

災害時の孤立集落における予備通信インフラの検討

グループ PBL 演習 10 班

石塚 紹人, 小須田 侑暉, 趙 嘉偉

指導教員: 干川 尚人

1. 背景

1.1. 災害時の通信断絶

日本は災害大国と言われており、台風や火山の噴火、地震などの災害が頻繁に発生している。特に地震においては、2011 年の東日本大震災や 2016 年の熊本地震、2024 年の能登半島地震など被害規模も甚大なケースが多くある。そのような地震災害において、通信インフラが断絶し、被災地での避難生活や救助活動に必要な不可欠な情報通信が行えなくなることが起きた。原因としては、地震や津波による通信ケーブルや基地局の物理的な損壊、停電によって電力不足になったことによる基地局などの機能停止があげられる。2024 年の能登半島地震時に、総務省[1]によると、停電が 68.5%、伝送路断が 57.8%となっており、停電と伝送路断の複合要因のものが3割程度となっている(図1)。停電と伝送路断で全体の 96.5%を占めていた。

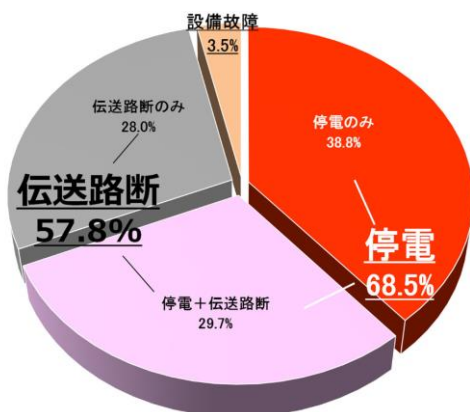


図1: 能登半島地震時の停波原因[1]

また、通信の復旧には時間がかかることがわかっており、2024 年の能登半島地震では、総務省によると[2]、災害発生後 1～3 日で復

旧活動が開始し 2 週間ほどで多くの地域で各通信キャリアの通信が復旧、完全な復旧には数か月の時間を要した(図2)。

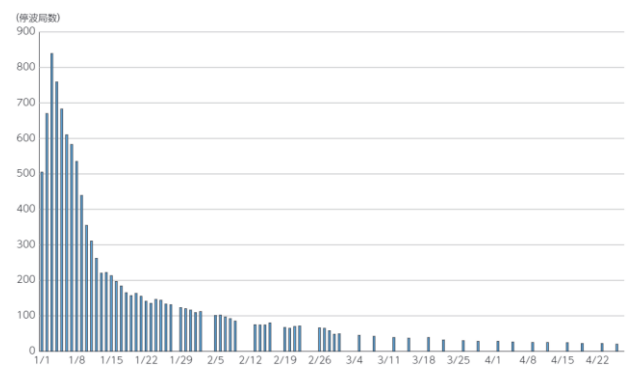


図2: 2024 年能登半島地震における携帯電話基地局の停波局数の推移[2]

1.2. 災害における「72 時間の壁」

災害時における人命救助のタイムリミットは 72 時間と言われており、発災から 72 時間、つまり 3 日を過ぎると生存率が著しく低下する。この「72 時間」の根拠は2つあり、1つ目は一般的に人間が水を飲まずに過ごせる限界が 72 時間であること、2つ目は阪神・淡路大震災でのデータである。国土交通省近畿地方整備局によると[3]、阪神・淡路大震災において、救出

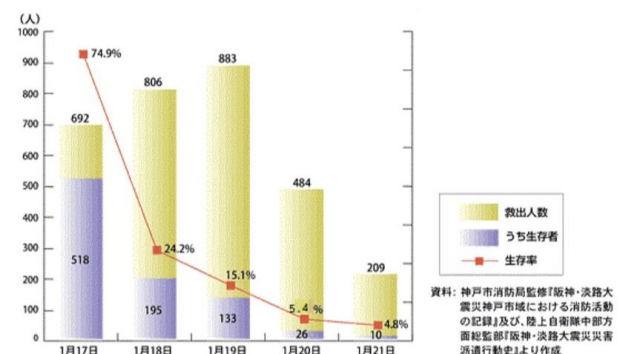


図3: 阪神・淡路大震災における救出者中の生存者の割合[3]

宇宙空間の通信衛星と直接電波を送受信して通信を行うアンテナを、自動車などで被災地に届けることによって通信を確保する。地上の基地局を直接使わず地上から遠く離れた衛星が電波を中継するため、災害などの影響を受けず緊急時の非常用連絡手段として有効な技術になっている。具体的には、NTT の可搬型アンテナ(図6)やスペース X の Starlink など

