

# 災害時における帯域情報を利用した輻輳抑制手法の検討

小林 裕樹<sup>1,a)</sup> 西山 潤<sup>1,b)</sup> 重野 寛<sup>1,c)</sup>

**概要:** 現在, 災害時における様々なアプリケーションが運用・開発されている。救命情報共有システムは, その一つである。本システムでは, 要救助者に関する情報の収集, 提供を通じて, 救命隊が出動予定地の意思決定の支援を行う。災害時は, 使用可能な帯域が小さいことに加え, 通信要求が多い。そのため, 使用可能な帯域が少ない回線へ情報を送信し続けると, 回線の輻輳が発生し, 情報の遅延や損失が生じる。そこで本稿では, 本システムにおける, 中継器と Gateway スイッチ間の無線回線に焦点を当て, 被災地情報の伝送速度調整による輻輳抑制手法を提案する。本稿では, 提案手法のプロトタイプシステムの実装を行い, 被災地情報の伝送速度調整および複数無線回線への負荷分散, また, 各回線の使用率から回線の輻輳を抑制可能なことを確認した。

## 1. はじめに

災害発生時では, 被災地に関する情報の遅延や損失の抑制が課題として挙げられる。情報が正確に伝送されない場合, 災害対策の遅れへとつながる恐れがある。現状では, 要救助者に関する情報は口頭で伝達されるため, 救命隊と本部, もしくは救命隊間で正確な情報共有に課題があると考えられる。その結果, 救助活動の遅れを招き救命率の低下へとつながってしまう。東日本大震災においては, 要救助者に関する情報の迅速な共有ができず, 救命隊による被災者の救助が遅れたということが報告されている [1]。そこで現在, 災害時における様々なアプリケーションが運用・開発されている。例えば, 救命情報共有システム [2][3][4] はその一つである。本システムの目的は要救助者に関する情報の収集や提供を行い, 救命隊が行う救助活動を支援することである。本システムにより提供された情報は, 救命隊が出動予定地の意思決定を行う際の助けとなる。

災害時において, ネットワークが不安定なことを考慮すると, ネットワーク経由で被災地の情報を収集することは困難なことが想定される。そこで, 本システムでは公共車両に搭載される中継器が, 臨時の基地局となる。そして, 周辺端末から要救助者に関する情報を収集し, メインサーバへ送信する役割を担う。このメインサーバは, 各地からの被災地情報を蓄積する。本システムの特徴として, OpenFlow [5] による経路制御が挙げられる。OpenFlow を

用いることで, 従来の IP ネットワークとは異なり, 複数のレイヤーに関連する条件を用いたルーティングが可能となる。本システムでは, 情報を蓄積するメインサーバ側の有線ネットワークの制御および中継器と Gateway スイッチ間の無線回線の制御に OpenFlow が利用される。この Gateway スイッチは有線ネットワークの入り口である。中継器は周辺端末から収集した被災地情報を各無線回線を通じて Gateway スイッチへ送信する。また, 情報の損失を抑制するため, 公共車両に車載コントローラと中間サーバが導入されている。全回線が切断した場合, 車載コントローラが中継器の制御を行い, 端末からの被災地情報を中間サーバで蓄積することにより, 情報の損失を防ぐ。

災害時には, 使用可能な帯域が少なく, 通常時と比較し, 通信要求が多い。そのため, 帯域が減少した回線に被災地情報を送信すると, 回線の輻輳発生回数が増加する。そのため, 被災地情報の効率的な伝送には無線回線への伝送速度, また複数回線の有効活用が被災地情報の伝送に必要である。

そこで, 本稿では, 中継器と Gateway スイッチ間の無線区間に焦点を当て, OpenFlow によるトラフィック測定を用いた輻輳抑制手法を提案する。具体的な手法は以下の2つの機能から成る。

- 被災地情報の伝送速度調整
- 複数回線への被災地情報の負荷分散

端末からメインサーバへの伝送に関して, 被災地情報の遅延や損失を抑制するためには, 中継器と Gateway スイッチ間の無線回線の余剰帯域を考慮した被災地情報の伝送速度調整が必要と考えられる。この余剰帯域とは, あらかじめ

<sup>1</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Technology, Keio University  
a) kobayashi@mos.ics.keio.ac.jp  
b) nishiyama@mos.ics.keio.ac.jp  
c) shigeno@mos.ics.keio.ac.jp

