

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03555

研究課題名（和文）電気二重層相互作用の起源をあらためて問い直す

研究課題名（英文）Re-examining the origins of electric double layer interactions

研究代表者

菱田 真史（Hishida, Mafumi）

筑波大学・数理解物質系・助教

研究者番号：70519058

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：我々はいままで荷電性リン脂質膜間の相互作用がDLVO理論に従わないことを見出し、本研究では、コロイド凝集系での電気二重層相互作用の作用機構を再考するために、球状コロイドのコロイド間距離のイオン種依存性、およびコロイド濃度依存性を精密なX線小角散乱測定を用いて調べた。いずれの実験結果もDLVO理論では説明できないことが分かったため、Donnan平衡モデルとDLVO理論を融合した新しい理論の構築を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

洗剤や塗料など、多くの工業製品はコロイドで作られており、その分散性の理解は学術的にも応用的にも大変重要である。本研究では、コロイドの分散・凝集の物理的なメカニズムがこれまで100年近く信じられてきたものとは異なる機構で進むことを見出した。精密な実験と新しい理論の構築を両輪で進めた。水中で荷電性コロイド間に働く力の起源を根本から問い直すことに成功し、過去の理論の問題点と、より妥当な考え方を示すことができた。

研究成果の概要（英文）：In the past study, we have found that the interaction between charged phospholipid membranes does not follow the DLVO theory. In this study, to understand the mechanism of the electric double layer interaction in colloidal aggregation systems with a systematic manner, the dependence of the inter-colloidal distances of spherical colloids on the ionic species and the colloidal concentration were investigated using precise measurement of small angle X-ray scattering. Since the results still did not follow the DLVO theory, we developed a new theory that integrates the Donnan equilibrium model and the DLVO theory.

研究分野：ソフトマター物理学、コロイド科学

キーワード：コロイド間相互作用 電気二重層斥力 Donnan平衡 DLVO理論

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

ソフトマターの自己組織化構造を決める相互作用の中でも、静電的な相互作用は最も重要かつ普遍的なものの一つである。静電的相互作用はクーロン相互作用と電解質溶液中で働く電気二重層相互作用に分けられるが、本研究では、後者がどのようなメカニズムで働くかに注目した。

電気二重層相互作用は、電解質水溶液中に分散した荷電性のソフトマターやコロイドの表面に集まったイオンのエントロピーをできるだけ獲得するために、イオンの凝集層（電気二重層）同士を遠ざけようとする力である。電気二重層相互作用は、古くは約 100 年前に Gouy、Chapman や Debye、Hückel らによって、様々な近似の下で Poisson-Boltzmann 方程式を解くことで定式化されてきた。そうして求められた電気二重層相互作用と van der Waals 相互作用を足し合わせて力のバランスを議論するのが DLVO 理論である。DLVO 理論は、細かな修正の必要こそあれ、大筋では広く認められてきた基礎理論である。

しかし、我々は最近、荷電性のリン脂質二重膜の凝集・離散挙動が DLVO 理論とは全く合致しないことを発見した。さらに、理論的考察から、Gouy-Chapman や Debye-Hückel らの理論では考慮されてこなかった熱力学条件（Gibbs-Donnan 平衡）を考慮することで、実験結果を非常によく再現できることが分かった。本発見は、これまで 100 年ものあいだ信じられてきた電気二重層相互作用の起源や DLVO 理論が、実は多くのコロイドやソフトマターの凝集系で破たんしていた可能性を示している。

2. 研究の目的

この電気二重層相互作用の新規な作用機序の発見は、ソフトマター間に働く力の根本に関わる大変重要な成果である。しかし、過去の理論における本質的な問題点や、過去の理論と新規理論それぞれの適用可能範囲の違い、などといった基本的な問題はまだまだ不明確であった。静電的相互作用はコロイド化学や生物学など多くの分野に関わる問題のため、精査が必要不可欠である。そこで本計画では、「電気二重層相互作用とは何なのか、その作用機序をあらためて問い質す」ことを掲げ研究を行った。

