

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：35302

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H03253

研究課題名(和文)ケミカルバイオロジーによるオーキシン不活性化経路の再構築

研究課題名(英文)Chemical biology study on auxin inactivation pathway

研究代表者

林 謙一郎 (Ken-ichiro, Hayashi)

岡山理科大学・生命科学部・教授

研究者番号：30289136

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：オーキシンは、植物の分化・成長のあらゆる局面で働く主要な植物ホルモンである。天然オーキシンであるインドール-3-酢酸(IAA)の植物体内での活性は、その生合成、輸送、不活性化の3つの経路により制御されている。これまでにIAAの不活性化経路は明らかにされていなかった。本研究では、これまでに提唱されてきたIAAの不活性化経路の代謝酵素遺伝子を分子遺伝学的、化学生物学的手法で解析した。その結果、IAAの代謝不活性化経路(GH3-ILR1-DAO経路)を決定し、植物内でオーキシンが代謝分解される仕組みの解明に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

植物の成長の鍵となるホルモン・オーキシンが、どのように不活性化・一時貯蔵・再生・分解されているのか？という植物学や農学において重要な謎が解明されたことで、オーキシンによる植物の複雑な成長調節メカニズムの解明がさらに進むと考えられる。オーキシンは、成長促進剤、発根促進剤さらに除草剤として農業分野で幅広く利用されている。今回の研究成果から、より活性の高い発根促進剤などの開発につながると期待できる。さらに、オーキシンの不活性化・分解をコントロールすることで、農作物、綿花などの衣料原料、樹木バイオマスなどを増産する新たな研究の道が拓かれると期待される。

研究成果の概要(英文)：Indole-3-acetic acid (IAA), a natural auxin is a potent plant hormone that regulates diverse aspects of plant development and growth. The hormonal activity of IAA is modulated by three pathways: biosynthesis, transport, and inactivation of IAA. To date, the IAA inactivation pathway has not been fully elucidated. In this work, we investigated the IAA inactivating enzymes by using molecular genetic and chemical biology approach to elucidate the metabolic inactivation pathway of IAA. Our study demonstrate that IAA is inactivated via a new auxin metabolic pathway designated as GH3-ILR1-DAO pathway in plants.

研究分野：生物有機化学

キーワード：オーキシン 植物ホルモン

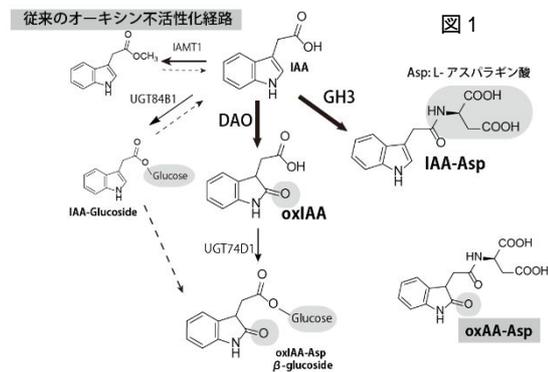
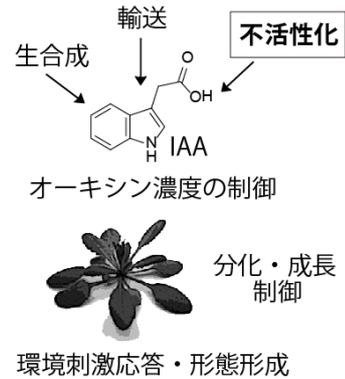
## 研究成果の概要

### 1. 研究開始当初の背景

オーキシンであるインドール 3-酢酸 (IAA) は胚発生, 花芽形成, 側根形成, 頂芽優勢, 光・重力屈性など, 植物の分化・成長のあらゆる局面に参与する。このような植物の複雑な形態形成や多様な環境応答には, オーキシンの組織・細胞濃度の動的制御が重要である。オーキシンの組織・細胞濃度は, (1) IAA (内生オーキシン) の生合成, (2) IAA の極性輸送 (3) IAA の不活性化の 3 つのステップにより, 協調して精緻に調節されている。

