

ISSN 2435-2314



Journal of Mycorrhizal Fungi

2024

# 菌根菌 ジャーナル

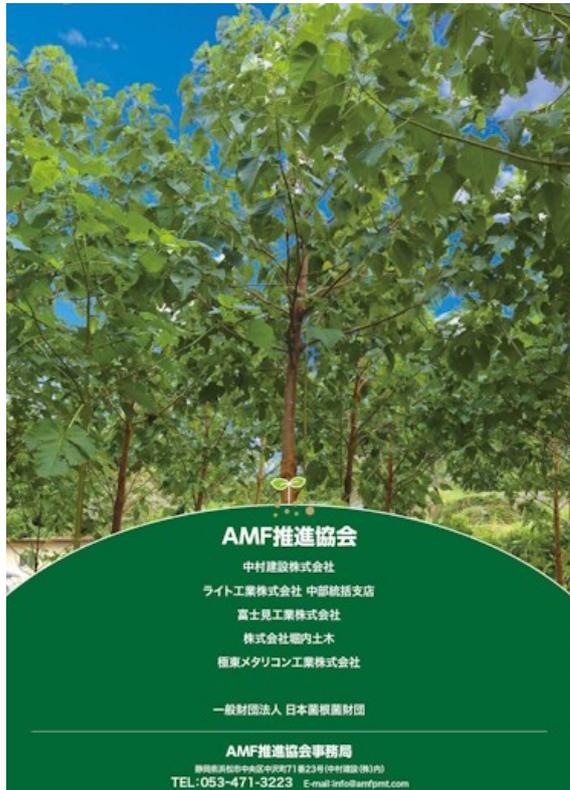
Vol.6



一般財団法人 日本菌根菌財団

# AMF 推進協会が発足しました

AMF と早生日本桐「ジャパロニア」で、CO<sub>2</sub> ニュートラルを！



**AMF 推進協会**  
 中村建設株式会社  
 ライト工業株式会社 中部統括支店  
 富士見工業株式会社  
 株式会社堀内土木  
 植東メタリコン工業株式会社

一般財団法人 日本菌根財団

**AMF 推進協会事務局**  
 静岡県浜松市中区中沢7丁目22番2号(中村建設 株1内)  
 TEL:053-471-3223 E-mail:info@amfjpn.com



**AMF** (菌根菌) × **ジャパロニア** (早生日本桐) = **CO<sub>2</sub> Neutral** (カーボンニュートラル)

**脱炭素社会の未来を変える  
 二酸化炭素削減事業**

短期間で植物をあっという間に成長させる  
 一般的な植物より多くの二酸化炭素を吸収する  
 カーボンニュートラルに向けた取り組みをバックアップ！

## ジャパロニア(早生日本桐) 植栽事業で、CO<sub>2</sub>削減企業へ！

### カーボンニュートラルとは？

気候変動対策として温室効果ガス排出を削減し、再生可能エネルギーの活用やエネルギー効率の向上、森林保護などが求められています。国際的な協力と技術革新が鍵となり、持続可能な未来を創るための重要なステップです。

【カーボンニュートラルロードマップ2050】



2013年: 0% CO<sub>2</sub>削減  
 2030年: 46% CO<sub>2</sub>削減  
 2050年: 100% CO<sub>2</sub>削減

### SCOPE1・2・3 貴社はどこに該当しますか？

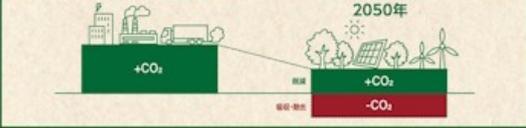
企業単体ではなく、サプライチェーン全体で温室効果ガスの排出削減をする時代になりました。

Scope1	Scope2	Scope3
<ul style="list-style-type: none"> <li>自家発電</li> <li>燃焼</li> <li>輸送</li> <li>廃棄物の焼却</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電力の消費</li> <li>熱の消費</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>製品の輸送</li> <li>製品の廃棄</li> <li>製品の購入</li> <li>製品のリース</li> <li>製品のリース</li> </ul>

Scope1: 自社の事業活動における直接的な排出  
 Scope2: 他社から供給された電気の消費により発生する間接的排出  
 Scope3: Scope1～2以外の事業活動に関わるサプライチェーン(他社)の排出

### 提供するものは「ネガティブエミッション」技術です！

大気中の温室効果ガスを回収・除去する技術。ネットゼロ(どうしても削減できない温室効果ガスを吸収や除去により差し引いてゼロにする)を実現させるための手法のひとつです。



2050年  
 +CO<sub>2</sub> (排出) / -CO<sub>2</sub> (吸収)

### ジャパロニア(早生日本桐) 植栽事業のビジネスモデル

- ①事業地確保** 基本的には事業主様でご用意いただきます。エリアによっては事業地の紹介できる場合もあります。
- ②土壌改良** ジャパロニアを最適な環境で育てるため、AMF(根圏菌)の接種と共生する菌根菌(菌根菌)などを用い、土壌改良を行います。
- ③ジャパロニア育成** 事業主様にお任せしながら、適切な管理方法をお伝えします。
- ④脱炭素ビジネス** ジャパロニア育成で得た二酸化炭素削減量に基づき、カーボンクレジットとして取引が可能です。

### AMF×ジャパロニアの特徴

- CO<sub>2</sub>の吸収量増大
- ジャパロニアの生育が早い

**独自技術**  
**4年で直径40cmの成木に成長!**  
 菌根菌を配合する独自の土壌改良により、ジャパロニアの生育を促進し、より短期間に高品質な成木へ成長させることが可能です。

**Chance!**  
 国際的なカーボンニュートラルの流れを受けて、大手企業はカーボンオフセットを活用し、どうしても削減できない温室効果ガスを相殺する取り組みを行います。これは、取引先選定の条件となる可能性があります。

**木材活用例**  
 ・プラスト  
 ・コンパネ  
 ・CNF(カーボンナノファイバー)

**伐採後**  
 切り株からの再発芽で次期育成へ(4~6回繰り返しします)

## 目次

	頁
報告：財団の新たな取り組み Ver.2 について（石井理事長）	2
報告：エゴマの菌根菌栽培 ～アーバスキュラー菌根菌たちに守られた畑作り～（中島氏）	7
報告：ジャパロニア（早生日本桐）の試験ほ場 2024 年（廣畑理事）	11
報告：ショウロが発生しました！（廣畑理事）	18
報告：SDG s の学習から（泉地氏）	19
資料：遺伝子変異が起きているアーバスキュラー菌根菌 <i>Rhizophagus irregularis</i> が 日本中に広がっている？（宇佐見（社納）氏）	21
資料：わが国で販売されている菌根菌接種源について	24
投稿規程・執筆要領	26
財団役員など名簿および新事務局長の紹介	28
編集後記	29
付録：土のはなし（石井理事長）	30
コラム(1) 早生日本桐「ジャパロニア」を用いた防火対策を！（石井理事長）	6
コラム(2) 現代人は植物毒あるいは強すぎる薬効成分にどこまで対応すべきか？ （宇佐見（社納）氏）	10
コラム(3) 菌根菌菌糸の分岐や生長促進にはストリゴラクトンよりもエチレンが重要（石井理事長）	17
コラム(4) 齋藤雅典編著「もっと菌根の世界」築地書館の講評（石井理事長）	25

## 財団の新たな取り組み Ver.2 について

一般財団法人 日本菌根菌財団理事長 石井孝昭

日本菌根菌財団は、2019年7月26日に発足し、2024年7月27日から6年目に入りました。過去5年間を振り返ると2020年から始まったCOVID-19というウィルスによるパンデミックは財団の活動を大きく制限し、積極的に活動できないという状況が出てきました。しかしながら、行動が制限する中でも、財団は「菌根菌とそのパートナー細菌（PB）を活用した安心・安全で持続可能な作物生産技術および緑化技術」、つまり「菌根菌農法」の事業化において大きな成果を上げることができたと考えています。下記にこれまでの財団の主な取り組みを示します。

### 1. 5年間の財団の主な取り組みについて

#### 1) 有機マカダミアナッツの生産

JICA プロジェクトとして、ルワンダにおけるアーバスキュラー菌根菌（AMF）とPBを活用した有機マカダミアナッツの生産を約40haの農園で実証しました。

#### 2) 「植蔵」技術によるイチゴなどの有機水耕栽培

AMFを接種したイチゴ苗を定植し、水槽にPB入り有機養液を用い、かつ定期的にPB入り有機養液を苗に散布するとともに、ハウス内全体に処理することで、化学合成農薬不使用でも病害虫の発生がほとんどみられなくなりました。また、AMF接種とPB入り有機液肥を用いることで、施肥量も慣行栽培の1/3-1/4まで大幅に減らすことに成功しました。現在、財団の法人会員の方に本技術の移転を図っているところです。

#### 3) 早生日本桐「ジャパロニア」の植栽

ニホンギリの中から、C4植物としてのCO<sub>2</sub>固定能が大で、旺盛な生長をする早生日本桐を見出しました。この桐は、現在「ジャパロニア」として品種登録出願をし、中部電力(株)からの委託事業と合わせて、3か所の荒廃農地において桐225本を植栽し、生育調査を行っています。

#### 4) 松枯れの防止と再生

海岸林の松枯れ対策を目的として、中部電力(株)から委託を受け、AMFや、ショウロという外生菌根菌を接種したクロマツ429本を植栽しました。強風で根が傷み乾燥で枯死した2樹と誤伐した1樹を除いて、全ての樹が健全に生育しています。そして、植栽3年後の2024年秋にはショウロを初めて収穫できました。これからショウロがたくさん発生してきますので、ショウロ生産による地域の活性化が非常に楽しみになってきました。

#### 5) 水稲の有機栽培

農家と委託契約をして「菌根菌農法」を実践し、収穫された米を「金根米」として販売をしています。

#### 6) エゴマの有機栽培

「菌根菌農法」を導入し、エゴマの有機栽培に取り組んでいる中島会員が本誌で執筆していただいています。導入3年目からエゴマの有機栽培が定着し始めて、有機エゴマオイルの生産も安定してきています。

#### 7) 有機栽培茶の生産

静岡県掛川市および周辺地域において、有機栽培茶を目指す農家を対象に「菌根菌農法」による指導を行い、高品質の茶葉ができ、高値で販売されています。

#### 8) 有機栽培サツマイモの生産とサツマイモ基腐病の駆除

2023 年前後から深刻な問題となっているサツマイモ基腐病菌に対して、「菌根菌農法」はこの侵入病原菌の駆除に極めて有効でした。

最近、基腐病菌抵抗性品種のサツマイモ、例えば、農研機構によって青果用新品種「べにひなた」および焼酎・でん粉原料用新品種「みちしずく」が開発されたので、今後、これらの品種が普及してくると考えられます。しかし、圃場には基腐病菌の胞子が非常に多く残存しているため、抵抗性サツマイモにも罹病してくることが考えられます。特に、基腐病菌に有効な化学合成農薬がないので、効きの悪い化学合成農薬を使用し続けると抵抗性基腐病菌が出現しやすくなるので、化学合成農薬による駆除方法は非常に危険です。そこで、これからも菌根菌農法を継続して、サツマイモ基腐病菌を完全に駆除していくよう努めなければなりません。

#### 9) のり面緑化における菌根菌農法の活用

AMF と PB を活用したバヒアグラスによる「のり面緑化技術」の開発において、非常に有効な結果が出てきたので、これから本技術の普及を図っていく予定です。

また、冬でも葉が枯れない耐寒性のバヒアグラスを発見したので、この草は寒冷地用の「のり面緑化植物」としても大いに活用ができるものと考えられています。現在、品種登録のための出願準備を行っているところです。

#### 10) 財団の主な研究成果

##### a) 世界初の菌根菌検査薬と携帯型蛍光顕微鏡の開発とこれらを用いた菌根菌の簡便な観察方法

マツタケ、トリュフなどの外生菌根菌は肉眼で容易に観察できますが、他の菌根菌の菌糸はほぼ透明で観察しにくいのです。そのため、これらの菌根菌ではトリパンプルーなどの染色液で染めて観察する方法がとられていますが、観察に1日以上かかり非常に煩雑です。そこで、筆者らは菌根菌しか持っていない 24 KDa のタンパク質（菌根菌タンパク質）を発見し（石井ら, 1999）, このタンパク質の抗体にフルオレセインという蛍光物質を取り付けた菌根菌検出蛍光試薬（菌根菌検査薬）を作出しました（Matsubara and Ishii, 2015）。また同時に、携帯電話のカメラなどでも撮影できるハンディー蛍光顕微鏡も開発しました（石井・天内, 2016）。これらを用いて、根の菌根菌共生状況を瞬時に観察できる画期的な手法を世界で初めて作り上げました（石井孝昭.2020. 菌根菌検出蛍光試薬を用いた新開発の携帯型蛍光顕微鏡による菌根菌の簡便な観察方法. 園芸学研究 19(別 1): 226. および Ishii, T. 2019. ICOM10 Abstracts）。この新技術によって、植物根の菌根菌共生状態を調査できるだけでなく、土壌中の菌根菌の有無も調査でき、土壌中の菌根菌の生息状態を画像計測によって簡便に数値化できる手法も開発しました。

##### b) 世界初の「植蔵」技術による有機水耕栽培

欧米では有機農産物の生産を急速に増加させています。わが国でも「みどりの食料システム戦略」が立ち上げられ、有機農業を推進することが決定しました。しかし、有機栽培を実現させるためには、菌根菌とそのパートナー細菌（PB）なくしては成り立たないことが筆者らの研究成果で明らかになっており、さまざまな作物で菌根菌とその PB を活用した安心・安全で持続可能な作物栽培技術や環境緑化技術を確立していかなければなりません。その中で、筆者らは、世界初の AMF とその PB を活用した有機水耕栽培技術の有用性や実用性の高さを明らかにしています（石井ら,

2013: 2014)。そこで、AMF と PB を活用したイチゴの有機水耕栽培についても調査を行いました。その結果、有機液肥区のイチゴの生育は、化学液肥（慣行）区と比べて、EC 濃度が半分程度でも生育が劣ることもなく、果実品質も良好となりました。また、PB を活用することによって、病害虫の発生は全くみられなくなりました。このように、AMF と PB を活用することによって、化学合成農薬や化学肥料不使用で、有機水耕栽培イチゴの生産ができ、かつ夏場でも夏用イチゴ品種の栽培が極めて容易となることが明らかとなりました（石井孝昭・天内和人. 2021. 菌根菌とそのパートナー細菌を活用したイチゴの有機水耕栽培. 園芸学研究 20(別 2): 154.)。

この革新的な「植蔵」技術は、前述の通り、徐々に広がりつつあるので、将来、現状の水耕栽培の多くを「植蔵」に一変させて、持続可能な作物栽培体系を実現させていくものと考えています。

#### c) 環境省のレッドデータブックに位置づけられている希少植物の保護

ラン科植物であるムカゴサイシンおよびクマガイソウは、現在、絶滅のおそれのある植物としてリストアップされています。特に、ムカゴサイシンはカテゴリーEN（環境省）あるいはCR（静岡県）として、近い将来あるいは極近い将来絶滅の危険性が高いと評価されています。そのため、これら植物の保全対策として共生菌の利用が考えられていますが、共生菌の種類やその具体的な活用についてはほとんど行われていないのが実状です。そこで、清水建設（株）の依頼によって本研究を実施しました。まずムカゴサイシンとクマガイソウの共生菌、つまり菌根菌の種類を明らかにするとともに、遺伝子解析で同定したラン菌根菌（ムカゴサイシンのラン菌根菌は新種の菌根菌であったので、*Arthrinium nipponicum* Ishii & Ohta と命名）と AMF を活用した絶滅危惧植物のための非常に有効な保全技術を開発しました。この成果は 2024 年の園芸学会春季大会で発表しました（石井孝昭・太田峰夫・佐藤典雄. 2024. ラン科植物、ムカゴサイシンおよびクマガイソウの菌根菌の分離と同定、並びに菌根菌による絶滅危惧植物の保全技術. 園芸学研究 23(別 1): 198.)。

この研究は、「開発と保全」の両立を図ることができる技術であることから、今後もこの分野には力を入れたいと思っています。

#### d) AMF は牛の腸内で増殖する

石井と堀井は、AMF の純粋培養に世界に先駆けて成功しました(日本特許 4979551 号, 6030908 号)。しかし、この純粋培養技術で生産された AMF 胞子は、根で生産された胞子よりも高価です。さらに、最近、遺伝子組み換え毛状根を使用して生産された危険な AMF 接種物が販売されています。そこで、AMF が牛の糞便中に存在するという石井・松浦の最近の発見に基づいて、これらの問題を解決できる方策を見出しました。つまり、1) 草食の牛の糞内には AMF 胞子が多数存在するので、AMF 接種源として用いることができる、2) 牛の腸内容物を用いることで、純粋培養による AMF 胞子の大量生産を短期間で容易に実現できることを明らかにしました（石井孝昭・松浦孝裕. 2025. アーバスキュラー菌根菌は牛の腸内で増殖する. 園芸学研究 24(別 1): 156. および Ishii, T. and T. Matsuura. 2024. ICOM12 Abstracts)。この発見は、菌根菌農法による世界の作物生産や環境緑化を推進するため、財団の理念である社会貢献として、国際特許出願は行いませんでした。しかし、わが国に牛の口蹄疫などの深刻な病原菌や害虫の侵入を防ぐため、現在、日本国特許は出願中です。

この発見は、自然界のつながりを考える思想や哲学と深く関連し、これからの作物生産や環境緑化の在り方に重要な示唆を与えるものです。同時に、「牛は地球の温暖化を助長する」という短絡的な報告を見直す必要性を提起しています。

## 11) その他

Covid19 の収束後、講習会や講演会を 12 回開催しました。今後も継続して啓蒙活動を推進する予定です。また、徳山高専とともに、東京ビックサイトなどの展示会で AMF と PB を活用したイチゴなどの有機水耕栽培、「植蔵」を紹介し、大きな成果が得られました。

## 2. 財団の新たな挑戦

財団はこれまでの取り組みをさらに発展させるため、財団発足から6年目に入ったとき、1) 東京事務所と広島ラボの開設、2) AMF推進協会の発足、3) 財団メンバーの更新を図りました。まさに新たな挑戦です。

### 1) 東京事務所と広島ラボの開設

財団は、これまでの静岡事務所（〒437-1503 静岡県菊川市川上 1293-1）に加えて、東京事務所（〒110-0015 東京都台東区東上野 3-21-7 福井ビル 2 階）および広島ラボ（〒739-1101 広島県安芸高田市甲田町高田原 1130-1）を設置し、これまで取り組んできた「菌根菌とそのパートナー細菌等を活用した、安心・安全で持続可能な作物栽培および環境緑化」という社会貢献をさらに推進できるよう体制を作り上げました。

東京事務所では、情報の受発信、政府との打ち合わせ、公共的な資金の確保などに取り組みたいと思っています。

広島ラボでは、土壌・微生物分析や、菌根菌接種源などの製造・販売を行うとともに、菌根菌や PB に関する基礎研究や応用研究を推進します。特に、財団の特許技術の一つ、「微生物や細胞小器官を分離できる世界初のクロマトグラフに関する基礎研究と製品化」に取り組めます。

さらに、広島ラボは菌根菌農法に興味・関心のある方たちへの講習会や講演会の場としても利用します。ここにはかなり広い試験圃場がありますので、実践的な技術指導もできます。特に、未来を担う力を育むための人材育成環境とその枠組を作り、中高生や、若手研究者・技術者への菌根菌農法に関する実践指導や、クロマト技術の指導については重点的に取り組みたいと考えています。

### 2) AMF 推進協会の発足

表紙の表 2（表紙の裏）に示したように、財団は、中村建設（株）、ライト工業（株）、富士見工業（株）、（株）堀内土木および極東メタリコン工業（株）と共に、「AMF と早生日本桐ジャパロニアで、CO<sub>2</sub> ニュートラルを！」をスローガンとした、AMF 推進協会（事務局：中村建設内）を 2024 年 11 月 6 日発足させました。AMF が共生した植物では CO<sub>2</sub> の固定量が非共生の植物と比べて、1.5～2 倍、ジャパロニアの CO<sub>2</sub> 固定量は C3 植物のおよそ 2 倍ですので、AMF 共生ジャパロニアの CO<sub>2</sub> 固定量は 3～4 倍となります。また、このジャパロニア植栽地にナギナタガヤ草生を導入するとさらに CO<sub>2</sub> 固定量が増大します。

このように、AMF 共生ジャパロニア植栽のナギナタガヤ草生園では極めて膨大な CO<sub>2</sub> を固定していることが明らかになっています。この事実を、CO<sub>2</sub> 排出量の削減やゼロにすることが難しい産業界に提案することはわが国の産業の持続可能な発展に大いに寄与することが期待されます。

また、前述した「のり面緑化技術」の開発のように、AMF や PB の活用は建築分野や土木分野にも極めて有効であるので、今後、本協会のメンバーの方たちと共同で、AMF や PB を活用した新技術を開発していく予定です。

### 3) 財団メンバーの更新

本誌の 39 頁における「財団の新役員など名簿および新事務局長の紹介」で示すように、これまでの財団のメンバーの中から新副理事長には松浦孝裕氏、新理事には廣畑雅己氏に就任していただきました。また、新たに財団に参加していただいた新理事小森英哉氏および新事務局長児玉大和氏には感謝を申し上げます。

今回の更新で、財団のメンバーがかなり若返りましたので、次世代に引き継いでいただけるようにいくらかは準備ができたのではないかと考えています。今後も若い力が発揮できる場・仕組みを作り上げたいと考えています。

### 4) 財団の特許技術など

財団の特許技術などで代表的なものとして、①世界初の菌根菌の純粋培養技術、②菌根菌の見える化技術（世界初の菌根菌検査薬と携帯型蛍光顕微鏡の開発）、③微生物や細胞小器官を分離できる世界初のクロマトグラフ（分散系クロマトグラフと命名）の開発、④植蔵（AMF と PB を活用した世界初の有機養液水耕栽培技術および有機養液土耕栽培技術）、⑤AMF と PB を封入した種子コーティング技術、⑥オイル粉末の開発、⑦バイオエチレンの製造技術、⑧AMF 接種源としての牛糞および牛の腸内容物を用いた AMF の純粋培養技術、などが挙げられます。

今後も財団の技術力・開発力を高めるためにも研究・技術開発費を充実させていく必要があります。そして、財団としての役割を担いながら、先駆的で独創的な研究や技術開発を行っていきたいと考えています。今後とも財団の理念に賛同していただき、バックアップして下さるようお願い申し上げます。

#### コラム (1) 早生日本桐「ジャパロニア」を用いた防火対策を！

桐材は古くから親しまれてきた木材です。その材の主な特性として、まずは①軽量です、②耐火性・耐熱性を持つので、家屋の壁、天井、押入れなどの材、衣類箱、家具、金庫の内材などへの活用で防火対策が図れます、③調湿性を有す湿気に強い材です、④虫害や腐食に強い耐久性を持ちます、⑤柔らかく、加工しやすいので、細工物、工芸品などに広く利用できます、⑥独特の美しい木目であり、塗装をすることでさらに魅力が増します。見た目を重視する家具や建材では広く採用されています、などが挙げられます。



桐の和室

特に、耐火性が大である点については注目したいです。その理由として、最近のわが国や、米国、オーストラリアなどの国々での大規模な山火事や、燃えやすい街路樹の火災による人命や住宅等の被害が甚大であったからです。本誌で紹介している早生日本桐「ジャパロニア」の植栽による防火ベルト、桐材をふんだんに用いた家屋など、桐を用いた防火対策を今一度考えていくべきではないでしょうか。

## エゴマの菌根菌栽培 ～アーバスキュラー菌根菌たちに守られた畑作り～

中島多美

(一財) 日本菌根菌財団会員

### エゴマを栽培して丸7年。

エゴマ油ブームでエゴマ油のことを知り、50歳を超えた自分のこれからの健康のために栽培を始めました。身体に良いものをとの思いで、最初から無農薬で栽培していますが虫の害が多く、特に定植時期のヨトウムシの害にとっても苦しんでおりました。

無農薬栽培は無理なのかと悩んでいた時に日本菌根菌財団の方と出会う機会をいただき、お話をお聞きしているうちに「これはやるしかない!」と思い菌根菌栽培を始めました。菌根菌栽培は菌根菌とパートナー細菌の力を借りて無農薬で植物を育てられるというもので、続けていくうちに畑で菌たちが増えていくと安心して育てられる畑になるという素晴らしいものです。

### 菌根菌栽培を始めて丸3年。

昨年2024年は特に菌根菌やパートナー細菌たちの力を感じられた年でした。エゴマの栽培は5月ゴールデンウィークにセルトレーに種を蒔きます。種は前年にとれたエゴマの実を使い、栽培を始めてから種を繋いでいます。セルトレーに入れる土を混ぜる際に菌根菌が入っている「菌根菌とその仲間たち」という資材を入れています。

こうすることで種から根が出てきた時に菌根菌とつながることができます。最初から菌根菌のサポートを受けられるのでたくましい苗が育ちます。菌根菌を使う前と比較して違いを実際に見ることがことができます。

2024年5月は気温が上がらず発芽のタイミングが揃わず、5月末にかけて計3回種まきをするようになりました。



種まきから3週間～1か月ほどで定植できる大きさになります。苗の生長が良いのでセルトレーが見えないほどになります。根の張りも良く苗を持つときに安心して持てるほどたくましく育ちます。



定植直後に虫対策としてPB有機液肥を濃い目の100~150倍でかけます。菌根菌栽培1年目は上から散布しつつ根元にも散布する方法で週2回実施し様子を見ました。ヨトウムシの害はゼロではありませんでしたが、何もしていなかった時に比べて、10分の1ほどに抑えることができました。

菌根菌栽培2年目は定植時に株元にまく水にPB有機液肥を加えてかけました。ヨトウムシは土からくるので効果が出るのではないかと思い試してみました。

その結果、ヨトウムシの害は1年目よりかなり少なく約700本植えた中の5本以下でした。株元にかけたことに加え、1年目菌根菌栽培を実施したことで土中の菌根菌たちが増えたことも大きな要因かと思っています。

日本菌根菌財団では土中の菌根菌の数を調べていただけます。1年目菌根菌栽培を始める前はアーバスキュラー菌根菌胞子数559個（土10g中）でしたが、秋にエゴマ栽培が終わって調べていただくと2623個（土10g中）に増えていました。

菌根菌栽培3年目も株元にPB有機液肥入りのお水をかけましたが、ヨトウムシの気配は全くなく被害はゼロとなりました。アーバスキュラー菌根菌たちに守られた畑になってきています。定植後はできるだけ週に1度のペースでPB有機液肥を散布して見守っていきます。空から来る虫の害が気になる時期は150倍ぐらいの濃い目の液肥をかけますが、生長を見守る時期は200~250倍の薄い液肥をまんべんなくかけるようにしています。

エゴマのお世話はお盆の頃まで摘芯作業をしていきます。エゴマはシソ科の植物で枝の先に花の穂が出てくるので、枝の数が多いほど花の穂の数が増えるということになります。エゴマは摘芯しないでいると約2m近く大きくなることもあり、風で倒れたりしないように管理する上でもできるだけ小さく育てられるよう管理していきます。

