全国初のサイバーフィジカル防災訓練
～2018年7月新潟県燕市において～

富山大学 都市デザイン学部　准教授
井ノ口宗成

１．迅速な状況把握を支える ICT

近年では、ICT の進展と社会への普及が加速化しており、災害対応への活用も進んでいる。人命救助ロボットや災害時の情報共有システムなどが、その例である。一方で、被災地の状況確認のために、以前より自衛隊や消防機関のヘリによる空撮が活用されてきた中で小型 UAV（Unmanned Aerial Vehicle：無人航空機、通称：ドローン）の活用も進みつつある。一般的な航空機では視程距離によって飛行制限がかかる可能性があるが、ドローンでは遠隔操縦・自動運転による飛行が可能であり、災害直後から活躍が期待されている。

情報処理においては、画像処理や人工知能の技術の社会実装が進められている。我々の身近な生活の中に、２次元画像からの３次元空間化技術、多視点映像メディア技術といった画像処理に加えて、人工知能を活用した検索エンジンやチャットボット、自動運転が実現しつつある。災害時においても、画像処理と人工知能を組み合わせ、被災場所の特定や個別家屋の被害調査に応用されている。しかしながら、それらは未だ研究途上にあり、実装に耐えうるほどに実績があがっているわけではない。この背景には、実災害では完全に合致する同様の事象が発生しづらいことや、大規模な災害の発生頻度が低いことから、検証が難しい点が考えられる。

これらの先進的な技術は、災害時における迅速な状況把握だけにとどまらず、現場での活動や意思決定を幅広く支え得ると期待されている。そのため、実装可能性を高めるために、我々は事前から訓練を通して、技術や利活用方策について検証・検討を重ねている。重要な視点としては、人の活動を理解することである。技術は必ずしも完全ではない。人は事案に対して柔軟な対応が可能である。これらを組み合わせることで、技術の利点を最大限に生かした対応が期待できる。

２．サイバーフィジカル防災訓練とは

ICT を活用した防災訓練の中には、現場や参画者をサイバー空間でつないで連携する「サイバー防災訓練」も存在する。しかし、対応局面を部分的に切り出した機能訓練にすぎない。サイバーで形成されるネットワーク上で情報送受を実施する機能に焦点が当てられ、サイバー空間の整備や必要情報の生成などは、訓練の準備段階で十分に検討され、ある一定の前提条件の下で実装されている。我々は、「実現場で確実に実装し社会を救う」ことを目的として、ICT を専門とする研究者と防災を専門とする研究者が連携体制を組んだ。災害のシナリオを完全に把握できない状況では、災害前に十分な準備ができるとは限らない。

そのため、災害対応への ICT 活用に期待を持ちつつも、真に実装するためには「何が必要」で、「どのように運用しなければならないか」を正しく認識し、適切な対策を講じることは不可避である。そこで、ICT やサイバーを活用した防災訓練を実社会空間の中に配置し、現実の時間推移の中で実資源を活用し、実装可能性を検証する「サイバーフィジカル防災訓練」の実施に至った。

この訓練では、人間と機械の創造的協働によって実現する知的情報処理技術の１つとして、「CyborgCrowd を活用した災害時の被災状況把握」を対象とした。我々は近年の研究の中で、人間同士をネットワーク上でつなぎ、お互いの力や知恵を集約することで課題解決を図る旧来の「クラウドソーシング」を拡張し、一部の人間を機械（ここでは AI：人工知能）に置き換えて、お互いの利点を最大化する仕組み「CyborgCrowd:サイボーグクラウド」の研究・実装に取り組んでいる。これは、災害時の状況把握のすべてに AI を活用した場合、教師データの不足から十分に AI が機能しない。これを補完するように、クラウドソーシングを活用し、人による判定を組み合わせることで、状況把握が進むとともに教師データがリアルタイムに蓄積され、途中から AI が人間に取って代わり全体像を描くことができる。例えば、被害箇所を特定するために、空撮画像に対して人間が判定を続け、一定量が処理されたところで AI に切り替わり、地域全体の被災状況把握が加速度的に可能となる。(図1)

