

日本農業工学会賞2024 受賞講演会

講演要旨集

主催：日本農業工学会

JAICABE: The Japan Association of International
Commission of Agricultural and Biosystems Engineering

日時：2024年5月12日（日） 14:00－16:10
場所：東京大学弥生キャンパス 弥生講堂アネックス セイホクギャラリー
およびリモート参加（ハイブリット開催）

目 次

正会員	1
日本農業工学会賞2024受賞者	2
【講演】	
西村 拓（東京大学・教授） 気候変動を考慮した水食予測に関する研究	6
西津 貴久（岐阜大学・教授） ヘルムホルツ共鳴を利用した食品物性評価法の開発	10
黒瀬 義孝（農研機構 西日本農業研究センター） 局地気象の実態解明に関する農業気象学的研究	14
深見 公一郎（農研機構 九州沖縄農業研究センター・上級研究員） 九州・沖縄地域における土地利用型作物の機械化研究	18
福田 弘和（大阪公立大学・教授） 生物環境工学における概日時計の研究	22
増田 篤稔（玉川大学・教授） 微細藻類大量培養の研究とシステム開発および実証	26
日本農業工学会賞受賞者（2014 年度～2023 年度）	30
2024 年度日本農業工学会フェロー受賞者	33
日本農業工学会フェロー（1999 年度～2024 年度）	34
会則	38

日本農業工学会正会員

正会員 10 学協会 総会員数:15,123 名(農業電化協会 127 団体);14,980 名・団体
(令和 5 年 5 月 13 日現在:9 学会、1 協会) (会員数は令和 3 年度日本農学会登録数)

農業農村工学会(昭和 59 年～現在) (会長:平松 和昭、会員数:10,413 名)
(平成 19 年 6 月 29 日に農業土木学会より名称変更)
Japanese Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering (JSIDRE) (略記:農工)

農業食料工学会(昭和 59 年～現在) (会長:飯田 訓久、会員数:1,017 名)
(平成 25 年 10 月農業機械学会より名称変更)
Japanese Society of Agricultural Machinery and Food Engineers (JSAM) (略記:機械)

日本農業気象学会(昭和 59 年～現在) (会長:富士原 和宏、会員数:549 名)
Society of Agricultural Meteorology of Japan(SAMJ) (略記:気象)

日本農作業学会(昭和 59 年～現在) (会長:大谷 隆二、会員数:356 名)
Japanese Society of Farm Work Research(JSFWR) (略記:作業)

農業施設学会(昭和 59 年～現在) (会長:小川 幸春、会員数:323 名)
Society of Agricultural Structures, Japan (SASJ) (略記:施設)

農業電化協会(昭和 59 年～現在) (会長:田澤信二、会員数:100 団体)
Japanese Association of Agricultural Electrification (JAAE) (略記:電化)

農村計画学会(平成 2 年～現在) (会長:一ノ瀬 友博、会員数:869 名)
The Association of Rural Planning (ARP) (略記:計画)

生態工学会(平成 6 年～現在) (会長:船田 良、会員数 371 名)
(平成 13 年 9 月に CELSS 学会より名称変更)
The Society of Eco-Engineering (SEE) (略記:生態)

農業情報学会(平成 9 年～現在) (会長:星 岳彦、会員数:343 名)
(平成 14 年 8 月農業情報利用研究会より名称変更)
Japanese Society of Agricultural Informatics (JSAI) (略記:情報)

日本生物環境工学会(平成 19 年～現在) (会長:後藤 英司、会員数:782 名)
(平成 19 年 1 月 1 日より日本生物環境調節学会と日本植物工場学会の合併)
Japanese Society of Agricultural, Biological and Environmental Engineers and Scientists
(JSABEES) (略記:生工)

日本農業工学会賞 2024 受賞者

西村 拓(にしむら たく)

学歴・職歴

- 1987 年 東京大学農学部農業工学科卒
- 1989 年 東京大学大学院農学系研究科修士課程修了
- 1991 年 東京大学農学部助手
- 1997 年 東京農工大学農学部講師
- 1999 年 東京農工大学大学院農学研究科助教授
- 2006 年 東京大学大学院農学生命科学研究科准教授
- 2013 年 東京大学大学院農学生命科学研究科教授

受賞歴

- 1997 年 農業土木学会学会賞(研究奨励賞)
- 2023 年 農業工学会フェロー

西津 貴久(にしづ たかひさ)

学歴・職歴

- 1989 年 3 月 京都大学農学部卒業
- 1990 年 4 月 京都大学農学部助手
- 2008 年 4 月 岐阜大学応用生物科学部准教授
- 2013 年 3 月 岐阜大学応用生物科学部教授

受賞歴

- 2019 年 8 月 日本食品工学会研究賞
- 2019 年 9 月 農業食料工学会学術賞
- 2023 年 5 月 日本農業工学会フェロー

黒瀬 義孝(くろせ よしたか)

学歴・職歴

- 1985 年 高知大学農学部卒業
- 2003 年 九州大学 博士(農学)取得
- 1985 年 四国農業試験場 研究員
- 1996 年 九州農業試験場 主任研究員
- 2004 年 農研機構近畿中国四国農業研究センター 研究室長
- 2016 年 農研機構西日本農業研究センター グループ長
- 2023 年 定年退職 農研機構西日本農業研究センター 再雇用職員

受賞歴

- 2008 年 日本農業気象学会 学術賞
- 2018 年 日本農業気象学会 フェロー
- 2021 年 日本農業工学会 フェロー

深見 公一郎(ふかみ こういちろう)

学歴・職歴

- 2003 年 鹿児島大学大学院連合農学研究科生物環境保全科学専攻博士課程修了
- 2003 年 農研機構 九州沖縄農業研究センター 作業システム研究室 配属
- 2006 年 農研機構 中央農業総合研究センター 水田輪作研究東海サブチーム
- 2009 年 農研機構 九州沖縄農業研究センター 水田輪作研究チーム
- 2018 年 農研機構 九州沖縄農業研究センター 生産環境研究領域
- 2021 年 農研機構 九州沖縄農業研究センター 暖地水田輪作研究領域

受賞歴

- 2004 年 アジア太平洋地域地盤-車両系国際学会 Best Session Paper Award
- 2014 年 農業食料工学会技術論文賞
- 2018 年 土壌物理学会論文賞
- 2020 年 日本農作業学会学術賞

福田 弘和(ふくだ かずひろ)

学歴・職歴

- 2004 年 九州大学大学院工学府エネルギー量子工学専攻修了
- 2005 年 大阪府立大学生命環境科学研究科・助教
- 2009 年 JST さきがけ研究員兼任(2013 年まで)
- 2011 年 大阪府立大学工学研究科機械工学分野・助教、准教授
- 2015 年 JST さきがけ研究員兼任(2019 年まで)
- 2018 年 大阪府立大学工学研究科機械系専攻・教授
- 2022 年 大阪公立大学工学研究科機械系専攻・教授,
植物工場研究センター・副センター長(現在に至る)

受賞歴

- 2019 年 日本生物環境工学会 植物工場普及特別功績賞
- 2020 年 日本生物環境工学会 パラダイム・シフト賞

増田 篤稔(ますだ あつのり)

学歴・職歴

- 1985 年 東海大学海洋学部水産資源開発過程 卒業
- 1987 年 東海大学海洋学研究科博士課程前期 中退
- 2006 年 三重大学大学院生物資源学研究科 学術博士
- 1986 年 北海道公害防止研究所 勤務
- 1987 年 ヤンマー造船株式会社 勤務
- 2011 年 ヤンマー株式会社 主席研究員
- 2011 年 東京大学 非常勤講師, 高知大学 客員教授
- 2015 年 兵庫県立大学 客員教授
- 2016 年 ヤンマー株式会社 退職
- 2016 年 玉川大学 農学部 生命化学科 教授
- 2017 年 玉川大学 農学部 先端食農学科教授, 同大学大学院 農学研究科教授

受賞歴

- 2003 年生態工学会技術賞
- 2007 年生態工学会論文賞

2011 年生態工学会学術賞
2021 年日本農業工学会フェロー

気候変動を考慮した水食予測に関する研究

西村 拓

東京大学大学院農学生命科学研究科

要旨

世界中でUSLEという米国農務省で開発された年間水食量予測の統計モデルが使われている。温暖化の進行に伴い、一降雨イベントの雨量の増加(降雨強度の増大)やそれに伴う土壌流出量の増大が懸念されているが、降雨強度増加の程度は定かではなく、水食への影響も不明である。そこで、降雨イベント毎の水食を予測できるプロセス型水食モデルWEPPに加えて、近年利用可能になった時別の GCM データ(d4PDF)から降雨の特性を抽出し、将来の降雨特性の変化を考慮した水食量の予測を行った。その結果、将来において、特に夏季に短時間降雨強度が増大する可能性が明らかになった。この特性を用いて水食量の試算を行うと、過去データから得られる短時間降雨特性を使用した予測に比べて、地表面流出水量ならびに流亡土量が多くなる結果となった。日別の気象データを用いた数値シミュレーションで流域スケールの水文現象の多くが再現できるが、圃場スケールになると、時間スケールをより高精度にする必要があることが示唆される。

キーワード

気候変動, ゲリラ豪雨, 降雨特性, GCM, WEPP

緒言

世界各地の土壌劣化の原因を整理すると、どの地域においても水食による土壌劣化面積が一番大きくなっている(たとえば <http://www.fao.org/3/u8480e/U8480E0d.htm>)。また、Lal (1998)のレビューでは、水食の影響で穀物、豆、イモ類といった主食作物の生産の 10%程度が失われている。日本では、水田主体の時代が長く続いたこともあり、水食問題が顕在化する地域が限定されているが、畑地、草地の面積が増すと、今後、水食のリスクが増すと予想される。

気候変動に伴う降雨特性の変化

気象庁は、1970 年代から 2020 年までの全国 1300 地点の降雨データから、降雨強度 50 mm/h の降雨イベントの年間発生回数が増加傾向にあると報告している(気象庁 HP)。1976 年から 1985 年と 2021 年から 2022 年までの各 10 年間について 50 mm/h 以上の降雨イベント数を比較すると、年間約 226 回が同約 328 回へと増加した。今後も増加傾向にあると考えることもできる一方で、今後、どの程度、高降雨強度の雨の頻度が増えるかは予想が困難である。

気候変動の影響に関して、日本を含めて世界各国で GCM(大気循環モデル)を開発し、将来の気候を予測している。以前は、月別の気象データが多かったが、近年、様々な手法で時間的、空間的ダウンスケールを行い、日別の気象データを生成することができるようになってきた。たとえば、GCM の結果を境界条件、初期条件とし、対象とする地域で物理モデル(領域気候モデル)を走らせ、気象要素を生成する方法がある。一方、GCM の結果と現在の気象要素のズレに着目した統計的ダウンスケーリングや月

降水量、降雨頻度等降雨特性をパラメータとして確率的に気象要素を生成する気象ジェネレーター(Stochastic Weather Generator)がある。いずれにしても、計算結果として何月何日に降水量が何 mm という結果が出ても、天気予報とは異なり、あくまで偶々の計算結果に過ぎないので、物理モデルでは、境界条件などを少し変えた計算を、気象ジェネレーターでは気象生成を繰り返すことで、データセット(アンサンブル)を数多く用意し、平均的な振舞いとして将来の気候変動の影響を評価する。

気象ジェネレーターの一つに、Marksim (Jones & Thornton, 2013)がある。Marksim は、営農支援の作物モデル DSSAT (Jones et al. 2003)への利用を念頭に作られたものであるが、GCM の計算結果と連携して日別値で将来の気象データを生成できる。また、Trotchaud ら (2016)は、Marksim と気象ジェネレーター—CLIGEN を連携させることで、1 日 1 降雨に限定されるが、時間降水量を与える手法を構築した。物理モデルでは、近年 Murata ら(2013)が領域気候モデル(NHRCM)を使ってd4PDFという時別の気象データセットを利用可能にした。Marksim+CLIGEN やd4PDF を利用することで、定性的に増えているという印象の短時間高強度の降雨イベントが将来増えるのかどうか、さらにはどの程度まで高降雨強度化するのかを定量的に検討できる可能性がある。

Fig.1 に Marksim と d4PDF で得た、過去ならびに将来の年降水量を示す。予測の元となる GCM 出力値としては、MIROC5 (東大、国立環境研究所、JAMSTEC)、MRI-CGCM3(気象研究所)、GFDL-CM3 (NOAA-GFDL, USA) の 3 つを用い、温暖化シナリオは RCP8.5 である。アンサン

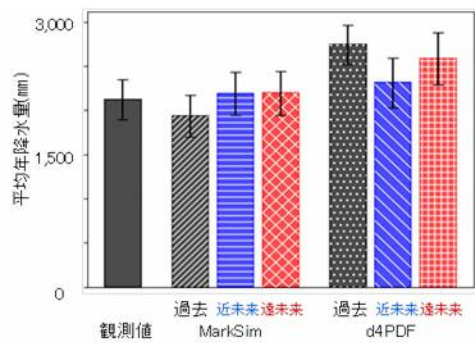


Fig. 1 将来の平均年間降雨量予測値

ブル数は Marksim で 50, d4PDF で過去 50, 将来 45 である。また、以下本稿中の図の凡例で示す過去・近未来・遠未来は、Marksim では、2010・2060・2080 年、d4PDF では、2000-2010・2051-2070・2071-2090 年とする。

対象地は後述の WEPP を用いた水食計算の対象地である沖縄県石垣島で、過去値(観測値, 計算値), 約 40 年後(近未来)と約 60 年後(遠未来)の値を示す。若干の大小はあるが、年降水量について、観測値と過去計算値は比較的良好な適合を示すと同時に、Marksim と d4PDF の結果は近未来、遠未来の間でも明確な差はない。また、過去も将来も年降水量については、大きな変化は無いと考えられる。

Fig.2 に月平均の日降水量ならびに同 30 分降水量を示す。30 分降水量は、特別の降雨強度に短時間降雨強度式を適用して、30 分値に換算したもので、後述する WEPP の計算に使用する。日降水量については、Marksim, d4PDF, 30 分降水量については Marksim の模擬降雨生成に、過去の短時間降雨特性を用いるため、d4PDF のみの結果となる。日降水量について、春(3 月), 冬(12 月)は、観測値, 計算値(Marksim, d4PDF)は類似した結果を示すが、6 月についてみると、d4PDF が未来に向けて平均日降水量が増加するのに対して、Marksim はその変化が小さい。30 分降水量の場合は、d4PDF のみとなるが、6 月の 30 分降水量も年を経るにつれて大きくなる。近年、ゲリラ豪雨への懸念がしばしば言及されるが、Marksim はその傾向を反映しない可能性があると同時に物理モデル(GCM+領域気候モデル)で特別の降水量を予測すると、短時間降雨強度の変化を表現できる可能性がある。

短時間降雨特性の変化と水食予測

水食予測モデルとして日本を含めて世界中でデファクトスタンダードとして使用されているものに Universal Soil Loss Equation (USLE, Wischmeier and Smith, 1978)がある。これは、1930 年代から蓄積された気象ならびに降雨流出、土壌流亡のデータを用いた、年間侵食量を予測する経験(統計)モデルである。水文モデルと USLE を組み合わせて

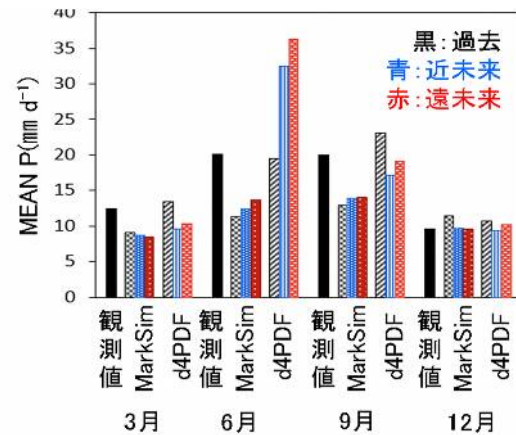


Fig. 2 月平均日降水量 (MEAN P) の将来予測

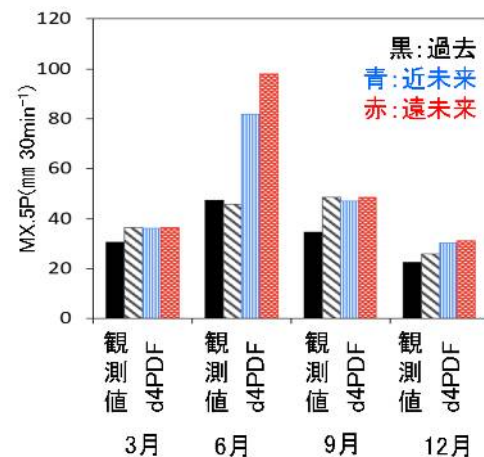


Fig. 3 月平均 30 分降雨強度 (MX. 5P) の将来予測

降雨毎の侵食を評価する研究例もあるが、USLE は、年間の侵食量を予測する統計モデルであるため、このような使用法は、基本的に不適切である。

USLE では、降雨による水食作用を特徴づける降雨係数を、降水量と降雨の力学的エネルギー(E)の関係を基に求めている。USLE では次式の経験式 (Wischmeier and Smith 1978)

$$E(\text{MJ ha}^{-1}\text{mm}^{-1}) = 0.119 + 0.0873 \times \log_{10} I (\text{mm h}^{-1})$$

を使う (Nearing et al., 2017)。日本では、三原義秋(1951)が同様のデータを報告したが、三原のデータは、同じ降雨強度時の降雨エネルギーが USLE で使用する上式の値よりもかなり小さくなる (Hudson, 1995)。他方、夕立等の豪雨時は、雨滴が大きくなるため、同じ降雨強度に対して降雨エネルギーが大きくなる傾向にある (Hudson 1995)。短時間降雨強度と水食量の相関が高い (長沢ら, 1993) ことを考慮すると、気候変動が進捗し、ゲリラ豪雨の頻度が増える中

で 1970 年代以前の降雨データに基づく USLE の降雨係数を用いて水食予測・評価を行うことには疑問が呈される。

一方、流域スケール等の大きな空間スケールで水文現象をモデル化する場合、日別の降雨データで河川流出等はおよそ再現できる。しかし、圃場における降雨毎の水食量を考える場合、降雨中の圃場スケールの地表面流出量を評価する必要がある。国内各県で降雨時間に応じた高強度の変化を考慮するための短時間降雨式が整備されているように、降雨継続時間が短くなると降雨強度が大きくなる傾向にある。また、圃場スケールの地表面流出水は、降雨強度が土壌の飽和透水係数を超えた場合に発生することが多く、これは、地表面流出量の予測値がシミュレーションに入力する降雨データの時間スケールの影響を受けることを意味している。したがって、ゲリラ豪雨のような一降雨イベントの水食を検討するためには、日別よりも小さな時間スケールの降雨データセットを用意する必要がある。

気候変動下的水食を予測するために

1990 年前後から USLE に代わる侵食の物理モデルやプロセスモデルの開発が行われてきた。物理モデルは、すべての過程を物理式で表現するもので、プロセスモデルは、物理式が確立できないと考えられる過程については経験式等を使う半物理モデルである。たとえば、KINEROS や EUROSEM (Smith et al. 1995), WEPP (Nearing et al. 1989) が知られている。これらのモデルは、必要なパラメータ数が多いことと使用者への教育が不可欠であることから普及が進んでいない。

WEPP には、CLIGEN という確率的気象ジェネレーターが附属しているため、上述の Marksim と d4PDF を用いて、WEPP を用いたシミュレーションで将来の水食に短時間降雨特性が与える影響を検討した。

