

## 6. 大規模災害発生時の徒歩帰宅グループ作成手法の開発

森田匡俊・小林哲郎・奥貫圭一・落合鋭充・小林広幸

### 1. はじめに

大規模災害発生時の帰宅困難者対策の一つに「徒歩帰宅者への支援」が挙げられており（首都直下地震帰宅困難者対策協議会2012）、行政による支援ルートの設定や、徒歩帰宅者への支援物資を各主体が備蓄するといった対策が進みつつある。こうした対策に加え、より安全な徒歩帰宅の実現のためには、単独で帰宅するのではなく、なるべく居住地近くまで複数名（グループ）で帰宅することが望ましい（廣井・中野2013）。その際、グループで帰宅することによる遠回りはなるべく少ない方が良い。そこで本研究では、これらを考慮した徒歩帰宅のための主体構成員のグループ作成手法を開発する。また、開発した手法を実データに適用し、その有効性や結果の活用方法について検討する。

主体構成員の居住地点を基にグループ分けすることができれば、大規模災害時の徒歩帰宅をより安全に実現させられる可能性が高まるほか、グループごとに時間をずらして帰宅を始めるといった対策が取りやすくなることで、「一斉帰宅の抑制（首都直下地震帰宅困難者対策協議会、2012）」にもつながることが期待できる。また、グループごとに無事に帰宅できたかどうかを確認することで、効率的に情報収集することができるなど、主体構成員の居住地点情報を基にしたグループ作成手法を開発する意義は大きいといえる。

### 2. グループ作成手法

徒歩帰宅のためのグループ分け手法として、何らかの基準によって主体構成員をグループ分けし、グループ構成員の遠回りが最も少なくなるような経路を各グループについて探索するという方法がありうる。しかし、この方法による経路探索は、巡回セールスマン問題（山本・久保1997）となるため、グループ構成員数が多くなると経路探索が困難になるという欠点がある。また、少なからず遠回りをする中で、徒歩による帰宅距離が延びるため、極めて望ましい方法とは言えない。そこで本研究では、すべての主体構成員について、出発地点（たとえば、会社オフィスや工場、大学キャンパス）から各主体構成員の居住地点（たとえば、社員や学生の居住地点）までの最短経路情報を用いるグループ作成手法を提案する。また、最短経路情報に加えてグループ数やグループ構成員数をグループ作成時の制約条件として用いる。以下、図1に示すサンプルデータを例に具体的な手順を示す。

#### 手順1：出発地点から居住地点までの最短距離 木作成と通過するノードの記録

まずは、すべての主体構成員の居住地点（A～M）について、出発地点からの最短経路を探索し、出発地点を根とする最短経路木（Dijkstra 1959）を求める。このとき、すべての居住地点について、出発地点から居住地点に辿り着くまでに通過するノードを記録する。図2は、図1についての最短経路木と出発地点のノード、通過する最短経路上の交差点ノード、居住地点

