

日本農業工学会賞2022

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：2022年5月14日（土） 14:00－17:00

場所：東京大学弥生キャンパス 中島ホール（フードサイエンス棟）

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2022受賞者	2
【講演】	
山路 永司 氏(東京大学・名誉教授) 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	6
白石 文秀 氏(九州大学 大学院農学研究院・教授) 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	10
羽藤 堅治 氏(愛媛大学 大学院農学研究科・教授) 生物環境工学におけるICTに関わる研究	14
森山 英樹 氏(国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門・上級研究員) 温室の気象災害低減に関する研究	18
吉田 智一 氏(国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 元・農業技術革新工学研究センター革新工学研究監) 分散協調スキームによる営農管理情報システムの開発	22
森本 英嗣 氏(鳥取大学 農学部 生命環境農学科・准教授) 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 ...	26
溝口 勝 氏(東京大学大学院農学生命科学研究科・教授) 農業農村地域におけるDXのための先導的研究	30
本條 毅 氏(千葉大学大学院 園芸学研究院・教授) 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	34
日本農業工学会賞受賞者(2014 年度～2022 年度)	38
日本農業工学会フェロー(1999 年度～2022 年度)	41
2022 年度日本農業工学会フェロー受賞者	44
会則	45

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 4 年 4 月現在: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:井上 英二、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:平野 高司、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:林 久喜、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:川越 義則、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:北宅 善昭、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:南石 晃明、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:吉田 敏、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2022受賞者

山路 永司(やまじ えいじ)

学歴・職歴

- 1978年 東京大学農学部農業工学科卒業
- 1980年 東京大学大学院農学系研究科修士課程修了
- 1981年 東京大学農学部助手
- 1989年 東京大学農学部助教授
- 1999年 東京大学大学院新領域創成科学研究科国際協力学専攻教授
- 2020年 東京大学名誉教授

受賞歴

- 2020年 農村計画学会賞（業績）

白石 文秀(しらいし ふみひで)

学歴・職歴

- 1979年 広島大学工学部卒業
- 1981年 九州大学大学院工学研究科博士前期課程修了
- 1984年 九州大学大学院工学研究科博士後期課程修了
- 1984年 九州大学工学部助手
- 1991年 九州工業大学情報工学部助教授
- 2005年 九州大学バイオアーキテクチャーセンター教授
- 2010年 九州大学大学院農学研究院教授
- 2022年 定年退職、九州大学名誉教授

受賞歴

- 1990年 化学工学会論文賞
- 2007年 生態工学会学術賞
- 2018年 日本農業工学会フェロー

羽藤 堅治(はとう けんじ)

学歴・職歴

- 1988年 愛媛大学農学部農業工学科卒業
- 1990年 愛媛大学大学院農学研究科農業工学専攻修了
- 1993年 愛媛大学大学院連合農学研究科博士課程修了
- 1994年 日本学術振興会特別研究員(PD)
- 1995年 愛媛大学農学部助手
- 2003年 愛媛大学農学部助教授
- 2013年 愛媛大学教授
- 2021年 愛媛大学学長特別補佐

受賞歴

- 2015年 日本生物環境工学会学術賞
- 2019年 日本農業工学会フェロー

森山 英樹(もりやま ひでき)

学歴・職歴

- 1995 年 茨城大学大学院農学研究科修士課程修了
- 2008 年 筑波大学大学院生命環境科学研究科博士後期課程修了
- 1995 年 農林水産省農業環境技術研究所研究員
- 1995 年 農林水産省東北農業試験場研究員
- 1996 年 農林水産省農業工学研究所研究員
- 2004 年 独立行政法人農業工学研究所主任研究員
- 2016 年 農研機構農村工学研究部門上級研究員
- 2022 年 農研機構企画戦略本部経営企画部財務課上級研究員

受賞歴

- 2009 年 農業施設学会奨励賞
- 2016 年 農業施設学会学術賞

吉田 智一(よしだ ともかず)

学歴・職歴

- 1983 年 東京大学農学部農業工学科卒業
- 1994 年 東京大学博士(農学)取得
- 1983 年 農林水産省農業研究センター
- 1989 年 生物系特定作業技術研究推進機構
- 1994 年 農林水産省中国農業試験場
- 2011 年 農研機構中央農業総合研究センター
- 2016 年 農研機構農業技術革新工学研究センター
- 2021 年 農研機構農業情報研究センター

受賞歴

- 2004 年 農業情報学会論文賞
- 2010 年 農業情報学会学術普及賞

森本 英嗣(もりもと えいじ)

学歴・職歴

- 2003 年 京都大学大学院農学研究科博士課程後期修了 博士(農学)
- 2004 年 東京農工大学農学部 21 世紀 COE 特別研究員
- 2005 年 石川県農林総合研究センター 専門研究員
- 2016 年 鳥取大学農学部 准教授

受賞歴

- 2014 年 農業食料工学会関西支部 関西支部賞
- 2016 年 農業食料工学会 森技術賞
- 2016 年 第 7 回ロボット大賞 優秀賞

溝口 勝(みぞぐち まさる)

学歴・職歴

- 1982 年 東京大学農学部農業工学科卒業
- 1984 年 東京大学大学院農学系研究科博士課程中退
- 1984 年 三重大学農学部助手
- 1995 年 三重大学生物資源学部助教授
- 1999 年 東京大学大学院農学生命科学研究科助教授
- 2003 年 内閣府参事官補佐併任
- 2008 年 東京大学大学院情報学環教授
- 2010 年 東京大学大学院農学生命科学研究科教授

受賞歴

- 2016 年 農業農村工学会学術賞
- 2016 年 PAWEES 国際賞
- 2021 年 農業農村工学会著作賞

本條 毅(ほんじょう つよし)

学歴・職歴

- 1980 年 東京大学農学部農業工学科卒業
- 1984 年 東京大学農学系研究科博士課程中途退学
- 1984 年 東京大学農学部助手
- 1991 年 東海大学開発工学部生物工学科専任講師
- 1997 年 千葉大学大学院自然科学研究科多様性科学専攻助教授
- 2002 年 千葉大学園芸学部教授
- 2021 年 千葉大学大学院園芸学研究院教授

受賞歴

- 2002 年 日本農業気象学会学術賞

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

山路永司

東京大学名誉教授

要旨

本業績は水田農業地域持続のための農村計画論の確立、特に水田農業持続のための基盤整備(大区画水田、土地利用秩序形成、農村環境整備)、棚田保全などの生態的・環境的価値の高い農法の普及や農村空間に関する研究に加え、アジアを中心とする世界の水田農業地域を対象とする研究、特に環境保全型稲作 SRI 農法の国際的普及などで構成される。基盤整備に関する研究では、大区画水田の要件を海外の水田整備を参照しながらわが国の事情に合わせた整備のあり方を提示した。農村空間は、作物生産に加え生態的・環境的価値の高い空間であるべきことから、アメニティ性や農村景観について提言した。国際的研究としては東南アジア諸国の実情に合わせた農地整備、適切な農法、SRI 農法導入による農村活性化を提示した。加えて、農村計画学会の国際化に大きく貢献した。

キーワード

圃場整備、大区画水田、SRI(System of Rice Intensification)、紅河デルタ

はじめに

戦後の食料不足時代から米の増産が進み、1969 年からは生産調整が始まった。海外との価格差は大きく、稲作の低コスト化が求められており、そのための切り札として水田の大区画化と直播栽培が考えられていた。当時の圃場整備は 30 アール区画が基本だったが、アメリカ・カリフォルニア州の水田(作業単位は 32ha もしくは 1-2ha)や北海道南幌町(2.3ha)の水田調査から、大区画のハード面のカギは均平と地表排水と考え、千葉県佐倉市の 2.5ha 水田で、均平測量や地表排水時の残留水観察を行なった。同時に乾田直播初期の発芽促進のための地下灌漑設備の水供給の均一性を確認し、農作業時間を計測した。大区画水田を作るためには、ソフト面として所有権と耕作権とを分離しなければいけないこと、その際には、所有者も耕作者も共に利益を得る必要があり、長期的に維持されるには、どのような組織形態が適しているのかを考えた。

大区画水田整備の研究

圃場整備における区画規模

1899 年の耕地整理法制定によって圃場整備が全国展開することとなった。当時の耕区規模は一反(約10アール)であった。戦後の圃場整備事業では、30アール区画が標準とされた。その後、1ヘクタール区画が新規事業での標準となり、今後はさらなる巨大区画も想定されている。

大区画整備のためには、所有権もしくは耕作権が大規模にならないといけない。また技術的な障害として田面の均平精度と圃場レベルの用排水の均一性がある。

米豪の水田は、田面に元地形の微傾斜が残っており水平にはしない。落水時の排水性向上のため、一筆内の湛水深の較差を許容しているからである。

大区画水田整備にあたって、ハード技術の中で大きなネックとなっていた均平精度は、レーザーブルの普及等によって、大きな問題とはならなくなった。したがって、土地利用の調整さえつければ、区画規模拡大が可能となった。

圃区全体が同一標高に仕上げられたり(圃区均平)、隣接耕区の標高が同一に仕上げられたり(均平区の拡大)すれば、短辺長(用排水路に平行な辺の長さ)を長くすることが出来る。千葉県佐倉市角来工区では、1981 年から 9 枚の耕区を結合して 2.5ha 区画を実現している(後述の長辺長の実質延長を含む)。千葉県手賀沼地区でも、8 枚の標準 30 アール耕区を結合して 2.5ha 区画で耕作している。埼玉県でも 10 アール区画圃場の再整備にあたって、畦畔除去・簡易整地を行い、多くの耕区で短辺長を 200m 以上として利用している 1)。

一方、長辺長(用排水路と直行する辺の長さ)は、北海道での 175m、秋田県大潟村での 145m、宮城県での 125m 等の取り組みを除くと、100m とするのが一般的である。しかし、千葉県印旛沼土地改良区管内では、近年ではすべての工区で 100m の長辺長を実質 200m として用いることのできる整備を行っている。

排水路の管路化

図-1 は、角来工区で 1979 年に施工された方式である。工事自体は 30 アール区画を標準とし、暗渠排水の集水渠への接続も他と変わらない。角来工区での特徴は、小排水路を地下に埋設したことにある。このことで、農区内で合意

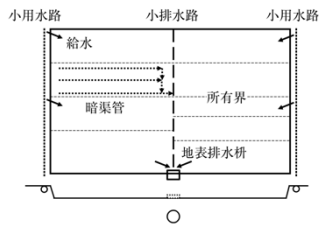


図-1 角来工区で採用された用排水路配置

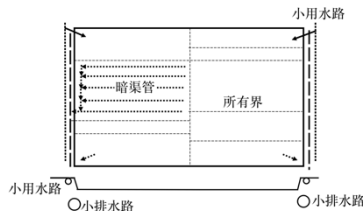


図-2 臼井第一工区で採用された用排水路配置

るが、その配置を変えた。小用水路も小排水路も道路際に持って行ったのである。これによって、圃場内には障害物が一切なくなった。この場合も、所有単位の長辺長は100mのままである。暗渠管は5本の吸水渠を下流側で束ね、小排水路に接続している。また給水栓、排水橋も最小限の配置としている。

これらの成功を契機に、近隣の工区でも同様の用排水施設が整備され、農道ターンを考慮して道路標高を低くした工区もある。

さらに角来工区および臼井第一工区では、排水用の暗渠管に用水を接続し、畑作時に地下灌漑を試み、有効性を確認している。この灌漑装置は極めてシンプルなものであり、後に開発されたFOEASのように多くの機能を有しているわけではないが、畑作時の均一な水分補給を成功させている。

営農規模の拡大

圃場整備事業にあたっては、ハード面の整備だけではなくソフト面の計画も重要である。事業の種類も多様化しているが、たとえば経営体育成基盤整備事業においては、規模拡大を志向する農家を選定した上で、整備後の営農規模拡大計画を立てるとともに、換地において集団化が配慮される2)。

群馬県のA地区では経営体育成基盤整備事業が行われ、2012年度に完了した。個人営農農家および自家消費型農家の耕作地を規模拡大農家に集めることで、10ha規模の経営体を3つ育成する計画が立てられた。このうち規模拡大農家2(以降Bさんと称する。)について、細かく見てみよう。同農家は、もともと未整備水田(一部は1反区画での整備済み水田)において、ばらばらに立地する水田で耕作していた。換地計画にあたっては、Bさんの所有農地を集団化するだけでなく、Bさんに耕作を委託する農家の農地を近くに配置することとした。こうした配慮はBさんに対してだけではなく、すべての規模拡大農家に対しても考慮された。規模拡大農家の土地を出来るだけ近隣に配

置し、集団化を目指している。

このことは、規模拡大農家を優遇し、個人経営農家および自家消費型農家を切り捨てたわけではない。規模拡大農家の土地が集団化することによって、それ以外の土地もある範囲に集まることになるからである。

前項で述べたとおり、水田整備による低コスト化・営農改善はハード技術と営農実践(ソフト技術)とが協調あって達成される。大区画整備というハード技術が先行しても、耕作単位が小さいままといったように営農改善が追いつかないのであれば、大区画整備されたところが細分利用され、整備効果が十分に発揮されない。

埼玉県のC地区では、営農単位にかかわらず、1圃区の中に畦は入れないという合意形成が行われた。その結果、1圃区内で2以上の経営者がいる場合も、水管理は1圃区内一斉となる。このことは、土地利用集積を推進する要因ともなっている。しかし各圃区を見てみると、各農家の意向が異なり、調整の工夫が必要とされている。受委託が極めて少ないブロックについては当該耕区のみが対象となるし、全耕区が受委託を行っているブロックについてはほぼ一括の管理になるため、特段の議論は必要ない。

議論すべきは、受委託状況が中間段階にある圃区であり、図-3に受委託状況の異なりを示す。圃区③は全耕区が委託しているものの、代かきのみが殆どを占めており個別耕作に近い、稲刈りの日時など個々の事情を反映して、かなりのばらつきがある。圃区②は圃区③に近いが、圃区③よりは全作業委託が多い。圃区⑦は、全作業委託は約1/3であるが、代かき以降の委託が残り全部であるので、代かき以降は全部が委託されている。この圃区の農作業は、受託側のオペレータの裁量が大きく、生育状況を見て、同一耕区内での稲刈り時期を一部変更するなど、臨機応変に対応している1)。

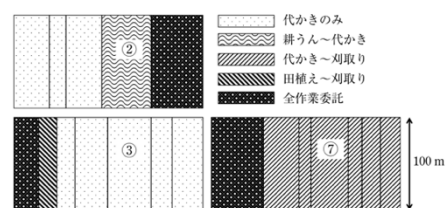


図-3 1圃区内での受委託状況の異なり

SRI という稲作とその普及

SRI の効用

SRI は、System of Rice Intensification と呼ばれる稲作法である。この稲作法は、フランス人のロニエ牧師・農学士がマダガスカルの農村において1983年に発見・実用化したものである。ノーマン・アポフ教授(コーネル大学)はもとも発展途上国の農村の社会関係資本などを研究していたが、この農法を知って以降、SRIの研究・普及に尽力し、また各国の賛同者を得て、SRIは現在40か国以上で実践されている3)。

SRI が世界に広まって以降、各地域の気候・水環境・農民意識に合った方法が模索されているが、当初の提案は、以下のようであった。すなわち、①出芽後1週間程度の乳苗を、②30cm 程度の広い間隔で、③1本植えし、④栄養成長期に連続湛水せず間断灌漑を行う。さらに、⑤有機肥料を原則とすることも多い。これらの方法によって、種籾量と灌漑用水量を大幅に削減できることは異論のないところであろう。くわえて、収量が大幅に増えるという報告が多くあり、SRI の宣伝文句となった。

SRI はこのような特徴を持っているが、2000 年代前半には、「収量は増えない、むしろ減る。」「SRI は科学的に検証されていない。」という論文が国際誌に掲載され、雑誌上で激しい論争となった。その後、論点が整理され沈静化したが、こうした歴史を持つ SRI は、現在においても、歓迎される国、無視される国、さまざまである。

これまで SRI が普及してきた国・地域では、多くの農作業が手作業によって行われている。ここに SRI を導入すると、さらに除草労力が増えるため、相当な収量増がないと歓迎されない。

機械化稲作が進んだ国で SRI が導入されるためには、一連の農作業のすべての機械化が不可欠である。乳苗の疎植は概ね可能となっているが、除草機械は開発が始まったばかりである。減農薬・無農薬の流れのなかで除草は合鴨や生物農薬も考えられるが、大規模での実施は機械的に行うしかない。また大区画水田での実践のために、圃場内の溝や用排水方式の検討も必要である。

間断灌漑による GHG 排出抑制効果

SRI 農法は栄養成長期に連続灌漑ではなく間断灌漑を推奨しており、その結果、根の発達が著しく、分げつ数、茎の太さにも好影響を及ぼす。加えて、メタンの発生量が抑えられることから、温室効果ガス(GHG)排出の抑制効果が期待できる。

水田からのメタン発生量の測定は、1970 年代よりおこなわれていたが、SRI を対象とした国内での比較実験は、木村によるものが最初と思われる。筆者らは、インドネシア国ロンボク島プユンに実験区画を設置し、苗の葉令、苗の本数、灌漑方式を設定して比較試験をおこなった。その試験に合わせて、メタン(NH₄)および亜酸化窒素(N₂O)の排出量を測定した。同様の試験を、柏市の水田でもおこなった。その結果、メタンおよび亜酸化窒素の温室化効果を二酸化炭素相当で示すと、いずれの試験においてもおよそ半分になった。柏市の水田では、化学肥料と有機肥料とで

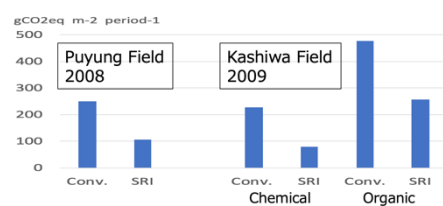


図-4 間断灌漑によるGHG排出抑制効果

の量に抑えられるという結果を得た。

その後、柏市の農家水田、いわき市農家水田でも比較試験をおこなった。農家水田では、完全な間断灌漑の導入は出来ず、浅水灌漑を採用した。湛水深の経時変化は図-5の通りである。この実験でも、浅水灌漑での GHG 排出量は強く抑制された。

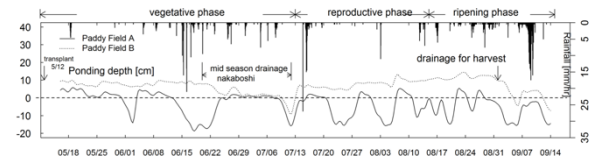


図-5 連続灌漑(B 圃場)と浅水灌漑(A 圃場)での湛水深

ベトナムでの SRI 米プロジェクト

ベトナムの SRI

ベトナムにおいても 2000 年頃より政府主導で SRI 導入が推進されたが、労働量が増えることから、農民にとって容易には受け入れがたいものであった。加えて、ベトナムにおいては、地域の農民が全員一致で合意しなければ、新しい稲作法を始めることができない。というのも、社会主義国であるベトナムでは土地は全て国家に属し、農家世帯に平等に農地の使用権が分配されている(改定土地法、1993)。北部の紅河デルタ地域では1世帯当たり 0.3～0.4ha の農地が3～4か所に分散された形態で分配されて、1枚の水田を多くの農民が使っているため、水管理を自分勝手に行うわけにはいかないのである。そこで水管理を担う農業組合、そのリーダーたちに理解してもらうことがまず必要で、そのリーダーが組合員である農民を納得させられないと、SRI を始めることはできない4)。

PAMCI プロジェクト

井上は2009年以来、ベトナム紅河デルタ、ハノイ近郊の異なる集落営農体制を有する3つの集落で、地域社会研究を行ってきた。この研究の進展と現地での農民意識の醸成を背景に、東京大学農業環境学研究室は、JICA 草の根資金を得て「ハノイ市農村部における環境保全米の生産・管理強化計画(PAMCI-SAFERICE 事業: Production and Marketing Capacity for Sustainable Agriculture, Farmer Empowerment, Rice Improvement, and Cleaner Environment)」に取り組んだ。具体的には、事例3集落において、①低投入型稲作技術としての SRI 農法の技術移転、②トレーサビリティ確保・品質管理・消費者への直売を含む集落ビジネス能力向上、を目標としたアクションリサーチ事業である。

対象としたハノイ市チュオンミー郡 A 集落、ミードック郡 B 集落および C 集落は、2008 年にハノイ市に統合されるまで紅河デルタでも最大の水田面積を有した旧ハタイ省に位置する。3集落の特徴は次の通りであった。A 集落は

比較したところ、有機肥料によって増えた排出量が、SRI であればほぼ同等

「集落が主体的に技術移転を行う体制が取られていた」のに対し、B 集落は「農協から個別農家への情報共有」、C 集落は「農協よりも行政から個別農家への指導が主」であった。また、対象地の農家は、事業開始前は、自給を主目的とした稲作を行い、余剰分を仲買人や農協に初の状態販売していた状況にあった。

紅河デルタ地域では、春作、夏秋作の2作期に稲作ができる。PAMCI-SAFERICE 事業実施期間は、2012 年夏秋作から 14 年夏秋作までの合計5作で、事業実施体制として、日本人の東京大学農業環境学研究室構成員がベトナム国家農業大学関係者に技術移転を行い、その後、両者が共同で対象地受益者に対して技術移転を行い、徐々に集落が単独で独立・継続実施できるような出口戦略を見据えた事業展開を図った。

