

題名	マジカル・ミステリー・ツアー：物理学・応用数学から植物生理学へ
Title	The Magical Mystery Tour from Physics and Applied Mathematics to Plant Physiology
著者名	グレアム・ファーカー
Author(s)	Graham Farquhar
言語 Language	日本語・英語 Japanese, English
書名	稲盛財団：京都賞と助成金
Book title	Inamori Foundation: Kyoto Prize & Inamori Grants
受賞回	33
受賞年度	2017
出版者	公益財団法人 稲盛財団
Publisher	Inamori Foundation
発行日 Issue Date	8/31/2018
開始ページ Start page	132
終了ページ End page	171
ISBN	978-4-900663-33-6

マジカル・ミステリー・ツアー： 物理学・応用数学から植物生理学へ グレアム・ファーカール

このたび、生物化学分野で第33回(2017)京都賞基礎科学部門を受賞できましたことは、私にとってこの上ない名誉であります。ここに、私を受賞者として選んでくださった稲盛財団に心よりお礼を申し上げます。そして、生物環境物理学と植物生理学の47年にわたる歩みについて、今日、こうしてお話しできる機会をいただきましたことを、本当にうれしく思っております。

4億2000万年前のデボン紀に陸上への進出を始めたことで、植物は太陽光を浴び、栄養素を体内に取り込むことができるようになりました。しかしその一方で、乾燥の危機に晒されることになります。やがて進化の結果、植物は、気孔という小さな開口部を持つ防水性のクチクラを持つようになり、この気孔を使って大気中の二酸化炭素の内部拡散を可能にしたばかりか、拡散率を制御できるようになりました。こうなると必然的に、気孔が開いている間には、そこから植物内の水分が大気中に逃げてしまうことになります(Fig. 1、2)。この結果、植物は根源的ジレンマに陥ってしまいます。つまり、なんとかして二酸化炭素の摂取量を最大にする一方で水分の蒸発を最小限に抑えるために、気孔の開閉をどのように制御すればいいのかという問題に直面したのです。このジレンマと植物がこのジレンマをどのようにして克服していったのかを抜きに、植物の生存は語れませんし、それは生態系組織や農作物の収穫高を左右する基本的な特性でもあります。

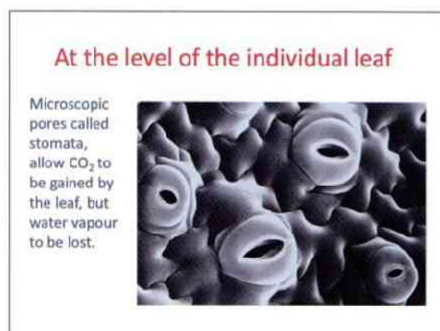


Fig. 1

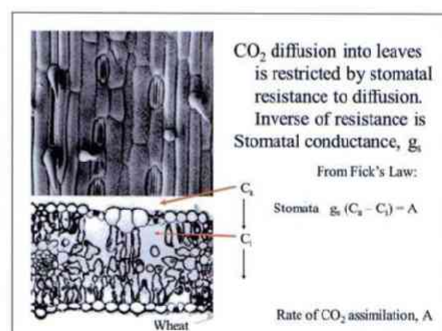


Fig. 2

しかし、その話に入る前に、まずは私の生い立ちや植物学者としての歩みについてお話ししたいと思います。

私は1947年に、オーストラリア南方海上に位置するタスマニア州の州都、ホバートで生まれました(Fig. 3)。ですから、私は、オセアニア出身の京都賞受賞者第1号になるわけです。母(Fig. 4)は、私が生まれるまで小学校の教師をしていました。

The Magical Mystery Tour from Physics and Applied Mathematics to Plant Physiology Graham Farquhar

It is a great honour to receive the Kyoto Prize for Basic Sciences for 2017 in the field of Biological Sciences. I am very grateful to the Inamori Foundation for having chosen me. I am also very happy to have this opportunity to present what we have been doing over the past 47 years in environmental biophysics and plant physiology.

When plants started extensively colonising the land in the Devonian, 420 Ma (million years ago), they gained access to light and nutrients, but exposed themselves to the danger of desiccation. They evolved a waterproof outer cuticle with small openings, called stomata, to allow, and control the rate of, the inward diffusion of atmospheric carbon dioxide. Inevitably, water vapour escapes from the leaf through the stomata when they are open (Figs. 1, 2). This introduces a fundamental dilemma for plants: how to organise the stomatal opening in such a way that, somehow, carbon dioxide uptake is maximal, but water loss is minimal. This dilemma, and the ways in which plants have solved it, is fundamental to plant success, and is a basic feature determining ecosystem organisation, and agricultural crop yield.

But first my own origins and evolution as a plant scientist.

I was born in Hobart, the capital of Tasmania, the island state to the south of Australia (Fig. 3)—and yes, that makes me the first Kyoto Prize winner born in Oceania. My mother (Fig. 4) was a primary school teacher until I was born, and my



Fig. 3



Fig. 4

Betty Ella Farquhar,
(née Smith) 1946

father (Fig. 5) was studying agricultural science (Fig. 6). This involved us moving between Hobart, Melbourne, and Horsham in western Victoria. After graduating (Fig. 7), he became an agricultural extension agent in the Huon Valley, south of Hobart, taking scientific developments to farmers, and presumably informing the scientists of successful initiatives by the farmers.

Both my parents had grown up 'on the land', i.e. on farms. Mum's father was a contractor doing chaff-cutting (Fig. 8), grain grading etc—he owned various machines



Reginald Noel Farquhar
with Graham at 5 weeks
old, Jan 1948

Fig. 5



Reg Farquhar (second from left), Agricultural College 1948

Fig. 6

父(Fig. 5)が農業大学で学んでいた(Fig. 6)ために、私たち親子は、ホバート、メルボルン、さらにはビクトリア州西部のホーシャムへと移り住みました。大学卒業後(Fig. 7)の父は、ホバート南部にあるハオン・バレーで農業改良普及事業に携わることで、農家の人たちに新しい科学技術を教えていました。しかしその一方で、研究者の人たちにも、農業の現場での成功例を伝えていたものと思われます。

両親は共に農家で生まれ育ちました。母方の祖父は、干し草の切断(Fig. 8)や穀粒の選別作業を請け負っていました。仕事柄いろいろな農機具を所有していたので、その農機具を動かすために大勢の人を雇うこともありました。碎石設備やハーベスター(収穫機)、干し草を切断するチャフ・カッターのほか、蒸気機関で動くトラクター(Fig. 9)も2、3台所有していました。また祖父の家にはオート麦や小麦の入ったドラム缶もありました。

父方の祖父は、1930年代の世界大恐慌のころにはたびたび出稼ぎに出て、錫鉱山で働いたり、辺鄙な鉱山で雑貨屋を営んだりしていたため、祖母や父たち4兄弟



New graduate, Reg, with Betty & Graham (1950)

Fig. 7



Sydney Smith's chaff cutter 1941

Fig. 8



Steam traction engine
Museums Victoria Collections
<https://collections.museumvictoria.com.au/items/406377>
Accessed 05 October 2017

Fig. 9



Reginald Noel Farquhar (centre) and his brothers, 1946

Fig. 10



The first Vauxhall
(Wyvern?),
Hobart

The second
Vauxhall, a Velox,
looked like this in
Burnie

Fig. 11

and sometimes employed a number of people to help operate them. He owned a couple of traction engines (steam-powered, Fig. 9) with a stone crushing plant and a harvester and a chaffcutter. There was an oat drum and a wheat drum.

On Dad's side, his father often had to leave home during the 1930s Depression, to work in tin mines, or run a general store at a remote mining site, leaving my grandmother and Dad and his three brothers (Fig. 10) to run the small farm. Dad left school in seventh grade and it was only thanks to rehabilitation opportunities after the War (WWII) that he was able to finish high school, and gain admission to university.

In about 1951 we moved from Hobart to Burnie on Tasmania's northwest coast. Dad was the District Agricultural Officer. We had a green Vauxhall Velox car (probably a 1948 model, Fig. 11) that was also used to visit the farmers in the region. Dad carried bags of superphosphate and of molybdenum in the boot of the car, as molybdenum, although a trace element, was a common soil deficiency at the time in the old Australian soils. Sometimes he'd be given bags of 'spuds' (potatoes) by grateful farmers. My first brother, David (Figs. 12, 13), was born in 1952. Some weekends or holidays we would

(Fig. 10)は、わずかな土地で農業をして留守を預かっていました。父は7年生で学校をやめてしまったのですが、第二次世界大戦後に復学が認められたおかげで高校を卒業し、大学に進学できることになりました。

1951年ごろ、私たち親子は、ホバートからタスマニア州北西の沿岸部にあるパーニーに引っ越し、そこで父は地域農業担当官(District Agricultural Officer)として働き始めました。我が家には、グリーンのボックスホール・ベロックス(おそらく1948年型、Fig. 11)という車があって、父はこの車で地域の農家の訪問もしていました。車のトランクには、過リン酸肥料やモリブデンの入った袋がいくつも積んでありました。モリブデンは微量元素ですが、当時のオーストラリアの土壌にはこれが欠乏していることがよくあったのです。また、農家の人たちからお礼代わりに袋一杯のジャガイモをもらうこともありました。1952年には、私のすぐ下の弟のデビッド(Fig. 12、13)が生まれました。週末や休日になると私たち一家は、近くで農家を営む親戚宅によく遊びに行ったものです。

1956年に、父はオーストラリア連邦科学産業研究機構(CSIRO)に就職しました。ちょうどメルボルンオリンピックが開催され、白黒テレビが登場したところで、私たちはまさに都市近郊特有の生活をするようになりました。やがて1958年になると、父は奨学金を得てニューヨーク州イサカのコーネル大学に入学し、その後、教育学で修士号と博士号を取得しました。私たち一家はアメリカで視野を広げ、2年半後の(Fig. 14)1960年にメルボルンに戻りました。

1961年に私はマッキノン高校に入学し、そこで、リチャード・リチャーズ(Richard Richards) (Fig. 15) (今日、ここに来てくれています、詳しい話はのちほど)に出会います。その後、4年間学べるだけの奨学金を得て、ウェズリー・



Brother David
born in 1952

Fig. 12



Graham with
young David, 1953

Fig. 13



Photographed on board RMS 'QUEEN ELIZABETH'
Sailing from New York to England 1960

Fig. 14



Richard
Richards

Graham
Farquhar

McKinnon
High School
1961

Fig. 15

visit our relatives on nearby farms.

