

PDBFM：フィールドモニタリングのための データブラウザ

安川 雅紀^{†1} 絹谷 弘子^{†1} 溝口 勝^{†2}
木浦 卓治^{†3} 喜連川 優^{†4}

本論文では、フィールドモニタリングのためのデータブラウザシステムについて検討しシステムの構築を行ったので報告する。フィールドをモニタリングできるフィールドサーバは、Web サーバ、複数のセンサ、ネットワークカメラ、無線 LAN 通信モジュール等を搭載し、圃場に長期間設置して定期的に環境計測を行うことができる。フィールドサーバのサイトは 26 以上あり、これまでにアーカイブされたデータは総計 3,300 万シーンを超える。提案システムは、このような膨大な観測データをハンドリングし、データ表示とデータ解析の機能を備えた Web ベースのシステムである。データ表示において、ユーザは所望の画像や数値データを時間階層構造によって縦横無尽に探索して表示できる。データ解析において、ユーザはデータ切り出し、データ演算、グラフ表示を行うことができ、グラフ上のプロット点から該当する時刻の圃場画像を参照することができる。実際のシステムの利用において、ユーザが新しい知見を発見した事例を紹介する。

PDBFM: Powered Data Browser for Field Monitoring

MASAKI YASUKAWA,^{†1} HIROKO KINUTANI,^{†1}
MASARU MIZOGUCHI,^{†2} TAKUJI KIURA^{†3}
and MASARU KITSUREGAWA^{†4}

In this paper, we propose a Powered Data Browser for Field Monitoring (PDBFM) which can accommodate great numbers of sensor data and images in time series. Field Server is one of the small sensor-nodes that are equipped with some sensors and web camera. Sites of field server are more than 26, and scenes of over 33 million have been archived now. PDBFM is web-base system that can handle a great number of observation data, and has two functions of data display and data analysis. In the data display function, users can freely search the desired numerical data or images by hierarchical structure of time series, and display the results. In data analysis function, users can process data

cutting, data calculation and chart representation, and can analyze various phenomena. We introduce the case where the new knowledge was discovered in the actual use of PDBFM.

1. はじめに

農業分野において食の安心・安全、適正農業規範といった観点から IT 化が急速に進みつつある。そのなかで新しく開発された観測デバイスとしてフィールドサーバがある。フィールドサーバは、複数のセンサ、ネットワークカメラ、Web サーバ、無線 LAN 通信モジュール等を搭載し、フィールド（圃場）に長期間設置して定期的にモニタリングすることができる。農業・食品産業技術総合研究機構の中央農業総合研究センター（以下、NARC）で管理されているフィールドサーバのサイトは 26 以上で、画像データは総計 3,300 万シーンを超え膨大である¹⁾。

ユーザである農地情報の研究者がこのような膨大なデータから解析して作物生育モデルや農地環境モデル等の開発を行って実環境に適用するには、データの概観をつかむための使い勝手の良いデータビューワや、新たな知見を発見・検証するためのデータ解析ツールが不可欠である。しかし、センサによる観測値と画像がペアになった時系列データを気軽に縦横無尽に閲覧できるようなツールは存在しない。また、農地情報の研究者だけで膨大なデータを一括管理しデータ解析アプリケーションを開発して運用するのは困難である。そこで、農地情報の研究者と計算機科学分野の研究者とがコラボレーションしてこの課題を解決することが不可欠である。

本研究では、上記の背景を考慮し、フィールドモニタリングデータのためのビューワシステム（PDBFM: Powered Data Browser for Field Monitoring）の開発を行った。これは、フィールドサーバデータをデータベースに格納し、データを一括管理したシステム上に種々

^{†1} 東京大学地球観測データ統融合連携研究機構

Earth Observation Data Integration and Fusion Research Initiative, the University of Tokyo

^{†2} 東京大学大学院農学生命科学研究科

Graduate School of Agricultural and Life Sciences, the University of Tokyo

^{†3} 農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター

National Agricultural Research Center, National Agriculture and Food Research Organization

^{†4} 東京大学生産技術研究所

Institute of Industrial Science, the University of Tokyo

のアプリケーションを開発し、各コンポーネントを統合したデータ解析機能を構築することで、システムがユーザによるデータ解析や新しい知見の発見をサポートし、研究の作業効率を高めることを目指す。

本論文では、はじめにフィールドサーバのシステムと得られるデータについて概説し、得られたデータの利用に対する課題を述べる。次に、この課題を解決するための機能要件と設計指針を述べ、PDBFMの構築について述べる。実際にシステムを稼働させた結果について述べるとともに、システム利用事例を紹介し、最後に本論文をまとめる。

2. フィールドサーバ

2.1 システム構成

フィールドサーバは、畑や水田、畜舎等の圃場に設置して、環境計測、画像による動植物生育モニタリング、防犯、温室・農業機械の遠隔制御等を無線 LAN およびインターネット経由でリアルタイムに行うデバイスである (図 1(a))。サーバ内部は、図 1(b) に示すように、計測制御用コンピュータであるフィールドサーバエンジン、通信部分の無線 LAN アクセスポイント基板、Web カメラやアプリケーション用 PC の拡張部分、電源で構成されている。フィールドサーバエンジンは、Web サービス、FPAA (Field Programmable Analog Array)、演算器、A/D コンバータを搭載し、ネットワーク設定、センサ設定、測定電圧表示を、Web ブラウザ上で行うことができる。センサは、気温、湿度をデフォルトで内蔵し、その他、用途に応じて雨量、風速、土壌水分量、土壌温度、埃量、CO₂ 濃度等の様々なセンサを追加できる。フィールドサーバを圃場に設置し、インターネットに接続することで、

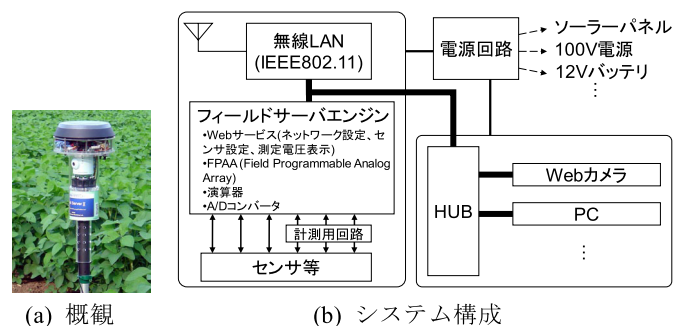


図 1 フィールドサーバ
Fig. 1 Field server.

オンラインかつリアルタイムで圃場モニタリングが可能となる。また、フィールドサーバを同じ圃場に多数設置した場合には、無線 LAN を利用してきめの細かいリアルタイムモニタリングが可能である^{2),3)}。

2.2 データ収集

センサによる観測データや Web カメラによる画像の蓄積は、図 2 左側の NARC 内のエージェントが図 2 右側のフィールドサーバ内の Web サービス (図 1(b) 左側) にアクセスしてデータを収集し、NARC のストレージサーバにアーカイブする。この時点でのデータはセンサの電圧値であるため、XML 形式で記述されたパラメータファイルを参照して物理量に変換し、その物理量を XML 形式で図 2 のストレージサーバに保存する。そのストレージサーバでは、図 3(a) のように保存された観測データを閲覧することが可能である。エージェントは、フィールドサーバ内の Web カメラの画像も同様にストレージサーバへ定期的に保存する (図 3(b))。

保存するファイルは、フィールドサーバの観測地点説明ファイル、センサのデータファイル、画像ファイルの 3 種類がある。フィールドサーバの観測地点説明ファイルには、観測ロケーション名 (日本語、英語)、観測ロケーションの略称であるフィールドサーバサイト名、フィールドサーバ名、観測地の緯度・経度、観測期間、データ取得時間間隔 (秒)、搭載センサの観測項目等が XML 形式で記述される。観測項目については、物理量名とその単位のペアで記述する。観測項目は気温・湿度を除き、フィールドサーバごとに異なる。フィールドサーバは移動しないため、観測地点名や緯度・経度の値は静的である。データ取得時間間隔は、フィールドサーバごとに秒単位で設定可能である。センサのデータファイルは、XML

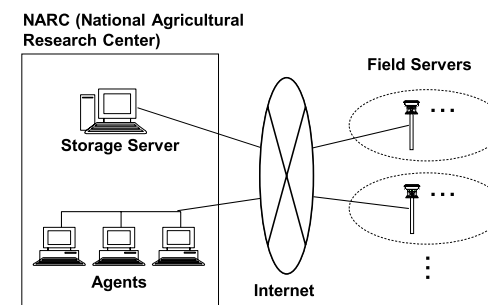
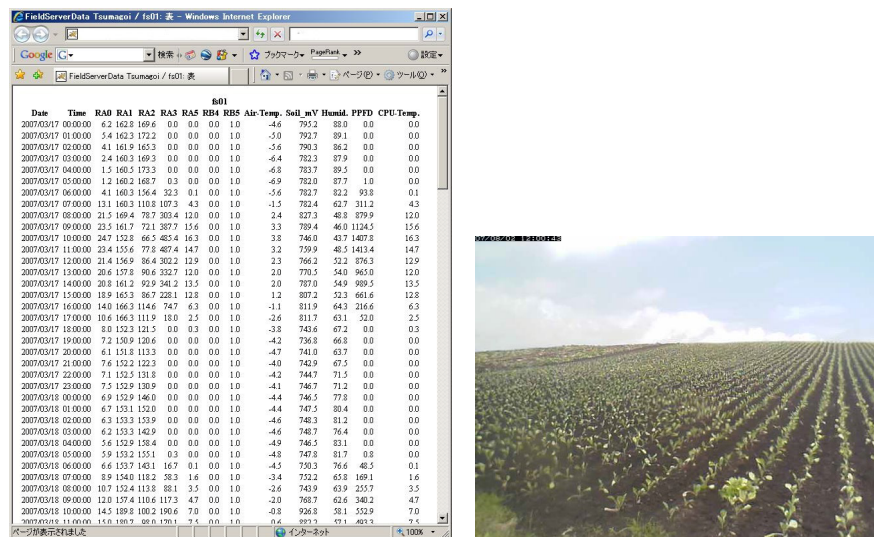


図 2 エージェントによるデータ収集とサーバコントロール
Fig. 2 Data collection by agent and server control.



