

溝口研究室



Mizo lab.

- [Top](#)
- [About](#)
- [Research](#)
- [Member](#)
- [Photo](#)
- [Blog](#)
- [Links](#)

ページ内検索 = キーワードを入力 ツイッター内検索 = キーワードを入力 ブログ内検索 = キーワードを入力

★Topics★

- (2017.5.23) [会場配布資料：飯舘村の現状について講演しました（英語）](#) @JpGU-AGU Joint meeting 2017
- (2017.5.9) [FM西東京ラジオに出演しました](#)（「食・農・森」～東大生態調和農学機構から～第22回） [原稿](#)
- (2017.4.7) [発展途上国の農業・農村でフィールドモニタリング技術を活かす](#) (ARDEC 第56号, March 2017)
- (2017.1.31) [東大生はタフになったのか](#) (学内広報, 東京大学広報室, no.1491 2017年1月25日)

[...\[More\]](#)

方針 1に体力、 2に食欲 3・4がなくて 5にジョーク • 教育方針 • 研究方針	研究プロジェクト <ul style="list-style-type: none">• GRENE (2016.3終了)• SRI• Dr.ドロえもん 震災復興 <ul style="list-style-type: none">• 震災復興• 福島土壤除染技術• 飯舘村モニタリング• 飯舘村現場写真集• 飯舘村調査報告書• マスコミ報道	フィールドモニタリング <ul style="list-style-type: none">• 農地モニタリングシステム• 世界の農地から• モニタリングサイト• 現場写真集 データベース <ul style="list-style-type: none">• 農業農村工学講演要旨 検索 = <input type="text"/> キーワードを入力• 土壤の物理性• 農業農村工学i-Library• 地温データベース	近頃の学会 <ul style="list-style-type: none">• 土壤物理学会• 農業農村工学会• J-SRI研究会• PAWEES• SSSA その他 <ul style="list-style-type: none">• セミナー／勉強会• 雑文• 報告書• 上野先生とハチ公
---	--	---	--

私の土壌物理履歴書

溝口 勝¹

なぜ土壌物理の道に足を踏み入れたのか？

私は栃木の田舎の水田農家の二男として生まれ育った。昔から数学や物理が好きだったが、農家の倅が農学部に行かなくて良いのかという使命感もあって大学1年生の時に農業工学の先生が担当する教養の講義を受講した。しかし、その講義が余りに現実の農業とはかけ離れた理想論に思え、大学の専門ってこんなものなのという疑問をもったまま、脳ミソが筋肉になるくらい陸上部の活動に精を出していた。農学部に進学し、卒論テーマを選ぶ時に、どうせ理想論をやるのだったら一番現実離れたものにしてみよう、と思い数学を得意とする教授についた。熱電対で地温を測り、フーリエ解析で土の熱拡散係数を算定するテーマだった。真夏に地温を測定すれば解析しやすいデータが得られるが、私は秋まで部活動にうつつを抜かしていたのでデータを取りはじめたのが真冬になってしまった。

ちょうどクリスマスイブの朝、ある事件が起こった。忘年会からの朝帰りの明け方近くに観測小屋に立ち寄り、打点式記録計の値をぼんやりと眺めていた。そのときマイナス1°Cあたりまで下がっていた地表面温度が、突然0°Cになった。「えっ、温度計が壊れた?」。恐る恐る懐中電灯を手に現場に行き地面を照らすと、なにか

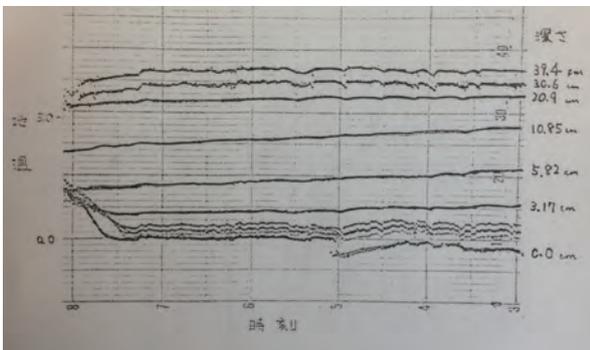


Fig. 1 霜柱ができる瞬間の地温変化。東京大学農学部弥生キャンパス内圃場 (1981年12月24日)。地表面の温度が5:00頃に不連続に変化している (著者の卒業論文より)。

が光っていた。霜柱だった。土が凍りはじめる瞬間だった。この出会いですんなりと大学院での研究テーマが土の凍結に決まった。

修士課程時代に身につけた科学哲学と土壌物理の基礎

大学院では講義らしい講義がほとんどなかった。そんな中、研究室の先輩が私に修士1年の時代に科学哲学の本を読むように薦めてくれた。ちょうどこの年、農学部食堂が改修中だったので生協で買った弁当を食べながら先輩や若手助手と科学や研究の哲学について議論した。また、毎週木曜日の朝一の電車で筑波の研究所に通い土壌物理や熱力学のゼミでプロの研究者とも議論した。こうした基礎勉強と議論を通して、筋肉になっていた私の脳ミソが次第に柔らかくなっていった。修士1年の冬に「実際の凍土も見ずに凍土研究はできない」と助教に直訴し、助手と技官と一緒に上野発の夜行列車で北海道に行かせてもらった。この時はじめて現場の自然凍土と自分の凍結実験が結びついた。凍土研究の最前線に触れるために日本雪氷学会の凍土研究分科会に入った。研究がますます面白くなり迷わず博士課程に進学した。しかし、博士課程わずか8か月で助手として三重大学に赴任することになった。

アメリカと日本の研究基盤の違い

実学を重視する三重大学では「温暖な地でなぜ土の凍結を研究するのか」と多くの人に質問された。しかし修士時代に訓練した議論のおかげで、逆にそうした質問が自分の研究を位置づけるのに役立った。雪氷学会で知り合った企業の凍土研究者にお願いして毎年卒論生と一緒に大阪の地下鉄工事で使われる地盤凍結工法を見せてもらった。こうして凍土研究を継続するモチベーションを維持し、丹念な室内実験とシミュレーションモデルで学位論文をまとめた。その後、凍土中に存在する不凍水を理論的に計算したいと思い、アメリカのパデュー大学のPhilip F. Low博士のところに押しかけた。ここで粘土科学の基礎を学んだ。FT-IRという赤外分光光度計を使って粘土中の氷の量を測定した。

渡米前にはPC9801のBASICでデータをプロットし、任意関数の近似曲線をグラフ表示するプログラムを書いて得意になっていたが、アメリカの大学院生がSigmaPlot

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科
2015年7月1日受稿 2015年7月2日受理

というソフトで同じことを簡単に実行しているのを見てプログラマーを辞めた。また、80年後半にパソコン通信で学生と電子メールのやり取りをして遊んでいたが、MS-DOSも知らないアメリカの学生が普通に電子メールを使っているのを見て驚いた。アメリカでは自分の仕事だけに集中できるようになっているのか！日本の研究インフラ整備の必要性を実感した。帰国後すぐに、大学の大型計算機センターに通って電子メールを使えるようにした。それがきっかけでインターネットの世界にのめり込んだ。95年頃にはLinuxを使ってインタラクティブなWebページを作りまくった¹⁾。そのついでに96年に博士論文で作成した土の凍結過程における土壌水分と熱移動シミュレーション用のインターフェイスを開発しインターネット上に公開した。これは土壌物理分野におけるWebシステム第1号²⁾だったと思う。

