

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K05416

研究課題名(和文) 中等好熱菌に比肩する高温耐性を獲得した常温性シアノバクテリア適応進化株の解析

研究課題名(英文) Analysis of mutant strains of a cyanobacteria Synechococcus which have adapted to high temperature conditions.

研究代表者

兼崎 友 (Kanesaki, Yu)

静岡大学・グリーン科学技術研究所・特任助教

研究者番号：70380293

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)：高温下での連続継代培養と突然変異の蓄積により常温性のシアノバクテリアが生育限界温度を超えた高温適応が可能かという命題に挑むため長期間の実験室進化実験を試みた。これまでの研究により、通常の生育限界温度を大きく超えた株のラインを得ることに成功していたが、電子顕微鏡解析により細胞の構造的な変化を確認できた。また親株と比較した生育可能な温度範囲のトレードオフや高温下での転写産物プロファイルの違いも明らかにすることができた。再現性を確認するため新たなラインの構築をおこない新たに2ラインが得られたが、これらの株は既存のラインとは異なる変異を持っていた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ある生物が、自らの至適生育環境から生育限界を超えた環境条件に適応するのにどれだけの自然突然変異の蓄積が必要か、どれだけ時間がかかるか、という命題の実験的な証明は微生物の進化機構や環境適応速度を見積もる上で極めて重要な基礎研究である。また自然突然変異だけで作製された変異株は屋外での培養が可能のため、今後の有用物質生産株の作出に向けた指標情報としても有用である。また将来的な地球温暖化などでどのように微生物の表現型が変化していくかを予想する上でも重要な成果である。

研究成果の概要(英文)：A long-term laboratory evolution experiment was attempted to challenge the proposition that mesophylic cyanobacteria can adapt to high temperatures beyond their growth limit temperatures. Previous studies had succeeded in obtaining a line of strains that had grown well above the temperature limit of the strain. Electron microscopic analysis confirmed structural changes in the cells. We were also able to identify trade-offs in the temperature range at which the line could grow compared to the parental line. To confirm reproducibility, we have constructed two new lines, but these lines had different mutations from the existing lines.

研究分野：微生物学

キーワード：高温ストレス シアノバクテリア 適応進化 突然変異 ゲノム解析

1. 研究開始当初の背景

シアノバクテリアは約 27 億年前に地球上に現れたとされる光合成原核微生物である。長い適応進化の歴史の結果、種の分化が進み、現在では淡水、海水、土壌など、極めて多様な環境下に棲息するシアノバクテリアが観測されている。温度についても、温泉に棲息する好熱性の種や南極に棲息する好冷性の種など、多様なシアノバクテリアが知られている。例えば、好熱性シアノバクテリア *Thermosynechococcus elongatus* BP-1 の至適生育温度は 57 である。一方、分子生物学的な研究モデルとしてよく用いられる *Synechococcus elongatus* PCC 7942 は至適生育温度が 30 の常温性のシアノバクテリアであり、生育上限温度は 43 とされている (Stanier et al., 1971)。*S. elongatus* PCC 7942 を 50 に曝すと僅か 20 分で生存率が半減することから (Nakamoto et al., 2001)、生育可能な温度範囲が好熱性の種とは明らかに異なることが分かる。一般的に、常温性の微生物は 45 付近を超えると生育できなくなる (Bergey, 1919)。至適生育温度が 45 以上、あるいは生育限界温度が 55 以上の微生物は「好熱菌」と呼ばれ (Fukuda and Imanaka, 2012)、その中でも 50 以下でも生育可能な微生物を中等度好熱菌と呼ぶ。常温性の種がどれほどの突然変異を蓄積すればこの生物学的ニッチの壁を超えることができるのか、またそのためにどれほどの時間がかかるのか、という命題は微生物の進化を考える上で極めて重要な問いである。しかしこのような生物進化の長期実験系を実験室内で構築することは、時間的問題や他生物の混入問題、再現性問題などから非常に困難であるため、本研究開始時点では限られた事例しか報告されていなかった。

