

災害初期タイムラインにおける災害対応地図の作成と提供
－被害状況の把握のための迅速な航空写真地図化技術の開発－

内山庄一郎*

Development and Provision of Information Products for Immediate Post-disaster Response
－ Rapid Mapping Technology to Accurately assess Damage －

Shoichiro UCHIYAMA

* *Department of Integrated Research on Disaster Risk Reduction Division,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan
uchiyama@bosai.go.jp*

Abstract

Our institute conducts research and development into rapid damage assessment technology for the immediate post-disaster phase to provide vital optimal decision-making support. To date, it has been technically difficult to rapidly assess damage immediately after a disaster because of the need to acquire information with homogeneous accuracy from an often wide geographical area; therefore, there was thus need for technological developments that could reduce these difficulties. Heavy rains during 9th–10th September 2015, caused the Kinugawa River to collapse, which resulted in substantial flood damage over an area of 40 km² in Joso City, Ibaraki Prefecture, Kanto region. Two damage assessment information products were consequently developed for the immediate post-disaster phase and offered to disaster countermeasures headquarters and other agencies. The first product, distributed on September 11, the day following the day of heavy rains, was an orthomosaic image taken on September 10 from an aircraft, on which Structure-from-Motion (SfM) multi-view stereo photogrammetry had been applied. A residential map overlaid was distributed on September 15. To validate the use of these disaster assessment information products, disaster response maps were provided to the SAR (search and rescue) operators and I accompanied them to the site to provide information support. The orthomosaic image allowed for the disaster damage to be analyzed immediately and the search activities to be prioritized rapidly. In order to utilize the orthomosaic image, a process to read information from the image according to the user's purpose is necessary. However, it is possible to read the information from the orthomosaic image without having to be an expert in image analysis. The ability to rapidly access the high resolution orthomosaic image proved its viability as a valuable mapping technology for the assessment of immediate post-disaster damage.

Key words: Disaster Response Map, Immediate Post-disaster phase, Rapid Mapping Technology, Orthomosaic image, Structure-from-Motion (SfM) Multi-view Stereo Photogrammetry

1. はじめに

安全、安心に暮らせる社会の創造は、子々孫々にわたる人類社会の変わらぬ願いである。自然災害によるダメージは、社会の維持発展に深刻な影響を及

ぼす。被害を減じるための様々な努力は、我々にとって常に大きな課題である。このことを命題として、災害時の様々な意思決定支援に資する災害状況把握技術の高度化を目指した研究開発を行なっている。

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 社会防災システム研究部門

災害状況の把握に関する技術は、降水量や地震動の観測技術、緊急地震速報や震度速報のような外力の大きさを推定する技術を中心として発展してきた。それらの観測データや予測値は地図上に可視化して表示される。これにより、発災前の警戒時から、予想される被害の大きさや地域的な傾向をとらえて、警戒や避難等の意思決定に活用されている。これに対して、発災直後の災害状況や被害の有無等に関する情報収集はプリミティブな手法に頼る面が大きい。例えば、住民から消防等への被害の通報や施設管理者による現地確認、マスコミ報道の聴取などが主な方法として挙げられる。このような手段で収集された情報は、空間的に断片的であり精度的にも均質性に欠ける。さらに、災害の規模が大きくなると、技術的にもコスト的にも網羅的な情報収集の難しさは増していく。こうした状況における災害直後の応急対応に関する意思決定は、情報の錯綜や情報量が少ない中で対応していかなければならない厳しさを伴う。発災後の応急対応を速やかに完了し、次のフェイズに早期に移行することは、自然災害から

の迅速な復興、つまりレジリエンスの向上に貢献しうる。このためには、災害対応のタイムライン初期に間に合う迅速さで、空間的に均質な精度と解像度を持つ情報プロダクトを提供するための技術開発が必要である。

2. 災害状況把握技術の整理

ここで、発災直後から捜索・救助等の災害応急対応を行う現地実動機関が、その活動の意思決定に活用可能な災害状況把握技術について整理する。

2.1 観測・予測技術を中心とした災害状況把握技術の整理

現在の災害状況把握技術を、プロダクトレベルとタイムラインで整理した(表1)。災害状況把握技術の定義を広く考えると、それは流通可能な情報であり、位置情報を含む情報あるいは地理空間情報であり、かつデジタル情報であることの3点が必要条件であろう。加えて、高次の情報プロダクトは災害対応の意思決定における共通状況図(COP: Common operational picture)を構成する1レイヤーとしての機能を持つ。

表1 災害状況・被害状況の取得技術の分類

Table 1 Classification of information products by timeline phase (P) and product level (Lv).

P-1: peacetime or the time before a disaster, P-2a: initial response such as SAR (search and rescue), P-2b: continuing initial response over one day due to a huge disaster, P-3: recovery period.
Lv 0: raw data such as observation data, Lv 1: data visualized as a map, Lv 2: thematic map layer.
Ob: Data obtained by observation or analysis of observation data, Es: Data obtained by estimation, So: Data on social situation.

★本研究 ☆関連研究	Lv 0: Raw データ単体 そのままでの活用は難しい	Lv 1: Map 地図化されている 活用には判読や専門知識が必要	Lv 2: Thematic 評価・解析が行われた主題図 非専門家でも活用しやすい
P-1 平時・発災前 平時、あるいは災害の発生が懸念され警戒対応が行われる時期	P1-Lv0 Ob: 降水量 (アメダス) Ob: 地震動観測 Ob: 水位 Ob: 潮位 So: 災害時要援護者の一覧	P1-Lv1 Ob: 降雨レーダー画像 Ob: 震度分布 Ob: 各種気象情報	P1-Lv2 Es: 注意報・警報 Es: 気象予報 Es: 津波予測、水位予測 Es: 土砂災害警戒判定メッシュ Es: 緊急地震速報
P-2a 応急対応期 一日程度で収束する小規模な災害の応急対応時期	P2a-Lv0 Ob: 119通報 (位置、状況) Ob: 現地偵察、ヘリテレ Ob: 現地聞き取り Ob: 空中写真 (単写真) Ob: 衛星画像 (単画像) So: 行方不明者のリスト	P2a-Lv1	P2a-Lv2 Es: 建物被害推定 (内閣府、2017) Es: J-RISQ (Nakamura, et al, 2013)
P-2b 応急対応継続期 一日を超えて応急対応が継続する規模の大きな災害の応急対応時期	P2b-Lv0 Ob: 隊員個別の搜索範囲	P2b-Lv1 Ob: 正射画像 (地理院地図) Ob: InSAR画像 ★Ob: 災害対応地図 (写真地図) ★Ob: 災害対応地図 (住宅地図)	P2b-Lv2 ☆Ob: 搜索支援地図 (内山・他、2014b) ☆Ob: 変動監視図 (内山、2015)
P-3 復旧・復興期 復旧、復興に向けた動きが主体となる時期	P3-Lv0 Ob: 個別の建物被害情報	P3-Lv1 Ob: 航空レーザー測量計測図	P3-Lv2

データ系統 Ob: 観測系データ、Es: 予測系データ、So: 社会系データ

ここでは、データ種類(3系統)、プロダクトレベル(3種類)、タイムライン(3フェイズ)の3つの観点で整理した(表1)。以下に順を追って述べる。

ここで整理対象とするデータの種類の、観測系(O: Observation)、予測系(E: Estimation)、社会系(S: Social situation)の3種類とした。観測系には、地震や降水量の観測、衛星リモートセンシングや航空機による写真撮影、建物の個別の調査結果などが含まれる。センサーによって取得されたデータや、調査によって得られた事実情報、これらのマッシュアップデータである。予測系は、観測データ等から被害の分布や程度を予測したデータである。社会系は、災害時要援護者のリストなど、社会的な状況に関するデータである。

