

山岳被災地における画像伝送の一手法について

杉田 雅幸

九頭竜川ダム統合管理事務所 真名川ダム管理支所 (〒912-0021福井県大野市下若生子25字水谷1-36)

災害時において、初動体制を図るにあたっては災害状況を把握するための画像伝送や通信を確保する事が極めて有効である。国土交通省では災害時の画像伝送に通信衛星を利用した衛星通信車やKu-SAT IIを活用しているが、被災して車両交通が不可能となった場所へは、人力で搬送・設営可能な画像伝送方法の検討を行う必要がある。

山岳地域において、有効なIP画像伝送方法となる公共ブロードバンド移動通信システム(以下、「公共ブロードバンド通信」という。)設備の訓練を実施したので紹介する、

キーワード ドローン, 公共ブロードバンド, 衛星通信車, Ku-SAT II

1. はじめに

近年、東日本大震災や熊本地震などの巨大地震、台風や停滞する低気圧による土砂災害や洪水被害などの広域災害が多く発生している。

近畿地方においても、2011年熊野川流域に長期間に停滞した雨雲により土砂崩れや河川の氾濫を引き起こした紀伊半島大水害における赤谷地区の河道閉塞被災現場のように商用電源および民間有線回線や携帯電話サービスエリア対象外の場所にはKu-SAT IIが活躍した、今後は、2012年に次世代衛星通信システムに更新された衛星通信車やKu-SAT IIの活躍も期待されるが、道路が寸断され車両進入が不可能となった場合にも衛星通信車などと組み合わせて、現地に徒歩で運搬出来る通信手段である公共ブロードバンド通信装置の訓練を実施したので紹介する。

2. 訓練概要

訓練内容は、大規模災害が発生し車両進入が不可能、商用電源が無くかつ民間の携帯電話サービスエリア外の現場においてドローンで撮影した映像(画像)を公共ブロードバンド通信装置を利用して、車両通行可能な場所に待機する衛星通信車を經由して、地方整備局の災害対策本部へ画像伝送する。

実施は、2017年11月13日・14日に近畿地方整備局企画部情報通信技術課と防災課が整備局災害対策室設営、九頭竜川ダム統合管理事務所が訓練の総括、近畿技術事務所のドローン操作、福井河川国道事務所が衛星通信車設営に加えて、公共ブロードバンドデモ機提供・設営協力を災害協定に基づく協力会社により図-1の構成で行った。

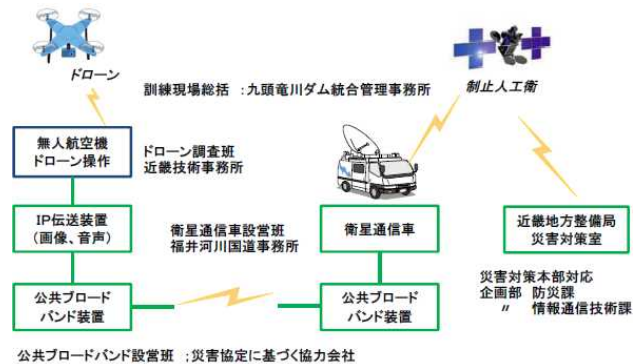


図-1 訓練構成図

場所は福井県大野市中島地先、真名川ダム上流の雲川第一堰堤を車両進入不可能な災害発生場所、下流の中島公園広場を車両通行可能な場所と想定した、図-2のとおり訓練場所間の1.6kmの区間は雲川の溪谷がある山岳地域になっており、公共ブロードバンド通信装置相互は、見通し外区間である。



図-2 訓練実施場所状況

2. 訓練における確認事項

訓練を行うにあたり、確認したい成果項目を以下とおり設定して確認することとした。

(1) 送信画像の見え方(有効性)の検証

ドローン撮影、公共ブロードバンド通信装置相互、衛星通信車より災害対策本部までの各区分および全体を通じた見え方確認。

(2) 災害対策室との連絡方法の検証

公共ブロードバンド通信を用いたドローン操作者への操作指示の伝達。

(3) 山岳部での移動体通信の伝送距離の検証

公共ブロードバンド通信装置相互の見通し外区分となる山岳部での画像鮮明度の確認

(4) 画像配信を行うための必要人員の確認

ドローン操作、公共ブロードバンド通信装置相互及び衛星通信の各操作、搬送用人員

3. 訓練後の確認事項の整理

(1) 送信画像の見え方(有効性)の検証

画像の伝送先である近畿地方整備局災害対策本部では、大画面表示しても遜色ない画像配信が行えていることが確認された。(写真-1)

