

ムギネ酸の思い出  
—— 高城博士を偲ぶ ——

岡島 秀夫\*

目 次

1. 出会い
2. 共にした寝食
3. 作物生理研究グループの誕生
4. 合成土壌
5. 湛水クロロシスの追求
6. Strategy II
7. 旧交を温めた花の万博
8. 特殊から一般則へ
9. 菩提樹
10. 付記

---

\* 北海道大学名誉教授  
Hideo OKAJIMA

ムギネ酸発見者の畏友高城成一博士が去られてから、昨年の暮に一周忌を迎えました。でもまだ去られた気はしません。有機物を含まない、砂とベントナイトを混ぜた扱いづらい“合成土壌”を、白ペンキで塗装した乳児用粉ミルクの空き缶に丁寧に詰めていた姿が、いまだに目に浮かびます。

## 1. 出合い

高城氏との出合いは、筆者が前任地、東京の厚生省東京衛生試験所から、恩師石塚喜明先生のご推薦で、1949年5月東北大学農学研究所（農研）に Outreach し、木村次郎教授の助手に採用された機縁によります。東京もまだ戦後復興にほど遠く、銀座の三越も骨組みだけが焼け残った建物の床を藪で、それこそ槌音高く平らにしていた時でした。仙台はいくらかましかと思って、駅を出ると現在の青葉通り一帯は焼け野原で、バラックが散在している状態でした。農研に行ってみると、本館や温室、ガラス室は無事でしたが、新館の土壌・肥料実験棟は戦災によって、三越ほどではないものの、内部はがらんどろ。しかし天秤室には、復興を願う象徴のように当時としては珍しい半自動の化学天秤が置かれていました。

木村先生は、戦前アメリカの土壌微生物学者 Waksman とスウェーデンの植物生理学者 Lundegårdh のところに国費留学。国内では水耕培養の主要な開発者。西ヶ原農事試験場時代、西欧の燐酸濃度の高い Knop 培養液では大麦は育つが、稲は鉄欠になり育たないことを指摘され、その原因を稲の鉄吸収力が弱いためと推察し、独自の培養液を提案されるなど著名な学者でした。

さすがの先生も、戦災と戦後の混乱で力落とされていた様子で、君の好きなように研究しなさいとのこと。しかも運悪く前任者の助手も去り、そのうち独り残っていた副手の人も、退職の意向でした。やむなく先生は筆者に副手を探すようにとのこと。さっぱり様子の分からぬまま、退職する副手に相談したところ、盛岡農専の農芸化学の同期生、つまり高城氏が適任と推薦されましたので、同氏が止宿していた松島の東隣、高城町のとある神社内の神主宅を訪れました。そこで背筋を伸ばした和服姿の高城氏に出迎えられたの

が、今も心に残る高城氏との出会いです。

思いがけなく2000年2月高城ご夫妻が、その月が農研就職50周年にあたるとのことで、はるばる仙台から札幌の拙宅に挨拶にみえました。そのおり、記念品として備前焼の竜を頂戴しました。その竜は、奥様のお話では同氏が記念品としてはこれが最高と決められたとのこと。出会いから50年。天駆ける竜のように、その名を世界に馳せた友人の贈り物、嬉しく大切にしています。なお同時に就職時の辞令も見せて頂きましたが、職名が研究補助であったことは、うかつにもその時気づかず、今回の「ムギネ酸を発掘する」で始めて知りました。

## 2. 共にした寝食

当時公務員の給料は民間の企業にくらべて極端に低く、下宿もままならぬので、高城氏と一緒に研究室で寝食を共にしました。まさに一汁一菜の自炊。それでも毎土曜日には厚みの豚肉一片を塩・胡椒で焼き（ソテイ？）キャベツのつき合わせで食べるのは唯一の贅沢でした。そんな訳で、夜は文献読みなどしながら、しばしばこれから一体どんな研究をすべきかが話題になりました。