プロダクトレベル(Lv)は、データの処理過程に応じて3種類を挙げた。Lv0は生データであり、観測された値、一枚の空中写真、避難所の一覧表などが相当する。生データ単体やその集合体から、事象の地理空間的な連続性を捉えることは簡単ではない。Lv0データだけで、災害時の状況把握等に活用することは難しい。Lv1は生データを地図化したデータである。地図化されたデータを活用するためには、利用者が地図から情報を読み取る作業、つまり人間による判読のプロセスが必要となる。地図の種類に

よっては、例えば気象衛星の赤外画像や、合成開口レーダーの干渉画像など、専門知識がなければ判読が難しい情報もある。例外的にオルソモザイク画像のように、地表面の写真を主体とした情報であれば、そこから情報を読み取って活用することは比較的容易である。いずれにせよ、Lv1データを活用するための判読プロセスには、少なからず時間と労力、時に専門知識を要する。Lv2は主題図として作成されたデータである。このレベルの情報プロダクトは、Lv0/Lv1のデータから機械的アルゴリズムや人間の判読により抽出された情報レイヤーである。例えば、オルソモザイク画像から斜面崩壊が発生した場所と範囲を判読して図化した崩壊分布図があるとするれば、これはLv2の情報プロダクトに該当するデータである。Lv2プロダクトは専門知識を要する判読プロセスを経た図であるため、災害科学の専門家でなくても活用しやすい情報であることが多い。

タイムライン(P: Phase)は防災基本計画(1995)を参考として、3つの連続的なフェイズに分類した(表1)。本稿では、2番目のフェイズをさらに2つに細分化した。なお、タイムラインの日数は、災害の種類や規模、着目する災害対応行動の種類により異なるため、目安である。フェイズ1は平時や発災前であり、防災基本計画(1995)では災害予防の段階とされている

表2 タイムライン P-1 系統に分類される情報の例
Table 2 Example of information products classified as timeline P-1.

気象情報	台風情報、府県気象情報、記録的短時間大雨情報、警報級の可能性 (H29から)
気象注意報・警報・特別警報	大雨注意報、洪水注意報、強風注意報、波浪注意報、高潮注意報、大雨警報、洪水警報、暴風警報、波浪警報、高潮警報、大雨特別警報、暴風特別警報、波浪特別警報、高潮特別警報
地点雨量	アメダス、テレメータ雨量、リアルタイム雨量
流域雨量	流域平均雨量
面的な雨量	レーダー・降水ナウキャスト、レーダ雨量 (Cバンドレーダ)、レーダ雨量 (XRAIN) リアルタイムレーダー、解析雨量・降水短時間予報、高解像度降水ナウキャスト
河川水位	カメラ画像、テレメータ水位、水位予測
洪水等・高潮	指定河川洪水予報、水位到達情報 (河川)、水位到達情報 (下水道)、水位到達情報 (海岸) 流域雨量指数の6時間先までの予測値 (H29から)、洪水警報の危険度分布 (H29から) 大雨警報 (浸水害) の危険度分布 (H29から)
土砂災害	土砂災害警戒判定メッシュ情報、都道府県が提供する土砂災害危険度をより詳しく示した情報、土砂災害警戒情報
潮位	潮位観測情報
津波警報・注意報	津波注意報、津波警報、大津波警報
津波	津波到達予想時刻・予想される津波の高さに関する情報、各地の満潮時刻、津波到達予想時刻に関する情報、津波観測に関する情報、沖合の津波観測に関する情報

る。フェイズ2は発災直後から応急対応を行う時期を指し、防災基本計画(1995)では、災害応急対策の段階とされている。なお、本稿では短期的に収束する小規模な災害と、それ以上の規模の災害とを区別するため、1日程度で収束する応急対応期間をフェイズ2a、それを超えて応急対応が継続する期間をフェイズ2bとした。フェイズ3は搜索活動等の応急対応がほぼ終了し、復旧、復興に向けた対応行動が主体となる時期であり、防災基本計画(1995)では災害復旧・復興の段階とされている。

表1にフェイズ3までの災害状況把握に関する情報プロダクトのうち、観測系(O)、つまりセンシング技術によるものを中心として整理した。概観すると、現在の日本ではフェイズ1(平時および発災前)の観測技術による情報取得(Lv0)と、そこから派生する解析データや予測データ(Lv1/Lv2)が多数存在する。例えば、フェイズ1のLv1/Lv2に該当する気象関連情報は50種程度の数がある(表2)。タイムラインの流れは、別の視点でいえば情報プロダクトの成果提供までの迅速さと捉えることもできる。より初期のフェイズに分類されている情報プロダクトほど、後半に比してより迅速性が高く、早い段階で提供される。

現在の災害状況把握技術(表1)で着目すべきは、フェイズ2a/2bにおける高次のプロダクト(Lv1/2)が少ないことである。フェイズ2a-Lv2に挙げた被害予測技術として建物被害推定(2017)やJ-RISQ(2013)は、いずれも被害状況を市町村レベルから250mメッシュレベルの解像度で提供するものである。この解像度は、現地実動機関の初動には有用だが、搜索等の応急対応に使用するには解像度や情報の正確さに課題がある。フェイズ2において現地実動機関が必要とする情報は、目前で対応中の現場に関する、詳細で俯瞰的な情報であり、同時に即時性の高い情報である。このような状況で適用可能な技術は現状では限定的か、あるいは原始的な方法とならざるを得ない。フェイズ2aや2bに対応可能な技術が多くないため、現地実動機関の情報ニーズの把握も含めて、これに対応する情報取得技術の開発が求められる分野である。本研究は、搜索等の応急対応を行う現地実動機関が、その活動の意思決定に活用可能なフェイズ2bのプロダクトレベルLv1およびLv2に分類される災害状況把握技術の開発として位置付けられる。

2.2 災害直後のセンシングによる災害状況把握技術の必要性

前節で述べたように、自然災害の発生後に、被害の分布や状況を、広域かつ面的に、さらに均質かつ迅速に把握することは技術的な難しさがあり、現状では十分に実現できているとはいえない。さらに、災害時の情報収集に関する公的なリソースには限度がある。この課題に対応するため、自然災害発生後の被害の有無、場所、分布、影響範囲、程度といった災害状況をより迅速に、より正確に、広範囲で面的に低コストで把握する技術開発の必要性が指摘できる。リモートセンシング技術が目指してきたように、センサーによる観測は非接触で広範囲を地図化できる可能性がある。現在は、航空機や無人航空機から撮影した写真解像度の向上や、各種センシング機器の小型化、さらに計算機能力と画像解析技術の向上が著しい。こうしたプラットフォームの積極的な活用と、可視光センサーに限らず、分光計や赤外放射強度計等の多様なセンサーによる地表面の観測による迅速な地図化技術の開発は、災害状況把握の高度化に資すると考えられる。

3. 災害の状況および手法の検討

3.1 災害の状況

平成27年9月9日から11日にかけての豪雨により、関東地方から東北地方の広い範囲で河川の越水や斜面崩壊が発生した。茨城県常総市では9月10日昼過ぎに鬼怒川の堤防が決壊し、広範囲で浸水被害が生じた。そのため、有人ヘリコプターから浸水範囲の全体像を撮影した(図1上, 中)。その翌日11日には、一昼夜をかけて緩慢に浸水範囲が拡大し、常総市南部にも被害を生じる事態となった(図1下)。このため、正確な浸水範囲および水没建物を把握し、搜索等の初期対応に活用するため、迅速にP2b-Lv1/Lv2に該当する情報を作成し、当該地域の災害対策本部等に提供すべく活動を展開した。

3.2 災害状況に対応する手法の検討

(1) 撮影プラットフォームの検討

SfM多視点ステレオ写真測量により高解像度のオルソモザイク画像を作成すること(内山・他, 2014a)、およびオルソモザイク画像に住宅地図をオーバーレイした地図を作成することを目標として、写真撮影プラットフォームと機材を選択した。

表3 センシング技術の計測範囲および地上分解能の整理
Table 3 Classification coverage and resolution by the sensing technique.

