

「光触媒」を活用した新たな施設園芸技術の開発と導入

県立静岡農業高等学校教諭 望月 基希

1 事業の概要

本校の環境教育において、私は「環境との共生」を中心とし、生命産業に係わる「産業（Industry）」、Technology分野を含む「科学（Science）」、地域社会のつながりを重視した「地域（Community）」の3要素の深まりの中から、「環境との共生」意識をしっかりと持った「人間（Humanity）」づくりを目指して各要素について学習内容を精査した。また、これらの要素と強い結び付きを持った他教科での学習内容との接続にも充分考慮しながら、領域間の調和ある環境教育の実践を目指した。

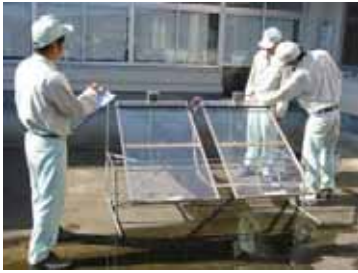
静岡県はワサビの生産額が日本一であり、特に安倍川はワサビ栽培の発祥地（静岡市葵区有東木地区）として、また江戸時代から続く伝統的な産地として、全国的に知られている。安倍川水系のワサビ農家は、ワサビ田に温室を設置し、冬季の雪害や病害虫の侵入からワサビを守る独特の栽培を行っている。しかし、ワサビの生育適温は8～18℃と低く、夏季の温室でのワサビの育苗・収穫は困難（軟腐病発生）とされている。近年、地球温暖化の加速が懸念され、その状況はますます深刻化し、安倍川の水文化・ワサビ栽培を守る新たな農業システムの確立・普及が急務となっている。そこで、私は地球温暖化による産地の危機を防ぐべく、太陽光と河川水をリンクさせた「光触媒」による新たな施設園芸技術を本校の農業教育の中で確立し、生徒の手で地域社会に提案・普及させた。

本取組は「科学（Science）」分野を用いての地球温暖化防止に貢献した教育活動であり、先の「目的」を達成するため、自然エネルギーである太陽光（紫外線）を活用した光触媒（光誘起超親水化反応（水膜形成）による気化冷却効果、光誘起分解反応（有機物分解））に関する実験・実践（「課題研究」、「光触媒研究部（部活動）」、環境科学科生徒89人、週4日（平日、土・日曜日）/年）を行った。

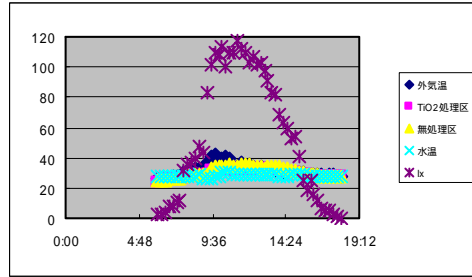
2 事業の成果

(1) 光触媒に関する基礎研究

光触媒の基礎研究として、光触媒フィルム実験装置の設計・製作を行った。平成18年9月、酸化チタン処理区及び無処理区を設け、フィルム内側の温度測定・データ解析を実施した（第1・2図）。散水については、フィルム上部に0.6mmの多数の穴があいた散水ホースを設け、約200ml/m・minの割合で実施した。酸化チタン処理区は、光誘起超親水化反応により最少の水で薄い水膜を形成したが、無処理区は疎水性を示し、水をはじいた（第3図、約3倍の親水面積の差）。酸化チタン処理区のフィルム内側温度は、無処理区のそれより下まわることが分かった。