オーキシン生合成経路, 信号伝達経路と極性輸送の基本的な分子基盤が明らかにされた一方, IAA の不活性化については, 酸化, アミノ酸複合体化, 配糖体化, エステル化など複数経路の存在が示唆されていた。また一時的な IAA の不活性化 (貯蔵体化) と不可逆的な分解では, その生理的意義が全く異なると推測されが, IAA 不活性化経路の全体像は不明であった。これまでに IAA の安定同位体の植物への投与実験や代謝物分析より, IAA の代謝物のなかでは IAA の酸化体である oxIAA の内生量が最も高いことから, IAA から oxIAA への酸化が主要な不活性化経路 (DAO 経路) であると提唱されていた。この酸化反応を触媒する *DAO1* 遺伝子 (*Dioxygenase for Auxin Oxidation 1*) が, 2016 年に同定された。*DAO* は植物体全体で発現しており,

オーキシンにより発現誘導を受けないことから, 常に一定量の IAA を代謝する基盤的な役割を担う酸化酵素と考えられてきた。一方, *GH3* 酵素は IAA のカルボン酸にアスパラギン酸 (Asp)・グルタミン酸 (Glu) などのアミノ酸などを縮合させて不活性化する IAA-アミノ酸複合体の合成酵素である。この *GH3* 酵素はオーキシン誘導性遺伝子であり, オーキシンが存在すると *GH3* 遺伝子が速やかに発現誘導され, 植物体内に定常の数百倍の IAA-アミノ酸複合体 (IAA-Asp・IAA-Glu) が蓄積される。このため *GH3* は, IAA 内生量の動的制御を担い, IAA 量を一定に維持する役割をもつと推測されてきた。また, IAA の配糖体化酵素 *UGT84B1* や IAA のメチルエステル化酵素 *IAMT1* なども報告されているが, これら IAA の配糖体化やメチル化は局所的な可逆性の不活性化に参与すると推測されてきた (図 1)。



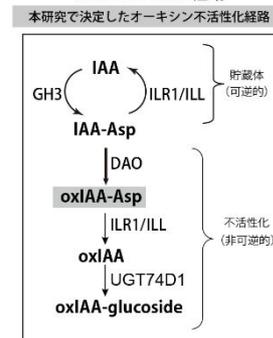
### 2. 研究の目的

オーキシン研究において IAA 不活性化経路の全貌解明は, 植物学, 農学などの応用分野へもつながるオーキシン研究の最重要課題の一つになっている。本研究では, IAA 不活性化経路に対する阻害剤や IAA 不活性化代謝物についての合成力を軸として, 分子遺伝学的アプローチと融合させることにより, 複数の経路が提唱されている IAA 不活性化経路を再構築することを目的として研究を進めた。前述したように, オーキシンの生合成と代謝不活性化による細胞内オーキシン濃度の調節は, 植物の分化・成長においてきわめて重要である。これまでオーキシン (Indole 3-acetic acid: IAA) は, 酸化経路 (DAO 経路) とアミノ酸複合体化経路 (*GH3* 経路) の 2 つの独立した経路で不活性化を受けると提唱されてきた。研究代表者らは, *DAO* 酵素の本来の基質は IAA ではなく *GH3* 酵素により生成される IAA アミノ酸複合体であることを, ケミカルバイオロジーの手法により見出した。すなわち *GH3* 酵素が触媒する IAA のアミノ酸複合体化と, *DAO* 酵素によるこの IAA アミノ酸の酸化が直列に位置して逐次的に作用する経路 (*GH3-DAO* 経路) が, IAA 不活性化の主経路である強い可能性を見つけた。本研究では『IAA は主に *GH3-DAO* 経路により不活性化される』ことを証明する。また *GH3-ILR1* 再活性化サイクルによるオーキシンホメオスタシスの制御機構の解明し, *GH3-DAO* 経路によるオーキシンホメオスタシスの分子基盤の解明に挑む。

