



土壌の中に見た小宇宙

森 也寸志¹

はじめに

土壌は地球陸域の最表層を覆い、環境の変化を軽減させ、水や食料が得られる貴重な領域であると私は考えている。私が土壌物理の世界に足を踏み入れるまでの経緯は、決してほめられたものではない。しかし、電気、地球・宇宙、英語などそれまでに学んできた多くのものが有機的に結びつき、現在の自分を土壌を対象とする研究者たらしめている。土壌の重要性について私なりの方法で情報発信しているが、この度、貴重な機会を頂いたので、ここに至る経緯と思いを記してみることにした。

ラジオ少年・宇宙少年

私が研究者の道に足を踏み入れるのに、多分小さい頃の経験がかなり影響していると思われるのでそこから話を始める。残念ながら私の少年時代に土壌は登場しない。

小さい頃から実験や工作が好きだった。夏休みのドリル勉強は7月中に全部すませ、8月いっぱいかけて自由研究をするのが好きだった。小3の時にひよこの体重を量り続け、スケッチと共に成長記録をつけた「ひよこのかんさつ」がユニークだと先生にほめて頂き、研究のおもしろさを最初に知った。厚手に見える広告が濡れると引っ張りに弱いことを見つけた「紙の強さ」、気体や液体の熱膨張を使った「温度計」など、小学校を卒業する頃には将来研究をする職に就きたいと思っていた。電子工作が好きで、はんだごてを握ってラジオを作り、屋根に登ってアンテナを張り、遠くから流れてくる放送を聞くのが好きだった。このころの電子回路の基本的な知識と電子工作好きが後のセンサー技術に生きてくる。

また、中学の頃には英語に強い関心を持ち、短波から流れてくる海外放送をよく聞いた。私の英語学習の原点はNHK ラジオ基礎英語とFEN (the Far East Network) である。地元愛知県ではFENは3.910 MHzの短波で聞

くことができ、日曜の早朝にアメリカンポップスをAmerican Top 40で聞くのが日課だった。耳から入った英語学習は今に生きていると思っている。なかなかものにならないが...

加えて、地球・宇宙やロケットのことがとても好きで、ちょうどボイジャーとパイオニアが木星や土星に接近する頃だったので、ワクワクしながら新聞や雑誌を読んでいたのを覚えている。COSMOS 上下巻、写真集全4巻は今も実家においてある。

このように義務教育が終わる頃には、研究への関心、細かい工作が得意であること、英語への興味、という現在の姿勢の元が形成されていた。物理的にももの考えるのが好きで、科学を志したいと思っていた。

まだ、土壌は登場しない。

プロ意識

これまでのワクワクと学業は少し違って、高校の頃からそれが怪しくなってくる。いわゆる進学校の中で、自分よりかなりできる連中がいることを目の当たりにし、ひととおりの挫折を経験した。自分は何がしたいのかずいぶん悩んだが、分野と言うより、研究をする人生を選びたかったので、小さい頃から知っていた京都大学をめざし、農学部に入った。しかし、いまひとつ勉強に身が入らなかった。

3回生で農水省のインターンシップを経験した。稚内で排水路設計をして、そこで初めてプロの世界を見る。10分もかかってもたもた測量器具の据え付けをする大学生に、現場技術者はものの1、2分で据え付けをすませてみせた。技術力の差に軽い衝撃を受けていると、「俺等は現場で頑張るから、兄ちゃんらは勉強をもう少し頑張れ」と言われた。ちょっと斜に構えていた私は、この言葉を聞いてもう少しこの道を究めてみようと思った。また、母校で教育実習をした際に、英文科の学生が、「英文法が多少できる程度で英語を教えに来るんじゃない、ちゃんとした発音も備えてから来い。」と教諭に厳しく

¹ 岡山大学大学院環境生命科学研究科

2015年10月24日受稿 2015年10月30日受理

言われているのを見て、「それで飯を食っているプロ」の存在を強く意識することになった。このころ私自身は、3回生で父を亡くし、翌年、祖父を亡くしたため、プロになって独り立ちするということを強く意識するようになった。