Dad took a job in the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) in Melbourne in 1956, just in time for the Olympic Games and the arrival of (black and white) television. We became very suburban. Then in 1958 Dad received scholarships to study at Cornell University in Ithaca, New York State, for a Masters and then a Doctorate in Education. After two and a half years (Fig. 14), we returned to Melbourne in 1960 with broadened horizons.

I went to McKinnon High School in 1961, where I met Richard Richards (Fig. 15) (here today, more later). I won a scholarship to a private school, Wesley College, which funded me for four years.

As a child I often had asthma, particularly in the spring, and when I was 14, I was confined to bed for a week. My father had just returned from a work trip to the U.S. and gave me a text on biology, saying that biophysics was the new, exciting, emerging discipline, analogous to biochemistry. Apart from it being an application of physics to biology, we knew little about it. In retrospect it could as easily have meant the application of biology to physics. The novelty appealed to me and I read the text with interest. Dad sought advice from Ralph Slatyer (Fig. 16), then a leading CSIRO scientist working on plant water relations, and Ralph said I should do physics first and then pick up the needed biology.

At the end of 1963, my mathematics master advised me to take terminal mathematics, as he assessed that I had no aptitude for it. Stubbornly I chose to do the two mathematics courses for those students who wanted to go on in science. The Beatles came to Melbourne for four days in 1964 and electrified the city with *I Saw Her Standing There*, *You Can't Do That*, *All My Loving*, *She Loves You*, *Till There Was You*, *Roll Over Beethoven*, *Can't Buy Me Love*, *Twist And Shout* and *Long Tall Sally*. The

カレッジという私立校に入学しました。

子供のころの私はたびたび喘息の発作を起こしていました。特に春は発作がひどく、14歳の時には1週間寝込んでしまいました。ちょうどその時、アメリカへの出張から戻った父が、おみやげに生物学の教科書を買ってきてくれました。そしてこう言ったのです、最近、生物物理学という、生化学みたいな面白い学問が生まれたんだと。生物学に物理学を応用したものだということ以外、私たちはその学問についてほとんど何も知りませんでした。今にして思えば、物理学に生物学を応用したものでも全然よかったのです。その新しさに心惹かれた私は、父が買ってきてくれた教科書を夢中で読みました。当時、CSIROを代表する科学者で、植物と水の関係を研究していたラルフ・スラッティヤー(Ralph Slatyer) (Fig. 16)に父が私の進路について相談したところ、彼は、まず物理学を勉強してから、それに必要な生物学の分野を勉強するといいと教えてくれました。

1963年末、私に数学を教えてくれていた教師が、私には数学の才能がないからと、大学入試用とは無関係の数学を取るよう勧めてくれました。しかし私はそのアドバイスに頑として従わず、科学分野に進みたいという学生向けの数学を2科目取ることにしたのです。1964年、4日間の公演のためにビートルズがやってきたメルボルンでは、《アイ・ソー・ハー・スタンディング・ゼア》、《ユー・キャン・ドゥ・ザット》、《オール・マイ・ラヴィング》、《シー・ラヴズ・ユー》、《ティル・ゼア・ワズ・ユー》、《ロール・オーバー・ベートゥーヴェン》、《キャン・バイ・ミー・ラヴ》、《ツイスト・アンド・シャウト》、《のっぽのサリー》といった彼らの音楽に街中が酔いしれていました。ウェズリー・カレッジで奨学金をもらうことができたおかげで、1965年に「セカンドイヤー・マトリキュレーション」、つまり最終学年の12年生を繰り返すことができたため、私は、物理科学そのものに必要な科目以外に、社会科学と生物学という2科目を選択しました。(どちらも)成績が良かったので、物理学と数学の学位を取得した後もう一度生物学を学びなおす自信ができました。そして数学も、別の教師からもう一度教えてもらいました。その先生の教え方が独創的だったのか、数学に対する私自身の受け入れ態勢が整ってきただけか分かりませんが、今回は数学で良い成績を取ることができました。私たちの誰もが学び(私の場合は数学)の発達段階を経ることを証明したピアジェの論文は、当時まだ発表されていませんでした。私の2番目の弟のスコット(Fig. 17)は、1965年、私が大学に入学する直前に生まれました。

scholarship to Wesley facilitated a “second-year matriculation” in 1965, i.e. a repeat of the final twelfth grade, in which I took a couple of courses, namely social studies and biology, outside the usual classes needed for straight physical sciences. I did well (in both) and that gave me some confidence that I could return to biology after a degree in physics and mathematics. I also repeated the mathematics with a different teacher. Whether it was the more creative teaching, or my own mathematical maturing, I did better now in maths. Piaget’s work showing that we all go through developmental stages in learning, say, mathematics, had not yet been published. My second brother, Scott (Fig. 17), was born in Melbourne in 1965, just before I entered university.



Fig. 16

Brother Scott born in 1965 in Melbourne
Fig. 17

I enrolled at the new Monash University, which was then making the transition from being nicknamed ‘The Farm’, to ‘The Discotech’ (Beatles *Revolver* album was all the rage), and later becoming home to many Australian opponents of the Vietnam War (though of course the majority of students were comparatively conservative).

In the 1966 summer holidays I worked at the CSIRO Division of Chemical Physics as a laboratory technician, with the aim of improving electron microscope electrodes. I worked on both practical and theoretical aspects, but don’t think I made much progress. Nevertheless, one of the scientists casually mentioned one day that I would make a good scientist, as I had “the right temperament”. I took this right to heart, especially in my second and third years where some of the physics seemed so far from relevance to biology, and I took a lot of interest in other non-academic pursuits. I may not have been getting the best marks, but I was going to make a good scientist! [Or thus I defended and protected myself]. Looking back at the classes, one that seemed rather less structured than, say, the theory of electricity and magnetism, but was of great value to my thinking, was led by a senior professor named Street. He wanted us to be able to make rough estimates, “ball-park” estimates, of physical phenomena. A woman walks

私は設立間もないモナッシュ大学に入学しました。当時、この大学のニックネームは、「農場」から「ディスコ」(ビートルズのアルバム、『リボルバー』が大ヒットしていました)に変わりつつありましたが、次第にこの大学は、多くのベトナム戦争反対派の拠点になっていきました(もちろん、大半の学生はどちらかというと保守的でしたが)。

1966年の夏休みに、私はCSIROの化学物理学部で実験助手として、電子顕微鏡の端子の改良を目的とした研究に携わりました。この研究には、実用面と理論面の両面で関わったものの、自分としては、さしたる成果もあげられなかったと思っていました。ところがある日、ある科学者が、私には「気性が向いている」からいい学者になれると、何げなく言ってくれたのです。このことは、特に2年生と3年生の時期に大きな励みになりました。と言いますのも、その当時、物理学が生物学からとてもかけ離れた存在に思えた私は、学問以外に大きな関心を持つようになっていたからです。成績は一番ではなかったかもしれないが、きっと優秀な科学者にはなれるはずだ、と自己弁護したのです。当時の授業を思い出してみると、電気磁気論の授業ほど体系的には思えなかったものの、私の考え方に大きな影響を与えたのが、ストリートという年配の教授の授業でした。その教授は私たち学生に、物理現象について概算ができるようになりなさいと言いました。たとえば、一人の女性が部屋に入ろうとしています、さて、彼女の香水の匂いに気付くまでにだいたいどのくらいかかるでしょう、テニス選手がラケットでボールを打ちました、さて、ラケットのガットはだいたいどのくらい撓むでしょう、といった質問に対する答を考えるのです。今ではこうした思考方法が脳裏に刻み込まれているので、数値の大きさ、とりわけ光合成や水利用に関するデータとしての数値は、あつという間にそらで概算することができます。

ビートルズが『マジカル・ミステリー・ツアー』というアルバムを発表した1967年の末、私の父はキャンベラに移ることになりました。私は、モナッシュ大学で2年間学んだ後の1968年に、オーストラリア国立大学(ANU)の3年生として物理学と数学を学ぶことになりました。ところがそのころになると、生物学への応用がしたいと思うようになったのです。物理学と理論物理学の学科が別々だということに気付いた時、私は、理論生物物理学というものも科学の一分野として認められるのではないだろうかと思うようになりました。新しい大学に移り、新しい友人を作らなければならないようになったうえに、私が目指す生物学にそもそも物理学の研究が役に立つのかどうかわからなくなった私は、研究に実が入らなくなって、試験の成績も下がってしまい

into a room: how long roughly before we can smell her perfume? A tennis player hits a ball with a racquet: approximately how much do the strings bend? That way of thinking is embedded in my brain now, and I have become very quick and almost automated at mentally checking magnitudes of numbers, particularly those associated with data on photosynthesis, or water use.

At the end of 1967, the Beatles released *Magical Mystery Tour*, and my father was moved to Canberra. So after two years at Monash, in 1968 I enrolled at the Australian National University for third year physics and mathematics. I was starting to yearn for the biological applications. I was struck that there were separate Departments of Physics and Theoretical Physics. This made me wonder whether theoretical biophysics would ever be a recognized field. Changing universities, having to make new friends, and failing to see how all the physics would help my future biology, I didn't apply myself fully, and performed poorly in the exams. I had been warned by the best students in the year that I needed to work harder. There was only one unit in which I did well, Thermodynamics and Statistical Mechanics—which happened to be the only unit that set an open book exam. I still find thermodynamics difficult, but statistical treatments make more sense. I would get my degree, but only be allowed to continue to fourth year (Honours) at ANU if I worked on shock tubes, the Physics Department research specialty at the time. But so far from biology!

I saw an advertisement for honours year scholarships in Biophysics at the University of Queensland. My field!, and it was offering A\$1500 salary for the year (this was 1969—Armstrong and Aldrin walked on the moon in July)! I won one of the scholarships and thus began the real transition. We did introductory courses in plant physiology, biochemistry and membrane biophysics. I was offered a research project to measure the humidity inside a leaf, which would have involved inserting wet and dry bulb psychrometers through a stomatal pore. When I worked out that the typical pore dimensions are a few microns, I knew from my experience welding wires for electron microscopes that the proposed project was impossible and I changed supervisors. The research project I was next given was on bioelectricity in plants, my plant being a jungle liana. The best thing that year was that I met Professor Champ Tanner (Fig. 18), a Member of the US National Academy of Sciences, and an expert on soil physics and micrometeorology, who on sabbatical in Queensland from Wisconsin. I was welcomed into his family by his wife Katie, and three of his children, one of whom, Myron, is here today.

