

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K15787

研究課題名（和文）線虫の低温耐性を改善する不凍タンパク質の生体内作用機序の解明

研究課題名（英文）Mechanism of antifreeze proteins for improving the freezing- and cold-tolerance in the nematode *Caenorhabditis elegans*

研究代表者

倉持 昌弘 (Kuramochi, Masahiro)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教

研究者番号：60805810

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：不凍タンパク質（Antifreeze Protein: AFP）は、氷結晶成長阻害というユニークな機能を持ちます。様々なAFPを線虫*C. elegans*に遺伝子導入したところ、氷の発生しない非凍結温度域でも低温耐性の改善が見られ、氷とAFPの作用ではない新たな機能が働く可能性が出てきました。このメカニズムを探るため、変異AFPを線虫に遺伝子導入し、非凍結温度における線虫低温耐性を観察しました。さらに、蛍光イメージングにより、AFP発現量、細胞レベルの観察も実施した結果、非凍結温度においても、AFPの構造的特徴と線虫低温耐性の間に一定の関係性があることを見出しました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

不凍タンパク質（AFP）を利用した生体組織の低温保存法が期待されています。一方、その機能を生体レベルで検証する取り組みは少ないです。本研究では、非凍結温度における線虫低温耐性を調べることで、低温保存に有効なAFPの特徴を探索しました。複数のAFP変異体を用いた解析から、線虫低温耐性とAFP機能の関係性を示すことができ、生体組織の低温保存に有益なAFP性能の基礎科学知見を得ることができました。

研究成果の概要（英文）：Antifreeze Protein (AFP) has a unique function for inhibiting the ice crystal growth. Interestingly, transgenic *Caenorhabditis elegans* expressing AFP at body wall muscles could survive at unfrozen low temperatures. AFP expressing transgenic-worms had cold tolerance. AFP probably has a function at unfrozen low temperatures for improving the cold tolerance of worms. It is not the ice-AFP interaction. To observe the AFP mechanism in vivo, several AFP mutants were introduced at body wall muscles in *C. elegans*. We then evaluated the cold tolerance of those transgenic worms at unfrozen low temperatures. In addition, we analysed AFP expression level and cellular damages by fluorescence imaging. We found that AFP function for inhibiting ice crystal growth correlates with the cold tolerance of worms at unfrozen low temperature.

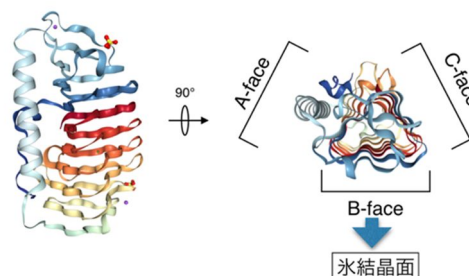
研究分野：生物物理

キーワード：不凍タンパク質 線虫 低温耐性 熱ヒステリシス 氷晶結合面 蛍光イメージング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

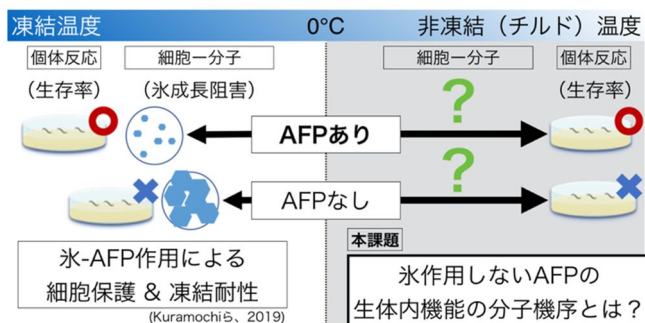
北極など極地の生物は、過酷な低温環境下を生き抜く方法として「不凍タンパク質 (Antifreeze Protein: AFP)」を利用することが知られている。X線結晶構造解析やNMRなどから、AFP分子の立体構造が解かれ、機能と構造の関係性が明らかになってきている。AFP分子は、構造的特徴を利用して氷晶と結合することで、氷晶同士の結合を防ぎ、氷の結晶成長を抑制する。例えば、担子菌由来AFPは、氷と結合するB-face、親水性のA,C-faceをもつことが明らかになっている。このユニークな特性は産業界でも注目されており、一部のAFPは製品化されている。凍結温度でも微小結晶サイズの氷を維持できるため、食品の凍結損傷を防いで鮮度をキープできるということで高い関心を集めている。特に医療分野において、細胞や組織の保存への応用が期待されており、これら保存技術確立のためには、生体内におけるAFP作用メカニズムの理解が重要な基礎科学知見となる。



