

## 過去の空中写真のタイル化 Generating tile-based dataset from old aerial photo data.

地理空間情報部 高桑紀之  
Geospatial Information Department  
Noriyuki TAKAKUWA

### 要 旨

国土地理院では、戦前から現在までの空中写真を保管し、公開している。このうち1974年以前に撮影された古いものについては、個々の写真を地図と重ねて見ることができず、撮影対象の位置などを特定することが難しかった。

そこで昨今の高度な画像処理技術を活用して、これらの写真を簡便且つ広範囲に接合及びタイル化し、地理院地図上に重ねて表示できる手法を検討した。

更に検討した手法を使って米軍が戦後撮影した空中写真（以下、「米軍写真」という。）について政令指定都市近辺（多くは中心部）をタイル化した。これにより、地理院地図上で既に公開されている1974年以降の写真と比較でき、時系列的に国土の変遷を見ることができるようになった。

今後は、陸地測量部時代の空中写真についても今回検討した手法を適用してタイル化し、過去の空中写真のタイルデータを拡充していく予定である。

### 1. はじめに

国土地理院は、約134万枚（平成27年9月8日現在）の戦前から現在までの空中写真を保管、公開している。特に1974年から1990年及び、2007年以降の国土地理院撮影の写真についてはタイル化され、地理院地図上で誰でも簡単に広範囲をシームレスに閲覧できるようになっている。しかしながら、これより古い空中写真についてはタイル化されておらず、写真一枚一枚を位置や方角を確認しながら閲覧するしかなかった。

一方、昨今のパノラマ撮影やUAV等の普及による写真の処理技術の汎用化に伴い、より簡便且つ広範囲に画像処理及びオルソ化が可能になってきている。そこで平成26年度にこれらの画像処理技術やオルソ化技術を活用して、タイル化されていない古い空中写真について、地図に重なるように幾何変換し、地理院地図上で閲覧できるようにタイル化する手法を検討した。

また検討した手法を使って、1945年から1950年の米軍写真についてタイル化し、政令指定都市近辺のタイルデータを地理院地図から平成27年3月に公開した。公開範囲を図-1に示す。