2. 研究の目的

自然突然変異の一般的な発生頻度や不作為性から考えて、一研究者が観測可能な時間の範囲内で、特定の方向性をもった突然変異の連続的な蓄積を観測できる実験系が構築可能なのは、増殖速度の早い微生物に限られる (Barrick et al. 2013)。本研究代表者は、増殖速度の早い微生物を生育限界条件付近に曝して長期継代培養をおこない、生存に不利な突然変異が生じた細胞はすぐに淘汰されるという選択圧をかけ続けることで、特定の方向性を持った突然変異の蓄積を観測することが可能であろうと考えた。生育限界条件での順化を繰り返しながら長期継代培養することで生育限界条件を越える突然変異株を単離できれば、微生物進化における環境適応の分子機構だけでなく、人為的な遺伝子組換えに依らない育種技術の開発などにも役立つと考えられる。特に温度についての知見は、地球温暖化などの環境変動が与える生態系への影響を見積もる上でも重要である。そこで本研究計画においては、全ゲノム情報が既知であり、かつ常温性のシアノバクテリア *S. elongatus* PCC 7942 を材料に、高温適応につながる自然突然変異の蓄積の観測と、これまでに報告例のない高温耐性を獲得した株の選抜、及びその分子機構の解明を目的として研究を実施した。これまでの研究により、寒天培地を用い生育上限温度での長期培養をおこなった結果、意外にも培養開始より 2 ヶ月の段階で「45 の壁」を超える突然変異株を得ることが出来たが、このような株の出現に再現性があるかどうかや、さらなる高温での連続培養が可能かどうか、またこの突然変異株がどのような性質を持ち、どのような高温耐性機構を獲得したのかは不明であるため、詳細な解析やさらなる連続培養を試みた。

3. 研究の方法

本研究では、常温性のシアノバクテリア *S. elongatus* PCC 7942 が突然変異の蓄積により生育限界を超えた高温環境に適応できるかについて研究をおこなう。次世代シーケンス技術を用いたリシーケンス解析の手法により、高温耐性突然変異株群の原因遺伝子座を同定し、その高温耐性機構の解析をおこなう。突然変異株や適応進化株を取得する際には、親株となる細胞の全ゲノムリシーケンス解析は必須であるが、本研究においては、これまでの研究により全ゲノム情報を再解析した、*S. elongatus* PCC 7942 TUA 株を基準に実験を実施する。

1) 高温耐性突然変異株のリシーケンス解析：長期間の高温順化培養により通常の生育限界温度を超えた株を定期的にシングルコロニー化し冷凍保存する。これらの株から DNA を抽出し、次世代シーケンサーによりその全ゲノム配列をリシーケンスする。我々がこれまでに開発してきた手法を活用し、read mapping と de novo assembly、local read depth 情報を組み合わせて新規突然変異部位の検出をおこなう (Kanesaki et al., 2012)。2) 相同組換えによる遺伝子破壊：前述のリシーケンス解析により同定した変異遺伝子座について、相同組換えにより TUA 株の当該遺伝子破壊し、高温耐性能が変化するかを検証することで、高温適応への寄与度の大きな変異を明らかにする。可能であれば多重変異株を作成し変異の相乗効果の有無を検証する。さらにこれらの遺伝子の機能解析をおこなう。3) 高温耐性突然変異株の生理学的性質の評価：TUA 株と変異株の細胞形態・分裂異常の有無に関して、蛍光顕微鏡と透過性電子顕微鏡を用いて詳細に観察する。TUA 株と変異株の増殖速度の温度依存性を調べ、至適生育温度範囲の上昇が起きた

かどうかどうかを比較する。その他の生理的活性についてもどのように変化しているか調査する。4) トランスクリプトーム解析による高温耐性株特異的な発現遺伝子の同定：高温耐性株においての発現している遺伝子を RNA-seq 解析により網羅的に同定する。この結果を、TUA 株の高温での発現遺伝子リストを代謝マップなどを活用しながら比較し、生理機能や代謝活性がどう変化したかを明らかにする。

