

# 「統計、量子情報、量子重力」研究会

大栗博司 おおぐり・ひろし

Kavli IPMU 主任研究員

一般相対性理論と量子力学の統合は、現代物理学の大きな課題のひとつである。笠真生と高柳匡によりエンタングルメント・エントロピーの公式が発見されて以来、この10年の間に、情報理論が量子重力や場の量子論の研究に強力な理論的手法を与えることが明らかになってきた。それと同時に、量子重力の研究は情報理論に新しい課題を提供し、この分野の研究を促進してきた。

カブリIPMUでは、これまで、素粒子物理学と物性物理学の境界領域においてフォーカス・ウィークを2回開催してきた。これにより双方の分野の研究者の交流が促進され、新しい共同研究にもつながった。今回の研究会の目的は、素粒子物理学と情報理論という新たな境界領域を開拓することにある。

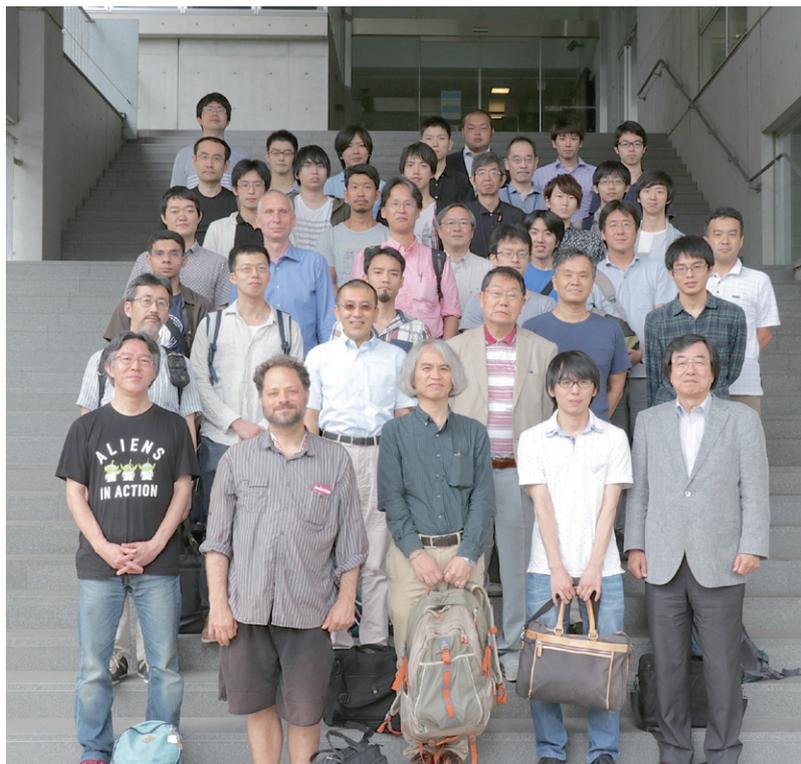
この研究会では、幅広い分野の講演者を招待した。小澤正直は量子情報と量子力学の基礎的研究者。田崎晴明は統計力学の基礎的問題を、沙川貴大は非平衡統計力学と測定・制御・情報理論を研究している。また、場の量子論の数学的基礎付けについて議論を深めるために、作用素環を専門とする数学

者、河東泰之を招待した。シメオン・ヘラーマンはカブリIPMUの研究者であり、一般相対性理論と量子力学を統合する最も有望な理論である超弦理論の専門家である。

小澤は、量子測定理論の「小澤の不等式」でよく知られているが、今回は場の量子論における測定の問題について講演した。これに続く河東は、作用素環の見地から共形場の理論の様々な側面を議論した。共形場の理論は超弦理論やAdS/CFT対応の研究においても

重要な場の量子論である。田崎は統計系の熱化の問題を議論し、沙川は統計力学の基礎的な問題を情報理論の手法で解明した。ヘラーマンは、重力アンマリーがある場の量子論における量子エンタングルメントの定義の問題について議論した。

この研究会は、幅広い分野の研究者が交流する貴重な機会であった。今後、素粒子物理学と情報理論の交流をさらに促進することで、有意義な共同研究につながることを期待する。



