

防災情報システム評価のための情報伝達シミュレーションモデルの開発^{*}

Development of Evaluation Model for Disaster Information System

片田敏孝^{**}・及川 康^{***}・田中隆司^{***}

Toshitaka KATADA, Yasushi OIKAWA and Takashi TANAKA

In the Great Hanshin-Awaji Earthquake, many problems related with disaster information system were revealed. Especially, it became a serious problem that the disrupt information environment in early stage of disaster caused an extension of human damage and increasing suffers' anxiety. Although local governments in various district have prepared information systems for disaster prevention, definite direction is not given, and dissemination efficiency of disaster informations is not assure. In this study, we develop the network simulation model that works in various disaster conditions and can show a tendency of information dissemination.

Keywords: Disaster Information System, Simulation Model

1. はじめに

阪神大震災は甚大な被害との引き換えに、大規模災害への事前対応策のあり方に多くの教訓を残した。なかでも災害時における情報収集伝達手段の確保は、人的被害の最小化や被災者の精神的苦痛の軽減など、被災社会の様々な側面において極めて重要な意味を持つことを多くの事実によって示した¹⁾。このような教訓を踏まえ、平成7年7月には国の防災基本計画が見直され、これに続いて各都道府県、市町村の地域防災計画も各地で見直しが進められている。こうした防災計画の見直しのほとんどに共通している項目の一つは、「初動態勢の強化」、「情報通信機器の整備」、「関係機関との連携の強化」、「情報伝達体制の整備」など、防災情報システムに関わる事項であり^{2), 3)}、これに基づき各地の自治体で防災情報システ

ムの整備や強化が進められようとしている。

このような防災情報システムのうち、市町村で整備されるものの多くは防災行政無線と呼ばれ、主に被害情報の収集には自動車に無線機を装備した「移動系」が、また、住民への情報伝達には屋外に設置した拡声器などの「固定系」が用いられることが多い。このような市町村が整備する防災行政無線は、地域に密着した防災情報システムであるため、その整備・運用が適切に行われていれば、救急救命活動や避難情報伝達の効率化が達成され、地域の人的被害は最小限に食い止めることが期待できる。しかしながら防災情報システムの整備に関しては、固定系に限って見ても、その運用方法といったソフトな側面のみならず、効率的な配置方法など施設整備のあり方にも明確な指針が存在しておらず、実際に整備されるシステムの情報収集・伝達における効率性は保証されていないのが現状である。

そこで本研究では、効率的な情報伝達を達成する防災情報システムの整備方法や運用方法を検討することを目的として、様々な被災状況のもとで機能する防災情報システムの情報伝達特性を表現するシミュ

* キーワズ：防災計画，計画手法論，計画情報
** 正会員 工博 群馬大学工学部建設工学科
(〒376 桐生市天神町1-5-1
TEL:0277-30-1651, FAX:0277-30-1601)
*** 学生員 群馬大学大学院工学研究科

ミュレーションモデルを開発する。防災情報システムなど災害への事前対応策の評価においては、整備方法や運用方法といった施策の内容のみならず、様々な被災状況についてもシナリオの設定が可能となるシミュレーションモデルが有効な手段となる。

2. 地震発生直後の情報ニーズとその伝達媒体

大規模震災時における住民の情報ニーズは、発災後の時間の経過に伴って刻々と変化する。阪神・淡路大震災における住民の情報ニーズの時間的変化を例にとっても、発災直後には避難命令の発令状況や避難経路・避難場所、家族や知人の安否など、生命に関わる情報が求められたが、時間の経過に従って住民の情報ニーズは、生活支援物資に関する情報、復興に関する情報などへと変化していったことが報告されている^{1)・4)・5)}。

このような被災地住民の情報ニーズのなかでも、被災直後の情報、とりわけ避難に関する情報は、人的被害の最小化といった観点において最も重要な情報であり、その効率的伝達に備える防災情報システムの整備は、今や行政の責務と言っても過言ではない。特に地震災害に伴う避難情報の多くは、津波に関する情報を除き、一般に火災やガス漏れ、崖崩れなど局所的地域を対象とした情報であり、地域の実情に合わせて細かな対応が必要となることから、各自治体が整備する防災情報システムが情報伝達メディアとしては適したものとなる。