また、事業実施プロセスとして、①每期播種前に事業参加者の意志確認、②収穫・計量後の収量や販売状況確認のためのフィードバック会開催、を3つの集落を管轄する農協、集落リーダー、個別農家とともにに行った。加えて、事業開始前までに行っていた自治体制に関する研究成果を踏まえ、営農や販売に関する活動については、農協のなかでも「集落」を単位として組織化を図ることを予定していた。

しかし、想定通りに対象地関係者によって進められたのは、A 集落のみであった。B 集落では、農協執行部が集落単位で独立した活動を行うことを許さない政治的圧力がみられ、農協が参加を認める個別農家の集まりで事業を行うも、農地再分配が 2014 年にあったこともあり、参加農家の組織化が不可能となり、それ以上の展開が見られることはなかった。C 集落については、行政・農協ともに新しく導入する SRI 農法に対するリスクを回避する意志が見られたが、採用意欲のある農家が個別に参加し、成果を見せるようになると、行政・農協ともに SRI 農法を率先して普及させる取組を行うようになった。

また、農法の採用と普及については、販売価格から多大な影響を受けた。事業開始当初は、無農薬と化学肥料について 50%削減した「低投入 SRI」と無農薬・無化肥の「有機 SRI」の技術移転を行ったが、販売価格が高い「有機 SRI」に需要が集中した。その結果、労働コストが高く、収量も比較的低いにもかかわらず、農家が有機 SRI 農法を好むようになった。

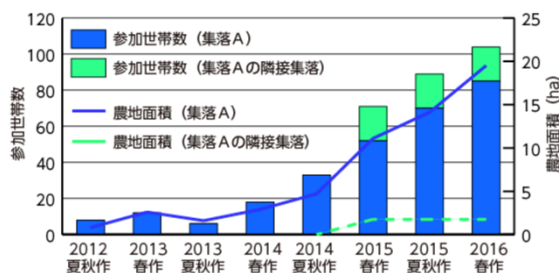


図-6 A 集落でのプロジェクト実施状況

集落単位でまとめた活動を行った A 集落では、集落全体でのトレーサビリティ確保体制、販売活動が可能となった。このために、集落を単位とする農家グループから消費者への直売方式をとることができて、集落内における雇用機会の創出と増収が実現した。こうして、販売が円滑に進むにつれて、集落内での参加農家数が飛躍的に伸びる結果となった。

本事業は 2015 年に終了したが、終了以降も活動は定着し、むしろ A 集落と C 集落では広がりを見せている。図-6 には、A 集落の販売参加農家数と販売対象作付面積とを示したが、事業実施期間は 2015 年2月までであり、同年春作以降は事業外である。事業終了以降も、隣接集落からの参加者も得て、広がりを見せている。

以上を簡単にまとめると、栽培面では有機 SRI によって収量が減ったが、販売価格は2倍以上となり、収益性は向上した。また化学農薬を使用しないことによって、コメの安全性が向上するとともに、農民自身の健康にも心配がなくなった。さらに、農家集団のマーケティング能力も大いに向上した5)。

おわりに

SRI という名称での稲作は、わが国では殆どおこなわれていない。しかし SRI の各要素には日本で生まれ磨いてきた技術も多い。今後は、有機農業と組み合わせ、スマート技術を取り入れた日本型 SRI 稲作の構築との実用化をめざしたい。また中山間地域、棚田地域に適合する技術と普及も重要である。

引用文献

- 1) 山路永司(2019): 関東地方における水田圃場整備、水土の知、87(7)、19-23.
- 2) 山路永司(2013): 地域合意による大区画整理と利用権の集積（小特集大規模経営体の育成と農業農村整備事業）、水土の知、81(1)、7-10.
- 3) Styger, Erika (2014): System of Rice Intensification research: A review, presentation at the 4th International Rice Congress, Bangkok, Thailand.
- 4) 山路永司、井上果子(2017): ベトナムにおける SRI 農法—農民組織による有機 SRI 稲作の実践—、ARDEC、57 号.
- 5) Inoue, Kako, Nguyen Thi Nga, Pham Tien Dung, Yamaji, Eiji (2016): The Reality of Rural Communities Revealed in a Rural Development Project : A Comparative Study on Three Rural Communities in the Red River Delta, Vietnam, Journal of Rural Planning, 35(Special Issue) 266-273.

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

白石文秀

九州大学名誉教授

要旨

日本では、数式モデリングなどの理論的研究を軽視する傾向がある。しかし、私は40年以上にわたり実験と理論の両方を駆使して研究を行ったことで、まったく異なる分野の様々な問題を解決することができた。これは、構築した数式モデルの計算により反応システムのより正確な理解と、得られた情報に基づく効率的な実験の組み立てと実行が可能となったことによる。本稿では、数式モデリング技術を根底に置くことで大きな成果を収めることができた化学反応プロセスに関する私の代表的な4つの研究（固定化酵素反応の見かけの速度パラメーター、超高精度数値計算法、大規模代謝反応ネットワークの超高精度計算ソフト、高性能空気浄化装置）の概要を述べる。

キーワード

数式モデリング、固定化酵素、超高精度数値計算、大規模代謝反応解析、空気浄化装置

緒言

日本では、数式モデリングなどの理論的研究を軽視する傾向がある。しかし、私は40年以上にわたり実験と理論の両方を駆使して研究を行ったことで、まったく異なる分野において様々な問題を解決することができた。これは、数式モデルを構築して計算することにより反応システムを正確に理解できたこと、得られた情報に基づき効率的な実験の組み立てと実行が可能になったことによる。本稿では、数式モデリング技術を基盤とすることで大きな成果を収めた化学反応プロセスに関する私の代表的な4つの研究を概説する。

1. 固定化酵素反応の見かけの速度パラメーターの一般式提出とその特性の完全解明（理論と実験）
2. 超高精度数値計算法の開発（理論）
3. 大規模代謝反応ネットワークに定常状態および動的状態感度の超高精度計算ソフトの開発（理論）
4. 高性能空気浄化装置の実用化（実験と理論）

固定化酵素反応の見かけの速度パラメーターの一般式導出とその特性の完全解明

固定化酵素とは、酵素の特異な触媒機能の繰り返し使用を可能にするため、酵素を様々な方法で固体材料などに固定化したものである。1950年代後半から1990年頃まで、世界中で固定化酵素の実用化研究が行われた。同時に理論的研究も精力的に行われた。

基質濃度を S で表すとき、水溶液に溶解した酵素の反応速度 v は Michaelis-Menten 型式

$$v = \frac{V_m S}{S + K_m} \quad (1)$$

で記述される。式中の2つの速度パラメーター（最大反応速度 V_m と Michaelis 定数 K_m ）の値は、基質初濃度 S_0 を様々に変えて測定した反応初速度 v_0 を、(1)式を線形化した式へ適用して得られる直線の勾配と切片から決定される。一方、イオン交換樹脂、活性炭粒子などの

担体の外表面や細孔内に固定化した酵素を用いて初速度を測定し、これらのデータを線形化式と同じ関数関係で表したプロットは曲線になる。これは反応速度が反応場の環境因子により影響を受けるからである。研究者らはこの曲線プロットを直線と見なし、その勾配と切片から固定化酵素系の速度パラメーターを決定した。しかし、これらはみかけの値 V_m^{app} 、 K_m^{app} である。ここで研究者の興味は、遊離状態の Michaelis 定数 K_m が酵素を固定化したときにどのように変化するかを解明することにあつた。このため、異なる酵素を使ったり、同じ酵素を異なる担体に固定化したりして K_m^{app} の測定を行い、これらを K_m と比較した論文が数多く報告された。実験的研究と並行して K_m^{app} の式が提案された。しかし、これらはある限定条件のもとで導かれた近似式であつた。また、酵素は通常、担体の細孔内に固定化されていたが、これらはすべて表面固定化系に対する式であり、ゆえにデータ解釈への使用に無理があつた。

私は大学院生のとき偶然にも従来とは全く異なる考えで見かけの速度パラメーターの一般式を導出した(白石; 1990, Shiraishi; 1992)。固定化酵素の反応速度は、触媒有効係数 E_f と液本体の基質濃度 S_b を使い、

$$v = E_f \frac{V_m S_b}{S_b + K_m} \quad (2)$$

と表される。(2)式を線形化プロットの関数関係

$$\frac{S_b}{v} = \frac{1}{E_f} \left(\frac{1}{V_m} S_b + \frac{1}{K_m} \right) \quad (3)$$

で表すと、図1のような曲線が得られる。

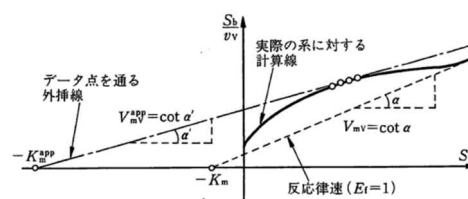


図1 固定化酵素反応見かけの速度パラメーターの概念

私は、この曲線に対する接線を各基質濃度での線形化プロットとみなし、直線の勾配と切片から得られる速度パラメーターを見かけの値と定義して次式を得た。

$$V_m^{app} = V_m \gamma_1 = V_m \frac{E_f^2}{E_f - (\beta_b + 1) \frac{dE_f}{d\beta_b}} \quad (4)$$

$$K_m^{app} = K_m \gamma_2 = K_m \frac{E_f + \beta_b(\beta_b + 1) \frac{dE_f}{d\beta_b}}{E_f - (\beta_b + 1) \frac{dE_f}{d\beta_b}} \quad (5)$$

ここで、 $\gamma_1 = V_m^{app}/V_m$ 、 $\gamma_2 = K_m^{app}/K_m$ 、 $\beta_b = S_b/K_m$ である。本式の特長は、1) 一般式なので、反応場の環境因子（基質の拡散抵抗、静電場、担体形状、酵素活性分布など）が速度パラメーターへ及ぼす影響を忠実に表現できる、2) K_m^{app} だけでなく V_m^{app} も計算できる、3) 反応場環境の反応速度への影響が V_m と K_m へ正確に割り振られ

$$v = E_f \frac{V_m S_b}{S_b + K_m} = \frac{V_m^{app} S_b}{S_b + K_m^{app}} = \frac{V_m \gamma_1 S_b}{S_b + K_m \gamma_2} \quad (6)$$

となる、4) 表面固定化系では解析的な式が得られる（Shiraishi et al., 1995），という点にある。例として、細孔内拡散抵抗のみが存在する場合と、拡散抵抗と静電的相互作用が共存する場合の V_m^{app} と K_m^{app} に対する計算結果をそれぞれ図 2、3 に示す。

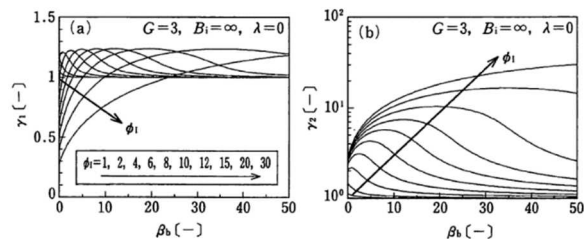


図 2 細孔内固定化酵素反応の見かけの速度パラメーター（拡散抵抗のみが存在する場合）

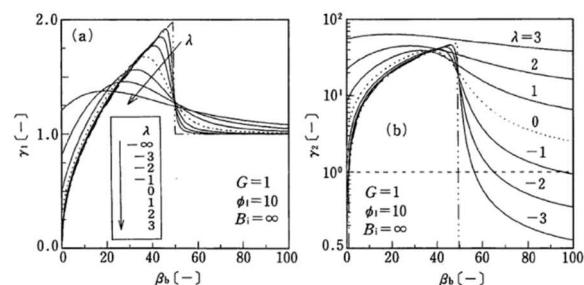


図 3 細孔内固定化酵素反応の見かけの速度パラメーター（拡散抵抗と静電場が共存する場合）

このような計算により、1) V_m^{app} 、 K_m^{app} は基質濃度の関数として変化する、2) 担体と基質間に引力が働くとき $K_m^{app} < K_m$ 、斥力が働くとき $K_m^{app} > K_m$ となる、3) 拡散抵抗が大きいほど K_m^{app} は K_m より大きくなる、4) 担体内部の酵素活性が担体表面に分布するほど、 K_m^{app} は K_m に近くなる、などの特性を明らかにした。さらに、固定化酵素粒子を充填した層へ基質溶液を連続的に供給しながら反応を行う充填層型反応器の見かけの速度パラメーターについても一般式を導出した（Shiraishi et al.; 1996）。以上、固定化酵素反応の見かけの速度パラメーターに対して一般式を導出することで、本パラメーターの挙動を完全に解明することができた。

以上の研究の詳細は拙著を参照されたい（白石; 1997）。一方、(4)、(5)式を使って見かけの速度パラメーターを正しく計算するには、高度な数値計算技術が必要であった。式には数値計算が難しい触媒有効係数 E_f のほか、 E_f の β_b による微分値が含まれており、これらを高精度で求めなければ、図 2、3 中の曲線を描くことができなかった。この困難な課題の克服のため始めた研究が、つぎに述べる超高精度数値計算法の開発へとつながった。

超高精度数値計算法の開発

数値計算値には必ず計算誤差が含まれる。計算がスムーズに行われても、コンピューター画面に表示される数値がいつでも正しいという保証はない。数値計算は誤差との闘いである。私の興味の一つは連立常微分方程式を精度よく解くことにあり、このためには Taylor 級数の利用が不可欠であった。Taylor 級数によれば、 $x=x$ における関数値から構成される級数の値を無限まで足すと、 $x=x+dx$ における関数値が理論的に正しく求められる。しかし、このような計算は実際には不可能であり、通常は 4 次微分項までの級数和で代用される。しかし、このような低次の項の近似計算では、信頼できる解をいつでも得ることができない。そこで、計算精度が落ちない項まで級数和を求めながら計算を進める Taylor 級数法の開発に挑んだ（Shiraishi et al.; 1995, 1996, 2001）。

Taylor 級数法の性能の高さを、固定化酵素反応に対する 2 点境界値問題に基づき説明する。水溶液に溶解した基質は球状粒子の内部へ流入した後、細孔内を拡散する。このとき、基質は粒子内に固定化された酵素の作用を受け、生成物へ変換される。これにより、担体内には放物線状の基質濃度分布が生じる。図 4 は、直交選点法（従来法）と Taylor 級数法により求めた解を比較したものである。0 から 1 までの横軸は担体の中心から表面までの座標、縦軸は無次元化した基質濃度を対数軸で表している。計算は有効数字 16 桁の倍精度で行った。既往の直交選点法では大きな計算誤差が生じるため、計算値は 10^{-10} 程度から低下しない。一方、Taylor 級数法では、担体中心濃度が 10^{-308} の付近まで著しく低下する本計算条件下での現象を正しく表している。精度検証により、この計算値は、担体中心でも 13-15 桁正しいことがわかった（Miyakawa et al.; 1999a & b）。

実際には計算値は上位 3 桁だけ正しければ十分である。しかし、常に信頼できる計算値を得るには、丸め誤差程度（有効数字 15 桁程度）の高精度で計算しなければならなかった。私が超高精度計算にこだわったのは、この理由による。

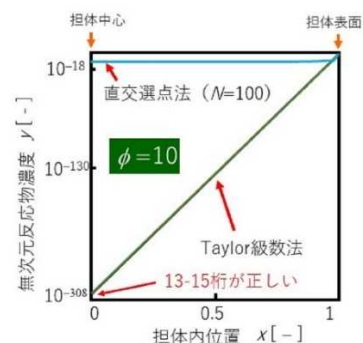


図 4 固定化酵素の細孔内基質濃度分布に対する Taylor 級数法と直交選点法(従来法)による計算値の比較

大規模代謝反応ネットワークの定常状態および動的状態感度の超高精度計算ソフトの開発

生物の生命維持を司る代謝反応は複雑なネットワーク構造を持つ。この反応ネットワークの理解は多くの研究の起点になる。しかし、その特徴を実験だけで解明することには限界があり、理論的手法の導入が要望されてきた。しかし、つぎのような課題がある；1) 複雑で多様なサイズや構造のネットワークに対して数式モデル（微分方程式モデル）をいかに構築するか、2) 得られた式中のパラメーターを実験データからいかに決定するか、3) 常に信頼できる情報を得るため、微分方程式モデルをいかに精度よく解くか、である。これまでに1)と3)は解決済みで、2)は現在進行中である。

代謝反応システムを解析する場合、最初にモデル式を構築し、次にこれを用いてコンピュータ上で計算を行う。数式モデル構築は、バイオケミカルシステム理論（BST）により系統的に行う（白石; 2005, Shiraishi & Savageau; 1992a-d, 1993）。システム方程式は S-system 型

$$\frac{dX_i}{dt} = \alpha_i \prod_{j=1}^{n+m} X_j^{g_{ij}} - \beta_i \prod_{j=1}^{n+m} X_j^{h_{ij}}$$

または GMA-system 型

$$\frac{dX_i}{dt} = \sum_{k=1}^p \alpha_{ik} \prod_{j=1}^{n+m} X_j^{g_{ijk}} - \sum_{k=1}^q \beta_{ik} \prod_{j=1}^{n+m} X_j^{h_{ijk}}$$

と呼ばれるべき乗則型式で表す。ネットワークシステムの特長は、感度値の大きさを検討することで効率よく明らかにすることができる。BST では多くの種類の代謝物と流束に対する感度（対数ゲイン、速度定数感度、反応次数感度など）が定義されているが、これらの値をいっつも正しく計算するには、信頼性の高い数値計算法を構築する必要があった。このため、私は大規模なネットワークシステムにも使用できる定常状態および動的状態における感度値を超高精度で計算する二つのソフトウェアの開発に挑んだ。

代謝物濃度が変化せず一定となっている定常状態での感度計算のため、iCOSMOS (improved Computation of Sensitivities in Model ODE Systems) を開発した (Shiraishi et al.; 2014)。本ソフトでは、各流束式とネットワーク情報を与えることで、定常状態値から感度値と固有値までの計算を自動的に行う。計算値は超高精度（有効数字 13~15 桁）で得られる。例として、図 5 に iCOSMOS を粘菌の TCA サイクルモデルへ適用した際の対数ゲイン（酵素活性の無限小変化に対する代謝物濃度の百分率変化）を示す。バーの高い箇所は、酵素活性のわずかな増加により代謝物濃度が大きく変化することを意味する。これにより、TCA サイクルの入口にあるピルビン酸、アセチル CoA の濃度が大きな影響を受けることがわかる。

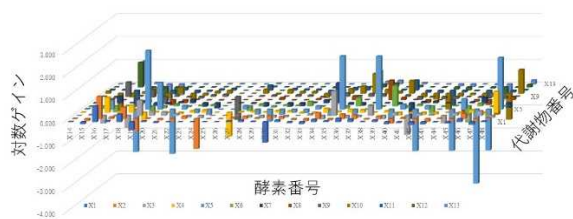


図 5 粘菌の TCA サイクルモデルの対数ゲイン

一方、システムによっては定常状態がなかったり、定常状態が存在しても代謝物濃度が変化して最終的に一定となるまでの期間の解析が重要であったりすることがある。このときの時間とともに変化する感度（動的感度）を超高精度で計算するため、SoftCADs (Software for Calculation of Dynamic Sensitivities) を開発した (Shiraishi et al.; 2009)。これらを使い、これまでに多くの代謝反応システムの特徴を明らかにした。たとえば、SoftCADs を芳香族アミノ酸合成モデルへ適用した (Sriyudthsak et al., 2015)。その結果、動的感度が酵素活性の変化直後に定常状態感度よりも非常に大きな値を取ることがわかり、常状態だけでなく、動的状態での感度の検討が重要であることを明らかにした。以上のソフトは、代謝物濃度が数百、数千からなる大規模ネットワークシステムへも適用可能である (Miyawaki et al.; 2020)。

高性能空気浄化装置の実用化

私たちの住空間は様々な化学物質により汚染されている。VOC による空気汚染問題に対処するため、多くの会社から様々なタイプの空気清浄機が市販されている。しかし、そのほとんどは 1ppm (1m³ の空気中に 1cm³ の VOC ガスを加えて混合したときの濃度) 以下の VOC の濃度を低減できない。その原因は、1ppm という濃度が 100 万個の空気分子中に 1 個の VOC 分子を含む状態であり、VOC 処理が著しく困難になるからである。環境指針値はその 1/10 程度に設定されているので、既存の空気清浄機のほとんどは環境指針値をクリアできない。私は 1990 年代半ばに光触媒反応の研究を開始し、以来、空気浄化の研究を理論と実験の両面から精力的に行ってきた。その結果、5 年ほど前に空気浄化装置の実用化に至った。この成功には多くの実験データを積み重ねて、境界拡散抵抗の存在と単位表面積当たりの不十分な光強度が光触媒反応を低下させていることを突き止め、これらの問題を除去できる並列管型構造の装置 (図 6) を開発したことによる (Shiraishi et al.; 2003, 2005a & b)。このとき数式モデリングが大きな研究推進の基盤技術となったことは言うまでもない。本反応器によれば、様々な VOC の濃度を原理的にガスクロの検出限界 (50ppb) 以下まで低下させることができる (図 7) (Shiraishi et al.; 2017)。現在、果物などが大量に放出するエチレンの分解による農産物の鮮度保持など、様々な分野への応用を図っている (Shiraishi et al.; 2021)。

