

出会いの大切さ： 思いつくまま、これまでの研究者人生を振り返って



2013 – 2017 年会長

大政 謙次

(東京大学名誉教授)

北野会長から、九州大学での大会を創立記念大会として、「農業気象学会の過去を総括して、現在を俯瞰し、創立 100 周年への未来可能性を共有する」大会にしたい。特に、次世代の若手会員たちが、100 周年に向けての学術的な糧を共有できる催しを、若手企画委員会を中心にして検討しており、その一環として、歴代会長で、現在でも学会活動が続けられる先生方に、和文誌「生物と気象」に寄稿をお願いできないか、という依頼を受けた。若手の名を借りて、北野会長ご自身が色々企画され、盛り上げようとしているのは重々承知しているので、お引き受けすることにした。しかし、本学会で、長年、私自身の精力を注いだ学会誌改革に関係する経緯は、17 巻 1 号 (2017) の巻頭言に執筆したので、いざ、執筆しようとする話題に困ってしまう。学会の歴史については、他の先輩会長の方が詳しい。最近の研究者を取り巻く問題について少し整理して書こうかとも思ったが、締め切り間際になって慌てて執筆するので、十分な論理を構築する自信がない。それで、若い人に役に立つかどうか、また、100 周年に向けて若手会員の糧になるかどうかかわからないが、これまでの自らの研究者人生を整理する意味も含めて、思いつくまま、雑感として私自身の研究者としての歩みと、その中で感じたことを書くことにした。これまで色々なところに執筆したものの (例えば、大政, 1992a; 2001; 2002; 2004; 2011; 2012; 2014; 2016) を参考にしながら取り纏めたので、重複があること、また、個人的な見解が多く含まれることについてはお許し頂きたい。恵まれた時代に、恵まれた環境で研究者としての人生を歩んできたので、余り参考にならないかも知れないが、本稿が若手会員の何かの役に立てばと思う。

1. 学生の頃

大学入学は 1969 年の東大紛争の年である。地元の愛媛大学に入学したが、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

間を持て余していた。この年の学科主任が、たまたま、船田周教授で、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。当時、助教授だった橋本康先生が、3 年生の時、先輩学生と一緒に九州大学に新しくできたファイトトロンの制御特性の解析実験に行くのに、ご一緒させて頂いた。4 年生の卒論で、ファイト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研究で、コンピュータとシステム制御の知識を習得するのに役だった。また、N. Wiener の Cybernetics 等の生物と機械における制御と通信の考え方にも影響を受けた。元々、going my way の性格で、どこか物事を第三者的にみる傾向があったが、今思えば、この時の経験が、システムとして俯瞰的に物事をとらえ、複雑なプロセスを整理し、問題を解決していく能力を養うのに役だったと思う。

2. 建設途中の筑波研究学園都市へ

修士 2 年の時、船田先生から、茨城県筑波研究学園都市に新しくできた環境庁 (現在環境省) の国立公害研究所 (現在国立環境研究所) (国立公害研究所編集委員会, 1984) 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、国際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、茅誠司元東京大学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。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。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（後に部長、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 年の春に生物環境実験施設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。生物環境実験施設としてはファイトトロン、ズートロン、ペドトロン、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。ファイトトロン（相賀ら、1982）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、SO₂ や NO₂、オゾン等の濃度の制御とトレ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、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 CO₂ 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、センサ等の装着のための 3 次元トラバース装置と合わせて、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。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。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。

建設当初、ファイトトロンには、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ようになった。このように、研究所の中心的な大型施設として、建設、運

営できたことは、相賀室長始めファイト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思う。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、その後も研究所の同窓会（四六会）の会長と幹事としてお付き合い頂いた。国立公害研究所には、理学、工学、医学、農学、社会科学等、様々な分野の研究者がいて、建設当初はお互いに時間的余裕もあったことから、スポーツや飲み会等も含めて、交流が盛んであった。今でも、四六会は、環境科学に関わる多分野の研究所 OB と現役の研究者との交流の場になっている。また、仲光先生がご存命の時には、建設当初に採用された方々の交流が最近まで続いていた。さらに、筑波研究学園都市には、筑波大学や農水省の研究機関も含めて、多くの省庁、民間の研究機関があり、若い頃に、日本の科学技術を先導している先生方や異なる分野の最先端の研究をしている多くの方々と身近に交流できたことは、広い視野から物事を判断していく素養の育成と、私自身の研究者としての考え方や価値基準形成を行っていく上で非常に役だったと思う。同僚で、仲がよかった島崎研一郎元九州大学理学研究院教授に、それは常識だろうと言うと、常識というのはない、いつも反論されたのが記憶に残っている。確かに、ノーベル賞は、それまでの常識を覆した成果に与えられることを考えると、これが研究の王道なのだろうと思う。常軌を逸した、非常識のすすめ、である。これは、目的が明確なトップダウン型のプロジェクト研究には馴染まないのではと思う。

3. 大気汚染の研究

国立公害研究所では、建設されたファイトトロンを利用して、当初、大気汚染の植物影響や植物による大気汚染浄化機能等の研究プロジェクトが、植物生態学や植物生理学の研究者らと共同で実施された。このプロジェクトのメンバーには、我々のグループ以外に、戸塚纈元東京農工大学教授、菅原淳元国立環境研究所部長、近藤矩朗元東京大学理学系研究科教授、米山忠克元農研機構副理事長（元東京大学農学生命科学研究科教授）、島崎研一郎元九州大学理学研究院教授、岡野邦夫元農研機構部長、伊藤治元国連大学シニアリサーチフェロー、田中浄元鳥取大学農学部教授、古川昭夫元奈良女子大学教授、藤沼康実元鳥取環境大学教授、榊剛北海道東海大学教授らがいた。目的のあるプロジェクト研究ではあったが、国立公害研究所には環境科学分野の人材育成のミッションもあり、また、その当時の時代背景から、比較的自由に、潤沢な予算を使って研究を行うことができた。このため、上記のように多くの人材がこのプロジェクトを通して育っていったのだと思う。

