

日本農業工学会賞2019 受賞講演会

講演要旨集

主催：日本農業工学会

JAICABE: Japan Association of International

Commission of Agricultural and Biosystems Engineering

日時：2019年5月14日（火）

場所：東京大学中島董一郎記念ホール

（東京大学弥生キャンパス）

目 次

正会員

日本農業工学会賞2019受賞者

【講演】

木部 勢至朗 氏((国)宇宙航空研究開発機構・招聘参与) 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	8
後藤 英司 氏(千葉大学・教授) 植物工場における植物の生育制御に関する研究	12
小林 和彦 氏(東京大学名誉教授) 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	16
宮崎 昌宏 氏(東京都農林総合研究センター・副参事) 傾斜地果樹園における機械化作業体系に関する研究	20
奥島 里美 氏(農研機構九州沖縄農業研究センター) 園芸施設内部の気流と環境制御に関する研究	24
大政 謙次 氏(高崎健康福祉大学農学部農学部長・教授、東京大学名誉教授) 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	28
渡邊 紹裕 氏(熊本大学・特任教授、京都大学名誉教授) 農業用水管理と地域環境の関係に関する研究	32

日本農業工学会賞受賞者(平成 26 年度～平成 30 年度)

日本農業工学会フェロー(平成 11 年度～平成 30 年度)

平成 30 年度日本農業工学会フェロー受賞者

会則

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:村上 章、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:近藤 直、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:北野雅治、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:東城清秀、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:北村 豊、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:青柳 みどり、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:二宮正士、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 2019 受賞者

木部 勢至朗(きべ せいしろう)

学歴・職歴

- 1981 年 東京大学工学系研究科航空学専門課程博士課程単位取得後退学
- 同年 科学技術庁航空宇宙技術研究所入所
- 同年 東京大学工学博士
- 2003 年 宇宙航空研究開発機構（JAXA）設立に伴い同経営企画部次長
- 2009 年 同研究開発本部未踏技術研究センター長
- 2012 年 同研究開発本部特任担当役
- 2017 年 同国際部招聘参与（現在に至る）

受賞歴

- 2000 年 科学技術庁長官表彰
- 2010 年 生態工学会特別功績賞
- 2014 年 日本農業工学会フェロー
- 2017 年 国際宇宙航行アカデミー・セクションアワード
- 2018 年 生態工学会学術賞

後藤 英司(ごとう えいじ)

学歴・職歴

- 1983年3月 東京大学農学部卒業
- 1986年5月 東京大学農学系研究科博士課程中退
- 1986年6月 東京大学農学部助手
- 1997年4月 東京大学大学院農学生命科学研究科 助教授
- 2004年3月 千葉大学園芸学部助教授
- 2005年4月 千葉大学大学院園芸学研究科教授（現在に至る）

受賞歴

- 2001 年 日本農業気象学会学術賞
- 2004 年 日本植物工場学会学術賞
- 2011 年 内閣府 産学官連携功労者表彰 厚生労働大臣賞
- 2012 年 日本生物環境工学会学術賞、
- 2016 年 日本農業工学会フェロー

小林 和彦(こばやし かずひこ)

学歴・職歴

東京大学農学部を1976年に卒業。農林水産省野菜試験場。同農業技術研究所、同農業環境技術研究所で研究に従事。2003年から東京大学農学生命科学研究科教授、2018年に退職、同年名誉教授

受賞歴

2009年 日本農学賞・読売農学賞
2016年 日本農業気象学会功績賞
2017年 日本農業気象学会フェロー
日本農業工学会フェロー

宮崎 昌宏(みやざき まさひろ)

学歴・職歴

1979年 東京農工大学農業工学科卒業
2000年 同大学で博士（農学）を取得
1979年 東北農業試験場に採用され、農業機械化研究所、四国農業試験場、野菜茶業研究所、中央農業総合研究センター、農研機構革新工学センター、農研機構生研支援センターを経て現在に至る。

受賞歴

1993年 注目発明選定証
2000年 芦原科学功労賞
2001年 日本農作業学会学術賞
2011年 農業機械学会論文賞
2017年 日本農業工学会フェロー

奥島 里美(おくしま りみ)

学歴・職歴

1981年 九州大学 農学部 農業工学科研究科 卒業
1981年 農林水産省 農業土木試験場 入省
1988年 農業工学研究所 農地整備部 主任研究官
2001年 独立行政法人 農業工学研究所 企画管理部 研究技術情報官
2005年 独立行政法人 農業工学研究所 農地整備部 農業施設研究室長
2006年 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 上席研究員
2016年 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門農地基盤工学研究領域 農業施設ユニット長
2019年 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センター園芸研究領域 再雇用職員 現在に至る

受賞歴

1997年 日本非破壊検査協会研究奨励賞
1999年 農業施設学会奨励賞
2012年 農業施設学会論文賞
2013年 農業施設学会学術賞

大政 謙次(おおまさ けんじ)

学歴・職歴

- 1975 年 愛媛大学大学院農学研究科修士課程修了
- 1985 年 工学博士（東京大学）
- 1987 年 国立公害研究所室長
- 1999 年 東京大学大学院農学生命科学研究科教授
- 2009 年 北京大学客員教授
- 2012 年 愛媛大学客員教授
- 2018 年 日本農学アカデミー会長
- 2019 年 高崎健康福祉大学農学部農学部長、日本学術会議会員（22 期、23 期）・第 2 部副部長(23 期)

受賞歴

- 紫綬褒章
- 科学技術庁長官賞（第 17 回研究功績者表彰）
- 日本農学賞、読売農学賞
- 農業情報学会学術賞
- 日本農業気象学会学術賞
- 日本生物環境調節学会賞
- 日本生物環境工学会特別国際学術賞
- 生態工学会賞（学術賞）
- GIS Expert Emeritus 他

渡邊 紹裕(わたなべ つぎひろ)

学歴・職歴

- 1983 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） 研究指導認定退学
- 1984 年 京都大学農学部 助手
- 1989 年 京都大学農学部 助教授
- 2001 年 大学共同利用機関 総合地球環境学研究所 助教授
- 2003 年 大学共同利用機関 総合地球環境学研究所 教授
- 2013 年 京都大学 大学院地球環境学堂 教授
- 2019 年 熊本大学くまもと水循環・減災研究教育センター特任教授

受賞歴

- 農業土木学会賞奨励賞
- 農業土木学会賞沢田賞
- 国際水田・水環境工学会国際賞

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

木部 勢至朗

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

要旨

稀薄大気状態を含む過酷な宇宙空間において、人間を生存せしめ、何等かの有益な活動に従事することを可能とするためには、宇宙生命維持システムが不可欠であるが、活動を展開する場所、規模、期間等によって、全く異なった生命維持技術が必要となる。本講演では、最小の宇宙生命維持システムとしての船外活動服（所謂宇宙服）から、スペースコロニーに代表される大規模宇宙定住に至る生命維持技術の内、講演者が 30 年にわたる研究生活の中で関わってきた、主要なものについてその概要を述べることとする。

キーワード

CELSS, ECLSS, Space Suits

緒言

栄えある 2019 年度日本農業工学賞、新農林社賞を受賞するに当たり、受賞者がこれまで関わってきた、宇宙生命維持技術研究の主要なものについて述べることとするが、もとより、すべて筆者自身のみの成果・功績というわけではなく、多くの方々の貢献・協力に負う所が極めて大きいことは言を俟たない。ここにこれまで協力頂いた方々に深甚の謝意を表するものである。

人体の基本的インプットとアウトプット

宇宙における生命維持システムを考える上で基本となる、物質面から見た人体の 1 日当たりのインプット量とアウトプット量を図 1 に示す。

人間は 1 日およそ 836g の酸素を吸い 1000g の二酸化炭素を排出するが、排出される二酸化炭素に含まれる酸素量は、体内に取り込また量の 8 割程度に留まっている。これが所謂「呼吸商」であり、残りの 2 割程度は代謝生成水として体外に排出されることになる。この過程で、ガスの循環ループと水の循環ループの連成が生ずることになる。つまり補給用酸素タンクや水の電気分解等何らかの酸素補給メカニズムが必要となるということである。水に関していえば、飲料水、食糧加工用水、食糧含水としておよそ 3077g 体内に取り入れられるが、蒸散、尿、糞含水として 3422g が体外に排泄される。

従って、外部からの食糧供給（食糧中含水 500g の供給）を前提とすれば、飲料水、食糧加工用水分の 2577g を蒸

散、尿、糞含水として排出される 3422g から回収することが出来れば、水の循環は成立することになり、技術的な目標回収率は 75% になることが分かる。また、呼吸、皮膚表面からの発汗による水排出量 1827g が、飲料水量 1859g とほぼバランスしていることも注目される。系内の上水系と中・下水系の分離も可能であることが示唆される。

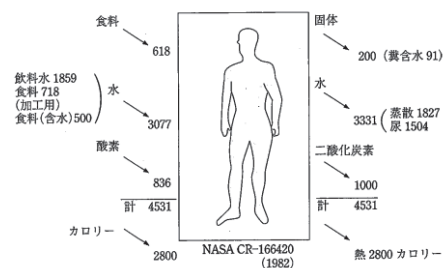


図 1 人体の物質的入出力

生命維持システムの俯瞰

船外活動システム

最小の宇宙船とも呼ばれる本システムは、極めて限られた空間、リソースという制約下で、人間を宇宙空間において生存せしめ、何等かの作業を可能とすることを目的としたものである。図 2 に示すように、過酷な宇宙環境からの保護と作業性の確保を実現するための外皮機構系、呼吸を可能とするガス分圧制御系、快適性・生存可能性を高めるための温湿度・熱制御系等から構成される。リソース上の制約から、いずれも使い捨て型のシステム

(二酸化炭素除去剤、サブリメーター等) が用いられているが、これらの再使用型化、宇宙開発の進展に伴う作業環境の変化への対応(月・火星の重力環境に対応するための軽量化、レゴリス対策)等が今後の課題と考えられる。

ECLSS(環境制御生命維持システム)

宇宙船室内、宇宙ステーション等のある程度の容積を有する空間の中で、搭乗員が通常軽装服(shirt-sleeve)で生存・活動することを可能とするためのシステムである。室内の空気環境を維持する為の空気処理機能、快適性を確保するための温・湿度制御機能、食糧・水の保管・供給を行う食糧・水供給機能、生活排水の回収・処理を行う水処理機能等が要求される。初期においては、殆どが使い捨て型であり、極めて限られた範囲でのリソース及びシステムの再利用化が図られていた。

Advanced ECLSS

回収した二酸化炭素から酸素を回収する機能、また不足する酸素を電気分解等で生成・補給するための機能、生活排水・人体から排出される水分(発汗、呼気中水蒸気、尿等)の回収・再生処理するための機能等々、リソース及びシステムの再使用化のための機能が追加されたECLSSである。生物学的要素(二酸化炭素/酸素変換のための微細藻類・高等植物)導入や、高度な廃棄物処理、一部食糧の生産をも含むようになる。地球からのロジスティックスの最小化が基本的な技術要求となる。

CELSS(閉鎖生態系生命維持システム)

地球自体がそうであるように、外部から物質的に隔離された状態で、人体を含む系内の適正な物質循環を実現することにより、人間が生存可能な環境を長期間にわたり維持する為の技術である。必然的にかなり大規模なシステムとなるため、広大な空間を構築する技術、リソースの循環を実現するための高度な廃棄物処理技術、食糧の自給を図るための動・植物等他生物種との共生技術、生物要素を含む大規模システムの安定的運用に資するシステムシミュレーション/オペレーション技術などが必要となる。現在まで、ロシアのBios3、米国のBiosphere2、我が国のCEEF等のCELSS実現に向けた先駆的試みが実施されている。

船外活動服システムの外皮機構系

宇宙服は、宇宙空間での何等かの作業を前提としたシステムであり、作業性の確保の観点から関節各部の十分な可撓性が要求される。筆者が研究を開始した30年程前には、本技術に関する国内技術基盤は皆無であり、殆ど手探り状態での研究であったと記憶している。その為、試験用のグローブボックス、関節部曲げ試験治具の開発

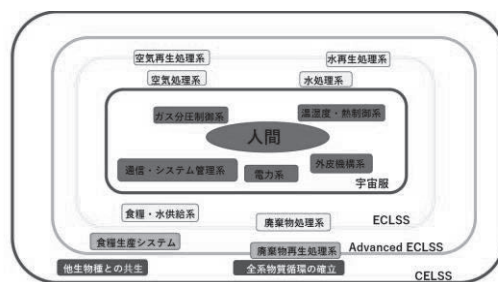


図2 宇宙生命維持システムの俯瞰

から着手しなければならなかった。それまで米国等では、ローリングコンボリユート、トロイダルコンボリユート、フラットパターン等の形式が採用されていたが、図3に示すフレキシブルベローズ型の関節を考案、円周方向のリングと軸方向の高速ワイヤーで内圧による膨張を抑え、実用に足る可撓性が確保で切ること示すことができた。

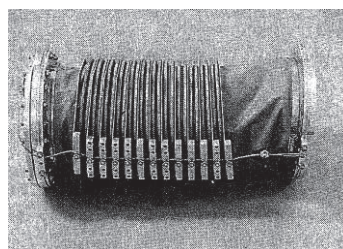


図3 フレキシブルベローズ型関節モデル

ガス処理システム

二酸化炭素吸着・除去技術

人間が生存可能なガス環境を維持する為には、呼吸によって排出される二酸化炭素を吸着除去する必要がある。そのための方法としては、高分子膜の利用、化学結合による方法等が存在するが、旧宇宙航空研究所では後者について技術開発を実施した。諸化学物質の二酸化炭素吸着能を表1に示す。従来は高い吸着能力から水酸化リチウムが主に用いられていたが、次節で述べる二酸化炭素からの酸素の回収には分離・放出の容易性が要求される。そこで潜水艦等に用いられていた液体アミンを固体化した固体アミン(分離放出温度100℃)と酸化銀(同250~300℃)について検討を実施した。前者については、微細ビーズに担持させる方式で、60分かけて飽和させた固体アミンキヤニスターを100℃に保つことにより、40分ではほぼ全量の二酸化炭素が分離可能であることを確認した(Nitta et al., 1990)。また後者については、粉体状態ではあったが、真空中及び窒素雰囲気下で200~225℃の環境温度であれば、実用的に問題のない時間で吸収二酸化炭素がほぼ全量分離可能であることも検証した(木部他, 1995)。これらの成果は、2重系を組み吸脱着を交互に行うことで消耗品の補給・交換無しに極めて長い時間の当該システムの運用を可能とするものである。

表1 二酸化炭素吸脱着性能

物質	理論吸 収能力 (lb CO ₂ /lb 吸収剤)	吸収時の 発熱量 (Btu/lb CO ₂)	炭酸塩 分解温度 (°F)
酸化リチウム Li ₂ O	1.47	2210	
水酸化リチウム LiOH	0.92	875	
酸化ナトリウム Na ₂ O	0.71	3140	1290
水酸化ナトリウム NaOH	0.55	1228	1290
酸化カリウム K ₂ O	0.47	3820	1340
水酸化カリウム KOH	0.39	1395	1340
酸化マグネシウム MgO	1.09	1150	840~1020
水酸化マグネシウム Mg(OH) ₂	0.76	358	840~1020
酸化カルシウム CaO	0.79	1738	1345~1515
水酸化カルシウム Ca(OH) ₂	0.60	670	1345~1515
酸化銀 Ag ₂ O	0.19	151	250~300
酸化カドミウム CdO	0.34	975	660

(COe et al., 1962)

酸素回収技術

回収された二酸化炭素から、呼吸のための酸素を回収する方法としては、サバチエ法とボッシュ法があり、旧航空宇宙技術研究所では、前者について研究を実施した。本方法は第1反応（二酸化炭素を水素で還元して、水とメタンに変換）と第二反応（メタンの熱解離により炭素と水素を得る）からなっている。十分な水素供給があればメタンダンプと呼ばれる第1反応は、325℃でほぼ100%の反応率を示すが、メタンクラッキングと呼ばれる第二反応まで進行させるためには、最低でも900℃以上の加熱が必要であり、実用化に向けて高反応効率、低反応温度化を実現するための触媒の探索等更なる検討が必要であることを明らかにした(Nitta et al., 1990)。

水処理システム

尿やシャワー排水等の生活排水から、きれいな水を生成し、システム内の水循環に戻すための浄化装置として、蒸気圧縮蒸留装置(Vaporized Condensed Distillation : VCD)の試作・評価試験を実施した。回転ドラム内に汚染水を注入し加熱することで発生する蒸発水を圧縮器で回収する構造となっており、30℃程度の温度条件で、1時間当たり1ℓ程度の浄化が可能であること、効率と圧縮機回転数の関係を示すことができた。地上で技術実績のある膜蒸留法との得失を比較検討し、実用化に向けて更なる検討が必要であろう。

閉鎖型魚類飼育システム

食糧生産を含めた生命維持システムを考える際、動物性タンパク質の確保は大きな問題である。そこで、飼育の容易さ、システムのコンパクト性を考慮して、魚類飼育に特化して研究を進めた。

ガス循環型飼育システム

魚種としては、水質汚濁や低酸素環境にも強く、飼育環境温度も比較的高いティラピアを選定し、微細藻類で

あるスピリリとの間で閉鎖的にガス交換を行うシステムを構築した(図4)。ガスの交換は中空糸膜を用いて行い、外部から給餌し、増殖したスピリリナは適時系外に除去する等の条件下ではあったが、ガス環境としては閉じた形で、1年間ほどの生育を実現した(小口他, 1995)。

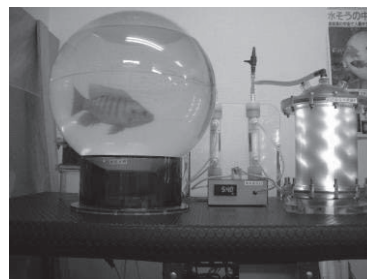


図4 ティラピアとスピリリナを用いたガス循環型魚類飼育装置

閉鎖型魚類飼育・繁殖システム (Closed Ecological Recirculating Aquaculture System : CERAS)

更に進めて、飼料生産・給餌・継代繁殖が可能な閉鎖飼育技術の構築を目指し、当時の水産大(現、海洋大)に尽力頂いた研究であり、図5にシステムの概念を示す。稚魚の成育に必要な動物性プランクトン(タマミジンコ)の飼育系も含んだシステムであり、閉鎖的な水循環による飼育、ティラピア飼育排水によるクロレラの生産、さらにはそれを用いたタマミジンコの生産等を実現することができた。また、クロレラのみを用いた継代繁殖も可能であることの証左を得ている。最近、地上でも実用化が進んでいる、アクアポニックスの宇宙応用にも、大きく貢献する研究成果であると考えている(Takeuchi et al., 1997, 大政他, 20015)。

