

## 無線センサネットワークを用いた災害モニタリングシステムにおける公平性を考慮した通信手法

大西 潤也<sup>†1</sup> 横田 裕介<sup>†2</sup> 大久保 英嗣<sup>†2</sup>

センサネットワークを用いた災害モニタリングシステムでは、センサノードの省電力化が重要である。これは、ノードの電力が枯渇することで、情報が得られない場所が発生するためである。また、ネットワーク全体の情報を公平に取得する必要がある。これは、ネットワーク全体の情報を得ることで、最適な避難経路を得ることができるためである。そのため、センサノードの省電力化、通信の公平性を考慮した通信手法が必要となる。以上の背景から、本稿では、災害モニタリングシステムにおけるセンサノードの省電力化と通信の公平性を考慮した通信手法の提案と評価を行う。

### Communication protocol considering fairness in a disaster monitoring system for wireless sensor networks

JUNYA ONISHI,<sup>†1</sup> YUSUKE YOKOTA<sup>†2</sup> and EIJI OKUBO<sup>†2</sup>

Power saving of sensor nodes in a disaster monitoring system using wireless sensor networks is important because of suspended nodes cause lack of sensor data of some areas. Obtaining sensor data information from the entire network is also important because it is required to discover an optimal evacuation route. Therefore, a communication protocol considering fairness and energy saving should be developed. In this paper, we propose such protocol and evaluate in simulation.

<sup>†1</sup> 立命館大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

<sup>†2</sup> 立命館大学情報理工学部

College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

#### 1. はじめに

近年、半導体デバイスの小型化・低価格化に伴い、無線通信機能とセンシング機能を持つ小型のデバイスであるセンサノードの開発が進んでいる。センサノードは、複数のノードを介したマルチホップ通信が可能であるため、通信インフラの存在しない環境でも自律的にネットワークを構築できる。センサノードを多数配置し、センサネットワークを構築することにより、人や物、環境の状態を正確に観測することが可能となる。センサネットワークにおいては、センサノードの省電力化が重要な課題である。これは、センサネットワークでは長期間運用する要求がある一方で、センサノードはバッテリーで稼働するため、電力資源が限られているからである。

センサネットワークのアプリケーションの1つに、災害モニタリングシステムがある。災害モニタリングシステムは、継続的に観測を行い、災害の検知を行うアプリケーションである。温度の計測や雨量などの計測を継続的に行うことで、洪水や火災の検知を行う。災害が発生した場合に、災害が発生している場所が分からず、避難経路を誤るという被害が考えられる。そのため、災害が発生した場合に、避難経路の通知を行い、危険な場所を知らせることは重要である。最適な避難経路を知るためには、ネットワーク全体の情報を知る必要がある。そのため、基地局へネットワーク全体の情報を公平に送信する必要がある。また、危険な場所を知らせるために、災害を検知したノードの packets は優先的に基地局へ送信する必要がある。従来のこのようなシステムでは、センサノードの省電力化や災害を検知した packets の優先度に関する検討が行われてきているが、ネットワーク全体の情報を取得するための、通信の公平性に関する検討はまだ十分行われてきていない。以上の背景から、本稿では災害モニタリングシステムにおけるセンサノードの省電力化と通信の公平性を考慮した通信手法を提案し評価を行う。

以下、2章で災害モニタリングシステムについて述べる。3章で提案する通信手法、4章でその評価を述べる。最後に、5章で本論文をまとめる。

#### 2. センサネットワークを用いた災害モニタリングシステムにおける課題

本章では、災害モニタリングシステムの概要と求められる要件について述べる。また、無線通信処理における低消費電力化技術の1つである、クラスタリング技術について述べる。