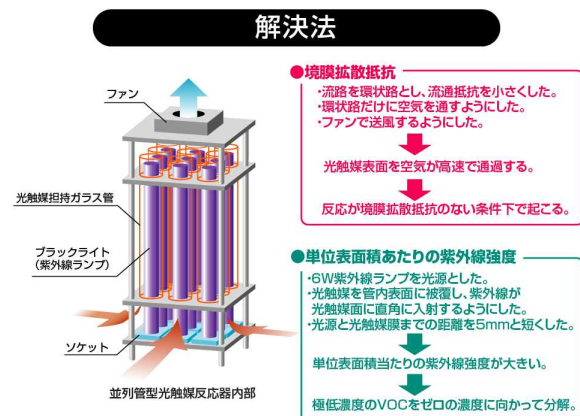


図 6 並列管型反応器の基本構造と光触媒反応の低減因子

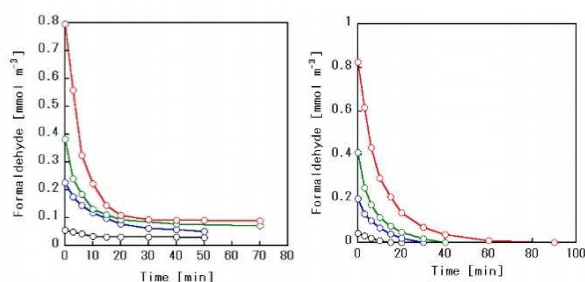


図7 並列管型光触媒反応器による 1m^3 空気中のホルムアルデヒドの分解 (左: 活性炭吸着, 右: 光触媒による分解)

結言

数式モデリングは研究推進における強力な基盤技術であり、システムの本質を理論的に理解することで実験を効率よく推進する際の有用なツールである。よって本技術を習得し、実験の場への導入を推奨する。

謝辞

私は終始一人で研究室を運営してきたが、この状況下で上述の研究成果を上げられたのは、学生の献身的サポートによる。ここに記して感謝の意を表す。

引用文献

- Miyakawa, H, Nagasue, H, Shiraishi, F (1999a) A highly accurate numerical method for calculating apparent kinetic parameters of immobilized enzyme reactions: 1. Theory, *Biochem. Eng. J.*, 3: 91-101.
- Miyakawa, H, Nagasue, H, Shiraishi, F (1999b) A highly accurate numerical method for calculating apparent kinetic parameters of immobilized enzyme reactions: 2. Accuracies of calculated values, *Biochem. Eng. J.*, 3: 103-111.
- Miyawaki-Kuwakado, A, Komori, S, Shiraishi, F (2020) A promising method for calculating true steady-state metabolite concentrations in large-scale metabolic reaction network models, *IEEE/ACM Trans. Comput. Biol. Bioinform.*, 17: 27-36.
- 白石文秀 (1990) 固定化酵素反応のみかけの最大反応速度および Michaelis 定数の基質濃度依存性, *化学工学論文集*, 16: 123-129.
- Shiraishi, F (1992) Substrate-concentration dependences of the apparent maximum- reaction rate and Michaelis-Menten constant in immobilized enzyme reactions, *Int. Chem. Eng.*, 32: 140-147.
- Shiraishi, F, Savageau, M A (1992a) The tricarboxylic acid cycle in *Dictyostelium discoideum*: I. Formulation of alternative kinetic representations, *J. Biol. Chem.*, 267:22912-22918.
- Shiraishi, F, Savageau, M A (1992b) The tricarboxylic acid cycle in *Dictyostelium discoideum*: II. Evaluation of model consistency and robustness, *J. Biol. Chem.*, 267: 22919-22925.
- Shiraishi, F, Savageau, M A (1992c) The tricarboxylic acid cycle in *Dictyostelium discoideum*: III. Analysis of steady-state and dynamic behavior, *J. Biol. Chem.*, 267: 22926-22933.
- Shiraishi, F, Savageau, M A (1992d) The tricarboxylic acid cycle in *Dictyostelium discoideum*: IV. Resolution of discrepancies between alternative methods of analysis, *J. Biol. Chem.*, 267:

22934-22943.

- Shiraishi, F, Savageau, M A (1993) Systemic effects of including protein turnover in the current model, *J. Biol. Chem.*, 268: 16917-16928.
- Shiraishi, F (1995) Diffusional and electrostatic effects on apparent kinetic parameters of reactions catalyzed by enzyme immobilized on the external surface of a support, *J. Ferment. Bioeng.*, 79: 373-377.
- Shiraishi, F (1996) Hasegawa, T, Kasai, S, Makishita, N, and Miyakawa, H., Characteristics of apparent kinetic parameters in a packed-bed immobilized enzyme reactor, *Chem. Eng. Sci.*, 51: 2847-2852.
- 白石文秀 (1997), 固定化酵素反応のコンピュータ解析法, コロナ社.
- Shiraishi, F, Hasegawa, T, Nagasue, H (1995) Numerical solution of the two-point boundary value problem by the combined Taylor series method with a technique for rapidly selecting suitable stepsizes, *J. Chem. Eng. Jpn.*, 28: 306-315.
- Shiraishi, F, Fujiwara, S (1996) An efficient method for solving two-point boundary value problems with extremely high accuracy. *J. Chem. Eng. Jpn.*, 29(1): 88-94.
- Shiraishi, F (2001) Highly accurate solution of the axial dispersion model expressed in S-system canonical form by Taylor series method, *Chem. Eng. J.*, 83: 175-183.
- 白石文秀 (2005) バイオケミカルシステム理論とその応用, 産業図書.
- Shiraishi, F, Koto, T, Akimoto, Y (2021) Preserving the quality of agricultural products via the photocatalytic decomposition of ethylene in a spiral-type reactor, *Chem. Eng. J. Adv.*, 7, 100111: 1-9.
- Shiraishi, F, Maruoka, D, Tanoue, Y (2017) A better UV light and TiO_2 -PET sheet arrangement for enhancing photocatalytic decomposition of volatile organic compounds, *Sep. Purif. Technol.*, 175: 185-193.
- Shiraishi, F, Okubo, D, Toyoda, K, Yamaguchi, S (2005a) Decomposition of gaseous formaldehyde in a photocatalytic reactor with a parallel array of light sources: 1. Fundamental experiment for reactor design, *Chem. Eng. J.*, 114: 153-159.
- Shiraishi, F, Toyoda, K, Miyakawa, H (2005b) Decomposition of gaseous formaldehyde in a photocatalytic reactor with a parallel array of light sources: 2. Reactor performance, *Chem. Eng. J.*, 114: 145-151.
- Shiraishi, F, Tomita, T, Iwata, M, Berrada, A A, Hirayama, H (2009) A reliable Taylor series-based computational method for the calculation of dynamic sensitivities in large-scale metabolic reaction systems: Algorithm and software evaluation, *Math. Biosci.*, 222: 73-85.
- Shiraishi, F, Yamaguchi, S, Obuchi, Y (2003), A rapid treatment of formaldehyde in a highly tight room using a photocatalytic reactor combined with a continuous adsorption and desorption apparatus, *Chem. Eng. Sci.*, 58: 929-934.
- Shiraishi, F, Yoshida, E, Voit, E O (2014) An efficient and very accurate method for calculating steady-state sensitivities in metabolic reaction systems, *IEEE/ACM Trans. Comput. Biol. Bioinform.*, 11: 1545-5963.
- Sriyudthsak, K, Uno, H, Gunawan, R, Shiraishi, F (2015) Using dynamic sensitivities to characterize metabolic reaction systems, *Math. Biosci.*, 269, 153-163.

生物環境工学における ICT に関わる研究

羽藤堅治

愛媛大学 大学院農学研究科

要旨

愛媛大学の環境工学関連の研究室では、植物の生育環境を工学的手法に基づいて調節し、植物の栽培における最適環境を求めるための研究を行ってきた。植物を育てる最適環境条件をどのように求めるかが重要である。Speaking Plant Approach (SPA) は、これら最適条件をえるため各種センシング技術を用いて計測を行い、そのデータを元に植物の状態を推定し、その結果を基に最適に環境を制御すると手法である。これを実現するためには、センサーなどのデバイスやその出力信号を解析するコンピュータプログラム、さらに解析結果を基に最適制御するための複雑な制御アルゴリズムの開発などが必要である。近年では、コンピュータのハードウェアの進歩に伴いAI技術の急速な進歩を遂げており、様々な研究成果が実用化されてきている。また、植物工場などの制御統合システムの発展にはICT技術の利用も必要不可欠である。筆者はこれらの研究を進めてきているが、AIを利用した知能的システム制御を中心に研究成果について紹介する。

キーワード

植物工場、画像処理、人工知能、スマート農業、Speaking Plant Approach

緒言

植物工場では、環境条件の積極的かつ効果的な制御による作物の成長促進や高品質化が強く望まれる。たとえば、環境条件を好適に維持して光合成、成長量、栄養成分などを増大させる、水欠乏を抑制するなどである。通常はこのやり方が主体であるが、逆に、環境ストレスを与えることでも成長促進や高品質化が期待できる。これらをどのように実現させるか。従来のように、環境条件をあらかじめ決められた値(最適な値)に常時一定に保つだけでは、正常な生育はできても、もちろんこれでも十分かも知れないが、成長促進や高品質化はあまり望めない。やはり、そのときの植物の状態や特性に基づいて環境条件を積極的かつ適切に制御する必要があると思われる。この概念をSPA (Speaking plant approach) と称し、現在急速に広まりつつある。

制御対象である作物の生理生態的な反応は非常に複雑かつ曖昧であり、時間的に変動する。これは、生体が細胞、組織、酵素、ホルモン、各種イオンなど非常に多くの要素から成り、それらは多種多様であり、お互いに関連し合い、時間的に変動するからである。また、生理的な反応プロセスにおける各要素の入出力関係は強い非線形特性を持つが、カオスの概念から、これら非線形どうしの反応が重なるとトータルとしての反応は不規則(予測不能)になる場合が多いからである。さらに生体は環境変動に柔軟に対応する適応性を保つため、分子及び細胞レベルでもともと微妙に変動するゆらぎを持っており、このことも複雑性の要因となっている。これらのことから、作物の栽培システムは大規模、時変、非線形、ゆらぎ特性をもつ複雑システム

といえる。たとえ同じ条件で植物応答を計測したとしても、2度と同じ値は得られないであろう。さらに、太陽光を利用する植物工場では、光強度などの気象条件が不規則に変動するので、これを加味すると、温室の制御システムはさらに複雑さを増すことになる。

このような複雑な問題を解決する方法として、近年ではコンピュータの発達に伴って高度な人工知能(AI)の開発が進み、あらゆる面での活用されている。そこで、AIを使った知能的な方法論としてエキスパートシステム、ニューラルネットワーク、遺伝的アルゴリズムを取り上げ、複雑な農業生産システムでの最適化と制御の応用例を中心にAI利用について紹介する。

植物の最適生育を目指す環境制御システム

植物工場における植物の最適な環境制御については、対象植物の生育ステージやそれまでの栽培の影響を受け最適値が変化すると考えられる。また、最適値と判断するためのパラメータの決定とその値を決めることも重要である。特にリアルタイムの制御を考える場合は、計測項目を制御パラメータとして考えると理想的な最適制御が可能となるかを見極める必要がある。

作物の栽培期間は3~6ヵ月と非常に長く、その間制御対象である作物の生理的反応および形態的特性は成長に応じて大きく変化していく。このため、栽培管理は多種多様となり、それぞれ非常に複雑な様相を呈している。また、全生育ステージにおいて、環境(栽培管理を含む)の影響を受けやすい時期(たとえば育苗期、開花期、着果期、

果実肥大成長期等)とそうでもない時期があるが、前者は栽培管理上重要な時期であり、環境制御を積極的に行った方が良い結果につながる可能性が高い。この観点からみると、環境制御は、常に厳密に制御するのではなく、通常は大雑把に管理し、重要な生育ステージのみに最適に制御する方が得策と思われる。このような制御システムでは、目的に応じて制御を分担する階層的制御システムが有効であると考えられる。

階層的小および知能的な最適制御システム

階層的小および知能的方法論を実際の栽培にどのように利用するか。図1は筆者らが提案する階層的小な知能的最適環境制御システムである(羽藤ら 1990, Morimoto ら 1996)。階層性については、植物工場内の環境を目標値に制御するフィードバック制御システムをベースに、2層の(階層的小な)目標値決定システムが組み合わさる。フィードバック制御システムは、環境条件を与えられた目標値に制御するもので、植物はその環境によって制御される。2つの目標値決定システムは長期間および短期間の目標値列を決定する。通常は長期的な目標値決定システムが稼働して大雑把に環境制御するが、重要な生育時期(育苗期、開花期、果実肥大成長期など)になると短期的な目標値決定システムが稼働し、厳密にオンライン制御する。両者とも植物応答に基づいて最適な目標値列が決定されるが、とくに短期間のオンライン制御では、生育に伴って状態(特性)が変化するので、その都度、作物の状態を把握する必要がある。本システムは、最適制御だけでなく、生育ステージに合わせて、環境-植物応答の時系列を計測して入出力関係を把握(ここではモデル化)し、それに見合う制御(適応制御)も行える構造となっている。

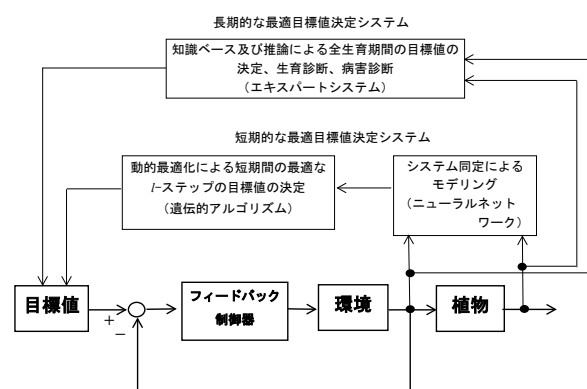


図1 階層的小および知能的な最適制御システム

知能的方法論については、最適化を実現するのに使われる。長期的な目標値決定システムにはエキスパートシステムが適用され、知識ベースと推論から全栽培期間にわたる最適な環境の目標値列を決定する。また、生育診断や病害診断による対処等も行われる。知識ベースは栽培を

繰り返して経験を積むことで知識を増やし、また推論は「もし...ならば、～である」という3段階論法で、そのときの植物の状態、培養液の状態、気象状況等から最適な環境条件が決定される。

一方、短期的な目標値決定システムには、ニューラルネットワークと遺伝的アルゴリズムが適用され、最適な環境の目標値列が決定され、環境条件が厳密に制御される。その方法は、まずニューラルネットワークを用いて、そのときの環境-植物応答の時系列を計測し、それを学習してモデルをつくり、次にそのモデルのシミュレーションから、遺伝的アルゴリズムを用いて、出力(これが目的関数となる)が最良となる環境の1段階の目標値列(最適値)を求める。なお、モデル化については、生育に伴う状態変化に対応するため、その都度、環境-植物応答を計測して新しいモデルをつくる。この目標値決定法については次の考え方による。筆者の観点となるが、「新種の作物を使ってどのように栽培したらよいか」を例に人間の栽培における思考プロセスを考える。対象が未知なので、まずいろいろな試行を行って、失敗と成功を繰り返し、それらを学習することで頭の中には入出力に関わるメンタルモデルがつけられ、行った操作(入力)とそれに対する栽培結果(出力)の因果関係を把握する。これらの動作は、ニューラルネットワークを用いて、実際に計測された入出力データを学習しモデルをつくることに対応する。次に、この因果関係をもとに、いろいろな思考を巡らし、「どうしたら最も良い結果が得られるか」という最良の操作(最適値)を探索する。これは、つくられた精神的モデルを使って、いろいろな操作に対する栽培結果を予測し(シミュレーションを行い)、その中から結果が最良となる操作を選ぶことを意味する。もちろん、このとき蓄積された知識等も利用されるが、ここでは省く。これらの動作は、ニューラルネットワークモデルのシミュレーションから、それは膨大な数の入力に対する出力の応答が得られるが、遺伝的アルゴリズムを使って、結果(出力)が最良となる入力を求めることに対応する。

トマトの養液栽培における培養液濃度(EC)の最適化制御

筆者らが提案する階層的小な知能的最適制御システムを実際の養液栽培に適用してみよう。養液栽培は土耕栽培と比較して、根圏の環境が自由に制御できるので、肥料濃度、イオン組成、液温等の適切な制御による成長促進や品質改善が期待できる。このため、植物工場での栽培方式に有効といえる

培養液濃度は、作物の成長を制御する1つの重要な操作量である。ここでは、NFTトマト水耕栽培において、トマトの成長が良好となるように、培養液濃度(EC)を最適に制御した例を紹介する。操作量(入力)は培養液濃度、制御量は下記の最適化問題で示すような植物応答(出力)である。

最適化を実現するには、コンピュータ処理できるように、まずシステムの入出力変数や最適化問題(何を最大または最小にするのか、入力等の制約条件)等を定式化しなければならない。

培養液濃度を成長に応じてどのように変えたら最良か。それは通常、栽培者が作物の成長に応じて、また生育状況を見ながら徐々に上げていく。たとえば、 $0.8-1.0-1.5-2.0-3.0 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ のようである。しかし、養液栽培では作物の根が常時培養液に浸かっている場合が多いので、栄養を常に吸収しやすい状態にあり、このため栄養成長の方が活発に成りやすい傾向にある。そうすると生殖成長が抑制気味となり、肝心の果実の成長が低下する。ここでは、全生育期間にわたる長期的な場合と育苗期に限定しての短期的な場合に分けて最適化を検討した。

(1) 全生育期間にわたる長期的な最適化問題

全生育期間にわたる培養液濃度の最適化問題は、エキスパートではないふつう栽培者が、トマトの生育状況、培養液の状態、気象状況などをみながら、栄養成長と生殖成長のバランスが良くなるように、成長に応じて適切な培養液濃度の目標値を順次決定することである。これには、エキスパートシステムが使われ、推論により適切な目標値が決定される。制御はこれに基づいて行われる。

(2) 重要な生育期間(育苗期)における短期的な最適化問題

重要な生育時期の1つとして育苗期がある。果菜類の栽培では、苗半作と言われるように、苗のでき具合がその後の成長(栄養成長と生殖成長)を大きく左右するので、良い苗をつくるのが非常に重要である。どのように良い苗をつくるか。良苗とは栄養成長と生殖成長のバランスが良い苗と言われるが、筆者らは養液栽培では栄養成長が活発になりやすいので、むしろ栄養成長が少し抑制されている苗の方が良いと考えている。とくにトマトの低段栽培ではこれが言えると思われる。一般に、育苗期では葉、茎、根の栄養成長しか計測できないので、これらの情報から良い苗をつくらなければならない。良苗の考え方はいろいろある。Luo and Kato (1987)は良苗の指標として S/R 比(S: 茎径, R: 根量)を定義し、この値の小さい苗が良苗と考えた。筆者らは、葉の大きさ(全葉長)と茎の太さ(茎径)に注目し、その比=全葉長/茎径を定義し、この値の大きいものほど良苗とした。その理由は、今までの栽培経験から、茎が太くなり過ぎると着花や開花などの生殖成長が抑制される傾向にあること、葉の大きさは栄養成長の指標でもあるが、やはり大きいほど光合成が増大するので栄養および生殖成長に有利なこと、茎径と全葉長は画像処理等で非破壊計測できオンライン制御できるからである。このため、ここでは全葉長と茎径の比(=全葉長/茎径)を良苗の指標とし、制御の最終日でこの値の大きい方が良苗とした。それで、最適化問題における目的関数は次のように定義した。

(3) ニューラルネットワークによるモデル化と予測結果

図2は、ニューラルネットワークによる学習用の計測データであり、トマトのNFT栽培の育苗期における培養液濃度(入力)の違いによる生育結果の実測値である。上から全葉長/茎径、光強度、培養液濃度を示す。培養液濃度は図中に示すように3つのパターンで変化させ、これらに対する全葉長/茎径(TLL/SD)の応答が示されている。これらの実測データを学習し、2入力(培養液濃度と光強度)→1出力(全葉長/茎径)の動的モデルをつくった。モデル化のための学習用のデータセット数は3つ、モデルの妥当性を検証するためのデータセット数は1つである。学習用のデータセット数は3つと少ないが、Purwanto ら(1996)の研究より、時系列データ(データ数が約20個)のモデル化の場合、最低3つのデータセットがあれば、モデル化可能であることを示した。これは、時系列データには、すでに入出力変動に関わるいろいろな反応が数多く含まれているからと思われる。また、学習用のデータセット数は多いほど良いと思われるが、植物応答はいろいろな原因でバラツキが大きいので、多過ぎると逆にモデル化誤差が増大する。このため最適なデータセット数が存在すると思われる。ここでは最低限の3つとした。

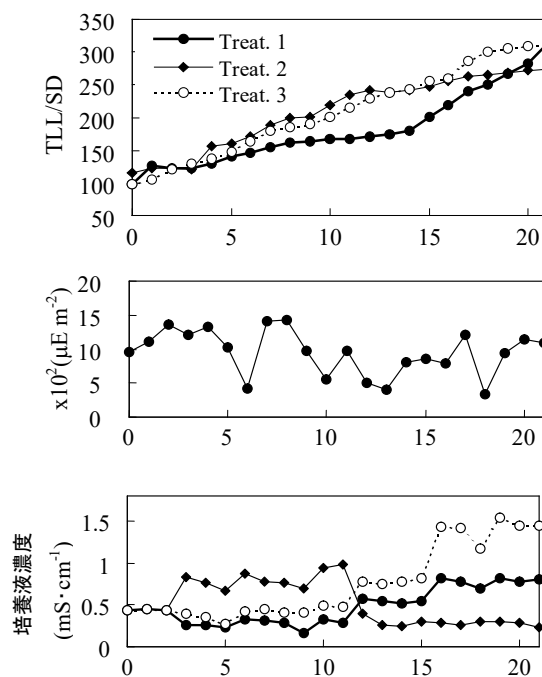


図2 培養液濃度の違いによるトマトの育苗期の全葉長/茎径(TLL/SD)の変化(実測)

これらの結果は一例に過ぎないが、知能的方法論を使用することによって、環境-植物のモデル化および最適制御が実際に可能であるとわかった。また、作物の成長促進や高品質化を達成するための最適値は、従来のように環境条件を作物にとって好適な条件に常時保つだけでなく、時

には(重要な時期に)環境ストレスを積極的かつ最適に与えて作物自身のストレス応答を有効に利用した方が良いと思われる。これについては他の研究成果からも同様なことが言える(Morimoto ら 2003, 2007). 結局、環境ストレスの最適な負荷と解除が成長促進や高品質化のキーポイントと思われる。

最近の AI 利用

AI の研究の進歩はすさまじく、現在では画像から直接、植物の生育状態を診断する研究が盛んになっている。我々の研究室でも AI 計算用のサーバーを導入し、研究を加速化している。最新のトマトの葉の病気診断のために開発した CNN を示している。今のところ13種類の病気、ストレスなどの診断に留まっているが、診断できる症状を順次増やしているところである。

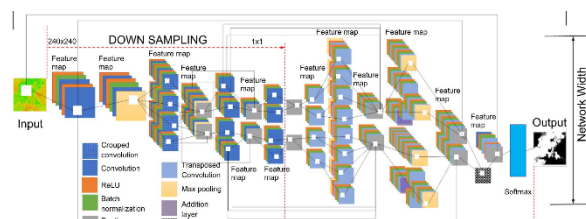


図3 Convolution Neural Network (CNN)-Normalization

今後の展望

植物工場での生産においてスマート化を進めるためには多くの課題が残っている。特に AI に関連する実用化例は少しずつ増えているが、その成果は今後、加速して伸びていくと予想される。特に自動車を始めトラクターなどの自動運転の進歩は目を見張る物がある。植物の診断やその結果を生かした栽培に関する AI 活用の実用化もこれから飛躍的に進んでいくことが予測されるが、農業工学分野の発展のため今後とも精進していきたいと考えています。

謝辭

今回の受賞に際し、格別のご配慮を賜りました日本生物環境工学会特別功績者の橋本 康先生、理事長の野口伸先生、会長の吉田 敏先生をはじめ、関係の諸先生方に厚く感謝の意を表します。

引用文献

- Hashimoto Y (1989) Recent strategies of optimal growth regulation by the speaking plant concept. *Acta Horticulturae*. 260: 115-121.
- 羽藤堅治, 仁科弘重, 近泉惣次郎, 橋本 康 (1988). ミカン病虫害診断エキスパートシステム. *生物環境調節*. 26(4): 185-186
- K. Hatou, H. Nishina, Y. Hashimoto (1990) Computer integrated

agricultural production. Proc. of 11th IFAC World Congress, 281-285

羽藤堅治, 福山寿雄, 神尾泰昭, 橋本 康(1990). AIを用いた栽培支援システム(1)トマト NFT 水耕栽培における EC セットポイントの調節. 生物環境調節. 28(3):109-112

Hashimoto, Y., Bot, G.P.A., Day, W., Tantau, H.-J. and Nonami, H.
(1993) The Computerized greenhouse. Academic Press, San
Diego, pp.175-196.