決めた回線の設定値から一定期間ごとの回線の使用量との差分で表せられる。災害発生時、一度に大量の情報を中継器が受信した場合、処理しきれなくなることが考えられる。したがって、端末から中継器に届いた被災地情報は、中間サーバに転送することとする。この時、Gateway スイッチでは各回線の帯域状況を測定しており、一定間隔で車載コントローラへ通知し、余剰帯域の算出を行う。この余剰帯域をもとに伝送速度を決定し、中間サーバから被災地情報を中継器へ向け送信する。その後、中継器は各無線回線へ情報の負荷分散を行う。今回は、OpenFlow スイッチの機能であるグループテーブルを利用する。この機能により、各回線へ重み付けした情報の伝送が可能となる。以上の機能により提案手法では、被災地情報送信時における各無線回線の輻輳抑制が可能になると考える。本稿では、救命情報共有システムのプロトタイプを実装し、動作確認と評価を行うことで、本提案の有用性を確認する。

本稿では、2章で救命情報共有システムの概要と OpenFlow ネットワークについて述べ、本システムにおける問題点を抽出する。3章では、提案手法について述べる。4章では、提案手法のプロトタイプ実装と動作確認について述べる。5章では本稿の結論を述べる。

## 2. 関連研究

本章では、救命情報共有システムの概要を説明する。その後、被災地情報の利用および現状の救命情報共有システムの問題点について述べる。

### 2.1 救命情報共有システムの目的

救命情報共有システムの目的は、災害時において、要救助者に関する情報の収集や提供を行い、救命隊の出動予定地に関する意思決定を支援することである。災害発生時には、災害医療派遣チーム、DMAT (Disaster Medical Assistance Team) [6] が被災地に派遣される。DMAT とは、大規模災害発生時に活動できる機動性をもつ専門的な訓練を受けた医療チームである。しかし、DMAT は要救助者に関する正確な場所をはじめ、実際に被災している人の数、状況などの救助に必要な情報の入手に課題があると考えられている。そのため、要救助者に関する情報を収集することから活動しなければならないのが現状である。

そこで、要救助者に関する情報の収集を行うシステムを開発することで、DMAT の意思決定を支援する。本システムの導入により、被災地到着から迅速に救命活動へ移行し、その結果これまでよりも多くの被災者の救助が行えると考えられている。

現在、DMAT は METHANE[7] と呼ばれる情報共有用のフレームワークを用いて、情報の伝達を行う。表 1 に METHANE の構造、そして、電子化した METHANE 情報の例を図 1 に示す。METHANE 情報には、要救助者の

表 1 情報共有用フレームワーク：METHANE

	名称	内容
M	Major of incident	大規模災害発令
E	Exact location	要救命者の存在場所
T	Type of incident	救出方法や医療処置の必要性
H	Hazard	現在/今後発生する危険
A	Access to scene	災害発生場所への到達経路
N	Number of casualties	要救命者の数
E	Emergency services	救出/救命に必要な装備



図 1 電子版 METHANE

位置情報や 2 次災害の有無、救命に必要な装備などの情報が含まれている。このフレームワークは NATO 軍により開発されたもので、世界中で用いられている。

現状、METHANE 情報は口頭で伝達されているため、救命隊と本部、もしくは救命隊間で効率的な情報共有に課題があると考えられる [8]。そこで、救命情報共有システムでは、METHANE 情報の電子化を行い、ネットワークを用いてその収集、提供を行う。

### 2.2 救命情報共有システムの概要

救命情報共有システムにおける全体図を図 2 に示す。災害時には、通信インフラが重大な被害を受ける。そこで、本システムでは、被災地区での通信を考慮して、公共車両に中継器を搭載している。公衆回線が使用できない地域において、中継器は臨時的基地局として、その周辺端末から被災地情報を受信し、メインサーバへその情報を送信する。被災地情報の宛先であるメインサーバは有線ネットワークに接続している。この有線ネットワークは、メインサーバの他にも、関連機関の機器などに接続されているネットワークである。Gateway スイッチは、この有線ネットワークの入り口にあたる。Gateway スイッチは各地から無線回線を利用して送信された被災地情報を受信し、有線回線を

