



学部生向け土壌物理実験における試行錯誤

坂口 敦¹

山口の坂口です。山口大学・大学院創成科学研究科（≒農学研究科）の助教に就任して2年弱が経過いたしました。今回は、私が学部で担当している3講義の中の1つである学部3年生向け土壌物理実験における私の試行錯誤を紹介させていただきます。尚、本学では農地環境工学実験と称しております。本学では作物学、園芸学、昆虫学などのいわゆる農学分野の研究室から構成される生物生産学科の中に、孤島のように農業土木分野の農地環境工学研究室が存在しています。学生は生物学に関心を持っており、物理学や数学は最も嫌がられています。この状況において、土壌物理学は全くのアウエー戦を強いられます。そこで、私は学生に畑地における作物栽培の実験と思わせておいて、いつの間にか物理学や数学を使わせる戦法をとっています。

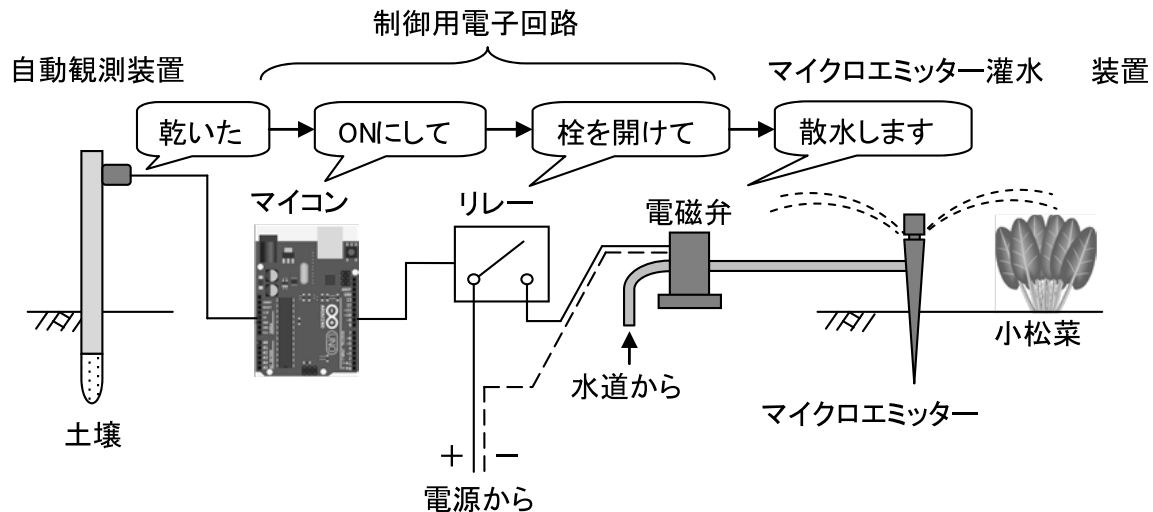
まず、土壌のpF値ですが、テンシオメータで計測するだけでは生物学サポーター達の関心を引くことはできません。そこで、pF値に応じた自動灌水システムを学生達自身に作らせて、乾燥したビニールハウス内で自動灌水システムによる小松菜栽培を体験してもらうことにいたしました。自動灌水開始・停止の閾値とするpF値は学生に自由に考えてもらうのですが、pF 1.1を閾値とした学生の小松菜は常に湿地状態にあり、苗を植えて1週間後に状況を観察した際にはpF 1.5 ~ 1.8を閾値とした学生の小松菜の半分程度のLAI（葉面積指数）しかありませんでした。同様にpF 2.0を閾値とした学生の小松菜のLAIも半分程度でした。この体験により、pF値を灌水の指標として使うことができることを実感してもらいました。先にpF値という作物栽培上の指標に関心を持たせることで、なぜ体積含水率を指標とすることができないのかと問うた時には、学生は自ら吸引圧という物理学上の理論を用いて議論しておりました。

では、講義内容を説明します。通常のテンシオメータにセンズ社製の負圧センサ（入力3.0 - 5.0V、出力0.1 - 1.1V）を取り付けます。自動制御用のマイコンにはArduino Rev. 3を用意します。あとは灌水用のマイクロエミッター（小型スプリンクラー）のホースの途中に

