

パイプモデルを応用したサツマイモ根系形成経過の解析

有馬 進^{*1}・芝山秀次郎^{*2}^{*1}佐賀市本庄町1 佐賀大学農学部^{*2}唐津市松南町152-1 佐賀大学海浜台地生物生産研究センターAnalysis of the root system structure in sweet potato
(*Ipomoea batatas* Lam.) by using pipe model theorySusumu ARIMA^{*1} and Hidejiro SHIBAYAMA^{*2}^{*1}Faculty of Agriculture, Saga University. 1 Honjyo, Saga 840-8502 Japan^{*2}Marine and Highland Bioscience Center, Saga University, 152-1 Shonan-cho, Karatsu, Saga 847-0021, Japan

要 約

サツマイモ根系の構造と機能の解析手法を開発する一環として、パイプモデル理論を応用したルートモデルで根系形成経過を観察し、同モデルによる根系諸形質の解析の可能性を検討した。その結果、ルートモデルは根系を塊根、梗根および細根に分け、直径階級別の根量を正確に示した。したがって、サツマイモ根系の調査においてルートモデルは有効な解析手法になりうると考えられた。

Summary

In order to develop the analysis method of structure and function of root system in sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.), the formation process of root system were investigated using "Root model" which was contrived based on the pipe model theory. The Root model divided a root system into three parts clearly, tuberous roots, cylindrical roots and fine roots, and could show their root mass correctly according to the diameter class. Therefore, the Root model would be available to analyze the root system of sweet potato.

緒 言

サツマイモは、バレイショやタマネギとならんで上場台地の畑作に適する「根もの作物」のひとつである。筆者らは、塊根の外部形態と品質及び根系の機能解明に取り組んでおり、当地域での良質・多収に向けてキトサンや木酢液の施用効果を検討してきた(原田ら, 1996; 芝山ら, 1998)。サツマイモ塊根の形成経過については詳しい調査がなされており、肥大特性とその条件がすでに明らかにされている(伊東, 1946; 国分, 1973; 戸蒔, 1950)。移植栽培したサツマイモの根系は、茎から生じた不定根から成り、一部の不定根がある程度伸長した後に基部が肥大して塊根となり、また、他の不定根が肥大を中止してゴボウのような梗根となるものや、全く肥大せず専ら養水分の吸収を担う細根となる。サツマイモにおいては、根系全体の根量を多くすることが必ずしも塊根量の増大

につながらず、根系内での塊根と細根の比率や、地上部各器官と根部の量的・生理的バランスが重要な要因となると言われている。しかし、これまで塊根の形成に重点を置くあまり根系全体を視野に入れた研究が少なく、それはサツマイモ根系の発育形態を的確に明示して把握する方法がなかったことも一因となっていた(中谷, 1997)。そこで本報では、筆者らが根系の構造と機能を概括して示す方法としてパイプモデル理論を応用して考案したルートモデル(田中ら, 1994; 有馬ら, 1996)にサツマイモ根系を当てはめ、生育に伴う根系構造の変化を観察するとともに同モデルによる根系諸形質の解析の可能性を検討した。

材料および方法

栽培と調査概要：材料には、高系14号(上場台地で作付けされるトサベニの原品種)を供試した。

栽培は、1996年に佐賀大学農学部畑圃場（0.5 a）で行った。移植には、茎長35cm、展開葉数8枚の苗を用い、5月28日に整地・畦立て後に条間90cm、株間30cmで水平植で挿苗した。施肥は、窒素、リン酸、カリを10 a 当たり成分量でそれぞれ6 kg、6 kg、12kg、および苦土石灰（80kg/10 a）を基肥として全層に施用した。管理としては中耕培土を2回行い、手取り除草を適宜行った。

調査は、地上部について茎長、葉面積、各部乾物重を、地下部について直径階級別の根長と根重を定期的に測定した。根系の採取は、移植後1週目、2週目ならびに4週目から3週間毎に20週目まで計9回行い、各2反復行った。採取面積は株を中心として縦90cm×横90cmであり、採取深度は畦間底部から20cmまでの土層とした（図1）。採取した根系は、除泥の後、ホルマリン水溶液に保存し、直径5 mm以下の根についてはルートアナライザーを用い、また、直径5 mm以上の根についてはノギスを用いて、直径階級別根長を測定した。

