

地震時の地域分断を想定した 医療施設配置の評価に関する研究

学位論文内容の要旨

1995年の阪神・淡路大震災では多数の負傷者が発生し地域の医療施設での対応に様々な問題を投げかけた。なかでも、発災直後には負傷者は至近の医療施設を選択することから、特定の医療施設に集中が生じたり、設備を有しながら余り利用されない施設が出るなど問題を生じた。医療施設の収容能力を含めた空間分布は重要な課題である。さらに震災時には線状構造物の損壊により地域分断が生じることから平常時とは異なる状況を想定した施設の配置問題を考える必要がある。施設の配置問題に関する研究は多くボロノイ図による至近領域の評価、線形計画法輸送問題の適用による評価などが行われている。しかし、地震時の地域分断を考慮した評価は行われていない。

本論では地震時の地域分断が生じた場合の医療施設の配置問題について、最初にボロノイ図を用いた評価法を展開する。次いで、分断条件に柔軟に対応できるようマルチエージェントシミュレーション手法を導入し、簡便かつ視覚的に評価することを試みる。具体的な適用例としては地方中核都市で地震危険度の高い北海道苫小牧市を選ぶ。同市は東西に長く東西に走る鉄道線路が市域を大きく分断している。

苫小牧市に存在する一般病院を評価の対象とし、苫小牧市の地震被害想定書で想定されている地震時の負傷者を考える。最初に各負傷者が至近の医療施設を利用する場合の圏域をボロノイ図で評価するとともに、鉄道線路および市域を東西に分割する河川を考慮し市域が分断された場合の圏域を求め評価を行う。次いで、各医療施設の収容能力を考え、満床になった場合の医療施設の選択を負傷者の動的な動きと捉え評価を行う。負傷者の動きの追跡にマルチエージェントシミュレーション（MAS）を導入する。MASは個々のエージェントに単純なルールを与え行動させ全体としての相互作用から全体の動きを求めようとするものである。地震時の地域分断に対して完全な分断から部分的な分断までMASを適用することによって柔軟に対応することができ、より現実に近い状態での評価が可能である。

本論文は6章より構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章「序論」では、阪神・淡路大震災における被災地内の医療施設配置の課題を踏まえ本論文の目的ならびに本研究の方法や構成について述べた。

第2章「地震時の医療施設の役割」では、阪神・淡路大震災において明らかになった医療施設の問題から施設配置の課題について述べた。さらに、配置計画問題に関する最近の研究動向を整理し本研究の位置付けを行った。

第3章「苫小牧市の地震被害想定」では、モデル地区とする苫小牧市の地震環境について述べ、苫小牧市が実施した地震被害想定書から人的被害に関する被害想定結果を整理した。次いで市内の現況を調査し、地震時に重要な役割を果たす病床20床以上の一般病院をリストアップし医療施設の概要や収容能力を明らかにした。

第4章「医療施設配置の静的評価」では、まず市域のモデル化を行った。市域を30×54(1620)のメッシュマップで構築、1メッシュは500m×500mとする。市内を東西に走るJR室蘭本線、市内を南北に流れる苫小牧川を考え、これらで地域が北東、南東、北西、南西の4地域に分離される状況を想定する。被害想定報告書を参照し負傷者分布を算定し、既存の医療施設を利用するとする。分断のない場合には、震災直後の緊急性から被災者は被災地から一番近い医療施設を利用すると考えボロノイ図を作成、評価する。評価指標として占有率と平均搬送距離を用いる。占有率は病院自体の余裕についての指標で、利用可能病床数と要入院患者数の比で求める。平均搬送距離は医療施設あたりの平均搬送距離である。地域分断のない場合の結果からは、負傷者発生分布が市中央部で少なく郊外に集中していることから市中央部の占有率は郊外より余裕があり、平均搬送距離は市中央部で短距離、郊外が長距離でありバランスに問題があることが明らかにされた。また、地域分断による場合については、占有率が東側で大きく変化した施設が多く、北側で余裕ができ南側でなくなり、平均搬送距離は東西両端南側の施設で長距離となるなど、問題点を指摘することができた。すなわち地域分断を考慮した場合、平常時における問題点を残したまま、地域分断による新たな問題を附加する結果となることが明らかにされた。

第5章「医療施設配置の動的評価」では、マルチエージェントシミュレーションを導入し、次のルールを用いた。各メッシュ内に発生した負傷者は最近隣の医療施設を目指し、満床になると次の施設を探し移動する。移動は隣接8方向でステップ毎に1メッシュ前進する。地域分断のない場合は、全医療施設が満床になることはないので負傷者全員が施設に収容されシミュレーションは終了する。完全分断の場合は4地域に分離され、負傷者数や利用可能病床数が異なることから、負傷者が最近隣医療施設を探し目標施設を変更しながら移動する過程を追跡する。同一地域内の全施設が満床になると地域に残された負傷者は未収容者となりその地区は終了する。ボロノイ図は何れかの施設が満床になるたびに変化し作成し直す。部分分断の場合とは、地域分断のない場合と完全分断の場合の中間過程である。分断する線上での負傷者の通過・遮断は遮断率を与え乱数発生によりエージェントを動かす。遮断率を段階的に変化させ評価を行う。動的評価では、占有率、平均搬送距離、目標変更過程、収容・未収容、目標変更回数、変更先の全体的なバランスから分析を行った。その結果をまとめると、地域分断のない場合には未収容はなく最終的にほとんどが市中央部の大規模施設に収容される。完全分断の場合の占有率は東南側で低く余裕はあるが、他では負傷者が未収容となる状況が発生する。平均搬送距離では長距離の施設が少なくなり市中央部の施設では短距離になる。部分分断の場合は、遮断率を下げていくとそれまで3地区に収容されなかった負傷者の多くは分断線を通じ他の地区の施設に収容される状況を再現できた。遮断率が高い場合は多くの負傷者や医療施設に影響を与えることから遮断率を下げる対策が有効であることを示した。以上の結果をまとめ、マルチエージェントシミュレーションを適用することによって部分遮断などの状況に対して柔軟に対処できること、他都市への適用が容易であることを示した。