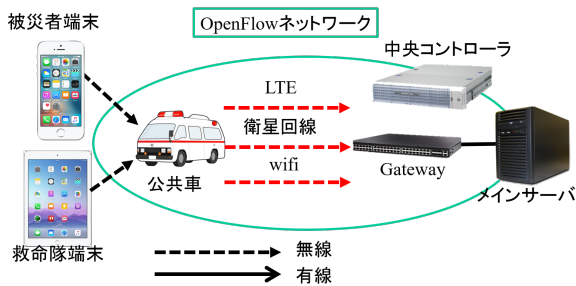


図 2 救命情報共有システムの全体図

介してメインサーバへ送信する。また、メインサーバで蓄積している情報は救命隊だけでなく、警察や地方自治体などの関連機関からも閲覧可能である。これにより、組織を超えた情報の共有が実現できる。したがって、本システムでは各機関の災害対応を支援することにもつながる。中継器と Gateway スイッチ間での通信では、複数の無線回線が使用可能である。その例として LTE や無線 LAN、衛星回線等が挙げられる。本システムでは、このような不安定なネットワークの下、この複数無線回線に対して OpenFlow による制御が行われる。これは OpenFlow が集中型制御を行うため、災害時において、回線状況が頻繁に変化するネットワークの制御に適すると考えられるからである。具体的には、OpenFlow コントローラがデータ転送に使用する経路情報を算出する。本システムの有線ネットワークおよび中継器と Gateway スイッチ間の無線区間を制御する OpenFlow コントローラを中央コントローラと呼ぶ。通常、OpenFlow において OpenFlow チャンネルはデータが流れるチャンネルとは別々に設置することが望ましい [9] が、災害時のような資源が極端に少ない環境では、回線の有効利用の観点からデータ通信チャンネル内に OpenFlow チャンネルを構築するのが有用であると考えられる。そのため救命情報共有システムでは、OpenFlow チャンネルをデータ通信チャンネル内に構築している。OpenFlow チャンネルをデータ通信チャンネル内に構築する上での課題として、データ通信チャンネルの状況によっては、制御用通信に影響が出ることが考えられる。したがって、中央コントローラによる中継器の制御に関しては、中継器と Gateway スイッチ間の無線回線状況に依存する。

本システムにおいて、要救助者に関する情報は、被災者や救命隊によって発信される。情報の正確さを保証するため、被災者は、位置情報のみの発信を許可されている。一方、救命隊は、自身が所持する端末から、METHANE のフレームワークに対応した情報の発信が可能である。

### 2.3 救命情報共有システムの問題点

前述した通り、中継器と Gateway スイッチ間の無線回線は複数存在する。したがって、各無線回線に被災地情報を送信できる。しかし、災害時におけるネットワーク状況

を考慮すると、各回線で使用可能な帯域が少なく、また回線ごとにその量は異なることが想定される。したがって、端末から収集した被災地情報を中継器から対策をせずに各回線へ送信した場合、回線によってはその情報量により回線の帯域を圧迫し、輻輳を招く恐れがある。そのため、輻輳を防ぎながら各回線を最大限活用することが求められる。しかし、送信した被災地情報によっては、再送による遅延や損失が発生する。被災地情報の遅延や損失は救助活動の妨げになるため、各無線回線へ適切な被災地情報の送信を行う必要がある。ここで、中継器で収集した情報をそのまま各回線へ送信する場合、その伝送速度調整は困難なことが見込まれる。中継器は、通常 OpenFlow スイッチとして機能し、各回線の帯域制御は可能である。しかし、一度に大量の被災地情報が中継器へ流れ込んできた際に、処理しきれず、回線によっては輻輳が発生しやすくなる。そこで、被災地情報の遅延や損失を抑制する手法が必要だと考えられる。

## 3. 提案

本章では、中継器と Gateway スイッチ間の無線回線に焦点を当てた、被災地情報の伝送速度調整による輻輳抑制手法を提案する。本提案では主に、余剰帯域を考慮した被災地情報の伝送速度調整およびその各回線への負荷分散の 2 点からなる。

### 3.1 提案の概要

提案では、救命情報共有システムにおいて、帯域状況を考慮して抑制する手法を実施する。被災地情報の伝送速度調整を容易にするために、中継器で受信した被災地情報を一旦中間サーバへ蓄積し、そこで伝送速度調整を行うこととする。速度調整は、各回線の余剰帯域を基に算出を行う仕組みとする。また、伝送速度調整を実施し、中間サーバから中継器へ被災地情報を送信する。送信後は、各無線回線の帯域状況に応じて、中継器から各無線回線へ被災地情報の負荷分散を行う。今回の提案では、OpenFlow スイッチの機能であるグループテーブルの機能により各回線に重み付けをすることによって負荷分散を行う仕組みとなる。

### 3.2 被災地情報の伝送速度調整

#### 3.2.1 中間サーバにおける被災地情報の伝送速度調整

端末から送られてきた被災地情報は中継器に届く。中継器において、中間サーバへとその情報を送信するためには、OpenFlow の Match フィールドによって制御を行う。ここで、端末から中継器へ届く被災地情報の宛先アドレスがメインサーバとなっているため、中継器では一時的に宛先アドレスを書き換えて中間サーバへ送信する必要がある。この様子を図 3 に示す。

