

令和 2 年 5 月 18 日現在

機関番号：14603

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2018～2019

課題番号：18K19342

研究課題名(和文)生殖にともなう植物寿命決定システムの包括的理解

研究課題名(英文) Longevity control associated with plant reproduction

研究代表者

伊藤 寿朗 (Ito, Toshiro)

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号：90517096

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,800,000円

研究成果の概要(和文)：植物が死に至るメカニズムを解明するため、いっどこで老化が始まり、シグナル因子が誘導され、死に至るのかを可視化するため、プログラム細胞死の鍵となるレポーターを確立した。その結果、新たに茎頂のリメリステムおよび成長の止まった花弁において、細胞死関連遺伝子が誘導されていることを見いだした。さらにRNA-seq解析を行い、茎頂における活性酸素のシグナル系、花弁におけるジャスモン酸シグナル系によるプログラム細胞死が誘導されていることを見いだした。これにより、生殖過程において老化と細胞死を積極的に活用することによって、植物の一生が制御されていることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

花がおしべやめしべをつくり、次世代の種を残すためには、花の元となる幹細胞が十分に増殖した後に、増殖を止める必要がある。私達は生殖にともなっておきる植物のプログラム細胞死について解析した結果、新たに、茎頂や花弁においてプログラム細胞死が起きていることがわかった。茎頂においてはROSシグナル系路が、花弁においてはジャスモン酸シグナル系路が特異的に誘導されていた。プログラム細胞死が調節できるようになれば、園芸植物の花の改良や穀物類の増産などが期待できる。

研究成果の概要(英文)：In Arabidopsis flower development, we show that stem cell activities are actively terminated by multiple genetic pathways (Nature Comm 2018; EMBO J. 2018; Plant Cell 2019). To understand how program cell death (PCD) is involved in reproductive development, we established PCD reporter lines and examined their expression patterns. PCD reporters are induced in mature shoot apical meristems (SAMs) and fully grown mature petals. By performing RNA-seq in immature and mature SAMs and petals, we identified signaling pathway genes in reactive oxygen species (ROS) and jasmonic acid (JA), respectively. These results show that PCD happens in plant reproduction through multiple signaling cascades.

研究分野：植物分子遺伝学

キーワード：プログラムセルデス 発現制御 幹細胞 増殖抑制

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

植物は動物とくらべて強い幹細胞増殖能を持ち、単一細胞からの個体の再生現象や、2000年を越えて生き続ける縄文杉やジャイアントセコイヤなどが知られている。植物の一生は、種から芽生えて体をつくり、やがて生殖成長になると花芽をつくり、次世代へと種を残す。花では、個々の幹細胞の増殖が停止されるが、植物種によっては個全体の死にもつながる。花形成による個体死は、種の形成により栄養が枯渇するという説明の他に、枯死を誘導するシグナルの存在が提唱されているが (Nooden & Derman, *Nature* 1978)、その分子の実体はまったく未知である。また、植物発生研究は器官形成における遺伝子の発現制御を中心に解析が進んでおり、器官の成熟から老化、さらに死の制御についての研究は立ち後れている。これまで植物の細胞死は、おもに病原体感染やストレス応答によるプログラム細胞死において研究されてきた。植物体の老化にかかわるものとしては、グルコース-TOR シグナル伝達経路(Ren et al. *Plant Cell* 2012; Xiong et al. *Nature* 2013)や microRNA(Bergonzi et al. *Science* 2013)が同定されている。しかし、花形成と老化や死との分子的なつながりはまったくと言ってよいほど解析されておらず、動物の寿命、死の研究とくらべて、植物細胞死の可視化および発生過程における細胞死の研究を推進していく必要がある。

2. 研究の目的

植物が死に至るメカニズムを解明するため、いつどこで老化が始まり、シグナル因子が誘導され、死に至るのかを可視化する系を確立すること、そしてその分子メカニズムを解明することが本研究の主目的である。とくに、花を咲かせることで誘導される植物個体の老化状態を可視化し、死に至らしめるシグナル因子の分子実体とその分子基盤を明らかにするため、細胞死を植物個体のあらゆる器官でリアルタイムに計測する。第二に、細胞死に至るシグナル系の分子実体の解明のため、開花・結実後から死に至るまでのオミクス解析を行い、植物の老化、死を制御する因子を同定する。第三として、植物の老化、死に関わる鍵遺伝子の階層性を解析する。以上、老化・死の誘導シグナルの同定やレポーターの作製により老化、植物個体死を時空間分解能高く検出し、その作用機構を包括的に解明する。本研究提案は、動物よりも強い幹細胞活性を維持する植物における老化、死を司る機構の解明を目指すものである。