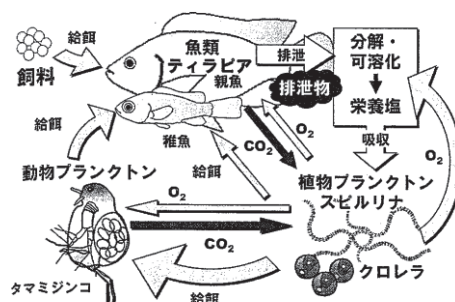


図5 CERASにおける物質循環

閉鎖生態系生命維持システム

閉鎖生態系生命維持システムは、食糧生産機能、物質循環機能、環境維持機能、快適居住機能等を含む巨大システムであり、過去においてその実現に向けたいくつかの試みがなされた。筆者は、その中でも極めてユニークな特長を有する環境科学技術研究所の閉鎖生態系実験施設(Closed Ecological Experiment Facility : CEEF)の建設初期から技術委員として関わる機会を得た。同施

設は 1994 年から建設が開始され、2005 年から 2007 年にかけて、最長 4 週間の閉鎖実験を成功させる等、多大な成果を上げている。以下は、その建設・運用の中で筆者が関わった関連技術開発の成果である。

閉鎖型作業服

上記 CEEF 内では、エコノート（筆者の命名による）と呼ばれる被験・居住者の他に、彼らのワークロードを軽減するための作業補助者が必要となる。作業補助者は閉鎖系外の存在であり、系内の物質循環に影響を与えてはならず、閉鎖型作業服が必要となる。作業服内外圧差がないことから、可撓性に対する要求は緩和されるものの、呼吸を可能とするガス環境維持（二酸化炭素除去、酸素補給）、快適性を確保するための服内の温・湿度制御機能等、宇宙服と極めて類似な機能が要求される。更に、地上重力下での作業であることから、軽量化の要求は宇宙服より厳しいものとなる。従って、酸素供給はマスク方式を、冷却にはアイスパック方式を、二酸化炭素吸着には吸着時の発生熱を抑えるために水酸化カルシウムを用いる方式を採用することとした。表 2 にその詳細を示す。装着重量は 17.3 kg となっている（Abe et al., 2003）。

表 2 CEEF 用閉鎖型作業服
Table 1 Characteristic requirements for the Closed Work Suits (CWS)

All system	Working Time	1 hour, continuously
	Additional	The CWS can work independently.
Breathing subsystem	Type	Closed loop gas circulation (No power assist)
	O ₂ supply	On demand (Depend on the pressure or O ₂ concentration)
	Volume of the O ₂ tank CO ₂ removing	97 cm ³ (Pressure : 200 kg cm ⁻²) × 4 By a canister including absorbent (Soda lime : 660 g)
Cooling subsystem	Additional	O ₂ tank and canister can be changed in a minute without putting off the CWS.
	Type	Cooling jacket (without ventilation) Circulation liquid : Water
	Circulation flux Cooling ability	Liquid temperature : about 283 K Tube length : about 71 m 0 ~ 2000 cm ³ min ⁻¹ 0 ~ 300 W
Airtight suit subsystem	Differential pressure at the airtight check	2.0 kPa

システムシミュレーション技術

CEEF を構成する 3 施設の内、閉鎖系植物実験施設（Closed Plant Experiment Facility : CPEF）の物質循環フローダイアグラムを図 6 に示す。CEEF の一部である本施設のみですら、38 個の装置群から構成される非常に錯綜したシステムとなっており、その運用には各装置の起動・停止のための手動操作を含む複雑なオペレーションが必要となる。その為、実際の運用に際しては、経験に基づきオペレーション手順書を作成し、作業員がそれに従って各機器を操作することになるが、事前にそのオペレーション手順でシステム全体に破綻が生じないことを確認しておく必要がある。この目的のため、CEEF 挙動予測システム(CPS)が開発された。煩雑さを避けるため、各装置内に含まれる物質種及び質量は、多様な化合物そのものではなく、主要元素である炭素、酸素、水素、窒素の質量として扱う等の工夫により、シミュレーションアルゴリズムの簡略化を図っている。

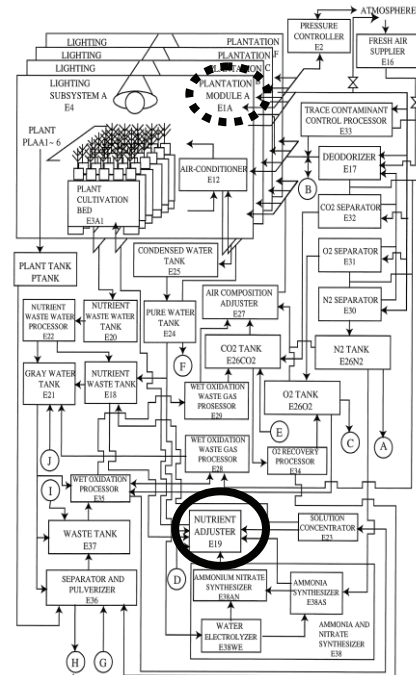


図 6 閉鎖型植物栽培実験施設

引用文献

- 新田慶次, 木部勢至朗, 2003 : 宇宙で生きる, オーム社 146,
- Seishiro Kibe and Koji Otsubo, 1995 : EVA-Related Activities in Japan, Acta Astronautica, Vol36, No.1, pp.27-34,
- Keiji Nitta, Koji Otsubo and Seishiro Kibe, Haruhiko Ohya, 1990 : Japanese Research Activities of Life Support System, SAE paper 901205,
- 木部勢至朗, 鈴木克徳, 1995 : 宇宙服の技術, 真空, 第 38 巻, 第 6 号, pp.566-573,
- 小口美津夫, 1995 : 微細藻類を利用した CO₂/O₂ 変換システム II CO₂/O₂ 変換装置, CELSS Journal, 7(1), 29-34,
- 竹内俊郎, 能登 瞬, 吉崎悟郎, 豊部 睦, 神吉良二, 小口美津夫, 木部勢至朗, 田仲広明, 1997 : 閉鎖生態系循環式養殖システム (CERAS) の開発に関する研究 I. 密閉式魚類飼育装置の開発, CELSS Journal, 10(1), 1-4,
- 大政謙次, 竹内俊郎, 木部勢至朗, 北宅善昭, 船田 良監修, 2015 : 生態工学ハンドブック, 丸善, 447,
- Koichi Abe, Koji Otsubo, Keiji Nitta and Seishiro Kibe, 2003 : Research and Development of Closed Work-Suit for the Application to CEEF, Eco-Engineering, 15(1), 13-19,
- Koichi Abe, Yoshio Ishikawa, Seishiro Kibe, Keiji Nitta, 2005 : Simulation Model for the Closed Plant Experiment Facility of CEEF, Advances in Space Research, 35, 1597-1608.

植物工場における植物の生育制御に関する研究

後藤 英司

千葉大学 大学院園芸学研究科

要旨

植物工場は生育環境のコントロールが容易で露地農業では実現できないユニークな環境をも創造できる。そのため植物工場は、この特徴を活かした野菜、鑑賞用植物、漢方薬草等の生産システムとしての今後の発展が期待されている。このような背景のもと、野菜苗、機能性野菜、薬用植物、医薬用原材料用の遺伝子組換え植物を対象として、人工環境下における環境要因と植物の生理生態の関係解明および生育制御法の確立に関する研究を行った。また野菜や薬用植物が蓄積するヒトに有用な二次代謝産物について、環境要因と合成・蓄積の関係を調べ、人工環境下でヒトに有用な成分の蓄積を促進する環境条件を明らかにした。

キーワード

環境制御、環境ストレス、機能性、人工光、二次代謝産物

緒言

植物工場（図 1）は生育環境のコントロールが容易で露地農業では実現できないユニークな環境をも創造できる。そのため植物工場は、この特徴を活かした野菜、鑑賞用植物、漢方薬草等の生産システムとしての今後の発展が期待されている（Goto 2012）。

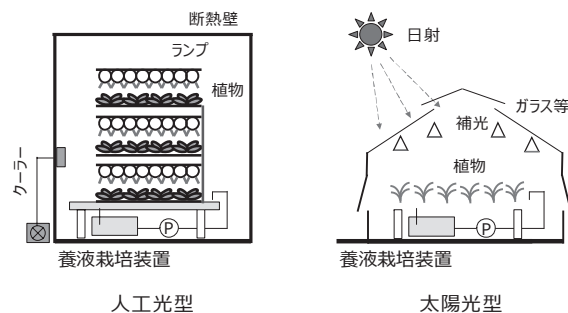


図 1 植物工場の種類(光源による分類)

このような背景のもと野菜苗、機能性野菜、薬用植物、医薬用原材料用の遺伝子組換え植物を対象として、人工環境下における環境要因と植物の生理生態の関係解明および生育制御法の確立に関する研究を行ってきた。

野菜や薬用植物では機能性成分や薬用成分を葉、花器、根などの器官に蓄積する。これらの多くは二次代謝産物であり、生合成経路は明らかであるものの、環境要因と合成・蓄積の関係はあまり調べられていない。そこで本

研究では、気温、光、培養液などの環境条件と生育の関係を調べ、人工環境下で成長と成分蓄積を促進する環境条件を明らかにした。また、紫外線照射や光質変化などの適度な環境ストレスを与えると、有用な成分の生合成が促進し、高含有量化することを明らかにした。本稿ではこれらの成果のうち、幾つかのトピックを取り上げて紹介する。

野菜（葉菜類と果菜類）

人工光育苗では実生苗および接ぎ木苗を養生、順化から本圃定植までの間、閉鎖型人工光育苗装置において、多段式の栽培棚で高い栽植密度で育成する。そのため、ばらつきの少なく歩留まりのよい苗を生産するための環境管理が求められる。そこで、気温、湿度、風速、栽植密度とトマト苗、キュウリ苗、葉菜類苗の光合成および生育との関係を調べ、発芽後の育苗ステージにおける生育環境制御の重要性と高品質苗を育成する環境条件について明らかにした（Yokoi et al. 2008; Jang et al. 2011; Mun et al. 2011 など）。

2010 年頃までは、人工光育苗の光源には蛍光灯が使われてきたが、一般照明の LED 化に続いて、LED が多用されるようになってきている（図 2）。そのため現在は、LED を用いて苗の成長と形態形成を制御してさらに高品質な苗を作ることが求められている。

人工光型植物工場における葉菜類の生産は、1980 年代後半に商業生産が開始され、1990 年代に消費者に認知され、2000 年代に品質が高く評価されるようになった。

2010 年代に入ると、日産 3000 株を超える大規模植物工場による商業生産が増えており、2018 年現在、日産 1 万株を超える植物工場が多数運用されている。この間、様々な低コスト化と高品質化の研究開発がなされてきた。

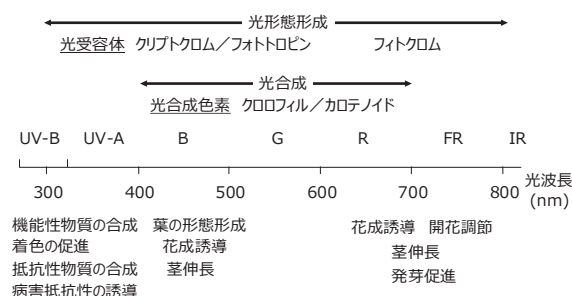


図 2 植物工場における LED 等を用いた生育制御

筆者は光、温度、湿度、風速、ガスなどの生育環境要因と生育との関係を調べ、生育環境制御の重要性と高品質野菜を育成する環境制御について研究に取り組んできた (Goto and Takakura 1992a, 1992b; Li et al. 2011; Goto et al. 2014 など)。光源は 2000 年以後、蛍光灯から LED に移行している。植物栽培における LED のメリットは、多様な光質・光強度を作成できる点と照明設計・調光等が容易な点である。そこで光質制御による葉菜類・ハーブ類の生育および高品質化の研究を進めている (図 3)。

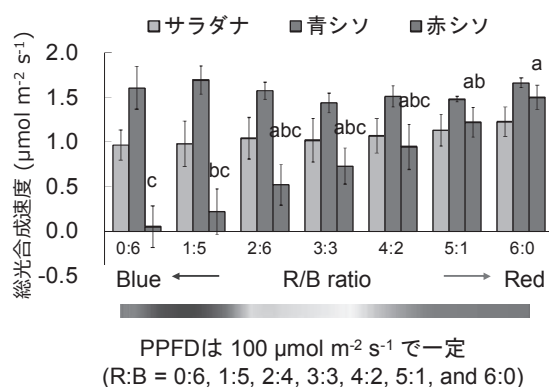


図 3 異なる LED の赤青光割合下の葉菜類の光合成速度 (Goto et al. 2014)

赤シソは白色光や青色を多く含む光源で栽培すると、葉の表面で赤色アントシアニン色素が青色光を吸収するため、光合成速度が低く、成長が遅い。

薬用植物

漢方薬草、西洋薬草などの薬用植物は薬用成分を葉、花器、根などの器官に蓄積する。薬用成分の多くは二次代謝産物であり、生合成経路は明らかであるものの、環境要因と合成・蓄積の関係はあまり調べられていないのが現状である。そこで様々な薬用植物について、気温、

光、培養液などの環境条件と生育の関係を調べ、人工環境下で成長を促進する環境条件を明らかにした。また、光強度の高低や光質変化などの適度な環境ストレスを与えると、薬用成分の生合成が促進し、高含有量化することを明らかにした (Zobayed et al. 2006; Nishimura et al. 2009; Malayeri et al. 2010; 後藤英司, 2011)。

今後、生薬の需要の増加および薬用植物の生薬以外の利用法の増加につれて、温室や太陽光型植物工場、場合によっては人工光型植物工場という露地以外の生産の場の利用が増えると予想される。そこでは、野菜や花きで実績のある生育制御技術と環境調節技術の応用展開が期待される。

遺伝子組換え植物

ヒト・家畜の感染症予防ワクチンや生活習慣病の予防用物質を遺伝子組換え (GM) 作物の可食部に発現・蓄積させて経口投与する、という GM 作物の利用法が日本を含む先進国で検討されている (Goto 2011)。植物工場は、ワクチンなどの医薬用成分を有する GM 作物の生産に適する生産システムである。そこで、いままでは植物工場の栽培植物ではなかったイネ (ヒト用ワクチン用)、イチゴ (生活習慣病予防の機能性物質用) 等を植物工場で生産するための生育環境の構築 (図 4) および有用成分の高含有化に取り組み、独創的な生育制御法を提案した (Hikosaka et al. 2013; Goto et al. 2014; Kato et al. 2011)。

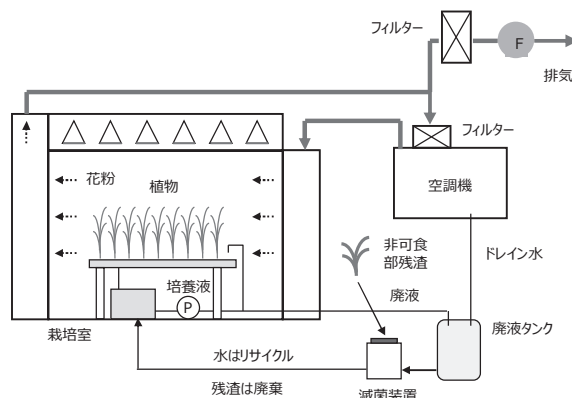


図 4 遺伝子拡散防止技術を組み込んだ
遺伝子組換え植物工場の基本構成

今後、GM 植物の利用法は医薬用原材料用途だけでなくさらに広がると期待されている。遺伝子組換え植物工場は人工環境のメリットを活用し、実用植物について、適切な部位に安定かつ均一に有用物質を高生産・高蓄積させる栽培技術の開発を行う必要がある。作物の種類、作物の形状、作物のステージごとに最適な環境は異なるため、1) 光環境の制御技術、2) 空気環境の制御技術、3) 地下部環境の制御技術、4) ストレス付与等による発現・蓄積量の制御、などの研究開発が求められている。

環境ストレスの利用

植物は外的な環境変化に適応するための様々な能力を有している。植物の環境応答は、生育期間中の外部環境要因、特に物理環境要因（光、温度、湿度、水分、気流、刺激など）および化学環境要因（空気中のガス、培地内のガス、培養液 pH など）の変化で誘導される（図 5）。

要因によって、植物種によって、応答する器官（葉、花、茎など）は異なる。環境応答により、光合成を起点とする一次代謝物と二次代謝物の生合成が変化して、様々な生理反応を示す。結果として、ヒトの栄養、健康、生活などに有用な植物由来の化学物質（ファイトケミカル）の合成が促進することがある。

ファイトケミカルには身体の調節機能に関して抗菌作用、解毒作用、抗酸化作用、抗腫瘍活性、代謝改善などの効果、および生活習慣病の予防効果を持つ成分がある。たとえば野菜が有するファイトケミカルにはフェニルプロパノイド、フラボノイド、テルペノイド、カロテノイド、有機硫黄化合物などがあり、大部分が二次代謝産物である。これらの二次代謝産物の多くは環境応答の結果を受けて増加したり減少したりするのが特徴である。そこで、制御環境下において目的に合わせた環境ストレス付与の手法を確立することにより、これらの発現・蓄積をコントロールする手法を開発している（Goto et al. 2016; 図 6）。

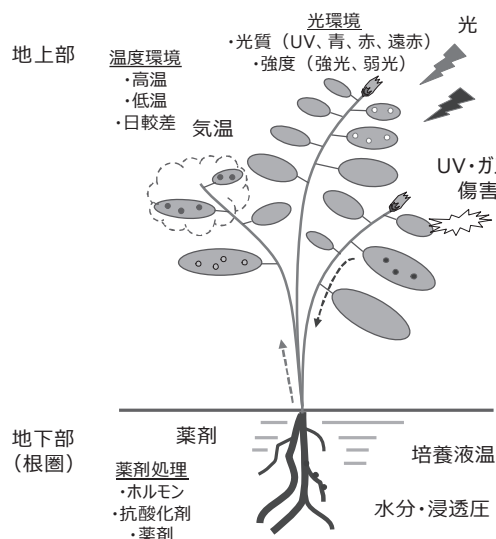


図 5 植物工場で利用可能な環境ストレス

植物工場は適切な環境制御を行い、作物を効率的に生産する生産システムである。このシステムは多くの環境要因の制御が可能であるため、環境ストレス付与は露地農業や温室よりも容易である。そこで現在、「植物工場における環境ストレスを活用した二次代謝産物の活用」を目的として、制御環境下の環境ストレスと二次代謝に関する知見を整理し、環境ストレス付与による有用二次代

謝産物の高蓄積化・高含有量化の手法の確立に取り組んでいる。

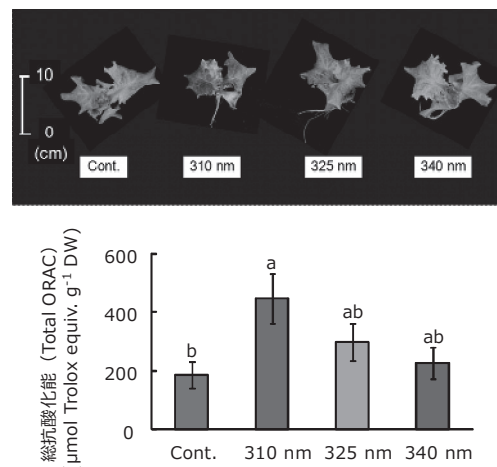


図 6 異なる紫外線波長の UVLED を付加した光環境で育成した赤系リーフレタスの葉のアントシアニン集積と抗酸化能の変化

今後の展望

植物工場を用いる葉菜類の商業生産は 2010 年以降、アジア、米国、ヨーロッパなど世界で急速に広がっている。国内外で LED 等の新光源を用いる生育制御に関する研究、薬用植物の施設栽培化に関する研究が盛んである。また植物生理学、分析技術、医学の進展により、植物の遺伝子発現の環境応答や生合成経路が解明され、付加価値物質の有用性に関する医学的エビデンスも増えつつある。薬用植物が有する多様な成分の化粧品・食品への応用も進んでいる。近年の育種学、分子工学の進展により、ポリフェノールなどの特定成分を高含有する品種や、外来の有用タンパク質を発現蓄積する遺伝子組換え植物などが作出されつつある。

