

馬鈴薯の「発育段階説」(1)

元北海道大学助教授 (財) いも類振興会参与 吉田 稔

本誌の第52～54号において、20世紀内で改革されないまま新しい世紀を迎えるだろうと思われる多くの課題を述べた。それらのうち最も重要だと考えているのが「健全生育型」である。

馬鈴薯は栄養繁殖作物とはいえ、各品種固有の生育期間がある。にもかかわらず各地に同一品種で多様な生育期間や生育型が認められてきた。その結果として、過剰な生育期間のは場において、茎葉と芋とのアンバランスや、芋の未熟、巨大粒の発生、中心空洞、褐色心腐れ、減収などがおこっている。そこで正しい生育型を勧めるため、以下に「発育段階説」を提唱する。

I. イネ・ムギ類の発育段階説

イネやムギ類の品種の生育期間を説明する「発育段階説」は、あらゆる農学的研究業績のうち最も基本的なもので、生理生態的研究を進める上でも、また実際栽培の技術を解説する上でも不可欠である。イネを例にあげれば、品種の早晩性は栄養生長期間の差異で説明される。生育期間は栄養生長と生殖生長に大別されるが、幼穂形成に入ってからモミが完熟するまでの約85日間は品種間差異が小さく、生育期間の品種間差異は栄養生長の差にほとんど依存するのである。そしてこの栄養生長は、基本栄養生長と可消化栄養生長とに分けられる。基本栄養生長とは、どんな品種でも最小限必要な生長量で、具体的には第6葉までの生長であり、筆者も第6葉を止葉とするイネをえている。

可消化栄養生長とは、短日に反応して栄養生長を減少して幼穂形成に入ろうとする感光

性と、高温に反応して栄養生長期間を短くしようとする感温性とからなり、これによって品種間の大きな生育期間の差異を生ずるのである。わが国に限ってみても、北海道の品種の止葉までの本葉数は11または12であり、南にゆくほど多くなり、九州の品種は18葉である。これらを幼苗期に高温短日処理すると、どの品種も6葉しかもたずに穂をつけるミニチュアのイネがえられるのである。

そしてこの研究をさかのぼると、Garner and Allard (1920) の提唱したphotoperiodism (光周律) とLysenko (1932) のJarovizacija (春化現象) に到達する。前者は発展して、地球上の植物を長日植物・短日植物・中間植物に分類することとなり、後者が発展して最も興味をひきつけられたことは、秋播性程度である。コムギ・オオムギ・ライムギには秋播性品種と春播性品種とがあり、春播品種の幼穂形成には高温と長日の条件が必要だが、秋播品種は春播品種と同じ行動をとるためには、幼苗期に低温短日条件という前段階が必要で、いわば低温短日—高温長日植物である。そして北海道から九州までに、この秋播性程度がさまざまな品種が存在し、北海道には秋播性が最も強い品種と、春播性が強い品種が分布し、西南暖地には中間品種が分布し、しかも冬期間に播種が行われる。これらは緯度の高さに対する植物の適応に基くことで、自然の摂理にしたがって栽培するよう警告していると受け止められる。だが残念なことに馬鈴薯にはそれがないのである。

II. 馬鈴薯の生育期間の品種間差異の基礎

筆者が馬鈴薯の品種の早晩性に興味を持ったのは1965年ごろだった。とくにイネやムギ類に似たような発育段階があるかどうかについてである。調査したところ、本誌17～20号（1988～'89）の生育診断法に関連して述べたように、早晩性があるにもかかわらず、野生種も含めた全品種で、出芽後約5日前後に花芽分化（第1花房）を行うため、出芽から開花始期までの日数は、約35日とほぼ一定であることがわかった（吉田、1970）¹⁾。それにもかかわらず、生育期間において、早生品種の90日未満から、極晩生品種の130日以上にまで及ぶ大きな差異は、開花始期以降の生育量の差異に依存する。だがそれは遺伝子型によるものという以外に解明されていない。ただし出芽直後に花芽形成が行われるのは、太陽光（紫外線）を受けて、生長点が生長を抑制されるためである。それまでの間に約13葉の分化が終わっているため、イネ・ムギ類の主稈葉数（本葉数）に匹敵する主茎葉数は、品種の早晩性に関係なく約13葉と一定であり、そのために第1花房までの主茎長も約40cmとほぼ一定なのである。このことについて晩生品種は早生品種に比べ、主茎葉数が多いと

