

令和 5 年 6 月 17 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K05941

研究課題名(和文)植物独自のスフィンゴ脂質糖鎖構造多様性が担う生物学的意義の解明

研究課題名(英文)Biological functions of diverse sugar chains of plant sphingolipids

研究代表者

石川 寿樹(Ishikawa, Toshiki)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：20598247

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)：植物固有のスフィンゴ糖脂質GIPCの糖鎖型固有の機能を明らかにすることを目的として、シロイヌナズナの主要GIPCであるH型糖鎖の機能解析を行った。H型糖鎖の欠損により生じる表現型は、1) サリチル酸の恒常的蓄積に起因する組織の枯死性と、2) サリチル酸非依存のかつN型糖鎖で相補できない成長不全に分類できることが明らかとなった。特に根では細胞レベルで特徴的な異常が生じており、今後の研究が期待される。またGIPC糖鎖を欠損しても細胞の脱分化およびカルス細胞の増殖は通常以上に可能であり、GIPC糖鎖型の機能や必須性は細胞タイプによって異なることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

植物のGIPC糖鎖型は、動物のABO式血液型と類似しているがその生物学的意義はほとんど明らかになっていない。本研究の成果は、植物における糖脂質糖鎖型の分子機能の一端を明らかにし、根の成長への寄与やカルス細胞における非必須性など、今後の研究展開の実験モデル系となる重要な知見を提供する。またGIPCは、医薬品や健康食品、化粧品の有効成分であるヒト型セラミドの新たな供給源として応用面での期待も近年高まっている。カルス細胞のようにGIPC非必須な植物培養系の利活用により、植物で有用セラミドを生産する新奇技術の開発に繋がることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：This work focused on the specific functions of plant glycosphingolipid GIPC with the hexose-containing H-type glycan head. Loss-of-function analysis demonstrated the two molecular bases on the severe phenotype of Arabidopsis gmt1 mutant lacking H-type GIPC, i.e., salicylic acid-dependent cell death and -independent growth arrest not rescued by N-type glycan of GIPC. The typical growth retardation in gmt1 roots will be of interest in future studies dissecting the molecular functions of GIPC in Arabidopsis. In addition, callus cell proliferation was not affected by the aberrant glycan biosynthesis, indicating that the functionality and indispensability of plant glycosphingolipids are dependent on tissue/cell types.

研究分野：植物生理生化学

キーワード：スフィンゴ脂質 糖脂質 糖鎖型 糖転移酵素 細胞死 サリチル酸 カルス

1. 研究開始当初の背景

スフィンゴ脂質は真核生物に普遍的な細胞膜脂質であるが、その分子構造は生物種ごとに多彩に進化している。植物には、固有の糖鎖構造をもつグリコシルイノシトールホスホセラミド (GIPC) が最も主要なスフィンゴ脂質クラスである。我々の先行研究において、GIPC は第二糖残基の分子種によって大きく2つのサブクラス、ヘキサースをもつ H 型とアミノ糖をもつ N 型に分類できることがわかっており、それぞれを選択的に合成する糖転移酵素として GMT1 と GINT1 が同定されている (図 1; Fang et al., 2016; Ishikawa et al., 2018)。シロイヌナズナでは、GINT1 が種子や花粉など限られた組織のみに発現しているのに対し、GMT1 は植物体の全組織に発現し、その欠損は細胞死を伴う重度の生育抑制をもたらす。この表現型は、GINT1 の異所発現による N 型 GIPC の合成によってほとんど回復しないことから、N 型糖鎖では相補できない H 型糖鎖に特異的な機能が存在することが示唆されている。しかしながら、植物 GIPC の異なる糖鎖型分子が、それぞれどのような生理機能に関与しているか、またその分子機序についてはこれまでほとんどわかっていなかった。

