

## 環境科学と「生物環境調節」

大政謙次

東京大学大学院農学生命科学研究科 113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1

### Environmental Sciences and “Environment Control in Biology”

Kenji OMASA

*Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Yayoi 1-1-1, Bunkyo, Tokyo 113-8657, Japan*

**Keywords:** agriculture, imaging, IT, phenomics, phytotron, plant sciences, remote sensing

#### はじめに

日本生物環境工学会の前身である日本生物環境調節学会が発足してから約50年が経過した。正確には、日本生物環境調節研究会が発足が1963年5月で、学会発足は1968年10月である。また、研究会の発足前には1957年から環境調節実験室委員会として活動していた経緯がある。このため、50年は研究会の発足からの年数である。筆者が日本生物環境調節学会に入会したのは、学部4年の1972年で、研究会の発足から約10年、学会発足から約4年が経過していた頃である。学会誌である生物環境調節のVol. 10. No. 4に、指導教官であった船田周教授、橋本康助教授の両先生との共著の初めての論文が掲載されたためであったと記憶している。筆者に与えられた課題は、環境科学と生物環境調節であるが、筆者の歩んだ研究生活を思い出しながら、この課題に答えられればと思っている。このため、植物分野に偏ること、多少我田引水的になることをお許し頂きたい。

#### 生物環境調節とは

生物環境調節分野の初期の歴史は、生物環境調節ハンドブック(1973)<sup>1)</sup>に詳しく書かれている。要約すると、古代人は

自然条件の厳しさから身を守るために穴居のような半閉鎖的な自然環境のもとで生活し、種子や蚕種の貯蔵に利用した。1240年頃には、部屋で暖地植物を保育し、冬期に花を咲かせて、オランダ王に献上した。欧州では17世紀になって、ガラス張りの植物育成用の施設が発達し、温室(Greenhouse)と呼ばれるようになった。日本では、明治の初めに青山の開拓使の敷地に作られた欧米式の温室が最初とされ、1885年に小石川植物園に移築された。

植物研究用の環境調節温室としては、1949年、カリフォルニア州PasadenaにあるCalifornia Institute of TechnologyのEarhart Plant Research Laboratoryに、植物生理学者のF. W. Went教授が主宰して建設された施設が世界で最初である。この温室では、光、温度、湿度、二酸化炭素、風、雨、霧等の調節が試みられた。そして、物理学の研究領域のサイクロトロンと比べられるべきものとして、ファイトロン(Phytotron)と命名された。その後、米国だけでなく、世界各地に自然光型や人工光型のファイトロンが建設されたが、日本では、1952年の国立遺伝学研究所の環境調節温室が最初とされる。また、1957年に東京大学農学部を設置された動植物を対象とした生物環境調節施設をバイオロン(Biotron)と呼称し、さらに1967年に完成したWisconsin大学の施設にもこの名称が使われたことから、バイオロンが世界的に普通名詞化した。1966年には、当時全学的な共同利用施設としては日本で唯一の九州大学生物環境調節センターが発足した。

ファイトロンやバイオロンの世界的な普及に伴い、1964年に、フランスの国立ファイトロン研究所のP. Chouard博士の呼びかけで、Oxfordにおいて、ファイトロニクス

2012年 4月22日受付

2012年 6月 1日受理

Corresponding author: Kenji Omasa

(aomasa@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp)

(Phytotronics) のシンポジウムが開催され、この用語が国際会議の場で公的に用いられた。そして、ファイトロニクスは、植物学と工学の両分野を融合させ、植物と環境との関係进行研究する新しい植物学研究の一分野として位置づけられた。また、動物も含めた生物科学の研究分野として、バイオトロニクス (Biotronics) という用語も使われるようになり、環境生物学や農学、医学の分野の発展に寄与した。