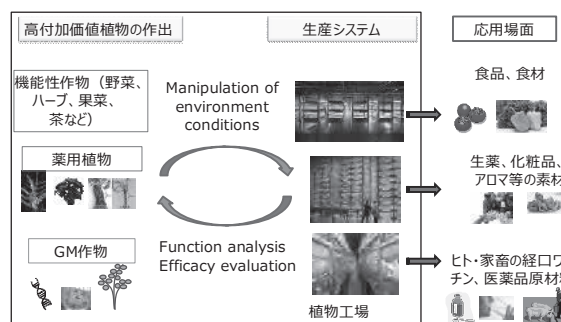


図 7 高付加価値植物の作出および生産システムの応用

日本学術会議 第 23 期 学術大型研究計画 (2017) 「高付加価値植物の作出および生産システムの開発」(提案: 千葉大学) を一部改変

このような背景から、植物の持つ高次機能を、農業だけでなく、積極的に工業や製薬業に展開することが期待されている（図 7）。今後は、環境ストレスを活用して高品質で商品価値の高い作物および薬用植物を生産し、新たな需要の創出、また医薬品や新素材の開発につながる健康産業の創出につながる研究が期待されている。

謝辞

今回の受賞に際し、格段のご配慮をいただきました日本生物環境工学会名誉会長の橋本 康先生、理事長の野口伸先生、会長の野並浩先生をはじめ、関係の諸先生方に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- Goto, E. 2011. Production of pharmaceutical materials using genetically modified plants grown under artificial lighting. *Acta Hort.* 907: 45-52. 2011.
- 後藤英司, 2011. 第9回産学官連携功労者表彰(厚生労働大臣賞)、2011 年 9 月、表彰内容－「薬用植物(甘草)の人工水耕栽培システムの開発」－
- Goto, E. 2012. Plant production in a closed plant factory with artificial lighting. *Acta Hort.* 956: 37-49.
- Goto, E. and Takakura, T. 1992a. Prevention of lettuce tipburn by supplying air to inner leaves. *Transactions of ASAE*, 35: 641-645.
- Goto, E. and Takakura, T. 1992b. Promotion of Ca accumulation in inner leaves by air supply for prevention of lettuce tipburn. *Transactions of ASAE*, 35: 647-650.
- Goto, E., Ishigami, Y., Kimura, K., Arai, K., Kashima, K., Nakajima, H. and Maruyama, S. 2014. Optimum air current speed for rice plant canopy in a closed plant-production system. *Acta Hort.* 1037: 305-310.
- Goto, E., Matsumoto, H., Ishigami, Y., Hikosaka, S., Fujiwara, K. and Yano, A. 2014. Measurements of the photosynthetic rates in vegetables under various qualities of light from light-emitting diodes. *Acta Hort.* 1037: 261-268.
- Goto, E., Hayashi, K., Furuyama, S., Hikosaka, S., Ishigami, Y. 2016. Effect of UV light on phytochemical accumulation and expression of anthocyanin biosynthesis genes in red leaf lettuce. *Acta Hort.* 1134: 179-185.
- Hikosaka, S., Yoshida, H., Goto, E., Tabayashi, N., Matsumura, T. 2013. Effects of light quality on the concentration of human adiponectin in transgenic everbearing strawberry. *Environ. Control in Biol.* 51 (1): 31-33.
- Jang, Y., Goto, E., Ishigami, Y., Mun, B., Chun, C. 2011. Effects of Light Intensity and Relative Humidity on Photosynthesis, Growth and Graft-take of Grafted Cucumber Seedlings during Healing and Acclimatization. *Hort. Environ. Biotechnol.* 52(4):1-6.
- Kato, K., Maruyama, S., Hirai, T., Hiwasa-Tanase, K., Mizoguchi, T.,

- Goto, E., Ezura, H. 2011. A trial of production of the plant-derived high-value protein in a plant factory: Photosynthetic photon fluxes affect the accumulation of recombinant miraculin in transgenic tomato fruits. *Plant Signaling & Behavior* 6 : 1172-1179.
- Li, J., Hikosaka, S. and Goto, E. 2011. Effects of Light Quality and Photosynthetic Photon Flux on Growth and Carotenoid Pigments in Spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Acta Hort.* 907: 105-110.
- Malayeri, S.H., Hikosaka, S., Goto, E. 2010. Effects of light period and light intensity on essential oil composition of Japanese mint grown in a closed production system. *Environ. Control in Biol.*, 48: 141-149.
- Mun, B., Jang, Y., Goto, E., Ishigami, Y., Chun, C. 2011. Measurement system of whole-canopy carbon dioxide exchange rates in grafted cucumber transplants in which scions were exposed to different water regimes using a semi-open multi-chamber. *Scientia Horticulturae*, 130 (3):607-614.
- Nishimura, T., Ohyama, K., Goto, E., Inagaki, N. 2009. Concentrations of perillaldehyde, limonene, and anthocyanin of *Perilla* plants as affected by light quality under controlled environments. *Scientia Horticulturae*, 122: 134-137.
- Yokoi, S., Goto, E., Kozai, K., Nishimura, M., Taguchi, K., Ishigami, Y. 2008. Effects of Planting Density and Air Current Speed on the Growth and Uniformity of Qing-geng-cai and Spinach Plug Seedlings in a Closed Transplant Production System. *Environ. Control in Biol.*, 46(2):103-114
- Zobayed, S. M. A., Afreen, F., Goto, E., Kozai, T. 2006. Plant-Environment Interactions: Accumulation of Hypericin in Dark Glands of *Hypericum perforatum*. *Annals of Botany*, 98: 793-804.

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

小林 和彦

東京大学農学生命科学研究科

東京都文京区弥生 1-1-1

要旨

人間活動は大気環境を変え、それが気候変化や大気汚染として人間や自然に影響を及ぼす。私は、大気環境変化が農業に及ぼす影響を解明することが、人間活動の影響を減らすことにつながるのではないかと考えて、オゾンや紫外線、CO₂の増加が農作物に及ぼす影響について、圃場実験を中心とする研究を進めてきた。その結果分かったのは、大気環境変化の植物への影響は植物が環境変化へ応答する結果であること、したがって植物の生育に関わる他の要因が大気環境変化の影響に重要な意味を持つことであった。これら他の要因の影響は、将来予測には大きな不確実要因となるが、大気環境変化への適応には、大きな可能性を提示していると考えに至った。

キーワード

FACE, 開放系実験, オゾン, 二酸化炭素, 紫外線

緒言

「このままいくとうなるか分からない」という、先の見えないことへの不安が、社会全体に広がっているように感じる。その見通せなさの一つに、人間活動が地球全体の環境を取り返しのつかないほど劣化させる懸念がある。現に、化石燃料の燃焼は大気組成を変化させ、それが気候変化や大気汚染として人間や自然を脅かしている。これに対して、研究者として何ができるのか、「先の見通せなさ」を減らすことはできるのではないかと私は、なんとなくそのように思っ、大気環境の変化が農業へ及ぼす影響を明らかにしようと研究を続けてきた。

その結果、人間活動で生じた大気CO₂とオゾン、そして紫外線の増加が農作物に及ぼす影響の一端を、圃場実験を中心とした研究で明らかにすることができた。以下、それらを振り返るとともに、「先を見通す」以外にも研究ができることを提示し、議論のいとぐちとしたい。

地表オゾンが農作物に及ぼす影響

1976年に農林水産省の試験場(当時)に就職して研究者を始めた私は、ほどなくして光化学オキシダントが農作物に及ぼす影響のプロジェクトに入れてもらい、野菜に及ぼすオゾンの影響を調べることになった。オゾン濃度

を制御した自然光型グロースチャンパー内でキュウリを育て、オゾン濃度と収量の関係調べるのであるが、水耕ポットで育つキュウリが、農家のそれと余りに違うので思い悩んでいた。先輩に相談したら、「チャンパー同士で比べて、対照区とオゾン区の収量の相対的な変化が分かればいいんだから、気にすることはないんじゃないの」と言われた。一応納得したが、違和感が残った。そのプロジェクトでは、影響の出る濃度の下限を見出そうとしていたので、植物の成長を精密に制御する必要があったが、私自身は農家の収量への影響に関心があった。

その後、1987年から1989年にかけて、グロースチャンパーではなく、水田に建てたビニールハウスの中へ植えた水稻で、オゾンの実験をした(図1)。



図1 水田に設置したオゾン暴露チャンパー



図2 オープントップ チャンバー
(米国農務省研究局大気質研究プログラム)

今度はポットでなく、本当の水田で育つイネを調べることができた。これには、当時米国で大規模に実施されていた NCLAN（国家農作物減収評価ネットワーク）というプロジェクトで、オープントップチャンバー（図2）という装置が使われていたことが影響している。

研究所の同僚の中には、「あんな素人っぽいもの」と、けなす者もいたが、私は気に入った。その後、米国であちこちの実験装置を見て、「見かけ」で判断するのは、やはり間違いだと思った。私たちが研究所の水田に建てたビニールハウスを見に来た役所の人にも、「ただのビニールハウスじゃないですか」と言われたが、「これがいいんです」と言い張った。

このビニールハウスでの実験は、それなりにうまくいって（Kobayashi et al., 1994）、論文をいくつか出すことができた（Kobayashi & Okada, 1995）。イネについて、オゾン濃度と収量の関係を実験的に導き出したのは世界で2番目になるが（Kobayashi et al., 1995）、それを用いてオゾンによって関東地方のコメ収量が、5年間平均で最大7%程度減少していると推定した。なお、世界最初の実験は、カリフォルニアでポット植えのイネ3品種を使って、オゾンとSO₂を組み合わせたもので、私たちの実験とは比較にならない。そんな実験結果から導いた関係式でも、アメリカ人は影響評価に使い続けていて、アメリカでのイネの位置づけなど、いろいろ考えさせられた。また、ビニールハウスの中は外よりもかなり暑く、イネの収穫係数が40%を下回った。高温障害の影響が疑われ、外の圃場とはまだ距離があることを痛感した。

B 領域紫外線の増加が農作物に及ぼす影響

普通の人に「オゾンの影響を調べています」と話すと、成層圏オゾン・ホールの影響だと思われることが多い。人は身近にあるリスクよりも、遠いところからやってくるリスクを恐れるようである。人間活動が放出するフロンガスなどが成層圏オゾンを破壊して、人体に有害なB

領域紫外線（以下 UV-B）量が増えると予測された。UV-B は自然状態でも地上に到達しており、それが増えたら米収量にどんな影響があるのかを、紫外線ランプを並べた照射装置を水田に設置して調べた（Kobayashi et al., 1997）。UV-B の無いガラス室内で育てたキュウリに UV-B を照射すると、明瞭な可視障害が見られたが、屋外で育てた植物は UV-B への防御機構を持っているので、UV-B を照射しても可視障害は生じなかった。実験結果から、UV-B 量が10%増加すると米収量は1%減少すると見積もられ、日本の緯度で予想される最大15%のUV-B増加では、1.5%程度の減収とみられた。このように、現実的には無視できる程度の影響であったため、研究を終了した。

実験結果はやや残念だったが、実際に大きな影響はなさそうなことを圃場実験で示せたのは、収穫であった。なお、UV-Bは280-320 nmの範囲の紫外線の総称であり、波長によって影響の強さは相当異なる。ところが、紫外線ランプの照射で増える波長と、オゾン層の減少で実際に増える波長とは一致しない。このため、私たちの実験条件が成層圏オゾン減少の影響をどの程度適切に反映していたのか、なお不確かさは残っている。

大気CO₂増加が農作物に及ぼす影響

水田に建てたビニールハウスでも、なお実際の圃場とは距離があることが分かった私は、英国で行われた開放系でのSO₂濃度上昇実験の話に興味をひかれ、いつかそんなことができないかと夢想した。それでも、1987年から1年間滞在した米国で、ちょうど始まったばかりのFACE（開放系大気CO₂増加）の話を初めて聞いた時には、何の話をしているのかわからなかった。分かってみると、アメリカにはすごいことを考える人たちがいるものだと感心した。CO₂を空気中にふきだすという単純な実験であるが、その装置やソフトウェアには数々の工夫や考慮がなされていることを、アリゾナのFACE実験地を訪れて学んだ。そして、いつか日本でもFACEをできないかと思うようになった。思うだけではなくて、FACEの意義を考えるワークショップも開いた。

願いは多少の運と多くの人の努力のおかげで実現して、1996年から2000年までの5年間、岩手県雫石町の農家水田で、世界最初のイネのFACE実験をすることができた。FACE実験の結果は、イネの成長変化から（Kim et al., 2003）、病害発生の増加（Kobayashi et al., 2006）やメタン発生の増加（Inubushi et al., 2003）など多岐にわたるが、私自身が最も興味深いと思った発見は、イネの収量増加率が定数ではなく、窒素量や気温など、他の要因の影響をうけることであった。イネは、CO₂濃度増加で光合成速度が増えると、さまざまな器官の分化と成長を変化させ、それが生育量や収量の変化として現れる。そうした素過程の変化が結果として多様な変化を生むことが、私

には面白く、また植物成長応答のリアリティを感じた。

中には、FACE を「ぶっかけ試験」と呼ぶ人もいたが、前記の「素人っぽい装置」といった見方と同じである。外見や先入観で価値判断するのは無意味で、肝心なのはそれで何が分かるのかである。また、素過程を全部理解できれば「ぶっかけ実験」は不要と考える人がいるかと思うが、「全部理解」できているかどうかは、実験しなければならない。FACE 実験の結果が、農作物成長モデルの検証と改良に使われているのはそのためである。ただ、現在の成長モデルの使われ方では、影響予測が目的化していて、「農作物の応答を理解する」ためにモデルが改良されていないように感じられ、少し残念である。

FACE はその後中国へ技術移転され、中国科学院南京土壤研究所のチームによって、江蘇省のイネ・コムギ地帯にある無錫市（その後江都市）で、2018 年まで継続された。日本の FACE も、実験地を茨城県つくばみらい市へと移してさらに発展を遂げ、2018 年まで継続された。それぞれ多くの発見がなされ、大気 CO₂ 増加の影響予測に貢献した（例えば Hasegawa et al, 2013）。

再び地表オゾンが農作物に及ぼす影響

2000 年代の初めに、中国での地表オゾン濃度上昇により、2020 年のコムギ生産が 60%も減少するという予測が相次いだ。日本以外のアジアで地表オゾンが問題になるのは、まだ先のことだと思っていた私は、東アジアの地表オゾンが、前例の無い規模の影響を農業や生態系へ及ぼすとの見通しに、強い衝撃を受けた。もし、そうした予測が現実になれば、自分が日本で研究したことは、一体何だったのかとも自問した。それでも、そうした予測のもとになったデータは、すべてオーブントップ チャンバーや実験室でとられたデータであり、実際の圃場とは距離があると思っておいた。特に、イネへの影響は実験例数が少なく、前記の通り、カリフォルニアでのポット試験の結果が予測のもとになっている。

そうした予測の不確かさを減らすために、チャンバーを使わないオゾン FACE 実験を、中国科学院南京土壤研究所のチームと共同で実施した。世界最大の米・小麦生産国である中国の圃場で、現地の品種と栽培法を用いた世界最初のイネとコムギのオゾン FACE 実験であった。オゾンは CO₂ よりも濃度の時間変動が大きく、制御は難しい。幸い、ダイズのオゾン FACE が米国イリノイ大学で稼働しており、南京土壤研究所の技術者はそこへ視察に行ってくれた。なお、イリノイのオゾン FACE は、日本で私たちが開発した純 CO₂ 放出型 FACE 装置を見に来たイタリアの研究者が設計製作したもので、FACE 技術が世界を一回りして、中国へ届いたわけである。ただし、中国のオゾン FACE は、南京土壤研究所の技術者がイリノイの情報を参考にしつつ、CO₂ FACE の技術蓄積を生かして自力で作上げたものである。

コムギの減収率：2000年から2020年への増加

Province/ State	90-days AOT40	75-days AOT40	POD ₁	POD ₂
Henan	10.6%	11.8%	10.5%	10.6%
Shandong	7.6%	8.7%	8.5%	8.2%
Hebei	5.1%	6.0%	6.0%	5.5%
Jiangsu	9.8%	11.7%	8.3%	10.6%
Anhui	11.9%	13.5%	10.8%	12.8%
中国全体	8.4%	9.4%	8.1%	8.9%
Uttar Pradesh	6.5%	6.9%	5.2%	6.0%
Punjab	10.5%	11.4%	3.8%	7.9%
Haryana	8.0%	8.7%	4.5%	7.2%
Madhya Pradesh	4.2%	4.4%	7.7%	3.9%
Rajasthan	2.3%	2.4%	7.0%	1.5%
インド全体	7.1%	7.7%	5.4%	6.4%

Tang et al. (2013) Glob. Change Biol.