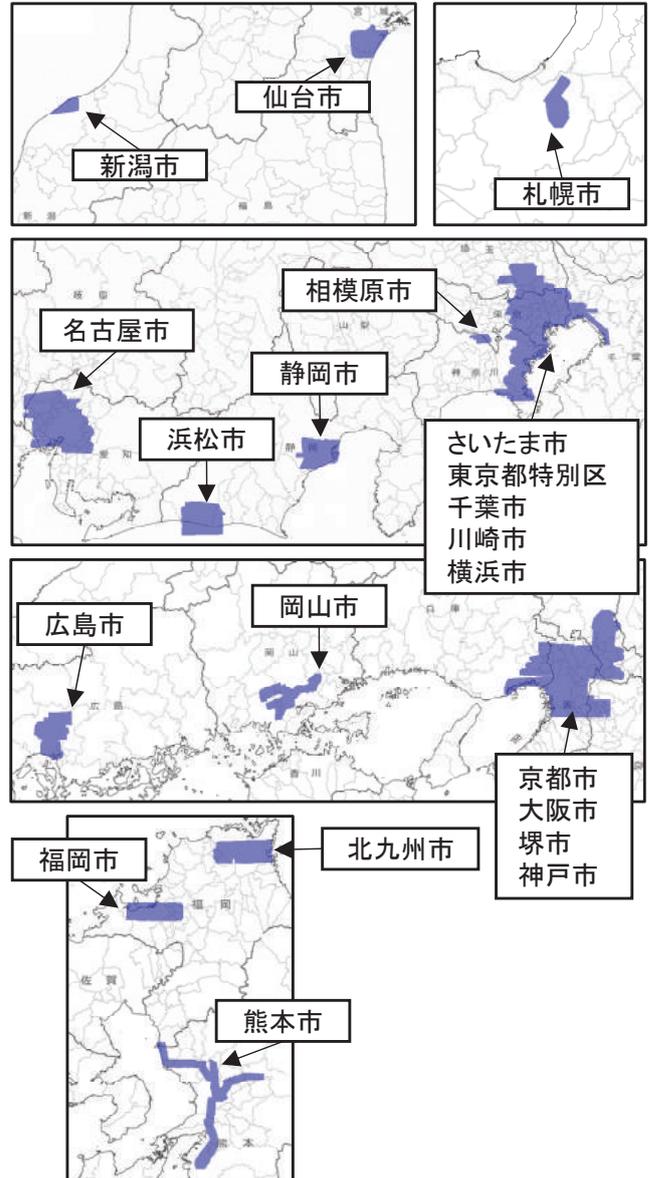


図-1 公開範囲（青色の部分）

図-2は、東京都千代田区霞が関付近の写真である。霞が関官庁部分は1948年3月29日撮影（コース番号：M871）、上端の皇居部分は1947年7月24日撮影（コース番号：M859）の写真を接合しモザイク化したものである。



図-2 震が関付近

今回の手法により、多くの米軍写真について広範囲にタイル化することができた。しかし米軍写真については撮影時期が古いことから、フィルムの劣化や撮影方法等の特有の問題により、一部についてはタイル化の際に試行錯誤が必要となるなど、多くの課題が判明した。以降では、検討した手法のほか、作業において直面した課題について説明する。

## 2. オルソ化

空中写真画像データを地図と重なるように幾何変換する作業において、最も労力のかかる作業は、空中写真画像データの画素と地図上の位置との対応点を決定する標定作業である。これは基本的に人手で行う必要があるため、この作業をいかに省力化できるかが効率的且つ効果的にタイル化の上で重要な点である。

オーバーラップがある空中写真画像データ一枚一枚を標定しては、明らかに無駄が多く、また起伏が多い場合は、同地点を示す多数の参照点を必要としてしまうため非常にコストがかかる。

そこで、バンドルブロック調整による広範囲のオルソモザイク画像を作ることにより、起伏による歪みもできる限り減らし、最終的な標定点を減らすことにした。

### 2.1 バンドルブロック調整ソフト

バンドルブロック調整ソフトは多数存在するが、今回は平成 26 年 3 月に UAV を使って撮影した西之島の空中写真のオルソモザイク画像を作成する際に

使われたスイス Pix4d 社製の「Pix4d mapper」というソフトウェア（以下、「pix4d」という）を利用した。

pix4d は、少しの設定と手順で簡単に複数の空中写真から強力な画像マッチングによりオルソモザイク化するソフトで、①内部・外部標定、②三次元点群の生成、③オルソモザイク画像及び DSM 画像データの生成の 3 ステップで、目的とするオルソモザイク画像を得ることができる。

pix4d を起動し、最初の①内部・外部標定を実行するためには、写真データ及び写真の主点情報（撮影地点の緯度、経度、高度）、フィルムサイズ、焦点距離等の情報が必要である。これらは「地図・空中写真閲覧システム」のデータベースから、必要な CSV 形式に書式を整えて入力した。内部・外部標定が完了すると、推定した各写真の撮影位置、回転 ( $\kappa$ ,  $\phi$ ,  $\omega$ ) などを得ることができ、ビジュアル的に GUI 上で確認できる (図-3)。

