

農耕地温室効果ガス計測におけるリレーショナルデータベースシステム(RDB)の活用

Application of Relational Database System (RDB) for Greenhouse Gas Measurements in Agricultural Fields

須藤重人*・伊藤雅之**・八木一行*

Shigeto Sudo, Masayuki Itoh and Kazuyuki Yagi

1. はじめに

京都議定書第一約束期間も2年目となり、我が国においても温室効果ガス発生・吸収量の算定が急務となっている。農耕地においては、水田メタン、畑地亜酸化窒素等が重要な算定対象である。従来、これらのガスフラックスの算定は、圃場において、(1)閉鎖式チャンバーを設置し、(2)一定時間後に手動でガスを採取し、(3)ガスクロマトグラフにおける濃度測定後、(4)測定値を表計算ソフトウェア上でフラックス計算する作業を要する。このため、通年のフラックス観測には非常に多くの時間と作業を要する。農環研では、こうした労力の低減のため、(1)自動開閉チャンバーの開発、(2)自動ガス採取装置の開発に成功し、昨年度の2008名古屋大会では(3)自動温室効果ガス計測器の開発と測定事例について報告した。今年度は、(4)のニーズに対して、フラックス計算の自動化と、フラックス変動に係わる環境因子(温湿度、日射、土壌理化学性等)の情報を統合したリレーショナルデータベースシステムの構築について紹介する。本システムの構成には基本ソフト(OS)にCentOS Linux Ver.5を使用しプログラミング言語(PHP5)とデータベースソフトウェア(PostgreSQL Ver.8)を使用し、WEBベースのアプリケーションとしての運用を可能にした。PHPのソースコードはオリジナルに作成した。本システムを使用することにより、(2)のガス採取作業をする担当者と(3)のガス計測担当者が相互に遠隔に位置する場合でも、各々が取得した観測値を各自の端末PCから共通のサーバに入力することができるため、情報の共有と迅速な解析をすることが可能となる。

波及的効果としては、多変量の要因解析をする場合に、必要なデータの抽出が容易になる、異常値のスクリーニング(間引き等)作業について、分析生データに遡って再解析することが容易になる、観測データの追加中であっても解析作業をすることができる、等を挙げることができる。本発表では、本RDBの概要と活用事例を紹介したい。

2. 背景

土壌ガスの観測はサンプル数が多い

地球温暖化と農耕地の関係を解明するためには、水田由来のメタン、畑地由来の亜酸化窒素等が重要な算定対象である。これらのガスフラックスの算定は、圃場において、(1)閉鎖式チャ

*物質循環研究領域、(**現京都大学)

Carbon and Nutrient Cycle Division, (**present:Kyoto University)

インベントリー、第8号、p4-11 (2010)

ンバーを設置し、(2)一定時間後に手動でガスを採取し、(3)ガスクロマトグラフにおける濃度測定後、(4)測定値を表計算ソフトウェア上でフラックス計算する作業を要する。このため、通年のフラックス観測には非常に多くの時間と作業を要する。ガスのフラックス（発生吸収動向）は、気温、地温、土壌水分、降水等に支配されるため、日変動が非常に大きい。施肥、土壌、作物等の処理の違いの影響も大きい。同一処理であっても、誤差範囲が大きい。従って、多くの反復（通常3反復）試験が必要！となり、これにともなう膨大なガス試料の計測が必要である。たとえば、3処理3反復1日3回、3点フラックス評価による測定では、 $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$ 検体の試料が発生。これに加えて、標準試料の測定も必要！都合1日100検体程度のガス分析を毎日行う必要がある。

迅速かつ高頻度のガスフラックス計測が実現には、ガス採取の自動化、ガス計測の自動化ならびにデータ処理の自動化が必要とされる。農業環境技術研究所物質循環研究領域では上記の3つの自動化手法を順次開発してきた。第1に温室効果ガス自動3成分同時分析を開発し、本手法は2009年度に特許登録（特許第4406694号）された。第2に閉鎖式チャンバー法を使用したガス自動採取装置を開発し、2008年度に特許出願（特願特願2008-011540）した。上記2発明により、ガス採取から計測までの自動化がなされ、前記(1)～(4)のうち(3)までの方法論が確立した。本報告は、残る1課題である(4)のデータ処理自動化を目的とした研究に関するものである。

