

光合成ユニビシティ

Photosynthesis Ubiquity News Letter



No.4 Jun. 2025

目次

- P2 (1) ご挨拶
領域代表 栗栖源嗣
- P3 (2) 日本スイス二国間セミナーの思い出
A02 岡山大学資源植物科学研究所 坂本 亘
- P10 (3) シリーズ 私が学生だった頃
A04 東京科学大学 吉田 啓亮
- P17 (4) 連載 光合成研究事始(四)
A04 早稲田大学 教育・総合科学学術院 園池 公毅
- P22 (5) 光合成ユビキティ 2025 上半期 活動記録



写真：北海道大学 熊沢穰さん

ご挨拶

暑い日が続きますが、光合成ユビキティの領域メンバーの皆様はいかがお過ごしでしょうか。

埼玉・秩父で開催された初の合宿形式での領域会議に参加し、全日とも一番前でみなさんの発表を拝聴しました。非常に活発に領域研究を実施していただき大変嬉しく思うとともに、合宿形式での交流から更なる共同研究がスタートすることを切に希望しております。発表はクローズドということで、未発表データも沢山共有していただきました。領域代表としては、だんだん迫ってきた中間評価が気になるところです。（私を含めて）これらのデータを着実に論文発表していきましょう。あいにくの雨でしたが最終日の植生観察も記憶に残るイベントでした。領域会議がなければ、秩父の長瀬で植生観察することもなかったのかな？と思っています。おかげさまで地球科学にも少し詳しくなって、長瀬の片岩（層状の石）を記念に持って帰って教授室の書棚に飾りました。地球の長い歴史を参考に光合成の進化へ注意を喚起する目印にしたいと思います。領域会議をお世話いただきました、埼玉大学の日原さん、東京科学大の吉田さん、東大の斉藤さん、改めまして大変ありがとうございます。今回お届けするニュースレター第4号も、面白い記事が盛りだくさんです。

本号でも、前々回の日米二国間セミナー、前回の日本フィンランド二国間セミナーに続き、日本スイス二国間セミナーの歴史について坂本さんが長文の記事を寄稿してくださっています。残念ながら私自身は参加したことはありませんが、記事の中にある写真を拝見していると領域ではお馴染みの顔があちこちに写っていますね（みんな若いですが）。領域のアドバイザーを務めてくださっている岡山大学の高橋さんの人的ネットワークとホスピタリティにより多くの二国間セミナーが開催されて、日本の光合成研究が広く世界で認知されていると改めて認識しました。高橋さん、ありがとうございます！

私が学生だった頃のシリーズ記事は、秩父の領域会議でもホストの一人として活躍してもらった東京科学大（どうしてもまだ東工大と言ってしまうですが）の吉田さんです。吉田さんは私と同じ阪大の出身なので、出てくるお名前や場所に大変馴染みがあります。2003年という助手だった私ともオーバーラップしていますね。当時の寺島研の雰囲気と吉田さんの奮闘が誌面から溢れるように伝わってきます。領域会議のお酒の量は寺島研ゆずりということですかね？（笑）。園池さんの連載企画「光合成研究事始（その四）」も公開前に拝見いたしました。光化学系I周辺の電子伝達に興味をもっているの、大変勉強になりました。うちの研究室の学生さんは必読です！文字だけだとフォトマルやX-Yプロッター、NECのPC98と言われても今の学生さんには分からないかもしれませんが、当時の綺麗な写真を一緒に掲載してくださっているので分かりやすいですね（私は写真なしでも分かります）。連載記事の最後に、加藤先生の訃報が注記に記載されています。私の卒業した研究室では、先輩や同級生がプラストシアニンの構造解析をしていたので、直接お会いしたことはありませんでしたが加藤先生のお名前は博論・修論の引用文献で必ず名前がでてくるレジェンドでした。日本の誇る先達のご冥福をお祈り申し上げます。

まだまだ暑い日が続きますが、みなさん体調に気をつけて南国の植物のように頑張ってください。パイナップルやマンゴーのように光合成の成果が得られることでしょ！

領域代表 栗栖源嗣

日本スイス二国間セミナーの思い出

A02 岡山大学

坂本 亘

光合成研究と二国間セミナーの歴史については、これまでのニュースレターでも、日米（第 2 号）と日本フィンランド（第 3 号）についての記事が掲載されている。今回は、私が日本スイスについて思い出を辿りながら書かせていただくことになった。高橋さん、久堀さん、鹿内さんにも、思い出すのを手伝っていただいた。

第 1 回（2003 年 9 月・倉敷）

日本とスイスで始まった二国間セミナーの背景と当時の研究状況を最初に記しておく。

光合成研究者が積極的に二国間セミナーを開催していたことは以前の高橋さんの記事に詳しくあるが、古くは 1980 年代から続くこの歴史を日本とスイスに拡張したのが高橋さんと Jean-David Rochaix さんであり、2003 年に第 1 回が岡山県倉敷市で開催された。Rochaix ラボが高橋さんのかつての滞在先で、かつ共同研究者でもあったことがこの申請の背景にあったと察する。テーマと顔ぶれを見ると、光合成反応よりも「光合成器官としての葉緑体」を意識しているのがわかる。光合成をシステムとして捉えた上で、その律速段階や環境変動に適應する調節機能が注目を集めた時代背景があったのかもしれない。

この当時、スイス側では Rochaix らのグループによる Stt7 と STN7 キナーゼの発見、Klaus Apel らの 1 重項酸素シグナリングと Ex1 の発見、Wilhelm Gruissem らの Genevestigator などデータベースの開発、など画期的な成果がスイスから出ていて、それらを聞いて感動しただけでなく、彼らの熱心な質疑応答がとてもフレンドリーだった印象が強く残っている。生化学に加え、分子遺伝学・バイオインフォマティクスの興隆期でもあった。日本側の研究も、鹿内さんの新しいサイクリック電子伝達経路の発見、久堀さんのアフィニティ精製による Trx 標的タンパク質の網羅的解析、高橋さんらの PSI アセンブリ因子の精製、などオリジナリティの高い成果で双方が盛り上がっていた。私も葉緑体タンパク質分解系の主要因子 FtsH を遺伝学的に解明した成果をすぐ評価してもらい、Stefan Hortensteiner や田中歩さんらがテーマとするクロロフィル分解との関連性を考える端緒をいただき、その後、葉緑体プロテオスタシスという概念確立のきっかけになった。皆さんから良い評価をもらい、翌年の国際光合成学会にデビューして、研究の方向性が決まっていた。私の独断もあるかもしれないが、関係者に聞いても、この倉敷の会議が「ベストオブ二国間セミナー」という方も多い。オリジナリティとクオリティの高い双方の研究が、それぞれを意識しながら協力的に意見交換し、その後の研究にも活かされていったように思う。個人的な話で恐縮だが、私の勤務先（資源植物科学研究所）は、会場だった倉敷国際ホテルから徒歩数分で、研究室を立ち上げた時期で慌ただしくラボを行き来していたので、この時は懇親会で知己を深めたというよりは、仲間に入れてもらったかなという程度だったかもしれない。でも、懇親会やエクスカージョンにはしっかり参加させていだいた。

この会合が素晴らしかった、もう1つの理由がオーガナイズした高橋さんのホスピタリティだった。参加者の自由な討論を支える二国間セミナーの雰囲気と余興のゴージャスさが、その後のシリーズにも受け継がれていったように思う。瀬戸内海へのエクスカーショントと旅館での食事会は、スイスからの参加者がものすごく喜んでいて姿が今でも目に浮かぶ。会議後に高橋さんが学内広報「いちよう並木」に投稿した報告記を、参加者の一人でもあった小澤さんが持っていたので、その記事をそのまま以下に掲載させていただく。

私たちは、生きていくために必要なエネルギーを毎日の食事と呼吸により得ています。しかし、それら炭水化物と酸素は、植物などが行う光合成の生産物であることを忘れていている方が多いのではないのでしょうか？

光合成反応は、植物細胞の葉緑体と呼ばれるユニークな細胞小器官で行われます。この葉緑体は、独自の遺伝情報（葉緑体 DNA）をもつなどの特徴から、太古の昔に、原始シアノバクテリアという光合成をする原核生物が、真核細胞に共生したことが起源であると考えられています。

この葉緑体に関する「光合成器官の生合成、機能および適応」を主題とした、日本・スイス二国間セミナーが、倉敷市の美観地区で9月29日～10月3日の日程で開催されました。このセミナーは、日本学術振興会とスイス国立科学財団(SNSF)の助成を受けて、ジュネーブ大学のロシェ教授と共同で開催しました。葉緑体に関する研究には、両国ともに高いレベルの研究実績があります。国際研究集会は大きいものは数千人の参加者があります。しかし、今回のセミナーでは両国の参加者はあわせて25名ほどで、朝食の時から深夜のセッションまで、快適で充実した時間を過ごすことができました。