第1図：光触媒フィルム実験装置



第2図：親水性の相違がフィルム内側温度に及ぼす影響、



第3図：光触媒による親水性と疎水性の違い

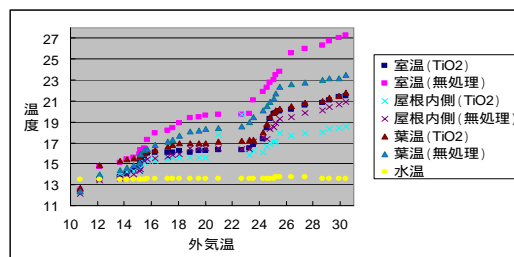
左：無処理区（疎水性）、右：光触媒処理区（親水性）

(2) 光触媒を用いた基礎研究

光触媒温室実験装置（10,500cm²、高さ64cm）を製作した。断熱材（スタイロフォーム）で温室内を2区分し、一方の屋根・側面にのみ酸化チタンを塗布し、他方は無処理区とした。素材はアクリル板とし、屋根には散水ホースを取り付けた。散水時、人為的に実験装置を加熱し、屋根内側表面温度、室温、葉温を測定した（第4図）。温度計は室温については装置の高さの中央32cm、葉温は安定したデータをとるため、葉の裏側に設置した。測定の結果、外気温10～15の酸化チタン処理区で室温は1.06、16～20で2.16、21～25で3.75、25～30で4.85低くなった。屋根内側温度も外気温25～30で1.91、葉温は1.82低くなった（第5図）。



第4図：光触媒温室実験装置



第5図：光触媒温室実験装置を用いての測定結果、単位：

(3) ワサビ田における応用研究・実践活動

平成19年3月、静岡市北部のワサビ田で農家と共同実験・活動を行った。光触媒ガラス温室及び普及型光触媒温室、水力発電機、太陽電池パネルを設置、太陽光・河川水をリンクさせ、光触媒の効果を調査・検討した。

ア 光触媒ガラス温室（平成19年度・静岡市俵沢）

ワサビ田横に光触媒ガラス温室（7.8m²、高さ2.6m）を建設した。建設場所はもともと荒

地であったが、生徒の手で土を均し、作土層を作り、温室を建設した（第6・7図）。なお、温室内でワサビ栽培を行うため、温室下部は沢の水が流れる構造とし、揚水エネルギー源として最大出力500Wの水力発電機（大きさ：2,000cm²・高さ51.5cm、動力：沢の水力）及び最大出力125W/hの太陽電池パネル2枚を活用した（第8・9図）。温室は内部で2区分（熱線カットフィルム）し、一方の屋根に酸化チタンを塗布、処理区及び無処理区を設けた。平成19年7月、温室屋根表面に散水、温室内部の温度等の測定を行った（第10・11図）。10時から14時（外気温平均32.4℃）に光触媒処理区散水あり・無処理区散水なしで、屋根内側表面温度は14.4℃（第12図）、室温については6.0℃（第13図）、両区散水で屋根内側表面温度は2.9℃（第14図）、室温については2.4℃（第15図）の差が認められた。熱流計のデータを解析すると、光触媒処理区散水ありと無処理区散水なしの熱の出入りの差が平均200.4Wm⁻²となり、蒸発潜熱による処理区の熱の流出が明らかとなった（第16図）。

また、ワサビ田と東京大学先端科学技術研究センター屋上の光触媒ガラス温室（ワサビ田横に設置した温室と同一のもの（7.8m²、高さ2.6m）、実験処理区・方法も同一である）とのデータを比較すると、気温30℃でワサビ田の室温差が4.7℃（第18図）であったのに対し先端研屋上は2.4℃（第19図）であった。温度差の原因として、ワサビ田では18.4℃の沢の水を、先端研屋上は29.6℃の水道水を散水したことが挙げられる。以上のことから、低い水温と光触媒の親水性を組み合わせることにより、一層高い冷却効果が生じることが明らかとなった。

平成20年12月、光触媒処理区散水あり・無処理区散水なしでのガラス温室の温度測定を行った。外気温3℃における散水ありの光触媒区・屋根外側温度は散水なしの無処理区にくらべ、4.9℃高く、水温（平均13.2℃）による放射冷却の抑制効果が見られた（第17図）。