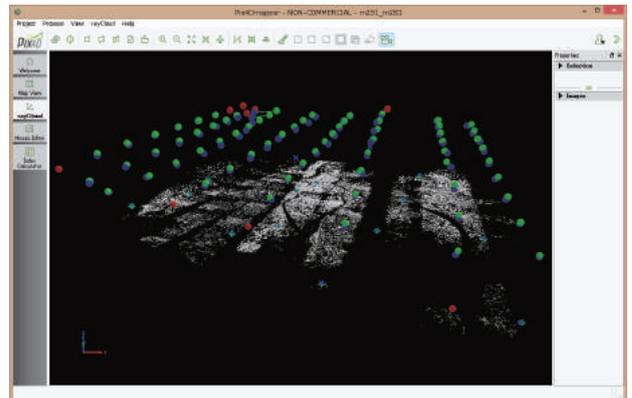


図-3 内部・外部標定の結果を表示

緑の点が各写真の初期の主点位置、青の点が推定した主点位置、赤の点が利用できなかった写真の主点である。

この結果に問題がなければ、続いて前述の②三次元点群の生成を行う。これによりオルソ化するために必要な 3 次元モデルが得られる (図-4)。

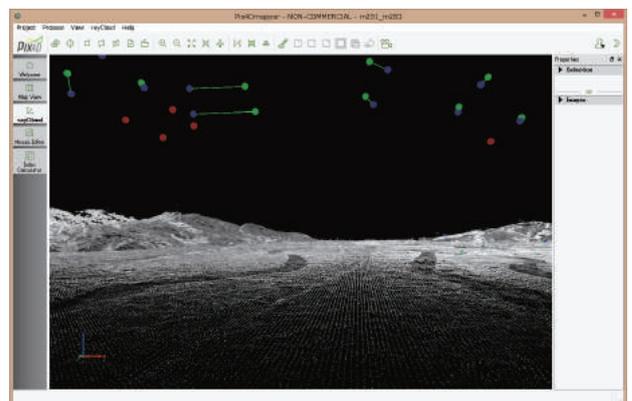


図-4 三次元モデルを表示

三次元モデルに問題がなければ、前述の最終ステップである③オルソモザイク画像及び DSM 画像データの生成を行う。これによりオルソモザイク画像を得ることができる (図-5)。

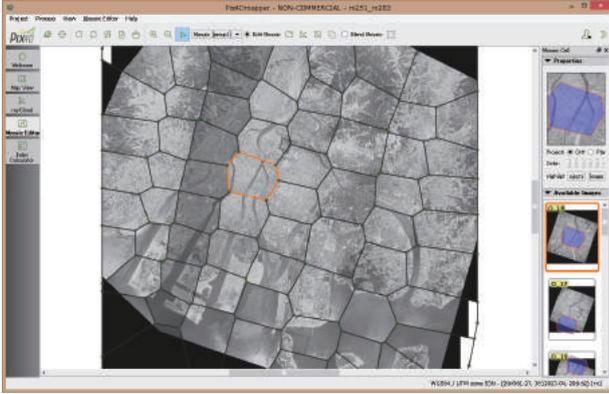


図-5 オルソモザイク画像を表示

## 2.2 オルソ化における課題

### 2.2.1 自動タイポイント、パスポイント取得

pix4d は、バンドルブロック調整に必要なタイポイントやパスポイントを、画像マッチング技術を使い、自動で取得することができる。しかし雲が写っている、画質が悪い、などの原因によりマッチングできず、オルソ化ができない範囲が出てしまうことがある (図-6、図-7)。

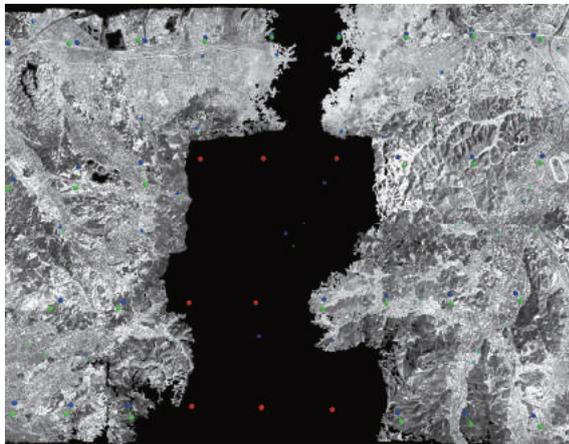


図-6 オルソ化できなかった範囲の例

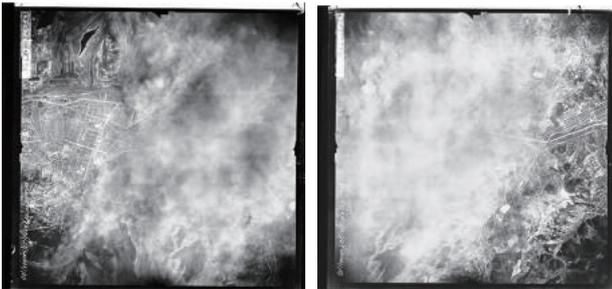


図-7 雲により画像マッチングが失敗した写真の例

手でタイポイントを追加することでマッチングする場合もあるが、そもそも写真の状態が悪く、一致点を見つけること自体が困難なものもあった。

### 2.2.2 撮影時の飛行状態による影響

米軍写真は、必ずしも安定的に一定の高度で飛行したり、常に地表面に対して垂直に撮影できているわけではない。またバンドルブロック調整の初期入力パラメータも配点図や飛行計画情報を基にしたものであり、そのような条件において、計算に失敗してしまう例も多数ある。図-8 は、各写真が接合できずに剥がれたような結果になったものであり、恐らく写真が垂直に撮影されたものではなかったと推測される。