このような人間と機械の創造的協働の仕組みは災害対応現場で役立つのだろうか。その検証を行うために、サイバーフィジカル防災訓練を通して、実社会での検証を行うこととした。特に、本稿で報告するサイバーフィジカル防災訓練では、先進的な技術を利用するだけでなく、「① 実社会空間に物理的な被害を表す記号を付与する」「② 住民が主体となって訓練上の役割を持つ」「③ 住民個人が把握した情報を集合知にする」「④ 状況を皆で共有し、迅速な認識の統一を図る」ことを実現した。

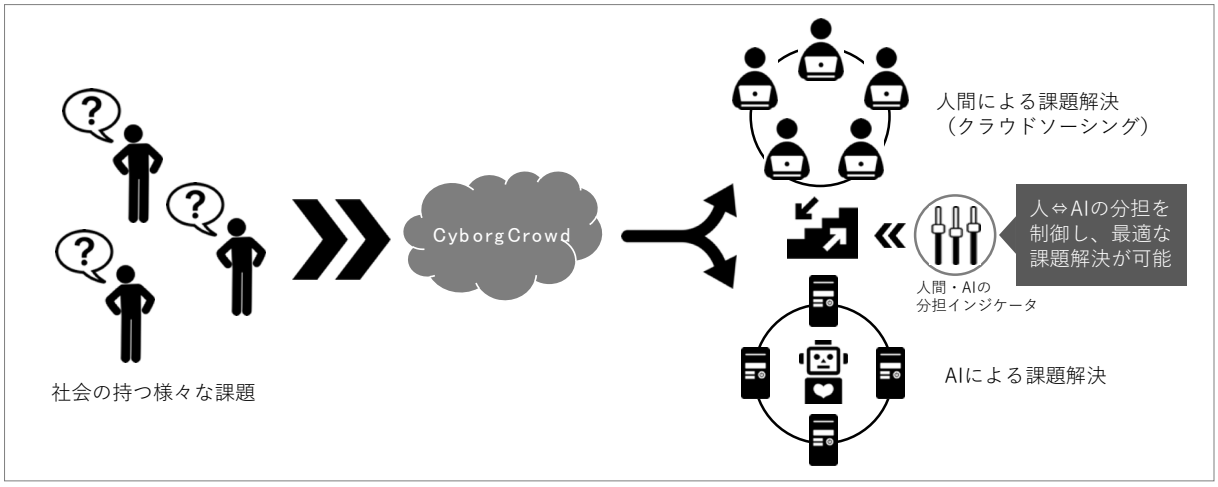

図1　CyborgCrowd の概念図

３．新潟県燕市というフィールド

全国初のサイバーフィジカル防災訓練は、新潟県燕市で実施された。燕市は越後平野の中央部に位置し、市内には弥彦山脈南端の国上山があるが、ほぼ平坦な地形を有する。市の付近には長岡西縁断層帯があり、地震のリスクも高い地域である。また、市内には信濃川や中ノ口川といった河川が通っており、平地部とあわせて内水・外水氾濫のリスクも高い。古くは、1896年の「横田切れ」による被災経験を持つ。横田切れは、信濃川の堤防決壊によって県内180km^{2}の浸水被害が発生した、日本水害史に残る大水害である。この堤防決壊が発生した箇所が、燕市横田である。この災害を契機として、1909年に「大河津分水」という信濃川への分水路が建設された。それ以降は大規模な水害の経験はない。

燕市では、上記のように地震や水害のリスクを抱えながらも、長期にわたって災害による大規模な被災経験はない。中越大震災や中越沖地震、7.13新潟・福島豪雨災害などが新潟県で発生し、その影響を少なからず受けたことから、地域住民の防災に対する意識は高い。そのため、地域住民参画型での防災訓練を継続的に実施してきた。しかし、その訓練内容は、他地域で実施されるものと同様で「避難訓練」や「避難所運営訓練」、「AED 講習会」といったものであった。地域では、同質の訓練を繰り返し実施することに対して理解はあるものの、次のステージへ進みたいという気持ちもあった。特に、新しい技術を取り入れた訓練、そして、住民自身が活躍できる新しい訓練を模索していた。

燕市職員においても、様々な災害において応援経験も有しており、燕市の被災経験は少ないものの、応援を通した知見や経験の蓄積が進められていた。その応用として、2017年には国民保護事案に対する住民避難訓練も実施した。そのような状況に対して、我々が「サイバーフィジカル防災訓練」を持ち込む形となった。燕市の熱心な姿勢も後押しとなり、全国初の訓練は燕市で実現された。