今回の課題は、使用したドローン装置の操作器からの映像信号がHDMI規格であるのに対して、IP配信のために画像圧縮するエンコーダ装置への入力がNTSC規格で変換用コンバータが介在したため、複数段階の信号変換と装置が必要となり設備が増え設営手間が増えるのみならず、装置と消費電力の増加にもなり、また今回は高画質(High Definition)画像を標準画質(Standard Definition)に変換したため画質の劣化も懸念されたところであったため信号や入力端子など規格の事前確認が必要であった。(図-3)

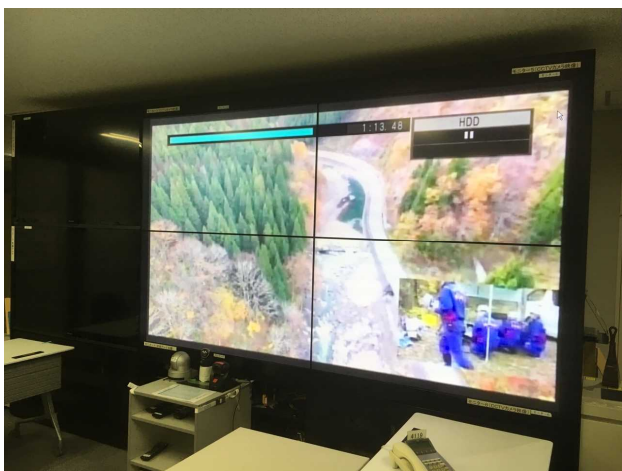


写真-1 災害対策本部会議室写真

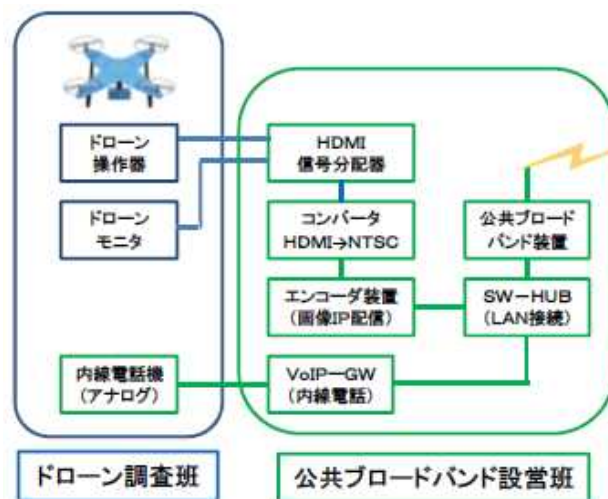


図-3 災害現場想定箇所設営機材

(2) 災害対策室との連絡方法の検証

訓練では、民間有線や携帯電話サービスエリアが無い状況で画像を求めている地方整備局災害対策本部などが求める場所的確なドローン撮影した映像(画像)を送信するため、災害対策本部からドローン運用者に操作指示を行う方法を検討した。

衛星通信車による衛星回線及び公共ブロードバンド通信、音声IP変換を行うVoIPゲートウェイでマイクロ内線電話回線を構築し、災害対策本部より内線電話で現地に指示してリクエストされた映像を伝送する訓練を行い、その指示を的確にドローン操作に反映させることができた。

(3) 山岳部での移動体通信の伝送距離の検証

公共ブロードバンド通信装置の標準仕様においては、可搬運用する際のアンテナは、本体に取り付ける30cm程度のホイップアンテナが使用されるが、山岳地域の災害発生想定場所と想定した雲川第一堰堤から衛星通信車を配置した見通し外1.6kmの区分では、良好な状態での画像通信が出来ない状態であった。

そこで、電波の伝搬を向上させるために送受信アンテナに八木アンテナ(3素子)を設営したことで、安定した画像通信が可能となり実効通信速度1.7~2Mbpsを確認できた。