I didn't get First Class Honours, the overall assessment being that I was a dilettante (Fig. 19), but I did gain a Ph.D. scholarship to join Ralph Slatyer's new

ました。その年、一番成績の良かった学生には、もっとしっかり勉強しろと忠告される始末です。ただし、熱統計力学だけは良い成績でした。幸運にもこの科目だけが、唯一試験場に教科書の持ち込みが許されていたものですから。今でも熱力学は難しいと思いますが、それに比べると統計処理はわかりやすいと思います。学位は取れるでしょうが、ANUで4年生(優等課程)として引き続き勉強するためには、当時、物理学学科で行われていた衝撃波管の研究をしなければなりません。しかし衝撃波管の研究は、生物学とはまったくかけ離れた分野だったのです。

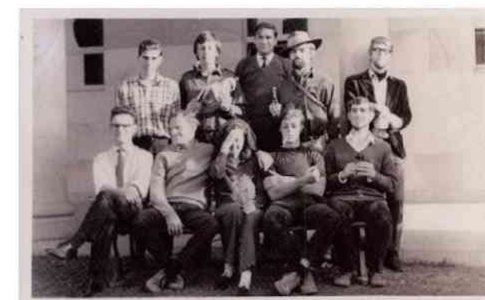
そんな時、私は、クイーンズランド大学が生物物理学の優等課程で学ぶ奨学生を募集しているという広告を見つけました。これこそ、望んでいた研究分野で研究ができるチャンスでした!しかも、1年間(つまり、これは1969年の話で、この年の7月にアームストロングとオールドリン両宇宙飛行士が月面を歩きました)に1500オーストラリアドルが支給されるのです。私はこの奨学金をもらえることになり、これでようやく本当の意味での移行が始まりました。この時は、初歩的な植物生理学、生化学、膜生理生物物理学を学びました。私に与えられた研究課題は、葉の内部の湿度測定で、そのためには乾湿球温度計を気孔から葉の内部に挿入しなければなりません。平均的な気孔の大きさがわずか数ミクロンだとわかった時、電子顕微鏡のワイヤーを溶接した経験のあった私は、その課題は実施不可能だと気付いたため、指導教官を変えました。次に私に与えられた課題は、植物の生体電気に関するもので、使用する植物はジャングルに生息する蔓植物でした。その年、私にとって最高の出来事とは、チャンプ・タナー(Champ Tanner)教授(Fig. 18)と出会えたことです。米国科学アカデミー会員で土壌物理学と微気象学の専門家だった教授は、当時、サバティカル(研究休暇)でウィスコンシン州からクイーンズランド大学に来ておられたのです。奥様のケイティや3人のお子さんは、私と家族のように接してくださいました。今日も、お子さんの一人のマイロン(Myron)がここに来てくださっています。

結局私には、「趣味人(ディレクタント)」という総合的な評価が下され、第一級優等学位の取得は叶いませんでした(Fig. 19)。それでも、博士課程奨学金を得て、ANU高等研究所に属する生物学研究部門に新設された、ラルフ・スラットヤー率いる環境生物学科に参加することができました。思えば幸運な話です。なぜかと言いますと、今の時代なら、第一級優等学位を取得していない学生は、博士課程に進むことができないからです。あれほどの幸運に恵まれたのは、チャンプ・タナーがラルフ・スラットヤーに送ってくれた推薦状のおかげではないでしょうか。チャンプは、ウィ



Champ B. Tanner

Fig. 18



Honours Biophysics University of Queensland 1969 (GDF with hat)

Fig. 19

Department of Environmental Biology in the Research School of Biological Sciences, part of the Institute of Advanced Studies at the ANU. In retrospect I was lucky. I doubt whether I would be given the opportunity today to do a Ph.D. without a First Class Honours degree. I suspect the opportunity came in the form of a reference letter that Champ Tanner sent to Ralph Slatyer. Champ also offered me a Ph.D. scholarship to Madison, but I wanted to return to Canberra.

Nevertheless, I did learn quite a bit in my year spent in Brisbane. After my near miss in 3rd year physics at Canberra, I was determined that I should spend at least 35 hours a week on biophysics, the same amount of time as other workers spent on their jobs. I tried to keep track of the amount of time I was really working, and ignored time spent day-dreaming, chatting, walking, eating, doing administration—not that we had much—and discovered that I was well short of 35. It was only when I immersed myself in writing the honours thesis that the numbers picked up (and I made scientific progress). Another piece of 1969 luck was that one evening I snuck into a theatre half-way through a performance by a touring group of Bolshoi dancers. I was thrilled by them, and next night paid for two tickets to take a friend.

Back at ANU in 1970, this time in a first-rate research atmosphere that Environmental Biology exemplified, I worked with Tony Fischer & visitor Ted Hsiao, who together at UC, Davis had shown that potassium is the cation responsible for increasing osmotic pressure in opening guard cells of stomata, unaware that this had previously been discovered here in Japan by Imamura and by Fujino. I worked with epidermal peels taken from leaves examining the role of the subsidiary cells. Their back pressure on stomatal guard cells reduces the aperture of the pore. It was a nice empirical study that was never written up, but gave me a feel for the apparent variety of orientation of the cells, their sizes, and raised questions like the role of the subsidiary cells.

Ian Cowan (Fig. 20), a physicist, became my supervisor. In my first meeting with

ンスコンシン大学マディソン校の奨学金を取って博士課程に進んではどうかと言ってくれましたが、私はキャンベラに戻ろうと考えていました。

しかし、ブリスベンで過ごした1年間で私は実に多くのことを学びました。キャンベラで物理学3年目の勉強をすんでのところ成就しえなかったかもしれない私は、1週間に最低35時間は生物物理学の研究に費やそうと決心しました。35時間といえば、他の労働者の労働時間と同じです。そこで、ほんやりしている時間や、雑談、散策、食事、そして事務仕事に費やす時間—そんなに長い時間だったわけではありませんが—を除き、純粋に研究だけに費やした時間を記録してみたところ、35時間には程遠いことがわかりました。ただし、優等学位取得論文の執筆に全力で取り組んでいた時だけは、勉強時間も長くなりましたし、研究も捗りました。1969年に起こったもう一つの幸運な出来事とは、ある夜、ポリショイ・バレエの公演を途中からこっそり観ることができたことです。ダンサーの踊りに感動した私は、翌日の夜、今度は友人と二人分のチケットを買って公演を観ました。

ANUに戻った1970年、今度は環境生物学科が体現する一流の研究環境で、私は、トニー・フィッシャー(Tony Fischer)や客員研究員として研究していたテッド・シャオ(Ted Hsiao)と一緒に研究をすることになりました。二人はカリフォルニア大学デービス校で、気孔が開いた時の孔辺細胞の浸透圧をカリウム・イオンが上昇させることを証明したのですが、そのことは、日本人研究者の今村先生と藤野先生がすでに発見しておられました。私は、葉の表皮の剥皮を使って副細胞の役割を調べる研究に取り組みました。副細胞が孔辺細胞に圧力をかけると、気孔の開き具合が小さくなります。論文にまとめることはできなかったものの、これは貴重な実験研究で、細胞の配向や大きさが一様ではないという印象を持った私には、副細胞の役割とは何かといった、さまざまな疑問が芽生えました。

私の指導教官は、物理学者のイアン・コーワン(Ian Cowan) (Fig. 20)でした。初対面の時、彼は私に、博士号を取得し研究を続けようと思う動機は何かと尋ねました。私は、砂漠に花を咲かせたいからだと答えました。もちろん、今思い出しても恥ずかしくなるような大それたことを言ったわけです。イアンはすごいと褒めてくれましたが、とりあえず朝ベッドから起きるには何をしたらいいだろうと尋ねました。彼とは、私が気孔の研究に取り組むべき点で意見が一致しましたが、さらに、ペンマン-モンテース式(群落からの蒸発散量の算出に用いる)を良く理解しておくようにとのアドバイスをもらいました。



Fig. 20

Ian Cowan after arriving in Australia in the 1960s

him, he asked me what my ambition was for my Ph.D. and for my research. I replied that I wanted to make the desert bloom. Of course I cringe today. Ian said that he thought that was a wonderful ambition, but wondered to me what was going to get me out of bed on a Tuesday. We agreed I should work on stomata and he admonished me to know backwards the Penman-Monteith equation (for evaporation rate of a canopy).

Ian was working on the relative role of stomata in CO_2 assimilation and transpiration. The whole leaf measure of average stomatal opening is given by the stomatal conductance to diffusion, basically equaling the ratio of flux of water vapour out of the leaf (transpiration rate) to the gradient of water vapour concentration driving it. He had seen stomatal conductance oscillate with a period of about forty minutes and had published the results. I too had seen damped oscillations in the short-circuit currents I had measured in my liana in Queensland. I took the time to write up the paper with my former supervisor, and we submitted it to *Nature*. The editor wrote a warm, courteous letter suggesting to us that it might be better suited to a more specialized journal. Couldn't he see how interesting it was? We had more luck with the *Journal of Experimental Botany*. My first paper was based on my honours thesis—not bad for a dilettante.

Ian was working on a model of the mechanism of stomatal oscillations, and published a brilliant paper on the topic in *Planta* in 1972. In the same year he also published on heat and mass transfer in the leaf boundary layer and was also busy working on the micrometeorology of grape vines. We agreed that I should develop apparatus to measure whole plant gas exchange, characterize the conditions under which oscillations occurred, and then perform an engineering style analysis of the stable stomatal system by perturbing humidity sinusoidally. This involved working closely for months with a wonderful self-trained technician, Eric McGruddy, to build our

イアンが取り組んでいたのは、同化と蒸散における気孔の相対的な役割の解明でした。葉一枚の平均気孔開閉度を表すのが、拡散に関する気孔コンダクタンスで、基本的に気孔コンダクタンスは、葉一枚から蒸発する水分のフラックス(蒸散速度)とそれを推進する水蒸気濃度の勾配の比率と同じです。すでにイアンは、約40分の周期で気孔コンダクタンスが振動することを発見し、この結果を発表していました。私も、クイーンズランド大学で蔓植物を使って測定した短絡電流で気孔コンダクタンスが振動しながら低下することを確認していました。私は、かつての指導教官と共同で、時間をかけて論文を完成させ、それを*Nature*誌に投稿しました。すると編集者から丁寧で思いやりのある手紙をもらったのですが、そこには、この論文は、もっと専門的な学術誌に掲載した方がいいと書かれてありました。あの編集者には、私たちの論文がどれほど興味深いものなのか、わからなかったのでしょうか？ただし幸いなことに、私たちの論文は、*Journal of Experimental Botany*誌に掲載されることになりました。私の最初の論文は、優等学位取得論文を基にした論文で、趣味人(ディレタント)の私にしては悪くない出来でした。