４．サイバーフィジカル防災訓練の実現

(1) 燕市におけるサイバーフィジカル防災訓練の概要

2018年7月1日（日）に、燕市において震度6強の地震を想定した総合防災訓練が実施された。この中で、各機関はそれぞれの役割の中で、災害対応にかかる訓練を実施した。我々は、燕市災害対策本部と地域住民の連携の下で、迅速な状況認識の統一を図るための「サイバーフィジカル防災訓練」を実施した。これは、「世界最速を目指した市民とAIによる総力型災害状況把握」への挑戦であった。

訓練では、燕市の柳山自治会を対象として、道路や家屋に被害を表す記号を物理的に配置し、避難途中の住民が発見した場合、それを我々が準備したシステムを通じて報告し、その状況を一元的に管理・空間的に可視化する。これらの結果を、災害対策本部にも共有し、市長以下、災害対策本部員の意思決定の基礎とした。一方で、ドローンを操作し、上空から対象地域を空撮した。この被害を表す記号が付いた画像を、クラウドソーシングに

依頼し、地域外からの協力を得て、被害箇所の特定を進めた。この依頼過程において、ドローン画像には1枚で広域を撮影することから、部分的に切り出す作業を自動的に AI が実施している。また、ドローンの空撮画像に対して AI を活用し、3次元データとして復元することも実装した。これらの一連の流れを実社会の中で試行し、実現可能性を検証した。図2に、燕市におけるサイバーフィジカル防災訓練の全体像を示す。

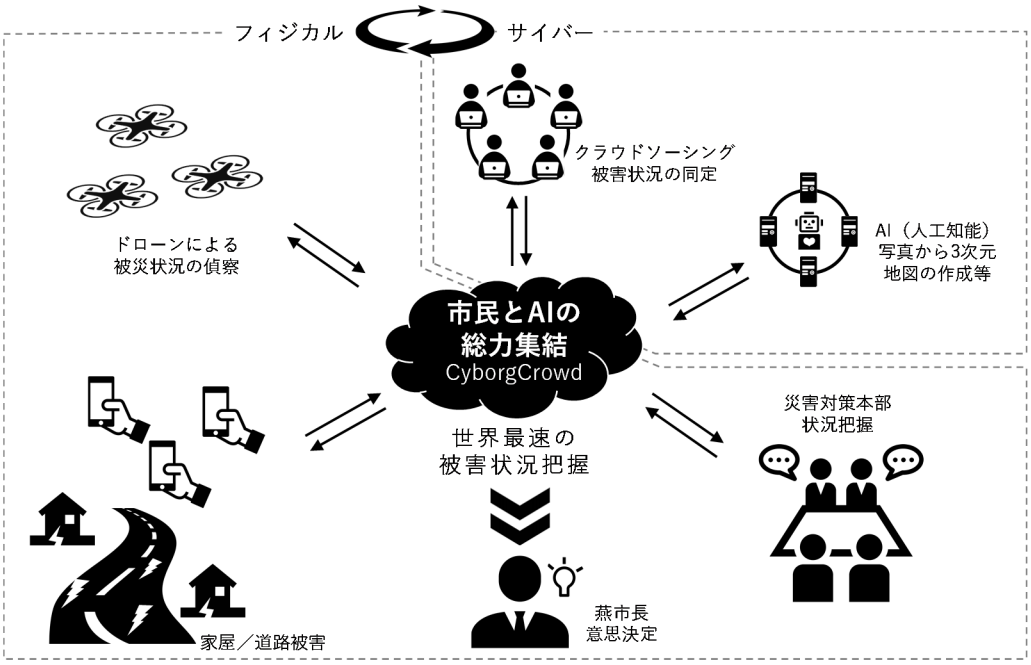

図2 燕市におけるサイバーフィジカル防災訓練の全体像

(2) 事前準備：関係者間の協力依頼・体制の確立

サイバーフィジカル防災訓練では、道路や家屋といった物理的な構造物に被害を表す記号を貼り付けることを前提とした。そのため、道路であれば管理者への許可、家屋であれば居住者への許可が必要となった。また、住民からの報告があって初めて状況把握ができることから、地域住民への協力依頼も必要であった。

