

カリフォルニア大学デービス校への滞在を終えて

帝塚山短期大学

山本良一

デービスの紹介

1997年度の一年間カリフォルニア大学デービス校に滞在することができ研究の機会を得ました。カリフォルニア大学デービス校はカリフォルニア州の州都であるサクラメントから車で10～15分のところにあり、サクラメント空港からも便利なおところにありました。実をいうとデービスに行くまではサクラメントという町は知っていたものの州都とは知りませんでした。かなり大きな町で、きちっとネクタイをした人が行きかきさすがに政治の中心という感じの町です。これに対してデービスは大学の町で人口の半分くらいは学生だと思います。町には学生のためのアパートが目につきました。ここにカリフォルニア大学のデービス校がありカリフォルニア大学の一つのキャンパスがあります。カリフォルニア大学には合計9つのキャンパスがあり、本部校はデービスからサンフランシスコに向かって車で40～50分にあるバークレー校です。デービスは夜や週末は静かになって学生はどこかに出かけるのでしょうか。一方、バークレーは夜も週末もアクティブな町でした。カリフォルニア大学には、ほかにアーバイン、ロサンゼルス、リバーサイド、サン・ディエゴ、サンタ・バーバラ、サンタ・クルス、サンフランシスコの分校があります。デービス校は、はじめバークレーの農学部門として農業に従事する人を指導するために設立されたと聞きました。独立した分校になってから50年くらいでしょうか、比較的若い学校ですがアメリカでは評価が高いようです。アメリカ合衆国は農業国、大学は実学志向なので農学部の評価は高いものがあります。私はデービス校の作物学科 (Department of Vegetable Crops) に滞在しました。ほかにも農学関係の学科は多く、となりにあった建物は果樹学科 (Department of Pomology) でした。珍しい学科としてはワインとブドウを研究するための学科 (Department of Enology) がありました。カリフォルニアワインが近年とみに人気をえています。デービス校の指導によるものとのことでした。ワインで有名なナッパバレーやソノマバレーはデービスから西の方向にある丘陵地帯でブドウの作付け面積がふえつつあります。新たなブドウの苗が作付けされているところを何カ所か見ることができました。これらの丘陵地帯を含む北カリフォルニアでは、冬は雨期で川が氾濫するほど雨が降り、夏は雨が降らず陽がよく照りいいブドウが熟します。年毎にほとんど同じ気候を繰り返すので、ブドウの年度による

品質の変動が少なく、いいワインを見つけるとそのワインの違う年度のワインも同じ品質と思ってもいいということです。ヨーロッパではいいワインの年を知ることが一つのワイン選びの知識だということですが、カリフォルニアワインでは状況が異なるようです。

カリフォルニア大学デービス校の作物学科はトマトの研究で特に有名なところですが、著名なリック先生はすでにかかなりの高齢ですが、先生率いるグループは南米からいろいろなトマトの原種を採集してきてその遺伝子を解析したり遺伝子操作による新規な作物を作るなどの研究を行っています。作物学科の広い農場に温室が何棟もあってそこに見たことのないようなトマトが栽培されていました。原種のトマトは親指の頭ほどの大きさですすがに集めて食べるにはあまり適しているように思えませんでした。また、いくらたっても熟れてないトマトや緑のままなのに柔らかくなっていくトマトなどが栽培されていました。

カリフォルニアでの研究

友人であるカリフォルニア大学のネビンス先生の好意で客員研究員として研究室の設備等を自由に使用する事ができました。広い研究室に私が一人で、ときおり研究室の設備を使用する大学院の学生やテクニシャンが出入りする環境で実験やデスクワークができました。加えてデービス校の図書館は農学や生物学関係の図書や雑誌が網羅されているといってもいいほどそろっていて、私の机からコンピューターを経由して検索ができることが大変な助けとなりました。図書館の雑誌をかなりの数検索しましたが、ロシア語の論文とフランス語の論文が各一つずつ見つけられなかっただけで、そのほかの論文はことごとくコピーを得ることができました。文献を検索してから図書館へ出かけてコピーをとる日々が続きました。日本植物学会が出している植物学雑誌や日本植物生理学会が出している *Plant and Cell Physiology* は一巻から所蔵されているし、日本語の雑誌もいくつか所蔵されていました。日本に帰ってからも少しの間コンピューターにログオンできる特権が残っていたので日本からも文献の検索ができたのですが、カリフォルニア大学から離れたので当然ながらそれも取り消されてしまいました。

カリフォルニア大学では果物熟度の非破壊的な測定について、とくにその理論的な方面からの検討を行うとともに、植物細胞の吸水生長の理論的な考察、植物の生長に対するケイ素の働き、植物の特に地上部の生長に対するアルミニウムの働きなどについて共同研究を行いました。