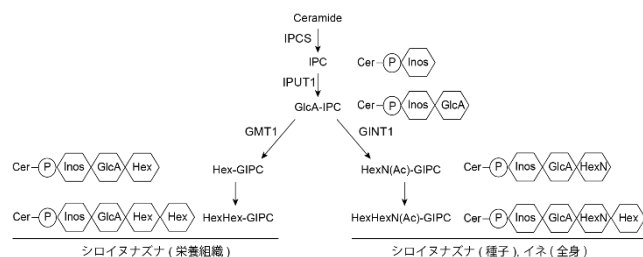


図 1. 植物 GIPC の構造および合成経路

2. 研究の目的

本研究では、植物に広く保存された H 型および N 型 GIPC の糖鎖型に特異的な機能を解明することを目的として、主要な H 型 GIPC を欠損する *gmt1* 変異体、および表現型が部分的に回復する異種相補系統としてサリチル酸分解酵素を導入した *gmt1/NahG* と、N 型 GIPC を異所的に合成する *gmt1/GINT1* 系統を用いて研究を行った。

3. 研究の方法

(1) *gmt1* および遺伝子改変系統の確立

gmt1 変異体は重篤な生育抑制と不稔性を示しホモ系統として維持することができないため、ヘテロ接合体を維持し、実験に用いる際は発芽後の表現型の目視もしくは植物体の一部を用いてゲノム PCR を行うことによりホモ個体を選抜した。一方、*gmt1* にサリチル酸分解酵素 NahG または N 型糖鎖合成酵素 GINT1 をそれぞれ 35S プロモーター下で発現させた系統 (*gmt1/NahG* および *gmt1/GINT1*) は、生育が部分的に回復し *gmt1* ホモ個体の種子を得ることができたため、それらを用いた。植物体は MS 培地上で 2~3 週間生育させ、以降の解析に供した。

(2) スフィンゴ脂質分析および遺伝子発現解析

MS 培地上で 2~3 週間生育させた植物体から総スフィンゴ脂質を抽出し、液体クロマトグラフータンデム型質量分析装置を用いて GIPC を定量した。また同様に生育させたサンプルから RNA を抽出し、サリチル酸応答関連遺伝子の発現量を定量 PCR 法で解析した。

(3) 地上部および地下部の表現型解析

上記の植物系統を MS 培地上に播種して生育させた。さらに必要に応じて土へ移植し、地上部の経過を観察した。地下部の解析は、縦置きにした MS 培地上で植物体を生育させて行った。植物体から根を切り取り、propidium iodide (PI) で染色後、共焦点レーザー顕微鏡を用いて PI 蛍光を観察した。

(4) カルス脱分化およびシュート再分化能の解析

各系統を MS 培地上で 1 週間程度弱光下において生育させ、子葉、胚軸、根をそれぞれ切り分けてカルス誘導培地に移植し、脱分化過程を解析した。また脱分化組織をシュート再生培地に移植し、葉状のシュート組織が形成される過程を観察した。

4. 研究成果

(1) *gmt1* および遺伝子改変系統の脂質組成およびサリチル酸蓄積

先行研究で確立した *gmt1*、*gmt1/NahG*、*gmt1/GINT1* 系統のスフィンゴ脂質組成を解析したところ、野生型の主要 GIPC である H 型が *gmt1* では完全に欠損し、Hex 残基が付加されていない不完全な GIPC 中間体 (GlcA-IPC) が蓄積していた (図 2)。*gmt1/NahG* も同様の脂質組成を示した。

一方、*gmt1*/GINT1 では野生型の栄養組織には存在しない N 型 GIPC が検出され、その含量は野生型 GIPC のおよそ 6 割程度であり、総 GIPC の 3~4 割は GlcA-IPC として存在していることがわかった。また、*gmt1* は防御ホルモンであるサリチル酸が恒常的に過剰蓄積していることが先行研究でわかっている。そこでサリチル酸誘導性遺伝子 (*ICS1*、*PR1*) の発現レベルを指標に各系統のサリチル酸蓄積および下流の応答反応の誘導性を解析したところ、*gmt1* 変異体では野生型に比べサリチル酸応答が著しく活性化していたが、サリチル酸分解系が導入された *gmt1*/NahG では野生型以下のレベルまで低下し、サリチル酸の蓄積が解消していることがわかった。さらに、GIPC の異種糖鎖相補系統である *gmt1*/GINT1 においても、同様にサリチル酸の異常蓄積が回復していることがわかった (図 3)。このことから、*gmt1* におけるサリチル酸および下流の病原応答の異常活性化は、H 型と N 型いずれの GIPC でも相補することのできる表現型であり、GlcA-IPC の蓄積に起因する可能性が示唆された。

