

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02412

研究課題名(和文)好冷細菌由来低温適応酵素グルコキナーゼにおける低温適応機構の分子メカニズム解明

研究課題名(英文) Analysis on molecular mechanism for cold adapted glucokinase from psychrophillic bacteria

研究代表者

堀谷 正樹 (Horitani, Masaki)

佐賀大学・農学部・准教授

研究者番号：80532134

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：南極海より採取された魚介類より単離された好冷細菌よりクローニングしたグルコキナーゼの遺伝子組み換え大腸菌を作成し、大量培養・高純度精製法を確立した。また研究比較として中温菌である大腸菌由来グルコキナーゼの遺伝子組み換え大腸菌も作成し、これについても大量培養・高純度精製法を確立した。得られた両グルコキナーゼについて生化学的実験を行ったところ、南極由来グルコキナーゼは低温適応酵素であることが明らかになったが、一般的な低温適応酵素では見られない高熱安定性酵素であることも明らかになった。本研究では、X線結晶構造解析および部位特異的のスピンラベル電子スピン共鳴法により、この性質を分子レベルで明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

酵素はアミノ酸から成る環境負荷の無い化学反応触媒として注目されている。一般的な酵素は人工的には高コストが必要な化学反応を低コストで高効率に触媒できることが知られている。ところが、酵素はそれぞれ指摘温度を持ち、それ以外では低活性または失活してしまう。さらに通常の酵素は熱を加えると容易に変性してしまい、元には戻れない。これが酵素の産業利用が進んでいない大きな理由である。本研究で、幅広い温度で高活性で熱安定性の高い酵素を天然で発見した。さらにこの酵素が持つ仕組みの一端を原子レベルで解き明かすことに成功したので、今後は今回得られた知見を検証し、自然界に優しい素材である酵素を用いた産業へと発展させる。

研究成果の概要(英文)：We have cloned glucokinase from psychrophillic bacteria which is isolated from shells lived in Antarctic Ocean, and prepared purification system. We also have made purification system for glucokinase from Escherichia coli as comparison. Interestingly, glucokinase from Antarctic Ocean showed higher activity at a wide range of temperatures and higher thermal stability than that from E. coli. Revealing this characteristics for glucokinase, we have applied X-ray crystallographic and site-directed mutagenesis spin label electron spin resonance studies. Our biochemical and biophysical studies have successfully elucidated the molecular mechanism for glucokinase form Antarctic Ocean.

研究分野：生物物理

キーワード：酵素 構造生物化学 生物物理 電子スピン共鳴 低温適応酵素 X線結晶構造解析 タンパク質工学

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

酵素は生体内で合成されるポリペプチドであることから、環境負荷が無い生体高分子であり、人工的には高コストが必要な化学反応でもマイルドな条件で低コストで触媒することが可能である。ところが、それぞれの酵素には至適温度が存在し、その温度付近以外では活性を持たない。また、酵素はアミノ酸から成る生体高分子であることから熱に対する安定性が高くは無い。そのため、酵素の産業利用はこれまで耐熱菌由来酵素など熱安定性の高い酵素のみと限定的であった。もし、酵素の指摘温度の改変や高熱安定化などが人工的に可能になれば、あまり進んでいない酵素の産業利用が飛躍的に発展すると考えられてきた。

2. 研究の目的

酵素の産業利用は幅広い分野へ貢献できることが期待されているが、酵素の活性や安定性と温度の関係に対する知見はこれまで十分に得られていない。そのため、酵素における性質の人工的改変が困難な状況にある。そこで、本研究では酵素の活性と安定性に関して、酵素の構造に注目し、温度変化によりどのような物性変化をもたらすか分子レベルで解き明かすことを目的とした。

3. 研究の方法

低温適応酵素および比較対象として中温酵素の遺伝子組み換え大腸菌による高発現、精製法を確立し、両酵素について生化学的手法により、活性の温度依存性および熱安定性を評価する。次に構造化学的知見を得るため、両酵素において結晶化を行い、X線結晶構造解析法によって構造揺らぎについての知見を得る。最後に部位特異的スピンラベル電子スピン共鳴法により、酵素の各部位について原子レベルで酵素ゆらぎの温度依存性を測定する。