イアンは、気孔振動のメカニズムを解明するモデルの研究に取り組み、1972年、これに関する優れた論文を*Planta*誌に発表しました。同じ年に彼は、葉面境界層における伝熱に関する論文も発表したほか、ブドウによる微気象学の研究にも取り組んでいました。彼との間では、私が、植物ガス交換全体を測定できる装置を開発し、振動が発生する条件を明らかにし、湿度を正弦曲線的に振動させることで、安定した気孔システムを工学的に解析するという事で意見が一致しました。そのために、優秀な叩き上げの技術者であるエリック・マクグラディ(Eric McGraddy)との綿密な共同作業で、私たちが「レース場」と呼んだクローズド・ループの風洞(Fig. 21)を数カ月かけて作るようになりました。この風洞を使って、湿度を一定に保つために注入しなければならない乾燥した空気量によって蒸散速度を、また二酸化炭素濃度を一定に保つために加えられるべき二酸化炭素量によって同化率を測定したのです。ある日のこと、エリックが作業をしていた部分に誤って電気を流してしまったために、あやうく私は彼を感電死させるところでした。幸いなことに、技術者としての豊富な経験から、何かに触れる時は必ず最初に手の甲で触るようにしていたので、手が撥ね退けられたのです。「君には絶対に博士号なんかとれないよ」と、たびたび彼は私に愛情をこめて言いましたが、私が博士号を取得できたのは、彼のおかげなのです。

ただし、1971年に一度、博士号取得を諦めかけたことがありました。オランダの

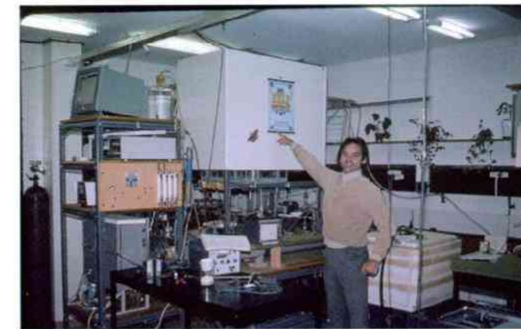


Fig. 21

‘race-track,’ a closed loop wind-tunnel (Fig. 21) where the rate of transpiration was measured by the amount of dry air that had to be injected to keep the humidity constant, and the rate of CO₂ assimilation by the amount of CO₂ that had to be added to keep its concentration constant. I nearly killed Eric accidentally one day when I supplied electrical power to the wrong component when he was working on it. He was so experienced, thank goodness, that by habit he first touched things with the back of his hand. It through his hand off. “You’ll never get a Ph.D.!” he often said, affectionately, but thanks to him I did.

Nevertheless, at one stage in 1971 I was convinced the Ph.D. was a lost cause. Peter Hopmans in Holland published an 86-page opus on stomatal rhythms, including nearly all the kinds of data I had been gathering. It was a disaster, I thought. Funnily enough, it prompted us to do something completely novel. Ian suggested that we try to break the feedback loop involving stomatal conductance and transpiration rate. If we had an oscillating system, could we, by modifying the humidity, wrest control of transpiration rate away from stomatal conductance, and would a constant transpiration rate then cause the stomatal conductance to stabilize? It was a tough thing to achieve experimentally, but it worked. I always tell that story to students and post-docs: when you are scooped it saves you time from writing up what others are already working on, and forces you to be more creative. Looking at the data again, I wonder whether a diurnal rhythm may have worked in our favour. The experiment needs repeating!

I did examine the responses of cotton stomata to sinusoidal perturbations of humidity and of CO₂. In writing up the thesis I speculated in a primitive way about optimal stomatal behavior. If stomatal conductance were optimal then I argued that the positive benefit P in terms of increased CO₂ assimilation rate δA if stomata were to open slightly, must be somehow balanced by a negative benefit (cost) N of increased

ピーター・ホプマンズ(Peter Hopmans)が、気孔の開閉リズムについて86ページにわたる論文を発表し、その中に、私が収集していたのと同じようなデータがほとんどすべて掲載されていたからです。これはとんでもないことになったと思いました。不思議なこともあるもので、これがきっかけで私たちは、全く新しいテーマに取り組もうと思うようになったのです。イアンの提案は、気孔コンダクタンスと蒸散速度に関するフィードバック・ループを壊してみてもどうかということでした。振動の仕組みがあれば、湿度を変えることで、気孔コンダクタンスから蒸散速度の制御を切り離すことができるのではないかと、そして蒸散速度が一定になれば、気孔コンダクタンスが安定するのではないかと、いうのです。そのための実験は大変でしたが、うまくやり遂げることができました。私は学部生やボス・ドクの学生にいつもこの話をしています。誰かに先を越されたら、誰かがすでに取り組んでいるテーマで論文を書くような無駄なことはせずに済むし、もっと独創的なテーマを見つけなければならなくなると。その時のデータを見返してみても、うまくいったのは日周リズムのおかげではないかと思っています。実験は何度も繰り返し行うべきなのです。

私が調べたのは、湿度と二酸化炭素の正弦波振動に対するワタ(綿)の気孔反応でした。論文を執筆する際に、私は、原始的な方法で気孔の最適挙動を予測しました。もしも気孔コンダクタンスが最適ならば、気孔が少し開いている場合に、二酸化炭素の同化率の増分 δA で表されるプラスのベネフィット P は、蒸散速度の増分 δE で表されるマイナスのベネフィット(コスト) N とともかく等しくなければならない($P\delta A=N\delta E$)ということです。そこで私は、これが意味することについて簡単に検討を加えました。私の議論にはついていけないとイアンから言われたので、私は途方に暮れました。なぜかと言うと、私の知る限りで、彼ほど頭のいい研究者はいなかったからです。それでも彼は私に論文はその線で行くべきだと言いました。こうして提出した論文が、ついに1973年5月に博士論文の審査をパスしたのでした。

このような研究生活とは別に、私には変わった趣味がありました。ブリスベンでポリショイ・バレエの公演を観た後、キャンベラに戻った私は、博士課程に進学した1970年からクラシックバレエを習い始めました。それがきっかけでたくさんの友人ができたのですが、その一人のブライアン・スミス(Brian Smith)が、今日ここに来てくれています。私たちは何度も公演で踊りを披露しました(Fig. 22)。その後、ブライアンはオーストラリアを離れ、最終的にはフランスの外人部隊に入隊します(Fig. 23)。私は、大学でダンスグループ(国立大学ダンス・アンサンブル、

evaporation rate δE ($P\delta A=N\delta E$), and I briefly looked at some implications. Ian said he didn't really follow the argument, which was a real worry to me as he was the smartest person I had met, but that I should keep it in the thesis. The latter was submitted and finally passed in May 1973.

In parallel with all this science I had an unusual hobby. After seeing the Bolshoi in Brisbane, and returning to Canberra, I started learning classical ballet in 1970 at the same time as I started my Ph.D. I made great friends, one of whom, Brian Smith, is here today. We danced in a lot of shows (Fig. 22), and then Brian left and eventually joined the French Foreign Legion (Fig. 23). I started a dance group at the University (National University Dance Ensemble, NUDE), and I organized the dance programme for a Festival of University Arts, involving dance groups from around Australia, and performed in a mime piece myself. The combination of dance and biophysics was a good one. Before leaving for a post-doctoral position in the U.S. I gave a dedicated copy of my thesis to my ballet teachers, Bryan Lawrence and Janet Karin.



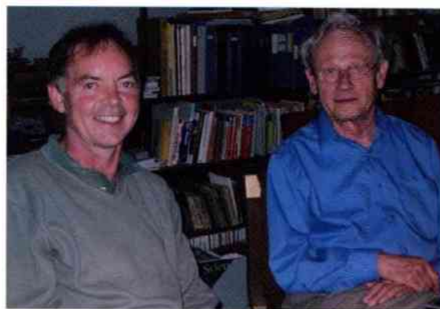
Fig. 22



Fig. 23

Again I was lucky. I had only one publication, with nothing from my Ph.D. thesis, and yet somehow I had a contract for a Research Associateship with the Michigan State University/U.S. Atomic Energy Commission Plant Research Laboratory (PRL) in East Lansing, Michigan. Luck was in the form of the reference letter that Ralph Slatyer had written to my new supervisor, Klaus Raschke (Fig. 24).

My trip to the PRL was wonderful: Singapore, Hong Kong, Tokyo by plane, then boat from Yokohama to Nakhodka (near Vladivostok), and train to Khabarovsk, and by hard class on the Trans-Siberian Railway to Moscow with stops at Irkutsk near Lake Baikal, and Novosibirsk, where on an enormously wide stage I saw the ballet *Romeo and Juliet* with music by Prokofiev; then the Bolshoi Theatre in Moscow and the Kirov in Leningrad. Train to Warsaw and East Berlin, and then Paris, and flights to London and



GDF with Klaus Raschke
Fig. 24

National University Dance Ensemble, NUDE)を立ち上げ、オーストラリア各地のダンスグループが参加するフェスティバル・オブ・ユニバーシティ・アーツという催しのためにダンスプログラムを考え、私自身もパントマイムを披露しました。ダンスと生物物理学は相性のいい組み合わせでした。ポスト・ドクトラル・フェローとして研究を続けるためにアメリカに旅立つ前に、私は、バレエを教えてくれたブライアン・ローレンス(Bryan Lawrence)とジャネット・カリン(Janet Karin)に博士論文を贈りました。

私に再び幸運が舞い込みました。私は論文を1本発表しただけで、博士論文以降は何も発表していませんでした。しかし、なぜかミシガン州イーストランシングにあるミシガン州立大学植物研究所(PRL、合衆国原子力委員会が資金提供)でリサーチ・アソシエイトの職を得ることができたのです。実は、PRLで私を指導してくれることになるクラウス・ラシュキ(Klaus Raschke) (Fig. 24)に、ラルフ・スラットヤーが推薦状を書いてくれたのです。

PRLまでの旅は素晴らしい経験でした。飛行機でシンガポール、香港を経由して東京に着くと、その後、横浜から船でナホトカ(ウラジオストクの近く)へ向かい、ハバロフスク行きの列車に乗り換えてから、モスクワ行きのシベリア鉄道のハードクラスに乗り込みました。途中、バイカル湖近くのイルクーツクとノボシビルスクに立ち寄り、ノボシビルスクでは、大きな舞台でプロコフィエフ作曲の「ロミオとジュリエット」のバレエを観ました。また、モスクワではボリショイ・バレエを、そしてレニングラードではキーロフ・バレエ(現マリインスキー・バレエ)を鑑賞しました。その後、汽車でワルシャワ、東ベルリンを経てパリに到着し、そこからロンドン行きの飛行機に乗り換えて、1973年7月4日の独立記念日までになんとかイーストランシ

finally to East Lansing where I arrived in time for July 4th celebrations, 1973.

