

マイクロ波の長期曝露による植物生長（ホウレンソウ）への影響

山本 亮介^I 宮坂 寿郎^{II} 清水 浩^{II} 中嶋 洋^{II} 大土井 克明^{II}
篠原 真毅^{III} 三谷友彦^{III}

I 京都大学農学部 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町
II 京都大学農学研究科 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町
III 京都大学生存圏研究所 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄
E-mail: I yamamoto.ryousuke.62r@st.kyoto-u.ac.jp

あらまし マイクロ波を用いた新技術として無線送電がある。電力を無線で送ることができ今後広く利用されることが予測される。しかしマイクロ波の周辺環境に与える影響は不明確であり研究を進める必要がある。そこで本研究では、マイクロ波を常に照射した状態でホウレンソウを7, 21, 35日間育て、生長（生体重、乾物重、葉面積、主根長）に対するマイクロ波の影響を調べる。実験の結果、マイクロ波は主根長の生長を促進させる可能性が示された。また電力密度と成長比の間に相関関係はなかったが、電力密度の高さと影響の出現の有無には関連があると思われる。後者の結果は推測でしかないが、サンプル数を増やし電力密度を上げることによって確認できる。

キーワード マイクロ波, 植物, 成長比

Effect of Long-Term Microwave Stimulation on Growth of Plant (*Spinacia oleracea*)

Ryosuke YAMAMOTO^I Juro MIYASAKA^{II} Hiroshi SHIMIZU^{II} Hiroshi NAKASHIMA^{II}
and Katsuaki OHDOI^{II} Naoki SHINOHARA^{III} Tomohiko MITANI^{III}

I Department of Agriculture, Kyoto University Oiwake-cho Kitashirakawa Sakyo, Kyoto, 606-8502 Japan
II Graduate School of Agriculture, Kyoto University Oiwake-cho Kitashirakawa Sakyo, Kyoto, 606-8502 Japan
III Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University Gokasho, Uji-shi, Kyoto, 611-0011 japan
E-mail: I yamamoto.ryousuke.62r@st.kyoto-u.ac.jp

Abstract This study reports the effect of microwave on plant growth (fresh and dry weight, leaf area and root length) and correlation between growth ratio and power density. *Spinacia oleracea* were grown in a custom-made growth chamber for 1, 3 and 5 weeks. They were continuously exposed to 2.45 GHz microwave. From results, there was some possibility that microwave enhanced root length. And there was no correlation between growth ratio and power density. However this did not mean that microwave effect had no relation with power density. At high power density, almost plants (14/15 plants) became bigger than controls.

Keyword Microwave, Plant, Growth ratio

1. はじめに

今日、多くのエネルギー問題が存在しているが、もっとも深刻な問題は有限である化石燃料に依存していることである。化石燃料は後数十年で枯渇すると予測されており、早急に別のエネルギー源に移行する必要がある。そこで注目が集まっているのが再生可能エネルギーである。再生可能エネルギーは半永久的であり環境への影響も少なく、このエネルギーを用いた発電方法が開発されている。

再生可能エネルギーの中で最も期待されているエネルギーの1つが太陽光である。太陽光エネルギーは莫大な量存在し、さらに半永久的である。この太陽光

エネルギーを最も効率的に電力に換える方法としてSPS構想（Solar Power Satellite System）がある。この構想は宇宙空間に巨大太陽光パネルを打ち上げ、発電した電力を地上にマイクロ波で送信するシステムである[1]。宇宙空間であるために24時間発電可能であり安定して電力供給ができる[1]。

化石燃料からの依存脱却は必須であり、自動車などの動力源も再生可能エネルギーから生成した電力に移行すると予想される。しかし現在の電気自動車はバッテリーを搭載しており重い。走行性能向上のためには軽量化が必要であり、バッテリーではなくSPS構想でも用いられているマイクロ波による無線送電での電力

供給が有効である．このように電力供給をマイクロ波によって無線で行う技術をユビキタス電源と呼び、車の他にも部屋の中に微弱なマイクロ波を常時流し電子機器を稼働させることもできる．しかし、この技術ではマイクロ波が周囲にまき散らされる．しかしまだマイクロ波が周辺環境（人や植物）に与える影響は明らかではなく、この技術を普及させていくには研究を進め影響を明らかにする必要がある．

2. 研究目的

マイクロ波が植物（ハウレンソウ）の生長に与える影響を評価する．すでに先行研究でハウレンソウを2.45GHzのマイクロ波を照射した状態で4日間生育させたところ、マイクロ波が根の生長を促進させる可能性が示されている[2]．そこで本研究では生育期間を7, 21, 35日間とし、常にマイクロ波を照射した状態で長期間生育させた時、ハウレンソウの生長にどのような変化をするか調査する．根の長さだけでなく生体重と乾物重、葉面積も測定する．