第6図：建設予定場所の整備



第7図：ガラス温室内部の作土層作り



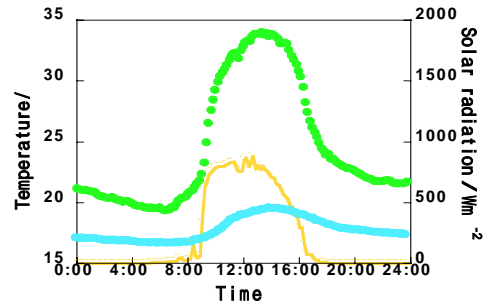
第8図：完成した光触媒ガラス温室



第9図：沢の水を活用した水力発電機

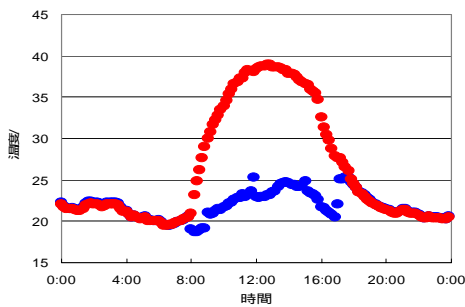


第10図：温度計設置中の光触媒ガラス温室

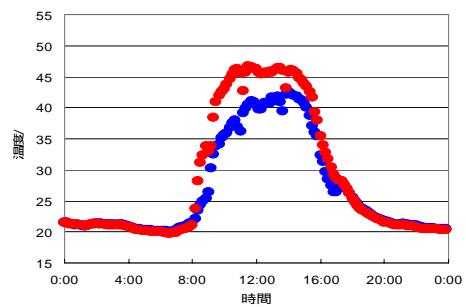


第11図：環境測定の結果

緑：外気温、黄：日射量、水色：水温

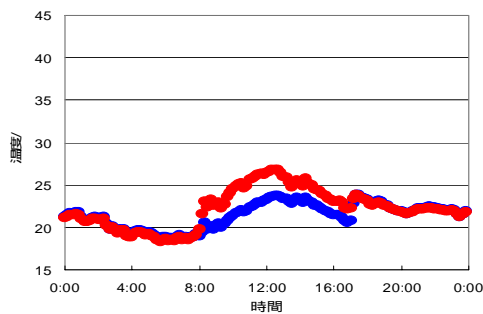


第12図：光触媒ガラス温室・屋根内側表面温度

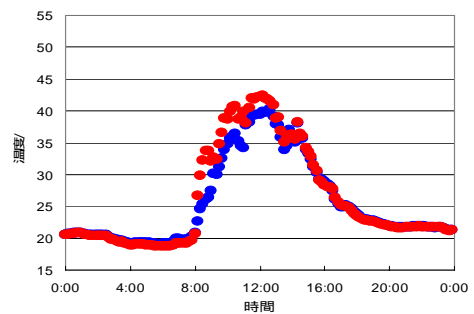


第13図：光触媒ガラス温室・室温

第12・13図 青：光触媒処理区・散水あり、赤：無処理区・散水なし

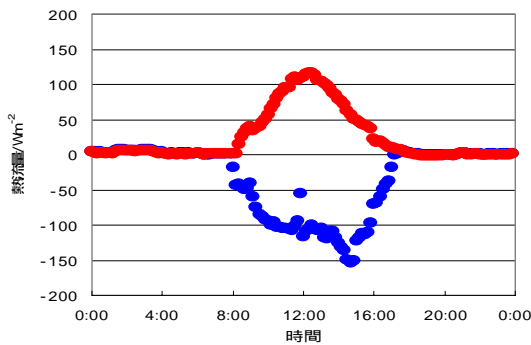


第14図：光触媒ガラス温室・屋根内側表面温度



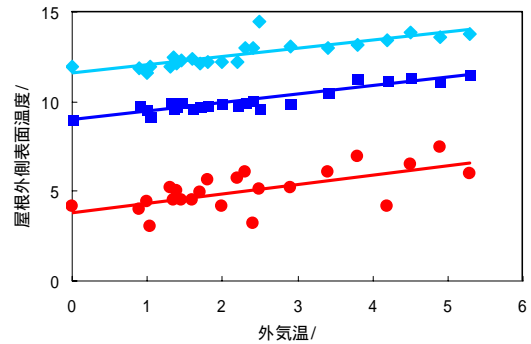
第15図：光触媒ガラス温室・室温

第14・15図 青：光触媒処理区・散水あり、赤：無処理区・散水あり



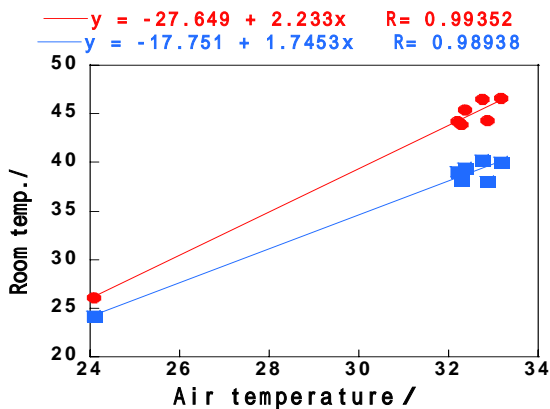
第16図：光触媒ガラス温室における熱流量の相違

青：光触媒処理区・散水あり
赤：無処理区・散水なし



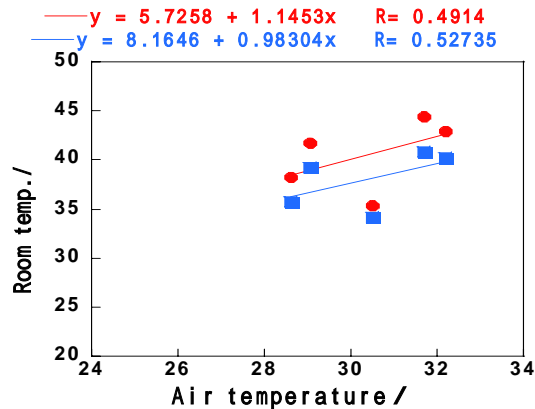
第17図：光触媒ガラス温室・外気温と屋根外側表面温度の関係

