

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：24405

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H05763

研究課題名（和文）細胞内生命金属動態を制御する植物の金属センシング機構

研究課題名（英文）Metal/Metalloid sensing mechanisms in plants

研究代表者

高野 順平（Takano, Junpei）

大阪公立大学・大学院農学研究科・教授

研究者番号：70532472

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 63,880,000円

研究成果の概要（和文）：植物における必須金属やメタロイドの輸送機構とそれらの感知機構の理解を目的とした。主な成果を列挙する。1、ホウ酸トランスポーターBOR1について、ホウ素に応じてエンドサイトーシスされて分解する際の、ホウ素感知の仕組みを解析した。ホウ酸濃度をその輸送サイクルにおけるコンフォメーション変化を通して感知し自身のユビキチン化と分解を制御することを支持する結果を得た。2、シロイヌナズナの葯においてBOR1が花粉へホウ素を供給することを明らかにした。3、カスパリー帯がホウ酸の過剰な中心柱への流入を制限することを実証した。4、シロイヌナズナのMTPおよびZIP金属イオントランスポーターの局在解析を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、植物における必須金属やメタロイドの輸送機構とそれらを制御するための感知機構の理解を目的とした。特にホウ酸のトランスポーターがホウ酸濃度を感知し自己を制御するセンサーとしても働くことを示し、植物のトランスポーターの制御機構として学術的に新しいモデルを提案することができた。研究成果は土壌中の限られた栄養の利用効率や蓄積が高い作物や有害金属を蓄積しない作物の作出につながる事が期待される。

研究成果の概要（英文）：The project aimed to understand the transport and sensing mechanisms of essential metals and metalloids in plants. The major outcomes are as follows. 1, A borate transporter BOR1 is down-regulated via endocytosis upon high B supply. Our analysis obtained evidence to support a model where BOR1 senses boron concentration during the transport cycle and regulates its own ubiquitination and degradation. 2. We revealed that BOR1 transport boron to support pollen development in anthers. 3. We showed that the Casparian strip functions as a diffusion barrier to limit the diffusion of excessive boric acid into root steles. 4. We analyzed the intracellular localization of zinc transporters in Arabidopsis.

研究分野：植物栄養学

キーワード：ホウ素 トランスポーター シロイヌナズナ カスパリー帯 亜鉛

1. 研究開始当初の背景

植物に必須な金属やメタロイドなどの生命金属について、植物による吸収と体内での移行のメカニズムが解析されてきた。しかしながら、それらの理解は断片的であり、それぞれの輸送タンパク質の機能には解析の余地があった。また、それぞれの輸送タンパク質の蓄積や活性が生命金属の濃度により制御されることは明らかになってきていたが、生命金属の濃度を感知するメカニズムについてはほとんど明らかでなかった。

2. 研究の目的

植物における生命金属の輸送機構とそれを制御するための感知機構を理解するため、「生命金属の濃度センサーとしても働くトランスポーター (トランスセプター) の作用機序の解析」、「生命金属のトランスポーターの局在と生理機能の解析」、「ホウ素輸送におけるカスパリー帯の機能の解析」を主要な目的とした。

3. 研究の方法

トランスポーターの局在や蓄積は GFP などを用いた蛍光イメージングや、western blotting など生化学的手法を用いて解析した。トランスポーターのタンパク質構造は、出芽酵母における発現精製 (協力:大阪公立大学 藤枝伸宇博士)とクライオ電子顕微鏡による単粒子解析 (協力:理化学研究所 Chai Gopalasingam 博士、重松秀樹博士)により解析した。ホウ酸輸送の生理学的解析は、独自で開発したホウ酸バイオセンサーや ICP-MS, Laser ablation-ICP-MS(協力:千葉大学 田中佑樹博士、小椋康光博士) を駆使して行った。