テレビやラジオといった放送媒体は、津波災害に対しては、その観測から情報伝達体制までがシステムとして確立されているため、現状においても有効な情報伝達手段となり得ているが⁶⁾、これ以外の地震災害に関わる避難情報の伝達については、現状として大きな機能を期待することは難しい。その主な理由は、被災に伴って受信不能になる事態が生じやすいこと、さらに、情報の発信源が一元的に集約化されたシステムであるため、情報発信源に情報を集約化する過程で生じる時間的ロスの問題や、情報収集ができたとしても同時多発的に避難事由が発生した場合には、それぞれの事由に対して同時に迅速な対応ができるほどの情報伝達体制を整えることが困難といった問題^{7)・8)・9)}が存在するなど、地震災害

に伴う局所的な避難情報の伝達には必ずしも十分な機能は果たさないからである。

防災情報システム、放送媒体というような施設的な情報伝達システムに加えて、被災直後においては住民間の情報伝達ネットワークも実質的に大きな機能を発揮する¹⁾。地域住民間の口頭伝達といった住民間情報伝達ネットワークは、情報の質的変容、情報空白地の出現、情報伝達の遅滞といった問題が存在するものの、地域社会の最も基礎的な情報伝達手段であり、災害情報の伝達メディアとしての役割は大きい。特に、住民間情報伝達ネットワークは、物理的な施設を伴わないことにおいて被災の影響を受けにくく、施設的情報伝達システムが十分に機能しない状況のもとにあっても唯一安定的に機能するシステムであること、さらに避難事由の発生場所とその情報の伝達地域が同一である地域の内部で完結的に機能するシステムであるため、被災直後から機能し得ることなどにおいて重要なシステムと位置づけることができる。

以上の考察をふまえるならば、地震災害に関わる避難情報の伝達に対して実質的に機能することが期待できる情報伝達メディアは、住民間情報伝達と防災情報システムであり、両者の連動によって避難情報の伝達が行われると考えることが適切である。したがって、防災情報システムの評価に際しては、住民間情報伝達との連動の上で達成される地域への情報伝達の効率性を介して、その機能を評価することが重要となる。

3. 情報伝達シミュレーションモデルの概要

(1) 防災情報システム評価の視点とその稼働環境

本研究におけるシミュレーションでは、既存のメディアの多くが機能しないような被災直後を想定し、防災情報システムと住民間情報伝達の協調によって行われる避難情報伝達の効率性を評価する。住民間情報伝達と防災情報システムの関係については、いかなる被災状況においても、避難情報の伝達は住民間情報伝達が基本となり、情報発信源の住民から地域住民へと情報が順次伝達されるものとし、そこにおいて防災情報システムは、住民間情報伝達を補完する形で機能すると考える。即ち、防災情報システ

ムから情報を得た住民は、住民間情報伝達で情報を得た住民と同様に新たな情報発信者となって他の住民に情報を伝達するものとする。

なお、避難情報の伝達においては、より早く、正確に、対象となる住民の全てに情報が伝達されるといった、情報伝達の速達性、正確性、悉皆性の確保が重要な課題となるが、本研究では、防災情報システムの評価に用いる情報伝達の効率性については、速達性と悉皆性の観点から効率性を定義することとし、正確性を考慮した評価は今後の検討課題とする。

(2) モデルの基本構成

住民間情報伝達と防災情報システムによる情報伝達モデルは、63行63列の各ノードに合計3969人が均等に分布する仮想的地域を対象に、その中心に情報発信源(=避難事由の発生地点)を設定している。モデルの基本構成は、住民間の口頭伝達を再現するモデル(以下、住民間情報伝達モデルと呼ぶ。)を基礎として構成することとし、このモデルによって、情報発信源から発せられた情報が、住民間を口頭伝達によって伝え広められる状況が表現される。