水色：沢水温、青：光触媒処理区・散水あり
赤：無処理区・散水なし



第18図：光触媒ガラス温室・室温

(静岡市葵区依沢・平成19年度)



第19図：光触媒ガラス温室・室温

(東京都目黒区駒場・平成17年度)

第18・19図 青：光触媒処理区・散水あり、赤：無処理区・散水なし

イ 普及型光触媒温室 (平成19・20年度・静岡市依沢)

エフクリーンを素材とする普及型光触媒温室 (17.8m²、高さ2.8m) ・2棟の建設・実験を行った (第20・21図)。1棟は温室表面にスプレーガンで酸化チタンを塗布し、他方は無処理区とした (第22図)。平成20年7月、光触媒処理区温室表面に散水実験 (熱電対・サーモグラフィーによる温度測定) を行い、室温が外気温を下回る高い冷却効果 (10時から14時平均：フィルム内側温度11.8 (第23図)、室温11.1 (第24・26図)、外気温33.8) を認めた。なお、普及型温室が光触媒ガラス温室より冷却効果が大きくなった要因として、温室の親水 (TiO₂) 面積の割合がガラス温室の3倍高かったこと (親水 (TiO₂) 面積/温室全表面積×100 (%) = ガラス温室27.6 (%) ・普及型温室83.2 (%))、フィルムの厚さはガラスの1/50であることが挙げられる。

ワサビの生育については、光触媒処理区の日焼け葉数は無処理区の56%であり、高温による被害を軽減できた（第1表）。

平成20年10・12月、光触媒処理区に24時間、散水実験を行ったところ、秋季は16時から翌日の11時まで、冬季については24時間、光触媒処理区の室温が無処理区を上回り、水温による秋季・冬季の保温効果を認めることができた（第25図）。

