

CRC 将来計画検討小委員会  
2011-12 年度期最終報告

CRC 将来計画検討小委員会  
2011-2012 年度期

2013 年 9 月 6 日

## 目次

1 序文：小委員会の経緯と評価方針および今期の議論の概要	3
2 検討事項 1：中規模将来計画検討について	6
2-1 中間報告(2012年9月)	7
1) 最優先の計画	7
2) 今回は最優先とはしないが、展望をもって進めるべき計画	8
3) 中規模計画としては推さないが、科研費等での実現を薦める計画	9
4) そのほかの議論	10
2-2 中規模計画についての議論と推薦	11
3 検討事項 2: CRC のロードマップ	12
3-1 最高エネルギー宇宙線観測分野	13
3-2 ガンマ線天文学分野	15
3-3 地下非加速器実験分野	18
3-4 重力波天文学	21
3-5 他分野との境界領域	23
4 タウンミーティング記録	24
5 委員会活動記録	27
6 添付資料: 学術会議天文学・宇宙物理学分科会への「中規模計画検討」の回答(2012年11月末日)	30

## 1 序文：小委員会の経緯と評価方針および今期の議論の概要

CRC の研究テーマは広義の宇宙線研究であって、宇宙物理、天体物理、素粒子物理の諸分野に広くまたがっている。実験や観測計画のテーマも、宇宙線の起源、暗黒物質の探査、地球や太陽圏、重力波など様々である。これらに共通して、我々は宇宙線を用いて宇宙の諸現象の物理や基礎物理を解明して行くことを重要な課題としている。多岐にわたる研究を、CRC 全体の中で位置づけ、サイエンスとしての重要性や競争上の優先度を整理して評価することは、研究コミュニティとしての CRC の機能であろう。

CRC では 2010 年のシンポジウムとその総括、2011 年 8 月の学術会議の天文学・宇宙物理学分科会への中規模計画推薦を機会に、将来計画についての議論が活性化した。通常、CRC 実行委員会やシンポジウムが将来計画やコミュニティとしての意思形成の役割を担っている。しかし単年度委員による引き継ぎ／継続性の問題や、周辺分野の意見を取り入れる必要があることから、前述の学術会議への中規模計画推薦を機に、外部委員も加えて、将来計画検討小委員会（以下、小委員会と記す）が設置され、2011 年 9 月の CRC 総会にて常設化された。現小委員会は、2012 年度末までの任期が定められている。その主な仕事は、

- タウンミーティングの企画
- 次期中規模計画の選定ないし順位付け
- 上記のとりまとめ文書
- CRC のロードマップ（案）の策定

である。小委員会のとりまとめは、CRC 実行委員会へ報告される。小委員会の報告をどのように扱うかは、実行委員会や総会に委ねられる。

以上の経緯をふまえて、本小委員会では、将来計画の評価方針を、

CRC 関連研究を戦略的に進めうるサイエンスの価値に主眼をおいて、将来計画を判断する

こととした。すなわち、当該の計画が、サイエンスにおいて高い価値があるかどうか、予算やマンパワーにおいて十分な実現性をもっているかどうか、CRC 全体を活性化するような効果を持つか否かである。

今期の活動では、次期中規模計画の検討を中心として、本小委員会と実行委員会が連携して、これまでに 5 回のタウンミーティングを開催した。タウンミ

ーティングではこれらの計画だけでなく、関連する CRC 内外の計画や、大局的な視点での理論レビュー等も招聘し、これらの計画についての検討や研究者のコンセンサスの形成がはかられた。本委員会および CRC が、タウンミーティングを通じてコミュニティとしての自主的な検討を進めてきたことは重要である。

タウンミーティングの第5回（2012年11月）は CRC シンポジウムと兼ねて拡大タウンミーティングとして開催された。ここでは、学術会議天文学・宇宙物理学分科会より同年11月末日に提出をもとめられていた中規模計画の推薦案の議論となった。各中規模計画の概要説明の再確認と、小委員会の中間報告時点で寄せられた質問への回答などが議論された。その結果、それまでであった8つの計画についてのコミュニティとして十分な検討を行ったことを確認し、5つの計画について中規模計画として推薦することが合意された。また残る3計画についても、中規模計画としては推さないが大型科研費等で速やかな実現を勧めることが確認された。仔細は次節（検討事項1）にて述べる。

また、同シンポジウムでは CRC 全体のロードマップについても議論をおこなった。本報告書では、小委員会により整頓したロードマップを示す（検討事項2）。ただし、今期はロードマップについては、タウンミーティング等での議論が十分ではない（上記の第5回目程度である）。次期委員会では、継続的に宇宙線分野全体でのロードマップの整頓、そしてコミュニティでの認識共有をすすめることをお願いしたい。

前述のように、本小委員会設置の直接的なきっかけは2011年の学術会議の天文学・宇宙物理学分科会からの中規模計画推薦依頼である。これは、学術会議第21期に策定された「学術の大型施設計画・大規模研究計画 マスタープラン2011」<sup>1</sup>において位置づけられた大型計画の推進に対応して、中規模計画についての取り扱いを分科会が検討するためのものであった。一方で、2012年に第22期学術会議のマスタープランの策定方法が示された<sup>2</sup>。このマスタープランにおける学術大型研究計画の想定規模は、我々にとってはむしろそれまでに検討してきた中規模計画の多くが含まれると解釈できるものであった。学術会議天文学・宇宙物理学分科会からは、2012年11月22日付けで、文書「天文学・宇宙物理学分野の大規模計画の検討について」が、CRC を含む当該分野のコミ

<sup>1</sup> 2011年9月 <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-h135-1.pdf>

<sup>2</sup> 2011年10月 <http://www.jpгу.org/whatsnew/121019sakuteihoshin.pdf>

ユニティへ回覧され、計画の説明が要請された。これらをもとに天文学・宇宙物理学分科会主催の公開シンポジウム<sup>3</sup>が開催され、分野からの計画推薦の参考にされた。

次期委員会においても、こうした内外の動向を見守り、CRC 分野のとりべき戦略をひきつづきご検討いただきたい。

---

<sup>3</sup> 日本学術会議公開シンポジウム「天文・宇宙物理分野の将来計画」、2013年2月17-18日、東京大学理学系研究科小柴ホール  
公開シンポジウム「天文学・宇宙物理学中規模計画の展望」、2013年5月28-29日、日本学術会議講堂

## 2 検討事項 1：中規模将来計画検討について

前述のとおり、2011年6月に、CRC 実行委員会は、学術会議の天文学・宇宙物理学分科会から、「コミュニティとしてぜひ進めたい優れた中規模計画（科研費では困難で、総額100億円未満）」の推薦打診を受けた。CRC 実行委では6月28日付 CRC メーリングリストで計画の公募を行い、第1回タウンミーティング（7月30日柏キャンパス図書館）での議論を経て、8月末に以下の8つの中規模計画案を回答した。これらの活動を受けて発足した本小委員会では、これらの中規模計画についての検討を喫緊の課題として行ってきた。

本節では、次期中規模計画である8つの計画：

- TibetAS+MD+YAC
- CTA
- Telescope Array 2 (TA2)
- JEM-EUSO
- IceCUBE/ARA
- XMASS-1.5
- GADZOOKS!
- KamLAND2-Zen

について、本委員会での評価結果を記す。これらは2012年11月末に最終案として学術会議天文・宇宙物理学分科会の回答に盛り込まれた。

また、議論や調査の過程で細かい点も明らかになり、上記の Telescope Array 2 計画が内包していた2つの計画

- TALE
- Telescope Array(TA)と Pierre Auger Observatory (PAO)の対比検証  
(装置や情報の交換)

については、Telescope Array 2 とは別として評価を記す。

## 2-1 中間報告(2012年9月)

中間報告の段階では、委員会はこれらの計画を以下の3つの評価に分けた。この評価案については CRC 全体での議論（シンポジウム、CRC 総会、実行委員会）を経て、学術会議への最終推薦案に反映されている。

