

# 地震発生時の社員参集シミュレーションと 出勤先最適化

中山香奈子, 木村新之介, 猪股 涉, 乗藤 雄基

当社のBCP（地震編）では、地震発生から72時間を「初動期」と定め、自身や家族の安全を確保できた社員から速やかに職場に出勤し復旧業務にあたることとしている。この初動期の社員参集率を予測するための参集シミュレーションツールの開発を行った。また、参集モデルに基づき社員の出勤先を最適化し、平均参集時間がどの程度短縮されるかを計算した。これらの計算結果を元に、大規模地震発生時の都市ガス供給の迅速な復旧を実現すべく、当社のBCP（地震編）のさらなる改善を進めている。

キーワード：ライフライン、ガス、復旧、参集、シミュレーション、出勤、最適化

## 1. はじめに

ガス、電力、水道などのライフライン事業者にとっては、自然災害やテロ攻撃などの緊急事態が発生した際に、できるだけ早く供給を復旧させるためのBCPを策定しておくことが重要である。都市ガス事業者である当社でも、大規模地震災害、重大供給支障事故、強毒型インフルエンザの流行など、想定される事故・災害に合わせて数種類のBCPを策定している。このうち、当社のBCP（地震編）では、地震発生から72時間を「初動期」と定め、自身や家族の安全を確保できた社員から速やかに職場に出勤し二次災害防止のための初動措置業務にあたることとしている。したがって、休日や夜間など社員の通常勤務時間外に大規模地震が発生した場合は、地震発生後何時間で何人の社員が出動できるかが、都市ガスの保安措置・地震災害からの復旧スピードを決める大切な要因となってくる。

本稿では、大規模地震が発生した場合の社員の参集状況をシミュレーションするためのツールを開発し、また、参集モデルに基づき社員の出勤先最適化を行った結果を報告する。

## 2. 社員参集シミュレーションツールの開発

### 2.1 参集モデルの概要

関東エリアを1 km四方のメッシュに分割し、社員  $k$  が、出勤元から出勤先までの参集に要する時間  $T_k$  を

$$T_k = \sum_{i,j} (L_{ijk}/v_k/C_{ij} + T_{ij}) + T_{k\_init}$$

で表す。

ここで、各変数の定義は以下のとおりである。

- ①  $L_{ijk}$  : 社員  $k$  の、移動元 (=地震発生時の居所) から出勤先までの経路のうち、メッシュ  $ij$  を通過する距離 (通過しないメッシュについては0)
- ②  $v_k$  : 社員  $k$  の移動速度
- ③  $C_{ij}$  : 移動速度にかかわるメッシュ  $ij$  の遅延係数
- ④  $T_{ij}$  : 移動速度にかかわらないメッシュ  $ij$  の遅延係数
- ⑤  $T_{k\_init}$  : 社員  $k$  が、地震発生から移動開始までに要する時間

### 2.2 シミュレーション結果の一例

当社では、前述の参集モデルに基づいたシミュレーションツールを用いて、様々な想定条件でのシミュレーションを行い、BCP（地震編）における初動体制のさらなる効率化を検討している。ここで、そのシミュレーション結果の一例を紹介する。

