

として、梅雨期・台風期には、大型機械によって畑地の表層直下に形成される難透水性層が雨水の地中浸透を阻むこと、また融雪期には、冬期に形成された凍土層が春先の融雪水の地中浸透を阻むこと考えられる。そこで、本研究室では、FSを用いて孺恋キャベツ畑地における水循環機構を解明し、適正な畑地管理技術を提案することを目指している。

(2)実験の方法

2006年6月21日に群馬県孺恋村にある高冷地野菜研究センター内の傾斜圃場（標高 1,170m）にキャベツの苗を移植し、2台のFSを用いて、圃場画像・日射量・気温・湿度・風向・風速・降水量・土壌水分量を東京の研究室からモニタリングした。

また、圃場内に小型ライシメータを設置し、このライシメータにもキャベツの苗を移植し、生育状況と蒸発散量との関係を求めるために、その重量変化を連続的に観測した。（写真1）

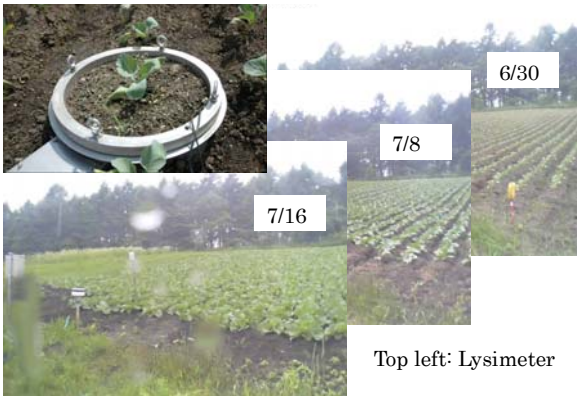


写真1 FSカメラによる畑地モニタリング(2006年夏)

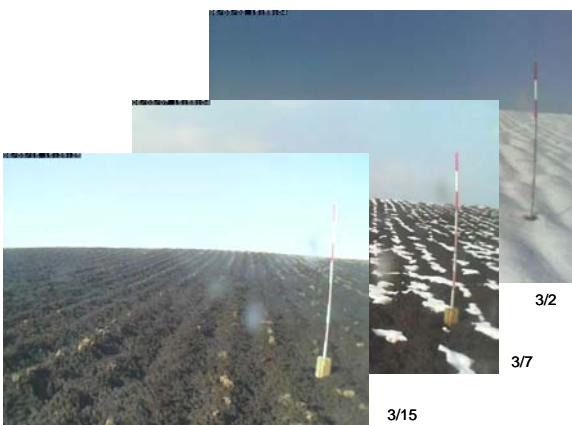


写真2 FSカメラによる畑地モニタリング(2006年冬:別サイト)

(3)観測結果の一例

①気象および土壌データ

図2は観測期間中における気象と土壌水分のモニタリングの一例である。FSにはカメラの他に、標準で気

温・湿度・日射量のセンサが取り付けられているので、単なる気象計としてしても有用である。また、土壌水分計も簡単に取り付けることが可能である。

図3は、降水量とライシメータ質量の変化の関係である。降雨により重量が増大する傾向や蒸発散により重量が減少する傾向がわかる。このことは、フィールドサーバ(FS)を用いることにより、フィールドをそのまま実験室と同様に扱うことができることを示している。

一方、図3では、2006年7/18-19の豪雨によってライシメータが機能しなくなってしまうこともわかる。FSはリアルタイムで数値データと画像データをモニターできるので、このような数値データの異常が起こったときに、原因追求が容易になり、迅速な対策も可能となる。

