我が国の生物環境工学の発展 - 半世紀あまりの研究活動を通じて -



1987 - 1991 年会長

髙倉 直

(東京大学・長崎大学名誉教授)

1. はじめに

農業気象学会に入会したのは、私が大学院生の時で、半 世紀以上も前のことである。当時、この分野の学会として は、戦前から存在していたこの学会しかなかった。大学の 研究室は、名前こそ1964年に環境調節工学研究室と変更 になったが、もともと製塩工学の研究室で教授は専売公社 との兼任, 専門の研究者はおらず, 大学院生も学部の時に 移籍した私と他大学から来た2名, さらに大学院で、農業 機械分野から1名が加わっただけで,学部専攻生は私以外, 長い間いない研究室であった(髙倉, 1999)。したがって、 研究の中心は当時の専売公社中央研究所からの流動研究員 がその任を担っていたし、研究テーマはばらばらで、私が 望むものとはちがって、実験装置としてのバイオトロンや ファイトトロンの環境計測といったものが中心で、私が必 要とする研究的な刺激は外部に求めるしかなかった。工学 部建築環境工学研究室、理学部気象学研究室や植物生態学 研究室に出入りし、当然、研究も一人で実施し、修士論文 は農業気象学会に発表した(杉・髙倉, 1965; 髙倉・杉, 1965)。

当時の農業気象学会は規模も小さく、大変地味な存在であった。活動の中心となっていたのは当時、西ヶ原にあった農業技術研究所(後の農業環境技術研究所)の気象科と気象庁の産業気象課の人達であった。ただ、私が研究しようと思っていた分野の植物環境調節の研究はまったくなく、最初はただ、ほかにはないし、関連が一番ありそうであったというくらいの動機で入会したので、国内では気象学会と植物学会、海外では米国気象学会にも入会し、これら3学会に博士論文を投稿した(Takakura, 1966; 1967a; 1967b; 1968)。

当時の三原義秋気象科長が大学院の特別講義に来られるようになり、気象科では月例会という勉強会が開催されていることを知り、厚かましくも参加させてもらった。すで

http://agrmet.jp/wordpress/wp-content/uploads/2018-H-2.pdf 2018 年 1 月 10 日掲載

Copyright 2018, The Society of Agricultural Meteorology of Japan

に研究者として評価の高い人が多く, まさにこの分野の俊才が集う場所という感じで, 大変勉強になると同時に, 多くの先輩研究者と直接知り合えたことはその後の宝となった。

2. 関連学会の誕生と部会の誕生

2.1 関連学会と研究室の誕生

研究室の看板は変更されたが、簡単には研究分野は変わ らず、私は実験装置としてのファイトトロンやバイオトロ ンに関する研究にはあまり関心がなかったので、移籍した のは温室による環境調節の研究がしたいためと突っ張った ために、杉 二郎教授には最初疎まれた。この研究室が中 心となっていた環境調節委員会や研究会のときは、大学院 生でもあり、まったくこれには関係しなかった。1963年に 学会となったのを機に, 生物環境調節学会に入会した。か なり遅い入会であったが、会員番号3をもらって驚いた記 憶がある。私より先に入会していたのは同じ学科の農業機 械の教授と三重大学の園芸の教授であった。農業施設学会 が研究会を経て、1974年に学会となったが、創設者の教授 は農業気象学会でも活躍していた人なので、一緒に四国を 旅行する機会に、同じような分野で新たに学会を作るのは いかがなものかと意見したが、大学院生のいうことなど、 聞き入れてもらえなかった。植物工場学会ができるとき も, それまでのいきさつから, 創設者が一緒に作ろうと, 最初に声をかけてきたので、既存の学会で一緒に活躍しよ うと勧めたが納得してもらえなかった。そのためこの学会 には入会しなかった。その後、CELSS 学会、農業情報学会 と小学会の設立が続いた。ただ、日本だけでなく、韓国や 台湾でも似たような状況であるが、アメリカでは農業工学 が1つの学会にまとまっているのがうらやましくてならな

東京大学が海水利用工学から環境調節工学に改称した次の年1965年に、千葉大学に三原義秋教授の園芸環境工学研究室が誕生し、続いて、1967年に岩手大学と愛媛大学でも改称が行われ、関連研究室となった。さらに1972年には大阪府立大学に矢吹萬壽教授の環境調節工学研究室が生

まれた。私が環境調節の研究をはじめる少し前に、温室の 熱収支や二酸化炭素濃度の研究が始まったが(矢吹・今津、 1961; 1965)、農業気象学的で、建物の環境調節という観点 ではなかった。三原教授や矢吹教授は農業気象の分野です でに顕著な業績を上げていたので、全国的に農業気象以外 に、生物環境工学系の研究室ができたことで、生物環境工 学の研究が一段と進み始めた。この分野の研究の集大成と して三原編著(1980)をあげることができよう。

2.2 学会の開催と関連学会との共催

学会の全国大会は毎年4月に、農業技術研究所、あるいは気象庁で開催され、秋季大会が地方で開催されるという状況であったが、編集幹事の折に、もっと幅広く全国的にしようと働きかけ、1975年に全国大会が北海道大学農学部で開催された。また、事務局もより幅広く、全国展開となった。アメリカのように、農業工学系の関連学会の合同大会が開催できたらと、農業土木学会と農業機械学会に打診したが、当時の農業土木には行政関係の人も多く、会場選びが困難であると、賛成されず、農業機械は数年先の開催地も決定しているので、難しいと、消極的であった。そこで、学術会議の663分野に所属する農業気象学会、生物環境調節学会と農業施設学会だけでもと交渉し、かなり困難な状況もあったが、1989年には念願の関連3学会の合同大会がつくばで開催された。現在も続いている農業環境工学関連5学会の合同大会の前身である。