Klaus was the world leader in research on stomata, and a superb experimentalist. He made me a more rounded plant physiologist. He urged me to publish my thesis as a whole (under my own name), but I felt that would be unfair to Ian Cowan. Klaus was generous and gave me time to write up the work with Ian on oscillations and the feedback loop involving water relations. It was published in 1974 in *Plant Physiology*. My first task at the PRL was to review experiments that Klaus had done with Joe Gale from Israel. They appeared to show that there was a mesophyll cell resistance to transpiration that was sensitive to the concentration of CO_2 , but Klaus himself was suspicious. This was not the nicest way to start our relationship, with me having to ask all sorts of skeptical questions about his experimental techniques. But Klaus' suspicions were well-founded and after some time I discovered that the CO_2 was broadening the absorption lines for water, elsewhere in the infrared, that we were monitoring for transpiration.

In Canberra most gas exchange data were accumulated on ink chart recorders, although we had toward the end used an EAI-TR10 analog computer (Fig. 25), which had gold connectors, one multiplier, and one other non-linear element, and a patchwork of wires. Klaus gave me the job of connecting his gas exchange system to a new, digital computer. I drove to San Francisco in my blue Opel GT to learn how the computer and some of its peripherals worked. When the system arrived (Fig. 26) it was the size of two large filing cabinets. Klaus had paid extra for a 50% memory enhancement, and this brought us from 8kb to 12kb core. Each change to the program involved passing about a dozen paper tapes. But when it was working it was a real boon. To be able to follow experiments in detail as they happened was much more mentally stimulating than calculating the results days later.



Fig. 25

EAI-TR10
analog
computer



Fig. 26

We used
an HP 9601
setup

ングにたどり着くことができたのでした。

クラウスは気孔研究の世界的権威であり、卓越した実験科学者でもありました。私がバランスの取れた植物生理学者になれたのは彼のおかげです。彼からは、学位論文を単著で発表するように強く言われましたが、私は、それではイアン・コーワンに悪いと思いました。クラウスは寛大な人で、水の関係にまつわるフィードバック・ループと振動についてのイアンとの仕事を論文にまとめる時間を私に与えてくれました。こうして1974年に、その論文は*Plant Physiology*誌に掲載されたのです。PRLでの私の最初の仕事は、クラウスがイスラエル出身のジョー・ゲール(Joe Gale)と共同で行った実験を見直すことでした。その実験は、二酸化炭素濃度に反応しやすい蒸散に対する葉肉細胞の抵抗が存在することを証明しているように思われたのですが、クラウス自身はそのことに疑問を抱いていました。私は、彼の実験手法を疑問視するようなありとあらゆる質問をしなければいけないわけですから、彼との関係のスタートとしては、決して上々なものとは言えませんでした。しかし、クラウスが抱いた疑問には十分な根拠があったので、しばらくして私は、私たちが蒸散のためにモニタリングしていた水分の吸収線を、赤外線はどこか他の部分で二酸化炭素が拡大させていることを発見したのでした。

キャンベラでは、ガス交換に関するデータのほとんどをインクチャートレコーダーに残していましたが、アメリカに旅立つ頃には、EAI製のTR10というアナログ計算機(Fig. 25)を使うようになっていました。この計算機は金色のコネクタ、一台の乗算機、そしてそれ以外に1つの非線形素子や継ぎはぎのような配線で構成されていました。クラウスに頼まれたのは、彼のガス交換システムを新しいデジタル計算機に接続する作業でした。私は、愛車の青いオペルGTでサンフランシスコまで出かけ、その計算機と周辺機器がどのように稼働するのかを教わりました。届いたシステム(Fig. 26)は、キャビネット2台分の大きさでした。クラウスが追加料金を払って、コンピュータの記憶容量を50%増やしたので、コアメモリが8 kbから12 kbに増えました。プログラムを変更するたびに1ダース近い紙テープが必要になったものの、いざ使い始めると、これほど便利なものはありませんでした。実験を同時進行で詳しくフォローできるようになったので、数日後に実験結果を計算していた頃に比べると、精神的には格段に楽しくなりました。

イーストラッシングでは、それまでよりも早く時間が過ぎていきました(Fig. 27)。私はリサーチ・スペシャリストに昇進し、私と本当の家族のように接してくれた



MSU Plant Research Laboratory 1975

Fig. 27



Fig. 28



Dancing with the MSU Orchestris group, 1974

Fig. 29

The time in East Lansing started passing more quickly (Fig. 27). I was promoted to a Research Specialist, I saw a lot of my Tanner “family” in Madison (Fig. 28), and enjoyed occasional weekends in Chicago, whose Art Museum I loved. I danced with the MSU Orchestris group (Fig. 29), and also with the Lansing Ballet. In 1974 I went to New York City and started taking classes there for a couple of weeks, but recognized that as a dancer, I made a wonderful plant biophysicist. I was just lucky that males at that time had many more opportunities in dance than males have today, or than women had then and now.

I received a letter from Ian Cowan. In an elegant manner he had solved the problem of optimality of stomatal behavior; he showed that for a given amount of water transpired in a day, the greatest uptake of CO_2 requires that $\partial E/\partial A = R'$, where R' he generously acknowledged in what became his 1977 opus was the same as my P/N . I was keen to get back to Canberra. I visited Australia in January of 1976 to attend the wedding of my brother David to Jean. I applied unsuccessfully for a job at CSIRO Plant Industry. Then a position as a Research Fellow was advertised in Ralph Slatyer's

タナー一家のマディソンにある自宅にたびたび同うようになりました(Fig. 28)。また、週末になるとよくシカゴに出かけ、お気に入りのシカゴ美術館を訪ねました。MSUオルケシス(MSU Orchesis)というダンスグループ(Fig. 29)と一緒に踊ったり、ランシングバレエ団(Lansing Ballet)の公演に参加したこともあり。1974年にはニューヨークで2~3週間レッスンを受けて悟ったのは、ダンサーにしては素晴らしい植物生物物理学者になるということでした。私は幸運だっただけです。当時の男性ダンサーは、今の男性ダンサーよりも、そして、当時と今の女性ダンサーよりも、踊る機会に恵まれていたのです。

そんなある日、イアン・コーワンから1通の手紙が届きました。彼は、気孔の挙動の最適性という問題をエレガントな方法で解決し、一日に蒸散される水分量が与えられた場合、二酸化炭素の最大取り込み量は、 $\partial E/\partial A=R'$ という数式で求められることを証明したのです。その場合の R' について、寛大な彼は1977年に発表した自身の論文で、私が主張する P/N と同じであることを認めました。私は一刻も早くキャンベラに戻りたいと思うようになりました。1976年の1月に、弟のデヴィッドとジーンの結婚式に出席するため、オーストラリアに戻りました。私はCSIRO植物産業部門の求人に応募したものの、採用されませんでした。やがて、ラルフ・スラットヤの学科でリサーチフェローを募集しているという記事が掲載されました。このポストに応募して私が何とか対等の評価を得たのがデーヴ・シェリフ(Dave Sheriff)で、わずか2本しか論文を発表していない私に比べ、彼はそれ以上の論文を発表していました。しかし、なぜか二人一緒に採用されることになり、しかもそれぞれに一人分の給与が支給され、一人の技師を共同で使うことができるようになりました。

私は、すっかり好きになっていたクラウスの元を離れることになりましたが、その後も彼とは手紙のやり取りを通じて共同研究を続け、1978年にはついに4本の共著論文を発表しました。私たち(彼のご家族を含め)は、今も親しい友人であり、去年も私は、ゲッティンゲン近郊の彼のご自宅にお邪魔しました。彼は来年の1月で90歳になります。

1976年中頃にボンベイ、北京、上海、広東を経由してオーストラリアに戻りました。ただし、その前に、サバティカルを取得してオットー・ラング(Otto Lange)教授(惜しくもこの8月にお亡くなりになりました)の下で研究を続けていたイアンをヴェルツブルクに訪ね、そこで1カ月一緒に研究した後、ギリシャで1週間を過ごしました。ありがたいことに、ANUはヴェルツブルクで過ごした1カ月についても給与

Department. I managed to tie with Dave Sheriff, who had published more than my (still only) two papers, for the position and somehow they allowed us to share the position, each fully paid, sharing one technician.

I said goodbye to Klaus, of whom I had grown quite fond. We continued to work together via snail mail, and eventually published four papers together in 1978. We (including his family) remain close friends and I visited and stayed with him near Göttingen last year. He turns 90 in January 2018.

The trip back to Australia in mid-1976 was via Bombay, Peking, Shanghai and Canton (using their old anglicised spellings), preceded by a month working with Ian in Würzburg, where he was on sabbatical with Prof Otto Lange (who sadly died in August), followed by a week in Greece. ANU kindly paid for the time in Würzburg, I think. Ian and I worked on the optimisation, and I recognised his argument was a simple example of the calculus of variations. My P/N and his R' were now the Lagrange multiplier, λ (Fig. 30). This made matters conceptually easier and an updated version was eventually published, but again not until 1977. Since the theory depended on knowing what the rate of photosynthesis, A , would be if stomatal conductance were different, and....we had to use a mathematical model of photosynthesis, and chose that of Tony Hall. Ian modified it, but felt that it needed more work, and suggested that I probably ought to do it.

