

令和元年5月23日
文部科学省

資料1

科学技術・学術審議会学術分科会研究環境基盤部会
学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会
(第81回) R1.5.23

宇宙線関連分野の状況

東京大学宇宙線研究所長
梶田 隆章

報告の概要

- ニュートリノ研究
- 重力波研究
- (宇宙線研全体)

以上について、それぞれ以下を報告します。

- ・当該分野における国内外コミュニティの状況(今日の各分野の主な学術的潮流・動向など)
- ・プロジェクトの実施機関又は実施者としてのマネジメント状況(計画の進捗状況評価、資金計画管理等)
- ・国際協力等の連携方策、共同利用研究体制の実態など

ニュートリノ研究：当該分野における国内外コミュニティの状況

• ニュートリノ振動

- ニュートリノ振動で残された課題の探索(1. 3番目の質量状態は一番重いのか？、2. ニュートリノのCPは破れているのか？)

	JUNO(中国)	INO(インド)	DUNE(米国)	Hyper-K(日本)
質量階層性	○	○	◎	○
CP非保存	×	×	○	◎
開始予定年	2021	不明	2026?	2027希望

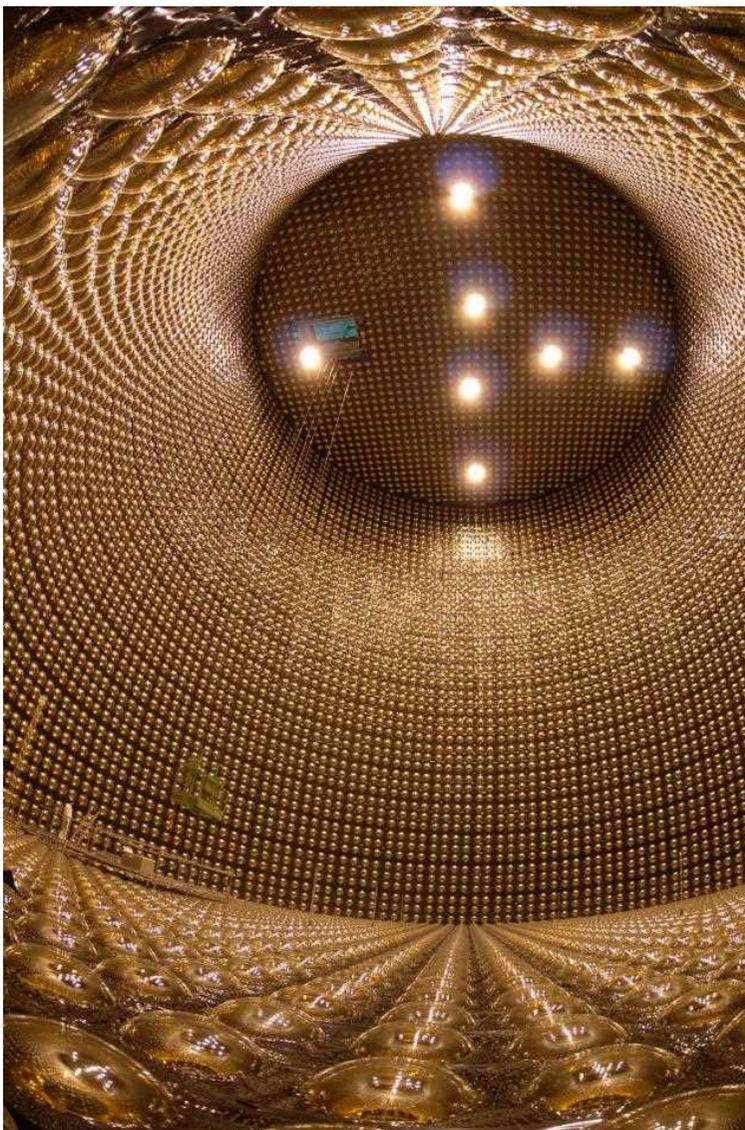
• 2重ベータ崩壊

- ニュートリノは特別な粒子か、すなわち、マヨラナ粒子か？(→ ニュートリノを放出しない2重ベータ崩壊の探索)(KamLAND-Zenなど)