中間報告の時点で、情報、状況分析や検討を要する事項については、2012年11月の CRC シンポジウム（拡大第5回タウンミーティング）にて各プロジェクトの説明において言及された。

### 1) 最優先の計画

#### CTA, KamLAND2-Zen

プロジェクト全体に対する判断として、小委員会はこの2つの計画を最優先に推す。2つの計画に順番はつけていない。

これらの計画は最優先で推すとの評価に委員の意見は一致した。

それぞれ、豊富かつ最先端のサイエンスのテーマや、実験計画にオプションが用意されていて計画として複数の重要な成果が期待できる、といった点が評価された。

CTA については、様々なガンマ線天体の観測を通して多様なサイエンスの研究が見込まれることが高く評価されている。H.E.S.S., MAGIC や Fermi 衛星の観測により、ガンマ線天文学が急速な発展をしていることは、この分野のさらなる将来を期待させる。また、CTA は大型国際研究であり、これに乗り遅れるのは学問的損失であり、緊急性も指摘されている。科研費特別推進研究の採択や、CTA コラボレーションの拡大もあり、機を逸せずに参加すれば、日本の貢献が十分期待できると見込まれる。技術は比較的確実であることや、計画の成熟度も評価された。一方で、国際研究において日本が主導権を握り、10年後、20年後にわたって日本の宇宙線実験の中核となることが期待される。これらの戦略をより明確に示すことが望まれる。

KamLAND2-Zen は、サイエンスおよび実験計画での、豊富なオプションと着実性が高く評価された。宇宙物理から地球物理、素粒子・原子核物理に至る幅広い領域で重要な成果が期待される。ニュートリノのマヨラナ性を探るニュートリノレス二重 $\beta$ 崩壊探索は原子核実験や素粒子物理と深いつながりを持つ

テーマであるし、地球ニュートリノのように独自性をもつテーマも内包されている。既存の施設を基にしており、スケジュールや着実さも評価された。反面、中間評価の段階では、CRC からのコラボレーターがもっと増えて欲しい、あるいは CRC から学術会議天文学・宇宙物理学分科会に推す計画として、他分野との整合性や相乗効果が得られるよう CRC 内で議論をすべきといった、分野をまたがる研究故の検討課題も指摘された。その後、コラボレーターについては CRC 加入者も増えている。

## 2) 今回は最優先とはしないが、展望をもって進めるべき計画

### Telescope Array 2 (TA2), JEM-EUSO, XMASS-1.5

このカテゴリとした計画は3つであるが、最高エネルギー宇宙線の研究である TA2 と JEM-EUSO の2計画、暗黒物質探索を目的とする XMASS-1.5 の2つに大別される。TA2 と JEM-EUSO は相互の連携を意識した戦略の必要性が議論され、XMASS-1.5 については最優先と同等の評価ながらも現状の実験的課題解決を示すことが要請された。

TA2, JEM-EUSO は宇宙線研究として魅力的である。その将来の展望のために、現状の不確定要素(最高エネルギー宇宙線は Fe か p か? JEM-EUSO の観測技術の実験的検証)を押さえることが肝心と思われる。この検証にともなう段階的な進め方、あるいは広いエネルギー帯域でのシャワーの理解といった宇宙線研究の面で、他の実験との連携や長期的な展望を期待するという意見が出た。

この2つの計画は、基本的な目標 -最高エネルギー宇宙線- が重なるので、両方の実験をソサエティが等分に推すということはある程度あり得ないとの意見も出た。上述の不確定要素がはっきりした段階で、これらの計画を推進すべきかどうか、どちらを優先すべきかが判断可能となる。それぞれの計画についてのスケジュールなどはタウンミーティングで示されたが、こうした判断も含めて、最高エネルギー宇宙線研究全体としてのスケジュールとロードマップが明確にされると、本分野の戦略が示されるだろう。

また、これらの実験は理研や JAXA、あるいは海外の宇宙線実験とも関係が深い。他分野や海外との協力・連携が、CRC の将来に重要であると考えれば、

計画の採否の影響は看過できない。

以上のような理由から、今回第一優先度で推さないとしても、これらの実験には長期的な目で見ても宇宙線研究のコミュニティにとって重要なテーマだと認識されている。

なお、TA2については、低エネルギーでの拡張の TALE 計画、Pierre Auger Observatory(PAO)との矛盾の検証（装置や情報の交換）は、後述の 4)の評価として分けた。

XMASS-1.5 については、目的とする成果（ダークマターの発見）が出た場合は絶大なインパクトを持ち、また実験の精度や信頼性も評価された。XENON 100 との競争における緊急性も高いと認識されている。すなわち、学術的内容と緊急性において最優先に推す計画と同等の評価がなされた。一方で、バックグラウンドの解決の必要性が望まれた。バックグラウンド源について目処が立っている点はよいが、やはり実際に低バックグラウンドを達成して、位置再構成の問題を解決して、fiducial volume 内での目標感度の実現を示すことが計画の将来を担保するだろうとの見方が示された。サイエンスについては、Axion 探索など、新しい話題も加わりつつあり期待される。

### 3) 中規模計画としては推さないが、科研費等での実現を薦める計画

Tibet-AS+MD+YAC, IceCube/ARA, GADZOOKS!,

これらの計画については、その規模や既存実験との関係の性格上、今回は中規模計画としての学術会議へ提出を委員会は見送った。しかし、研究上の意義は多くの委員が高く評価している。また他の 5 計画と比べて必要予算が比較的少なく、また提案のうち、部分的な実現でも成果が見込めることが多々存在する。TibetAS+MD+YAC 実験は現行のチベット空気シャワーアレイの増強計画で、100TeV 領域の宇宙ガンマ線探索とニー領域の宇宙線の核種ごとのスペクトルの測定によって銀河宇宙線の起源を研究する。IceCube/ARA 計画は超高エネルギー宇宙ニュートリノの存在を示唆する観測結果を出した IceCube 実験の拡張計画であり、電波を利用した巨大有効体積のニュートリノ観測実験として、最高エネルギー宇宙線の謎にニュートリノ観測から迫る計画である。GADZOOKS!は Super-Kamiokande の純水中にガドリニウムを溶かして中性子

検出を可能にすることにより、過去の超新星爆発起源の反電子ニュートリノを検出し、超新星爆発の宇宙史を探る計画である。いずれの計画も数億円規模の予算での部分的実現も見込まれるので、大型科研費などですみやかな実現を目指すべきと判断した。そのための方針や CRC からの可能なサポートのあり方も検討すべきである。こうした事情を鑑みて、2012 年 11 月に学術会議へ中規模計画提案を提出するにあたって、Tibet-AS+MD+YAC, IceCube/ARA, GADZOOKS! の 3 計画は、「大型科研費等による速やかな実現を目指すべき計画」として表記した。

#### 4) そのほかの議論

タウンミーティングにおいては、中規模計画ではないが検討中の将来計画として Hyper-Kamiokande も第 4 回、第 5 回で概要の発表と議論が行われた。Hyper-Kamiokande は 100 万トン水チェレンコフ測定器で、ニュートリノの CP 非保存、質量階層性、陽子崩壊などさまざまな研究を行う計画である。Hyper-Kamiokande は、中規模計画に加えて順位はつけないものの、その学術的意義から学術会議のマスタープランに提案することについて了承された。

また現行 TA よりエネルギーの低い宇宙線を観測してエネルギースペクトルと化学組成を広いエネルギー範囲に亘って研究する TALE、および TA と PAO の相互の結果の正当性の検証については、その必要性が認識された。ただしこれらは現行の TA から TA2 に至る間に内包される性質のものであり、独立した計画としては中規模計画提案には載せなかった。