中継器と Gateway スイッチ間において複数の無線回線が

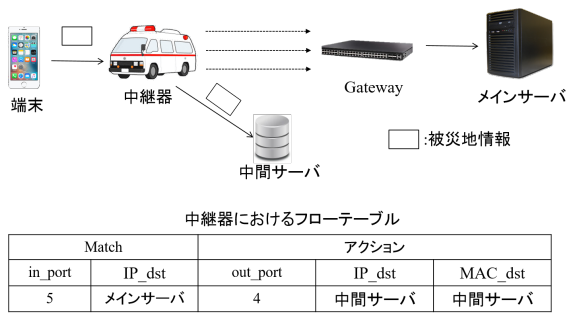


図 3 中間サーバの被災地情報の受信

存在する。各回線ごとに使用可能な帯域は異なり、通常時と比較してその量は極めて少ないことが想定される。伝送速度調整を行わない場合回線に応じて帯域の圧迫が生じ被災地情報の遅延や損失を招く恐れがある。したがって、使用可能な帯域に応じて、被災地情報を効率的に各回線へ送信する必要がある。そこで、余剰帯域と呼ばれるパラメータを導入する。このパラメータはあらかじめ決めた回線の設定値と一定期間ごとの回線の使用量の差分である。車載コントローラが Gateway スイッチに対し回線使用量を測定し、一定間隔で更新するように指示する。その後、得られた帯域情報をもとに車載コントローラで各回線の余剰帯域を算出し、中継器および中間サーバへその情報を通知する。なお、中継器から中間サーバへの帯域情報の伝送には UDP パケットを用いることとする。これは TCP よりもリアルタイム性において優れているからである。各無線回線の帯域状況は頻繁に変化するため、被災地情報の伝送速度調整をする中間サーバに迅速に帯域状況を通知する必要がある。具体的な余剰帯域算出および中間サーバへの通知までの流れを以下に示し、その様子を図 4 に示すこととする。

- (1) Gateway スイッチによる各回線の帯域測定
- (2) 車載コントローラへ各回線の帯域を通知
- (3) 車載コントローラが余剰帯域を算出し、中継器に通知
- (4) 中継器は中間サーバへ余剰帯域情報を通知
- (5) 中間サーバが余剰帯域情報をもとに伝送速度算出

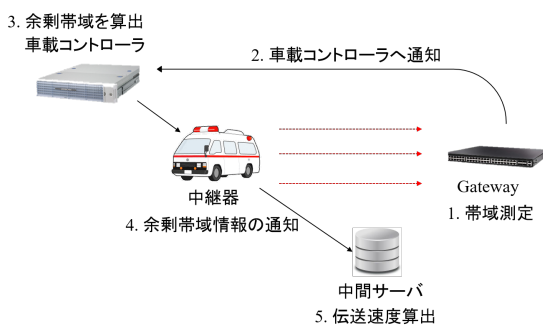


図 4 中間サーバが余剰帯域情報を受信するまでの流れ

中継器で余剰帯域情報を受信した後、中間サーバではその情報に即して被災地情報の伝送速度を決定する。各回線

において余剰帯域が異なるが、ここでは各回線の余剰帯域の合計値で伝送を行う。具体的には、伝送する被災地情報量を  $M$ 、回線数を  $n$ 、各回線の余剰帯域を  $S$  とすると、式 1 で示される。

$$r = \sum_{i=1}^n S_i / M \quad (1)$$

なお、本提案では、伝送速度調整を行わない場合を比較対象とする。比較対象では、端末からの届いた被災地情報を中継器は中間サーバへ送信しない。受信した被災地情報は、Gateway スイッチへ向け、各回線へ均等に情報を送信することとする。

### 3.3 被災地情報の負荷分散

#### 3.3.1 余剰帯域を考慮した負荷分散

今回の提案では、中間サーバから伝送速度を考慮して中継器に届いた被災地情報を、各無線回線へ伝送する場合、OpenFlow スイッチにグループテーブルの機能を適用することにより被災地情報の各回線への負荷分散が行われる。グループテーブルはフローテーブルとは異なり、一つのテーブルで複数のポートに対し処理を指定できる。このため、グループテーブルのタイプを設定することにより、OpenFlow コントローラへ毎回問い合わせなくても複数経路の実現やマルチキャストなどが実現可能となる。今回、select タイプをグループテーブルに設定した。この機能は、グループとして定義されているポートに重み付けを設定することにより、OpenFlow スイッチの各ポートから出力する情報量に重み付けをすることが可能となる。この重み付けに各回線の余剰帯域を反映することによって回線の混雑具合に合わせた回線の負荷分散が可能となる。したがって、回線の帯域を圧迫することなく Gateway スイッチへの伝送を実現する。ここで無線回線が 3 本の場合の各回線の余剰帯域を考慮した中継器のグループテーブルの例を図 5 に示す。図 5 では、各回線の余剰帯域が異なるため、回線の負荷を考慮してそれらの値を中継器のグループテーブルの weight に反映した様子を示している。