2024年は夏が猛烈に暑く、掛川では7月初旬から約1か月と2週間ほど雨が降りませんでした。7月に入って掛川の最高気温40℃という日に定植したところもあり、土はひび割れ全滅するかもしれないと心配していましたが、水源が近くになくどうすることもできませんでした。そんな状況の中でもなくなったのは10本以下で大半は無事に夏を越してくれました。

葉っぱが力なく下に向いた状態でも必死で踏ん張ってくれている姿は奇跡的な状態でした。エゴマ達を守ってくれたのは間違いなく菌根菌です。

菌根菌はエゴマの根にくっついて菌糸を張り、栄養分や水分もエゴマに運んでくれます。菌根菌は目には見えませんが、その働きが間違いなく行われていることが証明された結果だと思います。まさに菌

根菌が育ててくれたエゴマたちです。

9月になると150 cmほどに生長し中旬には花の穂が出始めます。花の穂は元気の良いほど長く伸び長いものでは10 cmを超えるものもあります。9月は特に花芽の時期になるので大きな花を咲かせて実をつけてもらうためにもPB有機液肥は欠かせません。



10月1日頃花が満開になります。何も手伝いをしなくても蜂をはじめいろいろな虫たちが来て受粉を助けてくれます。この虫たちのためにも安心安全なエゴマや野菜を育てたいと思います。花が終わると小さな実が入っているのが見えます。



10月23日頃、エゴマが全体的に黄色くなってきたら刈り取り、畑で1週間干します。カラカラに乾燥したら叩いて実を採ります。採れた実をふるいにかけて、風でゴミを飛ばし洗い作業の後、乾燥させたものを搾るとエゴマ油が完成します。



2024年は10月になっても気温が下がらず、実が採れても中の油の量が少なく例年の半分以下という方も少なくなかったように聞いています。そんな中ですが、私は例年の少し少ないぐらいで目安量をクリアすることができました。これもアーバスキュラー菌根菌たちが守ってくれたおかげです。

これから気候がどのように変わっていくか分かりませんが、地球温暖化を考えると厳しい状況になっていくと考えられます。乗り越えていくためにも環境に適応した種をつなぎ、アーバスキュラー菌根菌たちに守られた菌根菌栽培がとても大切だと感じています。

## コラム（２） 現代人は植物毒あるいは強すぎる薬効成分にどこまで対応すべきか？

最近 Twitter(現 X)を眺めていると、こんな投稿が流れてきました。昔、ある人が「ピーマンの胎座(ワタ)と隔壁に血液の循環を活発にする薬理物質が含有されているから進んで食べるべきだ」と言いました。そしてそれが、今になって拡散されました。それから、ある人が「ピーマンの種は強毒。子どもは本能的だから本体すら食べない。体内にドクがあまり入っていない時ならともかくも。品種改良など種類と抜き方によると思います。豆の毒など晒して茹でるを繰り返してやっと抜けます」と言いました。

ところで、現代人は既に、望まざるも化学合成農薬・PFAS など有害で排出しにくい毒を摂取し続けています。植物毒あるいは強すぎる薬効成分に対して、現代人はどこまで対応すべきでしょうか？私は、作物や薬草に AMF を接種したら、植物毒あるいは強すぎる薬効成分が少なくなったり、人畜に丁度良い様にカスタマイズされる...なんて事があつたら良いなど、淡い期待を抱いています。もしかすると逆に、後者が言った「固定種は強い」になるかもしれませんが。

### 参考文献

- (1) 楠本季一さんに関する情報: 「ピーマンの種子と胎座の粉末及び搾汁液」特願平 11-152406, 特開 2000-300221. [https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL\\_ID=200903025919490495](https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=200903025919490495), 「ピーマンの胎座と隔壁の乾燥野菜」JP2006212007A. <https://patents.google.com/patent/JP2006212007A/ja>, ピーマンは神様が創った天然の「薬」です。ピーマン胎座の効用をわかりやすく解説した『ピーマン胎座を食べると薬と医者が必要になる』が発売. <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000101.000046294.html>
- (1) 菓奈毎美 | 日本型オーガニックスーパー8店舗開発した人のピーマンに関する投稿. <https://x.com/8IAIHBuO8lszf95/status/1905401220455694817>(ツリー始め). 菓奈毎美さんの公式サイト <https://becols.com/>

## ジャパロニア（早生日本桐）の試験ほ場 2024年

一般財団法人 日本菌根菌財団理事 廣畑雅己

菌根菌ジャーナル 2023 Vol.5 に掲載したジャパロニア試験ほ場での報告に続いての、2024年版報告です。

1月に、樹木医による調査が行われました。太い根が張っていましたが、20cm以上の石や岩が土中にあり、これを避けるように根が伸びていました。



調査内容の中から根系調査の結果を掲載します。

### 根系調査

作業日：2023.1.22

場所：御前崎

良い例



【所見】

根系概略

想定) 幅1,500mm×深さ900mm

実際の掘削範囲) 幅1,300mm×深さ600mm

礫多く全体に埴土多く粘る。土色10YR 3/3

低地水田土、砂質埴土 (SC)

粘土質の高い土壌。幹直下への主根・細根は乏しい。

作業日：2023.1.22

場所：菊川

良い例



【所見】

根系概略

想定) 幅2,300mm×深さ900mm

実際の掘削範囲) 幅1,800mm×深さ550mm

礫多く全体に埴土多く粘る。土色7.5YR 3/3

褐色森林土、埴壤土 (CL)

砂質な褐色土。有機物は少ない。根系発達十分で細根多い。

後段の菊川市のほ場は、財団管理の別ほ場で 2022 年 5 月 24 日の同日に植栽し、御前崎ほ場と同ような管理をしています。

2月と3月には、カミキリムシやコウモリガ対策としてニームオイルやボーベリア菌を散布しました。



4月になると思いもかけないことが起きました。

花が咲いたのです。植え付けて2年とこんなに早く咲くとは思っていませんでした。薄紫色のきれいな花を咲かせてくれました。

4月13日に15本を確認しました。下枝は切ってありますので、いずれも高い枝の先の花なので手に取ることはできませんでした。

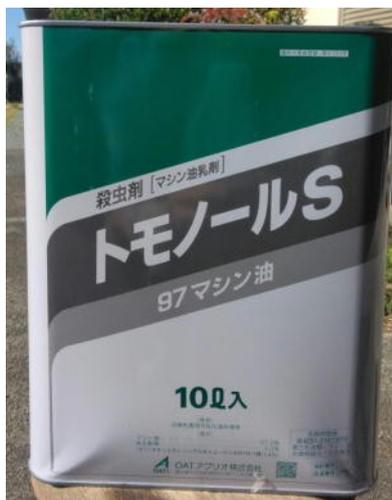


6月、7月には防虫・防菌のためPB液肥や生物農薬を散布しました。しかし、どうしても虫被害が生じたため、虫穴に防錆剤を注入しました。防錆剤が幼虫の体表面を覆い窒息させることで、殺虫効果がありました。



防錆剤を虫穴に噴霧

財団が管理しているジャパロニアほ場3箇所のうち1箇所でカメムシが大発生し、1本の木に数百匹が幹から葉についていました。御前崎ほ場では発生が確認できませんでしたが、来年の発生防止のためマシンオイルを木全体に高压の噴霧器を使って散布しました。



秋には、ジャパロニアの種が結実しました。

15本のジャパロニアに実がつきました。どの実も5m以上の枝の先についているため、採取がなかなか困難でしたが、長い竿や高枝切りばさみを使って、いくつかの枝から合計200個ほどの実を採取しました。



枝についた実



実を割ったところ、中にはたくさんの種子



羽が付いたたくさんの種子

実の中には数百個の種子が入っていて、羽がついており、実が開くと中から種子が風を受けて飛び出てきます。初めて実をつけたものですが、種子発芽は良好でした。



12月のジャパロニア すっかり葉を落とし、地面にはナギナタガヤが発芽

1年間管理をしてきて、順調に育っています。サンプルの測定結果は下記のとおりで、平均樹高はほぼ10m、平均周囲長はほぼ60cmになりました。

2024年 周囲長、樹高測定値

(単位：cm)

測定日	2月27日	4月25日	6月25日	8月26日	10月26日	12月25日	生長分	2月27日	4月25日	6月25日	8月26日	10月26日	12月25日	生長分
項目/番号	周囲長							樹高						
8	38	39	43	47	48	48	10	710	730	780	900	920	860	150
16	53	54	59	63	64	64	11	800	810	890	1020	1120	1060	260
22	55	57	61	64	67	68	13	850	860	860	1070	1060	1060	210
31	50	50	55	59	62	62	12	800	840	840	1100	1050	1000	200
32	47	47	52	54	57	57	10	670	720	730	1100	1070	1030	360
57	39	41	44	48	53	53	14	610	700	750	940	960	960	350
62	41	41	47	51	55	55	14	620	670	720	930	960	950	330
67	34	34	39	43	44	45	11	650	670	760	850	910	900	250
平均	45	45	50	54	56	57	12	714	750	791	989	1006	978	264

※12月の測定値が10月より低くなっているのは、落葉により頂点が下がったため

サンプル桐の樹高測定結果 (単位: cm)					
測定日		2022年		2023年	
		7月27日	12月25日	7月26日	12月25日
サ ン プ ル 番 号	8	60	210	510	710
	16	110	370	615	800
	31	140	350	540	800
	32	10	170	490	670
	57	81	220	500	610
	62	78	220	440	620
	67	74	210	500	650
平均値		79	250	514	694
最高樹		—	440	680	850

晩秋から春までの間は生長が止まり、雑草もあまり伸びませんので、管理作業は一段落です。また春になって新たな芽吹きが始まり、樹間ではナギナタガヤが雑草を抑制し、夏の暑い日差しを浴びてジャパロニアがグングン、グングン伸びていくことが楽しみです。

### コラム (3) 菌根菌菌系の分岐や生長促進にはストリゴラクトンよりもエチレンが重要

ストリゴラクトンは、菌根菌との共生を促進するシグナル物質として機能していると話題になっていますが、*Glomus* 属の菌根菌はストリゴラクトンによるシグナルを受け取らずに生長や分岐を促進することがあるのです。

一方、エチレンは *Glomus* 属や *Gigaspora* 属などの菌根菌の菌糸生長や分岐を促進することが1996年公表され、この効果を支持する報告も出ています。エチレンは、植物に触れるという接触刺激、降雨、風、音波、農薬散布、病害虫の侵入などの物理的的刺激などによって直ちに生成されます。つまり、ストリゴラクトンのような物質でなくても、根に刺激を与える物質であれば、エチレンは容易に生成され、根周辺の菌根菌の生長に作用するのです。ただ、菌根菌の生長に好影響を及ぼす濃度は0.05 ppm前後のエチレンです。エチレン濃度が0.05 ppm以上になるとAMFの生長が阻害されます。興味深いことに、エチレンによる根の分岐や生長を促進する濃度は菌根菌に作用する濃度と同じなのです (Ishii, T. et al. 1996. Effect of ethylene on the growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and on the mycorrhizal formation of trifoliolate orange roots. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 65: 525-529.)。

このように、ストリゴラクトンのみで菌根菌の分岐促進や菌糸促進を述べるのは非常にナンセンスなことなのです。このエチレンの効果を否定したくても、0.05 ppmという極微量のエチレンを直接分析することができないのでしょうか。それゆえ、エチレンの凄い働きを無視し、隠蔽することに奔ったと考えられます。

財団は、0.05 ppmという極微量のエチレンを分析できる高度な分析技術力を持っていますので、分析を希望される方は財団にご連絡ください。

## ショウロが発生しました！

一般財団法人 日本菌根菌財団理事 廣畑雅己

財団で栽培していたクロマツからショウロが発生しました。

2021年にクロマツの苗木を購入しAMFを接種し、十分感染したのちに菌根菌の1種であるショウロ菌を感染させました。

ショウロは松の木に発生するキノコで、昔は海岸の松林で良く採れたそうです。海岸付近のお年寄りに伺うと、自分も採って食べた記憶があるとおっしゃってくださる方がいらっしゃいました。ショウロは、シイタケのような柄はなく丸い形で地上に転がっているように見え、昔は枯れた松の枝葉をくま手で集めるときに一緒に採れたそうです。今では松葉を燃料とすることもなくなったため、林床に枯れた枝葉がたまりショウロの発生も見られなくなったようです。

クロマツの苗木には、地元で採取したショウロ菌とNITE(独立行政法人製品評価技術基盤機構)と島根県中山間地研究センターから提供いただいた8種の菌、あわせて9種類のショウロ菌を別々の苗木に接種しました。

そして、3年が経過した2024年秋にショウロの発生が確認されました。

まだ数も少なく、9種類のうち3種類からしか発生が確認されていないのでまだまだ出てくると思います。今年の春が楽しみです。



## SDGsの学習から

一般財団法人日本菌根菌財団 泉地貴子

今回、SDGsについて地域の子ども達と学ぶ場を設けることができました。SDGsについては、学校でも様々な場面で学習をしてきており、テレビでも取り上げられているため、意外と子どもたちにとって馴染みがある言葉です。事前に子どもたちにSDGsについてどんなことに興味があるのか聞いたところ、SDGsの13番目の目標である『気候変動』、『地球温暖化』について興味がある子どもが多いということが分かりました。そこで、今回のSDGsの学習の切り口として『気候変動、地球温暖化への取り組み』にしようと思い、学習を進めることにしました。

『気候変動、地球温暖化への取り組み』について、子どもたちに分かりやすく伝えるために、まず、菌根菌で育ったジャパロニアの桐畑を見せることにしました。菌根菌農法は子どもたちにとって、まだ馴染みはありませんが、実際に育っている桐畑を見せることで、興味を持つことができるのではないかと考えたからです。

実際に桐畑を見た子ども達は、「わー！すごい！幹がこんなにある！」、「葉っぱがこんなに大きい。」とジャパロニアに手を伸ばしている姿がたくさん見られました。そして菌根菌で育ったものと、そうでないものとの生長の違いを話すと、子どもたちは目を丸くして驚いていました。そして菌根菌がジャパロニアの生長を助けていることを説明すると、熱心にメモを取る姿が見られました。



早生日本桐「ジャパロニア」園



財団のAMF接種源「菌根菌とその仲間たち」

更に、『菌根菌』の力を学んでもらうために子どもたちと実際に菌根菌とパートナー細菌を土に混ぜ、それぞれのプランターでミズナを育ててみることにしました。比較のため、菌根菌が入っていない土のプランターも用意し、学校の敷地をお借りして生長を見守ることにしました。

子どもたちは毎日、ミズナを見守り、水を掛けて世話をしたそうです。

1週間ほどして子どもたちから「菌根菌の方と、菌根菌のない方と両方、芽が出ました！」と連絡がありました。3週間後には「菌根菌の方と菌根菌のない方と生長が違います！」、「もっと育てたくなり、チューリップの球根を植えました。」、「ブルーベリーも植えてみました！」と嬉しい知らせが入ってきました。様子を見に行くと、確かに菌根菌のミズナとないミズナとでは生長が明らかに違いました。

今回の取り組みで、これからの世の中を支える子どもたちが菌根菌農法の良さに気付いてもらえることは、大変意味があることに改めて気付かされました。この中の何人かが、ここで学習したことを覚えて、生かしてくれたら、こんなに嬉しいことはありません。小さい取り組みですが、それをこつこつ続けていくことの必要性を強く感じました。



1週間後、芽を出したミズナ。  
この時点では菌根菌ありなしの違いはみられませんでした。



アーバスキュラー菌根菌（AMF）がミズナの生育に及ぼす影響（3週間後）  
左：菌根菌あり，右：菌根菌なし



チューリップ



ブルーベリー

## 遺伝子変異が起きているアーバスキュラー菌根菌 *Rhizophagus irregularis* が日本中に広がっている？

宇佐見（社納）葵

日本にて流通が認められている遺伝子組換え食品は、令和 5 年には 9 農作物 33 加工食品群に増え(1)、ゲノム編集作物も登場しました。そんな中、アーバスキュラー菌根菌(AMF)には *Rhizophagus irregularis* という、実質遺伝子組み換え菌根菌と言っても良い危険な人工種が存在する話を過去にしました(2)。

*Rhizophagus irregularis* の作成方法をおさらいすると、下記の通りです(3)。

1. ニンジン(*Daucus carota* L.)に細菌 *Rhizobium rhizogenes*\*1 を感染させ毛状根状態を作ります\*2。
2. 1 の毛状根に、自然界に存在する AMF *Glomus intraradices*\*3 を感染させます。
3. *Rhizobium rhizogenes* により遺伝的変異の起きている可能性の高いニンジンの細胞核により\*4, *Glomus intraradices* が *Rhizophagus irregularis* に変異する。完成。



毛状根 (Sudha, C. G et al. 2013 より)

- \*1: 旧 *Agrobacterium rhizogenes*. 根毛病の原因菌で、日本でも発生例がありました(4)。
- \*2: 引用論文(3)におけるこの節のタイトルは“*Transformation of carrots*”であり、ニンジン(遺伝的に)変異させ、自然界ではあり得ない状態にしている事が分かります。
- \*3: 現在では *Glomus intraradices* = *Rhizophagus irregularis* とする考えが主力のようですが、日本菌根菌財団は反対です。1つの種袋の中に生食用のスイートコーンの種とポップコーン用の爆裂種の種が混ざっていたら怒りますよね。それと同じです。
- \*4: 引用論文において *Rhizobium rhizogenes* は 1 が完了する段階で殺菌されていますが、菌根菌は宿主植物に共生するとその植物の細胞核を奪い、その中の遺伝子を自身の胞子内に溜める能力を持ちます。そのため、3 に書いた事が発生します。

*Rhizophagus irregularis* について AI(未教育)に尋ねると「AMF の中でも特に研究が進んでいる種で、最も広く使われるモデル菌。」「遺伝学的研究が進んでいる: ゲノムが解読されており、菌根共生の分子メカニズムを調べるのに最適なモデル生物の一つ。」と返答しました。確かに、国立研究開発法人 科学技術振興機構が 2018 年に「比較的長い塩基配列も効率的に読み解ける次世代シーケンサーを用いて、AM 菌の代表格である *Rhizophagus irregularis* (ライゾファガス・イレギュラリス) のゲノムを高精度に解読した。」と発表しています(5)。また、2019 年には「AM 菌 (*R. irregularis*) には(中略)有性生殖の存在が示唆されている」論文が発表されています(6)。

ところが、これまでの菌根菌に有性生殖は確認されていませんし、自然界に存在しない種がアーバスキュラー菌根菌という種族のモデル生物とは、実に不自然に思います。

しかし、この *Rhizophagus irregularis* を用いた商材が、日本で何の規制も無く販売されています。そ

れは「マイコジェル」と言います。似たような名前をした「マイコス米」も気になりますので、調べました。

マイコジェルについては、明確に *Rhizophagus irregularis* を使用している事が書かれています(7)。しかし、マイコス米については「マイコス (アーバスキュラー菌根菌 = Arbuscular Mycorrhizal Fungi)」や「マイコス菌根菌」と書いているだけで、菌根菌の学名や産地等は書かれていません(8)。一体、菌根菌の中の何者なのでしょう？マイコス米の栽培方法は YouTube にて複数散見され、中でも 6 万人強のチャンネル登録者数を持つ YouTube チャンネル栽培動画は感動的です(9)。また、農林水産省(10)含む複数の場所で講演された事もあります。そのため、最悪、マイコス DDSR 栽培の名の下、日本中の田んぼに遺伝子組換え菌根菌と遺伝子組換えイネを拡大させてしまっている可能性があります。こんな人の心を踏みにじるような事、考えたくもありませんが、上述の「*Rhizophagus irregularis* の作成方法」を見れば不可能とは言い切れません。何故なら、*Rhizobium rhizogenes* は、罹れば焼却処分しかない根頭がんしゅ病で恐れられる *Agrobacterium tumefaciens* (現;*Rhizobium radiobacter*)の近縁だからです。つまり、*Rhizobium rhizogene* のような土壌病原菌は土の中なら何処にでも居ますし、普遍的に存在する土壌病原菌達と *Rhizophagus irregularis* が出会った時、遺伝子組換え(に近い遺伝子変異)が畑の中で起きる可能性が出てきてしまうのです。こんな恐ろしい仮説を否定するためにも、マイコス DDSR 栽培の普及元である(株)NORINA には是非とも、マイコス菌根菌として用いている菌根菌に *Rhizophagus irregularis* が存在するかどうかだけでも御回答頂けたらと思います。菌根菌接種材料『Rootella』のように「使用しているのは非遺伝子組換えの菌根菌で、日本の在来種でもあり安全な菌種」(11)を使っているならば、「マイコス菌根菌は日本在来種です」と明快に書けるはずですが。国産はソレだけで売りになるはずなのに、何故書かないのでしょうか？

遺伝子組換え作物の危険性は、モンサントに纏わる映画(12)や裁判(13)に残っています。遺伝子組換えナタネ抜取隊という取り組みもあります(14)。しかし、遺伝子組換え菌根菌がもたらす危険性は、未知数です。*Rhizophagus irregularis* の農業使用が土着 AMF の減少・多様性破壊、毛状根エンジンが持つ遺伝子が自然界拡散される可能性が懸念されます。ですが、何が起るかは本当に不明です。

実はなんだかよく分かっていない生物が、一般人も歩いている日本国土「その辺」にばらまかれ、広がりつつあります。まずは此处までの文章で、その恐さを知ってください。

とあるブログの方が、マイコス米を用いた時の話をする中で、日本菌根菌財団の記述を引用してくれました(15)。それは菌根菌ジャーナル Vol.2 の「*Rhizophagus irregularis* の作成方法」でしたが、彼は記事の中で「根が直根からひげ根になるからだというのが、なぜひげ根に変わるかの理由がわからない。(中略)水生植物がそういう変異を行う仕組みは、自然界でもあることなのだろうか。」「微生物が特定されないまま、利用される。効果があるからいいという話になる。しかし、自然界にないような微生物の場合、自然を破壊してゆく可能性もないとはいえない。この辺の安全性は抑えられているのだろうか。」「真実はまだ分からない。」と懸念しています(15)。

彼の記述は正に仰る通りです。この事は何も微生物に限らず、あらゆる部門で、全国民が気にしてほしい所です。EM だから良い、菌根菌だから良い、そんな表面的な情報だけで何でもかんでも採用しないでください。例えば、同じ菌根菌でも、アーバスキュラー菌根菌か外生菌根菌かで使い道が変わったり、使える範囲が変わったりします。しかも、今回話題にしているように、自然界に存在する菌根菌か人為的に作られた菌根菌かで、自然界や日本の田畑を生物的に豊かにするか、修復不能までに破壊するか...究極の分かれ道になるかもしれないのです。

先人はこんな時「買いものは投票なんだ」と言いました(16)。貴方が手にしたソレは一体何なのか、もっとよく調べてから買って、使ってください。その一手で、人類文明は 100 年後も続くかもしれませんし、終わっているかもしれませんから。

## 参考文献

- (1) 消費者庁「遺伝子組み換え食品」(最終更新:令和 5 年 3 月 30 日)  
[https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer\\_safety/food\\_safety/food\\_safety\\_portal/genetically\\_modified\\_food/](https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_safety/food_safety/food_safety_portal/genetically_modified_food/)
- (2) 一般財団法人 日本菌根菌財団. 2020. 菌根菌ジャーナル. 2 (1): 29-31.
- (3) Mohan Raj, B. et al. 2017. An optimised in vitro protocol for mass production of *Rhizophagus irregularis* spores - for sustainable agriculture. *African Journal of Bacteriology Research*. 9(4) : 21-29.
- (4) 塩見敏樹. 1987. メロン毛根病の発生とその病原細菌. *植物防疫*. 41(1): 4-7.
- (5) 国立研究開発法人 科学技術振興機構. 2018. JST NEWS September 2018. p. 4-7.
- (6) アーバスキュラー菌根菌胞子果の同定分類と有性生殖の探索  
<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-19K22269/>
- (7) マイコジェルのご紹介 (株式会社ハイポネックスジャパン)  
<https://www.hyponex.co.jp/products/products-519/>
- (8) マイコス DDSR (乾田水稻種直播=マイコス米) 栽培 (株式会社 NORINA)  
<https://www.norina.co.jp/products/mykos-ddsr>
- (9) 農業法人トゥリーアンドノーフ. 2023. もう代掻きも田植えも, 水回りもいらない! 水入れなしの稲作マイコス米の実証実験, 結果報告します. <https://www.youtube.com/watch?v=sz8Zs6sYqec&t=14s>
- (10) 農林水産省「米輸出促進に向けた、「未来の米づくり」対話 (第 1 回) を開催します」(令和 6 年 6 月 10 日) . [https://www.maf.f.go.jp/j/press/y\\_kokusai/kokkyo/240610.html](https://www.maf.f.go.jp/j/press/y_kokusai/kokkyo/240610.html)
- (11) Rootella (菌根菌接種剤) | 島貿易株式会社 <https://www.shima-tra.co.jp/products/detail/913>
- (12) ロバン, マリー・モニク. 2008. カナダ国立映画製作庁, アルテフランス共同製作「モンサントの不自然な食べもの」. 有限会社アップリンク配給. <https://www.uplink.co.jp/monsanto/>
- (13) AFP BB News. 除草剤で末期がんに, 米裁判モンサントに約 320 億円の支払い命じる陪審評決 (2018 年 8 月 11 日) . <https://www.afpbb.com/articles/-/3185756>
- (14) 遺伝子操作食品を考える中部の会より 遺伝子組換えナタネ抜取隊.  
<https://gm-chubu.sakura.ne.jp/gm-natane.htm>
- (15) 地場・旬・自給. 2025. マイコス菌の実験を始めた。  
<https://blog.goo.ne.jp/sasamuraailand/e/0d6f378cc39705f799d4b96ad72f8f3a>
- (16) 藤原ひろのぶ・ほう. 2018. 買いものは投票なんだ. 三五館シンヤ. フォレスト出版.