3. 実験装置

実験装置は生育装置(チャンバ：高山製作所製、NS360)とマイクロ波発生装置に分けられる．生育装置は気温や湿度、光量などを一定に保つことができる装置である．気温と湿度はデータロガーT&D株式会社製おんどとり TR-71Ui, TR-72Uiの2台を用いて記録した．本実験ではマイクロ波を用いるため、外部にマイクロ波が漏れないようにマイクロ波吸収体を生育装置内に敷き詰めた．実験装置の全体図を図1に、生育装置内の概略図を図2に載せる．



図1. 実験装置の全体図

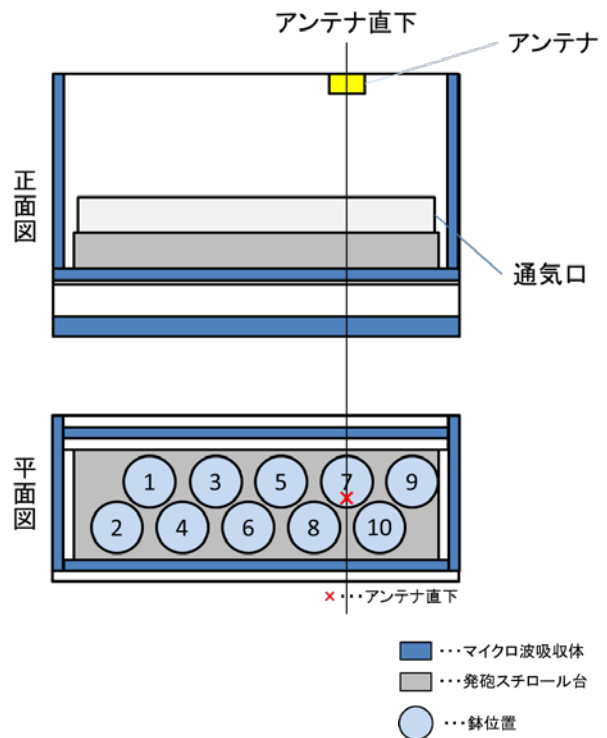


図2. 生育装置の概略図

マイクロ波発生装置はマイクロ波発振回路で生成されたマイクロ波を5Wアンプ（R&K社製、A250HP-R）と20Wアンプ（R&K社製、A2040-4643-R）を用いて増幅し生育装置内に照射する．またマイクロ波の出力を記録するためにパワーメータ（Agilent Technologies社製、E4419B）とデータロガーを通してノートパソコンにも接続してある．マイクロ波発生装置の模式図を図3に載せる．

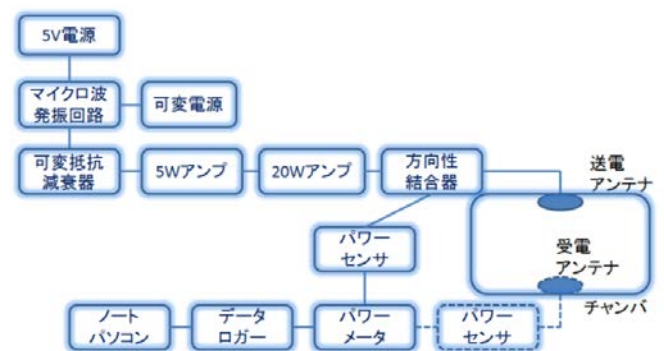


図3. マイクロ波発生装置模式図

4. 実験方法

3-1. 対象植物と栽培条件

対象植物にはタキイ社製のホウレンソウ「トライ」を使用した。種は発芽しやすいように外殻を取り除くネーキッド処理を行っている。1回の実験で10個の鉢に5粒ずつ種を播種し、生育装置内で生育させる。鉢に500gの土を入れ、種を播種深3cmで植えた後に水を700g加えた。生育装置内は気温20℃、明期14時間に設定した。7日間の実験では、実験終了時発芽している個体の平均値をとった。21と35日間の実験では播種後5日目に間引きを行い、生育状態が近い個体を1つ残した。実験中は適宜灌水を行うが、基準として鉢と培土、水分の合計重量が1000gになるように水を与えた。目安として鉢の全重量が800gを切らないように注意した。実験終了後、各個体の生体重、乾物重、葉面積、主根長を測定した。乾物重は植物体を80℃の乾燥炉に72時間入れて乾燥させた。葉面積と主根長は画像処理ソフトImage Jを用いて行った。

7日間の実験はマイクロ波照射のない対照区、マイクロ波照射のある実験区を3回ずつ行った。また2日間と、35日間の実験は対照区、実験区ともに1回ずつ行った。



図4. 生育の様子

3-2. マイクロ波

マイクロ波の周波数は2.45GHz、出力は18Wになるように設定した。マイクロ波は生育装置の天井に設置した出力アンテナより植物に照射される。18W出力時、各鉢が受ける電力密度は0.16~8.31(mW/cm²)であった。電力密度は出力アンテナから最も近い鉢No.7で電力密度が最大となり、最も遠い鉢No.2で最低値となった。図5には生育装置内の電力密度分布を載せた。