筆者もこのプロジェクトの一員として研究を分担したが、従来の生態学や生理学のアプローチの仕方に物足りなさを感じていた。当時、大気汚染による植物影響の研究にたずさわっていた研究者の多くは、被害に直接関係するガス吸収量（あるいはガス吸収速度）との関係ではなく、ガス濃度やドース（ガス濃度 × 時間）と関連づけて、その現象を整理していた。何故、ガス吸収と直接関連づけて現象を整理しないのか？これが私の最初の疑問であった。早速、光合成や蒸散に関連して、葉面や群落でのガス拡散現

象に関する多くの先駆的な研究があり、活発に研究活動が行われていた当学会に入会したのは当然のことであった。学会の雰囲気はアカデミックで、多くの知己と新しい知識を得ることができた。そして、私の研究も、植物の汚染ガス収着（吸収＋吸着）速度の測定法の開発に始まり、ガス拡散抵抗モデルによる解析、サーモグラフィやクロロフィル蛍光等の画像計測システムの開発へと発展していった。この頃のことについては、学会賞受賞記念講演要旨（大政, 1992a; 2001）に詳細を記載しているので、興味があれば見て頂きたい。農業気象の分野では当たり前のガス拡散モデルによる解析が、私が研究を始めた昭和 51 年当時、大気汚染ガスによる植物影響の研究をしていた研究者の間では必ずしも一般的な考えではなかった。ガス曝露チャンバを用いた計測と、ガス拡散モデルにより解析した結果は、主要な汚染ガスである SO_2 , NO_2 , O_3 の場合、ガス濃度や混合状態にかかわらず、通常の大気濃度では汚染ガスの植物体内での代謝・分解能力は十分に大きく、気孔を介してのガス吸収に比べて、葉表面への吸着は無視できる程度であった。そして、ガス拡散抵抗モデルの植物側境界条件である気孔底界面でのガス濃度は可視障害発現に至るまで 0 ppm (v/v) と仮定でき、ガス吸収が気孔拡散抵抗や葉面境界層抵抗等の気相でのガス拡散に律速されることを明らかにした（大政・安保, 1978; 大政ら, 1979）。その後、1979 年に英国の Black & Unsworth が *Nature* (282:68-69) に SO_2 で同様の結果を報告したのを始めとして、植物種や環境を変えて測定した多くの研究者の報告によりこの結果が支持されている。この農業気象の論文は日本語であったので、その後、国立公害研究所の英文報告書として、翻訳版を世界の関係者に配布した。当時、他の研究者の成果も含めて、国立公害研究所での成果が世界のこの分野の研究をリードしたと思っている。そして、2004 年のつくばでの 6th International Symposium on Plant Responses to Air Pollution and Global Changes (APGC) の大会に繋がった（Omasa *et al.*, 2005a; 2005b; 2005c）。私自身は、九州大学での本学会の大会の時に急病になり、Chairman としての役目を果たせなかったが、国内外から 300 人程度の参加者があり、野内勇農環研気象研究グループ長をはじめ多くの関係者のご尽力で無事大会を終えることができたことに今でも感謝している。その後も一部の海外研究者とは交流が続いており、研究室出身の星加康智君が E.Paoletti 博士のいるフィレンツェの研究所で第一線の研究者として仕事をしていることは嬉しいことである。この分野の研究は、アルデヒド類等の有機化学物質のガス吸収モデルへと発展し（例えば、Omasa *et al.*, 2000）、プロジェクトを推進した研究所の同僚と一緒に、東京大学へ異動した後、2002 年に Springer から、これまでの研究所での成果を取り纏めて出版した（Omasa *et al.*, 2002）。また、（独）海洋研究開発機構の滝沢雅之博士や研究室の清水庸助教や星加君らの協力もあって、大気化学のモデルと融合するかたちで、東アジアの植生のガス吸収モデル予測へと発展していった（例えば、Hoshika *et al.*, 2011; 2012）。

4. 植物機能の画像計測に関する研究

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、ファイトトロンや実験圃場の建設と平行して、蒸散や光合成、成長といった植物機能の新しい画像計測システムの研究を始め、徐々にこの分野の研究に専念していった（図 1）。そして、東京大学に異動してから、この関連の研究を継続し、細胞レベルから植生レベルまで、また、基礎研究から先端的農業や地球観測等の応用研究まで幅広く行い、後述の図 4 に示すような統合化研究を推進した（大政, 1992a; 1992b; 2001; 2002; 2004; 2011; 2014; 2016 参照）。

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。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（例えば、大政・相賀, 1981; Omasa *et al.*, 1981）。その後、植物機能の画像計測に関する研究は、顕微鏡画像やクロロフィル蛍光画像、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（大政, 1994a; 2007; Omasa, 1990; 1998; 2000; 2006; Omasa and Aiga, 1987; Omasa and Croxdale, 1991; Omasa and Takayama, 2003; Hosoi and Omasa, 2006; Endo and Omasa, 2007; 大政ら, 1988; 2000; 2002; Omasa *et al.*, 1983; 1985a; 1990; 2003; 2007; 2009; Konishi *et al.*, 2009; Hosoi *et al.*, 2010）。この頃、この分野の研究をリードしていたのは我々日本の研究者であったと自負しているが（Jones, 2004; Govindjee and Nedbal, 2000 参照）、1985 年に橋本先生が企画された“Instrumentation and Physiological Ecology”の日米セミナー（東京）（Hashimoto *et al.*, 1990）を経て、Duke 大学や 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、植物環境応答解析の手法として世界的に徐々に普及し、遺伝子実験施設と融合した新しい分野である変異体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（Omasa *et al.*, 2002; Furbank, 2009; Pieruschka and Lawson, 2015）。特に、1985 年の日米セミナーには、“Water Relations of Plants and Soils”の著書で有名な Duke 大学の P.J. Kramer 名誉教授等、米国を中心とした植物科学の権威者が数多く来日し、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京大学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（Omasa *et al.*, 1985b）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 (Simpson *et al.*, 2011)。Kramer 先生は、1995 年に 92 才で亡くなられたが、その後も Duke 大学のファイトトロンとは、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 CO₂ 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。