## わが国で販売されている菌根菌接種源について

-危険な菌根菌接種源, *Rhizophagus irregularis* とその類縁種および安心・安全な菌根菌接種源-

一般財団法人 日本菌根菌財団

*Rhizophagus irregularis* は前述の通り自然界には存在せず、人間が作り出したものです。つまり、アーバスキュラー菌根菌 (AMF) とは呼べない代物です。この菌は、植物の根に入り込むと異常に増殖して、アーバスキュル (樹枝状体) をたくさん作ることで、異常感染による植物へのストレスが発生しやすく、他の菌根菌を寄せ付けなかったりします。しかし、正常な AMF ではアーバスキュルをほんのわずかにしか作りません。また、*R. irregularis* はジェルのような栄養分に富んだ培養液内では胞子の形状が良いのですが、培土を用いた接種源では胞子の形状が歪になっているのが特徴です。自然における AMF 胞子ではこのような歪な形状はみられず、死滅した胞子でも胞子壁はしっかりとした形状を呈します。

このように、*R. irregularis* は、菌糸を異常に増殖させて胞子を多数作ることで、これを自然界で使用すると土着の AMF の減少および多様性の破壊を引き起こします。また、毛状根からの変異遺伝子が様々な作物に取り込まれ、それらの作物が異常な変異を引き起こすとともに、それらを食した人畜に奇形などの様々な遺伝子障害が出てくること予想されます。この兆候が、今、*R. irregularis* 自体において起こっており、類縁種が出始めています。

ところで、現在、わが国で販売されている菌根菌接種源を下表に示します。この表では、安心・安全な菌根菌接種源の評価基準として、①*R. irregularis* 不使用であるか否か、②地力増進法に則した表記であるか否か、③海外の土壌がわが国へ持ち込まれるか否かで判定したところ、安心・安全な菌根菌接種源を販売している法人は、本財団 (商品名:「菌根菌とその仲間たち」) と SDS バイオティク (商品名:「Dr キンコン」) だけでした。

各社の菌根菌接種源の懸念事項チェック表

	Ri不使用	地力増進法に則した表記	海外からの土壌持ち込み禁止	販売元
菌根菌とその仲間たち	○*1	○	○	(一財) 日本菌根菌財団
Dr. キンコン	○	○	○	(株) SDS Biotech*2
Rootella	○	×	△	島貿易 (株)
マイコジェル	×	×	△	(株) ハイボネックスジャパン
*5 マイコス菌根菌	△	×	△	(株) NORINA
*5 MIKOS	×	×	×	(株) CSプラネット
キンコンパッキー	○	×	△	(株) セイコーステラ
育苗用 G 2	△~×*3	○*4	○	(株) 松本微生物研究所

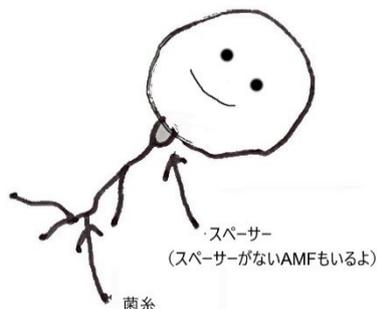
\*1: ○…遵守・安心安全 △…不明瞭 ×…遵守されていない・安全ではない, Ri: *Rhizophagus irregularis*

\*2: 出光興産 (株) の100%子会社

\*3: 毛状根による遺伝子変異 *Rhizophagus* sp. M1 (菌根菌ジャーナル vol. 5 p. 43を参照) がみられる。

\*4: [https://drive.google.com/file/d/1XuC9EAsN\\_vusB70FRpJD7Z4SyqqVYrS/view](https://drive.google.com/file/d/1XuC9EAsN_vusB70FRpJD7Z4SyqqVYrS/view)

\*5: (株) CSプラネットのHPによると、MIKOSとマイコス米に使用されるマイコス菌根菌は同一である。しかし、(株) NORINAのHPからはそれが読み取れない。



毛状根によって遺伝子改変が起きた *Rhizophagus irregularis* はスパーサーがなく、小さな (成熟胞子で 50-75 μm) 白色～黄白色胞子です。

上表の *Rhizophagus* sp. M1 は *R. irregularis* の形態的特徴と非常に良く似た胞子です。

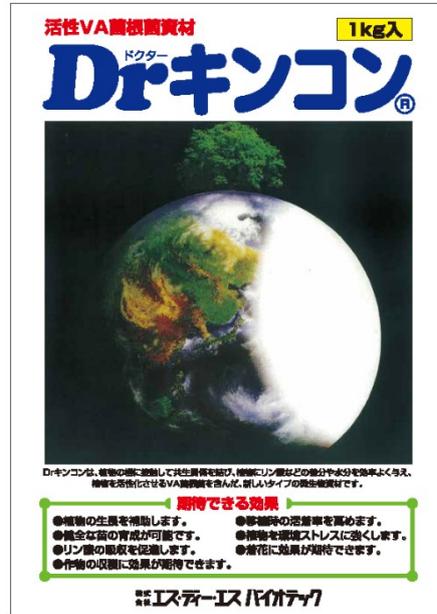
## 安心・安全な菌根菌接種源および菌根くん(AMF とパートナー細菌入り牛糞堆肥)

安心・安全な AMF を販売している法人の製品、本財団(商品名:菌根菌とその仲間たち)と SDS バイオテック(商品名:Dr キンコン)です。また、本財団が開発した AMF とパートナー細菌入り牛糞堆肥(商品名:菌根くん)は、菌根菌接種源としてだけでなく、施肥、土壌改良資材としても非常に効果があります。



菌根菌とその仲間たち

(一財)日本菌根菌財団



Dr キンコン

(株)SDS バイオテック



菌根くん

(AMF とパートナー細菌入り牛糞堆肥)

(一財)日本菌根菌財団

### コラム(4) 齋藤雅典編著「もっと菌根の世界」築地書館の講評

本書は、自然における菌根の様相、働きなどをしっかりと調査せず、事実と間違っている内容が非常に多いです。例えば、1) アブラナ科植物、アカザ科植物、カヤツリグサ科植物などにも菌根が形成されます。2) ストリゴラクトンは菌根共生の鍵となる物質ではありません(本誌17頁を参照)。菌糸の分岐促進などの現象はエチレンによる働きが重要です。また、ペプチド、アミン類なども菌根共生の鍵です。3) コアツツジ科の表皮は「根毛を形成しない」と述べてられていますが、走査型電子顕微鏡を用いて観察されましたか。かつて、カンキツの根には根毛がないと言われていたが、走査型電子顕微鏡で観察すると非常に短い根毛がみつかりました。また根毛の伸長はエチレンの働きが関与し、0.05 ppm 前後の処理で長い根毛が多数発生します。4) 脂肪酸が AMF の増殖に関与するという発見者石井らの論文を引用しなさい。5) AMF 胞子内やその周辺には窒素を固定する細菌がいることを無視して、根粒共生と菌根共生との関連は述べられません。6) 自然界では AMF と他の菌根菌あるいは DSE との同時共生がみれますが、この事実が全く無視されています。7) 前書「菌根の世界」と同じく、今回も執筆者にとって都合の悪い他の先駆者、発見者の論文を全く引用していません。特に、本書は酷いです。

以上、執筆者の中には真摯に研究成果を執筆している者もいるようですが、執筆者の多くは論文の隠蔽、偽装、盗用という行為を正当化する大学教官・研究者であるので、菌根を学ぼうとする人には参考にならない悪書です。ただ、隠蔽、偽装、盗用を見抜く力を得たい・養いたいと思う人にとっては良き参考書と言えるでしょう。

## 投稿規定

(2019 年 11 月制定)

1. 筆頭著者および責任著者(重複可)は、日本菌根菌財団会員に限る。ただし、本誌編集委員会(以下、委員会)において必要と認めたときは、会員外から寄稿を受けることができる。
2. 投稿原稿の内容は菌根菌に関連ある未発表のものとする。原稿の区分は、①論文(論説および総説を含む)、②研究ノート・短報、③資料の3種類とする。なお、投稿原稿は和文か英文に限る。
  - (1) 論文の内容は、新しい結果と結論あるいは事実を含むと認められるものとする。
  - (2) 研究ノート・短報とは、論文として十分な結論を得るに至らないが、限定された部分の知見や速報的なものである。その区分は委員会が決定する。
  - (3) 資料とは、文献抄録、実用記事などを指し、委員会が寄稿を依頼することがある。
3. 投稿の手続きは、次のようにする。
 

投稿原稿(図・表のファイルを含む)は Word 形式の電子ファイルとして編集事務局(mycorrhiza-office@jmff.jp)までメール添付で送信する。なお、送信時の件名は「JMF 投稿(著者名)」とする。

編集事務局は、投稿メールの受信後、原則として3日以内に受信確認メールを返信する。この受信確認メールの送信をもって、投稿受付完了とみなす。投稿原稿が編集事務局に到着した日を受付日、審査が終了して掲載が決定した日を受理日とする。
4. 投稿原稿は、次の手続きを経て、採否、区分を決定する。
  - (1) 論文、研究ノート・短報は、審査(査読者2名制により査読付論文としての採否の判定を行う)に回し、その意見を基にして採否、区分を決める。
  - (2) 委員会は、原稿の内容などについて投稿者に訂正を求めることがある。
  - (3) 受理された原稿は、委員会が訂正を求めた箇所以外に、委員会の承諾なしに変更を加えてはならない。やむを得ず変更する必要がある場合は委員会の承諾の下、修正原稿においてその変更箇所がわかるように明示する。
5. 論文の掲載は、審査終了の順によることを原則とする。
6. 校正は、原則として初校だけ著者が行う。校正中の原稿改変は原則として認めない。委員会の了解による改変であっても、要する経費は著者の負担とする。校正ゲラは指定の期日以内に、手許に保管の原稿によって校正して返送する。期日に遅れた場合は、委員会の校正をもって校了とすることがある。
7. 掲載論文、研究ノート・短報については、著者の希望があれば PDF ファイルを進呈する。
8. 本誌に掲載された記事の著作権は一般財団法人日本菌根菌財団に帰属する。
9. その他必要な事項は、委員会が決める。

## 執筆要領

(2019 年 11 月制定)

1. 投稿原稿は、Word 形式の電子ファイルにより作成する。その際、A4 用紙(縦長)印刷とし、上 2.4 cm、下 2 cm、左 2 cm、右 2 cm のマージンを空けて、1 行 40 字で 35 行とする。その際、頁ごとに

下部中央の余白部分に頁番号を記しておく。

2. 原稿の第1頁には表題, 著者名, 所属・所在地, 第2頁に要約を記す。

(1) 第1頁上部に以下を書く。

論文種別: 論文, 研究ノート・短報, 資料のうち希望する区分刷り上がり時の奇数頁ヘッダー: 著者姓(共著者は・でつなぐ): 略表題(25字以内)

(2) 和文の表題, 著者名, 所属・所在地の次に, 英文でそれぞれ記す。英単語の頭文字は大文字にするが, 文頭以外の冠詞や前置詞, 接続詞は小文字とする。

(3) 表題は, 簡潔で内容を具体的にあらわすものとする。

(4) 共著の場合, 著者名を・(中ポツ)でつなぎ並べる。責任著者には, 氏名の右肩に\*(アスタリスク)を付ける。また, 脚注に責任著者名とメールアドレスを記載する。共著者間で所属が異なる場合, 所属ごとで氏名の右肩に1から順に数字を付ける。所属と所在地は左肩に該当する数字をつけて改行して並べる。なお, 研究実施時からあと移動があった場合は右肩に\*\*を付し, 現所属を脚注に記す。

(5) 論文, 研究ノート・短報では, 150語以内で要約を入れる。

3. 論文, 研究ノート・短報の本文は, 原則として, 要約, 緒言, 材料および方法, 結果, 考察(結果および考察としてもよい), 謝辞(記載する場合), 引用文献の順に記載する。英文原稿も和文原稿と同ように記載すること。

4. 文中の単位, 数字, 式などは次のようにする。

(1) 単位は原則として国際単位系(SI)とする。

(2) 数字は, 原則としてアラビア数字を用い, 千単位のコンマは付けない。

(3) 文章中の式は,  $(a+b)/(c+d)$  のようにする。

5. 図表は次のようにする。

(1) 分かりやすい図表にすること。画像は高解像度の鮮明なものを用いること。

(2) 図表は, 第1図, 第1表のように通し番号を付す。

(3) 図の説明文は図の下に, 表の説明文は表の上を書く。

6. 注および文献は次のようにする。

(1) 注は出現順に, 文献は著者名のABC順に並べ, 番号を付けて記載する。

(2) 文献は, 以下のとおりとする。

(和文のとき)

1. 松原陽一, 原田 隆, 八鍬利郎. 1994. 各種野菜実生の生長に及ぼす VA 菌根菌接種の影響. 園学雑 63: 619-628.

2. 小川 眞. 1986. 共生微生物の機能と作物の生育. 微生物と農業. 全国農村教育協会. 東京.  
(英文のとき)

3. Matsubara, Y. and Harada, T. 1998. Relation between pectic substances and arbuscular mycorrhizal fungus infection in three vegetable crops. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 67: 180-184.

## 財団の新役員など名簿および新事務局長の紹介

区分	役職	氏名	所属など
顧問		石川 嘉延	元静岡県知事
理事	理事長	石井 孝昭	会社代表, 元愛媛大学教授, 元京都府立大学教授
	副理事長	松浦 孝裕	会社代表
		廣畑 雅己	財団事務局長兼務, 元地方公務員
		小森 英哉	会社代表
		大林 修一	会社代表
評議員 (他1名)		橋本 健二	財団東京事務所所長, 一般社団法人最高顧問
		天内 和人	徳山高等工業専門学校名誉教授
		松原 陽一	岐阜大学応用生物科学部教授
		野澤 汎雄	会社代表
		家政 覚	会社嘱託
	米田 基人	会社代表	
監事		森川 肇	元会社員
事務局長		児玉 大和	会社代表

## 児玉大和 新事務局長の紹介

この度は、菌根菌財団の事務局長の承認をいただき、誠にありがとうございます。私の略歴と目標、指針などをご紹介させていただきます。

東京でシステムエンジニアとして15年間勤務しておりましたが、農業の大切さに気づき、2011年2月に会社を退職。同年4月から2年間、島根県でトマトのハウス栽培や無農薬のお米作りの研修を受けました。2013年10月より安芸高田市で新規就農者として活動を開始。5年間にわたり、地元の皆様の温かい支援と楽しい仲間と囲まれながら、有機農業に取り組みました。現在は、IT、林業、その他多様な仕事に携わりながら、農業に励んでいます。「生命あふれる土を未来の子供たちへバトンタッチする」というスローガンのもと、仲間たちと共に、日本の伝統的な価値観である「個の自立」、「助け合いの精神」、「チーム力」、「和の心」、そして何事も楽しむ「武士道精神」を大切にしています。また、食べた人が「美味しい!」と喜び、元気になれるような、菌根菌を活用した野菜や米作り、その食材を使った加工品・料理作り（農薬・化学肥料・添加物不使用）に取り組み、多くの方々に健康と元気を届けたいと考えています。

「三方よし」の精神を大切に、自然、動植物、人が共に楽しく暮らせる世界を皆様とともに目指していきたく思います。また、石井理事長から常々伺う報徳思想の大切さに深く感銘を受け、この思想、つまり至誠：誠実な心がけと真心を尽くすこと、勤労：真心を込め、知恵を働かせながら日々を過ごすこと、分度：自分の身の丈に合った生活を送ること、推譲：分度を守ったうえで生じた余剰を将来へ譲ることをモットーにして、日本の再生と世界の平和に貢献できるよう努力し、今後、皆様とともに、より良い未来を築いていきたいと考えています。

## 編集後記

財団が新たなステージに向かいます。

2019年夏の財団設立以来、約6年にわたり静岡県掛川市近辺に事務局を置き、中部電力(株)様のご支援をいただきながらの海岸林での無農薬松林の育成と早生日本桐「ジャパロニア」の試験栽培、周辺市での菌根菌農法研修会の開催などを行ってまいりました。また、法人会員様とタイアップし、浜松市で「AMF推進協会」を立ち上げ、企業の方たちへのジャパロニアを利用した二酸化炭素固定の事業モデルも作り上げてきました。

この度、2025年4月から、新たに東京事務所を開設します。首都東京に事務所を置くことで、情報の受発信や公共的な資金の確保などがより可能になると考えたからです。あわせて、「広島ラボ」も設置し、こちらで土壌分析や菌根菌接種源の製造などを行います。

また、私も事務局長として財団設立以来運営に携わってまいりましたが、2025年度から新たに児玉大和氏にバトンタッチすることになりました。児玉大和氏が会員の皆様とのやり取りや評議員会、理事会運営などを担うようになります。よろしくお願いいたします。

ただ、私も管理委託をいただいているほ場の管理や主たる事務所である静岡事務所の運営を行いますので、二人事務局長体制となります。

このように、事務所の開設、新たな事務局長の就任と日本菌根菌財団は体制が大きくステップアップし、活動のエリアや活動内容も大きく広がります。いわば JMFF Ver.2.0 というところです。

会員の皆様、菌根菌農法にご興味のある方々は、今後とも是非財団活動にご一緒いただきオーガニックな農法、健全な菌根菌農法の普及にご尽力いただければ幸いです。

今後とも何卒よろしくお願いいたします。

理事 廣畑 雅己

ISSN 2435-2314

菌根菌ジャーナル

第6巻

2025年3月31日印刷 2024年3月31日発行



一般財団法人

日本菌根菌財団



東京事務所 〒110-0015 東京都台東区東上野 3-21-7 福井ビル 2階

静岡事務所 〒437-1503 静岡県菊川市川上 1293-1

広島ラボ 〒739-1101 広島県安芸高田市甲田町高田原 1130-1

E-mail: mycorrhiza-office@jmff.jp HP: <https://www.jmff.jp>

## 「土のはなし」を掲載するにあたって

一般財団法人 日本菌根菌財団理事長 石井孝昭

今から 30 数年前に愛媛県宇和青果農協（現在、JA えひめ南）の広報誌「うわみかん」に 1990 年 1 月から 1991 年 3 月まで執筆した「土のはなし」を本誌に掲載いたします。当時は化学合成農薬や化学肥料の大量使用の全盛期でありましたが、本農協ではこれらの危険性や、リン資源の枯渇などの問題について先見の明をもって、これらの問題を有機的手法で解決することができる、菌根菌とそのパートナー細菌などの有益微生物の活用について興味・関心を持っていただきましたので、執筆させていただきました。この内容を本誌で紹介させていただきます。

当時、菌根菌、特に VA 菌根菌（現在ではアーバスキュラー菌根菌（AMF）が広く使われています）に関する論文の中で、1978 年に公表された Menge et al. (1978) (Mycorrhizal dependency of several citrus cultivars under three nutrient regimes. *New Phytol.* 81: 553-559.) の論文が AMF 研究に関する in vitro（実験室）の研究から in vivo（圃場）の研究に入ったことを示す初めての成果であるとともに、カンキツで初めて実証化試験に成功したことに嬉しさを感じたことを思い出します。しかしながら、Google scholar, AI などの検索結果では不思議なことに、彼らの論文がヒットしにくく、彼らの業績が消されているように感じさせられます。最近の世界の菌根菌研究が非常に偏った研究評価・論文審査を行っており、公平性を大きく失っているのが原因なのかもしれません。

そのためか、最近の菌根菌研究では「隠蔽」、「偽装」、「捏造」などが行われている論文や、疑われる論文が多いです。また、先人の研究成果に対する敬意の無さだけでなく、奇妙なことに先人の間違いを改めようとする風潮が菌根菌研究の中に根付き始めているのは由々しきことです。財団としても、この風潮を一掃し、公平な評価の定着化、真摯な研究姿勢を持つ研究者の育成にも力を入れていきたいと思っています。

ところで、最近、リン鉱石の枯渇のため、リンの価格が高騰していますので、JA 全農が菌根菌の活用を進めていくという新聞報道がありました。やっと 30 数年ぶりに AMF の活用が JA 内で動き始めたことに非常に嬉しさを感じているところです。

しかしながら、菌根菌を有効に活用するためには、(1) 従来の化学合成農薬や化学肥料を大量に使用する近代農法を排除する必要があります。また最近、(2) 遺伝子操作された非常に危険な菌根菌、つまり *Rhizophagus irregularis* とその類縁種などを取り扱っているわが国の数社が、地力増進法を守らずに、海外から輸入し販売しているので、JA 内でこの問題の危険性や怖さを徹底して指導していただきたいと願っています。

そこで、JA 全農としても、わが国の自然環境を守り、また私たちへの健康被害を起こさせないため、*R. irregularis* とその類縁種を絶対導入させない、絶対使用しないという対応を是非取っていただきたいと願っています。そして、財団とともに、安心・安全な菌根菌（財団では、特許技術で安価な AMF 接種源を生産）を活用して、「菌根菌農法」を推進していただければと考えています。なお、財団は菌根菌農法を実現させるよう様々な栽培技術（10 数件の特許取得）を有しています。

## 土の中の生き物

さて、作物の栽培に適した肥沃な土、つまり「ふんわりした土」はどのようにしてできるのだろうか。このような土を観察してみると、米粒程度の土塊が集まっており、またこの土塊にも小さな隙間があるのに気づく。このような土壌構造を団粒構造といい、大きな隙間（大孔隙）には主として空気を、小さな隙間（小孔隙）には水を保持し、水はけがよく、水もちのいい、一見矛盾しているような性質を有した土を形成するのである。（図1）この団粒形成には、土中の生き物（図2）が関与している。有機物が分解される際に生産される

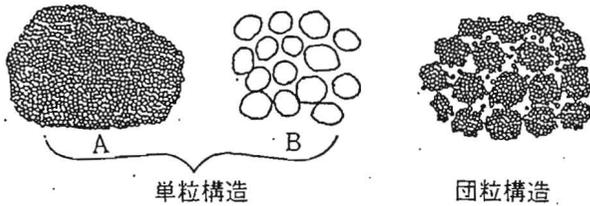


図1 土の構造

単粒構造のAの場合は通気や水はけが悪い。Bの場合は通気や水はけはよいが、水もちが悪い。この点団粒構造は通気や水はけがよく、また水もちもよい。

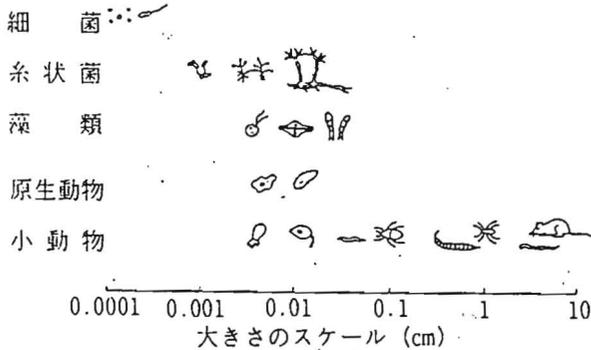


図2 土の中のさまざまな大きさ生き物 (服部、1981)

土の中の隙間の大きさは多様である。微生物は身体の大きさに応じてすみ分けているようである。

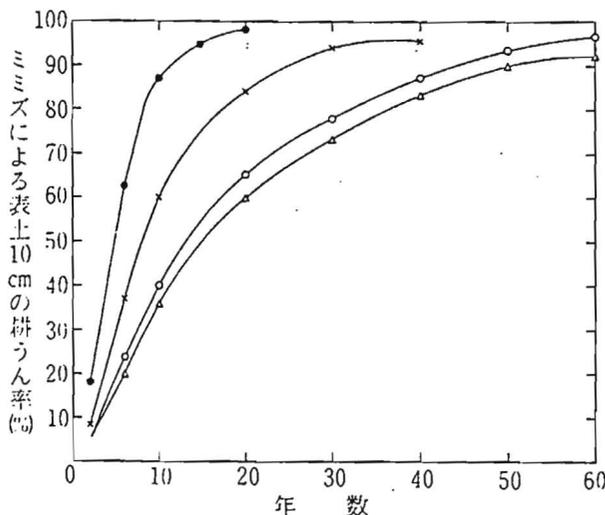


図4 ミミズによる表土の耕うん (エンバス)

×・●牧草地、△・○畑地

# 土のはなし

## 土の中の生き物(1)



石井孝昭

粘質性の多糖類、細菌の出す粘質物あるいはカビなどの菌糸などが糊の役目をし土壌粒子を結合させている。さらに、ミミズのふんは団粒状を呈しており、(図3)ミミズがよく生息している土中では団粒が形成されやすく、またその構造が維持されやすい。

「種の起源」の著者で、進化論者の一人であるダーウィンは、死の1年前(1881年)に、「ミミズ的作用による栽培土壌の形成、およびミミズの習性観察」という論文を発表し、土壌形成にミミズが重要な働きをしていることを明らかにしている。その後の研究者たちの調査結果によると、ミミズが地表面から深さ10cmまでの土を耕うんする年数は、その生息状況が良好な牧草地で約20年であり、この間に表土10cmのすべての土がミミズの腸を通ったことになるという。(図4)

わが国において、ミミズによる土の耕うん速度を調査したところ、深さになおして1年に3.2mmであり、そのときのミミズ(クソミミズ)の生息状況は平均12.9個体/m<sup>2</sup>に過ぎなかったという報告がある。



図3 地表に排泄されたミミズのふん (皆越)

ミミズのふんは、それ自身団粒でもある。このようにしてミミズは1年に深さになおして1~5mmの土を耕している。

# 土と土壌

「土」という文字を辞典で調べてみると、その語源について以下の説が挙げられている。

- (1) 土を盛った姿を描いた象形文字。古代人は土に万物を生み出す充実した力があると認めて土を祭った。
- (2) “=”と“|”の合字。“=”の上の“一”書は地の表面を、下の“一”書は地中を象る。“|”は生物の発生する形を象る。
- (3) “+”と“一”の合字。“一”は土地、“+”は草木の芽が出た形を象る。

また、「壤」における“頁”というツクリは、“ふんわりする”、“かもち”などを意味することが述べられている。つまり、「壤」とは、「耕作に適する肥えた土地」（小学館国語大辞典「言泉」より）ということになる。

このようにみると、「土壌」とは、“生物を作り出す肥沃な土”ということを表しており、「土」と「土壌」という言葉の間には微妙な違いがある。

一般に、根が養水分を吸収できる部位は、根の先端から5～15mmの範囲における根毛周辺のみであり、極めて限られている。そのために、その周辺の養水分が不足すると、根を伸ばさなくてはならないことになるが、根の伸長はそれほど旺盛ではない。カンキツ根の場合、土壌条件にもよるが、根の伸長が最も旺盛なときで1日10mm程度であるといわれている。硝酸イオンのように土壌に吸着されにくい要素は水の拡散によって容易に根の周囲に運ばれてくる。しかし、リン酸などのように土壌中で拡散して移動できる距離が数mmである要素では、根がそれらの要素を吸収するのが困難となる。そのために、根は微生物の餌（えさ）となる糖、アミノ酸、ビタミンなどを放出して、有益な微生物を引き寄せ、それらの助けを借りて養水分の吸収を行っているのである。これらの微生物については次回お話したい。

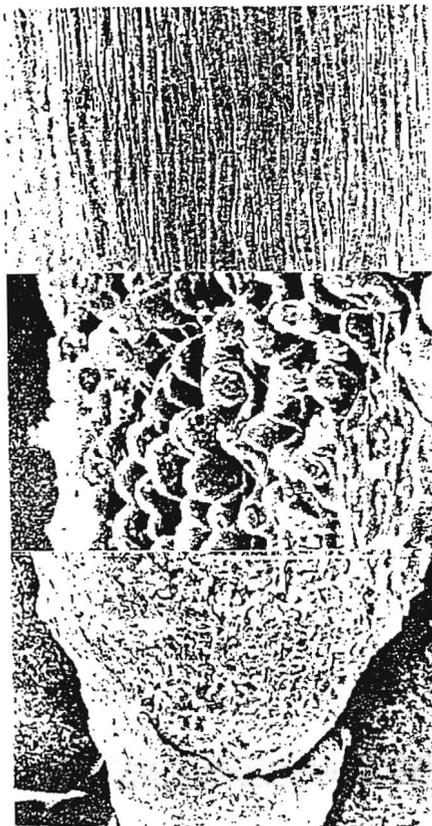


図6 カンキツ根の走査型電子顕微鏡像

上：根先端から20mm程度離れると、根はコルク化し、根毛が観察されない。(200倍)

中：根先端から5～15mmの間には数多くの根毛が観察される。また、根毛の周辺には細菌が多い。(1,000倍)

下：根の先端部。根冠がほうじをかぶっているように見られる。なお、ムシゲルは走査型電子顕微鏡観察のための試料調整中に取り除かれてしまうので観察されない。(700倍)

