

頑健かつ効率的な機関連携を考慮した災害情報通信ネットワーク

小野 泰正[†] 林 幸雄[†]

災害時の被災情報の収集と機関間連携を行なうためのネットワーク構造対象とし、災害時に起こる問題とその改善策を踏まえモデル化を行なう。このモデルでは、被災情報の信頼性に着目し、信頼性がばらばらな情報の中から収集した情報が収束し十分信頼の置ける情報になるまでの時間と収束の結果の一致回数を計った。その際、石川県加賀地域を対象とし、現実的な空間の偏りが被災情報収集に及ぼす影響を調べた。その結果、ネットワーク構造に空間的なランダム性をもった状態が望ましいことが分かった。

Robust and Efficient Communication Networks for Gathering Disaster Information based on Organizational Operation

YASUMASA ONO^{†,*} and YUKIO HAYASHI[†]

Recently, network structure is a challenging topic of research. In this paper, we present some ideas regarding the effect of disasters, such as earthquakes, on the structure of networks. Government offices, especially, require stable networks for information exchange, in times of disaster. Up until now, robustness of networks has been regarded as important, but we would like to change emphasis to the robustness of dynamics. Result of dynamics is better by changing the connection between official institution.

1. はじめに

近年の災害対策の課題は主に、阪神・淡路大震災を教訓としたものが多い^{1)~3)}、とりわけ、関連機関の初動態勢の遅れは深刻な被害につながる。また、「災害活動は被災情報を基に判断されるものであり、その情報は災害対策にとって根幹である」ことが挙げられ¹⁾、災害発生直後の「情報空白期」をなくすために、防災情報の共有を推し進める多くの対策がなれている。中でも情報技術の急速な進歩により、多くの情報収集と共有が可能となったが様々な災害情報が錯綜すると、混乱を招いて迅速な行動が取り難くなる。また、各自治体の予算的制約等から自治体間格差も生まれている²⁾。

一方、情報収集・共有化の改善は主にこれまで各機関内部で行われたものであり、他機関との連携を図れるような情報共有は十分にはできていない³⁾。さらに、防災関係機関の対応力の向上に関しては、先に述べた情報収集および共有化の強化と共に情報活用体制の確立が必要不可欠である。その際、混乱や流言蜚語の発生による悪影響を抑えるには、情報の取捨選択が求められると共に、防災関係機関が状況を把握し、迅速・的確に状況判断や意思決定を行えるよう体系的な情報整理と運用方法を確立しなくてはならないと考えられる。ここで、注目すべき点は、行政主導の情報収集ではしづらく、住民からの積極的な通報を活用すべきであることが提案されている¹⁾。

そこで、本研究は、災害対策における現状での問題点や提

案されている改善策を踏まえたモデルを作成する。そして、それらのモデルにおいて公的機関が災害対策の判断を下す元となる信頼の置ける被災情報を素早くそして安定的に収集できる構造を調べる。なお、現実的に石川県加賀地方を対象としたモデルにした。そして、情報収集ネットワークの構造と実際の施設位置等の空間的かたよりが及ぼす影響について述べる。

2. 現状の災害時の情報収集と連携

災害時には、人々がかつて経験した事のない非日常的な状況におかれることが多く、不確かな情報を元に助けを求めるのが普通である。そこで、以下のポイントをおさえる必要がある。

・情報収集方法行政は災害対策を行う上で、信頼できる情報に元づき判断を下さなくてはならない。そこで収集された情報の中から最も信頼の置ける情報を、判断材料として使う。
・組織間の連携構造収集できた情報を行政間で連携する事により情報の共有化を図ることで短時間で信頼の置ける情報を取得する工夫が必要である。

3. 被災情報の収集方法

被災情報は、住民が情報提供者となり近隣の公的機関に情報提供する構造を対象とする。そこで、上記した問題を受け、被災情報収集ネットワーク上での被災情報収集のシミュレーション実験の定義を住民が情報を提供する状況(情報発生)、公的機関の情報取得方法、公的機関の連携方法について行う。