防災情報システムは、市町村が設置する防災行政無線固定系とし、同報無線と呼ばれる無線送信による屋外拡声器として地域内各所に配置される。防災情報システム稼働すると、拡声器周辺の住民に情報が伝達され、情報を得た住民は直ちに口頭による情報伝達を開始する。ここにおいて防災情報システムには、システム稼働のタイミングや拡声器間の連動性といった運用方法、さらに拡声器の情報伝達性能やその配置方法といった整備仕様においてシナリオが設定され、住民間情報伝達との連動のもとで達成される情報伝達の効率性によって、それぞれのシナリオに評価が与えられる。防災情報システムの運用方法や整備方法に対する評価は、このシナリオの評価に基づいて行う。

(3) 住民間情報伝達モデル¹⁰⁾

被災直後における住民間の情報伝達過程を、本研究では被災社会という特殊な社会状況下での住民間情報伝達ネットワークの形成過程として扱う。したがってモデル化においては、社会学的知見に基づいて平常社会の住民間情報伝達ネットワークの形成過

程をモデル化し、その情報伝達に関わる社会特性パラメータを操作することにより被災社会を表現する。

住民間情報伝達ネットワークの形成過程のモデル化には、数理社会学における人的ネットワーク形成理論である偏ネットモデル(Biased Net Model)¹¹⁾を基本構造として採用する。偏ネットモデルとは、友人選択などの人的ネットワークの形成において、結合相手の選択がランダムではなく、選択する個人と選択される個人の相対的な布置(Configuration)関係に基づいて何らかの偏向(Bias)が働く状況を表現するネットワーク形成モデルである。この偏ネットモデルでは、バイアスパラメータ(以下、BPと略す)が大きくなると、結合相手の選択にランダム性が低下し、コンパクトなネットワークが形成される。ここにおいて、BP=0.2であることは、情報伝達相手の選択において、面識のある特定の個人はランダム選択による選択確率よりも20%偏重した確率で選択されることを意味する。このようなモデル挙動の現実的な意味合いは、バイアスが働き特定の相手と結合する確率が高まることで、相互に関係の深い人間集団がネットワークとしてコンパクトに形成されることと理解できる。

偏ネットモデルの操作変数は、このようなBPに加え、一人の個人が結合相手に選択する相手の数(以下、SAと略す)であり、BPとSAの組み合わせによって情報伝達特性の異なった社会構造が表現される。被災時において個人は、より多くの人と情報を交換し自らの安全を確保するよう試みる。そして、この傾向は被災の程度が進むほどに強まると考えられる。したがって、本研究における被災社会は、BPを小さくすることで「誰とでも」、SAを大きくすることで「より多くの人と」情報交換をしようとする被災時の住民間情報伝達の特性を表現することになる。

なお、偏ネットモデルを友人選択に適用する場合、選択可能な相手の集合は「自分以外の全ての人」であるが、本研究では、地域に広がる人々の中での口頭伝達が対象であるため、情報伝達の相手として選択可能な人の集合には制約が加えられ、「自分の周囲に位置する人」としている。したがって、SA=2であることは、口頭伝達が可能な自らの周辺8人のうち(格子状の仮想的な地域では、自らが位置するノードの周辺に8つのノードが存在する)2人に対して情

報を伝達する状況を示している。

住民間情報伝達モデルのシミュレーションにおいては、地域の中心をスタータとして順次ネットワークを生成し、新たな個人がこれ以上ネットワークに組み込まれなくなる状況に至った時点でネットワークの生成を完了とする。このネットワーク生成は同一条件で複数回実施され、各回で生成されたネットワークに対して、結合度(Connectivity)とステップ数が計測される。ネットワーク全体に対する評価は、各回の結合度、ステップ数をそれぞれ平均した値に基づいて行われるが、ここにおいて結合度とは、ネットワークの構成員数が全体集団に占める割合であり、被災社会においては、情報を得た人の全体に対する割合と理解される。またステップ数とは、スタータが結合相手としてSA人を選び終わった時点でステップ数は1、そのSA人がそれぞれ次の相手SA人を選択し終わった時点でステップ数を2とカウントする。即ち、ステップ数は時間の代理指標と理解されるが、ここではネットワーク生成が完了するのに要した選択プロセスの回数(ステップ数)を最大

