

## MICROWAVE EXPOSURE TEST FOR PLANT GROWTH (II)

Hiroshi Murakami, Toshiaki Iwata, Yasuyuki Abe, Yoshitsugu Toda

Agency of Industrial Science and Technology

1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-8568, Japan

E-mail: [murakami-hiroshi@aist.go.jp](mailto:murakami-hiroshi@aist.go.jp), FAX + 81-029-861-5709

Isao Kudo

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

2-1-1 Sengen-cho, Tsukuba, 305-8505, Japan

Ken-ichi Saito (Nippon Veterinary and Life Science University)

1-7-1, Kyonan-cho, Musasino-shi, Tokyo 180-8602, Japan

Toshirou Okuda

Sanwa Norin Co., Ltd

1585 Hasuda, Hasuda-shi, Saitama, 349-0100, Japan

Takashi SAITO

Institute for Unmanned Space Experiment Free Flyer (USEF)

2-12 Kanda-Ogawamachi, Chiyodaku, Tokyo, 101-0052 Japan

Although Solar Power Satellite has long historical background since the invention by Dr. Peter Glaser in 1968, influence of microwave power for ecology system has not been studied. Indeed, this is a public concern and we have to alleviate this concern. In 1992, we started to study biological effects by microwave illumination. It was found that the promotion of growth rate was observed clearly at the same power density at a central part of the rectenna site of NASA Reference Model, when 2.45GHz and 5.8GHz microwave power were illuminated on plants.

In order to investigate the mechanisms of promotion, a test has been carried out inside the indoor facility where only 5.8GHz microwave power density was varied, leaving other environmental power fixed. Growth of plants under non illuminated condition was also observed for making sure the effects of soil temperature. Experiments are still in progress to study the mechanisms. Their experimental status is shown.

## 植物へのマイクロ波照射実験(II)

村上 寛、岩田敏彰、阿部宜之 戸田義継 (産総研)  
 斎藤賢一 (日本獣医生命科学大学)  
 奥田俊郎 (三和農林)  
 工藤 勲 (宇宙航空研究開発機構)  
 斎藤 孝 (無人宇宙実験システム研究開発機構)

### 1.はじめに

宇宙発電衛星から伝送されるマイクロ波について生態系への影響は十分調査されていない。植物に関しては屋外と屋内で 2.45GHz と 5.8GHz のマイクロ波を植物に照射したところ NASA のリファレンス中心部のレベル程度の電力密度で育成環境にもよるが生長促進が明確に観察された。カイワレダイコンの生長促進などのメカニズムを調べることはマイクロ波と生態系への影響にとって重要な項目と考えている。生長促進のメカニズムを調べるため 2.45GHz と 5.8GHz のマイクロ波電力をパラメータにして環境を制御した屋内施設で照射実験を実施した。前回、5.8GHz の屋内照射実験は実験環境が高電力密度と低電力密度で異なり、比較ができなかった。実験環境を低電力照射と同様にして高電力密度での再実験を行なった。また生育環境の影響を調べるため水耕栽培の温度を変えた条件で植物の観察を行った。

### 2. 5.8GHz での植物の照射実験

実験に使用した育成容器と照射実験での配置を図 1 に示す。マイクロ波の照射領域は 50 cm 四方になるから非照射療育を含めて育成容器は 9 個を 1 組として 3 列並べた。1 個の育成容器は 3 分割されており、

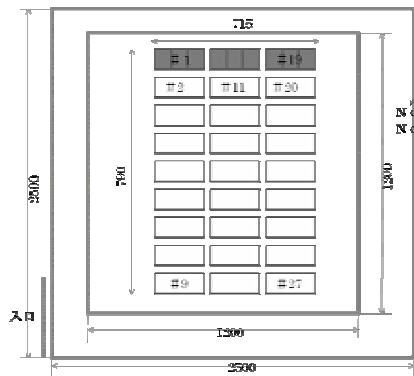


図 1 育成容器と実験室内の配置  
(中央部にホーンアンテナを  
設置している)

