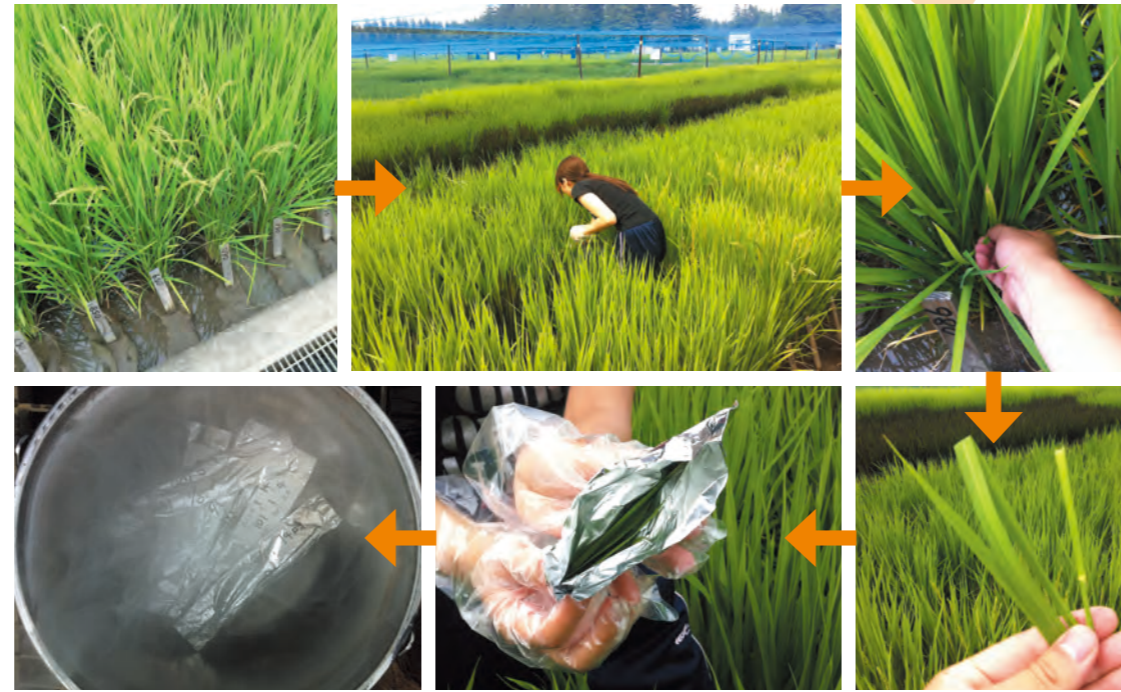


# はかる 第9回

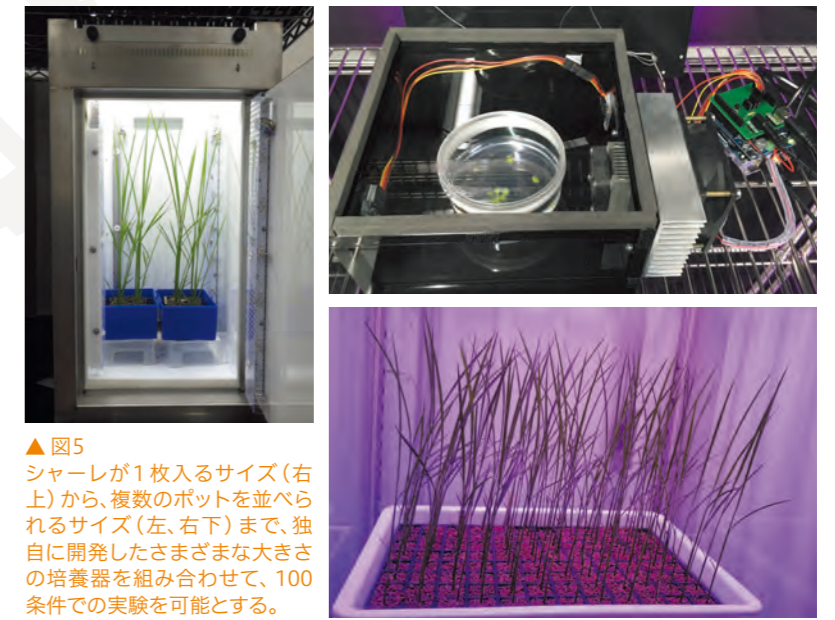
ながの あつし  
永野 惇

龍谷大学 農学部  
植物生命科学科 講師

2009年 京都大学大学院理学研究科博士課程修了。博士(理学)。農業生物資源研究所特別研究員、京都大学生態学研究センター、日本学術振興会特別研究員、JSTさきがけ研究者などを経て、15年から現職。



