

光合成研究における最新動向

ICP2010 Beijing 参加報告

名古屋大学 大学院生命農学研究科

山本 治樹

1. はじめに

2010年8月22日から8月27日までの一週間、中国の北京において The 15th International Congress of Photosynthesis (ICP2010) が開催されました。会場である Beijing Friendship Hotel は北京首都国際空港からバスで1時間程度の所にあり、北京の中心街からは北西よりに位置しています。近くに北京大学や中国人民大学などの大学が密集していることから「大学区」とも呼ばれる地域です。当時の現地の気温は日本と大きく変わりませんでしたが、湿度がかなり低く気温の割に暑さを感じませんでした。むしろ朝夕は気温が大きく下がるため少し肌寒かった記憶が残っています。この国際会議では光合成全般に関わる研究を対象としているため非常に多くのトピックの発表があります。それらは主に 1) 光化学系複合体と電子伝達、2) 炭素固定反応、3) 環境応答と代謝制御、4) 人工光合成、5) 作物及びBiofuel生産のトピックに大きく分けられます。この他にも環境問題関連や、Bioinformaticsなどの分野もあります。近年話題となっているエネルギー問題のためか、Biofuel関連のトピックの規模が大きい印象を受けました。このように多岐にわたる光合成研究分野の研究者がそれぞれの発表、討論を行う場としてこの会議は3年に1度行われています。今回は14のプレナリーレクチャーと26の項目に分けられた136の口頭発表および450を超えるポスター発表より構成され、計600以上の発表がありました。参加者は中国人が多数を占めており、その他日本を含めたアジアの国々からも積極的な参加があったように伺えます。全ての研究発表について紹介することはできませんが、本稿では筆者の印象に残ったトピックを中心に簡潔にまとめたいと思います。

2. 光化学系複合体

光化学系の分野においては岡山大学の沈建仁先生による光化学系II (PSII) の結晶構造解析についての発表が高評を得ていました(図1)。シアノバクテリア *Thermosynechococcus vulcanus* 由来の PSII の高解像度の構造解析に成功し、酸素発生中心であるD1蛋白質のMnクラスター周辺も詳細にその空間的な位置関係が明らかとなりました。これまでの構造解析では確認できなかった詳細な分子の配置まで解明され、酸素発生の基質となる水分子の所在についても報告がありました。生憎筆者は別会場の発表を聴いていたため、この発表を見ることができなかったことを残念に思います。この発表が終了した時にスタンディングオベーションが起こったと聞き、この発表のインパクトの大きさが伺われました。また Cheng-I Yao 博士によるPSIIを構成する蛋白質のターンオーバーに関わる蛋白質 SCPs についての報告も興味を引きました。シアノバクテリア *Synechocystis sp.* PCC6803 においてSCPsは光化学系のターンオーバーにおいて遊離のクロロフィルを結合することが報告されています。彼らはPSIを



図1 岡山大学の沈建仁先生の発表

* 連絡先 E-mail: yamamoto.haruki@h.mbox.nagoya-u.ac.jp

欠損した変異株において¹⁵Nを用いたPSIIのチェイス実験を行い、PSIIの各サブユニットのターンオーバーを観察しました。¹⁵Nを含む条件においてもしばらくの間は¹⁵Nを含まないPSIIが新規合成されることから、完成したPSIIとは別にassemble前のPSIIの構成サブユニットのreservoir poolが存在することを提唱し、そのreservoir poolにおいてSCPsが重要な機能を果たしていることを示唆しました。また緑藻 *Chlamydomonas reinhardtii* のPSI複合体のassembleについて岡山大学の高橋裕一郎先生が講演され、多くの方との議論が行われていました。このように光化学系の詳細な構造だけでなく、そのassembleといったダイナミックな機構をどのように明らかにしていくのか今後の楽しみです。

3. 環境応答と代謝制御

筑波大学の鈴木石根先生はヒスチジンキナーゼ (Hik) のシグナルインプットドメインを入れ変えたキメラ Hik を用いた環境応答メカニズム解析について講演されました。光応答では Eva Mari Aro 博士の STN7 と STN8 というキナーゼによる光化学系及び光捕集系サブユニットのリン酸化が光環境順応において重要であるという発表が印象に残っています。Bill Zerges 博士は活性酸素種 (ROS) のターゲットとして mRNA を挙げ、その防御機構として葉緑体内の stress granules (SGs) を解析しました。その結果、SGs が葉緑体内で mRNA を結合し ROS に対する防御において重要な働きを担っていることを示唆しました。同じく葉緑体内の転写制御で目を引いたのは、理研の蓑田歩先生の紅藻 *Cyanidioscyzoon merolae* 葉緑体にコードされる Ycf30 という転写制御因子の報告です。Ycf30 は高等植物の葉緑体には存在せず、紅藻において核とは独立してルビスコのオペロンの転写を活性化しています。これは進化の過程で葉緑体とその制御を核に依存していく、その途中段階を見いだしたと考えられ非常に興味深いと思います。筆者はクロロフィル生合成系に携わる研究をしているので、Bernhard Grimm 博士によるテトラピロール合成系の制御の発表にも興味を持ちました。制御因子として GUN4 とグルタミルtRNA還元酵素 (GluTR) に結合する蛋白質 (GluTRBP) の報告がありました。GluTRBPの遺伝学的解析やその局在性から、本来プロトポルフィリンIXから分岐するヘム合成系とクロロフィル合成系が GluTR の反応からすでに2つに