か、主茎長が長い傾向があるという見解があるが誤りである。

以上のことから早晩性によって第1花房から以降の生育の差異がどうなっているかが問題となる。これを模式的に示したのが図1である。

図内に記したとおり、品種の早晩性に関係なく、「一次主茎生長」がある。これは出芽直後に第1花房が分化するという品種に共通な遺伝形質によるものであり、施肥量が基準的であるかぎり、多少の気象条件の変動があっても、茎長は1日あたり約1.2cm一定で伸び、最終葉（第13葉）の着生基部までの茎長は、出芽後約35日目の開花始期で約40cmとなる。

さらに最終葉の前葉（第12葉）とその前葉（第11葉）の腋芽が生長し、5～7葉をつけるところまでが全品種に共通であり（これを第2次上位分枝という）、ここまでで生育を停止し、茎長が約60cmとなるのが早生品種型であり、晩生品種では、この第2次上位分枝の先端が第2花房となっており、さらに同様にして第3次の上位分枝を加え、計約80cmの茎長になるのである（吉田、1974）²⁾。

上記の基準的な生育型に対し、以下に述べるとようなさまざまな変動がある。図2は標準

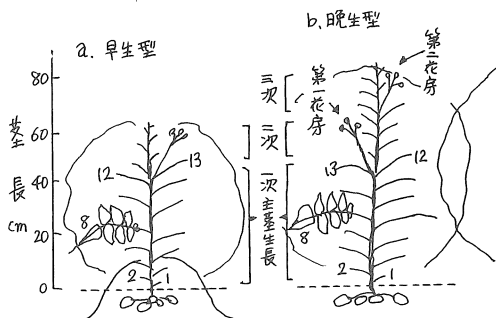


図1. 品種の早晩生と適正生育型

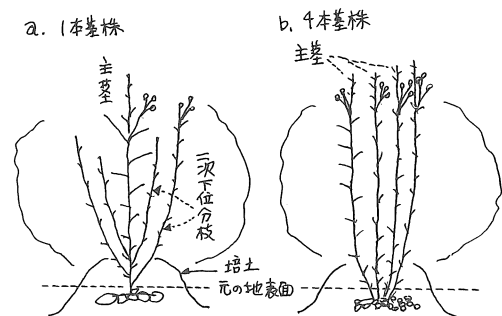


図2. 株当茎数の差異と下位分枝の有無

的な株間30cmの条件で、株当たり茎数を異にする場合の生育型を示した。

図中のaは1本茎株で、本州以南に多く見られる。それは大きな種芋ほど、大きな芋がえられるという考えがあり、目数が1個しかない切片として植える場合が多いからである。すると最初に出芽する主茎は1本だが、30cmの株間だと主茎葉（本葉）だけで株間を埋めきれず、第1～5葉からの下位分枝が発達し、あたかも4～5茎株のような生育になる。だが地下部の主茎はあくまでも1茎のままで、芋数は少く芋の大小変動がひどく、売れない3L以上の巨大粒や変形が多い姿になる。

bの4茎株では前者のような下位分枝の発達とはほとんどなく、しかも出芽期を同じくする株の場合、1茎株よりは葉面積が多く、光合成量が多い。さらに地下部をみると、芋数は前者の2～3倍（品種で多少異なるが約15個）あり、粒ぞろいが良く、しかも3L以上の巨大粒を着けることはない。だからほ場全体を4茎株で占める方向への技術が、収量と規格歩留まりを向上する最良の方策であり、その具体的な方法として、20～40gの小全粒規格外種芋を、十分に浴光育芽して浅植えすることを推奨してきた。

