

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03729

研究課題名(和文) 初期地球物質が生命起源に果たした役割

研究課題名(英文) Role of early Earth materials for origin of life

研究代表者

掛川 武 (Kakegawa, Takeshi)

東北大学・理学研究科・教授

研究者番号：60250669

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では初期地球環境の中で「生命の材料はどのように準備されたか」「どのようにタンパク質ができたか」「RNAはどのようにできたか」という難問に取り組んだ。その結果、初期地球の隕石海洋衝突イベントが岩石/水/大気反応を促進させ、生命を作るのに必要な各種アミノ酸、核酸塩基やホルムアルデヒドが生成され、生命起源のきっかけを作ったことを示した。さらに初期地球の表層環境や鉱物を使い、隕石衝突で準備された材料物質がリボースやペプチド、核酸へと進化していったことを実験で実証した。地球物質や地球環境無くして生命が誕生しえなかったとする新たな説を提唱した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回の研究で得られた成果や知見は従来の生命起源研究とは異なる仮説とアプローチで得られたもので、「新説」に結びつくものである。さらに成果は生命起源に関する問題の本質についており、社会の知的好奇心に大いに貢献できる成果である。衝撃圧縮実験でのアミノ酸生成などは、超高压有機化学という新たな学術分野を開いたと言える。今回の研究で展開したペプチド合成技術は、新規カーボン素材開発に応用できる可能性があり、社会実装できる東北大学シース研究課題としても紹介されている。リボースの安定化、他の糖との選別やヌクレオチド化に関する成果は将来の新規薬品開発や人工生体材料開発にも応用しうる成果である。

研究成果の概要(英文)：The following big and fundamental questions were the subjects to be approached in the present study: How the building blocks of the life were prepared?; How the protein was prepared?; How the RNA was formed? Through the course of the present project, we demonstrated that the meteorite impacts on the early oceans had significant roles to produce prebiotic amino acids, nucleotides, aldehyde and other essential molecules. These results allow us to propose that the specific geological event promoted ocean/rock/atmosphere interactions, initiating the chemical evolution for origin of life. Those prebiotic molecules were converted into "biotic" to complicated molecules using the environments and minerals on the surface of the early Earth. Our experiments demonstrated that ribose, peptides, and nucleotides can be formed under the simulated Earth environments. We are also proposing the origin of life had never happened without the uniqueness of the early Earth and earth materials.