もともと農業環境工学という名称は 663 分野の呼称であり、農業気象学の英訳は Agricultural Meteorology ではなく、Environmental Control in Agriculture であるという主張もあった (矢吹, 1972)。

2.3 施設園芸部会

農業気象学会の中でも、施設園芸研究の人材が増え、広がりができたことで、1981年に三原教授を中心に、施設園芸研究部会(現在の園芸工学部会)が生まれた。第1回のシンポジウムは「省エネルギー温室へのアプローチ」であった。この部会がその後、活発な活動をしてきたことは衆知のことであろう。農業気象学会の1分野を堅持していることも明らかである。

3. 国際活動

3.1 施設園芸国際シンポジウム

アメリカ、オランダ留学を経験し、さらに温室の研究で農業気象学会賞を受賞したことなどから、国内の他分野や国外へ生物環境工学の紹介も始めた(高倉,1970;1973;1974a-d;1975a,b)。あまり好きではないが、工場という言葉を使ったのは、このときが最初であろう。

朝日新聞(1973年2月8日)に我々の実験装置が「まるで宇宙菜園のよう」と紹介された。コンピュータを駆使して人工光下でサラダ菜を栽培し、植物の光合成速度という植物からの直接の情報をとらえ、環境を最適に制御する方式を世界に先駆けて開発した(Takakura, 1975;Takakura et al., 1975)。植物が直接情報をもたらすという意味からSpeaking Plant Approach(Udink ten Cate et al., 1978 が命名)とさわがれたことが、今日の植物工場研究の始まりといっ

ても過言ではない。主として電気・電子関連企業の研究者が大勢見学に訪れた。これを機会に植物工場研究を始める 企業が多数に上った。植物工場学会の創設者もその中の一 人であった。

国内での研究活動も農業気象学会を中心に活発となった ことでもあり、三原義秋教授と相談して、この分野での最 初の国際シンポジウムを1978年に開催した。その理由は、 この間、20年間に、わが国の施設園芸は面積において世界 一位にまで進展し、数え切れないほど多数の関係者が欧米 諸国を視察し、先進知識を吸収した。しかしながら、それら の国々から関係者を招待するなどは皆無に近く、日本人が よく訪れる国では知識の一方通行をなげく声が高まってい たので、それに報いると同時に我が国の実情を見聞しても らうためであった。このような動機から本シンポジウムの 企画が 1977 年春から始まり, 1978 年 8 月~9 月の 5 日間に 開催された。農業気象学会, 園芸学会, 生物環境調節学会, 農業施設学会の関係四学会に農林水産省も加わって組織委 員会が構成されたが、企画から準備・会合運営等の一切の 事務は事務局数名の手で進められた(写真1の左側に縦に 写っている)。参加国数はわが国を含めて17ケ国,海外か らの参加者は研究者38名,同伴者を含めると54名,わが国 からの参加者は、京都集会に登録した者77名、東京集会に 登録したもの 83 名であった (施設園芸国際シンポジウム 組織委員会事務局・施設園芸国際シンポジウム組織委員長、 1979)。

このシンポジウムを機に、諸外国の認識は一変し、また 我が国の研究者の目をいっそう海外へ向ける貴重な機会と なったことは、その後の関連報告を見れば明白であろう。 それまでに植物の反応をコンピュータで検出して、環境を 最適にする世界で初めての実験報告もなされていたので、 この会議に参加したオランダの研究者が我々の手法を Speaking Plant Approach と名付けてくれたので、たちまち SPA マンのニックネームを頂戴した。その後は、研究より、SPA のネーミングが一人歩きしたのは残念である。

さらに、事務局とその協力者の働きから、Japanese Mafia と Super Woman というニックネームも頂いた。事務局とその協力者が一丸となって仕事をこなしたからであり、当時としては思いもよらない、同伴者プログラムとして、朝早く、築地の魚市場見学を企画実践したことへの賛辞であろう。

プログラムの全容は図1に示す。いまとなっては多少古めかしい話題もあるが、日本を代表する人達の発表であり、その後大きく伸びた人達の若き姿である。

講演 31 は SPA の集大成のようなもので、人工光での研究から一歩進んで、自然光下でのトマトの環境を最適にすべく、トマトの光合成を測定しながら、環境を制御したものである。国内では無視されることが多いようであるが、このテーマはその前の国際シンポジウムでも発表している(Takakura, 1975; Takakura et al., 1975)。

このシンポジウムで、我が国のこの分野が世界的に評価されたといっても過言でない。京都の会場から東京への移動では、静岡のメロン栽培を見学したが、その栽培技術には海外の参加者一同感銘し、値段の高さにも納得した。

このようなことが背景で、それまで国際園芸学会の園芸

SCIENTIFIC PROGRAM

- Room B-2
- K.Kurata and K.Tachibana (Japan)
 Greenhouse structure design with the optimization technique
- A.Ram (Israel)
 Weathering resistance of polyethylene and PVC films used
 in protected cultivation
- T.Kozai and S.Sase (Japan) A simulation of natural ventilation of a multi-span greenhouse.
- I.Seginer and A.Livne (Israel) Effect of ceiling height on the power requirement of forced ventilation in greenhouses
- S.K.Park (Korea), K.Takahashi, Y.Naito and T.Masaki (Japan) The microclimate in different types of plastichouses at various regions
- N.Hristea (Romania)
 Recent developments in research on the microenvironment
 of greenhouses (Application to certain crop systems)
- M.A.Alafifi (Abu Dhabi)
 The use of protected environmental areas in Abu Dhabi for vegetable

Coffee B.

