



報道機関 各位

熊本大学

アミノ酸が根の成長の運命を決める事を証明
～「生まれつき大きなダイコン」に王手～

(ポイント)

1. 植物の根の成長は、アミノ酸から成るペプチドが植物ホルモンとして機能する事で維持されている事を証明した。
2. さらに、その仲介役として、新たにPUB4遺伝子を発見した。
3. 根の肥大・伸張のメカニズムを明らかにした事で、根菜などの改良にも応用が期待される。

(概要)

熊本大学大学院自然科学研究科に所属する澤 進一郎 教授らのグループは、2006年に世界で初めてペプチド^{※1}が植物の成長ホルモンとして働く事を発見しました。その後、根が異常に成長するシロイヌナズナを用いて、ペプチドホルモンと呼ばれるこれらのホルモンが根の成長にどのように関わるかを8年間にわたって研究し続けました。

そして今回初めて、タンパク質の分解に関わる遺伝子であるPUB4遺伝子がペプチドホルモンの機能を調節しており、根の正常な成長が守られている事をつきとめました。

本研究は、ペプチドホルモンとPUB4遺伝子が根の成長に関わる事を科学的に証明する初めての例であり、本成果によって「生まれつき遺伝的に大きくなる事が決まっているダイコン」など、根菜の品種改良に多大な貢献が期待されます。

※1 「ペプチド」

2つ以上のアミノ酸が、ペプチド結合によって、ある一定の順番で連なったもの。

（研究の背景と内容説明）

植物が正常に成長する上で、植物ホルモンは重要な鍵となる。植物の成長は、幹細胞と呼ばれる未分化^{※2}細胞から、それぞれの部位に必要な細胞に分化^{※2}する事で進むが、植物ホルモンは分化・未分化のバランス維持に関わる。そしてそのバランスこそが正常に成長する上で最も重要な事の一つであり、バランスが崩壊すると植物は異常な形態を示す。

2006年以前、植物ホルモンと言えばオーキシンやサイトカイニンなどの化合物しか知られていなかった。熊本大学の澤進一郎 教授の研究グループは、2006年に初めて、ペプチドと呼ばれる小さなアミノ酸の集まりが植物ホルモンとして植物の成長を制御する事を発見した。その後、根の成長にも、このペプチドホルモンが影響するのではないかと考えられ続けてきたが、ペプチドホルモン自体の機能を阻害しても根の形態に異常は見られず、ペプチドホルモンと根の成長の関わりは長らく謎のままであった。

そこで澤教授らは、『ペプチドホルモンと根の成長の間には、それらを仲介するもう一つの因子があるはず』と予想し、その因子の発見を試みた。まず、突然変異を化学的に誘発したシロイヌナズナ約20万本の中から、根が異常な形態を示す個体を探した。その結果、根が異常に伸びたり肥大したりしているシロイヌナズナを得ることができた。このような突然変異体は世界的にも例が無い。さらにその後、次世代シーケンサー^{※3}を用いて全遺伝子を一斉に解析したところ、異常個体ではPUB4遺伝子に突然変異が起きている事が明らかとなった。また、PUB4遺伝子に変異を入れた場合、根の肥大や異常な伸張が見られた（図1）。

PUB4 遺伝子はユビキチンリガーゼ遺伝子の一種である。ユビキチンは、ターゲットとなるタンパク質と結合する事で、そのターゲットタンパク質を分解する働きを持つことが知られている。したがって、PUB4 遺伝子がペプチドホルモンのシグナルを阻害する何らかのタンパク質の分解を促す事によって、根の成長を制御している事が考えられる（図2）。

本研究は、ペプチドホルモンと PUB4 遺伝子が根の成長に関わる事を科学的に証明する初めての例であり、本成果によって「生まれつき遺伝的に大きくなる事が決まっているダイコン」など、根菜の品種改良に多大な貢献が期待される。また、本研究は、発生生物学の分野で世界的に権威のある科学誌「Development」の142号に2015年1月20日掲載され、さらに「In this Issue」として、特集される事が決定した。

