

強固な研究基盤はサトウキビ産業を支える ～豪州視察を通じて得た確信と覚悟～

琉球大学農学部 たからがわ 寶川 拓生、上野 正実、川満 芳信

【要約】

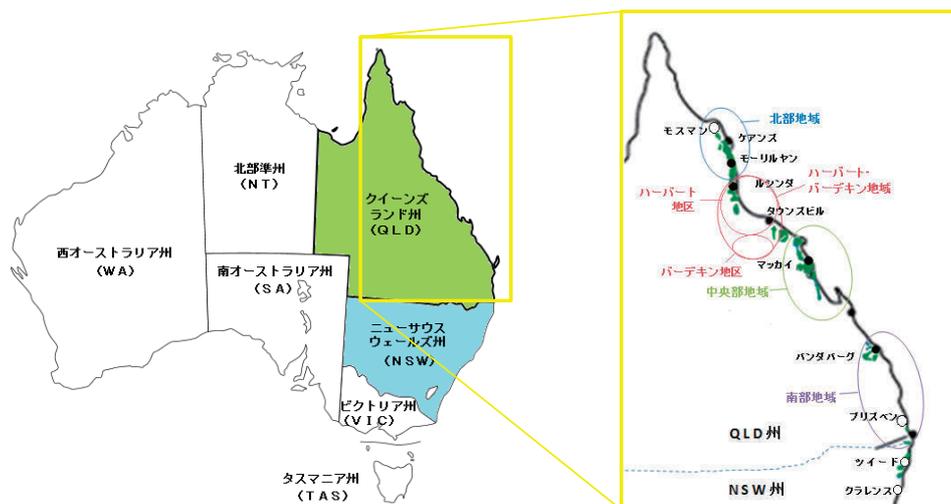
豪州のサトウキビ関連研究施設の訪問を通し、最新の研究について学ぶとともに、生産現場へのフィードバック機能の構築に重点を置いていることが分かった。国策として掲げられている多文化主義もあり、これらの研究施設では外国人も多く在籍し、潤沢な研究資金の下、自由な雰囲気で行われていた。

はじめに

2019年2月23日～3月3日にかけて豪州東北部タウンズビル、バーデキン、ブリスベンの各研究施設を訪問し、サトウキビ研究の最前線に触れた。規模や気象など多くの栽培環境がわが国とは異なるという渡航前の豪州サトウキビ生産の印象は変わらなかったが、担い手不足などを要因とした低迷傾向など日本の状況と類似した点も多いと感じた。一方、

特に異質に感じられたのは、農業研究に対する国や州政府、生産者（組合）、2次産業（サトウキビの場合は製糖工場）の積極的な投資である。すなわち、生産者や政府の出資による強固な研究基盤が、自由な発想を持ち、かつ責任感のある研究者を育み、必ず生産現場および経済に還元される構図を確認できた。これは、日本の科学研究でもかつては重要視されていたが、今日ではかなり変質しているものである。本報では、各研究施設の最新の研究事例を中心

図1 豪州の地理



資料：独立行政法人農畜産業振興機構「砂糖類でん粉情報」2016年11月号「豪州砂糖産業の動向－FTA/EPA締結・交渉進展と砂糖産業法の改正－」から抜粋
(原資料：クイーンズランド州砂糖公社の資料を基に農畜産業振興機構作成)

にサトウキビ研究者としてわれわれの感じたことについて報告したい。

1. 豪州のサトウキビ生産

(1) 国の基本情報

オーストラリア（正式名：Commonwealth of Australia、日本語では豪州）は、大陸本土、タスマニア島および多数の小島から成り、オセアニアに属するイギリス連邦加盟国である。国名の由来はラテン語で「南の地」を意味する「Terra Australis」で、これはヨーロッパにおける伝説上の大陸のことを指している。