中継器におけるグループテーブル			各回線の状態			
タイプ	アクション	weight	回線番号	理論値 [Mbps]	使用帯域 [Mbps]	余剰帯域 [Mbps]
select	回線1	10	①	100	90	10
	回線2	20	②	100	80	20
	回線3	30	③	100	70	30

図 5 中継器におけるグループテーブル

#### 3.3.2 回線切断時の挙動

中継器と Gateway スイッチ間の回線が切断してしまった場合の挙動について説明する。回線切断時、残りの回線

で被災地情報を送信することとなる。まず、回線の切断検知方法について説明する。中継器から Gateway スイッチに向け一定間隔で KEEP ALIVE パケットを送信する。Gateway スイッチは、中継器から届いた KEEP ALIVE パケットを中継器に対し返信し、中継器ではそのパケットを車載コントローラへ Packet\_In する。ここで、一定時間 Packet\_In が無い回線は切断していると判断し、車載コントローラが中継器に対しグループテーブルの変更を指示する。具体的には、グループテーブルにおいて切断した回線に該当するポートの weight の値を 0 にすることで、そのポートからの被災地情報の送信を防止する。さらに、中継器は切断した回線の余剰帯域を 0 にしたうえで、回線の余剰帯域情報を中間サーバに通知し、その情報にもとづいて中継器へ被災地情報を送信する。ここで、中継器はグループテーブルにしたがって残りの回線へ被災地情報を伝送することとなる。つまり、残りの回線の余剰帯域情報を中継器のグループテーブルの weight へ反映することで被災地情報の伝送を可能とする。この様子を図 6 に示す。図 6 では、切断している回線とそれに対応するポートの weight を 0 にしている。これによって、被災地情報がそのポートから送信されないよう制御する。

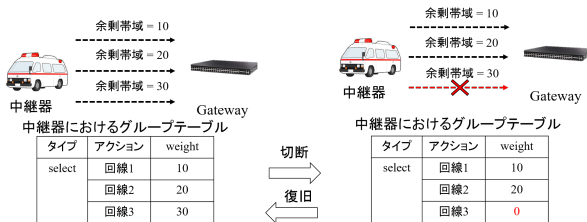


図 6 回線切断時のグループテーブルの変化

### 3.3.3 全回線切断時の挙動

全回線切断時、Gateway スイッチから中継器への被災地情報の送信はできなくなる。本提案では、周辺端末から収集した被災地情報を中継器で受信した際、中間サーバへ送信する。Gateway スイッチで測定した帯域情報をもとに中間サーバからの伝送速度を調整する。したがって、全回線が切断した場合、Gateway スイッチで測定した帯域情報を無線回線に送信し車載コントローラで受信することができなくなるため、中間サーバへ余剰帯域情報が送信されないことから、全回線が切断したと判断する。そのため、中間サーバは、被災地情報の送信を中止し蓄積することとなる。これにより全回線切断時の被災地情報の損失を防止する。

## 4. 動作確認と評価

本章では救命情報共有システムのプロトタイプ実装とその動作確認および評価を行う。

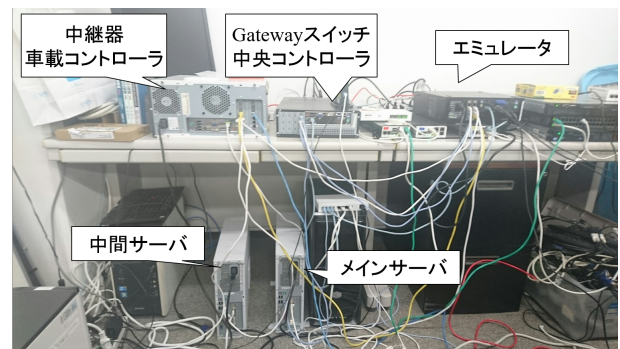


図 7 プロトタイプ図

表 2 使用機材

	CPU [GHz]	メモリ [GB]
中継器 車載コントローラ	3.3	3.7
中間サーバ	3.3	3.8
Gateway スイッチ 中央コントローラ	3.2	3.7
エミュレータ	3.6	7.7
メインサーバ	3.4	3.8

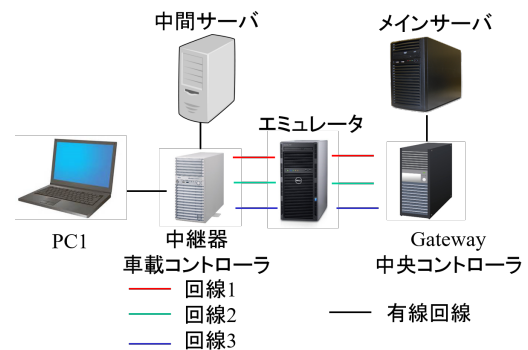


図 8 実験環境

### 4.1 実験概要

本稿では、提案手法の実装に Ryu[10] および Openvswitch[11] を用いた。Ryu を用いることで OpenFlow コントローラを実装および Openvswitch とも対応することができる。使用した OpenFlow のバージョンは 1.3、また、Openvswitch のバージョンは 2.3.1 である。実装環境を図 7 に、使用した機材を表 2 に示す。

