

日本農業工学会賞 2 0 1 6 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：平成 2 8 年 5 月 2 0 日（金）

場所：東京大学山上会館（東京大学本郷キャンパス）

目 次

正会員

日本農業工学会賞 2016 受賞者

【講演】

玉浦 裕 氏（東京工業大学・名誉教授・産学連携研究員・
東工大ベンチャーSolarFlame 社代表取締役）
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 氏（東京大学大学院農学生命科学研究科・准教授）
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 氏（九州大学・名誉教授）
地形気象ならびに都市熱対策に関する研究……………

干場信司 氏（酪農学園大学・前学長）
家畜生産システムの総合的評価に関する研究……………

永木正和 氏（筑波大学・名誉教授）
農業経済学と情報学のリンクした領域を拓く……………

近藤 直 氏（京都大学大学院農学研究科・教授）
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 氏（京都大学・名誉教授）
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……………

日本農業工学会賞受賞者（平成 26 年度～平成 27 年度）

日本農業工学会フェロー（平成 11 年度～平成 27 年度）

平成 27 年度日本農業工学会フェロー受賞者

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 27 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：渡邊紹裕、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：内野敏剛、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 (JASMF)（略記：機械）

日本農業気象学会（昭和 59 年～現在）（会長：大政謙次、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：池口厚男、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：127 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：広田純一、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：木部勢至朗、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：野口 伸、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2016受賞者

玉浦 裕（東京工業大学・名誉教授・産学連携研究員・東工大ベンチャーSolarFlame社代表取締役）

1975年 東京工業大学大学院博士課程修了（理学博士）

1992-2013年 炭素循環素材（エネルギー）研究センター教授

1994年 Paul Sherrer 研究所（スイス）客員教授

1998-2013年 理工学研究科化学専攻エネルギー環境化学教授

2010-2011年 研究教育評議会評議員

2013-2016年 東工大産学連携研究員・東工大ベンチャー(ソーラーフレーム社)代表取締役社長

専門分野：環境化学、太陽エネルギー、地球生態工学

研究テーマ：ソーラー燃料、集光太陽熱利用技術、炭素循環

1988年 国際フェライト会議論文賞、1993年 CELLS学会論文賞、2003年 生態工学会学術論文賞

安永円理子（東京大学大学院農学生命科学研究科・准教授）

平成14年 九州大学大学院生物資源環境科学研究科博士課程修了，博士（農学）取得。平成14年 九州大学生物環境調節センター・研究機関研究員、助教を経て、平成23年 東京大学大学院農学生命科学研究科・准教授

平成24年 日本生物環境工学会論文賞第5号，6号。

平成26年 日本生物環境工学会学術賞第9号。日本生物環境工学会論文賞第14号
研究テーマ：フードチェーンにおけるプレーポストハーベスト技術の最適化，農産物への放射性物質の移行挙動の解明およびリスクコミュニケーション

鈴木義則（九州大学・名誉教授）

1967年九州大学大学院修了後、農林省(九州農業試験場)、大阪府立大学、山口大学、九州大学に勤務し、農業気象学分野および生物環境工学分野を担当。研究対象は畑地の土壌水分、地形微気象と凍霜害、環境汚染、都市熱対策や家畜の熱環境の改善、人工降雨などである。1983年には日本農業気象学会賞(学術賞)、2001年日本農業工学会フェローの称号、2003年日本農業気象学会永年功労賞、2012年日本生物環境工学会50周年記念貢献賞を授与。日本農業気象学会理事・副会長・会長を歴任し、現在、日本学術会議連携会員、日本農業気象学会名誉会員。

干場信司（酪農学園大学・前学長）

北海道大学農学部（1973年）、米国ミネソタ大学大学院（MS-AgEn、1983年）修了
1973年 北海道立新得畜産試験場研究員、1976年 北海道大学農学部農業物理学講座助手
1986年 農林水産省農業土木試験場主任研究官、1991年 同北海道農業試験場農地農業施設研究室長、1995年 酪農学園大学酪農学部酪農学科教授、2009年 酪農学園大学酪農学研究科長、2010年 酪農学園大学酪農学部長、2013年 酪農学

園大学学長（～2015 年 7 月）

研究テーマ：畜舎の構造・環境に関する研究、家畜生産システムの総合的評価、バイオガスシステムの評価、等

2005 年 農業施設学会学術賞「家畜生産システムの評価に関する研究」他

永木正和（筑波大学・名誉教授）

1974 年 九州大学大学院農学研究科博士課程単位取得退学、1976 年：農学博士（九州大学）、1974 年 帯広畜産大学助手、助教授、1992 年 鳥取大学農学部教授、1997 年 筑波大学大学院・生命環境科学研究科教授、2009 年 筑波大学を定年退職、名誉教授。

研究テーマ 市場価格と市場行動、経営診断と営農計画、協同組織と地域農業計画・農村計画、途上国の協同組織化と持続的農法の確立

受賞歴 1979 年日本農業経済学会賞、2004 年日本農業経営学会学会誌賞、2007 年農業情報学会学術賞

日本農業経済学会副会長（2006 年度～2007 年度）、農業情報学会上席副会長（2007 年度～2008 年度）、農村計画学会副会長（2010 年度～2011 年度）

近藤 直（京都大学大学院農学研究科・教授）

京都大学大学院農学研究科修了、岡山大学農学部 助手、助教授、石井工業株式会社技術開発部 部長、愛媛大学工学部 教授、京都大学農学研究科 教授

研究テーマ：果実認識用センサ、収穫・管理ロボット、挿し木ロボット、選果ロボット、肉用牛のビタミン A の推定、遊泳中の魚の体積計測等

受賞歴：農業機械学会：学術賞 森技術賞、日本機械学会ロボメカ部門：部門技術業績賞、American Society of Agricultural Engineering：功績賞、日本生物環境調節学会：学会賞（学術賞）50 周年記念貢献賞、農業施設学会：技術賞、農林水産省、農林水産・食品産業技術振興協会：農業技術功労者表彰など

青山咸康（京都大学・名誉教授）

1969 年 京都大学大学院農学研究科修士課程修了（農業工学）、1969 年 京都大学農学部助手（農業工学科）、1981 年 東京農工大学農学部助教授（農業工学科）、1998 年 京都大学大学院農学研究科教授（地域環境科学専攻）、2007 年 石川県立大学生物資源環境学部教授（環境科学科）、2014 年 石川県立大学退職、第 23 代農業農村工学会会長

1981 年 農業土木学会賞「フィルダムの動的挙動に関する研究」,

2010 年 国際水田・水環境工学会（PAWEES）国際賞,

2014 年 ダム工学会功績賞

太陽エネルギー利用による生態工学システム

玉浦 裕

東京工業大学科学技術創生研究院，〒152-4852 東京都目黒区大岡山 2-12-1

要旨

地球の生態系の原動力となっている太陽エネルギーとは別に、人工的に太陽光を熱や化学エネルギーに変換することができれば、地球の自然としての物質循環とエネルギーバランスに影響を与えることなく、人類の産業活動や経済活動に要するエネルギーや物質移動を太陽エネルギーで賄うことができる。これを、“太陽エネルギー利用による生態工学システム”と呼ぶ。その一つに、集光高温太陽熱を蓄熱して高温の熱を 24 時間利用し、人為的な夜間の工業生産活動による CO₂ の過剰生成を抑制することが、現実性のある有望なシステムとして考えられる。これは地球の自然としての物質循環とエネルギーバランスに影響を与えることなく、地球本来の生態系としての炭素循環システムを復活させ持続的に戻すシステムである。

キーワード

太陽エネルギー，地球温暖化，高温集光太陽熱，生態工学システム

1 緒言

太陽光は植物の光合成作用を引き起こし、太陽エネルギーを炭素化合物の化学エネルギーへと変換されている。これが、地球生態系の営みの根源となっている。このような地球の生態系の原動力となっている太陽エネルギーとは別に、人工的に太陽光を熱や化学エネルギーに変換すれば、地球の自然としての物質循環とエネルギーバランスに影響を与えることなく、人類の産業活動や経済活動に要するエネルギーや物質移動を太陽エネルギーで賄うことができる。これを、“太陽エネルギー利用による生態工学システム”と呼ぶこととする。

これまで人類は化石燃料を燃焼するか核燃料を燃やすことによって、高温の熱を作り出して電力や動力を得てきた。これを、太陽エネルギーで代替するには、太陽光エネルギーを人工的に化学エネルギーに変換することにより化学燃料を得て、それを燃焼する方法が考えられる。もう一つの方法としては、太陽光を集光することにより、黒体放射による高温エネルギーを取り出すことができる。太陽エネルギー時代には、このようにして得られる太陽エネルギーからの高温熱源が人類社会の主要な熱源になるものと考えられる。化石燃料の高温燃焼熱に代わる産業用熱源代替として期待される。高温太陽熱は蓄熱が容易で、その太陽熱蓄熱技術が 500～650° C で実用化が砂漠で進んでいる。砂漠での高温熱を 24 時間利用することも商業化が始まっており、地球規模の太陽熱利用のエネ

ルギーネットワーク構想は、夢から現実的なものへとなっている。これらには高温化太陽熱を利用して様々な生態工学技術が考えられている。集光太陽熱は電気への変換や、廃棄物処理、水処理、バイオマスとのエネルギーハイブリッドシステムなどにも利用されつつあり、これらは生態工学と深い関連性がある。

2 集光太陽熱と地球生態工学システム

2-1. 地球温暖化回避の生態工学システム

太陽からの放射エネルギー(地球の受けるエネルギー)は地球表面で吸収されて、赤外線を放出する。この地球からの放射エネルギーが太陽からの放射エネルギーがバランスしたところが、地球表面温度となる。一般に、表面積が一定の物体では、その物体の表面から放出されるエネルギーは表面温度(絶対温度)の 4 乗に比例する(ステファン・ボルツマンの法則)。太陽からの放射エネルギー(太陽放射)は太陽からの地球位置では $1.37 \times 10^3 \text{ J/秒} \cdot \text{m}^2$ (太陽定数)で、地球全体に平均した場合にはその 1/4 となる。また地球は雲や氷や森林によって太陽光を大気圏外に放散しており(アルベド)、その比率は 0.3 で、これを考慮すると地球(地表と大気)が吸収している太陽放射は $1.37 \times 10^3 \text{ J/秒} \cdot \text{m}^2 \times 0.7 = 2.40 \times 10^2 \text{ J/秒} \cdot \text{m}^2$ と計算される。地球表面からはこの値と同じエネルギーが放射されており、この値をステファン・ボルツマンの法則に代入して平衡温度を求めると、 $T = 255 \text{ (K)}$ (-18° C)

となる。この平衡温度は、実際の地球の温度よりも 33°C 低い。つまり、地球の表面温度が、これだけ高くなっていることを意味している。これは大気中に含まれる水蒸気や二酸化炭素、メタン、窒素酸化物、オゾン、フロンガスなどが、地表からの放射エネルギー(赤外領域)を吸収して、地表に再放射する(温室効果)ことによる。

地球の大気中の二酸化炭素濃度が毎年増大しており、上記の温室効果ガスの濃度が増大するために、二酸化炭素からの地表への放射エネルギー(赤外領域)が強くなり、平衡温度が上昇している。実際に世界の気象データからは、ここ 50 年間では地球の表面温度の上昇傾向が観測されている。これによると考えられる様々な異常気象の現象が顕在化してきている。この異常気象の変化は地球時間で見た場合にはかつてない極めて短い期間で生じており、近年の地球温暖化の問題は、急激な異常気象の変化に対して地球の植生や生態系が追従できるかどうかの問題である。

地球の温度を決定している要因としては、二酸化炭素などの大気中の温暖化ガスの影響の外に、数千万年という長期的な地球時間においては、地軸の歳差運動、太陽活動、火山活動などがある。かつての地球歴史において生じている長期の気候変動はこれらの要因の重なりによるものであり、このような長期な気候変動は地表面温度の緩やかな変化による。これに対して、近年の地球温暖化は、わずかに数百年で生じている変化であり、化石燃料の燃焼による高温熱の産業利用の拡大が、大気中の急激な温暖化ガス(CO₂)の上昇が原因となっている。最終的には太陽エネルギーを原動力とする地球規模の生態系による炭素の物質循環速度・物質量の平衡がずれていることが原因である。

人類の化石燃料の燃焼の高温熱利用による産業経済活動を炭素循環の速度的・量的な平衡を地球生態系の炭素循環とバランスさせることが求められている。同時に、地表温度が急激に上昇することによる地表の生態系をいかに追従させることができるかが、生態工学の大きな課題でもある(“太陽エネルギーの集光太陽熱の高温利用による生態工学システム”の構築)。

2-2 地球規模の太陽エネルギー利用ネットワーク

太陽エネルギーを最も経済的に利用するには、年間日照量の大きな砂漠のような場所を開発する必要がある。このような日照量の大きな場所は世界的には図 1 のように、砂漠を中心として帯状に広がっており、この帯はサンベルトと呼ばれている。現在、このサンベルトに太陽発電所が大規模に設置され始めている。太陽電力の生産には太陽光発電か太陽熱発電のいずれかの方法が用いられる。太陽光発電は太陽電池により、また太陽熱発電は集光して得られる 300-650°C の高温熱をタービンで電気に変換する。これらの電気は砂漠地帯から都市まで送電するが、1000-3000 キロも離れたところからは送電ロス

の極めて低い高圧直流送電が用いられる。

また、砂漠のような太陽エネルギーが豊富に得られる場所では、ソーラー電力を生産するばかりではなく、高温集光した熱を利用して、工業プロセスを運転させて太陽熱産業都市を興すこともできる。また、砂漠のドーム都市構想では、ドーム内温度を太陽熱を用いてコントロールすることによって、砂漠に都市空間を再現しようとしている。

このような、砂漠の豊富な太陽エネルギーを利用する発電・送電や、ドーム都市や太陽熱産業都市は、送電線網や工業製品の輸出入などでエネルギーと産業・経済のネットワークを形成することにより、相互に共存・共生する太陽エネルギー地域が形成される。デザテック構想や AEN 構想はこのようなネットワーク化によりサンベルトの太陽エネルギーに依存する新しい社会システムや地域を創生しようとするものである。

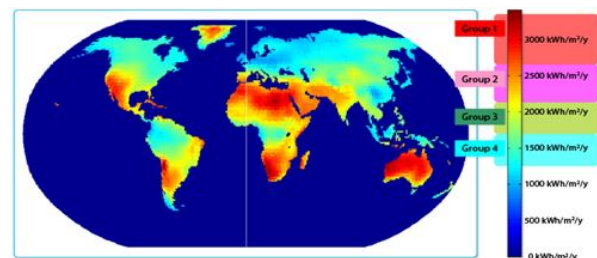


図 1 世界の直達光分布 (kWh/(m²・y));

出典: Global Energy Supply Potential of Concentrating Solar Power (proceedings of SolarPACES 2009, Berlin, September)

2-2.1 デザテック構想

デザテック構想はデザテック財団によって立ち上げられたもので、世界の再生可能エネルギー利用システムネットワークを構築することを目的として、そのエネルギーシステムとして「サンベルトの集光太陽熱を蓄熱し、24 時間、太陽電力を供給するシステム」を根幹としている。化石燃料や原子力によって電力を 24 時間供給する電力利用システムを太陽エネルギーに地球規模で切り替えようとするものである。実際に導入する技術は太陽集光技術、太陽熱発電技術、蓄熱技術、HVDC 送電技術などである。北アフリカの砂漠地帯に太陽熱発電所を建設し、地中海を通る超長距離 HVDC ケーブル(2000-3000km)により、ヨーロッパに太陽電力を輸送する。デザテック構想のメインの再生可能エネルギーは北アフリカ砂漠(サンベルト)の太陽エネルギーであるが、この HVDC の送電網をネットワーク化し、北アフリカ、地中海沿岸、ヨーロッパ全土に広がる風力、地熱、バイオマスなどの再生可能エネルギーでつなぐ構想も含まれている。

2-2.2 AEN(アジアエネルギーネットワーク)構想

アジア地域では、インド北西部、ゴビ砂漠、モンゴル、内モンゴル、オーストラリアなどに将来的に 24 時間蓄熱型太陽熱発電所建設が可能な場所がある。このうち、インドと中国で人口増加が急激に進行するところに重なるサンベルトはインド北西部と内モンゴル地域である。また、外モンゴルはタイ・カンボジャなどの東南アジア地域に HVDC(高圧直流)送電が可能で、外モンゴル地域サンベルトの開発は人口の多いアジア地域のエネルギー安全保障の面で重要である。インド北西部と内モンゴルのサンベルトには砂漠のようなところもあるが、その周辺を含むかなり広い地域に多くの人が住み、グリッドのない村がかなり散在する。水を得難い乾燥した灼熱の場所ではあるが広漠としたイメージは無い。インド北西部のグジャラート州やラジャスタン州などに見られ、雨季がありながらも太陽エネルギーの利用が十分に可能なサンベルト地域が広く存在している。人口増加と共に、都市化・貧困の差別が進んで、スラム化する場所でもある。太陽エネルギー量は砂漠のサンベルト地域と比較すると低い、サンベルトの太陽エネルギー開発という点においては注目すべき領域とある。このような場所に蓄熱型 24 時間太陽熱発電所を大規模に建設することは、貧困と都市スラム化の課題を解決するとして期待できる。



図2 デザテック構想 (出典; PDF-Flyer デザテック財団)

3 太陽集光による太陽エネルギー利用炭素循環システム

化石燃料の燃焼による高温ガスは内燃機関やタービン発電に用いられている。太陽光を集光して 650℃の熱に変換して蓄熱し、それを蒸気に変換して 24 時間発電する発電用商業プラントが実用化されており、すでに 120MW(集光熱)蓄熱による 24 時間太陽電力供給の商用化プラントが稼働している。この太陽熱発電所は化石燃料や原子力による 24 時間発電に代わるものである。このような集光太陽熱利用技術によって化石燃料時代から太陽エネルギー時代へとシフトさせることが可能となる。また、集光した太陽光ビームを化合物半導体太陽電池に照射すると、高効率(30-50%)で電気に変換することが可能で、50%に近い化合物半導体太陽電池のセルが開発さ