4. 研究成果

我々が単離・精製した南極産好冷細菌由来グルコキナーゼは、低温で活性を失わない低温適応酵素であることが明らかになった。さらに詳細に生化学的実験を進めた結果、比較対象である大腸菌由来グルコキナーゼより幅広い温度域で高活性であり、驚くべきことに高熱安定性をも示した。つまり、本研究で得た酵素は低温を含む広い範囲で活性を維持するだけでなく、熱に対しても強い酵素であった。この酵素が持つこの性質を理解できれば、他の酵素へ応用することで様々な分野へ貢献可能な人工酵素の開発につながるはずである。

そこで、私たちはまず X 線結晶構造解析を行い、両酵素の結晶構造を解明することに成功した。結晶構造中に見られる構造ゆらぎから、低温適応グルコキナーゼは基質結合部位である大きなドメインが固い構造をしていることが明らかになった。この酵素の大部分を占めるドメインを固くすることが高熱安定性に寄与していると考えられた。しかし、構造が固ければ、酵素活性は下がり、低温で活性を持たない。そこで注意深く得られた構造を比較すると、酵素活性に重要な構造変化を起こすヒンジ領域が特異的に柔軟な構造をとっていることが明らかになった。また触媒残基を含むドメインも中温酵素より柔軟であることが明らかになった。つまり、酵素活性に重要な部位のみの柔軟性を高くし、それ以外の部位の柔軟性を低くすることで、低温から高温まで幅広い温度域で高活性を実現し、高熱安定性を持つことを解き明かした。

上述した結果の考察は結晶構造を基盤としている。タンパク質結晶は一般的にタンパク質分子がある法則で規則正しく整列したものを指す。つまり、タンパク質の並び方によって動きの制限の掛かる部位と何ら制約の無い部位とが存在することになる。そこで上述した結果・考察を溶液状態の試料でも検証する必要がある。そこで、本結果を溶液中の酵素でも検証するべく部位特異的スピンラベル電子スピン共鳴法を用いることとした。部位特異的スピンラベル電子スピン共鳴法とは、酵素の構造ゆらぎの観測したい部位にシステイン残基の変異導入を行う。この試料に市販されているスピンラベル剤を付加し、電子スピン共鳴法によってラベル剤の運動速度を実測する。ラベル剤の運動速度は酵素の構造ゆらぎそのものであることから、ラベル剤の運動速度の比較や温度変化より、酵素の柔軟性を追跡することができる。ゆらぎを観測したい部位にシステイン残基を導入する前に結晶構造からグルコキナーゼには表面に露出しているシステイン残基が天然に存在していることが明らかになった。そこで、まず野生型で表面に露出しているシステイン残基を全てセリン残基に変異置換した。この変異体にスピンラベル試薬を反応させたところ、何もラベル剤が付加されないことを確かめられた。またこの変異体の生化学的特性は野生型のものとは異なることも確認した。次にこの変異体をベースとして、柔軟性の実測をし

