

## EFFECT OF MICROWAVE EXPOSURE ON PLANT GROWTH (III)

Hiroshi Murakami, Toshiaki Iwata, Yasuyuki Abe, Yoshitsugu Toda, Isao Kudo

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

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

Various concepts of solar power satellite (SPS) have been studied as promising power plants for reducing carbon dioxide emissions. However, the operational SPS will increase ambient microwave energy levels in and around the receiving stations. The biological effects of microwave radiation at such sites must be studied. In past outdoor experiments, an increased rate of plant growth was observed at a power density of  $10\text{mW/cm}^2$  at frequencies of both 2.45GHz and 5.8GHz.

The effects of microwave radiation on plants can be classified as follows:

1. Variation of soil temperature
2. Evaporation of soil moisture
3. Variation of atmospheric temperature
4. Change inherent characteristics of plants

Although factors 1 and 2 have been analyzed, factors 3 and 4 are not yet understood. In this study, it was found that the container temperature increased with increasing the plant growth, and that at the central part of the container, a temperature increase of  $2\text{-}3^\circ\text{C}$  was observed. In addition, temperature increase of  $10^\circ\text{C}$  was measured when the container was subject to higher microwave radiation. A higher rate of plant growth was thought to result from this higher temperature.

## 植物へのマイクロ波照射実験(III)

村上 寛、岩田敏彰、阿部宜之 戸田義継、工藤 勲 (産総研)  
斎藤賢一 (日獣大)  
奥田俊郎 (三和農林)

### 1.はじめに

CO<sub>2</sub>削減に有効である SPS は実用化に向けた研究が進んでいるが受信施設などで生態系などにどのような影響をおよぼすかの調査が十分ではない。植物に関しては実用レベルの電力密度以上で成長促進や枯れ現象が屋外実験施設で確認されている[1]。成長促進のメカニズムを解明することは多くの植物に対するマイクロ波の影響を知る上で重要と考えている。屋内実験の結果から植物は、2.45GHz と 5.8GHz で 10 mW/cm<sup>2</sup>以上の密度で成長促進が明確に観察されている[2] [3]。成長促進はマイクロ波が育成環境や土壌の温度上昇を与えることや、植物自身の温度が高くなることが考えられる。

成長促進などの植物にとってのマイクロ波による影響の要因を明確にできれば植物生育に対する影響のメカニズムが解明できることになる。

### 2. 植物育成に関する要因

植物の成長に影響を与える要因として、①土壌の温度上昇②土壌の水分蒸発③気温などの上昇④植物自身の温度上昇などの4項目が考えられる。①に関して今までに得られたデータから土壌の温度がマイクロ波に長時間曝されると非照射領域と比べて10℃程度温度が高く計測されている。この高くなった土壌の植物は、気温の低い冬の気候でも照射領域では非照射領域と比べて育成が進む。また土壌は水分がマイクロ波の加熱で蒸発が加速され、雨の少ない季節で特に水分の全くない乾燥した状態が続く。この状態では植物は生理的に過酷な状態となり、水を吸い上げることができず枯れてしまう。一方雨の多い季節では土壌の水分が十分にあることで植物の成長は良好になり、マイクロ波による影響が少ない。上述した要因 ①、②については一般的な現象として解明が進んでいるが要因③と④は十分でない。要因③の項目で分かっていることは気候の良い季節で育成が順調になるが気温の低い状態では抑制されることである。しかしマイクロ波を照射した状態でその環境がどのようになっているかは分っていない。④はマイクロ波が直接植物に照射され、植物自身の温度が上昇する現象である研究が少ない。マイクロ波電力密度によっては最適な温度状態で成長が維持されるが限界を超えた高温状態では衰弱が生じて育成不良が起こる。しかしその影響するレベルは明確になっていない。

ここでは要因③について特に調べた結果を報告する。

### 3. 要因の検証

#### ①の土壌の温度

マイクロ波照射で高くなる土壌の温度は、成長促進の一つの要因となっている。この効果を確かめるためマイクロ波照射を行わない状態で水耕栽培による屋内実験を行った。水温を 17℃から 25℃の間で生育状態の観察を行ったところ 17.5℃ の水温で平均の丈の長さは 8.6 cm、19.8℃で 11.3 cm、24.5℃で 13.0 cmとなった。水温が低い時よりも高い温度で生育が良好となっている。このことは屋外で観察された高い土壌の温度による成長促進に類似した結果となった。

