

地球温暖化に対応した光触媒技術の開発と導入

静岡県立静岡農業高等学校 光触媒研究班 青木達哉 外 10人

1 目的

安倍川は大谷嶺(標高 1999.7m、静岡市)に源を発し、流路延長 51kmの 1 級河川である。静岡市民は、飲料水や農業・工業用水を安倍川に依存しており、私達にとって最も身近な河川といえる。安倍川水系のワサビ栽培は、清流・安倍川の湧水循環の中で生まれ、江戸時代より良質なワサビが生産されてきた。安倍川水系のワサビ農家は、ワサビ田に温室を設置し、冬季の雪害からワサビを守る独特の栽培を盛んに行っている。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ている。安倍川・伊豆半島で長年継承されてきたワサビ栽培の危機が叫ばれており、ワサビ水耕文化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、私達は地球温暖化による産地の消滅を防ぐべく、環境に優しい先端科学技術・「光触媒」(太陽光・河川水利用)による新たな施設園芸技術を提案・確立し、地域社会に普及させることにした。この取組により、従来のエアコン等による温室冷却から脱却、温室効果ガス・CO₂を削減することが可能となる。

2 研究経過

私達は平成 17・18 年度、光触媒の基礎研究を行い、光触媒の「光誘起超親水化反応」(水膜形成)による気化冷却効果及び「光誘起分解反応」によるセルフクリーニング効果を確認した。

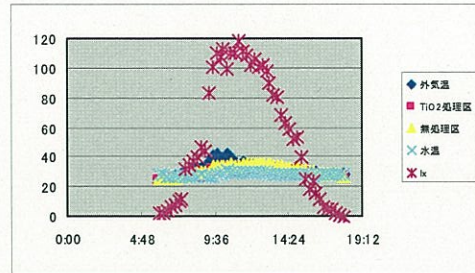
平成 19 年度、安倍川水系のワサビ田に光触媒ガラス温室(東京大学先端科学技術研究センター・橋本和仁研究室協力)を建設・散水実験し、ワサビ栽培における光触媒の有効性を検討した。その後、安倍ワサビ組合(小澤慶洋氏)と共に、普及型光触媒温室を同ワサビ田に建設した。普及活動を通じ、平成 20 年度、ワサビ農家・杉山昌弘氏や中伊豆ワサビ組合、農業関連施設・掛川花鳥園からワサビ・花卉温室への光触媒の導入依頼を受け、温室を施工、安定した農業生産・CO₂削減に貢献した。教室の学び(「理科総合 A・B、化学 I、生物 I、農業土木設計・施工、測量」)をフィールドで活かすことができた。

(1) 光触媒に関する基礎研究 I (平成 17・18 年度・静岡農業高校)

光触媒の基礎研究として、硬質フィルム・エフクリーンを活用し、光触媒フィルム実験装置を製作した。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・データを解析した(第 1 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(塩ビ管)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量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。データ解析の結果、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 2 図)。特に 10 時から 13 時にかけて、日射量は 100lx 以上になり酸化チタン処理区の温度は無処理区より約 2.5 から 2.9℃低くなった。これらの現象は、酸化チタン処理区について蒸発潜熱でフィルム温度及び周辺大気が冷却されたことにより生じたと考えられる。



第1図:光触媒フィルム実験装置

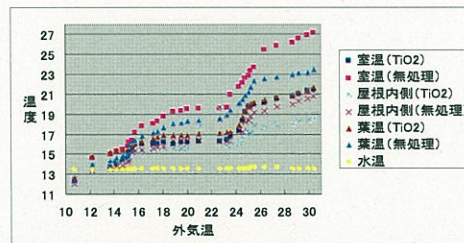
第2図:親水性の相違がフィルム内側温度に及ぼす影響
※縦軸:温度(°C)・照度(lx)、横軸:時間

(2) 光触媒を用いた基礎研究Ⅱ(平成18年度・静岡農業高校)