3. 研究の方法

花成誘導後に植物が死に至る過程を適切に把握するために、茎頂、花びら、蜜腺と3つの器官に着目して、複数のプログラム細胞死の鍵となるレポーターを構築し、その発現を解析した。同時に細胞死を誘導する未知の老化・死の誘導シグナル因子を目的として、発生過程の時間軸に沿った RNA-seq 解析を行った。新たに同定した因子に対しては、遺伝学的な解析を行った。最終的に同定したシグナル因子、老化の実行因子のイメージング、上流、下流の遺伝学的解析、オミクス解析、エピゲノム解析により、植物個体の老化と死の階層性を解析し、花誘導から結実までに伴う植物寿命決定システムの理解を目指した。

4. 研究成果

植物が死に至るメカニズムを解明するため、いつどこで老化が始まり、シグナル因子が誘導され、

死に至るのかを可視化するため、プログラム細胞死の鍵となるレポーターを確立した。その結果、新たに茎頂のリメリステムおよび成長の止まった花弁において、細胞死関連遺伝子が誘導されていることを見いだした。さらに RNA-seq 解析を行い、茎頂における活性酸素のシグナル系、花弁におけるオートファジー関連遺伝子、ジャスモン酸シグナル系によるプログラム細胞死が誘導されていることを見いだした。これにより、生殖過程において老化と細胞死を積極的に活用することによって、植物の一生が制御されていることが明らかとなった。特に茎頂および花弁におけるプログラム細胞死は、それぞれ花の総数および花弁の大きさにかかわるとの知見を得た。

