

持続可能な農業生産をめざした土壌診断技術の開発と

DNAマーカーの育種利用

兵庫県立農業高等学校 生物工学科

① 土壌診断技術の開発

1 活動の動機、研究の目的

輸入資材の価格高騰、過剰施肥による環境負荷の増大、高齢化による担い手不足など地域の生産者が抱える問題は深刻さを増しています。このような背景から、私たちは高校入学後プロジェクト活動を通じて、廃棄される深海魚など未利用の水産資源を利用した技術開発を進めてきました(Fig. 1)。未利用魚に含まれるアミノ酸を利用した土壌環境の改善技術の開発を試みるとともに、土の状態を簡易で正確に把握する方法を開発することを一番目の目的に設定しました。

このような活動を進める動機として大きかったことは、県内各地の生産者を訪ねた際によく耳にする「この農園も私の代で閉園です」という言葉だった。一方で梨づくりの神様と言われた方が残された栽培の極意として「一に排水、根に空気。二に土づくり。三・四がなくて、五に枝管理」というものがありました。これは農作物の生産には土づくりがとても大切であることを示しています(Fig. 2)。しかし、目に見えない土の中の状態を正確に把握することは簡単ではありません。その上で、私たちは篤農家と言われる高度な栽培技術を持つ生産者を訪ねることで、高校での学びを深めた土壌分析(Fig. 3)を継続することで、経営改善や、栽培管理の指標を提供することを二番目の目的として取り組みました。



Fig. 1 水産資源の活用



Fig. 2 土づくりの大切さ



Fig. 3 学びを深めた土壌分析

2 当初の目標と成果、そして次の課題 (1 回目の PDCA)

廃棄される未利用魚から抽出したアミノ酸を畑の土に散布することで、在来土壌微生物の代謝が促されることが、フローサイトメーターやリアルタイム PCR を用いて確認でき(Fig. 4)、技術普及を通じた長期的な活動に発展しました。この結果、在来土壌微生物の代謝と繁殖が促されることで有機物の分解が進み、肥料効果が高められることも確認しました。キク栽培を中心に技術開発を進め、県内 291 軒の露地栽培ギク農家でこの技術を活用した場合、肥料にかかるコストの 24%を削減させることが可能であることが検証できました(Fig. 5)。農業経営の改善に役立つだけでなく、他の作物への応用も期待できます。

私たちはこの技術を様々な場面で応用してきました。そのひとつが昨年 11 月 兵庫県で

開催された『全国豊かな海づくり大会』の会場と放流台周辺を、真っ白なノジギクで埋め尽くしてほしいという依頼がありました。未利用魚のアミノ酸を利用して肥培管理するとともに『草花』で学んだ開花調節を実践し、当日は天皇皇后両陛下をはじめ多くの関係者をお迎えして開催され、技術は形となり会場を純白に彩ることができました(Fig. 6)。



Fig. 4 土壌微生物の確認



Fig. 5 技術検証と試算



Fig. 6 技術の応用と実践

一連の研究成果は、高校生小論文コンクールにおいて2年連続で最優秀賞を受賞。この他にも外部からの高い評価を受けることで、研究成果は広がりを見せています(Fig. 7)。

さらに継続した取り組みとして、高品質の農作物を生産してきた篤農家を訪ね、土壌診断を継続してきました(Fig. 8)。活動を始めた頃の私たちは、土壌分析結果のデータをもとに経営改善や、栽培管理のお手伝いができるのではないかと考えていました。淡路島のカーネーション生産者 A さんからは「切り花生産を長い間続けてきました。親から受け継いだ栽培の勘が大事で皆さんからは、何もアドバイスしてもらうことはないなあ。この技術も私の代で終わりです」篤農家と呼ばれる高度な栽培技術を持っている生産者は、経験に裏付けされた技術があり、私たちが栽培指導をする余地はありませんでした(Fig. 9)。



