

## AIによる災害状況（浸水・土砂）自動判読システムの開発（第2年次）

実施期間	平成30年度～令和3年度
地理地殻活動研究センター	
地理情報解析研究室	大野 裕幸 白石 喬久 中埜 貴元
企画部国際課	岸本 紀子

### 1. はじめに

本研究は、自然災害のうち浸水と土砂崩壊を対象として、従来は熟練した判読技術者が実施している大規模災害発生時の災害被害判読を、近年発展が著しいニューラルネットワーク（NN）と深層学習を用いた画像認識技術（以下総称して「AI」という。）の導入によって自動的に実施可能とし、その判読結果を国土交通省の統合災害情報システム（DiMAPS）上で共有可能とすることで、特に災害発生初期における状況把握を迅速化することを目的として実施している研究である。本研究のうち、浸水の自動判読は、国土地理院が平成29年度から令和元年度まで実施した「浸水状況把握のリアルタイム化に関する研究」（以下「浸水特研」という。）の研究成果をベースとし、使用するAIに関しては平成30年度から実施中の「AIを活用した地物自動抽出に関する研究」（以下「AI特研」という。）で得た知見を導入しつつ、研究を推進している。

### 2. 研究内容

#### 2.1 研究開発の概要

研究内容は、国土交通省各地方整備局が運用する防災ヘリの撮影映像を静止衛星経由で伝送するヘリサットシステムで伝送された映像等を対象とし、①映像から1秒おきに切り出された静止画像内に映った浸水及び土砂崩壊部の範囲をAIによって自動的に抽出する技術開発、及び②①によって抽出された画素範囲を、映像撮影時のカメラの位置と姿勢を計測してヘリサットシステムで映像と同時に伝送されるカメラパラメータと既存の数値標高モデル（DEM）データを用いて正射変換した際に生じる位置ズレを低減させる技術開発、の2つのテーマで構成されている。本年度は、①は浸水、土砂崩壊部両方についてAIのトレーニングを継続するとともに、②は、特にカメラの焦点距離（ズーム値）に関して、計測された値と実際の値の相違点を調査し、その補正式を導出する検討を中心に実施した。

また、令和元年8月28日から、浸水のみを対象として本研究が想定する自動判読の一連の処理を行うプロトタイプシステムによる試験運用を開始し、令和元年（2019年）8月の前線に伴う大雨及び令和元年東日本台風により発生した大規模浸水の自動判読を通じて多くの課題が抽出された。この課題解消のために、③陸水域ポリゴンの全国整備と堤外地ポリゴンデータの整備、及び④入力画像に判読対象が含まれるか否かを画像分類によって判定するための教師データ作成を実施した。

#### 2.2 AIによる浸水・土砂崩壊部の自動抽出

本研究は、防災ヘリによって撮影された映像を対象として浸水及び土砂崩壊部の範囲を抽出することを目的としている。ここで使用する映像は、状況の確認を目的として防災ヘリが飛行しながら被災地域等を撮影した映像であり、斜め撮影が大半であること、同じ場所を反復して撮影するケースがあること、映像から1秒ごとに切り出された静止画を入力とするため、静止画のオーバーラップ率が極めて大きい数値であること、などの特徴を有している。斜め撮影であることから、直下撮影された写

真のケースと異なり，トレーニングデータ作成にあたって画像を回転させて枚数を増加させる **Data Augmentation** という処理が行えないという制約がある．また，同じ場所が反復して撮影されているケースがあることと，画像のオーバーラップ率が極めて大きいことから，自動抽出に用いるニューラルネットは，誤抽出が可能な限り少なくなる方向に誘導したトレーニングを実施することが望ましい．これは，ニューラルネットの性能評価を行う際に用いる指標のうち，再現率（**Recall**）よりも適合率（**Precision**）の値をより高めるトレーニング方針を採用すると言い換えることができる．

**Precision** を高めに誘導するトレーニングデータの元画像選択方法は AI 特研で得た知見を導入し，トレーニングデータ作成の母集団は，平成 30 年度にヘリサットシステムで伝送されたフライト番号 53552 から 54294 までのうち，一部でも画像の入手が可能であった 324 フライト及び平成 29 年度以前の 3 フライトの画像とした．一方，令和元年度のフライトの画像は検証のみに使用した．

### 2.3 正射変換時の位置ズレ量低減のための調査

平成 30 年度の調査において，防災ヘリ「愛らんど号」が撮影した画像を用いて焦点距離の補正式を導出した．しかし，令和元年度のフライトのいくつかにこれを適用してみたところ，補正結果が不良のフライトが確認された．焦点距離の計測値に機体毎の個体差が存在する可能性が生じたことから，本年度は，「愛らんど号」以外の防災ヘリ 7 機について，焦点距離の補正式の導出を実施した．各防災ヘリの撮影画像から機体ごとに 5～9 種類の焦点距離で撮影された画像から SfM (**Structure from Motion**) 技術によって実際のカメラパラメータを推定し，そこから得られた焦点距離の値とヘリサットシステムで伝送された焦点距離の値から機体ごとに補正式の導出を行った．

