

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K14354

研究課題名（和文）in vitro RNA進化におけるコアセルベート液滴の機能的役割の検証

研究課題名（英文）Verification of the functional role of coacervate droplets in in vitro RNA evolution

研究代表者

ジャー トニーズィ (JIA, Tony Z)

東京工業大学・地球生命研究所・特任助教

研究者番号：10800328

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：このプロジェクトは液-液相分離（LLPS：リキッド-リキッドフェーズセパレーション）によって形成された膜のない液滴を用いることでプロトセルモデルの理解を深めることに貢献しました。最初にDNA（デオキシリボ核酸）とペプチド（ポリリジン）から構成されるコアセルベートの構造の進化を研究し、次に膜のないプロトセルモデルとして、ポリエステル液滴の機能を研究しました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

We discovered and developed a new membraneless protocell model generated from liquid-liquid phase separation (LLPS) made from polyester microdroplets. This new protocell model will significantly enhance our understanding of the origins of life, and will lead to new research directions in the future.

研究成果の概要（英文）：This research project helped to increase understanding of membraneless droplets as protocell models. We first studied the structural evolution of DNA-peptide coacervates, which resulted in co-assembly of liquid crystal structures within the coacervates; this DNA-based work shows the importance of RNA to in vitro structural evolution of coacervates.

We next learned that peptide-nucleic acid droplets are not the only relevant membraneless protocell model, as we showed that polyester protocells can segregate important biomolecules such as proteins, RNA, and lipids. RNA ribozymes can function in the presence of the polyester protocells, which suggests that in vitro RNA evolution could occur within the droplets. We also found that polyester protocells can evolve chemically through introduction of cationic groups; the cationic groups interact strongly with RNA, allowing more RNA segregation, further suggesting the possibility of in-protocell in vitro RNA evolution.

研究分野：Astrobiology

キーワード：Origins of Life Protocells Coacervates Astrobiology Prebiotic Chemistry Chemical Evolution on Polyesters Biopolymers

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

The “RNA World” hypothesis states that RNA was the first biomolecule of life. In a search for answers regarding how life started, researchers have attempted to find RNA-only systems that can replicate and evolve. Unfortunately, no systems have been found. Recently, because it is known that nucleic acids and peptides emerged simultaneously and complementarily on the early earth, it has been proposed that peptides may have been a key component during the origin of life. However, **very little is known about how peptides affected the ability of early nucleic acids to replicate, grow, divide, and evolve.** Specifically, cationic peptides and polyamines can form coacervate droplets upon electrostatic binding with DNA or RNA. This results in significant enrichment of nucleic acids within the droplets. Understanding how coacervate droplets and other membraneless compartments formed by liquid-liquid phase separation (LLPS) can affect DNA or RNA evolution and function is a necessary component of developing a theory of the origin of early life.

## 2 . 研究の目的

This project proposed to investigate whether membraneless compartments generated from LLPS affect nucleic acid evolution and function. Compartments are a necessary component of all early life systems as they allow for sustained evolution. But results of current studies about the compartmentalization ability of coacervates (membraneless droplets) are inconclusive. Additionally, most current studies focus only on physical or chemical characterization of coacervate droplets and there very few studies that show the effect coacervate droplets have on function or evolution of nucleic acids. By finding functional evidence of these effects, we hoped to end the long-standing and widespread speculation as to whether coacervate droplets were essential for the development of early life on the ancient earth. This will determine whether coacervates should be made an essential part of all origins of life research going forward.

## 3 . 研究の方法

We focused on two specific membraneless coacervate-like systems to study how they could affect primitive *in vitro* RNA evolution: peptide-DNA coacervates and polyester microdroplets.