RDBの活用

温室効果ガスフラックスの算定のためには、多くの説明変数（あるいは、パラメータ）（気象値、水田水位、WFPS、ガス濃度、土壌理化学性、生物群集等）を同時に調査するために、調査地と分析拠点とがそれぞれ連携して作業する必要が生じる。



図1 温室効果ガスフラックスの運用概念

従来は、各パラメータごとにエクセル等のスプレッドシートに記録し調査地毎に整理し1シーズンの観測終了を待って最終結果を共同研究機関に報告するケースが多かった。しかし、そのようなタイムラグ（データのやりとりの遅延）があると、試験中の問題点を見いだせず、調査を終了し解析して初めて気づくという悪循環になる場合もあった。また、このような情報処理の多くが PC 上とは云え、手作業であることの煩わしさから、解析作業そのものが遅れがちとなる問題もあった。また、こうした情報のやりとりを、複数の地点と一つの分析拠点ととする必要も少なからずあり、作業は益々煩雑を極める。そもそも、こうした解析作業は原理的には自動化しうる可能性はあるものの、専用のソフトウェアの開発には多額の予算が必要であり、解析のパターンは試験の種類によって多様であることから、これまでこの種のソフトウェアを活用することは原理的には簡単でも実用は困難であった。

観測地点のデータを一元管理するには、リレーショナルデータベース（RDB）を活用することが有効となる。本報告で提案する RDB は、複数の観測拠点で採取した各種観測値を WEB 上で一元管理する。現場での観測値とラボにおけるガス分析値等を一つの観測インデックス（キーとなる通し番号）で関連づけ（リレーショナル）し、全ての情報（データ）を一つのサーバーに管理して利用者（解析担当者、入力者、閲覧者等）が随時必要な情報を抽出する拠点（ベース）を構築する、すなわちリレーショナルデータベースを作るという作業となる。

この RDB をインターネット上すなわち WEB 機能を活用して運用すれば、データはサイバー空間で共有が可能となり、日々データ更新作業を続けている間も途中経過の閲覧が可能となる。従って、観測上、試験設計上の問題点が発見された場合にも迅速なフィードバック（指摘）の行われる可能性が高くなり、観測試験がより効果的なものとなることが期待される。

3. 方法

(1) データベースソフトウェア PostgreSQL の活用

多くの情報を電子情報として管理するには、一般にファイル管理という手法が用いられる。これは、SYLK や CSV といわれるカンマやスペースによって文字列を区切る形式のテキストファイルを、スプレッドシート展開ソフト（マイクロソフトエクセル等）によって表示し、情報を解析、操作する手法である。

一方、リレーショナルデータベースソフトとは、列ごとにデータカテゴリを定義した複数のテーブル（表）同士を、キーとなる列によって、関連づけをさせたマルチテーブル管理を前提とした情報管理手法のためのソフトウェアであり、マイクロソフトアクセスや dBASE、PostgreSQL といったものが例として挙げられる。

前者は、必要な情報を1枚の表に表現するため直感的にはわかりやすい表となるが、複数のテーブルにおいて共通に使用する列データを、それぞれの表毎に管理する必要があるが、1枚のスプレッド上に複数のテーブルを配置したり、グラフを作図するなどの利便性に優れる。但し、1枚のスプレッドシートで管理できるレコード数（行数）には、限りがあるため、たとえば5万行を超えるような膨大なレコード数の管理には不向きである。

後者は、テーブルの列毎の定義は厳密に定められ、表現上の自由度は下がるがレコードの規模には事実上制限がない。あるいは、前者より遙かに規模が大きい。また、同一の項目（列）の重複管理は行わず、複数のテーブルに跨って共通のレコードを参照することが容易な構造となっている。本報告で対象とする方法は、後者の方でかつ、WEB アプリケーションとして機能

