
農商工連携モデルを基盤とした都市地域における
完全人工光型植物工場研究拠点の形成

平成25年度～平成29年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業
研 究 成 果 報 告 書

平成30年5月

学校法人名 学校法人明治大学

大 学 名 明治大学

研究組織名 明治大学植物工場
基盤技術研究センター

研究代表者 池田 敬

(明治大学 農学部 教授)

目次

最終報告とりまとめテーマ1	2
最終報告とりまとめテーマ2	15
最終報告とりまとめテーマ3	30
最終報告とりまとめテーマ4大友	42
最終報告とりまとめテーマ4浅賀	44
最終報告とりまとめテーマ4坂本	45
最終報告とりまとめテーマ4岡田	62
業績一覧	78
資料	107

「完全制御下における植物の生理生態学的特性（根圏環境の動態を含む）研究およびその育種への応用」

池田敬・玉置雅彦・大里修一・池浦博美・斎藤岳士

完全人工光型植物工場環境下における高生産ホウレンソウ栽培に関する研究

完全人工光型植物工場では葉菜類が主として生産されているが、ホウレンソウ (*Spinacia oleracea* L.) を生産している例は限られている。その理由としてホウレンソウは長日植物であるため明期を延長することができず、生産性を高めることが難しいこと等が挙げられる。そこで完全人工光型植物工場環境下においてホウレンソウの高生産性を目指す研究を行う。

まずは比較的長日条件でも抽苔せず、高収量を示す品種を選抜する試験を行った（以下、実験 1）。品種選抜を行った後、さらに収量増加のため光環境、特に遠赤色光付加に着目した。遠赤色光には植物の生長を促進する効果（エマーソン効果）が知られている。そこで光合成光量子束密度（以下 PPF）を強く照射し、かつ、遠赤色光波長領域を出力できる Hybrid Electrode Fluorescent Lamp（以下 HEFL）を用いて、遠赤色光付与がホウレンソウの生長に有効であるか検証した（以下、実験 2）。

1. 1 材料および方法

〔実験 1〕 本研究は、明治大学植物工場基盤技術研究センタークリーンルーム内において行った。実験 1 では、神奈川県農業技術センターから供試された品種と市販品種の計 22 品種のホウレンソウを使用した。発根させた種子をウレタンの上に播種し、生育チャンバー内で光周期 12/12 時間、気温 20°C で 1 週間育苗した後、以下の条件のクリーンルーム内に定植した。光源は HEFL を使用し、光環境約 $240 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、光周期 12/12 時間、湿度 $60 \pm 5\%$ 、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ とした。栽培は湛液水耕を行い、液肥は $\text{EC} : 1.2 \pm 0.1 \text{ dS m}^{-1}$ 、 pH を 7 ± 0.5 に調整した。品種選抜に際し、定植期間を約 40 日間とし、地上部新鮮重と抽苔率を計測し、茎が 3cm 以上伸長したときに抽苔と判断した。ほぼ同条件下で 2 回反復した（以下、1 回目を実験 1-I、2 回目を実験 1-II とする）。

〔実験 2〕 実験 1 の結果、‘温品’を実験植物とした。育苗までは実験 1 と同様で、定植時に光強度約 $200 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の白色光 HEFL のみの区「対照区」と、対照区の HEFL に遠赤色光を発する HEFL を付加した「遠赤色光区」の 2 処理区に分けた。他の条件は実験 1 と同様である。33 日間栽培し、第 5、6 葉の葉柄、葉身、葉幅の長さ、葉柄部分と葉身に分けた新鮮重、乾燥重および SPAD 値を計測した。ほぼ同条件下で 3 回反復した。

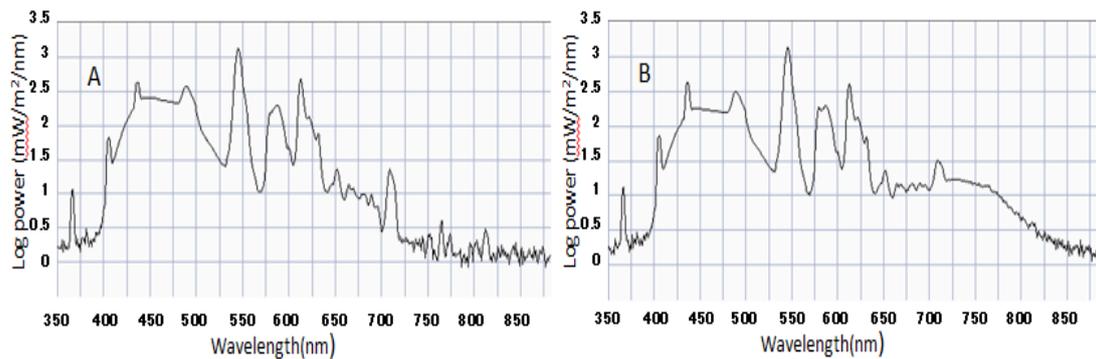


図1 実験2の白色HEFL光の「対照区」(A)と遠赤色光付加の「遠赤色光区」(B)の光波長分布

1.2 結果および考察

実験2の結果、葉の形態に注目したところ遠赤色光区の葉柄が長くなる傾向が見られた。葉身、葉柄部位の新鮮重も遠赤色光区において高くなる傾向が見られた。またHEFLの光源に遠赤色光を付加することによって葉柄と葉身ともに、新鮮重量が増加した。そのため植物工場環境下におけるハウレンソウ生産において遠赤色光付与したHEFLを使用することは、より収量が高めることが示唆された。波長のグラフから赤色光・遠赤色光比(R/FR比)を計算すると対照区では12.3であったのに対し、「遠赤色光区」では3.2であり、遠赤色光区では十分に遠赤色光を付与しているものと思われる。遠赤色光を照射することにより、草丈の伸長を促進させ、今回用いた栽培システムでは草丈が約25cmに達すると光源と接触するため、遠赤色光照射により葉の伸長が促進した結果、収穫時期は33日間と早めることが出来た。このように植物工場環境下におけるハウレンソウ栽培の高生産化につながるものと考え、品種からの高収量品種の選定を行い、植物工場内栽培で品種や環境改善を務めていくことにより、収量を増加させ生産性を高めることに寄与し、今後もさらなる品種改良や収量が高める品種特徴、さらにはハウレンソウでの最適環境条件を調査することにより採算の取れる植物工場が可能となるかもしれない。

完全人工光型植物工場環境下における高生産ホウレンソウ栽培に関する研究

完全人工光型植物工場(以下, 植物工場と略記)では葉菜類が主として生産されているが, ホウレンソウの生産例は限られている. そこで本研究では, 植物工場におけるホウレンソウの高生産性の向上および最適品種の開発を目的に, 植物工場で品種選抜を行った.

【材料および方法】

実験は, 本学植物工場基盤技術研究センタークリーンルーム内で行い, 神奈川県農業技術センターにより供試されたホウレンソウ 16 品種(表 1 に記載)の種子を播種し, 日長 12 時間, 気温 20℃で育苗後, 定植した. 環境条件は, 光源 LED, 光強度約 200 μ mol/m/s, 日長 10/14, 12/12 および 14/10 時間, 湿度 60%, 温度 20℃, EC : 1.2dS/m, pH6 とした. 定植期間を 35 日間とし, 新鮮重, 草丈, 抽苔率を計測した.

【結果および考察】

表 1 異なる日長時間でのホウレンソウ 16 品種の生育

品種名	新鮮重(g)			草丈(cm)			抽苔率(%)		
	10h	12h	14h	10h	12h	14h	10h	12h	14h
あかね	10.6	18.6	19.0	19.3	23.4	25.9	0.0	23.3	95.8
温品	31.6	29.8	43.8	30.8	28.1	36.7	23.8	57.6	94.4
ノーベル	15.6	17.7	25.4	20.7	21.7	27.0	38.9	52.8	83.3
神奈川丸種子	9.5	18.9	19.4	18.5	22.5	27.0	0.0	19.6	84.8
アスパイアー	24.0	30.7	59.4	23.7	27.6	32.9	3.7	72.1	100.0
ヘビー級	16.1	28.2	27.6	22.5	27.4	31.1	0.0	0.0	31.1
サラダあかり	15.6	42.8	53.0	27.1	30.8	36.5	0.0	10.0	71.4
サラダホウレンソウ	22.5	26.2	32.2	23.8	25.8	27.8	58.9	80.0	95.8
オーライ	19.8	27.0	43.6	21.3	24.8	31.2	43.3	38.4	100.0
禹城	13.3	35.9	38.5	23.9	32.4	33.2	70.0	100.0	94.4
日本	12.1	20.1	26.4	20.4	25.3	28.5	0.0	39.7	100.0
豊葉	14.0	28.7	24.7	21.9	24.5	24.5	0.0	5.6	55.0
ハイドロセブン	11.0	17.4	16.2	16.3	18.3	20.7	0.0	0.0	6.7
次郎丸	9.0	25.6	29.6	33.5	26.0	29.1	0.0	16.7	100.0
キングオブデンマーク	—	—	27.4	—	—	34.0	—	—	33.3

日長 10, 12 および 14 時間の新鮮重は, それぞれ ‘温品’, ‘サラダあかり’ および ‘アスパイアー’ で最も重かった. 日長 10, 12 および 14 時間の草丈は, それぞれ ‘次郎丸’, ‘禹城’ および ‘温品’ で最も長かった. 日長 10, 12 および 14 時間の抽苔率は, それぞれ ‘禹城’, ‘禹城’ および ‘アスパイアー’・‘オーライ’・‘日本’・‘次郎丸’が高かった. 以上より, 植物工場でのホウレンソウ栽培は, 日長 14 および 12 時間では生育が促進されるが, ほぼ全品種抽苔するため, 日長 10 時間が適しており, 中でも ‘温品’ が適していると判断された.

完全人工光型植物工場環境下における高生産ホウレンソウ栽培に関する研究

植物工場では葉菜類が主として生産されているが、ホウレンソウの生産例は限られている。そこで本研究では、植物工場におけるホウレンソウの高生産性の向上および最適品種の開発を目的に、植物工場で品種選抜を行った。前年度までの経過の中で、植物工場環境下でホウレンソウを栽培する上で、頻繁に使用される育苗マットのウレタンフォーム上で発芽させることが非常に困難であることが課題であった。そこで本年度では、前年度に使用した品種のうち、比較的生育が良く、神奈川県の子成品種である‘温品’，‘丸種’，‘針種’および‘アトラス’の4品種を、様々な育苗マット素材を使用して発芽試験を行い、さらには植物工場環境下で栽培試験を行った。

【材料および方法】

発芽試験、各種子を一晩流水によるプライミング処理を行い、通常使用しているウレタンフォーム (UR)，ロックウール (RW)，オアシス (OS) に 1 粒ずつ播種した。1 反復 96 粒とし、4 反復行った。育苗期間は 1 および 2 週間とした。育苗マットを浸潤させる溶液は、水道水と培養液の 2 種とし、水道水処理区は播種から定植まで定期的に水道水を追加した。培養液処理区は、1 週間区は播種後 1, 2 日を水道水, 3, 4 日を EC 0.4 mS/cm, 5, 6 日を EC 0.8, 6, 7 日を EC 1.2 とした。2 週間区は、播種後 1, 2 日を水道水, 3~6 日を EC 0.4, 7~10 日を EC 0.8, 11~14 日を EC 1.2 とした。各処理区 1 週間後および 2 週間後に発芽している種子数を計測した。

栽培試験条件、項目 1 の発芽試験で発芽した幼苗を以下の栽培条件で 35 日間栽培を行った。EC1.2, pH6.0~6.5, 温度 20°C, 相対湿度 60%, 光量子束密度 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 日長 12 時間とした。調査項目は、定植後 35 日目の収穫直後に、新鮮重, 草丈, SPAD 値および抽苔率を測定した。乾物重は収穫後 80°C の通風乾燥機で 3 日間乾燥させた後, 測定した。

【結果および考察】発芽試験、発芽試験の結果を表 1 に示す。育苗マットの違いにおける‘温品’および‘針種’の発芽率は、UR 区と比較して、RW 区および OS 区で高くなった。一方、‘丸種’および‘アトラス’の発芽率は、いずれの育苗マットにおいてもほとんど同等であった。育苗期間の違いにおける発芽率は、全品種で 1 週間に比べ 2 週間で高くなる傾向を示した。育苗の際の溶液の違いにおける発芽率は、全品種でほぼ同等であった。

表1 異なる育苗マットにおける発芽試験

	発芽率 (%±SE)			
	OS			
	1週間処理		2週間処理	
	水道水	培養液	水道水	培養液
温品	30.4 ± 6.4	31.7 ± 4.2	37.5 ± 5.2	35.9 ± 7.0
針種	28.1 ± 3.7	29.9 ± 3.4	50.0 ± 1.5	47.9 ± 0.7
丸種	28.0 ± 2.9	23.1 ± 2.8	27.6 ± 2.6	30.2 ± 5.2
アトラス	35.7 ± 5.4	34.5 ± 2.3	53.6 ± 3.3	49.5 ± 1.1
	RW			
	1週間処理		2週間処理	
	水道水	培養液	水道水	培養液
	温品	31.0 ± 4.8	27.3 ± 2.1	46.4 ± 4.8
針種	25.1 ± 3.8	27.4 ± 3.1	50.5 ± 5.5	41.1 ± 8.5
丸種	22.9 ± 3.0	25.4 ± 3.2	28.6 ± 2.6	26.0 ± 0.0
アトラス	41.4 ± 5.0	37.2 ± 3.4	54.2 ± 2.9	50.0 ± 0.0
	UR			
	1週間処理		2週間処理	
	水道水	培養液	水道水	培養液
	温品	10.7 ± 0.0	— ^z	14.3 ± 0.0
針種	20.8 ± 2.6	9.7 ± 0.6	25.7 ± 3.7	15.3 ± 2.5
丸種	29.2 ± 1.0	27.8 ± 4.1	31.3 ± 1.0	28.5 ± 4.0
アトラス	41.7 ± 6.8	46.5 ± 1.1	42.4 ± 7.1	46.5 ± 1.1

^z種子が無くなったため、実験不可

生育試験の結果を表2に示す。異なる期間で育苗後の定植後35日目の新鮮重は、すべての品種でOSおよびRWともに育苗期間1週間および2週間いずれも水道水と比較して培養液区の方が重かった。さらに育苗期間2週間の新鮮重は全ての品種で1週間よりも重くなる傾向を示した。異なる期間で育苗後の定植後35日目の草丈は、‘温品’では水道水よりも培養液の方が長くなったものの、OS区の育苗期間は1週間および2週間ともにほぼ同等であったが、RW区では培養液区で有意に長くなった。‘針種’の新鮮重は、OSおよびRWともに水道水区よりも培養液区有意に長くなったものの、育苗期間による差異は認められなかった。‘丸種’の草丈は、水道水区よりも培養液区の方が、OS区よりRW区の方が長かったが、育苗期間1週間と2週間では一定の傾向は認められなかった。‘アトラス’の草丈は、OSおよびRWともに水道水では育苗期間1週間および2週間ではほぼ同等であったのに対し、培養液区の育苗期間2週間区で有意に長かった。しかしながら、日長12時間の生育では、全品種および処理で50%以上の抽苔率を示した。

以上の結果より、ハウレンソウの発芽には、育苗マットの違いによる発芽率が品種により異なり、発芽率を向上させるためには、品種に適した育苗マットを選択する必要があることが判明した。また、育苗期間の違いによる発芽率は、いずれの品種でも2週間の方が高かったため、育苗期間は2週間が良いと判断された。さらに、定植後の生育は、ロックウールもしくはオアシスを用い培養液で2週間の育苗したものが促進されることが示唆された。し

かしながら、全品種で抽苔するため、今後はなるべく日長を長くした条件で、抽苔しない品種および環境要因を特定する必要がある。

表2 異なる育苗期間及び育苗マットで生育させた幼苗後のハウレンソウの生育結果

			1週間処理			2週間処理		
			新鮮重 (g ± SE)	草丈(cm ± SE)	抽苔 率(%)	新鮮重 (g ± SE)	草丈(cm ± SE)	抽苔 率(%)
温品	OS	水	29.5 ± 6.1	31.2 ± 1.7	100.0	10.4 ± 2.0	28.3 ± 1.8	100.0
		培養液	40.1 ± 7.5	35.1 ± 2.2	100.0	40.9 ± 15.7	32.9 ± 1.8	100.0
	RW	水	25.7 ± 3.9	32.2 ± 1.7	100.0	25.9 ± 3.6	32.6 ± 1.4	87.5
		培養液	45.6 ± 8.1	38.7 ± 1.3	100.0	71.0 ± 15.4	42.7 ± 2.1	100.0
針種	OS	水	11.0 ± 1.9	19.8 ± 0.8	55.6	12.2 ± 2.9	21.3 ± 1.5	100.0
		培養液	29.2 ± 9.2	31.5 ± 5.2	83.3	14.0 ± 4.5	27.6 ± 2.3	100.0
	RW	水	12.5 ± 1.9	22.3 ± 1.4	53.3	17.0 ± 3.0	27.0 ± 0.9	100.0
		培養液	31.4 ± 6.5	33.8 ± 3.4	100.0	41.3 ± 15.3	37.4 ± 5.9	100.0
丸種	OS	水	16.1 ± 1.6	23.5 ± 0.9	64.7	5.7 ± 0.8	16.8 ± 0.6	100.0
		培養液	17.0 ± 3.7	26.8 ± 2.0	88.9	23.7 ± 9.8	26.2 ± 2.8	100.0
	RW	水	25.9 ± 3.7	28.0 ± 1.5	50.0	20.4 ± 2.2	27.5 ± 1.0	100.0
		培養液	32.5 ± 9.1	32.1 ± 3.1	70.0	60.7 ± 15.5	38.8 ± 3.0	100.0
アトラス	OS	水	18.3 ± 2.8	27.0 ± 1.2	62.5	17.9 ± 3.3	27.3 ± 1.5	100.0
		培養液	29.8 ± 6.6	29.4 ± 2.6	76.9	38.9 ± 5.1	37.7 ± 1.6	100.0
	RW	水	22.3 ± 1.9	27.6 ± 1.1	57.1	12.9 ± 1.2	26.4 ± 2.2	100.0
		培養液	35.4 ± 9.9	33.1 ± 3.1	80.0	68.2 ± 12.4	44.3 ± 2.1	100.0

完全人工光型植物工場環境下における高生産ハウレンソウ栽培に関する研究

植物工場では葉菜類が主として生産されているが、ハウレンソウの生産例は限られている。そこで本事業では、植物工場におけるハウレンソウの高生産性の向上および最適品種の開発を目的に、植物工場で品種選抜を行ってきた。前年度までの結果を踏まえて、最終年度は、神奈川県農業技術センターが交配した品種‘LNCR(丸)×バイキング’，‘LNCR(丸)×ピロフレー’，‘LNCR(丸)×伊達在来’の調査を先行して2回、さらに‘Minstarland×LNCR(丸)’，‘Hollandia×LNCR(丸)’，‘Bloomsdale Long Standing×LNCR(丸)’，‘Nobel×LNCR(丸)’，‘Victoria×LNCR(丸)’，‘Juliana×LNCR(丸)’，‘Nobel×温品’，‘Victoria×温品’の発芽試験と植物工場環境下で栽培試験をすべての品種で2回行った。

【材料および方法】発芽調査として、各種子を一晩流水によるプライミング処理を行い、通常使用しているウレタンフォーム(UR)に1粒ずつ播種した。1反復96粒とし、2反復行った。育苗期間は2週間とした。育苗マットを水道水で浸潤させ発芽している種子数を数えた。

栽培試験条件、発芽試験で発芽した種子を以下の栽培条件で35日間栽培を行った。EC1.2, pH6.0~6.5, 温度20℃, 相対湿度60%, 光量子束密度150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 日長12時間とした。調査項目は、定植後35日目の収穫直後に、新鮮重および抽苔率を測定した(草丈, 乾物重, SPAD値も調査したがここでは割愛)。調査した植物は10~20個体とした。

【結果および考察】発芽試験、発芽試験の結果を表1に示す。今回試行したすべての交配組み合わせにおいて、‘LNCR(丸)×バイキング’が最も低い値となった。他の組み合わせにおいては1回目と2回目で多少の差が出た組み合わせがあったものの、ほぼ同等の値を示した。昨年行った実験における発芽率試験の結果とほぼ同じような値を示し、交配試験による影響は見られないようであった。しかし、実用化に向けて検討するためには、元来難発芽性であるハウレンソウを扱っているにしても低い値であり、さらなる検討が必要である。

表 1 本試験におけるすべての交配組み合わせにおいて得られたハウレンソウ種子の発芽率. 数字は% (96粒)

	発芽率	発芽率
	1回目	2回目
‘LNCR(丸)×バイキング’	4	2
‘LNCR(丸)×ピロフレー’	35	43
‘LNCR(丸)×伊達在来’	19	23
‘Minstarland×LNCR(丸)’	16	13
‘Hollandia×LNCR(丸)’	30	52
‘Bloomsdale Long Standing×LNCR(丸)’	43	48
‘Nobel×LNCR(丸)’	28	23
‘Victoria×LNCR(丸)’	26	38
‘Juliana×LNCR(丸)’	26	25
‘Nobel×温品’	36	40
‘Victoria×温品’	35	44

生育試験の結果を表2に示す. 11組の組み合わせでの交配を行い, 得られた種子の新鮮重と抽台率を調査した. 新鮮重は, 1回目と2回目で差が見られるものもあったが, ‘Juliana×LNCR(丸)’, ‘Nobel×温品’の組み合わせで得られた交雑種で, 高い結果を示した.

しかし抽台率を調査したところ, こちらも1回目と2回目で極端な差がある交雑種が見られたが, 全体的に比較的高い値を示した. 植物工場の大きなアドバンテージは外界で栽培することと比較して, 日長時間を長くして, 光合成をより行わせて, 成長を促進できるところにある. しかしハウレンソウは長日植物であるために, 日長を長くすると抽台してしまうという問題があり, 本プロジェクトの第一義として, 「長日でも抽台しない」新品種の作出であった. 本年度の結果から, 11の組み合わせによる交雑種を作出してこれら検討を行ったが, 抽台率を低く抑えることが困難であることが分かった.