気象データは、上述のものと同じである。Marksim、d4PDF の出力から、CLIGEN に必要な気象統計値を求めて入力した。CLIGEN の計算に必要な短時間降雨特性（月平均日降水量、同 30 分降水量）は、d4PDF データセットについては、時別データから算出し、Marksim については、過去の観測値から平均日降水量、同 30 分降水量を求めて入力した。時別降水量から 30 分降水量への換算は、沖縄県の短時間降雨強度式を参考に時間当たりの降雨量に 1.2 を乗じることで得た。水食の計算は、実験圃場における精緻な水食データがある石垣島(町田ら 2020)を対象に行い、土壌データ、地形データは町田ら(2020)のものを使用した。WEPP の侵食シミュレーションは 100 年間行い、結果を統計処理した。

Fig.1 に示したように年降水量は、Marksim、d4PDF ならびに観測値で大きな差はない。これに対して、実験圃場からの年地表面流出水量 (Fig.4) は、観測値と d4PDF では有意差がなかったが、Marksim は、過去から遠未来まで一貫して大きな値を示した。Marksim のデータセットは、過去か

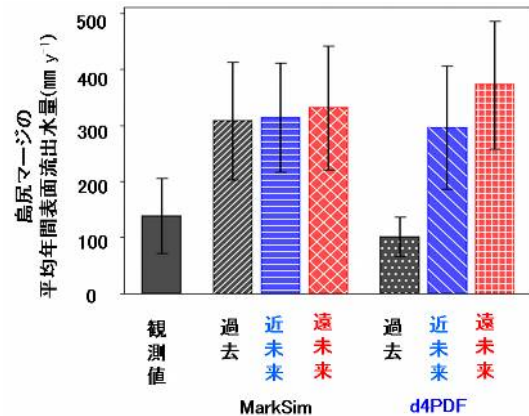


Fig. 4 実験圃場からの年間地表面流出水量（島尻マージ）

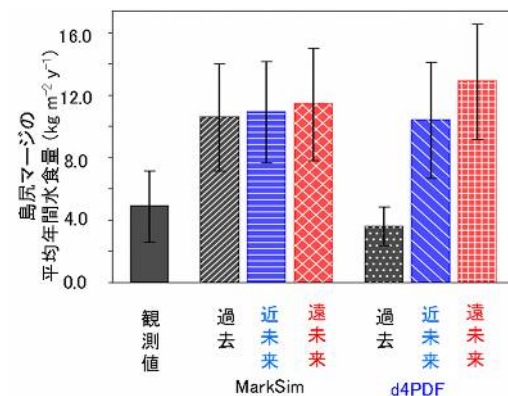


Fig. 5 実験圃場からの年間流亡土砂量（島尻マージ、1 kg m⁻²=10 t ha⁻¹）

ら遠未来に対して同じ短時間降雨特性を使っており、さらには年降水量も大きな変化を示さないことから、生成した降雨は、過去から2080年代まで同じような降雨特性であったと考えられる。一方、d4PDF では、近未来、遠未来と年

間の地表面流出量が大きくなった。これは、Fig.2で示したような30分降水量の増加、すなわちゲリラ豪雨の回数が増えた結果、土壌の浸透能力を超えるような降雨イベントが増えたためと考えられる。Fig.5 に示す圃場からの水食量は、地表面流出量が増えると水食量も増える傾向にあり、短時間降雨特性に過去の値を使うか、未来の予測値を使うかで予測水食量に大きな違いが生じた。

まとめと今後の展望

気候変動下のゲリラ豪雨の頻発を念頭に、時別降雨データを含む d4PDF データセットを用いて検討した結果、将来、短時間降雨強度が増す可能性があることが明らかになった。この結果を用いてプロセス型の WEPP による水食

シミュレーションを行ったところ、同じ年降水量であっても、短時間降雨強度が増大する d4PDF データセットを用いた計算で将来、水食が増える可能性が示唆された。一方、過去の短時間降雨強度を流用する Marksim のデータでは、未来水食量に変化が生じなかった。未来の真値はわからないが、これらの計算結果から、使用する気象データの質の違いに応じて、水食予測の結果が大きく変わる可能性が示唆される。

今後、従来見過ごされてきた、フィールドのモデルにおける空間スケールと時間スケールの相関についてもさらに検討を進めたいと思う。

謝辞

今回の受賞に際し、推薦賜りました農業農村工学会にお礼申し上げます。大学院生から助手、准教授までの間、故中野政詩先生、宮崎毅先生、加藤誠先生他の皆様のご指導、ご支援の下で研究を継続できました。現職に異動後、文部科学省の気候変動適応研究推進プログラム(RECCA)のメンバーにお誘い頂いた二宮正士先生、溝口 勝先生には、RECCAにおいて、他分野の方と様々な時間・空間スケールについて議論する機会をいただきました。この議論は、それまでの小さな空間スケールの研究をより大きなフィールドに繋げるきっかけとなりました。

本稿ではシミュレーションと入力データの話が主になりましたが、一連の研究の基礎となる実験・調査において、環境地水学研究室の元技術職員井本博美氏ならびに卒論、修論、博論で関わった学生、院生諸氏の尽力がなければ、このような成果は得られなかったと思います。この場を借りてすべての皆様にお礼申し上げたいと思います。また、本講演で用いた d4PDF はデータ統合・解析システム(DIAS)から入手しました。

引用文献

- Jones P.G. and P.K. Thornton (2013) Generating downscaled weather data from a suite of climate models for agricultural modelling applications, *Agricultural Systems*, 114:1-5
- Jones, J.W., G. Hoogenboom, C.H. Porter, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, P.W. Wilkens, U. Singh, A.J. Gijsman, and J.T. Ritchie. (2003) The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy* 18:235-265
- 気象庁 HP https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html
- Hudson N. (1995) Chapter 3 In *Soil Conservation* 3rd edition, Iowa State University Press, Ames, US
- Lal, R. (1989) Soil Erosion Impact on Agronomic Productivity and Environment Quality, *Critical Reviews in Plant Sciences* 7(4): 319-464
- 町田 元, 大澤 和敏, 松井 宏之 (2020) 沖縄県のサトウ

キビ栽培圃場における WEPP を用いた土壌侵食の解析. 土木学会論文集 G(環境) 76(5)I_327-I_334.

三原,義秋 (1951) 雨滴と土壌侵蝕 農業技術研究所報告. A, 物理・統計, 1 号 pp. 1-5 9

Mizuta R., A. Murata, M. Ishii, H. Shioyama, K. Hibino, N. Mori, O. Arakawa, Y. Imada, K. Yoshida, T. Aoyagi, H. Kawase, M. Mori, Y. Okada, T. Shimura, T. Nagatomo, M. Ikeda, H. Endo, M. Nosaka, M. Arai, C. Takahashi, K. Tanaka, T. Takemi, Y. Tachikawa, K. Temur, Y. Kamae, M. Watanabe, H. Sasaki, A. Kitoh, I. Takayabu, E. Nakakita and M. Kimoto (2017). Over 5,000 Years of Ensemble Future Climate Simulations by 60-km Global and 20-km Regional Atmospheric Models, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(7), 1383-1398.

長沢 徹明, 梅田 安治, 李 里漫 (1993) USLE における降雨係数の評価について. 農業土木学会論文集第 165 号, pp121-127.

Nearing M.A., Foster G.R., Lane L.J. and Fin S.C. (1989) A Process-Based Soil Erosion Model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 32, No. 5, pp. 1587-1593.

Nearing M.A., S.Q. Yin, P. Borrellic, V. O. Polyakov (2017) Rainfall erosivity: An historical review, *Catena*, 157:357-362

Smith R. E., D. C. Goodrich, and J. N. Quinton (1995) Dynamic, distributed simulation of watershed erosion: The KINEROS2 and EUROSEM models *Journal of Soil and Water Conservation* 50 (5) 517-520

Trotochaud J., D.C. Flanagan, and B.A. Engel (2016) A Simple technique for obtaining future climate data inputs for natural resource models. *Applied Engineering in Agriculture*, 32(3): 371-381

Wischmeier W.H. and D.D. Smith (1965) Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation, *Agricultural Handbook No.282 USDA-ARS*

Wischmeier W.H. and D.D. Smith (1978) Predicting rainfall erosion losses, *USDA Agricultural Handbook* 537.

ヘルムホルツ共鳴を利用した食品物性評価法の開発

西津 貴久

岐阜大学 応用生物科学部

要旨

瓶の口を吹くとある特定の周波数の音が鳴る。この現象をヘルムホルツ共鳴と呼び、共鳴周波数は瓶の中に入っている物体の体積値に依存する。この関係を利用することで物体の体積を推定することができる。瓶の口を複数にしたような開放型ヘルムホルツ共鳴器を用いることで、ベルトコンベアで移動する青果物の体積を非接触で測定できることを示した。またホイップクリームなど多孔質な食品では音が吸収され、共鳴周波数が低周波側へシフトするため、ヘルムホルツ共鳴を利用して正確な体積を推定することは難しい。しかし共鳴周波数のシフト量は泡や孔隙の大きさや量に影響を受けるために、泡や孔隙の特徴を評価する方法として有効である。

キーワード

ヘルムホルツ共鳴現象, 非接触実時間測定, 農産物・食品の体積・密度, 膨化食品のきめ

緒言

筆者の研究室では、これまでヘルムホルツ共鳴現象を利用した体積、密度の非接触測定法と食品の多孔質特性の新しい測定法の提案を行ってきた。

可聴域の音を利用した方法は暗騒音の影響を受けやすく、あまり精密な測定には向かないような印象を持たれるきらいがあるが、本稿で紹介する体積測定では、真値と推定値の決定係数はほぼ 1 に近い値であり、極めて実用的な方法である。

音は媒質中に生ずる圧力の粗密波である。この膨張・圧縮を対象に与えた時の応答を周波数領域から眺めることで、従来のテクスチャー測定法を適用しづらかった泡のような軟弱食品を対象とした新たな物性評価法となり得る可能性がある。

本講演では体積や密度の精密測定と、多孔質食品のきめ評価について紹介する。

ヘルムホルツ共鳴による体積測定法の原理

ワインやビールの瓶の口を吹くとボーという音が鳴る。これはヘルムホルツ共鳴と呼ばれる音響共鳴現象である。前述の瓶や PET ボトルのように細長いネックと空洞部を持つ壺形の容器をヘルムホルツ共鳴器という。ネックの口を吹くとネック内部の「空気の塊」が空洞部の「空気ばね」を圧縮したり引き延ばしたりすることで、この「ばね－質量系」がある固有振動数で振動し始める。その振動エネルギーの一部がネック開口部から再放射されたものが共鳴音となって大きく聴こえる。

この固有振動数、つまり共鳴周波数は次式で表される。

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{W-V} \cdot \frac{S}{l+l_c}} \quad (1)$$

ここで、 c は空気中の音速、 W は共鳴器空洞部体積(瓶の本体部の内容積)、 V は瓶内部に置かれた物体の体積、 S はネック部の断面積、 l はネックの長さ、 l_c は音響学的開口端補正量を示す。

空気中の音速は約 340 m/s で一定、同じ共鳴器であれば W , S , l , l_c も一定であるため、共鳴周波数 f は共鳴器内の物体体積 V のみの関数とすることができる。共鳴器に何も入っていない状態での共鳴周波数 f_0 とすると次式が成り立つ。

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{W} \cdot \frac{S}{l+l_c}} \quad (2)$$

式(1)と式(2)の辺々を割って整理すると次式が得られる。

$$V = W \cdot \left(1 - \frac{f_0^2}{f^2}\right) \quad (3)$$

物体を共鳴器に入れる直前、あるいは直後の f_0 を計測することで、気温による音速の変化(約 0.6 m/s/°C)の影響を排して体積 W を求めることができる。

共鳴周波数は、音波を共鳴器に入力したときの応答波形を周波数解析することで決定する。簡単には、共鳴器ネックの開口部をはさんでスピーカーとマイクロフォンを対向配置し、スピーカーから共鳴周波数前後の周波数成分を持つスウィープ音波を流し、マイクロフォンで検出した音のパワースペクトルを求めて、ピーク周波数を共鳴周波数として決定することができる。

青果物の体積・密度測定

青果物の選果場での選別への利用を考えた場合、大量に、かつ高速に測定することが求められる。そこで試料を導入する入り口と取り出すための出口を装備した開放型ヘルムホルツ共鳴器(図 1)を考案した。この出入口のパーツ自身がネックの機能を持ち、三つのネックを持つ共鳴器となっている。この出入口にベルトを通し、ベルトコンベアによって対象とする青果物が共鳴器内部に流れてきた時に、共鳴周波数を測定し、式(3)によって体積を推定する。

開放型共鳴器はその構造が単純なことから、図 2 に示すように選果場や工場の既設ラインにあわせて簡単に設計し、取り付けることができる。また測定信号のやり取りは市販の MS Windows PC と、そこに必ず装備されているサウンドカードの再生・録音機能を利用し、信号の入出力と検出信号の周波数解析を行う Windows アプリケーションを開発した。そのためシステム全体の開発コストを抑えることが可能となり、これが現場導入のハードルを下げることに繋がった。図 2 では信号検出に用いているマイクロフォンが、選果場内の様々なノイズを拾って、共鳴周波数の精密な同定に悪影響を与えることがある。そのため、改良版ではマイクロフォンを撤去し、スピーカーのコイルインピーダンス変化から共鳴周波数を推定する方式を取っている。この方式は騒音に対する耐性が非常に高く、現場向きの測定方法である(西津ら, 2005)。

青果物は水分以外の成分が多くなると一般的に密度が大きくなる。青果物の密度はさまざまな品質特性につながる重要なパラメーターである。前述の計測システムによって、青果物の体積とともに質量を測定すれば、密度を知ることができる。

例えば、キウイフルーツは転流してきた糖をデンプンとして蓄積する。Brix 糖度が 6~7 程度になるのを目安に収穫

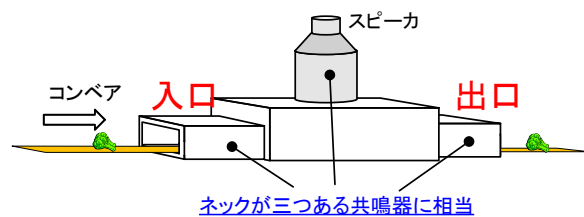


図 1 開放型ヘルムホルツ共鳴器

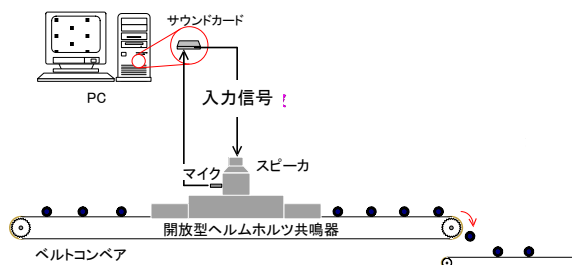
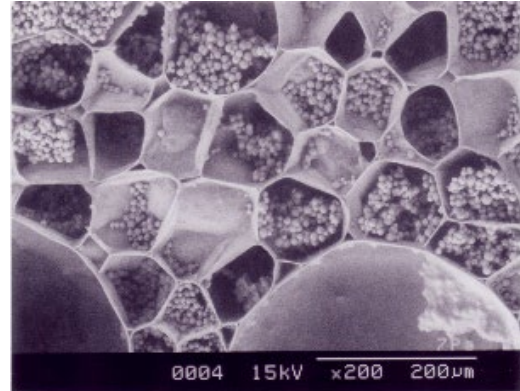
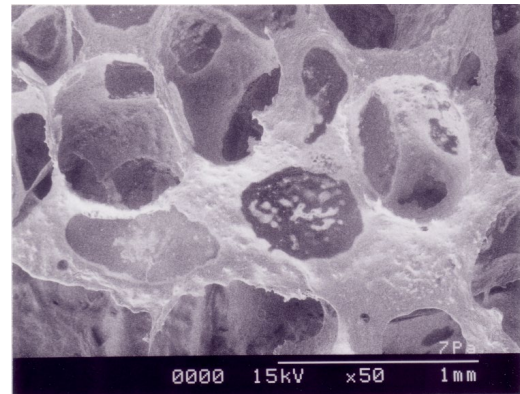


図 2 オンライン型体積計測システム



収穫直後



追熟後

図 3 アップルキウイの果肉組織(SEM 像)

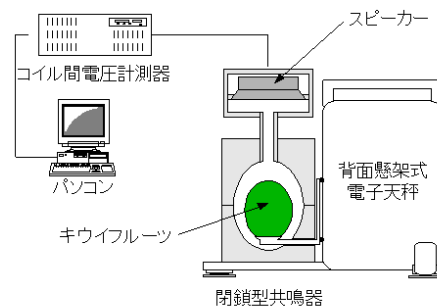


図 4 ヘルムホルツ式密度計測システム
(キウイフルーツ用)

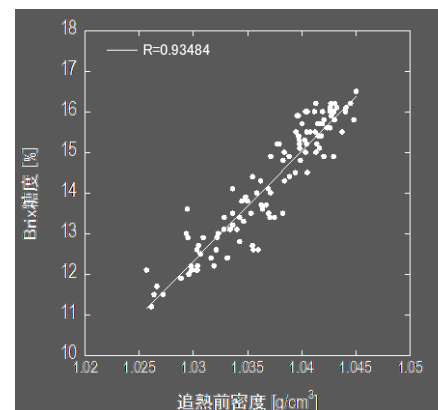


図 5 追熟前キウイフルーツ密度と追熟後糖度の関係

し、追熟操作によるデンプンの糖化により最大 Brix 糖度が 18 程度まで増加する。収穫直後と追熟後の果肉の電子顕微鏡(SEM)写真(昨年度撮影)を図3に示す。

収穫直後には多数の澱粉粒があるが、追熟後に消失していることが確認できる。澱粉粒の比重は水の 1.5 倍以上と大きく、澱粉含量が大きくなるほど、密度も大きくなることが予想できる。開発したヘルムホルツ共鳴式密度測定装置(図4)を用いて収穫直後のキウイフルーツ密度を測定し、同一個体の追熟後の Brix 糖度を測定したところ、両者には高い相関($r=0.93$)がみられた(図5)。本方式によって密度測定を実施することで、図5の関係から将来の追熟後の糖度を予測することができ、糖度別の選果が可能となる。澱粉量が多いほど糖化の反応率が 100%になるまでに要する時間が長くなるため、本方式によりあらかじめ最終糖度がわかっていれば、適熟に到達する時間も予測することができ、精度の高い流通・販売計画を立てることが可能となる。

多孔質食品の物性評価 (西津ら, 2018)

生クリームをホイップすると泡を抱き込み、その体積(オーバーラン)が増す。ヘルムホルツ共鳴法を利用してオーバーランの実時間測定装置を開発して測定してみたところ、ホイップ初期には体積が増えても共鳴周波数が大きくならず、むしろ減少した。クリームなどの液体を試料とした場合、その音響インピーダンスが空気に比べて十分大きいため、共鳴器内部での吸音、すなわちエネルギー損失がほとんどなく、音響共鳴時の共鳴器空洞部は断熱変化をしていると考えられる。ホイップの進行により、クリームが泡を含むようになると、泡沫部分での吸音、即ち泡膜の振動によるエネルギー損失が生ずる。共鳴器空気層部では、みかけ上、ポルトロープ変化が起こっていると考え、次式が成立する。

$$f^2/f_c^2 = n/\kappa \quad (4)$$

ここで、 f , f_c , n , κ はそれぞれ、共鳴周波数、ホイップクリームと同体積のクリームの共鳴周波数、ポルトロープ指数、空気の比熱比を示す。

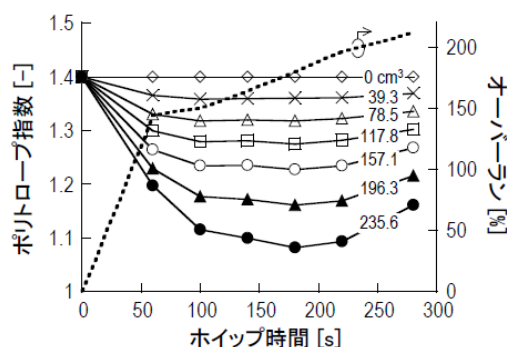


図6 ホイップ中のポルトロープ指数の変化

熱力学的に考察すると、第1法則よりホイップ開始前は系外と熱のやり取りが無く、ホイップ後は系外への放熱量が増加する。系の仕事はスピーカーコーンが空洞部になす仕事で一定、内部エネルギー変化は音圧変化により生ずる空洞部の弾性エネルギーと考えて、熱力学の第1基礎式を整理すると、音圧の2乗値とポルトロープ指数には比例関係が成立する式が得られる。これより、ポルトロープ指数の低下は吸音の大きさを表すと考えられる。

