

植物の気孔の分化過程を統御する仕組みを世界で初めて発見 -大気環境の変化に強い植物の創成や食糧生産の安定化に貢献-

この度、名古屋大学大学院理学研究科の金岡雅浩助教・京都大学生態学研究センターの高林純示教授・ワシントン大学生物学科の鳥居啓子准教授らの研究グループは、別添の通り、植物の気孔が分化する過程を統御する仕組みを世界に先駆けて発見しました。気孔は植物体表面に存在する通気口であり、前駆細胞から複数の中間段階を経て最終的な気孔へと分化します。研究グループは、モデル植物シロイヌナズナの突然変異体を用いた遺伝学的な解析から、植物の低温刺激応答に必須な転写因子 ICE1/SCREAM と、新規に発見された転写因子 SCREAM2 が、気孔発生の3つの段階で特異的に働く転写因子 SPCH, MUTE, FAMA と直接相互作用して、気孔が分化する過程全体を統御することを世界に先駆けて明らかにしました。この成果は、植物が環境刺激に応答する仕組みと組織を発生させる仕組みを結びつけるものであり、気孔の数や密度を人為的に調節することや、将来的には乾燥や多湿に強い植物を創成し食料生産を安定化することに貢献すると期待されます。

なお、この研究成果は、7月18日付（米国東部時間）発行の植物科学専門誌「The Plant Cell」電子ジャーナル版に掲載されます。

<研究の背景と概要>

植物は陸上という乾燥した環境に適応するため、体表面をワックスで覆っています。同時に、呼吸や光合成に伴うガス交換を行うため、気孔と呼ばれる通気口を体表面に持っています。気孔は植物と大気環境との接点であり、地球上の全植物を通じて年間に 3×10^{18} グラムもの炭素が固定されます。また、植物体を通じて、大気中の水蒸気が半年で循環すると言われていています。このように気孔は植物の生存に必要なだけでなく、地球環境の維持にも無くてはならないと言えます。

気孔の発生では、以下の3つのステップが鍵となります。まず、表皮細胞の元となる原表皮細胞から、通常表皮細胞と、気孔系列の細胞とが分化します。次に、気孔系列の細胞は、非対称分裂により、メリステモイド細胞と呼ばれる、小さな三角形をした幹細胞的性質を持った細胞をつくります。メリステモイド細胞は丸い孔辺母細胞へと分化し、1度だけ対称分裂をして、1対の孔辺細胞を作ります。これらの3つの段階にはそれぞれ、SPCH, MUTE, FAMA と呼ばれる、3つのよく似たベーシック・ヘリックス・ループ・ヘリックス (bHLH) 型転写因子が働くことが知られていました。しかしながら、各段階がどのように統合されるかは分かっていませんでした。今回、研究グループは、2つのよく似た bHLH 型転写因子である ICE1/SCREAM と SCREAM2 が、これら3つの発生段階をつなぐ鍵分子であることを明らかにしました。この成果は7月18日付（米国東部時間）の植物科学専門誌「The Plant Cell」電子ジャーナル版に掲載されます。

<ポイント>

- ・気孔の発生段階を統合する分子メカニズムを明らかにした。
- ・ICE1 という低温刺激応答の鍵となる転写因子が、気孔の発生にも重要な役割を果たすことを明らかにした。

<研究の内容>

研究グループは、特殊な探索法を用いて、植物体の表面（特に葉）のほとんどが気孔で覆われてしまう優性の突然変異体 *scream-D (scrm-D)* を発見しました。*scrm-D* 変異の責任遺伝子を同定したところ、bHLH 型転写因子をコードする *ICE1* という遺伝子であることが分かりました。*ICE1* は植物が低温状態に晒されたときにおこる遺伝子発現を調節する因子としてすでに報告されていました。つまり、低温という環境応答と、気孔の分化という組織の発生とが、同じ1つの遺伝子により調節されていることが明らかになったのです。

シロイヌナズナのゲノム中には *ICE1/SCRM* とよく似た遺伝子が5つあり、そのうち *ICE1/SCRM* と最もよく似ている遺伝子を *SCRM2* と名付けました。*ICE1/SCRM* と *SCRM2* 遺伝子の機能を欠いた植物を作ったところ、両遺伝子のコピー数が減少するにつれ、*fama*, *mute*, *spch* 様の表現型が見られるようになりました。さらに、*ICE1/SCRM*, *SCRM2* タンパク質が、*SPCH*, *MUTE*, *FAMA* タンパク質と直接結合することも分かりました。これらの結果から、*ICE1/SCRM* と *SCRM2* は、気孔の発生過程において、幅広い時期・細胞で働き、特定の時期・細胞でのみ働く遺伝子と協調して、気孔を作り出していることが明らかになりました。

このような、「幅広い時期・組織で働く転写因子」と「特定の時期・組織でのみ働く転写因子」とが直接結合して組織の分化を担うという仕組みは、動物の筋肉組織の発生でも見られます。つまりこのメカニズムは動物・植物の枠を超えた、発生の普遍的なメカニズムであることが分かりました。

<今後の展開>

気孔の各発生段階を統合する分子メカニズムを明らかにした今回の発見は、気孔を作り出す全遺伝子発現プログラムの解明に大きく寄与すると思われまます。今回発見された2つの bHLH 転写因子は、すでに知られていた3つの bHLH 転写因子と複合体を作り直接 DNA 分子に結合し、多数の下流遺伝子の発現を調節することにより気孔の発生をすすめていると考えられます。今後、実際に気孔を構築する遺伝子の解析が進むと予想されます。また、*ICE1* という、低温刺激応答の鍵となる転写因子が気孔の分化にも重要な役割を持っていたという驚くべき発見は、植物が環境変化に応答するメカニズムと組織の発生とを強くリンクさせていると言うことを示唆しています。今後は環境変化に伴い速やかに形態の変化を起こさせるような遺伝子改変が可能になると期待されます。

ICE1 とよく似た遺伝子はイネなど農業的価値の高い植物にも存在します。応用面では、気孔の数を人為的に調節することにより、光合成やガス交換効率のすぐれた植物を作成する基盤となると期待されます。また、環境問題の改善にも貢献すると期待されます。

<用語説明>

シロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana*, アラビドプシス・サリアーナ) : アブラナ科の一年生の草本植物。ゲノムサイズが小さい、突然変異体が数多く単離されている、低湿転換が容易、などの理由により、分子生物学のモデル植物として世界中で広く使われている。

bHLH 型転写因子 : basic-helix-loop helix モチーフを持つ転写因子の総称。

Basic(塩基性)領域は DNA 結合部位であり、タンパク質相互作用部位である helix-loop-helix 領

域を介して二両体を形成する。動物では、**bHLH** 因子は細胞増殖および神経細胞の分化や筋肉細胞の分化を支配するマスターレギュレーターとして機能する。

発表論文

“SCREAM/ICE1 and SCREAM2 Specify Three Cell-State Transitional Steps Leading to Arabidopsis Stomatal Differentiation”

Masahiro M. Kanaoka, Lynn Jo Pillitteri, Hiroaki Fujii, Yuki Yoshida, Naomi L. Bogenschutz, Junji Takabayashi, Jian-Kang Zhu, and Keiko U. Torii

The Plant Cell, Vol. 20: 1–11, July 2008