この数字は、公共ブロードバンド通信装置と接続して運用する衛星通信車の画像伝送chの伝送速度が最大2Mbpsであることを鑑みても動画映像の画像伝送に耐える性能であり、電波が届きづらい見通し外区分においても、八木アンテナを利用することで対向する公共ブロードバンド通信装置の方向に対しての電波の送受信利得を向上させ山岳地域においても画像伝送が出来ることが確認できた。

訓練で想定されたアンテナの種類とその電波に対する絶対利得(dBi)は、表-1のとおりである。

表-1 アンテナの空中線利得

運用状態	アンテナ種別	国電通仕第56号	災害協定協力会社
可搬	ホイップアンテナ	1dBi 以上	約 2dBi
	高利得ホイップアンテナ		約 3dBi
車載	車載ホイップアンテナ	2dBi 以上	約 2.15dBi
半固定	無指向性アンテナ	2dBi 以上	約 2.15dBi
	八木(3素子)アンテナ		約 7.65dBi

(4) 画像配信を行うための必要人員の確認

標準的な現場での必要な人員は、ドローン調査班 3名、公共ブロードバンド設営班が 2名ずつ 4名、衛星通信車設営班 2名の合計 9名程度必要と想定していた。

しかし、ドローンや公共ブロードバンド通信装置本体の設営のみならず周辺装置の運用には人員が足りないことが判明した、IP伝送にて送信画像をIP変換するためのエンコーダ装置や内線電話を運用するためのV o I PゲートウェイやHUB装置を災害発生想定場所において運用するには電源が必要となり、実際訓練では可搬型の小型発電機を利用した。

また、電波の伝搬を向上させるための八木アンテナを設営したが、送受信で約 1m程度のアンテナを高さ 3mに送受信で 2基設置するには、更に追加人数が必要となるため今回訓練での実作業必要人員は、表-2のとおりと想定される。

表-2 画像配信必要人員表

班構成 \ 場所	災害発生箇所(徒歩移動)	設営基地箇所(車両通行)	備考
ドローン調査・操作	3名		
衛星車設営		2名	
公共ブロードバンド設営	2名	2名	
(電源装置設営)	(2名)		衛星車は車載
(アンテナ設営)	(3名)		衛星車は車載
合計	10名	4名	

4. 画像伝達に用いる無線装置の検討

(1) 公共ブロードバンド通信装置概要

公共ブロードバンド通信装置は、2011年にテレビがアナログ放送から地上デジタル放送に切り替わり空いた電波の跡地であるVHF帯の一部 200MHz帯(170MHz~202.5MHz)を利用して、災害現場等に於いて機動的かつ確実に映像伝達を行う手段として、警察・消防などを含む防災機関に総務省より周波数が割り当てられ安心・安全の確保といった用途に利用が期待されている装置である。

国土交通省の標準仕様では、「国土交通省公共ブロードバンド移動通信システム標準仕様(国電通仕第56号)」に定める仕様で2016年(平成28年)に制定され、可搬出来る装置として熊本地震においても九州地方整備局が橋梁の被災現場の画像を伝送するなどの実績もある装置となっている。

