

イベント検知に基づく衛星画像と Web コンテンツの統合

高木 崇[†] 川島 英之^{††} 天笠 俊之^{††} 北川 博之^{††}

[†] 筑波大学 大学院 システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

^{††} 筑波大学 大学院 システム情報工学研究科 計算科学研究センター 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†]t_takagi@kde.cs.tsukuba.ac.jp, ^{††}{kawasima, amagasa, kitagawa}@cs.tsukuba.ac.jp

あらまし 情報技術の急速な発展により、従来は情報量が膨大であり、扱うことが困難であった自然科学データの蓄積・配信が容易となった。我々の参加する GEO Grid プロジェクトは 2000 年から現在に亘る衛星観測データを収集しており、その収集量は 150TB 程度である。このように、膨大になった自然科学データに対して、地理情報などの異種情報源を統合することによって新たな価値を生み出すことが求められている。本研究では、イベントをキーとした衛星画像と異種情報源の統合を目的とし、衛星観測データからのイベント検出手法について提案する。提案したイベント検出手法と比較手法において、合成データに対してイベント検出を行ったところ、提案手法が比較手法に比べて、約 100 倍の実行速度を持ち、検出精度が約 95%であることを確認した。また、実際の衛星観測データからのイベント検出を行ったところ、実世界で発生したイベントを検出できることが示唆された。

キーワード 衛星観測データ, Web, 情報統合

Integration of Satellite Images and Web Contents based on Event Detection

Takashi TAKAGI[†], Hideyuki KAWASHIMA^{††}, Toshiyuki AMAGASA^{††}, and Hiroyuki KITAGAWA^{††}

[†] Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

^{††} Graduate School of Systems and Information Engineering and Center for Computational Science, University of Tsukuba Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

E-mail: [†]t_takagi@kde.cs.tsukuba.ac.jp, ^{††}{kawasima, amagasa, kitagawa}@cs.tsukuba.ac.jp

Abstract It has become easy to accumulate and to deliver science data by the evolution of hardware technologies. The GEO Grid project has collected the satellite observation data from 2000 to present, and the amount of the collection is about 150 TB. It is required new value to generate by integrating different informations such as geographic information and natural scientific data. This paper proposes an event detection technique from satellite observation data to integrate satellite images and different informations based on event detection. In the proposed method and the comparative method, it was confirmed that the proposal method had about 100 times faster on execution speed compared with the comparative method, and that the detection accuracy was about 95% with artificial data. Moreover, it was suggested to be able to detect event occurring in the real world from real satellite observation data.

Key words Remote Sensing Data, Web, Information Integration

1. はじめに

近年、ネットワークインフラの発展や、計算機性能の向上により、様々な情報資源の統合的利用が求められている。特に、以前は扱うことが困難であった、大規模な科学データにおいて

は、その蓄積量が膨大となり、研究者が効率的に利用を行うことが困難であるという問題がある。この背景を受けて、近年 e-Science 分野における研究が盛んに行われている。

e-Science とは、John Taylor 氏によって提唱された言葉であり、高速ネットワーク上で、科学データの相互利用、統合利用、

人的交流などを目指した基盤技術に関する学術領域である [1] . e-Science 分野における研究として、天体観測データの利用基盤に関する研究 [2] [3] や、素粒子実験データの利用基盤に関する研究 [4] 等が行われている。衛星観測データの利用基盤に関する研究として、我々が参加している GEO Grid プロジェクトがある [6] .

GEO Grid プロジェクトでは、グリッド技術を用いた地球観測データの大規模アーカイブシステムの開発を行っている。GEO Grid には、衛星画像や地質データ等の各種地球観測データがアーカイブされており、中でも、光学センサ「ASTER」によって撮影された画像は 2000 年から現在に亘る間で、そのデータ量はおよそ 150TB である。GEO Grid は現在も地球観測データの収集を続けており、データ量は今後もさらに増加していく。これらのデータを、いかに効率よく統合・検索するかが問題となっている。

衛星観測データに対する従来の検索システムでは、ユーザが、時区間や観測領域、画像中の雲量などを入力し、システムは、衛星観測データのメタデータと入力とを比較し、一致するものを出力していた。また、衛星観測データの検索要求として、[8] [9] [10] の研究に見られるように、ある特定の地形変化検出がある。[8] では、人工衛星 SAR 画像を利用し、2004 年に発生した新潟県中越地震の被害地域検出手法を提案している。この研究では、地震発生前後の 2 枚の画像を用いて、その差分や相関係数の値から建物の倒壊地域の推定を行っている。[9] では、建物 GIS データの更新を目的とし、高分解能衛星画像 IKONOS 画像と GIS データの差分を取ることで、既存の GIS データに含まれない個々の新築物を自動的に検出する手法を提案している。[10] では ASTER 画像を用いたグローバル火山観測計画、および火山画像データベースの構築に関する研究を行っている。[10] の筆者らは、過去に噴火履歴のある火山を対象に、火山に関する表面温度などの各属性と、衛星画像、位置、ハザードマップなどをデータベース化している。このデータベースを利用することにより、「ある火山の地表面温度が急激に増加した時間を検索せよ」といった、あるイベントに対する時間情報を検索することが可能である。このように、衛星観測データを使用して、特徴的な地形変化 (イベント) のモニタリングや、自動検出に関する研究が行われている。以上より、衛星観測データの利用目的の一つとして、イベント検出が含まれていると考えられる。

