



第 68 回東京大学農学部

公開セミナー

「 未来を照らす農学 150 年のあゆみ 」

講演要旨集

~~~~~プログラム~~~~~

1 3 : 3 0 ~ 1 3 : 4 5 【 開会の挨拶 】

#### 農学部の誕生と 150 年

研究科長 東原 和成

1 3 : 4 5 ~ 1 4 : 2 5

#### 社会の変化と植物栄養学の進展

応用生命化学専攻

教授 藤原 徹

【 休憩（10分） 】

1 4 : 3 5 ~ 1 5 : 1 5

#### 養蚕学の歩みが紡いだ知と技

生産・環境生物学専攻

准教授 木内 隆史

【 休憩（15分） 】

1 5 : 3 0 ~ 1 6 : 1 0

#### 持続可能な食をめざして：循環型有機畜産

実験資源動物学研究室・附属牧場

教授 李 俊佑

【 休憩（10分） 】

1 6 : 2 0 ~ 1 7 : 0 0

#### 役に立つ微生物の研究：温故知新

附属アグロバイオテクノロジー研究センター

教授 西山 真

【 閉会の挨拶 】

司会

准教授

樋口 洋平

日時

2025 年 6 月 21 日（土） 13 : 30 ~ 17 : 15

場所

ハイブリッド開催（現地：弥生講堂一条ホール）

主催

東京大学大学院農学生命科学研究科・農学部

共催

（公財）農学会

# 社会の変化と植物栄養学の進展

応用生命化学専攻 教授 藤原 徹

## 1. はじめに

今回の公開講座では過去から現在の話題が中心ということで、私の話でもこれまでの植物栄養学がどのように社会との関わりを持って進展してきたかをお話しする予定。しかし、過去の話よりもより大切なのはこれからどうするのか、ではないかと思う。過去の経緯を踏まえつつ、現状や将来の問題点、それがどのように解決され得るのかについて話をしたいと考えている。

## 2. 植物栄養学の始まり

植物が地球上で生育するには、水と光と栄養が必要なことは多くの方がご存知だと思う。しかし、人類が植物を農業に利用し始めたのは、このような知見が得られるよりずっとずっと前のこと。世界の4大文明の発生には農業生産が伴っており、農業生産を高く維持することは、食料の安定供給を通じた社会の安定に不可欠。

農業は1万年以上前に始まったとされているが、いわゆる植物栄養学が生まれたと考えられているのは19世紀。それまでの長い期間、人類は試行錯誤を繰り返し経験則によって、食料生産を高めてきた。紀元前のギリシャ時代には既にマメ科植物の窒素固定を利用していたり、家畜や人糞（現在でいう緑肥や堆肥）が使われていた。しかしこの頃はまだ科学は進歩しておらず、増産がどのような仕組みで起こるのかは不明だった。

その後、科学の発展に伴って元素が概念化され、19世紀には元素の周期律が発見されるようになる。物質を構成する元素についての理解が深まるにつれ、植物がどのような元素を利用するのが明らかになってきた。1840年にはリービッヒが無機栄養説を発表する。この説は、植物が土壌から吸収して栄養として利用しているのは無機物であるとする説で、その後の実験や研究により、その基本的な正しさが示されている。リービッヒは植物栄養学の父とも呼ばれる。また19世紀には肥料が工業的に生産されるようになり、食料増産の基盤が整うようになってくる。

ヨーロッパで植物栄養学が確立されようとしていた頃、日本は天保年間だった。天保年間には大きな飢饉があったことでも知られている。江戸時代の日本でも肥料は使われており、都市で発生する人糞尿は売買されて農村に運ばれていたが、食料不足は社会の不安定化をもたらし、食料増産は重要な国家の課題だった。

## 3. 日本での植物栄養学

明治になって日本では各地に農学校が設立されるようになる。駒場にも農学校が設置され、肥料の試験などが実習として行われたりしていた。

産業界では、明治20年に日本で初めての肥料会社である東京人造肥料会社が設立され、渋

沢栄一は設立者の一人だった。当時の植物栄養の研究は、土壌や植物の分析法を確立し、各地で取得されたサンプルの分析に基づいて、どのような肥料与えると良いのか、肥料をどのように生産すると良いのか、肥料成分が土壌でどう変化するのか、といった農業生産に直結した研究が中心だった。日本では昭和になっても冷害が発生していたし、第二次世界大戦の前後では深刻な食糧危機にも直面し、安定した食料生産は重要な課題であり続けた。