研究分野：生命起源地球科学

キーワード：生命起源 アミノ酸 ペプチド 核酸 隕石衝突 初期地球 ホウ素

## 1. 研究開始当初の背景

生命起源の問題は第一級の研究課題であり、化学・生物・地球科学の専門領域の枠を超えて国際的に取り組まれている問題である。本研究で解明したい究極の「問い」は、「なぜ地球に生命が誕生したのか」「初期地球の役割は何か」「最初のタンパク質、RNA はどのようにして準備されたか」である。生命起源問題で鍵を握るのがアミノ酸などの生体有機分子の「材料の準備」とその「組み立て」、それらに化学反応や自己増殖などさせる「機能」を持たすことである。簡単なキーワードではあるが、全て未解明の謎である。上記キーワードに対して様々な説が提唱され分析や実験が行われている。「材料の準備」では宇宙飛來說が圧倒的な支持を得ている。しかし宇宙から飛来する有機分子だけでは RNA は作れないという弱点がある。生体分子の「組み立て」においては RNA ワールド仮説が圧倒的な支持を得ている。RNA の一種であるリボザイムさえあれば生体分子のほとんどが勝手に作られるという考えである。しかしリボザイムは電子伝達(エネルギーのやりとり)を行えず、完璧な分子でない。やはり電子伝達を可能にするタンパク質を用意する必要があるが、未解決である。ヌクレオチドの起源もイギリスの Sutherland 博士の研究が存在するだけである(参考 1)。これは強力な説ではあるが初期地球環境で起こり得ない化学反応に基づく説である。いずれの説も化学的アプローチに依存し「初期地球」で起こりえた環境を模擬し、より生体に近い分子生成に成功した実験は稀である。過去の化学進化研究の盲点は初期地球環境を考慮せずに化学的アプローチに頼っているところである。海底熱水生命起源説は初期地球環境を考慮し一部ペプチドやピルビン酸、アミノ酸の生成に成功している(参考 2,3,4)。しかし海底熱水模擬実験の設定温度や pH など現実的でなく、生成された分子は「化学」の産物で「地球」の産物と言えず、懐疑的意見が多くなっている。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では化学的アプローチと地球科学的アプローチと融合させ、今までにない視点、仮説、手法で生命起源解明に向けて鍵となる事象の研究を遂行する。特に申請者グループの研究成果をさらに進展させ、生命の「材料の準備」「組み立て」「機能化」の中で問題解決の鍵となる課題に対して集中的に取り組む。更に生命に至るまでの化学進化の流れを地球環境や地球鉱物が決めたことを示していくことが主目的である。この目的を果たすために以下の3つの課題を設ける。**課題 1: 生命の材料はどのように準備されたか。** タンパク質や RNA を作るためには多量のアミノ酸と核酸塩基を用意する必要がある。本研究では初期大気のコ<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、及び海水の H<sub>2</sub>O が隕石重爆撃時のエネルギーで反応し、現在の生物総量に相当するアミノ酸、核酸塩基を生成したと仮説付けている。本申請グループの過去の隕石海洋衝突模擬実験で、アミノ酸、核酸塩基生成に成功した。しかし初期地球を模擬した状態での実験とは言い難かった。さらに隕石衝突時には多量のアルデヒドも生じる可能性があった。このアルデヒドが、ホルモーソ反応を起こすし、リボース(糖)が選択的に生成される可能性がある。RNA を作るためにはリボース生成が欠かせないが、その選択的生成には世界的に困難を極めている。近年、初期地球環境に「蒸発的浅海環境」が存在していたという指摘が多くなされるようになってきている(参考 5)。それに基づく生命起源論が生命起源論の重鎮らが語り始めている。申請グループの過去の実験と野外調査もホウ酸に富んだ「蒸発的浅海環境」での RNA 生成を示唆する結果をえた(参

考6)。国際競争に勝つためにも「蒸発的浅海環境」でのリボース生成の裏付けを行う必要があり本研究で実験的に実証する。リボースには構造異性体(同じ化学組成で構造が異なる分子)が存在し、その中からリボースだけを単離しないとRNAはできない。蒸発鉱物はこの単離選別を行える可能性がある(参考6)。リボースの選択的生成に成功すれば「なぜRNAはリボースだけを選んだのか?」という問いに「鉱物がそうさせた」と答えを与えられる。 **課題2:どのようにタンパク質や酵素ができたか。** アミノ酸を重合させタンパク質を作るためには「加熱」と「脱水」が必要で、初期地球海底堆積物の中が最適であったと仮説つけている。海底堆積物内部の地質学的条件を使いアミノ酸が重合しペプチド化することを申請者グループは成功している(参考7)。こうした研究を発展させることで、無機的に生成困難であったペプチドや酵素の原型を形成できる可能性があり、本研究で生成を目指す。これらペプチドはタンパク質に立体構造を持たせる上で重要な部品であるが、無機的生成に成功した例はなく、本研究で生成に成功したら国際的快挙と言える。合わせてペプチド化への硫黄の役割も評価する。高压技術を用いたペプチド生成は世界的にもユニークな手法で、本申請グループの合成、分析技術は世界唯一である。さらに「地球物質」「地球環境」が有機分子に「機能」を伝授したことを具体的に示すことができるようになる。 **課題3: RNAはどのようにしてできたか。** RNAの基本ユニットであるヌクレオチドは熱に弱く、地熱の影響が少ない初期地球表層環境で生成されたと仮説付けている。リボースは、簡単に分解されてしまうので、リボースをスタート物質にしてヌクレオチドを作るのは「不可能」に近い。さらにリボースには5つの炭素があり、どの炭素にも核酸塩基とリン酸が化合できてしまう。ヌクレオチドを作るためには特定位置の炭素に化合させる必要がある。申請者のグループは、ホウ酸がリボースを安定化させること(参考8)、ホウ酸を含んだ蒸発鉱物によってリボース特定位置炭素にリン酸を化合させ簡単なヌクレオチドの生成にも成功した(参考9)。この研究の延長線で、蒸発鉱物を使いリボース、核酸塩基、リン酸を重合させヌクレオチドや一重鎖RNAを作ることを目的とする。AMP、一重鎖RNAが無機的に生成された場合の国際的インパクトは極めて高く、上記課題を統合し、他が追従できない世界最先端の実験データをもとに初期地球で生命が誕生したシナリオを新説として提唱する。