が存在する。NTT アクセスサービスシステム研究所によると、可搬型アンテナの設置に特殊なスキルなどは必要なく、15 分程度の時間で設営、回線開通作業を完了することが可能になっている[6]。



図6: 可搬型アンテナ[6]

1.4. 臨時通信技術の課題

1.3 節で紹介した臨時通信技術の課題として、孤立集落への通信の提供が難しいことが挙げられる。孤立集落への道は土砂崩れなどで寸断されている為、ドローンやアンテナを乗せた車が通れずこれらの装置を運び込むことができない。沿岸部であれば船上基地局が使えるが、孤立集落になる可能性が高い地域は土砂崩れ等が発生しやすい山間部に多く、船上基地局ではカバーできないことのほうが多い。既存の臨時通信技術では、孤立集落への対応に限界があると言える。

2. 目的

災害が発生し通信が断絶した時、いち早く通信を確保するために様々な臨時通信技術が存在するが、孤立集落への迅速な通信の提供が難しいという課題があった。そこで、孤立集落における迅速な通信インフラ復旧実現に向けた解決策の検討を行うことを本研究の目的とする。

3. 本研究の方針

孤立集落への迅速な通信の提供が難しい要因は、道路の寸断などにより通信用の機器

を運び込めないことにある。道路の復旧にも時間がかかり、これはどうすることもできない。そこで、届けるのが難しいのであれば、初めから臨時通信設備を孤立が予想される集落(孤立可能性集落)に準備しておけば、届ける必要もなく即座に通信を確保できるのではないかと考えた。本研究では、全国の孤立可能性集落数の推定を行い、既存技術の中から常備しておく臨時通信技術は何が最適か決定し、推定した集落各地に臨時通信技術を配備するコストや実用性をシミュレーションすることで、孤立集落での迅速な通信インフラ復旧実現の可能性を検討する。

4. モデル設定

4.1. 孤立可能性集落数の推定

内閣府によると、孤立可能性集落の定義は以下の通りである[7]。

- 集落へのすべてのアクセス道路(外部から集落まで四輪自動車でアクセスできる道路)の一部区間が、次のいずれかの区域に隣接している
 - ・土砂災害警戒区域
 - ・土砂災害特別警戒区域
 - ・土砂災害危険箇所(土石流危険渓流、地すべり危険箇所、急傾斜地崩壊危険箇所)
 - ・山地災害危険地区
- 地震または津波により船舶の停泊施設が使用不能となるおそれがある。

また、同資料[7]において平成 25 年度の孤立可能性集落数は 17,212 と予測されており(表 1)、本研究はこの平成 25 年度のデータに基づいてシミュレーションを行う。

表 1: 日本全国の孤立可能性集落数[7]

	平成 17 年度調査		平成 21 年度調査		平成 25 年度調査	
	集落数	割合 (%)	集落数	割合 (%)	集落数	割合 (%)
孤立可能性有り	17,451	29.7	17,406	29.2	17,212	29.3
孤立可能性無し	41,348	70.3	42,141	70.8	41,522	70.7
計	58,799	—	59,547	—	58,734	—

4.2. 集落に配備する技術の選定

1.3 節で紹介した臨時通信技術(ドローン、船上基地局、衛星通信アンテナ)を孤立可能性集落に配備するという観点から比較すると、大量に用意できることや場所をとらないこと、誰でも簡単に利用を始められることという点から衛星通信アンテナが適していると考えた。

衛星通信アンテナは商用化されていて複数のサービスがあるため、以下ではそれらを比較し集落への配備に適したものを検討する。また、衛星通信アンテナは電源を必要とするため、集落へ配備する際にセットでポータブル電源も用意することとし、そのポータブル電源の適切なスペックについても検討を行う。

4.2.1. 衛星通信アンテナの比較

表2: 衛星通信アンテナサービスの比較[8][9][10]より作成)

サービス名	Starlink ROAM	イリジウム	インマルサット
月額維持費 (円)	11,500(未使用時 0)	9,600/10,600	12,000(プラン S)
遅延	30~50 ミリ秒	~1 秒	~5 秒
対応通信データ量	下り 100Mbps	端末による	492kbps
	上り 25Mbps	(衛星電話)	