以上の結果より, 11組の交雑種の作出し, 発芽試験, 栽培試験および作出ハウレンソウの調査を行ったが, 植物工場環境に適したハウレンソウとしては満足の得られる結果ではなかった. しかしながら, こういった交雑育種の積み重ねにより, 植物工場環境に適した新品種作出を今後も模索していく予定である.

表 2 本試験におけるすべての交配組み合わせにおいて得られたハウレンソウの新鮮重および抽台率. 数字は新鮮重が g、抽台率は%を示し、調査数は10～20個体である.

	新鮮重 1回目	新鮮重 2回目	抽台率 1回目	抽台率 2回目
'LNCR(丸)×バイキング'	15.8	9	0	88
'LNCR(丸)×ピロフレ'	13.8	27.5	0	100
'LNCR(丸)×伊達在来'	7.8	11.3	0	100
'Minstarland×LNCR(丸)'	16.5	18.2	33	56
'Hollandia×LNCR(丸)'	27.1	33.6	50	50
'Bloomsdale Long Standing×LNCR(丸)'	25	28.5	5	50
'Nobel×LNCR(丸)'	19.1	20.2	17	33
'Victoria×LNCR(丸)'	24.1	23.4	67	72
'Juliana×LNCR(丸)'	32.1	31.1	50	50
'Nobel×温品'	34.6	44.6	39	61
'Victoria×温品'	18.5	21.3	56	94

二酸化炭素マイクロナノバブルによる養液栽培における培養液の殺菌

養液栽培に使用される培養液は環境保全や資源の有効利用の観点から、循環利用されつつある。しかしながら、培養液を循環利用する際に、根部から侵入して病害を引き起こす植物病原菌が培養液中に混入すると、全施設内に短時間で蔓延するため、培養液の殺菌処理が必要不可欠である。養液栽培における培養液の殺菌方法には、化学的方法としての塩素、ヨウ素、オゾンなどの薬剤を添加する方法や高温処理や紫外線処理による物理的方法などが検討されているが、これらの方法は栽培前に行うシステム全体の殺菌や、栽培中、定期的に行うタンク内の培養液のみなどの部分的な殺菌のため、掛け流し式では有効であるが、循環式では病原菌が栽培システム内に広がりやすく、一部が感染・発病すれば、防除効果はほとんどなくなる。また、経済性や植物、作業従業者への悪影響などの点からも効率的な培養液の殺菌方法はいまだに確立されていない。

近年、食品殺菌技術として開発した二酸化炭素マイクロナノバブル (MNB-CO₂) 処理装置は人体に比較的無害な CO₂ を使用し、低エネルギー・低コストであることから、従来法に比べて安心・安価な培養液の殺菌法となることが期待される。そこで、MNB-CO₂ 処理による培養液殺菌技術の確立を目指し、養液栽培において広範な作物に重大な被害を及ぼす *Pythium* 属菌と *Fusarium* 属菌を発病濃度以下まで殺菌する殺菌条件の検討を目的とした。

1. 1 材料および方法

MNB-CO₂ 処理は、明治大学植物工場基盤技術研究センターに設置してある装置 (図 1) を用いて行った。供試菌として、*Pythium* 属菌は *Pythium aphanidermatum* NBRC33107、*Fusarium* 属菌は *Fusarium oxysporum* f. sp. *apii* NBRC 9964 を用いた。殺菌処理に用いるモデル菌溶液として、養液栽培用肥料大塚 A 処方を標準の 1/2 規定の濃度で溶解した培養液にそれぞれの濃度を *Pythium* 属菌は 1.0×10^4 spores/mL に、*Fusarium* 属菌は 1.3×10^5 spores/mL となるように調整した。

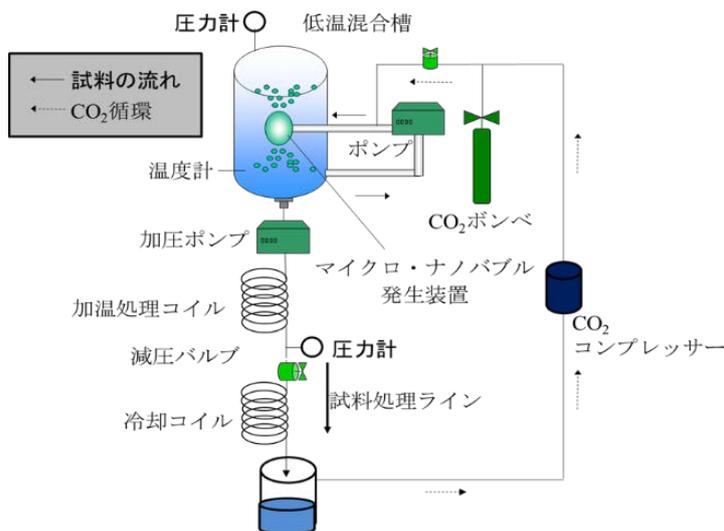


図 1 二酸化炭素マイクロナノバブル処理装置の概略図

モデル菌溶液を低温混合槽に注入し、低温混合槽の温度を 15~20℃、圧力を 1.5 MPa に設定した後、循環ポンプによって試料を 20 L/min で循環させ、二酸化炭素ガスを混合槽の手前から供給し気液混合流体をマイクロバブル発生装置に送り込むことでマイクロバブルを発生させた。CO₂ マイクロバブルを低温混合槽内で飽和するまで発生させた後、CO₂ の供給を止め、CO₂ マイクロバブル飽和モデル菌溶液を加圧ポンプによって加温・加圧処理コイルに送り、加熱処理を行った。加熱処理は、CO₂ マイクロバブル飽和モデル菌溶液を各加温処理温度および圧力に設定した加温・加圧処理コイルを通過させることによって行った。加圧ポンプの流量を調整することにより、滞留時間を 1、2、3、4 および 5 分に調節した。加温処理コイルの温度は 45℃ および 50℃、圧力は 4.0 MPa で行った。

殺菌処理効果の判定は、*Pythium* 属菌では殺菌処理後の菌溶液を 10 倍ずつ段階希釈して V8 ジュース寒天培地に塗布し、25℃ で 2 日間培養後に菌糸の観察、最確数法により行った。*Fusarium* 属菌では殺菌処理後の菌溶液を適宜希釈して標準寒天培地に塗布し、25℃ で 5 日間培養後に形成したコロニー数を測定することで行った。

1. 2 結果および考察

Pythium 属菌の殺菌処理では、加温処理コイルにおける処理温度 45℃、50℃のいずれの場合においても 1 分間の殺菌処理により生菌数が大きく減少した。しかし、45℃における殺菌では 5 分間の殺菌処理でも生菌数は 2.4 spores/mL であり、*Pythium* 属菌の発病濃度である 1.0 spores/mL 以下には達しなかった。一方、加温処理コイル温度が 50℃の殺菌では 5 分間の処理で完全に殺菌され、発病濃度を下回った。したがって、加温処理コイルにおける処理温度 50℃、処理時間 5 分、処理圧力 4.0 MPa の処理条件により、*Pythium* 属菌の完全殺菌が可能であることが示された。

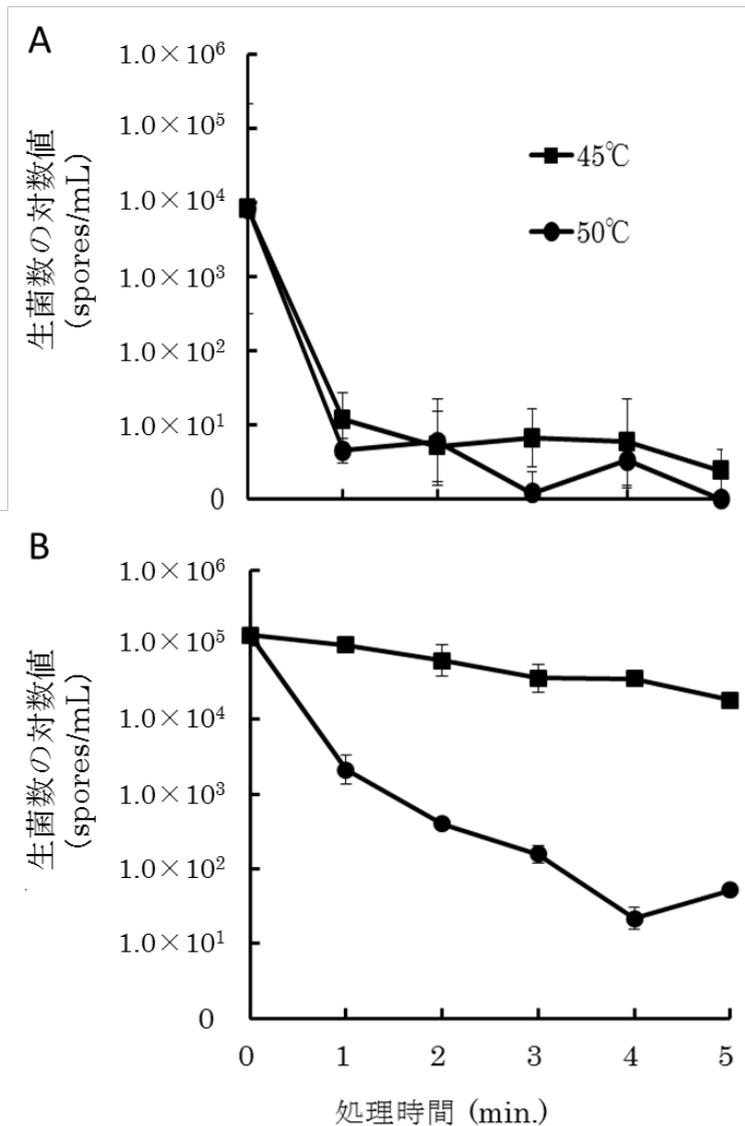


図2 MNB-CO₂処理による *Pythium* 属菌 (A) および *Fusarium* 属菌 (B) の殺菌効果

Fusarium 属菌の殺菌処理では、加温処理コイル温度 45°C の処理ではおいては有効な殺菌効果は認められず、5 分間の処理においても生菌数を 1 オーダー程度低下させるのみであった (図 2)。処理温度 50°C では、2 分以上の処理で生菌数が発病濃度である 10^3 spores/mL を下回り、有効な殺菌効果が認められ、5 分間の処理で生菌数が 1.0×10^2 spores/mL を下回る高い殺菌効果が示された。したがって、加温処理コイルにおける処理温度 50°C、処理時間 2 分以上、処理圧力 4.0 MPa の処理条件により、*Fusarium* 属菌の殺菌が可能であることが示された。

今後の展開としては、他の土壌伝染性植物病原菌に対する MNB-CO₂ 処理の殺菌効果の確認、MNB-CO₂ 処理が培養液の組成や pH に及ぼす影響の評価、処理培養液を用いた栽培実験および MNB-CO₂ 処理による殺菌メカニズムの解析などが必要であると考えられる。

二酸化炭素マイクロナノバブルによる養液栽培における培養液の殺菌

養液栽培の根圏環境は、生産作物への直接的影響はもとより植物病原微生物の増殖と作物根部への感染、発病に大きな影響を与えることが考えられる。培養液中の微生物叢は植物病原微生物の増殖に密接にかかわり、根圏環境の重要な要素のひとつである。そこで本研究では、根圏環境の動態を微生物叢という観点からとらえ、細菌群の変動に関する調査を行った。

【材料および方法】

実験 1 培養液における細菌数の調査：本センタークリーンルーム内の連続栽培されているリーフレタスおよびバジルの栽培棚から定植前、定植後 3, 4, 5, 10, 14, 20, 25 日目に培養液を採取した。培養液は滅菌蒸留水で段階希釈後、標準寒天培地に塗布し、22℃の暗条件下で 48 時間培養した。各培地上に出現したコロニー数をカウント後、平均コロニー数と希釈倍率から生菌数を求めた。実験 2 培養液における細菌群の変動調査：リーフレタス市販品種(マザーグリーン)を使用し、種子を播種し、発芽後 25 個体を定植した。栽培は光周期 12 時間以外、上記ハウレンソウ栽培と同条件で 30 日間行った。培養液の採取は定植前(培養液の調製直後)、定植後 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30 日目に行った。採取した培養液は実験 1 と同様に処理し、平均コロニー数と生菌数を求めた。

【結果および考察】

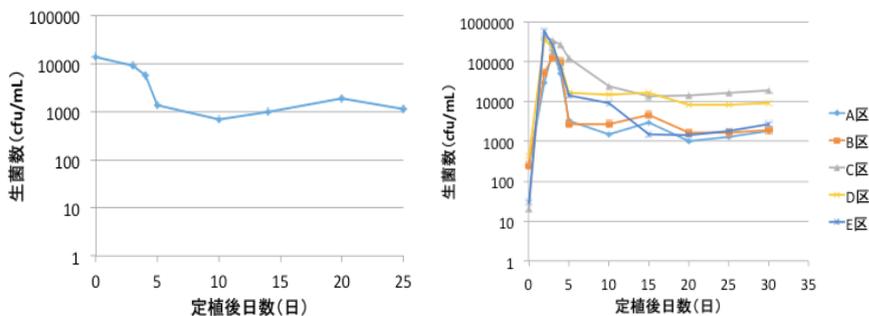


図 1 培養液中の平均生菌数

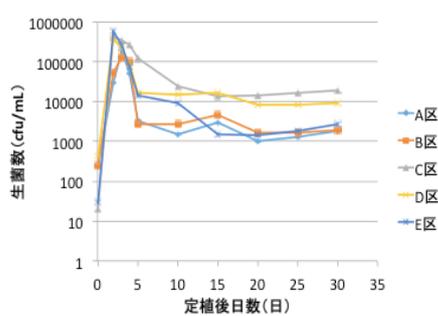


図 2 培養液中の細菌数変動

実験 1 より、クリーンルーム内の循環利用型培養液中の生菌数は、定植後 5 日目に 1.0×10^4 cfu/mL から 1.0×10^3 cfu/mL 程度に減少後、採取時期全体を通して 1.0×10^3 cfu/mL 前後で安定していることが明らかとなった(図 1)。このことから、分子生物学的なアプローチにより、培養液中の細菌同定と細菌群の変動調査が可能であることを確認した。実験 2 より、リーフレタスの定植後 2 日間で菌数が急速に増加した後、定植後 2 日目から 4 日目の間は $1.0 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^6$ cfu/mL 程度で安定し、5 日目に $1.0 \times 10^3 \sim 1.0 \times 10^4$ cfu/mL 程度に減少、その後は安定するという基本傾向が見出された(図 2)。

高効率エネルギー変換光源等の開発とその植物生産への実証

三浦登・勝俣裕

高効率エネルギー変換光源等の開発とその植物生産への実証（三浦登・勝俣裕）

1 光源開発

光源の効率を示す指標として、「発光効率 (lm/W)」が用いられる。蛍光灯の発光効率が概ね 100 lm/W であるのに対し、エコ照明として注目されている LED の発光効率は約 200 lm/W のものが市場に出始めている。発光効率の理論上限である 683 lm/W と比較するとさらなる改善が期待されるが、半導体へのキャリア注入により発光を得ている LED における効率向上はハードルの高い課題である。そこで、新たな光源を模索し開発を進めている。一方で、従来の多くの光源は一般照明用に開発されており、必ずしも植物育成に適していない。このことはよく知られたことであり、光源の特性と植物の育成に関する関係が調べられてきている。我々が植物工場用高効率光源を開発する上で、明快な指標と必要な特性を明らかにしておく必要がある。

2 新規光源

LED の最大効率は、素子に注入した 1 個の電子から 1 個の光子が得られることになる。1 個の電子から複数個の光子が得られれば効率が上昇することは自明である。このような虫の良い話を達成することを考えると、電界による加速された電子の衝突機構を有するデバイスは有利なように思える。

そこで、半導体の PN 接合と加速電子の衝突励起を得る機構を組み合わせた素子を検討している。実際にこの種の素子を設計すると、ワイドバンドギャップ P 型半導体層の選択が重要であり、その特性が十分得られないとならない。酸化ニッケル、銅複合酸化物など有望と考えられる幾つかの P 型材料について素子を作製し検討を行ったところ、半導体を用いたキャリア制御と電子の加速による衝突励起による発光を得ることができた。まだ十分な素子構造・材料・作製条件が検討できてはいないものの、現象として我々の考えている機構が確認できたので、今後素子の最適化を進めていく予定である。

また、光源を開発する上で求められる特性を具体的に定め、その実現の可能性を検証することを開始している。

3 植物用光源に求められる特性

植物に影響を及ぼす光要素として、光質、光強度、光照射時間がある。光源を開発する上で、光質、すなわち光の波長が植物に与える影響を把握することが重要である。今回、1) 白色蛍光灯、2) 赤+青 LED 灯、3) 白色 LED 灯の 3 種類の光源を植物工場に設置し、青しそと豆苗の 2 種類の植物育成に対する影響を評価した。表 1 に光源の仕様を示す。総全光束 (lm) が等しくなるように各々の本数を選定した。各光源の発光スペクトルを図 1 に示す。

表1 光源の仕様

名称 型番・メーカー	記載名	電力 (W/本)	全光束 (lm/本)	利用 本数	総全光束 (lm)
熱帯魚観賞植物育成用蛍光灯 FL20SBR-A・NEC	白色蛍光灯	20	670	3	2010
赤+青のエコピカ M-GAFB-600R・MS-System	(赤+青)LED灯	10	480	4	1920
エコピカ (昼白色) M-LFGD-SMD-60-10W・ MS-System	白色LED灯	20	1000	2	2000

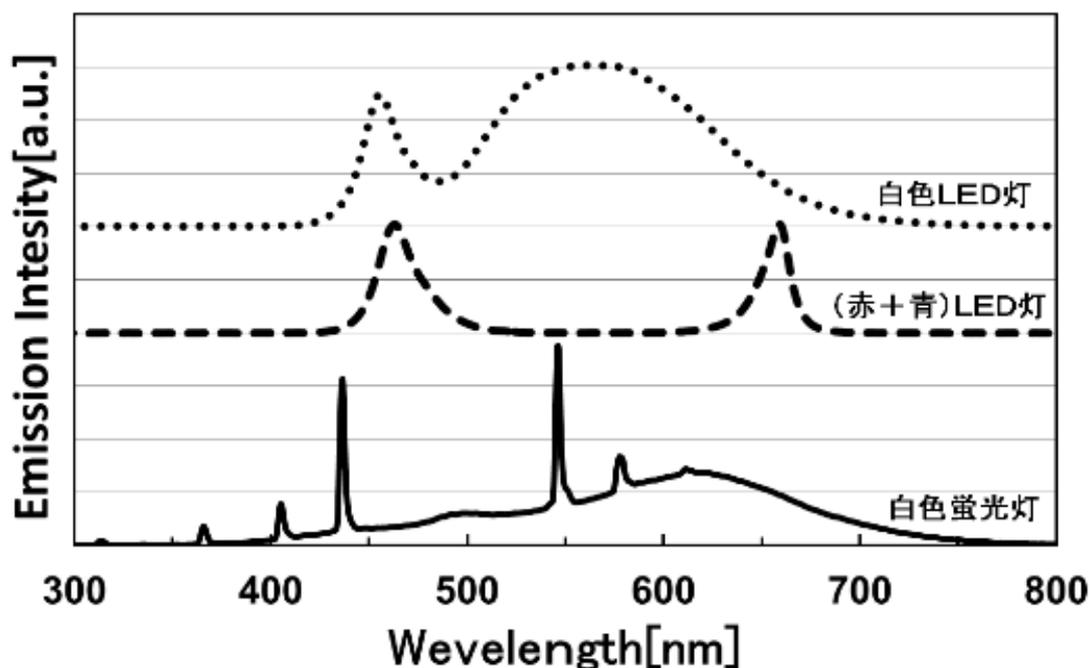


図1 光源の発光スペクトル

青しそと豆苗の育成の結果、葉の幅と茎の太さの大小について、豆苗の場合、白色LED>(赤+青)LED>白色蛍光灯の順となるが、青しその場合は逆に、白色蛍光灯>(赤+青)LED>白色LEDの順となることが分かった。また、どちらの場合も、(赤+青)LEDで育成した植物の葉の色は、他に比べてくすんだ緑色となり、採取後の劣化も他の二つの白色灯の場合よりも、顕著に早いことが分かった。各蛍光灯の照度(Lux)、放射照度(W/m²)、葉緑素帯 PAR($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)などの光強度の実測値と育成結果の相関についても検討を進めている。

4 エネルギー削減

3. で用いた光源の約8日分（1日の照射時間は、9～21時の12時間）の使用電力量（実測値）等を表2に示す。総全光束が等しくなるように光源の本数を選定した場合、白色LEDが顕著に電力使用量が少なくて済むことが分かる。エネルギー削減の方法としては、光源開発の他に、1）屋内用太陽電池材料の開発、2）発電した微小電力を充電するための充電回路の設計、3）排熱を電気に変えるための熱電変換材料の検討、等を進めている。

表2 使用電力量（実測値）とその関連値

記載名	総電力 (W)	積算時間 (h:min)	積算料金 (円)	時間単価 (円/hr)	使用電力 積算(kW)	CO ₂ 積算 (kg)
白色蛍光灯	73	95:14	152.46	1.6	6.93	3.84
(赤+青)LED灯	40	95:9	82.28	0.8	3.74	2.07
白色LED灯	20	95:10	41.58	0.4	1.89	1.04