3. 研究の方法

本研究では、本研究代表者らが発見した新しい電気二重層相互作用の作用機序が他のコロイド凝集系にも当てはまるのかを調べ、さらにその実験結果から Gouy-Chapman、Debye-Hückel らによる過去の理論との本質的な違いを明確にし、適用可能範囲の違いを明らかにするべく研究を行った。

まずは実験的に、様々な条件下での凝集コロイド間の距離を正確に測定することを目的に、放射光 X 線を用いた X 線小角散乱を用いた測定を行った。その後、理論的な考察も行った。

4. 研究成果

1) 球状コロイドのコロイド間距離の精密測定と、その添加塩依存性およびコロイド濃度依存性

これまでの研究では、コロイドとしてリン脂質膜を用いて研究を行ってきた。その中

で、DLVO 理論とは整合しない実験結果を得てきたが、このことが他のコロイドでも成り立つのかを調べるために、球状コロイドを用いた実験を行った。

放射光による輝度の高い X 線を用いて、負の電荷をもつシリカコロイドの分散液に対して小角散乱を行った。精密にコロイド間距離を求めるために、できるだけ小角領域まで散乱プロファイルを得られるように光学系を工夫した。さらに、散乱プロファイルを丁寧に形状因子と構造因子に分離し、構造因子の 1 次ピークの位置を精度よく決定した。

コロイドはリン脂質の研究で行ったのと同様に、共イオンの価数を 1 価～3 価と変えた 3 つの電解質溶液に分散させた。まず共イオンの価数依存性を調べると、やはりリン脂質の場合と同様に、イオン強度が一定であってもコロイド間距離には価数依存性があることが分かった (図 1)。このことは、DLVO 理論による予言とは矛盾する結果である。コロイドの表面電位を測定し、DLVO 理論から予想されるコロイド間距離と比較を行っても、やはり共イオン依存性は実験と理論では正反対の結果となった。

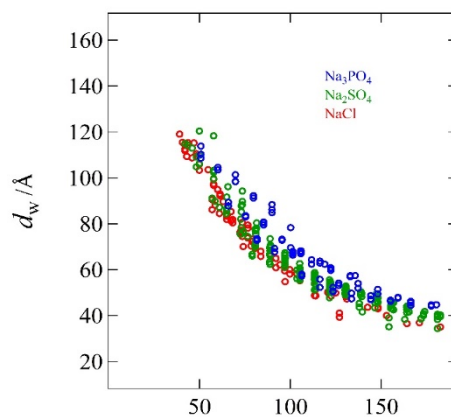


図 1: 各電解質溶液 (NaCl, Na₂SO₄, Na₃PO₄) 中でのコロイド間距離のイオン強度依存性

この結果は、膜だけでなく球状コロイドの場合でも DLVO 理論はコロイド凝集系におけるコロイド間相互作用を記述できないことを意味している。我々は、リン脂質における研究で、この理論的な齟齬は、系全体の熱力学を考慮することで解消できることを示唆した。すなわち、DLVO 理論は無限のバルクの中に 2 個のコロイドがいる場合に成り立つが、多数のコロイドが凝集した今回のような系ではそれが破綻する可能性を示してきた。この理論的な予想からは、コロイド間の相互作用にコロイドの濃度が寄与する可能性が示唆される。一方で、コロイド濃度依存性は、そもそも 2 つしかコロイドが存在しないことを仮定している DLVO 理論では全く説明できない。

そこで我々は次に、球状コロイドの濃度を変えて実験を行った。すると、理論的に予想した通り、同じイオン種、同じイオン強度で比較してもコロイド濃度が異なればコロイド間距離が異なるという結果が得られた (図 2)。このようなコロイド間の相互作用に対するコロイド濃度の影響はこれまでに報告がなく、非常に重要な発見である。この結果は、我々がこれまでに提唱してきた理論モデルの妥当性を示唆しており、DLVO 理論がコロイド凝集系には適用できないということを意味している。