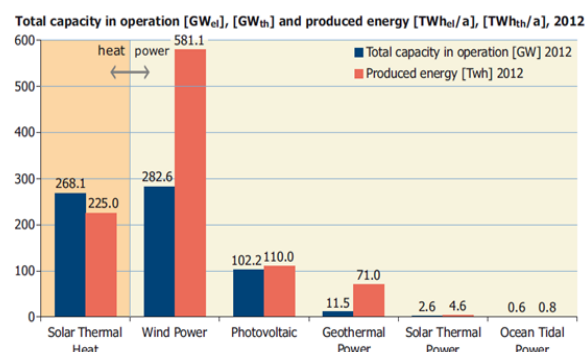


図3 世界の再生可能エネルギー導入量
(トータル発電・熱容量[GWe],[GWth](2012)、年間発電量・生産熱量[TWe/a],[TWth/a])

れ、700 倍集光で 47%変換効率のモジュールが商用化されようとしている。

このように、太陽光を集光し、高温の熱に変換・蓄熱して、タービン発電を行なうことにより 24 時間太陽電力を供給する技術、また、集光型太陽電池により、変換効率 50%の変換効率で昼間だけの太陽電力を供給する技術、これらが太陽エネルギー産業として普及しようとしている。再生可能エネルギー全体として見た場合には、風力発電、地熱発電、および発電以外の太陽熱利用などにおいて、再生可能エネルギー産業として普及が進んでおり、これらも化石燃料を利用しない地球規模の発電量としてかなり大規模になってきている(図 3)。

図 3 中で太陽エネルギーは電力と熱との両方の利用によるものであり、また風力と地熱は主に電力利用によるものである。これらは、近年において急激に上昇している大気中の CO₂濃度の原因である化石燃料の使用量の増大に歯止めをかけることに貢献してきたものである。人為的な炭素燃焼の CO₂生成プロセスは、太陽エネルギーに依存する地球規模の炭素の物質循環に対して CO₂を過剰に生成している。図 3 に示す再生可能エネルギーの導入により地球規模の本来の自然生態系としての炭素循環の状態へとわずかながら引き戻すことができる。

地球の炭素循環に関わる自然生態系は植物光合成によって太陽エネルギーを利用する炭素循環システムである。化石燃料をエネルギー源として利用することによる大気への人為的な CO₂排出は再生可能エネルギーの利用によって低減できる。このような再生可能エネルギー開発は地球規模の太陽エネルギーによる地球生態系の本来の炭素循環システムへと回復させる生態工学とみるべきであろう。太陽が沈んだ後でも、人類は化石燃料を燃焼して、エネルギーを生産し、過剰な CO₂を排出している。これに対しても、再生可能エネルギーで代替することが、地球本来の自然な炭素循環システムを再生する上に必須である。そのために、高温太陽熱を蓄熱して高温の熱を 24 時間利用することにより、人為的な夜間の工業生産活動

による CO₂ の過剰生成を抑制することが重要である。このような技術は地球本来の生態系としての炭素循環システムに戻すものでもある。

4 集光太陽熱エネルギーによる燃料生産と生態工学システム

太陽エネルギーによる物質生産の生態工学技術として、人工光合成技術などが注目されている。これは、自然界の光合成プロセスを人工的に工業化するものである。そのほかには、藻類の培養など、太陽エネルギーとバイオエンジニアリングとによる石油代替燃料の生産などがある。また、集光高温太陽熱を高温セラミックス反応に用いてソーラー水素を生産する技術なども開発されている。

ここでは、最も実現性が見込まれ、経済性にも成立可能性のある天然ガスと高温集光太陽熱とのハイブリッドシステムについて述べる。上述したように、太陽電力は集光熱の蓄熱により 24 時間供給が可能となってきた。また、昼間であれば、集光太陽電池により 50%程度の効率で太陽エネルギーが電力に変換できるようになっている。最も経済的な太陽電力の供給は、昼間に集光太陽電池発電と集光太陽熱の蓄熱、夜間に蓄熱太陽熱によるタービン発電、の組み合わせによって可能である。このような電力は 24 時間供給できるので、電解設備を 24 時間運転させることが可能、つまりソーラー水素の 24 時間製造が可能となる。同時に、電解により、酸素ガスを生産することができる。この酸素ガスを用いて天然ガスを部分燃焼することにより、CO ガスと H₂ ガスを 1:2 で生産することができ、これに電解の水素を加えることにより、太陽エネルギーと天然ガスとのハイブリッドによる経済性のある合成ガスを生産できる可能性が大きい。これらの合成ガスはいわゆる C1 化学の出発原料であり、これを原料として様々な炭素化合物を合成することができる。これらは、地球規模の太陽エネルギー(集光太陽熱の蓄熱利用)による人の経済産業活動を生態工学的に代えるものとして位置付けられる。

CH 源として天然ガス(化石由来)を用いる代わりに、再生可能エネルギー由来のバイオマスを利用することが出来る。これも経済性が成り立ち得るもので現実的である。ここで議論している太陽エネルギー利用による生態工学システムとしては、バイオマスを利用することとなる。

次に、太陽電力からの燃料電池によるソーラー水素生産が生態工学システムとして経済性が成り立ち得る現実的なものがある。ここでも、集光太陽熱の蓄熱による 24 時間太陽電力が利用することが前提となる。昼間のみの発電に限られる PV 発電では、昼間にのみ燃料電池が稼働しないので、水素生産性が 1/3 に低下し、経済性の面で実用化が困難である。蓄電池で夜間発電したのでは、さらにコスト高となってしまう。

これらのバイオマス由来のハイブリッド燃料や太陽電力からのソーラー水素はいずれも集光太陽熱が源となっており、これらの燃料の燃焼によって、従来の産業活動の高温熱源の代替ができる。これらは、太陽エネルギー由来で、しかも化学エネルギーとして蓄えることができ、タンク車やパイプラインによる輸送も可能で、従来の化石燃料インフラがそのまま利用できる。これは地球の自然としての物質循環とエネルギーバランスに影響を与えず、地球本来の生態系としての炭素循環システムを復活させ持続的に戻すシステムである。

これらのシステムの中には、さらに、人類の食料生産と農林産業活動がこれらの太陽エネルギー由来の電力や燃料、あるいは集光熱を蓄熱して直接利用することによる植物工場の運転なども生態工学システムとして組み込みことができる。農業工学が担う大きな役割である。

5. 結語

再生可能エネルギーの導入は、急激な大気中の CO₂ 濃度上昇を緩和すると共に、地球本来の太陽エネルギーを原動力とする炭素の物質循環とそれに付随する地球の生態系を回復させることができる。地球の温暖化は気候や地球の生態系などに様々な影響をもたらすが、我々が最も危惧すべきことは、地球生態系をこのまま著しく崩してしまうと、生態系のバランスが元に戻せなくなることである。その限界点がどこなのか、そしていつなのか、どのようにして復元できなくなるのか、などについては不明な点が多い。化石燃料エネルギーに依存し続けたままで人間社会経済活動が増大して行くと、いつかは地球生態系の炭素の物質循環を回復することが不可能となる限界を超えてしまう。これに対して、人類の社会経済活動を太陽エネルギーに依存するようにすれば、地球本来の生態系を維持しつつ、人類の社会経済活動も地球環境に共生させることが持続可能となる。つまり、生態工学は「太陽電池、集光型太陽電池、太陽熱発電、集光太陽熱利用などを大規模に導入することにより地球生態系が回復不能となる限界を回避し、地球が本来的に太陽エネルギーを原動力として元々自然に成立していた物質循環の状態へと回復するための工学である。同時に人類の社会経済活動を地球環境に共生させる工学」という 3 つの側面を持っているもので、生態工学システムとして構築することが、地球規模の生態系の自然な営みと人類の社会経済活動とが共生する「地球エコロジー文明論」の $\tau \epsilon \chi \nu \eta$ (ギリシャ語; テクネー)として大きな意義を有する。これらのシステムの中では、農業工学が人類の食料生産と農林産業活動という視点で当然に大きな役割を担う。

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

安永 円理子

東京大学大学院農学生命科学研究科，〒188-0002 東京都西東京市緑町 1-1-1

要旨

食の安全・安心への消費者志向の反映に貢献するために、1: ポストハーベスト技術，2: プレハーベスト技術，3: 農産物への放射性物質の移行挙動に大別した研究を遂行した。1 では収穫後の青果物の品質変化と呼吸代謝との関係を利用し，より適切な流通環境条件のフィードバックを可能とするモデルを確立した。2 では高品質な青果物流通のために不可欠な生育環境の最適化にも取り組み，省エネルギーでの夜温管理の多様な方法の提案に加え，生理生態的効果と省エネルギー効果を明らかにした。3 では 2011 年に起こった東日本大震災に起因する放射性物質汚染の農産物への移行挙動の解明，更にリクスコミュニケーションにも取り組み被害の軽減に貢献した。

キーワード

呼吸速度，品質変化，モデル，省エネルギー栽培，放射性物質。

緒言

このたびは、「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」というタイトルで，日本農業工学会賞を頂き，身に余る光栄に存じます。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名誉会長の橋本康先生，現会長の野口伸先生をはじめ，日頃からご指導，ご支援を頂きました九州大学名誉教授橋口公一先生，九州大学名誉教授筑紫二郎先生，九州大学教授内野敏剛先生，九州大学教授北野雅治先生，東京大学教授二宮正士先生，東京大学教授大下誠一先生，東京大学名誉教授大政謙次先生，東京大学教授小林和彦先生には心より御礼申し上げます。また，この他にも，互いに切磋琢磨しながら，研究に協力してくださった共同研究者，先輩後輩，学生の皆様にも厚く御礼申し上げます。以下に，受賞対象となりました研究課題の概要について述べさせていただきます。

ポストハーベスト技術

収穫後農産物の保存性向上を目的として，実験的検討（Yasunaga・Uchino, 2012; Hung et al., 2011）に加え，数値解析を駆使することで保存技術の最適化に取り組んで参りました。具体的には，農産物の鮮度や品質は周辺環境に大きく影響されますが，その評価基準として農産物の呼吸特性に着目し，温度変化，ガス濃度（ O_2 ， CO_2 ）の影響について詳細に検討しました。また，このような諸因子がダイナミックに変動する流通環境について，反応速度論を基本とした呼吸・品質変化予測モデルを提案

し，青果物の呼吸特性を定性的に表現することを可能としています（安永ら，2009a；2009b；花田ら，2011；安永，2015）。すなわち，収穫後の青果物の品質変化と呼吸代謝との間に密接な関係があることを利用し，物理的要因に起因するその両者の関係をモデル化（図 1）することにより，より適切な流通環境のフィードバックを可能とするものとなっております。本モデルの実装により，消費者の志向する品質や安全性を消費者に開示できるトレーサビリティシステムの開発も可能となっております。

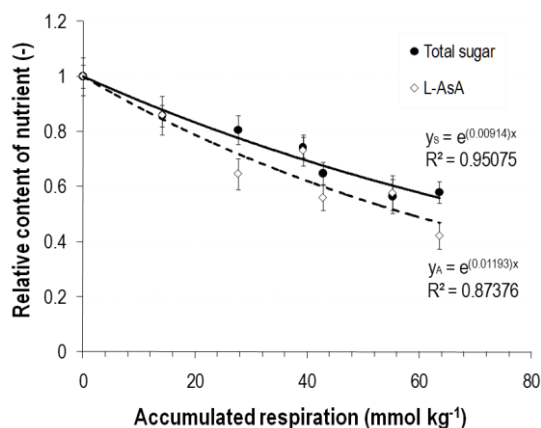


図 1 流通温度環境下のシュンギク的全糖相対含量とアスコルビン酸相対含量の実測値と予測値

さらに，国内流通だけではなく，輸入農産物の食品ロス低減に向けて，タイ産のマンゴー果実を対象に，生産体系および流通過程の最適化や，栽培および輸送技術の高度化指針の提案を目的とした研究にも取り組んでいます。具体的には，生産地から消費地までの種々の環境要因に

関する基礎データを収集するとともに、各種データマイニング手法を駆使し、収穫後果実の品質変化に対する要因解析を行い、生産環境（収穫前）と流通環境（収穫後）が果実品質に及ぼす影響を定量的に評価しました（Yasunaga et al., 2012; Yuge et al., 2012; Yasunaga et al., 2013a; 2013b; Yuge et al., 2013; Fukuda et al., 2013; Fukuda et al., 2014）。

プレハーベスト技術

植物の栄養成長（呼吸、転流、伸長・肥大、養水分吸収）、生殖成長（花芽分化、休眠、着果、色素発現、果実成熟）に対する夜温の影響を調べ、気候変動下の植物生産における夜温管理の意義を科学的に検証しました（図2）。さらに、温暖化防止の観点から求められている持続可能な省エネルギーでの夜温管理の多様な方法について、果実への物質集積の動態に基づいた理論を用い提案し、生理生態的效果と省エネルギー効果を明らかにしました（Yasunaga et al., 2011; 2013c; Sago et al., 2011a; 2011b, 2012c; Yano et al. 2012; 2013; 2014a; 2014b; 2014c）。

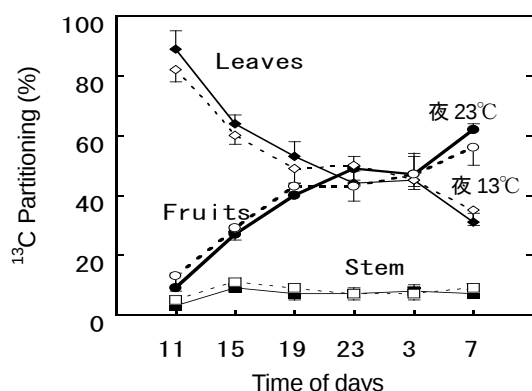


図2 葉からミカン果実への¹³C動態の日変化

放射性物質の移行挙動

福島第一原子力発電所付近の地域および東京大学附属生態調和農学機構の栽培圃場を対象に、空間線量率、栽培土壌ならびに農産物の部位別の放射性物質の含有量を計測し、栽培環境と農産物体内とに含まれる放射性核種の関係を明らかにしました。この際、単年性作物の野菜だけでなく、多年生作物である果樹についても放射性物質の移行過程の検証を行いました（大下ら, 2011; 2012; 2013; 高田ら, 2012a; 2012b; 2012c; 2012d; 2013a; 2013b; 2013c; 2014; Yasunaga et al., 2013d）（図3（高田ら, 2016））。さらに、得られた結果を用い、消費者の放射線物質に対するリスク認知行動をWeb調査や対面調査により把握し、有効なリスクコミュニケーション方法の提案に取り組みました（Hosono・Yasunaga, 2013）。また、原子力安全研究協会の協力の下、風評被害や不安の軽減のために、帰還困難区域に居住されていた方で県内外にて避難生活

を行われている方々とのコミュニケーションにも努めました。

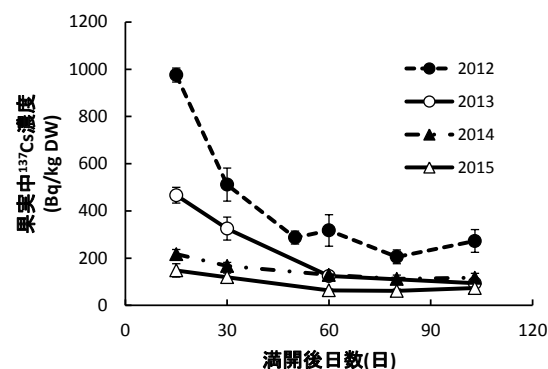


図3 下小国におけるモモ果実中の放射性セシウム濃度の変化

謝辞

九州大学在籍時には女性研究者支援室に、東京大学におきましても女性研究者養成システム改革加速事業にて多大な支援を受けました。ここに記して感謝申し上げます。また、いずれの研究におきましても、良き指導者、優れた共同研究者ならびに温かい研究支援者の皆様の多大なるご支援、ご協力を賜り実施することができました。また、種々の研究助成を頂き研究を遂行することができました。ここに記して心より感謝申し上げます（敬称略させていただきます）。

1. ポストハーベスト関連：内野敏剛、筑紫二郎、吉田敏、田中史彦（九州大学）、中野浩平（岐阜大学）、濱中大介（鹿児島大学）、古江元気、花田祐介（九州大学）、福田信二（東京農工大学）、黒木信一郎（神戸大学）、弓削こずえ（佐賀大学）、尾崎伸吾（横浜国立大学）、Vicha Sardud, Wolfram Spreer（チェンマイ大学、タイ）、Marcus Nagle, Joachim Müller（ホーエンハイム大学、ドイツ）、Wanwarang Pattanapo（チェンマイ大学）、Bart Nicolai, Maarten Hertog（カソリック ルーヴェン大学、ベルギー）・安永円理子（研究代表者）、「消費者志向の農産物品質評価システム構築のための基礎研究」、文部科学省科学研究費補助金（若手研究B）、H17～H19。
- ・安永円理子（研究代表者）、「消費者志向の農産物品質変化予測システムの構築」、文部科学省科学研究費補助金（若手研究B）、H20～H21。
- ・安永円理子（研究代表者）、「タイ北部地域特産果実の生産および流通技術の高度化に関する基礎研究」、九州大学農学研究院若手教員支援事業、H20。
- ・安永円理子（研究代表者）、「熱帯産作物の生産環境および流通環境を考慮した包括的品質評価モデルの構築」、九州大学教育研究プログラム・研究拠点形成プロジェクト（アジア総合研究）、H21～H22。
- ・安永円理子（研究代表者）、「流通環境の影響を考慮した果実

品質向上のための新流通システムの提案」, 文部科学省科学研究費補助金 (基盤研究 B・海外研究), H25~H27.

・安永円理子 (研究代表者), 「果実物性の流通環境依存性を考慮した緩衝包装設計の最適化指針の提案」, 文部科学省科学研究費補助金 (挑戦的萌芽研究), H25~H26.

2. プレハーベスト関連: 北野雅治 (九州大学), 荒木卓哉 (愛媛大学), 矢野拓 (大分県農林水産研究指導センター), 江口寿彦 (九州大学), 安武大輔 (九州大学), 日高功太 (九州沖縄農業研究センター), 図師一文 (宮崎大学), 佐合悠貴 (山口大学), 瀬戸山修仁, 香川裕樹, 横田直也 (九州大学)

・吉田敏 (研究代表者), 安永円理子 (研究分担者), 「西南暖地の施設園芸における空気および培土の冷却技術の農業生産への応用」, 文部科学省科学研究費補助金 (基盤研究 A), H18~H21.

