

新規研究課題提案書

1. 研究課題名

空中三角測量の全自動化によるオルソ画像作成の効率化に関する研究

2. 研究制度名

特別研究

3. 研究期間

平成26年4月 ～ 平成29年3月 (3年間)

4. 予算規模 (想定)

特別研究 23,826千円

(平成26年度 9,326千円、平成27年度 9,500千円、平成28年度 5,000千円)

5. 課題分類

(1) 地理空間情報を円滑に整備・流通・活用するための研究開発

6. 研究開発の背景・必要性

空中写真は、撮影時点での国土の状況を把握する資料として、非常に重要である。しかし、オルソ化されていない空中写真では、そこに写されている情報を抽出することは可能であるが、抽出した情報を他の情報と重ね合わせて利用することができない。

一方、空中写真がオルソ化され、国土地理院が提供する電子国土Webシステム上に掲載されていれば、誰もが容易に空中写真を利用することができるようになり、また、GIS上で、当該空中写真を、地図、異なる時点の他のオルソ化された空中写真、その他の地理空間情報と重ね合わせて使用することができるようになる。また、オルソ化されていない空中写真は、1枚ずつ管理されているため、必要な空中写真を探すことにも労力を要するが、オルソ画像はシームレスにつながることができるので、地図と同じように閲覧することができる。

空中写真撮影時にGPS/IMUのデータを取得していれば、そのデータを使用してオルソ化が可能である。国土地理院では、平成19年以降は、撮影時にGPS/IMUのデータを取得し、オルソ化を行っている。一方、それ以前の撮影作業では、一部を除きGPS/IMUを用いておらず、オルソ化には、別途空中三角測量を実施する必要がある。

ところで、森林のモニタリング、災害調査、土地利用の変遷の調査、社会科教育等においては、過去のオルソ画像を必要としている。このため、国土交通省国土政策局は、国土情報整備事業(国土庁経費)により1974～1990年度に撮影した空中写真約46万枚を、2004～2009年度にオルソ化した。国土政策局により作成されたオルソ画像は、現在、国土地理院から公開されているが、年間約1億タイル(1タイルは256×256画素)が閲覧されており、この事実からも、過去のオルソ画像に対するニーズが高いことがわかる。また、過去の適当な時期のオルソ画像がないため、森林のモニタリング等の目的で、利用者自らが空中写真のオルソ化を行っているという事例も報告されており、この事実も、過去のオルソ画像に対するニーズが高いことを示している。

上記の国土政策局のオルソ化作業は、約6.5億円を要したが、現時点においては、このような

多額の予算を確保することは困難であるため、GPS/IMUデータのない過去の空中写真を安価に効率的にオルソ化することが求められている。このためには、オルソ化の工程を自動化する研究開発が必要である。

7. 研究開発の目的・目標

本研究の目的は、オルソ化された過去の空中写真を一般国民が利用できるようにすることである。本研究では、この目的を達成するため、既存の空中写真を自動的にオルソ化するシステムを開発する。本研究では、米軍写真、陸軍写真を除き、1人の作業者が1日500枚の空中写真をオルソ化できることを目標とする。

8. 研究開発の内容

- (1) 空中写真の間の共通点を自動的に取得する既存プログラム、既存アルゴリズムを評価し、必要ならば新規のアルゴリズムを開発し、同時期の空中写真の間の共通点(タイポイント)、異なる時期の空中写真の間の共通点(基準点)を自動的に取得するシステム(空中写真マッチングシステム)を開発する。
- (2) 写真番号の入力ミス、写真の方向の入力の間違い等を点検するシステム(入力データ点検システム)を開発する。
- (3) 空中写真マッチングシステムを用いてタイポイント及び基準点を自動的に取得し、既存の空中三角測量プログラムを使用して空中三角測量を行い、その精度を評価し、タイポイント及び基準点を再取得すべき部分を自動的に評価する工程を自動的に繰り返し、適切な結果が得られるまで計算を繰り返すシステム(空中三角測量自動化システム)を開発する。
- (4) 既存ソフトを組み合わせ、空中三角測量自動化システムで得られた空中三角測量の結果を使用して、空中写真を自動的にオルソ化し、モザイクするシステム(オルソ化システム)を開発する。
- (5) 上記各システムを米軍写真に対して適用する手法を開発する。特に、写真指標の検出方法は、新たに開発する必要がある。

9. 研究開発の方法、実施体制

主任研究官1名が、50%以上のエフォートを割いて実施する。作成したオルソ画像の精度検証は、外注で行う。研究の実施に当たっては、空中写真の撮影を担当している基本図情報部、オルソ画像の提供を担当している地理空間情報部の協力を得る。