		地上分解能クラス			
		現地測量 (GNSS 計測等)	写真測量	レーザー測量 (LIDAR)	レーザー計測 (InSAR*1)
計測 範囲 クラス (対象との 距離)	A: 10 ¹ ha (地上作業)	n/a-I	A-II	A-I x	A-II x
	B: 10 ² ha 地表～150 m(無人航空機 *2)	-	B-II	B-I	-
	C: 10 ³ ha 地上 300 m～3000 m 程度(航空機)	-	C-III	C-II	C-II x
	D: 10 ⁴ ha 宇宙空間(観測衛星)	-	D-IV	-	D-IV x

地上分解能クラス I : mm 級 II : cm 級 III : サブ m 級 IV : m 級

x センサーの角度により山地地形の影の後方など、計測できない領域が生じる場合がある

*1 InSAR(インターフェロメトリック SAR)計測には少なくとも二時期の観測データが必要

*2 必要な許可、申請等を得ることにより、地上 150 m 以上の空域も飛行可能

最初に被災エリアの撮影・計測手法について、表3のように整理、検討した。撮影を計画した時点では正確な浸水範囲およびその面積は明らかではなかった。したがって、撮影範囲は東西が鬼怒川と小貝川の間挟まれた幅約4 km、北は下妻市から南はつくばみらい市の境界までの約16 kmの領域、およそ60 km² (6 × 10³ ha)とした。これは表3の計測範囲クラスCに相当する。なお、事後の検証(常総市水害対策検証委員会, 2016)によれば浸水範囲は40 km²であった。災害直後の応急対応期には、その広大な領域において浸水家屋等に取り残された要救助者の捜索救助が急務であった。捜索救助活動では、水没範囲や水没した家屋を写真から判読できるオルソモザイク画像が有用である(内山・他, 2014b)。捜索活動に必要な解像度は地上分解能クラスII(表3)とした。地上分解能クラスIIを作成可能な撮影手法には無人航空機(表3)が挙げられる。しかし、仮に次項で説明するカメラを搭載した無人航空機から対地高度150 mで撮影を行った場合を想定すると、写真の地上分解能は2.6 cmに達するが、撮影範囲が広大なため写真枚数は約31,000枚、総飛行距離は約800 km、離着陸やバッテリー交換を考慮しない飛行時間は約10.5時間と推定された。この膨大な量の撮影、そして解析に要する時間を考慮すると、2015年9月時点の無人航空機技術では、実施困難であった。さらに実際には、多数の救助ヘリ

が地表付近で捜索活動を展開しているため、無人航空機を遠方まで飛行させることができない状況である。そこで、計測範囲クラスCをカバーできる航空機(表3)を用いて写真撮影を行うこととした。

(2) 地上解像度の検討

作成するオルソモザイク画像の地上解像度は、次のように決定した。PCモニター(96 dpi)上で縮尺1 : 1,500の住宅地図とオーバーレイすることを想定し、Web-GISのズームレベル19(縮尺約1 : 1,100, 地上解像度約0.3 m)よりも高解像度な写真を撮影することとした。この条件を達成する写真の解像度を得るために、高解像度のデジタルカメラ(約3,635万画素)および焦点距離28 mmのレンズを使用し、飛行高度は対地1,200 mとした。これにより計画解像度は一画素あたり21 cmとなるが、これは垂直写真を撮影した場合の値である。斜め写真では計画よりも解像度が2割程度落ちることを想定し、その場合でもズームレベル19を達成できるよう、解像度に余裕を持たせた飛行計画とした。焦点距離28 mmのレンズは画角75.4度で撮影範囲が広いが、周縁部の画像の伸びや光量低下が比較的少ない。このため、レンズゆがみ補正処理によって写真周辺部が大きく切り取られることもない。撮影効率と歪み量のバランスが良いため焦点距離28 mmのレンズを使用することとした。



図1 平成27年関東・東北豪雨による茨城県常総市における浸水被害地域全景
 (上)9月10日16:54撮影。中央に決壊した鬼怒川の堤防、その下に浸水した常総市三坂地区が見える。左右に流れる鬼怒川は右手側が上流(北)で左(南)が下流側となる。
 (中)9月10日16:48撮影。常総市南部の水海道地区上空から北側を望む。茶色く増水しているのが鬼怒川である。常総市の北部、三坂地区で鬼怒川の堤防が決壊し浸水被害を生じたが、この時点では常総市役所や水海道駅のある南部地区の市街地は浸水していない。
 (下)9月11日16:18撮影。常総市南部の水海道地区まで浸水被害が広がっている。手前が南側、左が鬼怒川、右に小貝川、右上部に筑波山が見える。左上に鬼怒川の堤防が決壊した常総市三坂地区、右下の旧河道付近が浸水地域の南限であり茨城県常総市とつくばみらい市の境界付近となる。

Fig. 1 Flood damage area in Joso City, Ibaraki prefecture, due to heavy rains in 2015.
 (Up) Taken at 16:54 on September 10, 2015. The Kinugawa River embankment breach can be seen in the center of the picture. Flooded residential area in the center of the photo is the Misaka area in Joso City. The Kinugawa River flows from right to left in the picture, i.e., the right-hand side is upstream (north) and the left-hand side (south) is downstream.
 (Middle) Taken at 16:48 on September 10, 2015. Looking north over the Mitsukaido district in the southern part of Joso City, the Kinugawa River can be seen to have turned brown as it was rising. In the northern part of Joso City, the Kinugawa River suffered an embankment breach in the Misaka district, resulting in flood damage. At this time, the southern urban areas including the Joso City Hall and the Mitsukaido Station had not yet flooded.
 (Bottom) Taken at 16:18 on September 11, 2015. The flood damage had spread to the Mitsukaido district in the southern part of Joso City. The foreground is on the south; on the left is the Kinugawa River, on the right is the Kokai River, and on the upper right is Mt. Tsukuba. The upper left shows the Misaka area of Joso City where there an embankment breach of the Kinugawa River (shown in first photo). The vicinity of the former river in the lower right is the south of the flooded area near the boundary between Joso City, Ibaraki Prefecture and Tsukubamirai City.



図 2 対象地域における実際の飛行コース(赤線)
写真地図は9月11日に撮影した写真から作成したオルソモザイク画像。背景は地理院地図(国土地理院)
Fig. 2 Actual flight course in the target area (red line).
This photo map is an orthomosaic image created from the pictures taken on September 11. The background map is the GSI-Maps (Geospatial Information Authority of Japan).

