

### ③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

○委員長 それでは、次に移りたいと思います。③になります。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について、まず国土地理院から御説明をお願いいたします。

○発表者 地理情報解析研究室から説明をさせていただきます。資料3-3をごらんください。

本研究は、平成26年度からの3カ年、特別研究経費約2200万円で実施をいたしましたものです。

本研究の背景からまず御説明いたします。航空機から地上を撮影した写真を空中写真とありますが、これは国土の記録としては非常に重要なものです。ただ、そこに写っているものは把握することができても、地図と位置合わせができていないため、そこに写っている場所が地図上のどこかということを知るのは、目標物がない場所、あるいは特に古い写真では困難になりまして、誤差も大きくなりがちです。

それを解決する方法としてオルソ化という方法があります。オルソ化というのは、空中写真の地形によるゆがみなどを取り除きまして、地図と重なるように画像処理をすることです。これを行った空中写真をオルソ画像と呼んでいます。オルソ画像では、地図と位置合わせができておりますので、誰でも地図を見るのと同じように使うことができます。国土地理院の地理院地図というサービスでは、誰でもオルソ画像と地図もしくはさまざまな情報を重ね合わせて見るようなことができるという代物になっております。

スライド3をごらんいただきたいのですが、そこで本研究が焦点を当てた問題といたしましては、過去の空中写真のオルソ化が必要になっているのだけれども、従来の手法では、それには膨大な経費を要するという点でありました。それを解決するためにオルソ化手法の効率化をテーマとして立ち上がったのが本研究であります。本研究で開発された手法を用いて、国土地理院内でオルソ化をすることで、地理院地図などを通じて国民にオルソ画像を提供し、環境調査ですとか災害調査といったことで、幅広く利用していただけるようにするのがこの研究のストーリーとなっております。

本研究が対象とする空中写真と目標について見てみます。国土地理院は、陸軍写真、1936年の撮影のものが最も古いのですが、そこから現在までに撮影された大量の空中写真を保有しています。最近では、写真を撮影するときに高精度なセンサーを使って、シャッター

を切ったときのカメラの位置などを計測できるようになっていまして、民間では、そのようなセンサーを用いた研究が盛んに行われておりますけれども、本研究が対象にしますのは、そのようなセンサーが実用化される前に撮影された空中写真です。具体的には、スライド4の図の中の2006年以前に撮影された写真、黄緑色、水色、灰色の部分などになりません。

もう1つの特徴は、これを効率化する部分の評価尺度を数値目標として設定しているところです。本研究では1人の作業者が1日500枚の空中写真をオルソ化する。そういったシステムにすることを目標に掲げて実施してまいりました。

スライド5をごらんください。こちらに空中写真からオルソ画像を作成するまでの大まかな工程と研究内容を示しております。ここに掲げている丸番号は、新規課題提案書に記載のものに合わせてありますので、工程の順序とは必ずしも一致はしておりません。当初の研究計画ですと、赤字になっている⑥の部分は研究計画にはなかったのですが、そのままの研究計画では、数値目標の達成が困難であることが今年度になりまして判明したことから、急遽新たな研究開発項目として追加をして実施したものです。

また、新規課題提案時からこの中の①と③、④につきましては、既存のプログラム等を使用して構築することとしていたところでありまして、本研究ではAgisoft社のPhotoScan Professionalというソフトをベースに開発することといたしました。さらに、それを用いて米軍写真に提供する手法の開発を行うという立てつけになっております。

具体的な研究開発成果について御説明します。スライド6は各研究項目についての成果を記載しております。全体としては、自動的にスクリプトを使ってオルソ化する手法の開発に成功いたしました。各研究項目については専門的になりますので、わかりやすいところに絞って御説明をいたします。詳細は参考資料のほうにお示ししておりますので、御興味がありましたらごらんください。

スライド7をごらんください。本研究では、テンプレートマッチングという技術に着目をいたしました。テンプレートマッチングというのは、教師となる小さな画像を対象画像上で少しずつずらしながら、最もよく合致する場所を探すというものでして、画像処理では非常に古くから使われている技術です。古い技術であるだけに、うまくいけば非常に高い成功率が得られるのですが、うまくいかない場合は全滅もあり得るという技術です。本研究では、これを写真指標の検出と地上基準点の検出に用いました。

