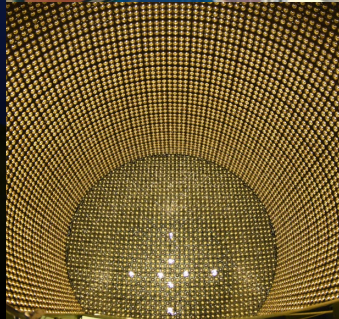
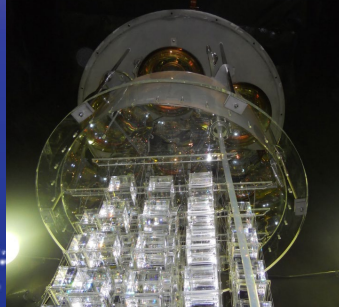
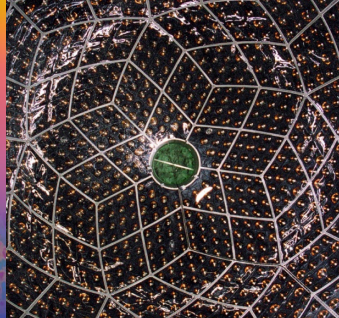


地下から 解き明かす 宇宙の歴史と 物質の進化

文部科学省 科学研究費助成事業 新学術領域研究

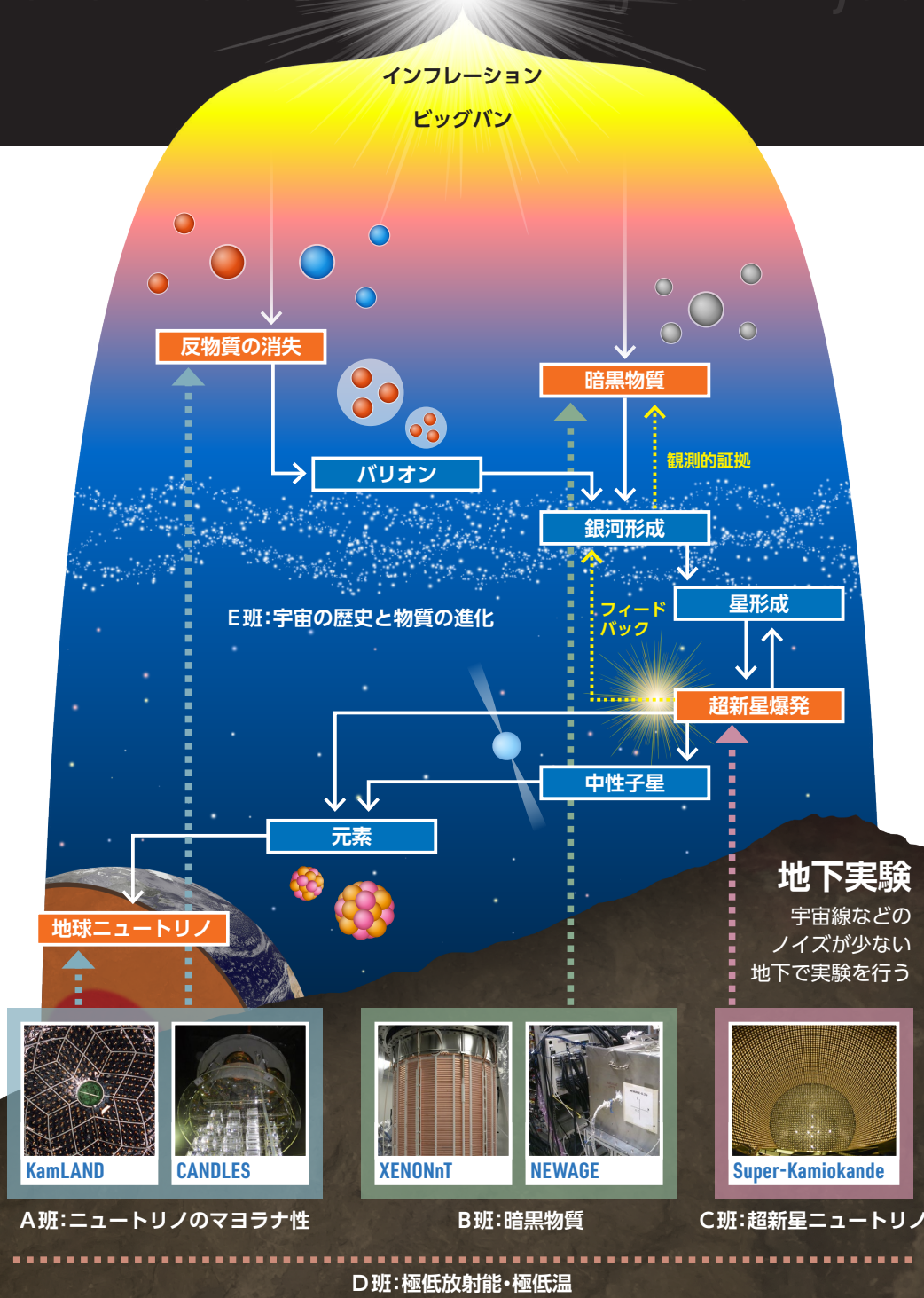


地下から解き明かす 宇宙の歴史と物質の進化

「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化」(2019年開始)は、「物質はどこから来たのか?」「星・銀河はどのように作られたのか?」「元素はどのように作られたのか?」「どのように地球に行き着いたのか?」という宇宙の各時代の基礎的・根源的な謎の解明につながる「ニュートリノのマヨラナ性」「暗黒物質」「超新星ニュートリノ」「地球ニュートリノ」等の最重要課題に取り組んでいます。実験的には、極低放射能技術を基盤とした素粒子・原子核の実験的手法を用い、低温技術の新たな導入によって高分解能化や更なる低バックグラウンド化による**装置の高感度化**を目指します。理論的には、物質の起源と銀河形成に重要な役割を果たす暗黒物質を統一的に解明して、**素粒子的宇宙像の確立**を目指します。また星形成の歴史を過去の超新星爆発と関連づけ、長い時間スケールで超新星爆発を解明することで星の終末を解明し、**宇宙の化学進化**に波及させようとしています。さらに地球始原隕石と関連付けることで、地球ニュートリノ観測・地球科学の知見を取り込み、**地球の形成・ダイナミクス解明**にも貢献しようとしています。

