

## カイワレの根の成長に対する静磁界の影響

Effect of a Dc Magnetic Field on the Growth of Japanese Giant Radishes

片根 保

千葉大学工学部, 千葉市稲毛区弥生町 1-33 (☎263-8522)

T. Katane

Faculty of Engineering, Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Chiba 263-8522

The effects of dc magnetic fields on animals and plants have been studied for a long time. In particular, many studies of the effects on plants have been reported, because of the ease with which experiments can be controlled. However, it is still not clear whether dc magnetic fields have any influence on plants. This study shows the effects of both horizontal and vertical dc magnetic fields on the growth of Japanese radishes. A dc magnetic field plays a role in restricting the initial growth of radishes, and the growth and root hair are also affected by the direction of the magnetic field.

**Key words:** Japanese giant radish, growth of root, root hair, dc magnetic field

## 1. はじめに

電磁界の生体への影響については、古くからさまざまな関心が寄せられている。中でも植物に関する研究は、管理が比較的簡単であるため、種々の報告が見受けられる<sup>1)~3)</sup>。電磁界が植物に及ぼす作用については、農作物の収量増加をめざしてさまざまな研究が行われてきたが、しかし植物の発芽や成長に対しては促進される場合や抑制される結果と相反する報告<sup>4)~6)</sup>がされており、まだ不明瞭な部分が多い。

本研究では、成長の早いカイワレ大根の種子に、静磁界（水平、垂直磁界）を印加したまま発芽・成長させ、根の成長および根毛と静磁界との関係を調べたのでその結果<sup>7)~8)</sup>を報告する。

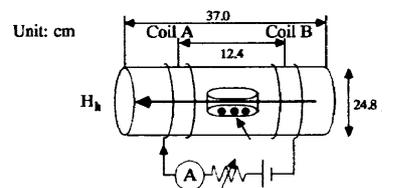
## 2. 実験方法

種子に静磁界を印加するための実験装置の概要を Fig. 1(a), (b) に、また磁界を印加しない場合を (c) にそれぞれ示す。(a) は種子に対し水平方向に静磁界 ( $H_h = 21.0$  Gauss, 以下 No. 1 とする。) を印加し、また (b) は種子に対して重力と反対方向に静磁界 ( $H_v = 21.0$  Gauss, 以下 No. 2 とする。) を印加できる装置である。(c) は種子に静磁界を印加しない場合（地磁気のみ, 以下 No. 3 とする。）である。なお装置 (a), (b) は、種子にほぼ均一静磁界が印加できるようにしたヘルムホルツ形の磁界発生装置で、円筒形 ( $\phi = 24.8$  cm) の透明アクリルに二つの Coil A, B (巻数はいずれも 140) を巻き、両コイルの間隔を円筒形の半径 (12.4 cm) とした。根の成長の実験は、カイワレの種子各 50 個をシャーレ ( $\phi = 9$  cm,  $d = 2$  cm) にそれぞれ入れ、水道水 (21°C, pH 7.5, 20 ml) を入れた後蓋をし、さらに光を遮断するため暗幕で各シャーレをそれぞれの装置に置き、

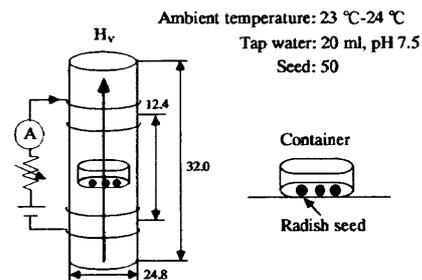
室温 23~24°C の範囲で実験を行った。なお No. 1, No. 2 用のシャーレはヘルムホルツコイルの中心に置いた。発芽・成長した根は複写後、直線的なものは定規で、湾曲した根<sup>8)</sup>は CURVIMETER (地図などで距離を測るもの) で測定し、子葉があるものは子葉を除いたものを根の長さとした。