### 3. 研究の方法

IAA の不活性化の基盤的な役割を担うとされる *DAO* 酸化酵素の欠損変異体においても IAA は

図 2 *GH3-ILR1-DAO* 経路



蓄積せず、またオーキシン過剰の表現型は観察されない。一方、代表者らが創製した GH3 阻害剤で植物を処理すると IAA が蓄積され、きわめて強いオーキシン過剰の表現型が観察された。このことから GH3 酵素が IAA 不活性化経路の律速段階に位置し、DAO 酸化酵素は GH3 酵素の下流に位置して、IAA-Asp や IAA-Glu を酸化する酵素であるとの仮説を立てて、*UGT84B1*、*IAMT1*、*GH3*、*DAO1*、*ILR1* の各種欠損変異体やそれらの過剰発現体の構築とその解析を進めた。また、これらの IAA 代謝酵素を大腸菌などで発現させて、その酵素活性を詳細に解析した。

#### 4. 研究成果

本研究では、GH3 酵素が IAA 不活性化経路の中心となる律速酵素として働き、GH3-ILR1-DAO 経路により、IAA は不活性化をうけることで細胞内 IAA 濃度が調節されるというモデルを構築した。この GH3-ILR1-DAO 経路においては、GH3 と DAO が同一経路に直列に位置して逐次的に働くことを示した。そこで、DAO 酸化酵素は、IAA - アミノ酸複合体を基質として酸化し、不可逆的な不活性化体である oxIAA - アミノ酸複合体に代謝すると考えた。また、GH3 酵素は IAA を、一時的な IAA 貯蔵体である IAA - アミノ酸複合体に変換する酵素であると考えた。すなわち、これまで不可逆的な不活性化体と報告されてきた IAA - アミノ酸複合体が、ILR1/ILL 酵素により再活性化されて細胞内で IAA に再生される「IAA 貯蔵体」であることを証明した。本課題では GH3 酵素、ILR1/ILL 加水分解酵素、および DAO 酸化酵素が協調して、IAA がリサイクルされる量と酸化代謝される量を調節するという GH3-ILR1-DAO 経路について研究を推進し、次の [1] ~ [3] の研究成果を得た。

### 【1】GH3 酵素阻害剤・細胞膜透過性 IAA-アミノ酸誘導体を用いた GH3 と ILR1 による IAA の一時的貯蔵体への変換と再活性化機構

代表者らがケミカルスクリーニングより見出した GH3 阻害剤の構造最適化と組換え GH3 酵素に対する阻害特性や不活性化酵素の変異体における感受性などを検討した。その結果、GH3 酵素を特異的に阻害する Kakeimide を拮抗型の阻害剤として創製することができた。Kakeimide で処理すると、*gh3* の七重変異体と同様な、極度にオーキシンが蓄積したと考えられる表現型が観察された。*dao1* 欠損変異体では、このような IAA 過剰の表現型が観察されないことから、DAO ではなく GH3 酵素によるアミノ酸付加が IAA 不活性化の中心的な役割を果たしていることが明らかになった。

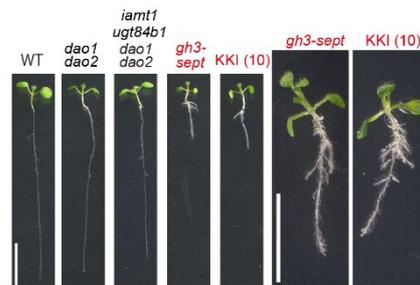


図3 IAA 代謝酵素欠損変異株の表現型  
WT: 野生株, *gh3-sept*: *gh3.1, 2, 3, 4, 5, 6, 17* 欠損株  
KKI: GH3 阻害剤 (kakeimide で処理)

GH3 酵素の主要な IAA 不活性化産物である IAA-アスパラギン酸 (IAA-Asp) や IAA-グルタミン酸 (IAA-Glu) は、植物に対してオーキシン活性を示さない。このため IAA-Asp/ IAA-Glu は IAA の不可逆的な不活性化体と長い間考えられてきた。