##### 2.1 センサネットワークを用いた災害モニタリングシステム

災害モニタリングシステムは、継続的に観測を行い、災害の検知を行うアプリケーション

である。図 1 に災害モニタリングシステムの例を示す。災害を検知したノードは、災害が発生していることを伝えるために、基地局へパケットを送信する。災害を検知していないノードは、災害が発生しておらず、安全だということを伝えるために、基地局へパケットを送信する。センサネットワークを用いた災害モニタリングシステムでは、ノードの電力が枯渇した場合に、情報が得られない場所が発生するため、センサノードの省電力化が重要である。また、災害の発生している危険な場所や災害の発生していない安全な場所を知るために、ネットワーク全体の情報を取得する必要がある。また、危険な場所を知らせるために、災害を検知したノードのパケットは優先的に基地局へ送信する必要がある。これらの要件を満たすためには、ルーティングプロトコルと MAC プロトコルにおける工夫が重要になる。ルーティングプロトコルでは、送信するパケットの選択、送信先ノードの選択を行うことにより、災害を検知したノードのパケットを優先的に送信することや、ノードの残電力に基づいて、送信先ノードを変更することにより、電力枯渇を防ぐことが可能である。また、MAC プロトコルでは、バックオフ時間を変化させることで、パケットの衝突を避けることができる。パケットの衝突を防ぐことで、パケットの再送信による電力の消費を抑えることができる。これらの特徴から、センサネットワークを用いた災害モニタリングシステムでは、災害が発生した時に、被災者に災害の発生場所と安全な場所の情報を提供することとセンサノードの省電力化を両立するような通信手法が必要となる。

## 2.2 既存の災害モニタリングシステム向けの手法

既存の監視アプリケーション向けの手法<sup>1)</sup>について述べる。この手法では、リアルタイム通信のために、パケットのデッドラインを持たせ、デッドラインを考慮したプロトコルを提案している。この手法は、森林火災検出などのアプリケーションを想定している。ネットワークの稼働時間の長期化のために、中継ノードの残電力を考慮したルーティングを行っている。多くのパケットをデッドラインまでに基地局へ届けるために、パケットのデッドラインまでの時間が短いパケットから送信するようにしている。このようにして、デッドラインを超えずに、パケットを基地局に届けることで、リアルタイム性を実現しようとしている。

## 2.3 クラスタリング技術

無線通信処理の低消費電力化技術の 1 つに、クラスタリング技術がある。クラスタリングの例を図 2 に示す。クラスタリング技術は、地理的に近接しているセンサノード同士がクラスタを形成し、その中で 1 つのノードがクラスタヘッドとなり、クラスタ内のセンサノードからの観測データの収集、圧縮、転送を行うことにより、無駄な通信や送信データ量を削減し電力消費を抑える技術である。

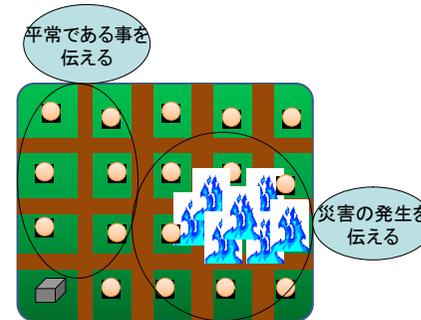


図 1 災害モニタリングシステムの例  
Fig.1 Example of a disaster monitoring system

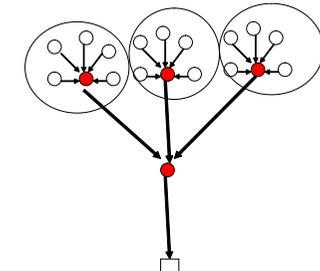


図 2 クラスタリングの例  
Fig.2 Example of clustering

クラスタリングを用いた通信方法に、LEACH<sup>2)</sup>がある。LEACH は、ネットワーク内の各センサノードの電力負荷を分散し、全センサノードが均一に電力を消費するように考えられたクラスタリング技術である。負荷の大きいクラスタヘッドを一定の時間間隔毎に交代することにより負荷分散を行っている。

クラスタリングによる低消費電力化は、災害モニタリングシステムにおいても有効である。そのため、本稿で提案する手法においても、クラスタリング技術を採用するものとする。

## 3. 提案手法

本章では、提案する災害モニタリングシステム向けプロトコルについて述べる。

### 3.1 概要

提案手法では、ノードの位置があらかじめ分かっており、ノード間の時刻の同期が取れていることを前提としている。また各ノードにはノードを識別するための ID が割り当てられている。提案手法では、通信パケットの種類をルーティングパケットとセンシングパケットの 2 種類に大別して取り扱う。ルーティングパケットは、ルーティングテーブルを作成するために用いる。センシングパケットは、センシングデータの送信および、災害が発生しているか否かを伝達するために用いられる。災害を検知したノードにより、災害の発生を伝えるために送信されるセンシングパケットを災害検知パケット、災害を検知していないノードにより、平常であることを伝えるために送信されるセンシングパケットを災害非検知パケットと呼ぶ。災害が発生していない場合は、災害非検知パケットのみが送信される。災害発生時