右ページ図のように各分野をリードする実験が**3本の柱**(A班、B班、C班)となり、これらの実験を極低放射能および低温の**技術基盤**(D班)上の密接な連携によって長期的展望で発展させ、宇宙の各時代の謎の究明に挑んでいきます。その成果を素粒子的宇宙像構築に取り込み、統一的な**理論基盤**を構築して相乗効果を得る(E班)ことで、領域目標の「**宇宙の歴史と物質の進化の系統的理解**」につなげます。公募研究による萌芽的な技術開発や研究展開・他分野との連携への支援とともに、総括班が各研究の連携・国際活動を促進することで、この一連の流れを円滑に達成していきます。

本新学術領域では、**世界をリードするKamLAND、XENONnT、SK-Gdの旗艦プロジェクト**での格段の発展が見込まれ、長期的な視点に立った革新的技術の基礎研究や、より詳細な背景物理研究の実現を目的にした多様な技術開発が戦略的に実施されます。この広い視点に立った計画展開に優秀な若手が参加することで、**長期的な競争力強化と将来の強いリーダー育成**も同時に実現していきます。

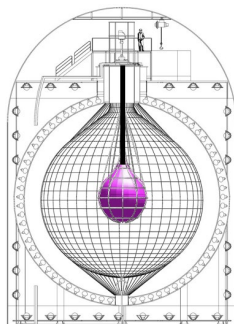


A01

逆階層領域での ニュートリノのマヨラナ性の研究

研究代表者 井上邦雄 東北大学 教授 | 計画研究及びカムランドの統括

カムランドは超純粋な油状の発光液体を直径18mの球形タンクに蓄え、ニュートリノ反応や稀な現象を観測します。本研究では、ニュートリノのマヨラナ性を検証できる特別な原子 ^{136}Xe をカムランドの中心に大量導入することで、世界最高感度でのマヨラナ性の検証を行います。これまでの探索で、縮退構造領域ほぼ全域を排除する世界で最も厳しい制限を得ています。さらに ^{136}Xe の倍増にも成功しており、今後は逆階層領域に探索を進めて、領域メンバーが構築した理論モデルの検証も行います。探索感度向上のために、地下に到達した宇宙線が作るバックグラウンドの選別と、20年近く使って性能劣化した光電子増倍管への対策を行います。タンク内の液体を退避させて光電子増倍管を更新することができないため、宇宙線到達後の詳細なデータを取得できる高性能電子回路を開発し、弱くなった光電子増倍管の信号を増幅するアンプを導入します。世界最高感度を更新し続けることで、世界初のマヨラナ性の発見を目指します。マヨラナ性の検証で宇宙物質優勢の謎に挑み、並行して地球内部を透視する地球ニュートリノ観測で地球の形成やダイナミクスの究明にも挑戦します。宇宙の始まりと今を同じ装置で研究するのが、A01班の特色です。



カムランド禅実験の模式図：直径18mの球形タンク内面に約2000本の光電子増倍管が装着され、直径13mのナイロンバルーンに満たした液体シンチレータの発光をモニターしています。本研究計画では、さらに中心に ^{136}Xe 含有液体シンチレータを封入した直径4mのミニバルーンを吊り下げ、逆階層領域に切り込む感度でニュートリノレス二重ベータ崩壊を探索します。

ニュートリノのマヨラナ性と宇宙物質優勢

現在の宇宙は物質でできています。無から生じた宇宙に反物質が無く、物質優勢であることはとても不思議なことです。この物質優勢宇宙の謎を説明できるレプトジェネシス理論が前提としていることが、ニュートリノのマヨラナ性です。マヨラナ性とは、「電荷を持たないニュートリノには粒子・反粒子の区別がない」ことを言います。もしニュートリノがマヨラナ性を持つならば、2つの反ニュートリノが消滅して2つの電子のみが放出される「ニュートリノレス二重ベータ崩壊」が起きることが可能です。この崩壊の理論が1939年に提唱されてすでに80年以上。未だ発見されていません。いつ発見されるかは、崩壊の起こる頻度、すなわちニュートリノ質量と関係します。もし、ニュートリノの質量パターン（質量階層構造）が「逆階層構造」であれば既存技術の高感度化検出器で、「順階層構造」なら新技術を用いた次世代検出器で発見されると考えられています。そのため本領域で



カムランドは、原子炉ニュートリノ振動の発見や世界初の地球ニュートリノ観測を経て、世界をリードするニュートリノレス二重ベータ崩壊の探索に発展してきました。さらに大きく発展させるアイデアも温めつつ、使える装置の性能を極限まで引き出すことで強いグループを形成しています。新学術領域はさらに大きなまとまりで相乗的に発展していくものですから、可能性は指数関数的に広がります。今後の地下宇宙素粒子研究コミュニティの発展にご期待ください。

井上 邦雄

⁴⁸Caを用いたニュートリノマヨラナ性の研究と次世代高感度化技術開発

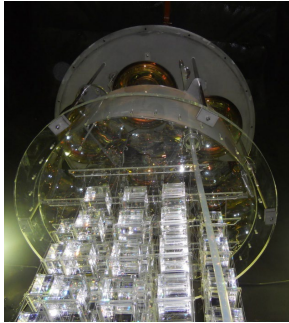
研究代表者 梅原さおり 大阪大学 准教授 | 総括及び二重ベータ崩壊測定

研究分担者 仁木秀明 大阪大学／福井大学 協同研究員 | ⁴⁸Ca 濃縮技術開発

小川泉 福井大学 准教授 | 濃縮 ⁴⁸Ca 生産

宮永憲明 レーザー技術総合研究所 特別研究員 | 高出力青色レーザー開発

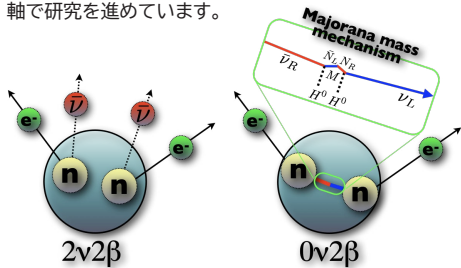
高純度フッ化カルシウム (CaF₂) 結晶を用いた二重ベータ崩壊測定装置 CANDLES。この装置で二重ベータ崩壊測定を行うとともに、さらに高感度の次世代二重ベータ崩壊測定装置の開発を行います。



