

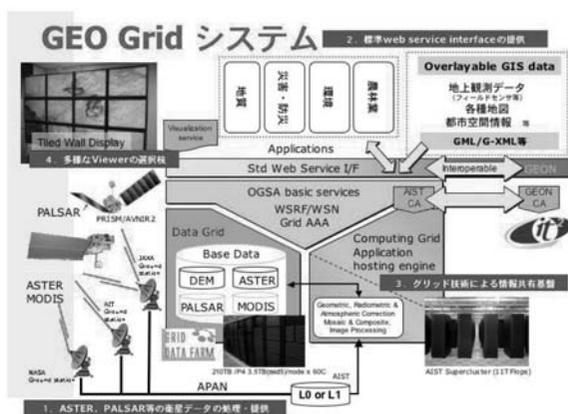
地球観測グリッドシステム (GEO Grid) : 情報統合の新展開

中村 良介¹⁾・土田 聡¹⁾・山本 直孝¹⁾・山本 浩万¹⁾・関口 智嗣¹⁾
浦井 稔²⁾・児玉 信介²⁾・在岡 麻衣²⁾・亀井 秋秀²⁾・佐々井崇博²⁾

1. はじめに

グリッド技術は、PCのような計算機資源だけでなく、ネットワーク上のあらゆる情報リソースを仮想的に統合するための情報基盤技術です。グリッドという言葉は、もともと電力網(パワーグリッド)に由来しています。我々が電気を使う時、それがどこのどのような(火力/原子力/水力)発電所で作られたかを意識することはほとんどありません。またつくられた電気が、発電所からどのような経路で自分の家庭やオフィスのコンセントまで到達するか、途中でどのように変圧されているかを知る必要もありません。電力網は、適当な電圧/周波数/コンセント形状に対応した電子器具があれば、そのプラグをコンセントにさすだけで、即座に利用できる安定で成熟したインフラです。グリッド技術は、ユーザーが自分の端末をネットワークに接続するだけで、遠隔地にあるCPU/記憶装置/データ/アプリケーション、さらにはデータを取得する実験施設や観測装置といったあらゆる情報リソースを、電力網と同様な容易さで利用できるようにするための技術なのです。

産業技術総合研究所では、グリッド研究センター(以後、GTRC)と地質調査総合センター(以下GSJ)が中心となって、地球観測グリッドシステムGEO Gridの開発を進めています(土田, 2006)。GEO Gridの主な目的は、グリッド技術を用いて、ペタバイトに及ぶ地球観測衛星データの大規模アーカイブを提供し、さらに各種観測データベースやGISデータと統合したサービスを安全かつ高速に提供することにあります(第1図)。ユーザーは特別な知識がなくとも、地球全体を網羅する大容量の衛星画像と種々の地球科学データ



第1図 GEO Gridの概念図。

を統合し、複雑かつ面倒な解析を効率的に行なうことができるのです。またOGSA/WSRFといった国際標準に準拠したグリッド技術を利用しているため、他機関で管理/提供されているデータともスムーズかつ安全に連携できます。当面は地球科学の研究者を対象としていますが、将来的には防災や環境管理に関わる行政関係者や一般の人々にもシステムを公開し、利用してもらうことを想定しています。本稿では、GEO Gridの現状と、いくつかの具体的な利用例を紹介します。GEO Gridのシステムに関するより詳細な解説は、GEO Gridの公式サイト(<http://www.geogrid.org>)およびYamamoto *et al.* (2006)を参照してください。