スイスは、人口が数百万の小国で、アルプスでの酪農が盛んな、のんびりとした農業と観光の国である、という印象をもっている人が多いのではないのでしょうか。実際は、資源が乏しいため、教育に大きな投資をし、人々は勤勉で、ヨーロッパの中でも最も豊かな工業国です。当然、大学は充実していて、基礎科学にも多額の国家予算が投入され、高いレベルの研究が行われています。今回のセミナーにより、葉緑体の研究だけでなく、両国の研究交流が活発になれば素晴らしいと思います。そして、本セミナーにおける研究成果が、「植物の光合成を利用した待機中の二酸化炭素の削減」や、「生産力の増加した作物の育種」の基礎研究として、将来役に立つだろうと希望しています。

ところで、倉敷は観光地として有名ですが、昼間は観光客でにぎやかでも、夜になると驚くほど静かなところであることを発見しました。ずいぶん以前は、このように静かな街が、日本の至る所に残されていたのではないかと想像されます。一度夜遅くに散歩がてらお出かけになることをお勧めします。

理学部・教授・高橋裕一郎

第 1 回セミナーから(2003 年 9 月・倉敷)



懇親会後の集合写真



会場の風景



倉敷国際ホテル中庭での記念撮影

この集合写真に Sacha Baginsky と Felix Kessler が写り損ねている。

第 2 回 (2005 年 10 月・ルツェルン)

倉敷における日本スイス二国間セミナーの成功を受けて、今回は同じシリーズをスイスでやろう、ということになったのだと思う。テーマも「Toward a system view of plastid differentiation and functions」で、前回の延長線上でプラスチド分化と機能が前面に押し出されている。スイス側のオーガナイズは葉緑体研究の大御所 Gruissem さんで、この頃はバークレイから ETH に移ってシステムバイオロジーを展開されていた。日本側は彼とアメリカで親交もあった杉田さんがオーガナイズを務められた。当時、まだ若手（に近い方）だった私は、自分の発表に専念して参加させてもらった。開催地はルツェルン。スイス中部の古い街並みが残る湖沿いの小都市でチューリヒから鉄道で 1 時間程度。アクセスの良いスイスの観光都市の 1 つである。会場になったホテルは、駅から 10 分程度、石畳を歩いた古めかしいホテルで（これを執筆するのに改めてネットで調べてみたら、500 年くらいの歴史があるらしい！）、螺旋階段を歩くとミシミシ音を立てる。とはいっても小綺麗でスイスらしいサービスが行き届いたところで、オーガナイザーである Gruissem さんの行き届いたホスピタリティを感じた。というのも、記憶に残っている思い出がある。最初についた夜、皆さんで食事をしていただけけれど、別テーブルでタバコを吸っている地元のグループがいて、Gruissem さんがひどく立腹してホテルに真っ赤になって苦情を言っていたことである。今思えば、たゞご立腹されただけかもしれないが、我々のためにここまで頑張ってくれるんだな、と勝手に解釈して感激した記憶がある。なお、スイス側のアテンドは Gruissem ラボの Sacha Baginsky さんが担当してくれて、エクスカーションも彼が案内役の全てを引き受けてくれていた。彼とはタンパク質分解とリン酸化プロテオームの解析でよく意見を交換することになるが、この二国間を介した縁が後々の意見交換を深めるきっかけになったと実感している。発表者は、日本から 11 名、スイスからは 10 名。ルツェルンについては、街を散歩した記憶はあるのだが、エクスカーションを除き、会議は丸 2 日半みっちりだったので残念ながらよく覚えていない。会議の内容は、前回からのメンバーも多く、かつ 2 年という時間経過もあり、研究のプログレス

的な感もあったが、それ故に個々の研究を深く知る機会になったという面もあった。日本からは伊福さん、本橋さん、中井さん、小川さんなど新たなメンバーが加わっている。オーガナイザーの希望もありクロースドでの未発表データも発表していたような気がする。

エクスカーシオンは、3 日目の午後。市街に面した湖岸から対岸のフィッツナウを目指した遊覧船に乗り、そこからケーブルカーに乗ってリギ山に登り、遠くアルプスの山並みを眺めながらの軽いハイキングをした。スイスのケーブルやロープウェイは、ご存知の方も多いと思うが、比較的短い時間で 3000m 程度の標高差を一気に登っていくものもある。リギ山の標高は 2000m 弱だが、登山鉄道はヨーロッパ有数の古いものらしく、スイスらしいケーブルと山並みを望むことができた。この手のケーブルカーは、私は過去の経験から知っているけれど、油断して乗っていると急な標高差で気分が悪くなったりするので注意が必要である。そんなスイスらしい経験をしてほしいというホストの意向は感じた。エクスカーシオンはまた、訪問地の様々な経験することはもちろん、それらの時間で参加者との会話が弾む絶好の機会でもあった。スイス側に限らず、日本国側の参加者とも研究の議論をするよい機会であったように思う。

第 2 回セミナーから(2005 年 10 月・ルツェルン)



エクスカーシオン(リギ山)での集合写真



ディナーの一幕

第 3 回 (2008 年 10 月・奈良)

ルツェルンで、第 3 回をどうするかという議論になったのかもしれない。詳しい記憶はないが、大御所が務めていたオーガナイザーを（当時のメンバーからすると）若くしよう、ということで私と Sam Zeeman が次の申請をまとめることになったのだと思う。もしかすると、代表は若くしたけれど、採択には大御所の先生方が日本とスイスの双方で多大な努力をしてくれたのかもしれない。申請に関しては、少し間を空けてはどうかということになり、2008 年開催になった。少なくとも申請が採択されなかったためにこうなったという経緯ではなかった。二国間セミナーの申請を引き受けると、落ちたら大変だというプレッシャーも大きいのだが、前回までの成功が基盤になっているのであまり気にせず「Photosynthetic Adaptation and Chloroplast Dynamics」という前回までのテーマを引き継いだ申請を Zeeman さんとまとめ、幸いにも採択された。彼とは随分とメールでやり取りをした記憶がある。

採択後に決めればよかったが、もう 1 つのプレッシャーはどこで開催するか、だった。これまでのホスピタリティの敷居は高い。加えて、地元の倉敷で開催してしまっている。確か、また倉敷でも良い、という意見もあ

ったが、関空からアクセスもよい奈良で、ということになったのだと思う（日本、スイス側ともに、大きな町ではやらないといった雰囲気になっていたような気がする）。地元開催ではないので、下見に行ったりして準備を進めた。結果として、スイスからは 8 名、日本からは 12 名の参加で奈良のホテルフジタで開催した。私自身はオーガナイズしたということもあり、会議の内容よりもアテンドに終始した記憶ばかりが残っている。スイス側からは、概ね前回までと同じ方が参加したが、Teresa Fitzpatrick さんが初めて参加され、植物におけるビタミン B6 の合成に関して発表されたのが私には斬新だった。日本からは、酒井さんが奈良女子大にいたこともあって参加してもらい、同じく黒岩研出身の西村さん、宮城島さんにも参加していただいた。木下さんも加わってもらっている。それから、記憶に残っている思い出としては、Felix Kessler がご家族（奥さんと娘さん）を連れて参加していて、当時、まだ一部の人が持っていなかった iPhone を持っていたこと。すごい便利なんだと、力説していた。こんな携帯が必須になる時代が来るんだろうな、と思ったことを覚えている。この予想は図らずも現在は全く正しい。昨今の海外出張で、iPhone なしで過ごすのは、ほぼ不可能であろう。

奈良のエクスカーショでは、3 日目の午後、バスを貸し切り、お弁当を持って乗り込んで、薬師寺と法隆寺を見学した。奈良の観光案内でボランティアのガイドさんを紹介してもらい、バスに同行してもらい、それぞれで説明をお願いした。夜は、最終日のディナーを和食のレストランで開催した以外、基本は自由行動だったが、それぞれがグループを作って奈良市内の居酒屋などを訪ねたりだったと記憶している。私はこの奈良の会議では Hortensteiner さんと一緒に飲んだのをよく覚えている。彼の葉老化とクロロフィル分解の話にはいつも魅了され、その後、葉緑体 DNA 分解の研究でもアドバイスをもらった。スイスメンバーの中で最も親しくなった方の一人だった。彼が早逝されたのは本当に残念である。余談になるが、その後、2015 年に鹿内さんが光合成の国際シンポジウムを山田シンポジウムとして能楽堂で開催している。こちらも大成功で私の記憶に強く残っている。2016 年に新学術領域「新光合成」が採択される前年で、我々の領域が盛り上がった契機にもなっている。2018 年には私がオーガナイズして、倉敷で国際シンポジウムを開催した。どちらのシンポジウムでも招待演者は多くのスイス研究者が含まれていた。

第 3 回セミナーから(2008 年 10 月・奈良)