は、災害の発生を早急に知らせるために、災害検知パケットを災害非検知パケットよりも優先して通信する。また、災害モニタリングシステムにおいては、災害の発生場所と安全な場所を正確に知るために、ネットワーク全体の情報を公平に取得することが重要である。

### 3.2 エリアの分割

ネットワーク全体の情報を公平に取得するために、ネットワークを複数のエリアに分割する。各エリアには、固有のエリア ID を割り当てる。エリア毎にパケットを集約し、送信するパケット数を減らすことで、通信回数を削減し、省電力化を実現する。また、各エリアのパケットを公平に送信できるように、送信するパケットの選択を行うことにより、短い時間でネットワーク全体の情報を基地局が取得することが可能になる。

パケットの集約を行うために、各エリアで、パケットを集約するノードを決める必要がある。パケットを集約するノードをヘッドノードと呼ぶ。各エリア内でヘッドノードを決め、ヘッドノードにならなかったノード（非ヘッドノード）は、同じエリアのヘッドノードへパケットを送信する。ヘッドノードは、自身のエリアのパケットを集約し、他のエリアのノードへ送信する。ルーティングテーブルから、同じエリアのノードの残電力と自身の残電力を比較し、最も残電力の多いノードが、そのエリアのヘッドノードになる。これはクラスタヘッドが他のエリアからのパケットを中継するため、消費電力が多くなるためである。そのため、ヘッドノードを定期的に変更することで、エリア内のノード間での電力消費を均等に行うようにする。ヘッドノードの変更は、ルーティングパケットを定期的に送信し、ルーティングテーブルを更新することで行う。

### 3.3 使用するパケット

提案手法で用いるパケットであるルーティングパケットとセンシングパケットについて述べる。

#### 3.3.1 ルーティングパケット

ルーティングパケットは、タイプ、ノード ID、エリア ID、ノードの残電力、送信先アドレス、基地局までの経路の最低残電力、基地局までのホップ数で構成される。タイプは、ルーティングパケットとセンシングパケットを区別するために用いられる。ノードの残電力は、このパケットを送信するノードの残電力である。基地局までの経路の最低残電力は、基地局までの経路で、残電力が一番少ないノードの残電力である。ホップ数は、基地局までのホップ数である。

#### 3.3.2 センシングパケット

センシングパケットは、タイプ、ノード ID、エリア ID、送信先アドレス、センシングした

表 1 ルーティングテーブル

Table 1 Routing table

経路番号	隣接ノード ID	エリア ID	ノード残電力 (J)	最低残電力 (J)	ホップ数
1	1	1	85	85	2
2	2	1	78	78	2
3	7	4	87	89	2
4	8	4	89	89	2
5	9	5	96	89	3
6	10	5	92	89	3
7	3	2	90	89	3

表 2 パケット情報

Table 2 Packet information

パケット No	エリア ID	パケットの種類	生成された時刻
1	1	1	0 時 1 分 0 秒
2	2	1	0 時 1 分 1 秒
3	3	0	0 時 1 分 4 秒

値、パケットの種類で構成される。センシング値は、ノード上のセンサによって計測された値である。パケットの種類は、センシングパケットが、災害検知パケットなのか災害非検知パケットなのかを区別するために用いる。

### 3.4 使用するデータベース

提案手法では、ルーティングテーブル、パケット情報、送信履歴の 3 つのデータベースを用いる。これらのデータベースは、各ノードが個別に保持する。

#### 3.4.1 ルーティングテーブル

ルーティングテーブルは、隣接ノード情報の管理のためのデータベースであり、送信先ノードを選択する際に用いる。構成例を表 1 に示す。ルーティングテーブルは、隣接ノード ID、エリア ID、隣接ノードの残電力、基地局までの経路の最低残電力、基地局までのホップ数で構成される。

#### 3.4.2 パケット情報

パケット情報は、ノードが所持しているパケットの情報を管理するデータベースである。構成例を表 2 に示す。パケット情報は、送信するパケットを決定するために用いる。エリア ID、パケットの種類、パケットの生成された時刻から構成される。