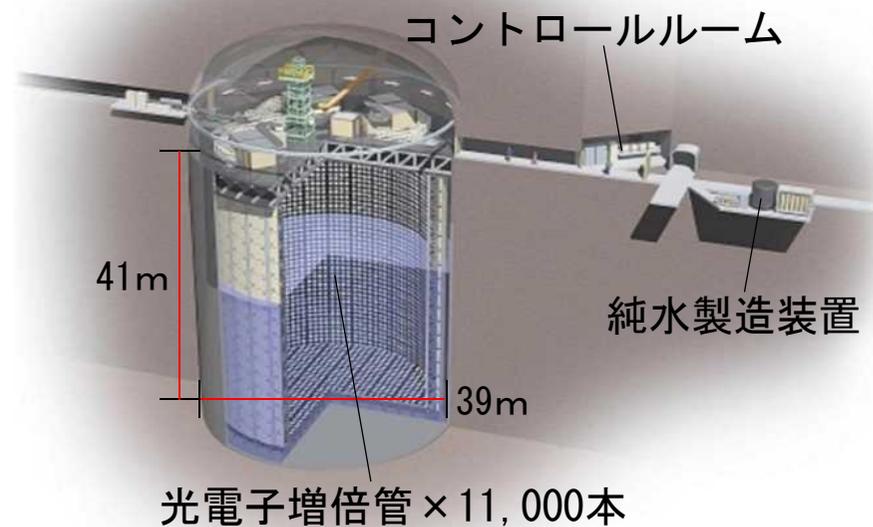
• ニュートリノを使って宇宙を調べる

- **超新星爆発で探る宇宙史(Super-K)**
- 超高エネルギー宇宙ニュートリノで探る宇宙線の起源、宇宙の高エネルギー現象 (IceCube, ...)

スーパーカミオカンデ (Super-K)



- 50,000トンの容積の水タンク (41m高さ、39m直径)
 - 22,000トン有効体積
- 11,000本の50cm光電子増倍管
- 地下1,000mの神岡鉱山内



スーパーカミオカンデ (Super-K) の概観図

Super-K: ニュートリノ振動の発見と展開

H10年(1998): 大気ニュートリノ振動の発見

$\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$ の振動

H13年(2001): 太陽ニュートリノ振動の発見 (+SNO)

$\nu_e \rightarrow \nu_{\mu,\tau}$ の振動

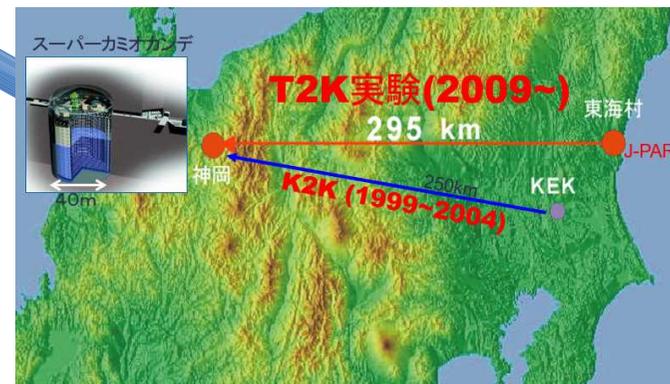
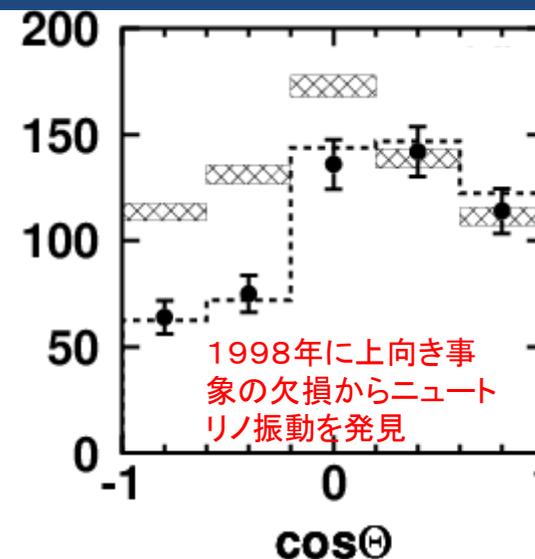
H16年(2004): K2K (KEK to Kamioka): 長基線加速器
ニュートリノ振動実験により大気ニュートリノ振動の
確認