A02班ではニュートリノのマヨラナ性の検証をするために、二重ベータ崩壊研究のための次世代検出器開発をします。本領域では、A01班の高感度検出器で世界最初の二重ベータ崩壊発見を目指しますが、ニュートリノ質量によっては見つからない可能性もあります。またニュートリノの性質調査のためには、さらに高感度・高精度の次世代二重ベータ崩壊測定装置が必要となります。この次世代測定装置には、別の二重ベータ崩壊核(カルシウム48、⁴⁸Ca)を用いることが有効です。大量の二重ベータ崩壊核を用いることができる上に、二重ベータ崩壊確率からニュートリノ質量を換算する際に生じる原子核ごとの理論計算からの誤差の影響を小さくできるためです。

この次世代測定装置には新しい3つの技術(⁴⁸Caの濃縮、高純度フッ化カルシウム (CaF₂) 結晶、高エネルギー分解能のCaF₂蛍光熱量検出器)が必要です。これらの技術を、A02班の原子核素粒子研究者、光工学研究者、D01班の「低放射能技術」研究者、D02班の「低温技術」研究者が協力して開発します。原子核素粒子研究者だけでなく、さまざまな研究分野の研究者が協力し、測定感度を100倍に改善した新しい次世代二重ベータ崩壊測定装置の開発を目指します。

は、最初の発見を目指したA01班、次世代検出器での測定(高精度・他原子核実験)を目指したA02班の2軸で研究を進めています。



通常の二重ベータ崩壊(左)とニュートリノレス二重ベータ崩壊(右)：通常の二重ベータ崩壊では、2つの反ニュートリノと2つの電子が放出されます。ニュートリノレス二重ベータ崩壊では、2つの電子だけが放出されます。本領域ではニュートリノレス二重ベータ崩壊の発見を目指します。



とても大きな宇宙はどこまでも謎に包まれています。私たちの近くにある小さな原子核・素粒子は、大きな宇宙の謎を解くためのプロブになります。そこから得られる小さな信号を、静かな地下実験室で観測します。「地下実験室から宇宙を探る」、「原子核・素粒子実験で宇宙を探る」、大きな謎解きの夢をどこまでも追いかけます。

梅原さおり

B01 高感度大型装置で推進する暗黒物質直接探索

研究代表者 森山茂栄 東京大学 教授 | 統括及び暗黒物質探索

研究分担者 Martens Kai 東京大学 准教授 | 中性子検出器、暗黒物質探索

安部航

東京大学 助教 | 液体キセノン検出器及び中性子検出器、暗黒物質探索、新型検出器の開発

風間慎吾

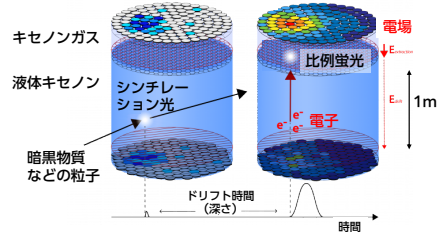
名古屋大学 特任助教 | 液体キセノン検出器及び中性子検出器、暗黒物質探索、新型検出器の開発

中村正吾

横浜国大 准教授 | 検出器高感度化のための研究

暗黒物質の世界初の直接検出へ向けて、本XENONnT実験では過去30年以上に渡る暗黒物質探索の技術の粋を集めてきました。B01班は5年間の測定でこれまでより1桁以上感度を上げ、信号の発見もしくは高い有意性を持つ兆候を捉え、新たな研究段階へ進めることを目的としています。

暗黒物質が身の回りの物質と衝突などの反応を生じるのは非常に稀なため、観測には大量の標的が必要です。その上、反応した信号がノイズではなく暗黒物質が反応したものだと確信が持てるように、究極のノイズ除去技術の実現が必須となっています。世界最大の約4トンの液体キセノンを標的として用いて、重要なノイズとなる中性子の発生を記録する装置を初めて導入することで、世界最高感度を実現します。この発見への切り札はC01班の開発したガドリニウムを用いた中性子検出原理の応用です。発見の際は背景にある物理の理解のためE01班と連携して分析を進めます。暗黒物質の検出器を利用すると超新星バーストニュートリノを観測できると期待されており、観測の暁にはE02班の協力を仰ぐ事ができます。低バックグラウンド技術はD01班との連携を行いたいと考えています。



液体キセノン検出器の原理。約4トンの超高純度液体キセノンに暗黒物質が衝突するとシンチレーション光(左)と比例蛍光(右)が生じ、それらを上面と底面の光センサが捉えます。下の中性子検出器と併せてこれまでより1桁高い感度で暗黒物質を探索します。



B01班が大きな役割を果たすガドリニウムを用いた中性子検出器の建設風景。運転時はガドリニウムを溶解した水を満たし、中性子捕獲によるチェレンコフ光を検出します。直径25cmの光センサが見えます。

暗黒物質の直接検出と宇宙の歴史の解明

暗黒物質の証拠は、これまで天文学的な観測でしか得られていません。身のまわりで飛び交っているはずの暗黒物質を実験室の装置で捉えることができれば、暗黒物質の性質を研究し、暗黒物質が従う法則と本領域研究が目指す宇宙の歴史の解明へ繋がられる可能性が出てきます。たった1種類の未知の粒子を捉えることで、宇宙に見られる沢山の不思議な現象を一気に説明でき



暗黒物質の正体の理解は、科学の研究テーマの中でもトップ10に入るほどの重要課題だと考えられています。直接的発見がなされれば、学問的影響は計り知れません。競争も激しく米中の計画に先んじた証拠を掴みたいと考えています。B01班では、本大型装置を超えた将来の暗黒物質分析装置の基礎となる日本発の技術の育成も含んでいます。

