

まだまだ分からない根のひみつ

研究部 研究課

植物自身が積極的に有機物から養分を吸収する？

はじめに

「根も葉もない」、「根掘り葉掘り」など、「根」が含まれることわざはいくつかあります。前者は、植物の元となる「根」（根拠）もなければ、その結果生える「葉」もないことから何の理由もなく、まったく信頼できないことの意（故事ことわざ辞典）。後者は木の根元を丁寧に全部掘り起こす様から生まれた言葉で、徹底的にとか、しつこくの意があります（語源由来辞典）。これらから、「根」は植物の元でありますが、掘り起こすのはとても厄介なものと考えられていたのでしょう。植物にとって根が重要な役割を果たすことは昔から想像できましたが、土の中にあるがゆえ、その実体をつかむことは難しかったです。技術

の進歩によって根の実体が分かってくればくるほど、土壌や微生物などの様々な要因との相互作用があることも見えてきました。そのため、周りと関わりの多い根の詳細を明らかにするのは難しいといえます。

根に関する研究は、大半が1890年以降に発表されたもので、約120年の間で本格的に研究されたといえます。その大部分がヨーロッパの研究者によるもので、根の解明に大きな役割を果たしてきました。日本では水稲の根が研究の中心で、1970年代から発表されていましたが、水稲以外の研究は多くありません（森田茂紀2000）。次に、現在までに分かっている根の役割についていくつか紹介していきます。

根の役割

1. 地上部を支える

高収量・高品質な作物を得るためには、出芽から収穫に至るまで、しっかりと茎葉が支持されていることが重要です。葉や子実を地上で支えているのは茎や幹ですが、その地上部全体を支えているのは根です。地味ですがとても重要な役割です。根の支持力は植物の種類や環境条件によって異なりますが、あるトウモロコシの調査によれば、根を引き抜く力は一株で100kgを超えていました。では、地上部を支持するためにどのような特徴が必要なのでしょう。それは、根の量と太さです。要するに根の量が多く、切れにくい太さが支持力を強めます。また、根の張り方も大きく関係しており、

より広く分布する方が強くなるようです（寺島一男1994）。

2. 養水分の吸収

根の形は、イネ科作物のような単子葉植物はひげ根型根系を、マメ科作物のような双子葉植物は主根型根系を発達させます。どちらの根型も側根が発達し、全部の根の長さの95%以上の割合を占めています。つまり、養分や水分を吸収しているのは側根ということです。その根の水分吸収には二通りあります。一つは葉の蒸散に伴う（ストローで水分を吸い上げるような）吸水で、昼間の吸水はこの方法です。もう一つは根が水を吸って上に押し上げるもので、ヘチマ水がその良い例です。低温条件下での苗の葉先に付く露の大きさは、根が水を押し上げる力を表



し、水稻品種の耐冷性の評価ができるようです（阿部淳1994）。

根が吸収する養分は、主に水に溶けているもので水と同様ですが、比較的先端の若い部分の方で吸収能力が高いようです。また、根毛や根に共生する菌が出す「菌根」もリンなどの吸収に貢献したり、周囲の酸度を調整し必要な元素を含んだ化合物を吸収し易い形にするなどして養分を吸収しています（山内章1994）。

養水分吸収以外のホルモン生産などの機能にも、根（側根）は重要な役割を果たしている可能性が高いと考えられています。

3. 物質の合成

根ではサイトカイニン、ジベレリン、アブシジン酸といった植物ホルモンが合成されます。根が水ストレス、嫌気的条件、低温などの好ましくない条件に置かれたときには地上部の生長は抑制されます。この原因の一つとして、根におけるサイトカイニンやジベレリンの合成が減少することが考えられています。根では、植物ホルモンが合成されたりされなかつたりして、色々な影響を及ぼす

シグナルとして働いています。

例えば、土壤水分は地表部から減少していくので、表層にある根ほどストレス状態になります。このストレス状態の根で作られたアブシジン酸は、根の伸長速度を増大させ、水分の残っている下層の土壤から水分を吸収できるようになります。また、地上部に運ばれたアブシジン酸は、葉内水分が減少していない時でも気孔を閉じたり、葉の生長を抑制したりして低水分に耐えられるような仕組みになっています。