特に撮影コースが単パスの場合、パス間の重複が無く、計算が安定しないことが分かっている。

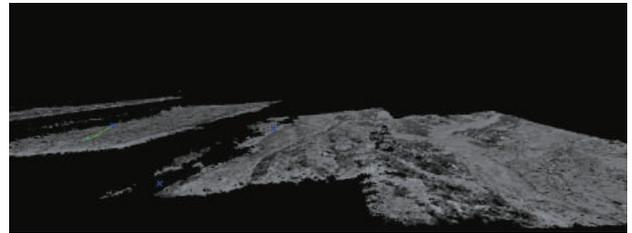


図-8 計算失敗の例

### 2.2.3 アーティファクト

撮影部に書き込みがあるなど写真の状態が悪い場合、関連性の無い画素同士がマッチングされてしまうと、その部分の画像が極端に歪むことがある。このような部分をアーティファクトという (図-9)。

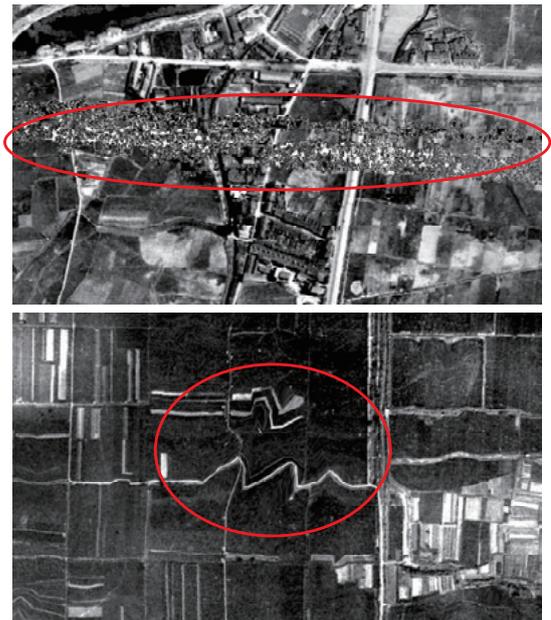


図-9 アーティファクトの例

このような画素マッチングのミスは、三次元点群データにおいて、不自然な位置にある点群として表示される（図-10）。

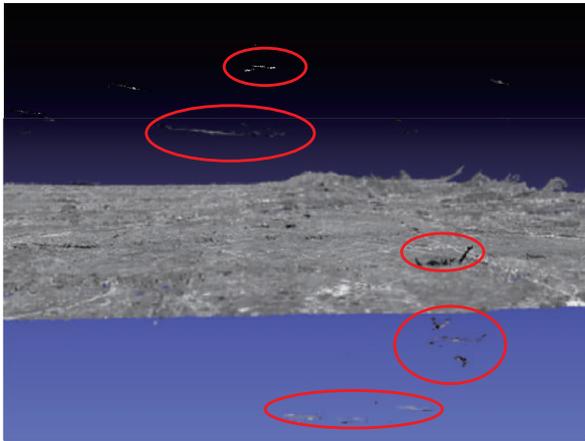


図-10 アーティファクトの原因となる点群の例

そこで、3D データ編集ソフトを使い、問題となる点群を削除し、再度モザイク化処理をかけることでアーティファクトの生成を抑制した。

### 3. パノラマ化法

様々な要因によりオルソ化できない場合は、複数の写真の重複部分を自動で画像マッチングさせて連結するパノラマ処理をし、広域のモザイク画像の生成を試みた。パノラマ処理技術は、デジタルカメラやスマートフォン等の普及により一般化し、多くのソフトウェアが存在する。今回の処理には Microsoft 社が無償で提供している「Image Composite Editor」を利用した。これにより写真画像一枚一枚に参照点を設定して幾何変換する必要がなくなるため省力化することが可能になる。ただし起伏の変化による位置の変歪が残るので、基本的に起伏の少ない平野部を対象とし、後工程の幾何変換において参照点を設定し、絶対位置を合わせた（図-11）。