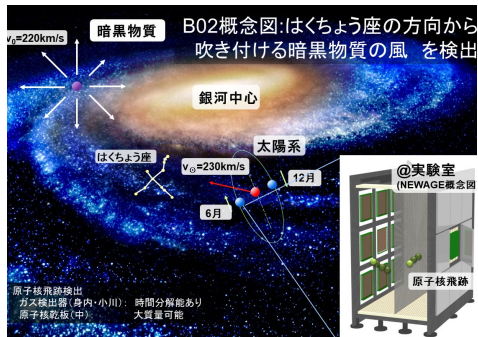
森山茂栄

B02 方向に感度をもった暗黒物質直接接探

研究代表者 身内賢太郎 神戸大学 准教授 | 統括及びガス検出器

研究分担者 中竜大
小川洋

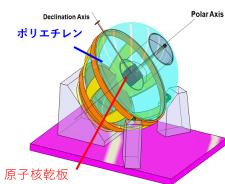
東邦大学 講師 | 原子核乾板による暗黒物質探索
日本大学 助手 | ガス中からの放射性不純物除去



方向に感度を持つ暗黒物質直接探索: 私たちのすむ銀河は暗黒物質に取り囲まれています。太陽系の運動のため、暗黒物質は進行方向(はくちょう座の方向)から多く到来しています。原子核の飛跡を検出可能な検出器を用いて、方向に感度を持つ探索を行います。

NEWS-dm実験: 原子核乾板を用いて原子核の飛跡を検出します。環境からの放射線バックグラウンドをポリエチレンなどで遮蔽し、赤道儀に搭載して方向に感度を持つ探索を行います。

NEWS-dm概念図



ると期待されているのです。

そのためにはまず実験室で暗黒物質を直接検出することが課題で、B01班が世界最大の標的を用意し衝突の確率を増やし初の直接検出を狙います。さらにその発見に続き、暗黒物質の到来方向の観測を通じて確実な証拠や暗黒物質の性質を調べるB02班の研究が将来を見据えて連携しています。

B02班はガス検出器を用いたNEWAGE実験及び固体検出器(原子核乾板)のNEWS-dm実験の2つの実験の協力によって、方向に感度を持った暗黒物質探索実験を推進します。B01班では暗黒物質との反応で通常の物質が得るエネルギーのみを検出するのに対して、B02班では通常の物質(原子核)が蹴とばされた方向まで検出するという一歩進んだ検出器の開発を進めます。「方向に感度を持つ」という特徴的な手法は、暗黒物質の直接検出の確実な証拠、さらには正体解明に向けてのキーテクノロジーとなります。NEWAGE実験は世界をリードしている三次元飛跡検出器を発展させ、低バックグラウンド(1/10倍)・大容積(5倍以上)化した検出器を製作、方向に感度をもった暗黒物質探索を世界最高感度で進めます。NEWS-dmでは、赤道儀に検出器を搭載し、原子核乾板としては初の暗黒物質探索実験を行います。

ガス中の放射性不純物除去など、暗黒物質への感度向上の決め手となる低バックグラウンド技術に関してはD01班と、暗黒物質に関連した理論に関してはE01班と綿密な連携をとり、宇宙の歴史解明に向けて研究を進めます。



暗黒物質、ナゾすぎます。宇宙の歴史の中で重要な役割を担っているのに、なんだか分かりません。宇宙138億年のうちの5年間の研究期間ですが、宇宙の歴史解明に少しでも爪痕を残してやりたい、そんな気持ちで研究を進めて行きたいと思っています。

身内賢太郎

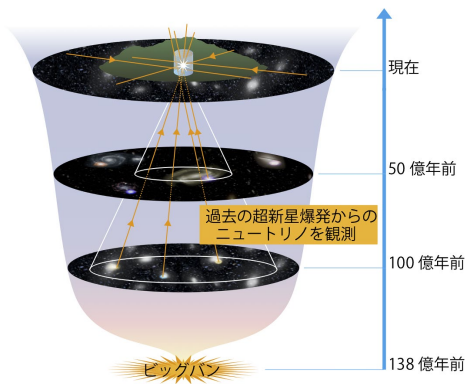
超新星背景ニュートリノの高感度観測でせまる 宇宙星形成の歴史

研究代表者 関谷 洋之 東京大学 准教授 | 統括及び水システム高性能化

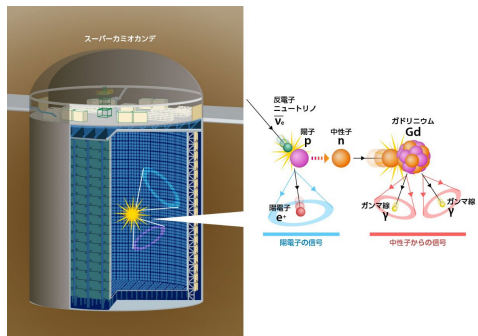
研究分担者 竹内康雄
鈴木良一
高久雄一

神戸大学 教授 | 水システム低放射能化、ラドン測定
産業技術総合研究所 主席研究員 | エネルギー校正
筑波大学 研究員 | ガドリニウム定量分析

スーパーカミオカンデは、直径39.3m、高さ41.4mの円筒形タンクに貯めた5万トンの「水」を標的とし、タンクの壁に設置された約1万3千本の光センサーによって、その水中で起こるニュートリノによる反応を捉えます。数あるニュートリノの中で、いま最も注目しているのが「超新星背景ニュートリノ」です。宇宙全体では、太陽の8倍以上の質量の星の最期の姿である「超新星爆発」が毎秒数回の頻度で起きており、宇宙が生まれてから現在まで、超新星爆発から放出されたニュートリノは宇宙に拡散され、蓄積されているはず。この蓄積された超新星背景ニュートリノの観測により超新星爆発の理解を進め、さらに宇宙での元素合成の理解へとつなげたいのです。2020年8月、スーパーカミオカンデは水にガドリニウムを0.01%の濃度で導入し、新たな姿に生まれ変わりました。これにより、これまで区別が難しかった電子ニュートリノと反電子ニュートリノが違った見え方をするようになり、超新星背景ニュートリノで反応数が一番多い反電子ニュートリノを選び出すことが出来るようになりました。C01班では、超新星背景ニュートリノを世界で初めて捉えることを目指しています。



