

GEO Grid : 地球観測グリッドの設計と実装

産業技術総合研究所 グリッド研究センター

田中 良夫 小島 功 山本 直孝
横山 昌平 谷村 勇輔 関口 智嗣

我々は地球観測衛星データやフィールドセンサデータ、シミュレーションプログラムなどのデータや計算などをグリッド技術により統合・連携させることにより、防災、環境、資源探索などの様々な応用分野に調査・実験環境を提供する地球観測グリッド(Global Earth Observation Grid, GEO Grid)の研究開発を進めている。本稿では、GEO Gridを実現する情報基盤の設計と実装について報告する。GEO Gridはユーザ単位での認証と仮想組織(VO)単位での認可を組み合わせることにより、スケーラブルかつ容易なアクセス制御を実現し、データや計算をサービスとして抽象化して提供することにより、それらの柔軟な連携・統合を可能とする設計となっている。実際の衛星データを提供するプロトタイプ実装により、本設計の妥当性が検証された。

Design and implementation of the GEO Grid

Grid Technology Research Center
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Yoshio Tanaka Isao Kojima Naotaka Yamamoto
Shohei Yokoyama Yusuke Tanimura Satoshi Sekiguchi

The authors have been leading the "GEO (Global Earth Observation) Grid" project since 2005 which is primarily aiming at providing an E-Science infrastructure for worldwide Earth Sciences community. In the community there are wide varieties of existing data sets including satellite imagery, geological data, and ground sensed data that each data owner insists own licensing policy. The GEO Grid is designed to integrate all the relevant data virtually, enabled by Grid technology, and is accessible as a set of services. In this paper firstly we describe design principles of the GEO Grid that are determined based on accommodating users requirements for publishing, managing, and using data. Secondly, software architecture and its preliminary implementations are specified where we take the Grid computing and Web service technologies as the core components that comply with standard set of technologies and protocols.

1. はじめに

近年、地球温暖化などの環境問題、地震や洪水などの災害予測・対策、および天然資源探索などの地球観測に関する問題が重要になっている。GEO (Global Earth Observation) Gridは、グリッド技術を用い、地球観測衛星データなどの大規模アーカイブおよびその高度処理を行い、分散環境下の各種観測データや地理情報システムデータと統融合した処理・解析を、ユーザが手軽に扱えることを目指したシステムかつコンセプトであり、地球観測情報のインフラとして期待されている。GEO Gridは、地球観測に関わる多種多様なデータや計算を研究コミュニティや事業者が安全・安心に利用できる環境の提供を目指している。産総研の有する地質情報と衛星情報との情報融合を進め、さらに広く地球観測情報との融合化を図り、また、国際連携を積極的に推進し、特にアジアにおける高度利用を重点的に展開する計画である。この際に国際的な標準動向に配慮し情報システムとデータの国際的な相互利用性を確保することを目指している。

GEO Gridはアプリケーション、コンテンツ、および情報基盤により構成されるが、本稿においては情報基盤の設計と実装について報告する。次節では、アプ

リケーションから情報基盤に対する要件を示す。3節では設計方針、利用モデルおよびソフトウェアアーキテクチャの設計を述べる。4節では実装方法および各ソフトウェアコンポーネントの予備評価結果を示し、5節では実際の衛星データを用いたプロトタイプ実装を通じて得られた知見を述べ、最後にま

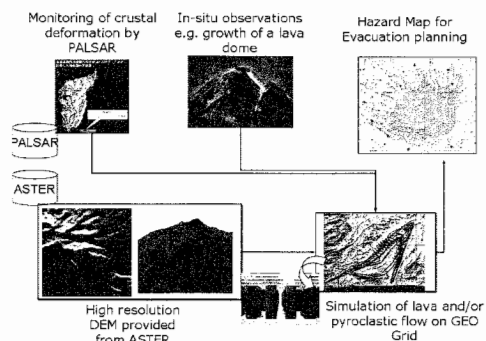


図 1 ハザードマップ作成システム

とめと今後の課題を述べる。

2. 情報基盤への要件

図 1 に GEO Grid アプリケーションの例として、火山噴火時の溶岩流の流れを予測し、ハザードマップを作成するシステムを示す。本システムにおいては、異なる特徴を持つ二つの衛星観測データを用いて求められる火山一帯の地殻変動および標高モデルに加え、現地で観測される溶岩ドームの形状、成長過程などのデータを入力として火砕流のシミュレーションを行い、ハザードマップを作成する。本システムは GEO Grid アプリケーションの一例に過ぎないが典型的なシナリオによるものであり、この例から以下に示すような情報基盤に対する要件を洗い出すことができる。