不凍タンパクの結晶構造。A, B, C-faceから構成される。B-face面が氷に吸着する性質をもつ。

2. 研究の目的

研究代表者は、これまでモデル動物線虫 *C. elegans* に着目し、さまざまな生物由来のAFPを線虫に遺伝的に発現させ、低温耐性や細胞保護機能について調べてきた。その結果、AFPによる氷晶成長の抑制機能が、線虫体内でも有効に働くことを発見した。驚くべきことに、線虫生存率は野生型が7%程度なのに対して、AFPを発現する線虫は70%以上と10倍以上の凍結耐性を示すことがわかった。また、細胞損傷も少ないこともわかった。氷の成長阻害は、AFPの熱ヒステリシス活性(過冷却状態を維持できる温度)で説明でき、AFPの機能活性指標として用いられる。熱ヒステリシス値の低い変異AFPを線虫に遺伝子発現させたところ、線虫生存率も著しく低下することがわかり、熱ヒステリシス活性が個体レベルでも重要な指標であることもわかった。一方で、氷の発生しない非凍結温度でもAFPが機能する興味深い結果を得た。非凍結温度におけるAFPの作用メカニズムについてはよくわかっていない。本課題では、この非凍結温度において、線虫の低温耐性や細胞保護を引き起こすAFP分子の作用機序の解明を目指す。熱ヒステリシス活性に着目し、種々の変異AFPを線虫に遺伝子発現させ、非凍結温度域における低温耐性の観察や蛍光イメージングによる細胞レベルの可視化解析から、AFP分子の特異構造に起因した生体内機能を明らかにする。



3. 研究の方法

非凍結温度における線虫低温耐性に寄与するAFP機能を調べるため、AFP分子の特異構造に着目した。AFPの氷晶結合面が氷晶以外、例えば細胞膜とも容易に結合でき、これが非凍結の低温環境でも細胞内液の漏洩を防いで、細胞機能の維持や低温耐性改善を引き起こしたのではないかと考えた。最近、AFPの氷結合サイトは、水分子を介して氷と結合するというモデルが提唱され、今最も注目を浴びている(Sunら、2014など)。AFPの氷結合面上に形成される水分子ネットワーク構造が鍵を握ると考えられている。このアイデアに基づくと、AFP分子は氷晶だけでなく、様々な構造体とも容易に作用できる可能性がある。例えば、細胞膜上に存在するタンパク質分子や脂質膜の界面上に形成される水分子集合体

と瞬時に、素早くかつ正確に作用できる可能性が考えられる。先行研究では、AFP 氷結合サイトに様々な変異導入により形成される水分子ネットワークの構造が調べられ、機能への影響が示唆されている (Mahatabuddin ら、2018)。

本研究では、この変異 AFP を発現した線虫の低温耐性 (図 1) を観察することで、水分子ネットワーク構造と低温耐性の相関を検証する。AFP 氷結合サイトに起因する「水分子ネットワーク構造」が、細胞膜との作用の鍵を握るかを検証する。また、in vitro な実験から人工細胞膜に AFP が結合すると、細胞膜の流動性を安定化させ、細胞内液の漏洩を防ぐというモデルが提案されている (Tomczak ら、2002)。線虫体内においても AFP が細胞内の各種イオンや組成物の漏洩を防げるのか、蛍光イメージングによる AFP 発現量、低温による細胞損傷を定量評価する。