3.1 情報発生

住民が被災情報を提供する状態は、動ける状態にあるが被

[†] 北陸先端科学技術大学院大学

Japan Advanced Institute of Science and Technology

* 現在、知識科学研究科

Presently with School of Knowledge Science



図1 ハザードマップ
Fig. 1 hazard map

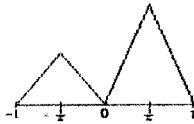


図2 信頼値の発生率
Fig. 2 reliability rate

害を受けた人か、被害を目撃していた人が考えられる。また、一般的に被災度合に従って被災に合う人が増えるため、その人達の中から情報提供者が出てくる事を考えると、被災度に応じて情報提供が行なわれる。そこで、被害予測であるハザードマップを元に住民の位置の被災度から情報発信の確率を定義する。この図1のハザードマップは石川県加賀地方の地震を想定したハザードマップであり震度が描かれている。気象庁震度階級での震度7の定義が

波震。家屋の倒壊は30%以上及び、山崩れ、地割れ、断層などを生じる

となっていることから、最大震度である震度7での建物倒壊率が30%程度であるとし、生き残った70%の確率で情報提供すると定義した。

3.2 被災情報の信頼性

次に、災害情報等は信頼の置ける情報が求められる。しかし、災害時、同じ事柄の情報であっても情報の信頼性が異なるものが提供される。情報の信頼性は様々なとらえ方があるが本実験では、簡略化のために災害情報には様々な情報が含まれるが、同じ事柄が提供された場合を想定し、一事象についてのみ扱い信頼性を定義する。そして、本実験では事象の情報は肯定する情報と相反して否定する情報の相反する状態があり、これを一方を正の値も一方を負の値として定義する。さらに、機関連携システムの導入が進み収集した情報をデジタル化し扱おうと、項目ごとに分類整理され使われることが考えられる。そこで、項目が完全に埋まっている事が情報の信頼性が完全である場合、項目の書き込みが少ないものは情報があいまいで信頼性が低いと考えられる。そこで情報が完全に信頼できる状態を±1と表し、情報の信頼性を1～-1で表す。続いて、住民から発生してくる情報は、住民が非日常的な状態にあり、混乱や落ち着かない状態にあることが予想されるので、やや半信半疑的な情報が一番多く、100%完全な情報や伝えるべき内容が乏しいどうでもいような情報(信頼値が0付近)はあまり発生しないと考えられる。そこで、図2の様な発生分布を定義した。また、災害時に同じ事象について相反する情報が等しく発生することは考え難いので片方の確率を高くしている。

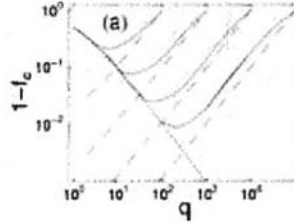


図3 ハブ数 q^* と分断の臨界値 f_c^4 (f_c の値が大きいほど頑健)
Fig. 3 f_c vs. number of q^* [4]

3.3 機関連携

公的機関は信頼の置ける情報を元に災害対策の判断をする。そこで収集された情報の中から最も信頼の置ける情報を、その機関の持っている情報として選択し保持する。

次に、機関間の連絡に常に人員が割けるわけではないが他の機関と連携し情報を収集する事が重要であるため、定期的に連絡をとる。

3.4 シミュレーションプロセス

- step1: 各住民から担当地区の自治体へ情報提供
- step2: 収集された情報から各自自治体が信頼度を判断
- step3: 定期的に他の自治体に通知
- step4: 以上の1～3を1ステップとして繰り返す

4. ネットワーク構造

災害時、公的機関の災害対策を行なうための情報収集に住民からの情報提供を使うことが提案されている。この構造は、情報提供者と情報収集し判断する公的機関の二極化した役割構造が存在する。さらに、この情報収集の構造は情報提供者の機関への接続と機関間連携の二種類の接続関係で構成される。まず、情報提供者は公的機関に情報提供する接続関係をもつ。その際、情報提供者は、わざわざ遠い機関に情報提供しにはいかない事が予想されるので、最も近い機関に接続する。

次に公的機関の連携で重要なのは、どこと接続関係を持つのが良いかと言った、連携構造である。そこで、情報提供者や公的機関が分断されないことを考え、このような二極構造ネットワークでランダム故障に適したネットワークに注目する。次に実際の簡単に連携が取れると考えられる距離が近い機関同士が連携する構造と比較する。