参考文献 (1) Powner et al. (2009) Nature, 459, 239. (2) Russel and Hall (1997) J.Geol.Soc.London, 154,377 (3) Cody et al. (2000) Science, 289, 5483 (4) Huber and Wachtershauser (2006) Science, 314,5799, (5) Nabhan S. et al. (2016) Geology, 44, 763, (6) Nitta et al., (2016) OLEB46, 189, (7) Otake (2011) Astrobiology 11, 799-813, (8) Furukawa et al. (2013) OLEB. (9) Kim et al. (2016) Angew. 55, 15816. (10) Hsieh-Wilson (2007) Nature, 445, 31-33

### 3. 研究の方法

課題1: 隕石衝突模擬実験を展開し、タンパク質構成20種類のアミノ酸とRNA構成核酸塩基、ホルムアルデヒドなどを生成させる。さらに隕石衝突で生じたアルデヒドを介して5炭糖が生じ、初期地球表層環境に存在する鉱物を介してリボースだけが安定化され選別されることを実験的に実証する。そのために次の実験を行う。(1)隕石海洋衝突を模擬した衝撃圧縮実験と、(2)衝突蒸発雲内再現実験、(3)初期地球の蒸発環境を想定したホルモース反応実験である。

(1) と(2)の実験を通して初期海洋への隕石衝突を再現する。特に実験条件(構成成分、温度圧力など)を変化させる。(1)の実験は物質材料研究機構の一段式火薬銃を用いて行われる。



図1：一段式火薬銃



図2：高温高压オートクレーブ

隕石中鉱物と模擬海水大気成分を試料箱に封じ込め、衝撃回収実験を行う。炭素源として $^{13}\text{C}$ でラベリングされた $\text{CO}_2$ または炭酸のみを用いる。(2)の実験では、蒸発雲内部を模擬したガス/固体反応実験を行い、多様なアミノ酸・核酸塩基が生成されることを実証する。ガス・固体反応実験には、石英管に還元的なガスを流入し続け、途中に反応炉を設置し固体反応を起こす装置を用いる。ガスは $\text{NH}_3, \text{CO}_2$ などを用いる。固体成分として鉱物混合物(カンラン石、磁硫鉄鉱など)を用いる。(3)の実験においては、ホウ酸を用いた成果を応用し、鉱物などを用いることでリボースの選択生成も可能になると予測される。まずホルムアルデヒド、鉱物とホウ酸溶液の混合物を水の蒸発を可能にする特殊反応容器に封入し、20~50度で数日間放置する。実験でのガス生成物、揮発性有機分子分析はGC-MS/MSで行う。

課題2：初期地球海底下環境を模擬した高温高压実験を展開しペプチド生成を目指す。鉱物がテンプレート及び触媒として機能し鉱物ペプチド複合体を無機的に作り得ることを証明する。鉱物との反応実験は東北大の高温高压オートクレーブなどを用いて行われる。試料を金カプセルに封入し、オートクレーブに設置し高压実験は行われる。さらに蒸発環境を模擬した実験も行う。生成物はLC-MS/MSで分析する。