- I.Horiguchi (Japan)
 The variation of heating load coefficient for the green-house
- M.Okada and M.Hayashi (Japan) Reducing greenhouse heat consumption by curtain insulation systems
- K.W.Winspear and B.J.Bailey (England)
 Thermal screens for greenhouse energy effectiveness
- 11) H.J.Tantau (West Germany) The influence of single and double shelters on the climate and heat consumption of greenhouses

Lunch

- 12) H.Z.Enoch (Israel) The role of carbon dioxide in productivity of protected cultivation
- 26) T.Horie (Japan) A simulation model of cucumber growth to form bases for managing the plant-environment system
- 27) Y.Hori and Y.Shishido (Japan)
 Effects of feeding time and night temperature on the translocation and distribution of *C-assimilates in tomato plants
- 28) T.Toki, S.Ogiwara and H.Aoki (Japan) Effect of varying night temperature on the growth and yields in cucumber
- 29) H.Challa (Netherlands) Respiration measurements as a tool in the optimization of plant environment in glasshouse cultivation
- 30) J. van de Yooren (Netherlands)
 Influence of varying temperature at a cucumber crop
- 31) T.Takakura, G.Ohara and Y.Nakamura (Japan) Direct digital control of plant growth III. Analysis of the growth and development of tomato plants
- 32) A.J.Udink ten Cate (Netherlands)
 Adaptive control of glasshouse climate
- 33) R.A.White (New Zealand) Automatic multivariate control of a number of greenhouse environments using a programmable calculator
- 34) T.Matsui and H.Eguchi (Japan) Image processing of plants for evaluation of growth in relation to environment control

Lunch

- 35) R.W.Langhans (U.S.A.) Results of greenhouse energy conservation research at Cornell
- 36) T.H.Short, P.C.Badger and W.L.Roller (U.S.A.) Solar pond - polystyrene bead system for heating and insulating greenhouses
- 37) C.H.M. van Bavel (U.S.A.) Projecting crop growth in a fluid-roof solar greenhouse
- 38) W.J.Roberts and D.R.Mears (U.S.A.) A solar heating system for a 0.54 ha greenhouse

- 13) B.A.Kimball and S.T.Mitchell (U.S.A.) CO₂-enrichment of tomatoes in unventilated greenhouses in an arid climate
- 14) T.Ito (Japan) Physiological aspects of CO₂ enrichment in greenhouse cucumber
- 15) D.Rudd-Jones, A.Calvert and G.Slack (England) CO₂ enrichment and light-dependent temperature control in greenhouse tomato production
- 16) K.Yabuki and T.Uewada (Japan) High efficiency production of starch with single leaf and node cuttings culture of sweet potatoes
- 17) H.Hansen (Denmark) Control of propagated plants of cauliflower by means of stereomicroscopy
- 18) J.Kawata (Japan) The year-round chrysanthemum production in Japan Coffee B.
- 19) P.Allen Hammer (U.S.A.) Trends in greenhouse production in the midwestern United States
- 20) T.Nakashima, S.Kagohashi and Y.Naito (Japan) Utilization of plastic films for protected cultivation
- K.Inada (Japan) Spectral dependence of photosynthesis in crop plants
- 22) S.Attar (Kuwait) Greenhouse hydroponic development in Kuwait
- 23) D.Rudd-Jones and G.W.Winsor (England) Environmental control in the root zone: Nutrient film culture
- 24) H.Kano and M.Kageyama (Japan) Comparison of nutrient uptake by growing musk-melon between in hydroponics and in traditional soil culture
- 25) T.Takano (Japan) Some problems of root environments in vegetable growing under greenhouse conditions
- 39) T.Mori (Japan) Utilization of solar energy for winter cropping in greenhouse tomato
- 40) Y.Mihara (Japan) Latent heat of water for cooling and dehumidifying ventilation in greenhouses
- J. de Wilde (Belgium)
 Use of the residual heat from power plants in horticulture
 in Belgium
- 42) E.A.Maginnes and G.H.Green (Canada) Greenhouse heating with exhaust gases

Dinner & Sightseeing

Energy Saving Strategies in Greenhouse Industry Opening

England--Mr. K.W.Winspear

Netherlands--Dr. G.H.Germing

Coffee B.

West Germany--Prof. Chr. von Zabeltitz

France--Dr. L.Combe and Dr. D.Blanc

Lunch

Sweden--Prof. T.Kristoffersen

U.S.A.--Prof. W.J.Roberts

Coffee B.

Israel--Mr. N.Levav

Japan--Prof. Y.Mihara

図1. 1978年開催の国際シンポジウムのプログラム.



INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POTENTIAL PRODUCTIVITY IN PROTECTED CULTIVATION

KYOTO INTERNATIONAL CONFERENCE HALL

写真1. 1978年、この分野での初めての国際シンポジウム参加者.

部会長は歴代, ヨーロッパが独占していたが, その下に, 地域ごとに, 副部会長を設ける制度となり, 三原義秋教授がアジア代表の副部会長となり, 私, 古在豊樹会員と続き, さらに 2004 年にはヨーロッパ以外では初めての部会長に佐瀬勘紀会員が就任し, 2 期務めた。

この第1回の国際シンポジウムのあと,1988年5月12日から15日まで浜松市で,施設園芸における先端技術と題して,アメリカ唯一の人工光植物工場であったPhytoFarms of America の紹介や宇宙における植物栽培など,当時の話題を中心に開催された。参加者は29カ国,延べ305名であった(シンポジウム委員長・事務局,1988)。さらに,1992年7月21日から26日まで横浜市において,第3回,苗生産システム国際シンポジウムが開催され,苗生産ロボットや組織培養を中心的なテーマとして,26カ国から延べ297名の参加があった(苗生産システム国際シンポジウム事務局,1992)。

第4回は、私の東京大学退職を記念してということで、閉鎖生態系における植物生産をテーマに1996年8月26日から29日まで成田市で開催され、23カ国延べ331名の参加があった(荊木・本條、1997)。特別講演者の一人は、アリゾナの砂漠地に約1haの温室を作り、8名の男女が2年間生活するというBiosphere IIの経験者のJane Pointer さんであった。