Fig. 7 取組の外部評価



Fig. 8 継続した土壌診断

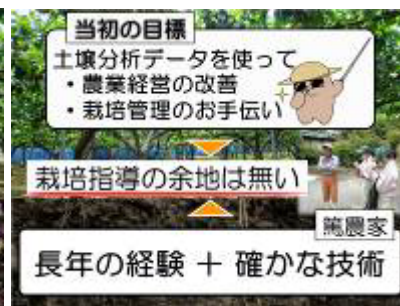


Fig. 9 篤農家と向合う

3 課題をどう捉え、学びをどう活かすのか (2 回目の PDCA)

このような経験に頼ってきた篤農家の栽培技術を、私たちが農園を訪問してサンプル回収、高精度な分析を実施することで、生育環境を数値化します。このデータを生産者の皆さんにフィードバックすることで、見えない土の中を見える化します。これによって生産者は自分たちの経験を、数値で把握することが可能になり、的確な管理と生産性の向上を図ることが出来るというメリットがあります(Fig. 10)。

この取り組みの計画を再び立案し、次の技術開発に移行しました。この目標を実現するためには、土壌診断の精度向上と簡易化という、相反する課題を解決する必要があります。そこで課題解決のため産・官・学が連携、『農業と環境』の授業で学んだ土壌診断の技術を応用します。30 年前に兵庫県で開発された迅速養分テスト法を改良、私たちだけでなく生産者も簡単に扱えるようキット化するとともに、スマホでその診断結果を数値として読み

取ることができるように工夫しました。私たちのアイデアで見えない土の中の正体を数字に表すことに成功しました。さらに測定誤差の原因となる土の含水量の変化という問題を解消するため、『数学』の学びを深めて、培養土の容積と含水率から一定の測定サンプルとなるよう、比率計算を行うための方程式を考案しました。これによって畑であってもポット栽培であっても、田んぼの様なたん水状態であっても、植物に吸収される肥料成分を正確に測定できます。さらに私たちは肥料成分だけではなく、有用土壌微生物量をフローサイトメトリー分析によって数値化できるように工夫をしました(Fig. 11)。

私たちは発想の転換を行い、高度な技術を持った篤農家に指導するという立場ではなく、生産者に寄り添い、こまめな分析結果を『畑の健康診断書』として提供します。これによって経験の裏付けとデータに基づいた生産性の向上に貢献したいと考えました。精度の高い分析データを1週間以内に提供することを目標にしました(Fig. 12)。



Fig. 10 現状分析



Fig. 11 矛盾をアイデアで克服

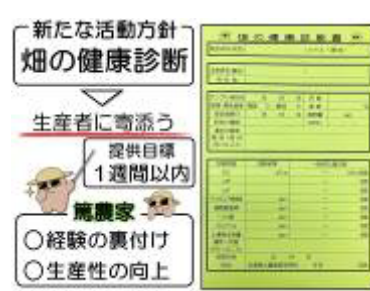


Fig. 12 畑の健康診断

4 活動の実践、成果の検証

これらの技術を実践するため、私たちは『県農 おしらべ モグラ』というチームを結成、『畑の健康診断書』を提供するため県内各地の畑に突撃します。私たちは、まるで土の中を掘り進むモグラのように篤農家の技術が詰まった土壌成分を調べます。

【淡路島 カーネーション生産者 Aさんの反応】

「市場のニーズに合わせて同じハウス内で、いろんな品種を栽培しているから、品種ごとに性質が違って肥料設計が難しいんです」そして畑の健康診断の結果

「最新品種の肥料吸収特性が追跡調査できるので、新しい品種を積極的に取り入れることができます」嬉しい反応、手応えを感じました。

【加古郡 花苗生産者 Yさんの反応】

「化学肥料に対する抵抗感があり、化学肥料をなるべく使用したくないけど品質は最大限に良いものを作りたいんです」「花苗の業界は多品目少量生産が進んでいるので、土壌の数値化という裏づけがあれば生産拡大できるんですが」方程式のおかげで、いろんな大きさのポット栽培でも正確な分析が可能です。

「これなら水に溶けやすい化学肥料を最小限に抑えられ、瀬戸内海に余分な肥料が流れ出さなくて済みます」私たちが持続可能な農業生産のお手伝いです(Fig. 13)。

【淡路島 切り花生産者 Bさんの反応】

「以前、土壌診断をしたとき酸性だったので、石灰を入れているけど、効果が出ているのかわからないんです」「業者に土壌診断をしてもらっても、結果が届くのが遅くて栽培に反映しにくいんですよね」そこで私たちの出番です。