図3 2000年から2020年にかけてのオゾン濃度上昇による中国とインドのコムギ減収予測

2006 年に中国江蘇省江都市で開始した中国のオゾン FACE は、地表オゾン濃度上昇がコムギとイネの収量を有意に減少させることを、実際の圃場で明らかにした。実験結果に基づき、2000 年から2020 年にかけてのオゾン濃度上昇の影響を予測したところ、中国全体のコムギ生産が 9%前後、インドは同じく 7%前後減少すると推定された(図3; Tang et al., 2013)。この予測結果は、2000 年代初めに予想された 60%減収などよりは、ずっと地味な印象だが、より現実に近いものと考えている。以前の予測は、オゾンの影響が皆無の場合との比較だったこと、農作物群落付近での濃度低下を無視していたことなどにより、影響を過大推定していたと思われる。イネでも、2000 年から2020 年の間に、オゾン濃度上昇による減収のリスクが高まると推定された(Tang et al., 2014)。

興味深いことに、オゾンによるコムギの減収が主に1粒重の低下によるのに対して(Zhu et al., 2011)、イネは1穂モミ数の減少が主な原因であった(Shi et al., 2009)。そして、どちらの種でも、減収程度に有意な品種間差がみられた。図3の影響予測結果は、想定する品種で変わることになる。

上記の作物種間の差は、オゾン濃度の高い5月から8月が、コムギには登熟期間に当たるのに対して、イネでは穂の分化成長期間に当たるためと考えられる。だとすると、オゾンの影響で減収を生じる成長過程が作物間で異なることになる。コムギの減収が1粒重の減少によることから、減収程度の品種間差は、登熟期間におけるオゾンによる葉の老化とその品種間差(Feng et al., 2011)で説明できそうである。葉の老化の品種間差は、アポプラストのアスコルビン酸によるオゾンの消去と関連付けられており(Feng et al., 2010)、オゾン解毒機構の解明が、オゾン抵抗性コムギ品種の育種やオゾン防除薬剤の開発につながるかもしれない。

一方、イネの減収が1穂モミ数の減少によることは、以前の実験結果(Kobayashi et al., 1995)とも一部一致するが、品種間差の原因は不明であった。最近、オゾンによるイネの減収の品種間差の原因が、1次枝梗数の減少の違いによることに関して、その原因遺伝子が推定され、それが葉のオゾンストレス反応で制御されている可能性が指摘された

(Tsukahara et al., 2015). 葉のストレス応答性を高めて可視害を抑制すると、逆に減収を促進することになりかねないことになる。イネのオゾン抵抗性を高めるうえで、極めて重要な手掛かりとなるのではないだろうか。

まとめ

将来世代のために、大気環境変化の研究ができることは何だろうか？残念ながら、彼ら・彼女らも大気環境変化とともに生きていかざるをえないだろう。それでも、人間活動の影響を極力小さくして、よましな世界を残すことが間違いなく最重要である。その一方で、変化した環境に適応する方法を開発することも、将来世代がより良く生きるために必要であろう。気候変化に対して、温暖化物質の放出量削減と並んで適応が重要な目標となっているいま、大気環境変化に対して、遺伝的変異の活用や化学的・物理的・農学的方法による適応を真剣に考える必要がある。今まで私は、大気環境変化の影響を予測するために研究を進めてきた。その中で、大気環境変化の植物への影響が他の要因で変化することを学んだ。これは予測には難題であるが、適応の機会となる。今後は、植物の環境応答をよりよく理解することを通して、大気環境変化への適応に多少なりとも貢献したい。

謝辞

野内勇博士(元農環研)と岡田益己博士(元岩手大学)、には、長年にわたり研究の様々な場面でご指導頂いた。Walt Heck 博士(元米国農務省大気質研究プログラム)にご指導頂いた米国での1年間は、私の研究者人生を大きく変えた。Ed Kanemasu 博士(元ジョージア大学)、Bruce Kimball 博士(米国農務省水保全研究所)と知り合えたことは、私の精神的財産となった。金漢龍博士(韓国全南大学)、マーク・リーフリング博士(ニュージーランド草地研究所)、中村浩史氏(太陽計器)には、FACE 実験で大変お世話になった。また、中国科学院南京土壤研究所の朱建国博士、韓勇博士、劉鋼博士には、中国でのCO₂とオゾンのFACE 実験で大変お世話になった。ここには書ききれないが、上記以外にも多くの方に研究指導・共同研究・研究支援を賜った。すべての皆様に心から感謝申し上げます。

引用文献

- Feng Z, Pang J, Kobayashi K, Zhu J, Ort DR (2011) Differential responses in two varieties of winter wheat to elevated ozone concentration under fully open-air field conditions, *Global Change Biology*, 17, 580-591.
- Feng Z, Pang J, Nouchi I, Kobayashi K, Yamakawa T, Zhu J (2010)

Apoplastic ascorbate contributes to the differential ozone sensitivity in two varieties of winter wheat under fully open-air field conditions, *Environmental Pollution*, 158, 3539-3545.

- Hasegawa T, Sakai H, Tokida T, et al. (2013) Rice cultivar responses to elevated CO₂ at two free-air CO₂ enrichment (FACE) sites in Japan, *Functional Plant Biology*, 40, 148-159.
- Inubushi K, Cheng W, Aonuma S, Hoque MM, Kobayashi K, Miura S, Kim H-Y, Okada M (2003) Effects of free-air CO₂ enrichment (FACE) on CH₄ emission from a rice paddy field, *Global Change Biology*, 9, 1458-1464.
- Kim H-Y, Lieffering M, Kobayashi K, Okada M, Miura S (2003) Seasonal changes in the effects of elevated CO₂ on rice at three levels of nitrogen supply: a free air CO₂ enrichment (FACE) experiment, *Global Change Biology*, 9, 826-837.
- Kobayashi K, Kim H-Y, Nouchi I (1997) Some changes in growth and yield of rice in the field caused by enhanced UV-B radiation, *Photomedicine and PhotoBiology*, 19, 11-18.
- Kobayashi K., Okada M., Nouchi I (1994) A chamber system for exposing rice (*Oryza sativa* L.) to ozone in a paddy field, *New Phytologist*, 126, 317-325.
- Kobayashi K, Okada M (1995) Effects of ozone on the light use of rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 53, 1-12.
- Kobayashi K, Okada M, Nouchi I (1995) Effects of ozone on dry matter partitioning and yield of Japanese cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 53, 109-122.
- Kobayashi T, Ishiguro K, Nakajima T, Kim HY, Okada M, Kobayashi K (2006) Effects of elevated atmospheric CO₂ concentration on rice blast and sheath blight epidemics. *Phytopathology*, 96, 425-431.
- Shi G, Yang L, Wang Y, Kobayashi K, Zhu J, Tang H, Pan S, Chen T, Liu G, Wang Y (2009) Impact of elevated ozone concentration on yield of four Chinese rice cultivars under fully open-air field condition, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 131, 178-184.
- Tang H, Pang J, Zhang G, Takigawa M, Liu G, Zhu J, Kobayashi K (2014) Mapping ozone risks for rice in China for years 2000 and 2020 with flux-based and exposure-based doses, *Atmospheric Environment*, 86, 74-83.
- Tang H, Takigawa M, Liu G, Zhu J, Kobayashi K (2013) A projection of ozone-induced wheat production loss in China and India for the years 2000 and 2020 with exposure-based and flux-based approaches, *Global Change Biology*, 19, 2739-2752.
- Tsukahara K, Sawada H, Kohno Y, Matsuura T, Mori IC, Terao T, Ioki, M, Tamaoki M (2015) Ozone-induced rice grain yield loss is triggered via a change in panicle morphology that is controlled by ABBERRANT PANICLE ORGANIZATION 1 gene, *PLoS ONE* DOI: 10.1371/journal.pone.0123308
- Zhu X, Feng Z, Sun T, Liu X, Tang H, Zhu J, Guo W, Kobayashi K (2011) Effects of elevated ozone concentration on yield of four Chinese cultivars of winter wheat under fully open-air field conditions, *Global Change Biology*, 17, 2697-2706.

傾斜地果樹園における機械化作業体系に関する研究

宮崎 昌宏

元国立研究開発法人農研機構革新工学センター

要旨

我が国の果樹生産の第1位を占めるカンキツは、主に急傾斜地で栽培されていることから、機械化が遅れ長時間の重労働が強いられている。また、生産者の高齢化や女性化で労働力の脆弱化が進み、産地の維持が危惧されている。このため、狭幅な園内作業道の基盤整備法とその園内作業道に適合した小型作業機を核とした歩行形機械化体系を開発し、実証試験を通して省力・軽作業化効果を明らかにするとともに階層分析法で評価した。

キーワード

傾斜地果樹園、機械化作業体系、実証研究、労働科学、階層分析法

緒言

急傾斜地カンキツ園の機械化作業体系の研究は、1960年代後半から70年代前半にかけて精力的に行われた。これは、国内産ミカンに国際競争力を付与することと、加工品の生産による消費の拡大を図ることを目的とし、全労働時間の約4割を占める収穫運搬の機械化体系を開発することであった。これらの研究から、耕作道型斜面畑が考案され、幅約2mの作業道を配置し、乗用形車両の導入による運搬作業の省力化が実証された。しかし、1972年以降の過剰生産による価格の下落によってミカン産業は量産から高品質への技術変革を余儀なくされるとともに、大半を占める既存園に対しては大幅な改造や改植が必要とする場合が多く、生産者の経済的負担が大きくなるために広く採用されなかった。

一方、農道の役割を代替し得るものとして、単軌条運搬機（通称モノレール）が開発され、現状の既存園に適合しやすい特徴を有していることから広く普及した。また、乗車可能な乗用単軌条運搬機が開発され運搬作業の一層の軽作業化が図れた。さらに、モノレールを樹上に設置し、防除・収穫作業の自動化を狙った研究（岡崎ら、1996）も行われた。しかし、施設費の高いモノレールは傾斜上下方向の運搬に限られ、急傾斜地カンキツ園の全面的な作業改善には至っていない。運搬に次いで省力化・軽作業化が要望されている薬剤散布作業については、灌水用のスプリンクラの散布機能を利用した薬剤散布方法が研究され実用化された。しかし、葉裏への薬液付着が劣ること、散布量が多く環境汚染が問題になること、施設費と薬剤費が大きい等から、その利用面積は全体の7%にとどまっている。

そこで、本研究では大部分の作業を手作業に頼らざるを得なかった傾斜15度以上25度未満の斜面畑のカンキツ園を対象として、園地整備費と機械整備費が乗用形体系や施設形体系よりも低コストで環境負荷が少なくてすむ歩行形機械化体系の開発に取り組んだ。

歩行形機械化体系の要素技術の開発

1) 園内作業道の整備法

傾斜地果樹園に機械化体系を導入するためには、作業機が走行できる作業空間が不可欠である。しかも、間伐や縮伐により作業空間が確保されても、斜面での走行では、暴走、転倒、転落等の危険が介在する。このため、作業機が安定して走行できる園内作業道の設置が前提条件になる。また、土木経費、土壌浸食、機械整備費を考慮し、果実の消費動向から高品質生産が実現できる作業体系でなければならない。

園内作業道の整備法は、歩行形作業機の特徴から以下のように設定した（図1）。①園内の上下方向の連絡道と等高線方向の作業道および支線農道を結ぶ肋骨形配置。②連絡道は、縦断勾配を15度以下とし、道幅を1.3m以上とする。③等高線方向に設ける作業道はできる限り直線状に配置し、道幅を1.0～1.2mとし、作業道の両端に

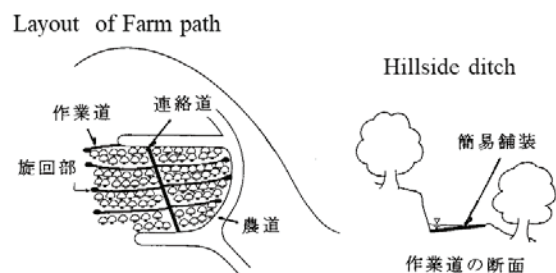


図1 園内作業道の整備法

は作業機が旋回できる直径2～2.5mの旋回部を設ける。
④作業道の山側は谷側よりも低くして、排水路の機能を持たせるとともに、路面上を流れる排水が連絡道に集中しないように、作業道の縦断勾配を決定する。⑤降雨の流れによる路面侵食を防止して、作業機の安定走行を確保するため、園内作業道は舗装処理を施す、の5項目である。

2) 作業道の簡易舗装法

園内作業道は、雨水の流れによって路面が侵食されるので、安定走行の確保、運転者の安全性の確保と疲労度軽減、荷傷みの防止のため、舗装処理を施す方が良い。しかし、交通量の少ない作業道の舗装に従来のコンクリート舗装やアスファルト舗装を用いると資材費が過大となり実用的でない。

そこで、道路の路盤強化あるいは路床の強度補強に用いられている土質安定処理を直接表面舗装に用いる簡易舗装法を開発した(岡崎ほか, 1998)。これは、トラクタなどの営農機械を用いた土質安定処理法であり、労力がかかる転圧行程を省くため、セメントの他に遊歩道等に使用されている土壌凝固剤S剤(メチルセルロース系高分子化合物)を現場で原土と混合して水練りする工法である。

普通セメント13%、土壌凝固剤0.3%を原土に混合して水練りを行うことによって、歩行形作業機の走行に安定な現場CBR値100%以上の強度を有する路面が施工できた。なお、資材費は、生コンクリート購入経費の約70%であった。

3) 防除作業の機械化

園内作業道を走行しながら薬剤散布ができる風筒式防除機を開発した(宮崎ら, 1999a)。本機は機体幅が880mm、機体質量が510kgの小型クローラ式で、差動装置を利用した機械式の「その場旋回機構」を採用している。果樹は立体的で、しかも葉層が密であることから、薬液散布は、風筒の軸流送風機で動力噴霧機からでた薬液を微粒化して送風散布する有気散布である。風筒角度は上方向に35度、下方向に20度まで調節できるとともに、上下方向に自動首振り散布できる。そのため、特定部分へのスポット散布や、樹冠内部に乱気流を発生させ、葉裏への薬液付着を良好にしている(図2)。

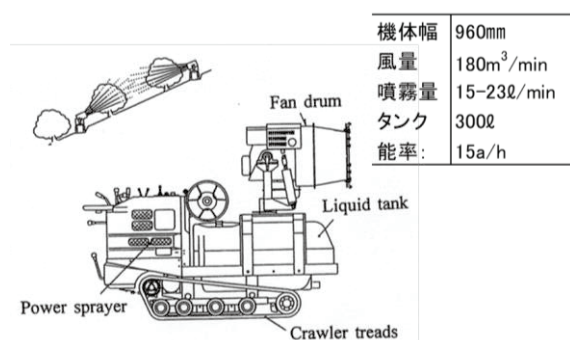


図2 風筒式防除機

薬液タンク容量は300ℓで、作業能率は15a/hであり1樹列両面散布あるいは千鳥2樹列両面散布の有効付着率は87～91%と高かった。

4) 施肥防除作業の機械化

施肥作業が総労働時間に占める割合は5%程度で低いことから、専用機でなく歩行形のリフト装置付きクローラ式運搬車(全幅675mm、積載量500kg)を汎用利用した肥料側方散布機を開発した(宮崎ら, 1995)。肥料ホッパー内の肥料は、スクリュによって排出管へ繰り出された後、遠心送風機により噴頭から送風散布される。噴頭は手動で上下方向に調節できる。ペレット状および粒状肥料に適応し、ホッパー容量は100ℓである。散布装置の脱着方法は、運搬車の荷台の昇降を利用する(図3)。

作業能率は45a/hと慣行作業より削減効果は認められなかったが、立ち姿勢割合が慣行の1.5倍の89%にも達し労働負担の大きい中腰姿勢の割合が小さかった。

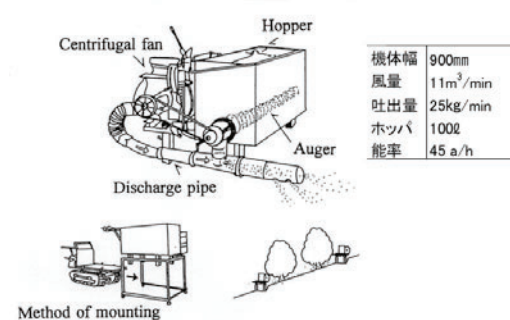


図3 肥料散布装置

搭載運搬車：荷台リフト機能付き、積載量500kg

4) 除草作業の機械化

園内作業道の舗装だけでも、除草対象面積が減少し、また、足場が確保されて刈払機でも効率的に作業できる、しかも、園地の排水促進で雑草発生量も減少するなどの省力効果がある。新たな省力型機種としては、小型浅耕機と手押し式刈払機などを開発した(図4)。

小型浅耕機(宮崎ら, 2000)は、春肥の土壌混和と春草の除去を目的とした管理機である。市販の土壌管理機を改造し高速回転ドラムに多数の短い爪刃を付けて表層

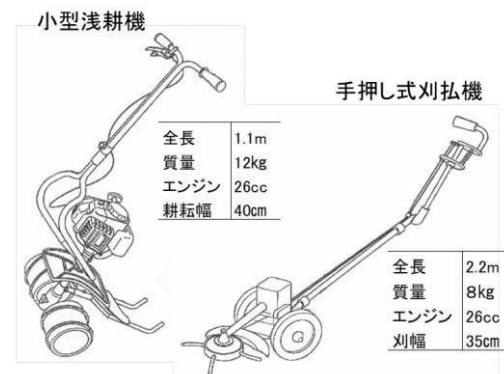


図4 小型浅耕機と手押し式刈払機

土壌を耕転することで、カンキツ樹の根を傷めずに雑草を根から除去する機械である。雑草を根こそぎ取り除くので抑草期間が長く、散布肥料・堆肥等が土壌と混和されるので、肥料成分の吸収効率向上、表面流去の防止にも有効である。手押し式刈払機（宮崎ら、1999b）はナイロンコードの刃先を掃除機のように前後に動かして草を刈る方式で、樹冠下でも腰を屈めずに作業をできる利点がある（Miyazaki, 1998）。

5) 収穫作業の機械化

園内作業道が整備されることでクローラ式運搬車の園地内乗り入れが可能となり、果実・肥料・堆肥などの搬出入が従来の抱え運搬と比べて大幅に軽労化される。また、リフト機能を備えているのでトラックへの積み換えも楽になる。

収穫作業は、採果する作業員の人数、運搬車のコンテナ積載量、待機する軽トラックまでの運搬距離により作業全体の効率が影響を受ける。そこで、システム分析手法により、園内作業道とクローラ式運搬車の組み合わせによるカンキツ収穫作業の要因解析をした（石束ら、2000）。運搬車は、果実コンテナが6ケース積み（120 kg）と10ケース積み（200 kg）を対象とした。

図5に示すように、運搬距離が100m前後では、運搬車の積載量の違いや運搬距離の長短が収穫作業時間へ及ぼす影響は小さい。しかし、運搬距離が200mと長い場合には積載量の大きい運搬車が有利になるが、収穫作業時間への影響はわずかである。一方、労働力を増すことで大幅な収穫作業時間の短縮が図れる。

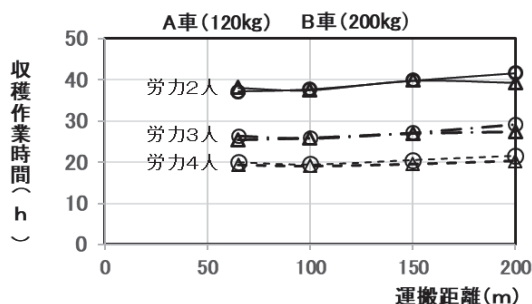


図5 運搬車と作業労力が収穫作業に及ぼす影響

歩行形機械化体系の実証

園内作業道の肋骨形配置法、作業道の簡易舗装法、風筒式防除機、肥料側方散布機、クローラ式運搬車を核とする歩行形機械化体系を愛媛県北宇和郡吉田町の急傾斜地カンキツ園に導入し、本体系による労働強度、作業時間、果実生産量について、慣行体系と比較検討した（宮崎ら、1999c）。なお、実証面積は1 haである。

本体系を導入した園地の傾斜度は、傾斜15度以上25度未満が園地の80%、傾斜25度以上が20%を占める尾根筋に位置する斜面畑である。樹列間の距離が3.5m、樹幅が2.8mで栽植本数は10a当たり90~100本であった。

表1 園内作業道の施工結果（愛媛県吉田町石崎園）

栽培状況	栽植距離3.5m、樹高2.5m、樹幅2.8m	
施工内容	肋骨形配置、2樹列おき簡易舗装道	
工事区	第1期	第2期
傾斜度(度)	20~25	18~25
間伐率(%)	11.3	6.5
掘削能率(m/h)	20	19
施工労力(人日/10a)	5	4
路線密度(m/10a)	120	115

