

日本農業工学会賞2021 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：2021年5月14日(金)

Webinar で開催

目次

正会員	1
日本農業工学会賞2021受賞者	2
【講演】	
皆川 秀夫 氏(北里大学・非常勤講師) 耕畜連携による循環型農業システムの構築	6
伊藤 博通 氏(神戸大学・教授) Speaking Plant Approach による植物の生育制御に関する研究	10
北宅 善昭 氏(大阪府立大学・教授) 根域ガス環境の植物影響及びその制御	14
辻 博之 氏(農研機構・北海道農業研究センター・グループ長) 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	18
阿部 佳之 氏(農研機構・畜産研究部門・上級研究員) 吸引通気式堆肥処理による家畜ふん尿の資源化に関する研究	22
星 岳彦 氏(近畿大学・教授) 施設環境計測制御の情報基盤の開発と普及	26
井上 英二 氏(九州大学・教授) 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	30
村上 章 氏(京都大学 理事・副学長) 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	34
広田 純一 氏(いわて地域づくり支援センター・代表理事) 人口減少下の農山漁村集落の存続・再生	38
日本農業工学会賞受賞者(2014 年度～2021 年度)	42
日本農業工学会フェロー(1999 年度～2021 年度)	45
2021 年度日本農業工学会フェロー受賞者	48
会則	49

日本農業工学会正会員

正会員 10 学協会 総会員数:14,853 名(農業電化協会 127 団体);14,980 名・団体
(平成 29 年 4 月現在:9 学会、1 協会) (会員数は 27 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:9,280 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:1,131 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:730 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:479 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:467 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:101 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:1,042 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:390 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:仁科 弘重、会員数:963 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2021受賞者

皆川 秀夫(みながわ ひでお)

学歴・職歴

- 1978年 千葉大学園芸学部卒
- 1980年 東京大学大学院農学研究科(修士課程)修了
- 1981年 北里大学獣医畜産学部(現)獣医学部)・助手
- 1990年 東京大学大学院農学研究科 農学博士取得 北里大学・講師
- 2014年 北里大学・准教授
- 2020年 同 定年退職
- 2021年 同非常勤講師

受賞歴

- 2003(社)中央畜産会「畜産大賞表彰事業 地域振興部門 優良賞」
- 2009生態工学会「学術賞」

伊藤 博通(いとう ひろみち)

学歴・職歴

- 1993年 京都大学大学院農学研究科博士後期課程農業工学専攻研究指導認定
- 1993年 近畿大学助手(生物理工学部)
- 1995年 京都大学博士(農学)学位取得
- 2000年 神戸大学講師(農学部)
- 2005年 神戸大学助教授(農学部)
- 2011年 ベルギー王国 Katholieke Universiteit Leuven 客員教授
- 2018年 神戸大学大学院農学研究科 教授

受賞歴

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

北宅 善昭(きたや よしあき)

学歴・職歴

- 1979年 大阪府立大学農学部農業工学科卒業
- 1984年 大阪府立大学大学院農学研究科博士課程修了
- 1984年 大阪府立大学農学部助手
- 1988年 大阪府立大学農学部講師
- 1991年 千葉大学園芸学部助教授
- 1996年 大阪府立大学農学部助教授
- 2005年 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科教授

受賞歴

- 2003年 生態工学会学術賞
- 2008年 日本農業気象学会学術賞

辻 博之(つじ ひろゆき)

学歴・職歴

- 1988年 宇都宮大学農学部卒
- 1988年 農林水産省入省、農業研究センター研究員
- 1998年 - 現在 北海道農業試験場および農研機構・北海道農業研究センター
- 2015年 大阪府立大学学位取得・応用生命科学

受賞歴

- 2000年 根研究会奨励賞
- 2007年 日本作物学会技術賞
- 2019年 日本農作業学会学術賞

阿部 佳之(あべ よしゆき)

学歴・職歴

- 1999年 北海道大学大学院 農学研究科 修士課程修了
- 1999年 農林水産省 草地試験場
- 2007年 農研機構 畜産草地研究所 主任研究員
- 2008年 北海道大学 博士(農学)取得
- 2013年 アイオワ州立大学及びアメリカ農務省 客員研究員(2014年11月まで)
- 2015年 農林水産省 農林水産技術会議事務局 研究専門官
- 2017年 農研機構 畜産研究部門 ユニット長
- 2018年 農研機構 中央農業研究センター グループ長

受賞歴

- 2006年 農業施設学会 論文賞
- 2008年 中央畜産会畜産大賞(研究開発部門優秀賞)
- 2015年 農業施設学会 学術賞

星 岳彦(ほし たけひこ)

学歴・職歴

- 1985年 千葉大学大学院園芸学研究科 修士課程修了
- 1985年 財団法人電力中央研究所 生物研究所
- 1989年 東海大学 開発技術研究所
- 1991年 東海大学 開発工学部生物工学科
- 2012年 近畿大学 生物理工学部生物工学科

受賞歴

- 1990年 日本植物工場学会奨励賞
- 1991年 日本農業気象学会奨励賞
- 2000年 日本植物工場学会論文賞
- 2003年 日本農業情報学会奨励賞
- 2004年 日本植物工場学会学術賞
- 2010年 農業情報学会 学術賞
- 2011年 日本農業気象学会 普及賞
- 2015年 日本生物環境工学会 功績賞

井上 英二(いのうえ えいじ)

学歴・職歴

- 1979年 九州大学農学部農業工学科卒業
- 1981年 九州大学大学院農学研究科農業工学専攻修士課程修了
- 1981年 ヤンマー農機(株)入社 中央技術研究所勤務
- 1986年 九州大学農学部助手
- 1989年 農学博士(九州大学)、九州大学農学部助教授
- 2000年 九州大学大学院農学研究院助教授
- 2005年 九州大学大学院農学研究院教授

受賞歴

- 1995年 農業機械学会・学術賞
- 2011年 農業機械学会・森技術賞
- 2017年 日本農業工学会フェロー

村上 章(むらかみ あきら)

学歴・職歴

- 1978年 京都大学農学部卒業
- 1980年 京都大学大学院工学研究科修士課程修了
- 1980年 兵庫県技術吏員
- 1982年 京都大学農学部助手
- 1994年 京都大学農学部助教授
- 1999年 岡山大学環境理工学部教授
- 2009年 京都大学農学研究科教授
- 2019年 京都大学農学研究科長・農学部長
- 2020年 京都大学理事・副学長

受賞歴

- 1996年 土木学会論文賞
- 2007年 農業農村工学会沢田賞
- 2008年 地盤工学会研究業績賞
- 2010年 農業農村工学会優秀論文賞
- 2011年 IACMAG Excellent Contributions Award
- 2011, 2013, 2016, 2019年 地盤工学会論文賞

広田 純一(ひろた じゅんいち)

学歴・職歴

- 1978年 東京大学農学部農業工学科卒業
- 1983年 東京大学大学院農学系研究科博士課程修了
- 1983年 東京大学農学部助手
- 1985年 岩手大学農学部講師
- 1999年 岩手大学農学部教授
- 2020年 岩手大学定年退職

受賞歴

- 2006年 農業土木学会賞地域貢献賞
- 2018年 農村計画学会学会賞

耕畜連携による循環型農業システムの構築

皆川 秀夫

北里大学獣医学部・非常勤講師

〒034-8628 青森県十和田市東 23 番町 35-1/ E-mail <minagawa@vmas.kitasato-u.ac.jp>

要旨

私は畜産の「環境問題」に約 30 年間取り組んできた。JA 十和田市の「尿処理リサイクル研究会」(1991~2003 年)に参加し、微生物による豚尿汚水の浄化とその散布による野菜の肥培効果の解明と普及を追求した。肥培効果の主因は尿に多量に含まれる K(カリウム)による「根肥え効果」にあることを突き止めた。

しかし家畜排泄物の堆肥・液肥としての農地還元には限度があり、その「余剰問題」が大きな課題になっている。そこで新たな試みとして「オゾン微細気泡」による家畜排泄物の「完全浄化」と、その「浄化液」を用いた藻類・菌類の水耕培養による「再資源化」に挑戦している。従来の「微生物」に代わる「オゾン」による物理化学的分解に大きな手助けを感じている。

キーワード

家畜排泄物, 微生物, 余剰問題, オゾン, 循環型農業

1. 畜産の特徴と環境問題

わが国の畜産は、明治時代に牛肉や豚肉などの肉食が解禁され、とくに戦後、欧米の肉食文化の普及とともに著しく発展した新しい産業である。

しかし、わが国の畜産は飼料の大半を輸入に依存する加工型畜産をなし(図1)、これが環境問題の根本的原因となっている。畜産発展の原動力は、自動車や精密機械などの工業製品の輸出の見返りとして「無関税」で輸入される膨大・格安な飼料穀物に大きく依存していることにある(皆川, 1997)。



図1. 加工型畜産と環境問題

農林水産省の「食料需給表」によれば、飼料穀物の輸入量は、2017年度で約 1,700 万 t(熱量基準)、これは主食である米(玄米)の年間生産量約 800 万 t の 2.1 倍にも相当する。一方、飼料自給率は濃厚飼料で 13%、粗飼料を含めた全飼料では 26%に過ぎず、わが国の畜産の

飼料基盤は極めてぜい弱である。このぜい弱な飼料基盤のため、養鶏や養豚を中心に経営規模の拡大が著しく進む一方、家畜の排泄物を農地に還元できず、これが糞尿処理問題、すなわち悪臭を含む環境問題を提起している。

2. 環境規制と循環型社会

わが国は 1960 年代から 1970 年代の高度経済成長期に大気汚染や水質汚染などの深刻な公害を経験してきた。これに対処するため 1967 年に「公害防止基本法」が制定され、1971 年には「環境庁」が設置された。



図2. 循環型社会形成基本法の成立(2000年)

それから 30 年後、環境庁は「環境省」に昇格、環境規制値を設け公害を防止する消極的規制のみならず、家庭や産業の廃棄物を適正に処理・再利用(リサイクル)することを積極的に推進する「循環型社会形成基本法」(2000年6月)を制定した(図2)。これを基に各種生活用品の分別回収・再資源化・再利用に関する具体的法律

が制定された。

とりわけ「廃棄物処理法」や「食品リサイクル法」は農業とも密接に関わり、野菜・果樹の生産地で大量に排出されるカット残渣は産業廃棄物とみなされ、これを山林などに不法投棄することを禁止、しかも皮をむくなどの加工残渣であればその一定割合を土壌肥料や家畜飼料に再利用することを義務づけた。

また農林水産省でも 1999 年 11 月、家畜排泄物の管理の適正化と利用促進をねらった「家畜排せつ物法」を施行し、畜産農家や畜産企業に対し 2004 年 10 月までに堆肥舎や汚水処理施設の設置を義務づけた。

3. 耕畜連携による循環型農業の実践例

これらの法律に対応すべく、青森県上十三地域において、「耕畜連携による循環型農業の実践」の事例を紹介する(皆川, 2004)。

3-1 豚尿汚水の液肥化と畑作物への利用

図 3 は、JA 十和田市の「尿処理活性化リサイクル研究会」が中心となり 1998 年から進めた「豚尿汚水の液肥化」である(皆川ら, 2015)。



図 3. 豚尿汚水の液肥化とナガイモ栽培への利用

図 3 に示したように、豚尿汚水 5 t を 1 週間毎にビニールハウス内で処理した。この施設は地中に掘削した 5 水槽からなり、それぞれに曝気装置とバイオリアクタ(石・ホタテ貝殻・土など)が設置され、豚尿汚水は約 20 日から 1 ヶ月かけて微生物により有機物から無機物に分解し、ミネラル成分に富む液肥となる(土肥ら, 2007)。

成果として、有機物の微生物分解によって生産される硝酸をホタテ貝殻が中和する機能があり、青森県の水産廃棄物であるホタテ貝殻が豚尿汚水処理の pH の安定化に貢献していることを発見した(Matsuzawa et al., 2003)。

また、この豚尿液肥を定植時のナガイモ土壌表面に消毒用の散水器を用いて 3 t/10 a 散布したところ毎年、素晴らしいナガイモが収穫されました。ナガイモだけでなくニンニク(図 3-右)や長ネギなど他の根茎野菜にも効果があることを確認した。さらに豚尿液肥は畑作の連作

障害防止に効果があることが示唆された。肥培効果の主因は尿に多量に含まれる K (カリウム) による「根肥効果」にあることを突き止めた(Minagawa et al. 2011)

畜産の尿汚水処理は、浄化に手間や経費がかかり、畜産農家の最大の悩みであるが、このような処理の有効性が見出された。そこで養豚と畑作の盛んな青森県上十三地域において豚尿汚水を液肥化し、全畑作地にそれを年間 2 t/10 a 散布できると仮定すれば、同地域で年間に排出される豚尿汚水の約 70% を農地還元できることが試算された。これより、豚尿汚水から作出する「液肥」を核として、養豚農家と畑作農家との循環型農業の実現の可能性がでてきた。

3-2 作物残渣の家畜飼料化

青森県上十三地域は稲作、畑作、畜産のいずれも盛んな地域である。夏季冷涼な気候でも生育する根茎野菜のナガイモやニンニクは日本一の生産量を誇っている。ナガイモやニンニクを出荷する際、茎や葉など余分な部位を切除する残渣が大量に発生し大きな問題となっている。とりわけナガイモの残渣は年間 6,000 t、これは野菜の全残渣の 60% を占め深刻である。



図 4. ナガイモ残渣の乾燥粉末化と豚への飼料添加

そこで「廃棄物処理法」や「食品リサイクル法」に対処すべく、JA 十和田市をはじめ広域農協が運営する(社)上十三広域農業振興会が中心となって進めたのが「ナガイモ残渣の乾燥粉末化とその家畜飼料化」(図 4)である。

茎や腐敗部位を切除したナガイモ残渣(図 4-c)を真空・低温加熱方式のロータリーキルンを用いて粉末加工した(図 4-f)。このナガイモ残渣粉末の栄養成分を調べたところ糖分 61.8%、粗タンパク質 9.8%、粗脂肪 0.2%、粗灰分 17.2%、粗繊維 2.6% となり、これを一般的家畜用配合飼料の成分と比較すると粗タンパク質および粗灰分が比較的多く含まれ、補助飼料として使えることがわかった。

そこでナガイモ残渣粉末を肥育豚の配合飼料に 5%~15% 添加したところ肉質がやわらかく、脂肪の色が改善、さらに旨みが増大、添加率は 5% が最適であることを見出した(Minagawa et al., 2008)。格的な究明はこれからになるが、畑作農家と畜産農家との一層の結びつきが示唆された。

しかし「耕畜連携による循環型農業の実践」は多くの難題を抱えている。飼養頭数の拡大、化学肥料の普及に伴う堆肥利用の減少、農業者の減少と高齢化、農地の減少などにより家畜排泄物の「余剰問題」が顕在化である。

また家畜排泄物の堆肥化・液肥化・浄化には主に微生物処理が主役であるが、その温度・湿度などの微妙な管理が必要でもある。

よって「余剰問題」の解決には「脱微生物」・「脱農地還元」の他に「水産・食品系残渣」などにも対象を広げた新しい「再資源化」の発想が必要で、次節に紹介する。

4. 「余剰残渣」の完全分解と再資源化の試み

4-1 「オゾン微細気泡」を用いた家畜排泄物の完全浄化とその浄化液を用いた藻類・菌類栽培による再資源化

オゾンと微細気泡を併用した装置（図5）で家畜糞尿汚水（豚糞・牛糞，5倍希釈）を浄化し、これを栄養源として付加価値の高い藻類および菌類の水耕栽培を試み、余剰家畜バイオマス資源の再資源化の可能性を探った（皆川ら，2018）。



図5. オゾン微細気泡による豚糞尿と牛糞の脱色の比較

<成果>の要点を次に記す。

- 1) 藻類(クロレラ)の培養では、「牛 3:豚 7」の「混合浄化液」が最もクロレラの生長を促進させた(図6)。炭素に富む「牛糞浄化液」と窒素に富む「豚糞尿浄化液」との補完効果を見出した。



図6. 牛・豚の浄化液の割合とクロレラの色変化

- 2) キノコの菌糸から大量の「リグニン分解酵素」を得ることを目標に、牛糞浄化液(成分無調整)でヒラタケ菌糸の水耕栽培を試みた。ヒラタケの標準培地を基準とし、牛糞浄化液を無希釈、蒸留水で2/3倍希釈、1/3倍希釈の3濃度を設定、25℃の恒温槽内で菌糸培養を行っ

た。その結果(図7)，2週間後、いずれの培地も標準培地と同様、「菌糸塊」が認められた。また、各培地とも菌糸にクランプが確認でき、これは菌糸が生長・増殖していることを意味する(Minagawa *et al.*, 2010 a & b)。

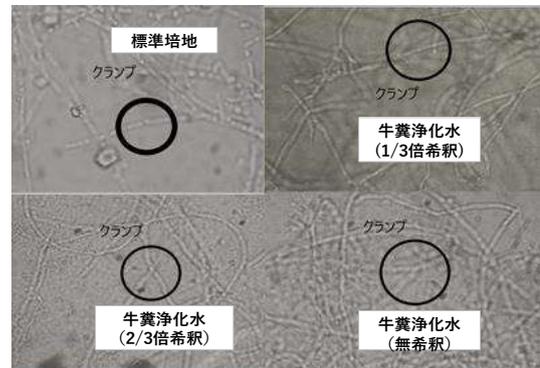


図7. 牛糞浄化液を栄養培地に用いたヒラタケ菌糸の水耕栽培(菌糸とクランプ)

4.2 「酢酸」を用いたホタテ貝殻の完全分解と再資源化

大量に放棄・堆積されるホタテ貝殻(図8)の再資源化の方策を探った(皆川ら，2019)。



図8. ホタテ貝殻の堆積(青森県平内町)

<方法>の要点を次に記す。

- 1) 酢酸によるホタテ貝殻の溶解: ホタテ貝殻(成貝)50枚を9Lの容器に投入、99%酢酸を水道水で希釈し1M(mol/L)に調整した溶液に浸漬した。溶解開始から約1日後に表面の殻皮をブラシで剥離、その後1週間間隔で酢酸溶液の入れ替えを4~5回行い「有機基質」と「酢酸溶解液」の分離・抽出を行った(図9)。
- 2) 有機基質のアミノ酸組成と再結晶化: 有機基質のタンパク質のアミノ酸組成を分析した。有機基質をシャーレ板上で薄く伸ばし有機基質を人工海水で浸し加熱させ電子顕微鏡で結晶の有無を調べた。
- 3) 酢酸溶解液の脱臭・抗菌効果を試験した。



図9. ホタテ貝殻の酢酸による溶解(左, 中央)と基質タンパク質(茶色)・溶解液(透明)の分離(右)

<結果>の要点を次に記す。

- 1) 有機基質から、ホタテ貝殻のカルサイト(図11)と同様の結晶(図10)が形成され、有機基質は炭酸カルシウムの結晶構造を作出する因子と推察した。
- 2) 酢酸溶解液は、アンモニアガスに対する脱臭効果と、

大腸菌、腸炎ビブリオ、O-157、リステリア属菌に対する抗菌効果とが認められた(小泉ら, 2019).

- 3) ホタテ貝殻は 100%再利用できる可能性が示唆された。

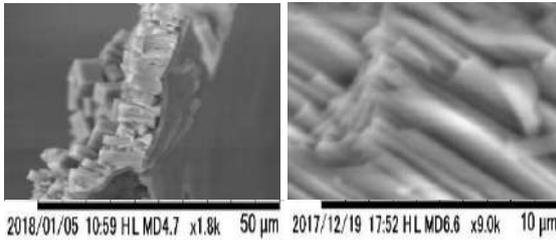


図 10. ホタテの有機質に形成された結晶 (人工貝殻)

図 11. ホタテ貝殻の結晶 (天然貝殻)

4. まとめ

技術革新のキーワードとして現在、DX (デジタル化: Digital Transformation) と SX (持続可能化: Sustainable Transformation) の 2 語が注目される。

DX は、環境情報 (温度・湿度など) や生体情報 (成長・栄養など) の大量データ (Big Data) を入手し、人工知能(AI:「ベイズ統計」を用いた推論)を活用して生体に最適環境を提供する手法といえ、「農学」に必須である。

SX は、「資源循環」を重視し、「農学」の本質ともいえる。資源循環は化学肥料・農薬・化石燃料などの使用を極力抑制した持続可能な「環境保全型農業」(LISA: Low Input Sustainable Agriculture) の基礎となる。

本報は、生物系残渣の「完全分解」と「再資源化」の最新事例を紹介したが、SX に挑戦する後進に期待する。

謝辞

受賞に際し、多くの方々からご支援を賜った。以下に記し、感謝する。

畜産における環境問題の提起と改善を通じて、JA 十和田市(現、JA 十和田おいらせ)肉豚生産部会「尿処理活性化リサイクル研究会」の中野渡 稔・会長(元)をはじめ多くの JA 関係者には研究協力および施設提供を得た。

また、研究成果の大半は毎年専攻する活きのよい素直で研究熱心な北里大学専攻生の努力の結晶である。土肥哲哉博士(現、(一社)日本有機資源協会)、松澤綾乃氏をはじめ専攻生諸氏の英知と実践に感謝する。

さらに、荣誉ある「日本農業工学会賞 2021」の推薦を賜った生態工学会・会長の北宅善昭教授(大阪府立大学)をはじめ表彰委員会・委員長の渡邊博之教授(玉川大学)および会員の方々に深甚の謝意を表す。

引用文献

<著書>

- 1) 皆川秀夫(分担執筆), 1997: 第 2 章 畜産における電気利用技術, 第 4 章 第 2 節 21 世紀における電気利用の展望—畜産分野—, 渡部一郎(編), 「農林水産における新しい電気利用」, (一般社)農業電化協会(東京), 115-143, 211-218.

- 2) 皆川秀夫(分担執筆), 2015: 第 4 章 農業と生態工学, 4-1 耕畜連携による循環型農業の実践, 大政・竹内・木部・北宅・船田(監修), 「閉鎖生態系・生態工学ハンドブック」, 丸善出版(株)(東京), 216-21.

<論文>

- 3) Matsuzawa, A., Minagawa, H., Teruyama, Y. and Sakata, H., 2003: A practical treatment of swine liquid manure for land application using charcoal, shell and zeolite in an aerated reactor. In Proc. 9th Intern. Symp. on Animal, Agricultural and Food Processing Wastes (Durham, North Carolina, USA). ASAE, St. Joseph, MI, USA, Pub. 701P1203, 164-171. (アメリカ農業工学会)
- 4) 皆川秀夫, 2004: 農地還元を目的とした豚尿汚水の液肥化. 生態工学, 16(2):113-118.
- 5) 土肥哲哉, 皆川秀夫, 松澤綾乃, 2007: 液肥化処理した豚尿汚水のマイクロフローと水質. 生態工学, 19(4):239-245.
- 6) Minagawa, H., Tozawa, Y., Nozuki, H., Nakatsubo, A. and Tanaka, K., 2008: A technical development of reproduction of resources from animal and plant wastes for sustainable agriculture. In Proc. 8th Intern. Livestock Environment Symp (Iguassu Falls, Parana, Brazil). ASABE, St. Joseph, MI, USA, PAP0432, 1-7. (アメリカ農業生物工学会)
- 7) Minagawa, H., Sato, M., Sano, K. and Hirabayashi, T., 2010 (a): Mushroom cultivation on the substrate made of goat feces and supplementary hay. Eco-Engineering. 22(2): 63-68. (生態工学)
- 8) Minagawa, H., Doi, T., Sakata, H. and Nagai, M., 2010 (b): Mushroom cultivation on the substrates with different animal feces and supplementary hay combinations. Eco-Engineering. 22(2): 69-75. (生態工学)
- 9) Minagawa, H., Yoshida, S., Yoshioka, T., Doi, T. and Tanaka, K., 2011: Growth and disease control of Welsh onion in continuous cropping fields with application of an aerobically digested swine liquid fertilizer. In Proc. of the 34th CIOSTA jointed with 5th CIGR Conference (Vienna, Austria), 1-7. (国際農業工学会)

<特許>

- 10) 小泉國雄, 田丸重徳, 皆川秀夫, 2019: カルシウムイオン錯体化液を利用する脱臭用原液による脱臭方法. 日本国特許庁, 特許第 6506524 号, 2019.04.05.

