

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：34315

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2022

課題番号：21K20578

研究課題名(和文) 活性中心を失ったヒドロゲナーゼ様酵素複合体がつかなく呼吸のミッシングリンク

研究課題名(英文) Is a Hydrogenase-Like Enzyme Complex Lacking a Catalytic Center the Missing Link in the Respiratory Complexes?

研究代表者

井上 真男 (Inoue, Masao)

立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構・助教

研究者番号：90906976

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、始原生物からヒトに至るまで呼吸の根幹を担う [NiFe] ヒドロゲナーゼ/呼吸鎖複合体 I 酵素群のタンパク質進化における「ミッシングリンク」を解明することを目指し、NiFe 活性中心を失った呼吸型ヒドロゲナーゼ様酵素複合体 Ehr の呼吸機能を明らかにすることである。全原核生物ゲノムのバイオインフォマティクス解析により、Ehr が第 3 の呼吸鎖複合体 I 型酵素サブファミリーであり、環境微生物に広く保存され、電子伝達やプロトン輸送に関与する可能性を示した。さらに、Ehr を有する培養株の培養条件の最適化や遺伝子欠損株の作製など生理機能解明に向けた基盤構築に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

始原生物が有していた [NiFe] ヒドロゲナーゼが、いかにしてその活性に必須である金属活性中心を失い、NAD を補酵素とする呼吸鎖複合体 I に進化したのかは生物進化における大きな謎の 1 つであった。本研究では、呼吸鎖複合体 I とは異なる進化を遂げた第 3 の呼吸鎖複合体 I 型酵素サブファミリーの存在を世界に先駆けて明らかにすることに成功した。得られた生物情報資源は新たな研究シーズとなることが予想され、応用微生物学や進化生物学の発展に大きく貢献する。

研究成果の概要(英文)：This project is aimed to elucidate the missing link in the molecular evolution of the [NiFe] hydrogenase/respiratory complex I enzymes, which play a fundamental role in cellular respiration from primitive organisms to humans, and to clarify the respiratory function of the hydrogenase-like enzyme complex Ehr, which has lost its NiFe active site. Bioinformatics analysis of all prokaryotic genomes revealed that Ehr is the third subfamily of respiratory complex I-type enzymes, widely conserved in environmental microorganisms and involved in electron transfer and proton transport. Moreover, we succeeded in constructing a platform to elucidate physiological functions by optimizing the culture conditions of a bacterial strain carrying this enzyme gene cluster and producing gene-knockout strain.

研究分野：応用微生物学

キーワード：呼吸鎖複合体 ヒドロゲナーゼ 分子進化 微生物ゲノム

1. 研究開始当初の背景

呼吸とは、物質間の電子の流れを利用して細胞膜を介した電気化学的勾配を作り出し、これを駆動力として ATP を合成する生命現象である。ミトコンドリア等の呼吸鎖複合体 I は、解糖系や TCA 回路で生じた NADH の酸化とキノンの還元を共役させ、プロトン勾配を形成する。一方で、呼吸型 [NiFe] ヒドロゲナーゼはフェレドキシンの酸化とプロトンの還元を共役させる。この 2 つの呼吸酵素複合体は共通祖先から進化したと考えられており^[1]、始原的な [NiFe] ヒドロゲナーゼが酸素の無かった地球上に登場した後に、進化の過程で NiFe 活性中心とフェレドキシン還元能を失い、NADH 酸化能とキノンの還元能を獲得して呼吸鎖複合体 I に至ったと推測されている (図 1)。しかし、[NiFe] ヒドロゲナーゼと呼吸鎖複合体 I との間に位置するような特徴をもつ呼吸酵素複合体 (ミッシングリンク) については全く未解明である。