・小原誠 (研究総括), 安永円理子 (研究分担者) 他, 「脱石油新暖房システムと果実炭素収支に基づく省エネ施設果樹栽培」, 新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業 (農林水産省), H21~H23.

・北野雅治 (研究代表者), 安永円理子 (研究分担者) 他, 「気候変動下の植物生産における夜温の生理生態的評価と省エネルギー管理」, 文部科学省科学研究費補助金 (基盤研究 B), H23~H25.

3. 放射性物質関連: 大下誠一, 高田大輔, 細野ひろみ, 二宮正士, 佐々木治人, 小林和彦, 田野井慶太郎, 中西友子, 小林奈通子, 市川恭子 (東京大学), 川越義則 (日本大学), 佐藤守, 阿部和博 (福島県農業総合センター果樹研究所), 芳賀亨, 鈴木庄悟 (福島県鮫川村役場)

・安永円理子 (研究代表者), 「地域性を考慮した農産物の放射性物質の移行過程の解明」, 2011 年度東京大学 A G S 研究会研究助成奨励研究, H23.

・安永円理子 (研究代表者), 「農産物の放射性物質の移行過程の解明とそれに基づくリスクコミュニケーション」, 文部科学省科学研究費補助金 (基盤研究 B), H24~H26.

・安永円理子 (研究代表者), 「福島県産農産物に対する消費者の購買・リスク認知行動に関する研究」, 2012 年度東京大学 A G S 研究会研究助成奨励研究, H24.

・高田大輔 (研究代表者), 安永円理子 (研究分担者), 「果樹の放射性セシウムの樹体内再分配に関する研究」, 文部科学省科学研究費補助金 (基盤研究 C), H26~H28.

さらに, 私が研究生活に邁進できるよう, いつも積極的かつ全面的に支援・激励してくれる家族に, 何よりも感謝しております.

引用文献

Fukuda S, Spreer W, Yasunaga E, Yuge K, Sardud V, Müller J. (2013). Random Forests modelling for the estimation of mango (*Mangifera indica* L. cv. Chok Anan) fruit yields under different irrigation regimes. *Agricultural Water Management*. 116, 142-150.

Fukuda S, Yasunaga E, Nagle M, Yuge K, Sardud V, Spreer W,

Müller J. (2014). Modelling the relationship between peel colour and the quality of fresh mango fruit using Random Forests. *Journal of Food Engineering*. 131, 7-17.

Hung DV, Tong S, Tanaka F, Yasunaga E, Hamanaka D, Hiruma N, Uchino T. (2011). Controlling the weight loss of fresh produce during postharvest storage under a nano-size mist environment. *Journal of Food Engineering*. 106(4), 325-330.

花田祐介, 安永円理子, 内野敏剛, 田中史彦, 中野浩平, 筑紫二郎. (2011). 収穫後の環境要因を考慮したインゲンマメの品質変化予測モデル. *植物環境工学*. 23(2), 66-74.

Hosono H. and E. Yasunaga. (2013). Do Japanese still worry about radiation contamination in food? -An implication for the reconstruction of agricultural sector-, *Proceedings of AFHW 2013*, 197-202.

大下誠一, 川越義則, 安永円理子, 高田大輔, 中西友子, 田野井慶太郎, 牧野義雄, 佐々木治人. (2011). 低濃度放射性降下物に起因した土壌および野菜の放射性核種濃度の測定 - 東京大学大学院農学生命科学研究科付属生態調和農学機構における事例 -. *RADIOISOTOPES*. 60(8), 329-333.

大下誠一, 安永円理子, 高田大輔, 田野井慶太郎, 川越義則. (2012). 低濃度汚染土壌における野菜への放射性核種の移行. *化学と生物*. 50(12), 904-906.

大下誠一, 安永円理子, 高田大輔, 田野井慶太郎, 川越義則, 白井宏明, 中西友子, 佐々木治人, 牧野義雄. (2013). 福島第一原子力発電所事故に起因した土壌及び野菜の放射性核種濃度の測定 - 東京都及び福島県の低濃度汚染地域における事例 -. *RADIOISOTOPES*. 62(3), 149-157.

Sago Y, Yasutake D, Hidaka K, Yasunaga E, Eguchi T, Yoshida S, Kitano M. (2011a). Kinetics of root ion absorption affected by environmental factors and transpiration I. Measurement system for intact roots. *Environment Control in Biology*. 49(1), 23-31.

Sago Y, Yasutake D, Hidaka K, Yasunaga E, Eguchi T, Yoshida S, Kitano M. (2011b). Kinetics of root ion absorption affected by environmental factors and transpiration II. Environmental effects and a concentration-dependent model. *Environment Control in Biology*. 49(1), 33-40.

Sago Y, Yasutake D, Hidaka K, Yasunaga E, Eguchi T, Yoshida S, Kitano M. (2011c). Kinetics of root ion absorption affected by environmental factors and transpiration III. A kinetic model integrated with transpiration. *Environment Control in Biology*. 49(1), 41-46.

高田大輔, 安永円理子, 田野井慶太郎, 中西友子, 佐々木治人, 大下誠一. (2012a). 放射性降下物に起因した果樹樹体内放射性核種の分布 - 低濃度放射性降下物地域における核果類に関する事例的調査 -. *RADIOISOTOPES*. 61(6), 321-326.

高田大輔, 安永円理子, 田野井慶太郎, 中西友子, 佐々木治人, 大下誠一. (2012b). 放射性降下物に起因した果樹樹体内放射性核種の分布 (第 2 報) - 福島第一原子力発電所事故当年における土壌からの放射性 Cs の移行について -. *RADIOISOTOPES*. 61(10), 517-521.

- 高田大輔, 安永円理子, 田野井慶太郎, 小林奈通子, 中西友子, 佐々木治人, 大下誠一. (2012c). 放射性降下物に起因した果樹樹体内放射性核種の分布 (第3報) -福島県南地域におけるブドウとモモの樹体内放射性セシウム濃度について-. RADIOISOTOPES. 61(12), 601-606.
- 高田大輔, 安永円理子, 田野井慶太郎, 中西友子, 佐々木治人, 大下誠一. (2012d). 放射性降下物に起因した果樹樹体内放射性核種の分布 (第4報) -モモ樹体内における放射性セシウム含量とその分布について-. RADIOISOTOPES. 61(12), 607-612.
- 高田大輔, 佐藤守, 阿部和博, 安永円理子, 田野井慶太郎. (2013a). 放射性降下物に起因した果樹樹体内放射性核種の分布 (第5報) -ブドウ「巨峰」における接ぎ穂から他器官への¹³⁷Csの移行について-. RADIOISOTOPES. 62(7), 455-459.
- 高田大輔, 安永円理子, 田野井慶太郎. (2013b). 放射性降下物に起因した果樹樹体内放射性核種の分布 (第6報) -土壌の¹³⁷Cs濃度の不均一性がブドウ及びイチジクの樹体への移行に及ぼす影響-. RADIOISOTOPES. 62(8), 533-538.
- 高田大輔, 安永円理子, 田野井慶太郎, 中西友子, 佐々木治人, 大下誠一. (2013c). 放射性降下物に起因した果樹樹体内放射性核種の分布 (第7報) -モモ側枝の放射性セシウム濃度の事故後2年間の経時変化-. RADIOISOTOPES. 62(8), 539-544.
- 高田大輔, 佐藤守, 阿部和博, 小林奈通子, 田野井慶太郎, 安永円理子. (2014). 放射性降下物に起因した果樹樹体内放射性核種の分布 (第8報) -摘果果実を用いたモモ成熟果実の放射性セシウム濃度の推定について-. RADIOISOTOPES. 63(6), 293-298.
- 高田大輔・市川恭子・小林奈通子・田野井慶太郎・安永円理子・佐藤守・阿部和博. (2016). モモ樹体内における放射性Csの再分配について. 第17回環境放射能研究会. 3月9日.
- Yano T, Kawano T, Ohara M, Sato Y, Kotegawa R, Kagawa H, Setoyama S, Yokota N, Nomiyama R, Araki T, Yasunaga E, Eguchi T, Kitano M. (2012). Water and carbon balance in developing fruit of the Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). Environmental Control in Biology. 50(2), 189-198.
- Yano T, Ohara M, Matsubara K, Tamanoi A, Araki T, Yasunaga E, Kitano M. (2013). Effect of light condition on water and carbon balance in satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit. Environmental Control in Biology. 51(1), 49-56.
- Yano, T., Matsubara, K., Shimooka, M., Tamanoi, A., Narahara, M., Kawano, M., Ito, S., Setoyama, S., Yasunaga, E., Araki, T., Kitano, M., (2014a). Energy-Saving night temperature regime for Satsuma mandarins (*Citrus unshiu* Marc.) grown in plastic house with heating. I. Effect of temperature and water condition on fruit growth and quality, Environmental Control in Biology, 52(3), 161-166.
- Yano, T., Matsubara, K., Shimooka, M., Tamanoi, A., Narahara, M., Kawano, M., Ito, S., Setoyama, S., Yasunaga, E., Araki, T., Kitano, M., (2014b). Energy-Saving night temperature regime for Satsuma mandarins (*Citrus unshiu* Marc.) grown in plastic house with heating. II. Effect of night temperature on fruit water and carbon balance, Environmental Control in Biology, 52(3), 167-174.
- Yano, T., Matsubara, K., Shimooka, M., Tamanoi, A., Narahara, M., Kawano, M., Ito, S., Setoyama, S., Yasunaga, E., Araki, T., Kitano, M., (2014c). Energy-Saving night temperature regime for Satsuma mandarins (*Citrus unshiu* Marc.) grown in plastic house with heating. III. Application of different night temperature patterns, Environmental Control in Biology, 52(3), 175-182.
- 安永円理子. (2015). 農産物・食品の安全と品質の確保技術 (第11回) -収穫後青果物の品質変化予測モデルについて-. 農業食料工学会誌. 77 (4), 246-251.
- Yasunaga E, Uchino T. (2012). Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on quality preservation in postharvest broccoli (*Brassica oleracea*), In: Proc. CIGR2012., Valencia. 8-12 July, P2243.
- 安永円理子, 内野敏剛, 吉田敏, 筑紫二郎, 田中史彦. (2009a), 流通環境におけるシュンギクの呼吸速度の予測. 植物環境工学. 21(4), 143-148.
- 安永円理子, 内野敏剛, 吉田敏, 田中史彦, 筑紫二郎. (2009b), 流通環境におけるシュンギクの内容成分含有量変化予測モデルの構築. 植物環境工学. 21(4), 154-161.
- Yasunaga E, Yuge K, Fukuda S, Sardud V, Spreer W, Pattanapo W. (2012). Effect of post-harvest environment on quality deterioration of mango fruits. Acta Horticulturae. 934, 921-927.
- Yasunaga E, Fukuda S, Yuge K, Sardud V, Spreer W, Wanwarang P. (2013a). Comparison of changes in post-harvest quality deterioration of mango fruits between Thailand-Fukuoka and Okinawa-Fukuoka transportations. Acta Horticulturae. 989, 221-224.
- Yasunaga E, Fukuda S, Yuge K, Sardud V, Spreer W, Wanwarang P. (2013b). Comparison of postharvest quality changes in export mango fruits from different harvest sites in Thailand. Acta Horticulturae. 1006, 423-428.
- Yasunaga E, Yano T, Sato Y, Kawano T, Kagawa H, Setoyama S, Yokota N, Araki T, Kitano M. (2011). Energy-saving temperature control in protected cultivation of evergreen fruit trees based on post-oil new heating system and fruit physiology. In: Proc. CIGR2011, Tokyo. 19-23 September, P-05.
- Yasunaga E, Yano T, Araki T, Setoyama S, Kitano M. (2013c). Effect of environmental on xylem and phloem transport of developing fruit, In: Proc. The 2013 IFAC Bio-Robotics Conference. Osaka. 27-29 March, P-13.
- Yasunaga E., D. Takata, S. Ohshita, K. Tanoi, T. Nakanishi, S. Ninomiya and K. Kobayashi. (2013d). Radioactive nuclides behavior in fruits tree and soil after the Fukushima accident, Proceedings of AFHW 2013, 191-195.
- Yuge K, Yasunaga E, Fukuda S, Spreer W, Sardud V, Pattanapo W. (2012). Evaluation of the effect of the soil water environment in mango fields on the fruit quality. Acta Horticulturae. 938, 445-451.
- Yuge K, Yasunaga E, Fukuda S, Spreer W, Sardud V, Pattanapo W. (2013). Evaluation of soil water management difference in mango orchards between Thailand and Japan. American Journal of Plant Sciences. 4(1), 182-187.

地形気象ならびに都市熱対策に関する研究

鈴木 義則

九州大学・名誉教授

要旨

新規造成茶園で発生した災害の原因を地形気象、微気象の観点から追究した。円錐丘の高地と低地の間に大きな温度差が出現し、茶樹の耐凍性を超える低温が発現しえたことを明らかにした。茶樹の生育に対する地形の影響、温度の影響を示した。日本農業気象学会で科学的大論争のあった冷氣流問題を斜面下降気流の熱的特性の明確化問題と捉え、気流は日没付近の時間帯では冷却に、それ以降日の出までは放射による冷却量の緩和に作用するという結論を導き出した。防霜ファンの効果範囲の可視化に成功、世界初の熱画像を提示した。都市熱(ヒートアイランド)対策としてのビルの緑化効果、保水性セラミック効果を熱収支、放射収支から明らかにした。

キーワード 地形気象, 凍霜害, 斜面下降気流, 潜熱, ヒートアイランド

緒言

研究には、理論派、実験派、両者の融合したものがある。筆者は実験派に属し、研究・教育機関に身を置き、実態解明と対策をささやかにかつ地道に進めてきた。それゆえ、科学界への貢献度は理論派に比べ格段に低いものでしかない。現在の視点に立てば、なんだその程度かという低レベルで、実用技術の面でも貢献が高いとは言えず恥ずかしい限りである。とはいえ、自然界が持つ法則性、原理原則を少しでも理解し、それらを未解決の問題に対して活用させていただきつつ、人為の負の関与部分を緩和し、人類ひいては地球に寄与できればという使命感をもって懸命に努力を傾け歳月を重ねてきた自負だけは密かに持っている。

筆者は九州大学大学院(農業工学専攻)で研究者のあるべき心を叩き込まれ、農林省(九州農業試験場)、大阪府立大学、山口大学、九州大学に奉職してきた。研究教育分野は農業気象学および生物環境工学であり、研究課題としたのは、畑地の土壌水分、凍霜害対策にかかわる局地微気象、紫外線照射による作物生長促進、保水性セラミックスによる都市熱汚染の抑制や家畜の熱環境の改善、水資源確保のための人工降雨、環境問題、気象災害その他であった。

ここでは、地形気象と都市熱対策について微気象学的観点から展開した研究成果を選ぶことにした。

1. 地形気象

事の始まりは、山口県農業試験場からの依頼であった。新造成茶園団地で新植後、一部の地点で枯死する現象が発生、農業経営学系の研究者(計算得意)が当時の最先端の電子計算機を駆使して多重回帰分析を行ったが、原因特定できずの結果となり、次に農業土木系の研究者は発現場の特徴から排水不良による根腐れを原因とした。しかし、これでも説明つかずで、謎が残された。そこで、山口大学農学部到新設された我々の農業環境学研究室に依頼が寄せられた。私は環境アセスメントが最寄りの气象台(既存公的機関)のデータを使い現地観測データによらないものなら、気象災害の発生も除外できないと考えた。すなわち、気候値、気象値の地域代表性に対して地形微気象の存在は無視できないとの思いである。主な被害地はどこか? 生き残った茶樹に痕跡はないのか? 現地確認と気象観測、地形

微気象の特徴と証拠の発見に全力を挙げることにした。そして、防霜対策研究も展開した。

1). 現地気象観測と結果

現地は山口県南部の沿岸地帯に近い新造成の茶園団地、なだらかな斜面を持つ円錐丘で標高 110m、比高 40m、面積 77ha、傾斜度 2~9 度、頂上と東斜面先端低地との距離は 420m 等の地形特性を有する。観測点は頂上を挟んで東西斜面と低地で南北斜面に高度別に複数設定した。通年観測を数年継続したが、重要な結果は初年度から現れた。

園内頂上部と低地の最低気温の温度差は、最大 12℃、平均的には約 4℃の出現頻度が高かった。暖地にもかかわらず、低地においては、冬季-10℃以下、4~5 月の晩霜害期に 0℃以下となった。これに対し、中腹以上では 4 月以降 10 月まで無霜であった。斜面上の最低気温の分布は、地形を反映する著しい特徴を示した。高さが高くなるほど気温も高くなる場合が多く、減率状態(通減)は少なかった。温度勾配は最大値 3.1℃/10m、最小値-0.5/10m、平均的には 1℃/10m 程度で、季節や天気状態により異なった。そして、この温度勾配の季節変動性は夜間有効放射量の変化によってもたらされ、同時に風速の影響を受けた。これらの気象特性と幼木特に移植直後のものは成木より抵抗性が弱いことから被害地が低地からやや高い所まで現れた理由が明らかにされた。さらに生き残った茶樹に凍害特有の痕跡も発見した。

茶樹の新芽生育が温度同様、地形をきれいに反映したものであること、それらが最低気温の積算値に影響されていることを明らかにした。最も高値である一番茶の生育が遅くなることこそ打撃が大きい。一連の解析に対して、農業経営学研究者から気候資源の経済効果と評価された。

農地開発にあたっては、気象アセスメントが不可欠であり、ある季節に限定した数回程度の実測では不十分であることに留意すべきである。

2). 霜害対策

たった一夜の低温で茶樹の新芽が茶褐色に枯死させられ売り物にならなくなるのが霜害である。世界中で多大な経済的損失をもたらしている。ここでは対策手段である防霜ファンと散水氷結法の研究結果にふれることにした。

(1). 防霜ファン

防霜ファン設置斜面のファン作動に伴う昇温域を熱画像で示したのは世界初である。このファンの効果は逆転層の発達による高温空気を利用しつつ葉面境界層を破壊した結果による。ここで要注意なのは、ファンの位置の気温がすでに新芽の耐凍性より低くなっている場合には逆に霜害を助長することである。