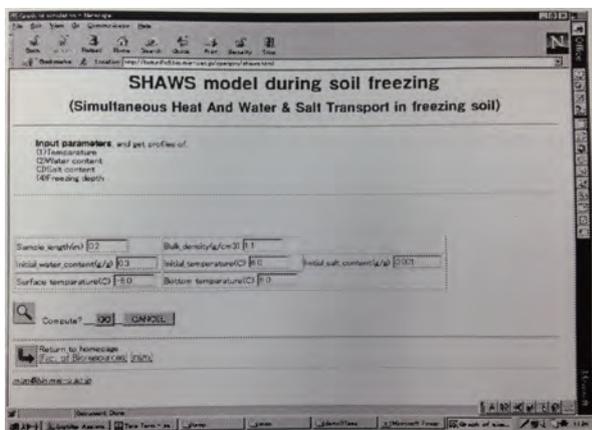


Fig. 2 Webシステムを利用した土の凍結過程の熱・水分・溶質移動計算のパラメータ入力画面²⁾。

地球環境と土壌物理

自分の凍土研究に関して、現実のフィールドを持っていない弱点や異分野の研究者との議論の必要性を感じていたので、97年にシベリアでの気象・水文の観測に加わった³⁾。地球温暖化のセンサーとして広大なシベリアの永久凍土は新鮮で、面白い現象の宝庫だった。しかし実際に現地に行ってみると感じたのは、フィールドの不均一性の問題だった。実験室では理想的な実験条件を予め設定し、そこで生じる現象を記述し、その現象を説明するモデルを作ることができる。しかし現実のフィールドでは、異なる植生の凸凹な地表面をどのように表現すべきか、場所によって組成の異なる土をどう近似すべきか、このとき自分がやってきた土壌物理がコップの世界であったことに気がついた。事象を細分化し、その系での現象を解明し、それを再統合することで全体の現象を解明できたとする還元主義的な土壌物理が見落としていた問題だった。

フィールドの土壌情報科学

シベリアでは広大なツンドラに観測機器を設置した。

しかし、一年後にそのデータを回収に行くとデータロガーは3日間のデータだけを記録して362日間停止していた。私は愕然とした。この時に初めてフィールドからデータを取ることに難しさを実感した。せめて1週間に一回で良いから日本からデータをチェックできれば....それを可能にする技術があれば世界中のフィールド科学研究の役に立つに違いない。これがフィールドモニタリングシステム⁴⁾(FMS)のアイディアの原点である。そして、これまで私が経験したセンシング技術とフィールドの科学、そしてインターネットを束ねた土壌情報科学を始めるようになった。



Fig. 3 シベリアのツンドラに設置された観測機器 (1997年8月: 著者撮影)。

役人として見た農学と土壌物理

私は型にはまった“役人的な”ことが大嫌いだった。小学校の通知表には「創造性を発揮し過ぎて学習目標から外れることがあります」と書かれるような子供だった。それなのに2003年から2年間、内閣府で役人を経験することになった。しかし、いざ役人の真似事をやってみると自分が食わず嫌いだったことを発見し、役人に対する見方が180度変化した。日本の科学技術政策の中で農学とか土壌学というのは認知度が低いこと、その理由が農学研究者のアウトリーチ活動不足に起因していることに気づいた。内閣府で気候変動や水循環、生物多様性の分野に関わったこともあり、大学に戻ってからは、土壌を寒冷地域のみならず熱帯地域も含む地球規模でとらえる必要性を感じ、長年住み慣れた土壌物理の研究室から国際農業の研究室に移籍した。シベリアとは異なるタイやインドネシアの熱帯土壌を見る機会が増えたことで、土壌の多様性を認識した。また、その地域ごとに土壌の特性や生活の知恵を活かした農業形態や文化があることを知った。しかし、その一方で土壌中に起こっている現象をシンプルに理解する上での土壌物理の重要性も再認識できた。

東日本大震災で研究人生が変わった — 復興農学

2011年3月11日に東北地方太平洋沖で大地震が発生した。津波により多くの方が命を失い、多くの農地が海水に浸かった。また、原発事故により農地や山林が放射性物質で汚染された。土壌物理学的には、土壌と一俵の

陽イオン（海水に浸かった土壌ではナトリウム，放射性物質が降下した土壌ではセシウム）の吸着と移動現象の問題であった。しかし，世間的には不思議なくらいに土壌物理の存在感が薄かった。マスコミを含めた一般の人に「土壌物理学」は全く知られていなかったのである⁵⁾。これは私の世代の責任でもありその上の世代の責任でもあろう。

私のやってきた土壌物理は農業には全く役に立たなかった。農家育ちのくせに，凍土だ，粘土だ，情報だと農業のための土壌物理から逃げまくっていた。しかし福島の放射性セシウムの問題で全てが繋がった。なぜセシウムは地表面に留まるのか。放射性物質で汚染された地表面をなぜ除染をしないといけないのか，どうやって除染するのか，いまこそ土壌物理の専門家が必要されていると思った。

震災直後の冬に飯舘村の水田で凍土剥ぎ取り法を思いついたのは自分が凍土をやっていたからだ。このとき「神様はこの問題を解決させるために今まで僕に関係ないことをさせていたんじゃないか」と思えて体が震えた。放射性セシウムの問題は一人の研究者で解決できる話ではない。私の任務は，多くの土壌物理研究者を巻き込みながらこの問題解決にあたることだ，と思った。



Fig. 4 放射性セシウムを含む凍土の剥ぎ取り実験 (2012年1月8日)。

いま現場では農地の排水不良の問題に直面している。汚染表土の削り取りのために重機で踏み固められた上に山砂を客土されているために雨水が浸透できずに，山砂が侵食される。コンペネで地耐力を測定したり，ディスクパーミアメータで土層ごとの透水性を測定したり，地中レーダで客土層厚の平面分布を調べたり，除染後の農地では土壌物理の測定機器が不可欠である。

今後の土壌物理学の展望 — 土壌教育

私の土壌物理は現実離れから始まった。いまは現実の福島問題に対峙しているが，若い学生までと一緒に深刻になる必要はない。学生には若者の感覚を大切にしながら興味あることをストレートに追及してほしい。それが将来の想定外の問題に対して柔軟に対応するための秘訣だと思う。

私がいま 20 歳だったらやってみたいことに「土で遊ぶゲーム」作りがある。スマホを使って生きた土を扱うゲームを作りたい。地域の気象情報や水文情報をリアルタイムで取り込み，土壌情報と融合させて究極の野菜を育て，世界のマーケットを相手にそれを売りさばくゲーム。おそらく究極の野菜の違いは「土」に依存することになる。その土をいかに作るか。その情報を世界中の子供たちと共有する。世界の子供たちを集めてロボコンならぬ土コン（土コンテスト）や土オリンピックを開催し，オタクな Soil Scientist の卵を育てたい。

いまの科学者は先端研究に引きずられ過ぎているように思う。それが科学の宿命なのかも知れないが，原発事故時に即座に行動できなかったような科学技術であってはならない。大切なのは人づくりだと思う。土壌物理を志す理由は人それぞれだろうが，最初から「土壌物理」の存在を知っていた研究者はいない。みな子供の頃の泥んこ遊びや砂遊びの経験を踏み台にして，ちょっとした何かのきっかけで土壌物理の世界に入ってきたのではなからうか。いま何をやろうかと悩んでいる大学生もいずれは親になって自分の子供に接することになるだろう。その時に土壌を学んだ人間が「土はバッチい」といわずに，土の面白さや大切さを自分の子供に伝えられるようになってほしいものである。

この記事は国連の国際土壌年の企画インタビュー⁶⁾に基づいて書いた，そのため昔を懐かしむ老害的な文章になってしまったかも知れない。しかし私自身は次世代の応援団として土壌物理研究の環境改善のために日々努力しているつもりである。若者の視点でインタビューしてくれた名倉理紗さん（元明治大学大学院生）に感謝する。