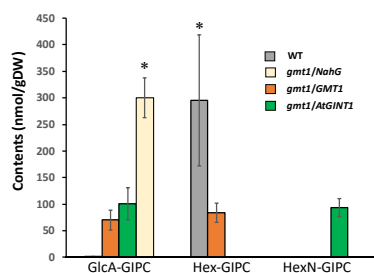


図 2. *gmt1* および相補系統の GIPC 組成

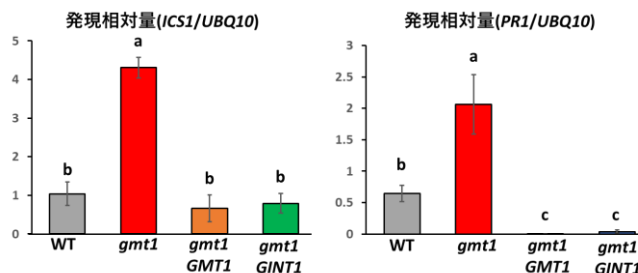


図 3. *gmt1* および相補系統における SA 誘導性遺伝子の発現解析

(2) *gmt1* の表現型解析

gmt1 変異体を培地上で生育させると、野生型に比べて著しい地上部および地下部の生育抑制が観察され、さらに地上部組織が自発的な細胞死によって枯死性を示した。これらの *gmt1* に特徴的な表現型のうち、組織の枯死性は NahG の導入によって完全に回復したことから、サリチル酸の恒常的な蓄積により誘導された病原応答性の細胞死が原因であると考えられた。同様のことは *gmt1*/GINT1 でも観察され、SA 誘導性遺伝子の発現解析の結果と一致した。地上部の枯死性が回復したことにより、*gmt1* 変異をホモ接合にもつ場合でもある程度成長し、わずかながら種子を得ることができた。しかしながらその成長性は野生型に比べると依然として大きく抑制されており、*gmt1* の成長不全の表現型は、サリチル酸の除去や N 型糖鎖の合成では補うことのできない、H 型糖鎖に固有の機能の欠損に起因することが示唆された (図 4)。特に根の伸長性は、NahG や GINT1 の導入によってほとんど回復がみられなかったことから、H 型固有の機能がシロイヌナズナの根において重要な役割を果たしていることが考えられた。

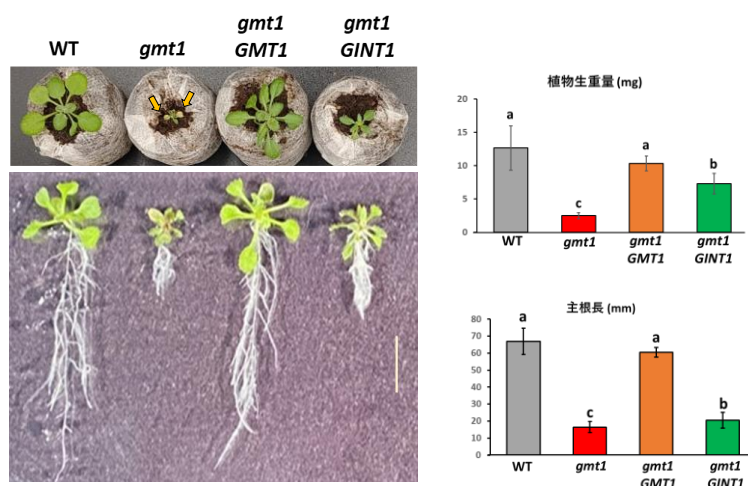


図 4. *gmt1* の表現型解析

(3) *gmt1* の根の成長抑制

H 型 GIPC 糖鎖の欠損がシロイヌナズナの根の成長性にどのような異常をもたらしているかを明らかにするため、*gmt1* の根を PI 染色し、共焦点レーザー顕微鏡で細胞の形態や大きさを観察した。PI は生きた細胞には浸透せず、植物細胞壁を赤色蛍光で可視化することができる。*gmt1* 変異体の主根の伸長異常が目視で確認可能となる播種後 6 日目の植物体を用いて観察したところ、野生型は根端静止中心から分裂領域、伸長領域、分化領域の順に細胞が徐々に伸長成長しながら規則正しく配置されていたのに対し、*gmt1* では細胞の伸長性および形状が不均一になっている様子が観察された。それぞれの成長段階の細胞数および細胞長を計測したところ、分裂領域には大きな変化がみられなかったが、分化領域の細胞長が野生型に比べ有意に小さくなっていることがわかった。また、*gmt1* の根には細胞の境界が歪になったものや、細胞が膨らんだよう