4.1 ネットワーク頂点の現実との対応

まず、情報提供者は住民であると考えられる。しかし、全ての住民が情報提供するとは考えに悔い。そこで、その地区の代表を作り、代表が公的機関へ被災情報を提供すると定義する。その際、24時間人が居て、即時に情報提供できる事が望ましい。そこで、本実験では石川県加賀地方のコンビニエンスストアを情報提供地点として置いた。そして公的機関として石川県加賀地方の役場又は消防署とした。石川県加賀地方のコンビニエンスストア(情報提供者)の数は260箇所、市町村役場及び消防機関の合計は56箇所であった。よって施設をネットワークの頂点と置くと、ネットワーク総頂点数は、 $N=316$ である。そして、公的機関(高次数頂点)の数は56箇所になる。

4.2 ランダムな故障に頑健なハブ数を持つ構造

Gerald Paulらが提案したランダム故障に最的な二極構造のネットワークモデル(ONRRB)⁴⁾は、頂点次数が下式のように k_1 本と k_2 本に二極化していることが特徴である。

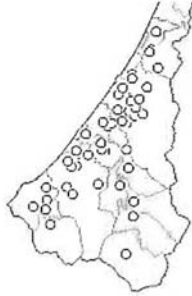


図 4 公的機関位置
Fig. 4 official

しかも、ランダム故障に対して最も頑健性を持つハブ数が解析的に求められる。以下にそのことを手短かに述べる。このハブとは高次数頂点のことで本稿では公的機関である。

$$p(k) = \begin{cases} \frac{N-q}{N} & k_1 = 1 \\ \frac{q}{((k)-1)N+q} & k_2 = \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 N はサイズ (頂点総数)、 $\langle k \rangle$ は平均次数、 q はハブ数である。ランダム故障においてネットワークが分断化される直前の臨界値 f_c はパーコレーション理論 [5] により

$$f_c = 1 - \frac{1}{\kappa - 1} \quad (2)$$

で与えられる。ここで $\kappa = \frac{\langle k^2 \rangle}{\langle k \rangle}$ である。ハブ数 q がサイズ N と同程度となるの時、臨界値の上限は

$$f_c^{high} = 1 - \frac{q}{((k)-1)N} \quad (3)$$

となる。一方、ハブ数 q が小さい場合における臨界値の下限は

$$1 - f_c^{high} = 1 - \frac{1}{q} \quad (4)$$

で与えられる。図 3 に示すように、これらの交点が最も頑健なハブ数 q^* を与える。

$$q^* = \sqrt{\langle k \rangle - 1} \sqrt{N} \quad (5)$$

ここで、このネットワーク構造は、 $N, \langle k \rangle$ が与えられた時、解析的に q, k_2 が与えられる。そして、 $N, \langle k \rangle, q, k_2$ の値を取った構造が、ランダム故障に対し頑健である事に注意されたし。

また、これにより例えば、 N, q が決まっている場合 $\langle k \rangle$ が決まるため N, q に対応したランダムな故障に最も頑健な構造をに必要な総リンク数が求められる。

4.3 近隣との接続

図 4 の様に公的機関の位置にも偏りがあり地域性がある。公的機関連携においても、近隣に助けを求め、互いに協力関係になることは普通であるため、近い機関と連携をとる。

5. 機関間の連携構造

機関間の連携の取る方法は、上記し二つの構造に注目した。まず、ランダム故障に適したネットワークモデルはランダム接続によって接続関係が作られている。そこで、これを現実の機関間連携に当てはめると、機関間の接続は、ランダムに、

	k_2	hop	distance
min_{dist}	3	3.94	16648
	52	2.60	19510
$\langle k \rangle$	3	4.81	17028
	52	2.64	19958
$\langle k \rangle k_2$	3	4.23	17158
	52	2.70	20289

表 1 公的機関間の hop 数、リンクの平均距離—(m!!)— 通常
Table 1 both official institution hop and link's distance normal

	k_2	hop	distance
min_{dist}	3	3.91	16897
	52	2.61	19778
$\langle k \rangle$	3	5.18	16835
	52	2.64	20177
$\langle k \rangle k_2$	3	4.41	17129
	52	2.69	20366

