

『教養小説 光合成速度を高める技術問題\*  
—温暖化の抑止考—』

北星学園大学 経済学部

増田辰良

2022年4月30日 NO. 20

〒004-8631

札幌市厚別区大谷地

西2丁目3番1号

北星学園大学 経済学部

メール・アドレス ; [masuda@hokusei.ac.jp](mailto:masuda@hokusei.ac.jp)

要約。文学は環境問題に対し、何ができるのか。他人事なのか。他人事で済ませていいのか。幸か不幸か、新型コロナウイルスが引き起こしたパンデミックは科学者と文学者との接近・融合という僥倖を残してくれた。科学者の狭い空間で生まれた専門知を文学者が小説、評論という形で世間知へと変える創作活動である。この流れに沿って本稿は、地球の温暖化を抑止するという理科系（生物学；光合成速度）の技術的問題を小説（人文科学系）仕立てで紹介したものである。なお教養小説とは読了後、ある専門領域に関わる「知識（教養）を得る」文体を用いた文章表現法のことである。

キーワード；光合成、C4植物、カルビン・ベンソン回路、RuBP、Rubisco、温暖化、疾病。

---

\* このワーキングペーパーは、著者個人の責任において書かれたものであり、北星学園大学は、発行管理のみを行っています。

『教養小説 光合成速度を高める技術問題  
—温暖化の抑止考』

K教授から呼び出されたのは、私だけではなかった。急いで、第1研究棟の階段を駆け上がり4階の研究室401号室へと向かった。ドアの前にはMがいた。

「お～、M、お前も呼ばれたの？」

「ああ、すぐに来てくれとメールが届いたからさ」

「そっかあ、じゃ」と、私はMを促してからドアを「トントントン」ノックした。

「はい、どうぞ～、入ってください」と、教授のいつもの明るい声がドア越しに飛んできた。

「失礼します」

「失礼します」

私とMは丁寧に頭を下げてから内へと進んだ。

教授は笑みを浮かべたまま、「急に呼び出して、ごめんね。座って座って」と言って、パイプ椅子を立ててくれた。

2人が腰を下ろすと、教授は「実はさあ、君たちの修士論文のテーマなんだけど、ぜひやってもらいたいことがあってさ」と用件を話し始めた。

「この時代、学際研究が盛んで、外部資金も取り易いから、温暖化と疾病との関係を何か生物学と結びつけて研究してもらえないかな、と思ってさ。できそうな研究テーマよりもできなさそうなテーマを選ぶのが研究者の醍醐味というか、使命だから。『不可能の反対は挑戦です』。これらの関係について、どう思う」

教授は顔を突き出して、私とMに訊いてきた。

— 大学で使途される研究資金には学内で支給される資金と大学外の国、地方自治体や企業から支給されるものがある。大学外の資金については、多くの場合、研究者が自ら応募して獲得することになる。代表的な資金として、文部科学省科学研究費がある。

教授の口癖であるフレーズがまた出たかあ、私とMは一瞬、顔を見合わせた。

Mは突然の質問にとまどいを隠せないまま、「3つの領域を関連づけて考えたことはないですが、温暖化と疾病との関係って、夏場の熱中症とかですかね」とありきたりな答えをした。

「まあ、それも一つだね」と言って、教授は私に視線を向けた。

「温暖化ですかあ。確か2021年11月にグラスゴーで開催されたCOP26（国連気候変動枠組み条約締約国会議）では、『グラスゴー気候合意』が採択されましたよね」

適切な答えが浮かばず、私は即答を避けるよう新聞で読んだ情報を答えた。

「そうだね。パリ協定の実施方針に決着を付けた合意だった」

教授はそう付け加え、内容を知っているかどうか、Mに訊いた。

「えっとお、合意内容は産業革命前からの世界の平均気温の上昇を1.5度に抑えるという目標を達成することでした。すでに世界の気温は1.1度上昇してますけど。もしこのまま何も対策をとらなければ、今世紀末には世界の平均気温は約4度上昇するそうです。そのとき、日本の平均気温は約5度上がると予測されています」と、Mも新聞の報道で得た情報をほぼ正確に答え、さらに「産業革命前には、温室効果ガスの濃度は280ppm（ppmは100万分の1を表す単位）だったそうですが、2015年頃には世界平均で400ppmを超えてしまいました」と、自信た

っぷりな声で知識を披露した。

2人の答えに満足したようで、教授はニコニコと笑みを浮かべ改めて訊いてきた。

「じゃ、**T君**、生物学との関係で、どう思う」

私は一瞬、ぐっと顎を引いてから「疾病との関係についてはよく分かりませんが、生物学との関係であれば、すぐに思いつくことは光合成ですよ。木を増やしたり、緑を増やすことによって温室効果ガスを抑制するとか」と、頭に浮かんだままの答えを口にした。

2人の答えに納得したのかどうか分からないが、「まあ、私も思いつきだから」と、教授は突き出した腹をさすりながらニコッと笑い、「まずはゼミナールで温暖化と疾病との関係を扱った先行研究をサーベイしてくれないかな。何か、新しい研究成果もあるかもしれないから」と報告すべき課題を指示した。

「先生、期限はいつですか」

私はすぐに確認した。

「そうだなあ、君たちも他の授業の準備で忙しいだろうから、夏休み前の最後のゼミナールにしようか。今からだ、1カ月半くらい余裕があるから」

教授は壁に掛けたカレンダーに目を向けたまま言った。

「それなら、間に合うと思います」

私は**M**に目で確認してからそう答えた。

私と**M**は順に頭を下げてから、研究室を出た。

階段を並んで下りながら、**M**は「すぐに来てくれと言うから、何だと思ったら、修論のテーマかあ。早いなあ」と溜め息をもらし、「まさか実験もしろ、と言われるんじゃないだろうな」と声をかけてきた。

私は視線を階段に落としたまま、「当然、実験することになるよ。でなければ、生物学専攻にはならんのだ。『不可能の反対は挑戦です』から」と教授の口真似をし、力強く返した。

「やっぱりな。そうだよなあ。『不可能の反対は挑戦です』から、ねえ」

**M**も半ばちゃかすよう同意を口にした。

「**K**教授もあの体型だから、きっとメタボだよ。ご自分が病的だから学際的な研究テーマとして、あんなアイデアが浮かぶんじゃないかな」

と、私はつないだ。

それについて、**M**は何とも答えなかった。

— 私と**M**は幼馴染の仲で幼稚園から小中高校の同期生という腐れ縁の続きで、進学した大学も学部学科（理学部環境生物学科）も同じだった。今は卒業した大学の大学院環境生物学専攻修士課程（マスター・コース）1年に在籍している。生物学を専攻する修士課程の院生は私と**M**の2人である。指導教授のもとには、博士課程（ドクター・コース）在籍の院生1名**Y**さんもいた。理科系の大学院では教授の研究テーマに沿った実験を手伝うことによって技術や知識を習得する指導法がとられることがある。いわゆるオンザ・ジョブ・トレーニング（OJT）である。研究テーマはときどき教授から与えられることもある。2人は将来、生物学の研究職に就くことを希望している。

私と**M**は院生室へ戻り、さっそく対策を話し合った。

「どう進めるかな」と切り出した私に、**M**は「調べるしかない。最新の情報ならすぐに新聞に掲載される時代なので、自宅に関係しそうなスクラップがあるから、特に、温暖化のところをピックアップしてみるわ」と事も無げに言った。

「それって、高校のときの部活（科学部）で使ったものか？」と、私は疑問符付きで訊き返した。

**M**はニッと口元を歪めてから、「そんな古いものじゃない。学部に入學してからのものだ。過去5年間分はある」と怖い目をして言った。

「ああ、そうだよな。科学は日進月歩だから、10年も前の情報じゃ役に立たんわな」  
気分を悪くさせたかなと思い、私はあえて笑みを帯びた声で返した。

**M**は部活という言葉が懐かしかったのか、本題はそっち退けで楽しそうに話し始めた。

「あの頃はほんとおもしろかったよなあ。生物とか環境って、熱く語り、行動してたよなあ。SDGsって概念が流行っていて、近い将来、人類は食糧危機に直面するって騒いでたよなあ」  
私はふっふっふっと思出し笑いをしてから「お前たちに、コオロギやバッタを試食させられた」と、話を振った。

「そうそう、未来のタンパク質源だと言って、女子が買ってきたんだ。それを乾燥させて、クッキーやスナック菓子に入れて、部員に試食させた。種を明かすと、怒ったヤツもいたし、美味いって喜んでくれたヤツもいた」

**M**も瞼の裏にその光景を思い浮かべていた。

「でもやっぱり、部活の一番の成果はゴミの焼却施設の見学をさせてもらって、CO<sub>2</sub>の排出を抑制する最新技術の説明をやけに詳しくしてもらったことかな。あの後、昆虫食と人間が引き起こしている環境問題との関係に興味を持ったんだ」と、続けた。

私もつられて思い出すままに話した。

「温暖化を含め環境問題は技術の問題ではなくて、根幹は人間の『文化』にあるという日高敏隆さんの言葉が山極寿一さんの書いた新聞記事に紹介されていて、政治や経済、生活様式の変化と温暖化との関係をまとめる作業をした。確かあ、2年の学校祭で発表したよな」

「そうそう、土曜・日曜日も顧問に付き合ってもらった。あの発表は校長からずい分と褒められたんだ」

**M**の語尾は笑っていた。

「褒めてくれたので、ご褒美を期待したけど、部費は増額してもらえなかったし、動作の鈍いパソコンも買い換えてはもらえなかったけどな」

私の声も笑みを含んでいた。

**M**は左手を頬に当て、何かを思い出したようで遠くを見る目をして言った。

「色んな部員がいたよなあ。『生物季節観測』に興味があって、花の開花期や野鳥の飛来をやたらと詳しく調べていたヤツもいた。綺麗なイラストまで描いてさ」

「季節を伝える花や野鳥の調査員になったヤツだろ。1年後輩だよ」

「そう。アイツは気象庁に就職したらしいぞ」

「へっ。趣味の延長で職を得るなんて幸せな人生だよな」

「うん。それから温室効果ガスの元凶であるCO<sub>2</sub>は人間の活動だけじゃなく、牛や羊のゲップやオナラにも原因があるとか言って、酪農家に頼んで、日曜日ごとに1頭の牛が何回、ゲップをするのか、測って発表した女子もいた」

「いたいた。折れ線グラフや棒グラフに、反芻の回数まで書き込んで、余りにも真剣に発表するものだから、その態度や数値を見て笑い転げる男子もいた」

そう話す私の声も笑っていた。

「なぜ、秋にサクラやライラックが花を咲かせるのかを大学教授に取材に行った女子もいた」

「ああ、葉っぱは夜の長さを測る能力を持っているって、発表してた女子ね。あの女子は英語にも長けていて、確かあ、アメリカの大学へ進学したはずだ」

「ほ～、それは初耳だな。もっとユニークな考えを持つ先輩もいたぞ」

「あ～、SF好きだった人ね。ある意味で迷惑を撒き散らしてた人」

「そう。ジェームズ・ローレンス・パウエルが書いた『2084年報告書』を手に『なぜ人類は温暖化を防げなかったのか』という文中の言葉を使っでは、気候フィクションというSFのジャンルを強調し、読め読め、と盛んに勧められたんだ」

「生物や環境に興味があるのか、小説自体に興味があるのか、よう分からん人だった」

「そりゃ、小説だろ？ あの本に書かれた言葉で『これから起きること』を未来の視点から『すでに起こったこと』として書くことによって、気候危機を人類にピンと来させることができるんだと、後輩たちを集めては演説をぶっていた」

「逆らえない後輩たちは、仏頂面してご拝聴してたっけ。ふっふっふっ」

その顔が臉に浮かび、私は微笑んだ。

「ご本人は、それだけ真剣だったんだろうよ。ふ～ふっ」

**M**も思い出し、含み笑いをした。

「あの人は、2019年に公開されて大ヒットした映画『天気の子』については、とにかくうるさかった。新海誠監督の代弁をしてたよな。映画の中で異常気象による雨の連続で街が水没する様子が描かれているんだけど、あのシーンを観ても日本人は気候変動への危機として理解しない。ところが、外国じゃあ、気候危機への監督の姿勢について質問が飛んでくるって。この違いは何に由来するんだーって、声を張り上げてさ」

「誰も答えようとしなから、『自然災害を多く受けてきた日本人には、どこか諦めにも似た

『諦念』<sup>ていねん</sup>という性分が身に染み込んでしまっている』と、自分で答えて落ち込んでいたっけ」

「大げさにも頭を抱えてさ。俺らに何とかしろ、と言われてもなあ。でもな、あの人のSF論には無視できない内容もあったぞ」

「そっかあ？ あったかあ？」

「SFってフィクションだから、読む側、観る側に対して真剣に考えなければならない『最悪の事態』を明示できるだろ。ピンと来ない未来の危機を共有させる手段としては口で説明するよりも効果があるんじゃないか、と俺は思う」