## 2-2 中規模計画についての議論と推薦

前節の本委員会の中間報告（2012年9月）をうけて、2012年9月の物理学会インフォーマルミーティングにおけるCRC総会にて議論がなされた。各中規模計画についてはこの時点でのいくつかの質問を送付（2012年11月1日付）し、その回答は11月のCRCシンポジウム（兼拡大タウンミーティング）で反映していただいた。シンポジウムでは中規模計画についての対応に以下の合意が形成された。

学会会議へ提出した計画リストを、添付資料1に示す。

まず、前節の案を基本にし、学会会議天文・宇宙物理分科会へは5つの計画を中規模計画として提案することとした。5つの計画についての「最優先で推す」「今回は最優先としないが…」の中間報告における判断は「その他の事項」欄に記し、コミュニティでの議論の要点を併記した。また「学術的評価」「緊急性」「各分野での検討」の各項目におけるS,A,Bについては小委員会の原案をシンポジウムで議論した上で成案を決めた。この際、「各分野での検討」が、コミュニティで十分に議論されているかという意味合いであるならば、今回はタウンミーティングやシンポジウムを通じて議論されたということであるとして8つの計画はS評価とした。

5つの計画を、上記の評価を記して提出した。残る3計画も、2011年8月の回答には名前があがっていた計画である。これらの計画についても、コミュニティとして十分な議論・検討を経て科学としての重要性が認知されていることを示すため、「大型科研費等による速やかな実現を目指すべき計画」として、計画概要とコミュニティでの検討状況を記して、提出資料に加えた。

また同時に、CRC実行委員長より「CRC中規模将来計画検討の経緯と結果報告」として検討経緯を説明する文書が添えられた（添付資料2）。

なお、今回の中規模計画の推薦は学会会議天文宇宙物理分科会からの独自の呼びかけであり、素粒子原子核物理分科会にもまたがる計画を持つCRCとしては、同様の中規模計画推薦の検討を素粒子原子核物理分科会でその分野の観点から行ってもらえるように、H23年12月に要望書を同分科会宛に提出した。

### 3 検討事項 2: CRC のロードマップ

中規模将来計画だけでなく、現行の大型・中型計画、および大型将来計画を含んで、全体像を描き、宇宙線物理学のサイエンスを俯瞰することは本分野の発展にとって有意義であろう。

2010 年の CRC シンポジウムについての報告文書「CRC シンポジウム総括：宇宙線分野の現状と将来計画」(2011 年 6 月 30 日)<sup>4</sup>において、現状として挙げられた分野は、高エネルギー天体物理学、非加速器素粒子物理学、重力波天文学、他分野との境界領域の 4 つである。

また、2011 年 8 月 10 日付けで CRC 実行委員会より出された「宇宙線 3 分野（ガンマ線天文学、最高エネルギー宇宙線、地下実験）概況」においては、最高エネルギー宇宙線観測分野、ガンマ線天文学分野、地下非加速器実験分野を中規模将来計画での検討分野として説明している。本小委員会での議論は中規模計画に対応して行われたため、前者における高エネルギー天体物理学を、ガンマ線天文と最高エネルギーに分けており、分野というよりも実験計画に依る分類に近い形で評価をしてきたとも言える。しかし、2010 年のシンポジウムであがっていた他の計画についてなおざりにしてよいというわけではない。

そこで本文書では、

1. 最高エネルギー宇宙線観測分野
2. ガンマ線天文学分野
3. 地下非加速器実験分野
4. 重力波天文学
5. 他分野との境界領域

にわけて、広く宇宙線分野の現状と展望を記述し、報告のまとめとしたい。

---

<sup>4</sup> <http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/CRC/Symposium/2010-09/future20110630.pdf>

### 3-1 最高エネルギー宇宙線観測分野

およそ  $10^{18}\text{eV}$  以上のエネルギーをもつ宇宙線が主な対象である。これらの粒子のが天体起源なのか非天体起源を持つのか、天体であればその加速機構と伝搬過程の物理を解明することが研究の目的である。観測的にはエネルギースペクトル、到来方向分布および粒子種（化学組成）の決定が重要である。これらを実現するために、 $1,000\text{ km}^2$  規模の検出面積による観測と、地上アレイ・大気蛍光望遠鏡による空気シャワーの多角的（ハイブリッド）観測が現在の主流である。

日本と米国が主導する北半球の Telescope Array 実験（TA 実験）と南半球の Pierre Auger Observatory（PAO）の成功によって、この 10 年間で大きな進展がみられた。 $10^{19.5}\text{eV}$  付近のエネルギースペクトルの折れ曲がりには両実験によって確立した。ハイブリッド観測によって、大気蛍光望遠鏡と地上アレイとのエネルギースケールの差が約 25%あることも明らかになった。これは、前世代の AGASA, HiRes のスペクトルの不一致の一部を説明する。発見されたスペクトルの折れ曲がりには 1960 年代から予言されていた GZK カットオフと概ね矛盾しないが、その本質は未解明である。さらに多くのイベントを観測しより精緻に到来方向分布を決定して加速天体を同定すること、LHC の衝突エネルギーと重なる  $10^{17}\text{eV}$  まで観測領域を広げて空気シャワーの理解を深め化学組成を正確に決定すること、超高エネルギーニュートリノの観測をすすめる GZK ニュートリノの有無を明らかにすること等が次の課題である。IceCube 実験による高エネルギー宇宙ニュートリノの発見は、新たな観測の窓を提供した。

空気シャワー観測の次世代計画として TA2 と JEM-EUSO が提案された。同様の目的を持つ 2 つの研究計画の相違・時間的關係、緩慢であった相互協力關係が、今回の将来計画検討の流れによって明確となった。

TA2 は  $39,000\text{km}^2$  の検出面積による地上観測提案で、JEM-EUSO 後の精密観測を目指している。TA2 の詳細デザインを決定するためには、現在の TA と PAO の観測結果、特に化学組成に関する観測結果の違いの理解が不可欠である。TA では、PAO と協力して互いの検出器を交換・較正するという計画がすすんでいる。さらに、TA のアレイ面積を約 4 倍に拡張する「TA×4」計画が公表され、TALE（TA 実験低エネルギー拡張）とともに、大型科研費を基盤に進めるという拡張計画が示されている。検出面積を拡張することで、最高エネルギー宇宙線の到来方向異方性に決着をつける。また、感度を低エネルギーへ拡張

することで、エネルギースペクトルと化学組成を解明するとともに、銀河系内起源宇宙線のエネルギー限界、LHC エネルギー以上での粒子シャワー発達の研究をまずは着実に進める。

JEM-EUSO は国際宇宙ステーションからの空気シャワー観測実験で、2017年の打ち上げを目指している。5年間の観測で、 $3 \times 10^5 \text{km}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{year}$  (PAO の9倍)の観測を実現し、宇宙線の到来方向分布を南北半球にわたって詳しく測定し、宇宙線源の特定を目指す。2012年にTAグループから多数の参加表明があり、また国際的にも研究グループの組織化が進んでいる。2013年3月には小型EUSO望遠鏡がTA実験内に設置され (TA-EUSO 実験)、EUSO-Balloon 実験も本格化するなど懸案事項とされていた観測技術実証を着実に進めている。

超高エネルギーニュートリノ観測のIceCube実験の拡張計画ARA実験についても提案された。IceCube実験は2012年以来PeV領域ニュートリノ事象を蓄積しており、超高エネルギー宇宙ニュートリノの存在が濃厚になっている。一方で、EeVニュートリノは見つかっておらず、最高エネルギー宇宙線については制限をつけている。現在我々は「超高エネルギーニュートリノ天文学の幕開け」という歴史的転換点に立っているのかも知れない。そのため、この分野をリードしているIceCube実験の将来計画は非常に重要で、その1つであるARA計画に強く期待したい。ARAは電波を利用した巨大有効体積ニュートリノ観測実験で、2017年の実現を目指した技術立証がすすんでいる。まずは基本技術を確立し、拡張を進めて欲しい。またIceCube実験と同じ観測技術に基づく最高エネルギー宇宙線観測の拡張計画にも期待したい。