## 3. 結果および考察

Fig. 1(a) の水平磁界印加装置において、円筒形内部の磁束密度分布をガウスメータを用いて測定した結果を Fig. 2 に示す。なお磁束密度は水平方向を  $x$ 、円筒形の半径を  $r$  としてヘルムホルツコイルの中央 (Coil A, B から = 6.2 cm) を原点として、 $x$  軸方向の磁束密度  $B_x(\circ)$  は原点を中心に右側を正に左側を負で示し、また垂直方向の磁束密度  $B_z(\bullet)$  については、原点から上部を正、下部を負として示した。またこの装置の  $x$  軸方向の磁束密度分布  $B$  と磁束密度の傾き  $B'$  の分布を計算した結果を Fig. 3(a), (b) にそれぞれ示す。なお図中の Coil A, B はそれぞれのコイルの磁束密度を示し、太い実線は両コイルの磁束密度の和を示す。Fig. 2 の結果より、 $x$  軸方向の磁束密度  $B_x$  が両コイル近傍  $\pm 6$  cm で多少減少しているが、実験に用いた大きさのシャーレにおいては、種子に対してはほぼ均一の静磁界が印加されていると思われる。また垂直方向の磁束密度  $B_z$  においても同様に、ほぼ均一の静磁界が印加されていると考えられる。Fig. 2 と Fig. 3(a) の結果を比較すると、 $x$  軸方



(a) Horizontal dc magnetic field (No. 1).



(b) Vertical dc magnetic field (No. 2). (c) Without dc magnetic field (No. 3).

Fig. 1 Configuration of the experimental equipment.

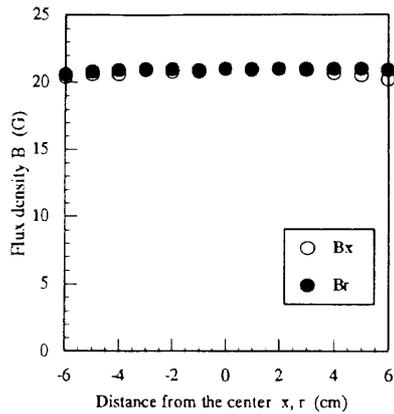
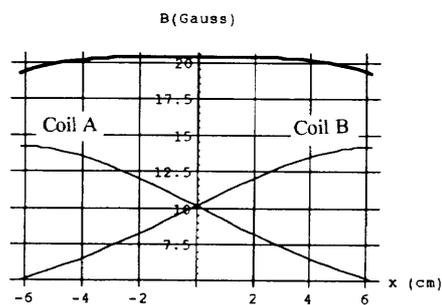
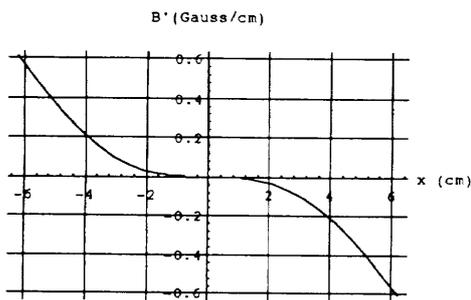


Fig. 2 Distribution of the flux density in a horizontal dc magnetic field.



(a) Flux density B (G).

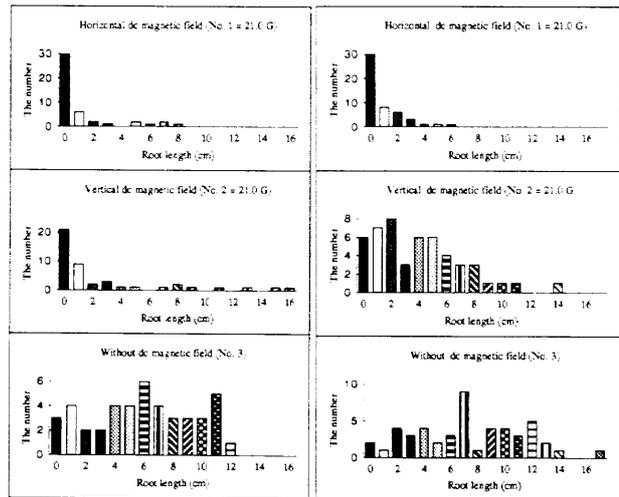


(b) Gradient of the flux density B' (G/cm).

Fig. 3 Distribution of  $B$  and  $B'$  in a simulated horizontal dc magnetic field.