# 根のまわり(根圏)の微生物

作物の根の構造を図5に示す。根圏で微生物密度が高いのは根面であり、非根圏よりも500倍以上も多いといわれている。しかし、微生物が根を被覆している表面積は10%程度(通常4～14%)であり、残りの90%には微生物がない。微生物が普通多い場所は根毛の周辺やムシゲル内である。図6に示すように、カンキツの根毛周辺にも数多くの微生物が存在する。しかし、健全な土壌で見られた多種多様な微生物も、土壌条件が不良になると微生物の種類が単一化するとともに、病原性の微生物が増えるという。

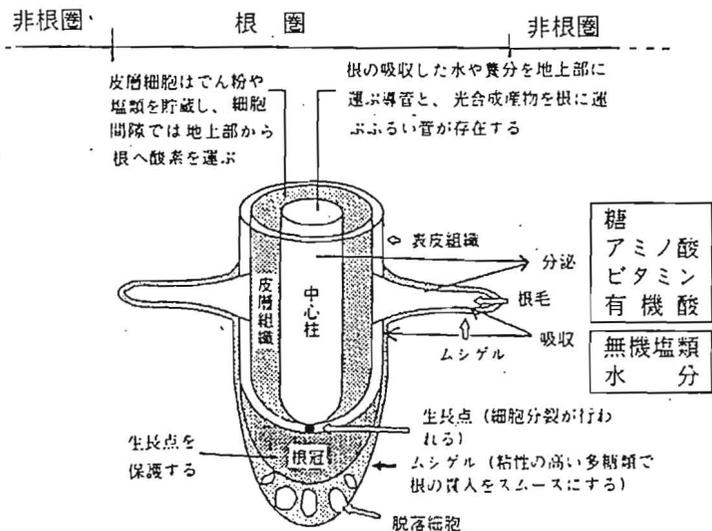
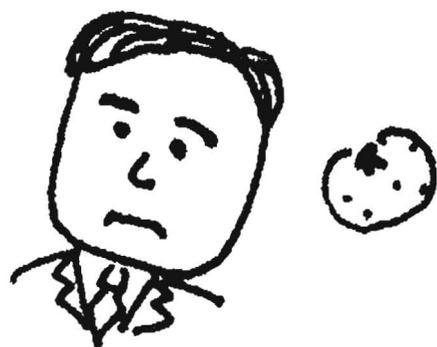


図5 根の構造と働き (西尾、1989)

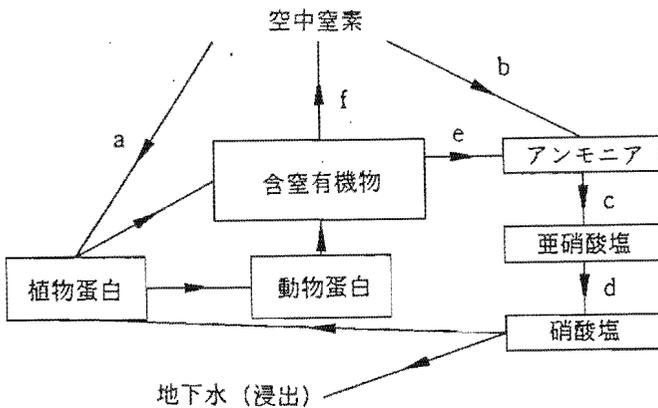


# 窒素の循環に関する微生物

マメ科作物を栽培した後に、他の作物を植えると、その生育が良好になることは古くから知られていた。植物学の祖とされる古代ギリシアのテオフラストスは、この現象の重要性に気付き、土壌の肥沃度を高めるために、マメ科植物を育てることを普及したという。

マメ科植物に根粒を形成する細菌が大気中の窒素を固定していることを明らかにしたのは、ドイツの植物生理学者ヘルリーゲルとヴィルフアルス(1886)である。このようにマメ科植物と微生物

図1 窒素循環略図(ラッセル、1977)



- (a) 共生菌による固定(根粒細菌)
- (b) 独立栄養菌による固定(アゾトバクター、クロストリジウム)
- (c) 硝化作用(亜硝酸菌)
- (d) 硝化作用(硝酸菌)
- (e) 無機化(多数の微生物)
- (f) 脱窒(ニトロゾモナス他)

ここに示した以外にあまり重要でない多くの経路がある。たとえば、アンモニア塩や硝酸塩の一部は雨や雪に含まれて大気から地表に達する。

図1には、窒素固定に働く微生物以外に、植物と共生関係を持たないが、窒素の循環に関与する土中の微生物を示している。特に、亜硝酸菌と硝酸菌が関与するアンモニアから硝酸塩に至る過程において、硫酸などのアンモニア態窒素の施用は、土壌条件が良ければ、およそ3週間でほとんどの施用アンモニア態窒素が硝酸態窒素に変換される。普通、作物は無害な硝酸態の窒素を積極的に吸収するが、カンキツ樹などでは若干アンモニア態の窒素が吸収された方が生育がよい。しかし、土壌条件が不良(通気不良あるいはPHの低下)になると、アンモニアガスあるいは亜硝酸ガスが多量に発生し、作物の生育が阻害される。

注) VA菌根菌とアーバスキュラー菌根菌(AMF)は同じ種類の菌根菌である。最近、学会などではAMFの方が広く使われている。

# 土のはなし

## 土の中の生き物(2)



石井孝昭

で行われている共生的窒素固定は、10以上の科にわたる高等植物のほか、裸子植物、シダ植物及びコケ植物でその存在が確認されている。しかし、農業上重要なのはマメ科の根粒細菌による窒素固定である。

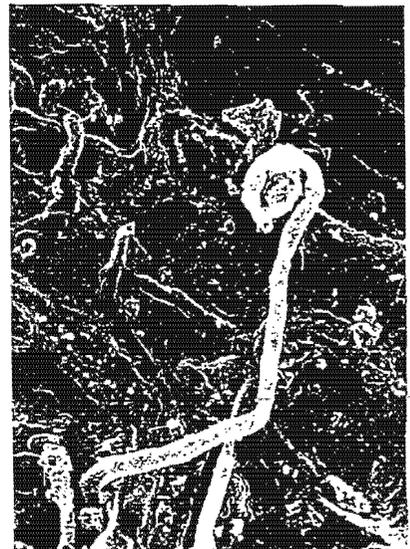
一方、土壌には、植物と共生せず、単独で窒素を固定する微生物もいる。これらには、好気性細菌であるアゾトバクターや嫌気性細菌であるクロストリジウムが挙げられる。

図3 カンキツ根におけるVAM菌(×200)



新根の先端部にVAM菌の菌糸がからまっており菌糸の一部は根内に侵入している。

図4 クローバ根へのVAM菌の侵入(×1000)



# 共生

根を取り巻く環境には、様々の微生物が生息している。これらの中には、植物に寄生して悪影響を及ぼす土壌伝染病菌もいれば、植物と共生関係にあって、その生育に好影響を及ぼすものもいる。

植物と共生する微生物として、マメ科植物の根に感染する根粒細菌やカンキツ根などに感染する菌根菌などが知られている。ここでは、これらの微生物が植物の養分吸収に及ぼす影響についてお話したい。

病菌の場合があるので注意を要する。

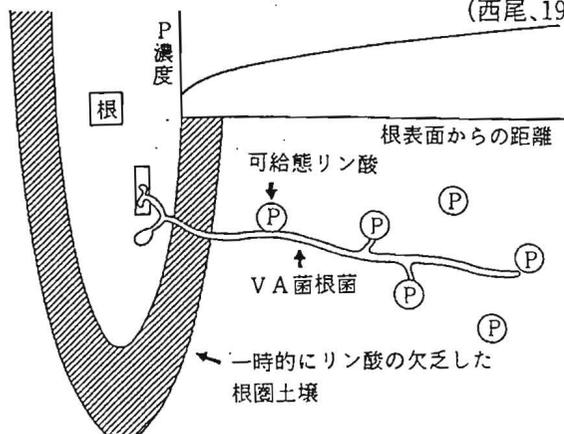
菌根が形成された作物は、根の吸収面積の拡大によって、養水分の吸収が良好になり、またサイトカイニンなどの植物ホルモンの生産が高まり、生育が旺盛になることが明らかにされている。特に、土壤中で移動しにくいリンにおいて、菌根菌の菌糸が根毛の働きをし、リン吸収に効果的に作用していることが推測されている。(図5)さらに、菌根が生産する抗生物質様の物質によって、病原菌の生長が阻害されることも報告されている。

愛媛県内のカンキツ園においてVA菌根菌の感染状態を調査したところ、24園中1園を除き、感染率が低い傾向にあった。(図6)この原因として、現行の施肥や農薬の使用法に関係があるようである。特に、可溶性リン酸の多量施用は菌根形成を阻害する。菌根菌は、土壤中の可溶性のリンが不足したときのみ、植物のリン吸収を助けるのである。

カンキツ樹の菌根形成を高める土壌管理法として、菌根を形成しやすい草や炭の利用が挙げられる。(表1)また、人為的にVA菌根菌を作物に接種する方法も試みられている。

菌根菌の利用についての研究は、最近始まったばかりであり、この利用に関しての課題も多い。しかし、将来のリン供給不足が予測される現状において、菌根菌共存下でのリンの施肥方法の改善をはかり、作物生産について考えねばならないときにきている。

図5 VA菌根菌による土壌中の可給態リンの吸収 (西尾,1989)



30年前前はこうに考えられ、今でもそうであると主張する学者がいるが、間違っている。ほぼ全ての植物が菌根共生を築いている。

# リン吸収に関する微生物

マツ樹を掘上げてみると、根に白い菌糸が絡まっているのが観察される。これが菌根菌(カビの一種で好気的な土壌環境を好む)の菌糸であり、この根を菌根という。同様なことがクリにも見られる。しかし、カンキツ根では菌糸が根の内部で増殖するVA菌根菌であり、肉眼での観察は難しい。(図2)VA菌根菌は、水生植物の根には共生できないが、アブラナ科、タデ科、アカザ科、カヤツリグサ科の植物を除くほとんどすべての陸生の草本植物や樹木に共生する。(図3及び4)なお、マツ、クリなどの樹木以外に、根に白い菌糸が観察されたときは、紋羽

図2 菌根菌のタイプ(西尾,1989)

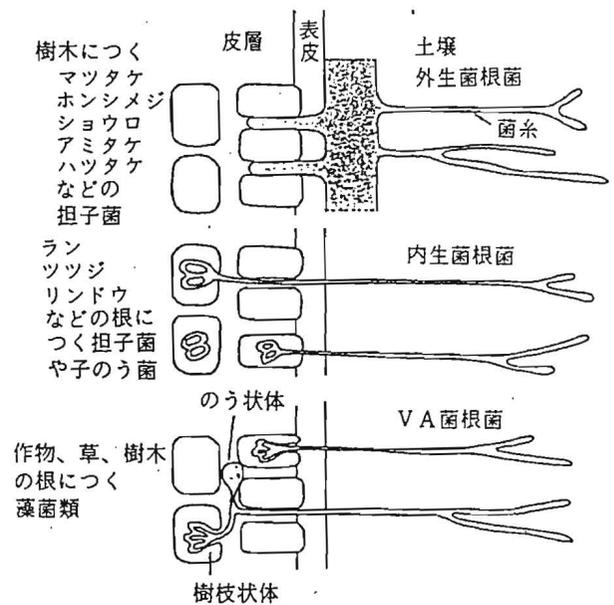


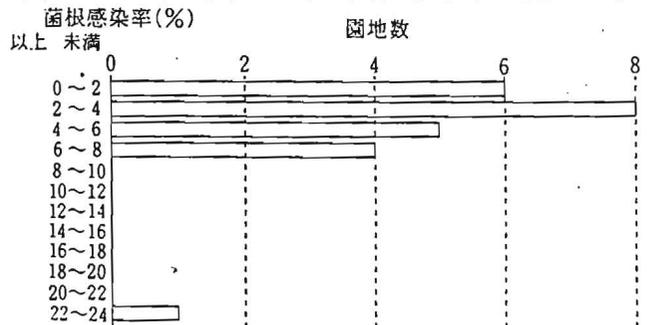
表1 土壌管理法の相違がカンキツ樹の菌根形成に及ぼす影響

土壌管理法	菌根感染率 z (%)
除草剤使用裸地園	3.6
放任園	7.3
バビアグラス草生園	16.9
炭使用園	52.0

$$z) \text{ 菌根感染率}(\%) = \frac{\text{菌根菌に感染された根の長さ}}{\text{観察した根の長さ}} \times 100$$

y) いずれの園においても処理開始後2年目の9月上旬に根を採集した。

図6 カンキツ園における菌根感染率の度数分布



$$\text{菌根感染率}(\%) = \frac{\text{菌根菌に感染された根の長さ}}{\text{調査した根の長さ}} \times 100$$

菌根感染率が23%であった園は温州みかん果実を毎年10a当り9-10t生産している。

# イオンの保持

土が電気を帯びる原因には、粘土や腐植を形成する物質の電気化学的な反応が影響している。

粘土の主成分であるケイ素原子あるいはアルミニウム原子が酸素と結合すると、それぞれケイ酸四面体、アルミニウム八面体を形成する（純粋なものは前者が水晶、後者がルビーである）。これらが連なると図1に示すようなケイ酸層やアルミナ（酸化アルミニウム）層ができる。しかし、このとき結晶中のケイ素原子に変わってアルミニウム原子が入り込むと、電気的なバランスが崩れ、マイナスの電気が発生する。（図2）これを永久荷電といい、pHなどの外的条件にほとんど影響されない。しかし、アロフェンやイモゴライトのようにプラスに帯電する非結晶性の粘土鉱物では、アルミニウムなどの破壊原子価（A 1-OHなど）が関与しており、pHの変化に大きく支配される。（図2）これをpH依存荷電という。

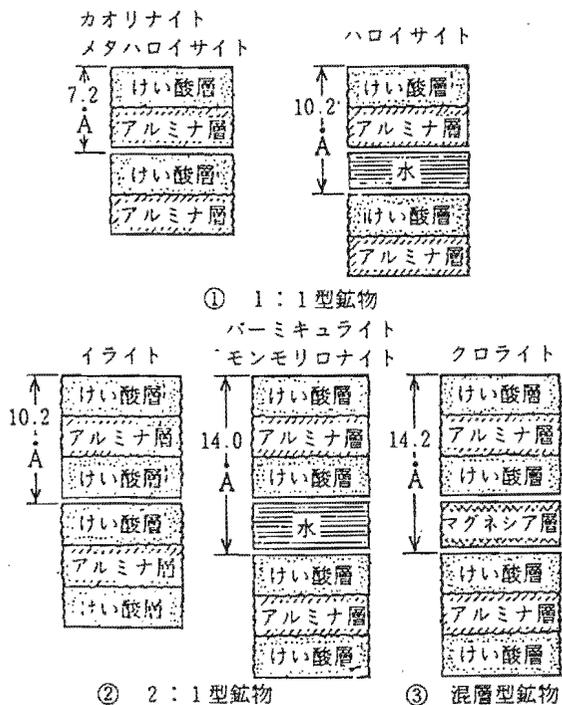


図1 粘土鉱物の結晶模型図(小西ら、注2を追加)

注(1) 1 Å (オングストローム) は1μの1/10,000である。

(2) 2:1型鉱物は1:1型鉱物よりも陽イオンの保持力や保持量が多い。そのために、普通2:1型鉱物を多く含む土はよい土と考えられている。

## ポイント

1. 土は普通マイナスに荷電している。しかし、火山灰土ではプラスの電気を帯びやすい。
2. 土の電気は、植物の栄養素である無機イオンの吸着や保持に関与する。
3. 有機物を施し、腐植含量を高めた土壌は陽イオン交換容量が大で、緩衝能が高い。このような土壌は急激な化学的変化を防止し、作物の生育を保護する力が高い。

# はのほなし

## 土の電気



石井孝昭

一方、腐植の場合は、腐植に含まれるフェノール水酸基(-OH)、カルボキシル基(-COOH)などの末端の水素原子が関与している。この水素原子は結合力が弱く、外液中の水酸イオン(-OH)に引き出されやすい。このとき、マイナスの電荷が生じるのである。この腐植による電荷はpHに影響されやすく、フェノール基の末端水素の場合はアルカリ側で、カルボキシル基の末端水素の場合は酸性側で、マイナスの電荷が高まる。（図2）

このように、土がマイナスの電荷を持ち、+イオン（例えば、 $H^+$ 、 $NH_4^+$ 、 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ ）を引き付ける量をカチオン（陽イオン）交換容量（CEC）といい、CECが高いと+イオンを保持する力が強い。（図3）反対に-イオンを引き付ける量をアニオン（陰イオン）交換容量という。

マイナスイオンである硝酸イオン( $NO_3^-$ )は普通土に吸着されにくく、流亡しやすい状態にある。リン酸イオンも、-イオンであり、通常pHが4から8のとき、 $H_2PO_4^-$ または $HPO_4^{2-}$ として存在する。しかし、わが国のように酸性化しやすい土壌では、溶出したアルミニウムなどの原子と結合して難溶性のリンに変わりやすい。この傾向は上述したアロフェンの多い火山灰土で著しく、リン酸の肥効が非常に劣ることになる。

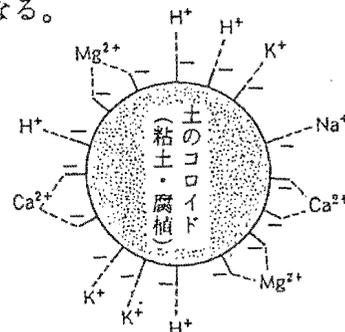
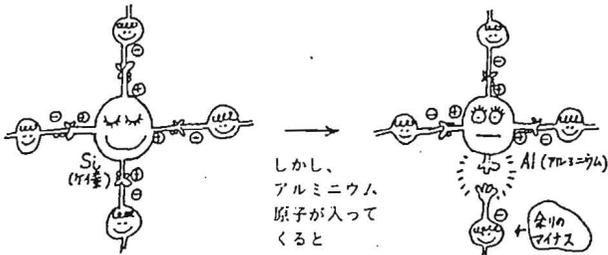


図3 イオンと土のコロイドとの結合(山根)

# 電 荷

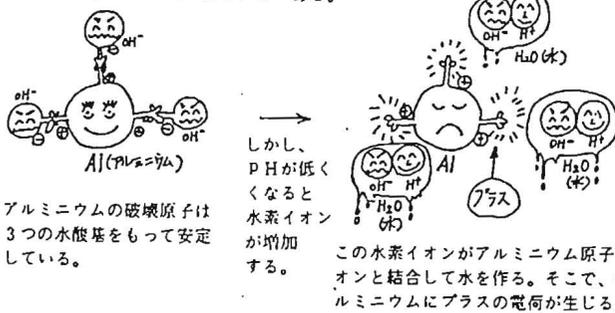
電荷（荷電）とは物体が電気を帯びることをいう。一般に、土はマイナス（陰）の電気を帯びている。しかし、アロフェンやイモゴライトという粘土鉱物を含む黒ぼく土（火山灰土の表土で、腐植が多く、土色は黒い）では、pHが低くなると、プラス（陽）の電荷が高まってくる。このような土の特性は、植物の無機養分の吸収に著しい影響を及ぼしている。

## A. 粘土鉱物の永久荷電



ケイ素はプラス4個なので4つのマイナスで中和している  
アルミニウムはプラス3個なので4つのマイナスの全部を利用できず、1個のマイナスが残る。これがマイナス電荷を発生する原因である。

## B. 粘土鉱物の pH 依存荷電



## C. 腐植の pH 依存荷電

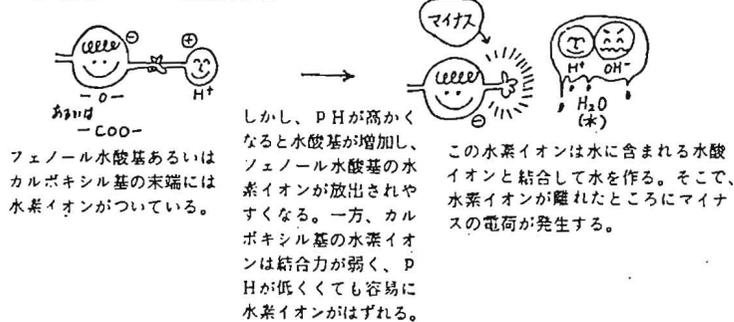


図2 土が電荷をもつ二、三の例

注) 松尾らの図を参考にして、筆者が作画した。

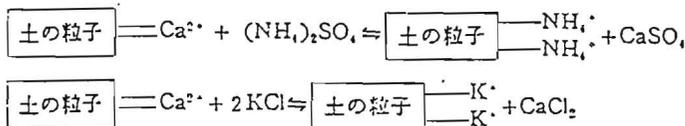


図5 イオン交換の例

上部の例はトンプソンとスペンスのイオン交換を示す。

# イオンの交換

1850年、イギリスのヨークシャー州の農場主トンプソンは土に硫酸の水溶液をかけたところ、したたり落ちる水が白濁しているのに気付き、この液を分析したところ、硫酸カルシウムが含まれていることを発見した。(図4) この不思議な現象は、今日「イオン交換」と呼ばれるが、当時は疑問視されていたという。土はイオンを吸着するが、多くの場合はこのように入れ換わりが容易に行われているのである。(図5)この現象を応用したイオン交換樹脂が1935年に開発されて以来、様々な形の樹脂が作られており、水の浄化など、われわれの身近な生活の中に利用されている。

腐植が多い土壌は上述のようにマイナスの電荷を著しく発生し、CECが高くなる。故に無機イオンを貯蓄する場所が増え、急激に酸性あるいはアルカリ性に傾くことがない。(図6)これが土の緩衝作用である。この作用のメカニズムにも主にイオン交換が起因しているのである。農業面で緩衝作用の働きをみると、例えば必要以上の化学肥料を施肥した場合、腐植を多量に含む土壌では、腐植が少ない土壌と比べて、作物の生育に表われる悪影響の程度が小さいことである。つまり、腐植は土壌の化学的な異変を和らげ、作物の生育を助けているのである。ここに、腐植のもとである有機物を積極的に施さなければならない一要因がある。

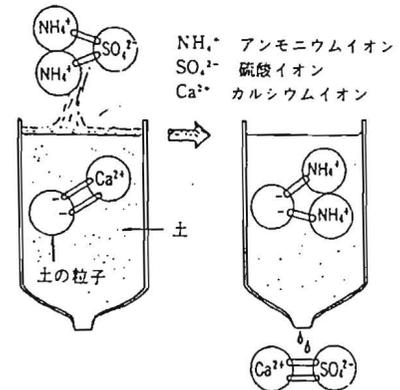


図4 トンプソンとスペンスの実験

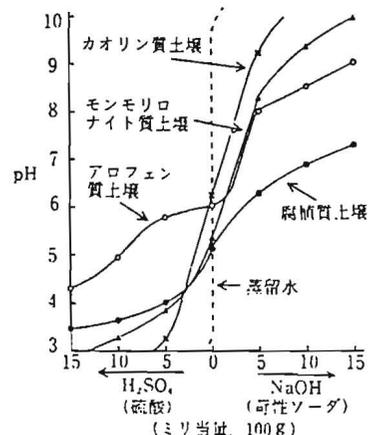


図6 土の緩衝作用(書誌)

# 土の空気

土の空気の化学組成は、拡散作用によって大気とガス交換されているために、大気の化学組成と類似している。しかし、大気と比べて、一般に土中の酸素濃度は低く、二酸化炭素濃度や水蒸気量は高い。また、土壌通気の悪化によっては、アンモニアガスなどの窒素化合物、メチルメルカプタン、硫化水素などのイオウ化合物、メタン、エチレンなどの低級炭化水素などのガスの濃度が高まる。特に、硫化水素や植物ホルモンの一つであるエチレンは微量で作物の生育を著しく阻害する。

土に含まれるガスの中で、とりわけ酸素、二酸化炭素、窒素、水蒸気は、作物の生育や、微生物の活動と密接な関係がある。すなわち、酸素は作物の根、並びに土中に生息する微生物や小動物の呼吸に必要である。二酸化炭素は土中の養分を土壌溶液中へ溶解させるのに役立つ。また、最近の研究において、植物の中には二酸化炭素を根からも取り込む能力を有しているものがあり（葉の気孔からの取り込みが主力）、このガスを光合成に利用していることが明らかにされている。窒素は微生物による窒素固定にとって重要であり（本誌2月号を参照）、水蒸気は作物の根や微生物を乾燥から守り、さらに土壌水分の移動形態の一つとして働く。

# 土のはなし

## 土の空気



石井 孝昭

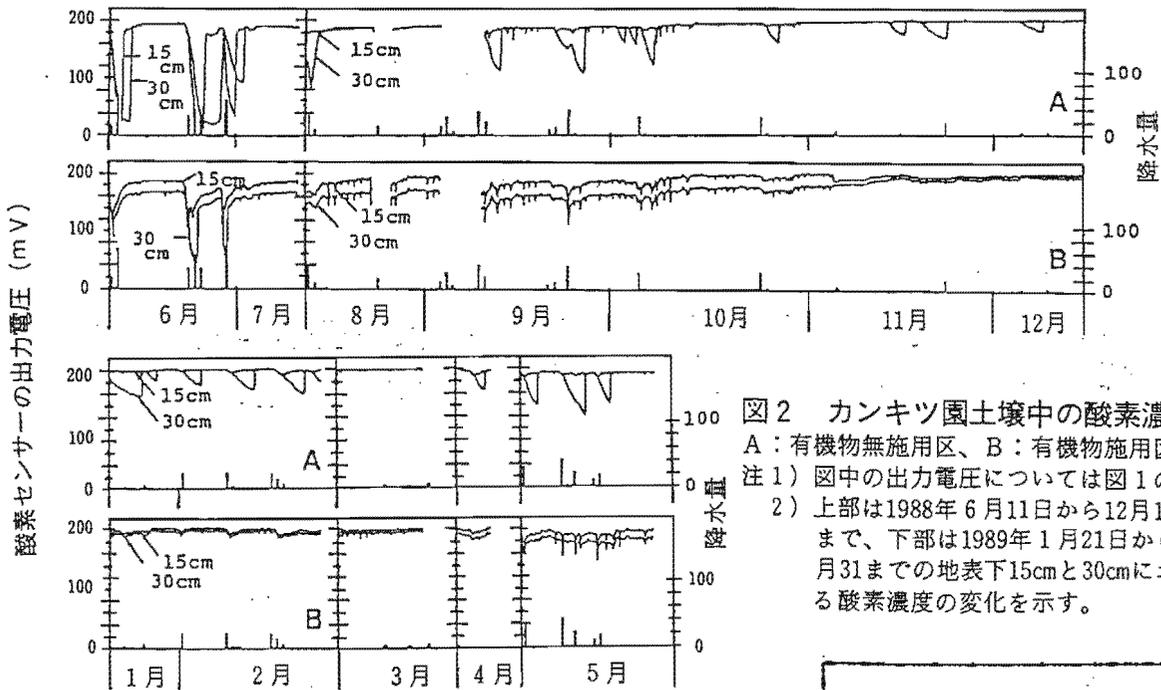


図2 カンキツ園土壌中の酸素濃度の変化  
 A：有機物無施用区、B：有機物施用区  
 注1) 図中の出力電圧については図1の注1)を参照。  
 2) 上部は1988年6月11日から12月14日まで、下部は1989年1月21日から5月31までの地表下15cmと30cmにおける酸素濃度の変化を示す。

