

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25450121

研究課題名(和文) 微生物酵素の耐圧性に関わる構造的因子の解明

研究課題名(英文) Structural and physiological analyses of the pressure adaptation in the deep-sea enzyme.

研究代表者

加藤 千明 (KATO, Chiaki)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋生物多様性研究分野・シニアスタッフ

研究者番号：90360750

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：マリアナ海溝(水深10,898m)より分離された絶対好圧菌シェワネラベンティカ DB21MT-2株の作るアミノ酸生合成系の必須酵素、イソプロピルリンゴ酸脱水素酵素を材料に、変異酵素を作成してそれらの活性発現の耐圧性と高圧力下での構造相関性について解析した。その結果、絶対好圧菌酵素の活性中心の裏側くぼみ部分に位置する266番目のアミノ酸、アラニンが、酵素の耐圧性に重要な寄与をなしていることが示された。高圧下の立体構造を調べた結果、このくぼみ部分への加圧による水分子の侵入のしにくさが、この1個のアミノ酸の性質で影響を受け、深海由来絶対好圧菌酵素の活性発現の耐圧性を規定していることを明らかとした。

研究成果の概要(英文)：3-Isopropylmalate dehydrogenase (IPMDH) from the extreme piezophile *Shewanella benthica* (SbIPMDH) is more pressure-tolerant than that from the atmospheric pressure-adapted *Shewanella oneidensis* (SoIPMDH). To understand the molecular mechanisms of this pressure tolerance, we analyzed mutated enzymes. The results indicate that only a single mutation at position 266, corresponding to Ala (SbIPMDH) and Ser (SoIPMDH), essentially affects activity under higher-pressure (HP) conditions. 3D-structural analyses of SoIPMDH suggests that penetration of three water molecules into the cleft around Ser266 under HP conditions could reduce the activity of the wild-type enzyme; however, no water molecule is observed in the Ala266 mutant. Water penetration into the cleft under HP conditions would appear to be less frequent than for the atmospheric-adapted SoIPMDH due to the reduced probability of forming a hydrogen bond, and as a consequence, SbIPMDH could adapt to the HP conditions of the deep sea.

研究分野：微生物学、分子生物学

キーワード：高圧力 深海 微生物 酵素 構造解析

1. 研究開始当初の背景

深海微生物の生産する酵素やタンパク質は一般的に高い圧力下においても、高い活性を維持していることが知られている(①)。こうした加圧下での活性維持のメカニズムに関しては、いくつかの酵素に於いて、大気圧下に適応した微生物(大腸菌など)由来の相同酵素との比較が詳細に検討されており、基本的に酵素タンパク質の圧力下における活性化体積(ΔV^*)のレベルの差が、圧力下での活性の安定性に大きく寄与していることが解明されている(②, ③)。しかしながら、こうした活性化体積におけるレベルの差が、どういった構造的な差に起因するかは、現在のところ全くわかっていない。

一般的に酵素タンパク質は、水溶液中で水和状態にあってその中で活性を発現するものであるから、水分子との相互作用は活性発現にとってきわめて重要なファクターとなっている。そこで、加圧条件下での構造変化と水和する水分子の挙動を直接観測することを目的に、ダイヤモンドアンビルセル(DAC)を利用した、高圧 X 線結晶解析技術が開発された(④)。この技術では、水和状態で結晶化されたタンパク質を加圧セル内に入れて計測することにより、圧力下での立体構造解析を可能とした。Nagae らはこの技術を使って、イソプロピルリンゴ酸脱水素酵素の活性中心近傍の水分子が、加圧により活性中心側に入り込んできている様子を観察し、そうした水分子の浸入による酵素の構造変化が酵素の加圧による失活をもたらす可能性について報告している(④)。

本研究代表者らは、これまで深海環境に適応した微生物の探索を精力的に行い、これまで世界中で 2 種しか知られていなかった好圧性微生物から、新規に 9 つの新種の報告を行い、好冷・好圧性のグループとして 5 属 11 種にまとめ上げた(⑤)。同時に、こうした好圧性微生物が有する遺伝子発現の加圧応答するメカニズムや、タンパク質の加圧下での挙動等について精力的に研究を進めてきた(⑥)。こうした研究実績を踏まえて、これらの深海適応したタンパク質のどういった構造的な特徴が、加圧下での活性維持や安定性に寄与するのかという問題を解明するため、本研究を実施した。