国土は世界第6位の770万平方キロメートルと広大で、人口約2400万人のうち80%以上がヨーロッパ系の白人であり、その他にアジア人が約12%、アボリジニなど少数民族が約2%となっている。移民は人口全体の約2割を占め、出身国は英国、ニュージーランド、イタリアだけでなく、1975年の人種差別禁止法の制定以降マルチ・カルチュラリズム（多文化主義）を国策として掲げており、中国、インド、ベトナムからの移民も多くなっている。制度的差別（形式的差別）は解消されているものの、有色人種に対していまなお少なからぬ白人主義（豪州における白人最優先主義）的な人種差別意識が残っているようだ。このことは1996年ごろよりハンソン議員が感情論的な白人至上主義を掲げて一定の支持層を得たことから読み取れる。ちなみに、19世紀後半には、日本からも真珠貝採取やサトウキビ農園における技術系労働者が流入し、1898年のクイーンズランド州で就労していた日本人は3274人に上ったとされる（写真1）。しかし外国人労働者への排斥運動のあおりを受けて、日本からの移住希望者にも「ヨーロッパ言語による書き取りテスト」を課して実質的に流入を阻むようになり、日本人移民は減少したとのことである¹⁾。



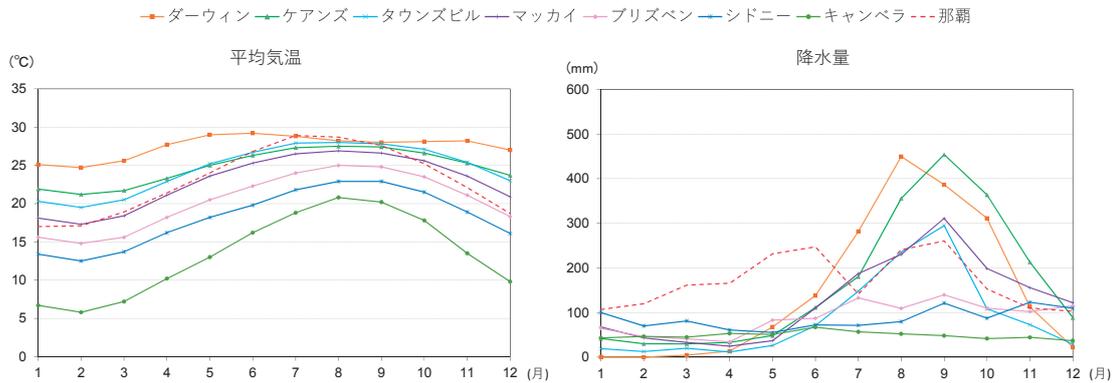
写真1 サトウキビ農園への日本人移入者（1896年）

出典：John Oxley Library, State Library of Queensland

(2) 環境条件

豪州の大陸本土の2割は砂漠で、非居住地域は4割に上るが、多様な気象環境が変化に富んだ地形、土壌、独特な植生、動物、昆虫を育てている。そのため、生物多様性の保護や環境汚染の軽減など農業生産と関連した研究も多い。緯度の低いダーウィンは熱帯、高緯度のキャンベラは温帯気候となっている（図2）。かつては、ダーウィンなど北部や西部でもサトウキビの栽培が見られたが、現在は東部のみである。ケアンズは雨季と乾季が明瞭であり低緯度で年中温暖なため、開花に適すとしてサトウキビ遺伝資源保存地となっている。

図2 各地点の気象データ



資料：気象庁：「世界の天候データツール」

注：豪州は南半球のため、日本と季節が逆になる。比較のため、那覇は1月を6月に反転している。

2010年12～2011年1月、2018年10月にクイーンズランド州では甚大な洪水被害を受けた。前者ではブリスベン市内、後者ではタウンズビル市内で家屋の浸水被害が見られたとのことである（写真2）。また、われわれの滞在中もニュース番組で海水汚染、サンゴ礁への被害などが連日報道されていた。豪州農業資源経済科学局(ABARES)によると、2010年度（7月～翌6月）の農産物生産の損失額は5～6億豪ドル（420～504億円：1豪ドル＝

