

# 多年生オオムギ野生種 *Hordeum bulbosum* の 球茎形成メカニズムの解明

Research on bulb formation mechanism of a wild barley *Hordeum bulbosum* L .

古川 真人 ・ 坂 智 広

(横浜市立大学木原生物学研究所)

## はじめに・・・植物遺伝資源の価値

近年、世界の人口が急激に増加してきている。1950年では25億人であった世界人口も、2010年では約68億人に達しており、2050年には92億人に達すると推定されている。この急激な人口増加によって引き起こされる問題の1つに、深刻な食料危機がある。

これまで過去40年は、世界の人口の増加に伴って作物の生産量も増加してきており、作物の生産量と人口のバランスが取れていた。しかし、近年の急激な人口の増加や、草食から肉食への食の嗜好の変化に対して作物の生産が追い付かず、開発途上地域では現実に飢餓の問題が引き起こされてきている。今後50年の急激な人口増加による世界的な食料危機に備えるには、作物の生産量を今の2倍にする必要があり、更にその80%は現在作物を栽培している土地で行う必要がある。その様な中で重要となってくるのが、植物の新たな機能を開発するための多様な遺伝資源である。

作物の生産量の増加に必要なのは、作物の穀粒がただ単純に増加すれば良いというものではない。穀粒の1粒の大きさの増加や病害虫への耐性・抵抗性、さらには今後懸念される地球温暖化による環境の変化に対応出来る作物など、その土地ごとに適応する異なった特性を持った作物が求められている。多様な地域への適応を行うには作物にも遺伝的な多様性が必要であり、この多様性を担っているのが植物遺伝資源である。植物は進化の過程で様々な特徴を持ち、多様性を持った種へと分化している。その特徴を活かす事で、品種改良に非常に有用なる品種もある。例えば、1940年代から1960年代にかけて、コムギの収量を2倍以上に増加させた「緑の革命」は、窒素肥料を用いた近代農法に適応するために、その頃の主な栽培品種が持っていなかった、倒伏しにくい半矮性の特徴を持つ日本の品種であったコムギ農林10号が用いられた。これらの様な、単一化された栽培品種が持っていない有用な特徴を維持し、活用して行く為にも遺伝資源は非常に重要である。

現在、私が研究を行っている木原生物学研究所は、偉大な植物学者であった、故木原均博士が設立した研究所である。木原生物学研究所には木原均博士が収集した多くの、コムギ・オオムギ・トウガラシの遺伝資源が保存されている。私はこの遺伝資源の中でも、*Hordeum bulbosum*というオオムギの野生種に目を付け研究を行っている。

### ***Hordeum bulbosum*とは？**

*H. bulbosum*はオオムギの種の一つであり、オオムギの野生種の遠縁にあたり、地中海沿岸からアフガニスタン、旧ソビエト連邦南部までが起源と言われている。

*H. bulbosum*は様々な特性を持っている。まず自家不和合性であり、自殖では種を作らず他殖でのみ種を作る。また半数体の作成が可能であり、これを用いた新たな品種を作り出す半数体育種法が知られている。これらの中でも特に目を引く特性として、オオムギ属の中で唯一球茎を作り、多年生であるという点がある。(図1)



図1 *H. bulbosum* の球茎

この球茎というのは、茎の1番下の部分が膨らんだ部位を指し、そこに*H. bulbosum*は栄養（多糖類）を貯めている。球茎の栄養を用いることで、一度枯れても再びその球茎の脇から新たな芽を出し、何年も同じ個体として生き残ることが可能である。私が多年生という形質に目を付けたのは様々な利点があるからである。例えば、移動が大変で農業を行うことが難しい、勾配が急な場所でも一度植えてしまえば刈り取りや種まきの手間がかからないため以前より楽に農業を行うことが可能になり、収量の増加に繋がる。また、多年生の植物を植えることで地

盤の安定にも繋がる等多くの利点がある。

前述したが、今後訪れるであろう食料危機には、作物の安定的な収穫や、収量の増加が望まれている。これらの解決策として、私は未だほとんど明らかになっていない*H. bulbosum*の球茎の形成に関わる遺伝子を明らかにし、それを世界で一番生産されている作物であるコムギに応用した、多年生のコムギの作出を目指している