4. 研究成果

1. ホウ酸トランスセプターのセンシング機能と構造

シロイヌナズナのホウ酸排出型トランスポーターBOR1 は、低ホウ素条件時に植物体内での効率的なホウ素輸送を促進する。BOR1 は細胞内外のホウ酸濃度上昇に応じてユビキチン化され、細胞膜から液胞へ輸送され分解される。これはホウ素の植物組織への過剰蓄積を防ぐため重要なしくみである。本研究では、BOR1 内の基質結合部位に隣接したプロトン結合サイトと予想される Asp311 残基を Ala に置換すると輸送活性がなくなり、ユビキチン化と液胞輸送も完全に止まることなどを示した。これにより、BOR1 の分解を制御するホウ酸センシングに BOR1 の輸送活性が必要と考えられ、「BOR1 は細胞内外のホウ酸濃度をその輸送サイクルにおけるコンフォメーション変化を通して感知し自身のユビキチン化と分解を制御するトランスセプターである」というモデルを提示した (図1; Yoshinari et al. 2021 Plant Cell)。

さらに、出芽酵母における発現精製とクライオ電子顕微鏡による単粒子解析を進め、モデルを支持する結果を得た。

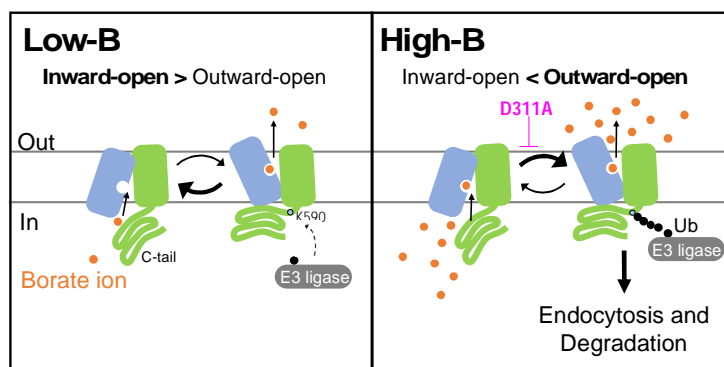


図 1. ホウ酸トランスセプターによるホウ酸輸送と共益したホウ酸濃度の感知とユビキチン化と分解のモデル

2. シロイヌナズナの薬におけるホウ素動態の解析

植物の生殖において生命金属の恒常性は特に重要である。本研究では、花粉を生産する薬におけるホウ素の動態を BOR1 トランスポーターと BOR4 トランスポーターの局在と機能に着目して解析した。BOR1 は植物の根や葉などの様々な細胞に発現しホウ素輸送を担うが、花における役割を解析するため、bor1 機能欠損株に野生型株の花茎を接木して解析した。bor1 変異株では低ホウ素条件時に花粉の形態異常と稔性の低下がみられたが、接木により回復した。さらに、花粉一粒ずつのホウ素含量を Laser Ablation-ICP-MS により測定したところ、接木による回復が見られた。以上から、タペート細胞の BOR1 は、薬室へホウ酸を輸送することで、花粉の細胞壁の材料としてのホウ素を供給する役割を持つことが示唆された。BOR4 についても、薬のタペート細胞と小孢子に発現し細胞膜に局在することと、その機能欠損で花粉の構造とホウ素濃度に異常を示すことを見出した。

3. ホウ酸過剰耐性におけるカスパリー帯の機能

根の内皮細胞を囲うカスパー帯は溶質の細胞外(アポプラスト)経路での中心柱への流入出を制限すると古くより考えられてきたが、カスパー帯を部分的に欠損する変異株も生育可能で、その役割にはいまだ謎が多い。そこで、ホウ酸バイオセンサーを用いたホウ酸フラックス解析と安定同位体を用いたトレーサー実験を実施した。その結果、カスパー帯欠損型変異株において、根の中心柱へのホウ酸流入と地上部への移行が速いことを示した。カスパー帯欠損型変異株はホウ酸過剰に感受性が高いことも明らかにしており(図2)、カスパー帯はホウ酸の中心柱への流入を制限することで過剰耐性に貢献すると考えられた(Muro et al. *Frontiers in Plant Science* 2023)。