用語の説明

※2 「分化・未分化」

多細胞生物の発生段階において、個々の細胞の性質が未だに決まっていない未熟な状態を未分化状態といい、個々の細胞の性質が決まってしまって、特殊な機能を持つようになった状態を分化状態という。一般的に、一度細胞が分化してしまうと、未分化状態に戻るのはい多い場合が多い。たとえば、iPS細胞は未分化な細胞で様々な細胞に分化することが可能であるが、一度肝臓細胞などに分化してしまうと、未分化状態に戻ることは難しい。

※3 「次世代シーケンサー」

全ての生物の遺伝情報は、DNA(場合によってはRNA)からなるゲノムに記録されている。このDNAはA,T,G,Cからなる核酸から構成されており、その並び方が生物種により異なる。次世代シーケンサーは、このゲノム情報を、短時間で、大量に解読することのできる機械のことである。

論文掲載図の抜粋

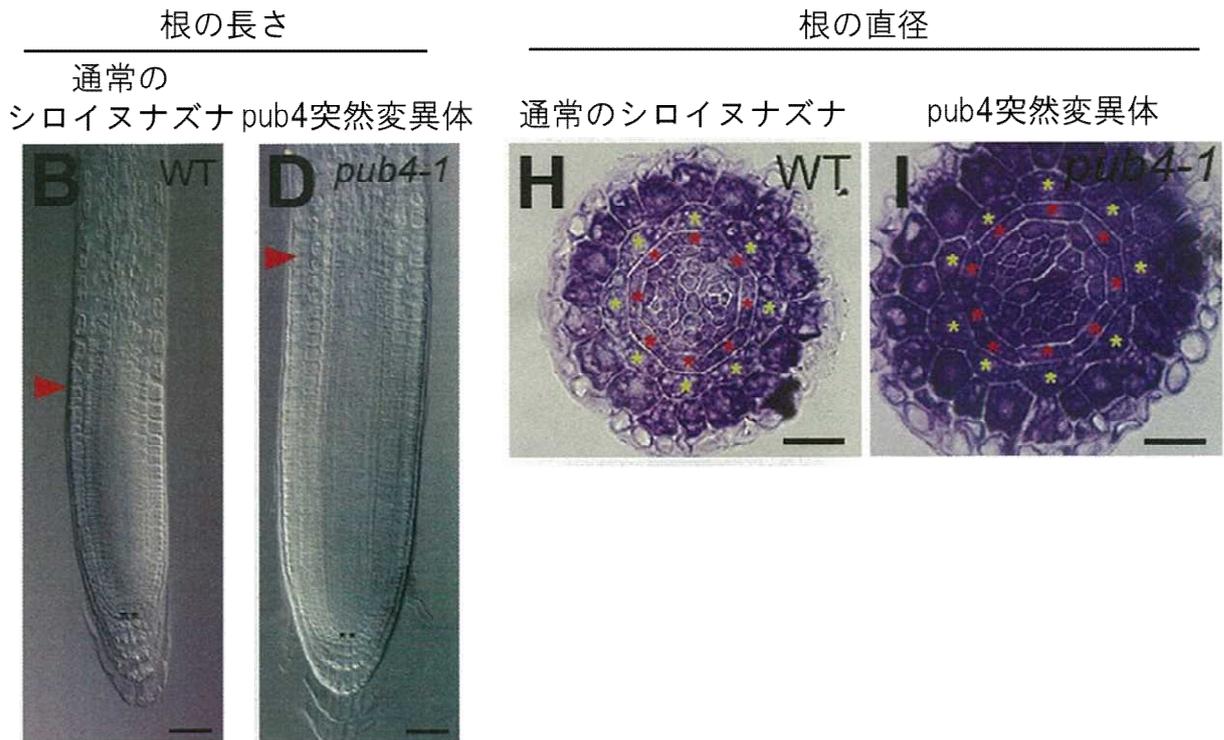


図1 pub4突然変異体では根が伸張・肥大する

説明:

野生型 (B, H) に比べ、pub4突然変異体 (D, I) では根が太く、分裂活性の高い細胞群の領域 (赤矢尻より下の部分) が肥大している。このことにより、太く、長い根が形成される。また、pub4突然変異体の根の太さは、細胞分裂活性の上昇に伴う細胞数の増加による物であることが分かる (H, I)。赤と黄色でマークした物は同じ細胞列を示すが、pub4突然変異体では細胞の数が増えている (H, I)。しかし、細胞のサイズはさほど変わらない (H, I)。

※野生型とは、自然界に存在する通常の個体。突然変異を受けた個体に対し、受けていない個体を示す。WT (Wild Type) と表記する。

※スケールバーは、B, Hが40 μ m、H, Iは20 μ m。

本発見の概略図

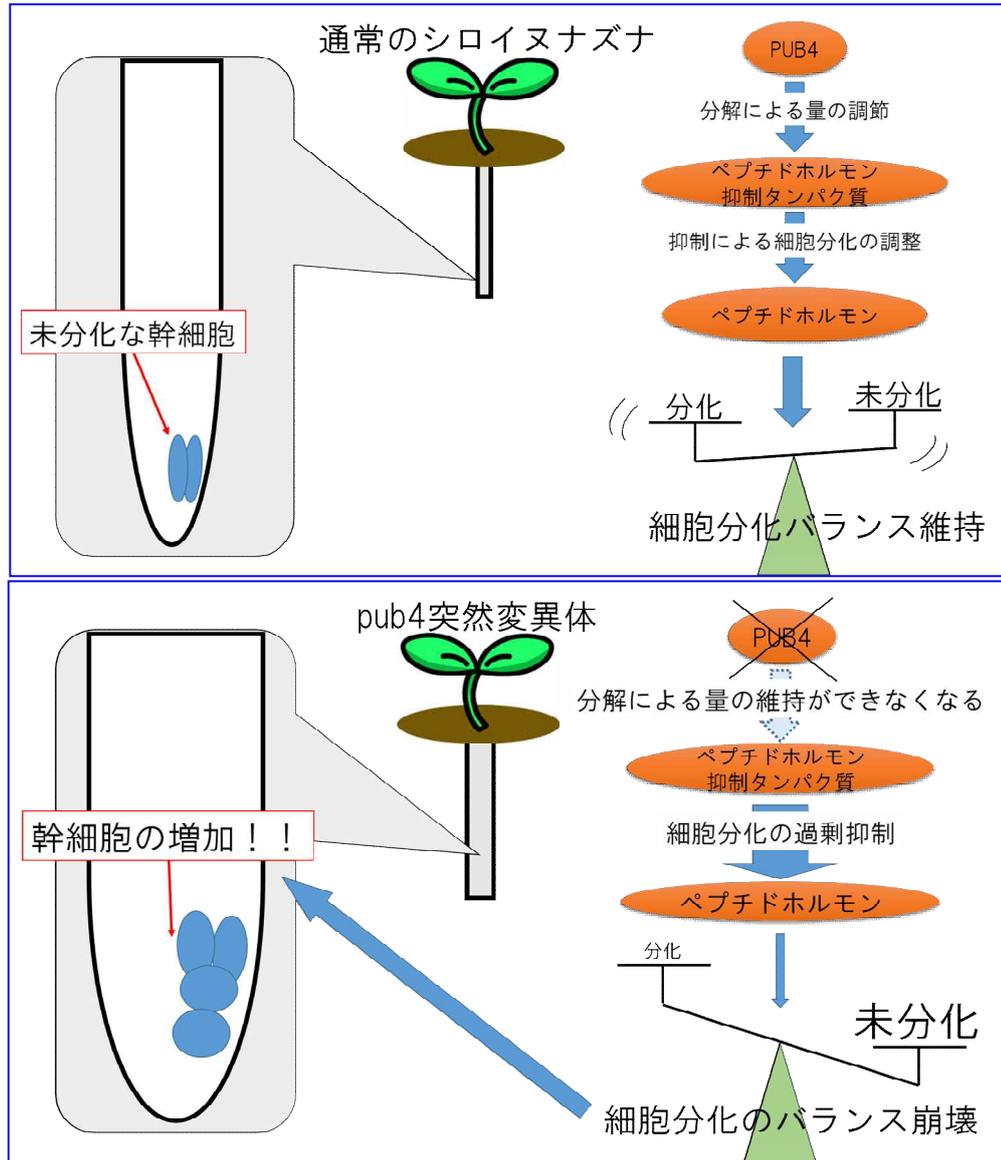


図2 本発見の概略図

説明：

植物の根端部には未分化な細胞群が存在する。未分化な細胞の分裂がある程度進むと、それらは表皮細胞など様々な細胞へと分化する。このように、根端部では、分化と未分化のバランスを保ちつつ、根は、レンガを積み上げるように伸長していく。ペプチドホルモンは、その根端部の細胞の分化と未分化のバランスを制御すると予想されていたが、その証拠がなかった。

pub4 突然変異体では、未分化な細胞が増え、分化が抑制される。また、pub4 突然変異体ではペプチドホルモンのシグナルが遮断されていることもわかった。これらのことから、まず、ペプチドホルモンは根端部の細胞分化と未分化のバランスを分化方向に促進する事がわかった。さらに、そのペプチドホルモンが機能するには、PUB4 遺伝子が必要であることがわかった。一方、PUB4 はタンパク質分解を促進することが知られていた。

これらのことから、野生型では PUB4 は、ペプチドホルモンの抑制シグナルのタンパク質分解を促進する事で、ペプチドホルモンのシグナルを活性化し、分化方向へと根の細胞を誘導することが明らかとなった。

論文タイトル

A plant U-box protein, PUB4, regulates asymmetric cell division and cell proliferation in the root meristem

(植物のユビキチンリガーゼ、PUB4 は、根端分裂組織で、非対称的名細胞分裂と細胞増殖を制御する)

掲載雑誌

Development

論文著者

Atsuko Kinoshita^{1*}, Colette A. ten Hove^{2, 3*}, Ryo Tabata⁴, Masashi Yamada⁵, Noriko Shimizu⁴, Takashi Ishida⁴, Katsushi Yamaguchi⁶, Shuji Shigenobu^{6, 11}, Yumiko Takebayashi¹, Satoshi Iuchi⁷, Masatomo Kobayashi⁷, Tetsuya Kurata⁸, Takuji Wada⁹, Mitsunori Seo¹, Mitsuyasu Hasebe^{10, 11}, Ikram Blilou^{2, 12}, Hiroo Fukuda¹³, Ben Scheres^{2, 12}, Renze Heidstra^{2, 12}, Yuji Kamiya¹ and Shinichiro Sawa⁴