ポルトロープ指数とホイップ時間との関係を図6に示す。ホイップが進行するにつれて、ポルトロープ指数が低下、即ち吸音が大きくなり、180秒を境にポルトロープ指数が増加、即ち吸音が減少に転じていることがわかる。同時に油分の分離やクリーム硬度が増加しはじめることが確認された。このことからホイップ進行に伴い泡沫が増加し、オーバーランは増加するものの、やがて脂肪球同士のネットワーク形成および泡サイズの減少が泡内圧を増加させることによって、クリームが硬化し、エネルギー損失が減少、ポルトロープ指数が増加するものと考えられる。これはビールの泡の品質評価にも適用できる。

粒体堆積物を共鳴器の中に入れるのではなく、共鳴器のネックをふさぐように設置する。共鳴時には、ネックの内側の空気柱が振動するため、ネックを孔隙のない物体で完全にふさぐと、この空気柱が振動できず、共鳴しない。連通した多孔質体でふさいだ場合には、抵抗を受けながらも、孔隙に空気柱の一部が進入することで、振動することができる。このときの抵抗は空気柱の一部が空隙を通り抜ける際に受ける抵抗で、粒体層中を通気させたときの抵抗(圧力損失)と等価であると考えられる。一般にヘルムホルツ共鳴は、ネック内の空気柱を質量、共鳴器空洞部の空気をばねとする、質量-ばねの機械振動系を等価モデルとして考える。抵抗としてダッシュポットを直列に入れたものが、等価振動系となる。孔隙のサイズが小さいほど抵抗が大きく、ダッシュポットの減衰係数が大きくなる。この等価モデルから、共鳴周波数と減衰係数の関係は次式で示される。

$$f_d = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{Vl}} \times \sqrt{1 - A \times \alpha^2} \quad (5)$$

ここで、 c , V , S , l , α , A は空気中の音速、共鳴器空洞部体積、ネックチューブ断面積、同長さ、減衰係数、定数を示す。

この式から、堆積層の厚さが一定の場合、減衰係数が大きくなるほど、つまり抵抗が大きくなるほど周波数が減少することがわかる。

直径 1, 2, 3, 5, 7 mm のガラスビーズ、大豆、小豆、玄米、コーンを用いて、堆積層の厚みを変えながら共鳴周波数を計測するとともに、試料を充填した試料容器を通気用パイプに取り付けて、流速 0.04 m/s の乾燥窒素を流し、充填層前後での圧力損失を計測した。

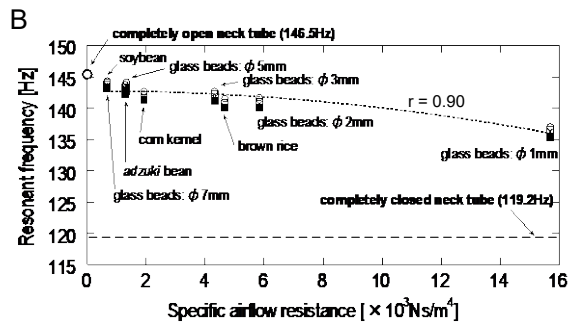


図 7 流れ抵抗係数と共鳴周波数

図 7 に流れ抵抗係数と共鳴周波数の関係を示す。式で予測したように、抵抗が増加するにつれて共鳴周波数が減少する傾向が見られ、また粒体の種類の影響が見られない。このことから、共鳴周波数から、通気抵抗と関連のある空隙情報を得ることが出来るものと考えられる。

ここでは粒体層の例を示したが、連通した空隙構造を持つパンに適用した場合、きめの細かい内相ほど、共鳴周波数は高く、逆にきめの粗い内相では共鳴周波数は低くなり、きめ評価に有効である。

今後の展望

ヘルムホルツ共鳴時、ネック内の空気柱は激しく振動し、空洞部の空気塊を押し延ばしたりしている。テクスチャーアナライザー (TA) とのアナロジーで言うと、空気柱がプローブに、空洞部の空気塊が検体試料に相当する。金属製や樹脂製の TA のプローブと異なり、rigid でない空気柱プローブは泡沫やシフォンケーキの生地のように非常に軟弱な対象物から「変形」圧縮する際に空気柱自身にも振動が与えられ、最終的に共鳴周波数にも影響する。今後は、こうした軟弱体レオロジー測定の可能性について、さらに検討していきたいと考えている。

謝辞

ヘルムホルツ共鳴による食品物性評価の研究は、筆者が京都大学に助手として奉職直後に取り組み始めてから、岐阜大学異動後も発展的に継続してきました。この間、京都大学および岐阜大学の諸先生方にご指導いただくとともに、多くの学生の皆様に研究にご協力賜りました。ここの深く感謝を申し上げます。

引用文献

西津貴久, 鳥潟康雄, 吉岡宣明, 池田善郎 (2005) 音響による農産物・食品体積計測法の耐騒音性向上に関する検討, 農業機械学会誌, 67(3), 49-57.

西津貴久, 勝野那嘉子 (2018) 音響共鳴法による多孔質食品の物性評価, 化学工学会第 50 回秋季大会 バイオ部会シンポジウム 公園要旨集.

局地気象の実態解明に関する農業気象学的研究

黒瀬 義孝

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 西日本農業研究センター

要旨

地形条件の複雑な地域では、ちょっとした場所の違いによって作物の収量や品質に違いが現れる。この要因の1つとして、局地気象の関与が挙げられる。局地気象とは比較的狭い範囲に形成される地域固有の気象であり、地形の影響を強く受けて形成される。局地気象の特徴として現象の再現性が挙げられる。例えば、静穏で放射冷却の強い夜には、低温になりやすい場所となりにくい場所が決まっている。この再現性により、局地気象を農業に活用したり、農業被害が頻繁に発生する地帯が作られたりする。本稿では、これまでに観測してきた局地気象の観測結果および農業との関わりについて紹介する。また、局地気象の実態解明を進める過程で、風の移動観測法等を開発してきたので、合わせて紹介する。

キーワード

局地気象, 局地風, 移動観測, 斜面温暖帯, 斜面日射量

緒言

著者は局地気象の研究を農林水産省の試験研究機関に採用されてから約20年間続けてきた。局地気象の面白さを気付かせてくれたのは、愛媛県西条市に吹く「アラセ」と呼ばれる局地風の観測を手伝ったときである（真木・黒瀬, 1988）。アラセと呼ばれる局地風が吹き込むか吹き込まないかによって、僅か2~3kmの範囲で気温や霜の付き方が大きく違うことを体験し、ハウレンソウの産地として成立するか否かを左右していることを知った。局地気象には、局地風以外にも冷気流、斜面温暖帯、冷気湖、盆地霧（黒瀬ら, 1998a）、オアシス効果（黒瀬ら, 1998b；黒瀬ら, 2000；Kurose et al., 2002）など、さまざまな気象現象があり、そこで営まれる農業に影響を及ぼしている。本稿では、局地気象の実態解明に関する取り組みについて紹介するとともに、局地気象の観測や解析を進める過程で観測手法や解析手法の開発を行ってきたので、合わせて紹介する。

局地風「まつぼり風」

まつぼり風とは、阿蘇外輪山の切れ目に吹く局地風であり、九州を代表する局地風である。気象の教科書や辞典では、阿蘇盆地に溜まった冷気が外輪山の切れ目を流下する気流をまつぼり風と定義していた。すなわち、冷気流である。

まつぼり風に関しては観測事例がほとんど無く、定義

にも不明な点があったため、現地観測により実態解明を行った。その結果、新たな観測手法と知見を得ることができた。新たな観測手法とは、車で移動しながら移動経路上の風向風速を1秒毎に測定する手法である。新たな知見とは、山越え気流としてのまつぼり風の存在を明らかにしたことである。まつぼり風を冷気流とする説に一石を投じることができた。

風の移動観測法

気象要素を面的に把握したい場合、移動観測がしばしば行われる。移動観測とは、気象測器を自動車等に取り付け、移動しながら気温等を測定する手法である。気温や湿度の移動観測は既に確立された観測手法である。しかし、風の移動観測は、測器を取り付けた自動車等が移動することにより見かけ上の風が発生し、その風と実際に地上を吹いている風とを分離することができず、実現していなかった。そこで、超音波風向風速計とGPSを車に搭載し（図1）、超音波風向風速計で測定される車上の風のベクトルから、GPSで測定される車の移動ベクトルを差し引くことにより、車で移動しながら移動経路上の風向風速を1秒毎に測定する手法を開発した。移動観測で求めた風向風速と風向風速計を設置して測定した値とを比較した結果、車速に関わらず、車に対して追い風、向かい風、側面からの風など、どの方向から吹く風に対しても風向風速が測定できることを示した（黒瀬ら, 2002c）。

風の移動観測により、まつぼり風吹走地帯からその風

下までの約10kmの区間の風向風速分布を僅か15分で測定することができ、まつぼり風の実態解明に繋がった。



図1 風向風速の移動観測

山越え気流としてのまつぼり風

まつぼり風吹走地帯で行った風の定点観測および移動観測、さらに、高層気象データの解析や移動観測の合間に撮影した雲の写真が基になり、山越え気流としてのまつぼり風の存在を明らかにすることができた。観測から明らかになったまつぼり風吹走時の風の流れを示す(図2)。大気が安定成層で、かつ、上空で10m/s以上の南東寄りの風が吹くと、外輪山で山越え気流が発生する。山脈を越えた気流は外輪山の切れ目で収束し、外輪山の切れ目に強風をもたらす。これが「山越え気流としてのまつぼり風」である(黒瀬ら, 2002b)。気流は風下で上下に振動(風下波)する。風下波はローター(渦)を形成し、このローターの波頭にローター雲が形成される。風下波のローターが地上に達すると、まつぼり風とは逆向きの風が吹く。風の移動観測でまつぼり風とは逆向きの風が観測されたが、これはローターが地上に達した風であった。また、風下波が地上に降りてくる場所で再び風が強まった。

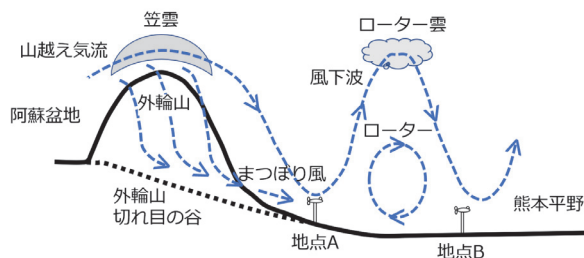


図2 山越え気流としてのまつぼり風の模式図

山越え気流としてのまつぼり風は年に数回しか発生しない。このまつぼり風を移動観測で捉えることができたことは非常に幸運であった。移動観測の合間に何枚かの写真を撮ることができ、その内の1枚が笠雲とローター雲の写真である(図3)。笠雲とは、気流が外輪山を越える時に凝結高度に達することで形成される雲で、外輪山が笠をかぶったように見える雲である。移動観測をして

いる間、ローター雲はほぼ同じ場所に留まり、かつ、阿蘇外輪山と平行に連なっていた。同じ場所に静かに浮かんでいるような雲であったが、目をこらして見ると風下側のローター雲はものすごい勢いで風下に飛ばされ、消散していた。笠雲とローター雲の写真が山越え気流や風下波の発生を裏付けた。



図3 まつぼり風吹走時に現れた笠雲とローター雲

冷氣流としてのまつぼり風

静穏で放射冷却が強い夜、阿蘇外輪山の地表面で作られた冷氣は斜面下降風となって阿蘇の盆地底に集まり、堆積する。周囲を山で囲まれた阿蘇盆地では、堆積した冷氣の逃げ場は外輪山の切れ目しかなく、冷氣は谷に沿って流下する。外輪山の切れ目に沿って流下する気流が「冷氣流としてのまつぼり風」である。まつぼり風の風速は阿蘇盆地に強い逆転層が形成されるほど強まった。ただし、まつぼり風の最大風速は7m/s以下、最大瞬間風速は9m/s以下であり、風害をもたらすほどの強風にはならないことを2年間にわたる観測から明らかにした(黒瀬ら, 2002a)。

図4にまつぼり風吹走時の風の流れを示す。図4は、阿蘇外輪山を出発し、阿蘇盆地を経由し、まつぼり風吹走地帯を突っ切るルートで気温と風の移動観測を行った結果および定点観測のデータを基に作成している。阿蘇盆地から流出した冷氣は、上空の相対的に暖かい大気を巻き込みながら外輪山の切れ目を流下する。これにより、まつぼり風は谷を流下する間に気温減率以上の割合で気温が上昇した。外輪山の切れ目から出たまつぼり風は、熊本平野に形成された冷氣湖を押し退けつつ、最後は冷氣湖に乗り上げる。まつぼり風が冷氣湖に乗り上げる場所では、風向がまつぼり風とは逆向きになり、気温が急低下することを示した。冷氣流としてのまつぼり風の実態が明らかになった(黒瀬ら, 2002a; 黒瀬ら, 2002c)。

図5に阿蘇外輪山が熊本平野に接する地帯における風の流れを示す。まつぼり風とは無縁の地帯である。まつぼり風が吹かない地帯では、熊本平野に形成された冷氣湖が外輪山麓まで広がり、低温となる。さらに、冷氣湖内はほぼ無風となるため、冷氣湖内の植物は放射冷却の影響を強く受け、さらに低温となる。

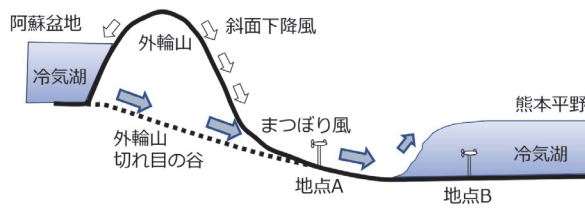


図4 冷気流としてのまつぼり風の模式図

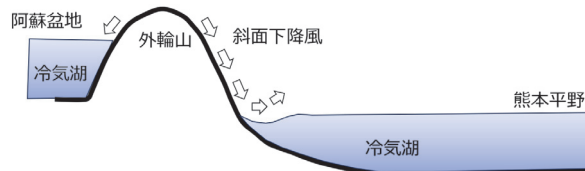


図5 阿蘇外輪山が熊本平野に接する地帯での風の流れ

まつぼり風と農業

山越え気流としてのまつぼり風がもたらす農業被害について生産者に聞き取り調査を行ったところ、複数の生産者から大麦の減収が挙げられた。大麦について調査を行ったところ、まつぼり風吹走地帯でのみ脱芒が発生していた（図6）。まつぼり風により穂と穂がこすれ、芒が取れるようである。大麦の芒は子実生産の2割をまかなっており、出穂1カ月以内に芒が取れると子実重の低下が認められた。出穂後の早い時期に脱芒が発生するほど子実重は低下し、出穂直後に脱芒すると子実重は2割低下した。また、4年にわたる調査の内、3年で脱芒が発生していた。まつぼり風吹走地帯に作付される大麦にとって、まつぼり風は減収要因になっていることを明らかにした（黒瀬ら, 2002b）。

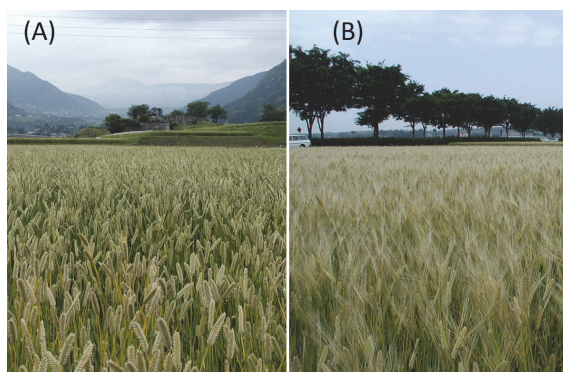


図6 まつぼり風（山越え気流）による大麦の脱芒
(A)：まつぼり風吹走地帯（図2の地点A付近）、(B)：まつぼり風が到達しない地帯（地点B付近）

冷気流としてのまつぼり風は、しんと冷える夜間に発生する。すなわち、凍霜害が発生するような日である。茶は凍霜害に弱く、凍霜害を受けた茶葉は一夜にして商品価値が無くなる。凍霜害が発生するような気象条

件下ではまつぼり風が吹くことを活用し、まつぼり風吹走地帯で茶が栽培されている。まつぼり風が熊本平野に形成された冷気湖を押し退けてくれるため、気温の低下が緩和されるためである。さらに、放射冷却により気温以下となるはずの葉温がまつぼり風による顕熱交換により気温に近づくことも凍霜害回避に役立っている。例えるなら、まつぼり風は巨大な防霜ファンとして機能している。冷気流であるまつぼり風が、凍霜害を回避する気象資源として活用されているのは興味深い。

熱画像を用いた斜面温暖帯の観測

静穏で放射冷却の強い夜、放射冷却によって作られた冷気は重たいため、冷気は地形的な窪地である山麓や盆地底に湖のように溜まる。これが冷気湖である。本来、気温は標高の低い場所ほど高くなるが、冷気湖内では気温が逆転しているため、冷気湖上端で気温が最も高くなる。冷気湖上端が山腹斜面に接している場所は相対的に温暖なため、斜面温暖帯と呼ばれる。斜面温暖帯が低温になりにくい特性を利用し、凍霜害の回避を目的に農業利用される。ここでは、斜面温暖帯の実態解明に熱画像を活用した事例を紹介する。

サーモグラフィー装置の利用

サーモグラフィー装置は遠隔で表面温度の分布を測定できる便利な装置であるが、測定値には測定対象物で反射された赤外線や赤外線が通過した大気の影響が含まれる。そこで、測定値に含まれる大気放射と中間大気の影響を明らかにした（黒瀬ら, 1997）。次に、夜間においては樹木の表面温度と気温とが良好な対応を示し、樹木の表面温度から面的な気温を求められることを示した。これらの知見を基に、熱画像（図7）から斜面温暖帯の位置や温度資源を明らかにした（黒瀬・真木, 1988；黒瀬・林, 1993）。この研究は、当時あまり使われていなかったサーモグラフィー装置が局地気象の観測に有用であることを示した。

ランドサットデータの利用

サーモグラフィー装置で測定できるのは見渡せる範囲に限定される。より広いスケールで斜面温暖帯の特性を明らかにするため、ランドサットデータから得られた四国西部の熱画像を用いて斜面温暖帯の実態解明を行った。その結果、周囲を高い山で囲まれた深い盆地では盆地底上の高い位置に斜面温暖帯が形成され、浅い盆地では低い位置に斜面温暖帯が形成されていることを示した（黒瀬ら, 1994）。また、仁淀川に沿って斜面温暖帯の位置を求めた結果、本流と支流が合流する場所や河川の屈曲部で斜面温暖帯の位置が変化することを示した。流域における斜面温暖帯の形成は、流域全体の地形条件が影響していることを示した。

