

研究成果報告書

事業名（補助金名） : 基盤的研究開発育成事業（若手研究補助金）
研究開発テーマ名 : GIS を用いた小児救急医療機関の適正配置の研究
研究代表者名 : 谷川 琢海【北海道大学大学院医学研究科／大学院生】

1. 背景・目的

小児の救急医療体制が十分に整備されていないことが北海道をはじめ、全国的に社会問題となっている¹⁾。これに対処するため、平成 11 年に策定された「重点的に推進すべき少子化対策の具体的な実施計画(新エンゼルプラン)」では、全国のすべての二次医療圏に対して小児の救急医療体制を整備することが示された²⁾。しかしながら、小児科領域では少子化や小児科医師の不足により、二次医療圏を単位とする救急医療体制の整備が困難であることが指摘されており、二次医療圏よりも広域を単位とした医療体制のセンター化を推進することが提言されている^{3), 4)}。小児科医師をセンターに集約することにより、当直医師が常に待機することが可能となり、さらに勤務する医師の負担を軽減する救急医療体制の構築が期待できる。しかし、患者の視点に立つと、医療体制のセンター化により自宅からセンターとなる医療機関までの距離が、従来よりも長くなる可能性があり、患者の受診のための通院負担が増大する恐れがある。特に小児の場合は、成人と比較して容態の急な変化が起こりやすく、保護者が病状を完全に把握することも困難なため、迅速な診療を必要とする場合が多い。患者の通院における利便性を疾病予後を左右する重要な要素と捉えて、地域全体の視点に立った最適な医療施設の配置を分析する必要がある。これまで、小児の救急医療体制の構築を目的として最適な施設の数と配置を検討した報告は少なく、医療サービスへのアクセスの公平性という観点から広域医療について議論するためにも、距離の視点を踏まえた客観的な評価が重要である。

本研究では、移動距離と小児人口から最適な施設の配置を求めるモデルとして、オペレーションズ・リサーチ(Operations Research : OR)の手法であるミニ・サム型施設配置モデルとミニ・マックス型施設配置モデルを適用して分析を行った。ミニ・サム型施設配置モデルによれば、地域全体の移動距離の総和を最小化するような施設の場所と、各施設が受け持つ圏域を同時に求めることができ、市民ホール、美術館、公民館のような施設の利用者が集まる公共施設の配置に応用されている。ミニ・マックス型施設配置モデルによれば、最も遠い利用者の移動距離を最小化するような施設の場所と、各施設が受け持つ圏域を同時に求めることができ、救急医療や消防活動などの比較的緊急性を要するサービスを供給する際の施設配置に利用することができる。

本研究では北海道を対象として、地域全体の視点から初期から二次救急までを担う小児急病センター(施設)の適切な数と配置を明らかにすることを目的に、ミニ・サム型施設配置モデルとミニ・マックス型施設配置を適用して分析を行い、GIS(地理情報システム)を利用して配置についての検討を行った。

2. 内容・方法

2.1. 施設配置モデル

本研究では、人口による重み付けをしたミニ・サム型施設配置モデルと、重み付けをしないミニ・マックス型施設配置モデルの 2 つの手法により患者の最大移動距離を最小化するような施設の配置と、各施設が受け持つ圏域を求めた。本研究では特に施設の配置を市町村単位で分析するために、モデルのうち離散的に限られた地点にのみ施設の配置が可能であること、住民のうち全ての小児が等しい確率で患者になることを想定し、患者はすべて最寄りの救急外来を受診すると仮定した。評価指標として以下の 2 項目を定義した；①総移動距離を北海道全体の小児人口で割った平均移動距離、②患者の居住地から施設までの移動距離が最大となる場合の移動距離(最大移動距離)。

2.1.1. ミニ・サム型施設配置モデル

ミニ・サム型施設配置モデルは効率性の視点から、すべての患者の通院における平均移動距離を最小にするような施設の配置を検討する数理モデルである⁵⁾。まず、対象とする地域に対して配置する施設数を設定した。次に、ミニ・サム型施設配置モデルを用いて解析を行い、患者の居住地から施設までの移動距離の総和が最小となる場所と、各施設が受け持つ圏域を一次医療圏である市町村単位で求めた。ミニ・サム型施設配置モデルの目的関数を(1)に示す。ここで患者の居住地を出発地 i 、モデル上で仮定する施設の所在地を到着地 j とする。まず出発地 i から到着地 j までの道路距離 d_{ij} を計測した。次に得られた d_{ij} に出発地 i の小児人口 p_i を乗じた。さらに施設を置く数を 0-1 型整数変数 x_{ij} を用いて設定し、総移動距離 D の最小値を求めた。このときの施設の場所、および各施設が受け持つ圏域を最適な配置とした。

$$\text{Minimize } D_{ms} = \sum_{i=1}^{212} \sum_{j=1}^{212} p_i d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