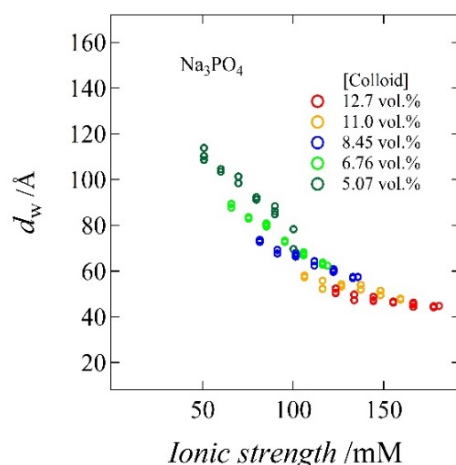


図 2 : Na_3PO_4 水溶液中でのコロイド間距離のコロイド濃度依存性

このように、精密な X 線小角散乱実験によってコロイド間距離の正確な導出を行うことで、リン脂質膜だけでなく、球状コロイドにおいても、DLVO 理論が適用できないということを明らかにすることができた。(論文執筆中)

2) 新しい理論の考察：DLVO 理論と Donnan 平衡モデルの融合

そこで我々はさらに、理論面においても考察を進めた。これまでのリン脂質の研究[1]では、系中に多数のコロイドが存在することを考慮し、系全体の熱力学を考えることが重要であることを示した。これは局所的な 2 つのコロイド間の力のみを考える DLVO 理論とは根本的な前提から異なるモデルである。そこでこの新規理論モデルと、今回得られた実験結果との比較を行った。

まず、Donnan 平衡理論を用いて系全体のイオン分布の計算を行った。すると今回の系でも、リン脂質の場合と同様に、添加塩はほとんどがコロイド間から排斥されるという計算結果になった。このイオン分布は、DLVO 理論や、その前提にある Debye-Hückel 理論で考えられているようなイオン分布とは全く異なるものである。この計算から、コロイド間およびバルクに存在するイオン濃度が計算できるため、それを前提としてコロイド間相互作用の定式化を行った。これはリン脂質膜の際に行ったモデル構築を拡張しながら行った。電気二重層斥力として、Debye-Hückel 型や Gouy-Chapman 型、intermediate 型など[4]を変えながら適用していった。また、イオンの不均一分布に伴う浸透圧差に起因した力を、計算されたイオン分布から求め、それを電気二重層力に足し合わせた。

様々なパターンで平衡となるコロイド間距離を計算したところ、いずれの場合もコロイド濃度依存性が観測され、実験と傾向は近いものとなった。また、共イオン依存性も観測された。しかし、実験値と比較すると、絶対値の一致はさほど良くなかった。現在は、実験値との整合性を上昇させるべくこの理論のさまざまな改良を行っている。(論文執筆準備中)

3) 電解質溶液中のコロイドに対する HNC-OZ 理論

さらに我々は研究分担者を中心に、電解質溶液中の同符号電荷間引力における溶媒効果や膜における配置エントロピーに関する研究の経験[2,3]を生かして、積分方程式理論、特に HNC-OZ 理論を利用した理論的研究を進めた。研究代表者らの実験[1]によって、膜の表面の負電荷によって膜間のアニオンが排斥されている事が示されている。そこで、二つのマクロアニオンの間の実効相互作用の効果を調べた。

Debye-Hückel 近似が成り立つ D-H 領域よりも、表面の電位が高かったり、表面間距離が近かったりする場合は intermediate 領域[4]と呼ばれる。その intermediate 領域条件でマクロアニオンの間の実効相互作用を HNC-OZ 理論を用いて計算した。その計算結果は実験に対応するかの様な振る舞いを示した。すなわち、その実効相互作用の計算結果は、電解質のイオン強度でスケールできない。これは、Debye-Hückel 理論ではイオン強度でスケールされている事と対照的である。その一方で、intermediate 領域での実効相互作用は、ほぼカチオン濃度のみに依存していた。すなわち、共イオンである電解質由来のアニオンの価数には依存しない振る舞いを示したのである。この結果は、マクロアニオンの間から電解質由来の共イオン（アニオン）が排斥されていると解釈すると妥当に思われる。この解釈は 2) で述べた Donnan 平衡モデルによる計算ともよく整合する結果である。全く異なる理論体系から同様の結果が得られたことは、この結果が正しい可能性が高いことを示唆している。