H16年(2004): 振動パターンの発見 (大気 ν)

H23年(2011): T2K/SKにより、第3の(最後の)ニュート
リノ振動の発見 (J-PARCからの人工 ν)

$\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$ (全6事象)

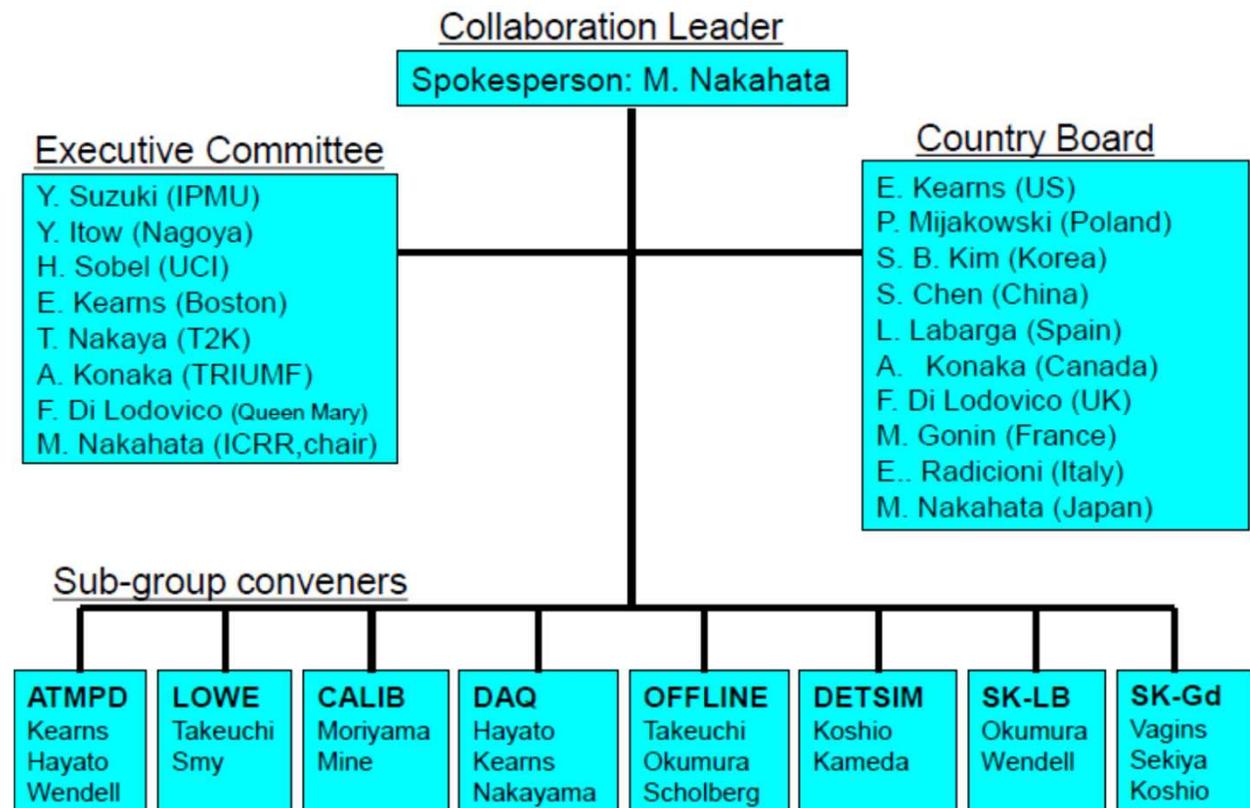
H24年(2012): タウニュートリノ出現の発見 (大気 ν)



