

第 40 回土壤物理研究会シンポジウム (根と土壤) 講演要旨

土壤環境と根の発達

小柳敦史 (農業研究センター)

作物栽培の場面では、根の問題は収量性や環境ストレス耐性との関係で論じられることが多い。根系は植物体全体の生長に重要な役割を担っていることから、根系を制御することができれば、収量を増加させたり作物の生産を安定させることができる。

根の量や根系の形態は作物種や品種により遺伝的にある程度決められているが、根系は栽培される土壤の条件によって変化するため、土壤環境の制御により根系を適切に管理することも重要である。しかし、土壤が根の生長や根系の発達に及ぼす影響は必ずしも明らかになっていない。そこで、ここでは、私達が最近 10 年間に茨城県つくば市で実施した圃場試験と室内での実験結果から、土壤の種類、施肥、耕起、水分環境などが根系の発達に及ぼす影響を考えてみたい。

1. 実験方法

圃場での根系の調査には、改良モノリス法、プロファイルウオール法及び掘取り法を用いた。根の調査項目は、単位圃場面積あたりの根乾物重 (g m^{-2})、ルートスキャナーによる総根長 (km m^{-2}) などで、深さ別に根の調査を行った。また、ポット試験で根の生長方向を観察するためにバスケット法、重力屈性を調べるために寒天培地法などを用いた。なお、供試作物は主にコムギであるが、水稻とダイズについても若干の調査を行なった。

2. 根系の遺伝的変異

単子葉植物がいわゆる「ひげ根型根系」を作り、双子葉植物が「直根型根系」を作るといのように、根系は植物の種類や品種により異なるといわれている。私達も、乾燥した地域の多いオーストラリアで栽培されているコムギ品種が、同じ圃場に栽培しても、日本の品種に比べて深い根系を作ることを確認した。また、国内のコムギ品種の間でも、根系の平均的な深さを示す「根の深さ指数」には 2 倍程度の差異が認められた。

3. 土壤と施肥が根系に及ぼす影響

同一の作物や品種でも、栽培される土壤の種類により、根の量や分布は変化する。しかし、多くの場合、土壤型の異なる圃場は気象条件も異なるため、根系の発達に及ぼす土壤の影響のみを知るのは難しい。農業研究センター(土壤肥料部)は、縦横 20 m × 25 m の 4 つの枠圃場を造成し、関東東海地域の代表的な土壤(淡色黒ボク土、厚層多腐植黒ボク土、赤色土、灰色低地土)を深さ 80 cm まで充填した。私達は、この圃場にコムギを秋播き栽培し、根系の発達の様相を調査した。その結果、固相率が低く可給態リン酸が少ない黒ボク土では生育初期の根量が少なく、根系は浅い傾向にあった。また、根長/根重比 (m g^{-1}) が大きく、根が細い特徴を持っていた。一方、固相率が高く全炭素や全窒素が少ない赤色土では根系は深く、根長/根重比が小さいため、根が太い傾向にあることがわかった。

施肥については、黒ボク土の圃場でリン酸を増施したところ、根の太さに大きな変化はみられなかったが、全体の根量が増え根系が深くなった。また、窒素肥沃度が低い圃場では、窒素施用により根量が増加した。なお、窒素施用を深層に行うと根系は深くなると報告されているが、通常の窒素施用では根系が浅くなる場合もあり、結果は一定していない。