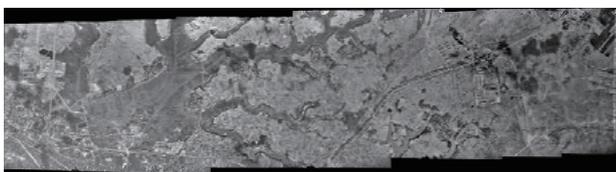


図-11 写真 8 枚をパノラマ化した例（船橋市付近）

### 4. 利用した米軍写真

今回は、測量成果である解像度 1200dpi の TIFF 画像ではなく、400dpi の JPEG 画像を利用した。これは数百枚の写真画像を数時間内でまとめてオルソ化できる解像度だからである。1200dpi の画像の場合、オルソ化処理だけでも 10 数枚で 1 日以上必要とした。

また生成されたモザイク画像のサイズも数十万ピクセルに及び、幾何変換やタイル化等の後工程を保有するワークステーションやソフトウェア上で実施することは困難であった。

利用した米軍写真の縮尺は基本的に 1/10,000～1/15,000 程度で、400dpi の写真画像処理後の解像度は 1 ピクセルあたり 70～100cm であった。地理院地図で表示できる最大解像度（ズームレベル 18）が、緯度 35°付近で 1 ピクセルあたり凡そ 50cm 程度であるので、今回作成した米軍写真のタイル画像は、ズームレベル 17 相当であるといえる。

確かに 1200dpi の写真画像を使えばより鮮明に地物を確認することができる（図-12）が、地理院地図を使って広範囲に俯瞰して地物の位置や形状を把握し、単写真でより詳細な確認を行うといった利用も考えられるため、現状の生産性を鑑みて 400dpi の JPEG 画像を利用することとした。



図-12 解像度の違い：400dpi（上）、1200dpi（下）  
1200dpi の画像の方がより鮮明であるが、両者とも駐機中の航空機のエンジンが確認できる。

作業対象とした写真の年代は、1945年から1950年とし、同じ場所で複数の年代がある場合は、原則的に年代の古いものを選択した。

米軍は1950年以降も写真撮影を行っているが、60年代には国土地理院によって全国の空中写真が撮影され始めるため、国土変遷を比較するためのアーカイブとしての価値を高めるため、年代が近くならないよう原則として1951年以降の写真は利用しなかった。

## 5. 幾何変換

オルソ化することによって起伏変化による位置の変歪が解消され、相対的には精度が良いモザイク画像が得ることができるが、絶対的な位置がずれていることが多い。そこでGISソフトを使い、現在の地理院地図の道路等の参照位置と合わせるよう画像を幾何変換した。

多くは、参照点を20点前後設定すれば、三次補間（10点以上の参照点が必要）による幾何変換で十分な位置精度で地図上の位置に合わせる事ができた。

ただし写真の状態によりモザイク画像が歪んでしまった場合や、パノラマ化法によるモザイク画像の場合は、より多くの参照点を設定し、スプライン補間による幾何変換を実施した。スプライン補間の場合、原則的に参照点においては誤差が出ないが、参照点群を囲む領域外（外挿部）は大きな歪みが発生することが多い。よってそのような領域外は後工程において削除した。

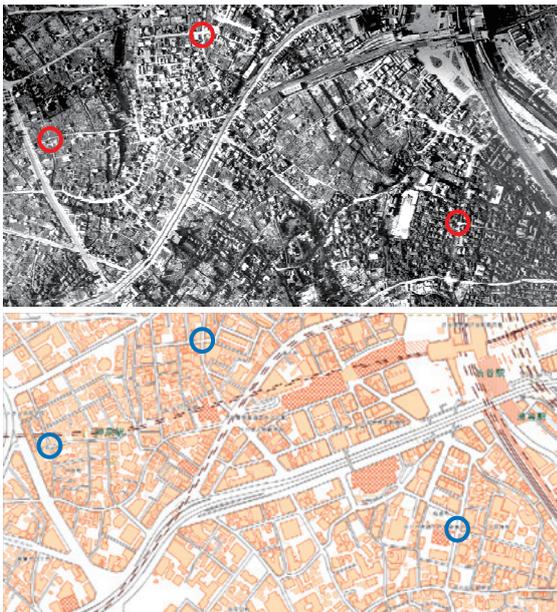


図-13 参照点選定の例（○が対応する参照点）  
（渋谷駅道玄坂付近）  
米軍写真（上）  
地理院地図(標準地図)（下）

## 5.1 参照点の選定

最新の地理院地図と戦後の米軍写真では経年変化も大きく、両方に共通する地物を発見することは難しい。基本的には道路の交差点を参照点とすることが多いが、道路の拡幅などがあると正確な対応点を判断できず誤差が大きくなる。そこで旧道など大きな変化がない場所を参照点にするなど工夫した（図-13）。