ニュートリノ研究: 実施機関としてのマネジメント状況

Super-K

- ホスト機関は、東大宇宙線研。宇宙線研の研究者の多くが神岡に常駐。
- 神岡施設が施設と測定器の運営に責任を持つ。
- Executive CommitteeがSKの運営。
- Country Boardが各国の分担などを議論。
- 宇宙線研では神岡地区(ニュートリノと重力波)に本年から国際共同の予算で外国人対応のURA1名。



Super-K:運営体制

Executive Committee (EC)

ECは、SK共同実験の代表者、日本グループから2名、アメリカグループから2名、他国のグループから2名、T2K実験の代表者から構成される。各グループがそれぞれのメンバーを推薦する。ECはSK実験の運用、共同研究、予算に関するすべての議題について議論する。議論の結果をCollaboration Councilに提案する。

Collaboration Meeting(CM)

CMには、すべての共同実験者(スタッフ、学生を含む)が参加できる。実験装置の運用状況、データ解析の結果等について議論する。定期的に(年に2回)開催する。

Collaboration Council (CC)

CCの構成員は参加機関のスタッフメンバー。CCはcollaboration meetingの期間内に開催される。CCはSK実験の健全な運営を目的として、実験に重要な課題(実験装置の設定、論文の発表、データの公開、共同研究者の変更)について議論し、決定する。

Super-K: 国際協力の連携方策

Country Board

Role:

- Discuss international coordination of equipment resources and budget issues and recommend to the SK Executive Committee(EC).

Membership:

- One representative person from each country.
- Spokesperson chairs the board.

Current members

E. Kearns (US)
P. Mijakowski (Poland)
S. B. Kim (Korea)
S. Chen (China)
L. Labarga (Spain)
A. Konaka (Canada)
F. Di Lodovico (UK)
M. Gonin (France)
E.. Radicioni (Italy)
M. Nakahata (Japan)

- 「Country Board」は、SK実験のための物品供与や予算の国際協力について議論し、Executive Committeeに提言する。
- 各国を代表する人(各国1名)から構成されており、spokespersonが議長を務める。

現在の国別共同実験者数

Country	collaborators
Japan	96
US	28
Poland	1
Korea	6
China	2
Spain	3
Canada	9
UK	16
France	6
Italy	9

合計
176名

ニュートリノ研究：実施機関としてのマネジメント状況

Hyper-K

- 東大とKEKがホスト機関。東大はHyper-K測定器を、KEKはJ-PARC加速器、前置検出器を担当。
- 東大内に、次世代ニュートリノ科学研究機構を立ち上げた(2017年)。現在、宇宙線研、Kavli-IPMU、理学系研究科、地震研から合計36名参加し、Hyper-Kの建設に責任を持つ。
- Hyper-Kの国際諮問委員会(外国人と日本人)とその下に空洞・水槽分科会(日本人)を設置して、準備状況などにアドバイスをもらっている。次回は6/3に空洞・水槽分科会、6/25-26に諮問委員会。
- “Hyper-Kamiokande experiment Financial Forum”を立ち上げた。ここで各国の予算状況などについて、情報・意見交換を行う。次回は6/27-28(28日はJ-PARC見学)。
- 適宜、KEK素核研所長とICRR所長で情報交換会。