<学会発表>

- 11) 皆川秀夫, 三枝千紘, 庄田日向子, 菖蒲義浩, 谷 耕平, 田中勝千, 土肥哲哉, 2018: 藻類および菌類による家畜排泄物の再資源化, 2018 年生態工学会年次大会「講演要旨集」(大阪府立大学, 2018.06.23), No.9, 1-2.
- 12) 皆川秀夫, 前畑涼太, 田丸重徳, 田中勝千, 大出亜矢子, 土肥哲哉, 2019: ホタテ貝殻の生物鉱化作用の解明とその再資源化, 2019 生態工学会年次大会「講演要旨集」(宇都宮大学, 2019.06.29) No.12, 1-2.

<以上>

Speaking Plant Approach による植物の生育制御に関する研究

伊藤博通

神戸大学 大学院農学研究科

要旨

植物工場は多くの環境制御機器を装備し、四季のある日本においてレタスなど葉菜類の周年生産を実現しているが採算性の改善のため現行の環境制御には改良の余地がある。生産コストを低減し、かつ収量を増大させて生産効率を高めるための手法として Speaking Plant Approach (SPA) がある。SPA は植物の生育状態に応じて生育に最適な環境制御を行う手法であり、これを実現するためには生体計測技術開発と植物の環境応答解明が必要となる。筆者はこれらの課題を解決すべく研究を進めてきた。主要な研究成果として近赤外分光法を用いた野菜内硝酸濃度の非破壊測定法開発およびレタスの成長システム同定研究の概要を述べる。

キーワード

植物工場, speaking plant approach, 生体計測, 環境応答

緒言

Speaking Plant Approach (SPA)は生産対象となる植物の生体情報を環境制御にフィードバックして最適栽培環境制御を実現する手法である (Hashimoto, 1989)。SPA の概念図を図1に示す。植物成長伝達関数は植物の環境応答を記述した関数である。環境応答の解明を困難にしている要因は2点あり、1点目は環境刺激(入力)が複数あることである。地上部環境と根圏部環境それぞれに複数の環境項目があり、それらが複合的に植物に作用し、かつ各項目はお互いに独立ではない。2点目は植物の環境応答が非常に緩慢であり、かつ成長と共に応答(伝達関数)が変化することである。一方、成長モニタリングは栽培中の植物の状態を把握する生体計測技術である。この技術開発で克服すべき点は2点あり、前者は栽培中の植物生体にストレスを与えずに測定することである。非破壊、非接触測定が基本的に採用されるが、光計測になるため計測に最適な条件が植物成長にも最適とは限らない。後者は測定結果が示す数値のばらつきが大きいことである。同じ品種でも個体差が存在し、測定対象が示す数値変動が外部要因によるのか、それとも個体差によるのかを考慮し、的確な統計解析手法を適用する必要がある。栽培中の非破壊測定手法と測定数値の解析は挑戦的な課題である。

植物環境応答の解明と生体計測技術の開発が SPA 実現のための課題であり、この課題克服の先には現状よりも

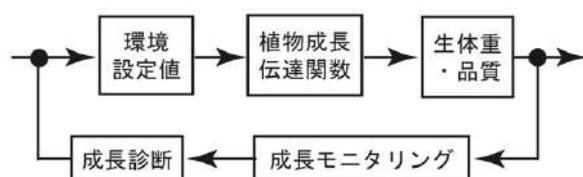


図1 SPA の概念

遙かに生産効率の高い最適栽培環境制御が実現され、その結果として低コスト・高品質生産を実現するイノベーションが達成されると考えられる。

非破壊計測法の開発

植物工場の経営改善のためには生産コストの低減と生産品の付加価値向上が必要である。後者においては外観の他に内容成分が重要になる。人体に有用な物質が豊富で、かつ有害な物質が少ないことは生産品の付加価値向上につながる。植物体内に存在する物質の濃度をモニタリングしながら栽培環境制御を実行することが SPA の実践となる。本節では植物体内で生合成される物質の非破壊計測、特に葉内硝酸イオン濃度の非破壊計測の研究例を中心に記述する。

窒素は植物にとって必須栄養素であり、硝酸は窒素の主な供給源である。硝酸は野菜の成長に必要であるが、過剰な硝酸施肥は野菜中の硝酸濃度を高くし、人体に有害となる。欧州連合では食品中に含まれる硝酸濃度の上限を法律で規制している。日本国内には規制はないが、硝酸濃度低減化は生産現場に於いて考慮されるべきである。松本ら(2010)はレタス中の硝酸濃度が乾物率と反比例しており、十分な光量下で光合成速度が大きいときに硝酸濃度が低下することを示した。人工環境下で栽培環境を調節することにより野菜中の硝酸イオン濃度を制御できる。これら環境要因を効果的に調節するためには栽培中の野菜に含まれる硝酸濃度を非破壊・適時計測する必要がある。

筆者らは葉内硝酸濃度の非破壊測定法の開発を行っ

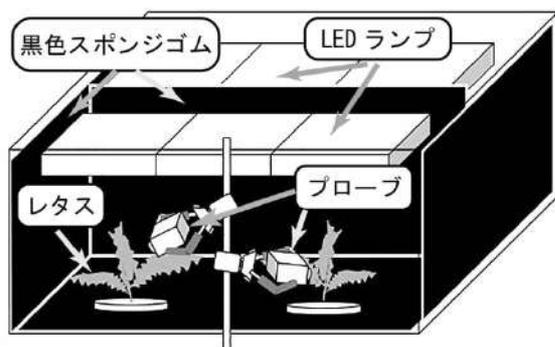


図2 栽培中レタスの近赤外スペクトル測定

できた。測定方法は測定部位の大きさにより大きく3種類に分けることができる。即ち葉面内の一点 (Itoh et al., 2011), 葉面全体 (Itoh et al., 2010; Itoh et al., 2013), 個体全体 (Itoh et al., 2015) である。葉面全体の測定にはハイパースペクトルカメラを使用した。以下に個体全体の非破壊計測について述べる。

レタス (*Lactuca sativa* L., cv. 'Greenwave') を人工気象器内で栽培した。図2に示すように庫内は前後を黒色スポンジゴムで仕切られており、各レタスに1つ測定プローブを固定している。光源は LED で光量子束密度は $80 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、赤色 (655 nm) と青色 (470 nm) の光量子束密度の比である R/B 比は5あるいは10の2試験区、明暗周期は 1 h/1 h, 3 h/3 h, 6 h/6 h および 12 h/12 h (明期/暗期) の4試験区を設定した。気温は 22°C 、栽培期間は1週間あるいは2週間とし、養液は OAT ハウスA処方で作成して1週間に1回更新した。合計289サンプルを栽培した。使用した分光計 (FANTEC Quality Analyzer, FANTEC) の波長範囲は 588.19 nm から 1091.7 nm、波長分解能は 1.9747 nm、積算時間は 50 ms に設定した。栽培期間中に継続的に各レタスの吸光スペクトルをサンプリング周期 20 分で自動計測した。収穫時に吸光スペクトルを測定し、その後に RQflex (RQflex 10; Merck) を使用して各株の硝酸濃度を測定した。これらの測定データを使用して吸光スペクトルから硝酸濃度を推定する重回帰モデルを作成した。モデル作成に使用したサンプル数は 199 で、これを校正用データ 133 と評価用データ 66 に分割し、校正用データを使用してモデルを作成した。原スペクトルに正規化および2次微分処理を施し PLS (partial least squares) 法により回帰式を作成した場合に最も推定精度が高くなり、相関係数は校正用データで 0.72543、評価用データで 0.77126、標準誤差は校正用データで 1148.0 mg L^{-1} 、評価用データで 1005.4 mg L^{-1} となった。このモデルを栽培中に測定した吸光スペクトルに適用して同一株の栽培期間中における硝酸濃度経時変化を計測した。図3に R/B 比が5の条件下における硝酸濃度経時変化を示す。図中の各プロットは8株測定値の平均を示す。LED 光がスペクトル測定の外乱となるので暗期に測定したスペクトルのみから硝酸濃度を推定した。硝酸濃度の経時変化は単調に増加するのではなく上に凸の曲線となっていた。硝酸は昼夜を問わず根から

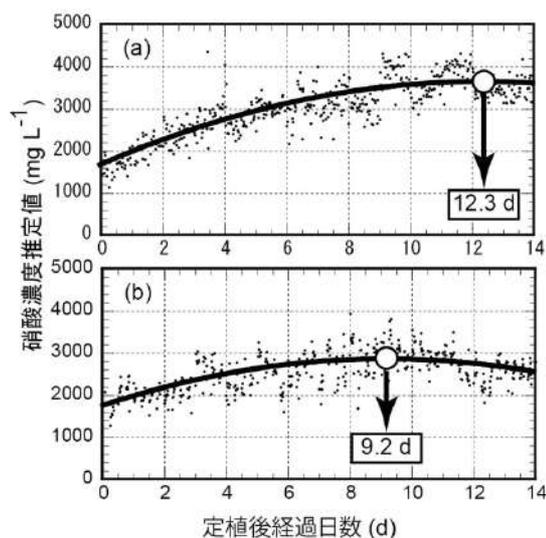


図3 レタス個体内硝酸濃度の経日変化 (明暗周期 (a) 1 h/1 h, (b) 3 h/3 h)

吸収されるが、硝酸代謝に必要な炭素骨格は明期にのみ光合成産物から生産される。栽培当初は葉が小さいので炭素骨格の生産量が小さく、根から吸収された硝酸を代謝するには不十分であり、代謝されなかった硝酸は液胞に蓄積されていたと考えられる。このため葉面積が小さな間は硝酸濃度が増加し、葉面積が一定の大きさを超えると硝酸の代謝量が吸収量を超えるようになり硝酸濃度が減少し始めると考えられる。図3の測定値を2次曲線で近似し、頂点を示す期日を求めた。これは硝酸濃度が上昇から下降に移る遷移点であり、遷移点が早く現れると収穫時の硝酸濃度が低下する。また、遷移点が現れる期日は地上部生体重が 8 g から 11 g に到達した時点と一致する。従って、成長促進は収穫時の硝酸濃度低減化に有効であることがわかった。

レタスの成長システム同定

本節では図1に示す植物成長伝達関数を扱う。システム同定 (伝達関数を求めること) のためには環境入力と成長、即ちシステムへの入力と出力を測定する必要がある。環境要因の測定には現在でも数多く販売されている気象センサーを利用することができるが、同じ個体の植物成長を非破壊・連続で自動計測するためには独自の計測系を構築する必要がある。

伊藤・山本 (2005a) はレタス2株を解析対象とし、成長と共に葉が繁茂して株同士の葉が重なり合う場合であっても水平投影画像から生体重を推定できる手法を開発した。この実験に使用した装置と測定データの流れを図4に示す。同じレタス2株の水平投影画像を 10 分間隔で撮影した。2株の合計生体重を電子天秤で1日に1回測定した。株の水平投影面積等によって生体重を推定する場合、2株以上になると葉が重なり合うことにより生体重増加を葉面積の

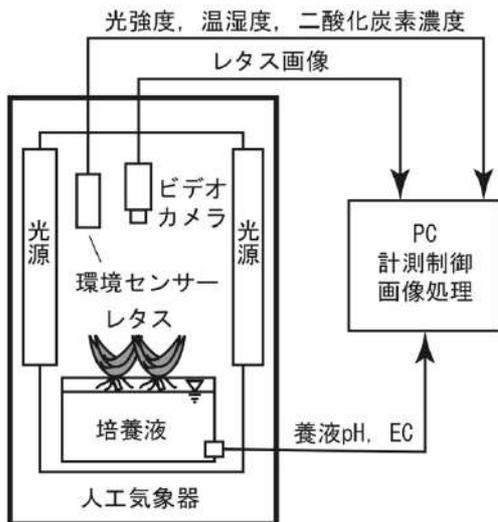


図4 レタス成長のシステム同定実験装置

増加によって表すことが困難になる。そこで形状や大きさに依存しないテクスチャ特徴量を採用した。2株が重なり水平投影画像があたかも1株に見える場合でもテクスチャ特徴量は2株それぞれの生体重増加を反映していると考えられた。同定対象であるレタスはマリーゴールド (*Lactuca sativa* L., cv. "Tango lettuce") である。1枚の画像から色情報およびテクスチャ合計 34 種類の画像特徴量を計算した。14 日間の栽培で画像特徴量と生体重の測定データ 14 組を得た。画像特徴量を説明変量, 2株の生体重合計を目的変量とする重回帰式を作成した。ステップワイズ法により生体重推定に有効な説明変量を選択した。この結果, 2種類のテクスチャ特徴量が説明変量として選択され, 重回帰式の寄与率が青プレーンで 0.998 となり, 2株の葉が重なり合っているにもかかわらず水平投影画像から生体重を高い精度で推定できた。これにより手動によらずカメラで水平投影画像を撮影すれば任意の周期で生体重を自動測定することが可能になった。

伊藤・山本 (2005b) は同定入力を光量子束密度, 同定出力を生体重とするレタス成長システム同定を行った。一般に同定実験には入力の時系列として, 周波数領域では全周波数にパワーが存在する擬似白色雑音時系列を使用する。Itoh (2001) はレタス1株に光量子束密度を擬似白色雑音時系列で与えた場合にレタス成長システム同定が可能であることを示した。しかし, 対象レタスが1株であることや同定入力である光量子束密度に不規則な時系列を用いることは実際の植物工場ではあり得ない。光量子束密度を明期と暗期が周期的に繰り返す一定周期の時系列で入力した場合のシステム同定を行った。同定入出力の測定結果を図5に示す。サンプリング周期は入出力共に1 h である。同定出力のペリオドグラムは直流成分に近い周波数域のみにパワーが見られた。即ち, 光量子束密度の変化に対して生体重の応答は非常に緩慢であった。同定に使用したモデルは離散時間 LTI (linear time-invariant) システ

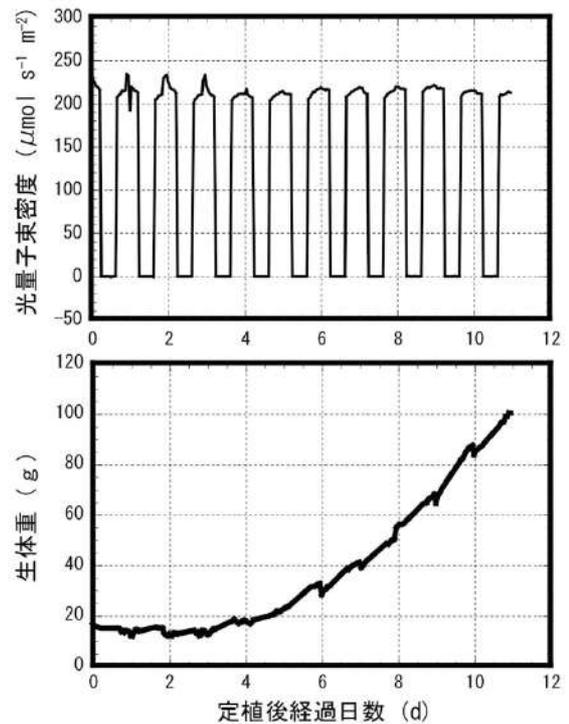


図5 同定入力(上)と出力(下)の測定結果

ムで次に示す4モデルである。ARX(Auto-Regressive eXogeneous)モデル, ARMAX(Auto-Regressive Moving Average eXogeneous)モデル, OE(Output Error)モデルおよびBJ(Box and Jenkins)モデル。システムが動作し始めてから逐次得られるデータを用い, 各時点においてそれまでに得られたデータからの推定値を更新することにより新しいデータを得る毎に逐次新しい推定値を求めるオンライン同定法(逐次パラメータ推定法)を採用した。特性がゆっくりと変化するシステムに対してこの推定法は有効であり, 入力の変動に対して出力が緩慢な変化を示す本同定に適していた。逐次パラメータ推定法ではシステムパラメータ推定値が時間軸に沿って変化する。このため時変システムのパラメータ推定を行っていることになる。このことは植物などの成長を解析する場合に都合がよい。レタスでは生体重の経時変化が一定ではなく成長が緩慢な時期と急激な成長を見せる時期がある。このような場合にはレタスを時変システムとして扱った方が合理的である。今回逐次最小2乗法(RLS: Recursive least-squares method)法を使用してシステムパラメータの推定を行った。ARX および ARMAX モデルでは精度良く推定することができた。ARX モデルについて同定出力の実測値と推定値の比較を図6に示す。実測値と推定値がほとんど一致している。同定出力には前処理として中心化処理を適用しているので負の値をとる場合がある。同モデルのシステムパラメータ経時変化を図7に示す。システムパラメータが6日目付近から変動し始めている。図7には生体重の経日変化も一緒に示されており, 成長曲線の傾きが6日目付近から変化していることがわかる。成長曲線の傾きの変化は長期間の生体重測定結果をグラフ

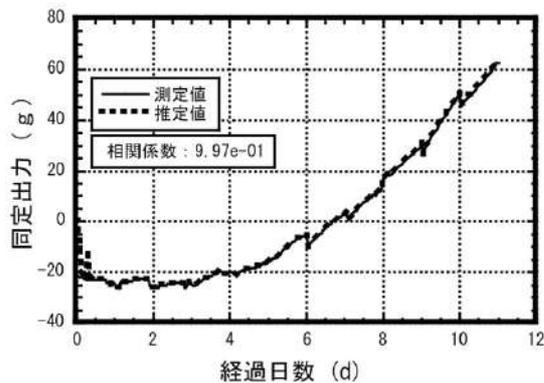


図6 同定出力の実測値と推定の比較

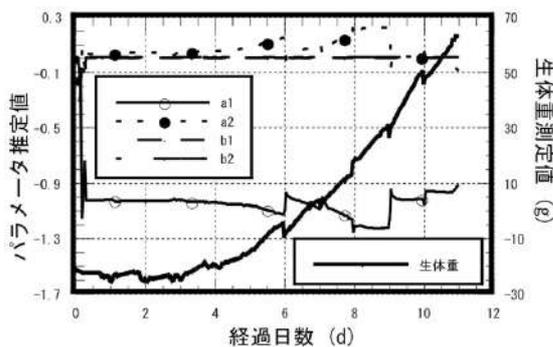


図7 ARXモデルのシステムパラメータの経時変化

に可視化して初めて認識することができる。システム同定をオンラインで行うことができれば、次の時刻のシステムパラメータを推定できるのでその変動から成長速度が変化する時点を予測できる。この情報を使用して環境設定を変えるなどシステムパラメータ変動を生育制御に役立てることができる。

今後の展望

筆者らは植物工場生産する品目のさらなる高付加価値化を目指して薬用植物の生育制御研究を進めている(Higashiuchi et al., 2016; Kajikawa et al., 2018; Hanawa et al., 2018; Natsuhara et al., 2020)。薬用植物に含有され、成長の要となる成分を非破壊計測し、その結果を基に栽培環境を設定することにより生育制御の最適化を目指している。これは薬効成分含量の最大化につながり、前節までに説明した手法を基礎として薬効成分含量増大を実現する生育制御がSPAにより実現できると考えている。

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.
- Itoh H (2001) Identification of lettuce growth with light input. In: *Bio-Robotics, Information Technology and Intelligent Control for Bio-Production Systems 2000*, eds. Shibusawa S, Monta M, Murase H. Pergamon, Oxford. 107-112.
- 伊藤博通, 山本博昭 (2005a) システム同定によるレタス成長モデリング(第1報) -画像処理による同定出力測定-, *農業機械学会誌*. 67: 71-80.
- 伊藤博通, 山本博昭 (2005b) システム同定によるレタス成長モデリング(第2報) -光強度を入力とするレタス成長システム同定-, *農業機械学会誌*. 67: 81-88.
- Itoh H, Kanda S, Matsuura H, Shiraishi N, Sakai K, Sasao A. (2010) Measurement of nitrate concentration distribution in vegetables by near-infrared hyperspectral imaging. *Environ. Control Biol.* 48: 31-43.
- Itoh H, Tomita H, Uno Y, Shiraishi N (2011) Development of method for non-destructive measurement of nitrate concentration in vegetable leaves by near-infrared spectroscopy. In: *Proc. The 18th IFAC World Congress*. Milano. 28 Aug.-2 Sep., 1773-1778.
- Itoh H, De Baerdemaeker J, Saey W (2013) Regression models to estimate nitrate ion concentration in vegetable leaves. In: *Proc. NIR 2013-16th International Conference on Near Infrared Spectroscopy*. la Grande-Motte, France. 2-7 June, 285-290.
- Itoh H, Nomura K, Shiraishi N, Uno Y, Kuroki S, Ayata K. (2015) Continuous measurement of nitrate concentration in whole lettuce plant by visible-near-infrared spectroscopy. *Environ. Control Biol.* 53: 205-215.
- Hanawa C, Uno Y, Kuroki S, Higashiuchi K, Shibata M, Matsui T, Wong CW, Leung PC, Lau CB, Itoh H (2018) Effect of air temperature during light and dark periods on the iridoid glycoside content of *Hedyotis diffusa*. *Environ. Control Biol.*, 56: 73-79.
- Higashiuchi K, Uno Y, Kuroki S, Hisano M, Mori T, Wong CW, Leung PC, Lau CBS, Itoh H (2016) Effect of light intensity and light/dark period on iridoids in *Hedyotis diffusa*. *Environmental Control in Biology*. 54: 109-116.
- Kajikawa N, Uno Y, Kuroki S, Miyagawa S, Yamashita Y, Hamaguchi Y, Ueda Y, Kobayashi M, Kaji K, Itoh H (2018) Effect of far-red light on saffron (*Crocus sativus* L.) growth and crocin yields. *Environ. Control Biol.*, 56: 51-57.
- 松本拓也, 伊藤博通, 白居祐希, 白石齊聖, 宇野雄一 (2010) 光質がレタス成長と野菜中硝酸イオン濃度に及ぼす影響. *植物環境工学*. 22:140-147.
- Natsuhara R, Uno Y, Kuroki S, Kajikawa N, Umaba K, Zako K, Nishimura T, Itoh H (2020) Development of a non-destructive starch concentration measurement technique in saffron (*Crocus sativus* L.) corms using light scattering image analysis. *Environ. Control Biol.*, 58: 105-113.