エクスカーショで訪ねた薬師寺での集合写真



バンケットでの写真

第4回（2011年1月・ヴィラルール＝シュル＝オロン）

今思うと、2011年は3月に東日本大震災が起こる激動の年であり、その年初である1月に日本スイスの二国間セミナーが事なく開催されたのは幸いであつたのかもしれない。

第3回からの3年後ではあるが、採択は2010年なので実質は2年後ということになる。私の記憶が正しければ、スイスでやるなら雪のある時期に、ということで1月に開催されたと察する。スイス側のオーガナイザーはCristian Fankhauser、日本側のオーガナイザーは久堀さんで、日本からは航空券を東工大でまとめて手配してもらったので、ほとんどの方が羽田発の深夜便でパリ経由、ジュネーブに入った。ちょうど羽田空港の国際線ターミナルが開業して数ヶ月後だったので、とても快適だった記憶がある。パリのシャルル・ド・ゴール空港に早朝着き、乗り継ぎで昼過ぎまで時間を持て余してしまい、みんなで夜明け前のパリに行って凱旋門やシャンゼリゼを歩いて朝食を食べた記憶もある。ジュネーブからセミナー開催地であるヴィラルール＝シュル＝オロン（Villars-sur-Ollon）までの旅程の記憶が定かでないのだが、ジュネーブから鉄道とバスを乗り継いだので、かなり遠かった。ヴィラルール＝シュル＝オロンは、レマン湖の東にある山岳地帯のリゾートの1つでスキー場も充実しており、Fankhauserさんの肝入りで冬ならばここ、になったのだと思う。日本スイスの二国間セミナーらしい、素晴らしい場所だった。久堀さん曰く、朝の素晴らしい山並みと航空航路の要衝で縦横の飛行機雲が圧巻だったとのこと。私はというと、過密日程の時差ボケと、一足早く帰途についてアメリカの別学会に続けて行ったため、いろんな記憶が交錯してしまっている。テーマは「Adaptation of the Plastids to Various Environmental Conditions: Evolution, acclimation and regulation」で、これまでの内容を踏襲しているが、Evolutionの観点も取り入れてシアノバクテリアの方も加わっている。日本側からは13名、スイス側からは9名が参加しており、スイスからの参加者は固定された感があったが、日本からは東工大（当時）の太田さん、日原さん、末續さん、兼崎さんも参加されている。私の偏見もあるかもしれないが、双方の研究者がこれまでのシリーズで発表してきた内容とは異なるテーマの発表をしている方も目につく。研究をどのように発展させるかには皆さん個性があるものの、分子遺伝学的な解析による新たな現象の発見にはひと段落ついて、システムバイオロジーが隆盛する印象を強く持った。

ヴィラルール＝シュル＝オロンで、二国間セミナーを冬に開催したからには、エクスカージョンは当然スキーであつた。これまでと同じく、3日目の午後がフリータイムになり、主に日本側参加者の多くが、ダウンヒルかクロスカントリーのどちらかに参加した。私はクロスカントリーに参加した8名の一人で、Felix Kesslerさんが引率の案内役となって数時間程度、スキーを楽しんだ。鹿内さんを除く全員がクロスカントリーの未経験者で、私も最初は苦労したのと、最後は疲労困憊でかなり疲れてしまったが、なんとかホテルに帰り着けた。末續さんはスキー自体が初体験で、止まるたびに転んでいたように覚えている（間違えていたら申し訳ない）。私自身は、スキー自体が10何年ぶりだったのでとにかく疲労してしまった。この日のフリータイムの夜は、スノーシューというプラスチック製のカンジキを靴に装着して、1時間半程度、雪道をハイキングして山小屋に登り、そこで夕食を取るハイライト企画があつた。私は行くのをやめようと思うほど疲れていて、いつまで歩くのかわからないまま、日原さんと「途中で遭難するかも」と本気で話しながら絶望感でいっぱい山行だったのをかすかに覚えている。その後の記憶もあまりないのだが、その分、山小屋で食べたワインとラクレットの美味は、今でも忘れられないほどだった。ここまで追い詰めるのがスイス流の（Fankhauserさんの？）演出だったのだと、今ではよくわかる。あのラクレット（チーズを火で炙り溶けた表面を料理の上のに

せてくれる) の味は忘れられないごちそうになった。どのくらいの時間を過ごしたかも覚えていないが、帰りは参加者がそれぞれたいまつを持ってスノーバイクに牽引されて山を下り、ホテルに帰った。もうクタクタで半分寝てしまっていたが、この日の至れり尽くせりのエンターテインメントは忘れられない記憶になっている。

第4回セミナーから(2011年1月・ヴィラール=シュル=オロン)



会場になった Eurotel Villars-sur-Ollon での集合写真



クロスカントリー組のエクスカッション



初日ディナーでの写真

おわりに

ヴィラール=シュル=オロンでの第4回後は、日本スイスの二国間事業がなくなってしまう、残念ながら自然消滅する形で次が開催されないままになっている。ただし、新学術領域「新光合成」の国際交流ではシンポジウム開催や研究者交流が促進され、スイス側の研究者の多くが参加して交流と共同研究が継続された。今になって振り返れば、光合成・葉緑体研究のメッカとしてバークレーやジュネーブで活躍されていた Gruissem さんや Rochaix さんのリーダーシップが大きかったように思える。日本側では、日米や日フィン、日独などの二国間で尽力された高橋さんのリーダーシップが日本スイスでの成功につながったのだと改めて実感する。今後、二国間セミナーのような小規模の会議がどう発展するのか、不透明な部分もあるが、私にはこのような機会を通して、多くの方と交流できたことは研究人生の宝であると実感している。敢えて課題を挙げるとすれば、今後、女性の参加者をもっと増やして日本フィンランドのようになれば理想かもしれない。

シリーズ 私が学生だった頃

A04 東京科学大学
総合研究院
化学生命科学研究所
吉田啓亮

「私が学生だった頃」ということで、記憶が薄れている部分も多いですが、私が歩いてきた学生時代までを振り返ってみます。ただの個人の思い出話であり参考にならないかと思いますが、その点はご了承ください。

私は 1980 年 12 月に茨城県北部で生まれました。男 3 人兄弟の真ん中です。幼少の頃からあまり身体が強くなく、頻繁に風邪をひいて両親（特に母）に迷惑をかけました。小学生の頃は、控えめな性格でしたが普通の小学生だったんじゃないかと思います。学校から帰ると近所の友達と野球やドッジボールや TV ゲームをして遊んで、日が暮れると家の手伝い（雨戸閉め、風呂掃除、たまに餃子の皮包み）をして、宿題もちゃんとやりました。反抗的な態度はとらない比較的良好な子だった（？）と思われます。

地元の公立中学に進むと、サッカー部に入部しました。サッカーは好きでしたが、元々運動が得意でなかったことと部員が多かったこと（私が中学校に入った 1993 年は J リーグ開幕の年でサッカー人気すごかった。言い訳？）で、万年補欠でした。ただ、土日ほとんど休みなく部活があり、しんどいながらもサボらなかったので、身体は十分強くなったと思います。中学 3 年の夏に引退してから、ぐんぐん身長も伸びました。それまで同じクラスの男子 20 人程度で身長順に並ぶと前から 2～3 番目でしたが、中学卒業のタイミングでは真ん中くらいにはなっていたかと思います。高校は地元の県立高校（日立第一高校）に進みました。高校では部活などもせず、何となく時間を余っていたような気がします。もっと何かに打ち込んでおけばよかったなと今では思います。

中高の成績は悪くはなかったですが、すごく科学が好きというわけではありませんでした。生き物は好きでしたが、植物にも光合成にも当時はそこまで大きな興味はなかったように思います。むしろ日本史が面白くて、高校の頃に文系に進むか理系に進むか悩んだくらいでした。

家族旅行は決まって山登りでした。中学 1 年生の夏休みに尾瀬の燧ヶ岳に行って、そこに自生していた花の写真をたくさん撮り、あとでそれらの名前を図鑑等で調べました。夏休みの自由研究にしました。これが私にとって最初の植物研究となりました。

大学は茨城大学理学部に入学しました。同じ県内でしたが、県北の実家から水戸のキャンパスに通うと 2 時間くらいかかるため、キャンパス裏のアパートで一人暮らしを始めました。お金に困っていたわけではないですが、もやしと納豆ばかり食べていたような気がします。大学入学後も、なかなか科学に対する関

心や意欲は沸いてきませんでした。そつなく単位は取得していましたが、最低限 + α くらいの授業しか履修しなかったし、成績が良かったわけではありませんでした。

学部時代に最も打ち込んだのはアルバイトでした。家庭教師なども何件かやりましたが、ガソリンスタンドでのバイトに長く時間を費やしました。ピークの時は、月から金まで毎日 14 時から 21 時まで、土日のどちらかは 9 時から 18 時まで（忙しい時は延長）バイトを入れていました。真夏も真冬も外に立ちっぱなしで色んなお客さんを相手にしなければならず、バイト終わりには心身ともにへとへとになることもありました。が、色んな意味で充実していました。元々人見知りなところがあつたのですが、人と話さなければならぬ仕事だったことで大分改善されました（バイトもエンジンオイル交換や洗車など油外商品販売の営業トークを強いられていました）。お金もそれなりに稼がせてもらいましたが、それよりも長い時間を一緒に過ごすことで信頼できる仲間ができたことが幸運でした。今はそれぞれ違う場所で違う人生を歩んでいますが、20 年以上経った今でも年に数回集まって飲みに行く縁になりました。

