

# 移動中継ノードを利用した災害支援用 DTN の提案

## Proposal of Disaster Assistance for DTN using Mobile Relay Node

多氣 真之輔† Shinnosuke Taki  
 小坂 隆浩‡ Takahiro koita

### 1. 背景

現代では通信環境が発達し、多くの場所でネットワークに接続することができる。しかし、大規模災害などが発生した際、電話回線や携帯電話の電波塔、無線 LAN の基地局が破壊されたり、救助や安否確認の連絡で通信の輻輳が発生したりする等で災害地域では外部からの通信が行えなくなってしまう。東日本大震災時の通信手段別利用可能の状況を図 1 に示す[1]。震災時は、固定電話・インターネットメール・携帯電話・携帯メールといった主要な通信手段は 50% から 80% が利用不可能となっており、外部との連絡手段が非常に限られてしまっている。

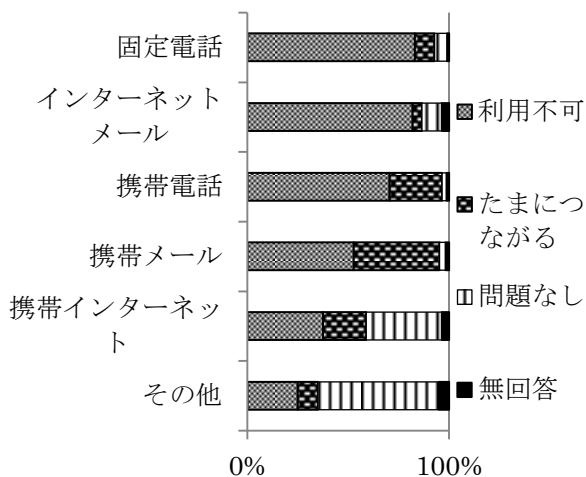


図 1 通信手段別利用可能の状況 [1]

このような状況では救助隊員なども情報を共有することが難しくなる。基地局などのアクセスポイントを使用しない通信として、アドホックネットワークが存在するが常に接続を確立しておく必要があり、端末の移動などによる通信の断絶に弱く、限られた範囲内でのネットワークを構築できない。そこで、継続的な通信を確立できない環境でも通信を行う技術として DTN(Delay Tolerant Networking) が提案されている。DTN は通信遅延、断絶に強いネットワークという特長を持つ。

DTN では、ノードという移動端末がメッセージを保持している。メッセージを持ったノードが別のノードと出会った際に、持っていたメッセージをコピーする。メッセージを受け取ったノードは、また別のノードと出会った際にメッセージをコピーする。ノードが移動しながら、他のノードにコピーを作成していくことで通信インフラの存在しない環境においても遠距離までメッセージを転送することが可能となる。ノードには様々なものが使われており人間を

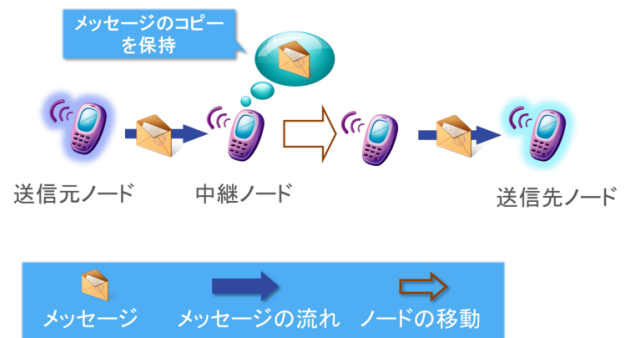


図 2 DTN の概要

ノードとしたものや動物の群れの中の個体を一つのノードとしたものもある。図 2 に DTN の概要を示す。

基地局を必要とせず、簡易にネットワークを構築できることから、DTN は災害支援において有用である。通信が断絶した環境下であっても、DTN を利用することで通信可能な地域までデータを運ぶことが可能である。災害地における安否確認や、救助者の捜索にも利用可能である。また、大規模な設備を必要とせず、スマートフォン端末などのノードにシステムを導入するだけで機能するため、導入コストが低いというメリットも存在する。災害地において DTN は主に二種類の利用が考えられる。一つ目はすでに救助された人間同士での通信を確立することである。二つ目はまだ救助されていない人間の位置を救助隊に知らせることである。