次世代シーケンサーの発展に伴うゲノム情報の蓄積によって、[NiFe] ヒドロゲナーゼや呼吸鎖複合体 I に類似した機能未知遺伝子群が環境微生物に存在することがわかってきた。中でも、Desulfobacterota 門に属する嫌気性細菌 *Geobacter sulfurreducens* のゲノム配列において初めて発見された Energy-converting hydrogenase-related complex (Ehr) は、全体的なアミノ酸配列の相同性や遺伝子クラスターから推定されるサブユニット構成は [NiFe] ヒドロゲナーゼに似ているが、NiFe 活性中心を形成する配列モチーフを完全に失っている^[2]。その機能に関する知見は一切なく、電子供与体や受容体の種類なども不明であった。また、そのサブユニット構成や分子系統、原核生物ゲノム分布などについても未解明のままであった。

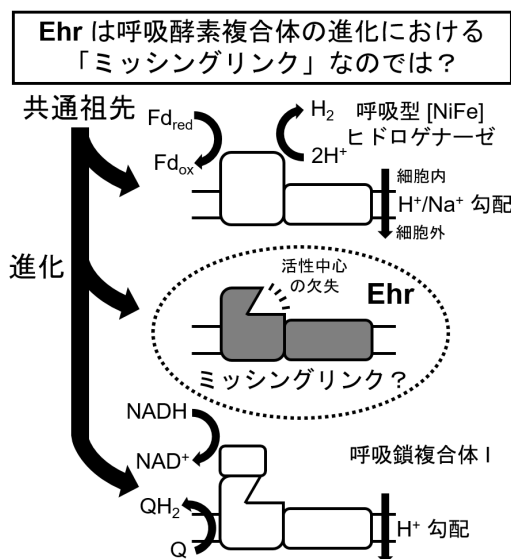


図 1. [NiFe] ヒドロゲナーゼ/複合体 I の進化

2. 研究の目的

本研究では、Ehr が [NiFe] ヒドロゲナーゼ/呼吸鎖複合体 I 様酵素群の分子進化におけるミッシングリンクなのではないかという大胆な仮説を立てた (図 1)。この仮説を元に、Ehr の呼吸機能解明を通して微生物の未知の呼吸経路を開拓し、[NiFe] ヒドロゲナーゼ/呼吸鎖複合体 I 様酵素群が進化の過程でどのように機能を多様化させてきたのかについて、その一端を解明することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するために主に以下の 2 つのアプローチで研究を行った。

(1) 生物情報学的アプローチによる Ehr の多様性解析

まず、*Geobacter sulfurreducens* 由来 EhrL をクエリとし、30 万を超える原核生物ゲノム由来のタンパク質配列を含む NCBI Protein データベースを標的として、DIAMOND BLASTp^[3] による相同性検索を行った。得られた配列について完全性に基づくフィルタリングを行ったのちに、MAFFT^[4] を用いて多重配列アラインメントを作成し、アミノ酸配列比較を行った。また、多重配列アラインメントをもとに IQ-TREE^[5] を用いて最尤系統樹を作成した。ゲノムアセンブリ由来のタンパク質配列については周辺遺伝子群のリストアップを行い、サブユニット構成や機能関連遺伝子群を推定した。また、GTDB^[6] によるゲノム分類群のアノテーションを行った。さらに、メタゲノム由来の配列については生物圏情報のアノテーションを行った。以上の情報について統合したデータセットを得た。Ehr 複合体の立体構造予測については、AlphaFold2^[7] を用いて行った。

(2) 遺伝学的アプローチによる Ehr の機能解析

二段階相同組換えを用いたマーカーレス遺伝子欠失法によって、*Geobacter sulfurreducens* の *ehr* 遺伝子群をまるごと欠失させた株を作製した。野生株と *ehr* 遺伝子欠損株について、電子供与体として酢酸・ギ酸・水素を、電子受容体としてフマル酸・硫黄・第二鉄を用いて培養実験を行った。また、窒素固定条件や酸素存在下における培養実験も行った。

4. 研究成果

主な研究成果は以下の 2 点である。

(1) 生物情報学的アプローチによる Ehr の多様性解析

Ehr は約 3 万の原核生物ゲノムに存在しており、ゲノム分類群のアノテーションの結果、驚くべきことに、バクテリアでは 70%、アーキアでは 60% もの生物門に分布していることがわかった。生物圏情報を用いた解析によって、Ehr は陸圏、水圏、人工環境、ヒト腸内などの様々な環境に存在することが分かった。