なお、光触媒処理区は、無処理区より約1.6倍の光透過率があることが分かり、光誘起分解反応による温室表面のコケ付着防止を確認できた（第27・28図、第2表）。



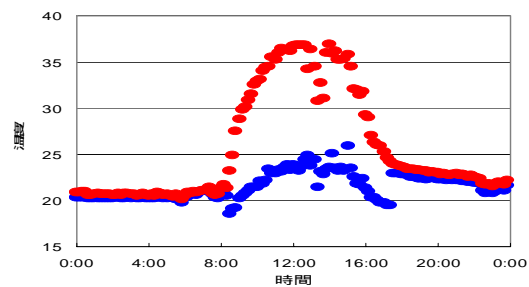
第20図：普及型光触媒温室の組立



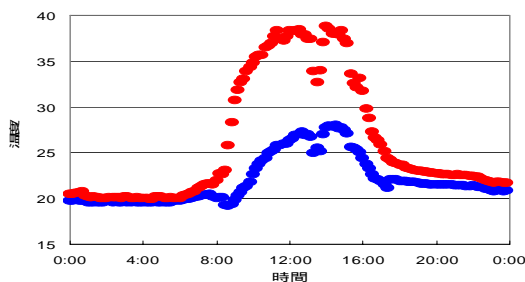
第21図：建設した普及型光触媒温室



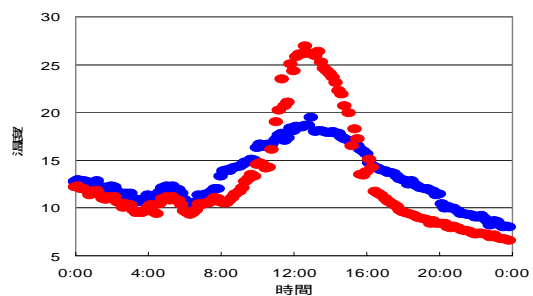
第22図：温室へのTiO₂の塗布



第23図：普及型光触媒温室（俵沢）・フィルム内側温度

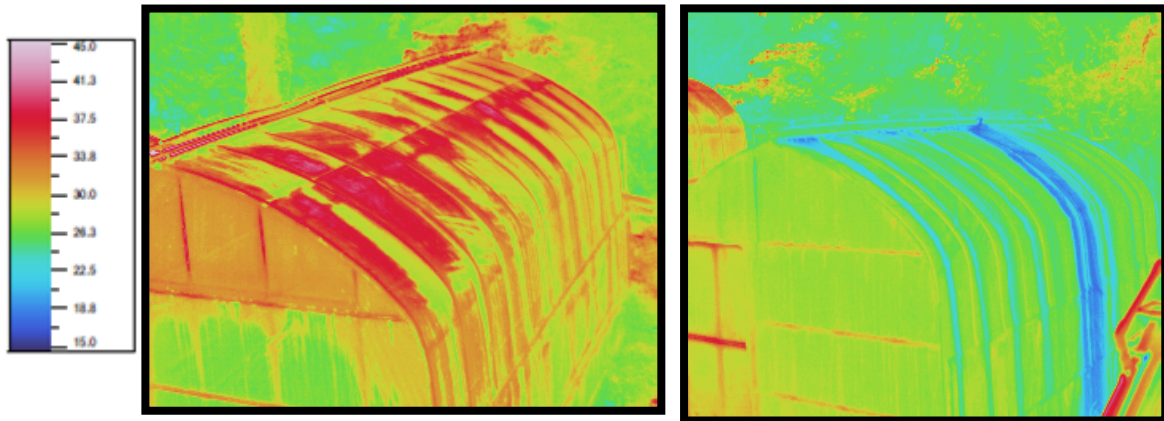


第24図：普及型光触媒温室（俵沢）・室温



第25図：普及型光触媒温室（俵沢）・秋季室温

第23・24・25図 青：光触媒処理区・散水あり、赤：無処理区・散水なし



第26図：サーモグラフィーで測定した普及型光触媒温室（俵沢）のフィルム表面温度・室温の相違
 左：無処理区・散水なし、右：光触媒処理区・散水あり、単位：

第1表：光触媒処理区の冷却効果による日焼け葉数の相違

	無処理区	光触媒処理区
日焼け葉(枚/20 m ²)	129	72

データは平成20年6月20日現在。光触媒処理区のみ、平成20年4月より散水。



第27図：温室設置後・90日目（無処理区） 第28図：温室設置後・90日目（光触媒処理区）

第2表：コケの繁茂による温室内部の照度の相違

	外 部	無処理区	光触媒処理区	(lx)
平 均	826.0	471.2	729.6	

データは平成19・20年7月下旬の平均値(5反復)

(4) 実践活動の広がり（平成20年度）

ア 杉山ワサビ農園への導入（静岡市梅ヶ島）

