

GISによる災害時医療支援浮体の 適地選定および規模に関する基礎的研究

On GIS Based Selection of Suitable Site and Facility Scale of Floating Medical Support System on Big Disaster

惠藤 浩朗*・下本 瀬夏*・北畠 佑一**・登川 幸生**・山本 守和***・
宮沢 信太朗****・山口 順子*****・居駒 知樹*・相田 康洋*・増田 光一*
Hiroaki ETO, Sena SHIMOMOTO, Yuichi KITABATAKE, Satiyo TOGAWA,
Morikazu YAMAMOTO, Shintaro MIYASAWA, Junko YAMAGUCHI,
Tomoki IKOMA, Yasuhiro AIDA and Koichi MASUDA

要旨：東日本大震災では医療施設も甚大な被害を受け、被災地の医療活動に支障をきたす要因となった。また阪神淡路大震災ではクラッシュ症候群を発症し死亡する報告も多く確認され、防ぎ得た災害死を減らす一つの手段として、地震被害を受けずに被災地の中心でクラッシュ症候群の患者などに対して医療支援活動が実施可能な医療支援浮体が提案された。医療支援浮体は平時には増え続ける慢性患者のための透析治療施設として機能することを想定し計画されている。本研究では東京都で発生が予想される首都直下地震をもとに、GISを活用して東京都の町丁目ごとの負傷者数やクラッシュ症候群発症者の分布を把握し、その結果をもとに医療支援浮体の適地選定や規模に関する検討を実施した。

キーワード：医療支援浮体、地理情報システム、首都直下地震、クラッシュ症候群

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災は東北地方太平洋沖地震により引き起こされ、東北・関東地方は甚大な被害を受けた。地震とそれに伴い発生した津波、およびその後の余震による死者は2018年3月現在で1万9630人、行方不明者2563人、建築物の全壊・半壊は合わせて約40万戸が確認されている。そして地震、津波の被害により多くの医療施設も機能不全に陥り、陸域の交通網は寸断され、救急救命や医療支援など災害時に急を要する医療活動に大きな支障をきたした。また発災直後に陸路を活用した関連物資の輸送は困難さを極めたが、水域を利用した物資輸送が有効であることが確認された。そこで水域からのアクセスが可能な災害時医療支援浮体（以下、医療支援浮体という）が発災直後の被災地の医療支援に有効な方法

の一つとして提案された²⁾。地震大国である日本では近い将来、首都直下地震の発生が予想されている。内閣府の報告³⁾によると首都直下地震発生時の死者数は2万3000人、負傷者数は12万3000人と想定され、特に荒川沿いの甚大な被害が予想されている。そこで地震の被害を受けず水域から陸域への医療支援活動が可能な医療支援浮体を水域に設置し陸域の医療施設と連携して医療支援を行うことで死傷者の低減が可能と考えられる。また阪神淡路大震災では犠牲者の多くが圧死で、救出後の医療措置までのシステムが確立していなかったことから、救出まで気丈に振る舞った多くの負傷者が収容先の病院で命を落とすケースが多く見られた。瓦礫の下で長時間圧迫され生じるクラッシュ症候群と呼ばれるこの疾病は治療を試みる過程で処置法が見つけられ阪神淡路大震災の大きな教

* 正会員 日本大学 理工学部, ** 正会員 日本大学 理工学部, *** 非会員 日本大学 理工学部,
**** 非会員 日本大学 芸術学部, ***** 非会員 7s Music and Express, ***** 非会員 日本大学 医学部

訓となった。阪神淡路大震災以降、災害時のクラッシュ症候群発症者への対応が重要視され、クラッシュ症候群発症者を治療可能な医療支援施設が必要となった。また災害時の浮体利用例としては日本全国で既に4基の浮体式防災基地⁴⁾が実現しているが、被災地の医療支援に直接的に機能する施設ではない。被災地の医療支援を目的とした浮体利用についての既存研究^{5,6)}については首都直下地震を想定し医療支援浮体の運用、構造計画、平面計画、アクセス計画、緊急輸送道路をもとにした適地に関し検討されているが、クラッシュ症候群発症者の分布をもとに医療支援浮体の適地選定や規模に関する具体的な検討はなされていない。本研究ではクラッシュ症候群発症者の分布からGISを活用し医療支援浮体の適地選定や規模検討を実施する一連の流れを示すことを研究の目的としている。そこでGISを活用して東京都の町丁目ごとの負傷者数やクラッシュ症候群発症者の分布を把握し、既存の病院施設の分布と併せ、医療支援浮体の適地選定や規模に関する検討を実施した。

2. 災害時医療支援浮体の概要

2.1 医療支援浮体の特徴

医療支援浮体は、地震や津波などの災害時に海や河川などの水域から、陸域の医療施設を支援する浮体構造形式の医療支援施設である。図1に医療支援浮体のイメージ図を示す。



図1 医療支援浮体イメージ図

医療支援浮体の利点には、免震性に優れるため医療機器が機能不全になる可能性が低い、維持管理費が病院船などと比較し経済的、曳航が可能、浮体内部空間が活用可能、喫水が浅く乾舷も小さいため水深が浅い水域でも航行や接岸が容易であるため水域からの医療支援活動が可能などなどが挙げられる。しかし医療支援浮体は病院船と異なりエンジンなど推進設備を保有しないため、他の地域へ派遣される際にはタグボートなどによる曳航が必要となる。