(2). 散水氷結法

水 1 g は氷になるとき 80cal の凝結潜熱を出す原理を利用したのが散水氷結法である。一般に、80cal の熱量は水 1 g を 80℃昇温させる能力をもつが、それは水から氷になるときには潜熱であることに要注意である。すなわち、最高温度は 0℃とまりである。

防霜効果を現す有効散水強度は気温により変化し、氷結後に散水を停止すると植物体温はごく短時間で気温以下に低下していくことを明らかにした。これは見た目の感覚に惑わされてはならないことを意味している。

3). 冷気流に関する科学的論争への取り組み

円錐丘頂上部と低地でこれほどの温度差があることは驚きでもあった。こんなに低地部が冷えるとは、これぞまさしく冷気の流れ込み以外に原因はないと考えるのはごく自然なことある。また私たちが仮に夜半過から明け前にかけて斜面にいるとしたら確実に冷気流を実感するだろう。だが、科学の世界が素晴らしいところは、これに異論を唱えた方がいたことだ。三原義秋博士(元・農林省農業技術研究所、当時千葉大学教授)である。1978 年 4 月日本農業気象学会で画期的なシンポジウムを開催。「冷気流は文字通り冷気である。いや植物にとっては温風である。」「盆地は晴夜冷気湖となるが、さらに冷えていくのは冷気流の効果による。さにあらず、冷気流がなければもっと冷えるはずだ。」この問答の前者は地理学系の先生、後者は農業気象学系の三原博士であった。科学的激論が交わされたものの結論には至らなかった。

私は、この決着に挑むことにし、以下のことを行った。

(1). 現場高地と低地で熱の収支を検討

鉛直上空気柱と鉛直土柱の合計冷却量が放射冷却容量に占める割合を求め、冷気か否かを判定する。

$$\text{地面上の気柱の冷却量} \quad A = \int_0^Z C_{ppa} dT_a / dt \Delta x \Delta y \Delta z$$

$$\text{地中の冷却量} \quad S = \int_0^Z C_{pps} dT_s / dt \Delta x \Delta y \Delta z$$

地表面からの赤外放射冷却量 $R_s = \varepsilon \sigma T^4 \Delta x \Delta y$

ここで、 T_a 、 T_s はそれぞれ気温、地温、 C_{ppa} 、 C_{pps} は空気、土の熱容量である。ただし、地中の冷却量は地中熱流計の実測値を使用することにした。気柱の高さ Z は気温の逆転層上限までで、測定気層150mの範囲内であった。冷気か否かの判定は次式による。

冷気流入なら $(A + S) / R_s \times 100 > 100$

暖気流入なら $(A + S) / R_s \times 100 < 100$

実測値を用いた計算結果、気柱と土柱の合計冷却量は日没時刻の数時間内は放射冷却による冷却量を超えており、冷気が流入したものと考えなければならないものであった。すなわち、この時間帯は、下降気流は冷気である。しかし、その後の夜明けにいたる時間帯は放射の冷却量に見合う冷却は起こってはならず下降気流の存在は冷却を抑制すると考えるべきものとなった。そこで、さらに確証を得るために次の実験を行った。

(2). 現場の高所と低地部に簡易断熱箱を設置して温度発現状態を検討

上辺のみポリエチレンフィルム、底部と側壁を発泡スチロールとした簡易断熱箱を頂上部と低地部にセットして箱内外の気温を測定した。箱内は頂上部と低地部のいずれとも自然状態の気温より低くなり、しかも頂上部は自然状態の低地よりも低温を呈した。重要なポイントである。しかし、箱同士でも地点間差が残った。その原因として、箱内外の温度差に伴う熱伝達、それに関与する頂上部で風が強く、低地部で弱い現象があげられる。これらの影響を除去する必要があった。その基礎実験を行い、修正を施した結果、箱内気温は地点間差がほぼ消え等しい値を示すものとなった。すなわち、下降気流は放射による冷却分を弱める熱補給側に作用しているのである。

(3). 気流再現基礎並びに現場適用実験

実験室で下降気流を作り出し、斜面途中に幕を張った場合の気流変化を可視的に確かめた。現地茶園で放射冷却の進む夜、斜面途中に幕を張って温度変化を赤外熱画像で可視化した。幕の下流側でより昇温する様子が示された。葉面境界層の破壊が主因だが、目に見えない下降気流が温風であることも示すと解釈できる。

科学的な大論争だった斜面下降気流の特性として、日没直

後の数時間は冷気流として冷却効果、それ以降日没時刻までは放射の冷却量を緩和する効果を果たすものと結論付けることができた。植物に対しても葉面境界層を破壊しつつ温風として作用することも確認した。

2. 都市熱(ヒートアイランド)対策

人類は、農業という食糧生産技術を獲得し、さらに工業化を押し進めて、豊かになるにつれて自然からの脱却をねらい、ひたすらわがもの顔に地球の植生地を切り開き都市化へ、都市肥大へと猛進するようになった。産業革命以後大気中 CO_2 濃度を上昇させつづけ、結果として地球温暖化を引き起こしてきた。都市の気温は21世紀末に予想されている温度をすでに20世紀末には凌いでいるのが実態である。温帯湿潤地帯の都市熱の抑制は植生を回復させることが本来の方向で、エネルギーをもって制するやり方は避けるのが人類の叡智であろう。

1). 緑化ビルの効果

ここでは都市緑化の効果をも南側全面が植栽の典型的緑化ビルアクロス福岡で明らかにしていきたい。赤外放射熱画像によると、植栽部表面温度は、竣工間もなく植物が小さいときながら、夏日中同ビル外壁—やや南に傾斜したコンクリート壁面—に対して10数度以上、コンクリート平面に対しては20数度以上もの低温を示した。植栽がかなり大きくなったときも同様な結果を示した。これらをもたらしたのは植物の蒸散に基づく気化潜熱の冷却効果である。熱収支特性を検討した。植栽部での潜熱伝達量は太陽エネルギー(その内の「純放射量」)の60~70%に及び、加熱を軽減していた。他方、コンクリート面では潜熱伝達量は限りなくゼロに近く、ほとんどが顕熱と蓄熱となっていた。直接土壌水分から求めた植生地の日蒸発散量は夏の晴天日には約4.0mmであった。熱収支法による潜熱伝達量の水量換算値は実測値と ± 0.3 mm/日の範囲に収まった。これは蒸発散量をこのステップガーデンのような特殊な形状の場所に対しても、エネルギー収支(=熱収支)から間接的に求めもよいことを意味する。このように、植物の生理作用を活用して太陽熱エネルギーを自然のうちに潜熱で消去させ、昇温を抑制させることは、科学・サイエンスの

気象学が気象工学に発展したことを意味する。

以上、植栽の有効性が明らかになったが、落葉や落枝など管理上の問題が残る。植物の蒸散作用と同様な機能をもつ落葉などを出さない代替物質が望まれた。

2). 保水性セラミックタイルの活用

ここで用いた素材は、大谷石(栃木県)の廃棄物を破碎して再焼結したタイルで、50 μ 付近の間隙を多数持つために、保水性に優れる。乾燥コンクリートと湿潤セラミックタイルの表面温度を気温で基準化(気温との差をとる)して、日射量と関係付けてみた。太陽光が強くなるに従い乾燥コンクリートの表面は気温との差を拡大していく(熱くなっていく)が、湿潤セラミックタイルはほぼフラット(気温並み)で、植物と同様の機能を示した。人体と平面あるいは鉛直面に置いた湿潤セラミックタイルとの間の熱放射関係は夏の日中においてすら人体は受熱とはならず放出するものであった。基礎実験から、セラミックタイル表面温度が気温以下になる条件はタイルの容積含水率が7%以上、蒸発速度が0.4mm/h以上であることを確かめた。蒸発速度は風速の影響をうけるが、その関係も明らかにした。

保水性セラミックタイルを家畜環境改善に資することにし、ヤギに直接訊ねることを試みた。放牧場の一角にタイルとトタンを屋根としたそれぞれ同一面積(かなり狭い)、日陰を形成、隣り合わせの区画をセット、出入り自由としてトカラヤギの行動を観察した。盛夏の晴天下太陽の直射光が同じく避けられる条件でありながら、ヤギは湿潤タイル屋根の下に3頭、トタン屋根の下に1頭が滞在した。ヤギの体と各屋根面との放射収支は、湿潤タイルでは熱放出、トタンでは受熱であり、ヤギは敏感に反応した。保水性セラミックの家畜環境改善可能性を確認できた。

謝辞

この栄えある日本農業工学会賞・受賞にあたり、ご推薦くださった日本農業気象学会大政謙次会長ならびに同学会理事会に、さらに実務を取り仕切ってくださった九州大学北野雅治教授に心からの感謝を申し上げます。私自身はささやかな業績と自認しており、お話を伺ったときかなり逡巡いたしました。しかし、厳しい環境の中で共に徹夜を

繰り返して実験、観測をし、共に議論をしながら解析した当時の同僚や研究室の専攻生諸君の協力の基にこれらの業績がうまれたことに思いを馳せますと、推薦に応じるべきとの覚悟ができました。単独の受賞者名であることは申し訳なく、関係者を代表してのものと明記させていただきます。上記のお二人様以外に、ご指導やお世話いただいた方々を敬称・肩書きなしで恐縮ですが記させていただきます。武田京一、坂上務、松田昭美、高田吉治、高倉直、谷信輝、谷口利策、三原義秋、井上栄一、坪井八十二、吉良龍夫、穂積和夫、篠崎吉郎、矢吹万寿、青木正敏、古在豊樹、佐藤正一、岸田恭允、早川誠而、角明夫、川尻圭合、山本晴彦、山本薫、柊拓志、真木太一、脇水健次、守田治、西山浩司、福田矩彦、大矢正史、高橋恒太、吉越恒、小野島英治、河田大輔、杉浦裕義、大場和彦、尾崎哲二、吉岡孝雄、金川修造の各氏そして家族に感謝申し上げます。

業績

1). 著書

鈴木義則他編著, 2012. 人工降雨一喝水から水資源まで一, 技報堂出版, 東京, 177pp.

鈴木義則 分担, 2004. 新版農学大事典, 養賢堂, 東京, 1786pp.

鈴木義則他編著, 2001. 耕地環境の計測・制御. 養賢堂, 東京, 264pp. (他略)

2). 学術論文

Suzuki, Y., D. Kawata, H. Sugiura, K. Wakimizu, K. Okano, T. Ozaki, 2005. An Example of Utilization of Water Retentive Ceramic Tile for Control of Summer Heat. J. Agric. Meteorology, 60(5):821-824.

Suzuki, Y., K. Takahashi, Tur Muhammed, K. Wakimizu, K. Okano, T. Ozaki, 1997. Improvement of Summer thermal Environment for domestic animals using hydrated plate. J. Agric. Meteorology, 60(5):517-520.

Suzuki, Y., S. Hayakawa, H. Hiiragi, 1993. Agro-Meteorological Analysis and Methods of Protection against Frost Damage. J. Agric. Meteorology, 48(5):671-674.

鈴木義則, 佐藤正一, 川尻圭合, 1982. 暖地の凍霜害・寒害と地形気象. 農業気象, 37(4), 289-295. (他略)

家畜生産システムの総合的評価に関する研究

干場 信司

前酪農学園大学学長，〒069-0824 北海道江別市東野幌本町 65-10

要旨

非常に多くのパーツ技術の集積で営まれる家畜生産を正しく把握するためには、生産システム全体を評価する必要があるが、その手法が確立されていなかった。本研究は、家畜生産システムを評価する際に工学的視点と社会学視点を総合化し、経済性、エネルギー・余剰窒素などの環境負荷や家畜福祉および人間福祉の視点も加味し、長期的・総合的に評価しようとするものである。研究成果として、家畜ふん尿用バイオガスプラントのエネルギー的・経済的成立条件の評価、経済性と環境との複合的評価指標である投エネ所得比（農業所得千円を得るために投入した化石エネルギー量）等の提案、放牧酪農や濃厚飼料多給型飼養管理の総合的評価等について述べる。

キーワード

総合的評価，エネルギー，余剰窒素，家畜福祉，満足度

緒言

ウルグアイのムヒカ前大統領が本年（2016年）4月に来日し、「貧乏とは何か？」「本当の幸せとは何か？」と言う問いを我々に投げかけた。アメリカでは、民主党の大統領候補として、「民主社会主義者」を自称するサンダース上院議員が若者の支持を集め、予想を超えた善戦をしている。経済性の追求を是として歩んできたこれまでの社会に対する反省が、世界的にも求められているかのようである。実は、農業の問題を考える際にも、同様の反省が必要とされているように思う。

これまで我々が農業の経済性を高めるために行ってきたことを振り返ってみたい。徹底的な経済性の追求が、現在の日本の豊かな経済を支えてきたことは疑わない。農業においても、経済性を高めるための方策として、①労働生産性の向上、②土地生産性の向上、および、③高付加価値化がとられた。①のためにトラクターを始めとする機械の導入がなされ、②のためには化学肥料や農薬が投入された。また③のためには、真冬でもイチゴが採れるように加温の温室が利用された。これらは見事に成功して、農業における経済性を高めた。農業工学が果たした貢献は極めて大きかったと言えよう。しかし、ある時点から、これらの方策は良い面だけではなく、徐々に悪い面ももたらすようになってきた。それらは、過度な化石エネルギーへの依存、残留農薬の問題そして自給率の低下に結びつき、最終的には、すべてが環境への過度

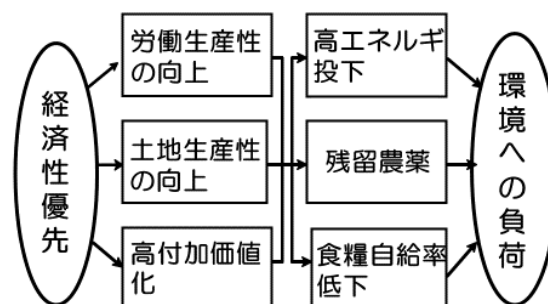


図1. 経済性優先の方策とその行方

な負荷となって現われ出してきたと考える（図1）。

農業の存在意義を経済性・収益性の追求と言う視点だけでとらえることは危険である。我が国のような優れた工業技術を背景に成長してきた国にとっては、農業の経済性・収益性は工業のそれに比べ相対的に低く、産業の一つとしての農業の評価が低い原因となっている。しかし、国民のエネルギー源となる穀物（米や大豆など）および飲用乳は、何としてでも国内で確保する必要がある。農業の必要性を正當に評価するためには、経済性・収益性だけではなく、より総合的な評価指標が必要となる（干場, 2006）。

このような背景の中で、本研究の目的を一言で述べるならば、「農業施設や農業生産技術・システムの経済性のみによる評価からの脱却」である。より具体的には、長期的視点に立って持続的家畜生産を行うために、経済性

だけではなく、エネルギー、余剰窒素などの環境負荷や、家畜福祉および人間福祉の視点も加味して総合的に評価する手法を開発するとともに、その手法を用いた多くの家畜生産システムの評価によって、現在顕在化してきている家畜生産システムの問題をその根源から捕らえることを目的としている。

総合的評価の方法と事例

1. 複合的評価指標の提案

酪農生産システムを経営的収益性だけではなく、環境調和的視点を含めて総合的に評価するため、2つの複合的評価指標を提案した(干場ら, 2001)。1つは、[余剰窒素/所得]比[kg-N/千円]であり、これは、農業所得1,000円を得る際に発生している余剰窒素(利用されなかった窒素)を表している。

ここで、余剰窒素とは、酪農場に飼料や肥料などの形で投入された窒素(投入窒素)と生産物(牛乳や肉や堆肥など)として外部へ移動する窒素(産出窒素)との差(収支)と定義され、利用されなかった窒素を表す。この余剰窒素の全てが環境を汚染するわけではないが、環境に対する窒素負荷を示す指標とみることができる。これまで酪農場における窒素負荷は、酪農場内の飼料生産から牛乳生産、ふん尿処理、堆肥の土地還元に至る全ての過程について、物質の量と窒素含有量を測ることによって求められており、極めて多くの時間と労力を必要としていた。このため、測定の対象とする酪農家の数は限定せざるを得なかった。しかし、余剰窒素は牧場における窒素の収支によって求めることができるため、北海道のように農業協同組合の組合勘定から物の動きに関するデータが得られるところでは、数多くの酪農家の窒素負荷状況を把握することが可能となる。この方法は、すでにヨーロッパで、ファーム・ゲート・バランス法として用いられてきているが、我国ではこれまでほとんど使われてこなかった。図2に、ファーム・ゲート・バランス法の概要を示す。

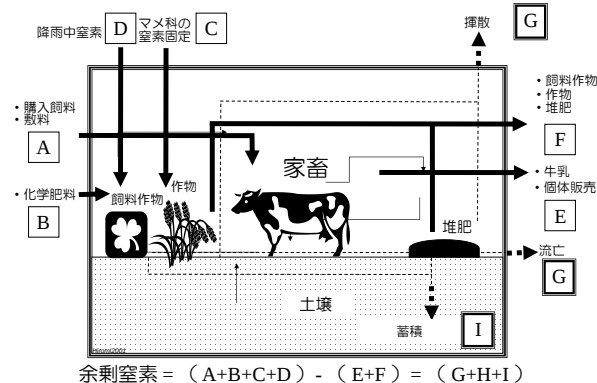


図2. 余剰窒素の定義と窒素の流れ図

もう1つは、[投エネ/所得]比[MJ/千円]であり、これは、農業所得1,000円を得るためにどれだけの化石エネルギー量を投入したかを表している。なお、「投エネ」とは、「投入化石エネルギー」の略であり、燃料や電機など酪農生産のために使われた化石エネルギーの全てを意味する。牧場で最も多いのは飼料生産に伴う化石エネルギーで、海外から輸入した飼料の場合には、現地で生産されるときに用いられたトラクターなどの燃料や輸送の燃料などのエネルギーも含まれる。

これまで、農業生産システムを総合的に評価するための指標として、エネルギーの産出投入比(宇田川, 1976)が用いられてきたが、この指標では、複数種の農産物を生産する複合的農業生産システムの評価や、異なった農産物を生産する農業生産システム間(農家間)の比較を行うことはできなかった。ここで提案した複合的評価指標は、算出に当たって、分母に所得を用いるため、複合的農業生産システムの評価や、異なった農産物を生産する農業生産システム間の比較ができる可能性を有している。

