組成の高精度観測を行うための空気シャワーコア観測装置を建設し、既存装置との連動実験を2014年に開始した。チェレンコフ $\gamma$ 線望遠鏡実験としては、第1期から実施していたカンガルーガンマ線望遠鏡(オーストラリア、ウーメラ)の運用を2011年度末で終了し、そこで得た経験及び技術を生かして国際CTA(Cherenkov Telescope Array)計画への参加を実現した。2015年度にはCTA計画の最初のガンマ線望遠鏡1基の建設を世界各国と協力して開始しており(完成予定2017年度)、第3期における新たな研究の展開が期待できる(資料23-3③)。

#### (2) 分析項目Ⅱ 研究成果の状況

「ニュートリノ・暗黒物質の研究」に関して、スーパーカミオカンデでは、2010年1月に開始された長基線ニュートリノ振動実験 T2K により、ミュオンニュートリノから電子ニュートリノへの新たなニュートリノ振動モードの世界初の発見、今までにない精度での振動パラメータ決定など、第2期において質的に新たな研究の展開を行った。宇宙暗黒物質の直接探索の研究にあっては、世界で初めて1トン近い標的を用いた XMASS 検出器の建設に成功し、様々な種類の暗黒物質を探索する研究分野を拓く質的变化をもたらした(業績番号2、3、4)。

「理論研究」では、第1期から、素粒子の超対称性標準模型に基づいて、超対称性の破れの伝搬機構、暗黒物質候補やバリオン数生成機構など素粒子の現象や宇宙論に関する様々な理論的研究を行ってきたが、2012年のヒッグス粒子の発見によって超対称性標準模型の研究は質的に大いに向上した。その結果に基づいて純粋重力伝搬型超対称標準模型を提唱した(業績番号6)。

「宇宙線による高エネルギー宇宙観測」に係るチベット AS $\gamma$  実験により、世界初の太陽近傍磁場構造判定とその太陽活動周期との相関解明に成果を挙げた(業績番号7)のは、宇宙線異方性観測を14年に渡って継続したものであり、1太陽周期を超え、それ以前の短期間の観測的研究とは質的に異なるものがある。

「最高エネルギー宇宙線の研究」では、テレスコープアレイ宇宙線観測装置の運用を2008年に開始し、第2期には十分なデータの統計精度を実現したことにより、最高エネルギー宇宙線の局在化加速源の世界初の兆候検出、及び最高エネルギー宇宙線の伝搬に関するGZK予想を裏付けるなど、研究は質的に向上した(業績番号8)。さらに、2015年度に現観測装置の領域の4倍拡張計画(TAx4計画、2017年度完成予定)が認められ、第3期における更なる研究の質の向上及び新たな展開が期待できる。

以上のように、世界をリードする多数の観測的及び理論的結果を挙げており、本研究所の研究成果は、その高い質を維持しているといえる。