周辺遺伝子群の解析からサブユニット構成を推定したところ、*ehr* 遺伝子群には、4 つの膜貫通およびプロトン輸送サブユニット、2 つの触媒サブユニットをコードする遺伝子が完全に保存されていた。EhrL の NiFe 活性中心形成モチーフはごく一部の系統を除いて完全に欠失していた。EhrS についても、メタン生成菌の一部で全ての鉄硫黄クラスター形成モチーフを失っているなど、鉄硫黄クラスター形成モチーフの数に大きな多様性が見られた。

立体構造予測の結果、Ehr の 6 つのサブユニットは呼吸型 [NiFe] ヒドロゲナーゼや呼吸鎖複合体 I と同様の L 字型構造を示し、各サブユニットのコンフォメーションは呼吸型 [NiFe] ヒドロゲナーゼに酷似していたが、NiFe 活性中心付近の構造には大きな違いが見られた。

EhrL の多重配列アラインメントから分子系統樹を作成したところ、Ehr が形成する系統群は [NiFe] ヒドロゲナーゼおよび呼吸鎖複合体 I の両者から完全に独立しており、新奇のサブファミリーを形成していることが明らかになった (図 2)。

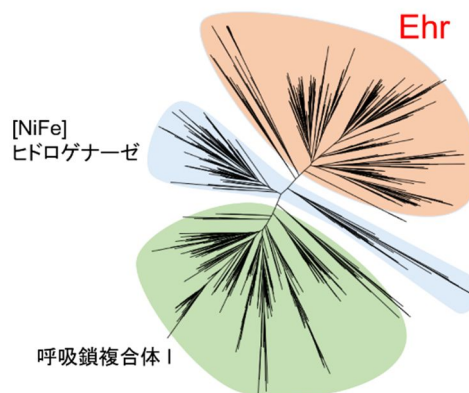


図 2. Ehr の分子系統樹

(2) 遺伝学的アプローチによる Ehr の機能解析

Geobacter sulfurreducens について、マーカーレス遺伝子欠失法による *ehr* 遺伝子欠損株の作製に成功した。電子供与体、電子受容体を変えた複数の条件で表現型解析を行ったが、現在のところ、野生株と欠損株の間に増殖速度の顕著な違いは見られていないが、凝集性などにおいてわずかな違いが観察された。欠損株が得られたことから、少なくとも、標準培地における本菌の生育には Ehr が必須でないことが明らかとなり、今後の Ehr の生理機能解明に向けた基盤構築に成功した。

以上の研究成果は、Ehr が第 3 の呼吸鎖複合体 I 型酵素サブファミリーであり、呼吸鎖複合体 I とは異なるかたちで NiFe 活性中心の欠失を経た進化を遂げたと推測され、研究開始当初に立てた仮説を覆すものであった。その機能の解明には至らなかったものの、ビッグデータを用いた大規模解析によって、Ehr が環境微生物に広く保存され、電子伝達やプロトン輸送を含む呼吸経路に関与することが示唆された。

<引用文献>

- [1] Brandt (2019) *Science* **363**:230-231
- [2] Coppi (2005) *Microbiology* **151**:1239-1254
- [3] Buchfink *et al.* (2021) *Nature Methods* **18**:366-368
- [4] Katoh & Standley (2013) *Mol. Biol. Evol.* **30**:772-780
- [5] Minh *et al.* (2020) *Mol. Biol. Evol.* **37**:1530-1534
- [6] Parks *et al.* (2021) *Nucleic Acids Res.* **50**:D785-D794
- [7] Jumper *et al.* (2021) *Nature* **596**:583-589