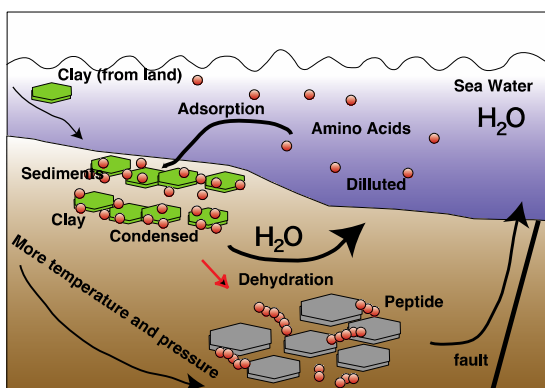


図3：初期地球環境での鉱物を用いたペプチド化の模式図

課題3：ヌクレオチド生成の鍵になるホウ酸やリン酸は蒸発的堆積盆に濃集しやすい。過去の成果を発展させ、様々な蒸発岩鉱物(ホウ酸塩、リン酸塩鉱物も含む)を混合し、加熱した特殊

容器内で蒸発乾燥環境を作り出す。さらにホウ酸リン酸塩鉱物や粘土鉱物存在下でリボース、核酸塩基、リン酸の重合を行い、ヌクレオチドを生成する。生成物の分析は LC-MS/MS で行われる。

#### 4 . 研究成果

初期地球における隕石衝突を模擬した有機分子生成実験を行なった。物質材料研究機構の一段式火薬銃を用いた実験では、 $^{13}\text{C}$  にラベリングされた炭酸と窒素を源にし、金属鉄、ニッケルや水との高圧高温反応を行なった。その結果、ホルムアルデヒド、各種アミノ酸、核酸塩基の生成に成功した。窒素からの直接アミノ酸生成にも成功した。その成果は Scientific Report に出版された。またホルムアルデヒドは糖の起源に繋がる重要な分子であり、糖の起源にも迫れる成果が得られた。ホルムアルデヒドの生成に関する成果を Astrobiology 誌に公表した。東北大学においても高温隕石衝突蒸発雲を模擬した実験を展開し、各種アミンやグリシンの生成に成功し、その成果は国際アストロバイオロジー会議で公表され大きな反響を呼んだ。ペプチドとともに生命起源に重要なヌクレオチド (RNA) 生成メカニズムを解明するためにホウ酸に富んだ蒸発環境を模擬したホルモース反応実験も展開した。その結果、粘土鉱物や特定元素存在下で今まで考えられていなかった非アルカリ性条件であってもリボース生成やリン酸化が促進されることが新たに分かった。生命起源の化学進化の中で重要なステップである、アミノ酸のペプチド (タンパク質) 化の実験も行なった。高圧条件および高温蒸発条件で実験を展開し、DKP の生成を押さえながらグリシンなどの高重合体生成に成功した。特にペプチドの重合に硫黄や硫化鉄、粘土鉱物が重要な役割を果たしたことを世界に先駆けて示し国内外の学会で発表した。リン酸化リボース上で核酸塩基も生成され、最終的にヌクレオチドに進化する可能性も新たに見出せた。成果は国際学会などで発表する一方、英語論文として公表した。ホウ酸に富んだ環境での粘土鉱物の特性を調べるためにアメリカのデスバレー周辺で野外調査、情報収集を行なった。これら一連の実験と分析成果を統合し「初期地球物質」がいかに生命を誕生させるために重要な役割を果たしたか、地球物質無くして生命が誕生しえなかった新たな説を提唱してきている。