10. 研究開発の種類

- (3) 技術開発

11. 現在までの開発段階

- (2) 試行段階

12. 想定される成果と活用方針

作成したシステムを国土地理院内で運用し、過去の空中写真のオルソ化を行い、電子国土Webシステム等を通じて一般に提供する。また、本研究の成果は、システムの一部を修正することにより、奈良文化財研究所等が保有する過去の空中写真のオルソ化にも活用できると期待される。

13. 研究に協力が見込まれる機関名
東京電機大学、東京大学、奈良文化財研究所、国土交通省国土政策局
14. 関係部局等との調整
国土地理院地理空間情報部
15. 備考
特になし。
16. 提案課・室名、問合せ先
国土地理院 地理地殻活動研究センター地理情報解析研究室
茨城県つくば市北郷1番

新規研究課題事前評価表

1. 研究課題名

空中三角測量の全自動化によるオルソ画像作成の効率化に関する研究

2. 研究制度名

特別研究

3. 研究期間

平成26年4月 ～ 平成29年3月 (3年間)

4. 予算規模(想定)

特別研究 23, 826千円

(平成26年度 9,326千円、平成27年度 9,500千円、平成28年度 5,000千円)

5. 研究開発の方向の妥当性

本研究は、国土地理院研究開発基本計画の基本的課題1「地理空間情報を円滑に整備・流通・活用するための研究開発」の重点研究開発課題3「基盤的な地理空間情報の整備・管理・提供の高度化のための研究開発」に該当し、妥当である。

6. 国内・国際的研究状況を踏まえての実施の妥当性

現在行われている自動空中三角測量は、通常、取得されたタイポインットの良否は人間が点検し、また基準点は人間が取得する。しかし、本研究では、マッチング結果の良否を示す指標、空中三角測量の残差を基に、不適切なタイポイント、基準点を削除する(あるいは重みを低下させる)とともに、空中三角測量網の強度が適切になるよう、適切な位置でのタイポイント及び基準点の再取得を自動的に行う手法を開発する。本研究の内容は現在の技術の延長上にあり、実用研究として妥当である。

7. 背景・必要性の妥当性

地理空間情報活用推進基本計画(平成24年3月27日閣議決定)においては、「国及び地方自治体は、(中略)引き続き計画的に空中写真の撮影を行うとともに、地図に重ね合わせが可能なオルソ画像を整備する」と記載されており、新規の空中写真の撮影においては、空中写真のオルソ化は当然実施すべきであると認識されている。したがって、空中写真はオルソ化されているべきであるという認識は妥当である。

8. 目標設定の妥当性

1日500枚という目標は、米軍写真、陸軍写真を除く空中写真約45万枚を作業員1人が約4年をかけてオルソ化することに相当し、研究後の作業に要する期間から逆算して妥当である。また、その人件費は、単価を1千万円/年人と仮定すると約0.4億円であり、本研究の経費約0.2億円、本研究の実施に要する人件費(3年×1人×エフォート50%強=1.5年人強)0.2億円と合わせると約0.8億円となる。外注によりこれらの空中写真をオルソ化する場合、国土政策局の例から約6.4億円程度の費用を要すると予想されことから、費用対効果の面からも妥当な目標である。一方、既存手法における作業効率は、国土政策局の例から1日30枚程度と推定され、実現可能性から考

えると1日500枚という目標はかなり高めであるが、本研究の趣旨を考慮するとパフォーマンスが重要であり、高めの目標設定が必要と考えられる。

米軍写真は、通常空中写真と比較し、画質が劣る、歪みが大きい、写真指標が読み取りにくい等の問題が存在し、自動的な空中三角測量が困難と予想される。本研究では、これらの問題への対処を試みるが、どの程度成功するか現時点では予想しがたく、数値目標の対象としないことは妥当である。

9. 国土地理院が実施すべき妥当性

国土地理院が行う事業に必要な技術を開発する研究であり、かつ、国土地理院内に技術の蓄積がある分野の研究であるため、国土地理院が自ら行うことが妥当である。

10. 内容、方法、実施体制の妥当性

過去の空中写真のオルソ化には、現在のDEMを用いる方法と、過去のDEMを作成してそのDEMを用いる方法があるが、本研究では前者を採用している。過去のDEMも非常に有用であり、また、地形変化が激しい場合などでは、過去のDEMを用いた方がオルソ画像の位置精度が向上する。一方、オルソ化と比較して、DEMの作成には長い計算時間を要する。オルソ画像の整備が急がれているため、短期間でのオルソ画像の整備する必要があり、したがって、現在のDEMを用いる方法を採用することが適当である。