#### ②の土壌の水分蒸発[4]

屋内実験でウレタンを用いた実験では植物は時間とともに成長不良で枯れが観察された。これはマイクロ波によってウレタンの温度が高くなり、蓄えられた水分のほとんどが蒸発して悪い環境となったため

ある。この現象を防ぐために水耕栽培に変えた。この効果を見るため水耕栽培用の水にマイクロ波を直接照射したが温度上昇は計測できなかった。これは水の流入排出と循環を行ったことでマイクロ波エネルギーによる温度上昇が低減されたためである。この要因②は植物にとって悪影響を及ぼすが水耕栽培により、この問題を解決できた。

### ③気温などの上昇

植物は気温の変化に左右され、春から秋にかけては生育がよく、冬場では気温が低いことで悪くなる。屋内実験は空調により、季節の変化をなくすため気温を制御している。しかし小さい箱型の育成容器の中で植物の育成を行っている。従って植物はこの育成容器内の温度で生育が異なることになる。

### ④植物自身の温度上昇

マイクロ波を植物に照射すると葉、茎や根のどこ影響があるのかを調べることも重要と考えている。根は要因①に述べたように土壌の温度に関係があるが葉と茎は直接マイクロ波の影響が考えられる。例えば電子レンジのような高密度のマイクロ波が照射されれば細胞が死滅し、繊維などが柔らかくなることは知られている。照射実験でこのような高レベルの照射実験は行っていないが詳細な調査は必要である。

## 3. 要因③の実験結果

要因③の育成環境が変わることで生育がどのようになるかを詳しく調べるため育成容器に温度センサーを設置して、種の状態から十分生育する間、容器内温度を計測した。植物は緑豆を用いた。評価は育成容器内の緑豆の少ない場合と密度が高く密生した状態で容器内の温度を計測して茎の長さを比較した。図1は種の量が多い条件で実験開始から終了までの育成の様子を示す。4日目で中心部だけに成長が見られる。その8日では葉が全体に広がり、中心部に盛り上がりが見られ成長促進が生じたケースである。

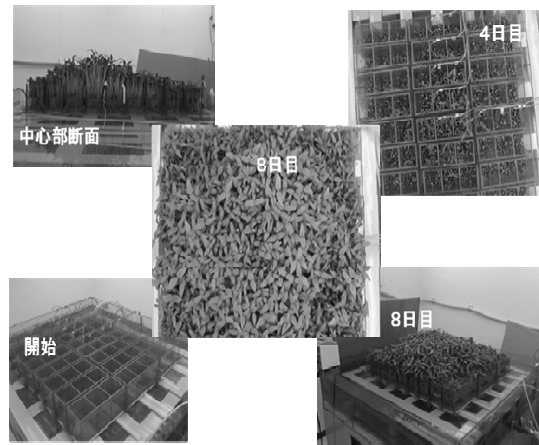


図1 密生度が高い条件での緑豆の育成

図2は育成容器全体(81個)の模式図を示す。1個の育成容器の形状(同図右下参照)は縦7cm、横7cm高さ10cmと小さい。3個が1組となった育成容器27組は縦9列、横3列に配列されている。この小容器内の温度が育成に影響を及ぼすことが予測される。評価は照射領域中心部の3個x3個の9個と、マイクロ波の当たっていない周り32個の非照射領域の茎の長さを実測して、その平均値を求めて比較した。

図3は緑豆の種の量による茎の長さ分布を示す。種の量に関係なく同心円状の等高線が見られることでマイクロ波照射領域に成長促進が生じていることがわかる。しかし図中の7.5ccと15ccの中心部に茎の長さが低い領域が見られる。これはホーンアンテナに成長した植物が近づき葉に高電力密度のマイクロ波が照射されたことで生育不良(要因④)が生じたものと推察している。