表2 土壌空気中の酸素濃度が温州みかんの果実発育及び品質に及ぼす影響（岩崎）

酸素濃度	果 径 (cm)	果 重 (g)	全 糖 (g/100cc)	還元糖 (g/100cc)	酸 (g/100cc)	カロチノイド (mg/dm <sup>3</sup> )
20%	6.2	76.0	7.76	2.39	1.28	11.6
10%	6.3	88.0	7.58	1.73	1.44	10.4
5%	5.7	69.0	6.54	2.08	1.64	10.1
2%	5.0	48.5	5.80	1.58	2.18	2.1
0%	4.0	25.4	10.14	3.92	0.90	9.9

注) カロチノイドはカンキツ果皮に含まれ、黄色や赤色を示す色素である。

### ポイント

1. 土の空気は、拡散によって大気とガス交換しており、健全な土壌では大気の空気組成とよく似ている。
2. 根の呼吸と密接な関係がある土中の酸素濃度は、わが国では、雨の多い梅雨や台風の時期に減少しやすい。特に、未熟な有機物を施用した土壌では、酸素濃度の低下が激しい。

# 大 気

地球表面の大気には、窒素 (78%)、酸素 (21%)、水 (1~2.8%)、アルゴン (0.93%)、二酸化炭素 (0.032%) と、少量のネオン、一酸化炭素などが含まれている。地球以外で酸素が存在することが確認されている惑星は火星と金星である。しかし、酸素の存在は極めてわずかであり、火星では0.13%、金星では0.0069%しか含まれていない。

# 土の通気

作物の根の伸長を左右する最大の要因は、根の呼吸と密接な関係にある酸素の土壌への供給、すなわち土壌の通気性である。土壌の通気性は排水性の良否 によって著しく影響される。

表1は、イギリスにおける空気率が20%の土壌での酸素消費量を調査した結果である。空気率20%は比較的通気状態が良好な土壌である。このとき、ケール畑では地温17°Cで1㎡当り1日23.7gの酸素が消費されるという。この値は、新たに空気の流入がなければ、わずか1日で土壌中の酸素が植物の根のあるいは微生物によって消費されてしまうことを暗示している。

筆者らが新しく開発した酸素センサを用いて、湛水処理の影響を調査したところ、有機物無施用区 (山土のみ) では約1日で、未熟有機物施用区では数時間で土中の酸素濃度はおよそ1%まで低下した。(図1) また、1年間酸素センサーをカンキツ園土壌に埋設し、酸素濃度の変化を連続的に調査したところ、雨が多く、またカンキツ根の伸長が旺盛な6月や9月ごろにおいて、酸素濃度が減少する傾向が大きかった。特に6月における有機物無施用区では、地表下30cmの酸素濃度約2%の状態が3~4日間も続いた。しかし、よく腐熟させた有機物を施用した区ではこのような状態がわずか2~3時間であった。(図2) カンキツ根は、少なくとも大気中の10分の1 (2%) の酸素が絶えず供給されないとストレスが激しく進行する。

本県南予地方における土壌調査でも、土壌の通気性がいかに重要であることがうかがえる。すなわち、連年多収の優良園における土壌の空気率や空気の通りやすさを示す通気係数は、不良園のそれらと比べて著しく大きい。果実の品質についてみた場合、土壌の通気状態が良好であると、果重、糖含量及び果実の着色は高まり、酸含量は低くなる。なお、酸素濃度が0%近くになると、糖含量は高まるが、樹体生長や果実の肥大は極めて悪い。

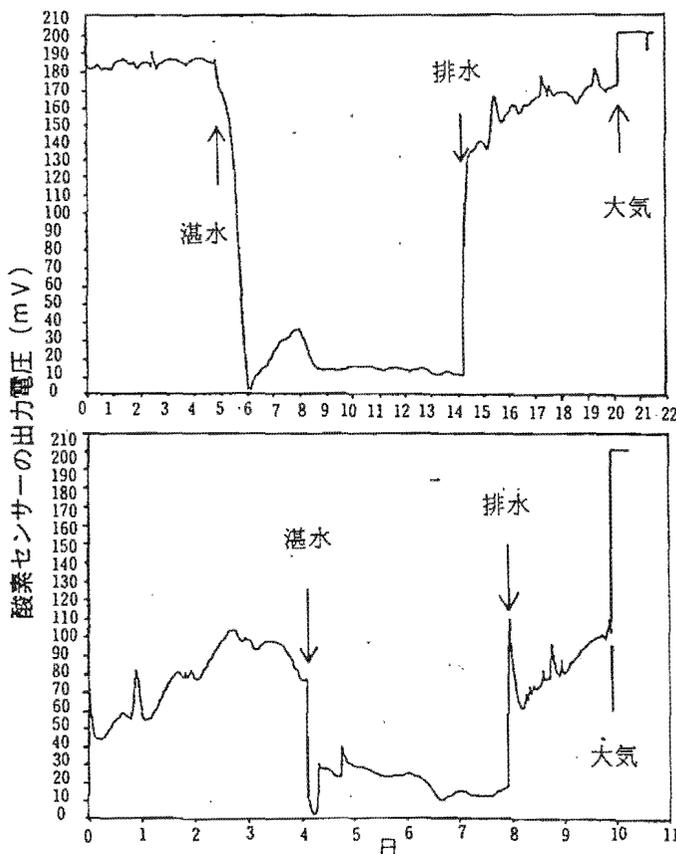


図1 カンキツ樹栽植土壌中の酸素濃度の変化  
上部：有機物無施用区、下部：未熟有機物 (カンキツせん定くず) 施用区

- 注1) 酸素センサーの出力電圧10 mVは1%の酸素に相当する。  
2) 1/2000フーグナーポットで行い、地表下15cmに酸素センサーを設置した。調査は8月下旬に行った。落葉は未熟有機物施用区で湛水処理開始後3日目、有機物無施用区で7日目に観察された。調査期間中の地温は24~28°Cであった。

表1 裸地およびケール畑における夏季・冬季の酸素消費量(クーリー)

	7 月	1 月
地 温(地下30cm)	17°C	3°C
地表1㎡当り酸素消費量	g/日	g/日
裸 地	11.6	0.7
ケ ー ル 畑	23.7	2.0

注) 上記の供試ほ場の呼吸商は、年間を通じてほぼ1であり、嫌気状態の部分は存在していなかった。

(表2)

# 地温の変化と土壌管理

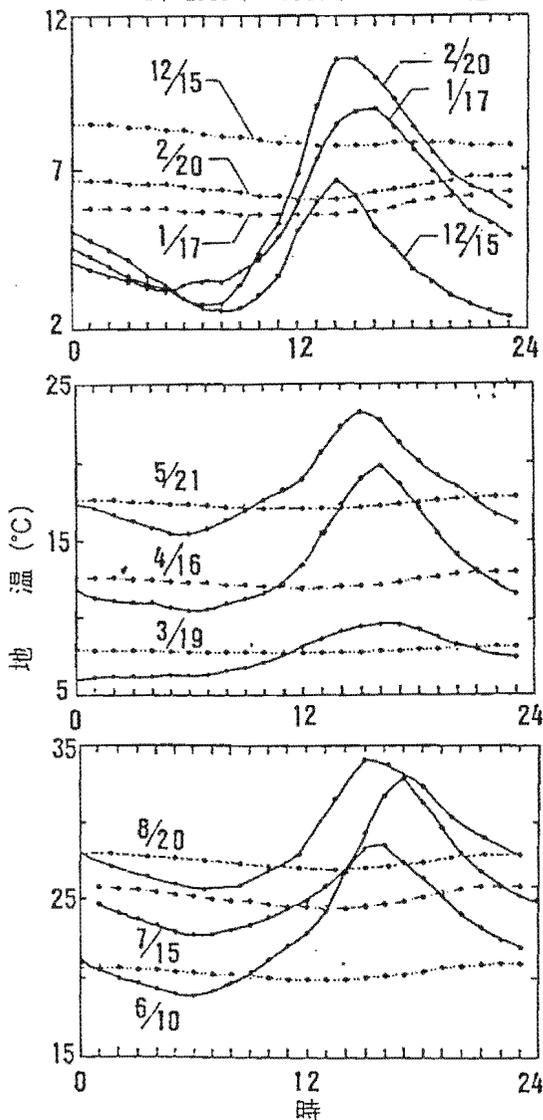
図1に示すように、表層土の地温は太陽熱の影響により日変化が激しく、季節によって若干ずれがあるが、朝6時～8時が最も低く昼2時～4時が最も高い。なお、気温の日変化は朝4時～5時が最も低く、昼12時～1時が最も高い。しかし、土は、空気や水を含んでいるために、金属や岩石と比べて熱を伝えにくい。それゆえ、地表面からわずかに30cm下で地温の日変化は観察されなくなる。

(図1) 地表下7m程度になると、年中温度が変わらないという。

土壌管理法の違いが地表下30cmの地温に及ぼす影響は小さいが、表層土の地温は管理法の違いによって著しく影響を受ける。一般に表層土における日最高地温は、季節にかかわらず、清耕裸地園、草生園、敷ワラ園の順に低くなる。黒ビニルや黒ポリエチレン(ポリ)・フィルムによるマルチを行うと、当然地温は上昇傾向にあり、清耕裸地園と

図1 カンキツ園(清耕裸地園)における地温の日変化

注1) 実線は地表下5cm破線は地表下30cmを示す。  
2) 1985年～1986年にかけて調査した。



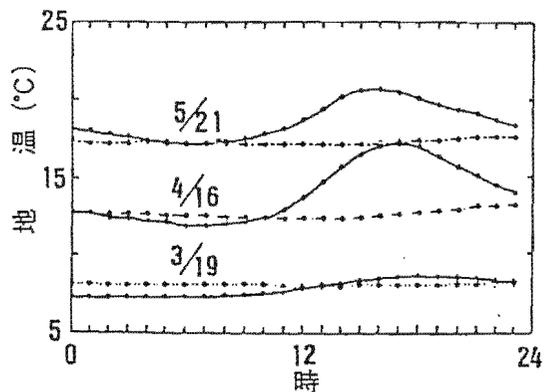
# 土のはなし

## 地温



石井孝昭

図2 カンキツ園(バヒアグラス草生園)における地温の日変化 注) 図1を参照



比べて春先で3～5°C程度高くなる。ただし、シルバー・ポリ・フィルムによるマルチ園では清耕裸地園と比較して、差がほとんどない。一方、表層土における日最低地温は、一般にビニル及びポリ・フィルム(黒ポリと白ポリ・フィルムの差異はほとんどない)あるいはワラなどによるマルチ園、草生園、清耕裸地園の順に低くなる。この様に、清耕裸地園における表層土の地温は日変化が激しく、この部の根はいつもストレス状態にあるといえる。なお、草生園における春先の地温の日変化を図2に示しているの、図1と比較していただきたい。

### ポイント

1. 表層土の地温は、太陽熱の影響を直接受けるため、日変化が大きい。しかし、地表下30cm以下になると日変化はみられなくなる。
2. 清耕裸地園における表層土の地温の日変化は、マルチ園や草生園と比べて激しく、根がストレス状態に陥りやすい。
3. 地温が15°C以上になってくると、根の伸長や葉での光合成が活発になってくる。しかし、地温が35°Cを越えると阻害される。

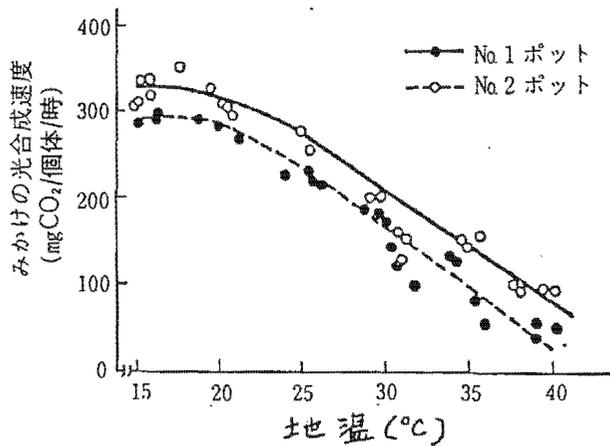
## 地温とカンキツの生育

### 地温

地温は、地球自身の熱（地熱）と太陽光、つまり太陽からの熱放射（太陽熱）によって影響されている。それゆえ、地温、特に表層土周辺の根圏の地温は季節や昼夜による変動が大きく、作物の生育に著しい影響を及ぼしている。

促成栽培において人為的に地温を高めると、果樹の地下部及び地上部の生育が促進され、果実の肥大などに好影響が出ることはよく知られている。

図3 地温がカンキツ樹の光合成速度に及ぼす影響 (小野ら, 1978)



カンキツの根は、わが国の冬季において1日当り1~2mm程度伸長しているという報告がある。しかし、根の伸長が活発になってくるときの地温は15°C前後であり、ちょうど5月上・中旬に当たる。(図1)根の伸長にとって好適な地温は25°C前後であるが、地温が35°C以上になると阻害される。

清耕裸地園では、夏場の表層土の地温が日中35°C前後になるのはしばしばである。さらに、地温と光合成との関係についてみると、地温が15~20°Cのときが光合成にとっては最適である。地温を15°Cから35°Cに高めると光合成速度は約4分の1に低下する。(図3)事実、カンキツ葉の光合成は6月頃と10月頃が最も活発であり、夏場は低下する。

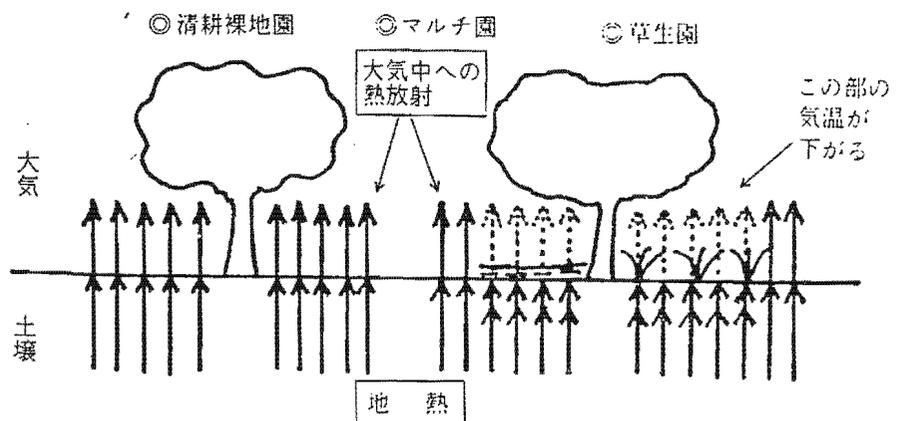
地球上の物体から宇宙空間に熱が放射されていることはよく知られている。曇天日の夜が快晴日の夜よりも暖かいのは、雲が地球から宇宙空間へ放射される熱を遮っていることによる。

同様に、マルチ園や草生園における夜間の地温の冷え込みが清耕裸地園と比べて小さいのは、

マルチ資材や草によって地中の熱が大気中へ逃げていくのが減るためである。(図4)

反対に、夜間の地表面周辺の気温は、清耕裸地園と比べて、マルチ園や草生園で低くなる傾向がある。特に、冬季においては地表面周辺の冷え込みがマルチ園や草生園で激しく、樹、特に幼木における落葉や胴割れが発生することが報告されている。しかし、西南暖地では土壌管理の違いによる地表面の温度差は厳寒期でさえも普通2°C前後であり、また地上1mになるとほとんど差異はなくなるので、一般には限定された場所、例えば冷気が停滞しやすいところで問題となる障害であろう。

図4 土壌から大気中への熱放射(夜間)



# 土の水の保持と移動

土が水を保持する力は普通pFで表示される。pFとは、気圧を水中の高さで表した値の対数である。例えば、1気圧のときは下記に示す式からpF.3となる。

$$76 \times 13.6 \div 1,000 = 10^3 \text{ (cm)}$$

$$\left( \begin{array}{c} 1 \text{ 気圧の} \\ \text{水銀柱の} \\ \text{高さ} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{水銀の} \\ \text{比重} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} 1 \text{ 気圧} \\ \text{の水柱} \\ \text{の高さ} \end{array} \right)$$

pFの値が大きいくほど土が水を保持する力は強い。最大の力は約10,000,000 (10<sup>7</sup>) cm、すなわちpF 7に相当する。なお、pF値と水分含量との関係を見ると、同じ土ならpFが小さいほど水分含量は多いが、土が違っても同じpFでも水分含量は異なってくる。図1は、土の水とpFとの関係

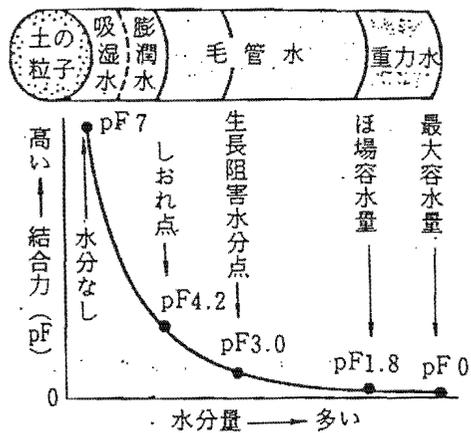


図1 土の粒子と水との結合力(山根)を示したものである。植物が利用できる水(毛管水)はおおよそpF1.8~4.2の範囲にあるが、pF 3 (1気圧)を越えると作物の成育は緩慢になってくる。

土の水は、負圧差(主に横の移動)あるいは毛管力と重力のかねあい(縦の移動)によって動く。湿った土は負圧が小さく、乾いた土は負圧が大きいため、湿った土から乾いた土への水の移動は容易

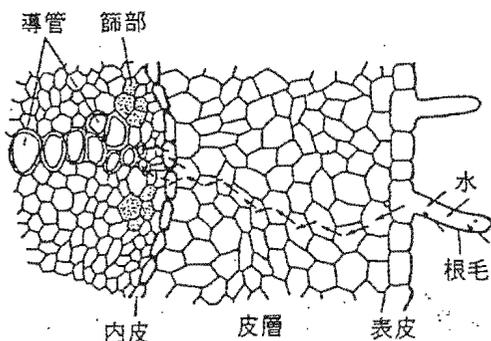


図3 根の一部の断面図と吸水経路(増田) 注) 矢印は吸水経路を示す。

図3に示すように、土の水は普通根毛から吸収され、皮層部を通り導管を經由して葉に運ばれる。このような吸水の原動力には、植物が積極的に細胞内の溶質の濃度を高めること、また葉での蒸散によって負圧が発生することが関与している。

# 土のはなし

## 土の水(1)



石井孝昭

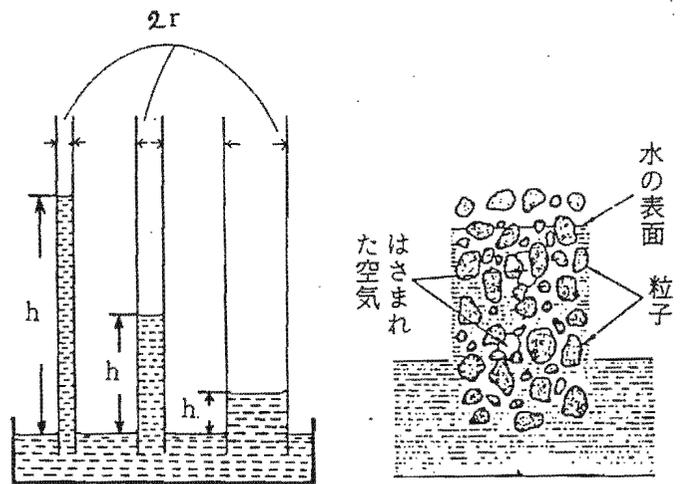


図2 毛管力による上方への水の移動

注)  $h$  (水柱の高さ、cm) =  $0.15 / r$  (管の半径、cm) の関係がある。

に行われる。この現象は、水が高いところから低いところに流れる事実と同一のことである。一方、降雨後生じる下方への水の流れには重力が、また土面蒸発に伴う上方への水の移動には毛管力が関与している。毛管力に影響される水(毛管水)は、土の隙間の半径が0.001cmの場合、150cmも引き上げられる。(図2)

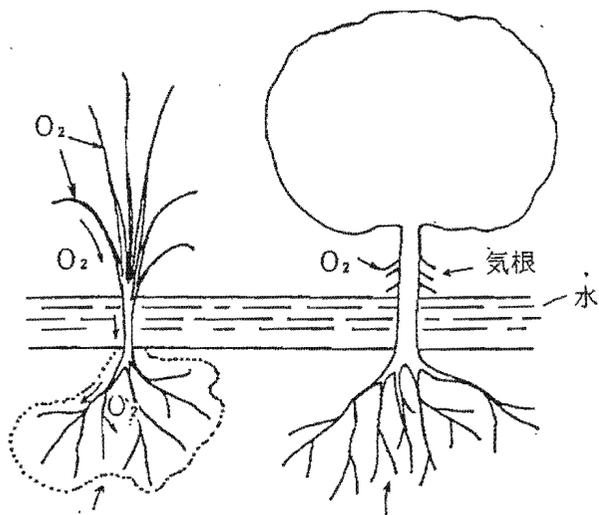
### ポイント

1. 植物が利用できる水は、土粒子の隙間に存在する水(毛管水)である。
2. 土壌が過湿になったとき、畑作物の生育は酸欠や還元物質の発生によって阻害される。しかし、水稻など、湛水土壌に生育する作物は、葉から根に酸素を送る通気組織が発達している。

## 土の水の種類

水は、土の孔隙の中に保持されている状態の違いによって、(1) 吸湿水・膨潤水（無効水）、(2) 毛管水（有効水）、(3) 重力水（過剰水）の三つに分けられる。

この中で、植物が利用できる水は土粒子の隙間に存在する(2)の水であり、(1)のように土の粒子に強く結合している水や、(3)のように重力によって地中に流れてしまう水は用いることができない。なお、(3)の場合、排水が悪い土では重力水が多くなって、畑作物は湿害を受ける。



根周辺は好気的な状態にある。 根の大部分は腐敗してくる。  
 図5 湛水土壌における植物の通気組織及び気根の形成

## 土の過湿

土が過湿になり通気不良に陥ると、陸生植物の根の呼吸は阻害され、また還元物質（亜酸化鉄、硫化水素、エチレンなど）も発生し、生育が一層悪くなる。（本誌4月号参照）

エチレンは植物ホルモンの一つであり、0.5ppm（1,000ℓの空気に0.5mlのエチレンが含まれる量）の微量でもカンキツの生育に著しい悪影響を及ぼす。過湿な土壌では、それ以上の濃度になるのがしばしば観察される。人為的に湛水状態にし果樹の耐水性を調査した結果では、総合的にみてモモやイチジクは最も弱く、次いでナシであり、カキ、

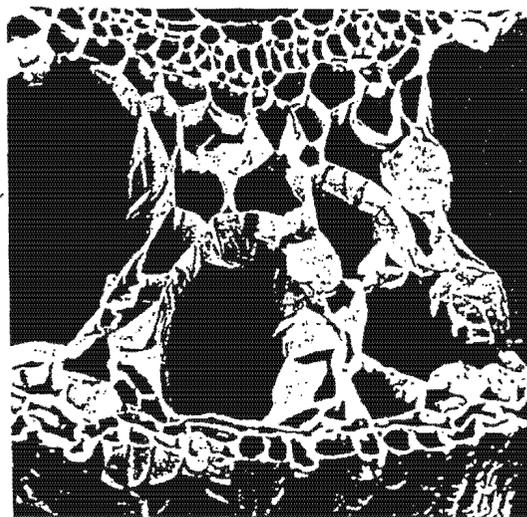


図4 嫌気土壌におけるトウモロコシ根の通気組織（チャンペルら）  
 注）矢印に示すように、根に大きな孔が形成される。

ブドウ、カラタチは強い。（表1）過湿な土壌におかれた畑作物は、酸素を得ようとして、通気組織や気根を形成する。通気組織は、植物体内に大きな孔を持った組織で、管状に葉、茎、根をつないでいる。（図4）

水稻など、湛水土壌でも健全に生育する作物では、この通気組織がよく発達しており、葉の気孔から取り入れた酸素はこの組織を通して根に送られている。（図5）生育初期の水稻を掘りあげると、根に赤い土壌粒子がついているのが観察される。これは土に多量に含まれる鉄（酸化鉄）などの影響であり、酸素が水稻の根の周囲に多いことを示している。鉄は好気的な土壌では赤くなり（鉄さびは赤い）、嫌気的な土壌では青くなる。どぶの土が青いのは、還元された鉄（還元鉄）の色による。しかし、水稻も生育後期になると、通気組織の働きが鈍くなり、過湿の害を破りやすくなる。秋口、水田の水

をぬくのはそのためである。

表1 果樹の種類間の耐水性の強弱（小林）

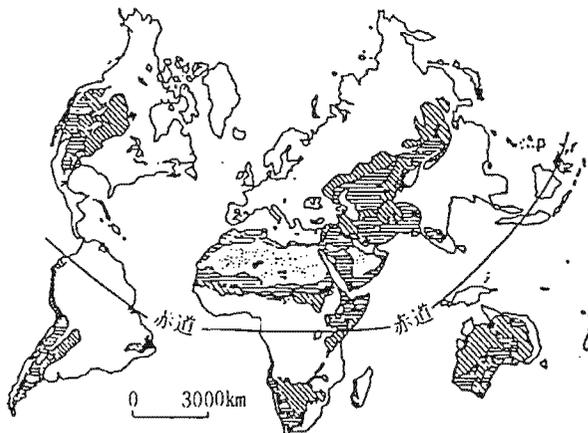
調査者（発表年次）	弱<強
藤村、安田（1974）	モモ<ナシ
森（1946）	モモ<カラタチ<台温州<ニホンナシ
小林、庵原、村井、林（1949）	モモ、イチジク<ナシ<ブドウ、カキ
森田（1949）	モモ・オウトウ・イチジク<ナシ<カキ・カラタチ・ユズ
須佐（1952）	豆ガキ<マルバカイドウ<ミツバカイドウ<ブドウ
林、小林（1953）	モモ<イチジク<ナシ<ブドウ、カキ
松本（1951）	ユズ<カラタチ
細井（1953）	ニホンナシ共台<満州マメナシ台

# 塩類集積

わが国のように降雨量の多いところでは、水が主に下方に動き(重力水、本誌6月号参照)、土の中の塩分はほとんど海に洗い流される。海水が塩からいのは、岩石や土壌から流された塩が集まったためである。

しかし、雨の少ない乾燥地では、水は普通上方に動き(毛管水)、塩分は洗い流されずに塩化ナトリウム(食塩)などの形で土壌に蓄積する。それゆえ、多量の水でかんがいをを行った場合、一時的に塩分を下方に流すが、再び大地が熱せられると、地中深く存在していた塩分までも毛管現象によって地表に運ばれることになる。土壌表面にたどり着いた水は、地表面に塩分だけを残して蒸発してしまう。この過程を繰り返すうちに、塩分が多量

図1 世界の砂漠化地図 (FAO,1976)



□ 現存する砂漠      ■ 砂漠化の非常に高い地域  
 ■ 砂漠化の非常に高い地域      ▨ 砂漠化の中等度進行地域

食糧の多くを輸入に頼っているわが国において、塩類集積は決して他人事ではすまされない問題である。

図1に示すように、アメリカ合衆国の西部、オーストラリアなどでは砂漠化が深刻な事態になっている。現在、この問題を解決する方法として、少量の水によるかん水法(点滴かん水法)の導入、施肥量の改善、排水設備による塩類の除去などが検討されている。