(1) 大規模データの提供

衛星観測データはその運用期間を通じると数百テラバイトからペタバイト級の大きくなるが、そのような大規模データからユーザが求めるデータを迅速に見つけ出す、データサイズに対する高いスケーラビリティが要求される。

(2) 多様なデータの取扱

衛星観測データ以外にも、気候に関する温度、湿度、雲量などの異なる物理量や異なる時空間分解能から得られたデータなど、異なる組織により提供され、様々な書式で蓄積されている多様なデータを取り扱う機能が要求される。

(3) データ提供ポリシーの尊重

データには利用に制限がかからないフリーなものも存在するが、一般的にはデータ所有者はデータアクセスの許可範囲や提供可能なデータ書式の制限など、利用許諾権とその条件を設定・変更する権限を有し、データ提供者の公開ポリシーに応じた柔軟なアクセス制御を実現する必要がある。

(4) データと計算の統合

データの形式変更や事前処理などの簡便な計算およびデータに基づいた火砕流到達範囲の計算などの大規模シミュレーションなどの計算とデータとの統合が必要である。

(5) 多様なコミュニティの支援

環境監視、災害監視、資源探査をはじめ、地球科学に関する多様なコミュニティや多数のプロジェクト研究を支援し、柔軟な構成変更および共通に利用できるデータ、計算およびツールやテンプレートになった処理フローなどを共有する仕組みが要求される。

(6) 簡便性

ユーザ、データ提供者、プロジェクト管理者など、すべての参加者に対して「簡単に使える」ツール、インタフェースを提供する必要がある。

3. 設計

前節において述べた要件に基づき、本節では GEO

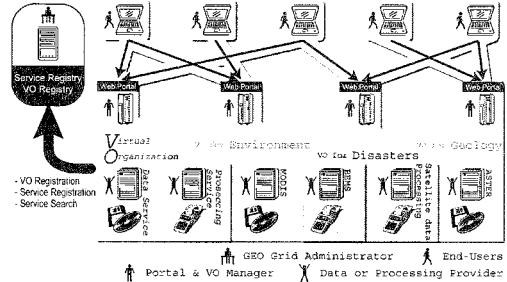


図 2 VO による GEO Grid 情報基盤

Grid 情報基盤の設計思想、利用モデルおよびソフトウェアアーキテクチャを述べる。

3.1. 設計方針

我々は、複数の組織により構成される仮想的な組織 (Virtual Organization, VO)[1] の概念を GEO Grid 情報基盤の設計に導入する (図 2)。GEO Grid 情報基盤においては、様々なデータや計算が標準的なプロトコルおよびインタフェースを通じて利用可能な「サービス」として提供され、研究コミュニティはその要求に応じて必要なデータや計算を統合することにより、VO を構成する。一般に、ユーザは一つ以上の VO に所属し、サービスへのアクセスに際しては、VO に基づく認証・認可を基本とする。VO において、各ユーザがそれぞれどういった権限、役割を持つかは VO 内で管理するが、サービスへのアクセス制御において、VO 単位で行なうか、VO におけるユーザの権限・役割を確認して行なうか、VO の情報は用いずにユーザごとに行なうかは、サービス提供者のポリシーに応じて決定される。これにより、多様なデータと計算を統合し、コミュニティの作成を支援する。また、データ提供ポリシーを尊重しつつ、ユーザ数に対してスケーラブルなアクセス制御を実現する。

3.2. 利用モデル

図 2 に示すとおり、GEO Grid 情報基盤においては、サービス提供者、VO 管理者、エンドユーザ、および GEO Grid 管理者の 4 つの役割が存在する。サービス提供者はデータや計算の所有者であり、エンドユーザに対してそれらをサービスとして提供する。VO 管理者はコミュニティやプロジェクトの管理者と考えれば良く、VO の構築、VO に所属するユーザの管理、ユーザ向けポータル構築を行なう。GEO Grid 管理者は利用可能なサービスが登録されているレジストリの管理およびそれへのアクセス制御を行なう。エンドユーザは基本的には 1 つ以上の VO に所属し、実際にサービスを利用することにより研究・調査を行なう。

