

# 初期宇宙観測のための超大型望遠鏡国際会議 @Kavli IPMU

アルヴィオ・レンツィーニ [Alvio Renzini](#)

Associate Scientist, INAF, パドヴァ天文台

ジョン・シルバーマン [John Silverman](#)

Kavli IPMU 准教授

直径20～40mの超大型望遠鏡の出現により、次の10年間は地上の望遠鏡データに基づく可視・近赤外線天文学の大きな転換期となるでしょう。このような3つの大型望遠鏡、30メートル望遠鏡(TMT)、超大型望遠鏡(ELT)、および巨大なマゼラン望遠鏡(GMT)の建設は、既に開始されている、あるいは近々開始される予定です。日本の天文学研究者コミュニティは、これらの望遠鏡のうちTMTに参画しています。これら大型望遠鏡で可能になる最遠方宇宙のサイエンスを議論するために、3部構成の国際会議シリーズが企画されました。この1月にUCLAでのキックオフ会議で始まり、続いて3月25-29日にKavli IPMUで2回目の会議が行われ、9月にローマで第3回が開催されます。

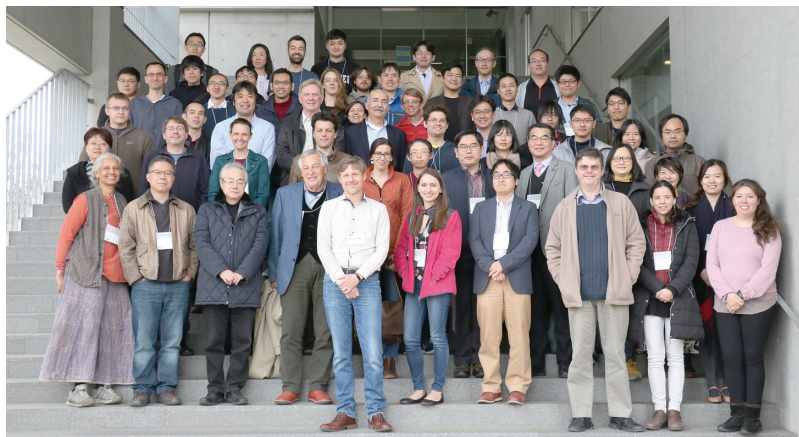
このワークショップにはアジア太平洋地域、米国、ヨーロッパから70人以上の研究者が参加し、各大型望遠鏡の現状と性能が報告されました。3つの大型望遠鏡(以下、ELTsと表記)は、(ハッブル宇宙望遠鏡の後継機である)次世代赤外線宇宙望遠鏡であるジェームズ・ウェブ宇宙望遠鏡(James Webb Space Telescope: JWST)の運用から数年遅れで運用を開始するものの、地上大型望遠鏡ELTsはJWSTと相補的であり、さらに様々な点で優れた性能を示すでしょう。

まず、先進的な補償光学の威力により、回折限界の空間分解能を達成し、ELTsはJWSTよりも約3～6倍高い空間分解能を持つでしょう。これは、赤方偏移7では20～40パーセクの距離に対応し、そのように高く赤方偏移し、かつ暗い銀河の微細空間構造を明らかにします。また、ELTsはJWSTに比較して光の短波長側をカバーし、同時により多数の銀河の分光を可能にし、さらにその運用の寿命も長いので、総合的により高い分光観測の威力を発揮すると期待されます。

これらの比類のないELTsの性能は、最初の銀河と宇宙の再電離、銀河と銀河中心の超大質量ブラックホールの共進化、銀河形成・進化に付随するバリオン物質の循環(星形成を引き起こすガスの降着、あるいは銀河から宇宙空間にまき散らされる金属量)、(観測的に明らかになっている)銀河の星形成を抑制する何らかの物理過程、などの研究分野に大きな進展を約束しています。研究会では50以上の最先端の研究結果が発表され、特に、多くの発表で、銀河の観測的研究は銀河を取り巻く大きな距離スケールの環境との関係に注意しながら進められるべきであると強調されました。この点において、すばる望遠鏡のハイパー・シュプリーム・カム(Hyper Suprime-Cam: HSC)で行われており、また近

い将来、超広視野分光器(Prime Focus Spectrograph: PFS)で行われる大規模サーベイは、ELTsのサイエンスのための突破口を切り開くでしょう。また、理論研究者は、これまでにない大規模かつ詳細な銀河の数値シミュレーションの最先端の成果を発表し、さらなる理論モデルの改良のためにもより多くの観測的制限の必要性を強調しました。

会議の期間中には、いくつかの重要な問題が認識され、議論されました。最も大きな問題は、独立な3つの大型望遠鏡を如何に最適化し、可能な限り幅広い性能をカバーし、これにより多様な天文学の分野、サイエンスを実現するかということです。実際問題(予算状況)として、個々の大型望遠鏡がその口径の威力を最大限発揮するために、全ての観測装置を保有することは不可能です。より現実的には、3つのELTsがそれぞれ異なる、あるいは相補的な性能を持つ観測装置を保有し、世界中の研究者が協力し合い、創造的、独創的なサイエンスを行うことが最善であり、理想的です。このように、現在の研究成果から将来を展望すること、および可視・近赤外天文学に提供されるエキサイティングな将来の機会に備えることがワークショップの最終的な目的でした。