根域ガス環境の植物影響およびその制御

北宅 善昭

大阪府立大学大学院生命環境科学研究科

要旨

一般に土壌中の根域 O_2 濃度は数%~20%であり、大気中の 21%に比べて低く、根域 CO_2 濃度は 0.1%~数%と大気中の 0.04%に比べて高い。根域 O_2 濃度の低下による植物生育抑制に関する報告は多い。本研究では、一般栽培土壌において根域 O_2 濃度の低下による植物生育抑制が生じる前に、根域 CO_2 濃度の上昇による生育阻害が生じることを見出した。これより、根域 CO_2 濃度を指標とし、根域ガス環境の植物影響およびその制御に関する基礎・応用研究を行い、1)根域 CO_2 濃度の上昇による植物生長阻害の解明、2)根域 CO_2 濃度低減による植物成長促進効果、3)植物組織培養苗生産の効率化のための根域通気性改善、4)生態系での植物生育に及ぼす根域ガス環境の影響解明、などの知見を得た。これらの知見に基づいて、植物生産性向上及び生態系保全に向け、植物成長を促進または抑制する根域ガス環境制御技術の開発を行った。

キーワード

根域 CO_2 濃度、根圏環境、植物組織培養

緒言

一般に土壌ガス組成は、植物の成長に影響する重要な根圏環境要因として、地温や土壌水分と同様に、農学分野では古くから研究の対象とされてきた。土壌中では根や微生物の呼吸により、一般に大気と比べて O_2 濃度が低く (数%~20%)、 CO_2 濃度が高く (0.1%~数%) なる。 O_2 濃度の低下が著しい場合に作物の生育が抑制されることについては、湿害に代表されるように、農学や土壌学の分野において多くの報告がある。しかし一般的な土壌では、 O_2 濃度の低下と同時に CO_2 濃度の上昇が起こるので、生育の現場での O_2 濃度低下と CO_2 濃度上昇による植物への影響を区別することは難しい。

本研究では、制御実験により根圏 O_2 および CO_2 濃度それぞれの植物影響を調査し、通常の栽培土壌では、 O_2 濃度低下による生育抑制が見られる以前に CO_2 濃度の上昇による生育抑制が生じることを見出した。また植物生産現場において、 CO_2 濃度を指標として、根域ガス組成の植物影響および根域通気性の改善技術に関する一連の研究を行った。

研究成果

1. 植物生育における根圏 CO_2 濃度の重要性¹⁾⁻⁴⁾

排水の良い栽培土壌では、多量の降雨や灌水の直後を除いて、 O_2 濃度が作物生育を阻害する 10 %以下に低下することはほとんどなく、1~数%に上昇する CO_2 濃度による生育抑制が問題となることを指摘した。また根圏 CO_2 濃度の影響は低地温下で著しくなること、根圏 CO_2 濃度上昇にともなう根の吸水抑制が原因で植物体が水ストレスを受け、光合成ひいては生育が抑制されることを明らかにした。特にサツマイモの成長に及ぼす土壌 CO_2 濃度の上昇の影響を検討した結果、 CO_2 濃度 4.9%では塊根は形成されなかった。また、植物全体および吸収根の乾物重は、対照区のそれぞれ0.6倍および0.3倍となった。

2. 土壌中 CO_2 濃度低減による植物成長の促進⁵⁾⁻⁷⁾

土壌畝内に有孔管を埋設して、土壌中 CO_2 濃度を低下させることにより、サツマイモ塊根収量を高められることを実証した。さらに畝内に埋設した有孔管内に送気して、土壌中 CO_2 濃度を 1~2%低下させて 0.1~0.5%に維持することにより、通常の畝栽培に比べて葉菜、果菜および根菜類の収量が約 20%の増加した。また土壌通気性を改変する一連の実験結果から、土壌中の CO_2 濃度を低く維持するための簡易な技術として、以下のことを提言した。

・土壌中での CO₂ の発生を抑えるために、易分解性有機物を過剰に施用しない。

・土壌のガス拡散係数を高く維持するために、団粒構造が維持された気相率の高い膨軟な土壌を作り、根域の含水率を過度に高めない。

・土壌表面での CO₂ 交換を促進するために、うねを高くして土壌と大気とのガス交換面積を広げる。また多くの利点を持つマルチングは、土壌と大気とのガス交換をできるだけ妨げないように、密閉にしない。

3. 農業や生態系保全における根のガス環境調節の応用研究

3-1. 湿潤圃場での根菜類生産のための土壌ガス環境調節技術の開発⁸⁾⁻¹⁴⁾

東南アジアなどの低湿地を多く抱える途上国での農業生産向上のため、湿潤圃場で根菜類を栽培するための簡易な土壌 CO₂ 濃度調節技術の開発研究を行った。湿地圃場において、土壌中に空気層を設け土壌中 CO₂ 濃度を低下させるため、途上国において入手が容易な難分解性有機資材としての籾殻あるいは籾殻燻炭を、それぞれ湿潤土壌畝内に塊として埋設することで、食糧として重要なサツマイモの塊根収量が高められることを実証した。また途上国でのビタミンA 供給野菜として重要なニンジンを用いた試験でも、サツマイモと同様の結果が得られ、湿潤土壌でも畝内に気相を富化することにより、根菜類の生産が可能であることを実証した。

3-2. 植物組織培養苗生産の効率化のための根域通気性改善技術の開発¹⁵⁾⁻¹⁷⁾

植物組織培養による良質苗生産における環境調節技術開発研究の一環として、途上国での植林樹種として重要なユーカリの組織培養における培地の環境調節の研究を行った。この研究では、従来から用いられる寒天培地に替えて、パーミキュライトなど通気性に優れた培地を用いた結果、培養植物の水の吸収や光合成促進により成長が促進され、また培養器外に出した後の

生存率が高まり、さらに成長が促進され、組織培養苗生産の効率が飛躍的に向上した。

また、ワサビの培養苗生産における最適な培地について検討した結果、従来の組織培養で主に用いられている寒天培地および保水性・通気性に優れたパーミキュライト培地での成長は同等であった。パーミキュライト培地内の水中溶存酸素濃度 (DO) は、培養期間を通して 9 μg L⁻¹ であったが、寒天培地内の DO は、培養開始後 7 日目に 2 μg L⁻¹ まで低下し、その後、寒天培地の含水率低下に伴い生じた亀裂により、7 μg L⁻¹ になった。寒天は通気性が悪いので、上述のユーカリの場合のように、一般の組織培養において根の成長促進には適さないといった報告が多いが、湛水条件でも生育可能なワサビ培養の場合は、培地の DO 低下は生育を抑制しなかった。なお培養器外に出して 28 日間養液栽培した結果も、両区の成長は同等であった。安価な寒天培地は、コスト低減に有利であると同時に、培地を培養器内に固定できるため、培地・培養体を含む培養器の輸送など取り扱いが容易である。

3-3. マングローブ植物の嫌氣的塩性地への適応機構およびその植林技術への応用¹⁸⁾⁻²²⁾

マングローブが生育する沿岸低湿地では、伝統的に水産資源維持や護岸・海岸線保全のために、海中の森であるマングローブ林が守られてきた。最近、燃料や建築資材のためのマングローブ林の伐採、農地や水産養殖池への転換などが過度に行われることによって、様々な環境変動および社会問題が顕在化している。

マングローブの生育する土壌は、海水が流入するため塩分濃度が高く、また泥状で通気性が著しく悪い。一般の植物ではとうてい生育できないこのような環境条件下で、特に実生の初期成長を促進して生存率を高めるために、多くのマングローブ種は発達した胚軸を持つ。また多くのマングローブ樹種は、気根と呼ばれる特殊な根を持つ。泥中の根では塩分濃度の高い土壌から水分を吸収するために多くのエネルギーを必要とし、そのために根の呼吸活性を高く維持する必要がある。

るので、泥中の根に酸素を供給するための機構が必要となる。

気根の機能については従来から言われているように皮目を介して大気中の酸素を根に拡散させることに加えて、本研究では、日中に光合成反応が行われ、 O_2 を生成していることを発見した。これは、泥中の根の呼吸で発生した CO_2 が胚軸で同化され、その時に発生する O_2 が再び根の呼吸に使われるというガスの循環再利用機能があることを意味する。幼植物の胚軸でも同様の機能があり、その機能は、生存、初期成長に重要な役割を担っていることを見出した。

基礎研究や現地試験の結果から、植林後の苗の生存率を高め、さらに成長を促進するためには、樹種間で異なる胚軸の光合成能力に基づいて水位の異なる植林場所に適した樹種を選定すること、定植時に胚軸部分を土中に深く埋設しないこと、胚軸部分が長期間水没しないようにすることなどを提言した。

3-4. 根圏ガス環境調節によるタケ類の成長抑制^{23), 24)}

最近、日本ではタケ林の拡大が問題となっており、その繁茂を制限する必要がある。そこでタケ類の成長制御方法を確立することを目的として、土壌ガス組成がタケの成長に及ぼす影響に注目し、タケ林内の土壌ガス環境の動態、タケ植物の地上部および地下部のガス交換特性、および成長について検討した。

その結果、土壌中の CO_2 濃度が数%に上昇すると、タケ地下部の呼吸活性が抑制され、根の成長抑制、葉面ガス交換の抑制が生じ、タケの成長は抑制されることを明らかにした。その試験結果に基づいて、土壌表面を有機物で被覆後、有機物の分解によって土壌中 CO_2 濃度が2~3%に上昇するのに伴い、タケの葉のガス交換速度は低下し、成長は抑制された。ここでは、易分解性有機資材として入手が容易な菜種糟および稲わらを用いた。このような簡易な根圏ガス環境の制御方法は、タケの成長を抑制する方法として有効であり、実用化の可能性が高い。

4. まとめ

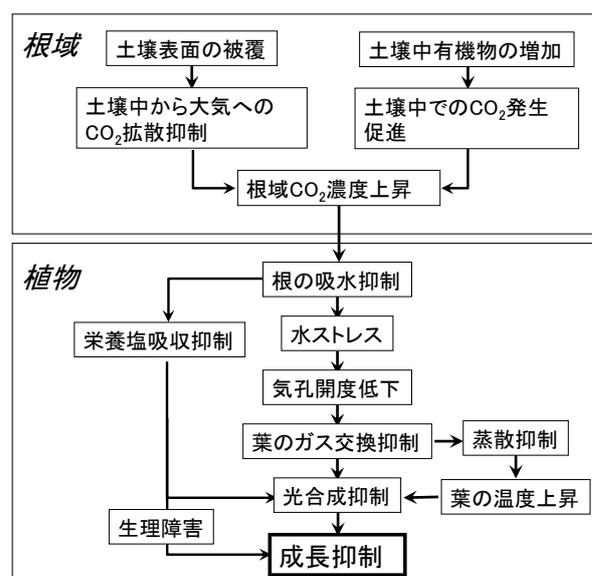


図1. 根域 CO_2 濃度上昇の機構およびその植物影響

本研究では、根域ガス環境の植物影響およびその制御に関する基礎的および応用的研究を行い、根域 CO_2 濃度の上昇による植物生長阻害のメカニズムを明らかにした(図1)。また根域ガス環境制御に関して、主に以下の知見を得た。

- 1) 通常の栽培土壌では、 O_2 濃度低下による生育抑制が見られる以前に CO_2 濃度上昇による生育抑制が生じる。
- 2) 土壌の通気性を改善して根域 CO_2 濃度を低減することにより、植物成長を促進できる。
- 3) 植物組織培養苗生産における根域通気性改善については、溶存 O_2 に注目する必要があるが、溶存 O_2 濃度を高めることによる生育促進効果は植物種の特性によって異なる。
- 4) 生態系保全に向けて、根域ガス環境制御により、有用植物の生育促進、あるいは有害植物の生育抑制を図ることができる。

これら一連の研究は、まだ実用技術として確立したものに至っていない。これらを実用技術として植物生産や自然生態系の現場に適用していくためには、まだ解決しなければならない課題が少なからずあり、今後、基礎研究と応用研究の両面から、本研究をさらに進めていく必要がある。

謝辞: 本研究を遂行するにあたり、ご協力・ご援助戴いた大阪府立大学および千葉大学の職場での教員、学生、研究補助の方々に感謝の意を表します。

引用文献

1. 矢吹万寿・北宅善昭・清田信, 根圏ガス環境の制御に関する研究 (1) 灌水後の土壌中CO₂濃度とガス拡散係数の変化. 農業気象, 40(1), 1-7, 1984.
2. 北宅善昭・矢吹万寿・清田信, 根域ガス環境の制御に関する研究 (2) キュウリの生育に対する根域空気中のCO₂の影響. 農業気象, 40(2), 119-124, 1984.
3. 北宅善昭・矢吹万寿・清田信, 根域ガス環境の制御に関する研究 (3) キュウリの生育に対する根域のCO₂濃度と温度の影響. 農業気象, 43(3), 215-221, 1987.
4. Siqinbatu, Kitaya, Y., Hirai, H., Endo, R., Shibuya, T., Effects of water contents and CO₂ concentrations in soil on growth of sweet potato, *Field Crops Research*, 152, 36-43, 2013.
5. 北宅善昭, 根圏ガス環境の制御に関する研究. 大阪府立大学紀要, 39, 135-173, 1987.
6. Islam, A.F.M.S., Kitaya, Y., Hirai, H., Yanase, M., Mori, G., Kiyota, M., Effects of water table levels on soil gas composition and the growth characteristics of carrot. *Applied Biological Science*, 4, 135-142, 1998.
7. Islam, A.F.M.S., Kitaya, Y., Hirai, H., Yanase, M., Mori, G., Kiyota, M., Growth characteristics and yield of sweetpotato grown by a modified hydroponic cultivation method under field conditions in a wet lowland. *Environ. Control in Biol.* 35(2), 123-129, 1997.
8. Kitaya, Y., Kiyota, M., Uewada, T., Yabuki, K. Effect of CO₂ in the root zone on the growth of sweetpotato, in: Hill, W.A., Bonsi, C.K., Loretan, P.A. (Eds.), *Sweetpotato Technology for the 21st Century*. Tuskegee University, USA, pp. 336-343, 1992.
9. Islam, A.F.M.S., Kitaya, Y., Hirai, H., Yanase, M., Mori, G., Kiyota, M., Effects of placing rice straw, wheat straw and rice husks in soil ridges on growth, morphological characteristics and yield of sweetpotato in wet lowlands. *J. Agric Meteorol.* 53(3), 201-207, 1997.
10. Islam, A.F.M.S., Kitaya, Y., Hirai, H., Yanase, M., Mori, G., Kiyota, M., Growth characteristics and yield of carrots grown in a soil ridge with a porous tube for soil aeration in a wet lowland. *Scientia Hort.*, 77, 117-124, 1998.
11. Islam, A.F.M.S., Kitaya, Y., Hirai, H., Yanase, M., Mori, G., Kiyota, M., 2000, Effect of volume of rice husk charcoal masses inside soil ridges on growth of sweetpotato in a wet lowland. *J. Agric. Meteorol.*, 56(1), 1-9, 2000.
12. Islam, A.F.M.S., Hirai, H., Kitaya, Y., Yanase, M., Mori, G., Tani, A., Kiyota, M., Effective utilization of waste rockwool for sweetpotato production under wet lowland field conditions. *J. Jpn. Soc. Agric. Tech. Manage.* 4(2), 47-53, 1997.
13. Islam, A.F.M.S., Kitaya, Y., Hirai, H., Yanase, M., Mori, G., Kiyota, M., Sweetpotato cultivation with rice husk charcoal as a soil aerating material under wet lowland field conditions. *Environ. Control in Biol.*, 36(1), 13-20, 1998.
14. Islam, A.F.M.S., Kitaya, Y., Hirai, H., Yanase, M., Mori, G., Kiyota, M., Effects of application method of plant residues inside soil ridges on the growth and yield of carrots grown in wet lowlands. *Thai Journal of Agricultural Science*, 31(4), 485-498, 1998.
15. Kirdmanee, C., Kitaya, Y., Kozai, T., Effects of CO₂ enrichment and supporting material on growth, photosynthesis and water potential of *Eucaliputus* shoots/plantlets cultured photoautotrophically in vitro. *Environ. Control in Biol.*, 33 (2), 45-53, 1995.
16. Kirdmanee, C., Kitaya, Y., Kozai, T., Effects of CO₂ enrichment and supporting material in vitro on photoautotrophic growth of *Eucaliputus* plantlets in vitro and ex vitro. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 31, 144-149, 1995.
17. Hoang, N.N., Kitaya, Y., Morishita, T., Endo, R., Shibuya, T., A comparative study on growth and morphology of wasabi plantlets under the influence of the micro-environment in shoot and root zones during photoautotrophic and photomixotrophic micropropagation, *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 130, 255-263, 2017.
18. Kitaya, Y., Sumiyoshi, M., Kawabata, K., Monji, N., Effect of submergence and shading of hypocotyls on leaf conductance in young seedlings of the mangrove *Rhizophora stylosa*. *Trees - Structure and Function*, 16, 147-149, 2002.
19. Kitaya, Y., Jintana V., Piriayotha S., Jaijing D., Yabuki K., Izutani S., Nishimiya A. and Iwasaki M., Early growth of seven mangrove species planted at different elevations in a Thai estuary. *Trees - Structure and Function*. 16, 150-154, 2002.
20. Kitaya, Y., Yabuki K., Kiyota, M., Tani, A., Hirano, T., Aiga, I., Gas exchange and oxygen concentration in pneumatophores and prop roots of four mangrove species. *Trees - Structure and Function*, 16, 155-158, 2002.
21. Kitaya, Y., Hypocotyls play an important role to supply oxygen to roots in young seedlings of mangroves. In "Greenhouse gas and carbon balances in mangrove coastal ecosystems", Tateda, Y. ed., Gendai-Tosho, Tokyo, 109-117, 2007.
22. 北宅善昭, マングローブの生態, 「湿地環境と作物」(坂上ら編), 養賢堂, 2010.
23. Wei, X., Kitaya, Y., Shibuya, T., Kiyota, M., Soil respiration in a bamboo forest as affected by soil temperature and soil moisture contents. *Phyton*, 45 (4), 295-298, 2005.
24. Wei, X., Kitaya, Y., Shibuya, T., Kiyota, M., Effects of soil gas composition on Transpiration and leaf conductance of bamboos. *J. Agric. Meteorol.*, 60 (5), 845-848, 2005.

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

辻 博之

農研機構・北海道農業研究センター（北海道河西郡芽室町新生南 9-4）

要旨

コムギリビングマルチを用いたダイズ栽培は、ダイズの収穫期までに枯死するコムギをダイズと同時期に播種して地表面を被覆し、雑草の生育を抑制する栽培法であり、雑草、両作物の3者間で起こる相互の干渉作用を利用するものである。リビングマルチを利用して雑草を抑制しつつダイズの収量を確保するには、ダイズを標準区の1.5倍の密植（栽植密度25本～28本/m²）とし、早期にダイズの葉をコムギ群落より上位に展開させる必要があった。また、北海道の通常のダイズ栽培の除草必要期間は播種後約45日間で、リビングマルチの利用により、除草必要期間は通常の栽培に比べて約15日短い約30日となることを示した。

キーワード

ダイズ、コムギ、リビングマルチ、除草必要期間

緒言

カバークロープは、緑肥の一種であり土壌の侵食防止や地力維持などの保全効果を得られる技術として着目されてきた。リビングマルチは、カバークロープの一種であり、主作物と同時期に栽培され、土壌表層の被覆を早めることで、雑草の発生や土壌浸食を抑制する。近年はトウモロコシやダイズの保全的栽培技術、雑草抑制技術としての効果が報告されており（中村ら, 2001; 三浦・渡邊, 2002; 三浦, 2009）、麦類リビングマルチを用いたダイズ栽培法はマニュアル化が進められた（農研機構, 2014）。この他に、麦類リビングマルチは畦間が広いカボチャなどの野菜類や、傾斜地で栽培されるコンニャク等の生産でも利用がみられる。

麦類リビングマルチを用いたダイズ栽培（図1）は、ダイズの収穫期までに枯死する麦類（以下マルチ麦、秋まき性程度が高いことが条件になる）をダイズと同時期に播種し、マルチ麦が早期に地表面を被覆する。その後、ダイズが育ち、その葉が群落を覆うまでの間は、雑草、作物、マルチ麦の3者間で干渉作用がおこる。リビングマルチを技術として使いこなすには、3者の干渉作用を生産技術の観点からの目的である「雑草害が発生しない」、「ダイズが減収しない」ことに向けて制御する必要がある。また、雑草防除技術の基本となる除草必要期間の短縮効果を明らかにすることが不可欠である。

筆者は、マルチ麦を利用したリビングマルチ栽培をダ

イズ作に導入し、その除草効果の定量化と収量への影響を明らかにするために、1. ダイズの栽植密度とコムギの播種量が雑草抑制とダイズ収量に及ぼす影響と、2. 除草必要期間の短縮効果を検討した。以下ではその内容を紹介する。また、これらの研究で得られた除草必要期間の知見を活用した3. ダイズ除草の目標設定等についても述べる。

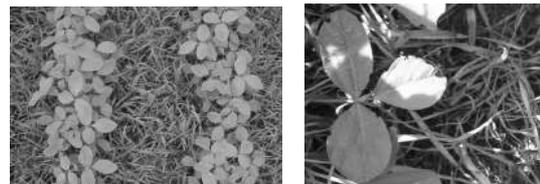


図1 ダイズのリビングマルチ栽培

（左）7月中旬のダイズ群落を上部より撮影

（右）8月上旬のダイズ群落内部：ダイズの葉の奥に枯れ始めたマルチ麦が見える

1. コムギリビングマルチを用いたダイズ栽培の栽植密度に関する研究

1)リビングマルチによる雑草の抑制効果

マルチ麦は雑草だけでなくダイズの生育も抑制する。リビングマルチ（以下LM、ただし表題等は除く）を用いたダイズ栽培を成立させるには、マルチ麦による被覆で雑草の生育を一定期間抑えた後に、ダイズ葉の被覆によってマルチ麦と雑草を制圧する必要がある。そこで、

コムギとダイズの栽植密度を変えた栽培試験を行い、早期にコムギ群落より上位にダイズが葉を展開させるために必要な条件を検討した。

北海道における一般的なダイズ栽培では、播種期は5月下旬であり、播種後60日から70日後の7月下旬から8月上旬（開花後10日目ごろにあたる）に群落の上部が完全に被覆され（図2 対照区）、ダイズの群落より草丈が低い雑草とマルチ麦は生育できなくなる（図1右）。LM栽培では地表面はマルチ麦（供試品種はホクシン）によって早期に被覆されるが（図2 LM区）、ダイズの生育が抑制されるためダイズによる群落の被覆が完成する時期は対照区と大きな差はないと考えられる。