向の磁束密度の実測値と計算値がほぼ一致している。Fig. 3の磁束密度  $B$  と磁束密度の傾き  $B'$  の分布において計算値が両コイル近傍で変化しているが、変化率はそれぞれ 5% と 3% 程度である。

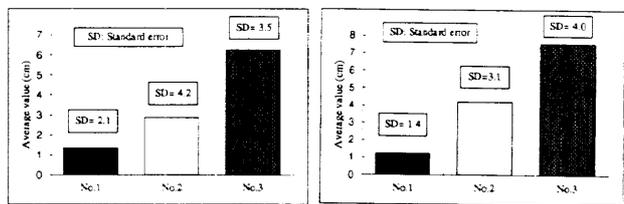
再現性確認のため磁界印加時間を変えて種子の発芽・成長の実験を 2 回行い、Fig. 4(a) に 1 回目を (97.6 時間)、(b) に 2 回目 (91.5 時間) の場合の根の長さのヒストグラムをそれぞれ示す。両結果より静磁界を印加した (No. 1, No. 2) 種子の根の成長の分布はやや成長が悪いものが多いが、磁界なし (No. 3) の場合は根の成長は良いものも悪いものもあり、全体的には 6~7 cm を中心に平均的に分布している。印加磁界方向の違いで比較すると、特に (b) の No. 1 と No. 2 において根の成長の分布に違いが見られる。また 2 回行った実験の根の長さの平均値を Fig. 5(a), (b) にそれぞれ示す。根の長さの平均値は、磁界印加時間の差によりそれぞれ異なっているが、その平均値は種子に水平磁界を印加した場合が最も小さく、次に垂直



(a) 97.6 hours

(b) 91.5 hours

Fig. 4 Growth of roots in various conditions.



(a) 97.6 hours

(b) 91.5 hours

Fig. 5 Average value of the root length.

磁界そして印加磁界なしの順番で大きくなり、その傾向は両結果とも一致している。t 検定<sup>10)</sup>により結果を比較すると、1 回目、2 回目ともに No. 1 (水平磁界) および No. 2 (垂直磁界) における根の長さの平均値は、No. 3 (磁界なし) のそれよりも 1% レベルで有意に短かった。カイワレの種に静磁界を印加した場合、今回の静磁界 (21.0 Gauss) においては、根の成長を抑制することがわかった。また No. 1 における根の長さの平均値は、No. 2 のものよりそれぞれ 5% レベル (97.6 時間) と 1% レベル (91.5 時間) で有意に短かった。つまり、静磁界の印加方向の違いによっても有意差が見られ、特に水平方向から静磁界を印加した方が、より大きな抑制効果があることがわかった。

カイワレの根毛の光学顕微鏡写真を Fig. 6~8 にそれぞれ示す。なおこの根毛の写真は、Fig. 4 の実験とは別に発芽・成長 (磁界印加 69 時間) させたものを用いた。Fig. 6 は No. 1 (水平磁界) と No. 3 (磁界印加なし) を、Fig. 7 は No. 2 (垂直磁界) と No. 3 の場合の代表的な根毛を比較したもので、Fig. 8 は No. 1 と No. 2 の根毛である。Fig. 6, Fig. 7 より、静磁界を印加した根毛 (⇒部分) は、磁界印加なしの根毛 (→部分) と比較して非常に細い根毛のものも多く見られた。Fig. 8 の No. 1, No. 2 の印加磁界の違いによる根毛を比較するとどちらも細い根毛 (⇒部分) が見られるが、No. 2 の垂直磁界印加の根毛では細い根毛に加え、ややしっかりした根毛 (→部分) が部分的に見られた。印加磁界中のシャーレ内の物質に対して作用する力としては、磁束密度  $B$  と電子やイオンの流れによる力  $f_e$  と磁束密度の傾き  $B'$  と磁性物質による力  $f_m$

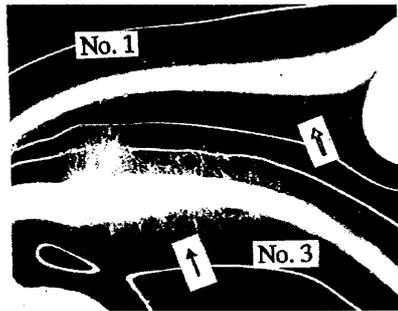


Fig. 6 Comparison of root hairs: No. 1 with horizontal dc magnetic field; No. 3 without dc magnetic field.

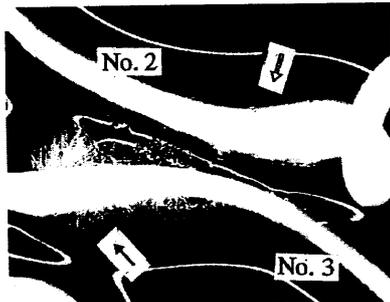


Fig. 7 Comparison of root hairs: No. 2 with vertical dc magnetic field; No. 3 without dc magnetic field.