ステップ数、各個人がネットワークに組み込まれた時点のステップ数を総和し、それをネットワークの構成員数で除したものを平均ステップ数と定義して用いる。

本研究が対象とするのは災害時の情報伝達であり、情報伝達の速達性と悉皆性の観点から、地域内部の各ノードが評価できるような評価方法も必要になる。そこで本研究では、1回のネットワーク生成が完了するごとに地域内の各ノードに、

$$N(i, j) = A - S(i, j) \quad (1)$$

$S(i, j)$: i 行 j 列のノードがネットワークに組み込まれた時点のステップ数。

A : 想定する地域の規模に応じて定める定数なる得点を与え、複数回のシミュレーションによる合計得点によって各ノードを評価する。この時、ネットワークに組み込まれなかったノードには、その回の得点を与えないものとする。このような評価値は、各ノードに対して絶対的な評価を与えるものではないが、相対関係としては値が大きいノードほど情報が迅速に伝達されやすく、かつ、ネットに組み

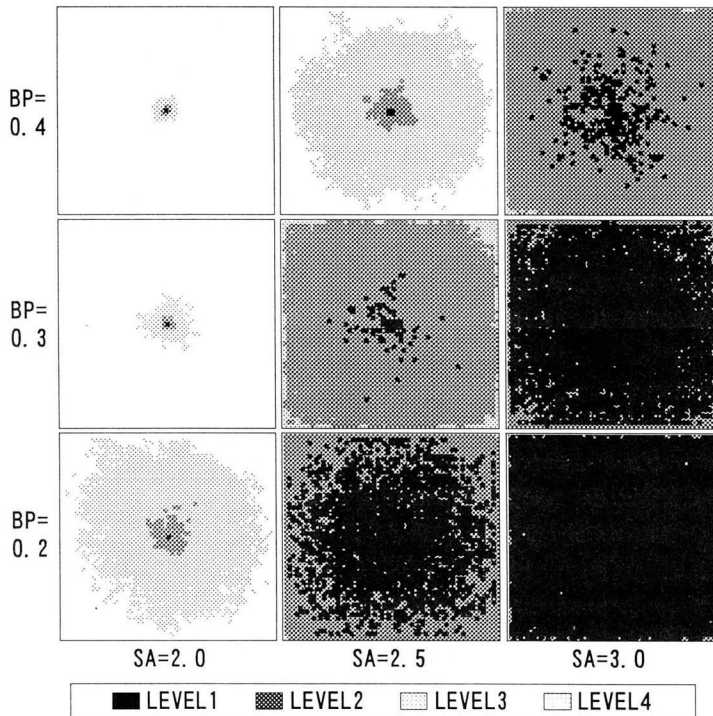


図-1 住民間情報伝達モデルの挙動特性

込まれやすいノードとして評価されることになる。なお、本シミュレーションでは、定数Aの値は300としている。

4. モデルの挙動特性とその評価

防災情報システムを評価するに先立ち、住民間情報伝達のみによるモデルの挙動特性を確認しておく。パイアパラメータBPを、0.2、0.3、0.4、また、情報伝達人数SAを、2.0、2.5、3.0で変化させた時の計算結果を図-1に示す（SA=2.5は、SA=2とSA=3が共に半数存在することを意味する）。シミュレーションの試行回数は100回、式(1)に基づく各ノードの得点は、30,000が満点である（スタータがこの得点となる）。各ノードにはその得点に応じて、30,000～22,501を安全レベル1 (LEVEL1)、22,500～15,001を安全レベル2 (LEVEL2)、15,000～7,501を安全レベル3 (LEVEL3)、7,500～0を安全レベル4 (LEVEL4)とした安全レベル区分を割り当て、図中ではその区分が表示されている。この図-1においては、SAが大きくなるほど、また、BPが小さくなるほど被災影響の大きい社会状況のもとでの情報伝達が表現されることになるが、図では被災影響の大きいケースになるほど安全レベルの高い領域が広がる傾向にあり、住民間の情報伝達は活発化する状況が見て取れ