### 2. 災害地での利用と DTN の問題点

DTN ではフラッディングメッセージ問題というものがある。例えば、DTN では Epidemic Routing[2]と呼ばれる出会ったノード全てにデータをコピーする通信方式を用いる場合が多い。Epidemic Routing の概要を図 3 に示す。

DTN に Epidemic Routing を用いた場合、他の通信方式と比べ、送信元のノードから送信先のノードにメッセージが到達するまでの時間は短い。送信先ノードに到達しなかったメッセージのコピーはいつまでもノードのストレージを圧迫するという問題が発生する。この送信先ノードに到達しなかった無駄なメッセージがフラッディングメッセージである。フラッディングメッセージの削減に関しては移動履歴に基づく中継転送方式[3]や Potential-based DTN Routing System[4]、セクション移動パターンを利用したフラッディングメッセージの削減[5]などが提案されている。

DTN にはフラッディングメッセージ以外にも大きな問題が存在する。DTN ではノード自身が別のノードに出会う頻度や回数は未知であり、最終的にメッセージを送信したいノードにメッセージが到達している保証はない。ノード間の距離が大きい場合 DTN による通信を行うことは困難であり、到達時間が大きく増加するという問題が発生する。災害地で利用するためには、メッセージの到達時間は極め

†同志社大学大学院理工学研究科情報工学専攻 Doshisha Graduate School of Science and Engineering

‡同志社大学理工学部情報システムデザイン学科 Doshisha University Faculty of Science and Engineering

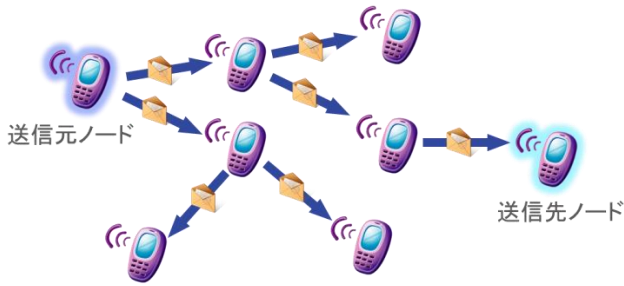


図3 Epidemic Routing

て重要である。被災者の捜索は勿論の事、安否確認も迅速に行われる必要がある。そのため、災害支援においてDTNを導入するにあたりメッセージの到達時間を短縮することが重要となる。

### 3. 研究目的とアプローチ

本研究では被災地において、ノード間の距離が大きい場合でもメッセージ到達時間が低下しないDTNの構築を目的とする。距離の問題の解決のためには空いた距離を何らかの方法で補う必要がある。本研究では、通常の移動とは異なった移動を行う移動中継ノードという特殊なノードの導入を提案する。移動中継ノードは、ウェイポイントと呼ばれる特定の地点を巡回するノードである。このノードは、現実ではバスや電車、災害時ならば人員・物資を輸送する車両といったものに当てはめられる。移動中継ノードの導入によってノード間の距離が離れていた場合においても、到達時間の短縮を図ることが可能である。

1章で述べた、救助された人間同士の通信の確立にDTNを利用する場合、移動中継ノードは避難所や仮設の通信施設等を巡回するルートが予め確立しておき、輸送車両などを移動中継ノードとすればよいと考えられる。もう一つの救助されていない人間の位置の把握にDTNを使用する場合、災害救助においては72時間の壁と言われるように短時間での救助が必須となる。そのため、より到達時間を優先させるべきである。地域全てをカバーできるような移動中継ノードの移動パターンが求められる。この際の移動中継ノードは広範囲をカバーする必要がある、なおかつ救助隊への迅速な連絡が必須となる。そのため、各移動中継ノードを救助隊の位置から四方に展開し、救助者の捜索を行うような形が考えられる。この利用法の場合、移動中継ノードは小型の航空機(UAV)などに通信装置を積むといったことが考えられる。

### 4. シミュレーション

災害地におけるDTN構築で移動中継ノードを導入した際に、効率の良いメッセージ転送のためにはどのようにルートを構築すべきであるかについてシミュレーションにより検討する。

ノードがランダムに分布している環境下での移動中継ノードの有用性を検証する。既存のEpidemic Routingに移動中継ノードを導入したシミュレーションを行った。シミュレーションのモデルを表1に示す。シミュレーションモデルはEpidemic Routingを基本としセクション移動パターンと転送不許可ノードリストを利用したルーティングによる改良とライフタイムによる改良[6]を加えたルーティングを使用する。このモデルに提案手法に必要な移動中継ノード

