

研究課題終了時評価書

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. 研究期間：平成26年4月 ～ 平成29年3月 （3年間）
3. 予算：特別研究経費 22,272 千円 （3年間の総額）

4. 成果の概要

(1) 空中写真マッチングシステムの開発

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の評価に関して、同時期の空中写真間の共通点（タイポイント）の自動的な取得に関してはS f Mソフトウェアが有するマッチング機能により十分な精度を確保できることを確認し、S f Mソフトウェアをベースシステムとして導入した。一方、異なる時期の空中写真の間の共通点（基準点）の自動的な取得に関しては、写真の縮尺や撮影時期（季節）、経年変化等が影響し良好な結果が得られないことから、新たに(5) G C P自動選点システムの開発を実施することとした。なお、S f Mソフトウェアのマッチング機能の評価に関する知見は、平成28年3月に公表されたU A Vを用いた公共測量マニュアル（案）の検討に活用された。

(2) 入力データ点検システムの開発

コンピュータビジョン分野の技術であるテンプレートマッチングを用いて、写真指標を自動的に検出し、写真の方向の入力間違い等を点検するシステムを開発した。写真指標には、大きく分けるとツアイス系とウイルド系の2種類がある。ツアイス系列（RMKシリーズ）のカメラでは、写真指標がフレーム境界の形状によるものとなっていることから、背景の影の影響を受けやすく、正常に映っている写真指標の検出成功率は97%であった。ウイルド系列（RCシリーズ）のカメラでは、写真指標がシンボルとして処理可能であったことから、正常に映っている写真指標の検出成功率は99.9%を超えており、ほぼ完璧な検出が可能となった。これにより、画像上の写真指標位置を正確に特定することが可能となり、指標間距離を計測することで写真のスキャンピッチの点検が、また、指標間を結ぶ直線の交点から写真主点座標を求めそのばらつきを調べることで写真の向きやその他の異常の点検が、自動的に実施可能となった。さらに、写真主点と指標の座標が特定できたことにより、画像の幾何条件の統一が可能となり、作成するオルソ画像の精度向上にも貢献する成果を挙げた。

(3) 空中三角測量自動化システムの開発

空中三角測量を行うベースシステムとしてS f Mソフトウェアを導入し、(5)で開発したG C P自動選点システムにより取得した基準点や、それを補完するために手動で追加した基準点に対し、空中三角測量を実施した結果の精度（基準点残差及び交会残差）を取得し、精度が悪い自動取得点を削除しつつ適切な結果が得られるまで計算を繰り返すスクリプトを開発した。

(4) オルソ化システムの開発

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については、ベースシステムとして導入したS f Mソフトの機能が利用できたことから、開発は実施

しなかった。

(5) GCP自動選点システムの開発

当初の研究計画では、異なる時期の空中写真の間の共通点を基準点として自動的に取得することを目論んでいたが、SfMによるマッチングでは、写真の写り方、特に撮影時期（季節）や撮影縮尺の影響を強く受け、異なる時期の空中写真の間に共通点を取得できないケースが多いことが判明した。そのため、既存のオルソ画像を教師として、テンプレートマッチングによってGCPを自動的に選点するシステムを新たに開発した。テンプレートマッチングを困難とする要因を排除するため、Sobelフィルタによる明るさの違いの影響の低減、画像をピラミッド構造化し解像度が粗いものから順に3段階の画像マッチングにより画像の向きと縮尺を揃える手法の導入、さらに、いわゆるXYZ方式に切り分けられたオルソ画像タイルを教師としてテンプレートマッチングし、輝度の相関が高い地点を抽出することにより、森林部を除き、密度高くGCPを自動的に選点することに成功した。また、この手法では、教師画像の撮影時期とGCP選点対象の空中写真の撮影時期が概ね15年を超えると抽出率が急減することから、本研究の成果を用いて作成したオルソ画像をタイル化したものを再帰的に教師として用いることで古い写真でもGCP自動選点が行えることを確認した。

(6) 上記各システムの米軍写真に対する適用。特に写真指標の検出方法の新たな開発

米軍写真の多くは、RMKシリーズに似たフレーム境界形状による写真指標を用いている。そのため、RMKシリーズの写真指標自動検出手法をベースに2種類のテンプレート画像を用いて検出精度を高める工夫を講じた。しかし、周辺減光の影響が大きくそもそも写真指標が明瞭に写っていないケースなどもあり、検出率は71%と、自動処理を可能とするには不十分な検出率にとどまったことから、入力データ点検システムのみは適用が困難であった。その他のシステムであるGCP自動選点システム及びSfMによる空中三角測量ならびにオルソモザイク化に関しては、開発したシステムがそのまま適用できることが確認できた。