災害拠点病院は厚生労働省から耐震化が求められており、病院施設の耐震化⁷⁾は一般的に震度5強程度の中規模地震に対してはほとんど損傷を生じず、震度6強から7程度の大規模地震に対しては人命に危害を及ぼすような倒壊などの被害を生じないことを目標とされている。そのため震度6強を超える地震が発生した際、病院の建物被害は抑えられたとしても院内は一定の被害を受けると考えられる。また現段階では沿岸部に建造された災害拠点病院への津波被害に対する明確な基準は定められていない。そのため免振性に優れ、設置場所や係留方法を工夫することで津波被害も抑えられる医療支援浮体は災害時の被災地への医療支援に大きく貢献できるものと期待される。また将来的に沿岸部の開発が進み、都市への支援体制の在り方が変化しても、医療支援浮体は移動可能であることから必要に応じて設置場所を変更するなど都市開発の状況に応じた展開が可能である。そして他の地域で災害が発生した場合にも派遣可能であり、日本沿岸に医療支援浮体を設置することで、将来的に水域を活用した全国医療支援ネットワークも構築可能となる。

2.2 医療支援浮体の運用と役割

図2に日本の透析患者数の推移⁸⁾を示す。図2より透析患者の数は年々増加しており、東京には3万人を超える透析患者がいる。そこで通常時に医療支援浮体は透析治療を行う病院施設として現在も増え続ける慢性患者の治療を行う。そして災害時には外傷治療可能な医師の確保など事前に検討しておく事項を残すが、平時の治療で扱われる透析治療器はクラッシュ症候群発症者の治療に使用可能である。また水に関しては浮体内への十分な備蓄を前提とするが水の浄化システムを浮体に備えることで周辺水域から水を確保でき、多量の水を要する透析治療へも対応可能となる。医療支援浮体は東京都地域防災計画⁹⁾の中の災害医療支援病院としての位置付けで活動することを想定しており、災害時には陸域の災害

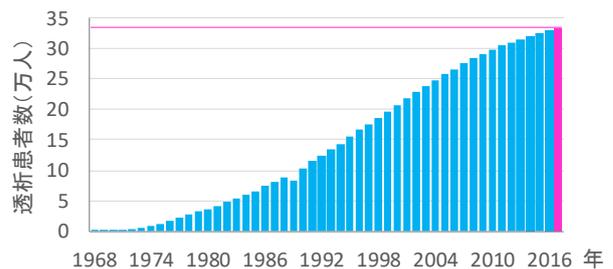


図2 日本の透析患者推移

拠点病院と連携し、特に長い治療時間を要するクラッシュ症候群発症者の対応を主とした活動を行う。

3. 建物倒壊による負傷者の分布

3.1 建物倒壊危険量

医療支援浮体の適地や規模を検討する上で、東京都の首都直下地震による負傷者分布を正確に把握しておく必要がある。本研究では東京都が示す建物倒壊危険量¹⁰⁾をもとに負傷者数を推算する。この危険量は地震動に起因する建物倒壊被害の危険性を示すもので、全町丁目直下の地盤で同じ強さの揺れが生じた際の危険性を表し、単位面積当たりの建物倒壊棟数で示される。図3に東京都の地震被害による建物倒壊危険量を示す。東京都東部で高い値の建物倒壊危険量が確認された。その要因に東京都東部の特に荒川周辺地域には古くからの木造住宅が残り、それらが密集していること、そしてこの地域の土壌が形成された年代も新しく沖積層を中心とした地盤であることが挙げられる。また荒川の堤防はレベル2地震動に対する耐震性能の照査¹¹⁾が適用されていることから本研究では堤防が脆弱な地盤の影響を受けて破壊に至ることはないものと仮定した。

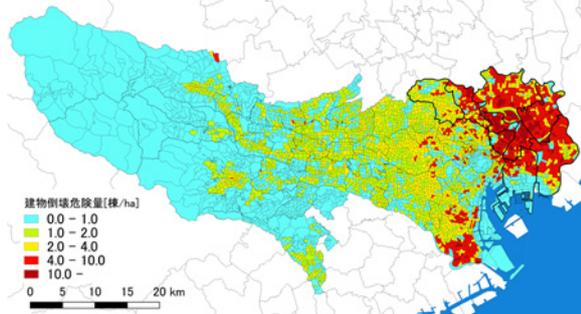


図3 東京都の町丁目ごとの建物倒壊危険量

3.2 町丁目ごとの負傷者分布

医療支援浮体の適地選定や規模を検討するには、地域ごとに発生する負傷者分布を正確に把握する必要がある。しかし地域ごとの詳細なデータは開示されていないため、東京都が公開している首都直下地震で発生する区単位の建物倒壊による負傷者³⁾と、町丁目ごとの単位面積当たりの建物倒壊危険量をもとに、各町丁目の負傷者を推算する。具体的には(1)式により各町丁目の倒壊棟数を算出し、負傷者は倒壊棟数に応じて発生するとの仮定のもと区と町丁目の倒壊棟数の比率と区の負傷者数を掛け合わせることで(2)式の通り、各町丁目の負傷者数を計算した。