### 3-2 ガンマ線天文学分野

ガンマ線天文学は、人類が観測できる最もエネルギーの高い電磁波であるガンマ線を用いて、極限的な宇宙の姿を明らかにする学問である。ガンマ線を放つパルサー、超新星残骸、ガンマ線バーストや巨大ブラックホールのジェットなどでは、地上の実験室では実現できない高密度、強電磁場、高温、高エネルギーが実現されており、粒子加速を通じた非熱的過程が本質的な役割を果たす。ガンマ線の観測は、このような高エネルギー天体を包括的に理解するために、もはや必要不可欠な手段になっている。またガンマ線は、光赤外銀河系外背景放射の制限や最遠方天体の観測によって宇宙論の進展にも貢献している。さらにダークマター、相対論・量子重力の検証、超高密度物性など、基礎物理に関わる知見の発展にも寄与している。

現在のガンマ線の観測は手法の違いにより大きく MeV 領域、GeV 領域、TeV 領域、数十 TeV 領域に分けられる。MeV 以下の領域ではコンプトンガンマ線観測衛星や Swift 衛星などによってガンマ線天文学の基礎が築かれ、ガンマ線バーストが宇宙論的距離にあることなどが明らかになった。GeV 領域ではフェルミガンマ線宇宙望遠鏡が 2000 個近いガンマ線天体をカタログ化し、多くのガンマ線パルサー、超新星残骸からの GeV ガンマ線、ガンマ線バーストからの GeV ガンマ線、かに星雲の変動、フェルミバブルなどを発見して、大きな進展をもたらした。TeV 領域では空気シャワーを利用した地上からのガンマ線チェレンコフ望遠鏡群 H.E.S.S.、MAGIC、VERITAS が 150 を超す天体を発見し、超新星残骸よりも多い TeV パルサー星雲の存在、かにパルサーのスペクトルがベキ的に延びること、光赤外銀河系外背景放射が意外と小さいことなどを明らかにした。数十 TeV 領域では、空気シャワーを水チェレンコフ検出器で観測する Milagro やシンチレーション検出器で観測するチベット空気シャワーアレイが 10 程度の天体を観測した。さらに、ガンマ線の観測を本来の目的とする Fermi、H.E.S.S.、MAGIC が宇宙線電子成分の測定も行ったことは特筆に値する。

これらの進展によって高エネルギー宇宙の理解は大きく進んだが、同時に新たな謎も生まれた。今後明らかにするべき未解決問題には次のようなものがある：

1. 宇宙線の起源：銀河系の宇宙線は超新星残骸で作られた可能性が高い。

宇宙線が作るガンマ線の観測により超新星残骸シナリオを確定する必要がある。また  $10^{15}$  eV (PeV) まで粒子を加速する PeV 加速器 (PeVatron) の発見や系外銀河からのガンマ線の観測も重要である。

2. ブラックホールとジェット：活動銀河核やガンマ線バーストにおける中心ブラックホールからのジェット生成は、宇宙物理における最大の問題の一つである。

3. 宇宙論：高エネルギー天体は明るく、遠くでも観測できるので、光赤外背景放射や初代星を制限する道具となり得る。これらは宇宙の星形成史や構造形成と深く関係する。

4. 基礎物理：ガンマ線によるダークマター対消滅・崩壊の探索は、加速器によるダークマターの生成、地下でのダークマター直接測定などと相補的であり、ダークマターの謎を解き明かす上で極めて重要となる。また、エネルギーの異なるガンマ線の到着時間の差の測定によりローレンツ不変性の破れや量子重力理論に制限を加えることができる。

今後、MeV 領域では、ガンマ線レンズ、多重コンプトン散乱や電子飛跡コンプトンカメラを利用した高い感度をもつ衛星ミッションの提案はあるものの、近い将来に実現する見込みは低い。ただし MeV 領域につながる硬軟 X 線領域では、ASTRO-H などの大型計画の他、SVOM、Lobster、HiZ-GUNDAM、WF-MAXI などガンマ線突発天体に対するさまざまな計画が進められている。CALET は宇宙線電子の観測が主な目的だが、MeV 領域や 10GeV を超える広いエネルギー範囲のガンマ線にも感度がある。

GeV 領域では Fermi 衛星を超える宇宙ガンマ線望遠鏡を近い将来に実現するのは非常に困難である。エネルギー分解能を上げる GAMMA400 などの計画はあるものの、打ち上げ時の重量の制限がネックとなる。

TeV 領域では、観測技術の高度化と大規模化によって、著しい感度改善、エネルギー範囲の拡大、角度・時間・エネルギー分解能の向上が可能であり、次世代の望遠鏡による観測可能天体数の飛躍的な増大と観測の精緻化が期待できる。CTA (大規模チェレンコフ望遠鏡アレイ) 計画はそのような望遠鏡

を目指しており、完成後は世界で唯一の超高エネルギーガンマ線天文台として運用される。CTA は北半球と南半球の 2 ステーションから全天観測を行い、1000 程度の新たなガンマ線天体を発見すると見込まれている。TeV を超える領域でガンマ線を多く観測するには大面積が必要となるため、地上観測が必須となる。現在日本は CTA-Japan として参加し、今後の建設や観測段階においても高いプレゼンスが期待されている。特に、日本グループ CTA Japan は、Fermi ガンマ線衛星、ASTRO-H X 線衛星、ALMA 電波望遠鏡との連携により、より大きな成果を上げることが期待できる。また CTA に使用する技術は最先端技術を利用するため工学分野への波及効果も期待される。

100 TeV 領域では、Milagro の次期計画 HAWC や、既存の空気シャワー検出器にミュオン検出器を併設することで感度を上げ広視野観測を行うチベット空気シャワーアレイの増強計画 TibetAS+MD+YAC、そしてより大規模な LHAASO 計画などが提案されている。100 TeV 領域は、銀河系内宇宙線の加速限界を示唆する Knee 領域の宇宙線を放射する天体（つまり PeVatron）と深く関係する。

これらの将来計画が実現すれば、ガンマ線衛星と地上チェレンコフ望遠鏡により牽引されてきた現在の体制が、MeV から 100 TeV 領域までカバーするガンマ線天文学の観測網として完成し、高エネルギー宇宙物理学のみならず、宇宙論・基礎物理までを含めた新たな発展につながるであろう。

### 3-3 地下非加速器実験分野

地下非加速器実験は宇宙線起源のバックグラウンドが少ない環境を必要とする稀な現象の観測や探索を目的とすることが一般的であり、極低バックグラウンドでの研究という共通点がある。観測対象のエネルギーによって使われる技術が異なり、コストとの関係から現在のところ数 MeV 以上は水チェレンコフ、数 100keV 以上が液体シンチレータ、それ以下はさらに高感度な技術が使われている。どの領域においても高精度化・高感度化のために、より低バックグラウンドで大型の検出器が望まれる。これらの検出器の研究対象の中で特に数十 MeV 以下の領域では、ニュートリノ観測・ニュートリノレス二重 $\beta$ 崩壊探索・暗黒物質探索が中心的な研究課題となっている。それ以上のエネルギー領域では大気ニュートリノの精密測定によるニュートリノ質量階層の特定や、J-PARC からの大強度ニュートリノビームを使った CP 位相の測定、大統一理論構築につながる陽子崩壊探索などがあげられるが、現在技術的に確立している水チェレンコフを使った手法では 100 万トン級の検出器が必要であり、大規模計画である Hyper-Kamiokande がこれらをカバーする。