2. 研究の目的

微生物の作る酵素は、その性質が微生物の生育環境に適応している。また、圧力条件は酵素タンパク質の 3 次元的な構造に影響を及ぼし、その活性を大きく変化させることが知られている。本研究では、こうした知見に基づき、圧力環境に適応した好圧性微生物および常温・大気圧環境に適応した通常微生物の酵素を材料として、これらの酵素の活性と加圧下での構造変化との相関関係を比較し、圧力付加に対して、どのような構造の変化が酵素活性の安定化をもたらすのか解明するこ

とを目的とした。こうした解析により、酵素構造の圧力耐性に関する一般法則を導き出し、将来的に酵素の耐圧化に向けた応用研究の分野を開拓することが期待される。

3. 研究の方法

本研究の実験材料としては、比較的酵素的な知見の多いロイシン生合成経路のキー酵素であるイソプロピルリンゴ酸脱水素酵素(isopropyl-malate dehydrogenases; 以下 IPMDH)を用い、好圧菌、常圧菌から取得された同酵素の、加圧下での活性特性を明らかにする。その後、各酵素タンパク質を結晶化し、それぞれの加圧下での 3D 構造の変化を調べ、いかなる構造が酵素活性の耐圧性に寄与するのかを解析する。更に、ポイントミューテーションなどの方法で変異酵素を作成し、アミノ酸置換による同酵素の耐圧化の試みも行った。

本研究遂行のための酵素材料としての IPMDH は、すでに遺伝子取得がなされている以下の菌株由来のものを用いた。

- ・絶対好圧菌、*Shewanella benthica* DB21MT-2 (⑦; マリアナ海溝分離株、70MPa に至適、50MPa 以下では生育できない) 由来の SbIPMDH

- ・常圧菌、*Shewanella oneidensis* MR-1 (⑧; 湖水環境から分離、ゲノム配列決定、大気圧下に至適) 由来の SoIPMDH

各酵素ならびに構築された変異酵素遺伝子は、大腸菌大量発現ベクター系にて発現させ、同酵素の精製を行った。

精製酵素の加圧下での活性測定ならびにカイネティック解析は、本研究代表者が所属する国立研究開発法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)が保有する、温度制御装置付き高圧分光光度計を用いて実施した。また、加圧下での酵素の構造の安定性を調べるため、必要に応じて同機構の有する高圧蛍光光度計を利用した。

各酵素並びに変異酵素の結晶化並びに加圧下での結晶構造解析は、X 線結晶構造解析の実績を有する名古屋大学シンクロトロン光研究センター渡邊研究室にて実施した。

4. 研究成果

本研究代表者らは、マリアナ海溝チャレンジャー海淵より分離された絶対好圧菌 *Shewanella benthica* DB21MT-2 株の耐圧性の酵素蛋白質、SbIPMDH について、アメリカのオネイダ湖で分離された常圧菌 *Shewanella oneidensis* MR-1 の SoIPMDH をコントロールの常圧酵素として加圧下の活性を比較した。常圧酵素 SoIPMDH と絶対好圧菌の深海酵素 SbIPMDH とはアミノ酸配列や立体構造はほとんど同様であった(⑨)が、前者は 150 MPa では活性が 50%程度まで減少する圧力感受性であるのに対して、後者は 90%近くの活性を維持している耐圧性酵素であった。そこで、これらの酵素を N 末端部分と活性中心を含

む中央部分、およびC末端部分との3つのドメインに分解し、それぞれのキメラ酵素を作って、加圧下での活性プロファイルと比較した。その結果、活性中心を含む中央部分に酵素の耐圧性を規定する構造が存在することを明らかとした(⑩)。

そこで、これらの蛋白質を結晶化し、DACとシンクロトン放射光の高エネルギー高輝度のX線を用いて、高压条件下における結晶蛋白質の立体構造を調べたところ、常圧菌の酵素 SoIPMDH において、高圧力によってその活性中心部位の裏側のくぼみの部分に水分子がクサビのように割込んで挿入されている様子がみられた。その水分子の場所を確認すると、266番目のアミノ酸付近に存在し、そこは常圧菌では Ser であった。絶対好圧菌ではこの266番目のアミノ酸が Ala であったことから、常圧菌の酵素の Ser を Ala に置き換えた人工変異型酵素 (SoIPMDH-S266A) を作成し高圧分光光度計を用いてその加圧下での活性を調べたところ、絶対好圧菌酵素並の耐圧性を獲得していることが明らかとなった。また、逆に絶対好圧菌酵素の Ala を Ser に置換した変異型酵素 (SbIPMDH-A266S) を作って、加圧下での活性を調べると、耐圧性を失っていた。すなわち、本酵素の全体で364個のアミノ酸のうち、たった1つのアミノ酸の違いで深海型酵素が常圧型酵素になり、逆に常圧型酵素が深海型酵素になったりする事が明らかとなった(図1)。