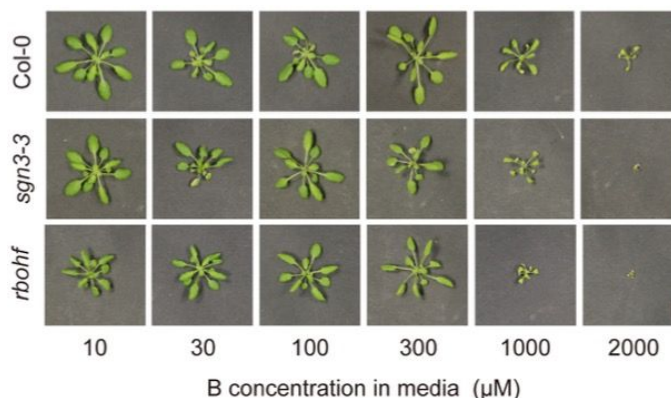
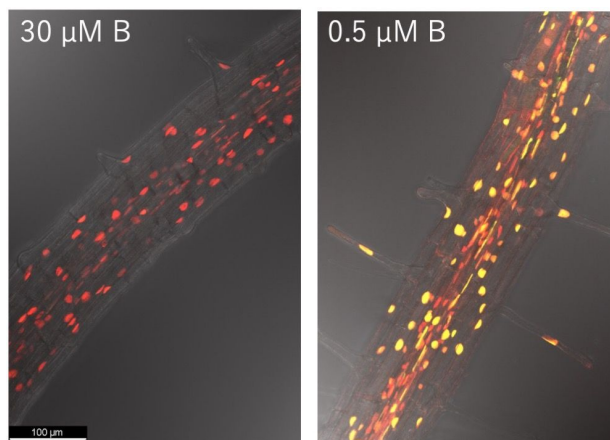


図2. カスパー帯変異株 (*sgn3-3*, *rboh1f*) は野生型株 (*Col-0*) と比較してホウ素過剰に感受性である

4. ホウ酸バイオセンサーの改良

私たちは以前に細胞内ホウ酸濃度を可視化するツールとして、ホウ酸バイオセンサーを開発した(Fukuda et al. 2018 *Plant J*)。ホウ酸チャネル *NIP5;1* 遺伝子の5'非翻訳領域が細胞質ホウ素濃度の上昇に応じて mRNA の分解を促す現象を利用した RNA 型バイオセンサーである。本研究では、ホウ酸に応答しないリファレンス (tdTomato-NLS) とセンサー (*uNIP5;1-NLS-3xvenus*) を同時に発現させることで、細胞内ホウ酸の絶対量を可能にするシステムを作出した(図3)。これにより形質転換シロイヌナズナにおいて、細胞間のホウ酸濃度を比較できるようになった。また、ホウ酸トランスポーター *BOR1* 遺伝子の5'非翻訳領域が細胞質ホウ素濃度の上昇に応じて翻訳を抑制する現象を利用したセンサーも新たに開発した。こちらは前者よりも高いレンジのホウ酸に応答するため、合わせて欠乏領域から過剰領域まで (μM - mM) をカバーすることが可能である。



NIP5;1 5'UTR-NLS-3xVenus + tdTomato-NLS

図3. 根の各細胞内のホウ酸濃度の可視化 緑(赤と合わせて黄色)が強い核を持つ細胞のホウ酸濃度は低い。低ホウ素条件 (0.5 μM) でも中心柱のホウ酸濃度は高いことがわかる。