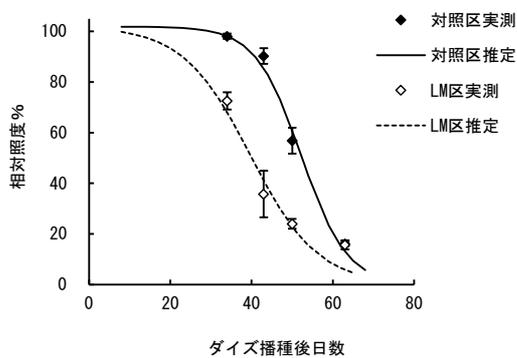
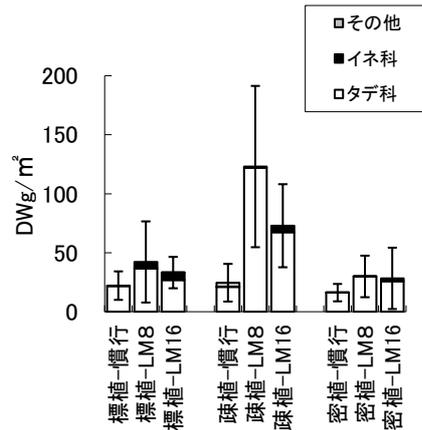


図2 ダイズ群落における地表面相対照度の推移
ダイズ標植（標準播種量）の場合

作物の葉による群落内の相対照度の低下は、条間が同じ場合イネ科作物に比べて広葉作物のほうが速やかであり、上部に葉が分布するダイズは群落内の相対照度は他の作物に比べて低いことが報告されている（野口ら，1978c）。一方、マルチコムギは出穂や節間伸長がおこらないため、ダイズの草丈はマルチ麦を上回る。

ダイズを疎植（10本～12本/m²）にするとLM区のダイズのLAIは小さい（2以下）のに対し、ダイズを密植（25本～28本）にすると、ダイズのLAIは約4となった（辻ら，2005）。このため、ダイズ疎植条件でのLM区の収穫期の雑草は機械除草を行った慣行区に比べて多いのに対して、ダイズ密植条件では、LM区の雑草を慣行区と同レベルに抑えることができた（図3）。

以上の点から、LM栽培が雑草を抑えるメカニズムは、雑草とマルチ麦の生育が競合することで、雑草の生育抑制が早期に始まる点にあると考えられ、最終的に雑草を抑制するにはダイズの葉による群落の被覆は不可欠である。よって、雑草抑制効果を高めるには、ダイズの栽植密度を標植以上にし、ダイズの生育や節間伸長を促進し、ダイズの葉を早期に展開させる必要があるものと考えられた（辻ら，2005）。



雑草乾物重

図3 ダイズの栽植密度とリビングマルチ（LM）がダイズ収穫時の雑草乾物重に及ぼす影響（2003年）

標植・疎植・密植：ダイズの栽植密度（表1参照）
慣行：LM無し・機械除草2回
LM8：マルチ麦播種量 8g/m²
LM16：マルチ麦播種量 16g/m²

表1 ダイズの栽植密度とリビングマルチ（LM）処理がダイズの地上部乾物重および粗子実重に及ぼす影響

ダイズ栽植密度	慣行 LM播種量	ダイズの個体密度 m ⁻²	地上部乾物重 gm ⁻²	粗子実重 gm ⁻²
標植	慣行	16.9	563	361
	LM8	18.8	513	330
	LM16	19.0	445	291
疎植	慣行	10.1	541	370
	LM8	11.1	400	275
	LM16	10.6	321	218
密植	慣行	25.7	593	355
	LM8	27.1	562	352
	LM16	27.9	533	338
分散分析結果				
栽植密度			**	*
リビングマルチ			**	**
交互作用			n.s.	+

+, *, **はそれぞれ分散分析により 10%, 5%, 1%以下の危険確率で有意差が認められたことを示す

2) リビングマルチ栽培における収量確保の条件

ダイズ粗子実重は密植で有意に増収となり、リビングマルチにより減収した。また、ダイズの粗子実重にはダイズの栽植密度とLM処理との間の交互作用が弱いながらも認められ（表1）、ダイズ疎植におけるLM処理の減収が26%から41%であるのに対して、ダイズを密植にすることで1%～5%に抑えることができた（辻ら，2005）。以上の結果から、ダイズの密植は減収の緩和にも有効であることが示された。このように、ダイズの栽植密度を調節することで、雑草、作物、マルチ麦の3者間で干渉

作用をある程度制御できることを示した。

2. リビングマルチを用いたダイズ栽培の除草必要期間の短縮効果

北海道の通常のダイズ栽培では7月下旬から8月上旬に地表面からおよそ350mmの空間の相対照度が10%を下回る。草丈350mm未満の雑草はその後生育できないため、種子の再生産ができない。ダイズの播種から相対照度が10%以下になる日数と雑草の草丈が350mmに達するのに要する日数を求めることができれば、ダイズの除草に必要な期間（除草必要期間）を前者から後者を減じて求めることができる。北海道における、慣行のダイズ栽培では除草必要期間は播種後約45日間である。

LM栽培における除草必要期間を検討するために、北海道におけるダイズの主要雑草である、スベリヒユ、イヌビエ、オオイヌタデ、イヌホオズキの実生苗を、時期を変えて圃場に定植し、8月上旬までの草丈伸長速度を調査し、LM栽培と慣行差培における除草必要期間を算出した。その結果、LM栽培の草丈の伸長速度は、慣行栽培の15%～52%に低下した。相対照度の推移とあわせて推定されたLM栽培の除草必要期間は慣行栽培に比べてイヌビエで約15日、オオイヌタデで約20日、イヌホオズキでは35日短縮された（表2）。

表2 リビングマルチによる除草必要期間の短縮

ダイズ 播種時期	草種	除草必要期間 短縮日数
標準期栽培 (5月下旬)	イヌホオズキ	34日
	イヌビエ	14日
	オオイヌタデ	18日
晩播栽培 (6月上旬)	イヌホオズキ	35日
	イヌビエ	16日
	オオイヌタデ	19日

(除草必要期間) =

(相対照度が10%以下になる作物の播種後日数A) -
(雑草の草丈が高さCに達するのに要する日数B)

ただし、高さCは群落の相対照度が10%以下に保たれている地表からの高さで350mmとする。

野口ら(1978a; 1978b)は、畑作物と雑草の競合についての研究で、オオイヌタデはメヒシバ、カヤツリグサ、シロザ、スベリヒユ等に比べて生育速度が速く、遮光条件における主茎長の抑制が小さいことを報告しており、LM栽培の主要な畑雑草の除草必要期間に対する短縮効果は、オオイヌタデ、イヌビエの以上の効果を示すことが推測される。よって、北海道におけるダイズLM栽培の除草必要期間は、通常の栽培(約45日)に比べて15日短い約30日と判断した(辻ら, 2008)。

以上のように、マルチ麦を用いた雑草抑制効果を、除草必要期間によって示すことで、LM栽培の保全的な栽

培方法として有効性が明らかした。また、効果を定量化したことにより、LM栽培の技術としての限界を明確にすることができた。すなわち、LM栽培を北海道において栽培技術として成立させるには、「播種後30日程度は他の除草手段が必要」なのであり、その除草体系のメリットを慣行の除草体系と比較して示すことができない場合は、技術の実装は困難である事を示している。

3. 除草必要期間を応用したダイズ除草管理目標の設定

コンバイン収穫を行うダイズ畑では、汚粒対策と雑草種子を圃場外に持ち出すため拾い草(または種草取り)を行う。この作業は労働負担が大きいため、事前の除草により雑草の密度を十分に減らしておく必要がある。

拾い草の対象となる雑草(要除草雑草)の密度は、除草必要期間内に発生した(7月10日頃)の雑草の密度に、その雑草が7月10日以降要除草雑草として生き残る確率を乗じて求めることが可能である。そして、収穫前の除草に費やすことが可能な労働時間を設定し、要除草雑草密度と拾い草に要する労働時間との関係性を示すことができれば、「いつまでに」、「雑草の密度」、「いくつに減らせればよいか」というダイズ畑における除草の管理目標を定めることができる(辻, 2013)。

図4はダイズ黄熟期から収穫期にかけての要除草雑草密度と収穫前の拾い除草の時間との関係を示したものである。ダイズの拾い草の除草にかかる時間(y)は、雑草の抜き取り本数(x 要除草雑草の密度)×面積に比例し、10a当たりの除草時間(人・時)は、回帰式 $y = (86.1x + 14.3) \div 60$ (決定係数0.84)であらわすことができた(図4)。

拾い草の除草時間を1人・時間/10a以下に設定すると、許容できる要除草雑草の密度は約0.6本/m²以下にであると推定される。

一方、収穫前の要除草雑草密度(y)は、7月10日直後の雑草密度(z)から $y = 0.215z - 0.037$ (決定係数0.64)の関係で示すことができた(図5)。

以上の結果から、除草必要期間が終わる7月上旬から中旬に、雑草密度を3本/m²未満とすることが、拾い草の除草時間を1人・時間/10a以内とする際の除草の管理目標となる。

このような考え方は、他の栽培技術にも応用可能である。例えばダイズの狭畦栽培は雑草害を抑制すると考えられているが、狭畦化(条間30cm)が、ダイズの葉による相対照度の低下を早める効果と、雑草の草丈伸長を抑制する効果をそれぞれ評価し、さらに、要除草雑草として生存する確率を評価できれば、技術の効果を定量化することが可能になる。

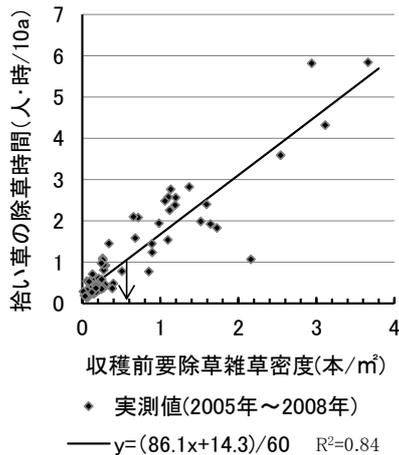


図 4 ダイズ畑における要除草雑草密度（黄熟期から収穫期）と収穫前の拾い除草の時間との関係

1区面積 48 m²～124 m², 作業員 1 から 2 名で農研機構内の圃場において実施。除草本数, 乾物重は全量調査。

主な草種はイヌビエ, シロザ, イヌタデ, オオイヌタデ, ノボロギク, セイヨウタンポポである。

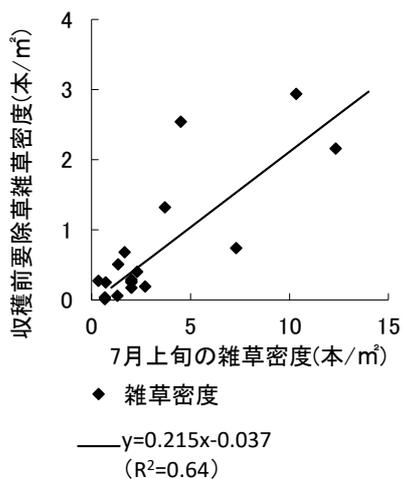


図 5 7 月上旬の雑草密度と収穫前の要除草雑草密度との関係

まとめ

以上のように, カバークロップの効果の一部である, 除草効果と除草必要期間の短縮効果をダイズのリビングマルチ栽培で定量化した。緑肥作物は, 本報告で取り上げた被覆効果の他に, 従来の意味である緑肥 (有機態窒素をはじめとする肥料養分を圃場に供給) 効果をはじめとして, 期待される効果によって対抗植物, クリーニングクロープ, 障壁作物, 景観作物等と様々な呼ばれ方で利用されている。緑肥等の多様な効果の活用方法や, 緑肥作物が本作物と一緒に存在することで, 農耕地の表層

空間が複雑化するでもたらされる, 作物・空間内の各物質への影響を解明する試みは, 持続的な食糧生産技術の構築に欠かせないものであり, 本研究もその一助としてまいりたい。

謝辞

この度栄誉ある日本農業工学会賞に推薦くださった, 日本農作業学会の皆様, 研究に助言をいただいた荒木肇先生 (現 新潟食糧農業大学), 小松崎将一先生 (茨城大学), 大門弘幸先生 (現 龍谷大学) をはじめとする多くの先生方, 農研機構におけるリビングマルチ・カバークロップ研究リードしていただいた三浦重典氏, 小林浩幸氏 (現宇都宮大学) をはじめとする皆様へ感謝申し上げます。あわせて, 除草作業や雑草調査をはじめとする様々な調査にご協力いただいた農研機構・技術支援センターの職員の皆様に深く感謝する。

引用文献

三浦重典 (2009) リビングマルチを利用した畑作物生産に関する栽培学的研究, 東北農研報, 110 129-175.

三浦重典・渡邊好昭 (2002) マメ科牧草リビングマルチ条件下で栽培したスイートコーンの生育及び収量, 日作紀, 71(1) 36-42.

中村英明・川村寿幸・岩瀬政博 (2001) 秋播き性コムギを用いた大豆の雑草防除法, 雑草研究, 46 (4) 291-295.

野口勝可・中山兼徳 (1978a) 畑作物と雑草の競合に関する研究, 第 2 報 畑作物と雑草の初期生育の比較, 日作紀, 47(1) 48-55.

野口勝可・中山兼徳 (1978b) 畑作物と雑草の競合に関する研究, 第 3 報 遮光処理が雑草の生育に及ぼす影響, 日作紀, 47(1) 56-62.

野口勝可・中山兼徳 (1978c) 畑作物と雑草の競合に関する研究, 第 4 報 作物群落内の光環境の時期的推移と除草必要期間の設定, 日作紀, 47(3) 381-387.

農研機構 (2014) 麦類をリビングマルチに用いる 大豆栽培技術マニュアル (増補改訂版),

https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/livingmanual.pdf, 2021 年 2 月 12 日閲覧.

辻 博之 (2013) : 大豆除草管理目標値の設定, ニューカンントリー 707 ; 70-71.

辻 博之・大下泰生・渡辺 治郎・奥野 林太郎 (2005) コムギによるリビングマルチがダイズ生産と雑草抑制に及ぼす影響, 農作業研究 40 (2): 79～88. 2.

辻 博之, 大下 泰生, 君和田 建二, 石川 枝津子 (2008) コムギを利用したリビングマルチによるダイズ作の除草必要期間の短縮, 農作業研究, 43 (4) 165-177.

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

阿部 佳之

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業研究センター

要旨

家畜ふん尿の堆肥化処理は、厄介者の家畜ふん尿を取り扱い性の良い肥料に変換できる我が国の代表的なリサイクル技術であるが、堆肥化過程では悪臭等の成分であるアンモニアが拡散することが課題であった。そこで、吸引通気式堆肥化処理システムを開発して、吸引通気により堆肥の腐熟を促進すると同時にアンモニアを肥料原料として回収できることを実証した。さらに、アンモニアばかりか堆肥の発酵熱も回収でき、これを熱源にした温湯を冬期の搾乳牛の飲水として利用すると産乳量が増加する効果も確認できた。このような資源回収の考え方は他の堆肥化方法にも波及しており、本研究成果が持続的な畜産業の発展に貢献することが期待できる。

キーワード

吸引通気式堆肥化処理, 家畜ふん尿, 資源化, アンモニア, 発酵熱

はじめに

「家畜排せつ物法」が1999年に制定・施行されて20年以上が経過し、我が国では家畜ふん尿の9割が堆肥などとして利用されている。特に2008年に肥料原料価格が世界的に高騰してからは、家畜ふん堆肥中の窒素やリン酸、加里などの肥効に関する研究が加速され、家畜ふん堆肥の肥料的な価値が再評価された(加藤直人, 2018)。さらには、2012年や2019年の肥料取締法の改正などの追い風もあって、現在では混合堆肥複合肥料や指定混合肥料など普通肥料に向けた国内で調達可能な肥料原料としても利用されるようになっている(有機質資材コンソーシアム, 2020)。

一方で、家畜ふん尿の堆肥化処理では、アンモニアなど悪臭や環境負荷物質の発生が問題とされており、家畜ふん尿の処理に要するコストや労力をこれ以上負担できない中で、周辺環境へ配慮した堆肥化処理の高度化が求められている(畜産環境整備機構, 2020)。ヨーロッパでは家畜ふん尿の堆肥化処理が日本ほど畜産現場に浸透していないが、その理由の一つとしてこのアンモニア揮散の問題がある。「家畜排せつ物法」の施行当時には、家畜ふん尿の堆肥化処理に伴うコスト増とアンモニア揮散への対応について、ヨーロッパの研究者から鋭い質問を度々受けたことを覚えている(Amaha and Ichito, 2000)。

そこで、当時、農林水産省の委託プロジェクト研究や民間企業との共同研究等を通じて、堆肥化処理のコストや作業負担、堆肥の品質をそれまでと同様に維持・改

善しつつ、堆肥化施設から拡散していたアンモニアを肥料原料として回収するための吸引通気式堆肥化処理システムを開発し(阿部ら, 2008b)、その効果を酪農場などで検証した。さらにその開発過程では、アンモニアに加えて堆肥の発酵熱についても実用的に回収できる見込みが得られたため、発酵熱の利用についても研究範囲を広げて検討した(小島と阿部, 2011)。現在では、吸引通気式堆肥化処理システムに限らず他の堆肥化方法でもこのような資源回収・利用の考え方が広まっている(川村ら, 2016; 小島ら, 2019b)。そこで本稿では、吸引通気式堆肥化処理システムの開発当時を振りかえりつつ、アンモニアや発酵熱などの資源回収・利用技術に関する最近の取り組みについてもご紹介して、今後に向けた技術展開への期待を述べたい。

吸引通気式堆肥化処理

吸引通気とは、堆積された堆肥材料の下部から空気を吸引して堆肥材料の表面から底面に向けて通気する通気方式であり(図1)、農研機構で開発に着手した当時、アメリカではすでに下水汚泥の堆肥化処理で悪臭対策用に普及していた(Epstein et al., 1976)。一方で、本方式で水分の高い家畜ふん尿を扱う場合、通気配管が目詰まりしやすい、送風機が腐食しやすい、通気の効率が悪いなどの理由から、わが国では現実的な処理方法とは考えられていなかった(阿部ら, 2009)。そこで、パイロットスケールの堆肥化試験で検討を重ねた結果、堆肥材料の水分調整やかさ密度を適切に管理すれば、

吸引通気方式であっても圧送通気方式と同等の堆肥化処理が可能になったことがわかった。吸引通気方式は保温性に優れているため、堆肥材料の乾燥はむしろ吸引通気方式の方が促進されることが明らかとなった（阿部ら, 2003a ; 阿部ら, 2003b）。

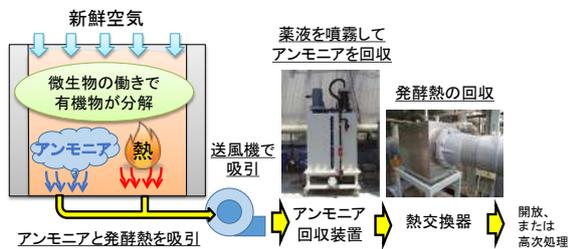


図1 吸引通気式堆肥化システム概念図

また、後述のように、吸引通気方式用のアンモニア回収装置を開発するとともに、切り返し作業機の改良（阿部ら, 2008a）や吸引通気用の堆肥化施設の床面構造を提案した。これらの研究成果をもとに、農研機構 那須塩原事業場の堆肥化施設を吸引通気式方式に改良して実証試験を行い、従来と同等品質の堆肥を生産しながらも、堆肥化過程で揮散するアンモニア濃度を圧送通気方式の1/10~1/100に低減できることを確認した（図2）（阿部ら, 2008b）。同じころ、那須塩原事業場の近隣にある那須塩原市の酪農場（搾乳牛120頭規模）に吸引通気式堆肥化システムの第1号機が導入され、12年以上を経た現在も酪農家の管理下で稼働を続けている（環境省, 2018）。

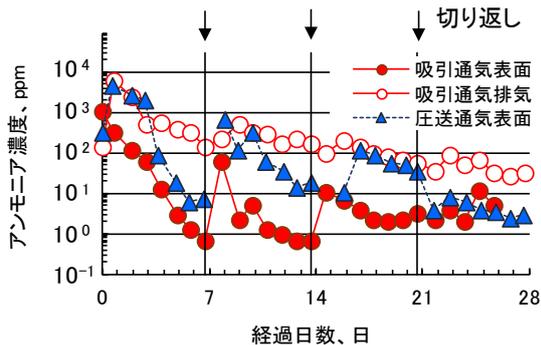


図2 吸引通気式堆肥化システムによる堆肥表面からのアンモニア揮散の低減効果

アンモニアの回収と利用

吸引通気方式における排気中のアンモニア濃度は数千ppmから畜種によっては数万ppmに達し、しかも、発酵熱で排気温度が60℃以上に達することもあるため、

家畜ふん尿処理で一般的な生物脱臭法では対応できない。そこで、希硫酸やリン酸などを利用した薬液洗浄法によるアンモニア回収装置を開発した（阿部と福重, 2006）。発酵熱により薬液が温められると、アンモニアとの中和反応速度が10℃上昇する毎に数倍に高まるため（アレニウスのQ10の法則）、アンモニア回収装置はスプレー塔に導入した排気に薬液を噴霧するだけの小型でシンプルな構造となった（図3）。また、排気中のアンモニアが1~2万ppmの高濃度であっても、アンモニアの回収率は99%以上と高い能力を示した（阿部ら, 2009）。



図3 開発したアンモニア回収装置（左）とリン酸を用いたアンモニア回収液（右）

アンモニア回収装置からは、pHが7前後、窒素濃度が7%前後の硫酸アンモニウム溶液やリン酸アンモニウム溶液（アンモニア回収液）が発生した。そこで、アンモニア回収液を堆肥化二次発酵の発酵助剤として利用したところ、堆肥の有機物分解率の改善と無機態窒素の蓄積がみられ、即効性と緩効性の肥効を兼ね備えた堆肥を製造できた（宮竹ら, 2010a ; 宮竹ら, 2010b）。また、密閉縦型堆肥化装置で生産した豚ふん堆肥の場合ではあるが、肥料工場で堆肥を造粒する際にアンモニア回収液を添加して混合堆肥複合肥料を試作し、普通肥料として登録されている（小島ら, 2019b）。

アンモニア回収液をそのまま窒素液肥として利用する取り組みも検討され、水稻の移植時にアンモニア回収液をペースト状にして側条施肥する方法や（森田ら, 2013）、出穂期前に水口から動力を使わずに追肥する方法などが提案されている（農研機構, 2009）。



図4 密閉縦型堆肥化装置で生産された豚ふん堆肥とアンモニア回収液等を原料とする混合堆肥複合肥料（肥料登録番号103867）

堆肥発酵熱の回収と利用

堆肥材料から吸引された排気の温度は 50~60℃、相対湿度はほぼ 100%の状態であり、絶えず吸引されるため 1日に発生するエネルギー総量は比較的大きいものの、各種工場から出される排気に比べると低温であるため、排気のエクセルギ（取り出せるエネルギー）は小さい（小島と阿部，2011）。一方で、工場では捨ててしまうような 30℃前後の温湯や温風であっても、畜産では冬期の家畜の飲水や暖房として利用が見込める。そこで、排気中の潜熱も回収できるように市販のプレート式熱交換器を改良し、熱交換器で得られた温湯を牛舎で牛の飲水として利用するための温湯供給システムを開発した（小島ら，2014）。このシステムは、牛舎に設置したフロートスイッチ付きの水槽や温湯の貯留タンク、熱交換器、ポンプ、牛舎と堆肥化施設を結ぶ配管等で構成される。本システムを導入した前出的那須塩原市の酪農場で温湯供給能力を調査したところ、10℃以下の原水の供給量に応じて 30~50℃の温湯が得られた。また、平均 33℃の温湯であれば日量 15 t が得られ、120 頭の搾乳牛が 1日に飲水するのに十分な量であった。