な形状を示すものが多数観察された。以上の結果から、*gmt1* の根の初期成長では、細胞の極性をもった伸長成長に異常が生じていることが考えられた。さらに、播種後 9 日目以降の *gmt1* 変異体では、根の分裂領域から伸長領域にかけて中心柱付近の細胞が内部まで強く PI で染色されたことから、細胞死が起きている可能性が示唆された。これらの表現型を今後さらに詳しく解析することで、H 型 GIPC の根における固有機能が明らかになることが期待される。

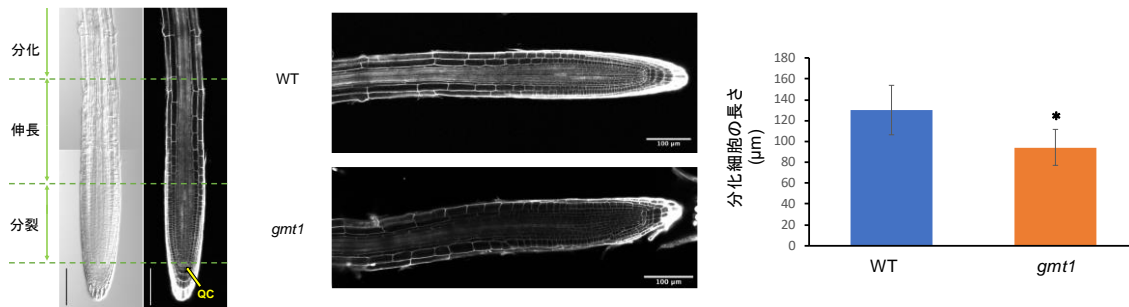


図 5. *gmt1* の根の形態解析. (左) 根の細胞領域、(中) *gmt1* の根の観察像、(右) *gmt1* の細胞伸長低下

(4) *gmt1* の脱分化および再分化実験

先行研究において、*gmt1* のように主要な GIPC 糖鎖の末端糖残基の欠損は植物体に致命的な影響をもたらすのに対し、脱分化したカルス細胞ではそのような異常性はみられないことが示唆されている (Ishikawa et al., 2018)。そこで *gmt1* の組織片をカルス誘導培地 (CIM) に移植し、脱分化過程を観察した。その結果、*gmt1* 組織からのカルス形成は、子葉や胚軸では野生型と同様であったが、根では明確な差異が認められた。野生型では、根端および基部側の切断位置付近でカルスが形成されたのに対し、*gmt1* では根端から基部側まで満遍なく活発なカルス化が起こることがわかった (図 6)。*gmt1* では主根長が低下し、根端から近い位置に根毛や側根が形成されるため、これらの根の形態異常がカルス形成に促進的に作用している可能性がある。誘導されたカルスを引き続き培養すると、野生型由来カルス *gmt1* 由来カルスは同等の増殖性が認められた。一方、カルスをシュート再生培地に移植すると、野生型では 1~3 週で葉状の組織を伴うシュート分化が認められたのに対し、*gmt1* カルスは同条件で細胞の緑化までは至るものの、シュート様組織の形成はまったく観察されなかった。この結果から、H 型 GIPC の合成は植物の細胞にとって必ずしも必須ではなく、地上部組織や根の正常な誘導や分化など、特定の機能性に不可欠な役割を果たしていることが示唆された。カルス細胞においては、上述の不完全な GlcA-IPC を高レベルに蓄積しているにもかかわらず、植物体のようなサリチル酸誘導性の細胞死や増殖不全が認められないことから、植物体組織との比較解析を進めることで、H 型糖鎖の細胞特異的な分子機能の解明に有用な知見が得られる実験モデル系となることが期待される。