(3) 写真オーバーラップ率および撮影間隔の検討

SfM 多視点ステレオ写真測量に必要な写真の重複率は、進行方向のオーバーラップ率を 80 %、コース間のオーバーラップ率を 60 % として計画した。離陸から着陸までの飛行予定時間を 1 時間以内として、巡航速度を時速 180 km とした。この速度で飛行した場合、進行方向オーバーラップ 80 % を得るには 4.1 秒ごとに 1 枚の写真撮影すればよい。実際の飛行では、カメラの記録メディアの書き込み速度の上限を超えないよう、なおかつ撮影ミスによるコマ落ち等により写真の不足が生じないよう、3 秒に 1 枚のインターバル撮影を行うこととした。

(4) 露光に関する検討

シャッタースピードは、手ブレに似た画質低下をもたらすグラウンドスマアが発生しないことを条件として設定した。今回の飛行速度は毎秒 50 m であり、一画素あたりの地上解像度は約 21 cm である。露光中に 0.5 画素以上、つまり 10.5 cm 以上のカメラの移動が発生すると、グラウンドスマアが発生する。10.5 cm の移動に要する時間は約 1/476 秒に相当するため、これよりも高速なシャッタースピードであればよい。このようにして、シャッタースピードを 1/800 に設定した。

絞り値は f8 で固定とした。絞り値が変化すると、レンズ上の光の経路も変化するため、厳密に言えばレンズの歪みパラメータも変化する。したがって固定絞り値で撮影したほうがよい。最適な絞り値はレンズにより異なる。事前に ISO12233 テストチャートを使用して求めることができる(内山・他, 2014a, 図 25)。

ISO 感度は 100 を下限として適正露出を得られるよう自動調整する設定とした。今回の撮影ではシャッタースピードと絞り値を固定とするため、日照条件が変化すると適正露出から外れた写真になる恐れがある。そのため、ISO を自動で調整する設定とすることで対応した。

(5) レンズゆがみ補正に関する検討

SfM 多視点ステレオ写真測量におけるレンズゆがみ補正方法には、あらかじめ測定したレンズゆがみ補正パラメータを使用する方法と、パラメータを推定するオートキャリブレーションの 2 つのアプローチがある。今回は事前にレンズゆがみを測定する時間が得られなかったため、SfM 解析ではオートキャ

リブレーションによりレンズ補正を行うこととした。

(6) 位置精度に関する検討

今回はオルソモザイク画像の作成を主目的とし、災害前後の地形変化の比較といった計測作業は行わないことを前提としている。このため、垂直成分の精度は追及せず、水平位置の精度のみ検討することとした。オルソモザイク画像にオーバーレイする予定の街区地図(地理院地図)や住宅地図は、縮尺 1:5,000 ~ 1:10,000 の都市計画図をベースにしている。このことから、オルソモザイク画像に必要な水平位置の標準偏差は、地図情報レベル 5,000 (水平位置の標準偏差 3.5 m 以内) から地図情報レベル 10,000 (水平位置の標準偏差 7.0 m 以内) 程度の精度があれば、オーバーレイした際に目立った位置のズレが生じないと考えられる。この精度は、単体コード測位 GNSS の一般的な測位精度(水平位置の標準偏差 5 m)と同程度であることから、今回の撮影では、GNSS 単体コード測位により撮影位置情報を取得し、SfM 解析の際にオルソモザイク画像の位置情報として適用することとした。大きく水平位置がズレた場合は、GIS でオルソモザイク画像のジオリファレンスを行い、水平位置を修正する対応も視野に入れた。

(7) 記録形式に関する検討

写真画像の記録形式は、14 bit ロスレス圧縮の RAW 画像および JPEG 画像の 2 つの形式を同時に記録する設定とした。写真測量では、カメラメーカーが用意したレンズプロファイルよりも高精度なレンズ歪み補正を行う必要がある。このため、JPEG 画像の撮影設定メニューにある自動ゆがみ補正をオフに設定した。これは使用するレンズにあらかじめ設定されたビルトインレンズプロファイルと呼ばれるレンズゆがみ補正を使用するか否かを設定する項目である。ビルトインレンズプロファイルの補正精度は低く、これが適用された写真画像を SfM 解析に使用すると著しい精度低下が生じる場合がある。

3.3 使用機材、ソフトウェアおよび撮影計画

前項の検討結果から、使用機材、ソフトウェアおよび撮影計画を以下のように決定した。

撮影プラットフォームには回転翼航空機 Bell 206B-3 JetRanger III を使用した。垂直撮影用の窓がない機体のため、側面の窓を開けて斜め写真を撮影するスタイルとした。

カメラは Nikon D810 を使用した。撮像素子は 35 mm × 24 mm の CMOS センサー、有効画素数は 3,635 万画素 (7,360 × 4,912 ピクセル) である。レンズは Nikon AF-S NIKKOR 17-35 mm 1:2.8D を使用し、焦点距離を 28 mm に固定して使用した。

SfM 多視点ステレオ写真測量ソフトウェアには、Agisoft PhotoScan Professional を用いた。

使用した自作ワークステーションに関するスペックの概要は次のとおりである。12 コア CPU の Intel® Xeon® Processor E5-2697 v2 を 2 基搭載し Hyperthreading を有効とした。論理 CPU 数は 48 コアとなる。メモリは 256GB DDR 3、GPU は 3 基の GeForce® GTX 780 Ti、データストレージには 8TB HDD をミラーリングしたアレイを 2 基使用している。SfM 解析では GPU を使用した演算のアクセラレーションを行うため、GPU を充実させている。

撮影計画の概要は対象面積が約 60 km²、対地高度 1,200 m、巡航速度 180 km/h、進行方向オーバーラッ

プ率は 80 %、コース間オーバーラップ率は 60 %、撮影枚数は約 470 枚(垂直写真の場合)である。

4. 成果

4.1 災害対応地図(写真地図)の作成と公開

平成 27 年 9 月 11 日 15:37 ~ 16:37 に回転翼有人航空機から対地高度 1,200 m より 961 枚の斜め写真を撮影した(図 3)。その後、防災科研(つくば市)のデスクトップワークステーションを用いて、656 枚の写真について SfM 多視点ステレオ写真測量解析を行った。その結果、浸水域を含む約 60 km² について地上画素寸法 26 cm のオルソモザイク画像を作成した(図 2, 図 4)。翌日 12 日早朝までに、防災科研の他の調査データと合わせて閲覧できるクライシスレスポンス Web サイトで「災害対応地図」として公開した。以降、オルソモザイク画像を用いた図を災害対応地図(写真地図)と呼ぶ。災害対応地図(写真地図)は防災科研の Web-GIS エンジンである e コ



図 3 オルソモザイク画像作成のため有人航空機の窓から撮影した斜め写真
斜め写真を SfM 多視点ステレオ写真測量に供する場合は、できる限り直下写真に近くなるよう、スキッドが映り込む程度までレンズを地面方向に向けて撮影する。写真は常総市水海道高野町地区。右側が北、右下に小貝川が見える。右上に常総市立水海道小学校と茨城県立水海道第一高等学校が隣接している。中央の浸水地域は農地、その左中ほどに茨城県常総警察署とポリテクセンター茨城が見える。

Fig. 3 Diagonal picture taken from the window of the aircraft for an orthomosaic image creation.
When using oblique pictures for SfM multi-view stereo photogrammetry, the lens is pointed toward the ground as much as possible. This picture shows the Mitsukaido Takanochi area of the Joso City. On the right side is north and the Kokai River is visible in the lower right. On the upper right is the Joso Municipal Mitsukaido Elementary School and adjacent is the Ibaraki Prefectural Mitsukaido Daiichi High School. The flooded area in the center is farmland, and in the middle of the farm area, the Ibaraki prefectural police station is visible.



図 4 左 拡大表示した災害対応地図(写真地図)

左は9月11日撮影写真から作成したオルソモザイク画像。北東に浸水被害を受けた常総市役所があり、その駐車場の車が泥水に浸かっている状況が見える。南部に線路が浸水した状態の水海道駅が見える。右は地名の対比のために付した同範囲の地理院地図(国土地理院)

Fig. 4 Disaster response map (photo map).

The picture on the left is an orthomosaic image created from the pictures taken on September 11, in which the Joso City Hall flood damage can be seen in the northeast. The cars in the parking lot are immersed in mud. On the south side, the railway line at the Mitsukaido station is flooded. On the right is a map of the same area (Geospatial Information Authority of Japan).