今回、実環境を想定して 3 本の回線には異なる帯域幅を設定した。帯域幅の設定に関しては、通信エミュレータを利用し、意図的に各ポートへ帯域制限を発生させた。実験環境を図 8、実験で用いたパラメータを表 3 に示す。パケットジェネレータには、Iperf[12] を用いた。これにより、バックグラウンドで UDP パケットを意図的に送信することで各回線で帯域に差がでるようにした。

今回の実験では以下の項目の動作確認および評価を行った。

- (1) 各回線の使用率
- (2) 複数回線への METHANE 情報の負荷分散

表 3 実験パラメータ

実験パラメータ	
回線の帯域	1 Mbps
METHANE 情報送信間隔	1 msec
被災地情報の情報量	1.5 Kbyte
実験時間	60 sec

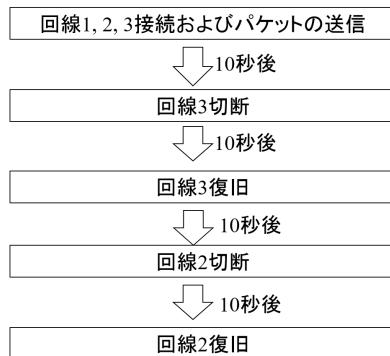


図 9 回線の切断・復旧を行う場合のシナリオ

### (3) 回線切断時の METHANE 情報の挙動

実験は、回線を切断しない場合とした場合の2種類を行った。前者を実験1、後者を実験2とする。前者では、伝送速度調整を行った場合と速度調整を行わなかった場合を比較した。車載コントローラが、一回目の余剰帯域情報を中間サーバが取得し、PC1にてMETHANE情報を送信する。その後、5秒ごとに中間サーバは余剰帯域情報を受信し伝送速度調整を更新する。これを60秒間行う。実験2では、回線の切断および復旧を10秒ごとに行った。実験2におけるシナリオを図9に示す。

(1)の実験では、提案手法と伝送速度を考慮しない場合とで比較し、実験時間内における各回線の使用率を比較した。この回線使用率は、実験時間内の各回線の帯域の平均値を、あらかじめ決めた回線の設定値で割ることで算出した。(2)の実験では、余剰帯域が中継器のグループテーブルへ反映されたうえで、各回線へ情報が負荷分散されていることを検証した。(3)の実験では、回線切断・復旧に応じたグループテーブルの変化および伝送速度調整が行われたうえで、METHANE情報が各回線へ送信されているか確認した。

### 4.2 各回線の使用率

実験1において、伝送速度調整を行う場合と速度調整を行わなかった場合での回線使用率を表4、また、中継器へのMETHANE情報の流入量の結果を図10に示す。なお、伝送速度調整を行う場合は、中間サーバからの流入量、伝送速度調整を行わない場合の流入量は、PC1からの流入量を測定した。

伝送速度調整を行った伝送では、伝送速度調整を行わな

表 4 実験1における各回線使用率

	提案 [%]	比較対象 [%]
回線 1	55	40
回線 2	71	91
回線 3	88	100

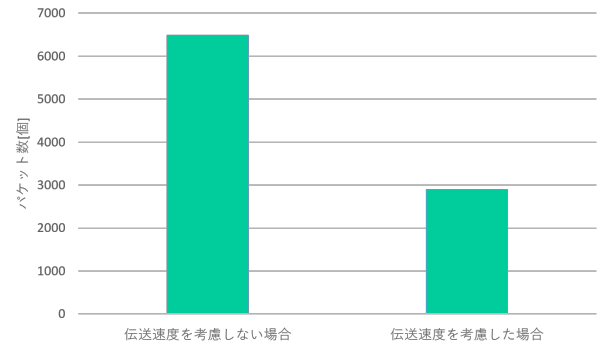


図 10 実験1における中継器におけるMETHANE情報の流入量

かった場合よりもMETHANE情報の流入量が少ないことが確認できる。したがって、中間サーバで情報を一時蓄積し、複数回線の余剰帯域に合わせてMETHANE情報の伝送速度を調整した伝送が行われていることが確認できる。表4から提案手法では回線使用率が全ての回線で100%を下回っていることから輻輳が抑制されていることが確認できる。一方で、伝送速度を考慮しない場合の伝送では、回線3で回線の輻輳が発生していると考えられる。