本研究では「ジカルボン酸である IAA-Asp/ IAA-Glu は細胞膜を透過しないので、IAA へと加水分解されないためオーキシン活性を示さない」との仮説のもと、細胞膜透過性の IAA-Asp/ IAA-Glu エステル体を合成した。これらのエステル体は膜透過後に IAA へと再活性化されて強いオーキシン活性を示したことから (図 4)、IAA-Asp/ IAA-Glu は IAA の貯蔵体であると推定した。さらに ILR1/ILL 再活性化酵素 (加水分解酵素) や *dao1* の欠失変異体は IAA-Asp/ IAA-Glu ジエステル体に非感受性であったことから、ILR1/ILL 酵素と DAO1 酵素が IAA-Asp/ IAA-Glu から IAA への再活性化経路に関わることが明らかになった。

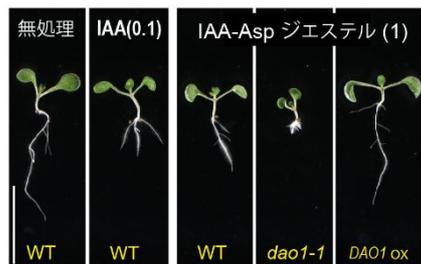


図4 IAA-Asp ジエステルに対する感受性  
IAA-Asp ジエステルに対して、WT: 野生株は、IAA と同様な応答を示す。*dao1* 欠損株は、高感受性となり、DAO1 過剰発現体 (DAO1 ox) は、非感受性となる。

### 【2】不活性化酵素の欠失変異株・過剰発現体の作成と代謝中間体の精密定量

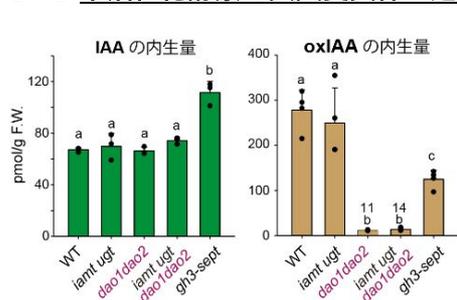


図5 IAA と oxIAA の内生量  
*gh3* 七重変異体は、内生 IAA 量が増加し、oxIAA 量が減少していた。一方 *dao1* 欠損株は、内生 IAA 量が変化しなかったが、oxIAA 量は低かった。

シロイヌナズナの IAA 不活性化を担う 8 種類の GH3 酵素遺伝子に加えて、IAA 不活性化酵素の *DAO1*、*UGT84B1*、*IAMT1* などの多重欠損変異体と過剰発現体を作成し、それらの IAA や GH3 阻害剤に対する感受性を解析したところ、*dao1*、*ugt84b1*、*iam1* の三重欠損変異体では IAA に対する感受性には変化がなく、GH3 の多重変異体のみが IAA に対して高感受性となったことから、主に GH3 酵素が IAA 不活性化を担うと考えられた。また、過剰発現変異体においては、*dao1* 変異体のみが、オーキシン欠乏の表現型を示さなかったことから、DAO1 は、IAA を基質としないことが明らかになった。これら

不活性化酵素変異体における IAA 代謝産物を LC-MS/MS により解析した結果 (図 5)、*dao1* 変異体と同様に *gh3* 七重欠損変異体 (*gh3-sept*) では、oxIAA と oxIAA-Asp/Glu 量が減少し

ていた。さらに安定同位体ラベルをした IAA を投与し、oxIAA への代謝を追跡したところ、*gh3* 七重欠損変異体では、oxIAA 量が激減した(図 6)。また、*ilr1* 変異体では、oxIAA が激減する一方、oxIAA-Glu が蓄積していた(図 7)。これらの変異体と過剰発現体に膜透過性の IAA-Asp/IAA-Glu のプロドラッグ体を投与して、LC-MS/MS で代謝産物量を測定した。その結果、DAO1 は、IAA-Asp/IAA-Glu を oxIAA-Asp/Glu へと酸化する酵素であること、ILR1 が oxIAA-Asp/Glu を加水分解して oxIAA を生成する酵素であることが示された。