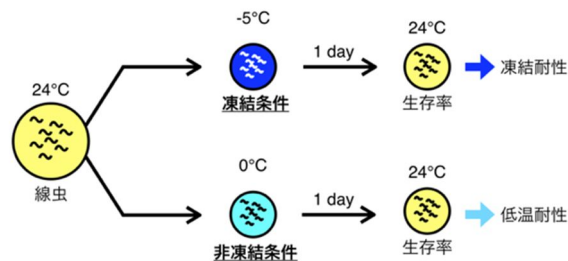


図1. 線虫を利用した不凍タンパク質分子評価法。線虫の卵から成虫になるまで3日間、24°Cの寒天培地プレートで飼育し、-5、2°Cの凍結・低温環境に24時間曝露し、その後室温に戻し、実体顕微鏡下で生存率をカウントした。

4. 研究成果

(1) 凍結温度域(-5)における線虫凍結耐性

N2 株線虫 (標準株) と、体壁筋に魚由来不凍タンパク質 NfeAFP6 を遺伝子発現させた線虫を3日間24 で飼育し、成虫になった後、24時間-5 凍結環境に曝露した。その後、室温に戻し、線虫生存率を評価した(図1)。線虫の生死判定は、白金線で頭部を刺激し、それに対する反応の有無で評価を行った。コントロールの N2 標準株の生存率が7.3%に対して、NfeAFP6 を遺伝子発現した線虫の生存率は25.0%と、AFP を遺伝子発現する線虫の生存率が有意に高かった(図2)。NfeAFP6 の不凍活性指標である「熱ヒステリシス」は0.0 (2.0mM)であり、不凍タンパク質の中で活性が低い種類である。しかし、生体内においては凍結抑制能が発揮していることが、このデータから示唆される。凍結時の不凍タンパク質機能である「氷晶成長の抑制」によって、細胞内液が凍結しにくく、細胞内の氷晶ストレスが少ないため、生存率が上がっている可能性が考えられる。

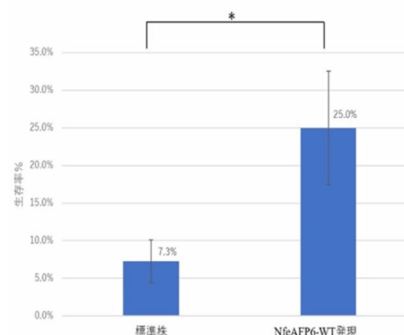


図2. -5°C曝露後の線虫の生存率。不凍タンパク質分子を遺伝子発現した線虫 (NfeAFP6-WT発現) は、標準株よりも生存率が有意に上昇した。

(2) 非凍結温度における線虫の低温耐性

N2 株線虫 (標準株) と、体壁筋に NfeAFP6 を遺伝子発現させた線虫を24時間、2 の凍結環境に曝し、その生存率を評価した。標準株の生存率が18.5%に対して、NfeAFP6 野生型の生存率は49.5%であった。A20G 変異型を発現する線虫の生存率は52.0%、A20T 変異体は79.6%、A20 変異体は56.7%、A20I 変異体の生存率は71.6%と、標準株と比べ、生存率がいずれも有意に高かった。また低温耐性の改善効果は AFP 変異体によって異なり、WT < A20G < A20V < A20I < A20T であった (図3)。NfeAFP6 の各種変異体と野生型を比較すると、A20T 変異体、A20V 変異体、A20I 変異体が高い生存率を示し、特に A20T、A20I 変異体は70%を超える高い

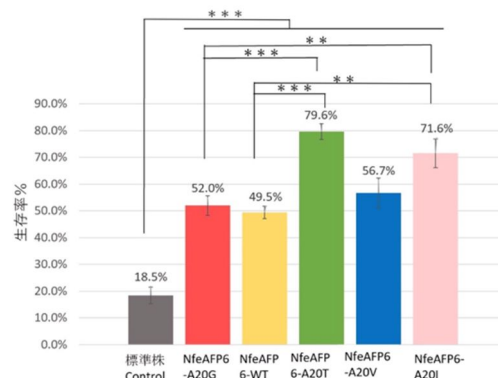


図3. 2°C (非凍結温度条件) に曝露後の線虫の生存率。不凍タンパク質分子を遺伝子発現した線虫は、標準株よりも有意に生存率が高い。また、不凍タンパク質の1変異によっても線虫生存率が変わることも発見した。