高効率エネルギー変換光源等の開発とその植物生産への実証（三浦登・勝俣裕）

1. 市販光源の調査・解析

イチゴのような果菜類の育成には、 $400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の光量が必要とされる。表3に、各種光源の直下20 cmの位置で測定した光量と温度を示す。一般照明用の放電蛍光灯(30 W)、LED蛍光灯(10 W)の光量は、各々、120、 $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度と果菜類の育成には不十分である。LED照明の高輝度化には、LEDチップの高輝度化や低熱損失化および白色LED用蛍光材料の改良が必要である。LEDチップの現状性能を把握するために、表4に示す日亜化学製の2種類の白色LEDチップの評価・解析を行った。NESW157Aは汎用であり、NCSW119Aは高輝度用である。両チップのIV特性には、閾値電圧以外、顕著な変化は見られず、共にLEDチップに並列に接続された保護回路(ツェナーダイオードと推測)により、急激な逆バイアスリーク電流の増大が観測された。発光スペクトルでは、NCSW119Aの方が、黄色に対する青色発光強度比が高いことが分かった。植物育成用LED灯の市場調査を行った結果、NCSW119Aと同様な高輝度LEDチップを採用したA社のLED灯が、独自のチップ封止技術と放熱・レイアウト設計により、最も目視で明るく、光量も高いことが分かった。A社にて、赤色LEDと青色LEDチップを、各々、24個と6個の計30個を配置した、長さ60 cmのLED灯を試作し、その直下20 cmでの光量を測定した結果、 $220 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。本LED灯に、緑や白色LEDチップを加えていくことにより、光量は $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ から低下した。現状、LED灯のみで $400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の光量を得ることは困難であると結論付けられる。

表3 光源直下20cmの位置での光量と温度

光源	消費電力 (W)	光量子束密度 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)
蛍光灯	30	120	19.7
LED蛍光灯	10	100	19.6

表4 白色LEDチップの仕様

白色LED	最大定格電流 (mA)	条件 I_F (mA)	順電圧 (V)	光束 (lm)	光度 (cd)
NESW157A	60	40	3.0	14.5	4.7
NCSW119A	700	350	3.3	145	44

2. 高効率光源の提案

レンズや反射筒を用いた集光による LED 光源の高光量化を試みた。白色 LED 電球 (8 W) では、直下 20 cm の光量は $90 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であるが、LED 電球の周囲から直下を、反射率が高く放熱性 (熱伝導性) に優れた Al 薄板製の円筒 (直径 50 mm×長さ 10, 20 cm) で覆うことにより、LED 電球直下 20 cm の光量は、Al 円筒長さ 10, 20 cm で、各々、180, 2020 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ と顕著に増大した (表 5)。照射による温度上昇は、最大でも 1.6°C であった。豆苗を育成した結果、光量が 10 倍に増すと茎の太さが 1.3 倍になることが分かった。当然ながら集光により照射エリアが狭まる欠点があるが、LED チップ周辺に光を反射する板を置く照明構造や育成棚を反射フィルムシート等で覆うなどの集光施策により、最大 1 桁の光量増大が期待できる。

また、LED チップの高輝度化が進むと熱の発生により、発光効率が低下するが、熱伝導性の高い AlN や SiC を LED 材料として用いることにより、高輝度化が期待できる。Al の直接窒化および反応性スパッタ法により、400~500 nm で青色発光する AlN 系材料を開発している。また、SiC 基板を用いて ZnO 系/SiC ヘテロ接合素子を作製し、560 nm 付近の緑色 LED 発光を観測することに成功した。将来的には、自然環境を守り、持続可能な社会を支えるための材料開発も必要である。資源が豊富で無毒な Si は、通常光らないが、Si 基板上にナノ結晶 Si を含む p-i-n 接合素子を作製し、700 nm での赤色 LED 発光を観測した。

表 5 光源下 20 cm での光量と温度の Al 筒長依存性

光源	消費電力 (W)	Al筒長さ (cm)	光量子束密度 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	温度 ($^\circ\text{C}$)
LED電球	8	0	90	19.3
		10	180	19.8
		20	2020	20.9

3. エネルギー削減

市販の多結晶シリコン太陽電池および有機色素増感太陽電池を利用して、充電電池 (単 3 形エネルギーパック 1~4 本) の充電回路を試作した。試作した回路は、太陽電池に、電流の逆流防止用のダイオードと電流測定用の抵抗並びに充電電池を直列に接続したものである。充電電池を複数本充電する場合は、太陽電池を複数個並列に、充電電池を直列に接続した。充電用の光源として、太陽光の代わりに表 5 の LED 電球 (8 W) を使用し、太陽電池パネルまでの距離を 15 cm とした。その際の照度は 12500 lx であった。また、屋内蛍光灯下 (600 lx) でも充電を試みた。LED 電球下では、どの太陽電池を使用した場合もフル充電できたが、屋内蛍光灯下では、フル充電に至らなかった。今後、太陽光に比べて微弱な光に対する充電回路と植物育成用人工光源に適した光電池材料・構造の検討を進めていく。

新光源のための発光デバイス及び素材研究(三浦登・勝俣裕)

LED 光源の発光効率は、400nm 以下の紫外領域と 500nm 以上の緑・赤色の長波長領域で低下する。特に緑色領域にはグリーンギャップと呼ばれる発光効率の谷間が存在する。本研究ではナノ結晶 Si からの発光波長制御とデバイス試作を行った。また、LED・蛍光灯などの光源に用いられている蛍光体の塗布膜に電界を印加して発光を得るデバイスを試作し、良好な素子特性が得られるようになってきた。この素子の特徴についても併せて紹介する。

1. ナノ結晶 Si からの発光波長制御とデバイス試作

スパッタリング法により、p-Si 基板上に Si リッチ SiO_x 膜を成膜した。その後、Ar 雰囲気中で 1000°C 、30 min の熱処理を行い、 SiO_x 膜中にナノ結晶 Si を作製した(試料 A)。その後、5%の HF 溶液を試料の膜表面に滴下することにより SiO_x 層を除去した(試料 B)。続いて、ナノ結晶 Si の粒径減少のために、 O_2 雰囲気中で 900°C 、30 min の熱処理を行い、ナノ結晶 Si の外周を酸化した(試料 C)。次に、試料 A~C に比べて3倍の膜厚の Si リッチ SiO_x 膜を作製した。その後 Ar 雰囲気中で 1000°C 、30 min の熱処理を行い、 SiO_x 膜中にナノ結晶 Si を作製後に、HF エッチングを1回(試料 D)及び2回(試料 E)行い、ナノ結晶 Si 粒径の減少を試みた。最後に、Al/p-Si 基板(p 層)/ナノ結晶 Si 含有 SiO_2 層(i 層)/ITO(n 層)からなる pin 型発光デバイスを試作した。図 2 に試料 A-F の PL スペクトルを示す。試料 A からは 825 nm の赤外発光が観測された。試料 B では 650 nm の赤色にピークがブルーシフトした。これはナノ結晶 Si を覆う SiO_x 膜が除去され、ナノ結晶 Si と SiO_x 膜の界面準位密度が低減し、ナノ結晶 Si 本来のバンド端発光が観測されたことを示唆する。その後、熱酸化した試料 C では、発光ピークが 460 nm までブルーシフトした。これはナノ結晶 Si が酸化され、ナノ結晶 Si の粒径が小さくなったことを示唆する。また、HF 処理を2回繰り返すことにより(試料 E)、発光ピークが 500 nm までブルーシフトすることを確認した。pin 型デバイスに順方向 15V を印加し、780nm に赤色発光を観測した。今後、ナノ結晶粒径を変化させ、所望の発光波長が得られるデバイスを作製する。また、Si 粉末からナノ結晶 Si を大量に合成するプロセスを開発し、安価な Si を原料として可視領域全体で発光する素子の実現を目指す。

2. 塗布型デバイスの試作

現在一般照明として用いられている光源の多くは蛍光体を利用している。蛍光灯はガラス管の中に封入された水銀を励起して得られる紫外線によってガラス管内壁に塗布された蛍光体を間接的に光らせている。LED 照明は、半導体に電流を流すことで得られる青色発光を蛍光体に照射することによって白色色を得ている。このように、これら光源はどちらも蛍光体を間接的に励起して発光を得ている。蛍光体に直接電氣的に励起することができれば効率の高い光源が得られることが期待される。しかし、これはそれほど簡単なことではない。我々は多層薄膜中に蛍光体の膜を埋め込むことで蛍光体からの発光を直

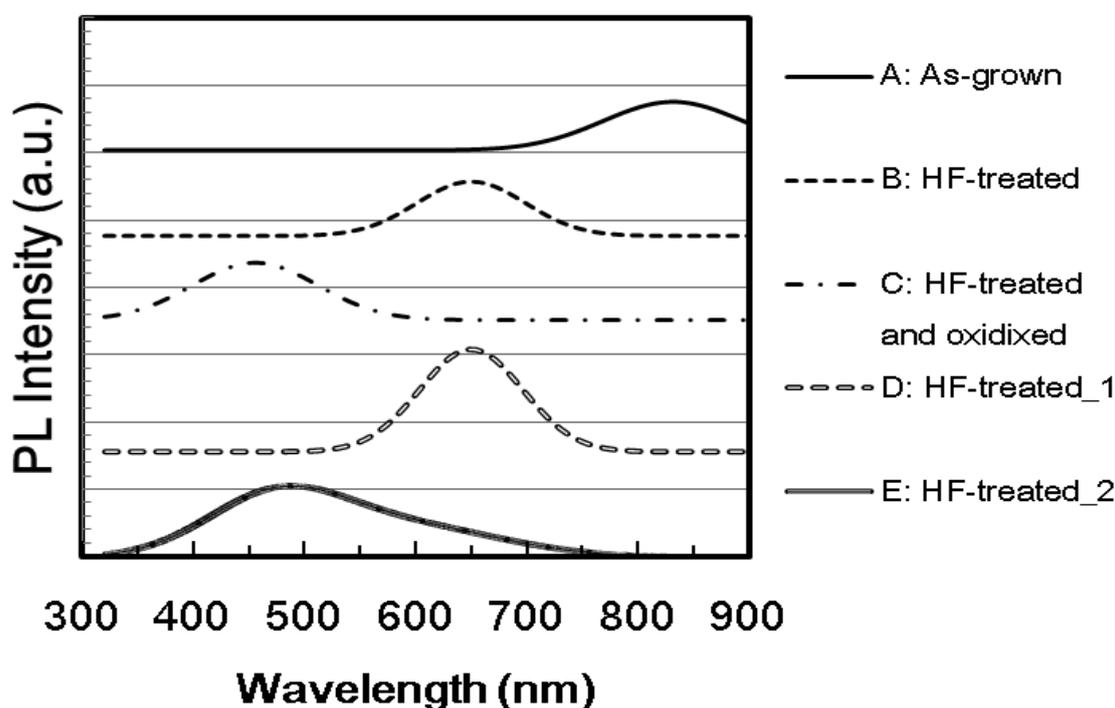


図2 試料 A-F の PL スペクトル

接取り出す素子を検討してきた。既に比較的高輝度の発光を得ることに成功しているが、効率の向上に向け改善を重ねている。一方、蛍光体の薄膜を得るためには幾つかの手法があるものの、高効率蛍光体として知られる実用蛍光体の殆どが薄膜にすることが難しく、薄膜化が容易な蛍光体について検討されてきた。

そこで、蛍光体粉末を電子デバイス上に塗布して直接電氣的に発光を取り出すことが可能な方法を検討したところ、サブミクロンサイズに粉碎した蛍光体粒子を塗布した発光素子から良好な発光が得られるようになってきた。この主の素子は、原理的に蛍光体の種類への依存が少なく、現有的高効率蛍光体に適用可能と思われる。植物工場用の光源デバイスの試作において、蛍光体を自由に選択でき簡易に作製可能な光源デバイスは非常に興味深い。図3に、素子の構造を示す。今回は黄橙色発光する蛍光体を用いて素子を作製し蛍光灯の半分程度の明るさを得ることに成功した。蛍光灯が白色であることを考慮すると、今回試作した蛍光体粒子を塗布した素子で白色蛍光体を用いれば蛍光灯と同程度かそれ以上の明るさが得られることが期待できる。今後、植物栽培に適した発光色を有する蛍光体を用いた素子の試作に加え、素子の安定性・寿命についても検討を加えていく予定である。

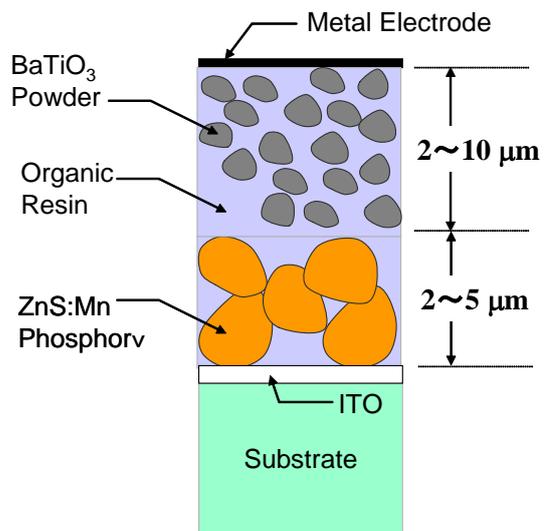


図 3. 試作した蛍光体塗布型発光デバイス

高効率光源の開発およびエネルギーリサイクルの検討

1 植物育成用光源の照度増大に関する研究

完全人工光型植物工場での栽培作物種は、光源の光強度不足により限られている。これまでに LED 電球を AI 反射筒で覆った場合、LED 電球直下 20 cm の光強度が最大 20 倍増大するが、光照射エリアが直径 50mm のエリアに限定される、床面の温度が 1.6℃上昇する等の課題が分かっている。今年度は、反射板 (MCPET, 古河電工) を育成棚に模した枠組み (W363×L275×H480 mm) の壁面に設置した場合の LED 照明 (50 形, LDA8L-H-E17/S/W, Panasonic) の照度 [lux] 変化を実測とシミュレーション (DIALux 4, DIAL) により評価した。また、反射板設置による育成棚床面での LED の発光スペクトルと温度の変化を測定した。4 つの壁面を反射板で覆うことにより、床面中心付近で 2.1 倍、端で 2.4 倍の照度増大があり、棚の隅付近でより効果が大きかった。この場合、温度上昇は 1.2℃であった。一方、4 枚の側面の反射板のうち、相対する 2 面の反射板に矩形スリットを開口 (開口率 0.375) した場合の照度は、反射材を使用しない場合と比べて中心で約 1.7 倍、端で約 1.6 倍増大することを確認した。この時の床面の温度上昇は 0.9℃に抑えられた。シミュレーションでも同様な照度増大の傾向を確認した。なお、反射板の反射率は 450-1000 nm でほぼ 100% であり、反射板設置による床面での LED の発光スペクトルの変化は見られなかった。これらの結果より、反射板を用いることにより、光エネルギーが有効に活用できることが示された。今後は、植物工場での実証評価を行う。

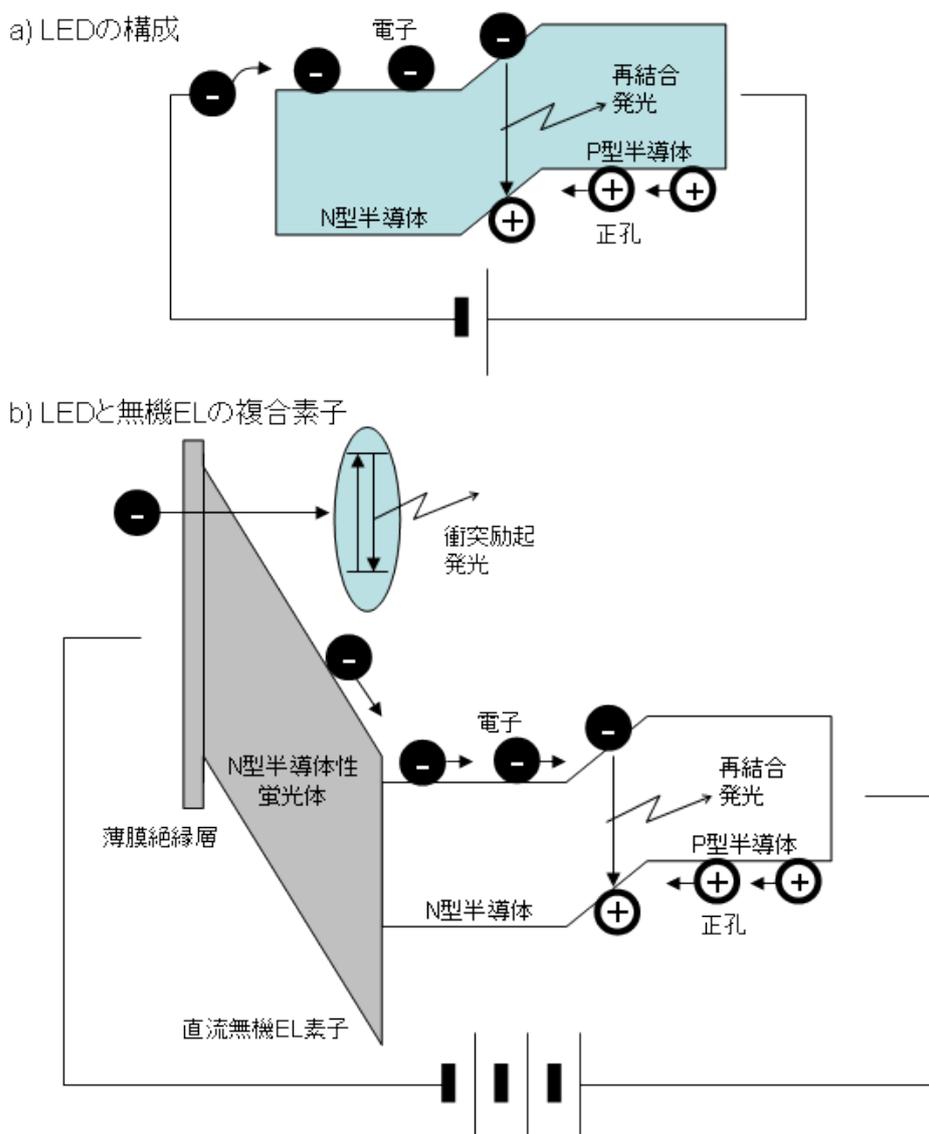
2 植物育成用光源特性向上に関する研究

発光効率・発光波長を選択できるといった観点で LED が植物工場用光源として注目されている。発光効率が高いと言っても多くの発熱を伴い、電力損失に加え植物工場内の空調コストを引き上げる要因にもなる。一般照明用の LED 光源は、青色 LED と色変換する粉末蛍光体の組合せで構成されている。赤色 LED、緑色 LED など、特定の発光を示す LED も一般的であるが、蛍光体を用いて青色 LED から種々の色を作り出す方が発光効率の視点で勝っている。しかし、青色光から赤色や白色などの色を得る過程で生じる効率の損失に加え、高いエネルギーの光子 (青色光) が低エネルギーの光に変換するとき生じるストークス損失は避けることができない。これらを考慮して、新しい光源を提案し予備的研究を進めた。

青色 LED は、半導体の PN 接合を利用して発光を得ている。P 型半導体からは正孔が、N 型半導体には電子を供給し、その接合界面で発光が生じる。N 型半導体に電子を供給する手前で電子を蛍光体粉末に衝突させて直接発光を得ることができれば、1 個の電子から 2 個以上の異なる発光色を示す光子を得ることが期待できる。実際には、これまで我々が検討してきた直流無機 EL 素子と LED を組み合わせた素子を検討した。LED と今回検討した複合素子の構成を比較して図 4 に示す。

直流無機 EL 素子は、N 型半導体性の蛍光体膜を用いることが多い。電界で加速された電子

が発光中心を衝突励起して発光を得る。衝突励起した電子は、LEDのN型半導体に注入されP型層から注入した正孔との再結合により発光を得る。この機構を確認するために、P型半導体としてZnTeや有機正孔送性材料を用い、N型半導体としてZnOや有機電子輸送性材料を用いた素子を実際に試作し検証を行ったところ、衝突励起・キャリア注入再結合両機構による発光を得ることに成功した。今後、市販LED上に無機EL素子を作製するとともに、直接衝突励起機構の効率を向上させるために加速電子の雪崩増倍機構や1個の電子が衝突励起する回数の増加機構を取り入れる組み合わせることにより高効率光源が期待できる。



□

□ 図4 LEDと試作した複合発光素子の発光機構

新光源のための発光デバイス及び素材研究(三浦登・勝俣裕)

1 Si系ナノ結晶の簡易合成法の開発

LED材料としてIn, Ga, P, Asなどが用いられているが、それら元素の生体適合性や資源の枯渇に課題がある。それに対して、多くの電子デバイスに用いられているバルクSiは、安全で資源が豊富であるが、可視発光は得られない。一方、Siを数nmまで微細化したナノ結晶Siは可視発光を示し、近年、高色純度、高輝度、低消費電力を実現するための量子ドットLED材料として注目されている。前年度まで、主に真空プロセスで数nmのナノ結晶Siを形成してきたが、形成コストと大量合成に課題があった。今年度は、Si系ナノ結晶の簡易合成法を開発した。p-Si(100)基板を、フッ硝酸溶液(HF:HNO₃=7:3-9:1)、Si粉末(粒径~150μm)と共に、24時間密閉・暴露した。その結果、Si基板は厚さ12-18μmほどエッチングされ、図5に示すように、HF:HNO₃=7:3-3:7の時に、650-680nmに強い発光ピークを示す可視発層(厚さ290-750nm)がSi基板表面に形成された。HF溶液比率の増大と共に発光波長が680nmから650nmにブルーシフトした。興味深いことにSi粉末無しの場合も、発光は観測されなかった。TEM分析の結果から、Si基板最表面でナノ結晶Siの存在が示された。また、FT-IR分析の結果から、ナノ結晶Siの発光には、Si-H結合が関与することが示唆された。以上、今年度はナノ結晶Siの簡易合成法を開発し、発光層の形成機構や発光機構を明らかにしつつあるが、発光波長の制御や発光強度の温度消光(500℃で室温の発光強度の1/10以下になる)がデバイス化における課題である。発光波長の制御法の一つとして、SiへのCの共添加によって発光波長がブルーシフトすることを明らかにした。Si系ナノ結晶は、LEDだけでなく、太陽電池や二次電池の電極材料など様々なデバイスへの応用も検討されており、近年、ナノ構造Siが靱殻中にも含有されていることが報告されていることから、農商工連携による資源リサイクルビジネスへの発展も期待できる。