たい部位にひとつのシステイン残基の導入を行った。低温適応酵素、中温酵素の合計 24 種類のシステイン残基導入酵素を得ることに成功した。これら両酵素の構造ゆらぎの温度依存性を実測するため、各酵素にスピンラベル試薬を付加し、5℃～50 の範囲で 5 刻みで電子スピン共鳴測定を実施したところ、結晶構造解析で予想された構造の柔軟性の差異が溶液中の酵素でも確かめることに成功した。今後は本研究で得られた知見を他の酵素へ応用し、人工的に高活性・高熱安定性酵素の創出が可能であるか検証を行いたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Horitani Masaki, Kusubayashi Kazuki, Oshima Kyoka, Yato Akane, Sugimoto Hiroshi, Watanabe Keiichi	4. 巻 10
2. 論文標題 X-ray Crystallography and Electron Paramagnetic Resonance Spectroscopy Reveal Active Site Rearrangement of Cold-Adapted Inorganic Pyrophosphatase	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1~12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-61217-6	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 Minghao Chen, Masato Ishizaka, Shun Narai, Masaki Horitani, Naoki Shigi, Min Yao, Yoshikazu Tanaka	4. 巻 168
2. 論文標題 The [4Fe-4S] cluster of sulfurtransferase TtuA desulfurizes TtuB during tRNA modification in <i>Thermus thermophilus</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Biology	6. 最初と最後の頁 1~10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s42003-020-0895-3	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 Shigi Naoki, Horitani Masaki, Miyauchi Kenjyo, Suzuki Tsutomu, Kuroki Misao	4. 巻 26
2. 論文標題 An ancient type of MnmA protein is an iron-sulfur cluster-dependent sulfurtransferase for tRNA anticodons	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RNA	6. 最初と最後の頁 240~250
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1261/rna.072066.119	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 Takeda Hanae, Kimura Tetsunari, Nomura Takashi, Horitani Masaki, Yokota Azusa, Matsubayashi Akiko, Ishii Shoko, Shiro Yoshitsugu, Kubo Minoru, Toshi Takehiko	4. 巻 93
2. 論文標題 Timing of NO Binding and Protonation in the Catalytic Reaction of Bacterial Nitric Oxide Reductase as Established by Time-Resolved Spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 825~833
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1246/bcsj.20200038	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 Ishida Konan, Tsukamoto Yuya, Horitani Masaki, Ogawa Tomohisa, Tanaka Yoshikazu	4. 巻 85
2. 論文標題 Biochemical properties of CumA multicopper oxidase from plant pathogen, <i>Pseudomonas syringae</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 1995 ~ 2002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/bbb/zbab123	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 Nagasawa Tomotaka, Horitani Masaki, Kawaguchi Shin ichi, Higashiyama Shigeki, Hama Yoichiro, Mitsutake Susumu	4. 巻 11
2. 論文標題 The molecular mechanism of phytosphingosine binding to FFAR4/GPR120 differs from that of other fatty acids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 FEBS Open Bio	6. 最初と最後の頁 3081 ~ 3089
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2211-5463.13301	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37件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Haruna Ninomiya, Tsubasa Okamoto, Kana Nishikawa, Susumu Okubo, Eiji Omichi, Hiroshi Fujii, Hitoshi Ohta, Masaki Horitani
2. 発表標題 Development of Advanced THz ESR Spectroscopy for Heme Proteins with Integer Spin System
3. 学会等名 Awaji Island Conference on Electron Spin Science & Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Horitani, Hiroshi Sugimoto, Keiichi Watanabe
2. 発表標題 EPR Spectroscopy Reveals the Active Site Rearrangement of Di-Mn ²⁺ Center by Substrate Binding in Inorganic Pyrophosphatase from <i>Shewanella</i> sp. AS-11
3. 学会等名 Awaji Island Conference on Electron Spin Science & Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Horitani
2. 発表標題 Electron Paramagnetic Resonance Reveals Cold Adaption Mechanism of the Psychrophilic Metalloenzyme