(a) 観測データ

(b) 画像データ

図 3 取得データ

Fig. 3 Acquired data.

形式で記述され、データ取得時刻ごとにタグで区切られ、タグの中には日付、時刻、各観測項目とそれに対応した観測値が記載される。観測値は小数点付きである。データファイルは1日1ファイル作成される。ファイル名は〈年月日.xml〉の形式である。画像ファイルは、データ取得時刻に1枚の画像を取得し、ファイル名は〈年月日時分秒.jpg〉の形式である。本研究では上記のデータを使用して4.3節のスキーマでデータベースに格納する。

データ量について群馬県嬬恋村のキャベツ畑を例にとると、設置されているフィールドサーバは2分ごとにデータを取得しているため、1日に720シーン、1年間だと26万シーンに達する。現在、NARCでアーカイブしている国内外の観測サイトすべてのデータを総計すると、3,300万シーン超、2.6TBであり、膨大である(図4)。

2.3 データ利用に関する課題

上記で述べたようにデータ量が膨大であるため、観測者がデータをアーカイブして管理することは大きな負担でありデータ利用の妨げになる。つまり、観測者に負担とならない、データアーカイブやデータ管理が可能なシステムが必要である。

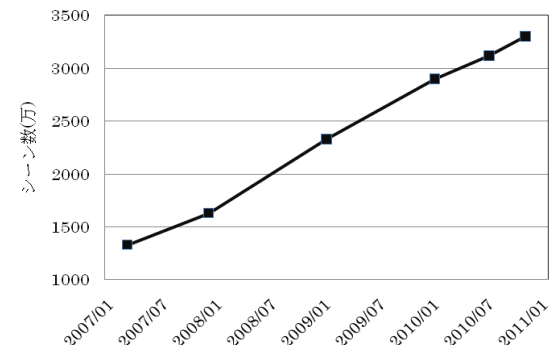


図 4 観測シーン数

Fig. 4 Gross of scene number.

データ利用の面において、現状では、Webカメラの最新画像と最新の気温や湿度等の気象データを表示するツールやWebサービスは、一般用や研究用で多く存在する。また、過去の気象データについて日時を指定すると過去の気象データを閲覧することができ、過去の画像について日時を指定すると過去の画像を閲覧することができる。しかし、画像と気象データを別々に管理している、あるいは、画像と気象データを時刻で関連付けしてデータベースに蓄積していないため、画像と気象データの最新は表示ができて、ある過去の画像の時刻に対する気象データの検索や、ある気象データの時刻に対応する画像の検索が不可能であった。時系列画像の検索において、日時入力による画像表示、各日の正午頃の画像を並べた表示、日付を入力したときの全画像表示あるいはそのアニメーション表示等、対象フィールドの概観をつかみながら所望の画像を探すツールやWebサービスは存在しなかった。フィールドサーバのようなセンサの観測値とWebカメラの画像で構成されるデータセットを利用して、農作業モデルや圃場環境モデル等の開発のための基礎解析を行うには、数値データや画像の概観をつかみ数値データと画像とを相互に見比べて仮説を立て解析および検証することが必要で、既存のツールやWebサービスではそれを行うことが困難であった。

そこで、本研究では、上記で述べた機能の課題を解決できるよう、データ投入、データビューワ、データ解析等のツール開発を行い、データアーカイブからアプリケーションまでの一貫したシステムの構築を行う。

3. データブラウザの機能要件および設計指針

本章ではシステム実現のための機能要件および設計指針について述べる。

3.1 機能要件

フィールドサーバデータの解析・可視化において、農学の研究者には主に下記の3つのニーズがある。

(1) フィールドサーバ名・日付ごとでデータ表示

1つめは、画像・観測データ（センサからの取得データ）をフィールドサーバ名・日付ごとに仕分けして閲覧したいというニーズがある。これは圃場の1日の変化を簡単な操作で眺めたいという、最も基本的なニーズである。ユーザが指定したサイト名・日付を条件に膨大なデータの中から該当する画像や観測データをデータベースから検索し、その結果を時系列にソートして画像・観測データを1つのページに表示する。ただし、画像や観測データを羅列表示してもユーザにとって見やすいとは限らない。見やすさを考慮するならば、検索された画像や観測データを工夫して表示する必要がある。ユーザは日データの概要をまず見たいため、代表的な画像や観測データの統計的な数値をページのトップに配置する。日データの詳細を知りたい場合のために、上記の概要表示の下に観測データのグラフ、および画像時系列を配置する。ただし、たとえば画像を2分ごとに撮影するフィールドサーバの場合、1日分の画像が720枚となり、1つのページにすべて表示するのは画像ダウンロードに時間がかかることやクライアントPCに負荷がかかるので、枚数を絞って表示する必要がある。

(2) フィールドサーバごとのカレンダー形式表示

2つめは、カレンダー形式で画像を並べて表示し、そこから所望の画像や観測データを探したいというニーズがある。ユーザは季節を通した圃場の様子（作物被覆の状態、農作業、気象現象等）に興味があることや、その概観をヒントにドリルダウンして圃場での農作業や現象を探索することを考慮して、データベースからカレンダーのリストを抽出してフィールドサーバごとの画像のカレンダー形式で表示する機能と、そこから時間解像度を細かくしてデータを探索できる機能が必要である。たとえば画像が2分ごとに撮影された場合、1年分の画像が約26万枚で膨大なデータ数になるが、上記の機能が実現できれば、所望の画像とそのときの観測値を素早く探せることが期待できる。カレンダー形式表示で使用する画像は、各日同時刻付近を用いる方が日々の変化の有無をとらえやすく、明るい時間帯が良いので、各日正午付近の画像を使用する必要がある。

(3) データ解析

3つめは、センサの観測データを用い、少ない手数でグラフ表示をし、グラフ上の変化とその時刻に対応した圃場画像を素早くチェックできるような、データ解析機能のニーズがある。現象の検証、知見の発見、モデルへの応用のための基礎解析のために必要とされている。グラフ上の点と画像を結ぶ機能は、たとえばグラフ上で大きく変化した部分があった場合、それがなぜ起きたのかを知るために素早く画像を見てチェックする必要があるため、そのようなソフトウェアは存在しない。この機能が実現できれば解析の作業効率が向上することが期待できるため、本機能を開発する。機能実現のためには、データベースからのデータ切り出し・データセット作成機能、データに演算を施す機能、グラフ化機能、グラフ上の点と画像を結ぶ機能が必要である。データ切り出し・データセット作成機能では、フィールドサーバの設定によって観測の時間間隔が異なることや、夜間のデータが不要であること等を考慮するため必要である。データに演算を施す機能では、観測項目1つを単にグラフ化するだけでなく、複数の観測項目を使って算出したものをグラフ化することがあるためである。グラフ化機能では時系列表示だけではなく、相関性を解析するための散布図表示も必要である。

3.2 設計指針

前節の機能要件をもとに、本システムPDBFMを設計する。

観測者やデータ利用者側でデータをアーカイブし一括管理することは、データ量が膨大であることからみて非現実的である。一方で現在はインターネットの普及により、本研究において対象とするユーザである農地情報の研究者もWebを利用できる環境が整っている。そのため、データは大規模なストレージ基盤のデータベース上に保存し、Webブラウザからデータを検索・閲覧・解析できるようにする。なお、データベースのスキーマは、下記3つの設計指針を満たすよう決定し、次章でスキーマの詳細を述べるが、基本的にはセンサの観測値と圃場画像との対応付けをしてデータベースに格納することとした。

ユーザはそれぞれの機能ページにてサイト名や時刻等のパラメータを設定してデータのリクエストを行う。データベースから検索されたデータに対して可視化処理を施し、Webブラウザに結果を表示する。前節の3つの機能要件に対して、下記のように設計する。

(1) フィールドサーバ名・日付ごとでデータ表示

1つめは、ユーザによって指定されたフィールドサーバ名・日付により、データベースの中から該当する画像や観測データを検索し、1つのページにそれら時系列データを表示する機能である。具体的には、その日の正午に最も近い画像とその日のセンサごとの平均・最

