

保型 L 関数の零の位数や特殊値の研究に関する 解析数論的アプローチ

研究院自然科学系 数学領域 梅垣 由美子

Weight が k で level が N の保型形式に付随する L 関数は解析的に良い性質を持っていることが知られています。特に **cusp** 形式のなかでも **new form** と呼ばれる保型形式に付随する L 関数は複素平面全体に正則に解析接続され、関数等式によって $L(s)$ と $L(1-s)$ の間に等式が存在します。これは素数の性質を解析的に調べる場合に有効である、Riemann の zeta 関数と同じ状況にあります。

Riemann の zeta 関数では $\text{Re}(s)=1$ において零点を持たないということが素数定理を導きました。更に $0 < \text{Re}(s) < 1$ の領域を研究することで素数のより詳しい性質を調べることが可能となります。その類似として、保型形式に付随する L 関数を解析的に調べることで楕円曲線の有理点の情報を得ることができます。

楕円曲線の有理点は代数的にも研究されますが、対応する L 関数が解析的に非常に良い性質を持つので、解析的な視点からの研究も多くされています。特に関数式の折り返しの点の零の位数は有理点の群の **rank** と一致するという予想があり、其々 **Analytic rank**、**Algebraic rank** と呼ばれて研究が盛んになっています。

一方、純粹に Riemann の zeta 関数の拡張として保型形式に付随する L 関数の解析数論的な研究もされています。その手法は多彩であり色々な結果が得られていますし、今後更に研究が深められる可能性が十分あります。

私は解析的な手法を用いて **Analytic rank** を研究しており、今までに **Analytic rank** が 0 となるような **new form** について一つの結果を得ることができました。今年度はそれを更に一般の **weight** や **level** で行う研究と、値分布理論からのアプローチに取り組みました。それぞれについて今年度の取り組みと今後の課題を報告致します。

Cusp 形式全体は線形空間を成していて、その直交基底は Hecke 作用素の同時固有関数で取ることができるため、直交性を用いて **cusp** 形式全体で保型 L 関数の特殊値や零の位数を議論することができるという長所があります。しかし、楕円曲線の有理点を研究対象として見ると、**new form** と呼ばれる、**cusp** 形式全体から成る線形空間の一部の情報を取り出さなくてはなりません。勿論、Hecke 作用素の同時固有関数で直交基底が取れるのですが、**cusp** 形式全体を考えるよりも扱いが困難になります。

今年は、扱いが易しい場合に得た $\text{Re}(s)=1/2$ 上の点における L 関数の **non vanishing** の結果の拡張に取り組みました。易しい場合とは、具体的に述べると、素数冪レベルであり、重さが偶数であり、 $1 < k < 12, k=14$ の場合の **new form** に付随する L 関数についての結果です。取り組んだ結果としては、拡張のための工夫をどのようにすればよいか、その方針を一つ定めることができました。これらの内容は、保型形式に付随する L 関数のみならず、**Symmetric power L** 関数などの他の保型 L 関数にも適用できるのではないかと

と考えており、それが今後の課題となります。しかし、既知の結果の条件を緩めることや他の保型 L 関数への拡張のアイデアは、**weight** に関する条件を外すことに有効だと思いますが、**level** の条件を一般にするには困難がある状況です。その困難を取り除く努力や、別の工夫を考えることも今後の課題になります。

値分布理論を用いた様々な **zeta** 関数や L 関数の研究は近年非常に活発になってきました。しかし、まだシンプルな形の **zeta** 関数や L 関数に対して適用されていることが多く、その手法を解析数論に生かしていくという研究はまだまだ十分ではないと言えます。しかし、関数解析など **zeta** 関数や L 関数の解析的な研究のための道具が増えるので、注目に値するアプローチ方法だと考えています。また **Töplitz** 行列もそれに絡んでくると思われます。今年度は **Töplitz** 行列に関する情報交換を行い、更に、値分布理論を用いた保型 L 関数の零点の位数の研究のための準備を行いました。これは名古屋大学大学院多元数理科学研究科の松本耕二氏との共同研究になります。実際に研究プランを整えて、必要になると思われる幾つかの命題を設定することができました。しかし、この研究はまだ始まったばかりなので、今後の研究の進捗状況に依ってはプランの見直しや命題の工夫などが必要になると思います。それらは今後の課題となります。

これらの研究は L 関数の零点の位数に注目して行っていますが、ここで用いられる解析的な手法は特殊値の研究にも有効です。実際にある点における零の位数が 0 であるということが意味するのは、その点における特殊値が 0 にならないということです。**Non-vanishing** の研究の精密化は特殊値の **lower bound** を調べることに繋がります。これらの研究を特殊値の研究に生かすことができるというのも将来の研究目標の一つになっていますし、**Siegel** の零点との関係にも注目したいと思っています。

宇宙における銀河団のダイナミックな進化の研究

研究院自然科学系 物理学領域 太田 直美

1. 研究活動と成果

昨年度に引き続き、1-1. 銀河団の観測研究と 1-2. ASTRO-H 衛星搭載 X線カロリメータ検出器の性能評価を進めた。また、1-3. スキルアップ経費により、国際会議に参加して口頭講演や議論を行った。これらの活動内容と得られた成果を述べる。

1-1. 銀河団の観測研究

銀河団は、文字通り銀河の集団であるが、その実態は未知のダークマターが支配している。また、銀河団は宇宙最大の天体であり、その形成進化の理解は宇宙物理学の重要な課題の一つにあげられている。標準的なシナリオでは、銀河団は小型の天体同士の衝突合体を繰り返して成長する。そのため、従来の力学平衡に基づいた静的な描像では不十分であり、力学進化と熱的進化を含めたより現実的なモデルの構築が求められている。

今年度はまず、銀河団の X線分光観測の基礎と最新の研究成果について、国際天文学連合の招待レビュー論文を執筆した [文献 1]。論文は、フリーアクセスのオンラインジャーナルとして公開された。この活動から、世界の研究者や学生に広く宇宙物理学研究の情報を提供することに貢献した。

次に、銀河団に含まれるガスの密度分布に注目した研究も行った。銀河団は形成から十分時間が経過すると、ガスは重力ポテンシャルに緩和し、中心では放射冷却によって温度が下がる。これをクールコアと呼ぶ。従来の理論では冷却が加速的に進むため宇宙年齢のうちにガスが冷え切ってしまう、観測と矛盾するという問題があった。そこで、準静水圧平衡の条件からクールコアのガス密度分布の理論計算を進め、観測結果を説明できることを示した (図 1)。この成果を査読つき主著論文にまとめた [文献 8]。