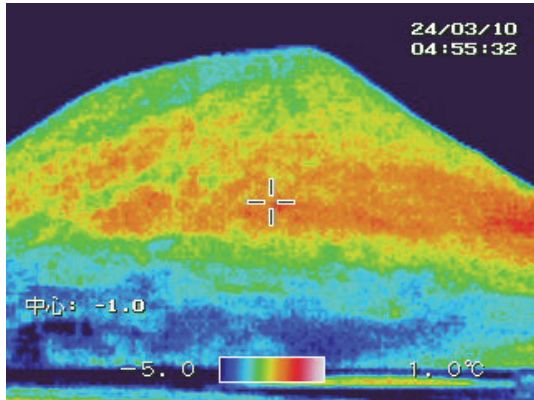


図7 斜面温暖帯を捉えた熱画像
斜面中腹の赤色の帯が斜面温暖帯

日射量分布の推定

地形条件が複雑な地域では、周辺地形による日射の遮蔽と日射を受ける斜面自体の向きや傾きにより、地表面に入射する日射量に違いが現れる。複雑地形地域の日射環境を明らかにするため、国土地理院が整備した 250m グリッドの標高データを基に地形を再現し、日射量分布を推定するモデルを作成した(黒瀬, 1991)。その後、数値地図 50m メッシュが使えるようになると、50m グリッドの標高データから日射量が計算できるようにバージョンアップした(黒瀬ら, 1999)。この推定モデルの特徴は、メッシュ毎に周辺地形を再現し、周辺地形による直達光と散乱光の遮蔽量を考慮して日射量を計算できる点にある。日射量を推定するモデルは通産省のデータベース白書に「地域に根づくデータベース」として紹介され、県の試験場では果樹の適地判定などに利用された。

複雑地形地域の農業と日射条件

四国の山間地では、斜面に集落がへばりつくように点在し、その周りに段畑や傾斜畑が形成された山腹型農業集落を目にする。斜面が受ける日射量は太陽高度の低い時期に明瞭な違いが現れる。そこで、傾斜畑が広がる一帯について冬至に斜面が受ける直達日射量を推定した結果、規模の大きい農耕地は日射条件の良い場所に点在しており、複雑地形地域における日射環境の重要性が確認できた。なお、斜面直達日射量は、現地形のまま傾斜畑として利用した場合に作物が受けることのできる直達日射量を示している(黒瀬ら, 1999)。

おわりに

本稿で紹介した研究はどれも 20 年以上前のものである。今では、数値シミュレーションや GIS、ドローン、新しい観測機器等により、局地気象を様々な視点から観測や解析ができるようになった。局地気象は、そこで営

まれる農業や生活に影響を及ぼしている。これから局地気象の研究に取り組まれる研究者には、農業や生活との関係にも視点を置いて研究されることを期待する。

謝辞

今回の受賞に際し、日本農業工学会賞に推薦して下さった日本農業気象学会と関係者に深く感謝申し上げます。また、受賞に至るまでの研究を支えていただいた歴代の研究室長および関係者の皆様に心より感謝申し上げます。

引用文献

- 黒瀬義孝・真木太一 (1988) 赤外線放射温度計による大麻山の斜面温暖帯の測定, 農業気象, 43, 275-283.
- 黒瀬義孝 (1991) 複雑地形地域における 250m メッシュ日射量分布推定モデルについて, 農業気象, 47, 95-99.
- 黒瀬義孝・林 陽生 (1993) 四国地域を対象にした熱画像情報による冬期・放射冷却条件下の気温分布の把握, 農業気象, 49, 11-17.
- 黒瀬義孝・林 陽生・堀口郁夫 (1994) 四国西部の山間傾斜地に形成される斜面温暖帯の特徴, 農業気象, 50, 9-15.
- 黒瀬義孝・菅谷 博・佐々木華織・大場和彦・丸山篤志 (1997) サーモグラフィの測定値にしめる天空放射と中間大気の影響, 中国・四国の農業気象, 10, 9-14.
- 黒瀬義孝・深石一夫・林 陽生・大場和彦 (1998a) 愛媛県大洲に発生する盆地霧の気候学的な特徴, 農業気象, 54, 13-21.
- 黒瀬義孝・唐 立松・大場和彦・丸山篤志・真木太一 (1998b) 中国トルファンにおけるオアシス内外の温湿度分布, 農業気象, 54, 337-343.
- 黒瀬義孝・長田健二・大場和彦・丸山篤志 (1999) 数値地図 50m メッシュを用いたポテンシャルな日射量分布の推定, 農業気象, 55, 315-322.
- 黒瀬義孝・唐 立松・大場和彦・丸山篤志・真木太一 (2000) 8 月から 9 月に中国トルファンに吹く強風の特徴, 農業気象, 56, 123-128.
- 黒瀬義孝・大場和彦・丸山篤志・真木太一 (2002a) 局地風「阿蘇おろし」の特徴, 農業気象, 58, 93-101.
- 黒瀬義孝・大場和彦・丸山篤志・真木太一 (2002b) 局地風「まつばり風」の特徴とその農業被害, 農業気象, 58, 103-113.
- 黒瀬義孝・大場和彦・丸山篤志・真木太一 (2002c) 超音波風向風速計と GPS を用いた風の移動観測法, 農業気象, 58, 147-156.
- Kurose Y, Tang L, Ohba K, Maruyama A, Maki T (2002) Investigations on some meteorological conditions and evaluation of the effects of tree windbreaks on the improvement of meteorological conditions in Turpan Oasis, China, JARQ, 36, 17-23.
- 真木太一・黒瀬義孝 (1988) 愛媛県西条市のホウレンソウ栽培地域に吹く局地風アラセの特性解明, 農業気象, 43, 311-320.

九州・沖縄地域における土地利用型作物の機械化研究

深見 公一郎

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター

要旨

沖縄地域のサトウキビ栽培において、降雨後何日間も機械作業を行えない重粘質のジャーガルに関して、心土破碎機や溝堀機などの所要動力と作業状態をリアルタイムに測定できるシステムを開発し、重粘土壌に適用可能な作業速度や作業深さ等を明らかにした。また、降雨が多いサトウキビの収穫・植付け時期の対策として、暗渠を施工せず心土破碎と排水ピットを組み合わせた簡易な排水技術を開発し、土壌水分の低下と増収効果を確認した。また、九州地域における水稲一麦、大豆一麦の2年4作体系に関して、低コストかつ省力的な水稲乾田直播栽培を導入・拡大させるために、振動ローラを利用した地表面鎮圧による漏水防止技術を開発し、鎮圧回数と土壌物理性の関係を解析すると共に、鎮圧に伴って変化する土壌構造との相互作用をモデル化して鎮圧作業の効率化と最適化を行った。さらに、降雨後の高水分土壌でも播種可能で、水田の漏水防止機能を有する畝立て乾田直播機をメーカーと共同開発し、本機を利用した技術普及に取り組んだ。

キーワード

ジャーガル, 排水性改善, 二毛作体系, 乾田直播, 漏水防止

緒言

沖縄本島中南部地域に分布するジャーガル(Jahgaru soil)は、粘土を50%以上含み、透水係数が $10^{-8} \sim 10^{-6}$ cm/sと非常に小さい重粘土壌である¹⁾。さらに土壌の含水比が25から35%に増加すると一軸圧縮強度、せん断抵抗およびコーン指数が2分の1程度に減少し、逆に付着力が2倍程度に増加する²⁾。このような物性のためジャーガル圃場では、降雨後何日間も機械作業を行えないことが多い。特に機械化一貫体系が確立している沖縄県の基幹作物であるサトウキビ栽培においては、圃場の排水不良が適期作業を妨げる要因になり、さらにサトウキビの発芽不良や糖度低下にも関連する³⁾。そこで筆者らは、ジャーガル圃場において暗渠を施工せず、排土型心土破碎機(商品名プラソイラ:スガノ農機(株))による心土破碎と溝堀機やバックホー等による明渠を組み合わせた簡易な「排水性改善」技術の開発を行った⁴⁾。

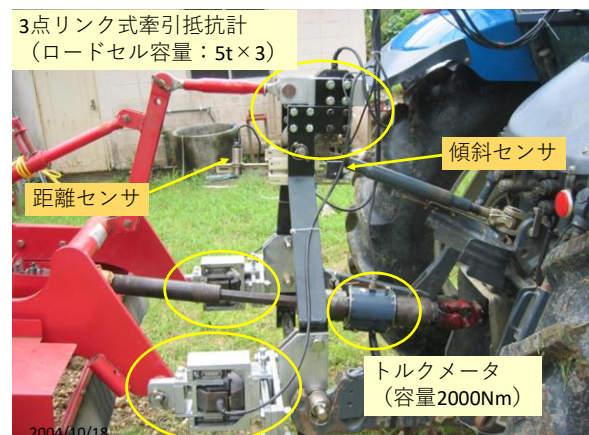
水稲の「乾田直播」栽培は、慣行の「移植」栽培で必須となる、育苗・苗運搬・代かき作業を省略できるため、規模拡大が進む九州北部地域において作業能率の向上が期待できる有用な技術である。しかし、これらの地域で主に行われている大麦-水稲、小麦-大豆 or 水稲(前作-後作)の二毛作体系で水稲の乾田直播栽培を行う場合には、前作となる大麦(or 小麦)の収穫後、水稲の圃場準備から播種まで約1カ月程度しかなく、麦類の作付けを行わない場合に比べて作業可能な期間が短いことに加えて、降雨によって土壌が高水分になると播種作業が困難となるため作業が遅延し、播種適期を逸しやすいこと、移植栽培のように代かきによって問題となりにくい「漏水」についても乾田直播

栽培においては防止対策が必須となるという課題がある。そこで筆者らは、暖地二毛作体系で実施可能な乾田直播技術の確立を目標に、鎮圧ローラを使用した乾田直播圃場の漏水防止技術、ローラ鎮圧を伴う乾田直播栽培体系、漏水防止と湿害回避機能を有する畝立て乾田直播機の開発に取り組んだ⁸⁻¹⁴⁾。

本稿では、前述した沖縄本島南部地域および九州北部地域における、土地利用型作物であるサトウキビ栽培と水稲栽培の機械化研究で得られた成果を紹介する。

所要動力測定システムの開発

ジャーガルは他の火山灰土壌に比べてけん引比抵抗(kg/cm^2)が2~3倍程度大きく、耕うん比エネルギー(単位耕

図1 所要動力測定システムの構成⁴⁾

うん体積当たりの耕うんエネルギー: kJ/m^3) が内地の干拓地の重粘土壌の1.2~2.0倍程度大きい。そこで筆者らは、心土破砕機や溝堀機などの所要動力と作業状態をリアルタイムに測定可能なシステムを開発し(図1)、種々の条件で測定試験を実施(図2)することで、重粘土壌に適用できる作業速度や作業深さ等の適正条件を明らかにした⁶⁾。



図2 溝堀作業の所要動力測定風景

排水性改善技術の開発

降雨が多いサトウキビの収穫・植付け時期の対策として本研究⁵⁾では、春・夏植時にはプラソイラを格子状、株出時には条間に沿って施工し、排水路付近に排水ピットを造成する簡易な排水技術を開発した(図3)。

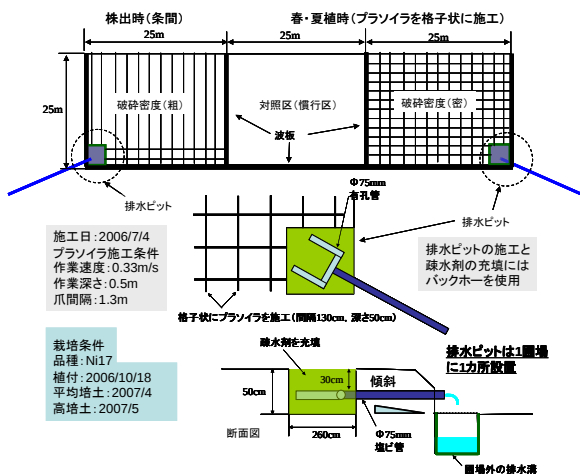
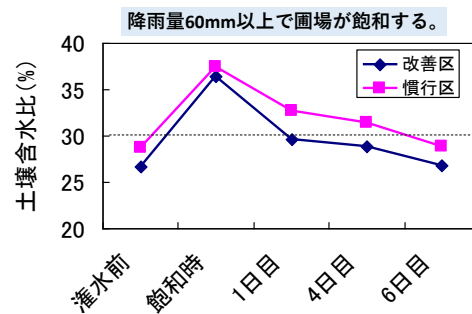


図3 排水性改善試験の概要

排水目標の検討として、ジャーガル圃場において、プラソイラ心土破砕、ロータリ耕うんおよびプランター植付け作業時の限界水分条件を調査した結果、土壌含水比30%以上になると安定した連続作業が困難になった(図4)。排水ピット方式では、降雨後速やかに排水され、降雨量100mm程度までの時、慣行区より4日早く圃場作業が行えることを示した(図5)。また、本方式によってサトウキビの茎長が長くなり、収量が14%増加することを明らかにした⁷⁾。



図4 圃場排水目標の検討



改善区は、慣行区より4日早く機械作業が可能な水分状態 (d.b.30%以下) になる。

図5 圃場排水性の改善効果

鎮圧ローラの開発と効果の検証

暖地二毛作地域における水稻乾田直播圃場の漏水を防止するため、圃場内外での作業性を考慮したトラクタの3点リンクヒッチに直装できる2台の鎮圧ローラを試作した。1台目は、開発コストを考慮して、ローラ部に砂を充填したドラム缶を使用し、試作材料費を10万円程度に抑えた⁸⁾。本ローラは、供試トラクタ出力47.8kW(65PS)、ローラ荷重960kg、作業幅200cmである。中野・深見⁹⁾は、本ローラの鎮圧回数が作土内の間隙構造に及ぼす影響を解析し、地表面の数センチ下と耕盤の直下に圧縮集中層が生じること等を明らかにした。また、深見ら¹⁰⁾は、ドラム缶を鉄



図6 開発した油圧鎮圧ローラ

管に変更し、油圧シリンダを斜め後方に作用させることでローラ荷重を 1200～1700 kg に増加させた「油圧ローラ」を開発し(図 6)、塑性限界以上の高水分条件で鎮圧することで、鎮圧荷重、鎮圧回数、鎮圧速度に関わらず、効果的に漏水を防止できることを示した。

振動ローラ式乾田直播技術の開発

ローラの自重に頼る静的な鎮圧で十分な効果を得るには、ローラおよびトラクタの大型化が要求される。一方、作業幅 150 cm の振動ローラは、機体重量が 350 kg であるため、九州地域で普及している 25 kW(30 PS)クラスのトラクタで利用できる。また、本ローラの上下振動 13～18 Hz (PTO:780～1080 rpm)における瞬間的な鎮圧荷重は 750～3125 kg に達する¹⁰⁾。

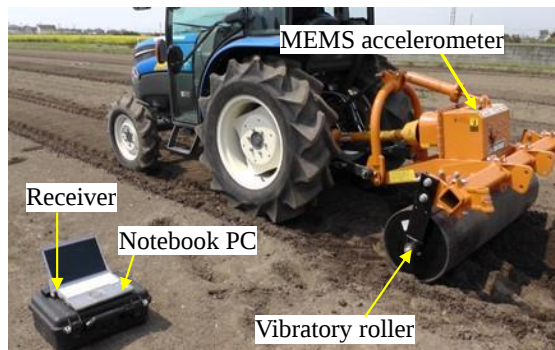


図 7 振動ローラの外観と振動加速度の測定風景

Fukami et al.¹¹⁾は、振動ローラの加速度応答に基づく締固め度予測技術を参考に、MEMS 加速度センサ(図 7)を用いた振動周波数解析と X 線 CT 画像(図 8)を用いた土壌構造解析を行い、両者の密接な関係と振動ローラの加速度応答から漏水防止効果のある程度推定できることを示した。

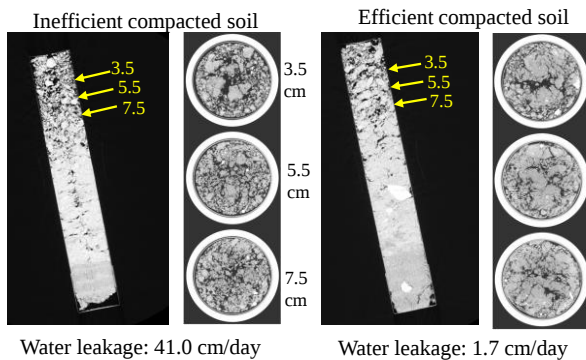


図 8 X 線 CT 画像の比較

中野ら¹²⁾は、麦作後の水稻乾田直播では、振動ローラによる鎮圧を行うことで漏水が防止され、安定した栽培が可能になること。漏水防止効果は鎮圧時の土壌水分の影響を受けるが、作業直前に地表際の土壌を握って固まれば、

適正水分であると判断できること等を示した。

畝立て乾田直播技術の開発

乾田直播は、降雨によって播種作業とその後のローラ鎮圧作業(漏水防止対策)が遅れるため、大規模生産者ほど適期播種を逃すリスクが高まる。そこで筆者らは、漏水防止機能を有するだけでなく、高水分条件でも効率的に播種可能な畝立て乾田直播機と本開発機を用いた直播技術を開発した^{13, 14)}。開発機は、トラクタの後方に装着して使用する。土壌反転ディスクを利用した畝成形補助部でタイヤ跡を均(なら)し、ソロバン玉状の回転・駆動する畝成形部で表面を鎮圧しながら、表面が硬い台形断面状の播種畝を成形して、直播作業部、種子繰出し部および覆土鎮圧部で畝の上面に播種することで、圃場の漏水防止と生育初期の降雨・帯水による湿害回避を図る構造である(図 9)。

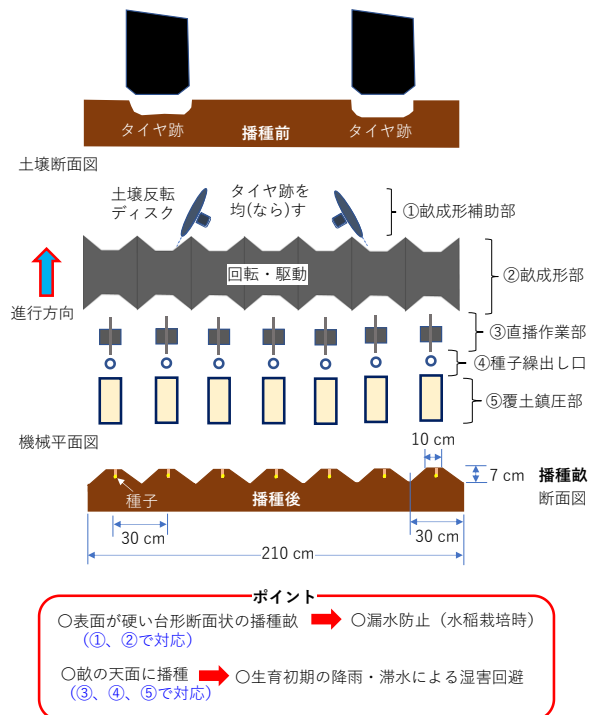


図 9 畝立て乾田直播機概念図

開発機の直播作業部は、作溝ディスクの土付着防止スクレーパと残渣侵入防止スクレーパ(図 10)により、高水分かつ麦作後の作物残渣が多い圃場条件においても播種作業が可能になる。作業幅は 210 cm、条間は 30 cm、条数は 7 条で、水稻以外に大豆や麦類の播種にも対応可能であり、適用トラクタは 29.4～44.1 kW である(図 10)。

熊本県玉名市の現地圃場(灰色低地土)での実施例では、播種 2 週間前から前日までに 214 mm の降雨があり、土の付着が顕著になる塑性限界(含水比:32%)より高い水分条件(含水比:42%)でも播種可能であった。また、播種直後から 2 日目にかけて 80 mm の降雨が観測された圃