3. 学会等名 第19回日本蛋白質科学会年会、第71回日本細胞生物学会大会 合同年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 二宮 春菜, 岡本 翔, 西川 佳那, 大久保 晋, 大道 英二, 藤井 浩, 太田 仁, 堀谷 正樹
2. 発表標題 先端テラヘルツESR装置開発によるヘムタンパク質研究の新展開
3. 学会等名 九重分子科学セミナー2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Horitani, Hiroshi Sugimoto, Keiichi Watanabe
2. 発表標題 Cold Adaption Inorganic Pyrophosphatase from <i>Shewanella</i> sp. AS-11 was Investigated the Reaction Mechanism by X-ray Crystallography and Electron Paramagnetic Resonance Spectroscopy
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry (ICPAC) Yangon 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀谷 正樹
2. 発表標題 ラジカルSAM酵素におけるラジカル反応機構～自然界はどのようにしてラジカルを安全に利用しているか～
3. 学会等名 2019年度第一回水和ナノ構造研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀谷 正樹, 楠林 和貴, 大嶋 杏佳, 杉本 宏, 渡邊 啓一
2. 発表標題 好冷細菌由来無機ピロフォスファターゼの低温適応機構
3. 学会等名 第58回NMR討論会・SEST2019連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀谷 正樹, 杉本 宏, 渡邊 啓一
2. 発表標題 好冷細菌由来無機ピロフォスファターゼの低温適応機構・熱安定性機構
3. 学会等名 日本生体エネルギー研究会 第45回討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢埜 紅音, 浅香 里緒, 渡邊 啓一, 堀谷 正樹
2. 発表標題 好冷細菌由来グルコキナーゼの低温適応・高熱安定性機構の解明
3. 学会等名 日本生体エネルギー研究会 第45回討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Horitani
2. 発表標題 Electron Paramagnetic Resonance Spectroscopy Investigates Di-Manganese(II) Active Site of Inorganic Pyrophosphatase from <i>Shewanella</i> sp. AS-11
3. 学会等名 19th Malaysian International Chemistry Congress and International Congress on Pure & Applied Chemistry Langkawi 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Horitani
2. 発表標題 EPR Studies Reveal Mn(II)-Mn(II) Distance in the Active Site of Inorganic Pyrophosphatase from <i>Shewanella</i> sp. AS-11
3. 学会等名 The Third Joint Conference of the Asia-Pacific EPR/ESR Society and The International EPR (ESR) Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀谷 正樹、榊原 由季、渡邊 啓一
2. 発表標題 Structural Analysis on di-Mn ion site for <i>Shewanella</i> Inorganic Pyrophosphatase by EPR
3. 学会等名 第56回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀谷 正樹
2. 発表標題 電子常磁性共鳴法による低温適応酵素無機ピロフォスファターゼの複核Mnイオンサイトの構造解析
3. 学会等名 九重分子科学セミナー2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤 侑希、林 芙由子、渡邊 啓一、堀谷 正樹
2. 発表標題 低温適応酵素グルコキナーゼの低温適応機構の解明
3. 学会等名 第42回蛋白質と酵素の構造と機能に関する九州シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀谷 正樹
2. 発表標題 テラヘルツ ESR 法による金属タンパク質の電子状態研究
3. 学会等名 平成30年度神戸大学分子フォトサイエンス研究センター共同利用研究成果報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masato Ishizaka, Minghao Chen, Syun Narai, Masaki Horitani, Seiko Oka, Yoshikazu Tanaka, Min Yao
2. 発表標題 Elucidation of the tRNA thiolation mechanism of TtuA involved in Fe-S cluster
3. 学会等名 第56回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 嶋 直樹、姫野 美沙緒、堀谷 正樹
2. 発表標題 新規な酸素感受性tRNA硫黄化酵素の機能解析
3. 学会等名 極限環境生物学会2018年度（第19回）年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Horitani, Hiroshi Sugimoto, Keiichi Watanabe
2. 発表標題 X-ray Crystallography and EPR Spectroscopy Reveal Active Site Rearrangement of Cold-Adapted Inorganic Pyrophosphatase
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 矢埜 紅音, 堀谷 正樹
2. 発表標題 Cold Adaptation and High Thermal Stability Mechanism of Glucokinase from psychophillic bacteria are revealed by spin-labeling ESR
3. 学会等名 第58回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀谷 正樹, 大嶋 杏佳, 矢埜 紅音, 杉本 宏, 渡邊 啓一
2. 発表標題 X線結晶構造解析および高速混合凍結・電子常磁性共鳴法による南極由来低温適応酵素の静的・動的構造解析
3. 学会等名 極限環境生物学会2020年度(第21回)年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢埜 紅音, 渡邊 啓一, 堀谷 正樹
2. 発表標題 南極産好冷細菌由来グルコキナーゼの低温適応・高熱安定性機構の解明
3. 学会等名 極限環境生物学会2020年度(第21回)年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂本 貫太郎, 杉本 宏, 堀谷 正樹
2. 発表標題 南極産好冷細菌由来ピロフォスファターゼのX線結晶構造解析による低温適応機構の解明
3. 学会等名 極限環境生物学会2020年度(第21回)年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀谷 正樹
2. 発表標題 高速混合凍結EPR法による低温適応酵素の低温適応機構解析