サイトカイニンは葉などの老化を遅らせると言われています。根系が発達し、根の活性が高く、葉の老化が遅いことによって多収になる水稻品種では、根から地上部に送られるサイトカイニンの量が多いことが明らかになっていきます。多収穫のためには、土壤環境の整備を通じて根系を発達させ、根の活性を高めることが重要です。根系が良く発達したり、根の生理的活性の高い作物は、地上部の老化の遅れなどにつながる認められてきたので、植物ホルモンが関係していることは間違いありません（平沢正1994）。

4. 食料としての根

根の機能の一つに物質の貯蔵機能があります。茶などの永年作物ではこの機能も重要とされていますが、単年作物のサツマイモ、ニンジン、ダイコンなどは私達が直接食料として利用するので、その貯蔵機能を見逃すことはできません。根を食べる作物の利点は、いくら収穫部分を大きくしても倒伏の心配がないことです。また、収穫部分が温度変化の少ない地下にあるので、大きな気候変動を受けにくいということもあります（中谷誠1994）。

5. 呼吸

呼吸とは体内に酸素を取り込み、炭酸ガスを体外に放出することに よって、代謝過程で必要なエネルギーを得る作用です。光合成で得られた炭素のうち、その半分の炭素は呼吸によって体外に放出されます。呼吸によりも畑苗代で栽培したイネ水苗代よりも畑苗代で栽培したイネの方が根張りが良いのは、土壤中の酸素が多いからです。その酸素を使った呼吸によって得られたエネルギーは、根自身の生長、作物自身の維持、養水分吸収などのために使われます。もし呼吸ができないと

根は生長できず、養水分の吸収にも支障をきたし、体の維持ができないで死んでしまいます。では、なぜイネは、水中に根があっても大丈夫なのでしょう。イネは特殊で、地上部から根に酸素を供給する破性通気組織があり、呼吸ができるからです（山岸順子1994）。

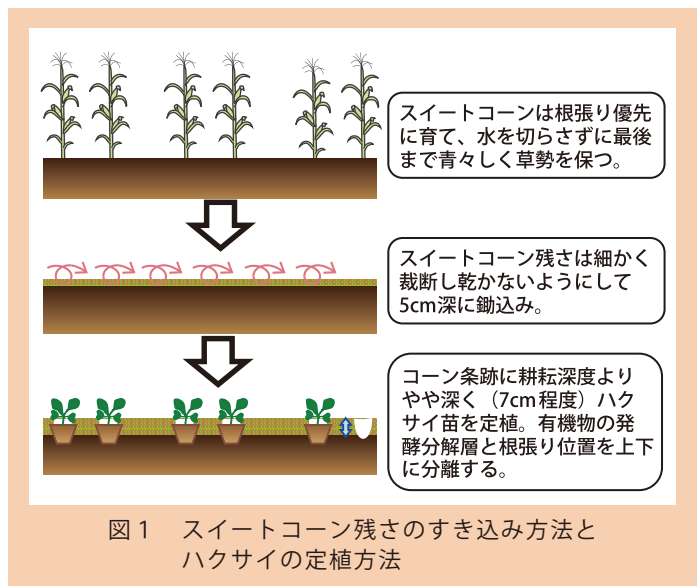
自然農法センターの「スイートコーン」ハクサイニ毛作物系」から見たハクサイの根

ムギやキビ、アワなどのイネ科作物を作ると、その跡地では、野菜が作りやすくなるといわれています。その理由として、「水はけが良くなる」「根によって下層土が耕され、作土が深くなる」「残根や藁が腐植の原料となつて土づくりに役立つ」「雑草を抑えるので雑草の種子が少なくなる」「害虫や病気が出にくくなる」などが挙げられます。日本の畑の地力は、ヨーロッパのような牛の放牧や輪作などで維持してきたのではなく、直接食料になる作物を作りながら維持してきました。野菜はその片隅や裏作で長く作り続けてきたのです。ですから、イネ科作物は

日本の畑の土の本来の食べ物と言えるでしょう。また、農家経済を考えると少しでも収入が期待できる作物の組み合わせを考える必要があります。そこで、自然農法センターの農業試験場では、イネ科でも収益性の高いスイートコーンとハクサイを組合わせた二毛作体系の展示栽培をしています。