Peptide-DNA coacervates were assembled through mixing of short, palindromic DNA (12-mers) and polydisperse poly-L-lysine (PLL). Short DNA duplexes have been shown to assemble into liquid crystals (LC) upon concentration (such as through drying). We investigated the structure of these coacervates through various microscopic techniques, especially through fluorescence microscopy and polarization microscopy, which is one way to detect liquid crystal structures. Then, we subjected the droplets to different prebiotic environmental cycles, such as hydration or temperature cycles, to simulate a mechanism of primitive structural evolution. Through observation microscopically through these cycles, we were able to determine the structural evolution of these coacervates, which can be linked to the potential of coacervates to elicit *in vitro* evolution of primitive RNA.

Then, we also studied polyester microdroplets, which can be assembled through dehydration synthesis of alpha hydroxy acid (AHA) monomer followed by rehydration in an aqueous medium. We studied their structure through light microscopy, and also their chemical composition through matrix-assisted laser desorption ionization (MALDI) mass spectrometry (MS). We then characterized their ability to segregate and/or compartmentalize small organic dyes as well as important primitive biomolecules such as proteins, RNA, and lipids through fluorescence microscopy. Finally, in order to increase the binding interaction between the polyester droplets and the RNA and increase the segregation of RNA into the droplets, we introduced cationic AHA monomers into polyester droplets. Using these droplets, we investigated their structure by MALDI-MS, followed by fluorescence microscopy to investigate their ability to incorporate RNA.

## 4 . 研究成果

We first discovered that LC-coacervates can structurally evolve through simple prebiotic cycles

such as dehydration-rehydration and temperature/annealing. Specifically, the LC structures can transition through the entire range of known mesophases within the coacervates, spanning from columnar to cholesteric, to isotropic structures. Specifically, these transitions are reversible, suggesting the importance of such environmental cycles to the origins of life and protocell evolution. These studies showed the ability for a simple nucleic acid system to chemically evolve *in vitro*, and suggest that RNA within coacervates could also undergo similar chemical or structural changes. This research led to a number of peer-reviewed articles, one of which was published in a major journal (*ACS Nano*) and included one major press release.

### Press Release

1. **DNA-peptide interactions create complex behaviours which may have helped shape biology.** Press Release (Oct 2020): <https://www.titech.ac.jp/english/news/2020/048139.html>; <http://abc-nins.jp/press/570/>

We next designed and characterized the polyester microdroplet system, and found that polyesters form long, polydisperse mixtures following drying of different AHA monomers (by MALDI-MS). After rehydration, the polyesters will assemble into a spherical, membraneless droplet, which in turn showed the ability to segregate different fluorescent dyes. These dyes showed a differential ability to remain compartmentalized in different droplet types, suggesting that simple droplet chemistries could affect physical properties such as physical retention of compartmentalized analytes. Thus, we studied whether RNA and other biomolecules could incorporate into the droplets, and found that while RNA could segregate within one of the polyester droplet types, it could not be compartmentalized stably. However, an RNA ribozyme could still function in the presence of the droplets, which led us to modify the system to be more amenable to RNA compartmentalization through incorporation of positively charged AHAs (to increase the RNA-polyester binding strength). Incorporation of this positively charged AHAs (confirmed by MALDI-MS) still allowed polyester assembly, but this assembly is not governed by the charge-ratio of the polyesters in the droplet; more charge results in less droplet assembly propensity due to increased solubility of the polymers in aqueous solution. Nevertheless, we found that additional of small amounts of positive charge allowed the droplets to maintain their structure in solution, while increasing their ability to segregate RNA (and also led to intrinsic fluorescence), suggesting that even step-wise changes in simple chemistries could lead to very significant functional differences for membraneless protocells. These studies suggest that *in vitro* RNA evolution could occur inside the new polyester protocells. This research led to a number of peer-reviewed articles, two of which were published in major journals (*PNAS*, *Biomacromolecules*) and included three press releases (one of which was the most-read press release of Tokyo Tech in 2019) as well as international news coverage. These studies together led to a number of invited presentations at domestic and international conferences:

Finally, due to the novelty of these systems, I contributed to or led a number of review and concept articles relevant to LLPS systems as primitive protocell models to highlight this field and expand its scope both domestically and internationally.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計31件（うち査読付論文 24件 / うち国際共著 29件 / うちオープンアクセス 26件）

1. 著者名 Tony Z. Jia, Tommaso Fraccia	4. 巻 62
2. 論文標題 Assembly and Structure of Primitive Membraneless DNA Liquid Crystal Coacervates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Polymer Society Of Korea Annual Fall Meeting	6. 最初と最後の頁 153
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 無
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 Tony Z. Jia, Kristin N. Johnson-Finn, Osama Alian, et al	4. 巻 -
2. 論文標題 AbGradCon 2021: Lessons in Digital Meetings, International Collaboration, and Interdisciplinarity in Astrobiology	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 2202.12892
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 無
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 Eiichiro Mori, Tony Z. Jia	4. 巻 13
2. 論文標題 Editorial: Biological Phase Separation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Genetics	6. 最初と最後の頁 -
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 Jia Tony Z., Nishikawa Shota, Fujishima Kosuke	4. 巻 2
2. 論文標題 Sequencing the origins of life	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 BBA Advances	6. 最初と最後の頁 100049
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.bbadv.2022.100049	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 Sithamparam Mahendran, Satthiyasilan Nirmell, Chen Chen, Jia Tony Z., Chandru Kuhan	4. 巻 -
2. 論文標題 A material based panspermia hypothesis: The potential of polymer gels and membraneless droplets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biopolymers	6. 最初と最後の頁 e23486
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/bip.23486	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 Jia Tony Z., Kuruma Yutetsu	4. 巻 18
2. 論文標題 Increasing complexity of primitive compartments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biophysics and Physicobiology	6. 最初と最後の頁 269-273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2142/biophysico.bppb-v18.032	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 -

1. 著者名 Jia Tony Z, Wang Po-Hsiang, Niwa Tatsuya, Mamajanov Irena	4. 巻 46
2. 論文標題 Connecting primitive phase separation to biotechnology, synthetic biology, and engineering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Biosciences	6. 最初と最後の頁 79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12038-021-00204-z	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 Jia Tony Z., Fraccia Tommaso P.	4. 巻 -
2. 論文標題 Liquid Crystal Phase Assembly in Peptide-DNA Coacervates as a Mechanism for Primitive Emergence of Structural Complexity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the ALIFE 2021: The 2021 Conference on Artificial Life	6. 最初と最後の頁 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1162/isal_a_00362	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 Jia Tony Z., Bapat Niraja V., Verma Ajay, Mamajanov Irena, Cleaves H. James, Chandru Kuhan	4. 巻 22
2. 論文標題 Incorporation of Basic -Hydroxy Acid Residues into Primitive Polyester Microdroplets for RNA Segregation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biomacromolecules	6. 最初と最後の頁 1484-1493
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biomac.0c01697	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 Jia Tony Z., Caudan Melina, Mamajanov Irena	4. 巻 11
2. 論文標題 Origin of Species before Origin of Life: The Role of Speciation in Chemical Evolution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Life	6. 最初と最後の頁 154 ~ 154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/life11020154	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 Jia Tony Z., Fraccia Tommaso P.	4. 巻 10
2. 論文標題 Liquid Crystal Peptide/DNA Coacervates in the Context of Prebiotic Molecular Evolution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 964 ~ 964
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst10110964	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 Chandru Kuhan, Jia Tony Z., Mamajanov Irena, Bapat Niraja, Cleaves H. James	4. 巻 10
2. 論文標題 Prebiotic oligomerization and self-assembly of structurally diverse xenobiological monomers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 17560 ~ 17560
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-74223-5	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 Fraccia Tommaso P., Jia Tony Z.	4. 巻 14
2. 論文標題 Liquid Crystal Coacervates Composed of Short Double-Stranded DNA and Cationic Peptides	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 15071 ~ 15082
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.0c05083	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 Mamajanov Irena, Caudan Melina, Jia Tony Z.	4. 巻 10
2. 論文標題 Protoenzymes: The Case of Hyperbranched Polymer-Scaffolded ZnS Nanocrystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Life	6. 最初と最後の頁 150 ~ 150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/life10080150	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 Tony Z. Jia, 藤島 皓介, 丹羽 達也	4. 巻 98
2. 論文標題 液 - 液相分離と生命の起源	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 生物工学会誌	6. 最初と最後の頁 236-240
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 無
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 -