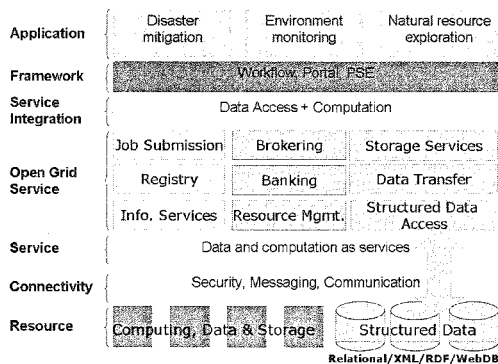


図 3 ソフトウェアアーキテクチャ

サービス提供者は提供するサービスの情報を GEO Grid 管理者が運用するレジストリに登録する。VO 管理者はどのようなデータ、計算が利用可能であるかレジストリを通して検索し、利用を希望するサービスがあればサービス提供者と個別に交渉する。サービス提供者は VO へのサービスの提供を許可する場合はその VO に対するアクセスを許可するべくシステムの設定を変更する。前述のようにアクセス制御はサービス提供者のポリシーに応じて VO 単位、ユーザ単位、あるいはフリーアクセスなどに設定可能である。

サービス提供者および VO 管理者が容易に GEO Grid 情報基盤を利用できるように、我々は GEO Grid Service Development Kit (GEO Grid SDK), GEO Grid Virtual Organization Tools (GEO Grid VOT), GEO Grid Portal Development Kit (GEO Grid PDK) により構成される GEO Grid Toolkit を提供する。

3.3. ソフトウェアアーキテクチャ

図 3 に GEO Grid 情報基盤のソフトウェアアーキテクチャを示す。本アーキテクチャは Open Grid Services Architecture (OGSA) [2] における階層化アーキテクチャに倣っており、Resource Layer は計算やデータなどの個々のリソースを提供し、Connectivity Layer は通信およびセキュリティプロトコルを規定する。Service Layer において Resource Layer で提供されるリソースが Connectivity Layer で規定されるプロトコルを通じてサービスとして提供される。Open Grid Service Layer はジョブ投入、ファイル転送、監視などの共通サービスを提供し、Service Integration Layer において複数のサービスの統合を実現する。Framework layer においてはワークフローやポータルなどが提供され、Application Layer においてユーザに対してアプリケーションが提供される。

4. 実装

前節で述べた設計方針およびソフトウェアアーキテクチャに基づき、我々はグリッド技術を用いて GEO

Grid 情報基盤を実装する。実装コストの削減および他システムとの相互利用性を高めるため、我々は既存のツール、ソフトウェアを有効に利用して実装を進めている。本節では GEO Grid 情報基盤の実装について述べる。

4.1. セキュリティ

GEO Grid 情報基盤のセキュリティは、Grid Security Infrastructure (GSI) [3] および VO レベルの認可機構を基本とする。また、ユーザに対して簡便なインタフェースを提供するため、サーバ側でユーザアカウントおよび GSI のためのユーザ証明書の管理を集中管理する仕組みを導入する。ただし、フリーなデータのアクセスに際しては GSI 認証を必須としないなど、データの提供ポリシーに応じた保証レベルを実現するとともに、ユーザ証明書の管理に関しても、サーバ側での集中管理方法のみでなく、ユーザが自分で管理するユーザ証明書を用いた認証も可能とする。