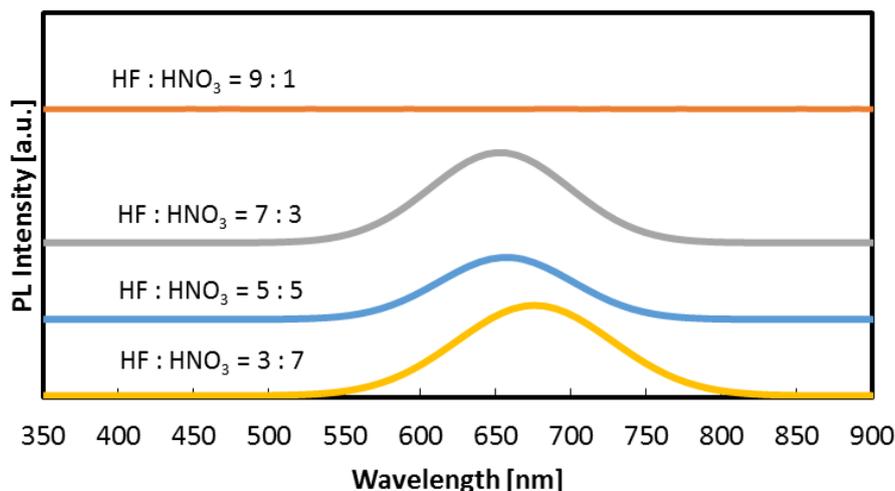
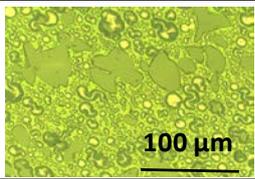
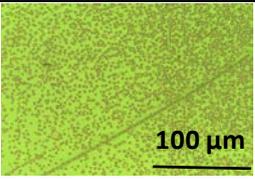
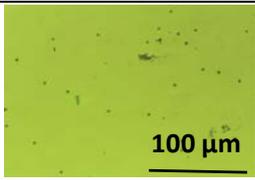


図5 PLスペクトルの溶液比率依存性

2 AIN 系薄膜の材料・プロセス技術開発

現在、青色 LED 材料として InGaN が用いられているが、In, Ga はレアメタルであり、高コスト・資源枯渇が課題である。資源が豊富な Al を用いた AIN は次世代紫外 LED やパワーデバイスとして期待されているが、可視発光は得られない。Eu 添加 AIN は、青～緑色 (Eu²⁺) と赤色 (Eu³⁺) で発光することから、同一材料を用いた低コスト 3 原色 LED の実現が期待できる。前年度までに、Eu 添加 AIN 薄膜から 450 nm (青), 520 nm (緑), 620 nm (赤) の PL 発光を観測してきたが、熱処理時の膜剥がれ等により良好な LED 特性は得られなかった。今年度は、Eu, Si 共添加 AIN 薄膜をスパッタリング法により形成し、その後の熱処理中の膜剥がれを対策した。サファイア基板の洗浄法として、一般的な有機洗浄とピラニア洗浄 (H₂SO₄:H₂O₂=1:1) を比較した。また、Eu 添加物として Eu₂O₃ と EuS を比較した (いずれも Eu 添加量は 0.2 atm% in AIN)。Eu²⁺ の形成を目的として Si を共添加し、スパッタ成膜後に N₂ 中で 1100°C, 1 時間の熱処理を行った。表 6 に示す通り、基板表面の有機物の除去性能が高いピラニア洗浄を用い、酸素を含まない EuS を用いた時に、AIN 膜剥がれが改善できることが分かった。また、図 6 に示すように、これらの施策により、450-520 nm の PL 発光強度が 3 倍増大した。前年度までに p-Si 基板/n-AIN:Eu,Si 薄膜ヘテロ接合 LED デバイスから可視発光を観測していたが、発光が微弱であり再現性が低かった。今年度の成果により、今後、デバイス特性の改善が期待できる。

表 6 AIN 膜表面形態の Eu 系添加物・洗浄法依存性

試料 No.	基板洗浄法	Eu ₂ O ₃	EuS	光学顕微鏡写真
1	有機	有	無	
2	ピラニア	有	無	
3	ピラニア	無	有	

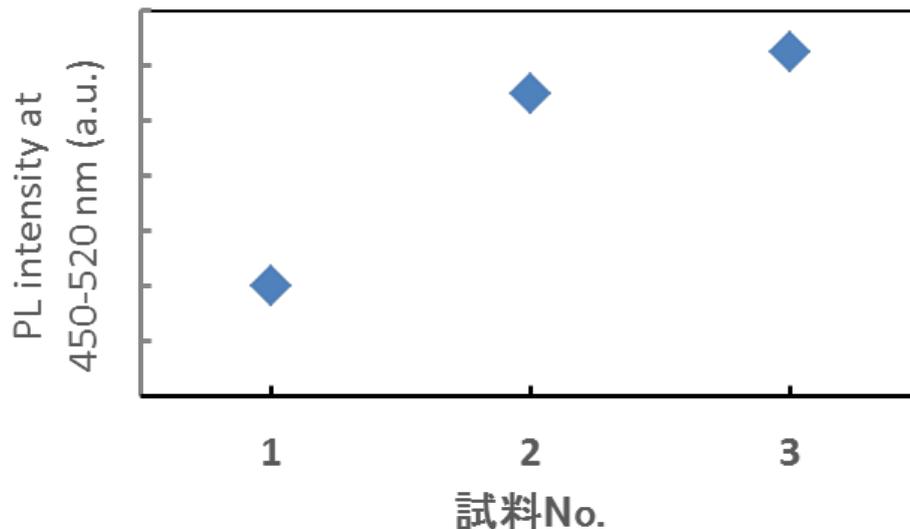


図 6 PL 強度の試料 No.依存性

3 植物育成用光源特性向上に関する研究

発光効率・発光波長を選択できるといった観点で LED が植物工場用光源として注目されている。発光効率が高いと言っても多くの発熱を伴い、電力損失に加え植物工場内の空調コストを引き上げる要因にもなる。一般照明用の LED 光源は、青色 LED と色変換する粉末蛍光体の組合せで構成されている。赤色 LED、緑色 LED など、特定の発光を示す LED も一般的であるが、蛍光体を用いて青色 LED から種々の色を作り出す方が発光効率の視点で勝っている。しかし、青色光から赤色や白色などの色を得る過程で生じる効率の損失に加え、高いエネルギーの光子（青色光）が低エネルギーの光に変換するとき生じるストークス損失は避けることができない。これらを考慮して実施してきた新規光源に関するこれまでの予備的研究を基に新規光源を提案した。

これまでに提案してきた新規光源として、例えば、異なる発光機構を併せ持つ素子である。青色 LED が半導体の PN 接合両端からプラス・マイナスの電荷を供給させることで発光を得ており供給電荷の数を光子の数が上回ることはないが、電荷を注入する電極と PN 接合の間に衝突励起する機構を設けることで注入された電荷は複数の光子を生成できる可能性を示した。この成果をさらに発展させ、注入電荷の加速・衝突機構を用いて電荷の雪崩増倍を生じさせ光子を増倍させることを考えた。増倍機構は、受光デバイスに應用されている機構を参考に検討し、アモルファス Si やアモルファス Se の薄膜を発光素子中に挿入してキャリア増倍を試みた。キャリア増倍効果が得られるか予備的な実験として、図 7 に示すような照射にアモルファス Si 薄膜の光伝導特性を評価した。光励起キャリアは 1 MV/cm 程度の電界で増倍作用を示すことが明らかになり、これを発光素子に適用することを考えた。増倍作用を示す電界が 1 MV/cm 程度であったことから、電界励起発光素子の直接衝突

励起機構と組み合わせることによって効率の大幅な向上が期待できる。本来であれば増倍作用を示すアモルファス Si 層への電荷補給方法を明確にして実験を進めるところであるが、時間的な制約から電荷の補給は行わず、**図 8** に示すような直流型電界発光素子の中にキャリア増倍作用を有するアモルファス Si 層を挿入した素子を作製した。アモルファス Si 層の挿入位置や厚さは素子中での電界分布から決定する必要があるが、プローブ発光層を用いた実験・インピーダンススペクトルによる解析などから図のように決定した。実際に素子を動作させると、キャリア増倍層を挿入していない通常の電界発光素子と比較して移動電荷量が非常に大きくなり、発光素子中においてもキャリア増倍効果が得られている可能性が示唆された。しかし、通常の素子と比較して発光効率は低下した。これは、直流発光素子において雪崩効果による移動電荷量の増大が即ち絶縁破壊モードになることを意味しており、印加電圧の降下に伴う素子電界の低下が生じてしまうために発光効率が低下していると考えられる。しかし、発光素子の絶縁破壊モードへの移行を回避させてキャリア増倍ができれば効率の大幅な向上が期待できる。このためにはやはり電荷補給の仕掛けが必要であると考えている。本研究の実施期間内に全ての実証を達成することはできなかったものの、今後の明快な研究指針が得られたのに加え、キャリア増倍機構を用いて素子の効率向上・新規発光素子の可能性が示された。特に、新規発光素子が衝突励起機構を有する電界発光素子であることは、植物栽培に有用な光の波長域に対応した様々な蛍光材料が使用できることを示しており、今後の植物工場用光源として期待される。

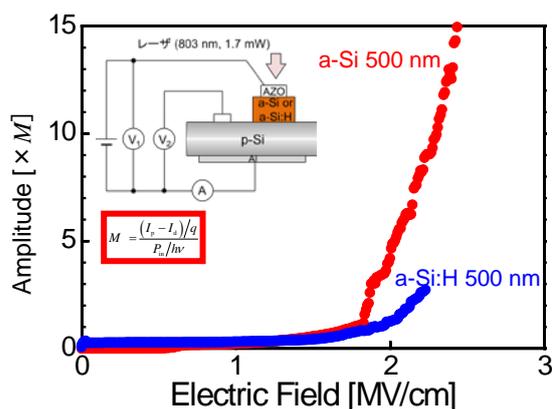


図 7. アモルファス Si 薄膜のキャリア増倍作用

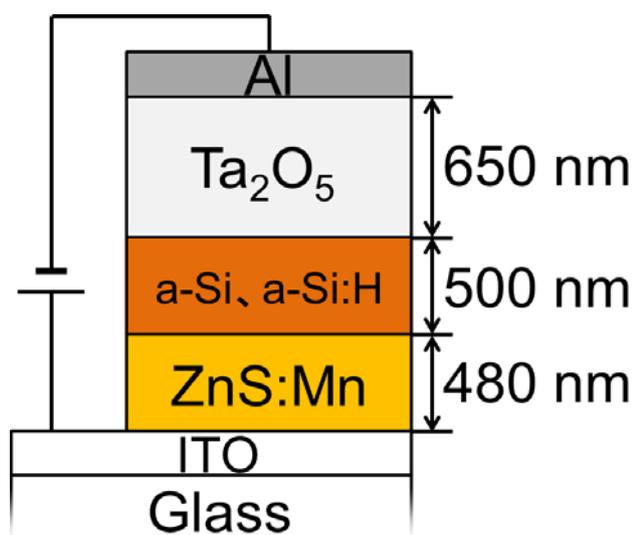


図 8. キャリヤ増倍層を挿入した電界発光素子

「微弱な点滅光の付与および培養液への粘土添加による生育促進」

「トマト等の果菜類生育における微弱な点滅光の付与および培養液への粘土添加による生育促進」

中林和重・久城哲夫・竹迫紘

研究テーマは、人工光下での植物生育促進技術に関するもので、2つのテーマからなっている。1つは、トマトなどの植物へ極めて弱い点滅光を照射することによって、植物を刺激して生育を増進する手法の研究である(I)。もう1つのテーマは、植物栽培用培養液に、粘土等の微粒子を混合・分散した場合の植物の栄養吸収および生育についての研究である(II)。なお、発展的テーマとして、植物由来の有用成分の定量法の確立も目指した(III)。

トマト等の果菜類生育における微弱な点滅光の付与および培養液への粘土添加による生育促進

I. トマトの水耕栽培における培養液への粘土添加による生育促進の研究(中林和重・竹迫紘・小倉裕司)

研究テーマは、人工光下での植物生育促進技術に関するもので、2つのテーマからなっている。1つは、トマトなどの植物へ極めて弱い点滅光を照射することで植物を刺激して生育を増進する手法の研究である。もう1つのテーマは、植物栽培用培養液に、粘土等の微粒子を混合・分散した場合の植物の栄養吸収および生育についての研究である。即ち、植物は一般的に土壌に根を張って、土壌水中のみならず粘土等に吸着・保持された養分も根で接触置換して吸収して成長するとのジェニーらの仮説に従い、植物工場内で栄養塩類を溶かした培養液だけでなく、各種の粘土を分散した培養液を用いて植物生育の促進をはかる研究である。本報告では、この2番目のテーマである「粘土添加による生育促進」について報告する。なお、本報告の内容は、小倉裕司氏博士論文(2013年度)および生態工学会(2014年6月発表予定)講演要旨の内容に基づいている。

1. 添加した粘土

従来からの研究で立川ローム層の最上層から分離した粘土画分(アロフェン)をトマトの水耕栽培の培養液に添加すると、トマトの養分の吸収が促進される傾向がみられた¹⁾。しかし、この粘土画分では、不純物がみられたため、鹿沼土から分離した非晶質粘土鉱物アロフェンを培養液に添加することでトマトの養分(カリウム)吸収、および収量について検討した。

2. 実験方法

供試植物はルビーラッシュ(ミニトマト:カネコ種苗株式会社)を用いた。2013年8月から実験を開始した。試験区は2試験区とした。即ち、実験開始時から栽培終了まで培養液にアロフェンを添加する区(以降、粘土分散区)と粘土を添加しない区(以降、対照区)である。2014年2月に栽培を終了した。栽培は明治大学植物工場チャンバー内で行い、光源にはメタルハライドランプを使用した。培養液処方、園芸試験場処方に準じた。

植物体の分析は、通風乾燥後、粉末状にし、硫酸一過酸化水素で湿式分解を行い、分解液中のカリウムを原子吸光光度法で測定した。また、果実は適宜収穫し秤量したのち、100℃で通風乾燥後、植物体と同様の分析を行った。

3. 結果と考察

ミニトマト果実の収穫量は、対照区と粘土分散区で、815g/株と 864g/株であり、粘土分散区で多い傾向があった。しかし、両試験区のトマトの草丈が天井の光源に近かったため光源から発せられる熱の影響をうけているともおもわれた。

一方、植物体中のカリウム含有率は、対照区では5.7%、粘土分散区で7.1%であり、粘土分散区のほうが1.4%多かった。これは、アロフェンと根の接触置換によって一価のカリウムイオンが根表面に移行したため、より多くのカリウムイオンをトマトが吸収できたためと考えられた。また、乾物重量と乾物中のカリウム含有率からトマト1株中の含有量を算出すると、対照区と粘土分散区で、それぞれ5.73g/株と7.08g/株であり、粘土分散区のトマトのほうが1.35g/株多かった。

4. まとめ

以上の結果から、水耕栽培の培養液に非晶質粘土鉱物であるアロフェンを添加すると、とまとの収量が増大するとおもわれた。これは、一価の陽イオンであるカリウムの吸収が植物根との接触置換によって促進されたためとおもわれた。

植物生体電位と植物栄養吸収の関係

貧栄養培養液の吸収にともなうセロリ細部の植物生体電位変化（中林和重・竹迫紘）

作物の栄養診断方法の一つとして、植物が発する生体電位（交流成分）の特定周波数の出現と植物体内の栄養成分濃度との相関関係に基づいて植物の栄養状態を診断する技術確立を目指してきた。

目下、植物体中の硝酸体窒素濃度の低下に伴って低周波領域の生体電位に変化が生じることを見出してきているが、この理由については不明である。

本実験では維管束が肉眼で容易に観察できるセロリを用いて、2本の電極を2セット準備して植物生体電位を茎の細部・上下2か所で測定し、細部ごとの培養液環境と植物生体電位との関係を検討した。

（本実験は、高橋らによって行われ、研究内容は2015年生態工学会で発表予定である。）

1. 試験区設定

収穫期のセロリを栽培ポットのピートモス培地から上方1cmのところまで切断した後、富栄養区と貧窒素区の2つの試験区にそれぞれ静置した。即ち、両区には、大塚A処方（1・2号）EC1.7 dS/mに調整した富栄養培養液と、大塚ハウス1号のみを同量用いた貧栄養培養液（EC1.0 dS/m）を用いた。

2. 実験方法

メチレンブルーで染色した培養液を用いて培養液吸収速度を測った。この培養液の吸水速度に基づき、電極A～D点を富栄養と貧栄養のそれぞれの培養液が通過する時に電位測定を行った。電極A～B間の生体電位スペクトラムを「下部電位スペクトラム」とし、電極C～D間の生体電位スペクトラムを「上方電位スペクトラム」とした。電位測定直後に電極A～D点を切断し、下から上方へPart1～4と名付けて、部分別にセロリの葉柄を切断して、それぞれ汁液中の無機成分分析を行った。

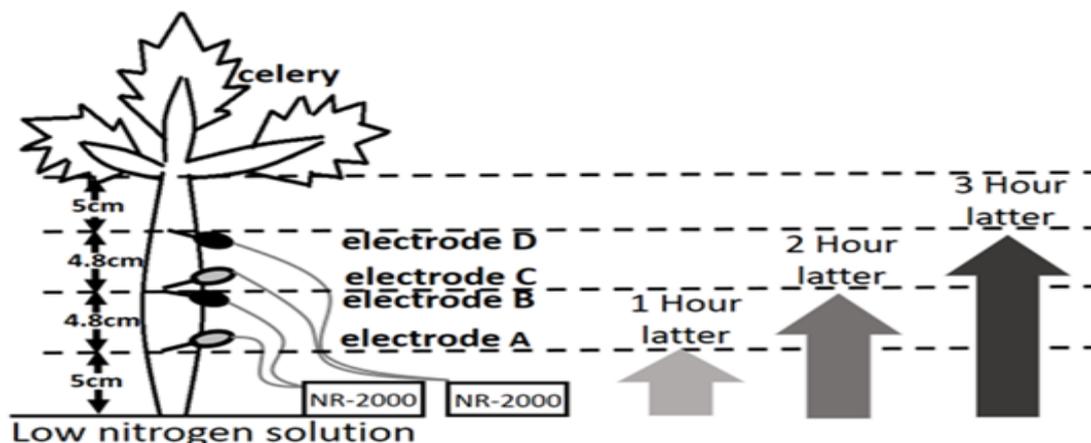


図1.電極の設置と切断箇所模式図

3. 結果 及び 考察

植物体中の硝酸態窒素濃度の低下と窒素欠乏電位とされる 20 Hz ピーク高の関係を図 4,5 に示した.

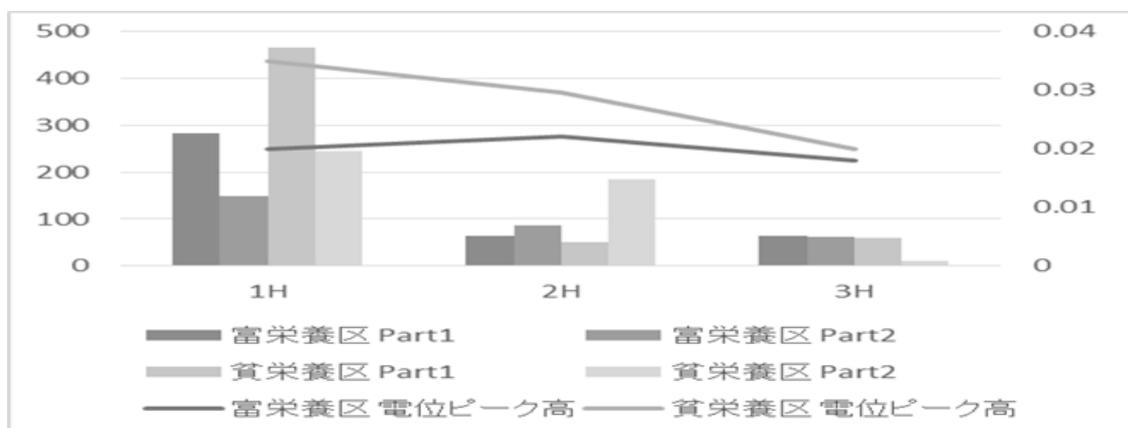


図 4,植物体下部(Part1.2)の硝酸態窒素濃度の低下と 20 Hz ピーク強度

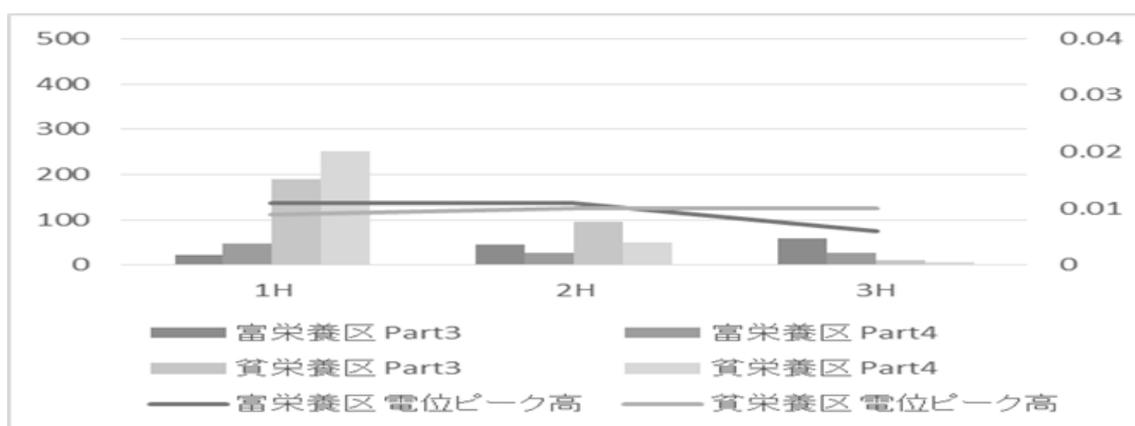


図 5, 植物体上部(Part3.4)の硝酸態窒素濃度の低下と 20 Hz ピーク強度

貧栄養区では実験開始 1 時間後に植物体下部の硝酸態窒素濃度が大きく低下(466ppm)し, これに伴って 20 Hz 電圧も貧栄養区の実験開始 1 時間後に最も高い値(0.035mV)を示した. 2 時間後では貧栄養区の Part2 で最も硝酸態窒素が低下した. これは貧栄養培養液の吸収によるものと考えられる. 2 時間,3 時間後と植物体下部の硝酸態窒素濃度の低下が緩やかになるのと同時に, 貧栄養区の下部 (part1,2) で発現していた 20 Hz の電圧は低くなった.