北海道内では本州以南のような、1茎株ばかりにしようと、多茎株の余分な茎を『芽かき』するという作業はしないし、植付前の種芋切断にあたり、注意深く頂芽を通して切ることがないとか、20年ほど以前からは自動プランタと称して、種芋を切りながら植える機械が出現したなどの理由から、ほ場の株当たり茎数の変動は大きく、2～3茎株が大多数で、1茎株と4～6茎株が混在するという状況である。それに機械植えの場合、株間の

変動が15%以下の変動係数で納まる場合がほとんどなく、しかも平均値が35cmを超えることも多い（吉田、1983）³⁾。

これらはほ場に入って、茎数と株間の変動と芋の収量や規格歩留まりとの関係を観察することで、それを技術で改善することにより、収益性を大きく向上することができることを示唆している。

またもうひとつの変動要因として、ほ場内の出芽期の変動がある。出芽が始まってから5日以内に出そろう優秀なほ場もあれば、15日間を経過しても出そろわない劣悪なほ場もある。試験研究機関の調査基準に、80%の出芽をもって出芽ぞろいとするというのがあったが、それはイネやムギ類に比べて非常にレベルが低い。事実多くのほ場で15日目になっても出芽しない株が認められ、いつまでも生育のバラツキがひどい。これを調査してみると、カンブ病・タンソ病・クロアザ病・ナンブ病などの土壤病害であることが多く、これを追跡調査してみると、大部分が不良種芋によることが分かった。またあるほ場では種芋が入っていないことが多い。それは主として機械の調整不良によるもので、そのほか準備した種芋が不足しており、トラクタの走行速

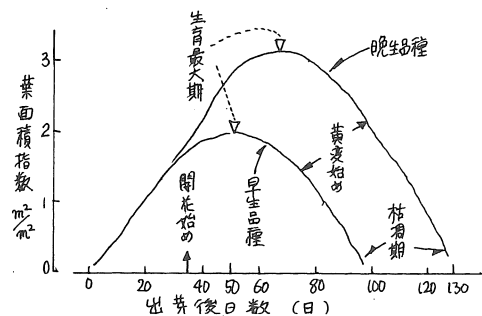


図3. 健全生育型における品種の早晩と葉面積の推移

度が早く、正確に種芋が落ちていないものもある。これらでは群落の乱れによる光合成能力の低下がひどい。

Ⅲ．生育最大期以後の生態

前項では図1と2をもとに生育最大期までの早晩性による差異を述べた。それはイネ・ムギ類などの子実性作物と異なる点で、開花始期以後の次位別生長の違いで基本的に説明できる。そして生育最大期以後、枯凋期に達するまでの経過は、ちょうどイネ・ムギ類が幼穂形成期以後約85日で品種間差異が小さいのに似て、図3にみるように、生育最大期の草姿のまま緑を維持する25～30日間と、黄変を開始して急速に葉面積を失い、枯凋期に到達する25～30日間からなり、品種間差異は小さい。

この生育後半期間で最も重要なのは黄変という現象である。分析してみると、緑を呈しているときに比べ、チッ素・リン酸・カリのみならず、炭水化物も急速に減少し、その大部分は芋へと移行することが分かった。たとえば農林1号で、生育最大期に茎葉内に蓄積していたデンプンが、芋へと移行して、総収量に貢献する割合は15～20%にも達する。これはイネで立証されたことと奇妙に一致し、また茎部内に実際にデンプン粒が存在し、それは芋内のデンプン粒と形態が異なり、同じような大きさの複粒であることが分かった(吉田、1970)⁴⁾。

すなわち馬鈴薯はイネ・ムギ類と同様に、生育末期に黄変することで、身をぎせいにし子実(種芋)を完成させようとするのである。分析によって同時に分かったのは、緑葉が多くてさかんに光合成をしている間は、芋内に転流してくる主な糖分の還元糖が多く、

黄変が進んで枯凋寸前のときは、転流する糖分が少く、加工の場合で問題になる還元糖はほとんどゼロに近くなる。だから還元糖が問題になるのは、収穫期に緑葉が多く残っていて、芋が未熟だといえる。