1. 著者名 Tony Z. Jia* (corr. auth.), Kuhan Chandru, Yayoi Hongo, Rehana Afrin, Tomohiro Usui, Kunihiro Myojo, H. James Cleaves II	4. 巻 116
2. 論文標題 Membraneless polyester microdroplets as primordial compartments at the origins of life	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA	6. 最初と最後の頁 15830-15835
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1902336116	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 Tony Z. Jia* (corr. auth.), Yutetsu Kuruma	4. 巻 10
2. 論文標題 Recent Advances in Origins of Life Research by Biophysicists in Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Challenges	6. 最初と最後の頁 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/challe10010028	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 8.Marjorie A. Chan, Nancy W. Hinman, [and 20 others, including Tony Z. Jia]	4. 巻 19
2. 論文標題 Deciphering Biosignatures in Planetary Contexts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astrobiology	6. 最初と最後の頁 1075-1102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/ast.2018.1903	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 Ning Zhang, Shundi Shi, Tony Z. Jia, Ashley Ziegler, Barney Yoo, Xiaohong Yuan, Wenjia Li, Shenglong Zhang	4. 巻 47
2. 論文標題 A general LC/MS-based RNA sequencing method for direct analysis of multiple-base modifications in RNA mixtures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nucleic Acids Research	6. 最初と最後の頁 e125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/nar/gkz731	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 5.Po-Hsiang Wang, Kosuke Fujishima, Samuel B. Lemma, Yutetsu Kuruma, Tony Z. Jia, Anna Khusnutdinova, Alexander F. Yakunin and Shawn E. McGlynn	4. 巻 9
2. 論文標題 A bi-functional polyphosphate kinase driving NTP regeneration and reconstituted cell-free protein synthesis.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Synthetic Biology	6. 最初と最後の頁 36-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssynbio.9b00456	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 Kuhan Chandru, Irena Mamajanov, H. James Cleaves II, Tony Z. Jia* (corr. auth.)	4. 巻 10
2. 論文標題 Polyesters as a Model System for Building Primitive Biologies from Non-Biological Prebiotic Chemistry.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Life	6. 最初と最後の頁 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/life10010006	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 3.Rehana Afrin, Taka-aki Yano, Tony Z. Jia, H. James Cleaves II, Masahiko Hara	4. 巻 260
2. 論文標題 Unbinding Events of Amino Acids and Peptides from Water-Pyrite Interfaces: A Case Study of Life's Origin on Mineral Surfaces.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biophysical Chemistry	6. 最初と最後の頁 106338
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bpc.2020.106338	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 2.Takuya Yoshizawa, Ryu-Suke Nozawa, Tony Z. Jia, Tomohide Saio, Eiichiro Mori.	4. 巻 -
2. 論文標題 Biological Phase Separation: Cell Biology Meets Biophysics.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biophysical Reviews	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12551-020-00680-x	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 Irena Mamajanov, Melina Caudan, Tony Z. Jia	4. 巻 -
2. 論文標題 Protoenzymes: The Case of Hyperbranched Polymer-Scaffolded ZnS Nanocrystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemRxiv	6. 最初と最後の頁 11938176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.26434/chemrxiv.11938176.v3	査読の有無 無
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 Ning Zhang, Shundi Shi, Xuanting Wang, Wenhao Ni, Xiaohong Yuan, Jiachen Duan, Tony Z. Jia, Barney Yoo, Ashley Ziegler, James J. Russo, Wenjia Li, Shenglong Zhang.	4. 巻 -
2. 論文標題 . 2D-HELIS-AA MS Seq: Direct sequencing of tRNA reveals its different isoforms and multiple dynamic base modifications.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 BioRxiv	6. 最初と最後の頁 767129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/767129	査読の有無 無
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 7.Po-Hsiang Wang, Kosuke Fujishima, Samuel Berhanu, Yutetsu Kuruma, Tony Z. Jia, Anna N. Khusnutdinova, Alexander F. Yakunin, Shawn E. McGlynn	4. 巻 -
2. 論文標題 A Single Polyphosphate Kinase-Based NTP Regeneration System Driving Cell-Free Protein Synthesis.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemRxiv	6. 最初と最後の頁 8874410
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.26434/chemrxiv.8874410.v2	査読の有無 無
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 8.Ning Zhang, Shundi Shi, Tony Z. Jia, Ashley Ziegler, Barney Yoo, Xiaohong Yuan, Wenjia Li, Shenglong Zhang	4. 巻 -
2. 論文標題 A general LC/MS-based RNA sequencing method for direct analysis of multiple-base modifications in RNA mixtures.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 BioRxiv	6. 最初と最後の頁 643387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/643387	査読の有無 無
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 Tony Z Jia, and Yutetsu Kuruma	4. 巻 1
2. 論文標題 Recent Advances in Origins of Life Research by Biophysicists in Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Challenges	6. 最初と最後の頁 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/challe10010028	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 2. Marjorie A. Chan, Nancy W. Hinman, [and 20 others, including Tony Z. Jia]	4. 巻 in press
2. 論文標題 Deciphering Biosignatures in Planetary Contexts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astrobiology [In Press]	6. 最初と最後の頁 in press
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 Tony Z. Jia, Kuhan Chandru, Yayoi Hongo, Rehana Afrin, Tomohiro Usui, Kunihiro Myojo, Po-Hsiang Wang, H. James Cleaves II	4. 巻 -
2. 論文標題 Membraneless Polyester Microdroplets as Primordial Compartments at the Origins of Life	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Under Review	6. 最初と最後の頁 -
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 Richard J Gillams, and Tony Z Jia	4. 巻 8
2. 論文標題 Mineral Surface-Templated Self-Assembling Systems: Case Studies from Nanoscience and Surface Science towards Origins of Life Research.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Life	6. 最初と最後の頁 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/life8020010	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