# 表現論、ゲージ理論と可積分系

中島 啓 なかじま・ひらく

Kavli IPMU 主任研究員

2019年2月4日から8日にかけて、ワークショップ「表現論、ゲージ理論と可積分系」が中島 (Kavli IPMU)、Sala (Kavli IPMU)、立川 (Kavli IPMU)、吉田 (Kavli IPMU) を組織委員とし、科研費16H06335と国立大学改革強化促進補助金から支援を受けKavli IPMUで開催されました。

この研究集会は、表現論、ゲージ理論と可積分系間の接点に焦点をおいたものです。近年、これらの間にはたくさんのつながりが見つかっています。たとえば、ゲージ理論の分配関数を表現論や可積分系を用いて計算すること、量子代数の表現をゲージ理論に現れるモジュライ空間を用いて実現すること、ゲージ理論に基づき新たな量子代数の例を与えることなどがあります。この研究集会では、数学者と物理学者、また専門家と若い研究者を海外と日本から招へいし、新しい発展を議論し、また将来の研究につながる見込みのある方向性を探りました。

Nekrasov, Bershteinと山崎の講演では、4もしくは5次元の超対称性 (SUSY) ゲージ理論と、微分または差分方程式のモノドロミー保存変形、Painlevé 方程式の関係について議論されました。特に、Painlevé 方程式の解がゲージ理論の分配関数として実現され、広田型の方程式として知られる双線形関係式が SUSY ゲージ理論の性質から導かれます。

柳田とYangの講演では、代数多様体上の接続層の圏の Hall 代数について議論されました。柳田は、アーベル曲面上の接続層を用いて、Macdonald-Ruijsenaars 差分作用素の双スペクトル性の新たな証明を与えました。Yang の講演では  $\mathbb{C}^3$  上の接続層で2次元の座標平面の和に台をもつものの定めるコホモロジカル Hall 代数が調べられ、 $\widehat{\mathfrak{gl}}(1)$  の Yangian や、最近 Gaiotto と Rapcak によって構成された頂点作用素代数との関係が説明されました。

Hosseini と奥田は、局所化の手法でなされる分配関数の計算について議論しました。Hosseini の講演では、5次元の SUSY ゲージ理論をトーリック曲面と円周の積の上で考えたものの、奥田の講演では4次元のゲージ理論の直線作用素の計算が説明されました。菅野は、 $\widehat{\mathfrak{gl}}(1)$  の量子トロイダル代数の表現論、特にフォック表現の間の繋絡作用素を説明しました。これは、精密化された位相頂点関数と関係しています。(精密化された位相頂点関数は、3次元トーリック Calabi-Yau 多様体の位相的弦分配関数の精密化の基本構成因子です。)

Gukov と Pei の講演では、ある4次元の SUSY な場の量子論の族から生まれるモジュラー・テンソル圏の構成が紹介されました。頂点作用素の表現論と、Coulomb 枝の幾何学の間に関係が現れます。

McBreen と Hilburn は、3次元の SUSY ゲージ理論の Higgs 枝と Coulomb 枝の間の不思議な関係を紹介しました。McBreen は、圏論的な疋田予想として、Higgs 枝、Coulomb 枝に付随する圏の間に圏同値がある、と予想を定式化しました。一つの圏は、ループ空間の上の構成可能層の導来圏と考えられ、その厳密な定式化を与えることは、難しいが興味深い問題です。Hilburn は、シンプレクティック双対性と Langlands 双対性の関係について説明しました。Langlands 双対性は、Hausel の講演でも言及されました。ある群の Higgs 束のモジュライ空間と Langlands 双対群の Higgs 束のモジュライ空間を考え、それぞれに現れるブレインで、ミラー対称性の半古典極限として関係していると考えられているものの例が与えられました。

加藤と Su の講演では、同変量子 K 理論/コホモロジーとアフライン・グラスマン多様体の同変 K 理論/コホモロジーの関係について紹介されました。加藤は、第三の対象として半無限旗多様体の同変 K 理論を厳密に定義し、両者の間をつなげました。Su は Teleman のアイデアに基づき、後者が量子コホモロジーにシフト作用素として作用していることを示しました。ここで、アフライン・グラスマン多様体は、有限次元の複素簡約群に対して定義されるものですが、

アファイン Kac-Moody 群に対応するアファイン・グラスマン多様体の類似として考えられる二重アファイン・グラスマン多様体に対する関心が高まってきています。Muthiah は、類似の二重アファイン旗多様体と、その中のシューベルト多様体を定義するアプローチについて説明しました。特に、Hecke 環、Bruhat 順序等が、この設定の中で議論されました。

木村は、籠に付随する籠  $W$  代数の定義を説明しました。これは、4次元 SUSY 籠ゲージ理論により定義される  $qq$ -指標に基づいて構成されるものです。Appel の講演では、反射方程式とその解である  $K$  行列について、小  $K$  行列の量子化を用いて構成される量子対称対の表現の圏を用いて研究することが説明されました。何人かの招待講演者が、最終段階