### 生物環境調節との出会い

筆者は1969年の東大紛争の年の入学であるので、地元のアマチュア大学に入学した時は紛争のために授業がなく、かといって、紛争の仲間入りをするのも気が乗らず、サークルには入っていたが時間をもて余していた。この年の学科主任が、たまたま、船田先生で、その縁で研究室(農業環境工学)のゼミに1年生の時から時折参加させて頂いた。後で知ったことであるが、日本生物環境調節学会ができて間もない頃で、船田先生から頂いた資料に、ファイトロンの歴史や研究に関係するものがあり、興味を引かれた。研究室の助教授の橋本先生は、その頃、丹羽登教授(東大宇宙航空研究所計測部)らと、ファイトロンを対象として、超音波気温計等を使った計測と時系列解析、アナログ計算機を用いた制御系のシミュレーション、デジタル計算機を用いた環境制御等の研究をやっておられた。3年生の時に、九州大学に新しくできたファイトロンの制御特性の解析実験にご一緒させて頂いた。このようにして、筆者の生物環境調節との関係は深まっていった。4年生の卒論で、ファイトロンの制御系のアナログシミュレーション、修論で、アナログ計算機とデジタル計算機とをリンクしたハイブリッド計算機によるシミュレーションやデジタル計算機による温湿度のフィードフォワード制御等の研究を行った。デジタル計算機が進化した現在では、ハイブリッド計算機といってもピンとこないが、その頃としては非常に高価な機器を使ったこの分野の最先端研究であり、船田、橋本両先生から直接ご指導を頂いたことは、その後の筆者の人生を決定づけるものであった。

### 国立公害研究所の生物環境調節施設

修士2年の時、船田教授から、茨城県つくば研究学園都市に新しくできた環境庁(現:環境省)の国立公害研究所(現:国立環境研究所)<sup>2)</sup>に、ファイトロン等の施設ができるので行かないかというお話があった。国立公害研究所は、1971年に発足した環境庁唯一の研究所として1974年3月に新設された。1972年6月の国連の環境会議を受けて、国際的に環境保全の世論が盛り上がり、国連環境プロ

グラムが発足した直後であった。研究所の日本語名は、当時の公害防止への世論を反映して、国立公害研究所であったが、設立当初から、英語名は The National Institute for Environmental Studies であり、日本の環境科学研究の中心的役割を担い、環境科学分野の人材育成と国際交流の拠点としての大きな期待があった。この研究所の設立のために、1971年11月、茅誠司元東大総長を座長とする国立公害研究所設立準備委員会が発足し、また、委員会の下には専門委員会、各種分科会が設けられて、国立公害研究所で行うべき環境研究、組織、主な実験施設等が細かく検討され、報告書としてまとめられた。

この中に、生物環境調節施設分科会が設けられ、日本生物環境調節学会(当時の会長は杉二郎教授)の先生方が協力をされた。後に、研究所の初代の主任企画官になる事務方の責任者であった仲光佐直設立準備室長は、文部省の出身で、後に、理化学研究所のP4施設の建設にも腐心された方で、ライフサイエンスの大型実験施設の建設に非常に熱心であった。本学会の前身である環境調節実験室委員会の時代から、生物環境調節施設の建設に腐心された宮山平八郎文部省学術局科学官(元本学会名誉会員)は、文部省の先輩で、非常に懇意であったと聞いている。仲光先生は、現在もご健在で、昨年「理研筑波研究所発足のころ」の出版記念を兼ねた食事会にご招待頂いた際に、フランスのファイトロンのことを聞き、本学会に内容と人事を相談したことを懐かしく話しておられた。また、仲光先生のお言葉を借りると、「環境庁発足が1971年6月、局長から、緊急時であるからオーソドックな手順を無視して国立公害研究所の設立準備を進めるよう下命され、生物系は協力体制がえられると判断して、同年9月に宮山先輩に船田先生を紹介して頂いて、以後ご支援を頂いた」とのことであった。このような経緯もあり、本学会の創設期の先生方の関係者が、設立当初の研究所に多く採用された。研究所での直属の上司であり、筆者を採用して頂いた、相賀一郎室長(元大阪府立大学学長)は、九州大学生物環境調節センターでの上司であった松井健教授から、1974年の春にファイトロンの建設運営の責任者として、突然赴任するように厳命されたと話しておられた。

国立公害研究所には、公害や環境科学に関する学際的な研究のための大気、水、土壌、生物(含人間)等に関係する大型研究施設や情報関連施設が、設立準備委員会報告に従って順次建設された。生物環境調節施設としてはファイトロン、ズートロン、ペドロン、アクアトロン、RI・遺伝子実験棟等が、また、関連施設として、実験圃場、霞ヶ浦臨湖実験施設、奥日光環境観測所、微生物系統保存棟等が建設された。ファイトロン<sup>3)</sup>は、その中でも研究所の中心的な施設として、I棟(1975年12月竣工)、II棟(1981年7月竣工)が