本研究の開発におけるかなりの部分は、既存のシステムを組み合わせることで実現できると考えられるが、時期の異なる空中写真間の自動マッチングと、空中三角測量自動化システムの開発は、既存システムの組み合わせだけでは実現できないと予想される。前者については、方向符号を用いる方法等、従来の面積相関法とは異なり、画像の間の相関係数が高いことを必要としないマッチング方法が提案されており、これらを活用することで対処できると予想される。後者については、これまでの技術者の経験と誤差理論を用いてシステム化できると予想される。

また、本研究では、研究後の実作業の効率性を重視するが、そのためには、国土地理院が保有するデータの状況を考慮した開発が必要である。したがって、システム開発の経験が豊富な写真測量の専門家を配置し、上記の状況を考慮しながらコーディングを含めた開発を直営で行い、単純作業が大部分を占める精度検証を外注で行うという研究方法と実施体制は、妥当である。

11. 省内他部局等との調整の状況

国土地理院地理空間情報部は、本研究の成果を使用して空中写真のオルソ化の作業を実施する見込みである。

12. 他省庁、異分野等との連携方針等

現在、写真測量に関する研究を活発に行っている東京電機大学、東京大学との連携は、有益と考えられる。また、空中写真のオルソ化の大規模な作業を行った国土交通省国土政策局の経験を参考にすることは、有益であると予想される。一方、奈良文化財研究所は、過去の空中写真を多量に保有しているため、本研究の開発過程において、開発するシステムを同研究所保有の空中写真に適用することも考慮することは有益と予想され、このためには、同研究所との連携が必要である。

13. 成果活用方針の妥当性

研究開発成果を用いて作成したデータが、電子国土Webシステム等を通して一般に公開されるため、妥当である。

14. その他、課題内容に応じ必要な事項
特になし。

15. 提案課・室名、問合せ先
国土地理院 地理地殻活動研究センター地理情報解析研究室
茨城県つくば市北郷1番

空中三角測量の全自動化による オルソ画像作成の効率化に関する研究

国土地理院 地理地殻活動研究センター
地理情報解析研究室

オルソ化の必要性

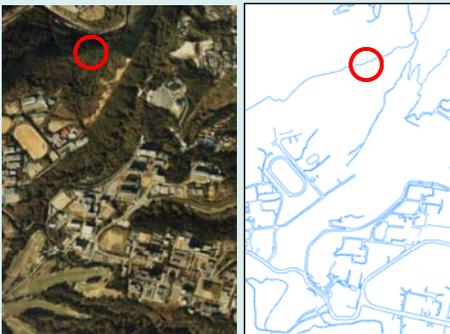
国土地理院保有の空中写真は、平成24年度までに過去のものを含めてデジタル化された。しかし、空中写真は、さらにオルソ化することにより、格段に使いやすくなる