る。また、安全レベルの高い領域のなかにあっても、安全レベルの低い領域が局所的に生じることが確認でき、情報空白地が時として生じる住民間情報伝達の特徴を良く表現したものとなっている。また、各グラフとも情報伝達人数の増加に伴い高い安全レベルの領域が拡大する様子が見られるが、BPが小さい時ほどその拡大が進みやすいことがわかり、BPとSAが相互に関係を持ちながら住民間情報伝達に影響を与えていることがわかる。なお、図-1に示す結果は、シミュレーションを100回実行した結果の合計点であり、そこに表現される傾向は平均的なものとなっている。したがって、各回の結果においては、以上のような傾向はより顕著なものとなる。

5. 防災情報システムの評価事例

(1) シナリオの設定

防災情報システムの評価は、その整備方法や運用方法にシナリオを設定して、住民間情報伝達モデルの中に組み込むことによって行われる。シナリオ設定は多様な項目によって行うことができるが、紙幅の都合上ここではいくつかの項目を固定する。

まず、被災状況については、BP=0.2、SA=2なる住民間情報伝達が行われる社会状況を設定する。また屋外拡声器の設置については、設置位置のほか、

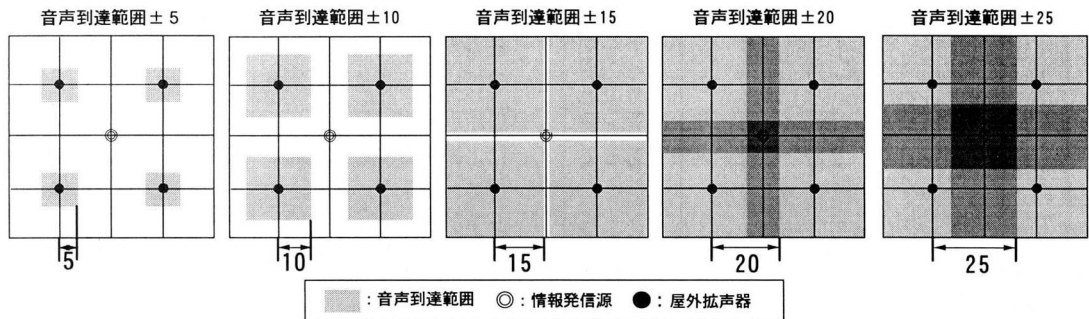


図-2 屋外拡声器の音声到達範囲と設置位置

表-1 防災情報システム整備のシナリオ設定

	音声到達範囲				
	±5	±10	±15	±20	±25
情報集約型	シナリオ①	シナリオ②	シナリオ③	シナリオ④	シナリオ⑤
地域自立型	シナリオ⑥	シナリオ⑦	シナリオ⑧	シナリオ⑨	シナリオ⑩
ネットワーク型	シナリオ⑪	シナリオ⑫	シナリオ⑬	シナリオ⑭	シナリオ⑮