マイクロ波は実験中常に照射する。マイクロ波の出力は常にデータロガーでパソコンに記録する。評価に用いた電力密度は平均値である。図6は記録されたマ

イクロ波の出力の推移である。出力が0になっている部分は実験終わりと灌水のためにマイクロ波の照射を止めた時である。出力の平均値は0の部分を除いて計算した。

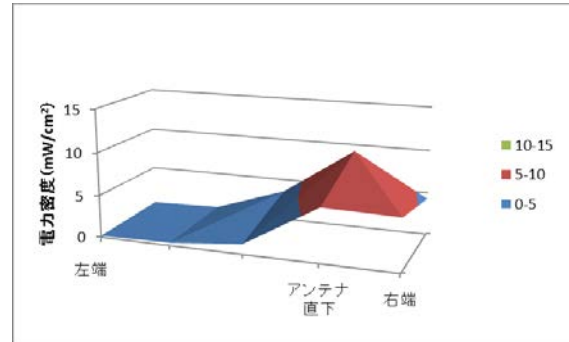


図5. 生育装置内の電力密度分布

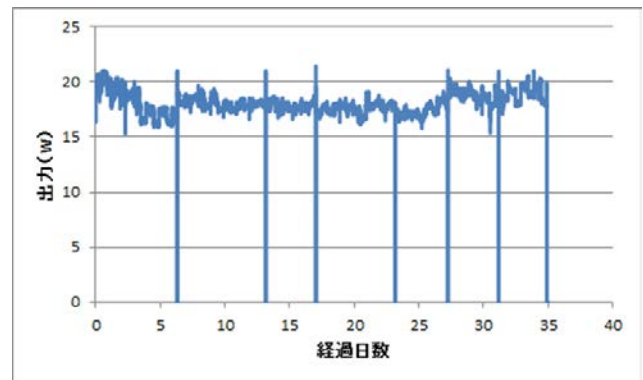


図6. マイクロ波出力の推移

5. 実験結果

4-1. マイクロ波の有無による分析

マイクロ波を照射した実験区と照射していない対照区で得られた値を5%の確率水準で分散分析を行った。その結果、有意差が表れたのは7日間と21日間の主根長、35日間の生体重と乾物重、子葉以外の葉面積であった(表1)。

表 1. 分散分析表

		対照区	実験区	有意性
7日間	生体重 (mg)	88.77±2.03	93.36±5.31	無
	乾物重 (mg)	6.22±1.01	4.86±0.22	無
	葉面積 (mm ²)	139.86±4.48	155.17±10.73	無
	主根長 (mm)	63.54±1.40	69.93±2.52	F=4.90, p<0.05
	n	30	30	
21日間	生体重 (g)	2.44±0.19	2.67±0.17	無
	乾物重 (g)	0.17±0.02	0.19±0.02	無
	子葉 (cm ²)	6.51±0.50	6.85±0.44	無
	第二葉 (cm ²)	28.66±1.81	33.57±2.28	無
	第三葉 (cm ²)	22.60±2.21	23.93±2.60	無
	主根長 (cm)	10.32±0.72	13.21±1.17	F=4.48, p<0.05
n	10	10		
35日間	生体重 (g)	15.74±1.34	23.86±1.97	F=11.60, p<0.05
	乾物重 (g)	1.08±0.10	1.73±0.19	F=9.11, p<0.05
	子葉 (cm ²)	5.49±0.39	5.76±0.43	無
	第二葉 (cm ²)	36.19±1.89	46.53±2.20	F=12.71, p<0.05
	第三葉 (cm ²)	54.25±3.00	85.16±7.44	F=14.87, p<0.05
	第四葉 (cm ²)	77.11±4.27	106.78±8.97	F=8.92, p<0.05
	主根長 (cm)	13.28±1.09	14.81±0.89	無
n	10	10		