4.1.1. GSI による認証と VO レベルの認可機構

GSI は公開鍵暗号と X.509 証明書を用いたグリッドにおける標準的な認証基盤であり、プロキシ証明書を用いてシングルサインオンと権限委譲を実現する。認証を受けたユーザは、通常サービス提供者側で UNIX アカウントにマップされ、UNIX アカウントの権限でアクセス制御が実現される。しかし、この方法ではすべてのユーザのエントリをサービス提供者側で管理しなければならず、サービス提供者に対する管理コストが高くなってしまったり、ユーザ数に対してもスケールラブルでないといった問題がある。この問題を解決するため、我々は VOMS (VO Membership Service) [4] を用いて VO レベルでの認可を実現する。VOMS は VO に所属するメンバを管理し、メンバの登録、グループの作成、ユーザに対する役割の付加などを行なう。また、ユーザからの要求に応じて、ユーザのプロキシ証明書にユーザの VO における属性情報 (所属する VO 名、グループ名、与えられている役割など) を埋め込んだ VOMS プロキシ証明書を発行する。サービス提供者側では、ポリシーに応じた様々なアクセス制御が実現できる。例えば、ある VO に属するすべてのユーザを単一のアカウントにマップすることにより、VO に所属するユーザ数に関わらず、VO 単位でのアクセス制御を容易に実現できる。あるいは、ユーザの所属するグループや役割に応じたより柔軟なアクセス制御も実現できるが、この場合も LCAS および LCMAPS などを用いることにより、各ユーザに対して個別のアカウントを作成する必要がない。また、VO 属性は参照せずにユーザの認証情報のみを用いたアクセス制御や、フリーなサービスに対しては認証・認可を行わずにアクセスを許可することも可能である。

4.1.2. サーバ側でのアカウント・証明書管理

GSI は X.509 証明書を用いた認証を行なうため、一

般にユーザはユーザ証明書の取得および秘密鍵の管理を行なう必要がある。しかし、そのためには特別なソフトウェアのインストールや証明書を取得するための手続きが必要となる。また、セキュリティに詳しくないユーザに秘密鍵の管理をさせることは、かえってセキュリティの脆弱性を高めるという意見もある。これらの問題を考慮し、我々はサーバ側でユーザのアカウントおよび証明書を管理する仕組みを GAMA(Grid Account Management Architecture)[5]を用いて実現する。

GAMA はユーザに対してアカウントの作成依頼やログインなどの機能を、アカウント管理者に対してユーザ管理のための機能を、portlet として提供するソフトウェアである。ユーザのアカウントは GAMA サーバによって管理され、GAMA サーバはユーザに証明書を発行するための認証局の機能も備えている。また、我々は VOMS による認可のための仕組みを GAMA に組み込んだ。以下に、GAMA と VOMS を用いたアカウント管理におけるユーザの利用シナリオを示す。

- (1) ユーザは Web ポータル上でアカウント申請を行なう。
- (2) アカウント管理者は申請を審査し、審査基準に従って受理/不受理を決定する。
- (3) 申請が受理された場合はユーザにアカウントを作成するための Web ページの URL がメールで送られる。
- (4) ユーザは通知された Web ページ上でアカウントの作成を行なう。この際、ユーザ名とパスワードを入力する。以後、このユーザ名とパスワードによりログイン可能となるほか、このパスワードはユーザ証明書作成に際し、秘密鍵の暗号化にも用いられる。
- (5) GAMA サーバはユーザ証明書を作成し、保持する。また、アカウント作成 Portlet は VOMS サーバへのユーザ登録申請も行なう。
- (6) VO 管理者は VOMS サーバへの登録申請を審査し、ポリシーに応じてユーザのグループへの登録および役割付与などを行なう。
- (7) アカウントが作成後、ユーザはユーザ名とパスワードにてシステムにログインする。その際に portlet がプロキシ証明書の作成と、それを用いた VOMS プロキシ証明書の作成を自動的に行ない、認証に利用する。

4.1.3. 現状

VOMS および GAMA など、利用するソフトウェアについては一通りのテストを行い、期待通りに動作することを確認した。また、GAMA 自体は VOMS とのインタフェースを実装していないため、GAMA の認証モジュールを拡張し、VOMS プロキシを作成する機能を実装した。サービスを提供する側は VOMS プロキシを用いたアクセス制御を実現する必要がある。提供されるサービスは、計算とデータに大別される。サービスの提供方法については次説で詳しく述べるが、計算については、Globus Toolkit[6]の GRAM を用いて

提供し、データについては OGSA-DAI[7]を用いて提供することを考えている。また、検索結果については、Web Map Service(WMS)、Web Feature Service(WFS)、および Web Catalogue Service(WCS)など、Open Geospatial Consortium(OGC)[8]によって規定されている Web サービスによって提供されるのが一般的である。そのため、サービス提供者側において、WS GRAM、OGSA-DAI、および Apache などのウェブサーバ、およびファイル転送などのサービスが、VOMS プロキシによるアクセス制御を実現する必要がある。我々は WS GRAM、Pre-WS GRAM、GridFTP、Apache のいずれも VOMS を用いたアクセス制御機能を実現していることを確認した。Apache については、GridSite ツール[9]の一つとして提供されている mod_gridsite モジュールを採用した。OGSA-DAI については、現在開発中の Version 3.0 において、VOMS を用いたアクセス制御が実現される予定である。