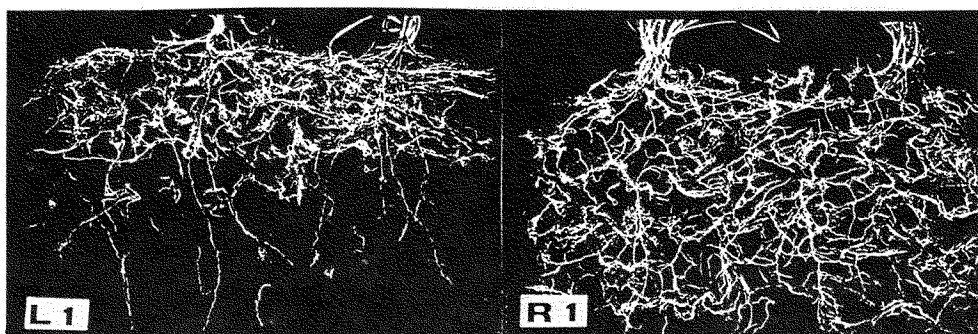
4. 耕起が根系に及ぼす影響

近年、諸外国で土壌の流亡の防止や省力的な作物生産のため、不耕起栽培が大きな広がりを見せている。特に、南米ブラジルなどのダイズやコムギで不耕起栽培が広く普及している。不耕起栽培すると土壌の物理化学性の変化に伴って表層に根が多くなり、全体として根系が浅くなる場合が多い。しかし、不耕起栽培により根系が逆に深くなるという事例もある。私達が水田転換畑でコムギを不耕起栽培して調べた例でも、根量は減少したが根系は浅くならなかった。同じ試験で、夏作の水稲やダイズでは不耕起栽培で浅根化したことから、関東地方では冬季の降雨が少ないため冬作にコムギを不耕起栽培しても表層の根量あまり多くなり、全体の根系が浅くならないものと考えられた。

5. 土壌水分が根系に及ぼす影響

乾燥した土壌では根系が深く、湿った土壌では根系が浅くなるといわれている。これは水分条件の良い場所に達した根がよく生長し、分枝するためと説明されている。ところが最近、圃場のトウモロコシが土壌の乾燥にともなって根の伸長角度をより下向きに変化させることが示され、私達もバスケット法を用いたコムギのポット試験で同様の現象を確認した。その後、寒天培地を用いた実験で、根は周囲が乾燥すると重力屈性を強くして、より下向きに伸びるようになることが明らかになり、これが乾燥した土壌で根系を深くするひとつの要因になっていると推測できた。一方、根の周囲に水ポテンシャルの勾配があると根は水分屈性を発現し、水分の多いほうに屈曲生長することも明らかになり、根が水分条件を感知してその伸長方向を巧みに変化させている様子がわかってきた。

以上のように、土壌環境が根系に及ぼす影響が少しずつ明らかになってきたが、これらの知見を育種や栽培法の開発に利用するためには、それぞれの環境下でどのような根系が理想的なのかを明らかにする必要があり、そのための新たな研究手法の開発が求められる。



土壌の違いによるコムギ根系の差異

(左：淡色黒ボク土，右：赤色土. Sato, A. et. al. 1990, JARQ 24, 83-90 より)

根系構造のとらえ方

巽 二郎 (名古屋大学農学部)

根は土壤中に発達して「根系」と呼ばれる構造体を形成する。根系の構造はその機能と密接に関わりあっている。根系構造の発達には根軸の伸長と新しい分枝の発生のふたつのイベントを中心に進行する。根長は比較的測定しやすいパラメータであるが、分枝の定量的測定は非常に困難なために長らく放置されてきた。根系構造をどのようにとらえるのかというテーマの前には様々な大きな問題が横たわっているが、ここでは問題を絞ってフラクタルやトポロジーなどの根の分枝と関わり合いの深い側面から根系に接近してみる。

フラクタル (Fractal) は新しい幾何学として最近多くの分野で利用されている。この幾何学は、従来のユークリッド幾何学では取り扱うことのできなかつた形を記述することができる。自然界には不規則でぎざぎざしたかたちがあふれている。稲妻や山の稜線の形、地図で見る海岸線などである。これらの形を調べると実はフラクタルになっている。フラクタルな形とは特徴的な長さをもたない図形のことである。正方形や円などの幾何学的な形は、辺や半径の長さを用いてその特徴を示すことができる。しかし地図上の海岸線の特徴をその長さで示そうとした場合、それを求めることができない。なぜなら、測定に用いる物差しの分解能や地図の縮尺に依存して測定した長さが増減するからである。特徴的な長さをもたない図形の大切な性質は、自己相似性である。自己相似性とは図形の一部を拡大してみると全体と同じような形になっていることである。種々の植物の根系について調べてみると、その形がフラクタルであることがわかっている。

フラクタルを定量的に示す量としてフラクタル次元 (D) が用いられる。点や線の直線的な並びなどではDが0から1の値をとる。不規則な曲線や輪郭では $1 < D < 2$ となる。平らな平面では $D = 2$ 、起伏のある表面では $2 < D < 3$ となる。フラクタル図形はふつう複雑な形をしているが、Dの高い図形ほど一般的により複雑である。根系はふつう3次元の土壤中に分布する。したがってそのDは2から3の間となる。また、平面上に展開した根系のDは1から2の間となる。われわれがこれから扱おうとしているのは数学的に厳密なDではなくて、経験的 (Empirical) なDである。根系が自己相似だといっても統計的な意味でのことである。また自己相似性が成り立つスケールには上限と下限が存在する。イネ科やマメ科作物の根系では0.2～50 mm程度のスケール範囲が対象となる。