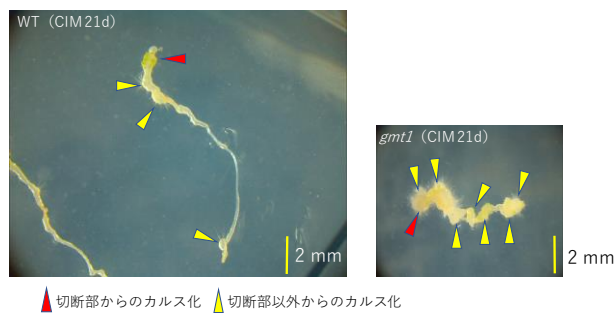


図 6. *gmt1* 根からのカルス誘導の促進

参考文献

- 1) Fang L, Ishikawa T, Rennie EA, Murawska GM, Lao J, Yan J, Tsai ALY, Baidoo EEK, Xu J, Keasling JD, Demura T, Kawai-Yamada M, Scheller HV, Mortimer JC. (2016) Loss of inositol phosphorylceramide sphingolipid mannosylation induces plant immune responses and reduces cellulose content in Arabidopsis. *Plant Cell* 28, 2991-3004.
- 2) Ishikawa T, Fang L, Rennie EA, Sechet J, Yan J, Jing B, Moore W, Cahoon EB, Scheller HV, Kawai-Yamada M, Mortimer JC. (2018) GLUCOSAMINE INOSITOLPHOSPHORYLCERAMIDE TRANSFERASE1 (GINT1) is a GlcNAc-containing glycosylinositol phosphorylceramide glycosyltransferase. *Plant Physiol.* 177, 938-952.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Ukawa Tomomi, Banno Fumihiko, Ishikawa Toshiki, Kasahara Kota, Nishina Yuuta, Inoue Rika, Tsujii Keigo, Yamaguchi Masatoshi, Takahashi Takuya, Fukao Yoichiro, Kawai-Yamada Maki, Nagano Minoru	4. 巻 189
2. 論文標題 Sphingolipids with 2-hydroxy fatty acids aid in plasma membrane nanodomain organization and oxidative burst	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant Physiology	6. 最初と最後の頁 839 ~ 857
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/plphys/kiac134	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 Hasi Rumana Yesmin, Ishikawa Toshiki, Sunagawa Keigo, Takai Yoshimichi, Ali Hanif, Hayashi Junji, Kawakami Ryushi, Yuasa Keizo, Aihara Mutsumi, Kanemaru Kaori, Imai Hiroyuki, Tanaka Tamotsu	4. 巻 596
2. 論文標題 Nonspecific phospholipase of radish has phospholipase D activity towards glycosylinositol phosphoceramide	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 FEBS Letters	6. 最初と最後の頁 3024 ~ 3036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/1873-3468.14520	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 Ishikawa Toshiki, Takano Shunya, Tanikawa Riko, Fujihara Takashi, Atsuzawa Kimie, Kaneko Yasuko, Hihara Yukako	4. 巻 2
2. 論文標題 Acylated plastoquinone is a novel neutral lipid accumulated in cyanobacteria	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PNAS Nexus	6. 最初と最後の頁 pgad092
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pnasnexus/pgad092	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 Moore, W.M., Chan, C., Ishikawa, T., Rennie, E.A., Wipf, H.M.L., Benites, V., Kawai-Yamada, M., Mortimer, J.C. and Scheller, H.V.	4. 巻 31
2. 論文標題 Reprogramming sphingolipid glycosylation is required for endosymbiont persistence in <i>Medicago truncatula</i> .	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Curr. Biol.	6. 最初と最後の頁 2374-2385
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cub.2021.03.067.	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 Steshin, M. and Ishikawa, T.	4. 巻 1178
2. 論文標題 Liquid chromatography-tandem mass spectrometry with a new separation mode for rapid profiling of the Z/E isomers of plant glucosylceramides.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Chromatogr. B	6. 最初と最後の頁 122807