貧栄養区の 1 時間後に植物体下部(Part1.2)で硝酸態窒素の低下を確認したが, 植物体上方では 20 Hz 電位に変化はなかった.

本実験では植物体茎の細部での継時的な硝酸態窒素濃度変化による生体電位反応を検討した. その結果, 短時間に 2 電極間で生じる硝酸態窒素濃度の低下を 20 Hz 生体電位で評価

できることが明らかとなった.

植物生体電位と植物栄養吸収の関係

20 Hz 赤色点滅光照射がトマトの植物生体電に与える影響およびトマト由来有用成分エスキュレオシドの定量分析法の確立(中林和重・久城哲夫)

植物生体電位は様々な環境要因の差異によって変化することを報告してきた。特に、20Hz 付近(18~22Hz)の電位強度が植物体中の硝酸態窒素濃度と負の相関を持つことを明らかにし、窒素貧栄養状態を生体電位によって検知できるようにした。さらに、この植物に赤色点滅光を照射すると貧栄養状態から回復することを明らかにしたが、照射中の電位変化については検討していなかった。今年度は、点滅光照射環境下での生体電位測定と、こうした栽培環境下で生育する植物体成分の分析方法の確立をめざした。

植物生体電位および窒素濃度の測定方法

植物生体電位実験では通常栄養区と貧窒素栄養区の2試験区を設けた。貧栄養区では植物に貧窒素栄養液を供給してから 60 分後に化学分析および電位測定によって植物(トマト)が貧栄養になっていることを確認してから、赤色点滅光照射を開始し、30 分後に植物生体電位がどのように変化するかを解析した。なお、供試トマトは明治大学植物工場内チャンバーC内で育苗した。

結果および考察

貧窒素栄養区のトマト葉中の硝酸態窒素濃度は、実験開始から 60 分後に著しく減少した(図1)。この時の植物生体電位は、窒素通常栄養では 10~30Hz の範囲に大きなピークは認められなかったが、貧窒素栄養では 20Hz 付近に大きなピークを認めた(図2)。

その後、貧窒素栄養区トマトに赤色点滅光を照射すると、低周波数領域の多くのピークが小さくなった。従来知見によれば、硝酸態窒素濃度は低いままであることから貧窒素状態での特徴である 20Hz 付近のピークがみられるはずであるが、貧窒素栄養状態であっても 20Hz 点滅光照射中のトマトからは 20Hz 付近の生体電位は検出されなかった(2016年6月発表予定)。今後、更なる検討が必要であると考えられる。

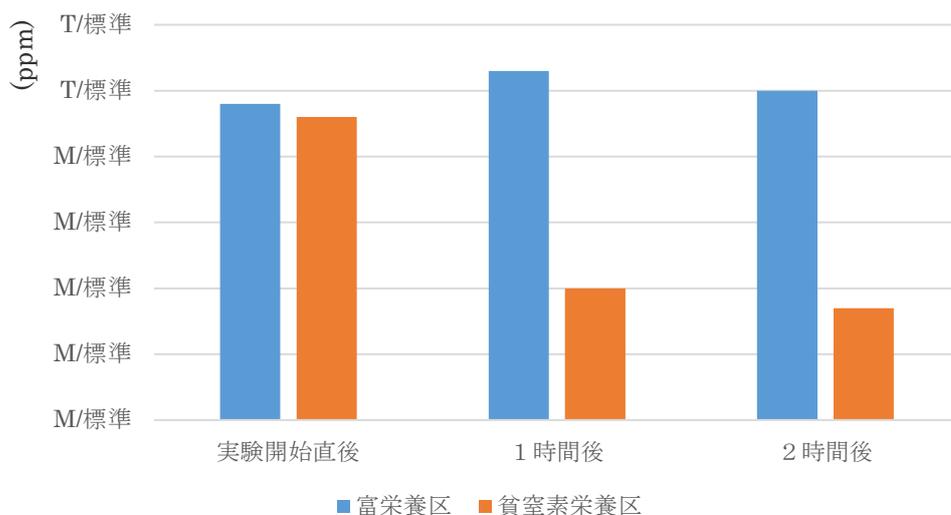


図1. トマト葉柄中の硝酸態窒素濃度の変化

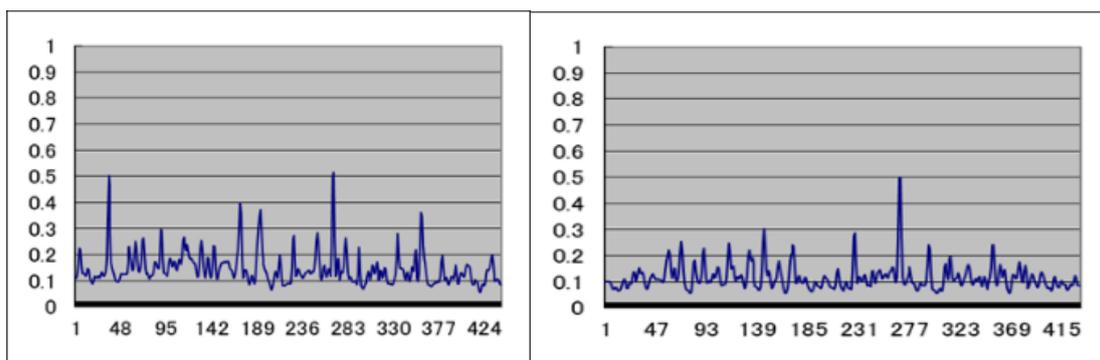


図2. 貧窒素栄養下の生体電位スペクトル

(左)60分後 (右)90分後(赤色点滅光照射中)

トマト由来有用成分の定量分析法の確立

各トマトの栽培条件において、トマトに含まれる抗がんや動脈硬化予防作用を有するエスキュレオシド A の含量がどのように変化するかを調べるため、分析法の確立を目指した。トマト果実を破碎後、抽出物を HP-20 カラムに通しメタノールで溶出した。溶出面分をさらに ODS カラムによりクロマトグラフィーを行い、60%メタノールで溶出することで部分精製を行った。このサンプルを TLC により分析したところ、標品のエスキュレオシド A と同じ位置にスポットが検出された。現在、LC-MS による定量分析を検討中である。

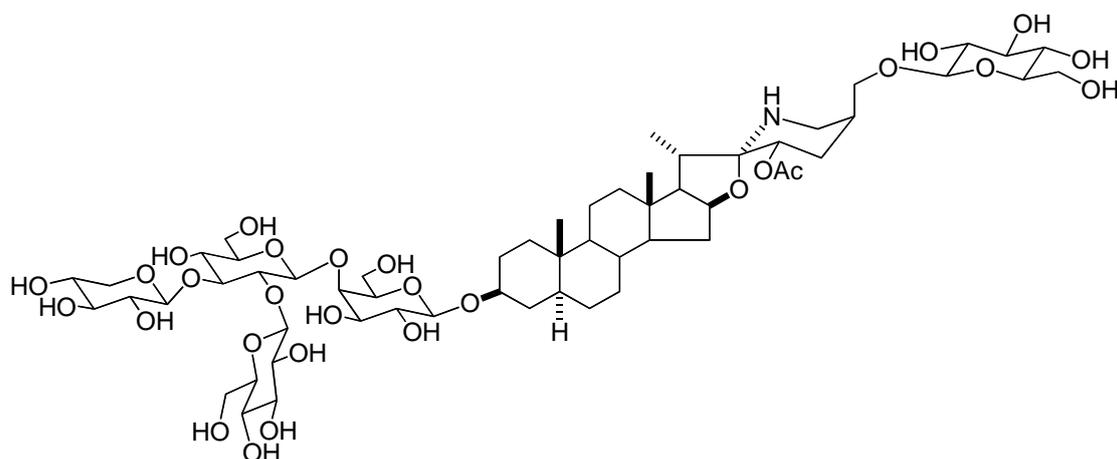


図3, トマト由来エスキュレオシド A の化学構造

植物生体電位と植物栄養吸収の関係

20Hz 生体電位検知に基づく赤色点滅光照射がトマトやソバの生育に与える影響、およびトマト由来有用成分エスキュレオシドの定量分析法の確立(中林和重・久城哲夫)

植物への赤色点滅光照射が植物の成育を促進することを明らかにしてきたが、この照射は植物から発せられる 20Hz の生体電位を検知した場合に照射したほうが、連続的に照射するよりも効果的である。今回は、トマトとソバを供試植物として、生体電位検知に連動して自動的に 20Hz 赤色点滅光を照射する装置を用いて実験をおこなった。

トマトを用いた電位検知・点滅光照射装置の使用例

植物工場基盤研究センターC チャンバー内で育成したトマト苗を 2016 年 6 月に定植し窒素貧栄養下(A,B,C,D)と、通常栄養下(E,F,G,H)で育てた。このうち A と B、および G と H には生体電位自動検知・赤色点滅光照射装置を取り付けて成育促進効果の有無を検討した。その結果、トマトの葉柄汁液中の窒素濃度については光照射によって濃度が上昇する傾向がみられた(図 5)ものの、葉色や植物体重量には効果があるとはいえなかった。赤色点滅光の照射が植物に与える影響を明らかにするために 2014 年度にマイクロスコープを導入してトマトの葉を観察をしているが、目下のところ照射による表面構造の変化はあきらかになっていない。今後、詳細に観察する予定である。

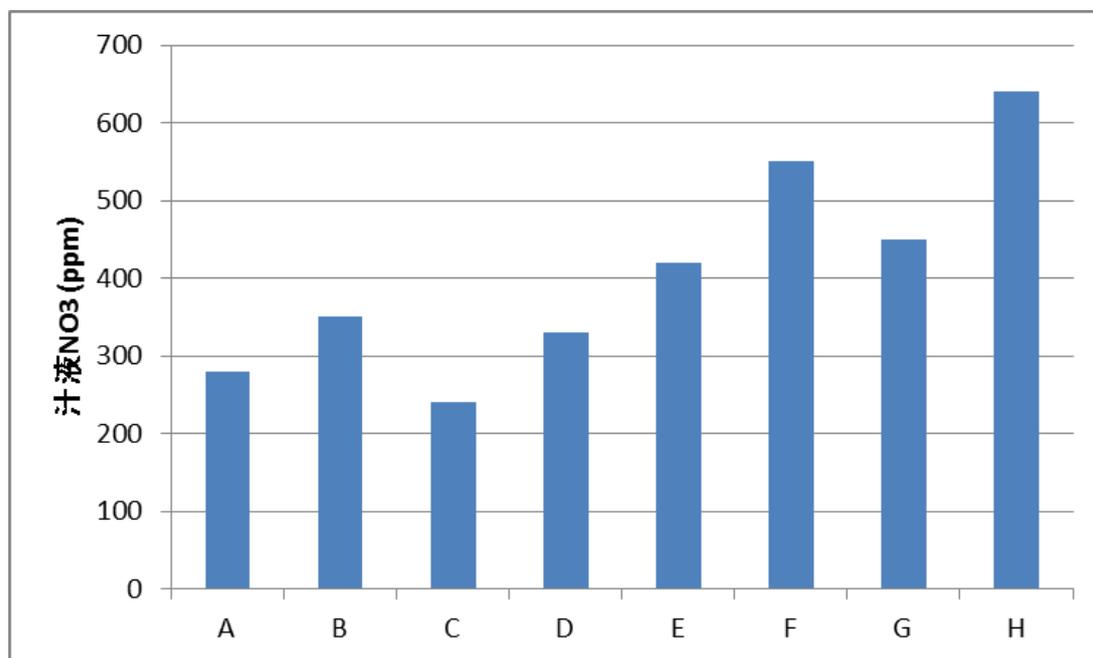


図 5. トマト葉柄汁中の窒素濃度

ソバを用いた電位検知・点滅光照射装置の使用例

本年度は、トマトのほかにソバについても電位検知・点滅光照射装置の効果を検討した。その結果、栽培時の肥料濃度が低い場合に、生体電位自動検知・赤色点滅光照射によって花の数が特

に増加することが新たにわかった(第1表:2017年度の学会で報告予定)。

	肥料低濃度		肥料高濃度	
照射	あり	なし	あり	なし
草丈	129	173	178	158
生重量	86	95	100	104
葉数	186	252	189	187
花数	120	75	16	6
花色	10RP7/6	N9.5	N9.6	N9.7

第1表 肥料濃度および点滅光照射とソバの成育

今後、トマトについても形状や収穫量だけではなく花数や品質・成分などについても明らかにしていく必要があるとおもわれる。

トマト由来有用成分の定量分析法の確立

トマト果実に含まれる、抗がん作用や動脈硬化予防作用を有するステロイドサポニンであるエスキュレオシド A の定量分析法の確立を目指した。トマト果実を水と共に破碎後、HP-20 および ODS カラムにて精製したサンプルに関して、LC-MS での検出が出来なかったため、RI 検出器を用いて測定を行ったところ、クロマトグラム上で良好なピークを得ることができた。このピークに関して、標品を用いて良好な検量線を作製することができた。さらに、内部標準物質としてゲニスチンを選定し、同サンプルに添加した後、UV 検出器で検出を行ったところ、エスキュレオシド A とも重ならず良い分離を示すことが分かった。

植物への赤色点滅光照射がトマトの生育に与える影響の検討、および、植物由来有用成分の定量分析法の確立（中林和重 久城哲夫）

トマト由来有用成分の定量分析法の確立

トマト果実に含まれる、抗がん作用や動脈硬化予防作用を有するステロイドサポニンであるエスキュレオシド A の定量分析法の確立を目指した。トマト果実を水と共に破碎後、HP-20 および ODS カラムにて精製したサンプル

赤色点滅光がトマトの生育に与える影響の検討

植物への赤色点滅光の照射が植物の生育を促進することを明らかにするために、植物への赤色点滅光照射と植物中の窒素栄養および植物生体電位の関係などを明らかにしてきた。本年度は本研究で導入したマイクロスコープを用いて、点滅光照射によって植物体にどのようなことが生じているのかを視認すべく、その活用を目指した。

試験は、ミニトマトの果房直下の茎から発生させた不定根から水溶性色素が直接に果実中に取り込まれる様子を、茎や果実の基部の切片を顕微鏡観察することによっておこなった。その結果、この水溶性色素の取り込み効果は、トマトに微弱な赤色点滅光を照射したほうが強いように思われた(写真1)。

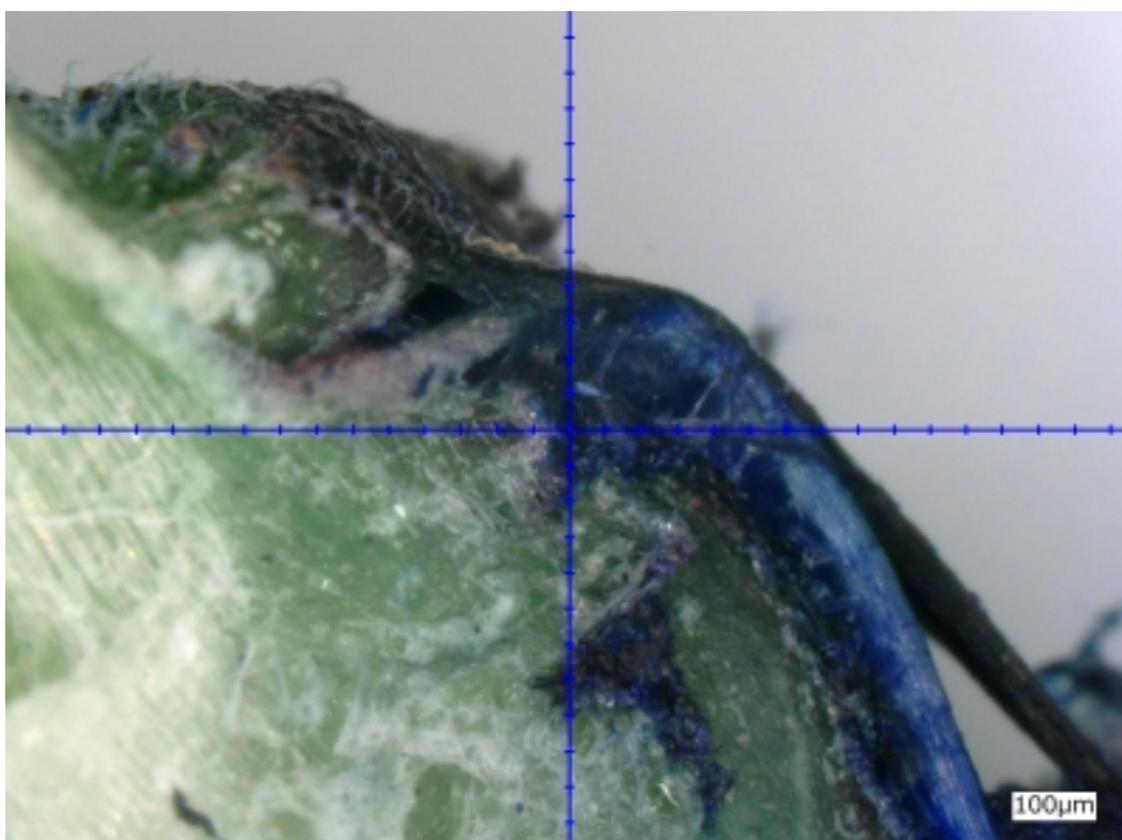


写真1 ミニトマト果実の切断面の顕微鏡写真

一般的に、植物は地下部の根系から植物の生育に必要な栄養素を吸収して成長するが、これを食するひとの立場からすれば、健康増進に有用な健康成分を根から吸収せしめてそのままこれを食用とすることができれば医食同源となる。この有用物質の植物への浸透力が、植物への点滅光照射によって促進されるのであれば、食による健康増進に役立つ技術になるかもしれない。今後、トマト以外の植物についても、点滅光照射と植物栄養素や人有用成分の植物への取り込みや生体電位などの関係をあきらかにしていきたい。

トマト由来有用成分の定量分析法の確立

トマト果実に含まれる、抗がん作用や動脈硬化予防作用を有するステロイドサポニンであるエスキュレオシド A の定量分析法の確立を目指した。前年度までに確立できた方法により、福島産のトマト果実において 3.3 mg/g のエスキュレオシド A の含有量を確認した。

ハウレンソウ由来機能性成分の定量分析法の確立

ヒユ科アカザ亜科のハウレンソウには、美肌や育毛効果を有する 20-ヒドロキシエクジソン (20HE) が含まれており、ハウレンソウの機能性成分として注目されている。植物工場で栽培したハウレンソウの品種間や栽培条件での含有量の差異を調べる目的で、20HE の定量分析法の確立を行った。ハウレンソウ葉をメタノールに浸漬後ろ過し、ろ液を濃縮した後、ODS カラムを用いた HPLC 分析により 20HE を良好に検出することができた。また、内部標準物質としてケルセチンを選定し、20HE、ケルセチン共に良好な検量線を作製することができた。この方法を用いて、植物工場で栽培した 6 品種および市販の 2 品種の 20HE の含有率を測定した。植物工場の栽培は、24 時間断続的に光照射を 15 日間行い栽培したものと、12 時間ごとに明暗を繰り返して 1 ヶ月栽培したものをを用いた。その結果、植物工場で栽培されたものの方が市販のものよりも 20HE の含有率が比較的高いことが分かった。