$$M_i = d_i \cdot A_i \quad (1)$$

但し、 M_i ：各町丁目の倒壊棟数、 d_i ：各町丁目の建物倒壊危険量、 A_i ：各町丁目の面積

$$N_i = \frac{M_i}{\sum M_i} N \quad (2)$$

但し、 N_i ：各町丁目の負傷者数、 $\sum M_i$ ：区の倒壊棟数、 N ：区の負傷者数

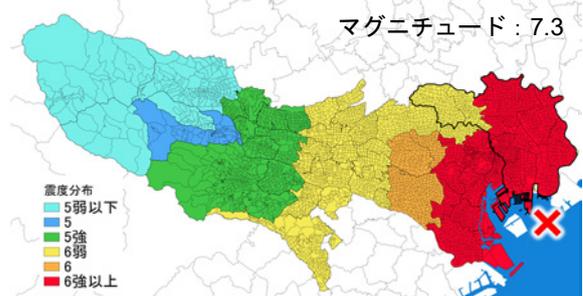
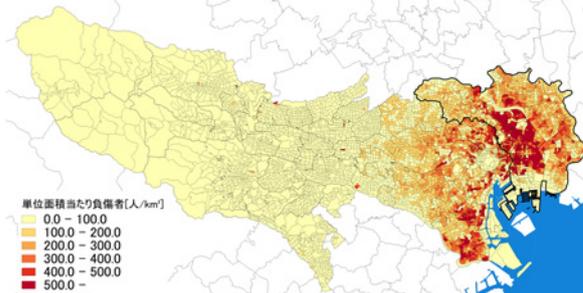
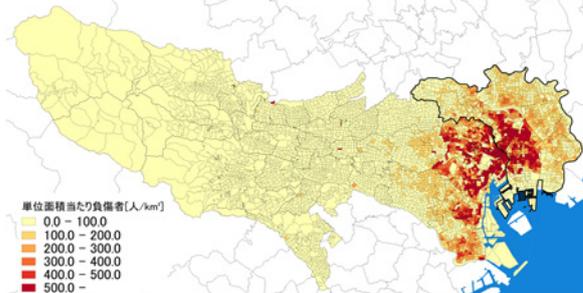


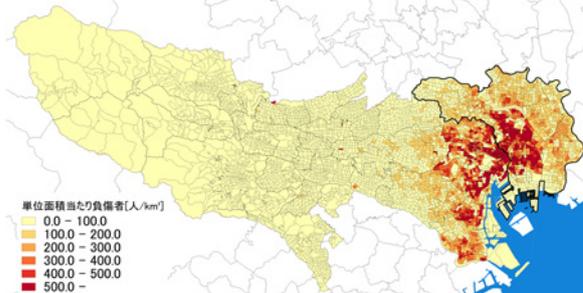
図4 東京湾北部地震における震源地と震度



a) 地震発生5時の分布 (負傷者数：137,079名)



b) 地震発生12時の分布 (負傷者数：130,473名)



c) 地震発生18時の分布 (負傷者数：129,902名)

図5 東京湾北部地震における町丁目ごとの単位面積当たりの負傷者分布

東京都は首都直下地震として4つの想定地震(東京湾北部地震, 多摩直下地震, 元禄型関東地震, 立川断層帯地震)の, それぞれ3つの時間帯(5時, 12時, 18時)における負傷者数³⁾を公表している。そこで本研究ではこれら4つの想定地震の中で最も多い負傷者数を示した東京湾北部地震を対象として解析を進める。図4にその震源地と震度を示す。このようにGISで各地の震度を表示することで, 震度と負傷者分布の関係性をより詳細に把握できる。図5に東京湾北部地震における3つの時間帯の町丁目ごとの単位面積当たりの負傷者数を示す。東京湾北部地震の震源は東京湾奥であり, 東京都東部の建物倒壊危険量も高いことから荒川周辺地域で負傷者の集中が確認された。またこの地域は都心のベットタウンとして利用されていることから, 多くの人々が在宅する5時に最も多く負傷者が発生した。また図5と同様の表現で結果を掲載していないが震源が東京都東部から離れている多摩直下地震, 元禄型関東地震でも東京湾北部地震と同様に荒川周辺地域で多くの負傷者の発生が確認された。そのため首都直下地震により東京都で建物倒壊による負傷者が特に多く発生する図5の太い黒線で囲まれた荒川周辺の9区(足立区, 荒川区, 板橋区, 江戸川区, 葛飾区, 北区, 江東区, 墨田区, 台東区)を医療支援浮体の設置対象地域と設定し, 重点的に解析を行うこととする。

4. クラッシュ症候群発症者の分布

クラッシュ症候群は倒壊した建物などに長時間挟まれ, その圧迫から解放された後に血流を通じて毒素が全身へ広がり発症する病態であり, 早急に対応をしないと死に至る危険性を有する。クラッシュ症候群の治療には透析治療器を用いられることから, 前述のとおり本研究では災害時のクラッシュ症候群発症者への対応を鑑み, 平時に医療支援浮体は透析病院として機能させる。ここで医療支援浮体の適地選定や規模に関する検討を実施する上で地震被害に伴うクラッシュ症候群発症者数を推算する必要がある。本研究では首都直下地震としての想定地震の中で表1に示すとおり最も多くの負傷者数を示した東京湾北部地震の地震発生時刻5時の結果をもとに検討を進める。そしてクラッシュ症候群発症者数は負傷者の3~20%の確率で発症する¹²⁾という研究結果も示されており, 阪神淡路大震災ではクラッシュ症候群と診断された患者は外傷患者の13.7%で, その70%が集中治療を必要とした¹³⁾ことから, 計算する