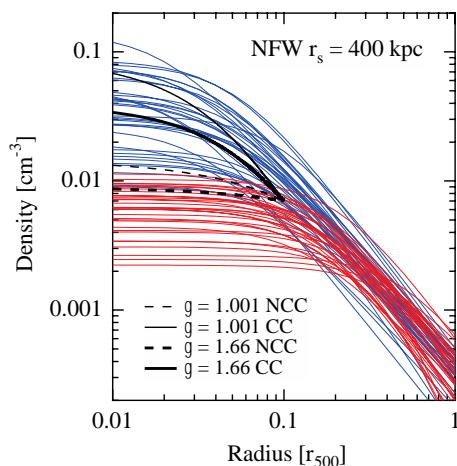


図 1. 準静水圧平衡モデルによる銀河団ガスの密度分布と観測との比較 [文献 8]。冷却前 (NCC) と冷却後 (CC) の計算結果をそれぞれ黒の破線と実線、クールコアを持つ銀河団と持たない銀河団の観測結果を青と赤の実線で示した。本計算結果により、放射冷却によるクールコアの密度分布を説明できる。

加えて、近傍銀河団のガスバルク運動探索 [文献 14,18]、遠方宇宙の大規模構造のフィラメント領域の X線観測 [文献 16,19]、重力レンズ多重像をもつクエーサの研究 [文献

3,7]、低表面輝度銀河団の X 線観測 [文献 17]、銀河団の外縁部のガス分布の研究 [文献 4,9,10,15] も行い、学会発表や査読付き論文の出版を行った。

1-2. X 線カロリメータの性能評価

2014 年打ち上げ予定の ASTRO-H 衛星 [文献 2] に搭載される X 線カロリメータの性能を最大限に引き出すためには、検出器の精密な性能評価に加えて適切にデータ処理を行うソフトウェア開発が必要となる。私は X 線カロリメータの Instrument Scientist としてそれらをリーダー的立場で進めている。今年度は特に、NASA ゴダード研究所において飛翔体モデルアレイの地上試験に参加して較正実験データを取得し、カロリメータアレイの分光性能の定量的な評価を進めた [文献 11,13,20,21,22]。

1-3. 国際会議への参加と口頭発表

スキルアップ経費の支援を受け、(a)平成 24 年 5 月 28 日～6 月 2 日イタリア・ヴルカノ島において開催された国際会議「Vulcano Workshop 2012」および (b) 平成 24 年 7 月 9 日～7 月 11 日イギリス・ケンブリッジ大学 Institute of Astronomy において開催された「第 8 回 ASTRO-H Science Meeting」参加し、研究発表や議論を行った。

(a) においては、私がこれまでに進めてきた「すざく」衛星を用いた銀河団の広帯域 X 線分光の結果について招待講演を行った [文献 5]。銀河団衝突の運動エネルギーは、天体内のガスの加熱や加速などに使われると予想されてきたが、実際にどのようにエネルギーが分配されているかは明らかになっていない。この問題に対し、私は複数の銀河団について数億度のガス温度を持つ熱的成分や非熱的成分について従来よりも強い制限を得ている。この結果について報告し、参加者からも良い反響があった。

(b) においては、ASTRO-H 衛星プロジェクトに向けて、自らがリードして進めている銀河団の観測提案やその観測計画の検討について報告・議論を行った [文献 6]。これにより、将来の大型衛星計画に貢献するとともに、国内外の研究者と具体的な意見交換を行うことで今後の研究に役立つ知見を得ることができた。その後、(b)の議論を ASTRO-H の目指すサイエンスの研究発表にも反映させた [文献 12]。

2. 今後の計画

今後も X 線や他波長の観測を中心とした宇宙物理学の研究を行う。ここまでの研究から、銀河団の力学的・熱的進化を解明するための新しい手がかりを得ている。これを発展させ、特に銀河団形成にかかわるエネルギー収支の問題解決を目指す。また、ASTRO-H 衛星プロジェクトについては、X 線カロリメータ検出器の地上較正実験から、宇宙観測データの解析に必要なソフトウェアや較正データベースの構築を進める。

[文献]

- 1) Naomi Ota, “X-ray spectroscopy of clusters of galaxies”, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 12, 973-994 (2012).