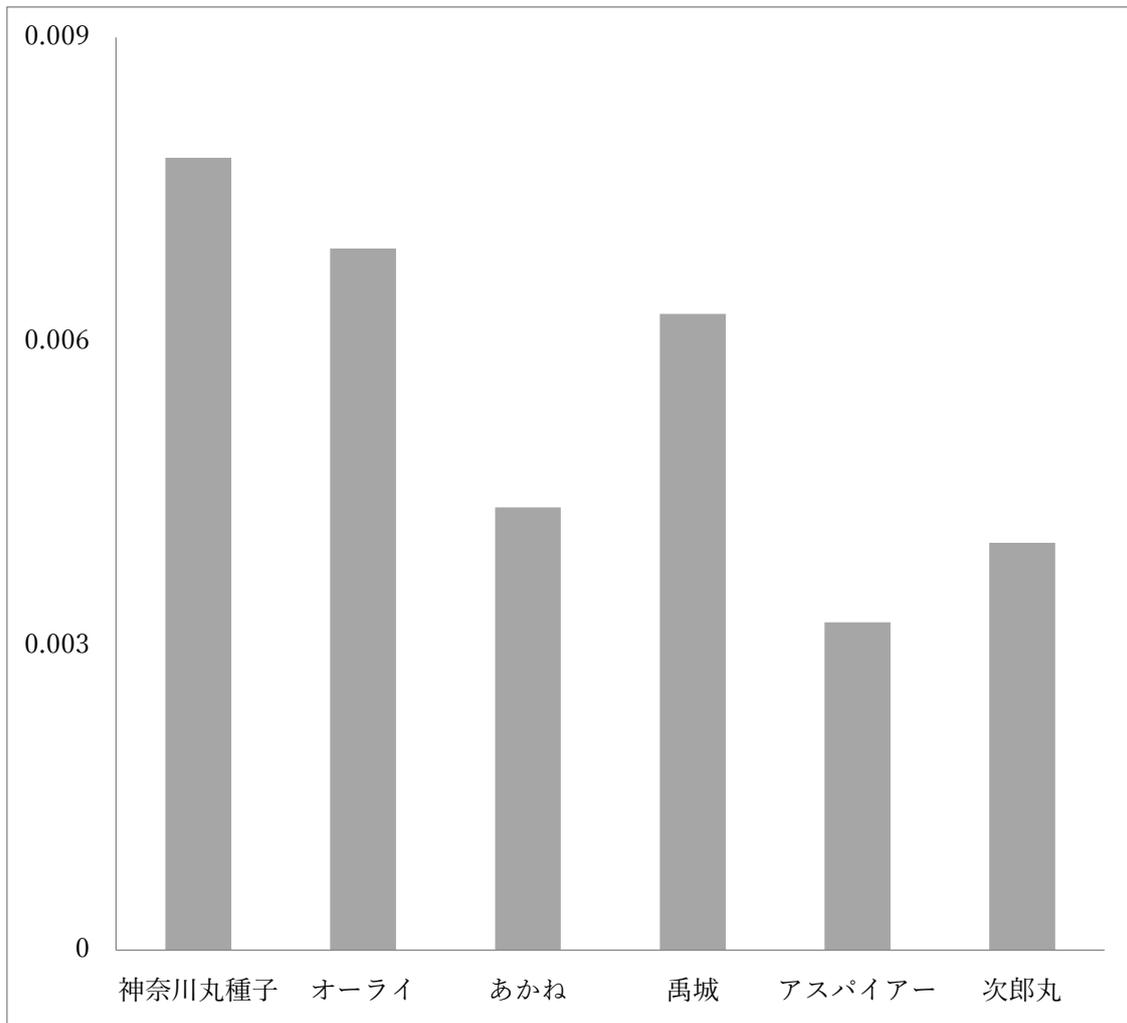


図. 15 日間栽培時の 20HE の含有率

また、15 日間栽培の方が 1 ヶ月栽培よりも比較的高く、24 時間断続的に光照射を行った方が含有率が上がると考察された。品種間では、神奈川丸種子系統が最も高い含有率を示し、オーライや次郎丸の方があかねや禹城よりも高いことから(図)西洋種の方が東洋種よりも 20HE の含有率が高いことが示唆された。

植物工場経営のための運営ガイドラインおよび生産物マーケティングの研究・実証

明治大学商学部教授 大友純

本プロジェクトにおいて、植物工場にどういった生産物を求めるか、に関する主たる社会科学研究として、商学部講義にてセンターで生産した野菜を、明治大学が講義の一環として運営するアンテナショップにて配布、一般消費者を対象としたアンケート調査を実施し、植物工場に求める要望も合わせて集計・検討した。

詳細は添付した資料にてまとめているが（別添資料3点）、抜粋して要約すると、①甘い、歯ごたえがあるなど、味などに特徴がある②生で食べられ、鮮度が高い③付加価値の高い④栄養価が高いなど、差別化が図れる生産物生産、⑤事業者と植物工場のマッチング事業を実施するためには、事業者のニーズに対して、収量規模に応じた安定供給に必要な仕組みの費用・規模などの計画票をパンフレットなどの形で作成しておくことが求められること、⑥6次産業化に対応できる生産物生産、などが抽出された。

なお、本プロジェクトにおける業績（アンケート結果など）において、論文化を検討しているため非開示としている。

<2017年度のプロジェクト研究関連成果（大友分）>

17年4月26日(水)19時～21時

明治大学リバティアカデミー『上原・大友のマーケティングゼミナール』において「農商工連携の真の相方と企業活性化のための新しい資源を求めて」というテーマで報告。

〔報告概要〕経済成長期において第1次産業従事者は第2・3次産業に対して一方的に人的資源や立地資源（土地）を提供してきたが、これからは第2・3次産業が積極的に第1次産業に関わることの社会的経済的意義とその有効性に関して論じた。また5月24日には同講座において「植物工場の理論と実際」というテーマで大規模に植物工場を展開しているA社のB氏による報告とその議論において、安定供給可能な工場特質を背景とする業務用需要市場の有効性について論じた。

17年12月9日(土)13時～16時40分

明治大学リバティアカデミー大同生命寄付講座において『農業に関わることの重要性と企業の未来』というテーマで、企業経営における新資源としての農業と県警性創造のあり方について報告を行った。

〔報告概要〕第2次産業における近年の電子技術の急速な進展は、農業分野に関わる種々のセンサー開発にも大きな貢献をしつつあり、新しい市場としての可能性の大きさに言及し、トヨタなどの成果も紹介しながら、工業製品の海外市場進出とは次元の異なる新たな収益対象としての魅力性について論じた。

植物工場経営のための運営ガイドラインおよび生産物マーケティングの研究・実証

明治大学商学部教授 浅賀宏昭

本プロジェクトにおいて、商学部特別テーマ実践科目にて、六次産業化を視野に入れ、植物工場野菜を食材にしたメニューを創意し、外部評価委員同席による成果報告会を行うと同時に、講義内で抽出した野菜に対する要望から、生産側（テーマ1）へフィードバックするための提言を行った（川下→川上）。そしてさらにそれら提言からテーマ1では、現行の葉菜類から候補を絞り、いくつかの特徴ある野菜の栽培に着手し、それらを再度テーマ4の商学部講義へ提供して、実際に使用する実習を再度行った（川上→川下）。この試みを3年にわたり実践した。

5年間の実績としての社会科学的植物工場研究により、商学部特別テーマ実践科目においては外部評価委員の方々から「加工への取り組みは六次産業化のための重要な研究であり今後も積極的に継続するように」との審査結果を頂戴しており、また学内審査でも高く評価された。さらに学部生の論文「人工光型植物工場ビジネス」が、商学部奨学基金「奨学論文」において入賞するなど、積極的な研究が奏功している。このように、各テーマの融合、特に社会科学系と基礎研究との相互研究サイクルによる農商工連携モデルの確立ができたと考えられる。

なお、本プロジェクトにおける業績（授業資料など）において、論文化を検討しているため非開示としている。

明治大学経営学部教授 坂本恒夫

研究期間を通じて特筆すべきことは、本プロジェクトにおいて、農商工業事業関係者との研究交流を目的として、「日本中小企業ベンチャービジネスコンソーシアム」に「アグリビジネス部会」を主催・設置したことであり、さらに、駿河台地区に坂本が主宰する「アグリビジネス研究会」を設置した。これら農業とビジネスを結ぶ専門部会におけるアグリビジネス研究により、植物工場のあり方などを実際の事業者から聞き取り調査ができる体制を確立し、8度の研究会開催した実績を蓄積した。この中で特に注目すべき討議は、販売を含めた6次産業化の必要性であるが、それを軸にしさらに地域貢献も考慮した事業化を検討することが挙げられている。これは植物工場を単なる生産手段として機能させるだけでなく、より産業化に向けた検討が今後も継続して必要であるとした。植物工場の経済的・経営的そして社会的意義を調査し、その発展性と課題を明らかにした。今後、特に地域経済、地元企業の発展という視点から、諸外国の事例を紹介しながらいくつかの方策を提示する。

活動記録

2015年10月から10月19日、カナダ、トロントおよびバンクバーにおいて、植物工場およびFarmers Marketsの視察。

2016年2月22日から2月24日、秋田県角館および秋田市において視察およびインタビュー。

主な研究として①2015年10月14日、York大学Schulich School of Businessにおいて、Matthias 教授にヒヤリングを行った。さらにトロントにおけるLawrence Farmers Market およびバンクバーにおけるJohnston Farmers Market 視察した。

・成果、大規模農業経営での農産物は価格面でのメリットはあるが、味覚など質的な面では、日本の場合のほうが、競争力がある。植物工場での農産物は、無農薬野菜として、消費者の嗜好としての性格が強く、高値で販売されている。日本の植物工場の研究としては、アメリカ、カナダ、オーストラリア、ニュージーランドなどよりも、オランダ、ドイツなどヨーロッパの植物工場先進国に学ぶべきである。

②2016年2月22日、食彩町家館を、あきた食彩プロデュースの佐々木章氏によって説明を受ける。また北都銀行角館支店の竹村 敬氏から、地元の経済状況について説明を受ける。2月23日、秋田「タニタ食堂」視察。

・成果、インタビューおよび視察で得られた成果は、われわれの植物工場でも特色ある野菜作りが必要であるということ。また「地方創成」を研究の枠に入れないと、植物工場の研究も説得力がない。さらに植物工場も「外国、海外、アジアなどを視野に入れるべきである。加えて、植物工場のマネジメントは、コスト削減から売上高の増加を視野に入れるべきである。最後に、健康・ヘルス指向の中で、植物工場も健康増進を視野に入れるべきである。

2016年度主たる研究として

①「植物工場とは何であったのか」2017年1月21日、日本中小企業ベンチャービジネスコンソーシアム部会

②「ESG投資とM&A」2016年12月18日、日本経営学会関東部会、駒澤大学

③「顧客重視の経営戦略」2017年1月20日、種徳会講演会、つくば市ホテルオークラ

さらに海外視察として、

2016年9月4日～11日。アメリカ西海岸の農業視察。

ナパ・バレーを訪ね、ワインビジネスの現状と、課題について、視察。

スタンフォード大学を訪問し、同大学教員より、最近のビジネス動向およびデザインシンキングの手法について、講義を伺った。また同大学に隣接するベンチャービジネスを訪問し、銀行、証券などの企業が、どのようにデザインシンキングを実践しているか、お話を伺った。

研究成果として、近年におけるアメリカのビジネス動向を視察し、植物工場において、どのような手法で、野菜などの成果物を販売するかを、分析した。また、デザインシンキングの手法から、顧客重視、顧客の側に立った野菜作りなどを、理解することができた。

2013年5月31日

『アグリ&ビジネスコラボレーション』研究会

第1報告「地域資源を活用する仕組み作り～地域振興は地方銀行の使命～」

秋田県羽後町美少女イラストでの町おこしの先駆けとなった。美少女イラストとコラボレーションしたイベントを行ったところ、全国から想定以上の人々が集まった。このようなイベントに参加した横浜や秋葉原の若者達とは現在もネットワーク、いわゆる絆が生まれている。

秋田県は米と酒に依存している傾向がある。一方で青森県は加工品も多く生産している。秋田県は加工品にも付加価値をかけて生産していくべきなのである。そこで、地元の有名パティシエとコラボレーションをして、青豆のドラジェというお菓子を作ったところ、これが大ヒットした。理念や哲学がない企業は長続きしないという結論に至った。

Q1.その後、美少女イラストの製品制作は継続しているのか。A.なかなか後継者が現れなかったが、現在は中学生などがイラストを描くなど、ボランティアで継続している。

Q2.どのように認知されたのか。A.地元の新聞に掲載したところ、はじめは地域住民から苦情があったが、インターネットでの反響が大きく、徐々に認められるようになった。

Q3.美少女イラストとコラボした秋田こまちを有名百貨店に置いたその後はどうなったのか。A.はじめは置いてもらう段階で苦労したが、百貨店の想定以上の売り上げを記録した。しかし、米そのもののこだわりの品質が基本であり、美少女イラストだけでは売れなかつたろう。

第2報告「市街地におけるグランパドーム運営事業および農業ビジネス情報発信構想」

グランパドームは、企業の成果の結集体としての農業を目指す。また、海外進出も考えており、イタリアミラノ万博への出展を予定している。農業の重要性は増しており、そのことを後世に伝えていくために、2014年には小学校の教科書に、2015年には中学校の教科書にそれぞれ植物工場が掲載される。グランパドームは、横浜に建設され、農業をテーマとした循環型テーマパークとして構想されている。テーマパークに関して、経済産業省は、高いデザイン力と技術力を目標として掲げており、小学生や中学生、地域住民などが気軽に立ち寄れるような場所を目指している。今日の日本は農業という重要なキーワードを発展させなければならない段階にきているのである。

Q1.グランパファームの理想とする成功像は何か。A.ドームに関わる企業それぞれの要望がある。例えば、子供達の教育のため、自社コマースとして農業を広めるため、農業の仕組みを伝えるため、横浜の取り組みとして海外にアピールするためなどである。成功するためには、やはり人間が基本である。人が人を楽しませるのであって、インフラを充実させてもいずれは飽きてしまうのである。サポーターをどのように育成するかが成功につながるのではないか。さまざまな人達がそれぞれの視点で見ることが出来るように、ヒントと癒しを与えるような場所を目指す。企業の社会貢献というものは、以前は自然環境

に特化していたが、現代は社会環境も整えるようになってきている。例えばそれは、雇用者を増やしたり、新しいビジネスチャンスを生み出してあげることなどである。農業の役割も同様である。自然と社会の両方にアピールするようなコンセプトがあれば、世界にも発信することが可能なのではないか。老若男女が共存できるような社会構造を目指し、農業を軸として日本全体を発展させていきたいと考えている。日本国内だけでなく、世界中の人々が見学に訪れるようなオープンな農場にすることが、課題であり、目標とすべきものである。内向きではなく、外にも出ていけるようなものであれば、農業もより発展していかうだろう。また、石油などの資源は保有しているのに、食料などを生産できないような海外の企業が日本の農業に興味を持っているため、それをビジネスチャンスに活用できると考える。世界中に通用し、理解を得るためには、説明などにそれぞれ異なった言語を使用するのではなく、高いデザイン力を活かしたイラストでわかりやすく表現すると良いのではないか。絵は世界共通のツールである。最先端技術のアピールだけではない、豊かな共存社会についてのアピールをすることが必要である。人は、経験と成果物を共有することが非常に記憶に定着しやすい。つまり、数値などのデータばかり示すよりも、実体験のほうが記憶に残りやすいのである。また、農場が婚活などにも利用されていることから、何らかの形で社会貢献ができているのではないかと考える。地域資源というものは、その地域を十分に知る住民が活用することが望ましい。これが地域振興に通じるのである。

『アグリ&ビジネスコラボレーション』研究会

第1報告 五所川原農林高等学校 アグリコミュニティー

五所川原地域は2010年より6次産業化を進めてきた。現在65歳以上の農家は約17%で、これらの農家がなくなると地域が衰退してしまう。しかし、農家が各自で2次産業から6次産業へ発展していくことは困難である。そのため、学校が支援していかなければならないのである。これまでの農業は物理性と科学性を追求してきたが、生物性のものへ変化してきている。例えば、五所川原農林高校が行っている土地利用型農業は、微生物を利用し、現在は毛豆の商品化を目指している。6次産業推進会のホームページに状況を掲載するなど、ダイレクトマーケティングも必要であると感じている。また、付加価値のある作物を提供することも必要である。その例が五所川原のリンゴである。この作物によって日本初のクラブ制を目指している。「スペシャルG」というクラブをつくり、農家の方々に会員になってもらい、スペシャルGの商標を使用してリンゴを販売するというものである。課題は品質管理である。品質管理に気を配りながらブランド化を図り、リンゴで農業の世界遺産を目指している。その他、6次産業化協議会の開発商品例として、味噌ドーナツやカボチャピューレが入ったパンなどもある。低糖質スイーツを作るなど、消費者が健康志向になってきている。こうした動きの中、内閣府は食の6次産業化プロデューサーの育成に関する提示を行っている。五所川原スペシャルG協会は、未来型農業を目指すことで、グローバル化への対応が可能になるだろう。五所川原農林高校は次のように情報の発信を行っている。高校生たちがブログなどに日々の活動をアップロードすることで、そのホームページを見た人々が質問をする。毎日更新することで日々変化し、コミュニケーションが活発化するのである。農業というものは、あらゆる方向から様々なものを取り入れて成立している。政府は日本の農業を発展させようとしているが、具体的な案は提示していないというのが現状である。さらに国外に対しても情報を発信していく必要がある。五所川原農林高校のダイレクトマーケティングの開始時期として考えられているのは、リンゴは約5年以内、毛豆は来年からである。契約栽培に関して課題となっているのが、バイヤーとの関係である。農家がメインの当事者であるのに、仲介のバイヤーがあらゆる決定に関して権限を持っているように感じられる。販売だけを目的とするのではない流通方法もあるのではないか。例えば、ホームページを見た人々に「サポーター」になってもらうのである。販売にすぐにつなげようと短期間で販売するのではなく、長期間の交流をすることで、結果的により多くの顧客を獲得できると考えられる。商売ではなく、支援という形にすると、ユーザーも参加しやすい。サポーターを獲得するためには、希少価値の高い、付加価値のついた商品のほうが、興味を引きやすい。儲けを考えると、失敗する可能性が高いのである。

第2報告 株式会社エムスクエア・ラボ ベジプロバイダー

この会社は「楽しむこと」を基本として設立された。静岡県で農業の営業支援事業を行っている。農業は社会基盤であり、農業にイノベーションをおこし、農業と工業の橋渡しができるように農業シンクタンクを目指すことを使命としている。最近の活動では、「食育」をテーマに消費者教育を目的とした農医連携プロジェクトを行った。現代は、食に即食性を求める傾向があるため、農業もそちらへ移行しつつある。しかし、一方で昔ながらの作物も作りたいという農家も少なからず存在しており、それらとのマッチングが難しい。

課題1 受給のミスマッチ…消費者の需要の変化は激しいが、農業はそう簡単に変化に対応できない。国内産の流通が困難であると、輸入物が増加する。輸入物は情報と信頼が足りない。この部分を補うためにベジプロバイダーが存在する。生産者と小売店舗や食品加工業者との間のコンサルタント的立場を目指している。農産物はまず、生産された地元で流通し、消費されるほうが望ましい。経営をシステム化することで、情報の遅延と劣化を防ぐのである。

課題2 品質保証…この点に関しては、遠隔監視ができるセンサーなどを導入している。農作物の生育状況を可視化でき、消費者も成長過程を知ることができる。日本のものづくり力と科学的根拠を合わせることで、新たなサービスが創造できると考えている。また、6次産業化＝起業、連携、資本提携であるとも考える。農業は常にイノベーションであり、様々な要素と掛け合わせる事が可能であり、それによって新しいものが出来上がるのである。

経営や農業の世界の課題として、効率性の追求が挙げられる。短期的思考になってしまうと、長期的な視点が失われてしまう。海外の経営等を模倣するだけでなく、日本的な手法も見直されるべきである。利益をみる際、長期的な収益性を判断する目も必要である。生産者が良いものを作るのは当然であるが、一方的ではなく、出口の部分である消費者の需要もつかむことが重要である。最近では、健康志向、教育者育成の関心が高まっている。

また、行政と民間の連携も必要であり、知恵の結集によってあたらしい産業をつくらなければならない。地域事業の中で、農業を目立たせるためには、地域内での連携が必要である。大量生産低価格は限界があり、経済効率性だけを求める社会傾向はよろしくない。長期的志向がなければ発展は望めない。

2013年10月31日(木)

日立 Innovation Forum 2013

- ① 佐藤さん
 - ・ 6次産業化は問題なし
 - ・ 地域の当事者としての意識の育成が必要
 - ・ 農業を産業としてとらえる体制になっていないことが問題
 - ・ 農家が減少しても次世代につなげていけるような My Farm センターを作る、日立と協力して使用
 - ・ 栽培技術と品質管理&ダイレクトマーケティングに IT が必要
 - ・ 連携よりも連結
- ② 加藤さん
 - ・ 農業＝社会基盤という意識
 - ・ 教育と農業の連携
- ③ 阿部さん
 - ・ 1次産業の難しさ
 - ・ 既成の概念を捨てて新しいものをつくる
 - ・ 効率性と収益性が高い農業を目指す
 - ・ 品質が第一、品質という付加価値
 - ・ 経営は若者、労働は社会的弱者が担う、農業は新たな雇用創出の場
- ④ 川上さん
 - ・ ITによって農業に関わる人々をつなげる＝みえる化、可視化
 - ・ 植物工場はエネルギービジネスに似ている

若者達には農業を活用する場がない。つまり、農業をいかに収益につなげるかという方法を知らない。農業所得が上がると農家は弱者になっていく。数量化できる知識だけではなく対人で得る知識も「生きる力」につながる。農業は個別に考えるのではなく、社会全体で取り組むべき課題にしなければ、本当の意味での農業再生にはならない。

農業×雇用＝〇〇

適材適所に配属することで、社会的弱者も経営に貢献できるようになる。6次産業化をもっと広義に捉えるべきである。現代は農業×販売や加工ばかりである。今後は農業×教育や技術なども考えるべきである。農業制度の変革が必要。例えば、生活保護受給者に農業を勧める。なぜなら農業は誰でも参加可能であるから。精神疾患の人も農業が良い。ボランティアばかりでは成立しないため、ある程度収益性も求めなければならない。農業の合理化のために IT を使用する。事業持続のためにも収益性が必要である。IT を、都市と地域をつなげるツールにする。数量化できるデータシステムではなく、感情に働きかけるような IT を目指す。

2014年4月18日

『アグリ&情報ビジネスコラボレーション』研究会

第1報告 地域振興とアグリビジネス 坂本恒夫

- ・近畿大学「近大マグロ」の事例→産業の6次化+地球貢献を達成している。
- ・現代は、株主価値経営の時代から共通価値経営の時代へと変化している。日本企業は依然として低いROEのまま駄目になっている。一方、米国アップル社は鴻海と提携して成功している（資料参照）。対等な立場でのODMを推奨する。

第2報告 五所川原6次産業化推進協議会の取り組み 佐藤晋也

- ・農場ではなく、「環境健康フィールド」という認識。6次化につなげるためには付加価値を付け足すことが重要である。農林高校の学生達には、農と業について、段階的に学んでいく場を提供している。「五農ブランド」を確立させて、ダイレクトマーケティングを可能にする試みを行い、参加者自身が評価し合う目的で五所川原6次産業化推進協議会を発足させた。ここで日立製作所とITCを活用して取り組んでいる。
- ・行政と教育現場のそれぞれの立場が異なるため、方向性や動向が必ずしも一致しない。農業は「リアルさ」がないと教えることができないため、学生達も本当の意味で理解することが困難である。
- ・生産者と消費者をITCでつなぐ場としてマイファームセンターを設立し、法人化を目指す。これまでの農業の方法では今後生き残ることはできない。過去の農業は化学性と物理性を重視していたが、現在は、生物性も考慮する必要がある。現在、毛豆やりんごの品質改善を行い、より品質の高い生産物を目指している。
- ・農業の持続的発展を考えるならば、日本の農業は大規模化するのではなく、付加価値型を目指すほうが良い。キーワードはダイレクトマーケティングである。これは、地域同士意識同士、資源同士、個人同士、情報同士などをつなげる役割を担っている。