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jchromb.2021.122807.	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 Jing Beibei, Ishikawa Toshiki, Soltis Nicole, Inada Noriko, Liang Yan, Murawska Gosia, Fang Lin, Andeberhan Fekadu, Pidatala Ramana, Yu Xiaolan, Baidoo Edward, Kawai Yamada Maki, Loque Dominique, Kliebenstein Daniel J., Dupree Paul, Mortimer Jenny C.	4. 巻 5
2. 論文標題 The Arabidopsis thaliana nucleotide sugar transporter GONST2 is a functional homolog of GONST1	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant Direct	6. 最初と最後の頁 e00309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pld3.309	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 Nagata Kenji, Ishikawa Toshiki, Kawai-Yamada Maki, Takahashi Taku, Abe Mitsutomu	4. 巻 148
2. 論文標題 Ceramides mediate positional signals in Arabidopsis thaliana protoderm differentiation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Development	6. 最初と最後の頁 dev194969
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/dev.194969	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 Tanaka Motoki, Ishikawa Toshiki, Tamura So, Saito Yujiro, Kawai-Yamada Maki, Hihara Yukako	4. 巻 61
2. 論文標題 Quantitative and Qualitative Analyses of Triacylglycerol Production in the Wild-Type Cyanobacterium Synechocystis sp. PCC 6803 and the Strain Expressing AtfA from Acinetobacter baylyi ADP1	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 1537 ~ 1547
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcaa069	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 石川寿樹	4. 巻 58
2. 論文標題 植物固有なスフィンゴ脂質糖鎖の多様な構造と機能	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 化学と生物	6. 最初と最後の頁 659-666
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 Sato M, Nagano M, Jin S, Miyagi A, Yamaguchi M, Kawai-Yamada M, Ishikawa T.	4. 巻 9
2. 論文標題 Plant-unique cis/trans isomerism of long-chain base unsaturation is selectively required for aluminum tolerance resulting from glucosylceramide-dependent plasma membrane fluidity.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants9010019	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 Hasi RM, Miyagi M, Morito K, Ishikawa T, Kawai-Yamada M, Imai H, Fukuta T, Kogure K, Kanemaru K, Hayashi J, Kawakami R, Tanaka T.	4. 巻 166
2. 論文標題 Glycosylinositol phosphoceramide-specific phospholipase D activity catalyzes transphosphatidylation.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Biolchem.	6. 最初と最後の頁 441-448
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jb/mvz056	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24件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 石川寿樹
2. 発表標題 植物スフィンゴ脂質のターゲットメタボロミクス
3. 学会等名 第16回メタボロームシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川寿樹
2. 発表標題 植物GIPCの構造多様性と代謝機構：リビドミクスからのアプローチ
3. 学会等名 第15回セラミド研究会学術集会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yesmin Hasi、田中保、今井博之、山口雅利、川合真紀、石川寿樹
2. 発表標題 植物スフィンゴ脂質GIPC分解酵素の同定
3. 学会等名 第64回植物生理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木雄介、宮城敦子、山口雅利、川合真紀、石川寿樹
2. 発表標題 の開発に向けたスフィンゴ糖脂質糖転移酵素欠損変異体の解析
3. 学会等名 第39回日本植物バイオテクノロジー学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yesmin Hasi、田中保、今井博之、山口雅利、川合真紀、石川寿樹
2. 発表標題 植物スフィンゴ脂質GIPCを分解するホスホリパーゼの探索
3. 学会等名 第34回植物脂質シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yesmin Hasi、田中保、今井博之、山口雅利、川合真紀、石川寿樹