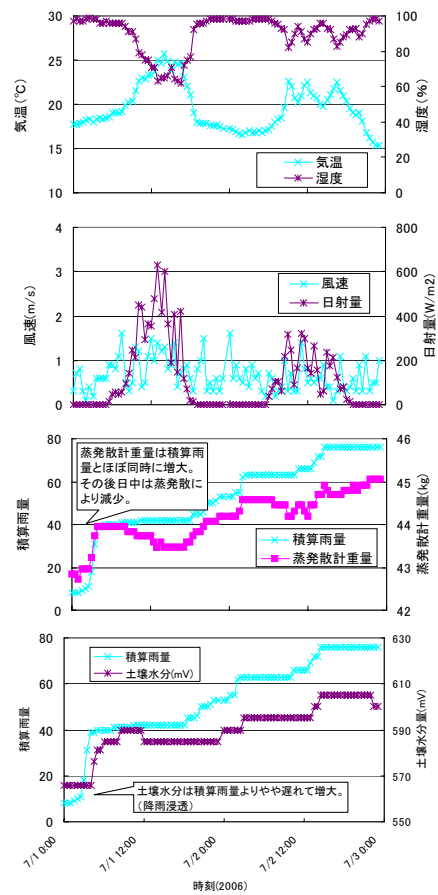


図2 気象・土壌水分モニタリングの例(2006.7.1-7.2)

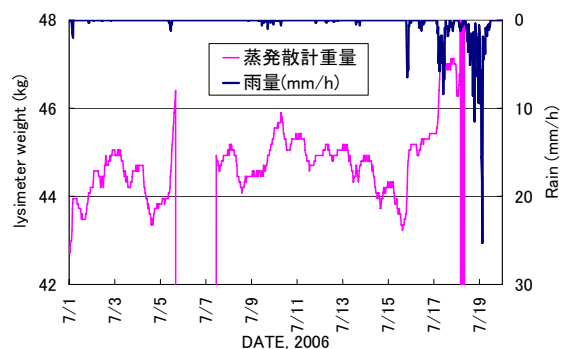


図3 降水量とライシメータ質量の変化

② 画像データ

写真1は FS カメラによって得られた畑地モニタリングの画像の一例である。数週間のうちにキャベツが生長し、土壌表面を被覆していく様子がわかる。写真2は、高冷地野菜センターから数百メートル離れた畑で同様に FS カメラを用いて得られた春先の融雪の様子である。畝間に雪を残しながら消雪していく様子がわかる。

(4)今後の展開

現在研究室では、ライシメータ内の土壌水分量変化や日射量・気温・湿度・風速から推定できる蒸発散量と作物も含めた重量変化を画像から解読できる作物の生長量と関係づける研究を進めている。さらに、衛星データとリンクさせることにより、キャベツの生長に伴う土壌表面の被覆率の変化から広域の土壌水分消費量を推定するアルゴリズムを構築することを考えている。そして、FSによるキャベツの生育モニタリングと衛星による表面被覆率変化のモニタリングを広域レベルで関連付けることを目指している。

の一角(千葉県八街市、緯度 35° 6311、経度 140° 3063、標高 39m)に、フィールドサーバ (FS) を設置した。標準の FS には風向風速計がついていないので、本実験では FS に気象計(Vaisala 製)、土壌水分センサ(Decagon 製 EC-5 を 5cm, 10cm, 15cm 深さに埋設)、土壌温度計 (5cm 深さに埋設) を取り付けて、土埃の発生条件を観測している。また、土埃の飛散状況を把握するために、FS に附属するカメラを用いて2分間隔で写真撮影をおこない、土埃の飛散が激しいときの気温、風速、土壌水分量等の情報と関連づける。(図4)

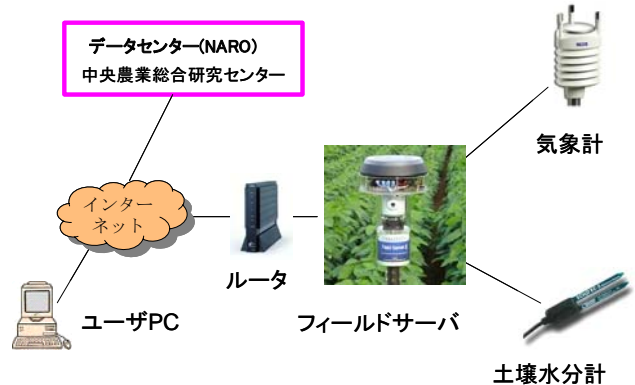


図4 土埃観測装置のシステム図

5. 事例2 一畑の土埃モニタリング⁵⁾

(1)実験の目的

千葉県北総中央地区は、春先の強風によって畑地の土埃(地元では「やちぼこり」と呼ばれている)が舞うことで有名である。農業用水をタイミングよく効果的に散水することによってこの土埃を抑制することを目指して、フィールドサーバ (FS) をピーナツ畑に設置し、気象条件と土埃の舞い上がり方をリアルタイムでモニターしている。