第3報告 都市における食のITCサービス創造研究 日立製作所 情報通信システム社

- ・2012年度の日立デザイン本部の活動報告…五所川原農林高校の学生達と生産者と消費者のマッチングについて議論を行った。農業の将来課題として農商工連携等による6次化の推進が挙げられる。日立製作所の目標は、供給者の視点と生活者の視点のマッチングによる融合価値の創造である。生活者のニーズに対応するために、モデル案として、「帰りがけに立ち寄ることができるMyキッチン」を提案した。これはITCを利用してニーズ情報を管理するものであり、今後2~3年を目安に計画を進めている。
- ・産学共同研究事例について…2013年~2014年3月に、千葉大学、法政大学と都市と食の将来像について共同研究を行った。政治、経済、社会、技術の視点から食の動向を調査、考察し、食の世界にも流行が存在することを明らかにした。消費者が食の機会を選択

することができるように、スマートフォンのアプリケーションを作成した。また「スマートビレッジ」のサービス創造研究も行われ、スマートビレッジの定義から社会動向を把握し、将来のサービスの提案シナリオまでを検討した。日立製作所は、自身のコンポーネントがどれだけ社会貢献につながるのかということ意識している。

第4報告 福島屋&ユナイトの取り組みと今後の課題 福島 徹

- ・東京都羽村市でスーパーマーケット事業を展開している。
- ・他社との差別化として、商品に目印を付け、添加物情報等を提供している。また、農作物の硝酸態窒素濃度を測定している。販売の視点から6次化を考えると、美味しさと自然について意識する。現代はグローバル化の中で分化的になっているが、コアな部分も考える必要がある。また、生産販売一体型が、いわゆる6次化なのではないか。消費者は農作物を自己判断することがほとんどない。なぜなら、自身の生活とリンクしていることがわからないからである。このことを認識させるために福島屋は講座をひらいている。消費者がこの講座を受けることで、食を選ぶ力をつけ、結果的に個々の食材について考えるようになり、販売促進にもつながっている。福島屋は店舗拡大をむやみにせず、利益を確保している。新店舗をオープンする際には、その土地柄にあう店舗を展開することが重要である。PDSCサイクルを自社内で行っており、「生産、加工、物流、販売、生活」これらを一体にしている。事業の特徴としては、生販一体型MDである。世間で売り出される大部分の商品はパラダイムを変えてプロモーションされるが、それらは消費者の生活にリンクしていないので、根本的なMDは変化せずに繰り返されるのである。

2015年2月27日

『アグリ&情報ビジネスコラボレーション』研究会

第1報告「アグリビジネスの社会性」小林麻美（明治大学大学院）

本報告の目的は、アグリビジネスの社会性について事例をもとに考察することである。日本農業はさまざまな課題を抱えており、国際競争力も低いものである。今後の農業はビジネスの観点を取り入れ、収益性を高めていく必要がある。国内外のアグリビジネスや日本農業の問題点に関する先行研究。（Davis & Goldberg、平井、岸川、松原など）グラフによる日本農業の現状把握。（耕地面積の減少、農業生産者法人の増加など）日本の事例紹介。（富士通、峯ファーム、福島県内の復興目的アグリビジネス）それぞれ問題点と社会貢献の可能性を有する。オランダの事例紹介。（Agriport A7）国の特性を活用した農業集積地の取り組み事例。自家発電や情報技術の使用しており、国際競争力も高い。今日におけるアグリビジネスは、我々の健康サポート、雇用の創出、復興支援などの社会性を持つ。さらに発展させるためには、高付加価値の生産物、マーケティング面や流通面の改善が必要である。また、6次産業化も推進し、企業経営の視点やリスク管理も重要である。

第2報告「老人ホームとグリーンセラピーの可能性」長崎純子（ドリームドーム社）

愛知県愛西市にある老人ホーム。農業と介護を結びつけるビジネスを行っており、施設内にあるガーデンや隣接する農園、ドーム型水耕栽培施設での作業が、高齢者などに好影響（血圧の抑制など）をもたらすことが立証されている。ロメインレタスを主に栽培しており、施設内での料理に用いたり、出荷している。高齢者と農業には、強いつながりが存在し、農業をすることで心理的な安心感を得ることができるなど、他の業界とは異なる要因が存在すると考えられる。水耕栽培を行う上で重要なことは、顧客の確保、生産物の見極め（顧客のニーズに合うものを作ること）である。今後の展望は、①農業や園芸との関わりによる生きがいの発見、②音楽療法や園芸療法、機能訓練による自立の促進、③できることを増やし高齢者の自信につなげることである。

第3報告「アルパカがもたらす可能性と今後の展望」青木勝（山古志アルパカ村）

新潟県山古志村におけるアルパカは、地方の再生に役立っている。地方再生に関しては、発想の転換が必要である。地方にむやみに企業を誘致したり、新たにつくったりしたとしても、労働力がないため地方は活性化しない。「消費・生活する場としての地方」つまり人が暮らすために、地方を活用できる仕組みを構築するような政策が必要なのである。地方には土地の活用を妨げる制限（国土政策、責任者の不在など）が存在する。制限があるから地方が衰退するのであって、それらをいかに撤廃するかが今後の課題である。また、企業と連携するビジネスとしての農業も必要だが、ビジネスではない生業としての農業の存続も必要である。加えて、近年の6次産業化というものは、企業が利益を上げる

ことを前提としている考え方であるため、0次産業化という考え方に立ち返ることが、今後の地方を再生させる方法として重要なのではないか。

2015年3月20日

『アグリ&情報ビジネスコラボレーション』研究会

第1報告「アグリビジネスと地方再生」小林麻美（明治大学大学院）

本報告の目的は、アグリビジネスは地方の再生に貢献するのかということ、日本の事例をもとに考察を行うことである。まず日本の食に関する背景として、少子高齢化や農作放棄地の拡大によって農業の衰退の可能性があり、TPPに関する議論が続いていること、日本農業の低い国際競争力と収益性などという課題がある。今後の日本における農業はビジネスの観点を取り入れ、課題に対処していく必要がある。次にアグリビジネスの定義を整理する。アグリビジネスとは農業に関連する経済活動全般を意味する。（Davis & Goldberg、稲本・桂・河合、岸川・朴など）それらをふまえて、なぜ今アグリビジネスが必要なのか。小林は、アグリビジネスとは農業+工業+サービス業+社会貢献であり、それが結果として地方再生につながるのではないかと考える。次に日本の事例紹介である。

（富士通、峯ファーム、福島県）それぞれ問題点があり、経過観察が必要であるが、今後のアグリビジネスは地方再生の手法としての可能性を有しているのではないかと考える。

第2報告『『地方創生』以降のわが国の農業問題—佐藤晋也校長の功績—』

坂本恒夫（明治大学）

まず、農業問題の背景をみる。（兼業農家の急減、6次産業化の推進と規模拡大、企業参入の増加）それらの解決策として、農業法人の進化、大規模化とソーシャルビジネス化を提案する。つまり、大規模化する農業と、ソーシャルビジネスとしての役割を担う中小零細規模の農業に分けて、それぞれの特徴を活かした営農を行うようにするのである。（事例：新潟県の山古志村）次に、地方創生とは何かということについて、地域振興策の総合戦略を説明する。最後に、青森県の五所川原農林高等学校の佐藤校長の功績を紹介する。

（高付加価値商品の提案、情報発信および情報管理、コスト削減、クラスターの創生）

第3報告「株式会社アグリコミュニケーション津軽の現状と展望」

佐藤晋也（五所川原農林高等学校）

株式会社ACT津軽の設立目的、事業内容、活動計画、5年後の目標についての紹介。この会社は、1次産業を中心とした産業複合体として、地域の農家に、成果に見合った収益を還元することを目指すものである。教育現場と企業経営の、それぞれのノウハウを融合させ、強みを活用する、新しいビジネスの取り組み事例となる。

2015年4月17日

『アグリ&情報ビジネスコラボレーション』研究会

第1報告「株式会社アクトの事業戦略と国産マカの可能性について」佐藤晋也（株式会社アグリコミュニケーションズ津軽）

まずマカについて説明する。マカは南米ペルー原産の野菜であるが、リフレ会津の大久保社長が1998年頃ペルーの農業関係者から種を分けてもらい栽培を始め、約14年かけて会津地方での栽培技術を確立させ、現在に至っている。次に、株式会社アクトの事業内容について紹介する。アクトは、教育、農業、まちおこし、ビジネスという4本の柱を軸に展開している。2015年に新規設立した企業であり、その目的は青森県津軽地域の活性化と、若者を中心とした就農就労型6次産業化を時代に即して進化させ、地域全体を継続的に発展させることである。また、地域の農家と連携しながら支援を行い、1次産業を中心とした産業複合体を目指す。その一例が会津産のマカである。新規参入者と契約を結び、ノウハウを教える等といったアカデミーの部分も担う。マカは、薬用植物として可能性を持つものであり、成長が見込める農産物である。今後は、さらに多くの企業と連携し、農産物を流通させる予定である。また、マカを利用して津軽鉄道の路線を有効活用し、地域の活性化も図ることを視野に入れている。

第2報告「株式会社食文化の取り組みと国産マカの販売戦略」
萩原章史（株式会社食文化）

現在、マカを栽培しているのはペルーと日本である。中国も栽培を試みているが、栽培方法が適切でないため失敗している。日本におけるマカの最大の生産地は、福島県会津地方である。マカは人手がそれほどかからず、高齢者や、ある程度の過疎地でも栽培可能なのである。食文化は現在、ローソン、KDDI、日経BP社、ロート製薬などと提携して、国産マカの販売を予定している。方針として、①富裕層や男性をターゲットにすること②不特定多数には販売しないこと③農産物加工品として販売することなどを挙げている。現在の顧客は、信用のあるリピーターが大部分を占めている。また高知大学や順天堂大学などとデータ管理を行い、医学の面からも研究を進めている。マカは、現在までに副作用などは報告されておらず、アルツハイマーや抗がんに有効であるという研究結果もあるため、今後医療面からも注目されると予想する。さらに、一番重要な種の管理を徹底し、不特定多数の品質のマカが生産されないように、種の流出防止にも努めている。

2015年6月20日

『アグリ&情報ビジネスコラボレーション』研究会

第1報告「地方（地域）創生問題とは何か」坂本恒夫（明治大学）

地方、ローカルの問題は、都市部には無関係であるという傾向があるが、実際はそうではない。現在は都市部も衰退期に入っており、都市部のお店がチェーン店になる等、地元の生業をつくってきた人々が地域づくりに参加していないという現状なのである。政府は「デザイン&ストーリー、驚きと感動」を提唱しているが、これは抽象的なものである。坂本の提唱する地方創生の内容とは、①社会的価値の創出②ソーシャルリターンの実現③雇用創出④株式会社やNPOからソーシャルエンタープライズへ⑤SROIの重視である。この中でも特にSROIを問題として提起する。SROIはイギリスでは一般化しているが、日本ではまだ一般的な考え方ではない。地方創生のためには、政府が地域に貢献したコミュニティ（事例：徳島県上勝町「いろどり」）を援助していく必要がある。また、社会にどのようなインパクトを与えたかということを経済価値換算するなど、今後は抽象的な議論はやめて、具体的な数値化によって考察していくことが重要である。

第2報告「株式会社アグリコミュニケーションズ津軽（AC津軽）の現状と展望」

佐藤晋也（株式会社アグリコミュニケーションズ津軽）

現在、AC津軽では、雇用の創出を第1目標にしている。一般的に農業を考えると「儲かる」農業といわれるが、これは受動的な考え方である。今後は農家が自発的に「儲ける」農業へ変えていくことが重要なのである。さらに単なる儲けではなく、地域のための利益というものが重要となる。また、農業を食糧供給産業として見なすことが6次産業化であるといえる。現在の日本の農業は、①企業的農業②連結的農業③社会的農業に分類される。日本の農業は大型農業を目指してきたため、国内での競争が激化した。その結果、同業間での協調が不足しているのではないかと考えられる。今後は③がキーワードになると考えられる。また、世界と比較すると、日本国内産の農産物は、消費者が短期的な視点を持っている場合において、生産量や価格で負ける。そのため、機能性や品質が最も重要な競争力となる。五所川原農林高校は、農業高校の中で、職業という視点から農業を教えた唯一の高校である。また、赤いリンゴ等を販売し、ネットワーク化と可視化をキーワードにしてきた。さらに、産官学の連携で6次産業化推進協議会を組織したり、木の剪定技術で世界農業遺産を獲得しようという目標も有している。このような活動の中で、就農就労型6次産業というものが可能となったため、AC津軽の設立に至った。農業高校の学生達は、農業の苦楽を理解している。その次の段階として、地元での就農就労を援助するために一連のカリキュラムを作成し、アカデミーを開講する。AC津軽では、卒業生を従業員として受け入れることで雇用創出にも役立っている。

第3報告「活動から事業へ 株式会社山古志アルパカ村の考え方」

青木勝（株式会社山古志アルパカ村）

新潟県山古志村には、錦鯉、闘牛、中山隧道（公共事業の原点である）等がある。山古志村では、「ふるさと創生プラン」というものが存在していたが、過疎化や地震によって消滅した。政府の計画には、①公共事業で発生した社会資本をどのように評価するのか、②過疎対策とは過疎化を止めるという安直な考えではなく、持続する地域の基盤をつくるということである等といった内容が考慮されていなかったため、問題であった。また、工場を地方に移転するという考えがあるが、地方にはそもそも労働力が不足している。農業等の基盤がつくられて初めて企業が地方に来ると考えられる。そのため、地域の基盤をいかに維持していくかを考えなければならない。生業としての職業がなくなることが地域衰退の原因の一つなのである。これらをふまえると、地方創生には、都市部とのタイアップがキーワードになると考えられる。しかしどのようにタイアップするのが課題である。議論を進めていく中で、人間は必ず死ぬという基本が忘れられている傾向があるため、どのように生活して死ぬかというライフプランを根底に置いた地方創生を考えなければならないのである。例えば、若い時に蓄積した技術や知識等を活用して、高齢になっても社会参加する仕組みをつくるのが重要である。都市部で得た情報や技術等を地方に持ち帰ることで、地域の存続が可能となる。また、ある地域に一生定住するのではなく、移住を可能にすれば、地域の格差等もなくなるのではないか。しかし、その際の障壁となるのが税金制度である。地方公共団体は住民税を徴収したいために、規制を厳しくしている。地方を自由に活用するための仕組みをつくるのが、本当の政策であると考えている。時代に合わせた制度が今後必要となってくるのである。

第4報告「あきた食彩プロデュースの取り組みと6次産業化から得る地方（地域）創生のヒント」佐々木章（株式会社あきた食彩プロデュース）

秋田県は農業生産量が東北地方で最下位である。（スライド参照）6次産業の役割は、新しい生産物を発掘し、それをつなぎ、発信していくことである。そこであきた食彩プロデュースでは、農食観ミッションとして、地域経済の活性化や雇用の創出等に取り組んでいる。例えば、現在では、農畜産物を首都圏のホテルへ納入している。また、さまざまな新商品の開発も行っている。（青豆のドラジェ、青豆のあきたこまちクラッカー、青豆のロールストビーンズ、シロクマヌードル等）これらの活動の中で、商品開発面で課題に直面し、素材（農産物）の重要性、商品加工技術の不足、新商品開発の不足、ブランド戦略の欠如等という今後のヒントを得ることができた。

研究出張報告書

地域コミュニティと連携した高付加価値化の段階

坂本恒夫

下記のとおり、国内・国外の数箇所を訪問、視察およびヒヤリングを実施した。その結果、植物工場で生産される野菜は、その安全性、供給の安定性など、数多くの利点があるが、その供給先を確保するためには、レストラン事業など地域での連携を基礎とした高付加価値化戦略が必要であり、植物工場農産物の産業化、ビジネス化は新たな段階に入っていると結論付けられる。

2014年9月、富山市、廣貫堂にて「えごま」の6次産業化について、ヒヤリング。

2015年3月、青森県五所川原農林高校の農業での地域連携について、ヒヤリングおよび視察。

2015年7月、大阪府立大学植物工場研究センターにて、植物工場ビジネスの課題について視察およびヒヤリング。ビジネス化の課題について調査。

2015年10月、カナダのトロントおよびバンクバーにおいて、無農薬野菜の販売状況の視察およびヒヤリング。無農薬野菜への関心の高さを調査。

2015年10月、福岡県久留米市、九州沖縄農業研究センターにて、農産物の高付加価値化作業を視察。光、温度での高付加価値化実験についてヒヤリング。良質な野菜作り調査。

2016年2月、角館および秋田市において、青豆の商品化および外国人観光客への対応についてヒヤリング。特色ある地方創成目的の商品化が中心。女性、外国人、高齢者を対象とする健康管理型の商品作りについて調査。

2017年11月、京都府綾部市において綾部農研センターにおいて、植物工場の立地についてヒヤリング。加えて環境ビジネスについても聞き取り。

2018年3月、ポルトガルのリスボン、ポルトおよびスペインのサンセバスチャンにて、農産物の高付加価値ビジネスについて、市場およびレストランを視察。食文化と食材の関連性、地域性を調査。

以上

明治大学経営学部教授 岡田浩一

本プロジェクトにおいて、近年では大企業が植物工場事業に参入する例が見られるようになったが、大多数は中小企業であることから、中小企業の植物工場管理・運営に当たっての課題抽出のための現況調査を行った。その中でここに特筆すべき提案がなされた。植物工場の導入や普及とともに、食物工場生産物へのニーズ拡大に向けた情報収集のなかで、熊本県で、農商工連携でイチゴ生産者と地域菓子店が連携して、朝摘みイチゴのみを使用したケーキを開発し、それが人気商品となっている事例がヒントとなり、越後姫という新潟県のイチゴを植物工場で生産する意義が提案された。越後姫は高品質であるが、実が柔らかいため流通過程での劣化が早いことから、地元での消費にとどまっており、また県外での知名度が低いという課題を抱えていた。この課題解決として、連携先地域での植物工場利用による安定生産が可能となれば、各地の洋菓子店などとの契約にて越後姫を使った生産・販売が可能となるとともに、県外認知度の向上にもつながるのではないかと提案がなされた。

しかし、この提案での取り組みを検討する中で、植物工場にとってややネガティブな動きがあった。越後姫に関しては、中間報告の後、技術進展の影響を受け、梱包技術の高まりや高精度な緩衝材の提供などによって、徐々に輸送範囲の拡大が容易になってきているということと、種苗法の期限切れが影響する状況になってきている。

結論的には、越後姫も他の農産物と同様に、露地栽培と植物工場生産との価格競争を引き起こしかねないという危惧が出てきた。もちろん、まだ希少性の高いイチゴであることから、植物工場での生産の魅力はあるものの、今後の展開を考えると、価格競争に陥らない「価値」の創出を重要なポイントとして考える必要性が高まっているといえる。その際、資金力の弱い中小企業にとっては、共同による取り組み、行政との連携といった手段を模索することで成功可能性を高める方策が有効であると提案された。

また、ロンドンの地下野菜工場の取り組みからは、植物工場の可能性にとって、経営理念の重要性と行政タイアップの示唆を得ることができた。植物工場経営の基本理念として、サステナビリティの概念を前面に打ち出し、環境問題やエコ社会に対応する次世代経営としての植物工場という捉え方をすることで、行政との連携可能性を高め、中小企業一社の負担を軽減し、政策的普及拡大をしやすくするという視点である。

さらに、農商工連携的な視点から、植物工場のLED照明をビジュアル効果として捉え、それを集客力の源泉として地域振興や商店街活性化につなげることができるのではないかと検討もなされた。ロンドンの地下野菜工場をヒントに、地下街でのスペースを利用した植物工場設置は、地下街飲食店への野菜供給と、イルミネーション効果に

よる集客力という効果が期待できる。札幌の地下街をはじめ、大都市圏に多く存在する地下街での導入が有効であるとする提案がなされた。

現状では、個別の店舗（飲食店）でこれに似た取り組みをしているケースがあるが、小規模な取り組みであり、大きな効果につながっていないのが実態である。イルミネーション効果による主客を考える際には、ある程度大きなスペースを利用して、インパクトのある実施形態をとる必要があるとの意見は重視しておかなければならない。今後、これらの検討成果をまとめ、各地で地域振興活動の主体的存在と思われる組織団体や地方自治体などに働きかけ、より現実的かつ実行可能性をもった植物工場導入に結び付けていくための取り組みを継続していく必要がある。。

2013 年度出張報告

期間 2014 年 1 月 16 日～17 日
行先 北海道経済産業局（札幌市）
目的 農商工連携事業に関するヒアリング

北海道経済産業局にて、実施している農商工連携事業のなかで具体的なマッチング成果がまだ出ていない要因は何処にあるかとうことを中心にヒアリングをおこなった。

また、北海道における食物工場へのニーズ、あるいは北海道で工場運営する課題についての率直な意見を聞くことができた。

これまでのマッチング事業についての具体的な成果はまだ出ていない状況であり、その要因を分析しつつ、継続的に事業を実施する意向を確認した。

その際、食物工場へのニーズについては、特定果物へのニーズの可能性はあるものの、コストと価格の問題をどのようにクリアするかが最大の課題であり、ニーズを越える価値の提供ができるかがポイントになるとのこと。

北海道では、冬場の路地生産ができないことから、本州より農産物の仕入れをする業者が多いが、コスト面をかなり意識しており、低価格でなければ仕入れない。また、食物工場運営にあたっては、冬場の暖房費用などのコストが高いことが、生産物価格に反映するため、よほどの付加価値を持たなければ市場を確保することが困難ではないかという指摘がなされている。