数十 MeV 以下の観測で対象となるニュートリノ源は、超新星ニュートリノ・太陽ニュートリノ・地球ニュートリノ・原子炉ニュートリノなど多岐にわたり、これまで国内では (Super-)Kamiokande および KamLAND での観測が行われ、先駆的かつ大きな実績を有している。特に、Super-Kamiokande では、過去の超新星爆発からのニュートリノに対する感度がモデル予測に迫っており、より一層の感度向上により世界初の観測が期待できる。過去の超新星ニュートリノのフラックスおよびスペクトル観測は宇宙進化や銀河形成の歴史を検証する有効な手法として注目される。GADZOOKS!は、Super-Kamiokande にガドリニウムを溶かすことで反電子ニュートリノに対する識別能力を高め、過去の超新星ニュートリノの初観測を目指す。太陽ニュートリノ観測に対する課題としては、 $^8\text{B}$  スペクトルにおける物質振動から準真空振動に変化する歪み（低エネルギーでのアップターン）の観測や太陽組成問題解明のための CNO ニュートリノの観測、分岐比の小さい hep ニュートリノフラックスの精密測定などが残されている。また、地球ニュートリノ観測の歴史は浅いが、カムランドでの観測は既に地球内の熱生成に対する知見を与えており、原子炉からのバックグラウンドが少ない状況での継続的な観測により、地球始原隕石の特定やウラン・トリウムの分離測定、マントル対流や地球内原子炉への知見など、地球科学に対

する多様な貢献が期待される。また最近 3 世代を超えたステライルニュートリノが関与するニュートリノ振動を示唆する結果が多く出されており、第 4 世代ニュートリノを探索するニュートリノ線源を使った極短距離ニュートリノ振動探索も注目されている。KamLAND2-Zen 実験は、アップターン、CNO ニュートリノ、地球ニュートリノ、第 4 世代ニュートリノ探索などをひろく対象とする。また、Super-Kamiokande においても、統計向上によってアップターンや hep ニュートリノの測定が期待される。

ニュートリノレス二重 $\beta$ 崩壊は、ニュートリノのマヨラナ性（ニュートリノと反ニュートリノの同一性）と直結しており、ニュートリノが物質粒子の中で突出して軽い質量を持つ謎や、宇宙物質優勢の謎に対する知見を与えるものとして、またニュートリノ振動研究の進展によって感度目標が立てられるようになったこともあいまって、世界的な競争状態でその探索が行われている。これまでに示唆されていたニュートリノレス二重 $\beta$ 崩壊の発見は既に否定されており、KamLAND-Zen は世界最高感度を達成し未踏の領域の探索に入っている。いち早く発見を実現するためには、特に確立した技術を使いスケラビリティを生かすことが重要である。発見時のインパクトは非常に大きい、未発見であっても有意義であるためには、マヨラナ質量にして 20meV 以上の逆階層構造をカバーできる感度を持たせることが重要である。逆階層構造をカバーすることにより、ニュートリノ振動研究や宇宙観測との矛盾が生じれば、ニュートリノはディラック粒子であると結論づけることができるし、あるいは、ニュートリノをマヨラナ粒子と信じれば、消去法によりニュートリノの質量階層構造を標準階層構造と結論づけることが出来る。KamLAND2-Zen はエネルギー分解能の向上によりこの感度を目指す。一方、背景となる物理を研究するためには多核種での測定や角度分布の測定が必要であり、あるいは既存技術の到達範囲を超える感度を目指す必要性が生じた場合に備えて、多様な技術開発を並行して進めることも非常に重要である。

暗黒物質探索は、未だ未解明である宇宙のエネルギーの 4 分の 1 の正体を究明するものとして、宇宙物理的な重要性が非常に高く、加えて、超対称性理論をきっかけとした素粒子物理的な期待も非常に高い。そのため、その直接探索は世界的な競争状態となっている。これまでに暗黒物質の信号ともとれる非常に高い有意さでの季節変動が観測されている一方、他の多くの探索と矛盾する側面もあり、より決定的な観測が必要である。より大型の装置で 60GeV 程度の

質量に対して暗黒物質の相互作用断面積として  $10^{-45}\text{cm}^2$  を切る感度を実現することが当面の目標であり、XMASS-1.5 が計画されている。将来的には  $10^{-47}\text{cm}^2$  を切る感度で、超対称性理論に基づくモデルの多くをカバーする必要がある、さらなる大型化を計画する XMASS-2 がこれを目指す。一方で、10GeV 程度の軽い暗黒物質の信号を示唆する複数の観測もあり、非常に低エネルギーまでの低バックグラウンドでの観測によって、軽い暗黒物質に対しても高い感度を持たせる必要がある、既に非常に低いエネルギー閾値を実現している XMASS に対して、XMASS-1.5 ではさらなるバックグラウンドの低減を行い大幅な高感度化を図る。ひとたび暗黒物質の発見が現実となれば、その質量や断面積などの物理特性を決定するために、より高精度化をはかる必要がある一方、到来方向測定などの傍証の蓄積も重要となる。到来方向測定を目指すものとして NEWAGE 他、複数の計画が提案されている。

あるいは、超対称性粒子以外にも暗黒物質に対する多くの理論モデルが存在することからも、一つの概念にとらわれず多様な技術開発を並行して進めることが重要である。

### 3-4 重力波天文学

重力波は、アインシュタインの一般相対性理論の予想する時空の歪みの波動である。間接的には連星パルサーPSR1913+16の観測による証明がなされているが、直接検出は未だ成功していない。結合定数が非常に弱いことや、電磁相互作用などと異なり遮蔽ができないといった重力相互作用の基本性質が、これまでの直接検出を困難にしてきた。しかし、技術の高度化と実験の大規模化により極限までに感度を高めた装置がごく近い将来に検出を達成すると見込まれており、また直接検出により明らかになるさまざまなサイエンスが期待されている。現在までに成された一般相対論の実験的証明は、ニュートン重力からのずれが大きい太陽系重力場程度の弱い重力場においてである。しかし一般相対論の現代物理学における重要な予言の多くは強い重力場における現象であり、例えば、ブラックホール、地平線や特異点、さまざまな宇宙論の予言などが列挙される。重力波はその発生過程が強重力場での現象に因り、相対論の観測・実験的証明として基礎物理学の重要なトピックスである。一方で、天体物理学や天文学の観点からも、重力波の発見によって新しい展開が期待されている。すなわち、検出が期待される重力波の源である中性子星やブラックホールあるいは重力崩壊型の超新星などは、重力波源であると同時に高エネルギーの天体現象でもあり、重力波によってその正体や内部構造の解明が期待されるのである。さらに背景重力波については宇宙論的な課題である。インフレーションなど初期宇宙に起源をもつ背景重力波が確認されれば、最終散乱面以前の宇宙を調べる強力な手段となる。

現在の主な重力波検出実験は、手法と観測対象によって大きく以下に大別できる。レーザー干渉計（自由質点型）では、時空の歪みの直接測定を行う。地上設置検出器では10Hz - kHzの周波数帯域を対象とし、天体起源の重力波を主な探索対象とする。スペースクラフトの場合はmHz - 10Hz帯域の重力波によって、宇宙初期からの重力波や巨大ブラックホール等が観測対象となる。直接測定では共鳴型アンテナもあるが、高感度化や観測周波数の広帯域化に難点があり、近年は主流ではない。一方、間接的な測定手段もある。パルサータイミングによる背景重力波測定では、パルサーを標準時計としてnHz領域での背景重力波を探索する。また、宇宙マイクロ波背景放射のBモード偏極による探索では、インフレーションの際に生成された原始重力波の痕跡を探索する。

