

異なる形式の人工林成長データのデータベース 構築とWeb公開システムの開発

陳 敬忠・中島 徹・當山啓介・白石則彦

Database Construction and Web-based Disclosure System Development for Various Types of Growth Data from Plantation Forests.

Jingzhong CHEN*, Tohru NAKAJIMA*, Keisuke TOYAMA**,
and Norihiko SHIRAISHI*

1. はじめに

森林科学の研究の基本は毎木調査をはじめとするデータの蓄積である。これまでに多数の試験地が設定され、毎木調査が繰り返されてきた(新山ら, 2007)。そして、試験地を設定した大学や研究機関には膨大な調査データが蓄積されている。多くのデータは野帳、調査台帳あるいはデジタルファイルなどの形で保存されていることが多い。これらの貴重なデータを最大限に活用するのはさきわめて重要である。しかし、同じ大学や研究機関であっても森林データの項目や形式は異なり、またデータの所在も分かりにくいので、当初の目的以外にデータを活用することは難しいのが実情である。このような状態を改善するためには、調査データをデータベースに格納し利用しやすい状態で保存しておくことが必要である。統一的な形式で保存されたデータは、データ処理と解析の効率を向上させ、また一元的に管理することによって追加や訂正など確実なデータ管理が可能となる。人工林を対象に試験地を設定して立木の調査を行う場合、試験地が継続か暫定か、単木データがあるか林分データにまとめられているか、樹木番号の有無、胸高直径や樹高、枝下高や樹冠半径などの調査項目の選定など、様々な形があり得るが、データ形式のパターンは比較的類似していると考えられる。

ところで、情報通信・情報処理技術の急速な進展とともに、森林の成長データに関してもインターネットを通じてデータベースを公開・共有する研究が進められている。塩山(2005)は海外植栽林における成長情報に関するデータベースを構築した。森林総合研究所は毎木調査を中心とした長期測定データをデータベース化して森林動態データベース公開している(新山ら, 2004, 2007; 新山, 2006)。上治・今泉(2010)は森林施業計画の作成を支援する施業履歴のデータベース管理システムを開発している。しかしこれらの研究は特定の既存データの解析やデータの公開を目的とするため、互換性はなく、対象以外のデータを含めて取り扱うことは考慮されていない。

* 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.

** 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林千葉演習林
The University of Tokyo Chiba Forest, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo.

データ処理技術が進歩した今日、多様な形式の森林データを標準化して利用しやすいデータ構造を設計することにより、ひとつのデータベースに多様なデータを統合・蓄積することが可能である。データベースの構造設計等は専門的な技術者でなければ困難であるが、ひとたびデータベースが開発され、同時に利用が容易な管理・利用システムが提供されるなら、技術者以外の利用者でもデータベースのデータを扱うことができる。またインターネットを通じて操作する Web 公開システムを導入すればデータを広く共有・公開することもできる。

本研究では、これまで多数蓄積されている人工林成長データを活用していくことを目的とし、多様な形式のデータ構造を検討し、人工林成長データを蓄積するデータベースを構築した。そして併せて、インターネットを介してデータベースを扱うデータベース管理 Web アプリケーションを開発した。さらに、構築したデータベースと Web アプリケーションでデータベース管理 Web 公開システム（以下では Web 公開システムと呼ぶ）を構築することにより、人工林成長データを利用者に公開することが可能となった。

2. データ

本研究ではデータベースに格納するデータとして、東京大学千葉演習林の成長測定試験地資料、及び国有林による地域別の林分収穫表調製に用いられた人工林標準地資料を使用した。

東京大学の千葉演習林では、吉田正男博士の発意により人工林の成長経過を継続的に調査することを目的として、1916年に12ヶ所の「成長測定試験地」を設定して調査を開始した。この調査結果は50年余りを経過した時点で竹内・長谷川（1975）と鈴木ら（1999）によって取りまとめられ、冊子体で公表されている。調査は今なお継続しており、調査項目として胸高直径は毎木調査、樹高は一部の標準木を選び、今日では調査結果はすべてエクセルのファイルで保管されている。また属性データとしては、試験地名、面積、植栽年、測定年、樹木番号、樹種、林齢などを持っている。

一方、国有林においては昭和20年代から40年代にかけて、林業試験場（現・森林総合研究所）が中心となって樹種別・地域別に林分収穫表を調製する目的で人工林に標準地を設定し、調査を行った。茨城地方（林野庁・林業試験場、1959）等、35調製区域の中でアカマツ、ヒノキ、スギ、カラマツなどの樹種の林分を対象とするデータを有している。資料（以下では収穫表データと呼ぶ）は林分データとして取りまとめられ、調製された林分収穫表とともに、収穫表調製業務研究資料として発行されている。収穫表データには、対象地域、樹種、プロット番号、林齢、ha 当たり立木本数、平均胸高直径、平均樹高、ha 当たり胸高断面積、ha 当たり蓄積などの属性が含まれる。

3. Web 公開システム構築

3.1 開発環境

人工林データを蓄積するデータベース管理システムはリレーショナルデータベースシステムとして PostgreSQL を使用した。PostgreSQL はオリジナルのバークレイ校のソースコードを引き継ぐオープンソースのデータベースで、標準 SQL の大部分やその他の最新の機能をサポートしている。同時に、ユーザは PostgreSQL に例えば新規にデータ型、関数、演算子などを付け加えることで拡張できる。さらにライセンス条件が厳しくないため、PostgreSQL は誰にでも、その使用、変更、配布を個人使用、商用、学術など目的を問わず無償で可能である（PostgreSQL グ

ローバル開発グループ, 2013)。PostgreSQL は商用データベースシステムと比較して機能的及び性能的に遜色がないことから、企業などでも採用されつつある。また、予算に制約のある教育機関にとっては最適なデータベースシステムといえる (森ら, 2005)。国内の森林分野においても、PostgreSQL を使用してデータベースを構築した研究がある (新山ら, 2004)。

次に、本研究の Web アプリケーション^{注1)}の開発には Java 言語を使用した。Java 言語は「プラットフォームに依存しないアプリケーションソフトウェアの開発と配備を行うことができる」、「開発されたソフトウェアは堅牢な実行環境である Java 仮想マシンのもとで動作する」、「オブジェクト指向プログラミングの考え方に基づいて設計された言語であり、ソフトウェアの開発と保守の複雑さを低減し、開発効率と保守性を高める」等の優れた特徴を持つ (CHARHIGH, 2013)。

Web アプリケーションの開発は Java サーブレットを使用する。Java サーブレットは、サーバ側の Java EE の構成要素であり、クライアントから受けた要求 (request) に対する応答 (response) を生成する。開発する Web アプリケーションは Web ブラウザから要求を受け、応答として XHTML/HTML の Web ページを生成する。また、Web アプリケーションの開発においては、開発をサポートするフレームワーク Struts^{注2)}を利用した。

Web アプリケーションの動作環境については、森林における Web 公開システムは金融機関などの大きな商用システムに比べてアクセス量がかなり少ないと想定されるため、軽量の Web 公開システムとして Apache 社が提供するフリーソフトウェアの Tomcat を使用して Web サーバを構築した。開発環境としては Windows と統合開発環境 Eclipse を使用し、データベースと Web 公開システムの動作環境としては Linux を利用することとした。

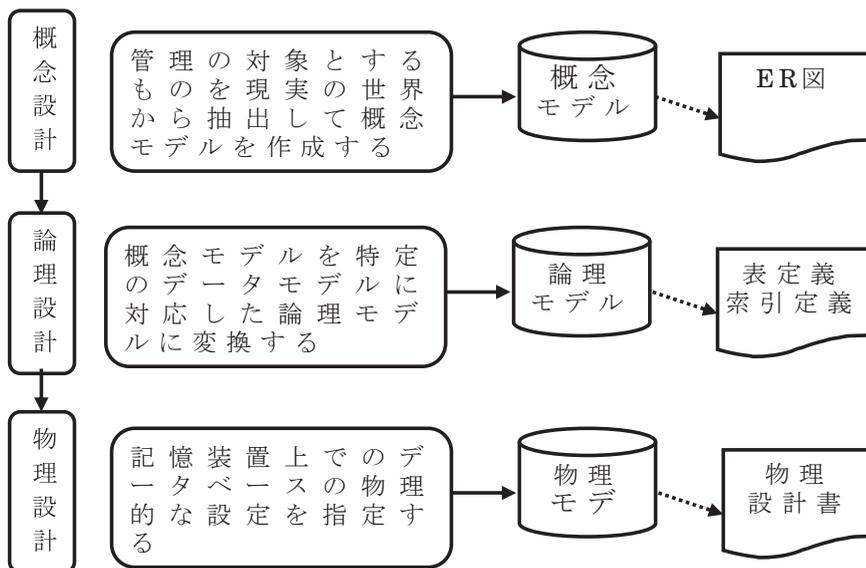


図-1 データベース設計手順
Fig. 1. Database design procedure

注1) Web アプリケーション (Web application) は、インターネットなどのネットワークを介して使用するアプリケーションソフトウェアである。

注2) Struts とは、Jakarta プロジェクトが開発しているオープンソースのソフトウェアで、Java 言語を用いて Web アプリケーションを開発する際の必要な基盤 (フレームワーク) となるものである。

3.2 データベース設計

データベース設計とは、ソフトウェア開発工程においてデータベースの詳細なデータモデルを作る工程である (DOGAC *et al.*, 1989)。データベース設計は要件分析、概念設計、論理設計及び物理設計の4段階 (STOREY, 1991) からなるが、データモデル作成に関する段階は概念設計、論理設計及び物理設計の3段階である (都司・宝珍, 2003)。データモデル作成の各段階における設計の手順及びアウトプットとするデータモデルを図-1に示す。このデータモデルに従い、設計の各段階で表定義、索引定義、物理設計書などの作成を通じ、データベースを構築していく。