5. シロイヌナズナの MTP および ZIP ファミリー金属イオントランスポーターの局在解析

シロイヌナズナが持つ金属イオン排出型の MTP および吸収型の ZIP トランスポーターの細胞内局在の網羅的な解析を進めた。MTP についてほぼ全てのメンバーについてタバコ葉表皮細胞における mGFP 融合タンパク質の一過的発現に成功し、液胞膜、小胞体膜、ゴルジ体などへの局在を特定した。特に MTP4 については、花粉管のトランスゴルジ網に局在することを明らかにした。ZIP について、これまでに報告がなかった9つについて蛍光タンパク質の種類と融合の位置を検討しつつ解析し、ほとんどが細胞膜局在であることを明らかにした。特徴のある ZIP, MTP についてシロイヌナズナの形質転換植物の整備も進め、亜鉛濃度の上昇に応じた局在変化を示すものも特定した。これらのさらなる解析により、亜鉛濃度の感知のメカニズムの理解が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Muthuvel J., J. Takano	4. 巻 -
2. 論文標題 Understanding the regulatory mechanisms of B transport to develop crop plants with B efficiency and excess B tolerance	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Plant Soil	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） 10.1007/s11104-023-05975-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 高野 順平	4. 巻 92
2. 論文標題 植物のミネラル輸送研究最前線 8. ホウ素の輸送機構	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本土壌肥科学雑誌	6. 最初と最後の頁 129-135
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20710/dojo.92.2_129	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 高野 順平	4. 巻 56
2. 論文標題 ホウ酸を輸送しつつ感知するトランスセプター	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 植物の生長調節	6. 最初と最後の頁 117-121
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18978/jscrp.56.2_117	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 A. Yoshinari, Y. Toda Y, J. Takano	4. 巻 113
2. 論文標題 GNOM dependent endocytosis maintains polar localization of the borate exporter BOR1 in Arabidopsis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biology of the Cell	6. 最初と最後の頁 264-269
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/boc.202000106	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 A. Yoshinari, T. Hosokawa, M. P. Beier, K. Oshima, Y. Ogino, C. Hori, T. E. Takasuka, Y. Fukao, T. Fujiwara and J. Takano	4. 巻 33
2. 論文標題 Transport-coupled ubiquitination of the borate transporter BOR1 for its boron-dependent degradation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant Cell	6. 最初と最後の頁 420-438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/plcell/koaa020	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 Q. Wang, W. Zhang W, H. Xiao, N. Sotta, M. P. Beier, J. Takano, K. Miwa, L. Gao, T. Fujiwara	4. 巻 171
2. 論文標題 Involvement of boron transporter BOR1 in growth under low boron and high nitrate conditions in Arabidopsis thaliana.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physiologia Plantarum	6. 最初と最後の頁 703-713
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/pp1.13249	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 K. Muro, J. Kamiyo, S. Wang, N. Geldner, J. Takano J	4. 巻 14
2. 論文標題 Casparian strips prevent apoplastic diffusion of boric acid into root steles for excess B tolerance	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Front. Plant Sci.	6. 最初と最後の頁 988419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2023.988419	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 A. Yoshinari, T. Hosokawa, T. Amano, M.P. Beier, T. Kunieda, T. Shimada, I. Hara-Nishimura, S. Naito, J. Takano	4. 巻 179
2. 論文標題 Polar Localization of the Borate Exporter BOR1 Requires AP2-Dependent Endocytosis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant Physiol.	6. 最初と最後の頁 1569-1580
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1104/pp.18.01017	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 A. Yoshinari, Y. Shimizu, T. Hosokawa, A. Nakano, T. Uemura, J. Takano	4. 巻 -