- 2) Tadayuki Takahashi, et al. (213 coauthors including Naomi Ota), “The ASTRO-H X-ray Observatory”, Proceedings of the SPIE, 8443, 84431Z-84431Z-22 (2012).
- 3) Naomi Ota, Masamune Oguri, Xinyu Dai, Christopher S. Kochanek, Gordon T. Richards, Eran O. Ofek, Roger D. Blandford, Tim Schrabback, Naoshisa Inada, “The Chandra View of the Largest Quasar Lens SDSS J1029+2623”, The Astrophysical Journal, 758, article id. 26 (2012).
- 4) Takuya Sato, Toru Sasaki, Kyoko Matsushita, Eri Sakuma, Kosuke Sato, Yutaka Fujita, Nobuhiro Okabe, Yasushi Fukazawa, Kazuya Ichikawa, Madoka Kawaharada, Kazuhiro Nakazawa, Takaya Ohashi, Naomi Ota, Motokazu Takizawa, Takayuki Tamura, “Suzaku Observations of the Hydra A Cluster out to the Virial Radius”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 64, Article No. 95 (2012).
- 5) Naomi Ota, “Impact of Suzaku Measurements on Astroparticle Physics”, Vulcano Workshop 2012: Frontier Objects in Astrophysics and Particle Physics (イタリア・ヴルカノ島), Acta Polytechnica (2012).
- 6) Maxim Markevitch, Naomi Ota, “Cluster large-scale dynamics”, The 8th ASTRO-H Science Meeting (イギリス・ケンブリッジ) (2012).
- 7) Masamune Oguri, Tim Schrabback, Eric Jullo, Naomi Ota, Christopher S. Kochanek, Xinyu Dai, Eran O. Ofek, Gordon T. Richards, Roger D. Blandford, Emilio E. Falco, Janie Fohlmeister, “The Hidden Fortress: structure and substructure of the complex strong lensing cluster SDSS J1029+2623”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (2012).
- 8) Naomi Ota, Kiyokazu Onzuka, Kuniaki Masai, “Density Profile of Cool Core of Galaxy Clusters”, Publications of the Astronomical Society of Japan (2013)に受理済.
- 9) 佐藤浩介, 松下恭子, 大橋隆哉, 藤田裕, 川原田円, 田村隆幸, 中澤知洋, 岡部信広, 太田直美, 滝沢元和, 赤松弘規, “A2199 銀河団の温度, エントロピー分布の方向依存性と鉄の分布”, 天文学会秋季年会 (大分市) (2012).
- 10) 望月ゆきこ, 松下恭, 佐藤浩介, 佐藤拓也, 市川和也, 佐々木亨, A.C. Fabian, 藤田裕, 深沢泰司, 浜名崇, 宮崎聡, 川原田円, 田村隆幸, 中澤和洋, 大橋隆哉, 岡部信広, 梅津敬一, 太田直美, 滝沢元和, “「すざく」衛星による Abell478 銀河団の外縁部の観測”, 天文学会秋季年会 (大分市) (2012).
- 11) 石崎欣尚, 大橋隆哉, 江副祐一郎, 三石郁之, 満田和久, 山崎典子, 竹井洋, 辻本匡弘, 小川美奈, 杉田寛之, 佐藤洋一, 篠崎慶亮, 岡本篤, 藤本龍一, 星野晶夫, 田代信, 寺田幸功, 北本俊二, 村上弘志, 瀬田裕美, 玉川徹, 山田真也, 佐藤浩介, 太田直美, 村上正秀, 澤田真理, R. L. Kelley, C. A. Kilbourne, F. S. Porter, G. A. Sneiderman, K. R. Boyce, M. J. DiPirro, P. J. Shirron, K. C. Gendreau, G. V. Brown, D. McCammon, A. Szymkowiak, J. -W. Herder, C. de Vries, 赤松弘規, S.

- Paltani, M. Pohl 他 ASTRO-H SXS チーム, “ASTRO-H 搭載精密軟 X 線分光装置 SXS の開発の現状(VIII)”, 天文学会秋季年会 (大分市) (2012).
- 12) 大橋隆哉, R. Mushotzky, 松下恭子, 上田佳宏, 久保田あや, 太田直美, 内山恭伸, R. Smith, 馬場彩, 山田真也, 辻本匡弘, 川原田円, 湯浅孝行, 小高裕和, 高橋忠幸, “ASTRO-H の目指すサイエンス”, 第 13 回宇宙科学シンポジウム(相模原市), P2-001 (2013).
- 13) 満田和久, 山崎典子, 竹井洋, 辻本匡弘, 小川美奈, 杉田寛之, 佐藤洋一, 篠崎慶亮, 岡本篤, 大橋隆哉, 石崎欣尚, 江副祐一郎, 三石郁之, 藤本龍一, 星野晶夫, 田代 信, 寺田幸功, 北本俊二, 村上弘志, 瀬田裕美, 玉川徹, 山田真也, 佐藤浩介, 太田直美, 澤田真理, 村上正秀, R. L. Kelley, C. A. Kilbourne, F. S. Porter, G. A. Snedermann, K. R. Boyce, M. J. DiPirro, P. J. Shirron, K. C. Gentreau, G. V. Brown, D. McCammon, A. Szymkowiak, J. -W. den Herder, C. de Vries, E. Costantini, H. Akamatsu, S. Paltani, 他 ASTRO-H SXS チーム, “ASTRO-H 衛星搭載 SXS-XCS 検出器”, 第 13 回宇宙科学シンポジウム(相模原市), P2-003 (2013).
- 14) 吉田浩子, 太田直美, “すざく衛星による近傍銀河団のガスバルク運動の測定”, 第 13 回宇宙科学シンポジウム(相模原市), P4-007 (2013).
- 15) 佐藤浩介, 松下恭子, 市川和也, 佐々木亨, 望月ゆきこ, 大橋隆哉, 藤田 裕, 川原田円, 田村隆幸, 中澤知洋, 岡部信広, 太田直美, 滝沢元和, 赤松弘規, 深沢泰司, “「すざく」が捉えた銀河団ビリアル半径までの高温ガスの構造”, 第 13 回宇宙科学シンポジウム(相模原市), P4-008 (2013).
- 16) 茨木優希子, 太田直美, 赤松弘規, Yu-Ying Zhang, Alexis Finoguenov, Filiberto Braglia, “すざく衛星を用いた遠方の衝突銀河団 A2744 のフィラメント構造の研究”, 第 13 回宇宙科学シンポジウム(相模原市), P4-010 (2013).
- 17) 藤野遥子, 太田直美, 山内茂雄, H. Boehringer, G. W. Pratt, “XMM-Newton 衛星を用いた低表面輝度銀河団 A1631 のエントロピー測定”, 天文学会春季年会 (さいたま市) (2013).
- 18) 吉田浩子, 太田直美, “すざく衛星による近傍銀河団のガスバルク運動の探査”, 天文学会春季年会 (さいたま市) (2013).
- 19) 茨木優希子, 太田直美, 赤松弘規, Y. -Y Zhang, A. Finoguenov, F. Braglia, “すざく衛星による遠方の衝突銀河団 A2744 のフィラメント領域の観測”, 天文学会春季年会 (さいたま市) (2013).
- 20) 石崎欣尚, 大橋隆哉, 江副祐一郎, 三石郁之, 満田和久, 山崎典子, 竹井洋, 辻本匡弘, 小川美奈, 杉田寛之, 佐藤洋一, 篠崎慶亮, 岡本篤, 藤本龍一, 星野晶夫, 田代信, 寺田幸功, 北本俊二, 村上弘志, 瀬田裕美, 玉川徹, 山田真也, 佐藤浩介, 太田直美, 村上正秀, 澤田真理, R. L. Kelley, C. A. Kilbourne, F. S. Porter, G. A. Sneiderman, K. R. Boyce, M. J. DiPirro, P. J. Shirron, K. C. Gendreau, G. V. Brown, D. McCammon, A. Szymkowiak, J. -W. Herder, C. de Vries, 赤松弘規, S. Paltani, M. Pohl 他 ASTRO-H SXS チーム, “ASTRO-H 搭載精密軟 X 線分光装置

SXS の開発の現状(IX)”, 天文学会春季年会 (さいたま市) (2013).