これまで、実効相互作用が長距離に及ぶため計算に困難があったが、その問題が解決することができたといえる（論文執筆中）。

4) 静電的相互作用と疎水性相互作用のバランスの変化で起こる膜の相転移の発見

我々は、リン脂質膜以外にも、荷電性膜を用いて実験を行い、さらなる普遍性の理解に努めた。リン脂質の場合にはアニオン性膜であったので、ここでは、界面活性剤を用いてカチオン性の膜で実験を試みた。イオンを添加したところ、膜が強く凝集し、目的の実験には向かないことが分かったが、一方で新しい現象を発見した。膜の電荷を変えるために膜にアルカンを添加したところ、膜構造が相転移を示すことが分かった。アルカン無添加時には指組構造をとる膜が、アルカンの添加によって二重膜になるという、新しい相転移を示すことを発見した。さらに理論的な考察を行い、この相転移も電気的な相互作用が重要に働いていることを示した。すなわち、親水基間の電気的な反発力と、疎水鎖の先端を水にさらすことによる疎水性相互作用のバランスの変化が膜の構造転移を引き起こすことを示した。実験と理論が非常によく一致した結果を与えることとなり、新しい相転移のメカニズムを解明することができた。本結果は Langmuir 誌にて出版済みである[5]。

[参考文献]