3.3 Web アプリケーション開発

3.3.1 ソフトウェア開発方法論

本研究では、オブジェクト指向開発方法論を使用する。オブジェクト指向開発方法論は、オブジェクト指向分析とオブジェクト指向設計を含めた、オブジェクト指向開発の具体的な方法論である。この方法論を用いることで、統一モデリング言語 (Unified Modeling Language, UML) (GRADY *et al.*, 1998; OMG, 2011) で記述するメリットが生まれる。そこで、オブジェクト指向開発方法論を使用して、UMLの記述方法で分析設計を行う方法について検討した。

3.3.2 オブジェクト指向分析設計

オブジェクト指向分析は、システム化の対象となる領域を対象とし、分析の対象となる問題領域に存在する様々な情報の概念的なモデルを作ることを目標とする工程である。この工程では、成果物となるユースケースがユースケース図を使って描かれる。ユースケースとは、サービスを提供するシステムと、システムの外部にいて、システムからサービスを受ける利用者や他のシステムとの間の相互作用を時系列で記述した要求仕様の記述形式である (JACOBSON *et al.*, 1992)。ユースケースの記述を通じて、Web アプリケーションの機能を客観的に表現することができる。

オブジェクト指向設計は、オブジェクト指向分析で得られた分析モデルを、様々な種類の制約を考慮したモデルに変換する工程である。この工程では成果物としてシーケンス図とクラス図を作成する。シーケンス図とは、クラスやオブジェクト間のやりとりを時間軸に沿って表現する図、クラス図とは、クラス、属性とクラス間の関係からシステムの構造を記述する静的な構造図である。クラス図からソースコードに変換することができるので、開発には便利である。本研究においてもシーケンス図とクラス図が Web アプリケーションを開発する基になる。

3.3.3 Web アプリケーションの構造

アプリケーションフレームワークは、特定のオペレーティングシステム (OS) のためにアプリケーションソフトウェアの標準的な構造を実装するために使われる。大量の再利用可能なソースコードをアプリケーションフレームワークに統合することにより、開発者の負担を大きく軽減することができる。本研究で用いる Struts は MVC (Model View Controller) モデルに基づいたフレームワークであり、開発効率の向上、作業分担が容易、画面デザインの変更が容易、品質保証、柔軟な画面遷移の実現などのメリットがある。ここで、MVC モデルは、コンピュータ内部のデータをユーザに提示し、それに対してユーザが何らかの指示を出すタイプの、独自のユーザインターフェースをもつアプリケーションソフトウェアを、Model・View・Controller の三つ

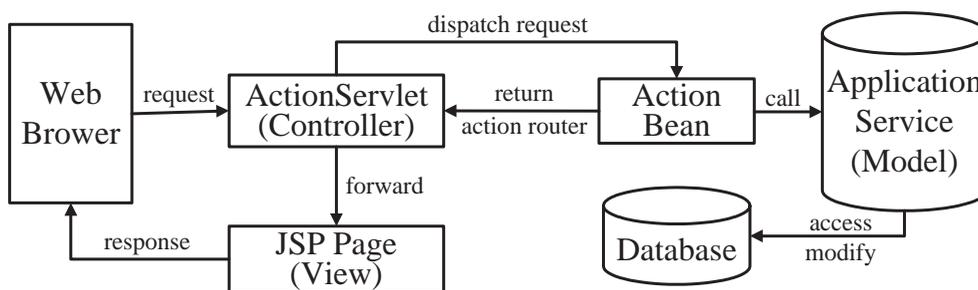


図-2 MVCの構造図

Fig. 2. MVC structural drawing

の要素に分割して設計・実装するという技法である。Modelはそのアプリケーションが扱う領域のデータと手続きを表現する要素である。また、データの操作をViewに通知するのもModelの役割である。ViewはModelのデータを取り出してユーザが見るのに適した形で表示する要素、Controllerはユーザの入力に対して応答し、それを処理する要素である。本研究では、MVCモデルに基づいてStrutsを利用しWebアプリケーションを構築する。構築するアプリケーションのMVCの構造を図-2に示す。

3.4 Web公開システム機能

本研究で開発するWeb公開システムではシステム管理機能、データ管理機能及びデータ利用機能を独立して提供する。Web公開システムを使用するユーザはシステム管理者、データ管理者、及びデータ利用者に分けられる。システム管理者は「システム管理」の権限があってシステム管理機能を使用し、データ管理者は「データ管理」の権限があってデータ管理機能を使用し、データ利用者は「データ利用」の権限があってデータ利用機能を使用する。

3.4.1 システム管理

①アカウント管理

Web公開システムを利用するユーザのアカウント情報と権限を管理する機能である。システムを使用するにはログインする必要がある。システムのログインはアカウントとパスワードによる認証を基本とする。この機能はシステム管理、データ管理及びデータ利用の機能を利用する各ユーザ権限を別々に設定し、登録・更新・検索するサブ機能を含む。

②システムの属性データ管理

システムの属性データ管理は大学管理、演習林管理、樹種管理、材積表管理、調製地域管理などの機能があり、大学、演習林、樹種、材積表、調製地域などのシステム内で共通に利用される属性データを別々に登録・修正・検索する機能を含む。

3.4.2 データ管理

①プロット管理、樹木管理、成長測定データ管理

演習林のプロット、樹木や成長測定データを登録・修正・検索できる機能が含まれる。成長測定データ管理という機能において、エクセル形式のデータを一括アップロードして、また単木の属性値によって検索して表示してダウンロードすることができる。

②成長測定データチェック

登録したデータをプロットごとにチェックして、チェックの結果を表示する機能である。またこの機能には、不具合のあるデータに対して修正・削除するサブ機能を含む。

③樹高・材積推定

この機能は登録した標本木の樹高成長データを基に樹高曲線を作成して、標本木以外の樹高を推定することができる。樹高曲線の作成は Näslund 式, Henricksen 式, Michailoff 式と相対成長式を使用する。各式の関数式と線形になるように変換した直線式を以下のように示す。

(1) Näslund 式

$$H = \frac{D^2}{(a+bd)^2} \quad \Rightarrow \quad \frac{D}{\sqrt{H}} = aD+b$$

(2) Henricksen 式

$$H = a + b \log D \quad \Rightarrow \quad \text{関数式と同じ}$$

(3) Michailoff 式

$$H = a \cdot e^{-\frac{b}{D}} \quad \Rightarrow \quad \log H = \log a - \frac{b}{D}$$

(4) 相対成長式

$$H = a \cdot D^b \quad \Rightarrow \quad \log H = \log a + b \log D$$

ただし、D：胸高直径，H：樹高，a，b：パラメータ，左側が関数式で，右側が直線式である。

また，胸高直径と樹高によって二変数の材積式（林野庁計画課編，1970a, b）を用いて単木ごとの材積を自動的に計算する。さらに，プロットを林分として，林分レベルの平均胸高直径，平均樹高，胸高断面積合計，蓄積，本数密度など二次的な情報を作成する。

④推定データ管理

上の③によって得られた樹高・材積などの推定値を検索して，樹木番号や胸高直径などの実測値とともにダウンロードすることができる機能である。

⑤林分管理

年ごとの測定データを単位として林分レベルの平均胸高直径・平均樹高・胸高断面積合計・材積合計・本数密度などの値を検索することと，検索したデータをダウンロードする機能である。

⑥成長経過管理

プロットを単位として林分レベルの平均胸高直径・平均樹高・胸高断面積合計・材積合計・本数密度などの二次的なデータを図示する機能である。

⑦収穫表データ管理

収穫表データを登録・修正・検索・アップロード・ダウンロードする機能である。

3.4.3 データ利用

①成長測定データ検索

データベースのデータをデータ利用者に公開するために，単木の属性値によって成長測定デー

タを検索・ダウンロードする機能である。検索対象とするデータは成長測定データに含まれる実測データ及び前節のデータ管理によって推定により補われたデータである。

②林分検索

試験地プロットを単位として林分レベルの平均胸高直径・平均樹高・胸高断面積合計・材積合計・本数密度を検索すること、そして検索したデータをダウンロードする機能である。

③成長経過検索

試験地プロットを単位として林分レベルの平均胸高直径・平均樹高・胸高断面積合計・材積合計・本数密度などのデータと図を表示する機能である。

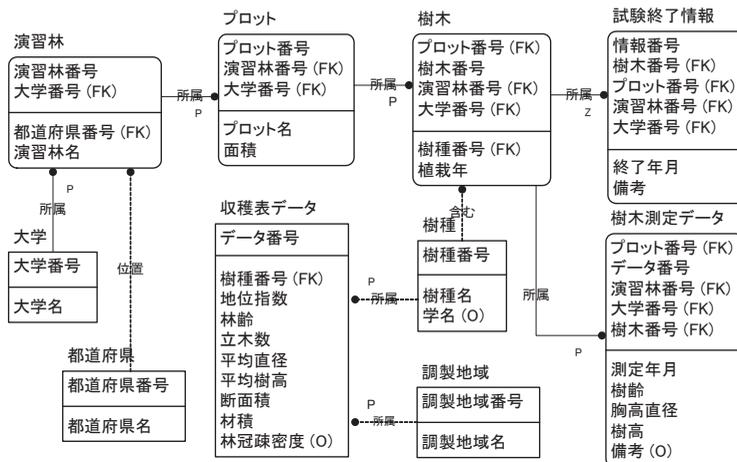
④収穫表データ検索

収穫表データを検索・アップロード・ダウンロードする機能である。

4. 結果

4.1 データベース設計

研究対象データをデータベースの形に落とし込んだ具体的な成果物としては、まず概念モデル^{注3)}が作成される。本研究では IDEF1X (THOMAS, 1992; NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY, 1993) の技法によって記述する ER 図^{注4)} (Entity-relationship Diagram) で表わされた概念モデルを図-3に示す。リレーション^{注5)}に格納されたレコード^{注6)}を一意に識別する主キー^{注7)}は各実体 (Entity) の上部の項目にあり、データ整合性^{注8)} (Data integrity) を保つための機能で指定される参照列 (外部キー^{注9)}) を図中で FK と表記する。この概念モデルでは、



※ FK : 実体の外部キー, O : 必須ではない属性を表す, P : 実体の間に 1 対複数の関係を表す, Z : 実体の間に 1 対 0 または 1 対 1 の関係を表す