光触媒ガラス温室実験装置(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温し、屋根内側表面温度、室温、葉温を測定した(第3図、静岡大学教育学部丹沢哲郎研究室協力)。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°Cの酸化チタン処理区で室温は1.06°C、16~20°Cで2.16°C、21~25°Cで3.75°C、25~30°Cで4.85°C低くなった。屋根内側表面温度も外気温25°C~30°Cで1.91°C、葉温は1.82°C低くなった(第4図)。以上のことから、高温になるほど、酸化チタン処理区は対照区と差が広がり、夏季に十分な冷却効果が得られることが期待できる。



第3図:光触媒ガラス温室実験装置



第4図:実験装置(第3図)を用いての測定結果

(3) 光触媒に関する基礎研究Ⅲ(平成18年度・静岡農業高校)

光触媒ビニールハウス(21,840cm²、高さ190cm)・2棟の製作に取り掛かった。光触媒ビニールハウスの屋根はポリカーボネートを用い、1棟は酸化チタン処理区とし、他方は無処理区とした。第5図の通り、ビニールハウスが完成した。屋根上部には散水ホースがあり、揚水には水中ポンプを用いた。光触媒ビニールハウスの揚水エネルギー源として、小水力発電機(10V)及び発電最大60W/hの太陽電池パネルを設置、発電・散水に成功した。なお、太陽電池パネルは最適傾斜角度を調査、最適傾斜15°で固定した。平成18年12月、散水条件下で酸化チタン処理区と無処理区の屋根内側表面温度、室温、葉温を測定、比較・検討した(第6図)。葉温測定は安定したデータを採取するため、葉の裏側とした。

ア 屋根内側表面の測定結果

11時から15時にかけて、酸化チタン処理区の温度は対照区よりも2.0~3.0°C低くなり、親水化による冷却効果が認められた。しかし、7時~9時にかけては、酸化チタン処理区の温度は対照区よりも高い温度を示した。

イ 室温の測定結果

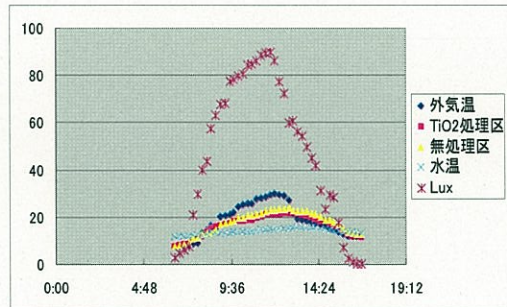
11時から16時にかけて、酸化チタン処理区の温度は対照区よりも1.5～2.0℃低くなった。しかし、6時30分から9時にかけては、酸化チタン処理区の温度は対照区よりも高い温度を示した。これは屋根内側表面温度にも見られた現象で水膜の形成で水温そのものの影響を多分に受けたことが原因と考えられ、秋季の保温効果も期待できる。

ウ 葉温の測定結果

10時から15時にかけて、酸化チタン処理区の温度は対照区よりも1.5～2.0℃低くなった。本測定は冬季に実施した。夏季にはこれ以上の温度差が生じることが確実で、その有効性が期待できる。



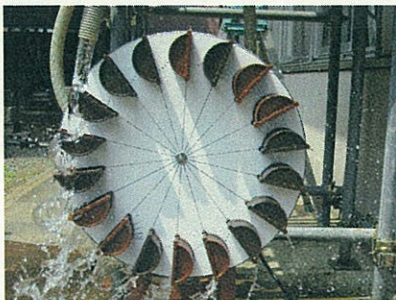
第5図：光触媒ビニールハウス



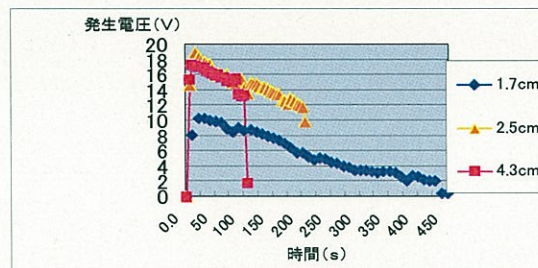
第6図：親水性の相違が室内温度に及ぼす影響
※縦軸：温度(°C)・照度(lx)、横軸：時間

(4) 水力発電に関する研究(平成17・18年度・静岡農業高校)