場でも湿害と考えられ症状は確認されず苗立率は9割程度確保できた(図11)。

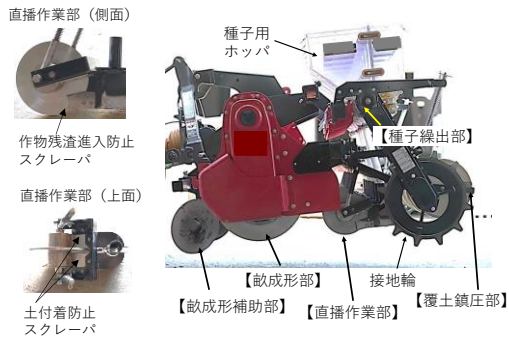


図10 開発した畝立て乾田直播機の構成



図11 高水分条件での畝立て乾田直播試験

今後の展望

開発した畝立て乾田直播機は、「排水不良地域や二毛作体系が主体で水稻作準備期間が短い九州地域において、降雨があっても適期の乾田直播が可能になり、安定的な二毛作の普及拡大への寄与が期待される」として、農林水産省「2023年農業技術10大ニュース」のTOPIC2に選出された。今後はメーカーや普及組織と協力して、開発機の市販化と社会実装を目指す。

謝辞

今回の受賞に際し、格別のご配慮を賜りました日本農作業学会・大谷隆二会長をはじめ関係の諸先生方に厚く感謝の意を表します。本研究の遂行にあたりご指導・ご協力頂いた元沖縄県農業研究センター・新里良章氏、故赤地徹氏、九州大学・岡安崇史先生、熊本大学・椋木俊文先生、九州沖縄農業研究センター・高橋仁康氏、中野恵子氏、官森林氏、松尾直樹氏、岡崎泰裕氏、野見山綾介氏、福岡県朝倉農林事務所・川村富輝氏に深く感謝

申し上げます。あわせて、オペレータ業務や機械工作をはじめ様々な研究開発にご尽力頂いた農研機構・技術支援センターの職員の皆様に深く感謝の意を表します。

引用文献

- 宮城調勝(1976):ジャングル土壌の物理性改良について, 第47回農業土木学会九州支部講演会シンポジウム「沖縄の特殊土壌」前刷;41-46.
- 泉裕巳・秋永孝義・国府田佳弘(1981):ジャングル地帯における農業の機械化に関する研究—ジャングルの物理的性質一, 琉球大学農学部学術報告 28;163-171.
- 大城喜信・浜川謙(1980):よみがえれ土—沖縄の土壌とその改良一, 新報出版;58-62.
- 深見公一郎・杉本光徳・新里良章(2006):重粘土壌におけるトラクタ作業の所要動力測定システムの開発, 農作業研究 41(1);31-36.
- 深見公一郎・杉本光徳・新里良章・赤地徹(2009):サトウキビ栽培における作業可能日数拡大のための圃場排水性改善技術, 農作業研究 44(2);73-80.
- 深見公一郎・杉本光徳・新里良章・赤地徹(2012):沖縄の重粘土壌における排土型心土破碎機の適正作業条件の解明, 農業機械学会誌 74(2);115-122.
- 新里良章・深見公一郎・山口悟・上野正実(2013):心土破碎と暗渠によるサトウキビほ場の排水性改善効果, 農業機械学会誌 75(6);426-433.
- 深見公一郎・中野恵子・土屋史紀・田坂幸平・松尾直樹・三池輝幸・伊藤博幸・河原幸成・本朗朗利(2014):暖地乾田直播圃場の漏水防止技術—鎮圧ローラの開発と効果の検証一, 農業食料工学会誌 76(4);341-347.
- 中野恵子・深見公一郎(2017):水稻乾田直播栽培におけるローラによる地表面鎮圧が作土の間隙構造に及ぼす影響, 土壌の物理性 (136) 27-35-35.
- 深見公一郎・三池輝幸・中野恵子・松尾直樹・土屋史紀・佐々木豊(2014):ローラ鎮圧による暖地水稻乾田直播圃場の漏水防止技術, 九州沖縄農業研究センター成果情報. https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/karc/2014/karc14_s01.html (2024.4.10 閲覧).
- K. Fukami, T. Mukunoki, K. Nakano, N. Matsuo, T. Okayasu (2017): Water leakage control by using vibratory roller on a dry-seeded rice field in southwestern Japan, SOIL & TILLAGE RESEARCH 166; 138-146.
- 農研機構(2022):乾田直播栽培体系標準作業手順書—振動ローラ式乾田直播—[九州地方版]. https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/laboratory/naro/sop/153213.html (2024.4.10 閲覧).
- 深見公一郎(2019b):暖地二毛作体系に対応した乾田直播技術, 農作業研究 54(4);201-208.
- 深見公一郎・高橋仁康・中野恵子・岡崎泰裕・松尾直樹・西村修・浅野和人・関英一(2022):暖地二毛作に対応した畝立て直播機の開発と評価, 農作業研究 57(4);239-251.

生物環境工学における概日時計の研究

福田 弘和

大阪公立大学大学院工学研究科

要旨

概日時計は生物環境情報の統合機構であるため、ゲノム、オミクス、フェノタイプに加え、生理現象の非線形ダイナミクスが研究対象となる。概日時計の研究は、時計遺伝子の発見と解明に対するノーベル生理学・医学賞(2017)を経て、国際的には概日時計に基づく最適栽培工学「Chronoculture」へと発展を続けている。長年の生理学的基礎研究、ゲノム学と非線形物理学との境界領域、工学と農学との連結など、幅広い学術を形成し、「生理学」、「物理学」、「情報学」、「工学」へと徐々に分野を広げ発展している。本研究では、植物生産現場における「生体システム制御」の技術基盤となる Speaking Plant Approach の基礎モデルとして、概日時計の諸研究を生物環境工学として体系付けた。本成果は、仮想現実(Virtual Reality; VR)等の映像技術の高精細な 3D グラフィックスと組み合わせることで、「Society 5.0 型栽培技術開発／農業生産デジタルツイン開発」において生物環境のリアリティを形成する基礎“演算”理論としても応用が期待される。

キーワード

クロノカルチャー、植物工場、スピーキング・プラント・アプローチ、デジタルツイン、時計遺伝子、非線形ダイナミクス

緒言

概日時計は、細胞分裂から花成、老化に至る数多くの生理現象に関わり、生物と環境のダイナミクスを支配する重要な基礎生理機構である。生物情報の統合制御として、ゲノム、オミクス、フェノタイプに加え、生理現象の非線形ダイナミクスが研究対象となる。概日時計は、天文学者 de Mairan による概日リズムの観察記録(1729)から始まり、時計遺伝子の発見と解明に対するノーベル生理学・医学賞(2017)、概日時計に基づく最適栽培工学「Chronoculture」(2021)へと発展を続ける(Steed, et al. Science 2021)。国際的には欧米を中心として体系化され、ネイチャー誌やサイエンス誌を飾る最先端科学の一つと位置づけられる。長年の生理学的基礎研究、ゲノム学と非線形物理学との境界領域、工学と農学との連結など、壮大な学術を形成しているが、これまで日本のみならず欧米による Speaking Plant Approach (SPA) 研究が、現在の概日時計の学術形成を支えている(福田 2018)。

本稿では、「生理学」、「物理学」、「情報学」、「工学」へと徐々に分野を広げ、植物生産現場における「生体システム制御」の技術基盤となる SPA の基礎モデルとして、概日時計の理論を生物環境工学として体系付ける研究として行った本研究課題を概説する。

1. 植物工場における概日時計の解析

環境ならびに生物が「日周性」を持つということは、生物環境調節における前提の一つである(図1)。図1は愛媛大学太陽光植物工場(トマト)における栽培環境データ(2014年1月6～8日)における環境サイクルと遺伝子発現リズム

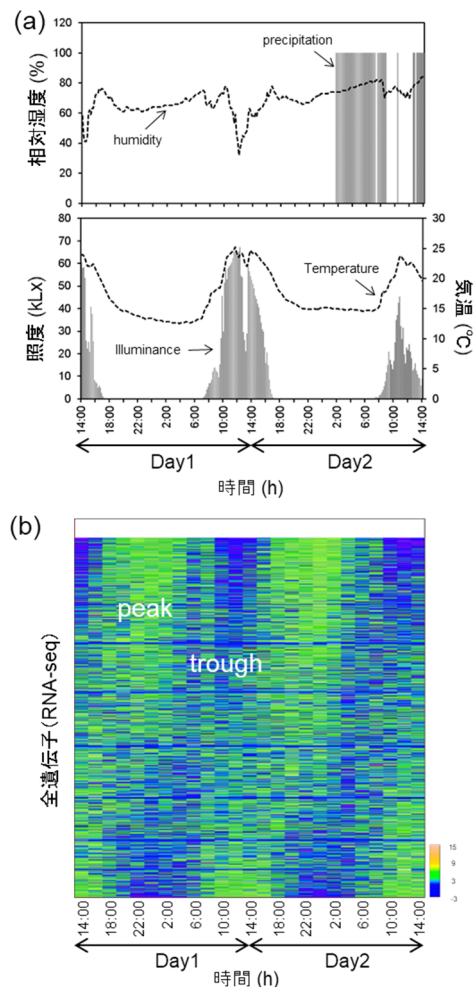


図1 環境サイクルと遺伝子発現リズム

である。トマト葉における全遺伝子の発現解析(RNA-Seq解析)のデータから、2日目には降雨があり、環境は揺らいでいるにもかかわらず(図1(a))、全遺伝子発現解析データに見られる日周期性は安定していることが分かる(図1(b))。

しかし、この両者における周期性の同調現象(環境-生物リズムの同調現象)を正確に推し量ることは、簡単ではない。例えば、季節の移りにより日々変化する日長に対して、生物が如何にして体内の時計を同調させていくのか、基本的な課題であるがこれを正確に推量することは多くの場合簡単ではない。動的現象を扱う動力学(dynamics)が必要である。そこで本研究では、非線形物理学の基礎に基づく、植物の概日時計の数理モデル(物理モデル)の構築を行った(福田 2018, 福田 2019)。

2. 概日時計の物理モデルの構築

植物の概日時計は、植物を構成するほぼ全ての細胞に備わっており、これら細胞集団の同期率が個体レベルの概日リズムの振幅を決めている。最近の研究により、細胞間の同期は環境刺激により、容易に操作することができることが分かっている。細胞間の同期制御においては、位相応答の「不安定点」が重要な役割を担っている。環境サイクルとの同期状態を、一旦、不安定化することにより、細胞集団の同期を破壊するというプロセスが鍵となっている。

本研究は、細胞内の時計遺伝子の発現リズム現象を、摂動に対する非線形発展方程式の縮約による位相方程式や複素振幅方程式を用いて、振動子(粒子)ネットワークとして定式化した。特に、ネットワークの位相ダイナミクスにおける「位相特異点」を概日時計において世界で初めて観測した(Fukuda et al., 2007)。さらに、成長点における細胞増殖領域(振動子の湧き出し点)を振動子ネットワークの境界点として定義し、発生過程と概日時計を繋ぐ「位相リセット」現象を発見した(Fukuda et al., 2012)。この発見を通して、成長点の特殊性による二重の空間スケールを持つ位相特異点の自発生成現象を解明した。これは、生物の内部構造を決める発生過程と概日時計を繋ぐ重要な生物学的発見である。また、内部構造の基礎モデルとして、複素振幅方程式による単一細胞レベルと細胞集団レベルの階層間統合モデル、粒子ネットワークのボロノイ分割による細胞ボリュームの再構築(細胞間相互作用の解像度復元)、成長点のネットワーク境界点と位相ダイナミクス特異性(位相リセット)の相互変換など、独創的な成果をあげている。

植物における概日時計の物理学的研究は、まだまだ未解決のテーマが多く存在している。例えば、細胞レベルの振幅変化と細胞間同期との関係、細胞間相互作用の結合関数、個体レベルのネットワーク構造とダイナミクス、個体間の相互作用、植物と環境の相互作用(蒸散量と雰囲気)など、多くの課題が残されている。

しかしながら、後述するように、概日時計が示す特異的な物理状態「位相特異点(全ての体内時刻の重ね合わせ

状態)」に着目することで力学システムとしてのメカニズムと性質を解明し、SPAに関わる様々な場面の基礎として概日時計の状態を効率的に演算(数値シミュレーション)するための手法を確立した(Masuda et al., 2021a)。

3. 概日時計制御理論の構築

植物生産現場における「生体システム制御」の技術基盤となる SPA を段階的に進めるため、環境入力に対する概日時計の応答理論を構築した(Fukuda et al., 2013)。制御理論の中心となる位相応答曲線(PRC)の細胞集団同期率による関数化を発見し(Masuda et al., 2017)、摂動モデルの中・強入力への適切な拡張で、実際の栽培環境に適応できる方法論を確立した(図 2)。これらを基礎に、あらゆる環境入力に対する PRC の計測ならびに定式化の手法を確立し、従来と比べ 100 倍以上の感度で生物応答を計測できる新手法を開発し(Masuda et al., 2021a)、概日時計の応答性の内部ノイズを定量化することに成功した(Masuda et al., 2021b)。また、PRCを用いたノンパラメトリック最適化として、時間差のある光-温度の複合環境サイクルにおける生育変化に関する園芸学における重要課題を解いた(Masuda et al., 2022)。最近では、これらの理論のデジタル拡張を意図し、新たに「位相応答場」を定義し、デジタルオブジェクト化によって複雑条件における高速シミュレーションの手法を発案している。

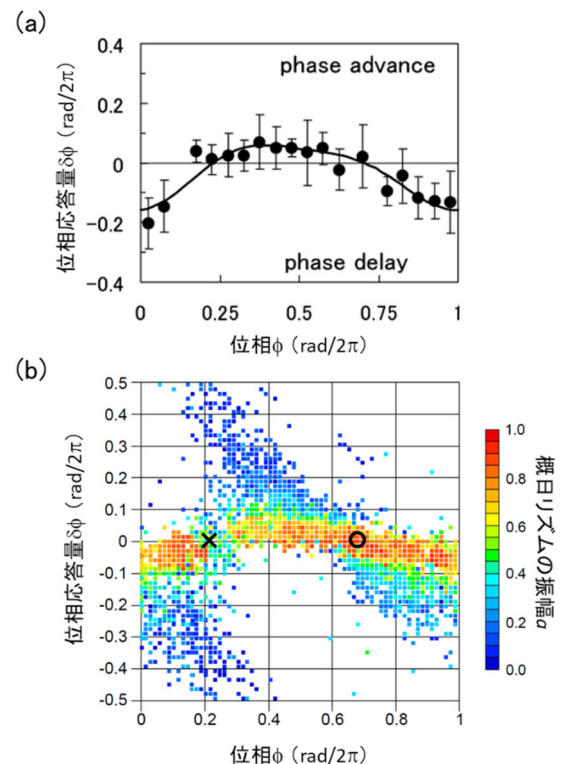


図2 概日時計の位相応答曲線

(a) 2-h dark pulse に対する位相応答曲線(実験値). (b) 2-h dark pulse に対する3次元の位相応答曲線(実験値).

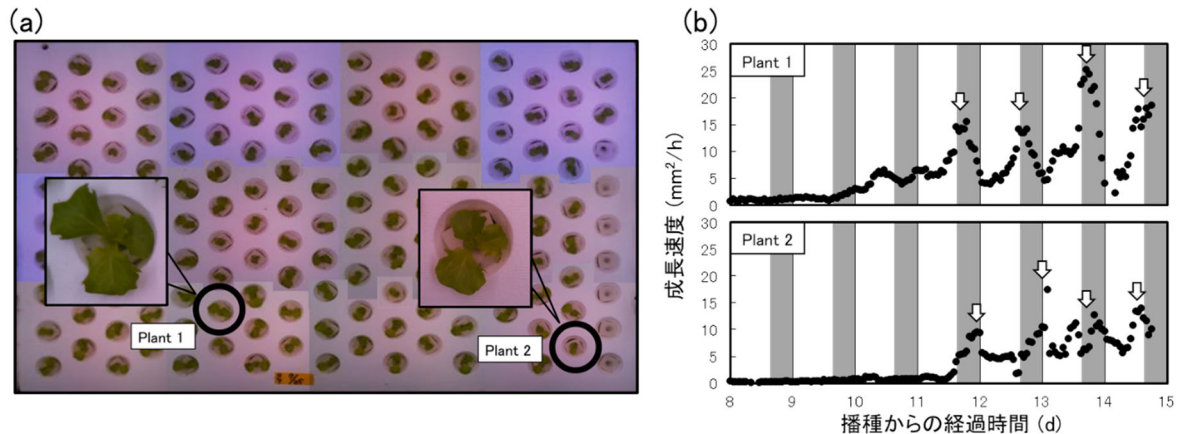


図3 人工光型植物工場における育苗期の成長リズム

(a) 育苗パネルの全体画像は播種後8日目、拡大画像は播種後15日目の画像。(b) 苗画像から算出した成長速度。面積拡大速度を成長速度とみなした。大阪府立大学植物工場C棟の育苗室リーフレタス(cv. Batavia)。

4. 植物工場への概日時計制御理論の組込

「生産安定化」、「成長予測」、「環境最適化」は、あらゆる植物工場が直面する課題であり、これら3大課題に対する対策の有無がその植物工場の経営運命を左右する。3大課題の中でも、生産安定化は歴史も浅く体系化はこれからである。しかし、経営に直結する生産の安定化は極めて優先度の高い課題である。また、安定性の議論は、一般に時間軸上で行われるため、植物体内の時間的秩序を規定する概日時計は欠かせない要素となる。そこで、本節では生産安定化の一般論を展開し、体系的な技術開発の着眼点を整理することで、概日時計に関する今後の研究を「生産安定化フローチャート」として体系化した。

生産安定化フローチャートにおける概日時計制御理論の直接的な組込みは、モデルとして仮定した代謝不安定性 I の回避や利用における概日時計 ϕ の制御が該当する。さらに、多くの生理応答が概日時計の位相に依存しているため、制御入力 I による支配パラメータ μ の制御においても、概日時計制御理論は重要となる。

また、間接的な組込みとしては、最適な生物状態 μ^* とそれを導く最適な環境 x^* の算出や、苗診断における概日リズム情報の利用などがある。図3は、植物工場の育苗室における苗別の成長予測を行った例である。大阪府立大学植物工場研究センターC棟(レタス日産6,000株)の育苗室において、小型コンピュータのRaspberry Piを複数台用いたカメラシステムを設置し、20分毎に画像取得を行い、時系列画像の画像解析により将来の成長予測を行ったものである(Nagano et al., 2019)。オプティカル・フロー解析により個体毎に葉の展開ベクトル $N_k(t)$ を導出し、その展開ベクトル $N_k(t)$ の特徴量を用いて機械学習により18日後の成長予測を行った。展開ベクトルのベクトル長と角度は複雑に変動しているが、24時間のリズム成分を含む。このリズム

成分を特徴量として用いることで、機械学習における計算負荷を軽減することができる。このように、機械学習で重要となる特徴量エンジニアリングにおいても概日時計の知見は有用となる。

5. 農業デジタルツインにおけるシミュレーション技術の開発

昨今の栽培技術革新において、技術の基盤となるのは「生体システム制御」であり、デジタル化された Speaking Plant Approach (SPA) である。現在、『SPAの俯瞰的社会実装(高山 2023)』の進展は目覚ましく、最新のIoT・AI技術を駆使することで、数%刻みで生産性の改善を実現する精緻な栽培技術が増加している。また、植物工場における多段階の生産工程に対し、総合的な最適化を実現するために、工場の自動化(Factory Automation; FA)やコンピュータ統合生産システム(Computer Integrated Manufacture; CIM)の必要性(Hashimoto 1989)が増大している。さらには、仮想現実(VR)等の映像技術の発達に伴い、高精細な3Dグラフィックスを基礎とした「デジタルツイン技術」への期待が高まっている。これらの革新技術は、「Society 5.0 型栽培技術開発/農業生産デジタルツイン開発」の根幹であり、生産現場を再現する強力な演算手法が求められる。このため、SPAに対する基礎モデル研究、すなわちビッグデータに基づく高度AI「統計モデル」と双璧をなす、高度な生体システム制御を実現する「力学モデル(物理モデル)」の重要性が増している。

実用化として、上述の基礎理論を最先端の機械情報工学への組込み、VRやロボットとの総合技術開発を行っている(図4)。最先端のデジタルプラットフォームであるUnreal Engine(UE)を基盤とした3次元シミュレーション技術として、GPUで作動するNiagaraパーティクルを用いた大規模な時計細胞集団のネットワーク・トポロジー可変モ



図4 Unreal Engine による3次元シミュレーション

デル(図5), フラクタル的な葉の3D 構造における波長ごとの受光量の精密演算によるリアルタイム光合成演算, 3D 草姿メッシュの頂点移動による萎れ等の変形操作, マルチコリジョン・チャンネルによる農業資材を模倣した波長依存型半透過性材料, などをご組み合わせることで, 植物栽培空間のデジタル再現技術を開発している. これらは UE の固有技術 Nanite や Lumen を利用した最先端の VFX(高精細映像化技術)により, 大規模かつ現実と見分けがつかないほどの圧倒的な映像化を実現している. これにより利用者に高度な没入感を与える UI・UX を実現可能にし, フル・デジタル化による全システム情報融合の実現を目指すことができる. 例えば, Society5.0 の機械生産工学の枠組みで, 群集 UAV ロボットなどの自己組織化最適軌道の計算, 人間協働ロボットと作業者の栽培空間デザイン, 宇宙農業などのVR経由遠隔操作, オープン・メタバースにおける多重社会システムなど, 全社会システムとの結合技術の開発を可能とする. この昇華されたステージを「SPA-VR」とし, 当然であるが, オミックスやフェノタイピングのデータモデルも順次連結し, 総合プラットフォームを実現する.