- 21) 満田和久, 山崎典子, 竹井洋, 辻本匡弘, 小川美奈, 杉田寛之, 佐藤洋一, 篠崎慶亮, 岡本篤, 大橋隆哉, 石崎欣尚, 江副祐一郎, 三石郁之, 藤本龍一, 星野晶夫, 田代信, 寺田幸功, 北本俊二, 村上弘志, 瀬田裕美, 玉川徹, 山田真也, 佐藤浩介, 太田直美, 澤田真理, 伊予本直子, 村上正秀, R. L. Kelley, C. A. Kilbourne, F. S. Porter, G. A. Sneiderman, K. R. Boyce, M. J. DiPirro, P. J. Shirron, K. C. Gendreau, G. V. Brown, D. McCammon, A. Szymkowiak, J. -W. den Herder, C. de Vries, E. Costantini, H. Akamatsu, S. Paltani, M. Pohl, 他 ASTRO-H SXS チーム, “ASTRO-H 搭載 精密軟 X 線分光装置 SXS の開発の現状(V)”, 物理学会第 68 年会(東広島市)(2013).
- 22) 満田和久, 山崎典子, 竹井洋, 辻本匡弘, 小川美奈, 杉田寛之, 佐藤洋一, 篠崎慶亮, 岡本篤, 大橋隆哉, 石崎欣尚, 江副祐一郎, 三石郁之, 藤本龍一, 星野晶夫, 田代信, 寺田幸功, 北本俊二, 村上弘志, 瀬田裕美, 玉川徹, 山田真也, 佐藤浩介, 太田直美, 澤田真理, 伊予本直子, 村上正秀, R. L. Kelley, C. A. Kilbourne, F. S. Porter, G. A. Sneiderman, K. R. Boyce, M. J. DiPirro, P. J. Shirron, K. C. Gendreau, G. V. Brown, D. McCammon, A. Szymkowiak, J. -W. den Herder, C. de Vries, E. Costantini, H. Akamatsu, S. Paltani, M. Pohl, 他 ASTRO-H SXS チーム, “ASTRO-H 搭載 精密軟 X 線分光装置 SXS 飛翔体モデルアレイの地上較正試験”, 物理学会第 68 年会(東広島市)(2013).

強発光性を示す希土類錯体の開発とその発光メカニズムの解明に関する研究

研究院自然科学系 化学領域 片岡 悠美子

希土類金属を対象とする錯体化学の研究は、特異な発光特性の解明と新規の発光材料の開発を目的とするものと、大きな磁気モーメントに由来する磁気特性の詳解と磁気特性の制御を目的とするものの2つに大別される。著者は前者について興味を持ち、研究を遂行中であり、配位子と呼ばれる有機物と希土類金属イオンとのハイブリッド化合物である錯体を新規に合成し、その発光特性を制御して新たな機能性分子を構築していくことを研究テーマとし、23年度に開始した発光性希土類錯体の設計と合成に関する研究を24年度も継続し展開しているところである。

希土類錯体は、そのダイナミックな配位化学と f-f 遷移に基づく発光特性を有することから、分子レベルでの発光材料として大きな注目を集めている。筆者はこれまで、希土類錯体の錯体構造を制御することで、希土類錯体による「アニオン認識能」や「発光センシング」系を構築することを目的とする研究に取り組んできた。これまで希土類錯体のもつアニオン認識能と発光機能を組み合わせて、外部アニオンとの高配位型錯体の形成を発光挙動によって検出し、アニオンの濃度や種類を決定するアニオンセンシング系を構築できることを見出してきた。当研究室において、単分子磁石 (SMM) 特性を示す希土類錯体として開発されてきた亜鉛(II)-テルビウム(III)-亜鉛(II)三核錯体 **1** および **2** (図 1) が、亜鉛(II)上の軸配位子であるハロゲン化物イオンの種類を変えることによって、その固体発光量子収率を大きく異なることを確認している。これらの錯体は等構造であるにもかかわらず、臭化物イオンでは 11%、ヨウ化物では 4% とその発光挙動が、希土類イオンに直接配位しなくとも隣接する亜鉛への配位によって何らかの環境変化を生じさせ、希土類錯体の発光メカニズムそのものに大きな影響を与えることを見出した。

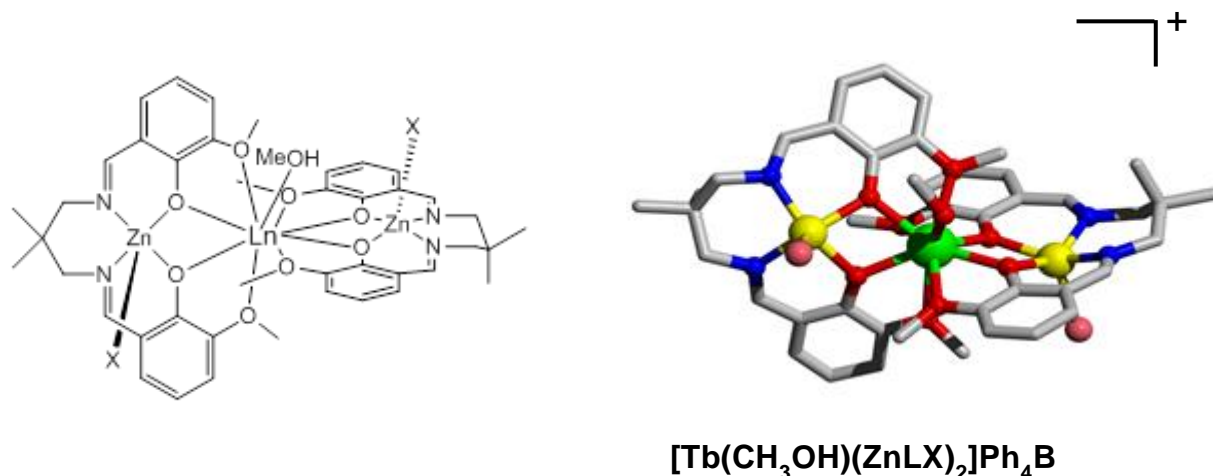


図 1. 亜鉛(II)-テルビウム(III)-亜鉛(II)三核錯体の結晶構造

著者は本年度学会活動において、9月にスペインのバレンシアで開催された International Conference on Coordination Chemistry (ICCC 2012、錯体化学に関する国際会議)に参加し、最新の研究成果を報告するとともに、同伴した梶原教授や国内外の研究者とともに研究の今後について様々な議論を行った。同月には富山大学で開催された錯体化学会第62回討論会にも参加し、研究成果の報告を行った。本討論会は毎年9月に錯体化学会の主催により開催されるもので、化学系では最大規模の討論会の一つである。金属錯体全般について合成、構造、電子状態、物性、反応性、機能材料などの分科に別れた活発な議論が三日間にわたって繰り広げられた。また、他大学の研究者からの共同研究の申し出についても検討を行い、新規試料の合成などを行いながら、今後、共同研究を積極的に展開していくことについても合意をとりつけた。