また、今後 GSI を用いない認証方式の導入およびユーザが独自に管理する証明書を用了認証機構の組み込みを進める予定である。

4.2. サービスの構築

GEO Grid 情報基盤においては、計算やデータなどのリソースはすべて標準的なプロトコルを用いて利用可能な「サービス」として提供される。我々は Globus Toolkit Version 4(GT4)を用いてリソースをサービスとして構築する手段を提供する。計算リソースをサービスとして構築する方法としては、Apache Axis 上での Java Service として実装する方法や、汎用のジョブ管理サービスである GRAM を介して計算リソースを呼び出す方法がある。また、データリソースについては、OGSA-DAI を用いてサービスとして提供する。

4.3. データ統合

複数のデータベースを連携させるために、我々は OGSA-DAI を用いて以下の 3 つの機能を提供する。

4.3.1. 分散結合演算を含む、データベース問い合わせ機能

データベース問い合わせに対しては、我々は OGSA-DAI のデータベース問い合わせインタフェースを提供する。これにより、遠隔データベースを容易に検索することができる。OGSA-DAI はデータサービスとデータリソースの構成に応じ、いくつかのレベルでデータベース連携をサポートする。例えば単一サイトであれば、Oracle や PostgreSQL など異なるソフトウェアにより構築される複数のデータリソースを、一つのデータサービスにまとめて提供することができる。データリソースが複数のサイトにまたがる場合は別々のデータサービスとして提供することになる。

問い合わせ処理の場合、例えば同じ問い合わせを複数のデータリソースに対して行なうのであれば、OGSA-DAI フレームワークにより複数のデータリソースに対する問い合わせを並列に効率よく行うことが

できる。異なる管理ドメインに分散されたデータリソースが別々のデータサービスにより提供されている場合には、OGSA-DQP(Distributed Query Processing)[10]を用いて結合演算や問い合わせの最適化を行なうことができる(図4)。

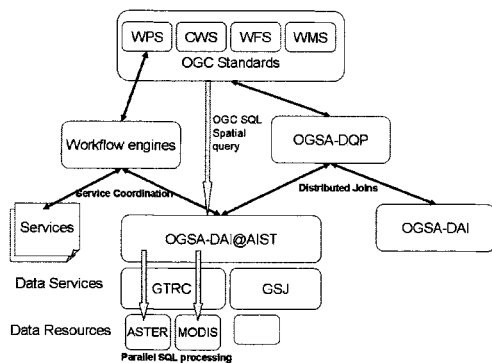


図4 OGSA-DAIによるデータベース連携

4.3.2. RDB, WebDB などの様々なデータベースを統一的なインタフェースで扱う機能

OGSA-DAIはRDBおよびXMLデータベースをサポートするが、Webデータベースをサポートしていない。Webデータベースを含むデータベース連携を実現するために、OGSA-DAI SQLインタフェースの拡張であるOGSA-WebDB[11]を用いる。OGSA-WebDBはWebデータベースをラップしてRDBのテーブルとして提供する。OGSA-DQPはRDBのみをサポートしているが、我々はRDBとWebDBとの統合を実現するために、WebDBをサポートするためのDQPに対する拡張機能を実装中である。

また、情報の意味(性質)を表現するRDF(Resource Description Framework)を利用し、オントロジを用いてデータの意味を解釈しながら効率的な検索を行なう技術の研究開発が行われているが、我々はOGSA-DAI-RDF[12]により、大規模な分散計算ソフトウェアや異なるモデルの分散データベース連携を実現する。OGSA-DAI-RDFは異なるデータベースソフトウェアで管理されているRDFのデータに対し、SPARQLという標準言語を使ってグリッドの環境から容易に、かつ統一的に検索できる機能を提供するソフトウェアであり、オープンソースソフトウェアとして公開されている。