表 3 送信履歴  
Table 3 Transmission history

エリア ID	送信した時刻
1	0 時 1 分 3 秒
2	0 時 1 分 4 秒
3	0 時 1 分 5 秒

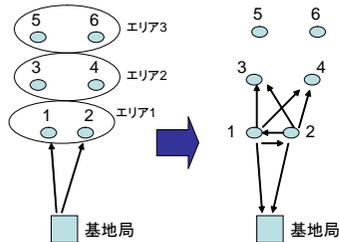


図 3 ルーティングパケットの送受信  
Fig. 3 Communication of routing packets

### 3.4.3 送信履歴

送信履歴もパケット情報と同様に、送信するパケットを決定するために用いるデータベースである。構成例を表 3 に示す。送信元エリア ID と送信した時刻から構成される。

### 3.5 提案手法の動作例

図 3 にルーティングパケットの送受信の例を示す。まず基地局が、ルーティングパケットをブロードキャストする。ルーティングパケットを受信したノード 1 とノード 2 は、パケット内のノード ID を確認する。次に、ルーティングテーブルを調べ、最初は、基地局の情報を所持していないので、ルーティングテーブルに情報を追加する。基地局の情報を保存した後、ノード 1 とノード 2 は、ルーティングパケットをブロードキャストする。ノード 1 のルーティングパケットは、基地局、ノード 2、ノード 3、ノード 4 が受信する。ノード 2、ノード 3、ノード 4 はノード 1 の情報を所持していないので、ルーティングテーブルへ情報を書き込む。ノード 2 が送信したルーティングパケットは、基地局、ノード 1、ノード 3、ノード 4 が受信する。これを繰り返す、ルーティングテーブルを作成する。同じノードからルーティングパケットを受信した場合、すでにルーティングテーブルに保存している基地局までの最低残電力とホップ数を比較し、基地局までの最低残電力が大きい場合やホップ数が小さい場合は、ルーティングテーブルの情報を書き換える。また、基地局までの経路の最低残電力を比較し、

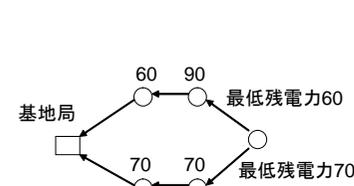


図 4 基地局までの最低残電力の例  
Fig. 4 Examples of minimum remaining power to the base station

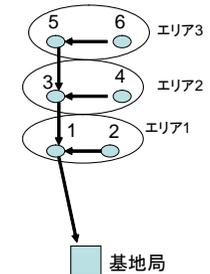


図 5 センシングパケットの送受信例  
Fig. 5 Communication of sensing packets

パケットに記載されている基地局までの最低残電力のほうが大きければ、ルーティングテーブルのホップ数と基地局までの最低残電力を書き換える。パケットに記載されている基地局までの最低残電力のほうが小さい場合は、このパケットが送信されてきた経路に、他の経路よりも残電力の少ないノードがあるということになるため、その経路の情報を破棄する。基地局までの最低残電力の例を図 4 に示す。図 4 の上の経路では、基地局までの最低残電力は 60 となる。また、下の経路では、基地局までの最低残電力は 70 となる。この場合、最低残電力の多い、下の経路を選択する。これは、ネットワーク全体の情報を集めるために、ノードの電力の枯渇を防ぐ必要があるためである。

#### 3.5.1 センシングパケットの送受信

センシングパケット送受信の例を図 5 に示す。図 5 の例では、ノード 1、ノード 3、ノード 5 がヘッドノードとする。非ヘッドノードの送信先ノードは、同じエリアのヘッドノードとなるため、送信するパケットを所持する場合は、同じエリアのヘッドノードへ送信する。ヘッドノードとなったノードは、非ヘッドノードから受信したパケットと自身が作成したセンシングパケットの情報を集約し、送信する。

#### 3.5.2 送信するパケットの選択

図 6, 7 に送信するセンシングパケットの選択例を示す。図 6 は、図 5 におけるノード 1 が、送信履歴に無いパケットを送信する場合の例である。図 7 は、ノード 1 が、前回送信してから最も長い間送信されていないエリアのパケットを送信する場合の例である。ヘッドノードが、複数のエリアのパケットを所持している場合は、送信履歴を確認し、前回送信した時刻から最も長い時間が経過しているエリアのパケットを送信する。送信履歴に記載されていないエリアのパケットを所持している場合は、パケット情報の生成された時刻を確認し、最も