¹RIKEN Center for Sustainable Resource Science, Tsurumi, Yokohama, 230-0045, Japan

²Molecular Genetics, Department of Biology, Utrecht University, 3584 CH Utrecht, The Netherlands

³Laboratory of Biochemistry, Wageningen University, Dreijenlaan 3, 6703HA Wageningen, The Netherlands

⁴Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, Kumamoto 860-8555, Japan

⁵Department of Biology and Institute for Genome Science and Policy Center for Systems Biology, Duke University, Durham, NC 27708, USA

⁶Functional Genomics Facility, National Institute for Basic Biology, Okazaki, 444-8585, Japan

⁷RIKEN BioResource Center, 3-1-1 Koyadai Tsukuba, Ibaraki 305-0074 Japan

⁸Graduate School of Biological Sciences, NAIST, Ikoma 630-0192, Japan

⁹Graduate School of Biosphere Sciences, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739-8528, Japan

¹⁰Division of Evolutionary Biology, National Institute for Basic Biology, Okazaki, 444-8585, Japan

¹¹School of Life Science, The Graduate University for Advanced Studies, Okazaki, 444-8585, Japan

¹²Plant Developmental Biology, Wageningen University, Droevendaalsesteeg 1, 6700AP Wageningen, The Netherlands

¹³Department of Biological Sciences, Graduate School of Science, University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

【お問い合わせ先】

熊本大学大学院自然科学研究科

澤 進一郎（教授）

電話：096-342-3439

メール：sawa@sci.kumamoto-u.ac.jp

石田 喬志（特任助教）

メール：ishida@sci.kumamoto-u.ac.jp