KAGRA (LCGT) はCRCが推してきた大型計画であり、地上設置のレーザ

一干渉計形重力波検出器である。基線長 3km の 2 本の光路をもち、熱雑音を低減する低温鏡によって構成する大型レーザー干渉計型検出器であり、岐阜県神岡鉱山内に設置して雑音源となる外乱の少ない安定した環境での高感度観測を目指す。KAGRA は 2010 年より建設に着手し、大震災の影響でトンネル掘削開始が遅れるなどしたが、2015 年末にシステム全体のテストも兼ねて短期間常温鏡での観測運転を行い、その後に鏡の低温化を行い本格的な観測運転に入る予定である。地上重力波検出器は、先行する LIGO (米国)、Virgo (伊仏) の高感度化改修計画である advanced LIGO, advanced Virgo が進行中であり、重力波の初検出を目指して熾烈な競争状況にある。各検出器は 2015 年頃から再稼働を開始し、2017-19 年頃にデザインした高感度の達成を予定している。重力波の直接検出は、波源 (到来方向) の決定、同時観測により信頼性を増すため、全天における探索可能領域の補完などのために、地球上の離れた地点に設置された複数台の検出器が必要になる。したがって、KAGRA もこれらの実験と競争するとともに、協力関係を築いて重力波検出ネットワークの一翼をになうことが求められている。またその他の高エネルギー天体観測との連携により重力波源のサイエンスをより多面的にあきらかにすることも望まれている。これらのために KAGRA コラボレーションにおける海外グループとの連携や協定締結の推進がなされ、あるいは相互フォローアップ観測の組織的な取り組みが始まりつつある。後者では同じく CRC 内の計画であるニュートリノ観測 (GADZOOKS!) や、高宇連や光赤天連、あるいは理論懇といったソサエティとの連携も試みられている。以上のいかなる場合も、KAGRA 本体の完成と重力波検出自体が成功のために不可欠であり、重力波グループが一丸と成って KAGRA の成功に邁進することが強く期待される。

DECIGO は日本発のスペース重力波検出器であり、やはり CRC の将来計画として 2010 年のシンポジウムでも挙げられている。LISA (現在は eLISA に再編、NASA, ESA) の mHz 帯域よりも高い 0.1Hz 帯域の観測をめざし、宇宙論的なサイエンスが見込まれる計画であり、現在は技術実証機である DECIGO Pathfinder が開発中である。DECIGO は地上検出器による重力波検出の後の実現を目指している。現在のところは日本の重力波研究者のマンパワーの多くが KAGRA に集中しているが、地上検出器とは技術的側面は必ずしも重ならず、将来計画としての R&D を進めている。

### 3-5 他分野との境界領域

宇宙線研究は、その黎明期から周辺分野と密接なつながりをもつ。特に、素粒子物理学と天文学との関係は一層深まっている。地下非加速器実験、ガンマ線天文学の発展はその際たる例であり、これらは「境界」でありつつも宇宙線物理学の「中心」でもある。太陽物理学や地球物理学との関連の研究も決して新しくはないが、今なお新たな展開が見られる。太陽表面や地球磁気圏での粒子加速を多波長・高時間空間分解能でその場観測することは、宇宙線物理学の究極目標である粒子加速の理解に不可欠である。SciCRT 実験は、ニュートリノ実験に利用された検出器をメキシコ高山に移設し、太陽フレア中性子やミュー粒子異方性を測るユニークな計画である。ニュートリノやミュー粒子による地球や火山、人工構造物内部の研究は、宇宙線観測技術が他分野の発展に寄与する好例である。放射性同位体測定による過去の太陽活動や宇宙現象の研究も近年成果をあげている。宇宙線による地球環境への影響が確実にになれば、宇宙現象と地球環境の関係という新しく壮大な学問領域の誕生につながる。

境界領域の研究は、一方の観測技術や知識が向上することで今後も急速に進展する可能性がある。LHC 加速器をもちいて空気シャワーにおける核相互作用を正しく理解する試みは、宇宙線観測の精密化と LHC の実現によって生まれた研究といえる。特に、LHC で超前方粒子を測定する LHCf 実験は日本の宇宙線研究者が主体となって遂行されている。LHC の最大衝突エネルギー( $10^{17}\text{eV}$ )は knee のエネルギーを超えている。この領域の宇宙線化学組成を正しく理解することで、銀河宇宙線の終焉から銀河系外宇宙線への遷移の過程の理解がすすむはずである。

現在、多くの「境界領域」研究は小規模に実施されているが、研究の動向によっては、これまでの研究分類にとらわれない将来の中型、大型研究につながる可能性もある。

## 4 タウンミーティング記録

参加者数は名簿記録による。

### 第 1 回

日時：2011 年 7 月 30 日（土）11:00–17:00

場所：東京大学 柏キャンパス図書館 1 階 メディアホール

テーマ：中規模将来計画について

参加者数：約 70 名

プログラム：

- 11:00-11:15 タウンミーティングの趣旨と「中規模計画」の状況説明  
伊藤好孝（名大：CRC 実行委員長）
- 11:15-11:45 大規模ハイブリッド検出器による最高エネルギー宇宙線天文学  
佐川宏行（ICRR）
- 11:45-12:15 JEM-EUSO ミッション：日本実験棟極限エネルギー宇宙天文台  
戎崎俊一（理研）
- 12:15-13:15 休憩
- 13:15-13:45 次世代超高エネルギー宇宙ガンマ線観測施設大規模チェレンコフ  
望遠鏡アレイ  
手嶋政廣（ICRR）
- 13:45-14:15 Tibet AS+MD+YAC  
瀧田正人（ICRR）
- 14:15-14:45 Askaryan Radio Array and IceCube High-Energy Extension  
吉田 滋（千葉大）
- 14:45-15:00 休憩
- 15:00-15:30 ニュートリノ観測装置を用いた極低放射能環境下での宇宙素粒子  
研究  
井上邦雄（東北大）
- 15:30-16:00 ガドリニウムを用いたスーパーカミオカンデによる反電子ニュー  
トリノの物理  
中畑雅行（ICRR）
- 16:00-16:30 XMASS-1.5  
鈴木洋一郎（ICRR）
- 16:30-17:00 全体質問・ディスカッション

### 第 2 回

日時：2012 年 1 月 22 日（日）10:00–17:00

場所：東工大大岡山キャンパス 本館 1 階 H111 講義室

テーマ：ガンマ線天文学関連

参加者数：62 名

プログラム：

- 10:00 開会、趣旨説明 (CRC 将来計画小委員会・神田)
- 10:05 CALET (30 分) (早稲田大・鳥居)
- 10:35 Tibet AS+MD+YAC (45 分) (ICRR・瀧田)
- 11:20 議論 (20 分)
- (11:40-12:40 昼休み)
- 12:40 CANGAROO (60 分) (京大 谷森)
- 13:40 CANGAROO 実験に対する CTA-Japan の見解 (20 分) (京大・戸谷)
- 14:00 議論 (20 分)

(14:20-14:50 休憩)  
14:50 CTA (60分) (ICRR・手嶋)  
15:50 近隣分野のコメント (30分) (東大・牧島)  
16:20 議論 (60分)

### 第3回

テーマ：超高エネルギー宇宙線観測分野

日時：2012年6月30日(土) 10:25-17:30

場所：東工大大岡山キャンパス 西3号館3階 W331 講義室

参加者数：59名

プログラム：

10:25- 開会、趣旨説明  
10:30-11:15 分野理論レビュー 高原文郎(阪大)  
11:15-12:00 分野実験レビュー 福島正己(ICRR)  
12:00-12:15 加速器実験による空気シャワーモデル制限 (レビュー)  
さこ隆志(名大 STE/KMI)  
12:15-12:30 ディスカッション  
(昼食)  
14:00-14:45 Telescope Array 2 佐川宏行(ICRR)  
14:45-15:30 JEM-EUSO 戎崎俊一(理研)  
(休憩)  
15:45-16:30 IceCUBE/ARA 吉田滋(千葉大)  
16:30-17:30 ディスカッション