2次元に展開した根系のフラクタル次元の求め方には次のようなものがある。長さ法 (Length method) : 長さに関する測定法として、1) コンパス法、2) ボックスカウンティング法 (グリッド法)、3) 膨張法 (ダイレーション法) などがある。この3つの方法で求めたDはふつう良く一致する。前の2つの方法はコンピュータで測定するのに簡単である。3つめの方法はプログラムが少し複雑になるが、前二者と比べて図形の配置や画素化にあたっての誤差が少ないことが知られている。

質量法 (Mass method) : 図形上の任意の点を中心にサイズ (d) の異なる円もしくは正方形を置き、それらの中に含まれる画素数 (M) を数え、dとMとの関係からDを求めるやり方である。ボックスカウンティング法とよく似ているが、ボックスに含まれる画素の情報を加味している点が異なる。

根系のDにおよぼす要因 : 厚さ0.7～2 cm程度の平べったい根箱内の土壤中に発育した根系のDは、一般的に最初ゆっくりと増加するが、その後根系の発達 (根長や生長点の増加) とともに直線的に増加する。発育が進んで根箱内に根が密に分布するようになる

と、Dの増加は頭打ちとなる。初期のゆっくりとしたDの増加は根軸の伸長が卓越するために生じ、その後のDの直線的な増加は伸長と分枝の2つのイベントが一定のバランス下で進行することを示している。根系の発育にしたがってDがつねに増加するとは限らない。生育日数とともにDが一度低下しその後増加に転じる場合もある。生育の途中で地上部に遮光処理を加えて根の発育を抑制すると、根長が増加し続けているにもかかわらずDの増加が停滞あるいは減少する。根系の分枝の状態をトポロジーを指標にして調べてみると、遮光処理によりDの低下した根系ではトポロジー指数が増加している。つまり高次の分枝の発生が減少し、1次分枝を中心としたより単純な分枝パターンに変化している。いっぽう各分枝の長さ（外部リンク長）あるいは分枝間の距離（内部リンク長）には有意な変化は無いことから、この場合の根系のDの低下は分枝パターンの単純化を反映している。遮光を解除するとDが増加し、トポロジー指数は減少する。（トポロジー指数とは Fitter の提唱する根の分枝パターンを定量的に示す尺度である。1本の主軸から1次分枝のみが発生するもっとも単純な分枝パターンの根系（魚骨型根系）ではトポロジー指数が上限値をとり、いっぽう常に先端が2つに分枝するパターンの根系（二叉分枝根系）では下限値をとる。通常根系はこの両極端の間の値を示すが、指数の大小によって根系の分枝パターンがより魚骨型であるのかあるいはより二叉分枝型であるのかを定量的に比較することができる）

以上のように、根系が示すDの値は分枝数や根長だけでなく、分枝パターンによっても影響される。とくに根の生長が停滞した場合、分枝パターンの変化がDに大きく反映される。根系の分枝状態をトポロジー的に定量化するためには、根系を構成するすべての分枝を記述しなければならず、非常に手間と時間がかかる。根系のDと根長は簡単に測定できるから、この両者を用いて分枝パターンを抽出することができれば便利である。

マルチフラクタル：質量法によってさまざまな根系部分における局所的なフラクタル次元（D_l）を求めると、根が密に分枝している場所ではやや高いD_lが、粗に分布しているところではやや低いD_lといったように、得られるフラクタル次元が根系上の計測場所によって変動する。これは根系が均一でないフラクタルのためである。D_lの出現頻度の分布パターンを利用して根系のフラクタル的な不均一性を示すことができる。この場合根系上の多くの部分で得られたD_lの平均が根系全体のDとなる。