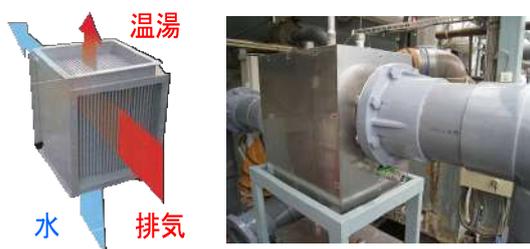


図5 排気を熱交換して温湯を得るためのプレート式熱交

温湯を搾乳牛の冬期の飲水に利用する効果を確認するため、那須塩原事業場で温湯の給与試験を行ったところ、搾乳牛の飲水時間や頻度が減った一方で、飲水量は 9.9%増加し、飼料の摂取量や乳成分は変わらないまま乳量は 3.8%増加した（小島ら，2019a）。この増乳効果は本システムを導入した那須塩原市の別の酪農場でも確認されている（Kojima et al., 2019）。この効果のメカニズムについては引き続き牛の栄養生理分野に踏み込んだ検討が必要なものの、畜産経営の中で非採算部門であった堆肥化施設が乳牛の生産性向上に寄与した結果はたいへん興味深い発見である。

発酵熱の夏場の利用に向けては、戻し堆肥を乾燥するための温風用の熱源利用のほか（小堤ら，2015）、発酵熱をバイナリ発電等の熱源に利用するチャレンジングな検討も行われている（Kojima et al., 2017）。

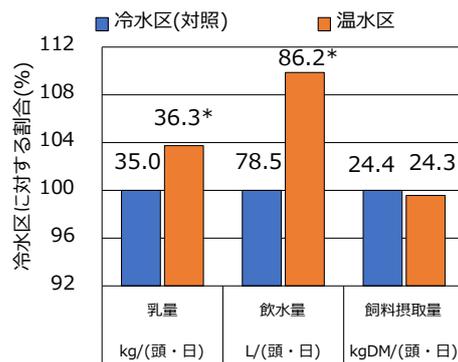


図5 那須塩原事業場で行った温湯の給与試験結果

おわりに

2015年の国連サミットで17の持続可能な開発目標（SDGs）が示されてから5年が経った。今では日本でもこの目標は広く浸透し、多くの分野でSDGsを意識した取り組みが始まっている。農業や畜産業も例外ではなく、先日も近くの酪農家から、地球温暖化の原因となる牛のゲップを減らす飼養管理についての技術相談を受けた。悪臭の苦情対策のように直接的な問題については過去にも相談を受けたことはあるが、地球温暖化のような社会的な問題であっても、生産者の周辺環境に対する関心や責任感が強くなっていることを実感した一件であった。

家畜ふん尿の堆肥化処理は、畜産経営の中で必ずしも単独で採算が取れる部門ではないが、SDGsとの親和性が高く、畜産業の持続的な発展の基盤となる資源循環や耕畜連携のいわばエンジンを担っている。特に、吸引通気式堆肥化処理システムはアンモニアや発酵熱の回収・利用を通じて生産性を高められる可能性が示されたことから、農業や畜産業の中でSDGsの具現化と生産活動を両立するためのツールとして使っていただくことを期待したい。

幸いにして、最近はまだ、堆肥の安全性や高品質化、あるいは、耕畜連携に基づく自給飼料生産に関わる研究課題を担当し、牧場や水田の現場で汗をかく機会が再び増えた。吸引通気式堆肥化処理システムなどこれまでの研究成果を現在の仕事にも反映しながら、今後も日本の農業や畜産業の持続的な発展に微力ながら尽くしていきたい。

謝辞

この度の日本農業工学会賞受賞にあたりまして、塩沢昌会長をはじめとする役員の皆様には格別なご高配

を賜り謹んでお礼申し上げます。また、ご推薦いただきました農業施設学会の川越義則会長をはじめ理事会の皆様に対しましても厚くお礼申し上げます。

本稿でご紹介した内容は、草地試験場時代に伊吹俊彦氏から研究を引き継ぎご指導いただくとともに、上司であった伊藤信雄氏、本田善文氏、天羽弘一氏、同僚であった福重直輝氏、宮竹史仁氏（現帯広畜産大学）、小島陽一郎氏、共同研究者であった（有）岡本製作所、眞嶋牧場のほか、多くの関係者の皆様のご支援を賜りました。関係する皆様に対しまして、改めて厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 阿部佳之・福重直樹・伊藤信雄・加茂幹男（2003a）吸引通気式堆肥化処理技術の開発（第1報），農業施設，33（4），255-261.
- 阿部佳之・福重直樹・伊藤信雄・加茂幹男（2003b）吸引通気式堆肥化処理技術の開発（第2報），農業施設，34（1），21-30.
- 阿部佳之・福重直輝（2006）堆肥化処理に向けた簡易なアンモニアスクラバ，農機誌，68（4）29-31.
- 阿部佳之・本田善文・宮竹史仁・岡本富夫（2008a）地下ピットに対応できる電動ホイストを活用したクレーン式堆肥切り返し装置，畜産草地研究所 2008年の成果情報．
<https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2008/nilgs08-06.html>，閲覧日 2021/3/18
- 阿部佳之・伊吹俊彦・宮竹史仁・本田善文（2008b）吸引通気式堆肥化処理技術の開発（第3報），農業施設，38（4）249-262.
- 阿部佳之・本田義文・福重直輝（2009）吸引通気式堆肥化処理におけるアンモニア回収と資源化，におい・かおり環境学会誌 40(4)221-228.
- Amaha, K. and Ichito, K. (2000) 2nd Dutch-Japanese workshop on precision dairy farming, National Grassland Research Institute, Nishinasuno, 81-95.
- 畜産環境整備機構（2020）畜産悪臭苦情軽減技術の手引き，畜産環境整備機構，東京，11-15．
http://www.chikusan-kankyo.jp/PRR2020/PRR2020_2/PRR2020_2.html，閲覧日 2021/3/18
- Epstein, E., Willson, G. B., Burge, W. D., Mullen, D. C. and Enkiri, N. K. (1976) A forced aeration system for composting wastewater sludge, J. WPCF, 48(4)688-694.
- 加藤直人（2018）資源循環型農業のための家畜ふん堆肥中肥料成分の有効利用，肥料科学，40，1-27.
- 川村英輔・高田陽・小島陽一郎（2016）密閉縦型発酵装置の発酵熱と回収可能熱量，日豚会誌，53（2）21-31.
- 環境省（2018）悪臭対応参考事例集—畜産農業編—，環境省 水・大気環境局大気環境課 大気生活環境室，東京，16-19. http://www.env.go.jp/air/post_32.html，閲覧日 2021/3/18
- 小島陽一郎・阿部佳之（2011）吸引通気式堆肥化処理による発酵熱の回収と利用，農業施設，42（2）51-58.
- 小島陽一郎・阿部佳之・天羽弘一（2014）吸引通気式堆肥化施設で回収した発酵熱による水の加温，農業施設，45（3）99-107.
- Kojima, Y., Iitaka, Y., Nishi, Y., Nakanishi, M., Abe, Y. and Amaha, K. (2017) Binary power generation using composting fermentation heat as heat source, Nogyo Shisetsu, 48(4)225-233.
- 小島陽一郎・松山裕城・阿部佳之・宮地慎・天羽弘一（2019a）冬季の乳牛への温水給与が飲水量ならびに乳生産に及ぼす影響，農業施設，50（1）1-6.
- 小島陽一郎・中久保亮・松岡英紀・見城貴志・浅野智孝・石田三佳（2019b）養豚農家の密閉縦型堆肥化装置からのアンモニア回収および回収液の利用，農業施設，50（2）64-72.
- Kojima, Y., Nakakubo, R., Ishida, Y. and Abe, Y. (2019) Supplying water warmed by exhaust heat from closed vertical composting facility for dairy cows Part2 -Effect of supplying warmed water-, 2019 ASABE Annual International Meeting, Paper No.1900281
- 宮竹史仁・阿部佳之・本田善文（2010a）窒素の添加が二次発酵堆肥化過程の肥料成分濃度に及ぼす影響，農業施設，41（2）79-86.
- 宮竹史仁・阿部佳之・本田善文（2010b）吸引通気式堆肥化システムで回収される液体肥料，発酵排熱，未利用酸素を利用した成分調整型堆肥の製造，農機誌，72（4）48-54.
- 森田昌孝・吉田宣夫・阿部佳之・堀口健一・高橋敏能（2013）吸引通気式堆肥化システムより得られた回収硫安の基肥施用がイネ（*Oryza sativa* L.）の生育と収量に与える効果，日草誌，59（3）192-200.
- 農研機構（2009）飼料米の生産技術・豚への給与技術，畜産草地研究所 技術レポート 7号，9-13．
https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/report_No7_rev.pdf，閲覧日 2021/3/18
- 小堤悠平・長峰孝文・畠中哲哉・道宗直昭（2014）堆肥発酵熱を用いた堆肥の乾燥，日畜会報，86（2）219-227.
- 有機質資材コンソーシアム編（2020）混合堆肥複合肥料の製造とその利用—家畜ふん堆肥の肥料原料化の促進—，1-119．
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/133583.html，閲覧日 2021/3/18

施設環境計測制御の情報基盤の開発と普及

星 岳彦

近畿大学生物理工学部

要旨

最小の経済的損失・エネルギー投入で、生産植物から得られる経済的利益を最大化するために、植物生産施設の環境計測制御が必要である。近代的な植物生産施設の環境制御、および、それを支える環境計測には、人力では困難な、高頻度・継続的な操作が必要になるためにオートマタの導入が不可欠であり、各設備・機器の挙動を合目的に複合・統合するための連携・協調も欠かせない。つまり、情報技術と通信技術が大きく貢献し、それらがうまく機能するプラットフォームとして、情報規格と通信規約の策定が重要である。研究のメインテーマのひとつである、植物生産施設の環境計測制御システムとその標準化に関する研究の経緯と経過の概略を述べる。

キーワード

標準化, IoT, 自律分散システム, 施設園芸, UECS

緒言

日射エネルギーでドライブされる容器が、植物生産施設のプラスチックハウスやガラス温室である。そして、周囲環境に対し独立でもなく完全依存でもない半閉鎖環境を創出するシステムであり、かつ、地域気候・気象資源の価値の増幅装置である。最小の経済的損失・エネルギー投入で、生産植物から得られる経済的利益を最大化するためには、環境計測制御が不可欠である。特に、施設の設定、導入機器をうまく操作するための、調節・操舵と呼ぶべき種類の環境制御の成否がカギを握る。

実現には、人力では困難な、高頻度・継続的な操作が必要になるためにオートマタの導入が不可欠であり、各設備・機器の挙動を合目的に複合・統合するための連携・協調も欠かせない。つまり、N. Wiener 氏の言を俟たずして、近代的な植物生産施設の環境制御、および、それを支える環境計測には、情報技術と通信技術が大きく貢献する。そして、それらがうまく機能するプラットフォームとして、情報規格と通信規約の策定が重要である。

大学学部研究室の配属(1981年)を契機に約40年間に渡り、上に述べた背景から、植物生産施設の環境計測制御システムとその標準化に関する研究は、私のメインテーマのひとつになっている。だが、多くの失敗を積み重ね、情報研究進展の平均的速度からすると遅々とした進捗で、現場レベルの極めて泥臭い応用研究である。スマートとは言えない、その経緯と経過の概略をここに紹介したい。他山の石とご笑読賜れば幸いである。

マイコンとパソコンの発展期

シーケンス回路で組まれた園芸施設の複合環境調節装置がマイコン化されつつある時代であった。マイコンキットがパソコンに変容する頃、パソコンは学生が簡単に購入できる金額でなかった。Apple II e が自由に使えるという理由だけで、私は大学の園芸環境工学研究室を選択した。この安易な選択が、私の研究分野を決定づけた。



図1 神奈川県トマト生産者の施設で1984年に試験したPC-8801用のモニタソフトウェア(初出, 星 2018)。

オイルショックから約10年、省エネにもなるので、各種の新・改良複合環境制御アルゴリズムが発表されていた。対応して都度いちいちプログラムを組み直すのは効率が悪いと考えた。そこで、卒業研究では万能なマイコン温室環境計測制御システム(以下、GEMCoSと略す)を

組み立てた。MPUに80系でも68系でもない6502を使ったのはApple II用のアセンブラを使ったためである。この時考案した、BN記法で標準化した環境制御アルゴリズム記述体系の「制御式」(星・古在 1986)が、情報プラットフォーム研究の初めての成果になった。大学院に進み、初期型GEMCoS製品を平衡型のインターフェースでパソコン(PC-8801)に接続して、データの記録・解析を行うモニタソフトウェアも研究した(図1, Hoshi and Kozai 1983)。今のGEMCoSのモニタソフトウェアの元祖になったと考える。この頃AIブームが訪れ、エキスパートシステムを中心に各種研究開発をした(星ほか 1990)が、これらも、実用化・普及には至らなかった。

OOPとSQL, そしてDASへ

コンピュータの性能向上でA.C. Kay氏ら提唱のOOP(オブジェクト指向プログラミング)が身近になった。SUNのワークステーションで使用できたSmalltalkを使い、環境計測制御要素をオブジェクトとして標準化したシステムを研究した(星 1992)。これを、Java Beansでソフトウェア部品化し、オブジェクト標準化を試みた(図2, 星 1999)。しかし、Prologの現状と同じく、純粋なオブジェクト指向処理系は衰退し、施設生産現場に導入可能な程の操作性等の性能向上ができなくなり、断念した。

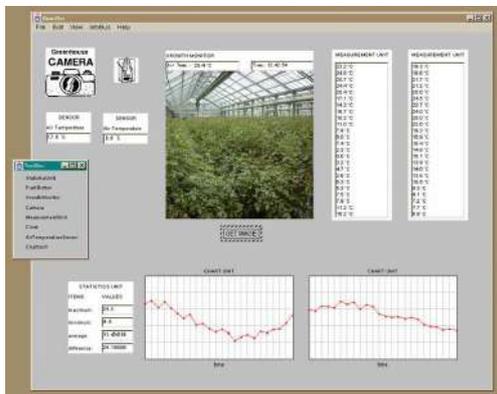


図2 メニューの環境計測制御要素をD&Dして環境計測制御システムを構成できるオブジェクト部品化プロトタイプシステム(星 1999)。

GEMCoSの価格は、日本の施設生産現場へ導入するにはまだ高価だった。先進的施設化推進のためのGEMCoS導入の補助金政策が終了し、生産現場への普及は伸び悩んだ。ピーク時には20社近くあった国内の製造・販売会社の撤退が相次いだ。マーケットの成長を確信し、パイの独占を目指しつつ、各社独自の規格で営業を行ってきた。これが裏目に出て、撤退会社製の既設システムの保守・代替も困難な状況になってきた。日本施設園芸協会の支援を受けてコンソーシアムを形成し、各社のGEMCoSを仮想的なSQLサーバーに見立てて標準化す

る情報プラットフォームを提案・実用化した(図3, 星ほか 1999)。しかし、失われた20年と呼ばれた不況の中で各社の財務的余力がなく、対応製品の販売は1社だけに留まり、普及はしなかった。



図3 環境計測制御システム標準化コンソーシアムのホームページ(1999年当時)。

Amdahlの法則の呪いが解け、コンピュータネットワークや分散オブジェクト技術の発達でDAS(自律分散システム)によるソリューションが農業でも検討できる時代になった。バックボーンになる分散ネットワークのプロトコルには、FA用のField BusやDeviceNet、自動車と農機に使われているCAN BUS、東芝もICチップを製造した森ビルの空調システムで有名なLonWorksなどがあった。生分解性プラスチック原料バイオマス生産用のサツマイモ種苗工場開発プロジェクトに参画させて頂き、環境計測制御を含む生産システムを担当した。通信プロトコルは空調で実績のあるLonWorksを採用した。セルトレイを単位として自律分散要素を標準化し、生産種苗に「満足度」というポテンシャル関数系を定義して、合目的に協調するシステムを研究した(Hoshi et al. 2000)。類似性質のセルトレイ群が、満足度と施設環境のゆらぎに合わせてコロニー(群落)を自律的に形成し、生産性の高い生態系の創出が観察され、興味深い結果が得られた。ただ、スポンサーの方針変更で、実用化には至らなかった。

亀岡孝治先生の提唱された生物情報交換(BIX)標準化技術の植物生産サブセットであるBIX-ppの研究もこの時期に実施した(<http://bix-pp.info/>)。植物生産に関する植物・環境・経済などの全情報を、名前空間を使ってXMLで記述し、オブジェクト化した(星ほか 2003)。応用研究開発が数件なされ、現在進展している農業用の情報基盤開発でも参考にされたが、結局は普及しなかった。現状では、CSV形式の標準化で充足しているからであろう。

UECSの誕生と普及

1999年にピークを迎えた日本の施設園芸面積の減少傾向が顕著になり、国産のGEMCoSの製造・販売状況も

絶滅間近という状況になった。大規模施設生産者から、「国産の GEMCoS は大きな施設では使い物にならない」と言われ、視察に訪れた外国研究者からは、「GEMCoS の日本の学術研究は最先端レベルだが、現場は最低レベルなのはなぜか」と訊かれた。90 年代に GEMCoS を導入したアーリーアダプターの生産者は梯子を外された形になり、コンピュータを使わない変温制御装置に戻ってしまうことも多々あった。この危機的状況を何とかしないと、私の研究フィールドが消滅し、日本の GEMCoS は農業博物館で見られるものになってしまうと恐れた。

坂村健氏の TRON, M. Weiser 氏の Ubiquitous computing の考えに触れ、分散遍在するのがコンピュータの将来の姿で、DAS をベースにしたものになると思った。このような中で考えたのがユビキタス環境制御システム (UECS) である (Hoshi *et al.* 2004)。日本の植物生産施設の約半分は無暖房であり、GEMCoS のような高度環境制御装置の導入面積は 2%未達だった。重装備施設から換気窓開閉だけが巧みにできれば良い施設まで、広く使ってもらうには機能毎に部品化し、しかも、低コストにしなければならない。まず、通信規約は IEEE803 系、電文は XML を採用しようと考えた。今では IoT が当たり前だが、センサーベースシステムにインターネットを使えるか、未知数の時代だった。実用化のプロジェクトで研究コンソーシアムの技術者からは、反対が相次いだ。ここで妥協せずに進めることができたのは、これまでの失敗の経験からの影響が大きい。情報プラットフォームで失敗しないためには、(1)最新技術を使つてはいけない、(2)ルールを厳密にし過ぎない、が大切と思う。つまり、生き残りが確実化した枯れた技術の実装と、変化を受容する柔軟(いいかげん)性の具備である。



図 4 旧野菜茶業研究所低コストハウスの UECS 実証試験の様子(2005 年頃)。インターネット用各種機器・アプリで管理・記録が可能。

2005 年に UECS の実証試験を愛知県武豊の旧野菜茶業研究所低コストハウスで実施した (図 4)。規約の合意だけで各組織が別個に試作した機器を設置すると、相互に通信しつつ自律分散協調してトマトハウスをうまく環境

制御するのを確かめ、また、見学者からの感想を拝聴し、普及への期待が膨らんだ。しかし、そうは進まなかった。

調節・操舵と呼ぶべき環境制御の主体は、ソフトウェアである。情報プラットフォームは、ハードウェア(機器)の存在を弱め、ソフトウェアだけで競争する世界を創り出す。これは、製造・販売会社のシステム販売戦略に大きな改革を迫る。製品が出始めた UECS だが、UECS 対応機器の価格はあまり低下しなかった。公的支援事業での採用は増えたが、施設生産者が自費導入することは少なかった。このような状態が 7~8 年続いた。

転機が訪れたのは、オープンソースハードウェアという汎用 MPU 基板の普及である。教育・IoT 用に Raspberry Pi, Arduino, ESP32 等の多種の基板が安価に誰でも手に入るようになった。そこで、UECS 研究会のメンバーで、対応 UECS ライブラリ (UECS Pi, UARDECS) の開発を共同して行い、オープン化した。UECS に対応する環境計測ユニットや GEMCoS アダプタの自作・キット製作・製品購入を可能にした (星ほか 2016, Hoshi *et al.* 2018)。低コスト UECS の実証プロジェクトにおいて、地域と作目に合わせ、低コスト UECS を使用した GEMCoS による CO₂ 施用、飽差制御等を導入した 3 年間の実証試験を 6 県の生産者施設で実施した。その結果、日本で多数を占める 10~20 a 程度の中規模施設に導入して経済性があることを確認した (表 1, <https://smart.uccs.org/>)。導入メリットが明らかになり、自作を含めて自費導入する施設生産者が増えており、書籍・雑誌 (星 2018~2021 など) に執筆する機会が増えている。トップ 2% 弱のものだった GEMCoS の導入の裾野が広がり、低コスト UECS で施設環境計測制御の情報基盤技術の普及可能性が高まったと考える。

表 1 低コスト UECS 導入の経済性(千円/10a)²。

作物	地域戦略 実証地	a. 農業粗収 益の増減	スマート化コスト			経済性 a- (b+c+d)
			b. CO ₂ 燃料費	c. スマート 化運用 経費	d. スマート 化減価償 却費(7年)	
イチゴ	山口県	961	47*1			934
トマト	埼玉県	420	245			175
キュウリ	宮崎県	964	71	43	192	659
スイートピー	岡山県	1,436	△73	743		766

*1 イチゴ(山口県)のスマート化に伴う減価償却費は3年で償却。

*2 http://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/brain/h27kakushin/chiiki/yasai_kaki/result-3-10.html より引用

結言

より低コストで段階的導入が可能になった UECS プラットフォームにより、さらに軽装備・小規模な既存植物生産施設でも、リフォームによるスマート化への関心が高まっている。放棄施設の増加に歯止めがかかると期待する。研究開発と政策が連携して施設植物生産のスマート化を推進した結果、日本の植物生産施設の設置実面積が下げ止まる様相を示している (図 5)。低コスト UECS が実用化した 2015 年頃から、UECS の普及による施設リニューアル等で、後継者や新規参入者が増えたこともそ

の一助になったのではと考えている。

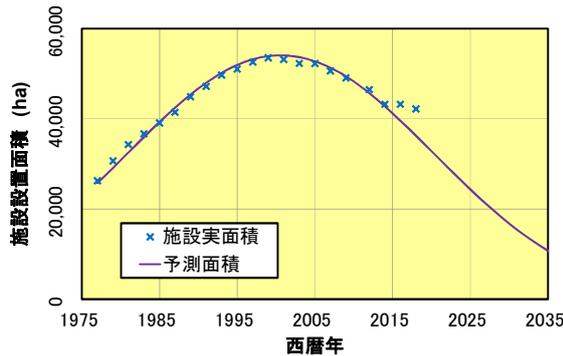


図 5 日本の植物生産施設の設置実面積と推移予測 (星 2021).