84円（当時）と推定された（2018年度の損失額は現在集計中）。このような極端な気象条件に直面することも多く、豪州の農畜産業を「今後10年間で1000億豪ドル（7兆7000億円：1豪ドル＝77円（2019年7月末日TTS相場、以下同じ））規模の産業へ」という目標の適切性について疑問の声もある中、研究開発への投資を伴う自由貿易協定が目標達成の支えとなっていると考えられている²⁾。



写真2 タウンズビルでの洪水時（左）、浸水被害を受けた家屋の様子（中央）、ブリスベンの洪水被害のモニュメント（右）

資料：AFP通信（左）、著者ら現地撮影（中央、右）

（3）栽培状況

サトウキビ作の分布域は東海岸に南北に長く広がっているが（全長2100キロメートル）、収穫期はいずれの地域もおおむね6～12月、植え付け期は地域によって異なり、北部地域およびハーバート・バーデキン地域では豪雨による洪水が発生しにくい

3月ごろ、中央部地域および南部地域では霜が降りにくい8～9月に行われることが多い³⁾（図3）。作型は全面積の8割程度が株出し栽培となっている。驚くべきことに、バーデキンではほぼ全ての圃場ほじょうで焼き畑しょうとうぶ（サトウキビの梢頭部や葉を燃やした後

図3 豪州サトウキビ作の栽培暦

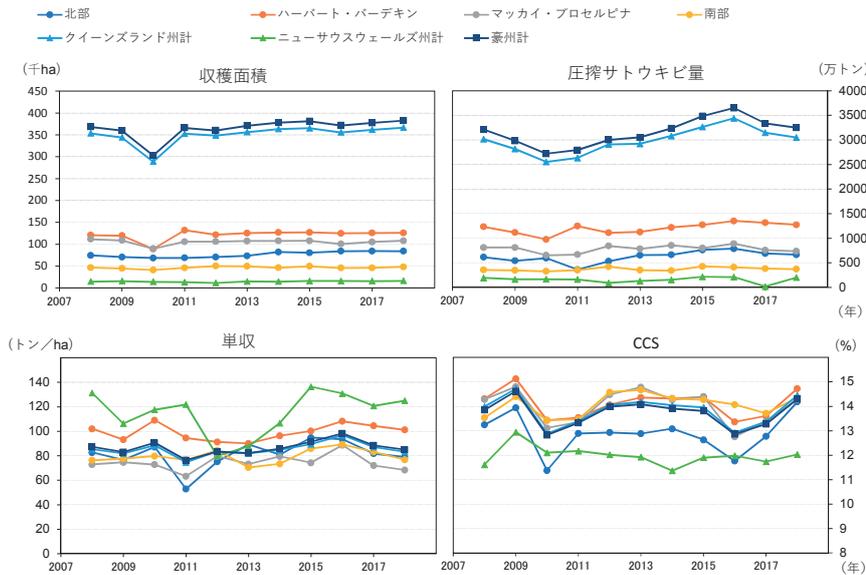
地域	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
北部 ハーバート・ バーデキン			植え付け	栽培期間								
中央部 南部								植え付け	栽培期間	栽培期間	栽培期間	栽培期間

資料：独立行政法人農畜産業振興機構「砂糖類でん粉情報」2016年11月号「豪州砂糖産業の動向—FTA/EPA締結・交渉進展と砂糖産業法の改正—」から抜粋
 (原資料：現地での聞き取りを基に農畜産業振興機構作成)

収穫面積および生産量とも横ばい傾向で、生産のほとんどはクィーンズランド州（北部地区、ハーバート・バーデキン地区、マッカイ・プロセルピナ地区、南部地区）で行われ、一部ニューサウスウェールズ州で見られる（図4）。2010年から単収が増加傾向にあり生産量は微増したが、2017年に再び減少に転じている。ここ10年の単収や糖度の改良は一定