写真4 設置後の土埃観測装置
Vaisala 気象計 (左) とフィールドサーバ (右)



写真3 事前現地調査時(2007年2月2日)にも名物の「やちぼこり」(土埃)が軽く出迎え

(2)実験の方法

2007年3月2日に、土埃がおこりやいとされる畑地

(3)観測結果の一例

例年であれば春先の強風により、頻繁に土埃が舞い上がるそうだが、今年は設置後ほとんどそのような状況は起こらなかった。そこで、ここでは設置直後に観測されたデータの一例のみを紹介する。

①気象および土壌データ

図5・図6に設置時の各気象データおよび土壌水分データの例を示す。FS と Vaisala 気象計で、気温・湿度はほぼ同じような値を示している。このことは気温・湿度だけであれば FS で十分観測できることを示している。

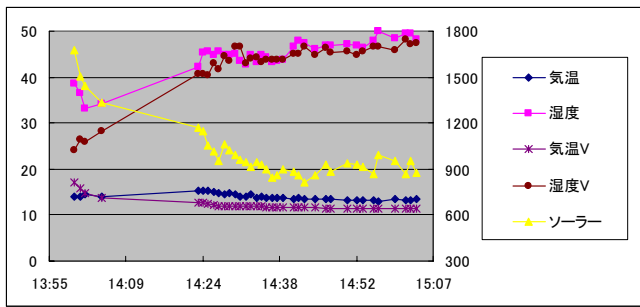


図5 気温・湿度・日射量（ソーラー電圧）。気温 V、湿度 V は Vaisala 気象計のデータ。その他は FS データ。14:24 頃から測定開始。

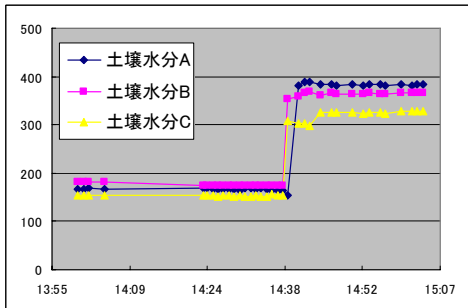


図6 土壌水分センサによる土壌水分量（14:38 頃にセンサ埋設）。土壌水分量は出力電圧（mV）表示されている。現地土壌を用いて電圧と実際の土壌水分量のキャリブレーションが必要となる。

② 画像データ

640x480 の解像度で 2 分毎に画像データが記録される。(図 7) 各画像には記録された時刻のファイル名が付けられているので、データとの関連付けがしやすい。また、Web 上でリアルタイムの画像を見る機能もあるので、実際に土埃が舞い上がっている瞬間を観測することも可能である。(写真 5)

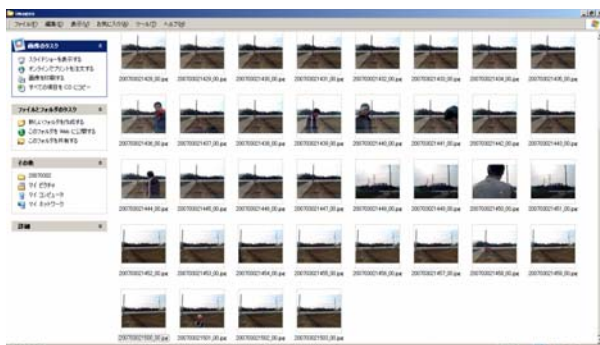


図7 2分毎に記録される現地画像



写真5 FS によるリアルタイム画像。土埃が舞い上がっていない平常時には交通量調査にも利用できるかも知れない。

(4)今後の展開

現在研究室では、画像と風速・土壌水分量を Web 上で同時に見ることのできるツールを開発することを計画している。また、インターネット通して地域住民に土埃発生状況を見てもらい、同時に住民から土埃発生場所と時刻を知らせてもらうような双方向システムを構築し、地域住民を巻き込んだ住民参加型の農業用水管理に展開することを考えている。