空中写真

国土の記録
として重要

写っているものがわかる
しかし、**位置合わせができていない**

空中写真に写されている場所を
地図上で探して移写するが、目標
物がない場所では、困難で、誤差
も大きい。



空中写真には、地形等に起因
する歪が存在するため、無理
やり合わせても合わない。



オルソ画像

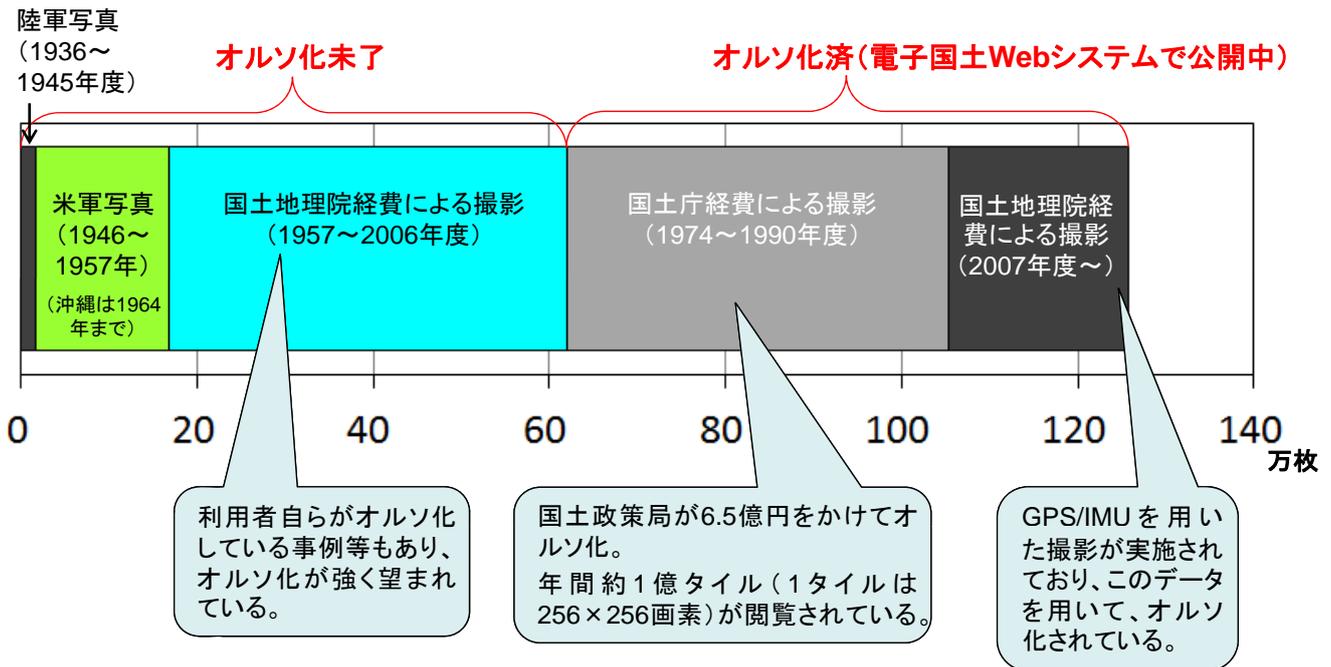
位置合わせができていて、
誰でも、地図を見るように使える



国土地理院の電子国
土Webシステムでは、
誰でも、オル
ソ画像と地
図を重ね合
わせてみる
ことができる。



国土地理院が保有する空中写真

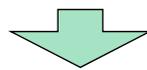


Slide 3

問題とその解決の方法

問題

過去の空中写真のオルソ化が必要だが、従来手法では膨大な経費を要する



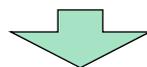
研究成果

オルソ化手法の効率化 (本研究)