の研究成果によるものであるが、最近数年は気象災害も重なり停滞気味の印象を受ける。そういった背景もあり、今回お世話になったDr. Phillip Jackson（以下「Phillip」という）は「サトウキビが産業史の一部になってしまう」と危惧したのだと思われる⁴⁾。規模を別にすれば、担い手不足などの問題は日本の置かれている状況と類似する点も多い。

図4 豪州サトウキビ作の地域別生産実績



資料：Australian Sugar Mill Council (ASMC、豪州砂糖製造業者協議会) ホームページ
 注：CCSとは可製糖率のこと、サトウキビのショ糖含有率、繊維含有率および搾汁液の純度から算出される回収可能な糖分の割合。

上述のような大規模な洪水被害は非常にまれであるが、サトウキビ生産地は干ばつの常襲地帯であり、毎年2億6000万豪ドル（200億2000万円）もの損失があると言われている。そのため、耐乾性育種が盛んに行われており、豪州全体の5割程度の面積で灌漑装置が導入されているそう³⁾。ちなみに、灌漑は圃場の傾斜を利用し畝間に溝を掘り湛水

させるFurrow Irrigation（畝間湛水灌漑）が主に採用されている。また、2012年にクィーンズランド州で発見されたサトウキビの葉が黄変する病気（Yellow Canopy Syndrome）は防除技術の確立はおろか原因究明も未完であり、収量・CCSへの影響が深刻化しているとのことである。