図-3 概念モデル ER 図

Fig. 3. Entity-relationship diagram of the conceptual model

- 注3) 概念モデルはデータベース化の対象となる実世界について、そのデータ構造と一貫性制約を記述したものである。
 注4) ER 図とはデータの構造や関係を記述するための構造モデルである E-R モデルを記述するための表記方法のことである。
 注5) リレーションとは関係モデルにおいて、データを関連付けている属性の集合のことである。
 注6) レコードとはデータベースを構成する単位のひとつで、データの 1 件分のことである。
 注7) 主キーは関係データベースの表において、行を一意に識別するために選択された列である。
 注8) データ整合性はデータが一貫していて正しくアクセス可能であることを保証するものである。
 注9) 外部キーとはリレーショナルデータベースの参照制約で指定される参照列のことである。

管理の対象とするデータを現実の世界から抽出して作成したものである。図のような各エンティティには、東京大学千葉演習林の成長測定試験地資料及び国有林による地域別の収穫表調製に使用された人工林の標準地資料に関する様々な属性が含まれる。

以上の概念モデルに対して論理モデルの作成は、使用する PostgreSQL のような具体的なデータベース実装を目的としたモデル設計が必要となる。論理設計の成果物を図-4の論理設計図として示す。本来、概念モデルと論理モデルの間で整合性が維持されていることが望ましいのであるが、データベース実装を考慮すると、この2つのモデル間で乖離が発生する。乖離の発生は主キーの変換と正規化^{注10)}(BAVIN, 2006; 石川, 2008)のため、概念モデルの属性と論理モデルの項目が一致しないことに起因する。主キーの変換は概念モデルの複数の項目からなる主キーを論理モデルの単一の項目からなる主キー(図中でpkで表記する)に変換することである。つまり、各テーブルにidという項目を作り、自動的にユニーク番号を与えることにより、データに識別性を持たせることができる。この場合、id項目にユニークインデックスとして制約を与えることによって、同じデータが二重登録されることを防いでいる。また、外部キー(図中でfkで表記する)を作成することによってテーブルの間にリレーションを作成する。さらに、データベースに保存するカラムは、様々なデータ型で定義されている。図の表記のように、現実世界のデータの型は、整数がINTEGER、数値がNUMERIC、文字列がVARCHAR、日付がTIMESTAMPで表現される。またNUMERICの括弧にある二つの数字はそれぞれ数値の最大桁数と小数点以下の桁数であり、VARCHARの括弧にある数字は文字列の最大桁数である。

物理設計としては、今回開発したWeb公開システムはそれほど大量のアクセスがないと想定されるので、PostgreSQLのデフォルトの設定でデータベースを構築することとして設計を行った。

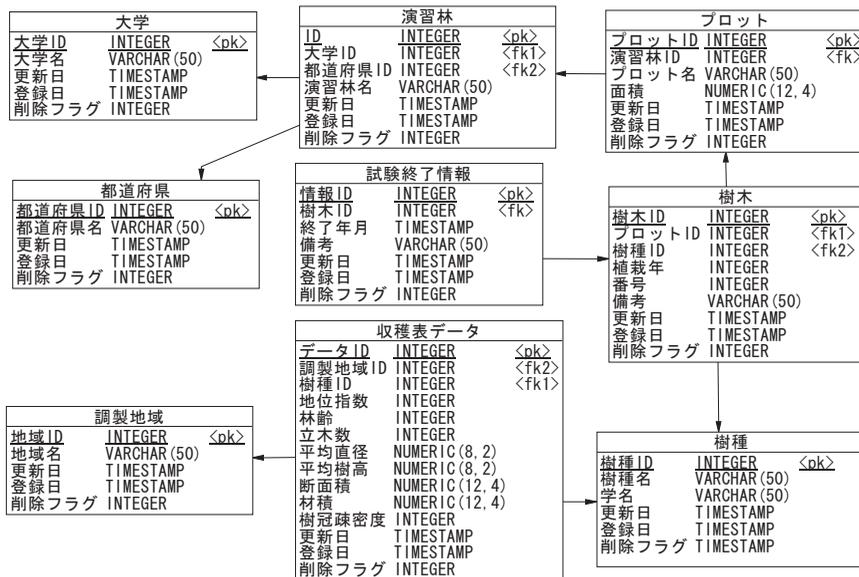


図-4 論理設計図

Fig. 4. Diagram of logical design

注10) 正規化とはデータの重複をなくすことにより、データの管理を容易に行い、データを多様な目的に用いるために有効な方法で、データベースの構築の基本となる技法である。

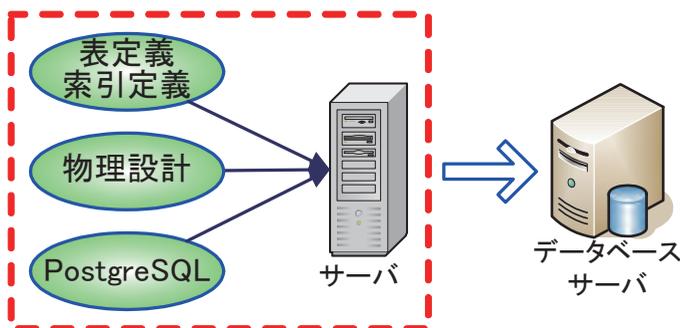


図-5 データベースサーバ構造図

Fig. 5. Database server structural drawing

表-1 蓄積されたデータ一覧表
Table 1. List of accumulated data

	単木 (本)	データ件数
成長測定データ (千葉演習林)	2,990	25,300
収穫表データ (国有林)	-	1,000

以上のデータベース設計の方法で得られた表定義、索引定義、物理設計等で定義した情報に基づいて PostgreSQL とサーバを利用してデータベースサーバを構築した。データベースサーバの構造を図-5に示す。データベースサーバを構築する手順は、まず、物理設計に基づいて PostgreSQL でデータベースを作成する。次に、表定義によって各テーブルを作成し、また索引定義によって各テーブルに対して索引を作成する。最後に、データベース管理のユーザを作って、Web 公開システムが利用できるように公開する。このデータベースサーバを利用して研究対象データの人工林成長データをデータベースに登録することができる。また、PostgreSQL は Java 言語によって操作できる JDBC^{注11)} (Java DataBase Connectivity driver : Java データベース接続駆動機) を持っており、Java 言語で構築する Web 公開システムは JDBC を利用してデータベースを扱うことができる。本研究で構築したデータベースに蓄積されたデータの一覧を表-1に示す。

4.2 Web アプリケーション開発

まず、システムの分析段階においては、ユースケース図で分析の成果物を記述する。今回のシステム分析では、システム管理者、データ管理者そしてデータ利用者に分けて定義される機能をユースケース図に記述した(図-6)。図中の各々の楕円形は独立した機能を定義している。図を見ると各ユーザが扱うことのできる機能が重複なく整理されていることが分かる。

次に、システムの設計段階における成果物は、シーケンス図とクラス図で示される。いいかえれば、Web アプリケーションはシーケンス図とクラス図などの設計書によって開発されている。シーケンス図はモデル処理のフローを記述して、オブジェクト^{注12)}間のメッセージの流れを時

注 11) JDBC とはプログラミング言語の Java からデータベースへアクセスするために用いられる API のことである。

注 12) オブジェクト指向プログラミングにおいて、プログラム上の手続きの対象を抽象化する概念である。

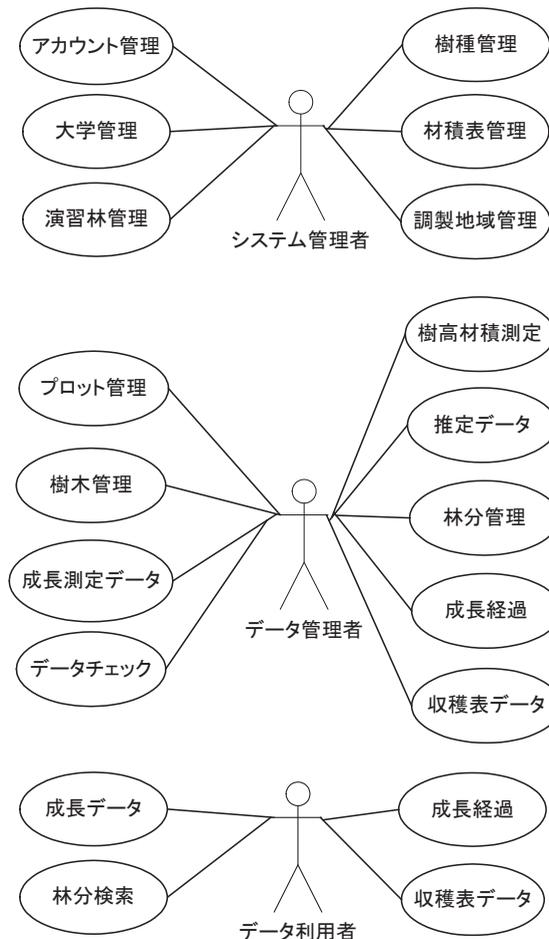


図-6 ユースケース

Fig. 6. Use case diagram

系列的に表現している。例として成長測定データ登録機能のシーケンス図を図-7に示した。シーケンス図には、データを扱うアクター^{注13)}を指定し、アクターとオブジェクト（長方形で記述し、オブジェクト名を長方形の中身に書き込む）間のメッセージ（矢印で記述して、矢印の上処理の順番とメソッド名を付ける）を示す。図-7で記述した成長測定データ登録機能は **Web Manager**（Web画面を操作する人）、**WebPage**（ブラウザで表示するWeb画面）、**ActionServlet**（Web画面のリクエストを応答するアクションクラス）、**RegisterMeasureDataCheckAction**（Web画面から入力した成長測定データのフォーマットが正しいかをチェックするアクションクラス）、**RegisterMeasureDataAction**（成長測定データを登録する処理を行うアクションクラス）、**MeasureDataForm**（Web画面から入力した成長測定データ