「なるほどお。そんな視点から観るのであれば、動画配信されているレオナルド・ディカプリオ主演の映画『ドント・ルック・アップ』もそうだし、先日、テレビで観た小松左京原作の『日本沈没』もそうだな」

「『日本沈没』はそのさきがけじゃないかな」

私はそんな感想を口にした。

**M**は組んだ両手の拳に顎を乗せたまま別の何か珍奇なことを思い出したようだ。

「希少な意見の持ち主もいた。覚えてる？ アイツのこと」

顔を私に向けて訊いてきた。

「誰さあ？」

「アイツだよ。アイツ。え〜っと、部室で地球の温暖化による熱波、干ばつ、水害の発生頻度をまとめていたら、横槍を入れてきた、アイツさ。顔は浮かぶんだけど、名前が……」

「それって、もしかして、長髪で口ひげが濃くて、<sup>おっさ</sup>小父さんみたいな風貌をしてて、生意気だったヤツか。確かあ、1年だ」

「そう。そいつだ。そいつは温暖化よりも地球の冷却化を心配しろって、強調してさ。まるで喧嘩を売っているようだった。……買わなかったけど」

「火山の噴火による火山灰で地球は低温状態になるって言ってな。ちょうど、2021年にトンガで海底火山の大噴火があって軽石が日本沿岸にも漂着したことから、史実を調べて話していたようだ」

「やけに強調してたから、今でも覚えているよ。1783年に起きたラキ火山の大噴火で火山灰が北半球にまで及び、世界中が低温状態になったそうで、ヨーロッパでは穀物の不作が続き、1789年のフランス革命の遠因にもなったそうだ。その影響は日本にも及び、天明の大飢饉（1782〜88年）に拍車をかけたとも言われている。最近だと、アイスランドのファグラダルスフィヤル火山が噴火した」

「世界中の火山が同時多発的に噴火すれば、温暖化どころか、地球の冷却化が起こる。地球は氷河期に向かっている、と熱弁を奮っていた」

「そうそう。最近の新聞を読んでも、あの熱弁もあながち見過ごすことのできないことらしい」

「へ〜っ、そっかあ」と感心してから「……科学部の皆は今、どうしてるかなあ」と話す私は視線を天上へ向けて、遠くを見る目をしていた。

「科学部は宇宙人の集まりなんて、噂されてたから、個性ある人生を歩んでいるんじゃないか」  
そう言うMは笑いをこらえるような表情をしていた。

私とMはすっかり懐古に耽る自分たちに、はたと気づき話題を戻した。

「新聞かあ、手っ取り早い情報源だよな。じゃあ、調べる項目を絞ったらメールをくれよ。それをネタに一度、『自主ゼミ』をやろう」

と、私は調査の端緒をMに託した。

— 自主ゼミとは、学生たちが自主的に開く、勉強会（ゼミナール）のことである。温暖化に関する新聞記事であれば毎日のように掲載されている。そのうちMは疾病と関係する項目を4つに絞った。熱中症、感染症、エボラ熱、糖尿病。私は、このうちエボラ熱と糖尿病を詳細に調べることを約束した。唐突とも思える糖尿病には興味をそそられた。新聞に掲載された情報であれば、その詳細はネットにも出ている。夏休み前のゼミナールまでに、調べまとめるには時間的な余裕は十分にあった。それよりも生物学との関係で教授からきつと指示されるであろう実験について、心を悩ませていた。将来、2人は研究職に就くことを希望しているので、できる限り教授の意図に沿う研究テーマを自分たちから提案したかった。

数日後の院生室にて、自主ゼミをした。

「温暖化の抑制策なら、色んなことが言われて、実行もされているけど、やはり大事なものは緑

を増やすことだよな」

**M**は深刻そうな声で言った。

「色んな、ってどんな？」

私は確認を試してみた。

**M**は、俺の知識量を試しているのか、という表情をしつつも、

「大きく分けると2つになる。①省エネルギー（化石燃料；石油、石炭や天然ガス）を進めること。②原子力以外のCO<sub>2</sub>を出さない再生可能（水力、風力、太陽光、地熱、バイオマス、波力、海流）エネルギーに変えることかな」

と答えた。

「そのとおり。緑だよな。人間のために木を1本切ったら、自然のために2本植えなきゃ。やっぱ、光合成でしょ。光合成をしてくれる木や植物を増やすべきだよ。葉っぱが出すマイナス・イオンには心身をゆったりした気分させるリラクゼーション効果があるんだ。自律神経にもいいそうだ」

私も同意し、余分な知識を口にした。

「そのマイナス・イオン効果だけど、こんなこと知ってる？」

「何さ？」

「アメリカのある大学じゃ研究棟と校舎棟との間に鬱蒼とした緑のある林を設けているそうだ。その木々の下を教員も学生も通り抜けて教室へ行く。自律神経を休めてから勉強に励むという意図で林を造ったそうだ」

**M**はこんな事例を紹介した。

「でもな、植える木の種類によっては自律神経に与える効果にも違いがあるそうだぞ」

私も少ない知識を披露した。

「たんなる緑の葉っぱだけではだめか」

「だめみたいだな。例えば、針葉樹林は空気中の菌量を減らす効果があるので、アレルギーに苦しむ人にはありがたいことだけど、他方で血圧を上げる効果もあるそうだ」

「へーっ。じゃ、広葉樹林は？」

**M**は過剰に驚いて見せた。

「広葉樹林の一つであるナラ林やブナ林だと、血圧を下げる効果があって、リラックスできるそうだ」

「ほ～、なるほど。葉っぱを落とす木がいいんだな」

今度は過剰に感心して見せた。

「でもな、広葉樹林を増やすと言っても何十年もかかるだろ。そのうちしっかり光合成をしてくれるのは成長期だけなんだ。木も老いてくると自分の身を維持するためにエネルギーを使うから」

「そうだよな。木だって光合成の成果物を自家消費して生きてるから」

「主に、ブドウ糖」

「うん。じゃ、さあ、木以外の植物で何が光合成の能力が高いと思う。もちろん、温暖化を抑制してくれる植物だけだ」

一転して、**M**は質問してきた。

「CO<sub>2</sub>をたくさん吸って、酸素をたくさん作ってくれる植物だな」

「そう」

「何かなあ？」

私は、いかにも知らない、分からないという声音と顔付きで言った。

「おい〜、とぼけるなよ。こんなの小学生レベルの知識だぞ」

**M**はニタニタと笑った。

「はっはっはっ。ごめん。よく取り上げられるのはトウコロコシやサトウキビだよな」

「ピンポン。これらはC4植物と呼ばれている」

「学部の1年で習ったよな」

「簡単な説明であれば、高校の教科書や資料集にはすでに出ているものもある」

「そっかあ。C4植物は二酸化炭素CO<sub>2</sub>の固定過程（CO<sub>2</sub>を固定するとは、CO<sub>2</sub>を有機物に還元する=変えること）で炭素4つを含む化合物のオキサロ酢酸を作る植物だ。炭素3つの化合物が最初の産物だとC3植物と呼ばれている」

「そう。だから、単純な発想だけど、C4植物を増やせばいいんだ」

「おい、ちょっと待てよ。増やすたって、どうするの？ まさか世界中にトウモロコシやサトウキビを植えまくるって言うのか」

「いいや。できるかどうかは別として、C3植物をC4植物に転換させればいいんじゃないかな」と言って、**M**は微笑んだ。

思わず私は、

「なるほどお、それは手っ取り早い方法だな。遺伝子組み換え技術を使えば、できるかも」

と、いかにも感心したと言うふうに返した。

「おい。そんな簡単じゃないって。俺らの発想なんて、すでに研究、実験され尽くされているって。はっはっはっ」

ちゃかした話を真剣に受けとめた私をからかうよう**M**は笑った。

「そうだよな。でもな、成功したとは聞いてないぞ。うまくいかななくても、先行研究とは違う手法でアプローチしてみる価値はあるかも。我われが知らないところで技術も進歩しているから」

私は、真面目に答えていた。

「おい。本気かよ？」**M**は真顔で言ってから、「研究者は簡単に遺伝子組み換えって口にするけど、倫理上、問題があるだろ？」と、続けた。

「そういう対象には使わなきゃいいのさ」

私はシラッと返した。

「ああ、そうかあ」

**M**は簡単に同意した。

「それに遺伝子組み換えをしなくても、もっと時間とコストを節約できる技術もあるから」

「へ〜っ。そんな技術があるの？」

**M**のその声は明らかにその知識を持っていません、と聞こえた。

「例えば、エボラ出血熱の治療薬として効果が期待されている ZMapp（ジーマップ）は「タバコの近縁種（ベンサミアナタバコ）の葉っぱから作られているそうだ」

私は、ネットで読んだ情報を口にした。

「えっ？ 植物の葉っぱの中で薬を作るってか？ そりゃあ、初耳だあ」

「おいー、遅れてるぞ。新聞に出てるって。我われは生物学を専攻していっちょ前に勉強しているつもりでも、まだまだ最先端の研究領域については知らないことばかりさ。世界には色



んな研究者がいるから」

「新聞なら読み飛ばすこともあるさ。で、その技術は？」

**M**は少し怒気を含んだ声で、説明を急かせた。

「植物に感染する性質を持つ土壌細菌（アグロバクテリウム）に薬の成分であるタンパク質を作る遺伝子を導入するんだ。どう導入するのかは知らない。でも、組み換えではないからな」

「うん」

**M**は真剣な目をしていて。

「この細菌の入った溶液を容器に満たして、この葉っぱを浸す。そのまま減圧すると細菌が葉全体に感染して、導入した遺伝子が葉っぱの細胞に効率よく取り込まれる。1週間ほどして刈り取り葉の中で作られたタンパク質を抽出して、薬にするのさ」

「ほ〜〜っ」

**M**は顎を上げて感嘆の声を漏らした。

「大げさな感動をするな」と釘を刺してから、私は続けた。「この方法は『一過性発現法（植物に目的とするタンパク質を効率的に作らせる遺伝子導入法）』と呼ばれ、従来の遺伝子組み換えよりも効率的にタンパク質を作ることができるんだ」

「なるほどお」

「同じ手法を使って新型コロナウイルスワクチンも作れたそうさ。世界初の成功事例だ」

「へ〜〜っ。植物由来のワクチン。いいことづくめだな」

なおも感心する**M**に構わず、私はさらに知識を披露した。

「まだ、ある。ベニバナから糖尿病の薬を作ったり、ウキクサからは肝炎の治療薬、コメからは花粉症の治療薬だって作られている。別の手法『完全密閉型植物工場（植物工場と医薬品工場を組み合わせた施設）』を使って、インターフェロンを作るイチゴから犬の歯肉炎の薬も開発されている……」

「ああ、思い出した」と、**M**は私の話の腰を折り、「スクラップの中に食後の血糖値の上昇を抑えるコメが作られたという記事があった。確かあ、お米の産地の秋田県だったかな」

「そう、コメの名前は『まんぷくすらり』だよ。自分も読んだことがある」

話題が逸れたことを気にせず、私はそうつないだ。

「名は体を現す。腹いっぱい食べてもすらりとした体型でいられるってか。教授に勧めてみるか。あはっはっはっ」

**M**は歯茎を出して笑った。

私は教授の体型を目に浮かべたまま、説明を続けた。

「このコメには難消化性デンプンが従来のコメ（『あきたこまち』）よりも10倍ほど多く含まれているそうさ。このデンプンは食物繊維と似た働きをして、体内であまり消化されないまま大腸へ達するデンプンらしいよ」

「ふ〜ん、なるほどお」と、**M**は感心し切っているのかと思いきや、「C3植物をC4植物化することだけど、実験やるつもり？」と、いきなり話題を引き戻した。

私は、**M**の顔を見て、「本気だよ。こんな発表をすれば、教授は必ず挑戦しなさいって言うって。『不可能の反対は挑戦です』って、フレーズ好きじゃない」

「確かに、挑戦しなきゃ可能にはならないけど。はっはっはっ」

**M**は素直にまた笑った。

「これ、研究テーマにいいんじゃない？」

私は言葉と目に力を込めて勧めてみた。

話題が自分に振られたMは一瞬、私を凝視し、少し考え込んだ後、真剣な声で返してきた。

「……俺のテーマか？ ……検討してみるわ」

「でも、もう一度、光合成のメカニズムをしっかりと復習すべきだな。最新の先行研究もチェックしてみないことには、何とも言えない」

私は語気強く言った。

「う～ん、そうだな～」

私はMのその間延びした返事をどう理解すればいいのか分からなかった。

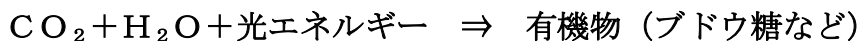
短い沈黙の時間が過ぎ、やおらMは詰問する口調で逆襲してきた。

「じゃ、お前は何をテーマにするの？」

「復習する中で見つけるさ。もう一度、自主ゼミをやろう」

私は具体的な方針のないその場限りの答えをせざるを得なかった。

— 光合成とは何か。高等学校で学ぶ教科書『生物』を使って、説明する。植物は太陽のエネルギーを利用して、二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) と水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) から有機物 (糖など) と酸素 ( $\text{O}_2$ ) を作る。この一連の反応 (メカニズム) を光合成と呼ぶ。



