



Tokyo Gakugei University Repository

東京学芸大学リポジトリ

<http://ir.u-gakugei.ac.jp/>

Title	附属高等学校と連携した植物の組織培養に関する研究授業プログラムの開発(fulltext)
Author(s)	岩元,明敏
Citation	東京学芸大学紀要. 自然科学系, 69: 99-104
Issue Date	2017-09-29
URL	http://hdl.handle.net/2309/148216
Publisher	東京学芸大学学術情報委員会
Rights	

附属高等学校と連携した植物の組織培養に関する研究授業プログラムの開発

岩元明敏*

生命科学分野

(2017年5月29日受理)

IWAMOTO, A.: Development of teacher-training program on the subject of plant tissue culture in collaboration with Tokyo Gakugei University Senior High School. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 69: 99-104. (2017) ISSN 1880-4330

Abstract

Plant tissue culture is an important biotechnology and a suitable subject for understanding the totipotency of cells, although the subject has not been given much attention in biology programs for high school students in Japan. Here, a science teacher training program for undergraduate students has been developed in collaboration with Tokyo Gakugei University Senior High School (TGHS). According to this program, an undergraduate student in the course of school science education at Tokyo Gakugei University was trained to be able to do the plant tissue cultures and instructed to develop a lesson plan for a biology class focusing on the plant tissue culture and totipotency. Then the student actually had taught two research classes at TGHS. These two research classes were successful and the effectiveness of the training program was confirmed.

Keywords: plant tissue culture, totipotency of cells, high school biology, Tokyo Gakugei University Senior High School

Department of Life Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要旨: 植物の組織培養は高等学校における生物の履修内容に含まれているものの、現行教科書での取り扱いは大きくない。しかし、細胞の分化全能性の理解につなげることのできる重要なテーマであり、理科課題研究の対象としても適している。そこで、東京学芸大学附属高等学校と連携し、植物の組織培養と細胞の分化全能性を理解させるための研究授業プログラムの開発と、東京学芸大学の理科選修学部生を対象者（授業者）としたプログラムの実施を行った。最初にプログラムの対象者（授業者）に対して植物の組織培養技術の指導を行い、習得をさせた。そして、習得した技術を生かし、植物の組織培養の例示を核とする細胞の分化全能性の理解を目指した授業案づくりを指導した。この授業案にもとづき、附属高等学校において高校3年生を対象とした2回の研究授業を実施させた。事後の質問紙調査と授業者からの聞き取りを行い、本プログラムの有効性を確認した。

* 東京学芸大学 広域自然科学講座 生命科学分野 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

1. はじめに

植物の組織培養は重要なバイオテクノロジーの1つであるのみならず、1つの分化した細胞から個体全体を再生することのできる「分化全能性」を植物細胞が有していることを示すことができる技術である(駒嶺1984)。したがって、植物の組織培養を理解することは、現代生物学における重要な概念の1つである細胞の分化全能性、特に動植物での分化全能性の違いを理解するために重要である。

また、学習指導要領解説によると、現行指導要領の「理科課題研究」の課題については、高等学校の理科で学習した物理、化学、生物、地学それぞれの内容のほか、先端科学や学際的領域の内容からも選択することができるようになっており、動物や植物の組織培養、細胞培養、細胞の培養や組織の培養における栄養条件や培養方法を通じ、細胞や組織の分化について研究することもその課題の範囲とされている(文部科学省2009)。したがって、植物の組織培養についての深い理解、実験技術の習得は理科課題研究にも役立つ。

一方で、植物の組織培養は高等学校の生物において「生殖と発生」および「生物の環境応答」の単元で取り扱われているものの、現行5社の検定教科書内での記述は詳細ではない(浅島ら2013, 嶋田ら2013, 本川ら2013, 吉里ら2013, 庄野ら2015)。また、植物の組織培養と分化全能性の関係に注目し、植物と動物の分化全能性の違いについて明確に取り上げているのは1社(本川ら2013)のみである。すなわち、植物の組織培養の重要性を十分に取扱いおらず、特に具体的な組織培養の手法とその意義について教科書のみで教えることは難しい状況である。

本研究ではこうした状況を踏まえ、植物の組織培養の重要性を教える授業を実施するための知識、技能養成を目指し、高等学校の理科教員を目指す理科選修学部生(授業者)を対象として、植物の組織培養の実験手法についてトレーニングを行った。そのトレーニングを通じて実践的に細胞の分化全能性について理解が深まるようにした。こうした内容を踏まえて、研究授業を東京学芸大学附属高等学校の生徒を対象として実施させた。

