

趣旨説明；広がるプラズマ農業研究 Introduction; Expanding the Plasma-Agriculture Study

高木 浩一
Koichi Takaki

岩手大・理工
Faculty of Science and Engineering, Iwate University

1. 背景

狩猟・採集・魚労などを行いながら小集団で移住生活していた人類にとって、大集団・定住生活を可能にしたのが農耕となる。農耕と畜産をあわせた一連の生産活動が農業であり、これを支える学問が農学となる。人の安定した生活を支えるため、農業技術は大きく進歩してきた。日本の農家の1人あたりの生産は1960年の3.5から25トンと、40年間で約7倍増加した[1]。しかし課題も多い。例えば、日本の食料自給率は2011年のカロリーベースで39%と、カナダ223%、アメリカ130%、フランス121%、韓国50%と比べ低い[2]。また農業従事者の後継者不足も懸念事項で、1960年の1200万人から年々減少して、現在は200万人以下である[1]。収穫後のフードサプライチェーンにも課題が残る。日本は食料の輸入が多いことに加え、平均輸送距離も他国と比べて大きく、フードマイレージ換算で約7千t・km/人と、韓国やアメリカの約3倍、フランスの約9倍である[2]。鮮度劣化および腐敗が原因の食料破棄は、全体の6割を占める[3]。このため、農業の生産性の向上や、農業収穫物など生鮮食品の長期間の鮮度・品質維持、また輸送コストの削減は、日本の農業やフードサプライチェーンにとってたいへん重要となる。

電場や放電プラズマが植物の生育に及ぼす影響については、科学技術が発達する前から経験的に知られていて、系統的な研究も18世紀より行われている[4,5]。近年では、品種改良における電気泳動や細胞融合、電気穿孔法によるDNAの注入、農薬の静電散布などの技術に加え、植物の発芽および生長速度の制御、担子菌（きのこなど）での子実体形成促進、培地の殺菌、鮮度保持の研究が進んでいる[6]。本シンポジウムの目的は、世界で盛んになりつつある、高電圧やプラズマの農業応用研究について、数名の活発に進められている方々へ紹介いただき、本研究を俯瞰し、今後の方向性について意見交換を行う場とすることである。

2. 農水食分野への高電圧プラズマ利用の歴史

表1に、農業における高電圧やプラズマの利用と可能性について示す[7]。農業における利用は、播種や育苗、果実収穫の段階までの収穫前（Preharvest）と、収穫後に鮮度を維持した状態で輸送を行う、乾燥などの一次加工を行う収穫後の段階（Postharvest）にわけられる。ここでは本シンポジウムの立ち位置を理解するために、これまでの高電圧やプラズマの農業応用事例の歴史について振り返るとともに[8]、いくつかの実用化事例について解説する。

高電圧・プラズマ技術の農業利用の研究は、もともと電磁界、空気イオンが生物に及ぼす影響の研究に端を発している。これらは国内では1992年に重光・中村によってとりまとめられている[9]。この中では、自然電磁環境と生物との関係や、人工電磁界やイオンの発生装置、電界・磁界・空気イオンの動植物への影響について解説している。その後、岩元らは電磁場を含む非熱効果の生物への影響についてまとめている[10]。その中では、農学への工学技術利用の観点から、電界による種子発芽、植物生育促進、細胞操作や高電圧パルス殺菌、静電散布、空気イオンによる植物生育について詳細に述べられている。ここで紹介されている研究は、現在活発に行われているプラズマの農業・食料産業への応用研究の基礎をなすものが多く含まれている。プラズマ核融合学会では、学会誌75巻6号に「放電・プラズマ・電磁界を応用し

表1 農業における高電圧・プラズマ応用

- ・ 播種・育苗技術：電場による発芽促進・苗の生育促進
- ・ 防除技術：静電散布、除草
- ・ 受粉技術：静電受粉
- ・ 菌類の増産技術：キノコ類への電気刺激による増産
- ・ 殺菌技術：水耕養液のプラズマによる殺菌
- ・ 選別・分級技術：静電選別、静電分級
- ・ 乾燥技術：イオン風による乾燥促進
- ・ 集塵技術：農業施設内の除塵
- ・ 冷凍・冷蔵技術：電場による品質劣化防止

Preharvest

Postharvest

た生物学・農学的研究」として小特集が生まれ、放電・プラズマを応用した殺菌、電界・空気イオン・放電の植物影響、放電による雑草防除、高電界の動物影響、農薬散布システム、霧対策・悪臭対策について解説されている[11]。