植物工場を極とする施設植物生産は、物質生産束密度極大、エントロピ極小を善とする理念で研究開発されている。実際は、このような強い散逸構造を追求しつづけることは持続的ではない。これを支える情報プラットフォームの活用・普及も理念だけでは難しい。もし、手段であるプラットフォームが必要な目的アプリケーションを具体的にイメージできないと、手段が目的化し、シェア拡大、体系洗練化、定義厳密化に走ってしまう。現場に近い研究開発者から手が離れたプラットフォームが発展せずに消滅していくのは、理念が実際に勝利してしまったと、失敗経験から、私は考えるようになった。

獣やヒトが減多に通らない場所に、舗装道路が突然整備された。無理して使うようにしたが、インセンティブの労力と予算が尽きて、結局、廃れてしまう。その一方で、必要から獣道ができ、ヒトもやがて使い始め、踏跡が広がりしっかりした道になる。ついに、交通頻度が増して街道になり、支道ができ、立派になっていく。これが望ましいプラットフォームの在り方でないだろうか。

謝辞

荣誉ある日本農業工学会賞の授与に際し、日本農業工学会会長塩沢昌先生、事務局長池口厚男先生、推挙下さった農業情報学会会長南石晃明先生、担当理事羽藤堅治先生、各学会の諸兄に謹んで感謝申し上げます。また、私のこれまでの研究・開発に際し、ご指導ご鞭撻を賜り、共同して取り組み、ご支援を戴いた大学、農水省、農研機構、各都道府県の農政部門・普及部門・試験場、企業、研究室同僚・専攻学生ほかの皆様にご心より御礼申し上げます。UECSの実用化・普及に関してのご支援・ご協力を賜った、UECS研究会、スマートアグリコンソーシアム、一般社団法人ALFAEの役員・会員各位に甚深の謝意を表す。なお、本稿で紹介させていただいた研究の多くは、科学研究費(19K06323ほか)、農水技会・データベース・モデル協調システムの開発ほか、農林水産高度

化事業、スーパーホルトプロジェクト、生研支援センター・地域戦略プロジェクトの支援による成果である。

引用文献

- Hoshi, T., and T. Kozai (1984) Knowledge-Based and Hierarchically Distributed Online Control System for Greenhouse Management, *Acta Hort.* 148, 301-308.
- 星 岳彦, 古在 豊樹 (1986) 制御式を用いたマイクロコンピュータ環境制御装置の開発, *農業気象*, 42(1), 45-50.
- 星 岳彦・平藤雅之・本條 毅 (1990) パイオエキスパートシステムズ—生物生産におけるAI/ニューロコンピューティング—, コロナ社, 東京, pp. 288.
- 星 岳彦 (1992) 植物工場における環境制御装置のオブジェクト指向ソフトウェア開発支援システム, *植物工場学会誌*, 3(2), 129-136.
- 星 岳彦 (1999) ソフトウェア部品化された植物生産支援システムの試作, 日本農業気象学会全国大会日本生物環境調節学会大会合同大会講演要旨, 7月29日愛媛県松山市, pp. 240-241.
- 星 岳彦, 布施順也, 渡辺 勉, 奥矢 毅, 林 泰正, 倉島敏行 (1999), 温室環境の遠隔制御・計測・解析用ソフトウェアの開発促進を目的とした環境計測制御システムにおける標準操作規約, *植物工場学会誌*, 11(3), pp. 157-164
- Hoshi, T., Y. Hayashi, and T. Kozai (2000) Design concepts of computerized support systems for large-scale transplant production, *Transplant Production in the 21st Century*, C. Kubota and C. Chun (eds.), 38-43, Kluwer academic publishers, Dordrecht, pp. 38-43.
- 星 岳彦・鈴木隆文・塩沢栄地・亀岡孝治 (2003) EDIのための植物生産におけるXML情報交換規格の提案, *農業情報研究*, 12(4), 327-336.
- Hoshi, T., Y. Hayashi, H. Uchino (2004) Development of a Decentralized, Autonomous Greenhouse Environment Control System in a Ubiquitous Computing and Internet Environment, *Proceedings of AFITA/WCCA 2004, Bangkok, Thailand*, 490-495.
- 星 岳彦・安場健一郎・黒崎秀仁 (2016) 日本の施設園芸とユビキタス環境制御システムの現状と展望, *植物環境工学*, 28(4), 63-71.
- 星 岳彦 (2018) UECS とは何か, ICT 農業の環境制御システム製作 (中野明正ほか編著), 誠文堂新光社, 東京, pp. 8-13.
- Hoshi T., K. Yasuba, H. Kurosaki, T. Okayasu (2018) Ubiquitous Environment Control System: An Internet-of-Things-Based Decentralized Autonomous Measurement and Control System for a Greenhouse Environment (Chapter 6), In: *Automation in Agriculture - Securing Food Supplies for Future Generations*, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.71661, pp. 107-123.
- 星 岳彦 (2018~2021) 農業センシングの世界(第1回~第32回), *Interface*, CQ出版社, 44(10)~47(5), 連載継続中.
- 星 岳彦 (2021) 施設植物生産現場におけるセンシング・環境制御・AI応用の歴史・現状・課題, *電子情報通信学会誌*, 104(6), 印刷中.

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

—農用ゴム履帯走行部の振動特性ならびに振動加速度の 6 自由度成分独立計測法に関する研究—

井上 英二

九州大学大学院農学研究院 福岡市西区元岡 744

要旨

本研究は、農用ゴム履帯車両の振動特性は履帯走行装置の設計要素となる転輪配置の良否により大きく異なる。本研究は履帯車両の振動低減化を目的に履帯車両の動的 3 次元モデルを構築し、転輪配置の良否を判定し得る振動予測シミュレーション手法を提案した。更に、車両の振動特性を精度良く把握するため、従来の振動計測法の問題点を解決・拡張し、12 個の加速度計配置による振動加速度の 6 自由度成分独立計測法を新たに提案している。

キーワード

農用ゴム履帯走行部、振動特性、6 自由度加速度成分独立計測、力学モデル、転輪配置、

緒言

農業機械の走行装置は、車輪式と履带式とに大別される。耕うん・整地から施肥・管理作業まで広く用いられるトラクタにおいては、操作性の面から大部分が車輪式を採用しているに対して、収穫機械であるコンバインではゴム履帯式が広く普及している。特に、我が国独自の水稲収穫用作業機として開発された自脱コンバインでは開発初号機からゴム履帯が使用され(江崎 1986)、現在では小型 2 条刈から大型機までの全機種で採用されている。ゴム履帯走行部は、車輪式と比較して接地圧が小さく、軟弱地において優れた機動性・牽引力を発揮する。また、鉄製履帯と比較して、軽量で走行時の騒音が小さく、舗装道路への負担が少ないといった利点を有する。このような利点から近年では、車輪式が一般的であったトラクタにおいても後輪ゴムタイヤに代わりゴム履帯走行装置を採用したハーフトラクタと呼ばれる機種が登場し、普及してきている。この間、ゴム履帯の耐久性については著しく向上し、対象とする圃場によりラグパターンも定形化しつつある。しかしながら、走行速度が高速化の傾向にある農業機械において、ゴム履帯走行部に起因する機体振動は大きく、特にアスファルト等の剛性路面走行時においては顕著であり、その低減化が求められている。図 1(上)に示すように、ゴム履帯走行部は、ゴム履帯、駆動スプロケット、転輪および遊動輪により構成されている。ゴム履帯は、芯金、ラグ、芯体中心を通るスチールコードより構成され(図 1 下)、ラグ(芯金)ピ

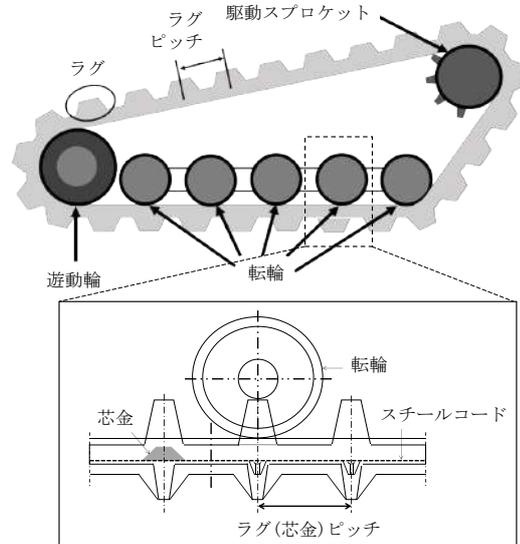


図 1 ゴム履帯走行部とゴム履帯と転輪の接地状態

ッチ間における履帯の圧縮強度は断面形状及び構成要素により、芯金・ラグ部と芯金間中央部とで異なる。したがって、転輪がゴム履帯面上を走行する時の転輪荷重による履帯の圧縮変位量は芯金ピッチ間各点で大小異なることが判る。つまり、ゴム履帯-転輪間の力学特性がラグピッチで周期的に変化する。転輪はトラックフレームに直接支持され、スプリング等の弾性体は用いられておらず、ラグ・芯金間で圧縮強度が周期的に変化する履帯上面を走行するため、転輪配置の良否は機体の振動に大きな影響を及ぼすことになる。

上記の背景から、本研究ではゴム履帯-転輪間の力学特性を明らかにし、転輪配置の違いによる農用ゴム履帯車両の振動特性を予測し得る動的3次元モデルを構築し、転輪配置の良否を判定し得る振動予測シミュレーション手法を提案した。更に、予測値と実測値との比較・検証に際して、車両の振動特性を精度良く把握するため、従来の振動計測法の問題点を解決・拡張し、12個の加速度計配置による振動加速度の6自由度成分独立計測法を新たに提案した。

農用ゴム履帯走行部の振動特性の予測解析

ゴム履の動ばね定数と粘性減衰係数の測定

図2に実験装置の概略図、表1に実験に供試した農用ゴム履帯の諸元を示す。ゴム履帯の上下方向のばね特性は、履帯面上を走行する転輪の上下方向の圧縮作用による前後方向の履帯の張力変動によって影響を受ける。但し、通常は、履帯が上下圧縮により前後の引張りを受ける場合、芯部中心にあるスチールコードの伸びに依存し、その絶対値は微小であると考えられる。そこで実験ではまず初期張力を与えず、スチールコードを前後方向で固定した。枠に装着したゴム履帯本体を加振台に固定し、正弦波振動を加える。その時の2つの転輪の荷重 P を転輪本体上面に取付けたロードセルによって測定する。また、ゴム履帯の鉛直方向の圧縮変位は、加振台上面に設置した変位計で測定する。本実験でのゴム動的粘弾性の計測法ではある位相法は、この荷重と変位の位相角を測定するものである。一方、本測定での荷重 P と1つの転輪当りの動ばね定数 k と粘性減衰係数 c の関係は次式で表せられる。

$$\frac{P}{2} = kx + c\dot{x} \quad (1)$$

$$k = \frac{|P/2|}{|x|} \cos \gamma \quad (2)$$

$$c = \frac{|P/2|}{|\dot{x}|} \frac{1}{\omega} \sin \gamma \quad (3)$$

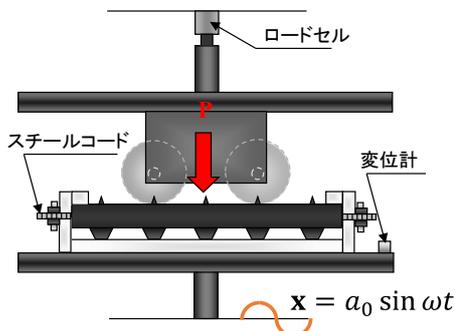


図2 ゴム履帯の動的粘弾性計測装置

ここで、 P : 2つの転輪の動荷重ベクトル (N)、 x : ゴム履帯の鉛直方向の圧縮変位ベクトル (m)、 γ : 角変位 (rad) および ω : 加振角速度 (rad/sec) である。測定条件として、加振周波数を 3Hz, 6Hz, 9Hz, 12Hz の4種類、加振振幅を 0.5mm、加振台セット時の転輪に加えた静荷重を 150kgf と

した。転輪は復輪タイプの転輪径 120mm を試作して使用した。測定点は履帯芯金ピッチ間 84mm を 7mm 間隔に等分割した 12カ所で行った。

ゴム履帯の動ばね定数と粘性減衰係数の測定結果

測定して得られた動ばね定数と粘性減衰係数は、履帯芯金ピッチ間における有限個(12点)の離散的なデータであるから、これらの点と点の間を滑らかな曲線で結ぶために3次のスプライン補間を行った。図3にゴム履帯の各周波における履帯芯金(ラグ)ピッチ間での動ばね定数、粘性減衰係数の測定結果を示す。動ばね定数(図3上)、粘性減衰係数(図3下)ともに芯金(ラグ)部(0mm, 84mm)で最も高い値を示し、芯金ピッチ中央部に近づくにつれて低くなる。また、加振周波数が高くなるに従い、動ばね定数は全体的に大きくなる一方で、粘性減衰係数は逆に減少し、さらに、最大値(芯金・ラグ部)と最小値(芯金・ラグ間中央)との差も小さくなり、12Hzにおいては芯金ピッチ間各点でほぼ同一の値となる。履帯上面を走行する転輪の履帯に与える動荷重の周波数は、1秒間に転輪が通過する履帯芯金ピッチ数に等しい。つまり、この周波数は、走行速度によって異なることから、ゴム履帯の動的特性は走行速度により変化することが判る。以上の実験結果から考察すると、ゴム履帯の動的性質は、走行速度の増加に伴い、柔らかいばね定数を持つ粘弾性体から硬いばね定数を持つ弾性体へと移行すると考えられる。

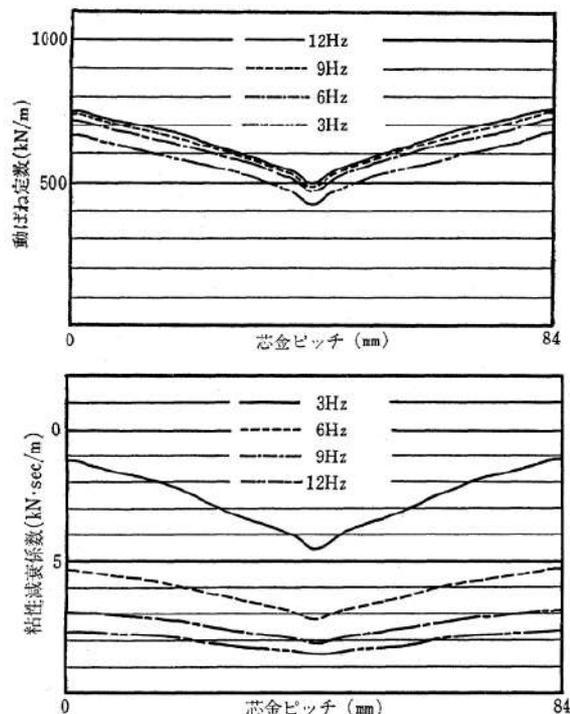


図3 ゴム履帯の動ばね定数と粘性減衰係数

農用ゴム履帯の力学モデルと運動方程式

動ばね定数と粘性減衰係数は、履帯芯金ピッチ間で変化するため、転輪が履帯面上を走行する場合、各々の値は周期的に変化する。このことから、走行中の動ばね定数と粘

性減衰係数は、時間 t の関数によって表されることになる。そこで、これらのパラメータを用いて外乱要素となる路面の凹凸がない剛性水平路面走行時の農用ゴム履帯走行部の動的 3 次元モデルを考えることにより、転輪・膝帯間の動的相互作用の影響による機体の動的運行特性を予測し得る運動方程式の導出を行うことにする。図 4 に左右履帯ラグの位相が任意である場合の動的 3 次元モデルを示す。本モデルより、機体の上下、ピッチングおよびローリングに関する運動方程式はそれぞれ次式のように導出される。

$$M\ddot{z} + \sum_{i=1}^n (F_{Li} + F_{Ri}) = Mg \quad (4)$$

$$I_y \ddot{\phi} + \sum_{i=1}^n l_i (F_{Li} + F_{Ri}) = 0 \quad (5)$$

$$I_x \ddot{\psi} + \sum_{i=1}^n (L_i F_{Li} - L_R F_{Ri}) = 0 \quad (6)$$

ここで、 z : 上下変位、 ϕ : ピッチ角変位、 ψ : ロール角変位、 g : 重力加速度、 I_x : ロール慣性モーメント、 I_y : ピッチ慣性モーメント、 M : 機体質量、 $l_1 = L_G$ 、 $l_i = L_G - L_i$ である。また、 F_{Li} 、 F_{Ri} はそれぞれ左右転輪荷重であり、次式の Voigt モデルで表現される。

$$F_{Li} = k_{Li}(t)(z + l_i \phi + L_L \psi) + c_{Li}(t)(\dot{z} + l_i \dot{\phi} + L_L \dot{\psi}) \quad (7)$$

$$F_{Ri} = k_{Ri}(t)(z + l_i \phi - L_R \psi) + c_{Ri}(t)(\dot{z} + l_i \dot{\phi} - L_R \dot{\psi}) \quad (8)$$

ここで、 $k_{Li}(t)$ 、 $k_{Ri}(t)$ および $c_{Li}(t)$ 、 $c_{Ri}(t)$ はそれぞれ左右第 i 転輪直下のゴム履帯の動ばね定数、粘性減衰係数である。さらに、ゴム履帯の動ばね定数、粘性減衰係数は、動的粘弾性の測定で得られた結果 (図 3) より、芯金・ラグ間の各点で異なることから芯金・ラグ間を周期とするフーリエ級数で表される。例として、動ばね定数は次式となる。

$$k_{Li}(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{j=1}^{N/2-1} \{ a_j \cos j(2\pi f t + \alpha) + b_j \sin j(2\pi f t + \alpha) + \frac{a_{N/2}}{2} \cos \frac{N}{2} (2\pi f t + \alpha) \} \quad (9)$$

ここで、 a_j 、 b_j : フーリエ展開係数、 f : ラグ通過周波数 (1 秒間に転輪が通過するゴム履帯のラグピッチ数) である。

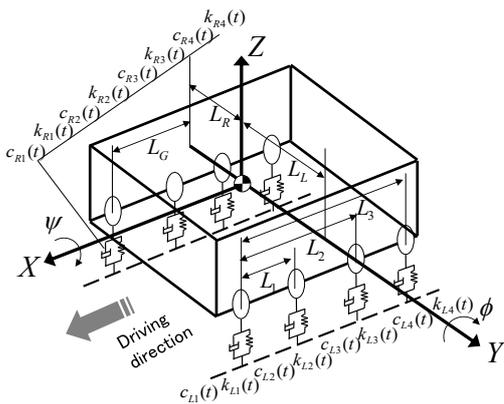


図 4 農用ゴム履帯車両の動的 3 次元モデル

6 自由度成分独立計測法に基づく農用ゴム履帯

走行部の振動加速度の測定

加速度の 6 自由度成分独立計測法

車両の振動には前後、左右、上下の 3 種類の慣性主軸に平行な並進振動と、ピッチ、ロール、ヨーと呼ばれる慣性主軸回りの 3 つの回転振動が存在するが、これら 6 つの振動を独立に且つ正確に測定する手段は車両振動を論ずる上で非常に重要である。剛体に取り付けられた重心位置にない加速度変換器は、剛体が運動するとき、その並進成分と回転成分を感知し、応答している。したがって、加速度変換器の加速度成分は並進加速度と回転加速度に分割できる。いま、 i 個の単軸加速度計を使用した場合、 j 番目の加速度計による計測値は小野ら (8) (9) により次のように表されている。

$$\alpha_j = (\alpha_G \cdot e_j) + (\dot{\omega} \times r_j \cdot e_j) + (\omega \times (\omega \times r_j) \cdot e_j) \quad (10)$$

ただし、座標系は原点を剛体の重心位置とし、3 軸方向を慣性主軸にとる。

ここで、 α_G : 重心位置での並進加速度ベクトル、 ω : 回転角速度ベクトル、 $\dot{\omega}$: 回転角加速度ベクトル、 r_j : j 番目加速度計の取付けの位置ベクトル、 e_j : j 番目加速度計の取付け方向ベクトルである。加速度計測での未知量は式 (10) に示す α_G 、 ω 、 $\dot{\omega}$ の各 3 軸で 9 成分であるが、 ω 、 $\dot{\omega}$ は従属関係にあることから未知数は 6 となり、これら 6 成分を計測するためには 6 個の加速度計による計測が必要十分な条件となる。しかし、6 個の加速度計で計測される加速度は、加速度信号を数値積分により算出した角速度からなる非線形項を含むため、加速度にノイズが生じた場合、積分の際にドリフトが生じ、正確な加速度を求めることができない。そこで、小野ら (1978) は 9 個の加速度計による計測法を提案しているが、並進成分を算出する際に計算式の名分母が零になる恐れがあり、この場合には補正値を導入する必要がある。これらの問題を解決するため、12 個の加速度計を用いる計測法を提案した (井上ら 1993)。

各加速度計の配置と配置の条件を下記にそれぞれ示す。

$$\begin{aligned} X1: (h_{1x}, h_{1y}, h_{1z}), X2: (h_{2x}, h_{2y}, h_{2z}), X3: (h_{3x}, h_{3y}, h_{3z}), \\ X4: (h_{4x}, h_{4y}, h_{4z}), Y1: (m_{1x}, m_{1y}, m_{1z}), Y2: (m_{2x}, m_{2y}, m_{2z}), \\ Y3: (m_{3x}, m_{3y}, m_{3z}), Y4: (m_{4x}, m_{4y}, m_{4z}), Z1: (n_{1x}, n_{1y}, n_{1z}), \\ Z2: (n_{2x}, n_{2y}, n_{2z}), Z3: (n_{3x}, n_{3y}, n_{3z}), Z4: (n_{4x}, n_{4y}, n_{4z}), \end{aligned}$$

ただし、

$$\begin{aligned} h_{1x} = h_{2x} = h_{3x}, h_{1y} = h_{3y} = h_{4y}, h_{1z} = h_{2z} = h_{4z}, \\ m_{1x} = m_{2x} = m_{4x}, m_{1y} = m_{2y} = m_{3y}, \\ m_{1z} = m_{3z} = m_{4z}, n_{1x} = n_{3x} = n_{4x}, \\ n_{1y} = n_{2y} = n_{4y}, n_{1z} = n_{2z} = n_{3z} \end{aligned}$$

各加速度計に上記の座標を代入して展開すると、X、Y、Z 方向の各加速度計の値を求める 12 元連立方程式が得られ、最終的に次式にて 6 自由度の加速度が独立に求められる。

$$\alpha_{gx} = X1 + h_{1z} \frac{X1-X3}{h_2} + h_{1y} \frac{X1-X2}{h_1} + h_{1x} \frac{X1-X4}{h_7} \quad (11)$$

$$\alpha_{gy} = Y1 + m_{1x} \frac{Y1-Y3}{h_4} + m_{1z} \frac{Y1-Y2}{h_3} + m_{1y} \frac{Y1-Y4}{h_8} \quad (12)$$

$$\alpha_{gz} = Z1 + n_{1y} \frac{Z1-Z3}{h6} + n_{1x} \frac{Z1-Z2}{h5} + n_{1z} \frac{Z1-Z4}{h9} \quad (13)$$

$$\dot{\omega}_x = \frac{1}{2} \left(\frac{Y1-Y2}{h3} - \frac{Z1-Z3}{h6} \right) \quad (14)$$

$$\dot{\omega}_y = \frac{1}{2} \left(-\frac{X1-X3}{h2} - \frac{Z1-Z2}{h5} \right) \quad (15)$$

$$\dot{\omega}_z = \frac{1}{2} \left(\frac{X1-X2}{h1} - \frac{Y1Y2Z3}{h4} \right) \quad (16)$$