技術的には、空気中に舞い上がる土埃を単に画像として捕らえるだけでなく、花粉センサのような新しいセンサを用いて数値化する方法も検討中である。さらには、たまたま FS を設置した場所が小学校に隣接していることを利用して、設置した装置を地元の子供たちの環境や食育教育に利用する研究にも着手している。

6. 事例 3 - 東北タイ天水田の土壌情報モニタリング⁶⁾

(1)実験の目的

現在、衛星を利用して地表面土壌水分量を推定する研究が盛んに行われ、世界の土壌水分を示す地図が公開されている。しかし、衛星によって推定された土壌水分量を検証する方法は確立されていない。そこで、衛星リモートセンシングと地上フィールドの土壌水分測定値を検証することを目的に、FS に土壌水分センサを取り付けて東北タイ天水田土壌情報をリアルタイムモニタリングする実験を始めた。

(2)実験の方法

2006 年 12 月に FS 3 台をタイ東北部コンケン県の天水田（緯度 16° 27.657, 経度 102° 32.443）に設置した。観測項目は、気象要素（気温・湿度・日射量・風速・雨量）、土壌要素（体積含水率、地温、EC）および現地フィールドの画像である。土壌要素の測定の

ために、土壌水分センサ (ECH₂O-TE, Decagon Device, Inc.) を深さ 4, 8, 16, 32cm に埋設した⁷⁾。これらのデータはインターネット経由でほぼリアルタイムで日本の中央農業総合研究センターのサーバに蓄積される。

本研究で新たに開発したシステム (土壌情報モニタリング用 FS, FS-SIM) の構成を図 8 に示す。本システムは FS 本体と土壌水分データロガー (Em50) および土壌水分センサ (ECH₂O-TE) から構成される。水田中に設置する関係上、ソーラー電源で駆動させている。現地の土壌情報は、ECH₂O-TE → Em50 → FS → メッシュネットワークルータ (RMR) → FS 用ロガー (FSAB) → インターネット (IP-STAR) → 中央農業総合研究センターサーバ → ユーザ という流れで届く。

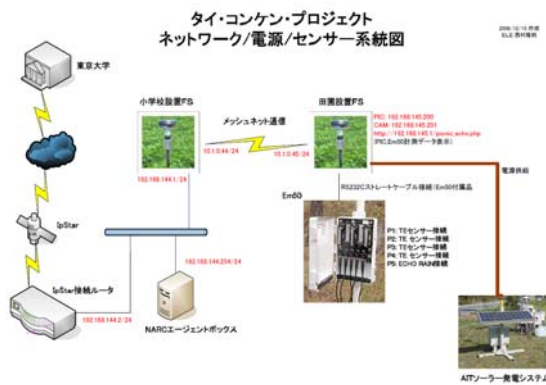


図 8 土壌情報モニタリング用 FS (FS-SIM) の構成

(3)観測結果の一例

蓄積されたデータは、中央農業総合研究センターで開発された Java ソフトを利用してダウンロードできる (図 9)。これらは、現在はまだ研究段階で非公開であるが、近いうちに一般公開する予定である。

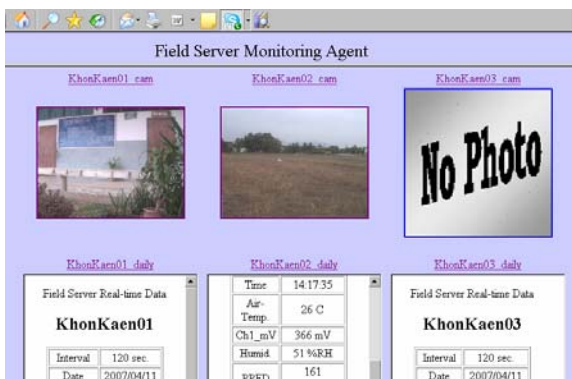


図 9 東北タイの天水田から自動的に送られてくるリアルタイムモニタリングデータ。3台の FS の画像と気象・土壌データが表示される。

①気象および土壌データ

図 10 は Java ソフトを利用して Web 上に展開された東北タイ天水田における気象データ (xml 形式) と

グラフの一例である。現在のところインターネット通信が不安定なため、完全なリアルタイムデータ取得にまでは至っていないが、今後は蓄積されたデータを用いているような角度からの解析が可能になると思われる。