4.3.3. サービス間でのデータ転送を可能とする第三者転送機能

検索結果を元に別の検索を行なう、あるいは、検索結果を計算に渡すなどのワークフローを効率よく実現するためには、検索結果をクライアントに戻さずに直接次のサービスに渡す第三者転送の機能が必要である。我々はアクティビティフレームワークと呼ばれるOGSA-DAIのフレームワークを用いてこの機能を実現する。

4.4. GEO Grid Toolkit

3節で述べたように、我々はサービス提供者、VO管理者およびGEO Grid管理者が容易にGEO Grid情報基盤を利用するためのGEO Grid Toolkitを開発する予定であるが、まだ設計段階であるため、本稿ではその詳細は報告しない。

5. 予備評価

GEO Grid情報基盤の設計及び実装の妥当性を検証するため、我々はGEO Grid情報基盤で用いる主要ソフトウェアコンポーネントであるGAMA, VOMS, OGSA-DAI, GT4, GridFTPおよびApache with mod_gridsiteの配備および検証を行なった。我々が開発したGAMAにおけるVOMSインタフェース拡張を組み込むことにより、GAMAとVOMSを用いたユーザアカウント管理およびVOMSプロキシの生成が期待通り実現できることを確認した。また、GT4 WS GRAM, GT4 Pre-WS GRAM, GridFTPおよびApache with mod_gridsiteにおいては、VOMSプロキシに埋め込まれた属性情報を用いたアクセス制御が実現できることを確認した。OGSA-DAIについては、OGSA-DAI 3.0リリース後にVOMSプロキシを用いたアクセス制御のテストを行なう予定である。

GEO Grid情報基盤のテストアプリケーションとして、我々は衛星データのひとつであるASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)[13]データを用いたシステムを実装した。ASTERはNASAが打ち上げているTerraという衛星に搭載されたセンサーであり、実際には二台のセンサーが備えられており、それらの観測結果をもとに地上の標高モデルを求めることができる。ASTERデータはTerraの打ち上げ後ERSDAC(Earth Remote Sensing Data Analysis Center)が管理するデータベースに保管され、有償データとしてユーザに提供されている。ASTERデータは日々約70~100GBの割合で生成され、Terra打ち上げ後のデータ量は約125TBである。

ERSDACはASTER GDS(Ground Data Ssystem)[14]と呼ばれるシステムにより、ASTERデータの検索・提供サービスを行なっている。我々はGEO Grid情報基盤を用いてASTERデータの検索・提供サービスであるASTER Gridシステムを実現し、データの即時提供、データ購入前にOGC規格準拠フォーマットでのデータの検証、ASTERデータのサムネイル画像と地質図などの重ね合わせを単一GUI上で行なう、などの付加機能が実現されることを検証した。

ASTER Gridシステムにおいては、ASTERデータはデータベースではなくクラスタファイルシステムに保存される。利用するクラスタ(GEO Gridクラスタ)はGiga-bit Ethernetで接続される28台のdual Xeon ノードにより構成され、各ノードは6.3TBのハードディスクを搭載し、全体で176.4TBの容量を備える。クラスタファイルシステムとしてはGfarm[15]を用いている。現時点で125TBのデータが格納され、日々NASAから約70GBのデータが転送され、GEO

Grid クラスタに保存されている。メタデータの管理には PostgreSQL に対して GIS の拡張を行なっている PostGIS を使い、メタデータは OGSA-DAI によりデータサービスとして提供される。また、データ処理には Giga-bit Ethernet で結合された 256 ノードの dual Xeon により構成される F32 クラスタを用いている。GEO Grid クラスタと F32 クラスタは 10Giga-bit Ethernet で接続されている。

ユーザはデータを検索し、サムネイル画像を見ながら求めるデータが見つかったらそのデータから数値地形モデルを求め、取得するという操作を行なうが、ASTER Grid システムにおいては、「データの検索」「数値地形モデルへの変換」および「結果の転送」のそれぞれが個別のサービスとして実装され、それらが連携することにより上位のサービスとして提供される。具体的には、OGSA-DAI を用いたデータ検索を行い、データが見つかったら WS GRAM を用いて F32 クラスタ上で数値地形モデルを求めるソフトウェアを実行する。GEO Grid クラスタ上のデータは GridFTP により F32 クラスタに直接転送され、ユーザのクライアントマシンに中間データを転送する必要はない。