2011年 地上アナログ放送で利用されていた電波の跡地利用

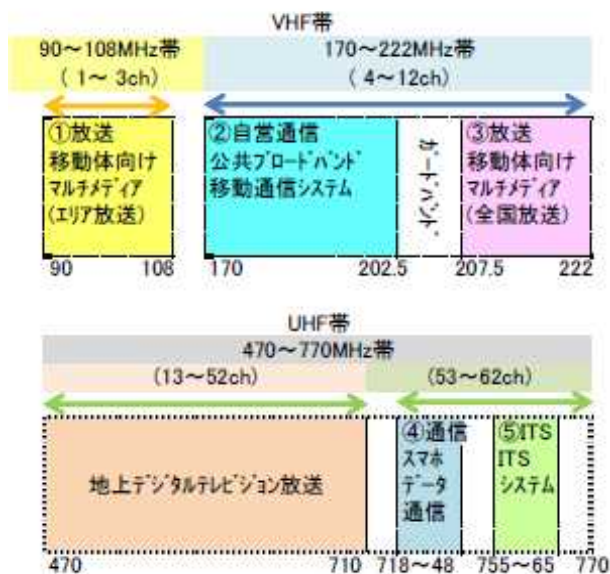


図-4 地上アナログ放送の電波跡地利用

表-3 公共ブロードバンド通信装置規格

項目	性能	備考
無線周波数帯	170.0~202.5MHz	
空中線電力	5 W	利得 37dBm
	1 W	利得 30dBm
占有周波数帯幅	4.9 MHz以下	1chあたり
チャンネル数	3 ch	
伝送速度	1.5~ 6Mbps程度	
インターフェイス	100BASE-TX	RJ-45
本体重量	10kg程度	
電源	AC100V, DC12V	
バッテリー時間	最大消費60分以上	リチウムイオン
防水・防塵	IP X4以上	飛沫保護

(2) 無線装置の特性による比較

表-4において、災害現場からの画像伝送方法を比較する。

条件として、今回の想定は車両進入不可能な山岳地域被災地を想定したものであるため、車両での機材運搬は出来ない、徒歩での移動距離も平地では道路距離80mを1分であるが、山岳地域の被災地において機材を持つての移動距離は登山の一般的な時速1.5kmを参考にして無線伝搬に求める距離も1時間移動を限度と考え1.5km程度と想定した。

表-4 画像伝送方法比較

条件\種別	200MHz 公共BB	2.4GHz 無線LAN	5GHz 無線LAN	5GHz 包括無線	25GHz 無線LAN	12/14G 衛星通信車	12/14G Ku-SAT II
人力での可搬性	○	○	○	○	○	×	△
	人力	人力	人力	人力	人力	車両搭載	60kg
画像伝送通信速度	○	○	○	○	○	○	○
	6Mbps	54Mbps	90Mbps	100Mbps	150Mbps	2Mbps	2Mbps
見通し区間 (1.5km以上伝送)	○	×	○	○	○	—	—
	15km	500m	17km	30km	9.9km	衛星通信	衛星通信
見通し外区間 (1.5km以上伝送)	○	×	×	×	×	—	—
	3~5km	不可	不可	不可	不可	衛星通信	衛星通信

- 伝送速度は、IEEE 802.11に代表される無線LAN通信方式によって同一周波数でも異なる。
- 5GHz包括無線は、国土交通省5GHz無線アクセスシステム(i-RAS)機器仕様による。
- 衛星通信車およびKu-SAT IIは、複数の画像伝送chがあり最大が1chあたり2Mbpsである。

山岳地域の見通し外区間の伝送が極端な結果を示した理由は、電波の周波数特性により生じている。公共ブロードバンド通信 200MHz が有利な性質を示した理由は、”アンテナの指向性”と“山岳回折波”“山岳反射波”が影響すると考えられる。

a) アンテナの指向性

電波の受信電力はFriisの伝送公式(1a)式で求められ、何も無い自由空間の伝送損失は(1b)式の送信と受信の差より求める。

$$P_R = G_T G_R \frac{\lambda^2}{(4\pi r)^2} P_T \quad (1a)$$

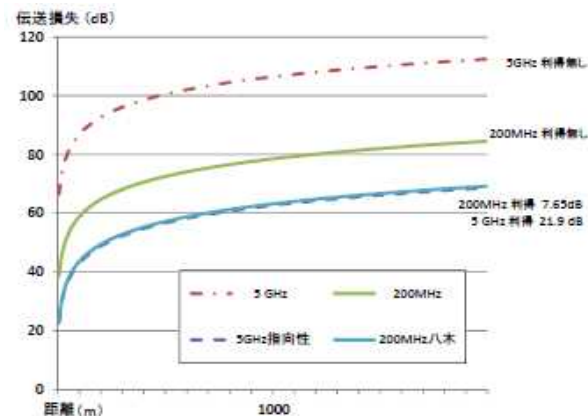
$$P_T / P_R = \text{自由空間伝送損失 (dB)} \quad (1b)$$