学部 4 年生になると、卒業研究のための研究室配属がありました。私は生態学研究室を希望し、無事そのまま配属されました。なぜこの研究室を選んだのか、はっきりとは覚えていませんが、生態学研究室の堀良通先生の講義を聞いて、植物の光合成に興味が生えてきたことは覚えています。卒業研究の題目は、「同所的に生育する 3 種のササの種間関係の解析」でした。茨城県北部の小川群落保護林を調査地として、アズマザサ、ミヤコザサ、スズタケという 3 種のササを材料に、地上部／地下部の構造、攪乱処理からの回復、光合成特性などを比較しました。「光合成に関係する研究がいい」と堀先生に言って、このテーマを勧めていただいたように思います。このときはじめての光合成測定を経験しました。LI-6400（現メイワフォーシス社の光合成蒸散測定装置）で CO_2 ガス交換を測定しました。装置をかついで群落内を歩くのがしんどかった記憶があります（家族旅行で培った山登りの経験が少しは生きたかも）。当時、同じ研究室の博士課程だった富松元さん（現・東北大）に測定を教えていただきました。おかげでなんとかそれっぽいデータがとれました。巨大なヤマカガシが足元について、びっくりして慌てて逃げたら迷ってしまい、某 TV 番組で紹介されそうなポツンとした一軒家にたどり着いて、お茶を出してもらったこともありました（無事帰れました。県をまたいで福島まで行ってしまっていました）。

大学卒業後は大学院に進学するのか就職するのか、大学 3 年の後半くらいから揺れていました。というより、一生過ごすことになるかもしれない就職先を探そうというモチベーションが湧いてこなかったという後ろ向きな面が大きかったように思います。この頃から少し光合成に惹かれはじめていたので、それなら大学院に行ってもう少し勉強してみようかなと思うに至りました。ただ、学生気分を引きずったままで大学院に進むのだけはやめようと思っていました。発想が単純な私は、バイト先で自分の同年代が社員として責任感を持ちながら働いていたこと、大学の友人の大半が過酷な就職戦線をくぐり抜けて世に羽ばたこうとしていたことを見て、「生半可な気持ちでなんとなく学生を続けるのは恥ずかしい、やるからには本気でやろう」と感じたようです。そして、大学院入試に向けて勉強を始めました。さすがにその期間はバイトをセーブしました。このとき、もっと真面目に授業を受けておけばよかったなと後悔しましたが、新しい知識をどんどん得ることができて、植物以外の分野も含めた生命科学全体への関心が急速に高まってきました。それでもやっぱり光合成、特にそのメカニズムが面白そうだと思い、そのような研究ができる研究室に進もうと決めました。

当時所属していた茨城大学の生態学研究室では、文字通り生態学ベースであつたために分子レベル

の研究は難しく、他大学の研究室に進むことを考えました。堀先生に相談すると、当時大阪大学の寺島一郎さんの研究室が良いのではないかと勧めてくださいました。寺島さんは植物生理生態学の専門なので、研究内容がそれまでとまったく違うわけではなかったし、ミクロな研究もできそうということで、自分でも「ここだ！」と思いました。早速寺島さんにメールを送って、高速バスに乗って大阪まで行き（全然寝れず疲れた…）、お話を聞かせていただきました。その後、どうにかこうにか大学院入試をクリアし（院試のときは懲りて新幹線を利用した。これが幸いした？）、翌春から大阪に行くことになりました。ちなみに院試の際、私の面接を担当してくださったのは、本領域の領域アドバイザーの長谷俊治先生でした。

2003 年 4 月から、大阪大学理学研究科の寺島研究室での研究生活が始まりました。最初はうまくやれるか少し不安でしたが、寺島研は個性的かつ楽しい人たちが多くて安心しました。1 つ上の学年の矢守航さん（現・東大）をはじめ、光合成を研究している先輩たちはとても頼もしく見えました。同級生だった蜂谷卓士さん（現・島根大）は、外の大学から入ってきた私にフレンドリーに接してくれて、彼のおかげで他の研究室にも同級生の友人ができました。寺島さんがお酒好きなのは有名ですが、他の研究室メンバーもお酒好きな人が多く、私も大のお酒好きなので、幸いにも比較的すぐに溶け込むことができたんじゃないかと思います。後述する高木さんのグループに後に入ってきた 1 学年下の岩渕功誠さん（現・大阪医科薬科大）とは、地元が近かったということもあって気が合い、しょっちゅう二人で石橋の居酒屋を飲み歩きました（彼とはだいたいいつもカラオケセットだったような…）。

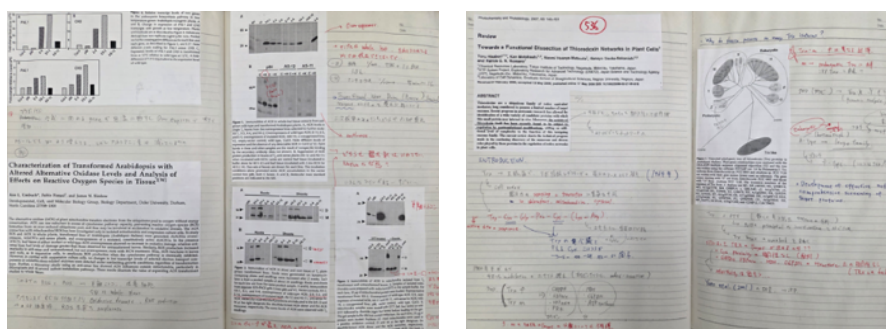
私が入って半年か 1 年か経ったくらいに、豊中キャンパス内での研究室の引っ越しがあり、当時助教授だった高木慎吾さんのグループと同じ部屋になりました。高木さんもお酒好きで、毎週寺島さんと高木さんが交互にエビスビール大瓶 1 ケースと厳選された日本酒一升瓶を 2 本ほど買っていました。研究室での飲み会（その後だいたい石橋に降りて行って二次会）はすごく楽しかった思い出です。高木さんが「実験はするし酒は飲むし、吉田は院生の鑑やな」と笑いながら言ってくれたことを今でも覚えています。2023 年に病気で旅立たれたことは本当に残念でした。

研究ですが、少なくとも当時の寺島研では、寺島さんが研究テーマを与えてくれるということはなく、学生が自分で決めるという方針でした。そのため、寺島研に入ってからしばらくは研究テーマを探す日々でした。この頃は学部時代から心を入れ替えて真面目になっていた（？）ので、テーマにつながりそうな論文をいろいろ読んで勉強しました。論文をただ読むだけではちゃんと理解できなような気がしたので、論文の図の部分全部を印刷してノートに糊で貼って、そのデータがどういうことを意味するのかなどを自分でまとめた論文ノートを作成しはじめました。この習慣は大学院に在籍中ずっと続けました（写真 1）。

ペーパーレスの今の時代では受け入れられないかもしれませんが、これが今見返してもなかなか良くて、これの積み重ねによってデータ解釈の力だけでなく論文を読む力、さらには論文を書く力につながったと思っています。また、寺島さんが一緒に勉強する時間を毎週作ってくれました。Hans-Walter Heldt 著、金井龍二先生訳の「植物生化学」を、寺島さんと先輩 3 名ほどと私で、当番を決めて順番に読みました。（ちなみに、寺島先生でなくて寺島さんなのは、寺島さんから先生と呼ぶなと言われていたからです。教

員も学生も対等の研究者だという理念からだったと思います。高木さんも同じでした。)

写真1: 学生時代に習慣的に作っていた論文ノートの例



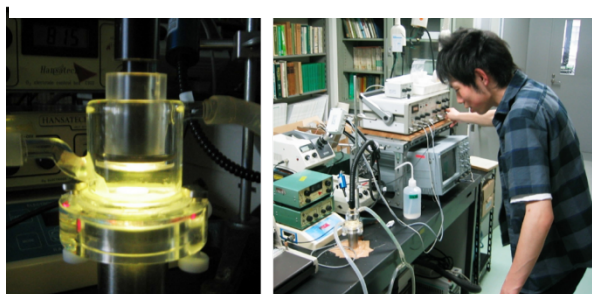
AOX に関する原著論文

久堀先生のチオレドキシソ総説

それでもなかなか自分の研究テーマを決めるに至りませんでした。そんな中、当時寺島研の助手だった野口航さん（現・東京薬科大）が悩める私を気にかけてくれました。毎日のように（多い時は一日数回）、「何かテーマ思いついた？」と声かけしてくれました。それもあって、野口さんが行っていた植物の呼吸の研究にも興味を持ち始めました。特に、植物のミトコンドリア呼吸鎖に特有に存在し、シアン耐性呼吸を仲介する Alternative oxidase、通称 AOX に対して、「何だこれ？」と不思議に思えてきました。AOX は電子伝達の際に水素イオンの輸送に共役せず、しかも水素イオン輸送部位（複合体 III と IV）をバイパスして酸素に電子を渡してしまうため、ATP の生産効率を大きく低下させてしまうエネルギー収支の観点からは一見無駄な経路です。いわば、ミトコンドリアの本来の機能を放棄しているように見えます。なぜ植物はこんなものを持っているんだろう？これについて野口さんにも教えてもらいながら勉強していったら、何やら光合成に関係しそうな働きを持っていそうだという論文が数報発表されていることがわかりました。しかし、その詳細はまだ分かっていませんでした。元々の興味は光合成にあったので、「光合成と呼吸系の相互作用」、特に「AOX の光合成における働き」を研究してみよう！！ということできやうやくテーマが決まりました。