図 11 は土壌情報の時間変化の一例である。ECH₂O-TE 値は体積含水率、地温、EC を同時に含んだデジタル値であるため、それをソフト的に分解する必要がある。現在はまだ試験段階なので、FS からは生のデジタルデータが送られてくるので、図中にはエクセル上で分解解析した結果を示した。深さごとの地温の位相の違いや地表面付近の EC 上昇の傾向等が捉えられているが、更なる長期的な解析が必要である。

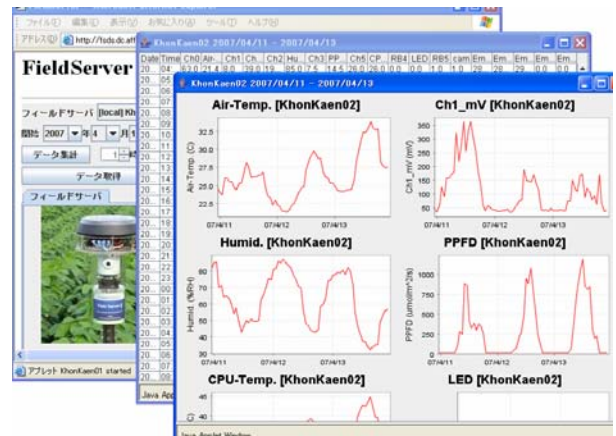


図 10 Java ソフトを利用してダウンロードされた xml 形式の気象データとグラフ

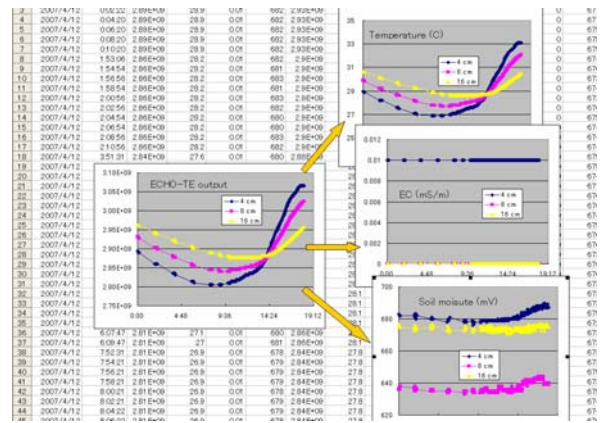


図 11 土壌センサ (ECH₂O-TE) によって観測された土壌情報 (地温・電気伝導度・土壌水分量)

② 画像データ

サーバにデータが蓄積されているので、Web 上で連続的に画像データを再現することも可能である。(図 12) この機能により、乾期の天水田で牛が放牧されている様子や雨期に入り水田に水が溜まっていく様子などを見ることができる。