このような観点から、加工用の品種でない男爵薯を用いて、還元糖のない完熟芋を作ると、ポテトチップスにしてもフレンチフライにしても、真白のきれいなものがえられる。よって次項に述べる施肥反応の知識が不可欠である。

また以上のほかに、茎葉の黄変がすすむにともなって、周皮が完成し、休眠が深くなり、ストロンから芋が離れやすくなるという、収穫する側にとって望ましい生理生態的变化がおこる。周皮の完成とは、黄変がすすんで茎葉からの同化産物の転流が少くなるとともに、周皮にコルク質が集積し、周皮とデンプン貯蔵細胞層との間の粘着力が強化し、多少のショックでも皮むけがおこるようなことはない。したがって流通の段階で皮むけが多発しているのは未熟芋の証拠である。未熟芋は野菜類全般で問題になっている硝酸態チッ素が、許容量の100g中50mg以上を含んで有害であり、のみならず呼吸が盛んで消耗率が高く貯蔵性

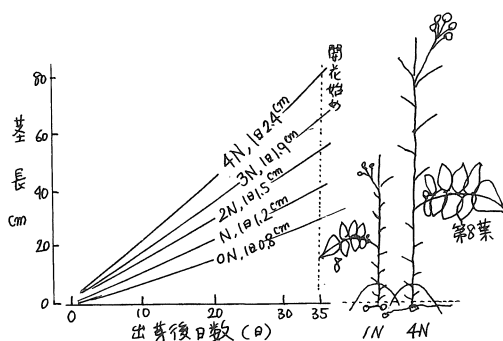


図4．チッ素施用量と第1花房までの生育の違い

が低い。これを新ジャガと称して歓迎する風潮は、本来の馬鈴薯の食品価値をゆがめるものである。

北海道で収穫作業中（ハーベスタ上）でおこっている皮むけは、芋が未熟傾向であるばかりでなく、なま物が堅いところにぶつかることに配慮が足りない機械と、これを扱う者の不注意によるものである。未熟傾向と書いたのは、緑葉のあるうちに除草剤で枯凋処理し、枯れてから10日以上放置し、強制的にコルク質を集積させるという方法が横行していることを指す。これらは次項に述べる適正施肥で、自然枯凋を待って収穫するように改めたい。

芋への同化産物の転流量が少くなる黄変のすすんだ段階では、生長ホルモンが少くなり、生長抑制ホルモンが多くなって、深い休眠に入り、発芽条件を与えても発芽しない。これが長期貯蔵にたえる馬鈴薯の特性である。だが芋が未熟だと、流通過程や貯蔵の早い時期に発芽のトラブルをおこし、市場価値を下落させる大きな原因になっている。

芋が未熟だとストロンから離れ難く、ハーベスタ上の選別者が、芋を離すのに忙しいという状況をよくみかける。

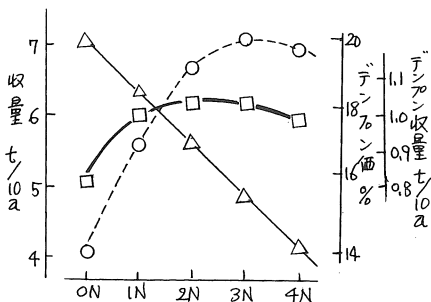


図5. チッ素施用量とデンプン価およびデンプン収量 (農林1号)

IV. 生育の施肥 (N) 反応

1960年ごろから金肥多投時代に入った。それ以前の肥料不足は場は解消し、コメも馬鈴薯も急速な単収増加がみられた。全国平均で昭和30年(1955)に1.39tだった単収は、昭和45年(1970)に2.32tへと躍進した(現在は約3.2t)。北海道では1.35tが3.1tへ、現在は約4tである。

だが筆者は「昭和50年(1975)で多肥多収時代は終わり、それ以上の多肥によりデンプン単収は減少傾向にある」と理解している。このことを以下に詳述しよう。

施肥といってもとくにチッ素(N)反応のことだが、吸収されたNはまず茎葉を繁茂させ、光合成量が増加するとともに、芋の肥大率も高まる。それは芋の細胞分裂を盛んにし、細胞自身の肥大率が高まるという二重の効果による。これを図4と図5で解説しよう。