〔学会発表〕 計55件 (うち招待講演 21件 / うち国際学会 27件)

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Membraneless DNA Liquid Crystal Coacervate Droplets
3. 学会等名 International Workshop on Molecular Cybernetics
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Liquid crystal coacervates and polyester microdroplets as primitive membraneless compartments
3. 学会等名 ELSI Assembly
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Assembly and Structure of Primitive Membraneless DNA Liquid Crystal Coacervates
3. 学会等名 Fall Meeting of the Polymer Society of Korea ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Liquid Crystal Peptide/DNA Coacervates in the Context of Prebiotic Molecular Evolution
3. 学会等名 AbGradCon 2021 ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 DNA liquid crystal coacervates and other membraneless droplets as primitive compartments
3. 学会等名 JSPS-CAS Bilateral Seminar ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Liquid Crystal Phase Assembly in Peptide-DNA Coacervates as a Mechanism for Primitive Emergence of Structural Complexity
3. 学会等名 Alife 2021 Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 From the Origins of Life to the First Cells
3. 学会等名 Tokyo International Exchange Center 69th Research and Presentation
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Liquid Crystal Peptide/DNA Coacervates in the Context of Prebiotic Molecular Evolution
3. 学会等名 BlueSciCon (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 DNA Liquid Crystal Coacervates and Other Phase-Separated Systems as Primitive Compartments
3. 学会等名 Israel Society for Astrobiology and the Study of the Origin of Life 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Membraneless Compartments and the Origins of Life
3. 学会等名 American Chemical Society Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Membraneless Compartments and the Origins of Life
3. 学会等名 Biophysical Society of Japan Meeting (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Assembly of Peptide-DNA liquid crystal coacervates as primitive compartments
3. 学会等名 International Society for the Study of the Origin of Life Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 From the Origins of Life to the First Cells: Case Studies from Membraneless Protocell Models
3. 学会等名 Japanese Society for Biological Sciences in Space Annual Meeting (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Liquid Crystal Peptide/DNA Coacervates in the Context of Prebiotic Molecular Evolution
3. 学会等名 Japan Geophysical Union (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 From the Origins of Life to the First (Membraneless) Cells
3. 学会等名 MBG Turkey AGENASTRO Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 From the Origins of Life to the First Cells: Case Studies from Primitive Phase Separated Membraneless Compartments
3. 学会等名 Phase Separated Systems in the Nucleus (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Liquid Crystal Peptide/DNA Coacervates and Other Membraneless Compartments in the Context of Prebiotic Molecular Evolution
3. 学会等名 5th Network of Researchers on the Chemical Evolution of Life (NoRCEL) Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 From the Origins of Life to the First Cells
3. 学会等名 World Premier International Research Center Initiative and Embassy Science and Technology Diplomatic Circle Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Polyester microdroplets, DNA liquid crystal coacervates, and other membraneless LLPS assemblies as primitive compartments at the origins of life
3. 学会等名 Molecular Biology Society of Japan Annual Meeting (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Polyester microdroplets, coacervates, and other membraneless non-biological assemblies as primordial compartments
3. 学会等名 Japan Geophysical Union Annual Meeting (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Assembly and Function of Primitive Compartments through Liquid-Liquid Phase Separation Phenomena
3. 学会等名 ELSI Colloquium and Astrobiology Society of Asia-Pacific Webinar Series (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Evolution and Assembly of Primitive Compartments through Liquid-Liquid Phase Separation Phenomena