2. 発表標題 植物スフィンゴ脂質GIPC分解酵素の同定
3. 学会等名 第64回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石川 寿樹，高野 駿也，谷川梨瑚，藤原隆司，厚沢季美江，金子康子，日原由香子
2. 発表標題 シアノバクテリアはアシル化プラストキノンを蓄積する
3. 学会等名 第64回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 工藤大和、川合真紀、石川寿樹
2. 発表標題 スフィンゴ脂質糖鎖の人工改変植物を用いた糖鎖型に特異的な機能の解析
3. 学会等名 第33回植物脂質シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 真田昇、宮城敦子、山口雅利、川合真紀、石川寿樹
2. 発表標題 セラミド1 - リン酸の高感度検出法を用いたスフィンゴ脂質糖鎖分解酵素活性の測定
3. 学会等名 第85回日本植物学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川寿樹
2. 発表標題 分子進化から読み解く植物独自のスフィンゴ脂質多様化戦略
3. 学会等名 日本植物学会第84回大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 工藤大和、宮城敦子、山口雅利、川合真紀、石川寿樹
2. 発表標題 異種相補によるシロイヌナズナのスフィンゴ脂質糖鎖タイプに特異的な機能の解析
3. 学会等名 第62回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshiki Ishikawa, Maki Kawai-Yamada
2. 発表標題 A seed-specific glycosyl head of sphingolipid is associated with regulation of seed size in Arabidopsis.
3. 学会等名 8th Asian-Oceanian Symposium on Plant Lipids (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaya Sato, Toshiki Ishikawa, Minoru Nagano, Maki Kawai-Yamada
2. 発表標題 8 cis-unsaturated glucosylceramides contribute to aluminum tolerance in rice
3. 学会等名 8th Asian-Oceanian Symposium on Plant Lipids (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川寿樹、川合真紀
2. 発表標題 植物セラミドの固有構造：分子進化からみた生物学的意義と産業利用への展望
3. 学会等名 第12回セラミド研究会学術集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川寿樹、川合真紀
2. 発表標題 植物の環境適応においてスフィンゴ脂質の分子進化が果たした意義
3. 学会等名 日本植物学会第83回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 工藤大和、宮城敦子、山口雅利、川合真紀、石川寿樹
2. 発表標題 シロイヌナズナにおけるスフィンゴ脂質糖鎖異常変異体の表現型解析
3. 学会等名 日本植物学会第83回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川寿樹、小野田瑞希、川合真紀
2. 発表標題 シロイヌナズナの種子特異的なスフィンゴ糖脂質は種子サイズの制御に関与する
3. 学会等名 日本植物細胞分子生物学会第37回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川洋佑、石川寿樹、宮城敦子、山口雅利、川合真紀
2. 発表標題 コケ植物独自のスフィンゴ脂質構造を形成する長鎖塩基 8不飽和化酵素の機能解析
3. 学会等名 日本植物細胞分子生物学会第37回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤正弥、石川寿樹、長野稔、山口雅利、川合真紀
2. 発表標題 イネのアルミニウム耐性におけるスフィンゴ脂質cis/trans異性体の機能差異
3. 学会等名 日本植物細胞分子生物学会第37回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田祐樹、石川寿樹、宮城敦子、山口雅利、川合真紀
2. 発表標題 植物に特徴的な2つのセラミド不飽和結合の機能解析
3. 学会等名 第32回植物脂質シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川洋佑、石川寿樹、宮城敦子、山口雅利、川合真紀
2. 発表標題 コケ植物に特有なスフィンゴ脂質構造を形成する長鎖塩基 8不飽和化酵素の機能解析
3. 学会等名 第32回植物脂質シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 工藤大和、宮城敦子、山口雅利、川合真紀、石川寿樹
2. 発表標題 シロイヌナズナにおけるスフィンゴ脂質糖鎖異常変異体の機能解析
3. 学会等名 第32回植物脂質シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤正弥、石川寿樹、長野稔、宮城敦子、山口雅利、川合真紀
2. 発表標題 グルコシルセラミドの長鎖塩基 8 cis型不飽和結合はイネのアルミニウム耐性に寄与する
3. 学会等名 第32回植物脂質シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川寿樹、川合真紀
2. 発表標題 スフィンゴ脂質ヘキサミン型糖鎖はシロイヌナズナの種子サイズ制御に関与する
3. 学会等名 第61回日本植物生理学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 セラミド研究会編	4. 発行年 2019年
2. 出版社 食品化学新聞社	5. 総ページ数 337
3. 書名 セラミド研究の新展開～基礎から応用へ～	

〔産業財産権〕

〔その他〕

埼玉大学大学院理工学研究科 植物環境科学研究室HP
<http://park.saitama-u.ac.jp/~geneenvtech/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
--	---------------------------	-----------------------	----

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