- [1] M. Hishida, Y. Nomura, R. Akiyama, Y. Yamamura, K. Saito, *Phys. Rev. E*, **96**, 040601 (2017).
- [2] A. Suematsu, and R. Akiyama, *J. Chem. Phys.*, **154**, 034902 (2021)
- [3] K. Suda, A. Suematsu, and R. Akiyama, *J. Chem. Phys.*, **154**, 204904 (2021)
- [4] D. Andelman, *Handbook of Biological Physics*, **1**, 603-642 (1995).
- [5] M. Hishida, N. Shimokawa, Y. Okubo, S. Taguchi, Y. Yamamura, K. Saito, *Langmuir*, **36**, 16699-14709 (2020).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hishida Mafumi、Shimokawa Naofumi、Okubo Yuki、Taguchi Shun、Yamamura Yasuhisa、Saito Kazuya	4. 巻 36
2. 論文標題 Phase Transition from the Interdigitated to Bilayer Membrane of a Cationic Surfactant Induced by Addition of Hydrophobic Molecules	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 14699 ~ 14709
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c02609	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nakamura Yuka、Yoshimori Akira、Akiyama Ryo	4. 巻 154
2. 論文標題 Solvation effects on diffusion processes of a macromolecule: Accuracy required for radial distribution function to calculate diffusion coefficient	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 084501 ~ 084501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0038894	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Suematsu Ayumi、Akiyama Ryo	4. 巻 154
2. 論文標題 Solvent effect for an effective attraction between like-charged macroions immersed in an electrolyte solution: The intensification mechanism of the effective attraction caused by the translational motion of solvent particles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 034902 ~ 034902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0033874	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tamura Y.、Yoshimori A.、Suematsu A.、Akiyama R.	4. 巻 129
2. 論文標題 Reentrant crystallization of like-charged colloidal particles in an electrolyte solution: Relationship between the shape of the phase diagram and the effective potential of colloidal particles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 EPL (Europhysics Letters)	6. 最初と最後の頁 66001 ~ 66001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1209/0295-5075/129/66001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 白田初穂、菱田真史、長尾道弘	4. 巻 5
2. 論文標題 中性子散乱で観る n-アルカン添加が膜のナノスケールの構造と運動に与える影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 材料表面	6. 最初と最後の頁 171 ~ 182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Usuda Hatsuho, Hishida Mafumi, Kelley Elizabeth G., Yamamura Yasuhisa, Nagao Michihiro, Saito Kazuya	4. 巻 22
2. 論文標題 Interleaflet coupling of n-alkane incorporated bilayers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 5418 ~ 5426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CP06059F	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tokunaga Ken, Akiyama Ryo	4. 巻 100
2. 論文標題 Molecular dynamics study of a solvation motor in a Lennard-Jones solvent	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 62608
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.100.062608	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chiba Ayano, Oshima Akio, Akiyama Ryo	4. 巻 35
2. 論文標題 Confined Space Enables Spontaneous Liquid Separation by Molecular Size: Selective Absorption of Alkanes into a Polyolefin Cast Film	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 17177 ~ 17184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.9b02509	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakamura Yuka, Arai Shota, Kinoshita Masahiro, Yoshimori Akira, Akiyama Ryo	4. 巻 151
2. 論文標題 Reduced density profile of small particles near a large particle: Results of an integral equation theory with an accurate bridge function and a Monte Carlo simulation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 044506 ~ 044506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5100040	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mafumi Hishida, Ryuta Yanagisawa, Yasuhisa Yamamura, Kazuya Saito	4. 巻 150
2. 論文標題 Phase separation of a ternary lipid vesicle including n-alkane: Rugged vesicle and bilayer flakes formed by separation between highly rigid and flexible domains	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 64904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5080177	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Afroze Farhana, Inoue Daisuke, Farhana Tamanna Ishrat, Hiraiwa Tetsuya, Akiyama Ryo, Kabir Arif Md. Rashedul, Sada Kazuki, Kakugo Akira	4. 巻 563
2. 論文標題 Monopolar flocking of microtubules in collective motion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biochemical and Biophysical Research Communications	6. 最初と最後の頁 73 ~ 78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrc.2021.05.037	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Suda Keiju, Suematsu Ayumi, Akiyama Ryo	4. 巻 154
2. 論文標題 Lateral depletion effect on two-dimensional ordering of bacteriorhodopsins in a lipid bilayer: A theoretical study based on a binary hard-disk model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 204904 ~ 204904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0044399	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計43件（うち招待講演 14件 / うち国際学会 18件）