3.2 オランダに学ぶ

オランダの施設園芸は有名であったが、我が国にはそれまであまり紹介されていなかった。1973年にオランダ政府留学生として、オランダで勉強する機会を得たので、その際に見聞したオランダの実情を紹介した(髙倉,1974a-d;1975a,b)。

それまでにもオランダ視察旅行の企画がいくつかあった ものの、なかなか成立しなかったが、上記の紹介の影響も あり、1979年に第1回が日本海外研究センター(のちの海 外医学研修センター)の企画により実施された。2週間と いう視察としては長い期間で、8名という少人数であった が、日立製作所、島津製作所、松下電器からの参加者があ り、目玉としてウィーンのタワー温室、デンマークのクリ ステンセン農場でのクレソンの植物工場なども見学した。 その後しばらく途絶えたが、1984年に再開され、その後毎 年, 1997年まで, 10名から20名の視察団がでかけた。企 画・引率者として私が行けないときには、古在豊樹会員、 池田英男会員にお願いした。オランダの Bleiswijk (後に Amsterdam の国際会議場 Rai) で開催されている NTV (後 の FortiFair) を視察し、オランダを中心に英国、ドイツ、フ ランス、ベルギー、スペイン、ポルトガル、北欧、イタリー の現状を詳細に視察した。この展示会は、我が国での施設 園芸展(現在のアグロイノベーション フェア)の見本と

表 1. ACESYS と GreenSYS 開催年表 (Giacomelli, 2017).

Year	Country and city	Symposium	Conveners
1994	USA, New Brunswick	ACESYS I	Drs. KC Ting and G Giacomelli
1996	Japan, Narita	ACESYS II	Dr. Tadashi Takakura
1999	USA, New Brunswick	ACESYS III	Prof. William Roberts and Drs. KC Ting, G. Giacomelli
2000	Japan, Tsukuba	ACESYS IV	Drs. K. Miyamoto and Sadanori Sase
2001	Taiwan, Taichung	ACESYS V	Drs. T-F Sheen, D-S Fon and Wei Fang
2004	Belgium, Leuven	GreenSYS2004	Drs. G.P.A. Bot and Leo Marcelis
2007	Italy, Naples	GreenSYS2007	Drs. Stefania De Pascale and Giacomo Scarascia
2009	Canada, Quebec	GreenSYS2009	Drs. Andre Gosselin and Martine Dorais
2011	Greece, Halkidiki	GreenSYS2011	Drs. C. Kittas, N. Katsoulas, and T. Bartzanas
2013	Republic of Korea, Jeju	GreenSYS2013	Drs. Jung Eek Son and Yong-Beom Lee
2015	Portugal, Évora	GreenSYS2015	Drs. Fátima Baptista, Jorge Meneses and Luis Silva
2017	China, Beijing	GreenSYS2017	Drs. QiChang Yang, Weijie Jiang and Weihong Luo
2019	France, Angers	GreenSYS2019	Dr. Pierre-Emmanuel Bournet
2021	Mexico	GreenSYS2021	Drs. Irineo Lopez-Cruz and Efren Fitz-Rodriguez

なったものである。90年代には、代表的な施設園芸企業が独自の視察団を派遣するようになり、また、我が国より、中国や韓国からの視察団が急激に増加した。その後は、オランダの影響を強く受けた韓国の現状視察へと変わった。

3.3 ACESYS ≿ GreenSYS

ACESYS (Automation, Culture, Environment & Systems) & GreenSYS (Greenhouse Systems) は Rutgers 大学で企画され た。1973年, 英国 Silsoe での国際シンポジウムで, レタス の光合成を測定しながら、オンラインコンピュータで環境 を制御するという研究報告をしたが、そのとき知り合った のが、Rutgers 大学の Bill Roberts 教授であり、その後、我が 国で開催されるシンポジウムには、1978年の最初の国際シ ンポジウムから必ず参加してくれたことから、Rutgers 大 学訪問の機会も増えた。東京大学農学部付属の環境調節施 設が農業機械学講座の不祥事で最終的には閉鎖されたが. その対策のため、学部長補佐として、大変な思いをしたが、 そのおかげで東京大学百年募金の海外渡航費補助を得るこ とが出来, 1987年には, 海外長期留学経験者には, 異例と もいえる6ヶ月間、Rutgers大学に滞在した。全米で8番目 に古い大学であり、同じ州にある Princeton 大学とはアメ リカンフットボールの対抗試合をスタートさせたことでも 有名であるが、農学部は Rutgers 大学にしかなく、食品工 学は全米有数であったが、Bioresource Engineering(いわゆ る農業工学)は修士課程しかない小規模な学科であった。 Roberts 教授を学科主任に、Dave Mears 教授、KC Ting 准教 授, Gene Giacomelli 准教授, Peter Ling 助教授, AJ Both 助 教授と我々の分野の専門家が揃ったところで、当時のこの 分野では卓越していたといえよう。残念ながら、その後、 Both 助教授以外はすべて学科をさり、学科は Department of Environmental Sciences に統合され, Bioenvironmental Engineering Course としてだけ存続しているが、幸いなこと に農業気象の専門家も加わっており、今後はそれなりの期 待はある。当時の学科の建物は小さな木造であったが、年 代物の大きな樹木に囲まれたところにあり、軽井沢の保養 地のような雰囲気があり、昼食時は、その樹木の下のベン

チで、会食しながら、いろいろと議論した。ACESYS もその中で生まれたものである。1990年には Adjunct Professor にも任命され、夏には授業を行うためにしばしば滞在した。ACESYS のちの GreenSYS の目的は、温室における自動化、栽培と環境システムを総括的に議論する国際シンポジウムと定義し、既存の組織や計画とは共同あるいは切り離した形で自由に、次の開催が決定されるという方式で運営してきたが、その後、国際園芸学会の園芸工学部会との連携から、現在は園芸工学部会でいろいろと議論されて、今後の開催地が決定されている。過去と今後の開催が表1のようになっている。