写真指標といいますのは空中写真の四隅ですとか四辺中央に写し込まれているもので、

写真から測量する際に、画像の位置の基準として使うものです。これをきちんと検出することがよいオルソ画像を作成できることにつながります。ここでは、教師となるプレート画像を工夫することで、97～99.92%という高い検出精度を実現することができました。

スライド8ですが、これは地上基準点の自動選点に関する部分です。高精度なセンサーがありませんので、写真のどこが経緯度の幾つであるかということを示す地上基準点をたくさん配置する必要があります。ここでは、地理院地図から提供されている最新のオルソ画像を小さい範囲に切り分けたタイル状の画像であるオルソ画像タイルを教師として用いました。このタイルには番号がつけられておりまして、その番号がわかれば、タイルの経緯度が一意に計算できる仕掛けになっています。これは逆から見ますと、空中写真画像上でオルソ画像タイルと一致する場所を見つけることができれば、その経緯度が決められることになります。その事例は参考資料のスライド21とか22に示してありますけれども、これがかなりうまくいきました。

地上基準点の付与といいますのは、最もオルソ画像を作成の中で作業時間を要する工程でありまして、これがある程度でも自動化できることは効果が非常に大きいこととなります。

これらで開発したシステムを使って作業効率の検証をした結果、スライド9のとおり、31日間で1万8300枚、これは結構な量ですけれども、この空中写真からオルソ画像を作成することができまして、1人日当たり590枚ということで、数値目標を達成することができました。

次に、スライド10以降で、このシステムを米軍写真に適用した場合はどうだったかということについて御説明します。

米軍写真が近代の写真と大きく異なる点は、一般に画質がよくないということです。そのため、入力画像の点検部分については余りよい成果が出ませんでしたけれども、オルソ化処理の本体部分は、近代の写真のものと同様、キーとなる地上基準点の自動選点も含めてうまく動作することが確認できました。

スライド11と12は入力画像点検部分を示したものです。2段階のテンプレートを使って指標位置を特定するというように改良するなどしましたけれども、そもそもスライド12の右側、これは米軍写真の例ですが、これを見ていただくと、上側の指標が白く切れてしまっていることがわかります。このように、そもそも指標がきちんと写っていない場合も多

くありまして、指標検出率は71%にとどまりました。ただ、71%の指標は自動的に計測できるということですが、システム化という観点からはやや不満の残る結果となりました。

スライド13は、地理院地図で公開されている1960年代のオルソ画像タイルを教師として、米軍写真の地上基準点の自動選点をさせてみた結果です。教師タイルが存在するところは良好な選点結果であることがわかります。では、最新のものを使えばいいんじゃないのとお思いになるかもしれませんが、私どもが開発した自動選点方法は、教師となるオルソ画像が撮影した時期から15年くらいの期間内に作成されたものである必要がありまして、米軍写真のオルソ画像を作成するには、新しいものから順番にオルソ画像を作成していったら、1950～1960年代のオルソ画像を経由して、最後に米軍写真という手順を踏むこととなります。

このように、米軍写真は入力画像点検部分を除き、オルソ画像作成を大幅に効率化することに成功いたしました。

最後に、今後の研究成果活用の見込みについて御説明します。スライド14ですが、本研究の作業効率検証時に作成したオルソ画像の範囲を示しています。新しいものから順に作成する方式ですので、1990年代の関東地方のほぼ全域と、それを新たな教師として1980年代のおよそ30%の地域の整備が終わっています。離島部ですとか森林部が支配的な地域は、実はお手上げなのですけれども、これを繰り返すことで、米軍写真まで、地理院が保有している写真の約9割については、効果的にオルソ化が可能であると考えています。これは直接的な成果として、地理院内部でオルソ画像作成に活用することで、地理院地図でのオルソ画像の公開範囲の拡大に貢献できると考えています。また、災害時の緊急で作成するオルソ画像があるのですけれども、これを高速化できるのも大きな効果かと思えます。

スライド15は、間接的といいますか、副次的な活用の見込みです。本研究で成功したオルソ画像タイルを用いて画像の位置を決めるという手法は、新しい位置決め的手法として提案できるのではないかと考えています。また、比較的高速に動作させることができますので、今後、リアルタイムな災害情報収集ですとか測量への適用について検討していくつもりです。この部分につきましては、昨年12月によく安定して実行できるようになったものですので、これから学会などで積極的に発表していく予定としております。