2.1.2 ミニ・マックス型施設配置モデル

ミニ・マックス型施設配置モデルは公平性の視点から、通院における条件がもっとも不利な、すなわち最大移動距離が最も遠い患者の移動距離を最小にするような施設の配置を検討する数理モデルである⁵⁾。まず、対象とする地域に対して配置する施設数を設定した。次に、ミニ・マックス型施設配置モデルを用いて解析を行い、患者の居住地から施設までの組み合わせのうち、最も長い移動距離が最小となる場所と、各施設が受け持つ圏域を一次医療圏である市町村単位で求めた。ミニ・マックス型施設配置モデルの目的関数を(2)に示す。ここで患者の居住地を出発地 i 、モデル上で仮定する施設の所在地を到着地 j とする。まず出発地 i から到着地 j までの道路距離 d_{ij} を計測した。施設を置く数を 0-1 型整数変数 x_{ij} を用いて設定し、移動距離の最大が最小となる D の値を求めた。このときの施設の場所、および各施設が受け持つ圏域を最適な配置とした。

$$\text{Minimize } D_{mm} = \max_{i=1, j=1}^{212} d_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

2.2. 調査データ

北海道の全域(面積 78,417km²、可住地面積 21,899km²、一次医療圏 212 圏域(平成 12 年当時)、二次医療圏 21 圏域、三次医療圏 6 圏域)を対象地域とし、市町村データ及び人口データには平成 12 年国勢調査を使用した⁹⁾。総人口は 5,683,062 人、このうち小児(15 歳未満)人口は 792,352 人であった。各市町村間の小児人口は、最大 2036 倍の差があった。

道路距離の計測は以下の 2 点を仮定した; ①患者の居住地と施設の所在地は各々の市町村役場の所在地に一致する、②患者は居住地からモデル上で仮定した施設の所在地までを最短距離となる道路を利用して移動する。ただし同一市町村内の移動は、平成 12 年国勢調査時における各市町村の可住地面積を円と仮定した場合の半径とした。全ての市町村役場間の組み合わせについて、役場間を結ぶ道路距離を地図ソフト(ゼンリン電子地図帳[Z:]Z6(ゼンリン社製))を用いて計測した。

2.3. 調査項目

配置する施設の数を北海道の三次医療圏の数 6 から二次医療圏の数 21 まで 1 ずつ増加させ、小児の急病センターの最適な施設配置について分析を行った。対象地域は北海道全域とし、小児人口データと各市町村役場を結ぶ道路距離から、対象地域に指定する数だけの施設を置いた場合の、モデルを

満足するような施設を配置する場所と、各施設が受け持つ圏域を市町村単位で求めた。施設を置く数を北海道の三次医療圏数 6 から二次医療圏数 21 まで 1 ずつ指定し、それぞれの場合について分析を行った。施設を置く条件として、現在、小児科を標榜する病院の存在する市町村とした。

2.4. GIS を用いた解析

GIS を用いた解析には MapInfo professional 6.0 (MapInfo 社製), GISMAP200000V (北海道地図), 人口統計(平成 12 年国勢調査)を利用した。ベースとなる地図に各市町村の人口のデータ, 主要道路を描画し、さらに本研究で得られた施設の位置をプロットした。GIS を利用して 2 つの施設配置モデルから得られた施設の配置と、各施設が受け持つ圏域について、現在の 2 次医療圏, 3 次医療圏の設定を踏まえて比較、評価した。救急医療体制の構築を行うためのモデルとしての観点から、北海道における小児急病センターの数と配置の分析に適した施設配置モデルについて検討を行った。