建設され、大気汚染の植物影響、植物による大気環境浄化、遺伝子組換え体の環境影響、地球温暖化（二酸化炭素濃度や気温）や砂漠化、紫外線影響等の地球環境問題のプロジェクト研究に使用された。筆者も、1975年12月から、相賀室長の下で、研究施設の建設とプロジェクト研究に関わるようになった。

建設されたファイトロンⅠ棟の特徴は、自然光型や人工光型の低濃度大気汚染ガス濃度制御機能を備えていた点にあった。環境基準値濃度での長期暴露による植物影響を調べるために、SO<sub>2</sub>やNO<sub>2</sub>、オゾン等の濃度の制御とトレーサビリティの確保には、最新の技術が用いられた。また、ファイトロンⅡ棟には、植物群落の環境応答と植物と環境との相互作用を解析するための、世界に類をみない大型風洞タイプの自然環境シミュレータが建設された。この装置は、高出力カラー蛍光灯を上面だけでなく、側面にも配置し、光質、光量及び照射方向を制御できるソーラーシミュレータ、また、高さ方向に10段の風速と温湿度の成層制御とガス濃度（大気汚染ガスやCO<sub>2</sub>濃度）制御が可能な環境制御風洞、及び土壌の温度と水分調節が可能な土壌環境制御ユニットで構成され、光—大気—植物—土壌系の複合環境制御とデータ解析をコンピュータによって行うことを可能にした。そして、後述する画像計測システムと併用した植物環境応答や植物と環境との相互作用の解析は、植物科学や農学分野の先導的研究として、また、最近注目されているPlant Phenomics研究施設の先駆けとなった。

建設された当初のファイトロンには、天皇皇后両陛下をはじめ皇室の方々や胡耀邦中国総書記、サッチャー英前首相等多くの来賓が訪れ、国内外で広く知られることになった。このように、研究所の中心的大型施設として、建設、運営できたことは、相賀室長（後に部長）始めファイトロン関係者の努力に加えて、歴代所長、特に、第3代の近藤次郎所長のご理解と、積極的なご支援のたまものと感謝している。近藤先生には、学術会議の会長になられてからも、直接、個人的に色々ご指導頂き、現在も、研究所の同窓会（四六会）の会長と幹事としてお付き合いを頂いている。また、四六会の不破敬一郎副会長（元所長）は、船田先生の京城師範付属単級小学校の先輩であったと聞いている。研究所のOBには、理学、工学、医学、農学、社会科学等、様々な分野の研究者がおり、大学等に異動した後も、それぞれの分野で活躍されている。四六会は、これらの環境科学に関わる多分野の研究所OBの交流の場になっている。当時一緒に研究したファイトロン関係のOBには、植物の計測と診断（1987）<sup>4)</sup>やAir Pollution and Plant Biotechnology（2002）<sup>5)</sup>と一緒に取り組めた近藤矩朗元東大理学系研究科教授、米山忠克農研機構副理事長（元東大農学生命科学研究科教授）、

島崎研一郎九大理学研究院教授、岡野邦夫元農研機構部長、伊藤治国連大学シニアリサーチフェロー、田中浄鳥取大農学部教授、古川昭夫元奈良女子大教授、藤沼康実鳥取環境大教授、榊剛北海道東海大学教授の他、菅原淳元国立環境研究所部長、戸塚嶺元東京農工大教授などがいる。なお、近藤次郎先生と不破先生は農業工学会フェローで、筆者が現在会長をしている生態工学会の前身の宇宙での環境調節を目的として設立されたCELSS学会の初代及び2代目の会長としてもご指導いただいた。さらに、近藤先生には、学術会議会長としてCIGR（国際農業工学会）や農業工学分野の活動に多大なご援助を頂いたことを付記しておく。