園内作業道の設置のために伐採した樹木の間伐数は、全体の6.5~11.3%であった。小形バックホーによる園内作業道の掘削・整形の作業能率は、傾斜度が25度以下では平均20m/hであり、簡易舗装に要する労力は5人の組作業で100m²当たり4~6時間であった。園内作業道の路線密度は、傾斜15度以上25度未満の区画では120m/10aであった（表1）。

歩行形機械化体系の導入により、慣行体系では強労働である防除、施肥、草刈り作業を中労働へ、また中労働の収穫作業と除草剤散布作業を軽労働へ軽減させることができた。また、本体系による作業別の作業時間は、慣行体系と比較して、整枝・契定作業で42%、摘果作業で29%、除草作業で28%、防除作業で47%、収穫作業で38%削減することができた。年間の作業時間は10a当たり84時間で、慣行の35%を削減することができた（表2）。

園内作業道の開設のためにミカン樹の縮間伐を行った94年と95年の対地区比は、やや多い出荷量に止まっていたが、開設後は2年続けて対地区比が150%台の出荷量であり、生産量は縮間伐をする前に回復したと判断することができる。このように早く回復できたのは、狭幅な園内作業道を2樹列おきに設置したため、縮間伐量が少なかったことによると考えられる。なお、カンキツは隔年結果性が強いので、園地改良を果実の成り年に行うなどで、縮間伐に伴う生産量の減少を抑える工夫が必要である（表2）。

果実単価についてもいずれの年も地区平均より高い値であり、本体系の導入による品質低下はなく、従来の高品質な果実生産を維持し得るものと判断できる。園主の観察では、簡易舗装による排水促進や、作業道設置に伴う縮間伐による樹木への直達光の増加などによって、果実糖度および果皮色の向上が認められている（表3）。

表2 歩行形機械化体系の作業時間と労働強度

作業名	作業方法	労働強度 ¹⁾	作業時間 ²⁾ (h/10a)	増減率 ³⁾ (%)
せん定	手作業	中労働	8.1	-42.1
施肥	肥料側方散布機	中労働	2.2	10.0
除草	刈払機・背負散布機	中労働	8.3	-27.8
防除	風筒式防除機	中労働	8.4	-47.2
摘果	手作業	軽労働	31.3	-29.2
収穫	クローラ式運搬車	軽労働	25.8	-37.7
合計			84.1	-34.8

1) 労働強度は、心拍数増加率から判定。

2) 作業時間は1995年9月～1997年8月までの2年間の平均値

3) 増減率=(本体系の作業時間-慣行作業時間)/慣行作業時間×100

なお、本体系導入によって 10a 当たり 360～3,500 円程度の生産コスト削減がもたらされると評価している（関野 1998）。

表 3 実証園の果実単価と出荷量

年次	(品種: '南柑20号')			
	果実単価		出荷量	
	(円/kg)	(%) ¹⁾	(t/ha)	(%) ¹⁾
1994 ²⁾	233	113	20.6	105
1995 ²⁾	153	101	30.1	135
1996	272	113	26.3	152
1997	70	140	45.7	158

1)実証園周辺の対地区割合

2)園内作業道の開設年次

生産体系選択過程の分析

傾斜地カンキツ生産の条件に適合した体系を選択する際の指針を得るため、階層分析法に基づく対話型の意思決定支援システムを開発するとともに、それを用いてカンキツ生産農家を対象とする調査を実施し、その結果から、カンキツ生産作業体系選択の意思決定過程を明らかにした。比較する作業体系を施設形体系、乗用形体系、歩行形体系の3体系に設定し、評価項目として「規模適性」、「作業強度」、「作業能率」、「作業の質」、「園地状態」、「必要経費」、「資金援助」の7項目と、各項目について具体的な下位項目からなる3階層の生産体系選択の階層構造を構築した（図6）。

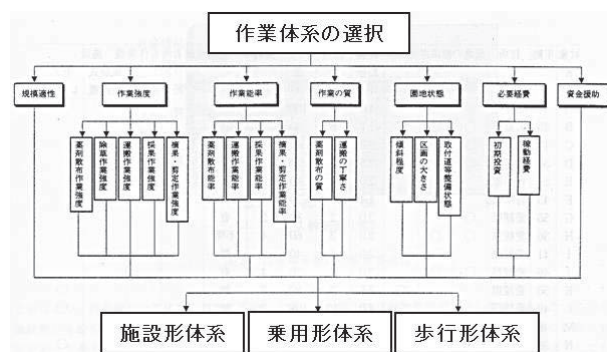


図 6 作業体系選択の階層構造図

カンキツ農家の調査から、以下の点が明らかになった。作業体系の選択に当たって、最も重要視される項目は「園地状態」であり、作業体系導入に関わる経済性を重視する対象者は少ない。「園地状態」の項目では、園地までの取付道の有無が最重要視され、次に園地の傾斜度であり、区画の大きさについては与件としてとらえられている。薬剤散布作業では、スピードスプレーヤーが最も有効な作業機と判断されており、開発した風筒式防除機については、スピードスプレーヤーが導入できない園地で散布精度を重視される場合に選択される作業機である。運搬作業では、園内に軽トラックを導入することが最も効果的であると判断されている。

表 4 主な項目別の作業体系選択割合（％）

選択体系	取付道の整備	園地傾斜度	規模適性	初期投資	資金援助
施設形	26	47←	35←	24	48←
乗用型	37←	18	45←	0	38←
歩行形	37←	35←	20	76←	14

園地の傾斜が緩く経営面積の大きい生産者は、乗用形体系を選択し、経営面積が広いが園地の傾斜が急で、資金援助を期待する生産者は施設形体系を選択すると判断できる。さらに、歩行形体系は、園地の傾斜が急であり経営規模が比較的小さい生産者に選択される作業体系であると判断される（表4）。

なお、本体系は農林水産省の果樹産地モデル事業のキーテク技術として取り上げられ普及に移っている。

謝辞

本研究の遂行にあたり、岡崎紘一郎博士、石東宣明博士、高辻豊二元果樹試験場カンキツ部長をはじめ多くの関係者からご助言とご指導を頂いた。実験の実施に当たっては、農家の石崎英雄氏、堀口隆嗣氏をはじめ宇和青果、香川豊南農業協同組合の方々、(株) 福本ボデー、(株) ニッカリ、(株) 日進機械の多大なご協力・ご支援を頂いた。ここに記し、厚く感謝の意を表します。

引用文献

- 石東宣明・宮崎昌宏(2000) カンキツ収穫作業のシステム分析，農業研究，35(1) 7-16.
- 石東宣明・宮崎昌宏ら（2003）作業感覚による草刈機の評価，農作業研究，38(1) 25-31.
- 岡崎紘一郎、宮崎昌宏ら（1996）樹上走行モノレールによるカンキツ園の農作業自動化，農業機械学会誌，58(3) 103-109.
- 岡崎紘一郎・宮崎昌宏ら（1998）傾斜地カンキツ園における園内作業道の簡易造成法，農作業研究 33(4) 213-219
- 関野幸二ら（1998）カンキツ作経営における園内作業道・小型機械化技術導入の経済効果，農業経営研究，36(2) 89-94.
- 宮崎昌宏ら（1995）肥料散布装置，実用新案登録 3019714.
- 宮崎昌宏・高辻豊二ら（1998）刈払機，特許 2821543.
- Miyazaki, M.（1998）Mechanized Farming for Slope Land Orchards 1. Japan, Food and Fertilizer Technology Center Extension, 452, 1-8
- 宮崎昌宏・高辻豊二ら（1999a）急傾斜地カンキツ園における防除・施肥作業の省力・軽作業化技術の開発，農作業研究 34(2) 85-94.
- 宮崎昌宏・高辻豊二ら(1999b) 車輪走行式刈払機，特許 2917132.
- 宮崎昌宏・高辻豊二ら（1999c）園地改良と小型機械化体系導入による急傾斜地カンキツ園の軽作業化及び省力化，農作業研究，34(3) 203-210.
- 宮崎昌宏・石東宣明（1999d）意思決定支援システムの開発とその適用によるカンキツ生産作業体系選択過程の分析，農作業研究，34(3) 191-201.
- 宮崎昌宏・高辻豊二ら（2000）小型管理作業機，特許 3086886.

園芸施設内部の気流と環境制御

奥島 里美

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

要旨

1980年代に一般建築物よりも開口部が大きく、内外気流の相互作用が大きい自然換気温室について3次元乱流数値シミュレーションを適用し、内部の気流分布の再現の可能性を示した。それ以降、園芸施設に関して、風洞実験や数値シミュレーションにより実際の現場では把握しにくい気流性状を明らかにしてきた。それらの結果を紹介するとともに、自然換気による温室環境の制御の今後の可能性について述べたい。

キーワード

自然換気温室、風洞実験、CFD、細霧冷房、風量センサ

はじめに

風洞模型実験は長年にわたり、信頼性が高い気流性状の予測法として活用されてきた。しかし、精度が高くなる大型風洞ほど、測定や維持管理に労力や費用がかさむことから、今や希少な存在となっている。数値シミュレーション（Computational Fluid Dynamics, CFD）に関しては、それぞれ特徴ある市販のアプリケーションがいくつも提供されていて、用途に応じて選択・利用できる時代となっている。ただし、手軽であるがゆえ、間違った条件設定でもそれなりの結果を出してしまう危険性もある。本稿では、自然換気の園芸施設について、これまで風洞実験および数値シミュレーションにより内部気流性状の予測を行った事例を紹介する。

園芸施設の自然換気について、気流性状の予測方法は一定の成熟に達していると思われ、次のステップは自然換気の予測制御であると考えられる。特に、閉鎖型園芸施設の強制換気と比べて開放型の自然換気の方が格段に制御の難易度が高いと予想される。実際の気流や温湿度等のセンサによるモニタリングと数値シミュレーションによる予測を組み合わせることで動的に制御をかけることが必要で、さらなる研究の進展が望まれる領域と考える。ここでは、今後、そのような技術の開発が期待できそうな事例についても合わせて紹介したい。

最も単純な数値シミュレーションの例

初期の最も単純な乱流数値シミュレーションモデルである $k-\epsilon$ 2 方程式モデルを用いた。流れの方程式自体は時間変動項と移流項、拡散項に圧力変動項から成る。川

にインクを垂らすと、インクは広がりながら流れていく。流れていくのが移流項で、広がるのが拡散項で表現される。乱流成分は乱流拡散係数に集約されている。計算は図1に示す単純な矩形メッシュで差分法を用いた。メッシュ数は X 方向に 35、Y 方向に 10、Z 方向に 20 分割と、セル数はわずか 7000 である。

両天窓とはね上げ式の側窓を有する自然換気の単棟温室について、風洞模型実験と数値計算の結果を図2に示す (Okushima et al., 1988)。ごく粗い計算にもかかわらず、温室内の逆流も再現しており、大雑把ではあるが定性的な流れの性状はつかめている。

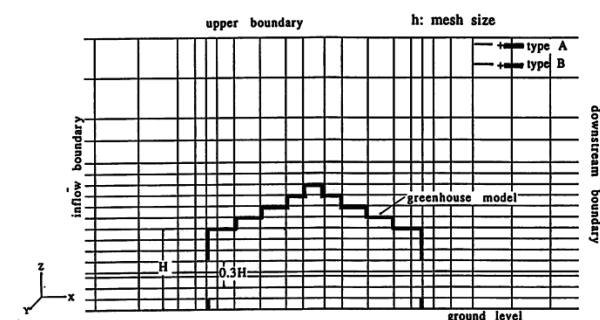


図1 計算メッシュ

フェンロ型屋根構造の2連棟温室

フェンロ型屋根構造の天窓が4列ある2連棟温室の風洞模型実験と数値計算結果を図3に示す (Okushima et al., 1998; Kacira et al., 2004)。両天窓とはね上げ側窓を有する単棟温室よりも気流性状は複雑になる。

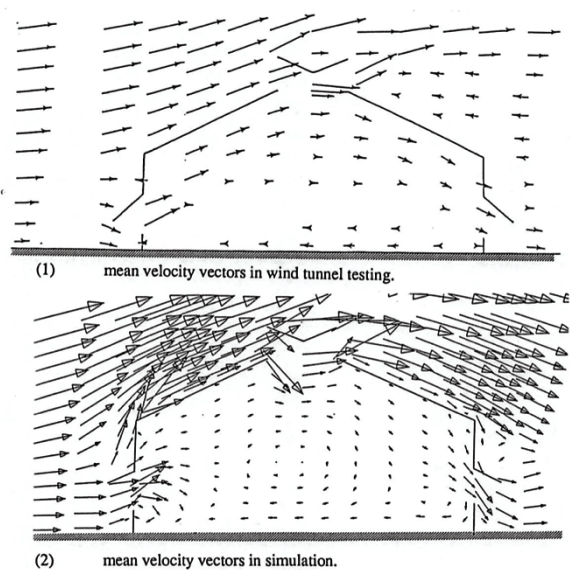


図2 自然換気の単棟温室の気流分布
(上が風洞実験結果, 下が数値計算結果)

風洞実験結果から, 風上側の天窓だけを開けた場合, 気流は常に変動しながらも大勢としては天窓の正面と風上側天窓の側面から入り, 風下側天窓の側面から出ることが明らかとなった. 数値計算は市販のアプリケーションの Fluent, 1998 版を使用した. 温室形状も矩形メッシュではなく三角メッシュにより再現精度を高めている. その結果, 温室内の渦が再現されていて, 定量的にも気流速が風洞実験結果に近づいている. 特に, 天窓での出入りの流速は良く一致しており, 数値シミュレーションによる自然換気の気流が予測できることが検証された.

多連棟大規模園芸施設

フェンロ型屋根構造の2連棟温室で用いた手法で 6～24 連棟の大規模ハウスについて数値計算を行った結果を図4に示す (Kacira et al., 2004). 風洞模型実験では大型の風洞であっても大面積のハウスとなると模型の縮率を小さくせざるをえないので, 気流の可視化精度が粗くなってしまう恐れがある. また, 実際の ha 規模の大型多連棟ハウスで全体の気流性状を3次元で把握するには, 数百個程度の気流センサとそれらの通信が必要になるであろうから, 今のところ現実的ではない. その点からして, 数値シミュレーションによる予測は自然換気の園芸施設, 特に大型施設を設計する上で非常に有用なツールとなっている. 企業も自社の園芸ハウスについて, 数値シミュレーションの予測結果を提示するようになってきている.

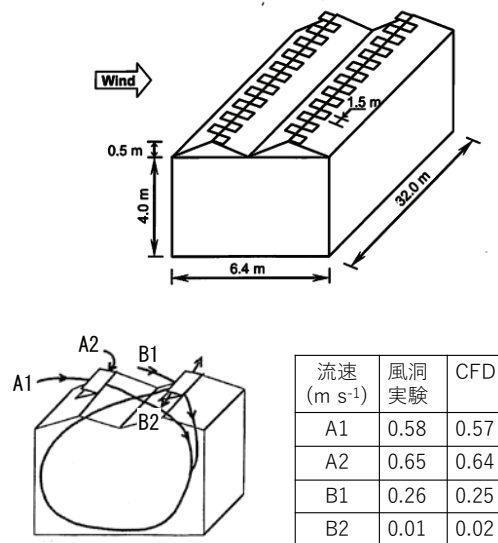


図3 フェンロ型2連棟温室の気流分布 (上図は温室形状, 中図は気流の出入り, 下図は気流分布.
左(a)が風洞実験結果, 右(b)が数値計算結果)

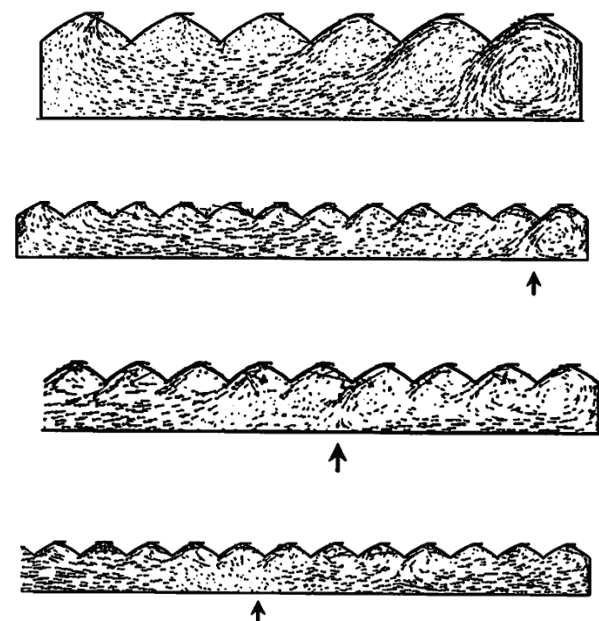
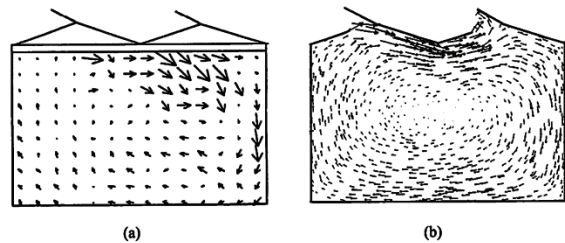


図4 多連棟ハウスの気流分布 (上から6連棟, 12連棟, 18連棟, 24連棟. →は逆流の到達位置. 外風向は図3と同じ.)