超新星背景ニュートリノの検出とは、宇宙の過去に起きた超新星爆発によって放出されたニュートリノを今、捕らえることである。



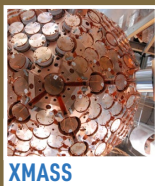
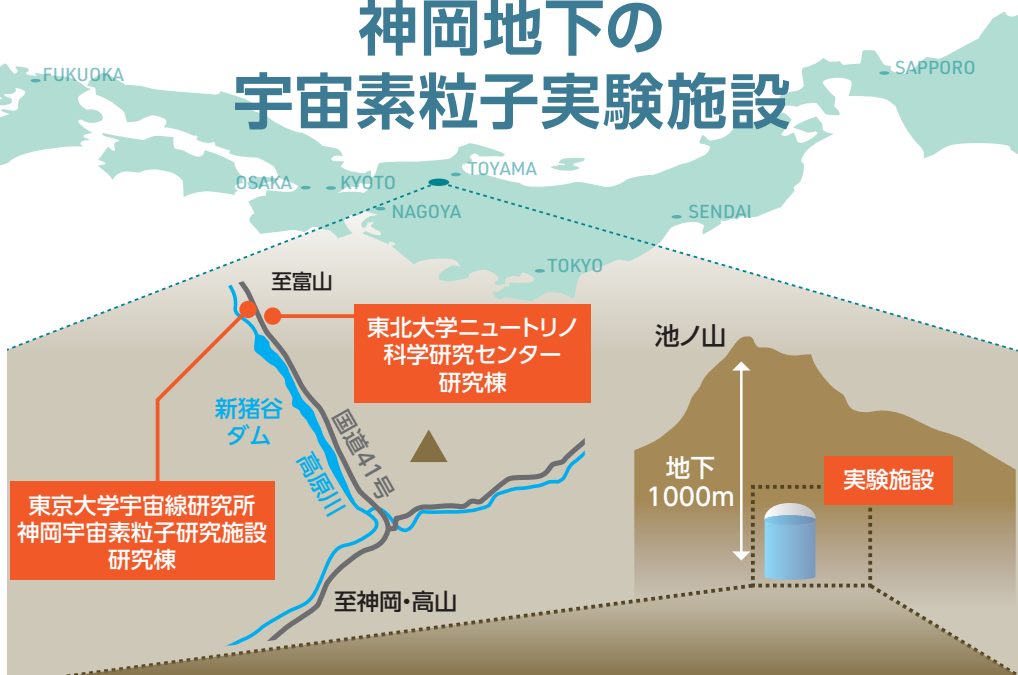
反電子ニュートリノがスーパーカミオカンデで反応した際の新しい「見え方」。



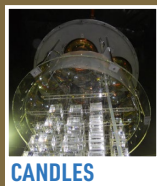
宇宙の仕組みを知るために、地下深くにもぐって研究している人たちがたくさんいるんだということをぜひ知っていただきたいです。研究すればするほど、ニュートリノがこの宇宙で果たしている役割がとてつもなく大きいことが分かってきました。生まれ変わったスーパーカミオカンデ（と建設中のハイパーカミオカンデ）で物質の起源を明らかにするという夢を追い続けます！

関谷 洋之

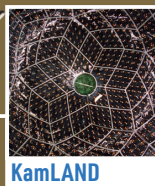
神岡地下の 宇宙素粒子実験施設



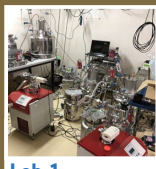
XMASS



CANDLES



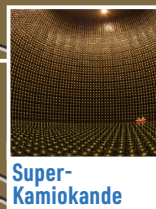
KamLAND



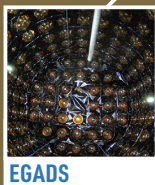
Lab-1



Lab-A



Super-Kamiokande



EGADS



NEWAGE



SK-Gd water system

D01 極低放射能技術の最先端宇宙素粒子研究への応用

研究代表者 南野彰宏 横浜国立大学 准教授 | 全体の総括、中性子測定

研究分担者 田中雅士 早稲田大学 准教授 | 中性子測定

池田一得 東京大学 助教 | ラドン測定

竹田敦 東京大学 准教授 | ラドン測定

岩田圭弘 日本原子力研究開発機構 研究員 | クリプトン測定

伊藤主税 日本原子力研究開発機構 主任研究員 | クリプトン測定

市村晃一 東北大学 助教 | 検出器材料中の放射性不純物測定

バックグラウンドとは、星空を観測する時の街の明かりのようなものです。つまり、観測対象を見えにくくするノイズです。D01班の目的は、本領域研究のA01、A02、B01、B02、C01、D02班で推進する各実験におけるバックグラウンドをできるだけ小さく抑える技術を開発することです。そして開発した技術を実験グループの垣根を超えて共有することで、本領域研究から宇宙素粒子物理学の大発見が生まれることを目指します。本領域研究で推進する実験で問題になるバックグラウンドは、宇宙線と放射性不純物に大きく分類できます。このうち宇宙線とは、宇宙から地球に降ってくる目には見えない粒子です。地上では手のひらの大きさに1秒間に約1個の宇宙線が通過しています。この宇宙線によるバックグラウンドを岩盤でブロックするために、本領域の実験は地下で観測を行っています。もうひとつのバックグラウンドである放射性不純物は、実験装置中に極微量含まれるウランやトリウムなどの不安定な原子のことで、崩壊するときにバックグラウンドとなる粒子を放出します。D01班では、実験装置中の放射性不純物含有量を世界最高感度で測定し、それを低減する技術を開発します。



神岡地下実験室にある複数のラドン検出器。



クリーンスーツを着用して放射線バックグラウンド源の濃縮作業を行う代表者。



研究内容で書いたとおり、地下で実験をしているのはバックグラウンドである宇宙線を岩盤でブロックするためです。一方、ニュートリノは物質とほとんど反応しないので、岩盤なんて簡単に通り抜けてきます。ですので、地下で実験を行っても何の問題もないのです。ただ、ニュートリノは実験装置ともめったに反応しないので、観測するには巨大な装置が必要になります。