図4は無肥料から4倍肥までの、茎長の1日あたり伸長率を示したものである。無肥料だと伸長率は8~9mmで、標準肥の約7割で、昭和30年以前はこうした場が多かった。

標準肥では1.2cmの伸長率で、図内に示したとおり、出芽後35日ごろに第1花房が開花しはじめ、そのときの花房下茎長は約40cmである。その後の生育は品種に差異があることをすでに述べたが、この花房下茎長は不変だから、適正施肥かどうかの診断が可能である。無肥料栽培(土壌分析で全Nが約0.2%、熱抽Nが約7mgのほ場)では、この花房下茎長が約28cmと短く、72~75cmの畦間を埋める生育にならず、芋収量も十分にならない(しかしデンプン価は著しく高くなる)。

2倍肥の伸長率は約1.5cmで、花房下茎長は約53cmとなり、3倍肥では伸長率は約1.9

cmで、花房下茎長は約66cm、4倍肥では2.4cmと約80cmになる。これらは実験結果なのだが、現地調査してみると実際に4倍肥まで存在する。だが聞き取りしてみると、金肥で4倍肥を施用している例はなく、前作の残効である。北海道ではテンサイ（サトウダイコン）とかダイコンのような多肥栽培作物の後作馬鈴薯で見出される。テンサイは吸肥性が強く土地を荒らす作物として知られ、10aあたり5t以上の堆肥と、15kgのチッ素施用が指導されている。そして収穫後に残されたトップは晩秋にすき込まれ、10aで約6tのトップに含まれるチッ素は約14kgで、それは馬鈴薯の標準施肥量の2倍肥にあたり、テンサイ後作で馬鈴薯の適正な健全生育型は期待できないようになっている。

4倍肥では第1花房までの茎長は約80cmと、標準的生育の2倍になるのだが、主基本葉数は約13と変わらず、花梗長は10cm以上も長くなり（通常は約20cm）、花も大きく小花数も多く、したがって開花期間が長く、ほ場は花盛りの観がより強くなる。また葉身長が長くなり、羽状複葉の小葉が4～5対となり（健全型では3対）、たとえば農林1号の第8葉（個体内の最大葉）は、標準肥の場合の葉身長27cmに対し、4倍肥では約40cmとなり、葉面積は約2倍だった。馬鈴薯は葉位

が無限に重ならない角度（ 138.5° ほど）で、しかも小さな薄い葉の集まりという、光合成にとって好適な形態をもつのだが、過剰な施肥への投資はこれを欠点にしてしまうのである。

のみならず金肥の多用は、総収量・デンプン収量・規格歩留まりを低下させてしまう。それを図5によって説明したい（吉田、1984）⁵⁾。これは農林1号の例で、10aあたりリン酸11kg、カリ9kg、苦土3kg一定とし、チッ素を硫酸アンモニアにより、10aあたり7、14、21、28kgと無チッ素にしたときの、総収量、デンプン価、デンプン収量を示したものである。

芋収量は多肥にするほど漸近線的に増収する。これに対してデンプン価は、無肥料の約20%から4Nの約14%まで直線的に低下する。したがってデンプン収量は、2Nで最大となり、これから肥料費を差引くと、標準肥が経営上の最適施肥量となる。ひとりデンプン原料用のみならず、加工用や生食用においても、デンプン含有量を第一の食品価値とする馬鈴薯だから、たとえばデンプン工場では、16.5%未満のデンプン価のものは原料とみなされないとか、生食用では加工用と同様に14%未満のものは出荷しないという取扱いをすべきである。

つぎに図6により多肥で徒長過繁茂倒伏型となり、光合成能力を大いに低下することを説明したい。図内aの健全生育型だと、たとえば農林1号で、出芽後約65日の生育最大期に、茎長約80cmで3.0～3.5の最適葉面積指数（地表面1平方mあたり葉面積平方m）となり、枯凋期まで倒伏することがなく、最大の光合成能力を発揮する。これに反し2倍肥