衛星通信の代表的なサービスとしては、Starlink、イリジウム、インマルサットの 3 つが挙げられる。衛星の軌道高度は大きく 2 つに分けられ、地上から 200km~1000km の範囲が「低軌道」、約 3 万 6000km 付近が「高軌道」と呼ばれる[11]。Starlink とイリジウムは低軌道衛星であり、一方インマルサットは高軌道衛星に分類される。利用料金は大体同じ価格帯だが、Starlink は他の 2 つのサービスの通信速度が数百 kbps であるのに対し、100Mbps の速度を維持できる。また、軌道高度が最も低いため、遅延も最小限に抑えられる。さらに、Starlink は約 200 台の端末に同時接続でき、ほとんどの孤立可能性集落は 500 人未満であるため(図 7)、Starlink 1 台でカバーすることが可能である。そのため、多数の衛星電話を購入する場合と比較して、高速のデータ通信ができ、その上コストの削減にもつながる。よって今回は、

Starlink が最適な技術であると判断し、シミュレーションに用いることとする。また、Starlink にはいくつかのサービスプランがあるが、容量が無制限なことや全国でサービスが提供中で移動中の利用が可能なこと、サービスの一時停止が可能で利用時以外は月額費が 0 円であることから「ROAM 無制限」プランが最適なプランであると判断し、これを採用する[12]。

表3: 集落の人口構成[7]

	平成 21 年度調査		平成 25 年度調査	
	集落数	割合 (%)	集落数	割合 (%)
25 人以下	2,311	13.3	2,994	17.4
26~50 人	2,547	14.6	2,859	16.6
51~100 人	3,303	19.0	3,152	18.3
101~250 人	2,931	16.8	2,748	16.0
251~500 人	838	4.8	714	4.1
501 人以上	302	1.7	269	1.6
不明	5,174	29.7	4,476	26.0

4.2.2. 電源について

Starlink の「ROAM 無制限」プランでは、標準フラットアンテナを使用する。ここで、Starlink の使用用途としては、災害用伝言板の利用や救助要請の連絡を想定しており、3 日間で 24 時間の稼働する見込みとする。Starlink の電力消費は約 75W で、24 時間稼働を想定すると 1800Wh の電力が必要となる。ポータブル電源は通常、放電深度 80% 程度であるため、1800Wh の電力が利用可能となるには 2250Wh の容量を持つポータブル電源が必要となる。よって、2000Wh~2500Wh ほどの容量を持つポータブル電源を用意することとする。2000Wh~2500Wh のポータブル電源の相場価格は約 25 万円と見積もられる。また、この価格帯のポータブル電源の想定使用期間は 10 年となっている。

5. 結果

以下では、これまでのモデル設定をもとに孤立可能性集落に Starlink とポータブル電源 1 セットを配備するコストのシミュレーションを行った結果を示す。その際に、すべての孤立可

能性集落ごとに Starlink とポータブル電源を1セット配備した場合と、南海トラフでの想定震度が5弱以上で、土砂災害の危険性がある22府県に含まれる孤立可能性集落に限定して1セット配備する場合の2ケースを扱った。

また、それらのセットを孤立可能性集落に配備することでの通信環境の影響結果についても評価した。

5.1.1. 全孤立可能性集落への配備

このケースでは、将来的に日本全地域において、災害時の通信インフラ途絶の課題を克服することを目標として、全孤立可能性集落を対象に計算を行った。

孤立可能性集落数は17,212件、Starlink設置費は55,000円、電源設置費は250,000円より、合計支出は5,249,660,000円となった。

5.1.2. 南海トラフでの想定震度が5弱以上の孤立可能性集落への配備

このケースでは、今後30年以内に発生する確率が70%から80%と予想されている大規模地震である南海トラフ地震を想定したものである。南海トラフ地震では、津波の被害はもちろん、揺れなどによる土砂災害も想定されている。それによって生じる孤立集落において通信インフラの復旧を目標として、気象庁のデータより、震度5以上が予想される地域を抽出し、その地域に含まれる孤立可能性集落を対象に計算を行った。

孤立可能性集落数は静岡県や高知県などを含む計22府県の10,739件である。また、Starlink設置費は55,000円、電源設置費は250,000円より、合計支出は3,275,395,000円となった。

5.2. 孤立可能性集落に与える通信性能面での影響

Starlinkのルーターは200台のデバイスが接続することが可能になっている。ここで、孤

立可能性集落における人口が500人以下となっているのが全集落の90%以下であるため、ほとんどの集落で全員が使える上に、人口が200人を超える集落では、自身の端末からStarlinkへの接続を交代で行えば十分である。また、今回のStarlink「ROAM無制限」プランは通信量無制限なため、通信面では十分である。災害用伝言板(web171)や救助要請の用途以外に、写真や動画などで被災状況をより詳細に外部に伝えることも可能である。以上のように、孤立可能性集落ごとにStarlink1台でも十分な通信環境を構築することができる。この通信環境は被災地における人命救助に大きな貢献をすることが予想される。