支援していただいたスキルアップ経費は学会(上述・ICCC2012、スペイン)への参加旅費、スタートアップ経費は学会(上述・錯体化学討論会、富山)への参加旅費、種々の化学薬品など実験用消耗品の購入などにあてられ、錯体の合成・測定研究の支援に用いられた。

本年度は著者と梶原教授の共同研究による研究成果を3報の原著論文として報告することができた。以下にそのリストを掲載する。

- 1) S. Hino, M. Maeda, K. Yamashita, Y. Kataoka, M. Nakano, T. Yamamura, H. Nojiri, M. Kofu, O. Yamamuro, T. Kajiwara*, Linear Trinuclear Zn(II)-Ce(III)-Zn(II) Complex which Behaves as Single-molecule Magnet, *Dalton Trans.*, 2013, in press. DOI: 10.1039/c2dt32812g
- 2) K. Yamashita, R. Miyazaki, Y. Kataoka, T. Nakanishi, Y. Hasegawa,* M. Nakano, T. Yamamura, T. Kajiwara*, Luminescent Single-molecule Magnet: Observation of Magnetic Anisotropy Using Emission as Probe, *Dalton Trans.*, 2013, in press. DOI: 10.1039/c2dt32785f
- 3) M. Maeda, S. Hino, K. Yamashita, Y. Kataoka, M. Nakano, T. Yamamura, T. Kajiwara*, Correlation between Slow Magnetic Relaxation and Coordination Structures of Family of Linear Trinuclear Zn(II)-Ln(III)-Zn(II) Complexes (Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, and Yb), *Dalton Trans.* 2012, 41, 13640-13648. DOI: 10.1039/C2DT31399E

水廻り床での素足のすべりの評価方法に関する基礎的研究

研究院生活環境科学系 住環境学領域 工藤 瑠美

1. はじめに

これまで、安全性の観点から、水廻り床での素足のすべりの評価方法が提案されている^{1)~4)}。しかし、浴室床やプールサイドなどの水廻り床において、未だ転倒事故が多く発生しているのが実情であり、水廻り床に用いられる製品の変化に伴い、提案されている評価方法では、十分に対応しきれていないことが考えられる。以上から、まずは水廻り床で多く使用される代表的なタイル試料を中心に提案されている素足のすべりの測定方法の適用性について検討した経過、結果を報告する。

2. 研究方法

- (1) 様々なタイル試料を用いて、素足のすべりの感覚尺度を構成する官能検査を実施する。
- (2) 提案されている素足のすべりの測定方法を用いて、様々なタイル試料のすべりを測定する。
- (3) (1)で構成した感覚尺度と(2)の素足のすべりの測定結果との対応を検討する。

3. 官能検査によるすべりの感覚尺度の構成

素足のすべりの程度を判断するすべり感覚尺度を構成するための官能検査の概要を表1に示す。検査手法は、所定の動作を行い、大きさや表面形状の異なるタイル試料 No.1~No.9 のすべりの大きさを標準試料と比較判断する一対比較法とした。動作は、水廻り床で頻繁に見られる歩行動作と小走り動作の2動作とした。以上の条件で官能検査を実施し、すべり感覚尺度を構成した。

4. 素足のすべりの測定方法の概要

提示されている素足のすべりの測定方法としては、以下の3つの測定方法が挙げられる。

- I. 浴槽底や浴室床の素足のすべり C.S.R・B は、写真1に示す O-Y・PPSM に図1のすべり片を装着して測定する。測定条件は、介在物として、水散布状態とホコリなどを含んだ状況を再現するためのタルク水散布状態の2条件とする。
- II. 素足でのスポーツサーフェイスなどの床のすべり C.S.R・BF は、写真1に示す O-Y・PPSM に図2のすべり片を装着して測定する。
- III. 水廻り床の素足でのすべり C.S.R・BF' は、写真2に示す ONO・PPSM で、図3のすべり片を装着して測定する。

5. すべり感覚尺度と素足のすべりの測定結果の関係

本研究3で構成した素足のすべり感覚尺度と4の素足のすべりの測定方法 I~III でタイル試料 No.1~9 のすべりを測定した結果との関係図を図4に示す。

C.S.R・B において、水散布状態とタルク水散布状態共にばらつきがあり、十分な対応

表 1. 官能検査の概要

構成する尺度	すべり感覚尺度
判断範ちゅう	所定の動作時に、標準試料と比較して、この試料のすべりは、
	①非常にすべる
	②かなりすべる
	③ややすべる
	④どちらともいえない
	⑤ややすべらない
	⑥かなりすべらない
⑦非常にすべらない	
試料の概要	試料No.1~9: タイル9種 (10~20mm角のモザイクタイル、 150~300mm角のセラミックタイル) 標準試料: セラミックタイル(150mm角)
試料表面状態	水散布状態
検査員	20代~50代の成人男女13名
動作	歩行動作, 小走り動作

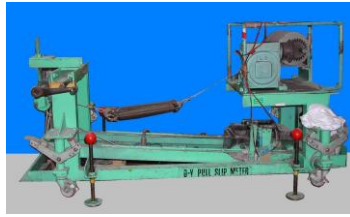


写真1. すべり試験機 (O-Y・PPSM)

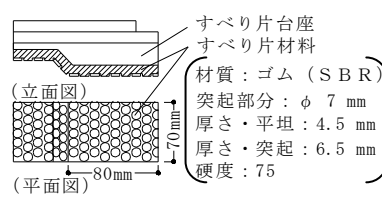


図1. C.S.R・Bのすべり片

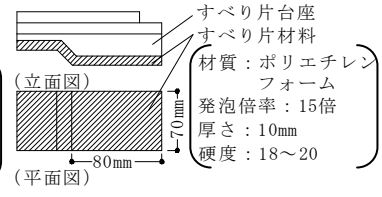


図2. C.S.R・BFのすべり片



写真2. 携帯型すべり試験機 (ONO・PPSM)