また，平成 30 年度の調査では，防災ヘリ「きんき号」が直下撮影した画像の解析を実施し，機体のロール角，ピッチ角，ヨー角に，ヘリサットシステムの計測時刻と画像の撮影時刻にラグが含まれている可能性が確認されていたことから，本年度は「愛らんど号」がカメラを固定して直下撮影した画像 1041 枚を用いてラグの確認を実施した．ここで，「カメラを固定する」とは，通常の撮影では，ヘリの機体のロール，ピッチ，ヨーの 3 軸回転角度に加え，防振装置に搭載されているカメラのパン及びチルト角も合成された角度が最終的なカメラパラメータの値となるが，カメラを固定することでカメラのパン及びチルト角を定数とみなすことができ，カメラパラメータ＝ヘリの機体の角度となって，解析に適したフライトであることを意味する（宮地ほか，2015）．なお，カメラのロール角は，斜め撮影においては防振装置によって自動的に水平に保持されること（常に 0 となる），カメラ固定時はロールに関しても定数となることから，そもそもヘリサットシステムで伝送されるカメラパラメータにその情報が含まれていない．

### 2.4 陸水域ポリゴンデータの全国整備及び堤外地ポリゴンデータの整備

プロトタイプシステムによる試験運用の結果，濁水に関して良好な判読結果が得られることが分かった．しかし，判読で得られる領域の多くは堤外地であり，浸水範囲とみなさない範囲を適切に除外する必要性が確認された．AI による浸水判読で堤外地か堤内地かを判別するには堤外地の範囲を示す情報を与える必要がある．また，ため池や沼といった平時からの湛水範囲も浸水範囲とはみなされないため，除外する必要がある．そこで，基盤地図情報の水域ポリゴンを利用し，除外すべき領域のポリゴンの整備を実施した．しかし，河川部分に関して基盤地図情報の水域は，堤外地ではなく流水が存在する範囲がデータ化されていること，基盤地図情報の水域データの大半が湖池と河川に分類されていないことから，水域データを湖池と河川に分類し，湖池のみとする処理を実施した．これに，一級水系の本川を中心に堤外地ポリゴンを地理院地図上で作成し，マージする処理を継続中である．

### 2.5 画像分類による災害画像判定のための教師データ整備

一般研究「新技術の活用による基盤情報整備力向上のための研究」の研究成果から，水域に関して

画像分類による分類確率と画像に含まれる対象地物の画素比率の間に強い相関があることが示された（大野，2020）。自動判読の処理には大量の計算機資源が必要となることから，これを利用して画像に濁水が含まれる概略面積を事前に推定し，自動判読が必要のない画像を除外することができれば，システムの負荷を大きく軽減できる可能性がある。そこで，そのための教師データ整備を実施した。

### 3. 得られた成果

#### 3.1 AI による浸水・土砂崩壊部の自動抽出

浸水及び土砂崩壊部を対象として，ヘリサットによる伝送画像からそれぞれが映っている範囲を抽出するニューラルネットワークのトレーニングを実施した。まず，令和元年度の防災ヘリの撮影画像から，令和元年東日本台風の浸水画像等を中心に，浸水 1,557 枚，土砂崩壊部 1,285 枚の教師画像（いずれも画像サイズ 1,920×1,080pixel）を作成し，検証用の画像とした。

浸水のトレーニングは，AI 特研の知見に基づき平成 30 年度以前に撮影された防災ヘリ映像，空中写真，Web 上から収集した浸水画像等から厳選した 2,100 枚（画像サイズ 286×286pixel）の教師画像を用いて，直下撮影の画像のみ Data Augmentation により 90 度，180 度，270 度に回転させた画像を追加し，合計 2,847 枚により実施した。土砂崩壊部のトレーニングは，平成 30 年度に作成した教師画像 2,000 枚（画像サイズ 1,920×1,080pixel）を元に画像サイズ 286×286pixel に分割した画像 18,500 枚に，Data Augmentation により左右反転させた画像を追加した 37,000 枚により実施した。ニューラルネットワークは，いずれも AI 特研で使用したのと同じ 16 層の U-Net 構造のネットワークを用いた。