3. 学会等名 電子スピンサイエンス学会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 二宮 春菜, 西川 佳那, 藤井 浩, 岡本 翔, 高橋 英幸, 大久保 晋, 大道 英二, 太田 仁, 堀谷 正樹
2. 発表標題 整数スピン系ヘムタンパク質研究に応用可能な先端テラヘルツESR装置開発
3. 学会等名 電子スピンサイエンス学会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢埜 紅音, 堀谷 正樹
2. 発表標題 好冷細菌由来グルコキナーゼの低温適応・高熱安定性機構の解明
3. 学会等名 電子スピンサイエンス学会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaki Horitani, Haruna Ninomiya, Hideyuki Takahashi, Tsubasa Okamoto, Kana Nishikawa, Susumu Okubo, Eiichi Omichi, Hitoshi Ohta
2. 発表標題 Advanced High Field and THz ESR Spectroscopic Studies on Heme Proteins with Integer Spin System
3. 学会等名 The 8th International Workshop on Far-Infrared Technologies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢埜 紅音, 浅香 里緒, 杉本 宏, 渡邊 啓一, 堀谷 正樹
2. 発表標題 動的・静的構造解析による南極産好冷細菌由来グルコキナーゼの低温適応・高熱安定性機構の解明
3. 学会等名 第47回生体分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 丸岡 早紀, 馬込 栄輔, 瀬戸山 寛之, 河本 正秀, 堀谷 正樹, 渡邊 啓一
2. 発表標題 急速凍結XAFS分光法による低温適応無機ピロフォスファターゼの金属活性中心の局所構造解析
3. 学会等名 第47回生体分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本 寛太郎, 杉本 宏, 渡邊 啓一, 堀谷 正樹
2. 発表標題 X線結晶構造解析法による低温適応無機ピロフォスファターゼの触媒活性機構の解明
3. 学会等名 第47回生体分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀谷 正樹, 杉本 宏, 渡邊 啓一
2. 発表標題 急速凍結EPR法およびX線結晶構造解析法による好冷細菌由来無機ピロフォスファターゼの低温適応機構の解明
3. 学会等名 第47回生体分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaki Horitani, Yuri Kasu, Hiroshi Sugimoto, Keiichi Watanabe
2. 発表標題 Analysis on Cold Adaptation Mechanism of Metalloenzyme by X-ray Crystallography and EPR Spectroscopy Combined with Rapid Freeze-Quench
3. 学会等名 22nd International Society of Magnetic Resonance, 9th Asia-Pacific NMR Symposium (APNMR9) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akane Yato, Rio Asaka, Hiroshi Sugimoto, Keiichi Watanabe, Masaki Horitani
2. 発表標題 X-ray Crystallography and Site-Directed Spin-Labeling ESR Reveal Cold Adaptation and High Thermal Stability Mechanisms of Cold-Adapted Glucokinase
3. 学会等名 22nd International Society of Magnetic Resonance, 9th Asia-Pacific NMR Symposium (APNMR9) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 丸岡 早紀, 馬込 栄輔, 瀬戸山 寛之, 河本 正秀, 堀谷 正樹, 渡邊 啓一
2. 発表標題 急速凍結XAFS法による低温適応無機ピロフォスファターゼの温度特性機構の解明
3. 学会等名 第24回XAFS討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀谷 正樹, 前田 理紗, 大貝 茂樹, 福田 雅一, 屋 宏典, 杉本 宏
2. 発表標題 Structural Insights into Catalytic Reaction Mechanism for bifunctional enzyme, Mimosine Synthase, from <i>Leucaena leucocephala</i>
3. 学会等名 第59回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢埜 紅音, 浅香 里緒, 杉本 宏, 渡邊 啓一, 堀谷 正樹
2. 発表標題 X-ray crystallography and spin-labeling ESR reveal cold adaptation and high thermal stability mechanisms of cold-adapted glucokinase
3. 学会等名 第59回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kantaro Sakamoto, Hiroshi Sugimoto, Masaki Horitani
2. 発表標題 Crystal Structure of Soluble Family II Inorganic Pyrophosphatase Revealed the Mechanism of Catalysis and Structure Dynamics
3. 学会等名 第59回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaki Horitani, Hiroshi Sugimoto, Keiichi Watanabe
2. 発表標題 X-ray Crystallography and Electron Paramagnetic Resonance Spectroscopy Reveal Active Site Rearrangement of Cold Adaptation Enzyme
3. 学会等名 The Internatinal Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021 (Pacifichem 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 堀谷 正樹	4. 発行年 2021年
2. 出版社 株式会社エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 564
3. 書名 生命金属ダイナミクス～生体内における金属の挙動と制御～第7章 方法論・第6節 "金属タンパク質のESR	

〔産業財産権〕

〔その他〕

佐賀大学農学部生命機能科学科分子生命化学分野堀谷研究室
<http://horitani.ag.saga-u.ac.jp/horitani/lab/index.html>
佐賀大学農学部生命機能科学科分子生命科学分野
<http://horitani.ag.saga-u.ac.jp/horitani/lab/index.html>

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	渡邊 啓一 (Watanabe Keiichi) (40191754)	佐賀大学・農学部・教授 (17201)	

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