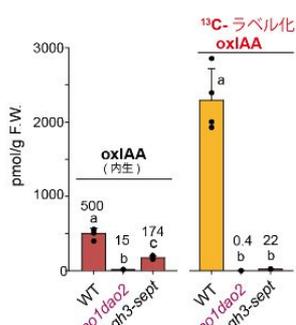


図 6 IAA 安定同位体由来のラベル化 oxIAA の内生量 *gh3* 七重変異体は、*dao* 欠損体と同じく oxIAA は蓄積しなかった。

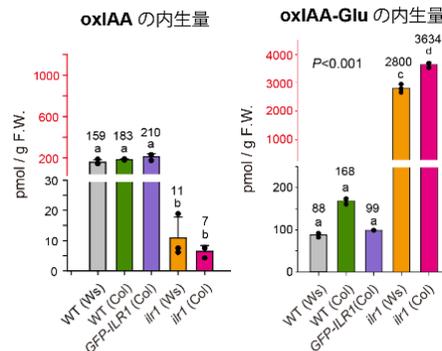


図 7 *ilr1* 変異体における oxIAA と oxIAA-Glu の内生量

### 【3】不活性化酵素の機能解析

大腸菌で組換え DAO 酵素を発現、精製して、その酵素活性を測定した。組換え DAO1 酵素は、IAA-Asp を oxIAA-Asp へと酸化し、その反応速度は IAA の酸化速度に比べて 2000 倍以上速かった(図 8 左)。また、DAO1 酵素の結晶構造の分子結合計算結果も、DAO1 は、IAA よりも、IAA-アミノ酸複合体に対して高い親和性を示すことが示された。さらに、イネの OsDAO 組換え酵素も、同様に IAA-Asp を oxIAA-Asp に酸化する活性を示した。コムギ無細胞タンパク質合成系を用いて、組換え ILR1 酵素を調製し、酵素活性を測定したところ、ILR1 は IAA-Asp・IAA-Glu を加水分解して IAA を遊離するだけでなく、oxIAA-Asp・oxIAA-Glu を加水分解して oxIAA を生成する活性を示した(図 8 中央、右)。これらの酵素活性から、植物内においても DAO1 は、IAA-アミノ酸複合体の酸化酵素として働き、生じた oxIAA-アミノ酸が、ILR1 により加水分解をうけて、oxIAA に代謝されることが示された。

