



傾斜枠を用いた土壌流出の研究を続けながら

坂西研二¹

はじめに

土粒子への依頼を受け、なにを書くか悩んだが、定年前後を挟んで進めてきた最近の研究を振り返るにはいい機会だと思いつつ書いてみた。小生の場合は定年前から応募による外部資金プロジェクトが継続していたため、そのまま研究領域で研究支援を続けていくことになった。業務内容は現地観測所から集水した水質の分析が主ではあるが、同プロジェクトを進めている現役研究員も日々雑用に忙しく、腰を落ち着けて実務をこなすことができないでいる。そんな実状から代わりに学会発表や論文投稿を行う必要に迫られた。お陰様で瞬間に過ぎていく専門員の5年間であった。

農村地域での研究

研究は人と人とのつながりが重要で、ときに自分から助けを求めたり、求められたりだが、小生のような能力の乏しい者にとっては求めていくことのほうが当然多くなる。そのときが研究発展のチャンスとなった。旧農業環境技術研究所（現農研機構農業環境変動研究センター）土壌部門に所属できたことは幸運であった。所内をはじめ県農試の方々と日頃の付き合いができ、これが研究応募の際に役立ち、共同で応募するまでになった。

はじめは農村地域の小河川で水文と河川水質を調査研究することを目的に始まったが、次第に土壌表面のことももっと知るべきだということになり、傾斜枠を作り、周辺で作付けされている作物を植え、流出量とその水質を調査することになった。無論農村地域の河川水量と水質（主にSS, TN, TP濃度とその総量）に関する論文を共著（糟谷ら, 2010; 糟谷ら, 2013）および拙著（坂西ら, 2007）で報告できたこともありがたかった。

傾斜枠の流出測定を続けながら

実際の斜面の一部を切り取る傾斜枠とは、降雨があった際に雨水の流れの量と質を観測するものであり、それは見て分かるおりの単純な実験系である。これを長年、ほぼ40年にわたって続けてきた。それでもマンネリにはならず、その都度進展することになる。

降雨、土壌と作物というように自然や作物が相手であ

り、自分の思うような完全な形での観測データは得られない。小生の経験は悪しき見本になってしまうが、傾斜枠試験は不具合なことを多々含んでいることを自覚しつつ、よりましになるように工夫しながら新たな結果を示していくことになる。しかし、どうしても考察する過程でうそではないが仮定や推定に頼らざるを得なくなる。そのためデータ取得については極力仮定や推定を排除して次の実験に備えたが、ままならないことも多かった。

傾斜枠への映像観測の導入

小生が次に選んだのは、映像である。一般に流量は、流量堰、貯留升と水位計、転倒升とパルスカウンターなどがあれば測れる。しかし、土砂が混入した流出水は、様々に障害を起こすことになる。堰の底部や貯留升を埋めてしまう土砂はそれだけで測器自体が測定不能に陥るし、転倒升も土砂混入でバランスを失ったりする。そこで、映像があればその流出状況がどのようにになっているかが把握できる。以下の映像に関する装置の開発は、芝山氏（鹿児島大）の手によるもので、これらなくして以後の研究はなかったといってよい、感謝に堪えない。

商用電源もない畑地斜面で映像を使って観測するというのは、意外に難しい。このような観測システムには監視カメラを使えばよいとは思ったが、これらのシステムほとんどが商用電源仕様であり、ソーラーパネル付きバッテリー電源で映像をとることは消費電力が大きく、すぐにバッテリーは空になる。そこで雨が降り、流出があった直後にビデオカメラを動作させるために雨量計のパルスカメラシステムの起動信号にした。また、ビデオ映像ではやはり、消費電力が大きく長時間の観測はできない。そこでデジタルカメラによるインターバル撮影に変更した結果、バッテリーの持ちは格段に延びることになった。

夜間に流出が起こっている場合も、記録されている数値データから流量値を計算すれば把握できるが、流れの状況は想像するしかない。その夜間に照明装置をつけられれば、全てではないがその一部は見られるし、映像に残すことができれば実態の解明につながる。言うはやすいが照明もまた電力消費が大きいのでバッテリーの負荷も大きい。インターバル撮影であればカメラのシャッ

¹ 鹿児島大学農学部（元農業環境技術研究所）
2018年10月8日受稿 2018年10月11日受理

ター作動時のみ LED ライトを点灯することで電力消費は抑えられる。

映像観測システムを用いた現地実証

さて、この映像観測システムを用いて、人工傾斜枠実験と現地実証試験とを行った。まずは、つくばの農村工学研究所にある斜面流出実験施設で屋外実験を行い、その流出状況のインターバル撮影を行った。このシステムが順調に稼働するまでにはやはり時間を要したが、なんとか流出を 1 分間隔のコマ撮り映像にすることができた。さらに、これを実際に作物が栽培されている斜面圃場に設置して流出状況を把握してみることにした。最初の実施場所は種苗管理センターの孀恋農場で、農場が栽培管理するキャベツ畑内に設置し稼働させてみた。快くキャベツ畑を貸していただき、さらに観測装置の維持管理も引き受けてくださった孀恋農場の職員諸氏の寄与が大きく、これらなくしては本試験の成功はなかったであろうと感謝している。上記の撮影システムと流出現象は拙著 (坂西ら, 2015)、芝山ら (2012) の報告で詳しく述べているので参考にされたい。