2. GEO Gridの衛星データ

GEO Gridの中核となるデータは、経済産業省が開

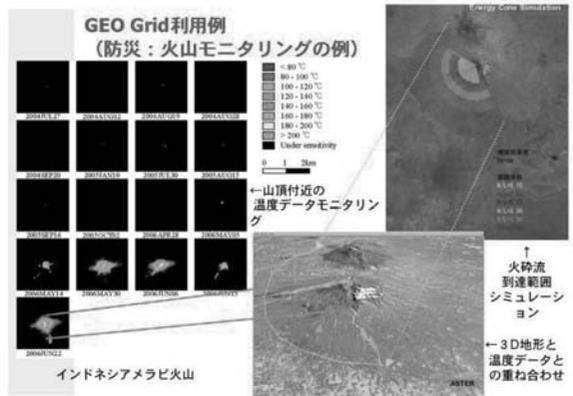
1) 産総研 グリッド研究センター
2) 産総研 地質情報研究部門

キーワード: グリッド技術, 衛星画像, 地質情報, ASTER, PALSAR

発した地球観測センサASTER (Yamaguchi *et al.*, 1998)の画像です。ASTERは人間の眼に見える可視光と、それよりもやや長い波長域の赤外線地上を観測するだけでなく、ステレオ観測機能によってDEM (Digital Elevation Model)と呼ばれる3次元地形モデルを生成することができます。ASTER1シーンの大きさは60km四方ですが、ASTERデータの高い幾何補正精度とグリッド技術の提供する計算能力を生かして、2006年度中には東アジア全域をカバーするDEMモザイクを作成する予定です。同種のデータとしては、スペースシャトルのレーダーによって取得されたSRTM (Shuttle Radar Topography Mission)のDEMがありますが、全球をカバーする分解能はASTERが15mであるのに対して、SRTMは90mしかありません。また、

- ・ スペースシャトルの軌道の制約のため、緯度60度以上の領域はカバーしていない
- ・ 山地などでは、電波が遮られてデータが取得できていない領域がある
- ・ 観測されたのは、シャトルのミッション中の地形であり、その後の変化を捉えることができない

といったSRTM DEMの制約を、ASTER DEMで克服することができます。実際、2005年のパキスタン地震では、大規模な地すべりに伴う地形変化の検出と、その定量的な評価に成功しています (Urai *et al.* 2006)。今年度中には、これまでに取得された全ASTERデータ (>100TB)がGTRCに転送され、従来のテープアーカイブではなくグリッドファイルシステム (Tatebe *et al.*, 2002)を利用したハードディスクベースのアーカイブに保存されます。つまり2007年度以降になると、ユーザーは世界の任意の領域について任意の大きさのASTER DEMを生成/取得することができるようになるわけです。GEO Gridから提供されるプロダクトの中でも、地球の全陸域をカバーするDEMは、もっとも多様な応用例を持つことが期待されています。また、2006年1月に打ち上げられた衛星「だいち」に搭載されているレーダーセンサPALSARについても、同様のアーカイブを作成する予定です。電波を用いるPALSARは、地上が雲に覆われている場合や夜間であっても観測ができます。また、干渉解析によって地震や地すべりに伴う数cm程度の微小な