2. 豪州連邦科学産業研究機構

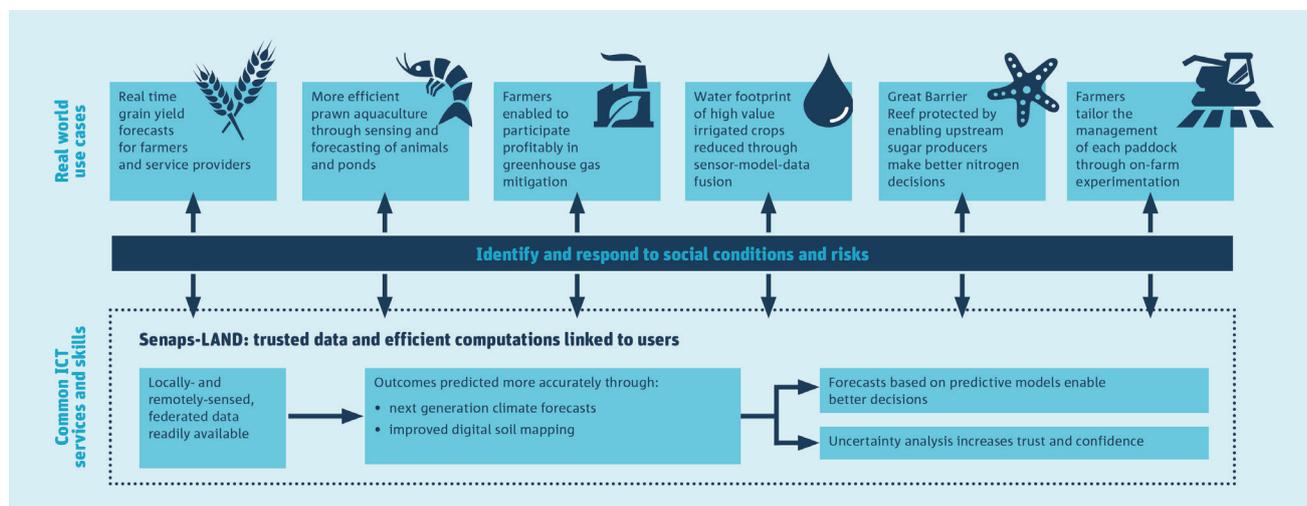
(1) 豪州連邦科学産業研究機構の概要

豪州連邦科学産業研究機構（Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation；CSIRO）は、1916年に設立された豪州教育科学訓練省所管の研究開発機関である。本部はキャンベラであるが、多くの支所を持つ。何を隠そう、サトウキビからC₄光合成^(注)を発見したDr. Marshall D. Hatchが研究生生活の多くを過ごしたのがCSIROであり（なお、C₄光合成発見当時は民間の製糖工場の研究員）、世界のC₄光合成研究やサトウキビ研究のメッカと言っても過言ではない。研究分野は、農業だけでなく、環境、情報通信、保健、材料、製造、鉱物、エネルギーなど多岐にわたる。国際的な研究も多いが、最終的には自国への投資（ペイバック）になるとの考えが根底にあるとのことだ。現地では、Dr. Ian Watson（後述のATSIP農業部門のグループリーダー）が機構の概略を説明してくれた。現在、主に上記八つの分野で研究が行われているが、将来を見越して新たに六つの分野（Environomics、Synthetic Biology、Deep Earth Imaging、Digiscape、Probing Biosystems、Active Integrated Matter）を提案し、プラットフォーム

ムを構築して研究が進められているようである（CSIRO ホームページ「The big six: CSIRO's plans for our future」参照⁵⁾）。中でもスマート農業関係で、Digiscapeといった専門用語が生み出されていたのが興味深かった。これは、現世代の農水産業生産およびそれを取り巻く自然環境や社会状況を刻一刻とモニターし、気象や収量の予測モデル、生育情報のGIS（地理情報システム）マッピングを複合したソフトウェア・プラットフォームを構築して、次世代（あるいは近未来）の生産に資する情報を提供するという概念である（図5）。内容として見れば目新しいものでもないが、新しい分野として切り拓いていく、世界に発信していくという気概はとて参考になる。

(注) イネなどのC₃植物は葉肉細胞にあるカルビンベンソン回路（C₃回路）という代謝系で二酸化炭素を固定する（C₃光合成）。一方サトウキビやトウモロコシなどのC₄植物は、吸収した二酸化炭素を葉肉細胞でいったん濃縮し（C₄回路）、維管束鞘細胞で脱炭酸した二酸化炭素をC₃回路にて固定する（C₄光合成）。なお、1950年代から60年代にかけてハワイのKortschakら、およびロシアのKarpilovの各グループがそれぞれC₄光合成回路を見出し、上述のHatchおよびRoger Slackによる追認、代謝系の綿密な調査によりC₄光合成が学術的に確立された経緯がある（詳しくは、Hatch〔1999〕C₄ photosynthesis: a historical overview In:C₄ plant biology（編集 Sage and Monson）、日本語ではC₄植物同好会ホームページ〔<http://cse.naro.affrc.go.jp/yyoshi/index.html>〕を参照）。

図5 Digiscapeの概念



資料：CSIRO ホームページから抜粋（<https://research.csiro.au/digiscape/>）

(2) 熱帯科学革新拠点

タウンズビルのジェームス・クック大学構内にCSIROの熱帯科学革新拠点（Australian Tropical Sciences and Innovation Precinct : ATSIP）がある（写真3左）。ここでは、グレートバリアリーフに関連した研究や、社会学的な研究（社会と環境の関係など）が盛んに行われているようだ。サトウキビ生産に関しては、後述するSRAとの共同で行われ、主にATSIPで栽培・作物・育種などの研究、ブリスベンの支所でゲノム育種など分子生物学分野の研究が行われている（CSIROはサトウキビゲノム解読の国際コンソーシアムの一員）。

ATSIPでは、Phillipに加え、Dr.Chris Stokes（以下「Chris」という）がサトウキビ関係の研究を紹介し、Dr.Geoff Inman-Bamber（以下「Geoff」という）を招待して議論が進められた（写真3中央）。Phillipは育種分野研究の第一人者で、国際甘蔗糖技術者会議（ISSCT）などで常々「Using physiology should help breeding practical impact（生理学的理解が育種の実用性を向上させる）」旨の発言をしている。近年はChrisらと耐乾性育種の一環として植物生理学的な研究を活発に行っている。Chrisらは中国のサトウキビ研究者とも協力し、蒸散効率（Transpiration efficiency ;

