

## 研究課題終了時評価書

1. 研究課題名： 浸水状況把握のリアルタイム化に関する研究
2. 研究期間： 平成 29 年 4 月～令和 2 年 3 月（3 年間）
3. 予算： 特別研究経費 48,858 千円（3 年間の総額）

### 4. 成果の概要

#### (1) 浸水範囲の自動検出システム

洪水時に国土交通省の各地方整備局の防災ヘリから国土地理院に伝送される画像を用い、機械学習によって濁水部を自動検出し、その位置をネットワークノードにアップロードするシステムの開発を行った。当初目標では防災ヘリの正射画像データのみを対象としていたが、実際の災害発生時の防災ヘリの運用では斜め撮影が大半であることを考慮し、当初のアプローチを大幅に変更して畳み込みニューラルネットワーク（CNN）と深層学習の手法を導入した。これにより斜め撮影画像上での浸水範囲の自動検出及び検出範囲の地図投影にも成功したことで、当初目標の浸水到達位置計測時間の数値目標である撮影後 1 時間に対し、撮影後 30 秒以内での検出及び地図投影を実現した。

本システムは、防災ヘリの映像伝送システムであるヘリサットシステムと連携して動作するように構築しており、各防災ヘリの撮影開始をトリガーとして、自動的に浸水の検出処理を開始する。ヘリサットシステムで伝送されてくる 1 秒ごとの静止画像（1 コマ）をもとに、6 コマおきに検出を行い、浸水範囲をポリゴンデータとして抽出する。さらに、同時に伝送されるカメラパラメータを用いてポリゴンデータを正射変換し、それまでに作成されたポリゴンデータに次々にマージしていくことで地図上に投影可能な浸水範囲ポリゴンとなる。浸水範囲ポリゴンは、GIS でも使用が可能な KML 形式のデータとして保存される。データの保存場所を HTTP によるアクセス可能な領域とすることで、撮影途中の状況であっても 30 秒前までに検出された浸水範囲に Web アクセスすることが可能である。抽出率や正射変換の精度向上に改善の余地を残しているが（継続する研究課題）、濁水の概略存在範囲のリアルタイム抽出を実現し、撮影から数分で、かつ完全自動で得られる情報として初動時に必要な一定のラインをクリアしていると考えられる。

#### (2) 精度の高い湛水量の把握

空撮画像を元にした水際の位置情報から湛水量を求める様々な手法について検討し、手順をまとめた。正解データとしては、国土交通省の浸水シミュレーションデータを用いた。これは空撮画像同様ある時点での浸水状況のスナップショットであり、水文工学でオーソライズされた手法により作成されている。検討手法は次の通りである。まず、空撮画像なら水際の情報を利用することを想定し、浸水シミュレーションデータの水際の点群のみ使い、複数の計算手法で水面を作成した。この時、浸水領域全体を把握できない想定で、外周全部ではなく少数の水際点しか使わないケースについても検討した。作成した水面と、地理院地図標高タイルから作成した 5mDEM（DEM 作成プログラムを用意）との差分で湛水量を求めた後、どのような手順で水面を求めれば正解データに近くなるのか検討した。検討結果から、動水勾配があり浸水領域全体を位置精度が良く把握できているケースでは曲面を使った内挿補間、他は水際点の平均標高で平面を作ることが適当であることがわかった。ただし平面を用いる場合はケースによって領域を区切る必要がある他、

外れ点の識別も移動平均が取れば可能であることがわかった。まとめた手順は、ダイアログボックスで動作しレポート作成・GISデータ出力までを一括サポートする湛水量計算プログラムに実装した。

### (3) 昼夜問わないデータ取得に向けた足がかりに関する知見

夜間の浸水状況の把握に向けて有効と考えられるセンサ候補を調査し、夜間運用が比較的容易なヘリコプターに装備可能で、入手や操作が容易なセンサとして、超高感度カメラと熱赤外線カメラを選定した。SARについては、撮影時刻に限られるほか、解像度の粗さや、適切な発災前の画像の入手が難しいなどの課題があり、求められる水準のデータ収集は難しいと判断した。

ヘリコプター上空からの性能試験（2018年8月2日の夏季昼間、2019年1月23日の冬季夜間・曇天・清水状態時、いずれも長良川）と地上での補足試験（2019年9月18日の夏季夜間・雨天・濁水時、鬼怒川・小貝川）を実施し、夜間観測について知見を取りまとめた。その結果、超高感度カメラが夜間における浸水域把握に実用的であり、最適 ISO 感度は 51200～102400 の間、すなわち市販の中級レベル以上の一眼レフカメラであれば撮影可能であり、高性能ビデオカメラなども利用可能であることがわかった。手持ち・手動フォーカスによる窓越しの撮影などにより夜間水域観測が可能になると考えられる。熱赤外線カメラは水域を識別可能だったが、様々な条件の影響を受けやすいため、補足的な併用が有効と考えられる。なおこれらのセンサは UAV にも搭載可能である。

## 5. 当初目標の達成度

### (1) 当初計画における目標

本研究の当初計画における目標は次の通りであった。防災ヘリからヘリサットシステムを介して伝送され、DiMAPS（統合災害情報システム）で自動的に作成される正射画像（以下、「ヘリサット正射画像」という）を用いた迅速な浸水状況の把握のための実用システムの開発を行い、（平成 27 年 9 月関東・東北豪雨における）常総市の水害と同程度の水害においては手動を併用して撮影後 1 時間以内の浸水到達位置計測を実現する。また、夜間にも適用可能な浸水状況把握技術の有効性の検討も併せて行い、夜間の浸水状況把握に適したシステム要件の策定を行う。さらに 4 時間以内に浸水面積及び湛水量を計測あるいは推定できるシステムを作成する。