傾斜枠の映像から流量推定

次に、傾斜枠での流出現象の 1 分間隔の映像からその実際の流出量の推定はできないものかと考えた。前述したように流量測定には、堰、パーシャルフルーム (以降パーシャル)、転倒升とデータロガーを設置して測ればよいのだが、これらの装置は価格も高く、またどこでも簡単に設置できるものではない。もっと簡単に測れば、それも非接触な映像が使えればということへの思いは募る。そこで、最初に考えたのが流出時斜面下流端で広がる水溜まりの増減を数値化すれば、流出の増減とかなり相関がとれるのではないかと考えた。水溜まりの面積や体積は映像からイメージソフトを用いて推定した。この結果は、後に下流端の水溜まり面積とその湛水深とから求めた水塊体積の経時的増減を既存の流量計データに加味した瞬時流出率の推定法として棹ら (2017) により報告された。

最近では、鹿児島大学農学部圃場に傾斜枠を造成し、自動動画撮影を主とする観測装置を設けて実験を進めている。ここでは傾斜枠で撮影された流出動画から流水とともに移動する浮遊物を捉えてその移動方向と速度を PIV (粒子画像流速測定法) で解析することを試みつつある (棹ら, 2016)。装置の製作と観測および解析は主として院生の横山さんが進めている。ここまできるともはやサポート側であり、今後に期待するところである。

土壌堆積による水位変化と映像

この鹿大圃場の実験においては、パーシャルの水位を測定して流量に換算している。この測定では水位増加時には正確な値を示すが、水位の降下時は記録計に示された水位とパーシャル内の水位との間に差が見られる。

パーシャル内を自動撮影した映像を分析したところ、この差の原因は、水位計測槽内に堆積した土砂の影響で、槽内水の排出が阻害されたためであるらしいこともわかかってきた (坂西ら, 2017; 横山ら, 2017)。さらには、水位増加時にあっても水位計の水位がパーシャル内の水位よりも常にわずかに高めに表示される。これは流れのエネルギーが位置エネルギーに変わるため、このような簡易な装置でありながら、ベルヌーイの定理の現象に気づかされることになった。

おわりに

土粒子へ寄稿するにあたり何を書けばと考えたのですが、長年続けた自分の研究で反省を含め振り返ることが一番かなと思い、恥を忍んで書き留めたところで。読者の皆さんには少しでも興味を持ってもらえれば幸いです。ありがとうございました。

引用文献

- 槽谷真宏, 坂西研二, 板橋直, 荻野和明, 廣戸誠一郎 (2010): 畜産業を伴う赤黄色土野菜畑地帯の河川における窒素, リンの流出. 日本土壌肥料科学雑誌, 81: 481-488.
- 槽谷真宏, 坂西研二, 板橋直, 阿部薫, 鈴木良地 (2013): 傾斜畑からの亜鉛の流出に及ぼす家畜ふん堆肥施用の影響. 日本土壌肥料科学雑誌, 84: 71-79.
- 坂西研二, 中村乾 (2007): 石垣島宮良川流域における懸濁性土壌, 窒素およびリンの推定流出量. 農業農村工学会誌, 75: 821-824.
- 坂西研二, 芝山道郎, 中村乾, 棹宏二郎, 板橋直, 阿部薫, 木村昭彦 (2015): 農地流出水のイベントベース画像キャプチャリングの試み. 農業農村工学会誌, 83: 101-104.
- 芝山道郎, 坂西研二, 中村乾, 木村昭彦 (2012): 傾斜畑の土壌および栄養塩流出過程観測支援のための自動撮影装置 — 装置の概要と野菜畑における観測事例 —. システム農学, 28: 97-106.
- 棹宏二郎, 芝山道郎, 神田英司, 板橋直, 坂西研二, 阿部薫, 木村昭彦 (2016): 傾斜畑における降雨に伴う表面流出の画像計測法 — 流出動画自動撮影装置を用いた表面流出の観測 —. システム農学, 32: 81-89.
- 棹宏二郎, 芝山道郎, 坂西研二, 神田英司, 板橋直, 阿部薫, 木村昭彦 (2017): 画像情報に基づく傾斜農地からの降雨流出計測の試み — インターバル撮影画像による滞留水定量化 —. システム農学, 33: 11-21.
- 坂西研二, 荒木祐和, 横山明良, 芝山道郎, 神田英司, 阿部薫, 木村昭彦 (2017): 傾斜枠末端パーシャルフルーム内の土壌堆積による水位増分と流出量の関係. 2017 年度土壌物理学会大会講演要旨集, 76-77.
- 横山明良, 荒木祐和, 坂西研二, 芝山道郎, 神田英司, 阿部薫, 木村昭彦 (2017): 傾斜畑における降雨に伴う表面流出の画像計測法 — 土壌堆積に起因する水位計観測値増分のカメラ画像による評価 —. システム農学会 2017 年度講演要旨集, 25-26.