T. Morimoto, K. Hatou, Y. Hashimoto (1996) Intelligent control for a plant production system. *Control Engineering Practice*. 4(6):773-784

Hashimoto, Y. (1997) Applications of artificial neural networks and genetic algorithms to agricultural systems. *Comput. Electron. Agric.* 18(2, 3): 71-72.

Hashimoto, Y., Murase, H., Morimoto, T. and Torii, T. (2001) Intelligent Systems for Agriculture in Japan. IEEE Control Syst. Magazine, 21(5): 71-85. K. Hatou, K. Hisaeda, M.S. Baloch, T. Morimoto and H. Nishina (2006) The model for non-destructive measurement of tomato leaf area. Environmental Control in Biology. 44(3):173-179

Morimoto, T., Tu, K., Hatou, K. and Hashimoto, Y. (2003) Dynamic optimization using neural networks and genetic algorithms for tomato cool storage to minimize water loss. *Trans. ASAE*. 46(4): 1151-1159.

羽藤堅治, 橋本 康 (2009) 食料生産におけるハイテクイノベーション. 計測と制御. 48(2): 125-129

羽藤堅治, 森本哲夫(2010) 知能的植物工場の新展開[7]—知能的システム制御—. 農業および園芸, 85(7):771-784

仁科弘重, 有馬誠一, 羽藤堅治, 高山弘太郎(2012)植物工場技術の研究・開発および実証・展示・教育拠点(1)愛媛大学. 植物環境工学. 24(1):5-9

A. P. PAMUNGKAS, K.HATOU and T. MORIMOTO (2014)
Evapotranspiration Model Analysis of Crop Water Use in Plant
Factory System, *Environmental Control in Biology*. 53(3):183-
188

羽藤堅治, 仁科弘重(2019) 西欧型太陽光植物工場(愛媛大学植物工場研究センター)の可能性. 植物環境工学, 31(1):24-27

G.K. AJI, K. Hatou and T. Morimoto. (2020) Modeling the Dynamic Response of Plant Growth to Root Zone Temperature in Hydroponic Chili Pepper Plant using Neural Networks. Agriculture 10(6). 234.

MD. P. Islam, K. Hatou, T. Aihara, S. Seno, S. Kirino, S. Okamoto.
Performance prediction of tomato leaf disease by a series of parallel
convolutional neural networks. Smart Agricultural Technology,2:
1-25. (2022) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100054>

温室の気象災害低減に関する研究

森山英樹

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

要旨

温室の気象災害対策に関する一連の研究を展開した。植物の生産施設である温室は、植物による光合成を妨げないことが設計の大前提である。建設コストを抑えつつ、室内への日射透過量を最大限確保するために、温室は一般建築物に比べて簡易な構造を有する。このような構造物は、気象外力に対する強度が比較的小さい。我が国の温室は台風、大雪等によって被災するリスクが高く、安定した施設園芸経営にとって大きな障害となっている。本研究では、実際に被災した温室の現地調査、温室構造の数値解析、縮尺模型を使用した風洞実験等を通して、温室構造の課題について考察するとともに、温室保全のための構造設計資料と気象災害対策を提案した。研究成果の一部は各種研修資料やマニュアル等に反映される形で普及段階にある。

キーワード

台風、大雪、竜巻、地震動、津波

はじめに

我が国は諸外国に比べて、台風、大雪、地震等の発生頻度が高く、それらによる建築構造物、土木構造物、交通機関、森林、農作物、農業用施設等の被害が後を絶たない。パイプハウスや鉄骨ハウスをはじめとする温室全般もその例に漏れない。

温室は、室内で植物が光合成を行うための生産施設である。十分な日射透過を必要とし、透明のプラスチック素材もしくはガラスによってほぼ全面が被覆されている。また、日陰や建設コストを最小にするために、断面や本数を可能な限り抑制した骨組部材等で構成される。さらに、人の滞在強度が小さく、住家等に適用される大きな安全率を採用していない。つまり、気象外力に対する強度は、一般建築物に比べて概ね小さい。一方で、近年は高額な各種環境制御装置および栽培装置を付与する等、高機能化された温室の普及が進んでいる。安定的な施設園芸の継続には、温室構造の気象災害を低減していくことが必須である。

本研究では、大雪による積雪荷重、強風がもたらす風力、地震動および津波によって被災した温室を対象に、現地調査を行い、被災要因の抽出を行った。さらに、生産者自身によって選択もしくは実施することが可能なコスト抑制型の補強、設計、温室配置方法を明らかにすることを目的とし、数値解析、載荷実験および風洞実験を実施した。

積雪荷重 1), 2), 5), 10)

2014 年1月の平成 26 年豪雪では、関東甲信地方を中心に、例年の降雪量が多くない地域においても温室に甚大な被害が発生した。大規模な被害は、柱－基礎接合部

の強度を十分に発現できなかった温室で顕著であった。また、ブレース等の斜材が不足していた事例、屋根上の積雪荷重が強風や残雪の影響で偏荷重となった事例、谷部の融雪水で基礎周囲の地盤が飽和し地耐力が低下した事例でも被害が拡大した。これらについて、室内用の暖房機を援用した融雪、ブレースの追加設置、基礎周囲地盤への融雪水浸透防止策など、寡雪地域における雪害対策をまとめた。その中で、温室の単棟と連棟の差異、および暖房の有無によって降雪開始時点前後の対策を区分するとともに、セメントを使用した連棟温室の柱－基礎接合部の簡易補強方法について提案した。

1998 年 1 月の大雪は、発達した南岸低気圧により発生した。関東甲信地方および東北地方の太平洋側に多量の降雪があり、パイプハウスをはじめとする温室の被害が多発した。現地調査では、作物誘引用のワイヤを、間口方向に横断するように設置したパイプハウスで被害が軽減した事例があった。そこで、我が国で一般的な間口 6000 mm、棟高 3160 mm のパイプハウスを対象に、14 通りのブレース設置による補強効果を有限要素法による応力解析および座屈解析によって求めた。座屈解析を適用したのは、地盤支持力が低下しやすい圃場の実情を反映させるためである。解析の結果、融雪水の地中浸透で地耐力が低下した場合に、棟高の 63-70%の高さに設置した 2 本一組のブレースは、無補強の場合の 3 倍程度の耐雪性能をパイプハウスに付与することが明らかとなった(図 1)。ブレースとして使用したのは、施工時の作業性および導入コストを考慮し、直径 3.2 mm のなまし鉄線とした。これはホームセンターで容易に入手できる資材であり、生産者による自家施工が可能である。直径 19.1 mm のパイプで補強する場合

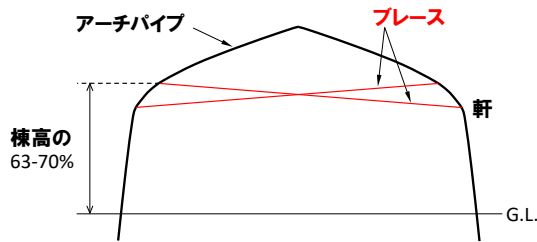


図1 ブレースによるパイプハウスの耐雪補強

の4.5%のコストでなまし鉄線を導入できる。さらに、直径3.2 mmの鉄線は、室内への日射透過をほとんど阻害しない。また、日本人の平均身長よりも高い位置に鉄線を配置するため、周年設置への抵抗も少ないことが期待できる。すなわち、気象災害対策作業の軽労化にも貢献可能である。ブレースによる骨組拘束の効果は、実大フレームに対する載荷実験で確認した。数値解析では他に、間口を4500 mm、6000 mm、8000 mmに、棟高を2370 mm、3160 mm、4213 mmに変更した場合の許容積雪荷重の上限値を求め、棟高の増加に伴ってブレース補強効果が増加することを明らかにした。さらに、大きさが異なる相似形のパイプハウスに対して、アーチパイプの断面係数等の条件を5通りに変更した場合の日射透過量および鋼材使用量を明らかにし、現実的な資材として、直径31.8 mmで肉厚1.6 mmのアーチパイプの導入を提案した。

風力 3), 4), 6), 7), 9), 11), 13), 14)

台風による温室の被災について、2002年台風第21号（以降、T0221）、2018年台風第21号（同T1821）および2019年の令和元年房総半島台風（同T1915）による被災事例を調査した。

T0221による被災について、茨城県および千葉県において現地調査を行った。調査したのは、独立した単棟もしくは比較的小規模のパイプハウス群、および鉄骨補強パイプハウスである。中規模以上の連棟温室では、接合部の破壊や基礎の浮き上がりが温室構造倒壊のトリガーであることがわかった。被災した間口6000 mmの3連棟鉄骨補強パイプハウスに関する骨組構造解析を行い、強度の小さな接合部を改良したものに置換し、コンクリート基礎を現状よりも10 cm深く埋設することで、基礎の引き抜き耐力を増加し、温室の被災を回避できる可能性を明らかにした。

一方、T0221で被災したパイプハウスは、骨組部材自体の変形が顕著であった。風上側側面の風下側への転倒、風上側屋根面におけるアーチパイプの変形、風下側アーチパイプ継手の脱落を示していた。

T1821に関しては、京都府の盆地および岐阜県の中山間地のパイプハウスを調査対象とし、地形の影響を中心に被災特徴をまとめた。中山間地のパイプハウス団地では、高所からパイプハウスの屋根面に対して下向きに作用する不定常流によって、局所的に屋根が陥没するか、構造が

全半壊していた。地形および防風施設端部に起因する気流の収束がパイプハウスの被災を助長した事例もあった。

T1915は、大部分が台風の危険半円内に入った千葉県で温室に大規模な被害をもたらした。被災地では、連棟ハウスの他、大規模パイプハウス群を対象に、団地内で並列配置されたパイプハウスの配置条件が個別の棟の被災に及ぼす影響について調査を行った。調査の結果、パイプハウス側面の転倒は、風上側側面に作用した正圧が主要な原因であることがわかった。一方、風下棟における負圧は、骨組構造を浮き上がらせた。同じく、風下棟における屋根の陥没は、気流の再付着が主要な原因として疑われた。周辺土地利用状況に起因する縮流は、特定の場所の風速を増加させ、温室構造に局所的な破壊を発生させた。防風ネットの設置方位、パイプハウスの筋交いの追加、鉄骨ハウスの基礎の適切な埋設等、今後の台風対策の留意点を抽出し、自治体が作成するマニュアルに対して技術支援を行った。

次に、パイプハウス表面の風力分布を明らかにすることを目的として、農研機構農村工学研究部門が保有する大型風洞を用いて、パイプハウスの風圧係数 C_p を求めた。風洞実験では、妻面開口部の有無、隣接する同型パイプハウスとの距離（隣棟間隔）の大小、パイプハウス軒高の差異等、パイプハウスの使用条件、配置条件、設計条件を複数設定して分析した。上記の実験条件を満たすために、各種の風洞実験用模型を作製した。積雪荷重に関する解析時の標準モデルと同じ、間口6000 mm、棟高3160 mmの断面、桁行長が50 mのパイプハウスを対象とし、妻面ドアの脱着が可能な1/20縮尺模型を作製した（図2）。隣棟間隔については、圧力測定用の模型の風下側もしくは風上側、もしくは両側に、同型のダミー模型を配置した。軒高の差異については、棟高を標準の3160 mmから、+250 mm、+1000 mm、+2000 mm高くしたパイプハウスを跳び箱状の4段構成の模型で再現した。桁行長はいずれも50 mで、1/20縮尺では2500 mmとなる。長い桁行長は、現実の寸法を反映した。さらに、妻面における気流の乱れの影響をキャンセルできるメリットを有する。風洞実験用模型としてはかなり長いですが、実験に使用した大型風洞は計測胴の断面が幅4 m、高さ3 mであり、模型による閉塞率に問題はない。



図2 パイプハウスの風洞実験用模型

実験の結果、パイプハウスの C_p の分布は、園芸用施設設計施工標準仕様書に記載されている両屋根型および円

弧屋根温室のそれとは、特に風上側屋根面で大きく異なった。実験では、風向を 0° （間口方向）から 90° （桁行方向）まで、 5° 間隔で設定した。通常の風洞実験では 30° 間隔程度の粗い風向設定とするが、本研究では風向が C_p に及ぼす影響について、精密な結果を得ることを重視した。その結果、間口方向に対して風向が 25° で最大の負の C_p の値-3.5 が発生することを明らかにした。開口部が存在する場合は、内圧係数が最大で-0.9 まで減少した。

同型パイプハウスを並列配置した実験では、隣接棟が相互の C_p に影響を及ぼした。風上側のパイプハウスでは単体の場合に似た C_p 分布を示した。それに対して、風下側のパイプハウスでは C_p 分布はパイプハウス表面全体が負の値となり、風下側屋根面の棟近傍で局所的な負圧が発生した（図 3）。これらの現象は、パイプハウス周囲の気流性状によって引き起こされていることを、気流の可視化によって説明した。すなわち、風上棟の棟で剥離した気流は、風上棟の屋根面上空を進み、風下棟の上空も通過する。しかしこの空気の流れは非定常流であるため、風下棟の屋根面に再付着し、風下棟の棟で再び剥離する。剥離による負圧の発生と、再付着によって生じる正圧による負圧の一部相殺で、並列配置されたパイプハウスの複雑な C_p 分布が決定される（図 4）。隣棟の負の C_p を増加させる効果は、隣棟間隔の減少に伴って増加した。圃場に余裕がある場合は、隣棟間隔を広げる方が強風対策上有利である。

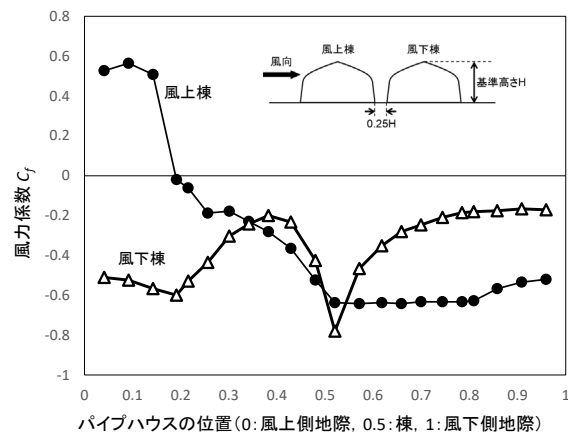


図 3 風上棟および風下棟の風圧係数 C_p

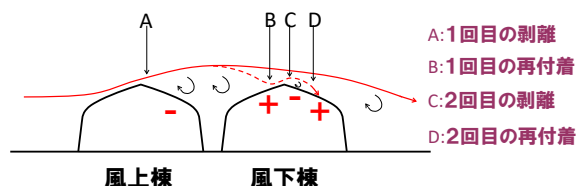


図 4 パイプハウス周囲の気流の剥離と再付着

軒高を増加させる実験では、軒高の増加に伴い、風上側軒部に近い屋根領域において、局所的に大きな負の C_p

が発生した（図 5）。施設園芸現場では、移動式カーテン等、室内装備の設置場所の創出目的で、パイプハウスの軒高を増加させるニーズがある。また、植物生育空間の急激な温度変化を避けるために、上部空間は有効である。このような環境制御面でのメリットを有する高軒高化であるが、温室構造設計に強い影響を及ぼすため、温室周囲の気流に対する考慮が必要である。

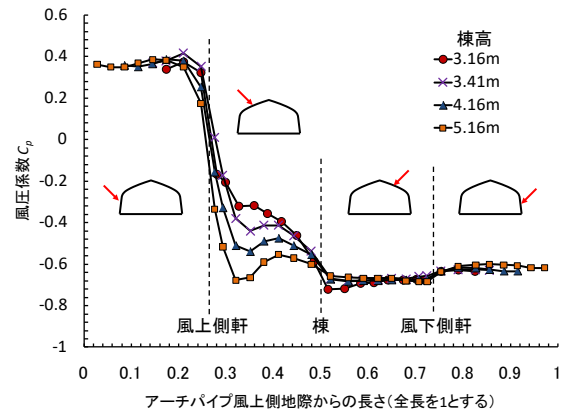


図 5 軒高の異なる 4 模型における風圧係数 C_p

2008 年には、雨よけ施設に関する強風被害調査を行った。雨よけ施設は側面が被覆されていない特殊な連棟ハウスとして捉えることができる。強風下の雨よけ施設では、垂直方向の風圧力が卓越することが特徴的であった。

竜巻被害は、台風被害とは温室被災メカニズムがやや異なる。2012 年 5 月 6 日に、同時多発的に 4 本の竜巻が発生し、栃木県および茨城県において温室の被災が相次いだ。徐々に近づく台風と異なり、風速が急激に増加する竜巻では、被覆材等の脆弱部が順番に破損するプロセスがなく、大きな風力が骨組に伝達される。その結果、被覆材や構造の差異はパイプハウスの被災パターンに大きな影響は及ぼさなかった。

地震動および津波^{8), 12)}

2016 年の平成 28 年(2016 年)熊本地震は断層型地震であり、地割れが多発したことが特徴的であった。地震動および地割れによって、熊本県を中心に一部の温室および温室付帯施設である栽培ベンチが被災した。温室では、柱の傾斜および基礎の不同変位が発生した。2014 年の大雪被害事例では、柱の傾斜や転倒とともに、屋根の陥没が生じた。一方、熊本地震では、園芸用施設設計施工標準仕様書で定められた許容変位を大きく超過する柱傾斜事例もあったが、軒以上の高さにおける屋根構造では有害な変形は顕著ではなかった。ただし、地盤の液状化が発生した場合は、谷樋をはじめ、桁行方向に配置された部材、および栽培ベンチが大きく変形した。谷樋や栽培ベンチは、緩勾配で雨水や養液を制御している。円滑な水の流れが阻害されることで、営農継続に多大な支障が発生し

た。栽培ベンチは地震動に対しても脆弱であった。防災科研の K-NET で計測された加速度 2.61 m/s^2 を適用して数値解析したところ、調査事例のベンチは地振動に対して脚部の強度が不足することがわかった。

2011 年の東北地方太平洋沖地震では、津波によって、東北地方および関東地方の太平洋側を中心に、温室に甚大な被害が生じた。仙台平野では、海岸に沿って堤体(仙台東部道路)が南北に走っている。これが、津波に対する減勢工として作用した。海岸付近では、津波高さは 8 m を超え、津波波力によるパイプハウスの破壊を回避できない。海岸から数 km の距離においても、減勢工がない場合は津波波力もしくは漂流物による温室の損壊があった。減勢工が機能する場合、もしくはパイプハウス側面に過大な水圧を作用させない場合は、骨組構造の被害を回避できる可能性が高い。160 cm 高さまで浸水したパイプハウスも、室内へ海水が速やかに浸入することで、アーチパイプの変形を回避できた。これは、津波に限らず洪水対策としても適用可能である。