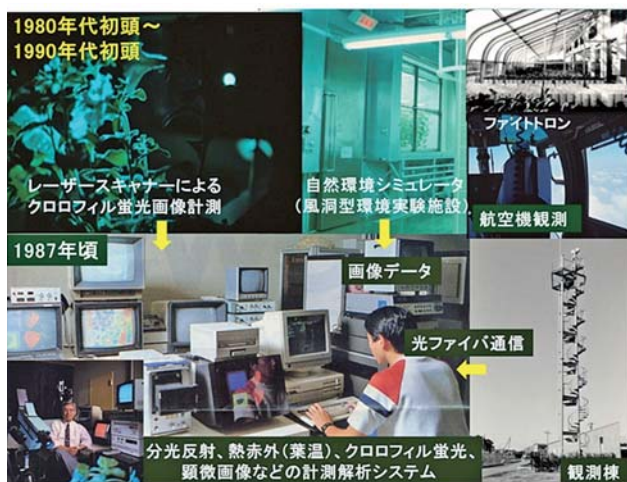


図 1. 1987 年頃の国立公害研究所の画像計測システム

なお、1982 年の西ベルリンでの IMEKO の会議の前後に、研究所を訪れ旧知であった “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 (Omasa *et al.*, 1987) に掲載された論文が、この分野の最初の研究となった (Osmond *et al.*, 1998; Govindjee and Nedbal, 2000)。Biosphere 2 センターの所長であった C.B. Osmond 教授とは、この論文が縁で共同研究を行い、今でも懇意にしている。最近、CSIRO の PrometheusWiki 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た。また、前後するが、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、当時、Wisconsin 大学のバイオトロンの責任者であった T.D. Sharkey 教授から依頼されたが、Sharkey 教授がバイオトロンの責任者になった 1990 年代の半ば以降、バイオト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. Tibbits 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 で引き継がれた。

5. 植物フェノミクス研究への展開

食料や健康、環境、エネルギー問題等の解決のために、有用植物の作出は重要な課題である。従来から遺伝子のスクリーニングや解析に画像情報を利用することが行われてきた。しかし、植物の有用な形質の多くが複数の遺伝子の効果の組み合わせによって決定される。また、形態的、生理的な性質は生育段階や環境で複雑に変化する。このため、最近、表現型を遺伝子型と環境の両面から研究する植物フェノミクスの分野において、生育している状態で、環境を破壊することなく形質に関する情報を得るフェノタイピングの技術開発の重要性が認識されている。特に、育種等の実利用を目的とする場合、量的形質を決定している遺伝子座 (QTL) 解析を行う必要があり、このためには、多量に、かつ、迅速、自動的に、生育環境下で、形態的、生理的な性質に関する情報を得るための技術が不可欠であり、植物機能リモートセンシングへの期待が大きい (Furbank, 2009; Pieruschka and Lawson, 2015)。



図 2. 国際熱帯農業センター(コロンビア)とのイネのフェノタイピングに関する国際共同研究

2009 年に、豪州 Canberra の CSIRO ファイトトロンの改築のために “1st International Plant Phenomics Symposium: from Gene to Form and Function” が開催されたのが、この分野の最初の国際会議であると認識している (Furbank, 2009)。それ以前、特に、2006 年以降、招待された英国 (Jones and Morison, 2007) やドイツでの植物科学のイメージング関係の会合や施設の訪問の際、その流れを感じていたが、ドイツ Jülich 研究センターの IBG-2 での新設施設 (2003 年開設) のプロジェクトのためにフェノタイピング研究への流れができ、ドイツ、欧州、さらに豪州を加えた国際フェノタイピングネットワークが構築されていった。そして、筆者も参加した Canberra でのシンポジウム以降、2011 年に LemnaTec (ドイツ) が主催する別企画の PhenoDays がワーゲニンゲンで開催され、欧州・豪州から世界へと急速に展開した。現在、筆者らも、JST/JICA でコロンビアの国際熱帯農業センター (CIAT) 等と、インターネットやドロー

ンを利用して、機能リモートセンシングによる圃場でのイネのフェノタイピング研究を実施している(図2)(大政, 2014; 2016; 浦野ら, 2014; Naito *et al.*, 2017; 下嶋ら, 2017)が、上述の海外の研究機関や大学との身近な交流を通じて感じたことは、施設建設やプロジェクトのためということもあるが、筆者が紹介した技術も含めて、新技術の導入と国際展開の速さである。また、企業参入も活発なことから、将来の産業化への期待が大きいことが伺える。只、この分野がまだ未成熟なこともあり、導入された設備にやや問題があるものもあることは否定できない。今後、わが国での導入に際しては留意する必要があるだろう。そして、フェノミクス、ゲノミクス、インフォマティクス等のオミクス技術が融合するカタチでこの分野が発展していくことを期待している。