表1 温州みかん幼木の時期別土壌乾燥処理試験

区	果実量		平均果重	果形指数	着色指数	果皮歩合	果汁分析					
	個数	重量					クエン酸	可溶性固形物	甘味比	還元糖	全糖	糖分率
11~12月断水	34.5	2.93	84.9	135	5.4	21.97	1.14	10.65	9.34	2.62	7.99	7.61
1~2月断水	31.2	2.74	87.8	130	5.4	22.83	1.10	10.84	9.85	2.70	9.06	8.23
3~4月断水	34.0	3.03	89.1	132	5.1	23.97	1.03	10.16	9.86	2.65	8.03	7.79
5~6月断水	14.4	1.00	69.4	130	2.8	24.36	1.55	10.34	6.67	2.25	7.14	4.60
7~8月断水	15.7	0.99	63.0	129	3.7	28.71	1.65	11.05	6.69	2.31	7.68	4.65
9~10月断水	21.2	1.40	66.0	126	5.7	27.75	1.59	15.76	9.91	4.25	13.10	8.23
かん水	33.7	2.93	86.9	131	5.5	23.72	1.05	10.49	9.99	2.65	9.02	8.59
放任	24.7	1.87	75.7	132	4.7	26.79	1.46	10.90	7.46	2.47	7.55	5.17

(注) 摘果は樹勢、樹冠容積に応じて適当に行い、果実収量は1樹平均で示した。

# はのほなし

## 土の水(2)

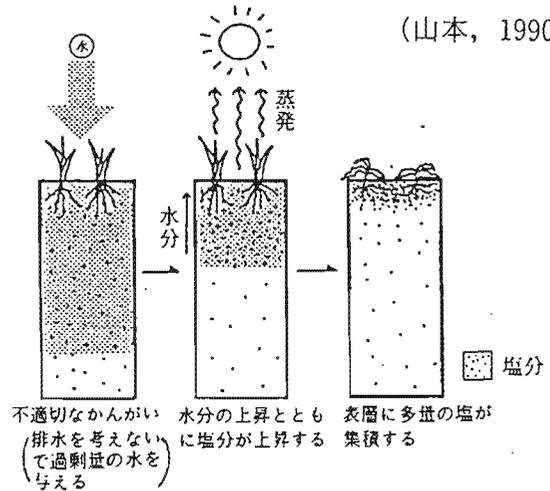


石井孝昭

に土壌表面に集まることになる。(図2)この現象を「塩類集積」といい、同様なことがハウス栽培環境下でも観察される。ハウス内は多湿であるが、高温であるので、土壌からの水の蒸発は絶えず行われる。それゆえ、一定量以上の肥料や家畜糞尿入り堆肥(これらの堆肥には通常1-2%の塩化ナトリウムが含まれている)などを度々施していると土壌中の塩分濃度が次第に高まり、塩類集積による問題が発生してくるのである。

図2 塩からい土ができあがるまで

(山本, 1990)



(鈴木ら, 1967)

## 土の乾燥

国連の食糧農業機関では、現在砂漠化が問題になっている地域を、図1のように示している。

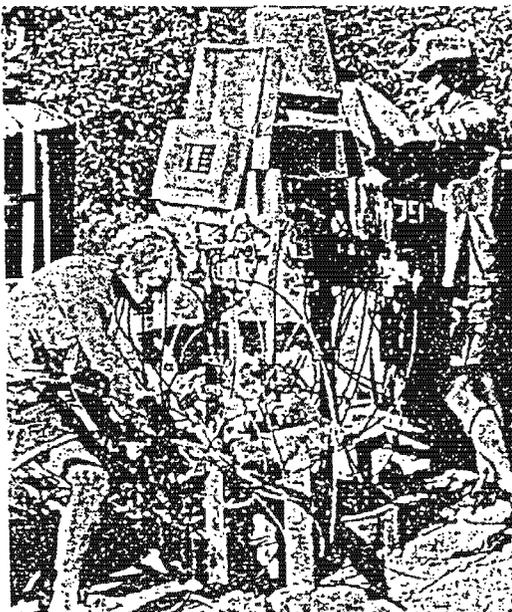
古代文明の発祥地の一つであるチグリス・ユーフラテス川流域（現在のイラク周辺）は、土の乾燥が激しく、さらに表層土における塩類の集積も問題となっている地域である。しかし、花粉分析などの結果から、古くはこの流域に森林地帯が存在していたことが明らかにされている。

人口の増加に伴い森林の乱伐が行われたことが、この地域の乾燥を促進させた主要な原因である。また、土壌の荒廃を助長させた要因には、かんがい用水中に塩分が多く含まれていたことにも関係しているといわれている。

果実内での糖代謝系が、デンプンなどの多糖類を生成する系から、果糖、ブドウ糖、ショ糖などのいわゆる甘い糖を生成・蓄積する系に変化することが関与しているという。このように、樹に水ストレスを人為的に与えるために、最近、秋期に断根したり、あるいは園地の排水をよくしたり、また園地全面にポリエチレンやビニルフィルムでマルチングを行うことによって、土を乾燥させる土壌管理が試みられている。しかし、みかん果実の肥大期に当たる7-8月からの断水は、かえって果実の肥大や品質を落とすことになり(表1)、夏場には十分な水を樹に補給する必要がある。スプリンクラーかん水の場合、8月中旬ごろまでは光合成速度が著しく阻害されないように、10日から2週間晴天が続けば1回のかん水量が20mmを基準に給水するのがよい。8月中旬以降になると、かん水は控え、また園内に排水溝などを設けて、土壌を極力乾燥させるようにしなければならない。

図4 コンピュータによる点滴かん水システム

(イスラエル西ネゲブ地方ピーマン及びトマト畑、朝日新聞)

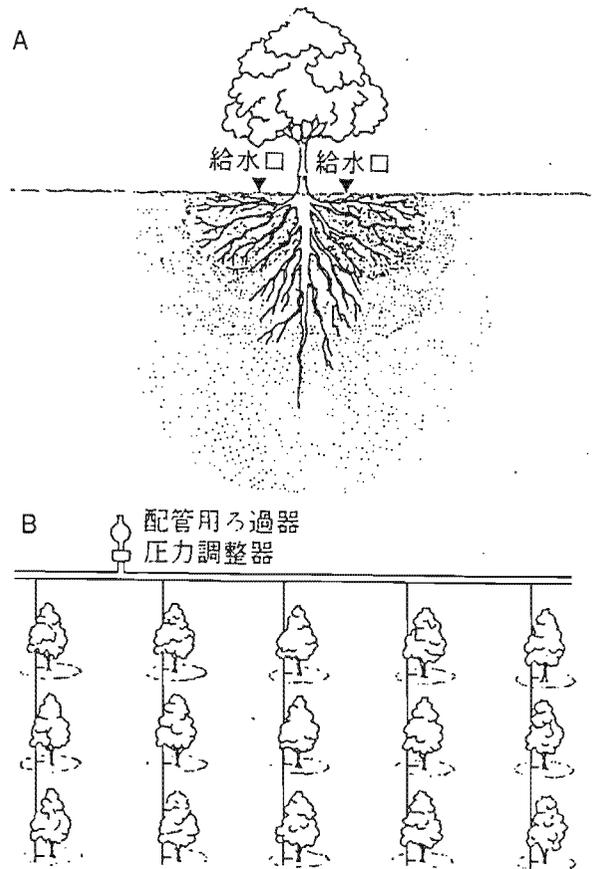


## かん水

かん水方法には、(1)条溝かん水、(2)スプリンクラーかん水、(3)点滴かん水、などが挙げられる。図3及び4は点滴かん水システムを示す。この方法は、前述したように乾燥地でのかん水法として開発されたものであるが、近年わが国でもこのシステムがハウス栽培などで利用され始めている。このかん水法の利点として、a)他のかん水と比べて水ストレスを小さくさせる、b)水の消費量を節約できる、c)岩石の多い急傾斜地でも均一に給水できる、などが挙げられる。

土の乾燥は、カンキツ樹の生育や光合成を抑制するが、果実の品質、特に糖度を上昇させる作用があることはよく知られている。この原因には、

図3 (A) 点滴かん水による土壌の湿潤状況  
(B) 果樹園に設置した点滴かん水システムの概略  
(AはShearerら、BはKenworthy)



### ポイント

1. 乾燥地では塩類集積が発生しやすい。この対策法の一つとして、これらの地方では点滴かん水法が利用されてきている。
2. みかん果実の糖度を上げるためには、秋期の水切りが必要であるが、7-8月中旬ごろの乾燥時期にかん水を怠るとかえって果実の品質を落とすことになる。

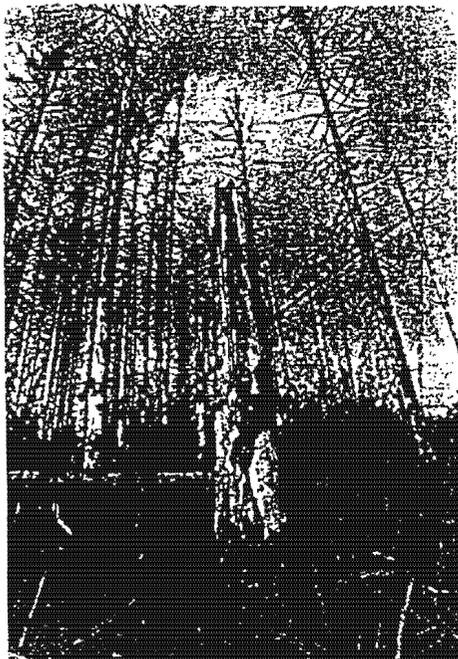
# 酸性雨

雨水の酸性化は、雨水に含まれる塩基（アルカリ）性物質の減少と酸性物質（窒素酸化物や硫黄酸化物）の増加が起因している。

窒素酸化物や硫黄酸化物は、(1)土壌、海、火山からの放出による自然的発生、(2)石油、石炭などの化石燃料の燃焼にともなう人為的発生、によって増加する。

最近の酸性雨の主要な原因は後者によるものと考えられており、世界の主要な大気汚染地域から発生した窒素酸化物や硫黄酸化物は大気の流れにそって大気汚染地域以外にも降り注がれる。(図2)特に窒素酸化物の一つである硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ )

図1 酸性雨で朽ち果てたカラマツ林  
(チェコスロバキアのリトビノフ、朝日新聞)



# はのほなし

## 雨と土(1)



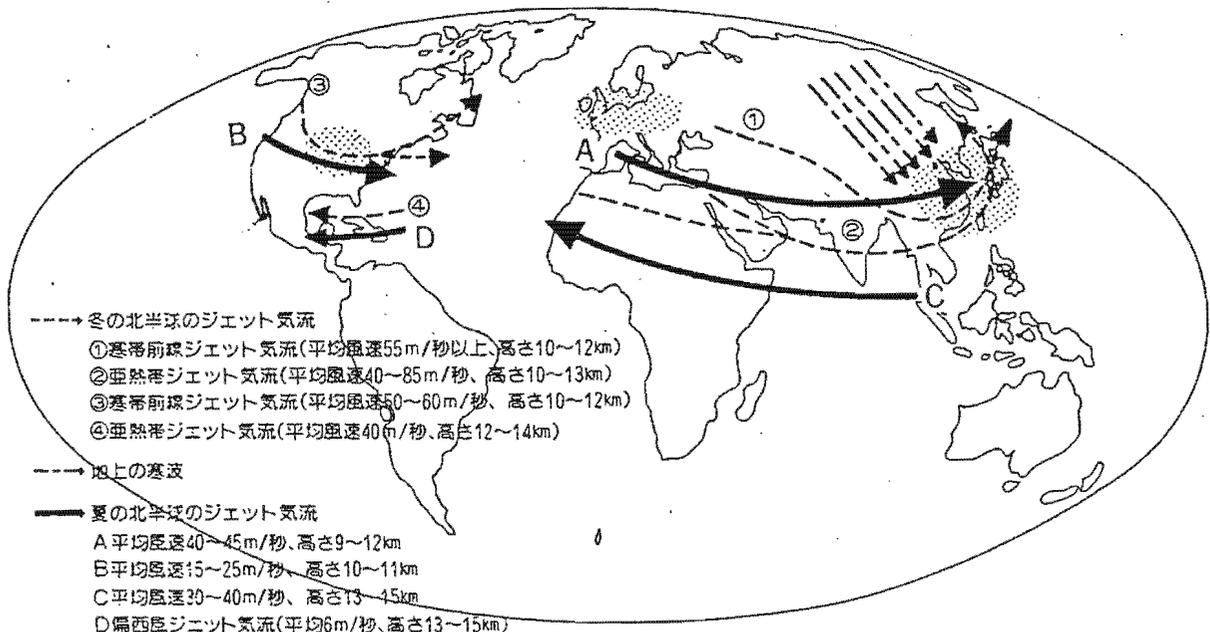
石井孝昭

の増加が近年著しい。このイオンは雨水に含まれる水素イオン ( $\text{H}^+$ ) と結合し、硝酸という極めて強い酸に変化する。現在、雨水のpHが4以下になるのは、しばしば起っているという。

酸性雨が果樹の生育や果実の品質に及ぼす影響を調査した結果、pH 3付近の雨でもカンキツ、ブドウ及びリンゴ樹の生育に及ぼす悪影響は明確でなかったが、カキの汚損果が多くなったり、リンゴの一部の品種では着果率が低下することが報告されている。土壌に及ぼす影響を見ると、酸性雨は土壌中のカルシウムやマグネシウムの溶脱を促進させることが明らかにされている。(表1)また、土壌の酸性化に伴って、植物の生育に害を及ぼす遊離のアルミニウムイオンも増加する。

このように、酸性雨が果樹の生育に及ぼす直接的な害は、まだ不明瞭であるが、土壌を悪化させ間接的に果樹の生育に障害を及ぼしていることが考えられる。

図2 三大大気汚染発生源と大気の流れ(谷山)



# 降 雨

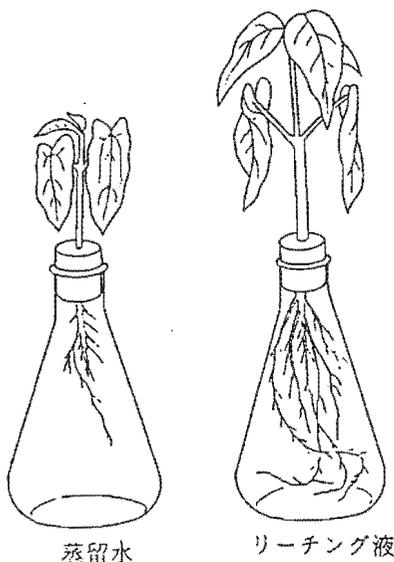
降雨の酸性化は、1760年代イギリスの繊維工業に端を発する産業革命が欧米各国に波及したころの1852年、すでにイギリスのSmithによって指摘されている。しかし、近年の降雨の酸性化は激しく、これによる環境破壊が問題になっており、作物や森林の被害(図1)、さらには人畜などへの悪影響が心配されている。

また、降雨は植物の葉や体から様々な物質を溶出させ土壤に注ぐ。この現象をリーチング(Leaching, 溶出)という。植物からの溶出液には、無機養分、炭水化物、アミノ酸、有機酸などの物質が含まれており、これらの物質は植物の生育やこれを取り巻く環境に影響を及ぼしている。

しかし、リーチングによつて土壤に注がれる物質の中には、植物や土壤に生息する微生物に好影響を及ぼすものだけでなく、これらに悪影響を及ぼすものもある。ユーカリ樹などでは下草がほとんど生えないことに気付くが、これは、ユーカリ葉からの溶出液中に下草の生育を阻害する物質が含まれているからである。同様に、溶出液中の生長阻害物質は土壤に残留し、いや地(連作による土壤の悪化)の発生原因の一つにもなる。

果樹ではモモ、イチジク、クルミなどでいや地問題が発生しやすく、これらを栽培した後の土壤には生長阻害物質が多量に含まれる。土壤に残留する生長阻害物質として、モモでは青酸配糖体やそれから派生する物質、縮合性タンニンが、クルミではユグロンがよく知られている。

図4 リーチング液の培地でインゲンマメは一世代を終えることができる (Tukeyら, 1964)



# リーチング

植物体から雨によって溶出された物質は、図3に示すように、その植物や周囲の植物に利用されたり、土壤に残留し植物の生育に影響を及ぼす。なお、酸性雨がリーチングに及ぼす研究例はほとんどない。

カボチャの葉からの溶出液でインゲンマメを育てたところ、対照区(蒸留水のみ)と比べて生育がよく、花を咲かせ種子までつくったという。(図4)これは溶出液に無機養分が含まれていることによる。溶出される無機養分を試算した報告によると、テンサイ葉では24時間の降雨で1ha当りリン酸39kg、カルシウム5kgが、リンゴ葉では年間1ha当りカリ30kg、カルシウム10kg、ナトリウム9kgが溶出されるという。

図3 植物からのリーチング物質の動態

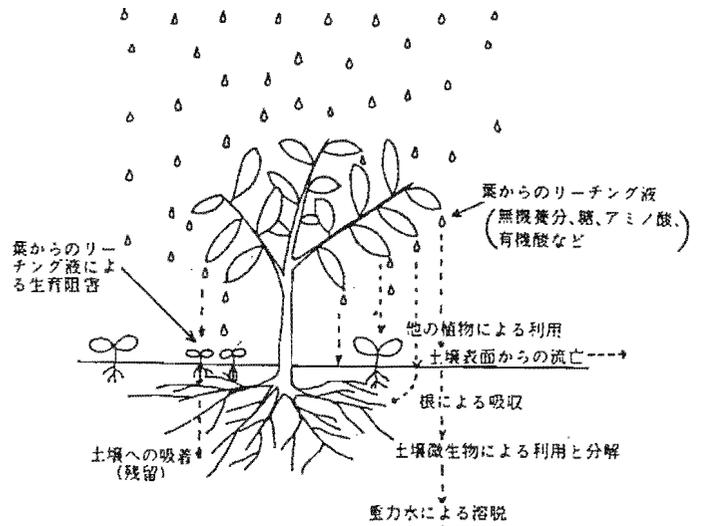


表1 30カ月間の酸性雨処理終了時の土壤置換性塩基および置換性H<sup>+</sup>量 (Kellyら, 1987)

土壤の深さ (cm)	雨の PH	μg g <sup>-1</sup>				H
		Ca	K	Mg	Na	
0-3.5	5.7	640 a Z	107	70 a	31	1.6
	4.5	740 a	96	65 a	30	1.2
	4.0	623ab	89	55 a	29	1.9
	3.5	380 b	85	39 b	30	2.1
3.5-20	5.7	400ab	49	29	30	1.5
	4.5	410 a	44	30	28	1.1
	4.0	450 a	49	31	29	2.0
	3.5	320 b	38	25	26	1.6

Z 異なるアルファベット文字間は5%で有意。

Y 20~100cmの間の層では有意差がなかったので省略した。

## ポイント

1. 酸性雨は土壤中のカルシウムやマグネシウムを著しく溶脱させ、土壤の酸性化を助長させる。
2. 降雨は葉から様々な物質を溶出し土壤に注ぐ。この溶出液には無機養分、炭水化物、アミノ酸、有機酸などの物質が含まれている。

## 草生法

草生栽培は、前述のように、土壌の浸食防止だけでなく、

- (1)腐植源としての有機物の補給。
  - (2)草の根による土壌の物理性の改善。
  - (3)VA菌根菌などの有用微生物の繁殖。
- などが期待できる。

図2に示すように、長期にわたって耕作した土壌は、永年草地と比べて、ち密な土壌構造（カンキツ根は山中式硬度計で20mm以上の土壌を貫通できない）になっており、特に空気の占める容積が著しく少ない。また、筆者らは暖地産のパヒアグラスを用いた草生園において、VA菌根菌がカラタチ根によく共生していることを報告している。

この菌はリン酸の肥効を高めるといわれ、カンキツ樹にとっては有益な菌である。（本誌2月号参照）

ところで、これまでに草生栽培用として導入された草種はほとんどが北欧原産のものであるために、春先に草の生育が旺盛となり、カンキツ樹との無機養分の吸収をめぐって競合が発生しやすい状態にあった。カンキツ栽培において、春枝の確保は高収量を維持するために重要であり、草の導入によって春枝の伸長や充実が阻害されるのであれば、草生栽培の意義を失う。

### 図2 隣接している石灰質植土の構造の比較

(a)連続して耕作、(b)およそ1世紀の間、草地下にあった（ロウとスタート、1974年、田中訳）



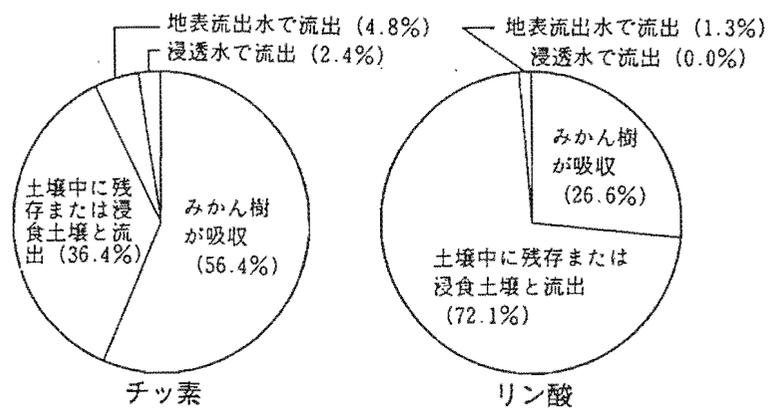
# はのほなし

## 雨と土(2)



石井孝昭

図1 施肥したチッ素とリン酸の行方（傾斜15度、10年間）  
（四国農試）



現在、カンキツ園に適する草種の探索が行われているが、南方型の草種、例えばパヒアグラスなど、あるいはこれらとクロバなどのマメ科の牧草（窒素を固定する根粒細菌が共生、本誌2月号参照）との混植は有望のように思われる。南方型の草は春先の生育が緩慢であるために、カンキツ樹との無機養分の競合が発生しにくい。

図3には傾斜地園における草生法を示している。

最近、抑草剤の試験が行われている。除草剤のように草を枯らすのではなく、抑草剤によって生育を抑制し草丈を低くするように草管理を行えば、土壌の保全には有効であろう。

# 土壌浸食

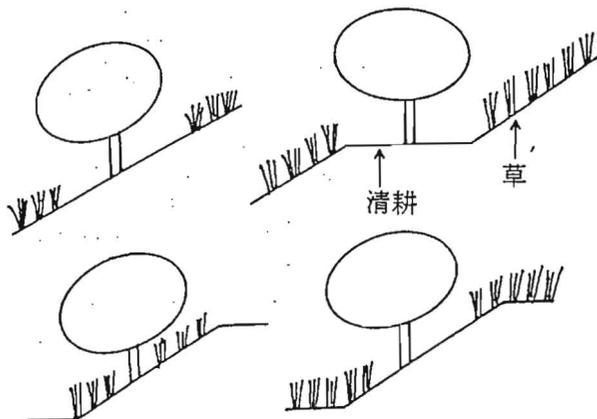
わが国の果樹園において、全栽培面積の約60%を傾斜地園が占めており、その半分が傾斜角15度以上の急傾斜地園である。特に、カンキツ園では急傾斜地園が多く、また、除草剤を使用した清耕法が広く普及しているために、土壌浸食の問題を潜在的に有している。

多雨は土壌浸食の原動力として働き、耕土、また、その中の肥料成分を流亡させ(図1)、土壌の生産性を減退させる。

この防止法として、帯状栽培(等高線にそって帯のように作物を栽培する方法)やテラス(段畑)栽培が挙げられる。また、表1に示すように、草生法やマルチ法も有効な管理法である。

るので注意を要する。また、ヒノキ樹皮の場合は樹皮中に生育阻害物質が多量に含まれているので、腐熟処理なしにマルチ資材としては使用できない。(表2)それゆえ、製材所から樹皮を入手するときには、スギ樹皮とヒノキ樹皮を分けることを忘れてはいけない。

図3 傾斜地園における草生法の例



## ポイント

1. 傾斜地園の土壌浸食を防止する管理法としては、草生法やマルチ法が適する。
2. 草生法に用いる草は、樹との養水分の競合が起こりにくいものを選択しなければならない。
3. マルチ資材としては、有機物や化学製品が用いられる。イナワラの入手が困難なところでは、スギ樹皮の利用が効果的である。

# マルチ法

マルチ(土壌表面の被覆)は、土壌浸食防止とともに、雑草防除、土壌水分の蒸発抑制、地温の調節、また、有機資材を使用したときは有機物の補給などに効果がある。しかし、最近ではイナワラなどのマルチ資材が入手しにくい状態にある。筆者らは、多量に廃棄・焼却されているスギやヒノキの樹皮をマルチ資材として利用し、カンキツ樹に及ぼす影響を調査したところ、スギ樹皮は生のままでも10a当り乾物4tまでは樹の生育(表2)や果実の品質に悪影響が見られず、有効なマルチ資材となることを明らかにした。ただし、スギ樹皮を腐熟させずに土壌に埋めると樹の生育が抑制されることがあ

表1 みかん園における土壌浸食の防止法とその効果(井田)

	①土壌面に当たる雨滴衝撃を回避して、土壌分散を防止する。	②土壌の透水性を強化して、地表流出水の発生を抑える。	③土壌の物理性を改良して、保水力の増強と浸食に対する抵抗性を高める。	④地表流出水の流速を弱めて、掃流エネルギーを減少させる。	⑤植物根による土壌保持力を活用する。
草生管理	◎	○	○	◎	◎
雑草のマルチ	◎	○	○	◎	
深耕と土壌管理		◎	◎	◎	
テラス化				◎	
暗きよ設置		◎		◎	
明きよ設置				◎	

(◎:きわめて有効、○:有効)

表2 スギ及びヒノキ樹皮マルチ処理がイヨカン若木の生育に及ぼす影響

	樹高 (m)	樹冠面積 (m <sup>2</sup> )	幹の太さ (cm)
対照区	1.10±0.05	0.89±0.07	3.74±0.22
スギ樹皮マルチ区 (15kg FW/樹)	1.26±0.04	1.10±0.12	3.96±0.20
ヒノキ樹皮マルチ区 (15kg FW/樹)	0.93±0.06	0.49±0.06	3.14±0.14

注) 1986年4月3日に苗木を植え付けマルチ処理をし、1988年4月12日に調査した。平均値±標準誤差。  
15kg FW(生体重)/樹は4 tonDW(乾物重)/10aに相当する。