表 2 公的機関間の hop 数、リンクの平均距離 災害
Table 2 both official institution hop and link's distance disaster

ネットワークの平均時数が $\langle k \rangle$ になるように接続し、なおかつ公的機関の機関間の接続数が k_2 になるよう接続した構造になる。なお石川県加賀地方で本稿で対象とした施設数 316 箇所と公的機関数 56 箇所、最もランダム故障に適した k_2 は 52 本である。また、機関間連携が疎の場合として、近隣の施設としかつながらない場合を考え、石川県加賀地方の行政区の隣接関係が平均約 3 箇所であったので、本稿では石川県加賀地方の隣接行政域数を参考に 3 本とした。次に、上記した近隣との接続も取る。

そこで、 $\langle k \rangle$ に従いランダム接続を $\langle k \rangle$ と記し、 $\langle k \rangle$ に従いランダム接続かつ k_2 に従う場合を $\langle k \rangle + k_2$ と記す。また、距離が近いものから接続することを $min\ dist$ と記す。組合せは、 $\langle k \rangle + k_2$ 、 $\langle k \rangle$ 、 $mindist$ と $k_2 = 3, k_2 = 52$ で 6 種類のネットワークを考える。それら 6 種類のネットワークの特徴は表 1 にまとめた。まず、全体的なネットワークの頂点数が少ないため接続方法の違いで公的機関間のへ平均 hop 数にあまり差は見られない。しかし、リンク 1 本あたりの平均距離を比較すると $\langle k \rangle$ に比べ $\langle k \rangle + k_2$ の方が距離が伸びている。これは、 k_2 の制限がかかることでより遠い施設へ接続しなくてはならなくなっていることが示唆される。

6. ネットワークの故障

被災したとき使われるネットワークを想定しているため、ネットワーク自体に損傷を受けることを考えなくてはならない。そこで、本稿では被災状況を図 1 のハザードマップで想定しているためその上で構築されるネットワークの故障もハザードマップに即した確率で起こる。その際、震度 7 での建物倒壊率が 30% であることからネットワークの損傷も震度 7 で 30% とし、震度に応じて損傷率が減るようにした。

7. シミュレーション結果

7.1 多数情報に対しての一致回数

災害時に取得すべき情報は、比較的多数発生する被災情報の方が重要だと考えるのが一般的であるため、ここでは、6 種類のネットワークモデル上で収束解が発生の偏りに対して偏りが大きい方に収束する回数を比較する。なお発生数の偏り方の影響を調べるため発生量の多い情報は、情報発生量が少な

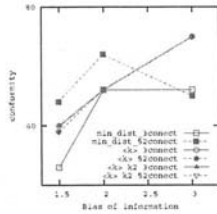


図 5 信頼値の偏りに対する一致回数 通常
Fig. 5 reliability rait vs conformity normal

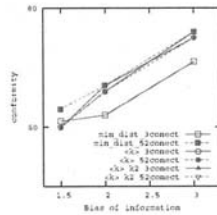


図 6 信頼値の偏りに対する一致回数 災害
Fig. 6 reliability rait vs conformity disaster

い方を基準とした 1.5 倍 2 倍 3 倍の確率で発生する。図 5 図 6 は X 軸を発生量の偏りで Y 軸を一致率としている。さらに、ネットワークの損傷がない場合を図 5、災害によって損傷した場合を図 6 としている。まず、ネットワークの損傷がない時の近隣の機関との連携以外の全てで取得された情報の一致回数は発生量の偏りに対して一致回数が増えていることから、全体的傾向としては、発生した情報の傾向を反映した結果になっていることがわかる。しかし、接続方法による大きな違いや、ネットワークを損傷させた場合の違いはあまりない。ネットワークを損傷させても同じ様に情報が取得できることは被災情報を集める構造としては良い傾向であると考えられる。

7.2 収束時間

災害時の被災情報取得に求められるものは素早さと信頼の置ける情報であることである。そこで、ここでは十分な信頼性がある情報を取得できた状態として、機関の信頼値が ± 0.9 以上の値に収束するまでのステップ数を時間と考え、比較していく。ここで重要な点は、機関間の接続関係とネットワークが損傷した場合にも素早く公的機関が災害対策の判断をするために信頼の置ける被災情報が取得取得できる事である。また、被災情報の発生頻度が偏っていた場合、現実で情報発生量の偏りが少なくなった場合は、情報が錯綜し信頼の置ける情報が取得し難くなる。よって、情報の発生が偏った場合においても迅速な情報収集ができることが望ましい。注目すべき傾向は、ランダム接続でかつ機関間接続が平均的であるものよりもランダム接続だけの方が、十分信頼の置ける情報に収束するまでの時間が短い点である。