注13) アクターとはシステムとの相互作用においてある役割を果たす人や組織や外部システムで、線で描いた人型で表される。

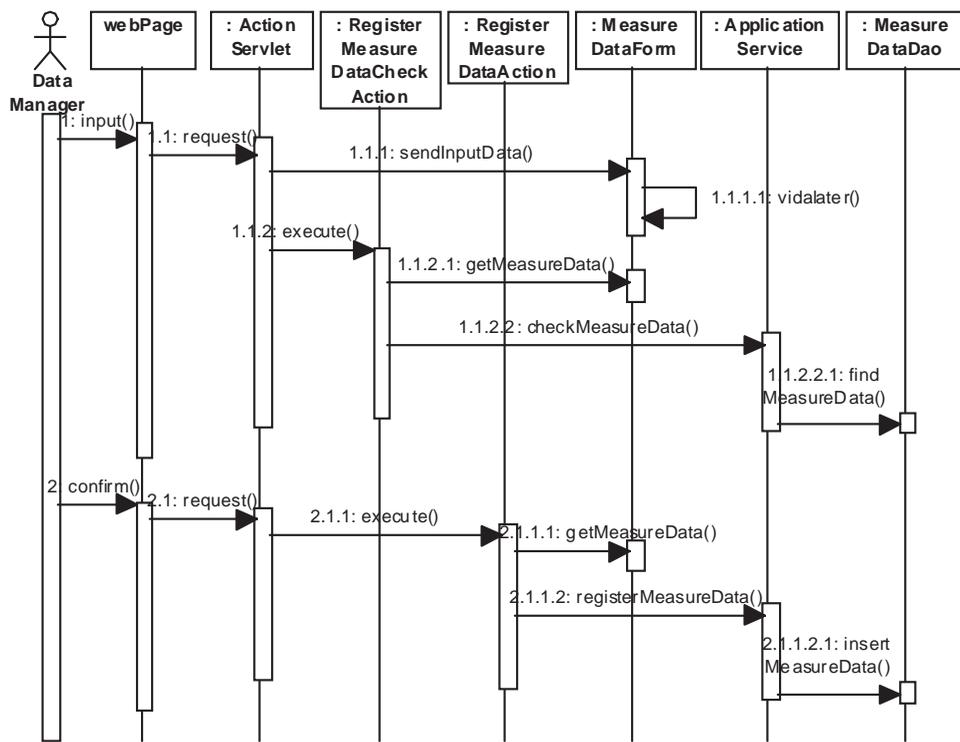


図-7 成長測定データ登録のシーケンス図

Fig. 7. Sequence diagram of growth data registration

を保存するフォームクラス), `ApplicationService` (成長測定データ登録のロジック注14) などの様々な処理を含むクラス), `MeasureDataDao` (データベースの成長測定データを扱う Dao クラス) から構成されている。図-7で記述されている処理の順番(数字順:メッセージ名に記述する)は以下のとおりである。

(1) データ管理者はブラウザで Web 画面を操作して「input()」で成長測定データを Web 画面に入力する。

(1.1) Web 画面は「request()」で入力した成長測定データをチェックするリクエストを `ActionServlet` に送る。

(1.1.1) `ActionServlet` はリクエストに回答して、「sendInputData()」で Web 画面空の成長測定データを `MeasureDataForm` に保存する。

(1.1.1.1) `MeasureDataForm` は成長測定データのフォーマットをチェックする。フォーマットが正しい場合(たとえば、樹高として「20.1」が入力される), (1.1.2) の処理を続ける。フォーマットはエラーの場合(たとえば、樹高として「abcd」が入力される) Web 画面にエラーの情報を表示する。

(1.1.2) `ActionServlet` は「execute()」で成長測定データをチェックする指令を

注 14) ロジックは、プログラミングやシステム開発では処理の流れや利用しているアルゴリズムなど、コードが体現する論理のことである。

RegisterMeasureDataCheckAction に送る。

(1.1.2.1) RegisterMeasureDataCheckAction は「getMeasureData()」で MeasureDataForm から成長測定データを取得する。

(1.1.2.2) RegisterMeasureDataCheckAction は「checkMeasureData()」で成長測定データをすでに登録したかをチェックする指令を ApplicationService に送る。

(1.1.2.2.1) ApplicationService は「findMeasureData()」でデータベースから成長測定データを検索してデータベースに存在するか探す指令を MeasureDataDao に送る。成長測定データが存在しない場合 (2) の処理に進む。成長測定データが存在する場合 Web 画面にエラーの情報を表示する。

(2) データ管理者は Web 画面を操作して「confirm()」によって成長測定データを登録することを Web 画面で確認する。

(2.1) Web 画面は「request()」で成長測定データを登録するリクエストを ActionServlet に送る。

(2.1.1) ActionServlet は「execute()」で成長測定データを登録する指令を RegisterMeasureDataAction に送る。

(2.1.1.1) RegisterMeasureDataAction は「getMeasureData()」で MeasureDataForm から成長測定データを取得する。

(2.1.1.2) RegisterMeasureDataCheckAction は「registerMeasureData()」で成長測定データを登録する指令を ApplicationService に送る。

(2.1.1.2.1) ApplicationService は「insertMeasureData()」でデータベースに成長測定データを登録する指令を MeasureDataDao に送る。MeasureDataDao は成長測定データをデータベースに登録する。

次に、ユースケース図に定義した機能ごとにクラス図を作成した。クラス図は Web アプリケーションを実装する元として、ソースコードへの変換が可能である。例として成長測定データ登録に関する機能のクラス図 (図-8) を示す。図-8 では、クラス名を太字で記述し、クラス名

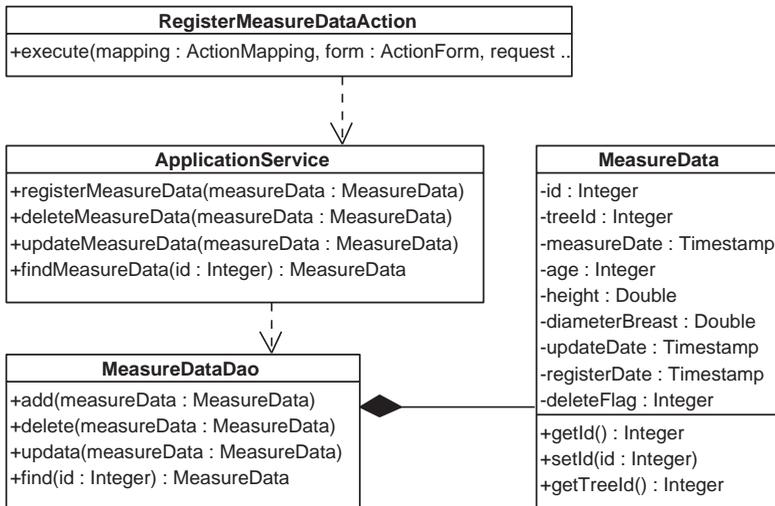


図-8 成長測定データ登録のクラス図

Fig. 8. Class diagram of growth data registration

の下に属性あるいはメソッドを記述する。クラス間の線はクラス間の関係を表している。破線の矢印は依存関係^{注15)}である。図-8は RegisterMeasureDataAction クラス, ApplicationService クラス, MeasureDataDao クラス, MeasureData クラス (成長測定データを保存するクラス) から構成されており, 各々のクラスは以下メソッドを持っている。

RegisterMeasureDataAction には「execute」(成長測定データ登録処理) メソッドがある。

ApplicationService クラスには「RegisterMeasureData」(成長測定データ登録のロジック), 「deleteMeasureData」(成長測定データ削除のロジック), 「updateMeasureData」(成長測定データ更新のロジック), 「findMeasureData」(成長測定データ検索のロジック) などのメソッドがある。

MeasureDataDao クラスには「add」(成長測定データをデータベースに登録する処理), 「delete」(成長測定データをデータベースに削除する処理), 「update」(成長測定データをデータベースに更新する処理), 「find」(成長測定データをデータベースに検索する処理) などのメソッドがある。

MeasureData クラスには成長測定データの属性データに関する「id」, 「treeId」, 「measureDate」などの属性があり, 「getId」(成長測定データの id を取得する), 「setId」(成長測定データの id を設定する), 「getTreeId」(成長測定データの樹木 id を取得する) などのメソッドがある。

クラス図とソースコードとの対応の例を図-9に示す。図-9のソースコードは図-8の MeasureDataDao クラス図を Java 言語で記述したものである。図-9のように, クラス図とソ