### 画像計測システムの導入と植物環境応答解析

植物と環境との関係を研究するファイトロニクスでは、環境や植物の計測と制御が重要な方法論として位置づけられた。前述した自然環境シミュレータは、環境の制御技術としてその粋を極めたもので、光源がLEDの発明により高波長分解能制御ができるようになったことを除けば、光—大気—植物—土壌系の複合環境調節施設としては、現在でも世界にも類をみない。高精度の環境調節ができるようになると、人工的に作られた環境下で、また、野外環境との比較において、植物の環境応答や植物と環境との相互作用を如何に計測し、解析するかに研究の主眼が移っていった。筆者は、空間的に異なる植物の構造や機能に興味を持ち、ファイトロン建設と平行して、蒸散や光合成、成長といった植物機能の新しい画像計測手法（バイオイメーjingと機能リモートセンシング）の研究を始め、徐々にこの分野の研究に専念していった<sup>4-11)</sup>。

植物機能の画像計測手法に関する研究は、筆者が研究を始めた1970年代の半ば頃から始まり、コンピュータと画像計測技術の進歩とともに発展してきた<sup>4,7,12,13)</sup>。この頃の筆者の研究を、執筆した文献をもとに振り返ってみると、1980年頃には、ファイトロンや圃場で生育している植物の熱赤外（葉温）画像や近紫外～近赤外分光反射画像を、光ファイバ通信（インターネットのように高速ではなく、また、光ファイバも自ら敷設するものであったが）によりオンラインで自動計測し、解析するシステムを構築し、蒸発散や汚染ガス吸収、植物環境応答等の解析に利用していた<sup>6,14)</sup>。これは、現在の植物工場研究で提案されているような、人工光や自然光の栽培施設内で、植物の生育診断を行う画像計測システムの原型であるといえる。また、ファイトロンや圃場での計測と航空機・人工衛星を組み合わせた複合リモートセンシングについてもその必要性を論じている。なお、この頃、高辻正基本学会名誉理事長の依頼で執筆した出版物をみると、現在のクラウド農業やアンビエント農業あるいはスマート農業の考え方である、情報通

信技術 (ICT) を利用してデータセンタと結び、コンピュータの階層的利用により、多くの温室や植物工場群を制御、管理する考え方や、人工知能や画像センサ、ロボット等を利用した先端農業の考え方を提案している<sup>15)</sup>。また、1982年に橋本先生と一緒にベルリンで開かれた IMEKO の国際会議の後に、オランダのグリーンハウスを初めて見学した。その時は余り強い印象はもたなかったが、その後の実利用に徹したオランダのグリーンハウスの自動化と ICT 利用の発展には目を見張るものがある。この時に、ファイトロニクスの原点ともいべき、パリ郊外 Gif-sur-Yvette の国立ファイトロン研究所を訪れた。建設されて年数が経過していたこともあって、やや老朽化した施設で余り感動はなかった。同時に、自分たちの施設と研究の先進性を確信した訪問でもあった。

その後、植物機能の画像計測に関する研究は、顕微鏡画像や分光蛍光画像、3次元画像等を加えた複合画像計測システムへと発展していったが、この分野の研究をリードしてきたのは我々日本の研究者であることが世界的にも知られており、1985年に東京で開かれた“Instrumentation and Physiological Ecology”の日米セミナー<sup>12)</sup>を経て、Duke大学のファイトロンや Columbia 大学 Biosphere 2 センター等でも研究が行われ、さらに、1990年代以降、遺伝子実験施設と融合した新しい分野である遺伝子のスクリーニングや解析を含む Plant Phenomics 研究へと発展していった<sup>5,16)</sup>。

橋本先生と“Water Relations of Plants and Soils”の著書で有名な Duke 大学の P. J. Kramer 名誉教授が企画された 1985 年の日米セミナーには、米国を中心とした植物科学の権威者が数多く来日し、主たる実地見学を幹事役としてお