この栽培のポイントは、スイートコーンを収穫目的だけでなく、残さとなる部分を緑肥として栽培することと、その後のハクサイに切り換える部分です。

スイートコーンの収穫からハクサイの定植までは約2週間と時間が短かく、スイートコーン残さは大きくて多い(約1400kg/10aで窒素では約26kg/10a、炭素率25(米ぬか程度)のために、その残さの分解に伴うハクサイの障害が想定されます。これを解決するため、図1のように3つの工夫をしました。まず、スイートコーンを老化させないために、2穂目を除去せずに残しておいたり、土壌水分を保つたりの工夫で樹を若々しく保つようにします。次に、残さをできるだけ小さく砕いて、乾かさなないようにします。同時に土



も乾かすと分解しなくなるので、乾かさず適当な湿度を保つようにします。最後に、スイートコーン残さにハクサイの根が当たらないようにするため、残さの層とハクサイの根の層を分けるように管理します。つまり、スイートコーン残さの鋤き込み深度を5cm程度にするのです。残さの粉碎から約10日後にハクサイの定植をすることになりますが、5cm深の溝を切つて、その溝底に軽く植え穴を開けて、ハクサイの根鉢の半分は不耕起層(有機物残さのない層)



に入るように植えつけます(約7cm深)。すると有機物の分解に伴う根焼けを起こさずに活着します。このような展示栽培から、ハクサイの根が表層にあるスイートコーン残さに絡みつき、積極的に養分を吸収しているような様子が見られました(写真1・2)。

非常識は新たな常識に

リービッヒの「無機栄養説」という言葉をご存知ですか？リービッ

ヒはドイツの化学者で、1840年に「あらゆる植物の栄養源は腐植のような有機物ではなく、炭酸ガス、アンモニア(または硝酸)、水、リン酸、硫酸、ケイ酸、カルシウム、マグネシウム、カリウムなどの無機物質である」という「無機栄養説」を唱えました。この頃に水耕栽培の手法が開発され、無機養分のみで植物が生育すると証明されたのです(田中實1951)。その証明が基となり、長い間リービッヒの無機栄養説は常識として教科書にも掲載

新たな現象が証明され、ニンジン、チンゲンサイ、ホウレンソウは有機栽培に向いている作物ということが考えられました。

ある先生が

話してくれた方法

今から10年ほど前にした、ある農学博士の先生との会話を思い出しました。「分からないことはね、根に聞けばいいんだよ」。その先生は、果樹、特にミカンについて研究された時期があるそうです。果樹の堆肥施用はトレンチャーという掘削機械

で60cm位の深さの穴を掘り、そこに堆肥を入れるとのことでした。そして、堆肥の施用試験でどんな堆肥を好むのか調べたときの話をしてくださいました。ミカンの樹の周りに樹の中心から等距離で穴を掘り、そこに様々な有機物を網の中に入れて埋設したそうです。埋設してしばらく経ってから網の場所を掘り起こし、そこにミカンの根が貫通しているとミカンの好む有機物、根が進入していなければ好まない有機物と判断したそうです。単純ですが、とても分かりやすい判断方法であると思いました。

根箱を使った

ハクサイの根の観察

有機態窒素吸収の現象が証明されたことや、ある先生が話してくれた方法から、スイートコーンハクサイ二毛作体系の展示栽培で見られた、スイートコーン残さを5cm表層すき込み施用した時のハクサイの根の反応について、実際の根を観察してみようと考えました。そこで、すき込みから収穫期頃までの畑の状態を根箱で再現し、ハクサイの根や地上部の様子を観察してみました。観察するに当たり、残さを表層にすき

込んで施用するものと、残さを施用しないものを3反復で組み入れて、その違いを見られるようにしました。根箱を(3/2000a×40cm深)写真3の様に圃場に埋設し、表土の高さを圃場と合わせるようにしました。

では、その結果を紹介します。

定植後30日の観察では、表層にスイートコーン残さをすき込み施用すると表層の根量が多くなっています(写真4)、スイートコーン残さを施用しないと少なくなっていました(写真5)。定植後101日後も同様でした(写真6・7)。