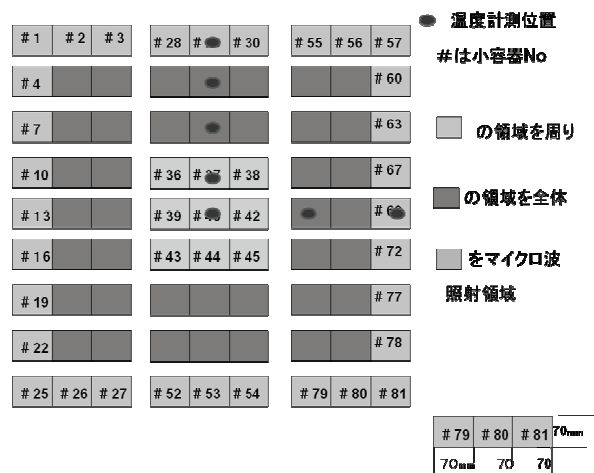


図2 育成容器の配置

種の量による生育の違いを詳細に調べるため照射領域と非照射領域の丈の長さとその比（育成率）を比

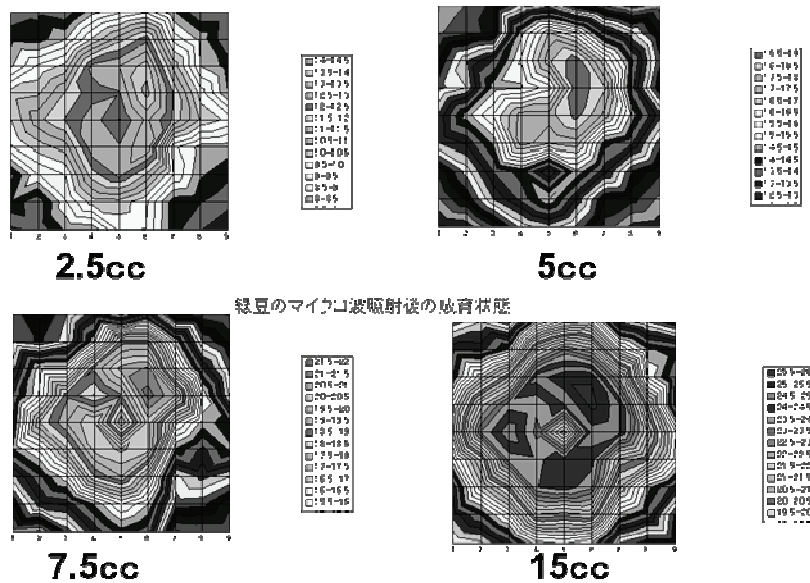


図3 種の量(密生度)による丈の長さの分布

較した。

図4は種の量を1.25cc, 2.5cc, 5cc, 7.5ccと15ccとして同じ照射条件で育成を比較した結果である。種をセットしてから8日後に茎の長さはマイクロ波照射領域で2.5ccの時平均15cm程度また15ccでは25cm程度になった。種の量が1.25ccと2.5ccを見ると照射領域で6.55と6.99cmと差が少なく、周り（非照射領域）でも長さが同程度となっている。この種の量では大きな差がないが5ccを超えると量が多くなるに従って照射領域と周りの成長が良くなる傾向を示した。5cc以上の量で緑豆の密度が高まると全体的に成長が良くなることからマイクロ波による成長促進に加え他の現象による成長が起きていると思われる。マイクロ波以外で見られる成長は徒長と言われる現象である。徒長は密生した植物群で多く見られ、植物同士の競い合い（光を求め）や密集している茎の温度、また湿度などによって生じると言われている。2.5cc以下ではこの現象が生じないが、5cc以上で非照射領域で見られる2.5cc以下と比較して丈の長さの大きな相違は徒長と考えられる。