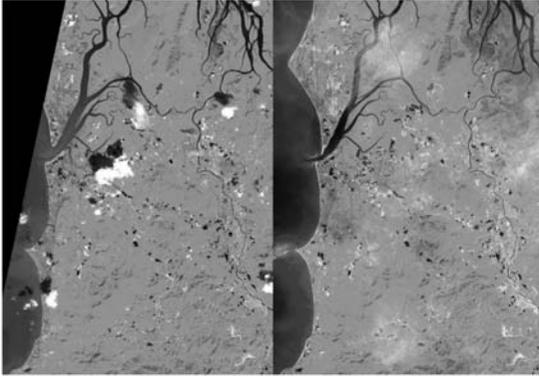
第2図 GEO Gridの火山防災への応用例(口絵5頁の1)。

地殻変動を検出することも可能です。

3. 応用事例

3.1 火山防災

DEMの具体的な応用例として、現在も活発な活動が続いているインドネシアのメラピ火山のASTER DEMにEnergy coneモデル (宝田ほか, 1993)を適用し、火砕流の到達範囲をシミュレートした結果を第2図に示しました。アジアには、メラピ以外にも活動が盛んな火山が数多く存在します。こうした火山すべてについて、世界中のどこからでも同様なシミュレーションを行なうことができるようなインターフェースの開発が進行中です。ユーザーはGEO Gridポータル上から、衛星画像を見ながら火砕流の起点となる溶岩ドームや噴煙中の位置、摩擦係数などのパラメータを入力します。シミュレーションの結果は、研究者のみならず避難計画の策定などに携わる行政関係者なども利用しやすいよう、WEBブラウザ上で確認するだけでなく手元にダウンロードして、より詳細な現地情報と容易に比較することができるようにします。また、より高度なモデルを用いることで、シミュレーションの予測精度を高めたり、適用対象を火砕流だけでなく溶岩流に拡張することも計画しています。過去の研究から、溶岩流のシミュレーション結果は、利用するDEMの分解能/精度に非常に大きく影響されることがわかっています (Miyamoto and Papp, 2004)。つまりGEO Gridが提供するASTER DEMによって、溶岩流シミュレーションの精度が著しく向上すると期待で



第3図 ASTERで撮像された津波前後のタイ南岸の様子
(口絵6頁の3).
(左: 2004年12月31日, 右12月26日撮影)



第4図 バンコクの東側で建設が進められている Suvarnabhumi第二国際空港(口絵6頁の4).
(左: 2000年11月2日撮影, 右: 2006年2月4日撮影)

きます。

3.2 土地被覆変化

最近のGoogle Earthなどの普及によって、衛星画像は一般の人々にも身近なものとなりつつあります。しかし、自分の住居や職場の周辺を見てみると、多くの場合、かなり昔に画像が取得されていることがわかるでしょう。たとえ比較的最近取得された画像だったとしても、それが何月何日の状況なのかを知ることはできません。一方、GEO Gridから取得できるすべての画像は、取得された正確な日時がわかります。第3図は、2005年12月に発生した大規模な津波の前後に取得されたタイ南部の海岸の様子です。2枚の画像の比較から、津波による被害の大きさをうかがい知ることができます。前述のように、GEO Gridでは、膨大な衛星データを全てハードディスクに保存しています。テープアーカイブに基づく従来のシステムでは、テープからデータを取り出す部分が律速となり、ユーザーが要求したデータが実際に手元に届くまでに数日を要していました。一方GEO Gridでは、ユーザーは過去の全ASTERデータを即座に取り出し、必要な処理を施すことができます。現在、上述の津波のような災害時の緊急対応のために、日々取得されるASTERデータ(～70Gbyte)をNASAから直接GTRCに転送するシステムを開発しています。またGEO Gridでは、基本的には生データのみがアーカイブに保存され、幾何・放射量補正や大気補正といった高次プロダクトは、ユーザーからの要求があった時に生成されます。

このため、ユーザーは常に最新の高精度アルゴリズム(e.g., Iwasaki and Fujisada, 2005; Sakuma *et al.*, 2005; Tonooka, 2005)で生成されたプロダクトを入手できます。

第4図は、バンコクの東部に建設中の新国際空港周囲の変遷を示しています。アジアには、こうした急速な発展を遂げつつある大都市が多数存在します。ASTERを搭載したNASAのTERRA衛星は1999年末に打ち上げられ、現在もデータを取得し続けています。今後も衛星および各センサに不具合が生じない限りは、運用の継続が期待されるため、こうした長期にわたる都市化の研究についてもGEO Gridは貴重なデータを提供するでしょう。