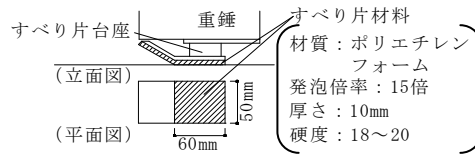


図3. C.S.R・BF'のすべり片

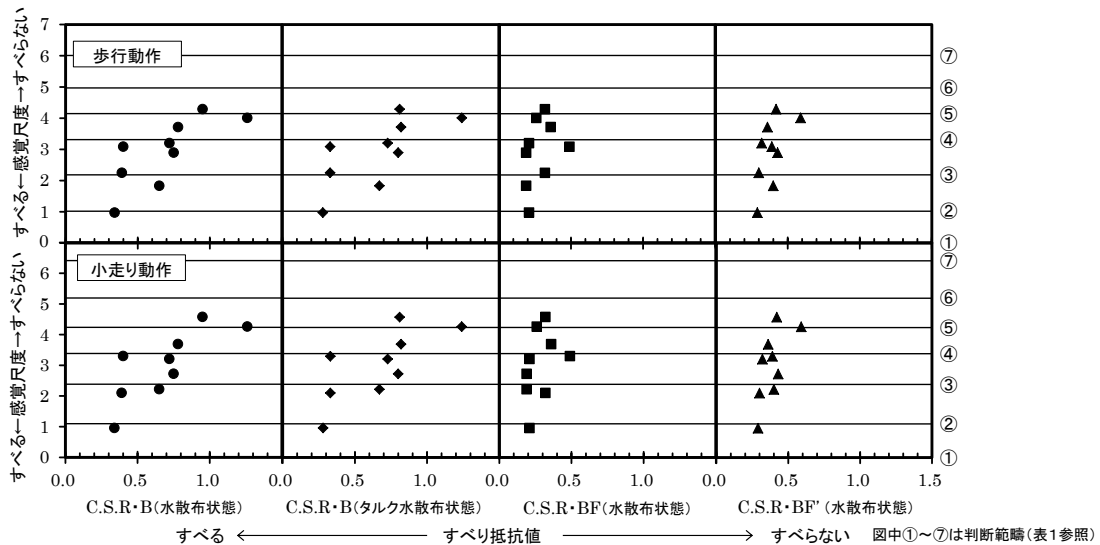


図4. すべり感覚尺度とすべり抵抗の関係

が得られていないことがわかる。また、C.S.R・BF, C.S.R・BF'において、すべり抵抗がおよそ0.2~0.5の小さい範囲に尺度が構成されており、すべりの程度の判断が非常に困難であるといえる。

以上より、既往の素足のすべり測定方法では、十分に対応しない試料が存在することなどが明らかになり、素足のすべりの測定方法について、再検討の必要性が確認できた。

[文献]

- 1) 小野英哲他, 安全性からみた浴室床および浴槽底のすべりの評価方法に関する研究(その1), 日本建築学会構造系論文報告集, 第384号, pp.26-33 (1988).
- 2) 小野英哲他, 安全性からみた浴室床および浴槽底のすべりの評価方法に関する研究(その2), 日本建築学会構造系論文報告集, 第387号, pp.1-7 (1988).
- 3) 小野英哲他, 素足での床のすべりの評価方法に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第537号, pp.21-26 (2000).
- 4) 工藤瑠美他, 素足での水廻り床のすべりの測定・評価方法の再考, 日本建築学会構造系論文報告集, 第618号, pp.15-21 (2007).

一次元拡散過程の調和変換とそれを用いたレヴィ測度の表現の研究

研究院自然科学系 数学領域 嶽村 智子

多様なモデルに対応する確率過程の構築を目指し、その性質を研究することを目的とし研究を行っている。特に今年度は、「一次元拡散過程の h 変換」を対象とし研究を行った。

調和変換は、確率過程を特徴付ける推移確率密度関数を場に依存した調和関数で変換させることにより新しい運動を取り出すことができる。ここでは、一次元拡散過程に対して、対応する生成作用素の調和関数を行う。以下、ここで取り扱う調和変換を h 変換と呼ぶ。この h 変換は、消滅項をもつ拡散過程から消滅項がないものへの変換を取り出すことができる。すなわち、複雑な過程をよく知られた過程に変換することができる重要な手法の一つである。この h 変換による端点での境界条件の変化は、調和関数と拡散過程を特徴づける関数により分類される[文献 2]。また h 変換の逆変換も知られており、これらの相互関係について得た結果と具体的で興味深い例やこの h 変換と逆変換との関係、端点での状態の変化に着目し、一般的に難しいスペクトル表現が、記述されるという結果もすでに得ている[文献 1]。

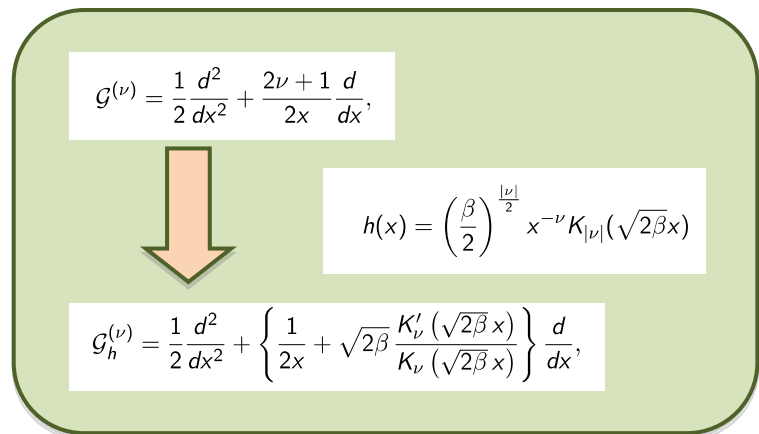
端点での境界条件が吸収壁(absorbing boundary)である過程について h 変換の研究を行ってきた。下の図の左側では、尺度関数 s スピード測度 m 消滅測度 k によって特徴づけられる一次元拡散過程 $\mathbb{D}_{s,m,k}$ が調和関数 h によって h 変換が施され消滅項をもたない新しい確率過程 $\mathbb{D}_{s_h,m_h,0}$ が得られることを示している。

$$\begin{array}{ccccc}
 & \text{h transform} & & \text{Itô and McKean} & \\
 \mathbb{D}_{s,m,k} & \longleftrightarrow & \mathbb{D}_{s_h,m_h,0} & \longleftrightarrow & \mathbb{D}_{s_h,m_h,0}^* \\
 \text{absorbing} & & \text{absorbing} & & \text{reflecting} \\
 & & & & n^*(\xi)
 \end{array}$$