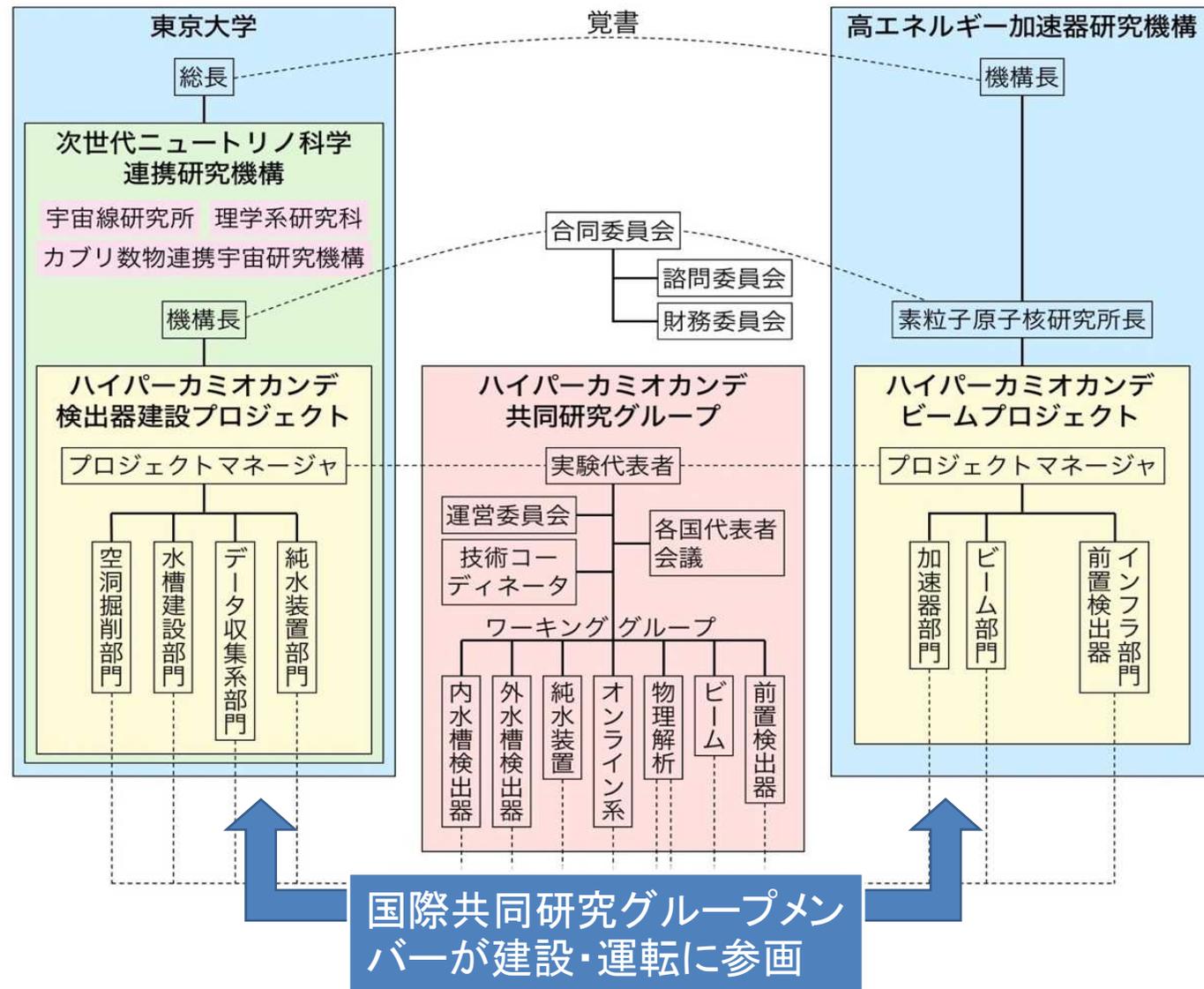
ニュートリノ研究：国際協力等の連携方策、共同利用研究体制の実態

- Hyper-Kは国際協力で建設から行うということで合意して推進。
- Hyper-K に関しては、“Hyper-Kamiokande experiment Financial Forum”を通して各国の予算機関や研究所などと連携し、国際協力の推進を図っている。(もちろん、そのベースにあるのは参加研究者の意見。)
- Hyper-Kへの各国の参加を更に大きくすることをめざし、日本側の中心的な研究者が多く国に行き、セミナーや議論を行っている。
- Super-Kの共同研究者が近年増加しているが、これはHyper-Kへの参加を見越して、技術や解析を習得しておきたいという思惑があると考えられる。
- 神岡施設の共同利用は、Super-Kを中心にその他の地下利用実験((観測を終了した)XMASSなど)が行われている。Super-Kの共同利用は主に各研究者の研究内容(データ解析や測定器改良など)に従って行われている。