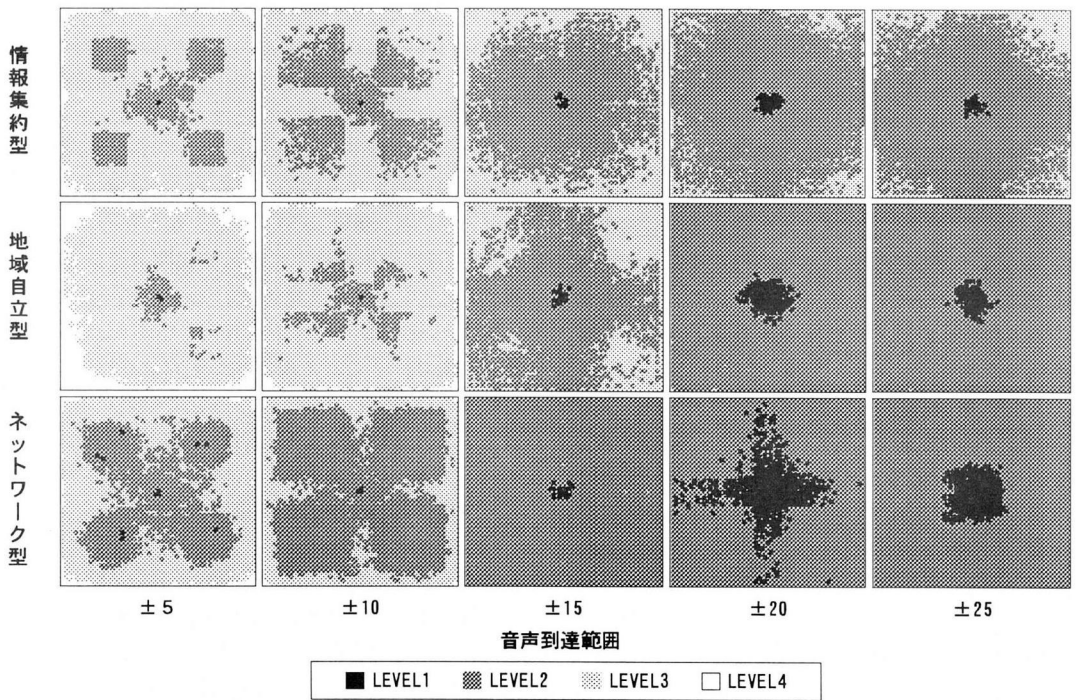


図-3 各シナリオのシミュレーション結果

音声到達範囲，聴取者率（音声到達範囲内で情報が聞き取れた人の割合，以下，SPと略す）などがシナリオに組み込めるが，ここでは，SPについては50%，設置位置については図-2のように4ヶ所に固定する。音声到達範囲についてはそれぞれの拡声器の位置から±5ノード，±10ノード，±15ノード，±20ノード，±25ノードの5つのパターンを設定するが，これらの設定は，±15ノードの場合において防災情報システムが地域全域をカバーするような状況に対応している。

また，屋外拡声器の運用方法について以下の3つの形態を設定する。

【情報集約型】

伝達すべき情報が，住民間情報伝達によって地域の縁辺に達した時点で，情報集約地(市役所など)への通報が行われ，その後，地域内の拡声器が一斉に稼働する。ここでは，地域内での直接的な情報収集が不可能な事態が想定されている。

【地域自立型】

伝達すべき情報が，住民間情報伝達により拡声器

の位置に到達した時点で，即座にその拡声器のみが稼働する。この場合，拡声器の位置は情報集約ポイントとしての機能も果たしていることが想定されている。

【ネットワーク型】

伝達すべき情報が，住民間情報伝達によりいずれかの拡声器の位置に到達した時点で，即座に全ての拡声器が稼働する。ここでは地域自立型と同様に，拡声器の設置位置が情報集約ポイントの機能を果たす状況が想定されている。

以上の設定を組み合わせると，本研究では表-1に示す15のシナリオで防災情報システムの評価を行う。

(2)シミュレーション結果

以上のシナリオに基づくシミュレーションの結果を図-3に示す。この図は安全レベルの分布の様子をシナリオ別に表したものであり，図-1と同様に式(1)に基づく得点をレベル区分して表示してある。この図-3によると，運用形態の違いで差はあるものの，音声到達範囲の拡大とともに高い安全レベル