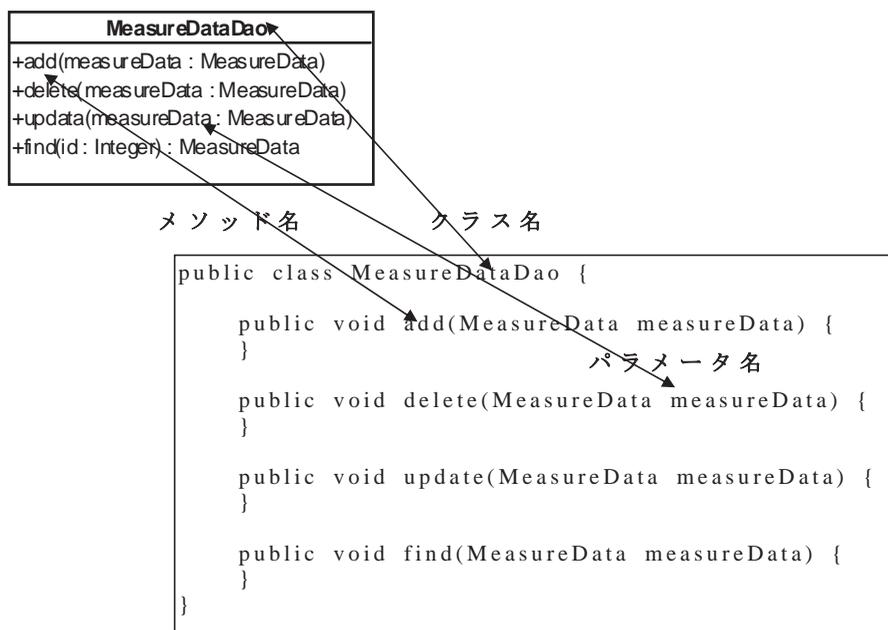


図-9 MeasureDataDao クラス図と Java ソースコード

Fig. 9. Class diagram of MeasureData DAO and Java source code

注 15) 依存関係とは, あるクラスが他のクラスを使用する関係, またはこれに依存する関係のことをいう。

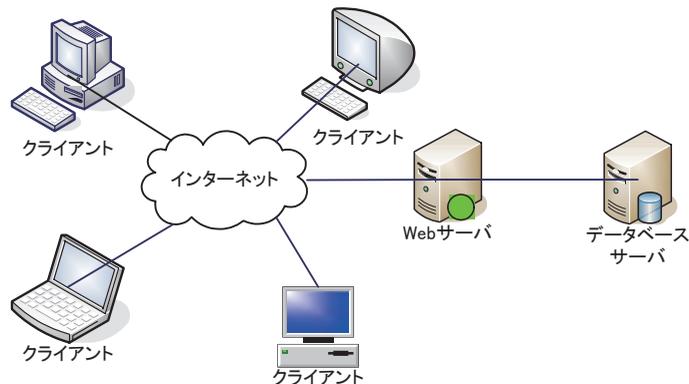


図- 10 Web 公開システム構造図

Fig. 10. Web-based disclosure system structural drawing

ースコードのクラス名、メソッド名とパラメータなどはそれぞれ対応する。

以上の例のように、シーケンス図とクラス図はシステムの各機能を図の形で文書化したものでプログラムのソースコードとの対応が明確な設計書として保存される。いいかえれば、ソースコードの開発はシーケンスとクラス図によって簡単にコーディングすることができるのである。また、実装したソースコードがシステムの機能を実現できるか否かを検証する際にも、シーケンスとクラス図が有効である。

以上のようにして構築したデータベースと開発した Web アプリケーションにより、Web サーバで Web 公開システムを構築する。構築した Web 公開システムの構造図を図- 10 に示す。本システムの仕組みは、Web サーバがデータベースのデータの保存や処理などを行い、クライアント側が Web ブラウザを操作してインターネットを介してサーバにアクセスし、データの入出力や閲覧などを行うものである。この仕組みには二つのメリットがある。第1のメリットはクライアント側にアプリケーションのインストールが不要なことである。Web サーバで処理を行って出力結果のファイルをクライアント側の Web ブラウザで表示するだけなので、クライアントは Web アプリケーションをインストールする必要はない。第2のメリットは Web ブラウザさえあればハードウェア環境に依存しないことである。各クライアント側の環境が違っていても、Web ブラウザがあれば異なるオペレーティングシステムに対応できる。

4.3 Web 公開システム機能

開発した Web 公開システムにはデータの安全性を保証するために、ログインという機能を作成した。ログイン機能を通じて、無効なアカウントやパスワードではログインできないので、Web 公開システムを利用することができない。また、有効なアカウントとパスワードでも、アカウントによって Web 公開システムの機能の使用も制限があり、ユーザの権限に応じる機能を使用することになる。

4.3.1 システム管理

システム管理機能としてはアカウントとシステム属性データを管理する機能を実装した。システム管理機能を使用することによって、ユーザのアカウントや大学、演習林、樹種、材積表、調

製地域などの属性データの情報を登録することができる。また、データを閲覧するために、すでに登録したデータを Web 画面で設定した条件で検索して、結果を表示したり、表示したデータの削除や更新を行ったりすることができる。アカウントとシステムの属性データの情報は次のとおりである。

アカウント：大学名，演習林名，権限，アカウント，パスワード，姓名，メールアドレス，電話番号

大学：大学名

演習林：大学名，演習林

樹種：樹種名

材積表：都道府県，樹種名，森林種別，直径 From，直径 To，係数 1，係数 2，係数 3

調製地域：調製地域名

4.3.2 データ管理

データ管理機能としてはプロット，樹木，成長測定データ，収穫表データの管理と成長測定データチェック，樹高・材積推定，成長経過管理などの機能を実装した。

プロット，樹木，成長測定データ，収穫表データの管理機能によって，プロット，樹木，成長測定データ，収穫表データの情報を登録することができる。また，データを閲覧するために，すでに登録したデータを Web 画面で設定した条件で検索し結果を表示することができる。さらに，表示したデータの削除や更新を行うこともできる。さらに，成長測定データと収穫表データの管理機能を用いてデータのダウンロード，及びエクセル形式で入力済みのデータの一括アップロー

No.	プロット	樹木番号	樹種	測定年月	樹齢	樹高直径(cm)	樹高(m)	
1	安野1号	1	スギ	1916/05	13	7.9	6.0	削除
2	安野1号	1	スギ	1921/05	18	9.1	7.0	削除
3	安野1号	1	スギ	1925/06	22	10.6	7.8	削除
4	安野1号	1	スギ	1930/06	27	11.5	8.5	削除
5	安野1号	1	スギ	1935/06	32	12.6	8.6	削除
6	安野1号	1	スギ	1941/01	38	14.8		削除
7	安野1号	1	スギ	1950/06	47	17.6		削除
8	安野1号	1	スギ	1957/11	54	20.1		削除
9	安野1号	1	スギ	1960/12	57	21.1		削除
10	安野1号	1	スギ	1965/12	62	22.8		削除
11	安野1号	1	スギ	1971/01	68	24.7		削除
12	安野1号	1	スギ	1976/02	73	26.7		削除
13	安野1号	1	スギ	1981/02	78	28.7		削除
14	安野1号	1	スギ	1983/01	80	29.3		削除
15	安野1号	1	スギ	1986/01	83	31.1		削除

図- 11 安野 1 号の成長測定データの検索の画面

Fig. 11. Search screen of Growth Data of Anno 1

No.	地域	樹種	番号	地位指数	林齢	本数	平均直径	平均樹高	断面積	材積	
1	愛知岐阜	スギ	5	3	6	2246	0.7	1.5	0.2	0.17	削除
2	愛知岐阜	スギ	6	3	8	3113	2.1	2.1	1.5	0.79	削除
3	愛知岐阜	スギ	7	1	8	1960	6.1	4.5	6.1	21.11	削除
4	愛知岐阜	スギ	8	1	9	2507	6.6	4.6	9.8	34.23	削除
5	愛知岐阜	スギ	9	1	9	2512	5.4	4.1	6.4	20.02	削除
6	愛知岐阜	スギ	10	1	10	1899	8.4	4.7	11.5	38.72	削除
7	愛知岐阜	スギ	11	1	10	1223	8.1	4.6	6.6	15.01	削除
8	愛知岐阜	スギ	12	2	10	1667	5.1	3.6	3.9	9.64	削除
9	愛知岐阜	スギ	13	3	10	1390	3.9	2.7	2.0	4.68	削除
10	愛知岐阜	スギ	14	1	13	1206	7.7	4.4	6.2	20.29	削除
11	愛知岐阜	スギ	15	2	11	1926	7.4	4.6	9.4	24.67	削除
12	愛知岐阜	スギ	16	2	12	2328	7.7	4.6	11.8	45.23	削除
13	愛知岐阜	スギ	17	3	12	2608	4.2	3.1	4.4	12.39	削除
14	愛知岐阜	スギ	18	3	12	2629	5.3	3.8	6.4	19.13	削除
15	愛知岐阜	スギ	19	4	13	1583	14.8	12.8	28.7	192.86	削除

図-12 愛知岐阜地方の収穫表データの検索画面

Fig. 12. Search screen of Yield Table Data of Aichi-Gifu region

ドをすることができる。Webブラウザで操作する成長測定データと収穫表データの検索画面を図-11、図-12にそれぞれ示す。画面上部の入力ボックスは検索条件を入力する画面であり、下部のデータリストのテーブルは検索の結果を表示する画面である。画面のボタンやリンクを通じてデータの検索・登録・更新・削除、ダウンロード、アップロードの機能を利用できる。

プロット、樹木、成長測定データ、収穫表データの管理情報は次のとおりである。

プロット：演習林名、プロット名、面積

樹木：演習林名、プロット名、樹木番号、樹種名、植栽年

成長測定データ：演習林名、プロット名、樹木番号、測定年月、樹齢、胸高直径、樹高

収穫表データ：調製地域名、樹種名、データ番号、地位指数、林齢、本数、平均直径、平均樹高、断面積、材積、林冠疎密度

成長測定データチェック機能では、成長測定データの入力ミスをチェックした上で、ミスの可能性のあるデータを赤字で表示して修正することができる。チェック項目は胸高直径と樹高である。林齢が高い林分の胸高直径や樹高の値が林齢が低い林分の胸高直径や樹高の値より小さい場合、入力ミスとして赤字で表示される。Webブラウザで操作した安野1号プロットのデータチェック結果画面を図-13に示す。データチェック結果画面ではプロット内の入力ミスの可能性があるすべてのデータが赤字で表示されている。さらに、入力ミスデータを修正するための樹木ごとのデータチェック結果詳細画面を図-14に示す。図-14のデータチェック結果詳細画面は安野1号プロットの樹木番号2のデータチェックの詳細結果が表示されている。この機能により、ユーザは画面上で入力ミスデータを削除・修正することができる。

樹高・材積推定機能として、まず樹高・材積推定のプロット表示画面(図-15)が提示される。

樹番	測定年	胸高直径	樹高	備考
2	1957/11	17.5	12.8	
	1965/12	20.65	14.0	
	1976/02	23.0	14.2	
	1983/01	22.9		
	1991/04	23.2	17.1	
	1996/05	23.4	16.2	
4	1983/01	19.9		
7	1925/06	8.6	5.5	
	1930/06	8.0	7.0	
10	1983/01	15.65		
	1991/04	16.0		
13	1971/01	19.4		
	1983/01	20.1		