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yoshinari Imaura, Shunsuke Okamoto, Taiki Hino, Yusuke Ogami, Yuka Adachi Katayama, Ayumi Tanimura, Masao Inoue, Ryoma Kamikawa, Takashi Yoshida, Yoshihiko Sako	4. 巻 -
2. 論文標題 Isolation, Genomic Sequence and Physiological Characterization of Parageobacillus sp. G301, an Isolate Capable of Both Hydrogenogenic and Aerobic Carbon Monoxide Oxidation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied and Environmental Microbiology	6. 最初と最後の頁 e00185-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1128/aem.00185-23	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 Kenji Fukui, Masao Inoue, Takeshi Murakawa, Seiki Baba, Takashi Kumasaka, Takato Yano	4. 巻 30
2. 論文標題 Structural and functional insights into the mechanism by which MutS2 recognizes a DNA junction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Structure	6. 最初と最後の頁 973-982.e4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.str.2022.03.014	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 青野陸, 井上真男, 三原久明	4. 巻 59
2. 論文標題 必須微量元素セレンの微生物による多彩な代謝	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ファルマシア	6. 最初と最後の頁 185-189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14894/faruawpsj.59.3_185	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 -
1. 著者名 越智杏奈, 井上真男, 青野陸, 三原久明	4. 巻 93
2. 論文標題 琵琶湖集水域の環境メタロミクス(16)生態系においてセレン循環を駆動する微生物	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 金属	6. 最初と最後の頁 162-168
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 -