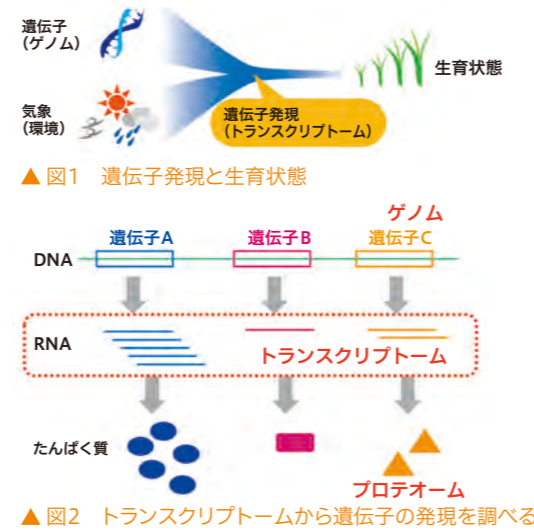
▲図3 野外環境で育つイネから手作業で標本を採り、すぐに液体窒素で凍結させる。遺伝子の発現は分単位で変化するため、正確に測定するには素早さが求められる。



▲図5 シャーレが1枚入るサイズ(右上)から、複数のポットを並べられるサイズ(左、右下)まで、独自に開発したさまざまな大きさの培養器を組み合わせて、100条件での実験を可能とする。

## 遺伝子発現の測定から、イネの生長に迫る

植物は環境の変化に応じて必要な遺伝子を働かせることで、環境に適応して生長する。植物が生きていく仕組みを理解するには、どの遺伝子が、どんな時に、どのくらい働いているのかを知ることが必要だ。龍谷大学の永野惇講師は、水田で育つイネの遺伝子発現を徹底的に測定し気象など環境情報と統合することで、遺伝子発現と環境、イネの生長の関係を説明できるモデルの構築をめざしている。



▲図1 遺伝子発現と生育状態

▲図2 トランスクリプトームから遺伝子の発現を調べる

### 屋外栽培のイネの遺伝子発現を計測

生命の設計図ともいわれる遺伝子は、それ自体が動くわけではない。遺伝子が動く、すなわち発現するとは、遺伝子の情報がRNAに転写され、RNAそれ自体や、その情報を基に合成されたたんぱく質が生体内でさまざまな機能を担うことである。自ら移動できない植物は、環境の変化に合わせて必要な遺伝子を必要だけ発現させることで環境に適応している。そのため、環境の変化に応じた遺伝子発現の変化を調べることは植物を理解する上で重要だ。植物の遺伝子と生育した環境は、遺伝子発現を介して実際の生育状態に反映されるからだ(図1)。

龍谷大学農学部の永野惇講師は、環境の変化に対し遺伝子の発現がどのように変化するかを野外のイネを用いて定量的に調べ、統計モデルで解析することで、植物が環境に適応し、生長する仕組みに迫ろうとしている。

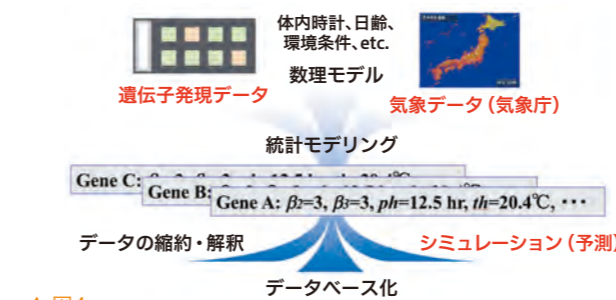
遺伝子の発現は、温度、光、栄養状態など、多くの要因が複雑に絡み合った結果として起こる。このため、環境条件を設定できる実験室の中で培養された細胞や、室内で管理された動物植物を対象にして遺伝子発現を解析するのが一般的だ。しかし、永野さんの研究対象は屋外で栽培されたイネである。研究室の

中とは違って、気温、風、降水量、光など、多くの条件が同時に変化の上、個体差も絡んでくる。時々刻々と変化する複雑な条件に応じて、約3万個の遺伝子がさまざまな形で発現するため、遺伝子発現と環境条件との対応を見いだすのは至難の業である。永野さんは、分子生物学者にはなじみの薄かった統計モデルを用いて、この難題に挑んだ。