その際、一定の時間当たり固定される ( $\text{CO}_2$  を有機物に還元する=変えること)  $\text{CO}_2$  の量、もしくは発生させた酸素の量として表される光合成の速度 (能力) が大事である。単位は重さの代わりにモル数で示し、 $\mu\text{mol}/\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  という単位を使う。葉っぱであれば、10cm (=1dm) 四方の葉が1時間に何mgの  $\text{CO}_2$  を固定するのか、という単位である。

光合成は葉っぱの中の葉緑体 (緑色の色素クロロフィル) という場所で行われる。葉緑体はチラコイド膜という構造とその間を埋めるストロマからなる。チラコイドにクロロフィルが埋め込まれ、ストロマには光合成に関わる酵素がある。

光合成の反応過程は、この2つの組織が連携して行われる。

#### 1. チラコイド膜での反応。

1-1. 光エネルギーを吸収すると、チラコイド膜にあるクロロフィルが活性化する (光化学反応)。

1-2. 活性化したクロロフィルからのエネルギーによって、水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) と酸素 ( $\text{O}_2$ ) と水素 (H) に分解する (ヒル反応)。このとき酸素が放出される。つまり、光合成で発生する酸素は二酸化炭素に含まれる酸素原子ではなく、水に含まれる酸素原子に由来する。水素は補酵素  $\text{NADP}^+$  (ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド; 補酵素) と結合して  $\text{NADPH}$  (還元型  $\text{NADP}^+$ ) と  $\text{H}^+$  (プロトン) になる。

1-3. 活性クロロフィルからのエネルギーによって、酵素 ATP (アデノシン3リン酸) が生成される (光リン酸化)。

#### 2. ストロマでの反応 (カルビン・ベンソン回路)。

ストロマでは、ATP のエネルギーと水素がカルビン・ベンソン回路に送られ、二酸化炭素からブドウ糖、デンプンなどを作り、最終的にグルコースなどの有機物が生成される。

すなわち、光合成の反応過程は「A. 光が当たることで酸素が発生する過程」と、「B. 二酸化炭素からブドウ糖やデンプンができる過程」の2つからなり、これらが連結していることで

ある。そして、Bに必要なのは、光そのものではなく、Aで生成される酵素である、ということ。もちろん光合成の速度（能力）は、光の強さやCO<sub>2</sub>濃度などの環境要因に制約される。

では、どんな植物の光合成速度が高いのか。先ほどの $\mu\text{mol}/\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ という単位でみると、C4植物の代表と言われるトウモロコシやサトウキビでは50を超えている。イネやヒマワリなどのC3植物では高くても30ほど。ジャガイモ、トマト、キュウリでは15前後である。

光合成速度はCO<sub>2</sub>の濃度が低い範囲ではCO<sub>2</sub>の濃度に比例して増加する。現在の大気中にあるCO<sub>2</sub>濃度は体積比0.0037%であるが、CO<sub>2</sub>濃度は0.1%を超えても速度は増加する。つまり、植物の光合成にとって現在の大気中のCO<sub>2</sub>濃度はまだ不十分な状況にある。

土曜日の午後2時、学生食堂は閑散としていた。私とMは2度目の自主ゼミをするために入り口から一番遠くにある窓側のテーブルにいた。コーヒーの入った紙コップを手に復習の成果を出し合った。

「結局、今のところC4植物の光合成速度が最も速いわけだから、その根拠を調べて、C3植物をC4植物化すればいいんじゃない」

私は開口一番、先日の結論を口にした。

すると、Mは紙コップの腹を親指で上下に擦りながら、

「そうだな。その根拠を説明するぞ。学部時代に習ったことだ。光合成速度を決める（律速）因子はRubisco（ルビスコ；リブローズ-1、5-ビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ）だよな。RubiscoはCO<sub>2</sub>固定の初発反応を触媒する。その速度は極端に遅くて、酸素をもとに光呼吸（反応する際に酸素を吸収してCO<sub>2</sub>を放出すること）を起こす。そこで、C4植物は進化の過程でCO<sub>2</sub>の濃縮に寄与する特異なC4（光合成）回路を獲得し、Rubiscoの触媒部位でのCO<sub>2</sub>濃度を高めて光呼吸を抑制することに成功した」

説明が終わると、Mは紙コップを口に運んだ。

続けて、私は、

「C4回路とは、葉っぱの中にあるクランツ構造と呼ばれる2つの細胞、葉肉細胞と維管束鞘細胞が分業と連携をし合って、反応するメカニズムのこと。結論はC4植物以外の植物にはこのクランツ構造がないし、これを人為的に作ることが難しいということだ」

と、この説明に間違いはないか確認するようMを見た。

ところがMは、

「それじゃあ、C3食物をC4植物化することを最初から諦めていることになる。知りたいことは、そのメカニズムの中にあるC4植物の強みだろ」

と、さらに説明を求めてきた。

「分かった。でも、ちょっと細かい説明になるからな」

私はルーズリーフにイラスト、用語と矢印を描きながら続けた。

「葉肉細胞ではRubiscoの代わりにPEPカルボキシラーゼという酵素が炭素3つを含む化合物PEP（ホスホエノールビルビン酸）とCO<sub>2</sub>（炭酸イオン）の反応を触媒して、オキサロ酢酸という形で固定される」

ここで私はMの真剣な表情を確認してから続けた。

「オキサロ酢酸はリンゴ酸やアスパラギン酸（いずれも炭素4つの化合物）に変えられて、維管束鞘細胞へ送られる。送られた有機酸は再び3つの化合物とCO<sub>2</sub>に分解される。このときCO<sub>2</sub>が通常のカルビン・ベンソン回路（Rubiscoの働きにより）で糖に再固定される」

もう一度、**M**の表情を見てから、

「続けていいか」

と確認した。

「おお、いいよ」

「一方、このときできた炭素 3 つの化合物は葉肉細胞へ戻され、PPDK（ピルビン酸リン酸ジキナーゼ）により、 $\text{CO}_2$ の受容体である PEP が再生される」

私はここで説明を止め、紙コップを口へ運んだ。

「なるほどお、2つの細胞間で有機酸をぐるぐると回すんだな」

**M**は私の説明に納得したようだった。

「そう。その動きによって、維管束鞘細胞内に $\text{CO}_2$ が濃縮されるのさ。この $\text{CO}_2$ 濃縮機構をC4回路と呼んでいる」

こう説明し終わると、私はドヤ顔をしていたかもしれない。紙コップがひしゃげるほど強く指に力を入れた。

そんな私にかまうことなく**M**は、次のようにまとめた。

「この回路を獲得したことによってC4植物の Rubisco の $\text{CO}_2$ 固定サイトでの $\text{CO}_2$ 濃度はC3植物の数十倍となり、光呼吸を抑制でき、高い光合成速度を維持できるってことだよな。C $\text{O}_2$ 濃度を上げてやれば、酸素とは反応しなくなり、結果として光呼吸をしなくなる」

「……のようだな。だから、最初に説明したように、クランツ構造が人為的に作られれば、C3植物をC4植物化することはできるんだが……」

私はできないことを繰り返し口にした。

**M**は、また話の腰をおり、

「現状では無理、成功した先行研究はないってことだったよな」

と、語尾を強調した。

この一言で時の流れが止まった。

**M**は腕を組んでうつむいたままだった。

私は、コーヒーの残量を確認するよう紙コップをぼんやりと覗き込んでいた。

しばらくすると何かを思いついたようで、**M**は口を尖らせて空想するような顔付きで言った。

「でもよう、そう結論を出す前に、カルビン・ベンソン回路内での反応をもっと詳しく調べてみるべきじゃないか」

理解し難いこの問いに私は、

「できればもっと具体的に、ああしろ、こうしろと言ってくれないか」

と返した。

「うん。よくは分らんが、カルビン・ベンソン回路の役割って、Rubisco が触媒する二酸化炭素の反応をお膳立てすることだろ。Rubisco そのものが大事であることは分かるが、でもその前に何か必要な反応があるだろ？」

こう言うと、**M**は私の顔を凝視してから、コーヒーをグビッと喉に流し込んだ。

「う〜ん」と唸ってから、私は、「あれのことかな。RuBP（リブロース 1、5-ビスリン酸）を再生する経路のことかな。RuBP はカルビン・ベンソン回路での Rubisco の基質であり、Rubisco による $\text{CO}_2$ 固定（光合成）のためには再生されなければならない」と答えてみた。

「いや、俺は詳しくないから分からんてえ。もう、ちょっと説明してくれよ」

**M**は怖い目をしていて。

「おお、カルビン・ベンソン回路が機能するためには、葉緑体チラコイド膜の光合成電子伝達系で生成される NADPH と ATP の供給が必須になる。それがどのタイミングで使われるのかを説明すればいいんだな」

「……？」

**M**は分からんという目をしていて。

「2つの回路があって、Rubisco が触媒する  $\text{CO}_2$  と RuBP の反応と、使った RuBP を補充する反応。前者は狭い意味での  $\text{CO}_2$  固定反応で、ここでは NADPH も ATP も使わない。これらは後者で使われる……」

私の説明が終わらないうちに、**M**は言った。

「おい、その RuBP を補充するって、それ自体の再生産能力を高める方法はないのか？」

私がきょとんとした顔を向けると、**M**はさらに言った。

「だってそうだろう。カルビン・ベンソン回路の大部分の反応は ATP と NADPH を使って RuBP を合成して Rubisco の触媒する反応のお膳立てをするわけだから、二酸化炭素を固定する前の RuBP の役割って大事だよな。だから、この RuBP の再生産能力を高める方法を考えてみるべきじゃないか」

**M**はあっさり真剣な目をして、私のすべき研究テーマらしきことを口にした。

とっさのことに、私は「そっ、そっかあ」としか、答えられなかった。

**M**はこれで決まりとでも言うかのようにニッコと笑い、コーヒーを飲み干した。

— 事実、RuBP の再生産速度は葉緑体への光の供給に依存しており、光の強度が大きいほどその速度も大きくなる。光が飽和していない条件下では、C3植物であれ、C4植物であれ、RuBP 再生産速度は光合成を律速する主な要因の一つとなる。

あつと言う間に時間は過ぎて、夏休み前の最後のゼミ当日となった。私と**M**は**K**教授の研究室にいた。学部生とは違って、大学院生ともなると、実験室や一般の教室ではなく教授の研究室で授業が行われることがある。

**K**教授はメタボっぽい腹を擦りながら、声をかけてきた。

「じゃ、以前に指示しておいた温暖化と疾病との関係について要点だけでいいから報告してくれるかい。どちらからでもいいよ」

「じゃ、私から」と、**M**は顔の横で右手を上げてから視線をノートに落とし説明を始めた。

「温暖化と疾病との関係について、現状において、深刻な事例を4つ、取り上げます。そのうちの2つ、熱中症と感染症を私が報告します。聞き慣れたことで、目新しいことはありませんでしたので、簡単に報告します。熱中症は温暖化から猛暑日が続くと症例は自ずと増えつつあります。気温や湿度などから計算した『暑さ指数』が28度以上になると、一気に症例は増えます。予防には水とともに塩をなめるとか塩分を含んだ少量の糖分の入った飲料水を飲むことです。次に、感染症ですが、温暖化によって感染症を媒介する生物、蚊ですね、の生息域が拡大し、症例も増えています。最近では、代々木公園でデング熱の原因となるヒトスジシマカが発見されましたが、その分布域は青森県の一部にまで北上しているそうです。温暖化により、ウイルス自体の増殖が活性化し、越冬する蚊の死亡率も下がり個体数が増加しているようです。温暖化を抑制できれば、自ずとこれらの疾病も予防できます。簡単ですが、以上です」

**M**はノートから顔を上げて教授を見た。

教授はいつものようにニコニコと笑みを返した。

続いて、私は「では報告します。内容はエボラ熱と糖尿病についてです」と、ちらっと教授を見た。

教授は唇をぎゅっと結んでコクンコクンと首を上下に揺らせ、何か思わせぶりの表情をした。

「Mさんの報告された感染症とも関係しますが、エボラ熱も熱帯地方にいる大型のオオコウモリを『自然宿主』としています。患者の血液や汗などに触れた手で傷口や目に触れると感染します。今のところ確実な治療薬はありません。症状は下痢、嘔吐、肝・腎臓機能の低下、吐血や下血をして死にいたることもあるようです。1976年にザイール（現コンゴ）で発生し、当時、大流行しました。また、近年では新型コロナウイルスの発症で世界中がパンデミックに陥りま