1. 著者名 Masao Inoue, Kimiho Omae, Issei Nakamoto, Ryoma Kamikawa, Takashi Yoshida, Yoshihiko Sako	4. 巻 26
2. 論文標題 Biome-specific distribution of Ni-containing carbon monoxide dehydrogenases	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Extremophiles	6. 最初と最後の頁 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00792-022-01259-y	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 Atsuki Shimizu, Ryuta Tobe, Riku Aono, Masao Inoue, Satoru Hagita, Kaito Kiriyama, Yosuke Toyotake, Takuya Ogawa, Tatsuo Kurihara, Kei Goto, N. Tejo Prakash, Hisaaki Mihara	4. 巻 22
2. 論文標題 Initial Step of Selenite Reduction via Thioredoxin for Bacterial Selenoprotein Biosynthesis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 10965
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms222010965	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 Masao Inoue, Yuu Hirose, Ryuta Tobe, Shigeki Saito, Riku Aono, N. Tejo Prakash, Hisaaki Mihara	4. 巻 10
2. 論文標題 Complete Genome Sequence of Pseudomonas stutzeri Strain F2a, Isolated from Seleniferous Soil	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Microbiology Resource Announcements	6. 最初と最後の頁 e00631-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1128/MRA.00631-21	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43件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 井上真男, 澤すずな, 青野陸, 三原久明
2. 発表標題 Geobacter sulfurreducens 由来 LysR 型転写因子 ExtR の DNA 結合は多硫化物イオンによって抑制される
3. 学会等名 日本農芸化学会2023年度広島大会オンライン開催
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 越智杏奈, 芝本佳永, 豊竹洋佑, 藤岡大毅, 青野陸, 井上真男, 今井友也, 三原久明
2. 発表標題 Escherichia coliによる細胞外セレンナノ粒子形成には膜構造の完全性と正常な膜小胞形成が必要とされる
3. 学会等名 日本農芸化学会2023年度広島大会オンライン開催
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 青野陸, 日下部恭平, 井上真男, 戸部隆太, 三原久明
2. 発表標題 大腸菌が有する2つのセレン酸/テルル酸還元酵素活性サブユニットは異なる基質特異性を示す
3. 学会等名 日本農芸化学会2023年度広島大会オンライン開催
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高野将光, 青野陸, 井上真男, 三原久明
2. 発表標題 ヒドロゲナーゼ様呼吸酵素複合体Ehrの全ゲノム探索と遺伝子欠損株の解析
3. 学会等名 第95回日本生化学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野田幹久, 青野陸, 井上真男, 三原久明
2. 発表標題 Methanothermococcus okinawensis由来SelBと相互作用するタンパク質の探索
3. 学会等名 第95回日本生化学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 澤すずな, 井上真男, 青野陸, 三原久明
2. 発表標題 硫黄還元細菌 <i>Geobacter sulfurreducens</i> 由来転写因子ExtRの認識DNA領域およびエフェクター分子の同定
3. 学会等名 第95回日本生化学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小島響平, 葛野侑香, 越智杏奈, 青野陸, 井上真男, 戸部隆太, 武田陽一, N. Tejo Prakash, 三原久明
2. 発表標題 メチオニンスルホキンド還元活性を示す新奇モリブデン酵素の基質立体特異性と遺伝子欠損株の解析
3. 学会等名 第95回日本生化学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田大樹, Mst. Ishrat Jahan, 石戸雄大, 伊豆由記子, 井上真男, 青野陸, 三原久明
2. 発表標題 <i>Geobacter sulfurreducens</i> の硫黄還元に関わる外膜ポリリン-硫黄転移酵素複合体
3. 学会等名 第95回日本生化学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toma Rani Majumder, Takuya Yoshizawa, Riku Aono, Masao Inoue, Hiroyoshi Matsumura, Hisaaki Mihara
2. 発表標題 Structural basis of dual cofactor specificity of glyoxylate reductase from <i>Acetobacter acetii</i> JCM20276
3. 学会等名 第95回日本生化学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西田志穂, 大前公保, 井上真男, 左子芳彦, 今高里莉, 神川龍馬, 吉田天士
2. 発表標題 水圏環境中に潜在する水素生成型一酸化炭素酸化菌の探索とゲノム特性の解明
3. 学会等名 日本微生物生態学会第35回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 萱場亮太, 越智杏奈, 井上真男, 青野陸, 寺部千夏, 田中麻衣, 佐藤総一, 小椋康光, 三原久明
2. 発表標題 トリメチルセレンニウム資化に関する遺伝子クラスターの転写制御機構の解明
3. 学会等名 メタルバイオサイエンス研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内田透梧, 越智杏奈, 高野将光, 井上真男, 青野陸, 佐藤総一, 小椋康光, 三原久明
2. 発表標題 土壌微生物由来トリメチルセレンニウム脱メチル化酵素の発見と機能解析
3. 学会等名 メタルバイオサイエンス研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 芝本佳永, 越智杏奈, 豊竹洋佑, 藤岡大毅, 青野陸, 井上真男, 今井友也, 三原久明
2. 発表標題 大腸菌における細胞外セレンナノ粒子の形成には細胞膜の完全性が必要である
3. 学会等名 第33回日本微量元素学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 植田響輝, 坂本暁紀, 牧村康平, 井上真男, 青野陸, 戸部隆太, N. Tejo Prakash, 三原久明
2. 発表標題 セレン蓄積土壌由来 Cellulomonas 属細菌による嫌氣的亜セレン酸還元
3. 学会等名 第33回日本微量元素学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masao Inoue, Anna Ochi, Chinatsu Terabe, Mai Tanaka, Riku Aono, Soichi Sato, Yasumitsu Ogra, Hisaaki Mihara
2. 発表標題 Novel pathway for assimilation of trimethylselenonium in soil microorganisms
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Metallomics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hisaaki Mihara, Takuya Yoshizawa, Yukiko Izu, Miki Jinno, Masao Inoue, Riku Aono, Ryuta Tobe, Hiroyoshi Matsumura