# 代数幾何学における圏論的及び解析的不変量IV

アレクセイ・ボンダル Alexey Bondal

Kavli IPMU 主任研究員

2016年は日露2国間交流事業共同研究「代数幾何学における圏論的及び解析的不変量」の最終年度でした。日露2国間交流事業は日本学術振興会およびロシア基礎科学財団(RFBR)から資金援助を受け、本共同研究は齋藤恭司とアレクセイ・ボンダルが代表者を務めています。

2016年には、2015年に開始された研究集会シリーズが継続して行われました。研究集会「代数幾何学における圏論的及び解析的不変量III」はこの事業の後援の下、Kavli IPMU、ステクロフ数学研究所(モスクワ)、ロシア国立研究大学高等経済学院(HSE、モスクワ)、Institute of Fundamental Science(モスクワ)によって組織され、9月12日から16日までHSE(モスクワ)で開催されました。Kavli IPMU、東京大学数理科学研究科、大阪大学、首都大学東京、ステクロフ数学研究所(モスクワ)、HSE(モスクワ)、およびイギリスとポーランドの研究機関からも数学者が参加しました。

ここで述べるもう一つの研究集会「代数幾何学における圏論的及び解析的不変量IV」は、2016年11月14日から18日までKavli IPMUで開催され、2国間事業の日本側およびロシア側の参加者、それに加えて他のロシアと日本の科学者の間で、より一層のアイデアの交換と共同研究という成果が得られました。

特に注目されたのは双有理変換とそのミラー対称なパートナーでした。双有理多様体および非双有理多様体の

両方によって与えられる代数多様体の導来同値の構成が議論され、通常代数多様体の非可換ミラー対称パートナーが詳細に検討されました。また、A. BondalとM. Kapranovにより30年近く前に導入されたDG enhance 圏の性質を通じて、この理論の基礎が注意深く調べられました。

日本側からはいくつかの講演でミラー対称性を用いて構成された解析的不変量についての研究が発表されました。このシリーズの昨年の研究集会と同様に、多くの講演はミラー対称性の一方の研究か双方の比較検討、またはその両方についてのものでした。

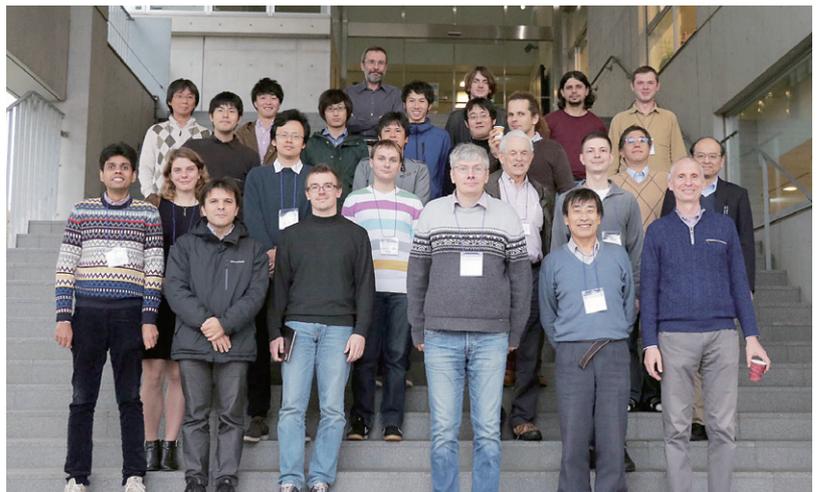
Mikhail Kapranovは高次のカット・ムーディ代数とG束の導来モジュライ空間について、新たな展望を概観しました。彼はリーマン面上の共形場の基本的特徴の一つである高次元多様体に対する一般化を行いました。それは“rigidified”G束のモジュライ空間上のカレント(カット・ムーディ)代数の作用です。

日本の若手数学者、桑垣 樹(くわがき・たつき)は、coherent 構成可能対応に関する彼自身の強力な結果を発表しました。トーリック多様体上の接続層の導来圏と、適当なストラティフィケーションに属する実トーラス上の構成可能層の導来圏の同値に関す