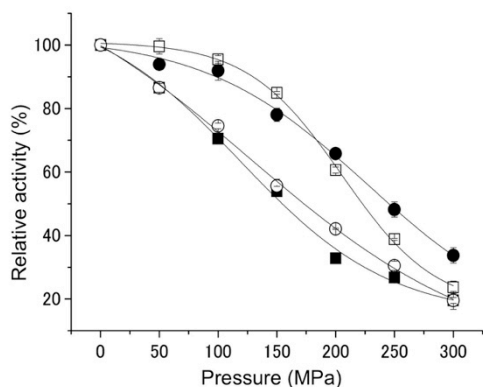


図1. 各 IPMDH の加圧下の活性比較。
●: SbIPMDH, ○: SbIPMDH-A266S,
■: SoIPMDH, □: SoIPMDH-S266A

さらに、これらの変異型酵素を結晶化し高圧下における立体構造を調べたところ、266番目のアミノ酸が常圧酵素型の Ser の場合、活性中心の裏側に存在するくぼみ部分に3つの水分子が留まるのに対し、深海酵素型の Ala の場合は、これらの水分子が留まることが観測された。つまり常圧酵素が圧力に対して感受性であるのは、加圧条件下においてこのくぼみ部分に水分子がクサビ状に浸入し、親水性アミノ酸の Ser と水素結合することによって、活性中心をはさむドメイン間のヒンジの動きが抑制されることで、酵素活性が阻害されるという現象が起こったから

と推定された。それに対して深海酵素ではこの部分が疎水性アミノ酸の Ala であるため、加圧下でも水分子が結合できずクサビ状に留まらないため、活性発現に重要な分子の柔軟性が補償されているというメカニズムが示された(図2、⑪)。

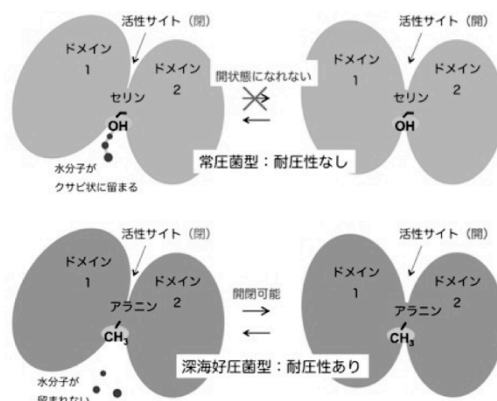


図2. 常圧型酵素(上)と深海型酵素(下)の加圧下における水分子侵入モデル。常圧型酵素の場合、加圧によりくぼみ部分のセリンに水分子が水素結合して留まってしまうため、IPMDH 分子の運動性が抑制され活性が減少する。深海型酵素の場合は疎水性のアラニンであるため水分子が水素結合できず、くぼみ部分に留まらないため活性中心の開閉はスムーズに行われることで高圧下でも反応が進行する。

これまで長い間、深海生物の深海高圧下への適応戦略というのは、とても複雑で、いくつもの要素が絡み合っていると考えられてきたが、蛋白質個々の機能に焦点を当てれば、意外と単純にアミノ酸のレベルで議論ができることが示された。この結果から、高压構造解析のデータを利用して、既知の蛋白質に深海生物の耐圧機能を付加するという技術的な可能性を示すことができた。今後は、基礎研究の面からは、蛋白質における高压適応の一般則を導き出すという研究を推進するとともに、応用面としては、圧力利用のバイオテクノロジー分野において、工業利用酵素に耐圧性を付与するという技術開発がさらに進んでいくことが考えられる。さらには、食品科学分野等での加圧によるアレルギー物質の分解や除去、高压バイオリアクターへの利用などの展開も期待されている。

<引用文献>

- ① Kato, C., Sato, T., Abe, F., Ohmae, E., Tamegai, H., Nakasone, K., Siddiqui, K.S. and Thomas, T. (2008) Protein adaptation to high-pressure environments. In: Protein Adaptation in Extremophiles. Molecular Anatomy and Physiology of proteins series (Eds. Thomas, T. and Siddiqui, K.S.), Nova Science Publisher, New York, pp. 167-191.