したが、これはまだ感染源は確定していませんが、中国の市場で売られていたセンザンコウやコウモリではないか、と言われていています。根本的な原因は森林の破壊にともなう野生動物の生息域が人間に近づいたということです。森林を破壊するわけですから自ずと温暖化とも関係しています。次に……」

と言いかけて、教授の顔を見た。相変わらず、微笑みを浮かべていた。

「では、次に糖尿病との関係ですが、温暖化と関係するのかと疑問に思われるかもしれませんが、温暖化が誘発する直接的な疾病だと思います。オランダの研究者たちの先行研究があって、温暖化が2型糖尿病の発症を誘発するという検証結果を報告しています。アメリカの50州を含む1996年から2009年までのデータを解析した結果、平均気温が1度上がると2型糖尿病の発症率が1千人当たり0・314人増えるそうです」

私がここまで話すと突然、教授は目に力を込めて、

「そのメカニズムは？」

と訊いてきた。

「はい。身体内の『褐色脂肪組織』に注目したようです。これには寒いと脂肪を熱に変え、体温を保つ働きがあります。温暖化で気温が上がると、組織の働きが弱まり、カロリー過剰で糖尿病を発症するという仮説を検証したようです。事実、高齢化が進み2型糖尿病患者は世界で増えつつあります。以上です」

私は教授の顔を見てから、ふ〜っと軽く息を吐いた。

— 2型糖尿病とは、最も多いタイプの糖尿病で、糖尿病と表現すれば、この2型糖尿病を意味することが多い。一般的には生活習慣病と称されるが、糖尿病になりやすい体質（遺伝的素因）もある。

教授は視線を床に落とし、感想めいたことを口にした。

「温暖化が糖尿病を誘発するとは驚きだね。毎年、人間ドッグを受診しているんだけど、最後の総合健診で医者からリンゴやミカンなど糖分の多い果物をひかえるよう助言されるんだ。もちろんスナック菓子はダメ。その上で定期的にエクササイズをしろ、ってさ。女房に話すと、こうした糖分の多い果物は食べさせてもらえないんだよな。子供の頃から、エクササイズは苦手だね。でも、生活習慣を改めないで……」

やはり教授はご自分の健康とからめた研究テーマを私たちに与えたいのであろう、と私は理解した。

そう話す教授へ、Mは「どの程度の病状なのですか」と真顔で訊いた。

「若い君たちは気にも留めない数値だろうけど、空腹時の血糖値は100で基準値の上限なんだ。これが126を超えると、定期的に通院しなきゃならない。BMIも基準値は18・5～24・9だけど、約20。LDLコレステロールもやや高目で111なのさ。私の場合、これらの数値は40歳代からじょじょに上がりぎみでね。医者に言わせれば、体質もあるって。インシュリンだけは打ちたくないし、今のところ薬も服用してないから……。食事とエクササイズで、これ以上悪くならないようにしろ、と」

教授はしわの寄った額に右手をあてて首を垂れ、その声は沈み込んでいた。

「まだ、基準値内じゃないですか。大丈夫ですよ」

Mは明るい声をかけた。

が、顔を上げた教授は恨めしそうな表情した。

私は、教授よりも歳上の両親の顔が浮かび、

「先生。私の両親は毎朝、NHKのテレビ体操を20数年続けてますよ。どちらも風邪ひとつ引かず健康で医者にもお世話になっていません」

と、声をかけた。

「ああ、テレビ体操ね。その時間帯、私はまだ布団の中にいるんだ。女房は朝食の準備の手を止めて10分間、体操をしているようだけどね。でも、それだけではこの体型は若い頃のようなスリムには戻らないよ」

そう言うと、教授は腹をなでた。

「じゃあ、先生、ウォーキングがいいですよ。先生は車で通勤されてますよね。まずは3カ月車を止めて、徒歩で通勤されればいいんじゃないですか。生活の中にエクササイズを取り入れるのですよ。だって、エクササイズのために特別、時間を作るのも嫌でしょ。その時間は研究に当てたいですよ」

Mは、こうアドバイスをして、微笑んだ。

「どれくらい歩くの？」

教授はMの方へ向き直って訊いた。

「1日1万歩を目指せば効果も出るそうです」

Mの答えに、教授はまたうつむき「1万歩かあ」とため息を漏らした。明らかに、ご自分には無理、できない、と判断されたようだった。

すかさず私は別の情報を伝えた。

「先生、悲観されることはないですよ。ミカンであればむしろ食べることによって糖尿病の発症が抑えられるという先行研究もありますから」

すると、教授は顔を上げ、不思議そうな目をして訊いてきた。

「糖分の多いミカンを食べても糖尿病になりにくいって？」

「はい。これは温州ミカンの産地である浜松市の三ヶ日町地域での住民健康診断時に実施した研究ですが、ミカンに多く含まれる<sup>だいだいいろ</sup>橙色の色素βクリプトキサンチンは糖尿病の予防因子になるようです。毎日3、4個食べる人の血中濃度は毎日食べない人と比べると糖尿病の発症リスクが57%も低かったそうですよ」

私は教授を勇気づけようと力強く話した。

教授は表情を変えることなくウンウンと納得したように首を上げ下げした。

さらに、私は「ミカンを食べる人は、脂質代謝異常症という疾病も 33%低く、非アルコール性肝機能異常症では 49%低かったそうです」と続けた。

教授はまだ訝っている声で「サンプル数や分析期間は？」と私を凝視した。

「はい。30～70歳の男女 1073 人を対象に、2003 年から 10 年間の健康状態の変化を追跡調査し、分析した結果です」

ここまで聞いて教授はようやく明らかに笑みを浮かべ嬉しそうであった。

がしかし、Mは、

「ミカンに限らずリンゴやナシなんかも温暖化によって着色不良が目立つようになってきているそうです。栽培適地も北上しつつあるそうで、2060 年代にはリンゴの栽培は北海道全域にまで広がるようです。きっとミカンもそうなるでしょう」

と、温暖化がミカンやリンゴに与える良くない側面を指摘した。その声は教授の喜びを打ち砕くように聞こえた。

「産地が北上しようが、実が育つのであれば、いいんじゃない？」

それでも教授はそれがどうしたという声音で返した。

「でも、温暖化によって温州ミカンなんかは果肉と皮の間にすき間ができて、ブカブカになる

<sup>うきかわ</sup>『浮皮』が問題になってますよ」

Mは教授の心中を慮ることなく、平然と言い放った。

「そうかい。近い将来、ミカンも栽培できなくなるってことかあ。いずれにしろ温暖化を抑制しなきゃいけないってことだよな」

教授はうつむき左手で突き出た腹を擦りながら深刻な声で言った。その動作は自分の腹が浮皮になるのだけはごめんだと言っただけだった。

この鈍痛な空気を読むことなく、Mは温暖化の悪影響をさらに話した。

「温暖化の影響で海水温が上がり、フグの雑種も増えてますよ」

「フグ？」

教授は左手の動き止め、顔を上げた。

「はい。日本海に生息するゴマフグと日本沿岸に分布するショウサイフグの雑種です」

「どう影響しているの？」

「日本近海の海面水温（年平均）は過去 100 年間で 1.09 度高くなっているそうです。この影響で日本海側にいたゴマフグが津軽海峡を通過して太平洋側に移動し、雑種が増えたと報告されています」

「温暖化は人間だけでなく、果物や魚類にも悪い影響を与えているということかあ」

そう言う教授の声は明らかに沈み込んでいた。

私は教授のその声と表情に気まずい思いをした。

— 夏休みに入って 2 週間後、教授からまたお呼びがかかった。私とMはきっと修士論文のテーマの件だな、と話しながら階段を上った。実験系の理系の大学院生には夏休みはない。授業期間中と同じリズムで実験室へ通わないことには修士論文の執筆に間に合わない。

研究室に入り、パイプ椅子に腰を下ろすと、教授はやはり「修論のテーマを決めましょう」と切り出してきた。



すぐにMは「自分たちで『自主ゼミ』をしてテーマを絞ってみました」と答えた。教授は一瞬、鳩が豆鉄砲を食らったようにポカンと口を開けたままだった。その表情からご自分で考えたテーマを指示するつもりで我われを呼び出したのであろうことが察せられた。

「んんっ」と、私は口に右手の拳を当てて、この空気を消し去り「温暖化、疾病と生物学の3つをオーバーラップする研究領域として、古くて新しい問題である光合成の機能について、先行研究の成果を発展させようと、2人で自主ゼミをして決めました」と、話した。

教授はどの言葉に反応したのか分からないが、一瞬、顔を強張らせたが、「そうかい。それじゃ。簡単でいいので、その研究目的だけを聞かせてくれるかい」と返してきた。その声はいつものように明るかった。

私は、先に説明するようMに目配せした。

「基本的には、温暖化を抑制するために、いかにして光合成の能力を高めるのか、というモチーフになります。抑制できれば、糖尿病やそれ以外の色んな感染症も抑止できますので。単に木を植えたり、緑を増やすというだけの発想ではありません」

ここまで話すとMは私に続けるよう軽く右肘で私の左腕を突いた。

「具体的には、MさんがC3植物のC4植物化を研究テーマとし、私はCO<sub>2</sub>受容体であるRuBPの再生産能力をいかにして高めるか、というテーマを考えています」

真剣な顔をして聞いていた教授は右手で頬を擦りながら、「なるほど、基礎的ではあるが修士課程で取り組むには、いいテーマですね。将来、君たちは研究職に就きたいようだから、私が研究テーマを与えるよりも自分で決めたテーマにアタックすることがベストです。いいでしょう、分かりました。それらを修士論文のテーマとしましょう」と、言ってから、「C3植物のC4植物化。植物を研究している者にとっては成功させたい悲願とも言われています。今世紀中に大気のCO<sub>2</sub>分圧は現在の2倍になると予想されています。高濃度CO<sub>2</sub>に強い植物を作るとは人類の必須課題となっています。RuBPの再生産能力を高めることは、高濃度CO<sub>2</sub>条件下での光合成能力の向上を目指す上で必要不可欠なことです。どちらのテーマも古くて新しく学会で常に取り上げられるものです」と、短いが有意義なコメントを出してくれた。

そんな教授にMは「古臭い光合成には見切りをつけて、『人工光合成』へと研究領域は変遷していますが」とあえて自虐的な疑問を口にした。

この人工光合成については、確かに私も最先端の研究領域としてその動向が気がかりではあった。

「何〜に、研究テーマは新しければいいというものじゃないですよ。人工光合成にも未解決の問題はあります。その問題を解くヒントは温故知新、古臭いと思われている問題の中に隠れて

いるかもしれませんから。ノーベル物理学賞を受賞された真鍋<sup>しゅくろう</sup>淑郎さんも話されてましたが、日本人の研究は好奇心に根ざすものが少なくなっています。他人がどう思おうが、感じようが、自分の好奇心を大切に育ててください。研究テーマは自分が興味を持ち、やってみたいと思ったことに飛び付くべきです。若い頃、私もそうでしたから。君たちの選んだテーマはまさに

に『不可能の反対は挑戦です』を地<sup>じ</sup>で行くものですよ。実験や解析の手法等については、ドクター・コースのYさんに教えてもらいなさい。彼は実績もキャリアもあって、頼もしいからね」

そう言うと教授は相好を崩した。その顔は孫を暖かく見守る好々爺に見えた。

— 夏休みも終わりが近くなった 9 月下旬、私と M は先行研究の成果をまとめ、自分たちの研究テーマを実験する手法をドクター・コース 3 年に在籍する先輩院生 Y さんに教を請うた。授業で習う技術だけでは対応できなかったのである。Y さんとは大学院への入学時に教授の研究室でお逢いし、挨拶をしたきりであった。Y さんの実験室は自分たちの院生室から徒歩で 8 分ほど離れた木立の中の実験室棟 W 館の 5 階にあった。ガラス張りの実験室は意外と整然と片付いていた。あるべき物があるべき所に収まっている感じがした。部屋には Y さんしかおらず、ドアに近い木机で顕微鏡を覗いていた。この机は骨董品屋で入手したものなのか、と思わせるほどの風格を醸している年代物であった。研究者を目指す歴代の院生たちが使ってきたものである。なぜ我われが Y さんに教を請うたのかと言えば、Y さんは単に大学院の先輩ということだけじゃなくて理系、文系に拘らない広い学際領域を研究対象としていたこと、すでに数本の論文を海外のハイレベルな雑誌に公刊していたことなどが決め手であった。2 人にとって、憧れともいえる研究成果を出されていたからである。

ドアの開け放たれた実験室へ入り、顕微鏡を覗いている Y さんに、背後から声をかけた。自己紹介をすると、Y さんは、我われの顔を覚えていたようで、また教授から噂を聞いていたようで、  
「へ〜っ。君たちかい、古臭い光合成をテーマに選んで『不可能の反対は挑戦です』にあえて挑もうという奇人変人たちは。今、流行はやりのテーマは『人工光合成』だよ」