Once back at the ANU I drew up plans for an automated gas exchange system, like that of Klaus, where photosynthesis and transpiration could be measured separately on the two sides of a leaf. While we waited for access to machinists and other technical support, I used a potometer, basically a tube connected to a plant stem, where the rate of water uptake is monitored by measuring the speed of movement of a bubble through a capillary attached to the tube. I examined the effects of the hormone abscisic acid on stomatal responses to humidity. In writing it up, I enquired about statistical tests needed



Fig. 30

を支給してくれました。イアンと私は最適化に取り組んでいたのですが、彼の主張が変分法のわかりやすい例だということに私は気付きました。私が提唱する P/N と彼の R' は、ラグランジュ乗数 λ (Fig. 30)でした。この結果、私たちの研究によって、さまざまな問題が概念的にはより簡単なものとなり、私たちはついに最新の研究結果を発表するわけですが、今回も、その発表は1977年までお預けになりました。この理論の成否は、気孔コンダクタンスが異なる場合、光合成速度 A がどうなるのかわかるかどうかにかかっていたために...私たちは光合成の数値モデルを使わざるを得なくなり、トニー・ホール(Tony Hall)のモデルを採用することにしました。イアンがそのモデルを修正してくれたのですが、もっと精査した方がいいと判断した彼は、私が精査をするべきだと言いました。

ANUに戻ると、さっそく私は自動ガス交換システムの設計図を作りました。そのシステムはクラウドが使っていたものと同じで、葉の両面で光合成と蒸散を別々に測定できるというものでした。技術的サポートをしてくれる人たちを待つ間、私はポトメーター(吸水計)を使いました。簡単に言うと、これは植物の茎と繋がった1本の管で、そこに繋がる毛管内を泡が移動する速さを測定し、それによって吸水速度を観察するのです。私は、湿度に対する気孔の反応に対し、植物ホルモンのアブシシン酸が与える影響について調べました。論文執筆にあたって、結果に添付する必要がある統計的試験について問い合わせたところ、試験プロセスのモデルが必要になることがわかりました。そこで私は、フィードフォワード・モデルを開発し、アブシシン酸に関するデータとは別に、論文にして発表しました。一方、シンガポールのチン・ウォン(Chin Wong)という聡明な学生(Fig. 31)が博士課程で研究することになり、彼がガス交換装置の製作を引き継いでくれました。

光合成の数理的に記述することをさらに詳しく研究するきっかけになったのは、現



Chin Wong
1977

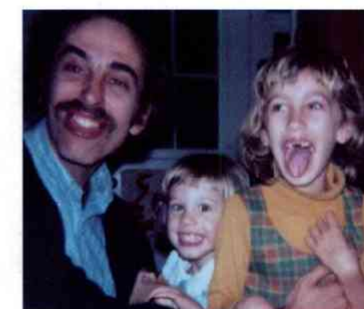
Fig. 31

to accompany the results, and was told that I needed a model of the process. I developed a model, a feedforward model, and published it—without the ABA data. Meanwhile a brilliant Ph.D. student arrived from Singapore, Chin Wong (Fig. 31), and he took over the construction of the gas exchange equipment.

The opportunity to think more about a mathematical description of photosynthesis came when Barry Osmond (Fig. 32), now Professor of Environmental Biology at ANU, hosted a visit from Joe Berry (Fig. 33) from the Carnegie Institution at Stanford. Joe and I discussed an approach to modelling both C_3 and C_4 photosynthesis and conceived the notion of treating the process as being like what Joe called a teeter-totter, and I called a see-saw, where the control was wrested by the process most limiting, whether it was the supply of energy, or the enzyme-limited rate of catalysis. We developed stoichiometric equations for energy demand in terms of ATP, based on the most recent research on photorespiration by George Lorimer, Joe, Barry, and the late KC Woo. We numerically tested values for the resistance to diffusion of inorganic carbon from the bundle sheath back to the mesophyll. Joe presented the ideas (Fig. 34) at the 1977 Photosynthesis Congress in Reading, and the Proceedings paper was published in 1978, emphasising the C_4 results, but with C_3 photosynthesis embedded in the bundle sheath.



LtoR Roger Gifford, GDF, Barry Osmond, Hal Hatch, Tom Grace: NAGOYA 1981
Fig. 32



Joe Berry & daughters - a long time ago!
Fig. 33

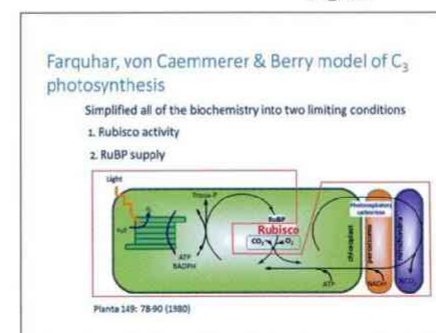


Fig. 34

在、ANUの環境生物学教授であるバリー・オズモンド(Barry Osmond) (Fig. 32) が、スタンフォード大学ワシントン・カーネギー協会のジョー・ベリー(Joe Berry) (Fig. 33)を招聘してくれたことです。ジョーと私は、 C_3 型光合成と C_4 型光合成のモデリングへのアプローチについて議論し、そのプロセスを、シーソー(スタンフォードから来たジョーに言わせれば「ティータートッター」)のようなものとして捉えることを思いつきました。つまり、制御は、エネルギーの供給であれ酵素によって制限される触媒作用の速度であれ、最も制限的なプロセスにより律速が生じるのです。私たちは、ATP(アデノシン3リン酸)というエネルギーの需要についての化学量式を考案しましたが、その根拠となったのは、ジョージ・ロリマー (George Lorimer)、ジョー、バリーそして故KC・ウー(KC Woo)が共同で行った光呼吸に関する最新の研究でした。私たちは実験によって、維管束鞘から葉肉までの無機炭素の拡散に対する抵抗を数値として明らかにしました。ジョーは1977年にレディングで開催された光合成会議(Photosynthesis Congress)でこの考え方を発表し(Fig. 34)、その時のプロシーディング・ペーパーが1978年に発表されました。そのペーパーでは、 C_4 型光合成の結果が強調されたものの、 C_3 型光合成は維管束鞘に埋め込まれていました。

C_3 型光合成については、さらに詳しく取り上げるべきであることは明らかだったので、私はその問題に取り組み始めたのですが、なかなかその研究に集中することができませんでした。イアンは、私が終身雇用資格を取得するために、自分が関わらないテーマで論文を書くべきだと言ってくれました。私は、植物と大気の間におけるアンモニア交換というテーマを選びました。と言いますのも、私たちが、RuBPのカルボキシル化を伴う有名なカルビン回路ではなく、RuBPの酸化を伴う光呼吸回路におけるアンモニアのフラックスを重視したからです。しかも、チン・ウォン(Chin Wong)が実に見事な測定をしてくれたおかげで、葉肉から気孔へ送られるメッセージの存在が示されたのです(Fig. 35)。私たちはこれに関する論文を*Plant Physiology*誌に、そしてもう一つの論文を*Nature*誌に発表しました(Fig. 36)。それはとてもワクワクする経験でした。研究以外でも、私は再びダンスを踊ることになり(Fig. 37-40)、キャンベラ・ダンス・アンサンブル(Canberra Dance Ensemble)を共同で立ち上げました。このアンサンブルが発展してできたのが、現在のキャンベラ・ダンス・シアター(Canberra Dance Theatre)です。

ともかくも、光合成のモデリング研究は続きました。気が付いたのは、ミカエリス

C_3 photosynthesis obviously deserved a more detailed treatment, and I started working on that. But there were distractions. Ian said that in order to get tenure I needed to publish on some topic in which he was not involved. I chose to investigate the exchange of ammonia between plants and the atmosphere, given the importance we gave to its flux in the photorespiratory cycle that accompanied oxygenation of RuBP, rather than the famous Calvin cycle that accompanies the carboxylation of RuBP. Further, Chin Wong was making beautiful measurements that suggested a message being sent from the mesophyll to stomata (Fig. 35). We published a paper on it in *Plant Physiology* and another in *Nature* (Fig. 36), which was a thrill. Still further, I was dancing again (Figs. 37-40), and co-founded the Canberra Dance Ensemble, which later became today's Canberra Dance Theatre.

Somehow work on the modelling of photosynthesis continued. I realized that conventional descriptions of enzyme kinetics, which assume that the enzyme concentration is vanishingly small compared to the Michaelis constant, could not apply *in vivo* to RuBP carboxylase-oxygenase, as the concentration of sites within the

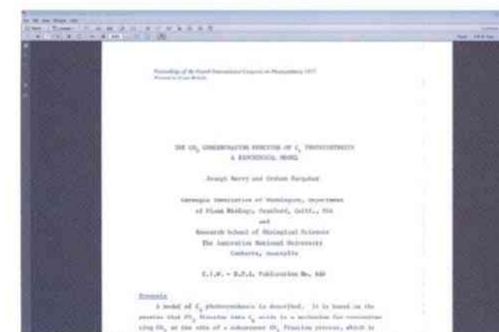


Fig. 35

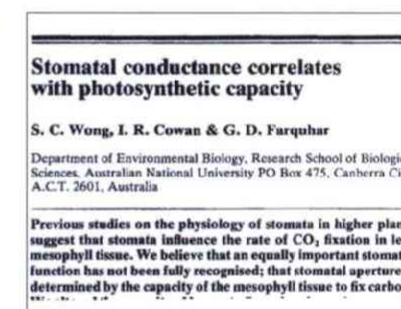
Nature 1979
Fig. 36

Fig. 37

G Farquhar (left)
with Neil Roach

Fig. 38

G Farquhar with
Penny Richards



Fig. 39

G Farquhar with
Stephanie Burridge

Fig. 40

After-show party

定数に比べると、酵素濃度は事実上無視できるほど小さいと仮定する従来の酵素反応速度論が、生体内でRuBPカルボキシラーゼ/オキシゲナーゼには適用できないということです。なぜなら、葉緑体内部のサイトの濃度は約4 mMであるのに対し、二酸化炭素の K_m は約10 μ Mだからです。私は適用可能な理論を考案し、1979年に発表しました。トニー・ホール(Tony Hall)が訪ねてきてくれたので、こうした進捗状況について議論したところ、なんと彼は草稿を書き上げて、一緒に論文を執筆しようと言ってくれたのです。しかしジョーと私は、二人で論文を発表するつもりでしたし、電子伝達の問題や、光度に対するその依存、量子収量の表現や補償点の研究を早く進めたいという気持ちになっていました。一方、イアンの下でサマースチューデントとして研修していた純粋数学専攻のスザンヌ・フォン・ケメラー(Susanne von Caemmerer) (Fig. 41)が、博士課程に進むことになりました。話し合いの結果、ある植物種の葉に見られる $\partial E/\partial A$ と関連する動きについて彼女が調べるようになりました。その発想は、炭素獲得にかかる水分の限界コストは、それが気孔の変化に関連するの、葉の角度の変化に関連するのに関係なく、常に同じでなければならないというものです。しかし、葉の角度が変われば、最適な気孔コンダクタンスの計算式も変わりますし、その逆も然りですから、これは非常に複雑なテーマでした。スザンヌは、光合成モデルの予測について実験するつもりでしたが、これはかなり大胆な試みでした。と言いますのも、彼女はそれまで、そうした実験の経験がほとんどなかったからです。私たちは、論文投稿に向けて細かな点を詰め、ついに1979年7月初めに論文投稿にこぎつけました(Fig. 42)。数カ月後、ようやく私たちの元に、アントン・ラング(Anton Lang) (PRLでのクラウスの上司で、私の好きな人物です)から手紙が届きました。それには、オリジナルのデータがない論文は掲載しないとい

chloroplast is about 4mM, while the K_m for CO_2 is about 10 μ M. I developed the appropriate theory and published it in 1979. Tony Hall visited and we discussed developments and he surprised us by writing a manuscript and offering me co-authorship. But Joe and I wanted our own paper and we were now motivated to move faster, with treatment of electron transport and its dependence on light intensity, and expressions for quantum yield, and compensation point. Meanwhile Susanne von Caemmerer (Fig. 41), a Pure Mathematics student, had worked for Ian as a summer student, and then decided to do a Ph.D. After some discussion she set to work on relating leaf movement seen in some plant species, to $\partial E/\partial A$, the idea being that the marginal water cost of carbon gain ought to be the same whether it be related to stomatal change, or leaf angle change. However, the topic is very complex, given that a change in leaf angle changes the calculations for optimal stomatal conductance, and *vice versa*. Susanne decided that she would like to test the predictions of the photosynthesis model, which was rather daring given that her background included little relevant experimental experience. We worked on a lot of details for submission, which we finally managed in early July 1979 (Fig. 42). Months passed and we finally received a letter from Anton Lang (Klaus' boss at the PRL and a man I liked) saying that the paper was rejected as it was *Planta* policy not to publish papers with no original data.