とその数は外傷患者の約9.6%となる。クラッシュ症候群発症者数は, 地震の規模や震源, 発生時刻などに依存し, その数は大きく変化するものと予想されるが, 建物倒壊による負傷者の10%がクラッシュ症候群を発症する前提のもと解析を行う。

表1より東京湾北部地震の地震発生時刻5時では対象地域内に発生する建物倒壊による負傷者は65,000人にも及ぶことが確認された。図6にその際のクラッシュ症候群発症者の分布と各区の発症者数を示す。図6よりクラッシュ症候群発症者は足立区で最も多く発生することが確認されるが, 足立区の

表1 首都直下地震ごとの解析対象地域(9区)に発生する建物倒壊による負傷者数 [人]

地震発生時刻	5:00	12:00	18:00
東京湾北部地震	65,000	45,700	49,200
多摩直下地震	37,800	25,400	27,700
元禄型関東地震	39,000	26,600	29,000
立川断層帯地震	1,100	800	800



図6 東京湾北部地震の地震発生5時のクラッシュ症候群発症者の分布と各区の発症者数



図7 対象地域における透析治療が可能な医療施設

面積は大きく発症者が分散し発生している。それより荒川区や江東区、墨田区の荒川沿いには発症者が集中していることから、このような地域に対して医療支援浮体を設置することを考え、本研究では荒川に医療支援浮体を設置することとした。

5. 医療施設ごと対応者数の推定

5.1 クラッシュ症候群を治療可能な医療施設

東京都東部の解析対象地域9区には約150の透析施設が存在するが、透析部門の医師には外傷を伴うクラッシュ症候群発症者の治療は困難さを伴う。クラッシュ症候群の治療は緊急透析療法を含む集学的治療が可能な医療者が在籍する災害拠点病院や透析機能を有する災害拠点連携病院に限られる。そこで図7にヒアリング調査により得られた対象地域のクラッシュ症候群に対応可能な18の災害拠点病院、15の災害拠点連携病院の計33の医療施設を示す。

5.2 各医療施設による対応領域

前述の33の医療施設周辺のクラッシュ症候群発症者の分布を把握し、各医療施設が対応する領域内のクラッシュ症候群発症者数を推定することで、医療施設の充足度を把握できる。そこでクラッシュ症候群発症者は最も近い医療施設で治療されることを前提条件とし、各医療施設が対応するクラッシュ症候群発症者数を推定するために、各施設が担当する領域を明確にする。領域分割は施設間の距離から決定されるボロノイ図と、領域内の道路情報から決定されるネットワークボロノイ図の2種類で実施する。

5.2.1 ボロノイによる領域分割

ボロノイ分割は、各ポイントの勢力圏を分析する手法の1つで、各ポイントを結ぶ線分の垂直二等分線で領域を区分する方法である。ここでは対象地域にある33の医療施設をもとに図8に示すボロノイ図を作成した。このボロノイ図により解析対象領域内のクラッシュ症候群発症者から直線距離として最も近い医療施設が明確化される。しかしこのボロノイ図は直線距離だけで平面を分割してしまうため、対象領域にある河川など地理的な条件は考慮されないという欠点が残される。

5.2.2 ネットワークボロノイによる領域分割

基本的にはボロノイ図と考え方は同様だが、ネットワークボロノイでは道路情報をもとに領域が区分

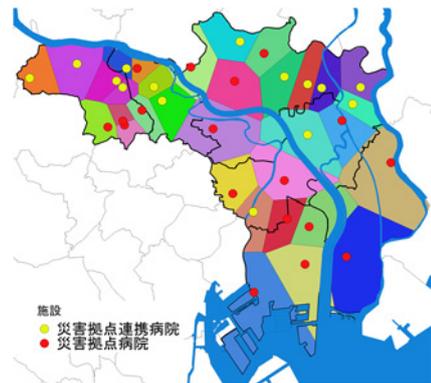


図8 対象地域各施設が対応するボロノイによる領域

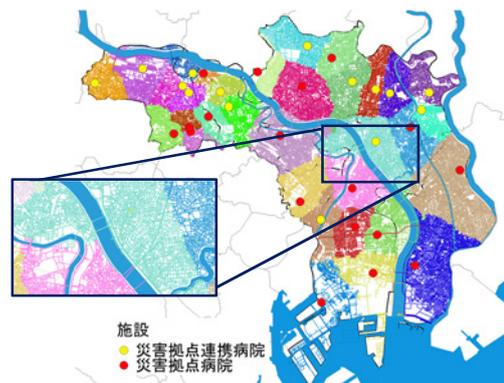


図9 対象地域各施設が対応するネットワークボロノイによる領域

される。複数の地点からネットワーク（道路情報）上で最も近い点を探索することで、各地点の所属するポイント（医療施設）を判断する。ネットワークボロノイ図では道路情報がもとなるため、河川が存在や道路の寸断も考慮可能であり、各ポイントの勢力圏をより正確な情報として提示可能となる。そして発症者がいる地点から病院の出入り口までの距離も算定できる。ここでは対象地域の33の医療施設をもとに、図9に示すネットワークボロノイ図を作成した。図内の拡大部分から荒川に架かる橋の再現が確認される。しかしネットワークボロノイ図を作成するためには対象地域の道路情報を入手する必要があり、解析に膨大な時間を要する欠点が残される。