そこで私は、まず球茎形成に関わる候補遺伝子の手掛かりをつかむために、*H. bulbosum*の球茎の形成に関わる環境条件を明らかにして、その条件に反応して発現する候補遺伝子を選出し、その候補遺伝子の発現量と、球茎形成との相関解析を通して球茎形成関連遺伝子の特定をしようと考え現在研究を進めている。

### *H. bulbosum*の球茎形成に関わる環境要因

まず、*H. bulbosum*の生活環について説明する。*H. bulbosum*は11月の初めから3月の終わり頃にかけて栄養成長し、4月初めに茎立ちをし始め、生殖成長に移行する。その後、4月の終わりに出穂して、5月の中頃に開花して、6月の終わり頃には収穫が可能になる。その後、7月～9月の間に地上部は枯れる。秋になり気温が下がると、球茎から次代の芽を形成し再び成長をする。多年生である*H. bulbosum*は何年もこの生活環を繰り返す事が出来る。この際に、多年生を担っている球茎は、生殖成長の開始である茎立ち期前後に形成する事を確認した(図2)。

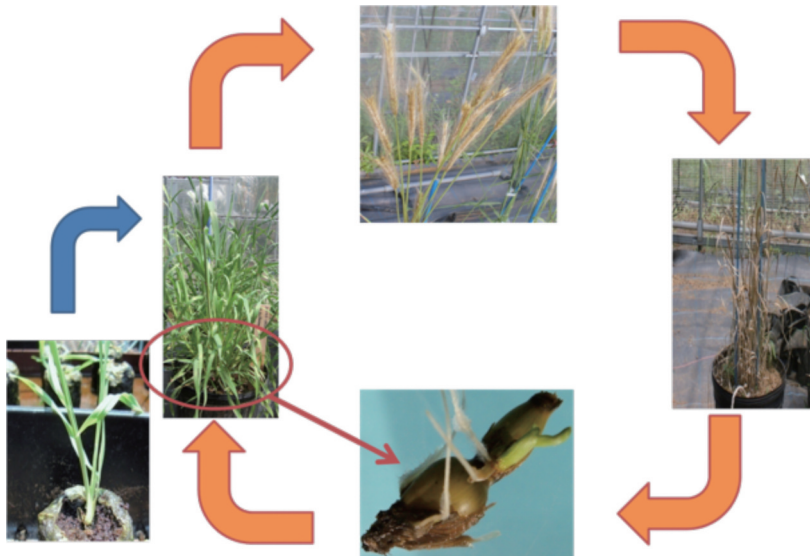


図2 *H. bulbosum*の生活環

また、日長と温度条件を調節する事が出来る、バイオトロンを用いて長日条件(明条件16h/暗条件8h)、常温条件(22℃)のみで*H. bulbosum*の植物体を生育させた所、球茎を形成し無い事を確認した。これら、季節の変わり目に生じる茎立ち期前後に球茎を形成した事と、日長と温度条件に変化が無いと球茎を形成しないことから、球茎の形成の誘導には日長感受性や低温要求性の関与が考えられる。その為、栄養成長期の日長と温度条件を変化させ、*H. bulbosum*が球茎を形成する環境条件を探索した。

まず、*H. bulbosum*を十分に生育させる為に16時間日長の長日条件で7ヶ月間生育させた。その後、自然環境を想定して、8時間日長の短日条件で3ヶ月間生育させた。それから、植物体を次の5つの処理区に分けて生育させた(図3)。

- ①低温処理を与えて長日条件に移した物
- ②低温処理を与えずに長日条件に移した物
- ③低温処理を与えて短日条件に移した物
- ④低温処理を与えずに短日条件に移した物
- ⑤長日条件から環境条件を変えずに生育させる物。