農業経営士・杉山昌弘氏は夏季の冷却効果と秋・冬季の保温効果を期待し、普及型光触媒温室の導入（静岡市最北部・梅ヶ島）を決め、生徒と共に温室の建設を行った。温室規模（対象：1棟）は42m²、高さ2.5m、被覆膜はビニール素材・POから硬質フィルム・エフクリーンに変更し、表面に酸化チタンを塗布、被覆膜内側に遮光ネットを併用した（第29図）。散水は沢の水を用い、散水の動力は今後の普及の広がりを考え、安価な整備費で済む河川の落差による位置エネルギーとした（第30図）。平成20年7月、温室表面に散水実験を行い、温度測定を行った。温度差については、散水実施日と散水未実施日で日射量が類似した日を比較して求めた。散水実験の結果、冷却効果（10時から14時の平均：フィルム内側

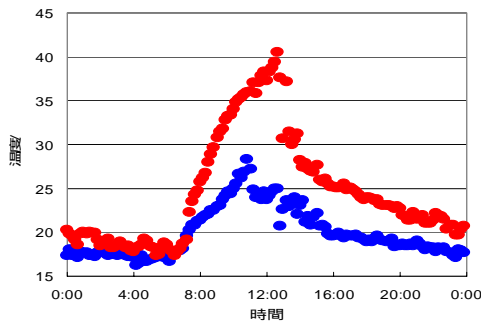
温度11.2（第31図）、室温8.5（第32図）、外気温29.2、遮光ネットの併用→室温25以上（ワサビの生育に悪影響を及ぼす）の時間帯の短縮化）を認めた。



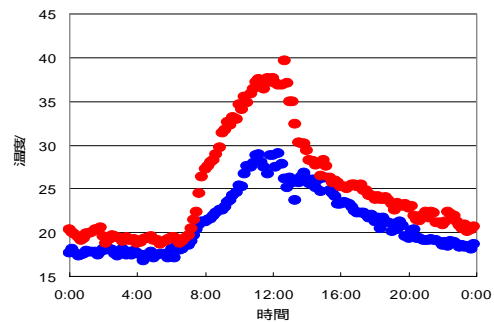
第29図：遮光ネット・エフクリーンの展張



第30図：散水ホースの取り付け作業



第31図：普及型光触媒温室（梅ヶ島）・フィルム内側温度



第32図：普及型光触媒温室（梅ヶ島）・室温

第31・32図 青：散水実施日、赤：散水未実施日

イ 杉山ワサビ農園への導入（静岡市梅ヶ島）

農業経営士・杉山昌弘氏は、普及型光触媒温室のさらなる建設を決め、生徒と共に温室の設置を行った。温室規模（対象：1棟）は72m²、高さ2.8m、被覆膜は硬質フィルム・エフクリーンとし、表面に酸化チタンを塗布、被覆膜内側に遮光ネットを併用する。散水は沢の水を用い、散水の動力は河川の落差による位置エネルギーとした。平成21年2・3月、現場を測量し、温室の骨組みを完成させた（第33・34図）。