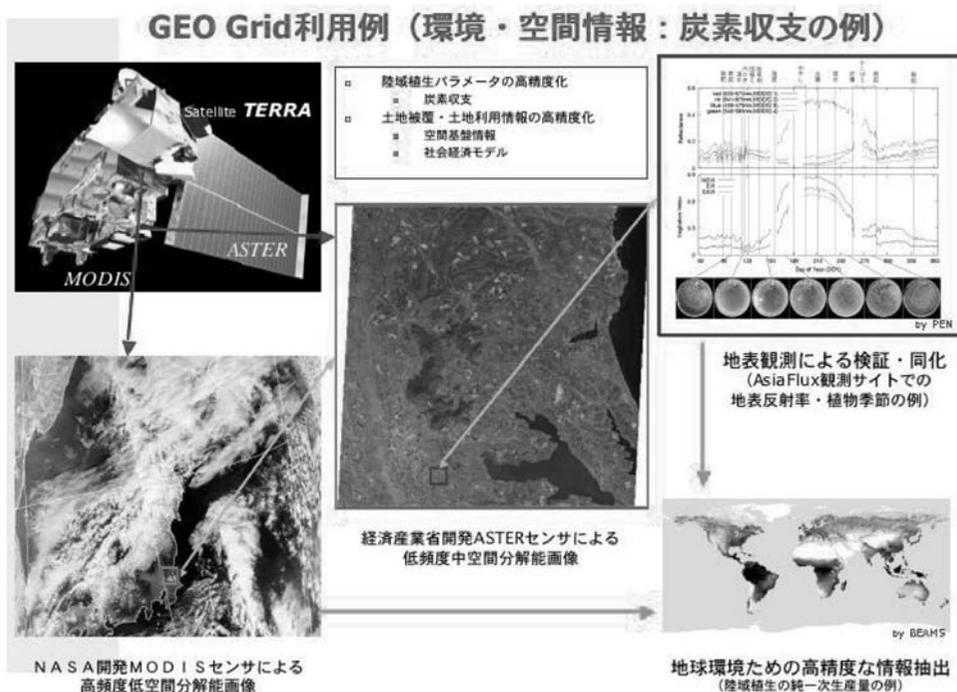
第2図で示したようなメラピ山頂の温度変化や、こうした土地被覆の変遷の研究において、通常ユーザーは以下のような手順で解析作業を進めます。

- 1 対象とする領域を選定
- 2 対象とする期間を指定し、対象領域を含む画像を全て検索取得
- 3 各画像について、必要な解析処理(植生指数の計算、赤外画像からの温度の導出、土地被覆分類など)を実行
- 4 全データの時系列作成

GEO Gridでは、こうした基本的な解析手順をパッケージ化したワークフローを提供することで、ユーザーがデータ解析作業ではなく、結果の解釈に時間を費やせる環境を整えます。

3.3 地球環境変動

TERRA衛星には、ASTERよりも空間分解能が低い



第5図 GEO Gridの環境管理への応用。

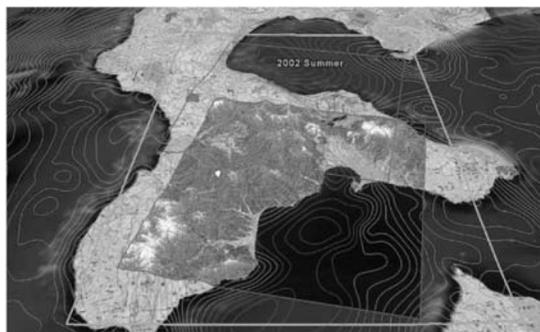
(~1km)が、地球上の任意の地点を一日一回必ず観測でき、より多数の波長域で観測を行なうMODISセンサが搭載されています。ASTERとMODISのデータを組み合わせ、それぞれの特徴を生かした解析を行なうことで、大気補正や土地被覆分類精度の精度向上が期待できます。また、衛星から取得されるリモートセンシングデータは、定期的に地上観測サイトデータとの比較によって検証される必要があります。そこでGEO Gridでは、ASTERデータを、MODISデータやPhenology Eye Network (土田ほか, 2005)で取得された地上データと統合するシステムを開発しています。将来的には、このシステムを他衛星のデータやDCP (岩男ほか, 2006)のような地上観測サイトデータとシームレスに統合できるよう拡張し、全球の土地被覆分類図や炭素循環モデル (Sasai *et al.*, 2005)の精度向上に役立てることを目指しています (第5図)。