TE）と収量との関係をガス交換特性などから明らかにする研究を行い、加えて、サンゴ礁保全の観点からN（窒素）汚染、窒素利用効率（Nitrogen Use Efficiency ; NUE）、N循環モデルに関する研究も行っている。TE研究では、葉内CO₂濃度（Ci）なども測定し、十分に灌水した条件で測定したTEが品種の選抜に有用であるなど非常に興味深い結論を得ている。実験は、野外に設置されたファイトトロン^(注)で二酸化炭素などを環境制御したポット栽培を行っていた（写真3右）。Geoffはサトウキビの成長モデル研究の先駆者で、サトウキビの水利用や耐乾性に関する論文を多く執筆している。現在、世界で使用されているいくつかの成長モデルはそれぞれ長所短所がある。CSIROの研究チームが開発した成長モデルAPSIMは比較的シンプルなモデルとして定評がある。広範な展開に向けて、非専門ユーザーを意識した一層のシンプル化が目指され、いくつか関連研究が進んでいる（例：6 easy stepsでは六つの簡単な質問に回答あるいはデータ入力するだけで成長モデルを活用できる仕組みとなっている）。

(注) ファイトトロンは植物栽培用の人工気象室で、室内の二酸化炭素濃度など気象条件を任意に制御し、各要因と植物生育の関係などを調査するのに使用される。



写真3 ATSIP建物（2010年に建設され内部はとてもきれい、左）、議論の様子（中央）、ファイトトロン（右）

3. 豪州砂糖研究センター

豪州砂糖研究センター（Sugar Research Australia；SRA）は、サトウキビ生産者、製糖企業、連邦政府およびクィーンズランド州政府の拠出基金によって、サトウキビおよび砂糖の生産性の向上のための技術研究を行う非営利組織である³⁾。前身は豪州サトウキビ試験場事務局（Bureau of Sugarcane Experimental Stations；BSES）で、民営化した公設試験場といった位置付けであろう。ブリスベンに本部があり、八つの支部が存在する。訪問時の印象やホームページを見る限り、少なくとも職員の約半分が外国人であり多様な人材の受け皿となっている。上述の通り、CSIROでも後述の大学でも、サトウキビ研究はSRAと共同で行うのが常なようだ。3000万豪ドル（23億1000万円）の資金のうち約5割が品種育成・普及に充てられている。その他に

も病害防除や土壌保全・施肥管理、情報通信技術（ICT）、製糖効率などに関する研究も行われている。SRAのホームページには、前身のBSESの報告書の論文、刊行物などを網羅したライブラリーが設置され、無料で公開されている。

サトウキビ作の現場視察として、一大生産地であるバーデキンにある支部を訪問した（写真4）。現地では、Dr.Jaya BasnayakeらがSRAの施設・研究について説明してくれた。ここは主に品種育成を行っており、近年、中国や日本とも遺伝資源を交換するなど遺伝資源の拡充も図っている。耐乾性育種を目的に、水利用効率の良い品種を選抜するために、UAV（ドローン）を用いて群落温度（Canopy Temperature）を測定する方法が開発されていた⁶⁾。群落温度が低ければよく蒸散しており、高ければ蒸散していないことを示すので、TEの品種間差を効率的に判断できる。



写真4 SRAバーデキン支部のメンバー（左）、外観（中央）、議論の様子（右）

また、Burdekin Productivity Services^(注)からDr. Marian Davisが当地域の生産状況について説明した。中でも、切り出した苗を大型のプールに入れ、冷水で40時間、温水（50度）で3時間浸漬処理し、生産者がこれを購入する仕組みは、日本でも民間レベルで実行可能な種苗管理技術として非常に興味深い情報であった（写真5）。また、豪州では六つのBiosecurity Zone（生物防除区域）が設