研究成果の活用

開発された手法を用い、国土地理院内でオルソ化



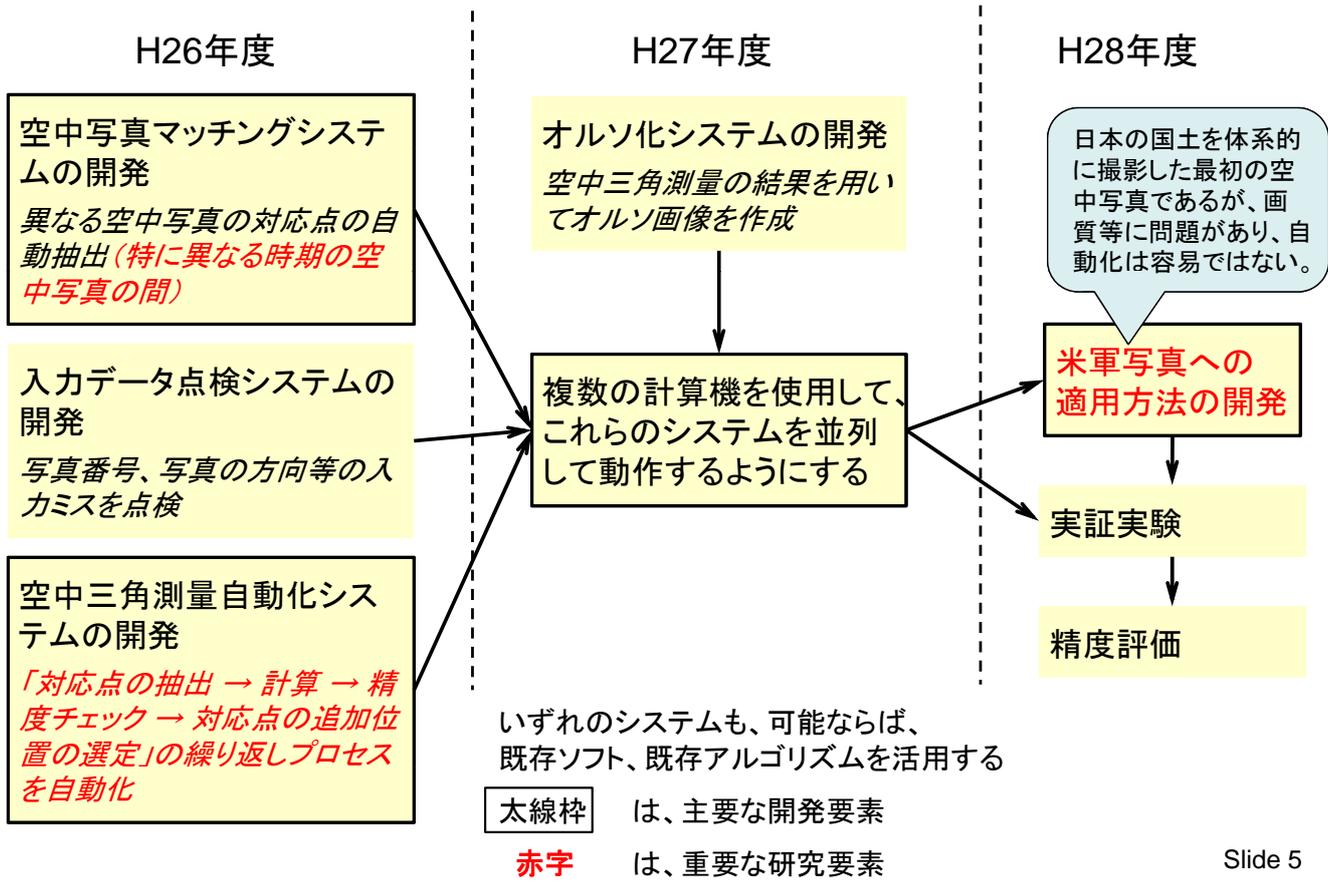
アウトカム

電子国土Webシステム等を通じ、国民にオルソ画像を提供



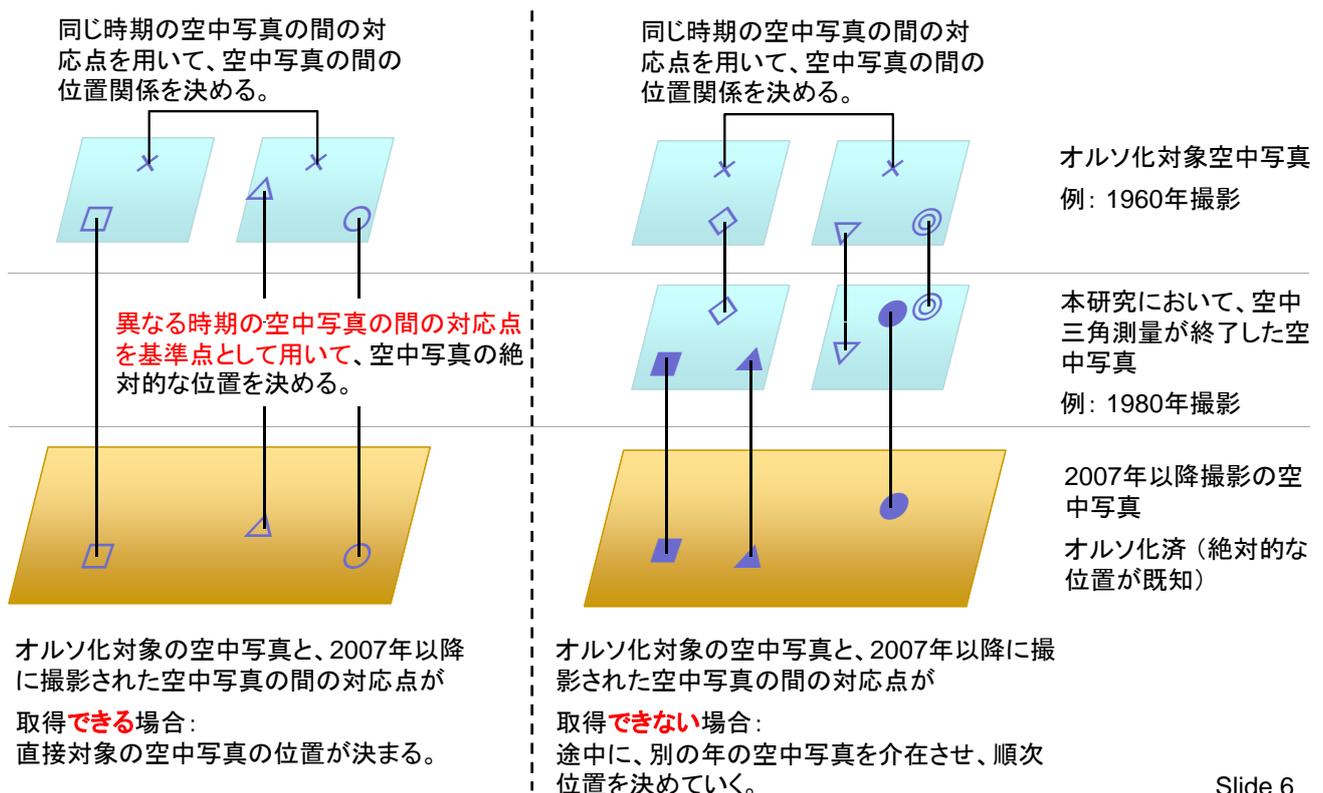
環境、災害調査等で、幅広く利用

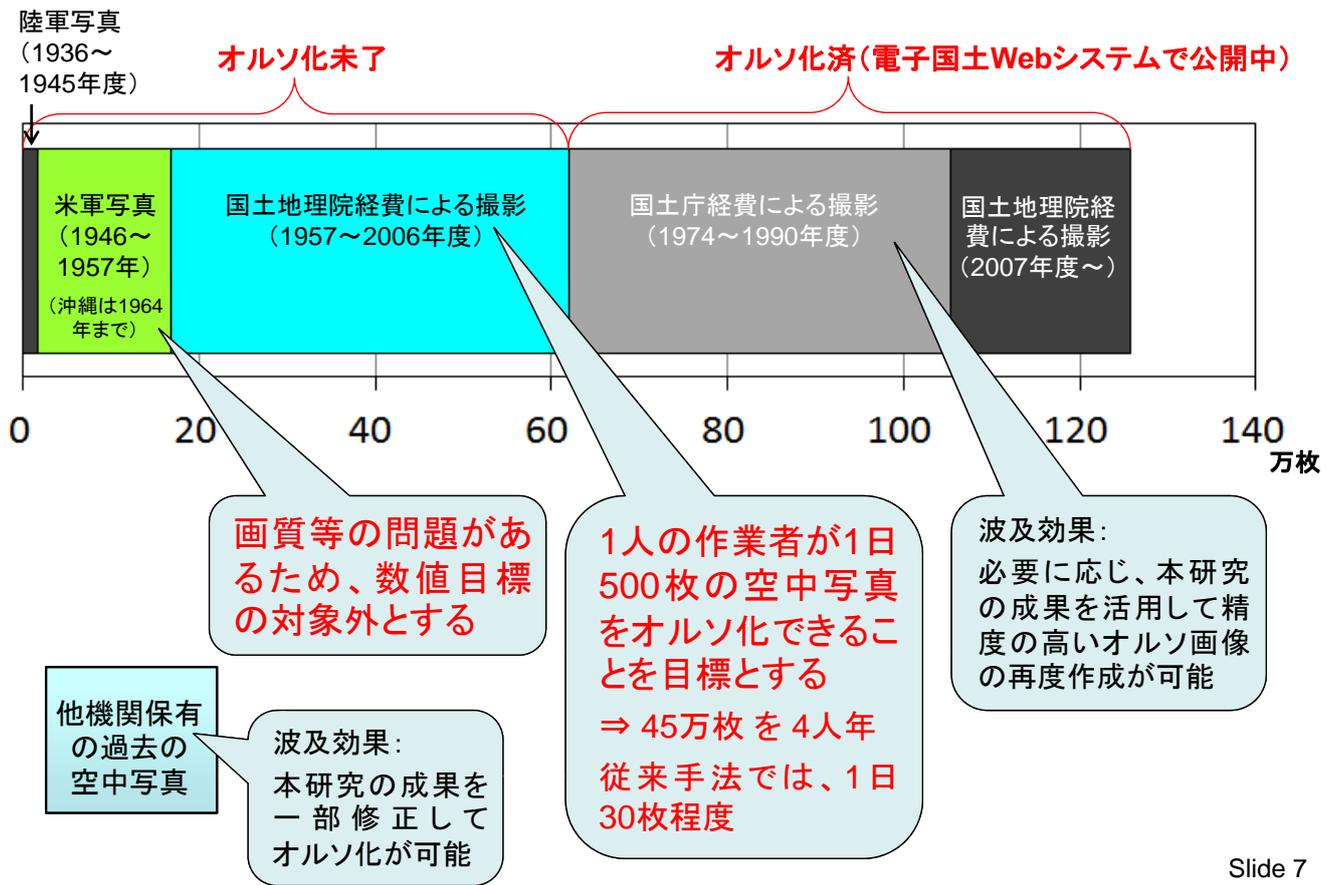
Slide 4



空中三角測量について

空中写真の間の共通点(タイポイント)、空中写真に写っている位置が既知の点(基準点)を用い、GPS/IMUがなくても、カメラの位置と傾きを計算する方法。

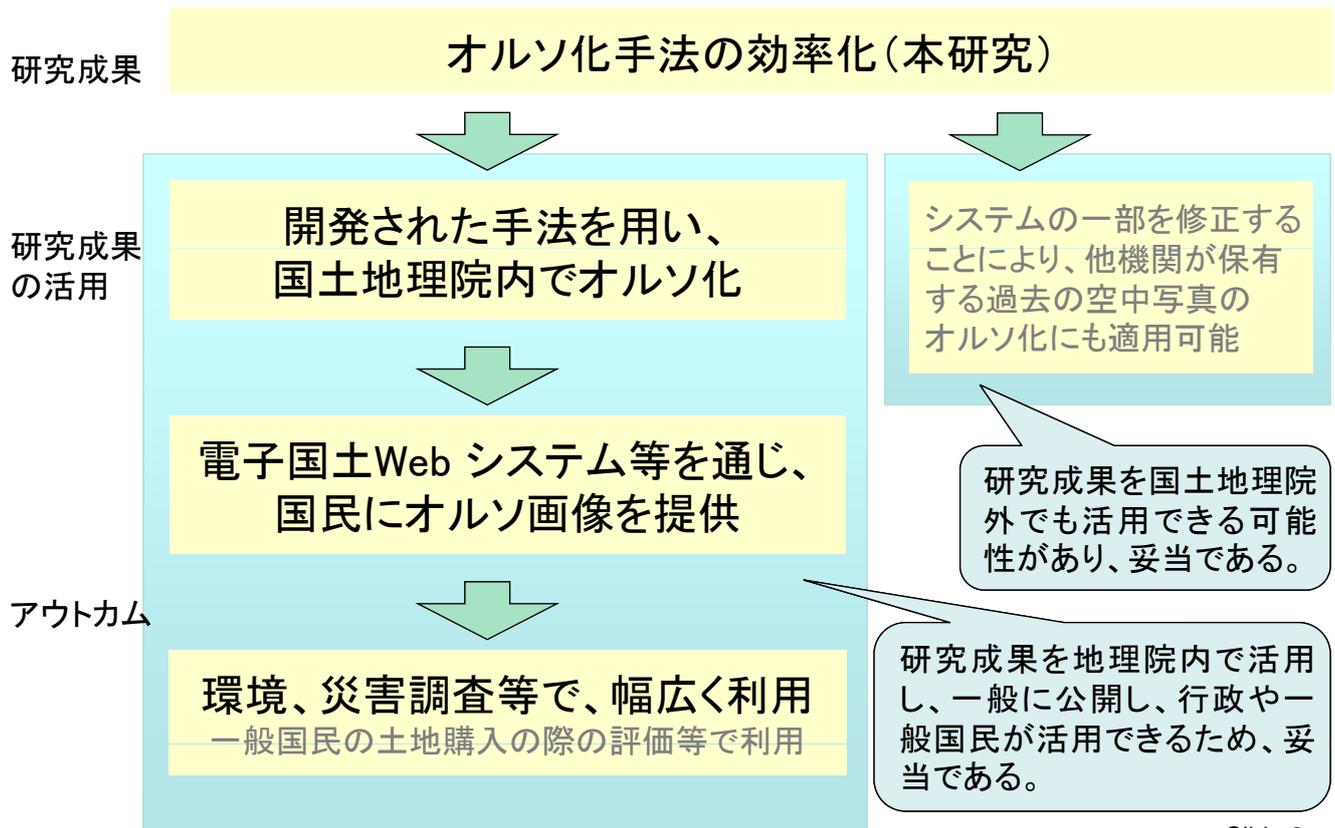




Slide 7

- 主任研究官1名(システム開発の経験のある写真測量の専門家)が、50%以上のエフォートを割いて実施する。
- 空中写真の撮影を担当している基本図情報部、オルソ化された空中写真の提供を担当している地理空間情報部の協力を得る。