低温耐性を示した。一方で、A20G 変異体と NfeAFP6 野生型は、A20T、A20I に比べて、有意に生存率が低いことがわかった。興味深いことに、2 という非凍結温度でも、線虫の低温耐性が改善され、かつ変異 AFP によって効果が異なっていた。氷が発生していないため、不凍タンパク質の氷成長阻害効果ではない。これまでに、AFP による細胞の脂質二重膜の保護作用について、複数の研究が行われている。低温時の細胞膜固化や細胞損傷、それによる細胞内液・外液の異常流入出を AFP が防ぐことが示唆されており、2 における線虫低温耐性の改善は、AFP による細胞保護機能が働いた可能性が高い。

(3) 変異 AFP と線虫低温耐性の関係

つぎに、NfeAFP6 変異体間の低温耐性の違いについて、より詳細な考察をした。図 3 に示すように、A20T 変異体、A20V 変異体、A20I 変異体の 3 つの AFP 分子の不凍活性（氷晶成長抑制）は強く、A20G 変異体と野生型は活性が弱い。今回、不凍活性が強い変異体を発現する線虫は、非凍結低温でも高い生存率を示す傾向があった。非凍結環境の線虫低温耐性の向上は、AFP の氷晶成長抑制に起因した機能ではないが、NfeAFP6 の不凍活性効果と線虫低温耐性の関係は一定の相関をもつように思われた（図 4）。NfeAFP6 は、氷への吸着時に、氷結面に形成される水分子ネットワークの構造が不凍機能（氷晶との結合能力）を決定する要素と考えられている。今回我々が得た結果は、NfeAFP6 上の氷結面のわずかな構造的差異が、非凍結環境の個体活動という生体システム全体に影響し、低温耐性改善を導いたものと捉えることができる。不凍機能を制御する NfeAFP6 タンパク質分子の構造的特徴は、非凍結時の細胞に対して何らかの作用をもち、低温環境下における耐性改善の重要な役割を果たす可能性が高い。この作用については、個体レベルの評価だけでなく、AFP 発現量や、細胞レベルでの AFP 作用の検証が必要となる。また、A20V 変異体は、不凍活性が強いと知られているにもかかわらず、2 で線虫に対しては A20T、A20I ほど強い効果がなく、さらなる詳細な検証が必要である。

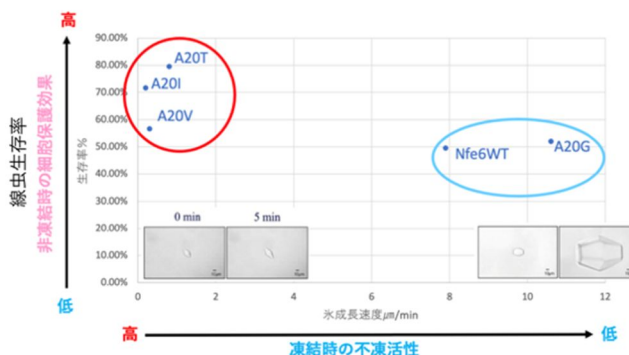


図4. 不凍タンパク質の不凍機能（不凍活性）と線虫生存率との関係。不凍機能が高いものほど線虫生存率も高い。非凍結温度においても不凍機能との一定の相関が得られた。

(4) 導入遺伝子の発現量

本実験では、線虫に遺伝子発現した AFP 効果を、生存率という個体レベルの評価を行った。その結果、AFP が線虫低温耐性を改善することを見出した。また、NfeAFP6 WT (野生型)、および各変異体によって、その効果が違うことも示した。NfeAFP6 変異体は、20 番目のアミノ酸だけが異なり、この 1 アミノ酸変異が低温耐性の効果の違いをもたらした可能性がある。しかし一方で、AFP の効果はその濃度に依存して変化し、高濃度ほど効果が高くなることが知られている。ゆえに、導入遺伝子の発現量も線虫の低温耐性獲得に影響する要素である。そこで、NfeAFP6 発現量と線虫低温耐性の関係を調べた。これまでの低温耐性観察で用いた線虫は、NfeAFP6 不凍タンパク質と蛍光タンパク質をフュージョンした複合体を遺伝子発現しているため、蛍光タンパク質の蛍光強度値から NfeAFP6