第1回は1994年 Rutgers 大学で開催された。第2回の開催は、日本の成田でのシンポとなった。ACES での開催は初期のころは、どうしても Rutgers 大学関係者のところとなったといえる。2004年に GreenSYS と改称されたが、内容が大きく変化したとはいえず、時代に即した形になったといえる。

2000 年にはつくばで ACESYS IV が開催された。これは、農業工学研究所が中心になって、他の農林水産省の 6 研究機関の協賛を得て、農業施設研究会として開催している園芸施設、畜産施設、流通施設などの農業施設を利用する、いわゆる施設農業分野の研究集会で、この年には国際集会として開催したものである(佐瀬・藤本, 2002)。

3.4 CEAC, Epcot Center, Biosphere II

アメリカの環境工学研究について報告したように(高倉, 1970)、アメリカの大学ではこのような分野が講座あるいは研究室として存在することはなく、各地で研究者が個人として研究や教育活動を行っている場合がほとんどで、前述のRutgers 大学は例外であった。その後、Arizona 大学にCEAC が誕生した。Controlled Environment Agriculture Center の略で、温室のような施設を用いて野菜や花を生産するための環境調節と栽培に関連するすべての分野の研究・教育・普及を行うセンターとして、Arizona 大学のDepartment of Agricultural & Biosystems Engineering とSchool of Plant Sciences の共同施設として 1999 年に Merle

Jensen 教授が副学部長の時に中心になって設立された。この両学科に所属する教員と専属の技術者によって運営されており、全米で数少ないこの分野の集約的な拠点である。

Rutgers 大学に続いて、Arizona 大学の Department of Agricultural & Biosystems Engineering の Adjunct Professor に任命され、現在も学科のホームページに紹介されているが(現在の呼び名は Distinguished Campus Colleague)、他の教員がそうであるように、学科に席を置き、約 20 年間講義も行いながら、研究活動は CEAC で行ってきた。

Jensen 教授はディズニーワールド Epcot Center の設計と 設立にも携わり、さらに Biosphere II の初期の設計にも加 わった(髙倉, 1992)。

沖縄県農業研究センター勤務中に何とか彼を招聘して、沖縄の施設園芸に刺激を与えられたらと、日本学術振興会に申請したが、彼がすでに名誉教授であること、招聘する私が大学でなく地方の研究機関所属であるというハンディキャップがあり、3年目の2014年10月実現し、沖縄に約3週間滞在して研究指導してもらった(写真2)。研究だけでなく、彼の豊富な経験から多くの一般聴衆にEpcot Centerの設計に関する裏話なども講演して頂いた。

日本学術振興会による招聘は 1971 年 9 月から 2ヶ月間, Ken Jordan ミネソタ大学教授(当時)を招聘したことに始 まる(写真 3)。

第1回の国際シンポジウムでは、千葉大学と共同で、

Rutgers 大学の Bill Roberts 教授, Hifa 工科大学の Ido Seginer 教授を招聘, その後, Colorado 大学の LL Boyd 教授 などこの分野での著名な方々を招聘できた(写真 4)。

3.5 施設園芸技術展(現:アグロイノベーションフェア)

"86 施設園芸新技術展が農業気象学会施設園芸研究部会,施設園芸協会,能率協会の3団体の共催(後援:農林水産省ほか,協賛:園芸学会ほか約30団体)で、5月12日~15日の4日間,東京晴海の見本市会場新館2階で開催された。運営委員長は施設園芸協会会長西貞夫,同副委員長は施設園芸研究部会の私と古在豊樹会員が務めた。会期中の入場者は、約4万4千人となり、予想をはるかに上回る賑わいであった。また、展示会に合わせて、14、15日の両日、大手町の農協ビルにおいて、86施設園芸新技術シンポジウムが開かれた(林,1986)。

"87 施設園芸新技術展は施設園芸協会・農業気象学会施設園芸研究部会・能率協会の共催 (後援:農林水産省ほか5団体,協賛:園芸学会ほか33団体)で、5月11日から14日までの4日間、東京晴海の国際見本市会場新館2階で開催された。この展示会は"86施設園芸新技術展に引き続いての2回目であった。今回は、海外の企業を含む97社(昨年:77社)の出品があり、会期中の入場者も約5万2千人と前回を上回る盛況ぶりであった。隣の会場で、Agritex 87「植物工場システム展」が開催されていたこともあり、



写真 2. Jensen 名誉教授を中心に公開セミナーの企画・協力者.



写真 3. 1991 年再来日した Jordan.



写真 4. Lnadis Boyd 教授夫妻とオランダの研究者. 左から, AJ Udink ten Cate, J van de Vooren, 教授夫妻, GK van Meurs, GPA Bot 氏, 1981 年.

