

バレイショ根系の科学 ～乾燥抵抗性品種の育成～

北海道大学大学院農学研究科 教授 岩間 和人(Iwama, Kazuto PhD)

まえがき

2008年は国連の定めたPotato年で、世界各地でpotatoに関係する催しが開催されます。7月にはルーマニアのBrasov（ブラソフ）でヨーロッパバレイショ研究会（EAPR）の第17回講演会が開催され、筆者はキースピーカーとしてPhysiology of the potato: New insights into root system and repercussions for crop management（バレイショの生理学：根系に関する新知見と作物栽培に対する影響）と題する講演を行ないます。本稿ではこの講演の内容を説明しようと思います。なお、北海道では通常、potatoのことをバレイショと呼ぶことが多いので、この呼称を使わせていただきます。

緒言

畑に栽培したバレイショで土壌中の根系（根の全体像のことをいいます）を観察するためには、多くの時間と労力が必要です。それにもめげず、何人かのバレイショ研究者（英語ではpotato manといいます）が活発に、そして粘り強く研究を行い、土壌中に分布する根の長さや重さ、そして根と地上部や塊茎の成長との関係を明らかにしてきました。この講演では、バレイショの根系に関する最新の情報と、育種や栽培技術との関係について説明します。

根系分布

畑で栽培したバレイショにおける根の長さや分布は幾つかの国で調査されました。例えば、オランダではVos and Groenvold (1986)¹⁾ が、イギリスではStalham and Allen (2001)²⁾ が、日本ではIwamaら (1993)³⁾ が報告しています。これらの研究によって、バレイショの根に関する一般的な特性が明らかになりました。すなわち、土壌中に存在する根の大部分は深さ約30cmまでの作土層に集中していますが、根の一部は100cmに達する深さまで伸長しており、土壌中に分布する根全体の長さは栽培面積1平方メートル（㎡）当たり10-20kmにも達しています。しかし、バレイショと他の作物を比較したYamaguchi and Tanaka (1989)⁴⁾ の研究によれば、バレイショは他の作物に比べて根の分布が浅く、また根の量も少ないのです。土壌中に分布する全根長は、バレイショでは21km/㎡であったのに対して、コムギ、イネ、砂糖ダイコン、トウモロコシおよびダイズではそれぞれ86、78、52、50、39km/㎡でした。

根量の遺伝的な変異

バレイショの根量（根の長さや重さ）には遺伝的に大きな変異が存在します。地上部量が最大に達する時期（開花の終期にほぼ一致します）に根量も最大になります

が、この時期に作土層に分布する根の乾物重（根を乾燥させた重さ、以下、根重）は10栽培品種の調査⁵⁾では1.1–5.4g/m²、育種途中の268系統の調査⁶⁾では0.3–19.4g/m²、近縁野生種を含むバレイショ9種の調査⁷⁾では3.4–40.9g/m²の変異を示しました。また、土壤中全体での根長は、4栽培品種の調査⁸⁾では4.8–7.3km/m²、2品種の異なる栽植密度での調査³⁾では7.8–24.1km/m²の変異を示しました。さらに、母親2品種と父親3系統の交配に由来する6集団を比較した調査⁹⁾では、根重が大きい親に由来する集団が大きな根重を示すことがわかりました。これらの結果はバレイショの根量を遺伝的に改良することが可能であり、また遺伝資源としてバレイショ種内に大きな変異が存在していることを示しています。

根量と地上部および塊茎の成長との関係

養水分が十分にある好適な環境条件下では、品種や系統間における根量の差異は遺伝的な早晚性と密接に関係しています。すなわち、晩生品種・系統では早生品種・系統に比べて根の成長が長く続き、また深くまで伸長します^{2, 8)}。地上部量や塊茎収量も生育期間の長い晩生品種・系統の方が早生品種・系統よりも大きいので、生育期間中における根量の最大値は地上部量の最大値や最終の塊茎収量と高い正の相関関係を示します^{5, 6, 10)}。なお、品種・系統間における根量の差異は開花開始頃には明らかになるのに対して、地上部量の差異はそれ以降に現れます¹¹⁾。また、地域や年次が異なっても品種・系統間の相対的な順位関係は安定しています¹¹⁾。さらに、根と地上部