コミュニティプラットフォームによる Web 地図での閲覧に加えて、オルソモザイク画像のオリジナルデータに相当する GeoTiff ファイルのダウンロード提供も行なった。ダウンロードデータのライセンスはクリエイティブコモンズ CC BY 2.1 とした。これ

により、デスクトップ GIS 等で閲覧することにより、データの持つ最大解像度でオルソモザイク画像を利用できる。例えば地理院地図では Web 地図の拡大率に相当するズームレベルは 18 (地上画素寸法約 0.6 m に相当) が最大の拡大表示となる。このように

Web 地図ではズームレベルに制限がある。オリジナルデータが精細な画像であっても、それを活かせるズームレベルで表示できるとは限らない。

なお、災害対応地図(写真地図)を災害対策本部に提供した後に、地理院地図から7点の地上基準点の位置座標を読み取り、さらに撮影後に計測したレンズゆがみ補正パラメータを使用して位置精度を向上させたデータを作成し、Web-GIS 公開用のオルソモザイク画像を更新している。

4.2 災害対応地図(住宅地図)の作成と提供

災害対応地図(写真地図)の作成・公開から3日後の9月15日までに株式会社ゼンリンの住宅地図をオーバーレイした災害対応地図を作成し、災害対策本部に提供した。

住宅地図は、災害前から株式会社ゼンリンと協議中であった災害時の住宅地図の利用規約の都合上、紙地図からスキャニング作業を行う必要があった。このため、冊子体を購入し、背表紙を切り落としてスキャニングし、被災域に該当する230ページにつ

いてGISでジオリファレンスを行なってオルソモザイク画像に重ねる作業を行なった。最終的に3名のGIS技術者により3日間を要する作業量となった。このため、災害対応地図(住宅地図)の作成が完了した時期には、被災地域における捜索救助はほぼ終結を迎えており、現場で活用するには間に合わず、結果として迅速性に欠ける成果となった。

4.3 災害対応地図の活用

ここまで作成した災害対応地図の有効性や活用可能性を検討することを目的として、捜索救助活動者に対する情報支援活動を実施した。

災害対応地図(住宅地図)が完成した9月15日の日中には、家族や知人から連絡が取れないなどとして届け出があった15名全員と連絡がつかないなどして、行方不明者はゼロとなった。しかしながら、災害対策本部でのヒアリングによると、安否確認は完了したものの、水没地域における悉皆的な捜索は行われていなかった。このため、独居世帯等で行方不明者が発生していた場合、見落とされている可能性も否



図5 災害対応地図(住宅地図)を活用した捜索救助活動
背景は9月11日撮影の写真から作成したオルソモザイク画像。住宅地図を黒でオーバーレイ表示している。住宅地図の表札情報は個人情報のためぼかし処理を行っている。青いグリッドと白い文字は捜索用の100 mグリッド。赤・黄・緑・白の経路は4つの捜索チームの移動経路。

Fig. 5 Part of the disaster response map (residential map) utilized for search and rescue (SAR) activities. The background is an orthomosaic image created from the pictures taken on September 11. The residential map is displayed in black overlay. The nameplate information on the residential map is blurred because it is personal information. The blue grid and white letters represent the 100 m grid used for SAR activities. The red, yellow, green, and white lines are the GNSS track logs at the search time for each team (Red: rescue dog, others: ordinary searchers).



図 6 災害対応地図を活用した捜索救助活動
(上) 捜索活動の現場には大判用紙に印刷した災害対応地図(住宅地図)を用意し、捜索する地域やアクセス性を検討した。個人所有の車両のためナンバープレートをぼかし処理している。
(中) がれきが堆積している場所の捜索の様子
(下) 流された建物とその周辺の捜索の様子

Fig. 6 Search and rescue activities utilizing the disaster response maps.

(Up) A disaster response map (residential map) printed on a large format paper was prepared at the site of the search activity, and the areas to be searched and accessibility were examined. The license plates for private owned vehicles are blurred.

(Middle) Search activity at the location where the debris was deposited.

(Bottom) Search activity at the flooded buildings and its surroundings.



定できない。そこで、鬼怒川堤防破堤による洪水被害が大きかった常総市三坂町内の約 30 ha の地域を対象として、9 月 15 日 15 時から 17 時まで、搜索現場に同行の上、搜索活動者に対する情報支援活動を行った。

搜索活動は、全国の消防士等で構成される搜索救助の専門ボランティアチームおよび NPO 法人日本救助犬協会が行なった。搜索活動は次のプロセスで実施した。

災害対応地図(住宅地図)に 100 m 間隔のグリッドラインおよびグリッド番号を表示し、A0 用紙に住宅地図等と同じ縮尺 1:1,500 で印刷した大判地図を現場に用意した(図 6 上)。オルソモザイク画像から浸水深の深さ、水流の方向、強さ、洪水の滞留域等を目視で判読した。これに加えて搜索活動に従事する者の各自の搜索経験を加味し、水難要救助者が存在する可能性が高く、優先的に搜索すべきグリッドを決定した。地図上に付与したグリッド番号は、各チームの現在位置や搜索履歴を共有する際に使用した。構成は、救助犬 1 チーム、搜索 3 チームの合計 4 チーム体制で実施した(図 5, 図 6)。この搜索活動の結果、要救助者は発見されなかった。なお、この後に自衛隊等による大規模な悉皆搜索が展開されているが、要救助者は発見されていない。

5. 手法の評価および考察

5.1 航空機による撮影

撮影に航空機を使用することにより、無人航空機では現実的に撮影が困難な広範囲であっても全域の撮影をすることができた。画素数の多いデジタルカメラを使用し、飛行高度を調整することにより、十分な地上解像度を得られた。さらに、無人航空機のように飛行高度が低いために撮影枚数が増えて迅速性が失われることもなかった。撮影中は、地上 150 m 付近を飛行する救助ヘリ等よりも高い高度で飛行することで、搜索救助活動の障害とならずに安全に撮影を行うことができた。撮影プラットフォームと手法の選択について、対象範囲クラス B(10² ha, 図 3)を超える範囲の自然災害の場合、高高度からの撮影によりオルソモザイク画像の作成に必要な写真の枚数を必要最小限とすることで作業効率が高くなった。さらに、他の航空機に対する安全性を確保しつつ、迅速な成果提供を実現できるため、有人航空機

の使用が効果的であった。

ただし、有人航空機は航空法による有視界飛行条件を満たした状態でなければ運航ができない。豪雨やそれによる土砂災害の多くは、現場に雨雲が残っていることが多い。その場合、有視界飛行条件を満たすことができず、迅速な撮影の支障となる。無人航空機の場合、操縦者から機体が見えていれば運航可能であるため、撮影機会の確保という点では有利なケースもある。