表1 シミュレーションモデル

エリアの大きさ[m]	1000×1000
ノードの総数	50
ノードの移動速度[m/s]	2.6
通信範囲[m]	100

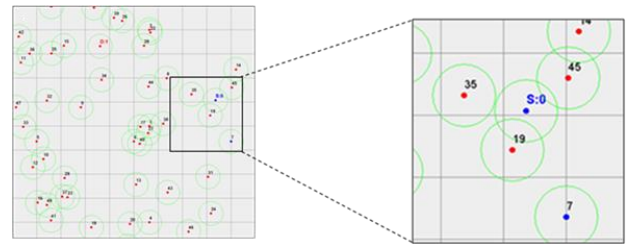


図4 DTNシミュレーション

を加えた形でシミュレーションを行う。シミュレーションは1km<sup>2</sup>に救助隊員などが50人派遣され情報の伝達が必要な場合を想定した。シミュレーションの一部を図4に示す。

図4中の点がノードを表している。ノードの周囲の円はノードの通信範囲であり、他のノードの通信範囲と接触すると通信が行われる。メッセージを持っていないノードは赤点、メッセージをもっているノードは青点になっており、判別することが可能である。50個のノードにはそれぞれ0から49までのユニークなIDが振られておりそれぞれ識別が可能となっている。移動中継ノードは以下の2種類を用意した。

- ・移動パターン1：6つのノードが直線状に配置された2点のウェイポイントを往復する。ウェイポイントはノードごとに異なる。
- ・移動パターン2：6つのノードが9点のウェイポイントを巡回するウェイポイントパターン2。ウェイポイントは全てのノードで共通のものを使用する。

なお、中継ノード以外のノードはHomesick Levy Walk[7]に従って移動する。移動中継ノード実装の評価は移動中継ノードを実装した場合としない場合の比較を行う。シミュレーションでは以下の通信方式を比較する。

- ・移動中継ノードを実装しない既存方式
- ・移動パターン1を導入した通信方式1
- ・移動パターン2を導入した通信方式2

各通信方式の移動中継ノードの数と移動範囲を表2に示す。カバー範囲は移動中継ノードの移動によって通信が可能な範囲のことである。これらの通信方式においてメッセージ到達までの時間および、フラッドメッセージを比較する。

表2 各通信方式の移動中継ノード

	既存方式	通信方式1	通信方式2
移動中継ノード数	なし	6個	6個
移動中継ノードの1つあたりのカバー範囲	なし	80000 m <sup>2</sup>	331200 m <sup>2</sup>

## 5. 評価と考察

シミュレーションの結果を図5, 図6に示す。図5が示すように、移動中継ノードの導入によってメッセージ到達時間は通信方式1で35%, 通信方式2で62%短縮された。フラディングメッセージは通信方式1で140%, 通信方式2で195%増加する結果となった。

既存方式では通信の制限が行われており、今回使用したHomesick Levy Walkが長距離の移動を行いにくい方式である。そのため、ランダム分布によって孤立したノードが発生した際にメッセージが到達しづらかった。しかし、提案手法によって移動中継ノードがメッセージを所持したまま広い範囲をカバーするようになり、結果メッセージ到達時間が短くなった。通信方式1と通信方式2では通信方式2のほうが1つのノードでカバーするエリアが広いので、より短い時間でメッセージが到達した。

一方でフラディングメッセージ数は既存方式と比較して大きく増加している。通信方式2では移動中継ノードによってより広い範囲をカバーするようになったものの、その分余計なノードにまでメッセージを送信してしまっているためである。移動中継ノードが広い範囲をカバーするということは、一般の中継ノードよりもより多くのノードに出会うということである。そのため、メッセージを送信するノードが増加するのは必然である。通信方式1と通信方式2では前述の通り通信方式2のほうが1ノードのカバー範囲が広いのでより多くのノードと通信を行ってしまい、結果的にフラディングメッセージの増加につながったものであると考えられる。

シミュレーションより、ノードの移動範囲が大きいほど到達時間は短縮され、フラディングメッセージは増大することが分かる。通信方式1と通信方式2では1ノードあたりのカバー範囲が約4倍である。通信方式1と通信方式2の大きな違いとしてマップ全体で移動中継ノードが一樣に分布しているか偏りがあるかと言うものがある。通信方式1では初期位置を北端、もしくは西端にしていたため、移動中継ノードに偏りが発生していた。一方通信方式2では偏ることは少なく、ほぼ全体に移動中継ノードが存在していたため、メッセージ到達は早まったと考えられる。