ここで、 α_{gx} 、 α_{gy} 、 α_{gz} は前後、左右、上下加速度、 $\dot{\omega}_x$ 、 $\dot{\omega}_y$ 、 $\dot{\omega}_z$ はロール、ピッチ、ヨー角加速度であり、X1～Z4: 図5で配置した各加速度計の測定値である。また、

$$h1 = h_{2x} - h_{1x}, h2 = h_{3z} - h_{1z}, h3 = m_{2z} - m_{1z},$$

$$h4 = m_{3x} - m_{1x}, h5 = n_{2x} - n_{1x}, h6 = n_{3y} - n_{1y},$$

$$h7 = h_{4x} - h_{1x}, h8 = m_{4y} - m_{1y}, h9 = n_{4z} - n_{1z},$$

である。

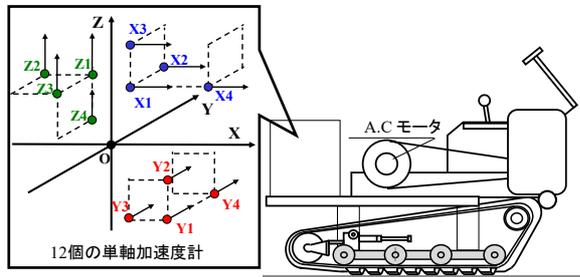


図5 12個加速度計の配置と供試ゴム履帯車両

表1 転輪配置の実験条件

ラグピッチ 84mm	第1転輪	第2転輪	第3転輪	第4転輪
転輪配置1				
	210mm (2.5ピッチ)	210mm (2.5ピッチ)	210mm (2.5ピッチ)	
転輪配置2				
	168mm (2ピッチ)	294mm (3.5ピッチ)	168mm (2ピッチ)	
転輪配置3				
	231mm (2.75ピッチ)	168mm (2ピッチ)	231mm (2.75ピッチ)	

農用ゴム履帯走行部の振動加速度の計測実験

実験装置(図5)は、2条刈りコンバインの刈取り部と脱穀部を取り外し、走行部を改造した実験装置本体と計測装置から構成され、転輪配置を変更可能な構造にして履帯走行部の振動特性を計測できるようにしたものである。供試機はディーゼルエンジンを搭載していたが、エンジン回転の高周波振動が外乱要素としてゴム履帯走行部の低周波振動波形に加わるため、可変モータに変更している。実験は、表1に示す3つの転輪配置で、履帯芯金・ラグ通過周波数(1秒間に転輪が通過する履帯芯金・ラグ数)が、2Hz、4Hz、6Hzになる0.168m/s、0.336m/s、0.504m/sの3種類で行った。

結果及び摘要

図6に走行速度0.504m/sでの3つの転輪配置における機体のピッチ角加速度の実測値と解析値との比較を示す。実測値と解析値の絶対値には差があるものの、ピッチ角加速度は配置2で最も高く、配置1と配置3では差は少ないが配置1で最小値となり、最も振動が低くなる結果が両者で一致した。つまり、提案されたシミュレーション手法はゴム履帯走行部の振動特性予測の有効な手段であり、特性予測の有効な手段であり、振動低減のための転輪配置決定用設計支援ソフトとして実用性が高いことが認められた。

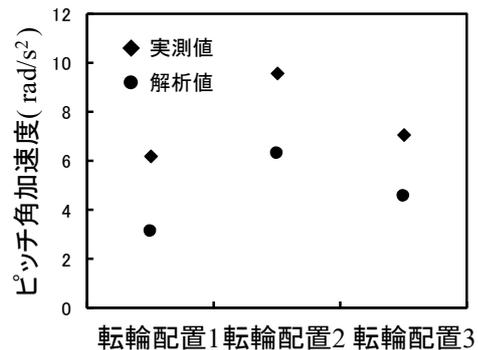


図6 ピッチ角加速度の実測値と解析値との比較

謝辞

本研究を纏めるにあたり、琉球大学光岡准教授に謹んで謝意を申し上げる。

引用文献

- 井上英二, 坂井 純, 稲葉繁樹 (1990) 農用ゴム履帯走行部の振動特性に関する基礎的研究 (第1報) —転輪によるゴム履帯の静的変形特性—, 農業機械学会誌 (現 農業食料工学会誌) 52 (2), 27-34.
- 井上英二, 坂井 純, 稲葉繁樹: (1990) 農用ゴム履帯走行部の振動特性に関する基礎的研究 (第3報) —転輪・履帯間の動的相互作用特性—, 農業機械学会誌 (現 農業食料工学会誌) 52 (5), 11-18.
- 井上英二, 坂井 純, 稲葉繁樹: (1990) 農用ゴム履帯走行部の振動特性に関する基礎的研究 (第4報) —転輪配置の違いによる履帯走行部の振動特性とその評価—, 農業機械学会誌 (現 農業食料工学会誌) 52 (5), 19-26.
- 井上英二, 鹿島 潤, 坂井 純, 井手 治 (1993) 農用ゴム履帯車両の振動加速度の6自由度成分計測, 農業機械学会誌 (現 農業食料工学会誌) 55 (5), 3-10.
- 小野古志郎, 宮崎享一, 崎村雅彦, 鈴木 滋, 大橋秀章 (1978) ダミー頭部一首部系の6自由度成分計測法の挙動, 自動車技術会論文集, 14号, 26-32.

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

村上 章

京都大学 理事・副学長

要旨

カルマンフィルタによる先駆的な逆解析法を開発し、ダムやため池など土構造物から成る農業水利施設の保全管理に応用した。同手法はその後、コンピュータの計算能力向上と相俟って非線形問題に対する研究が展開し、今日でいう「データ同化」の有力な手段の一つとして位置づけられている。その応用範囲は広く、農業工学はもちろん、地盤工学、構造工学、機械工学、気象学など理工学の関連分野にも大きな波及効果をもたらした。この業績の成果は農林水産省の農村振興事業のみならず、神戸空港人工島の長期沈下予測や掘削の段階施工を初めとする多くの社会基盤施設建設事業において、観測施工の実務に用いられている。

キーワード

カルマンフィルタ、逆解析、農業水利施設、データ同化、観測施工

緒言

ダムやため池などの土構造物から成る農業水利施設では、河川堤防などの社会基盤施設と同様に、現地で採取した土試料を用いた室内試験により使用する材料の設計値を決定する。それらの値を用いて、有限要素法による数値シミュレーションを行い、土構造物が将来にわたりのような挙動を示すか、豪雨や地震によりどの程度の被害を受けるかについて把握したうえで、当該構造物の設計を行う。

設計に基づいて土構造物を施工した後は計器を用いた挙動観測を行うが、設計時のシミュレーションの予測と実際の挙動が時間の経過とともに乖離することがある。これは有限要素シミュレーションにおける初期条件、境界条件、用いた材料定数の設定に修正すべき点があったことによる。そこで、観測値を有限要素シミュレーションに取り込み、合理的に諸条件の修正を図って設計時の数値シミュレーションを再計算することで将来予測の精度を向上させて管理に供することが行われる。この観測値と数値シミュレーションとの融合を「逆解析」と呼ぶ。受賞者は1980年代の初めに、アポロ計画の飛行体制御に用いられたカルマンフィルタを逆解析に導入することを提案し、最小二乗法など他の手法に比べてその優位性を見出した (Murakami and Hasegawa, 1985; 村上・長谷川, 1987)。

現象を説明する有限要素法によるシミュレーションで

は、微分方程式を所与の初期条件、境界条件のもとで数値的に解く。このように物理的な因果律に従って解かれる問題を順問題と呼び、順問題の解の一部に対応する観測値を用いて、順問題のうち未知となっている入力の一部を求めるのが逆問題である。先に述べた「逆解析」は逆問題を数値的に解くことを指す。順問題は一意な解が存在する (数学的に「適切」である) が、対応する逆問題ではしばしば非適切となる。例えば、観測値の数が未知数の数より少ない場合などがそれにあたるが、この逆解析を可能とするには何らかの適切化が必要となり、理工学の分野では研究が活発に進められている。カルマンフィルタには適切化項が含まれており、非適切な逆問題でも対処することができる。その利点によりこの方法は、非線形カルマンフィルタの発展と相俟って、いわゆる「データ同化」の有力な手段の一つと位置づけられる。その研究成果は、逆解析やシステム同定に関する多くの論文や国内外の教科書、学会ハンドブックに引用され、国際的にも高く評価されている。また、農業農村工学、農業環境工学、地盤工学、土木工学、機械工学など関連する種々の分野にも著しい波及効果を与えた (村上, 2000; 村上ら, 2002)。

以下では、カルマンフィルタによる逆解析法の特徴について説明し、実用上の問題 (神戸空港人工島の沈下管理) に用いられた事例を紹介する。

カルマンフィルタによる逆解析法

カルマンフィルタは、R.E. Kalmanによって1960年代に提唱された制御理論であり、誤差を含む観測値から時々刻々変化する量を推定する。飛行体の軌道制御に有用であることが明らかになり、アメリカ航空宇宙局によるアポロ計画で用いられた。

受賞者は、カルマンフィルタがその目的関数に適切化項を含むことに着目し、工学における多くの順問題に対する数値解析法として広く用いられる有限要素法と結びつけること（カルマンフィルタ有限要素法）により、農業水利施設のみならず広範な対象の地盤工学の実際問題に適用可能となる新しい逆解析法を1980年代半ばに提案した（Murakami and Hasegawa, 1985; 村上・長谷川, 1987）。

カルマンフィルタによる逆解析の定式化について、受賞者は以下の3つの類型に分けられることを提案した。

- 1) 同定（逆解析）状態変数 x_t ：同定すべきパラメータを充てる

状態式 未知数である材料定数が時間について一定であることを記述する。

$$x_t = Ix_{t-1} \cdots \cdots \cdots (1)$$

ここに、 I は単位行列である。

観測式 数値シミュレーションモデルの書き換え

$$y_t = h_t(x_t) \cdots \cdots \cdots (2)$$

ただし、 h_t は観測値と求めたい変数の関係を示す関数であり、シミュレーションモデルからの書き換え方によるが、多くの場合非線形関数となる。

- 2) 推定（観測値を考慮した一時刻先予測）

状態式 一つ前の時刻の状態から、次の時刻の値を求める（有限要素法）。

$$x_t = F_t x_{t-1} + u_t \cdots \cdots \cdots (3)$$

ここに、 F_t は有限要素法の剛性行列、 u_t は载荷・除荷などに伴う外力項。

観測式 どこで何を観測するかを記述する。下の例では観測値が2つあり、最初の観測値は2番目の状態変数を、2番目の観測値は観測行列第2行の成分「1」が出現する位置の状態変数を、それぞれ観測することを表す。

$$y_t = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} x_t \cdots \cdots (4)$$

- 3) 同定・推定（同定と推定の同時遂行）

状態式 「推定」の状態変数に、未知パラメータを付加する。

$$x_t = f_t(x_{t-1}) + u_t \cdots \cdots \cdots (5)$$

有限要素剛性行列に未知数である材料定数が含まれるため、2)のように状態変数の時間遷移を行列では表

すことができない。そこで、 f_t のように状態変数の時間推移を非線形関数として示している。

観測式 どこで何を観測するかを記述する。

観測成分が s 個あれば、観測行列は s 行から成り、観測する状態変数の位置にだけ成分「1」が入る。

$$y_t = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} x_t \cdots \cdots (6)$$

数値シミュレーションに有限要素法を用いる場合、以上のタイプのいずれかに基づいて、カルマンフィルタ有限要素法による逆解析が実行される。類型3)が今日でいう「データ同化」の原形に相当する。

施工中の観測値を入力とした逆解析により不確定な材料定数や初期条件・境界条件を設定し直し、その値を用いて精度を高めた将来予測を行い、観測以降の施工に反映させることが実用に結びついている。特にカルマンフィルタによる方法は、ある時点までに得られた観測値を再現（内挿）する材料定数や初期条件・境界条件を同定し、同定値を用いたシミュレーションにより未だ観測の得られていない将来において予測（外挿）される値とその尤度（尤もらしさ）が同時に得られることにその特徴がある。図1にその概念を示す。

元来のカルマンフィルタは状態式と観測式が線形で表される線形フィルタであり、状態式と観測式のいずれか、あるいは両方が非線形の場合は、テーラー展開により線形化する拡張カルマンフィルタが用いられた。2000年代に至り、アンサンブルカルマンフィルタや粒子フィルタといった非線形カルマンフィルタが出現し、計算機の性能向上と相俟って「データ同化」として大きく進展して今日に至っている。

実際の応用例（神戸空港人工島の沈下管理）

提案法を実用に用いた例として、神戸空港人工島の沈下管理を対象に、地盤改良後に変化した材料定数の同定とモデル外挿による将来挙動予測を示す。神戸空港（面積約3,000 m×1,300 m）は大規模な埋立地盤を造成して建設された海上空港である。埋立地盤の荷重によって海底地盤が長期間にわたって沈下することが予想される。この状態を事前に予測する目的で、精度の高い長期の地盤沈下予測を実現するための手段として、非線形カルマンフィルタによる逆解析を実施した。

図2には神戸空港の平面図を示す。この事例では、図2に赤線で示す断面が検討対象断面であり、図3にその断面図を示す（図3左方向が図2の下方向に対応する）。この埋立工事において、海底地盤上部に軟弱な粘土層が存在し、地盤改良が施された。しかし、改良後の地盤材料定数が不明であり、その値を同定して有限要素モデルの外挿により将来の沈下予測を試みた事例である。

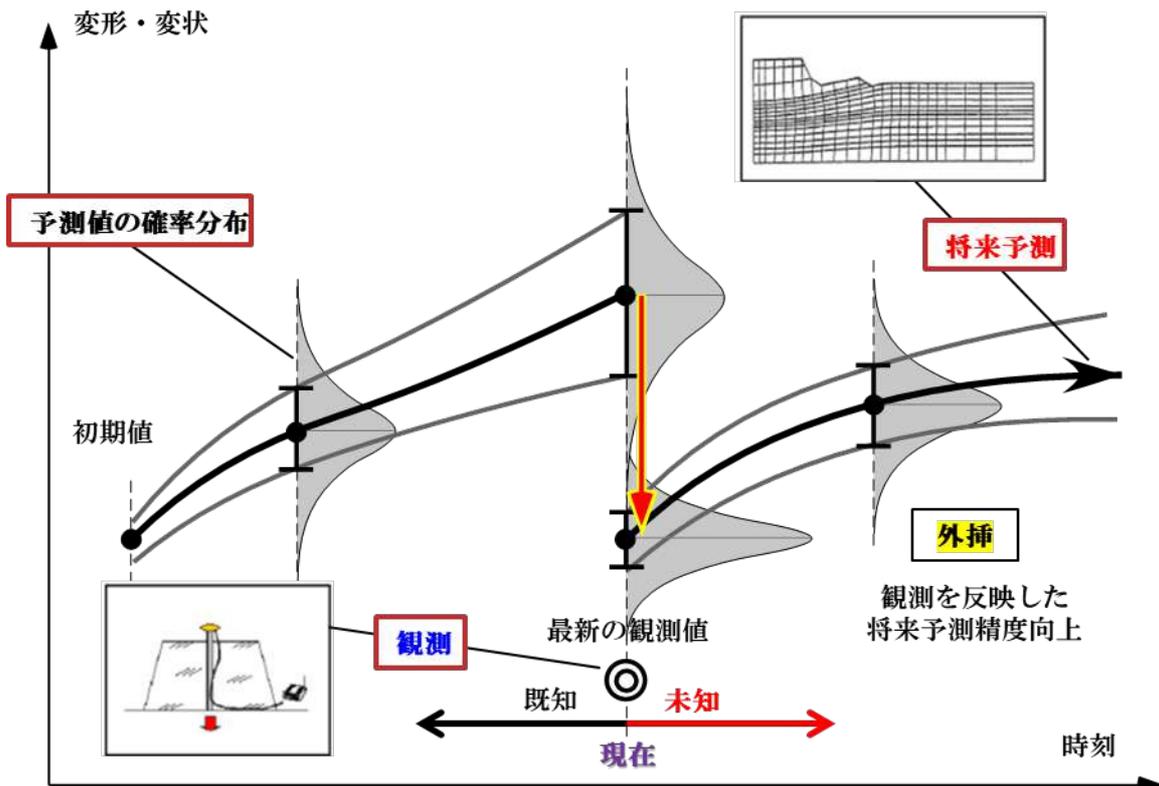


図1 カルマンフィルタによる逆解析の概念

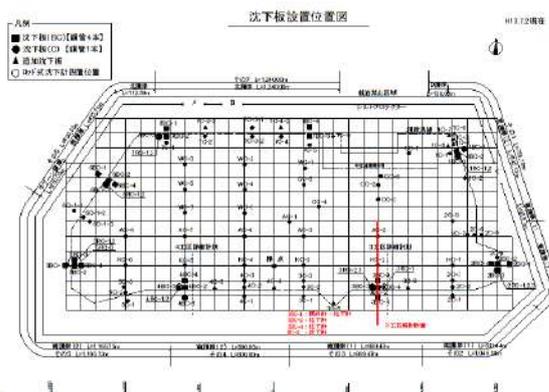


図2 神戸空港人工島の平面図

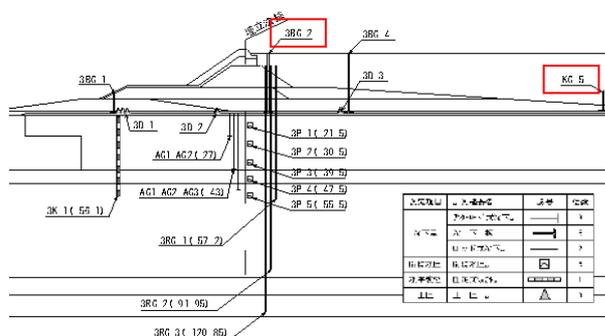


図3 神戸空港人工島の対象断面

図3の対象断面において、赤枠で示した「3BC-2」と「KC-5」では現在に至るまで地表面の沈下量が測定されている。

図4には埋立によって発生した鉛直荷重の経時変化を

示し、このような荷履歴を考慮して有限要素解析を実施した。観測点において計測された沈下量を利用して、埋立開始から456日までの観測データを利用して非線形カルマンフィルタによる逆解析を実施した。図5に地盤材料定数(圧縮指数 λ 、透水係数 k)の同定経過を示す。地盤改良効果は、施工後の観測とともに現れる同定値の変化に見ることができる。最終的な同定値は $\lambda=0.492$ 、 $k=0.087$ (m/s)として得られ、地盤改良による変化は圧縮性に現れ、透水性には大きく影響しないことが分かる。

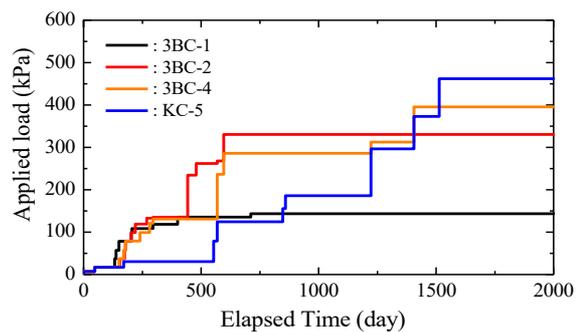


図4 埋立による荷履歴 (H12.6.11~)

以上のように、埋立開始から456日間の観測値により同定した地盤材料定数の値を新たな設計定数に設定し直し、以降の長期挙動予測を試みた(有限要素モデルの外挿)結果を図6に示す。沈下量の計算結果は5,000日以上の長期にわたって観測値をよく表しており、特に最終沈下量は非常に良い精度で予測可能であった。この結果は、長期の地盤沈下予測において、初期の沈下過程に逆解析を実施することが、非常に効果的であることを示す

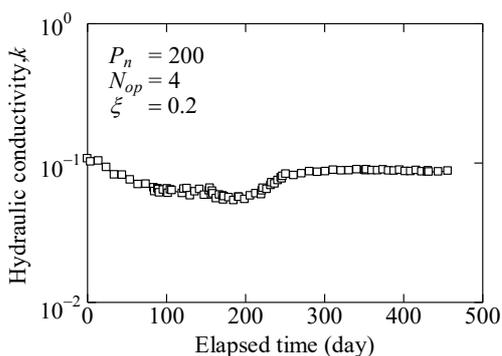
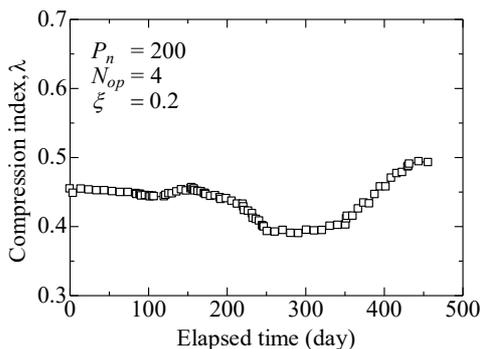
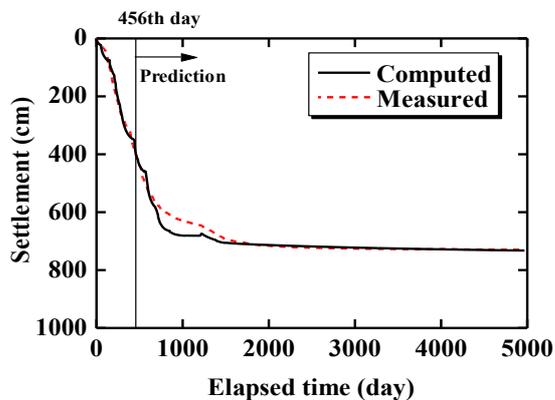
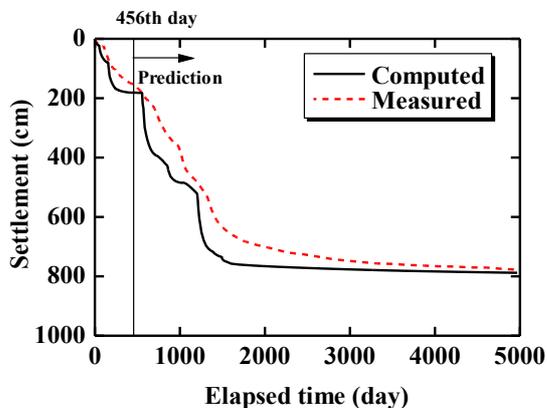


図5 パラメータ同定値の変化



(a) 観測点 3BC-2



(b) 観測点 KC-5

図6 観測点における地盤地下量の観測値と計算結果

実用的な成果となった。この長期予測値は現在、神戸市の神戸空港人工島挙動管理値に用いられている。

引用文献

Murakami, A. and Hasegawa, T. (1985) Observational prediction of settlement using Kalman filter theory, *Numerical Methods in Geomechanics* (Kawamoto, T. and Ichikawa, Y., eds.), 3, 1637-1643.

村上 章・長谷川高士 (1987) Kalman フィルタ有限要素法による逆解析と観測節点配置, 土木学会論文集, (388), 227-235.

村上 章編 (2000) 土工学における逆問題入門, 丸善, 東京.

村上 章・登坂宣好・堀 宗朗・鈴木 誠 (2002) 有限要素法・境界要素法による逆問題解析 - カルマンフィルタと等価介在物法の応用, コロナ社, 東京.