植物工場関係の出品の少なかったことが、前年との違いであった(情報システム研究部会・施設園芸研究部会,1987)。この流れは続いており、農林水産省主催のアグリビジネス創出フェアとの同時開催となって大きく発展している。

4. 研究の流れ

生物環境工学分野で研究をする決心をしたのが、学部4年生の夏に研究室を移籍した時であるから、この55年あまりの研究生活をふりかえってみると、一つの大きな流れがみえる。植物環境のエネルギー解析、モデル開発などを経て、植物環境のコンピュータ制御に取り組み、一定の成果が上がったので、その考え方をまとめたものが図2である(髙倉、1975b)。篤農家が葉の色や形から作物の最適な環境を整えることから、生長の基礎反応である光合成、呼吸、蒸散をとらえて環境を制御することを考え、まず光合成を最適にするという実験をしたが、光合成反応の不可逆性と環境条件をダイナミックに変化させると反応が複雑となり、解析が困難であった。

そこで、作物からの情報を直接制御に取りいれることはやめて、環境条件だけの制御器として、マイクロコンピュータシステムを開発した(高倉ら、1979)。これは AI の応用が叫ばれる現在でもまだテーマとしてはいろあせていない。このシステムをもとに、(株) ESD が OEM として、ダイヤトピー農芸(株)、菱化温室農芸(株)、(株) ESD から販売されたものはロスノー 20、40、24、2400、グリーンマイコン 10、8 の多きにわたった(写真 5)。その後、横河電機

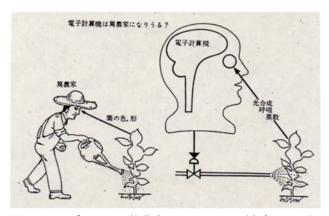


図 2. コンピュータは篤農家になれるのか(高倉, 1975b).

(株)や山武ハネウェル(株)(当時)など数社が参入したが、しばらくはシェアの8割以上を維持した。

作物がある広がりがあるときにそこからの蒸発散量の算出では過去にも Penman-Monteith の報告など多くの研究があるが、作物からの長波放射を計測し、作物がうけとる日射量を正確に計測することで、簡単に計測できることを見つけ(Takakura et al., 2009)、さらに群落からの蒸散量も同様な手法で正確に計測できることを報告した(Akutsu et al., 2015)。また、そのためには真に作物が受けている日射量を正確に計測する必要があり、そのための測器の開発、さらにその有効性を報告した(Miyahira et al., 2014; 2015)。

温室での蒸発散量がわかれば、温室の水分収支から、温室の換気量が求まり、それを温室の二酸化炭素収支にあてはめれば、温室内作物の光合成量が求まる(Takakura et al., 2017; 高倉, 2017b)。この手法をさらに発展させれば、温室内の作物の光合成を指標に、実測で最適な環境条件を導き出すことも可能であろう。

篤農家が作物の画像から判断することから、メロンの水切りの判断を CCD カメラで撮影し、その判断時点を判定することも実験したが、判断の基準が画像であること、篤農家自身が何を基準に判断しているか正確には表現できないことなどから、この手法もコンピュータ化は容易ではないことが判明した(Okamura et al., 2001)。

生後 6ヶ月くらいの赤ちゃんがお母さんの顔を識別できることは、赤ちゃんからの正確な情報が得られないので、まだ AI では難しい。AI がもてはやされる時代となったが、必要な情報をどれだけ正確に得るかが基本であり、それがないと、AI の特長は生かされない。この点は、物言わぬ植物を相手にする農業生産の難しいところである。トマトとちがって、色による判別がしにくいキュウリの収穫ロボットにも挑戦したが、葉の裏に隠れている果実をカメラでどうとらえるかで、葉に空気を吹きかけるなど試みたが、収穫の歩留まりを実用レベルまであげることは出来なかった(庄野ら、1989;天羽・髙倉、1989)。AI と同様に農業のロボット化が脚光を浴びているが、問題の本質がどこにあるかを見極める必要があろう。

植物工場、Vertical Farming、屋上緑化、都市農業、アクアポニックス(水耕レタスとテラピアの養魚の組み合わせ)と話題になることは多いが、過去の研究や実験をどこまで参考にしているかよくわからない場合が多い。屋上緑化や都市農業に関しても、1989年に屋上緑化の重要性を認識し

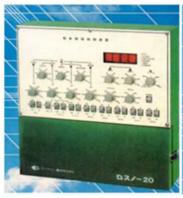






写真 5. ロスノー 20, 40, グリーンマイコン 8 (ESD 製).





写真 6. タワー温室. Ruthner 社 (ウィーン) のタワー温室 (左図) 1979. 将来の都市農業として紹介されているフランスパリ郊外 Romainville の垂直農場 (右図) (HortiDaily, 2017).

て、東京大学・生物環境工学研究室、東京電力(株)と大成建設(株)が共同して本格的な調査とシミュレーションを行って、その重要性を提案し(大成建設(株)、1989)、さらに詳細な研究も行われた(本條・高倉、2000a、b; Takakura et~al.、2000;高倉、2010)。

温室の省エネルギー手法の一つとして、潜熱蓄熱材の 開発を松下技研(株)と共同で行い、実用温室でのテスト も行った(仁科・高倉,1983;仁科ら,1984)。しかし、石油 価格の下落がおこり、商品化されたが、販売には至らなかっ た。最近商品として販売されている(ヤノ技研,2017)。

最近レタスのハウス栽培でチップバーンを防ぐのに通風するのがよいと Cornell 大学と Rutgers 大学の研究報告がなされていたが (Kuack D, 2017), 25 年以上も前に詳しく研究されて、米国特許も取得されている (Goto and Takakura, 1992a; 1992b; US Patent: No. 5299383)。

植物工場、Vertical Farming についても写真 6 からもわかるように、箱物の概念だけが繰り返されるだけのような気がしてならない(髙倉、1976)。

5. 東大生物環境工学研究室雑感

1982 年, 教授となり, しばらくして研究室名を生物環境 工学と変更した(高倉,1997;1999)。その後, 大学の組織改 革で, 学科が学部から大学院所属となり, 1996 年農業工学 科所属の研究室はすべて、生物・環境工学専攻所属となった。この名称は専攻長として、学生アンケートなども参考にして、提案したもので、採用されて土木系の研究室は環境を頭につけ、機械系は生物をつけたが、生物環境工学研究室はそのままであった。私が辞めた後に、土木の教授が紛らわしいので、研究室変更を要請したようだが、受け付けなかった。紫綬褒章を受章したときも、私の専門は生物環境工学となっている。

6. おわりに

農業気象学会を中心とした研究活動を知らないと、この分野が 1960 年代にスタートしたことを知らない人もいるようである。ご理解いただければ幸いである。もちろんその前にも、養蚕室の気象や紙製のホットキャップの特性、地中熱交換ハウスやペレットハウスなど実用的な研究も行われていたが(Takakura, 1974)、本格的な研究はなかった。

研究とはまずそれまでの関連文献の精査が必要であるが、行おうとする研究が、それまでの研究とどこが違うかを明確にする必要がある。独創性の重視であり、大げさに言えば、まだ誰もやってないことをやると言うことになる。それまでの成果を疑ってみることも大事である(髙倉、2011; 2012a,b)。最近は、研究費ほしさに、過去の研究を無視する傾向もみられるのはなさけない。



写真7. 初代の杉二郎名誉教授を招いて, OB や当時の研究室員の懇談会.