5. 当初目標の達成度

(1) 当初計画における目標

本研究では、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ため、既存の空中写真を自動的にオルソ化するシステムの開発と、1人の作業者が1日500枚の空中写真をオルソ化するという数値目標（ただし、米軍写真、陸軍写真は数値目標の対象から除外）を設定した。この数値目標は、事前評価ではかなり高めの目標設定と評価されていた。

(2) 最終的な目標達成度

(1)～(5)の開発による成果はいずれも、バッチ処理が可能なスクリプトを介してデータの入出力できるよう構築したことから、各システム間で自動的にデータを受け渡すことができる。特に、教師となるオルソ画像タイルが揃っており、全域で万遍なくGCPが自動選点可能な地区のような条件が揃えば空中写真の入力からオルソ画像の出力まで完全自動処理によるオルソ画像作成も可能である。したがって、空中写真を自動的にオルソ化するシステムの開発に関しては目標を達成した。

一方、自動処理が可能とはいえ、成果物となるオルソ画像の精度保持のためには、GCPの自動選点及び空中三角測量（調整計算）の結果の目視点検や、必要に応じて補完となるGCPの手動による付与を行う必要がある。また、教師となるオルソ画像が整備されていない地域で

は、GCP自動選点システムが適用できないことから、手動によるGCP付与が必要となる。これらの条件の下で、本研究で開発したシステムの生産性の検証を実施した結果、1人の作業者が31日で70地区18,300枚の空中写真のオルソ化を実施できた。これは、1人日あたり平均約590枚の生産性であり、数値目標の達成率は118%となった。

6. 成果公表状況

研究報告書	3件
発表論文	1件 (+1件執筆中)
口頭発表	1件 (+1件発表予定)
特許等	0件

7. 成果活用の見込み

本研究で開発した各システムを連携させることで、古い空中写真からのオルソ画像作成効率を飛躍的に高めることができる。これを、国土地理院が保有する大量の空中写真のオルソ化業務に適用することによって、今後、地理院地図におけるオルソ画像タイルの提供範囲の拡大と、国土画像情報を原典画像とする1970～1980年代のオルソ画像タイルについても、精度向上が図られる見通し。また、GCP自動選点に代えて、測量用のGNSS/IMUにより高精度に計測されたカメラの外部パラメータを用いることでオルソ化処理を完全自動でも実施可能となったことから、本手法が、災害発生時の緊急的なオルソ画像作成に用いられる見込みである。その事例として、平成28年12月に茨城県北部で発生した地震への対応におけるオルソ画像作成に用いられ、成果物のオルソタイル画像は地理院地図上で公開されている。

8. 達成度の分析

(1) 有効性の観点からの分析

本研究では、可能な限り自動処理を導入することにより生産性の向上を図った。生産性を向上しつつも、作業規程の準則に定められた写真地図の精度の基準に基づいて空中三角測量結果の閾値を設定するなど、測量成果に準じる成果物を生産できるよう考慮している。現時点で成果公表件数は少ない点は、本研究の中核となる成果であるGCP自動選点システムの開発が完了した時期が平成28年12月で、成果公表までの期間が短いためであり、査読付き論文1本が執筆中となっている。また、オルソ画像の生産性を一定の精度を保持しつつ1桁向上させることに成功した点は、今後の国土地理院の事業執行面において十分に効果を発揮するものと考えられる。

(2) 効率性の観点からの分析

本研究は、ベースシステムの評価に十分な研究期間を充当し、SfMに対応したソフトウェアの中でも高度なスクリプト対応能力を有するものを選定して遂行することができた。これにより、自動化処理の過程で必要な情報が取得できないことによる手戻りを生じることなく研究を進めることができた。また、特にGCP自動選点システムの構築にあたっては、仮説となる処理方法が適切であることを直営で確認した後、汎用化のためのシステム構築を外注により実施するなど、適時適材の研究実施手段を採り入れることで効率的に研究を遂行することができた。

9. 残された課題と新たな研究開発の方向

本研究の成果を活用することで、大部分の空中写真のオルソ化を効率的に行えるようになった。一方、SfMソフトウェアによる自動化処理を導入したことにより、SfMが適用しづらい地域、例えば、水部が支配的な島嶼部の撮影地区や、地域全体が縮尺の大きい森林部の写真のみとなっている撮影地区のようなケースには、本システムの適用は困難である。この理由により本システムが適用できないと考えられる空中写真撮影地区は、地区数ベースで全体の約1割、枚数ベースで約3%と考えられる。これらの地区を自動的にオルソ化する場合は、本システムが用いるSfM、テンプレートマッチングとは異なる手法開発が必要と思われる。

また、GCP自動選点システムの開発を通じて得た、オルソ画像タイルを位置の基準として用いる手法は、テレビ映像などのより簡便な映像の位置合わせ（画像位置推定）や測量における基準点選点にも適用できる可能性があることから、さらなる活用の方法を探っていく。

10. その他、課題内容に応じ必要な事項

特になし。

11. 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

TEL : 029-864-1111 (内5942)

FAX : 029-864-2655