果物の熟度の測定

果物の熟度の測定は、カリフォルニア大学のネビンス先生や広島大学の桜井

先生、松下寿（株）の和田、寺崎研究員、農水省の村松研究員と連絡を取りながら研究を行いました。計算機を使ってモデル化を試みましたが、この研究には大きな進展が得られませんでした。その後、寺崎氏がこの方面でかなり発展した理論構築をし、発表する運びとなりつつあります。果物は非破壊的に熟度を知ることはかなりの熟練がいるし、果物の種類によってはそれもかなわないものがあります。そのほかにも果物に光をあてて透過する光のスペクトルから果物熟度や糖度などを推定する方法などが開発されていますが、どの果物にも応用できるというものではありません。そこで果物が熟すると一般的には果物を構成している細胞壁が分解する方向へと変化するので、我々が長年研究してきた細胞壁の力学的性質を測定する方法をそれに当てはめることを試みました。果物に歪みや応力を与えて応力の変化や歪みを測定するものです。応力緩和現象に着目した測定を行いました。この方法では測定の試料を作成するためには果物を切り開く必要があります。切られた果物の糖度や酸度などは容易に測定できるし、いったん切り開かれた果物はもう商品的な価値がなくなってしまう。理論構築などの研究には有効であってもこの方法を実際の果物に適用して品質の管理に利用することはあまり有利とはいえません。どうしても果物に傷を付けずに測定がしたいということになります。果物全体で応力緩和測定も試みましたが、それなりの問題があるようです。そこで、共同研究のグループを作って新たな測定法を開発することにしました。果物の一端に振動を与えてもう一つの端がどのように振動するかを測定すれば、果物の内部の力学的な性質すなわち熟度の変化を知ることができるはず。この方法を利用しました。当初、振動はスピーカーで与え、マイクロフォンで振動を測りました。注意深く測定を行うと果物中の振動の速さが測れました。マイクロフォンなどを果物に当てる時の強さが測定の値に大きな影響があることがわかり、非接触で振動を測定するのを感じました。レーザー光を物体に当ててその反射光を測定すると、物体の振動によってレーザー光にドップラー効果による変調がかかりそれを測定することによって果物の振動を測ることができます。振動も加振器を使いその加速度を検出器で測定して振動を与える側の精度もあげました。この方法による測定の結果、果物は特定の周波数で共鳴することがわかりました。私は細胞壁の応力緩和やクリープをバネや粘性を組み合わせた力学モデルを用いて分析してきました。そこで、果物の共鳴を同様のモデルで解析することにしました。共鳴することからモデルには質量の要素も加えました。果物のいくつかの共鳴周波数が整数比に近い値であることから果物がオーバートーン振動しているのではないかと考えて、モデルの要素の値をオーバートーン振動として考えられる整数比においてモデル化しました。実測の値と近い値が得られましたが、完全な一致が得られず何かほかの要素を考えに入れる必要があります。

ました。寺崎さんはこれに対して振動を有限要素法によってシミュレートする事によりさらに良好な結果を得ました。さらにこの測定法を発展させれば果物の熟度を非破壊で測定する機器が作成できると思われまして、松下寿（株）ではこの方向で検討が進んでいるとのことでした。測定を試みた果物としてはリンゴ、カキ、キウイ、ナシ、モモ、スモモ、トマトなどかなり多数におよび、それぞれ特有の測定値が得られました。特に、アメリカではトマトにこの方法を応用するためにネビンス先生がトマト加工の会社に研究費のお願いをしたところ、アメリカの消費者はおいしいトマトを欲しているわけではないとのことでした。研究費申請は不調であったとのことでした。確かに、カリフォルニアのスーパーマーケットで販売されているトマトは私にとってはあまりおいしいものではありませんでした。

植物の生長に対するケイ素の働き

私が滞在した作物学科から果樹学科と反対側の建物が地質関係学科です。そこにおられ、すでに退職したのちも研究を続けている植物栄養学のエプシュタイン先生との共同研究をおこないました。特定の植物をのぞいて、ケイ素は植物にとって必要な元素とは考えられていません。ところが、植物をケイ素のない条件で育てることを考えると、それはまず不可能ではないかと気がつきます。そこらあたりに漂う土埃の主成分はケイ素ですし、実験に使うガラス器具はケイ素でできています。植物を育てる器具類からケイ素を取り除くのは至難の業です。注意深くケイ素を取り除いた条件で植物を育ててその植物を調べると生長に伴ってケイ素の含量が増えていくという結果が報告されています。ケイ素が取り除きがたいという例でしょう。ケイ素が植物にとって必須元素でありその必要量が微量であればそれを証明する手だてはそれほど容易でないことがわかります。エプシュタイン先生は植物にとってケイ素が必須な元素ではないだろうかという疑問を持っています。それに加えてケイ素が植物にとって何らかのプラスの働きを持っていると考えています。ケイ素は細胞壁に取り込まれて細胞壁の力学的な性質を変化させてを丈夫にさせる可能性があります。一般的に植物の齢が進むと細胞壁にはリグニン様の物質が沈着して細胞壁を丈夫にさせる働きがあります。リグニン様の物質は有機物質であるからそれを合成するにはそれなりのエネルギーが必要となります。ところがケイ素であれば根から吸収して細胞壁に沈着させればリグニンと同様の働きをさせることができます。一つの計算によればケイ素がリグニンと同じ働きをするためにはその数パーセントのエネルギーしか必要でないということです。植物にとっては経済的であるといえます。この作用がケイ素の本質的な作用であるかはわかりません。イネはケイ素を必要とする植物の代表で現にケイ素肥料が利用されています。