### 第4回

テーマ：地下非加速器実験分野

日時：2012年7月22日(日) 10:30-17:30

場所：東工大大岡山キャンパス 本館1階 H111 講義室

参加者数：58名

プログラム：

10:30-10:45 趣旨説明+地下実験イントロ 伊藤好孝(名大 STE/KMI)  
10:45-11:30 関連分野(高エネルギー) 森俊則(東大)  
11:30-12:15 関連分野(原子核) 吉田斉(阪大)  
(昼食)  
13:30-14:15 XMASS-1.5 鈴木洋一郎(ICRR)  
14:15-15:00 GADZOOKS! 中畑雅行(ICRR)  
(休憩)  
15:15-16:00 KamLAND2-Zen 井上邦雄(東北大)  
16:00-16:45 Hyper-Kamiokande 塩澤真人(ICRR)  
16:45-17:30 ディスカッション

## 第 5 回 (CRC シンポジウム兼拡大タウンミーティング)

テーマ： 中規模将来計画全体

日時：2012 年 11 月 24 日(土) 12:30 -25 日(日)11:50

場所：東京大学柏図書館 メディアホール (柏キャンパス)

参加者数：初日 58 名 / 2 日目 60 名

プログラム：

[ 11/24 (土) ]

12:30

開会

12:30-12:40 趣旨説明 (伊藤好孝 / CRC 実行委員長 名大 STE/KMI)

12:40-13:00 将来計画検討小委員会中間報告 (神田展行 / 同小委委員長 大阪市大)

13:00-13:20 学術会議報告 (梶田隆章 / ICRR 所長)

各計画のステータス報告と質問についての Q&A (質疑込各 20 分)

13:20-13:40 CTA (手嶋政廣 / ICRR)

13:40-14:00 KamLAND2-Zen (井上邦雄 / 東北大)

14:00-14:20 Telescope Array 2 (佐川宏行 / ICRR)

14:20-14:40 JEM-EUSO (戒崎俊一 / 理研)

(休憩)

15:00-15:20 XMASS (森山茂栄 / ICRR)

15:20-15:40 TibetAS+MD+YAC (瀧田正人 / ICRR)

15:40-16:00 IceCUBE/ARA (吉田滋 / 千葉大)

16:00-16:20 GADZOOKS! (中畑雅行 / ICRR)

(休憩)

16:40-17:00 Hyper-Kamiokande (塩澤真人 / ICRR)

17:00-17:20 中型計画推薦書類案の提示と質問 (実行委員会)

[ 11/25 (日) ]

9:00-9:10 ICRR 将来計画委員会の報告 (寺澤敏夫 / 同委員会幹事 ICRR)

9:10-10:30 ディスカッション(1) 中型計画推薦書類の決定、  
関係する学術会議分科へのアクションなどについて

(休憩)

10:50-11:50 ディスカッション(2) 将来計画のサイエンスのロードマップについて

発表資料等を以下の Web ページに掲載している。

<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/CRC/townmeeting/index.html>

## 5 委員会活動記録

### 委員（50音順）

井岡邦仁(高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所) \*

伊藤好孝(名古屋大学太陽地球環境研究所)

井上邦雄(東北大学ニュートリノ科学研究センター)

荻尾彰一(大阪市立大学理学研究科) #

梶田隆章(東京大学宇宙線研究所)

河合誠之(東京工業大学理工学研究科) \*

神田展行(大阪市立大学理学研究科、委員長)

塚隆志(名古屋大学太陽地球環境研究所) #

寺澤敏夫(東京大学宇宙線研究所)

西嶋恭司(東海大学理学部) #

森 正樹(立命館大学理工学部)(第1回、第2回のみ)

\* は非 CRC 会員

# は第3回以降に加わった委員。

第2回までは、委員長は伊藤好孝。

## 委員会開催記録

- 第1回 2011年7月15日 16:00-17:15 (TV 会議)  
議題：同日のタウンミーティングでの議論の確認、意見交換、今後のスケジュール
- 第2回 2011年7月25日 14:30-16:40 (TV 会議)  
議題：タウンミーティング準備ほか
- 第3回 2011年11月11日 15:00-17:00 (TV 会議)  
委員追加、委員長交替後の第1回  
議題：検討方針、今後のスケジュールほか
- 第4回 2011年11月30日 15:00-15:40 (TV 会議)  
議題：第2回タウンミーティングの準備、プログラム検討
- 第5回 2012年1月22日 17:00-18:30 (東工大)  
ただし、17:00-17:30 は実行委員会と合同。  
議題：同日のタウンミーティングでの議論の確認、意見交換
- 第6回 2012年6月30日タウンミーティング終了後 (東工大)  
一部、実行委員会と合同。  
議題：同日のタウンミーティングでの議論の確認、意見交換、今後のスケジュール
- 第7回 2012年7月22日タウンミーティング終了後 (東工大)  
一部、実行委員会と合同。  
議題：同日のタウンミーティングでの議論の確認、意見交換、今後のスケジュールについて、中間報告、学術会議への回答ほか
- 第8回 2012年8月9日 17:00-19:00 (TV 会議)  
議題：中規模計画評価
- 第9回 2012年8月20日 17:00-18:00 (TV 会議)  
議題：中間報告案
- 第10回 2012年8月27日 13:15-14:30 (TV 会議)  
議題：中間報告案