研究室分属では、一番アカデミックな感じがした土壌物理を勉強出来る研究室を選んだ。このあたりから私の中で何かが変わってくる。

土壌間隙構造に人体の小宇宙を見る

転機は卒業論文で訪れる。

軟X線で土壌間隙を撮影し、間隙構造の透水特性について考察するテーマをいただき、レントゲン撮影にいそしんだ。植物根を反映した樹枝状の間隙構造が造影されるのを見て、人体のようで非常に驚いた。徳永先生、成岡先生の関係論文はぼろぼろになるまで読み込んだ。造影剤が浸透する様子を長い時間かけてモニターし、時系列の変化を追っていった。すると土壌からの排水には順序があることがわかり、法則性があるらしいことがわかった。後にマクロポアとミクロポアの二重間隙構造として、その機能を明らかにしていくことになるが、その原点を観察していたことになる。何かをつかんだ気がして、文献を読みまくった。特に英語の論文については修士2年の頃には(一時的に)辞書無しで読めるようになっていた。程なくして島根大学で職を頂くことになるが、京都に通いながら研究を続けた。

この研究は大変面白かったのだが、定量的な評価手法について前例がなく、成果を出していくときに大変苦労した。しばらく論文が書けず低空飛行がつづいた。このころは、大学院修士で職を得て、仕事をしながら論文博士を取得することがまだ一般的に行われており、学位取得を控えた若手研究者としてははずいぶん悩んでいた。挑戦したいという気持ちは強かったので、当時の自分の中では大きな目標である *Soil Science Society of America, Journal (SSSAJ)* に論文を投稿したが、一度リジェクトされた。

その後の研究で行き着いたのは、当時実用例が報告され始めたマルチステップ流出法を段階毎にX線撮影し、透水性と保水性を軟X線と共にとらえ議論することだった。これは非常にうまくいった。土壌からの排水に規則性があることと、マクロポア・ミクロポアの二重間隙性がある点と、ある点を境にきれいに分かれることなどがわかった。留学のため海外誌での成果を求めて *Soil Science* と再度 *SSSAJ* に投稿し、その結果を待った。さらりと書いてい

るが、予算が当たらない、研究が計画的に進まない、論文が思うようにつかない、など現状を打破出来ない自分の能力に疑問を持っており、これがものにならないのであれば大学教員をやめようと松江の地でたまじめに悩んでいた。

助けになったのは、志を同じくする仲間達との出会いである。通称 *SSSJ* メーリングリストを活用して、遠く離れた仲間達と活発に議論を交わした。土壌物理学会に参加してくる仲間達は出身やグループに関係なく議論を交わす方々が多い。自分の腕一本を信じて研究をしている、という感じの研究者が多く、私はとても好きだった。何となくくすぶっていたがこういった仲間達との議論が私を支えた。マルチステップ流出法の実践者である *Jan Hopmans* とは海外の学会で議論することができ、後の渡航時の受け入れ教員になって頂いた。

背水の陣で臨むとはすごいもので、上記2報は掲載され、恩師の退官に間に合わなかった私も学位を頂き、翌年、貴重な経験である学術振興会海外特別研究員に採用され、2001～2003年まで2年間海外に行けることになった。当時、数物系、生化学系、人文社会系の3枠しかなく、数物系で採択されているので、私にとっては万馬券である。

ようやく歯車が回り始めた。

「土壌」という特長を生かして大きなギアでまわす

渡航先では、先に書いた *Jan Hopmans* 教授 (*University of California, Davis*) の下で土壌水フラックス計測のための熱パルスセンサーの開発に携わった。技官さんもあきらめた髪の毛ほどの細さの電気配線をこなして、正確さ 0.01 K 、繰り返し精度 0.003 K というセンサーを作り上げた。それまで *Jan* には語学力にあきれられていたが、ずいぶん評価して頂いた。自分は手先が器用だという認識はしていたが、米国にいとと特にそれが大きな特徴になると気付いた。一切の妥協を許さない *Jan* の研究姿勢は厳しく感じるときもあったが、徹底した議論、一貫した姿勢は学ぶところが大きく、その後の私の研究スタイルに大きな影響を与えた。

このころ、議論好きの *Jan* が、「もはや農学だけで食べていくことは難しい。土壌を含む不飽和帯を *Vadose Zone* といって、ここに関わる土壌学、資源工学、地球科学などは皆一堂に会することができる」と将来像を語り、とても共感した。 *Vadose Zone Journal* 発刊の前年である。そういう思いを持って参加した *American Geophysical Union (AGU)* は *Agronomy* の *Soil* として研究を始めた