育成率（比率）は照射領域と周り（非照射領域）

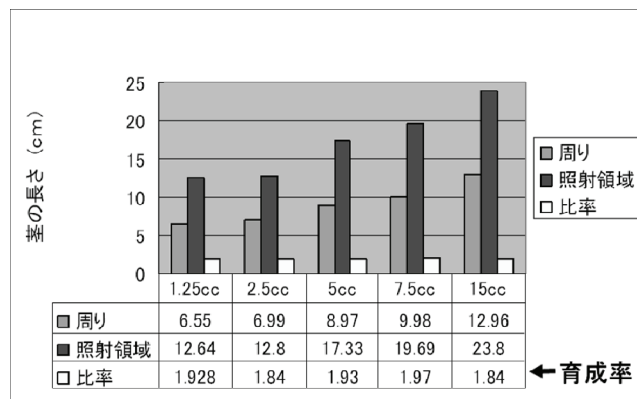


図4 種の量(密生度)による茎の長さと育成率

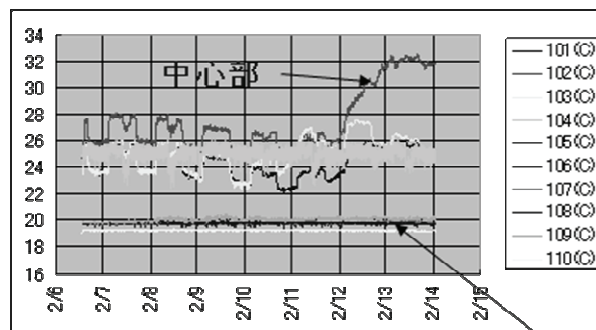


図5 初日から8日間の育成容器内部温度の変化

水温

で除した値である。この値を比較すると1. 9前後となり、種の量による大きな違いは認められない。このことから徒長とマイクロ波照射による両方の効果が確認できた。

次にマイクロ波照射による育成促進効果を確認するため育成容器内の温度を計測した。計測箇所は図2に示す●の7箇所で中心部2箇所、非照射部2箇所、中間部3箇所である。図5は8日間の温度変化の一例を示す。発芽してから数日間でマイクロ波照射領域の中心部の温度上昇が見られる。非照射領域では25℃前後であるのに対してこの照射領域では30℃以上と高い。その原因は葉が大きく茂ることでマイクロ波により換気の悪くなった茎部分に温まった空気が留まることである。この高い温度は中心部だけで他の照射部では生じていないことから成長促進の大きな原因とはなっていない。

図6は7箇所の計測した温度をまとめたものを示す。図2の●の横方向の温度を図6の上を示す。照射中心、25cm 40cm 離れた位置での容器内温度である。中心部は種の量が少ない1.25cc で高く36℃ になっている。これは成長した緑豆の葉っぱが少ないことで直接温度センサーにマイクロ波が照射されたことによる加熱効果である。葉がある程度少なく通気性がある2.5cc, 5cc では30℃ほどであるが、それ以上の葉が込み合った状態では34-35℃と高い。マイクロ波照射の少ない中心部から40cm 離れた内部温度は25℃ほどになっている。この温度は種の量による差がほとんどない。

縦方向（図2●の縦方向）でもマイクロ波照射が少ない、中心心から30cm と40cm 離れた容器内では24度以下であるが中心に近い10cm 離れた位置では27℃以上と高くなって加熱されていることがわかる。

しかし5cc の場合20cm 離れた位置と中心部に近い位置では逆の現象が計測され中心に近い位置で温度が低くなっている。この原因は分っていないので現在調べている。

これらの結果から成長促進の起きるメカニズムの一つにはマイクロ波による育成容器内の加熱効果による温度変化が挙げられる。

### まとめ

要因③を中心に実験を行った結果、育成容器の内部は植物の成長が進むにつれて温度が高くなる傾向が示された。マイクロ波密度の高い中心部の育成容器内は緑豆の密度の少ない状態では屋内温度と比べて数℃高くなっている。植物の密度が高くなると容器内の温度は室温と比べて10℃以上になることが実験から分った。このことから種が多くなると植物の成長に従って葉が多く茂り育成容器は換気が悪い状態となることで温度が高くなり、成長促進が生じることが示唆された。

### 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、斎藤: 第8回SPS シンポジウム, pp.95-98, 2005
- [3]村上、岩田、阿部、戸田、工藤、奥田、斎藤:第9回SPS シンポジウム, pp.81-84, 2006
- [4]村上、岩田、阿部、戸田、斎藤、奥田、工藤:第7回SPS シンポジウム, pp.95-98, 2004

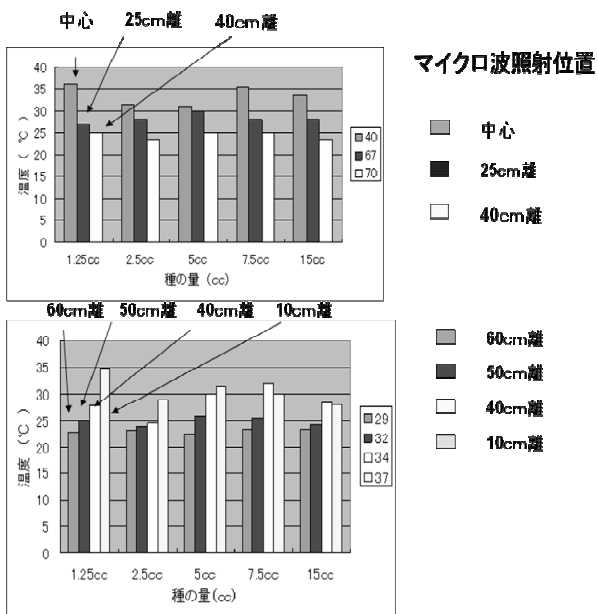


図6 種の量の違いによる各計測位置での温度