するデータベースソフトである。これらのソフトウェアには有償、無償のものが併存しており、有償の代表例が Oracle、無償の代表例が PostgreSQL ないし MySQL である。

ソフトウェア名に冠された SQL（Structured Query Language）とは、構造化問い合わせ言語の略称であり、現在多くのデータベース（DB）ソフトウェアで採用されている世界標準の DB 言語である。PostgreSQL ないし MySQL はフリーのソフトウェアとして多くの WEB サイトにおいて、検索エンジン等として活用されている。フリーの基本プログラム（OS）である Linux サーバー上での運用が可能な他、Windows 版も入手可能である。いくつかの SQL ソフトの中で本報告では PostgreSQL によるデータベースシステムの構築について紹介する。

（２）PHP 言語を用いた WEB アプリケーションによるデータベースシステム

PostgreSQL は、単体では非常に簡素なフロントエンドを有するのみである。SELECT 文に代表される問い合わせコマンドを入力することで、必要なテーブルに該当する項目の条件に合致する情報のみを抽出することができる。こうしたフロントエンドは、問い合わせ言語 SQL の知識を有していないユーザーには難解であり、集積されたデータベースの活用範囲は限定されたものとなる。一方、Google など WEB 上で提供される検索サービスはこうした問い合わせ言語の知識なしで、検索語の入力のみで必要な情報を検索できる。こうしたインターフェース（この場合サイトのホームページを意味する）を備えることで初めてデータベースは広範囲にユーザーにサービスを提供することが可能となる。

検索サイトの WEB ページ上では、SQL や XML で格納されたデータ（一つのサーバーマシンを必ずしも意味しない）から必要情報を抽出して表示するための様々なスクリプト言語の活用によって、動的にページが書き換えられる仕組みがある。こうしたスクリプト言語の代表例が PHP である。PHP(PHP is Hypertext Preprocessor の略)は PostgreSQL に問い合わせを行い、また HTML（ハイパーテキスト文）文を動的に生成させる機能を有することで、データベース操作のためのフロントエンド（ユーザーサイドのインターフェースであり DB 用のホームページとも云える）を形成することができる。

図 2 は上記の言語を使用して作成した農林水産省生産局事業の運営のためのデータベースシステムのトップページである。

本 DB サーバーの使用は、ハードウェア：AT 互換機 PC，OS（基本ソフト）CentOS ver.5，WEB サーバー：Apache2，動的 WEB ページ生成：PHP5，データベースソフト：PostgreSQL ver8 の構成とした。

本事例は、全国 8 県の水田メタンガスフラックス計測担当者が、平成 20 年度、21 年度の 2 カ年にわたり水田における気象値、田面水位、酸化還元電位、土壤理化学性情報、ガス採取時分等のガス採取ビンデータを随時入力、農環研を含むガス分析担当者がガス採取ビンデータと照合しながら濃度分析値を入力し、共同作業で観測を進めるためのシステムである。