2. 論文標題 Rapid Vacuolar Sorting of the Borate Transporter BOR1 Requires the Adaptor Protein Complex AP-4 in Arabidopsis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 bioRxiv	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) 10.1101/2023.12.06.570355	査読の有無 無
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47件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 J. Takano
2. 発表標題 Boron transport and sensing in Arabidopsis
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Metallomics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 J. Takano
2. 発表標題 AtBOR1 is a borate transceptor controlling degradation of itself
3. 学会等名 Boron Satellite Meeting、International Plant Nutrition Colloquium (IPNC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 J. Takano
2. 発表標題 A Boron transport and sensing by a borate transceptor in Arabidopsis.
3. 学会等名 10th Asian Biological Inorganic Chemistry Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 J. Takano
2. 発表標題 Mechanisms controlling polar localization and boron-dependent degradation of boric acid/borate transport proteins.
3. 学会等名 IWPMB2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高野順平
2. 発表標題 植物におけるホウ素の利用とホウ酸トランスセプター
3. 学会等名 第95回日本生化学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 J. Takano, K. Muro, A. Yoshinari, M. Matsumoto, A. Yamasaki, Y. Tanaka, Y. Ogra
2. 発表標題 AtBOR1 in tapetum cells transports boron to support pollen development
3. 学会等名 International Plant Nutrition Colloquium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 室啓太、高野順平
2. 発表標題 シロイヌナズナホウ酸輸送体の極性制御機構の解析
3. 学会等名 JANPER・細胞骨格研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 A. Daspute, 和佐大地、室啓太、高野順平
2. 発表標題 Switching Localization of an Arsenite Transporter PcACR3;1 using N-terminal Region of a Boric Acid Channel AtNIP5;1
3. 学会等名 植物バイオテクノロジー学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高野順平
2. 発表標題 ホウ酸トランスセプターBOR1によるホウ酸感知と自己制御
3. 学会等名 植物の栄養研究会 第7回研究交流会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 室啓太、吉田麟太郎、清水優大、大橋慧介、荻野由香、笠井光治、堀千明、高須賀太一、藤原徹、高野順平
2. 発表標題 ホウ酸トランスポーター BOR1 のリン酸化/脱リン酸化を介した偏在制御機構の解析
3. 学会等名 日本植物生理学会 仙台大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 F. Zhang, A. Yamasaki, S. Nakamura, S. Takemura, S. Ishikuro, J. Takano
2. 発表標題 KNS3 and its two homologs form a probable cargo-receptor complex, important for ER exit of boric acid channels in Arabidopsis
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Metallomics
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀川和花、橋口小町、高野順平
2. 発表標題 シロイヌナズナにおけるZIPおよびMTPトランスポーターファミリーの局在解析
3. 学会等名 日本土壌肥料学会 東京大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Junpei TAKANO
2. 発表標題 Molecular Mechanisms of Boron Transport in Plants.
3. 学会等名 42nd ANNUAL MEETING OF PLANT TISSUE CULTURE ASSOCIATION (INDIA) & INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCES IN PLANT BIOTECHNOLOGY AND GENOME EDITING-2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 室啓太, 神代滋央, 高野順平
2. 発表標題 シロイヌナズナの根におけるホウ素輸送制御にカスパリー帯が果たす役割の解析
3. 学会等名 日本土壌肥料学会 北海道大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高野順平, 室啓太, 松本真季, 田中佑樹, 小椋康光, 山崎有紗, 吉成晃
2. 発表標題 ホウ酸トランスポーターBOR1はタベート細胞から薬室へホウ素を輸送する
3. 学会等名 日本土壌肥料学会 北海道大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 室啓太, 神代滋央, 高野順平
2. 発表標題 シロイヌナズナの高ホウ素耐性にカスバリー帯が果たす役割の解析