パケット情報		
エリアID	パケットの種類	生成された時刻
1	0	1時1分1秒
2	1	1時1分2秒
3	1	1時1分3秒

送信履歴	
送信元エリア	送信した時刻
1	1時0分1秒
2	1時0分2秒

図 6 送信履歴にないパケットの選択

Fig. 6 Selecting a packet not in the transmission history

パケット情報		
エリアID	パケットの種類	生成された時刻
1	0	3時2分0秒
2	1	3時2分1秒
3	1	3時2分2秒

送信履歴	
送信元エリア	送信した時刻
1	3時1分1秒
2	3時1分0秒
3	3時1分3秒

図 7 送信履歴にあるパケットの選択

Fig. 7 Selecting a packet in the transmission history

長い時間が経過しているエリアのパケットを送信する。このように送信するパケットの選択を行うことで、各エリアの情報を公平に基地局に届けることができる。

### 3.6 送信先ノードの選択方法

ノードの電力の枯渇を防ぐために、どのように送信先ノードの選択を行うかについて述べる。送信先ノードの選択方法のフローチャートを図 8 に示す。ノードの電力が枯渇した場合、そのエリアの完全な情報が基地局へ届けられなくなるため、残電力の少ない経路の利用はなるべく避ける必要がある。はじめに、ルーティングテーブルから、隣接するエリアのノードの内、残電力が一番多いノードを調べ、隣接するエリアのヘッドノードを確認する。次に、各ヘッドノードの基地局までのホップ数を確認し、基地局までのホップ数が最も小さいヘッドノードを送信先ノードの候補とする。基地局までのホップ数が等しいヘッドノードが複数ある場合、基地局までの最低残電力が多いヘッドノードを選択する。ホップ数の少ない経路が、他の経路と比べ、基地局までの最低残電力が著しく少ない場合は、他の経路の中から基地局までの最低残電力が多く、ホップ数の少ない経路を選択するように、送信先ノードを決定する。このようにすることでノードの電力の枯渇を防ぐ。

### 3.7 バックオフ時間

提案手法では、パケットを送信するまでのバックオフ時間をパケットの種類と前回送信してから経過時間によって変化させる。これは、災害検知パケットを優先的に送信するためであり、また公平に基地局へパケットを送信するためでもある。さらに、通信の衝突を避けることも目的としている。

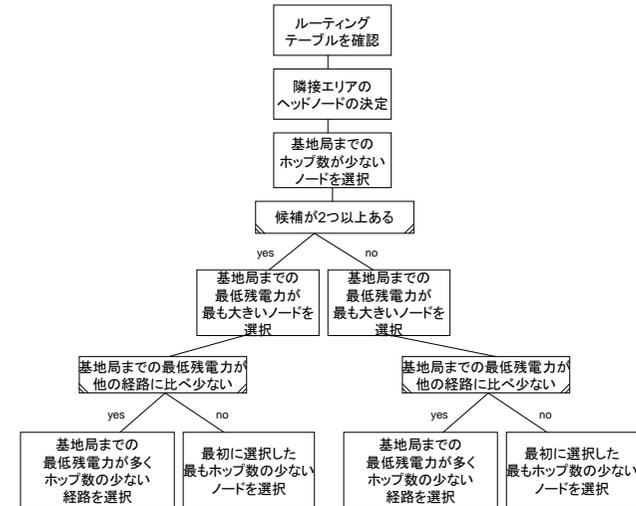


図 8 送信先ノードの選択方法

Fig. 8 Selection procedure of a destination node

表 4 バックオフ時間の決定

Table 4 Determination of backoff time

パケットの種類	前回送信した時刻	バックオフ時間
災害検知パケット	関係なし	1 ミリ秒から $b/4$ ミリ秒
災害非検知パケット	$p - 3p/4$ 秒	1 ミリ秒から $b/4$ ミリ秒
災害非検知パケット	$3p/4 - 2p/4$ 秒	$1/b$ ミリ秒から $2b/4$ ミリ秒
災害非検知パケット	$2p/4 - p/4$ 秒	$2b/4$ ミリ秒から $3b/4$ ミリ秒
災害非検知パケット	$p/4 - 0$ 秒	$3b/4$ ミリ秒から $b$ ミリ秒