Lacunarity（すきま指数、L）：根系の形態のすべてがDの値によって示されるわけではない。Dが同じか極めて近い値を示す場合であっても、根系の形が大きく異なる場合がある。この両者の根系の形を区別するにはどうすればよいか。マルチフラクタルとともに、Lがその助けとなる。Lは図形に含まれるギャップにもとづく影響を記述した測度である。直線や円などの場合、Lは0となる。根系上のたくさんの場所において、あるスケールで測定した画素数の分布のばらつきが大きいほどLが大きくなる。根箱内の特定層にだけ施肥した根系では施肥層に密に根が分布する。Lを測定すると施肥層では相対的に低く、他の層では高い。つまり施肥層ではすきまの分布のムラが少ないのである。根系のLやマルチフラクタルの性質についてはさらに検討されなければならないが、Dで区別できない根系形態を判別する方法として有効だと思われる。

これら以外に根系のフラクタルをめぐってさまざまな課題が存在している。根系の一部と全体との関わりの問題、3次元における根系のフラクタル、フラクタルモデルを利用したシミュレーションなどである。研究の進展とともに根系研究におけるフラクタルの有効性はますます増大するであろう。

中性子線による根-土壌系の水のイメージング

東京大学大学院農学生命学研究科

中西 友子

1. はじめに

水は生体の基本物質であるにもかかわらず、その動態はほとんど知られていない。その最大の理由のひとつに、研究手法がまだ未発達な点が挙げられる。我々は、水の構成元素である水素により特異的に吸収・散乱する中性子線を用い、植物試料中の水の動態を初めて非破壊状態でイメージングする試みを行ってきたので紹介する。特に根-土壌系では、育成中の根の形態および根近傍の水分像から根の活性を調べることが可能である。また、最近根-土壌系の水分の CT 像を得ることが可能となってきたので、合わせて報告したい。

2. 中性子線による水分のイメージング

2-1 手法について

水の計測手法には NMR 法も可能であるが、試料の大きさに限りがあること、また、分解能は理論的に 10 ミクロン以下にはならないことが証明されている。そのため、非破壊状態で生体物質中の水の動態を高い分解能で調べるためには、中性子線の利用が、最良な手法といえるだろう。中性子線による水のイメージングの分解能は、現在のところ、X線フィルムを用いる場合が最も高く、約 16 ミクロンと見積もられている。

実験は、日本原子力研究所の研究炉、JRR-3Mで行っている。植物試料はアルミニウム製の容器に育成させ、アルミニウム製カセット上に固定する。カセットには、試料を通り抜けた中性子線を放射線に変換する、ガドリニウムコンバータ (Gd を 25 ミクロンの厚さに塗布したもの) と X線フィルム (Kodak, SR) を減圧封入させる。照射させる中性子線束は、 $1.5 \times 10^8 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ であり、約 20 秒前後の照射を行う (X線フィルム法)。

試料中の水分量を定量したり、異なる X線フィルム像を比較したりするためには、試料と共に標準試料を照射する。標準試料は、厚さが 1、2、3、4 および 5 mm と階段状のアルミニウム製容器に水を封入したもので、試料と共に照射する。得られた X線フィルム上の像は、スキャナー、または CCD カメラで取り込み画像解析を行う。

2-2 根の形態

ダイズの発根し始めた根および周辺土壌中の水分像を図 1 に示す。アルミ薄箱中 (厚さ 3mm) に水分 18% を添加した豊浦の標準砂中で側根が生育し始めた時の根-土壌系の像である。試料中、水分量が多い部分ほど、通り抜けられる中性子数が減少するため、フィルムの感光され方が少なくなり、より白い像となる。上図では、黒い箇所ほど、水分が根に吸収され少なくなっている部分である。実際に X線フィルム上に得られる像は 2 次元であるが、黒化度を縦軸に 3 次元化させた像が下図である。根周辺土壌中の水分量よりも根中の水分量の方が多いため、根の像が鮮明に写る。ダイズを育成させながら経時的に像を撮っていくと、根の形態変化ならびに根の長さを測定することができる。

2-3 根近傍の水分動態

中性子線による像では、根中の水分量のみならず、根近傍の水の動きも像として得ることが特徴である。根に沿った 0.7mm 以内における水分量の変化を調べたところ、形態に全く変化が見られない早い段階でも土壌環境により根の水分吸収能が変化することが示された。また、土壌改良剤を添加した場合、根の生育がいかに関与されるかについて