- P_R : 受信電力(W) 、 P_T : 送信電力(W)
- G_T : 送信アンテナ利得 、 G_R : 受信アンテナ利得
- λ : 電波の波長(m) (=光速(m)/周波数(Hz))
- r : 送受信点間の距離(m)

以上の式より、電波の損失は周波数の2乗に比例して増加する事が確認出来る。

人力にて運搬可能で、画像伝送を行える装置として、公共ブロードバンド通信 200MHz と国土交通省 5GHz (i-RAS) の伝送損失を表-5に比較した。

表-5 電波伝送損失比較



各々利得無し(自由空間)の伝送損失と比較して、公共ブロードバンド通信 200MHz には訓練で用いた八木アンテナと同じ 7.65 dB 利得、国土交通省 5GHz (i-RAS) には平面アレイアンテナ 21.9 dB 利得を用いるとアンテナを用いては偶然に同程度の損失となったが、比べてみると図-5のように利得を上げるために電波の指向性を絞っているのも移動を行っての通信や見通しが出来ない場所には使いづらくなる。

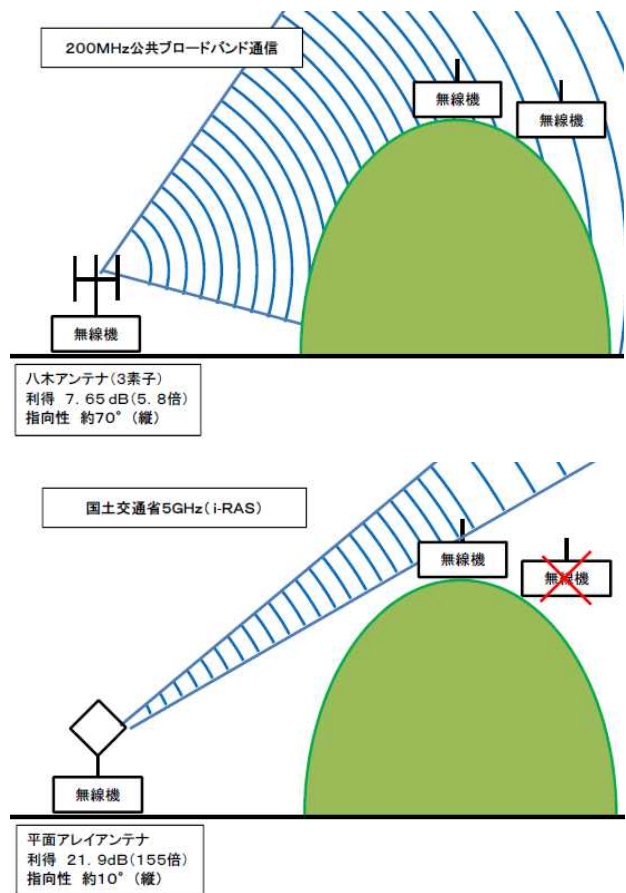


図-5 アンテナの指向性

b) 山岳回折波と山岳反射波

装置相互間が見通し外区間の場合には、電波が折れて拡散する回折波、大地や山岳に反射する反射波が利

用できるが、周波数の低いVHF帯電波の方が優れた性質を持っている。さらに、前項のアンテナの指向性でも触れたが、周波数が高い国土交通省 5GHz (i-RAS) は、電波の減衰を補うため指向性が狭いアンテナが用いられるため、図-6のように公共ブロードバンド通信 200MHzの方が有利と想定できる。