写真3 根箱を埋設した様子

残さのすき込み施用

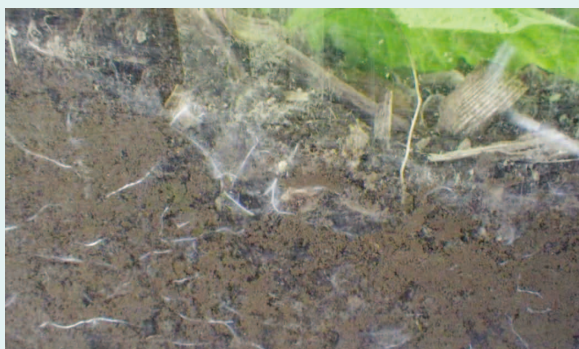


写真4 定植後30日の表層の根の様子



写真6 定植後101日の表層の根の様子



写真8 定植後45日の地上部の様子



観察からではありますが、ハクサイ

吸収しているように見られました。

みつき（写真10）、積極的に養分を

と同样にハクサイの根は有機物に絡

根箱の観察からも、圃場での観察

おわりに

定植後45日の地上部の観察では、

表層に残さをすき込み施用した方が

大きくなっていました（写真8・9）。

定植後101日の収穫調査では、有

意差はないものの残さを表層にすき

込み施用した方が大きなハクサイで

した（図5）。

が有機態の窒素を直接吸収している

可能性は高いと考えられます。今後

は、どのように養分を活用している

のか、有機物に根を絡ませるのはど

のようなメカニズムかなど、調べる

ことはたくさんあります。今までの

古い常識にとらわれず、新しい知見

や、観察から得られた先人達の知恵

や言葉を思い返し、科学的にその現

象を明らかにしていきたいと思いま

す。そして、自然に備わった力を最

大限活用できるような農業技術の提

案が、自然農法の発展につながると

期待しています。

（千嶋英明）

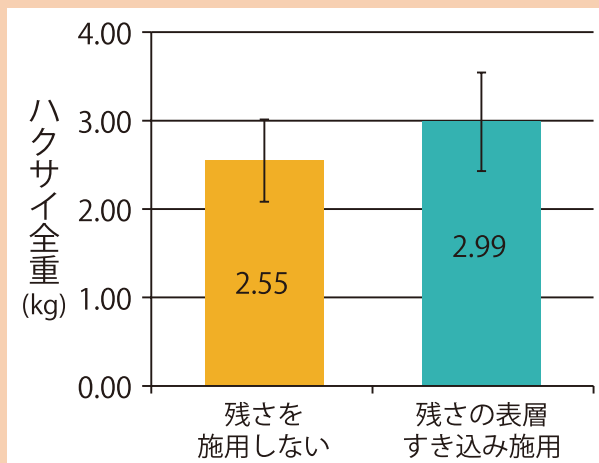


図5 定植後101日のハクサイ収穫調査
(エラーバーは標準誤差を示す)

残さを施用しない



写真5 定植後30日の表層の根の様子



写真7 定植後101日の表層の根の様子



写真10 根箱におけるスイートコーン残さに絡むハクサイの根



写真9 定植後45日の地上部の様子

参考文献

- ・ 故事ことわざ辞典 <http://kotowaza-allguide.com/>
- ・ 語源由来辞典 <http://gogen-allguide.com/>
- ・ 森田茂紀 (2000): 根の発育学. 東京大学出版会.
- ・ 田中 實 (1951): 化学者リービッヒ. 岩波新書.
- ・ 松本真悟 (1999): 土壌の可給態窒素の実体と作物による特異的吸収. 島根県農業試験場研究報告第34号, 1-46.
- ・ 山内 章 (1994): 根系のつくり. 根の研究. 第3巻, 第1号, 18-19
- ・ 阿部 淳 (1994): 養水分の吸収. 根の研究. 第3巻, 第1号, 19
- ・ 寺島一男 (1994): 地上部を支える根張りの強さ. 根の研究. 第3巻, 第2号, 58
- ・ 平沢 正 (1994): 物質の合成. 根の研究. 第3巻, 第2号, 58-59
- ・ 中谷 誠 (1994): 根を食べる. 根の研究. 第3巻, 第3号, 82
- ・ 山岸順子 (1994): 呼吸. 根の研究. 第3巻, 第3号, 82-83