基礎研究として水力発電機の調査・設計を行うと共に、水車(材料:プラスチック板、大きさ:直径64cm、幅7.6cm)の回転実験、性能調査を試みた(第7図)。バケット(直径11cmの雨樋を加工)相互のピッチ角(前・後傾0°、10°、20°、30°の8区)及び水車直径(43cm、53cm、64cmの3区)、水射出径(1.7cm、2.5cm、4.3cmの3区)を変換、増速装置の有無も含め、発生電圧を調査した。発電機は定格負荷電圧14.3Vとした。水槽(直径58.0cm、高さ89.5cm、容量180l)は3個設置し、実習棟の雨水を蓄えた。以上の調査で、水力発電機は増速装置があり、水射出径2.5cm、流量0.878l/s、水車直径64cm、バケット前傾30°の時に安定した発電力を示すことが分かった(第8図)。本考察を踏まえ、光触媒ガラス温室への河川からの導水・水力発電機の設置を試みた。



第7図：水車Ⅳ型の回転実験



第8図：水射出径の相違が発生電圧に及ぼす影響

(5) 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、私達の手で土を均し、作土層を作り、温室を建設した(第9・10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11・12図)。温室は内部で2区分し、一方の屋根に酸化チタンを塗布、処理区及び対照区を設けた。平成19年7月、温室屋根に散水、温室内部の温度等の測定を行った(第13・14図)。10~14時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15図)、室温については平均6.0℃(第16図)、両区散水で屋根内側表面温度は2.9℃(第17図)、室温については2.4℃(第18図)の差が認められた。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19図)であったのに対し先端研屋上は2.4℃(第20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、低い水温で散水することにより、一層高い冷却効果が生じることが明らかとなった。



第9図:建設予定場所の整備



第10図:ガラス温室内部の作土層作り



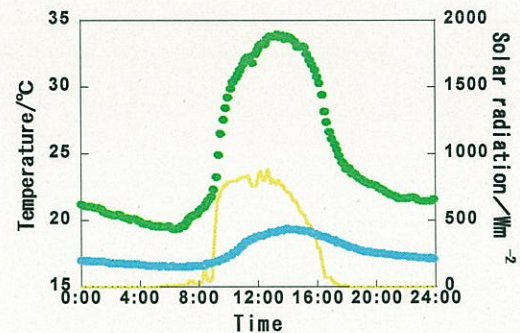
第11図:完成した光触媒ガラス温室



第12図:沢の水を活用した水力発電機

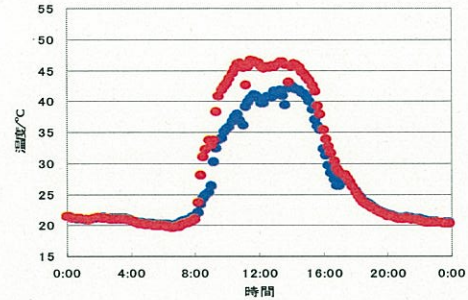
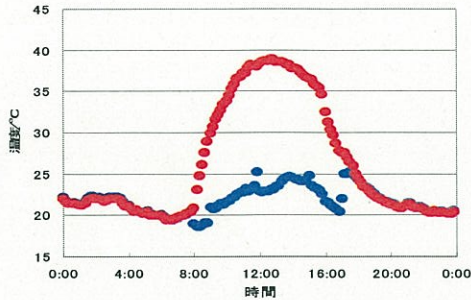


第13図:温度計設置中の光触媒ガラス温室

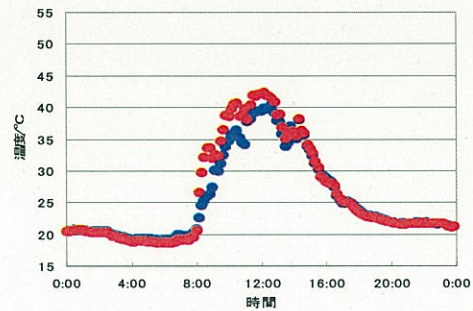
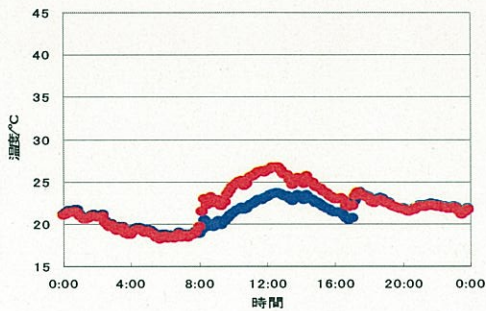