ケイ素のあるなしでコムギを育てるとケイ素は生長には特別に大きな影響を持たないことがわかります。細胞壁が丈夫になれば風などによって植物がたおれることから免れます。このような働きを知るために、ケイ素のあるなしで育てたコムギ細胞壁の力学的性質を測定することにしました。実際に実験に使った植物は、ケイ素を注意深く取り除いて育ててつくった小麦の種子で、これをケイ素のあるなしで育てました。ケイ素は細胞壁を堅くする事がわかりました。これは細胞壁が丈夫になったと解することができます。本研究は今も継続中です。

地上部の生長に対するアルミニウムの働き

果樹学科に岡山大学の馬先生が来られました。根に対するアルミニウムの阻害的な働きについて調べられているところでした。最近注目されている環境問題として酸性雨があります。多くの植物は土壌が酸性になると生長が抑制されます。この原因の一つは土壌の成分であるアルミニウムが酸性によって溶解して植物に吸収される形になります。このアルミニウムが植物に取り込まれて生長が阻害されます。すなわち植物にとってアルミニウムは毒ということです。酸性の土壌では植物に吸収されたアルミニウムはほとんど地上部には運ばれず根がアルミニウムを吸着して生長が抑えられて植物全体にも影響が及ぶと考えられます。もし地上部に直接にアルミニウムをあたえれば、地上部の細胞がアルミニウムによって生長阻害を受けるかもしれない。幼植物の茎から切片を切り出して根では生長阻害が起こるような濃度のアルミニウムを与えても生長の阻害がみられない。根と茎の細胞ではアルミニウムの働きが異なるとも考えられる。ちょうど、私はオクラの茎切片を使って水銀の作用を調べているところでした。水銀は細胞膜や液胞膜の上にある水チャンネルに働いて水の透過を抑制することにより成長を阻害すると考えられていました。オクラの茎切片に効果が現れるであろうと思われる濃度の水銀を与えても生長の阻害がほとんどみられませんでした。植物の茎は表面にクチクラがあって水をほとんど通さず植物を乾燥から守っています。クチクラは水を通さないので水によく溶ける水銀などの透過は困難であると考えられます。そこで、クチクラをカーボランダムでこすってから水銀を与える実験を試みました。カーボランダム処理をおこなうと茎は水銀に反応してその生長が阻害されることがわかりました。水銀と同様にアルミニウムも水によく溶ける物質であることからクチクラがアルミニウムの取り込みを阻害していることが考えられました。そこで、オクラを使ってカーボランダムで処理した切片にアルミニウムを与える実験をすることにしました。私の使っている実験系を利用できるように馬先生と検討を行い、カーボランダムで処理すると地上部の細胞でもアルミニウ

ームで生長が阻害されるということがわかりました。馬先生はさらに詳しい実験を行い、細胞壁にアルミニウムが吸着することによって生長が阻害されることを示唆する結果が得ています。地上部の細胞でもアルミニウムによって生長が阻害されることがわかったとともに、茎切片は根よりも実験によっては取り扱いが容易であることから、アルミニウムの阻害作用を調べるためのよいモデル実験材料となります。この研究は馬先生がオーストラリアに行かれさらに日本に帰国してからを継続しておられます。

そのほかの研究

日本での研究の継続として、茎切片の生長のコンピューターシミュレーションについても継続していました。私は主として細胞壁の力学的性質について調べてきました。生長の原因が細胞壁の力学的な性質の変化であるという考えはほとんど証明されたし、広く受け入れられている考えとなりました。細胞が吸水する力で細胞壁を押し広げ、それが細胞体積の増加となって生長として観察されるという考えです。もしこの考えが単純に通用するのであれば細胞壁の力学的性質が詳しくわかっている現在、細胞壁に力を加えてのびを計算すれば生長になるはずですが、ところが実測した生長に比べて細胞壁ののびは圧倒的に速い現象です。生長が最速でも分か10分のオーダーの現象ですが、細胞壁ののびは1分以内に完遂する現象です。このことから細胞壁の力学的性質とそれにかかる力といった二つの要因以外に生長を制御する要因があると考えられます。細胞壁や細胞膜、液胞膜は水の透過に抵抗がないわけではありません。細胞壁ののびをプログラム化してシミュレートすると実際の細胞壁の加重下でののびが計算できることは先に我々が報告していますが、そのプログラムに水の透過の抵抗を加味して細胞壁の伸びを計算すると、浸透的な細胞の伸びや縮みが計算できることがわかりました。水の透過に影響のある水銀を使って水透過を加減して計算結果とよく当てはまるのかについて調査を行いました。水銀の生長への影響について調査して、それが計算で表されるかは現在研究継続中です。