4. 研究成果

これまでの研究により、培養開始初年度にはシアノバクテリア *S. elongatus* PCC 7942 の通常の生育限界温度を超えた株のライン(ライン A)を得ることに成功していたが、再現性を確認するため新たなラインの構築をおこない、これまでと同じ条件で高温継代培養を開始した。その結果、やはり 1 年以内に既知の生育限界温度である 43 を超えて長期継代培養が可能な株が 2 ライン得られた(ライン B, C)。これら 2 株について、次世代シーケンサー-MiSeq を用いた全ゲノムリシーケンス解析を実施した。Sequencing library の Insert DNA length を長めに構築し、両端 300 bp をシーケンスした結果、特に問題なく配列情報を得ることに成功した。Phred Score による塩基配列情報の品質チェックやアダプター配列のトリミング処理をおこない、その後 BWA, MAQ, BeakDancer, CLC Genomics workbench, velvet, MUMmer などのプログラムを併用して解析をおこなった。その結果がこれまでのラインとは異なる遺伝子座への少数の突然変異が観測された。このことは、これまでの研究で見出した変異遺伝子座以外にも SNP や small indel などの小規模な突然変異により *S. elongatus* PCC 7942 に高温耐性を付与できる遺伝子が存在することを示す。また、このことは僅かな突然変異により生育限界条件を超えるだけのポテンシャルが、常温性の株のゲノム情報の中に既に備わっていることを示す。一方で、今回新規に取得した高適応株 2 株はその後高温での継代培養を 3 年間継続しているが、既存の高温適応株ラインのような継続的な段階的な生育限界温度の上昇は観測されていないことから、最初に入った変異遺伝子の効果により、以降の突然変異にバイアスが生じている可能性が示唆された。今回の実験計画内ではこれ以上の適応株ラインの構築などの規模拡張はできなかったが、今後より大規模なライン構築の余地があることが明らかになった。

これまでの研究から継続している高温適応株(ライン A)の培養は通算 7 年に達し、TUA 株の生育限界温度である 43 を超えた温度(45、48、50)でも寒天プレート上で維持可能な株群が得られた。しかしそれ以上の生育限界温度の明瞭な上昇は観測されておらず、現在は安定した状況にある。これまでと同様に次世代シーケンサーによる定期的なリシーケンス解析を実施したところ、突然変異の数は継続的に増加していた。これらの変異はフィットネスの向上に寄与していると推測される。比較のため、常温(30)で 7 年間、同じ組成の寒天プレート培地で維持している TUA 株に生じた突然変異について、シングルコロニー単離はせずにリシーケンス解析をおこなった結果、一定数の新規突然変異を確認できたが、その数は高温で維持してきたライン A よりも少なかった。おそらく 1 細胞レベルでは固有の変異が多数見つかることが予想されるが、集団内に定着する変異という面では、高温ストレスという淘汰圧が及ぼす影響は大きいことが示唆された。TUA 株と高温適応株の細胞形態を蛍光顕微鏡、透過性電子顕微鏡を用いて調べたところ、高温では TUA 株は細胞分裂以上による細胞伸長を示したが、高温適応株ではその傾向が緩和されていた。

一方、これまでに BG-11 液体培地での生育試験では、寒天培地での試験よりも 2 程度低い温度までしか生育は確認できなかった点についても追試をおこなったが、この結果は再現できたため、プレート培養でバイオマツ化した細胞集団のほうがより高温耐性を持つことが確かめられた。液体培養では細胞は均一化するが、プレート上では細胞外多糖による保護やマツ化することによる遮光効果などいくつかの可能性が考えられるが、現時点では解明に至っていない。

原因遺伝子の絞り込みについて、相同組換えを利用して、親株である TUA 株に薬剤カセットと共に同様の変異を導入することを試みた。その結果、3 つの遺伝子についての個別破壊株と三重変異株を作製して検証した。2 つの遺伝子破壊株では高温ショックに対し TUA 株よりも耐性を示したが、三重変異株での相乗効果は観察されなかった。これについて遺伝子破壊デザインの変更などを検討している。

また転写産物レベルでの違いも調べるため、親株である TUA 株と高温適応株を 37 で培養した後、43 にシフトして、トランスクリプトーム解析をおこなった。その結果、TUA 株と HT50 株では遺伝子発現パターンが大きく異なる遺伝子群を網羅的に同定できた。現在、KEGG pathway などのデータベースを活用しさらに詳細な機能解析を進めている。これらの結果から、突然変異により細胞内の遺伝子発現パターンが変動したことが細胞の高温耐性の向上につながったことが示唆された。当初は、ゲノム全体の構造や GC 含量などに変化が生じるレベルの大規模な数の変異が蓄積しないと高温耐性の獲得には至らない可能性もあると予想していたが、実際には非常に少数の突然変異でも既知の生育上限温度を超えることが可能であることが明らかになった。