しかし、これらの検出システムは、噴火履歴のある火山などといったイベントが発生する可能性がある空間、もしくは地震・津波などのイベントが発生した時間が既知であり、イベントの発生する時空間が既知であることを前提としたシステムである。イベントに関する時間・空間情報が共に未知である状態で、イベント検出を行うシステムは、我々が知る限りでは存在しない。本研究では、イベントを体積が大きく変化した領域と考え、従来のシステムとは逆に、イベント発生を表すパラメータ (体積変化量) を入力とし、イベントが発生した可能性がある領域を出力とすることで、衛星画像から任意の体積変化を持つ時空間領域を検索することが可能である。

そこで本研究では、衛星画像に対して、イベントをキーとした問合せが可能なシステムを提案する。本システムでは、標高データである DEM 画像の差分値を基にイベント検出を行う。本システムでは、標高値が大きく変化している領域をイベントとし、検出のために入力されるパラメータを、体積変化量とする。本システムが受け取る問合せは、入力を体積変化量に関する条件式 (等号・不等号、数値) と時区間 (t_1, t_2) とし、入力された時区間に存在する衛星画像の差分画像に対して、入力条件式が真となる時空間領域 ($x_1, x_2, y_1, y_2, t_1, t_2$) を求めるものである。これにより、「2000 年 1 月 30 日から 2005 年 4 月において、体積変化が $1000m^3$ 以上であるイベントが検出される緯度経度と時間を求めよ」といった問合せが可能である。また、差分画像を作成の際、入力時区間に存在する衛星画像の数を n とすると、作成される差分画像は ${}_nC_2$ 通りであり、 n の増加に伴い、処理を行う差分画像が増加する。GEO Grid に格納されている衛星画像のうち、2000 年から 2008 年において東京近郊を撮影した画像は約 300 枚であり、最悪の場合 ${}_{300}C_2$ 通りの組み合わせに対して処理を行わなければならない、高速な処理が求められる。この問合せを実現するために、本研究では領域分割アルゴリズムを提案する。このアルゴリズムは、任意の領域に対して入力条件との比較を行い、条件と一致しなければ、偽を出力し、一致すれば、真を出力する。一致した場合は、さらに、対象領域を小さく分割し、分割したすべての領域に対して入力条件式との判断を行う。分割をそれ以上行えない領域となった場合、その領域をイベント発生箇所として出力する。この処理を再帰的に行うことで、入力条件式に一致する最小限の領域を高速に検索することが可能となる。

本論文の構成は次の通りである。2. 節では GEO Grid および本研究で扱うデータについて述べる。3. 節では関連研究について述べる。4. 節では提案手法について述べる。5. 節では評価について述べる。最後に 6. 節では本論文をまとめる。

2. GEO Grid と衛星画像

本節では、地球観測衛星データの大規模アーカイブシステムである GEO Grid について、また、GEO Grid にアーカイブされている ASTER センサによって取得されたデータについて述べる。

2.1 GEO Grid

我々の研究チームは、GEO Grid プロジェクトに参加している [6]。GEO Grid とは Global Earth Observation Grid (地球観測グリッド) を表し、グリッド技術を用いて、地球観測衛星データの大規模アーカイブ・高度処理を行うためのシステムである。GEO Grid では仮想組織 (Virtual Organization, VO) と呼ばれるデザインコンセプトを導入しており、防災、環境保全、地質といった研究コミュニティの要求に応じて、統合された必要なデータやサービスを提供している。我々の研究チームは、Big VO という仮想組織に属しており、Terra 衛星および Aqua 衛星に搭載されている、MODIS センサが取得したデータと Terra 衛星に搭載されている ASTER センサが取得したデータを利用することができる。

2.2 MODIS

MODIS とは、NASA の地球観測衛星 Terra/Aqua に搭載されている、光学センサの名称である。MODIS センサは Aqua, Terra の 2 つの衛星に搭載されているため、一日あたり 1 回から 2 回と観測周期が短いことが特徴である。また、0.4 から 14 μm の波長帯を 36 チャンネルのバンドで観測可能である。観測データの空間解像度は、250m(バンド 1, 2), 500m(バンド 3~7), 1000m(バンド 8~36) である。MODIS による衛星画像は、36 チャンネルのバンド特性を用いて、雲、放射エネルギー束、エアロゾル、土地被覆、土地利用変化、植生、地表温度、火災、噴火、海面温度、海色、積雪、気温、湿度、海水等の観測を行うことが可能である。

2.3 ASTER

ASTER センサは、NASA によって開発が行われた、Terra 衛星に搭載されているセンサの一つであり、可視光線帯域から熱赤外線帯域までの 14 のスペクトルチャンネルを計測可能な高性能光学センサである。ASTER は Terra 衛星に搭載されており、その回帰日数はおおよそ 16 日である。ASTER は VNIR, SWIR, TIR の 3 つの独立したセンサ (サブシステム) によって構成されている。