参考資料

- 1) 溝口 勝: インターネット応用作品集, <http://soil.en.a.u-tokyo.ac.jp/mizo/inetworks.html>
- 2) M. Mizoguchi: Development of internet tools for calculation and prediction of soil hydraulic properties, Proceedings of the International Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media, Edited by M. Th. van Genuchten and F. J. Leij, 341–347 (1997)
- 3) 溝口 勝: 土は地球の皮膚，農業・21世紀への挑戦～地球を救う50の提案～, 182–183, 世界文化社 (2000)
- 4) 溝口 勝・伊藤 哲: 農業・農村を変えるフィールドモニタリング技術, 水土の知, 83 (2), 3–6 (2015)
- 5) 溝口 勝: 震災復興の土壌物理学, 土壌の物理性, 124, 53–54 (2013)
- 6) 国際土壌年の企画インタビュー: http://www.iai.ga.a.u-tokyo.ac.jp/pocket/IYS/interview_Masaru%20Mizoguchi.mp4

農業・農村を変えるフィールドモニタリング技術

Field Monitoring Technologies to Change the Agriculture and Rural

溝 口 勝[†] 伊 藤 哲^{††}
 (MIZOGUCHI Masaru) (Ito Tetsu)

I. はじめに

ICT（情報通信技術）が確実に私たちの生活に浸透してきている。いまやスマートフォンを使って公開された情報にいつでもどこからでもアクセスできる。電源と通信さえ確保できれば、リアルタイムでテレビ会議もできる。しかし、一般的なフィールド（農地）には電源も通信設備もない。この点でフィールドの ICT 活用には制約がある。

一方、近年のセンサ技術の進歩は目覚ましく、農業の現場でも土壌水分計や水位計など用途に応じたセンサが開発されている。フィールド研究ではこれらのセンサをデータロガと組み合わせて現地に設置し、データ回収と機器メンテナンスのために定期的に現地に赴いていたが、最近ではセンサデータを無線で伝送するワイヤレスセンサネットワーク（WSN）技術を使ってフィールドデータを手元でリアルタイムに見るための研究も進められている。

溝口は遠隔地のキャベツ畑内の土壌水分と地温データを携帯電話経由で研究室サーバに回収するシステム¹⁾や土地改良区内の農業用水路の水位・水温データを自動回収したデータを Web から呼び出しエクセル上にグラフ表示するシステム²⁾を開発した。その後、平藤らによって開発されたフィールドサーバ³⁾を使って、国内外のさまざまな農地の画像・土壌・気象情報をインターネット経由でリアルタイムに収集・表示するシステム⁴⁾を稼動させた。しかしながら、フィールドサーバは安定した電源供給と通信確保を常時必要とするため、停電時にはデータを損失するリスクがあった。そこで、筆者らは現地に設置したデータロガや Web カメラを一時的にインターネットに接続する「フィールドルータ（FieldRouterTM）」を開発し、「フィールドモニタリングシステム（FMS：Field Monitoring System）」として運用している⁵⁾。本報では、この FMS の概要を説明するとともに、農業農村

工学分野における応用として土地改良区内の水田湛水深モニタリングの事例について紹介する。加えて、水田農業のスマート化の未来像について述べる。

II. フィールドモニタリングシステム (FMS)

FMS は、現地のデータロガに通信機能を付加し、インターネット経由でデータをクラウドサーバに転送し、ユーザがそのサーバから自分の PC や携帯端末にデータを取り出す一連のシステムである（図-1）。このシステムの重要な技術は、フィールドルータ（FR）、ネットワークアダプタ（NA）、データサーバ（DS）である。

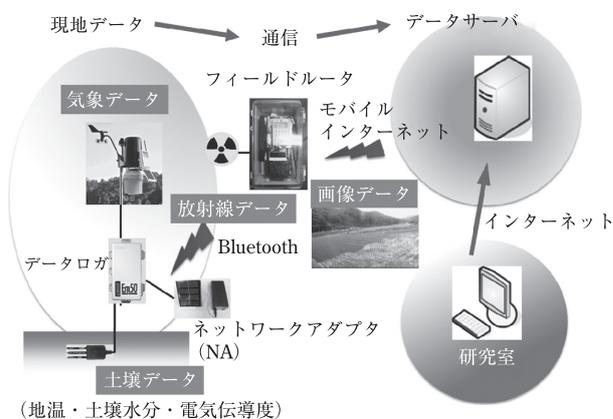


図-1 フィールドモニタリングシステムの概略図

1. フィールドルータ (FR)

FR は現地に設置されたデータロガのデータをインターネット経由でクラウドサーバに 1 日に 1 回転送する機器である（図-2）。何らかの理由でデータ転送に失敗してもデータロガに保存されたデータを失うことはない。

FR は Micro-PC、USB モデム、Bluetooth USB ドングル、鉛蓄電池、チャージコントローラ、太陽パネル、タイマー、ステータスランプ、Web カメラで構成

[†] 東京大学大学院農学生命科学研究科

^{††} (株) クロスアビリティ



フィールドモニタリング、土地改良区、水田湛水深、農業水利サービス、センサネットワーク、クラウドデータ、ICT

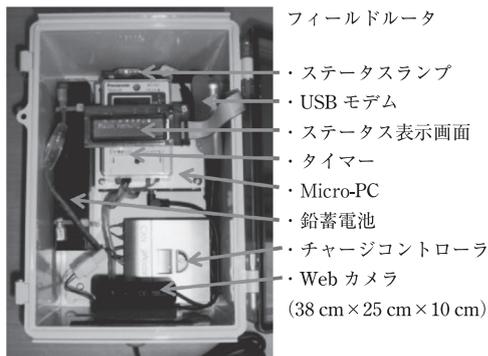


図-2 フィールドルータの概略図

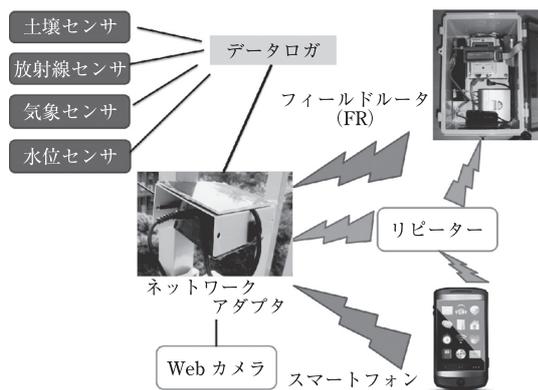


図-3 ネットワークアダプタ

される。これらの部品が、防水・防塵加工された箱に収納されている。FR はタイマーにより 1 日に 30 分だけ本体の電源が ON になるように設計されている。そのため消費電力を節約でき、6W 程度の太陽パネルで十分に稼働する。FR の電源が ON になると、Web カメラの現地画像と各データログのデータがインターネット経由でクラウドサーバに送信される。携帯電話がつかねば、国内外のどの地域でも FR を利用できる。海外でも GSM/3G の携帯電話用 SIM を購入し、USB モデムに挿入するだけでよい。

2. ネットワークアダプタ (NA)

NA はシリアル通信ポートを持つデータログに通信機能を付加する機器である (図-3)。NA はシリアル接続可能なすべてのデータログに対応している。FR の周りに複数台設置することで面的なデータも取得でき⁶⁾、通信対応のカメラを増設すれば現地の様子を複数の角度から見ることが可能になる。また、FR がなくても携帯端末からデータを取得することもできる。現状では通信方式を Bluetooth にしているため通信距離は 100 m 程度に制約されている。将来的には 920 MHz の通信方式を採用することで通信距離を延長できる可能性があるが、それも地形や環境の条件に制約される。この問題を解決するためには通信分野の専門家との連携が不可欠である。