5.2.3 ボロノイとネットワークボロノイの比較

ボロノイとネットワークボロノイにより分割された領域の情報と東京湾北部地震5時における各施設が対応するクラッシュ症候群発症者数を推定した結果を図10に示す。町丁目が領域の分割線で区切られる場合は、町丁目の発症者数を面積比で分けることとした。解析前には、対象地域に荒川など複数の河川が存在していることから、各医療施設が対応する発症者数を正確に推定するにはネットワークボロノイ

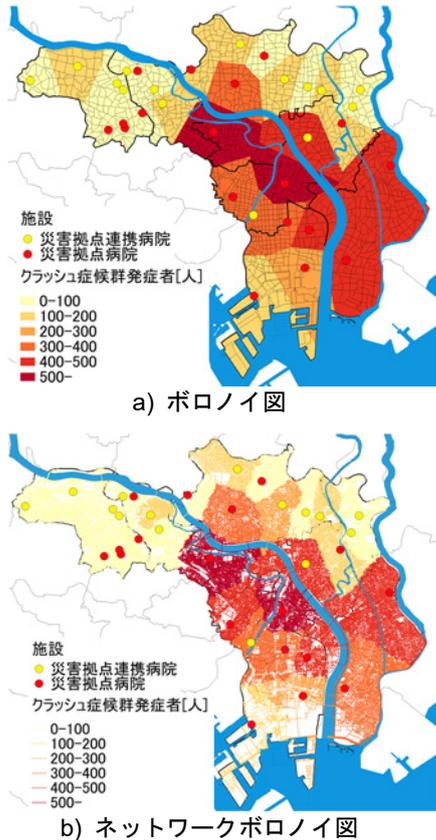


図 10 各施設が対応するクラッシュ症候群発症者数

イ図が不可欠だと考えられた。しかし図 10a, b からその領域に大きな差は確認されず、対応する人数差が 30%を超える施設も 6 施設のみで、そのほとんどが 100 人以下の施設であった。また 300 人を超える施設でも誤差 10%以内であることから、発症者数の推定には、情報収集の労力および計算コストを抑えられるボロノイ図による検討で十分に妥当な適地選定や規模の検討が可能と判断できる。このようにボロノイとネットワークボロノイの結果に大きな差が生じなかった要因として、荒川には多くの橋が架けられていることが挙げられる。また荒川周辺の墨田区や荒川区では 1 施設が対応する人数が 500 人を超える領域も確認された。

ここでクラッシュ症候群発症者の治療を i) 1 回の治療時間を約 4 時間, ii) 1 人の患者に対して 1 日 1 回の治療を実施, iii) 症状が落ち着くまでの治療の回数を約 4 回の治療と仮定すると、1 台の透析機器につき 1 日 6 人まで対応可能となる。そこで地震発生後 24 時間以内にクラッシュ症候群の治療を開始することとすると、透析治療器数の 6 倍の人数が各医療施設の受入れ可能人数となる。ここで各医療施設の透析治療器の数は、故障の影響などを想定し、予備として準備された機器の数は含めないものとする。

ボロノイ図を用いて既存施設が対応する領域を作成し、各医療施設が対応可能な人数と医療施設周辺で発生するクラッシュ症候群発症者の人数の差をマップ表示したものを図 11 に示す。赤色で示された医療施設が周辺で発生したクラッシュ症候群発症者に対し十分に対応できないことを示しており、特に荒川区、江戸川区、墨田区、台東区で医療施設や透析治療器の不足が明らかとなった。また青色で示された板橋区や北区では医療施設が充足しているため、他の領域のクラッシュ症候群発症者や慢性患者の受入れなど、医療施設が不足している地域との連携を想定したサポート計画の策定が望まれる。本研究では特に医療支援が必要とされる結果を示した荒川周辺地域への医療支援浮体の設置を考える。

6. 医療支援浮体の適地選定とその効果

クラッシュ症候群発症者の分布傾向および各医療施設対応する領域内の発症者の人数から、発症者が荒川付近に集中していることが確認された。そこで本研究では被災地の中心を流れる荒川に医療支援浮体を設置するものとして、既存の医療施設や発症者の分布をもとに、図 12 に示す通り設置場所の候補地を 8 か所挙げた。医療支援浮体の候補地は、荒川に約 2.5km のピッチでポイントを取り、周辺に発生する負傷者分布を見てより多くの負傷者を救える位置に±800m 程度の範囲内で調節し選定した。そして医療支援浮体にクラッシュ症候群発症者をより多く受け入れ、周辺施設の負担を軽減できる候補地とその効果を検討する。

ボロノイ図により候補地ごとの医療支援浮体が担当する領域を作成し、受入れるクラッシュ症候群発症者数を推算した結果と各領域の面積を表 2 に示す。医療支援浮体が受入れる患者数は、候補地 No.3, 6, 7 の 3 か所で 350 人を超える結果を示したため、これら 3 点が医療支援浮体設置のための有力な候補地として考えられるが、単に受入れ人数が多いだけでなく、周辺の医療施設が受入れる人数を減少させる影響も適地選定の判定基準となる。そこで医療支援浮体設置に伴う周辺施設への効果を確認するため、図 13 に示す医療支援浮体設置後の各医療施設の対応可能人数とクラッシュ症候群発症者数の差を示す図を作成した。医療支援浮体設置前後の医療支援施設の需要の変化は、図 11, 13 を比較することで確認される。No.7 は医療支援浮体がクラッシュ症候群発症者を受入れる人数が 357 人と高い値を示したが、