ルートモデルの作成：ルートモデルとは、複雑に分岐して幹から枝葉に至る樹木の地上部を定量的に解析するパイプモデル理論を応用して根系構造を表示したものである。すなわち、根系が一定の太さのパイプで構成され、基部から分枝を繰り返しながら細根に至るものと仮定すると、それらのパイプを一本に束ねると太さが一定の円柱になる（図2）。このようなモデルを「単純パイプモデル」と呼ぶ。この場合、理論上どの部分を切断しても、断面積が等しくなる。また、根系がパイプモデルに当てはまっているならば、根系を長さ一定の短材に細断して同じ直径階級の短材を集めると、それぞれの直径階級の根体積は等しいことになる。実際に樹木の根系では、この単純パイプモ



図1 土壌中のサツマイモ（移植後14週目）

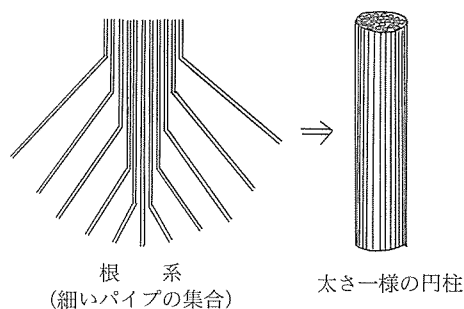


図2 植物根系のパイプモデル

デルが当てはまると言われている。しかし、筆者らが多くの樹枝状を示す草本植物の根系について調査したところ、直径が約1 mmより太い根の部分には良く当てはまったが、直径がそれ以下の細根部分は根量が極めて多く、パイプモデルからはずれることが明らかとなった（田中ら，1994）。そこで、筆者らは、植物体内の水の流れを想定し、パイプモデルからはずれる細根部分が吸水機能を、パイプモデルに当てはまる太根部分と茎部分が通導機能を、葉部が蒸散機能をそれぞれ担うという観点に立ち、根系を直径階級別根量として示すことで、養水分の吸収通導を担う部分の量的解析を行おうとした（有馬ら，1995）。

ルートモデルの作成法（図3）は、まず、計測した直径階級別根長を基に（1）式によって導かれる各直径階級の体積（V）からその体積に等しい高さ0.1mmの円盤を作る。

$$V = (\text{直径階級代表値} / 2)^2 \times \pi \times \text{根長} \quad (1)$$
円盤の高さ（h）0.1mmは、直径階級の階級幅を示し、円盤の半径（r）は（2）式で表せる。

$$r = \sqrt{V / \pi h} \quad (2)$$

求めた各円盤を、直径階級の小さい細根から順に積み上げて出来た図形をルートモデルと呼ぶ。ルートモデルの表示は、積み上げたモデルの中心線をY軸にし、各円盤の半径をX軸にとって片断面図として示す（図4）。上述したように多くの植物

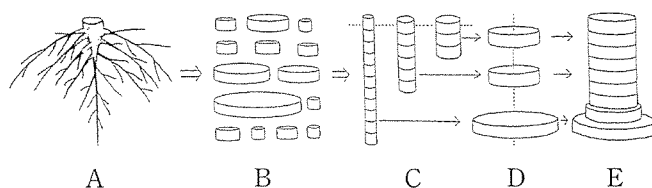


図3 ルートモデルの作成過程

A：植物根系，B：長さ一定の短材に切断，C：同じ直径階級の短材を集める，D：直径階級幅を高さとした同体積の円盤を作成し、細い根の円盤から順に積み上げる。E：ルートモデル（パイプモデルに当てはまっている直径階級は円柱になる）

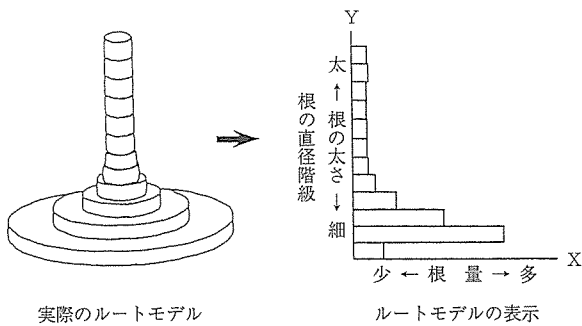


図4 実際のルートモデルと表示法(例)

根系では、細根量が多いため、そのルートモデルは下位の円盤が大きくなり、片断面図にすると下部が突出したL字型図形となる。なお、本報では細根を直径約1mm以下、梗根を直径1～10mm、塊根を直径約10mm以上として区別した。