#### 3.7.1 バックオフ時間の決定方法

パケット生成間隔を  $p$  秒とする。また、最大のバックオフ時間を  $b$  ミリ秒、最小のバックオフ時間を 1 ミリ秒とする。バックオフ時間の決定方法を表 3 に示す。表 3 のように、バックオフ時間をパケットの種類と前回の送信時刻により決めることで、基地局へ各エリアのパケットを一定期間で送信する。

## 4. 評価

提案手法の評価をネットワークシミュレータの ns-2 を用いて行った。提案手法では、基

地局が短時間のうちに全てのエリアのケットを公平に受信することを目的としている。このことを確認するため、基地局に到達したケットの数をエリア毎に集計した。また、中継ノードの送信回数を減らすことにより、電力消費を抑えることも目的としているため、ネットワーク内のノードの残電力の比較を行った。

#### 4.1 評価環境

評価は、提案手法(手法 A)と既存手法<sup>1)</sup>に基づいた、クラスタリングを用いず、公平性を考慮していない手法 B と、LEACH<sup>2)</sup>に基づいた、クラスタリングを用いているが、公平性を考慮していない手法 C との比較によって行う。手法 B は、クラスタリングを行わないため、送信先ノードの選択は、ヘッドノードと非ヘッドノードの区別をせずに、ホップ数と基地局までの残電力から決めるようにした。手法 C は、送信先ノードの選択を提案手法と同様にした。評価は、エリア毎のケット数の集計と、ノードの残電力の比較を行う。エリア毎にケット数を集計することで、各エリアのケットを公平に受信していることを確認する。ノードの残電力の評価は、ネットワーク内の全ノードの残電力の平均を取ることで行う。これは、クラスタリングにより電力が抑えられていることを確認するために行う。ケット数の評価は、2つの典型的なネットワーク構成を用いて、手法の比較によって行う。評価に用いたネットワーク構成を図9と図10に示す。図9(ネットワーク構成(a))は、エリアの数が多い場合のネットワーク構成である。図10(ネットワーク構成(b))は、エリア1にケットが集中するようなネットワーク構成である。残電力の評価は、広いネットワークのほうが、通信回数が多く、クラスタリングを行った手法と行っていない手法の差が現れやすいため、図9の構成の場合のみで行った。1つのエリアには、2つのノードを配置する。各エリアのノードは、隣接する全てのエリアのノードと通信を行うことができる。ケットの生成は2秒毎、ケットの送受信は、0.1秒毎に行う。手法Bのケットのデッドラインは、ケットの生成間隔である2秒としている。基地局からルーティングケットを150秒毎に送信する。シミュレーション時間は300秒である。

#### 4.2 評価結果

ケット受信数と残電力について、それぞれの評価結果について述べる。

##### 4.2.1 ケット受信数の比較

図11, 12, 13は、ネットワーク構成(a)の場合の、各手法の基地局が受信したエリア毎のケット数である。これらの結果より、手法Aは、手法Bと手法Cに比べ、各エリアのケットを公平に受信していることが分かる。手法Aで、一番多く受信したエリアのケット数は69個、一番少ないエリアで59個で、10個の差があった。手法Bで、一番多く受信した

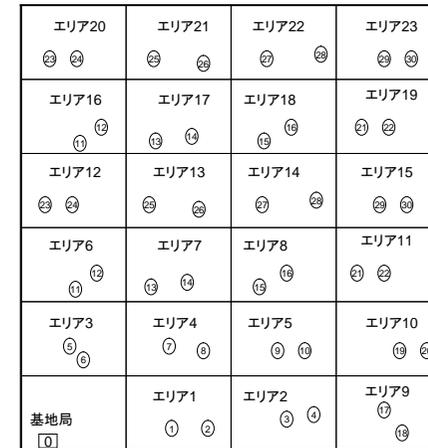


図9 ネットワーク構成(a)

Fig.9 Network configuration (a)

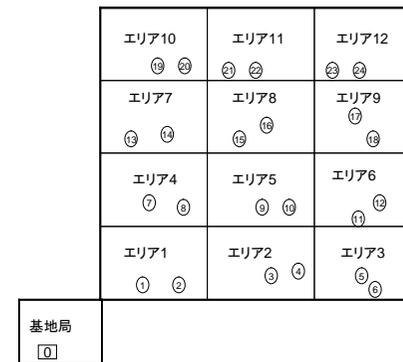


図10 ネットワーク構成(b)