世話し、帰国後、日本のこの分野の研究を世界に紹介していただいたという点で重要であった。この頃は、プラザ合意にみられるように、日本の産業界が絶好調の時代で、米国内に日本への圧力と同時に、日本を見習おうという風潮があった。東京での日米セミナーと国立公害研究所の見学は、米国の研究者にとっても十分インパクトのあるものであり、筆者のその後の国際交流の原点となった会議であった。筆者の博士論文のご指導を頂いた尾上守夫東大生産技術研究所長との共著のポット植物の土壌—根系の MRI 研究<sup>17)</sup>が、Kramer 先生によってこの分野の最初の研究として位置づけられ、米国へ帰国後さらに発展し、環境科学や Plant Phenomics 研究の一分野として現在も研究が進められていることは研究者冥利に尽きる<sup>18)</sup>。Kramer 先生は、1995年に亡くなられたが、その後も Duke 大学のファイトロンとは、日米科学技術協定に基づく交流を継続し、ファイトロンの責任者であった B. R. Strain 教授や J. F. Reynolds 教授との交流が続いた。両先生は、1990年頃から盛んになったファイトロンの地球環境研究への利用に興味を持ち、屋外での FACE (Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment) との併用研究に熱心であったが、筆者が東京大学に異動した頃 (1999年) から、地球環境分野でのフィールド科学研究の重要性が叫ばれ、また、分子生物学や遺伝子工学の進歩により、世界的にファイトロン研究の再構築が求められるようになった。

なお、前述した 1982 年の IMEKO の会議の前に、研究所を訪れ日知であった“Physiological Plant Ecology”の著書で有名な Innsbruck 大学の W. Larcher 教授 (Institute of Botany) を訪ね、その頃、同僚の島崎研一郎博士と開発を



写真 1 1985 年の日米セミナーの後の米国側参加者の国立公害研究所訪問。前列左から 2 番目が Strain 教授、4 番目が Mooney 教授、5 番目が Kramer 名誉教授、6 番目が橋本先生、7 番目が Boyer 教授、右端が筆者。後方はファイトロン I 棟。



写真2 ファイトロン II 棟に設置された大型風洞タイプの自然環境シミュレータ。



写真3 1987年当時の自然環境シミュレータ制御室に設置された植物機能の画像計測処理システム。左下は、光合成機能診断のためのLIFT(Laser Induced Fluorescence Transients)イメージングシステムによる植物計測の例。

していた Chlorophyll Fluorescence Imaging (CFI) 研究の相談に乗って頂いた。その後、Plant Physiology (1987)<sup>19)</sup>に掲載された論文が、この分野の最初の研究となった。最近、CSIRO の Prometheus Wiki に執筆を頼まれ、歴史的な経過を含めて、この分野の最新の 3D-CFI 研究の簡単な紹介をしている。また、Strain 教授からの紹介で Wisconsin-Madison 大学の J. G. Croxdale 准教授 (Department of Botany) から米国の NSF 予算での共同研究の依頼があり、1988-1992 年にわたって CFI や熱画像計測の共同研究を実施し、幾つかの研究成果を Plant Physiology 等に発表した。後に、彼女の教授昇進の際の評価を、Wisconsin 大学のバイオロンの責任者であった T. D. Sharkey 教授 (現: Michigan 州立大学, Department Chair of Biochemistry & Molecular Biology) から依頼されたが、Sharkey 教授がバイオロンの責任者になった 1990 年代の半ば以降、バイオロンを分子生物学や遺伝子工学に対応した施設に改修した。それまでの T. W. Tibbitts 教授らによる Life Support System の研究は、

弟子の R. Wheeler 博士 (NASA's Kennedy Space Center) によって NASA で引き継がれている。

#### 地球環境研究と Plant Phenomics 研究への発展

開発途上国での人口の爆発的な増加と地球規模での経済発展が、食料やエネルギー、資源等の争奪を引き起こし、気候変動 (地球温暖化) をはじめとした地球環境問題を顕在化させた。このため、環境に配慮した持続的な開発 (Sustainable Development) の必要性が認識され、国連の「環境と開発に関する世界委員会」が 1987 年に公表した Brundtland Report “Our Common Future” における中心的な理念となり、また、気候変動に関する科学的知見の取り纏めのために、国連の「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」が 1988 年に設立された。この理念は、1992 年のリオデジャネイロでの国連地球サミットにおいて「環境と開発に関するリオ宣言」や国際的な枠組みに関する行動計画である “Agenda 21” として纏められた。