実際の過程としては、以下のような授業者へのトレーニングと授業指導プログラムの立案、実施を行った。まず、授業者が植物の組織培養の技術を習得し、かつその結果を例示できるようになることが重要であると考え、授業者の東京学芸大学理科選修の学部生に対してモデル植物であるシロイヌナズナ(*Arabidopsis*

thaliana)の胚軸を用いた組織培養に関するトレーニングを行った。高等学校の授業で植物の組織培養に触れる際には、ニンジンやタバコが例として取り上げられることが多いが、シロイヌナズナはサイズが小さく、取り扱いがこれらの植物より容易である。また、モデル植物の1つであるため将来的に授業内容を発展させることになった場合、様々な実験手法を用いることができる(島本ら2005)。これらの理由から、本プログラムの組織培養ではシロイヌナズナを材料とした。

また、授業者には、事前に研究授業を実施する対象である東京学芸大学附属高等学校の生徒に対して、植物の組織培養についての質問紙調査を行わせた。そして、この調査結果も踏まえ、実際にシロイヌナズナを用いた組織培養の結果を例示することを核とした授業づくりを指導した。授業者は、この授業案に基づいた研究授業を行い、授業後に参加を対象とした質問紙調査を実施した。これにより研究授業の教育効果の検証を行わせた。

研究授業実施後は、指導過程の見直し、授業実践後の授業者への聞き取り調査を行い、それらに基づく指導プログラムの改善についても検討を行った。

2. プログラムの内容

2. 1 プログラム対象者(授業者)と授業参加者について

本研究では、東京学芸大学初等教育教員養成課程4年生をプログラム対象者(授業者)とした。この授業者は生物を専門としており、高等学校・中学校の教員志望の学部生である。また、授業参加者を東京学芸大学附属高等学校3年生(「生物基礎」「生物」履修者)とした。なお、授業者はこの研究授業の立案、実施、まとめを卒業研究の一部として行った。

2. 2 植物の組織培養の指導

授業者を対象として、東京学芸大学教育学部生物学教室にてシロイヌナズナの胚軸外植片を用いた植物の組織培養を複数回指導し、自ら実施できるようにした。胚軸外植片からはシュート(葉と茎)、カルス、不定根のいずれかが誘導されるよう、植物ホルモンの濃度を調節させた。なお、シロイヌナズナの組織培養の方法は杉山(2002)を参考にした。

2. 3 事前質問紙調査と授業案立案の指導

授業実施対象予定の東京学芸大学附属高等学校3年生(「生物基礎」「生物」履修者36名)に研究授業の

趣旨を説明し、現段階でどの程度植物の組織培養を理解しているかの質問紙調査を授業者名で実施した(2016年12月実施)。質問内容は植物の組織培養と関連事項(カルス、植物ホルモン、脱分化)および植物と動物の分化全能性の違いを問うものとした。

この質問紙調査の結果も踏まえて、授業者の授業案作りを指導した。その際に重視した点は、1) 生徒の見る機会がほぼない植物の組織培養の結果(胚軸からシュート、カルス、不定根それぞれを誘導したシャーレ)を例示し、植物細胞が分化全能性を保持していることへの理解を促すこと(組織培養した植物体のシャーレを生徒に観察させること)、2) 質問紙調査の結果、動物細胞と植物細胞の分化全能性の違いを生徒が十分理解していなかったことを踏まえ、動物細胞における分化全能性(iPS細胞に関しては多能性)の再獲得が容易でないことについてiPS細胞を例として解説すること、3) 動物細胞と植物細胞の分化全能性の違いについて生徒が考える機会をつくることの3点であった。なお、例示用のシャーレについては事前に東京学芸大学教育学部生物学教室にて作成し、それを附属高等学校に持参させることとした。また、iPS細胞の解説については、大学理系学部1年生レベルの教科書(東京大学生命科学教科書編集委員会 2015)を参照して行うよう指導した。

2. 4 研究授業の実施

作成した授業案に基づき、授業者による研究授業を実施した。実施は、東京学芸大学附属高等学校3年生の「生物」の授業の一部を授業者が特別講師として補助する形で行われた。授業補助の対象となったのは2017年1月25日1時限目と2時限目の授業であり、それぞれ約30分ずつの研究授業を2回実施し、参加者は18名と8名であった。なお、参加者は全員事前アンケート回答者であった。