- ② Murakami, C., Ohmae, E., Tate, S., Gekko, K., Nakasone, K. and Kato, C. (2011) Comparative study on dihydrofolate reductases from *Shewanella* species living in deep-sea and ambient atmospheric-pressure environments. *Extremophiles*, 15, 165-175.
- ③ Ohmae, E., Murakami, C., Tate, S., Gekko, K., Hata, K., Akasaka, K. and Kato, C. (2012) Pressure dependence of activity and stability of dihydrofolate reductases of the deep-sea bacterium *Moritella profunda* and *Escherichia coli*. *Biochim. Biophys. Acta*, 1824, 511-519.
- ④ Nagae, T., Kawamura, T., Chavas, L. M. G., Niwa, K., Hasegawa, M., Kato, C. and Watanabe, N. (2012) High-pressure-induced water penetration into 3-isopropylmalate dehydrogenase. *Acta Cryst.*, D68, 300-309.
- ⑤ Kato, C. (2011) 5.1 Distribution of piezophiles. In: "Extremophiles Handbook" (Eds. Horikoshi, K., Antranikian, G., Bull, A., Robb, F. and Stetter, K.), Springer-Verlag, Tokyo, pp. 643-655.
- ⑥ Kato, C. (2011) 5.2 High pressure and prokaryotes. In: "Extremophiles Handbook" (Eds. Horikoshi, K., Antranikian, G., Bull, A., Robb, F. and Stetter, K.), Springer-Verlag, Tokyo, pp. 657-668.
- ⑦ Kato, C., Li, L., Nogi, Y., Nakamura, Y., Tamaoka, J. and Horikoshi, K. (1998) Extremely barophilic bacteria isolated from the Mariana Trench, Challenger Deep, at a depth of 11,000 meters. *Appl. Environ. Microbiol.*, 64, 1510-1513.
- ⑧ Venkateswaran, K., Moser, D. P., Dollhopf, M. E., Lies, D. P., Saffarini, D. A., MacGregor, B. J., Ringelberg, D. B., White, D. C., Nishijima, M., Sano, H., Burghardt, J., Stackebrandt, E., and Nealson, K. H. (1999) Polyphasic taxonomy of the genus *Shewanella* and description of *Shewanella oneidensis* sp. nov. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 49, 705-724.
- ⑨ Nagae, T., Kato, C. and Watanabe, N. (2012) Structural analysis of 3-isopropylmalate dehydrogenase from the obligate piezophile *Shewanella benthica* DB21MT-2 and the nonpiezophile *Shewanella oneidensis* MR-1. *Acta Crystallogr.*, F48, 265-268.