端点の条件を吸収壁から反射壁(reflecting boundary)とした一次元拡散過程 $\mathbb{D}_{s_h,m_h,0}^*$ を考える。端点が反射壁である一次元拡散過程は、もう一方の端点にある仮定をおくことで端点での局所時間の逆がレヴィ過程になることが知られている。また吸収壁拡散過程に対応した推移確率密度関数がスペクトル表現をもつときに、レヴィ過程に対応するレヴィ測度の具体的な表現が知られている。これらの結果は Ito and McKean によるものである。この結果と研究を行ってきた h 変換の手法を用い、 h 変換された一次元拡散過程の端点を反射壁にした過程で現れるレヴィ測度を h 変換する前の良く知られた拡散過程のスペクトル測度などによって具体的に表現することができるという結果を得た[文献 3]。

最後に簡単に具体的な例を紹介する。

左図の $\mathcal{G}^{(\nu)}$ は、確率過程論においては良く知られているベッセル過程に対応した生成作用素である。ベッセル過程を調和関数 $h(x)$ によって h 変換して得られる拡散過程が $\mathcal{G}_h^{(\nu)}$ である。ここで K_ν は、変形されたベッセル関数でありこのような複雑な生成作用素に対応する拡散過程の性質を調べる事は難しい。しかし、この h 変換を用いることによって、良く知られたベッセル過程に帰着して、解析することができ推移確率のスペクトル表現・レヴィ測度も具体的な表現を得ることができる。



これらの内容を学術論文へ投稿するため準備を行っている。また活発に研究集会等で講演を行うことにより、今後繋がる議論を行うことができた。

[文献]

- 1) Takemura T., *State of boundaries for harmonic transforms of one-dimensional generalized diffusion processes*, Annual Reports of Graduate School of Humanities and Sciences, Nara Women's Univ., Vol. 25 (2009), 285-294.
- 2) Takemura T. and Tomisaki M., *h transform of one dimensional generalized diffusion operators*, Kyushu J. 66 (2012), 171-191.
- 3) Takemura T. and Tomisaki M., *L'evy measure density corresponding to inverse local time*, preprint.

[講演 (学会・国際研究集会)]

- 1) Takemura T., *L'evy measure density corresponding to inverse local time*, 6th International Conference on Stochastic Analysis and its Applications (ポーランド), 2012. 9. 11.
- 2) Takemura T., *L'evy measure density corresponding to inverse local time*, 日本数学会 (九州大学), 2012. 9. 18.
- 3) Takemura T., *L'evy measure density corresponding to inverse local time*, "Stochastic Analysis and Applications" German-Japanese bilateral research project (岡山大学), 2012. 9. 27.
- 4) Takemura T., *L'evy measure density corresponding to inverse local time*, 確率論シンポジウム (数理解析研究所), 2012. 12. 18.

ポリ乳酸とポリ（*N*-イソプロピルアクリルアミド）から成る
ジブロック共重合体の合成とその感熱応答挙動の研究

研究院自然科学系 化学領域 中村 伊都子

特殊な機能を有する高分子である機能性高分子として、外部の温度に応じてその性質が変わる感熱応答性高分子が注目されている。ポリ（*N*-イソプロピルアクリルアミド）（PNIPAM）はその代表であり、低温では水に溶けるがある温度以上になると水に不溶となる性質を示す。また近年、高分子分野では異なる高分子を繋ぎ合わせたブロック共重合体の研究が盛んに行なわれている。ブロック共重合体は1つの分子で複数の性質を発現させることが可能となり、新たな機能性高分子を創製できると期待される。

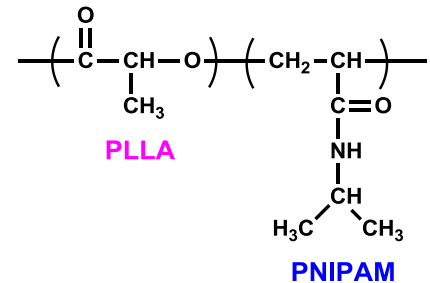


図 1. PLLA-*b*-PNIPAM の構造

本研究では、PNIPAM と、代表的な生分解性高分子であり疎水性を示すポリ L-乳酸（PLLA）との 2 種類の高分子から成るジブロック共重合体（ジ=2）を設計・合成した（PLLA-*b*-PNIPAM、図 1）。このジブロック共重合体は低温では疎水性と親水性の相反する性質を有することとなり、その感熱応答挙動は PNIPAM のみから成るものの挙動とは異なると予想されることから、合成したジブロック共重合体の感熱応答挙動を詳細に検討することとした。

ジブロック共重合体は、PNIPAM 鎖の長さが異なる PLLA-*b*-PNIPAM51（PNIPAM 51 量体）、PLLA-*b*-PNIPAM232（PNIPAM 232 量体）の 2 種類を合成した。

まず、PLLA 部位が感熱応答挙動に及ぼす影響について水溶液の濁度（＝濁り具合）から検討した（濁度法）。水溶液の濁り始める温度が PNIPAM 50 量体（PNIPAM50）では 43°Cであったのに対し、PLLA-*b*-PNIPAM51 では 31°Cと低く、PLLA の疎水性によりジブロック共重合体では水溶液が濁りやすくなっていることが分かった（図 2）。また、昇温過程と降温過程が、PNIPAM50 では一致しているが PLLA-*b*-PNIPAM51 では一致しない