次節には、地上付近で活動する航空機に対する安全性の議論と問題提起として、無人航空機の災害時の運航に関する現状を示す。

5.2 無人航空機の災害時の安全運航の難しさ

ここで、今回は撮影手法として選択しなかった無人航空機の災害時の運航特性について議論する。本災害が発災した時点では、無人航空機の災害時の具体的な運用まで踏み込んだルールを定める法律等が十分に整備されている状況ではなかった。100 ノット(およそ時速 180 km)で巡行する有人航空機から、地面にまぎれるような小型で低速な無人航空機を遠方から視認し、回避することは実質的に困難である。同様に、無人航空機の操縦者から見た場合も、自分の操縦する無人航空機に対する周囲の有人航空機の移動方向や速度を正確に把握し、安全に回避操作を行うことは難しい。特に、地図作成のための無人航空機の飛行パターンでは、操縦者から数百メートル遠方まで無人航空機を飛行させる必要がある。そのような距離では、肉眼での視認に頼る現状では確実な有人航空機との接触回避操作はほぼ不可能といえる。今回の災害で航空機からオルソモザイク画像作成のための写真撮影を行っていた際、30 分間で少なくとも 14 機の有人ヘリコプターが、要救助者の搜索および引き上げ救助のため、対地高度 150 m 未満の地表付近で活動を行っていた(図 7)。地上 150 m 未満の空域では無人航空機は法的にも特段の許可なく飛行可能であり(図 8)、災害時には、両者の空域が交錯した状態となる。このように多数の航空交通が生じる状況、特に地上付近で搜索救助を行う航空機が飛行する中で、目視に頼った安全確認のみで無人航空機を飛行させることは、有人航空機の飛行の安全を阻害する恐れがある。

水害のように、救助者が地上から進入困難な場合、航空機による引き上げ救助は、現時点では有人航空



図 7 浸水エリアの地上付近で捜索救助活動を行う救助ヘリの飛行状況
30 分間で少なくとも 14 機の有人ヘリコプターが、要救助者の捜索および引き上げ救助のため、対地高度 150 m 未満の地表付近を飛行していた。

Fig. 7 A rescue helicopter conducting SAR activities near the ground in the inundated area.
At least 14 helicopters within 30 minutes were flying around the surface at an altitude of less than 150 m for the SAR operation.

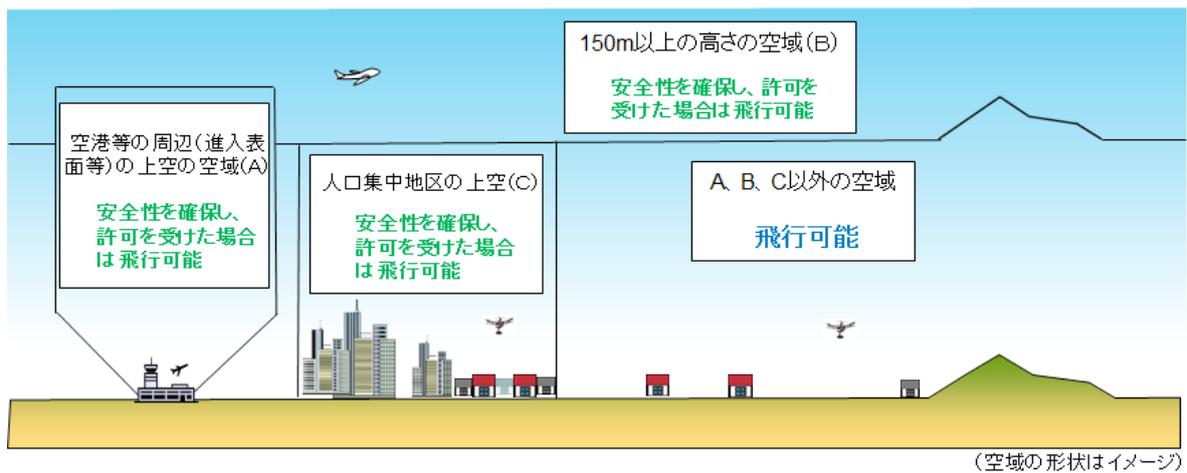


図 8 無人航空機の飛行の許可が必要となる空域(出典：国土交通省航空局ホームページ)
航空法において、無人航空機は図中の(A)(B)(C)以外の空域では、特段の許可・承認を得なくとも飛行可能

Fig. 8 Airspace requiring permission for the unmanned aerial vehicle flights (Source: Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan).
Under aeronautical law, unmanned aerial vehicles can fly in any airspace other than (A), (B) and (C) in the figure without the need for special permission/approval.

機にしか実施できないものである。人間を輸送できる機体のパワーと、訓練された操縦士および救助隊員の個々の技術の集合によって成し得るものであり、現在の無人航空機技術で代替することは難しい。したがって、災害タイムライン初期における捜索救助のための航空機の運航は最優先で実施されるべきであり、その活動を阻害するような無人航空機の運航は避けなくてはならない。しかしながら、無人航空機は機体のダウンウオッシュや騒音による影響がほぼ無いことによる機動性の高さや汎用性がメリットである。今後は、有人航空機、無人航空機のそれぞれのメリットを活かした災害対応ミッションを整理し、双方を安全かつ有効に活用するための法整備や災害対応に有効な運航ルールを検討していく必要がある。

5.3 災害対応地図(写真地図)について

9月11日夕方の撮影後、翌日9月12日の早朝までに地図プロダクトを作成し、Webで公開することができた。この迅速さと高い解像度を合わせ持った情報プロダクトであれば、フェイズ2b-Lv1の災害状況把握技術として十分に活用可能である。

オルソモザイク画像の地上画素寸法は26cmであり、越水の水流の方向や浸水した家屋、流された自動車の状況など、地表面の様子を詳細に把握することができた。Web地図でのオルソモザイク画像の公開により、迅速に地図の閲覧環境を提供できた。ただし、Web地図のズームレベルの制限への対応と、地図活用の自由度を高めることを目的として、オルソモザイク画像のオリジナルデータをクリエイティブコモンズCC-BY 2.1のオープンデータとして公開した。現実的には、ズームレベルの制限を変更することは簡単ではない。Web地図のズームレベルを一段階高めると、データ量は4倍になる。Web-GISではスムーズに地図を閲覧できるようにするため、キャッシュと呼ばれるタイル型の小さな地図画像を事前に生成する。地理院地図のように公開範囲が日本全国の場合は、キャッシュとして莫大な量のタイルの生成とデータ容量が必要となる。次に、データの著作権の問題の背景として、災害対応の現場では、目的に応じて複数の機関から公開されている多様なデータを重畳した地図を作成することがある。この時に著作権や利用範囲に複雑な制限があると、データ所有機関に対する許諾申請等の著作権処理に多く

の時間を要する。このため、災害対応に必要なタイミングで必要な地図を利用できない場合がある。提供データのライセンスをオープンデータとしたことにより、利用者は著作権やデータ使用に関する許諾等の事務手続きなしに独自の地図を作成できる。データの公開に際してプライバシー等への配慮が必要だが、オープンデータとして公開することにより、地図情報としての活用の幅を広げることができる。

オルソモザイク画像の作成に関する課題としては、航空機からの写真撮影時のオーバーラップが不十分な領域で、オルソモザイク画像が作成できない地域が生じた(図2の縮尺記号の周辺)。これは、航空機側面の窓から撮影した斜め写真を使用していることと、有人航空機の飛行特性によるところの2点が主因である。斜め写真では航空機直下の画像が得られない。このため、オルソモザイクを作成したい領域について、往路と復路の2つのコースで挟み込んで撮影を行う必要がある。撮影領域が広い場合、往復コースを1領域として、それを組み合わせて撮影作業を行うことになる。斜め写真撮影では、オルソモザイク画像の解析に十分な写真オーバーラップを確保することの難しさがある。したがって、広い領域を対象とする場合は飛行計画が複雑になる。次に、航空機の飛行特性として、有人航空機は飛行速度が速いため、コースからずれると元のコースにすぐには戻れない。さらに、風向きとコースの向きとの関係によっては、機首が進行方向に向かないため、雁行した写真配列になる。このように、人間が操縦する航空機は、事前に計画した飛行コースを正確にトレースして飛行することが難しい性質がある(図2)。これに対して、後日、国土地理院が撮影し地理院地図で公開されたオルソモザイク画像では、機体の垂直直下方向を撮影できる測量専用のカメラを搭載した固定翼機を用いて、より高い高度から撮影しているため、均質な品質の地図が得られている。これらのことから、オルソモザイク画像を作成することを目的とする場合は、垂直直下の写真を撮影することが理想的である。しかし一般的に、胴体に垂直写真撮影用の窓が装備された有人航空機は少ない。自衛隊や警察、消防防災ヘリなど、用途が固定された機体では、通常は垂直写真撮影窓の装備は無いであろう。したがって、測量専用の航空機以外から撮影する場合は、斜め写真となる。SfM多視点