および塊茎成長との密接な相互関係は実験的にも証明されています。例えば、成育途中に根を切断して根量を少なくした試験¹⁰⁾では、葉の成長や窒素の吸収が抑制され、最終の塊茎収量が減少しました。また、根量の異なる2品種を接ぎ木した試験¹²⁾では、開花始め頃までの塊茎成長が大きい個体では根の成長が抑制されました。

根量の育種改良

バレイショは他の畑作物に比べて土壌が乾燥した条件下での成育と収量の低下程度が大きい（乾燥抵抗性が弱い）ことが知られていますが、その理由として最も頻繁に指摘されるのは、根が浅く^{13, 14)}、また根量が少ない¹⁵⁾ことです。このため、根の量や深さを改良する育種的試みが行われました。Ekanayake and Midmore (1992)¹⁶⁾は、根が深くまで伸長する能力の指標として根の引張り抵抗（地上部を上方に引張って、根の抜けるまでの力をバネ秤で測定）を用いて選抜を行い、引張り抵抗の大きい系統は土壌乾燥条件下での根重が大きいことを報告しています。Iwamaら (1999)¹⁷⁾は、男爵イモ（早生品種）とコナフブキ（晩生品種でデンプン収量が大きい）の交配に由来する集団について、作土層の根重と最終の塊茎デンプン収量を指標にして4系統を選抜しました。選抜は土壌乾燥がそれほど激しくない天水条件下で行いましたが、降水を防いだ土壌乾燥条件下で行ったその後の試験において、選抜系統はコナフブキに比べて作土層より深い層での根量も多く、乾燥条件下での光合成速度や地上部成長量の抑制が少なく、塊茎デンプン収量の減少も少ないことがわかりまし

た。この4系統は、「根優」1号から4号の名称で、2007年に農林水産省に品種登録されました。

根系研究の将来展望と育種や栽培技術の改良との関係

土壌からの根の水分吸収は多くの要因に影響されます。例えば、根が土壌から吸収できる水の量は、土壌の種類によって大きく異なり、土壌の水分含有率と水分ポテンシャル（圧力）の両要因の影響を受けます。また、葉面積や成育時期などの植物体の要因、さらに気温、日射量、湿度や風などの気象要因によっても大きく変化します。このため、根の量や深さと水分吸収との定量的な関係はとても複雑で、いまだに不明なことが多いのです。しかし、畑で土壌の水分含有率と水分ポテンシャルを測定する安くて簡単な測定装置が、最近10年間に開発されました。これらの装置を畑での根系測定と同時に使用することによって、土壌内における根の分布と水分吸収との関係をこれまでより詳細に明らかにできるものと期待されています。

根が深くまで伸長する能力や乾燥した土壌から水を吸収する能力についても、新たな調査方法が開発されました。例えば、堅い土壌層を突き抜けて伸長できる根の能力を測定するために、パラフィンとワセリンを混合して作成した薄い円盤を封入したポットを利用する実験方法が開発され、これを用いて深い土壌層に伸長する根能力の遺伝的な差異を明らかにする研究が行われています¹⁸⁾。また、実験室内の試験管内（in-vitroといいます）で水分ポテンシャルの異なる培地に植物体を育成し、水分ポテ

ンシャルの低い（乾燥程度が大きい）土壌からも水分を吸収できる根特性を明らかにする研究が行われています¹⁹⁾。

さらに、バレイショでも分子生物学的な研究が進んできて、染色体におけるDNAの位置が明らかになっている集団（DNAマップ集団といいます）が作成されています。この集団について根の特性を調査すると、根特性の差異に関係している遺伝子を見つけることが出来ます（QTL解析といいます）。この遺伝子の近くに存在するDNA（DNAマーカーといいます）を、実験室内で塊茎や地上部などから抽出することによって、優れた根の特性をもつ系統を選抜する（マーカー選抜といいます）ことができます。根の調査、特に畑での調査には時間と労力がかかりますので、ポットやin-vitroの条件下で根の特性を調査したり、またDNAマーカーを調査することによって、多くの個体を調査する必要がある育種過程の初期世代での根特性の選抜を効率化することが出来ると期待されています。