2.3.1 ASTER サブシステム

VNIR は、可視域から近赤外域までの地表の太陽反射光を検出する光学センサであり、資源探査、国土調査、植生、環境保全等を主な目的としている使用される。SWIR は、1.6 μm から 2.43 μm の短波長赤外域における、地表からの太陽反射光を検出する多バンドの光学センサであり、岩石・鉱物の識別による資源探査、植生等の環境監査、火山活動の観測等を主な目的として使用される。TIR は、地球からの熱赤外線放射 (8 μm から 12 μm) を検出する多バンド光学センサであり、鉱物資源の判別や大気、地表面、海面状態の観測等を主な目的として使用される。

2.3.2 DEM(Digital Elevation Model)

ASTER センサは、27.6 度後方に近赤外線帯域センサ (立体視バンド) を持っており、同一波長域直下視のセンサ (バンド 3) と組み合わせることで立体視が可能である。これら 2 つの画像データ (立体視バンドとバンド 3) に対して、ステレオマッチングを行うことで、地表標高データが生成される。このデータはデジタル標高モデル (DEM) と呼ばれる。三次元地図の作成や、地形分析などに主に使用されている。地表分解能は、近赤外線域画像と同じく、1px あたり 15m である。垂直方向の空間解像度は 1m であり、標高データを算出不可能な地点は -9999 が格納されている。また、ASTER の管理を行っている「財団法人資源・観測解析センター」[7] によると、DEM の精度は、垂直方向で 15m 程度であり、水平方向で 50m より良いとされている。本システムでは、標高データである DEM 画像の差分値を基にイベント検出を行う。

3. 関連研究

衛星画像からイベントを検出する研究として、[9] がある。[9] では、高分解能衛星画像と GIS データを用いて、新築建物を検

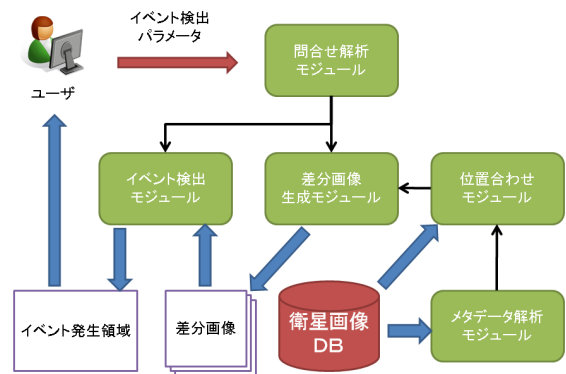


図 1 システム概要

出する手法を提案している。この手法は、最新の GIS データと、衛星画像を比較し、衛星画像から抽出した、画素値のエッジや植生指数などを基に、GIS データに含まれない建物の検出を実現している。[9] では、横浜市の市街地を対象とした解析を行っており、その検出率・的中率は 75~80% 程度である。[9] では、GIS データと、衛星画像からイベント検出を行っているため、GIS データが構築された時間と衛星画像の撮影された時間とでしか、イベント検出を行えない。GIS データの構築には一般的に、人手を用いて行われるため、構築にかかる時間が非常に長いと考えられる。それに対し、本研究では、衛星画像同士の比較を行うため、比較的短い時間間隔でのイベント検出を行う。

イベントと衛星画像の統合を行う研究として、[11] がある。[11] では、Web 上のフリー百科事典「Wikipedia」から、イベントに関する項目の地理情報と時間情報を抽出し、衛星画像中にマッピングを行うシステムを考案している。情報統合の面から見ると、[11] は、Web 情報源から抽出したイベントと衛星画像の統合を行っており、衛星画像から抽出したイベントを基に異種情報源との統合を行う本研究とは逆のアプローチである。

4. 提案手法

本節では、衛星画像からのイベント検出システムについて述べ、構築に関しての問題点を考察する。

4.1 提案システム

提案システムの概要を図 1 に示す。提案システムの各モジュールについて、以下に述べる。

(1) 問合せ解析モジュール

ユーザはシステムに対し、イベント検出の為のパラメータを入力する。このパラメータは、時区間 (t_1, t_2) とイベント検出条件式から構成され、本モジュールによって解析される。それぞれは、差分画像生成モジュール、イベント検出モジュールへ入力される。パラメータの詳細については、4.4 節で述べる。

(2) メタデータ解析モジュール

本モジュールでは、衛星画像に付与されたメタデータから、画像左上端の緯度経度座標、1px あたりの緯度経度を抽出する。

(3) 位置合わせモジュール

他時期の衛星画像2枚と、メタデータ解析モジュールからの出力を使用し、2枚の画像の地球表面上での位置合わせを行う。位置合わせの手法については、5.3.1節で述べる。