ただし郊外の大規模造成がある場合は、広域にわたって参照点を取ることができない。例えば江戸川河口付近は大規模に埋め立てが行われていたため、最新の地図を利用することができない。そのため旧版地図を利用して参照点を推測し大きく歪まないように調整した（図-14）。



図-14 旧江戸川河口付近  
米軍写真（上）  
2万5千分1地形図【測量年:1945年】（中央）  
地理院地図【標準地図】（下）

## 6. 辺縁部の削除

隣接するモザイク画像同士がより綺麗に接合して見えるように重要な地物を避けつつ、画像編集ソフトを使い手動で辺縁部を削除した。削除する境界は、基本的に田畑における畝や河川、森林部、道路に沿う部分を選び、違和感のないようにしている。

切り取った部分は、透明化処理し、後工程の合成処理時に隣接するモザイク画像の撮影範囲を上書きしないようにした（図-15）。



図-15 横浜市日吉駅付近  
辺縁部を切り取った画像（左）  
合成した画像（右）

## 7. タイル化

タイル化は、GDAL と呼ばれるオープンソースの GIS 処理ライブラリを利用した。まずモザイク画像をウェブメルカトル投影法（EPSG:3857）に投影変換する。その後 256×256 ピクセルの PNG 形式のタイル画像を作成する。JPEG 画像でなく PNG 画像にする理由は、撮影領域外を透明領域として保存しておくためである。その後、自作のプログラムを使い、隣接するタイル化されたモザイク画像同士を合成し、米軍写真のタイル化が完了する（図-16）。

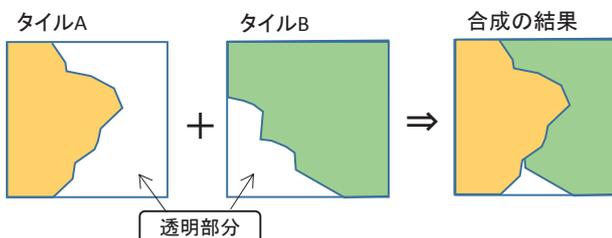


図-16 タイル同士の合成

## 8. 今後の検討事項

今回は 400dpi の JPEG データを利用し、9 ヶ月ほどで政令市付近（多くは中心部）のタイル化ができた。今後はより高解像度の 1200dpi 以上の画像データを効率的に処理するための手法を検討したい。

ただし大量の 1200dpi 以上の画像データをそのままオルソ化、幾何変換等の処理をすることは今の計算機のスペックでも困難である。そこで 400dpi で得られたオルソ化に必要なパラメータや幾何変換パラメータ（各画素の移動量）を流用して、1200dpi 以上の画像データに適用すれば、オルソ化、幾何変換の処理については省力化できるのではないかと考えている。しかし現状においてそのような処理プログラムはないため、自作して検証する必要がある。

## 9. まとめ

pix4d やパノラマ化ソフトウェアのような強力な写真画像処理ソフトウェアにより広範囲をモザイク化することで、効率的に地図上の位置に重なるように調整することができた。また GDAL のようなオープンソースのツールにより簡単にタイル化ができ、処理用プログラムを自作する必要がほとんどなかった。更に昨今の高スペックなワークステーションを使い、画像サイズが数万ピクセルを超えるような画像データに対して、これらの強力なツールで処理することができた。

しかし画質の悪さや、撮影条件が安定していないなどの米軍写真特有の問題により、モザイク画像を得ることができず、再度条件を変えて再計算するなど手戻りが発生したり、パノラマ化手法も使えず、手作業で写真 1 枚 1 枚を位置合わせてタイル化したりする場面が多々あるなど、多くの課題があることも判明した。

今後も今回判明した課題の解決や 1200dpi の画像の効率的な処理について検討していくとともに、陸地測量部時代の空中写真についても今回検討した手法を適用してタイル化し、過去の空中写真のタイルデータを拡充していく予定である。

（公開日：平成 27 年 10 月 29 日）

## 参考文献

日本写真測量学会（2012）：空間情報による災害の記録，鹿島出版会，288-290.