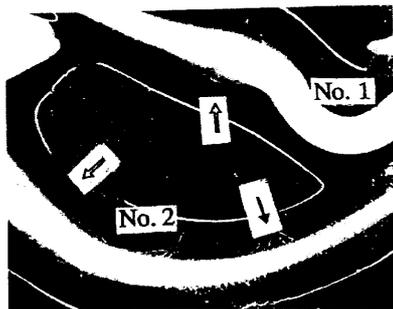


Fig. 8 Comparison of root hairs: No. 1 with horizontal dc magnetic field; No. 2 with vertical dc magnetic field.

などが考えられる。そこで、 $f_e$ ,  $f_g$  の力をそれぞれ定量的に Fig. 3 より求めると、電子に作用する力  $f_e$  は

$$f_e = q(v \times B) \quad (1)$$

となる。ここで、 $q$  は電子の電荷  $1.602 \times 10^{-20}$  (cgs 電磁単位系)、 $v$  は植物の篩管中の物質の移動速度<sup>11)</sup>  $0.024$  cm/s、 $B$  は磁束密度 20 Gauss で、それぞれ (1) 式に代入すると  $f_e$  は  $7.690 \times 10^{-21}$  dyn となる。一方、磁性物質として反磁性である水を考え、単位体積当たりの水に作用する力  $f_g$  は、

$$f_g = \frac{m}{\mu_0} \cdot B' = \frac{\chi \cdot B}{(\mu_0)^2} \cdot B' \quad (2)$$

となり、ここで  $m$  は磁気モーメント、 $\mu_0$  は真空の透磁率  $3.184\pi \times 10^{-1}$  (cgs 電磁単位系)、 $B'$  は磁束密度の傾き  $0.28$  G/cm、 $\chi$  は水の体積磁化率<sup>12)</sup>  $-7.187 \times 10^{-7}$  (cgs 電磁単位系)、 $B$  は磁束密度 20 Gauss で、 $f_g$  は  $-4.025 \times 10^{-6}$  dyn となる。シャーレ内の物質に作用する力の大きさは両者ともかなり小さな値であるが、実際にはこれらの力が複雑にシャーレ内の物質に関係していると考えられるため、さらに静磁界と根の成長および根毛との関係について詳細な検討をする予定である。

#### 4. まとめ

カイワレの種子に水平・垂直方向から静磁界を印加した場合と静磁界を印加しなかった場合の根の成長に明らかな有意差があり、今回用いた静磁界では、根の成長を抑制することがわかった。また静磁界の印加方向(水平・垂直)の違いによっても、根の成長に有意差があり、水平磁界印加の方がより大きな抑制効果が見られた。静磁界を印加した場合と静磁界を印加しなかった場合の根毛に違いが見られ、また印加方向の違いによっても根毛に差が見られた。

謝辞 本研究を進めるに当たり多くの御助言を頂いた千葉大学名誉教授の榊陽先生、千葉大学工学部教授の斉藤制海先生、助教授の早乙女英夫先生各氏に深く感謝致します。

#### 文 献

- 1) L. J. Audus: *Nature*, **185**, 132 (1960).
- 2) W. Haberdutzl: *Nature*, **213**, 72 (1967).
- 3) G. Akoyunoglou: *Nature*, **202**, 452 (1964).
- 4) 林 義治, 村治雅文, 長谷川 修, 建部 渉, 藤井智生: 平成元年電気学会全国大会, p. 1830 (1989).
- 5) M. Iimoto, K. Watanabe, and K. Fujiwara: *Acta Horticulture*, **440**, 606 (1996).
- 6) R. Kato: *Plant Cell Physiol.*, **29**(7), 1215 (1990).
- 7) 片根 保, 榊 陽: 平成9年電気学会全国大会, p. 493 (1997).
- 8) 片根 保, 榊 陽: 電気学会マグネティックス研究会資料, **MAG-97-38**, 51 (1997).
- 9) 片根 保, 綿引健夫, 早乙女英夫: 第21回日本応用磁気学会学術講演, **3aF-2**, 273 (1997).
- 10) Microsoft Excell, Microsoft.
- 11) 増田芳雄: 植物生理学, p. 209 (培風館, 東京, 1996).
- 12) 理科年表 (1997年版).

1997年10月22日受理, 1998年2月2日採録