いま、社員参集状況の最悪ケースを推定するために、以下のような条件を設定した。

- ・ 通常勤務時間外に大規模地震が発生したと想定し、地震発生時に全社員が自宅にいるものと仮定する。

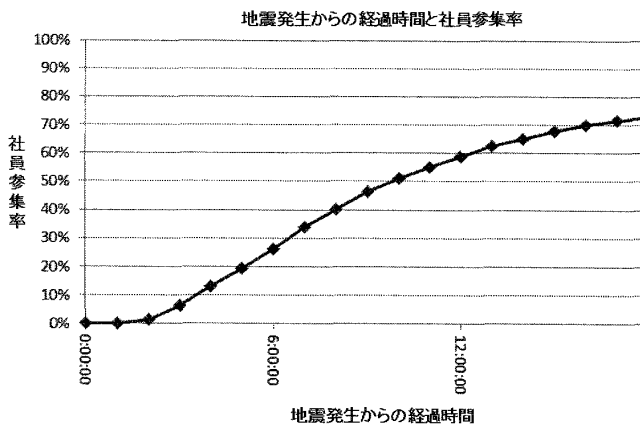


図1 地震発生からの経過時間と社員参集率

- ・公共交通機関はすべて止まっているものとし、社員は自宅から徒歩で（移動速度  $v_k$  を一律 4 km/h とおく）、道路ネットワーク上の経路を通じて出勤先に向かう。
- ・移動速度にかかわるメッシュ  $ij$  の遅延係数  $C_{ij}$  については、想定した地震の震度に応じた値を設定した。
- ・移動速度にかかわらないメッシュ  $ij$  の遅延係数  $T_{ij}$  は、道路の通行止めや交通規制などが考えられるが、今回の計算では、すべてのメッシュについて 0（遅延なし）とおいた。
- ・地震発生から移動開始までに要する時間  $T_{k\_init}$  は、当社内で実施したアンケート結果に基づき、以下の通り設定した。

$$T_{k\_init} = \begin{cases} a, & \forall k \in K_1 \\ \infty, & \forall k \in K_2 \end{cases}$$

where  $K_1$ : 初動期に出動できる社員  
 $K_2$ : 初動期に出動が困難な社員

この条件のもと、当社の正社員のうち出向者等を除く約 7,000 名についてそれぞれの  $T_k$  を計算し、これらを集計した結果、全社員のうち初動期に出動可能な社員の平均参集時間は 9 時間 2 分であり、地震発生 12 時間後の社員参集率は 58.8% であった。図 1 に地震発生からの経過時間と社員参集率のグラフを示す。

### 3. スタッフ社員の出勤先最適化検討

当社の BCP（地震編）では、初動期（地震発生後 72 時間）においては、都市ガスの製造・供給の維持および保安の確保のために最低限必要な業務だけを継続し、残りの業務はいったん中断した上で、社員全員体制で災害対応業務にあたることとなっている。ここで、災害対応業務の中でも、都市ガス導管の修繕など

表 1 スタッフ社員の現状の出勤先と新たな出勤先

現状出勤先	スタッフ社員数	現状出勤先	スタッフ社員数
拠点 A	549	拠点 N	12
拠点 B	379	拠点 O	8
拠点 C	137	拠点 P	6
拠点 D	131	拠点 Q	6
拠点 E	111	拠点 R	5
拠点 F	107	拠点 S	4
拠点 G	81	拠点 T	3
拠点 H	53	拠点 U	2
拠点 I	33	拠点 V	1
拠点 J	24	拠点 W	1
拠点 K	15	拠点 X	1
拠点 L	14	拠点 Y	1
拠点 M	14	拠点 Z	1

表 2 スタッフ社員の新たな出勤先

新たな出勤先	必要人員数	備考
拠点 G	37	電話受付センター応援要員
拠点 I	67	電話受付センター応援要員
拠点 K	145±20%	
拠点 L	145±20%	
拠点 M	145±20%	
拠点 N	145±20%	
拠点 P	145±20%	
拠点 R	145±20%	
拠点 T	145±20%	
拠点 U	145±20%	
拠点 V	145±20%	
拠点 X	145±20%	
拠点 AA	145±20%	

一定のスキルを必要とする業務以外を担当する社員をスタッフ社員と呼ぶことにする。スタッフ社員は、現在の当社の出勤体制では通常の勤務先に出動することとなっているが、その災害対応業務はいわゆる後方支援的な要素が強く、必ずしも通常の勤務先で執務する必要はない。そこで、スタッフ社員の出勤先を変更し最適化することで、どれだけの参集時間短縮が可能かを検討した。