道路については、訓練対象地域において県道・市道があり、県の土木部局や振興局、市の関連部署への説明と使用許可の申請を行った。また、道路上をドローンが飛行することから、その飛行許可についても申請し、了解を得た。一方で、被害を表すマークは、色の付いた養生テープで可視化することとしており、道路上に配置することから、交通に対して影響を与える可能性があり、警察署に対しても説明・協力依頼を実施した。道路上で「×」という記号や黄・赤などの危険性を表す色では、訓練情報を持たない通行者に対して、通行禁止や危険の意味を与える可能性があることから、記号形状と色の選定を実施した。

地域住民の協力依頼・理解の獲得については、柳山自治会の会長を通じて、遂行した。自治会長からの積極的な働きかけもあり、住民より訓練協力に対する合意が得られた。こ

れは、訓練当日に「家屋倒壊」や「擁壁崩壊」を表す記号を配置することへの協力だけでなく、ドローンからの空撮に対する合意も含めている。なぜならば、プライバシー保護の観点にも留意する必要があったためである。なお、住民参画型での訓練に新しい仕組みを導入し、現場で検証を行うという特性から、研究者組織内の倫理審査委員会の審査も得た。

(3) 事前準備：物理的な被害（マーク）の配置

燕市におけるサイバーフィジカル防災訓練は、ブラインド型で実施した。すなわち、一部のシナリオ策定者のみが「どこがどのように被災しているか」を知り、多くの訓練参加者はその全体像を知らない。地域住民の家に配置する記号については前日の午後に実施し、道路への記号の配置は、当日の早朝より実施することとした。訓練当日は天候にも恵まれ、また日の出時刻は4時26分であり、当日の作業は早朝5時から開始した。

柳山自治会の区域に、「△：道路の陥没被害（28カ所）」「□：水道管の破裂被害（9カ所）」「↑：建物の倒壊（14カ所）」「×：壁の崩壊（7カ所）」の計58カ所に被害を表す記号を配置した（図3）。住民家屋への配置（建物の倒壊と壁の崩落）については、厚紙に記号を付し、その厚紙を配置した。道路への配置（道路被害と水道被害）については、道路に直接、養生テープで記号を付した。なお、同年6月に発生した大阪北部地震では、水道管の破裂による被害やブロック塀の倒壊が発生した。これを受け、本訓練では、被害種別に対し、道路被害や家屋被害といった一般的な被害に加え、水道被害、壁の崩壊を追加した。

図3　道路や家屋への被害記号の配置（左から、道路被害、水道被害、建物倒壊）

(4) 訓練実施：住民参画型で本部と連携

訓練開始直前には、我々は市役所内の災害対策本部、燕市立小池小学校の体育館と一時避難場所に集合し、訓練開始を待った。そして、朝9時にサイレンが鳴り、総合防災訓練が始まった。同時に、3機のドローンが直後の偵察部隊として、燕市立小池小学校の体育館より飛び立った。1回の飛行は約25分。被災箇所も知らないままに、校区内を偵察した。一方で、地域住民は一時避難場所へ避難を開始した。被害を表す記号を見つけながら避難を進め、一時避難場所へ到着した際、我々のシステムを通じて、被災箇所と被害種別の報告を実施した。一時避難場所では地域の住民が一定数そろった後に、指定避難所への移動を始

める。指定避難所への避難完了後も、避難者名簿の作成を進めながら、多くの地域住民から他に発見した被害についての報告を受けた。(図4)

この間、市の災害対策本部では、災害対策本部会議が開催され、各部局より把握している被災状況と対応すべき課題の共有が進められた。平行して、災害対策本部の大型モニタには、地域住民からの報告結果が集約され、地図として可視化され、共有された。筆者自身は本部にて市長の意思決定過程を参与観察しながら、地域住民の報告内容を確認していた。訓練開始直後から多くの報告が集まり、あまりの早さにシステムトラブルを疑ったほどである。会議の後半では、その報告情報から市長自身が「激甚な被害が発生している地域」を推測し、その地域への詳細な状況把握の指示がなされた。(図5)