電磁弁を取り付けてから、電磁弁にリレーを接続します。Arduinoからの出力では電磁弁を作動させるだけの電力を供給できないのでリレーを挟みます。ここまでは講義前に用意しておいて、講義開始時に学生達に配布します。学生は、まず自身のノートPC（山口大学では全学生がノートPCを所有しなければならない）にArduino IDE（C言語で書かれたプログラムをコンパイルしてUSBケーブル経由でArduinoに送信するためのソフトウェア）をインストールします。そして、私が書いた10秒おきに電磁弁の開栓と閉栓を繰り返すスケッチ（=プログラム）をArduinoに送信させます。あとは私の指示通りにリレーとArduino間をジャンプワイヤで配線すればマイクロエミッターからの間断灌水が始まるのですが、次に学生は練習問題として間断間隔を20秒に変更せねばなりません。この練習問題を達成できた学生は、間断灌水スケッチをpF値に応じて自動灌水するスケッチに書き換え、スケッチ内で自身が指定したArduino端子と負圧センサおよびリレー間をジャンプワイヤで配線します。Arduinoのどの端子を何の役割に使用するかは自由です。選択の幅が広いと学生は面白がります。実際、学生ごとに使用した端子はバラバラでした。最後に自動灌水のスケッチおよび配線が正しいかを動作確認によって確かめるのですが、水没させておいたテンシオメータの素焼管部分を乾いた雑巾で覆って、ノートPCのシリアルモニターで10秒ごとにpF値が刻々と大きくなってゆく様を見ながら、自身が指定したpF値に達したところで灌水が始まり、また水没させるとモニターのpF値は低下し灌水も停止すれば完成です。農学部でもプログラミングの講義はありますが、PCモニター内で自身が書いたプログラムが走っても物理・数学嫌いの本学科の学生はたいして興味を持ってくれません。しかし、自身が書いたプログラムが現実世界で動く（灌水の開始・停止）、さすがに面白がってくれました。完成した自動灌水システムをビニールハウス内に設置して小松菜の苗を植えれば終了ですが、設置後、すぐに灌水が始まると歓声が沸くので、ビニールハウス内の土壌をなるべく乾燥させておくようにしています。

もう一つ紹介させて頂きたいのが、HYDRUSによる

¹ 山口大学 大学院創成科学研究科
2016年5月13日受稿 2016年5月20日受理



コンピュータシミュレーションです。シミュレーションもコンピュータという道具を用いた実験ですので、土壌物理実験に組み入れております。FEM (有限要素法) や解法は学部3年生には難しすぎるので説明していませんが、van Genuchten式や計算の初期条件などは説明しており、議論をすると学生が理解できている事が伺えました。van Genuchten式については、「人間は水分特性曲線を目で見る事ができるけど、コンピュータは目が無いから見る事ができない。どうすれば土壌水移動の計算に必要な水分特性曲線の形をコンピュータに伝える事ができるだろうか」と問うて、まずはvan Genuchten式の必要性を理解してもらっています。しかし、やはり生物学的要素を持たせないと飽きられてしまうので、自由に作物を選んでシミュレーション内で栽培してもらっています。実際に、学生が一番楽しそうなのは自身が栽培する作物を選ぶ時です。男子学生は風変わりな作物を選ぶ傾向があり、女子学生はイチゴを植えたがる傾向があります。また、2091年までの日本各地の日単位気象シナリオであるELPIS-JP (Iizumi T. et al. (2012): Phil. Trans. R. Soc. A, 370: 1121–1139) を用いて、身近な山口県の農地に気候変動がどのような影響を及ぼすかを予測する事を最終目標にしています。論文発表をする訳ではないので予測精度は不十分でも構わないし、HYDRUSを用いてできる事で一番学生の興味を引けるテーマではないでしょうか。

では、講義内容を説明します。学生は、まず自身のノートPCにHYDRUS-1Dをインストールします。そして、あらかじめ配信しておいた現在の山口気象台の気象データ(降水量と基準蒸発散量)を用いて現在の山口市の裸地を対象としたシミュレーションを行ってもらい、降雨日や晴天が続いた期間に土壌水分がどのように変化したか、また表面流出水が発生したかを見てもらいます。DOS画面に切り替わり計算が始まると歓声が沸きます

が、凄く頭の良い事をしている気がするとの感想でした(今では昔とは逆にDOS画面がカッコイイらしい)。次に、上記のシナリオに作物生育を追加してもらいます。根の吸水モデルにはFeddesモデルを指定していますが、作物はFeddesモデルのデータベースから自由に選んでもらいます。LAIと根長を設定する必要もありますが、学生がどの作物を選んでも対応できるように多くの作物のLAIと根長の一覧表を配布しています。そして、再度シミュレーションを実行してもらい、根の吸水量 = 蒸散量の経時変化と根圏のpF値の経時変化(エクセルで吸引圧から算出)を見てもらいます。そして、エクセルのフィルタ機能で2011年から2015年の5年間で湿害と干ばつ害が生じた日数をカウントしてもらいます。これで学生は根圏のpF値の経時変化や表面流出水の有無、湿害や干ばつ害の程度を推定できるようになり、気候変動影響を評価する準備が整いました。さて、本題の気候変動影響予測ですが、本題は宿題とし、ELPIS-JPの山口気象台の気象データ(あらかじめPenman-Monteith式により基準蒸発散量に変換しておく)を配布して、2086年から2090年の5年間のシミュレーションを自宅で行ってもらっています。そして、2011年から2015年の5年間のシミュレーション結果と比較する事で、季節別の根圏pF値、表面流出、湿害、干ばつ害にどのような変化が起きたかをレポートとして提出してもらっています。この作業を通じてHYDRUSに興味を持ってもらう事と、難しそうだが実は自分でも使えるという自信を持ってもらう事をねらいとしています。講義中に勝手に栽培時期を少しずつずらして、土壌水分上の栽培適期を探っている学生がいましたが、既にHYDRUSに嵌っている様子でした。

紙面の都合上、2例しか紹介できませんでしたが、上述のような創意工夫で物理・数学嫌いの生物生産学科の学生をこっちの世界に引き込んでいます。