で来日をキャンセルしなければいけなかったことは残念でした。しかし、参加者からは、最先端の研究の講演を数多く聞くことができ、刺激があり有意義な研究集会であったという声が聞かれました。また、私個人としては、ゲージ理論の Coulomb 枝に関する議論をして、数人の参加者と新しい共同研究を始めることができたことをうれしく思っています。



Workshop

# Interdisciplinary Approach to Cancer Therapy

ピエトロ・カラドンナ Pietro Caradonna

Kavli IPMU 博士研究員

武田 伸一郎 たけだ・しんいちろう

Kavli IPMU 助教

2019年3月27日、現代のがん研究における喫緊の課題を議論する新しい活動がスタートしました。”Interdisciplinary approach of applying cutting-edge technologies at the frontier of cancer research”と銘打ったこのワークショップには、8つの国から総勢70人もの研究者が集いました。がんの根治を妨げている要因を最新の研究成果に基づいて理解すること、それから、臨床応用を目指した最先端の技術開発について報告することが目的です。

ワークショップは、核医学、化学、物理、工学、薬学など、多様なサイエンスの分野から集まった研究者達に対して、ワークショップ組織委員の高橋忠幸カブリ IPMU 主任研究者が問いかけるところから始まりました。がん治療の現場で患者に向き合っている臨床医を手助けするために、我々はいかに結束することができるだろうか。がん患者の生存率や生活の質を改善する、より有効な治療法を見出すために。

2日間にわたるワークショップの中で、多彩な分野からの16人の世界トップレベルの研究者が、最新の研究成果と将来の展望について発表しました。講演者の中には、著名な医師 (MD, PhD) も含まれており、最新のがん治療・研究の動向について話を聞くことができました。例えば、日本では、がん患者の 30 % 以上が診断時にすでに

進行性のがんに罹患しており、ステージ4のがん患者の場合には、最新の技術と治療をもってしても、5年生存率はわずか14 % に過ぎません。<sup>\*</sup> 慶應大学医学部先端医学研究所遺伝子制御部門の佐谷秀行教授は、がんの破壊について細胞レベルの視点から解説しました。がん幹細胞の存在を示し、がん幹細胞とその子孫細胞を破壊する、新しい治療手法・技術の必要性について強調しました。

粒子加速器はがん治療と放射性薬剤の製造について重要な役割を果たしています。スイスの Paul Scherrer Institute (PSI) では、7000人以上の患者に対して陽子線治療を行い、治癒率は 98 % に達しています。一方、大阪大学の RCNP では、新しい  $\alpha$  線治療の実現を目的として、サイクロトロンを用いたアスタチン 211 の製造を始めています。カナダの TRIUMF では、希少な放射性同位体の利用を促進することを目的として、100億円規模の放射性薬剤研究施設が 2023 年までに建設される予定です。これらの最新動向は、必然的に、新しい測定技術を要求することになります。

ワークショップでは、高エネルギー物理学実験や宇宙物理学実験で培われてきた計測の手法と技術を、医療イメージングの分野へと持ち込み活用するための研究とその進め方が重要なテーマの一つでした。そのため、高速セン

サ技術やデジタルフォトカウンティング技術の進展と現状から、信号処理やデータ解析・収集アルゴリズムの最適化に対する機械学習の適用に至るまで、幅広く議論が展開されました。

カブリ IPMU では、高いエネルギー分解能と 100 マイクロメートルを超える空間分解能とを併せ持つ次世代のガンマ線検出器の開発が進行中です。これらは、複数の薬剤輸送システムやプローブを生体内で同時に高解像度で可視化する、革新的なイメージング装置実現のための基盤技術です。優れたエネルギー分解能は、新規  $\alpha$  線治療核種アスタチン 211 のイメージングにも極めて有効です。実際に、カブリ IPMU は国立がんセンターと共同で、アスタチン 211 のイメージング実験に着手しています。

急速に進展する現代のがん研究で明らかになってきた、がん根治に向けた巨大な壁を乗り越えるためには、サイエンスの新しいアプローチが必要です。世界中から分野の垣根を超えて研究者が結束することが、強力な推進力となることは間違いありません。革新的な放射性薬剤のイメージ

<sup>\*</sup> T. Matsuda et al. Research Group of Population-Based Cancer Registries of Japan. Population-based survival of cancer patients diagnosed between 1993 and 1999 in Japan: a chronological and international comparative study. *Japanese Journal of Clinical Oncology* 2011; 41: 40-51.

ング技術を開発するとともに、我々が観測している物理量から生体現象を読み解くことが極めて重要なので

す。これらを念頭に、組織委員会は、“INTERdisciplinary Approach to Cancer Treatment (INTERACT)”を、

年1回の開催へと発展させることを発表しました。次回は2020年にフランスにて開催されます。



第1回目の“Interdisciplinary approach of applying cutting-edge technologies at the frontier of cancer research”ワークショップの参加者たち。核医学、化学、物理、工学、薬学など多彩なサイエンスの分野から総勢70人もの研究者が集いました。