< 引用文献 >

1. Stanier RY, Kunisawa R, Mandel M, Cohen-Bazire G. Purification and properties of

- unicellular blue-green algae (order Chroococcales). *Bacteriol Rev.* 1971, 35: 171–205.
2. Nakamoto H, Tanaka N, Ishikawa N. A novel heat shock protein plays an important role in thermal stress management in cyanobacteria. *J Biol Chem.* 2001, 276: 25088-25095.
 3. Bergey DH. Thermophilic Bacteria. *J Bacteriol.* 1919, 4: 301-306.
 4. Barrick JE, Lenski RE. Genome dynamics during experimental evolution. *Nat Rev Genet.* 2013, 14: 827-839.
 5. Kanesaki Y, Shiwa Y, Tajima N, Suzuki M, Watanabe S, Sato N, Ikeuchi M, Yoshikawa H. Identification of substrain-specific mutations by massively parallel whole-genome resequencing of *Synechocystis* sp. PCC 6803. *DNA Res.* 2012, 19: 67-79.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Ulrich NJ, Uchida H, Kanesaki Y, Hirose E, Murakami A, Miller SR.	4. 巻 31
2. 論文標題 Reacquisition of light-harvesting genes in a marine cyanobacterium confers a broader solar niche	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Current Biology	6. 最初と最後の頁 1539-1546.e4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cub.2021.01.047	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 Matsuzaki R, Suzuki S, Yamaguchi H, Kawachi M, Kanesaki Y, Yoshikawa H, Mori T, Nozaki H.	4. 巻 21
2. 論文標題 The Rubisco small subunits in the green algal genus Chloromonas provide insights into evolutionary loss of the eukaryotic carbon-concentrating organelle, the pyrenoid.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 BMC Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12862-020-01733-1	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 Shimura Y, Fujisawa T, Hirose Y, Misawa N, Kanesaki Y, Nakamura Y, Kawachi M.	4. 巻 101
2. 論文標題 Complete sequence and structure of the genome of the harmful algal bloom-forming cyanobacterium Planktothrix agardhii NIES-204T and detailed analysis of secondary metabolite gene clusters.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Harmful Algae	6. 最初と最後の頁 101942
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hal.2020.101942	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 Kurio Y, Koike Y, Kanesaki Y, Watanabe S, Ehira S.	4. 巻 114
2. 論文標題 The CRP-family transcriptional regulator DevH regulates expression of heterocyst-specific genes at the later stage of differentiation in the cyanobacterium Anabaena sp. strain PCC 7120	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Molecular Microbiology	6. 最初と最後の頁 553-562
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/mmi.14558	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 T, Suzuki-Minakuchi C, Kawano H, Kanesaki Y, Kawasaki S, Okada K, Nojiri H.	4. 巻 11
2. 論文標題 H-NS Family Proteins Drastically Change Their Targets in Response to the Horizontal Transfer of the Catabolic Plasmid pCAR1	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Microbiology	6. 最初と最後の頁 1099
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmicb.2020.01099	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 Onuma R, Hirooka S, Kanesaki Y, Fujiwara T, Yoshikawa H, Miyagishima SY.	4. 巻 14
2. 論文標題 Changes in the transcriptome, ploidy, and optimal light intensity of a cryptomonad upon integration into a kleptoplastic dinoflagellate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The ISME Journal	6. 最初と最後の頁 2407-2423
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41396-020-0693-4	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 Ohbayashi R, Hirooka S, Onuma R, Kanesaki Y, Hirose Y, Kobayashi Y, Fujiwara T, Furusawa C, Miyagishima SY.	4. 巻 11
2. 論文標題 Evolutionary Changes in DnaA-Dependent Chromosomal Replication in Cyanobacteria	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Microbiology	6. 最初と最後の頁 786
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmicb.2020.00786	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 Kashimoto T, Miyake K, Sato M, Maeda K, Matsumoto C, Ikeuchi M, Toyooka K, Watanabe S, Kanesaki Y, Narikawa R.	4. 巻 66
2. 論文標題 Acclimation process of the chlorophyll d-bearing cyanobacterium Acaryochloris marina to an orange light environment revealed by transcriptomic analysis and electron microscopic observation.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of General and Applied Microbiology	6. 最初と最後の頁 106-115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2323/jgam.2019.11.008	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 Kanda T, Abiko G, Kanesaki Y, Yoshikawa H, Iwai N, Wachi M.	4. 巻 10
2. 論文標題 RNase E-dependent degradation of tnaA mRNA encoding tryptophanase is prerequisite for the induction of acid resistance in Escherichia coli.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 7128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-63981-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 -