釧路管内浜中町における調査データから、各農家の余剰窒素と農業所得との関係(図3)および各農家の投入化石エネルギーと農業所得との関係が得られる。図における原点を通る直線の傾きが、[余剰窒素/所得]比および[投エネ/所得]比を表している。

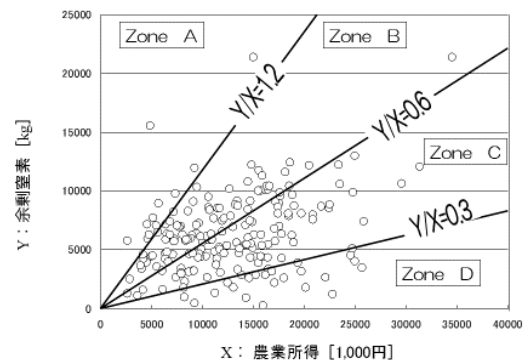


図3. 農業所得と余剰窒素との関係(北海道JA浜中町)

2. バイオガスプラントのエネルギー的・経済的成立条件の検討

共同利用型バイオガスプラントにおけるエネルギー評価として、総投入化石エネルギーと総産出エネルギーを比較した。共同利用型バイオガスプラントから産出される、電力および熱である利用可能エネルギーのみで総投入化石エネルギーを回収した場合は16年間のエネルギー償還年数であった。また、消化液を有効利用することによって、エネルギー償還年数は9年間と短くなった(図4)。以上のことから、エネルギー的には消化液を有効利用するならば、共同利用型バイオガスプラントは10年以内で総合的なエネルギー収支をプラスに転じる、有効な施設であるといえる(石川, 2006)。

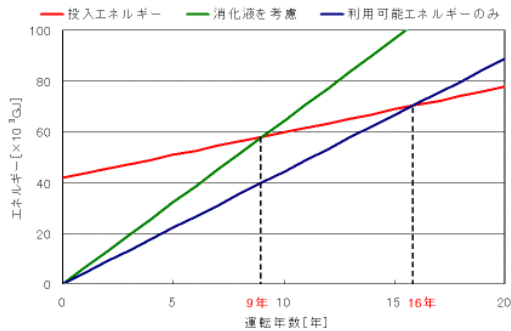


図4. 共同利用型バイオガスプラントのエネルギー的償還年数

また、経済的評価としては、固定価格買い取り制度(FIT制度)が施行された結果、状況はかなり好転しているが、図5に示す通り、食品残渣物等を副資材として処理料を得て用いること、および、施設建設にあたって補助が付与されることによって、成立可能となることを示した。

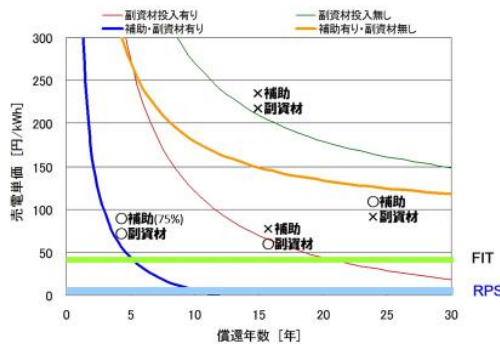


図5. 副資材投入バイオガスプラントにおける補助導入下の償還年数と売電単価

さらに、発生したバイオガスをどのように利用するのが最も効率が良いかについて、①コジェネレーション(電熱併給)、②ガスボイラー(熱生産)、③精製圧縮(車両燃料等)の3つの利用方法を比較検討したところ、①コジェネレーション(電熱併給)がエネルギー的に最も効率が高いことが明らかになった(中山, 2011)。

3. 酪農生産システムの5指標による総合的評価

これまで酪農家は、経済性・収益性を追求するあまり、往々にして粗収入を高めることばかりに集中し、牛乳生産量の増加や飼養頭数増を求めてきた傾向が見られる。このことが、家畜ふん尿問題を代表とする畜産環境問題を引き起こしてきた大きな原因であると思われる。そこで、家畜生産システムを経済性だけではなく、エネルギーや環境負荷という視点、さらに、人間や動物(家畜)の立場をも考慮した社会学的視点をも含めた5指標による総合的評価指標(図6)を提起するとともに、実際にその指標を用いて各種の酪農生産システムを総合的に評価することを試みた(Hoshiba, 2002)。また、前述の複合的評価指標およびレーダーチャートによる総合的評価の表現も提起し、これらを用いて各種の酪農生産システム

を総合的に比較した。これにより、対象とした上述の各酪農経営形態を、短期的な経済性だけではなく、環境や福祉をも含めた長期的な視点で検討することが出来るようになった。また、各指標の限界条件を設定できれば、さらに現実的な意義が生まれるものと思われる。

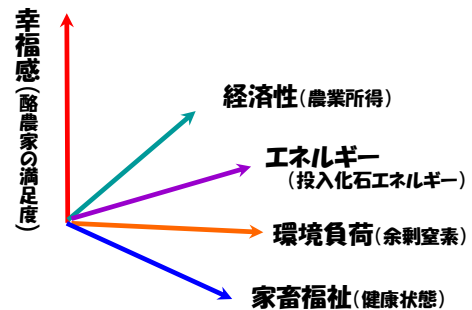


図6. 総合的評価の指標

(1) 放牧酪農の5指標による評価

この5つの評価指標によって、放牧酪農を評価して見る(河上, 2004)。対象は、北海道十勝支庁管内A町の放牧研究会に所属する酪農家7戸の放牧経営である。

まず、経済性では、図7に示す通り、放牧を始める前に比べて、放牧後は収入(粗収入)が減少したが、支出(コスト)も大きく減少し、結果として、農業所得(純益)は増加した。理由は購入飼料費の減少である。

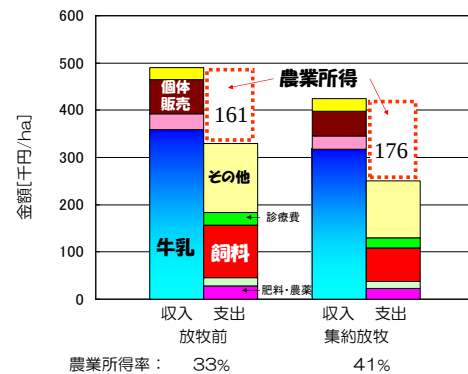


図7. 農業所得および農業所得率の変化

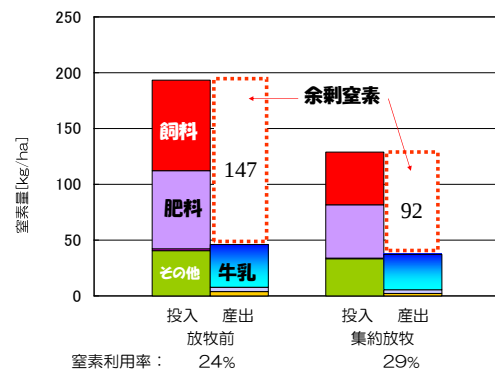


図8. 余剰窒素および窒素利用率の変化

次に投入化石エネルギーについては、経済収支と同様に、購入飼料量の減少が、投入化石エネルギーの減少に大きく寄与していることが明らかである。

また、図8に示す通り、窒素収支（余剰窒素）も大幅（約6割）に減少している。これは、購入濃厚飼料と化学肥料の減少によってもたらされたものである。

家畜の診療費は、放牧開始後一時的に減少したが、その後、濃厚飼料の大幅な減少にともなうエネルギー不足が原因となって、繁殖障害が強く現れた。しかし、家畜も慣れ、酪農家も管理方法がわかってきて、診療費は再び減少した。

人間福祉を表す指標として、酪農家の満足度を調べたが、足寄放牧研究会の酪農家の人たちは、他の地域よりも満足度が高いという結果であった。

さらに複合的評価指標に関しては、[投エネ/所得]比が約4分の3に減少していた。また、[余剰窒素/所得]比約半分に減少した。

したがって、放牧酪農に転換したことにより、経済性だけではなく、環境や家畜の健康状態・生産者の満足度も改善したことが明らかとなった。

（2）濃厚飼料給与量が5指標に及ぼす影響

濃厚飼料給与量が5指標に及ぼす影響について検討した（加藤, 2004; 干場, 2007）。対象は、北海道の釧路支庁管内B町（98戸）と北海道十勝支庁管内C町（94戸）の酪農家群である。酪農類型では、B町は草地酪農地帯、一方、C町は畑地酪農地帯に分類されている。

表1に示すように、濃厚飼料給与量の増加は、1頭当たりの生産乳量を増加させるものの頭打ちで、1頭当たりの所得は増加させていない。また、環境への負荷は著しく高まっており、満足度を高めてもいなかった。

これらの結果は、これまで長い間酪農家が夢としてきた「規模」と「乳量」の神話を見直す時期にきていることを示しているであろう（干場, 2007）。まさしく「量から質へ」である。特に、環境問題をも考慮しながら、将来の自分の経営方法を考える際には、考慮する必要があると思われる。

表1. 濃厚飼料給与量と各指標の相関

指標	具体的項目	相関係数
生産力	乳量	0.386**
経済性	1頭当たり所得	-0.067
エネルギー	投入産出比	0.251**
環境負荷	1ha当たり余剰窒素	0.705**
家畜福祉	1頭当たり診療費	0.276**
人間福祉	満足度	-0.027

おわりに

このように総合的な視点で農業を考えてゆくと、今、農業分野でどのような研究が必要とされているかが見えてくる。それは、農業の基本である「物質循環」と「日本型食生活」を十分に考慮したものになると考える。具体的には、「農産物に関して北海道内および日本国内で何をどれだけ生産すべきか」である。このことは、「何をどれだけ輸入すべきか」を検討することをも意味している。このテーマは、自然科学・社会科学を問わず、すべての分野がまさしく総合的に関わって取り組まなくてはならないテーマであろう（干場, 2006）。

謝辞

まず、農業施設学会からのご推薦に感謝申し上げたい。

本研究は多くの方々のご協力の下に遂行できたものである。特に以下の方々には心から感謝の意を表したい。

森田茂氏・池口厚男氏・猫本健司氏・加藤博美氏・菱沼竜男氏・石川志保氏・中山博敬氏・佐々木美穂氏・JA浜中町・JA鹿追町・足寄放牧研究会・その他多くの酪農学園大学教職員および卒業生の皆様。

引用文献

- 干場信司・河上博美・森田茂・野田哲治・池口厚男 (2001) 酪農生産システムの複合的評価指標の提案—経営的収益性・窒素負荷量・投入化石エネルギーによる総合的評価—。農業施設 32 (3) : 129-134.
- Hoshiba, S. (2002) Perspectives for realizing agriculture production systems with material circulation. In Takahashi, J. and Young, A. eds., Greenhouse Gases and Animal Agriculture. Elsevier Science. 51-57.
- 干場信司 (2006) 循環型酪農生産への要望が高まっている。理戦。実践社。84 : 156-171.
- 干場信司 (2007) 酪農生産システム全体から牛乳生産調整問題を考える。北海道畜産学会報 49:11-13.
- 石川志保 (2006) 共同利用型バイオガスプラントのエネルギー的・経済的評価。市川・中原・干場監修, 酪農バイオガスシステムの社会的・経済的評価, 酪農ジャーナル臨時増刊号, 73-79.
- 河上博美 (2004) 酪農生産システムの総合的評価。酪農学園大学学位論文
- 中山博敬, 干場信司, 石田哲也, 横濱充宏, 今井俊行, 菱沼竜男, 森田茂 (2011) バイオガスプラントにおけるガス利用方式の違いが運転時のエネルギー収支に及ぼす影響。農業施設 42(3), 109-118.
- 宇田川武彦(1976) 稲作栽培における投入エネルギーの推定。環境情報科学 5:73-79.

農業経済学と情報学のリンクした領域を拓く

永木 正和

筑波大学名誉教授

要旨

人間の経済行動を合理的経済人の行動と見做してしまうのではなく、相違していると考えなければならない。この相異の背後に受け取る「情報」の相異があることを認識した。特筆したい研究成果は、農業者の将来の販売価格への期待形成の様態を明らかにしたこと、あいまいな定量データとあやふやな定性データのもとでも意思決定者の意を汲んだ計画を立案する数学的方法を開発したことである。研究は専門化、細分化しているが、壁を作らないこと、総合科学である農学は、必要に応じて他の研究領域に積極的に入ってゆく姿勢が必要である。

キーワード

情報財、農業経済学、期待形成、数理計画、スマート

緒言

この度、栄えある日本農業工学会賞 2016 を受賞しました。身に余る荣誉です。

まずは、私の業績を評価して下さった本学会に対して厚くお礼申し上げます。そして、今、自身のささやかな足跡にいくらかの誇らしい思いに浸りながらも、あらためて、研究者の道を踏み出した大学院入学から今日までご指導頂き、挑戦する勇気を与え続けて下さった恩師の先生方、研究仲間と所属してきた学会、とりわけ農業情報学会、そして現場調査でご協力、ご支援下さり、ご教示を頂けた現場第一線の皆様はこの場を借りて厚く感謝申し上げます。

以下、ご評価頂いた私の業績の一旦を、私の研究姿勢と合わせて研究小史的に紹介させていただきます。これからの農業情報学の幅広い研究に期待を込めてです。

活動の場を広くもつ姿勢から

私の専門分野は農業経済学です。そもそも、そんな私がなぜこの場にいるのかを説明する観点から私の辿ってきた過程を紹介させて頂かねばならないでしょう。

私が大学院に進学した当時、農業経済学分野に「農業計算学」という看板を掲げる研究室を擁した大学が2つあった。1つは京都大学で、会計学、簿記・評価学を理論ベースとする体系の研究室であった。もう1つは九州

大学で、こちらは計量経済学である。農業経済学で計量経済学を専攻できるのは九州大学だけで、私は、躊躇なく九大に進学したのだが、そのプロローグはこうである。

進路を決めなければならない学部3年生の学年末に集中講義が開講された。農水省「農業総合研究所」の森宏先生が講師であったが、その内容はとても洗練されていて、インパクトがあった。経済学理論を駆使して経済現象を明快に説明してくれたのが極めて新鮮に映った。毎日、講義が終わったら図々しくも先生の控室に押しかけて拙い質問を投げかけた。この時、森先生にお近づきになれたのは、多分、5日間程度であったと思うが、私は、自分の人生に確かな方向性を見出した気分であった。大学院に進学し、現実経済の問題を解き明かす農業経済学研究にエネルギーを注ごうという心境に至った。

そこで、森先生から、計量経済学が何たるかと、日本の大学で計量経済学から農業経済課題を分析する初の研究室が九大に創設されたことを教えられ、進学先としてお勧め頂いた。それが九州大学農業計算学教室であった。もち論、私は迷うことなく決意した。その後、私の人生の節目の度に、この時の森宏先生との出会いを思い出す。

当時の農業経済学はマルクス経済学が本流であった。新しい研究分野で勢力もマイナーな計量経済学の農業経済学徒は、いわゆる経済学部で経済学会や海外の農業経済学会に積極的に活躍の場を求めた。だから、研究領域に障壁も縄張りも意識したことはない。出て行くことに

抵抗はない。もっとも、自分の研究に手掛かりを与えてくれるのは、多くが海外論文であったから、外に目を向けないと研究にならなかった。

海外の論文から、常に新鮮なインパクトのある理論的示唆を得た。それだけではない。理論に発して理論に帰するというスタイルが明確であった。しっかり固めたモデル・ビルディングがあって、厳密な手法に基づいて個々の人間行動を観察して検証することによって理論が積み重ねられ、あるいは改良されてゆくことを学んだ。つまり、計量経済学は、単なる分析ツールではなく、現実界の人間行動を繰り返し観察・検証し、抽象化して経済理論を組み立ててゆく論理的手法であることを教えられた。

なお、我々が一般経済学に接近してゆく時、私達の農業経済学のレーゾンデートルを失ってはならないという強い意識を頭の片隅に置いておくことも忘れなかった。本旨から外れるが、それは農業経済学は農業・農村に潜む現実問題の発見・問題解決の実践社会科学であるという理解、単にその時々々の利潤最大化動機で経済を括ってしまうのではなく、世代を超えたターム、あるいは人類史的なタームで地球環境の持続性、地域社会の持続性に整合的で、人類に非貨幣的な満足や安寧をも包含した経済学を目指すべきと考えている。私自身は、理論ベースは経済学であるが、経済学部で経済学の二番煎じの学問をやってはならないとの意識を持ちつつ、計量経済学を援用した実証研究を進めてきたつもりである。

ところで、私の恩師である当時の農業計算学教室の澤田収二郎教授と土屋圭造助教授は、明治期以降の日本農業の技術進歩率とその国際比較を研究課題としていたが、両先生がしばしば私達に論されていたのは、「経済合理的な行動規範を持つ“経済人”を暗黙の前提にしてしまうのではなく、経験や性向によって個人の経済行動は異なると考え、個々の人間行動を観察して理論構築すべき」である。まさにこの発想によって、西欧とも東南アジアとも、歴史・風土・価値観の異なる日本の小農民がどのような行動をしたかに、集約的で高かった技術進歩の源泉を見出し、計量分析によってそれを裏打ちし、日本農業発展論として理論体系化された。私達もこの研究の裾野の一端を担わせて頂いたのだが、この視座からあれこれ考えていた時、私は「情報」という財に着想を得た。

表層の経済現象に至らしめた背後に個々の人間の行動がある。個々には主体としての意思や感性がある。それらにもっとも影響を及ぼすのが「情報」と考えた。情報とは、外から獲得する情報、そして経験や学習によ

る内部に蓄積される情報がある。実社会において個々人がどんなソースからどんな情報を入手しているのか、またどんな経験しどんな教訓を得たか、どんな学習をしてどんな示唆を導き出したかも情報となり蓄積される。表層の経済現象を観察するに留まらず、その経済現象に至らしめた人間行動の観察、さらにどのような情報を得て、どう判断したかにまで迫りたい。そして、その行動が営農技術や農産物市場、農村コミュニティの様態にどのように影響しているのか、逆にどのような反作用が返ってきているのかにまで立ち入って解明する必要があると考えるに至った。なお、蓄積された情報は、程度の差はあるが不完全であることも承知しておかなければならない。これも私の研究において拘ってきた点である。