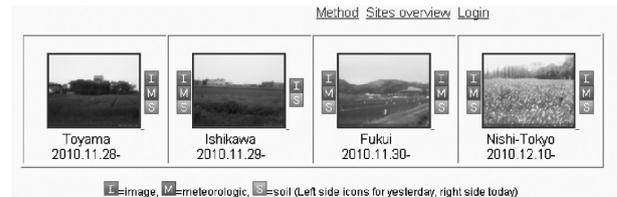


図-4 ポータルサイトの選択画面

3. データサーバ (DS)

FR で転送された現場データはインターネット網を利用してクラウドデータサーバ (DS) に保存される。したがって、ユーザは Web 上から自分のポータルサイトにアクセスするだけでデータを取得できる (図-4)。写真をクリックすると、サイトごとの現地データに加えてデータログの電池の消耗具合など、機器の稼働状況も確認できる。この機能を使って現地機器の不具合を発見し、現地のカウンターパートに電話で機器の簡単なメンテナンスを依頼することができる。それでも問題解決できない場合のみエンジニアが解決策を用意して現地に行けばよいので、メンテナンス費用を大幅に節約できる。

III. 事例—土地改良区内の水田モニタリング

著者の研究室では FMS を国内外で数十台稼働させている。本章ではこのうち愛知用土地改良区の水田モニタリングの事例を紹介する。

1. 機器の設置

標準的な FMS では、筆者らは通常土壌センサ用に開発されたデータログ (Em50, Decagon 社製) に気温・湿度、降水量、日射量、風向風速、土壌センサ (5TE) をつないでいる。しかし、今回は水田を対象にしたので土壌センサの代わりに水位センサをつないだ。

図-5 は愛知用土地改良区内の水田に設置したモニタリング装置である。モニタリング項目はイネの生育環境に重要な気象要素と水田湛水深、そしてイネの生育画像である。

モニタリング機器は 1 時間程度で現地に設置できる。水田の畦畔に専用の道具を使って深さ 80 cm 程度の孔を掘り、現地近くのホームセンターで購入した単管 (長さ 2~3 m, 直径 5 cm) を立て、そこに気象計と FR を取り付ける。草刈りなどの農作業で切断されたり、動物などにかじられないように各種センサの線を地中に埋設したり、支柱に束ねたりすることが肝要である。

2. 水田湛水深の測定

研究現場の水位観測では圧力式水位計が使われることが多い。しかしこのタイプの水位計は高価なので一

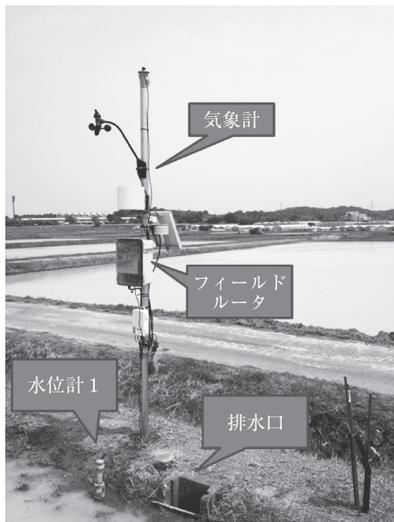


図-5 水田に設置されたモニタリング装置 (愛知用水土地改良区内)

一般農家で使われる見込みはない。そこで、筆者らはアメリカで最近開発された液面レベルセンサ⁷⁾“eTape™”を改良して、現場型水位計を試作して用いた。この水位計では水深 (cm) を電圧 (mV) で出力するので通常のデータログで使える。1本の水位計を気象計用データログの近くに、2本の水位計をFRから約50mと100m離れた減水深の異なる水田の水尻に設置した。それらのデータはNA付きのデータログからFRに転送される。

この水田では、農業用水がパイプラインで供給される8時30分直前にイネの生長と水田湛水深を知りたいという農家の要望に応じて、FRのタイマーを毎日8時~8時30分にONになるようにセットした。このようにFRは農家の要求に応じて時間を変更するのが特徴である。

3. 水田湛水深の変化

いったん取得したデータはクラウドサーバにあるので、農家や土地改良区職員がPCやスマートフォンから、定点画像カレンダー表示画像や気象・水位のグラフ表示データを閲覧できる (図-6)。

図-7のグラフは水田の湛水深 (水位) の変化である。2014年の6月は雨が少なかったため、現地では2日に1回の頻度で水田に水を供給していた。水位データはその変化をとらえていた。また6月13日から22日まで農家が中干しを実施していたが、この中干しの様子は水位データからも定点カメラ画像からも確認できた。

クラウドサーバに保存されたデータはさまざまな解析に活用できる。たとえば、画像処理技術と組み合わせることでイネの生育状態 (草丈や開花) を自動検出できるようになる。また、水位データの時間変化から

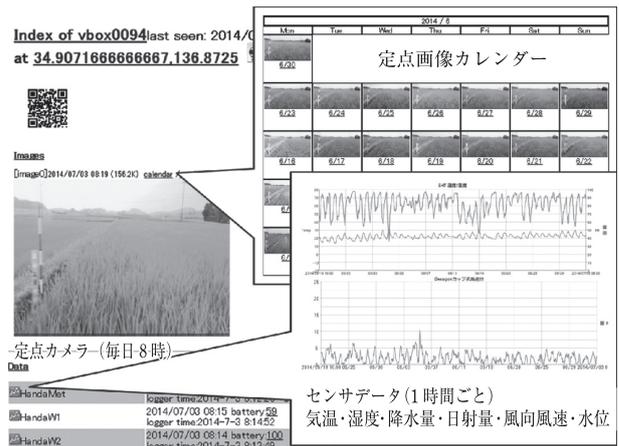


図-6 データの閲覧

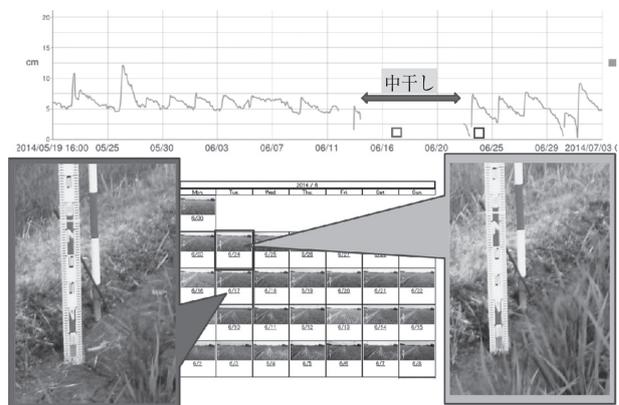


図-7 水田の湛水深 (水位) の変化と田面画像

減水深を計算できるので、適時水位計を移動させて各水田の減水深を求めれば、広域水田できめ細かな農業用水の配水計画に役立てることもできる。将来的には、水位データに応じて末端圃場のバルブを自動操作することも可能になる。

いずれにせよ、水田モニタリングでは水位計の低コスト化が重要である。著者らはさらに低コストで信頼性の高い通信機能付きの水位計の開発を進めている。

IV. スマート農業と農業水利サービス

いまや「スマート農業」は世界の潮流である。各国がロボットやICTの先端技術を農業分野に積極的に導入することによって、省力化・軽労化・精密化・情報化を可能にする農業の未来像を描いている。ただし、欧米のスマート農業は畑作・果樹・ハウス栽培が中心で水田農業を扱っていない。それに対して日本では、内閣府の「戦略的イノベーション創造プログラム」の「次世代農林水産業創造技術」の中で「最適圃場水管理の自動化及び地域全体の水源から圃場までの水分分配システムの開発」の具体的な内容として「末端圃場のバルブやゲートの開閉を自動化するとともに、各