ての実験、吸水性ポリマーからの根への水分供給状態の可視化も試みたので紹介したい。

2-4 根-土壌系の水分のCT像

CCDカメラを用い、根生育土壌中のCT画像を撮る試みも行っている。3cmのアルミニウムの円筒容器中にダイズを育成させ、経時的に中性子線を照射した。CT像を得るためには、蛍光コンバータならびに冷却型CCDカメラが必要であり、X線フィルム法とは別の実験装置を組み立てる必要がある。試料はコンピュータ制御により1度ずつ回転させ、各角度で4秒間シャッターを開き、180度まで、合計180枚の画像を取り込む。これら180枚の画像をコンピュータで処理することによりCT像を得る。得られた画像の1ピクセルは50ミクロンであるため、1ピクセルラインから合成されたCT像を400枚重ね合せると高さ2cmの土壌中の根近傍の水分の立体像が得られる(図2)。

3. おわりに

中性子線による水分計測の応用範囲は非常に広く、ここで紹介した実験は、ほんの限られた例にすぎない。本手法を根-土壌系に用いると生きた根の形態のみならず根近傍の水分動態を *in situ* で解析することが可能である。また、中性子照射の植物への影響は、照射量が少ないことからX線法では無視できると予想される。実際にダイズの育成状態を2ヶ月後まで比較したところ、形態上では変化は見られなかった。

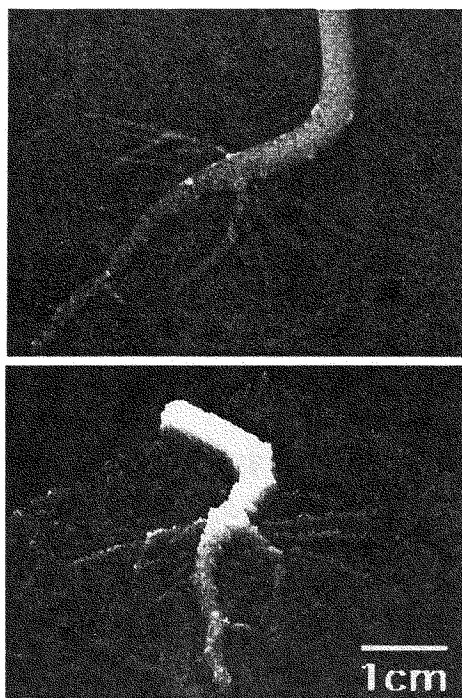


図1

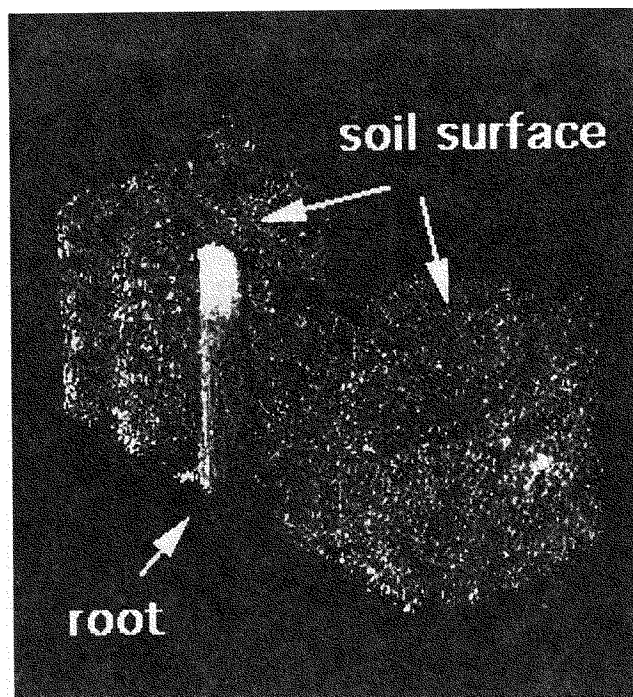


図2

参考文献

1. T.M.Nakanishi et al. *J.Plant Phys.* 151,442-445 (1997)
2. T.M.Nakanishi et al. *Bioimages* 5, 45-48 (1997)
3. T.M.Nakanishi et al. *Holtzforschung* 52, in press
4. T.M.Nakanishi et al. *Nucl. Instr. Meth.*, in press

I. 室内での研究

室内実験の有利な点は細胞内微小電極法が適用出来ることである。但し強固な細胞壁に囲まれた微小な植物細胞に電極を入れるには、動物細胞によく用いられる手動式のマイクロマニピュレータを安易に用いることは避けたほうが良い。我々は空気中で垂直に置かれた胚軸の導管灌流法による研究には上下動のために顕微鏡のメカニカルフレームを土台とし、その上に在来型のマニピュレータの前後左右動ユニットを取り付け、細胞内に電極を刺す最終段は水圧駆動ユニット（一次元）を用いた。根に刺し入れるには材料を水平に置き、顕微鏡の微粗動ユニットのみを用いた。これらの研究によると植物軸生器官の電気生理学的構造の基本は図-1に示される。その特徴は