それに関して、北海道地域ではないが、食物工場での生産物に付加価値を持たせて市場を確保している事例の紹介をされた。

北海道経済産業局の委託事業で、HVC 戦略研究所（道銀地域総合研究所）が受託事業として展開されている「IT 活用による農商工連携推進事業」の一環としての農商工マッチング事業ならびに情報交換会にも参加した。そこにおいて、北海道地域での農商工連携の現状について、北海道経済産業局でヒアリングをおこなった。

農業大国としての北海道における経済振興策としての農商工連携推進の現状についてさまざまな事例や取り組みを説明いただいた。

前回ヒアリングした北海道科学技術総合振興センターでの事業も関わっており、農業振興と地域振興の方策として農商工連携を位置づけるとともに 6 次産業化の推進にも注力している。

また、道銀地域総合研究所が事務局となって実施した農商工連携マッチング事業では、地元食品関連業社と道内の IT ベンダーあわせて 39 名が参加して、IT ベンダー側はユーザーにたいするシーズ情報を提供、ユーザー側は、IT ベンダーにたいしてビジネス展開の可能

性、課題などについて意見を論じて双方の提携についての議論が展開された。

現在、農業生産者や食品関連業者などは、それぞれのもつ情報が、狭いエリアにとどまっていることから新たな市場開拓や販路開拓における力が弱いとともに、市場でのニーズを把握し、ニーズにマッチした生産・販売にむすびつけることができていないという意識をもっている。これらの課題にたいして、IT ベンダー側からは、情報発信の効果的展開、市場ニーズ把握の手段と手法についての提案がなされるなかで、中間流通業者や小売り業者との連携の可能性がはかられていた。

この事業から、生産者と流通業者などの異業種業者とのコミュニケーションを深め、チャレンジしていくモチベーションを高める必要性を認識することになった。

期間 2014年2月19日～20日

行先 道銀地域総合研究所（札幌市）

目的 「ITを活かした先端農業への挑戦と現状」セミナー参加

北海道札幌市で6年前から開催されている「クラウドセミナー」と12年前から開催されている「北のITシーズフェア」を併設開催することで農業生産者、ITベンダー、卸・小売業者、製造業者の連携や、6次産業化への道筋を活発に模索していくことを目指しているイベントに参加した。

今回は、「ITを活用した先端農業への挑戦と現状」を基調講演として、「食分野におけるクラウド利活用のポイントについて」、「食分野におけるクラウド利活用事例の紹介」2件がセミナーで発表され、取り組みの現状や課題についての詳細な報告がなされた。

農商工連携、6次産業化において、農業生産者（第1次産業）の振興が不可欠な要素であり、如何にして農業生産者の経済的成長をはかっていくことができるかということと、第2次産業、第3次産業関係者がそれにどのように関わっていくことができるかという議論が展開されたわけであるが、そこにおいて食物工場の意義や有効性については、まだ意識が低い（弱い）という現実が浮き彫りとなった。

食物工場に関しては、存在への意識は高いものの、特定の（医薬品関係における実験的位置づけ）領域で、展開するもの以外は、路地栽培との比較において、優位性が見いだせないとのことであり、食物工場へのニーズ発掘の課題として、如何に優位性を創出し、情報発信できるかがポイントになるのではないかという意見を多くもらうことになった。

期間 2014年3月17日～19日
行先 九州経済産業局（福岡市）
目的 農商工連携事業ヒアリング

九州経済産業局で検討、実施をすすめているITクラウドを活用した経営支援基盤調査研究事業において、九州地域では農商工連携での活用パターンのモデルケース作成がはかられており、その事例ヒアリングをおこなった。

福岡、熊本、鹿児島、宮崎、大分をはじめ、基本的には九州全域にてさまざまな農商工連携の取り組みがなされているが、それぞれの取り組みにおいて、生産者側の経営状況や生産状況、取引状況などを金融機関、支援団体などと情報共有することで、生産者への技術的支援、マーケティング支援、金融的支援など、さまざまな支援の円滑化をはかっていくことで農業生産者の経済的基盤を安定化することが可能となり、後継者問題の克服、地域活性化へのつながりをもつことができるのではないかとの視点で展開されている。

熊本では、若手農業生産者たちが農業塾を開催し、上記視点より、農業振興をはかっており、卸売業者、小売業者との連携、情報共有に基づき、販路拡大と生産物の安定供給に取り組んでいる。

食物工場に関しては、基本的に路地生産の品質が高いため、現状でのニーズは低いが、現状取り組みが成果をあげていく過程で、さらなる安定供給、新たな生産物（地域特性の理由により現地域での収穫がなされない産物）にたいするニーズが見込まれる場合に、食物工場への関心が高まるのではないかとの認識が強かった。

路地生産との差別化をはかる食物工場の存在意義を検討することが、重要ではないかとの意見が強いようである。

実際の農業生産者の食物工場への関心は低いようであるが、ITクラウド活用の政策展開のなかで、経営基盤を安定化させ、さらなる農業振興を目指していこうとする生産者を募ることで、新たなニーズとしての食物工場に求められる役割を明確にして、それに基づく提案を期待したいという要望をもらった。

期間 2014年3月28日

行先 A農業生産法人（新潟市）

目的 農商工連携事業ヒアリング

新潟市にて農商工連携をはかり、農業生産者の振興と、地域経済振興に取り組んでいるA農業生産法人を訪問し、生産法人設立の経緯や現状、今後の展望などについてインタビューをおこなった。

当法人は、1992年に設立し、現在、米・とうもろこし・長芋・里芋・キャベツなどの生産を行っているほか、約60軒の近隣農家と提携して野菜の直売所を運営するとともに、レストランと提携し、野菜バイキング方式をとるビュッフェに新鮮朝取り野菜の提供をしている。基本的には、生産物の質の向上と維持を図るためのデータベース活用や、農産物ギフトの誤配送ゼロのためのIT活用を図り、顧客満足度を高めるとともに、農業生産者の収入向上に向けた新規顧客開拓、新市場開拓に繋がる情報発信を積極的に展開し、成果をあげている。

ここでも食物工場についてのニーズを確認してみるが、露地栽培の質の高さがあることから現状での導入はあまり意識していないということであり、とりわけ高齢者が担っている農業において、新たな取り組みへの意識の低さが課題ではないかということであった。

そこで、むしろ農業生産者からのニーズ発掘よりも、小売業、卸売業などからの引き合いが多くなれば、必然的に食物工場へのニーズは高くなるであろうということで、川下にある業界からの企画づくりを進めていくことがベターではないか、その際に、生産物の差別化を如何に図り、食物工場ならではの特徴を発揮していくことを最優先にしていくことへの意見をもらった。

2014 年度出張報告

期間 2014 年 11 月 30 日

行先 A 農業生産法人（新潟市）

目的 農商工連携に関するヒアリング

同年 3 月に訪問した、A 農業生産法人を再度訪問し、それ以降の取り組み状況などについてのインタビューと現地視察を実施した。

米・とうもろこし・長芋・里芋・キャベツなどを中心に、自身での生産と近隣農家とのネットワークによって、鮮度の高い農産物の提供を事業の柱として、消費者からの評価は、さらに高いものになってきており、売上高の増加という形で見ることができる。

種まきから、収穫にいたる農作業日誌のデータにもとづき最善の作業策を模索して提携農家にも情報共有することで、農業法人全体の農産物の品質を高めていることが、消費者の満足度向上につながっているとみることができる。

また、通信販売における誤発送ミスをほぼゼロとする産直君システムの導入以来、全国的な市場展開を拡大し、売り上げ増加につなげていることと、事務経費の削減など、システム導入効果が目に見えてあらわれている。

そうした取り組み成果は、各種メディアでも注目されるようになり、パブリシティ効果も法人成長の大きな要因としてみることができる。

ただ、生産量には限界があり、もし販路拡大が進展し、法人内での需要と供給のバランスが崩れるようなことがあった場合への対応も検討していかなければならないといったことから安定供給のための方策検討が課題となっている。

そこで安定供給のための食物工場への取り組みの可能性について意見を求めたところ、やはりまだ露地栽培中心でいくことがメインであり、露地栽培の収穫量増大のための取り組みを進めていきたいとのことから、あくまでも個人的感想であるが食物工場導入に関しては、農業関係者以外の業種・領域の方々が取り組んでいくスタイルを模索してはどうなのかという感想をもっているということだった。

既存の農業従事者が植物工場経営に進出することについては、かなりハードルが高いように感じさせられたとともに、農業者の工夫や努力を状況からみて、植物工場が露地栽培と単純な競争を展開することのリスクがあることを確認できた。

期間 2014年12月17日～18日

行先 A税理士法人（燕市）

目的 農業生産物市場拡大事業に関するヒアリング

新潟県燕市に事務所をおき、農業関係者の販路拡大の支援も行っているA税理士法人へのヒアリングを実施した。燕市周辺で農業を営む事業者と、飲食店を営む事業者が東南アジア諸国で日本の農業生産物を軸とした飲食店展開している事例や、これから海外展開をはかっているとして案件について成功要因や経営課題についてのヒアリングとなった。

燕地域の事業者が、香港、シンガポール、ベトナムといった国で、日本食事業を展開する案件が散見されるようになってきており、その場合の農業生産物の輸出という形で、地元農業生産者の海外販路拡大をめざす比較的若い生産者が意欲を示す状況になってきている。

その場合、季節ものと通年もののどちらにおいても、安定的に現地に供給できる仕組みが必要であり、現状は、各農業生産者の努力に依存している部分が大きく、一部負担となる場合もある。

現地の飲食店にとっては、現地で調達できる農産物だけの提供も不可能ではないが、当面は富裕層をターゲットとして日本食の提供、おもてなし精神の提供を考慮すると、日本の生産者による安心・安全も付加価値として提供したいことから、燕地域の契約農家から安定的に仕入れをしていきたいものも多くあり、それによって現地資本の飲食店との差別化をはかっていたいという意向が強い。

そのため、燕地域の農業生産者たちに、安定的な供給を可能とする周辺環境の整備として、ITを利活用して生産状況の把握、予測などが有効な手段の一つではないかということから、農業へのIT導入が進んでいる。

食物工場の可能性については、個々の農業生産者の資本金力からみて、即実施につながるとは思えないが、ニーズの拡大、実績の向上という流れが定着すれば、安定供給を維持していくために取り組みを意識する生産者が増えていくのではないかということであった。

期間 2015年2月22日～24日

行先 さっぽろ産業振興財団（札幌市）

目的 札幌イノベーションセミナー（農業イノベーション）参加

「農業経営にイノベーションを」をテーマとして開催された、札幌イノベーションセミナー（農業経営イノベーション）に出席し、農業経営の現状と支援機関との連携の実態について視察してきた。

セミナーにおいては、講演者から現状報告、実証内容の報告などがなされた。

農商工連携、6次産業化という視点において、とりわけ富士通株式会社が取り組んでいる農業クラウド Akisai（秋彩）を活用した生産現場、流通、消費者をバリューチェーンで結ぶ仕組みづくりでの効果とその可能性についての実証報告において、さまざまな成功事例の成果は、他地域における取り組みへのヒントを多く含むものであり、IT活用による農商工連携、6次産業化への活路として参考になった。

また、同じく富士通株式会社が実践している食物工場に関する報告もなされ、かつての半導体工場であった遊休施設を食物工場として利用し、一定の成果につなげている事例は、食物工場運営の課題や可能性について多くの示唆を与えるものであった。

富士通株式会社の事例として、低カリウムレタスの栽培があげられたのであるが露地栽培野菜との差別化の必要性、研究機関との連携の必要性、価格設定の課題など、さらに克服していかなければならない問題点の指摘もなされた。

食物工場運営に当たっては、「実は、農業経営者よりも製造業関係者の方が適しているのではないか」という感想を述べられ、食物工場普及、拡大に当たっては、製造業者へのアプローチ、遊休施設の利用コンサルティング的事業を展開していくことがポイントとなってくるのではないかとする見解は興味深いものであった。

期間 2015年3月12日～14日

行先 A社（健康食品製造業者）B社（農産物等販売）（愛媛県）

目的 農商工連携実施事業ヒアリング

愛媛県内で健康食品の製造・販売を展開するA社は、その原料となる葉物野菜の自家栽培もおこなっている。IT活用によって、業務効率化をはかり、積極的に新製品、新事業への取り組みに努めている。

自社管理による製造・販売の一貫事業を展開しており、圃場管理において安全性の追及は必須であり、カンと経験ではなく、データに基づく管理体制を構築しなければならず、トレーサビリティも維持できないことからIT活用が必然となっている。

国内市場における競争激化から、海外市場への展開をはかり、アジア数か国で、青汁製品の生産・販売をスタートさせたのであるが、そこにおいて、日本で培った圃場管理のシステムは極めて有効であり、海外市場における信頼獲得につながっている。農業関連事業においてITの有効活用のアイデアが事業成功の分岐点となることを確認できた。

B社は、地元農業生産者をグループメンバーとして、農業生産物の効率的生産、品質向上にむけた情報の共有を進めることで成果を上げている企業である。

高齢化が進む農業従事者が、生産性を高めたり、品質向上に努力する意欲の低下といったことや、農業をやめるということにならないためには、経済的な基盤を見出さなければならず、そのために「道の駅」を通じて販路拡大したり、加工食品を開発して農産物の消費量を拡大する必要があった。

もともと質の高い日本の農業生産において販路拡大、販路維持の方向性をしっかりと示すことが、農業生産者の意欲向上につながるということで、農商工連携の充実への期待は大きいと考えられているが、高齢化が進む既存の農業事業者にとって植物工場への取り組みはほとんど検討されていないということも現実として突き付けられた。

2015 年度出張報告

期間 2015 年 10 月 27 日～11 月 2 日

行先 ロンドン、パリ

目的 地下野菜工場視察、マルシェ視察

ロンドン郊外のクラップムコモンにある地下野菜工場を視察した。このプラントは、ベンチャービジネスとして起業された **Zero Carbon Food** 社が運営するもので、地下鉄のトンネル空地を利用して、水循環システムと LED 照明で、15 種類の葉物野菜を水耕栽培している。

ミズナや小松菜なども栽培しており、日本食が流行する中で、市場も拡大しているとのこと。現在は、基本的に **Covent Garden Market** のディストリビューターと卸契約を結び、農産物の最終消費はレストランなどの飲食店を中心に流通している。

ピンク色の完全人工光がきれいな地下 30 メートルのトンネルが、ロンドンの有名レストランで提供される野菜を作っているという場であるということで話題にもなっており、都市部で農作場の少ない地域では、常に新鮮な野菜を確保できる新たな農業として多くのヒントを得られる事例であると思われる。

もともと地下野菜工場の運営にあたっては、二酸化炭素排出量の削減による地球環境への意識が高く、注目したのがかつて戦争時に掘られた防空壕や地下鉄のトンネル空地の利用による二酸化炭素排出ゼロの農業であったということで、植物工場経営の基本理念の在り方についての示唆を受けた。

トンネル内は年間を通じて 16℃から 20℃でビニールハウス栽培に比べて、高熱費をかけなくともよく、さらに完全人工光、水循環システムでの水耕栽培は、農薬肥料などの化学薬品の投入を軽減できることから、安全・安心につながる価値を生むものだという発想で起業をしたということである。

また、販路開拓にあたっては、ミシュランの星をもつ有名レストランのシェフに認めてもらい、農産物の良さ、価値を知ってもらうことで、徐々に口コミやメディアを通じての広がりを期待するとともに、野菜市場のディストリビューターに毎日の確定量を安定供給する契約を結び、経営の安定化をはかっている。

販売促進活動開始初期においては、地下の水耕栽培ということでびっくりされて、相手にされない様子もあったが、企業理念であるエコ意識と、品質の高さ、安全性、安心感を伝えることで、採用してもらえることになり、順調な取引展開となったということである。

レストランシェフたちからは、「輸入や、遠方から運ばれることで鮮度が落ちてしまう野菜を、ロンドン市内の地下野菜工場で栽培できれば、新鮮な野菜という価値の提供も可能となり顧客満足を高めることができる」という期待をされているとのことである。

その後、パリ市内にある Alma-Marceau のマルシェを視察。毎週土曜日に開かれるマルシェで、パリ近郊の農家が朝採りの野菜や果物などを並べて売っている。約100件のテントが並び、買い物客でにぎわうマルシェで、フランスの露地栽培野菜の鮮度を感じさせている。そのため、食物工場による野菜栽培については否定的で、日本の農業従事者と類似する感覚をもつ小売関係者が圧倒的であった。日本での食物工場の普及拡大を検討する際の課題と合致していると思われる。

2016 年度出張報告

期間 2017 年 1 月 25 日～1 月 27 日

行先 北海道経済産業局、(札幌市)

目的 農商工連携に係るヒアリング

環境面、エネルギー対策面の視点もいれて、北海道での植物工場の可能性についてヒアリングを実施した。北海道での植物工場は、産業技術総合研究所北海道センターが事業展開しているが、研究機関としての役割に特化し、大手製薬メーカーとのコラボによる新薬開発につながる事業のみである、民間部門での植物工場の普及はほとんど見受けられない。

むしろ農商工連携事業として、露地栽培の効率化、高品質化、高付加価値化などの取り組みに傾注した政策推進が主流である。

過去のヒアリング時から、その傾向は変わっておらず、植物工場の政策的推進は、なにか画期的なトリガーがなければ展開が難しいのではないかということである。

民間事業者、とりわけ非農業分野のなかで、植物工場の事業化ではなく、集客の一環として店内に LED 水耕栽培キットを配置し、食物栽培をおこなっている飲食店などは散見される。個人的趣味の範疇にある可能性も大きいとのこと。

そのため、農商工連携事業で、人工光水耕栽培による農産物を利用した食品などを開発し、売上向上に繋げる事業者が拡大し、道内の各種産業における経営者達の意識が出てくれば食物工場への取り組みも拡大する可能性はあるのではないかとのことであった。

札幌市の A 社の紹介で、札幌市内の飲食店で LED 水耕栽培キットを設置している飲食店を見学させてもらった。その飲食店では、インテリア感覚で水耕栽培キットを店舗カウンターの端に設置し、葉物野菜栽培をおこなっている。

売上向上につながっているかは別として、珍しいインテリアに興味をもつ来客もあり、継続して栽培を続けていくとのことであるが、小さな栽培キットでは、収穫が限られ、栽培のサイクルが 3 週間ほどで葉物がきれいに見える期間が短いなど、インテリアとしての課題についてもヒントを得た。

この発想は、植物工場を地下街におけるイルミネーション効果による集客手段としての利用など、新たな利用価値を考えさせられるものであった。

期間 2017年3月23日～3月24日

行先 B農業生産法人（新発田市）

目的 イチゴのビニールハウス栽培視察とヒアリング

第一種専業農家としてコメの収穫後に、野菜やイチゴの栽培に取り掛かり、12月から5月末、場合によっては6月初旬までは、越後姫の栽培をおこなっているB農業法人を視察した。

いちご収穫は、重要な収入源となっており、「トチオトメ」「あまおう」「トヨノカ」など、全国ブランドとなっているイチゴと差別化したイチゴ生産に力を入れている。

当法人では、300㎡規模のビニールハウス3つでの「エチゴヒメ」を生産しており、12月から6月初旬で4回転から5回転での収穫を展開している。一株に10粒強の実をつけるエチゴヒメを1回転1800株で栽培しているが、エチゴヒメは甘み、うまみは優れているが、実が柔らかいため、外部からの衝撃に弱く、輸送（特に長距離）には向かず、新潟県内での消費に留まることがほとんどで、全国ブランドのイチゴとの競争はこれまであまりなされてこなかった。

しかし、梱包技術の向上で、比較的長距離の輸送にも耐えられるようになってきたことから、これからは、全国展開して、エチゴヒメを流通させていくことが容易になりつつある。一度食してもらえれば、エチゴヒメの良さは実感できるので、潜在的競争力はかなり高いと思われる。

ただ、エチゴヒメは、日照量が少ないなかで生育するという特徴があることから、LEDでの照射設定での実験は一定の時間をかけて進めていかなければならないのではないかとのことであった。エチゴヒメをLED水耕栽培で試験的生産を実施する価値はまだ十分残っていると思われる。

2017 年度出張報告

期間 2018 年 3 月 8 日～3 月 15 日

行先 ロンドン

目的 地下野菜工場視察、植物工場普及プレゼンテーション実施

2 年前に視察したロンドンの地下野菜工場を再度訪問し、この 2 年間での企業成長の現状について視察し、経営陣へのヒアリングを実施した。

2 年間で生産規模は約 4 倍に拡大しているとともに、資金調達においても、クラウドファンディングによって順調に資金が積み上げられてきていた。

地下鉄が発する熱利用で、CO₂削減など環境問題対応のビジネスが、大衆の理解を得て、資金提供につながることや、当社生産物購入という消費行動にもつながっているのではないかと推測される。まさに企業理念が消費者や市場に受け入れられることが、企業にとって成功と成長につながる重要な要素でもあることが理解できる。

現在 12 名の社員で、週 5,000 パックの出荷体制であるが、自動化を進めて、さらに増産していくとのことである。このロンドンでの成功については、東京という大都市での植物工場経営取り組みにとって非常に参考になる要素を多く持っている事例として注目される。

また、ロンドンでおこなわれた研究会において、「食物工場の普及に向けて」をテーマとした研究報告をおこなった。ここでは、ロンドン地下野菜工場の成功要因、日本における食物工場普及の可能性について提案や問題提起をしたのち、出席者とのディスカッションによって多くの示唆をえることができた。

日本の露地栽培のレベルの高さがある一方で、農業従事者の減少、高齢化の進行など日本農業に予想される今後を考えると、新規ビジネスとしての食物工場は一定の成長可能性が予想されるのではないかなど、さまざまな議論がなされた。また、情報発信の手段として SNS などの IT を活用していくことの必然性が指摘され、日本での植物工場普及を考える際の有意義な意見交換ができたと思われる。