3. 結果・成果

3.1. ミニ・サム型施設配置モデルを用いた施設配置の分析

ミニ・サム型施設配置モデルを適用し、人口の重み付けをした各市町村間の道路距離を用いて分析を行った結果、配置する施設の数を増加させると平均移動距離、最大移動距離はともに単調減少した(図 1, 図 2)。特に平均移動距離は連続的に変化し、施設の数を 6 としたときに 36.0km, その後施設の数を増やすと 21 としたときに 16.5km となった。GIS を用いて現在の医療圏と比較した結果、施設の数を 6 とした場合に施設が配置された場所は、三次医療圏の中心となる都市とほぼ一致した。しかし、各施設が受け持つ最適な圏域は、現在の三次医療圏の圏域とは 19 市町村で異なることが明らかとなった。施設の数を 21 とした場合に施設が配置された場所は、21 市町のうち 6 市町で二次医療圏の中心と異なり、現在の二次医療圏の中心となる都市に施設を配置することは、必ずしも効率の良い配置ではないことが示唆された。

3.2. ミニ・マックス型施設配置モデルを用いた施設配置の分析

ミニ・マックス型施設配置モデルを適用し、人口の重み付けを行わない各市町村間の道路距離を用いて分析を行った結果、施設の数を増加させると最大移動距離は連続的に単調減少し、施設の数を 6 としたときに 165km, その後施設の数を増やすと施設の数が 18 のときに 100km を下回り、施設の数が 21 のときに 91km となった(図 2)。平均移動距離は施設の数を変化させることによりばらつきがあった。また、施設が配置される場所は一意に決定されなかった。これは人口による重みを考慮していないことが理由として考えられる。GIS による分析を行った結果、施設が配置される場所は必ずしも三次医療圏または二次医療圏の中心となる都市とはならなかった。