圃場の水深を遠隔操作で設定できるシステム」を5年以内に開発すること⁸⁾を掲げている。

こうした流れに先駆けて、筆者らのグループは科学技術振興機構 (JST) の問題解決型サービス科学研究開発プログラム「農業水利サービス⁹⁾」の研究で「水管理サービス」用のアプリ (図-8) を開発し、Web上に公開している¹⁰⁾。このアプリを使うと、水田湛水深とイネの生育状況を農家や土地改良職員がいつでもどこからでも見ることができる。また、水回りで現地に行った農家が水田の異常を発見した時に写真を撮ってボタンを押すと、GPS情報と画像がクラウドサーバに送信され、土地改良区職員がそのデータを補修履歴情報とともに Google Map 上で確認できる。



図-8 携帯端末による水管理サービスアプリ

現在、文部科学省は地球観測データの農業分野における活用研究^{11),12)}を推進しており、また JAXA も衛星を利用したアジア地域の水田モニタリングに力を入れている¹³⁾。こうしたさまざまなデータが水田湛水深データと融合され、利用しやすい形でスマートフォン上に表示される日もそう遠くないであろう。

V. おわりに

農業就業者の減少および高齢化が進行する中で、農村を維持し、農業を持続的に発展させるには、農業の担い手の育成・確保や農地の利用集積の促進を図ることが必要である。しかしながら、農地の集積は段階的にかつ虫食い的に進まざるを得ないので、しばらくは担い手に水管理業務の負担が重くのしかかることになる。

こうした状況の中、本報で紹介した通信機能付き水位計を用いたモニタリング技術は広域の水田湛水深を一括管理することを可能とし、水田農業の担い手と土地改良区職員の水管理労力を軽減するのに役立つであろう。そして、それはまた地域の水管理組織であった土地改良区のサービス形態を変え、これまでの農業・農村を劇的に変化させる可能性を持つ。その可能性を

最大限に引き出すためには、農業農村工学分野が従来の農業水利や農地造成に加えて新たに農村情報のインフラ整備に取り込んでいくことが必要である。

引用文献

- 1) 溝口 勝, 三上正洋, 石井 悟: 携帯電話を利用した土壌情報モニタリングシステム, 土壌の物理性 92, pp.25~30 (2003)
- 2) 溝口 勝: ポータブル水位観測システムによる水位観測, http://soildb.en.a.u-tokyo.ac.jp/nasu/nasu_G.xls (2005)
- 3) 平藤雅之: フィールドサーバとは, <http://model.job.affrc.go.jp/FieldServer/default.htm>
- 4) 溝口 勝: フィールドサーバによる農地情報モニタリング, ARIC 情報 86, pp.27~34 (2007)
- 5) Mizoguchi, M.: Field Monitoring System (FMS), <http://www.iai.ga.a.u-tokyo.ac.jp/mizo/FMS.html>
- 6) 山下彩香, 溝口 勝, 三石正一, 伊藤 哲: センサネットワークを用いた畑表層の面的土壌水分観測, 平成 22 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.12~13 (2010)
- 7) Milone Technologies, Inc.: <http://www.milonetech.com/>
- 8) 内閣府: SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) 次世代農林水産業創造技術 (アグリイノベーション創出) 研究開発計画, http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/9_nougyou.pdf (2014)
- 9) 飯田俊彰: 農業水利サービスの定量的評価と需要主導型提供手法の開発, <http://www.ristex.jp/service-science/project/2011/01/> (2014)
- 10) 水管理サービス: <http://water-service-sience.github.io/> (2014)
- 11) 気候変動適応研究推進プログラム RECCA: <http://www.mext-isacc.jp/> (2014)
- 12) GRENE 環境情報分野 GRENE-ei: <http://grene.jp/> (2014)
- 13) JAXA: Asia-RiCE, <http://asia-rice.org/index.php> (2014)

[2014.11.20.受稿]

溝口 勝 (正会員)



1960年 栃木県に生まれる
1982年 東京大学農学部卒業
1984年 東京大学大学院博士課程中退
三重大学農学部
1999年 東京大学大学院農学生命科学研究科
現在に至る

伊藤 哲



1979年 東京都に生まれる
2005年 東京大学農学部卒業
2006年 (株) イイガ
2008年 (株) クロスアビリティ
現在に至る

発展途上国の農業・農村で フィールドモニタリング技術を活かす

東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授 溝口 勝

1. はじめに

最近、海外の空港に到着して私が最初にすることは、到着ロビーにある携帯電話会社のカウンターでSIM（Subscriber Identity Module：加入者識別モジュール）を購入することである。購入したSIMをその場でアクティベートしてもらい、自分のスマートフォンのSIMと交換するか、ポケットWiFiを挿入する。こうすると発展途上国のどこの田舎に行っても、日本と同じ環境でスマートフォンが使える、メールを読んだりWebページを見たり、TwitterやFacebookなどのSNSで情報発信できるようになる。まさに私にとって、ICT（Information and Communication Technology：情報通信技術）が社会に浸透してきていることを実感する瞬間である。しかし、電池が切れたら、そのスマートフォンも使えない。このとき、フィールドで長時間にわたってICTを利用し続けるためには、電源が不可欠であることを思い知らされる。

一方で、最近では農業の現場や国内外のフィールドで、土壌水分計や水位計などのセンサーが利用されるようになってきた。フィールド研究では通常、これらのセンサーをデータロガーと組み合わせて現地に設置し、一定期間経過後に定期的にその地に赴いてデータを回収し、機器をメンテナンスしている。しかし、最近ではデータをリアルタイムにクラウドサーバに送り、そのデータに基づいて農業生産を最適化する意思決定支援システム（DSS;Decision Support System）の研究¹⁾が進められている。

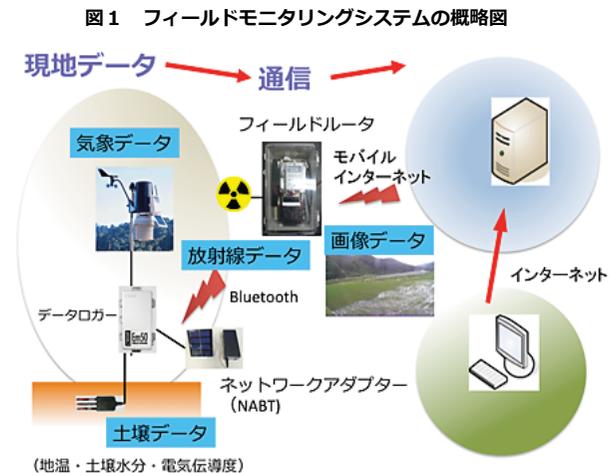
本稿では、こうした時代のなかで、文部科学省や科学技術振興機構などのプロジェクト^{1, 2)}を通して、私が開発してきた「フィールド・モニタリング・システム（FMS;Field Monitoring System）」の原理と発展途上国における活用事例を紹介する。

2. フィールドモニタリングシステム³⁾（FMS）

インターネットを利用してフィールドから画像を含むセンサデータを収集する機器には、平藤雅之（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構）らによって開発されたフィールドサーバ（FS）がある。著者は、2006年頃からFSを使って、国内のキャベツ畑から画像・土壌・気象データを収集する実験を繰り返し、2008年には東北タイの天水田のセンサデータを小学校のインターネット経由で自動収集する実験に取り組んできた。当

時のFSは、安定した電源と通信を常時必要としていた。そのため、現地で停電が発生するたびにFSが停止し、頻繁にデータを失った。また、英語が話せるはずの現地の小学校の先生に、日本から電話をして、インターネット機器のリセットを何度も依頼したが、なかなか通信が復旧せずにイライラする日々の連続だった。そこで、私はICT系のベンチャーに勤めていた研究室卒業生と一緒に「フィールドルータ⁴⁾（FieldRouter[®]）」を開発し、「フィールドモニタリングシステム（FMS）」として運用を始めた⁵⁾。