図4　住民からの被災状況報告

図5　燕市災害対策本部にて被災状況報告の集約結果を共有

一方、指定避難所となった小池小学校の体育館では、同様に、地域住民に対して被災状況が集約された結果を共有した。(図6) これにより、シナリオ上の被害規模への理解を進め、もしもそのような状況になれば、地域がどのようになり、住民はどのように活動すべきかについて考える機会となった。くわえて、ドローンからの空撮画像から地域の様子を3次元復元した映像を見せた。これは、多視点映像メディア技術のように、「住民が見たい場所」をインタラクティブに操作しながら、移動・拡大ができるものであった。新しい技術に触れることで、今後の防災に対する技術利用の可能性についての理解が深まった。

図6　避難所にて被災状況報告の集約結果を共有

(5) ふりかえり：次の訓練に向けた課題の整理

訓練終了後には、参加者である住民と議論を重ねながら、訓練の有用性について確認した。住民からは、「被害の状況がすぐに分かることは助かる」「住民が対応の状況把握に役立つことが分かった」「新しい役割が見つかった」など、好評であった。また、ドローンによる状況把握の有用性についても理解され、ドローン機材の価格に関する質問の後には、「平時から防災備蓄の一環として、地域で保有しても良いのでは」と前向きな意見も出た。まさに、先進的なICTが地域に受け入れられ、定着されようとする瞬間であった。

後日、燕市の鈴木力市長へのインタビューも実施した。市長より、「避難者に被害情報を持ち込んでもらう点」「ドローンの活用により状況を俯瞰的に把握できる点」で画期的であったと評価を得た。特に後者については、災害対応において逐次で入手する状況に個別対応する体制から、俯瞰的かつ戦略的な対応へと変化を遂げることができるのではないかと、高い期待が得られた。すなわち、個別情報が欠如した場合にも、俯瞰的に状況を把握することで、限られた情報で対応するのではなく、情報を積極的に収集する「偵察姿勢」に変わらなければならないと、新しい発見に至った。

効果的な訓練との評価は得られた一方で、訓練を実現する上での課題として3点が明らかとなった。1点目は、必ずしもすべての情報を住民が報告してくれるわけではない点である。住民がどこから、どのように避難し、どの領域を把握したかについては集約できていない。すなわち、どの地域が「誰も接していない地域」であるかの特定ができなかった。そのため、偵察も難しかった。2点目は、訓練準備にかかる地域の理解をいかに得られるか、である。今回の訓練では、地域の積極性に助けられ、地域住民の理解を得ることができた。地域の協力があってこそ実現する訓練であり、理解を得るための方策について、今後の検討が必要である。3点目は、フィジカル部分の「物理的な空間への記号の配置」である。本訓練では58カ所に記号を付したが、特に道路への記号の配置については、ブラインド型の訓練という特性上、限られた人員で実施し、その作業効率も決して高くはなかった。柳山

自治会という限定的な地域でのみ実現できた今回の訓練であるが、全国展開を視野に入れた場合、資源の確保と作業の効率化については、早急に解決すべき課題である。

５．サイバーフィジカル防災訓練の効果検証

本訓練では、58カ所に被害が発生したというシナリオに対して、わずか1時間半程度で地域住民から76件の報告を得た。図7に、訓練開始からの時間に沿って、どのような被害に対して何件の報告があったかの結果を示している。訓練開始から、わずか約20-25分後には全体の半数の報告が集まり、1時間程度で8割の報告が集まった。すなわち、住民からの報告を活用することで、早い段階で多くの情報を得られることが明らかとなった。

一方で、シナリオ上のすべての被害に対し、住民が的確に報告していたかを検証した。図8は、シナリオとして配置した被害の種類・場所と住民報告による被害の種類・場所を重ね合わせた結果である。前者をピンク色、後者を黒色で表している。この図から分かるように、破線で囲った部分は、被害が発生したと想定したが、住民からの報告はなかった。被害の種類別に、シナリオと住民報告の合致率を分析した結果が表1である。災害発生後には、SNS で被災状況を把握する動きがあるものの「デマ情報」の扱いが難しい。しかしながら、本訓練では地域住民からの報告としたことで、「誤った報告」は、どの被害種別においても1件のみであった。すなわち、地域内の資源を活用することが、情報の質を確保する上で重要であることが示唆された。ただし、その位置精度は決して高くはなかった。