高・最低の表示, センサの 1 日分の観測データに対する時系列グラフ表示, 画像時系列表示を行えるようにする。

機能の詳細は以下のとおりである。まず, データが格納されたデータベースから, フィールドサーバ名・日付により, 観測時刻, センサの観測項目, 観測値, 観測時刻における Web カメラ画像のパス・ファイル名を抽出する。そこから, 正午に最も近い画像とその日のセンサごとの平均・最高・最低をサーチあるいは計算して, その結果を Web ページの上部に配置する。その下段に, 上記で抽出した中から各観測項目の 1 日分の時系列グラフを表示する。マウスのカーソルをプロット点に移動させた際には, データの値を表示する。このグラフ化と値の表示には, Ptpplot を使う。これはカリフォルニア大学バークレー校が開発した Java のアプレットであり, 2 次元グラフに関する様々な表示機能を持っている。また, グラフ領域内では関心領域をズームして見ることも可能である⁴⁾。グラフはユーザの操作により, 表示・非表示が可能にようにする。グラフの下段には, 上記で抽出した中の画像ファイルパス・ファイル名を用いて, 画像時系列表示を行う。機能要件で述べたとおり, 1 日の画像枚数が大量ですべてを Web ブラウザで表示するにはダウンロード量が多く時間がかかりクライアント PC が高負荷になることを考慮して, 24 時間分表示ではなく, 1 時間分表示とする。これは, 画像を 1 時間ごとに仕分けし, ページ上に設置する時刻スライドバーを動かすことによって時刻の条件を変更し, 該当する「○ 時台」の画像を JavaScript によって非同期的に切り替えて表示するものである。デフォルトは 12 時台とする。もし, 12 時台の画像しか閲覧しない場合, ダウンロード量は 1 日分すべての画像をダウンロードする量よりも 24 分の 1 で済み, ユーザ側の負荷軽減が可能となり, 本機能の特徴である。各画像にはリンクをはり, 画像の観測時刻における各センサの観測値を表示する。

(2) フィールドサーバごとのカレンダー形式表示

2 つめは, ユーザによって指定されたフィールドサーバ名と年あるいは年月により, データベースから該当する画像を検索し, カレンダー形式で画像を並べて表示し, 必要があればドリルダウンして観測データの詳細を表示する機能である。具体的には, 各日の正午に最も近い画像を抽出してタイル状に配置し, カレンダーの 1 年表示または 1 カ月表示を行う。各画像には日表示へのリンクをはり, 日データ表示を行う。

機能の詳細は以下のとおりである。あらかじめ, データベースから, 各フィールドサーバ・各日の正午に最も近いデータのデータベース上の ID, 観測日時, 圃場画像のファイルパス・ファイル名を抽出し, データベース上のカレンダー用のテーブルを作成し格納しておく。これは, カレンダー表示のリクエストがあるたびに, 毎回正午付近の画像を探すのは処理

時間が多くかかり, ユーザにはストレスとなるためである。なお, 日によってデータが存在しない場合は, データが存在しない旨の記述をデータベース上のカレンダーテーブルに格納する。ユーザはフィールドサーバ名と年月を指定し, カレンダーテーブルから観測日, 圃場画像のファイルパス・ファイル名を抽出し, 画像をタイル状に並べてカレンダーの表示を行う。本システムでは, カレンダー形式の表示は 2 種類用意し, 「月」対「日」の 1 年分表示と, 1 行 1 週間の 1 カ月分表示のどちらかを選択できる。Web 上のカレンダー選択画面にて, 月で「ALL」を選んだ場合には 1 年分のカレンダー表示, 日で「ALL」を選んだ場合には 1 カ月分のカレンダー表示となるようにする。各日の画像にはリンクを設置し, クリックすると (1) の日データを表示できるようにする。このカレンダー形式表示により, 長期間の圃場の様子を一目で把握できるようになる。また, 年表示, 月表示, 日表示, 1 シーン表示がつながって時間解像度のピラミッド構造となることで, たとえば画像が 2 分ごとに撮影されるフィールドサーバの場合, 1 年分約 26 万枚の画像の中から, 興味のある画像に素早くたどり着くことが可能であり, 本機能の特徴である。

(3) データ解析

3 つめは, センサの観測データを用い, データベースからのデータ切り出し・データセット作成機能, データに演算を施す機能, グラフ化機能, グラフ上の点と画像を結ぶ機能である。データベースから対象データを抽出して各処理を行うが, 各処理で観測データと圃場画像ファイルパス・ファイル名との対応付けをつねに行い, 観測データからつねに圃場画像を参照できるようにしておくことが本データ解析機能の特徴であり他にはないものである。

機能の詳細は以下のとおりである。まず, データ切り出し・データセット作成機能では, データベースから, フィールドサーバ名, 観測項目, 観測期間を条件に観測値と圃場画像ファイルパス・ファイル名を抽出し, データリサンプリング時間間隔, 平均または積算, 閾値の設定により, データをリサンプリングし, リサンプリング後の観測値と画像の再対応付けを行ってデータセットを作成する。作成したデータセットは, データベース上の解析データテーブルを用意して格納する。データ演算機能では, 上記で作成した同一フィールドサーバの 1 つあるいは 2 つの解析データセットと演算とを表形式で Web ページに表示し, ユーザが演算の組合せを選択してサーバサイドで演算処理を行う。演算は, 加算, 乗算, 割算, 閾値処理の演算子を用意する。この処理結果と物理量名, 単位, 観測日時に対応する圃場画像ファイルパス・ファイル名を解析データテーブルに新たに格納する。グラフ化機能では, Web ページにおいて, 時系列グラフか散布図を選択すると, 上記で作成した解析データテーブルから, グラフ化可能な解析データセットをリストアップし, ユーザがデータセッ

トを選択して、グラフ化処理をオンラインで行う。なお、ユーザのニーズ調査で、グラフの種類は時系列グラフと散布図の2種類とした。散布図については、2つの解析データセットが必要になるが、同一のフィールドサーバ名、同一の観測期間、同一の時間解像度となるペアのみをグラフ化可能なデータセットとして表示する。また、散布図では対数軸にも対応し、オプションとして相関係数算出や回帰直線表示を用意し、相関関係を調査できるようにする。ユーザがデータセットを選択後、データベース上の解析データテーブルから対象のデータセット（観測日時、物理量名、単位、値、圃場画像ファイルパス・ファイル名の時系列）を抽出し、(1)で利用した ptplot でグラフ化し、単位およびタイトルを埋め込んで、Web ページに結果を表示する。前述のようにデータベースから観測値と画像とが対応付けられて抽出されることを利用して、グラフ上のプロット点にはリンクをはり、マウスでクリックすると、該当する観測時刻の画像を表示できるようにする。これにより、グラフ上での変化について、素早く画像をチェックできることを実現し、データ解析におけるユーザの作業スピードを速める効果があることが本機能の特徴である。

4. システム構築

4.1 データレプリケーション

本研究では、PDBFM を構築するにあたり、まず、フィールドサーバデータのレプリケーション作業を行う。オリジナルデータが保存されている NARC のサーバにアクセスし、データ統合・解析システムのコアシステム⁵⁾にコピーし、NARC アーカイバのレプリカを作成する。

4.2 XML ファイルからの観測値抽出

観測値のデータベースへの投入については、オリジナルデータが XML 形式で保存されているため、直接データベースに格納する方法が考えられる。しかし、実際には、図2のエージェントがフィールドサーバのセンサの値を取得する際に、機器や通信の不調で観測項目数が足りないような欠損があったりフォーマットが崩れたりすると、NARC においてカウント値から物理量に変換された XML ファイルも項目がずれて形式が崩壊する。そのようなファイルが多く見受けられたため、XML 形式のファイルから直接データベースに格納するのは不適切と判断し、次に述べる方法によって各観測項目の値を抽出して CSV 形式に変換後、データベースに投入して使用することとした。

フィールドサーバデータは1日を単位とした整形 XML ファイルに格納されている。またフィールドサーバの観測地点、観測地点説明も XML ファイルで管理されている。データ

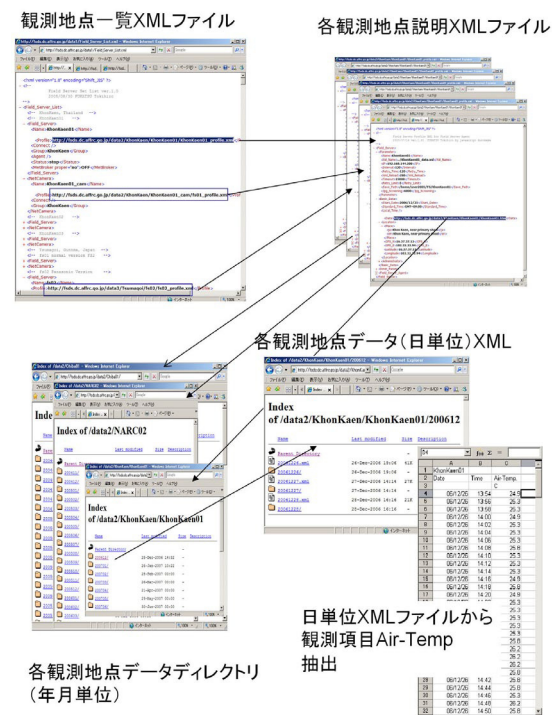


図5 XML ファイルからの観測データ抽出
Fig.5 Observation data extraction from XML file.