3.4 地質データとの統合利用

産総研では、様々な地球科学 (地質および環境) 情報を長年にわたって蓄積してきました。最近では、こうした情報は電子的なGISデータとして保持されて

おり、ユーザーにはCD ROMやインターネットを通じて配布されることが多くなってきています。ASTERは自ら高精度のDEMを生成できるため (Fujisada *et al.* 2005), 非常に高い幾何補正精度を持っています (Iwasaki and Fujisada, 2005)。このため、こうしたGISデータと正確に重ね合わせられる正射影画像や、そのモザイクを簡単に作成することができます。

第6図では、ユーザーがGSJのシームレス地質図および重力図を背景としたベースマップを見ながら



第6図 GEO Grid上でのASTER画像と地質データの統合例。

ASTER正射影画像を検索/処理し、その結果を元のベースマップに重ね合わせている状況を示しています。ユーザーは、ベースマップを自由に切り替えることで、自分の興味のある領域を選び、そこが実際にどう見えるかを衛星画像で確認することができます。逆に衛星画像から選んだ領域について、地質や地下構造を調べることも可能です。GSJから提供される日本の地球化学図DBや活断層DBはもとより、東アジア・東南アジアを対象とした数値地質図(宝田, 2005)などもベースマップとして利用する予定です。将来的には、GEO Gridを地すべり予測研究(Kawabata *et al.*, 2005)や、ASTERの鉱物分類アルゴリズム(Ninomiya *et al.*, 2005)の検証へも応用していく予定です。

4. GEO Grid の今後

GEO Gridは、産総研の地質分野・情報通信エレクトロニクス分野・環境エネルギー分野の緊密な連携のもと、従来の枠組を超えた融合研究として進められています。本特集にまとめられているGSJ地質データベースとの協調が、外部連携の最初の具体的なステップになるでしょう。次の目標は、農林水産研究情報センターや国立環境研究所、筑波大学といった近隣研究機関とASTERと同じTERRA衛星に搭載されているMODISデータをつくばWAN経由で共有し、陸域の炭素循環研究に応用することです。また、世界の同種の地球科学グリッドプロジェクトや国外のユーザーとの連携によって、今後のさらなる発展がもたらされるでしょう。米国の地質グリッドプロジェクトGEON(Geosciences Network; Seber *et al.*, 2003; <http://www.geongrid.org>)との間では、

- ・ 日本/米国の地質データの相互利用
- ・ GEONが提供するLidar DEMを用いたASTER DEMの検証
- ・ 共通のデータ解析処理を行なうワークフローの共同開発
- ・ セキュアな相互認証に基づく計算リソースの共有
- ・ オントロジーを用いた検索エンジンの開発

などを共同で進めています。また、

- ・ 産総研と包括協力協定を結んでいるベトナムの国立研究機関VAST
- ・ 高空間分解能(~2.5m)と高時間分解能(~一日)を併せ持つFORMOSAT-2衛星データを擁する台湾の成功大学防災研究センター
- ・ ASTERを利用した、地質や都市化の先端的な研究を行なっているアメリカのアリゾナ州立大学

といった海外ユーザーとの国際研究交流も、積極的に推進していきます。こうした活動を通じて、GEO Gridを地球観測サミットの「GEOSS10年実施計画」や総合科学技術会議の「地球観測の推進戦略」を具現化するCyberinfrastructureに育てあげ、地球環境保全・資源探査・自然災害軽減といった地球規模の社会的問題解決に貢献することを目指しています。

GEO Gridの研究開発は、田中良夫・小島 功(GTRC)、宝田晋治・脇田浩二(GSJ)、岩男弘毅(国立環境研究所)・西田顕郎(筑波大学)各氏の協力によって進められています。また火砕流シミュレーションのプログラムは、中野司氏(GSJ)から提供されたものです。本稿で使われているASTER画像の権利は、経済産業省に帰属しています。