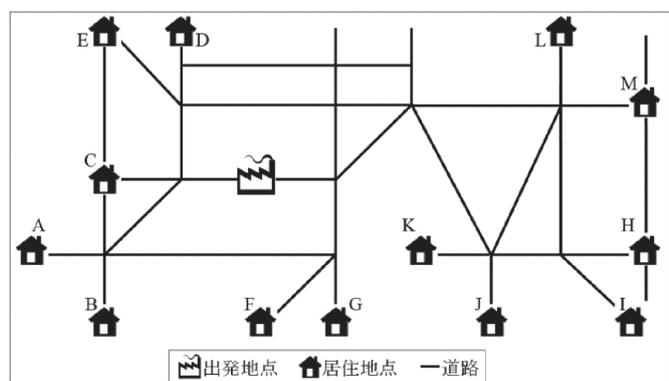


図1 サンプルデータ

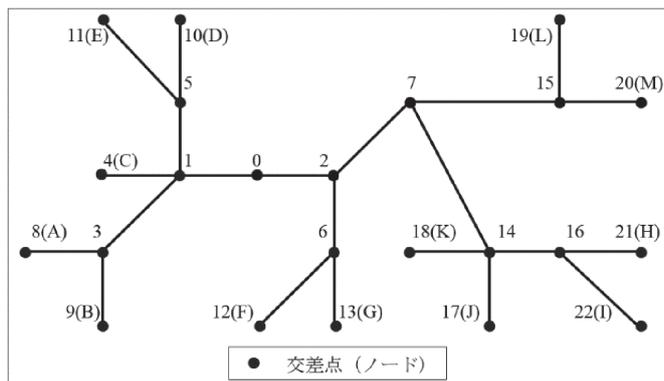


図2 最短経路木とノード

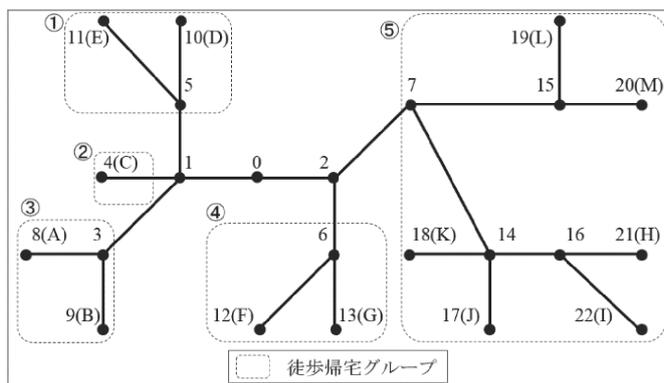


図3 第2段階の徒歩帰宅グループ

ノードを示したものである。

### 手順2：最短経路木の分割によるグループ作成

ここではグループ数の上限NGとグループ構成員数の下限MINGを制約条件とする場合を例に説明する。まず、出発地点となるノード0で分割される部分木上の居住地地点ノードを第一段階の徒歩帰宅グループとする。図2の場合は、この段階でノード1を根とする部分木とノード2を根とする部分木によって計2つの徒歩帰宅グループが作成される。次に、部分木の根となるノードによりさらに分割される部分木を用いて、第1段階のグループを再分割する。この第2段階で作成される徒歩帰宅グループ①～⑤を図3に示す。この作業をグループ数がNGに達するまで繰り返す。ただし、図3のグループ①、③、④のように、グループ数がNGに達する前であっても、グループ構成員数がMING（ここでは2人を構成員数の下限とする。）となるグループが作成された場合にはグループを確定させる。また、グループ②のように、MING以下

（図3の場合は1人）のグループが作成された場合には、グルーピング終了後に該当する構成員の居住地地点から、最近隣のグループの根になっているノードを探索し、そのグループに統合する。図3の場合、グループ②はグループ①に統合する。

## 3. A社社員データへの適用によるグループ作成結果と考察

ここでは、提案した徒歩帰宅のためのグループ作成手法について、愛知県に所在するA社の社員居住地データに適用することで、手法の有効性を検証し、かつ本手法を有効活用するための考察を行う。

### 3.1 利用する地理データとソフトウェア

A社より提供された約1,700名（情報保護の観点から正確な数字は記載しない。）の社員居住地住所情報から、各住所の町丁目レベルの行政区域代表点の緯度経度情報を取得した。本研究では、この緯度経度情報を社員の居住地地点として扱う。緯度経度情報は、Esri ジャパン社のArcGIS10.1と「ArcGIS Data Collection住居レベル住所」を利用したアドレスマッチングによって取得した。道路データはEsri ジャパン社の「ArcGIS Data Collection道路網2012」を用いる。ただし、徒歩による利用が困難な道路（高速道路や自動車専用道路）、および2012年に内閣府が発表した南海トラフの巨大地震の津波想定浸水域と重なる道路は除いて分析に用いた。また、災害時の徒歩帰宅経路としてなるべく主要道路を利用した方が望ましいと考えたため、国道リンクについては実際の長さの80%の長さにデータを加工して分析を行った。最短経路探索は、オープンソースのpgRouting (<http://pgrouting.org/>)を用いて実施し、最短経路木の作成に必要な情報を取得した。

居住地データと道路データを用意したのち、A社が徒歩帰宅を許可する社員、すなわちグループによる徒歩

帰宅の対象となる社員の絞り込みを行った(図4)。まず居住地点データと、南海トラフの巨大地震の津波想定浸水域と重なる居住地点の社員を対象から除外した。なお、居住地点が津想定波浸水域と重ならなくても、居住地点に辿り着くための道路が浸水域と重なり、浸水域を避けて居住地点に辿り着くことが出来ない場合も除外した。次に中林(1992)を参考に、A社の工場から居住地点までの最短経路距離が10km以上となる居住地点の社員をグループによる徒歩帰宅の対象から除外した。最後に、A社の工場から最短経路距離が2km以内の居住地点も対象から除外した。これは、2km以内の居住地点であれば、グループによる徒歩帰宅の必要はないというA社の判断基準によるものである。結果、グループによる徒歩帰宅の対象となる社員は675名となった。本研究では、この675名を対象に徒歩帰宅のためのグループ作成手法を適用する。