図 4 : リボースおよびヌクレオチド生成のモデルフィールドとして考えた米国デスバレー国立公園

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Furukawa Yoshihiro, Chikaraishi Yoshito, Ohkouchi Naohiko, Ogawa Nanako O., Glavin Daniel P., Dworkin Jason P., Abe Chiaki, Nakamura Tomoki	4. 巻 116
2. 論文標題 Extraterrestrial ribose and other sugars in primitive meteorites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 24440 ~ 24445
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1907169116	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 Ishida A., Kitajima K., Willford K.H., Tuite M.L., Kakegawa T., Valley J.W	4. 巻 42
2. 論文標題 Simultaneous In Situ Analysis of Carbon and Nitrogen Isotope Ratios in Organic Matter by Secondary Ion Mass Spectrometry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geostandards and Geoanalytical Research	6. 最初と最後の頁 189, 203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ggr.12209	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 Furukawa Y., Takase A., Sekine T., Kakegawa T., Kobayashi T.	4. 巻 48
2. 論文標題 Racemization of Valine by Impact-Induced Heating, Origin of Life and Evolution of early Biosphere	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Origin of Life and Evolution of early Biosphere	6. 最初と最後の頁 131, 139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11084-017-9539-0	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 Kakegawa T	4. 巻 3
2. 論文標題 Biogenic and abiogenic graphite in minerals and rocks of the early Earth	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astrobiology	6. 最初と最後の頁 209, 227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-13-3639-3_15	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 Furukawa Y	4. 巻 1
2. 論文標題 RNA synthesis before the origin of life, in Astrobiology	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astrobiology	6. 最初と最後の頁 63, 74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-13-3639-3_5	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 Takeuchi Y., Furukawa Y., Kobayashi T., Sekine T., Terada N., Kakegawa T.	4. 巻 10
2. 論文標題 Impact-induced amino acid formation on Hadean Earth and Noachian Mars	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Report	6. 最初と最後の頁 9220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s441598-020-66112-8	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 Masuda S, Furukawa Y., Kobayashi Y., Kakegawa T.	4. 巻 21
2. 論文標題 Experimental investigation of the formation of formaldehyde by Hadean and Noachian impacts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astrobiology	6. 最初と最後の頁 413420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/ast.2020.2320	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 Tsukamoto Y., Nonaka K., Ishida A., Kakegawa T.	4. 巻 121
2. 論文標題 Geochemistry and mineralogical studies of ca. 12Mn hydrothermal manganese-rich rocks in the Hokuroku district in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ore Geology Reviews	6. 最初と最後の頁 103539
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oregeorev.2020.103539	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 Mori K., Sakurai K., Hosoyama A., Kakegawa T. and Hanada S.	4. 巻 35
2. 論文標題 Vestiges of adaptation to the mesophilic environment in the genome of Tepiditoga spirals gen. nov., sp., nov.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 ME20046
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/jsme2.ME20046	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 -