### (2) 最終達成度

研究開始後数年が経過し、様々な状況変化があった。まず、防災ヘリのヘリサットシステムの運用が本格化した（平成 30 年度までに 8 機の防災ヘリ全機に装備・運用開始）ものの、研究着手時に想定していた常総水害時のような直下視の撮影はその後ほとんど無く、斜め撮影が大部分であった。そのため、当初計画のヘリサット正射画像ではなく斜め画像を利用せざるを得なくなった。斜め撮影された画像から浸水範囲を検出して地図に投影するという処理は、熟練技術者でも極めて難易度が高く、ヘリサットシステムによるカメラパラメータの計測誤差も大きい状況下でこれを自動的に処理することは困難と考えられていた。したがって、よりチャレンジングな研究になったといえる。

本研究では、防災ヘリの斜め画像を用いた迅速な浸水状況把握のための実用システムの開発を行い、機械学習の一分野である深層学習を取り入れることによって、常総市の水害のように防災ヘリ 1 機による撮影状況であれば撮影後 30 秒で浸水範囲を検出し、地図上に投影することに成功した。さらに実用システムの構築にも着手し、撮影開始後概ね 2 分間隔で次々に最新の浸水到達範囲を更新していくシステム構築を実現した。これは当初目標の 1 時間を大幅に上回っているほか、人間による処理を併用する必要がなく、完全自動で動作するシステムとして構築することが

できた。湛水量の計算については、国交省の浸水シミュレーションデータを利用することによって様々なケースについて検証を行って最良な手順をまとめ、作業量の大幅な軽減につながるプログラムを用意した。夜間の浸水状況把握に超高感度カメラが実用的であることを、観測実験の結果を受け推奨スペックや撮影条件と共に示した。以上のことから、当初目標は概ね達成されたといえる。

## 6. 成果公表状況

研究報告書 3件  
発表論文 2件  
学会発表等 6件

## 7. 成果活用の見込み

浸水範囲を自動検出するシステムに関して、防災ヘリの撮影画像から浸水範囲をリアルタイムに抽出し、浸水推定図の作成に活用するためのシステム整備が令和元年度補正予算で認められ、令和2年の出水期からの対応を目指し実装が決定している。このシステムは、8機の防災ヘリが同時に撮影を実施したとしても、同時並行リアルタイム（撮影時点から30秒～2分以内）に対応可能となる予定である。さらに、DiMAPS（国土交通省の総合災害情報システム）上で浸水範囲の検出結果を即時共有するシステムの開発も、総合流域防災対策事業調査費（平成30年度～令和3年度）により、すでに進めているところである。湛水量計算プログラムは、応用地理部の浸水推定図の作業等に活用が見込まれる。夜間水域観測に関しては、防災ヘリ等の夜間運用が可能となれば、超高感度カメラ（および必要に応じて熱赤外線カメラ）を利用した夜間水域観測が可能になることを示した。

## 8. 達成度の分析

### (1) 有効性の観点からの分析

本研究で作成した浸水範囲自動検出システムは、斜め画像を含む防災ヘリの撮影画像から撮影中に逐次浸水範囲を抽出するものであり、当初目標を大幅に上回るスピードでの処理を実現している。抽出結果も浸水推定図の範囲と概ね一致しており、濁水部分は概ね抽出出来ていることが確認されている。さらに、すでに実用システムとしての実装が決定している。湛水量計算については、想定される様々な水際のケースについて実用的な計算方法を取りまとめた。夜間水域観測については、実際にヘリコプターを運用し上空からの性能試験を行った。以上から、有効な成果といえる。

### (2) 効率性の観点からの分析

本研究の実施にあたっては、深層学習、画像認識、災害判読、DEM解析など、各分野を専門とする研究官がテーマを分担して研究を実施しており、年度ごとに主テーマを立てて主担当の研究官に他の研究官が協力するという体制で研究成果を取りまとめてきた。外注も、画像認識のためのシステム構築、ヘリコプターによる夜間観測、湛水量計算のためのツール構築と、年度ごとに主テーマに沿った内容を計画立って実施してきた。また、浸水範囲自動検出システム、湛水量計算プログラムの作成は、国土地理院内の研究分科会などを通して企画部防災グループ、基本図情報部、応用地理部等の担当者と意見交換しながら効率的に研究を進めることができた。

9. 残された課題と新たな研究開発の方向

浸水範囲自動検出システムについては、同時に多数の防災ヘリが飛ぶ状況へのハードウェア面でのシステム増強、浸水部の抽出率の向上、斜め撮影画像を用いた自動マッピング時の正射変換の精度向上が課題である。ハードウェア面でのシステム増強は、令和元年度補正予算により、サーバ等の整備予算が認められ、令和2年度中に整備を完了する予定である。濁水部の抽出率の向上及び正射変換の精度向上に関しては、防災ヘリでの運用を前提として本研究の成果の実装を目指した、総合流域防災対策事業調査費（平成30年度~令和3年度）の研究テーマにより、解決を図りつつある。

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 8434)      FAX : 029-864-2655      e-mail : iwahashi-j96pz@mlit.go.jp

代表担当者：地理情報解析研究室 岩橋 純子