(4) 差分画像生成モジュール

位置合わせモジュールによって、緯度経度の位置合わせが行われた2枚の画像から、対応する画素値の差分を計算し、差分画像を生成する。

(5) イベント検出モジュール

差分画像生成モジュールによって生成された差分画像から、イベントの検出を行う。検出方法については、以降の節で説明を行う。

4.2 イベント検出

イベント検出として、建物の発生、消滅を想定し、標高データである、DEM画像を使用する。時期の違う2つのDEM画像に対して緯度経度の位置合わせを行い、画像が重複している領域において、標高値の差分画像を生成する。生成された差分画像に対して閾値処理を行うことでイベントを検出する。

4.3 イベントモデル

本システムで想定するイベントモデルを式1に表す。イベントは、時空間領域と体積変化量を用いて表わされる。 S は、イベントが発生した領域、 $time_stamp$ は、イベントが発生した時区間であり、 S はイベントが発生した領域である。 V は、領域 S 、時区間 $time_stamp$ における、標高値変化の相和である。ここで、 v_{ij}^t は、時刻 t に撮影されたVNIRから生成されたDEM画像の、位置 (i, j) における、画素値である。 $|v_{ij}^{t_1} - v_{ij}^{t_2}|$ は、時刻 (t_1, t_2) にそれぞれ撮影されたVNIRから生成されたDEM画像の位置 (i, j) における差分絶対値である。イベントは、領域 S と体積 V によって一意に決まる直方体とする、また、 (t_1, t_2) の2時期における体積の変化量として考える。

$$event = (time_stamp, S, V) \quad (1)$$

$$time_stamp = (t_1, t_2) \quad (2)$$

$$S = (x_1, x_2, y_1, y_2) \quad (3)$$

$$V = \sum_{i=x_1}^{x_2} \sum_{j=y_1}^{y_2} |v_{ij}^{t_1} - v_{ij}^{t_2}| \quad (4)$$

4.4 問合せ

提案システムは、入力を体積変化量に関する条件式(等号・不等号、数値)と時区間 (t_1, t_2) とし、入力された時区間に存在する衛星画像の差分画像に対して、入力条件式が真となる時空間領域 $(x_1, x_2, y_1, y_2, t_1, t_2)$ を出力する。提案システムは、入力を体積変化量に関する条件式(等号・不等号、数値)とし、出力を入力条件式が真となる時空間領域 $(x_1, x_2, y_1, y_2, t_1, t_2)$ とする。これにより、「2000年1月30日から2005年4月1日において、体積変化が $1000m^3$ 以上であるイベントが検出される緯度経度と時間を求めよ」といった問合せが可能である。

4.5 問合せにおける問題点

システムへの入力条件式の評価において、入力された体積変

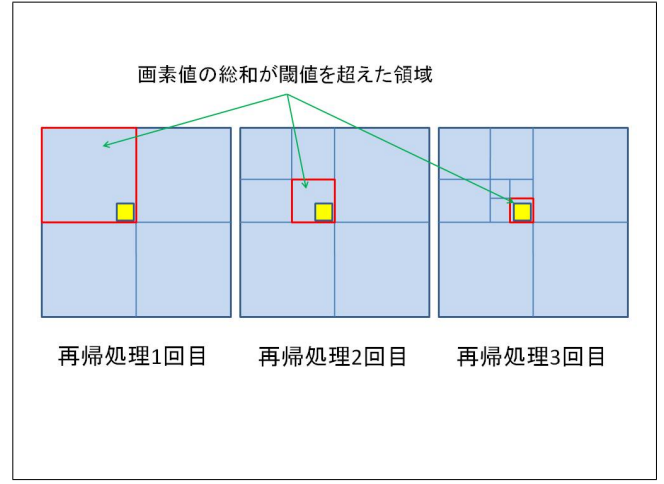


図2 提案アルゴリズムによる領域分割

化量と、未知のイベントを比較するとき、条件を満たしたイベント集合を考えると、各要素における領域と高さは一意ではない。例えば、森ビルと東京ドームが新しく建設され、イベントとして検出されたとする。両建造物の体積が同じだとすると、前者は領域面積が小さく、標高は高い、後者は領域面積が大きく、標高は低い、という違いがある。このように、同じ体積だったとしても、考えうる領域、標高は一意ではないため、両者を検出できる手法が必要となる。また、差分画像を作成の際、入力時区間に存在する衛星画像の数を n とすると、作成される差分画像は nC_2 通りであり、 n の増加に伴い、処理を行う差分画像が増加する。GEO Gridに格納されている衛星画像のうち、2000年から2008年において東京近郊を撮影した画像は約300枚であり、最悪の場合 $300C_2$ 通りの組み合わせに対して処理を行わなければならない。