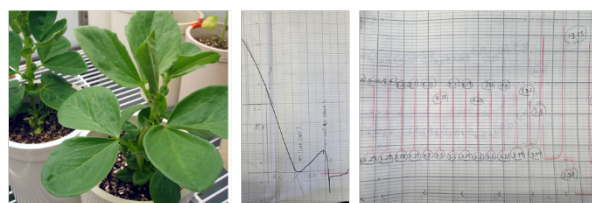
具体的には、ミトコンドリア呼吸鎖を阻害したときに葉緑体での光合成がどのような影響を受けるか、ということ調べてみることにしました。先行研究により、プロトプラストを使って呼吸鎖を阻害剤で止めたときの光合成の酸素発生速度への影響を調べた例があったので、それを参考にしつつもオリジナリティを出すため、測定系の開発に乗り出しました（寺島さんは自分で測定系を組むことが好きという要因が大きかったです）。理学部棟の近くにあった工作センターを訪ねて、職員の西山雅祥さんに相談に乗ってもらいました。西山さんから図面を書いてもらうように言われたので、とりあえずただの紙に定

写真2: 修士課程の研究の様子



作成したクロロフィル蛍光・P700 同時測定型の酸素電極

奮闘する著者



寺島研ではじめて栽培し、測定に用いたソラマメ

得られた酸素発生とクロロフィル蛍光のシグナル

規なども使わないでフリーハンドで書きたいいい加減な図を持っていったら、「これは図面やなくて漫画っちゃんや」と言われてしまい、そんなダメ出しを3回くらいもらいました。ようやく図面らしい図面ができて作成に取り掛かっていただき、しばらくしたらできたという電話がきました。基本は液相の酸素電極ですが、リーフディスクの状態では葉（阻害剤を入れるために裏表皮を剥いだソラマメの葉を使用）を固定し、上からファイバーで光を当てつつ、クロロフィル蛍光と P700 シグナルを分析できるというシステムです（写真2）。装置ができて、いざ使ってみると色々問題がでてくるもので、何度か微調整を追加で西山さんをお願いしました。ある日、光を当てたときの酸素発生とクロロフィル蛍光変化のそれっぽいシグナルが同時にとれました。当時の私にはこれで良いのか判断できなかったのも、そのレコーダー用紙を持って寺島さんに見せたら、「おお？これは…」みたいな反応で、次の瞬間「飲もうか！」と言われて、それでうまく行ったんだということが分かりました。その後、実験を重ねて、シトクロム経路（私たちも持っている共通の呼吸鎖経路）と AOX を阻害したときで、それぞれ光合成に異なる影響がでることを明らかにすることができました。PCP の 2006 年 1 月号で論文発表できました。

記念すべき最初の原著論文です。西山さんに別刷りを持って行って謝辞に名前入れさせてもらいましたと言ったら、冗談交じりに最初のページの著者の部分を指さして「ここに名前を入れるんや」と笑っていました（確かにそうだったかも…間違いなく西山さんなしでは成し得なかった研究でした）。

私にとっての修士時代の一番のビッグイベントは、修士 2 年の 3 月に新潟で行われた植物生理学会です。園池公毅さんがオーガナイザーを務めたシンポジウム「環境変動に対する葉緑体の防御メカニズム」で招待講演を行いました。その発端は、前年の夏に連れて行ってもらったモントリオールでの国際光合成会議にあります。上記の研究でポスター発表を行い、そのときに園池さんに話を聞いてもらって、帰国後にシンポジウムのお話をいただきました。と言っても、私に直接話が来たわけではなく、最初は野口さんに講演の依頼がありました。それを聞いた私は、（これは自分の研究なのに…）と感じたようで、いつものように寺島さんとお酒を飲んでいるときにそういう本音をこぼしたんじゃないかなと思います。寺島さんも野口さんも私の意を汲んでくれて、結局私が出しゃばることになりました。大事な発表だというのは当時の私でも十分に承知していたので、スライド作りや関連研究の情報収集には長い時間をかけました。そして学会当日を迎えました。朱鷺メッセの一番大きな会場で、名だたる先生方が講演者として並ぶ中に修士の若造が 1 人、明らかに浮いていました。ただ、緊張こそしましたが、不思議と不安や心配はなかったように思います。むしろ、アドレナリンがどっくんどっくんと聞こえてきそうな興奮まじりの緊張でした。この頃が良い意味でも悪い意味でも一番怖いもの知らず（生意気！）だったと思います。

発表は、私が聞いた限りでは、かなりの高評価でした。というより、浮いていた分目立ったといった方が正しいかもしれません。発表したデータは他の先生と比べるとどうしても寂しいものだったと思いますが、本当に修士かと思わせるくらいには堂々と発表していたようです。自分の講演が終わって「いやあ、やりきったなあ…」とすっかりリラックスしていたら、最後の総合討論で、司会を務めていた高橋裕一郎先生と久堀徹先生から、「葉緑体防御に対するミトコンドリアの寄与って、結局大きいの？小さいの？」と話が振られてきました。油断し切っていた私は、数秒固まった後、「大きいか小さいかで言えば、中くらいです」と良く分からない回答をしました。そしたらおもむろに故・浅田浩二先生が立ち上がり、「条件によってはミトコンドリアの機能はすごく大きくなるはずだ」と付け加えてくださいました（今思うと、もっと自信を持ってというエールも

含まれていたのかな？）。その後の約 20 年間、国際会議での招待講演も含めてたくさんの講演をしてきましたが、このときの講演が私の研究者人生の中で最も印象に残るものになっています。発表を後押ししてくれた寺島さんと野口さんに感謝です。私だったら「お前にはまだ 10 年早い」と一蹴していたかも…。また、久堀先生に「面白いやつ（変なやつ？）がいる」とインプットされたようで、その後の研究にも注目してもらえるようになりました。久堀先生には後にポスドク・助教として 10 年以上にわたってお世話になることになるので、この時の経験は私の研究者人生の分岐点になったといっても過言ではないかもしれません。

そんなこんなで、私の修士課程の生活が幕を閉じました。

修士課程修了後の進路については再び少しだけ迷いましたが、もっと突き詰めたいという気持ちが大きくて、博士課程にそのまま進むことにしました。博士からは、寺島研では当時メジャーではなかったシロイヌナズナを使った研究を行いました。葉緑体の機能異常がミトコンドリア呼吸系に及ぼす影響を調べてみようと思い立って、色々な葉緑体の変異株を使ってみたいと考えたのがその理由です。鹿内利治先生には、光化学系 I サイクリック電子伝達の変異株 (*pgr5* と *crr* 変異株) を分与していただきました。博士 1 年目にフランスで行われた国際植物ミトコンドリア会議の会場で、鹿内先生に直接お願いしました（写真 3）。*pgr5* 変異株では光化学系 I 下流に電子が蓄積しやすいので、それがミトコンドリア呼吸系にどのような影響をおよぼすのかを調べたいという経緯でした。その後、坂本亘先生にも光化学系 II の修復サイクルが異常な斑入りの変異株 (*var2* 変異株) を分与いただいて、呼吸系の特徴を調べました。

これらの研究では、AOX のタンパク質蓄積量をウェスタンブロットで明らかにすることを最重要課題として挙げたのですが、これがとても難航しました。当時、AOX を葉から抽出した全タンパク質で検出した例はおそらくなく（過剰発現させたものを除いて）、ミトコンドリアを単離するなどして濃縮してからじゃないと検出できていなかったのも、AOX のタンパク質発現が環境変化に対してどのように変化するか等を詳細に調べることが困難となっていました。私は、光条件の変化によってどう変わるかをどうしても知りたかったのでこの問題をクリアするのが必須でしたが、その検出条件を見つけるのに苦労しました。半年近く、うまくいかないウェスタンをはたすら繰り返していたように思います。寺島研にはウェスタンをそこまで専門としている人がいなかったのも、他の研究室の人にがむしゃらにアイデアを聞きに行きました。たかがウェスタンと思う人もいるかもしれませんが、目的のタンパク質によってはとても難しいものです（と私は今でも思っています）。少しずつ条件を絞っていったら、ある日、まだまだバックグラウンドが高いながらも目的の分子量の位置にはっきりとしたバンドが見えました。思わず「おわっ？」と声が出ました。葉レベルで AOX タンパク質を検出する条件が確立できたことで、AOX が強光によって発現誘導を受けることをはじめてはっきりと示すことができました。そして、葉緑体内に異常を持つ上記の変異株では、AOX が相対的に多く蓄積していることも分かりました。