4 講座の小さい研究所。規模の大きな研究は無理。食糧難の時代といっても、すぐ米増産になるなどの技術開発も無理。当時はまだ水苗代時代でしたが、この稲作も恐らく今後機械化、直播き、節水栽培などと多様に変化するであろう。しかし、その変化の度に稲はどう反応するかを研究するのではなく、今から稲のいろいろな環境変化に対応する反応、つまり稲本来の栄養生理的特性を、しっかり把握しておく必要がある。その特性を研究すべきでなかろうかと、ボルテージをあげていました。若き日のなつかしい思い出です。

## 3. 作物生理研究グループの誕生

やがて、研究所の業績を上げるべく、所長の坂本正幸先生は自然科学分野による共同研究を提案されました。具体的には、東北地方に広く分布してる

低位生産性の黒泥田の仙台近郊農家圃場を対象に、1952年共同研究が始まりました。と同時に、研究室の再編が図られ、肥料学研究室にも二名の研究員と技官、女子職員が加わり、名称も作物生理研究室となりました。木村先生にもはげまされ、このグループがその共同研究に参加することになったのです。

幸いグループに新たに加わった二人が、稲作農家の出身で、農家圃場で二人から農家の知恵、自然の流れにそった無駄のない技術を学び、手取り除草などをしながら北海道と本州の稲草型の違いを五感で覚えるなど、貴重な体験となりました。こうして仲間と定期的に稲のサンプルを研究所に持ち帰り、手分けして処理し、主要無機成分などの分析を試みました。もちろん現地の問題を解明すべく、農研内で硫化水素と養分吸収の関係などについても共同で研究を行っていました。

その共同研究も3年ほどで、各分野がそれなりの成果をあげ、次のステップに進むようになり、所長は当初の役割を果たしたと統括し、終えることになりました。折角各人の研究意欲が盛り上がっている時でしたので、ここでそれを萎えさせてはいけなと思案しました。言うまでもなく研究者の喜びは、自分で考え、実験し、試行錯誤を重ねながら創造性を発揮し、オリジナルな論文を公表することにあります。そのためには、未熟な筆者がグループの統一的な研究を図るよりも、これまでの研究を足掛かりにして、各人が個性豊かに自分の最も追求したい課題に取り組み、互いに励まし合うのが、一番と考えたのです。都合よく技官と女子職員がいましたし、また中央部所属の作業員の手もありましたので、補助者を固定せずお互いの実験に合わせて話し合い、その都度適宜補助者を得て研究をすすめることにしました。

#### 4. 合成土壌

実は現地試験やポット試験で土の複雑な反応に苦勞し、土の研究手段にも、作物栄養の研究を發展させた培地の要因を単純化できる例の水耕培養のようなものがないかと考えていました。ある時、砂とベントナイトのみで有機物

を含まない土を作って稲を育ててみたいと高城氏から意見を求められました。土の単純化に、そんな手があったのかと賛成し、それなら酸性白土も加えては、と考えを述べた記憶があります。しかしうまく稲が育つかどうか気にしていましたが、結構良く育ち、土の解析に利用出来ることが確かめられました。コロンプスの卵です。

この成功に高城氏は自信を得たようで、かつてボルテージを上げていた問題の一つ、それは稲は湛水が必要でないなら、稲作りは多様になり、水資源上も有利になる筈と話し合っていたのです。この課題を解くには合成土壌の利用に限ると、高城氏は早速取り組み始めました。1958年頃の話。もう畑苗が話題となっていた頃と記憶していますが、当時の湛水観は、雑草対策や温度調節であり、また湛水自身の稲に対する意義については、かつてボゴールでオランダの Van Raalte が、稲の根に酸素が送り込まれるのを実証している例もあり、稲は湛水に適応しているという常識の域を越えるほどの知識はなかったのです。

もし湛水が稲に有利だとしても、その有利さには次の問題があります。それは飽和水の水が稲に利用されやすいためなのか、あるいは可分解性有機物を含んでいる土が湛水で還元がすすみ、それによって変化する養分の形態が稲に有利なためなのか明らかにする必要があります。有機物を含まない合成土壌では、水分量による土の化学変化を防げるので、水分量と稲生育の直接的関係のみを引き出せる筈です。問題は日々変化する合成土壌の水分含量をいかに調節するかです。それにはいわば竹槍精神で、毎日ポットを計量して稲の吸水で減少した水分を手で補給する方法を採用。しかしなにしろ沢山のポットを扱うのです。そこで風袋を軽くして計量を容易にしようと、乳児用の粉ミルクの軽い空き缶に目をつけ、ポットとして利用することを考えられたのです。家庭に空き缶のある仲間も要望に応じて、持ちよりました。これらの独創的な実験がどうなるか、興味津々でした。