私からは以上で説明を終わります。

○委員長 どうもありがとうございました。

それでは、地理分科会での議論について、主査から御紹介をお願いします。

○委員 資料3-4をごらんください。

6番の成果の概要につきましてはただいま御説明があったとおりです。

7番の当初目標の達成度ですけれども、本研究は、オルソ画像を効率的に作成して、それを社会に活用できる段階に持っていく研究ですので、そういった意味では非常によく達成できていると考えます。

続きまして、成果の公表状況ですけれども、今のお話にありましたように、新しい成果が割と後のほうになって出てきたこともございますし、技術的なものであるということもございまして、成果の公表状況がまだ十分というわけではないかなと議論がありました。今後投稿予定等の論文、あるいは学会発表等が準備されているようですので、積極的に学術的な場でも公表していくことが望まれることになります。

成果活用の見込みですけれども、オルソ化されるこの業務が走り出せば、オルソ化された空中写真自体は非常に有用なものであるということですので、いろいろなところでの活用が見込まれる。空中写真は、今までオルソ化されていないものですと、空中写真をよく知っている人間が、あるいは地図との対応ができる人間が、過去の土地利用であるとか災害の状況なんかと合わせることはできなかつたわけですけれども、これは見た目がそのまま地図になるということですので、この利用の仕方がオープンになっていくと、いろいろな自治体も含めて、あるいは個人レベルも含めて、利用の価値が広がっていく。

もう1つは、先ほど最後に述べられたような即時的な解析、新しい空中写真は精度よくいろいろな情報が入っているので、オルソ化できるという話でしたけれども、緊急時はそういう写真が撮れるとは限りませんし、UAVなどで撮影された写真がございまして。そういったものが即時的に解析されることに応用できることは、今後の災害などへの即時的な対応に非常に活用できるのではないかと考えます。

そういった意味ですが、成果公表のまだ十分ではないという問題もありますので、達成度としては「概ね目標を達成できている」と判断をいたしました。この研究としてはこれで達成ということになるかもしれませんが、オルソ化された写真をいかに活用するかということと、実は国土地理院さんが所有している写真は、都市部に限られるわけではないですが、都市部が中心であって、先ほどの説明にもありましたように、山間部の写真も所有しています。それから、林野庁などでもずっと山間部の写真を撮り続けているのですが、それらがオルソ化されることによって、山地地域のいろいろな過去の災害の復元であるとか、林地利用の状況の復元であるとか、そういったことに力を発揮できるのではないかと

考えております。今の段階ではかなり難しいですけれども、山地地域でのオルソ化、他機関で撮影された日本国土全体の空中写真のオルソ化という目標を次なるステップとして向かっていただければと考えています。

また、DSMの生成を行うことが実際には可能だということをお伺いしたわけですが、こういったものからデータをとることによって、人工改変の状況の地図化にも向かっていけるだろう。これも含めて、どんどんこれをもとにした研究課題をぜひ御提案いただいて、次なるステップへ進んでいきたいというのが地理分科会での意見でした。

○委員長 どうもありがとうございました。

それでは、委員の皆様から御質問、御意見がありましたらよろしくお願ひします。

○委員 貴重な成果をどうもありがとうございました。スライド14を拝見していると、地理院地図等で配信されるということですが、これからこうやって配信されるのであれば、どういうふうはこの画像が使われていくかも、一般の方々とかいろいろな方々がそれを見たりとか、何らかの方法で使われたりと思うのですけれども、ウオッチされたらいかがかなというのが1点目のコメントです。

2点目としてもコメントですが、こうやって公開することによって、1つは、高校の地理でGISも2022年から本格的に使われることが決まっております。そういった土地の変わっていく姿を見るだけでも大きな教育効果があると思うのです。そういったところもぜひ貢献していただきたいですし、もっと踏み込んで、これだけ災害が発生していると、今は宅地になっていても、ちょっと前に全然違う土地だったということはよくあり得るのです。実は物すごく危ないところに住んでいても、新しくよそから越してきた人は、先ほど主査のコメントにあったように、自分の土地が昔危ないところだって全然知らずに住んでいる人はいっぱいいて、何があったときに、こんなところに住んでいたとは知りませんでした。結構コメントされる方が多いので、自分の住んでいる土地のそういうリスクですとか、昔の土地の状態を見ることによって、リスクも考えていただけるようなことで貢献していただけたらと思います。