抽出は、図5に示すとおり、日単位 XML ファイルで行う。このファイルは、図2のエージェントがフィールドサーバにアクセスしてデータを取得し物理量に変換することができた際に作成される。このファイルのデータは、観測地点一覧 XML ファイル、各観測地点説明 XML ファイル、各観測地点データディレクトリ、各観測地点 XML をパースし、リンクをたどりファイル内の観測項目名の XML 要素を指定することでアクセスできる。ただしデータが存在するか否かはこのファイルを読んで初めて分かる。しかも、上記のような欠損による項目のずれや形式の崩壊、あるいは観測項目に変更が生じる可能性がある。したがって、実際には、XML ファイル中の各観測時刻における観測項目とその項目数、データ取得可能性をチェックしてメタデータとして抽出する。このチェックをクリアして抽出されたデータ

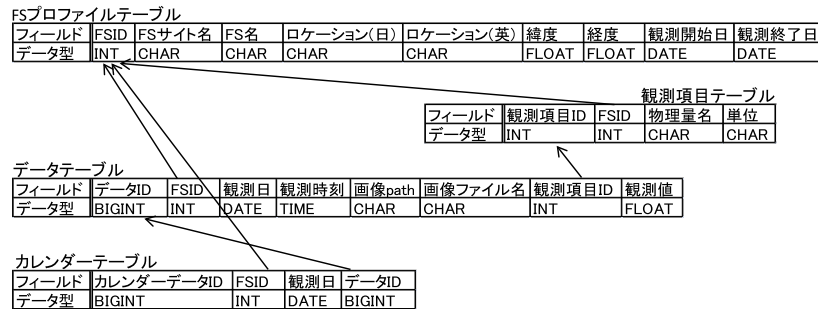


図 6 データベースのスキーマ
Fig. 6 Database schema.

は CSV 形式で保存し、各日の XML ファイルについて同様の処理を行う。

4.3 データベースへのデータ投入

本研究では、観測地点説明ファイルや前節で抽出した観測データを、リレーショナルデータベースに格納する。図 6 にデータベースのスキーマを示す。なお、図中の FS はフィールドサーバを略して表記した。

まず、観測地点説明 XML ファイルからフィールドサーバサイト名、フィールドサーバ名、観測地点名、緯度・経度、観測期間、観測項目の物理量名とその単位を抽出し、観測項目を正規化して、FS プロファイルテーブルと観測項目テーブルに挿入する。FS プロファイルテーブルは主キーとして、FSID（フィールドサーバの ID）を持ち、フィールドサーバ 1 個につき 1 個の一意の番号が与えられ、フィールドサーバの各説明情報の属性を持つ。なお、データ取得の時間間隔は同じフィールドサーバで設定を変更する場合があるため、データ取得の時間間隔の項目は設定しないこととした。

前節で抽出した CSV 形式の観測データは、データテーブルに挿入する。データテーブルのデータ ID は、FSID、観測日、観測時刻をつなげた整数型である。したがって、データ ID を指定すると、FSID、観測日、観測時刻に合致した、各観測項目の観測値が得られる。また、FSID は外部キーであり、FS プロファイルテーブルの FSID を指定する。同様にデータテーブルの観測項目 ID は外部キーであり、観測項目テーブルの観測項目 ID を指定する。観測時刻に対応した画像ファイル名とその URL パスをデータテーブルに挿入することにより、観測値と画像ファイルとの関連付けをさせ連携を持たせ、解析ツールにおける観測値グラフから画像の表示、あるいは日カレンダー表示における画像から各観測値の表示を実現する。

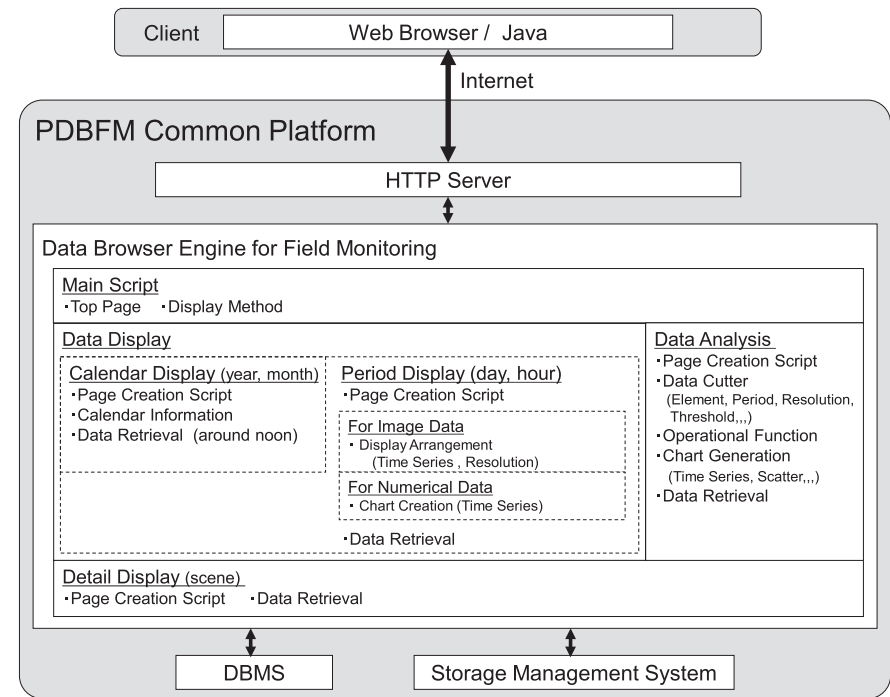


図 7 PDBFM の概念図
Fig. 7 Architecture of the PDBFM.

カレンダーテーブルは、フィールドサーバごとに各日正午近傍のデータをデータテーブルから探し、FSID、観測日、正午近傍のデータテーブルのデータ ID を、カレンダーテーブルに挿入する。このことにより、日カレンダー表示における正午近傍のデータ表示、日付からその日における画像時系列表示、各観測項目のグラフ表示が可能となる。カレンダーデータ ID は、FSID、観測日をつなげた整数型である。カレンダーテーブルにより、フィールドサーバ名および年または年月を条件にして検索すると、年カレンダー表示および月カレンダー表示が可能となる。

4.4 システム構成

PDBFM は図 7 のように構築した。本システムは、観測値や画像を保存するストレージ、データベースを管理する DBMS、データ表示を行うブラウザエンジン、ユーザのリクエスト

トを受ける http サーバで構成される。フィールドサーバデータのブラウザエンジンでは、ユーザからのリクエストによって各種表示処理のスク립トを発行するメインスク립ト、メインスク립トからの指示を受けて表示処理を行う、データ表示処理モジュールおよびデータ解析モジュール、シーンごとの詳細データを表示処理する詳細表示モジュールで構成される。これらの処理の詳細は下記で述べる。また、観測データのデータベースへの登録については前節のとおり行う。

「サイト名・日付ごとのデータ表示処理」は、図 7 のブラウザエンジンの Period Display で行う。ユーザが Web を介してフィールドサーバ名および日付を条件としてシステムに要求すると、ブラウザエンジン内部のスク립トによって、図 6 の FS プロファイルテーブルから FS 名によって FSID を抽出し、FSID と観測日を用いてクエリを発行して図 6 のデータテーブルからデータ（データ ID、観測日時、観測項目 ID、観測値、圃場画像ファイルパス・ファイル名）を抽出する。圃場画像は、24 時間分の画像時系列を 1 時間ごとに区切り、Web ページ上に時刻スライダーを設置し、スライダーの位置によって対象時刻の 1 時間分の画像について圃場画像ファイルパス・ファイル名を用いてタイル状に配置する。デフォルトは 12 時台である。それぞれの画像にはデータ ID を含めたリンクをはり、後述の 1 シーンデータ詳細ページにジャンプできるようにする。抽出した観測値は、観測項目 ID ごとに分け、24 時間の時系列グラフを、JavaScript を用いて Web ページに表示する。物理量名や単位については、抽出した観測項目 ID と図 6 の観測項目テーブルの観測項目 ID を関連付けてグラフに表示する。また、サイト名・日付ごとのデータ表示では、日データの概要も Web ページ上に表示する。図 6 のカレンダーテーブルにおいて、FSID と観測日からクエリを発行して抽出されるデータ ID を用いてデータテーブルのデータ ID を関連付けて、日データの正午近傍の画像のファイルパスとファイル名を取得し、Web ページ上に表示する。各観測項目の平均・最大・最小は、上記の抽出した時系列データを用いて算出し、Web ページ上に表示する。表示レイアウトは、上方から、日データの概要、表示・非表示選択可能な観測値の時系列グラフ、画像時系列表示である。

「1 シーンデータ詳細ページ処理」は、図 7 のブラウザエンジンの Detail Display で行う。ユーザが Web を介してデータ ID を条件として指定すると、ブラウザエンジン内部のスク립トによって、図 6 のデータテーブルにおいてデータ ID を用いてクエリを発行し、該当するデータ（データ ID、FSID、観測日時、観測項目 ID、観測値、圃場画像ファイルパス・ファイル名）を抽出する。この抽出結果を用いて Web ページ上には、フィールドサーバ名、観測日時、各観測項目の物理量名と観測値を表示する。なお、フィールドサーバ名は

FSID と図 6 の FS プロファイルテーブルの FSID を関連付けることによって得られ、観測値の物理量名や単位は観測項目 ID と観測項目テーブルの観測項目 ID と関連付けることによって得られる。