やはり結果は常識を覆す新事実でした。確かに稲は畑の水分条件では育ちが悪く、湛水で良く育ちました。しかし同じ湛水でも合成土壌の pH が酸性

から中性に近づくと、稲の生育は黄化して鉄欠となり湛水の稲が畑水分状態の稲よりも悪くなりました。湛水に強い筈の稲が、湛水に弱かったのです。高城氏はこの現象を“湛水クロロシス”と呼び、その解明に乗り出しました。まず、稲が鉄欠乏になる高い pH の水耕液で稲を育て、毎日 2 時間ほど畑水分状態の再現として稲の根を空のポットに移し、根を脱水状態（断水处理）にしてから、水耕液に再び戻すことをくり返しました。すると、無処理の稲は黄化しますが、断水处理区は健全な稲となりました。全く奇抜なこの発想に感嘆し、断水处理でなぜ稲は鉄欠乏による湛水クロロシスから逃れたのか、その稲を前にして論議が弾んだものです。

## 5. 湛水クロロシスの追求

1960年の前後にかけて、Brown らが石灰質土における大豆などの鉄欠に弱い品種は、根の酵素的還元力が弱いので鉄欠乏になると提言されていました。教室のゼミでもこれらの論文をとりあげ、湛水クロロシスの問題を検討しました。この説によれば、断水处理で鉄欠乏が防げたのは、畑状態で根の還元能が高まり鉄が可給化されたためと考えられなくもありません。しかし高城氏はその考えに組せず、<sup>59</sup>Fe を使って根表面の鉄の溶出過程を追求するなど、いろいろ試した結果、根の表面の鉄を根自体がキレート形成物質を分泌してその鉄を可給化し、吸収しているらしいとの考えに至りました。その物質が湛水下では薄まるので効果がないが、断水处理では濃縮されて鉄を可給化し、健全な稲になると考えられたのです。Brown らとは全く別の考えです。この様子を見て、筆者は学位請求論文の執筆を勧めました。そして出来上がったのが“水稻栽培における土壤湛水の意義に関する研究（東北大学農学研究報告，18：1-158，1966）”です。素読を頼まれましたが、見事なもので、最後まで読み続けたくなる名論文でした。残念ながら、この数年後筆者は北大に出向しましたので、その後の華々しい高城氏の実験を直接見る機会がなくなりました。

高城氏と共著の論文が数ありますので、同氏の執筆姿勢はよく知っていま

す。客観的でリアリストらしく、いかにして正確に書くかに人一倍工夫され、一語一語どれが適切かを熟慮し書いていました。だからといって、難解な文になっては困ります。その呼吸が巧みで、筆の運びに心引かれ読後感もさわやかになります。客観的に書く以上、感情は排除されます。しかし造語などに苦心され、そこに著者の心情が汲み取られるので嬉しくなります。例えば“湛水クロロシス”というタームは、発見した著者の感動の表現でしょう。後にインドのICRISATで編集された書物(1991)に投稿されたムギネ酸の解説の別刷を頂きましたが、その英文でも概日リズムとムギネ酸の分泌など、まことに美しい解説で感服しました。

## 6. Strategy II

話は前後しますが、学会の部門が変わっても口頭発表の題目や要旨で、その後の様子を見ていますと、70年代になってから、高城氏は同氏の予想通りに稲やエンバクが鉄欠乏状態になると、根が鉄を可給化する自然キレート物質を分泌していることを発見し、その分泌条件などを詳細に検討していることを知り、さすがと喜んでいました。断水処理で鉄欠乏が回避できたのは、やはりそのキレート物質が濃縮されることにあったのです。その成果が1976年 Soil Sci. Plant Nutr. に“Naturally occurring iron-chelating compounds in oat-and rice-root washings”と題して発表されました。10年ぶりの快挙。この論文は後にオーストラリアのLoneragan教授に世界で始めて鉄自然キレートの発見と絶賛されました。