Fig.10 Network configuration (b)

エリアのケット数は140個、一番少ないエリアで2個で、138個の差があった。手法Cで、一番多く受信したエリアのケット数は69個、一番少ないエリアで47個で、22個の差があった。手法Aと手法Cは比較的公平に受信できているが、手法Aのほうが、各エリアのケット数の差が少なかった。これは、公平に基地局が受信するように、送信するケット

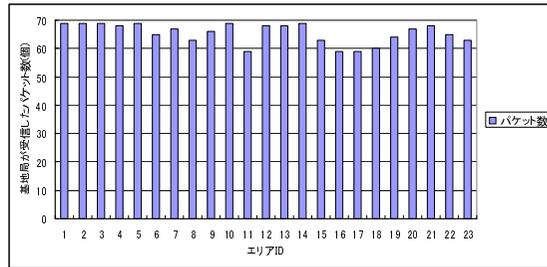


図 11 ネットワーク構成 (a) の場合のパケット受信数 (手法 A)

Fig. 11 The number of received packets in network configuration (a) (Method A)

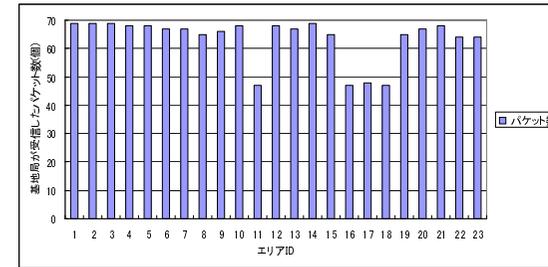


図 13 ネットワーク構成 (a) の場合のパケット受信数 (手法 C)

Fig. 13 The number of received packets in network configuration (a) (Method C)

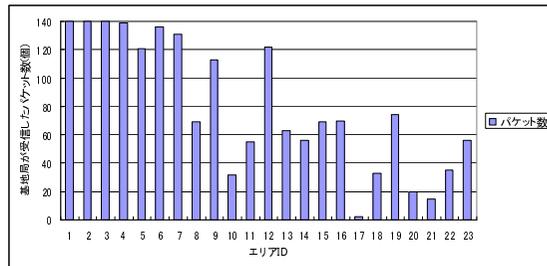


図 12 ネットワーク構成 (a) の場合のパケット受信数 (手法 B)

Fig. 12 The number of received packets in network configuration (a) (Method B)

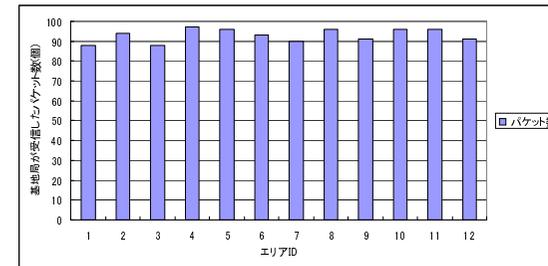


図 14 ネットワーク構成 (b) の場合のパケット受信数 (手法 A)

Fig. 14 The number of received packets in network configuration (b) (Method A)

の選択を行ったためであると考えられる。また、手法 B はクラスタリングを行わないため、受信したパケット数が多い。そのため、受信したパケット数を 2 分の 1 にした場合の比較を行う。この場合、一番多く受信したエリアのパケット数は 70 個、一番少ないエリアで 1 個となり、公平に受信できていない。また、生成されたパケット数に比べ、基地局が受信したパケット数が少なくなっている。これは、中継ノードが同じエリアのパケットを受信した場合に古いパケットを破棄するためである。

図 13, 14, 15 は、ネットワーク構成 (b) の場合の、各手法の基地局が受信したエリア毎のパケット数である。これらの結果より、手法 A は、手法 B と手法 C に比べ、各エリアのパケットを公平に受信することができている。基地局の周りのノード数が少ないため、エリア 1 のヘッドノードに全てのエリアのパケットが集まる。そのため、所持しているパケットが多くなり、公平性を考慮していない手法 B と手法 C では、基地局が受信したパケットに偏り