2. 5 事後質問紙調査と授業者への聞き取り

授業に参加した26名(1時限目18名、2時限目8名)の生徒に対して、事前に行ったのと同じ質問紙による調査を行い、授業の効果を検証した。

また、授業者に対して授業実施後に聞き取りを行い、実施した授業の課題や理科課題研究へのつながりについて検討した。

3. プログラムの実施結果

3. 1 事前指導と授業案づくり

指導の結果、授業者は研究授業の核となる植物の組織培養技術について熟練し、ほぼ失敗なくシロイヌナズナの胚軸外殖片からカルス、シュート、不定根が誘導できるようになった(図1)。

授業案についても「方法」であげた方針に基づいて作成し、約30分間の内容で複数回の模擬授業を実施した。



図1 シロイヌナズナ胚軸の組織培養
胚軸の組織培養によってそれぞれシュート(葉・茎)、カルス、不定根を誘導した。授業者が研究授業向けに培養したものを撮影。スケールバーは5mmを示す。

3. 2 研究授業実施の様子

授業はおおよそ、「組織培養の定義と概要の解説」→「植物の組織培養の解説(植物細胞が分化全能性を持っていることの解説)」→「植物の組織培養を行ったシャーレの配布と観察」→「iPS細胞の解説(プリント配布)」→「動物細胞と植物細胞の分化全能性の違いについての考察(生徒各自に自分の考えを書かせる)」という流れで行われた(図2)。



図2 研究授業の様子
配布した組織培養シャーレを観察する生徒

1時限目(生徒18名)については最初授業者は緊張しており、授業を進めることに不安を感じている様子が見て取れた。特に、緊張のためか板書が計画していたよりも若干内容が少なく、かつバランスが悪かった。しかし、授業中盤で授業者が作成した植物の組織

培養のシャーレを生徒に配布したところ、生徒側の反応が大変良く、ほぼ全員がシャーレをのぞき込み、「(カルスが) ブロコリーみたい」「植物ホルモンはすごい」などの声が聞かれた。授業者はこの反応で元気づけられた様子で(実際に授業後の授業者に対する聞き取りでもそのように回答した)、その後は緊張もなくなり、配布したシャーレに関する解説を中心として円滑に授業を進めることができた。

シャーレの配布後は、生徒は授業者の指示に基づいてシュート、カルス、不定根を誘導したシャーレをそれぞれ1人ずつ観察した。生徒ごとに違いはあったものの、多くの生徒が組織培養した各シャーレを同時に配布したルーペを用いて数分以上観察しており、それぞれの再分化した組織の特徴をとらえることができていたようだった。

一方、組織培養のシャーレ観察後に植物細胞との比較を意図して行ったiPS細胞の解説に対しては、植物の組織培養と比べると生徒の反応があまりなかった。授業者自身もあまり手応えを感じなかった様子で、改善が必要であると感じた様子だった。なお、実際に事後に生徒に対して行った質問紙調査(後述)でもiPS細胞に対する理解は深まっていなかった。

2時限目(生徒8名)の授業についても1時限目とほぼ同様であったが、生徒数が少ないこともあって、授業者は最初から落ち着いた様子で自信を持って授業を進めていた。特に組織培養のシャーレ観察を行う際は、人数が少ないこともあり用意したシャーレ(7セット)がほぼ1人1セット行き渡ったため、1時限目よりもしっかりと観察できていた。また、1時限目の反省を踏まえて、授業者の板書、特に配布した組織培養シャーレの説明の板書に改善が見られた。しかし、やはりiPS細胞の解説に関しては関心が薄い様子で、理解が深まっていないことが伺えた。

3. 3 授業後の質問紙調査と授業者への聞き取り調査

授業後の質問紙調査の結果、植物の組織培養そのものに対する理解度は授業前に実施した質問紙調査の結果と比較して有意に高まっていた(授業者が回答を数値化してt検定で統計的に解析)。組織培養のシャーレを配布し、脱分化誘導されたシュート、カルス、不定根の実物を観察させたことの効果が大きかったと思われる。

一方で重視した点であったにも関わらず、iPS細胞に対する理解度はあまり深まっておらず、結果として動物細胞と植物細胞の分化全能性の違いに関する理解も十分には高まっていなかった(授業後も分化全能性