「サイトごとの年カレンダー形式表示処理」は、図 7 のブラウザエンジンの Calendar Display で行う。ユーザが Web を介してフィールドサーバ名および年を条件としてシステムに要求すると、ブラウザエンジン内部のスク립トによって、図 6 の FS プロファイルテーブルから FS 名によって FSID を抽出し、FSID と年を用いてクエリを発行して図 6 のカレンダーテーブルからデータ（FSID、観測日、データ ID）を抽出する。データ ID は、データテーブルのデータ ID と関連付けることで、該当する日時の圃場画像のファイルパス・ファイル名を参照できる。表示では、抽出したデータを用いて、縦軸に月、横軸に日として、上記の関連付けによって得られる圃場画像を各観測日に配置する。また、各観測日の圃場画像には、FSID と観測日を用いて、日付ごとのデータ表示ページにジャンプできるようにリンクを設置する。日付ごとのデータ表示ページは、前述の「サイト名・日付ごとのデータ表示処理」を利用する。フィールドサーバの故障あるいは通信の不具合によってデータを取得できなかった観測日については、「none」を表示する。

「サイトごとの月カレンダー形式表示処理」は、図 7 のブラウザエンジンの Calendar Display で行う。ユーザがフィールドサーバ名および年月を条件としてシステムに要求すると、「サイトごとの年カレンダー形式表示処理」と同様に処理を行い、カレンダーテーブルから対象のデータを抽出する。表示では、抽出したデータを用いて、縦軸に週、横軸に曜日として、圃場画像を各観測日に配置する。また、各観測日の圃場画像には、日付ごとのデータ表示ページにジャンプできるようにリンクを設置する。

「データ解析処理」は、図 7 のブラウザエンジンの Data Analysis で行う。データの切り出しでは、ユーザがフィールドサーバ名、観測項目、データの期間を条件として指定すると、ブラウザエンジン内部のスク립トによって、図 6 の FS プロファイルテーブルから FS 名によって FSID を抽出し、FSID、観測項目 ID とデータの期間を用いてクエリを発行して図 6 のデータテーブルからデータ（データ ID、観測日時、観測項目 ID、観測値、圃場画像ファイルパス・ファイル名）を抽出する。ユーザによる観測タイムインターバルの設定や観測値の閾値設定により、データのリサンプリングを行う。その際、リサンプリングは平均か積算のどちらかを設定できる。この処理結果のメタデータの部分については、図 8 の解析データセットプロファイルテーブルを用意して挿入し、データの部分は、解析データテーブルを用意して挿入する。リサンプリングの際、圃場画像ファイルパス・ファイル名は、元

解析データセットプロファイルテーブル

フィールド	解析データセットID	データセット名	ツールユーザ名	FSID	解析用物理量名	解析用単位	データ開始日時	データ終了日時
データ型	INT	CHAR	CHAR	INT	CHAR	CHAR	DATETIME	DATETIME

解析データテーブル

フィールド	解析データID	解析データセットID	観測日	観測時刻	解析データ値
データ型	BIGINT	INT	DATE	TIME	FLOAT

解析データ・画像テーブル

フィールド	解析データ画像ID	解析データID	解析画像パス	解析画像ファイル名
データ型	BIGINT	BIGINT	CHAR	CHAR

図 8 データ解析ツール上のデータベースのスキーマ

Fig. 8 Database schema on data analysis tool.

の観測日時を用いて、リサンプリング後の近傍の観測日時に対応させ、観測日時に対応する解析データテーブルの解析データ ID を用いて、解析データ・画像テーブルを用意して挿入する。なお、解析データセットプロファイルテーブルでは、解析データセット ID が主キーであり、ユーザ名とユーザによって付けられたデータセット名、データの物理量名とその単位、データの期間で構成される。また、解析データテーブルでは解析データ ID が主キーであり、解析データセット ID によって解析データセットプロファイルテーブルと関連付けを行い、観測日時とそのときの値が入る。解析データ・画像テーブルでは解析データ画像 ID が主キーであり、解析データ ID によって、解析データテーブルと関連付けを行って、圃場画像のファイルパスとファイル名を格納する。処理結果の表示については、作成した解析データセットのプロファイルを、ユーザの Web ページにリスト形式で表示する。

「データ解析処理」の演算処理では、上記で作成した 1 つあるいは 2 つの解析データセットと演算の組合せを表形式で Web ページに表示し、ユーザが選択してシステムが処理を行う。解析データセットは図 8 の解析データセットプロファイルテーブルの解析データセット ID を用いて解析データテーブルから対象のデータを抽出し、各演算を行い、処理結果について、メタデータは解析データセットプロファイルテーブルに挿入し、データは解析データテーブルに挿入する。解析データ・画像テーブルについては、元の解析データセットで関連付けられていた解析データ・画像テーブルの圃場画像ファイルパス・ファイル名をコピーして挿入し、解析データ ID を演算処理後の解析データテーブルの解析データ ID に関連付ける。なお、2 つのデータセットを用いて演算する際は、フィールドサーバ、データの期間、観測タイムインターバルが同じである場合に限り処理が可能である。処理結果の表示について、作成した解析データセットのプロファイルを、ユーザの Web ページにリスト形式で表示する。

表 1 構成ハードウェア・ソフトウェア

Table 1 PDBFM specifications.

ハードウェア	Hitachi BladeSymphony (CPU Itanium 1.67GHz *8, 128GB Mem.)
ソフトウェア	OS: Red Hat Enterprise Linux AS release 4 Web サーバ: Apache 2.2 その他: java, perl, php, MySQL 等

表 2 ユーザ側の動作要件

Table 2 System requirement on user side.

OS	ブラウザ
Windows XP, Windows Vista, Windows 7	Internet Explorer 6.0 以上 Firefox 2.0 以上

「データ解析処理」のグラフ作成では、上記で作成した解析データセットを用いて処理を行う。Web ページにおいて表示形式（時系列グラフまたは散布図）を選択し、解析データセットプロファイルテーブルから観測データセットのリストを抽出し、グラフ化可能な解析データセットを表示する。散布図については、2 つの解析データセットが必要になるが、同一のフィールドサーバ名、同一の観測時刻・観測タイムインターバルであるペアのみをグラフ化可能なデータセットとして表示する。ユーザがデータセットを選択後、図 8 の解析データセットプロファイルテーブルの解析データセット ID を用いて解析データテーブルから対象のデータを抽出し、単位を解析データセットプロファイルテーブルから取得し、グラフ表示のための JavaScript を生成し、結果をユーザの Web ブラウザに表示する。なお、散布図については、対数軸を設定することができる。また、グラフにプロットした点については、該当する時刻の圃場画像を表示するための、解析データテーブルの解析データ ID を用いたリンクを埋め込む。グラフ上のプロット点をクリックすると、システムは解析データ ID を用いて解析データ・画像テーブルの該当する圃場画像ファイルパス・ファイル名を抽出し、圃場画像を Web ブラウザに表示する。

本システムが稼働する部分は、表 1 のハードウェア・ソフトウェアを用いて構成した。ユーザ側は JAVA バージョン 6 以上をサポートする Web ブラウザが必要である。本システムの動作確認は表 2 の環境下で行っている。

5. PDBFM の利用

本章では、3 章の要件に従って構築した 4 章のシステムの結果について述べる。現在、PDBFM は農業情報の研究者やフィールドサーバ設置の農作物生産者に公開中である。5.1 節から 5.4 節までは、例として、群馬県嬬恋村のキャベツ畑のサイトのデータを取り扱う。このサイトでは、2 分ごとにデータが取得されるので、故障や通信障害によるデータ未取得がなければ年間約 26 万シーンもの膨大なデータ量になる。

5.1 年カレンダー表示

Web ブラウザによるデータ表示機能のトップページは図 9 のようにレイアウトした。デー

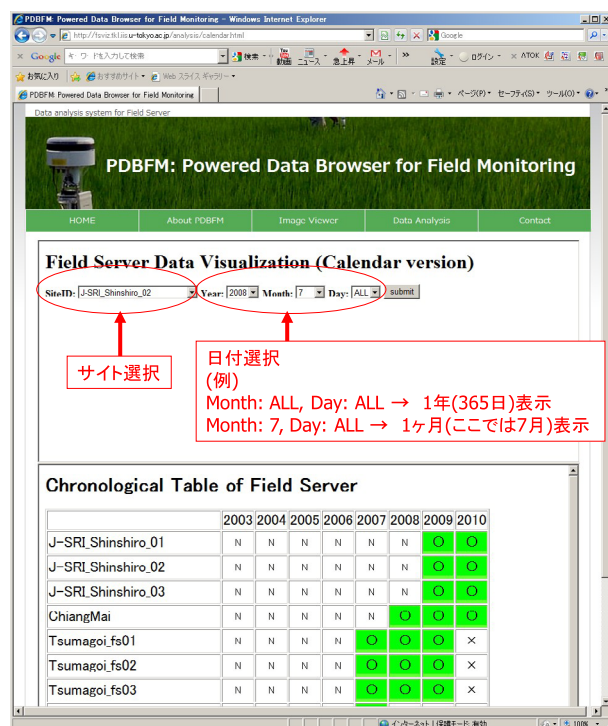


図 9 データ検索ページ
Fig.9 Data retrieval page.