1. 著者名 谷口智之, 兼崎友, 金子慎一郎, 大城香	4. 巻 78
2. 論文標題 希少生物スイゼンジノリの自生地の現状と保全に向けた取組み	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 バイオサイエンスとインダストリー (B & I)	6. 最初と最後の頁 350-353
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 Ohbayashi R, Nakamachi A, Hatakeyama TS, Watanabe S, Kanesaki Y, Chibazakura T, Yoshikawa H, Miyagishima SY.	4. 巻 10
2. 論文標題 Coordination of Polyploid Chromosome Replication With Cell Size and Growth in a Cyanobacterium.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 mBio	6. 最初と最後の頁 e00510-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1128/mBio.00510-19.	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 Abe K, Kanesaki Y, Abdel-Rahman MA, Watanabe S, Zendo T, Chibazakura T, Shimizu-Kadota M, Sonomoto K, Yoshikawa H.	4. 巻 8
2. 論文標題 Complete Genome Sequence of Enterococcus Faecium QU50, a Thermophilic Lactic Acid Bacterium Capable of Metabolizing Xylose.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microbiology Resource Announcements	6. 最初と最後の頁 e00413-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1128/MRA.00413-19.	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 Kosaka T, Nakajima Y, Ishii A, Yamashita M, Yoshida S, Murata M, Kato K, Shiromaru Y, Kato S, Kanesaki Y, Yoshikawa H, Matsutani M, Thanonkeo P, Yamada M.	4. 巻 14
2. 論文標題 Capacity for Survival in Global Warming: Adaptation of Mesophiles to the Temperature Upper Limit.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PLoS One	6. 最初と最後の頁 e0215614.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0215614.	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 Lambrecht SJ, Kanesaki Y, Fuss J, Huettel B, Reinhardt R, Steglich C.	4. 巻 9
2. 論文標題 Interplay and Targetome of the Two Conserved Cyanobacterial sRNAs Yfr1 and Yfr2 in Prochlorococcus MED4.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 14331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-49881-9.	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 Fukuda W, Yamori Y, Hamakawa M, Osaki M, Fukuda M, Hidese R, Kanesaki Y, Okamoto-Kainuma A, Kato S, Fujiwara S.	4. 巻 52
2. 論文標題 Genes Regulated by Branched-Chain Polyamine in the Hyperthermophilic Archaeon Thermococcus Kodakarensis.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Amino Acids	6. 最初と最後の頁 287-299
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00726-019-02793-4.	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 Shimmori Y, Kanesaki Y, Nozawa M, Yoshikawa H, Ehira S.	4. 巻 59
2. 論文標題 Transcriptional Activation of Glycogen Catabolism and the Oxidative Pentose Phosphate Pathway by NrrA Facilitates Cell Survival Under Nitrogen Starvation in the Cyanobacterium Synechococcus sp. Strain PCC 7002.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 1225-1233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcy059	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 Kimata S, Mochizuki D, Satoh J, Kitano K, Kanesaki Y, Takeda K, Abe A, Kawasaki S, Niimura Y.	4. 巻 9
2. 論文標題 Intracellular free flavin and its associated enzymes participate in oxygen and iron metabolism in <i>Amphibacillus xylanus</i> lacking a respiratory chain.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 FEBS Open Bio	6. 最初と最後の頁 947-961