Ian, though not a co-author, wrote a letter on our behalf asking why, if it was policy, the decision took months. Eventually we resubmitted it when Anton was on leave, and the European editor accepted it, and it was published in 1980, the year John Lennon was assassinated. Later, Anton asked me to review all the modelling papers that were submitted to *Planta*, and I came to sympathise a little with the previous policy.

The work on photosynthesis helped me get a promotion and tenure in 1980. I had thought I was relaxed about tenure, until I actually got it, and astonished myself with the

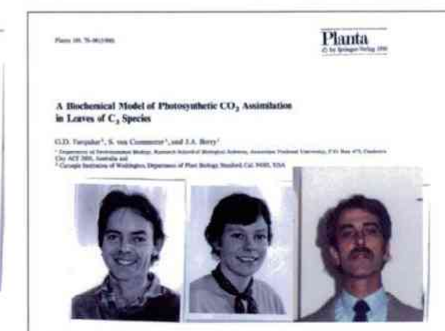
Susanne von
Caemmerer
Fig. 41

Fig. 42

うのが*Planta*誌の方針なので、私たちの論文は掲載できないと書かれていました。

イアンは論文の共著者ではなかったにもかかわらず、オリジナルのデータがない論文は掲載しないというのが雑誌の方針なら、なぜ決定までに何カ月もかかったのかを問う手紙を、私たちのために書いてくれました。結局、私たちは、論文を再提出しましたが、その時期にアントンが休暇を取っていたため、代わりにヨーロッパの編集委員が掲載を認めてくれたので、この論文は1980年、つまりジョン・レノンが暗殺された年に発表されました。後に、アントンから*Planta*誌に投稿されたモデリングに関する全論文の査読を頼まれましたが、かつての方針に少し共感を覚えるようになりました。

光合成研究のおかげで私は1980年に昇進を果たし、終身雇用資格を取得することができました。それまで私自身、終身雇用にならなければならぬというつもりがなかったので、いざこの資格を取得してほっとした気持ちになったのは、我ながら意外でした。先が見えないというのは、深刻で不合理なものなのです。

私たち3人の論文(Farquhar, von Caemmerer & Berry論文)は、当初、物議を醸しました。1981年に発表されたスザンヌの実験は、私たちの考えを裏付けるものでした。私たちは、1982年にある専門事典で詳細を発表し、その後、スザンヌは博士課程を終えて、ジョー・ベリーの手下でポスト・ドクトラル・フェローになるためにANUを離れました。私がイーストランシングにいた頃にクラウスの下で技師を務め、その後博士課程を修了したトム・シャーキー(Tom Sharkey)が、積極的に独創性豊かなポスト・ドクトラル・フェローとして、私たちの研究室に加わりました。私たちは、気孔と光合成に関する論文をアニュアル・レビューに発表しました。さらにトムは、ルビスコ活性やエネルギー/還元体供給の制限以外の、光合成の第三の制限、すなわちトリオースリン酸利用の制限を明らかにしました。もしも、葉緑体、糖リン酸エステルから運び出される光合成産物が利用されなければ、リン酸は細胞質に放出されず、葉緑体にはリンが枯渇することになります。

1978年を境に、私にはさらなる研究テーマが生まれました。そのきっかけは、ジョー・ベリーが再びバリー・オズモンドのもとを訪れたのと同じ時期に、化学反応や物理的・化学的特性に対する同位体の影響の専門家であるウィスコンシン大学のマリオン・オラーリー(Marion O'Leary) (Fig. 43)も彼の元を訪れたことでした。ある日の昼休み、マリオンとジョーと三人で、同位体分別について議論していると、マリオンが、化学的観点から見たこのプロセスについて話してくれたのです。ジョー

relief I felt. Insecurity can be deep and irrational.

The Farquhar, von Caemmerer & Berry paper was initially controversial. Susanne's experiments, published in 1981, supported the ideas. We published a fuller treatment in an Encyclopedia in 1982 and then Susanne graduated and left to do a post-doctoral fellowship with Joe Berry. Tom Sharkey, who had been a technician with Klaus when I was in East Lansing, and then did a Ph.D. with Klaus, then came to the laboratory as an active and creative post-doctoral fellow. We published an Annual Review article on stomata and photosynthesis. Tom went on to introduce a third kind of limitation to photosynthesis, beyond that of the activity of Rubisco itself, and of energy/reductant supply, and that was triose phosphate utilisation limitation. If the products of photosynthesis exported from the chloroplast, sugar phosphates, are not used, phosphate is no longer released in the cytoplasm, and the chloroplast becomes starved of phosphorus.

Another theme had been developing in my research, since 1978 when Joe Berry had again visited Barry Osmond, and overlapped with a visit from Marion O'Leary (Fig. 43) from Wisconsin, a chemist expert in the effects of isotopes on chemical reactions and physical chemical properties. Marion, Joe and I discussed isotopic discrimination during lunch breaks, and listened to Marion's chemistry related view of the processes. Joe and I grasped physiological aspects. Basically the principle was that if gaseous diffusion through the stomata were limiting photosynthesis, the discrimination would be small, but if diffusion placed no limit, the Rubisco could fractionate a lot, with $^{13}\text{CO}_2$ left behind able to diffuse back out of the leaf. I saw that it was a way of roughly estimating genetic and physiological differences in both $\delta E/\delta A$ and in the ratio of plant carbon gain to water loss, which we cheekily called plant water-use efficiency. Our theoretical paper was published in 1982, just after an experimental test of the theory

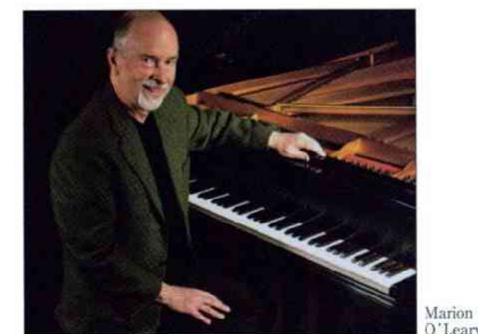


Fig. 43

Marion
O'Leary

と私は生理学的観点から見たこのプロセスについては把握していました。基本的な法則としては、気孔からのガスの拡散によって光合成が抑制されるのであれば、同位体分別は小さくなるが、拡散によって光合成が抑制されないのであれば、残された $^{13}\text{CO}_2$ が、葉から再び大気中に拡散されるため、ルビスコが多く分別されるということです。私はこれによって、 $\partial E/\partial A$ と植物での水分蒸散に対する二酸化炭素獲得の比率の両方における遺伝子上および生理学上の違いを大まかに計算できると考えました。そして厚かましくも私たちは、これを植物の水利用効率と名付けたのです。私たちの理論研究は1982年に発表されましたが、その直前に、スザンヌがもう一人の大学院生であるマリリン・ボール(Marilyn Ball) (Fig. 44)と共同で、ガス交換実験を行い、この理論の実験的試験の結果を公表しました。私たちは、ロジャー・フランシー(Roger Francey)と共に、年輪の炭素同位体比をいかに解釈できるのかを明らかにし、その論文が再び*Nature*誌に掲載されました。ポスト・ドクのケント・ブラッドフォード(Kent Bradford)が、アブシシン酸を欠いた変異体植物では気孔が大きく開いていることを明らかにし、対照群よりも炭素同位体分別が大きいことを証明してくれたことで、私たちの理論は裏付けられました。アブシシン酸を変異体に塗布すると、気孔の開きも分別も緩和されました。

その頃、週末にのんびりとキャンベラのバーリー・グリフィン湖近くの公園を散策していた私は、1962年にマッキノン高校で一緒だったリチャード・リチャーズと偶然再会しました。彼は、一緒にいた奥様のポーリーン(二人はここに来てくださっています)と娘さんのエイミーを紹介してくれました。そして私とリチャードは、研究者として共通の関心を持っていることに気付いたのです。当時(そして今もですが)リチャードは、CSIROで小麦の育種に携わっていました。彼は遺伝子型を使っていた



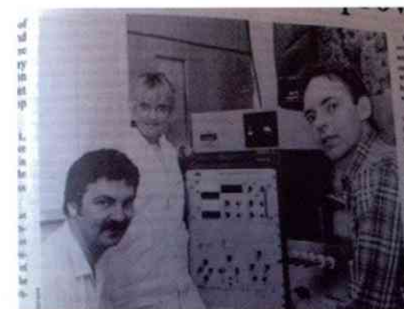
Marilyn Ball

Fig. 44

involving gas exchange experiments by Susanne & Marilyn Ball (Fig. 44), another Ph.D. student, was also published. With Roger Francey we showed how the carbon isotopic composition of tree rings could be interpreted, and this scored another *Nature* publication. A post-doc, Kent Bradford, showed that mutant plants lacking abscisic acid had very open stomata, and showed greater carbon isotope discrimination than the controls, supporting our theory. Application of ABA to the mutants reduced both stomatal opening and discrimination.

Meanwhile, on a relaxing weekend walk through a park on the banks of Canberra's Lake Burley Griffin, I ran into Richard Richards whom I had known in McKinnon in 1962. He introduced me to his wife Pauline (both here today) and daughter, Amy, and we discovered that we had professional interests in common. Richard was (and is) a wheat breeder at CSIRO. He had genotypes that had contrasting water-use efficiency measured at the pot level, and measured in two contrasting seasons. He had kept some leaf dry matter from the experiments and Zarko Roksandic (Fig. 45) was able to combust them and measure the carbon isotopic composition. We plotted the results as they slowly appeared from the mass spectrometer, agreeing with theory to a fair approximation. We celebrated with champagne! There was something magical and mysterious (hence my title) about the link between ideas, their mathematical expression and the material results of sowing wheat seeds, measuring the plant growth and water use, and the isotopic composition. We published in the *Australian Journal of Plant Physiology* (on whose Advisory Committee I was a member) in 1984, with one reviewer asking us privately why we hadn't gone to *Nature*.