図-13 安野1号のデータチェック結果画面

Fig. 13. Data check result screen of Anno 1

No.	測定年	胸高直径	樹高	備考	削除
1	1916/05	8.5			削除
2	1921/05	10.3			削除
3	1925/06	11.4			削除
4	1930/06	11.6			削除
5	1935/06	12.7			削除
6	1941/01	13.8	8.6		削除
7	1950/06	18.3	10.5		削除
8	1957/11	17.5	12.8		削除
9	1960/12	18.85	15.0		削除
10	1965/12	20.65	14.0		削除
11	1971/01	23.05	15.0		削除
12	1976/02	23.0	14.2		削除
13	1981/02	23.65	15.6		削除
14	1983/01	22.9			削除
15	1986/01	23.4	16.0		削除
16	1991/04	23.2	17.1		削除
17	1996/05	23.4	16.2		削除

図-14 安野1号の樹木番号2のデータチェック結果詳細画面

Fig. 14. Data check result screen of tree No.2 of Anno 1

プロット表示画面には対象プロットの樹高推定と材積推定のリンクがあり、樹高推定のリンクでは樹高曲線確認画面（図-16）が表示される。樹高曲線確認画面には、四つの曲線式で推定した相関係数とパラメータが表の形で表示され、サンプルデータと推定させた樹高曲線が図の形で表示される。ユーザは相関係数や図を参照して一番適合する曲線式を判断することができる。適合した曲線式を選択してから樹高曲線作成画面の「樹高推定」ボタンをクリックすることによって、システムは選択した曲線のパラメータを使って樹高を自動的に計算する。樹高を推定した後で、プロット表示画面の材積推定のリンクをクリックすることによって、システムは対象プロットのある都道府県とプロットの林種、樹種に対応する材積式を検索して、直径範囲別の材積式を材積表確認画面（図-17）に表示する。材積表確認画面で「材積推定」ボタンをクリックする



No.	プロット	樹高	材積
1	安野1号	再推定	再推定
2	安野2号	再推定	再推定
3	牛蒡沢	推定	
4	郷台1号	推定	
5	郷台2号	推定	
6	女滝1号	推定	
7	女滝2号	推定	
8	女滝3号	推定	
9	大平1号	推定	
10	大平2号	推定	
11	南沢3号	推定	
12	二の台	推定	

図-15 樹高・材積推定のプロット表示画面

Fig. 15. Screen displaying the plot relating height and volume

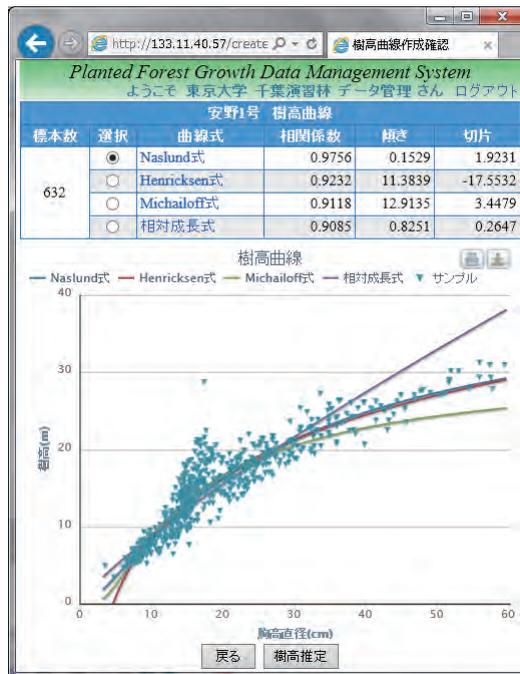


図-16 安野1号樹高曲線確認画面

Fig. 16. Confirmation screen of Height Curve of Anno 1

ことによって、各単木の材積が自動的に計算される。

成長経過管理機能では、樹高と材積を推定したプロットについて、検索、ダウンロード、集計、図示をすることができる。集計機能ではプロットごとに、平均胸高直径、平均樹高、胸高断面積合計、蓄積、本数密度などの林分レベルのデータを作成する。Webブラウザで集計結果を出力する画面は図-18のように示される。図-18は安野1号プロットの林分レベルのデータの集

樹種	材積表樹種	直径範囲	材積式
スギ	スギ	4 ~ 10	$\log v = 1.753904 \log d + 1.040853 \log h - 4.172632$
		12 ~ 30	$\log v = 1.849344 \log d + 1.008086 \log h - 4.219069$
		32 ~ 40	$\log v = 1.944187 \log d + 0.894801 \log h - 4.211821$
		42 ~	$\log v = 1.600666 \log d + 1.075361 \log h - 3.921218$

図-17 安野1号の材積表確認画面

Fig. 17. Screen to confirm volume table of Anno 1

No.	測定年月	林齢(年)	平均胸高直径(cm)	平均樹高(m)	胸高断面積合計(m ² /ha)	蓄積(m ³ /ha)	本数(本/ha)
1	1916/05	13	6.97	5.41	14.5514	50.9697	3560
2	1921/05	18	8.32	6.70	20.6275	87.1028	3541
3	1925/06	22	10.19	8.36	24.4220	120.7587	2844
4	1930/06	27	10.72	8.87	27.0697	143.1963	2826
5	1935/06	32	11.82	9.79	32.9000	190.6716	2817
6	1941/01	38	12.77	10.55	38.5881	242.5835	2798
7	1950/06	47	14.41	11.74	47.9229	334.4413	2679
8	1957/11	54	18	14.54	40.9000	324.0275	1514
9	1960/12	57	18.86	15.16	45.1844	372.1596	1514
10	1965/12	62	20.09	15.75	48.6156	413.5009	1431
11	1971/01	68	21.24	16.57	54.4220	483.2899	1422
12	1976/02	73	22.11	16.93	57.6358	521.3936	1376
13	1981/02	78	23.43	17.65	63.3138	593.9440	1330
14	1983/01	80	23.86	17.73	63.0394	600.0624	1275
15	1986/01	83	24.95	18.49	68.4651	662.9771	1266
16	1991/04	88	26.81	19.67	74.4138	751.2193	1193
17	1996/05	93	28.34	20.52	79.4844	824.3183	1138
18	2000/12	97	30.47	21.37	84.0110	885.7982	1046
19	2006/05	103	31.62	21.67	85.2394	903.4413	982

図-18 安野1号の林分レベルのデータの集計結果画面

Fig. 18. Total results screen of stand level data of Anno 1

計結果画面である。集計結果画面で集計した林分レベルのデータはダウンロードすることができる。図示機能では集計したデータをプロット図示と、散布図と軌跡図の複合図示の形で提示する。プロット図示はプロットごとに各測定時期の林分レベルのデータを図示する。図-19は安野1号プロットの林分レベルのデータを使用して Web ブラウザで表示するプロット図示画面である。図-19の図示画面では、林齢に対する平均胸高直径、平均樹高、胸高断面積合計、蓄積、本数密度などの変化を示す図が作成される。一方、散布図と軌跡図の複合図示では複数のプロットと収穫表データを同じ図にまとめて図示することができる。Web ブラウザで図示する画面を図-20と図-21に示した。これらの図は成長測定試験地の安野1号、郷台1号、郷台2号のデータと茨城地方の収穫表データで作成した。図-20は林齢と平均樹高との関係を示す図、図-21は本数密度と平均胸高直径との関係を対数で示す図である。組み合わせの図示において、成長測

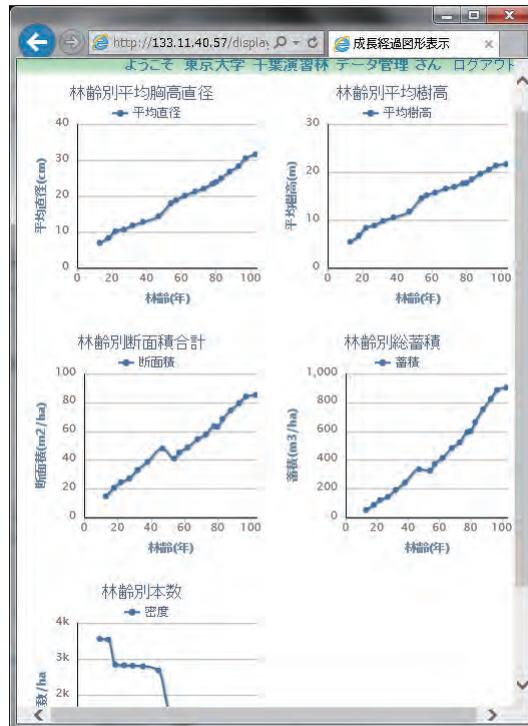


図-19 安野1号の成長経過の図示画面

Fig. 19. Illustration screen of growth process of Anno 1

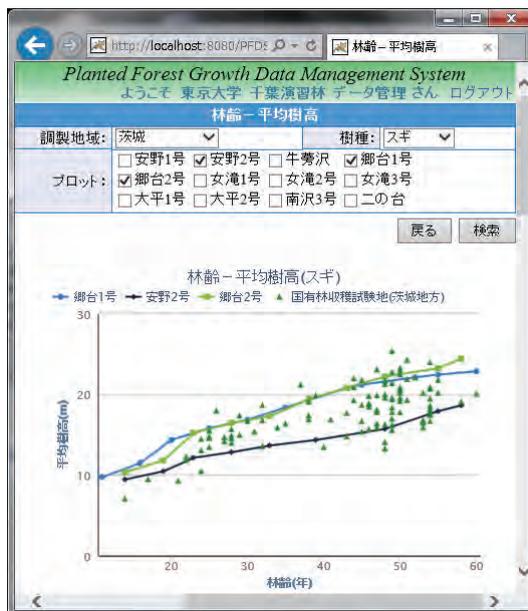


図-20 林齢対平均樹高の散布図と軌跡図の複合図示

Fig. 20. Multiple illustration of scattergram and locus chart of average height vs. stand age



図-21 本数密度対平均胸高直径（両対数）の散布図と軌跡図の複合図示

Fig. 21. Multiple illustration of scattergram and locus chart of average diameter vs. density on log-log plot