その結果、短日条件から長日条件へ移行した処理区でのみ球茎が形成され、その他の処理区では球茎が形成されなかった。

このことから、*H. bulbosum*の球茎の形成には低温処理の有無に関わらず、短日条件から長日条件への移行が必要であることが分かった。

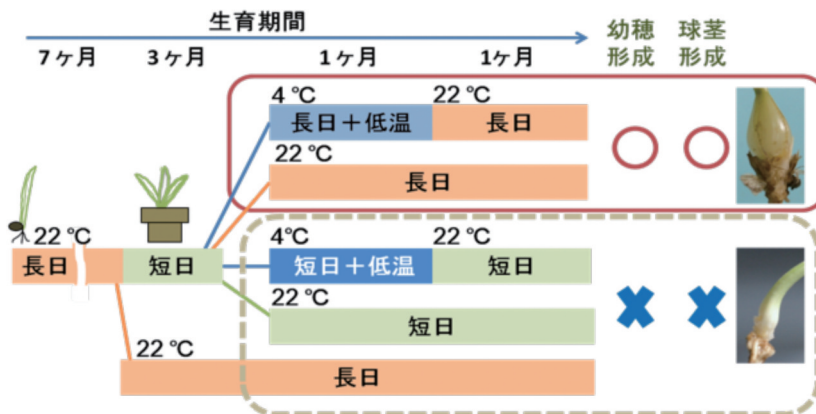


図3 球茎の形成に関わる環境条件

### *H. bulbosum*の球茎形成に関与すると考えられる候補遺伝子について

上記の球茎が形成された処理区の植物体を観察すると、球茎の形成と幼穂の形成がほぼ同時期に生じていた事を確認した。今までにコムギにおいて、生殖成長に関わるTaFTとTaFDL2タンパク質の相互作用が茎頂分裂組織で働き幼穂の形成を誘導すると報告されている。(Chengxia et al 2008)、特にTaFDL2遺伝子は茎頂で転写され、その後翻訳も茎頂でされていると報告されている。球茎の形成と幼穂の形成がほぼ同時期に生じていた点から、*H. bulbosum*においてFDL2遺伝子が幼穂の形成だけでなく、球茎の形成にも関わっているのではないかと考え、*H. bulbosum*のFDL2遺伝子のプライマーをコムギのTaFDL2遺伝子を元にデザインし、球茎において有意に遺伝子発現量が上昇しているかりアルタイムPCR法を用いて調べた(図4)。

その結果、長日条件でのみ生育させていた場合、FDL2遺伝子の発現量は低く、その後、短日条件に移すことで更に下がった。しかし、その後長日条件に移行してから、葉と球茎部位において2週間後にFDL2遺伝子の発現量が高まり、葉では3週間後がピークになる。一方、球茎部位では、遺伝子発現量の上がり下がり少なく、どちらも9週目では遺伝子発現量が低下した。

以上の事から、FDL2遺伝子が*H. bulbosum*において長日条件で誘導する事が確認出来た。しかし、球茎部位において球茎の形成に伴って有意に遺伝子発現量が上昇していない事から、FDL2遺伝子による幼穂形成と球茎形成の誘導機構は異なる事が考えられた。