- ⑩ Hamajima, Y., Nagae, T., Watanabe, N., Kato-Yamada, Y., Imai, T. and Kato, C. (2014) Pressure Effects on the Chimeric 3-Isopropyl Malate Dehydrogenases of the Deep-Sea Piezophilic *Shewanella benthica* and the Atmospheric Pressure Adapted *Shewanella oneidensis*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 78, 469-471.
- ⑪ Hamajima, Y., Nagae, T., Watabane, N., Ohmae, E., Kato-Yamada, Y. and Kato, C. (2016) Pressure adaptation of 3-isopropylmalate dehydrogenase from an extremely piezophilic bacterium is attributed to a single amino acid substitution. *Extremophiles*, 20, 177-186.
5. 主な発表論文等
- [雑誌論文] (計 7 件)
- ① 加藤千明 (2017) 【特集】生命科学における高圧力研究の異分野融合「深海世界と高圧力下の生命」高圧力の科学と技術、27 (1), 3-12. (査読有り)
- ② 大前英司, 宮下由里奈, 加藤千明 (2016) 【解説】酵素の構造安定性と機能におけるキャビティーと水和の役割—深海微生物由来酵素からの知見—. *Netsu Sokutei* 43 (2), 59-65. (査読有り)
- ③ 加藤千明 (2016) 【シリーズ解説】深海微生物の特徴と生産する酵素の高水圧適応メカニズム。食品と容器、第57巻第5号、282-288. (査読無し)
- ④ Hamajima, Y., Nagae, T., Watabane, N., Ohmae, E., Kato-Yamada, Y. and Kato, C. (2016) Pressure adaptation of 3-isopropylmalate dehydrogenase from an extremely piezophilic bacterium is attributed to a single amino acid substitution. *Extremophiles*, 20, 177-186. DOI:10.1007/s00792-016-0811-4. (査読有り)
- ⑤ 加藤千明 (2016) 【巻頭言】深海と生命 — 圧力生理学のスズメ—. 高圧力の科学と技術、26 (2), 83-84. (査読無し)
- ⑥ 永江峰幸、濱島裕輝、河村高志、丹羽健、長谷川正、加藤千明、渡邊信久 (2015) 高圧下蛋白質結晶構造解析法による蛋白質構造研究: 加圧による 3-isopropylmalate dehydrogenase の水和構造変化の観測と深海微生物由来酵素の圧力適応機構の解明。高圧バイオサイエンスとバイオテクノロジー (野村一樹、藤澤哲郎、岩橋均 編)、三恵社、名古屋、145-152。 (査読有り)
- ⑦ Hamajima, Y., Nagae, T., Watanabe, N., Kato-Yamada, Y., Imai, T. and Kato, C. (2014) Pressure Effects on the Chimeric 3-Isopropyl Malate Dehydrogenases of the Deep-Sea Piezophilic *Shewanella benthica* and the Atmospheric Pressure Adapted *Shewanella oneidensis*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 78, 469-471. DOI:10.1080/09168451.2014.890033. (査読有り)
- [学会発表] (計 28 件)
- ① Chiaki Kato, Yuki Hamajima, Takayuki Nagae, Nobuhisa Watanabe, Eiji Ohmae and Yasuyuki Kato-Yamada (Dec. 1, 2016) How are the deep-sea enzymes adapted to the high-pressure environment? 第39回日本分子生物学会年会、パシフィコ横浜、神奈