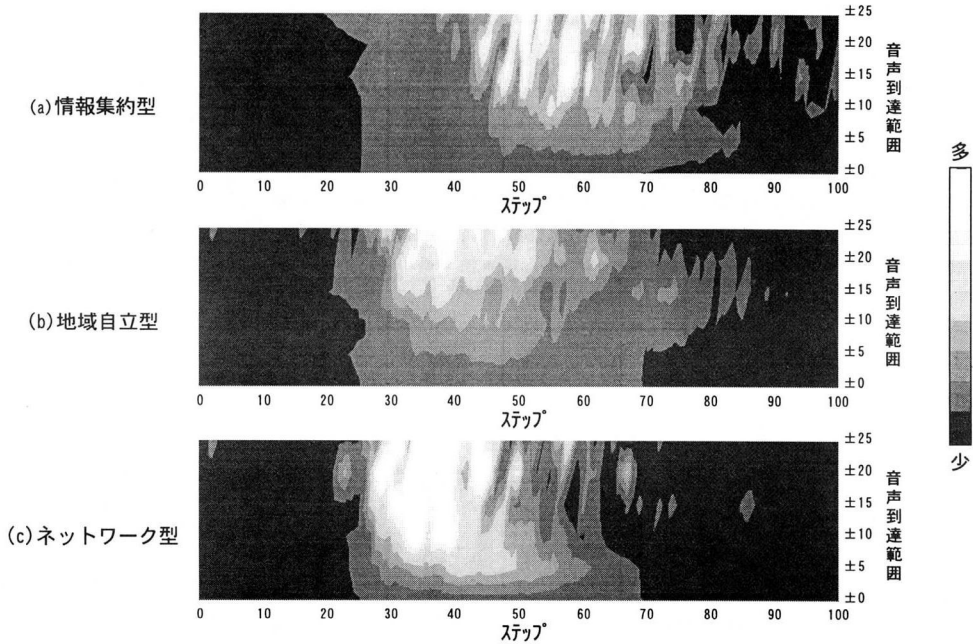


図-4 ステップ進行に伴う情報取得者数

の領域がより広く分布している様子がわかる。また、いずれのシナリオも、住民間情報伝達の状況はBP=0.2、SA=2.0で一定であるにもかかわらず、音声到達範囲の付近やそれが重なる地域を中心に相対的に高い安全レベル区分が広がっていることから、拡声器の導入の効果、つまり防災情報システムの導入効果が確認できる。

一方、図-4は、横軸にステップ数を取り、各ステップで初めて情報を得た人の数（各ステップにおいて新たにネットワークに組み込まれた人の数）の分布を拡声器の運用形態別に表したものである。縦軸はその拡声器の音声到達範囲であり、±0は拡声器を導入する前、つまり住民間情報伝達のみによる計算結果である。色の薄い部分のステップでは、より多くの人が情報を得たことが示されており、これにより拡声器が作動した時点のステップ数が読みとれる。この図によると、地域自立型、ネットワーク型では拡声器の作動ポイントは30~50ステップ付近に集中的に分布しているが、情報集約型では45~70ステップ付近に広がって分布している状況が読みとれる。これは、情報集約型では拡声器が作動するま

での時間が他の運用形態に比べより多く要することを示しており、ネットワーク型、地域自立型、情報集約型の順で情報伝達が効率的に行われた様子が読みとれる。

図-5は拡声器の運用形態別に、音声到達範囲を±0ノードから±25ノードに変化させたときの結合度、最大ステップ数、および平均ステップ数の変化を表している。各グラフとも音声到達範囲の拡大とともに結合度の上昇がみられるが、情報集約型においてはそれに伴い平均ステップ数が大きくなっており、地域全体としての情報伝達の速達性は改善されていない。また地域自立型では、平均ステップ数、最大ステップ数とも音声到達範囲の拡大とともに小さくなっているが、最大ステップ数と平均ステップ数との差は縮小傾向にあるものの依然大きく、地域全体の平均的な速達性は確保されつつも、局所的に情報伝達の遅滞が生じやすい地域が残される可能性を示している。一方、ネットワーク型では、音声到達範囲の拡大に伴い結合度の大きな増加と平均ステップ数の顕著な低下が認められ、地域全体の情報伝達の悉皆性と速達性が確保されていることがわかる。