3. 学会等名 University of New South Wales (Sydney, Australia) Department of Chemistry Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Liquid Crystal Peptide/DNA Coacervates in the Context of Prebiotic Molecular Evolution
3. 学会等名 Chemical Society of Japan Meeting
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Liquid Crystal Peptide/DNA Coacervates in the Context of Prebiotic Molecular Evolution
3. 学会等名 MANA 2021 Symposium
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Liquid Crystal Peptide/DNA Coacervates in the Context of Prebiotic Molecular Evolution
3. 学会等名 RIKEN-BDR Symposium
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Primitive Cationic Polyester Microdroplets for RNA Segregation
3. 学会等名 9th Life in the Universe workshop by Astrobiology Center, NINS
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 From the Origins of Life to the First Cells
3. 学会等名 Tokyo Tech Research Festival
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Liquid Crystal Coacervates Composed of Short Double-Stranded DNA and Cationic Peptides
3. 学会等名 Japan Society for Cell Synthesis Research
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Polyester microdroplets, DNA liquid crystal coacervates, and other membraneless LLPS assemblies as primitive compartments at the origins of life
3. 学会等名 Astrobiology Australasia Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Primitive Liquid Crystal Coacervate Compartments
3. 学会等名 AbGradE Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 DNA liquid crystal coacervates and other membraneless liquid-liquid phase separation processes as model systems in origins of life research
3. 学会等名 Molecular Origins of Life-Munich Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Polyester microdroplets, coacervates, and other membraneless non-biological assemblies as primordial compartments
3. 学会等名 ASRC Systems Chemistry Symposium. (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Polyester microdroplets, coacervates, and other membraneless non-biological assemblies as primordial compartments.
3. 学会等名 Gordon Research Conference: Origins of Life (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Membraneless polyester microdroplets as primordial compartments at the origins of life.
3. 学会等名 Osaka University (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Membraneless polyester microdroplets as primordial compartments at the origins of life.
3. 学会等名 Academica Sinica (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Membraneless Polyester Microdroplets as Primordial Compartments at the Origins of Life.
3. 学会等名 ESPCI (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Membraneless Polyester Microdroplets as Primordial Compartments at the Origins of Life.
3. 学会等名 Chemical Society of Japan
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Physical and Chemical Analysis of Polyester Microdroplets
3. 学会等名 Okayama University (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Polyester Systems as Model Non-biomolecular Polymers in Origins of Life, and Introduction to AbGradCon 2020.
3. 学会等名 Blue Marble Space Institute of Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Membraneless Polyester Microdroplets as Primordial Compartments at the Origins of Life.
3. 学会等名 RIKEN Biodynamics Research Center Symposium (Cancelled)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Membraneless polyester microdroplet protocells: primordial compartments at the origin of life.
3. 学会等名 Japan Astrobiology Center 8th Life in the Universe Workshop
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Recent Advances in Origins of Life Research by Biophysicists
3. 学会等名 Biophysical Society of Japan Annual Meeting
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Membraneless Polyester Microdroplets as Primordial Compartments at the Origins of Life.
3. 学会等名 4th ASUKA Liquid-Liquid Phase Separation Symposium
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Membraneless Polyester Microdroplets as Primordial Compartments at the Origins of Life.
3. 学会等名 European Astrobiology Network Association Annual Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Membraneless Polyester Microdroplets as Primordial Compartments at the Origins of Life.