次世代ニュートリノ科学連携研究機構の創設

- Hyper-Kの建設をホストするための、国際的により可視化された強力な研究・教育拠点(ハブ)を新たに形成。参加機関の強み・特色をいかす。
 - 共同利用・共同研究拠点を保有【宇宙線研究所】
 - 高い研究水準と卓越した国際的な競争力を有する開かれた研究システムの醸成・提供【宇宙線研究所、カブリIPMU(WPI)他】
 - 大型プロジェクト等の推進【理学部:カミオカンデ 宇宙線研究所:カミオカンデ、スーパーカミオカンデ、KAGRA】
 - 地下空洞の知見や地球物理学の展開【地震研究所】
 - 次世代リーダー輩出を含む大学院生の教育【全部局】
- **協議会**(**機構参加機関所長**やKEK機構長など)、**運営委員会**(**機構参加機関の代表者**、KEK素核研所長、J-PARCセンター長、国内大学研究者など)による概算要求、海外協力推進、体制整備、他に関するマネジメント
- **Hyper-K建設プロジェクト**(**機構参加機関の研究者**がホスト機関メンバーとして参加する)
 - 空洞建設グループ、水槽建設グループ、純水グループ、光センサーグループ、電子回路グループ他
 - 建設を主導すると同時に国内外研究者の受け入れのチャンネルとなる

推進体制計画



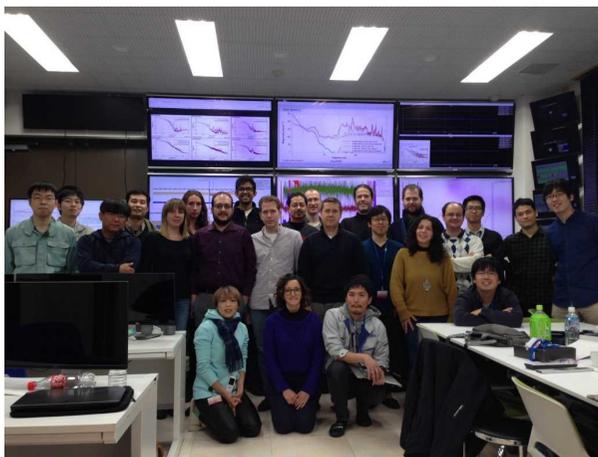
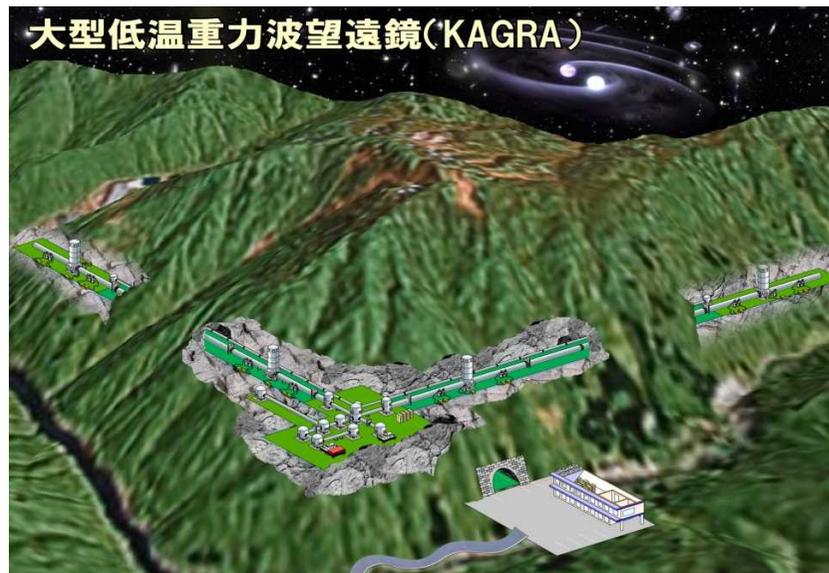
重力波研究：当該分野における国内外コミュニティの状況