ステレオ写真測量に供する斜め写真を撮影する場合は、機体の窓枠やスキッドが写り込む程度まで、できる限りカメラを直下方向に向けて撮影する(図3)。写真に写り込んだ機体スキッドなどの不要部分は、SfM多視点ステレオ写真測量の解析時にマスク処理を行い、オルソモザイク画像への影響が生じないようにすることができる。

5.4 災害対応地図(住宅地図)について

被災域にある住宅等の悉皆検索を行う際は、個人名入りの住宅地図は有用である。実際に、検索活動の現場では住宅地図は必ず参照されている。今回は、住宅地図の背景に災害後のオルソモザイク画像をオーバーレイすることにより、浸水等の被災家屋を一目で判読できる地図を作成した。しかしながら、今回は被災範囲が広く、浸水範囲に該当する230ページ分の住宅地図をスキャンし、手動でジオリファレンスを行う作業に多くの時間と労力を要した。このため、被災後の早い段階で地図成果を提供することができなかった。結果として情報プロダクトの提供までに3日間を要し、応急対応期間の終盤となった。そのような状況もあり、今回は災害対応地図(住宅地図)の有用性を評価できる機会は限られた。フェイズ2b-Lv1の災害状況把握技術として活用するには、さらなる迅速性の向上が必要である。

今後の緊急の災害対応時に、住宅地図を重畳した災害対応地図を作成する場合は、抜本的な作業効率の向上の方策を検討する必要があるだろう。理想としては、GISで取り扱いが可能な地理空間情報として住宅地図が提供されることであるが、住宅地図は民間事業者の有料データのため、ライセンスやコストの面で課題がある。

5.5 災害対応地図の活用について

(1) 情報プロダクトを提供する媒体

災害対応地図(写真地図)を災害対策本部に提供する際は、大判用紙に印刷した紙地図として提供した。紙地図は、机上で関係者が同じ情報ソースを見ながら議論したり、書き込んだりして使用できるメリットがある。今後、情報共有のデジタル化が進行しても、紙地図の必要性は失われないであろう。

紙地図に対してWeb地図は、ユーザー側の利用環境さえあれば閲覧できるため、迅速かつ多数の利用者に情報を配信できる点がメリットである。Web用のデータは、PCモニタ(90～100dpi)で表示する

ことを前提とした解像度で作成される。しかしながら紙への印刷には、200dpi以上の解像度が必要であり、モニターの表示品質に問題がなくても、紙地図に出力する用途では解像度が不足する。そもそも、Web-GISの印刷機能として、大判用紙への印刷が考慮されていない場合もある。さらに、Web-GISでは、規定のズームレベル以上での拡大表示ができないため、高解像度のオルソモザイク画像を用意しても、十分に拡大して表示することができないこともある。特に、無人航空機で撮影した写真(地上分解能クラスII)は地上分解能5cm以上の高解像度であり、一般的なWeb-GISのズームレベルではそのクラスの地上分解能を活かせるまで拡大表示をすることができない。これらのことから、Web地図ベースの地図配信技術は、高解像度な地図成果の表示・印刷については必ずしも最適な方法ではない。紙地図の作成や印刷には、デスクトップGISによる編集作業を必要とする。したがって、Webベースの情報と、オリジナルデータそのものとは、対応できる利用者のニーズが異なる。災害対策本部等の地図ニーズの多様性が多岐にわたることが想定される部局では、オリジナルデータの共有が必要となるケースもある。

(2) 情報プロダクトの活用

浸水した家屋や道路等の正確な分布を把握するには、被災後に作成されたオルソモザイク画像から読み取ることが有用である。災害対策本部における情報プロダクトの活用状況を概観すると、地図情報に対する理解の度合いの個人差が大きい印象を受けた。地図から何らかの情報を読み取ろうとするケースでは、災害対応地図(写真地図)の縮尺、使用した写真、撮影時期、地上解像度など、判読の方法に関する様々な質問を受けた。それとは対照的に、地図という情報ソースにあまり興味を示されないケースも多かった。おそらく、地域を熟知しており、地名や地域の関連性の理解について地図に頼る必要がない可能性が挙げられる。同時に、情報ソースとしての地図の有用性や活用可能性が十分に理解されていないことや、これまで見たことのない種類の地図(被災直後のオルソモザイク画像)の精度に対する疑念等が原因にあると推察する。しかしながら、災害対策本部のような、地域の地形、地名、集落の分布、人口構成などを熟知していない地元の住人以外の多数のスタッフが集まり意思決定を行う場では、本来、

地図による情報共有は効率的であろう。このことから、災害対応地図の提供に加えて、地図の活用方法や、地図情報の判読方法をアドバイスする体制も含めた情報支援のあり方を検討する必要がある。

オルソモザイク画像では、その活用の際に利用者の必要とする情報を、利用者自身で判読するプロセスが必要となる。このため、情報の判読の難しさや労力が利用の障害となっている可能性もある。これに対して、可視光画像の撮影に限らず、分光計や赤外放射計を活用し被害の状況を可視化できれば、この課題に有効に対応できる可能性がある。

5.6 搜索活動における情報支援

災害対応地図を活用し、要救助者が流された可能性のある経路、および水流が停滞しやすい場所の分布を検討し、搜索活動を実施した。被災直後の現場では、洪水や土砂災害等の自然災害によって荒廃した地表に立つ人間の視点の高さでは、災害発生前の住居の分布や、そこから想定される要救助者の分布を推察することは困難である。同様に、被災後の乱れた地表面の状態から、元の地形の形状や道路等の配置を推定することも難しい。結果として、優先して搜索すべき場所を合理的に決定することが難しくなり、活動が長期化する要因の1つとなる。これに対して、災害対応地図(写真地図および住宅地図)があれば、災害前に住宅のあった場所、道路や水路、水田等の配置、災害状況として洪水の水深、水流の方向や強さ、破堤の場所、浸食が大きい領域、水流の方向、ガレキが溜まる場所、水が引かない場所等を判読し、水難者がいた可能性のある家屋や、流された可能性のある経路、搜索地点までのアクセスのしやすさや安全性を推定することができる。さらに、今回の事例では、災害対応地図に搜索用の100 mグリッドを引いて番号を付与することで、搜索の分担範囲を決め、部隊の持つ能力(行方不明者を搜索する部隊、救助犬部隊、等)に応じた搜索の優先順序を決定して実行することができた。災害対応地図では、被災の範囲や程度を、被災後の写真から読み取ることができるため、搜索活動時の意思決定に有用であった。

課題としては、搜索チームが活動中に災害対応地図を利用できる環境の必要性が挙げられる。例えば、災害対応地図上に自己の位置(GNSS)および方位(磁気コンパス)が表示されるタブレットの地図アプリ