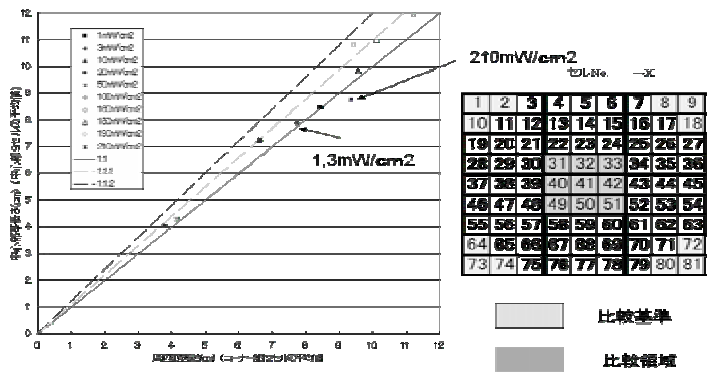


図 2 前回の 5.8GHz の結果のまとめ  
(右の比較基準はマイクロ波の照射領域)

その 1 つを小育成容器と呼び、全部で 81 個ある。照射実験後の評価は規定の時間(カイワレダイコンでは 8 日日間)に達した小育成容器からカイワレダイコンをすべて取り出し、はじめに生育の異常の観察を行なう。次に生長の良い株を 50 本以上取り出す。この 50 本から、同程度の長さのカイワレダイコンを 10 本選択して 1 束にする。この作業を 5 回繰り返して 5 束を作る。この 5 束のそれぞれの長さの平均と重さを計測して、81 個の集計を行なう。これを表にして分布図を作成し、評価を行なう。

前回得られた 5.8GHz の結果をまとめたものを図 1 に示す。これは電力密度を変えて中心部での茎の長さを比較したものである。縦軸はマイクロ波の照射されていない周辺部 4 つのコーナーの平均の茎の長さを、縦軸はマイクロ波密度の高い領域 (20 cm 四方にある 9 個の小育成容器での茎の平均長さ) を示す。

図中の直線が 45 度以上の右肩上がりの傾きが見られることは、周辺部より、育成が良いことを示している。それ以下では生育不良の傾向が示されることになる。マイクロ波電力が 210 mW/cm<sup>2</sup>では明らかに生育不良が、また数 10 mW/cm<sup>2</sup>以上では生育促進となる。電力密度の低い 1 mW/cm<sup>2</sup>、3 mW/cm<sup>2</sup>では育成に変化が見られない。

これらの屋内照射実験は水耕栽培法で水温度を 20℃に制御し、電力密度を変えて行なった結果である。

今回実施した 8 回の実験結果を表 1 に示す。電力密度は実験前後に計測しているが、水位の変動によって大きく変わることからマグネトロン流入電流値(ただし参考値として電力密度も表記)で表示してある。電力密度の 2 つの数字は、左側に実験開始前の値、右側に実験後の値を、同様に茎の長さの左側はマイクロ波の照射された領域の平均の長さ、右側はマイクロ波の照射されない領域での平均の長さである。

図 2 はこの表をまとめたものである(電力密度ではなくマグネトロンに流れる電流値で表示)した。図中の直線 1.0 は中心部と周辺部との育成の差がないことからこの数値が高くなればなるほど生長良いことになる。マイクロ波電力を増加させると 1 から 13mA、までは生育は非照射領域との差が見られないが 14mA 以上から増加し、29mA で最大の生育が観察される。それ以上電力を増加させると徐々に低下する

表 1 今回の実験結果のまとめ

No	電流値 (mA)	電力密度 (mW/cm <sup>2</sup> )	茎の長さ (cm)	水温 (°C)	成育 大◎ 中○ 小△
1	11	20- 6	9.5- 8.0	20	△
2	13	38- 45	11.5- 9.0	20	△
3	14	58- 27	12.5- 10.5	20	○
4	18	110- 180	12.5- 10.5	20	○
5	23	75- 95	13.5-12.5	20	◎
6	29	140- 185	13.5- 11.5	20	◎
7	36	165- 160	14.5- 13.5	20	◎
8	48	190-	10.5- 8.5	20	◎