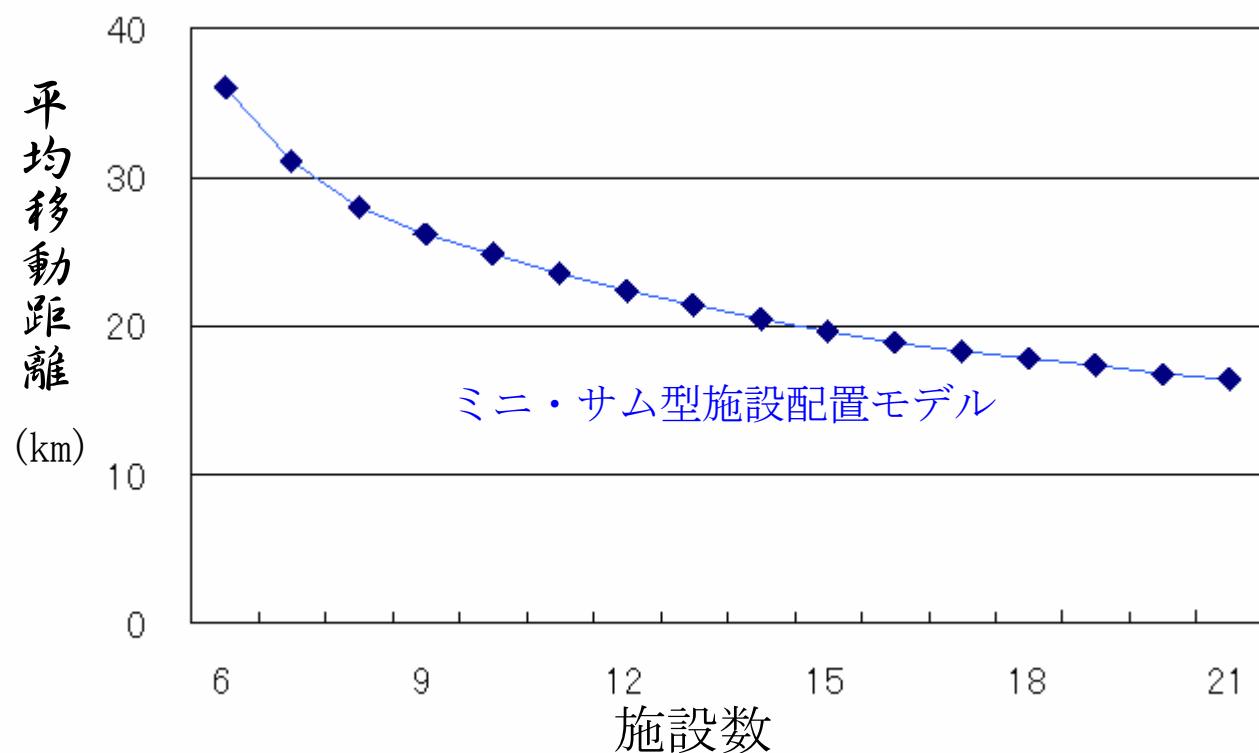


図1. ミニ・サム型施設配置モデルによる平均移動距離の変化

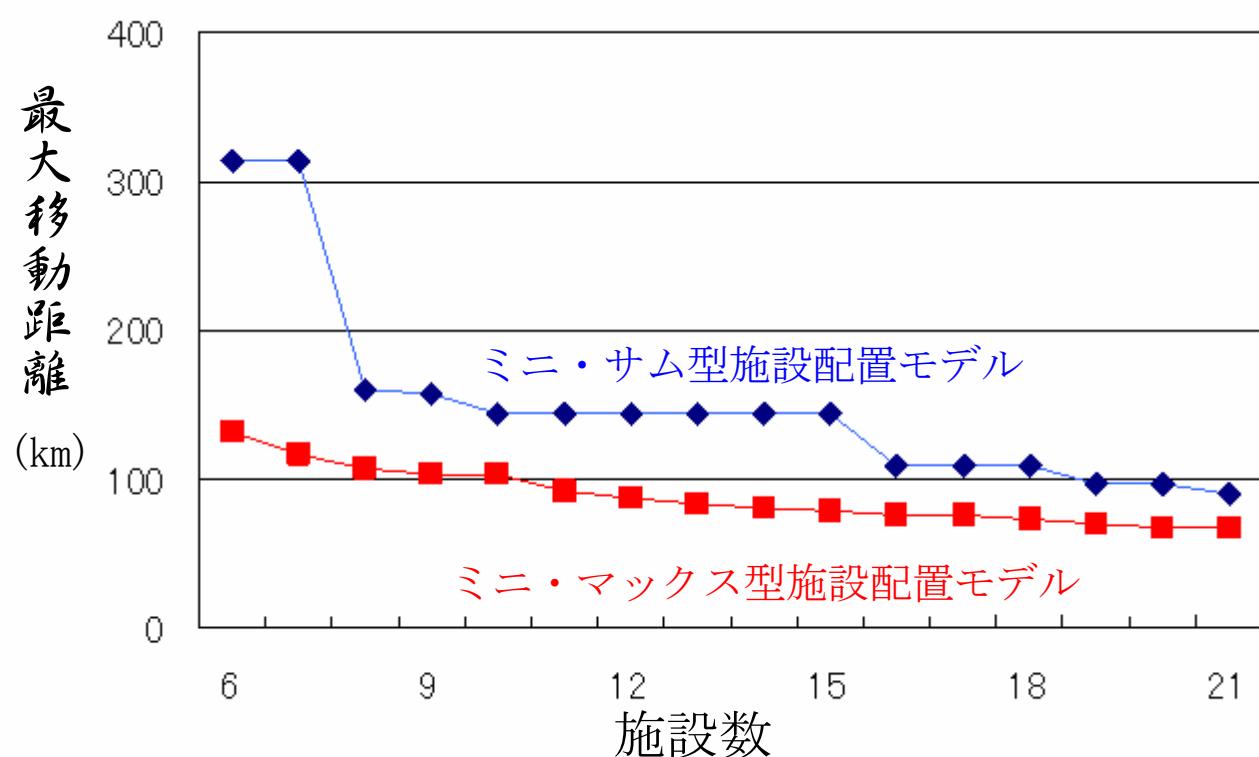


図2. 施設配置モデルによる最大移動距離の比較

3.3. GIS を用いた分析と施設配置モデルの比較

平成 18 年 4 月現在、北海道の小児救急医療体制は、函館市、旭川市、苫小牧市、北見市、釧路市に所在する小児救急医療拠点病院 5 施設が二次医療圏 13 圏域を担当している。また、小児科に係る輪番制参加病院が 6 圏域（札幌、十勝、中空知、上川北部、宗谷、西胆振）に整備され、26 施設が参加している。現在までに 2 圏域を除く全ての圏域において整備され、GIS を用いて分析を行った結果、これらの施設は 11 の市または近接する地域に存在することがわかった。その一方で 1 施設の担当する範囲が半径 100km 以上である圏域が存在することが明らかとなり、さらに施設の数を拡充する必要があると考えられた。