- (1) 柔組織細胞は導管を取り巻くディスク状のシンプラスト構造を形成している。
- (2) シンプラスト間には絶縁構造があり、直接の外部環境であるアポプラストを導管側と器官表面側とに分ける。したがってそれぞれの側の膜電位は値が通常異なる。
- (3) それぞれの側のシンプラスト膜には呼吸依存性の外向き起電性プロトンポンプが存在し、膜電位の約半分はこの活動によって保たれている。

II. 野外実験

野外の樹木の根を対象とした研究では今のところ細胞内微小電極法の応用は困難である（水耕栽培系から一本の根をマニピュレータ下に引出して測ることは可能かも知れない）。そこで樹木根系の生理活性を地上から非破壊的に探る一つの試みとして導管電位（Trans-root Electric Potential、TRP）を野外で長期連続測定できる実験系を開発した。（図-2）。可能な限り簡単化したが、正確な測定のために次の要件は守られている。

1. 植物体と計測器との接続は、分極による非生物的な電位差の発生を避けるために、完全な液絡系（液を満たしたチューブに注射針をつなぐ）と非分極性電極を介して行わねばならない。もちろんアース側も溶液アースとする。
2. 測定対象の抵抗は時として数M Ω に達することがあるので、インピーダンス変換器として入力抵抗が $10^{12}\Omega$ 程度あるオペアンプ、たとえばAD515を間に入れる。増幅率は1に定める。

記録にはYokogawa μ R1000 打点式6チャンネル記録計を主に用いた（記録紙送り速度1mm/hが可能）。野外移動用にはData Loggerが適当であろう。

導管電位の誘導には、図-1の「電気生理学的構造モデル」（岡本、1991）が樹木に適用できることを前提にすると、マイクロな針を直接導管そのものに刺し入れる必要は無い。この前提はマツ苗を材料とした室内実験その他で次第に確かめられて来ている。マクロな注射針を絶縁構造を通過して木部に刺し入れ、生きた細胞があるとすればその何個かを破壊して、導管部アポプラストと液絡を取る事ができる。応用例として、幹直径が28cm、

樹齢約50年の次郎柿の木を対象とした、2年間の連続計測結果を下に示す。

1. TRPは四季をつうじて規則正しい日周期的振動を示す。
2. その平均のレベルは、根の成長が最少になる真冬と真夏に -70 mV の極小値を、成長が最大になる春と秋に -30 mV の極大値を示す。
3. 振幅は今までカキでは3月頃とされていた根の活動開始時機より早い節分のころから大きくなる。早春、開葉直前に最大 70 mV となり、葉が完全に展開し、蒸散の盛んな真夏から初秋にかけて最小 10 mV となる。

この方法の限界は細胞内微小電極法と違って膜電位そのものではなく、二つの膜電位の差しか測れない事である。しかし様々な考察から、これらのTRPの変化は起電性プロトンポンプの活動と水の能動的向頂輸送との関係を示唆するものと考えられるので、とりあえず導管液の圧力を同時計測出来る装置を開発した事を報告する。