各ソフトウェアコンポーネントの予備評価および ASTER Grid システムの開発・テストを通じ、我々は GEO Grid 情報基盤の設計および実装の妥当性を検証することができた。

すべてのリソースを標準的なプロトコルを介して利用可能なサービスとして提供することにより、大規模データの提供およびサービス連携が可能となった。ASTER Grid システムにおいては Gfarm を用いてクラスタファイルシステム上にデータを保持することにより、データの即時提供を可能としたが、データリソースをサービスとして抽象化し、提供することにより、実際にデータを保持するストレージシステムやファイルシステムに依存しない設計となっている。また、今回は数値地形モデルの生成に F32 クラスタを利用したが、例えば同様な処理をより高速に行える CELL 上で同様なサービスが提供されれば、そのサービスを利用する上位サービスを容易に構築することができる。

GAMA と VOMS を用いたセキュリティフレームワークにより、ユーザに対しては簡便なインタフェースを提供し、サービス提供者に対してはポリシーに応じた柔軟なアクセス制御が実現可能であることが確認された。また、VOMS を用いた VO レベルでのアクセス制御により、ユーザ数に対してスケーラブルなセキュリティ機構が実現される。

6. まとめと今後の課題

本稿では GEO Grid 情報基盤の設計と実装、および予備評価結果について報告した。GEO Grid 情報基盤においては、計算およびデータリソースはすべて標準的なプロトコルにより利用可能なサービスとして提供される。研究コミュニティは VO を構成し、必要なサービスを組み合わせて VO 内のユーザに提供する。VOMS を用いた認可機構により、サービス提供者のポリシーに応じた柔軟なアクセス制御および VO 単位での

認可による、ユーザ数に対してスケーラブルなセキュリティ基盤が実現される。

今回述べた情報基盤については未実装部分があるが、実際のデータ (ASTER データ) を用いた検証を行い、妥当性を確認できた。引き続き必要なソフトウェアの開発を行い、情報基盤全体の構築および GEO Grid Toolkit の開発を進める予定である。

謝辞

議論を行なっていただいた GEO Grid 運営委員会および産総研グリッド研究センター地球観測グリッドチームのメンバ諸氏に感謝します。

参考文献

- [1] "The Grid: Blueprint for a New Computing infrastructure", 2nd edition, Morgan Kaufmann Publishers, 2004.
- [2] I. Foster et al. "The Physiology of the Grid," Grid Computing: Making the Global Infrastructure a Reality, Wiley, pp. 217-249, 2003.
- [3] B. Sundaram "Introducing GT4 Security," IBM developerWorks, 2005.
- [4] R. Alfieri, et al. "From grid-mapfile to VOMS: managing authorization in a Grid environments," FGCS, Vol. 21, No. 4, pp. 549-558, 2005.
- [5] K. Bhatia, et al. "GAMA: Grid Account Management Architecture," IEEE Intl. Conf. on EScience and Grid Computing, 2005.
- [6] I. Foster "Globus Toolkit Version 4: Software for Service-Oriented Systems," IFIP Intl. Conf. on Network and Parallel Computing, LNCS 3779, pp. 2-13, 2006.
- [7] OGSA-DAI project, <http://www.ogsadai.org.uk/>.
- [8] Open Geospatial Consortium, <http://www.opengeospatial.org/>.
- [9] A. McNab "The GridSite Web/Grid security system," Software: Practice and Experience, Vol. 35, Issue 9, pp. 827-834, 2005.
- [10] S. Lynden et al. "The Design and Implementation of OGSA-DQP: A Service-Based Distributed Query Processor", (submitted for publication).
- [11] S. Mirza et al. "OGSA-WebDB: Enabling Web Database Access and Integration in the Grid," 1st SIIK Workshop, pp. 215-224, 2006.
- [12] I. Kojima "Design and implementation of OGSA-DAI-RDF: Extending OGSA-DAI to Support Semantic Web/Grid Application," <http://www.datagrid.org/>, 2007.
- [13] Y. Yamaguchi et al., "Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)," IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, Vol. 36, No. 4, pp. 1062-1071, 1998.
- [14] ASTER GDS, <http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/>.
- [15] O. Tatebe et al. "Grid Datafarm Architecture for Petascale Data Intensive Computing," Int. Symposium on Cluster Computing and the Grid, pp. 102-110, 2002.