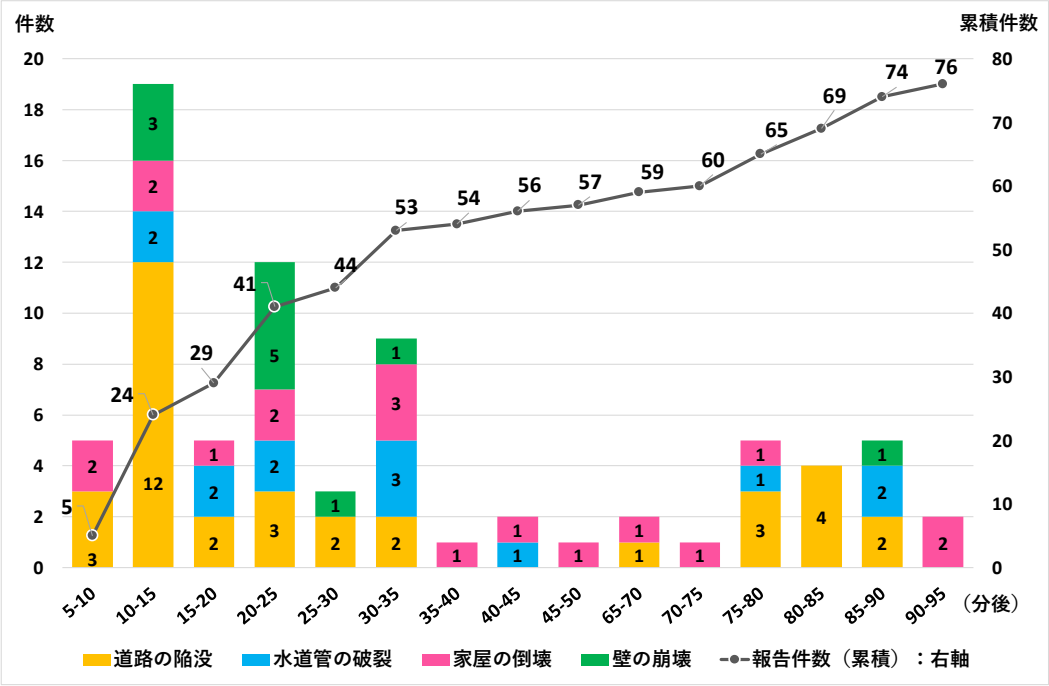

図7　被災状況報告の時系列分析結果

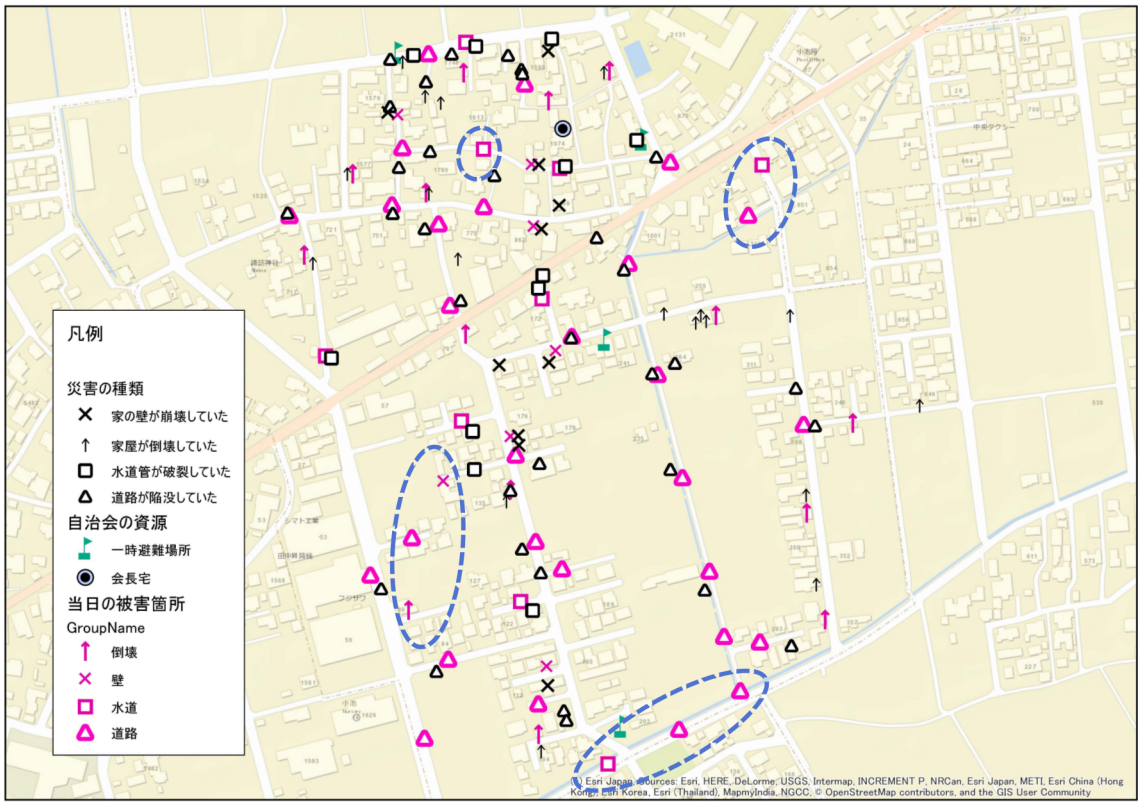

図8　シナリオ（想定被害）と住民報告の空間比較結果

表1　シナリオ（想定被害）と住民報告の件数比較結果

△ 道路の陥没		報告	
		あり	なし
計画	あり	22	6
	なし	1	

↑ 建物の倒壊		報告	
		あり	なし
計画	あり	12	2
	なし	1	

□ 水道管の破裂		報告	
		あり	なし
計画	あり	6	3
	なし	1	

× 壁の崩壊		報告	
		あり	なし
計画	あり	6	1
	なし	1	

住民からの報告のなかった被害についても、その原因を推察した。原因の特徴として2点があげられる。1点目は、対象地区の境界線付近で、その場所を通過した避難者が少なかったことである。この点については、本訓練を1自治会のみで実施したことにより、境界が発生したためである。実災害では、複数の領域がシームレスにつながるため、このような事象は発生しないと考えられる。一方で、居住者が少ない地域では、必ずしも有効な手法ではないとも考えられる。他手法との組み合わせの検討が必要である。2点目は、複数の種類の被害が密集した地域で、報告者が記憶の中で混乱したことである。近い場所で複数の被害を発見した場合、どこにどの被害があったかが記憶の中で輻輳し、正確な報告ができなかったと推察された。実災害では、同様の現象が想定される。しかし、多くの住民が参画

し、報告数が増加すれば、その報告数から密度を分析することで、被災状況の概況把握は可能になると考えられる。そのためにも、情報集約の手法について、再検討が必要である。