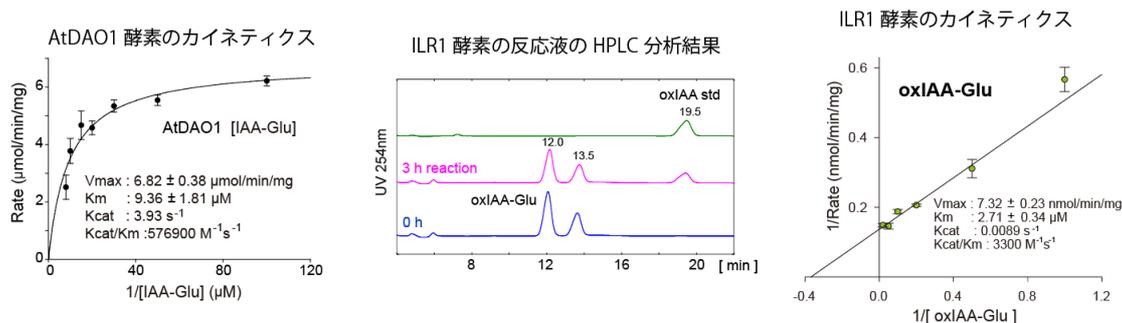


図 8 組換え IAA 代謝酵素 1 DAO1 と ILR1 酵素の酵素活性のカイネティクス

上記【1】～【3】の研究結果から、最終的には図 2 に示したように GH3 と DAO が直列に配置され、GH3 と ILR1 が IAA-Asp 貯蔵体を介して、IAA のホメオスタシスを調節する GH3-ILR1-DAO 不活性化経路を決定することができた。これらの結果から、代表者らは環境応答や形態形成などにおいて、植物成長の根幹にかかわる IAA の細胞内濃度の制御は、オーキシンの生合成と同様に、不活性化経路も極めて重要な役割を担うとの仮説を得るに至った。そこで、GH3-ILR1-DAO 経路による IAA 不活性化速度の見積もり、すなわち IAA の代謝回転速度の見積りを試みた。内生 IAA 濃度は IAA の生合成、輸送、不活性化の 3 つの経路が協働して調節するため、従来の遺伝学的手法では IAA の代謝回転速度の解析は困難であると考えられた。実際、IAA 生合成酵素の過剰発現体では、IAA により GH3 酵素の発現が誘導され、IAA の不活性化を亢進することで、内生 IAA 濃度を維持することが知られている。代表者らは、GH3 阻害剤である Kakeimide による、きわめて短時間における細胞内 IAA 量の変化を、*DII*-*VENUS* レポーター株と IAA の精密定量で見積もった。Kakeimide 処理した植物体では、10 分で内生 IAA の量が 2 倍に増加したことから、植物の IAA の代謝回転時間はおよそ 10 分と見積もることができた。すなわち定常状態では、植物内では、10 分間で合成された IAA は、すべて不活性化されており、非常に動的な濃度調節を受けていると考えられた。以上、本研究がさらに発展すれば、『新しいオーキシン濃度分布の制御機構』につながる研究になると期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 8件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Fukui K, Arai K, Tanaka Y, Aoi Y, Kukshal V, Jez JM, Kubes MF, Napier R, Zhao Y, Kasahara H, Hayashi KI.	4. 巻 119
2. 論文標題 Chemical inhibition of the auxin inactivation pathway uncovers the roles of metabolic turnover in auxin homeostasis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc Natl Acad Sci U S A.	6. 最初と最後の頁 e2206869119
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1073/pnas.2206869119.	査読の有無 無
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 Taya K, Takeuchi S, Takahashi M, Hayashi KI, Mikami K.	4. 巻 11
2. 論文標題 Auxin Regulates Apical Stem Cell Regeneration and Tip Growth in the Marine Red Alga Neopyropia yezoensis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cells	6. 最初と最後の頁 2652
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/cells11172652	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 Hayashi KI, Arai K, Aoi Y, Tanaka Y, Hira H, Guo R, Hu Y, Ge C, Zhao Y, Kasahara H, Fukui K.	4. 巻 12
2. 論文標題 The main oxidative inactivation pathway of the plant hormone auxin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nat Commun	6. 最初と最後の頁 6752
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-021-27020-1.	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 Li C, Liu G, Geng X, He C, Quan T, Hayashi KI, De Smet I, Robert HS, Ding Z, Yang ZB.	4. 巻 108
2. 論文標題 Local regulation of auxin transport in root-apex transition zone mediates aluminium-induced Arabidopsis root-growth inhibition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant J.	6. 最初と最後の頁 55-56
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/tpj.15424.	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 Hayashi KI.	4. 巻 13
2. 論文標題 Chemical Biology in Auxin Research.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cold Spring Harb Perspect Biol	6. 最初と最後の頁 a040105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/cshperspect.a040105	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 Aoi Y, Hira H, Hayakawa Y, Liu H, Fukui K, Dai X, Tanaka K, Hayashi KI, Zhao Y, Kasahara H.	4. 巻 532
2. 論文標題 UDP-glucosyltransferase UGT84B1 regulates the levels of indole-3-acetic acid and phenylacetic acid in Arabidopsis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biochem Biophys Res Commun . 2020 Nov 5;532(2):244-250.	6. 最初と最後の頁 244-250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrc.2020.08.026	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 Kaneko S, Cook SD, Aoi Y, Watanabe A, Hayashi KI, Kasahara H.	4. 巻 61