があればよい。搜索チームは災害対応地図(写真地図)による俯瞰的な視点と、現場にいる自分たちの視点とを付き合わせることができ、より正確に周囲の災害状況を把握したり、二次災害の危険性を推定したりすることができるようになるだろう。また、今回は独自の搜索用グリッドおよびグリッド番号を付与したが、これをUTMグリッドに変えることでより汎用性が高まる。今回はオルソモザイク画像と住宅地図、搜索用のグリッドの3つのレイヤーのみであったが、今後は情報プロダクトの種類や更新頻度が増えることが容易に想定できる。そういった大量の紙地図を持ち歩くことは現実的ではない。災害状況把握技術の高度化により、情報を電子的に扱う必要性は高まるであろう。電子的な情報の取り扱いにより、搜索チームの現在位置の共有や、緊急時のアラート発出、搜索経路のGNSSトラックログの共有といった、活動の地理情報化・可視化も可能となる。搜索行為が高度化・合理化されれば、結果として要救助者の救助率向上や、隊員の現地活動時間の短縮やそれによる安全の向上が期待でき、より速い復興フェイズへの移行に寄与する。

6. まとめ

平成27年9月10日に茨城県常総市内において鬼怒川の堤防が決壊し、広範囲で浸水被害が生じた。この洪水の浸水被害領域を含む約60 km²について、有人航空機から斜め写真を撮影し、災害対応地図(写真地図)を作成した。さらに9月15日までにスキヤニングした住宅地図を重畳した災害対応地図(住宅地図)を作成した。災害対応地図は、Web地図による公開(住宅地図を除く)、オルソモザイク画像のオリジナルデータのダウンロード提供、災害対策本部への提供および搜索活動での活用を行なった。

災害対応地図(写真地図)は26 cm/画素の解像度であり、地表の物体や被害の状態を判読する際に有用であった。オルソモザイク画像のオリジナルデータはクリエイティブコモンズCC BY 2.1ライセンスによって提供した。著作権の障壁が低いため、データ利用者はGISで多種のデータと重ね合わせることで、新たな地図作成が可能である。また、WebGISにはズームレベルや大判印刷に関する技術的な制約があるが、オリジナルデータがあればそういった懸念は不要になる。

撮影プラットフォームとして選択した航空機は、計測範囲クラスC(10³ ha)の広域対象とするには最適であった。使用するカメラと飛行高度を適切に選択することで、十分な地上解像度を得た。有人航空機の運航には有視界気象条件を満たす必要があり、災害後の気象状態によっては飛行することができない。このことが、迅速な撮影を阻害する懸念がある。その場合は無人航空機を活用して局所的に撮影するなど、災害状況把握の迅速性を妨げないための手段を講じる必要がある。

住宅地図は搜索活動では必ず参照されることもあり、これをオーバーレイした災害対応地図の有用性は高い。しかし、今回は大量の紙地図から電子化する作業が必要となり、完成までに3日間程度の時間を要した。迅速な活用にはライセンスとコストの課題がある。今回の例でいえばフェイズ2b-Lv1の災害状況把握技術として活用するには迅速性が不足する結果となった。

情報の活用について、いかに優れた地図成果を作成したとしても、それを活用する能力を持った者がその場にいないければ、情報が活用されることはない。地図で何がわかるのか、何ができるのかといった情報活用支援も、災害状況把握技術の開発と同等に重要である。また、可視光以外のセンシング技術開発により、Lv2に相当する高次の情報プロダクトを作成し提供することも効果的であろう。

災害対応地図(写真地図および住宅地図)に対する搜索従事者からの評価は高かった。被災後の地表の状態を高解像度のオルソモザイク画像から判読し、搜索すべき地点に優先順位をつけて実施することができた。災害対応地図に付した100mグリッドおよび独自のグリッド番号は搜索場所の位置の共有等に有効であったが、UTMグリッドに変えることでより汎用性が高まる。災害直後のタイムラインに高解像度なオルソモザイク画像等の災害対応地図が活用できれば、合理的な搜索活動を実施できることが示された。このためには、搜索救助活動者が地図情報を活用できる環境の整備も必要である。

今回の結果から、情報プロダクトとしてのオルソモザイク画像は、フェイズ2b-Lv1の災害状況把握技術として活用可能な迅速性と解像度を持つといえる。今後の災害対応において、タイムライン初期から高解像度のオルソモザイク画像を作成する体制の

構築と、応急対応の現場で最新の情報プロダクトを活用できる環境を整備することが災害対応の高度化に寄与し、ひいてはレジリエンスの向上に貢献できるものと考えられる。可視光画像を用いたオルソモザイク画像の作成は、迅速性、品質ともに十分に高度化した。今後は、フェイズ2b-Lv2に相当する高次の災害状況把握技術の確立に向けて、分光計や赤外放射計等によるセンシング技術の開発をすすめたい。

謝辞

住宅地図のスキャニングおよびジオリファレンスの作業には、筑波大学(当時)の佐藤良太氏、防災科研の鈴木比奈子氏、佐野氏による長時間の助力を得た。中津川消防本部の熊澤隆氏と春日井市消防本部の原科亨介氏、石黒康次氏には搜索活動時の写真を提供いただいた。記して感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 中央防災会議(1995)：防災基本計画。
- 2) Nakamura, H., Aoi, S., Kunugi, T., Suzuki W., and Fujiwara, H. (2013): Prototype of a Real-Time System for Earthquake Damage Estimation in Japan. *Journal of Disaster Research* 8, 981-989.
- 3) 内山庄一郎・井上 公・鈴木比奈子(2014a)：SfMを用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究。防災科学技術研究所研究報告, **81**, 37-60.
- 4) 内山庄一郎・井上 公・後藤秀昭・中田 高・井田康之・梅田 篤(2014b)：平成26年8月豪雨による広島土石流災害における空撮写真を用いた搜索支援地図の作成。CSIS DAYS 2014, 16-16.
- 5) 内山庄一郎(2015)：被災状況の迅速な把握の実現に向けて：空からの撮影画像を用いたSfM多視点ステレオ写真測量による地図作成。第34回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, 61-62.
- 6) 常総市水害対策検証委員会(2016)：平成27年常総市鬼怒川水害対応に関する検証報告書一わがこととして災害に備えるために一。
- 7) 内閣府(2017)：戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)レジリエントな防災・減災機能の強化(リアルタイムな災害情報の共有と利活用)研究開発計画。内閣府, 9-10.

- 8) 無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルール, 国土交通省航空局.
http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html
平成 29 年 8 月 31 日閲覧.
- 9) 作業規定の準則(平成 28 年 3 月 31 日一部改正), 2016, 国土交通省, 第 80 条.
(2017 年 9 月 5 日原稿受付,
2017 年 10 月 5 日改稿受付,
2017 年 10 月 5 日原稿受理)

要 旨

防災科学技術研究所(以下, 防災科研)では, 災害時の意思決定支援に資する災害状況把握技術の高度化を目指した研究開発を行なっている. 災害初期の応急対応フェイズでは, 災害状況や被害の有無等に関する情報収集は現地聞き取り等のプリミティブな手法に頼る面が大きく, その高度化を実現する必要がある. そのような中, 平成 27 年 9 月, 関東・東北豪雨により茨城県常総市では鬼怒川が破堤し広範囲に浸水被害を生じた. 防災科研では, 災害対応の初期タイムラインにおける災害状況把握技術として, 災害直後の 9 月 11 日に航空機からの写真撮影を行い, SfM 多視点ステレオ写真測量による解析を経て翌日早朝にオルソモザイク画像の公開を行った. これに住宅地図をオーバーレイし, 災害対応地図(住宅地図)として災害対応機関に提供し, 捜索活動への情報支援を行った. 今後の災害対応において, タイムライン初期に高解像度のオルソモザイク画像を作成する体制を構築すること, および応急対応の現場で最新の情報プロダクトを活用できる環境を整備することが災害対応の高度化に寄与する.

キーワード: 災害対応地図, 災害初期対応フェイズ, 迅速な地図化, オルソモザイク画像, SfM 多視点ステレオ写真測量