結果および考察

1. 生育の概要

サツマイモは、移植後順調な生育を示した。乾物重の推移をみると(図5)、地上部では、葉重が移植後11週頃まで増加しそれ以降ほとんど変化しなかったのに対し、葉柄重が14週頃まで、茎重が

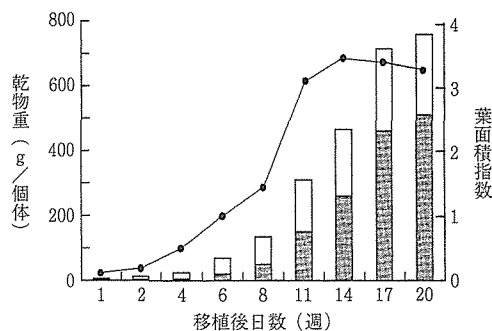


図5 サツマイモ地上部・地下部乾物重及び葉面積指数
□地上部；■地下部；●葉面積指数

17週頃までそれぞれ増加した。一方、地下部乾物重は4週後から徐々に増加し始め、葉重が最大となった11週から17週にかけて著しく増加した。次いで、葉面積の推移をみると(図5)、葉重と同様の推移を示し、14週目に最大に達し、その後横ばい状態であった。すなわち、8月初旬(10週目頃)になると、圃場は葉身でほぼ被覆され、その後、出葉と落葉が平衡して葉面積指数が約3.0で推移した。このように生育量はやや少なかったものの、過繁茂にならない一般的な生育経過であった。

2. ルートモデルの生育に伴う変化

移植後1週目のルートモデルは、発根直後の不定根の形状を示しており直径1.2～1.4mmの根の根量が多かった(図6)。2週目では、不定根の数と長さが増し、それらから養水分吸収を担う細い分枝根が発達し始めたため、直径1.2～1.4mmならびに0.3mm～0.5mmの直径階級に根量のピークが生じた。4週目のルートモデルは、細根の発達が著しく0.3～0.5mmの直径階級を最大のピークとした形状となった。詳細に見ると、直径約0.4mmのピーク以外に約0.8mmと約1.2mmのそれぞれ小さなピークがあり、直径の異なる3群の根があることを示した。また、最大直径階級値が上がり始めて、塊根がこの時期に形成し始めていることを示した。6週目では細根部分の量的増加と共に10mm付近に新たなピークが生じており、塊根の肥大が旺盛になったことを示した。8週目から17週目にかけては、塊根の肥大と細根部の増加が平衡して進んだ。その場合、塊根部は旺盛な増加を継続したのに対して細根部は後期になるほど増加量が少なくなった。その間、根系は量的に3つの部分に分化することが示された。すなわち、直径約1mmまでの細根部と直径約1mm～約10mmの中径根部および約10mm以