が生じている。手法 A で一番多く受信したエリアのパケット数は 97 個、一番少ないエリアで 88 個で、9 個の差があった。手法 B で一番多く受信したエリアのパケット数は 140 個、一番少ないエリアで 2 個で、138 個の差があった。手法 C で一番多く受信したエリアのパケット数は 132 個、一番少ないエリアで 37 個で、95 個の差があった。手法 B のパケット数を 2 分の 1 にした場合は、一番多く受信したエリアのパケット数は 70 個、一番少ないエリアで 1 個となり、公平に受信できていない。ネットワーク構成 (b) の場合では、手法 A のみが公平にパケットを得ることができた。

#### 4.2.2 残電力の比較

図 17 は、ネットワーク構成 (a) において、全ノードの残電力の平均値を比較を行った結果である。ノードの初期電力は、100(J) である。図 17 から、手法 A と手法 C が手法 B よりも残電力が多いことが分かる。手法 A と手法 C は、100 秒毎に約 8.9(J) ずつ残電力が減って

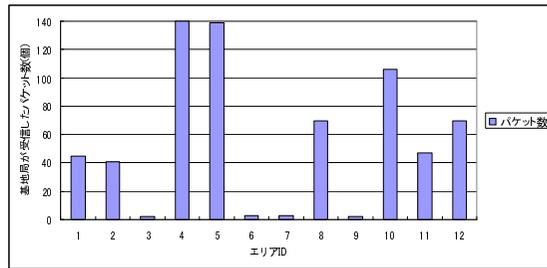


図 15 ネットワーク構成 (b) の場合のパケット受信数 (手法 B)

Fig. 15 The number of received packets in network configuration (b) (Method B)

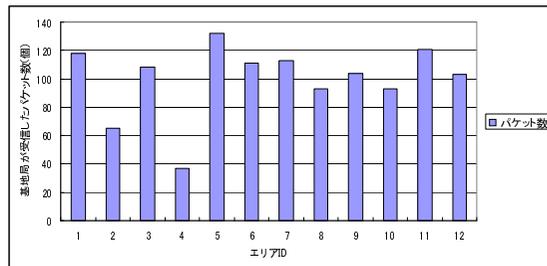


図 16 ネットワーク構成 (b) の場合のパケット受信数 (手法 C)

Fig. 16 The number of received packets in network configuration (b) (Method C)

いるが、手法 B は、約 14.2(J) ずつ残電力が減っている。これは、手法 A と手法 C では、エリア毎にパケットを集約し、パケットを送信するため、中継ノードの送信回数を削減しているためだと考えられる。

#### 4.3 考察

基地局が受信したパケット数は、ネットワークの構成によって変化することが確認された。ネットワーク構成 (a) のようなネットワークでは、エリアの数が多く、パケット数が多いため、送信するパケットの選択を行わない場合、基地局の受信したエリア毎のパケット数に偏りが発生した。また、ネットワーク構成 (b) のように、特定のノードにパケットが集まるような場合、多くのエリアのパケットを所持するため、送信するパケットの選択を行わない場合、基地局の受信したエリア毎のパケット数に偏りが発生した。以上の結果から、提案手法は、今回の評価を対象とした、典型的と考えられる二つのネットワーク構成においては、有効

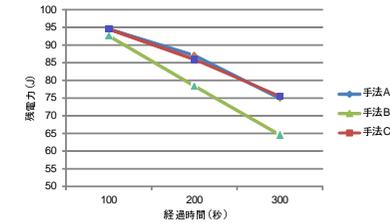


図 17 残電力の比較

Fig. 17 Comparison of the residual power

であると言える。また、電力消費に関しては、クラスタリングを用いて、パケットの集約を行い、中継ノードの送受信を減らすことで、省電力化が達成されていることが確認できた。

#### 5. おわりに

本論文では、無線センサネットワークにおける災害モニタリングシステムにおける公平性と省電力化を考慮した通信手法を提案した。提案手法では、送信履歴から送信するパケットの選択を行うことで、パケットの公平性を実現し、クラスタリングを用いて、パケットを集約することで、省電力化を実現した。また、提案手法のシミュレーションによる評価を行った。この結果、評価を行った典型的なネットワークの構成では、基地局が公平にパケットを受信できることが確認できた。今後の課題として、提案手法の実機における実装および評価があげられる。

#### 参考文献

- 1) A.Mahapatra, K.Anand, P.Agrawal, QoS and energy aware routing for realtime traffic in wireless sensor networks, Computer Communications 29, pp.437-445, 2006.
- 2) W. R Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks, in Proceedings of the 33rd International Conference on System Sciences (HICSS '00), January 2000.