けられ、各ゾーン間の種苗や原料茎、農機などの行き来が制限されるなど厳密な植物防疫上の安全対策が施行されている（SRA発行の「Biosecurity Manual for Sugarcane Producers」参照⁷⁾）。

(注) サトウキビ生産者および製糖工場からの課徴金を資金源として、健全種苗の支給や病害防除の支援活動などの普及活動を行う地域団体。



写真5 苗の切り出し（左）と種苗の浸漬処理（右）の様子

資料：Dr. Marian Davisの報告スライドから抜粋

4. クイーンズランド農業食糧革新同盟

クイーンズランド大学（The University of Queensland；UQ）St Luciaキャンパス構内の Queensland Bioscience Precinct ビル内にあるクイーンズランド農業食糧革新同盟（Queensland

Alliance for Agriculture and Food Innovation；QAAFI）を訪問した（写真6）。QAAFIは、州政府からの支援を受けて2010年に設立され、現在4センター（作物、園芸、動物、食品栄養部門）から成り、州内の15地点で研究を行っている。当ビルにはCSIROなど他の研究施設も併設されていた。



写真6 ビルのフロント（左）、QAAFIのフロント（中央）、議論の様子（右）

作物部門のDirectorがProf. Graeme Hammer（以下「Hammerという」）で、豪州の光合成研究ジョイントであるThe ARC Centre of Excellence for Translational Photosynthesisの一角も担っている。ここでは、Hammer、Prof. Schott Chapman（以下「Schottという」）、Dr. Alex Wu（以下「Wuという」）、Dr. Johann Pierre（以下「Johannという」）らと懇談し、研究施設を視察した（写真6）。HammerやWuはソルガムや小麦、トウモロコシなど穀物類の光合成、成長モデル、耐乾性などに関する研究を

行っており、サトウキビに関する研究は行っていない。近年、個葉の光合成速度、群落吸光係数などの植物情報と気象などの環境情報から1日の群落光合成を推定するモデルが開発されたようである⁸⁾。ARC Centre of Excellence for Translational Photosynthesisでは、連邦政府の支援を受け、オーストラリア国立大学（ANU）のProf. John Evansら大学の研究者、CSIROや国際稲研究所（IRRI）などの研究者らと光合成改良による作物改良や収量改善を目指した研究を行っている（期間は2014～

2020年)。ソルガムなどC₄植物の研究が進んでおり、サトウキビに応用される日もそう遠くなさそうだ。

SchottはCSIRO内にラボを持ち、ビル内のファイトロンやSRAの圃場でサトウキビの研究を行っている。特にJohannはサトウキビの根に関する研究を行っており、水耕ミスト栽培で耐乾性に関連する遺伝マーカー選抜などの研究や、長円筒

ポットによる土耕栽培による根の分布なども観察している（写真7）。新鮮な根DNAを定量する方法を確立し、圃場レベルでも根の健康診断技術が確立されている⁹⁾。また、彼らの採用しているChristie Engineering社の「Soil Core Sampler（土壌コアサンプラー）」はHonda社製のエンジンを付けるだけで簡単に土壌試料がサンプリングできるため簡易かつ安価な方法として注目したい¹⁰⁾。



写真7 QAAFIに併設されるCSIROにおける根の研究（水耕ミスト栽培（左）、根の洗浄棚（中央）、土壌コアサンプラー（右））

おわりに

本報で紹介したサトウキビ生産に関する研究施設は連邦政府、州政府、生産組合など多くの支援による潤沢な資金および強固な研究基盤の上で研究を行っていた。強固な研究支援の存在は、一方では、研究者が政府や生産者の強力な監視の下に置かれることも意味し、研究者の責任感を育むのではないだろうかと推察された。それについては、今後著者が予定している長期滞在によりじっくりと観察していきたい^(注)。

また、他国の研究者あるいは他機関の研究者を積極的に受け入れており、多様性を享受するお国柄もうかがえた。自らを先進国と発展途上国の中間に位置付けるミドルパワーという思想¹⁾は、研究分野でも顕在で、多様な人材を育み、自国・他国に積極的に技術発信することにより、自国の農業生産を支援するだけでなく、国際的な存在意義を担保していると考えられる。日本のサトウキビ研究においては