6. 地球環境の研究

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、1990年7月に、国立公害研究所も国立環境研究所に名称変更し、地球環境研究を推進することになった。そして、ファイトトロンも、地球環境研究の一旦を担うことになり、農作物や樹木、野生の草本植物等を対象として、高温や高CO₂影響、植物や土壌と大気とのCO₂やメタン、N₂O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(大政, 2011)。この関連の国際会議が、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、特に、1990年代後半から行ってきた航空機や地上lidarによる研究を取り纏め、3D lidar imaging for detecting and understanding plant responses and canopy structure (Omasa *et al.*, 2007)として発表した。この発表は、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(Jones and Morison, 2007)として出版されている。なお、ファイト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、堀江武京都大学農学部教授(元農研機構理事長)のアイデアで実施し、お弟子さんの松井勤助手(現在岐阜大学教授)の頑張りもあって、約10報の共著論文として取り纏めた(例えば、Matsui *et al.*, 2001)。また、堀江先生その他、内嶋善兵衛宮崎公立大学学長、吉野正敏愛知大学教授(筑波大学名誉教授)、張新時中国科学院植物研究所長らには、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 (Omasa *et al.*, 1996)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、1989年度から、理化学研究所を中心機関とし、我が国の16の国立研究所や大学等が参加し、中国科学院との間で始まった科学技術振興費による「砂漠化機構の解明に関する国際共同研究」(大政, 1994b)では、天安門事件の影響で開始が少し遅れたが、1990年10月に、植物研究所(北京)、蘭州氷河凍土研究所、蘭州砂漠研究所、新疆生物土壤砂漠研究所(烏魯木齊、吐魯番)等を始めて訪れ、現在まで続く中国との交流が始まった。この時、蘭州から烏魯木齊まで列車で移動し、ゴビ砂漠やタクラマカン砂漠をはじめてみた。その時、烏魯木齊の研究所で真木太一博士(九州大学名誉教授)と会い、また、吐魯番での長期観測を実施している様子を拝見し、その熱意に感銘を受けた。真木先生には、その後も学会や学術会議活動等で色々のご指導頂き、今も大変お世話になっている。中国との研究交流は、その後の温暖化プロジェクト(大政ら, 2003)や中国側からの招聘等も含めて継続し、中国各地を数多く訪れた(図3)。また、中国の砂漠植物の研究を日中共同で推進し、多くの論文を発表した(例えば、Tobe *et al.*, 2000)。そして、国立環境研究所在任中だけでなく、東京大学に異動してからも、学生やポストクとして多くの中国の若者を引き受け、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)、李小明教授(山東大学環境科学・工学院)、廬珊教授(東北師範大学地理科学院)等が母国で活躍されていることは嬉しいことである。私自身も、現在、北京大学や東北師範大学の客員教授を務めている。



図 3. 中国との国際共同研究

7. 東京大学での新しい研究室の立上げ

国立環境研究所から東京大学大学院農学生命科学研究科への異動は、何かの縁であろうと思う。学会活動を通じて、高倉直名誉教授や蔵田憲次教授には日頃から色々ご配慮頂き、大変お世話になっていた。また、生物・環境工学専攻の他の先生方の中にも、お世話になっていた先生が何人かおられた。しかし、私自身はこの専攻の卒業生ではない。当時、地球環境のプロジェクトやリモートセンシングの研究をしていたことが、専攻の新しい生物環境情報工学研究科の教授として期待されたのかも知れない。農学生命科学研究科や他の研究科等の中にも、旧知の先生方も数多くおられて、定年になって振り返ってみると、非常に恵まれた環境で、東京大学での仕事をできたと思う。特に、大学院講座として設置された研究室であるにもかかわらず、学部からの一貫教育ができるようにご配慮頂いた当時の専攻の先生方には感謝の念に堪えない。赴任の際に言われたことは、新しい研究室であるので、従来分野との連携を図りつつ、新しい分野を作って欲しい、特に、リモートセンシングへの要望は強かった。私自身も学生とのふれあいを楽しみに、また、多くの学生を育てたいという意欲を持って赴任した。赴任にあたって、研究室の教育研究ビジョンを一つの図に纏め、環境地水学研究室との併任で初代教授を務められた中野政詩先生と専攻の教授の先生方の了解を得た(図4)。この図では、出口を生物生産と環境に置き、遺伝子・細胞レベルから地球環境までを対象として、基礎から応用まで、個々の学生の興味に合わせて、生物と環境に関わる情報工学、特に、画像情報、地理空間情報の知識を身につけるための教育研究の概念図である。研究室の卒業生は、この図のどこをテーマにするか、自身の興味で決め、

それを先生方がサポートする体制を考えた。図は 1999 年 4 月の赴任時に作成したものであるが、今でも使用できると思う。しかし、若い学生がより興味を持つように、時代に合わせて、多少のキーワードの変更を行った。最近のものは、大政(2014)を参照して頂ければと思う。設立当初、高倉先生の研究室から異動した後藤英司助教授(現在千葉大学教授)や、専攻の先生方のご意見を考慮し新たに採用した沖一雄講師(現在東京大学生産技術研究所准教授)や清水庸助手と一緒に、研究室の立ち上げを行った。現在、愛媛大学と千葉大学で活躍している高山弘太郎君や石神靖弘君は一期生、また、大阪府立大学の遠藤良輔君は二期生である。研究室准教授の細井文樹君や海洋研究開発機構の羽島知洋君、農研機構の内藤裕貴君、民間の研究・新規事業分野で活躍している小西充洋君(ヤンマー)、鈴木健吾君(ユグレナ)らも博士課程の卒業生である。なお、延人数にはなるが、私が在任中(1999 年 4 月～2016 年 3 月)に、研究室の博士課程、修士課程、学部にて在学した学生(副専攻、研究生等を除く)は、それぞれ 24 名、40 名、78 名であり、また、論文博士のみの取得者が 2 名であった。後で考えると、反省することも多々あるが、現在、卒業生が特定分野に限定されず、多様で、広範な分野で活躍できていることはよかったと思う。また、時代の要請にも応えることができたのかなとも思う。本稿で、その活躍を具体的に紹介できないのは残念である。毎年、研究室の同窓会で、卒業生の近況を聞くのが楽しみである。図5は、私が在任中に、研究室の教員や卒業生と行った研究成果の例である。左上がクロロフィル蛍光の衛星画像、また、右下が3次元顕微画像であり、時代の進歩を感じる成果でもある。しかし、太陽光クロロフィル蛍光のリモートセンシングで得られる定常蛍光画像は、クロロフィル含有量や葉面積指数の

影響が大きく、単純な相関解析では、光合成反応系の状態を理解するには難しい。最近、この問題を指摘し、新しいリモートセンシング手法の提案を行った (Bajgiran *et al.*, 2017)。なお、研究室での教員や卒業生との研究成果は

研究室のホームページ (<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/joho/web/publication.html>) に掲載しているので参考にしていたければ幸いである。