これが私の“情報”への拘りの根本であり、私の思考の流儀であり、定量実証性と反復性を旨として計量経済学手法を援用する私の研究方法となった。「情報財」は人の経済行動を説明する重要なツール、計量経済学は重要な研究方法体系（単なる分析方法ではない）と考えているが、この考えはその後の私の研究活動に貫かれている。人の行動の観察を起点とする経済学派は、現在は“行動経済学”という学派として市民権を得ているが、私達の実証主義は早くからこの行動経済学の理念を踏襲していたことになる。また、上述したように、大学院進学当初から新しい領域に踏み入ることに臆することのなかった私は、情報財を人の行動を司る重要な要因として認識したのが農業情報学会に加入する動機付けになった。農業情報学会は工学系がメジャーになってはいるが、さまざまな専門分野から集まってきている。もち論、情報学プロパーの会員は多いが、私のようにプロパーな研究領域が情報学にロジカルにリンクしているのを認識して、研究の場を求めて農業情報学会に加入している者も多い。私もその一人であるが、この学会で大いに啓発され、育てられてきた。後段のトピックスになるが、私の研究活動は、不完全な「情報財」を収集し、解析・評価して決定に至る情報評価論、行動論、そしてその過程を規範的に取り込んだ計画論、意思決定論へと展開していった。

農業経済学と農業情報学

受賞対象となった私の研究を2つ紹介したい。第1は「修正クモの巣理論」である。「クモの巣理論」(Cob-Web Theorem)は農産物価格の変動メカニズムを説明する理論である。しかし、品目や時期によって価格変動の振幅や

定常状態へ復帰しようとする力が異なる。私はこの点に着目した。価格変動の原因は、気候変動に起因する作況だけではない。生産者が計画（意図）する生産量と技術的なストック調整にも依存している。とりわけ、生産者が収穫期の市場相場をどのように期待するかで、作付け面積計画（種付頭数）が異なる。生鮮品である野菜・果物、畜産物はストック調整が難しいので、結局、生産者の期待価格が作付け面積に反映され、出荷量に反映され、市場相場を動かす。

要するに、生産者が数か月後の将来の販売時の価格にどんな期待形成するかである。従来のクモの巢理論では、前年同期の価格が当年にもそのまま実現するとの前提で期待形成していると想定する。私は、生産者の期待形成は外部からの価格情報、栽培経験年数、市場に関する知識、自然災害経験を踏まえたリスク性向、そして公的な市場介入による価格安定化策等に依存し、品目、出荷時期、産地等によって相異なることを、実態調査等から導き、期待形成の一般式を誘導し、これを用いた簡単な動態方程式体系で市場価格変動を説明した。つまり、生産者は入手する情報量、そしてその情報にどれ程の重きを置いて期待形成しており、これに応じて異なる行動をとっていることを立証し、理論化した。それが「修正クモの巢理論」である。この理論は、その後の農水省の市場安定化政策に生かされた。

第2の受賞研究は、農業者が日々の営農活動に情報を買ひ、これを利用するシステムを日本で初めて構築する研究／実践プロジェクトへの貢献である。こちらは、1976-1979年のミネソタ大学への研究留学中に習得した情報の量と質に依存して意思決定や情報に基づく行動規範に関する理論的知見、そして乳牛の牛群改良のために構築されていたDHI事業（Dairy Herd Improvement：全米乳牛群改良事業）の情報ネットワーク・システムから得た知見がバックグラウンドになっている。その実践的、直接的な成果は、JA十勝農協連の「地域酪農情報システム」作りに生かした。遺伝学の理論・技法に部分的ながらベイズ流の統計学アプローチで乳牛の1乳期の泌乳パフォーマンスによる飼料給与計画、繁殖・分娩計画支援、そして生涯の泌乳と分娩のパフォーマンス評価による淘汰更新決定支援の情報処理システムの設計作業に加わった。酪農の生産性向上・規模拡大と牛群改良に成果を上げた。この情報システムにラボ・システムを取り入れたのも画期的であった。成分乳質と衛生乳質に関する生乳検査、自給飼料の栄養成分と嗜好品質にかかる飼料分析、土壌

栄養の成分分析である。これらを迅速に行い、日々の営農活動にフィードバックするようにした。

以上の一連の地域農業に貢献する情報研究の過程で、情報の不完全性が問題になった。そもそも土壌や天候といった自然要因（畜産では家畜個体能力差も）で、農場間、圃場間、個体間、そして季節毎、年次毎で観察されるデータには散らばりがある。また、データの収集時期、収集方法や収集者の意識・態度に起因するサンプリング誤差もある。

一方、農業経営者は、自己の農業経営目標にさまざまな考え方を持っている。利益が唯一の経営目標ではない。毎年の目標よりも将来の目標年の目標を優先したいかもしれない。就業時間や作業分担への考えもある。経営者の得手不得手の理由で、やりたいこととやりたくないことがある。リスクへの態度もある。信条、慣習や、先祖からの言い伝え等を大切にしている経営者もいる。経営計画は利潤最大化意外の複数の目標も同時に考慮したい。また、これらを情報処理するシステム側にどういう形式的表現で伝えられるかも問題である。

伝統的な数理計画法は入力数値に厳格にユニークな解を導く。もし不完全・不正確なデータや経営者の意図を正確に掴んでない情報表現のデータしか得られてない問題を無視して淡々と形式的に解を導いても、得られる数値解は、非現実的な解であつたり、実行不可能な解であつたりする。結局、経営者（発注者）には受け入れられない。この問題は、農協等の第三者が有償で情報処理サービスする時に責任の帰属問題となる。

こうした広義のデータ問題に対処する方策の1つがベイズ統計であるが、私はこれらを“曖昧（Fuzzy）な数値データ”、“あやふや（Ambiguous）な定性データ”として明示的に扱う規範的な数理計画法を開発した。インターラクティブに満足度目標達成基準の最善計画を立案する計画法（最善化法）である。いわば、グローバルにユニークな単一目標の極点を見出すのではなく、曖昧な制約群下で計画主体が表明する複数の（多元的な）あやふやな達成目標の許容できる範囲（満足度水準域）を実現する計画をインターラクティブに見出す数理計画法を開発した。見出された計画案はローカルな最適計画になるが、計画主体の意思を反映した計画であり、確実に受け入れられる計画案である。曖昧性に対しては、クリスプ数に代わってファジイ数が採用されている。あやふや

性は、満足度目標の不達成量（リグレット）をベクトルで表現し、各目標に重みを付けて最小化するというものである。Fuzzy Programmingのアルゴリズムがベースになっているので「目標ベクトル計画法」（Goal Vector Programming）と命名した。

一般に数理計画法は厳密性の高い計画法で、著しくデータに過敏である。データが不備であるのに、一方で多数の顧客に機械的にサービスしてゆくは最も避けるべきことであるが、その場合にも個々の経営に有益な経営支援サービスをする観点で極めて有用な手法であることが確認された。十勝農協連地域酪農情報システムの酪農経営設計や飼料給与メニュー設計に応用した。

結びに代えて

私の体験から1つ付言したい。私は、フィリピンのIRRI（国際稲作研究所）に留学していた時、稲の肥料反応に関する「生物技術的生産関数」の計測の研究を分担した。その時、植物栄養学、土壤微生物学の研究室に入り浸って教えを得た。それがRecursive/Simultaneousな推定モデルのビルディングとデータ・サンプリング法に示唆してくれた。そうしてから、日々、実験圃場で土壌、根、穂数・穂重等の技術データを取り続けた。「施肥」は私には経済行為だが、稲の栄養生理とペアで眺めるべきをこの研究プロジェクトから教えられた。後でのことだが、親しく付き合っていたミシガン州立大学獣医学部のJ. Mather 教授が「経済動物を相手にする臨床獣医師は、牧場主の立場に立って経済的に評価・判断しながら現場対処するので、経営経済学の知識が必須だ、また、臨床獣医師は頻繁に牧場を訪問しているので、牧場全体をマクロ的に観察して獣医師の技術視点を重ねて経営アドバイスできる獣医師でありたい」と述べていたのを思い出す。この言葉はよく理解できた。

言いたいのは、農業者の日々の行動（＝農作業）には経済判断と技術が表裏一体になっているということであり、私達の研究もまた、そういうセンスを持ち合わせておくことが重要である。農業者の営農に係る活動を起すか起さないか、どういう活動を起すべきかは意思決定問題、言い換えれば技術選択問題であるが、予測的に経済的適否が評価されて技術選択される。これを、私達は“経済と技術の交渉の場”と言うが、表裏一体を成す経済と技術との対応関係をブラインドにしておくわけには

ゆかないのである。私は数理計画法を持ちだす度に、“技術係数”の内容吟味を重視した。

もともと農学は生物という有機なシステム体を対象としており、総合性が求められる科学領域である。農学の研究においては、それぞれの専門領域があるが、経済と技術は表裏一体になっており、研究目的に応じて領域を踏み越えてゆく必要があると考えている。今、農学はどんどん新研究領域が拓かれ、専門化・細分化している。研究成果を効率的に出すための1つの方法であろう。プロジェクト研究は、本来、相対的に間口の広い研究であると思うが、それですらかなり専門的な研究になっているのを見かける。しかし、あくまでも農学は総合科学である。自己の専門領域を中心にして両側にウイングを広げる意識も持つておく必要がある。その観点で、間口を広げた包容力のある学会の役割は重要である。農業情報学会はそういう学会であり続けて欲しい。

実践科学として農学が固有の領域として発展し続けるためには、時代を見据えて研究に取り組む必要がある。農業・農村の情報科学研究は一層重要になってきていると確信する。最近、発表された「第5期科学技術基本計画」（平成28年～平成32年）では、経済活性化への梃子になることも期待して出口指向が強い印象であるが、

「IT」という文字があちこちに踊っている。そして、内容は割愛するが、「超スマート社会」の実現を目指している。私が描いている農業・農村は、アンビエントな農村にスマートな農業・農村である。TPPが実効し始める前に、産業としての魅力をアピールして若い担い手を確保し、日本の土地条件、気候条件で実力を発揮するスマート農業の研究開発に、農業情報学会がイニシアティブをとって力強く推進して頂きたい。農学研究者には、自分の専門領域を大切にしながらも、日本農業を再生する気概を持ち、この壁を乗り越える勇気を持ち、横断的な研究スクラムを組んで頂きたい。できれば、「スマートな農業・農村」を大括りの研究課題にして頂きたい。教育面では、スマートな農業・農村の現場で中心的に活躍する人材としてのデータサイエンティストも育てなければならないのだが・・・。

私の研究活動人生を振り返ると、その時々にとりの出会いがあり、ご恩を頂いてきた。不器用で無愛想な私に付き合ってくさり、糸口になるアイディアを頂き、励ましの言葉を頂いた仲間や先輩・後輩は数えきれない。幸運な研究者人生であったことに心より感謝しています。

マニピュレータ，マシンビジョンを有する農業ロボット

近藤 直

国立大学法人京都大学農学研究科，〒606-8502 京都市左京区北白川追分町

要旨

精密農業実現のため，正確な作業と情報化を可能とする種々のロボットを研究開発した。それらのロボットは従来の農業機械には見られないマニピュレータとマシンビジョンを有することで，柔軟性と対象物の認識・判断能力を持つ。収穫ロボットの研究では，先駆的にブドウ，トマト，キュウリ，イチゴ等を対象としたシステムを開発し，現在のロボット化の礎を築いた。挿し木ロボットは愛知県営農支援センターに導入してロボットの農業利用の可能性を拡大し，果実選別ロボットでは直交座標型マニピュレータと高品質な画像入力可能なマシンビジョンにより，共同選果施設での普及と安心・安全な農産物のトレーサビリティシステム構築に貢献した。

キーワード

マニピュレータ，マシンビジョン，農業ロボット，トレーサビリティ，精密農業

緒言

農作業の機械化および自動化は，多大な労働力の確保なしでも最適な時期に正確な作業を可能にすると同時に，その作業および農産物情報を記録して利用するという新しい付加価値を生み出し，日本および韓国，台湾，欧米諸国等における食料生産に貢献してきた。それに加え，近年の精密農業の概念は最小の投資で，環境負荷を抑えた農業の遂行に貢献している。

30年後に地球人口が現在より20億人増えて90億を超えると予想される中，その食料生産と環境負荷低減というトレードオフのグローバルな問題を解決する一つの方策としてこの技術に大きな期待が寄せられている。特に，現在急速に成長しているアジアさらにはアフリカ諸国の各地域において，今後の食料生産を駆動していくために，この技術に基づいた新技術の開発が急務である。

本研究は種々の対象物に対する苗生産，管理，収穫，調製，選別作業をマニピュレータ，マシンビジョン等のセンサを用いて機械化および自動化したものである（近藤他，2006）。本講演ではそれらの一連の研究ならびに実用機開発に至る成果の概略を述べる。

果実収穫・管理ロボット

人間および種々のセンサを有する知能ロボットにおいて，最も重要となる感覚は視覚である。本業績では，まず農業ロボットの視覚センサとなるカメラを用いて果菜

類の各部位の分光反射特性に基づく最適波長帯域の光学フィルタを有するマシンビジョンシステムを構築した（近藤・遠藤，1987；1988）。さらに，そのセンサを収穫ロボットに装着したシステムを試作し，ブドウ，トマト，ミニトマト，キュウリ，イチゴ等に対して実験を行った結果，「作業者－機械－植物」で構成される生産システムの構築の重要性を説くに至った。

図1には，傾斜棚栽培におけるキュウリ収穫ロボットを示す。これはキュウリをロボット作業のために傾斜棚栽培することにより，果実と茎葉の分離を促進し，園芸的アプローチと工学的アプローチを融合した技術を生み出そうとした試みである（有馬他，1994）。また，マシンビジョンに最適波長帯域の光学フィルタを用いることで，緑色の果実であっても同系統の色を呈する茎葉の中で検出容易とした（有馬他，1995）。



図1 キュウリ収穫ロボットと傾斜棚栽培

ブドウ用ロボットとしては、収穫だけでなく、時期に応じて摘果、防除、袋かけ等の作業を可能とする構想で、極座標型マニピュレータ、それぞれの作業用エンドエフェクタ、マシンビジョン、移動機構からなる汎用型ロボットを開発した（近藤他, 1993; 門田他, 1994）。

イチゴに関しては土耕内成り栽培ならびに高設栽培用ロボットを数台試作し、種々の環境で実験に供した（近藤他, 2000）。図2には安価で簡便な高設栽培用イチゴ収穫ロボットの一例を示す（有馬他, 2003）。



図2 イチゴ収穫ロボット（高設栽培用2号機）

これらの作業ロボットに関する研究の豊富な経験と技術に基づき、候補者が石井工業時代に技術開発部長として開始した生研センターとの共同研究である農水省の緊プロで、高設栽培用のイチゴ収穫ロボットが開発され（農林水産省, 2011）、実用機までの道筋が作られた。しかし、実用レベルの収穫ロボットは開発されたものの未だ普及していないことより、大幅なコスト低減ならびに作業効率の向上を目指し、現在移動機構に小型 UAV（ドローン）を用いたイチゴ収穫ロボットの研究に着手している。

キクの挿し木ロボットと品質評価システム

セルトレイを用いた移植機によるキク苗の増殖のため挿し木ロボットを開発し、パナソニック社と共同で愛知県営農支援センターに1号機を導入した。このロボットはコンベア上に置かれたキクの芽の方向、形状、位置等をマシンビジョンで認識し、Y字型カッターを有するスカラロボットで下端処理を行う。さらに、垂直多関節型マニピュレータで、移植用トレイへ1本当たり5～6秒で挿し木作業を行う。図3には、開発当初のプロトタイプを示す（門田他, 1998）。また、花きの自動評価を対象とした研究も行い、一輪ギクならびにスプレーギクのマシンビジョンによる評価アルゴリズムを開発した（近藤

他, 1999; 甲斐他, 1996）。その成果として、画像処理とニューラルネットワークによる学習を用いることで人間以上に安定的で正確な結果を示した。



図3 キクの挿し木ロボット（プロトタイプ）

果実選別ロボットと自動化システム

2000 年からは収穫後の自動機械を主として手がけた。選果機の画像処理果実選別作業の品質評価をより正確に行うため、カラーカメラ6台、X線画像装置、糖度センサの搭載された選果システムを西日本中心に普及させた（Njoroge et al., 2002）。それらのセンサのうち、マシンビジョンで最も重要となる光源のセッティング、キャリブレーション方法および図4に示すハレーション除去可能な偏光フィルタによる直接照射方式の光源を開発した。

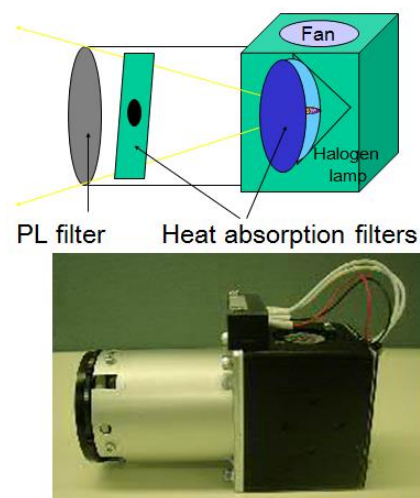


図4 偏光フィルタを用いた直接照射方式の照明装置

偏光フィルタは熱に弱く、通常 60℃で熔融し始める。そこで2枚の熱吸収フィルタを使用し、約 30℃（周囲気温 40℃のとき）に冷却したコンプレッサーからの 22 l/min の空気を偏光フィルタの内側に吹き付けることにより、ほぼ偏光フィルタ表面温度を 40℃台に保つよう、保護した。現在はメンテナンスの関係で、LED がマシンビジョンの照明として主流になったため、熱吸収フィル

タや空冷装置は必要なくなったが、演色性の高いハロゲンランプを必要とする時にはこの装置により照度を落とさず、ハレーションの少ない画像を得ることができる。これらの技術に基づく画像入力装置は、現在でも多くの共同選果施設に用いられている（栗田・近藤, 2006）。

さらに、肉眼でも検出困難な微小傷や腐敗を検出するため、蛍光物質の特定を行い、励起波長の紫外 LED と白色 LED によって、蛍光画像とカラー画像を同時に取得する装置(Kurita et al., 2009)を世界に先駆けて実用化した。図 5 にカンキツ用のダブルイメージング装置を示す。これは近年の選果システム更新時には不可欠の技術となっている。この装置によって微小なキズを有する果実が除去できることから、世界の食料の 30% を占めると言われる貯蔵中の腐敗、品質低下の抑制が期待される。