2. 発表標題 Characterization of pentaheme cytochrome c selenoprotein, a novel polysulfide/selenite reductase, from Geobacter sulfurreducens
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Metallomics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kano Shibamoto, Anna Ochi, Yosuke Toyotake, Riku Aono, Masao Inoue, Tomoya Imai, Hisaaki Mihara
2. 発表標題 Biogenic extracellular selenium particles are wrapped within membrane vesicles in Escherichia coli
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Metallomics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kyohei Kojima, Yuka Kuzuno, Anna Ochi, Riku Aono, Masao Inoue, Ryuta Tobe, Yoichi Takeda, N. Tejo, Prakash, Hisaaki Mihara
2. 発表標題 Functional analysis of a novel molybdenum-dependent methionine sulfoxide reductase from <i>Bacillus</i> species
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Metallomics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hibiki Ueda, Akinori Sakamoto, Kohei Makimura, Masao Inoue, Riku Aono, Ryuta Tobe, Yu Hirose, N. Tejo Prakash, Hisaaki Mihara
2. 発表標題 Selenite respiration in a <i>Cellulomonas</i> strain isolated from a seleniferous soil
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Metallomics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Anna Ochi, Masao Inoue, Riku Aono, Hisaaki Mihara
2. 発表標題 Roles of RecA in growth and round-body formation of <i>Bacillus subtilis</i> exposed to selenite
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Metallomics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kyohei Kusakabe, Riku Aono, Masao Inoue, Ryuta Tobe, Hisaaki Mihara
2. 発表標題 Different substrate specificities of two catalytic subunits of selenate/tellurate reductase in <i>Escherichia coli</i>
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Metallomics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名	Daiki Fujita, Mst. Ishrat Jahan, Yudai Ishido, Yukiko Izu, Masao Inoue, Riku Aono, Hisaaki Mihara
2. 発表標題	Polysulfide transport across outer membrane in the sulfur-reducing bacterium <i>Geobacter sulfurreducens</i>
3. 学会等名	The 8th International Symposium on Metallomics (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	越智杏奈, 寺部千夏, 井上真男, 田中麻衣, 青野陸, 北山香織, 栗原達夫, 佐藤総一, 小椋康光, 三原久明
2. 発表標題	Aminobacter属細菌に新たに見つかったトリメチルセレンニウム・トリメチルスルフォニウム資化遺伝子群
3. 学会等名	日本ビタミン学会第74回大会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Toma Rani Majumder, Takuya Yoshizawa, Riku Aono, Masao Inoue, Hiroyoshi Matsumura, Hisaaki Mihara
2. 発表標題	Mutational and structural insights into dual cofactor specificity of glyoxylate reductase from <i>Acetobacter acetii</i> JCM20276
3. 学会等名	第39回日本微量栄養素学会学術集会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	井上真男
2. 発表標題	一酸化炭素デヒドロゲナーゼを鍵とする微生物触媒の探索と応用基盤の構築
3. 学会等名	第23回酵素応用シンポジウム (招待講演)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名 井上葵, 高尾和也, 井上真男, 増井良治
2. 発表標題 高度好熱菌 DNA 結合タンパク質 TkaP の機能と活性調節機構の解析
3. 学会等名 第22回日本蛋白質科学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高野将光, 井上真男, 青野陸, 三原久明
2. 発表標題 ゲノム情報を利用したヒドロゲナーゼ様呼吸酵素複合体 Ehr の探索と機能解析
3. 学会等名 第68回日本生化学会近畿支部例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野田幹久, 青野陸, 井上真男, 三原久明
2. 発表標題 アーキアにおけるセレンタンパク質生合成に關与する未知因子の探索
3. 学会等名 第68回日本生化学会近畿支部例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小島響平, 葛野侑香, 越智杏奈, 青野陸, 井上真男, 戸部隆太, 武田陽一, N. Tejo Prakash, 三原久明
2. 発表標題 Bacillus 属細菌由来新奇メチオニンスルホキシド還元酵素の機能解明
3. 学会等名 日本農芸化学会関西支部 第520回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田大樹, Jahan Mst. Ishrat, 伊豆由記子, 青野陸, 井上真男, 三原久明
2. 発表標題 Geobacter sulfurreducens におけるポリスルフィド取り込みへの extHIJ 遺伝子の関与
3. 学会等名 日本農芸化学会 2022 年度京都大会 オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 越智杏奈, 井上真男, 青野陸, 三原久明
2. 発表標題 Bacillus subtilis におけるプロファージ PBSX を介した round-body 形成の亜セレン酸耐性への関与
3. 学会等名 日本農芸化学会 2022 年度京都大会 オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 芝本佳永, 越智杏奈, 豊竹洋佑, 青野陸, 井上真男, 今井友也, 三原久明
2. 発表標題 大腸菌が生成するセレンナノ粒子は細胞膜で包まれている
3. 学会等名 日本農芸化学会 2022 年度京都大会 オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂本暁紀, 井上真男, 青野陸, N. Tejo Prakash, 三原久明
2. 発表標題 インド高濃度セレン蓄積地帯由来 Cellulomonas 属細菌における亜セレン酸還元呼吸鎖への関与およびセルロース分解能
3. 学会等名 日本農芸化学会 2022 年度京都大会 オンライン開催
4. 発表年 2022年