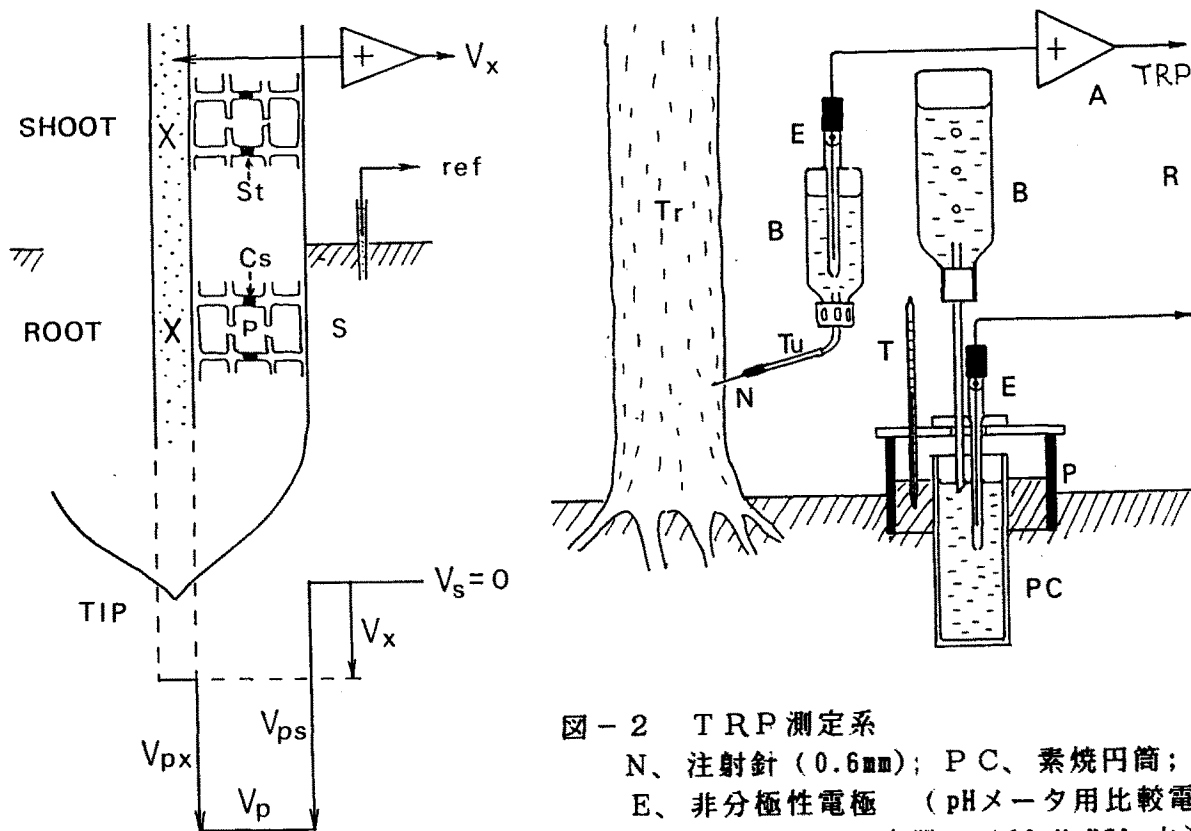


図-2 TRP測定系

- N、注射針(0.6mm); PC、素焼円筒;
- E、非分極性電極 (pHメータ用比較電極)*
- B、プラスチック容器 (10mM KCl 水溶液)
- A、インピーダンス変換器 (AD-515)

* HITACHI-HORIBA 2470-A10T

図-1
根の電気生理学的構造

岡本 尚 「植物の知られざる生命力」 大月書店 科学全書40 1991。

Katou, K., Okamoto, H. 1992. Symplast as a functional unit in plant growth
Intern. Review of Cytol., 142, 263-304. Acad. Press.

1. チャの窒素吸収特性と施肥の実態

チャでは窒素が最も重要な養分で、窒素、リン酸、加里の吸収量の比率はほぼ5:1:2である。窒素の吸収量は定植後5年程度までは樹体形成のため増加するが、成木になると枝、幹等の乾物生産量が低下するとともに摘採、整せん枝に伴う根の機能低下により吸収量は低下する。成木では肥料窒素は年間に20~25kg/10a吸収される。

一方、チャは過剰に吸収した窒素をアミドに代謝する特性があり、アミノ酸・アミドが多いものは品質が良いとされる。さらに品質向上に有効な施肥量の限界値が明確でないことから窒素多肥となっている。近年、環境保全への配慮から茶園における施肥の見直しが求められている。

2. 施肥法の改善

表1 被覆尿素的の吸収と溶脱 (対施用N%)

施用時期	供試肥料	樹体への分配				溶脱量
		新葉	成葉	枝	計	
'96年 2月	被覆尿素	9.3*	4.9	1.3	15.5	41.0
〃	硫 安	16.6*	4.8	2.9	24.3	31.3
'96年 9月	被覆尿素	7.6**	12.8	3.5	23.9	15.1
〃	硫 安	11.2**	13.6	4.3	29.1	5.2

注1) * 96年一、二、刈番茶、整枝葉、97年一番茶、整枝葉の計

2)** 96年整枝葉、97年一番茶、整枝葉の計

年間窒素量は40%削減され、暗きよ排水中の硝酸態窒素濃度は低下した。茶園においては、資材の特徴を活かすための施肥法および土壌改良、樹勢強化などによる養分吸収力の向上が必要である。