写真3: 博士課程の著者@パリ



博士 2 年目に寺島さんが東大理学部へ異動することになり、研究室の引っ越しがありました。私も籍は阪大に残したまま、半年遅れて東大に移りました。その後もシロイヌナズナを主に用いた研究を行いました。この頃は、寺島研の中でもかなりミクロなスケールの研究を行うようになっていました。寺島研らしくらぬ

(?) 遺伝子発現レベルの解析や生化学の解析にも着手していきました。新しい研究をはじめるときは、自分の力だけではどうにもならず、たくさんの方々のサポートがありました。阪大時代に寺島研に短期で在籍していた柴田勝さんには、葉緑体とミトコンドリアの電子伝達系の電子キャリアであるプラストキノンとユビキノンの酸化還元を同時に調べる HPLC のシステムを構築していただきました。これにより、葉緑体とミトコンドリアの代謝相互作用がどのくらいの時間スケールで起こるのかなどの重要な情報を得ることができました。寺島研が引っ越した先の東大理学部 2 号館には植物関連の研究室が多くあり、色んな研究室に出入りして装置を使わせてもらいました。川口研ではリアルタイム PCR 装置を一時期めっちゃくちゃな頻度で使わせてもらいました（たぶん川口研の人たちより使っていたような…）。平野研ではウェスタンのイメージャー（通称 LAS）をやはりしょっちゅう使わせてもらいました。一時期は、農学部の有村慎一さんをお願いしてウェスタンの検出を行わせていただきました（理学部 2 号館から農学部まで、遠かった…）。1 つ上のフロアの福田研からは毎日のように製氷機から氷をもらっていましたし、お隣の発生研（中野・上田研）の郷達明さんにはシロイヌナズナの交配のやり方を教えてもらいました。四苦八苦することも多くありましたが、このようなサポートのおかげで乗り越えることができ、大学院 5 年 + ポスドク 1 年の寺島研の研究生活で 8 報の原著論文を筆頭著者かつ責任著者として発表することができました。そして、一見無駄なように見える AOX は、強光ストレスで発現が誘導され、葉緑体で生じる過剰な還元力の散逸系として植物の光防御に関わっていることを、世界に先駆けてはっきりと示すことができました（と自分では思っています）。なお、寺島さんが東大に移っていたので、阪大での博士論文審査の主査は長谷先生をお願いしました（私の大学院生活は長谷先生で幕を開け長谷先生で幕を閉じた?）。

やっぱりまとまりのないただの思い出話のようになってしまいましたが、普段ゆっくり振り返ることのない学生時代を振り返る良い機会となりました。私に限った話ではないと思いますが、色んな偶然が重なって今につながっていることを感じました。そして、その時その時を自分なりに頑張ってきたように思います。ちなみに、私が大阪で借りていたマンションの管理人の方は、ひたむきに研究室に向かう私を見て、「○○（マンション名）のファール博士だ」と言っていました（植物の研究をしていると言ったように思うんだけど…）。あれから 20 年ほど経ち、自由に使える時間の確保がどうしても難しくなった今では、学生の頃はすごく貴重な時間だったんだなとしみじみ感じます。ぜひ今の学生さんには、精一杯今を生きてほしいと思います。私も、あの頃の気持ちを忘れずに、まだまだ若い人には負けないくらいに研究に燃え続けたいと気持ちを奮い立たせることができました。

最後に、私が学生だった頃はたくさんの方々の支えがあってこそのものでした。本稿でお名前をあげさせていただいた方々をはじめとして、色んな局面で私を支えてくださった皆様に、心より感謝申し上げます。

連載企画 光合成研究事始（その四）

A04 早稲田大学
教育・総合科学学術院
園池 公毅



最初にお断り。今回は、途中に分光学のお勉強が入っていますが、光合成ユビキティのニュースレターなのではないかとあきらめてください。

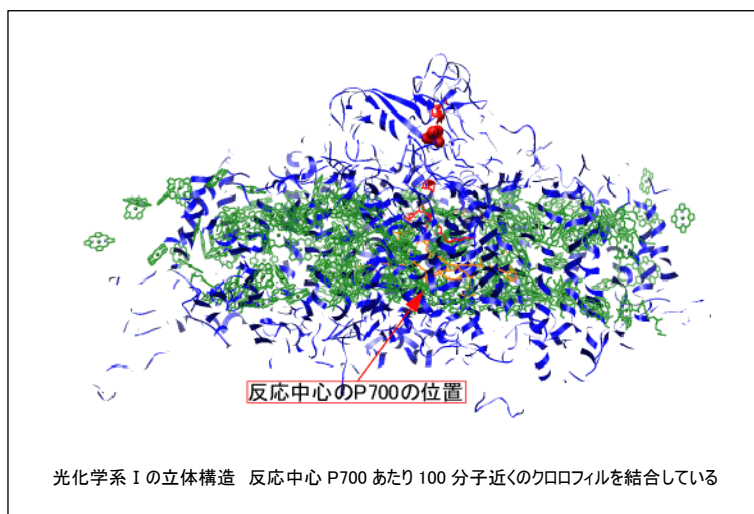
研究の次のテーマの模索

さて、光化学系 I の反応中心複合体の生化学的な解析実験の後に何をやるのかについては、最初の論文を出版する作業と並行して、しばらく試行錯誤が続きました。単離されたクロロフィルタンパク質複合体には、脂質二重層の部分とは異なる特別な脂質が結合しているという境界脂質の考え方は当時でもありましたから、単離した複合体に結合している脂質の分析を川口昭彦先生に習ってやってみたり、平衡透析法を論文で勉強して単離された複合体にどの程度界面活性剤が結合しているのかを調べたり、しばらく複合体の構成成分解析を主にやっていたのですが、学会発表までは行っても、ストーリーを作った論文にまとめることができずにいました。加藤先生は「こういうテーマで実験をしなさい」とは一度もおっしゃらず、「園池君はいつもへんてこりんなデータを持ってくるねえ」とぼやきながら、得られたデータから何が言えるかを一緒に考えてくださいました。そこで学んだのは、論文が書けるかどうかは、データの量ではなく、そこから「こういうことがわかった」というストーリーを描けるかどうか、ということです。わかった「こういうこと」が、データそのものであるうちは論文は書けず、データから導き出した「発見」になって初めて論文が書けるということです。

分光学の基礎

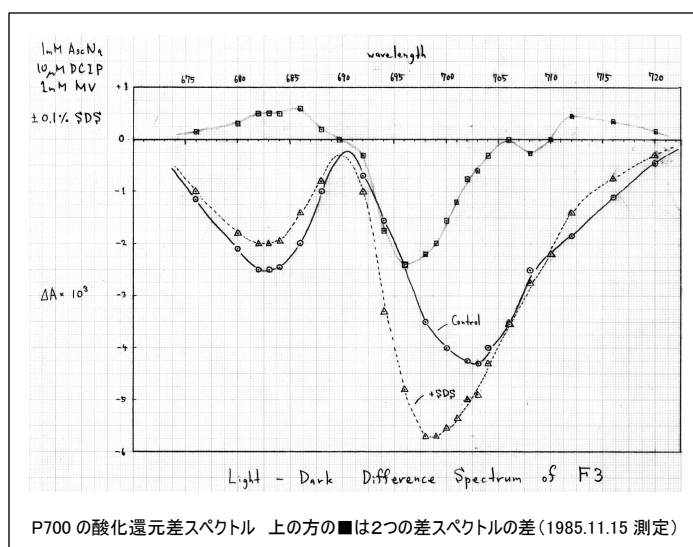
やがて、最初の研究テーマの時と同様に、実験をしているうちに不思議な発見をし、それが次の研究テーマにつながりました。前回、論文の改訂の際に P700 の定量を要求されたことを書きましたが、P700 の定量を様々な条件でしているうちに、P700 の酸化還元に伴う吸収変化量が、界面活性剤である SDS の添加によって増えることに気がついたのです。界面活性剤の添加で P700 が壊れることがあっても、増えることは考えられませんから、これは何かそれこそ「へんてこりんな」ことが起こっているに違いありません。その発見の顛末を紹介する前に、前回までの生化学を中心にした話から分光学を中心にした話に変わりますので、分光学の基礎を少しばかりご紹介します。

光化学系 I の反応中心の P700 は、酸化に伴って 700 nm での吸収が減少することから名づけられました。しかし、実際の光化学系 I はアンテナクロロフィルをコア複合体だけで 100 分子近く結合していますから、P700 の吸収の割合は非常に小さく、さらにそれが酸化還元によって変化する割合となると 0.1% のオーダーでしかありません。



普通の分光光度計では、例えば吸光度をフルスケール 1 で測定した時の値が 0.354 といった感じに 3 桁程度の精度ですから、P700 の吸収変化量は 0.001 であったとしたら誤差と同じぐらいで測定は不可能です。