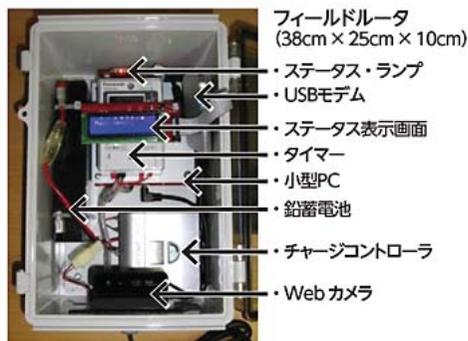
FMSを一言でいえば、任意のフィールドに「インターネットの臨時ポスト」を設置するシステムである。すなわち、現地のデータロガーに通信機能を付加することで、インターネット経由でデータをクラウドサーバに転送し、そのサーバからユーザがPCや携帯端末にデータを取り出す一連のシステムである。このシステムは、フィールドルータ（FR）、ネットワークアダプタ（NA：オプション選択）、データサーバ（DS）で構成される（図1）。



（1）フィールドルータ（FR）

FRは、現地に設置されたデータロガーのデータをインターネット経由で、クラウドサーバに1日に1回転送する機器である（図2）。何らかの理由でデータ転送に失敗しても、データロガーにデータが保存されている限り、データを失うことがない。

図2 フィールドルータの概略図



FRはMicro-PC、USBモデム、シリアルコネクタ、USB Bluetooth Dongle、小型バッテリー、チャージコントローラ、太陽パネル、タイマー、ステータス・ランプ、Webカメラで構成される。これらの部品が、防水・防塵加工された箱に収納されている。FRはタイマーによって、1日に30分間だけ本体の電源がONになる。これにより消費電力を節約でき、6W程度の太陽パネル1枚で稼働する。FRの電源がONになると、Webカメラの現地画像と各データロガーのデータがクラウドサーバに送信される。携帯電話の電波が入る場所であれば、途上国のいかなる地域でもFRは稼働する。ユーザは現地で携帯電話用データ専用SIMを購入し、アクティベートした後にUSBモデムに挿入するだけでよい。ただし、電話料金を払わないとSIMを止められるので、現地のカウンターパートに毎月の携帯電話料金を支払ってもらうよう確認しておくことが重要である。

(2) ネットワークアダプタ (NA)

NAは、シリアル通信ポートを持つデータロガーに通信機能を付加するオプション機器である。NAは、シリアル接続可能な全てのデータロガーに対応している。FRの周りに複数台設置すれば面的なデータも取得でき、通信対応のカメラを増設すれば、現地の様子を複数の角度から見ることも可能になる。現状では、通信方式をBluetoothにしているため通信距離は見通し距離100m程度に制約される。

(3) データサーバ (DS)

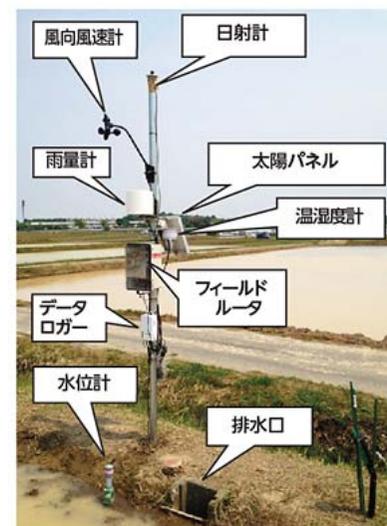
FRで転送されるデータは、クラウドデータサーバ (DS) に保存される。そのため、ユーザはWebブラウザからDSにアクセスするだけで、いつでもどこからでもデータを見ることができる。サイトごとの現地データに加えて、データロガーの電池の消耗具合など、機器の稼働状況も確認できる。この機能によって、現地機器の不具合を発見した場合には、現地のカウンターパートに電話して、FR本体のスイッチをON/OFFするなどの簡単なメンテナンスを依頼できるようになった。それでも問題が解決しない場合にのみ、想定

される解決策を用意して現地に行けばよいので、交通費を含むメンテナンス費用を大幅に節約できる。

(4) FMSの設置方法

FMSの標準的な利用法は気象モニタリングである。私は、データロガー (Em50; Decagon社製) に5つのセンサー (気温・湿度、降水量、日射量、風向風速、土壌センサー/水位センサー) を繋いでいる。センサーやデータロガーは、ユーザのニーズや予算によって自由に変更できる。NAを使えば、気象以外のセンサーデータも取得できる。図3は、水田水位モニタリングのために、気象と水位センサーを取り付けたFMSの設置例である。

図3 標準的なFMSの設置イメージ
(愛知県半田地区における水田モニタリング)

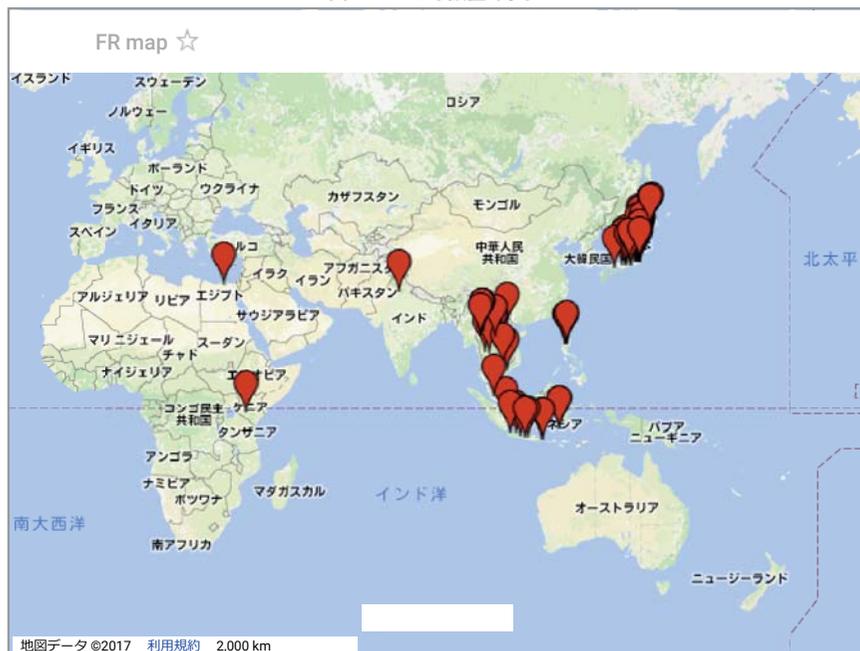


FRの設置は、きわめて簡単である。慣れれば、1時間程度で機器を現地に設置できる。まず、専用の道具を使って直径5cm・深さ80cm程度の孔を掘り、現地近くのホームセンターで購入した単管 (長さ2-3m、直径5cm) を立て、そこに気象計・データロガー・FRを取り付ける。草刈りなどの農作業の邪魔にならないように、あるいは動物などにかじられないように、各種センサーの線を地中に埋設したり、支柱に束ねたりするのがちょっとしたコツである。

3. 海外におけるFMSの活用例

2017年2月現在で数十台のFMSが、タイ、インドネシア、フィリピンなどの東南アジアやインド、アフリカなどの国内外で稼働している（図4）。本稿では、インドネシア、タイ、フィリピンにおける活用事例を紹介する。

図4 FMSの設置マップ



地図データ ©2017 利用規約 2,000 km
出所：<http://www.iaj.gu.a.u-tokyo.ac.jp/mizo/edrp/fukushima/monitoringsite.html> 「Map表示」