4.6 提案手法

この問題を解決するために、本研究では領域分割アルゴリズムを提案する。提案アルゴリズムには、初期入力として、任意の2時期の衛星画像から生成された差分画像が入力される。最初の処理では、差分画像に対して、画像全体を上下左右に4等分する。分割した領域のうち、体積変化量が閾値以上の領域に対して、さらに4分割を行う。体積変化量が閾値未満の領域に対しては、イベントが存在しないと判断し、これ以上処理を行わない。このように、体積変化が閾値以上である領域を徐々に4等分し、再帰的に処理を繰り返すことで、入力条件を満たす最少面積の領域が探索される。提案アルゴリズムの処理過程を図2に示す。図2において、中心付近にある小さい矩形領域は、入力条件を満たす最小面積の領域であり、それ以外の領域は差分値が0としている。提案アルゴリズムを[Algorithm 1 proposalMethod(arg_img)]に、対象領域の体積変化を求める関数を[Algorithm 2 sumVolume(arg_img)]に示す。ここで、[Algorithm 1]の初期入力値は、撮影時期の違う2枚のDEM画像の差分画像とする。[Algorithm 2]において、 $arg_img(i, j)$ は (i, j) 番目における入力画像の画素値である。

Algorithm 1 proposalMethod(arg_img)

```

1: INPUT:image
2: OUTPUT:true or false
3:
4: img_buf : 画像バッファ
5: thsd : 体積変化量閾値
6:
7: if sumVolume(arg_buf)  $\geq$  thsd then
8:   if 限界領域面積より小さい then
9:     return true
10:  else
11:   for i = 1 to 4 do
12:     if i = 1 then
13:       img_buf  $\leftarrow$  arg_img を 4 分割した左上領域
14:     else if i = 2 then
15:       img_buf  $\leftarrow$  arg_img を 4 分割した右上領域
16:     else if i = 3 then
17:       img_buf  $\leftarrow$  arg_img を 4 分割した左下領域
18:     else if i = 4 then
19:       img_buf  $\leftarrow$  arg_img を 4 分割した右下領域
20:   end if
21:   proposalMethod(img_buf) {proposalMethod を再帰実行}
22: end for
23: if arg_img を 4 分割した領域すべてが false then
24:   return true
25: end if
26: end if
27: else
28:   return false
29: end if

```

Algorithm 2 sumVolume(arg_img)

```

1: INPUT:image
2: OUTPUT:差分合計値
3:
4: sum  $\leftarrow$  0
5: for i = 0 to arg_img.height do
6:   for j = 0 to arg_img.width do
7:     sum  $\leftarrow$  sum + arg_img(i, j)
8:   end for
9: end for
10: return sum

```

5. 評価

本節では、4. 節で述べた提案手法を実装し、評価を行った結果を示す。実際の衛星画像を用いて実験を行った場合、検出されたイベントが実際に正しいものであるか判断が難しいため、まず、合成データを用いて比較手法との比較予備実験を行う。その後、実データを使用し、実際にイベント発生が確認できる領域に対して手法の検討を行う。使用する衛星観測データは、人工衛星 Terra に搭載された光学センサ ASTER によっ

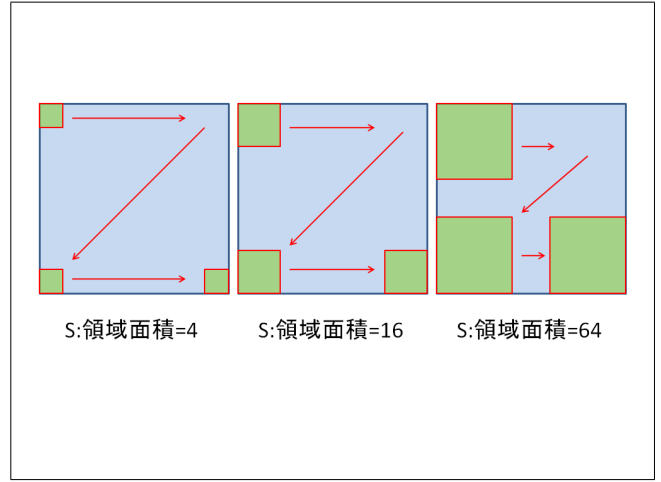


図 3 比較手法

て観測されたものを、GEO Grid のポータルサイトから取得した。画像のフォーマットは GeoTiff 形式、座標は世界測地系である。本研究で使用する DEM のデータ形式は、2 次元ラスタ型 2 バイト符号付整数、空間解像度は 15m となっている。開発言語は C++ であり、実験を行った環境は以下の通りである。IDE: Visual Studio2005 CPU: Intel Core2 Quad Q6700 2.66GHz RAM: 3.25GB

5.1 比較手法

提案手法の評価の為に、比較手法として、逐次的に領域を探索する方法を用いた (図 3)。比較手法は、探索領域 S を用いて、 S が入力条件を満たしているかどうか判断しながら、差分画像のすべての箇所を逐次的に探索する。さらに、領域 S の面積を $1px^2$ から順に大きくしていき、各面積においても、差分画像全体を探索する。この手法では、イベントが発生する可能性がある箇所を逐次探索することで、確実にイベントを検出することが可能である。