おわりに

現地調査、数値解析、風洞実験等を通して、大雪および強風被害をはじめとする各種気象災害に対する温室構造の補強や対策を検討してきた。温室構造は植物生産性の向上や施設園芸経営の収益の改善を第一の目的に中心に設計すべきである。そのため、本研究では、環境制御面ですでに完成された温室構造を大きく改変することなく、低コスト資材で生産者自身が施工可能な方法や、建設時の配置条件によって風圧力を制御する手法の開発に重きを置いた。研究成果の一部は、農業改良普及担当者の災害対応技術力向上のための研修資料、自治体が策定する災害対策マニュアルへの技術指導、生産者に対する防災講習、日本施設園芸協会策定の園芸用施設設計施工標準仕様書への反映の形で普及段階にある。

謝辞

この度は日本農業工学会賞というたいへん名誉ある賞をいただき、身に余る光栄です。受賞にあたり、日本農業工学会の野口伸会長をはじめ、役員の先生方には格別のご高配を賜りました。謹んで御礼申し上げます。また、ご推薦いただきました農業施設学会の岩渕和則会長をはじめ農業施設学会理事会の皆様に対しまして、厚く御礼申し上げます。

温室の気象災害対策に関する一連の研究は、農研機構の農業施設系列の研究室に所属されていた佐瀬勘紀博士、奥島里美博士、池口厚男博士、小綿寿志博士、石井雅久博士、豊田裕道博士を中心とする諸先輩方、小川秀雄博士、山口智治博士、植松康博士、Dr. David R. Mears、羽倉弘人博士をはじめとする大学の先生方のご

指導なくては成立しませんでした。現地調査に際しては、農林水産省、各自治体、日本施設園芸協会、農業共済組合、JA、そして何より生産者の皆様から、ご助言と貴重な知見を賜りました。心より感謝申し上げます。

引用文献

1. 森山英樹, 豊田裕道(1999)1998 年 1 月の大雪時における東北地方南部太平洋側の園芸施設の被災特徴について. 農業施設. 30(2): 205-214.
2. Moriyama, H., Mears, D. R., Sase, S., Kowata, H., Ishii, M. (2003) Design considerations for small-scale pipe greenhouses to prevent arch buckling under snow load. 2003 ASAE Annual International Meeting. Paper No. 03-4047: 1-8.
3. 森山英樹, 佐瀬勘紀, 小綿寿志, 石井雅久(2003)台風 0221 による千葉県・茨城県下の園芸施設構造の被災状況と考察. 農業施設. 34(3): 199-212.
4. Moriyama, H., Sase, S., Uematsu, Y., Yamaguchi, T. (2008) Wind pressure coefficient of a pipe-framed greenhouse and influence of the side gable openings using a wind tunnel. 農業施設. 38(4): 237-248.
5. Moriyama, H., Mears, D. R., Sase, S., Ikeguchi, A., Yamaguchi, T. (2008) Reinforcement for pipe-framed greenhouse under snow load and design optimization considering steel mass. 農業施設. 38(4): 263-274.
6. 森山英樹(2008)ブドウ栽培雨よけ施設の強風による被害の特徴. 農業施設. 39(3): 223-229.
7. Moriyama, H., Sase, S., Uematsu, Y., Yamaguchi, T. (2010) Wind tunnel study of the interaction of two or three side-by-side pipe-framed greenhouses on wind pressure coefficients. Transactions of the ASABE. 53(2): 585-592.
8. 森山英樹, 石井雅久, 奥島里美, 佐瀬勘紀(2012)東北地方太平洋沖地震の津波によるパイプハウスの被災特徴. 農業施設. 42(4): 193-200.
9. 森山英樹, 奥島里美, 佐瀬勘紀, 石井雅久(2012)竜巻の 3 次元風向および風速がパイプハウスの破壊モードに及ぼす影響. 農業施設. 43(4): 152-159.
10. 森山英樹, 奥島里美, 石井雅久(2014)平成 26 年豪雪により被災した温室の実態調査. 農業施設. 45(3): 108-120.
11. Moriyama, H., Sase, S., Uematsu, Y., Ishii, M., Okushima, L. (2015) Influence of Ridge Height of Pipe-Framed Greenhouses on Wind Pressure Coefficients. Transactions of the ASABE. 58(3): 763-769.
12. 森山英樹, 奥島里美, 石井雅久, 土屋遼太(2017)平成 28 年熊本地震による温室の被災事例. 農業施設. 48(2): 92-103.
13. 森山英樹, 石井雅久, 土屋遼太, 奥島里美(2019)平成 30 年台風第 21 号によるパイプハウスの被災—京都府および岐阜県における被災実態調査—. 農業施設. 50(2): 73-86.
14. 森山英樹, 石井雅久, 土屋遼太(2021)令和元年房総半島台風による温室の被災パターン. 農業施設. 52(1): 9-22.

分散協調スキームによる営農管理情報システムの開発

吉田 智一

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構基盤技術研究本部農業情報研究センター

要旨

営農情報管理のシステム化・効率化は古くから取り組まれているテーマである。筆者は農業研究を職として早期にパソコン通信による生産者間及び農協組織との間の営農情報交換をお手伝いする機会があった。以降農業機械システム開発研究の傍ら、IT～ICT の進展に合わせながら、主に土地利用型農業における圃場作業管理から営農情報管理に係る情報システム開発と普及に携わった。この中で、移動型農機内の情報システムからインターネット上の Web 営農管理情報システムまで複数のシステム間でのデータ交換やシステム間連携に関心を持ち研究開発を進めてきた。その概要を報告する。

キーワード

営農情報, 営農管理, API, 分散協調, 標準化, システム連携

緒言

筆者が大学を卒業し就職した 1983 年当時ちょうど NEC 社から 16 ビット PC9801 がリリースされた時期であった。卒論研究において Z80 マイコンのアセンブラ(一部ハンドアセンブルもあった)で A/D コンバータを駆動するプログラムを書き、土壌剪断力の計測装置を組み立て計測・解析し報告にまとめるという一連の手順を学んだことが現在の礎になっている。農業研究の職場では専攻を活かした機械システムの開発に関わったが、機械システムの計測や制御には電氣的な装置・システムを扱うことからマイコン・PC およびプログラミングへの関わりは続いた。

営農管理情報システムとの関わりは実は近隣の農協組織のパソコン通信システムを開発・導入するということで就職後の早い段階から始まっていたが、本格的となったのは 2003 年頃前任者の仕事を引き継いだ「分散圃場水稻春作業計画最適化支援システム」(以下、分散圃場システム)開発である(大黒ら 2003)。このシステムは後述する「作業計画・管理支援システム」の一部となっており、今回報告する一連の研究開発の大きな契機となった。

分散協調事始め：XML Web サービス

分散圃場システム開発の同時期に参画していた「データベース・モデル協調システム開発プロジェクト」(2001～2005)において、露地野菜の適作判定システム(図 1、高橋ら 2004)や水稻生育予測システム(須藤ら 2005)の開発を分担した。筆者は共同研究者が開発したスタンドアロン動作するそれぞれの判定・予測モデルプログラムを Web 上から利用できるようにするための技術開発を担当し、当時提唱されていた WebAPI プロトコルの一つであった XML Web サービスを適用した(吉田ら 2003)。

この時の開発において、本報告の基調である分散協調のための XML や WebAPI～Web アプリ開発を身につけたことはその後の研究開発に大きく影響した。

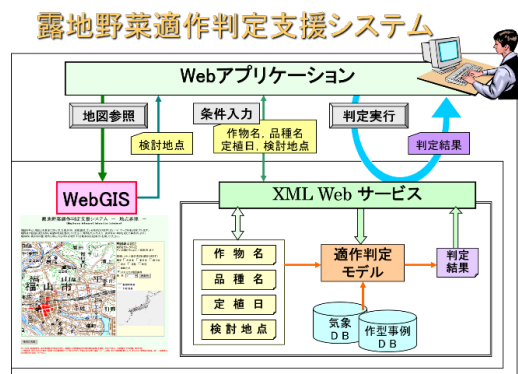


図 1 露地野菜適作判定支援システムの構成

精密農業研究から営農情報管理へ

1990 年代に始まった我が国における精密農業研究は、欧米と比べ経営体の規模(経営面積および一圃場面積)が小さいことや、水田稲作農業が中心であることから圃場単位での管理に重点が置かれ 2000 年代半ばには「日本型水稻精密農業」が定義された(西村 2007)。

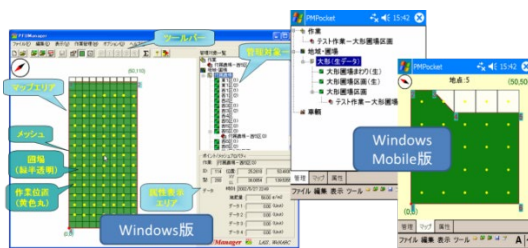
筆者もこの日本型精密農業研究の一翼を担い、「精密畑作プロ」(糸川 2007)において一筆圃場内の機械作業情報管理ソフト開発を担当した。並行して、分散圃場システム開発の流れを継承し、耕作放棄・農地流動化や新たな米政策～担い手重点化支援政策(2004)を背景とする農地集積の進展・担い手経営の大型化に対応するべく、圃場地図を利用して生産状況を可視化するソフトの開発と実証・普及に取り組んだ。

農場における情報管理

一般に農業生産者(個人生産者または生産法人・組織などの農業生産を主業とする経営体)はどこで何をどれだけ栽培・生産してそれをどこへどれだけいくらで出荷して売り上げを得るか? その際にはどれだけの経費(人件費, 土地代, 生産資材等々)が必要となっており, 最終的にどれだけ儲けができるか? 栽培途中でも天候の変化や病虫害・雑草など栽培のマイナス要因を回避するための対応や市場動向(如何に有利に販売するか?)などの状況判断と意志決定を繰り返し, 日々の栽培～生産～経営管理を行っている。このうち精密畑作プロでは圃場内作業管理場面の情報管理ソフト開発に取り組んだ。

圃場内作業管理情報の共通化

精密畑作プロでは, 多くの研究者らがそれぞれに取り組んだセンサシステムや機械システムが収集・解析して生成するデータを共通的に取り扱い可能な情報システム(ソフト)開発を担当した(図 2, 吉田 2007)。これはソフト一般に付いて回るデータ互換性・可搬性・相互運用性の問題への対応で, 圃場内作業情報管理場面が対象となった取り組み事例であった。



〔 当時は Windows 用(左)と Windows Mobile 用(右)の 2 種類を開発した。 〕

図 2 圃場内作業情報管理ソフト PFUManager

このソフトの考え方は非常に単純で, 圃場内作業においてセンサ・機械システムから得られる様々な計測データや解析データをそのデータが取得または生成された位置と時間に紐づけて管理するというものである。GIS(地理情報システム)機能に基づくデータ管理仕様を検討し, 時空間属性としてセンサや機械システムが生成した情報を管理する。その際重要となるのがその情報の意味(メタ情報)で, その記述も同時に行うことのできる仕様を作成した。

当時, GPS ロガーのデータ流通用フォーマットとしてデファクト的存在であった GPX (GPX: the GPS Exchange Format, <<https://www.topografix.com/gpx.asp>>, 2022 年 4 月 17 日参照)に着目し, GPX 仕様を拡張してセンサ・機械システムのデータを表現できる汎用的な仕様として定義したものである(GPXX, 図 3, 吉田ら 2013c)。

属性データのメタ情報については「属性データタイプ定義(PMType)」という仕様を定義して, さらにこれを「属性データタイプ定義参照サービス(PMTypeService)」という

XML Web サービスで交換可能なレジストリサービスを試行した。しかし, メタ情報内に記述するコンテンツの記法・用語などについての標準化には至らなかった。

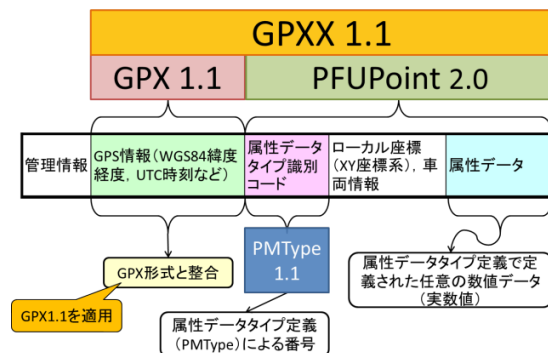
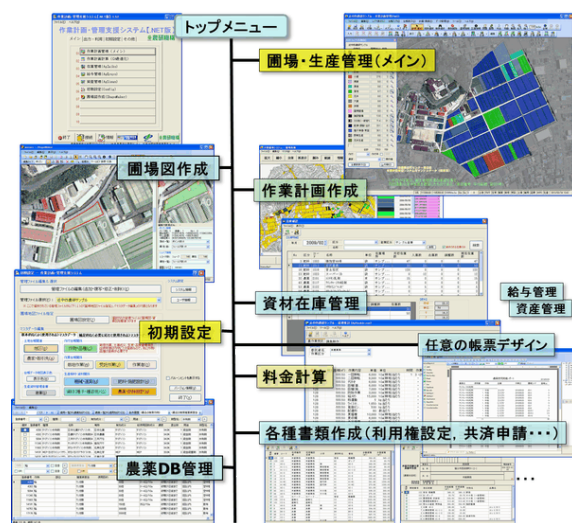


図 3 時空間データ管理仕様 GPXX の概略

圃場図利用営農情報管理の台頭

圃場の形状や位置を電子データとしてコンピュータ上に再現し, その上で作物や作業などの栽培管理情報をデータ管理しようとする試みは古くからあり, 筆者がこの分野に着目した 2000 年代半ばまでは, グラフィックソフトと表計算ソフトを組み合わせたものや, 汎用 GIS ソフトを使用するのが主流で, 農業現場(経営体レベル)へはあまり普及していなかった(吉田 2010)。

そこで, 農業現場への普及を目指して, 無償配布によりその利用効果を農業生産者が容易に体験・実感できるように考慮した「作業計画・管理支援システム(PMS)」(吉田ら 2009)を開発・公開した。PMS はデータベースとそれを利用する複数のプログラムから構成され(図 4), 目的に応じたプログラムを使い分けながら全体として営農情報管理を行う情報システムであった(営農管理情報システムの一つ)。



〔 PMS については <https://aginfo.cgk.affrc.go.jp/> PMS/ を参照されたい。 〕

図 4 作業計画・管理支援システム (PMS)

その後 2010 年代に入って、クラウドが登場し圃場図による可視化機能を備えた営農管理情報システムやクラウド型サービスが数多く提案・商品化された(加藤 2013)。

しかし、この営農管理情報システム分野は当時新しいソフトウェア分野であったため、確たる標準やデファクトスタンダード、共通的に利用可能な業界・分野共通の標準データ(オープンデータを含む)が国内にはほとんど無く、各システム間のデータ交換機能は想定されていなかった。

この問題に対して、欧米では先行して標準化の検討が数多く進められていた。たとえば、農業機械内の情報通信に関しては ISO 国際標準が制定されていた。営農管理情報システム分野ではドイツにおける agroXML や iGreen プロジェクトなど(いずれも 2012 年当時)が存在していた。

そこで、筆者は国内における営農情報管理に係る情報交換標準化を目指したデータ表現形式 FIX-pms(図 5)を提案し(吉田ら 2013b)、そのデータ利用手順(API)を試作した(吉田ら 2013a)。

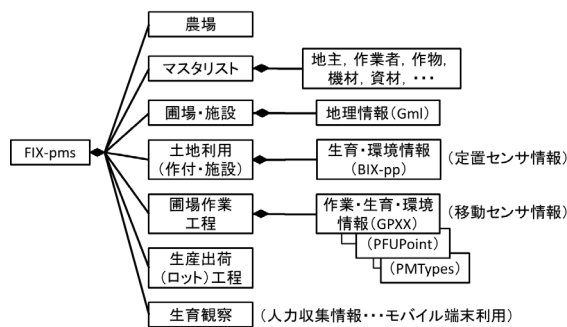


図 5 営農情報管理データ表現形式 FIX-pms

農業 ICT 標準化の取り組み

これまでの経過を踏まえた基本的考え方

農場を取り巻く様々な営農管理情報の標準化プロセスにおいては、少なくともデータ表現形式とデータアクセス手順(API)の公開・共用が必要と考えた。そこで、まずはこの考え方を一般化したものとして農業版オープンクラウドプラットフォーム(CLOP)を提唱した(Hirafuji et al.2012, 図 6)。



図 6 CLOP 構成概念

前述の FIX-pms やその利用 API, 既往の農業機械通信

技術標準規格(ISO 国際規格や日本農業機械工業会規格のデータ書式や API 仕様にかかる部分)なども取り込んで、CLOP 仕様の具体化を進めた。

しかし、前述の GPXX のメタ情報記述の場合と同様に、ここでもデータ形式や API に含まれるコンテンツや用語についての標準化が大きな壁として立ちばかった(図 7)。

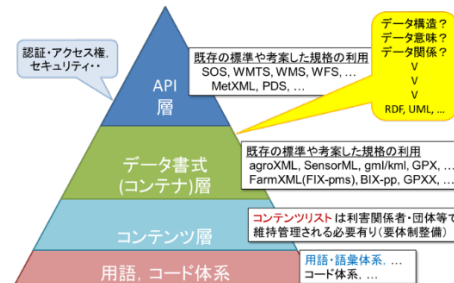


図 7 農業 ICT 標準化を進める際の 4 階層モデル

データ形式や API が共通化され、相互にデータ交換が可能になったとしても、共通のデータ形式内に格納された各データ項目の内容(コンテンツ)を処理しようとした瞬間に、コンテンツ自体が共通化(相互の機械システム間で理解可能な状態)されていなければ、データの統一的・機械的自動処理は不可能だからである。

通常、ISO 規格などではその規格で用いられる用語などが Dictionary の形で厳格に規定される。前述の agroXML においても「コンテンツリスト」仕様が規定されており、agroXML を運用する利害関係者間において交換する文書中に記載するコンテンツリスト(辞書・用語集に相当)を厳格に定義して運用することが規定されていた。

第 1 期 SIP 事業での取り組み

以上の農業 ICT 標準化に向けた基本的考え方に沿って、具体化の一つの試みとして 2014 年度から開始した内閣府「府省横断による戦略的イノベーション創造技術(SIP)」の「次世代農林水産業創造技術(アグリイノベーション)」研究開発事業(2014~2018)において、i)リモートセンシング、ii)気象データ・気象災害モデリング、iii)広域水管理、iv)農業機械知能化、との連携を踏まえた v)多圃場営農管理システム開発に取り組んだ(図 8)。

この事業では既往の農業用システム・サービスを対象に適用可能な標準化技術を援用しつつ、データ表現やアクセス手順の公開・共通化に加え、データ表現中に含まれるコンテンツ(具体的には稲作作業用語や作物品種情報)についても検討した。

一般に営農管理情報において「コンテンツ」として想定されているのは、作物や品種、作型・作業体系や作業、肥料、農薬、などの農業生産に関わる事物の名称やその属性である。これらについて農業用語・語彙としての概念体系まで遡った検討を行うとともに、各種の営農管理情報システムにおいて農業共通基盤データセットまたは参照サービス

として共有されるべく整備される必要があった。これには多様な分野の利害関係者の参画・協力が必要で、5 年間だけの研究開発事業で成し得るものではなかった。

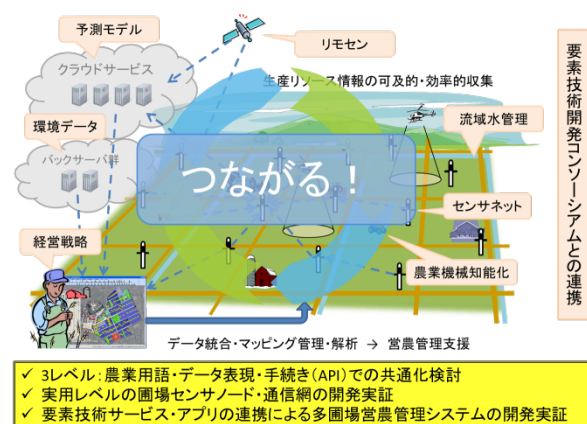


図8 多圃場営農管理システム開発研究概要

期を同じくしてIT 総合戦略本部は「農業情報創成・流通促進戦略」(2014 年 6 月)を決定し、「農業情報の相互運用性・可搬性の確保に資する標準化や情報の取扱いに関する本戦略に基づくガイドライン等の策定」を進めることとした(IT 総合戦略本部, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/senryakuzenbun_140603.pdf>, 2022 年 4 月 17 日参照)。

SIP 事業における「多圃場営農管理システム」開発においては、この国家戦略と歩調を合わせながら、営農管理場面ごとに発生する農業情報の生成と流通に係る API〜データ構造・表現〜コンテンツリスト〜コード体系(図 7)の各段階で農業情報標準化を検討した。その取り組みの成果の一部が、「農業共通語彙基盤(CVO)」(竹崎ら 2020)や「農業データ連携基盤(WAGRI)」(WAGRI, <<https://wagri.net/ja-jp/>>, 2022 年 4 月 17 日参照)であり、現在実運用と合わせ、機能拡張開発が継続中である。

結言

筆者は SIP 事業の期間途中から実質的な研究開発の場を離れ研究管理の場に身を置くこととなった。情報システムにおける標準化やシステム連携は多くの利害関係者との調整・連携が必要な仕事であり、貴重な経験を得ることができた。技術的には筆者は XML 世代で卒業しており、現在は JSON 主流のシステム連携が試行されている。息の長い地道な努力が今後とも必要とされる分野であるが、今後のさらなる発展に期待したい。

謝辞

今回の受賞に際し、日本農業工学会関係者並びに推挙していただいた農業情報学会関係者の皆様に謹んで感

謝申し上げる。また、永年に亘る一連の研究開発にご支援、ご助言いただいた農林水産省及び地方行政機関関係者の方々、共同して研究開発に取り組んだ農研機構、大学、民間、農業生産者などの多くの方々にお礼申し上げる。特に、現農業情報学会長・九州大学の南石晃明先生には複数の研究開発プロジェクトに参加または共同させていただき、今回報告した知見、成果の多くを上げることができた。厚く感謝申し上げます。なお、本報告の研究の多くは内閣府や農林水産省による研究開発プロジェクトの資金援助を受けている。記して感謝する。

引用文献

- 大黒正道, 石田茂樹, 高橋英博, 寺元郁博, 吉田智一, 亀井雅浩, 窪田潤(2003)分散圃場における水稻作業計画支援システム, 農研機構平成 14 年度共通基盤研究成果情報, 244-245.
- Hirafuji, M. et al. (2012) Strategy and Concept of Open Cloud Application Platform in Agriculture, Proc. of AFITA/ WCCA 2012 (CD-ROM)
- 糸川信弘(2007)畑作における精密農業技術の適用条件および展望, 農業機械学会誌, 69(6):4-7.
- 加藤祐子(2013)未来志向の農業 IT 第 2 回圃場管理システム(2), 農業経営者, 21(6):42-45.
- 西村洋(2007)精密農業の水稻作への適応, 農業機械学会誌, 69(5):4-7.
- 須藤健一, 吉田智一, 高橋英博(2005)近畿・中国・四国地域を対象とした水稻出穂期・成熟期予測システム, システム農学, 21(2):88-89.
- 高橋英博, 吉田智一, 大原源二(2004)露地野菜適作判定システムの開発と Mapserver の利用, システム農学, 20(1):77-78.
- Takezaki A., Sungmin J., Hideaki T., Tomokazu Y. (2020) Common Agriculture Vocabulary for Enhancing Semantic-Level Interoperability in Japan, Japan Agricultural Research Quarterly (JARQ), 54(3):219-225.
- 吉田智一, 高橋英博, 大原源二(2003)XML Web Service 化によるレガシーモデルの統合, 農業情報研究, 12(1):13-24.
- 吉田智一(2007)精密畑作農業のための情報管理ソフトウェア, 農業機械学会誌, 69(6):8-10.
- 吉田智一, 高橋英博, 寺元郁博(2009)圃場地図ベース作業計画管理ソフトの開発, 農業情報研究, 18(4):187-198.
- 吉田智一(2010)圃場地図を利用した農業生産管理システム, システム/制御/情報, 54(4):132-137.
- 吉田智一, 木浦卓治, 南石晃明(2013a)作業計画・管理システム蓄積データ参照サービスの実装, 農業情報学会 2013 年度年次大会講演要旨集, 62-63.
- 吉田智一, 木浦卓治, 南石晃明(2013b)農業生産工程管理データ表現形式 FIX-pms の開発, 農業情報研究, 22(2):103-116.
- 吉田智一, 大嶺政朗, 木浦卓治, 南石晃明(2013c)GPS データ交換形式の拡張による計測データ交換, 農業機械学会誌, 75(4):268-275.