「すぐに結果を届けてくれてありがとう、思っていたような数値だったので、次の作型へ

安心して準備できます」「これは経営の手助けになりますねえ」分析数値は着実に経営改善に役立っています(Fig. 14)。

【神戸市 イチジク生産者 Kさんの反応】

「オリジナルの有機肥料を作って高品質な栽培をしています、年によって肥料成分に差があると思う」「データとして見える化できれば効果的な施肥量を計算できるので秀品率を向上できます」これは果樹栽培でも応用可能な技術です。

「イチジクは廃棄する果実が多いだけに、肥料管理ができるのは経営に役立ちますね」私たちは様々な作目に拡大して実践を続けています(Fig. 15)。



Fig. 13 実践：花苗生産

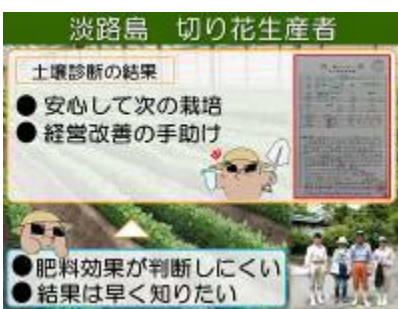


Fig. 14 実践：切り花生産



Fig. 15 実践：果樹生産

5 今後の課題と活動の継続

今後の課題として、私たちはさらなる詳細な栽培データの収集とその活用が挙げられます。さらに、兵庫県の農業は花苗栽培に限らず多品目少量生産に移行しつつあります。そこで、作目を拡大することと、栽培品種ごとに作型と土壌分析データの収集活動を拡大していく必要があると考えています(Fig. 16)。

活動を進める中で、未来の農業を考える幾つもの講習会や勉強会にも参加してきました。そして私たちに希望を託そうと協力していただいた篤農家の皆さんと交流を続けることで、ハードウェアが先行する昨今のスマートアグリに疑問を抱くようになりました。私たちが考えるスマートアグリとは、機械に農業を任せることでは無く、篤農家の経験を今のうちに蓄積し、これを未来に活用することです。将来、AIが栽培の診断を手助けすることになるでしょう。しかし適切な答えを得るには篤農家の栽培データを今のうちに保存しておく必要があります(Fig. 17)。私たちは様々な作物で目に見えない土の中の情報を集めています。今後、担い手の減少を始めとした予測される困難な未来への対策として、これからも『県農 おしらべ モグラ』は各地で活動をしていきます(Fig. 18)。



Fig. 16 今後の課題



Fig. 17 技術の検証作業



Fig. 18 突撃!土壌診断

② DNAマーカーの育種利用

1 伝統産業を支える兵庫の在来品種

兵庫県では地域特産の作物が数多くみられ、日本酒や醤油の醸造などの伝統産業と密接に関わってきた(Fig. 1)。これには醸造や発酵の材料として『山田錦』や『丹波黒大豆』といった在来作物が用いられている。しかし、地域の農業や伝統産業を支えてきたこれら古くから伝わる品種は、農業環境の変化や生産者不足、種子法の廃止や国内品種の海外流出といった様々な問題を抱えている(Fig. 2)。