このような状況の中で、ファイトロンも、地球環境研究の一旦を担うことになり、農作物や樹木、野生の草本植物などを対象として、高温や高 CO<sub>2</sub> 影響、植物や土壌と大気との CO<sub>2</sub> やメタン、N<sub>2</sub>O 交換等の地球温暖化に関連した研究や紫外線影響等のオゾン層破壊に関連した研究、また、砂漠や半乾燥地、熱帯地域で生育している多様な植物種の機能、環境修復等に関連した研究等が実施されるようになった。さらに、大気汚染研究の分野では、国境を越えた越境大気汚染や酸性雨に関連して、その影響研究や大気浄化に関する研究が有機汚染ガスを含めて行われるようになった。これらの地球環境研究の特徴は、トップダウンの目的指向型で、分野横断型研究として実施され、影響メカニズムの解明だけでなく、全球気候モデル (GCM) 等の数値シミュレーション研究の要素研究として位置づけられ、屋外での FACE 研究やフィールド観測研究と相互補完的に実施されるようになったことである。また、数値シミュレーションと観測研究との同化の重要性が認識され、大気と植物や土壌との相互影響を、より厳密に解析し、モデル化しようという流れの中で、ファイトロンやフィールドでの実験で得られた知見が有効的に利用されている。また、地球規模の観測研究においても同様で、ファイトロン等で得られた画像計測等の知見が、航空機や人工衛星からの新しい機能リモートセンシング等の開発研究に利用されている<sup>11)</sup>。この関連の国際会議が、最近、様々な分野で頻繁に開催され、筆者も招待されることが多いが、“Plant and Microclimate” の著書で有名な Dundee 大学の H. G. Jones 教授 (School of Biosciences) に招待して頂いた、2006 年の英国 Canterbury 大学での The

Society for Experimental Biologyの年会における“Imaging Techniques for Understanding Plant Responses to Stress”のシンポジウムでは、筆者らの3D lidar imaging for detecting and understanding plant responses and canopy structureの研究<sup>20)</sup>を紹介し、その後のこの分野の研究の流れに幾らかの影響を与え、また、筆者らの研究成果がこの学会の絵葉書に採用されたという点で記憶に残っている。シンポジウムの成果は、Journal of Experimental Botany (2007)の特集号<sup>21)</sup>として出版されている。なお、ファイトロンを用いた温暖化研究では、1990年代の半ば頃から、イネの高温不稔の先駆けとなった研究を、堀江武京大農学部教授(現:農研機構構理事長)のアイデアで実施し、お弟子さんの松井勤助手(現:岐阜大准教授)の頑張りもあって、約10報の共著論文として取り纏めた。また、農業気象分野の内嶋善兵衛宮崎公立大学学長や張新時中国科学院植物研究所長には、温暖化プロジェクトでご指導頂き、その成果をClimate Change and Plants in East Asia (1996)<sup>22)</sup>としてSpringerから出版できたこと、また、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の報告書作成にExpert Reviewerとして貢献できたことは、筆者の研究者としての幅を広げた。また、その頃、中国とのプロジェクトで学生やポストクとして招聘した王艳芬教授(中国科学院研究生院副院長)や邱国玉教授(北京大学深圳研究生院環境エネルギー学院副院長)らが母国で活躍されていることは嬉しいことである。

一方、遺伝子組換え等のバイオテクノロジーの実験施設としての対応は、植物を対象とするファイトロンでは比較的容易である。このため、現在では、多くのファイトロンが、組換え体植物の研究に利用されている。国立環境研究所でも、1990年代の初めに、ファイトロンの改造と遺伝子実験棟の建設を行った。また、ファイトロン研究の新しい流れが前述したPlant Phenomics研究である。これは、植物のもつ表現型

(Phenotype)を遺伝子型と環境の両面から研究しようとするもので、2009年に、CanberraのCSIROファイトロンの改築のために“1st International Plant Phenomics Symposium: from Gene to Form and Function”が開催された。その中心は、前述したファイトロンでの画像計測のPlant Phenomics研究への応用であった。筆者らのグループもこの会議に招待され、新しい3次元植物機能計測研究等に関する幾つかの論文を発表した。その成果がFunctional Plant Biology (2009)<sup>16)</sup>の特集号として出版され、その表紙に筆者らの研究成果の画像が掲載された。Plant Phenomics研究は、時代に即応したファイトロン研究の衣替えであり、筆者らが行ってきた植物機能の画像計測研究が、新しい学問分野を切り開いたことに対して、幾らかの自負を覚えるとともに、長年の研究への思いで感無量になる。また、その成果を特集号の表紙に掲載して頂いた主催者のR. Furbankセンター長(HRPPC, High Resolution Plant Phenomics Center)と、Duke大学以来、長年筆者の研究を世界に紹介し、サポートして頂いたC. B. Osmond教授(元オーストラリア国立大学、Director of Research School of Biological Sciences & President of Columbia University’s visionary Biosphere 2 Center)には感謝の念に堪えない。現在、CSIROのHRPPC等との共同研究を実施しており、また、コロンビアの国際熱帯農業センター(CIAT)とは、インターネットを利用して、機能リモートセンシングによる圃場でのイネのPhenomics研究を実施している。今後は、Phenomics, Genomics, Informaticsが融合するかたちでこの分野の研究が発展していくことを期待している。