#### 3.1 スタッフ社員の出勤先最適化

現在のスタッフ社員の出勤先（＝勤務先）は、表 1 のとおりであり、当社の大規模事業所である拠点 A や拠点 B に集中していることがわかる。そこで、これらのスタッフ社員の新たな出勤先として、地理的に分散しており、かつ、初動措置業務遂行に十分なインフラ設備を備えた 13 拠点（当社の 11 支店＋電話受付センター 2 拠点）を選定した（表 2）。

いま、この新たな出勤先 13 拠点の必要人員数を満たしつつ、平均参集時間が最短となるよう、スタッフ

表3 スタッフ社員の出勤先最適化結果

	現状(最適化前)	最適化後
出勤可能なスタッフ社員の平均参集時間	8時間 16分	4時間 22分
地震発生 12 時間後のスタッフ社員参集率	61.2%	75.0%

社員の出勤先を最適化する。発生する地震のパターンは複数考えられるため、複数ケースの地震に重みづけし、加重平均された参集時間を最小化する。

すなわち、

$$\min \sum_n (w_n \cdot \sum_{i,j,k,s} X_{ks} \cdot ((L_{ijk}/v_k/C'_{ijn} + T_{ij}) + T_{k\_init}))$$

$$s.t. U_s \geq \sum_{k \in K} X_{ks} \geq D_s \quad \forall s \in S$$

$$\sum_{s \in S} X_{ks} = 1 \quad \forall k \in K$$

$$X_{ks} \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K, \forall s \in S$$

where  $X_{ks}$  : 社員  $k$  が拠点  $s$  に出勤するかどうかの意思決定変数

$k (\forall k \in K)$  : 社員

$s (\forall s \in S)$  : 拠点

$n (\forall n \in N)$  : 地震発生ケース

$i (\forall i \in I)$  : メッシュ X 座標

$j (\forall j \in J)$  : メッシュ Y 座標

$w_n$  : 地震発生ケース  $n$  の重み

$L_{ijk}$  : 社員  $k$  の出勤経路のうち、メッシュ  $ij$  を通過する距離

$v_k$  : 社員  $k$  の移動速度

$C'_{ijn}$  : 地震発生ケース  $n$  における移動速度に関わるメッシュ  $ij$  の遅延係数

$U_s$  : 拠点  $s$  の最大収容人数

$D_s$  : 拠点  $s$  の最小必要人数

となる。

この結果、初動期に出勤可能なスタッフ社員の平均参集時間および地震発生 12 時間後の社員参集率は、表3のとおり大幅に短縮されることが確認できた。

図2は、スタッフ社員参集率の、現状(最適化前)と最適化後の比較である。また、図3、図4はそれぞれ、現状(最適化前)と最適化後について、スタッフ社員の自宅(●)と出勤先拠点(★)間を直線で結んだマップである。現状は多くのスタッフ社員の出勤先が特定の拠点に集中しており、自宅と出勤先拠点間の距離も比較的長くなっているが、最適化後は、スタッフ社員が自宅に近い拠点に出勤している様子が見取れる。