直流電界に作物を暴露し、収量の増加を試みる研究は既に18世紀中頃から20世紀初頭に行われている[5]。国内では渋澤と柴田が1927年に論文を発表している。彼らは8種類の作物を用い、交流(50 Hz)、高周波(130 kHz)、直流高電圧を植物体上部の網電極に印加し、ソバ、タバコで生長促進効果を確認している[12]。その後、1980年代に入って菅沼と中山が直流送電線下の植物の成長の研究を行っている[13]。この分野は、植物の電気生理学的興味から行われるか[14]、電力会社の送電線の影響調査の色合いが濃い。農業と名打った論文は1984年の白の論文[15]まで待たなければならない。農業用の薬剤散布実験は、1944年にWilsonがダストの研究を行ったのが最初で、その後、Hampe, Bowenらにより高電圧で帯電させることで付着効率は増加することが報告されている[16-18]。高電圧による雑草防除は、1970年代にソビエトで行われたものが最初で[19]、日本では名倉らがポータブル型と自走式の装置で実験を行い、2 Jの放電エネルギーで50 cmの大型雑草、0.3 Jで50 mmの小型雑草の除去に成功している[20]。

これまで高電圧・プラズマ技術は電気泳動、電気穿孔等に活発に利用され農業に貢献しているが、直接的な農業の場においては実用化されている場面は少ない。成功例のひとつは静電農薬散布であり、有光工業(株)と(株)やまびこ(旧共立)から誘導帯電式の静電ノズルが販売されている。また、静電選別も実用化されている技術のひとつである。農業関係では茶の木茎分離に利用されており、高水分の木茎と低水分の茶葉の導電率の差を利用して選別する[21]。茶葉の選別には静電誘導による方法と摩擦帯電による方法が一般的に用いられている[22]。キノコ増産装置も実用化されているプラズマ技術である[23]。電界に起因するクーロン力や誘電分極等による力で菌糸が動かされ、一部は断裂などの損傷を受ける。損傷による刺激は膜状菌糸やキノコ原基の形成などを引き起こし、子実体の形成促進が起こる[24]。

前述の技術以外では、プラズマ技術は農業の場においては製品化まで至っていない。製品化できない理由に1つに農業の場の特殊性がある。農業は工業と違い生産環境が一定でなく、

気象、水環境、土壌環境が大きく異なる。このため高電圧・プラズマを農業の場で実用化する場合、環境制御が行われている施設栽培、植物工場への導入が有効と思われる[8]。また、比較的環境変動の少ない屋内で行われ、装置も定置式になるポストハーベスト技術への応用も期待できる。ただし農作業を行う農家は工場の労働者と異なり、十分な安全教育や訓練を積んでいない。このため、高電圧やプラズマを利用した農業関連装置の実用化に当たっては装置の安全性には十分に注意する必要がある[8]。

References:

- [1] 浅川芳裕：日本は世界5位の農業大国（講談社, 2010)
- [2] 船津保浩, 竹田保之, 加藤淳 編著：食べ物と健康III; 食品加工と栄養(三共出版, 2014)
- [3] 津志田藤二郎 編著：食品と劣化（光琳, 2013)
- [4] L.E. Murr, *Nature*, **207** (1969) 1177.
- [5] 重光司, プラズマ・核融合学会誌, **75** (1999) 659.
- [6] 高木浩一, 電学論 A, **30** (2010) 963.
- [7] 内野敏剛, 平成26年電気学会全国大会講演論文集 (2014) 1-S7-1.
- [8] 内野敏剛, プラズマ・核融合学会誌, **90** (2014) 605.
- [9] 重光司 他, 電力中央研究所研究報告 (1992) U91906.
- [10] 岩元睦夫 他, 生物・環境産業のための非熱プロセス事典（サイエンスフォーラム, 1997)
- [11] 水野彰, プラズマ・核融合学会誌, **75** (1999) 649.
- [12] 渋澤元治 他, 電学雑誌, **47** (1927) 1259.
- [13] 菅沼浩敏 他, 電力中央研究所研究報告 (1982) 481019.
- [14] 柴田桂太, 電学雑誌, **52** (1932) 618.
- [15] 白希堯 他, 静電学誌, **8** (1984) 339.
- [16] 内野敏剛, プラズマ・核融合学会誌, **75** (1999) 678.
- [17] 梅津勇, 静電学誌, **22** (1998) 6.
- [18] 浅野和俊, 静電学誌, **8** (1984) 182.
- [19] 水野彰, プラズマ・核融合学会誌, **75** (1999) 666.
- [20] 名倉章裕 他, 静電学誌, **16** (1992) 59.
- [21] 本杉朝太郎 他, 茶業技術研報, **12** (1955) 59.
- [22] 吉富均 他, 農機誌, **43** (1981) 487.
- [23] 齋藤達也 他, 電学論 A, **134** (2014) 430.
- [24] K. Takaki *et al*, *Microorganisms*, **2** (2014) 58.