2. 論文標題 An Evolutionarily Primitive and Distinct Auxin Metabolism in the Lycophyte Selaginella moellendorffii	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant Cell Physiol .	6. 最初と最後の頁 1724-1732
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcaa098.	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 Takubo E, Kobayashi M, Hirai S, Aoi Y, Ge C, Dai X, Fukui K, Hayashi KI, Zhao Y, Kasahara H.	4. 巻 527
2. 論文標題 Role of Arabidopsis INDOLE-3-ACETIC ACID CARBOXYL METHYLTRANSFERASE 1 in auxin metabolism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biochem Biophys Res Commun.	6. 最初と最後の頁 1033-1038
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrc.2020.05.031.	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 Koike I, Watanabe S, Okazaki K, Hayashi KI, Kasahara H, Shimomura K, Umehara M.	4. 巻 251
2. 論文標題 Endogenous auxin determines the pattern of adventitious shoot formation on internodal segments of ipecac	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Planta . 2020 Mar 5;251(3):73.	6. 最初と最後の頁 73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00425-020-03367-5.	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 Aoi Y, Oikawa A, Sasaki R, Huang J, Hayashi KI, Kasahara H.	4. 巻 524
2. 論文標題 Arogenate dehydratases can modulate the levels of phenylacetic acid in Arabidopsis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biochem Biophys Res Commun	6. 最初と最後の頁 83-88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrc.2020.01.041.	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 Aoi Y, Tanaka K, Cook SD, Hayashi KI, Kasahara H.	4. 巻 61
2. 論文標題 GH3 Auxin-Amido Synthetases Alter the Ratio of Indole-3-Acetic Acid and Phenylacetic Acid in Arabidopsis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant Cell Physiol	6. 最初と最後の頁 596-605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcz223.	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 Aoi Y, Tanaka K, Cook SD, Hayashi KI, Kasahara H.	4. 巻 61
2. 論文標題 GH3 Auxin-Amido Synthetases Alter the Ratio of Indole-3-Acetic Acid and Phenylacetic Acid in Arabidopsis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant Cell Physiol	6. 最初と最後の頁 596-605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcz223.	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 Aoi Y, Oikawa A, Sasaki R, Huang J, Hayashi KI, Kasahara H.	4. 巻 524
2. 論文標題 Arogenate dehydratases can modulate the levels of phenylacetic acid in Arabidopsis.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biochem Biophys Res Commun.	6. 最初と最後の頁 83-88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrc.2020.01.041.	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 Oochi A, Hajny J, Fukui K, Nakao Y, Gallei M, Quareshy M, Takahashi K, Kinoshita T, Harborough SR, Kepinski S, Kasahara H, Napier R, Friml J, Hayashi KI	4. 巻 180
2. 論文標題 Pinstatic Acid Promotes Auxin Transport by Inhibiting PIN Internalization.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant Physiol.	6. 最初と最後の頁 1152-1165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1104/pp.19.00201	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