今後の自然換気の予測制御に向けて

数値シミュレーションによる予測自体は自然換気園芸施設の設計段階で有用となったことはすでに述べたとおりであるが、次のステップとして自然換気の予測制御を期待したい。閉鎖型の強制換気と比べて開放型の自然換気の制御は、入排気が外風力や温度差まかせとなる面があるので、難易度が高いと予想される。しかし、以下の事例から、今後挑戦するのに十分価値のある分野ではなからうか。

細霧冷房による温室の高温抑制の制御

温暖化傾向の中、施設園芸では高温抑制が強く求められている。パッドアンドファンは確実な冷却効果が得られる有望な冷房方式であるが、冷却効果が届く距離に限界がある。また、住宅地近くでは換気扇（ファン）の音が問題になるといった制限もある。細霧冷房はハウス内空間に水を噴霧し、気化熱により温室内の気温を下げる技術で、理論的には室温を外気の湿球温度まで下げることができる。ただし、温室内の相対湿度が 100%に達するとそれ以上は気化できなくなるので、気化できる余地を作るため換気して湿度を下げるのが必須となる。この換気は換気扇を使った強制換気である必要はなく自然換気で行われることが多い。

一般的な両屋根型の自然換気温室で細霧冷房を行ったときの

気温、湿度と換気量の関係を図 5 に示す (Ishii, et al., 2013)。ここで注目していただきたいのは 11 時 10 分から 12 時頃までの時間帯である。この時間帯以外は外気温より 4℃ほど低い 26℃と外気温と同じ 30℃の間を行ったりきたりしているが、この時間帯だけは 26℃近辺を連続して維持している。その時の換気量もその他の時間帯に比べて変動が小さく、約 $2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ を維持している。すなわち、この時間帯は偶然、換気量と気化量のバランスがとれていたと考えられる。気温が低下して重くなった空気と高温で軽くなった空気の入排気を予測制御に基づいて、窓の開閉や噴霧をコントロールすることで、このミラクルタイムが再現できると十分期待される。

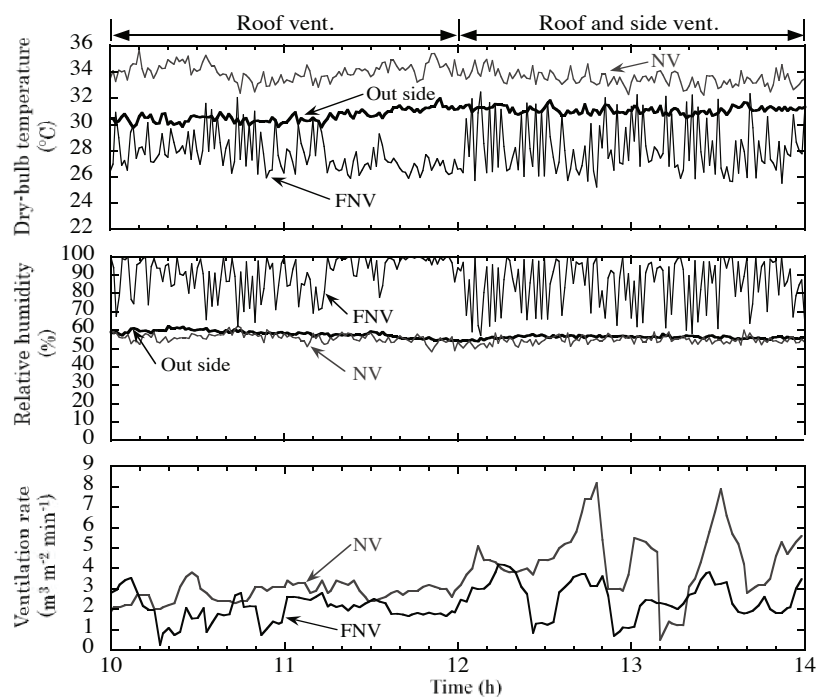
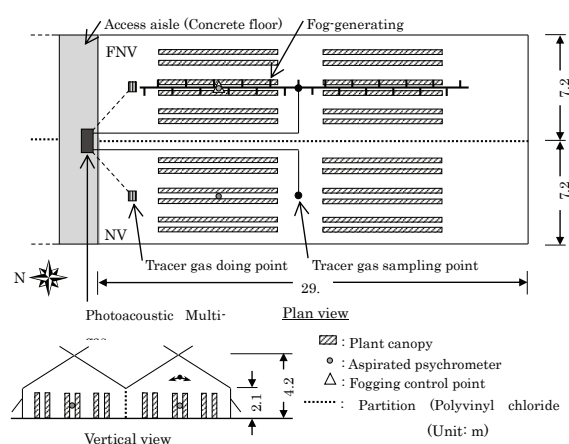


図 5 細霧実験温室の概要（右上）と夏期快晴日の気温、湿度、換気量
(NV: 自然換気のための対照区, FNV: 細霧冷房区)

天窗の入気と排気の識別

園芸施設の自然換気の予測制御の方法のひとつとして、簡便な数値シミュレーションでの予測に基づいて換気窓や噴霧などに制御をかけることが考えられる。この場合、制御結果を温室内の気温と湿度だけで判定するよりも、実際にどの換気窓で入気あるいは排気が優勢かについての情報も追加できていれば、制御の確実性が上がるであろう。

防虫ネットを展張した天窗を有する高軒高ハウスの天窗部直下にMEMS風量センサを置き、サンプリング間隔100msで0.05 m/s以上の上向きと下向きの気流の検出回数を記録した(図6)。これにより外風が弱い時でも排気か入気かの識別できることを確認した。制御用に簡便な数値シミュレーションを使うとしても、この入排識別が予測の補正や制御に役立つであろう。

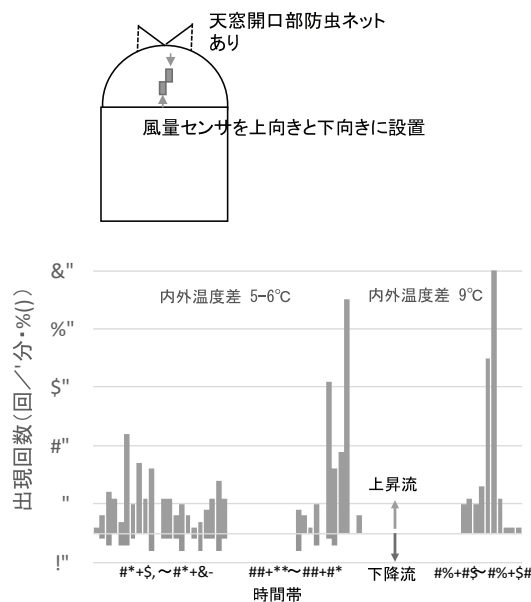


図6 風量センサの設置概要と風量センサが0.05 m/s以上の気流を検出した回数
(サンプリング間隔は100 ms)

おわりに

風洞模型実験と数値シミュレーションにより自然換気の温室の気流性状の予測が確立し、CFDアプリケーションソフトを利用して園芸施設の設計を行うのが当たり前の時代になった。数値シミュレーション予測とセンサ情報を組み合わせた園芸施設の自然換気制御も実現が近いと期待される。

謝辞

この度の日本農業工学会賞受賞に際しまして、格別のご高配を賜りました塩沢昌会長、野口伸副会長、池口厚男副会長、理事、監事の役員の皆様に謹んで御礼申し上げます。また、ご推薦くださいました農業施設学会理事会の皆様に厚く御礼申し上げます。

本稿の研究にあたっては農研機構農村工学研究部門の大型風洞を使用させていただくことができました。東京大学生産技術研究所で村上周三先生、筑波大学社会人課程で前川孝昭先生のご指導もいただくことができました。

農村工学研究部門在職中、奈良誠博士、佐瀬勘紀日大教授、石井雅久ユニット長、森山英樹上級研究員、Lee In Bok ソウル大教授、Murat Kacira アリゾナ大教授はじめ、多くの皆様に多大なるご指導、ご助言、お力添えを賜りました。ここに記して、関係各位に厚く深く御礼申し上げます。

引用文献

- L. Okushima, S. Sase, M. Nara (1988) A SUPPORT SYSTEM FOR NATURAL VENTILATION DESIGN OF GREENHOUSES BASED ON COMPUTATIONAL AERODYNAMICS, ISHS Acta Horticulturae, 248, 129-136.
- 奥島里美・佐瀬勘紀・前川孝昭・池口厚男(1998)フェンロ型温室における風力換気時の気流性状, 農業施設, 29 (3) 159-167.
- Murat.Kacira, Sadanori Sase, Limi Okushima (2004) REVIEW Effects of Side Vents and Span Numbers on Wind-Induced Natural Ventilation of a Gothic Multi-Span Greenhouse, JARQ, 38 (4) 227-233.
- M. Ishii, L. Okushima, H. Moriyama, S. Sase (2013) AN OVERVIEW OF NATURAL VENTILATION, AIRFLOW, EVAPORATIVE COOLING AND HEAT PUMP HEATING IN GREENHOUSES UNDER MILD CLIMATIC CONDITIONS, ISHS Acta Horticulturae, 1037, 493-500.

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

大政 謙次

高崎健康福祉大学農学部・東京大学名誉教授

〒370-0033 群馬県高崎市中大類町 5 4

要旨

植物が生育している状態で、気孔反応やガス交換、光合成、成長等の基本的な植物機能を、2次元さらには3次元で画像計測し、空間情報解析を行うための新しい手法の開発とその応用に関する研究を行った。その特徴は、細胞や個体レベルの研究とフィールドや航空機、人工衛星からのリモートセンシングの研究を融合させ、細胞レベルから群落レベルまでの2次元、3次元の機能情報解析を可能にし、植物機能の理解を深化させた点にある。また、画像情報を用いた植物フェノタイピング技術の発展にも貢献し、さらに、情報通信技術(ICT)やドローン等の利用促進と併せて、農学や植物科学、環境科学の分野における新しい研究法として発展させた。

キーワード

植物、リモートセンシング、空間情報解析、フェノタイピング、ICT

緒言

植物は、種によって異なる特徴ある3次元空間構造をもち、また、その機能は、環境との相互作用で、空間的に異なっている。このため、筆者は、40余年にわたって、気孔反応やガス交換、光合成、成長等の基本的な植物機能を、2次元さらには3次元で画像計測し、空間情報解析を行うための新しい手法の開発とその応用に関する研究を行ってきた。その特徴は、細胞や個体レベルの研究とフィールドや航空機、人工衛星からのリモートセンシングの研究を融合させ、それまでは困難であった2次元、3次元での情報解析を可能にし、植物機能の理解を深化させた点にある(図1)。そして、植物の環境応答や機能解明に関する研究を通して、農学や植物科学、環境科学の分野における新しい研究法として発展させ、情報通信技術(ICT)やドローン等の利用促進と併せて、実利用の面でも多くの貢献をしてきた。さらに、地球環境問題に関連して、温暖化や大気汚染等の植物影響研究や地球観測研究にも取り組んできた。以下に、その主な研究業績を簡単に紹介する。

植物機能の画像計測処理システムの開発

1970年代後半から、コンピュータでの解析が可能な画像計測処理システムを開発し、1980年頃には、ファイトトロンや圃場で生育している植物の熱赤外(葉温)画像

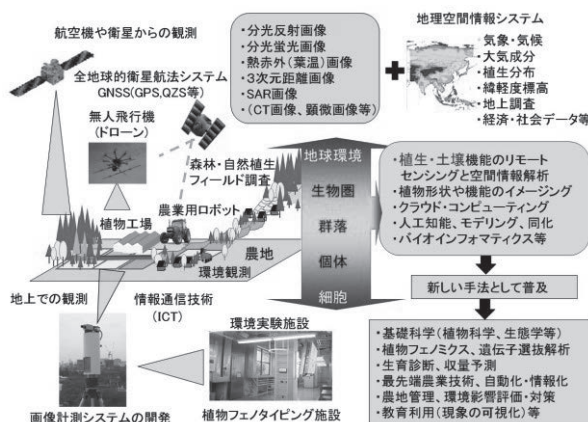


図1 研究の概念図

や近紫外～近赤外分光反射画像を、低速ではあるが光ファイバ通信等によりオンライン計測し、植物の環境応答やガス交換機能を定量的に解析するシステムを構築した(図2)。その後、1980年代半ばには、レーザスキャナ等を用いたクロロフィル(Chl)蛍光画像計測や顕微画像計測システムの開発を(図3)、また、1990年代に入って3次元画像計測等を加えた複合画像計測システムの開発へと発展させた(図4)。そして、航空機や衛星からの観測と併用したシステムとして、また、情報通信技術(ICT)やドローン等の利用促進と併せて、植物環境応答解析やフェノタイピング等の研究分野だけでなく、先端農業や環境影響モニタリング等の実際の現場にも適用した。



図2 1980年頃の植物機能診断のためのオンライン画像計測システム

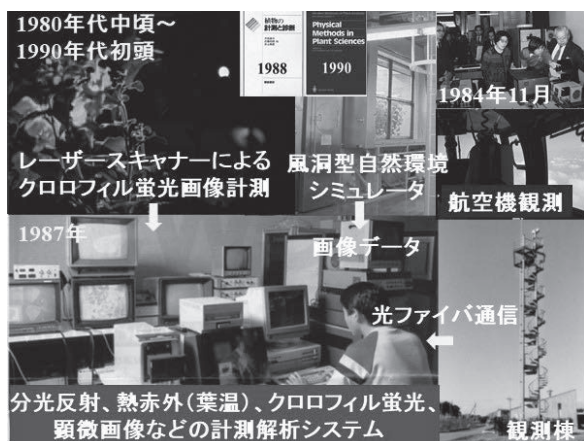


図3 1980年代中頃～1990年代初頭の植物機能の画像計測診断システム

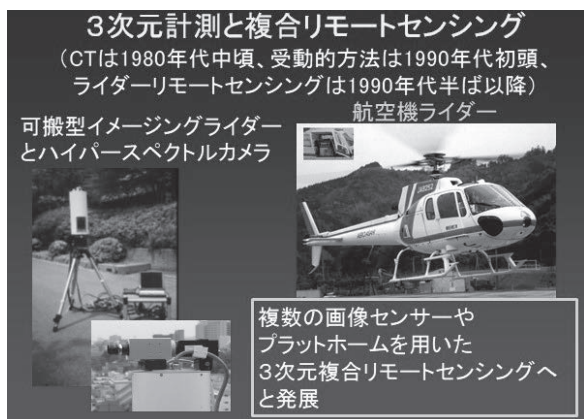


図4 1990年代中頃～2000年代初頭の植物機能の3次元計測と複合リモートセンシングシステム

熱赤外リモートセンシング

1980年頃、開発した熱赤外面像計測システムを用いて、オンラインで連続計測した葉温画像から、蒸散速度や気孔拡散抵抗（気孔コンダクタンスの逆数）、 O_3 や SO_2 、 NO_2 等の大気汚染ガスの吸収速度の葉面分布の変化等を、2次元画像情報として世界で初めて数値化し、気孔反応と汚染ガス吸収量、障害発現との関係を明らかにした。また、生育している状態で気孔反応の直接観察を行い、気孔反応と障害発現のメカニズムを検証した。これらの研

究は、この分野の先駆的な研究として位置づけられており（例えば、Jones 2004 参照）、その後、これらの知見を利用して、地上計測や航空機を利用した農作物、街路樹、都市緑地、山岳地の森林衰退等の診断に適用した。また、衛星リモートセンシングによる山岳地の森林や自然植生の蒸発散機能の診断に有効な指標の提案を行った。

クロロフィル蛍光リモートセンシング

光合成研究や農業・環境分野の植物診断法として最近よく用いられるクロロフィル(Chl)蛍光の2次元画像計測は、筆者等の Plant Physiol. (1987)の研究が最初である（例えば、Govindjee and Nedbal 2000 参照）。この論文は、Chl 蛍光のデジタル画像計測システムを開発し、 SO_2 の可逆的光合成影響を解析したものである。また、平行して、レーザースキャナを用いた新しいChl 蛍光リモートセンシング手法の開発を行うとともに、UV-B や低温、水ストレス等の植物影響診断にもこの手法を適用した。また、葉の光合成器官や培養組織の発達段階の診断にも有効であることを示した。さらに、上述した気孔コンダクタンスとChl 蛍光パラメータの同時画像計測が可能なシステムを開発し、葉面での光強度と気孔反応、そして、光合成の電子伝達や熱放散等との関係を明らかにした。これらの知見は、気孔閉鎖を伴う水ストレス診断等に有効な手法の理論的裏付けとなっている。一方、葉の in situ葉緑体のChl 蛍光の3次元画像解析が可能なリアルタイム共焦点顕微鏡システムを世界で初めて開発し、葉内組織の3次元構造と光環境応答の関係を明らかにした。さらに、最近、航空機やGOSAT 衛星等からの植生の定常太陽光Chl 蛍光リモートセンシングが注目されているが、レーザ照射と太陽光のフラウンホーファー線を利用した、太陽光Chl 蛍光パラメータの新しい計測診断技術(FLD-LIPS法)の開発を世界に先駆けて行い、新しいリモートセンシング技術の提案を行うとともに、現在の太陽光Chl 蛍光リモートセンシングの問題点と展望を取り纏めた。

分光反射リモートセンシング

分光反射リモートセンシングに関しては、航空機や衛星リモートセンシングの応用研究として、マルチバンドやハイパースペクトルセンサを用いた農作物や自然植生の精密分類や植生遷移の解析、また、高解像度と低解像度画像を融合するミクセル分解法によるフィリピン の土壌流出評価法の開発、渡良瀬遊水池周辺や鬼怒川河川敷の自然保護及び外来植物防除の評価、上述の蒸発散指標の検討等、多くの研究成果を論文として発表している。また、地上計測でも、ハイパースペクトルカメラ等を用いて、植物色素や成長の評価のための手法の検討を行い、これらの成果をもとに、リモートセンシングの分野でよく用いられているPRI(Photochemical Reflectance Index)や水ストレス指標の問題点を指摘した。また、樹

木衰退の診断や作物育種に関連して、植物色素や障害の評価のための手法の検討を行い、新しい障害診断法やロバスト性の高いChl含有量の推定モデルを開発している。一方、ドローンやフェノタワーを利用したフェノタイピングに関連して、コロンビアの国際熱帯農業研究センター(CIAT)と共同で、温室効果ガス(N₂O)の放出が少ない、また、乾燥耐性を有するイネの開発に関する共同研究を実施した(図5)。さらに、次期衛星搭載高性能ハイパースペクトルセンサ開発(NEDO)の採択審査委員長等を務め、この分野の発展に貢献した。

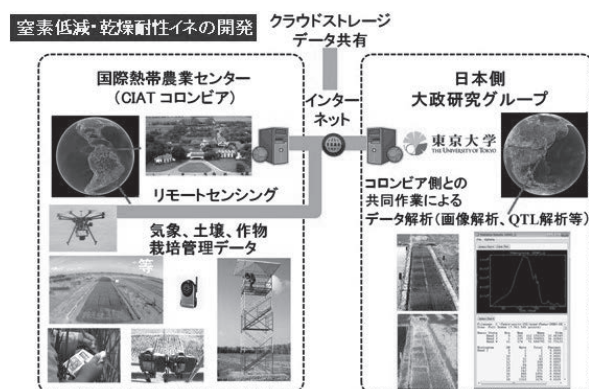


図5 コロンビア国際熱帯農業研究センター(CIAT)とのドローンやフェノタワーを用いた植物フェノタイピングに関する国際共同研究(2011-2019)

3次元リモートセンシング

1990年頃から始めた、実験室での植物の3次元構造計測技術の開発と環境応答の研究に加えて、地上及び航空機ライダーやドローン等を用いた新しい植物個体や群落の3次元構造解析に関する研究を1990年代後半から実施し、森林や農作物を対象として、葉面積密度やバイオマス、植物高等を自動推定し、成長解析を行う手法を新たに開発し、その誤差精度の評価法を提案した。また、上述した種々の手法との複合リモートセンシングを提案し、植物診断に応用した。さらに、2波長ライダーの開発を行い、植物器官の3次元分類に適用した。これらの研究成果は多くの学術誌に掲載され、Journal of Experimental Botanyの事務局(英国)が使用する絵葉書(2007)等にも筆者等の研究成果の画像が採用され、国際的な評価を受けた。一方、植物の有用な形質と遺伝子との関係を解析し、有用植物の開発を迅速に行うための手段として注目されているフェノタイピングに関連して、画像計測診断技術の有用性が認識され、豪州Canberraでのこの分野の最初の国際会議“1st International Plant Phenomics Symposium: from Gene to Form and Function”の成果報告書であるFunctional Plant Biology(Furbank 2009)の表紙に筆者等の成果が掲載された。なお、最近、環境研究の分野でも注目されている植物の土壌-根系の核磁気共鳴画像法(MRI)研究においても、候補者等の研究がこの分野の最初の研究として位置づけられている(例