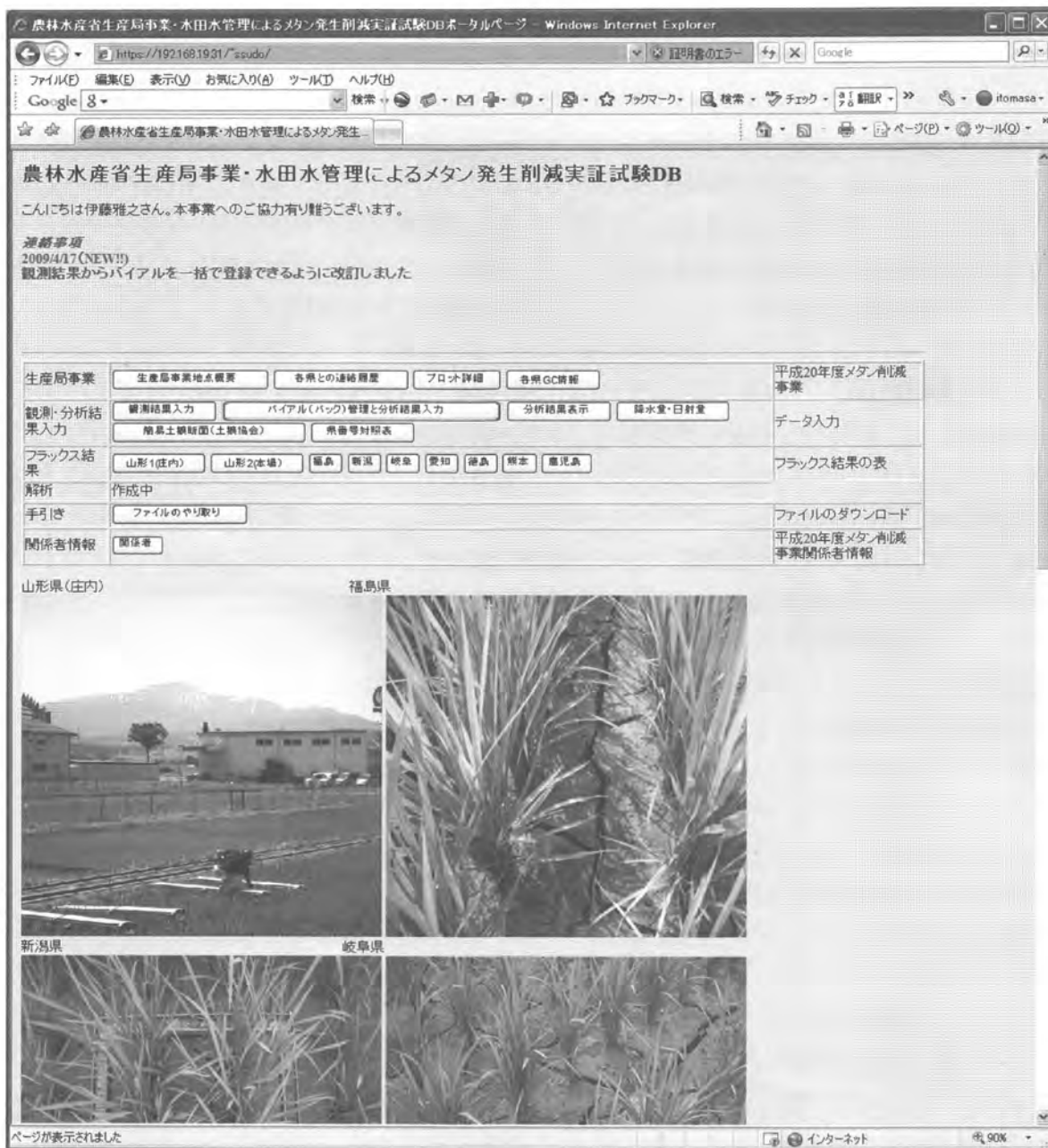


図2 PHPにより記述したデータベースシステムのトップページ

4. 運用実績

(1) アクセス制限

本事例で示したシステムは、公開の範囲を事業参画県に限定するため、アクセス元が該当県であるときに接続、認証を限定した。このため、農林水産省のネットワークシステム(MAFFIN)のゲートにおいて、サーバー運用サイトへのアクセスは、参画県に限定する仕組みをとり、サーバーの不測の侵入の防御対策を行った。また、参画県の担当者にユーザーIDとパスワードを付与し、ログイン照合をPostgreSQLに格納したユーザーリストによって行った。各参画県のメンバー(ユーザー)は、観測データの追加、修正を随時行うことができ、また、他県のデータについても相互に閲覧できることとした。