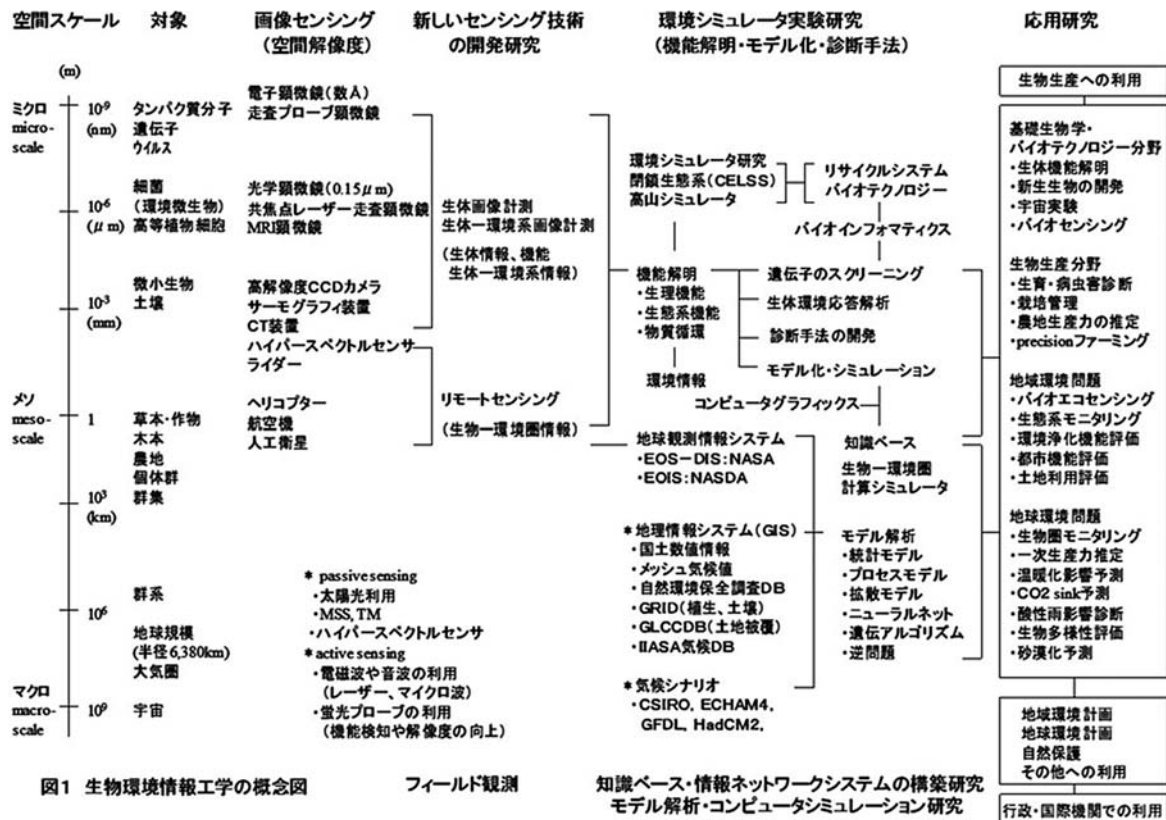
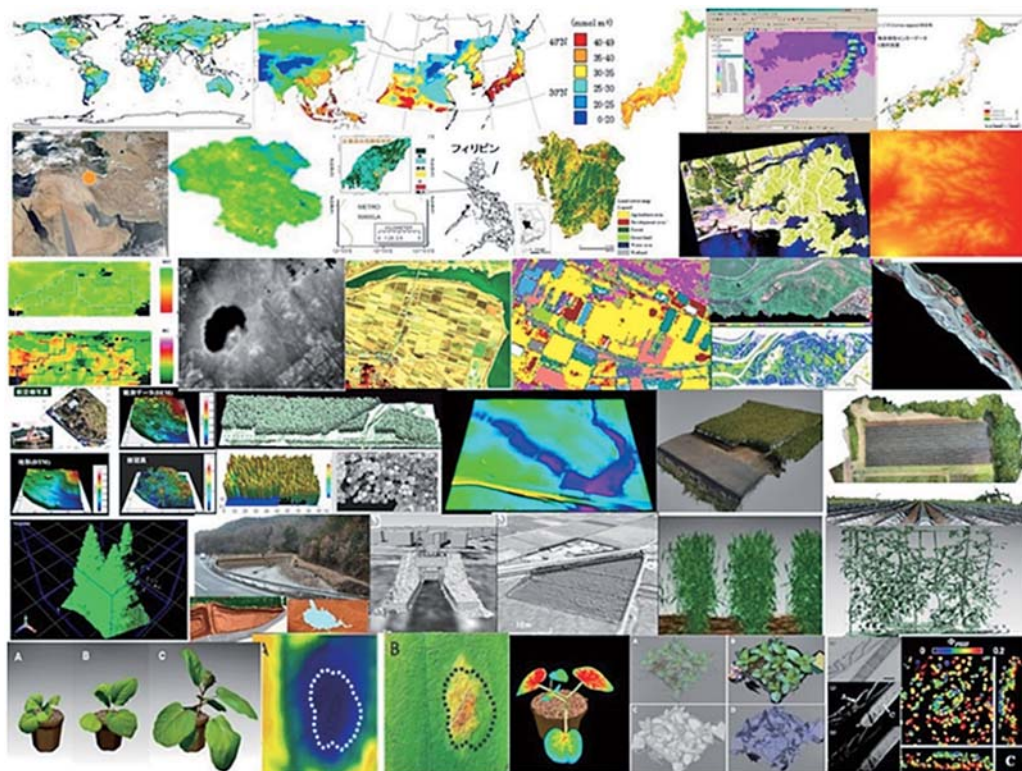


図4. 研究室立上げの際に作成した生物環境情報工学の概念図 (1999年当時)