その後、日本では昭和40年代に入ると、植物栄養学も含めた様々な分野の農学の貢献もあって、食料不足は解消され、むしろ過剰生産が問題視されるようになり、いわゆる減反政策が始まる。また、この頃には土壌や植物の簡易な分析技術が確立され、日本各地の農業試験場などでの分析が容易に行われるようになった。それまでの植物栄養学分野の努力が社会に広がり、農業生産の安定化が実現した訳だが、これに伴って大学での研究抜きに農業生産が安定的に維持できる状況になったとも言えるのだと思う。この頃から、大学での植物栄養学の研究はより基礎的な研究にシフトしていったと思う。東京大学の植物栄養学分野ではトレーサーを用いた栄養輸送の生理的な解析や、篩管を通じた物質輸送の研究などが行われるようになった。これらの研究は今も教科書に引用されるような重要な基礎研究としての成果を生んだが、農業に直接利用できるような成果ではなかった。

#### 4. これからの植物栄養学

私が学生として植物栄養学に関わるようになってから40年近くが経過している。この間に植物が土壌から栄養を吸収するための遺伝子を見出したり、植物が栄養濃度を感知する仕組みを明らかにしたり、植物が栄養源に向かって根を伸長させる性質を持っていることを明らかにして「栄養屈性」と名づけるなどしてきた。一方では現代の農業が地球に負荷をかけ持続的でないことも問題視されている。肥料をあまり使わなくても生産が可能になる農業が求められており、これまでの知見を活用した、栄養が少なくても生育する植物の開発を進めている。今後は、高いレベルの基礎研究と共に、変化する社会のニーズへの対応を可能にする成果がより求められるようになっていくと思われる。講演ではこのような取り組みについて紹介する。

# 養蚕学の歩みが紡いだ知と技

生産・環境生物学専攻 准教授 木内 隆史

## 1. 養蚕学の歩み

農学部が誕生し、150年の歩みが始まった頃、カイコを飼育し絹糸を得る養蚕業は日本の近代化と経済発展を支える最重要産業のひとつと位置づけられていた。そのため、1893年に帝国大学農科大学に動物学・昆虫学・養蚕学第二講座が設置されたのも当然の流れである。初代教授は国蝶であるオオムラサキの学名の由来となった人物としても知られる佐々木忠次郎である。

養蚕学第二講座では国の重要産業である養蚕業を支えるために研究が行われてきた。しかし、1960年代から養蚕業が急速に衰退するに連れ、養蚕学は養蚕のための研究から、飼育・交配方法が確立し研究知見が豊富なカイコをモデルとし、科学的に昆虫を理解するための学問へと姿を変えてきた。

## 2. 養蚕学が紡いだ知

カイコは今も野外に生息するクワコが中国で家畜化された昆虫だと考えられている。人が飼育するために適した形質が選抜されており、研究対象としても非常に優れた昆虫である。その特徴を利用し、これまでも世界的な発見がカイコを用いてされてきた。

のちに養蚕学第三講座（現在の育種学研究室）の教授となる外山亀太郎は、カイコの雑種後代における繭色や幼虫斑紋などの形質の分離を観察することでメンデルの法則を動物ではじめて実証した。また、外山はカイコの品種間交雑により、親系統よりも繭重や強健性に優れた一代雑種が得られること（雑種強勢）を発見し、今では作物の栽培で一般的に用いられている一代雑種の普及に1910年代から尽力している。

その後、1957年には休眠ホルモンが、1959年には性フェロモンが、それぞれ数万あるいは数十万頭のカイコから単離されている。さらに、1972年には真核生物の mRNA としてははじめて、絹糸タンパク質をコードするフィブロインの mRNA が単離されている。

そして2004年には、チョウ目昆虫として最初に全ゲノム配列が解読された。カイコでは多様な形質を示すさまざまな突然変異体系統が500以上も保存されているが、ゲノム配列が解読されることで遺伝学的なアプローチにより突然変異体の原因遺伝子が明らかにされている。また、遺伝子配列が明らかになることで実験手法の幅は大きく広がり、性フェロモンの受容体が同定されるなど、注目に値する研究成果が生まれた。カイコを用いて得られた成果は昆虫を理解する上で重要な知見となっている。