の違いについて「あまり理解していない」と回答した生徒が約6割を占めた)。

また、授業後の質問紙の中では、指導要領にある理科課題研究の「(生徒の)科学的に探究する能力と態度を育てるとともに、創造性の基礎を培う」(文部科学省, 2009)に基づき、この授業の成果を理科課題研究にもつなげることを念頭に、「(今回の授業で解説した)動物細胞と植物細胞の分化全能性の違いの原因は何か」ということを授業の内容を踏まえて探求的に考察させるという課題も出した。しかし、ほとんどの回答が「動物の方が複雑だから」というような表面的な考察にとどまっていた。

授業後に授業者について授業の感想、反省について聞き取りを行ったところ、全体としては、生徒に植物の組織培養についてのより深い理解をさせることができたという手応えを感じていた。特に、最初は自信がなかったが、自分自身が作成した組織培養のシャーレを例示(配布)したことで生徒の関心が目に見えて上昇したことで、落ち着いて授業を進められ、生徒の理解にもつながっているという実感があったとのことだった。

一方で、iPS細胞の説明とそこからの動物細胞と植物細胞の分化全能性の違いについては、授業者自信も説明が不十分であり、生徒の十分な理解も得られなかったと認識していた。授業者自身は、例えばプリントだけではなく、ビデオやインターネット動画などの視覚教材を使うなどの工夫が必要だったと感じていた。

また、組織培養の指導から授業実施にいたるまでの一連のプログラムを行った結果として、現職教員となった場合に植物組織培養を題材とする発展的な授業や理科課題研究の指導に対する具体的なイメージを持つことができたとの感想も聞かれた。また、高等学校の理科室の設備では通常は難しい植物組織培養の技術についてしっかりと学び、それを授業に生かすことができたことで、今後も大学と連携した授業づくりができる手応えも感じていた。

4. プログラムの実施に対する検証と評価

研究授業後の質問紙調査から参加した生徒の植物の組織培養に対する理解が有意に上がっていたこと、授業者が研究授業において生徒の理解が深まったと感じ、今後の植物の組織培養を用いた授業づくりへの手応えを実感することができたことから、今回実施した研究授業プログラムは一定の成果をあげたと言える。

特に、授業者が実際に植物の組織培養を実施し、それを例示するという試みが成功したことは大きい。

植物の組織培養のためには無菌操作のためのクリーンベンチ、オートクレーブなどの大型機器と培地作成に必要な薬品類、特に植物ホルモン（オーキシン、サイトカイニン）の適切な調整が必要であり（杉山 2002）、設備の費用の問題から高等学校での実施は通常は難しいと考えられる。そのため、植物組織培養の実験を生徒に実施させる、あるいは今回のプログラムのように例示しようとするのであれば、大学または研究機関との連携が必須となってくる。特に、理科課題研究では効果が期待される場合には、大学や研究機関、博物館などと積極的に連携・協力を図ることができるとされており（文部科学省 2009）、その点からも今回、植物の組織培養を設備が整備されている大学（東京学芸大学教育学部生命科学分野）で行い、それを活用して附属高等学校で研究授業を行う教育プログラムが実施できたことには大きな意義がある。

今回の研究成果を踏まえて、将来的に授業者が植物の組織培養をテーマとした理科課題研究等の授業を行う際にも、今回と同様に東京学芸大学教育学部生物教室と連携して実施できると考えられる（聞き取り調査によると、授業者本人もそのような考えを持っている）。現在、東京学芸大学を含めた教員養成大学の理科教員養成課程はその存在意義が問われている現状があるが（川上 2010）、本研究の成果は理科教員養成課程が有する専門性の高い技術、設備を直接生かして高等学校での授業開発につなげるケーススタディであり、そうした疑問に対する回答にもなっている。

また、このような大学と高等学校で連携して行う教育プログラムでは、両者のスムーズな連携が必要であり、特に今回のような試行段階のプログラムではそれが重要である。この点において、互いに状況をよく把握している大学と附属高等学校が連携したことは、本プログラムが成果をあげることのできた大きな要因の1つであると言える。

一方で、本研究のプログラムにはいくつかの課題も見られた。特に課題と考えられたのは、授業者が生徒に植物細胞と動物細胞の分化全能性の違いを理解させるための工夫である。今回のプログラムでは授業実践において、基本的に分化全能性を保持している（容易に分化全能性を再獲得する）植物細胞に対し、動物細胞では通常は分化全能性が失われていることを理解させるため、iPS細胞を授業で利用するように指導した。iPS細胞はES細胞（胚性幹細胞）と同様に体を構成する全ての細胞・組織に分化する多能性を持ち、再生医