〔学会発表〕 計43件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 掛川 武
2. 発表標題 インターフェースとしての地球生命科学
3. 学会等名 地球惑星連合大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 掛川 武
2. 発表標題 黒鉱鉱床に伴う有機物：太古代熱水環境に生息していた微生物群との繋がり
3. 学会等名 地球惑星連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大里武、石田章純、掛川武
2. 発表標題 Microbial communities around ca.2.7 Ga submarine hydrothermal fields at the Potterdoal deposit in Abitibi Greenstone Belt, Canada.
3. 学会等名 地球惑星連合大会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 笹木晃平、石田章純、掛川武
2. 発表標題 古原生代ガンフリント層における含微化石堆積岩の鉱物学および地球化学的研究
3. 学会等名 地球惑星連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 McGlynn S.E., Ward L., Kakegawa T., Ueno Y., Nakagawa M.
2. 発表標題 New microbial ecology results from genome centered metagenomics studies of iron carbonate and sulfidic hot springs.
3. 学会等名 地球惑星連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋つかさ、掛川武
2. 発表標題 秋田県北鹿地域に産する2Maの海底噴出溶岩に記録された海底変質作用とリンの挙動に関する地球化学的研究
3. 学会等名 地球惑星連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塚本雄也、掛川武
2. 発表標題 Significances of 12Ma manganese ores in the Hokuroku district, Akita: unique Mn accumulation and interaction with organic matter during submarine hydrothermal activities
3. 学会等名 地球惑星連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Stimmer J.A., Kobayashi R., Kakegawa T., Furukawa Y.
2. 発表標題 Synthesis of bio-important molecules in post-impact plumes
3. 学会等名 2019 Astrobiology Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kakegawa T, Osato T & Kunitake Y
2. 発表標題 Geochemical evidence of fermentative methanogenesis around 2.7 Ga submarine hydrothermal vents
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ishida A, Nemoto T & Kakegawa T
2. 発表標題 Discovery of primary hematite-silica clusters in Kukatash banded iron formation at 2.7 Ga Abitibi Greenstone Belt
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sasaki K, Ishida A, Takahata N, Sano Y & Kakegawa T
2. 発表標題 Discovery of new morphotypes in ca. 1.9 Ga Gunflint microfossils and their complex structure and heterogeneous chemistry
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsukamoto Y, Kakegawa T, Graham U, Liu Z-K, Ito A & Ohmoto H
2. 発表標題 Phosphate flux from oceanic crust to the Archean oceans: evidence from the 3.46 Ga Apex basalt, Australia
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 圭一郎, 掛川 武, 古川 善博
2. 発表標題 グリシン水溶液の乾燥湿潤サイクルが重合に与える影響の再検討
3. 学会等名 地球化学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平川祐太, 掛川武, 古川善博
2. 発表標題 初期地球の蒸発環境におけるリボースのリン酸化に対するホウ酸と尿素の影響
3. 学会等名 地球化学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平川祐太, 掛川武, 古川善博
2. 発表標題 初期地球におけるリボースリン酸の生成に対する尿素とホウ酸の影響
3. 学会等名 生命の起源と進化学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古川善博、竹内悠人、増田冴耶、小林敬道、関根利守、寺田直樹、掛川武
2. 発表標題 隕石衝突による有機物生成
3. 学会等名 生命の起源と進化学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 掛川武
2. 発表標題 初期地球における有機物/海底熱水相互作用: 前生物的酵素の起源と初期微生物活動に対する制約
3. 学会等名 生命の起源と進化学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古川 善博、新田 あゆみ、阿部 千晶、掛川 武、Kim Hyo-joong、Benner Steven
2. 発表標題 Clay minerals as a formation catalyst and a stabilizer of ribose on the prebiotic Earth Clay minerals as a formation catalyst and a stabilizer of ribose on the prebiotic Earth
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塚本 雄也、掛川 武、グラハム ウーシー、リュウ ジークイ、大本 洋
2. 発表標題 Discovery of Ni-Fe phosphides in 3.46 Ga-old Apex basalt from Western Australia
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 蛭田 衣音、掛川 武、石田 章純
2. 発表標題 Geological and geochemical studies on Miocene diatomaceous sedimentary rocks at Akita and Aomori in Japan; role of sulfur in maturation of organic matter and petroleum formation
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大里 武、掛川 武、石田 章純
2. 発表標題 カナダ・アピティピ緑色岩帯Potterdoal鉱床における硫化物と有機物の地球化学的研究
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増田 冴耶、小林 敬道、掛川 武、古川 善博
2. 発表標題 Formaldehyde formation in asteroid impacts: a new origin of prebiotic sugar precursor
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jonathan Adam Stimmer、Ryohei Kobayashi、Takeshi Kakegawa、Yoshihiro Furukawa
2. 発表標題 Synthesis of Bio-important Organics in Post-impact Plumes