Fig. 1 伝統産業と在来品種



Fig. 2 在来品種の危機

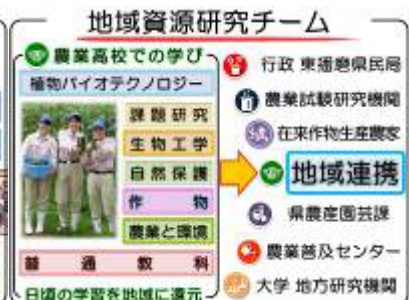


Fig. 3 高校での学びと地域連携

2 伝統作物をめぐる現状の調査

授業を通じて地域の農業を学んだ知識と技術を用い、地域連携によってこれらの問題に向き合うため、私たちは研究チームを発足した(Fig. 3)。協力機関と連携し危機的な状況にある地域資源の探索を実施した。そこでは、野菜や水稻、大豆などが種苗会社から種子を入手して栽培されるだけでなく、生産者さん自身の手で自家採種されることで、品種が維持されているものも存在するという現状を伺った。さらに、このような少量生産の在来品種が、地域の食文化を特色付けていることを実感(Fig. 4)。その中でも、かつて丹波地域で冬場の漬物加工材料として栽培されてきた『丹波菜』はすでに産地が失われ、これによって地域の食文化がひとつ消滅している(Fig. 5)。そして、活動を続ける私たちは農家さんの手で、細々と維持されている貴重な酒米品種を県内各地から収集し、その数は36品種に上った。これら地域に伝わる在来作物は、各地の気候風土で時間をかけて育まれてきた地域の食文化を支える貴重な文化財だと私たちは考えるようになった(Fig. 6)。



Fig. 4 少量生産の在来品種



Fig. 5 失われた食文化



Fig. 6 食文化を支える在来品種

3 私たちの活動目標と計画

私たちに託された酒米品種には兵庫県で育成された『山田錦』も含まれていた。『山田錦』は醸造適性の高さからブランド米として流通している。しかし、草丈が高く倒伏をはじめとした生産性に多くの課題を抱えた古い品種である(Fig. 7)。このような農作物のブランド化はトマトやイチゴをはじめ多様な作物でみられ、品種の画一化は長期的にみると農業を脆弱なものにしてしまうのではないかと、商品価値の低い在来品種はすぐに淘汰されていくのではないかと。私たちは『山田錦』を始めとする在来品種を対象に、地域の伝統食材や伝統産業を支える在来作物の保存と活用を目標として、農業を学ぶ私たちが地域に還元できる多様な品種を積極的に生み出すために、2つの活動計画を実践した(Fig. 8)。



Fig. 7 『山田錦』の課題点



Fig. 8 活動計画



Fig. 9 超低温凍結保存の検討

4 活動の実践

私たちが失われつつある在来品種と採種技術を生産者さんから伝承し、未来につなぐため自家採種と平行した種子の超低温凍結保存を検討した(Fig. 9)。種もみの多くは乾燥後に冷暗所で保存するが、長期間維持するのは困難である。そこで種子の寿命を短くする原因である種子呼吸を -196°C の液体窒素で完全に停止後、超低温フリーザーで半永久保存する方法を検討した。酒米品種をこの方法で凍結保存したところ、発芽率を低下させることなく1000日間の保存に耐えることを証明できた(Fig. 10)。さらに、私たちは種子保存の技術を発展させ栄養繁殖作物での実用化を試みている。これによって、地域の遺伝資源を未来へと継承する『農業高校ジーンバンク』の運用が可能となった。



Fig. 10 在来品種を液体窒素と超低温フリーザーの併用で長期保存

次に保存した遺伝資源を活用し、変化する農業環境に対応できる新品種を迅速に生み出す。そこで授業を通じて学んできた PCR 法を応用した次世代農業技術『DNA マーカー育種』を私たち農業高校生が実践する (Fig. 11)。酒米の品種改良には 15 年以上の年月が必要とされ、育種期間の短縮が課題である (Fig. 12)。『山田錦』をモデルに DNA マーカーを駆使した品種改良に挑戦した。生産者さんから託された貴重な在来品種を育種利用することで、醸造適性を維持したまま気象災害にも強い短稈性の個体を、いち早く苗の段階で選抜可能である。地域資源の活用が可能になることで私たち農業高校生は農業生産を支え、地域の食文化を守り、未来へ発展させる原動力になれると考えた。