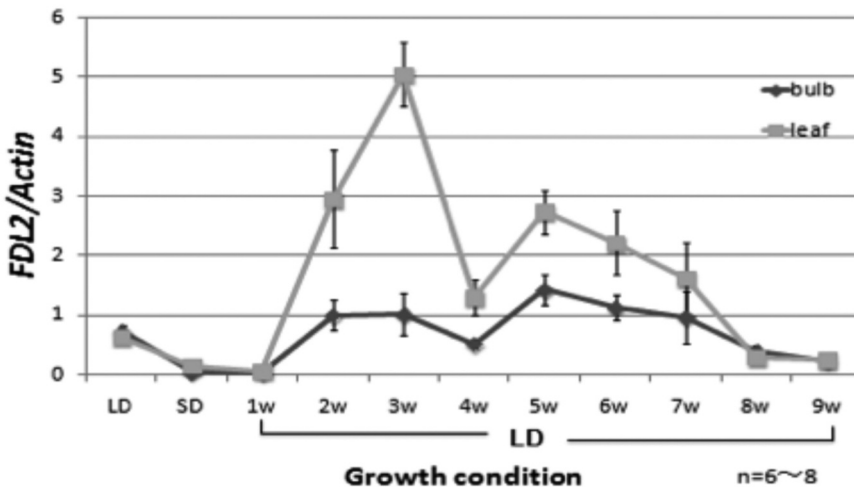


図4 *H. bulbosum*のFDL2遺伝子の発現量解析



次に、ジャガイモの塊茎形成を誘導するBel遺伝子をもう一つの候補遺伝子として選出した。Bel遺伝子はジャガイモにおいて日長の変化を受け、葉で発現をして維管束を通り塊茎部位にまで移動し、塊茎の形成を誘導すると報告されている遺伝子である。(Banerjee et al. 2006) 貯蔵組織を作る点や、日長の変化により誘導されるという点が、*H. bulbosum*と共通していた為、Bel遺伝子が*H. bulbosum*の球茎の形成を誘導しているのではないかと考え、オオムギのBel遺伝子(Müller et al. 2001)を元にプライマーをデザインして、遺伝子発現量を調べた(図5)。

その結果、*FDL2*遺伝子の時と同様に葉と球茎部位において長日条件に移してから2週間後に遺伝子発現量が高まり、葉では3週間後がピークになった。一方、球茎部位では、あまり上がり下がりが無く、どちらも9週目では遺伝子発現が落ちていった。このことから、Bel遺伝子による塊茎形成と球茎形成の誘導機構は異なる事が考えられた。

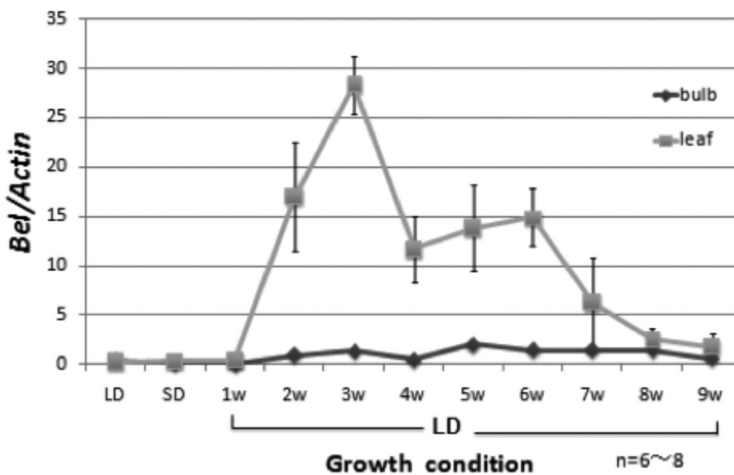


図5 *H. bulbosum*のBel遺伝子の発現量解析

### まとめと今後の展望

今回の結果より、*H. bulbosum*の球茎の形成には、一定以上の短日条件後の長日条件が必要である事が明らかになった。また、この際に球茎の形成は生殖成長の開始と非常に近い反応を見せた。このことから、幼穂形成や塊茎形成に関わる*FDL2*及びBel遺伝子について解析して見た所、幼穂形成と塊茎形成の誘導機構と球茎形成の誘導機構は異なる事が分かった。以上の事から、球茎の形成には光に誘

導される別の因子が関わる機構が働いている事が考えられる。

現在、cDNA-AFLP法を用いた網羅的な遺伝子発現量解析も行っており、今後その機構を明らかにしていきたいと考えている。

#### 参考文献

Banerjee AK, Chatterjee M, Yu Y, Suh SG, Miller WA, Hannapel DJ (2006) Dynamics of a mobile RNA of potato involved in a long-distance signaling pathway. *Plant Cell* Dec; 18(12):3443-57. Epub 2006 Dec 22.

Müller J, Wang Y, Franzen R, Santi L, Salamini F, Rohde W (2001) In vitro interactions between barley TALE homeodomain proteins suggest a role for protein-protein associations in the regulation of Knox gene function. *Plant J.* Jul; 27(1):13-23.

Chengxia Li and Dubcovsky J (2008) Wheat FT protein regulates VRN1 transcription through interactions with *FDL2*. *The Plant Journal* 55, 543-554.

古川真人・坂智広 (2010) H. bulbosumの球茎形成メカニズムの解明・・・  
育種学研究 第12巻 別冊2号