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kakegawa T.
2. 発表標題 Prebiotic formations of nucleotide and peptide around Hadean juvenile crusts
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 掛川武
2. 発表標題 Constraints on terrestrial and shallow marine environments of 3.2 Ga Earth:ICDP full proposal for Moodies Group Drilling Project in South Africa
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増田 湧, 小林 敬道, 掛川 武, 古川 善博
2. 発表標題 小惑星衝突によるホルムアルデヒド生成:前生物的な糖前駆体の新たな起源
3. 学会等名 地球化学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤 圭一郎, 掛川 武, 古川 善博
2. 発表標題 グリシン水溶液の乾燥速度が重合に与える影響
3. 学会等名 地球化学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部 千晶, 掛川武, 古川善博
2. 発表標題 中性条件でのリボース生成反応に対する鉱物の影響
3. 学会等名 地球化学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsukanoto Y, Kakegawa T, Graham U, Liu Z-K, Ito A & Ohmoto H
2. 発表標題 Discovery of Ni-Fe Phosphates in the 3.46 Ga-Old Apex Basalt: Implications on the Phosphate Budget of the Archean Oceans
3. 学会等名 Goldschmidt Conference
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kakegawa T & Kunitake Y
2. 発表標題 New Evidence for Microbial Sulfur Metabolism in 2.7 Gas Marine Environments
3. 学会等名 Goldschmidt Conference
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kakegawa T
2. 発表標題 Organic matter around Miocene Kuroko ore deposits: Implications to Archean submarine hydrothermal microbial community
3. 学会等名 Water Dynamic Symposium (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 掛川武
2. 発表標題 アミノ酸から細胞分裂まで：東北大学の強みを生かした生命起源研究
3. 学会等名 東北大学際フロンティア研究所年会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kakegawa T
2. 発表標題 初期地球における有機物 / 海底熱水相互作用：前生物的酵素の起源と初期微生物活動に対する制約
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会 / アメリカ地球物理学会合同大会（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chinatsu Ono, Takeshi Kakegawa, Yoshihiro Furukawa
2. 発表標題 Effects of minerals on the formose reaction: implication for the potential ribose formation on ancient Mars
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会 / アメリカ地球物理学会合同大会（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齊藤 光、石田 章純、掛川 武
2. 発表標題 32億年前のパーバートン海域での一次生産者に対する制約：パーバートン、シバヒルズ地域チャートに対する地質学的地球化学的研究
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会 / アメリカ地球物理学会合同大会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 齋つかさ、掛川武
2. 発表標題 秋田県北鹿地域の中新世海底溶岩の変質作用時におけるリンの挙動
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会 / アメリカ地球物理学会合同大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石田 章純、笹木 晃平、橋爪 光、掛川 武、Lepland Aivo
2. 発表標題 20億年前のロシア, Zaonega層に記録された窒素源の不均質性と微生物活動
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会 / アメリカ地球物理学会合同大会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 笹木 晃平、石田 章純、高畑 直人、佐野 有司、掛川 武
2. 発表標題 New morphotypes, cell-wall structures, and elemental distribution of the Gunflint microfossil
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会 / アメリカ地球物理学会合同大会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古川 善博、竹内 悠人、小林 敬道、関根 利守、寺田 直樹、掛川 武
2. 発表標題 地球型惑星への超高速衝突による有機物の生成
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会 / アメリカ地球物理学会合同大会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sasaki K, Ishida A, Tkahata N, Sano Y & Kakegawa T
2. 発表標題 New Morphotypes, Cell-Wall Structures, and Elemental Distribution of the Gunflint Microfossils
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ishida A, Sasaki K, Hashizume K, Kakegawa T & Lepland A
2. 発表標題 Two Distinct Nitrogen Sources for Microbial Activities in the 2.0 Ga Zaonega Formation
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塚本雄也、掛川武
2. 発表標題 温泉環境における微生物が作るマンガン酸化物 に関する研究
3. 学会等名 地球化学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平川祐太、古川善博、掛川武
2. 発表標題 初期地球の蒸発環境における五炭糖のリン酸化 に対するホウ酸の影響
3. 学会等名 地球化学会年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 ガルゴーマーティン、その他（掛川武、部分翻訳）	4. 発行年 2021年
2. 出版社 西村書店	5. 総ページ数 221
3. 書名 地球生命誕生の謎	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	古川 善博  (Furukawa Yoshihiro)  (00544107)	東北大学・理学研究科・准教授   (11301)	
研究 分担者	小林 敬道  (Kobayashi Takamichi)  (20260028)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主幹研究員   (82108)	

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
---------	---------