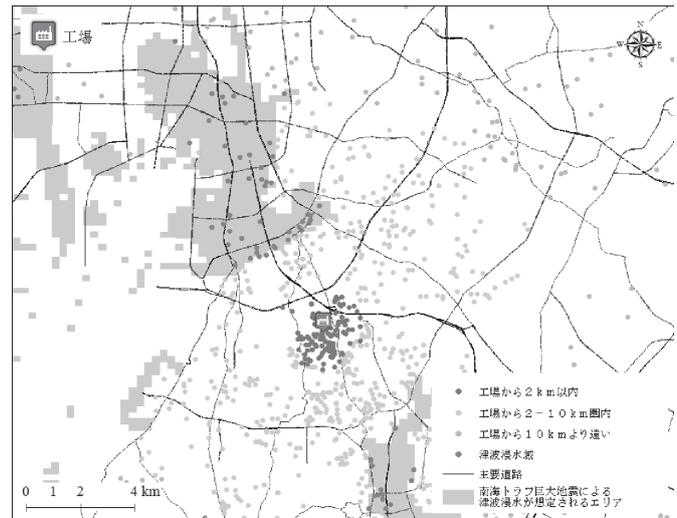


図4 A社社員の居住地点データ

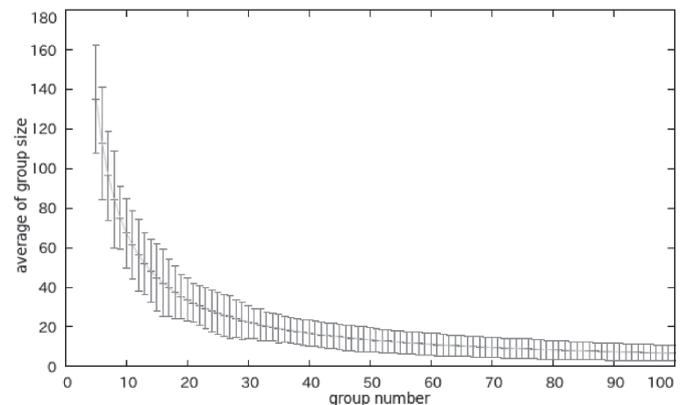


図5 グループ数と平均構成員

### 3.2 グループ数とグループ構成員数

制約条件としてグループ数を20以下、グループ構成員数を5名以上と設定し、A社の徒歩帰宅グループを作成することとした。グループ数を20以下とした理由は大きく二つある。まず一つ目は、グループごとに段階的に帰宅させる際の管理面での手間である。グループ数が多くなるほど、居住地点が近い人たちのみでグループを構成できるものの、すべてのグループを段階的に帰宅させ終わるまでの時間と手間は増加する。大規模災害後の混乱時にスムーズなグループ帰宅を実現させるためには“適度な”グループ数とする必要があり、A社の場合はその数を20とすることとした。

二つ目の理由は、グループ数に応じて変動するグループごとの構成員数とそのばらつきである。図5にグループ構成員数を5名以上とした上で、グループ数を網羅的に変動させた際の平均構成員数と標準偏差を示す。横軸がグループ数、縦軸が作成されたグループの平均構成員数、エラーバーが構成員数の標準偏差である。図5をみると、グループ数が少ないほど平均構成員数は多く、かつグループ間でのばらつき(標準偏差)も大きいことがわかる。構成員数が多いグループが作成されると「一斉帰宅の抑制」の効果が期待できなくなるため、“適切な”構成員数のグループが作成されるようにグループ数を設定することが望ましい。図5より、構成員数の平均とそのばらつきのグループ数による変動が小さくなるのは、20グループ以上からであることが分かる。以上、一つ目と二つ目の理由を併せて考慮した結果、A社の事例ではグループ数を20以下とする制約条件を設定した。なお、グループ構成員数についての制約条件は5名以上としたものの、グループ数が20以上の場合にはグループ作成に影響することはなかった。