大麦やエンバクが鉄欠乏に強いのは、キレート生産量が多いからで、稲が弱いのは少ないからです。とすると生産量の多い大麦を研究する方が、キレート剤の追求に都合がよいと思われたのでしょうか。この論文の後からは、主に大麦での研究は矢継ぎ早に進み、キレート剤がアミノ酸系キレートであって、その物質の構造も決定され、ついで名称もムギネ酸となり、一躍世界の注目の的となったのです。しかも、ムギネ酸の生産量が、オオムギ>コムギ、ライムギ>エンバク>トウモロコシ>ソルガム>イネの順序で、それは作物

種の鉄欠乏耐性の強さの順序と一致していました。現在ではムギネ酸がイネ科植物共通の鉄獲得の戦略物質と位置づけられ、双子葉植物の酵素的還元による鉄の獲得機構を区別して、その戦略を strategy II と世界的に呼ばれることになりました。まことに歴史的な快挙です。

## 7. 旧交を温めた花の万博

1979年農芸化学会北海道支部に招待され、北大農学部の講堂でムギネ酸について講演をされました。筆者は司会を頼まれてましたが、すでにムギネ酸の命名や構造が決定されており、知名度も高くなっていたかつての同僚の話は心地よいものでした。生理活性物質の専門家の多い農芸化学の人達が、講演に感銘を受け、講演会後の懇親会も盛り上がり、一別以来の個人的な話の時間がなくなりました。ただ一言、いつ他の人に先に発見されるかが、それが一番気掛かりだったと発見者の悩みを囁かれたのを覚えています。

個人的な話はその約10年後の1990年京都の第14回国際土壌科学会議の時でした。会議の中日に、誘い合って花の万博に出掛けましたが、空いているパビリオンをちょっと見ただけで、後は休憩所で積もる話に興じました。会議ではムギネ酸は他の国の人が報告していましたので、そのことを尋ねますと、そのほうが気楽と笑っていました。そして1983年米国の Uta 大学で開かれた第2回鉄栄養国際シンポジウムに出席した時、高城氏のポスターの前に黒山の人が集まり、次々と尋ねる質問に応答の暇が無いほど。こんな熱気は生まれて初めてで、すっかりエクサイトし、生涯忘れ得ぬ思い出になったことを、主催者の米国学者の温かい心遣いに感謝しながら熱心に語られました。もともとポスターの内容が、ムギネ酸はイネ科植物の phytosiderophore であるとの提案ですから、盛り上がりません。

なおポスター前の人々の中に、かねてからイネ科植物は独特の鉄獲得機構を持っていると考えていたドイツの Hohenheim 大学の Marschner 教授がいたそうです。教授は我が意を得たりと、はるばる高城研究室を訪れ研究を見学し、帰国後追試し、ムギネ酸を strategy II とすることに力をつくされた



とのこと。高城氏には忘れ難い米国旅行となったのは想像に難くありません。

ついで岩手大学に転出された経緯をいろいろ話され、そして農研の研究条件が良かったこと。教室の技官が、徹夜して根の洗浄液採取を手伝ってくれたことなどに感謝していました。教室の技官とは東海林英夫氏です。優れたテクニシャンで、誰の研究についても適切に判断し、実験をサポートしていました。例の断水処理も、その日の天候を配慮して根の脱水方法を変え、日による変化を極力さけるなど、見ていて感服したものです。事実、先述の1976年の英文報告にも同氏に対する謝辞が述べられています。東海林氏はある時“自分がファイトトロン技官と一緒に定年退職したとき、その記念の宴席に高城先生がみえられ、貴方たちの支援があったので仕事が出来ました、深々と頭を下げられ恐縮しました。”と話していました。高城氏は礼を重んじる人でした。ポーク・ソテイを共にし、心身共に満足した良き一日でした。

## 8. 特殊から一般則へ

次に会ったのは、1998年つくばで植物の養分収奪についての国際workshopがあった時です。何故か分かりませんが、主催者の阿江氏から、会議での植物の養分吸収の歴史的レビューを頼まれました。なにしろ退職後10年もたっており、筆者にはとても引き受けられる程度の話ではありません。困りましたが、もし少しでもお役にたつことがあればと、考えてみることにしました。