8. 研究者として思うこと

“好きこそものの上手なれ”，ということわざがある。人が物事を推進していくときの力は興味である。何に興味を持つかは人によって違う。特定のことに興味を持つ人は、それを継続することができれば、専門家として大成する。人を動かすことに興味がある人は、知識や経験とのバランスがとれてくると、マネージャーとして大成するかも知れない。興味の多様性は、その人の幅を広げる。しかし、自分のやり方を身につける前に、余り多くのことに興味を持つと発散してしまい、いい仕事ができないかも知れない。また、多くのことを知りすぎると評論家になってしまい、自らの行動力を低下させるかも知れない。若い人、特に、学生は知識や経験が不十分な分、興味に対する行動力は年配者に勝る。これを上手に指導できれば、優秀な教育者だろうと思う。そのためには、若者の興味を理解し、それを上手に導く、知識と経験、そして能力が必要である。“守破離”という、伝統的な師弟関係のあり方に関する言葉がある。型、技を忠実に身につける段階を疎かにすると大成しない。また、余り特定の流派に固執すると、これもいずれ限界が来る。若者にとって、自身の成長段階において誰と出会い、何を身につけるかは、その人の人生を大きく左右するが、運による部分も多い。私自身は、学生時代、理数系の教科に興味があったが、社会科も好きであった。高校時代を振り返ると、受験とは関係ないことに多くの時間を費やした。これが、今考えると色々な出会いの中で結構役に立ったと思う。

興味に定年はない。林周二東京大学名誉教授の著書「研究者という職業」(林, 2004) には、研究は本質的には自由人の仕事であり、研究職は一生涯の仕事とある。また、若いときに時流的な研究テーマに飛びつく人や外部から研究テーマを命ぜられてやっている人は、研究生活の方向をなくし、研究に興味を失い、早晩に研究を止める傾向があるとのことである。このような人には、一区切り、定年があった方がいいのかもわからない。勿論、林先生は人文社会科学者であり、これに反論する人も多くいると思う。特に、最近では、研究者を取り巻く環境は厳しく、研究成果に社会への貢献が求められる。省庁や企業の研究機関には、それぞれの機関のミッションがあり、その組織の研究者にはそれを遂行することを求められる。大学は、本来教育がミッションであり、研究には自由度があると思うが、運営費交付金の減少によって、競争的資金による運営が求められる。このため、予算を獲得することが目的化し、予算獲得に秀でた研究者が優秀で、評価されるという現実がある。国からの研究費には、科学技術振興調整費のような委託費と科研費のような補助金がある。委託費は、本来、国が行うべき業務を国に代わって受託機関、即ち研究者が実施するための研究費である。これには、当然のことながら、委託内容に対する対価が求められる。補助金は、国家的見地から公益性があると認め、反対給付を求めないで交付される研究費である。当然のことながら、後者の方が研究者にとっては使用の際の自由度があり、将来に向けての研究ができる。研究者のアイデアを伸ばしていくためには、ボトムアップ型の科研費のような補助金の確保と競争的資金によ

らない最小限度の基盤経費の充実が不可欠である。多額の委託費により、その時々の時流にあった特定の委託内容に、任期付きの若い優秀な研究者が動員され、現在のポストク問題が生じている事実を見逃すことはできない。また、運営費交付金の減少により、収入として安定しない競争的資金に組織運営や研究費のかかなりの部分を頼らざるを得ない日本の科学技術の現状を考えると、将来を憂慮せざるを得ない。このことは、学术界を代表する多くの研究者の懸念である。

学会は、研究者が身銭を切って参加している団体である。会員それぞれが何かの目的を持って参加していると思うが、“守破離”においてみられるように、その成長過程のどの段階にあるかによって、学ぶものは異なる。老若男女、また、分野や価値観の異なる多様な構成によってその進化がある。生態学では、多様性を持った生物群の方が、画一的な生物群よりも、環境変化に適応し、生き残る可能性が高いと考えられている。社会もまたしかりであると思う。幸い、本学会は、伝統的に外に対して開かれており、多様な人材が集まる。また、非常に優秀で、学問に対して実直な、模範となるべき多くの諸先輩もおられる。このコミュニティを上手く運営することが、学会発展、ひいては、若い人のために求められると思う。75 周年の記念事業で、皆さん頑張っていることと思う。しかし、やや懸念することは、例えば、International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM) の企画で非常に頑張った年の反省は、いつも、今後は、毎年行うのは止めた方がいいという、支部からの反省会の報告であった。その都度、大きなイベントの必要はないので、毎年続けるようにと言いつつ続けた。以前と比べれば、その効果の理解者も増えたとは思いますが、75 周年のイベントの後、そのようにならないことだけはお願したいと思う。若い研究者が、イベントに過度に動員されるのだけは避けて頂きたい。

最後に、このような執筆の機会を与えて頂いた、北野会長はじめ、編集委員会の方々には改めてお礼を申し上げる。役に立つことを書けたかどうかは別として、私自身の日頃感じていることを、幾らかでも整理できたことはよかったと思う。最近、私自身は、招待講演等では話す機会は数多くあるが、本学会の大会で話す機会が余りなかったので、自分自身の研究者としての歩みと、その時々のお出合いを幾らかでも紹介できたことは嬉しく思う。そして、この学会を通じてのお出合いが、私自身の研究者としての歩みに、多くのことを与えてくれたことに感謝する。

引用文献

- 相賀一郎・大政謙次・松本 茂, 1982: 環境庁国立公害研究所ファイト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.
- Bajgiran PR, Tubuxin B, Omasa K, 2017: Estimating chlorophyll fluorescence parameters using the joint Fraunhofer line depth and laser-induced saturation pulse (FLD-LISP) method in different plant species. *Remote Sensing* **9**, 599, 1-17.
- Endo R, Omasa K. 2007: 3-D cell-level chlorophyll fluorescence imaging of ozone-injured sunflower leaves using a new passive light microscope system. *Journal of Experimental*