るA. Bondalの最初の検討とその結果は、一連の数学者の研究により、トーリック・スタックに対するこのような同値についての一般的な予想に発展しました。この予想はミラー対称性によって、構成可能な側面に関連する深谷圏と同一視することにより説明できます。桑垣はこの予想を完全に一般的に証明し、それについて報告しました。

物理学者との協力は、特に多いものでした。堀 健太郎は、6個の位相をもつ2パラメータ・ゲージ化線形 $\sigma$ モデルの考察に基づき、あるカラビ・ヤウ多様体の導来同値についての数学的予想を発表しました。これは細野・高木モデルの2パラメータへの拡張とみなすことができます。細野 忍は自分の講演で、無限個の双有理自己同型をもつカラビ・ヤウ多様体に対するミラー対称パートナーの一連の例について話し、この自己同型をそのミラー対称ファミリーの中でのモノドロミー変換と同一視しました。

ロシアの若手数学者 Andrei Yonovは、Wittenのカイラルリングのdcent変形は、Gepner 特異点に対する齋藤恭司のある原始形式に対応するはずであるというA. Belavinの物理的な提案を進展させ、純粋に数学的方法によりGepner 特異点に対する原始形式を構成しました。



# Resurgence at Kavli IPMU

アレクセイ・チャーマン Aleksey Cherman

ワシントン大学博士研究員

12月12日から16日までワークショップ“Resurgence at Kavli IPMU”が開催され、resurgence理論と関連する話題について最近の発展を概観しました。Resurgence理論とは、物理学と数学に現れる非線形問題に対し、系統的に解を構成する枠組みです。例えば、非線形微分方程式の解を構成したい、あるいは場の量子論（QFT）で観測可能量を結合定数の関数として表したいとしましょう。このような問題を解析する出発点は、もちろん線形化された極限の周りでの摂動論です。しかし、摂動論による漸近展開は発散級数となり、非摂動論的に正しい結果ではないため、それだけでは十分ではありません。Resurgence理論は、異なる線形化極限の周りの摂動展開を系統的に組み合わせることにより厳密な解を構成する道を開きます。例えば、QFTでは、様々なインスタント的セクターの周りの摂動揺らぎがどのように組み合わせられて任意の結合定数に対して成り立つ不定性のない結果を与えるのかを理解することができるようになります。

このワークショップは非常に国際的で、ヨーロッパ、北アメリカ、南アメリカ、アジアから参加者が集まりました。講演によって多方面での興味深い進展にハイライトが当たりました。Y. Tanizaki, T. Schafer, E. Poppitz, P. Putrov, G. Basar, T. Misumiなど、多くの講演が、半古典的展開に代数的な視点を与える resurgence 理論

と、幾何学的な視点を与える Lefschetz thimbles の間の関係を議論しました。A. ChermanとT. Sulejmanpasicは漸近的に自由なQFTに対し、resurgence理論の方法を応用するために必要なステップである滑らかな弱結合極限を得るために必要とされる技術を概観しました。O. CostinとG. Dunneは半古典的展開の実用的な新しい総和法について、および摂動的効果と非摂動的効果の間の関係について興味深い結果を発表しました。R. SchiappaとM. Yamazakiは、resurgence理論のひも理論および超対称ゲージ理論への応用の最近の展開について説明しました。一方、T. Aoki, Y. Takei, A. Getmanenkoは、WKB展開の研究にお

ける進展について、およびresurgenceとストークス現象についての関連した話題について発表しました。

本ワークショップは、インフォーマルな議論にできるだけ多くの時間を残すことを重要視して日程の大部分は午前中に二つの講演、夕方に二つの講演を配し、黒板のそばにお茶とクッキーを十分用意して交流を促すという方式で行われました。Kavli IPMUの有能なスタッフと素晴らしい設備のおかげで刺激に富んだ素晴らしい環境が用意され、多くの参加者が言っていたように講演と研究者同士の交流により新たな研究のアイデアが得られ、ワークショップは大成功を収めました。