そのような微小吸収変化を測定する方法として一つ簡単なのは、光路が 2 つあって測定セルと対照セルにそれぞれ光を通すダブルビームの分光光度計を利用し、両方のセルに試料を入れて測定セルだけに光を当て、もしくは酸化剤を入れることにより P700 を酸化してその吸収変化を見る方法です。この場合、最初の状態では、測定セルと対照セルに同じ試料が入っていますから、見かけの吸収はほぼゼロになり、レンジを大きく拡大することができます。フルスケール 0.01 で測定すれば、0.001 の吸収変化を十分に測定できます。この測定を、測定光の波長を少しずつ変えながら繰り返せば、P700 の酸化還元差スペクトルを測定することができます。従って、そのように測定した上のグラフの場合、一つのシンボルが 1 回の測定値ですから、このグラフは 50 回程度の測定の結果をまとめて作られています。



ただし、光合成の測定でよくあるように励起光を照射してその変化を見ようとする、より構造の簡単な光路が一つだけのシングルビームの分光光度計の方が便利です。実は、その場合でも微小吸収変化の測定は可能です。ここからは少し数学にお付き合いください。吸収 A は透過率 T の逆数の対数ですから、 $A = -\log(T)$ と表すことができます。ここで、この関数の傾きを考えると、T を少し (ΔT) だけ動かしたときの A の変化 (ΔA) の割合ですから、 $\Delta A / \Delta T$ となります。関数の傾きというのは微分ですから、これが $-\log(T)$ の微分に等しいはずなので、 $-\log(T)$ の導関数が $-\log(e)/T$ であり $\log(e)$ が 0.434 であること

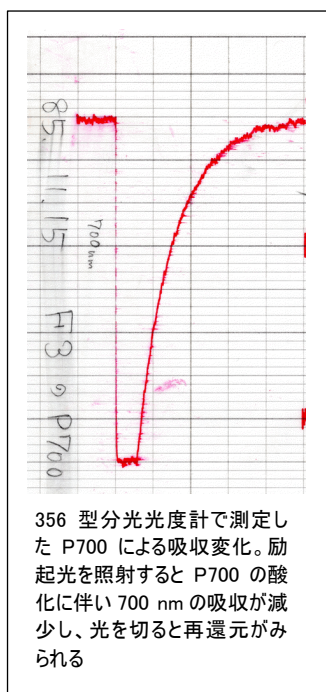
を考えると、 $\Delta A/\Delta T = 0.0434/T$ （式 1）となります。さらに、透過率 T は、試料に入る前の光量 I_0 で試料を透過した後の光量 I を割ったもの（ I/I_0 ）ですから、試料の吸収変化によって透過光量が I から $I + \Delta I$ に変化したとすると、 $\Delta T = \Delta I/I_0$ となり、これを式 1 に代入して変形すると、 $\Delta A = -0.434 \Delta I/I$ となります。 I_0 は、試料を透過しない光量ですから、試料を入れたままのシングルビーム測定では測定不可能ですが、その情報がなくても、また吸収の絶対値 A の情報がなくても、試料を透過した光量 I と、例えばそこに光を照射して P700 が酸化された際の変化量 ΔI さえあれば、微小な吸収変化 ΔA を直接求めることができます。

この原理による測定を簡便に行えるのが往年の日立の 356 型分光光度計です。この分光光度計は、もともと Britton Chance が開発した二波長分光方式による分光光度計を日本でも商品化しようと日立が 1960 年代の後半に開発したのですが、光合成やフィトクロムの研究者は、主に上記の微小吸収変化測定モードがあることと、光信号を電気信号に変換する光電子増倍管と試料との間の距離をほぼ 0 にしたり逆



日立 356 型分光光度計

に大きくとったりと切替えが可能になっていること、の 2 つの点が便利なのでこの分光光度計を使っていました。ちなみに、光電子増倍管と試料との間の距離がほぼ 0 であれば、試料の散乱によって曲げられた光も光電子増倍管に取り込まれますから、積分球がなくても懸濁試料（例えば細胞の培養液）の吸収測定が可能になりますし、光電子増倍管と試料との間の距離を大きくとれば、測定光と違って直進せずに距離の二乗に反比例して減衰する蛍光などの影響を小さくできますから、クロロフィルなどの蛍光性の色素を含む試料の吸収（変化）測定を正確に行うことができます。上の写真の分光光度計の中央上部に載せているのは単 1 の乾電池なので、356 型分光光度計の大きさがわかると思います。横幅は人の身長ぐらいありました。左の上部に載っているのは、チャートレコーダーでアナログ信号をここに出力してインクでデータが描かれます。さらにその上に載っているのは、励起光源用の光量調節ユニットです。励起光にはニコンの顕微鏡用光源を使っていました。右に示す 1985 年 11 月 15 日に測定した吸収変化の例であれば、横軸の 1 目盛りは

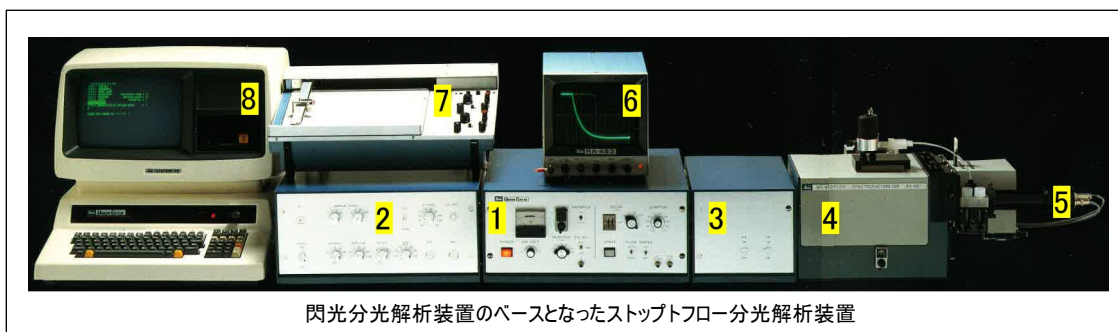


10 秒、縦軸の細かい 1 目盛りは吸収変化 0.0001 に相当しますので、励起光照射により 0.004 程度の吸収変化が起きていることになります。

この微小吸収測定の実理は、現在広く使われている Dual PAM やジョリオ型分光器による P700 測定の測定原理でもあります。上記の説明を注意深く読まれた方は、関数の傾きを $\Delta A/\Delta T$ とするのは一種の近似であって、あくまで ΔA や ΔT がごく小さいときだけ成り立つことだということがわかるでしょう。最近の機械は操作が自動化されているので原理を知らなくても測定自体はできますが、原理を知って測定することにより、近似が成り立たないような条件で測定して失敗することを避けることができます。

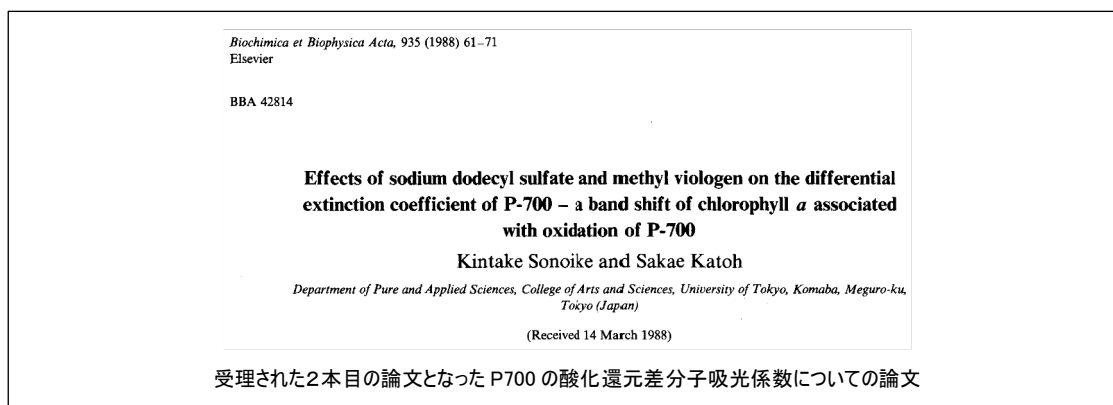
話を元に戻すと、この吸収変化の大きさが界面活性剤の添加によって大きくなることがわかりました。P700 は普通のクロロフィルと同じで、赤色光領域の他に、435 nm 付近の青色光領域にも吸収変化を示しますので、そのあたりでも測定してみると、大きな変化は見られません。つまり、実際には P700 の量が変化しただけではなく、SDS や Triton X-100 といった界面活性剤の作用と測定のために加えていた電子受容体のメチルビオローゲンの作用により、690 nm 付近のクロロフィルが P700 の酸化還元に伴って吸収シフトを起こし、これが吸収変化の大きさの増大を引き起こしていたことがわかりました。このこと自体は生理学的に重要な発見であるとは言えない一方で、P700 の定量という多くの研究室で行われている手法の妥当性を揺るがす発見ではあります。量がかわらないのに吸収変化の大きさがかわるということは、量当たりの吸収、すなわち分子吸光係数が変化していることを示唆します。

P700 の酸化還元差分子吸光係数については、埼玉大学の檜山哲夫先生の古典的な論文がありましたから、それを参考に閃光分光測定により P700 の差分子吸光係数を決めることにしました。当時加藤研には、ユニオン技研が 1981 年に作ったストップフロー分光解析装置をベースにした閃光分光測定装置がありました。