このような研究の進展によって、成育後期まで水が残っている深い土壌層にまで伸長できる根の特性や、乾燥土壌からも水を吸収できる根の特性を持った、乾燥抵抗性の高いバレイショ品種を育成できれば、灌漑の回数や量を少なくして限られた水資源を有効に利用したり、乾燥ストレスによる収量低下を少なくすることが可能になるでしょう。

結論として、これまでに行われた、また将来も行われるであろう、根系に関する研究は、乾燥抵抗性の品種改良や灌漑方法の改善に貢献するでしょう。作物学、育種学、栽培技術学の研究者による緊密な連携が、

21世紀における世界のバレイショ生産のために必要です。

あとがき

大学院の学生の時から30年以上にわたってバレイショの根系に関する研究を行い、乾燥抵抗性品種「根優」を世に発表することができたことを研究者として大変幸せなことと考えています。その過程では、直接お世話になった試験場や大学の人々のみでなく、無病の種イモを増殖していただいた(独)種苗管理センターや(株)麒麟ビール植物開発研究所の皆様のお世話になっています。また、現在利用を開始しているDNAマップ集団はオランダのワーゲニンゲン大学が育成した集団ですが、100を超える系統数の種イモ輸入を許可して、迅速な検査をしていただいた農林水産省横浜植物防疫所の皆様にも心よりお礼申し上げます。日本の主要栽培品種である男爵イモはアメリカで、またメークインはイギリスでそれぞれ育成され、明治・大正時代に日本に輸入・導入された品種ですが、日本で育成した「根優」品種やその後代品種が、将来、異国で栽培されることを夢見ています。

引用文献

1. Vos, J. and J. Groenwold 1986. *Plant Soil* 94:17-33.
2. Stalham, M.A. and E.J. Allen 2001. *J. Agric. Sci. Cambridge* 137: 251-270.
3. Iwama, K. et al. 1993. *Japan. J. Crop Sci.* 62: 628-635.
4. Yamaguchi, J. and A. Tanaka 1989. *Soil Sci. Plant Nutrition* 36:483-493.
5. 岩間和人ら 1979. *日作紀*48 (3) : 403-408.
6. Iwama, K. et al. 1981a. *Japan. J. Crop Sci.* 50: 233-238.
7. Iwama, K. and S. Nishibe 1989. *Japan. J. Crop Sci.* 58: 126-132.
8. Iwama, K. 1998. *J. Fac. Agri. Hokkaido Univ.* 68: 33-44.
9. Iwama, K. et al. 1981b. *Japan. J. Crop Sci.* 50: 365-372.
10. Iwama, K. and J. Yamaguchi 1996. In *Dynamics of Roots and Nitrogen in Cropping Systems of the Semi-Arid Tropics*, (O. Ito, et al (eds)) . JIRCAS, Japan pp.173-184.
11. 岩間和人ら 1980. *日作紀*49 (3) : 495-501.
12. Iwama, K. et al. 1995. *Japan. J. Crop Sci.* 64: 86-92.
13. Harris, P.M. 1978. In *The potato crop* (1st ed, P.M. Harris (ed.)). Chapman and Hall, London pp. 244-277.
14. Loon, C.D.V. 1981. *American Potato Journal* 58: 51-69.
15. Gregory, P.J. and L.P. Simmonds 1992. In *The potato crop* (2nd ed, P.M. Harris (ed.)). Chapman and Hall, London. pp. 214-246.
16. Ekanayake, I.J. and D.J. Midmore 1992. *Euphytica* 61: 43-53.
17. Iwama, K. et al. 1999. In *World food security and crop production technologies for tomorrow*, (H. Horie, et al (eds.)) *The Crop Science Society of Japan* pp.189-193.
18. Gopal, J., K. Iwama and Y. Jitsuyama 2006. *Japan. J. Crop Sci.* 75 (Extra 1) : 198-199.
19. Gopal, J. and K. Iwama 2007. *Plant Cell Report* 26: 693-700.