No.	所属	演習林	プロット	樹木番号	樹種	測定年月	樹齡	胸高直径 (cm)	樹高 (m)
1	東京大学	千葉演習林	安野1号	1	スギ	1916/05	13	7.9	6.0
2	東京大学	千葉演習林	安野1号	1	スギ	1921/05	18	9.1	7.0
3	東京大学	千葉演習林	安野1号	1	スギ	1925/06	22	10.6	7.8
4	東京大学	千葉演習林	安野1号	1	スギ	1930/06	27	11.5	8.5
5	東京大学	千葉演習林	安野1号	1	スギ	1935/06	32	12.6	8.6
6	東京大学	千葉演習林	安野1号	1	スギ	1941/01	38	14.8	
7	東京大学	千葉演習林	安野1号	1	スギ	1950/06	47	17.6	
8	東京大学	千葉演習林	安野1号	1	スギ	1957/11	54	20.1	
9	東京大学	千葉演習林	安野1号	1	スギ	1960/12	57	21.1	
10	東京大学	千葉演習林	安野1号	1	スギ	1965/12	62	22.8	
11	東京大学	千葉演習林	安野1号	1	スギ	1971/01	68	24.7	
12	東京大学	千葉演習林	安野1号	1	スギ	1976/02	73	26.7	
13	東京大学	千葉演習林	安野1号	1	スギ	1981/02	78	28.7	
14	東京大学	千葉演習林	安野1号	1	スギ	1983/01	80	29.3	
15	東京大学	千葉演習林	安野1号	1	スギ	1986/01	83	31.1	

図-22 データ利用機能による成長測定データの検索画面

Fig. 22. Search screen of Growth Data according to Data Use Function

定試験地は成長の軌跡が折れ線によって示される。一方、収穫表データは1回限り測定の暫定プロットであるため、散布図として描かれる。

4.3.3 データ利用

データ利用機能はデータベースのデータを利用者に公開する機能である。データ利用者はデータ利用機能を使用することによって、データベースのデータを検索・ダウンロードすることができるが、登録・更新・削除をすることはできない。

データ利用機能による検索画面を図-22に示す。図-22はデータ利用者がWebブラウザを使用して成長測定データ検索画面で「東京大学」、「千葉演習林」と「安野1号」を検索条件として検索した結果を示す画面である。図-11のデータ管理者の検索画面と比べると、図-22のデータ利用者の検索画面には「検索」と「ダウンロード」ボタンがあるが、登録、更新及び削除のボタンやリンクは提供されていない。

現時点で、成長測定データと収穫表データが公開可能な状態となっている。また、成長測定データの二次情報として、推定した樹高と材積、林分レベルの平均胸高直径、平均樹高、断面積合計、蓄積、本数密度などの属性データも公開している。

5. 考察

5.1 データベース設計

本研究では、人工林成長データと収穫表データを対象として、概念設計、論理設計と物理設計の各手順に添ってデータベースの設計を行った。

概念設計では、一般的な森林データ処理の流れ及び、データ利用者に関する基本方針などに応じて、特に人工林成長データの形式が異なることを考えて、拡張性を持たせた設計を行った。様々な人工林試験地データの構造とデータ処理のフローで扱う情報を正規化して整理し、概念ER図として記述した。

論理設計では、以下の①～⑤の技法によって、データ構造の変更を最小限に抑えながら性能向上を図ることを旨とした。

①異なる形式の人工林成長データのための正規化をなるべく崩さないようにしつつ、SQL^{注16)}を分析して索引を作成する。

②データ処理のための必要な属性をすべて洗い出す。

③エンティティを確定し、属性をすべて洗い出した後、それを論理ER図に表す。

④データ処理のセキュリティの観点から、データ処理とユーザの対応付けを行い、必要な権限管理の設計を行う。

⑤論理ER図をデータベースのオブジェクトに変換するために必要な情報を定義して、論理ER図、表、索引の定義を出力する。

物理設計では、データベース管理システムとしてPostgreSQLを選定した上で、ユーザ要件として性能要件や可用性を考慮したデータベースを設計した。さらに、PostgreSQLで利用する機能によって必要なハードウェア資源、ミドルウェアの選定、パラメータの設定を行った。

注16) SQL (Structured Query Language) はリレーショナルデータベース管理システム (RDBMS) において、データの操作や定義を行うためのデータベース言語である。

データベース設計に求められる要素は「信頼性が高い」、「拡張性が高い」、「必要な性能を満たす」というデータベース構築の3点に集約される（NRI ラーニングネットワーク株式会社，2006）。「信頼性が高い」は整合性の維持によって実現される。データ整合性は不良データの蓄積を避けることによって維持される（中村，1993; RYAN and RONALD, 2000）。そこで，本研究では，主キーと外部キーを作成することによって不良データの蓄積を回避し，データの整合性を実現した。「拡張性が高い」はデータの一元管理とデータベースの使用目的を反映した設計によって実現される。本研究では，概念モデルから論理モデルへ変換する時に正規化を行うことによってデータの一元管理を実現した。また，概念設計の際，二つの形式のデータを対象として行いながら，対象データ以外のデータも簡単にできる拡張性を持たせた設計を行うことによって，データベースの使用目的を反映した。「必要な性能を満たす」は同時実行性の確保と効率のよいデータアクセスが必要である（RYAN and RONALD, 2000）。同時実行性の確保について，更新と読み取りが同時に実行された場合，ロックをかけずに読み取ることができる PostgreSQL の機能を利用した。また，SQL を分析して索引を作成することによって，データアクセスを効率化した。以上の方法で設計したデータベースでは「信頼性が高いこと」，「拡張性が高いこと」と「必要な性能を満たすこと」が果たされる。これにより，データベースは多様な人工林成長データの蓄積を実現するとともに，将来利用する可能性のある形式データの蓄積に拡張しやすい技法で設計された。

5.2 Web アプリケーション開発

5.2.1 オブジェクト指向の技法

オブジェクト指向の設計開発手法によってプログラムはソースが読みやすくなり，障害が少なくなり，修正が容易になり，開発コストが小さくなって，理想的なソフトウェア開発が実現できた。システムを開発するには，開発の終盤になって問題が多発し，状況が悪化しがちだが，本研究ではオブジェクト指向によって，その危険性をかなり減らすことができた。研究のために開発するシステムは商用システムに比べて小規模で開発コストが小さいが，商用システムと同様の高い品質が必要だと考えられる。オブジェクト指向による開発は設計と部品の再利用ができ（吉村，2005; 松井ら，2006），再利用することによって生産性と品質を改善し，コストを削減できる（神谷ら，1996; 藤原ら，2000）。本研究で用いたオブジェクト指向の設計開発手法はそうした要求にも耐えるものである。

5.2.2 UML での記述

UML を利用することは，コミュニケーションの道具として，開発に携わる人たちが共通の言葉を持ち，コミュニケーションができるということである。知識の蓄積手段として，「設計」の再利用が容易となり，また環境に依存しないモデリング言語のため，ひとたび作成された設計モデルを様々な言語や環境の下で利用することができる。本研究で作成したユースケース図は，データベース管理システムの機能を視覚的にも分かりやすく示している。また，シーケンス図とクラス図を通じて，機能とソースコードの構造により開発に対する理解が促進される。さらに，UML で記述した成果物は研究成果として保存され，今後システムの改修，機能の拡張と別な森林システム開発の参照に大いに役立つと考えられる。

5.3 Web 公開システム機能

5.3.1 アクセス権限

インターネットによる Web ブラウザを利用した環境は個人情報やデータの改ざんなど、セキュリティ面の多くの問題を抱えている。Web アプリケーション、データベースなどの情報資源へのアクセスをユーザ権限に応じて制限することで、これらの情報資源の不正利用や漏洩を防止することができる（小林ら, 2000）。本研究では、Web アプリケーションサーバ上のアプリケーションからデータベースへのアクセスにおいて、ブラウザを利用するユーザの権限を「システム管理」、「データ管理」、「データ利用」に分け、権限に応じてシステム管理機能、データ管理機能、データ利用機能の Web ページにそれぞれアクセスさせることでデータベースのデータが無断で閲覧・改ざんされることを防ぎ、安全性を確保している。

5.3.2 データの個別化^{注 17)}

インターネット環境でユーザによって異なる情報を提供するために構築する Web アプリケーションは Web データを個別化する必要がある（清光・竹内, 2001）。本研究で開発した Web 公開システムでは、データはアカウントとシステムの属性データ（システムデータ）、測定データと測定データによって作成する二次的データ（人工林データ）の二つのタイプに分けられる。データのアクセスはシステムデータの管理（システム管理者が行う）、人工林データ管理（データ管理者が行う）と人工林データ閲覧（データ利用者が行う）の三つのレベルに分けられ、三つの権限のユーザによってそれぞれ操作される。データを個別化することで、Web 公開システムでデータベースのデータを異なるユーザに提供することができた。

5.3.3 データの管理

昔のコンピュータファイルやローカルデータベースで森林データを管理する環境では、データの管理と利用は場所によって制限されていた。本研究で開発したシステムではデータの蓄積と利用が Web ブラウザで操作されるので、インターネット環境があるすべての場所でデータの管理と利用ができるようになった。

5.3.4 二次的データの作成と図示

本研究で開発したシステムでは、測定データ以外の情報を提供するために、測定したデータを元にして二次的データを作成して図の形で提供する機能を実装した。また、組み合わせの図示では成長測定データと収穫データを一つの図に出力して異なる形式のデータと関係付けることによって、データを最大限に活用できるようにした。したがって、単木の測定データから林分レベルのデータまでの幅広い森林データをデータ利用者に提供することができるようになった。

5.3.5 データ利用

本研究では、データベースに蓄積したデータを利用者管理機能によって外部に公開した。各種類のデータに対して、データの属性値で絞り込む検索画面を提供することによって、利用者が求めるデータを容易に閲覧し、また、検索したデータをダウンロードして入手することができる。

注 17) 個別化は Web データを個々の利用者や利用者グループに適した表現にすることである。

林分レベルの属性データに対して、林齢別の平均胸高直径、平均樹高、断面積合計、蓄積、本数密度を図の形で提示することも可能である。この機能は利用者にとって、データの選択や分析を支援するものと考えられる。