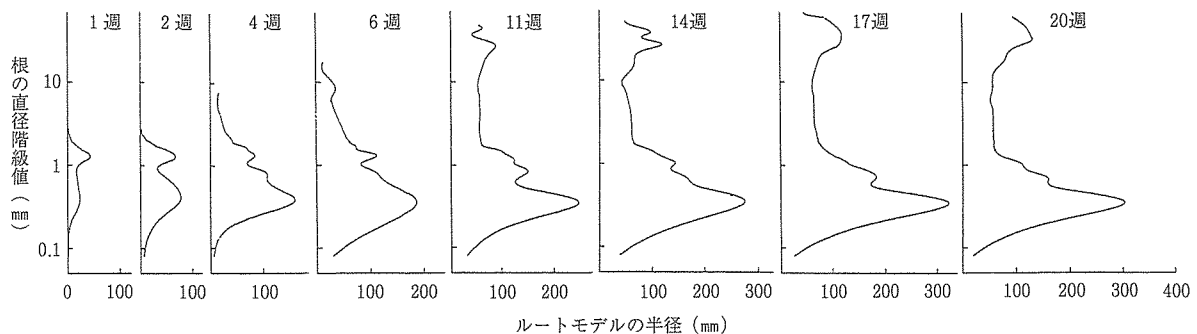


図6 サツマイモの生育に伴うルートモデルの変化

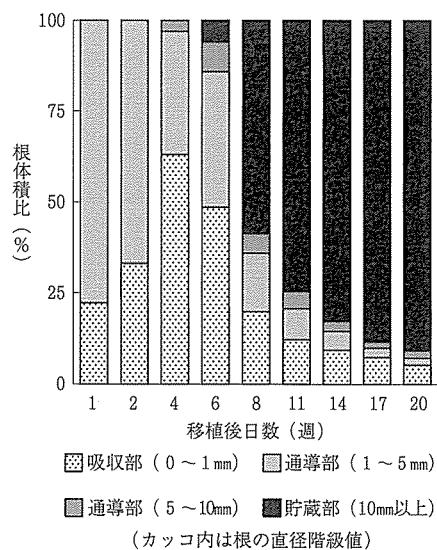


図7 サツマイモの根体積比

上の太根部である。各部がそれぞれ、細根、梗根、塊根に対応し、養水分の吸収系、通導系および貯蔵系として機能していることは容易に推察できた。細根部は生育初期から0.3~0.5mmの直径階級を中心としてその根量を増やし続けたが、17週目以降は、ほとんど大きくなり、塊根部だけが増大した。20週目のルートモデルは、収穫期を迎えたサツマイモの根系構造が上述したように機能面から吸収系、通導系および貯蔵系の三部に分かれていることをより明確に示した。このような三部に分かれた根系構造は、ダイコン、ニンジン等の貯蔵根を持つ根菜類の根系にもみられる。しかし、サツマイモにおいては、通導系とした直径1mmから10mmまで根体積が他の貯蔵根を持つ作物よりも多く、梗根が根系中でかなりの割合を占めることが明らかとなった。また、細根部を詳細に見ると、根量のピークが0.3~0.5mmの直径階級を最大に、約0.8mmおよび約1.0mmの各階級に小さなピークが認められた。これらのピークは、上述したように茎部から出根した不定根から分枝した2次根、3次根に相当するものである。

本報では、直径階級値が0.1mmから最大10cm及ぶサツマイモのルートモデルを図示できるように、Y軸を対数値とした。したがって、直径階級の大きい(太い)根ほどその根体積は縮小されて表示されてしまった。そこで、図7に、機能部位別にみた根体積比で時期別に示した。細根部は4週目まで増加して約65%に達した後減少し、最終的には7~8%となり、通導部は生育に伴って減少

し約5%となった。一方、塊根部は4週目以降から10週目頃にかけて急激に増加し、最終的には約90%をしめるに至った。ただし、本試験では、根系の採取深度が浅いため、茎より直接発根し作土層に分布する細根の大半は採取し得たが、「いも根」と呼ばれ塊根を通じて地表から1m以上の心土層に入る細根については採取できなかった(津野ら, 1968)。したがって、実際の細根の割合はここで示した値より高いものと思われる。

以上のように、サツマイモの根系をルートモデルにより表したところ、根系の形態的特徴を明確に示すことができた。今後、直径階級別に根の形態と生理的諸特性を数値化し、ルートモデルで直径階級別根量分布を把握することにより、根系の生育状態と機能を計量化して総合的に診断する手法となるものと考えられる。

参考文献

1. 有馬 進・小川孝之・原田二郎 (1995): ルートモデルによる根系構造と根粒着生様式の解析. 日作紀, 64(別1), 92-93.
2. 有馬 進・田中弘子・河室恵一 (1996): ルートモデルによる各種作物の根系構造の解析. 日作紀, 65(別1), 210-211.
3. 原田二郎・芝山秀次郎・木口純子・千布寛子・有馬 進 (1996): キトサンの施用が数種畑作物の生育と雑草耐性に及ぼす影響に関する観察. 海と台地, 3, 27-32.
4. 伊東秀夫(1946): 甘藷の塊根形成に関する研究. 農業及園芸, 20, 49-50.
5. 国分禎二(1973): 甘しょ品種の塊根の組織構造とでん粉蓄積能力との関係に関する育種学的研究. 鹿児島大学農学報, 23, 1-126.
6. 中谷 誠 (1997): 植物の根に関する諸問題 (49). 農業及び園芸, 82, 921-927.
7. 芝山秀次郎・真島佳代子・光富 勝・有馬 進 (1998): 唐津産の木酢液の処理がカンショの生育と塊根の遊離糖含量に及ぼす影響. 海と台地, 7, 15-23.
8. 田中典幸・三原 実・有馬 進・原田二郎 (1994): ダイズの根系構造のパイプモデル適合性とその範囲. 日作紀, 63, 63-67.
9. 戸苅義次 (1950): 甘藷塊根形成に関する研究. 農事試報, 68, 1-96.
10. 津野幸人・藤瀬和馬 (1968): 甘藷の乾物生産に関する研究 第11報. 日作紀, 37, 273-279.