ほとんどコメントですが、どうもありがとうございました。

○発表者 ありがとうございます。この研究の目的は地理院地図でのオルソ画像の提供範囲を拡大することですので、そこはできるだけ効率的に広い範囲を早く作成して提供につなげていきたいと思っています。

あと、オルソ画像をこれまで提供されてなかったところがどんどん提供され始めるとい  
うことで、どういうところに皆さんが御活用されるのかも私としても非常に興味のあると  
ころですので、そういったところも機会があれば調べてみたいと思います。

あと、過去のものは、現状、地理院地図で提供されているもの、三大都市圏については  
比較的古くまで出ているのですが、それ以外のところは、特に1960年代以前はデータがま  
だそろっていないこともありますし、高度経済成長で住宅開発がされる前、水田であつた  
りとか湿地帯であつたりとか、そういったことが本当に目で見ると、ああ、そうなのかと  
いうのが非常によくわかることになると思いますので、我々としても、オルソ画像の整備  
に早くつなげていきたいと考えます。

○委員 最初に従来手法では膨大な経費を要する。その辺の事情が我々は専門家じゃない  
のでよくわからなかったのですけれども、例えばSARの画像とか、我々、地殻変動で研究す  
るときに合わせたりするのはふだんやるわけですが、こういったアルゴリズムは比較的昔  
から確立しているのだろうなと思っていたのです。写真だと、目標物があつたりなかつた  
りとか、あと写真が時代によって解像度が違つたりとか、そういったことで難しくなる  
ということでしょうか。

○発表者 1つ、まず費用がかかる要因は、冒頭御説明で申し上げたように、位置を示す  
情報がないのですね。画像だけからどこかを判定しないといけないので、それはこれまで  
人手に頼らざるを得なかった部分があります。現在は2017年ですけれども、2000年代、1990  
年代ぐらいであれば、比較的現在と土地利用も近いのですが、1980年代、1970年代を  
経ていきますと、現在とは全く土地利用が異なることがごく普通に見られるのです。特  
に都市開発だけではなく、地方の構造改善事業というのが、水田の区画を切り分けること  
がやられているところも出てきますので、人間の目で1枚の写真を持ってきて、どれがど  
こなのかを調べるのは非常に厄介なことです。そういったこともあって、過去、1970年代  
に撮影された画像が一部オルソ化されて今提供されているのですが、それに要した費用は億  
円単位の費用が必要になっているということで、そこをできるだけ、今の技術の進歩もあ  
りますので、効率化しようというのがこの研究の目的であつたところであります。

○委員長 ほかにございませんでしょうか。

○委員 非常にすばらしい研究で、成果もすばらしいと思うのですけれども、スライド3  
のところ、ページ数で言うと8ページでしょうか、環境、災害調査等で幅広く利用とい  
うところでアウトカムを書かれております。例えば、国土地理院または日本国内だけでなく、

世界における利活用というところで、難しいかもしれませんが、南極の変化というところで、どれくらい環境が変動してきているのか、環境が変わってきているのかなんていうことも、広く世界で共有できることもできるのかとったりするのです。南極は1つの事例として、そういった世界で利活用されるようなイメージは、今後の展開としてあり得ることでしょうか。

○発表者 本研究で開発した、特に地上基準点の自動選点の手法は、教師となる既存のオルソ画像があれば、特徴的な地勢を示したところであれば適用可能だと思います。ですから、都市部、郊外部のようなところが広がっているところであれば、別に我が国でなくても適用は可能だとは思っています。逆に我が国の場合では、先ほど申し上げた山間部とか離島のようなところは、適用がちょっと困難だということがあるのは、位置決めがしづらい、目印になるものがとりにくいという要因がありまして、そういったところからすると、海外の、例えば砂漠であるとか、南極というのをおっしゃいましたけれども、南極は氷で真っ白な状態なので、恐らく適用は難しいのではないかなという感じはするのです。ただ、人工物があるようなところは、別に海外であっても一般的に適用は可能ではないかと思いません。あと、画像が撮影されていることが重要ではあります。

○委員 今回の取り組みは、過去のデータをきちんと整備して、なおかつ、使いやすいようにしていくような取り組みを責任ある国土地理院がやっているのは、私は非常に重要なことだと思うのです。非常にすばらしい成果だと思います。

それは感想ですけれども、現在103万枚あると。それを1人で1枚、1分以内ぐらいでできるようになったということですが、103万枚を処理するのにどれぐらい時間がかかりそうかという見通しみたいのがあったら教えていただきたいのです。