### 得られたデータを矛盾なく説明するモデルを構築

まず着手したのは、イネの栽培過程を通して、遺伝子発現がどのように変化するかを徹底的に測定することだった。遺伝子発現を調べる方法はいくつかあるが、永野さんはトランスクリプトーム解析といって転写されたRNAを網羅的に解析する方法を用いた(図2)。屋外で育てたイネの葉を採集し、研究室で測定する地道な作業だが、「取りあえず、全て測る」という姿勢で取り組んだ(図3)。「全体像がわかってくれば、詳細に調べべきことと、そこまで細かく調べなくてよいことを分けられます」と永野さんは説明する。

同じ日に植えた苗を見ていたのでは、遺伝子発現の変化が田植え後の日数によるのか、気象条件の変化によるのかを切り分



▲図4 アメダスなどの気象データから、遺伝子発現データをよく説明できるモデルを構築する。(アメダス画像は、気象庁ホームページより転載)

けられない。そこで、田植えの時期を1~2週間ほどずらしていくことで、4つの生長サイクルを作り、同一の気象条件で田植え後の日数が異なるデータを集めた。効率よくデータを収集する工夫を重ねながら、5年分のデータを蓄積したという。

さらに、屋外の気温や光などの変化に対するイネの反応を捉えるために、葉を採取するタイミングにも気を配った。「イネの生育過程全体を通して、遺伝子発現がどのように変化するかを知りたいので、例えば2時間おきに葉を採取する日を1~2週間に1日設けます。遺伝子の発現は数分で劇的に変化しますから、光が急激に変化する明け方などに5分おきに葉を採取したこともあります。このように、葉を採取する時間の間隔を適切に調整することで、環境の変化に対するイネの応答を満遍なく捉えようとしているのです」。

永野さんの研究では、イネが持つ全ての遺伝子の発現を測定する。このため、解析にかかるコストの削減や試料の処理時間の短縮にも取り組んだ。こうして得られた遺伝子発現データを、葉の採取と同時に取得した時間、気温、天気、風速、光の条件といった情報と関連づけて統合していく。日齢、体内時計、環境応答などの影響も加味しながら、データを一番よく説明できるモデルを作っていた(図4)。モデルを用いた解析により、イネの葉で働く遺伝子がどのような環境要因の影響を強く受けるのか、どのような要因はあまり影響しないのかが明らかになってきた。さらに、ある気候に適応した品種をほかの気候条件で

育てた場合の生育予測なども可能になりつつあり、新品種の開発などへの応用も期待できる。

### 屋内測定も組み合わせることで精度を向上

現在は、モデルの精度をさらに向上させるために、温度、光の量、湿度などを人工的に制御できる培養器も利用している(図5)。「自然界では、太陽が昇り、昼になると気温が上がるといように、光の量が増えれば、気温が上がります。このため、ある遺伝子の発現に、光と気温のどちらが深く関係しているのか判断がつかないときがあります。培養器なら、光の量は同じで温度だけが異なる状況を作り出せるので、どちらの影響を受けているのかを確かめられます。培養器も組み合わせることで、屋外での測定では得られない部分のデータを取得し、モデルの穴を埋めることができるのです」。

植物の日々の生長を人が目で見て確認できるまでには時間がかかる。しかし、植物を構成する1つ1つの細胞では、環境の変化や生長度合いに応じて、遺伝子発現のパターンが変化している。例えば、OsGIという遺伝子は、過去6時間で気温が14.8度を超える時間が長いほど、発現が低下する。環境が変化すると、見た目はほとんど変わらなくても、細胞レベルで劇的な変化が起きているのだ。

これまで、植物の生長に関する情報は、見た目の変化でしか捉えられなかった。遺伝子発現量の変化という新たな情報を手にすることで、順調に育っているかどうかはもちろん、肥料などの栄養分の取り込み状況、ウイルス侵入の有無といった情報まで、植物の外見が変化する前に、いち早く知ることができるだろう。

「これからは、遺伝子の発現から何を予測するのが重要です。生長量は外から実測することもできます。ウイルスの感染など、目には見えないけれど、植物の内部で起きていることを予測できると、応用の可能性は広がります。得られた知見を、実際に役立てるところまで、しっかりとつなげたいと考えています」。