3. 学会等名 Astrobiology Graduate Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Assembly of Membraneless Polyester Microdroplet Compartments Synthesized From Alpha Hydroxy Acids Under Plausible Prebiotic Conditions.
3. 学会等名 Astrobiology Science Conference (AbSciCon) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Self-Assembled Biomaterial Nanostructures as Catalysts and Biomarkers of "Life": Polyester Microdroplets as Primitive Compartments.
3. 学会等名 Astrobiology Graduate Conference
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Supramolecular Self-Assembled Prebiotic Biopolymer Systems on the Early Earth
3. 学会等名 CECAM Nano-structured soft matter: a synergy of approaches to amphiphilic and block copolymer systems workshop.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Polyester Microdroplets as Prebiotic Membrane-less Compartments.
3. 学会等名 56th Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Polyester membraneless microdroplets as primitive protocells.
3. 学会等名 Emergence of Life: From messy chemistry to ordered networks
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Biopolymer Self-assembly and Combinatorial Evolution Processes at the Origin of Life.
3. 学会等名 LiMMS-CNRS Seminar Series; Laboratory for Integrated Micro-Mechatronic Systems (LiMMS), University of Tokyo (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Biopolymer Self-assembly and Combinatorial Evolution Processes at the Origin of Life.
3. 学会等名 Materials Science and Engineering Department Seminar Series; Pohang University of Science and Technology (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Polyester Microdroplets as Prebiotic Membrane-less Compartments.
3. 学会等名 11th Annual Meeting of the Japan Society of Cell Synthesis Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Polyester Microdroplets as Prebiotic Membrane-less Compartments.
3. 学会等名 International Symposium for Materials Scientists III
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tony Z Jia
2. 発表標題 Assembly of Membraneless Polyester Microdroplet Compartments Synthesized From Alpha Hydroxy Acids Under Plausible Prebiotic Conditions.
3. 学会等名 XVth Rencontres du Vietnam LIFE3E ' 2019: SEARCH FOR LIFE, FROM EARLY EARTH TO EXOPLANETS (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>News: <a href="https://www.syfy.com/syfywire/we-might-have-finally-found-out-how-life-formed-on-earth">https://www.syfy.com/syfywire/we-might-have-finally-found-out-how-life-formed-on-earth</a>  PR: <a href="https://www.titech.ac.jp/english/news/2021/061099">https://www.titech.ac.jp/english/news/2021/061099</a>  PR: <a href="https://www.titech.ac.jp/english/news/2020/048230.html">https://www.titech.ac.jp/english/news/2020/048230.html</a>  PR: <a href="https://www.eurekalert.org/pub_releases/2020-10/tiot-dic101220.php">https://www.eurekalert.org/pub_releases/2020-10/tiot-dic101220.php</a>  PR: <a href="http://www.elsi.jp/ja-JP/news_events/highlights/2020/dna_peptide_interactions_create_complex_behaviours">http://www.elsi.jp/ja-JP/news_events/highlights/2020/dna_peptide_interactions_create_complex_behaviours</a>  PR: <a href="https://www.titech.ac.jp/english/news/2020/047708.html">https://www.titech.ac.jp/english/news/2020/047708.html</a>  BMSIS Scientist Feature  <a href="https://www.bmsis.org/bmsis-scientist-feature-dr-tony-z-jia/">https://www.bmsis.org/bmsis-scientist-feature-dr-tony-z-jia/</a>  PR: 生命誕生に欠かせない「区画化」の新たな起: <a href="https://www.titech.ac.jp/english/news/2019/044745.html">https://www.titech.ac.jp/english/news/2019/044745.html</a>  News: <a href="https://www.newscientist.com/article/2210671-early-life-on-earth-may-have-existed-as-miniature-droplets-of-jelly/">https://www.newscientist.com/article/2210671-early-life-on-earth-may-have-existed-as-miniature-droplets-of-jelly/</a>  News: <a href="https://www.sciencenews.org/article/droplets-acid-molecules-may-have-helped-kick-start-life-earth">https://www.sciencenews.org/article/droplets-acid-molecules-may-have-helped-kick-start-life-earth</a>  News: <a href="http://www.elsi.jp/en/media/blogs/2020/20200227_mkaufman">http://www.elsi.jp/en/media/blogs/2020/20200227_mkaufman</a></p>
---