私にもう一つの研究をする合理性を与えてくれた。

帰国後、研究対象を土壌汚染に広げ、汚染土壌の浄化に先の二重間隙構造性を結びつけることを考えた。ちょっとしたサクシジョンの工夫で薬液を全く異なる領域に届けられることを見つけ、非常に浄化効率の良い成果を得た。いくつかの企業と共同研究をしたが、その時社員さんから「分散という言葉を非常に説明しにくい」とよく聞いた。上司は化学工学の専門で薬液は水槽でプロペラを回すように混ぜればよいと思っていて、浸透と共に溶液が混合するという感覚がわからないようだった。いつも学生に講義で話しているが、陸域の最上層を形成する土壌のことについては我々が一番よく知っている。だから分野の特徴をきちんと生かせば、まだ明らかになっていない種々の課題にチャレンジ出来ると感じた。

このころ大学が法人化し、研究するためには外部資金を取りに行く必要があり、プロジェクト研究を目指した活動が活発になっていった。島根大学で初めて私たちの分野が科学技術振興調整費に採択され、流域というくくりの中で森林・畑・水田・汽水域を通じた物質循環を精査し、資源循環型社会の構築を目指した研究とその人材育成を行った。このプロジェクトでは全体を切り盛りすることになり、JSTと直接相談したり、Global COEの実践例などを学ぶことができた。多くのプロジェクト運営に共通していたのは、大きなギアで歯車を回していることだった。些細なところにはこだわらず、大きな目標をたてて進んでおり、ある種の力強さを感じた。

土壌物理で外の世界へうって出る

このころから私は、土壌を地球陸域の最表層を構成するものという認識で種々の研究に当たるようになる。2007年のAGUでは一部の構成員がIPCCのメンバーとしてノーベル平和賞を受賞したとしてお祝いムードがあり、自分は全然関係ないのにずいぶん嬉しかった。調べていくと土壌は陸域最大の炭素貯蔵庫であること、一方で土地利用変化によって石油・石炭の燃焼の2割にも当たる二酸化炭素が大気中に放出されてしまうことがわかってきた。土壌環境を保全・修復すれば、土壌の研究が地球環境に貢献出来るわけだ。長い時間を経て土壌物理と地球科学が自分の中でつながってきた。AGUの日本版、日本地球惑星科学連合(JpGU)の大会では、張、川本、齊藤、濱本諸氏とコンビーナとして積極的に運営

に参加した。2011年には大変幸運なことに最先端・次世代研究開発支援プログラム(通称NEXT)に採択され、それこそ大きなギアで研究を進める機会を頂いた。土壌の研究が広い分野に貢献できることを再認識し、FIRST、NEXT合同成果発表会では、非常に優れた研究手法を学ぶことができた。

これまでの研究を派生させ、土壌中に自然が作った粗大間隙に似せた人工マクロポアというシンプルな構造を作り、透水性不良が原因で劣化しつつある土壌について浸透性の改善を行ったところ、土壌中の有機物が増加するという初期の成果が得られた。植物の専門家ではないので地上部には触らないつもりでいたが、植生の回復が意外に早く、写真で撮影したときに一番わかりやすい成果が得られた。現在、マクロポアを通じた浸透機構や有機物分解に対する効果などを精査中である。私のキャリアの初期にはマクロポアは溶質移動を不規則にする邪魔者として回避することを考えていたが、今はその役割がわかり、積極的に利用しようとしている。X線やセンサー技術などハイテク研究を駆使した先にシンプルな修復技術に落ち着くとはある意味私の理想で、環境技術としてはシンプルなものを目指していきたい。

おわりに

もともとのラジオ少年・宇宙少年からは全く想像もできないが、私のこれまで経験した全てが有機的に結びついて今の土壌物理的研究ができています。一見関係のないプロセスも沢山あったが、どんなに形を変えても、こうありたいと日々願っていると、自分の人生もそのようになっていくものだと感じている。若い世代の方々は、今自分の思い通りにならないことをいくつも感じているかも知れないが、そのとらえ方と実践の仕方で将来がずいぶん変わってくると思う。

現在の悩みは、以前のような一球入魂の論文が書けないことである。何かに追われてアリバイ的に提出している文章が多く、非常に情けない思いで一杯である。プロジェクトの計画書ばかり書いている気がするが、ヒアリングや報告書に対して不足部分を指摘され、改善することでプロジェクトは良いものに仕上がっていく。研究についても、独りよがりにならないためにも世に問いかけるチャレンジを続け、土壌物理研究の成果を発信していきたい。