トレーニング終了後，令和元年度のフライトから作成した検証用画像，浸水 476 枚，土砂崩壊部 905 枚（いずれも画像サイズ 1,920×1,080pixel）を用いて抽出性能を評価した結果，表-1 の値を得た。浸水は誤抽出が極めて少なく，実用レベルに到達している。一方，土砂崩壊部は誤抽出が多く，実用域に到達するにはさらなる改良が必要である。ただし，浸水も，令和元年東日本台風における浸水を撮影したフライトの中で，早朝に撮影され，画像全体に青みがかかったケース（10 月 13 日荒川水系），夕刻に撮影され画面全体の黄色からオレンジ色が強いケース（10 月 13 日鳴瀬川水系吉田川），全体に霞って白みがかかったケース（10 月 13 日千曲川）など，トレーニングデータに用いた平成 30 年度までの浸水画像に含まれないケースでは抽出漏れが多いことも確認されており，浸水，土砂崩壊部とも令和元年度に撮影された防災ヘリ画像及び空中写真画像を用いてトレーニングを継続する計画である。

表-1 浸水，土砂崩壊部各抽出用 AI の抽出性能評価値（F 値）

種別	Precision（適合率）	Recall（再現率）	F 値
浸水	0.943	0.615	0.744
土砂崩壊部	0.535	0.634	0.580

#### 3.2 正射変換時の位置ズレ量低減のための調査

「愛らんど号」も含めた防災ヘリ 8 機のカメラ焦点距離補正式導出の結果，全体が 2 グループに分かれていることが判明した。8 機のうち平成 27 年度に最初にヘリサットシステムが実装された「きんき号」「はるかぜ号」の 2 機と，それ以外の 6 機という 2 グループである。

$z$  (mm) をヘリサットシステムによる焦点距離， $f$  (mm) をその補正值として各グループの補正式を

$$f = a_4 z^4 + a_3 z^3 + a_2 z^2 + a_1 z + a_0$$

とした場合，「きんき号」「はるかぜ号」の A グループと，それ以外の B グループの係数は，表-2 のと

おりとなった。A グループの補正式は 3 次式、B グループの補正式は 4 次式である。

表-2 焦点距離補正式の係数

種別	$a_4$	$a_3$	$a_2$	$a_1$	$a_0$
A グループ	0	-4.652545E-07	3.747208E-04	8.703534E-01	2.112679E+00
B グループ	8.300763E-09	-3.794052E-06	8.195491E-04	2.28098E-03	1.386136E+01

防災ヘリ機体側の姿勢角に関するラグも確認された。ロール角は 0.5 秒，ヨー角は 1.5 秒のラグ（いずれもカメラパラメータに対する画像側の伝送の遅れ分）であった。ピッチ角にはラグは生じていないが，ヘリサットの通信に用いる静止衛星の方位角に起因するとみられる補正が必要であることが確認された。また，この調査結果の確認用に，ヘリサット画像とカメラパラメータ，既存の DEM を用いてオルソ画像に変換するソフトウェアを構築した。

### 3.3 陸水域ポリゴンデータの全国整備及び堤外地ポリゴンデータの整備

基盤地図情報を用いることで陸水域ポリゴンデータは全国の整備が完了した。一方，堤外地ポリゴンは，太平洋側の一級水系の本川から順次整備を進め，高瀬川から富士川までのすべての一級水系本川と信濃川／千曲川に関して整備が完了し，さらに整備範囲を拡大中である。

### 3.4 画像分類による災害画像判定のための教師データ整備

画像分類のための教師データは，2007 年から 2019 年までに国土地理院がデジタル航空カメラで撮影した空中写真を 572×572pixel に分割した約 1.2 億枚の画像から無作為に抽出した 18 万枚，令和 2 年 1 月までにヘリサットシステムで配信された画像を 480×270pixel に分割した約 2,000 万枚の画像から無作為に抽出した 2 万枚を，濁水（flood），土砂崩壊部（landslide）を含む 30 カテゴリに分類した教師データとして整備した。これらを用いたトレーニングは，令和 2 年度に実施する予定である。

## 4. 結論

本研究は，防災ヘリが撮影した斜め映像から AI を用いて自動的に災害発生範囲を地理空間情報化しようとするものであり，浸水特研及び AI 特研の研究成果の社会実装フェーズという位置づけの研究である。本年度，プロトタイプシステムによる浸水判読の試験運用を開始したことにより，撮影から 30 秒～2 分程度遅れで追従し，事実上リアルタイムで自動処理が可能であることが確認された。AI による浸水の抽出は，浸水が無い場合に誤抽出が生じないことも含め，リアルタイムで得られる情報として一定のレベルをクリアしていると考えており，システム全体として当初想定した処理の流れを実証することができた。今後は正射変換時の位置ズレをどれだけ解消できるかが人間による判読能力を凌駕できるかどうかの分水嶺となる。また，土砂崩壊部の自動判読に関しても令和 2 年度からプロトタイプシステムによる試験運用に着手する予定であり，継続して判読精度の向上を図っていく。

### 参考文献

- 宮地邦英，大野裕幸（2015）：ヘリ画像処理システムの開発，国土地理院時報，127，171-180。  
 大野裕幸（2020）：新技術の活用による基盤情報整備力向上のための研究（第 1 年次），令和元年度調査研究年報，186-189。