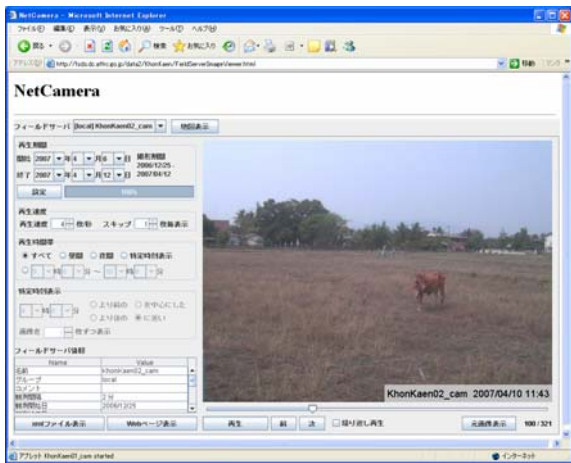


図 12 FS でモニターされた乾期天水田の画像 (2007 年 4 月 10 日)。放牧された牛がときどきカメラに向かってくる。

(4)今後の展開

2006 年 12 月末に設置した FS が 3 月末になってようやくデータを送り始めてきた。しかし、まだ以下のような問題が残されている。①動物対策：何らかの小動物に雨量計のリード線が 2 度にわたって噛み切られていた。また、1 本の土壌水分センサも断線してしまっている。②通信の安定性確保：現地メッシュネットワーク間通信の問題または小学校施設の停電によりデータ損失がみられる。③土壌データベース(DB)の整備：センサ特性を土壌ごとに整理する。④2 次データの加工：蓄積データを有用な情報に変換するためのソフト開発が必要である。⑤現地カウンターパートとの協力関係の強化：現地の不測の事態に対して迅速に対応してくれる人的ネットワーク作りが重要である。

7. 事例 4 - 那須疏水の水位モニタリング⁸⁾

(1)実験の目的

日本全国に張り巡らされている農業用水路と農業排水路は、農村地域における水循環の動脈と静脈的な役割を果たしている。ほとんどの土地改良区は、農業用排水の適正な水管理のために、日常的に水路での流量(水位)観測を行っている。流量観測データは、農業用排水路の水位観測地点に固定された自記録計に記録され、土地改良区の職員によって定期的に回収されている。しかし、多くの場合、データは紙に記録され、職員がエクセル等に入力し直している現状がある。また、流量(水位)観測点は固定されているので、ある地点で流量を新たに知りたい場合には、既存の地点データから推定するか、設置工事をして観測点を追加しなければならない。そこで、水圧センサと携帯電話を組み合わせ、農業用水の水位と水温・水質を研究室

からモニタリングするシステム農業用排水管理用ポータブルフィールドサーバ(PFS-AW; Portable Field Server for Agricultural Water)を試作した。

(2)実験の方法

試作したシステムを 2005 年 5 月に栃木県那須塩原市(旧西那須野町)一区町にある那須疏水加治屋放水路(那須疏水幹線→加治屋用水路→加治屋放水路の末端水路)に設置した。設置状況を写真 6 に示す。

本システムは、農業用水の水位と水温、電気伝導度および降雨量をデータロガーに記録し、それらの情報を現地に設置した受信専用の携帯電話を経由して研究室に回収する方式である。水位測定には、静電容量式水位計(長さ 1 m)を用いた。また、抵抗式温度計で水温を、四電極センサで水の電気伝導度を測定した。インターネットに常時接続されていないこと、画像データを取得していないという点では、前述した 3 つの事例とはシステムが異なる。



写真 6 PFS-AW の設置状況

(3)観測結果の一例

定期的に電話回線を経由して現地から回収されたデータは大学内のデータ管理サーバに格納される。ユーザは公開されているエクセルファイルを自分のパソコンにダウンロードし、マクロを有効にしてファイルを開くと、エクセルシート上の[データ取得]ボタンをクリックするだけで、データセンターからデータがエクセル上に送られ、Visual Basic によって作成されたプログラムによりグラフが自動作成される。(図 13)

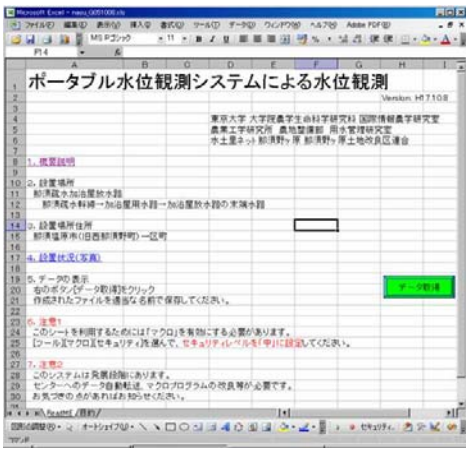


図 13 エクセルシートによるデータ取得

図 14 は 2005 年 7 月 17 日から 8 月 16 日の農業用排水路の水位と降水量の変化である。この地域は夏期の夕方に頻繁に雷雨があり、それに応じて地元の土地改良区が用水路への放水量を人為的に操作している。この年は 7 月の前半まで降雨量が少なかったため、地元土地改良区では番水（時間や順番を決めて配水する方法）を実施し、2 日に 1 度の頻度で用水路に水を分配した。その影響が、24 時間周期で交互に 100mm の水位を前後する形で 7 月 17 日から 7 月 23 日の水位変化に表れている。