ストップフロー分光解析というのは、2 本の流路を高速で流れる 2 種類の試料を合流させて反応を起こし、その後の反応過程を分光学的に追う解析手法です。この流路の部分を取り去ってキセノンフラッシュを励起光源として追加し、フラッシュ照射後の吸収のミリ秒までの時間変化を追えるように改造した装置でした。当然ですが、光路は 1 つしかないシングルビームなので、上で説明したように透過光量の変化をモニターして吸収変化に換算します。上の写真の 1 はメインの制御装置、2 はトランジェントコンバーターという過渡的なデータを一時的に保存する装置、3 は測定用光源の電源、4 はモノクロメーター、5 は光電子増倍管、6 が信号をその場で見るオシロスコープ、7 は X-Y プロッターという一種のレコーダー、8 は制御用パソコンです。制御用パソコンには、もともとソードという会社の M223 が使われていましたが、ちょうど僕が利用するようになったところに NEC の 9801 に置き換えられ、N88-BASIC(86)というプログラム

ング言語で制御されていたので、急遽それを学び、上で説明した 0.434 という数値が使われていないのを見つけて、直接 ΔA が求まるようにプログラムを書き換えたりしました。いずれにしても、結果としては、試料の状態や界面活性剤の濃度、試薬の条件などにより、P700 の差分子吸光係数は最大 1.6 倍ほども変化しうることがわかりました。このことは、当時の生化学全盛時代にはある程度のインパクトがありましたが、現在では、P700 の定量は Dual PAM やジョリオ型分光器によって in vivo で行われますから、界面活性剤の影響と言ってもピンと来ないかもしれませんね。



結局、この P700 の酸化還元による吸収変化の解析、分子吸光係数の決定、スペクトルの形から分子吸光係数を見積もる方法の提案という形で 3 つの論文を執筆することができ、それを中心に博士論文を書くことができたのでした。といっても、3 つ目の論文が学術誌に受理されたのは博士号を取ってから 2 年近く後でしたが。(つづく)

注記：この連載でも何度も登場した加藤栄先生が、本年 5 月 21 日に亡くなられました。92 歳でした。プラストシアニンの発見を含む初期の研究については、Photosynthesis Research の 2 つの論文

The discovery and function of plastocyanin: A personal account
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00029931>

Early research on the role of plastocyanin in photosynthesis
<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1024924711453>

の中で、昔を振り返ってお書きになっています。

また、Photosynthetica に Tribute を掲載してもらいました。

Tribute to late Prof. Sakae Katoh (1932-2025): discovery of plastocyanin and his research in photosynthesis
<https://doi.org/10.32615/ps.2025.022>

ご興味のある方はご覧いただければと思います。加藤先生のご冥福をお祈りいたします。

光合成ユビキティ 2025 年上半期活動記録

●6月7日(土)～8日(日) 日本光合成学会年会 @埼玉大学

●6月8日(日)～10日(火) 領域会議 於：埼玉県秩父市ホテル美山



初の合宿形式。文字通り“缶詰め”になって朝から晩まで光合成談義で盛り上がりました。



若手の会主催の“若手向け”お悩み相談会。進路や研究の進め方など真剣に語り合いました。



今回から設けられた「ベスト質問賞」🏆

阪大・関莊一郎さん、東北大・酒井颯太さん、北大・熊沢穰さん

ベストポスター「デザイン」賞🏆

北大・Zitong Yang さん

皆様、おめでとうございます🎉



2024 年 6 月 1 日 光合成セミナー・三室賞受賞🏆

B01 木村 行宏 先生、南野 朱音さん

**「好熱性紅色硫黄細菌 *Caldichromatium japonicum* における
LH1-RC 耐熱化の分子機構」**

2025 年 3 月 日本植物生理学会・奨励賞🏆

B01 嶋川 銀河 先生

「植物生理学の切り口から見た光合成生物の多様な生きざま」

2025 年 3 月 日本植物生理学会・PCP Poster Award🏆

A04 藤居 航涼さん、久堀 徹さん、吉田 啓亮 先生

**「Redox Regulation of Cytosolic Fructose-1,6-bisphosphate
Aldolase from *Arabidopsis thaliana*」**

2025 年 3 月 日本植物生理学会・PCP Poster Award🏆

B01 臼井 健太郎さん、山本 治樹 先生、藤田 祐一 先生、

**「Intercellular transport of protochlorophyllide via extracellular
vesicles of the cyanobacterium *Leptolyngbya boryana*」**

2025 年 日本藻類学会研究奨励賞🏆

A01 関 莊一郎さん

関連プレスリリース 2025 年（1 部 2024 年）

2024 年 6 月 3 日 「植物の光を受容する色素は葉緑体の外でも作られる
—これまでの教科書の定説を覆す新発見—」

B01 増田 建先生

<https://www.c.u-tokyo.ac.jp/info/news/topics/20240603160000.html>

2024 年 6 月 13 日 「プラス電荷を失ったリシン側鎖がつくる新規な水素結合の発見」

B02 三島正規先生、青山洋史先生、武田光広先生、永江峰幸先生
A05 広瀬侑先生、A06 斉藤圭亮

https://www.toyaku.ac.jp/pharmacy/newstopics/2024/0613_6338.html

2024 年 9 月 26 日 「有害赤潮プランクトンの活性酸素放出と光合成の関係解明
—魚毒性診断技術の確立に向けて—」

B01 西山佳孝先生

https://www.saitama-u.ac.jp/topics_archives/202409261400.html

https://www.fra.go.jp/home/kenkyushokai/press/pr2024/20240926_akashio.html

■ 科学新聞（2024/10/8）有害赤潮プランクトン 活性酸素放出で光合成能力維持

<https://park.saitama-u.ac.jp/~kankyo/nishiyama/pdf/kagakushinbun.pdf>

■ Harmful Algae

Production of extracellular superoxide contributes to photosynthesis via elimination of reducing power and regeneration of NADP⁺ in the red-tide-forming raphidophyte *Chattonella marina* complex

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568988324001458>

2024 年 11 月 7 日 「珪藻光化学系 I フコキサンチンクロロフィル結合タンパク質超複合体の
立体構造解析を基盤とするタンパク質間相互作用の解明」

B01 伊福健太郎先生

<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2024-11-07>

2024 年 11 月 21 日 「Harmful red-tide-forming plankton release reactive
oxygen species to maintain photosynthesis capacity
— One step toward understanding toxicity to fish」

B01 西山佳孝先生

■ JST Science Japan(2024/11/21)

<https://sj.jst.go.jp/news/202411/n1121-01k.html>

2025 年 7 月 2 日 「ミクロの藻は細胞中の巨大なアンテナで光エネルギーを集める
超高効率光合成の仕組みを解明」

B02 柴田穰先生

<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2025/07/press20250702-02-micro.html>

一般向け講演

2024 年 8 月 25 日 「光合成をやめる進化プロセス」

B01 藤田祐一 先生

第 9 回さきがけ「光の利用と物質材料・生命機能」一期生研究会 先端科学 市民講座

2024 年 10 月 26 日 「生命のみなもと、『光合成』2 深掘り編 光合成装置のひみつ」

A02 小澤真一郎先生

倉敷市大学連携講座/オンライン講座

<https://www.city.kurashiki.okayama.jp/kosodate/lifelong/1002190/1002192/1002194.html>

2025 年 5 月 10 日 「植物のソーラーシステム -光合成-」

A02 坂本亘先生、小澤真一郎先生 A04 桶川友季先生

岡山大学資源植物科学研究所

領域内留学

2024 年

7月24日～ 東京農業大学・川崎研究室 豊島 拓樹さん

→A03 班・皆川純研究室

チラコイド膜単離、CN-PAGE、低温蛍光スペクトル解析

12月18日～ 早稲田大学・園池研究室 御幡 飛鷹さん

→A05 班・日原由香子研究室 組換えタンパク質のアフィニティー精製

4月15日～/ 6月13日～ / 9月24日～ /11月12日～ /2025年3月27日～

岡山大学・坂本研究室 Alexandle Muhire さん

→B04 班・川本晃大研究室 FIB-SEM およびクライオ電子顕微鏡測定

2025 年

1月30日～ 埼玉大学・日原研究室 小川敬子さん, 白井良さん, 日原由香子先生

→A05 班・広瀬侑研究室 フィコビリソーム単離

2月25日～ 埼玉大学・川合研究室 坂口 浩朗さん

→A04 班・吉田啓亮研究室 イメージング PAM によるクロロフィル蛍光測定

2月28日～ 豊橋技術科学大学・広瀬研究室 広瀬 侑先生

→B04 班・川本晃大研究室 クライオ電子顕微鏡測定

3月17日～ 埼玉大学・日原研究室 小川 敬子さん

→A05 班・広瀬侑研究室 フィコビリソーム単離

6月19日～/7月3日 埼玉大学・川合研究室 和佐 音羽さん

→A05 班・日原由香子研究室 シアノバクテリア形質転換