えば, Simpson *et al.* 2011 参照)。

温暖化や大気汚染影響評価等の空間情報解析

地球環境問題が注目され始めた1990年代以降、環境省の地球環境研究総合推進費のプロジェクトリーダーとして、空間情報解析による植物や植生への温暖化影響評価の研究を行った。その成果として取り纏めた論文や編著書は、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)報告書にも引用されている。また、IPCC報告書の作成にもexpert reviewerとして貢献した。一方、ガス吸収速度推定の際に実験により得た“O₃やSO₂, NO₂等が植物体内で迅速に代謝され、ガス拡散抵抗モデルの植物側境界条件である気孔底界面でのガス濃度を0ppmと近似できる”という知見は、その後、多くの研究者により検証され、グローバル大気汚染のモデル推定等に利用されている。筆者らも空間情報解析による東アジアでの植生のO₃吸収量の推定に適用した。

図6は、筆者が東京大学在任中に、研究室の教員や卒業生と行った研究成果の例である。左上がChl蛍光の衛星画像、また、右下が3次元顕微画像であり、時代の進歩を感じる成果でもある。

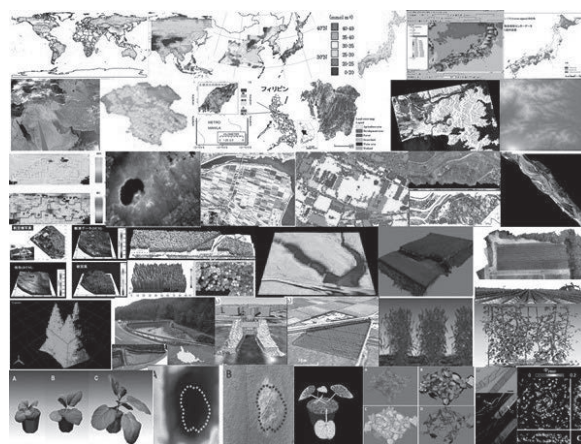


図6 1999年以降、東京大学の生物環境情報工学研究室で行った細胞レベルから地球規模のレベルまでの研究成果の例

主な研究業績

- (1) 大政謙次 (1980) 環境情報科学 9:77-80
- (2) 大政謙次・相賀一郎 (1981) 遺伝 35:25-31.
- (3) 大政謙次他 (1981) 計測自動制御学会論文集 17: 657-663.
- (4) Omasa K et al. (1981) Environ. Control Biol. 19: 59-67, 85-92
- (5) Omasa K et al. (1983) Plant Cell Physiol. 24: 281-288.
- (6) Omasa K and Onoe M (1984) Plant Cell Physiol. 25:1379-1388.
- (7) Omasa K et al. (1985) Environ. Control Biol. 23, 99-102.
- (8) Omasa K et al. (1985) Plant Physiol. 79:153-158
- (9) Omasa K et al. (1987) Plant Physiol. 84:748-752
- (10) Omasa K and Aiga I (1987) Systems and Control Encyclopedia (Singh MG, ed). Pergamon Press, pp. 1516-1522.

- (11) 大政謙次他 (編著) (1988) 植物の計測と診断. 朝倉書店, 239 pp.
 - (12) Omasa K (1990) Modern Methods of Plant Analysis. New series, Vol. 11 (Linsens HF and Jackson JF, eds). Springer-Verlag, pp. 203-243.
 - (13) Omasa K and Shimazaki K (1990) Measurement Techniques in Plant Science. (Hashimoto Y et al. eds). Academic Press Inc., pp. 387-401.
 - (14) Croxdale JG and Omasa K, (1990) Plant Physiol. 93:1078-1082, 1083-1088.
 - (15) Omasa K and Croxdale JG (1991) Image Analysis in Biology (Hader D-P, ed.). CRC Press, pp. 171-193.
 - (16) Omasa K (1994) Immissions Kologische Forschung im Wandel der Zeit. (Kuttler K and Jochimsen M, eds). Verlag Wolf Graf von Westarp. pp. 141-152.
 - (17) 大政謙次 (1994) 計測と制御 33:855-862
 - (18) Omasa K et al. (eds) (1996) Climate Change and Plants in East Asia. Springer-Verlag, 215 pp
 - (19) 大政謙次他 (1997) 計測自動制御学会論文集 33(8):752-758.
 - (20) Omasa K (1998) SPIE 3382:91-99.
 - (21) Omasa K et al. (2000) Environ. Sci. Technol. 34:2498-2500
 - (22) Omasa K (2000) Image Analysis: Methods and Applications, 2nd Ed. (Hader DP, ed.). CRC Press, pp. 257-273.
 - (23) 大政謙次他 (2000) 日本リモートセンシング学会誌 20:394-406
 - (24) Omasa K et al. (eds) (2002) Air Pollution and Plant Biotechnology. Springer-Verlag, 455 pp.
 - (25) 大政謙次 (2002) 農業情報研究 11:213-230
 - (26) 大政謙次他 (2002) 日本リモートセンシング学会誌 22: 550-557.
 - (27) 大政謙次他 (編) (2003) 地球温暖化. 遺伝 別冊 No. 17, 裳華房, 173 pp.
 - (28) Omasa K et al. (2003) Environ. Sci. Technol. 37:1198-1201
 - (29) Omasa K and Takayama K (2003) Plant Cell Physiol. 44:1290-1300
 - (30) 大政謙次 (2004) 新農業環境工学—21世紀のパーセクティブ (日本生物環境調節学会編) 養賢堂 pp. 59-70.
 - (31) 大政謙次 (2004) 新農業情報工学 (農業情報学会編) 養賢堂 pp. 66-78.
 - (32) Omasa K et al. (eds) (2005) Plant Responses to Air Pollution and Global Change. Springer 300 pp.
 - (33) Omasa K (2006) CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol VI. Information Technology (Munack A, ed.). ASABE, pp. 217-231.
 - (34) Omasa K et al. (2007) J. Exp. Bot. 58:881-898
 - (35) De Asis AM and Omasa K (2007) ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 62:309-324
 - (36) 大政謙次 (編) (2007) 農業・環境分野における先端の画像情報利用. 農業電化協会, 東京, 154 pp.
 - (37) Omasa K et al. (2008) Environ. Model. Assess. 13:473-481
 - (38) Hosoi F and Omasa K (2009) ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 64:151-158
 - (39) Omasa K et al. (2009) Plant Cell Physiol. 50:90-105
 - (40) Konishi A et al. (2009) Func. Plant Biol. 36:874-879
 - (41) Lu S et al. (2009) ISPRS J. Photogramm Remote Sens. 64:674-682.
 - (42) Cieslik S et al. (2009) Plant Biol. 11:24-34
 - (43) 大政謙次 (2009) 大気環境学会誌 創立 50 周年特別号 44(6):388-389.
 - (44) Hosoi F et al. (2010) IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 48:2215-2223
 - (45) Omasa K (2011) PrometheusWiki. <http://prometheuswiki.publish.csiro.au/tikiindex.php?page=Fluorescence+imaging+of+photosynthetic+performance>. CSIRO Publishing.
 - (46) Rahimzadeh BP et al. (2012) ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 68:1-12.
 - (47) Rahimzadeh BP et al. (2012) Photosynth. Res. 113: 261-271.
 - (48) Hoshika Y et al. (2012) Atmos. Environ. 55, 271-278.
 - (49) Rahimzadeh BP et al. (2013) ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 83:94-103.
 - (50) Wang Y et al. (2014) Plant Methods. 10:36.
 - (51) Tubuxin B et al. (2015) J. Exp. Bot. 66(18): 5595-5603.
 - (52) Lu S et al. (2015) J. Exp. Bot. 66(18):5625-5637
 - (53) 大政謙次他 (監修) (2015) 「閉鎖生態系・生態工学ハンドブック」 アドスリー. 447pp.
 - (54) Zhang Y. et al. (2016) Sensors. 16(874):1-18.
 - (55) 鄧博愛他 (2016) 生態工学 28:107-112.
 - (56) Rahimzadeh BP et al. (2017) Remote Sensing, 9: 599, 1-17.
 - (57) Naito H et al. (2017) ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 125:50-62.
 - (58) 鄧博愛他 (2018) 生態工学 30(1) 1-6.
 - (59) Lu S et al. (2018) Plant Methods. 14:15.
 - (60) Zhang Y. et al. (2018) J. Agr. Meteorol. 74(4): 129-139
- なお、研究業績の詳細は、著書・解説等と論文が、
[//park.itc.u-tokyo.ac.jp/joho/Omasa/books20090123.html](http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/joho/Omasa/books20090123.html)
[//park.itc.u-tokyo.ac.jp/joho/Omasa/papers2010311.html](http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/joho/Omasa/papers2010311.html)
で参照できます。また、業績概要については、筆者の文献 (大政 1992; 2001; 2004; 2011; 2012; 2016; 2018a, b) 等を参照して頂ければ幸いです。
- 最後に、ご推薦頂いた農業情報学会と共同研究者やこれまで多くのご援助頂いた方々に深甚の謝意を表します。

引用文献

- Furbank RT (ed) (2009) Special issue: Plant phenomics. Funct. Plant Biol. 36: 845-1026
- Govindjee and Nedbal L. (2000) The chlorophyll fluorescence imaging and its application in plant science and technology. Photosynthetica. 38:481-482
- Jones HG (2004) Application of thermal imaging and infrared sensing in plant physiology and ecophysiology. Advances Bot. Res. 41:107-162
- 大政謙次 (1992) 画像診断による植物の汚染ガス吸収機能に関する研究. 農業気象 48, 181-186.
- 大政謙次 (2001) 植物の形状と機能の非破壊画像計測に関する研究. 生物環境調節 39, 321-324.
- 大政謙次 (2004) 階層のリモートセンシングと地理情報システムによる生態工学的研究. 生態工学 16, 231-235.
- 大政謙次 (2011) 植物機能のリモートセンシングと空間情報解析に関する研究, 平成 23 年度 日本農学賞論文要旨. pp. 1-3.
- 大政謙次 (2012) 環境科学と「生物環境調節」. 植物環境工学 24(3):142-149
- 大政謙次 (2016) 植物機能リモートセンシングとフェノミクス研究への展開. 学術の動向 21(2): 72-76
- 大政謙次 (2018a) 出会いの大切さ: 思いつくまま、これまでの研究者人生を振り返って. 生物と気象 18:29-38.
- 大政謙次 (2018b) 植物のクロロフィル a 蛍光の画像化とリモートセンシングにおける問題点と展望—細胞から地球環境まで—. 日本リモートセンシング学会誌. 38(5):386-400
- Simpson AJ et al. (2011) NMR spectroscopy in environmental research: From molecular interactions to global processes. Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. 58:97-175

農業用排水の管理と地域及び地球の環境

渡邊 紹裕

熊本大学 くまもと水循環・減災研究教育センター

要旨

農業用排水関係と地域や流域の環境との関係は、世界的には 20 世紀後半の灌漑開発の急速な進展による環境劣化とともに問題として登場し、そのあり方が課題となってきた。日本では、歴史的に形成された灌漑排水システムが、経済発展とともに近代化・大規模化・高度化される過程で、その課題が顕在化したといえる。さらに近年では、気候変動や生態系保全などの地球規模の環境課題との関わりも課題となってきた。本稿では、この農業用排水の管理と地域や地球の環境との関係について、筆者のこれまでの取組みのいくつかを簡単に紹介した上で、現在の水管理の課題をその根源的な目的である人々の well-being に照らして整理した。

キーワード

農業用排水管理、地域環境、気候変動、水土の知、well-being

はじめに

農業は、植物生育が基本にあり、それが必要とする水に依拠することになる。その水の状態を人為で制御することが農業用排水管理であり、圃場から広域に及ぶ空間スケールで存在する。人為による水条件の制御を選択しないことも用排水管理である。この農業用排水管理が食料生産をはじめとする農業生産の量的・質的な向上・改善の果たしてきた効果は大きなものがある。

一方で、農業用水の需要量は一般に多く、水源の確保や、水源からの取水、さらに農地からの排水と、地域や流域の水文環境の改変の規模は大きなものとなることが多い。そもそも、農業用排水管理の要否は、地域や流域の気象・水文環境で規定されるもので、農業用排水管理と水文を中心とする地域の環境との関わりは大きい。

農業用排水管理は、世界的に、圃場レベルでは通常は農家・農業者によってなされており、農村生活の水条件の調整の側面を持ち、地域の共同や協働など、コミュニティとの関わりが深く、農地や農業生産の水条件の制御にとどまらず、広い意味で地域の環境・持続可能性に深くかかわることになる。

農業用排水関係と地域や流域の環境との関係は、世界的には 20 世紀後半の灌漑開発の急速な進展による環境劣化とともに問題として登場し、そのあり方が課題となってきた。日本では、歴史的に形成された灌漑排水システムが、経済発展とともに近代化・大規模化・高度

化される過程で、その課題が顕在化したといえる。さらに近年では、気候変動や生態系保全などの地球規模の環境課題との関わりも課題となってきた。

本稿では、この農業用排水の管理と地域や地球の環境との関係について、筆者のこれまでの取組みのいくつかを簡単に紹介した上で、現在の水管理の課題をその根源的な目的に照らして整理してみたい。

農業用排水と環境～いくつかの局面

ここでは、農業用排水管理と地域や地球の環境との関係の評価に関わる、いくつかの局面における筆者の研究成果の一端を簡単に紹介する。

水田圃場水管理と地域の環境

一般に、水稻が栽培される水田は、生育期間中は常時湛水がなされていると思われることが多い。実際は、これも多くの人には認識はされているが、用排水の条件が整っているところでは、生育後期を中心に非湛水とされる時間も長く、イネの生育や栽培技術によって、生育期間中、湛水・非湛水や水深、土壌の乾燥程度が、農家によって細かく管理される。日本でも、古くから水条件や栽培技術を考慮した水管理が展開してきたが、第二次世界大戦以後の栽培に関わる技術と用排水整備の進展に伴って、精緻な水管理が展開することとなった。一方で、圃場整備、農家兼業化や農業機械の導入などに伴って、

水管理が粗放化することも進み、常時湛水とその消費水量の補給から、適時湛水とそのための灌水と排水というように、圃場水管理の基本が変容した。

この圃場レベルの水管理の変化は、用排水量の変化（基本的には増大と時間的変動の拡大）とともに、地域の水環境へも影響を及ぼすこととなった。化成肥料や化学薬品の施用量の増大とも関わり、圃場からの汚濁物質や汚染物質の流出の増大はその例である。

水田圃場における水管理の変容を踏まえ、水田用水の整備に関わる土地改良事業の計画基準の改定が課題となった時期（1980 年代初め）に、その基礎となる水田圃場の用水需要の実態が、全国で精緻に観測された。筆者はその取りまとめを担当したが、こうした全国規模での精査（73 圃場）はその後見られていない。

この成果の一部をまとめたものが表 1 である（渡邊・丸山, 1984）。ここで、「栽培管理用水量」とは、圃場への灌水量の中で、蒸発散や土層への浸透の経路でなく、落水口などを通して地表流出する水量である。それには、精緻な水管理に起因する排水と、粗放な水管理に起因する、掛け流しのような放流の両者が含まれる。それが全供給水量（降雨と灌水）に占める割合が「栽培管理用水率」、降雨量の中で、落水口から直接流出せず、圃場内に貯留された割合が「有効降雨率」である。圃場や時期による変動は非常に大きいが、全国平均で栽培管理用水量が 3.5mm（灌漑期 100 日なら計 350mm）、全供給量に対して約 20%と、用水量計画の視点からはかなり大きな値であり、地域の水文環境などへの影響が大きいことも確認された。この考え方や需要量としての算定は、その後の基準改定に取り込まれた。

表 1 栽培管理用水量（率）・有効降雨率の全国調査結果

項目	栽培管理用水量 (mm/d)	栽培管理用水率 (%)	有効降雨率 (%)
平均期間			
年 間	3.5	19.8	68.3
旬 間	3.0	52.2	65.3
中干し前後			
中 干 し 前 後	3.6	18.2	62.9
中 干 し 後	3.3	18.8	71.1
生 育 期			
代かき・田植	3.8	27.1	48.9
活 着	2.9	23.3	55.3
分 け つ	3.4	15.5	68.5
中 干 し	2.9	22.2	71.1
籾 ば ら み	3.4	21.6	69.1
出 穂・開 花	4.1	34.8	68.7
登 熟	2.9	17.3	75.2

圃場水管理変化とその環境影響を詳述する紙幅はないが、水田や周辺水路における動植物の生息条件に直接影響を及ぼしていることは、多くの研究が明らかにしているところである（例えば、Watanabe, T., 2019 など）。

乾燥地における水田水管理と地域の環境

次に、多量の用排水がなされる水田の水文環境などへの影響を、乾燥地の水田という、やや特異ながら分かりやすくもあるケースについて、簡単に整理しておく。

水田稲作は、カロリー生産効率もよく、嗜好の面から、用水供給があれば高生産が期待される乾燥地では、広く展開される。一方、水源の制約が比較的大きい乾燥地域では、水田での用排水の地域水環境に及ぼす影響は相対的に大きくなる。例えば、高品質米の栽培がなされる米国・カリフォルニアでは、夏季の安定した気候条件下、冬季に確保した水源に依拠して、広大な水田で大規模な稲作が展開されるが、その様々な局面での環境影響は大きく、環境保全を目的とする広範囲で厳しい制約が課されてきている。除草剤の流出抑制、魚類棲息への影響回避のための取水施設整備、稲わら処理のための収穫後湛水、生態系保全のための湿地回復などである（Watanabe, T and K. Tanji, 1998）。

枯渇が問題となった中央アジアのアラル海の流域でも広く水田稲作が展開されてきている。ここでの稲作は、大規模な灌漑農業開発の中で、他の畑作（綿花、牧草など）との輪作体系に組み入れられ、水田湛水によって畑作時に集積した土壌塩類の溶脱を行うものであった。この水田稲作は、多量の取水と蒸発による河川流量の減少をもたらし、アラル海枯渇の主要因となったと指摘される一方、その輪作体系での上記の役割も注目された。

図 1 は、カザフスタンの農場において測定・推定した標準的な圃場水収支である。これは、取水された多くの用水は、地中に浸透し損失するとともに、水田からの浸透が畑地での必要水量（蒸発散量）を供給していることを示している。

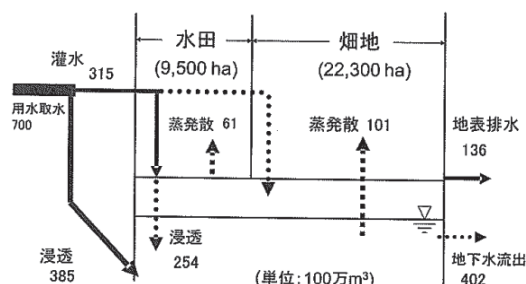


図 1 灌漑地区の圃場水収支の概要（カザフスタン、イリ川下流域灌漑地区。渡邊, 2012。原図は Shimizu et al., 2010）

旧ソ連の崩壊後、統制下にあった国営農場や集団農場のシステムが機能せず、大型機械を駆使した組織的輪作（7 年輪作中水田 3-4 作）や用水供給の統括的一元管理が実施できなくなり、輪作と用水多量供給で制御してきた農地土壌の塩類集積が急速に進んだ。この状況を踏まえ、圃場水管理の農場から広大な流域にわたる環境に及ぼす影響が注目されることとなった（渡邊ら, 1996）。