(1) インドネシアにおけるSRI水田モニタリング

現在、東南アジアを中心にSRI (System of Rice Intensification: 稲集約栽培法) という稲作法⁶⁾が普及しつつある。SRIは、一本の若い苗を広い間隔で植えて、^{かんがい} 間断灌漑を繰り返すことでイネを強くする方法で、少ない種子で収量が増え、通算で1作当たりの湛水期間も短いので節水になり、湛水下で助長されるメタン発酵による温室効果ガスのメタンの放出量も抑制されるといわれている。そのため、インドネシアでは政府を挙げてSRI稲作を推奨している。

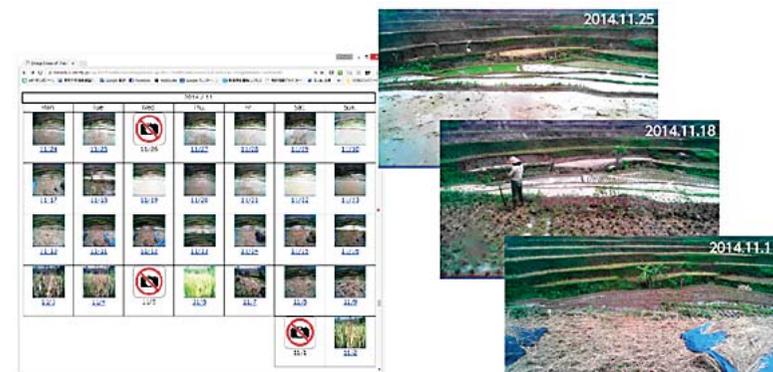
私たちは、インドネシア中部ジャワ州山間地の灌漑可能な棚田地帯において、SRIによって多収を挙げている農家の水田にSRI間断灌漑区 (SRI区) と慣行湛水区 (湛水区) を設けて栽培試験を行い (写真1)、気温・日射量などのイネの生育環境とイネの生育画像データをFMSによって取得した。

写真1 インドネシア中部ジャワ州山間地の棚田におけるSRI水田モニタリングサイト
(写真撮影: 鳥山和伸氏@JIRCAS)



2013~15年の3年間の観察で、SRI区では農家が水稲生育ステージに応じた一定パターンの水位調節していること、すなわち栄養成長期には浅水、生殖成長期には間断灌漑で地下水位を田面下約10cmまで落とし、イネに水分ストレスを与えずに好氣的管理を行っていることを確認した。また、現地の農家が収穫から3週間ぐらいで、次の田植えをする様子もFMS画像から確認した (図5)。

図5 インドネシアの棚田における現地農家の作業パターンの検出



出所：<http://data01.x-ability.jp/FieldRouter/vbox0121/>から「カレンダー形式」をクリック

こうした一連の成果は、私の研究室でFMSの技術をマスターし、学位を取得して帰国した留学生の協力によって得られた。彼は帰国後、大学で教鞭を執りながら、同年代の技術者と共にFMSに関する会社を立ち上げ、最近ではSIMカードを販売する電話会社とも提携してインドネシア国内でFMS事業を展開している (<http://www.100integrity.com/>)。

(2) タイの洪水モニタリング

2011年にタイで起こった洪水は7月から3か月以上続き、チャオプラヤー川流域に甚大な被害をもたらした。このとき、著者らは宇宙航空研究開発機構 (JAXA) のプロジェクト [7](#)) に協力して流域内の水田にFMSを設置していた。

図6は、その時のモニタリング画像である。10月3日までの画像は普通にイネの成長をとらえていたが、10月5日頃に洪水でイネが倒れ、その上に水鳥が集まっている様子をとらえた。おそらく、洪水から逃れて水面に出てきた昆虫などを、水鳥が餌にしていたのであろう。さらに、11月5日以降になると水田が湖のようになり、水位の上昇と共にクモが上方に移動していく様子をとらえ、11月8日を最後に画像が途絶えた。

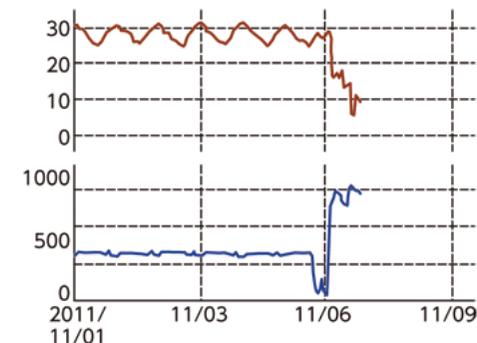
図6 タイの洪水時の水田モニタリング



出所：<http://data01.x-ability.jp/FieldRouter/vbox0039>から「カレンダー形式」をクリック

また、電圧と気温のデータは11月6日0:00頃に異常値を示し、11月7日を最後に通信が途絶えた(図7)。これは、FR本体よりも低い位置に設置してあったデータロガーが先に水没したためと考えられる。残念ながら、FRとデータロガーは水没で壊れてしまったが、クラウドサーバに集められた画像とセンサデータは生き残っているので、これらと比較することによって、現地で生じている現象を分析できた。今後、FRを水中用に改良すれば、地上のみならず水中のフィールドモニタリングも、できるようになるかも知れない。

図7 タイの洪水時のセンサデータ (上: 気温、下: 電圧)



(3) フィリピンにおける現地気象モニタリング [8](#))

フィリピンは多くの島々から構成され、険しい山岳地帯の間で稲作をはじめとする多種多様な熱帯作物が栽培されている。これらの農作物は、気候変動の影響を受けやすい。地元農家は、農作物管理のためにラジオの天気予報を利用している。しかし、この地域は高低差が大きくて、その天気予報が当たらないことが多い。

ルソン島の中央に位置するヌエヴァ・ヴィスカヤ (Nueva Vizcaya) 州では、州立大学 (NVSU) と地方自治体ユニット (LGU) との間で合意書 (MOA) を交わし、5つの市町村にFMSを導入した。そして、2014年12月にヌエヴァ・ヴィスカヤ気候変動センター (NVCCC) を設立し、独自に開発した気象データの視覚化・解析ソフトウェアを使って、地元農家に①天気情報と②標準主要作物カレンダーを提供するサービスを始めた。

こうした地域ぐるみの取組が始まる前の2011年12月に、私は研究室で学位を取得した留学生に懇願されて現地を訪問し、地元ラジオ局のインタビューでFMSの有用性を説明すると共に、大学と地域のスタッフにFMSの設置方法及び活用法を直接指導した(写真2)。これが功を奏して、FMSは地域に根づいたようである。

写真2 フィリピンでの現地農家と大学スタッフによるFMS協働設置作業



4. おわりに

フィールドモニタリングシステム（FMS）は、いまや途上国の農業・農村を変える最先端技術の一つになりつつある。FMSを導入すれば、海外のフィールドから画像・気象・土壌・水のデータが自動的に毎日クラウドサーバに届き、インターネットを使える環境にある人々ならば、日本国内外を問わず、いつでも、どこからでも、データを見ることができるようになった。また、フィールドに設置されたセンサーの異常や電池の消耗状況をリモートでチェックできるので、従来に比べて機器のメンテナンスが各段に楽になった。

「新技術の普及」は「人」に依存する。大切なのは人材育成である。その技術の価値を正しく理解し、そのスキルを熱心に習得し、その利用法を丹念に地元の人々に伝えていく人や組織が重要である。本稿で紹介したインドネシアとフィリピンの例でいえば、著者の研究室に滞在していた留学生がFMS普及のキーパーソンになってくれた。帰国後、彼らは同僚や地元農家と協力しながら、地域の特色に応じてFMSを活用している。私は彼らが困ったときに、時々、メールで相談に乗っただけである。FMS開発に関するプロジェクトが一通り終了し、私の予算もなくなった現在、彼らにとっての課題は、壊れたセンサーの交換やメンテナンスにかかる維持費の確保である。