この国際的な存在意義について、一部を除いてこれまで包括的な議論が少なかったように思える。そこで、最後にわれわれは日本が主導する国際サトウキビ研究所の設立を提案したい。技術発信・協力はわが国の今後のサトウキビ業界の一つの活路、役割ではなかろうかと考えている。県内外および外国からの製糖工場やサトウキビ圃場の見学者は後を絶たないため、ここで有償の視察受け入れ、技術発信ツアー、技術者の派遣などを行っても良いのではないか。今回視察したCSIROやフィリピンのIRRI、メキシコの国際トウモロコシ・小麦改良センター(CIMMYT)などを好例とし、多様な人材を世界各地から募集し、研究を行うことが自国のサトウキビ作への還元や投資につながるのではないかと考えている。

(注) 2019年8月現在、筆頭著者は豪州に滞在し、SRAの形質開発 (trait development) チームにて客員研究員として研究を行っている。

謝辞

2018年10月に沖縄で開催されたISSCT育種ワークショップ⁴⁾で交流したPhillipとは密に連絡を取り、今回の視察の目的を理解してもらった上で

各研究施設の調整や案内の労を取っていただいた。この場を借りて感謝申し上げる。また、視察を受け入れてくれた多くの現地の皆さまにも記して感謝申し上げます。



写真8 タウンズビルの中心に位置する標高286メートルのCastle Hillから町が一望できる(左)。タウンズビルの港にはバーデキンから粗糖が列車で運ばれ、日本に輸出されているとのことである。右はPhillipと著者ら。

参考文献

- 1) 竹田いさみ (2000) 『物語オーストラリアの歴史』 中公新書
- 2) 藤原琢也、大塚健太郎、石橋隆 (2019) 「豪州の農畜産物需給見通し～2019年豪州農業需給観測会議から～」『畜産の情報』(2019年5月号) 独立行政法人農畜産業振興機構
- 3) 丸吉裕子、根本悠、園部佳容子 (2016) 「豪州砂糖産業の動向－FTA/EPA締結・交渉進展と砂糖産業法の改正－」『砂糖類でん粉情報』(2016年11月号) 独立行政法人農畜産業振興機構
- 4) 賣川拓生、上野正実、川満芳信、渡邊健太 (2019) 「国際甘蔗糖技術者会議 (ISSCT) 育種・分子生物部門ワークショップ報告～サトウキビ育種の急速化と持続可能性～」『砂糖類でん粉情報』(2019年1月号) 独立行政法人農畜産業振興機構
- 5) 豪州連邦科学産業研究機構 「The big six : CSIRO's plans for our future」 <<https://www.csiro.au/en/News/News-releases/2016/The-big-six-CSIROs-plans-for-our-future>> (2019/8/5アクセス)
- 6) Basnayake et al. (2016) 「Canopy temperature: A predictor of sugarcane yield for irrigated and rainfed conditions」『Proceeding of International Society of Sugar Cane Technologists』 29 : pp.50-57.
- 7) 豪州砂糖研究センター 「Biosecurity Manual for Sugarcane Producers」 <<http://www.planthealthaustralia.com.au/wp-content/uploads/2017/01/Biosecurity-Manual-for-Sugarcane-Producers.pdf>> (2019/8/5アクセス)
- 8) Wu et al. (2018) 「Simulating daily field crop canopy photosynthesis: an integrated software package」『Functional Plant Biology』 45 (3) : pp.362-377.
- 9) Pierre et al. (2018) 「DNA based diagnostic for the quantification of sugarcane root DNA in the field」『Scientific reports』 8 (1) : p16720. DOI:10.1038/s41598-018-34844-3
- 10) <<https://www.youtube.com/watch?v=SO4-GVbz2Zg>> (2019/8/20アクセス)