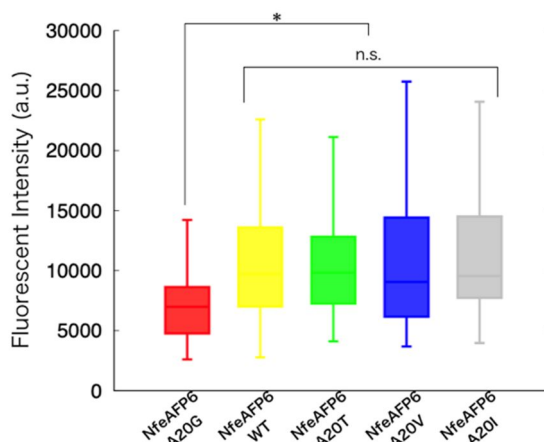


図5. 不凍タンパク質の発現量。蛍光タンパク質 wrmScarlet と不凍タンパク質をフュージョンしているため、wrmScarlet の蛍光強度値から発現量を評価した。その結果、発現量と生存率に相関は認められなかった。

発現量を評価できる。NfeAFP6 A20G 変異体を除く NfeAFP6 野生型および 3 種類の各変異体の遺伝子発現量は、蛍光強度値から有意な差はないことがわかった (図 5)。線虫生存率が 70%以上と非常に高い低温耐性を示す NfeAFP6 A20T や A20I についても、他の NfeAFP6 種と比較して、発現量に有意な差は認められなかった。したがって、図 3 に示すように線虫生存率が異なるのは、タンパク質の発現量とは異なる効果と考えられる。また、A20G 変異体の AFP 発現量は他の種類に比べて有意に低かったが、生存率は 52% であり、NfeAFP6 野生型の 49.5% よりも若干高い程度である。AFP 発現量が有意に低いにも関わらず、線虫生存率は同程度を示しており、少なくとも本研究で作製したサンプルに関して、発現量が低温耐性の重要因子ではないと考えられる。AFP 発現量と線虫低温耐性のこの関係を踏まえると、1 変異に起因した構造特異的な違いが重要であることが推察される。

一方、今回のサンプル系では、発現量の比較的低い線虫の方が、過剰発現系よりも低温耐性が高いことがわかった。AFP の発現量が高いほど効果が良いのではなく、効果を最大に発揮する最適な発現量が存在することが示唆された。このような AFP 発現量と低温耐性の関係は、細胞・生体組織の AFP 保存法に関連して、最適な添加量を検討する評価系として、有用な知見を提供できたと考えている。