第33図：ワサビ田での測量



第34図：温室の骨組みの建設

ウ 中伊豆ワサビ組合・育苗温室への光触媒の導入(伊豆市)

平成20年4月、中伊豆ワサビ組合・育苗部長・塩谷広次氏は、組合の育苗温室に著しくコ

ケが繁茂しているため、従来ある温室をコケの分解作用のある光触媒温室（19.3m²、高さ2.9m）に造り換えることを決めた。中伊豆ワサビ組合は全国1位のワサビの生産高を誇っており、その組合の温室の施工依頼を受けた本校・生徒は光触媒温室の普及に手応えを感じた。生徒はワサビ組合の青年部10人と協力して、従来あった温室の屋根（コケ付着）をはがし、酸化チタンをコーティングした屋根（生徒・組合員がポリカーボネート30枚を学校で塗布）に張り替え（第35図）、コケの分解作用の強い育苗温室を完成、実用化させた（第36図）。通常、ワサビ田では2週間でコケが繁茂するが、施工8週間後もコケの発生は確認されておらず、処理後の温室内照度は処理前の1.8倍となった（第3表）。



第35図：温室屋根の張替え



第36図：共同作業した中伊豆ワサビ組合青年部

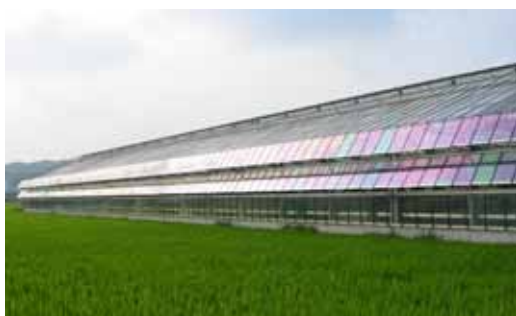
第3表：屋根（TiO₂塗布）の張り替えによる温室内部の照度の相違

	外 部	処理前	処理後8週間	(lx)
平均	917.4	443.3	788.1	

データは平成20年7月下旬の平均値(5反復)

エ 農業関連施設・掛川花鳥園への光触媒ガラス温室の導入（掛川市）

本校・生徒に農業のテーマパーク「掛川花鳥園」（卒業生（光触媒研究部）・勤務）から花卉園芸用のガラス温室（10,000m² = 7,000m²（高さ12.0m）の温室 + 3,000m²（高さ6.0m）の温室）への光触媒の導入依頼（目的：従来は親水・分解性のない屋根に散水 屋根にコケ発生 親水・分解性のある光触媒の導入）がきた。生徒は、掛川花鳥園・東京大学先端科学技術研究センターの関係者とミーティングの機会を設け、計画・設計に入った。今後、酸化チタン塗布作業を実施する（第37・38図）。本校・生徒はワサビ以外の作目においても、光触媒温室が普及しやりがいを感じた。



第37図：光触媒を塗布する3,000m²の温室



第38図：大型ガラス温室の屋根での散水確認

(5) 普及活動(平成18・19・20年度)

普及活動として、生徒は静岡県ワサビ組合や安倍ワサビ組合、「移動産学官交流」講演会・交流会(清水商工会議所主催、第39図)での発表、東京大学における発表、静岡市立賤機都市山村交流センターでの取組紹介のパネル展示、圃場での公開実験、農家訪問、新聞づくり等を通じ、光触媒を活用した農業施設の普及を目指した。さらに、学校祭での展示や研究発表会といった活動報告の機会を数多く設けた。また、ワサビ農家が現地を自由に訪れることができるよう、温室周辺の橋の架け替えや整地等の環境整備を行った(第40図)。本活動を一層進めるため、私(教師)及び生徒は東京大学先端科学技術研究センターへ訪問し教職員から指導・助言(セミナー)を仰ぐとともに、農業・食品産業技術総合研究機構、ハウス資材メーカー、塗料関連企業、安倍・中伊豆ワサビ組合、静岡県ワサビ組合連合会、農業関連施設・花鳥園と協力し、産学官の連携を密にした。