# 土づくり

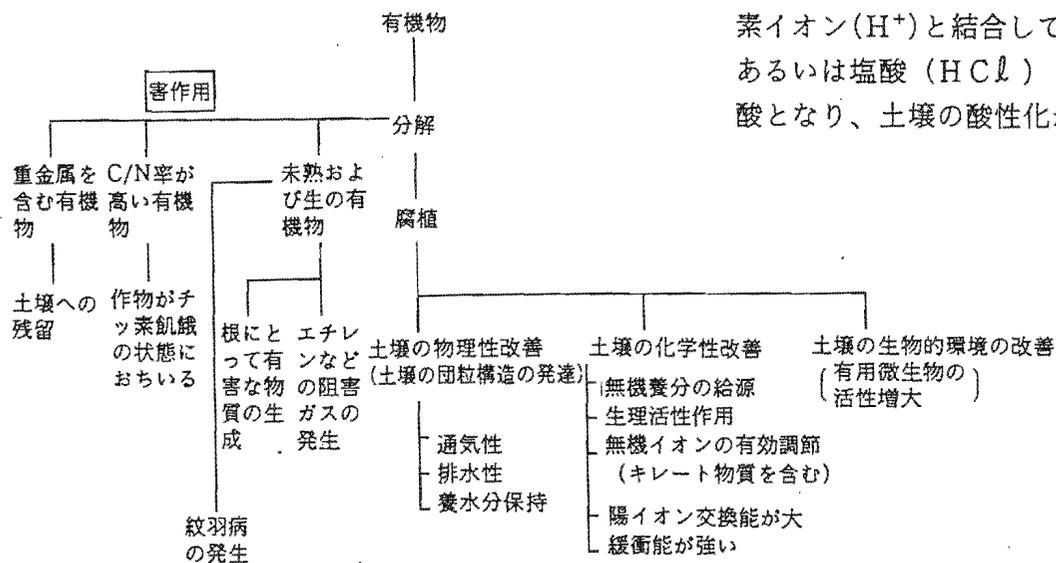
傾斜地園は、機械化しにくく生産効率が悪いが、水管理を上手に行えば果実の品質を高めやすいという利点がある。しかし、傾斜地園の多くは、一般にカンキツ樹の根系が浅い。根の生長が制限されると、樹の生育は劣り、毎年品質のよい果実を安定して得ることが難しくなる。このために、土壌への有機物施用によって下層土改良を行い、有効土層を広げる必要がある。

## 有機物施用の効果

有機物施用の効果として、図1に示すように、(1)土壌の物理性の改善、(2)土壌の化学性の改善、(3)土壌の生物性の改善、が挙げられる。近年、化学肥料一辺倒の栽培法から有機物を使用した栽培法へと見直しが行われているが、これは化学肥料単用による土壌の劣化、例えば土壌の酸性化や土壌の硬化などが問題になるからである。

硫酸、塩安などの窒素肥料、硫酸カリ、塩化カリなどのカリ肥料を使用した場合、窒素あるいはカリ成分が作物に吸収された後に残る硫酸根( $\text{SO}_4^{2-}$ )や塩酸根( $\text{Cl}^-$ )が、土壌の水素イオン( $\text{H}^+$ )と結合して、硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )あるいは塩酸( $\text{HCl}$ )という極めて強い酸となり、土壌の酸性化が助長される。

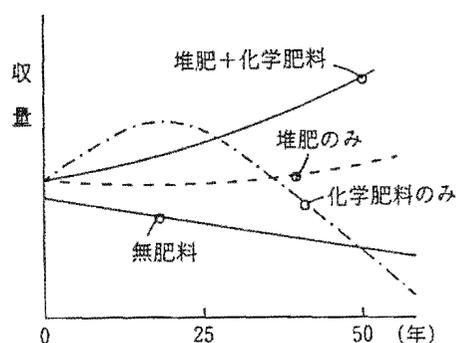
図1 有機物施用の効果とへい害



また、土壌の有機物が不足してくると、微生物の活動が低下し、団粒構造の形成が悪くなり、土壌の硬化が発生してくる。

図2は、イギリスのローザムステット農試で有機物施用の効果进行调查した結果である。すなわち、化学肥料のみでの栽培は始めは成績がよいが、50年も経つと収量が無肥料区よりも著しく低下した。しかし、堆肥と化学肥料の併用区では収量が毎年増加し、50年後には最も収量が多くなったと報告している。

図2 堆肥と化学肥料の効果 (ローザムステット農試)



# 土のはなし

## 土づくり(1)



石井孝昭

表1 有機物の種類と特性

有機物	特性および注意事項
家畜糞尿、魚かす、油かす、大豆かすなど	C/N率が糞尿やかすの種類によって異なるが、5～20倍程度である。これらは肥料成分を比較的多量に含む有機肥料である。しかし、土壌の物理性の改善ではほとんど効果が望めない。
雑木、せん定枝など	C/N率が50以上であるが、中には著しく高いものもある。肥料養分の供給よりも深耕による土壌の物理性の改善に有効。
山野草、稲ワラ、麦ワラ、モミガラなど	山野草は、草種によりC/N率が著しく異なる。稲ワラ、麦ワラ、モミガラはC/N率が70前後。多くはマルチ材として使用されている。またモミガラは暗きょ資材としても有効。最近、稲ワラが不足している。
パーク堆肥、ピートモス、その他、市販の有機系土壌改良剤	C/N率を20～30に調整されているが、パーク堆肥の中にはC/Nが高いものがあるので注意する。また、ピートモスは土壌を酸性化しやすいので、多量施用は注意を要する。これらは、いずれも肥料養分の供給の点では効果が低い。
オガクズ、チップカス、生パーク、製紙スラッジなど	これらの資材はC/N率が著しく高く、700前後のものが多い。それゆえ、チッ素飢餓を誘発しやすい。近年、家畜糞尿を混合し、C/N率を調整したオガクズ堆肥などが市販されているが、使用にあたっては十分に注意する必要がある。
各種汚泥、コンポスト	各種工場の活性汚泥、都市下水汚泥、し尿処理汚泥などで、土壌の物理性の改善効果よりも有機質肥料としての効果が認められ、C/N率は一般に低い。しかし、物により肥料養分のフレが著しく多く、また、これらの有機物には重金属を含んでいるものがある。それゆえ、積極的な使用は慎んだ方がよいと思われる。

\*C/N率が20以下ならば、柑橘樹と土壌微生物との間のチッ素の競合が発生しない。

影響はほとんどなくなる。しかし、堆積期間が3～4カ月のものは十分に腐熟されておらず、フェノール物質の存在やエチレンの生成が見られる。これらの堆肥を利用するときは、少なくとも6～7カ月以上は堆積したものを、また可能であれば一層の安全のために、1年間は堆積したものをを用いた方がよい。

なお、生の有機物を土壌に埋め込んだとき、根が紋羽病に侵され、樹が枯死することがある。この病気が発生した園では、り病した樹を焼却し、植え穴を十分に消毒する必要がある。現在、紋羽病に効果がある農薬としてフジワン粒剤が登録されている。

## 有機物施用によるへい害

有機物の施用は、前述のように良い面だけでなく、取り扱いを誤ると樹の生育を阻害することがある。図1に示すように、(1)重金属を含む有機物、(2)C/N(炭素/窒素)率が高い有機物、(3)未熟あるいは生の有機物、の施用に当っては特に注意を払う必要がある。

表1は、現在樹園地に施されている代表的な有機物を示している。

これらの中で、(1)項に入るのが各種汚泥やそれらに準ずる都市ゴミなどのコンポストである。これらの有機物は普通、カドミウム、水銀、鉛、六価クロム、ヒ素、PCBなどの有害物質を含んでいる。これらの含有量が法定基準値以下であっても、土壌に残留しやすいので樹園地に搬入するのは望ましくない。

C/N率が高い有機物にはオガクズ、パーク(樹皮)などがある。これらを施用した場合には、微生物が有機物を分解するとき、土壌中に既存の無機態窒素までも消費してしまうために、樹が窒素飢餓(窒素不足)の状態に陥ることが知られている。

さらに、未熟あるいは生の有機物の場合には、これらに含まれるフェノール物質などの根の生長を抑制する物質、あるいはそれらの分解過程において生成されるエチレンなどの阻害ガスなどによって、樹の生育が抑制されることがある。最近、よく使用されている樹皮堆肥やオガクズ堆肥の場合は、家畜ふん尿が混合されているために、窒素飢餓による悪

### ポイント

1. 土づくりには有機物の施用が効果的である。
2. 有機物施用は、土壌の理化学性の改善や土壌の生物環境の改善に効果がある。
3. 使用有機物には、重金属が含まれず、C/N率が低く、さらにはよく腐熟させたものをを用いる必要がある。

# 有機物の施用量

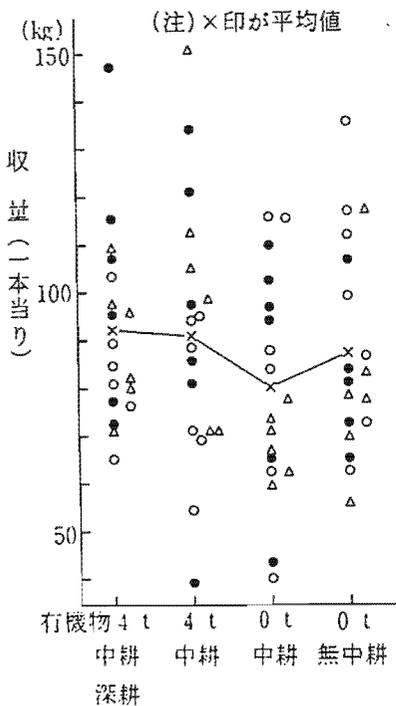
土壌、特に団粒構造の保持には、良質な有機物から土壌微生物の働きによって生成される多糖類などの物質が重要な働きを示しており、土壌中の有機物の総量との関係は少ない。

それゆえ、有機物施用において大事なことは、“良質な有機物を適量用いる”ことにある。良質な有機物といっても高価なものが必要なのではなく、前述した有機物以外で問題のあるものを使用しなければ、有機物の種類の違いによる効果はさほど差異がないようである。

一般に、西南暖地では地温が高く、微生物の活動もさかんなために有機物の分解が速い。そのために、計算上では、深さ30cmの土壌に対して10a当りおよそ3tの堆肥を毎年施用する必要があるようである。しかし、施用量の決定は、カンキツの品種、有機物の種類、圃の土壌状態などによって判断しなくてはならない。

概して、中晩生カンキツ類の方が温州みかんよりも多量に施用する必要がある。また、肥料効果が出やすい厩(きゅう)肥などでは、それに含ま

図1 4カ年の累積収量  
(温州みかん)  
鶏ふん・おがくず堆肥使用  
(峯ら、1982年)



# はのはなし

土づくり(2)



石井孝昭

表1 現地における腐熟度判定基準

(原田、1984)

色	黄～黄褐色(2)、褐色(5)、黒褐色～黒色(10)
形状	現物の形状をとどめる(2)、かなりくずれる(5)、ほとんど認めない(10)
臭気	糞尿臭強い(2)、糞尿臭弱い(5)、堆肥臭(10)
水分	強く握ると指の間からしたたる…70%以上(2)、 強く握ると手のひらにかなりつく…60%前後(5)、 強く握っても手のひらにあまりつかない…50%前後(10)
堆積中の最高温度	50℃以下(2)、50～60℃(10)、60～70℃(5)、70℃以上(20)
堆積期間	家畜糞だけ…20日以内(2)、20日～2カ月(10)、2カ月以上(20) 作物収穫残渣との混合物…20日以内(2)、20日～3カ月(10)、3カ月以上(20) 木質物との混合物…20日以内(2)、20日～6カ月(10)、6カ月以上(20)
切り返し回数	2回以下(2)、3～6回(5)、7回以上(10)
強制通気	なし(0)、あり(10)

(注) ( )内は点数を示す。  
これらの点数を合計し、未熟(30点以下)、中熟(31～80点)、完熟(81点以上)とする。

れる窒素などの成分量を把握し、多量施用による果実の着色遅延や品質低下を起こさないように注意する必要がある。

よく腐熟させた鶏ふんおがくず堆肥の使用による試験では、10a 4t施用によって土壌の物理性が改善され、収量が増大するという報告がある。(図1)

## 有機物の利用

使用する有機物の条件として、次の3点が大切であることを前回示した。すなわち、(1)重金属を含まないもの、(2) C/N率が低いもの、(3) 十分腐熟されたもの、である。この内、(1)と(2)は機器分析などによって容易に検討できるが、(3)についての判定は難しい。それゆえ、現在のところ、有機物や、それからの抽出物にコマツナ、ハツカダイコンなどの種子を直接播き、発芽や生育の程度を観察し判定する方法がとられている〔河田弘 バーク(樹皮)堆肥 博友社〕。なお、現地ですぐに判定したいときには、原田の手法(表1)が比較的有効のように思える。

さらに、有機物の利用にあたっては、有機物の施用量や施用法についても注意を払う必要がある。

## 有機物の施用法

有機物の施用法を以下に示す。

### 1) 深 耕

有機物の施用を伴った深耕は、下層土の改善に著しい効果があり有効土層を広げる。それゆえ、深耕は果樹栽培における最も重要な作業目標である。

密植園では、深根の影響が少ないタコツボ深耕が適する。しかし、水田転換園のように排水性が劣るところでは、有機物の施用がかえって過湿の害を助長させることがあるので注意する必要がある。(表2)このような園では、タコツボ深耕よりも、排水を考えた条溝深耕が適する。

### 2) 中 耕

下層土の物理性が良好な園では、有機物を施し表層土を軽く中耕する程度で下層土

の物理性を保全することが可能である。しかし、隔年中耕あるいは部分中耕にし、断根の影響を少なくする必要がある。図2に示すように、深耕しても全園中耕を行うと表層の細根を切断することになり、収量が低下することが報告されている。

### 3) マルチ

マルチ(mulch)については、本誌9月号を参考にさせていただきたい。

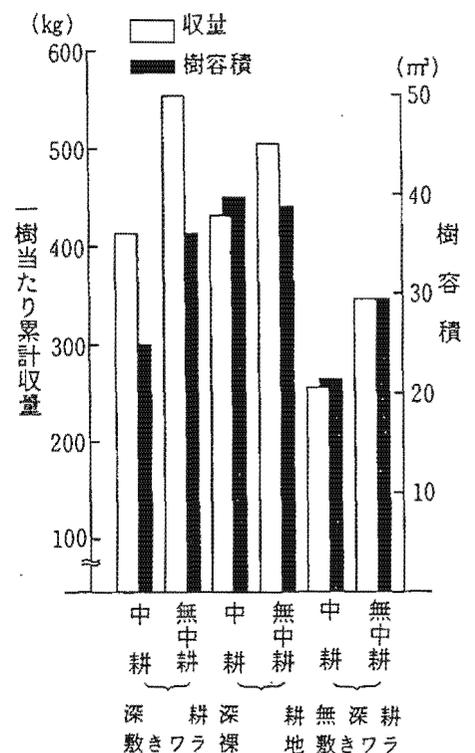
なお、冷気が停滞しやすいところ、あるいは湿潤なところでのマルチは、冷害、あるいは根腐れを誘発しやすいので特に注意を要する。

表2 有機物およびかん水処理がカンキツ根の生育に及ぼす影響

処 理 区	対照区	かん水区
有 機 物 無 施 用 区	0	3
鶏ふん・おがくず堆肥区(乾物40g)	0.3	3.3
鶏ふん・おがくず堆肥区(乾物400g)	0.7	4.3
カンキツせん定くず未熟区(乾物40g)	0.7	5
カンキツせん定くず腐熟区(乾物40g)	0	2.7

- 1) 甘夏を用い、1/5,000aのワグナーポットで試験した。
- 2) カンキツせん定くず腐熟区では尿素を加え約1年間腐熟処理した。
- 3) 0:健全、1:細根が少、2:枯死した根(全根の1-25%)、3:枯死した根(26-50%)、4:枯死した根(51-75%)、5:枯死した根(76-100%)

図2 土壌管理と樹容積・収量(12年間)(栗山ら、1976年)



### ポイント

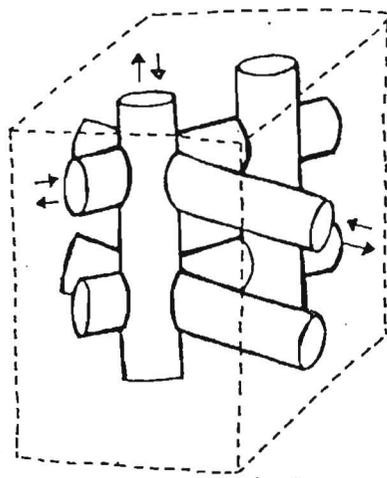
1. 有機物の腐熟度の判定には、一般に幼植物を使用した検定法が用いられている。
2. 有機物の施用量は、普通10a当り3t前後を目安にすればよいが、カンキツの品種、有機物の種類、園の土壌状態などを踏まえて、良質の有機物を適量用いる必要がある。
3. 有機物の施用法には、深耕、中耕およびマルチの方法があり、それぞれにおいて注意する点がある。

# ゼオライトの性質

ゼオライトは、粘土と同じように地中でつくられた二次鉱物である。二次鉱物とは、土の中で一度溶かされた岩石の成分が化合し、再び沈澱してできたものであり、他の土壌粒子（砂、シルトなど）のように風化によって岩石が粉末状になったもの（これらを一次鉱物という）とは本質的に違っている。

ゼオライトは縦、横、上下に穴が通じており、(図1) この穴の中でイオン交換が行われている。また、この穴は臭気性のガス（アンモニアガス、メルカプタンなど）、空気、水蒸気などのガスの出入りもできる。それゆえ、

図1 ゼオライトの構造  
ゼオライトは穴だらけの構造をもっている。



粘土鉱物であるモンモリロナイトの3倍以上ものイオン交換能力を有している。(表1) しかも土壌 pH による影響も少なく、永久荷電を帯びている。(本誌3月号参照) なお、人工ゼオライトでは、ケイ素/アルミニウム原子数比をいろいろと変えたものがつくられており、カチオン交換容量(CEC、本誌3月号参照) が100g 当り数 me から数百 me のものが合成されている。

表1 ゼオライトと粘土鉱物のカチオン交換容量 (CEC)

	CEC (me/100g)
カオリナイト	3
ハロサイト	20
モンモリロナイト	60
ゼオライト	200

# はのはなし

## 土づくり(3)

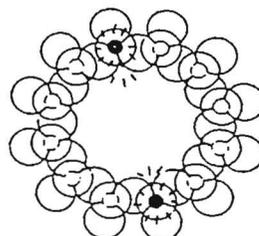


石井孝昭

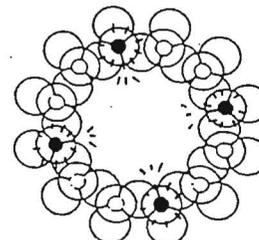
工業的にもその利用が注目されており、例えば、脱臭剤、乾燥剤、浄化剤、磨き砂、洗剤などの資材に使用されている。

ゼオライトのイオン交換能力は、図2に示すように、ケイ酸の結晶構造中のアルミニウムの数が多いほど（つまり、ケイ素/アルミニウム原子数比が小さくなるほど）高まる。普通、ゼオライトは、1:1型粘土鉱物であるカオリナイトの数十倍、ハロサイトのおよそ10倍、2:1型

図2 ゼオライトのケイ酸12員環 (松尾)



ケイ素/アルミニウム 原子数比=5



ケイ素/アルミニウム 原子数比=2

大きな白丸は酸素原子、小さな白丸はケイ素原子、小さな黒丸はアルミニウム原子を表す。ゼオライトでは、ケイ素原子と入れ換わったアルミニウム原子の位置で、イオン交換が行われる。したがって、アルミニウムの多いほど、つまり原子数比が小さくなるほど、保肥力は強くなる。下は、上の2倍の保肥力をもっている。

## ゼオライトとは

最近、土壌の改良に用いられているゼオライト(zeolite、沸石)という鉱物は、アルミニウム、ナトリウムを含むケイ酸塩水和鉱物であり、天然のものと人工のものがある。わが国で採掘されている天然ゼオライトはモルデナイトとクリノプチロライトの2種であり、品質が良く、また、埋蔵量も多い。

害が軽減される傾向がみられた。(表2)ゼオライトはヒノキ樹皮からの生育阻害物質を吸着する能力があるのだろう。

しかし、市販のゼオライトの中には粒子が細かいものもあり、多量施用による排水不良には注意を要する。また、モンモリロナイトなどのイオン交換能力が高い粘土を含む土壌ではゼオライトの効果が低いこともある。それゆえ、ゼオライトの使用は肥効の劣る土壌、あるいは、化学肥料や農薬の乱用によって老朽化が進んだ土壌で効果的である。

## ゼオライトの利用

前述のように、CECが高いゼオライトを土壌改良剤として用いたとき、(1)肥料養分の保肥力を高める、(2)化学肥料の過剰施肥を緩衝する、(3)農薬などによる弊害を軽減させる、(4)粒径の大きいものは土壌の通排水を良好にする、などが期待できる。(図3)ヒノキ樹皮マルチによるカラタチの生育抑制の軽減に及ぼすゼオライト施用の効果を調査した筆者らの結果では、ゼオライト10%施用で生育阻

図3 土壌改良剤として使われたときのゼオライトの役割(松尾ら)

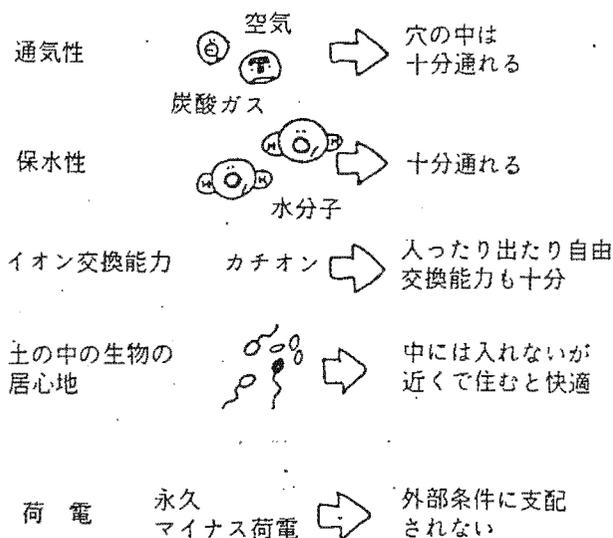


表2 ゼオライト施用がヒノキ樹皮マルチによるカラタチ実生の生育抑制の軽減に及ぼす影響(未発表)

	全生体重 (g)	地下部重 (g)
対照区	10.3 a <sup>z</sup>	4.1 a
ヒノキ樹皮マルチ+ゼオライト 0%区	4.2 b	1.5 b
ヒノキ樹皮マルチ+ゼオライト 10%区	8.9 a	2.9 b
ヒノキ樹皮マルチ+ゼオライト 20%区	7.2 ab	2.4 b

z ゼオライトと花こう岩土壌を容量比で混合して用いた。また、ヒノキ樹皮マルチは2 t/10a相当を施用した。

y ダンカンの多重範囲検定(5%レベル)。同一の記号があるときは有意差がない。

### ポイント

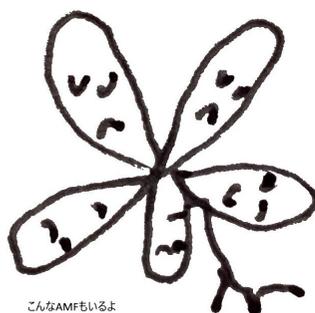
1. ゼオライトはイオン交換能が高く、肥効を良好にする。
2. ゼオライトの使用は、化学肥料の過剰施肥、農薬の乱用などで荒廃化していく土を保全するのに効果がある。

# はのはなし

## 炭と共生微生物

ダイズ栽植土壤に炭を施用したとき、根において根粒細菌やVA菌根菌の感染率が高まることを小川は報告している。これらの菌はダイズ根に共生し、その生育を助ける微生物である。カンキツ樹では、根粒細菌は感染しないが、VA菌根菌は共生する。

しかし、本誌2月号にも紹介したように、現在のカンキツ園ではVA菌根の形成状態は極めて悪いといえる。そこで、筆者らは菌根形成が劣っているカンキツ園にモミガラ炭を施用して菌根感染率を調査したところ、炭施用によって菌根形成が著しく大となったこ



こんなAMFがいるよ

土づくり(4)

石井孝昭

表1 炭施用が温州みかん根における菌根感染率に及ぼす影響

処理区	菌根感染率 (%) <sup>z</sup>
対照	6.4 ± 1.3 <sup>y</sup>
モミガラ炭	41.5 ± 2.5
米ツガパーク炭	11.2 ± 0.2
カンキツジュースかす炭	12.0 ± 1.2

<sup>z</sup> 菌根感染率=VA菌根菌によって感染された根の長さ/観察した根の長さ×100

<sup>y</sup> 平均値±標準誤差

とを報告している。同様に、パーク(樹皮)、カンキツジュースかすなどを炭にして調査したときにも菌根形成は良好となった。(表1) また、炭施用によって菌根感染率が高まった樹は生育が旺盛となり、葉内のリン含量も増大する傾向がみられた。(表2、図1)

なお、施肥は、1年目は愛媛県の施肥基準通りに行ったが、2年目はリンだけ全く施さなかった。

このような炭の効用がみられた原因の一つには、炭がこの菌の生育を阻害する農薬(例えばトップジンM、ベンレート、ロブラール)などの阻害物質をよく吸着することと関係があるように思われる。

表2 炭施用が温州みかん樹の生育に及ぼす影響

処理区	全生体重 (g)	地下部重 (g)	新しょう重 (g)	根長 (m) <sup>z</sup>		
				25/6/88	8/10/88	8/11/89
対照	713 ± 55 <sup>x</sup>	284 ± 4	102 ± 19	3.1 ± 0.0	8.4 ± 0.2	12.3 ± 2.0
モミガラ炭	1123 ± 111	507 ± 34	177 ± 28	5.7 ± 0.3	10.1 ± 0.2	18.3 ± 1.1
米ツガパーク炭	1091 ± 50	425 ± 21	250 ± 26	2.7 ± 0.1	10.4 ± 1.0	17.1 ± 0.4
カンキツジュースかす炭	1150 ± 39	511 ± 37	208 ± 19	3.5 ± 0.7	10.7 ± 0.8	19.4 ± 0.3

<sup>z</sup> ルート・ボックスのガラス面に観察された根の長さを定期的に測定した。

<sup>y</sup> 各種類の炭を混合した山砂(重量比で2%施用)を用い、1988年4月4日に苗木を植え付けた。1989年12月5日に解体調査を行った。

<sup>x</sup> 平均値±標準誤差

カンキツ等の樹木類では2 t/10 a(約1.5%(重量比))で良いが、蔬菜・花卉類などでは0.5%(重量比)前後でなければ、生育障害が出やすい。

### ポイント

- 炭は土壤のpHや通・排水性の改善、地温の上昇促進およびカリなどの無機養分の供給に効果がある。
- 炭は土壤の微生物相を改善する。特に作物における菌根形成を良好にする。
- 炭は分子吸着能力が高く、生育阻害物質などをよく吸着する。
- 炭はアルカリ性が強いために、施用量は2 t/10 aまでとする。

## 炭の利用

炭は、われわれの家庭生活の中で、冷蔵庫の脱臭剤、水道水の浄化剤などに広く利用されている。

農業面では、古くから土壌改良資材として使用されており、土壌の pH や通・排水性の改善、地温の上昇促進、カリなどの無機養分の供給などに効果のあることが知られている。最近では土壌中の微生物相を改善することも明らかにされている。

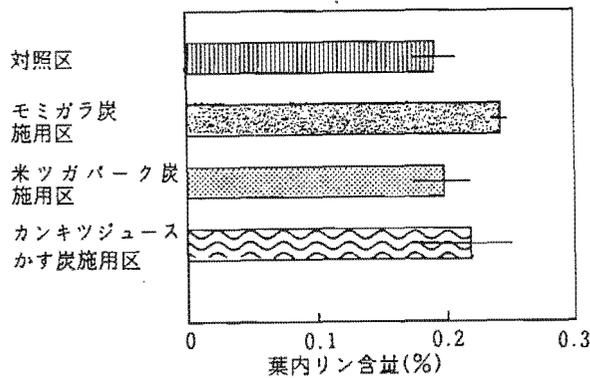


図1 炭施用が温州みかん葉内リン含量に及ぼす影響(図中の水平な線は標準誤差をしめす。)