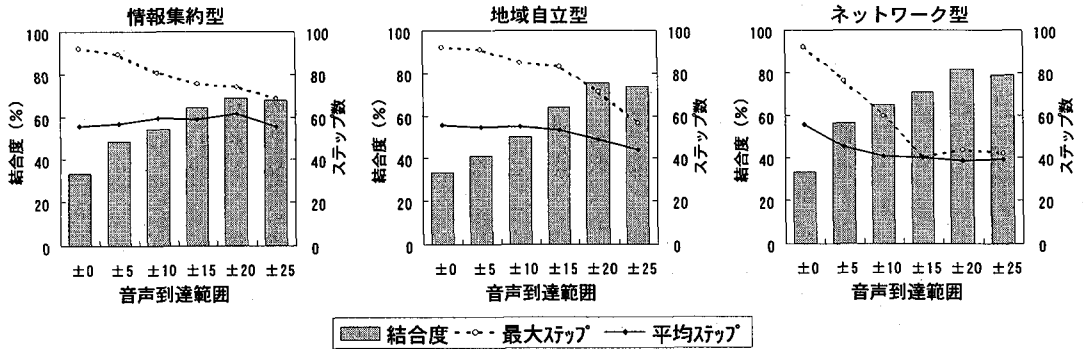


図-5 各シナリオの結合度とステップ数

この図においてはさらに、地域全体が音声到達範囲に入る±15ノード以上において、平均ステップ数と最大ステップ数の差がほぼ無くなっていることから、より多くの人に、より早く、しかも安定的に情報伝達を行えたことが表現されている。

以上の結果は、効率的な情報伝達を行うためには、情報収集ポイントが地域内に多いこと、収集された情報が即座に伝達されること、拡声器間の連動によって情報が地域内で共有化されること、などが重要であることを示唆している。

6. おわりに

本研究では、阪神大震災を契機に各地で整備が進められている防災情報システムの評価を目的として、災害時の情報伝達シミュレーションの基本的構造を検討してきた。その結果、防災情報システムの評価方法の基本的枠組みとしては概ね妥当なシミュレーション技術が提示できたものとする。しかしながら、ここで開発したシミュレーションモデルは、基盤目状に住民を配置した仮想的空間で構成されていること、地震災害直後の避難情報の伝達のみが念頭に置かれていることなど、多くの限定的状況のもとで構成されているため、実用化に向けての課題も残されている。

本研究の今後の検討課題として、まず取り組むべき事項は、実際の地域適用に向けてモデルの改良を行うこと、住民の情報伝達特性の実態や防災情報システムの現実的な機能特性をモデルに反映させるこ

となどであり、さらに長期的な課題としては、情報伝達のみならず情報収集についての検討も詳細に行ってモデルに反映すること、地震以外の災害や住民の避難行動特性を順次考慮し、総合的見地に立って情報伝達体制の整備のあり方が検討できるモデルに改良を重ねることなどである。

【参考文献】

- 1) 総合研究開発機構：「大規模直下型震災時における被災地域住民行動実態調査」, NIRA研究報告書 No. 950067, 1995
- 2) 廣井 脩：「防災情報システムはどう改善されたか」, 都市問題研究, 第49巻 第1号, pp. 33-44, 1997
- 3) 山口勝己：「阪神・淡路大震災以後の防災対策」, 自治フォーラム, Vol. 448, pp. 11-18, 1997
- 4) 神戸市広報課：「神戸の情報網整備」, ぎょうせい, 1996
- 5) 高寄昇三：「阪神大震災と自治体の対応」, 学陽書房, 1996
- 6) 小田貞夫・大西勝也：「災害情報の伝達と受容—北海道南西沖地震」, 放送研究と調査, Vol. 43, No. 11, pp. 3-15, 1993
- 7) 川上庄二郎：「被災情報の早期把握と初動体制の強化」, 土木学会誌, Vol. 81 5月号, p. 54, 1996
- 8) 船津 衛：「災害情報と災害情報メディア」, 「地域情報と地域メディア」, pp. 147-188, 恒星社厚生閣, 1994
- 9) 廣井 脩：「災害情報論」, pp. 35-36, 恒星社厚生閣, 1991
- 10) 片田敏孝・青島縮次郎・及川 康：「災害時における住民間情報伝達ネットワークのモデル化の検討」, 都市計画論文集, No. 31, pp. 757-762, 1996
- 11) Rapoport, A. : A Probabilistic Approach to Networks, Social Networks, No.2, pp.1-18,1979