(5) 非凍結温度における AFP の生体保護メカニズムモデル

非凍結温度において、線虫の低温耐性獲得に AFP が効果を発揮していた。複数の AFP 変異体を用いた解析から、氷晶結合面の構造的な違いが、非凍結温度の線虫低温耐性にも一定の効果を示すと思われる。氷が生じない非凍結温度で、AFP がどのように線虫の低温耐性獲得に機能したか？低温時には、細胞膜の固化による損傷や内外液の異常流出と流入などで細胞の機能が失う。AFP は、損傷した細胞膜に吸着し、異常なイオン流出を防ぎ、また細胞膜流動性の低下を防ぐ役割を果たすと考えられている。実際、ヒト肝がん細胞 (HepG2) は、AFP 添加により低温保存時間が劇的に改善した。また、共焦点顕微鏡観察から、AFP が細胞膜に多く局在することも報告されている (Kamijima ら, 2013)。培養細胞でも、AFP による長時間低温保存の報告がある (Hirano ら, 2008)。本研究においても、AFP が細胞膜に作用することで、細胞膜の流動性の異常変化を防ぎ、細胞内外のイオン流入・流出を防いだ可能性が考えられる。そこで、光退色後蛍光回復法 (fluorescence recovery after photobleaching: FRAP) による線虫細胞膜の流動性評価を試みている。FRAP 法は、細胞内の特定領域に存在する蛍光タンパク質を高強度の光照射により退色させ、その領域に新しく流入する蛍光分子によって回復する蛍光強度の時間変化を測定する手法である。これにより、細胞膜の流動性を定量評価できる。5 種類の AFP 遺伝子導入線虫に対し、室温および 4 (2 時間保温) でインキュベーション後、FRAP 実験を実施し、蛍光強度 1/2 回復量の時間 (T_{half}) を求めた。低温曝露後の線虫細胞において、細胞膜流動性は顕著な低下を示すが、AFP 存在下では T_{half} 時間が室温時と近い値を示した。AFP により細胞膜の流動性低下が防がれる結果が示唆された。さらに、AFP 各変異体における細胞膜の蛍光回復時間を比較すると、プレリミナルではあるが、現在、AFP 活性と関連した細胞膜流動性作用も見出しつつある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kuramochi Masahiro, Takanashi Chiaki, Yamauchi Akari, Doi Motomichi, Mio Kazuhiro, Tsuda Sakae, Sasaki Yuji C.	4. 巻 9
2. 論文標題 Expression of Ice-Binding Proteins in <i>Caenorhabditis elegans</i> Improves the Survival Rate upon Cold Shock and during Freezing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 6246
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-019-42650-8	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 倉持 昌弘, 高梨 千晶, 山内 彩加林, 戸井 基道, 三尾 和弘, 津田 栄, 佐々木 裕次	4. 巻 65
2. 論文標題 線虫 C. エレンガンスを用いた不凍タンパク質の in vivo 解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 低温生物工学会誌	6. 最初と最後の頁 23-26
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20585/cryobolcryotechnol.65.1_23q	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 Mio Kazuhiro, Ishihara Masaki, Fujimura Shoko, Sasaki Daisuke, Nozawa Shunsuke, Ichianagi Kohei, Fukaya Ryo, Adachi Shin-ichi, Kuramochi Masahiro, Sekiguchi Hiroshi, Kubo Tai, Sasaki Yuji C.	4. 巻 529
2. 論文標題 X-ray-based living-cell motion analysis of individual serotonin receptors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biochemical and Biophysical Research Communications	6. 最初と最後の頁 306 ~ 313
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.bbrc.2020.05.200	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 Fujimura Shoko, Mio Kazuhiro, Kuramochi Masahiro, Sekiguchi Hiroshi, Ikezaki Keigo, Mio Muneyo, Hengphasatporn Kowit, Shigeta Yasuteru, Kubo Tai, Sasaki Yuji C.	4. 巻 124
2. 論文標題 Agonist and Antagonist-Diverted Twisting Motions of a Single TRPV1 Channel	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 11617 ~ 11624
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcc.0c08250	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 Kuramochi Masahiro, Omata Hiroki, Ishihara Masaki, Hanslin Sander ?, Mizumaki Masaichiro, Kawamura Naomi, Osawa Hitoshi, Suzuki Motohiro, Mio Kazuhiro, Sekiguchi Hiroshi, Sasaki Yuji C.	4. 巻 11
2. 論文標題 Tilting and rotational motions of silver halide crystal with diffracted X-ray blinking	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4097
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-83320-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 Chang Jaewon, Baek Yonugseok, Lee Injee, Sekiguchi Hiroshi, Ichianagi Kouhei, Mio Kazuhiro, Nozawa Shunsuke, Fukaya Ryo, Adachi Shin-ichi, Kuramochi Masahiro, Sasaki Yuji C.	4. 巻 556