- Botany* **58**, 765-772.
- Furbank RT (ed), 2009: Special issue: Plant phenomics. *Functional Plant Biology* **36**, 845-1026.
- Govindjee, Nedbal GL, 2000: Seeing is believing. *Photosynthetica* **38**, 481-482.
- 林 周二, 2004: 研究者という職業. 東京図書, 東京, 261 pp.
- Hashimoto Y, Kramer PJ, Nonami H, Strain BR (eds), 1990: Measurement Techniques in Plant Sciences. Academic Press. 431 pp.
- Hoshika Y, Hajima T, Shimizu Y, Takigawa M, Omasa K, 2011: Estimation of stomatal ozone uptake of deciduous trees in East Asia. *Annals of Forest Science* **68**, 607-616.
- Hoshika Y, Paoletti E, Omasa K, 2012: Parameterization of *Zelkova serrata* stomatal conductance model to estimate stomatal ozone uptake in Japan. *Atmospheric Environment* **55**, 271-278.
- Hosoi H, Nakai Y, Omasa K, 2010: Estimation and error analysis of woody canopy leaf area density profiles using 3-D airborne and ground-based scanning lidar remote-sensing techniques. *IEEE Transactions on GeoScience and Remote Sensing* **48** (5), 2215-2223.
- Hosoi F, Omasa K, 2006: Voxel-based 3-D modeling of individual trees for estimating leaf area density using high-resolution portable scanning lidar. *IEEE Transactions on GeoScience and Remote Sensing* **44** (12), 3610-3618.
- Jones HG, 2004: Application of thermal imaging and infrared sensing in plant physiology and ecophysiology. *Advances in Botanical Research* **41**, 107-163.
- Jones HG, Morison J (eds), 2007: Special issue: Imaging stress responses in plants. *Journal of Experimental Botany* **58**, 743-898.
- 国立公害研究所編集委員会, 1984: 国立公害研究所十年の歩み. 国立公害研究所, 茨城, pp. 256.
- Konishi A, Eguchi A, Hosoi F, Omasa K, 2009: 3D monitoring spatio-temporal effects of herbicide on a whole plant using combined range and chlorophyll a fluorescence imaging. *Functional Plant Biology* **36**, 874-879.
- Matsui T, Omasa K, Horie T, 2001: The difference in sterility due to high temperatures during the flowering period among japonica-rice varieties. *Plant Production Science* **4**, 90-93.
- Naito H, Ogawa S, Valencia MO, Mohri H, Urano Y, Hosoi F, Shimizu Y, Chavez AL, Ishitani M, Selvaraj MG, Omasa K, 2017: Estimating rice yield related traits and quantitative trait loci analysis under different nitrogen treatments using a simple tower-based field phenotyping system with modified single-lens reflex cameras. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **125**, 50-62.
- Omasa K, 1990: Image instrumentation methods of plant analysis. In *Modern methods of plant analysis. New series, Vol. 11* (eds by Linskens HF, Jackson JF). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 203-243.
- 大政謙次, 1992a: 画像診断による植物の汚染ガス吸収機能に関する研究. 農業気象 **48**, 181-186.
- 大政謙次, 1992b: 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, 東京, p.329.
- 大政謙次, 1994a: 植物生体画像計測. 新しい農業気象・環境の科学 (日本農業気象学会編). 養賢堂, 東京, pp.149-173.
- 大政謙次, 1994b: 科学技術振興調整費による「砂漠化機構の解明に関する国際共同研究」. 農業気象 **49**, 305-306.
- Omasa K, 1998: Image instrumentation of chlorophyll a fluorescence, SPIE 3382. pp. 91-99.
- Omasa K, 2000: 3-D color video microscopy of intact plants. In *Image analysis: Methods and applications, 2nd Ed.* (ed. by Häder DP). CRC Press, Boca Raton, pp. 257-273.
- 大政謙次, 2001: 植物の形状と機能の非破壊画像計測に関する研究. 生物環境調節 **39**, 321-324.
- 大政謙次, 2002: プレシジョン・アグリカルチャーのための画像センシング. 農業情報研究 **11**, 213-230.
- 大政謙次, 2004: 階層的リモートセンシングと地理情報システムによる生態工学的研究. 生態工学 **16**, 231-235.
- Omasa K, 2006: Precision agriculture. Image sensing and phytobiological information. In *CIGR handbook of agricultural engineering. Vol. VI. Information technology* (ed. by Munack A). ASABE, St Joseph, pp. 217-231.
- 大政謙次 (編), 2007: 農業・環境分野における先端の画像情報利用. 農業電化協会, 東京, 154 pp.
- 大政謙次, 2011: 植物機能のリモートセンシングと空間情報解析に関する研究, 平成23年度日本農学賞論文要旨. pp.1-3.
- 大政謙次, 2012: 環境科学と「生物環境調節」, 植物環境工学 **24**, 142-149.
- 大政謙次, 2014: 植物機能リモートセンシングと植物診断, フェノミクス研究への応用. 生態工学 **26**, 51-61.
- 大政謙次, 2016: 植物機能リモートセンシングとフェノミクス研究への展開. 学術の動向 2月号, 72-76.
- 大政謙次・相賀一郎, 1981: 画像処理による植物の生育・生理反応の評価. 遺伝 **35**, 25-31.
- Omasa K, Aiga I, 1987: Environmental measurement: Image instrumentation for evaluating pollution effects on plants. In *Systems and Control Encyclopedia* (ed. by Singh MG). Pergamon Press, Elmsford, pp.1516-1522.
- 大政謙次・安保文彰, 1978: 植物による大気汚染物質の収着に関する研究 (I) SO₂ の局所収着と可視障害発現との関係. 農業気象 **34**, 51-58.
- Omasa K, Croxdale JG, 1991: Image analysis of stomatal movements and gas exchange. In *Image analysis in biology* (ed. by Häder D-P). CRC Press, Boca Raton, pp.171-193.
- Omasa K, Aiga I, Kondo J, 1990: Remote-control light microscope system. In *Measurement techniques in plant science* (eds by Hashimoto Y, Kramer PJ, Nonami H, Strain BR). Academic Press Inc., San Diego, pp.343-359.
- 大政謙次・秋山幸秀・石神靖弘・吉見健司, 2000: ヘリコプター搭載の高空間分解能 Scanning Lidar システムによる樹冠高の3次元リモートセンシング. 日本リモートセンシング学会誌 **20**, 394-406.
- 大政謙次・安保文彰・名取俊樹・戸塚 績, 1979: 植物によ