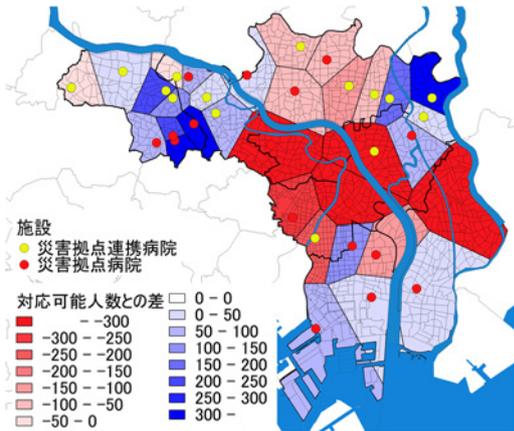


図 11 医療施設の対応可能人数とクラッシュ症候群発症者数の差



図 12 医療支援浮体設置候補地の 8 か所

表 2 医療支援浮体が各候補地に設置された際に受入れるクラッシュ症候群発症者数と面積

No.	発症者 [人]	面積 [km ²]	No.	発症者 [人]	面積 [km ²]
1	92	5.3	5	337	10.6
2	231	8.6	6	355	13.4
3	359	10.1	7	357	15.2
4	304	10.1	8	46	11.4

周辺の医療施設の充足している地域からも患者を受け入れていることから No.3, 6 と比較するとその効果は薄いといえる。そして周辺医療施設の影響も考慮すると、No.3, 6 では僅かな差ではあるが最も効果的な医療支援浮体の候補地は足立区と荒川区の間に位置する No.3 であることを確認した。しかし足立区と荒川区の間に医療支援浮体を設置しても、未だに江戸川区、墨田区、台東区の医療施設の不足は否めず、この様な医療支援の不足地域に対しては、医療支援浮体や発症者の受入れに余裕を残す医療施設への円滑な輸送計画および域外への広域搬送などの計画を策定しておくことが必要となる。また医療支援浮体の複数配置も対象地域の減災に有効と考えられる。

7. 医療支援浮体の規模に関する検討

建物の倒壊による負傷者の 10%がクラッシュ症候群を発症し、No.3 に医療支援浮体を設置すると仮定すると、5時に発生する東京湾北部地震で医療支援浮体は 359 人のクラッシュ症候群発症者を受入れることとなる。そこでクラッシュ症候群発症者の治療では 1 台の透析機器につき 1 日 6 人まで対応可能との試算から、359 人の患者を治療するために 60 床以上の医療支援浮体の設置が必要となる。また他の地域で発生したクラッシュ症候群発症者を受入れる場合は、その計画に基づいて透析ベッド数の増加も考慮する必要がある。また透析治療施設には医師、看護師、看護助手、臨床工学技士、管理職員が勤務しており、透析機器 10 台に対して約 6 人のスタッフが必要となる。そこで 60 床の医療支援浮体を設計する際には、36 人程度のスタッフのスペースも確保する必要がある。また既存研究²⁾より医療支援浮体には水域からの物資搬送拠点として活動するためのスペースや負傷者のトリアージを行うためのオープンスペース、水