途上国におけるFMSの利用は、今後、ますます増えていくものと思われる。本稿を読んで興味を持った方が、FMSを活用して、途上国の農業・農村開発に貢献することを期待したい。

[前のページに戻る](#)

閉じる

海外情報誌 March 2017
ARDEC
 World Agriculture Now



(ブルキナファソ 写真提供: JICA/飯塚明夫)

海外情報誌 “ARDEC”について

本誌は農業農村開発に関する世界の新しい情報を読者に提供し、海外協力への理解を深めていただくために、平成6年度から1年に3回、平成17年度から2回発行しているものです。

ARDEC (アルデック) とは、本誌の発行所である一般財団法人日本水士総合研究所(The Japanese Institute of Irrigation and Drainage : JIID)海外農業農村開発技術センター(Overseas Agricultural and Rural Development Center)の略称ですが、農業土木技術者全体の情報誌として位置づけていることから、農林水産省、国際協力機構、国際農林水産業研究センター、農業農村工学会のご協力により編集を進めております。



(スリランカ 写真提供: JICA/早瀬史麻)

発展途上国の農業・農村で フィールドモニタリング技術を活かす

東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授 溝口勝

「新技術の普及」は「人」に依存する。大切なのは人材育成である。その技術の価値を正しく理解し、そのスキルを熱心に習得し、その利用法を丹念に地元の人々に伝えていく人や組織が重要である。本稿で紹介したインドネシアとフィリピンの例でいえば、著者の研究室に滞在していた留学生がフィールドモニタリングシステム (FMS) 普及のキーパーソンになってくれた。帰国後、彼らは同僚や地元農家と協力しながら、地域の特色に応じてFMSを活用している。私は彼らが困ったときに、時々、メールで相談に乗っただけである。FMS開発に関係するプロジェクトが一



(タンザニア 写真提供: JICA/久野武志)

通り終了し、私の予算もなくなった現在、彼らにとっての課題は、壊れたセンサーの交換やメンテナンスにかかる維持費の確保である。

発展途上国におけるFMSの利用は、今後、ますます増えていくものと思われる。本稿を読んで興味を持った方が、FMSを活用して、途上国の農業・農村開発に貢献することを期待したい。

国際援助における先端技術利用の現状と課題

特集解題

ARDEC 企画委員長 松浦良和

非識字農民にも農業知識を伝達する —YMCモデルによる試み—

東京大学 大学院 農学生命科学研究科

教授 二宮正士

地球観測衛星によるグローバルな農業気象監視

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

地球観測研究センター 研究開発員 大吉慶

計画マネージャ 金子豊

宇宙利用統括付 ミッションマネージャ 祖父江真一

発展途上地域で役立つ

衛星リモートセンシング技術とは何か

国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター (JIRCAS)

社会科学領域 内田諭

衛星写真による発展途上国における

農地の賦存量などの解析例

株式会社パスコ 中央事業部農地情報公開システム推進室

主任技師 三谷歩

ドローン (UAV) ・3D解析の開発調査への適用

NTCインターナショナル株式会社

社会基盤開発部 技師 菊池翔太郎

技術部 主任技師 小林維門

技師補 若林慶太

ケニアにおける

携帯電話による金融サービスの利用実態

岡本晴菜



海外および国内の農業・農村に関連する、新しい視点や情報をお届けします。

INFORMATION

チェコの話から

元駐チェコ大使 熊澤英昭

BOOK INFORMATION

『首都水没』

土屋信行 著

TREND

(一財)日本水士総合研究所がミャンマーで 圃場整備の国際シンポジウムを開催

クリスマスイブの霜柱



国際情報農学研究室

溝口勝教授
Masaru Mizoguchi

土 壤物理学をやりはじめたのは、学生のころ偶然出会ったある発見がきっかけです。栃木の農家の次男坊だったわたしは、いわば自然の流れで農学部に進んだのですが、入学していろいろと講義を聴くにつれ、正直「農学とはこんなものなのか」という気持ちが募ってきました。どれもみな理想論ばかりで、地に足がついていないように思えたのです。

いよいよ卒論を書くことになったとき、「どうせ理想論に終わるなら、いっそのこと一番現実離れたものをやってやれ」と開き直り、土壌物理学の研究室に飛び込みました。土壌物理学は数学と物理を駆使して論を進めていく学問で、まさに「現実離れ」の代表格に見えました。わたしは卒論のテーマを地温のフーリエ解析に定め、熱電対温度計を自作して土の温度を測りはじめます。じつは観測に最も適しているのは夏なのですが、実際に取りかかれたのは十月末。データが順調に上がりはじめたのは真冬でした。そして、ちょうどクリ

スマスイブの朝、ある事件が起こったのです。

明け方近くに観測小屋に行くと、マイナス1℃あたりまで下がっていた地表面の温度が突然0℃になりました。「温度計が壊れた!」。即座に「留年」の二文字が頭に浮かびました。懐中電灯を持って現場に急ぎ地面を照らすと、なにかが光っています。霜柱でした。それでわかったのです。この突然の温度変化は土が凍りはじめる瞬間の現象だということが、それがすべての始まりでした。これをきっかけに研究テーマが土の凍結現象に定まり、いつしかそれはシベリアの永久凍土調査や水文・気象学の研究者との交流へとわたしを導いていきます。

かつて「現実離れ」と呼んだ土壌物理学。いまではとても現実的な学問だと思っています。たとえば震災後の津波による農地の塩害や原発事故で汚染された農地除染の問題。その処方箋を示してくれるのが土壌物理学です。その知への扉を開いてくれたのは、あの朝のあの霜柱でした。



東大生はタフになったのか

箱根駅伝は正月の風物詩である。この駅伝に東大チームが出場したことがある。1984年の60回記念大会で出場枠が増えたこともあるが、それ以上に当時の駅伝チームが数年計画で本気で練習に取り組んだ結果でもある。

私が入部したのは1978年。先輩たちの活躍で東大陸上部は関東学生選手権の一部に昇格したばかりだった。この頃の陸上部には8年生を筆頭に様々なツワ者がいた。各学部のいろんな出身校の部員が記録更新をめざして自分の頭で考えながら自己研鑽していた。いい加減そうでも試合前には集中力を高め必ず試合に勝つ「ここぞという時に頼りになる」先輩がいた。他校の一流選手を相手に彼らの活躍で一部校の座を3年間守り抜いたが、私たちが4年生の時に二部に落としてしまった。

田舎の県立高校出身の私にとって“この東大”は想定外のスケールだった。入部当初の私はプレッシャーに弱く試合で記録を出せず先輩にボロクソ言われて悩んでいたが、選手層の薄い^{とつてき}投擲を始めて“開き直り法”を覚えると記録が伸び、上級生になると十種競技ができるようになっていた。自分の人間的成長は東大陸上部で培われたといっても過

言でない。この4年間で学んだ「人間のスケール感」は人生の大きな財産になった。

学部卒業後、私は大学院に進学し、運よく地方大学の助手になった。大学教員歴は今年で33年、うち半分は東大である。この間、私は専門教育に加えて常に「人間のスケール感」を意識しながら学生と接してきた。

さて、東大生はタフになったのか？ここ5年くらいを境に流れが大きく変わったように思う。女子学生は確かにタフになった。アフリカやフィリピンの山奥に単身で乗り込んで活躍していたりする。それに比べて男子学生の不甲斐なさが気になる。自立できていないのである。東大男子は駒場時代にもっと冒険して、多様な人間に出会い、とことん衝突して、失敗し、それを克服する訓練が必要だ。それができないなら家事をこなせる良き夫として女子のサポートに徹したほうがよい。

とは言えこれは元運動会東大生の戯言。今は昔とは違う。現役東大生には新時代に適した道を開拓してほしい。



溝口勝

(農学生命科学研究科)