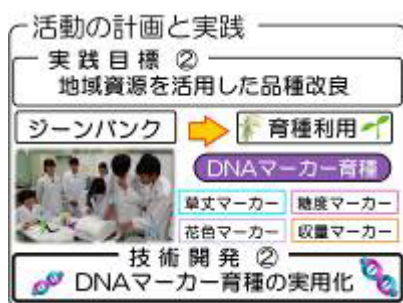


Fig. 11 少量生産の在来品種



Fig. 12 災害に備えた品種



Fig. 13 サテライト圃場

5 不測の状況と活動の継続

予想外の出来事として自宅学習や学校活動の制限が続き、オンラインを活用して研究や連携の推進を試みた。兵庫県内各地から通学するメンバー自宅の圃場で採種技術を継承するとともに育種圃場として利用。気候風土に適した品種の選抜が実現した (Fig. 13)。私たちは酒米育種の専門家から技術指導をしていただき、兵庫県北部 市島町の圃場を用いて定期的な生育調査と人工交配を行った。私たちが山田錦とそのルーツにあたる原種、そしてごく一部の地域で維持される品種を用いて品種改良した種もみは 120 種類におよんだ。人工交配した種子を試験管で発芽させ葉鞘 100 mg のサンプルから DNA を抽出、草丈の生育に関わる遺伝子の領域を PCR 法で増幅した。これに制限酵素を処理することで、草丈が高くなる遺伝子を持つ場合のみバーコードのような DNA バンドパターンが現れる (Fig. 14)。この方法を使えば、広い圃場で何年もかけて選抜を繰り返さなくても、発芽したての小さな苗の段階で有望な個体を識別することが可能になる。『DNA マーカー育種』は、まだ実用化の途上にある技術のため試行錯誤を繰り返し、ようやく酒米の草丈を高くしている遺伝子が示す DNA バンドパターンを特定・確認することに私たちは成功した (Fig. 15)。



Fig. 14 次世代農業技術『DNA マーカー育種』を実践

6 研究成果の検証作業

新しい技術のため私たちは何度も実験を重ねた。そしてこの技術が実用可能であることを確認するためジーンバンクに保存した酒米品種について、私たちの栽培記録と実験結果を照合し検証作業を繰り返した。この結果、酒米の草丈を DNA で識別することが可能であることが証明でき、専門家にもこの成果を検証していただいた。現在、『山田錦』を母株として品種改良した優良系統 60 種について PCR 法で確認したところ、8 系統について草丈が低くなる遺伝子を持つことが判明した (Fig. 16)。私たちが入学後に人工交配した酒米が 3 年生のいま、圃場での栽培試験を通じて品種登録を進め、連携機関と共に系統適合性試験や醸造適性など実用性の評価が行える段階に至っている (Fig. 17)。



Fig. 15 みつけた！

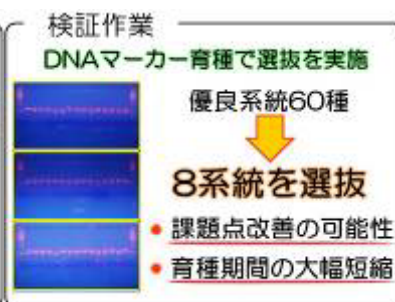


Fig. 16 技術の検証作業



Fig. 17 新品種の特性調査

7 私たちの活動と社会背景

2021 年 4 月、種苗法が改正され、新たに育成される品種の保護が強化され、日本の農業の国際競争力を高めることが期待されており、国内外で評価される多様な品種の登場が望まれている (Fig. 18)。今回、私たち農業高校生が学びを深めることで、酒米をはじめとした地域に残る生きた文化財である在来品種を未来へとつなぐ技術開発に成功し、地域連携を通じて私たちに託された在来作物のジーンバンク化に取り組んでいる (Fig. 19)。また、これら地域に残る遺伝資源を活用することで劇的に変化する農業環境に対応するため、最先端農業技術の習得を通じて品種改良をスピードアップできることも証明できた。地域の伝統作物を守り未来へつなぐこの活動を通じて、日本の未来の農業を模索する機会となった。

8 活動の長期課題と連携体制

今後、超低温凍結保存技術を多くの在来作物に応用することと、様々な在来作物のもつ有用な遺伝的特徴とリンクする DNA マーカーをひとつひとつ確認していくことが課題である (Fig. 20)。このため、地域の生産者さん、伝統産業を支える皆さんや大学・試験研究機関と連携し、私たちはこれからもこのプロジェクト活動を継続する。



Fig. 18 改正種苗法施行 Fig. 19 地域資源の保存と活用 Fig. 20 研究成果と長期課題