## 3. 養蚕学が紡いだ技

絹糸を得る養蚕業は日本では衰退の一途を辿ったが、その一方で養蚕学は画期的な技術を生み出した。養蚕現場において致命的な被害をもたらすバキュロウイルスは、多角体と呼ばれる

構造体を作り出し、ウイルス粒子はそのなかに包埋される。この構造体はウイルスによって大量に発現するポリヘドリンというタンパク質からできているが、1985年に養蚕学研究室出身の前田進博士は、ウイルスのポリヘドリン遺伝子を外来の遺伝子に置き換えることで有用タンパク質を大量に発現するシステムを、カイコを用いて構築した。現在ではカイコや昆虫細胞を用いたバキュロウイルス発現系により、ペット用医薬品や予防ワクチンなどが製造されている。

また、家畜化と品種改良により大量の絹糸タンパク質を発現するカイコの特徴を生かした有用タンパク質発現系も開発されている。2000年に田村俊樹博士はカイコの遺伝子組換え技術確立した。この技術開発により、絹糸タンパク質を合成する器官である絹糸腺や繭において、外来の有用タンパク質を発現することが可能となった。たとえば、蛍光タンパク質遺伝子である GFP を導入した遺伝子組換えカイコにより、蛍光シルクが作られている。ヒトコラーゲンや診断薬なども遺伝子組換えカイコを用いて作られており、カイコをタンパク質工場として利用する産業が生まれつつある。これらは次世代型の養蚕業と言えるだろう。

#### 4. 養蚕学の現在と未来

養蚕学第二講座は1953年に養蚕学講座に、そして1999年から現在の昆虫遺伝専攻分野へと改称された。昆虫遺伝研究室における最近の大きな成果としては、2014年に発表したカイコの性決定機構の解明があげられる。私たちはカイコのメスだけが持つ W 染色体に由来するたった 29 塩基の小分子 RNA がオス化遺伝子を標的とし、この機能が抑制されることでメスになることを発見した。私たちが発見したオス化遺伝子はチョウ目昆虫で広く保存されており、農業害虫を制御する際の標的として有用である。実際、自然界で観察される共生細菌ボルバキアによる宿主オス殺し現象は、ボルバキアのあるタンパク質がオス化タンパク質を標的とすることで達成されていることを2022年に明らかにした。

さらに私たちは、オス化遺伝子を改変することでカイコの性を操作できることも示している。カイコの性操作は、養蚕業にも生かせる技術である。このように、昆虫遺伝研究室ではカイコの有用性やこれまでの養蚕学が紡いだ知と技を生かしながら、世界的な発見をしようと日々研究を行っており、これが養蚕学の未来につながると信じている。



カイコの  
幼虫・成虫・繭

# 持続可能な食を目指して：循環型有機畜産

実験資源動物学研究室・附属牧場 教授 李 俊佑

## 【附属牧場】

東京大学附属牧場は茨城県笠間市に位置しており、今年で76周年を迎える。附属牧場は、社団法人日本馬事会の錬成農場の地を、農林省大宮種畜牧場の所管を経て、1949年に東京大学に移管され、主に本学の獣医学・応用動物生命科学・畜産学の実践的な家畜の教育と研究の場として資している。又、全学体験ゼミナール、全学体験活動と国際開発農学専修等、幅広い分野での畜産産業の体験の場として畜産への理解と発展に寄与している。毎年、海外からの研修生を受け入れ、実習と発表会などを通して国際的な教育と研究交流も行なっている。近年は、社会発展に伴う環境に優しい持続可能な畜産、資源循環型畜産の研究・開発を行い畜産の教育に積極的に取り入れている。



「出藍の誉れ」を当牧場の教育の理念として、本学での教育のみならず、年に1回の牧場公開デーを通して近隣住民の牧場の研究教育活動への理解と協力を求め、さらに近隣中学・高等学校からの体験学習活動も積極的に受け入れ、開かれた動物生産教育の場としても貢献している。

## 【持続可能な食】

人類の進化において、動物タンパク質の摂取は極めて重要な役割を果たしてきたと思われる。人間の体では合成できない必須アミノ酸が豊富でバランスが良い動物性タンパク質は人間の体に近い構造のため、消化吸収効率が高く、利用されやすい。近年、肉に含まれているビタミンB群や鉄・亜鉛・カルシウムと必須脂肪酸なども注目されている。現在、我々は世界の人口増加、食糧不足、排気ガスによる地球温暖化、排泄物処理、悪臭などで種々の問題に直面している。特に、社会の発展に伴う動物福祉の向上、地域共生などで消費者からの信頼を得ることも畜産産業を持続可能に発展させる為には不可欠である。