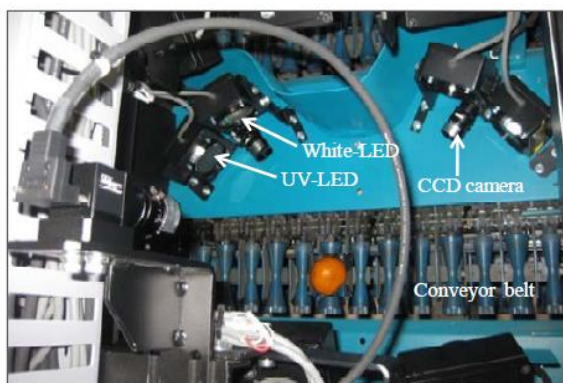


図 5 ダブル LED によるマシンビジョン

モモ、ナシ、リンゴ、トマト等のキズが付きやすい果実に対しては選果ロボットを開発し、実用化した。そのロボットは 12 台のカラーカメラと直接照射方式の光源をマシンビジョンとし、直交座標型マニピュレータを 2 機用いることにより、1 秒間に 3 個の選果が可能である。図 6 には実際に長野県に導入されてモモ、ナシ、リンゴに用いられている選果ロボットを示す（石井他, 2003a; 2003b）。このロボットにより、傷、病虫害を重傷、中傷、軽傷に分類し、果実の上半球と下半球に関して別々の判定基準を設けることで、人間に類似した判定が可能となった。さらに、ロボットが人的労働力の代替となり、人の主観に寄らない客観的な選果が可能となっただけでなく、膨大な選果情報の蓄積が可能となった。このロボットからの正確な情報でトレーサビリティデータベースを構築する概念が提案され、安心安全な農産物の産出に貢献した。現在ではこの選果ロボットの技術はロータリー型ロボットとして進化し、種々のシステムに用いられている。このようにマシンビジョンとマニピュレータを有するロボットを本格的に農業現場で用い、作業の自動化、精密化を図ると共に情報化農業の礎を築いた。

図 7 には、細長い形状をしたナスの果実の全面計測を可能とするロータリートレイの選果システムを示す。こ

のシステムにはライン当たり 6 台のカラーカメラおよび 4 台の白黒カメラが搭載されており、図 8 のように表皮のボケ（表面光沢ならびに内部障害）を検出可能である（Kondo et al., 2007）。このシステムにも、図 4 の照明装置を用いている（図 7）。



図 6 選果ロボット（下伊那園芸農業協同組合）



図 7 ロータリーパケットを利用した選果システム

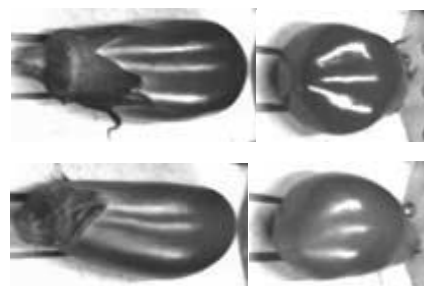


図 8 光沢検出用マシンビジョンによる画像
（上：正常果実，下：ボケ果実）

調製作業システム

図 9 には長ネギ（白ネギ）の調製作業（皮剥ぎ）の自動化システムを示す。本作業の技術的ポイントは、根を茎盤で正確に切断できるか否かである。根を浅切りした場合には皮剥ぎが困難となり、深切りした場合には内側の茎が露出して商品価値が低下する。そこで、マシンビジョンを利用して、注意深く 3 回に分けて切断する装置

を開発した。次に、襟首検出カメラでネギの襟首位置(葉と茎の境界)を検出し、コンプレッサーからの圧縮空気を襟首に導入して皮むきを行う。10本のネギの襟首の位置合わせをコンベア上で行い、皮剥ぎ部では圧縮空気を2秒間ネギの主径に沿って移動するノズルで噴射し、それら10本の皮剥ぎを同時に行う。その後、選別部に運ばれ、2台のカラーカメラで軟白の長さ、径等を計測すると同時に、複数台の白黒カメラで曲がり、葉の数、キズなどの計測結果に基づいて選別する装置を開発した(Kondo, 2013)。



図9 マシンビジョンに基づく長ネギ皮剥ぎシステム

緒言

これらの技術は日本発の高品質画像センシングと自動化の基礎技術として既に近隣のアジア各国やメキシコ等に輸出されており、今後世界の食料生産に貢献すると予測される。つまり、柔軟な機構を有するマニピュレータは種々の作業に対応でき、安価となったマシンビジョンは対象物の品質評価が農産物情報を正確にとらえる。それに基づいた最小の投資ならびに環境負荷で最大の生産性をあげられる精密農業の遂行が可能になると考えられる。特に、今後これらの技術導入が進むと考えられるアジアやアフリカにおいては、それぞれの地域でこの優れた技術に基づき、環境負荷の少ない食料生産を可能とする新技術の開発に対する協力が期待されている。

謝辞

約30年に渡って本研究を遂行するにあたり、多くの方々にお世話になった。特に岡山大学時代の門田充司助手(現教授)、石井工業(株)およびエスアイ精工(株)時代の技術開発部のメンバーには、共同研究者、共著者として協力頂いた。また、JAの関係各位には材料および農産物に関する豊富な知識を惜しみなく提供頂いた。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- 有馬誠一, 近藤 直, 芝野保徳, 山下 淳, 藤浦建史, 秋好広明(1994)キュウリ収穫ロボットの研究(第1報)ーキュウリの栽培様式およびマニピュレータの機構の検討ー, 農業機械学会誌, 56(1), 55-64.
- 有馬誠一, 藤浦建史, 近藤 直, 芝野保徳, 山下 淳(1995)キュウリ収穫ロボットの研究(第3報)ーモノクロTVカメラと走査型距離センサを組み合わせた果実検出ー, 農業機械学会誌, 57(1), 51-58.
- 有馬誠一, 門田充司, 難波和彦, 吉田裕一, 近藤 直(2003)高設栽培用イチゴ収穫ロボット(第2報)つり下げ型マニピュレータを有する収穫ロボット, 植物工場学会誌, 15(3), 162-168.
- 石井 徹, 戸井田秀基, 近藤 直, 田原直行(2003a)落葉系果実選別ロボット(第1報)ー供給・選果ロボットの開発ー, 農業機械学会誌, 65(6), 163-172.
- 石井 徹, 戸井田秀基, 近藤 直, 田原直行(2003b)落葉系果実選別ロボット(第2報)ー画像処理システムの開発ー, 農業機械学会誌, 65(6), 173-183.
- 甲斐和広, 近藤 直, 林 孝洋, 芝野保徳, 小西国義, 門田充司(1996)スプレーギクの花房フォーメーションの評価アルゴリズムに関する研究(第3報)ー輪郭解析による葉を含めた花房の形状評価の自動化ー, 生物環境調節, 34(2), 123-128.
- 近藤 直, 遠藤俊三(1987)果実認識用視覚センサの研究(第2報)ー最適波長帯域の選定と識別実験ー, 農業機械学会誌, 49(6), 563-570.
- 近藤 直, 遠藤俊三(1988)果実認識用視覚センサの研究(第3報)ー野外における最適波長帯域の有効性ー, 農業機械学会誌, 50(6), 83-89.
- 近藤 直, 芝野保徳, 毛利建太郎, 門田充司, 岡村誠一(1993)ブドウ管理・収穫用ロボットの基礎的研究(第1報)ーマニピュレータおよび収穫用ハンド部ー, 農業機械学会誌, 55(6), 85-94.
- 近藤 直, 村瀬治比古, 門田充司, 後藤丹十郎(1999)輪ギクの品質評価に関する研究(第2報)ーカルマンニューロを用いた評価ー, 植物工場学会誌, 11(2), 100-105.
- 近藤 直, 久枝和昇, 羽藤堅治, 山下 淳, 門田充司(2000)内成り栽培用イチゴ収穫ロボットの研究(第1報)1号機の試作と収穫基礎実験, 植物工場学会誌, 12(1), 23-29.
- 近藤 直, 門田充司, 野口 伸(2006)農業ロボット(II)ー機構と事例ー, コロナ社, 東京都, 全242ページ.
- Kondo, N., Ninomiya, K., Kamata, J., Chong, V.K., Monta, M. and Ting, K.C.(2007)Eggplant Grading System Including Rotary Tray Assisted Machine Vision Whole Fruit Inspection, Journal of the JSAM, 69(1), 68-77.
- Kondo, N., (2013)Robotics and automation in the fresh produce industry, Robotics and automation in the food industry, Edited by Darwin G, Caldwell, Woodhead publishing, PA, USA, 385-400.
- 栗田充隆, 近藤 直(2006)画像処理を用いた農産物の等級選別手法に関する研究(第1報)ー直接照射方式照明の有効性ー, 植物環境工学, 18(1), 9-17.
- Kurita, M., N. Kondo, H. Shimizu, P.P.Ling, P. D. Falzea, T. Shiigi, K. Ninomiya, T. Nishizu, K. Yamamoto(2009)A double image acquisition system with visible and UV LEDs for citrus fruit, Journal of Robotics and Mechatronics, 21(4):533-540.
- 門田充司, 近藤 直, 芝野保徳, 毛利建太郎(1994)ブドウ管理・収穫用ロボットの基礎的研究(第3報)ー整房・摘粒ハンドのための物理的特性の測定およびハンドの試作ー, 農業機械学会誌, 56(2), 93-100.
- 門田充司, 近藤 直, 秋山尚文(1998)キクの挿し木作業の自動化に関する基礎的研究(第3報)ー挿し穂整形装置の開発ー, 農業機械学会誌, 60(4), 37-44.
- Njoroge, J., Ninomiya, K., Kondo, N., Toita, H.(2002) Automated Fruit Grading System using Image Processing, Proceedings of SICE annual conference 2002 in Osaka, MP18-3(CD)
- 農林水産省(2011)世界が注目する「イチゴ収穫ロボット」
http://www.maff.go.jp/j/pr/aff/1106/mf_news_02.html/, 2016年4月1日

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

青山 咸康

京都大学名誉教授 〒602-8155 京都市上京区主税町 825

要旨

わが国における全水利用のうち 2/3 を占める農業用水は、農業を維持発展させるために、確実に供給される必要がある。これを実現するのに 190 基に達する国営土地改良事業等により整備中の「農業用貯水ダム」を始め、およそ 7,000 か所の「基幹農業水利施設」や、地球 10 周分に相当する「農業用水路」がその機能を担っている。さらに全国に 20 万か所ある「ため池」も、小規模農地の用水の確保に使用される。これらの農業水利施設が巨大地震に対して安心できる耐震性を保有しているかどうかを定量的に明らかにするのがこの研究の目的であり、これは極めて今日的課題であり、筆者は長年の研究活動を通じて広い視点からこの課題追及に取り組んだ。

キーワード

構造物の動的解析, 水利構造物の耐震設計, 地震動の計測, 構造物のモデル化

はじめに

今日でこそ地震災害に関して多くの日本人は強い関心と多くの知識をもっている。しかし筆者がこの課題に取り組み始めた 1960 年代末, 建築物や土木構造物一般の耐震性に関する社会の関心は低く, 土木工学系の研究者でこの課題に取り組む者の数は多くなかった。

筆者はそうした時代環境の中で, 農業水利施設, とりわけ農業用貯水ダムの耐震性診断という課題に取り組んだ。研究着手当時の研究方法とツールを現在のそれと比較すれば(1) 動的構造解析における標準解析理論, (2) コンピューター利用環境, の 2 点で雲泥の差があった。

しかし我が国は地震国であって, 近過去には関東大震災を始めとする多くの震災の経験している。結果, 耐震設計に関する取り組みは早かったのであるが, この時代の耐震設計法は, 時間的に大きさと方向の変動する(複雑に振動する)地震力をこれと等価な静的地震力に置き換えることによる, 震度法設計であった。多くの場合想定される地震力は水平方向で, 構造物の安定に不利な方向に作用すると仮定した。震度とはこの想定地震力を構造物の自重で割った数値であり, その値の決定は過去の経験によった。

上記(1)に述べたことは, より精緻な耐震設計をするには, 構造物の地震時挙動を動力学により解析・シミュレートすることが不可欠となるが, その手法が未発達, あるいは揺籃期であった事を指している。さらに地震力をより精緻に耐震設計目的で計測することが必要であり, そのため, 多くの地震計の設置とこれによる地震力; すなわち地震動の加速度, 速度, 変位の時系列としての計測と, その不規則課程論上の特質の解明が必要となっ

てきたのである, これも地震工学の一分野として急速に発展した。

上記(2)で述べたことは, 1970 年初頭においてはコンピューターの利用環境が未発達かつ劣悪でその能力も著しく低いものであったことを示している。この時代から今日にかけてのコンピューター関連のハード及びソフト技術(いわゆる IT 技術)の不断の進展は, このような耐震性の解明の初期段階に大きな役割を果たした。もともと構造物の地震時挙動は数理的なモデルによって数理により明らかになることであっても, 地震動は基本的に時間の不規則な関数であり, 同じ時刻歴を繰り返すことのない現象であるから, これを扱うにはどうしても数理ではなく数値で扱う必要があったのにも関わらず数値的处理方法が容易に行い得ないもどかしさがあったのである。

以下には段階的に現在標準となっている土木構造物の動的解析手法がどのように開発されたかを示す。

1. 構造物の解析モデル化

数値解析技法が確立するまでの動的構造解析は, 数理モデルによる解析によらざるを得なかった。数理モデルは数学的に厳密な解を得るには適しているが, 現実の貯水ダムや, 頭首工(取水堰), 開水路といった構造物を表現するためには, 用いる座標系に制約される。この制約は動的解析以前に存在する。直交カーテシアン座標, 斜交直線座標, 円筒座標, 球座標, 極座標等, 様々な座標系を用いて現実の複雑な形状を表現しようとするが, 用いる座標系によって表現した支配方程式—多くの場合微分方程式と境界条件—を解くことに帰着する。構造物の

表現能力は用いる座標系に制約を受ける。さらに現実に遭遇する異種材料の一体化した構造系を表現することは解析手法によっては非常に困難である。これが古典的方法の限界であって、筆者がこの方法で干拓堤防の基礎地盤の振動を論じたのが AOYAMA S (1984) である。これに対し、構造解析のより普遍的で全ての構造形式に用いることのできるエネルギー原理；構造物変形の大原則を用いた有限要素法の開発が急激にその版図を拡大した。

有限要素法 (Finite Element Method) の展開

この方法は多数の部材の複雑な集合体として一体的に解析しなくてはならない航空機の構造解析を実現する必要から 1960 年代後半から開発されたマトリックス構造解析学の進展した形であり、これが変貌して弾性連続体の力学解析に開発されたのが最初である。そしてこの方法は固体の力学解析のみでなく、変分原理の適用により広く流体や固体—流体の連成モデルの表現をも可能とし、土質力学分野の一大手法である圧密解析の数値モデルへの適用も可能となったのである。この手法は数値モデルではなく数値モデルと呼ばれるべきものであるため、当初からコンピューターによる数値計算を前提としていた。よってこの手法の適用もコンピューター能力の進展に依存したものである。

沢田・長谷川・青山 (1969) はマトリックス構造解析により、当時在来法では扱いが困難であった、中空重力ダムの堤軸方向の水平振動を、多自由度系理論により、動的解析を実現した。1970～80 年、弾性連続体の有限要素法による動的解析手法がほぼ定着したことから、これを土構造物である大型ロックフィルダムや干拓地の締め切り堤防の耐震性評価に用い、以下の諸研究を発表した。

すなわち、青山・沢田 (1973) ではロックフィルダム～基礎地盤系の地震応答解析をモード重畳法 (Modal Analysis) により達成、AOYAMA S (1976) は統合的なフィルダムの地震時応力挙動を簡易に推定する方法を提示、AOYAMA S (1979) はフィルダムの三次元構造としての特質に着目した固有振動解析を達成、沢田・青山・清水 (1979-1)、同左 (1979-2) では干拓堤防の微動計測をから干拓堤防の地震時挙動をシミュレートした。

さらに土構造物を扱うにはその応力～ひずみ関係が顕著な非線形性を示すことに着目し、現在応答解析の主流となっている等価線形化手法の特質を論じたのが青山 (1980) である。また比較的平坦長大な土構造物である干拓堤防では、波動論で言う表面波振動が支配的であるされていることの実証的研究を行ったのが青山 (1982) である。

2. 設計地震応答スペクトル設定

1980 年代には耐震設計法は経験に基づく震度設計法に替わり、構造物の動特性により評価でききる応答スペ

クトルを基準とするものになってきた。地震応答スペクトルはアメリカの地震工学者 Housner GW (1952) が提案した概念で、個々の地震加速度波形の有する不規則性を、構造物の固有周期と減衰率をパラメーターとし、1 自由度振動系の最大応答を定義する概念である。問題となる設計地震力の決定はある仮説に基づく設計用地震応答スペクトルによるべきという思想が定着した。この概念をわが国でいち早く構造物設計の基準に取り入れたのは道路橋示方書耐震設計編 (平成 8 年版) である。このため地震応答解析に用いる加振地震加速度波形はこの設計用応答スペクトルを満足する波形とすべきことが一般的となった。よってある構造物の立地条件等から決まる地震工学的条件から想定した波形の周波数成分と非定常性より決めた時系列波形を、目的加速度応答スペクトルを満足させるように修正する方法が開発された。

このような地震工学の大きな流れの中で、東京都において計測した多数の小地震加速度記録より求めた地震加速度応答スペクトルの距離減衰式に現れる計測点の特異性を論じたのが AOYAMA S (1984) である。次に国内で記録された加速度記録に基づいた大型地震の加速度応答スペクトルの距離減衰提案式 (片山等 (1978)) を利用し、任意地点の設計用加速度応答スペクトルを得る data base システムを構築し、これを用い、ため池の耐震性評価をせん断振動理論とファジー理論から行おうとしたものが青山・庄野 (1991) である。

またダム建築様式の中で重要なタイプとなった大規模フィルダムの耐震設計法において、当時提案された修正震度法を、批判的に論じたのが青山・稲田 (1996) である。この方法は対象とするすべり土塊の標高に応じて作用させる震度値を変化させる方法であったが、これによると過度に安全側評価となり、従来法による設計断面と矛盾することになることを示唆した。