- 川島横浜市。(招待講演)
- ② 濱島裕輝、永江峰幸、渡邊信久、大前英司、山田康之、加藤千明 (2016年10月28日) 深海酵素における高圧力適応戦略。第57回高圧討論会、筑波大学会館、茨城県つくば市。
- ③ Chiaki Kato, Yuki Hamajima, Takayuki Nagae, Nobuhisa Watanabe, Eiji Ohmae and Yasuyuki Kato-Yamada (Sep. 15, 2016) Pressure Adaptation of the Deep-sea Enzyme Is Attributed to a Single Amino Acid Substitution. 11th International Congress on Extremophiles, 京都大学時計台センターアホール、京都府京都市。
- ④ Chiaki KATO (July 8, 2016) Invited lecture: Life in the Deep-Sea High-Pressure World. In “Environmental Microbiology”, Graduate School English Lecture, Tokyo Ins. Technol., 東京工業大学すずかけ台キャンパス、神奈川県横浜市。(招待講演)
- ⑤ Chiaki KATO (May 9, 2016) Invited lecture: Life in the High-Pressure World: High-pressure microbiology, it's advantage for future aspect-. Nat. Mar. Biodiv. Ins. Korea, Seocheon-gun, Chungcheongnam-do, Korea. (招待講演)
- ⑥ 加藤千明、濱島裕輝、永江峰幸、渡邊信久、大前英司、今井竹夫、山田康之 (2016年3月28日) 深海好圧性微生物由来酵素における高圧適応の分子・構造メカニズム。日本農芸化学会2016年大会、札幌コンベンションセンター、北海道札幌市。
- ⑦ 加藤千明 (2016年3月17日) 基調講演。深海世界と生命—高水圧の中のいのち—。未来を拓く高圧力科学技術セミナーシリーズ (41) 「生命科学における高圧力研究の異分野融合」、青山学院大学青山キャンパス、東京都渋谷区。(招待講演)
- ⑧ 加藤千明、西山雅祥 (2016年3月6日) 深海微生物の高圧適応戦略-酵素における適応と加圧下での運動観察-。2015年べん毛研究交流会、天童温泉・滝の湯、山形県天童市。
- ⑨ 加藤千明 (2016年1月25日) 深海酵素の圧力適応メカニズム。第10回長野ミーティング、ラフォーレ倶楽部白馬八方、長野県北安曇郡。
- ⑩ Chiaki KATO (June 22-23, 2015) Invited lectures: ① The Devices for sampling and isolation of piezophiles from the deep-sea environment, the DEEP BATH system. ② Isolation of piezophilic microorganisms, continue HP cultivation system, and artificial *in situ* systems. ③ Microbial diversity of the deep-sea piezophiles. ④ Pressure adaptation mechanisms in the deep-sea enzymes (piezozymes). HAST-Work Shop II, Hadal Science and Technology Research Center, Shanghai, China. (招待講演)
- ⑪ Chiaki KATO (June 9, 2015) Microbial diversity of the deep-sea piezophiles and their molecular mechanisms for pressure adaptation. HAST-Work Shop, Hadal Science and Technology Research Center, Shanghai, China. (招待講演)
- ⑫ Chiaki KATO (May 24, 2015) Keynote: Microbial diversity of the piezophilic microorganisms and the pressure adaptation mechanisms of the deep-sea enzymes. International Marine Microbiology Conference. Quindao, China. (招待講演)
- ⑬ 濱島裕輝、永江峰幸、渡邊信久、牧野龍、今井竹夫、山田康之、加藤千明 (2014年11月2日) 極限環境微生物のイソプロピルリンゴ酸脱水素酵素の耐圧性。第15回極限環境生物学会年会、今帰仁村コミュニティセンター、沖縄県黒頭郡。
- ⑭ 濱島裕輝、永江峰幸、渡邊信久、牧野龍、今井竹夫、山田康之、加藤千明 (2014年10月1日) 深海由来好冷好圧細菌のイソプロピルリンゴ酸脱水素酵素の耐圧性と律速反応について。特殊環境微生物セミナー2014、名古屋大学、愛知県名古屋市。
- ⑮ Chiaki Kato, Yuki Hamajima, Takayuki Nagae, Nobuhisa Watanabe and Yasuyuki Kato-Yamada (Sep. 16, 2014) Pressure adaptation of the deep-sea enzymes and discovery of the high-pressure X-ray systems. 4th International Workshop on Deep Sea Microbiology (DSM), Brest, France. (招待講演)
- ⑯ Yuki Hamajima, Takayuki Nagae, Ryu Makino, Nobuhisa Watanabe, Takeo Imai, Yasuyuki Kato-Yamada and Chiaki Kato (Sep. 10, 2014) Cause of the pressure adaptation of 3-isopropylmalate dehydrogenase from obligatory piezophile is attributed to just one amino acid substitution. 10th International Congress on Extremophiles, Saint Petersburg, Russia.
- ⑰ Chiaki Kato, Yuki Hamajima, Takayuki Nagae, Nobuhisa Watanabe and Yasuyuki Kato-Yamada (Sep. 10, 2014) Deep-sea enzymes and their structural features to the pressure adaptation. 10th International Congress on Extremophiles, Saint Petersburg, Russia.
- ⑱ Chiaki Kato, Yuki Hamajima, Takayuki Nagae, Nobuhisa Watanabe and Yasuyuki Kato-Yamada (Aug. 8, 2014) Pressure adaptation of the deep-sea enzymes and discovery of the high-pressure X-ray systems. Kochi Ins. Seminar, JAMSTEC Kochi Core Institute, 高知県南国市。
- ⑲ Chiaki KATO (Apr. 29-30, 2014) Microbial diversity of the deep-sea piezophilic microorganisms, and their pressure adapted mechanisms. International Symposium: THINKING BIG ABOUT SMALL