第14図:環境測定の結果

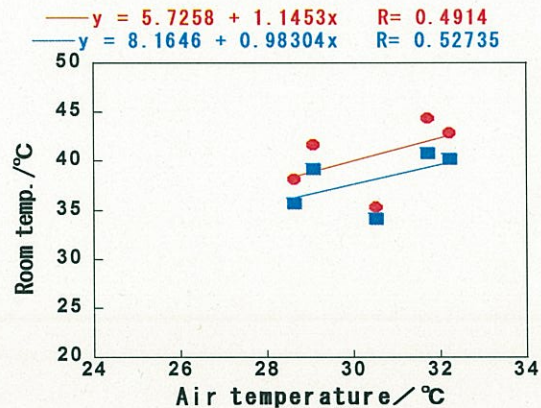
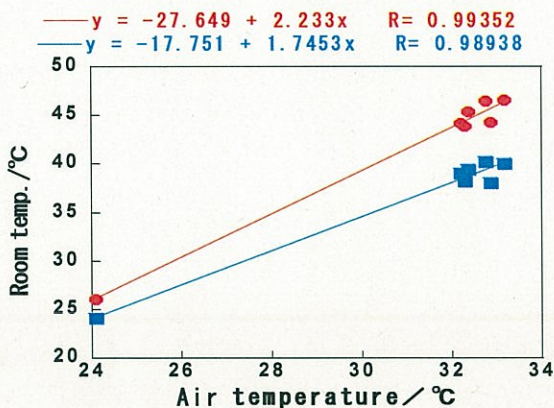
※緑:外気温、黄:日射量、水色:水温



第 15 図:光触媒ガラス温室・屋根内側表面温度 I 第 16 図:光触媒ガラス温室・室温 I
 ※第 15・16 図 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・屋根内側表面温度 II 第 18 図:光触媒ガラス温室・室温 II
 ※第 17・18 図 青:光触媒処理区・散水あり、赤:無処理区・散水あり



第 19 図:光触媒ガラス温室・室温 III
 (静岡市葵区俵沢・平成 19 年度)

第 20 図:光触媒ガラス温室・室温 III
 (東京都目黒区駒場・平成 17 年度)

※第 19・20 図 青:光触媒処理区・散水あり、赤:無処理区・散水なし

(6) 普及型光触媒温室(平成 19・20 年度・静岡市俵沢)

エフクリ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 21・22 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 23 図)。平成 20 年 7 月、光触媒処理区に散水実験(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 時の平均:フィルム内側温度 11.8°C(第 24 図)、室温 11.1°C(第 25・27 図))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

かったことが挙げられる(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%)。

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19年10月、光触媒処理区に24時間、散水実験を行ったところ、16時から翌日11時までは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26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28・29図、第2表)。