○発表者 ありがとうございます。計算上の話ですと、現在の1日590枚という数字であれば、7年から8年ぐらいかかるのかなということにはなります。あとは、それだけの事業面で我々がそれを継続してできるかどうかという部分と、若干心配なのは、1970年代のものは全国撮影されていることと、あと米軍が1940年代から1950年代にかけて全国を撮影したのがあります。そこに関しては、我々地理院が最新のオルソ画像として整備していない範囲を含む部分もありまして、1970年代のオルソ画像をきちんとした高精度化したものにできるかどうか、実はキーになっている部分があります。今後、2020年ごろに日本を観測する衛星が打ち上げられる予定ということもありまして、そういったものからつくられるオルソ画像を、新たな教師にできるのではないかと考えているのですが、そういった



ものがうまく使えるようになれば、もう少し作業効率も上げることができるのかなというふうにも考えておまして、できるだけ早い時期での完成を目指して努力していきたいと考えます。

○委員 ありがとうございます。

○地理空間情報部長 こちらから失礼します。地理空間情報部と申しますけれども、今話題になっている地理院地図ですとか、あるいは過去の空中写真のアーカイブを担当する部署の責任者でございます。

今のお話で、今回この研究自体が、冒頭解説があったように、国土地理院の事業を支援するための研究という、インハウスの研究という要素が強いので、私ども今回、非常にいい成果が出て、また地理分科会主査からもいい成果が出ていると、先ほどお言葉がありましたので、我々もこの成果を事業に生かしていきたい。若干検証とかする部分はあるかと思えますけれども、今の委員の御質問で、では、何年かかるのだとありました。単純計算すると、7年なのかもしれませんが、いろいろな要素がありますので、7年で必ずできると断言は今できませんが、いずれにしろ、冒頭院長が申し上げたように、地理空間情報活用推進基本法成立10年というこの年に、また、こういう形でわかりやすく出していくことによって、一般への御理解とか、先ほど災害の過去の履歴の話もございました。いかにわかりやすく地理空間情報を出していくかということ踏まえて、少しでも前進できるように頑張っていきたいと思えます。ありがとうございます。

○委員長 今の委員の質問と関連するのですが、例えばスライド9に1人の作業者が1日590枚処理できるとありますが、この作業者というのは、オルソに関するかなりの知識を持っていないとだめなのですか。これがかなり自動化されてくると、外注というか、そんなにわかっていない人でも、安い外注で、昔のようながちがちの技術者じゃなくてもできるのだとすると、予算も抑えられて早くできるのではないかと単純に発想してしまうのですが、この作業者の知識レベルはどのあたりを想定されていたのでしょうか。

○発表者 ここで作業をする主な中身といいますのは、地上基準点の自動選点がうまくいかなかったところに対して、人間が基準点を与える作業がこの作業時間のほぼ8割から9割を占める状況で、そのほかの専門的なものは、全てソフトウェアを使ったスクリプトで自動的に処理ができるという形で構築をしておりますので、ここで作業に必要な要員に対する専門的な知識は余り必要ではないかなと考えています。多少の慣れは必要だと思うのですが、写真と写真を見比べて、ここが同じ場所だということを見つけて、緯度経度

と高さを読み取って、それを入力する作業になりますから、若干の慣れがあれば、別に専門的な知識は必要ではないかなというふうには考えています。

○委員長 とすると、特殊技術だとすると、作業単価が高くなると思うのですがけれども、極論を言うと、例えば学生アルバイトでもできるような形だとすると、作業単価も落ちてくると、結構予算面でも見ることができて短期間になるとか、そういう効率化を考えると、早目にできることもあるのかなと、ただ、これは内部的な問題で、では、アルバイトを使ってやったけれども、精度はどうかということも問題になるかもしれませんが、そういう点もあるのかな。今お話を聞いて、特殊な技能がそんなに必要でないということであれば、そういうところで経費節減をして早く進めていく。地理院地図を使う人が最近非常にふえていますので、先ほどもお話がありましたように、高校での地理の必修化とかということもあって、恐らくそういうところで結構使われていくのではないかなと思うので、できるだけ早く作業をされるのが望ましいかなという感想を持ちました。ありがとうございます。

ほかに今の3番目の課題でございますか。よろしいですか。大体終わりましたか。

ありがとうございました。