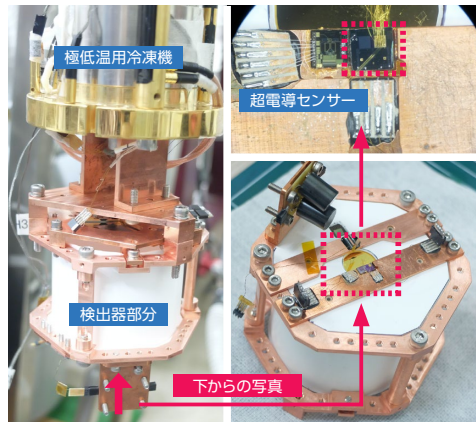
南野 彰宏

D02 極低温技術による宇宙素粒子研究の高感度化

研究代表者 吉田 齊 大阪大学 准教授 | 総括、0ν2β実験

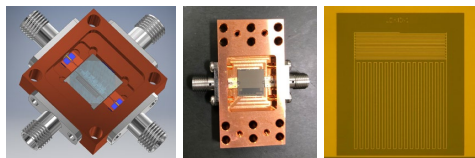
研究分担者 石徹白晃治
岸本康宏
美馬 寛

東北大学 准教授 | 暗黒物質探索
東北大学 教授 | アクシオン探索
情報通信研究機構 研究員 | 超伝導センサー、計測技術開発



左：絶対零度近く（0.01K）まで冷却するための冷凍機に取り付けられた0ν2β崩壊探索用に開発中の検出器。

右下：検出器を下から見た写真。囲んだ部分が検出器の心臓部で、右上に拡大されている超伝導センサー（極低温で動作する超高感度の温度計）が搭載されています。



左：裏と表から信号を読み出せる新しい発想を取り入れた開発中のKID検出器と呼ばれる超伝導センサーを応用した検出器のデザイン。

中央：試作した検出器。

右：KID検出器の心臓部である超伝導共振器部分の拡大写真。

D02班では、本領域研究で取り組んでいるニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊や宇宙暗黒物質の探索研究に、検出方法として新しく「極低温技術」を取り入れてることで、探索感度を飛躍的に向上させることを目指しています。絶対零度に近い0.01K（ケルビン）という極低温にまで冷却した物質中で起こる温度上昇によって放射線のエネルギー測定を行う原理を応用することで、エネルギー分解能（測定精度）をこれまでの10倍に改善します。また同じような極低温で超伝導状態になった標的材料を使用して、暗黒物質による信号をこれまでの100分の1程度の微弱なものまで検知できるようになる研究開発や、低温技術を利用した超伝導磁石を使って超強力な磁界を作り、磁界と相互作用するタイプの暗黒物質候補（アクシオンなどと呼ばれています）も新たに探索できるように研究開発をしています。

これらの研究によって、エネルギー分解能や微弱信号の検出限界を目標値まで向上できると、より微小なニュートリノ質量を探索できたり、これまで探索が未着手だったタイプ（軽い質量）の暗黒物質探索を実現できるようになります。



極低放射能に、極低温での計測という新しい技術を加えて研究の質を向上させるため、主に検出器開発の研究をしています。新しい技術の導入には多くの困難が立ちはだかりますが、楽しみながらその困難に挑んでいます。

吉田 齊

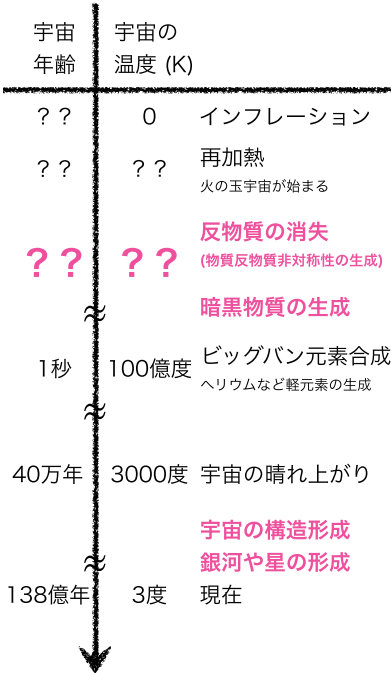
E01

物質の起源を解明する新たな素粒子模型と 初期宇宙進化の理論研究

研究代表者 濱口幸一 東京大学 准教授 | 総括、反物質消失の理論

研究分担者 長峯健太郎 大阪大学 教授 | 暗黒物質シミュレーション
松本重貴 東京大学 教授 | 暗黒物質理論
Melia Thomas 東京大学 特任助教 | 暗黒物質理論
柳田勉 東京大学 客員上級科学研究員 | 素粒子模型構築

宇宙は謎に満ちています。現在の宇宙を満たしている全エネルギーのうち、約69%は「暗黒エネルギー」、約26%は「暗黒物質」、約5%は私たちの知っている「物質」（陽子や電子）で占められている事が分かっています。「暗黒エネルギー」も「暗黒物質」も正体はわかりません。「物質」の正体はわかっていますが、もともと同じ数だけあったはずの「反物質」がどうして消えたのかその原因がわかりません。宇宙の全てが謎だらけという訳です。私たちE01班では、このうち「暗黒物質の謎」「消えた反物質の謎」に挑むための理論研究を行なっています。消えた反物質の謎は、ニュートリノ質量の起源やニュートリノのマヨラナ性と密接に関係している可能性があります。本領域研究で行われているニュートリノのマヨラナ性検証実験（A01、A02班）や暗黒物質探索実験（B01、B02班）と連携し、アイデアや情報を交換しながら研究を進めています。さらに超新星に関する理論研究（E02班）とも連携し、インフレーションから現在に至る宇宙の歴史と物質の進化の解明に挑みます。



宇宙が誕生してから最初の1秒間に何が起きたかはわかっておらず、謎に包まれています。物質と反物質の非対称性の生成（反物質の消失）や暗黒物質の生成は、この1秒間のどこかで起きたと考えられています。E01班ではインフレーションから物質反物質非対称性の生成、暗黒物質生成、宇宙の構造形成までの、進化の前半に関連する理論研究を行い、進化の後半を扱うE02班と連携して、領域の実験的研究を串刺しにする理論的研究を行います。



宇宙も素粒子も謎だらけです。僕たちがやっているのは、自然を相手にした壮大な謎解きゲームのようなものかもしれません。誰もゴールを知らない超難解な謎解きですが、少しずつヒントを集めて、1つでも先のステージに進めるよう、楽しみながら研究を続けていきたいと思っています。