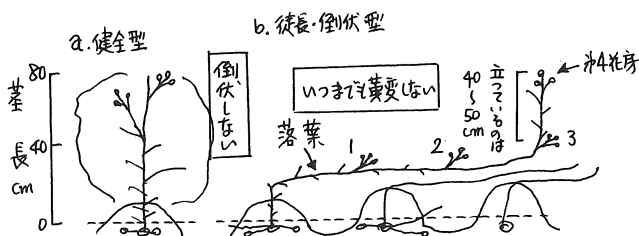


図6. 健全生育型と徒長過繁茂倒伏型（農林1号の例）

以上にすると、出芽後60日に達する以前に、茎長は1.2mを超え葉面積指数は5.0以上の過繁茂になり倒伏してしまう。すると倒伏で折り重なった葉は落ち、倒伏してもなお生長をつづけ、先端部の40～50cmだけが立った乱れた群落になる。このときの葉面積指数を測ってみるとわずか2.0前後である。この群落の乱れによる葉面積の急減が、多肥多収の傾向を頭打ちとし、のみならず地下部をみると、茎が徒長するのと同様にストロンが徒長し、芋の着生が遅れるのみならず、終に芋を形成しないとか、培土からはみ出して茎葉化することで減収になる。多肥でデンプン価が低下するのは、ストロンを通じて地中から吸収されたチッ素は、まず細胞分裂と細胞体積の増大に使われ、その残りがデンプンになる仕組みになっているからで、過剰なチッ素が細胞増大を刺激するのである。

こうした倒伏する生育では、いつまでも黄変期に入ることはなく、たとえば収穫期を目前にした9月末（北海道の農林1号）に、図内の第4花房が咲いているという状況がみられる。だから開花期間は発育段階の指標にならない。参考のために使える話題を加えよう。

あるとき「健全な茎長80cmの農林1号に對し、4倍肥で茎長が2倍の160cmになる」と話したところ、後日「自分のところの紅丸は220cmある」と生産者からの報告があった。このことを講演で紹介したところ、十勝のある町村の青空教室を依頼されたが、その紅丸は茎長が250cmであり、これがわが国でみられる新記録である。

またこのときの倒伏して落葉した1株の茎3本の重量を測ったところ約2kgあり、それは乾物量が200gで、芋重の約800gにあた

る。つまり過繁茂の生育は芋になるべきエネルギーの約半分（通常は晩生品種の株あたり芋重約1.5kg）が茎葉化していることになる。なぜこのような乱暴な考え方になっているかを討論したことがあるが、えられた結論は、「馬鈴薯は倒伏しても大きな支障はない」という考えがあったことだった。

これに関連して本州以南の多肥栽培法に触れよう。本州以南には主産地の長崎県のみならず連作が多い。そのためソウカ病・カンブ病・クロアザ病・フンジョウソウカ病などの土壤病害が多い。それらのうちソウカ病の被害が大きいため、ソウカ病対策と称して作土をpH5.0以下の酸性にする。結果として肥料分の吸収が悪くなるので、いきおい約3倍肥にすることが多い。だから緑葉の多い地上部を刈り集めながら収穫していることによく出会う。これでは芋は未熟で正しい食品価値を具備するとはいえない。

これに付随していえるのは、pHを5.0以下にしても、これに耐えるソウカ病菌が出現すること、ひどい被害のは場をクロルピクリンなどの土壤殺菌剤で処理するが、これも防除しきれない耐性菌が出現させること、酸性土壤にするとそれを好むフンジョウソウカ病やクロアザ病を多発することなどがあり、土壤病害の防止にはイネ科作物を前作とする適正輪作を堅持するという、畑作経営にたずさわる者としての意識をもつべきである。（つづく）

引用文献

1. 吉田 稔 北大農邦文紀要 7-4、1970
2. 吉田 稔 北大農場報告 19、1974
3. 吉田 稔 北大農場報告 23、1983
4. 吉田 稔 北大農邦文紀要 7-2、1970
5. 吉田 稔 ポテトサイエンス 4、1984