その中で、伝統的畜産を持続可能にする一環として、循環型畜産は欠かせないだろうと考え、東大牧場で取り組んでいる。

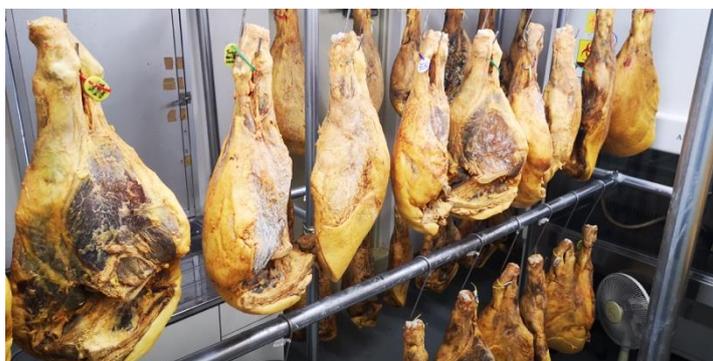
### 【循環型有機畜産】

循環型有機畜産とは、家畜の排泄物を堆肥化し、堆肥化過程で消臭、滅菌を行い、その堆肥のみで、化学肥料、農薬を施用せずに飼料、牧草を生産し、家畜に給与し、又、家畜飼料に薬、ホルモン剤、抗生物質などを加えずに健全に育て、畜産製品を生産する事と認識している。堆肥は土の上で雨水などでも流され難く持続性が強い。即ち、家畜の排せつ物を資源として再利用し、農業と畜産のサイクルを循環させることで、環境負荷を軽減し、持続可能な農業システムを構築することを指す。循環型有機畜産は、環境保全、食の安全、持続可能性を重視した取り組みであり、地域社会全体で循環型農業を推進していく上で重要な役割を担っている。

### 【東大牧場の取り組み】

当牧場は資源動物・産業動物（牛、馬、豚、山羊）の系統造成を行いながら、二十数年前から先掛けて、畜産の有機化、循環化、サステイナブル化を目指して研究開発を行って来た。家畜の排泄物の超高温好気性発酵システムを研究開発し、牧草生産では堆肥のみで化学肥料と農薬を一切使わない有機的牧草生産システムを構築することで、循環型畜産に大きく踏み出した。家畜の飼料も、特に豚の飼料は独自に研究開発した技術を生かし、飼料中の抗生物質を植物抽出物に代替し、出産から出荷まで抗生物質を添加しない飼料のみで有機的な養豚を行っている。

又、当牧場の所在地であり、「栗の里」と言われる笠間市では栗の食品生産過程で大量の栗殻産廃が出ている。そこで、殻産廃を利用して高品質な栗豚とその栗豚を利用した栗豚生ハムの研究開発を行っている。他の食品加工残渣も再利用することで地域経済に貢献すべく研究開発活動を行っている。加えて、畜舎周辺に排泄物を出さないクリーンで無臭な家畜の生産システムの開発を目指している。



# 役に立つ微生物の研究:温故知新

附属アグロバイオテクノロジー研究センター 教授西山 真

## 1. 微生物研究における2つの流れ

微生物研究には大きく分けて2つの流れがある。1つはドイツのロベルト・コッホの流れをくむものである。そしてもう1つはフランスのルイ・パスツールの流れをくむものである。コッホは病原微生物に関する研究を行ったのに対し、パスツールは微生物学の臨床医学への応用、微生物の利用や制御を研究したことで知られる。農学部の微生物学研究は、微生物の応用を指向していることから後者に近いといえることができる。

## 2. 農学部の微生物研究の勃興～近代

ドイツ留学から戻った農芸化学の古在由直は最先端の微生物学を農学部に導入した。研究の対象は、日本の伝統的な発酵であった。古在によって、もたらされた農学部の微生物研究は、高橋禎三、坂口謹一郎、有馬啓、田村學造に引き継がれ、大きな成果を挙げた。

高橋は、微生物生理学に大きく舵を切った。高橋の大きな成果として、乳酸菌混入による日本酒の劣化(火落)の研究から、同乳酸菌が日本酒中に含まれる化合物を生育必須因子とすることを明らかにしたことが挙げられる。

坂口は微生物生理学的研究をさらに推し進めた。糸状菌の有機酸生産、糸状菌をはじめとする微生物の収集、分類など、日本の応用微生物研究の基礎を作った。それと共に、坂口は様々な機能を有する微生物のスクリーニング研究を推進した。坂口の「微生物に頼んで裏切られたことはない」という名言の下、農芸化学研究者は様々なスクリーニングを行い、多くの有用微生物、有用酵素、抗生物質、生理活性物質を発見することになる。

有馬はチーズ製造に不可欠でウシが作る凝乳酵素キモシンの代替酵素としてケカビからムコールニンゲンを発見、実用化したのに加えて、コレステロールからステロイドホルモン合成原料を製造するステロイド発酵の開発等数多くの産業上重要な成果を挙げた。

高橋らによる火落菌の発見から50年後、田村が生育必須因子を突き止め、火落酸と命名した。これは、ほぼ同時期にアメリカのグループが単離したメバロン酸と同一の物質である。火落酸/メバロン酸は、アメリカの研究でコレステロールの前駆体として強く注目され、メバロン酸の名前が定着した。