と言って、目尻を下げた。  
『流行』、『人工光合成』という言葉に M はグッと顎を引いた。  
一方、私はと言えば、我われのどちらが奇人で、変人なのか、訊いてみたかった。が、そんな暇はないので、M は「ゲノム編集技術のクリスパー・キャス (CRISPR/Cas) 9」の手法を教えていただけませんか」と頭を下げて、切り出した。  
すると、Y さんは「It's easy for you.」と皮肉っぽく英語で返してきた。が、その説明は素人である M や私にとってはとても分かり易いものだった。さすがは研究者の卵だな、と感心させられた。数年後には、自分たちも後輩たちにこんな上手な説明ができるようになるのかな、と反省する思いで聞いた。

Y さんのこの親切でかつ優しい対応に甘えさせてもらってか、M はさらに「葉緑体形質転換法」「RNAi 法によるノックダウン」や「アグロバクテリウム法」の有効性と問題点などを質問し詳しく、かつ易しく教えてもらった。

が、さすがに Y さんは M の知識量に呆れたようで「ややこしいことを考えないで、遺伝子そのものや組み換え技術について、もっと初歩的な勉強をすればあ」と語尾を上げた。

次に、私が RuBP について、研究したいことを告げると、Y さんは「RuBP って簡単に言うけど、電子伝達因子の含量の測り方、その解析法は理解しているの?」と、訊いてきた。

私が不思議そうな顔を返すと、「じゃあ」と言って、Y さんは書棚からファイルボックスを抜き取り、ご自分が作られたこれらを含む分析手法をまとめたノートの分厚いコピーをくれた。思わず、背筋を伸ばして受け取った。それを開くと日頃の基礎的な勉強の積み重ねがいかに大事かを思い知らされた。

Y さんは私の手からコピーを取り、ぺらぺらと捲り、「ここに書いてあるから。今、ここで声を出して読んでみて」と言って、付箋を付けてくれた。

私はタイトル『RuBP 再生産に機能する電子伝達因子量の計測式』から声に出して、ゆっくりと読んだ。

「維管束鞘細胞では RuBP の再生産のみに、葉肉細胞では RuBP 再生産と C 4 回路に機能するので、RuBP 再生産に機能する電子伝達の電子伝達因子の割合 = (維管束鞘細胞に分配される電子伝達因子の割合 + {(葉肉細胞へ分配される電子伝達因子の割合) × (葉肉細胞へ分配される NADP-G3PDH 活性の割合)} とする。これを幾つかの仮定の下で計測する」

読み終わりノートから顔を上げると、Yさんは「それが初歩的な計測式だから」と、ニッコと笑い、机へと戻った。そして「質問や議論をしたければ、いつでも来ていいよ」と明るい声をかけてから、くると背中を向けて顕微鏡に顔を近づけた。

私は、急いでお礼の挨拶をしようとMの肘を小突き促した。

が、Mは「すみません。もう少しお時間をいただけませんか」と断ってから、「先輩は何を研究されているのですか。よろしかったら、教えていただけませんか」と、やや早口ぎみに訊ねた。

「ああ」とYさんは振り返り、「今は海洋環境だよ」と、少し思案げな顔で答えてから「ちょっとこれを覗いてごらん」とMを机に招いた。

顕微鏡に両目を当てたまま、Mは「ほぼ規則正しく並んだ筋のようなのが見えます。これって何ですかあ」と、また訊いた。

Yさんは私にも見るよう手招きした。

「何かの筋、木の年輪？」

私は見えたとおりのことを口にした。

「半分だけ、ピンポン。これは 135 年生きた二枚貝の年輪だよ」

Yさんは弾けそうな明るい声で答えてから説明をしてくれた。

「これは岩手県の船越湾で、135 年生きてきて、東日本大震災で死んだと思われる二枚貝の年輪だよ。名前は、ビノスガイ。それまでに遭遇したであろう明治三陸地震 (20 歳時)、昭和三陸沖地震 (57 歳時) などの津波を乗り越えて生き延びてきたが、ついに一生を終えたものだよ。最後の年輪は 2010 年にできたものなので、11 年 3 月 11 日の巨大津波で死んだ可能性が高いよなんだ」

「そんな長寿の貝が日本にいるなんて初めて知りました」

私は素直な感想を口にした。

「日本だと東北以北にいて、ロシアにも生息している。6 月から翌年の 1 月まで成長し、2 月から 5 月は成長が止まるので、貝殻に年輪が刻まれるのさ。この貝は 10 センチ以上もある大きなものだよ」とYさんは続け、「これまでの最高齢は 99 歳で、北海道で発見されたんだけどね」

と、その声はいかにも楽しそうであった。

「へっ」と、感嘆の声をもらすMは「こんな長寿の貝が死んでしまうほど、今回の津波が巨大だったってことですね」と、結論めいたことを口にした。

「そう。生息環境に大きな乱れがあったんだろうね。こんな貝たちの年輪を調べるだけでも海洋環境の変化を知ることができるんだ。意義のあることって、意外と簡単明瞭なんだよなあ」

Yさんは最後の言葉に力を込めて言った。

「なるほどお」私とMはハモルように声を出していた。

Yさんの楽しそうな表情につられ、私はなぜ生物に興味をもつようになったのか、を訊ねた。

Yさんは一瞬目を輝かせ、少し考え込むように顎に手を当てて、こう話してくれた。

「自分は中学・高校時代、今よりも緑の多い田舎で過ごしたんだ。ため池でザリガニ釣りをしたこともある。タニシだって取ったことがある。実家には祖父が植えて育てた庭木があって、登って遊んで叱られたこともある。祖母が育てていた花や畦道に咲く草花などを見るのが大好きだった。そんな生物や植物たちの動きを観察していると、ある程度予測できるし、きっちり決まった動きを繰り返したりしている。まるで、AI ロボットみたいだと思うことがあってね。花は毎年、その季節になると咲いて、そのうち枯れるじゃない。人間はこれを植物の本能だと簡単に片づけるけど、どこかコンピュータのプログラミングに似ているなど思うようになったんだ。植物が持つ、そのプログラミングをもっと勉強してみようって、大学も理学部の生物学科に入学したんだよ。今は、あまり研究されていない海洋生物に興味があるんだ。生物について、そんな想像をするだけでも研究って楽しいじゃない。想像って、クリエイティブな創造につながるイマジネーションの想像だよ。願望に近い空想とは違うからね」

ここで言葉を止めて、遠くを見る目をした。その表情は柔和なままで、さらにこう続けた。

「気候変動とか温暖化を口にするとき、陸上にいる植物や生物への悪影響が問題視されるけど、温暖化は氷床や氷河を溶かしたり、海水温を上げたりして、その下に住む海洋生物たちにも悪い影響を与えてきた。日本でも海面の上昇により砂浜の面積は減少しているし、生態系が破壊されている。そのうちごくわずかな生物への影響が実際に観察されているだけで、多くの実態はまだまだ観察すらされていない。人間は自分たちが直接影響を受ける熱波や豪雨という陸上での異常現象しか見ていないんだよな。温暖化から生き延びようと、半数の生物種が高緯度地域や標高の高い地域へ移動しているとも言われている。もちろん、絶滅させられた種だっている。

陸上も大事だけれども、海は命の<sup>るっぽ</sup>垣塙とも言われ、人間はそこに棲む生物の一部を命の糧としてきたわけだから、そこで何が起きているのか、海底までも含めてもっと研究すべきだと思うけど」

話し終わると、Yさんは満足げな表情で数秒黙ってから、

「じゃ、君たちは？」

と、また目を輝かせて訊き返してきた。

Mはすっと背筋を伸ばして「高校生のとき、部活は科学部に所属していて当時、SDGs が盛んに叫ばれていました。そのSDGsの一つに食糧危機があって、特にタンパク源となる昆虫食を詳しく調べていくと、背景に地球温暖化という環境問題があって……」と話す途中で、Yさんが「昆虫食って、具体的に何？」と、興味津々という顔をして訊いてきた。

「はい。コオロギやバッタの粉末を加えて、スナック菓子を作り、学校祭でも販売しました。意外と、好評だったです」

Mは楽しそうに話すと「それがきっかけで昆虫を含む生物と環境との関係を深く勉強したくなったってことです。教科書よりも生物の資料集を読むのが好きでした」と続けた。

次に、私も話した。

「自分も高校生のとき、Mさんと同じ科学部に所属していました。自分も生物の資料集をよく読みました。最初は化学の実験をすることがおもしろかったのですが、当時、遺伝子組み換え技術の新しい技術がテレビで報道されているのを観て、人間の生活に役立つ生物の遺伝子はどんなものなのかに興味湧いてきたということです」

「なるほどお」とYさんは笑顔でうなずいてから、「君たちは同じ高校からの同級生かい？」と

確認してから、「腐れ縁だな」と微笑み「資料集も専門的な記述になっていて、高校生が読むには、けっこう難しいけどね」と感心したような低い声で言った。

私とMは笑顔を見合わせた。

私はこの雰囲気の中でぜひ訊いてみたいことがあった。それは研究への取り組み方、姿勢であった。

Yさんは予想外な質問が飛んできたという表情をしてから、話してくれた。

「これは私が植物や生物を観察するときの持論なんだけど」と断ってから、「こんな貝の一生を観察していると、自然とか植物って人間が思っているよりもはるかに素朴であることが分かるんだ。研究することの『何といても本当に面白い点は（発見する一筆者）事実の羅列にあるのであって、（技術や一筆者）議論にあるのではない……』。これは雪博士と呼ばれた中谷宇吉郎の言葉だけだね。人間はわざわざ難しく複雑に考えすぎているんじゃないかな。君たちも植物の持つ特性をもっと単純に捉えて、想像してみてもよ。高度な技術に頼る必要もないから。研究とか科学って言うと、何か俗世間を離れた次元のように思われているけど、本来、泥臭いものだよ。植物の持つメカニズムをもっと単純に捉えてみるべきだよ」

それは穏やかに、でも熱のこもった説得するような口調であった。

我われはYさんのこの持論を十分に理解することなく、「ありがとうございました」と頭を深く下げて、実験室を出た。

Yさんは「Your welcome. No Problem! いつでも来なさい」と、破顔で先輩らしく答えてくれた。

— 2人は院生室に戻り、ぼんやりとYさんの話を反芻していた。専門職に就くには、博士号の学位を取得することのみならず、何と言っても論文を公刊しなければならない。それも査読審査基準の厳しい権威付けられた専門雑誌へ。いつの時代もこの狭き門を通ることのできる者のみが希少な職を手に入れる。

「おい、Tよ。俺たちが選んだテーマで論文を書いてちゃんと評価されるのか」

Mは不安げな声をかけてきた。

「それは最先端の研究テーマを選ぶべきだ、と言いたいのか？」

私は、Mに顔を向けて言った。

「うん。将来、大学であれ、試験研究機関であれ、専門職に就くには流行っているテーマが有利じゃないかと思えてさ。世の中ってそうじゃない。Yさんも開口一番そう言ってたし」

「う～ん。教授はそうは言ってなかったぞ。でもな、その心配も分かるけど、これから修士の1年半、博士の3年間を修了するまで約5年もある。さらに実験室付きの助教になれば、8年や10年、定職に就けるまで、時間はかかる。その覚悟で大学院へ進学してきたよな」ここで言葉

を切り、「うん」と頭を下げるMを確認してから「その初<sup>しよ</sup>端<sup>ばな</sup>にいるんだ。俺たちは。焦ることないじゃない。今の内に基礎的なことをしっかり観る時間、まとめる時間が1年間くらいあってもいいんじゃないか。Yさんからもらったこのノートを見てみるよ。すごい勉強量だぞ」

私はノートをかざし、続けた。

「薄っぺらい流行なんて問題にしない人間は、生活それ自体を問題にしない人間さ」

「ほ～、それって研究のみに生きるってこと？ 研究者の鏡だな。いや哲学者かあ」

Mはふっふっふと笑みをこぼした。

「それに、どう転んでも、今の自分たちの能力で、高く評価される修論をまとめるなんて無理じゃないか。Yさんはちゃんと初歩的な勉強をしろとも言ってくれたし。研究はマラソンと同じだから」

そう言う私にMは、

「お前は、ほんと変わらんなあ。いつも堅実路線を選択する。中学・高校のときとちっとも変わらない」

と笑顔を返してきた。

『石橋を叩いても渡らん』ってか。叩くと崩れちゃう」クスッと笑い、「修士課程の間だけでも、トコトン光合成をやってみようや」

私は語気強く、そう励ました。

『たかが光合成、されど光合成』って、ことね。うん」

Mは心を決めたようでコクンと頭を下げた。

— その後、数回、私とMはYさんを訪ね、遺伝子組み換えやその導入法を実践して見せてもらった。もちろん、我われ2人は助手のようにこき使われた。その介あって、知識のみならず機器の操作技術も短期間で習得できた。