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
研究協力者	なし なし  (Gillams Richard J)		

## 6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	なし なし  (Kuruma Yutetsu)		
研究協力者	なし なし  (Chandru Kuhan)		
研究協力者	なし なし  (Hongo Yayoi)		
研究協力者	なし なし  (Afrin Rehana)		
研究協力者	なし なし  (Usui Tomohiro)		
研究協力者	なし なし  (Myojo Kunihiro)		
研究協力者	なし なし  (Cleaves H James)		
研究協力者	なし なし  (Wang Po-Hsiang)		

## 6. 研究組織(つづき)

	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
研究協力者	なし なし  (Fujishima Kosuke)		
研究協力者	なし なし  (Lemma Samuel B)		
研究協力者	なし なし  (Khusnutdinova Anna)		
研究協力者	なし なし  (Yakunin Alexander F)		
研究協力者	なし なし  (McGlynn Shawn E)		
研究協力者	なし なし  (Mamajanov Irena)		
研究協力者	なし なし  (Yano Taka-aki)		
研究協力者	なし なし  (Hara Masahiko)		

## 6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	なし なし  (Yoshizawa Yakuya)		
研究協力者	なし なし  (Nozawa Ryu-suke)		
研究協力者	なし なし  (Saio Tomohide)		
研究協力者	なし なし  (Mori Eiichiro)		
研究協力者	なし なし  (Caudan Melina)		
研究協力者	なし なし  (Fraccia Tommaso P)		
研究協力者	なし なし  (Verma Ajay)		
研究協力者	なし なし  (Bapat Niraja V.)		

## 6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	なし なし  (Niwa Tatsuya)		
研究協力者	なし なし  (Sithamparam Mahendran)		
研究協力者	なし なし  (Satthiyasilan Nirmell)		
研究協力者	なし なし  (Nishikawa Shota)		
研究協力者	なし なし  (Chen Chen)		

## 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2件

国際研究集会 JSPS Bilateral JSPS/CAS Seminar “Geoelectrochemical Drivers of Deep Sea Biochemical Processes”	開催年 2021年～2021年
国際研究集会 ELSI-UKM Workshop	開催年 2022年～2022年

## 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