3. 兵庫県南部地震以降の耐震設計の変革

1995 年の兵庫県南部地震 (阪神淡路大震災) により都市部で死者数 6,300 余を出した経験から、日本の土木構造物の耐震設計法は大きく変貌することになった。すなわち地震を従来想定していた規模のものをレベル 1 とし、これと別に発生確率は小さいが、強大な破壊力を持つ地震：レベル 2 を新たに定義し、それぞれに異なる耐震性能を付与する設計法が一般的となった。また我が国の場合レベル 2 地震はその発生メカニズムから、海洋プレート活動が原因となるものをタイプ I、内陸の直下型 (活断層の動きが原因となるもの) をタイプ II と分類し、重要構造物についてはこの両者の発生する可能性を視野に入れ、より強い耐震性を確保することが求められるようになった。この結果既存の重要施設の耐震安全性を確保すべく、各種の耐震補強工事が、施設の重要度に応じて実施される、今日までこの設計原則が貫かれている。

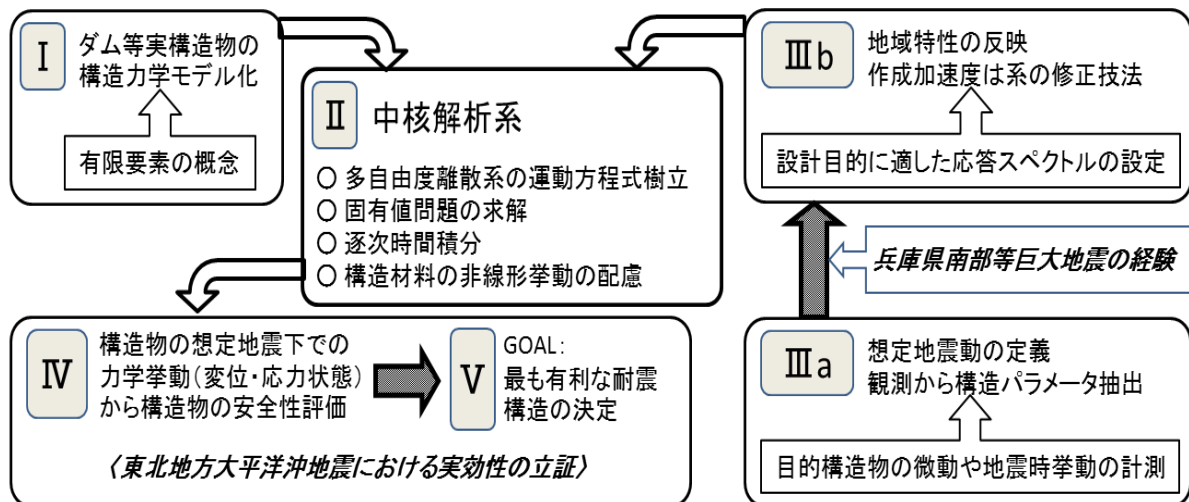


図-1 研究実施の5つのユニット

このような時代背景の中で、筆者はダム本体だけでなく、その付帯施設についても耐震性を検討した。すなわちダムの取水設備の一つである取水塔の地震時挙動に着目した。取水塔は対比される斜樋とは構造様式が大きく異なり、堤体とは独立した構造であり、その耐震性は特に注意されるべきものである。取水塔には二つの形式があり、コンクリートの塔体を主構造とし、塔側面に取り付けた標高の異なるゲートから表面取水する塔体式のものと、水面に浮かぶ、呑口兼用のフロートに、鉛直に摺動する取水管を取り付けた、フローティング型とがある。青山等は伝統的塔体型の地震時挙動を取り上げた。（青山・石田（1997）及び石田・青山（1998））。この形式では塔の頂部は堤体頂部とほぼ同標高にあり、しかも頂部にはゲートの巻き上げ機を有するため、スレンダーで振動しやすい構造である。塔頂に取り付けた地震計で約20カ月以上にわたり微小地震の塔頂部振動を計測した。計測の結果、取水塔の地震による振動の卓越周期は貯水位が高いほど低くなることを観測した。これは塔の振動が貯水と一体化したものであるためと推定され、このような流体中の固体の振動を現すモデルである、付加質量の概念を導入するとうまく表現できることを明らかにした。

20世紀最後のフィルダム耐震評価に関する筆者の業績、AOYAMA（1999）では1)道路橋示方書が示すレベル2地震のタイプI及びタイプII地震の設計加速度応答スペクトルを満足する、継続時間20秒の地震加速度波形を生成した。当時、このための標準的技法として、過去にそれぞれのレベルとタイプで観測された、代表的記録（タイプIでは1987年宮城県沖地震の記録、タイプIIでは兵庫県南部地震の記録）を原波形とし、これを数値的に修正することで目的設計スペクトルを満たす波形としたのである。ここで得た加速度波の最大加速度値はタイプIで427gal、タイプIIで980galであった。2)これを剛地盤上の堤高60mの二次元中心コア型ダムに作用させ、応答

計算結果から堤体内材料の塑性化領域の進展を求めた。塑性化領域が生じることは、その材料が力学的に弾性域を超えて降伏したことを意味し、弾性域で期待される強度を発揮し得ないことを表す。タイプIではコア部に塑性域は現れなかったが、タイプIIではコアの底部にも塑性域が現れた。また堤頂の変位は材料の強度が小さい場合、時間と共に継続し続けること一崩壊が表現された。3)さらにこの応答解析を利用し、フィルダムで基本的に用いる滑り安全率評価のための円弧に作用する動的等価震度を逆算した。結果、堤頂からほぼ斜面中央を通るやや深い滑り土塊のタイプII地震の最大震度は0.7となりこれは、通常（レベル1地震）の設計震度値からすれば数倍大きい値であった。

4. 研究課題と手法の相互関係

上に筆者の行った代表的研究成果15編を紹介したが、これらの課題は、農業水利構造物の地震時挙動解明という大きな課題により有機的に関連している。それらの相互関係を示せば図-1のようになる。すなわち大きな課題は図に示すように、I 多種の構造物の力学モデル作成、II 中核となる解析手法の開発と応用、III 地震工学の進展に伴う地震外力の工学的表現法の展開、耐震設計目的からの地震力のより良い表現追及、IV 対象構造物の地震時挙動推定、V 耐震性に優れた構造物の提案、という5個の研究ユニットからなる。ここに引用した15個の研究業績においては、最終目的であるVユニットに積極的に貢献するものの数が少ないことは反省せざるを得ない。それは筆者の研究課題が、耐震設計手法開発という最終目的よりも、それを可能にする、構造物の地震時挙動のより正確な解明／推定に重点を置いていたからである。耐震性の向上は最終的によりよい設計原則～設計ルール確立にあるが、ここに至るには数多くの周到な地震時挙動

の理解が必要である。簡単に耐震性を評価するには異なる形式の構造物の耐震性を相対比較すれば良い。この例は、沢田・長谷川・青山（1969）においては、現実設計された中空重力ダムの形式に対して実際には設計されていない類似の形式を想定することによって、地震時応答量の大小から耐震性能を比較できた。また青山・庄野（1991）においては、与えられた、ため池の立地や土質データから地震時応答量を大略的に算出し、色々なため池の耐震性能を比較することができた等である。

構造物の地震時挙動解明を可能にするのはユニットⅡとⅢである。この二者は手法的には関連が無く別の工学に位置づけられる。ユニットⅡを経た研究の場合、結果はユニットⅣ、ユニットⅤへと繋がる。

ⅡはⅠと関連しており、この連携でⅢの成果を受け入れられるモデル化と解析エンジンを構築することになる。Ⅰの展開が重要となったのは沢田・長谷川・青山（1969）である。この時代有限要素法は未熟であり、中空重力ダムの連成ブロックを表現するため大胆なバネ・質点系モデルを導入することにより中空重力ダムのモデルを構築した。この時用いるユニットⅡは多自由度系の概念と固有値解析、モード重畳解析法であり、その概念は完成されていた。また AOYAMA S（1984）では古典的な微分方程式系で海底地盤のせん断振動をモデル化したため、ユニットⅡの内容は解析解—数式であった。時代の進歩と共に有限要素法が複雑な現実の構造物を2～3次元で数値モデル化できるいわば万能の方法となった。これにより青山・沢田（1973）、AOYAMA S（1976）、同（1979）、同（1999）等を実行できた。

ユニットⅢは地震学分野の成果を受け継ぐもので、筆者等の貢献は、干拓堤防における微動計測を中心とした、沢田・青山・清水（1979-1）、同（1979-2）、更に青山（1982）がある。また実測の地震加速度記録の処理法を開発したものに AOYAMA S（1992）、貯水池取水塔での地震観測記録を論じた石田・青山（1998）などがある。これらユニットⅢの成果を受け、AOYAMA（1999）では設計目的によりよく適合した加振加速度記録を目的加速度応答スペクトルから作成する方法を示した。

5. 現在の評価及び将来の展望

引用業績で元も新しい AOYAMA（1999）から現在まで17年程度が経過しており、この間2011年巨大な東北地方太平洋沖地震を経験し、国土強靱化の掛け声の下、社会一般の構造物の耐震性能に関する感心や期待は高まっている。結果設計用途で使う地震波の設定法は、構造物の立地点、地震環境をより正確に取り込むことが可能となった。これは精緻な地震観測網の整備に裏付けされた大規模な地震動データベースの国家機関（内閣府等）による公表が大きい。今後こうした情報の質は向上してゆくであろうが地震発生そのものを予知することは先

の平成28年熊本地震が示す通り、現時点では依然不可能である。より良い耐震設計樹立は前途多難である。

引用文献

- 青山咸康, 沢田敏男（1973）フィルダムの地震応答解析について——フィルダムの地震時応力解析(2)——, 農業土木学会論文集, 47, 22-34.
- AOYAMA S（1976）STRESS BEHAVIOR OF AN EARTH DAM UNDER QUASI-SEISMIC MOTION, Trans. JSIDRE, 65, 65-72.
- AOYAMA S（1979）THREE DIMENSIONAL FREE VIBRATIONS OF EMBANKMENT DAMS, Trans JSIDRE, 79, 47-54.
- 青山咸康（1980）Hardin 型復元力を有する振動系の応答性状, 農業土木学会論文集, 86, 51-56.
- 青山咸康（1982）干拓堤防における表面波の挙動について, 農業土木学会論文集, 101, 63-68.
- AOYAMA S（1984）Stationary Response of Soil Deposit under Polder Dike, THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS, 32, 199-210.
- 青山咸康, 庄野和孝（1991）フィルダムの耐震性診断に関する二つの試み, 農業土木学会論文集, 152, 91-99.
- AOYAMA S（1992）Foundation effect in accelerograms of small Earthquakes, Proc. of 10-th World Conf. on Earthquake Eng., 1, 201-206.
- 青山咸康, 稲田克彦（1996）フィルダムにおける地震時安全率算定の新提案に関する考察, 農業土木学会論文集, 183, 161-166.
- 青山咸康, 石田昇一郎（1997）フィルダム取水塔の地震加速度観測と応答解析, 農業土木学会論文集, 190, 45-51.
- AOYAMA S（1999）Dynamic response of central core type of embankment dam under Level-II earthquake, 日本学振紀要, 75-B, 235-240.
- Housner GW, Martel RR, Alford JL（1953）Spectrum Analysis of Strong Motion Earthquake, Bulletin of Seismological Soc. of Am., 43, 97-119.
- 片山恒雄, 岩崎敏男, 佐伯光明（1987）地震動加速度応答スペクトルの統計解析, 土木学会論文集, 275, 29-40.
- 石田昇一郎, 青山咸康（1998）RC型取水塔の水中振動特性について, 農業土木学会論文集, 198, 127-133.
- 沢田敏男, 長谷川高士, 青山咸康（1969）ホローダムの振動正常に関する解析的研究, 農業土木学会論文集, 30, 12-20.
- 沢田敏男, 青山咸康, 清水英良（1979-1）干拓堤防の常時微動計測と振動モデルの設定, 農業土木学会論文集, 81, 87-93.
- 沢田敏男, 青山咸康, 清水英良（1979-2）干拓堤防の地震記録解析と地震応答解析, 農業土木学会論文集, 82, 65-71.

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

第 1 章 総 則

第 1 条 本会は日本農業工学会 (Japan Association of International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering) と称する。

第 2 条 本会は事務所を東京都内に置く。

第 2 章 目的及び事業

第 3 条 本会は農業工学に関する会員相互の協力により、農業工学及びその技術の進歩発達に資することを目的とする。

第 4 条 本会は、その目的を達成するために次の事業を行う。

- (1) 各学会、協会の連絡・協力及びその総合活動
- (2) 内外の農業工学関係諸機関・団体及び個人との連絡
- (3) 講演会等の開催
- (4) その他目的を達成するために必要な事業

第 3 章 会 員

第 5 条 会員を分けて、正会員・維持会員及び国際会員とする。

- (1) 正会員は、農業工学に関する学術団体とする。
- (2) 維持会員は、本会の目的に賛助する団体とする。
- (3) 国際会員は、正会員に属する個人であって、国際農業工学会に登録したものとする。

第 6 条 本会に入会しようとするものは、別に定める入会申込書を提出し、理事会の承認を得るものとする。

第 7 条 正会員で退会しようとするものは、その旨書面をもって届け出て理事会の承認を得るものとする。

2. 維持会員・国際会員が 2 年以上会費を滞納した場合は退会したものとみなす。

第 4 章 役 員

第 8 条 本会に次の役員を置く。

会長 1 名 副会長 2 名 理事 若干名 監事 2 名
会長・副会長は理事とする。

第 9 条 会長は本会を代表し、会務を統べ、総会及び理事会の議長となる。

第 10 条 副会長は会長を補佐し、会長に事故があるとき、または欠けたときはあらかじめ会長が指名した順序で、その職務を代行する。

- 第 11 条 理事は会長を補佐し、会務を処理する。
第 12 条 監事は会計の状況及び理事の業務執行を監査する。
第 13 条 役員の選任は総会において行う。
第 14 条 役員の任期は 3 年とし、更任期の定時総会までとする。ただし、辞任又は任期満了の役員は後任者が就任するまではその職務を行うものとする。
第 15 条 役員で欠員を生じ、補充の必要があるときは、第 13 条の規程により選任する。後任者の任期は前任者の残存期間とする。

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。
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、理事会総会の議決を経て、行使する。

2. 前項の規定に係わらず、やむを得ない事情により同項に規定する総会を開催することができないときは、総会を省略することができる。この場合においては、翌会計年度開始後最初に開催される総会において、これに係わる承認を得なければならない。

第 30 条 本会の収支決算は、会長が作成し、財産目録貸借対照表及び収支決算書に監事の意見をつけ理事会の承認を受けて、定時総会に報告する。

2. 本会の収支決算に剰余金のあるときは、理事会の議決及び総会の承認を受けて、その一部、もしくは全部を基本財産に編入し、または、翌年に繰越すものとする。

第 31 条 基本財産は財産目録の基本財産の部に記載のうえ、確実なる方法により保管し、譲渡・交換または担保に供することはできない。ただし、本会の事業遂行上やむを得ない理由があるときは、理事会及び総会の議決を経て、処分することができる。

第 7 章 会則の改定及び解散

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

第 33 条 本会の解散は、理事会及び総会の 4 分の 3 以上の議決を要する。

付則

1. この会則の施行に必要な細則は、総会の議決で定める。細則には会員の入会・役員を選出・理事の職務分担・役員会の規定・代議員の選任定数・会費の額等を規定する。
2. 本会の所在地を東京都目黒区下目黒 3-9-13 目黒・炭やビル 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) 定款及び諸規定
 - (4) 団体の経歴の概要
 - (5) 役員に氏名・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) 維持会員にあつては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おくことができる。
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、総会で発表される。
- (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。

日本農業工学会賞受賞者

(平成 26 年度～平成 27 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

日本農業工学会フェロー受賞者

(平成 11 年度～平成 27 年度) (合計 298 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

富田 正彦

豊田 勝
坂井 直樹

平成 18 年度 (19 名)
平成 19 年 5 月 11 日

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

平成 19 年度 (5 名)
平成 20 年 5 月 9 日

堀口 郁夫
谷信 輝
西山 喜雄
上野 久儀
原 道宏

平成 20 年度 (12 名)
平成 21 年 5 月 22 日

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

平成 21 年度 (19 名)
平成 22 年 5 月 13 日

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

平成 22 年度 (14 名)
平成 23 年 9 月 12 日

林真 紀夫
早川 誠而
中司 敬
伊藤 信孝
梅田 幹雄
園部 和彦
真勢 徹
田中 雅史
松田 誠祐
堤 聰
中野 俊郎
常松 哲
桑原 孝雄
長澤 徹明

平成 23 年度 (14 名)
平成 24 年 5 月 15 日

位田 晴久
清野 豁
滝川 具弘
喜多 毅
渋澤 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 27 年度日本農業工学会フェロー受賞者

平成 28 年 5 月 20 日授与

氏 名	推薦学協会	所属・職名等
船田 良	生態工学会	東京農工大学大学院農学研究院・教授
後藤英司	日本生物環境工学会	千葉大学大学院園芸学研究科・教授
清水 浩	日本生物環境工学会	京都大学大学院・教授
浦野慎一	日本農業気象学会	北海道大学・名誉教授
小松崎将一	日本農作業学会	茨城大学農学部・教授
山口智治	農業施設学会	農研機構農村工学研究所・研究員
永木正和	農業情報学会	筑波大学・名誉教授
小田原哲一	農業食料工学会	元株式会社クボタ
川村周三	農業食料工学会	北海道大学大学院農学研究院・教授
庄子和博	農業電化協会	一般財団法人電力中央研究所・上席研究員
小泉 健	農業農村工学会	農研機構・理事・農村工学研究所長
春山成子	農業農村工学会	三重大学大学院生物資源学研究科・教授
平松和昭	農業農村工学会	九州大学大学院農学研究院・教授

発行日 平成 28 年（2016）5 月 20 日

発行者 日本農業工学会
会長 大政 謙次

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

担当：武石昭二三

電話：03-3492-2988

Fax：03-3492-2942

E-mail：jaicabe@aafs.or.jp

HP：http://www.jaicabe.org/