「C4植物ソルガムが持つ高活性型 Rubisco のイネへの導入をやってみよう。ソルガム Rubisco をアグロバクテリウム法によって、イネの核へ遺伝子導入する。さあ、私のようにやっごらん」

Yさんは機器を操作しながら声をかけてきた。

私とMはYさんの手の動きを食い入るように見て、真似をした。

「導入するだけで Rubisco の触媒速度は増加しますよね」

Mは実践に裏打ちされた事実を口にした。

「そう。しかし、これだけでは Rubisco が過剰になって光合成速度は改善しない。そこでイネ Rubisco に対して RNAi ノックダウンを行う」

Yさんはここで言葉を切り、私に「説明してよ」と指示してきた。

「はい。ゲノム編集で特定の遺伝子を変更する『ノックアウト』では遺伝子の機能がすべて除去されてしまいます。一方、短い二本鎖 RNA 断片を細胞内に導入して標的である mRNA の働きを抑制する『ノックダウン』は結果として、遺伝子の機能を強力に阻害しますが、完全には除去されません」

私は以前にYさんから教えられた内容に追加して説明した。

「じゃあ、なぜ『ノックダウン』を使うの？」

その声は詰問しているようだった。

「はい。『ノックダウン』は実験が容易で、かつ短い時間で結果が出るからです」

ありきたりな答えをした。

「よし」と言って、Yさんは我われ2人に右手の親指を立てて見せた。

『ノックダウン』して Rubisco の含量を適度に減少させる。最後に、イネにおける葉緑体形質転換が可能となれば、ソルガム RbcL についても遺伝子導入する（深山、2016、p.3、図2の脚注説明より）」と操作技術の実践訓練を終えた。

「なるほどお」

**M**は仮の実験がうまくいったことに安堵したという声をもらした。

私も「意外と簡単な操作技術なのですね」と感想を口にした。

すると、**Y**さんは少し眉間に皺を寄せて「過去の研究者たちが血の滲むような努力をしてくれたおかげで、自分や君たちのようなド素人でも教えられれば使いこなせるようになったのさ」と、我われを交互に見た。

私は軽はずみなことを口にしてしまった、と心中で反省した。

そんな私の心境を察することなく、**M**は「これで何とか中間報告の準備ができます」と、ちょこんと頭を下げた。

それを合図として、「じゃ、今日はここまででいいかな」と、**Y**さんは白衣を脱ごうとボタンに手をかけた。

**M**はすぐに「ありがとうございました。さっそく教えてもらったように実験してみます」と、また頭を下げた。

私は「中間報告にもぜひ出席していただいて、何かコメントをいただければ嬉しいです」とお礼の言葉に代わるお願いをした。

**Y**さんは「ああ」と言ったきり、何も答えず白衣を脱ぎ、ロッカーへと歩を進めた。

— 『言うは易く、行ふは難し』。実験は当初の予定よりも遅れていた。とりわけ、**M**の実験は容易ではなかった。試行錯誤を繰り返し、通常のC3植物であるイネの5つの遺伝子(RbcS; OsRbcS1-5)のうちの一つである**OsRbcS1**に注目するところで実験はストップしていた。

「OsRbcS1は高濃度CO<sub>2</sub>環境下においても光合成速度を改善する力を持っていることが分かった。しかし、この機能をもっと明確にしないことには……」

**M**はうつむき両手で頭を抱え込んだ。

「それだけのことが分かっただけでも立派な発見だよ」

私は**M**を勇気づける言葉をかけた。

「でもなあ、その先が、う〜ん」

顔を上げた**M**は唸り唇を噛んだまま黙った。

その沈黙に堪えきれず、私は助け舟を出してみた。

「また、**Y**さんに相談してみる？」

数秒後、**M**は黙ったままコクンと首を下げた。

ということで、我われは**Y**さんを訪ねた。

**M**は実験ノートを手にもそのプロセスと成果を詳細に説明した。

その途中、**Y**さんはやおら**M**からノートを受け取り、ペラペラとめくり、あるページにくると手を止め怖い目をしてじっくり読んだ。ノートを閉じると、**Y**さんは腕を組み黙ってしまった。天上から重たい空気が降ってきた。

ずい分と時間が過ぎたように思われた。

**M**が諦めようと、「もう、いいです」と声をかけようとしたとき、**Y**さんは目を閉じたまま「考えてみるから、ちょっと1人にしてくれないかな」と言って、また黙った。

私と**M**はその背中へ「ありがとうございました」と、かぼそい声をかけて実験室を出た。

2人は院生室へ戻った。**M**はこれまでの実験ノートをペラペラと意味もなくめくったり、先

行研究の実験手法、その成果についてのノートをめくっては「あ〜あ」とため息を吐くばかりであった。軽い脳ミソを重くして、悩み込んでも無為な時間のみが過ぎていった。

と、突然、**M**のスマホが鳴った。

「ああ、**Y**さんからだ。はい。……はい。……はい。……はい」と、「はい」が口をついて出るたびに語気は強くなり、顔もしだいに笑顔になって通話を終了した。

スマホを胸ポケットへしまいながら、「すぐに来てくれって、何かヒントが閃いたようだ」と、私を促した。

私たちは早足に実験室棟Wを目指した。

実験室に入ると、**Y**さんは机上に数本の論文のコピーを広げていた。そのうちの1本を手に取り笑みを浮かべ「さっきの件だけどさあ、RNAi ノックダウン形質転換イネを使って、メタボロール解析かトランスクリプトール解析をやってみるかな」と自分に言いきかせるように言った。きっと手に持つ論文からヒントを得たのであろう。

その解析法は我われが初めての聞くものだった。

「どんな手法ですか」

私は訊いていた。

「う〜ん、説明はおいておいて」と、**Y**さんは「Rubisco の代謝機能として、維管束鞘細胞の周辺でC4 光合成（回路）のCO<sub>2</sub>固定をしたり、脂質合成で生まれたCO<sub>2</sub>の再固定もしていることが報告されているようだよ。でも、これも広い意味での光合成なので……」と言葉を切ってから、OsRbcS1 の発現パターンからすると、OsRbcS1 はこれまで知られていない代謝機能をしていることも考えられるから」と続けた。

こうなると、私と**M**の浅い知識では理解できなかった。必ずしも専門ではない領域の論文を読み込んでいる**Y**さんの食欲な知識欲には脱帽するばかりであった。

思わず、**M**は「**Y**さんの専門は海洋環境ですよ」と、疑問を口にしたくなるのも肯けた。

**Y**さんは、それには答えず、「できるところまででいいんじゃない。修士論文をまとめるわけだから、立派な内容でなくてもいいよと思うよ。何か一つ新たな事実を発見できればいい」

と慰めとも受け取れる言葉をくれた。

「でも、それでは論文になりません」

そう返す**M**の声は力強かった。

**Y**さんは改めて**M**に顔を向けて、「そっかあ。じゃ、簡単な発現解析と形質転換体を用いた生理機能解析をやってみてくれる。以前に差し上げたノートに解析法は出てるから」と、現状において**M**ができるであろう実験手法を口にした。

「はい」

先程よりも大きな声で、**M**は答えた。

— 実を言うと、私の実験もストップしていた。この日、**M**の問題が解決した後で、**Y**さんに教を請う予定であったがあまりにも時間がかかりすぎたので諦め、後日、1人で**Y**さんを訪ねた。

**Y**さんはパソコンを閉じて私と向き合ってくれた。私はこれまで読んだ幾つかの先行研究で感じた疑問をぶつけてみた。なんと、**Y**さんからは英語で書かれた文献ベースでの答えが返ってきた。何年のだれだれの論文ではこう書かれていたけれども、自分はこう思うよ、といった



具合に世界の批評に耐えてきたものの中から答えてくれた。(これはすごい!) 私は感嘆の声すら出せなかった。

話の流れから私は本題として、RuBP の再生産能力そのものを扱う先行研究が少ないことを告げた。

すると、一転して Y さんは厳しい口調で言った。

「先行研究って言ってるけど、どの範囲まで調べているのかな? まさか給料・ボーナスをもらっている研究者の論文だけを追っかけてるんじゃないだろうね。世の中には色んな人間がいて、自分の知らない所で自分と同じ興味・関心を持っている研究者が必ずいるからさ。どこを探しているの?」

この問いかけに私は言葉が出なかった。いや、出せなかった。論文とは、研究者が書き、公刊するものなので、検索の対象はそこに限定していたからだ。

私の心中を察した Y さんは「だめだ! 自分だってドクター・コース 3 年に在籍して、まだ授業料を払っている身分だけど、海外のジャーナルに 2 本載せてるよ。ありがたいことに先行研究として多くの研究者たちが引用してくれている。その数は 4 ケタだよ」と言って、ニッと口元を歪め、さらに続けた。

「マスタ・コースに在籍している君も研究者だよ。院生に限らず学部生、民間の研究者であれ、

光合成に関わる活字が出ていれば、片端かたっぱしから RuBP を扱っていないかどうか調べるべきだよ。

研究って立派だ、賢いと思われている人間だけがする専売特許じゃないからさ。素人さんの中にだって、趣味で立派な成果を出されている方だっているよ。もっと研究の世界を広く見なきゃ」

一言も返せない私にふがいなさを感じたのであろう Y さんは、

「先日あげたノートをよく読んでごらん。どれだけ広い刊行物や研究者を対象としているのかが分かるはずだけど。もし君が研究者を目指すのであれば、こんなことはイロハのイだよ。まずは文献探しからが勉強さ」

と、さらに怒気を含んだ声を強めた。

伝えたいことをすべて口にされた Y さんはくるりと背を向け、パソコンを開いた。

私は慌てて「すみません。学会誌、ジャーナルだけを調べてました」と早口で白状した。

Y さんはこちらへ向き直り「それじゃ、だめだ!」と断言し、「最低限、修士論文と博士論文までは遡らなければ。どこの大学院もネット上に要約版を載せている時代だから」と、追っかけるべき範囲を教えてくれた。

私は顔から火が噴き出しそうな思いで、Y さんの背中へ「ありがとうございました」とお礼の言葉をかけ、深々と頭を下げた。

実験室棟を出て帰路の途中、こんな認識で自分は研究者になれるのか、ましてや先行研究として使ってくれるような論文を書くことができるのか、と自問自答、猛省と後悔をしつつ歩いていた。

Y さんのアドバイスは正鵠を射ていて、その後、他大学で公刊された RuBP の再生産能力を扱った博士論文を数本見つけた。論文数で言えば、Rubisco を研究対象とするものははるかに多く刊行されていたが。

— その後も、我われ 2 人は Y さんからアドバイスを受けた。Y さんは自分の勉強、復習にも

なるから言って、時間の許す限り早く相手をしてくれた。「焦ることはないよ」と諭してくれる Y さんの言葉を励みにして、我われは修士論文へと直結しない解析法の習得に時間を費やしていた。指導教授も、それを勧めてくれた。こうして冬休みも春休みも実験室へ通った。今は、新学期の 5 月下旬。大学院生が修士論文を執筆するときは必ず、教授たちや先輩院生たちの前で中間報告をすることになっている。その目的は研究の進捗状況を確認し、足りない部分や間違いを修正するためのアドバイスをもらうことであった。必ずしも最先端ではない 2 人の研究テーマに興味を持つのは指導教授と、これまで色いろと教えてもらった Y さんのみしかおらず、報告は教授の研究室で開催された。

「じゃ、はじめようか」

教授はニッコと口元を緩め、M に視線を送った。

M はパワーポイントを設定し、ポインターでフローチャートを指し示しながらゆっくりと話しはじめた。

「C 3 植物を C 4 植物化する研究はすでに多く行われてきました。なので、最初に先行研究の到達点までを紹介し（深山、2016、参照）、次にそれらの一部を発展させた私の実験結果を報告します。周知のように、C 3 植物と C 4 植物の構造上の顕著な違いは C 4 植物にはクランツ構造があり、独自の光合成（C 4）回路、つまり C 4 回路を持つことです。今のところ、クランツ構造そのものを人為的に作ることはできませんので、ここでは C 4 植物の RbcS（核ゲノムに多重遺伝子族として存在するタンパク質の名称）を C 3 植物に導入し、C 4 植物化を試みた比較的簡単な実験結果を紹介します。

C 4 植物の代表ともいえるトウモロコシの C 4（光合成）回路を構成する主な酵素は 4 つあります。

PEPC（ホスホエノールピルビン酸カルボキシラーゼ）、NADP-リンゴ酸デヒドロゲナーゼ、NADP-リンゴ酸酵素と PPK（ピルビル酸リン酸ジキナーゼ）です。

このうちトウモロコシをはじめ、C 4 植物では、PEPC と PPK が高発現しています。今のところ、C 3 植物内で同じレベルを発現させることは困難です。

そこで、トウモロコシ由来の PEPC 遺伝子と PPK 遺伝子をそのまま C 3 植物のイネに導入して、4 つの酵素をすべて高発現する 4 重形質転換イネを作製します。このイネでは 4 つの酵素を高発現させることはできましたが、光合成速度を促進するほどには C 4 回路を稼働させることはできませんでした。