- 東京電機大学、東京大学、奈良文化財研究所、国土交通省国土政策局と協力する。

Slide 8



Slide 9

「異なる時期の空中写真の間マッチング」に関しては、以下の手法を順次適用する。

- 画像間の相関係数を用いる方法 (エリアマッチング; 既存のアプローチ法)
- 方向符号を用いたマッチング (異なる時期の空撮画像の間の適用例あり)
- 山地等においては、山頂、河川の屈曲部等の地形的に特徴のある場所において、DSMを発生させ、DSM同士をマッチングさせる。(航空レーザ測量によるDEM同士での適用例あり)

方向符号を用いたマッチング

ほぼ同時に撮影された2枚の空中写真を比較すると、対応する場所同士の濃淡の分布が類似している。一方、異なる時期に撮影された2枚の空中写真を比較すると、水田に水が張られた等の理由で、濃淡の分布の境界が維持されたまま、濃淡が反転する場合がある。このような場合には、濃淡の分布が類似しているという条件を用いるよりも、濃淡の分布の境界の方向が類似しているという条件を用いた方が、空中写真間の同一点を探しやすくなる。方向符号を用いる方法は、濃淡の分布の境界の方向を符号化し、符号化された方向が類似している場所を探す方法である。

		画像の間の相関係数を用いる方法	類似している
		方向符号を用いる方法	類似している
		画像の間の相関係数を用いる方法	類似していない
		方向符号を用いる方法	類似している
		画像の間の相関係数を用いる方法	類似していない
		方向符号を用いる方法	類似していない

Slide 11

「対応点の抽出 → 計算 → 精度チェック → 対応点の追加位置の選定」の繰り返しプロセスの自動化については、以下の点が重要だと考える。

- 空中三角測量に伴う誤差伝播を適切に評価し、「基準点として使う測地座標の誤差」の間の相関を考慮する。
- 特に海岸部においては、同一コース上の隣接する空中写真の間の標定要素が類似していること(傾きが大きく異なること、撮影コースが概ね直線となること、撮影高度が大きくことならないこと)を確認する、あるいは調整の条件とする。