BEINGS: RECENT ADVANCES ON MICROBIAL DIVERSITY, ECOLOGY AND BIODISCOVERY, BIOTA+10, Sao Paulo, Brazil. (招待講演)

- ⑳ 濱島裕輝、永江峰幸、渡邊信久、牧野龍、山田康之、今井竹夫、加藤千明 (2014 年 3 月 28 日) 高度好熱菌 *Thermus thermophilus* の耐熱化イソプロピルリンゴ酸脱水素酵素の圧力耐性について。日本農芸化学会 2014 年度大会、明治大学、神奈川県川崎市。
- ㉑ 濱島裕輝、永江峰幸、渡邊信久、牧野龍、今井竹夫、山田康之、加藤千明 (2013 年 10 月 26 日) 深海由来好冷好圧性細菌のイソプロピルリンゴ酸脱水素酵素の高圧適応。第 14 回極限環境生物学会年会、明治大学、神奈川県川崎市。
- ㉒ 永江峰幸、濱島裕輝、河村高志、丹羽健、長谷川正、加藤千明、渡邊信久 (2013 年 10 月 11 日) 高圧下結晶構造解析法による深海好圧菌由来 IPMDH の耐圧機構の解明。特殊環境微生物セミナー2013、広島大学、広島県東広島市。
- ㉓ 濱島裕輝、永江峰幸、渡邊信久、牧野龍、今井竹夫、山田康之、加藤千明 (2013 年 10 月 11 日) 特殊環境微生物のイソプロピルリンゴ酸脱水素酵の耐圧性について。特殊環境微生物セミナー2013、広島大学、広島県東広島市。
- ㉔ 濱島裕輝、永江峰幸、渡邊信久、牧野龍、今井竹夫、山田康之、加藤千明 (2013 年 9 月 11 日) 深海由来好冷圧性細菌のイソプロピルリンゴ酸脱水素酵の耐圧性は 1 アミノ酸に起因する。第 86 回日本生化学会大会、パシフィコ横浜、神奈川県横浜市。
- ㉕ 永江峰幸、濱島裕輝、河村高志、丹羽健、長谷川正、加藤千明、渡邊信久 (2013 年 9 月 5-6 日) 高圧下結晶構造解析法による深海好圧菌由来 3-イソプロピルリンゴ酸脱水素酵素の圧力適応機構の解明。第 18 回生物関連高圧研究会シンポジウム、岐阜大学、岐阜県岐阜市。
- ㉖ 濱島裕輝、永江峰幸、渡邊信久、牧野龍、今井竹夫、山田康之、加藤千明 (2013 年 9 月 5-6 日) 深海由来好冷圧性細菌のイソプロピルリンゴ酸脱水素酵の耐圧性。第 18 回生物関連高圧研究会シンポジウム、岐阜大学、岐阜県岐阜市。
- ㉗ 濱島裕輝、永江峰幸、渡邊信久、牧野龍、今井竹夫、山田康之、加藤千明 (2013 年 6 月 1 日) 深海由来好冷圧性細菌のイソプロピルリンゴ酸脱水素酵の耐圧性の解明。第 15 回マリンバイオテクノロジー学会大会、琉球大学、沖縄県那覇市。
- ㉘ 加藤千明 (2013 年 7 月 6 日) 深海に生息する好圧性微生物における酵素の高水圧環境下への適応戦略と環境問題への応用。日本農芸化学会・関東支部例会、東京農業大学世田谷キャンパス、東京都世田谷区。(招待講演)

[図書] (計 2 件)

- ① 加藤千明 (監修) (2016) 【学研まんが、科学不思議クエスト】ブキミ生物出現、深海からの SOS! (まんが: 高田慎一郎)、175 ページ、学研プラス。
- ② 加藤千明、磯崎芳生、小平秀一、河野健 (編) (2014) 深海と地球の事典 (深海と地球の事典編集委員会編)、290 ページ、丸善出版。

[その他]

プレス発表

- ・ 2016 年 2 月 25 日、HUFFPOST 「アミノ酸 1 つの違いで深海適応」
http://www.huffingtonpost.jp/science-portal/bacteria-amino-acid_b_9301922.html
- ・ 2016 年 2 月 23 日、日刊工業新聞朝刊 23 面に記事掲載「高耐圧機構を解明、1 個のアミノ酸が関与」
- ・ 2016 年 2 月 19 日、立教大学ニュース「マリアナ海溝の底に生きる深海生物の酵素タンパク質の耐圧性のメカニズム～たった 1 個のアミノ酸の違いで酵素の耐圧性が変わる～」
<http://www.rikkyo.ac.jp/news/2016/02/17404.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 千明 (KATO, Chiaki)
国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋生物多様性研究分野・シニアスタッフ
研究者番号: 90360750

(2) 連携研究者

渡邊 信久 (WATANABE, Nobuhisa)
名古屋大学・シンクロトロン光研究センター・教授
研究者番号: 70212321

山田 康之 (YAMADA, Yasuyuki)
立教大学・理学部・教授
研究者番号: 80386507