- 第 11 回 2012 年 11 月 25 日シンポジウム終了後  
議題：学術会議への回答案

そのほか、メール回覧により最終報告作成作業をおこなった。

6 添付資料：学術会議天文学・宇宙物理学分科会への「中規模計画検討」の回答（2012年11月末日）

添付資料 1 : 各計画の概要、コミュニティの評価、コメント

計画名称	主要推進機関	計画責任者 (or 提案者)	所要経費総額 (億円)	計画希望時期	学術的評価 (S, A, B)	緊急性 (S, A, B)	各分野での検討 (S, A, B)	計画の目的と概要	期待される成果	共同利用・国際共同の有望・希望	計画の準備状況 (コミュニティでの議論状況を含む)	その他の事項 あれば適宜記入
<b>コミュニティから中規模計画として推す計画</b>												
CTA	東大宇宙線研	手嶋 政彦 (東大宇宙線研)	200億円 (日本負担 40億円)	希望建設開始年 2014年 希望運用開始年 2017年 予想運用期間 20年間	S	S	S	従来の装置の10倍の感度で20GeV-100TeVの範囲で観測できるチェレンコフ望遠鏡アレイ (CTA) を建設し、超高エネルギー粒子宇宙線と伽マ線を観測する。ALICEの10倍感度の宇宙線観測装置の建設も検討されている。	1000を超える銀河系内外天体から超エネルギーガンマ線を放射していることを明らかにし、宇宙線の起源を探る。	日米欧の国際共同研究として天文、宇宙物理、宇宙線物理学、高エネルギー宇宙線の観測の国際共同研究が進められている。国際共同研究の成果が期待されている。	09年CTA Japan構成、CTA宇宙線研究センターに署名し正式参加、カメラ、分割反折鏡開発中。国内グループ70名を超え、コミュニティの意も進む。	「 <b>今年度は優先としないが、展望をもちて進めるべき計画</b> 」として進められている。先行して、宇宙線観測の成果が期待されている。技術が確立されている。計画開始の予定は、計画中の技術実証実験の進捗が期待されている。
JEM-EUSO	理研	戒崎俊一 (理研)	180億円 (日本負担 60億円)	希望建設開始年 2014年 希望運用開始年 2017年 予想運用期間 3+2年間	A	S	S	カムランドの集光ミラー設計、タンク開口部改造等を行い、キセノン含有液体シンチレーターによる二重β崩壊の観測を行う。	13か国(日本、米国、フランス、イタリア、スペイン、イスラエル、ロシア)の国際共同研究が進められている。国際共同研究の成果が期待されている。	CRCなど各国コミュニティにおいて議論が進められている。国際共同研究の成果が期待されている。	「 <b>今年度は優先としないが、展望をもちて進めるべき計画</b> 」として進められている。先行して、宇宙線観測の成果が期待されている。技術が確立されている。計画開始の予定は、計画中の技術実証実験の進捗が期待されている。	
KamiLAND2-Zen	東北大	井上邦雄 (東北大)	30億円	希望建設開始年 2014年 希望運用開始年 2015年 予想運用期間 10年間	S	S	S	カムランドの集光ミラー設計、タンク開口部改造等を行い、キセノン含有液体シンチレーターによる二重β崩壊の観測を行う。	二重β崩壊の観測を行う。二重β崩壊の観測は、ニュートリノ質量の測定に重要な役割を果たす。	アメリカ、現行実験で二重β崩壊の研究が進行中。これらの資産はそのまま活用。シンチレータの開発、電子回路プロトタイプの開発など、一部概算要求も進行中。	「 <b>今年度は優先としないが、展望をもちて進めるべき計画</b> 」として進められている。先行して、宇宙線観測の成果が期待されている。技術が確立されている。計画開始の予定は、計画中の技術実証実験の進捗が期待されている。	
TA2	東大宇宙線研	佐川 宏行 (東大宇宙線研)	100億円 (日本担当 30億円)	希望建設開始年 2019年 希望運用開始年 2020年 予想運用期間 20年間	A	A	S	現在のTA実験の60倍で、約4万km <sup>2</sup> に拡張した超大型の宇宙線検出装置、大気蛍光望遠鏡。	4000平方メートルの超大型の宇宙線検出装置の建設が開始される。超大型の宇宙線検出装置の建設が開始される。	東大宇宙線研究センター、国際共同研究機関との協力が進められている。国際共同研究の成果が期待されている。	「 <b>今年度は優先としないが、展望をもちて進めるべき計画</b> 」として進められている。先行して、宇宙線観測の成果が期待されている。技術が確立されている。計画開始の予定は、計画中の技術実証実験の進捗が期待されている。	
XMASS I5	東大宇宙線研	鈴木洋一 (東大宇宙線研)	13億円	希望建設開始年 2014年 希望運用開始年 2016年 予想運用期間 5年間	S	S	S	有効質量100kgのXMASS-Iが進行中。XMASS-Iの観測結果は、暗黒物質の探索に重要な役割を果たす。	有効質量100kgのXMASS-Iが進行中。XMASS-Iの観測結果は、暗黒物質の探索に重要な役割を果たす。	韓国、有効質量100kgのXMASS-Iが進行中。XMASS-Iの観測結果は、暗黒物質の探索に重要な役割を果たす。	「 <b>今年度は優先としないが、展望をもちて進めるべき計画</b> 」として進められている。先行して、宇宙線観測の成果が期待されている。技術が確立されている。計画開始の予定は、計画中の技術実証実験の進捗が期待されている。	

大型科研費等による速やかな実現を目指すべき計画										
GADZOOKS!	東大宇宙線研	中畑雅行 (東大宇宙線研)	10億円	希望建設開始年 2014年 希望運用開始年 2015年 予想運用期間 10年間	-	S	スーバーガンダオカン子に約0.1%のガンダリニウムを溶解させ、中性子の同時計測により反電子ニュートリノを測定し、超新星爆発源を探る。	宇宙の重元素合成に約関する超新星爆発の初探出(10年5-33事象)を期待。また、電子ニュートリノ	米国、スペイン、韓国、中国	
IceCube/ARA	千葉大	吉田滋(千葉大)	日本負担1.7億円	希望建設開始年 2013年 希望運用開始年 2017年 予想運用期間 10年間	-	S	現行IceCubeまたは電波検出器を増設し、ニュートリノからの電波放射を探る。ARA計画の有意な信号を誘出する。	TeV領域での感度を向上し、ニュートリノの検出を可能にする。	アメリカ、ベルギー、イギリス、オーストラリア、台湾	
Tibet AS*MD+YAC	東大宇宙線研	瀧田正人 (東大宇宙線研)	9億円	既に1/3整備済。 残りの希望建設開始年 2014年 希望運用開始年 2014年 予想運用期間 6年間	-	S	チベット空気のシャワーを観測装置に水中エレメンコン地下ミニオン検出器の新設により	100TeV領域ガンマ線源の広視野観測によりKneef現象宇宙線の起源の特定、核種	中国	

添付資料 2 : 実行委員長 (2012 年度 伊藤好孝氏) よりの経緯説明文書

CRC 中規模将来計画検討の経緯と結果報告

2012年11月30日

CRC 実行委員長 伊藤好孝

宇宙線研究者会議 (CRC) では、従来から CRC 実行委員会主催による CRC 将来計画シンポジウム の場を中心に、宇宙線分野における将来計画の検討を行ってきた。その中で、昨年 (2011 年) の学術会議天文宇宙物理分科会からの中規模計画提案依頼を受けて、公募により 8 つの「中規模計画」をピックアップし、タウンミーティングを開催して分野の中での検討を行った (昨年 9 月に天文宇宙物理分科会に提出)。

その後、宇宙線近隣分野委員を含めた将来計画検討小委員会を常設化し、3 回の分野別タウンミーティング (ガンマ線天文学、最高エネルギー宇宙線、地下実験) と、続く全分野合同の CRC 将来計画シンポジウム (2012 年 11 月 24-25 日、東大柏キャンパス) を開催して、各中規模計画に対する分野内での共通理解と計画の練り上げを進めてきた。これらの議論は計画提案ヘフィードバックされ、例えば、宇宙線研および東工大の TA 実験グループが JEM-EUSO 実験に加入する、という実際の効果も生んだ。この流れの中で、今回の 2012 年度天文宇宙物理中規模計画の提案については、CRC 将来計画検討小委が原案を作り、9 月 13 日の CRC 総会 (秋季物理学会) において中間報告案の議論がなされ、CRC 実行委での討議の後、11 月 24-25 日の CRC 将来計画シンポジウムにおいて分野として承諾された結果となっている。以下に概要を示す。

- 1) 8 計画すべてについて、一連のタウンミーティングにおいて分野の中で十分な議論を行ってきたので、「各分野での検討」についてはすべて「S」評価とした。
- 2) 8 計画の中で、「Tibet AS+MD+YAC」「GADZOOKS!」「IceCube/ARA」の 3 計画は、比較的小規模ですでに大型科研費などで一部進行中の計画もあるため、これらは「大型科研費等による速やかな実現を目指すべき計画」と位置づけ、今回は中規模計画としては提案しないこととなった。これらについては別表とし、一部評価項目については記入せず (または「-」)、とした。
- 3) 残る 5 計画について、「学術的価値」「緊急性」について評価を行なった。「学術的価値」については目指すサイエンスの価値やその方法論、波及範囲に対する検討が十分な状況か等、緊急性については国際協力・国際競争や外的要因の状況などについて、議論された。最終的な総合判断を「その他の事項」に表記した。
- 4) 結果、5 計画の中から「CTA」および「KamLAND2-Zen」の 2 計画を「最優先で押す計画」とした。この 2 計画の間に順位はない。「CTA」については、多くの宇宙線源の観測や多様な成果が見込める点、大型国際計画として日本が乗り遅れず先導すべき点、が評価された。「KamLAND2-Zen」については、宇宙物理から地球物理、素粒子・原子核物理に至る幅広い領域で重要な成果が着実に見込める点が評価された。残る 3 計画は「今回は最優先とはしないが、展望をもって進める

べき計画」として、引き続き計画の練り上げを行なっていく事になった。

- 5) なお、「KamLAND2-Zen」については、素粒子・原子核分野に関わる計画であるため、他の素粒子分野に関わる計画(XMASS 1.5)と合わせて、学術会議素粒子原子核分科会でも中規模計画として取り上げるよう、同分科会へ要望書を送ることになった。

以上