タ検索における選択項目は、サイト名（フィールドサーバ名）、年、月、日のみのシンプルな形式である。操作マニュアルが不要でクリックの回数が少ない操作性が望ましいというユーザからの要望があり、4 個の選択パラメータはいずれもプルダウン式とした。

たとえば、図 9 上部の日付選択において月が「ALL」として選択した場合はすべての月という意味で 1 年分のカレンダー表示、月が「1」～「12」で日が「ALL」として選択した場合はすべての日という意味で 1 カ月分のカレンダー表示、月が「1」～「12」で日が「1」～「31」で選択した場合は年月日のそれぞれが 1 つの数字を指定するので 1 日分の表示がそれぞれ行われる。それぞれの HTML 成型において、前章で述べた処理方法により、入力パラメータからデータ検索を行い、出力されたリストをもとに、画像表示、観測値・統計値表示、グラフ表示、画像時系列表示等の各 HTML 文を出力する。なお、1 年分のカレンダーについては、図 9 下部のデータ存在年表のリンクからでも表示が可能であり、ユーザのマウスクリックの回数をさらに減らす工夫を行うと同時に、観測期間のおおよそを把握できるよう工夫した。

本システムは農地情報の研究者に限定公開しているが、全ユーザからはシンプルで項目を選択しやすい、というコメントが得られた。

図 10 は、図 9 の検索ページにおいてサイト名を「Tsumagoi_fs_02」、年を「2008」、月を「ALL」と選択したときに、前章で述べたカレンダー表示処理で出力した結果である。このようにキャベツ畑の 2008 年を 365 日のカレンダー形式で表示した。なお、縦軸は月、横軸は日にちであり、各日の画像は正午付近の画像を用いた。また、縦軸・横軸の仕様はユーザのニーズによって決定した。画像がない日は、何らかの原因のために未観測で、「None」と表示した。画像はサムネイルで表示し、表示の負荷を減らすよう工夫した。1 ページに年カレンダーを表示すると 1 日の画像が小さくなって詳細が見えにくくなるため、画像の詳細を見たい場合は画像ズームバーを用意し、年カレンダーの画像を拡大できるようにした。画像をクリックすると、後で述べる 1 日分データを表示する。

この表示において、カレンダーは高速に表示され、画像は小さいが圃場の農作物の様子、圃場の被覆の様子、その日々の変化は視覚で理解できるとのコメントが得られた。これは、図 6 のようにデータテーブルから各日のカレンダーテーブルをあらかじめ作成してあるために表示が高速であり、カレンダーテーブルは 12 時付近の各日ほぼ同じ時刻のデータを用いているために圃場の日々の変化が理解しやすくなっていると考えられる。また、農作物に対する変化について、いつどのような作業や現象が起きたかということを見つけるのはこの表示方法が便利である、あるいは、未観測の日が一目瞭然であり、観測機器の管理にも役立つというコメントも寄せられた。

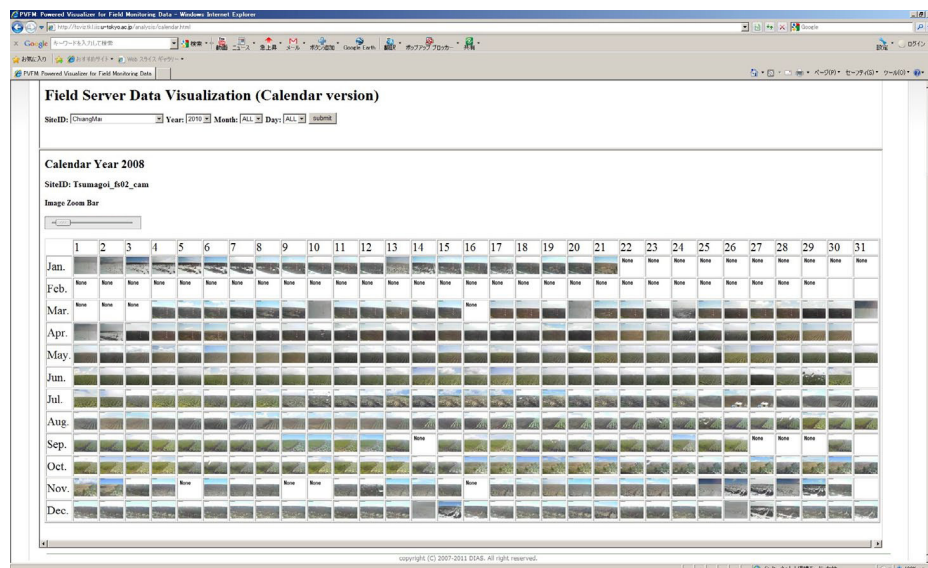


図 10 年カレンダー形式の表示

Fig. 10 Display of year calendar.

5.2 月カレンダー表示

図 11 は、図 9 の検索ページにおいてサイト名を「Tsumagoi_fs.02」、年を「2008」、月を「7」、日を「ALL」と選択したときに、前章で述べたカレンダー表示処理で出力した結果である。このようにキャベツ畑の 2008 年 7 月の 1 カ月分をカレンダー形式で表示することができた。縦軸は週、横軸は曜日であり、数字は日付である。各日の画像は正午付近のものである。また、縦軸・横軸の仕様はユーザーのニーズによって決定した。月カレンダーの場合は年カレンダーと比べて 1 ページに大きめの画像で表示することができるので、画像ズームバーは用意しなかったが、やや大きめのサムネイルを表示することで圃場の様子が理解でき、不満のコメントはなかった。画像をクリックすると、後で述べる 1 日分のデータを表示できる。

5.3 日カレンダー表示

図 12(a) は、図 9 の検索ページにおいてサイト名を「Tsumagoi_fs.02」、年を「2008」、月を「7」、日を「5」と選択したときに、前章で述べたサイト名・日付ごとのデータ表示処理で出力した結果である。なお、年カレンダー表示（サイト名「Tsumagoi_fs.02」の 2008 年）

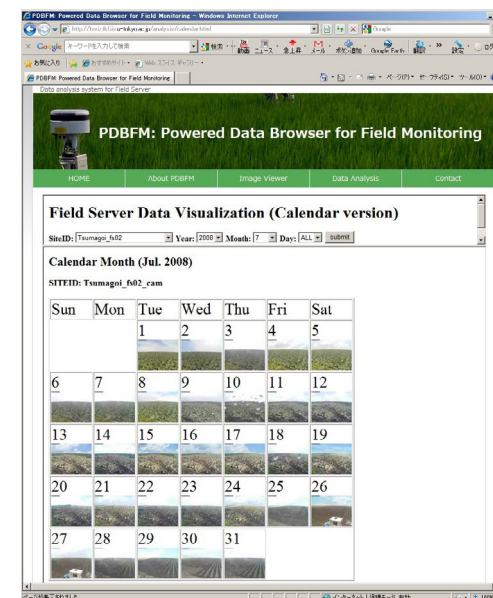


図 11 月カレンダー形式の表示

Fig. 11 Display of month calendar.

あるいは月カレンダー表示（サイト名「Tsumagoi_fs.02」の 2008 年 7 月）から 7 月 5 日の画像をクリックしても、図 12(a) の表示にたどり着くことができる。

3.1 節の機能要件 (1) で述べたとおりに、図 12(a) は上方にはその日の正午頃の画像、その日の各観測項目の最高、最低および平均を表示し、下方にはその日の 1 時間分の画像時系列を表示することができた。図 12(a) の画像時系列では、3.2 節の設計指針に従って、1 時間分のみ表示し、ページ内で表示する画像枚数を抑制した。デフォルトでは 12 時台の時系列画像を表示するが、時系列画像の上方に時刻スライドバーを設置し、バーを動かすことで表示する時系列画像の時刻を容易に非同期的に変えられるよう工夫した。画面内に時系列画像が収まるように縮小して表示したが、画像ズームバーも設置し、圃場画像を拡大・縮小できるようにし、画像を詳細にチェックできるよう配慮した。時系列画像をクリックすると、次節で示すような、1 シーンについての詳細を表示することができる。

図 12(a) のグラフ表示のリンクをクリックすると、図 12(b) のように、リンクの領域にそ

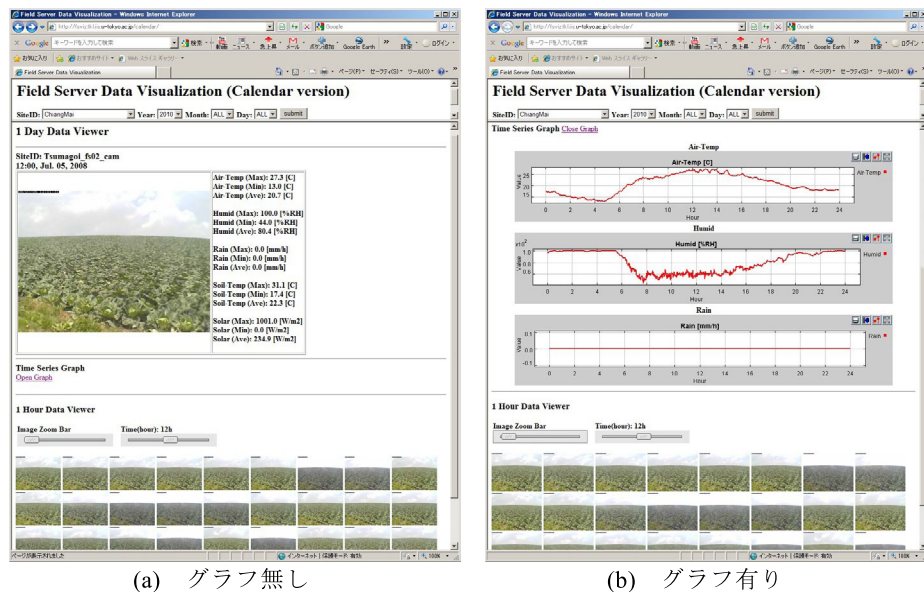


図 12 日データの表示

Fig. 12 Display of 1 day data.