- る大気汚染物質の収着に関する研究 (II) NO₂, O₃あるいは NO₂ + O₃ 暴露下における収着について. 農業気象 **35**, 77-83.
- 大政謙次・原沢英夫・遺伝学普及会 (編), 2003: 地球温暖化—世界の動向から対策技術まで—. 生物の科学 遺伝別冊 No.17, 裳華房, 東京, 173 pp.
- Omasa K, Hashimoto Y, Aiga I, 1981: A quantitative analysis of the relationships between O₃ sorption and its acute effects on plant leaves using image instrumentation. *Environmental Control in Biology* **19**, 85-92.
- Omasa K, Hashimoto Y, Aiga I, 1983: Observation of stomatal movements of intact plants using an image instrumentation system with a light microscope. *Plant and Cell Physiology* **24**, 281-288.
- Omasa K, Hashimoto Y, Kramer PJ, Strain BR, Aiga I, Kondo J, 1985a: Direct observation of reversible and irreversible stomatal responses of attached sunflower leaves to SO₂. *Plant Physiology* **79**, 153-158.
- Omasa K, Hosoi F, Konishi A, 2007: 3D lidar imaging for detecting and understanding plant responses and canopy structure. *Journal of Experimental Botany* **58**, 881-898.
- Omasa K, Kai K, Taoda H, Uchijima Z, Yoshino M (eds), 1996: *Climate change and plants in East Asia*. Springer-Verlag, Tokyo, 215 pp.
- 大政謙次・近藤矩朗・井上頼直 (編著), 1988: 植物の計測と診断. 朝倉書店, 東京, 239 pp.
- Omasa K, Konishi A, Tamura H, Hosoi F, 2009: 3D confocal laser scanning microscopy for the analysis of chlorophyll fluorescence parameters of chloroplasts in intact leaf tissues. *Plant and Cell Physiology* **50**, 90-105.
- Omasa K, Nouchi I, de Kok LJ (eds), 2005a: *Plant responses to air pollution and global change*. Springer, Tokyo, 300 pp.
- Omasa K, Nouchi I, Goto E, Oki K, Shimizu Y (eds), 2005b: *Proceeding of 6th International Symposium on Plant Responses to Air Pollution and Global Changes (APGC2004)*. *Journal of Agricultural Meteorology* **60** (6), 1099-1229.
- Omasa K, Nouchi I, Goto E, Oki K, Shimizu Y, de Kok LJ, Grill D, Stulen I (eds), 2005c: *Plant responses to air pollution and global change*. *Phyton* **45** (4) Special Edition, 1-608.
- Omasa K, Onoe M, Yamada H, 1985b: NMR imaging for measuring root system and soil water content. *Environmental Control in Biology* **23**, 99-102.
- Omasa K, Qiu GY, Watanuki K, Yoshimi K, Akiyama Y, 2003: Accurate estimation of forest carbon stocks by 3-D remote sensing of individual trees. *Environmental Science and Technology* **37**, 1198-1201.
- Omasa K, Saji H, Youssefian S, Kondo N (eds), 2002: *Air pollution and plant biotechnology -Prospects for phytomonitoring and phytoremediation*. Springer-Verlag, Tokyo, 455 pp.
- Omasa K, Shimazaki K, Aiga I, Larcher W, Onoe M, 1987: Image analysis of chlorophyll fluorescence transients for diagnosing the photosynthetic system of attached leaves. *Plant Physiology* **84**, 748-752.
- Omasa K, Takayama K, 2003: Simultaneous measurement of stomatal conductance, non-photochemical quenching, and photochemical yield of photosystem II in intact leaves by thermal and chlorophyll fluorescence imaging. *Plant and Cell Physiology* **44** (12), 1290-1300.
- Omasa K, Tobe K, Hosomi M, Kobayashi M, 2000: Absorption of ozone and seven organic pollutants by *Populus nigra* and *Camellia sasanqua*. *Environmental Science and Technology* **34**, 2498-2500.
- 大政謙次・浦野 豊・小熊宏之・藤沼康実, 2002: 可搬型 Scanning Lidar データを用いたカラマツ林の樹林マッピングと胸高直径及びバイオマスの推定. 日本リモートセンシング学会誌 **22**, 550-557.
- Osmond CB, Daley PF, Badger MR, Lüttge U, 1998: Chlorophyll fluorescence quenching during photosynthetic induction in leaves of *Abutilon striatum* dicks. Infected with *Abutilon* mosaic virus, observed with a field-portable imaging system. *Botanica Acta* **111** (5), 390-397.
- Pieruschka R, Lawson T (eds), 2015: *Special issue: Phenotyping in plants*. *Journal of Experimental Botany* **66**, 5385-5637.
- 下嶋浩平・小川諭志・内藤裕貴・Valenci, M.O.・清水 庸・細井文樹・宇賀優作・石谷 学・Selvaraj MG・大政謙次, 2017: イネの形質と UAV リモートセンシングデータから計算されたカラー指標との比較. 生態工学 **29** (1), 11-16.
- Simpson AJ, McNally DJ, Simpson MJ, 2011: NMR spectroscopy in environmental research: From molecular interactions to global processes. *Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy* **58**, 97-175.
- Tobe K, Li XM, Omasa K, 2000: Seed germination and radicle growth of a halophyte, *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae). *Annals of Botany (London)* **85**, 391-396.
- 浦野 豊・石谷 学・大政 謙次, 2014: インターネットを利用した農場モニタリングシステム. ビオフィリア (Biophilia) 電子版 10, Extra 57-63.