参 考 文 献

- Fujisada, H., Bailey, G.B., Kelly, G.G., Hara, S. and Abrams, M.J. (2005): ASTER DEM performance, *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 43, 2707-2714.
- 岩男弘毅・西田顕郎・山形与志樹(2006): 緯度経度整数地点の土地被覆情報を用いた土地被覆図の検証手法, 写真測量とリモートセンシング, (in press).
- Iwasaki, A. and Fujisada, H. (2005): ASTER geometric performance, *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 43, 2700-2706.
- Kawabata, D., Bandibas, J. and Urai, M. (2005): Landslide Susceptibility Index Map Generation Based on Geologic and Geomorphologic Factors Using Artificial Neural Network, *Proceedings of IAMG'05 GIS and Spatial Analysis*, 1, 232-236.
- Miyamoto, H. and Papp, K. R. (2004): Rheology and topography control the path of a lava flow: Insight from numerical simulations over a preexisting topography, *Geophysical Research Letters*, 31, Issue 16
- Ninomiya, Y., Fu, B. and Cudhy, T.J. (2005): Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared "radiance-at-sensor" data, *Remote Sensing of Environment*, 99, 127-39.
- Sakuma, F., Ono, A., Tsuchida, S., Ohgi, N., Inada, H., Akagi, S. and Ono, H. (2005): Onboard calibration of the ASTER instrument *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*,

- 43, 2715-2724.
- Sasai, T., Ichii Kazuhito, Yamaguchi Yasushi and Nemani Ramakrishna (2005) : Simulating terrestrial carbon fluxes using the new biosphere model "biosphere model integrating eco-physiological and mechanistic approaches using satellite data" (BEAMS), *Journal of Geophysical Research*, 110, Issue G2.
- Seber, D., Keller, R., Sinha, K. and Baru, C. (2003) : American Geophysical Union, Fall Meeting, abstract #U21A-04.
- 宝田晋治 (2005) : 第一回IGMA5000編集会議参加報告, *GSIニューズレター*, 7, 4.
- 宝田晋治・山元孝広・中野 司・村田泰章・風早康平・川辺禎久・阪口圭一・曾屋龍典 (1993) : 雲仙岳1991-92年噴火の火砕流のコンピュータシミュレーション, *地調月報*, 44, 25-54.
- Tatebe, O., Morita, Y., Matsuoka, S., Soda, N. and Sekiguchi, S. (2002) : in *Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid 2002)*, 102-110.
- Tonooka, H. (2005) : Accurate atmospheric correction of ASTER thermal infrared imagery using the WVS method, *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 43, 2778-2792.
- 土田 聡 (2006) : 地球観測グリッド (GEO Grid) システム, *AIST Today*, 6, 20-21.
- 土田 聡・西田顕郎・岩男弘毅・川戸 渉・小熊宏之・岩崎 晃 (2005) : Phenological Eyes Network-衛星による地球環境観測のための地上検証ネットワーク, *日本リモートセンシング学会誌*, 25, 282-288.
- Urai, M., Kawabata, D., Nakamura, R. and Tsuchida, S. (2006) : Landslides observation with ASTER caused by the 2005 Pakistan Earthquake, *International Conference on Earthquake in Pakistan*, 105-106.
- Yamaguchi, Y., Kahle, A.B., Tsu, H., Kawakami, T. and Pniel, M. (1998) : Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 36, 1062-1071.
- Yamamoto, N., Nakamura, R., Yamamoto, H., Tsuchida, S., Kojima, I., Tanaka, Y. and Sekiguchi, M. (2006) : GEO Grid: Grid infrastructure for Integration of Huge Satellite Imagery and Geoscience datasets, *Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Computer and Information Technology* (in press).

NAKAMURA Ryosuke, TSUCHIDA Satoshi, YAMAMOTO Naotaka, YAMAMOTO Hirokazu, SEKIGUCHI Satoshi, URAI Minoru, KODAMA Shinsuke, ARIOKA Mai, KAMEI Akihide and SASAI Takahiro (2006) : GEO Grid: A cyberinfrastructure to integrate satellite imagery and geological GIS data.

<受付: 2006年8月25日>