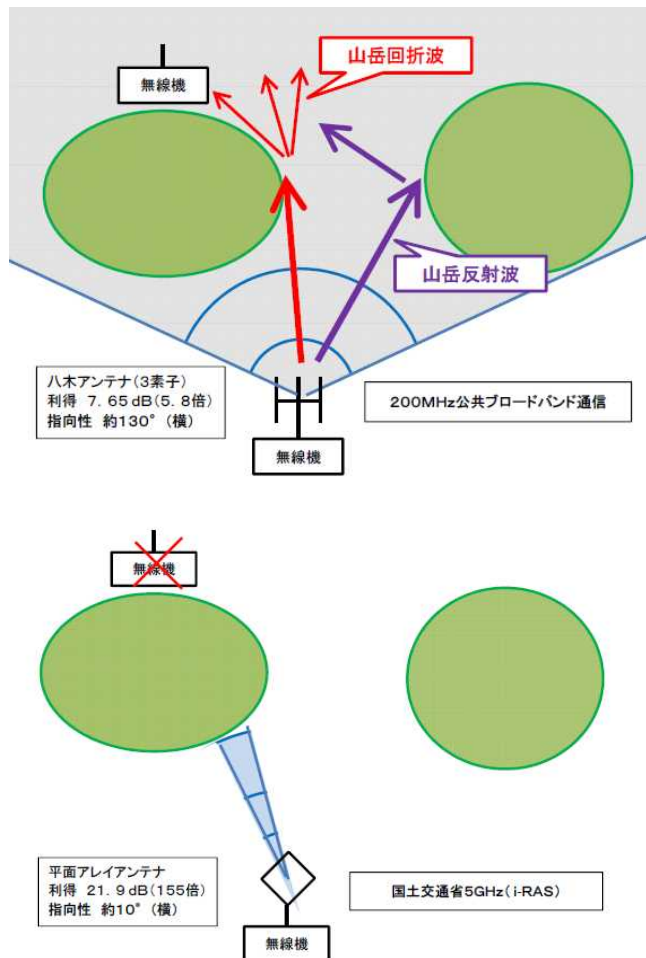


図-6 山岳回折波と山岳反射波

以上の理由から山岳地域の見通し外区間の伝送では、公共ブロードバンド通信 200MHz が適していると判断したため今回の訓練対象とした。

5. 今後の展望について

訓練では、図-3、写真-2のように構成装置が複数になり持ち運びは困難であるため、設備を見直していくことが今後の課題となる。3. 項訓練後の確認事項の整理に対して解決方法を検討することとした。

検討にあたっては、3項(4)において訓練前想定した人員より追加が必要となった公共ブロードバンド設営に関する”電源設備設営”と”アンテナ設営”をいかにして削減するかが訓練成果を生かした提案になることから次のように考察した。

(1) 電源設備設営の削減提案

訓練において、電源が必要となったのは画像送信のための画像IP変換を行うエンコーダ装置、電話のための音声IP変換のVoIPゲートウェイが該当したが、1~2時間の現地調査には、自らバッテリー動作するIPネットワークカメラやIP電話を利用すれば、変換装置や20kg程の小型発電機を持ち歩く必要が無いため電源設備設営のための人数を抑えられる。



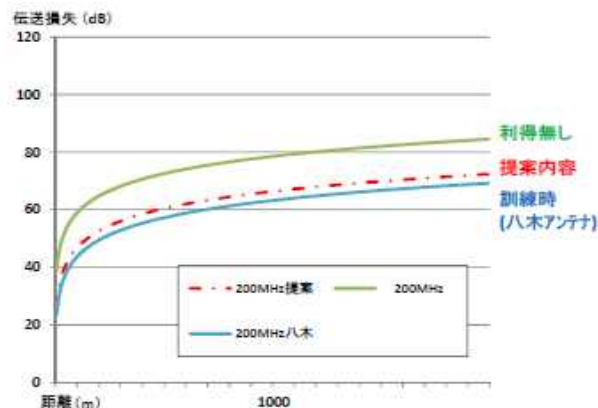
写真-2 訓練構成機材写真

(2) アンテナ設営の削減提案

訓練では、相互に八木アンテナ(3素子)を使用した、通信の中継基地となる衛星通信車に高利得なアンテナを据付けて被災現場への徒歩移動を軽くする方法もある。

表-6 アンテナと損料比較表

	災害発生箇所 (徒歩移動)	設営基地箇所 (車両通行)
訓練時使用アンテナ	八木アンテナ(3素子)	八木アンテナ(3素子)
	7.65 dB(5.82倍)	7.65 dB(5.82倍)
提案内容アンテナ	ホイップアンテナ	高利得なアンテナ
	2.15dBi(1.64倍)	MAX 10dBi(10倍)



訓練を行った公共ブロードバンド通信装置が導入される際には、今回の考察を踏まえて設備構成の集約と効率化により実用的な運用を行うことが期待できる。