また、花幹細胞の増殖抑制による死の制御としては、転写因子である CRC と SUP および KNU の作用機序を解明することで、責任著者としての原著論文を *Nature Comm* (2018), *EMBO J* (2018), *Plant Cell* (2019), *Frontier in Ecol and Evo* (2019)などに報告を行った。さらに花幹細胞の増殖抑制機構についてのレビューを *Int. J of Mol. Sci.* (2019), *Plant Sig. Behav.* (2019) などに発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kobayashi Mime, Wang Yukun, Kumagai Shinya, Uraoka Yukiharu, Ito Toshiro	4. 巻 59
2. 論文標題 Effects of cold atmospheric plasma irradiation on Arabidopsis seedlings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SAAB09 ~ SAAB09
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab4e7b	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 Lee Ze Hong, Tatsumi Yoshitaka, Ichihashi Yasunori, Suzuki Takamasa, Shibata Arisa, Shirasu Ken, Yamaguchi Nobutoshi, Ito Toshiro	4. 巻 7
2. 論文標題 CRABS CLAW and SUPERMAN Coordinate Hormone-, Stress-, and Metabolic-Related Gene Expression During Arabidopsis Stamen Development	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fevo.2019.00437	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 Shang Erlei, Ito Toshiro, Sun Bo	4. 巻 14
2. 論文標題 Control of floral stem cell activity in Arabidopsis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant Signaling & Behavior	6. 最初と最後の頁 1659706 ~ 1659706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15592324.2019.1659706	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 Lee Ze Hong, Hirakawa Takeshi, Yamaguchi Nobutoshi, Ito Toshiro	4. 巻 20
2. 論文標題 The Roles of Plant Hormones and Their Interactions with Regulatory Genes in Determining Meristem Activity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 4065 ~ 4065
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms20164065	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 Sun Bo, Zhou Yingying, Cai Jie, Shang Erlei, Yamaguchi Nobutoshi, Xiao Jun, Looi Liang-Sheng, Wee Wan-Yi, Gao Xiuying, Wagner Doris, Ito Toshiro	4. 巻 31
2. 論文標題 Integration of Transcriptional Repression and Polycomb-Mediated Silencing of WUSCHEL in Floral Meristems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Plant Cell	6. 最初と最後の頁 1488 ~ 1505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1105/tpc.18.00450	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 Wu Jinfeng, Yamaguchi Nobutoshi, Ito Toshiro	4. 巻 14
2. 論文標題 Histone demethylases control root elongation in response to stress-signaling hormone abscisic acid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant Signaling & Behavior	6. 最初と最後の頁 1604019 ~ 1604019
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15592324.2019.1604019	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 Wu Jinfeng, Ichihashi Yasunori, Suzuki Takamasa, Shibata Arisa, Shirasu Ken, Yamaguchi Nobutoshi, Ito Toshiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Abscisic acid dependent histone demethylation during postgermination growth arrest in Arabidopsis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant, Cell & Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/pce.13547	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 Yifeng Xu, Nobutoshi Yamaguchi, Eng-Seng Gan, Toshiro Ito	4. 巻 70
2. 論文標題 When to stop: an update on molecular mechanisms of floral meristem termination	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal Of Experimental Botany	6. 最初と最後の頁 1711 ~ 1718
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 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 Yamaguchi Nobutoshi, Huang Jiangbo, Tatsumi Yoshitaka, Abe Masato, Sugano Shigeo S., Kojima Mikiko, Takebayashi Yumiko, Kiba Takatoshi, Yokoyama Ryusuke, Nishitani Kazuhiko, Sakakibara Hitoshi, Ito Toshiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Chromatin-mediated feed-forward auxin biosynthesis in floral meristem determinacy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-018-07763-0	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 Xu Yifeng, Ito Toshiro	4. 巻 3
2. 論文標題 Meristem Termination and Organ Number Control in Early Stage of Arabidopsis Flower Development	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Cell Signaling	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4172/2576-1471.1000186	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 Arai Satoshi, Kriszt Rokus, Harada Kazuki, Looi Liang-Sheng, Matsuda Shogo, Wongso Devina, Suo Satoshi, Ishiura Shoichi, Tseng Yu-Hua, Raghunath Michael, Ito Toshiro, Tsuboi Takashi, Kitaguchi Tetsuya	4. 巻 130
2. 論文標題 RGB-Color Intensiometric Indicators to Visualize Spatiotemporal Dynamics of ATP in Single Cells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie	6. 最初と最後の頁 11039 ~ 11044
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ange.201804304	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 Xu Yifeng, Prunet Nathanael, Gan Eng Seng, Wang Yanbin, Stewart Darragh, Wellmer Frank, Huang Jiangbo, Yamaguchi Nobutoshi, Tatsumi Yoshitaka, Kojima Mikiko, Kiba Takatoshi, Sakakibara Hitoshi, Jack Thomas P, Meyerowitz Elliot M, Ito Toshiro	4. 巻 37
2. 論文標題 SUPERMAN regulates floral whorl boundaries through control of auxin biosynthesis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The EMBO Journal	6. 最初と最後の頁 e97499 ~ e97499
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15252/embj.201797499	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 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 伊藤 寿朗
2. 発表標題 花幹細胞の増殖終結機構におけるオーキシン作用の二面性
3. 学会等名 第61回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤 寿朗
2. 発表標題 Epigenetic regulation in floral meristem determinacy
3. 学会等名 2019 Collaborative Research Meeting National Institute of Genetics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 寿朗
2. 発表標題 Multistep termination of floral stem cell activities
3. 学会等名 ICAR2019(The 30th International Conference on Arabidopsis Research) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 寿朗
2. 発表標題 Auxin-mediated termination of floral stem cell activities
3. 学会等名 Principles of pluripotent stem cells underlying plant vitality (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 寿朗
2. 発表標題 Multistep termination of floral stem cell activities
3. 学会等名 Japan-Taiwan Plant Biology 2019 (JTPB2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 寿朗
2. 発表標題 Spatio-temporal regulation of floral stem cell activities
3. 学会等名 PSDB 10th Annual National Convention (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤 寿朗
2. 発表標題 Memory and induced forgetting in plants
3. 学会等名 University of the Philippines-Diliman Ateneo de University 大学訪問セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤 寿朗
2. 発表標題 Spatio-temporal regulation of floral stem cell activities
3. 学会等名 Henan University大学訪問セミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤 寿朗
2. 発表標題 Multi-step termination of floral stem cell activities
3. 学会等名 福建農林大学さくらサイエンスプラン
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤 寿朗
2. 発表標題 Auxin-mediated multistep termination of floral stem cell activities
3. 学会等名 IPMB 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤 寿朗
2. 発表標題 花幹細胞の時空間的な運命制御
3. 学会等名 京都大学形態統御学分科セミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤 寿朗
2. 発表標題 Auxin-mediated floral meristem determinacy control
3. 学会等名 25th ICSPR 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤 寿朗
2. 発表標題 Auxin-mediated multistep termination of floral stem cell activities
3. 学会等名 Meristem 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018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
研究分担者	北口 哲也 (Kitaguchi Tetsuya) (60432374)	東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授 (12608)	