- 米国LIGOは2015年から観測開始。欧州Virgoは2017年から観測開始。既に2018年までに、連星ブラックホール合体10例、連星中性子星合体1例を観測。2017年ノーベル物理学賞がLIGOの3人に。
- 現在LIGOとVirgoは感度をあげて、4月から新たな観測運転中(O3)。来年3月末までの予定。
- KAGRAは今年中のO3観測への参加を目指し、干渉計の試験を実施中。
- インドは、LIGOの機器類を使って新たな干渉計を組み立て、2025年頃観測に参加したい意向。
- 欧米のコミュニティは、次世代の重力波測定器のデザインを本格化し、更に公式なプランニング（米国はDecadal Survey, ヨーロッパは？）に載せたい意向。
- （なお、欧州では重力波観測のための宇宙空間でのレーザー干渉計の打ち上げを2034年頃に予定。感度のある波長帯が全く違うので地上のレーザー干渉計とは相補的。）

大型低温重力波望遠鏡(KAGRA):概要

目的

大型低温重力波望遠鏡KAGRAで宇宙からの「**重力波**」を観測することにより、超新星爆発やコンパクト連星合体の天体現象を解明する。それにより、ブラックホール生成の瞬間などを研究する**重力波天文学の国際的研究拠点を構築**する。

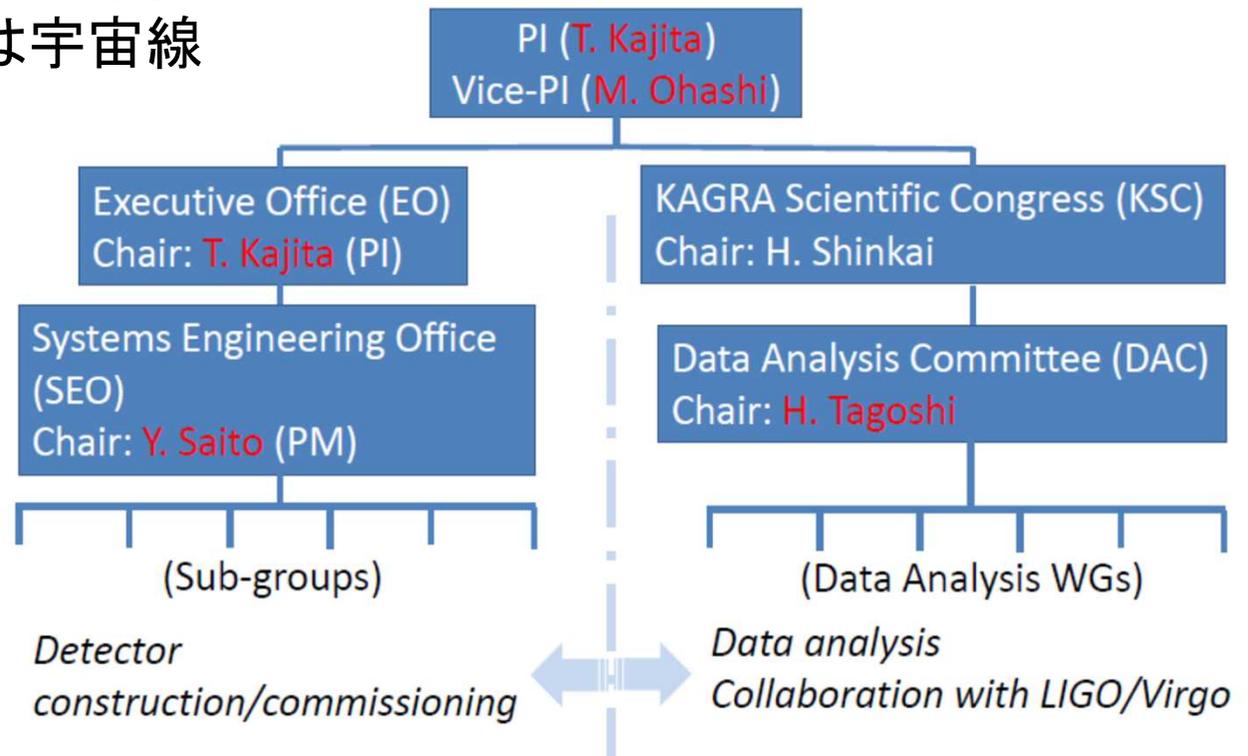


設備と事業の概要

- ・世界最高感度の**一辺3km**のL字型の**大型レーザー干渉計**を整備して重力波を観測する。
- ・宇宙線研をホストとし、国立天文台、高エネルギー加速器研究機構と協力し、国内外の研究者と共に国際共同利用・共同研究体制で実現。
- ・国内外で200人以上が集まる国際観測拠点の誕生。