#### おわりに

生物環境調節の歴史は、その予算規模から各国の国家プロジェクトであった。Pasadenaのファイトロンの建設から、各国が競って生物と環境との関係を研究する新しい生物学研究のための生物環境調節施設を建設した。筆者は、大学紛争という偶然によって、ファイトロニクスが提唱され、生物環境調節を学問として捉えようという黎明期に学生時代を過ごした。また、国家プロジェクトとして建設途中のつくば研究学園都市で、国際的な環境保全への世論の盛り上がりや、公害という日本社会の要請によって新設された環境科学の研究所で、多くの知己を得て、学際的な雰囲気の中で育った。予算的にも恵まれ、環境科学という分野でファイトロニクスを実践し、その変遷を経験した。

先日の学術会議の総会において、吉川弘之元学術会議会長が講演の中で、“研究者は予算によって政府の意志を知る”と述べられていたが、政府の意志は、その時々

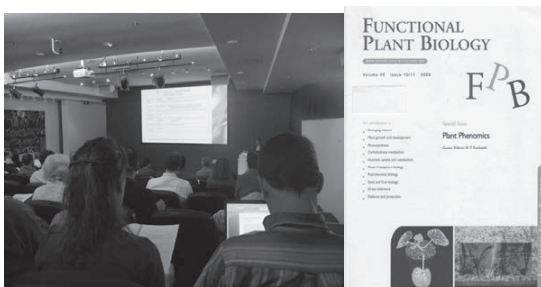


写真4 2009年のCanberraでの“1st International Plant Phenomics Symposium: from Gene to Form and Function”とFunctional Plant Biologyの特集号の表紙。表紙下部の左側の3D画像は、筆者等のクロロフィル蛍光による光合成機能診断の例。

な要請や国際情勢によって変化する。学問の分野も、また、科学技術の進歩によって変遷する。研究者としては、両者をうまくかみ合わせることが必要であるが、大学、省庁附属研究所、民間企業の間では、その役割は自ずと異なる。先日、気候変動予測研究で有名な山形俊男元東大理学系研究科長から、東大新聞に掲載された定年教員のメッセージを頂いた。その中に、“流行に流される研究者を多くみかけますが、自分をしっかりと持ち続けるには、周りの研究者とある程度距離をおくことも大切だと思います。日本社会にあって、国際社会を生きていくには、村八分ではなく村六分（笑）になるくらいがちょうどいいのではないのでしょうか”という一文があった。生物環境調節と環境科学の分野は、学問の進歩とその時々政策的な影響を受けながら、学際的学問分野として発展してきた。筆者は、その黎明期からこれらの分野の研究に携わり、吉川、山形両先生のご意見を実体験してきた。過去を振り返りながら執筆していくうちに、依頼ページ数を大幅に超え、本稿が筆者の経験の紹介的なものになってしまった感はあるが、今後の生物環境工学会の発展のために、Plant Phenomicsなどの新たな生物環境調節研究や植物工場などの実利用研究において、筆者の経験から、温故知新を感じて頂ければ幸甚である。

最後に、50周年の記念誌に、執筆の機会を与えて頂いた恩師の橋本康先生始め、本学会の企画委員会の皆様にお礼を申し上げる。また、橋本先生と元上司の相賀一郎先生には、執筆にあたり、色々なご助言とご校閲を頂いた。筆者の研究生活の中では、本学会の関係者を始め、ここでご紹介した以外にも多くの方々のご援助を頂いたことを記して、感謝の意を表したい。

なお、筆者らの研究論文や著書・解説等については、下記のサイトを参照されたい。

(研究論文)