5.2 合成データに対する精度検証

5.2.1 実験方法

イベント検出手法の精度を検証するために、合成データを用いた実験を行う。差分画像に見立てた、幅、高さが共に $4096px$ の画像上に、体積変化量が $960px^2$ である、疑似イベント発生領域をランダムに 300 個配置した。合成データは 3 種類あり、その領域面積がそれぞれ、 $4px^2$ 、 $16px^2$ 、 $64px^2$ であり、標高値がそれぞれ、240、60、15 であり、合成データが配置されていない領域の標高値は 0 である。入力するイベント検出パラメータは合成データと同じ $960px^2$ とする。この合成データに対して、提案手法と比較手法を用いてイベント検出を行い、実行時間、検出精度の比較を行う。比較手法は、探索領域 S の面積を $1px^2$ から $8px^2$ まで $1px^2$ ごとに変化させ、それぞれの領域面積において探索を行った。検出精度は、疑似イベント発生領域のうち、検出されたイベント数の割合とする。

5.2.2 実験結果

提案手法、比較手法における、実行時間・検出精度の結果を表 1 に示す。結果は、それぞれの手法を 10 回実行し、実行時間・検出精度ともに平均をとったものである。

表 1 合成データを用いた

提案手法と比較手法の処理速度・検出精度比較

	実行時間 [sec]	検出精度
提案手法	0.22	95%
比較手法	22.95	100%

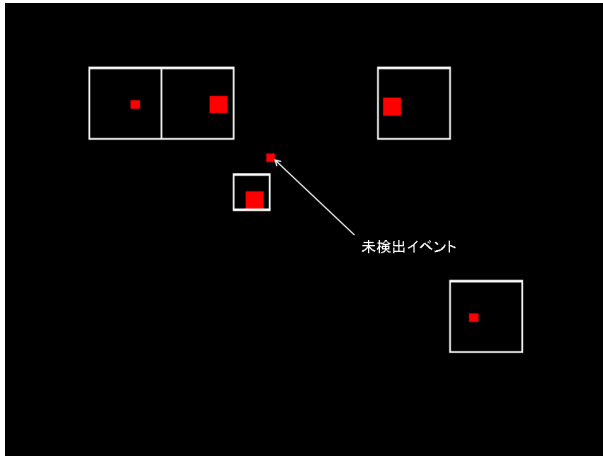


図 4 合成データを用いたイベント検出結果

(1) 実行時間

処理時間に関しては、提案手法が比較手法に比べて大幅に短く、100 倍の速度で実行を行うという結果になった。GEO Grid に格納されている、東京近郊を撮影した画像約 300 枚に対して、実行を行うことを想定すると、提案手法の場合、 $300C_2 \times 0.22[\text{sec}] = 7624.5[\text{sec}] = 2.7[\text{h}]$ 、比較手法の場合、 $300C_2 \times 22.95[\text{sec}] = 1029307.5[\text{sec}] = 286.0[\text{h}]$ という実行時間になると想定される。

(2) 検出精度

検出精度に関しては、比較手法が 10 回の実行のうち、すべて 100%の確率でイベントを検出できたのに対し、提案手法は 10 回の平均で 95%となった。提案手法による疑似イベント発生領域の検出結果を図 4 に示す。図 4 は、合成データ画像から一部を切り出したものである。図中、色で塗りつぶされた矩形領域は合成データによって作成されたイベントであり、白い枠で囲われた領域は、検出されたイベントである。

5.2.3 考 察

提案手法の実行時間に関しては、提案手法が比較手法に比べて非常に少ない実行回数で処理を行えることが原因であると考えられる。検出精度に関して、図 4 から検証を行ったところ、疑似イベント発生領域が、アルゴリズム中の領域分割境界線上に乗ってしまっており、分割処理を行う時点でイベントが 2 つのものに分断されてしまうことが原因であることが分かる。検出されなかった疑似イベントは、すべて、分割境界線上に配置されていた。また、疑似イベント数を 1 から 3000 まで変化させ、提案手法によるイベント検出を行ったところ、図 5 より、疑似イベント数の増加に伴い、検出率が低下することが分かった。これは、疑似イベントが増加することで、分割境界線上に

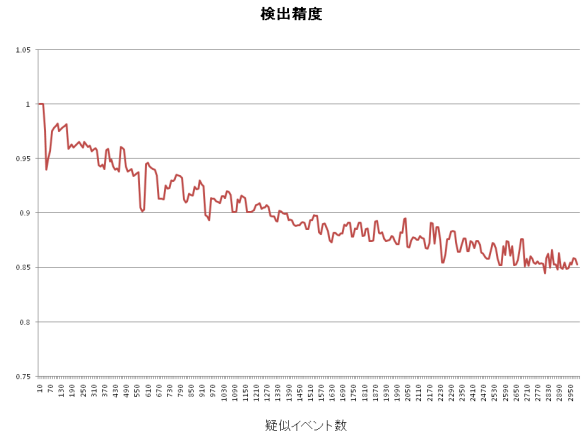


図 5 提案手法における疑似イベント数に対する検出精度

配置される疑似イベントも増加してしまうことが原因であると考えられる。

5.3 実データに対する精度検証

5.3.1 差分画像の作成

実データを用いた実験を行うための、差分画像作成方法について述べる。ASTER によって別時期に撮影された画像は、同一地区を撮影していたとしても、それらの画像が表す地球表面上の位置が正確に一致しているとは限らない。そのため、差分画像を作成する際に、位置の補正を行わなければならない。GEO Grid のポータルサイトから取得した DEM 画像には、メタデータが付与されており、画像左上端点が示す緯度経度と 1px あたりの緯度経度が記述されている。これらのデータを用いて、画像間の左上端点が表す緯度経度の差を計算し、この緯度経度のずれをピクセルに変換することで、画像間のずれを補正する。