日米でほぼ同時期にイソプレノイドの主要な中間体である化合物が単離されたことはとても興味深い。田村は抗生物質のスクリーニング研究を展開し、タンパク質の糖鎖付加に必要なドリコールニリン酸-GlcNAcの生成を阻害するツニカマイシンを単離した。ツニカマイシンは膜タンパク質糖鎖生合成、分泌など多くの研究に世界中で使われる重要な試薬となっている。

### 3. バイオテクノロジーを牽引する農学部の微生物学

1970年初期にアメリカのスタンレー・コーエン、ハーバート・ボイヤー博士らが開発した遺伝子工学を最も早く取り入れて、微生物を物質生産の道筋をつけたのも農芸化学である。その中でも最も傑出した研究成果の一つが別府輝彦による凝乳酵素キモシンの大腸菌による生産である。別府らは、仔牛第四胃の mRNA から cDNA の作製、大腸菌への導入、大腸菌体内に封入体として生産されたキモシンタンパク質のリフォールディング系の開発を経て、ウシから調製されるキモシン以上の高純度、活性を持ったキモシンの生産に成功した。

この技術はアメリカで特許化され、アメリカ食品医薬品局(FDA)で、食品に使われる組換え酵素として世界で初めての認証を受けることになった。その後、別府らは凝乳酵素等のタンパク質工学を展開した。現在では様々な酵素についてタンパク質工学的研究が展開されているが、その先鞭を付けたのもやはり東大の農芸化学であった。二次代謝は微生物のユニークな物質変換能力を象徴する代謝でもある。堀之内末治らは微生物ホルモンを介した二次代謝や形態分化の調節システムに関して、数多くの世界的な成果を残した。

### 4. 未知の微生物機能の解明や開拓に向けて

農学部の微生物学は、現在も基礎へ応用へと幅広く展開を続けている。堀之内らの研究は抗生物質などの有用生物活性物質を含む二次代謝産物の生合成研究へと展開され、多様な生物活性物質の生合成機構が解明されてきている。将来的に新たな構造、機能を持った新たな化合物の創成を模索することになるであろう。これらに加えて、現在はゲノム解析技術の進展を背景として食品微生物、環境微生物の分野も大きく発展しようとしている。

本公開セミナーでは、これらの成果の中から幾つかをピックアップし、農学部の微生物研究の学術や社会への貢献について紹介したい。

# 講演者プロフィール

<sup>ふじわら</sup> <sup>とおる</sup>  
**藤原 徹**（応用生命化学専攻 植物栄養・肥料学研究室）

## 主な研究活動

植物の生育に不可欠な栄養が植物にどのような仕組みで吸収され、吸収の過程が制御されているかを研究しています。効率的な作物生産には肥料は不可欠ですが、肥料を使うことは環境に大きな影響もあります。植物の栄養研究を環境影響の少ない農業に貢献したいと考えています。

<sup>きうち</sup> <sup>たかし</sup>  
**木内 隆史**（生産・環境生物学専攻 昆虫遺伝研究室）

## 主な研究活動

科学的にインパクトのある基礎研究を展開しています。その成果をもとに、これまでより能力に優れかつ便利で、飼育しやすいカイコを作り出したいと考えています。たとえば、カイコの性、休眠性、食性を思い通りに操作したいと考えています。そのために、カイコのゲノム配列を任意に改変する技術開発も行っています。

<sup>り</sup> <sup>しゅんゆう</sup>  
**李 俊佑**（実験資源動物学研究室・附属牧場）

## 主な研究活動

大学の卒業論文は「豚の早期離乳法に関する研究」でした。当時は抗生物質を用いました。それから種々の栄養剤による抗生物質代替に関して研究を行なってきました。今は、植物抽出物タンニンに辿り着きました。現在は、タンニンを用いて、病原菌、ウイルス、コクシジウムそして回虫などの制御に関して研究を行っています。

<sup>にしやま</sup> <sup>まこと</sup>  
**西山 真**（附属アグロバイオテクノロジー研究センター 細胞機能工学研究部門）

## 主な研究活動

微生物を対象として、アミノ酸関連化合物の代謝を研究しています。微生物はタンパク質に含まれていないタイプのアミノ酸を生合成し、それらの誘導体を構造中に含み様々な生物活性を示す二次代謝産物を生産する能力を持っています。それらの未知の生合成の機構を酵素の構造、機能から解き明かすことに取り組んでいます。