の日の観測値の時系列グラフが観測項目ごとに埋め込まれる。このグラフは Java アプレットで表示しており、マウスでグラフ領域を選択するとその領域にズームインして観測データの挙動を細かくチェックできるようにした。

本節の表示において、画像の表示枚数を抑えているのでページの表示が終わるまでの時間が短くストレスを感じない、日データの表示量としては問題がない、画像をアニメーションではなくタイル状に表示しているので探したい画像が表示される順番を待たなくてすむ等のコメントが得られた。したがって、日データの概要表示、観測データのグラフ表示、1時間分の時系列画像表示等のコンテンツの表示方法、および表示するデータ量が適切であったと考えられる。

5.4 1 シーン表示

前節の画像時系列の 1 シーンをクリックしたとき、前章で述べた「1 シーンデータ詳細ページ処理」により、図 13 は、1 シーンの詳細データが表示された結果である。まず、サイト名と日時を表示し、そのときの各観測項目の観測値、圃場画像の順で表示した。図 6 の



図 13 1 シーンデータの表示

Fig. 13 Display of 1 scene data.

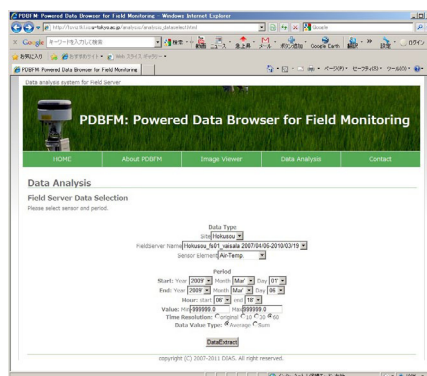
ように観測値と画像とを対応付けてデータベースに格納しているため、画像から観測データを表示することができる。また、リンクによって、前後シーンに移動することも容易である。

キャベツ畑に設置されたフィールドサーバの例では、苗を植えているシーンや収穫のシーンを容易に探すことができたというユーザからのコメントが得られた。これは、年カレンダーから 1 シーンまでの階層的な表示を実現したことで、膨大な時系列データに対して縦横無尽に探索することが可能になったためと考えられる。

5.5 解析ツール

本節では解析ツールの結果について述べる。本ツールは、前章で述べた「データ解析処理」によってデータが処理され、結果を Web ページに表示する。

まず、図 14(a) のように、データ切り出しページを設置し、切り出しに必要なパラメータはなるべくプルダウンで選択できるようにした。観測サイト名を選択すると、図 6 の FS



(a) データ切り出し



(b) グラフ出力



(c) グラフから画像検索

図 14 データ解析ツール

Fig. 14 Data analysis tool.

プロファイルテーブルを参照して、存在するフィールドサーバ名をリストアップし、フィールドサーバ名を選択すると観測項目テーブルを参照して、観測項目をリストアップし、観測項目を選択する。切り出すデータの期間、観測値の閾値、リサンプリングの時間間隔を指定して、データの切り出し処理を行う。期間は日の範囲、時刻の範囲を指定できる。リサンプリングの時間間隔はオリジナル、10 分、30 分、1 時間の 4 種類を指定できる。また、各観測項目のオリジナルデータから指定の時間間隔でリサンプリング処理を行うが、その際に値を平均で算出するか積算で算出するか指定できる。切り出したデータは解析データセットとして、図 8 の解析データテーブルに格納する。また、元データは圃場画像と対応付けが

されているが、切り出し処理後のデータについても画像との対応付け処理が行われ、解析データテーブルの解析データ ID と関連付けを行って画像のファイルパスとファイル名を解析データ・画像テーブルに格納する

解析データセットはデータ保存ページでリスト形式で見ることができるようにした。リストは、解析データセット名、サイト名、フィールドサーバ名、データ期間、物理量の単位等を表示する。ユーザは、リストアップされたデータセットの中から選択し、足し算、掛け算、割り算等の演算を施すことができる。その結果は、データ切り出し処理のときと同様で、データセットを解析データテーブルに格納し、データ保存ページにリストアップする。

データ保存ページにリストアップされたデータセットは、各種グラフ表示が可能である。データセット、グラフの種類、軸のタイプを指定すると、たとえば、図 14 (b) のように表示することができる。軸のタイトルは、データセットのプロファイルを読み込み、自動的に表示する。データセットは 1 個または 2 個選択でき、グラフの種類は時系列か散布図を選択でき、軸のタイプは線形軸か対数軸を選択できる。図 14 (b) のプロットされた点にマウスカーソルを合わせると、その点での時刻と値が表示されるようにした。また、グラフ上にプロットした各点についてリンクをはり、その点をクリックすると、関連付けられた該当時刻付近の圃場画像を検索し、画像を Web ブラウザに表示する (図 14 (c))。図 14 (b) の例では土壌水分量を表しているが、低い値から急激に上昇した部分をクリックすると、図 14 (c) のように水田に水が注入されたことを見つけることができた。

グラフ上の変化を見つけて圃場画像を見なくなったとき、従来は自分自身で記憶装置から苦労しながら画像ファイルを探して現場の様子をチェックしていたが、本システムではグラフのプロット点をクリックするだけで画像を閲覧することができ、データ解析の作業効率が非常に上がった、というコメントが得られた。本システムは、観測値と画像を常に関連付けており、データベースへの簡単な問合せ処理のみでグラフから画像を表示できるため、作業効率が上がったと考えられる。このような機能は他のシステムにはないものである。

以上のように、本解析ツールは、データセットからのグラフ化が容易である。また、センサの観測値と画像とをつねに関連付けることで、様々な演算を施したデータセットをグラフ化した後でも、プロット点の時刻付近の画像を素早く表示することが可能である。

6. PDBFM の利用事例

本章では、PDBFM が実際に利用され、新たな知見が得られた例を紹介する。

千葉県北総中央地区は、春先の強風によって土埃「やちぼこり」が舞うことで有名であ

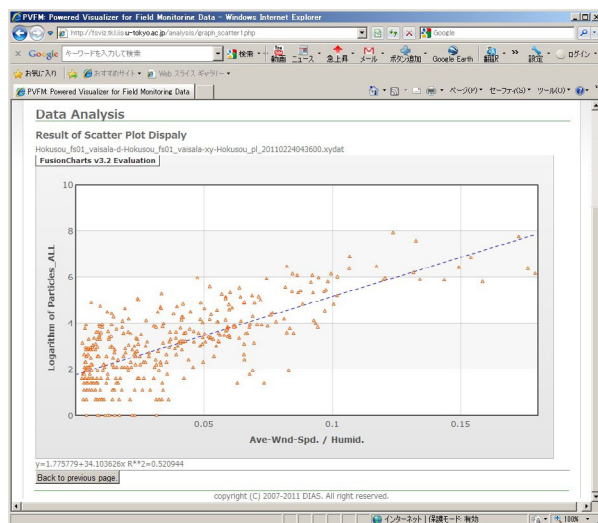


図 15 風速/湿度と土埃飛散量との散布図

Fig. 15 Scatter chart between wind-speed/humidity and dust particles.

る。「やちぼこり」は、古くから地元に住んでいる農家の人々にとっては当たり前の現象になっている。しかし、それ以外の人々にとっては、外出時にマスクが必要ある、衣類を外で干せない等、重大な環境問題となっている。最近では利根川の水がこの地区に引かれ、全国でも有数の畑作地帯へと成長しつつあるが、農業用水を夏場の作物生産だけでなく、防火用水や環境用水等、多面的に利用したいとの要望もある。春先に農業用水を散水することにより土埃飛散を防止できると考えられるが、最適な散水を行うには、その飛散の現象を理論的に理解し、散水しないときの土埃の飛散量を推定できる必要がある。

そこで、フィールドサーバを千葉県八街市の畑に設置して2分ごとに観測データを取得し、PDBFMを用いて土埃飛散の現象理解のための基礎解析が行われた。なお、この解析では、気温、湿度、気圧、風、雨量、土壌温度、土壌水分量、浮遊粒子数のデータと現地周辺の画像が使用された。

ユーザは、PDBFM上で各物理量のグラフ化やグラフ上のプロット点に対応する画像をチェックする等して、各物理量と画像とを横断的に見渡し、必要があれば物理量に対して演算処理を行うことで、土埃が発生する、あるいは発生しやすい物理量の相関性を探し出した。



図 16 土埃が起きている瞬間の画像（赤丸の部分）

Fig. 16 Images of the dust particle (part of red circle).