実際, シミュレーションにおいて, 技術的に難易度の高い植物体の連続体変形に着目しつつ, 植物工場の FA ならびに CIM の要素技術となる, 多軸ロボットマニピレータや擬似レーダ搭載 UAV ロボット群の動作への概日時計理論の組み込みを研究している. AI ロボットの基盤に概日時計理論がプリセットされた, SPA 研究の一つの到達点を目指している.

今後の展望

本研究の意義は, SPA 基礎モデルの多面的展開として「概日時計の演算理論」を主軸とする事で, 今後の農業生産現場のフル・デジタルモデリングを支え, 特に, SPA 俯瞰的社会実装が推進する「Society 5.0 型栽培技術開発/農業生産デジタルツイン開発」における生物環境のリアリティを形成する基礎“演算”理論として応用が期待される.

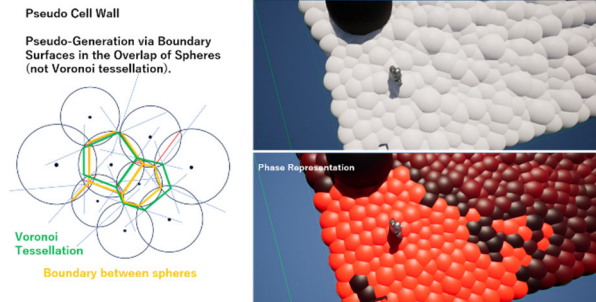


図5 時計細胞集団のネットワーク・トポロジー可変モデル

謝辞

今回の受賞に際し, 格別のご指導を賜りました日本生物環境工学会の橋本 康特別功績者・特別名誉会員・名誉会長(上席), 野口伸理事長, 高山弘太郎理事長, ならびに村瀬治比古特別功績者, 吉田敏特別名誉会長, 後藤英司会長, 羽藤堅治副会長, 伊藤博通副会長をはじめ多くの先生方からのご指導ご助言に, 心より深く感謝申し上げます. また, とともに研究を行った多くの学生に感謝します.

引用文献

- Hashimoto Y (1989) Recent strategies of optimal growth regulation by the speaking plant concept. *Acta Horticulturae*. 260: 115-121.
- Fukuda H, Nakamichi N, Hisatsune M, Murase H, Mizuno T. (2007) Synchronization of plant circadian oscillators with a phase delay effect of the vein network. *Phys. Rev. Lett.* 99(9), 098102-098102.
- Fukuda H, Ukai K, Oyama T. (2012) Self-arrangement of cellular circadian rhythms through phase-resetting in plant roots. *Phys. Rev. E* 86(4) 041917-041917.
- Fukuda H, Murase H, Tokuda IT. (2013) Controlling Circadian Rhythms by Dark-Pulse Perturbations in *Arabidopsis thaliana*. *Scientific Reports* 3, 1533-1533.
- Masuda K, Tokuda IT, Nakamichi N, Fukuda H. (2021a) The singularity response reveals entrainment properties of the plant circadian clock. *Nature communications* 12 (1), 1-7.
- Masuda K, Fukuda H. (2021b) Unstable Phase Response Curves Shown by Spatiotemporal Patterns in the Plant Root Circadian Clock. *Journal of biological rhythms* 36 (5), 432-441.
- Masuda K, Yamada T, Kagawa K, Fukuda H. (2022) Application of time lags between light and temperature cycles for growth control based on the circadian clock of *Lactuca sativa* L. seedlings. *Frontiers in Plant Science* 13.
- 福田弘和(2018) 植物工場における概日時計の科学技術, 植物環境工学, 30(1):20-27.
- 福田弘和(2019) 概日時計利用技術, 植物環境工学, 31(4):189-197.

微細藻類大量培養の研究とシステム開発および実証

増田篤稔

玉川大学大学院 農学研究科

要旨

水産資源は、管理・栽培・養殖の3つの漁業で増産が行われている。管理漁業は、主に天然資源の維持、栽培漁業では、人工種苗による放流による増産、養殖漁業では、天然種苗や人工種苗を育て積極的な増産を行う。栽培・養殖の漁業には、種苗生産が必要になる。種苗生産には、初期餌料に使用する動植物浮遊生物の大量培養が欠かせない。

二枚貝類の初期餌料は、1960年代に培養に関する環境条件の研究が始まり、その後、多方面で基礎ならびに応用研究が行われ、国内の水産試験場の浮遊性微細藻類培養に関する技術体系が1990年代にまとめられた。また、1970年代後半より浮遊性微細藻類大量培養は、水産餌料のみならずバイオマスエネルギーや有用物質生産などの研究が行われ、それに伴い機械ならびに大型化の開発に発展した。室内用の水産餌料用微細藻類大量培養におけるシステム開発および実証とバイオマス生産に関する研究を通じ、今後の微細藻類の大量培養を展望する。

キーワード

微細藻類大量培養, 光環境, 水産餌料, 機械・自動化, 有用物質, バイオマスエネルギー

緒言

1. 水産餌料生物としての微細藻類培養

水産における種苗生産の初期餌料は、動植物浮遊生物の大量培養にて確保されている。浮遊性微細藻類は、魚類用動物浮遊餌料と二枚貝類用餌料に用いられている。このため、浮遊生物の培養の中では、浮遊性微細藻類培養が最も重要な技術に位置づけられる。水産資源での3つの漁業と種苗生産における餌料培養の概念を図1に示す。また、動物性浮遊生物の餌料価は、微細藻類種により異なることも知られている。

水産関連での微細藻類は、天然よりスクリーニングされた種より培養技術開発や餌料評価が行われて現在に至っている。以前より、水産種苗生産に用いる初期の動物性浮遊生物は、*Brachionus plicatilis* が用いられ、*B. plicatilis* の餌料として *Nannochloropsis oculata* もしくは市販の *Chlorella vulgaris* などが用いられている。二枚貝類や餌料価値の観点より、ハプト藻類の *Pavlova lutheri*, *Isochrysis* sp. 中心目珪藻類の *Chaetoceros gracilis*, *Chaetoceros calcitrans* などである。これらに関する餌料用微細藻類の培養諸条件に関する研究は、大学や国研ならびに各地の水産試験場などで盛んに行われ、栽培漁業センターや種苗生産を行う公的機関では、大量培養に関する研究も

行われていた^{1,2)}。巻貝や棘皮動物用餌料の付着藻類培養に関しては自動化装置の一部を紹介し、浮遊性微細藻類の大量培養の研究とシステム開発を展望する。

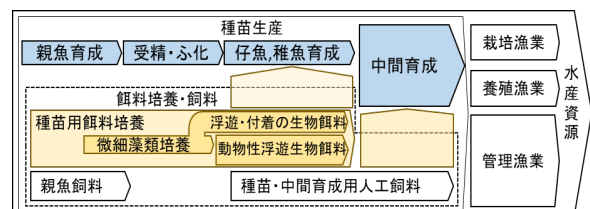


図1. 各漁業における種苗生産と餌料培養の関係概念図

2. 水産における大量培養の試み

日本における漁業環境は、1977年の米国とソ連による200海里水域設定と1989年の国連大規模公海流し網禁止により大きく変わった。日本の漁業・養殖業の生産量は、1984年の1,282万トンピークにして、その後減少した。これらの国際的な背景より資源の持続的利用の取り組みとして栽培漁業による増産が積極的に行われるようになった³⁾。

栽培漁業には、大量の人工種苗が必要になり、それに合わせて餌料の大量生産技術開発が行われた。栽培漁業を行うために、国の栽培漁業センターが1977年以降に全国に設置され、各地に県営の栽培漁業センターも作られた。それらの施設では、餌料培養技術の研究と大型化が行われ、技術体系がまとめられた^{1,2)}。同時期に国内で

は、機械や装置メーカーによるフォトバイオリアクターの開発による大型ならびに自動化の装置開発が行われ^{4, 5, 6)}、有用物質生産や餌料生産工場なども建設された。

水産餌料用培養システム開発

餌料用微細藻類培養では、培養液中の光・水温・CO₂・O₂・栄養塩・密度などの環境条件が重要であり、それらを制御して餌料価に加えて増殖速度や最終到達密度を高められる培養槽が必要になる。当時、所属事業部で筆者も開発した水産餌料培養システムは、餌料供給作業の省力化装置として小規模な水産関連設備への納入実績があった。筆者らは、当時の市場背景より効率的な培養槽による大規模な水産餌料供給システムのニーズが高まり効率的な培養槽とそれに伴うシステム開発を行った⁷⁾。

1. 培養槽設計における基礎的研究

水産における基礎的な研究では、主に栄養塩や水温および培養液表面光量が調べられている。培養システムの性能に大きな影響を与える要因に光量がある。室内の場合、人工照明装置にて培養槽表面への光放射量を決めるが、時系列的に増加する微細藻類密度により培養槽内部の透過光量は変化する。それに加えて、水温ならびに二酸化炭素供給量などで培養システムの総合的な性能が決まる。

筆者らが開発した培養システムでは、幾つかの段階に分けて研究を行った^{8,9)}。はじめに、培養容器外周の人工光源の設計方法の検討を行った。開発当時の光源は、蛍光灯が主流であり発光効率が良いFPL55EX-N(松下電器産業)を使用して検討を行った。培養槽受光面の光放射量は、蛍光灯だけでは設計計算できないため、共同研究で目標とした光環境を松下電工(株)が研究用照明器具の設計および製作を行った。蛍光管4灯が入る器具9台にて研究計画の光放射量を確保した。筆者らにて、研究用照明装置とSBF-200の透光性ポリカーボネート槽(アース)を使用して、培養槽の洗浄や水温制御などのシステムとして検討ならびに製作を行い、培養システムにおける光放射設計検討と実機における差異を検証した。その結果、極近接照明においても従来の手法にて設計ができることが確認された⁸⁾。

次に、培養システムの性能指標の一つである最終到達密度に関して研究を行った。培養槽では、時系列的に微細藻類密度が増加するので、培養槽内部での透過光の定量化と培養槽の光合成活性を把握するため培養槽の酸

素発生量の定量化を行った。培養槽における光減衰は、照明装置の配設より入射光が四方より入るので解析が煩雑になるため測定用の特殊容器を製作して定量化を行った⁹⁾。酸素発生量は、光環境や通気の影響を受けるため培養槽を用いて定量化を行った¹⁰⁾。その結果、市販の円筒形透光性容器では、1台の培養槽容量を大きくすると最終到達密度が低くなると考えられ、独自の培養槽製作を行う必要性が生じた。図2～4は、研究初期装置である。



図2. 効率的培養槽開発の研究装置



図3. 最大照射時の培養槽

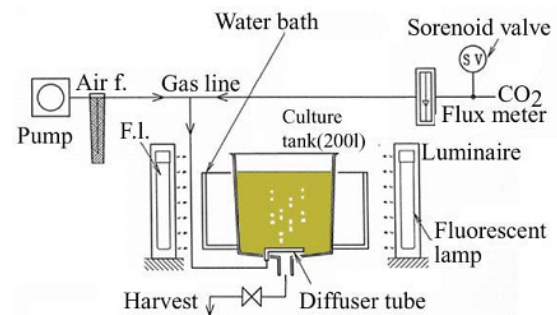


図4. 培養システムフロー

2. 効率的な培養槽と培養システムの開発

効率的な培養槽開発に対して、種苗生産を行う研究者から培養時の光条件により餌料栄養価が異なる可能性の指摘があった。このため培養槽開発では、増殖速度や最終到達密度指標に加えて、餌料栄養価に関する評価も必要であった。しかし、その当時の餌料評価の方法は、栄養素分析のみに頼ることができない懸念があり、餌料と

して種苗生産を行い正常に成長することが求められた。このため、実際の種苗に給餌して餌料評価を行う必要があり、少量の種苗生産を行える餌料生産が必要になった。プロト培養槽の設計では、人工光源や容器素材・形状ならびに加工技術と製作コストも含めて、数百 L/台の検討を行った。培養器開発と実証設備を図 5～8 に示す。

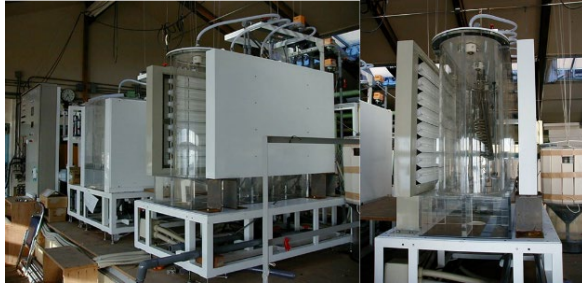


図 5. 独自開発プロト培養槽

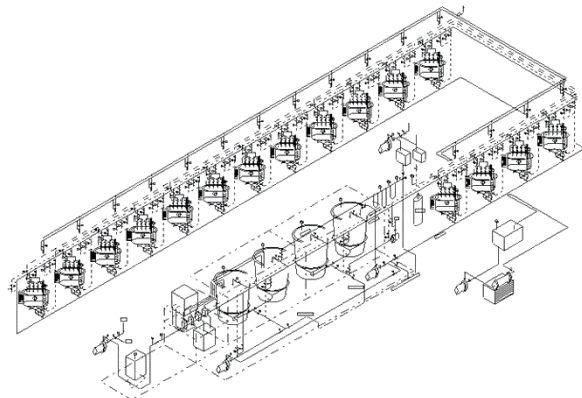


図 6. 種苗生産システム用の餌料培養システムフロー

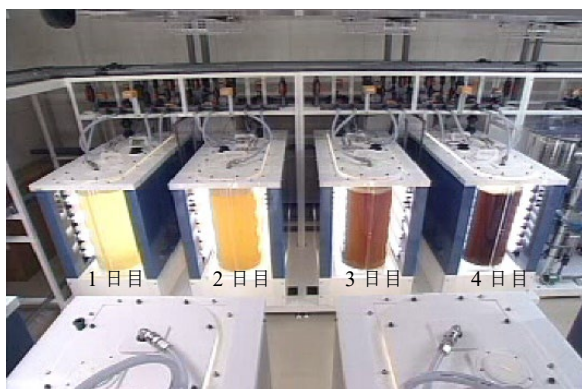


図 7. 実施設における *C. gracilis* の培養

プロト培養槽開発を経て、1999 年 5 月に日量 4m³ 餌料培養生産システムを備えたカキ種苗センターの設立がなされた。市販容器使用の培養槽より電気および設置面積では、約 20 倍の生産効率と社内試算された。

巻貝類の餌料である付着藻類の大量培養システムに、

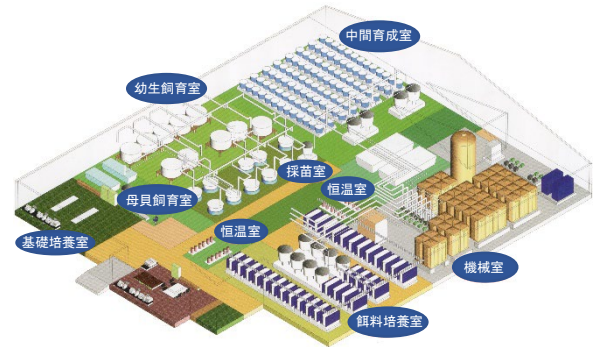


図 8. 実証された種苗生産設備外観図 ¹¹より改変)

水産庁養殖研究所の田中信彦博士が開発した装置がある¹²⁾。1988 年当時、水産庁養殖研究所に民間企業へ研究指導を行って頂ける制度があり、その制度にて環境管理部 環境動態研究室の杉山元彦博士ならびに田中信彦博士に、環境分析や付着珪藻培養装置および陸上養殖の基礎的知見に関してご指導して頂く機会があった。その装置を基にして自動化を行った。この装置の応用利用としてアワビ種苗生産初期餌料の大量培養を行い、高効率なアワビの種苗生産を行っている施設がある。

水産餌料以外の培養に関する研究

抗腫瘍物生産の微細藻類培養の研究やバイオマスエネルギー用の微細藻類培養の基礎的研究も行った。医薬原料向けの微細藻類研究では、難大量培養種の *Amphidinium* sp. を使用し、光量特性や培養液検討を行った¹³⁾。その結果、従来数 L の平底フラスコから 100L 透光性容器での培養が可能になり、最終的には、2m³/槽・台の大型容器培養ができた。

バイオマスエネルギーの培養研究では、屋外太陽下での *C. gracilis* の培養の基礎的特性を調べ¹⁴⁾、大型屋外培養槽の開発に備えて室内にて培養液中の光量子当たりの光合成活性の解析方法の検討も行った。微細藻類の光合成解析では、培養槽にて光合成活性指標となる酸素発生量の測定方法に¹⁰⁾、受光量も加え併せて培養の時系列経過に伴う微細藻類の光合成活性状況の解析に役立てた。光源や培養種などの異なった条件での培養検討は、使用用途により独自の培養槽と光環境および培地などの基礎的条件のスケールアップの設計で行えると考えられた。しかし、培養液中の光環境は、微細藻類密度の光源からの距離も重要になり、用途に合わせた個別検討が必要になることが示唆された。現在は、培養容器形状の異なる培養に関する基礎的な研究を民間企業との共同研究で行って

いる¹⁵⁾。

今後の展望

多種多様な微細藻類は、その内部物質も同様である。今後、一次産業向けの餌料や飼料または他産業の原材料などへの利活用が期待されている。課題は、屋外における高効率安定大量培養技術の確立とシステム全体での経済性と思われる。室内の開放系培養槽における酸素加除速度定量方法は、水産餌料向けの大量培養システム開発に有用であった。今後は、太陽光のような変動量の大きい光源に対して、屋外培養で同様な光合成活性定量解析の検討を行い、屋外大型培養システムの評価基準などに用いられると大型プラントの経済的検討が設計段階で可能になると思われる。さらに、屋外大量培養システムには、光合成活性定量解析を拡張した設計方程式も有用と考えている。現在、筆者の設計方程式を用いた研究では、陸上養殖システムにて研究を行っている¹⁶⁾。その研究では、最小エネルギーや経済効率が方程式より導ける可能性があるので、微細藻類培養施設作りにも役立つと考えている。