5.3.2 実験方法

実際の衛星画像からイベントを検出できるかどうかを検討する。2000 年から 2009 年の間に、つくば市周辺が撮影された衛星画像を使用し、2 つの DEM 画像から、差分画像を作成する。作成した差分画像に対して、提案手法を適用し、イベント検出を行う。検出されたイベントを Google Map 上にマッピングすることで、実際にイベントが発生した場所かどうかを検討する。入力するイベント検出パラメータを 225000m^3 とした。

5.3.3 実験結果

出力された、イベントを Google Map 上にマッピングしたものを図 6、図 7、図 8 に示す。

図 6 は、2006 年 11 月と 2009 年 1 月に撮影された衛星画像を使用してイベント検出を行った結果である。図 6 において、中央に示された 3 つの矩形が、検出されたイベントである。検出された領域内には、2009 年 1 月下旬完成予定のマンションが存在しており、差分計算に使用した画像が 2006 年と 2009 年であることから、実世界で発生したイベントが検出できたと考えられる。

図 7 は、2004 年 1 月と 2006 年 11 月に撮影された衛星画像を使用してイベント検出を行った結果である。図 7 において、



図 6 実データを用いたイベント検出結果 1



図 7 実データを用いたイベント検出結果 2

中央に示された 3 つの四角い枠が、検出されたイベントであり、2005 年 3 月に開業を行ったショッピングセンターが検出された。

図 8 は、2002 年 6 月と 2004 年 12 月に撮影された画像を使用してイベント検出を行った結果である。図 8 において、丸い領域で示した領域では、当該時間区間において、明らかにイベントが発生していないにもかかわらず、イベントとして検出されている。

5.4 考 察

提案手法を実際の衛星画像に対して適用したところ、実際のイベントをいくつか検出することができた。しかし、図 8 から、明らかにイベントが発生していない領域をイベントとして検出してしまった。これは、DEM 画像に含まれるノイズが原因であると考えられる。2.3.2 節でも述べたとおり、DEM 画像における垂直方向の誤差が約 $15m$ であり、差分画像を生成する



図 8 実データを用いたイベント検出結果 3

と、最悪の場合誤差は $30m$ である。この場合、約 $80m$ 四方の領域がイベントとして検出されてしまう。

5.4.1 雲の影響

ASTER は光学センサであるため、地球表面上に存在する雲も撮影してしまう。実験で使用した DEM 画像も ASTER センサのサブユニットである VNIR から作成されているため、雲が存在する領域において、標高値に対しても何らかの影響があると考えられる。図 9 は、2001 年 12 月 26 日に ASTER によって撮影された、東京湾周辺の VNIR 画像を一部切り出したものである。この画像から作成された DEM 画像において、標高値が 150m 以上の領域を抽出したところ、図中の赤い線で囲われた領域となった。当該領域は、東京湾であり、上空に雲が存在していることが確認できる。東京湾の標高値はおよそ 40m から 50m であるが、雲が存在している領域に関しては、150m 以上と非常に高い値を示している。また、目視で雲と認識できる領域以外にも、150m 以上の高い標高値を示している領域が存在する。このことから、雲が存在する領域周辺では、実際の標高値に比べて高い値が検出されてしまうといえる。今回の実験では、VNIR 画像を目視によって、雲が撮影されていない画像を使用した。目視で確認できない雲が画像中に含まれており、それが、イベント検出に影響を与えた可能性が示唆される。

6. おわりに

6.1 ま と め

本研究では、衛星画像からのイベント検出システムの構築を目指し、標高データを使ったイベント検出の精度評価を行った。提案手法を用いて、合成データに対して、イベント検出を行ったところ、比較手法にくらべ約 100 倍の実行速度、約 95%程度の検出率を確認した。また、実データに対するイベント検出を行ったところ、実際に発生したイベントを検出することができた。

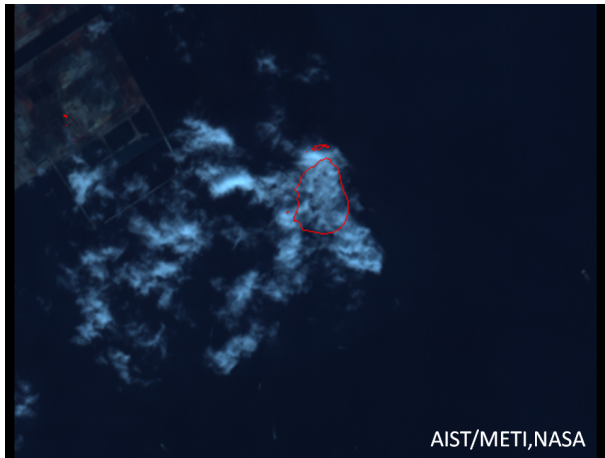


図 9 雲による DEM 画像への影響

6.2 今後の課題

6.2.1 検出精度の向上

考察で、述べたとおり、衛星画像中に雲領域が存在するため、DEM 画像中にノイズが発生してしまう。雲領域は、ある程度標高値の高い場所に存在することから、閾値処理などを用いて、雲領域の除去を行う。また、提案アルゴリズムによる領域分割処理によって、イベント領域が分断されてしまい、正しくイベントが検出されないため、領域分割の方法について考察を行い、改善を実施する予定である。