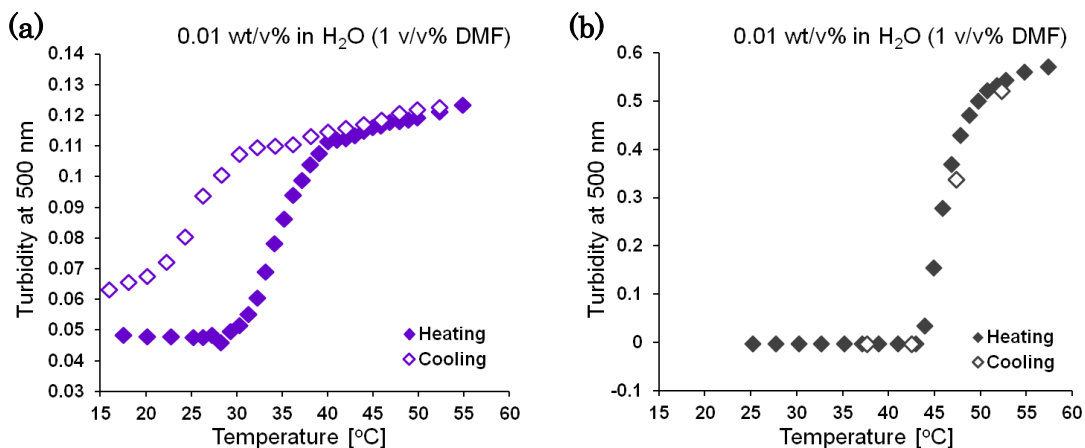


図 2. 濁度法による感熱応答挙動：(a) PLLA-*b*-PNIPAM51、(b) PNIPAM50

という興味深い結果も得られた。

そこで、ジブロック共重合体の感熱応答挙動について蛍光プローブ法を用いてより詳細に検討したところ、PLLA-*b*-PNIPAM51、PLLA-*b*-PNIPAM232 水溶液の濁り始める温度はそれぞれ 31°C、32°C とほぼ同じであったが (図 3 左)、スペクトルの形状および強度が異なっていた (図 3 右)。より変化の大きい PLLA-*b*-PNIPAM232 では、疎水性の PLLA を中心とするミセルを形成している可能性が示唆された。¹⁾

以上の内容をまとめ、スキルアップ経費の支援を受けて、第 61 回高分子討論会 (平成 24 年 9 月 19~21 日、名古屋工業大学) においてポスター発表を行なった。合成法、測定結果及び考察、今後の展開などについて広く議論を交わすことができた。

現在、収率が低いという合成上の問題点を解決するため今回の順番 (PLLA→PNIPAM) とは逆の PNIPAM→PLLA の順で合成する方法を検討している。既に収率の向上が確認できており、今後はこちらの合成法でジブロック共重合体の合成を完了し、得られたブロック共重合体の感熱応答挙動について同様に検討する予定である。

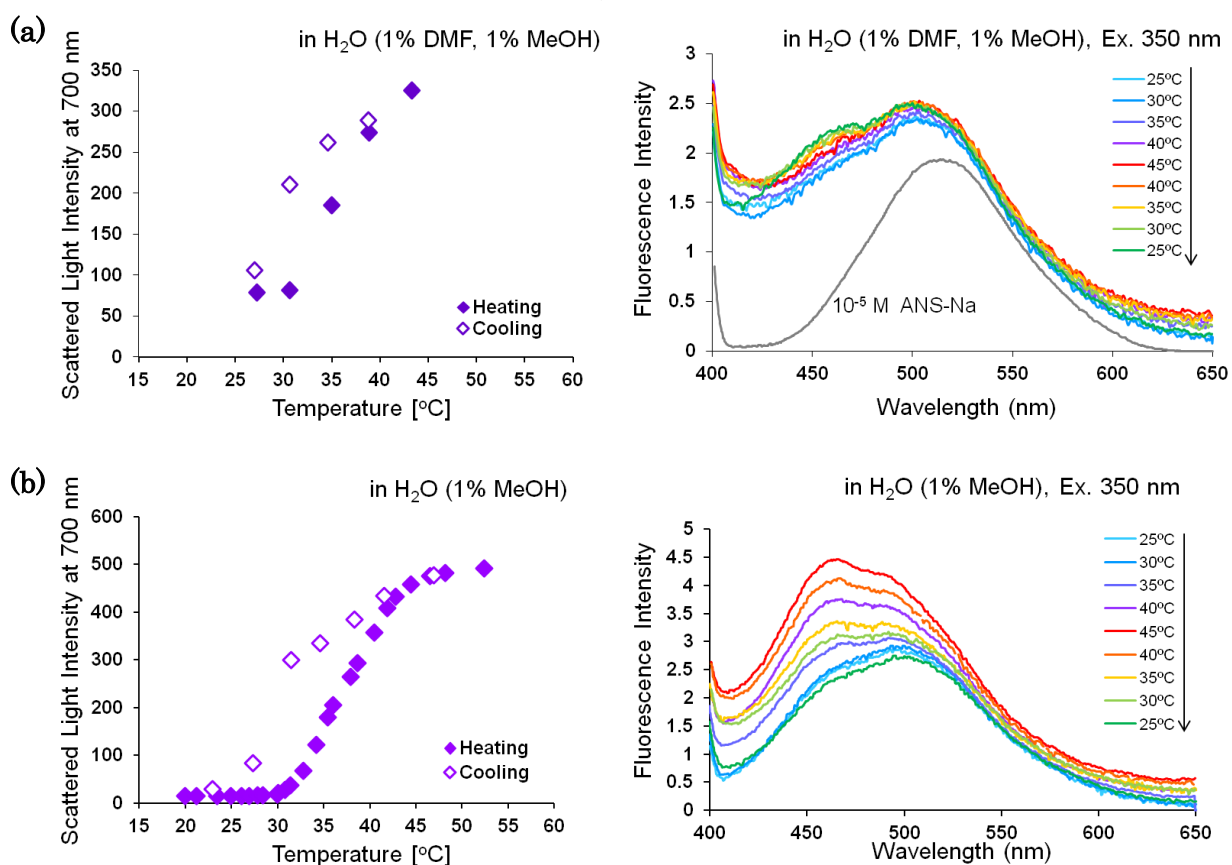


図 3. 蛍光プローブ法による感熱応答挙動 : (a) PLLA-*b*-PNIPAM51、(b) PLLA-*b*-PNIPAM232

[文献]

- 1) 中村伊都子, 岩井薫, ポリ乳酸とポリ (*N*-イソプロピルアクリルアミド) から成るジブロック共重合体の合成と蛍光プローブ法による感熱応答挙動の検討, 第 61 回高分子討論会, 名古屋工業大学 (2012).