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

森本英嗣

鳥取大学農学部

要旨

本研究では農業における知の共有・継承技術の普及を目的に田植時の土壌におけるビッグデータが収集可能な超音波センサ及び電極センサと農家の知見と親和性の高いリアルタイム可変施肥を実現する機構を開発した。さらに作土深・土壌肥沃度・可変施肥量などのパラメータは全て GNSS データと紐付けされ、生育量・収量・倒伏度などの圃場データと連携したミルフィューデータセットを定義した。営農現場での実証を重ねた結果、農家の知見に基づいた可変施肥は資材の低減効果だけでなく生成したマップを通じて生産者が SNS で繋がり農作業の幸せ”well-being”をもたらすことが明らかとなった。本報では今回受賞対象となりました土壌センサ搭載型可変施肥田植機(スマート田植機)の開発背景から well-being に繋がるデータベースのあり方までの報告する。

キーワード

超音波センサ, 電極センサ, 親和性, リアルタイム可変施肥, ミルフィューデータセット, well-being

緒言

日本の農業は基幹産業であるが高齢化・人口減などの内的問題と我が国は、農業資材の原料は海外依存率が高く特にリン鉱石は全量、塩化カリはほぼ 100%を輸入しており、なおかつ世界的に資源が偏在しているため輸入相手国もリン鉱石は中国、リン安はアメリカ・中国、塩化カリはカナダと偏在することから昨今生じている世界情勢の変化の影響が農家の経営に直結する。特に肥料価格は急騰しており、農林水産省が目標とする経営面積 100ha 規模の大規模経営体では全国平均でも年間 1000 万円超の支出となっている。農林水産省は、令和3年度補正予算において「肥料コスト低減体系緊急転換事業」を立ち上げ、将来に渡り良質な農産物を安定的に供給していくための生産体制づくりを早急に進めることが必要であるとも慣行の施肥体系から肥料コスト低減体系への転換を進める取組を支援すると事業を興している。今回受賞した土壌センサ搭載型可変施肥田植機の開発原点にもつながる肥料管理に精密農業技術を適用することで、投入資材の使用におけ

る農業的、経済的、環境的効率を向上させる可能性がある。ベストマネジメントプラクティスを実践する中で、水や養分の供給など主要な生産性要因に関わる施肥制御が有効であることが確認されている。空間的に変化する管理方法とセンサーフュージョンのコンセプトの適用や圃場変動を記述することは精密農業の重要な概念である(Robert, 1993, Malekia, 2008)。作物生育のバラツキは、一般に管理方法の影響と並行して微小環境の違いに反応する。従来、土壌の物理的、化学的属性の違いは、土壌サンプリングと土壌分析によって検出されてきた(澁澤, 2006)。しかしサンプリングや分析にかかる費用は非効率的であり、空間変動を正確に把握するために十分な数の試料を得ることは困難である。サンプリング密度の低さが、大きな制限要因として認識されている(Mouazen, 2005; 澁澤, 2001)。土壌の電気伝導率(EC)は、土壌の塩分濃度だけでなく、土壌の肥沃度を評価するものとして知られている。見かけの土壌電気伝導率(ECa)を適用することは、ECa 測定に影



図1 倒伏した圃場の例



図2 土壌センサ搭載型可変施肥田植機
(スマート田植機)

響するいくつかの土壌物理化学的特性の空間的変動を確認する手段として、広く受け入れられている(Corwin, 2004年). EC センサの最近の開発とEC 変動マップの作成能力は、圃場管理の改善にこのセンサーを応用する可能性について、農家の間で大きな注目を集めている(Sudduth, 2001). 特に、土壌電気伝導率(ECbulk)は、重要な土壌特性の間接的な指標となり得るセンサベースの測定値の1つであるが代かき土壌条件下での土壌センサの報告は開発開始当時には報告されていなかった.一方で現場レベルでの可変施肥の目的は増収と倒伏抑制に大別できる.本研究では開発に着手する前に全国の農業法人に倒伏についての意識調査を行い、図1に示すような収量よりも適期収穫な面積割合の向上を重視していることが明らかとなった.低水分のモミをコンバインが詰まらずに収穫することで乾燥調整を含む収穫作業全体の作業効率を向上させたいという要望が多く寄せられた.そこで研究チームを構成するにあたり産官学と有限会社たけもと農場(石川県)を研究機関として加え、当時の競争的資金では大変珍しい(今では当たり前)コンソーシアムを組んで開発に着手した.獲得した競争的資金としては農林水産省の新たな農林水産政策を推進する実用技術展開事業、食料生産地域再生のための先端技術展開事業、農林水産業におけるロボット技術導入実証事業とSIP第1期の支援を受けながら商品化を達成したことと開発背景には沖縄から北海道までの数多くのプロ農家のフィードバックがあったことを申し添えたい.本報では、図2に示す開発した市販化を達成した土壌センサ搭載型可変施肥田植え機におけるセンシングシステム及び可変施肥とマッピングから得られた開発者が想定していなかった生産者にとってのプラス効果、さらには圃場データがもたらした data-driven の well-being について紹介する.

作土深計測システムの開発

生産現場では、枕地のように生産者が分かっている生育過剰となり倒伏してしまう箇所があり、品質に影響を与えて倒伏による収穫作業効率が低下する場合が散見される.そこで本研究では、生産者に対して分かりやすい出口として、「枕地を倒さず(倒しにくく)育てる」ということをコンセプトとし、「作土深」と「土壌の肥沃度」を測定目標として、下記の測定装置について検討を行った.スマート田植機には図2に示すように水田の作土深を非接触で測定する超音波距離センサを導入した.地表面(田面)までの距離を算出することで沈下量から作土深を求めるといった原始的な手法である.地上高85cmに超音波センサを設置することで、車体の沈下量から作土深を算出する.予備試験において、超音波センサからの出力値と設定した作土深との関係を求めた結果、当然ながらリニアな計測結果を得ることができた.

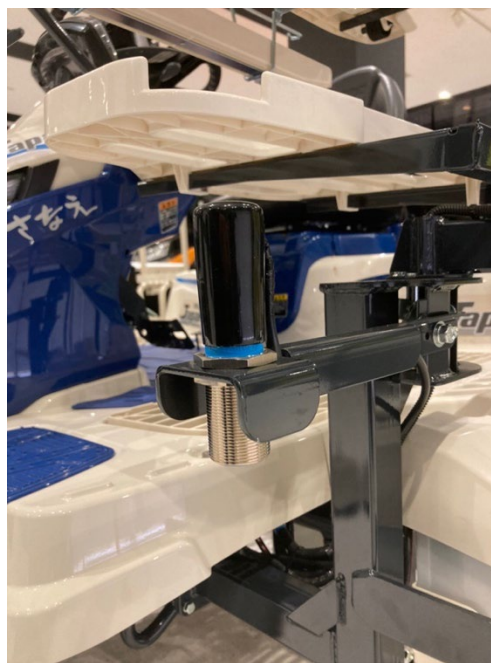


図3 超音波センサ

電極センサの開発

土壌分析には、リアルタイム土壌センサや簡易型 EC メータ等、圃場で測定できる様々な技術が提案されて実用化されている.一方で、測定数や計測時期が限られているなど、マンパワーおよび作業可能時期が制限要素になっている.他方、生産者は自身の経験のなかで相対的に地力が高い圃場や低い圃場の情報は経験則から知識として有しており、施肥量も状況を鑑みて加減している現状がある.そこで本研究では、圃場内や圃場毎の肥沃度の高低が相対的に評価できるパラメータを導出するというコンセプトのもと、田植えと同時に測定できるというリアルタイム性を高めた土壌肥沃度を定義した.新たに開発した肥沃度計測には、図3に示すように車輪の内側に電極センサを取付け、車輪間の電気抵抗値を測定する手法を用いた.求めた電気抵抗値を作土深で除した、単位深さ当たりの電気抵抗値を土壌肥沃度とした.



図4 電極センサ

リアルタイム可変施肥システム



図4 リアルタイム可変施肥システムの概要
(出典:井関農機 HP)

土壌情報に基づいて可変施肥を行うことで、初めてリアルタイム可変施肥が実現する。図4にリアルタイム可変施肥システムを示すように本研究では土壌センサから得た情報を基に慣行量・減肥・増量を車速に連動しながら、任意の設定量の施肥できるシステムを開発した。可変施肥は繰り出し部の可変モータで構成され、アプリ(アグリサポート)上で演算した肥料の繰出し量(目標量)をリアルタイムで制御するシステムである(図5)。また目標施肥量までのシステムの応答時間が1秒、センシング部から肥料の吐出口までの



図5 可変施肥システム

距離が約1.8mであることを勘案すると、1.8m/秒での田植作業でも理論上センシング位置と施肥位置を同期させることに成功した。

可変施肥アルゴリズム

次に可変施肥を行う上で最も重要なプロセスである施肥量の決定手法について検討した。通常、生産者は地域の慣行施肥量を基準として、使用する肥料の種類や堆肥散布の有無等で施肥量を決定している。本研究では慣行量そのものを基準施肥量とし、そこから減肥する割合や減肥基準(しきい値)を生産者が決定する手法を開発した。この場合のしきい値は、圃場内で取得する基準データ:(平均値、 σ (標準偏差))に応じて平均値+ σ 、 2σ や任意の値を設定することで圃場の特性に応じたセッティングが可能である。必要な作業としては図6に示すインパネで該当する減肥率を設定することのみで完了する。作土深による浅深の判断を最初に行うことによって例えば、枕地などの常に深い箇所に係る減肥を確実に行うという狙いがある。つぎに肥

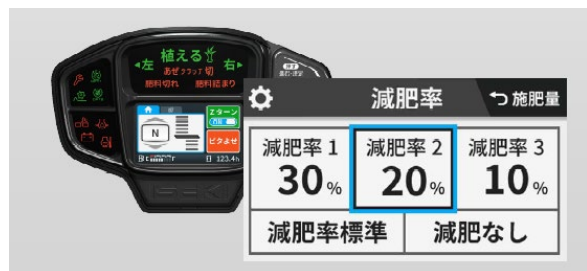


図6 リアルタイム可変施肥システムの表示部

沃度に応じた加減を行うことでより田植時の現状に即した減肥を実現させることを目指した。なお田植機はBluetoothを介してタブレットで通信可能でありウォーターセル社のアグリノートと連携することでコンバインなど他の農業機械のデータを共有できる仕組みを実現した。本アプリを適用することで図7のような作業軌跡をリアルタイムで表現できる。

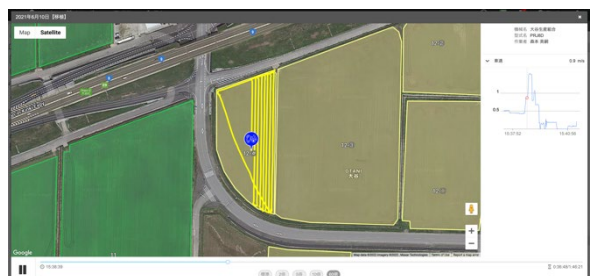


図7 アグリノートによるリアルタイム稼働状況表示

スマート田植機から導出されるビックデータ

上記で紹介したスマート田植機のデータ収集周期が1Hzであり、作業速度に応じて田植時に800-1500点/10aのデ

ータ収集が可能である。これは 100ha 規模では 1 年間では約 100 万点超のデータベースが構築できることを意味する。これまでの土壌サンプリング方式では圃場あたり数点程度であったことを考慮すると飛躍的にデータ数が増えることとなる。筆者らの研究では、土壌情報を可視化することにより、圃場内のバラツキや圃場間の特徴を客観的に評価することに成功した。図 8 に示すように 30a の短冊圃場において枕地が内部に比べて作土深・SFV とともに高いということが分かる。このような情報は従業員間での圃場特性の共通認識を得る上で貴重な経営資源となると考えられる。

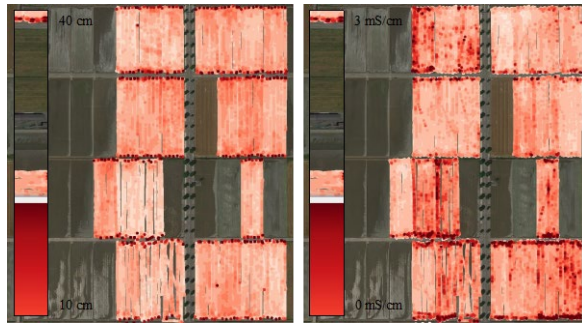


図 8 土壌マップの例(左:作土深 右:SFV)

農業は、作土深や腐食率など場所ごとに異なる特徴量を有している環境下において年 1 回という頻度で作業を通じた学習を行い、極めてアナログな経験値を積み重ねている。結果として圃場ごとの情報収集やバラツキに応じた作業を習得するのに 20 年程度要するため経営継承には非常に時間がかかる産業であった。しかし今回受賞させていただいた土壌センサ搭載型可変施肥田植機やドローンなどによる面的データ収集技術は日進月歩で進化することで”データの質と解釈”という新たなステージに到達したと考えている。つまり熟練者が自ら作業中に情報収集したデータを圃場理解に適用し、かつ可変施肥作業に係る設定ができればオペレータが経験の浅い作業者であったとしても熟練者と同等程度の施肥制御が可能となることは、知の継承における農作業の概念がパラダイムシフトできると言える。これをいわゆる「アタリ」をつけていくためのビックデータの活用方法と分類でき、かつ農家が普段使っている言葉をデータ化することは親和性の高いデータセットとなると考えている。

ミルフィーユデータセットから派生したプロ農家からの well-being の発信

現在筆者らの研究グループでは、可変施肥田植機を始めとして様々な農業機械から 100 種類を超える圃場レイヤが収集できる技術を独自開発しており階層的レイヤを生成し、これらを”ミルフィーユデータセット”と定義して機械制御などを自動化するシステムを研究している。マップ化による見える化が浸透してきた結果、全国農業青年クラブ協議会などが中心に自らの圃場データ(マップ)や写真を SNS など

にアップロードしてメンバーと共有・意見交換の材料とする動きが出てきた。つまり生産者同士が繋がるための媒体としてのスマート農機の活用という立ち位置が産まれたことはスマート農業において新しい潮流といえる。近い将来、個人が行っている農作業の履歴を横展開して同業者が共感することを通じて農作業の幸せ＝well-being に発展することがデータ駆動型農業推進における起爆剤になることを祈念している。

謝辞

今回の受賞に際し、格別のご配慮を賜りました農業食料工学会理事の京都大学飯田訓久教授、同学会名誉会員梅田幹雄名誉教授、開発の着想時から適切なご指導頂いた東京農工大学澁澤栄名誉教授、農業食料工学会宮原佳彦事務局長をはじめとして困難な試作・商品化に至るまで多大なるご尽力をいただいた井関農機株式会社、シブヤマシナリー株式会社、技術実証・フィードバックに協力いただいた有限会社たけもと農場(石川県)、耕谷アグリサービス(宮城県)、大浜博彦氏(沖縄県)農事組合法人 One(石川県)、大谷生産組合(鳥取県)、小林農産(三重県)をはじめ全国 200 団体を超える生産者の方々、森本研究室の学生諸氏ならびに開発研究費を拠出していただいた農林水産省・内閣府 SIP に厚く感謝の意を表します。

引用文献

- Corwin, D. L. and S. M. Lesch. 2005. Applications of Apparent Soil Electrical Conductivity in Precision Agriculture. *Computer and electronics in agriculture* 46(1-3):11-43.
- Malekia, M. R., H. Ramona, J. D. Baerdemaekera and A. M. Mouazenc. 2008. A study on the time response of a soil sensor-based variable rate granular fertilizer applicator. *Biosystems Engineering* 100(2):160-166.
- Mouazen, A. M., J. D. Baerdemaekera and H. Ramona. 2005. Towards development of on-line soil moisture content sensor using a fibre-type NIR spectrophotometer. *Soil & Tillage Research* 80:171-183.
- Robert, P. C. 1993. Characterization of soil conditions at the field level for soil specific management. *Geoderma* 60:57-72.
- Ruijun, M., A. McBratney, B. Whelan, B. Minasny and S. Michael. 2011. Comparing temperature correction models for soil electrical conductivity measurement. *Precision Agriculture* 12(1):55-66.
- Shibusawa, S. 2006. Soil sensors for precision agriculture. In *Handbook of Precision Agriculture*. Food Products Press, New York, USA.
- Shibusawa, S., M. Anom, W. Sato and A. Sasao. 2001. Soil mapping using the real-time soil spectrometer. In *proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture*, 2:485-490.
- Sudduth K. A., S. T. Drummond and N. R. Kitchen. 2001. Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 31(3):239-264.