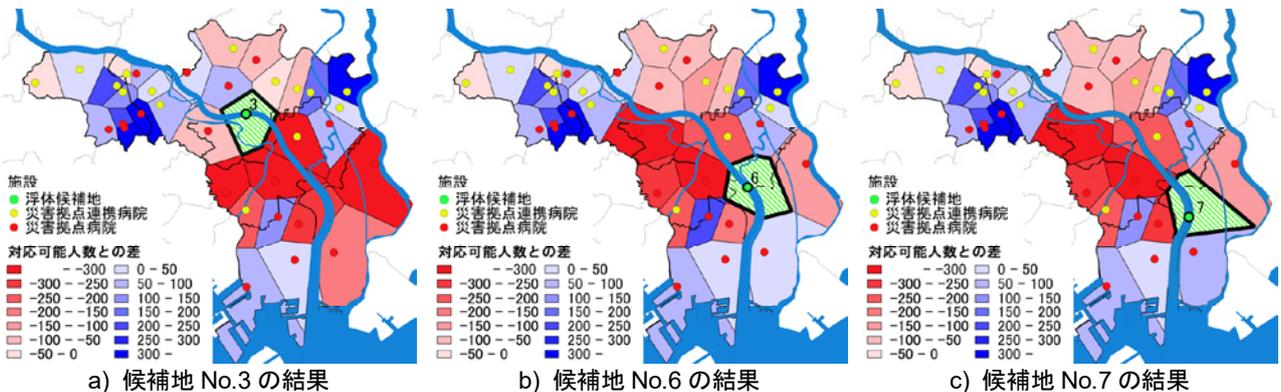


図 13 医療支援浮体設置後の医療施設の対応可能人数とクラッシュ症候群発症者数の差

や医療物資の貯蔵庫，発災後の周辺地域の公衆衛生のためのシャワーやトイレを含めた空間確保が重要であり，今後それらを踏まえた平面計画が望まれる。

8. おわりに

本研究では医療支援浮体の GIS を活用した適地選定や規模に関し検討を行い，以下の知見が得られた。

- 東京都が公表する首都直下地震において最大被害をもたらす地震は，地震発生時刻 5 時の東京湾北部地震であり，その前提条件を基に町丁目ごとの建物倒壊による負傷者の分布が算出された。
- GIS によりマップ化された建物倒壊による負傷者の分布から，震度 6 以上の地震発生に伴い，古い木造家屋が残される荒川周辺地域で，多くの負傷者の発生が予想される結果を示した。
- 解析対象地域の 9 区には荒川などの河川が存在していることから，各医療機関が対応する領域の分割にはネットワークボロノイ図が不可欠であると考えられたが，多くの橋が河川に架けられていたためボロノイとネットワークボロノイ双方の領域分割に大きな差は生じず，ボロノイによる推定が有効なことが確認された。
- 対象地域では，足立区と荒川区の間に位置する候補地 No.3 が医療支援浮体の設置に最も適しており，対応する領域内で発生した 359 人の患者の治療には 60 床を有する医療支援浮体が必要なことが確認された。
- 負傷者の 10%がクラッシュ症候群を発症するとの仮定のもと，負傷者の分布から医療支援浮体の適地選定および施設の規模を推定するまでの一連の流れを確立することができた。

医療支援浮体の設置は，災害時の病院施設の負担軽減に大きく貢献し，災害拠点病院や重症者の広域搬送がクラッシュ症候群発症者以外の重症者に利用可能となるため，より多くの命を救えるようになると期待される。しかし医療支援浮体の設置後にも医療施設が不足している地域が確認されたため，今後，域外への円滑な広域搬送計画を含めた医療支援浮体の更なる運用方法について検討を進めると共に，ブロック塀の転倒による細街路の閉塞や橋梁の崩壊，荒川の堤防の崩壊による被害などを含めたネットワークボロノイの解析を実施する。

参考文献

- 1) 内閣府防災情報：緊急災害対策本部，<http://www.bousai.go.jp/2011daishinsai/index.html>，2019.2 参照
- 2) 惠藤浩朗，佐藤千昭，増田光一，他 4 名：河川を活用した浮体式災害時医療支援システムの実現可能性に関する基礎的検討，日本船舶海洋工学会論文集，Vol.19，pp.245-253，2014.8
- 3) 東京都防災ホームページ：首都直下地震等による東京の被害想定，<https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/taisaku/torikumi/1000902/1000401.html/>，2019.2 参照
- 4) 日本船舶技術研究協会：船舶による救援・復興支援と浮体式防災基地の役割，https://www.jasnaoe.or.jp/old_sites/jasnaoe02/lecture/dl_con/shinsai_e_201201.pdf，2019.5 参照
- 5) Hiroaki Eto, Chiaki Sato, Koichi Masuda, et al. : Feasibility Study of the Floating Medical Support System to Operate as a Dialysis Treatment Center, Proceedings of the OMAE2016, OMAE2016-54884, 2016.6
- 6) 下本瀬夏，他 7 名：GIS による東京都の大規模地震における負傷者数の分布と医療支援浮体の適地に関する研究，第 62 回日本大学理工学部学術講演会予稿集，J-57，pp.775-776，2018.12
- 7) 厚生労働省：平成 18 年度医療機能調査事業報告書災害医療，<https://www.mhlw.go.jp/bunya/shakaihoshou/iryouseido01/>，2019.2 参照
- 8) 日本透析医会：2016 年末の慢性透析患者に関する集計，<https://docs.jsdt.or.jp/overview/index2017.html>，2019.2 参照
- 9) 東京都防災ホームページ：地域防災計画，<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/smart/taisaku/1000061/>，2019.2 参照
- 10) 東京都都市整備局：地震に関する地域危険度測定調査 http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/chousa_6/，2019.2 参照
- 11) 国土交通省：河川構造物の耐震性能照査指針，http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/wf_environment/structure/index3.html，2019.5 参照
- 12) 阿南英明：災害時の圧挫症候群と環境性体温異常，日本内科学会，<https://www.naika.or.jp/saigai/kumamoto/atsuzu/>，2019.2 参照
- 13) 佐々木健太郎：クラッシュシンドローム，救護活動で身につけておきたい看護の知識と技術，Emergency Care，Vol.25，pp.256-257，2012.3

著者紹介

惠藤 浩朗 (正会員)

日本大学理工学部海洋建築工学科 (千葉県船橋市習志野台 7-24-1), 昭和 49 年生まれ, 平成 9 年 3 月日本大学理工学部海洋建築工学科卒業, 平成 14 年 3 月同大学院博士後期課程修了・学位取得, 同年 4 月理化学研究所にて研究員として勤務, 平成 19 年日本大学理工学部勤務, 現在大学准教授, 博士 (工学), 日本建築学会, 日本船舶海洋工学会会員。
E-mail : eto.hiroaki@nihon-u.ac.jp



下本 瀬夏 (学生会員)

日本大学理工学部海洋建築工学科 (千葉県船橋市習志野台 7-24-1), 平成 27 年日本大学理工学部海洋建築工学科入学, 日本沿岸域学会学生会員。
E-mail : csse15060@g.nihon-u.ac.jp