東大の環境調節工学研究室を3代目として引き継いだときに、初代の杉 二郎教授が、研究室名の改称では、最初、農業気象学にしたかったけれども、当時東大では農業気象学研究室はなかったものの、関連研究室が農学科にあり、反対されて、この名称は使えなかったこと、また農業環境工学としたかったのだけれども、これも学科で反対されて仕方なく調節の文字を入れざるを得なかったこと(環境調節工学研究室、1984)、また、学会名に工場などという学会は物笑いだと言っていたのが印象深い(写真7)。私としては、学部4年生で移籍した時の状況を謙虚に振り返り、そのような状況にはしたくないと常に考えてきた(高倉、1997)。

今や、Open Access E-journal の時代といえるかもしれない。国際誌にも無料でアクセスできるし PDF を無料で手に入れることが出来る。国内誌については若干の遅れはあるが、J-Stage に登録してある学会誌は同様である。関連の業界 journal としては、ここで引用した日刊の HortiDaily さらに Greenhouse Canada、HortiBiz、Inside Grower などがある。正確さには欠けるものもあるが、世界でどのようなことが行われ、あるいは話題になっているかを知るには適当であろう。今後もこの傾向は続くと考えられる(髙倉、2017a)。

今回の記事をまとめるにあたって、記憶の曖昧さをただすために多くの会員の方達に多大なご協力をいただいた。ここに記して謝辞を表します。また、学会や団体の正式名称から日本を省いて記述し、人物の職名も当時のものだけを記載した。

また、本稿は農業および園芸(19-30,93,2018)の再録であることをお断りしたい。

引用文献

- Akutsu M, Sunagawa H, Usui T, Tamaki M, Taniai N, Hirata M, Kaiho A, Takakura T, 2015: Non- destructive, real-time, and automatic measurement of transpiration from a plant canopy stand. *Journal of Advances in Agriculture* **5**, 677–683.
- 天羽弘一・高倉 直,1989: キュウリ果実の収穫用ロボット ハンドの開発. 農業気象 **46**,93-97.
- Giacomelli G, 2017: History of the GreenSYS Symposia. ISHS Comm. of Hort. Eng. Personal Communication.
- Goto E, Takakura T, 1992a: Prevention of lettuce tipburn by supplying air to inner leaves. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* **35**, 641-645.
- Goto E, Takakura T, 1992b: Promotion of Ca accumulation in inner leaves by air supply for prevention of lettuce tipburn. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 35, 647–650.
- 林 真紀夫, 1986: '86 施設園芸新技術展. 農業気象, **42**, 177-180.
- 本條 毅・髙倉 直, 2000a: 緑地熱環境評価のための 2 次元 k- ϵ モデルの検証. 農業気象 **56**, 243-251.
- 本條 毅・髙倉 直, 2000b: 都市緑地のスケール, 配置変 化に関する影響のシミュレーション解析. 農業気象 **56**, 253-260.
- 荊木康臣・本條 毅, 1997: 国際シンポジウム「閉鎖生態系

- における植物生産」報告. 農業気象 53, 55-58.
- 情報システム研究部会・施設園芸研究部会, 1987: '87 施設 園芸新技術展. 農業気象 **43**, 169-171.
- 環境調節工学研究室・東京大学農学部農業工学科, 1984: 環境調節工学講座 20 年の歩み. 19 pp.
- Kuack D, 2017: Prevent tipburn on greenhouse lettuce. *HortiDaily*, August 2.
- 三原義秋 (編著), 1980: 温室設計の基礎と実際. 養賢堂, 東京, 267 pp.
- Miyahira M, Tamaki M, Akutsu M, Usui T, Okushima L, Kaiho A, Takakura T, 2015: Calibration device development for spherical solar radiation sensors. *Journal of Advances in Agriculuture* 4, 371–376.
- Miyahira M, Usui T, Kaiho A, Okushima L, Takakura T, 2014: Lightweight, low-cost, automatic monitoring of global and diffused solar radiation. *Journal of Agricultural Meteorology* **70**, 133–138.
- 苗生産システム国際シンポジウム事務局, 1992: 苗生産システム国際シンポジウム. 農業気象 **48**, 299-302.
- 仁科弘重・高倉 直,1983: 潜熱蓄熱方式による太陽熱暖房 温室に関する研究(1) 潜熱蓄熱材の特性試験と小型温室 における暖房実験. 農業気象 39,201-211.
- 仁科弘重・高倉 直・竹田武司・町田育彦, 1984: 潜熱蓄熱 方式による太陽熱暖房温室に関する研究 (2) 空気集熱方 式による模型温室の暖房実験. 農業気象 **39**, 311-314.
- Okamura NK, Kurata K, Takakura T, 2001: Analysis of color changes in leaves of muskmelon plants under water stress. *Environmental Control in Biology* **39**, 27–34.
- 佐瀬勘紀・藤本直也, 2002: 第15回農業施設研究会 国際 会議「環境に配慮したハイテク施設農業」. 生物と気象 2, 27-30.
- 施設園芸国際シンポジウム組織委員会事務局・施設園芸国際シンポジウム組織委員長, 1979: 施設園芸の生産性向上に関する国際シンポジウムの概要報告. 農業気象 34, 201-211.
- 庄野浩資・天羽弘一・高倉 直,1989: 画像処理によるキュウリ果実の位置検出. 農業気象 **46**,87-92.
- 杉 二郎・髙倉 直,1965: 温室による植物環境条件制御に 関する基礎的問題について (1). 農業気象 **20**,147-153.
- シンポジウム委員長・事務局, 1988: '88 国際シンポジウム 「施設園芸における最先端技術」. 農業気象 44, 145-150.
- 大成建設 (株), 1989: 屋上緑化に関する調査報告書. 105 pp. 高倉 直・杉 二郎, 1965: 温室による植物環境条件制御に 関する基礎的研究について (2). 農業気象 **20**, 147-153.
- Takakura T, 1966: The effect of room ventilation on net photosynthesis rate. *The Botanical Magazine, Tokyo* **79**, 143–151
- Takakura T, 1967a: Predicting air temperatures in the glasshouse (I). *Journal of the Meteorological Society of Japan* **45**, 40–52.
- Takakura T, 1967b: Temperature gradients in the greenhouse. *Journal of Applied Meteorology* **6**, 956–957.
- Takakura T, 1968: Predicting air temperatures in the glasshouse (II). *Journal of the Meteorological Society of Japan* **46**, 36-44. 高倉 直, 1970: 農業気象と環境工学. 農業気象 **26**,167-