農業農村地域における DX のための先導的研究

溝口 勝

東京大学大学院農学生命科学研究科

要旨

農業農村工学はこれまで農村地域における農業生産と生活環境の整備し、水や土などの地域資源を管理する技術学として発展してきた。しかし、新型コロナウイルスの感染拡大や頻発する地震・水害などのリスクを避けて、都市部より農業農村地域の価値が見直されつつある。そうした中、私は早くから農村地域における通信インフラ整備の必要性を主張し、農業農村地域における DX を先導してきた。この講演では、私が開発してきた IT ツールのうち、電源も通信設備もない農地で小型太陽光パネルと SIM を組み合わせてインターネット経由で画像を含むデータを自動取得するフィールドモニタリングシステム、Society5.0 を先取りした WEB シミュレーションシステム、水土の知を提供する学会 WEB システムなど、未来の農業農村地域における DX の必須アイテムになりそうなツール開発の背景と概要を紹介する。

キーワード

DX、フィールドモニタリング、データ解析システム、WEB シミュレーションシステム、学会要旨検索システム、

1. はじめに

DX(デジタルトランスフォーメーション)は「データやデジタル技術を駆使して、ビジネスに関わるすべての事象に変革をもたらすこと」とされる[1]。IT 化が既存の業務プロセスのまま業務効率化と生産性向上を図るという限定的な言葉であるのに対し、DX は社会や組織・ビジネスの仕組みそのものを変革することに特徴がある。[1]

ここでは上記を援用して、農業農村地域におけるDXを「データやデジタル技術を駆使して、農業農村地域におけるすべての事象に変革をもたらすこと」と定義する。

農業農村工学はこれまで農村地域における農業生産と生活環境の整備し、水や土などの地域資源を管理する技術学として発展してきた。しかし、都市住民は新型コロナウイルスの感染拡大や頻発する地震・水害などのリスクが小さい農業農村地域の価値を見直しつつある。こうした背景を考えると現代は、都市型目線で開発されてきた数々のデータやデジタル技術を農業農村地域に適用し、従来の農村社会や農民組織・アグリビジネスの仕組みを変革する絶好の時期といえる。

この講演では、農業農村工学(旧農業土木)分野でインターネットを早くから使っていた私が、大学や学会の情報発信のシステム、フィールドモニタリング、WEB シミュレーションなどの開発・研究を振り返りながら、農業農村地域における DX について述べる。

2. インターネットと WEB システム

(1) インターネットとの出会い

私のネット人生は 1980 年代後半の 1,200bps モデムのパソコン通信から始まった。1991 年にアメリカで電子メ

ールを経験し、1992 年の SINET に絡んで学部 LAN 構築に関わり、1993 年に WWW(World Wide Web)に出会った。特に、WWW の裏で動く CGI(Common Gateway Interface)は衝撃的だった。自分で検索や掲示板などの双方向 Web サービスを作れたからである。私は 1995 年の WWW 落書き版を手始めに大学や学会の雑務を軽減させるサービスをほぼ独学で手当たり次第に自作してインターネット上に公開した[2]。(表1)

私の元々の専門は土壌物理学であるため、表1には翻訳プロジェクトや土壌関連講義コレクションなどの土壌科学に関係したツールが多い。(表1:2, 3,14, 21, 22)

(2) 大学や学会の WEB システム

1995 年に農業土木学会のホームページを立ち上げ、学会の広報活動に利用しながら、1996 年の山形大会で講演要旨の登録・検索システム[3]を公開した。これが現在も稼働している農業農村工学会全国大会の講演要旨検索システム[4]である。これにより学会員のみならず非会員も農業農村工学分野の研究に簡単にアクセスできるようになった。

(3) WWW-数値計算インターフェイス

私の博士論文は「凍結に伴う土壌中の水分・熱・溶質の移動」に関する研究[5]である。実験室で土を凍らせ土壌水分・熱・塩分の移動量を計測し、その移動現象を説明する物理モデルをつくりコンピュータシミュレーションで再現した。1996 年にインターネット上にクライアントサーバ方式の仮想計算機空間を構築[6]し、ユーザがパラメータを入力するだけで土の凍結シミュレーションの計算結果を得られる「WWW-数値計算インターフェイス」を世界で初めてイ

表1 インターネットを応用した作品および研究

	項目	公開日	内容
1	WWW落書き板	1995.12.1	開かれた大学を目指してホームページ掲示板を試験設置
2	翻訳プロジェクト	1996.2.23	全国の土壌研究者による英語新刊本のリアルタイム翻訳
3	WWW-数値計算インターフェイスの開発 (凍結に伴う土壌中の水分・熱・溶質の移動)	1996.3.1	インターネット上で計算結果を得る仕組
4	Who's Who?	1996.3.14	開かれた大学を目指して学部内の教官検索システムを設置
5	学会講演投稿・検索	1996.4.4	学会業務の合理化を目指した学会講演要旨の自動登録と検索
6	意向投票	1996.5.12	学生の意識を把握するためのアンケート回収・表示システム
7	自動ML作成ページ	1996.7.16	ホームページ上でMLを自動作成するシステム
8	村づくり情報ネットの展望と課題	1996.8.27	地域格差を埋めるためのインターネット利用の提案
9	みんなの家にパソコンが(朝日新聞記事)	1996.9.12	上記に関する紹介記事
10	JAVA凍上	1996.7.10	動画を使って実験結果をリアルに表現
11	インターネット簡易グラフ用紙	1996.7.18	X-Y関係をWEBで簡単にプロット表示
12	インターネット投票箱	1996.10.10	意向調査の自動回収&表示システム
13	インターネットユーザ養成ギブス	1996.12.19	情報リテラシー教育ツールの開発
14	土壌関連講義コレクション	1997.1.21	世界の講義をコレクション
15	学会講演登録検索システム	1997.4.2	学会開催の仕事もこれで軽減化
16	データベース更新システム	1997.4.10	データベースをWEB上で修正するシステム
17	環境保全型サイバー首都移転構想	1997.4.20	インターネットを使えば首都機能の移転も可能か?
18	研究会開催登録システム	1997.9.9	セミナー幹事もこれで助かる
19	学会誌Web討論システム	1997.11.20	学会誌を読んだ後も議論が続く
20	三重大学紀要サーチエンジン	1997.12.4	いまやあたり前のWEB文献検索サービス
21	土を考え「ネット学会」(朝日新聞記事)	1998.7.6	日本初のCyber土壌学会(SSSJ)
22	浸潤モデル	1999.1.22	土壌物理実験もインターネットで体験

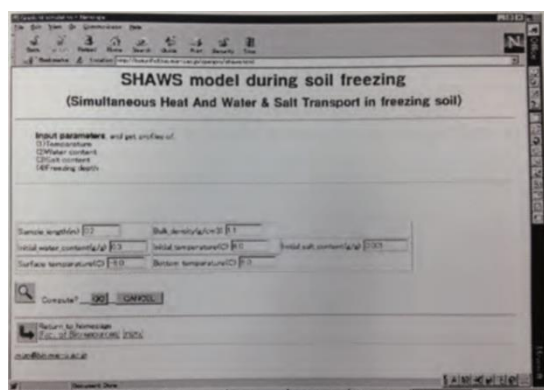


図1 Web システムを利用した土の凍結過程の熱・水分・溶質移動計算のパラメータ入力画面



図2 イネの栽培可能性シミュレータ

インターネット上に公開した[7]。これは土壌物理分野におけるWEBシステム第1号となった。

当時は単純にモデルをインターネット上に集めれば、いずれは専門分野外の研究者がシミュレーションを実行し総合的な現象を確かめる新しいツールになるだろうと思っていたが、公開して直ぐにシベリアの水循環観測研究をしている他分野の研究者の目に留まり、それがきっかけで連携研究が始まり、15年後には文科省が提唱するデータ統合・解析システム(DIAS)を構築する際に、地球観測データの農業利用として「イネの栽培可能性シミュレータ」の開発[8]にも繋がった。(図2)

今では、サイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立することを目標とする Society5.0 [9]が唱えられるようになっているが、表1をインターネットに公開した頃は、「あいつは論文も書かず遊んでばかりいる」との批判もあった[10]。今から振り返ると結局は遊び的要素にこそオリジナリティが潜在していたのだと懐かしく思える。

3. フィールド研究における DX

(1) 地球環境研究とフィールド DX

私は自分の凍土研究に関して、現実のフィールドを持っ

ていない弱点や異分野の研究者との議論の必要性を感じていたので、1997年にシベリアでの気象水文の観測に加わった[11]。地球温暖化のセンサーとして広大なシベリアの永久凍土は新鮮で、面白い現象の宝庫だった。しかし実際に現地に行ってみると感じたのは、フィールドの不均一性の問題だった。実験室では理想的な実験条件を予め設定し、そこで生じる現象を記述し、その現象を説明するモデルを作ることができる。しかし現実のフィールドでは、異なる植生の凸凹な地表面をどのように表現すべきか、場所によって組成の異なる土をどう近似すべきか、このとき自分がやってきた土壌物理がコップの世界であったことに気がついた。事象を細分化し、その系での現象を解明し、それを再統合することで全体の現象を解明できたとする還元主義的な土壌物理が見落としていた問題だった。

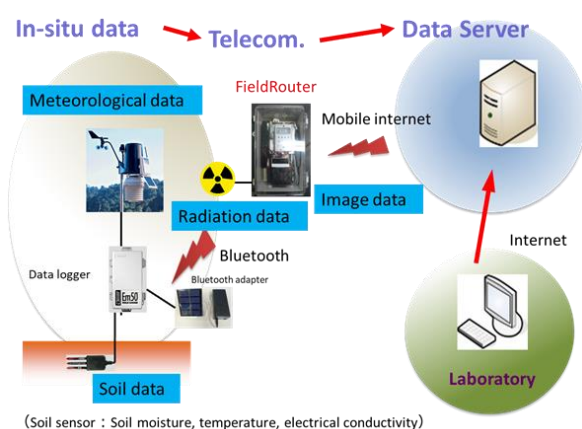


図3 フィールドモニタリングシステム(FMS)

(2) フィールドモニタリングシステム (FMS)

シベリアでは広大なツンドラに日本から苦勞して運んだ観測機器を設置した[11]。しかし、一年後にそのデータを回収に行くとデータロガーが3日間のデータだけを記録して362日間停止していた。私は愕然とした。この時に初めてフィールドからデータを取ることの難しさを実感した。せめて1週間に一回で良いから日本からデータをチェックできる技術があれば世界中のフィールド科学研究の役に立つに違いない。この失敗がフィールドモニタリングシステム(FMS)[12]を作ろうと思った動機になった。そして、センシング技術とフィールドの科学、そしてインターネットを統合した土壌情報科学を始めることになった。

近年、農業農村の現場で使えるような土壌水分や水位などのセンサーが開発されている。従来のフィールド研究ではこれらのセンサーをデータロガーと組み合わせて現地に設置し、データ回収と機器メンテナンスのために定期的に現地に赴く必要があった。そこで私は電源も通信設備がない農地で小型の太陽光パネルと携帯電話SIMを組み合わせてインターネット経由で現地画像を含む複数のデータロガーからデータを自動取得するシステム[12]を開発し、それを水田の水管理[13, 14]や原発事故農地の放射線モニタリング[15]、海外の農作物栽培現場モニタリング[16]

に使えるようにした。FMSは多くのフィールド科学者に重宝されるようになった。今では、低コスト化した複数のWiFiカメラとセンサーのデータが世界中の農地からFMS経由で取り出せるようになった。

4. 今後の展望

(1) 農業農村の通信インフラ整備

日本の農業の特徴は弥生時代から続く水田稲作である。1970年代から減反政策により生産調整が図られていたが、品種改良、水管理、土地改良など、日本の稲作技術は先人たちの知恵の宝庫であり、工夫次第で国際競争力も高いといえる。そのため、田植後の水管理作業を軽減するためにICTを利用して遠隔で給水栓を操作するスマート農業技術が開発されているが、現状では既存の携帯用電波が届く範囲でしか使えない。また、圃場の耕作や代かき用の無人自動走行トラクタや田植機、イネの生育モニタリング用のドローン等も開発されている。こうした新しい農業ロボットが、農村地域の高度通信網に繋がると更なる威力を発揮するが、残念ながら現状では農村地域の通信インフラ整備が追い付いていない。[17]

総務省は2023年までに次世代の通信規格5G(第5世代移動通信システム:2時間の動画を3秒でダウンロードできる)の基地局を日本全国10キロメートル四方で整備する計画を打ち出している。また文部科学省はGIGAスクール構想を掲げ25年までに高速ネットワーク環境を整備し、義務教育を受ける児童生徒に1人1台の学習者用PCを使えるようにするという。農林水産省もまた25年までに農業の担い手全員に農業用データを使えるようにするスマート農業加速化プロジェクトを進めている。計画上はこの数年間で日本国内のインターネット環境が劇的に変化することになる。[18]しかし、各省が縦割りで施策を進める一方で、末端までのラストワンマイルを誰が整備するのが明確になっていない。

そこで農業農村工学の出番となる。農業農村地域の水と土のインフラ整備に加えて通信インフラ整備にも乗り出すべきである。山に作ったダムから水田の末端まで農業用水を運ぶ水路網を利用して光ファイバーを敷設すれば山奥から平野部までの広域インターネット環境を低コストで簡単に作れる。これにより今まで不便だった中山間地での通信環境が飛躍的に向上し、多様な価値観を持つ人々を地方に呼び込む基盤ができるはずである。[18]

幸いなことに、農林水産省が2021年度に新たに情報通信環境整備を加えることを決定した。ようやく農業農村地域のDXが始まったといえる。

(2) 中山間地域の通信インフラ

日本の農業農村地域には中山間地域が多い。中山間に点在する集落は常に災害や鳥獣害などに悩まされている。中山間地域の通信インフラ整備は見通しの良い平地

のみならず山林も含めて広域的な通信インフラ整備を考える必要がある。

そこで私は現在、ラストワンマイルの通信インフラ整備の方法を探るために福島県飯舘村で LoRa 通信方式による山林内からの IoT センサデータの転送実験を実施している。いまのところ、基地局や中継器を適切に配置すれば広域をカバーできることがわかってきている。[19]

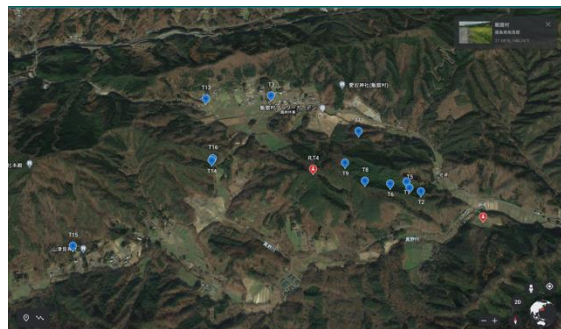


図 4 LoRa 通信機と基地局の配置(Google Earth)
親機 (赤色：右)、中継器 (赤色：中央)、子機 (青色)

5. おわりにー農業農村地域におけるDX

私は大学では土壌物理学を専門としていたが、栃木の農家出身ということもあり、いつも農村の生活環境には関心を持っていた。表1には、「(8)村づくり情報ネットの展望と課題」がある[20]が、これは 1996 年の農業土木学会農村計画研究部会現地研修会で地域格差を埋めるためのインターネット利用について提案した資料である。また、「(17)環境保全型サイバー首都移転構想」は、首都「機能」だけでなく当時のインターネット技術でも上手く利用することによって作れる、という提案である。いま改めてこれらの資料を見直してみると、データやデジタル技術を駆使すれば農業農村地域が変わりますよ、と当時から主張していたに過ぎない。そういう意味では、私は最初から農業農村地域におけるDXを目指していたのかもしれない。

謝辞

今回の受賞に際し、格別のご配慮を賜りました農業農村工学会関係の皆様方に厚く感謝の意を表します。また、やんちゃだった学生時代の私に農業農村工学研究の道を進むきっかけを与えてくださった故白井清恒先生・故中野政詩先生、故岩田進午先生に感謝します。さらには研究室の先輩・後輩諸氏、世界中のオタク仲間、他分野の共同研究者、そして共に新しいことにチャレンジして楽しく遊んでくれた元学生たちに心から感謝します。

引用文献

1)例えば、DX(デジタルトランスフォーメーション)とは？、
https://monstar-lab.com/dx/about/digital_transformation/(2022 年

4 月 22 日アクセス)

- 2)溝口勝：インターネット応用作品集，<http://soil.en.a.u-tokyo.ac.jp/~mizo/inetworks.html> (2022 年 4 月 22 日アクセス)
- 3)溝口勝：WWWを利用した学会講演要旨の自動登録・検索システムの試作，農業土木学会誌，65(10)，1025-1027(1997)
- 4)溝口勝：農業農村工学講演要旨検索システム，<http://soil.en.a.u-tokyo.ac.jp/jsidre/search/annuals.html> (2022 年 4 月 22 日アクセス)
- 5)溝口勝：土の凍結に伴う水分・熱・溶質の移動現象に関する研究，東京大学博士論文(1990)，<http://www.iai.ga.a.u-tokyo.ac.jp/mizo/MizoDoctorThesis.pdf> (2022 年 4 月 22 日アクセス)
- 6)M Mizoguchi and K. Noborio: Cyber Soil Center for Predicting Soil Water and Nutrients Movements in Agricultural Fields, the XIV Memorial CIGR World Congress, 1755-1758(2000)
- 7)Masaru Mizoguchi: Development of internet tools for calculation and prediction of soil hydraulic properties, Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media, University of California Riverside, 341-347(1999)
- 8)田中慶，木浦卓治，杉村昌彦，二宮正士，溝口勝：SIMRIW を利用した水稻栽培可能性予測支援ツール，農業情報研究，20，1-12(2011)
- 9)内閣府：Society5.0，https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/ (2022 年 4 月 22 日アクセス)
- 10)溝口勝：ネットワーク整備に入れ込む理由(わけ)，農業土木学会誌，vol.67(7)，pp.62-63(1996)
- 11)溝口勝：私の土壌物理履歴書，土壌の物理性，130，35-37(2015)
- 12)溝口勝・伊藤哲：農業・農村を変えるフィールドモニタリング技術，水土の知，83(2)，3-6，(2015)
- 13)飯田俊彰・木村匡臣・溝口勝・竹下義晃・樋口克宏：水稻作向けの ICT を利用した農業水利情報サービスの提供，水土の知，83(4)，23-26(2015)
- 14)Virgilio Julius P.,Manzano, Masaru Mizoguchi, Shoichi Mitsuishi, Tetso Ito : IT field monitoring in a Japanese system of rice intensification (J-SRI), Paddy and Water Environment, 9, 249-255(2011)
- 15)溝口勝：土壌除染と放射線モニタリング，計測と制御，52(8)，730-735(2013)
- 16)H. Kiyoshi, A. Shrestha, R. Chinnachodteeranun, M. Mizoguchi, H. Shimamura and T. Kameoka : Spinach field monitoring for bridging Thai producer and Japanese consumer under sensor Asia, SICE Annual Conference, IEEE, 2582-2585(2008)
- 17)溝口勝：情報基盤整備、地方が主役，下野新聞 (2020.5.31)
- 18)溝口勝：スマート農業の死角，日本農業新聞：現場からの農村学教室 (2020.3.1)
- 19)リコ・アハマド・マウラナ，杉野弘明，溝口勝：LoRa 通信方式による山林内からの IoT センサデータの取得実験，農業農村工学会講演要旨(2022 年 8 月発表予定)
- 20)溝口勝：村づくり情報ネットの展望と課題，農村計画，43，27-31(1996)

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

本條 毅

千葉大学大学院 園芸学研究院

要旨

ヒートアイランドによる都市環境の悪化は、近年大きな問題となっている。その中で、都市緑地の気象緩和効果は、数少ないヒートアイランド対策の一つである。しかし、その効果については不明な点が多い。初期の研究では、都市緑地の熱的な効果の実態を解明するため、微気象測定、リモートセンシングデータの解析、シミュレーションなどの手法により、都市緑地の気温低下の実態や、緑地のスケールと外部に及ぼす影響との関係などについて知見を得た。また、近年はヒートアイランドについても様々な研究を行い、ヒートアイランド測定システムの最適な測定点密度、海岸部の都市でのヒートアイランドの挙動、都市緑地と人間の行動との関係などについても研究を行った。これらの概要について述べる。

キーワード

微気象、都市気候、クールアイランド、気象緩和効果、温熱快適感、観測ネットワーク

緒言

市街地が郊外よりも高温となり、ヒートアイランドが形成される現象は、世界中の都市でみられる。わが国では、近年とくに夏季には、熱中症になる人が増えるなど、社会的な問題にもなっている。

屋外の気温を下げることは、空間体積が膨大であるため室内の空調に比べ非常に難しい。都市内の緑地は、蒸発散が行えることやエネルギー消費が少ないことから、周囲に比べて低温であり、緑地上の空気が外に流れ出ることにより、比較的高温である気温を下げることができると考えられる。このような都市緑地の気象緩和効果は、都市のヒートアイランド問題への数少ない対策といえる。

図1は、夏の新宿御苑付近の表面温度を示したもののだが、御苑内は低温であり、新宿御苑の周辺はビルや住宅街であり、表面温度は高い。図のように風が吹くと、御苑からは、風下方向の都市部に冷気が移動すると考えられ、これが、都市緑地の熱的効果の典型例である。緑地内の表面温度や気温低下とともに、外部の気温がどの程度低下するかを解明しようと研究を開始した。

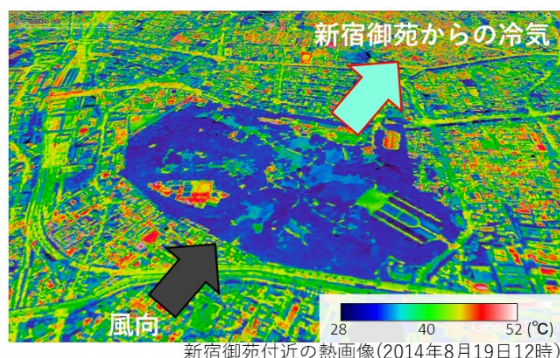


図1 新宿御苑付近の表面温度

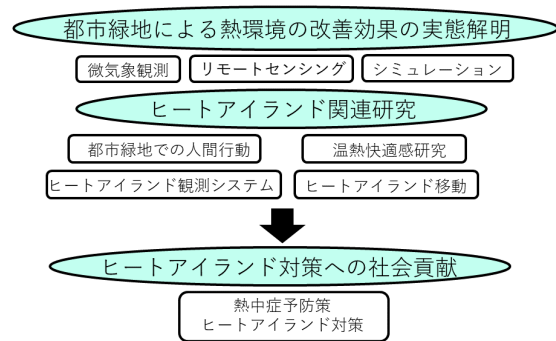


図2 研究の構成

図2に研究の構成を示す。研究は大きく分けて、初期の都市緑地の熱的効果の研究と、その後のヒートアイランドや温熱快適感についてのさまざまな研究に分かれる。最終的には、ヒートアイランド対策に資することが研究の目的である。以下に、これまでおこなった研究について概要を述べる。

都市緑地の熱的効果

「緑地の熱的効果の研究」をはじめた1980年頃には、ヒートアイランドという言葉も一般には知られておらず、都市緑地がどの程度都市熱環境に影響を及ぼしているのかについて、定量的な研究はほぼ無い状態であった。

そこで、微気象観測、リモートセンシングの応用、シミュレーションによる解析の三つの手法を柱として、都市緑地の熱的な効果の実態解明の研究を開始した。測定をしたわかったのは、緑地内の気温低下は比較的容易に測定可能であるが、外部への影響は測定が難しいことであった。図3