6. 考察

日本全地域の孤立可能性集落にStarlink・電源1セットを配備すると約52億円、南海トラフでの被害が大きくなると予想される地域に絞っても約33億円という結果になった。しかし、日本の2024年度、防災・減災費を含む公共事業関係費は60,828億円であり[13]、52億円は0.085%、33億円は0.053%に当たる。近年、サイバーリスクの脅威が増大しており、警察庁の2025年度予算概算要求[14]では、サイバー対策の項目が2024年度より10億円増加し、約59億円となった。これは本研究の予算概要と同規模である。南海トラフ巨大地震の30年以内の発生可能性も非常に高いとされていて、サイバーリスクの脅威と同等の対策が必要であると言える。初期費用は大きいものの、その後の災害救助費などの義務的経費が減少すると予想される。よって、国の予算から考えると、この施策は充分実現可能であると言える。

7. 結論

本研究では、災害時の孤立集落における迅速な通信インフラ復旧実現に向けた解決策の検討を目的に、日本全国の孤立可能性集落

へ Starlink・ポータブル電源を配備するシミュレーションを行い、コストや性能面の影響を評価した。結果としては、

- Starlink・電源 1 セットを全国の孤立可能性集落に配備する場合、初期費用として約 52 億円がかかること
- 南海トラフでの被害が大きくなると予想される地域の集落に絞った場合約 33 億円がかかること
- 孤立可能性集落ごとに Starlink1 台でも十分な通信環境の構築が可能で、被災地における人命救助に大きく貢献出来ること

がわかった。そしてこれらは、日本の 2024 年度における防災・減災費を含む公共事業関係費の 1%にも満たず、十分実現は可能であると言える。今後の課題としては、孤立可能性集落の定義をより厳密にし、より正確な集落数を算出してシミュレーションすることや、Starlink 以外の技術でもシミュレーションを行い比較することで、最適な技術を判断する必要があることが挙げられる。

参考文献

- [1]総務省。「令和6年能登半島地震に対する取組と今後の課題」,
https://www.soumu.go.jp/main_content/000960879.pdf(閲覧日:2024/10/10)
- [2]総務省。「令和6年版情報通信白書 第I部 特集① 令和6年能登半島地震における情報通信の状況, 第2節 通信、放送、郵便等の状況, (2) 移動通信(携帯電話等)」,
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r06/html/nd112120.html>(閲覧日:2024/10/10)
- [3]国土交通省近畿地方整備局。「第1章 死者を減らすために」,
<https://www.kkr.mlit.go.jp/plan/daishinsai/1.html>(閲覧日:2024/10/10)
- [4]SoftBank。「災害時にサービスエリアを迅速に復旧するための有線給電ドローン無線中継システムの運用を開始」,
https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2022/20220722_01/(閲覧日:2024/10/10)
- [5]NTTドコモ。「ドコモの能登半島地震での取組み① -船上基地局篇-」,
<https://www.docomo.ne.jp/corporate/anat/atodocomo/docomoeveryday/article31/>(閲覧日:2024/10/10)
- [6]NTT アクセスサービスシステム研究所。「1. 可搬型アンテナ」,
<https://www.rd.ntt/as/times/068/02/01.html>(閲覧日:2024/10/10)
- [7]内閣府。「中山間地等の集落散在地域における孤立集落発生の可能性に関する状況フォローアップ調査」,
<https://www.bousai.go.jp/jishin/chihou/pdf/20141022-koritsuhoukokusyo.pdf>(閲覧日:2024/10/10)
- [8]Starlink. <https://www.Starlink.com/jp>(閲覧日:2024/10/10)
- [9]イリジウム.
<https://biz.kddi.com/service/iridium/>(閲覧日:2024/10/10)
- [10]インマルサット.
<https://biz.kddi.com/service/inmarsat/>(閲覧日:2024/10/10)
- [11]JAXA。「よくあるご質問」,
<https://humans-in-space.jaxa.jp/faq/detail/000680.html>(閲覧日:2024/10/10)
- [12]Starlink。「ROAM - Starlink」,
<https://www.starlink.com/jp/roam>
- [13]財務省。「令和6年度国土交通省・公共事業関係予算のポイント」,
https://www.mof.go.jp/policy/budget/budger_workflow/budget/fy2024/seifuan2024/18.pdf(閲覧日:2024/10/10)
- [14]警察庁。「令和7年度予算概算要求の概要」,
<https://www.npa.go.jp/policies/budget/r7/gaisanyokyu/r7tousyoyosan.pdf>(閲覧日:2024/10/10)