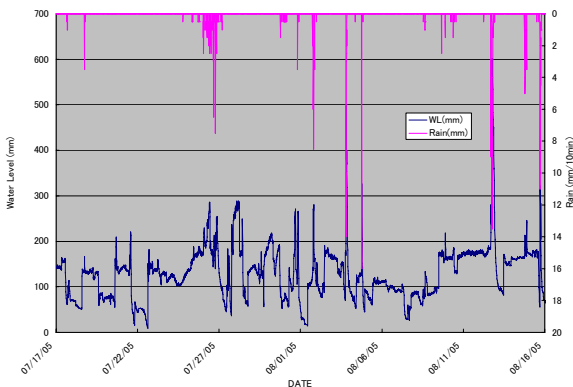


図 14 PFS-AW による水位変化と降水量のデータ (2005. 7. 17-8. 16)

(4) 今後の展開

本システムは、水位センサによる用排水路の水位をモニタリングするものであるが、今回の試作では電気伝導度センサや温度センサを取り付けることにより、水質や水温のモニタリングもできる。ポータブルにしたことで、農業用排水路の任意の地点に設置できることが最大の特徴である。これにより、気象協会等から提供される予想雨量情報に基づいて、事前に知りたい地点の予想推定高さに機器を設置すれば、実測雨量に対する農業用排水路ごとの応答特性（いわゆる水循環における動・静脈瘤）を知ることができる。これらの

センサをインターネット型のフィールドサーバに接続し、画像情報と組み合わせれば有効な農業用排水路の管理ツールになり得るだろう。

6. おわりにー農業農村情報研究における農地情報モニタリングの将来性

フィールド研究にハプニングは付物である。むしろそれが想定外であるからこそ新しい発見があるともいえる。リアルタイムの農地モニタリングには数々の応用が期待できる。

平成 19 年度から開始された農林水産省の「農地・水・環境保全向上対策」では、農業者だけでなく、地域住民、自治会、関係団体などが幅広く参加する活動組織を新たにつくってもらい、これまでの保全活動に加えて、施設を長持ちさせるようなきめ細かな手入れや農村の自然や景観などを守る地域活動を促進することが重視されている。また、農業農村地域の安全を確保するための防災情報システムに関する議論も進んでいる。フィールドサーバは、使い方次第でこうした農業農村地域の場において新たな有用ツールとなり得る。

問題は電源と通信の確保である。電源確保のために地域の特性を活かして、太陽光・風力・小水力などの自然エネルギーを利用する工夫も必要であろう。また、防災情報システムの構築に合わせて、インターネット等の情報インフラ整備も必要であろう。

本論文では、農地を対象としたフィールドサーバの応用事例について紹介した。しかし、実際に設置・運用する上で大切なのは、機器そのものの開発でなく、農作業の邪魔にならない設置場所の選定、トラブル時の対処手順、利用方法の教育など、人的ネットワークによる地道な努力である。農業農村情報を考える上では、常に現場のニーズを的確に捉え、それに応えられる対策を意識することを忘れてはならない。

参考文献

- 1) <http://www.editoria.u-tokyo.ac.jp/>
- 2) <http://www.agmodel.net/DataModel/seika-brochure/>
- 3) <http://model.job.affrc.go.jp/FieldServer/default.htm>
- 4) 溝口勝・三石正一・沖一雄・林和男：フィールドサーバによる畑のリアルタイム土壌情報モニタリング，第 48 回土壌物理学学会シンポジウム講演要旨集，pp. 80-81 (2006)
- 5) 学会報告書
- 6) 溝口ら：フィールドサーバによる東北タイ天水田のリアルタイム土壌情報モニタリング，農業土木学会講演要旨集，pp. 1046-1047 (2007)
- 7) 三石ら：土壌水分センサーによる東北タイ天水田の土壌水分測定，農業土木学会講演要旨集，pp. 1044-1045 (2007)
- 8) http://soildb.en.a.u-tokyo.ac.jp/nasu/nasu_G.xls