は都市緑地と市街地の気温の移動測定例だが(本條ら, 1998), 風が緑地から市街地に吹く場合, 緑地が外部に影響を及ぼしている現象が見られる。後に, 成田ら(2004), 永谷ら(2008)などで, 実態がより詳細に解明できた。

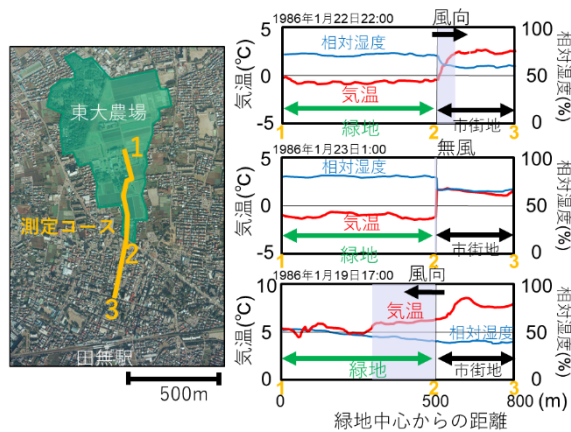


図3 都市緑地の影響測定例

微気象観測のみから緑地の影響の範囲を予測するのは難しいので, シミュレーションによって緑地の影響の範囲を解析した(Honjo & Takakura, 1990-91)。シミュレーションは2次元で, 100m から 400m の規模の異なる緑地があり, 緑地の表面温度が周囲より低く低温域が形成されるモデルとした。気温は, 風上の都市では高く, 緑地内で低下し, 風下側の都市で上がるはずで, 緑地の影響の範囲は, 図4のように気温が元に戻るまでの距離と定義した。

シミュレーションの方程式で, 小規模な拡散現象のモデル化のため, 乱流モデルとして $k-\epsilon$ モデルを使用した。当時の大型計算機で使ってきたメインメモリはたしか 10MB であった。現在でも, 乱流モデルなどはあまり変化しないものの, コンピュータのスピードが劇的に早くなり, 使用できるメモリが増えたことや, 簡単に使用できるソフトウェアなどにより3次元での解析も容易にできるようになった。

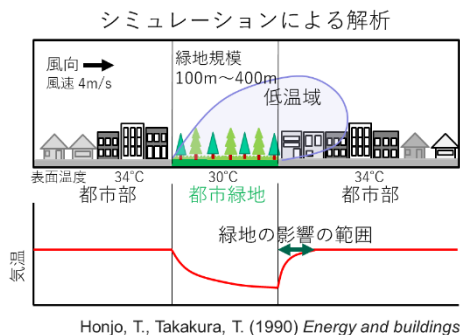


図4 都市緑地の影響シミュレーション模式図

図5は, シミュレーションの結果で, 緑地の影響の範囲と緑地サイズの関係を示したものである。緑地が大きくなると, 影響の範囲は大きくなるが, 一定値に漸近するようになる。したがって, 緑地の影響の範囲を大きくするには, 同じ面

積であれば, 大規模緑地1つより, 小さな緑地を多数配置することが有効であると考えた。

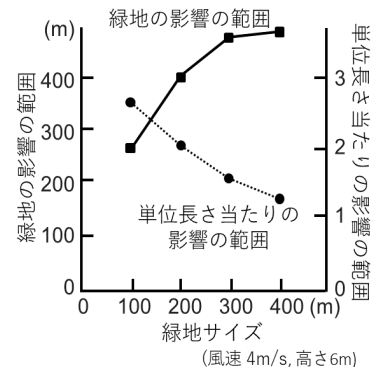


図5 緑地サイズと影響の範囲の関係

温熱快適感と人間行動

気温は同じでも, 夜間の公園ではすぐ近くの都市部よりも涼しく感じることが多い。緑地の利用に際しては, 人間の体感も重要であることは, 研究初期から感じていたが, スウェーデンのヨーテボリ大学との共同研究で, 屋外での体感温度と人間行動について詳細に研究を行うことができた(Thorsson et al., 2007)。

この研究では, 千葉大学園芸学部のある松戸を対象として, 松戸駅前広場と松戸中央公園での気象観測, 快適感のアンケート, 滞在人数調査などを行った。図6は, 体感温度と屋外の滞在人数の関係を示したものである。駅前広場では, 気温と滞在人数は関係がないのに対し, 公園では気温が高いほど人数が増える。つまり, 駅前広場では人々は用事などがあり体感温度に関係なく滞留するが, 公園では快適なときに人が増える傾向がある。

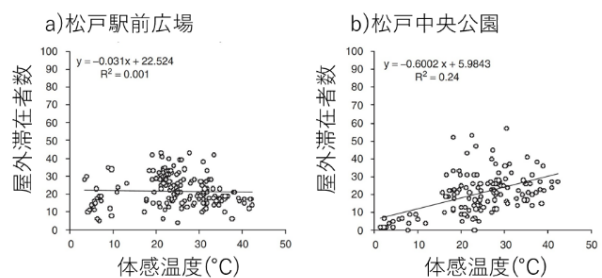


図6 体感温度と屋外の滞在人数の関係

また, 当然ではあるのだが, 温熱快適感のアンケート結果と, 気象データから算出した体感温度がよく一致することなどもわかった。

熱中症の危険度

温熱快適感の研究として, オリンピックでの熱中症の危険性なども解析した(Honjo et al., 2018)。図7は, マラソン

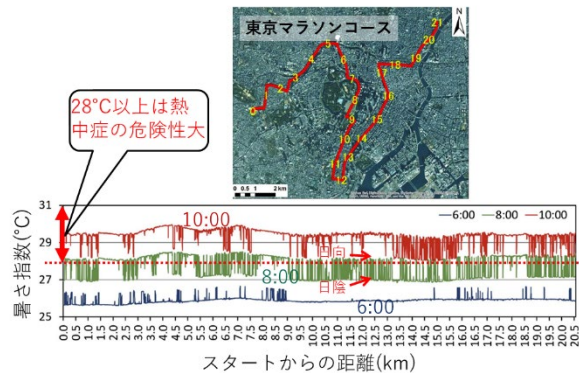


図7 マラソンコース上での暑さ指数の変化

コース上での暑さ指数を、精密な都市形状モデルを元に計算した結果で、図の横軸はマラソンスタートからの距離、グラフの線は、6時、8時、10時の暑さ指数を示している。暑さ指数が下がっているのは、樹木や建物で影になっているためである。暑さ指数が28度以上で熱中症の危険性が大きいと考えられるので、この図では、午前8時以降は日陰を除いて、熱中症の危険性が大きい状態である。スポーツイベントなどでは、事前にこのような分析を行えば熱中症の危険性を減らすことができる。

ヒートアイランドの移動

やや大規模な現象として、ヒートアイランドの移動についても研究を行った(Honjo, 2019)。図8は首都圏の8月と1月の平均気温からの偏差で、赤い部分が相対的に気温の高いヒートアイランドと見なせる。8月は、ヒートアイランドは内陸に伸びており、一方1月には沿岸部にヒートアイランドがあることがわかる。紫の三角はヒートアイランドの中心で、数字は時刻を表す。ヒートアイランドの中心は、8月には南北(7時が最南で15時が最北)に動き、1月には都心のあたりで動かない。

ヒートアイランドの狭義の定義は、気温が低い郊外に囲まれた都市中心部の気温が高い部分であり、定常的で動かないイメージがある。実際には沿岸都市のヒートアイランドでは、形状もダイナミックに変化するし中心も移動する。他の都市での測定結果でも、ヒートアイランドの移動が認められるようになってきている。

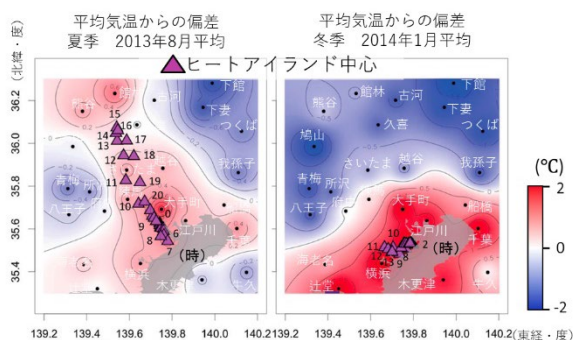


図8 首都圏の8月と1月の平均気温からの偏差分布

ヒートアイランドの予測

世界の多くの都市では、ヒートアイランド現象が都市の拡大とともにすすんでいる。開発途上国では気象観測網がないため、衛星リモートセンシングにより、土地被覆と表面温度を分析してヒートアイランドの現状を知り、将来を予測することが有用な方法である。土地被覆の予測研究は多いが、地表面温度の予測は非常に少ないので、道路分布、標高などの影響を考慮して、土地被覆、表面温度を予測するモデルを開発した。

図9は、インドネシアの首都ジャカルタ近郊のボゴール市におけるヒートアイランドを分析するため、2007年と2017年のランドサット衛星データをもとに、過去と同様な変化をすると仮定して2027年の土地被覆や表面温度を予測したものである(Nurwanda & Honjo, 2020)。予測なので、モデルの評価は将来にしか行えないが、都市計画などは、このような予測を元に立ててゆく必要がある。

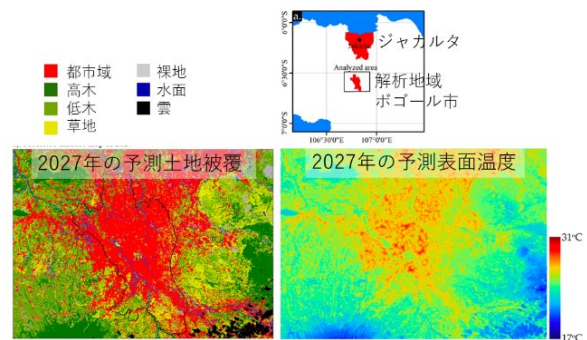


図9 土地被覆と表面温度の予測

今後の展望

以上のような都市緑地の熱的な効果やヒートアイランドに関する研究をもとに、今後は熱中症予防策、ヒートアイランド対策などを講じることが必要である。ヒートアイランドの実態の解明だけでなく、問題の解決策、社会実装の方向を示すことが、難しいが今後の課題である。都市計画の実務者、研究者との連携も重要である。

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業気象学会会長の平野高司先生をはじめ、推薦の労を執っていただいた諸先生に厚く感謝の意を表します。また、共同研究者の方々や研究を手伝ってくれた多くの学生に心より謝意を表します。

引用文献

- 本條 毅, 高倉 直(1984) 緑地が都市内熱環境に及ぼす影響(1) 実測に基づく熱収支的解析. 農業気象. 40:257-261.
- 本條 毅, 高倉 直(1986) リモートセンシングによる都市内緑地の温度分布の解析. 造園雑誌. 49(5):299-304.
- 本條 毅, 高倉 直(1987) 緑地が都市内熱環境に及ぼす影響(2) リモートセンシングによる緑地の抽出と表面温度の解析, 農業気象, 43, 31-36.
- Honjo, T. and Takakura, T. (1990-1991) Simulation of Thermal Effects of Urban Green Area on their Surrounding Areas. *Energy and Buildings*. 15(3-4):443-446.
- 尹龍漢, 丸田頼一, 本條 毅, 柳井重人(1998) 緑地の規模と周辺市街地の気温低下との関連性について, 第12回環境情報科学論文集, 275-280.
- 本條 毅, 高倉 直, 水谷敦(1998) 都市緑地が周囲に及ぼす影響の微気象観測, 農業気象, 54 (4), 323-328.
- 成田健一, 三上岳彦, 菅原広史, 本條 毅, 木村圭司, 桑田直也 (2004) 新宿御苑におけるクールアイランドと冷気のにじみ出し現象. 地理学評論. 77(6):403-420.
- 菅原広史, 成田健一, 三上岳彦, 本條 毅, 石井康一郎, 2006:都市内緑地におけるクールアイランド強度の季節変化と気象条件への依存性, 天気, 53, 3-14.
- 永谷 結, 梅木 清, 本條 毅, 菅原 広史, 成田 健一, 三上 岳彦, 2007:長期観測による新宿御苑のにじみ出し現象の解析, 環境情報科学論文集 21, 507-512.
- Thorsson, S., Honjo, T., Lindberg, F., Eliasson, I., & Lim, E. M. (2007). Thermal comfort and outdoor activity in Japanese urban public places. *Environment and Behavior*. 39(5):660-684.
- Narita, K., Sugawara, H., and Honjo, T. (2008) Effect of roadside trees on the thermal environment within a street canyon, *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University*, 43, 41-48
- 亀野勝彦, 永谷結, 柄澤孝和, 梅木清, 本條毅, 三上岳彦, (2008) 広域 METROS による首都圏のヒートアイランドの解析, 環境情報科学論文集 22, 197-202.
- 永谷 結・梅木 清・本條 毅・菅原 広史・成田 健一・三上 岳彦(2008) 新宿御苑における冷気移動の解析. 農業気象, 64 (4), 281-288.
- Honjo, T. (2009). Thermal comfort in outdoor environment. *Global environmental research*. 13:43-47.
- Honjo, T., Yamato, H., Mikami, T., & Grimmond, C. S. B. (2015). Network optimization for enhanced resilience of urban heat island measurements. *Sustainable Cities and Society*, 19, 319–330.doi.org/10.1016/j.scs.2015.02.004
- Lindberg, F., Jonsson, P., Honjo, T., & Wästberg, D. (2015). Solar energy on building envelopes - 3D modelling in a 2D environment. *Solar Energy*, 115, 369–378.doi.org/10.1016/j.solener.2015.03.001
- Tsunematsu, N., Yokoyama, H., Honjo, T., Ichihashi, A., Ando, H., & Shigyo, N. (2016). Relationship between land use variations and spatiotemporal changes in amounts of thermal infrared energy emitted from urban surfaces in downtown Tokyo on hot summer days. *Urban Climate*, 17, 67-79.
- Honjo, T., Tsunematsu, N., Yokoyama, H., Yamasaki, Y., & Umeki, K. (2017). Analysis of urban surface temperature change using structure-from-motion thermal mosaicing. *Urban Climate*, 20, 135-147.
- Nurwanda, A. & Honjo, T. (2018). Analysis of Land Use Change and Expansion of Surface Urban Heat Island in Bogor City by Remote Sensing, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 7(5), 165; (online journal なのでページなし)
- Chen, Y. C., Yao, C. K., Honjo, T., & Lin, T. P. (2018). The application of a high-density street-level air temperature observation network (HiSAN): Dynamic variation characteristics of urban heat island in Tainan, Taiwan. *Science of The Total Environment*, 626, 555-566.
- Honjo, T., Seo, Y., Yamasaki, Y., Tsunematsu, N., Yokoyama, H., Yamato, H., & Mikami, T. (2018). Thermal comfort along the marathon course of the 2020 Tokyo Olympics. *International journal of biometeorology*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1539-x>
- ソユファン, 本條毅. (2018). 全天球カメラ, Google Street View, Digital Surface Model による天空率測定. 環境情報科学論文集, 32, 125-130.
- Honjo, T. (2019). Analysis of urban heat island movement and intensity in Tokyo metropolitan area by AMEDAS data. *Journal of Agricultural Meteorology*, 75(2), 84-91.
- Honjo, T., Lin, T. P., & Seo, Y. (2019). Sky view factor measurement by using a spherical camera. *Journal of Agricultural Meteorology*, 75(2), 59-65.
- ソユファン, 常松展充, 横山仁, & 本條毅. (2019). 都市表面温度と天空率の関係について. 環境情報科学論文集, 33, 55-60.
- Chen, Y. C., Liao, Y. J., Yao, C. K., Honjo, T., Wang, C. K., & Lin, T. P. (2019). The application of a high-density street-level air temperature observation network (HiSAN): The relationship between air temperature, urban development, and geographic features. *Science of the Total Environment*, 685, 710-722.
- Nurwanda, A., Honjo, T., Tsunematsu, N., & Yokoyama, H. (2019). Accuracy evaluation of structure from motion thermal mosaicing in the center of Tokyo. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 15(2), 103-112.
- Nurwanda, A., & Honjo, T. (2020). The prediction of city expansion and land surface temperature in Bogor City, Indonesia. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101772.
- Seo, Y., & Honjo, T. (2021). Thermal stress in Tokyo and Sapporo during the 2020 Olympics period. *Journal of Environmental Information Science*, 2021(1), 29-36.

日本農業工学会賞受賞者

(2014 年度 ～ 2022 年度)

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

日本農業工学会フェロー受賞者

(平成11年度～2022年度)(合計407名)
受賞年度(受賞者数)(総会報告年月日)

平成11年度(19名)	沢田 敏男	宮山平八郎	大島 泰郎
平成12年5月19日	高倉 直	坂上 務	大矢 晴彦
岡本 嗣男	藤川 武信(辞退)	羽生 寿郎	須藤 隆一
角屋 睦	古谷 将(辞退)	三原 義秋	高桑 栄松
木谷 収	松田 良一	藍 房和	都留 信也
久保 七郎	山本 茂	田中 孝	筑紫 二郎
古在 豊樹		前田 耕一(辞退)	内嶋善兵衛
佐野 文彦	平成14年度(11名)	増田 正三	内島 立郎
白井 清恒	平成15年5月16日	三箇山正雄	小元 敬男
白石 英彦	上森 千秋	山下 律也	吉野 正敏
須藤 清次	岩崎 和巳	石光 研二	小中 俊雄
世良田和寛	岸上 定男	小出 進	坂井 純
田淵 俊雄	田中 宏平	長崎 明	並河 清
茶谷 仁	田中弥寿男	市村 一男	村田 敏
中川昭一郎	長野 敏英	村瀬治比古	森嶋 博
中村 良太	中山 敬一	関谷 光博	立花 一雄
橋本 康	新田 慶治	中原 通夫	海老澤 勲
前川 孝昭	細川 明	穴瀬 真	相原 良安
真木 太一	山澤 新吾	松下 玄	内海 修一
安富 六郎	米村 純一	徳永 光一	今尾 昭夫
和田 完司		河野 洋	長堀 金造
	平成15年度(11名)	渡辺 潔	梅田 安治
平成12年度(11名)	平成16年5月14日	石川 明	戸原 義男
平成13年5月18日	不破敬一郎	田中礼次郎	村上 康蔵
近藤 次郎	高井 宗宏	篠邊 三郎	細山田健三
塩谷 哲夫	町田 武美	河原田禮次郎	酒井 信一
庄司 英信	渡部 一郎	中村 充	近森 邦英
杉 二郎	川村 登	井上 自然	浅井喜代治
鈴木 義則	堂腰 純	佐藤 晃三(辞退)	須藤良太郎
中村 武夫	清水 邦夫(辞退)	難波 直彦(辞退)	四方 田穆
行方 文吾	白滝 山二	岩田 進午	内藤 克美
野口 正三(辞退)	長 智男(辞退)	野村 安治	吉田 昭治
林 弘宣	藤田 則之	土崎 哲男	南 信弘
八幡 敏雄	山本 光男	岸本良次郎	丸山 利輔
福田 仁志		鈴木 光剛	鈴木 敬
	平成16年度(45名)	湯川 清光	佐藤 晃一
平成13年度(11名)	平成17年5月13日	中川 稔	大根 義男
平成14年5月17日	矢吹 萬壽	浅原 辰夫	仲野 良紀
相賀 一郎	有馬 博	中島 哲生	岡本 雅美
遠藤織太郎	高辻 正基		谷山 重孝
緒形 博之	獅山 慈孝	平成17年度(50名)	翁長 謙良
菊岡 武男(辞退)	蔵田 憲次	平成18年5月12日	江崎 要
久保 祐雄	松井 健	堀部 和雄	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
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
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 齐
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

2022 年度日本農業工学会フェロー受賞者

2022 年 5 月 14 日授与

伊能 利郎	生態工学会	株式会社ダイキンアプライドシステムズ プロフェッショナルアソシエイト（元開発担当部長）
寺添 斉	生態工学会	一般財団法人 電力中央研究所 主任研究員
大橋 敬子	日本生物環境工学会	玉川大学 教授
安永 円理子	日本生物環境工学会	東京大学大学院農学生命科学研究科 准教授
伊藤 大雄	日本農業気象学会	弘前大学 農学生命科学部附属 生物共生教育研究センター 教授
桑形 恒男	日本農業気象学会	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 再雇用職員
長谷川 利弘	日本農業気象学会	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 グループ長
深山 大介	日本農作業学会	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農業機械研究部門 無人化農作業研究領域 領域長
元林 浩太	日本農作業学会	国立研究開発法人 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 グループ長
岩渕 和則	農業施設学会	北海道大学 教授
土方 亨	農業施設学会	全国農業協同組合連合会施設農住部 専任次長
田上 隆一	農業情報学会	一般社団法人日本生産者GAP協会 理事長
吉村 秀清	農業情報学会	茨城県立農業大学校 講師
田中 史彦	農業食料工学会	九州大学大学院農学研究院 教授
八谷 満	農業食料工学会	国立研究開発法人 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長
宮原 佳彦	農業食料工学会	一般社団法人 農業食料工学会 事務局長
工藤 りか	農業電化協会	株式会社四国総合研究所 電子アグリ技術部 アグリバイオグループ長 研究主幹
成岡 市	農業農村工学会	三重大学 名誉教授
北川 巖	農業農村工学会	農研機構農地整備グループ長補佐
松本 伸介	農業農村工学会	高知大学教育研究部自然科学系農学部門 教授
北辻 政文	農業農村工学会	宮城大学食産業学群 教授
藤崎 浩幸	農村計画学会	弘前大学農学生命科学部 教授
柚山 義人	農村計画学会	一般社団法人日本有機資源協会 専務理事

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。