1. 発表者名	寺部千夏, 越智杏奈, 井上真男, 田中麻衣, 青野陸, 北山香織, 栗原達夫, 佐藤総一, 小椋康光, 三原久明
2. 発表標題	新奇 Aminobacter 属細菌におけるトリメチルセレンニウム資化経路の同定
3. 学会等名	日本農芸化学会 2022 年度京都大会 オンライン開催
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	植田響輝, 坂本暁紀, 牧村康平, 井上真男, 青野陸, 戸部隆太, 広瀬侑, N. Tejo Prakash, 三原久明
2. 発表標題	セレン蓄積土壌由来 Cellulomonas 属細菌の高濃度亜セレン酸耐性
3. 学会等名	日本生物高分子学会 2021 年度大会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	今浦由就, 足立夕花, 岡元俊輔, 日野太貴, 井上真男, 神川龍馬, 左子芳彦, 吉田天士
2. 発表標題	常温湖底堆積物より分離された好熱性 Parageobacillus 属細菌の一酸化炭素利用能分析
3. 学会等名	令和 3 年度日本水産学会近畿支部例会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	井上真男, 大前公保, 神川龍馬, 吉田天士, 左子芳彦
2. 発表標題	CO ₂ デヒドロゲナーゼは生物圏によって異なる系統分布を示す
3. 学会等名	第 22 回極限環境生物学会年会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名 浅岡伸太郎, 伊豆由記子, 青野陸, 井上真男, 三原久明
2. 発表標題 Geobacter sulfurreducens におけるポリスルフィド還元へのマルチヘム含有セレンタンパク質の関与
3. 学会等名 第 94 回日本生化学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本暁紀, 植田響輝, 牧村康平, 井上真男, 青野陸, 戸部隆太, 広瀬侑, N. Tejo Prakash, 三原久明
2. 発表標題 インド高濃度セレン蓄積地帯由来 Cellulomonas 属細菌の亜セレン酸耐性と還元能
3. 学会等名 日本微生物生態学会 第 34 回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今浦由就, 足立夕花, 岡元俊輔, 日野太貴, 井上真男, 神川龍馬, 左子芳彦, 吉田天士
2. 発表標題 一酸化炭素利用能を持つ新規 Parageobacillus 属細菌分離株の生理・ゲノム性状解析
3. 学会等名 日本微生物生態学会 第 34 回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西田志穂, 大前公保, 井上真男, 左子芳彦, 神川龍馬, 吉田天士
2. 発表標題 集積培養系に出現した多様な一酸化炭素酸化菌の網羅的ゲノム解析
3. 学会等名 日本微生物生態学会 第 34 回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芝本佳永, 越智杏奈, 豊竹洋佑, 青野陸, 井上真男, 今井友也, 三原久明
2. 発表標題 大腸菌が生成・排出するセレンナノ粒子の透過型電子顕微鏡解析
3. 学会等名 第 32 回日本微量元素学会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺部千夏, 越智杏奈, 田中麻衣, 井上真男, 青野陸, 佐藤総一, 小椋康光, 三原久明
2. 発表標題 土壌微生物によるトリメチルセレンニウム資化経路の同定
3. 学会等名 第 32 回日本微量元素学会学術集会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

立命館大学 生命科学部 生物工学科 応用分子微生物学研究室 https://www.mihalab.org
--

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

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