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 菅沼 有紀、丸山 海成、嶋村 正樹、林 謙一郎、笠原 博幸
2. 発表標題 胞子植物におけるオーキシン不活化経路の解析
3. 学会等名 植物化学調節学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ken-ichiro Hayashi
2. 発表標題 Chemical Biology of Indole Derivatives from Plant Hormone to Medicine
3. 学会等名 The 37th Symposium on Natural Products (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ken-ichiro Hayashi
2. 発表標題 Chemical Biology of Indole Derivatives from Plant Hormone to Medicine
3. 学会等名 The 37th Symposium on Natural Products (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菅沼 有紀、丸山 海成、嶋村 正樹、林 謙一郎、笠原 博幸
2. 発表標題 胞子植物におけるオーキシン不活化経路の解析
3. 学会等名 植物化学調節学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中 佑佳、福井 康祐、新井 一司、村上 寿基、Ruipan Guo, Yun Hu, Chennan Ge, 青井 勇輝、比良 隼、Yunde Zhao, 笠原 博幸、林 謙一郎
2. 発表標題 オーキシンの酸化的代謝経路に関する研究(II)
3. 学会等名 植物化学調節学会 第56回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中佑佳、江田 智彬、前田 雅志、古川 毅、福井康祐、三井亮司、林謙一郎
2. 発表標題 標的細胞・オルガネラへの代謝活性化を利用したオーキシンデリバリー制御系の構築
3. 学会等名 日本農芸化学会中四国支部第61回講演会(例会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中佑佳, 新井一司, 福井康祐, 青井勇輝, 比良 隼, Yunde Zhao, 笠原博幸, 林謙一郎
2. 発表標題 単子葉・双子葉植物におけるオーキシン代謝産物の分析
3. 学会等名 日本農薬学会第47回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中佑佳, 新井一司, 福井康祐, Ruipan Guo, Yun Hu, Chennan Ge, 青井勇輝, 比良 隼, Yunde Zhao, 笠原博幸, 林謙一郎
2. 発表標題 オーキシンの不活性化経路の再構築に関する研究
3. 学会等名 日本農芸化学会2022年度大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林謙一郎
2. 発表標題 2020/09 活性分子の可視化プローブのデザイン プローブでどのような情報を可視化するのか。
3. 学会等名 情報分子可視化技術勉強会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 比良隼, 青井勇輝, 早川雄也, Hongquan Liu, 福井康祐, Xinhua Dai, 田中慧太, 林謙一郎, Yunde Zhao, 笠原博幸
2. 発表標題 シロイヌナズナのオーキシン濃度調節におけるUDP-グルコシル基転移酵素UGT84B1の役割
3. 学会等名 植物化学調節学会 第55回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新井一司, 田中佑佳, 村上寿基, 川淵 拓, 青井勇輝, 笠原博幸, 福井康祐, 林謙一郎
2. 発表標題 IAA - アミノ酸複合体の植物体内における生理機能の解析
3. 学会等名 植物化学調節学会 第55回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新井一司, 青井勇輝, 笠原博幸, 福井康祐, 林謙一郎
2. 発表標題 細胞内IAA濃度の恒常性はGH3アミノ酸複合体合成酵素によって調節される
3. 学会等名 農芸化学会 中四国支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊 俊介, 高橋 直紀, 菅野 裕理, 鈴木 洋弥, 青井 勇輝, 武田 紀子, 豊岡 公德, 笠原 博幸, 林 謙 一郎, 梅田 正明, 瀬尾 光範
2. 発表標題 シロイヌナズナ根の重力変化に応答したオーキシン不等分形成におけるインドール酪酸輸送体 NPF7.3/NRT1.5 の寄与
3. 学会等名 植物生理学会 2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林謙一郎
2. 発表標題 植物ホルモン・オーキシンのケミカルバイオロジー
3. 学会等名 日本農芸化学会中四国支部第54回講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村上寿基, 新井一司, 川淵 拓, 笠原博幸, 福井康祐, 林謙一郎
2. 発表標題 植物ホルモン・オーキシンの再活性化酵素に関する研究
3. 学会等名 日本農芸化学会中四国支部第54回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新井一司, 赤嶺孝太, 福井康祐, 笠原博幸, 林謙一郎
2. 発表標題 オーキシン代謝酵素GH3に対する阻害剤の速度論的解析
3. 学会等名 日本農芸化学会中四国支部第54回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福井康祐, 新井一司, 青井勇輝, 竹林裕美子, 笠原博幸, 林謙一郎
2. 発表標題 オーキシン-アミノ酸複合体合成酵素GH3の 阻害剤を用いたIAA代謝経路の解析
3. 学会等名 植物化学調節学会第54回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新井一司, 青井勇輝, 竹林裕美子, 笠原博幸, 福井康祐, 林謙一郎
2. 発表標題 オーキシン-アミノ酸複合体合成酵素GH3の阻害剤の速度論的解析
3. 学会等名 植物化学調節学会第54回大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

植物ホルモン「オーキシン」をリサイクル・分解する 経路を解明  
<https://www.ous.ac.jp/common/files//202111261122590714616.pdf>

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	笠原 博幸  (Kasahara Hiroyuki)  (00342767)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授    (12605)	

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			
米国	University of California San Diego			
英国	University of Warwick	University of Leeds		