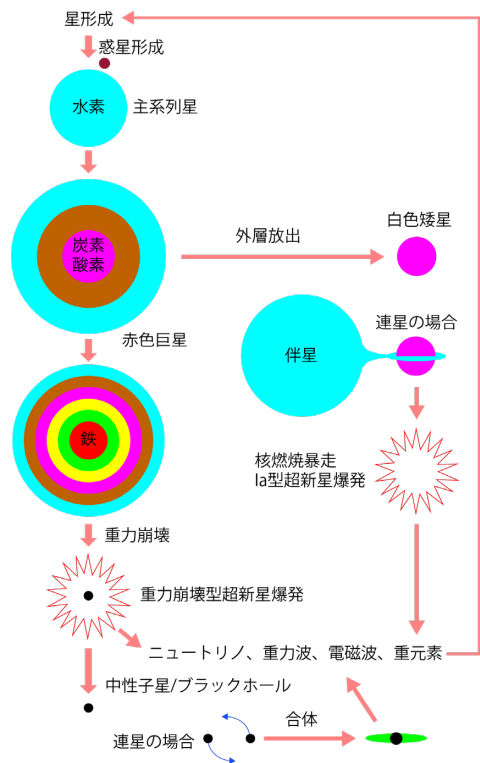
濱口幸一

超新星ニュートリノと 核物理・宇宙化学進化の理論研究

研究代表者 鈴木英之 東京理科大学 教授 | 総括、原始中性子星の冷却計算

研究分担者 山田章一
鷹野正利
中里健一郎
辻本拓司

早稲田大学 教授 | 超新星爆発シミュレーション
早稲田大学 教授 | 状態方程式とニュートリノ反応
九州大学 助教 | 超新星ニュートリノと超新星背景ニュートリノ
国立天文台 助教 | 化学進化計算



超新星爆発ではニュートリノと重元素が放出され、さらに一部の中性子星は合体するときにも重元素を放出します。宇宙の重元素が増えると共に新たに生まれる星やその爆発の様も変わってきます。

太陽のような恒星は水素を主成分として生まれ、核融合反応によってヘリウム、炭素、酸素などを合成しながら圧力を維持し、つぶれようとする重力とのバランスをとって一生をおくります。その結果、太陽の約10倍以上の重さを持つ星の中心には、鉄を主成分とする中心核(コア)が形成されますが、鉄で核融合反応が終わりコアは自分自身の重さを支えきれなくなってつぶれてしまいます。その際、中心部分がつぶれた反動で星の表面部分が爆発することもあり、これが重力崩壊型超新星爆発と呼ばれています。一方、コアからは大量の超新星ニュートリノが放出され、星が爆発するのかしないのか、また後に残る中性子星やブラックホールに影響を及ぼします。E02班は超新星爆発や中性子星ができる様子やコアの中がどうなっているのか、どれくらいニュートリノが出てくるのかなどを理論的に調べています。また宇宙誕生以来現在までの超新星爆発から放出されたニュートリノ(超新星背景ニュートリノ)や元素、中性子星が合体するとき放出された重元素が互いにどう関係しているのかについても研究を進展させようとしています。宇宙の歴史を調べる新しい研究手段となることが期待されています。



お隣の銀河で爆発した超新星1987Aからの超新星ニュートリノが、初代カミオカンデによって初めて観測されてから30年以上経ちましたが、その後は天の川銀河で超新星爆発が起こっていません。より性能の良いスーパーカミオカンデ、KamLAND、XENONnTなどによって次の超新星からのニュートリノや超新星背景ニュートリノが観測されることを心待ちにして、理論的な側面から準備をしています。

鈴木英之

半減期10の27乗年以上の二重 β 崩壊観測を実現するTl-208背景事象除去の検証

福田善之 宮城教育大学 教授

ニュートリノの質量はどれくらい？その疑問に答えるため、ニュートリノの質量が計れる二重ベータ崩壊という現象が注目されています。ZICOS実験では ^{96}Zr の二重ベータ崩壊の観測を目指して、本研究では観測の邪魔をしている ^{208}Tl のベータ崩壊を除去する方法を検証します。



有限振幅法を用いた原子核密度汎関数理論による二重ベータ崩壊行列要素計算

日野原伸生 筑波大学 助教

二重ベータ崩壊の観測からニュートリノの質量を求めるために必要な理論計算を、スーパーコンピュータを使って行っています。量子力学の法則に従う非常に小さな物質である原子核で二重ベータ崩壊は起きるため、量子多体理論を使って原子核の性質を明らかにし、二重ベータ崩壊の起こりやすさを評価します。

ガス飛跡検出器で探るマヨラナ・ディラック決着への道

小原脩平 東北大学 助教

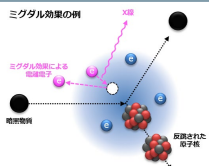
二重ベータ崩壊と四重ベータ崩壊の探索を通してニュートリノの性質を明らかにするために、高エネルギー分解能をもった飛跡検出器 (AXEL) の開発を進めています。本研究では試作機に設置する光検出器の増強を中心に行い、飛跡を精密取得することを目指しています。



高圧キセノンガス検出器によるミグダル効果検証のための研究

中村輝石 東北大学 助教

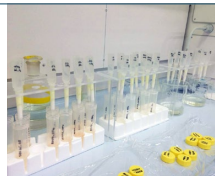
あるはずと言われ続けて数十年、全く見つからない暗黒物質。しかし、ないと断言するにはまだ早い。「ミグダル効果」というのがもし起きれば、軽い暗黒物質が蹴飛ばす微弱なエネルギーをキャッチできるようになる。ではミグダル効果はほんとに起きるのか？それを確かめるのだ。



高マトリクス試料中の極微量放射性核種測定法確立—地下宇宙研究への応用

坂口綾 筑波大学 准教授

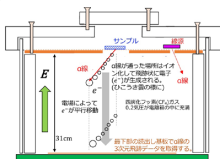
超新星背景ニュートリノなどの宇宙からのシグナルを正確に観測するには、検出器に使われる材料やガドリニウム試薬に不純物として含まれる放射性元素の濃度を知っておく必要があります。化学と微量分析装置の力で1000兆分の1グラムの測定にチャレンジします。