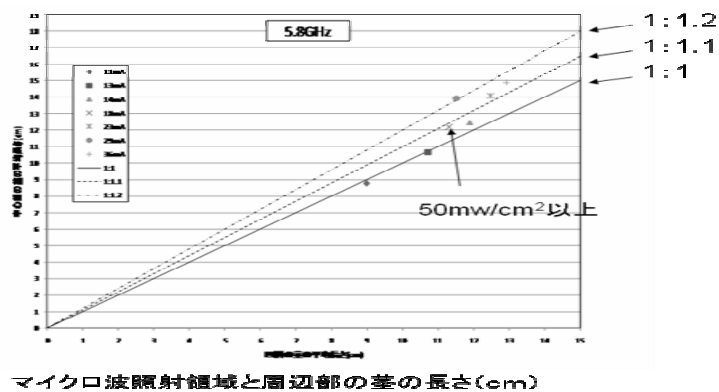


図 3 表 2 をまとめた図 (8 ケースの結果をまとめて表示)

傾向が示された。36mAの電流値よりも高くなると育成に影響が発生する傾向がある。

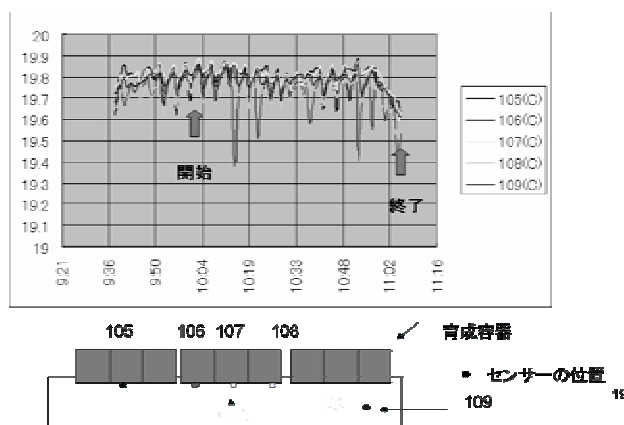
生育が最も良い電流値を電力密度に換算すると約 150 mW/cm<sup>2</sup>となり、50mW/cm<sup>2</sup>以上で生育がよくなる傾向となる。前回の結果からも 50 mW/cm<sup>2</sup>以上で生長促進の傾向示されている。これらの実験結果から～40mW/cm<sup>2</sup>以下の電力ではカイワレダイコンは生育に影響がないと思われる。周波数による違いについては 5.8GHzは 2.45GHz よりも高い電力レベルで影響があるようであるが現在のところ明確にはではない。

マイクロ波の照射された領域のカイワレダイコンは茎が太いものと細いのが観察されている。重さと茎の長さの比を見ると生育の良い領域では重さに比べて茎が長くなる傾向が強い。これは徒長と呼ばれる現象で密植や湿気あるいは日照不足が原因と考えられている。この現象を当てはめるとマイクロ波が強くなる領域に発生する生育促進は茎の長さが長くなり、重量の増加がないことになる。

枯れ現象については屋外実験とウレタンを用いた屋内実験でマイクロ波を強めた条件で観察されている。しかし水耕栽培用のメッシュを用いた照射では 200 mW/cm<sup>2</sup> 以上の高密度電力でも枯れ現象は生じなかった。これは、ウレタンや土壌がマイクロ波により、加熱され水分の蒸発が起きたことで、間接的に植物に水分の供給がなされずに枯れが生じたことによる。水分の蒸発がしにくいメッシュを用いると根から十分に水分が供給され、枯れが起きなかった。しかしこの高い電力では、生育の不良が生じていることで直接マイクロ波が植物に影響を及ぼしたことが明らかとなった。