### 4.3 複数回線へのMETHANE情報の負荷分散

実験1において、中継器は、中間サーバからMETHANE情報を受信後、中継器のグループテーブルの機能によって各回線へ負荷分散しGatewayスイッチへMETHANE情報の送信を行う。図11に時間変化におけるweightの変化、また、図12に各回線ごとに流れたMETHANE情報量の変化を示す、なお、図11のweight1, weight2, weight3はそれぞれ回線1, 回線2, 回線3のweightを示している。車載コントローラが、Gatewayスイッチから受信する帯域情報をもとに一定間隔で余剰帯域を更新し中継器におけるグループテーブルに反映する。したがって、中継器のグループテーブルに設定するweightの値は、余剰帯域の更新にあわせて更新される。図11では、10秒ごとに、weightの値を更新していることが確認できる。一方で、図12では、時間変化における各回線を流れるMETHANE情報量を示している。各回線を流れる情報量にweightが反映され、回線の余剰帯域をもとに各回線へ送信される情報量を各回線に負荷分散できていることが確認できる。また、weightの値は余剰帯域情報の更新にあわせて変化するため、各回線を流れる情報量もそれにともなって変化していることが確認できる。図12では、時間変化にともないパケット数にも変化がでており、余剰帯域が更新されることでweightに

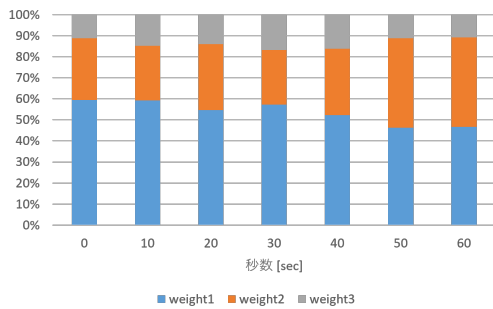


図 11 実験 1 における weight の変化

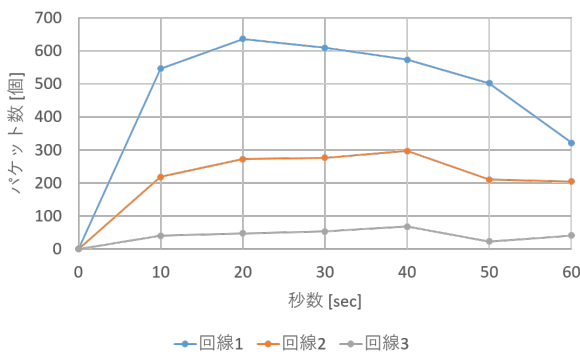


図 12 実験 1 における METHANE 情報量の変化

変化が生じ、それが回線を通る METHANE 情報量にも反映していることがわかる。

#### 4.4 回線切断時の挙動

実験 2 では、10 秒ごとに回線の切断と復旧を行い、伝送速度調整および中継器のグループテーブルへ反映することで被災地情報を送信した。なお、回線切断時に提案手法が正しく動作するかを確認するため、各回線で帯域幅を変更せず、あらかじめ決めた回線の設定値を均等に実験を行った。図 13 では、時間変化にともなう weight の変化を示している。METHANE 情報を送信してから 10 秒後、回線 3 を切断したため、開始 20 秒における weight3 の値が 0 となっていることが確認できる。また、その 10 秒後、回線 3 を復旧した際の余剰帯域情報が weight に反映され、回線 3 本に重み付けがされていることがわかる。最後に、回線 2 を切断、復旧を行ったが、回線 3 を切断、および復旧した時と同様の挙動を示している。したがって、回線の切断、復旧に関して意図したとおりに weight の値が設定されたことが確認できる。一方で、図 14 では、各回線を通らせた METHANE 情報量の推移を示している。回線 3 を切断後、回線 3 の weight にその情報を反映したため、20 秒から 30 秒にかけて回線 3 にはパケットが流れていないことが確認できる。また、回線 3 復旧後は、再び weight に余剰帯域情報が反映され、回線 3 にパケットが流れるようになった。回線 2 についても同様の挙動を示していることが確認できる。