(2) データ入力の実際

現場（水田）での各種パラメータの観測が終了後、速やかに WEB 経由でサーバにアクセスし、観測結果を WEB 上で入力することとした。



図3 観測時分、気温、水位、Eh等の観測データ入力画面

マニュアル等は特に用意せず、画面を見ながらボタンをクリックし、必要な情報を入力することができるよう配慮した。

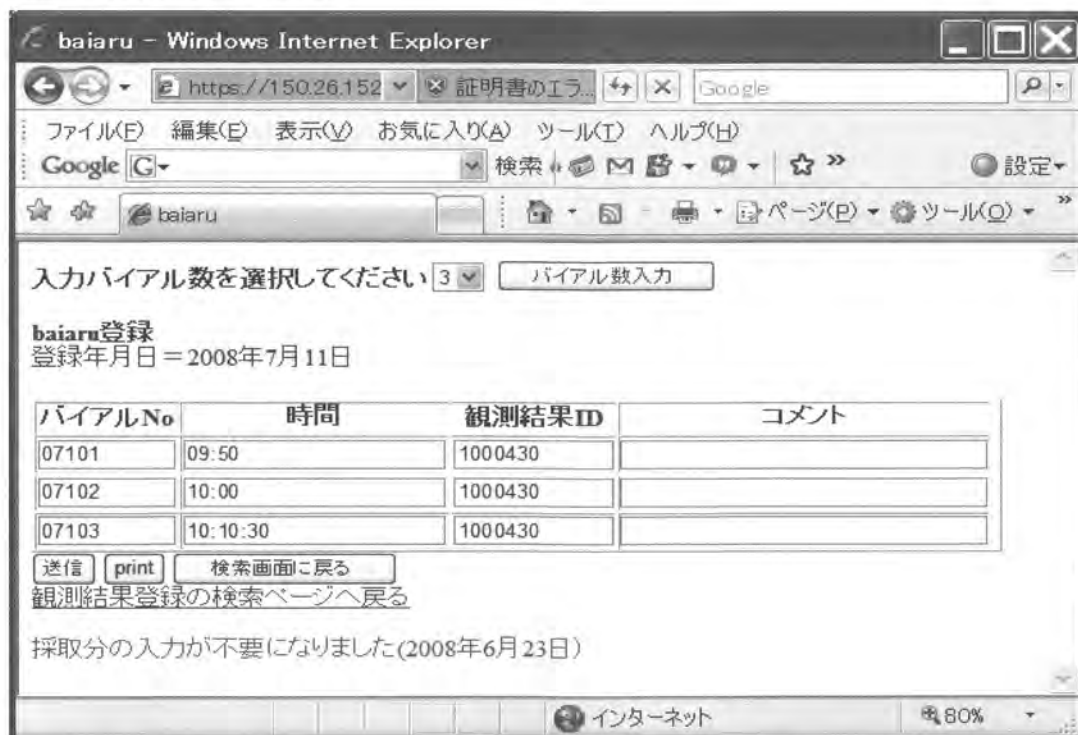


図4 ガス採取ピン情報入力

フラックス観測では、1フラックス測定に対し、チャンバー閉鎖後0分、10分、20分経過後のガス試料採取（バイアルビン）情報を入力（図4）した。このビンを経過クロマトグラフにより分析した結果（クロマトピーク面積値）を、同時に計測する入力標準物質の値に基づく検量線（最小自乗法）により、濃度、フラックス（濃度の時間増分）を算出した（図4）。

つまり、ビンの採取時分とクロマトの面積値を入力することで、フラックスをWEB上で自動計算することができる。このような作業工程により、多くの観測地点における観測に付帯する情報からガス分析値までを一括管理し、情報を共有し、かつ情報の保護も図ることが可能となった。また、気象官署より取得した気象値（気温、降水、気圧、風向、風速、日射、湿度等）を、本観測結果と同一のデータベース上に移植してあるので、DB上で観測値と照合できる。