### 3. 5. 8GHz マイクロ波が育成容器と水温に及ぼす影響について

春から夏にかけての屋外実験によるマイクロ波照射実験は雨による土壌の水分の供給が少なく気温が高いことで乾燥により植物に悪影響を与えることになる。この季節では土壌にマイクロ波が照射されると土壌の温度が周辺より高くなり、より以上乾燥する。その結果植物の生育が損なわれる。この問題を屋内施設照射による水耕栽培で解決するようにした。はじめ水耕栽培用にウレタンを用いたが屋外と同様にマイクロ波照射によるウレタンの水分蒸発が起きて植物の枯れが観察された。そこでウレタンの代わりにメッシュを用いて根が直接水の中で生長する方式に変えた。しかしマイクロ波が水を直接加熱することで水温の上昇が懸念されるため、育成容器下部のメッシュ近傍にセンサーを取り付け水温の計測を行った。図4は育成容器の温度センサーの位置とカイワレダイコンが育成容器内に多くある状態での水温の変化を示す。センサーの位置は照射領域中心部とそれ以外の2箇所および水容器の中心部である。マイクロ波がさえぎられた状態となることから温度上昇は計測されない。空の育成容器でも循環している水の温度と同程度の値であることからマイクロ波が水温に及ぼす影響が無いことが分かった。表2に結果をまとめた。



表—2 温度上昇のまとめ

場所	カイワレ有	カイワレ無
- 23cm	19.8°C	19.8°C
- 7.5cm	19.8°C	19.8°C
中心部	19.8°C	19.8°C
+7.5cm	19.8°C	19.2°C
水温	19.8°C	19.8°C

図4 温度センサーの位置関係と計測結果の一例

### 3.1 育成容器内の環境

実験で用いている小育成容器は7cm四方、高さ10cmの箱型で四方をプラスチックで囲まれている。この中でカイワレダイコンが生長すると+多くの茎の密生が生じ、外気が流れ込みにくくなる。この状態でマイクロ波が照射され続けるとこの中の気温の上昇が懸念される。そこで小育成容器内の温度を詳細に調べるためカイワレダイコンが十分育成した容器内部に温度センサーを入れてマイクロ波照射による温度変化を調べた。図5はマイクロ波を1時間ほど照射した状態での内部温度上昇を示す。計測箇所はマイクロ波照射の電力密度の高い中心部の小育成容器と小育成容器2個ほど離れた場所(中心から16cmと33cmの位置)である。中心部は照射開始直後から温度の上昇が始まり1時間弱で12℃ほど、中心部から16cmと33cm離れた場所では6~7℃ほどの上昇が計測された。比較のためカイワレダイコンの入っていない空の育成容器内は中心部で6℃程度、16cm離れた場所では1.5℃程度の上昇となっている。表-3

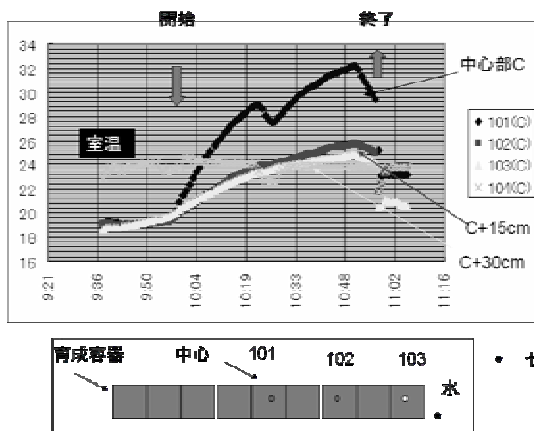


表-3 小容器内部の温度上昇結果のまとめ

場所	莖有	空容器
マイクロ波照射中心部	14℃程度上昇	2.5℃程度上昇 4℃程度上昇 (7.5cm)
16cm	7℃程度上昇	1.5℃程度上昇
33cm	6℃程度上昇	—————

図5 マイクロ波照射時での育成容器内部での温度変化

にこの結果をまとめた。空容器は外気が流れやすいことで温度上昇(数度の温度上昇は温度センサー自身のマイクロ波による吸収が生じたもの)が少ない。特にマイクロ波電力密度の高い中心部の育成容器内の温度が高いことで、植物の育成に何らかの関与することが推察される。8日間の照射実験でも実験期間途中で温度上昇がマイクロ波照射中心部の小育成容器内で計測されている。これは種が発芽してカイワレダイコンの生育が進むに従って茎や葉っぱが大きくなり、小育成容器の中で茎などが密生した状態で空気の流れが悪くなり、照射されるマイクロ波のエネルギーが放散できない状態となり、熱が閉じ込められ、その結果温度の上昇が生じたものである。この小育成容器内の温度と育成状態との関連を調べてれば生長促進のメカニズムのひとつの解明につながると推察される。