172.

- 高倉 直, 1973: 温室の温度環境成立機構に関する研究, 農業気象 **29**, 35-39.
- Takakura T, 1974: Chapter 6, Artificial Climate in Agricultural Meteorology of Japan (Ed. by Mihara Y). University of Tokyo Press, Tokyo, pp. 126-153.
- 高倉 直, 1974a: ヨーロッパの施設園芸境調環節技術 1. 農業及び園芸 **49**, 623-626.
- 高倉 直, 1974b: ヨーロッパの施設園芸境調環節技術 2. 農業及び園芸 **49**, 728-732.
- 高倉 直, 1974c: ヨーロッパの施設園芸境調環節技術 3. 農業及び園芸 **49**, 853-856.
- 高倉 直, 1974d: ヨーロッパにおける環境調節及び施設園 芸 1. 農業気象 **29**, 249-254.
- 高倉 直, 1975a: ヨーロッパにおける環境調節及び施設園 芸 2. 農業気象 **31**, 43-49.
- 髙倉 直, 1975b: 栽培工場のシステム制御. 計測と制御 **14**, 460-471.
- Takakura T, 1975: Plant growth optimization using a small computer. *Acta Horticulturae* **46**, 147-156.
- Takakura T, Ohara G, Kurata K Tachibana K, 1975: Plant growth optimization under natural light condition. Phytotronics III Phytotronics in agricultural and horticultural research (ed. by P Chouard and N de Bilderling), Gauthiervillars, Paris, 80-88.
- 高倉 直, 1976: 立体栽培における光の問題, 植物工場システムに関する調査報告書. 日本電子工業振興協会 **51-A-96**, pp. 112-126.
- 高倉 直, 岡田益己, 島地英夫, 奈良 誠, 1979: 温室の複合 制御用マイクロコンピュータシステムの試作. 農業気象 **35**, 97-102.
- 高倉 直, 1992: エプコットセンターとバイオスフィア II. 太陽エネルギー **18**, 5-8.
- 髙倉 直, 1997: 生物環境工学. 学術の動向 2(3), 60-61.
- 髙倉 直, 1999: 師を語る: 生物環境工学. 学術月報 52(8),

- 76-77.
- Takakura T, Kitade S, Goto E, 2000: Cooling effect of greenery cover over a building. *Energy and Buildings* **31**, 1-6.
- Takakura T, Kubota C, Sase S, Hayashi M, Ishii M, Takayama K, Nishina H, Kurata K, Giacomelli GA, 2009: Measurement of evapotranspiration rate in a sigle-span greenhouse using the energy-balance equation. *Biosystems Engineering* **102**, 298–304.
- 高倉 直, 2010: 屋上緑化の盲点. 農業および園芸 **85**, 1206-1208.
- 髙倉 直, 2011: 過去の研究に何を学ぶのか. ハイドロポニックス **24**(2), 22-23.
- 高倉 直, 2012a: 懐疑力とは何か. 農業及び園芸 **87**, 894-899
- 高倉 直, 2012b: 日照 作物栽培からみた日照 . 農業および園芸 87, 1071-1074.
- 高倉 直, 2017a: Open Access International E-journal. 生物と 気象 **17**, 75-76.
- 高倉 直, 2017b: 温室内植物群落光合成の算出. 農業および園芸 **92**, 849-852.
- Takakura T, Sunagawa H, Tamaki M, Usui T, Taniai N, 2017: Estimation of net photosynthesis of the plant canopy in a greenhouse. *Journal of Advances in Agriculture* 7, 1015–1020.
- Udink ten Cate AJ, Bot GPA, van Dixhoorn JJ, 1978: Computer control of greenhouse climates. *Acta Horticulture* **87**, 265–272.
- US Patent, 1993: No. 5299383 Plant Cultivation and Apparatus Therefor.
- 矢吹萬壽, 1972: 温室気象. 農業気象 28, 127-128.
- 矢吹萬壽・今津 正, 1961: ガラス室の温度制御に関する研究 (I). 園芸学会雑誌 **30**, 171-177.
- 矢吹萬壽・今津 正, 1965: ガラス室の炭酸ガス濃度について. 農業気象 20, 125-129.
- ヤノ技研 (株), 2017: http://www.yano-giken.com.