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2211-5463.12425.	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 Kobayashi-Kirschvink KJ, Nakaoka H, Oda A, Kamei KF, Noshio K, Fukushima H, Kanesaki Y, Yajima S, Masaki H, Ohta K, Wakamoto Y.	4. 巻 25
2. 論文標題 Linear Regression Links Transcriptomic Data and Cellular Raman Spectra.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Cell Systems	6. 最初と最後の頁 104-117.e4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cels.2018.05.015	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 Ohki K, Kanesaki Y, Suzuki N, Okajima M, Kaneko T, Yoshikawa S.	4. 巻 8
2. 論文標題 Physiological properties and genetic analysis related to exopolysaccharide (EPS) production in the fresh-water unicellular cyanobacterium <i>Aphanothece sacrum</i> (Suizenji Nori).	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of General and Applied Microbiology	6. 最初と最後の頁 39-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2323/jgam.2018.04.004.	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 Ogura M, Kanesaki Y.	4. 巻 3
2. 論文標題 Newly Identified Nucleoid-Associated-Like Protein YlxR Regulates Metabolic Gene Expression in <i>Bacillus subtilis</i> .	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 mSphere	6. 最初と最後の頁 e00501-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1128/mSphere.00501-18	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 Toyotome T, Hamada S, Yamaguchi S, Takahashi H, Kondoh D, Takino M, Kanesaki Y, Kamei K.	4. 巻 26
2. 論文標題 Comparative genome analysis of <i>Aspergillus flavus</i> clinically isolated in Japan.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 DNA Research	6. 最初と最後の頁 95-103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/dnares/dsy041.	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 Kanesaki Y, Setiyono E, Pringgenies D, Moriuchi R, Brotosudarmo THP, Awai K.	4. 巻 8
2. 論文標題 Complete Genome Sequence of the Marine Bacterium <i>Erythrobacter flavus</i> Strain KJ5.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microbiology Resource Announcements	6. 最初と最後の頁 e00140-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1128/MRA.00140-19.	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22件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 兼崎 友
2. 発表標題 藍藻ゲノムの可塑性から進化について考える
3. 学会等名 第21回 静岡ライフサイエンスシンポジウム 「生物学×情報学～コンピューターが加速させるバイオ研究の最前線～」 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂巻 裕, 前田 海成, 兼崎 友, 大森 正之, 朝井 計, 渡辺 智
2. 発表標題 食用藍藻スピルリナが生産する細胞外高分子物質に関する研究
3. 学会等名 日本農芸化学会 2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊 明花, 菅原 卓也, 鎮西 真理子, 兼崎 友, 中平 洋一, 朝山 宗彦
2. 発表標題 糸状性ラン藻 Pseudanabaena株シグマ因子SigBの特徴づけと発現解析
3. 学会等名 第43回 日本分子生物学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 兼崎 友, 渡辺 智
2. 発表標題 長期高温培養による適応進化実験からシアノバクテリアの可能性を探る
3. 学会等名 日本農芸化学会 2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大林 龍胆, 廣岡 俊亮, 大沼 亮, 広瀬 侑, 兼崎 友, 宮城島 進也
2. 発表標題 シアノバクテリアの染色体複製におけるDnaA依存性の進化
3. 学会等名 第42回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡辺 智, 山崎 脩平, 青柳 智大, 松根(荷村) かおり, 兼崎 友, 大林 龍胆
2. 発表標題 シアノバクテリアにおける非典型的なDNA複製機構
3. 学会等名 第42回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青柳 智大, 山崎 脩平, 大林 龍胆, 兼崎 友, 荷村(松根) かおり, 渡辺 智
2. 発表標題 シアノバクテリア <i>Synechocystis</i> sp. PCC 6803における染色体とプラスミドの維持機構の解析