「複数の計算機を使用して、これらのシステムを並列して動作するようにする」については、以下の方策が考えられる。

- オルソ画像の作成では、「1枚の空中写真のオルソ化」を1つジョブとしたジョブ単位の並列化で問題が解決できると考える(ジョブ単位の並列化は容易、OpenPBSの利用実績あり)。
- 対応点の抽出については、ジョブ単位の並列化、OpenMPの利用(利用実績あり)等が考えられる。
- 空中三角測量の調整計算は、それほど時間を要しないと予想されるため、並列化の必要ないと考える。
- さらに、GPGPU(グラフィックプロセッサを用いた汎用計算)、あるいは同様の目的のプロセッサである Intel の Xeon Phi の利用も考慮する(難易度は高い)。

Slide 12

- オルソ化
各種の歪のある空中写真から歪を除去し、また、正確な位置情報を付加することにより、地図と直接重ね合わせられる画像を作成する作業。オルソ画像を作成するためには、空中写真を撮影した際のカメラの位置と傾きがわかっている必要がある。
- オルソ画像
ここでは、空中写真等をオルソ化した画像をさす。
- 位置の同定作業
ここでは、空中写真と地図を比較して、同じ場所を探すこと。地図上に記載される対象物(家屋、道路等)がない場合は、容易ではない。また、空中写真に存在する歪の性質を理解していないと、想像をはるかに超える誤差が生じる場合がある。空中写真の撮影後に宅地造成された場合などは、位置の同定作業自体ができないこともある。
- GIS(地理情報システム)
位置に紐づけられた各種のデータを表示、管理、解析するシステム。自治体、インフラ企業等で活用されている。

- GPS/IMU
空中写真を撮影した際のカメラの位置と傾きを求めるための装置。
- 米軍写真
ここでは、戦後、米軍が撮影した空中写真をさす。日本の国土を体系的に撮影した最初の空中写真であるが、それ以降に撮影された測量用の空中写真と比較して、画質等に問題がある。
- 陸軍写真
ここでは、戦前、戦中に陸軍が日本の国土を撮影した空中写真を指す。画質等の状況が、米軍写真よりもさらに悪い。
- 国土庁経費による撮影(国土地理院経費による撮影との違い)
国土庁経費による撮影は、国土の記録を目的として、1/10,000等の大縮尺のカラー空中写真を撮影したものである。国土地理院経費による撮影は、(国土庁経費による撮影の空中写真が利用できない場合)地図作成を目的とし、主1/40,000のモノクロ空中写真を撮影したものである。

空中三角測量の全自動化による オルソ画像作成の効率化に関する研究

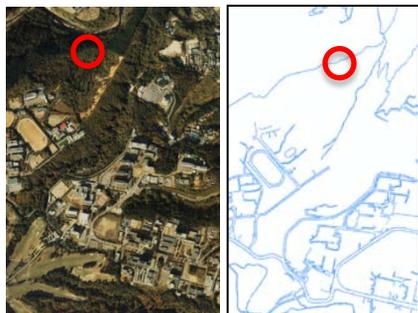
研究の背景・必要性

空中写真

写っているものがわかる
しかし、**位置合わせができていない**

国土の記録として重要

空中写真に写されている場所を地図上で探して移写するが、目標物がない場所では、困難で、誤差も大きい。



空中写真には、地形等に起因する歪が存在するため、無理やり合わせても合わない。



空中写真は、平成24年度までに過去のものを含めてデジタル化された。しかし、空中写真は、さらにオルソ化することにより、格段に使いやすくなる

オルソ画像

位置合わせができていて、**誰でも、地図を見るように使える**

研究内容

H26年度

空中写真マッチングシステムの開発
異なる空中写真の対応点の自動抽出

入力データ点検システムの開発
写真番号、写真の方向等の入力ミス
を点検

空中三角測量自動化システムの開発
「対応点の抽出 → 計算 → 精度
チェック → 対応点の追加位置の選
定」の繰り返しプロセスを自動化

H27年度

オルソ化システムの開発
空中三角測量の結果を用いてオルソ
画像を作成

複数のコンピュータを使用して、これらのシステムを並列して動作するようにする

H28年度

日本の国土を体系的に撮影した最初の空中写真であるが、画質等に問題があり、自動化は容易ではない。

米軍写真への適用方法の開発

実証実験

精度評価

研究の成果・効果

10倍以上の効率化を目指す

効率的なオルソ化手法の開発
(本研究)

国土地理院内で運用

電子国土Webシステム等を通じ、国民にオルソ画像を提供

環境、災害調査等で、幅広く利用