まず、疎の場合においての機関間接続の違いを比較すると、収束までの時間が小さい順に、ランダム接続、最近傍接続、ランダム接続かつ機関間接続数の制限あり、の順である。ここで注意する点は、ランダム接続かつ機関間接続数の制限ありのネットワーク構造は、いっけん一番構造的なランダム性と空間的なランダム性を内包し、良い結果が得られそうだがいざばん悪い結果になっている点である。これは、情報提供者

	k_2	normal	disaster
min_dist	3	105	333
	52	17	19
k_2	3	68	159
	52	14	17
$\langle k \rangle k_2$	3	220	339
	52	14	17

表 3 収束までの時間 信頼値の偏り 2 倍時
Table 3 convergent time reliability rait 2 times

と公的機関の接続関係の偏りから、機関間の接続が非常に疎の状態をつくり出してしまっているためだと考えられる。一方、ランダム接続では、情報提供者と公的機関の接続関係の偏りをそのまま引き継ぐが、ランダムに機関間を接続することで空間的なランダム性を確保すると共に情報提供者と公的機関の接続関係の偏りの影響を散らしていると考えられる。最近傍接続は、通常時と故障時を比べると通常時の 3 倍近い時間がかかり故障にたいして弱いことが分かる。

8. おわりに

本稿では、災害時の被災情報の収集を対象に、モデル化を行なった。このモデルの特徴は、

- 公的機関は住民からの情報提供を活用する二極構造である。
- 機関連携を想定している
- 石川県加賀地方を対象にし施設や災害発生等に空間的偏りを持たせている。
- 情報の信頼性を考え信頼性が収束し十分信頼の置ける情報になるまでの時間を見ている。
- 発生した情報がの偏りが収束した結果に反映されているかを見ている。

等の災害対策の現状を踏まえモデル化を行なっている点である。このモデルの上で機関連携構造として

- 近隣の機関と連携 (最近傍接続)
- ランダム接続
- ランダム接続だが機関の持つリンク数に制限。

の 3 つの方法を機関間の接続数が疎の場合とランダム故障に適した値の密の場合を比較している。

結果、空間的偏りを散らす様ランダム性を持たせるのが良い結果を招くことが示唆される。

参考文献

- 1) 中央防災会議: 防災情報の共有化に関する専門調査会, 防災情報の共有化に関する専門調査会報告書, July, 2003.
- 2) 越山健治, 行政の初動体制と情報通信, 日本災害情報学会 NewsLetter, No.20, pp2, Jan. 2005.
- 3) 廣井新, 災害情報論, 恒星社厚生園, ISBN4769907109, 1991.
- 4) G. Paul, S.Sreenivasan, S.Havlin, H. Eugene Stanley, Optimization of Network Robustness to Random Breakdowns, Physica A 370, pp.834-862, 2005.
- 5) R.Cohen, S.Havlin, and D. ben-Avraham, Strucproperties of scale-free networks, In S Bornholdt, H.G Schuster (eds), Handbook of Graphs and Networks, WILEY-VCH, 2003.
- 6) G.Paul, S.Sreenivasan, and H.Eugene Stanley, Resilience of Complex Networks to Random Breakdown, PRE 72,056130 2005.
- 7) J C.Doyle, D L.Alderson, L.Li, S.Low, M.Roughan, S.Shalunov, R.tanaka and W.willinger, The "robust yet fragile" nature of the Internet, PNAS vol102,no.41, 14497-14502,2005
- 8) 仲谷美江, 西田正寿, 災害時の危機管理のためのコミュニケーション支援, 電子情報通信学会, Vol.89, No.9, pp.811-814, 2006
- 9) 中沢純一, 高橋謙三, 情報通信ネットワークの災害対策, 電子情報通信学会, Vol.89, No.9, pp.782-786, 2006