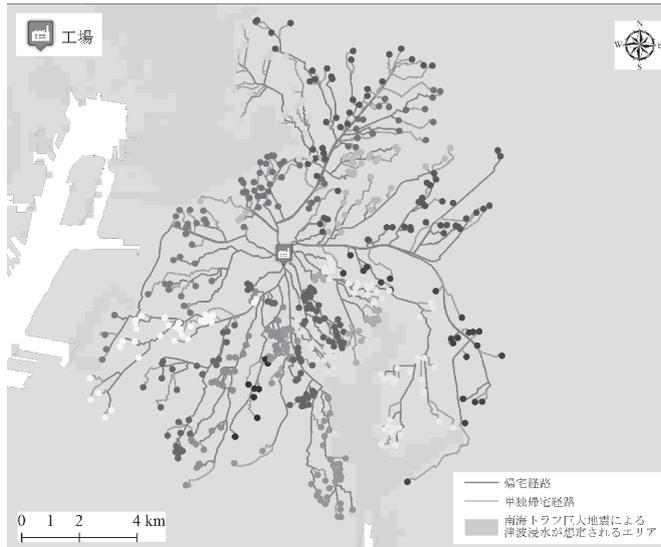


図6 グループ作成手法の適用結果

### 3.3 グループ作成手法の適用結果と考察

A社の社員675名を対象に提案した手法を適用し、20グループを作成した結果を図6および表1に示す。図6にはグループごとに色分けをした居住地点と複数名以上で帰宅する経路（灰色）、居住地点ごとに単独で帰宅する経路（赤色）を示した。まず図からは、多くのグループが道路網に沿って細長い形状となっていることがわかる。道路に沿ってグループが作成されたことで、各グループ構成員が他の構成員と一緒に帰ることによる遠回りを少なくできることから、本研究で提案した手法の有効性を確認することができる。

次に表1に示した各グループの統計データを見ることで、より詳細に作成手法の有効性について検証する。「構成員数」をみると、20～40名程度のグループがほとんどである（16グループ）。その一方で、50名を超えるグループが3つ作成されており他のグループとの差が大きいといえる。50名を超えるグループは、さらに子グループに分割するといった作業が必要と考えられる。「平均距離」は、各グループ構成員の出発地点から居住地点までの最短経路距離の平均である。たとえば平均距離が長いグループ順に帰宅を開始するといった際の基準としてこの平均距離を利用することができる。「単独帰宅距離平均」は、各グループ構成員が単独で帰宅することになる経路の長さの平均である。この値が大きいグループは、途中までは複数人での帰宅が可能であっても最終的には単独で帰宅せざるを得ない構成員が多いことになる。このことをより詳細に検討するために「単独帰宅距離標準偏差」を算出した。たとえば、IDが9のグループは、単独帰宅距離平均が70m、標準偏差が134となっており、単独で帰宅せざるを得ない距離の長くなる構成員

表1 グループデータ

ID	構成員数	平均距離 (m)	単独帰宅距離平均 (m)	単独帰宅距離標準偏差(m)
1	26	3822	87	171
2	40	8794	160	210
3	27	4812	106	162
4	25	4061	189	375
5	41	6019	203	376
6	34	5929	246	298
7	37	6872	79	235
8	57	5006	97	219
9	58	3042	70	134
10	34	4937	358	598
11	22	3863	222	303
12	52	6519	241	332
13	24	8314	643	863
14	23	4272	230	416
15	35	6158	360	505
16	21	5011	371	598
17	28	6182	454	644
18	24	8087	527	444
19	35	7137	467	379
20	32	3112	231	292

がほとんどいないと考えられる。一方、IDが13のグループは単独帰宅距離平均が最も長く、標準偏差も大きい  
ため、単独で帰宅せざるを得ない距離が長くなる構成員の多いグループと考えられる。このようなグループにつ  
いては、多少遠回りになってもグループ構成員の居住地点を巡回するような経路で帰宅するといった対策が必要  
になるかもしれない。

#### 4. おわりに

本研究では、大規模災害時により安全に徒歩帰宅を実現させるための主体構成員グループ作成手法を開発し、  
実データに適用することで有効性や活用方法の検討を行った。結果、提案した手法によりある程度有効なグルー  
プ作成が可能であることが確認できた。課題としては、たとえば居住地点が比較的近いにもかかわらず異なるグ  
ループに属する場合のあることが挙げられる。最短経路木とグループ数、構成員数以外の指標を制約条件に加え  
ることで今後改良をはかっていきたい。たとえば、最近隣の居住地点がベアになる場合は同一グループとする  
といったことや、同一学区の居住地点は同一グループとするといった制約条件の設定を行っていきたい。

#### 参考文献

- Dijkstra, E., "A note on two problems in connexion with graphs", *Numerische Mathematik*, 1, pp. 269-271, 1959.
- 首都直下地震帰宅困難者対策協議会：首都直下地震帰宅困難者等対策協議会最終報告, <http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/kitaku/pdf/saishu02.pdf>, 2012 (最終閲覧日：2013年5月16日).
- 中林一樹：地震災害に起因する帰宅困難者の想定手法の検討, *総合都市研究*, 47, pp. 35-75, 1992.
- 廣井悠, 中野明安：これだけはやっておきたい帰宅困難者対策Q&A, 清文社, 2013.
- 山本芳嗣, 久保幹雄：シリーズ〔現代人の数理〕12 巡回セールスマン問題への招待, 朝倉書店, 1997.