第6章「結論」では、本研究の結論をまとめ、今後の研究の課題について述べた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 鏡 味 洋 史

副 査 教 授 上 田 正 生

副 査 教 授 緑 川 光 正

副 査 助 教 授 高 井 伸 雄

学 位 論 文 題 名

地震時の地域分断を想定した

医療施設配置の評価に関する研究

地震発生直後の救急医療活動は震災対応の出発点であり、医療施設の収容能力を含めた空間分布は重要な課題である。1995年の阪神・淡路大震災では多数の負傷者が発生し地域の医療施設での対応に様々な問題を投げかけた。なかでも、発災直後には負傷者は至近の医療施設を選択することから、特定の医療施設に集中が生じたり、設備を有しながら余り利用されない施設が出るなど問題を生じた。さらに震災時には線状構造物の損壊により地域分断が生じることから平常時とは異なる状況を想定した施設の配置問題を考える必要がある。施設の配置問題に関する既往の研究は多くボロノイ図による至近領域の評価、線形計画法輸送問題の適用による容量を含めた評価などが行われている。しかし、地震時の地域分断を考慮した評価は行われていない。

本論では地震時の地域分断を想定した医療施設の配置問題について、最初にボロノイ図を用いた評価法を展開している。次いで、分断状況に柔軟に対応できるようマルチエージェントシミュレーション手法を導入し、簡便かつ視覚的に評価することを試みている。具体的な適用例としては地方中核都市で地震危険度の高い北海道苫小牧市を選んでいる。同市は東西に長く東西に走る鉄道線路が市域を大きく分断しており、分断の影響が大きいと考えられる。

苫小牧市内の一般病院を評価の対象とし、苫小牧市の地震被害想定書で想定されている地震時の負傷者を考え、最初に各負傷者が至近の医療施設を利用する場合の圏域をボロノイ図で評価するとともに、鉄道線路および市域を東西に分割する河川を考慮し市域が分断された場合の圏域を求め評価を行っている。次いで、各医療施設の収容能力を考え、満床になった場合の医療施設の選択を負傷者の動的な動きと捉え評価を行っている。負傷者の動きの追跡にマルチエージェントシミュレーションを導入し、地震時の地域分断に対して完全な分断から部分的な分断まで柔軟に対応することができ、より現実に近い状態での評価が可能であることを示している。

本論文は6章より構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章「序論」では、阪神・淡路大震災における被災地内の医療施設配置の課題を踏まえ本論文の目的ならびに本研究の方法や構成について述べている。

第2章「地震時の医療施設の役割」では、阪神・淡路大震災において明らかになった医療施設の問題から施設配置の課題について述べている。さらに、配置計画問題に関する最近の研究動向を整理し本研究の位置付けを行っている。

第3章「苫小牧市の地震被害想定」では、苫小牧市の地震環境について述べ、苫小牧市が実施した地震被害想定書から人的被害に関する被害想定結果を整理している。次いで市内の現況を調査し、地震時に重要な役割を果たす病床20床以上の一般病院をリストアップし医療施設の概要や収容能力を明らかにしている。

第4章「医療施設配置の静的評価」では、まず市域を500m角の30×54メッシュマップで構築し、市内を東西に走るJR室蘭本線、市内を南北に流れる苫小牧川による地域分断を考えている。分断のない場合には、震災直後の緊急性から被災者は被災地から一番近い医療施設を利用すると考えボロノイ図を作成し、評価指標として病床の占有率と平均搬送距離を用いている。地域分断のない場合の結果からは、市中央部の占有率が郊外より余裕があり、平均搬送距離は郊外で遠距離でありバランスに問題があることを明らかにしている。また、地域分断を考慮した場合、非分断時における問題点を残したまま、地域分断による新たな問題を附加する結果となることを示している。

第5章「医療施設配置の動的評価」では、マルチエージェントシミュレーションを導入し、負傷者が、最初に近隣の医療施設を目指すが高床になると次の施設を探し移動する状況をモデル化しシミュレーションによる追跡を行っている。次いで、分断線上での部分通過を許容した分断モデルを提案し、遮断率を段階的に変化させパラメータスタディを行っている。動的評価では、占有率、平均搬送距離、目標変更過程、収容・未収容、目標変更回数、変更先の全体的なバランスから分析を行っている。遮断率が高い場合は多くの負傷者や医療施設に影響を与えることから遮断率を下げる対策が有効であることを示している。以上の結果をまとめ、マルチエージェントシミュレーションを適用することによって部分遮断などの状況に対して柔軟に対処できること、他都市への適用が容易であることを示している。

第6章「結論」では得られた成果をまとめ今後の課題について述べている。

これを要するに、著者は、震災時に重要な役割を果たす医療施設の配置問題に関して、新しいシミュレーション手法を導入して評価を行ったものであり、地震防災学、建築都市学に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。