わが国は近代科学発展のわりと早い時期に西欧から、それらの学問を導入し、その方法論にしたがって、西欧にはない日本独特の課題に取り組んできました。そのことによって、科学の発展にさまざまな貢献をしてきました。その身近な例が水田や水稲です、畑作中心の西欧では対象外のものです。だから西欧の水耕栽培養液では稲は育ちません。そもそも、ムギネ酸の発見はその特殊性にあったのです。しかも、そのムギネ酸は稲のみの生理活性物質ではなく、イネ科植物共通のものだったのです。特殊な研究が一般則を引き

でしたのです。世界の人が感嘆するのも無理はありません。

高城氏は合成土壌を考案したことで稲の特性を明らかにしたのです。たくましい創造力です。すでに述べたように同氏は生涯にわたって、ムギネ酸の働きを追い続けてきましたが、その過程では随所に難問が控えていたに違いありません。その度に合成土壌を考案したように、創意工夫を重ね、イネ科植物の生命保持の情報感知とその対応策を解明してきたのです。筆者にとって合成土壌は高城氏のシンボルです。生物は情報をキャッチ出来なければ生きられません。単細胞の乳酸菌でも糖を認知出来なければ生きられません。鉄欠環境を感知してムギネ酸を分泌するのも、その現れです。その謎を解いた友を得たことは、筆者の宝です。

そんな訳で workshop の報告は、ムギネ酸の発見を主要な柱の一つとして話を組み立て、植物の養分吸収研究史を考えてみました。そして workshop 当日、背筋を伸ばした友を前にして、友を称える報告を述べたのです。

## 9. 菩提樹

その後機会あって河原町のお宅を訪ねました。確か奥様の実家で、かつて高城夫妻が結婚式を挙げられたところです。様子はだいぶ変わっていましたが、なつかしいお宅です。高城氏は“もうこの世に心残りはない”と言われ、同時に“森、西沢両先生のような仕事もしたかった”とも言われました。この二つの言葉は、電話で安否尋ねた時にもよく口にされましたが、やがて電話の話も困難になり案じていました。亡くなる年の5月に、かつての農研の仲間が拙宅にみえられた時、東海林氏に高城氏のマンションを訪ねるようお願いしました。帰仙後早速訪ねられたところ、入院されていたので病院にお見舞いに伺ったとの電話をもらいました。気になって電話で奥様にお尋ねしましたが、リハビリのため転院されるとのこと。年があげたら是非お見舞いと思っていた矢先、無情にも訃報。まことに残念。

大好きだったシューベルトの冬の旅。いま泉のほとりの菩提樹の梢の囁きに耳をかたむけ、安からに休まれていることでしょうか。地上に残してきたム

ギネ酸の発展を夢見て。

## 10. 付記

2009年3月発刊された編者森敏氏「ムギネ酸を発掘する」は、高城氏の偉業を広く伝えるべく、面白く楽しくをモットーに編集された同氏の意図が功を奏しています。

ただ常に真摯に立ち向かう畏友高城氏が、病の中でも編者の問いに答えるべく、思い出を振りしぼるように語るところでは痛々しくもありました。そんな折、某編集者から高城氏の思い出を記するように頼まれ、自分の体験した思い出を綴ったのがこの拙文です。2009年の秋でした。

ところが編集者が不幸にも不慮の死、拙文は宙に浮いてしまいました。最近の混沌とした世情に、無性に高城氏が懐かしくなり、不遜にも「肥料科学」誌に投稿したところ、格別なご配慮をいただき採択されました。記して深く感謝いたします。

陸軍士官学校生であった高城氏は、敗戦になるといち早く満州から帰国しました。在留邦人を残したままです。彼は悩みました。一体軍隊とか国とかは何者なのかと。ある日、陸軍士官学校同期会を脱会したと私に告げられました。戦後いろいろな主義主張が声を大きくしていた時にも、耳を貸さず黙々と実験を行っていました。ファウストの言葉「名声などでなく、行為がすべて、Die Tat ist alles, nichts der Ruhm.」のように、高城氏は行為の人でした。