北畠 佑一 (非会員)

日本大学理工学部海洋建築工学科 (千葉県船橋市習志野台 7-24-1), 平成 27 年日本大学理工学部海洋建築工学科入学, 日本沿岸域学会非会員。
E-mail : csyu15036@g.nihon-u.ac.jp

登川 幸生 (非会員)

日本大学理工学部海洋建築工学科 (千葉県船橋市習志野台 7-24-1), 昭和 54 年理工学部建築学科卒業, 昭和 60 年同大学院理工学研究科建築学専攻修了・学位取得, 同年理工学部勤務。日本大学理工学部・教授を経て, 現在同大学理工学部上席研究員, 工学博士, 日本建築学会, 日本博物館学会, ICOM 会員。
E-mail : togawa.sachio@nihon-u.ac.jp



山本 守和 (非会員)

日本大学芸術学部芸術教養課程 (東京都練馬区旭丘 2-42-1), 昭和 46 年生まれ, 平成 8 年 3 月日本大学大学院理工学研究科博士前期課程修了, 同年 4 月大日本コンサルタント株式会社に入社, 平成 14 年 3 月日本大学大学院理工学研究科博士後期課程修了, 平成 15 年 4 月日本大学芸術学部勤務, 現在同大学教授, 博士 (工学), 日本建築学会, 情報処理学会会員。
E-mail : yamamoto.morikazu@nihon-u.ac.jp

宮沢 信太郎 (非会員)

7S Music and Express (東京都世田谷区等々力 6-11-19-202), 平成 4 年生まれ, 平成 22 年 12 月 7S Music and Express 設立, 平成 27 年 3 月日本大学理工学部海洋建築工学科卒業, 同年 4 月同大学にて共同研究を開始, 学士 (工学)。
E-mail : 7s.shintaro.miyasawa@gmail.com

山口 順子 (非会員)

日本大学医学部救急医学系救急集中治療医学分野 (東京都板橋区大谷口上町 30-1), 昭和 48 年生まれ, 平成 12 年 3 月日本大学医学部卒業, 平成 19 年日本大学医学部救急医学教室に入局, 日本救急医学会, 日本集団災害医学会。
E-mail : yamaguchi.junko@nihon-u.ac.jp



居駒 知樹 (正会員)

日本大学理工学部海洋建築工学科 (千葉県船橋市習志野台 7-24-1), 昭和 44 年生まれ, 平成 4 年 3 月日本大学理工学部海洋建築工学科卒業, 平成 9 年 3 月同大学院博士後期課程修了・学位取得, 同年 4 月東京大学生産技術研究所にて研究機関研究員, 助手を経て, 平成 13 年日本大学理工学部海洋建築工学科勤務, 現在同大学教授, 博士 (工学), 日本建築学会, 日本船舶海洋工学会会員, 日本海洋工学学会運営委員 (日本沿岸域学会) 理事。
E-mail : ikoma.tomoki@nihon-u.ac.jp



相田 康洋 (正会員)

日本大学理工学部海洋建築工学科 (千葉県船橋市習志野台 7-24-1), 昭和 60 年生まれ, 平成 27 年 3 月日本大学大学院理工学研究科海洋建築工学専攻博士後期課程修了, 同年 4 月より国立研究開発法人港湾空港技術研究所研究官を経て, 平成 30 年 4 月より日本大学理工学部海洋建築工学科助教, 博士 (工学), 日本建築学会会員。
E-mail : aida.yasuhiro@nihon-u.ac.jp



増田 光一 (正会員)

日本大学理工学部海洋建築工学科 (千葉県船橋市習志野台 7-24-1), 昭和 48 年日本大学理工学部建築学科卒業, 昭和 53 年同大学院建築学専攻博士課程修了・工学博士取得, 同年日本大学理工学部勤務, 現在同大学特任教授, 工学博士, 日本建築学会, 日本船舶海洋工学学会, 土木学会会員。
E-mail : masuda.koichi@nihon-u.ac.jp



On GIS Based Facility Scale and Selection of Suitable Site of Floating Medical Support System on Big Disaster

Hiroaki ETO, Sena SHIMOMOTO, Yuichi KITABATAKE, Satiyo TOGAWA,
Morikazu YAMAMOTO, Shintaro MIYASAWA, Junko YAMAGUCHI,
Tomoki IKOMA, Yasuhiro AIDA and Koichi MASUDA

ABSTRACT : In 2011, many hospitals were destroyed by the Great East Japan Earthquake, victims could not receive treatment within a reasonable timeframe. And then the concept of the floating medical support system had already been proposed in preparation for Catastrophic Earthquake. In this research aiming at realization of the floating medical support system, firstly the number of people who develop crush syndrome in the target area was estimated by GIS based on the damage prediction of the huge earthquake striking Tokyo and the risk of building collapse. Based on the distribution of dialysis treatment facilities and data such as road network data in Tokyo, Voronoi diagrams were created using GIS. And facility scale required for the floating medical support system and suitable installed site were examined by the distribution of crushed syndrome patients obtained by analysis and Voronoi diagram.

KEYWORDS : *Floating Medical Support System, GIS(Geographic Information System), Earthquake beneath Tokyo, Crush Syndrome*