6.2.2 WEB 情報源との統合

本研究の目標として、衛星画像と異種情報源の統合がある。これは、イベント検出発生領域に対して、その領域に関する情報を異種情報源から取得し、提供することで、衛星画像に新たな価値を生み出すことを目的としている。異種情報源として、特に、WEB 上には「災害情報」や「新築物の発生」など、イベントに関する情報が豊富に含まれていると考え、WEB と衛星画像との統合を目指す予定である。

現在の構想では、まず、ユーザのイベント検出パラメータ入力から、イベントの検出を行う。検出したイベントから時空間情報を取得し、その位置情報に対して逆ジオコーディングの処理を行う。逆ジオコーディングとは、住所を入力に、位置情報の出力を行う「ジオコーディング」の逆処理を行うものであり、位置情報（緯度経度等）を入力に、住所を出力を行う処理のことである。逆ジオコーディングを行う WEB サービスは、「Google Maps API」や「Yahoo! API」など WEB 上で広く提供されており、中でも、沖電気工業が提供する API「Loco Sticker」[12]は、入力した位置情報に対して、その建物名称を出力する。例として、図 7 で示したショッピングセンターの緯度経度（世界測地系、経度:140.11、緯度:36.08）を「Loco Sticker」に入力したところ、「表参道茶寮」という、そのショッピングセンターに含まれるテナント名称が得られた。逆ジオコーディングによって得られた地物名称と時間情報をキーとして WEB 上からコンテンツを取得し、衛星観測データとの統合を行う。本研究では、より詳細な建物名称を得るため、ゼンリン社より購入した「住宅地図データベース」を利用する。本データは、人的な調査を

基に行われているため、より精度の高い逆ジオコーディングが可能であると考えられる。また、建物名称と時間情報をキーに WEB コンテンツを取得する方法に関して、今後、詳細を考察する予定である。

7. 謝 辞

本研究は経済産業省が所有する ASTER データより、産総研 GEO Grid で処理された ASTER データ β を用いたものである。本研究の一部は、科学研究費補助金（#20240010）による。

文 献

- [1] 「e-Science:Wikipedia」:<http://en.wikipedia.org/wiki/E-Science>
- [2] 河野元 聡, 大石 雅寿, 白崎 裕治, 他: 天文学連携データベースシステム (ヴァーチャル天文台) の開発, DEWS2006 4A-o5
- [3] 山本 直孝, 建部 修見, 関口 智嗣: Grid Datafarm における天文学データ解析ツールの性能評価, 情報処理学会研究報告, 2003-HPC-95, SWoPP2003, pp.185-190, 2003 年 8 月
- [4] 建部 修見, 森田 洋平, 松岡 聡, 関口 智嗣, 曾田 哲之, 「広域大規模データ解析のための Grid Datafarm アーキテクチャ」, 情報処理学会研究報告, 2001-HPC-87, SWoPP2001, pp.177-182, 2001 年 7 月
- [5] 柳平 有美, 渡辺 知恵美, 堀之内 武: 地球流体物理化学者のためのデータアーカイブサーバ構築支援ツール: Gfdnavi におけるデータベース設計と検索インタフェースの実装, DEWS2007 D8-4
- [6] 「GEO Grid」:<http://www.geogrid.org/jp/>
- [7] 「ASTER SCIENCE PROJECT」:
<http://www.science.aster.ersdac.or.jp/t/index.html>
- [8] 松岡 昌志, 堀江 啓, 大倉 博: 人工衛星 SAR による被害地域検出手法の 2004 年新潟県中越地震への適用と高度化, 日本建築学会構造系論文集, 第 617 号, P.193 - 200, 2007.7.
- [9] 三浦 弘之, 翠川 三郎: 建物 GIS データの更新を目的とした高分解能衛星画像からの建物の自動検出手法, 地域安全学会論文集 No.5, 2003.11
- [10] 浦井 稔, 福井 敬一: ASTER によるグローバル火山観測計画と火山画像データベース, 日本リモートセンシング学会第 32 回学術講演会論文集, P.75 - 76, 2002.
- [11] 岡本章裕, 黒井星良, 横山昌平, 福田直樹, 石川博: Wikipedia を対象とした地理情報と時間情報の抽出手法の提案, DEIM Forum 2009 B2-2
- [12] 「Loco Sticker」:http://locosticker.jp/blogsearch/doc/api_search_contents.html