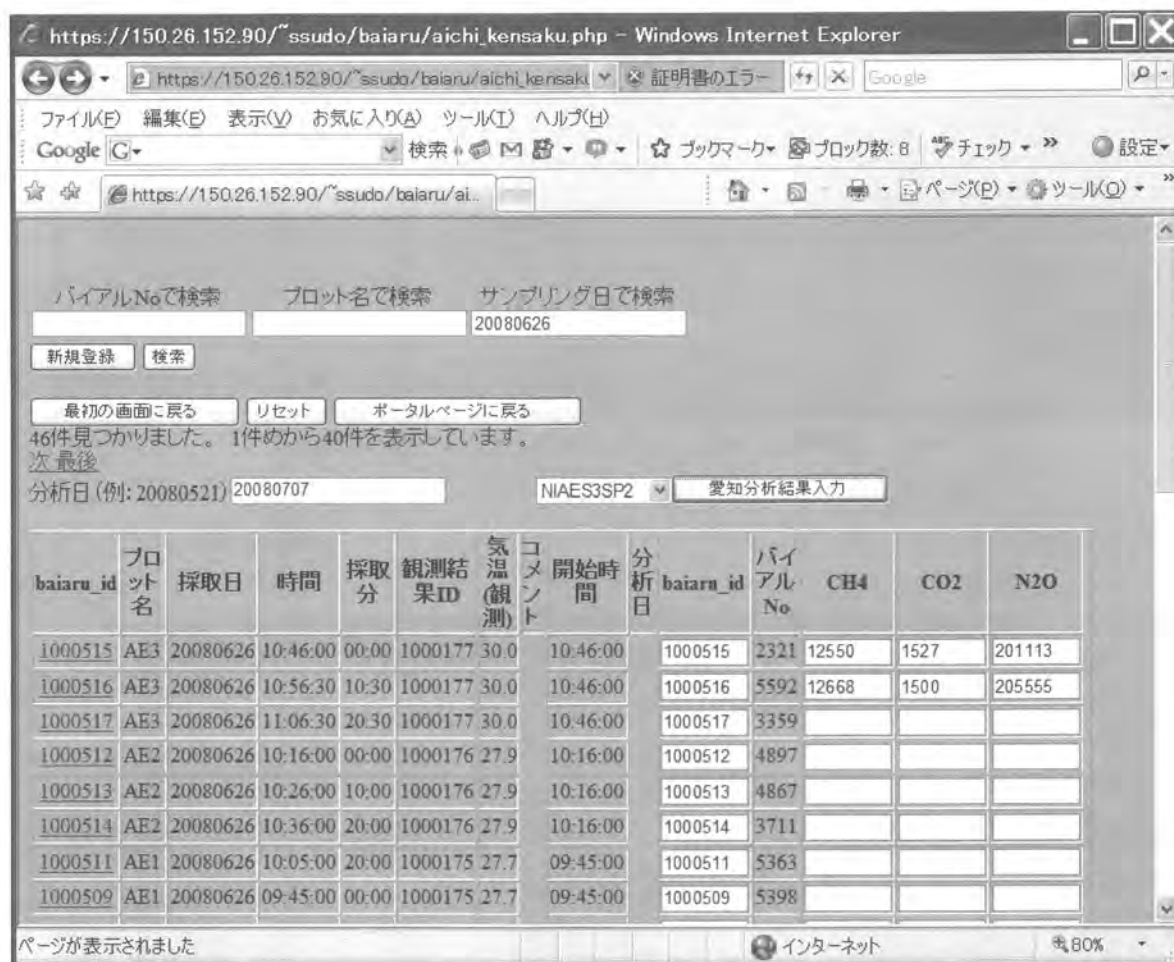


図5 クロマト面積値入力

5. まとめ

本データベースシステムは、農耕地から発生する温室効果ガスの観測値と付帯する観測情報を一括管理し、多地点の観測者が相互に情報共有を図るために開発した。

CentOS Linux をベースとし、開発言語に PostgreSQL と PHP5 を採用した。これにより、PC 本体の価格程度で、当初の運用目的に適うシステムを構築することができた。しかしながら、本システムは研究者が、自前で組んだソースプログラムであるため、まだまだ使い勝手、拡張性等に課題を残している。今後、必要なニーズを集約し、より機能的なデータベースシステム

を専門のプログラマーと連携しつつ開発していくことが望まれる。

問い合わせ先

物質循環研究領域 須藤重人

電話：029-838-8330, E-mail：ssudo@affrc.go.jp