図 15 は、PDBFM の解析ツールで作成した、2009 年 3 月における風速/湿度と土埃飛散量との散布図である。なお、土埃飛散量は指数軸である。両者の変数には相関性があり、直線で良好に近似ができることを発見した。つまり、前日に雨が降って土が湿っていても、翌日は湿度が低く、かつ風の強い日には地表面の土粒子も大気湿度との平衡によって乾きやすく土埃が飛散することを表している。逆に、湿度が高くて低くても風が弱い日には土埃は飛散し難くなる。

また、図 15 において、プロットした点にはその観測時刻の画像へリンクがはられている

ため素早く圃場画像をチェックできる。相関性確認のため、たとえば回帰線付近の横軸の値が大きく縦軸の値が大きい点をクリックすると、図 16 のように土埃が発生した瞬間の画像を確認でき、上記の 2 変数に対する相関性を本システム上で確認することができた^{6),7)}。

上記のように、土埃が発生する際の物理量の関係性を見つけ出せたのは、簡単な操作でデータのグラフ化が可能で、短時間に何通りものグラフ化作業が行え、相関係数を自動算出でき、作業効率が上がったことによる効果だと考えられる。上記の解析だけで土埃を推定することはできないが、気象の数値予報の風速や湿度を本システムに統合し、上記の知見をもとにアプリケーションを開発すれば、土埃飛散量を推定できる可能性がある、というコメントが得られた。システムの発展性が期待でき、実用性を高めることができると考えられる。

7. ディスカッション

本章では、開発した PDBFM の特長について述べる。

PDBFM は、サーバサイドの Web ベースのデータブラウザシステムであり、ストレージシステム、DBMS、データブラウザ基盤プラットフォーム、Web サーバで構成されている。データブラウザ基盤は画像カレンダー表示、指定時刻範囲のデータ表示、データ解析等のツールで構成されているが、それぞれのツールはモジュール化されており、各モジュール内の各機能も小さなモジュールで構成されているため、拡張性やメンテナンス性に優れている。これは、今後のシステムの改良や拡張を行って実用性を高めることを考慮したためである。

PDBFM は、Web ベースのデータブラウザ環境のシステムであるため、クライアント PC では Web ブラウザ以外のソフトウェアを必要としない。また、シンプルなユーザインタフェースを考慮したシステムであるため、ユーザズガイド等のマニュアルは必要としない。サーバサイドのシステムであるため、クライアント側で膨大なデータを保持する必要がなく、観測データ、画像やグラフ化結果等のダウンロード量を低く抑える工夫をしたため、クライアント PC のリソースに負荷をかけず、Web ブラウザの表示完了までの時間を短くすることができユーザにとってストレスが少ない。

ユーザの利用コメントから、PDBFM 上で大量の画像の中から画像カレンダー表示を用いて圃場の被覆の変化を素早く見つけ出すことが可能であり、階層的に時間解像度をドリルダウンしていくことで、苗を植える作業や収穫作業等の農作業が写った画像を容易に見つけ出すことができるということが分かった。また、センサによる観測データと画像が関連付けられているため、グラフ上のプロット点のリンクから、圃場画像をチェックすることが容易であり、今までにない機能であり、データ解析の作業時間短縮に貢献することが分かった。

前章で述べたユーザによる実際の解析事例において新しい知見が得られ、PDBFM が実用的であることが確認された。

PDBFM に近いツールとして、Picasa⁸⁾ や Flickr⁹⁾ 等の Web アルバムがある。これら 2 つのツールは、容量の範囲内で大量の画像をアップロードできる。PDBFM は、画像に加えて、センサの観測データを統合して扱うことができる。データ表示においては、Flickr は画像を月カレンダー形式で整理できるが、PDBFM はそれに加えて年カレンダー形式、1 日単位形式、1 時間単位形式等の階層形式でデータを整理することができる。また、センサの観測データと画像の相互を縦横無尽に探索できる。上記に加え、PDBFM は新しい知見の発見をサポートできるため、他のシステムに比べて優位性がある。

8. おわりに

本研究では、データの爆発が起きているフィールドサーバデータの効率的なデータ利用支援を目的として、フィールドモニタリングデータのためのブラウザシステム PDBFM について検討しシステムの構築を行った。

3,300 万シーン超のデータを縦横無尽に探索できるようにするために、扱いやすい検索インタフェース、探索のヒントとなるような画像カレンダー形式表示、1 年・1 カ月・1 日・1 時間・1 シーンの階層的なデータ表示等を実現した。カレンダー表示では、圃場の概観を観察することができ、農作業や気象による圃場での急な変化については、時間解像度をドリルダウンして詳細データを表示することができ、ユーザの効率的なデータ探索と圃場の理解をサポートする。データの 1 日表示では、観測データのグラフ化や 1 時間分のみの画像表示等の表示方法の工夫を行い、表示するデータ量を抑え、ブラウザの表示にかかる時間やそれによるユーザのストレスを抑えるよう配慮した。

データ解析ツールでは、センサによる観測データの柔軟な切り出し機能、各種演算機能、各種グラフ表示機能を開発し、解析ツールにおける基本部分を構築した。観測値と圃場画像をつねに関連付けることで、観測値やそのグラフからの圃場画像を容易に表示することができ、解析の効率性を高め、実用性のある解析ツールを実現した。

本システムを利用した解析事例において、ユーザは新しい知見を得ることができ、システムはユーザの解析をサポートできることを紹介した。また、本システムには発展性があり、実用性を高められると考えられる。

今後の予定として、ユーザからのフィードバックをもとに解析ツールを改良・拡張していく。具体的には、圃場関連情報、アメダスや気象予報データ等を統合して解析ツールを発展

させ、社会に有用な情報を提供できるシステムを目指す。

謝辞 本研究は、文部科学省による委託研究費「データ統合・解析システム」からの支援を受けて行われた。よってここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 独立行政法人農業・食品産業技術研究機構中央農業総合研究センター: Field Server, 入手先(<http://model.job.affrc.go.jp/FieldServer/>).
- 2) 平藤雅之: フィールドサーバによるユビキタス環境とセンサネットワークの構築, 信学会, 第 18 回回路とシステム軽井沢ワークショップ論文集, pp.175-180 (2004).
- 3) 平藤雅之: フィールドサーバによるセンサネットワークとユビキタス環境, 農業機械学会誌, Vol.66, No.4, pp.4-9 (2004).
- 4) Ptplot, available from (<http://ptolemy.berkeley.edu/java/ptplot/>).
- 5) DIAS—データ統合・解析システム, 入手先(<http://www.editoria.u-tokyo.ac.jp/dias/>).
- 6) 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, Vol.86, pp.27-34 (2007).
- 7) 溝口 勝, 三石正一, 伊藤 哲, 小島悠揮, 深津時広, 安川雅紀, 喜連川優: フィールドサーバによる土埃モニタリング, ARIC 情報, Vol.94, pp.30-37 (2009).
- 8) Picasa ウェブアルバム—Google で無料で写真を共有, 入手先(<http://picasaweb.google.com/>).
- 9) Welcome to Flickr—Photo Sharing, available from (<http://www.flickr.com/>).

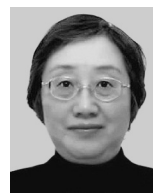
(平成 23 年 4 月 11 日受付)

(平成 23 年 9 月 12 日採録)



安川 雅紀 (正会員)

1997 年東京理科大学基礎工学部電子応用工学科卒業。2003 年同大学大学院基礎工学研究科電子応用工学専攻博士後期課程単位取得退学。同年東京大学生産技術研究所産学官連携研究員。2004 年東京理科大学博士 (工学)。同年東京大学生産技術研究所科学技術振興特任研究員。現在, 同大学地球観測データ統融合連携研究機構特任助教。地球環境を対象としたデータ統合・情報融合システムに関する研究に従事。電子情報通信学会, 日本データベース学会, 映像情報メディア学会, 日本写真測量学会各会員。



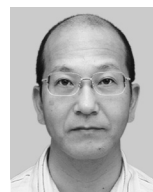
堀谷 弘子 (正会員)

1976 年お茶の水女子大学理学部数学科卒業。2002 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。工学博士。現在, 東京大学地球観測データ統融合連携研究機構特任研究員。XML データベース, データ統融合におけるメタデータに関する研究に従事。ACM 会員。



溝口 勝

1982 年東京大学農学部農業工学科卒業。1984 年同大学大学院農学系研究科博士課程中退。同年三重大学農学部農業土木学科助手。1990 年農学博士 (東京大学)。1995 年三重大学生物資源学部助教授。1999 年東京大学大学院農学生命科学研究科助教授。2003 年内閣府総合科学技術会議事務局参事官補佐併任。2008 年同大学大学院情報学環教授。2010 年同大学院農学生命科学研究科教授。農業農村工学会や土壤物理学会等の農学分野における情報利活用について研究。



木浦 卓治

1989 年愛媛大学大学院農学研究科環境保全学専攻修了。農学修士。同年農林水産省熱帯農業研究センター研究員。1995 年同省農業研究センター研究員, 主任研究員, 農業・食品産業技術総合研究機構データマイニング研究チーム長を経て, 現在, 同機構上席研究員。農業情報学会理事。農業における情報統合, センサネットワークの研究に従事。



喜連川 優（フェロー）

1978 年東京大学工学部電子工学科卒業。1983 年同大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了。工学博士。同年同大学生産技術研究所講師。現在，同教授。2003 年より同所戦略情報融合国際研究センター長。データベース工学，並列処理，Web マイニングに関する研究に従事。2009 年 ACM SIGMOD Edgar F. Codd Innovations Award 受賞。現在，電子情報通信学会副会長，日本データベース学会理事，情報処理学会フェロー，電子情報通信学会フェロー。SNIA-Japan 顧問，電子情報通信学会データ工学研究専門委員会委員長（1997～1998 年），ACM SIGMOD Japan Chapter Chair（1999～2002 年）歴任。VLDB Trustee（1997～2002 年），IEEE ICDE，PAKDD，WAIM 等ステアリング委員，IEEE ICDE Program Co-chair（1999 年），General Co-chair（2005 年）。