療での利用がきわめて有望であると考えられているが（小沼 2016）、複数の遺伝子を遺伝子組換え技術を用いて強制的に発現させないと多能性の再獲得をさせることができない。そのため、適切な濃度の植物ホルモンを与えて培養するだけで分化全能性の再獲得をさせることのできる植物細胞（駒嶺 1984）との比較に適している。しかし、授業実践ではiPS細胞についての解説が十分とはいえず、授業者自身もそのように感じていた。iPS細胞については生命倫理教育の一環として高等学校で教える試みはあるものの（鈴木 2009）、分化全能性の違いと関連して教えている例はないと考えられる。

本研究の結果は、iPS細胞を高等学校で教える場合どのような形で取り上げることが適切であるかは検討の余地があることを示しており、授業者への聞き取り結果にもあったように視覚教材を用いるなどの方法で改善をはかり、植物細胞との分化全能性に違いにつなげることができるような工夫を行っていくべきであろう。また、今回研究授業の最後に生徒に動物細胞と植物細胞の分化全能性の違いを探索的に考察させたものの、十分な考察ができていなかった。これは植物細胞に対するiPS細胞への理解が不十分だったことに加え、授業者自身がこの分化全能性の違いについて十分な理解、考察ができておらず、生徒の活発な探求的活動を引き出すことができなかつたことも大きいと考えられる。したがって、今後は本教育プログラムの中に、授業者自身に植物細胞と動物細胞の分化全能性について十分に考察させ、文献などを元に指導者と事前にディスカッションする場を加えるなどの対応も必要である。

本研究はあくまでプログラム開発の最初の段階といえるものである。特に、現段階では実際にプログラム実施者が理科課題研究（次期指導要領では理数研究）の指導を行っていないことから、プログラムが実際に有効であるかについては今後必ず検証が必要である。今後は、以上であげたような点を改善するとともに、できるだけ多くの生物を専門とする理科教員養成課程の学生にこのプログラムに参加してもらい、最終的に高等学校で植物の組織培養をテーマとする理科課題研究に取り組むことでプログラムの実際の効果を測っていききたい。これはある程度長い期間がかかると予測されるが、教員養成大学の理科教員養成課程では実施可能であると考えている。

また、こうしたプログラム開発の成果は、将来的には理科課題研究を始めとする理科の探求的活動の対してハードルを実感している現職教員向けのプログラ

ム開発にも応用したいと考えている。

謝辞

本研究のプログラム対象者（授業者）である東京学芸大学教育学部の杉村快氏，授業者による質問紙調査，特別講師としての授業実践に多大なるご協力頂いた東京学芸大学附属高等学校の内山正登先生，そして研究授業に生徒として参加した同高等学校生物履修クラスの3年生の生徒の皆様に心より感謝する。

引用文献

浅島誠ほか20名（2013）生物．東京書籍．平成24年検定。
川上昭吾（2010）教員養成論：理科の教員養成に関連して．
理科教育学研究51：31-38。
小沼憲祥（2016）iPS細胞の基礎と臨床．日大医学雑誌75：
56-60。
駒嶺穆（1984）植物のバイオテクノロジーと計測．計測と制

御 23：751-758.

嶋田和正ほか21名（2013）生物．数研出版．平成24年検定
島本功・岡田清孝・田畑哲之（編）（2005）モデル植物の実験
プロトコール改訂3版，p.324，秀潤社。
庄野邦彦 他13名（2015）生物．実教出版．平成26年検定
杉山宗隆（2002）器官の再生．蛋白質核酸酵素 47：1587-
1592。
鈴木哲也（2009）理科教育における生命倫理の授業開発（1）
-「脳死と心臓死」から「クローンとES細胞」への連続
した授業を通して．埼玉純真短期大学研究論文集2：73-
79。
東京大学生命科学教科書編集委員会（編）（2015）現代生命科
学，p.189，羊土社。
本川達雄ほか17名（2013）生物．啓林館．平成24年検定。
文部科学省（2009）高等学校学習指導要領解説理科編理数編，
p.135，文部科学省。
吉里勝利ほか16名（2013）高等学校生物．第一学習社．平成
24年検定