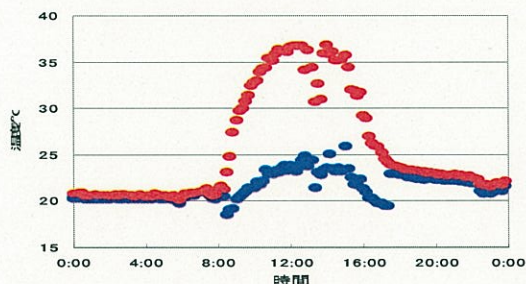
第21図:普及型光触媒温室の組立



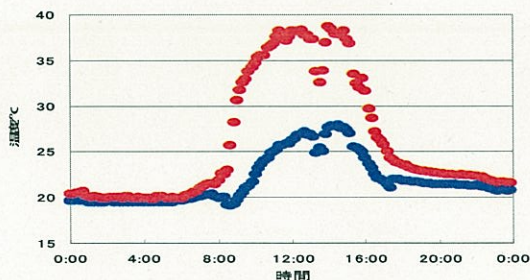
第22図:建設した普及型光触媒温室



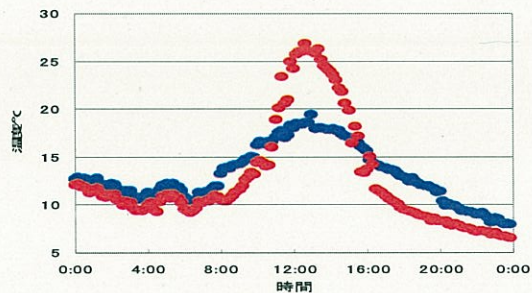
第23図:温室への TiO_2 の塗布



第24図:普及型光触媒温室(俵沢)・フィルム内側温度

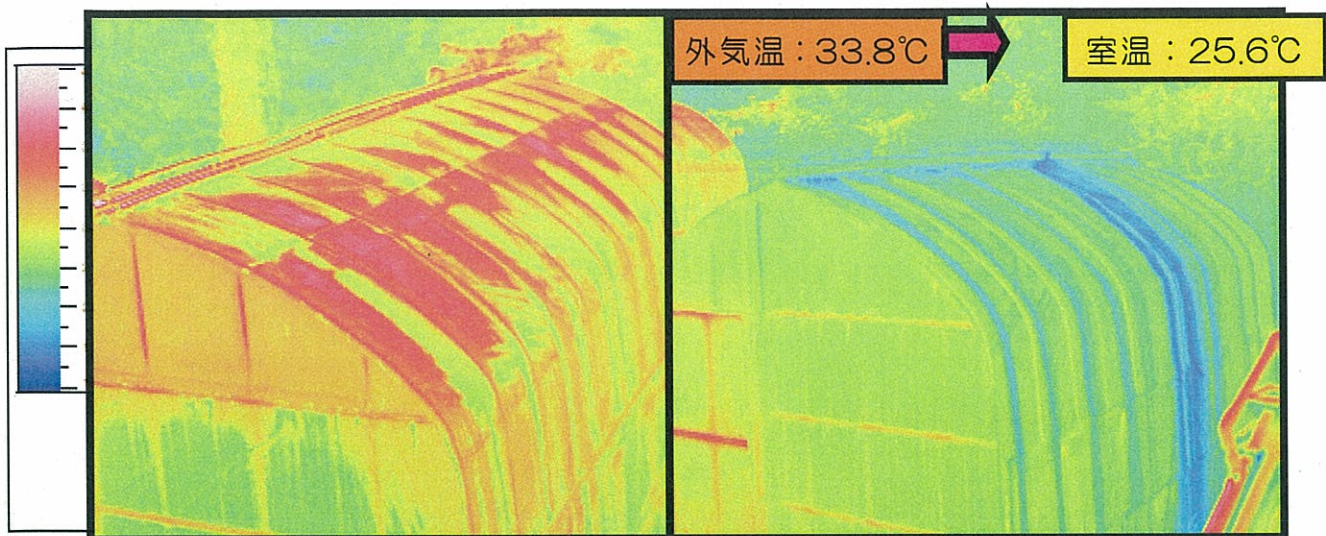


第25図:普及型光触媒温室(俵沢)・室温



第26図:普及型光触媒温室(俵沢)・秋季室温

※ 第24・25・26図 青:光触媒処理区・散水あり、赤:無処理区・散水なし



第 27 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 28 図:温室設置後・90 日目(無処理区) 第 29 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)

(7) 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、酸化チタンを塗布、遮光ネットを併用した(第 30 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 31 図)。平成 20 年 7 月、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

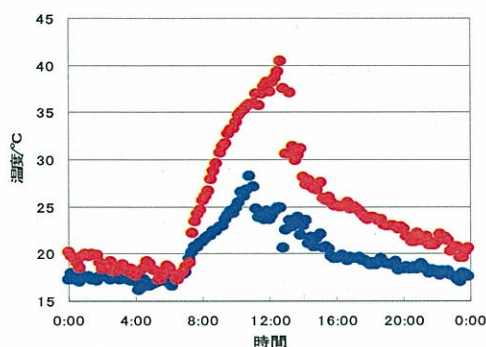
フィルム内側温度 11.2℃(第 32 図)、室温 8.5℃(第 33 図)、遮光ネットの併用→室温 25℃以上の時間帯の短縮化)を認めることができた。施工・実験は杉山昌弘氏も共同で行った。