極低放射能測定における μ -TPCを用いたアルファ線イメージ分析装置の開発

伊藤博士 東京理科大学 助教

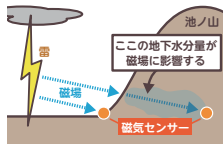
アルファ線イメージ分析装置は、サンプル表面から発生した α 線の3次元飛跡データを取得して汚染濃度を検査し、空気中の自然放射性物質が表面に付着するような汚染ですら検出できる高感度な分析器です。地下実験の検出器に使用される素材の表面分析を目的にします。



落雷磁場を利用した神岡地下水分量の長期観測

鷲見貴生 国立天文台 学振PD

地下水分量の変動は、極低BG実験だけでなく重力波観測にとっても重要な情報です。本研究では、神岡近傍で発生する落雷磁場パルスを地上と地下で同時観測し、そのスペクトルの違いから地中の電気伝導度を測定することで、地下水分量の変化をモニターします。



エアブリッジインダクタンスによる超伝導力学インダクタンス検出器の高感度化

成瀬雅人 埼玉大学 助教

超伝導検出器は-270度以下の極低温環境が必要な代わりに、半導体検出器と比べて1000倍以上もの高い感度を期待できます。この特徴をさらに伸展させるために、検出器の一部を空中に浮かせるエアブリッジ構造を組み込んだ革新的なデバイスによって暗黒物質の検出を目指しています。

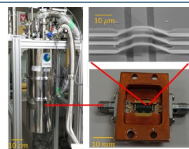
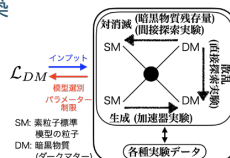


図 超伝導検出器を動作させるK冷凍機(左)、
電子線検出器(右下)、エアブリッジ構造(右上)

各種暗黒物質探索実験データと素粒子模型を系統的に照合するための枠組構築

馬渡健太郎 岩手大学 准教授

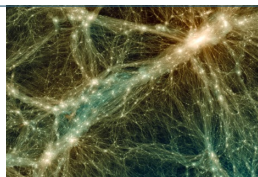
暗黒物質の正体を探るために、世界中で様々な(直接・間接・加速器)探索実験が行われています。本研究は図に示すように暗黒物質模型を表す式($\mathcal{L}_{DM}$)をインプットとして、模型の選別、パラメーターの制限を系統的かつ効率的に行うための枠組みを構築します。



高解像度シミュレーションを用いた暗黒物質分布の精密評価

石山智明 千葉大学 准教授

太陽系近傍の暗黒物質は検出実験の絶好のターゲットです。世界屈指のスーパーコンピュータを用いた大規模な高解像度宇宙論的シミュレーションを行い、太陽系近傍の暗黒物質分布を精密に評価し、暗黒物質モデルによる違いやその物理的起源を明らかにします。



右巻ニュートリノによる宇宙物質総生成

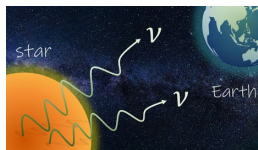
横山順一 東京大学 教授

宇宙は光などの放射、私たちを構成する元素、宇宙の大規模構造の素になったダークマターの3種類の物質と、宇宙膨張を加速するダークエネルギーで構成されます。本研究は初期宇宙のインフレーションとダークエネルギーを同時に説明する宇宙モデルのもとで、3種類の右巻ニュートリノをタネに、放射、元素、ダークマターの全てを説明します。

ニュートリノ集団振動を考慮した超新星ニュートリノスペクトルの構築

加藤ちなみ 東京理科大学 助教

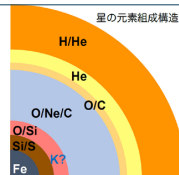
超新星ニュートリノは高温・高密度の物理に関する情報を多く持っているため、正確なニュートリノの検出予想が重要です。本研究では、星の中心部でニュートリノ同士の相互作用によって起きる「ニュートリノ集団振動」がこの予想に与える影響を調査します。



大質量星における ^{40}K と中質量元素の元素合成：後期進化の対流混合による影響

吉田敬 京都大学 基礎物理学研究所 基研特任助教

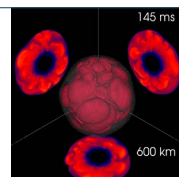
超新星になる重い星はさまざまな元素を作って、元素の層構造を作ると考えられています。この研究では元素の層構造を作る対流を考慮して、星の中での地球ニュートリノの発生源となるカリウム40を含めたケイ素～カルシウムなどの元素の作られ方を調べます。

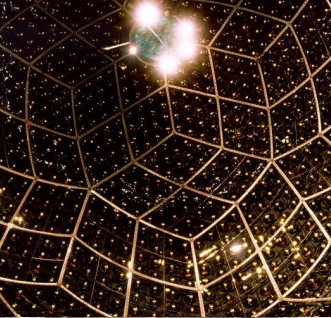


現実的な3次元超新星モデルに基づく超新星背景ニュートリノ解析

中村航 福岡大学 助教

非常に重い星が爆発する超新星爆発という現象は、爆発時に大量のニュートリノを放出します。なぜ爆発するのかという物理過程の詳細にスーパーコンピュータを駆使した数値計算で迫り、近い将来に観測が期待される超新星背景ニュートリノの解析に取り組んでいます。





30面体をベースに球状に配置した約2000本の光センサーで
1000トンの蛍光液体を監視する装置
30面体の1面はそれぞれ菱形4つで構成されている



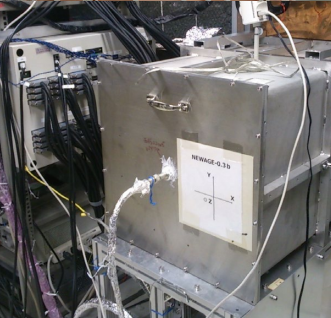
Candles

中心に写っているのはCANDLES 検出器内部の光センサー
フッ化カルシウムからの微弱な光を効率よく集めるために
周囲には反射鏡が設置されている



XENON

暗黒物質を世界最高感度で捉えるための直径約1.4mの円筒形の装置
超高純度液体キセノンに電場を加えるための多数の銅線が見える



NEWAGE-0.3b 検出器の縦横50cm、長さ60cmのステンレス製真空容器
暗黒物質の標的となる低圧の CF_4 ガスが内部に封じられている



ガドリニウム対応の新たな水システム
SK-Gd 開始時に何度も往復した制御盤のある1階から
ガドリニウム導入部のある3階までをつなぐ階段