炭はアルカリ性を示すので、多量に施すとカンキツ樹に悪影響が出るという問題がある。炭の施用に当っては、10 a 当り 2 t (表 3 の炭 1.5% 施用区にほぼ相当する) までとし、施用効果を高めるために土壌とよく混合することが望ましい。

## 炭と生育阻害物質

炭は、分子吸着能力が高く、低級炭化水素などのガス状の物質やフェノール水酸基、カルボキシル基などを持つ物質をよく吸着する。炭には数多くの小孔が見られるが、特にヤシガラ炭の場合は他の炭と比べて小孔の数が多い。(図 2) このように小孔が多い構造の炭ほど表面積が大であり、吸着能力が高いと考えられる。

炭に吸着される物質の中には作物の生育に悪影響を及ぼすものがある。例えば、低級炭化水素の一つで、作物の老化を促進するホルモンであるエチレン、あるいは作物の生育を著しく阻害する安息香酸などのフェノール物質である。これらの物質は、未

熟な有機物、例えば堆積期間が短い樹皮堆肥やおがくず堆肥などを施用した土壌からしばしば検出される。表 3 に示すように、未熟な鶏ふん・おがくず堆肥を施用した区ではカラタチの生育が著しく阻害されたが、この堆肥にモミガラ炭あるいはカンキツせん定枝炭を加えた区では生育阻害が軽減された。この傾向は、特に炭を 1.5% 施用した区で顕著であった。

このように、炭はカンキツ園土壌の改良に有

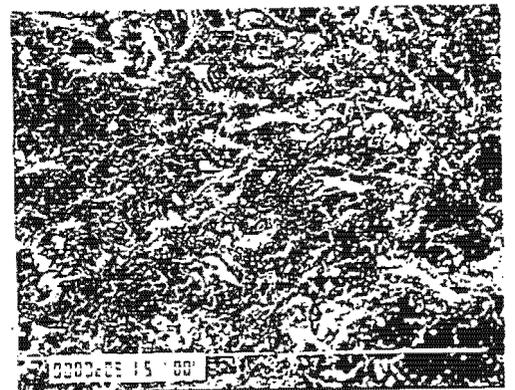


図2 ヤシガラ炭の走査型電子顕微鏡像 (×500)

表3 炭施用と未熟鶏ふんおがくず堆肥 (UFSC) によるカラタチ樹の生育阻害の発現

処理区	全生体重 (g)	地下部重 (g)
対照	40.0±3.6 <sup>x</sup>	21.3±2.0
UFSC	14.7±4.0	8.4±2.7
UFSC+モミガラ炭 (1.5%) <sup>y</sup>	42.2±2.5	24.7±0.8
UFSC+モミガラ炭 (3.0%)	35.7±3.0	20.9±1.9
UFSC+カンキツせん定枝炭 (1.5%)	42.4±9.0	24.6±5.8
UFSC+カンキツせん定枝炭 (3.0%)	34.2±2.8	20.3±1.7

z UFSCと花こう岩土壌を 1 : 2 (容量比) に混合したものを扱い、カラタチ実生苗 2 年生樹を 1/5,000 a. のポットに植え付けた。なお、対照区は花こう岩土壌のみとした。解体調査は実験開始後 5.5 カ月目に行った。

y 炭は重量比で施し、UFSC施用土壌とよく混和させた。

x 平均値±標準誤差

# 土の微生物

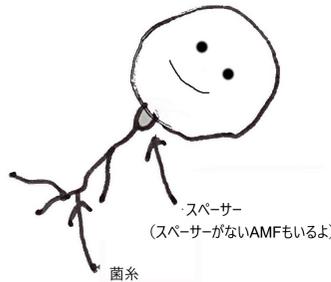
通常、微生物として取り扱われるものは原生動物(アメーバなど)、藻類、菌類、細菌類、クラミジア、リケッチア、マイコプラズマおよびウイルスである。(本誌1990年1月号参照) この内クラミジア、リケッチアおよびマイコプラズマは、細菌とウイルスとの中間に位置すると考えられているが、動物に対する病原菌として研究されているだけであり、土壌中の存在についてはまだ不明である。

土壌中での行動がよく研究されている微生物は、細菌類(細菌、放線菌)および菌類(糸状菌)であり、特に放線菌についての調査はかなり進んでいる。これは放線菌の中に抗生物質を生産するものがあり、この抗生物質が医薬、農薬などに利用されているからである。

健全な土壌では、上述したさまざまな微生物が生息している。しかし、連作障害が発生している土壌では微生物相が単一化し、病原性の微生物が多くみられるという。(図1) ほぼ同様な現象が土壌の物理性や化学性が劣るところでも観察されている。

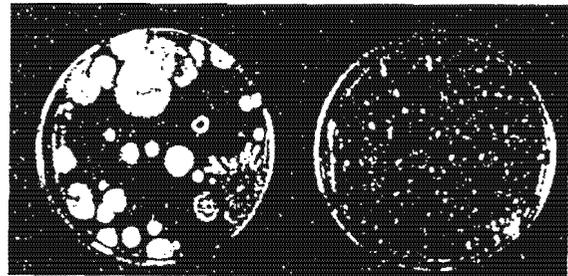
# はのほなし

## 土づくり(5)



石井孝昭

図1 土壌の微生物相 (日本土壌微生物研究所) 滋賀県の野菜畑の土



健全な生育の土 連作障害のでている土  
連作障害のでている畑土の微生物相は種類が少なく、病原性のカビが多くみられる。

表1 微生物資材に表示された効果 (堀)

	主 効 果	副 次 効 果
微生物代謝促進	有機物腐熟促進 (堆肥含での堆積土中堆肥 (畑水田))	腐植酸をつくる、難分解性土壌有機物の分解脱臭、有機ガス発生防止
	窒素代謝促進-窒素固定、硝化、脱窒、有機化	過剰窒素の抑制、倒伏防止、肥料利用率の向上
	各種微生物活性を高める	肥料利用率の向上、難溶性無機成分の有効化、微量成分の補給、EC低下、中和、有機成分により作物の生育促進、物理性改良 (団粒化、通気性、保水性、保肥力)、溶脱防止、地温上昇
微生物相改善	拮抗菌、天敵菌接種	土壌病害軽減、センチュウ防除、連作障害軽減
	微生物密度の増加、多様化	各種の代謝の円滑化、地力向上、連作障害に対する抵抗力を強める
	根圏微生物相の改善	種子粉衣により発芽促進、作物の健全化
総合的なもの	根の発達をよくする-作物の健全化、増収、登熟向上、品質向上 (日持ち、韌度、ビタミンB、C、アミノ酸、色素) 地力向上 冷害に強い 連作障害軽減	

注) パンフレットに表示されたものを、関連のありそうな項目に分けたものであり、因果関係が証明できていない

表2 マメ類根粒菌の窒素固定力 (松代)

作物名 (品種)	区 別	1鉢当り乾物収量		1鉢当り窒素収量	
		重量 (g)	比率 (%)	量 (mg)	比率 (%)
ダイズ (十勝長葉)	不接種	4.3	100	63.6	100
	接種	22.9	553	737.9	1,160
インゲンマメ (手無中長鶉)	不接種	3.0	100	42.9	100
	接種1*	2.9	99	52.9	123
	接種2**	5.5	183	144.0	336
アズキ (円葉1号)	不接種	1.5	100	29.6	100
	接種	4.0	267	134.4	454
エンドウ (札幌青手無1号)	不接種	4.1	100	69.7	100
	接種	18.1	441	581.5	834

注) 1/5,000 a ポット試験  
\*無効菌、\*\*有効菌

### ポイント

1. 土の生物性を改善するためには、まず、土の理化学性を改良するという間接的な方法で対処する必要がある。
2. 微生物の利用として、微生物資材、根粒細菌などが製品化されている。

## 土の生物性の改善

土づくりにおいて、(1)化学性、(2)物理性、(3)生物性、をいかに改善し保持するかが重要な点である。しかし、これらの要素の中で生物性を改善する方法は難しい。

例えば、土壤中の有害微生物を駆除するために農薬を使用した場合、有益な微生物をも同時に殺し、一時的にせよカンキツ樹の生育を阻害するからである。現在の農薬には有害微生物を選択して防除できるものがない。

それゆえ、土の生物性を改善するためには、まず、土の物理性や化学性を改善する、という間接的な方法で対処する必要がある。

すでに多種多様な微生物が生息しており、特別な土壤消毒などを併用することなく、微生物資材のみで土着の微生物相を変えることは難しいからである。

### ◎根粒細菌(根粒菌)◎

根粒細菌はマメ科作物に共生し、大気中の窒素を固定する微生物である。(本誌1990年2月号参照) この菌を利用して作物の生産向上をはかる技術は、古代ギリシアやローマ時代から取り入れられていた。

表2に示すように、播種前に種子に根粒細菌を接種した個体では、作物の種類や品種の違いによって接種効果に差異はみられるものの、いずれのマメ科作物においても乾物収量や窒素収量が増大している。

ただし、マメ科作物の種類によって根粒細菌の種も替えて接種する必要がある。(表3) 現在、各種の根粒細菌が市販されているので、マメ科作物の栽培歴がない畑や新墾地などでマメ科作物の導入をはかるときには根粒細菌の人工接種(図2)を施行した方がよい。

### ◎菌根菌◎

根粒細菌と同様に、菌根菌は作物の根に感染する共生菌であり、カンキツ樹などではVA菌根菌が共生する。(本誌1990年2月号参照)

最近、この菌を人為的に作物に接種し、作物の増収や品質向上に及ぼす影響を調査した研究成果が多くなってきている。

ただし、この菌を試験管の中で純粋に培養することは非常に難しいので、現在ではこの菌が感染しやすい牧草を繁茂させ、その牧草の根や土壌を接種源として用いている。このような方法でVA菌根菌を増殖させた資材が二、三のメーカーから近々市販されるようである。

以上、土づくりにおいて微生物の利用は今後増えてくることが考えられる。

図2 根粒菌の使い方  
(十勝農協農産化学研究所)

使い方 10a用は種子6kgに1袋、1t用は種子1tに1袋お使い下さい。



## 微生物の利用

### ◎微生物資材◎

微生物資材として流通しているものはおよそ50種類にもおよび、これらの使用は年々増加傾向にある。施用効果には、有機物分解促進をうたったものが多く、次いで土壤病害防除(連作障害の軽減や抑制効果)、土壤改良(団粒化促進や酸性化防止)、生物相改善などに関するものが挙げられる。(表1)

しかし、これらの資材の中には、菌の種類が不明なものも多く、また、施用効果の表示があまりにも抽象的なものも見かけられる。さらに、施用効果が安定していないこともある。土壤には

表3 根粒を形成する宿主の種類と  
リゾビウム(根粒細菌)の種との関係 (増田)

植 物	リゾビウムの種
アルファルファ群 (Melilotus, Medicago)	Rhizobium meliloti
クローバー群 (Trifolium)	// trifolii
エンドウ群 (Pisum)	// leguminosarum
インゲン群 (Phaseolus)	// phaseoli
ルーピン群 (Lupinus)	// lupim
ダイズ群 (Glycine)	// japonicum

しかし、前述したように、この使用に当っては有機物などを用いて土の理化学性を良好にし、土着の微生物と共存しやすい土壌環境を作っておくことを最初に考えておく必要がある。

さらに大切なことは、化学肥料や農薬の使いすぎによってこのような微生物に頼らねばならなくなりつつある現状を直視することである。我々は土壌微生物の役割をもっと理解し、自然の生態を考えた栽培体系を構築しなければならない。

科学や技術の進歩は、われわれの生活を便利にした反面、図1に示すように、さまざまな環境破壊を引き起こしている。

特に、土の破壊についてみると、酸性雨による土の酸性化、トリクロロエチレンなどの有機塩素系溶剤や肥料・農薬による土や地下水汚染、さらには有害な重金属（例えばクロム、カドミウム、水銀など）による土の汚染などが挙げられる。

## 環境保全における土の役割



石井 孝 昭

## 土の浄化作用

土は、本来、地球環境をきれいにする働きを持っている。この働きを大別すると、(1)分解作用、(2)濾(ろ)別作用、(3)イオン交換作用がある。

### ◎分解作用◎

これは土にすむ生き物によって行われる働きである。生物の遺体、落ち葉などの有機物はすべて土によって分解され、植物や土壌生物の栄養源として利用されたり、また、炭酸ガス、窒素ガスなどの形で大気に還る。

図2に示すように、植物の老化を促進する植物ホルモンの一つであるエチレンも、主として土に生息するある種類の細菌の働きによって分解されている。エチレンは、植物自身や土壌の微生物の働きだけでなく、石炭、石油などの化石燃料の燃焼に伴っても発生するが、特に後者による発生量が多い。自動車の排気ガス中に含まれるエチレン量を基にして、米国において1966年の1年間で発生した量を求めたところ、1,400万tにもおよんだという。この量は今日ではおよそ2倍にもなっている。もし、この莫大なエチレンが、土の微生物などによって分解されず大気中に蓄積され続けていくとしたら、自然は壊滅的な打撃を受けていたにちがいない。

### ◎濾別作用◎

この作用は、土粒子間の小さな隙間がちょうどふるいの目のようになって、塵あるいはバクテリア(細菌)などの微生物が滅菌ろ過されることである。この能力が高いほど、大腸菌などがいないきれいな地下水になる。

### ◎イオン交換作用◎

本紙1990年3月号に紹介したように、この作用は土が電気を帯びていることによるものである。腐食の多い土で多量施肥による作物の生育障害や地下水の汚染が軽減されるのは、この土のイオン交換能が高いおかげであり、この土に吸着された肥料養分はイオン交換反応で徐々に解放される。

ただし、重金属イオンの場合には一度吸着されると交換脱着されにくいために、次第に蓄積(残留)していき、土の汚染を助長させる原因となっている。

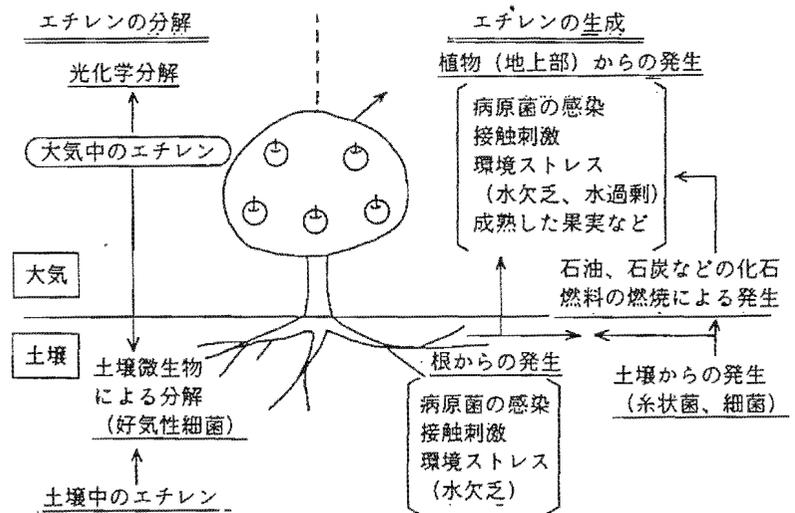


図2 植物を取り巻く環境下におけるエチレンの循環

# 土の汚染

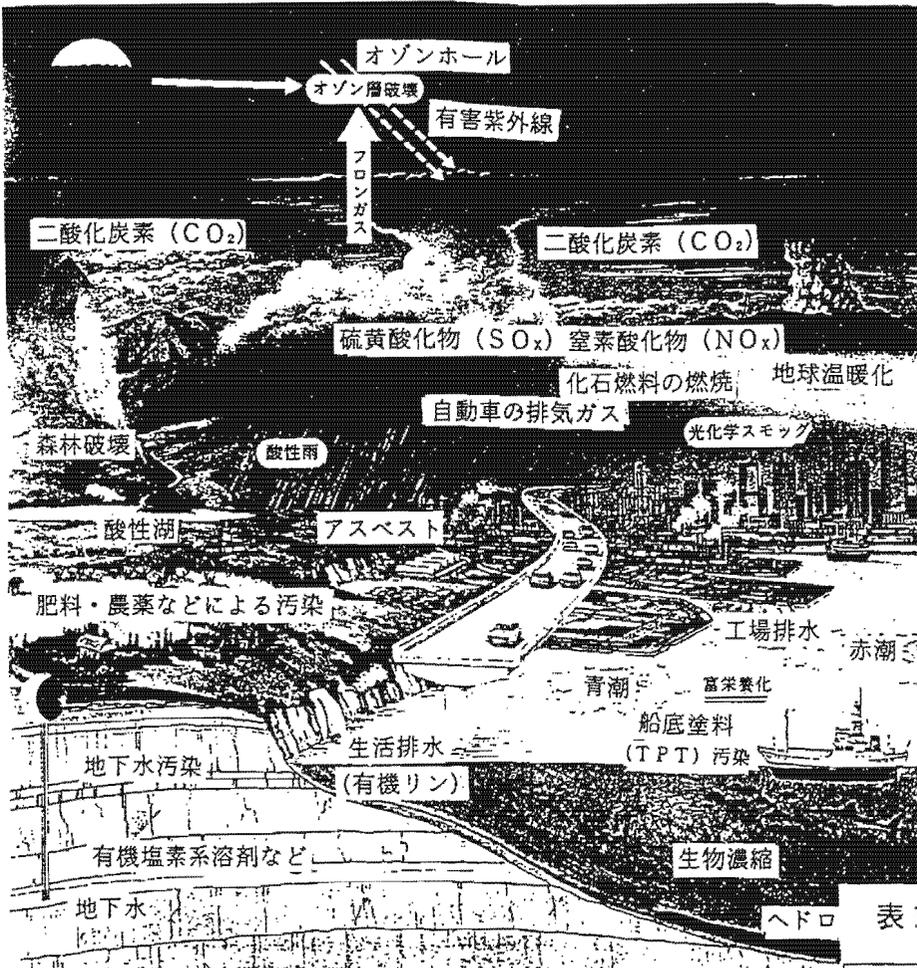


図1 人間の社会生活と環境破壊 (imidas, 1990)

鉍さいの順に排出量が多い。この中で、汚ていや家畜ふん尿は農業面で再利用されているが、特に汚ていの使用については注意する必要がある。というのも、汚ていには普通、有害重金属が含まれるからである。表1および2は有害物質の判定基準を示している。汚ていを含む資材などではこれらの法定基準に適合するものでなければならない。しかし、法による規制よりも大切なことは、われわれが有害物質で汚染させた土をもとに戻せないと認識し、有害物質がわずかでも含まれることが分かったものは園地に入れないように細心の注意を払う必要がある。

現代の土壌問題の多くが土の生態、つまり土の中にいる生き物の働きを軽視したことによって生じているように思えてならない。「土のはなし」を終えるにあたって、「生(聖)なる土」の認識が今一度われわれ共通の理念になることを願いたい。

## ポイント

1. 土には地球環境を浄化させる力がある。  
この働きを大別すると、(1)分解作用、(2)濾別作用、(3)イオン交換作用である。
2. しかし、土の浄化作用にも限界があるので、土を汚染するおそれのあるものは園地に搬入しないように注意する必要がある。

このような土による浄化作用にも限界があることは周知のことである。また、人間が合成した物質の中には土中で分解されにくくて残留するものや土に吸着されず地下水を汚染するものがある。

例えば、前者ではプラスチックや、DDT、BHCなどの有機塩素系農薬など、後者では半導体工場やドライクリーニングなどで用いられているトリクロエチレンなどの有機塩素系化合物が挙げられる。このような合成物質の中には人畜に害を及ぼすものがあることはよく知られている。

一方、最近の産業廃棄物排出量を見ると、汚てい、家畜ふん尿、建築廃材、

表1 特殊肥料の有害物質許容濃度基準 (農林水産省告示第1021号)

項目	基準
ヒ素	乾物1kgにつき、ヒ素含有量50mg以下
カドミウム	乾物1kgにつき、カドミウム含有量5mg以下
水銀	乾物1kgにつき、水銀含有量2mg以下

表2 金属等を含む産業廃棄物に係る総理府令の判定基準 (昭和48年総理府令第5号別表第2)

No	有害物質	原物試料の10%水 (pH5.8~6.2) 溶液中の成分
1	アルキル水銀化合物	アルキル水銀化合物につき検出されないこと
2	水銀またはその化合物 カドミウムまたはその化合物	Hg 0.005ppm以下 Cd 0.3ppm以下
3	鉛またはその化合物	Pb 3ppm以下
4	有機リン化合物	有機リン化合物 1ppm以下
5	六価クロム化合物	Cr(VI) 1.5ppm以下
6	ヒ素またはその化合物	As 1.5ppm以下
7	シアン化合物	CN 1ppm以下
8	PCB (ポリ塩化ビフェニール)	PCB 0.003ppm以下

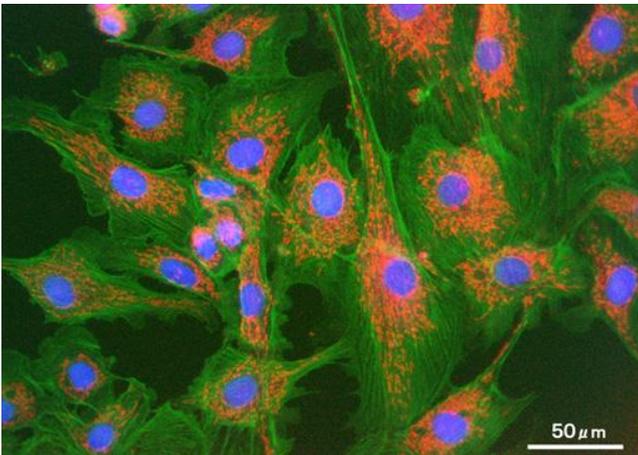
## 標準構成

■ ハンディ蛍光顕微鏡本光学ユニット ■ 対物レンズ:10倍 ■ 光学ユニット:Type 470

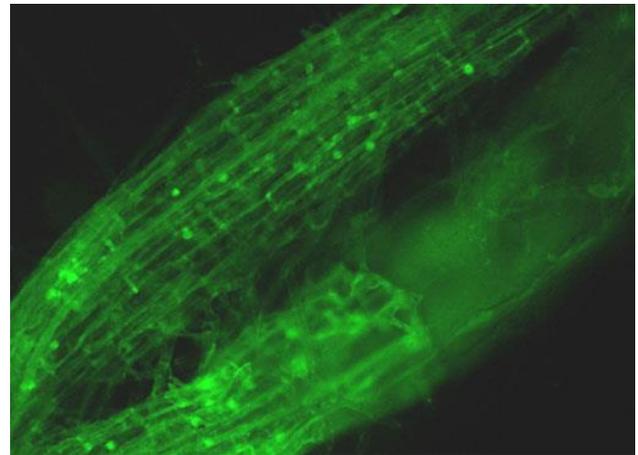
## 主な仕様

形式 / 名称	S-3380B (ブルー),S-3380P (ピンク)/ ハンディ蛍光顕微鏡
装置本体	ハンディ蛍光顕微鏡本体(ブルー又はピンクを選択)
光学ユニット (高輝度 LED 搭載) 3種の光学ユニットから選択 (複数選択可)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Type 390: 3W 紫色 LED, 励起波長 390nm, 蛍光波長 443 ~ 489nm</li> <li>・Type 470: 3W 青色 LED, 励起波長 470nm, 蛍光波長 500 ~ 550nm</li> <li>・Type 560: 3W 黄緑色 LED, 励起波長 560nm, 蛍光波長 600 ~ 681nm</li> </ul> <p>* 各ユニットには、LED、ダイクロイックミラー、バンドパスフィルタ、吸収フィルタが組み込まれております。 * ユニットの分解はできません。 * 光学ユニットの励起波長、蛍光波長はご要望に応じて製作します。詳しくはお問い合わせ下さい。</p>
対物レンズ (複数選択可)	<p>アクロマート対物レンズ ※1 4倍, 10倍, 20倍, 40倍</p> <p>※1 RMS 規格、口径 20.32mm (0.8 インチ)、ネジピッチ 0.706mm (36 山/1 インチ)</p>
本体電源	<p>電池駆動: 単三電池 × 3本 (4.5V) 励起照射光量5段階調整</p> <p>* テスト用電池付属 * ニッケル水素電池対応</p>
本体形状 / 重量	162(W)×123(D)×91~123(H) mm / 約 1.5 kg (電池含まず)
オプション	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 蛍光画像観察用 CCD カメラ (パソコン用) (専用 CCD カメラ、専用ソフトウェア、結像レンズ、カメラ取付用アダプタ)</li> </ul> <p>* その他: 光学ユニットの励起波長、蛍光波長はご要望に応じて製作します。詳しくはお問い合わせ下さい。</p>

## 参考画像



ウシ肺動脈・内皮細胞(BPAE cells)  
(撮影: オプション CCD カメラ/40倍対物レンズ)



菌根菌 (撮影: 光学ユニット Type470, 10倍対物レンズ, スマホ)  
キク根におけるAMF 共生  
画像提供: (一財) 日本菌根菌財団 石井孝昭様

● 本仕様、外観は改良のため予告なく変更することがあります。 ● カタログと実際の商品の色は、撮影・印刷の関係で多少異なる場合があります。

● お問い合わせは下記まで



株式会社 相馬光学

〒190-0182  
東京都西多摩郡日の出町平井 23-6  
TEL: 042(597)3256 FAX: 042(597)3208  
E-mail: sales@somaopt.co.jp  
URL: http://www.somaopt.co.jp

[販売代理店]

# Soma

## ハンディ蛍光顕微鏡 Portable fluorescence microscope

### スマートフォン対応の蛍光顕微鏡

製品番号

**S-3380**

- 片手で持てるコンパクト設計
- 何処でも使用可能なバッテリー駆動（単三電池×3本）
- 励起波長・蛍光波長・対物レンズ、選択交換可能



#### [写真]

上右側 / S-3380B

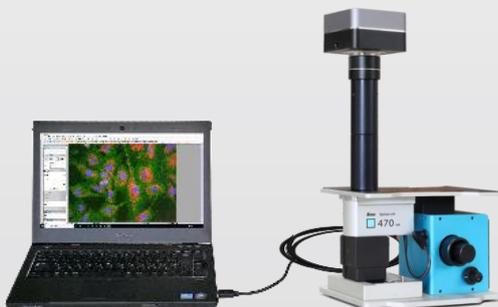
光学 LED ユニット : Type 470、対物レンズ : 10 倍 装着  
※スマートフォンは付属しません

上左側 / S-3380P

光学 LED ユニット : Type 390、対物レンズ : 10 倍 装着

左側

オプションの CCD カメラによるパソコンでの観察



- お手持ちのスマートフォンを用いて、フィールドでの簡単な蛍光画像の取得を目的に設計されたハンディ蛍光顕微鏡です。活性染色された菌根菌の簡易蛍光観察が可能です。
- バッテリー駆動の高輝度 LED を用いており、AC 電源を必要としません。
- 電源事情の不安定な場所においても確実に画像取得が可能です。  
取得画像は、専用のソフトウェア（オプション、パソコン用）をご利用いただけます。