地震発生からの経過時間とスタッフ社員の参集率

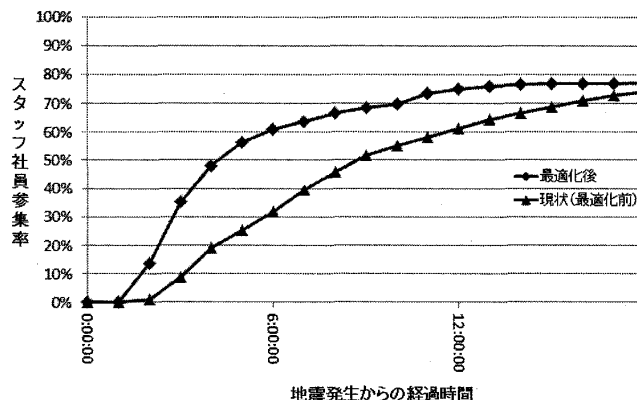


図2 現状(最適化前)と最適化後のスタッフ社員参集率

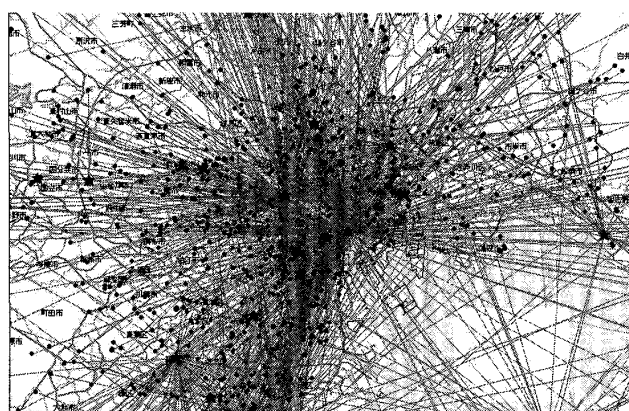


図3 現状のスタッフ社員の自宅と出勤先マップ

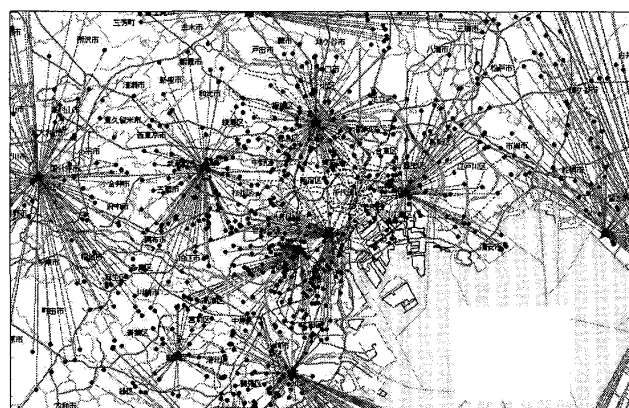


図4 最適化後のスタッフ社員の自宅と出勤先マップ

#### 4. 今後の展望

3節で述べたとおり、社員の出勤先を最適化することにより、地震発生時の社員参集状況を大幅に改善できることが確認された。現在当社では、この結果を元に、地震発生時の出勤体制の見直しを行っている。

また、本稿で紹介した社員参集シミュレーションお

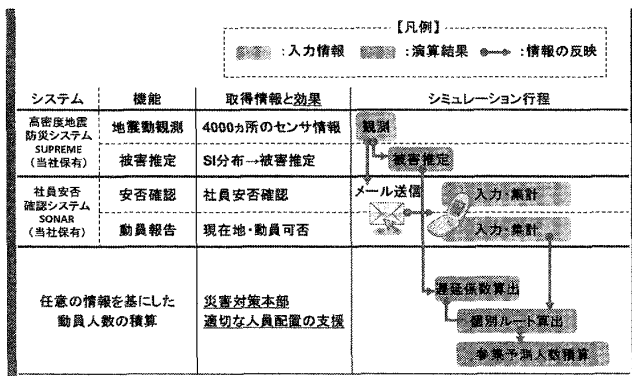


図5 将来のリアルタイムシミュレーションのイメージ

よび最適化は、参集時間に関するモデルを設定し、一定の条件の元で計算した静的なものであったが、将来は、図5のように、地震発生時にリアルタイムで各種

情報を収集し（携帯電話のGPS機能を利用した社員の現在位置情報、各地の震度情報や公共交通機関の運行状況に基づいた遅延係数等）、時々刻々と変化する状況に合わせたシミュレーションを実施する体制を確立していきたいと考えている。

参考文献

- [1] 福島誠一郎, 矢代晴実, 高橋誠: 地震時従業員参集評価システムの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2 分冊, pp.389-390 (1999).
- [2] 乗藤雄基, 猪股涉, 中山香奈子, 木村新之介: 地震発災直後における社員参集のモデル化と実情報を用いたシミュレーション, 土木学会第65回年次学術講演会予稿集 CD-ROM, IV-152 (2010).