第39図：「移動産学官交流」講演会・交流会
静岡市、清水商工会議所主催



第40図：橋の架け替え作業

3 まとめ

(1) 指導及び生徒の取組の成果

ア 温室の親水面積の割合がガラス温室の3倍高く、散水・水温が低い普及型温室は冷却効果が高いことを確認し(親水(TiO_2)面積/温室全表面積 $\times 100$ (%) = ガラス温室27.6(%)・普及型温室83.2(%))、夏季の温室におけるワサビの栽培・収穫を可能にした。

イ 光触媒の分解性によるコケの付着防止を検証、温室内のワサビの育苗を可能にした。

ウ 産学官と連携しての研究・実践活動をワサビ組合や産学官交流事業、安倍川市民保護団体に報告、農家と意見交換し、静岡県下・合計10,118 m^2 の光触媒温室が実用化、12,055 $\text{kg-CO}_2/\text{kWh}$ の CO_2 削減が実現するとともに(省エネセンター「 CO_2 ・電力換算表」より算出)、安倍川・伊豆半島で長年継承されてきたワサビ栽培の存続の手立てを科学技術「光触媒」で確立できた。

エ 科学技術「光触媒」の可能性を引き出し活用しながら、静岡の母なる川・安倍川から生まれた「河川農業(ワサビ栽培)」を農業高校生の手で守り、盛り立てることができた。

(2) 現在の指導及び生徒の取組・今後の課題

- ア 寒冷紗を併用（光触媒ガラス温室では両区とも最高室温を約2 落とすことができる（平成20年度・実証済））することも含め、経営規模での中型光触媒温室群や大型の光触媒温室でワサビ苗を栽培し、生育に及ぼす影響を調査する（第41・42図）。
- イ 秋季・冬季の保温効果、凍結対策を確立する。高冷地における冬の低温障害を回避するため、水温による保温効果を静岡市梅ヶ島に設置した普及型光触媒温室（杉山昌弘氏）で検証する。
- ウ 現在、行っている光触媒フィルムの曝露試験を継続し、「光触媒を担持した、耐久性に優れた硬質フィルム」を早期に開発する。
- エ 継続的に生徒の取組を広報紙にまとめ、ワサビ農家や関連企業に配布・回覧し、光触媒温室の普及に努める。



第41図：光触媒塗布が決まった中型温室群



第42図：光触媒塗布を検討している大型温室

本研究を通して本校の環境科学科に学ぶ生徒に先端科学技術や環境保全に関する教育を幅広く実施し、「地球温暖化防止」に貢献できる人材の育成を図ることができた。「環境と共生できる産業人」育成のために専門科目の基礎教育段階における授業改善が進み、大きな成果をあげることができた。

また、「環境に関する意識付けや基本的な知識・技術の習得」だけでなく「学ぶ姿勢・態度・意欲」を育てたことは生徒の自信を引き出し、目的意識を明確に持った生徒の増加につながることができた。

私は、次のいくつかの点に留意して指導した。

生涯にわたり学び続けることのできる人の育成、 我慢ができ、目標を持って働き続けることができる人の育成、 現状を改善し、「内的起業家精神」を身につけた提案できる人の育成、 自ら周囲と調和し、学ぶ姿勢を身につけた人の育成、 困難にくじけず立ち向かう勇気のある人の育成、 成就感を味わうことができる人の育成、 今を大切に力いっぱい生きる人の育成、 人と力を合わせ協調して課題の解決に当たる人の育成、以上の8つであり、授業改善の重要な指針となった。今後も本実践を継続し、農業高校での教育の特徴を生かす中で、生徒の可能性を引き出し、「環境と共生ができる」人材を育てていきたい。