分離して存在しているという仮説も非常に興味深かったです。

4. 作物及びBiofuel生産

このトピックについては光合成関連遺伝子の制御機構改変による metabolic engineering が大きな盛り上がりを見せていました。Willem Vermaas 博士はシアノバクテリアに代謝改変を施す事により、脂肪酸合成の生物触媒として利用する事を提唱しました。シアノバクテリアにチオエステラーゼを導入することでアシル基転移蛋白質(ACP)から脂肪酸を遊離させ、さらに遊離の脂肪酸をシアノバクテリアにより再利用されないようにアシルACP合成酵素 (*slr1609*) を破壊したような株を用いました。さらに細胞の寿命や細胞壁合成に関わる遺伝子の改変を行い、生産性や脂肪酸抽出効率を上げるとのことでした。また作物の生産性向上については Klaas Jan van Wijk 博士の C4 光合成代謝経路の応用などが目を引きました。このようなトピックは今後ますます盛んになっていくと思いますが、実用化まではまだ時間がかかりそうです。応用技術とともにそれを支える基礎研究も一緒に発展していく必要があると考えます。

5. シアノファージ

このトピックは会議のメイントピックではありませんが、筆者の印象に残ったためここで少し紹介させていただきます。シアノファージにおける報告では Qinglu Zeng 博士による発表に注目しました。海洋性のシアノバクテリアである *Prochlorococcus* に感染するシアノファージが光化学系の遺伝子を保持し感染中に発現していることは以前から知られていました。シアノファージはそれ以外にカルビン回路における酵素反応の阻害剤となる CP12 という蛋白質をコードする遺伝子、そしてペントースリン酸経路の酵素であるグルコース6リン酸デヒドロゲナーゼ (*zwf*)、ホスホグルコン酸デヒドロゲナーゼ (*gnd*) とトランスアルドラーゼ (*talC*) をそれぞれコードする遺伝子も保持していることが報告されています。彼らはこの事からシアノファージ感染後の宿主細胞の代謝経路の改変モデルを提唱しました。CP12によるカルビン回路の阻害によって炭素固定によるATPおよびNADPHの消費が抑制され、さらにシアノファージが持つペントースリン酸経路の酵素の発現によりこの経路が活性化し、

NADPHおよびリボースの生成活性が上昇します。この結果宿主細胞内はATPやNADPH、そしてリボースが蓄積した状態になり、それはまさにシアノファージにとって自身が増殖するためのエネルギー源および核酸を複製するための資源を潤沢に確保できる環境であるという仮説です。この他にもDebbie Lindell博士の報告ではシアノファージのゲノムにコードされるPSIIのコア蛋白質(D1蛋白質)が実際に機能を持ち、シアノバクテリアのPSII複合体に取り込まれているかどうかについて議論を行っていました。最近のメタゲノム解析により海洋性のシアノファージのゲノムにはPSII以外にPSIの遺伝子も発見されており、*psaJ*と*psaF*が融合したような新奇の遺伝子も報告されました。またLimor-Waisberg Keren博士はブロードホストのシアノファージがホストにおけるcodon usageの違いを克服するため、自身のcodonに対応するtRNAを持ち込むことも報告しています。これらの報告はシアノファージがシアノバクテリアに感染、増殖する過程でシアノバクテリア由来の遺伝子を取り込んでさらに感染増殖効率を上げるように進化していることを示しており、実に興味深いと考えます。

6. おわりに

大きなトピックごとに筆者が興味を持った発表についてまとめましたが、浅学のため炭素固定関連、人工光合成関連などは紹介できませんでした。それらを含め詳細はこの会議のProceedingsを参照して頂ければと思います。筆者は葉緑体にコードされるニトロゲナーゼ類似型プロトクロロフィリド還元酵素の機能解析というテーマで発表を行いました。テトラピロール代謝制御を専門とするB. Grimm博士と議論ができたので



図2 City tourで訪れた万里の長城

とても有意義な機会となりました。

プログラムのCity tourでは万里の長城(図2)や北京の中心に位置する故宮などを観光する事ができました。Partyでは授賞式があり、沈先生を始めたくさんの方の先生方が受賞をされていました。会議の後には連夜、街に夕飯を食べに行き北京ダックや鍋料理などを頂きました。まったく英語が通じないことには驚きましたが、物価の違いにより低料金で食事ができ満足しました。次回の国際光合成会議は2013年にUSのSt. Louisで行われる予定です。光合成研究のさらなる発展を期待しつつ、次回も参加発表ができるよう自身の研究に励みたいと思います。

謝辞

掲載した写真の一部は東京大学の渡辺麻衣さんに提供して頂きました。この場を借りて感謝申し上げます。

Received November 14, 2010, Accepted November 19, 2010, Published December 31, 2010

Participating Report on ICP2010 Beijing

Haruki Yamamoto*

Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University