3. 学会等名 第63回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 張哲, 山崎有紗, 中村俊介, 竹村駿介, 石黒澄衛, 高野順平
2. 発表標題 シロイヌナズナホウ酸輸送チャネルの小胞体からの輸送にはカーゴレセプター候補タンパク質KNS3とそのホモログが重要である
3. 学会等名 第63回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 反田直之, 三輪京子, 高野順平, 藤原徹
2. 発表標題 トライコームと非根毛細胞に特異的に発現するホウ素輸送体の役割
3. 学会等名 日本土壌肥料学会 北海道大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川田ゆかり, 反田直之, 三輪京子, サキブ ムハンマド, 高田茂樹, 高野順平, 藤原徹
2. 発表標題 シロイヌナズナにおけるホウ酸トランスポーターBOR5の機能解析
3. 学会等名 土壌肥料学会 静岡大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野順平、Marcel Pascal Beier、Su kehan、長田大地
2. 発表標題 高親和性カリウムトランスポーターHAK5のカリウム濃度に応答した分解
3. 学会等名 土壤肥料学会 静岡大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 細川卓也、吉成晃、Marcel Pascal Beier、荻野由香、高野順平
2. 発表標題 ホウ酸トランスポーターBOR1によるホウ酸感知
3. 学会等名 土壤肥料学会 静岡大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本真季、山崎有紗、吉成晃、石黒澄衛、高野順平
2. 発表標題 タベート細胞に発現するBOR1は花粉形成に重要である
3. 学会等名 土壤肥料学会 静岡大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神代滋央、和久田真司、福田牧葉、藤原徹、高野順平
2. 発表標題 ホウ酸センサーの開発と根における細胞層間のホウ酸移行の解析
3. 学会等名 土壤肥料学会 静岡大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Marcel Pascal Beier, 高野順平
2. 発表標題 The high-affinity potassium transporter AtHAK5 undergoes degradation upon high K ⁺ supply.
3. 学会等名 第8回エンドメンブレンミーティング (JANPER2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 篠原千波、高野順平
2. 発表標題 ホウ酸チャネルNIP5;1の偏在メカニズムの解析
3. 学会等名 第8回エンドメンブレンミーティング (JANPER2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 張哲、山崎有紗、中村俊介、上原匡貴、高野順平、竹村俊祐、石黒澄衛
2. 発表標題 シロイヌナズナホウ酸輸送チャネルのER-Golgiカーゴレセプター候補タンパク質KNS3の機能解析
3. 学会等名 第8回エンドメンブレンミーティング (JANPER2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野順平
2. 発表標題 ホウ酸トランスポーターの極性輸送と液胞輸送におけるエンドサイトーシスのルート
3. 学会等名 日本植物学会 第83回大会 シンポジウム 植物におけるオルガネラゾーン研究 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野順平
2. 発表標題 ホウ酸トランスポーターの偏在・分解を制御するエンドメンブレンシステム
3. 学会等名 第61回植物生理学会年会シンポジウム「植物エンドメンブレンシステムが司る高次機能」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Qing Wang, Wenna Zhang, Hua Xiao, Naoyuki Sotta, Marcel Pascal Beier, Junpei Takano, Kyoko Miwa, Lihong Gao, Toru Fujiwara
2. 発表標題 Involvement of boron transporter (BOR1) in growth under low boron and high nitrate condition in <i>Arabidopsis thaliana</i>
3. 学会等名 第61回植物生理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yukari Kawata, Naoyuki Sotta, Kyoko Miwa, Muhammad Saqib, Shigeki Takada, Junpei Takano, Toru Fujiwara
2. 発表標題 Overexpression of BOR5 alleviates the inhibition of root elongation under a high boron condition
3. 学会等名 第61回植物生理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akira Yoshinari, Takuya Hosokawa, Taro Amano, Marcel Pascal Beier, Tadashi Kunieda, Tomoo Shimada, Ikuko Hara-Nishimura, Satoshi Naito, Junpei Takano
2. 発表標題 AP2-dependent and independent endocytic pathways: differential regulation of polar localization and vacuolar sorting of the borate transporter BOR1
3. 学会等名 International Workshop on Plant Membrane Biology (IWPMB2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野 順平
2. 発表標題 植物のハウ酸トランスセプター
3. 学会等名 日本農芸化学会2021年度大会 大会シンポジウム「農芸化学における分子から細胞・個体レベルまでの生命金属科学研究」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高野 順平
2. 発表標題 ハウ酸トランスセプター-B0R1
3. 学会等名 第62回植物生理学会年会 シンポジウム「生命金属科学の新展開」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高野 順平
2. 発表標題 植物におけるハウ酸トランスポーターの偏在・分解と選択的小胞輸送
3. 学会等名 第15回トランスポーター研究会年会 シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高野 順平
2. 発表標題 生命金属動態の維持～植物のハウ酸トランスセプター～