Murakami, A., Shuku, T., Nishimura, S., Fujisawa, K. and Nakamura, K. (2013) Data assimilation using the particle filter for identifying the elasto-plastic material properties of geomaterials, *Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech.*, 37, 1642-1669.

Murakami, A., Shinmura, H., Ohno, S. and Fujisawa, K. (2018) Model identification and parameter estimation of elasto-plastic constitutive model by data assimilation using the particle filter, *Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech.*, 42, 110-131.

人口減少下の農山漁村集落の存続・再生

広田 純一

NPO 法人いわて地域づくり支援センター（岩手大学名誉教授）

要旨

本格的な人口減少時代を迎えた農山漁村では、コミュニティの根幹であった集落の維持が困難となり、一方では頻発する大規模な自然災害が全国で集落の存続を脅かしている。そのような状況にあつて筆者は、東日本大震災の震災復興をきっかけとして、定住者とその地域に関わりや関心を持つ非定住者でつくるコミュニティのことを「拡大コミュニティ」と呼んで、災害被災地のみならず、人口減少地域全般における集落の存続のあり方として注目してきた。本研究では、被災地内外に見られる「拡大コミュニティ」の類型化を試みるとともに、拡大コミュニティの構造と機能、そして持続性について検討を行った。

キーワード

農村集落、拡大コミュニティ、地域づくり、自然災害、震災復興

緒言

大規模な自然災害では、被災地の出身者がいち早く支援の手を差し伸べ、特に初期の段階で大きな力となったことが知られている（山崎ら、2013）。また、ボランティア活動を通じて被災地に関心を寄せる人たちが飛躍的に増えたことも承知の通りである。そして、こうした支援活動を通して築かれた被災地との関係が、一時的な支援から恒常的な支援・交流に展開する例も見られる。すなわち、被災コミュニティと当該地域に関心を持つ非定住者とが、被災地の復興という共通の目標の下に、一つのコミュニティを形成しつつあるということである。

筆者は、居住者とその地域に関わりや関心を持つ非居住者でつくるコミュニティのことを「拡大コミュニティ」と呼んで、震災復興の一つのあり方として注目してきた（中山間地フォーラム、2012；広田、2015）。しかし、こうしたコミュニティは、実は被災地に限らず、人口減少と少子高齢化によって脆弱化している農山漁村地域—これまで盤石と見られていた強固な地縁型コミュニティ—でも一般的に見られるようになってきている。

本研究では、震災被災地内外に見られる「拡大コミュニティ」の類型化を試みるとともに、「拡大コミュニティ」の構造と機能を整理し、さらに、拡大コミュニティの持続性について考察を加えた。

1. 拡大コミュニティの類型

(1) 転出血縁者（他出子世帯）

就職や結婚等で実家を離れた子世帯（出身者）が、地元に残った親世帯を支えたり、親に代わって集落活動に参加したりするケースである。各地の農山漁村で普遍的に見られる形態である。実家を離れると言っても、近隣の都市に居住する場合も多く、日常的に実家との往来があるのが特徴である。

非居住者の参加の程度は、草刈りなどの共同作業に出るだけのレベルから、地域の集会に参加して地域の意思決定に関わるレベルまで、様々なバリエーションがありうる。その際、非居住者が「家の代表」と見られているか、さらに、自治組織の中で役を与えられているかが、参加の程度を判断する一つの材料となる。

(2) 転出地縁者（同郷・同窓団体等）

同じく就職や結婚等で地域を離れた出身者が、出身地のために、個人として、あるいは団体・グループで、労力や金銭、情報等を提供して支援するケースである。

個人としての支援は、地域での祭やイベント、施設等の建設に寄付したり、労力を提供することで、祭や伝統芸能の手伝いなど、かなり一般的に見ることができる。

団体・グループによる支援では、同郷団体と同窓団体が一般的である。同郷団体は、出身地を同じくする者同士が親睦や相互扶助を目的に結成される任意団体である。県単位、旧藩・郡単位、市町村単位、あるいは大字・集落単位などの例がある（鯨坂、2005）。

他方、同窓団体は、同じ出身校の卒業生が、親睦や母校・現役生の支援を目的に結成する任意団体である。一般に、会長を置き、会費を徴収し、総会の開催、会誌の

発行、母校・現役生の支援などを行う。組織としての同窓会がなくても、学年ごと、クラスごとに活発な活動を行っているグループもあり、定期的に懇親会や旅行会を継続しているケースも少なくない。

こうした同郷団体や同窓団体は、普段は単なる親睦団体であっても、故郷の非常時には大きな力を発揮する。

【事例1】釜石応援団 ARAMAGI Heart

釜石市出身者（中心は若者）が立ち上げた釜石の復興を支援する団体である（釜石応援団、2016）。東京で毎年「釜石応援サミット」を開催しているほか、釜石市内では、節分の日に地元寺院で津波からの避難訓練を兼ねた催し「韋駄天競争」を主催している。

設立の趣旨の中で、「釜石人には2種類います。釜石に住んでいるひと、そうでないひと。釜石にゆかりがあり釜石を思いつつも釜石に住んでいない『そうでないひと』は世界中にいます。今回、釜石を溺愛してやまない『そうでないひと』たちで、『釜石応援団』を結成いたしました。『釜石応援団』はこの輪を大きくしていき、色々な面で『釜石』を応援していきます。」と述べられていて、本応援団は『そうでないひと』による、まさに拡大コミュニティの結成であった。

【事例2】沖縄県竹富郷友会

竹富島は沖縄県八重山諸島にある珊瑚礁の小島で、世帯数が165戸、人口が361人（2012年の調査時点）、全域が西表石垣国立公園に指定され、集落は重要伝統的建造物群保存地区に選定されている。竹富島には郷友会（きょうゆうかい）と呼ばれる同郷団体が3つある。石垣竹富郷友会、沖縄竹富郷友会（約2,000人/2006年）（前野、2001）、東京竹富郷友会（正会員299人、ファン会員69人：2010年）（筆者が2012年9月に行った元竹富公民館長からのヒアリングによる）である。当初は出身者の親睦と相互扶助を目的としたようだが、次第に親島の支援を行うようになってきたという（竹富町、2016）。

現在の郷友会の最も重要な活動は、島の伝統行事である種子取祭（たねどりさい）への奉納団の派遣である。種子取祭は農耕儀礼と奉納芸能から成る祭事で、国の重要無形文化財にも指定されている。祭に当たっては会場の設営や片付け等の仕事が細かく地元住民に割り振られるが、地元住民だけでは人手が不足するといひ、これを補っているのが郷友会メンバーである。また、奉納芸能の36の演目のうち10は出身者（郷友会）が担当しているほか、毎回の運営資金（300万円）の8割は郷友会員を中心とする参加者からの寄付で賄われている。

(3) 地域間交流

(1)が血縁者、(2)が地縁者による地域支援であるのに対し、非血縁・非地縁者の交流者による地域支援のパターンである。特定の地域同士の交流は、自治体同士の姉妹都市交流をはじめ、地域や民間レベルで多数の事例ある。2地域間の交流のほか、スポーツや文化など様々なテーマで結びついた複数地域間の交流もある。

拡大コミュニティの視点では、メンバーが特定され、お互いの地域の情報が共有され、両者の共同的な取り組みがあり、メンバー間に一体感・帰属感があることが重要である。前述の同郷団体や同窓団体と同じく、普段は懇親的な活動を中心としているが、災害時など、いざという時には強力な力を発揮するのが特徴である。

【事例3】岩手県浮田地区と崎浜地区との農漁村交流

浮田地区は岩手県内陸部の農村地域、崎浜地区は沿岸部の漁村地域である。両地域の住民組織である浮田コミュニティ会議と崎浜公益会は、震災前の2008年に浮田・崎浜地域振興協議会を立ち上げ、農村と漁村の交流をスタートさせた。事務局として、NPO 法人いわて地域づくり支援センターが加わっている。

こうした両地区の交流に大きな変化をもたらしたのが東日本大震災である。崎浜地区では、死者・行方不明が10名、家屋流出が50世帯を数え、海沿いの地区中心部にあった農協事務所、商店、ガソリンスタンドなどがすべて流された。まだ道路の通行が難しかった震災4日後の3月15日に、早くも浮田地区のコミュニティ会議の会長が軽トラに食料を詰んで駆けつけた。「自衛隊より早く浮田が来た」（崎浜公益会役員）のである。震災を契機に両地区の関係はさらに深まり、事業も多様化していった。

(4) 居住者・非居住者合同の地域活動組織

血縁者、地縁者、既存の交流者以外にも、その土地の歴史・文化や自然に関心を持つ人、たまたま観光で訪れて気に入った人、そして地域の課題解決を支援する人、とりわけ震災ボランティアなど、当該地域に関心を持つ人は少なからずいる。ただし、多くの場合は、地域住民との関わりが薄かったり、持てなかつたりして、単なる関心者に留まってしまっているのが一般的である。

この限界を打破し、地域と関心者と恒常的な関係を構築して、地域支援につなげている例、とくに自然災害のボランティアをきっかけした事例が見られる。これらのケースに共通するのは、居住者と非居住者が合同で地域活動組織を立ち上げていることである。

【事例4】新潟県長岡市山古志木籠ふるさと会

2004年の東日本大震災では、当時の山古志村（現在は長岡市）木籠集落では、河川の氾濫や土石流によって、全世帯が長岡市内の仮設住宅に集団避難した。3年後の2007年に帰村を果たしたのは震災前の24世帯（67人）のうち14世帯（32人）に留まった。その結果、年行事や集落の維持管理等を集落住民のみで行うことが難しくなり、当時の区長の呼びかけで、集落を離れた人や集落外の木籠ファンも加えて、2008年7月に「山古志木籠集落準区民の会」が立ち上がった。さらに、2010年5月には、準区民の会を発展的に解消して、「山古志木籠ふるさと会」が設立された。会員は、2014年時点で約150人である。帰村時の集落人口が14世帯、32人だから、その約4倍の非居住会員が加わったわけである。非居住会員の多くは車で1時間以内の同じ新潟県在住者である。活動内

容は、農作業、道普請、年中行事、体験イベント（ホテル鑑賞、山歩き、かかしづくり、どぶろくづくり等）等、多岐にわたり、農作業シーズンの5～10月には毎月2～3回、オフシーズンの11～4月にも毎月1回の活動が行われている。活動費は年会費の2千円と、震災後に創設された交流直売施設の売り上げの一部から捻出している。

（以上、筆者現地調査2019、および同会HPによる）

(5) 地元ファンクラブ

地域外の非居住者を対象とした会員制度である。ふるさと会員、特別村民、〇〇ファンといった名称がつけられている。自治体や地域団体が地元ファンを作るために立ち上げるのが一般的であり、当該地域から会員への定期的な地域情報の提供や、地域での交流会の開催等が行われている。会員は当該地域の出身でない場合が一般的だが、出身者も含めて会員としているケースもある。事務局は地域側の自治体や団体が担当し、会員自らが発意して集会を開いたり、活動したりすることは基本的にはない。会員は事務局を通じて個々に地域とつながっているのみである。

【事例5】高知県馬路村の特別村民制度

高知県馬路村（822人：2015年国勢調査）では、2003年から特別村民制度をスタートさせ、2016年2月末現在で9,795人が特別村民登録をしている。実に村の総人口の12倍である。大半は村の出身者ではないという。登録者は全国47都道府県に及び、国外からも33カ国、84人の特別村民がいる。国内で特別村民が一番多いのは高知県の1,865人、次いで東京都が1,694人、以下、大阪府784人、兵庫県583人、香川県536人、神奈川県507人と続く。特別村民の特典は、村長と一緒に村長室で「ごっくん馬路村」というゆずジュースを飲めるだけだが、そのユーモアやオリジナルの会員証が人気を呼んで、実際に馬路村に来村した人も1,386人に達する。（2016年3月29日時点）。（以上、筆者現地調査（2016年）による）

2. 拡大コミュニティの構造と機能

(1) 核となる地域の空間的範囲

地域コミュニティが、その空間的範囲に従って、集落～大字（藩政村）～旧町村（明治町村）～昭和市町村～平成市町（広域都市圏）と階層的に区分できるように、拡大コミュニティも、同様の空間的範囲を想定することができる。

(2) コミュニティとして満たすべき要件

拡大コミュニティが「コミュニティ」であるためには、一般的な「コミュニティ」が満たすべき条件を備えていることが必要となる。アメリカの社会学者、マッキーヴァーが提唱した概念を援用すれば¹⁶⁾、コミュニティとは「一定の地理的範囲に居住し、共属感情をもつ人々の集合体を指す」というもので、「地域性」と「共同性」の2つが要件となる。

拡大コミュニティが、マッキーヴァーの定義と大きく

異なるのが、地域性に関する部分である。「一定の地理的範囲に居住し」という条件を欠いているのである。しかし、交通や通信環境が飛躍的に発達した現代にあつては、コミュニティの「地域性」に関する解釈を拡大する必要があるように思う。すなわち、「一定の地理的範囲に居住し」なくても、①コミュニティの一員であることが特定され、②地域に関する情報が共有されて、③地域の運営や資源管理に参加できる仕組みが確保されていれば、そうした成員によって構成される関係性は「コミュニティ」と呼べるのではないかということである。

他方、「共属感情をもつ人々の集合体」であるかどうかを判別するには、①メンバーの特定、②共通の目的の存在（親睦や情報共有なども含む）、③共同の活動の存在の3つが重要なポイントとなる。

3. 拡大コミュニティの持続性

我が国の地域コミュニティ、とりわけ農村コミュニティの特質として、きわめて長期にわたって存続してきたことが挙げられる。拡大コミュニティを論ずる場合にも、その持続性を問題としなければならない。

(1) 転出血縁者（他出子世帯）

このタイプでは、地域外に住む子世帯が、親世帯に代わって、どれだけ持続的に地域活動や地域運営にかかっているかが持続性を左右する。具体的には、①親子関係が良好であり、かつ②近隣に在住する子世帯が主な成員となり、さらに③地域内で制度化された役割を与えられる場合に、一定の持続性が期待できる。

ただし、そもそも地域に居住する親世帯が亡くなってしまえば、地域と転出血縁者との関係は切れてしまうので、その意味で元々持続的とは言えない面がある。

(2) 転出地縁者（同郷・同窓団体等）

同郷団体および同窓会による拡大コミュニティの持続性に関わる要因として考えられるのは3つある。

第1は、会そのものの持続性である。一般的に、ある組織が持続的であるためには、少なくとも、①組織自体が明文化された規約を持ち、そこで会員資格、組織の役員と選任方法、活動内容、経費の調達等が定められていること、②規定に沿って実質的な運営活動が行われていることが必要である。つまり、形式的には組織があつて、実質的にも活動がなされていることが条件となる。

大半の同郷団体や同窓会は、最低限の持続性は満たしていると言ってよい。会員の高齢化や活動のマンネリ化が、どの団体でも課題とされているが、今回の東日本大震災がいみじくも示したように、地元が困難な状況に陥った場合は、非常に大きな役割を發揮する。

第2は、会と地元（地域）との関係の持続性である。幸い、同郷団体の場合は「同郷」という関係性、同窓団体の場合は「同窓」という関係性があり、関係そのものは生涯切れることはない。

(3) 地域間交流

地域間交流による拡大コミュニティが、前述の(1)と(2)と決定的に異なるのは、地域の出身者でない主体が関わるといことである。地域間交流は、意図的に働きかけない限り、自然発生的には生まれにくい、かつ一定の努力がなければ、その継続もできない。交流が継続するためには必要な条件は、①それぞれの地域自体の持続性(人口減少と少子高齢化の著しい地域では、中長期的には存続が危ぶまれる事態も想定される)、②組織と運営(交流を一過性の事業とはせず持続的にするには、何らかの組織が必要であり、継続的に活動を行うための計画と財源が最低限必要となる)。

(4) 合同の地域活動組織

居住者と非居住者が合同で設立・運営する地域組織において、その持続性に関わる要因として考えられるのは、主に次の2つである。

①非居住者の地域組織への参加の持続性:非居住者は、居住者と違って、地域内に家や土地や墓などがあるわけではない。したがって、何らかの事情で参加の意思をなくしたり、家や仕事の都合で参加が難しくなれば、いつでも地域組織から抜けることがありうる。

また、非居住者には、(居住者とは違って)地域の運営に関わる血縁の跡継ぎがいるわけではない。したがって、世代を超えた参加の継承は一般的には望めない。これに対しては、地域活動組織が絶えず新たな人材を補給できる仕組みがあれば、ある程度はカバーすることができる。

②組織と運営:前項の「地域間交流」で述べた組織と運営の問題は、この場合にも当てはまる。つまり、合同の地域活動組織を持続させるには、自由意思を持って地域に関わる非居住・関心者を、当該地域に留め、かつ絶えず新たな非居住者を加えるような、組織と運営が必要ということである。

(5) 地元ファンクラブ

このケースでは、制度を運営する地域側と制度を利用する地域ファン側の双方の持続性が問題となる。地元ファンクラブを運営するのは、一般的には地方自治体や地域団体である。地元ファンが相当数いて、それなりの反応(地元への励ましや訪問など)があれば、存続のモチベーションになるだろう。逆に、地元ファンが増えず、これといった反応がなければ、制度の存続は次第に難しくなるだろう。他方、地域ファンにとっては、地域(住民)とのより深い関係性が築けるかどうかで定着を大きく左右する。これは本人自身の努力ももちろんだが、運営側がいかに地域(住民)との交流の機会を作れるのかもかかっている。

結言

拡大コミュニティの形成は、災害被災地に限った課題ではなく、今後ますます全国的に、都市・農村を問わずに重要な意味をもつと考えられる。ただし、それが従来

の地域コミュニティのように持続的であるかどうかは、組織と運営の如何にかかっている。とりわけ事務局機能の充実が喫緊の課題である。

しかし、これも現在の居住者だけが担う必要がないことは先進的な事例を見ても明らかである。激しい人口減少と高齢化によって、従来の地縁型コミュニティが急速に衰退している現状を考えれば、既存集落の居住者以外による事務局機能の補填は当然の流れとして認識していくべきであろう。

拡大コミュニティに関しては、非居住者を含めた拡大コミュニティによる地域資源管理や地域運営のあり方について、さらに考察を進める必要があるが、さらなる事例の収集と分析も含めて、今後の課題としたい。

最後に、本研究の問題意識が明確になったのは、岩手大学三陸復興推進機構の地域コミュニティ再建支援班の活動を通じてである。また、農村計画学会の大震災特別委員会のメンバーを中心に立ち上げた文部科学省科学研究費「連携と持続に着目した東日本大震災の農村復興に関する総合的農村計画研究」では多くの議論の機会を与えていただき、拡大コミュニティ論を深化させることができた。さらに、ひょうご震災祈念21世紀研究機構が主催する復興研究会(五百旗頭真座長)では、東日本大震災を多面的に検証する場に参加させていただき、自己の研究を客観的に俯瞰する視点を得ることができた。これらの実践・研究チームのメンバーに心より感謝申し上げる次第である。

引用文献

- 鯉坂学(2005)都市同郷団体の研究、京都の法律文化社
中山間地域フォーラム(2012)拡大コミュニティによる震災復興、2012年11月10日、岩手大学。
広田純一(2015)震災から5年—津波被災地の今とこれから、農村計画学会誌、34巻1号、385-386。
岩手県人連合会(2018):
<http://www.rengokai-iwate.jp/fukkou.html>, 閲覧日2018年9月3日。
釜石応援団 ARAMAGI Heart(2016)
<http://kamaishi-ouendan.com/>, 閲覧日2016年11月2日。
前野俊雄(沖縄竹富郷友会会長)(2001)節目を祝って、東京竹富郷友会創立80周年記念誌「たけとみ」、p.16
マッキーヴァー, R. M(中 久郎・松本通晴監訳)(2009)コミュニティ—社会学的研究—社会生活の性質と基本法則に関する一試論(ミネルヴァアーカイブス)、ミネルヴァ書房
竹富町(2015)竹富町史だより、第36号。
山古志木籠ふるさと会(2018), <http://yamakoshikogomo.com/>, 閲覧日2018年9月3日。
山崎寿一・金斗煥・澤田雅浩(2013)中越地震被災集落・竹之高地の居住動向とコミュニティの持続性—震災後の竹之高地町内会の再編と活動実態に着目して—、日本建築学会住宅系研究報告会論文集
若菜千穂・中嶋幸平(2012)浮田・崎浜の農漁村交流の経緯、中山間地域フォーラム(2012), 2012年11月10日, 岩手大学。

日本農業工学会賞受賞者

(2014 年度 ~ 2021 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 俊雄	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	カバークロー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
原菌 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	カバークロー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

日本農業工学会フェロ—受賞者

(平成 11 年度～2021 年度)(合計 384 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 裕
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 栄作
糸長 浩司
山路 永司

久保 成隆
白谷 栄作
莊林 幹太郎
中村 和正

藤原 信好
長 裕幸
稲垣 仁根
小林 久
福与 徳文

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 浄彦
山本 徳司
河端 俊典
溝口 勝
佐々木 長市
廣田 純一
星野 敏

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
籾井 和朗
向後 雄二
土居 邦弘
辻 修

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

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

2021 年度日本農業工学会フェロー受賞者

2021 年 5 月 14 日授与

氏名	推薦学会	所属・職名
増田 篤稔	生態工学会	玉川大学農学部 教授
齋藤 高弘	生態工学会	宇都宮大学農学部・教授
有馬 誠一	日本生物環境工学会	愛媛大学 教授
松岡 健	日本生物環境工学会	九州大学 教授
荊木 康臣	日本農業気象学会	山口大学大学院創成科学研究科 教授
黒瀬 義孝	日本農業気象学会	農研機構 グループ長
杉浦 俊彦	日本農業気象学会	農研機構 園地環境ユニット長
長崎 裕司	日本農作業学会	農研機構 農業技術革新工学研究センター 統括監
庄司 浩一	日本農作業学会	神戸大学大学院農学研究科 准教授
石川 豊	農業施設学会	農研機構 食品研究部門 研究推進部 部長
北村 豊	農業施設学会	筑波大学生命環境系 教授
野口 良造	農業情報学会	筑波大学生命環境系 准教授
山田 優	農業情報学会	日本農業新聞 特別編集委員
水野 英則	農業食料工学会	株式会社サタケ 常務執行役員 技術本部
西村 洋	農業食料工学会	秋田県立大学 フィールド教育研究センター長 教授
小林 研	農業食料工学会	農研機構 農業技術革新工学研究センター 所長
井上 京	農業農村工学会	北海道大学大学院農学研究院 教授
藤原 信好	農業農村工学会	農研機構 農村工学研究部門長
長 裕幸	農業農村工学会	佐賀大学農学部 名誉教授
稲垣 仁根	農業農村工学会	宮崎大学農学部森林緑地環境科学科 教授
小林 久	農村計画学会	茨城大学 名誉教授
福与 徳文	農村計画学会	茨城大学農学部 教授

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

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であるとする。

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 役員を選任は総会において行う。
- 第 14 条 役員任期は 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るとき
(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られた事項
- 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られた事項
- 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って、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るとき招集する。
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示して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、确实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目黒区下目黒 3-9-13 目黒・炭やビル 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 本会は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。