気候変動の農業用排水管理への影響評価

農業用排水管理は、地域や流域の気候・水文環境に強く規定される。したがって、地球規模の気候変動の影響を直接受けることになり、気候変動の影響が大きい降雨や河川流況の変化による間接的な影響も大きなものがある。この影響は、農業生産と用排水管理に関わる様々な過程に複雑に関与するため、その把握と評価、さらに適応策の開発など、一連の対応は容易ではないため、現在も、様々な方法の開発が取り組まれている。

こうした影響評価の取組みは、ベースラインとしての農業用排水管理の構造と機構の明確化を求めることになり、複合事象への総合的なアプローチが、その気候を含む地域や地球の環境との関係をより明確に描いていくことになる。図2は、気候変動の農業生産へ及ぼす影響の評価の基本的なフローを示したものである（Watanabe, T. et al., 2018）。ここでは、気候やその変化が農業生産に及ぼす影響を、段階的に追い（図中のアルファベット順など）、複合的で陰陽関数的に関わる機構全体を、そこに含まれる適応や対応なども含みながら、より明確にする枠組みが示されている。

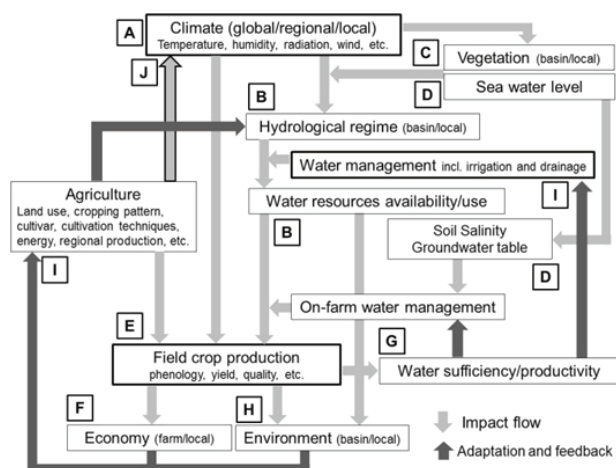


図2 気候変動の農業生産へ及ぼす影響の評価のフロー（Watanabe, T., et al., 2018）

この枠組みにおいて、利水管理（灌漑排水システム、Water management including irrigation and drainage）と圃場水管理（On-farm water management）の、地域の水文条件や環境と気候を中心とする地球環境との関係が整理されている。なお、この枠組みを実際の流域に適用し、気候変動の影響評価を行った成果は、別途まとめられている（Watanabe T. et al. ed. 2018）。

水管理と地域の持続可能性～課題と方向

ここまで農業用排水管理と地域の環境との関係のいくつかの側面を整理した。水管理の目的は、一義的には農業生産の増大と安定であるが、それは地域の環境の保

全・改善などとの調和が求められ、究極的には、生産（経済）と環境、社会の側面で、安定と改善をもたらすことが求められる。すなわち、「持続可能性」の向上・拡大である。この側面に注目して、環境との関係を中心に置きながらもそれを超えて、農業用排水管理における地域の人々の共同や協働など、コミュニティとの関わりに注目し、水管理の広い意味での地域の環境や持続可能性とのかかわりを、今後の課題として整理してみたい。

「水土の知」としての「水管理」の管理評価ツール

地域における「〈水〉と〈土〉と〈人〉の複合系」の全体を「水土」とし、「水土を巧く機能させるための知」は〈水土の知〉とされている（農業土木学会, 2001）。〈水土の知〉は〈水〉・〈土〉・〈人〉とその複合系に対する7つの働き、すなわち、1)見極める：観察、2)使い尽くす：活用、3)見定める：改善、4)大事にする：保全、5)見試す：順応、6)見通す：投資、7)仲良くする：協調、をもって「巧く機能させる」と考えられる（渡邊・広瀬, 2011）。この働きをいかに効率的・効果的に発現させるかが科学技術的な課題となり、さらに、それに関わる人にとっての意味が学術的な命題となる。

「水」に絞っているならば、「水土」において、地域の「水」（水循環、水収支、水環境など）を望ましい姿に近づけるための「知」をいかに構築するかという「水管理」の課題となる。地域の水を開発し、利用・管理する具体的な仕立てとしては、1)施設や装置と、2)制度や組織に加えて、3)それに関わる人々の「関係性」（協働・連携）が必要となる。関係性には情報の創生・共有・継承が不可分に連動する。これらは密接に関わって、水や物質の循環を含む「水土」の態様を規定し、逆にその態様に対応した構造・内容となる。そして、その態様は、地域における実際の経済（生産）・環境・社会とその連環、すなわち地域の持続可能性の内容や程度などを規定する。そこで、水管理のあり方を考究しようとするならば、持続可能性の開発や保全をもたらす管理の「仕立て」と持続可能性の関係の分析が必要となる。

一方、地域における水管理を、具体的に総合性を踏まえて改善するには、一般には、1)法制度（法的な枠組み）、2)協治（合意形成の仕組み）、3)管理手法（実際に管理を具体化するツール）が必要である（渡邊ら, 2012. など）。このうち「管理手法（ツール）」の開発はなお十分には進んでいない。目標を具体的に設定し、条件と実現方法、波及的な効果や影響など、行為と結果を明確に表現するもので、意思決定に活用するために共有されるべき手法である。さらに、水管理が、地域の持続可能性にどう関わるのかを、明確に、必要に応じて定量的に示す評価手法が求められる。水管理を具体化する「水管理ツール」の開発と、地域の持続可能性における「水管理評価手法（ツール）」は、いずれも、何によって何がもたらされ、どこを変えると何が得られるか、生じるか

を表現すべきもので、両者は、情報技術などの最新技術の活用によるモデルやシナリオ設定などを含む具体的な道具となり、シームレスに構築されることが想定される。

また、これは、地域の実態や課題の把握や診断、対応策や事業の構想や計画、その効果や影響の評価、将来変化の見通しや予測などの局面で実際に運用され、研究者・実務者を含む関係者でのさまざまな取組みの協創や協働の具体的な道具となるもので、共有が必要となる。そこでは、水管理の具体的な仕立ての重要な要素である人々の関係性の位置づけと評価が重要となる。

水管理と「well-being」

水管理における関わる人々の関係性は、国や地域の自然、歴史、社会、文化などによって、その有り様は多様である。それは、単に水管理の領域にとどまらず、関係性が創り出していた、またより良い水管理をもたらす関係性の根幹にある「地域で生きる意義（生きがい）」と深く関わるものとなり、地域の人々の、well-being（よりよく生きること）との関わりの問題となろう。

地域の水管理は、人々の組織や連携への「所属感」、関係他者への「信頼感」、地域や社会に対する「貢献感」という、well-being の主要な要件を実現させる手段であり、逆に、well-being の目的（帰結）として望ましい地域の水管理があると考えられる。

したがって、上述のツールは、水管理と地域の人々の関係性、well-being をも扱うものとなり、具体的には、圃場と気象・土壌・用排水・作物生育などを、一筆レベルなど高解像度で情報空間上に再現し、それらの相互関係や水・物質移動、生物生息・生態系などの全体も高精度で再現することが求められる。そして、農家や生産組織などの圃場内外の行動や作業、関係者のとの関係性を評価・分析することが求められ、人間関係や意識などの関係を表現することまで視野に入れることになる。

〈水土の知〉における水管理の枠組みや、手法と視点、well-being などの関係を整理すると図3のようになる。

おわりに

農業用排水管理と環境との関係のいくつかの局面の評価を簡単に紹介し、現在の水管理の課題を整理した。最近の課題として改めて認識される農業用排水管理においては、人々の「関係性」を見直すことの重要性を示した。望ましい水管理と人々の well-being の枠組みの中における環境保全を含む地域の持続可能性を高める農業用排水管理の構築・改善は、なお継続した課題である。手法の開発や共有などを含めて、これは農業用排水に関わる分野全体の大きな課題だが（渡邊，2019）、「水土を巧く機能させるための知」としての〈水土の知〉の一層の展開につながるように、上記の構造の検証と、個別具体的な

事例・課題の分析・解決には継続して取り組んでいかなければならないと考える。

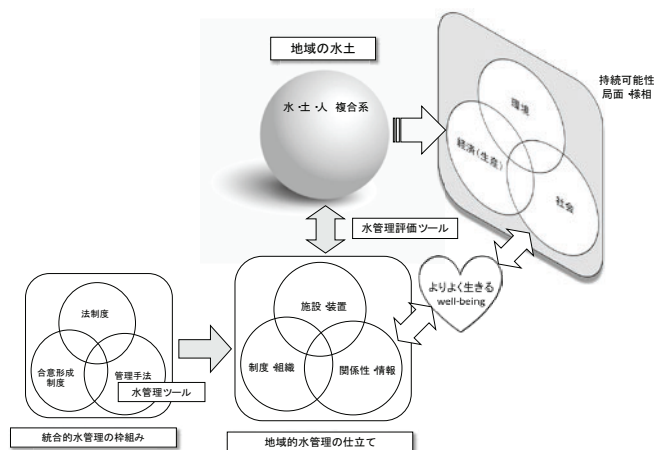


図3 〈水土の知〉における水管理と well-being

引用文献

- 農業土木学会（2001）農業土木のビジョン 新たな<水土の知>の定礎に向けて—生命をはぐくむ農業・農村の創造—
- Shimizu, K., Y. Kitamura and J. Kubota (2010) Agricultural Water Use and Its Implication on the Environments in the Lower Ili River Basin, Kazakhstan, *Applied Hydrology*, 22, 74-80
- Tsugihito Watanabe (2019) Paddy Fields as Artificial and Temporal Wetland, in *Irrigation in Agroecosystem*. IntechOpen
- Watanabe T., K. Tanji (1998) Eco-Environmental Constraints to Rice Irrigation, *Water Resources Engineering* 98, Proceedings of the Conference of American Society of Civil Engineers, 1583-1588
- Watanabe T., T. Nagano, R. Kanber and S. Kapur (2018) An Integrated Approach to Climate Change Impact Assessment on Basin Hydrology and Agriculture, in *Climate Change Impacts on Basin Agro-ecosystem*, eds. Watanabe, T., S. Kapur, M. Aydin, R. Kanber, and E. Akca, Springer, 1-15
- Watanabe, T., S. Kapur, M. Aydin, R. Kanber, and E. Akca, (2018) *Climate Change Impacts on Basin Agro-ecosystem*, Springer
- 渡邊紹裕(2012) 半乾燥地における水との賢い付き合い方～「水土の知」を整える, 日本農学会編「シリーズ 21 世紀の農業環境の保全と修復に貢献する農学研究」, 養賢堂, 85-100
- 渡邊紹裕（2019）農業農村工学の「100 年の成果」に向けて、*水土の知*, 87(1), 1-2
- 渡邊紹裕・荻野芳彦・高石洋行・清水克之(1996)アラル海流域における水田輪作灌漑の水管理, *農業土木学会誌*, 64(10), 27-30
- 渡邊紹裕・加藤久明・田村うらら（2012）水土の知—「統合的水資源管理」に向けての再定礎—, *環境技術*, 41(10), 594-599
- 渡邊紹裕・広瀬伸（2011）<水土の知>に見る技術, *水土の知*, 79(9), 7-10
- 渡邊紹裕・丸山利輔(1984)栽培管理用水の発生とその水量, *農業土木学会誌*, 52(11), 39-44

日本農業工学会賞受賞者

(平成 26 年度～平成 30 年度)

日本農業工学会賞 2014 (第 1 回)

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

日本農業工学会賞 2015 (第 2 回)

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

日本農業工学会賞 2016 (第 3 回)

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

日本農業工学会賞 2017（第4回）

受賞者	受賞業績
竹内俊郎	閉鎖生態系循環式魚類飼育システムの構築
吉田 敏	植物生産システムにおける制御環境下の根機能
早川誠而	大気中の熱・物質輸送と農業気象災害に関する研究
小松崎将一	カバークロップを利用した農作業システムに関する研究
佐竹隆顕	生物生産・流通プロセスの高度化に関する研究
岸田義典	日本・世界の開発途上国の農業機械化の促進
川村周三	米の収穫後プロセスにおける品質食味向上技術の開発
中 達雄	農業水利システムの性能照査型設計手法の開発
千賀裕太郎	地域資源としての水・土地の特性解明と利用計画手法の構築

日本農業工学会賞 2018（第5回）

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

日本農業工学会賞 2019（第6回）

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

日本農業工学会フェロー受賞者

(平成 11 年度～平成 30 年度)(合計 362 名)

受賞年度(受賞者数)(総会報告年月日)

平成 11 年度(19 名)

平成 12 年 5 月 19 日

岡本 嗣男

角屋 睦

木谷 収

久保 七郎

古在 豊樹

佐野 文彦

白井 清恒

白石 英彦

須藤 清次

世良田和寛

田渕 俊雄

茶谷 仁

中川昭一郎

中村 良太

橋本 康

前川 孝昭

真木 太一

安富 六郎

和田 完司

平成 12 年度(11 名)

平成 13 年 5 月 18 日

近藤 次郎

塩谷 哲夫

庄司 英信

杉 二郎

鈴木 義則

中村 武夫

行方 文吾

野口 正三(辞退)

林 弘宣

八幡 敏雄

福田 仁志

平成 13 年度(11 名)

平成 14 年 5 月 17 日

相賀 一郎

遠藤織太郎

緒形 博之

菊岡 武男(辞退)

久保 祐雄

沢田 敏男

高倉 直

藤川 武信(辞退)

古谷 将(辞退)

松田 良一

山本 茂

平成 14 年度(11 名)

平成 15 年 5 月 16 日

上森 千秋

岩崎 和巳

岸上 定男

田中 宏平

田中弥寿男

長野 敏英

中山 敬一

新田 慶治

細川 明

山澤 新吾

米村 純一

平成 15 年度(11 名)

平成 16 年 5 月 14 日

不破敬一郎

高井 宗宏

町田 武美

渡部 一郎

川村 登

堂腰 純

清水 邦夫(辞退)

白滝 山二

長 智男(辞退)

藤田 則之

山本 光男

平成 16 年度(45 名)

平成 17 年 5 月 13 日

矢吹 萬壽

有馬 博

高辻 正基

獅山 慈孝

蔵田 憲次

松井 健

宮山平八郎

坂上 務

羽生 寿郎

三原 義秋

藍 房和

田中 孝

前田 耕一(辞退)

増田 正三

三箇山正雄

山下 律也

石光 研二

小出 進

長崎 明

市村 一男

村瀬治比古

関谷 光博

中原 通夫

穴瀬 真

松下 玄

徳永 光一

河野 洋

渡辺 潔

石川 明

田中礼次郎

篠邊 三郎

河原田禮次郎

中村 充

井上 自然

佐藤 晃三(辞退)

難波 直彦(辞退)

岩田 進午

野村 安治

土崎 哲男

岸本良次郎

鈴木 光剛

湯川 清光

中川 稔

浅原 辰夫

中島 哲生

平成 17 年度(50 名)

平成 18 年 5 月 12 日

堀部 和雄

大島 泰郎

大矢 晴彦

須藤 隆一

高桑 栄松

都留 信也

筑紫 二郎

内嶋善兵衛

内島 立郎

小元 敬男

吉野 正敏

小中 俊雄

坂井 純

並河 清

村田 敏

森嶋 博

立花 一雄

海老澤 勲

相原 良安

内海 修一

今尾 昭夫

長堀 金造

梅田 安治

戸原 義男

村上 康蔵

細山田健三

酒井 信一

近森 邦英

浅井喜代治

須藤良太郎

四方 田穆

内藤 克美

吉田 昭治

南 信弘

丸山 利輔

鈴木 敬

佐藤 晃一

大根 義男

仲野 良紀

岡本 雅美

谷山 重孝

翁長 謙良

江崎 要

黒田 正治

長谷川高士
北村貞太郎
川尻裕一郎
冨田 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 栄征
糸長 浩司
山路 永司

平成 29 年度(22 名)

平成 30 年 5 月 15 日

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

平成 30 年度(21 名)

2019 年 5 月 14 日

多胡 靖宏
大西 充
伊藤 博通

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

平成30年度日本農業工学会フェロー受賞者

2019年5月14日授与

氏名	推薦学会	所属・職名等
多胡 靖宏	生態工学会	公益財団法人 環境科学技術研究所 主任研究員 グループリーダー
大西 充	生態工学会	宇宙航空研究開発機構 研究領域上席
伊藤 博通	日本生物環境工学会	神戸大学 大学院農学研究科 教授
羽藤 堅治	日本生物環境工学会	愛媛大学 大学院農学研究科 教授
奥田 延幸	日本生物環境工学会	香川大学 教授
山本 晴彦	日本農業気象学会	山口大学 教授
鮫島 良次	日本農業気象学会	北海道大学 教授
宮田 明	日本農業気象学会	農研機構 農業環境変動研究センター 気候変動対応研究領域長
佐藤 禎稔	日本農作業学会	帯広畜産大学 教授
田島 淳	日本農作業学会	東京農業大学 地域環境科学部 生産環境工学科 教授
河野 澄夫	農業施設学会	鹿児島県大隅加工技術研究センター 研究調整監
後藤 清和	農業施設学会	岐阜大学 名誉教授
中村 典裕	農業情報学会	日本大学 講師
滝岸 誠一	農業情報学会	神奈川県立かながわ農業アカデミー
飯田 訓久	農業食料工学会	京都大学 大学院農学研究科 地域環境科学専攻 教授
小竹 一男	農業食料工学会	元ヤンマー農機㈱ アグリ事業本部 開発統括部 元ヤンマー農機㈱ ヤンマーミュージアム 館長
久野 貴敬	農業食料工学会	三菱マヒンドラ農機㈱ CTO取締役副社長
久保 成隆	農業農村工学会	東京大学 名誉教授
白谷 栄作	農業農村工学会	農研機構専 門研究担当 理事
荘林 幹太郎	農業農村工学会	学習院女子大学 国際文化交流学部 教授
中村 和正	農業農村工学会	国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所グループ長

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 役員の任期は 3 年とし、更任期の定時総会までとする。ただし、辞任又は任期満了の役員は後任者が就任するまではその職務を行うものとする。
- 第 15 条 役員で欠員を生じ、補充の必要があるときは、第 13 条の規定により選任する。後任者の任期は前任者の残存期間とする。ただし、定時総会までの期間は理事会の承認を経て、次回定時総会まで職務を行う者をおくことができる。

第5章 会 議

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

(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 日本農業工学会(以下本会という)役員は、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。

(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。
3. 定められた期限までに審査結果をフェロー選考委員会に報告する。

(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。

発行日 2019 年 5 月 15 日

発行者 日本農業工学会

会長 塩沢 昌

日本農業工学会事務局

〒153-0064 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

電話:03-3492-2988

Fax :03-3492-2942

E-mail:jaicabe@aafs.or.jp

HP: <http://www.jaicabe.org/>