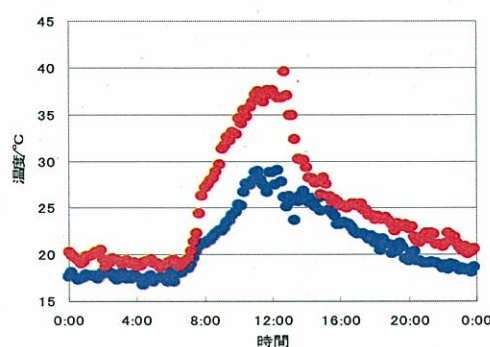
第 30 図: 遮光ネット・エフクリーンの展張



第 31 図: 散水ホースの取り付け作業



第 32 図: 普及型光触媒温室(梅ヶ島)・フィルム内側温度



第 33 図: 普及型光触媒温室(梅ヶ島)・室温

※第 32・33 図 青: 散水実施日、赤: 散水未実施日

イ 中伊豆ワサビ組合・育苗温室への光触媒の導入(静岡県伊豆市)

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私達は光触媒温室の普及に手応えを感じた。私達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(私達・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 34 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 35 図)。通常、ワサビ田では 2 週間でコケが繁茂するが、施工 4 週間後もコケの発生は確認されておらず、処理後の温室内部照度は処理前の 1.8 倍となった(第 3 表)。



第 34 図: 温室屋根の張替え



第 35 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 4 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)

ウ 農業関連施設・掛川花鳥園への光触媒ガラス温室の導入(静岡県掛川市)

私達に農業のテーマパーク「掛川花鳥園」(卒業生(光触媒研究班)・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。私達は、掛川花鳥園・東大先端研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。平成 20 年・夏に酸化チタン塗布作業に入る(第 36・37 図)。私達はワサビ以外の作目においても、光触媒温室の普及が拡大し、やりがいを感じた。

第 36 図:光触媒を塗布した 3,000m²の温室

第 37 図:大型ガラス温室の屋根での散水確認

3 普及活動(平成 18・19・20 年度)

普及活動として、私達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 38 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 39 図)。本活動を一層進めるため、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、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 38 図:「移動産学官交流」講演会・交流会

第 39 図:橋の架け替え作業

※清水商工会議所主催

4 取組の成果

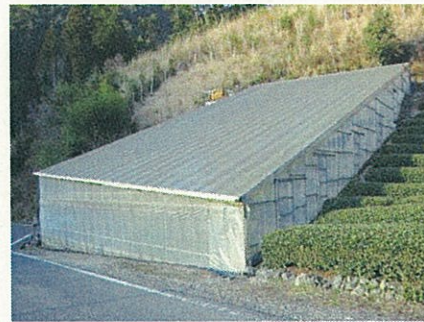
- (1) 温室の親水面積の割合がガラス温室の3倍高く、散水・水温が低い普及型温室は冷却効果が高いことを確認した(親水(TiO₂)面積/温室全表面積×100(%)=ガラス温室 27.6%・普及型温室 83.2%)。
- (2) 光触媒の分解性によるコケの付着防止を検証した。
- (3) 産学官と連携しての研究・実践活動をワサビ組合や産学官交流事業、安倍川市民保護団体に報告、農家と意見交換し、静岡県下・合計 10,118m² の光触媒温室が実用化、12,055kg-CO₂/kWh の CO₂ 削減が実現した(省エネセンター「CO₂・電力換算表」より算出)。

5 現在の取組・今後の課題

- (1) 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 40・41 図)。
- (2) 秋季・冬季の保温効果、凍結対策を検討する。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。
- (3) 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。
- (4) 継続的に私達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 40 図: 光触媒塗布が決まった中型温室群



第 41 図: 光触媒塗布を検討している大型温室

6 おわりに

光触媒温室は、先端科学技術を「環境・農業」に活かすことができる画期的な園芸施設である。私達は農家対象の研究発表や圃場での公開実験、農家訪問、新聞づくり、展示といった機会をさらに設け、大学や企業、行政、農業組合、農家との連携を密にし、日本最古のワサビ水耕地域(安倍川水系・伊豆半島)の危機を救う策を講じたい。今後も、環境に優しい手法で地球温暖化から産地を守りたい。