謝辞

本受賞に際し、ご推薦を頂きました生態工学会長船田先生、共同研究でご指導頂いた大政先生、北宅先生、津田先生、菓子野先生に厚くお礼を申し上げます。また、培養槽はじめ多くの研究のご指導を頂いた村上先生、洞口先生、向阪先生、および多くのご示唆を頂きました諸先生方、前職関係の皆様にも厚く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 水産庁養殖研究所，微小藻類の大量培養技術開発研究(田村勝編)，1996
- 2) 水産庁養殖研究所，生物餌料の培養技術に関する研究(藤本裕編)，2001
- 3) 水産白書，特集 平成期の我が国水産業を振り返る，令和元年度版
- 4) 足立正，梅田至，宮昌子，微細藻培養システムに関する基礎的検討－光内部照射形微細藻培養装置の試作－，エバラ時報，**157**，pp. 58-66.，1992
- 5) 村神渚，飯尾久美子，石倉正治，アスタキサンチン含有ヘマトコッカス藻色素製剤の開発，Yamaha Motor Technical Review，2007
- 6) 増田篤稔，向阪信一，高橋光男，蓑島雅志，加藤元一，洞口公俊，村上克介，カキ種苗生産プラントにおける餌料用微細藻類培養の効率化，*Eco-Engineering*. **18** (3)，pp. 131-138.，2005
- 7) 奥村裕弥，中島幹二，増田篤稔，高橋光男，向阪信一，洞口公俊，松山恵二，村上克介，*Pavlova lutheri* の大量培養における光強度と細胞密度の関係について，植物工場学会誌 **12**(4)，pp. 261-267，2000
- 8) 増田篤稔，向阪信一，高橋光男，蓑島雅志，洞口公俊，森田富彦，村上克介，水産餌料用微細藻類の高密度培養における光放射環境実検装置の開発，*Eco-Engineering*. **17** (4)，pp. 215-222.，2005
- 9) 増田篤稔，洞口公俊，向阪信一，小澤知子，加藤元一，村上克介，微細藻類の培養濃度および培養液厚の変化に伴う透過光の減衰，*Eco-Engineering*. **18** (1)，pp. 3-8.，2005
- 10) 増田篤稔，村上克介，微細藻類培養に関するガス動態，農業環境工学関連学会 2009 年合同大会，OS-3: 水産における物質循環と複合養殖，2009
- 11) 増田篤稔，向阪信一，洞口公俊，村上克介，カキ種苗における餌料用微細藻類の高効率大量生産，*Eco-Engineering*. **17** (1)，pp. 17-22.，2005
- 12) 田中信彦，天然餌料としての付着珪藻とその培養，水産土木 **24**(1)，pp. 37-41，1987
- 13) Masashi Tsuda, Keiko Oguchi, Rie Iwamoto, Yumiko Okamoto, Jun'ichi Kobayashi, Eri Fukushima, Jun Kawabata, Tomoko Ozawa, Atsunori Masuda, Yoshiaki Kitaya, and Kenji Omasa, Iriomoteolide-1a, a Potent Cytotoxic 20-Membered Macrolide from a Benthic Dinoflagellate *Amphidinium* Species, *J. Org. Chem.* **72**, pp. 4469-4474, 2007
- 14) Hiromi Tokushima, Natsuko Inoue-Kashino, Yukine Nakazato, Atsunori Masuda, Kentaro Ifuku and Yasuhiro Kashino, Advantageous characteristics of the diatom *Chaetoceros gracilis* as a sustainable biofuel producer, *Biotechnol Biofuels* **9**, p. 235, 2016
- 15) 嶋原亜土，三宅友香，増田正夫，増田篤稔，チューブ型バイオリアクターを用いた微細藻類による CO₂ 固定化技術の開発，PA-108，化学工学会 第 89 年会，2024
- 16) 増田篤稔，陸上養殖における部分機能と全体システムの開設とアワビに関する研究事例の紹介，遠藤雅人監修，陸上養殖の最新動向，pp. 23-37，(株)シーエムシー出版，2019

日本農業工学会賞受賞者

(2014 年 ～ 2024 年)

日本農業工学会賞 2014 (第 1 回)

受賞者	受賞業績
白井 清恒	灌漑方法の理論的研究
中川昭一郎	学会の国内外における地位の確立
田淵 俊男	土壌、水、窒素の動態研究
橋本 康	国際学術振興を目指して
木谷 収	農業工学の国際化
中野 政詩	土壌中の物質移動に関する研究
真木 太一	農業環境工学の研究
町田 武美	農業情報化に関する研究

日本農業工学会賞 2015 (第 2 回)

受賞者	受賞業績
古在 豊樹	閉鎖型植物生産システムに関する研究
後藤 隆志	水田耕うん整地用機械の高速化に関する研究
田中 忠次	土構造物の構造安定解析の研究
橋口 公一	固体の非可逆力学現象の支配法則: 下負荷面モデルの提案
野口 伸	生物環境情報とロボットによる食料生産システムに関する研究

日本農業工学会賞 2016 (第 3 回)

受賞者	受賞業績
玉浦 裕	太陽エネルギー利用による生態工学システム
安永 円理子	安全・安心の消費者志向を考慮したプレ・ポストハーベスト技術
鈴木 義則	地形気象ならびに都市熱対策に関する研究
干場 信司	家畜生産システムの総合的評価に関する研究
永木 正和	農業経済学と情報学のリンクした領域を拓く
近藤 直	マニピュレータ、マシンビジョンを有する農業ロボット
青山 咸康	農業水利構造物の地震時挙動の解析と耐震性評価に関する研究

日本農業工学会賞 2017 (第 4 回)

受賞者	受賞業績
竹内俊郎	閉鎖生態系循環式魚類飼育システムの構築
吉田 敏	植物生産システムにおける制御環境下の根機能
早川誠而	大気中の熱・物質輸送と農業気象災害に関する研究
小松崎将一	カバークロップを利用した農作業システムに関する研究
佐竹隆顕	生物生産・流通プロセスの高度化に関する研究

岸田義典	日本・世界の開発途上国の農業機械化の促進
川村周三	米の収穫後プロセスにおける品質食味向上技術の開発
中 達雄	農業水利システムの性能照査型設計手法の開発
千賀裕太郎	地域資源としての水・土地の特性解明と利用計画手法の構築

日本農業工学会賞 2018（第 5 回）

受賞者	受賞業績
野並 浩	細胞膨圧計測に伴うソフトイオン化細胞分子計測の開発
原 蘭 芳信	各種生態系における温室効果ガス収支の観測と収支評価
田島 淳	環境保全型農作業システム構築のための局所耕うん栽培技術の開発
中野 和弘	ハウス栽培篤農家のノウハウ抽出に関する研究
亀岡 孝治	農作物・農産物のマルチ分光計測に関する研究
酒井 憲司	カオス理論農学応用の為の頑健カオス解析法
増本 隆夫	流域規模の農地水利用と自然・人為的水循環変化に関する研究
星野 敏	グローバル化時代に対応した新たな農村コミュニティ計画論の確立

日本農業工学会賞 2019（第 6 回）

受賞者	受賞業績
木部 勢至朗	閉鎖生態系生命維持技術を用いた宇宙居住系技術の研究
後藤 英司	植物工場における植物の生育制御に関する研究
小林 和彦	大気環境変化が農業に及ぼす影響の圃場実験による解明
宮崎 昌宏	傾斜地果樹園における機械化作業体系に関する研究
奥島 里美	園芸施設内部の気流と環境制御に関する研究
大政 謙次	植物機能リモートセンシングと空間情報解析に関する先駆的研究
渡邊 紹裕	農業用水管理と地域環境の関係に関する研究

日本農業工学会賞 2020（第 7 回）

受賞者	受賞業績
船田 良	木質バイオマスの形成制御機構に関する研究
田中 道男	洋ランのクローン苗生産に関する先駆的技術の開発
小沢 聖	作物反応を活用した環境制御技術の開発
荒木 肇	カバークロップによる農耕地環境改善と作物生産性向上に関する研究
古野 伸典	積雪寒冷地域における施設園芸の環境制御と強靱化に関する研究
平藤 雅之	農業における IoT、ビッグデータ、AI の研究
飯田 訓久	コンバインの自動化・ロボット化・情報化に関する研究
久保 成隆	開水路用排水路系における流れの解析と制御に関する研究

日本農業工学会賞 2021（第 8 回）

受賞者	受賞業績
皆川 秀夫	耕畜連携による循環型農業システムの構築
伊藤 博通	Speaking Plant Approach による植物の生育制御に関する研究

北宅 善昭	根域ガス環境の植物影響及びその制御
辻 博之	北海道におけるリビングマルチを用いたダイズの保全的栽培に関する研究
阿部 佳之	吸引通気式堆肥化処理による家畜ふん尿の資源化に関する研究
星 岳彦	施設環境計測制御の情報基盤の開発と普及
井上 英二	圃場機械の振動低減化ならびに作業精度向上に関する研究
村上 章	カルマンフィルタによる逆解析法の開発と農業水利施設の保全管理への応用
広田 純一	人口減少下の農山漁村集落の存続・再生

日本農業工学会賞 2022（第 9 回）

受賞者	受賞業績
山路 永司	水田農業地域持続のための農村計画論の確立と国際展開
白石 文秀	数式モデリングを根底に置く化学反応プロセスの開発に関する研究
羽藤 堅治	生物環境工学における ICT に関わる研究
森山 英樹	温室の気象災害低減に関する研究
吉田 智一	分散協調スキームによる営農管理情報システムの開発
森本 英嗣	スマート農業に資する土壌センサ搭載型可変施肥田植機に関する研究
溝口 勝	農業農村地域における DX のための先導的研究
本條 毅	都市緑地の熱的効果およびヒートアイランド現象に関する研究

日本農業工学会賞 2023（第 10 回）

受賞者	受賞業績
渡邊 博之	LED を光源とした植物栽培技術および植物工場の研究
高山弘太郎	施設園芸に実装される高精度生体情報計測技術の開発
富士原 和宏	人工光下の植物栽培・貯蔵に関する環境調節工学的研究
野口 良造	食料生産・生物資源利用のシステム解析と環境影響評価
志藤 博克	青刈りトウモロコシの省力化収穫調製技術の開発
足立 泰久	土・水環境中のコロイド界面工学の創生による環境持続可能性の展開
福与 徳文	地域の内発性を引き出す計画手法に関する研究

日本農業工学会賞 2024（第 11 回）

受賞者	受賞業績
西村 拓	気候変動を考慮した水食予測に関する研究
西津 貴久	ヘルムホルツ共鳴を利用した食品物性評価法の開発
黒瀬 義孝	局地気象の実態解明に関する農業気象学的研究
深見 公一郎	九州・沖縄地域における土地利用型作物の機械化研究
福田 弘和	生物環境工学における概日時計の研究
増田 篤稔	微細藻類大量培養の研究とシステム開発および実証

2024 年度日本農業工学会フェロー受賞者

2024 年 5 月 12 日授与

治多 伸介	農業農村工学会	愛媛大学大学院農学研究科・研究科長
森 淳	農業農村工学会	北里大学獣医学部生物環境科学科・教授
藤原 正幸	農業農村工学会	京都大学大学院農学研究科地域環境科学専攻水資源利用工学分野・教授
凌 祥之	農業農村工学会	九州大学大学院農学研究院生産環境学科学・教授
田中丸治哉	農業農村工学会	神戸大学大学院農学研究科食料共生システム学専攻・教授
渡嘉敷勝	農業農村工学会	農研機構農村工学研究部門・所長
福高 恭史	農業食料工学会	元株式会社クボタ
大谷 隆二	農業食料工学会	東北大学 大学院農学研究科 次世代食産業創造センター・教授
天羽 弘一	農業食料工学会	畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所・研究統括監
西森 基貴	日本農業気象学会	農研機構農業環境研究部門・領域長
平野高司	日本農業気象学会	北海道大学大学院農学研究院・教授
米村正一郎	日本農業気象学会	県立広島大学生物資源科学部・教授
椎名武夫	農業施設学会	千葉大学 大学院園芸学研究院・教授
田中章浩	農業施設学会	農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄
鹿内 健志	日本農作業学会	琉球大学・教授
鈴木 尚俊	日本農作業学会	長野県農業試験場・作物部長
岡安 崇史	農業情報学会	九州大学大学院農学研究院環境農学部門農業生産システム設計学研究室・教授
深津 時広	農業情報学会	農業・食品産業技術総合研究機構・農業機械研究部門 知能化農機研究領域施設園芸生産システムグループ・グループ長
池田敬	日本生物環境工学会	明治大学農学部・教授
片山直美	日本生物環境工学会	名古屋女子大学 健康科学部 健康栄養学科・教授
重岡 徹	農村計画学会	秋田県立大学・教授
宮嶋宏行	生態工学会	国際医療福祉大学臨床工学特別専攻科・教授
土肥哲哉	生態工学会	一般社団法人日本有機資源協会

日本農業工学会フェロー受賞者

(平成 11 年度～2024 年度)(合計 4752 名)

受賞年度(受賞者数)(総会報告年月日)

平成 11 年度(19 名)

平成 12 年 5 月 19
日

岡本 嗣男
角屋 睦
木谷 収
久保 七郎
古在 豊樹
佐野 文彦
白井 清恒
白石 英彦
須藤 清次
世良田和寛
田淵 俊雄
茶谷 仁
中川昭一郎
中村 良太
橋本 康
前川 孝昭
真木 太一
安富 六郎
和田 完司

平成 12 年度(11 名)

平成 13 年 5 月 18
日

近藤 次郎
塩谷 哲夫
庄司 英信
杉 二郎
鈴木 義則
中村 武夫
行方 文吾
野口 正三(辞退)
林 弘宣
八幡 敏雄
福田 仁志

平成 13 年度(11 名)

平成 14 年 5 月 17
日

相賀 一郎
遠藤織太郎

緒形 博之
菊岡 武男(辞退)
久保 祐雄
沢田 敏男
高倉 直
藤川 武信(辞退)
古谷 将(辞退)
松田 良一
山本 茂

平成 14 年度(11 名)

平成 15 年 5 月 16
日

上森 千秋
岩崎 和巳
岸上 定男
田中 宏平
田中弥寿男
長野 敏英
中山 敬一
新田 慶治
細川 明
山澤 新吾
米村 純一

平成 15 年度(11 名)

平成 16 年 5 月 14
日

不破敬一郎
高井 宗宏
町田 武美
渡部 一郎
川村 登
堂腰 純
清水 邦夫(辞退)
白滝 山二
長 智男(辞退)
藤田 則之
山本 光男

平成 16 年度(45 名)

平成 17 年 5 月 13
日

矢吹 萬壽
有馬 博
高辻 正基
獅山 慈孝
蔵田 憲次
松井 健
宮山平八郎
坂上 務
羽生 寿郎
三原 義秋
藍 房和
田中 孝
前田 耕一(辞退)
増田 正三
三箇山正雄
山下 律也
石光 研二
小出 進
長崎 明
市村 一男
村瀬治比古
関谷 光博
中原 通夫
穴瀬 真
松下 玄
徳永 光一
河野 洋
渡辺 潔
石川 明
田中礼次郎
篠邊 三郎
河原田禮次郎
中村 充
井上 自然
佐藤 晃三(辞退)
難波 直彦(辞退)
岩田 進午
野村 安治
土崎 哲男
岸本良次郎
鈴木 光剛
湯川 清光
中川 稔

浅原 辰夫
中島 哲生

平成 17 年度(50 名)

平成 18 年 5 月 12
日

堀部 和雄
大島 泰郎
大矢 晴彦
須藤 隆一
高桑 栄松
都留 信也
筑紫 二郎
内嶋善兵衛
内島 立郎
小元 敬男
吉野 正敏
小中 俊雄
坂井 純
並河 清
村田 敏
森嶋 博
立花 一雄
海老澤 勲
相原 良安
内海 修一
今尾 昭夫
長堀 金造
梅田 安治
戸原 義男
村上 康蔵
細山田健三
酒井 信一
近森 邦英
浅井喜代治
須藤良太郎
四方 田穆
内藤 克美
吉田 昭治
南 信弘
丸山 利輔
鈴木 敬
佐藤 晃一

大根 義男
仲野 良紀
岡本 雅美
谷山 重孝
翁長 謙良
江崎 要
黒田 正治
長谷川高士
北村貞太郎
川尻裕一郎
富田 正彦
豊田 勝
坂井 直樹

平成 18 年度(19 名)
平成 19 年 5 月 11 日

松岡 孝尚
橋口 公一
今井 勝
上村 賢治
山崎 稔
長島 守正
速水 昭彦
多田 敦(辞退)
矢橋 晨吾
藤井 弘章
高山 昌照
笹野 伸治
松田 豊
澁谷勤治郎
河野 広
中野 政詩
飯本 光雄
永田 雅輝
岸田 義典

平成 19 年度(5 名)
平成 20 年 5 月 9 日

堀口 郁夫
谷信 輝
西山 喜雄
上野 久儀
原 道宏

平成 20 年度(12 名)
平成 21 年 5 月 22 日

堀尾 尚志

森泉 昭治
岸田 恭充
泊 功
瀬尾 康久
笹尾 彰
市川 友彦
伊藤 和彦
佐藤 洋平
山本 敏
仁科 弘重
矢澤 進

平成 21 年度(19 名)
平成 22 年 5 月 13 日

高山 真策
松山 正彦
高田 吉治
石川 文武
小池 正之
唐橋 需
石橋 憲一
岡太 郎
海田 能宏
辻厚 志
藤居 宏一
藤澤 和
福桜 盛一
矢野 友久
高橋 強
大政 謙次
花形 将司
米川 智司
駒村 正治

平成 22 年度(14 名)
平成 23 年 9 月 12 日

林真 紀夫
早川 誠而
中司 敬
伊藤 信孝
梅田 幹雄
園部 和彦
真勢 徹
田中 雅史
松田 誠祐
堤 聰
中野 俊郎

常松 哲
桑原 孝雄
長澤 徹明

平成 23 年度(14 名)
平成 24 年 5 月 15 日

位田 晴久
清野 豁
瀧川 具弘
喜多 毅
澁澤 栄
保坂 幸男
三野 徹
今井 敏行
杉山 博信
田中 忠次
青山 咸康
有田 博之
竹内 俊郎
奥島 里美

平成 24 年度(16 名)
平成 25 年 5 月 14 日

田中 道男
野並 浩
青木 正敏
小林 恭
大下 誠一
行本 修
相良 泰行
中野 芳輔
宜保 清一
宮崎 毅
河地 利彦
小前 隆美
森 健
千賀裕太郎
平藤 雅之
木部勢至朗

平成 25 年度(13 名)
平成 26 年 5 月 13 日

石川 勝美
北野 雅治
岡田 益己
細川 寿氏

近藤 直氏
後藤 隆志
志賀 徹
渡部 良朋
藤井 克己
内田 一徳
竹内 睦雄
亀岡 孝治
玉浦 裕

平成 26 年度(15 名)
平成 27 年 5 月 12 日

日平間 淳司
森本 哲夫
大場 和彦
東城 清秀
野口 伸
内野 敏剛
干場 信司
塩沢 昌
石田 朋靖
高橋 順二
石田 憲治
中野 和弘
北宅 善昭
中 達雄
田川 彰男

平成 27 年度(13 名)
平成 28 年 5 月 20 日

船田 良
後藤 英司
清水 浩
浦野 慎一
小松崎 将一
山口 智治
永木 正和
小田原 哲一
川村 周三
庄子 和博
小泉 健
春山 成子
平松 和昭

平成 28 年度(21 名)
平成 29 年 5 月 16 日

日
泉谷 直昭

田澤 信二
星 岳彦
門田 充司
吉田 敏
小林 和彦
小沢 聖
荒木 肇
宮崎 昌宏
佐竹 隆顕
佐瀬 勘紀
二宮 正士
井上 英二
芋生 憲司
杉山 隆夫
森井 俊広
渡邊 紹裕
後藤 章
毛利 栄征
糸長 浩司
山路 永司