6. まとめ

本研究では、多様な研究の関心から収集された人工林成長データをひとつのデータベースにし込むための手法を検討するために、まず2種類の異なる資料を包括的に扱えるデータベースとアプリケーションの開発を行った。

データベース設計の技法により研究対象データを蓄積するデータベースを構築した。データベース設計では概念設計、論理設計と物理設計の技法でそれぞれ概念モデル、論理モデルと物理モデルを作成し、これによって、「性能が高いこと」、「拡張性が高いこと」そして「多様な形式のデータを蓄積できること」という性質を兼ね備えた人工林データベースを構築した。次に、ソフトウェア開発の技法によってインターネットを介してデータベースを扱う Web アプリケーションも開発した。オブジェクト指向分析設計の技法と UML 記述の手法を利用することで、アプリケーションの品質を保証するとともに、将来のアプリケーションの改訂と拡張にも柔軟に対応することができる。最後に、データベースと Web アプリケーションで Web 公開システムを構築し、このシステムを用いてデータをデータベースに蓄積し、外部に公開する技法について検討した。インターネットを基にした Web 公開システムで公開するので、このシステムが実際に運用を開始すれば、データの利用を希望する者はインターネットを介してデータを容易に入手することができるようになる。

Web 公開システムの機能としては、データ管理者に対する登録・編集などの機能を提供するほかに、生データから二次的データを出力する機能も作成するので、研究機関や大学などの様々な分野で森林データを利用するユーザは便利に利用できるようになる。また、データ管理と利用に関する機能では、システム管理、データ管理とデータ利用の権限に分けることによって、システムの属性データの管理、各所属のデータ管理とデータの利用をそれぞれの権限のユーザで扱うので、無許可のアクセスや改ざんなどを防いでデータの安全性を保証することができる。

以上のデータベース設計の手法、Web アプリケーション開発の手法と Web 公開システムの機能から見ると、人工林成長データを活用していくという本研究の目的を実現したといえる。

なお、多様な形式の人工林成長データを蓄積するデータベースとしては、本研究以外の形式の人工林データを蓄積して扱うため、データベースにテーブルを追加して Web 公開システムに新たな機能を作成する必要がある。本研究でのデータベース設計とシステム開発の技法は汎用性、拡張性を有するので、異なる形式の人工林成長データの蓄積も容易に対応できる。今後、多様な形式のデータの蓄積に伴ってデータの量が増大した場合、システムが大量なデータの取り扱いに高速で応答できるよう、システムのインターフェースを工夫するとともに、動作環境としてサーバとインターネットの性能を検討することも必要となろう。

要 旨

これまで多くの試験地において成長データが様々な形態で収集されてきたが、管理状況やデータの形式が違うので多目的な活用が難しかった。情報処理技術とインターネットを活用し、す

に収集・蓄積されている成長データをデータベースの形態で利用者に提供することによって、有効活用の途が開けると考えられる。本研究では、東京大学千葉演習林の成長測定試験地資料と国有林による地域別の収穫表調製に使われた人工林の標準地資料を対象データとして、多様な形式のデータを収納できる人工林成長データベースを構築した。また、Java 言語及び関連のフレームワークを使用してオブジェクト指向分析設計の技法で、インターネットを介してデータベースを扱う Web アプリケーションを開発した。さらに、人工林データベースと Web アプリケーションで Web 公開システムを構築し、人工林成長データをデータの利用者に公開する方法について検討した。開発されたデータベースと Web アプリケーションは汎用性と拡張性を有するので、対象データ以外の形式のデータも容易に追加することが可能であり、将来的には大学演習林等において試験地データの管理が一元的に行われ、データ活用も進むことが期待される。

キーワード

人工林試験地, 成長データ, データベース設計, オブジェクト指向, 統一モデリング言語

引用文献

- BAVIN, P. (2006) *Beginning Database Design*. 504pp., Wiley Publishing, Indiana.
- CHARHIGH (2013) Java. Wiki, 2013-10-16, <http://ja.wikipedia.org/wiki/Java>, (参照 2013-11-20).
- DOGAC, A., YURUTEN, B., and SPACCAPIETRA, S. (1989) A Generalized Expert System for Database Design. *IEEE Trans Software Engrg*, 15(4): 479-491.
- 藤原晃・横森勸士・山本哲男・松下誠・楠本真二・井上克郎 (2002) ソースコード間の関係を用いた再利用性評価手法の提案. 情報処理学会研究報告, ソフトウェア工学研究会報告 2002 (23) : 155-162.
- GRADY B., JAMES R., IVAR J. (1998) *the unified modeling language user guide*. 512pp., Addison Wesley, Boston.
- 石川博 (2008) データベース. 198pp., 森北出版, 東京.
- JACOBSON, I., CHRISTERSON, M., JONSSON, P., and OVERGAARD G. (1992) *Object-Oriented Software Engineering: A Use Case Driven Approach*, 552pp., Addison-Wesley, New York.
- 神谷年洋・楠本真二・井上克郎・毛利幸雄 (1996) オブジェクト指向に基づくソフトウェア開発プロセスの分析-教育環境における評価実験-. 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 : 41.
- 清光英成・竹内淳記 (2001) Web データの個別化と研究適応. 情報処理学会論文誌, データベース 42 (SIG_8 (TOD_10)), 185-194.
- 小林智恵子・原嶋秀次・山田朝彦 (2000) Webtop システムにおけるデータベースアクセスのセキュリティ実現: LDAP によるユーザ管理の一応用. 情報処理学会研究報告, データベース・システム研究会報告 2000 (69) : 253-258.
- 松井健・小松聡・藤田昌宏 (2006) 組込みシステムのシステムレベル設計におけるオブジェクト指向技術の応用. 電子情報通信学会技術研究報告, CPSY, コンピュータシステム 105 (669) : 73-78.
- 森重雄・三河佳紀 (2005) PostgreSQL データベース管理システムの開発. 苫小牧工業高等専門学校紀要, 40: 15-22.
- 中村敏夫・伊土誠一・石垣 昭一郎 (1993) データベース信頼性に関する考察. 情報学基礎研究会報告 93 (67) : 17-23.
- NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (1993) *Integration Definition for Information Modeling (IDEF1X)*. 147pp., Computer Systems Laboratory, National Institute of Standards and Technology, U.S..
- 新山馨 (2006) 森林動態データベース. 種生物学研究 29: 353-360.
- 新山馨・武生雅明・河原崎里子 (2004) 森林動態データベースの構築. 第 122 回日本森林学会大会学術講演集: 115.
- 新山馨・武生雅明・河原崎里子 (2007) データベース化の功罪:—森林動態データベース (FDDB) を例に—. 日林誌 89: 340-345.

- NRI ラーニングネットワーク株式会社・中村才千代 (2006) 現場で使えるデータベース設計 . 404pp., ソフトバンククリエイティブ, 東京 .
- OMG (2011) OMG Unified Modeling Language (OMG UML), Infrastructure. OMG, 2011-08-05, <http://www.omg.org/spec/UML/2.4.1/Infrastructure/PDF/>, (参照 2013-11-20).
- PostgreSQL グローバル開発グループ (2013) PostgreSQL 9.2.4 文書 . 日本 PostgreSQL ユーザ会, 2013-07-14, <http://www.postgresql.jp/document/9.2/html/index.html>, (参照 2013-11-20).
- 林野庁・林業試験場 (1959) 茨城地方すぎ林林分収穫表調製説明書 . 171pp., 東京営林局, 東京 .
- 林野庁計画課編 (1970a) 立木幹材積表 - 東日本編 - . 334pp., 日本林業調査会, 東京 .
- 林野庁計画課編 (1970b) 立木幹材積表 - 西日本編 - . 320pp., 日本林業調査会, 東京 .
- RYAN, S. and RONALD, P. (2000) Database Design. 508pp., Sams Publishing, Indiana.
- 塩山義之 (2005) 吸収源 CDM に関連する植栽林成長情報のデータベース構築 . 人間科学研究 18: 25.
- STOREY, V., C. (1991) Relational database design based on the entity-relationship model. *Data & Knowledge Engineering*, 7: 47-83.
- 鈴木誠・龍原哲・山中千恵子 (1999) 千葉演習林における林分成長資料 (Ⅱ) - 1976 年から 1996 年までの成長経過 - . 演習林 (東大) 38: 1-71.
- 竹内公男・長谷川茂 (1975) 千葉演習林における林分生長資料 . 演習林 (東大) 19: 69-175.
- THOMAS, AB. (1992) Designing Quality Databases With Idef1X Information Models. 584pp., Dorset House Publishing, New York.
- 都司達夫・宝珍輝尚 (2003) データベース技術教科書 : DBMS の原理・設計・チューニング . 191pp., CQ 出版社, 東京 .
- 上治雄介・今泉文寿 (2010) リレーショナル・データベースを用いた森林施業履歴管理システムの開発 . 筑波大学農林技術センター演習林報告 26: 43-53.
- 吉村健太郎・宮崎泰三・横山孝典 (2005) オブジェクト指向組み込み制御システムのモデルベース開発法 . 情報処理学会論文誌 46 (6) : 1436-1446. (2013 年 8 月 29 日受付)
(2014 年 3 月 19 日受理)

Summary

Although there is a large amount of growth data in various forms from plantation forests, it is difficult to use them in multi-purpose practice due to different management conditions and differing data formats. It is conceivable that applying information processing technology and the internet, such problems can be solved by providing the growth data that has been collected in the form of a database for users. In this study, growth data from permanent experimental plots in The University of Tokyo Chiba Forest and temporal sampling plots in national forests for developing yield tables were compiled to develop a plantation forest database. Then, a web application to handle the database though the internet was developed using Java and its associated framework using the techniques of object-oriented analysis and design. In addition, a web-based disclosure system was developed by web application applicable to the plantation forest database, and the growth data can be open to users. The database and web application have a generality and extensibility, so this study suggests that we can add new data of any form to the database, and growth data of plantation forests of different formats in the university forests can be stored in the database. This will promote the utilization of existing data.

Key words

Experimental plantation plots, Growth data, Database design, Object-oriented, Unified Modeling Language