1. 発表者名 秋山良
2. 発表標題 Asakura-Oosawa 理論とその広がり
3. 学会等名 第58回日本生物物理学会年会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菱田真史
2. 発表標題 リン脂質の水和状態と凝集構造の相関
3. 学会等名 日本膜学会第42 年会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菱田真史
2. 発表標題 広い視野から見たコロイド・界面化学の面白さ・美しさ
3. 学会等名 2020年第2回コロイド界面化学若手WEBセミナー（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部充華, 菱田真史, 山村泰久, 齋藤一弥
2. 発表標題 親水基に依存したリン脂質ミセル間相互作用
3. 学会等名 第71回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菱田真史
2. 発表標題 リン脂質膜物性の多角的評価：周囲の分子の影響の体系的理解にむけて
3. 学会等名 第23 回コロイド・界面技術者フォーラム～ コロイド領域のイメージング・評価技術 ～（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菱田真史、大久保友貴、田口俊、山村泰久、齋藤一弥
2. 発表標題 疎水性分子添加によるイオン性界面活性剤膜の指組膜 - 二重膜相転移
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mafumi Hishida
2. 発表標題 Towards the systematic understanding of the effects of peripheral molecules on thermodynamic and structural properties of phospholipid bilayers: The effect of hydrophobic additives and hydration water
3. 学会等名 The Seventy Fourth Calorimetry Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mafumi Hishida
2. 発表標題 Electrostatic double-layer force between anionic bilayers caused by heterogeneous distribution of added ions
3. 学会等名 The Seventy Fourth Calorimetry Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mafumi Hishida
2. 発表標題 Systematic understanding of the effects of peripheral molecules on the physical properties of phospholipid bilayers: Effects of hydrophobic molecules and hydration water
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mafumi Hishida
2. 発表標題 Involvement of hydration water on the phase transitions of lipids and surfactants
3. 学会等名 The Seventh International Symposium on the New Frontiers of Thermal Studies of Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下川 直史, 菱田 真史
2. 発表標題 静電相互作用と表面エネルギーの競合によるイオン性界面活性剤/疎水性分子系での指組膜-二重膜相転移
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 白田初穂, 菱田真史, 長尾道弘, Elizabeth G. Kelley, 山村泰久, 齋藤一弥
2. 発表標題 脂質膜の相転移温度とダイナミクスに対する添加アルカンの影響
3. 学会等名 第55回熱測定討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taichi Matsubara, Mafumi Hishida, Yasuhisa Yamamura, Kazuya Saito
2. 発表標題 Colloid concentration dependence of coagulation of spherical colloidal particles
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ayumi Kaneko, Mafumi Hishida, Yasuhisa Yamamura, Kazuya Saito
2. 発表標題 Contrasting change upon BSA denaturation of hydration numbers determined by THz spectroscopy and DSC
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuma Nagayama, Mafumi Hishida, Yasuhisa Yamamura, Kazuya Saito.
2. 発表標題 Relation between hydration states and stacking structures of phospholipid bilayers indicated by their dependences on thermal history
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長山 拓馬
2. 発表標題 リン脂質膜の構造緩和と周りの水の振る舞いについて
3. 学会等名 非線形ソフトマター研究会 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子 亜由美
2. 発表標題 タンパク質の変性と水:生卵からゆで卵になると中の水はどう変化するのか?
3. 学会等名 非線形ソフトマター研究会 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松原 太一
2. 発表標題 DLVO 理論はどこまで正しいのか
3. 学会等名 非線形ソフトマター研究会 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松原太一, 菱田真史, 山村泰久, 齋藤一弥
2. 発表標題 電解質水溶液中における球状シリカ粒子間の平衡距離のコロイド濃度依存性
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋山良
2. 発表標題 Asakura-Oosawa理論とその広がり
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋山良
2. 発表標題 A soft mind in hard bodies
3. 学会等名 第6回凝縮系の理論化学 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryo Akiyama
2. 発表標題 Statistical Mechanics Study of Separation of Inert Solvent Mixtures by a Porous Material
3. 学会等名 The 2nd International Conference on Material Research and Innovation (ICMARI 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryo Akiyama
2. 発表標題 Asakura-Oosawa theory: On the Origin of Excluded Volume Effects in a Crowding Media and the Progress
3. 学会等名 the 5th International Conference on Molecular Simulation (ICMS2019), Lotte Hotel, Jeju, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ayano Chiba, Akio Oshima, Kenzaburo Okubo, and Ryo Akiyama