平成 29 年度(22 名)
平成 30 年 5 月 15
日

水谷 広
白石 文秀
桶 敏
槐島 芳徳
牧野 義雄
皆川 秀夫
菅野 洋光
富士原 和宏
林 久喜
岩崎 浩一
池口 厚男
五十部 誠一郎
南石 晃明
木下 榮一郎
酒井 憲司
豊田 淨彦
山本 徳司
河端 俊典
溝口 勝
佐々木 長市
廣田 純一
星野 敏

平成 30 年度(21 名)
2019 年 5 月 14 日

多胡 靖宏
大西 充
伊藤 博通
羽藤 堅治
奥田 延幸
山本 晴彦
鮫島 良次
宮田 明
佐藤 禎稔
田島 淳
河野 澄夫
後藤 清和
中村 典裕
滝岸 誠一
飯田 訓久
小竹 一男
久野 貴敬
久保 成隆
白谷 栄作
莊林 幹太郎
中村 和正

2020 年度(22 名)
2020 年 5 月 15 日

渡邊 博之
中林 和重
江口 壽彦
西浦 芳史
村上 克介
本條 毅
青野 靖之
大野 宏之
武田 純一
亀井 雅浩
大森 定夫
豊田 裕道
平石 武
吉田 智一
川越 義則
藤村 博志
坂口 栄一郎
原田 和夫
粕井 和朗
向後 雄二
土居 邦弘
辻 修

2021 年度(22 名)
2021 年 5 月 14 日

増田 篤稔
齋藤 高弘
有馬 誠一
松岡 健
荊木 康臣
黒瀬 義孝
杉浦 俊彦
長崎 裕司
庄司 浩一
石川 豊
北村 豊
野口 良造
山田 優
水野 英則
西村 洋
小林 研
井上 京
藤原 信好
長 裕幸
稲垣 仁根
小林 久
福与 徳文

2022 年度(23 名)
2022 年 5 月 14 日

伊能 利郎
寺添 斉
大橋 敬子
安永 円理子
伊藤 大雄
桑形 恒男
長谷川 利拡
深山 大介
元林 浩太
岩渕 和則
土方 亨
田上 隆一
吉村 秀清
田中 史彦
八谷 満
宮原 佳彦
工藤 りか
成岡 市
北川 巖
松本 伸介
北辻 政文
藤崎 浩幸
柚山 義人

2023 年度(23 名)
2023 年 5 月 13 日
谷 晃

横谷 香織
荒木 卓哉
大上 博基
廣田 知良
脇山 恭行
大森 弘美
帖佐 直
兼崎 雅弘
水谷 孝一
小田 滋晃
清水 庸
岡本 宗治
西津 貴久
松井 正実
守谷 栄樹
進藤 惣治
武田 育郎
取出 伸夫
西村 伸一
西村 拓
上野 裕士
守田 秀則

2024 年度(23 名)
2024 年 5 月 12 日

治多 伸介
森 淳
藤原 正幸
凌 祥之
田中丸治哉
渡嘉敷勝
福高 恭史
大谷 隆二
天羽 弘一
西森 基貴
平野高司
米村正一郎
椎名武夫
田中章浩
鹿内 健志
鈴木 尚俊
岡安 崇史
深津 時広
池田敬

片山直美
重岡 徹
宮嶋宏行
土肥哲哉

1. 日本農業工学会会則

昭和 59 年 6 月 30 日制定
平成 5 年 5 月 20 日一部改定
平成 20 年 5 月 9 日一部改正
平成 23 年 5 月 11 日一部改正
平成 30 年 5 月 15 日一部改正
2021 年 5 月 14 日一部改正

第1章 総 則

- 第 1 条 本会は日本農業工学会(Japan Association of International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering)と称する。
- 第 2 条 本会は事務所を東京都内に置く。

第2章 目的及び事業

- 第 3 条 本会は農業工学に関する会員相互の協力により、農業工学及びその技術の進歩発達に資することを目的とする。
- 第 4 条 本会は、その目的を達成するために次の事業を行う。
- (1) 各学会、協会の連絡・協力及びその総合活動
 - (2) 内外の農業工学関係諸機関・団体及び個人との連絡
 - (3) 講演会等の開催
 - (4) その他目的を達成するために必要な事業

第3章 会 員

- 第 5 条 会員を分けて、正会員・維持会員及び国際会員とする。
- (1) 正会員は、農業工学に関する学術団体とする。
 - (2) 維持会員は、本会の目的に賛助する団体とする。
 - (3) 国際会員は、正会員に属する個人であって、国際農業工学会に登録したものとする。
- 第 6 条 本会に入会しようとするものは、別に定める入会申込書を提出し、理事会の承認を得るものとする。
- 第 7 条 正会員で退会しようとするものは、その旨書面をもって届け出て理事会の承認を得るものとする。
2. 維持会員・国際会員が2年以上会費を滞納した場合は退会したものとみなす。

第4章 役 員

- 第 8 条 本会に次の役員を置く。
- 会長 1 名 副会長 2 名 理事 若干名 監事 2 名
- 会長・副会長は理事とする。
- 第 9 条 会長は本会を代表し、会務を統べ、総会及び理事会の議長となる。

- 第 10 条 副会長は会長を補佐し、会長に事故があるとき、または欠けたときはあらかじめ会長が指名した順序で、その職務を代行する。
- 第 11 条 理事は会長を補佐し、会務を処理する。
- 第 12 条 監事は会計の状況及び理事の業務執行を監査する。
- 第 13 条 役員の選任は総会において行う。
- 第 14 条 役員の任期は 3 年とし、更任期の定時総会までとする。ただし、辞任又は任期満了の役員は後任者が就任するまではその職務を行うものとする。
- 第 15 条 役員で欠員を生じ、補充の必要があるときは、第 13 条の規定により選任する。後任者の任期は前任者の残存期間とする。ただし、定時総会までの期間は理事会の承認を経て、次回定時総会まで職務を行う者をおくことができる。

第5章 会 議

- 第 16 条 会議を分けて総会・理事会とする。
- 第 17 条 総会は定時総会及び臨時総会の 2 種とする。
- 第 18 条 総会は正会員および維持会員の推薦による代議員をもって組織する。
2. 代議員の定数及び任期は別に定める。
- 第 19 条 定時総会は毎年 1 回会計年度終了後 2 ヶ月以内に会長が招集する。
- 第 20 条 臨時総会は次の場合にこれを開く。
(1) 理事会において必要と認めたとき
(2) 代議員の 5 分の 1 以上から、会議目的である事項を示して請求されたとき
(3) 監事から請求されたとき
- 第 21 条 総会は会長がこれを招集し、少なくとも 14 日前に会議の目的である事項を書面または電磁的方法(電子メール)をもって代議員に通知することを要する。
- 第 22 条 次の事項は総会に提出してその承認を得る。
(1) 当該年度の予算
(2) 貸借対照表・財産目録及び収支決算書
(3) その他理事会において必要と認めた事項
- 第 23 条 次の事項を定時総会に報告する。
(1) 前年度事業報告
(2) 会員の状況
(3) 業務及び会計監査の報告
(4) その他理事会において必要と認めた事項
- 第 24 条 総会は代議員総数の 2 分の 1 以上の出席を必要とする。
ただし、欠席者も書面もしくは電磁的方法(電子メール)により又は委任により表決権を行使することができる。この場合出席者とみなす。
- 第 25 条 総会の議決は出席者の過半数をもつて、これを決する。
2. 可否同数の場合は議長がこれを定める。
- 第 26 条 理事会は会長が必要と認めたとき招集する。
ただし会長は理事現在数の 5 分の 1 以上から会議に付議すべき事項を書面または電磁的方法(電子メール)をもって示し、理事会の招集を請求された日から 14 日以内にこれを招集する。
- 第 27 条 理事会の定足数及び議決については第 24 条及び第 25 条を準用する。

第6章 会 計

- 第 28 条 本会の事業年度及び会計年度は毎年 4 月 1 日に始まり、翌年 3 月 31 日に終わる。
- 第 29 条 本会の事業計画及びこれに伴う収支予算は、会長が編成し、毎年会計年度開始前に、理事会及び総会の議決を経て、行使する。
2. 前項の規定に係わらず、やむを得ない事情により同項に規定する総会を開催することができないときは、総会を省略することができる。この場合においては、翌会計年度開始後最初に開催される総会において、これに係わる承認を得なければならない。
- 第 30 条 本会の収支決算は、会長が作成し、財産目録、貸借対照表及び収支決算書に監事の意見をつけ理事会の承認を受けて、定時総会に報告する。
2. 本会の収支決算に剰余金のあるときは、理事会の議決及び総会の承認を受けて、その一部、もしくは全部を基本財産に編入し、または、翌年に繰越すものとする。
- 第 31 条 基本財産は財産目録の基本財産の部に記載のうえ、確実なる方法により保管し、譲渡・交換または担保に供することはできない。ただし、本会の事業遂行上やむを得ない理由があるときは、理事会及び総会の議決を経て、処分することができる。

第7章 会則の改定及び解散

- 第 32 条 この会則の変更は、理事会及び総会において各々の 3 分の 2 以上の議決を要する。
- 第 33 条 本会の解散は、理事会及び総会の 4 分の 3 以上の議決を要する。

付則

1. この会則の施行に必要な細則は、総会の議決で定める。細則には会員の入会・役員を選出・理事の職務分担・役員会の規定・代議員の選任定数・会費の額等を規定する。
2. 本会の所在地を東京都品川区西五反田 7-22-17 TOCビル 11 階 34 号 一般財団法人農林統計協会内とする。
3. この会則は昭和 59 年 6 月 30 日から施行する。

付記

本会の設立年月日は昭和 59 年 6 月 30 日である。

2. 日本農業工学会細則

昭和 63 年 5 月 6 日一部改定
平成 4 年 5 月 12 日一部改定
平成 6 年 5 月 13 日一部改定
平成 8 年 5 月 10 日一部改定
平成 11 年 5 月 21 日一部改定
平成 13 年 5 月 18 日一部改定
平成 26 年 5 月 13 日一部改定
平成 28 年 5 月 20 日一部改正

第1章 会 員

- 第 1 条 正会員として入会しようとするものは、所定の入会申込書に次の事項を記入し、又は書類を添付して提出する。
- (1) 団体名
 - (2) 本部事務所の所在地及び電話番号
 - (3) 定款及び諸規程
 - (4) 団体の経歴の概要
 - (5) 役員の氏名・主要勤務先及び職務
 - (6) 最近における各種別会員の数
 - (7) 最近 1 年間の刊行雑誌・図書の表題・発行周期・大きさ・頁数・発行部数
- 第 2 条 維持会員及び国際会員として入会しようとするものは、所定の入会申込書所要欄に記入して提出する。
- 第 3 条 入会者は承認通知を受けて後、会費を納めて資格を得る。
- 第 4 条 会員は、申込書記入事項に変更のあった都度本会に届けなければならない。ただし、正会員にあっては第 1 条第 6 号及び第 7 号は毎年 1 回の届け出とする。

第2章 役員・代議員・委員・名誉顧問・フェロー

- 第 5 条 理事会は役員候補者を選考し、総会に提出する。
- 第 6 条 理事会は正会員ごとに各 1 名の役員候補者の推薦を受け、この中から会長・副会長・理事・監事候補を選考し、総会提出案を作成する。
2. 会長は、前項にかかげる理事以外に、理事候補 2 名以内を推薦し、総会の承認を得て、理事とすることができる。
- 第 7 条 代議員は正会員及び維持会員の推薦によって会長が委嘱し、その任期は 3 年とする。ただし、交替した場合の後任者の任期は残存期間とする。
- 第 8 条 代議員の数は次を基準とし、理事会で定める数とする。
- (1) 会員 500 名以下の正会員にあっては 1 名
 - (2) 会員 500 名を超える正会員にあっては、会員 500 名を超える数につき 2000 名区切り毎に 1 名。但し、人数は正会員からの申請に基づき変更することができる。
 - (3) 団体のみで構成される正会員にあっては、構成団体数を会員数とみなす。
 - (4) 維持会員にあっては 1 名

(5) 国際会員にあつては、正会員別に 1 名

第 9 条 理事会は次の区分により会務を分担する。

庶務・会計・国際・事業

2. 会長は理事のうちから事務局長を指名し、会務の円滑な運営及び理事会から委任された事項の処理に当たらせることができる。

第 10 条 本会が必要に応じ各種の委員会を置くことができる。

委員は、理事会の議決を経て会長が委嘱する。

第 11 条 本会に名誉顧問及びフェローを置くことができる。

2. 名誉顧問は理事会の推薦によって会長が委嘱する。名誉顧問は理事会の諮問に応じ、助言することができる。
3. フェローは理事会の議を経て授与される。フェローは役員ではなく、顕著な功績のあった者を顕彰する称号である。日本農業工学会が返還を求めない限りフェローの称号を保持することができる。

第3章 表 彰

第 12 条 本会は農業工学分野の学術や事業等に貢献した団体・個人を表彰することができる。表彰は顕彰選考規則により選考し、理事会で審議・決定し、総会で報告する。

- (1) 特に優れた業績を上げた個人(日本農業工学会賞)
- (2) 特に功労のあった個人・団体(功績賞、貢献賞等)
- (3) 本会が主体的に企画・運営した学術的行事における参加学協会等団体(感謝状等)

第4章 会 費

第 13 条 会費は予算に基づき、次のとおり分担せしめる。

(1) 正会員

均等割と代議員数割とし、予算作成の際に夫々の額を定める。

(2) 維持会員

年額 2 万円とする。

(3) 国際会員

国際農業工学会への個人当納入額に事務経費を加算した額とする。

第5章 細則の改訂

第 14 条 この細則の変更は理事会の議決を経て、総会の承認を受ける。

付則

1. この細則は、総会の議決のあった日から施行する。

3. 日本農業工学会顕彰選考規則

平成 26 年 5 月 13 日制定

平成 28 年 5 月 20 日改定

(目的)

第1条 本規則は、細則第 12 条に基づき、本会顕彰についての選考の方法を定めるものである。

(方針)

第2条 顕彰は細則 12 条に示す内容について顕彰し、業績、社会貢献、国際性、実用性などの項目を考慮し、特に優れた功績に対して授与することを選考の方針とする。

(推薦)

第3条 日本農業工学会(以下本会という)の正会員は本会顕彰方針に則り、日本農業工学会賞候補者1名を別紙様式 1 による推薦書を毎年理事会で定めた期日までに顕彰選考委員会に提出する。

2. 本会役員は細則 12 条に該当する顕彰に該当者がある場合は、別紙様式 1 による推薦書を理事会で定めた期日までに顕彰選考委員会に提出する。

(顕彰の手続き)

第4条 顕彰は正会員及び本会役員の推薦により、「顕彰選考委員会」の審査を経て理事会で審議・決定し、総会で報告する。

(選考)

第5条 会長は顕彰事業を推進するため、顕彰選考委員会(以下委員会という)を設置する。

2. 委員会の委員は 5 人とし、理事会の議を経て会長が指名する。
3. 委員の候補者及び委員の氏名は公開しない。
4. 委員の任期は 3 年とする。
5. 委員会に委員長及び副委員長をおく、委員長及び副委員長は委員の互選による、委員長は委員会を招集しその議長となる。副委員長は委員長を補佐し、委員長に事項ある時は、その職務を代行する。
6. 委員会は定められた審査基準に基づき、推薦書及び審査結果について審議の上、日本農業工学会賞、その他の顕彰を授与するのが適当と認められた候補者を選考し、その結果を会長に報告する。
7. 委員会の議事は公開しない。その他委員会に必要な事項は委員会において定める。
8. 委員会の報告を受けた会長は、理事会で審議し、授与するものを決定する。

(規則改定)

第6条 この規則の変更は理事会で審議し、総会で議決する。

付 則

第7条 この規則は総会で議決した日から施行する。

4. 日本農業工学会賞選考内規

平成 27 年 1 月 24 日理事会承認
平成 27 年 9 月 12 日改正理事会承認

1. 日本農業工学会賞は、加盟正会員の学問分野における優れた研究あるいは技術開発に多大な業績を上げた者を対象とし顕彰する。
2. 業績評価は学術業績、国際性、社会貢献、実用性などの観点から農業工学のパブリシティを高める内容であること。
3. 日本農業工学会賞は加盟正会員各学協会の顕著な賞を授与された個人を選考対象とする。
4. 各学協会の顕彰年度は過去の年度の顕彰も対象とする。
5. 日本農業工学会賞の候補者は本会の指定日に受賞講演することを内諾しているものとする。
6. 受賞者に賞状及び記念楯を授与する。
7. 学会ホームページ上で受賞者氏名、顕彰内容を公告する。

5. フェロー規程

平成 11 年 5 月 21 日制定

平成 13 年 12 月 11 日改定

平成 21 年 5 月 22 日改定

平成 30 年 5 月 15 日改定

(目的)

第1条 管理運営、その他の活動を通じて、日本農業工学会(以下本会という)の関与する分野の学問技術の発展に継続的に顕著な功績のあった者を顕彰するため、フェローの称号を設ける。

(身分)

第2条 フェローは称号であって会員の種別ではない。ただし、フェローの称号を得たものをフェローと呼称することができる。

(資格)

第3条 フェローの称号を授与されるものは傘下の各学協会(以下、推薦者)からの推薦に基づき、フェロー選考委員会及び日本農業工学会理事会の議を経て推薦された者及び日本農業工学会理事会から推薦された者とする。

2. フェローの称号を授与されたものは、日本農業工学会が返還を求めない限りフェローの称号を保持することができる。

(フェローの数)(選考)

第4条 フェローの選考については別に定める。

(顕彰)

第5条 新たにフェローの称号を受けるものには称号授与の証状およびバッジを呈すると共に、その氏名・業績および顕彰理由を総会で告知する。

付 則

第6条 本規定は平成 21 年 5 月 22 日から施行する。

6. フェロー選考規則

平成 11 年 5 月 21 日制定
平成 16 年 5 月 14 日改定
平成 28 年 5 月 20 日改定
平成 30 年 5 月 15 日改定
令和元年 5 月 14 日改定

(目的)

第1条 本規則は、フェロー規程第4条に基づき、フェローの選考の方法を定めるものである。

(方針)

第2条 フェローの称号は、フェロー規程第1条に示す活動項目に関する継続的な功績者に対して授与することを選考の方針とする。

(推薦)

第3条 正会員(以下、推薦者)は、フェロー選考審査基準に則り、代議員数を基準として、理事会で定めた人数までの候補者を推薦することができる。

2. 前項の推薦にあたって、推薦者は別紙様式による推薦書および審査報告書を毎年理事会で定めた期日までにフェロー選考委員会に提出する。
3. 理事会はフェロー選考審査基準に則り、候補者を推薦できる(以下、理事会推薦)。

(審査)

第4条 推薦者は被推薦者について3人の審査員をフェローの中から選定し、審査を依頼する。ただし、審査員には被推薦者と異なる機関に属するものが半数以上含まれているものとする。

2. 審査員は推薦書に基づき被推薦者について審査を行い、その結果を別紙様式2により推薦者に報告する。

(選考)

第5条 会長はフェローを選考するため、フェロー選考委員会(以下委員会という)を設置する。

2. 委員会の委員は5人とし、理事会の議を経て会長が指名する。
3. 委員の候補者及び委員の氏名は公開しない。
4. 委員の任期は3年とする。
5. 委員会に委員長及び副委員長をおく、委員長及び副委員長は委員の互選による、委員長は委員会を招集しその議長となる。副委員長は委員長を補佐し、委員長に事故ある時は、その職務を代行する。

6. 委員会は定められた審査基準に基づき、推薦書及び審査結果について審議の上、フェローの称号を授与するのが適当と認められた候補者を選考し、その結果を会長に報告する。
7. 委員会の議事は公開しない。その他委員会に必要な事項は委員会において定める。
8. 委員会の報告を受けた会長は、理事会の議を経て、フェローの称号を授与するものを決定する。

(規則改定)

第6条 この規則の変更は理事会で審議し、総会で議決する。

付 則

第7条 この規則は総会で議決した日から施行する。