### 3.2 水温変化による育成

生長促進は土壌の温度上昇が主な原因と推察しているが、この現象を確かめるため、水耕栽培で水温を変えて生育実験を行なった。実験は照射実験と同じ環境にするため新鮮な水を供給しながら水温を制御した。水温は温度制御器で3パターン(17.5℃から24.5℃の間)変えた。評価は照射実験と同様である。水温17.5℃で茎の長さは最大値8.6cm、最低値6.9cm、19.8℃では最大値11.3cm、最低値9.0cm、また、24.5℃では最大値13.0cm、最低値11.4cmになった。これらの結果を図6に示す。水温の上昇にしたがって

生育が良くなって茎が長くなる傾向がある。温度と生育はある温度範囲では直線的と思われるが、このケースでは気温や実験環境などの他の要因が含まれることで直線的とはなっていない。しかし、水耕栽培で

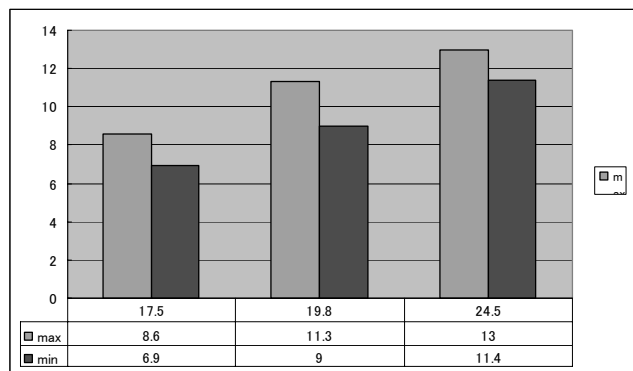


図6 水温変化に対するカイワレダイコンの茎の長さ

の水温の相違で生育が異なる結果から、土壌の温度の違いによる生長促進の要因の可能性が示されている。したがって植物の根の環境（土壌）温度も生長促進の一要因と考えられる。このことから前回、水温の低い条件で生長促進効果が出なかったケースは根が低温状態となってカイワレダイコン全体の生育が悪くなり、マイクロ波照射による育成促進効果が明確に観察されなかったことになる。

#### 4.まとめ

5.8GHzのマイクロ波の高い電力密度（200 mW/cm<sup>2</sup>以上）ではカイワレダイコンに直接マイクロ波による生育不良が観察され、カイワレダイコンに影響をおよぼしたことが判った。しかしこの電力レベルは換算値であることから正確な電力密度の計測が必要となる。また、生育環境の計測から生育が良くなった電力レベルではカイワレダイコンの根の温度環境と雰囲気環境が何らかの効果を及ぼしているかことが判ってきたが、まだこれらの作用を分離することができなかった。

#### 4 今後の課題

今後 5.8GHz でのレベルでの実験を継続するため、電力レベルの校正や育成状態を簡単に評価できる新しい方法の構築、また屋内実験施設である生育環境を整備する必要性が生じている。温度管理された環境での照射実験の継続と今まで得られた実験結果を詳細に調べ、そのメカニズムを解明するとともに、他の植物種での影響や周波数の相違による影響を調べるのが重要と考えている。また、長期間マイクロ波に暴露された環境での次世代への実験進め、SPSの実現化に向けた、植物の評価法の構築を進める予定である。

#### 参考文献

- [1]村上、小見山、加藤、工藤：第3回SPSシンポジウム，pp.90-95，2000.
- [2]村上、岩田、阿部、斎藤、奥田、工藤：第7回SPSシンポジウム，pp.95-98，2004
- [3]村上、岩田、阿部、戸田、斎藤、奥田、工藤：第8回SPSシンポジウム，pp.95-98，2005
- [4]村上、岩田、阿部、戸田、斎藤、奥田、工藤：第9回SPSシンポジウム，pp.81-84，2006
- [5]村上、岩田、阿部、戸田、斎藤、奥田、工藤：第10回SPSシンポジウム，pp.81-84，2007
- [6]平成19年度太陽光利用推進技術調査成果報告書、USEF、2008