それでは、そもそも C 4 植物はなぜ少ない Rubisco で光合成速度を高めることができるのか。原点に戻って、考えてみました。Rubisco の欠点は他の酵素と比べて触媒速度が低いこと。C 3 植物では特に低いです。それに比して、CO<sub>2</sub> の濃度（C 4）回路を持つ C 4 植物は 2 倍ほど高いです。C 4 植物は触媒速度の高い Rubisco を獲得することによって、Rubisco の含量を減らすことができ、光合成の窒素利用効率を高めているのだからと想像できます。事実、C 3 植物は全窒素量の約 30% を Rubisco に投資していますが、C 4 植物は 10% 以下です。

C 3 植物であるイネの Rubisco の触媒速度は低いので、イネを実験材料とします。その際、イネ科植物の中でも触媒速度が比較的高いソルガムを使います。日本では、タカキビとかモロコシと呼ばれているものです。

Rubisco は 2 つのタンパク質（RbcL と RbcS）によって構成されており、RbcL（ルビスコの小サブユニット遺伝子）は葉緑体ゲノム、RbcS は核ゲノムに多重遺伝子族として存在します。RbcS

は触媒速度の重要な決定因子です。アミノ酸配列の種間差が大きいこの RbcS に着目し、ソルガムの RbcS をイネに遺伝子組み換えにより導入した結果、イネ Rubisco の触媒活性を 1・5 倍増加させることができました。

次に、ソルガム RbcS 導入イネのイネ RbcS をクリスパー・キャス 9 法で組み換えます。なので、このソルガム RbcS 導入イネには、ソルガム RbcS とイネ RbcS の両方が Rubisco に組み込まれています。これはハイブリッド Rubisco になっていますが、触媒活性は C 4 植物と同じレベル (約 2 倍) にまで高まっていた。葉における Rubisco の量は 30% 以上少なくなりましたが、CO<sub>2</sub> 濃度の高い条件下では組み換えないままのイネよりも高い光合成能力を発揮しました。ただし、収量を増加させるところまでは至っていません。

次に、ソルガムが持つ高活性型 Rubisco を RbcS はアグロバクテリウム法により形質転換したイネの核へこれらの遺伝子を導入してみました。その結果、ソルガム RbcS の高発現が見られました。他に得た結果として、RbcS を導入するだけで Rubisco の触媒速度は約 50% 高まりました (RbcL への導入法は確立していない。-2016 年現在)。しかし残念ですが、最終目的である光合成速度を高めることはできませんでした。ここまでが先行研究の実験結果の紹介です」

ここで説明を止めて、**M** はペットボトルの水をグビグビと喉仏を震わせながら飲んだ。教授はいつものようにニコニコと笑みを浮かべ、何か納得したようにコクンコクンと頷いた。

**Y** さんは腕を組み、目を閉じたままだった。

**M** はボトルを机に置くと、続けた。

「では、次に私の実験結果を説明します。これまでの研究から RbcS が Rubisco の触媒能力を改善する重要なファクターであることが分かりました。イネではイソロイシン、ソルガムではロイシンというアミノ酸がありますが、タンパク質の解析より、このアミノ酸の違いが触媒活性を決定しているのではないかと考えられます。

次に、通常の C 3 植物であるイネには 5 つの遺伝子 (RbcS ; OsRbcS1-5) があり、そのうちのひとつである OsRbcS1 に注目し、発現解析、形質転換体を用いた生理機能解析をしてみました。その結果、OsRbcS1 は葉緑体 (プラスチド) に局在し維管束鞘細胞にあって、クロロフィルにはなくて、RbcL と連携して Rubisco のサブユニットとして機能していることが分かりました。この OsRbcS1 を通常発現している葉身で高発現させ、Rubisco 活性への効果を解析してみたところ、OsRbcS1 が組み込まれた Rubisco は触媒速度を増加させました。触媒速度への効果はソルガム RbcS とほぼ同じであり、OsRbcS1 は高濃度 CO<sub>2</sub> 環境下において光合成能力を改善するのに有効な遺伝子であろう、という新たな事実を得ました。

以上が私の実験結果ですが、実験を重ねるごとに、C 3 植物を C 4 植物化することは、依然として困難な状況にあることを再認識させられました。最初に話したクランツ構造の分化に関わる分子メカニズムについては手がかりとなる研究も幾つか発表されていますので、それをヒントに違ったアプローチを試みる予定です。これで報告を終わります」

**M** はパワーポイントの画像を順番に元に巻き戻す手を止めて、またペットボトルを口に運んだ。その顔には安堵の表情がありありと浮かんでいた。

教授は満足げに首をコクンコクンと上げ下げした。

**Y** さんは終始、腕を組み、目を閉じていた。聞き役に徹しているふうであった。あるいは、**M** の実験やその結果に関心が無かったのだろうか。いや私は、**Y** さんは実験結果を正しく予測していたのかもしれない、と思った。

そんな **Y** さんの肘を教授は軽く突き、自分に代わって何かコメントを出すよう促した。

Yさんは目を開けて、おっくうそうに訊いた。

「う～ん、確かあ、2005年頃に出た論文で、クランツ構造を持たずにC4光合成を行う植物がいることを読んだことがあるけど、知ってる？」(徳富・深山、2005、参照)

Mは意外な情報を知らされ、「いえ、いいえ。すみません。勉強不足で……」と慌てて答え、「それって、陸生植物でしょうか」と、訊き返した。

「水生植物にもいたんじゃないかな」

Yさんはそう答えてから、

「調べてみてよ」

と語気強く注文した。

「はい。さっそく、調べてみます」

Mはノートに2005年頃、「文献、水生・陸生植物、クランツ構造、C4」とメモを取った。

結局、教授は、Mへのコメントを出すことなく、

「じゃあ、T君」

と、私に声をかけてきた。

Yさんは一瞬、顔を上げて目を開けたが、またすぐに閉じた。

私は準備済みのパワーポイントを作動させた。

「最初に、なぜRuBPに注目するのか、その理由を説明します。このチャートに沿って説明します。すでに解明されていることですが、RuBPはカルビン回路においてCO<sub>2</sub>を固定する反応時に重要な役割をしています。この反応を触媒するのが、Rubiscoです。まず固定反応の産物として、PGA(3-ホスホグリセリン酸)から有機物である1,3-ビスホスホグリセリン酸を作るときにATPが使われ、次に1,3-ビスホスホグリセリン酸をグリセルアルデヒド3-リン酸という糖(トリオースリン糖)に還元するためにNADPHが使われます。最終的にリブローズ5-リン酸という糖からRuBPを再生するために再びATPが使われます。つまり、カルビン回路の大部分の反応はATPとNADPHを使ってRuBPを合成してRubiscoの触媒する反応を手助けすることです。このときRuBPの再生産能力を直接高めることができれば、高いCO<sub>2</sub>条件下でのCO<sub>2</sub>固定反応(光合成)の能力も高めることができます。簡単な説明ですが、こんな理由からRuBPに注目したい、と考えています」

こう話して、教授に視線を向けた。

教授は、ニッコと笑みを浮かべてから言った。

「挑戦的なテーマですね。RuBPの再生産能力を直接高めることができれば、C3植物に頼らなくても、C4植物のみで温暖化を抑制できる可能性が広がります。また、その知識をC3植物にも応用すれば、さらに温暖化を抑制できます」ここで言葉を切ってから「糖尿病の発症も抑えてくれます」と、最後の言葉をポトリと溢すように言った。

私は思わず、頬が緩んだ。

Mを見ると、声を出さずに破顔を返してきた。

がしかし、教授は困惑した表情に戻りクギを刺してきた。

「でもRuBPの再生産機能そのものを研究対象としている文献はそう多くないだろうし、むしろRubiscoの研究者や先行研究はたくさんあるよね。あくまでもRubiscoを主語としてRuBPを観ることになるのかなあ。その最新の成果を追検証することも大変な作業だし」

私は、このコメントを自分の勉強量を確かめられているのか、と受け取ったが、趣旨は十分

に理解していた。しかし何を隠そう私は痛い所を衝かれて、グググッと顎を引いていた。すべての文献を読み込んだわけじゃないので、最新の情報を入手できていないことが気がかりだった。それでもこの場のために用意してきた情報を順次パワーポイントで写し、説明を続けた。

「RuBP の再生産能力に関わる先行研究の実験結果を紹介します。主に、C4植物の代表とも言われるトウモロコシとC3植物のイネを比較した研究です(須藤、2003、参照)。トウモロコシの優れている点のみを紹介します」

ここでYさんを見たが、じっと腕を組み目は閉じたままであった。

「1. 葉身窒素量当たりの RuBP 再生速度はトウモロコシが高い。トウモロコシは可溶性タンパク質を減らしてチラコイドへの窒素投資を増やしています。増やせる理由として Rubisco-N (Rubisco へ投資される窒素の割合) を大幅に減少させていることが考えられます。トウモロコシは約 7%、イネは約 26%です。

2. Rubisco 比活性はイネの 2 倍ほど高い。Rubisco-N が少なくても高い光合成能力を発揮できるのは、この比活性の高さに起因します。

3. Chl (クロロフィル) 含量も高く集光性に優れている。

4. *Cyt f* (電子伝達系の律速因子 *Cytbdf* の複合体) 含量はイネの 1.5 倍。CF<sub>1</sub> (ATP 合成酵素複合体の一部) の含量はイネの 2 倍ほど高い。CF<sub>1</sub> 含量が高いことは ATP 合成能力を高く維持しようとするものの現われと考えられます。RuBP 再生産に機能する電子伝達因子の量を測ると、トウモロコシ葉の全 CF<sub>1</sub> 含量の約 76%、全 *cyt f* 含量の約 68% が RuBP の再生産に貢献しています。

トウモロコシにおいて CO<sub>2</sub> 飽和 (CO<sub>2</sub> を増やしても光合成速度が増加しないこと) の光合成速度が RuBP 再生産速度により律速されるのであれば、葉緑体 [fructose-1,6-bisphosphatase (CpFBPase)] の活性はトウモロコシの RuBP 再生産能力を決定する一因子である、と考えられます。

ただし、これらの先行研究は RuBP の再生産能力をどうやって改善すればいいのか、については解明していません。

そこで、私は次のようにまとめた上で、予備的な実験を試してみました。RuBP は光合成速度を律速する一つの要因ですから、RuBP の量そのものは光の強度に依存する電子伝達速度やカルビン回路の RuBP 再生産に関連する酵素の活性や反応中間産物量にも依存します (RuBP 再生系と呼ぶ)。

私の実験結果を見ると、RuBP の量が多い場合と少ない場合について、はっきりと差が出ました。多い場合、光の強度が増加すると光合成速度はすぐに上がりますが、量が少ないと、その上昇も遅くなりました。光合成速度をどこまで上げられるかは、RuBP の量と Rubisco 活性化状態に依存し、これらが大きいと初期の光合成速度も高まりました。あくまでも予備的な実験結果ですが、有意義な成果であろうと考えています。

最後に、今後の課題です。RuBP と CO<sub>2</sub> の結合は Rubisco によって触媒されます。なので、RuBP の再生は Rubisco の活性化との関係で検証されるべきです。この点は先行研究の見解と同じままです。その上でさらに、当然のことですが、光を取り込む気孔の開閉度とも関連づけて RuBP の再生を検証すべきです。これらを C4 植物のみならず、C3 植物、その他の陸生植物や水生植物にまで対象を広げて検証すべきだと考えています。以上です」

説明し終わると、私はパワーポイントを順次、閉じながらちらちらと教授を見た。

教授は表情を変えることなくアドバイスをくれた。

「まず、実験の対象はC3とC4に限定すべきです。いや、C4だけでいいかな。広げて、論文の締め切りに間に合わないと困りますから。気孔の開閉度との関連もぜひ解明してみてください。それから、これは最低限、おさえておくべき知識だと思いますが、Rubiscoは高温や乾燥ストレスにさらされると、不活性化してしまうよね。この不活性化したRubiscoを再び活性化させるタンパク質はルビスコ・アクチベースだよね」

そう質問する教授は私の知識量を試すような目をしていて。

「はっ、はい。そうです」

とっさに声が出た。と同時に、背筋に冷たいものがツーツと流れた。

教授は笑顔に戻った。

私の知識量を訝っているのか、Yさんは腕を組んだまま目を開けて言った。

「だいぶ前にネットでタイトルだけを見て読んでいないんだけど、トウコロコシ由来のアクチベースを使い、Rubiscoの量を減らすことなく、アクチベースを約2倍増やした二重形質転換体イネを作製したという論文の要約版があったんじゃないかな。それが事実なら、高温下でも収量を増やせるイネの栽培もできるようになる」