６．今後の展開

本稿では、2018年7月1日に新潟県燕市において実施した「全国初のサイバーフィジカル防災訓練」を紹介した。本訓練では、サイバーの強みを活かしながら、実社会との物理的なインタラクションを通して、ICT を実際に活用できるかについて検証した。特に、我々が推進する「CyborgCrowd」の枠組みを基礎として、住民参画型での訓練を実施し、住民自身から知り得た情報を収集・集約することで、災害対策本部の意思決定を支援した。また、ドローンを飛行させ、上空からの偵察と収集情報の3次元復元を実施した。これらは、既存の技術を応用し、社会実装することで、具体的な課題を洗い出した。その一方で、市民と行政が、ICT の活用によって、新しい連携のあり方を見いだせた事例ともなった。

本訓練の実装検証を実施した新潟県燕市は、人口8万人の中都市である。全国を見渡せば、同規模の自治体も多く存在し、同様の防災訓練は実施可能である。小規模となれば、地域の限定性や資源の枯渇への対策を考慮した訓練の計画が必要である。この中小規模を対象とした ICT 活用の防災訓練が実現できれば、日本の多くの自治体への展開が可能となり、地域防災力向上に寄与できる。我々もそれを願うものの、必ずしも十分な体制が構築できているわけではない。現在、「(一社) コネクテッド社会研究機構」の立ち上げを進めている。他種別の災害や複合災害における ICT 活用の防災訓練も視野に入れ、先進的な技術と社会を融合した新しい訓練の企画・運営を支援したいと考えている。南海トラフ巨大地震や首都直下地震が想定される中で、地域の防災力向上と先進的な ICT 活用の定着化を推進し、災害を乗り越える力を有する社会実現を目指す。