表2 かん注による深層施肥法と窒素溶脱(g/m²)

土壌PH	施肥法	N投入量* (g/m ²)	新芽への N分配量	溶脱量
4	深層施肥	200	52.8	93.8(83)
4	表層施肥	200	52.2	113.0(100)
5	深層施肥	200	54.0	91.8(81)
5	表層施肥	200	54.8	108.2(96)

注) * 4年間の総投入量

窒素吸収量は多かった。うね間では表層施用が深さ20cmへの施用に比べて窒素吸収量は少なかった。うね間だけでなく細根の活性の高い株下へも施肥し、施肥位置を拡大することで

窒素利用率が高いとされる被覆尿素は、チャ新芽、古葉、枝など茶樹体内への分配量は硫安に比べて少なく、溶脱量は多かった(表1)。一方、被覆尿素を利用した省力・低投入型施肥法により窒素多肥茶園の年

成木茶園では、樹冠下の株下は落葉が堆積し管理の影響を受けないことから、うね間に比べて活性の高い根が表層を中心に多く分布している。うね間でも表層に近いほど活性の高い根が分布している。被覆尿素的の株下施用は、従来の施肥位置であるうね間施用に比べて

利用率は高まると考えられる。株下施肥の有効な資材、施用法などが今後の課題である。

うね間表層に施肥した窒素はすみやかに硝酸化成されるが、深層では硝酸化成は緩慢である。サスペンション肥料を深さ25cmにかん注施肥することで、施肥位置における肥料窒素の硝酸化成は抑制され、夏、秋に施用した窒素の新芽への分配量は、表層施肥に比べて多かった。多腐植質黒ボク土では、かん注施肥により表層の細根は増加し、活性が高まり、窒素溶脱量は約20%減少した(表2)。赤黄色土においても、かん注施肥により窒素溶脱量は約15%減少した。

多肥茶園の施肥位置周辺においては腐敗した細根が多いが、被覆尿素等を利用し窒素施用量を削減することで細根が増加し、活性も高まった。

3. 土づくり、根づくり

茶園では窒素施用量が多いことから土壌pHは低く、保肥力が弱い。苦土石灰を10a当たり150kg程度施用し土壌pHを4~5に高めることで窒素の溶脱量がやや減少した。陽イオン交換容量の大きい資材の施用による溶脱軽減については明かではなかったが、茶園では土壌化学性の改良が必要である。

有機物施用については、幼木では細根が増加し、窒素の利用率は高まった。一方、成木茶園では施用が茶園のごく一部のうね間に限られることから有機物の施用効果はあらわれにくい。

うね間は施肥位置と同時に管理作業の通路であることから、細根の活性は土壌踏圧により低下し、肥料の利用率は低くなっている。特に管理の機械化が図られている茶園においては土壌踏圧の影響が大きい。通気処理や深耕等による物理性改良の効果は、赤黄色土など有効土層の浅い土壌で高い。一方、火山灰土においても樹勢の低下をまねかない程度の深耕により活性の高い細根が増え、収量は増加した。

4. 葉層をつくり、樹勢をつける

チャは年間を通じて着生している葉によって光合成を行い、生産された炭水化物は各部位の生長に使われることから、葉層の薄い茶園では根群の発達是不十分で肥料の利用率は低い。また、摘採、整せん枝による地上部切除の回数、強度に応じて根群分布域の拡大は抑制され浅根化し、窒素吸収力が著しく低下する。根群域の拡大を図るためには、過度な摘採、整せん枝を避ける等適切な地上部の管理が大切である。

表3 育苗法と定植後(19カ月後)の生育 (間曾)

育苗法	地上部(cm)		地下部(cm, g, g)		
	樹高	株張り	最大根長	白根重	木化根重
4カ月育苗ポット苗	18.6	13.0	35.7	9.1	2.5
21カ月育苗慣行苗	32.7	21.8	26.0	4.1	1.4

育苗法の違いは根群の発達、分布に大きく影響する。ペーパーポット苗は定植後、地上部に比べて地下部の生育がすぐれ(表3)、その後の根群分布域の拡大

につながる。また、根群分布には品種間差があり、窒素の利用率は品種で異なる。

今後、施肥効率を高めるためには、品種、育苗法等も含めた取り組みが必要である。