3. 学会等名 コラボレーション企画 CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高野 順平
2. 発表標題 細胞質ホウ酸バイオセンサーの開発と利用
3. 学会等名 日本土壤肥料学会岡山大会 シンポジウム「植物の元素イメージング」日本土壤肥料学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 蘇可寒、高野順平、松村篤
2. 発表標題 イオノーム解析によるダイズのイオン獲得能力の解析
3. 学会等名 日本土壤肥料学会岡山大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大島啓嗣、細川卓也、高野順平
2. 発表標題 シロイヌナズナのホウ酸輸送体BOR1のC末端細胞質側領域の酸性配列とユビキチン化の関係
3. 学会等名 日本土壤肥料学会岡山大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 J. Takano, K. Muro, R. Yoshida, Y. Shimizu, Y. Ogino, K. Ohashi, C. Hori, T. Takasuka, T. Fujiwara
2. 発表標題 Polar localization of a borate transporter AtBOR1 is dependent on phosphorylation and dephosphorylation
3. 学会等名 55th Annual Conference 2023 of the German Society of Plant Nutrition, Hohenheim, Germany (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 J. Takano
2. 発表標題 Boron transport and sensing by a borate transeptor in Arabidopsis.
3. 学会等名 International Conference on 100 Years of Results on Boron Research in Plants, Hohenheim, Germany (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 1.K. Muro, R. Yoshida, Y. Shimizu, Y. Ogino, K. Kasai, C. Hori, T. Takasuka, T. Fujiwara, J. Takano
2. 発表標題 Phosphorylation/Dephosphorylation-mediated Regulation of the Polar Localization of a Borate Transporter BOR1 in Arabidopsis thaliana
3. 学会等名 The 33rd International Conference on Arabidopsis Research, Makuhari Messe, Chiba (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 2.R. Yoshida, K. Muro, Y. Shimizu, K. Ohashi, Y. Ogino, C. Hori, K. Kasai, T. Takasuka, T. Fujiwara, J. Takano
2. 発表標題 Phosphorylation and dephosphorylation regulate polar localization of a Borate Transporter AtBOR1
3. 学会等名 IRN France-Japan Frontiers in Plant Biology, Symposium 2023, Kyoto University (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田麟太郎、室啓太、清水優大、大橋慧介、荻野由香、笠井光治、堀千明、高須賀太一、藤原徹、高野順平
2. 発表標題 リン酸化と脱リン酸化がホウ酸トランスポーター AtBOR1 の偏在を制御する
3. 学会等名 第65回日本植物生理学会年会、神戸
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 室啓太, 神代滋央, 高野順平
2. 発表標題 シロイヌナズナの過剰ホウ素耐性におけるカスパリー線の役割の解析
3. 学会等名 土壤肥料学会愛媛大会、愛媛大学
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 張哲, 田中祐樹 小椋康光 高野順平
2. 発表標題 シロイヌナズナの薬におけるホウ酸トランスポーターBOR4の機能解析
3. 学会等名 土壤肥料学会愛媛大会、愛媛大学
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高野順平, 室啓太、田中真幸、吉成晃
2. 発表標題 ホウ酸トランスポーターBOR1によるホウ素輸送とセンシング
3. 学会等名 第65回日本植物生理学会年会、神戸
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 室啓太, 神代滋央, 高野順平
2. 発表標題 カスパリー線はアポプラストを介した過剰なホウ素の中心柱への拡散を抑制する
3. 学会等名 第65回日本植物生理学会年会、神戸
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 室啓太、高野順平	4. 発行年 2021年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 7
3. 書名 生命金属ダイナミクス: 生体内における金属の挙動と制御 第2章 維持 植物・藻類と金属 第1節 植物 におけるメタロイド(ホウ素・ケイ素・ヒ素)の輸送機構	

1. 著者名 A. Yoshinari, J. Takano	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Plant Endosomes, M. Otegui edited	5. 総ページ数 13
3. 書名 Analysis of endocytosis and intracellular trafficking of boric acid/borate transporters in Arabidopsis	

1. 著者名 馬建鋒、信濃卓郎、高野順平 (編集)	4. 発行年 2024年
2. 出版社 文永堂	5. 総ページ数 340
3. 書名 植物栄養学 第3版	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>植物栄養学研究グループ https://www.omu.ac.jp/agri/plantnutrition/ 生命金属科学 研究最前線ビデオシリーズ4「植物における生命金属と有害金属の動態」 https://bio-metal.org/research-video/ 大阪府大 プレスリリース 持続的な作物生産に向けて https://www.osakafu-u.ac.jp/press-release/pr20201216/</p>
--

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			
インド	インド工科大学 Guwahati			