2. 発表標題 Separation of inert solvent mixtures accentuated by confined spaces
3. 学会等名 6th Japan-Korea International Symposium on Material Science and Technology 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菱田真史、野村遥子、秋山良、山村泰久、齋藤一弥
2. 発表標題 イオンの不均一分布を原因とした電気二重層相互作用の新しい作用メカニズム
3. 学会等名 第69回コロナおよび界面化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菱田真史、野村遥子、秋山良、山村泰久、齋藤一弥
2. 発表標題 荷電膜間に働く電気二重層相互作用の新規作用メカニズム
3. 学会等名 PF研究会「多様な物質・生命科学研究に広がる小角散乱 多く(他)分野の小角散乱を学ぼう！」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mafumi Hishida
2. 発表標題 Electrostatic double-layer force between anionic bilayers caused by heterogeneous distribution of added ions
3. 学会等名 The 12th Mini-Symposium on Liquids (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mafumi Hishida
2. 発表標題 Competitive effects of a chain and a rigid core: Toward a systematic understanding of the effect of incorporated molecules in lipid bilayers
3. 学会等名 The Seventy Third Calorimetry Conference (CALCON-ICCT 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 臼田初穂, 菱田真史, Elizabeth G. Kelley, 齋藤一弥, 長尾道弘
2. 発表標題 脂質膜の厚みゆらぎに対する添加アルカンの影響
3. 学会等名 日本物理学会2018年春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 末松安由美、菱田真史、秋山良
2. 発表標題 Anionic charge dependence of effective interaction between macroanions in electrolyte solution
3. 学会等名 12th Mini-Symposium on Liquids (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazunari Sakurai, Yasuhisa Yamamura, Mafumi Hishida and Kazuya Saito
2. 発表標題 Calorimetric investigation of OCB/8CB and 6CB/8CB binary systems
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideyasu Chiku, Mafumi Hishida, Yasuhisa Yamamura and Kazuya Saito
2. 発表標題 Lattice vibration in SmE phase of nTCB observed by terahertz time-domain spectroscopy
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Usuda, M. Hishida, Y. Yamamura, K. Saito
2. 発表標題 Superheating on Melting of Vesicles Considered as Two-dimensional Solid without Edge
3. 学会等名 The Seventy Third Calorimetry Conference (CALCON-ICCT 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長山 拓馬, 菱田 真史, 山村 泰久, 齋藤 一弥
2. 発表標題 熱履歴に依存して変化するリン脂質二重膜の水和状態
3. 学会等名 第69回コロイドおよび界面化学討論
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 末松安由美、菱田真史、秋山良
2. 発表標題 多価アニオンを含む電解質中の荷電コロイド粒子間相互作用のHNC-OZ理論による解析
3. 学会等名 第69回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩垣紗季子, 山村泰久, 菱田真史, 深田和宏, 齋藤一弥
2. 発表標題 D-フルクトースとD-タガトースの低温熱容量
3. 学会等名 第54回熱測定討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 櫻井一成, 山村泰久, 菱田真史, 齋藤一弥
2. 発表標題 ネマチック - スメクチックA相転移を示すnCB/8CB二成分系の熱的研究
3. 学会等名 第54回熱測定討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野田宙志, 山村泰久, 菱田真史, Maria Massalska-Arod, 齋藤一弥
2. 発表標題 層状液晶を示すnTCBの熱容量と相挙動
3. 学会等名 第54回熱測定討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 末松安由美、菱田真史、秋山良
2. 発表標題 Dependence of effective interaction between charged colloidal particles on co-ion charge; An analysis using HNC-OZ theory
3. 学会等名 Soft Matter Physics: from the perspective of the essential heterogeneity (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 臼田初穂, 菱田真史, Elizabeth G. Kelley, 齋藤一弥, 長尾道弘
2. 発表標題 脂質膜構造とダイナミクスに対する添加直鎖アルカンの影響
3. 学会等名 PF研究会「多様な物質・生命科学研究に広がる小角散乱 多(他)分野の小角散乱を学ぼう！」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 末松安由美、菱田真史、秋山良
2. 発表標題 Dependence of effective interaction between like charged colloidal particles on co-ion charge in an electrolyte solution: An analysis using HNC-OZ theory
3. 学会等名 Berkeley Statistical Mechanics Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 末松安由美、菱田真史、秋山良
2. 発表標題 Debye-Huckel 領域と強結合領域の間における実効相互作用の統計力学的解析
3. 学会等名 研究会 凝縮系の理論化学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 末松安由美、菱田真史、秋山良
2. 発表標題 荷電コロイド粒子間実効相互作用のアニオン価数依存性; HNC-OZ理論を用いた解析
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

菱田真史ホームページ https://hishidamafumi.editorx.io/homepage 秋山良ホームページ http://www.scc.kyushu-u.ac.jp/BioChemPhys/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	秋山 良 (Akiyama Ryo) (60363347)	九州大学・理学研究院・准教授 (17102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関