4-2. 成長比と電力密度の関係

生体重の成長比と電力密度の相関関係を調べた。成長比とは対照区の値を1とした時の実験区との比のことである。式は以下の(1)である。成長比を電力密度ごとにプロットした結果、図7を得た。成長比と電力密度の間に相関関係は見られなかったが、電力密度が4mW/cm²以上の時はほぼ全ての個体が成長比100%を超えていた。

$$\text{成長比} = \text{実験区} / \text{対照区} \times 100 (\%) \dots (1)$$

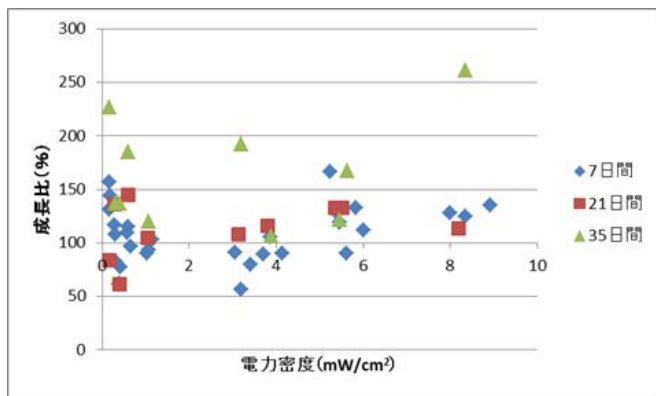


図 7. 成長比と電力密度の関係

6. 考察

分散分析の結果、7日間と21日間で主根長に有意差が表れた。これはマイクロ波がハウレンソウの根の生長を促進させた可能性を示すものである。しかし35日間の実験では主根長に有意差は見られなかった。これは鉢が小さかったために根の生長が阻害された可能性がある。35日間の実験では根が鉢いっぱいになるほ

ど伸びていた。

また35日間の実験において生体重、乾物重、葉面積に有意差が見られた。これはマイクロ波の影響が根の生長だけでなく、その他の生長にも影響を与える可能性を示している。しかし生体重、乾物重、葉面積で有意差が見られたのは35日間の実験のみで、7日間と21日間の実験では見られなかった。これにはいくつかの可能性が考えられる。1つ目に、ハウレンソウを35日間生育させたために大きくなり出力アンテナ近くまで葉が伸びていた。マイクロ波の電力密度は出力アンテナに近いほど高くなる。ハウレンソウが大きく成長したために、受ける電力密度が高くなりマイクロ波の影響も大きくなった可能性が考えられる。2つ目に、マイクロ波が根の生長を促進させたために水や養分を効率よく吸い上げられるようになり、生体重や葉面積も大きく生長した可能性が考えられる。実験区と対照区の鉢重を比べたところ実験区のほうが鉢重が少なくなる傾向が見られた。3つめに、偶然の可能性も考えられる。本実験では35日間の実験は対照区と実験区ともに1回ずつしか行っていない。実験区の実験を行った際、たまたま大きくなってしまった可能性や、対照区の生育が悪かった可能性も捨てきれない。サンプル数を増やして結果を明確にする必要がある。

成長比と電力密度の間に相関関係はなかったが、電力密度が4mW/cm²以上の時はほぼ全ての個体が成長比100%を超えていた。マイクロ波の強度がある値以上になると根の成長点の細胞分裂指数が大きくなるという研究結果がある[3]。本研究ではその値が4mW/cm²であった可能性がある。さらに高い電力密度で実験を行うことによって、より明確な結果を得られると思われる。

7. 結論

本研究の最大の問題点はサンプル数の少なさである。7日間では対照区、実験区合わせて3回、21・35日間では1回ずつ行い、トータルで133日間栽培に従事してきた。しかし得られたデータ数は極めて少なく分析も十分に行えなかった。このままでは十分なデータを得ることができないので、チャンバを増やす等の対策を検討しなければならない。また現在用いているチャンバでは光量や空気の循環が一定ではなく外的要因を多く生み出している。マイクロ波の電力密度もより高い値で実験を行ってみたい。

また本実験ではマイクロ波の影響を生体重や乾物重などのマクロ的視点で評価をした。しかし、マイクロ波はおそらく植物の生長にミクロのレベルで影響を与えていると考えられる。マイクロ波が植物体内の酵素や分子に影響を与えているという報告[3][4]もあり、

今後はマイクロでの分析も行っていきたい。

文 献

- [1] 篠原真毅, 松本紘, 三谷友彦, 芝田裕則, 安達龍彦, 岡田寛, 富田和宏, 篠田健司, 2008. “無線電力空間の基礎研究.” 信学技報 18: 47-53.
- [2] 井口裕之 2010 マイクロ波種子発芽後成長に対する影響およびその温度依存性の調査 卒業論文 京都大学.
- [3] Mirta Tkalec, Kresimir Malaric, Mirjana Pavlica, Branka Pevalek Kozlina, Zeljka Vidakovi c-Cifrek, 2009. Effects of radiofrequency electromagnetic fields on seed germination and root meristematic cells of *Allium cepa* L. . *Mutation Research* 672: 76-81.
- [4] David Roux, Alain Vian, Se´bastien Girard, Pierre Bonnet, Françoise Paladian, Eric Davies and Ge´rard Ledoigt, 2006. Electromagnetic fields (900 MHz) evoke consistent molecular responses in tomato plants. *Physiologia Plantarum* 128: 283-288.