3. 学会等名 藍藻の分子生物学2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kaori Ohki, Yu Kanesaki, Uemura Akira, Maiko Okajima, Tatsuo Kaneko, Shinya Yoshikawa
2. 発表標題 Physiological properties and genetic analysis related to exopolysaccharide (EPS) production in the cyanobacterium <i>Chroococcus</i> sp. FPU101.
3. 学会等名 The International Symposium on Phototrophic Prokaryotes 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Youhei Kurio, Yousuke Koike, Yu Kanesaki, Hirofumi Yoshikawa, Shigeki Ehira
2. 発表標題 DevH is a global regulator of the heterocyst-specific genes that are upregulated at the later stage of differentiation.
3. 学会等名 The International Symposium on Phototrophic Prokaryotes 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuka Shimmori, Yu Kanesaki, Masafumi Nozawa, Hirofumi Yoshikawa, Shigeki Ehira
2. 発表標題 Activation of glycogen catabolism by NrrA facilitates cell survival under nitrogen starvation in the cyanobacterium <i>Synechococcus</i> sp. PCC 7002.
3. 学会等名 The International Symposium on Phototrophic Prokaryotes 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 兼崎 友
2. 発表標題 長期高温培養によるシアノバクテリアの適応進化実験と突然変異の解析
3. 学会等名 国立遺伝学研究所公募型共同研究・研究会 NIG-JOINT：微生物生態から見えてくる新しい生理機能とその応用
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡辺 智、山崎 脩平、青柳 智大、松根(荷村) かおり、兼崎 友、大林 龍胆
2. 発表標題 DnaA-oriC に依存しないシアノバクテリアのDNA複製機構
3. 学会等名 第90回 日本遺伝学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山崎 脩平、大林 龍胆、松根(荷村) かおり、兼崎 友、渡辺 智
2. 発表標題 シアノバクテリア <i>Synechocystis</i> sp. PCC 6803 における複製開始機構の解析
3. 学会等名 第90回 日本遺伝学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青柳 智大、栗原 亜実、大林 龍胆、兼崎 友、渡辺 智
2. 発表標題 シアノバクテリア <i>Synechocystis</i> sp. PCC 6803 におけるRecA タンパク質の機能解析
3. 学会等名 第90回 日本遺伝学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅原 卓也, 鎮西 真理子, 中平 洋一, 兼崎 友, 吉川 博文, 朝山 宗彦
2. 発表標題 新奇糸状性シアノバクテリアのSigB相同性因子の発現と機能解析
3. 学会等名 第41回日本分子生物学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤 浩, 広瀬 侑, 兼崎 友, 藤澤 貴智, 中村 保一, 吉川 博文, 木村 駿太, 富田-横谷 香織
2. 発表標題 陸棲藍藻の宇宙環境に関わる遺伝子の検索
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 KatoH Hiroshi, Tomita-Yokotani Kaori, Kimura Shunta, Hirose, Yuu, Kanesaki Yu, Fujisawa Takatomo, Nakamura Yasukazu, Yoshikawa Hirofumi.
2. 発表標題 Genes of terrestrial cyanobacteria which are expected to be useful in space environments.
3. 学会等名 42nd COSPAR Scientific Assembly (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 向井 瑞梨, 兼崎 友, 宮澤 和己, 島田 尚弥, 池内 昌彦, 藤原 崇之, 宮城島 進也, 渡辺 智
2. 発表標題 遺伝子組み換えにより従属栄養増殖を可能にした単細胞紅藻シソンの解析
3. 学会等名 日本農芸化学会2019年度大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 兼崎 友, 宮澤 和己, 向井 瑞梨, 重信 直人, 渡辺 智
2. 発表標題 紅藻ガルドリアの新規単離株と変異株の従属栄養応答の解析
3. 学会等名 日本農芸化学会2019年度大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 成川 礼, 松本 直大, 櫻本 友則, 佐藤 繭子, 渡辺 智, 豊岡 公德, 池内 昌彦, 兼崎 友
2. 発表標題 シアノバクテリアAcaryochloris marinaの長期橙色光培養による実験室内進化
3. 学会等名 第13回日本ゲノム微生物学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎 脩平, 青柳 智大, 荷村 かおり, 兼崎 友, 大林 龍胆, 渡辺 智
2. 発表標題 DnaA-oriCに依存しないシアノバクテリアSynechocystis sp. PCC 6803の複製開始機構
3. 学会等名 第13回日本ゲノム微生物学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青柳 智大, 山崎 脩平, 兼崎 友, 荷村 かおり, 大林 龍胆, 渡辺 智
2. 発表標題 プラスミドインテグレーションにより駆動するシアノバクテリアDNA複製開始機構
3. 学会等名 第13回日本ゲノム微生物学会年会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
米国	University of Montana			
ドイツ	University Freiburg			