2. 論文標題 Diffracted X-ray blinking measurements of interleukin 15 receptors in the inner/outer membrane of living NK cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biochemical and Biophysical Research Communications	6. 最初と最後の頁 53 ~ 58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrc.2021.03.144	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 Mio Kazuhiro, Fujimura Shoko, Ishihara Masaki, Kuramochi Masahiro, Sekiguchi Hiroshi, Kubo Tai, Sasaki Yuji C.	4. 巻 22
2. 論文標題 Living-Cell Diffracted X-ray Tracking Analysis Confirmed Internal Salt Bridge Is Critical for Ligand-Induced Twisting Motion of Serotonin Receptors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 5285 ~ 5285
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms22105285	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10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 倉持 昌弘、董 芸格、高梨 千晶、山内 彩加林、戸井 基道、青山 光輝、関口 博史、三尾 和弘、津田 栄、佐々木 裕次
2. 発表標題 凍結・非凍結環境における氷結合タンパク質の生体内作用機序解明にむけて 線虫C.エレガンスの低温耐性観察およびX線1分子動態測定 In vivo effect of Ice-Binding Protein Cold tolerance observation and X-ray single molecular measurement using living C. elegans
3. 学会等名 第19回日本蛋白質科学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 倉持昌弘
2. 発表標題 Structure, Dynamics, Function and in vivo effects of Antifreeze protein
3. 学会等名 線虫研究の未来を創る会 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Kuramochi, Geikaku Tou, Chiaki Takanashi, Motomichi Doi, Kazuhiro Mio, Sakae Tsuda, C. Yuji Sasaki
2. 発表標題 非凍結温度において氷結合タンパク質は線虫の低温耐性を改善する Ice-Binding Proteins Improves the Survival Rate of <i>Caenorhabditis elegans</i> at Non-freezing Temperature
3. 学会等名 第57回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 倉持 昌弘、董 芸格、高梨 千晶、山内 彩加林、戸井 基道、三尾 和弘、津田 栄、佐々木 裕次
2. 発表標題 氷結合タンパク質変異導入による線虫 <i>C.エレガンス</i> の低温耐性への影響 The in vivo effects of the ice-binding protein mutations for the cold tolerance in <i>C. elegans</i>
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 董 芸格、倉持 昌弘、高梨 千晶、三尾 和弘、戸井 基道、青山 光輝、関口 博史、津田 栄、佐々木 裕次
2. 発表標題 時分割回折 X線計測による線虫 <i>C.エレガンス</i> の不凍タンパク質1分子動態観察
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 M. Kuramochi, G. Tou, C. Takanashi, A. Yamauchi, M. Doi, K. Mio, S. Tsuda, H. Sekiguchi, Y. C. Sasaki
2. 発表標題 Dynamics And Functions of Antifreeze Proteins In Transgenic Caenorhabditis Elegans At Freezing Environments
3. 学会等名 ASCB-EMBO2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 董芸格、倉持昌弘、高梨千晶、三尾和弘、戸井基道、青山光輝、関口博史、津田栄、佐々木裕次
2. 発表標題 時分割回折X線法による線虫C.エレガンスの不凍タンパク質と氷の1分子動態観察
3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masahiro Kuramochi, Yoichi Shinkai, Motomichi Doi, Kazuhiro Mio, Sakae Tsuda, Yuji C. Sasaki
2. 発表標題 THE OBSERVATION OF THE ICE-BINDING PROTEIN FOR FREEZING AND COLD TOLERANCE OF TRANSGENIC CAENORHABDITIS ELEGANS
3. 学会等名 米国生物物理学会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yige Dong, Masahiro Kuramochi, Chiaki Takanashi, Kazuhiro Mio, Motomichi Doi, Kouki Aoyama, Hiroshi Sekiguchi, Sakae Tsuda, Yuji C. Sasaki
2. 発表標題 SINGLE MOLECULAR OBSERVATION OF AFP AND ICE-CRYSTAL DYNAMICS IN CAENORHABDITIS ELEGANS BY TIME-RESOLVED X-RAY DIFFRACTION MEASUREMENTS
3. 学会等名 米国生物物理学会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masahiro Kuramochi
2. 発表標題 In vivo X-ray single-molecule observation of ice-binding proteins for <i>Caenorhabditis elegans</i> freezing tolerance
3. 学会等名 第20回日本蛋白質科学会年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

低温環境に弱い線虫が氷点下で生き延びた！ - 新しい低温保存技術と長期常温保存への期待 -
https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2019/pr20190515/pr20190515.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
---------------------------	-----------------------	----

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