Thus began a long collaboration with Richard and his team (Fig. 46) (including Tony Condon, who did a Ph.D. jointly with Richard and me, and Greg Rebetzke, a quantitative geneticist) as they surveyed wheat lines for variation in isotopic

Zarko Roksandic, Sue Wood and G Farquhar
Fig. 45G.D.F., Richard Richards, Tony Condon & Greg Rebetzke
Fig. 46

のですが、それらは、鉢栽培環境で測定しても、全く対照的な2つの季節に測定しても、水利用効率が全く異なるものでした。実験で使った葉乾物を彼が保存していたおかげで、ザルコ・ロクサンディチ(Zarko Roksandic) (Fig. 45)はそれを燃やし、炭素同位体比を測定することができました。質量分析計にゆっくりと表示される数値をグラフにしたのですが、それは理論とほぼ正確に一致するものでした。あまりのうれしさに、私たちはシャンパンでお祝いしました。観念、その数学的表現、および実際に小麦の種を蒔いたりその成長や水利用を測定したりする行為の結果、そして炭素同位体比との関連には、今回の講演のタイトル通り、どこかマジカルでミステリアスなものがあったのです。私たちは1984年に、この論文を*Australian Journal of Plant Physiology*誌(私はこの雑誌の諮問委員会のメンバーでした)に発表しましたが、ある査読者から、こっそりこう尋ねられました、「どうして*Nature*誌に投稿しなかったんだ」と。

こうして、リチャードや彼のチーム(Fig. 46)(博士課程でリチャードや私と一緒にだったトニー・コンドン(Tony Condon)や量的遺伝学者のグレッグ・レベツケ(Greg Rebetzke)など)との長い共同研究が始まりました。この研究を通して、彼らは小麦の系統を調べて炭素同位体比の違いを確かめ、分別の低いもの(水利用効率が高いもの)を選別して、それを戻し交配することで流通可能な小麦を目指していたのです。その過程でいろいろと興味深いことがわかり、さまざまな科学的知見が明らかになり、ついに2002年には、この取り組みで彼らが初めて育成した品種が発売されたのです。リチャードはこの品種を、オーストラリアの有名な画家であるラッセル・ドライズデール(Russell Drysdale)に因んで、*Drysdale* (Fig. 47)と名付けました。また、私とグレッグ、トニー、リチャードの共同論文が*Crop Science*誌に掲載されました。

これ以外にも1984年以降の特筆すべき出来事としては、寺島一郎先生(今日、ここにきてくださっています)と1988年に発表した気孔開度の不均一性に関する研究、1993年に*Nature*誌に発表した、炭素と酸素を含む、大気中二酸化炭素の同位体置換体の解釈に関するジョン・ロイド(Jon Lloyd)との論文、1997年にデヴィッド・デ・ピュリ(David de Pury)と行った、光合成の考え方を作物群落にも適用することに関する研究、世界中で蒸発要求が低下しつつあり、後に、陸上ではその原因が風速の低下にあることを明らかにした、マイク・ロデリック(Mike Roderick)との研究、蒸散効率と炭素同位体比に影響を与える遺伝子を最初に同定したジョゼット・マスル



Russell Drysdale, 'The Drover's Wife', c.1945.
National Gallery of Australia, Canberra
Fig. 47

Fig. 48

composition, chose a line with low discrimination (high water-use efficiency), and back-crossed it into a commercial wheat line. The process generated a lot of interest, a lot of science, and eventually the commercial release in 2002 of the first variety bred in the program, that Richard named *Drysdale* (Fig. 47) after a famous Australian artist, together with a paper by Greg, Tony, Richard and myself in *Crop Science*.

Other notable developments since 1984 included work on patchy stomata with Ichiro Terashima (here today) in 1988, the interpretation with Jon Lloyd of isotopologues of atmospheric CO₂, involving both C and O, published in *Nature* in 1993, extending the photosynthesis treatment to the crop canopy with David dePury in 1997, showing with Mike Roderick that evaporative demand is going down around the world, and later that over land it was because of declining wind speeds, with Josette Masle (here today) showing the first gene identified as affecting transpiration efficiency and carbon isotope composition (*Nature* 2005). With over 330 papers now published I feel badly about not mentioning all the highlights, and hope my colleagues will forgive me.

Many of these papers derived to some extent from the modelling of photosynthesis. Other people of course have also applied the model. For example, in crop models, it is used to predict how the canopy photosynthesis would respond to changes in the biochemical makeup of the plants. The majority (9 out of 11) of current climate-carbon models adopt some version of it (Fig. 48). This aids understanding sources and sinks of carbon dioxide. Further, via Chin's empirical observation that stomatal conductance correlates with photosynthesis, it is used to model the surface fluxes of water and heat, solving for surface temperatures, in weather—forecasting models, in Europe and elsewhere.

We are still developing the model. With Florian Busch & Rowan Sage we have a paper in press in *Nature Plants* that examines the interaction between amino acid

(Josette Masle) (今日、ここに来てくれています)との論文(*Nature*, 2005)があります。これまで発表した論文は330本を超えるため、そのすべてについて触れることができないことを申し訳なく思いますとともに、共同研究者にはお許しいただきたいと思います。

こうした論文の多くは、何らかのかたちで光合成のモデリングに関連があります。もちろん、光合成のモデルは他のさまざまな研究者によっても応用されています。たとえば作物モデルでは、植物の生化学的特質の変化に、群落の光合成がどのように反応するのかを予測する際にこのモデルが使われています。また、最近の気候・炭素モデルのほとんど(11のモデルのうち9つ)が、このモデルに手を加えたモデルを採用しています(Fig. 48)。このことは、二酸化炭素の吸収と排出に対する理解を深めます。さらに私たちのモデルは、気孔コンダクタンスが光合成と相関関係にあるという実験に基づくチンの見解を根拠として、水分と熱の地表面フラックスのモデリングにも利用され、ヨーロッパをはじめとする世界各地の気象予報モデルにおける地表面温度の予測に役立っています。

このモデルは今も開発途中です。フロリアン・ブッシュ(Florian Busch)やローワン・セージ(Rowan Sage)と共同で執筆した論文が、*Nature Plants*誌に掲載予定ですが、この論文は、アミノ酸の化学合成と光呼吸の相互作用に関するもので、窒素栄養と二酸化炭素の増加への対応に示唆を与えるものです。今後は、光の吸収と電子伝達に関するさらに詳細なモデルを加えて、光合成のモデリングと成長のモデリングとのギャップを埋めていきたいと考えています。

最後に、これまで私の研究に大きな影響を与えてくださった方々に感謝の言葉を述べさせていただきます。

すでにお話したように、若い頃の私は、故ラルフ・スラットヤー(Fig. 49)から大きな影響を受けました。45年にわたり私は彼からいろいろなアドバイスを受けたのですが、その間に彼はオーストラリアの初代チーフサイエンティストに就任しました。特に、1997年に京都で開催された第3回気候変動枠組条約締約国会議にオーストラリア代表団の科学顧問として出席した折には、関係への接し方について彼からアドバイスをもらいました。その時、彼は、科学的には筋を通し、微妙な政治問題はプロの政治家に任せた方がいいと教えてくれました。彼自身が政治的嗅覚の鋭い人だったので、たぶん私の苦手分野がわかったうえでそうアドバイスしてくれたのだと思います。



Ralph Slatyer

Fig. 49

Ian Cowan



Fig. 50

synthesis and photorespiration, with implications for nitrogen nutrition and responses to increasing $[CO_2]$. Next we plan to include a more detailed model of light absorption and electron transport, and to start to bridge the gap from modelling photosynthesis to modelling growth.

But before ending I would like to acknowledge some people who significantly influenced my science.

I have already mentioned the late Ralph Slatyer's early influences (Fig. 49). He was a source of advice for 45 years, as he rose to become Australia's first Chief Scientist. He counselled me about dealing with government ministers, especially when I came to Kyoto in 1997 as a science advisor to the Australian delegation to the 3rd Conference of Parties to the UN Framework Convention on Climate Change. His advice to me was to make the science clear, and that tricky political issues would be best handled by professional politicians. Perhaps that was an assessment of my shortcomings, in that he was extremely astute politically himself.

Ian Cowan (Fig. 50), influenced me scientifically more than anyone else. He was a

イアン・コーワン(Fig. 50)からは、研究面で他の誰よりも強い影響を受けました。新しいアイデアを思い付いた時の私にとって彼は良き相談相手でしたが、彼自身もアイデア豊かな人で、いつも光合成の分野の先を行っていました。また発表する論文については徹底した完璧主義者でした。おかげで私が探究し活用することのできた実り豊かな科学的群落を提供してくれました。残念ながら少し前にお亡くなりになりましたが、彼と議論しようと思っていた未解決の課題があまりに多く、私は途方に迷ってしまいました。

今は亡きチャンプ・タナー、それにクラウド・ラシュキ、ジョー・ベリー、チン・ウォン、そして私のパートナーであるジョゼット・マスル(Fig. 51)と子供たちのジーン(Jeanne)、エラ(Ella)、エティエンヌ(Etienne)にも感謝の言葉を贈らなければなりません。

最後に、こうして栄えある顕彰に与り、皆さまの前で講演する機会を与えてくださった稲盛博士と稲盛財団に、感謝申し上げます。



Graham, Josette Masle, Jeanne, Ella & Etienne, Betty Farquhar
Fig. 51

sounding board for any new ideas I had, but had so many of his own, and was so far ahead of the field, and was such a perfectionist about publishing, that he created a fertile canopy of science for me to explore and exploit. He died recently and I was distraught as there are so many things outstanding, that I had intended to discuss with him.

The late Champ Tanner, Klaus Raschke, Joe Berry, Chin Wong. My partner Josette Masle (Fig. 51), and our children, Jeanne, Ella & Etienne

Thank you Dr. Inamori, and the Foundation, for this wonderful recognition and for the opportunity to talk with you all.

稲盛財団2017——第33回京都賞と助成金

発 行 2018年 8 月31日

制 作 公益財団法人 稲盛財団

〒600-8411 京都市下京区烏丸通四条下ル水銀屋町620番地

Tel: 075-353-7272 Fax: 075-353-7270

E-mail press@inamori-f.or.jp URL <https://www.inamori-f.or.jp>

ISBN978-4-900663-33-6 C0000