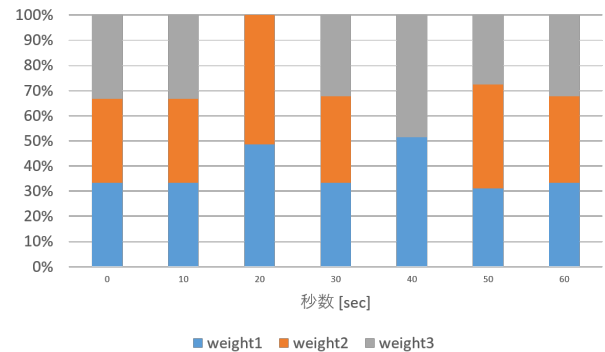


図 13 実験 2 における weight の変化

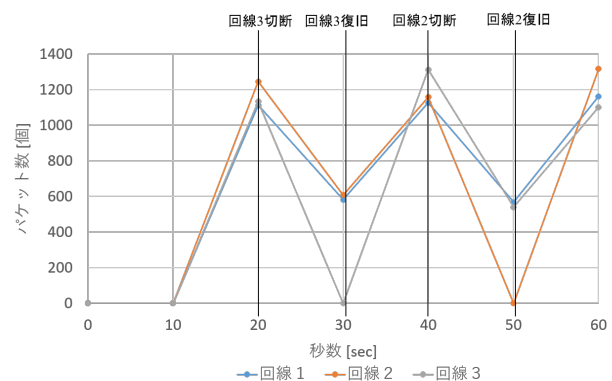


図 14 実験 2 における METHANE 情報量の変化

## 5. おわりに

本稿では、中継器と Gateway スイッチ間の無線区間に焦点を当て、被災地情報の伝送速度調整による回線の輻輳を抑制する手法を提案した。具体的な手法は中間サーバにおける伝送速度調整と複数回線への情報の負荷分散の 2 つである。

被災地情報の伝送速度調整を行うために、余剰帯域と呼ばれるパラメータを設定し、車載コントローラで一定間隔で更新を行うようにした。中間サーバでは余剰帯域の更新に合わせて伝送速度を調整し、蓄積している被災地情報の中継器への送信を可能にした。また中継器は中間サーバから届いた被災地情報を各無線回線へ送信するが、ここでは各回線の余剰帯域にあわせて送信する情報量を負荷分散させる。具体的には、OpenFlow スイッチの機能であるグループテーブルを利用し、中継器の各ポートに重み付けを実施する。この重み付けに、回線の余剰帯域を反映することにより、負荷分散を行う。

本稿では提案手法の実装を行い、実験環境を構築して動作確認を実施した。中間サーバで伝送速度調整を行い、中継器から各無線回線へ正しく被災地情報が送信されるか検証した。その結果、伝送速度が調整された上で被災地情報が送信されていること、および中継器から Gateway スイッチ間の複数回線に対して負荷分散を可能にした。このこと

から、提案手法により、回線の輻輳を抑制可能なことを確認した。

## 参考文献

- [1] 小滝晃 東日本大震災緊急災害対策本部の90日-政府の初動・応急対応はいかになされたか-. ぎょうせい (2013) .
- [2] 福井良太郎, 嶋津恵子, 重野寛: 大規模災害急性期サーチ・アンド・レスキュー支援システム. 情報処理学会研究報告. ITS, Vol. 2014, No. 3, pp. 1-6(2014) .
- [3] Nishiyama, J., Tabata, S., Shigeno, H.: An Efficient Image Gathering Scheme with Quality Control in Disaster. I The 31th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, IEEE, pp304-311(2017) .
- [4] Tabata, S., Ueda, K., Fukui, R., Shimazu, K., and Shigeno, H. : Disaster information gathering system based on web caching and openflow in unstable networks. The 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, IEEE, pp17-24(2016).
- [5] Open Networking Foundation: OpenFlow, [https://www.opennetworking.org/sdn-resources/openflow\(2017\)](https://www.opennetworking.org/sdn-resources/openflow(2017))
- [6] 日本 DMAT 活動要領. 独立行政法人国立病院機構災害医療センター DMAT. <http://www.dmat.jp> (2017).
- [7] Col. Dr. Ingo Hartenstein: Medical Evacuation in Afghanistan: Lessons Identified! Lessons Learned? Medical Challenges in the Evacuation Chain(2008).
- [8] Kitsuta, Y., Niiyama, S., Ushijima, K., Nakajima, S., Gunshin, M., Ishii, T., Nakamura, K., Matsubara, T., Yamaguchi, D., Katada, S., and Komatsu, K. : Usefulness of modified methane report as the communication method between hospital and medical team during the east japan earthquake. Japanese Journal of Trauma and Emergency Medicine (Jpn J of Trauma and Emerg. Med. ), Vol. 3, No. 1, pp. 5-12(2012).
- [9] 廣津, 橋本: 冗長経路を利用した OpenFlow 制御ネットワークの自動構築. インターネットテクノロジーワークショップ, (2014).
- [10] RYU project team. OpenFlow プロトコル-Ryubook1.0 ドキュメント. <https://osrg.github.io/ryubook/ja/html/openflowprotocol.html> (2017).
- [11] Open vSwitch. Open vswitch. <http://openvswitch.org/> (2017).
- [12] Iperf. fr. Iperf - the tcp/udp bandwidth measurement tool. <https://iperf.fr/> (2017).