<http://joho1.en.a.u-tokyo.ac.jp/Omasa/papers20091216.html>

(著書・解説)

<http://joho1.en.a.u-tokyo.ac.jp/Omasa/books20090123.html>

## 引用文献

- 1) 日本生物環境調節学会編. 生物環境調節ハンドブック. 東京大学出版会, 東京. 1-43. 1973
- 2) 国立公害研究所編集委員会. 国立公害研究所十年の歩み. 国立公害研究所, つくば. 1-265. 1984.
- 3) 相賀一郎, 大政謙次, 松本 茂. 環境庁国立公害研究所ファイトロンとそのエネルギーの供給システム. 空気調和・衛生工学. 56: 741-751. 1982.
- 4) 大政謙次, 近藤矩朗, 井上頼直(編著). 植物の計測と診断. 朝倉書店, 東京. 1-239. 1988.
- 5) Omasa K, Saji H, Youssefian S, Kondo N, eds Air Pollution and Plant Biotechnology-Prospects for Phytomonitoring and Phytoremediation. Springer-Verlag, Tokyo. 1-455. 2002.
- 6) 大政謙次, 相賀一郎. 画像処理による植物の生育・生理反応の評価. 遺伝. 35: 25-31. 1981
- 7) Omasa K. Image instrumentation methods of plant analysis. In: Modern methods of plant analysis. New series, Vol. 11, eds. Linskens HF and Jackson JF. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 203-243. 1990
- 8) 大政謙次. 植物の画像計測診断に関する研究(平成3年度科学技術庁長官賞: 研究功績者). 科学技術庁関係表彰者名鑑 第2集. 科学技術広報財団. 329. 1992.
- 9) 大政謙次. 画像診断による植物の汚染ガス吸収機能に関する研究(学会賞受賞講演要旨). 農業気象. 48: 181-186. 1992
- 10) 大政謙次. 植物の形状と機能の非破壊画像計測に関する研究(学会賞受賞研究要旨). 生物環境調節. 39: 321-324. 2001.
- 11) 大政謙次. 植物機能のリモートセンシングと空間情報解析に関する研究. 平成23年度日本農学賞論文要旨, 日本農学会. 1-3. 2011
- 12) Hashimoto Y, Kramer PJ, Nonami H, Strain BR, eds. Measurement Techniques in Plant Sciences. Academic Press, San Diego. 373-386. 1990
- 13) 大政謙次. 知能的太陽光植物工場の新展開 [11] アグリバイオイメージングの新たな展開. 農業および園芸. 85(11): 1100-1109. 口絵. 2010
- 14) Omasa K, Hashimoto Y and Aiga I. A quantitative analysis of the relationships between O<sub>3</sub> sorption and its acute effects on plant leaves using image instrumentation. Environ. Control in Biol. 19: 85-92. 1981
- 15) 大政謙次. 環境制御機器. 人工環境栽培施設用機材としての新素材・新技術の応用. 流通システム研究レポート. No. 23. 179-199. 1983
- 16) Furbank RT, ed. Special Issue: Plant Phenomics. Funct. Plant Biol. 36: 845-1026. 2009
- 17) Omasa K, Onoe M and Yamada H. NMR imaging for measuring root system and soil water content. Environ. Control in Biol. 23: 99-102. 1985
- 18) Simpson AJ, McNally DJ and Simpson MJ. NMR spectroscopy in environmental research: From molecular interactions to global processes. Progress in NMR Spectroscopy. 58: 97-175. 2011
- 19) Omasa K, Shimazaki K, Aiga I, Larcher W and Onoe M. Image analysis of chlorophyll fluorescence transients for diagnosing the photosynthetic system of attached leaves. Plant Physiol. 84: 748-752. 1987
- 20) Omasa K, Hosoi F, Konishi A. 3D lidar imaging for detecting and understanding plant responses and

- canopy structure. *J. Exp. Bot.* 58: 881–898. 2007
- 21) Jones HG, Morison J, eds. Special Issue: Imaging Stress Responses in Plants. *J. Exp. Bot.* 58: 743–898. 2007
- 22) Omasa K, Kai K, Taoda H, Uchijima Z, Yoshino M, eds. *Climate Change and Plants in East Asia*. Springer-Verlag, Tokyo. 1–215. 1996