「は〜」

私は、その情報を持っていません、と白状するようなマヌケな返事をしてしまった。

さらに、私にとって最悪だったのは、Yさんのこのアドバイスは、RuBPに注目したことが的を外している、と言いたげに聞こえたことである。そんな心中の不安がはっきりと顔に出てしまった。

それに気づいたのか、教授は、

「テーマは変えないで、実験手法や解析法については、Yさんを含めYさん以外のドクター・コースにいる他の研究科所属の院生なら誰でもいいので、教えてもらいなさい。最新の手法を習得している方もいるはずだから、助けてもらいなさい。教えることは学ぶこと。彼らにとっても勉強になりますから」

と言って、ニッコと目尻を下げた。

私はすぐに、Yさんに顔を向けて「先行研究を読み込むに当たって、Yさんに色いろと教えていただきました。今回の実験手法についてもアドバイスをたくさんしていただきました」と、ちょこんと頭を下げてから答えた。

Yさんは微動だにせず、目を閉じたままだった。

「そうですか。大いに先輩方の知恵を拝借してください。みんな近未来の研究者となる卵ですからね」そう言うと、教授はニコニコと笑みを浮かべ我われの顔を交互に見てから、「どの学問にも共通していることだと思いますが、学問は誰に対しても普遍性をもつ知識の積み重ねによって、社会を豊かにし、また我われの研究対象である自然環境を豊かなまま維持することに貢献できます。ゆっくりでもいいので確実に自分なりの成果を出すよう努力してください。『不可能の反対は挑戦です』。じゃ、これで終わりにしましょう」と、口癖のフレーズを聞いて中間報告は終了した。

教授の研究室を出ると、Mは沈んだ声で言った。

「俺の実験結果にはコメントをくれなかったけど、それほど意義のある結果じゃないのかなあ」

私は、すぐに慰めにもならないであろうことを口にした。

「でも、クランツ構造を持つ植物を扱った他の先行研究があることを教えてくれたじゃないか」

それよりも私は自分へのコメントを咀嚼<sup>そしゃく</sup>できず、Mに対応できる心境ではなかった。

それを十分に理解してくれていたのか、Mは「お前のテーマは、修論のテーマとしては荷が重くないか？ 提出まで8カ月ほどあるけど、教授やYさんの口振りからすると、もっと時間をかけてするテーマじゃないの？」と、心配げな声をかけてくれた。

これに対して（痛い所を衝きやがって。元はと言えば、お前が勧めたテーマだぞ、と）内心腹も立ったが少し思案をしてから、私は強い口調で答えた。

「いや、やるよ。だって、『不可能の反対は挑戦です』から。図書館とウェブを使って世界中の文献を探しまくるさ。たとえ実験にいらなくても、これまでの先行研究をサーベイする作業も必要だろ。この先、ドクター・コースもあれば、専門の職に就いてからも必要となる基礎知識だもの」

私の頭の中にはYさんからもらったこれまでもアドバイスと分厚いノートのコピーが浮かんでいた。

この答えにMは面食らったようで、「そっかあ」と返すしかなかったようだ。

数日後、私とMは中間報告に参加してくれたお礼を言うためにYさんを訪ねた。今日もYさんは顕微鏡を覗いては、パソコンのキーボードを打っていた。

私はいただいたコメントを活かすべく、幾つかの文献を取り寄せ中であることを告げた。

Mは2005年の論文を読んだこと、その上で新たな実験をするための準備を進めていることを話した。

Yさんはいつものように笑みを浮かべ、「修士課程にいる間は、とにかく関連する先行研究のノートを作る作業をすべきだよ。ほんと知らないことがたくさんあるから」と言って、「実験すればいいと言うもんじゃない。難しく考えないで、植物の特性を素直に理解してみれば、それを活かす簡単な方法もあるから」と、以前に聞いた持論を思わせ振りの目をして言った。

簡単な方法という言葉に反応して、Mは、

「ありますかあ？」

と、何かヒントをください、と言いたげな顔をして訊き返した。

「どんなアイデアですか？」

私も語気強く訊いていた。

「んんっ」と一つ咳払いしてから、Yさんは「自分は専門外のことなので、実験をしたことはないけどさ」と、断ってから「遺伝子組み換え技術を使い、トウコロコシ<sup>ぶらす</sup> + サトウキビというC4ハイブリッド植物を作れば、光合成速度は格段にアップするんじゃないの？ あくまでもイメージーション、想像だけ」と、本気とも冗談とも取れることを口にした。

「C4植物同士のハイブリッド？」

「2つの合体？」

Mと私は顔を見合わせ、思わず頭に浮かんだ言葉を吐き出した。

そんな2人の表情を楽しむよう、Yさんは、

「科学とか学問は、まず想像することが大事だよ。理解し知識を得ることは、後からいくらでもできるから。まずはイメージーション、想像すること。それはクリエイティブな創造につながるからさ」

と、以前に聞いた『イメージーション、想像すること』を強調した。

Yさんのこの持論に我われがポカンとした表情で感心していると、Yさんはさらに続けた。「すでにあるじゃない。キャベツとダイコンを合体させたキャベコン。カボチャとメロンでメロチャ。まだある。スイカ+カボチャ、キュウリ+カボチャなど」

2人があっけにとられていると、「キャベコンはキャベツの根の病気『根こぶ病』を防ぐために、その病気に強いダイコンと合体させたのさ」と、その合体の根拠まで説明してくれた。

この分かり易い説明にMは過敏すぎるほど感動したようで、「なるほどお。C4植物のトウモロコシとサトウキビを合体させると、光合成速度は数倍になる。うん。さらにトウモロコシは実を食べて、サトウキビは茎を食べるわけだから、捨てる部分は葉っぱだけになるってことです。いや、待てよ。葉っぱはバイオマス発電に利用できるかも」と、心底うれしそうな笑顔になった。

Yさんはちょっと困惑したような表情をしてから「うまくやれば、それもできるかもね」と、できるだけ愛想よく答えた。が、吹き出したい気持ちを懸命に堪<sup>こら</sup>えているようだった。

私は、2人のやり取りをあえて黙って聞いていた。

「合体させた植物の名前はあ」と、Mは顎に左手を当てて、視線を天井へ移し「トウ・キビ？」と、自信無げな声を漏らした。

Yさんは「それじゃあ、トウモロコシの別称になる。あはっはっはっ」と、ついに歯茎を見せて笑った。

それにめげることなく、Mは「じゃあ、サトウ・モロコシかあ？ 人の名前のようなだな」と、同意を求めるよう少し語尾を上げ真剣な目をして言った。

Yさんは「あはっはっはっ」と、顔を天上へ向けてまた大声を出して笑った。

我慢しきれず、私もつられて「はっはっはっ」と、声を出して笑った。

この爆笑が止むと「トントントン」と、K教授が開けたままのドアをノックした。爆笑に遠慮をしてドアの前で立っていたようだ。

「ずい分と楽しそうだね。廊下でコダマしているよ」と、笑みを浮かべて入ってきた。

Yさんは立ち上がり「ああ、先生。何か、ご用事ですか」と真顔になり訊いた。

「いや、昼食後のウーキングの途中でね。ちょっと寄ってただけだから」と、教授はポケットを探り「キャンパスも広いねえ。ここまで約1500歩、歩いたよ。往復で3000歩になる」と、スマホの万歩計をかざした。

そんなやり取りに構わず、Mは幼児が秘密をばらすときのようなウキウキした顔をして、「先生。修士論文のテーマを変えたいようなアイデアをYさんが提案してくれました」と、体全体で喜びを振りまきながら言った。

教授は「へ〜〜っ」と唇をコ型にして、「どんな楽しいテーマなのかな？」と訊いてきた。

Yさんはさすがに憚られたようで、釘を刺すよう「先生。冗談ですよ」と、笑みを浮かべた顔の前で右手を左右に振った。

するとMは冗談なんかじゃないぞ、と言いたげな声で、

「C4植物同士のハイブリッドを作るのですよ。いや、C3植物同士でもいい」

と、早口で言った。

「なるほどお。遊び心は、ときにクリエイティブな成果を生むこともあるからねえ。バカにしちゃいけない。でも早くしないと、修論には締め切りがあるから」



教授は笑みを溢しながら、おどけた声を返した。

「これを作ることができれば、温暖化を一気に抑制し、疾病の予防にもなりますよ」

真剣な顔でそう言うMの声は一層弾んでいた。

私は、何とかこのおちゃらけっぽい空気を一掃したくて、

「先生。糖尿病の発症を予防するには、やはりエクササイズをお勧めします」

と、強い口調でアドバイスした。

その声が余りにも深刻そうに聞こえたのか、打ち消すよう、教授は、

「それが一番、苦手でねえ、できないのだよ」

と後頭部を右手で撫でながら、おどけたような声で答えた。

私とMはすかさず、「先生！『不可能の反対は挑戦です』」と、ハモルように声を出していた。

Yさんは思わず、プッと吹き出し右手を口に当てた。

(了)

#### 参考文献。

執筆にあたり、以下の啓発本および専門の論文を参考にしました。なお、参照箇所、ページは必ずしも記載していません。

アロック・シャルマ「私の視点「1・5度」の世界目標 早期の行動 日本にも期待」『朝日新聞』2022年2月8日。

国末憲人「日曜に想う 「地球冷却化」を懸念する人々」『朝日新聞』2022年1月16日。

光化学協会編(2021)『夢の新エネルギー「人工光合成」とは何か』講談社ブルーバックス。

小西雅子(2021)『地球温暖化を解決したい』岩波書店。

佐藤文隆・務台潔(2009)『新版 理科総合 A』実教出版。

秀文堂編集部編(2011)『NEW PHOTO GRAPHIC 生物図説』秀文堂。

須藤恵美(2003)「イネ、コムギおよびトウモロコシにおける光合成の ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP) 再生機能の違いについて」『東北大学リポジトリ TOUR』162~169、所収。

ジェームズ・ローレンス・パウエル(2021)(小林政子訳)『2084年報告書』国書刊行会。

園池公毅(2020)『光合成とはなにか』講談社ブルーバックス。

田中修(2014)『植物は人類最強の相棒である』PHP新書。

田中修(2008)『葉っぱのふしぎ』サイエンス・アイ新書。

唐艶鴻・富松元・深山浩(2014)「光合成誘導反応」『化学と生物』Vol. 52、No. 2、106~112 所収。

徳富(宮尾)光恵・深山浩(2005)「C3植物へのC4光合成回路付与 可能性、問題点、そして展望」『化学と生物』Vol. 43、No. 10、642~647 所収。

中谷宇吉郎(2011)「科学と文化」『中谷宇吉郎随筆集』岩波文庫所収。引用文は『青空文庫』より。初出は『文学界』1937年12月1日。

深山浩・内田直次(2000)「イネ葉における光合成機能の改良」『神戸大学農学部学術報告』24(1) 11~21 所収。

深山浩(2016)「C3食物のC4化: Rubisco だけでも役に立つ?」『植物科学最前線』pp. 29~34 所収。

本川達雄・谷本英一編（2006）『高等学校 生物 I 改訂版』啓林館。

山極寿一「科学季評 環境問題は技術のせいかな 根幹は人間の「文化」に」『朝日新聞』2021年5月13日。

Qu Yuchen、迫田和馬ほか「地球温暖化に適応した生産性の高いイネを作り出すことに成功（高温環境におけるイネの光合成機能を増強し、イネの生産性を25%向上させることに成功）東京大学大学院農学生命科学研究so・農学部のWebより。

以下は『朝日新聞』（朝刊）からの記事である。

「いちからわかる！ 地球温暖化 IPCCが出したね」「温暖化対応の限界 警告」「気候変動 なすべき報道は」2022年3月1日。

「世界初 植物由来コロナワクチン」2022年2月26日。

「気候変動 SFから警告 ピンとこぬ未来の危機共有させる手法」2022年2月11日。

「科学 135年生きて二枚貝 年輪は語る」2022年2月8日。

「気候危機 残された時間は」2022年1月9日。

「気候変動 人類が直面する挑戦的課題」「温暖化で変わる栽培適地」2021年12月14日。

「「気候正義」実現への道」2021年11月22日。

「血糖値上昇を抑える 新しい米」2020年12月10日。

「ののちゃんのD0科学 どうして熱中症になるの？」2017年7月8日。

「ユリイカ 温暖化で糖尿病に？」2017年7月6日。

「遺伝子組み換え実態は」2017年6月29日

「ミカン食べるほど糖尿病リスク減」2016年4月2日。

「科学の扉 植物で薬をつくる」2014年12月22日。

「今さら聞けない 温暖化と健康被害」2014年11月1日。

「今さら聞けない 温暖化と果物」2014年4月26日。