フラディングメッセージはDTNにおける解決すべき問題ではあるが、現実の災害地においては多少のフラディングメッセージを無視してでも到達時間を優先させるべきである。移動中継ノードの実装で到達時間が短縮されるため、災害地のDTNで移動中継ノードは有用であると考えられる。

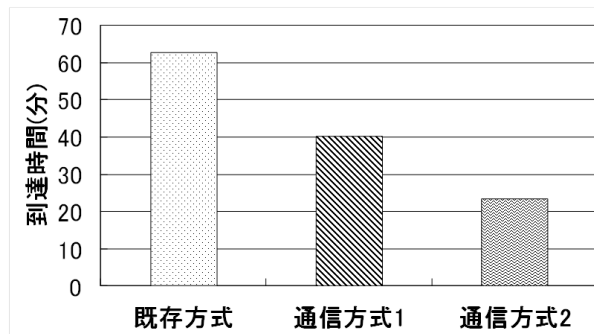


図5 メッセージ到達時間

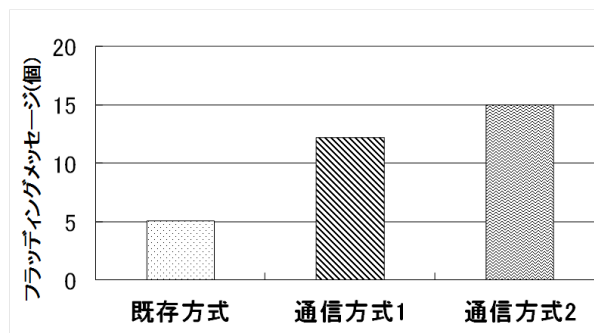


図6 フラディングメッセージ

## 6. まとめ

通信インフラが普及しても通信インフラが破壊され、通信が困難となったときのためにDTNが考案されている。DTNの距離の問題を解決するために移動中継ノードを導入し、フラディングメッセージの削減とメッセージ到達時間の短縮を図った。また、移動中継ノードを導入するに当たってはウェイポイントや通信方式の選定によってフラディングメッセージや到達時間をある程度制御することが可能であることを示した。多少のフラディングは許容するが到達時間を短縮したい場合や、その逆の場合など状況に応じて移動中継ノードを調整することで汎用性の高いDTNが構築可能である。今後は、岩手県石巻市の地図をベースに移動中継ノードを導入し、性能を評価、新しい移動パターンの検討、導入、評価を目指す。

## 参考文献

- [1] 総務省, 災害時における情報通信の在り方に関する調査結果, 2012.  
[http://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01tsushin02\\_02000036.html](http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01tsushin02_02000036.html)
- [2] A. Demers, D. Greene, C. Houser, W. Irish, J. Larson, S. Shenker, H. Sturgis, D. Swinehart, and D. Terry, "Epidemic algorithms for replicated database maintenance," SIGOPS Operating Systems Review, vol. 22, pp. 8-32, 1988.
- [3] 小野司郎, 藤原明広, 巳波弘佳: 劣通信環境におけるノードの移動特性を考慮した中継転送方式, 電子情報通信学会技術研究報告IN, 情報ネットワーク110(449), pp.145-150, 2011.
- [4] 下忠健一: Potential-based DTN Routing System の評価と改善, 東京大学大学院情報理工学系研究科電子情報学専攻修士論文, 2010.

- [5] 新庄泰太 : DTN におけるフラッティングメッセージ抑制のためのルーティング手法, 同志社大学工学部情報システムデザイン学科卒業論文, 2011.
- [6] S.Farrell, V.Cahill, D.Geraghty, I.Humphreys, and P.McDonald : When TCP breaks: Delay and disruption tolerant networking, IEEE Internet Comput., vol.10, no.4, pp.72-78, 2006.
- [7] 藤原明広, 巳波弘佳 : Bluetooth&Wi-Fi モバイル無線通信実験とすれ違い頻度分布の冪乗則 : 一期一会の影響, 電子情報通信学会技術研究報告 IN, 情報ネットワーク 110(449), pp.145-150, 2011.