重力波研究 (KAGRA) : 実施機関としてのマネジメント状況

- ホスト機関は、東大宇宙線研、KEK, 国立天文台。役割分担あり。
- 現場での建設を主導するため、宇宙線研と天文台は研究者の多くが神岡に常駐。KEKの研究者は、非常に頻繁に神岡に出張という形。
- プロジェクトの推進体制としては、建設とサイエンスに大きく分け、建設はホスト機関が大きな責任を持つ。(右図で赤字は宇宙線研)
- 本年から(国際共々の予算で)外国人対応のURA(ニュートリノと重力波で1名)。
- 毎年国際諮問委員会を開催し、プロジェクト進め方のアドバイスをもらう。



KAGRA:運営体制

Executive Office (EO)

EOは、KAGRA代表者が議長で、KAGRAを共同建設する3研究機関(ICRR, KEK, NAOJ)や協力する研究機関の代表者で構成される。今後は、海外機関の代表者も含める予定である。EOはプロジェクト運用、予算等に関する重要な案件について議論し決定する。決定事項についてCollaborationに報告する。

System Engineering Office (SEO)

SEOは、プロジェクトマネージャーを議長とし、レーザー干渉計の建設と運転における知識と経験を持つ者で構成される。KAGRA建設やインフラ整備の状況を把握し、リスクマネジメントにより必要と判断した対応を実行する。

KAGRA Collaboration Congress (KSC)

KSCは参加機関から推薦されたメンバーで構成される。その中で選挙によりKSC Boardが決まり、これが議論を主導する。KSCは年3回Face-to-Faceのコラボレーション会議を開催し、KAGRAサイエンスに関わる重要な案件について議論し、最終的には投票により決定する。

重力波研究(KAGRA): 国際協力等の連携方策、共同利用研究体制の実態

- KAGRAは予算が認められたとき(2010年)は、ほぼ日本国内の研究者のみからなるグループだったが、翌年くらいからアジア諸国を中心に国際共同研究をめざしてきた。
- 特に現在サイエンスの議論を行う部分(KAGRA Scientific Congress)では、国内外半々程度の比率で運営。
- なお、現状のKAGRAの感度を向上させるための新たな装置などについては、予算を含め国際協力での推進の予定。
- KAGRAの共同研究者は年々増加し、今年は、「自分の研究時間の30%以上をKAGRAのために使う」としてKAGRA論文の著者リストに名前が載る予定の人数は200人程度になる見込み。
- KAGRA関係の共同利用研究は、今までは各装置開発研究、設置作業が中心であったが、今後はデータ解析と、新たな装置の開発研究になる見込み。

宇宙線研全体としてのコミュニティとの連携、マネジメント体制、国際協力等の連携方策、共同利用研究体制の実態

- 宇宙線研究所として、特に宇宙線コミュニティとの連携を持っている：年に2回の日本物理学会での、宇宙線分野の全体会での、宇宙線研究所報告と議論、毎年のように行われる宇宙線分野の将来計画のミーティングなどでの、意見交換、情報交換。
- 宇宙線研究所の将来計画検討委員会や外部評価委員会など外部の目を通したマネジメント体制、国際協力推進などの評価。
- 新たにURA2名を雇用して、外国からの共同利用研究者への対応。
- 各研究グループにおいて独自に持っている国際ピアレビュー委員会などの活用(重力波など)。
- 参考：共同利用研究件数

年度	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
共同利用	98	104	105	117	119	123	125	128	124	133
国際共同										24