ミニ・サム型施設配置モデルを用いて現在の配置からさらに 1 力所ずつ 5 力所まで施設の置く数を増やして配置を分析した結果、順番に別海町（根室圏）、小樽市（後志圏）、三石町（日高圏）、南幌町（南空知圏）、八雲町（北渡島檜山圏）に施設が配置された。この配置について、GIS を用いて分析を行った結果、施設は比較的人口の多い都市、または都市と都市の中間に配置されていることがわかった。施設が配置された別海町、三石町、八雲町は、拠点病院や輪番制参加病院までの距離が比較的遠いため、施設を配置する必要性が高いと思われる。一方で、輪番制参加病院のある札幌市に近い小樽市や南幌町に施設が配置された。ミニ・サム型施設配置モデルでは人口の多い場所に配置される傾向があるため、都市部以外に居住する住民に対して長距離の移動を強い可能性があり、ミニ・マックス型施設配置モデルと併せて検討する必要があると考えられる。

2 つの施設配置モデルを比較したところ、指定した施設の数ごとの最大移動距離は常にミニ・サム型施設配置モデルにより得られた最大移動距離よりも短く、施設数が 6 ヶ所のとき、施設配置モデルによる最大移動距離の差は、ミニ・マックス型施設配置モデルの方が 182km 短かった。施設数を増やすことにより両者の最大移動距離の差は小さくなり、施設の数が 21 ヶ所のときはミニ・マックス型施設配置モデルの方が 23km 短かった。以上より、施設の数を 3 次医療圏と同程度だけ配置する場合はミニ・マックス型モデルを重視して施設配置を行う必要があり、2 次医療圏の数と同程度だけ配置する場合は 2 つのモデルを併用して配置を検討することが有効であると考えられる。

2 つの施設配置モデルにより分析について、指定した施設の数に対応する施設の配置と各施設が受け持つ圏域、患者の平均移動距離と最大移動距離が得ることができた。ミニ・サム型施設配置モデルは、全ての患者が移動する場合の総移動距離を最小とするような施設の配置を求める手法であり、このモデルによる配置により小児人口のバランスを考慮した最も効率がよい配置が得られるものと考えられる。得られた配置について GIS を用いて分析を行った結果、ミニ・サム型施設配置モデルによる配置は、比較的人口の多い都市部に施設が配置されていることがわかった（図 3）。一方で、ミニ・サム型施設配置モデルは効率性に着目したモデルであるため、少数の患者が長距離の移動を強いられることが明らかになり、一部地域の患者に対して長距離の移動を強い可能性が判明した。救急医療分野では、全ての患者に一定のレベルを満たした医療サービスが必要であることから、住民の公平性、すなわち最大移動距離の最小化に着目する必要があり、ミニ・マックス型施設配置モデルを適用した分析が必要であると考えられた。

次にミニ・マックス型施設配置モデルを用いて分析した結果、指定した施設の数ごとの最大移動距離は常にミニ・サム型施設配置モデルにより得られた最大移動距離よりも短く、特に施設数が 6 ヶ所であるときに 132km で、ミニ・サム型施設配置モデルよりも 182km 短かった。施設数を増やすことにより最大移動距離は単調減少し、また施設配置モデルによる最大移動距離の差は小さくなり、施設の数が 21 ヶ所のときには 67km でミニ・サム型施設配置モデルとの差は 23km であった。以上の結果より、施設の数を増やすと、両者の差は小さくなり、施設の数が 21 の時にはほぼ等しくなることが明らかとなった。一方で、得られた配置について GIS を用いて分析を行った結果、ミニ・マックス型施設配置モデルによって得られた施設を配置する場所は、市町村の規模に関係なく配置されるため、地域全体の平均移動距離は現状と比較して増大する可能性が示唆された（図 4）。

本研究によって得られた結果と問題点を踏まえると、施設数 6, 7 ではミニ・マックス型モデルを重

視して施設配置を行う必要があると考えられた。施設数8以降は2つのモデルを併用して配置を検討することが有効であると考えられた。

地域全体にとって最適な医療施設の配置を考える際には、医療サービスへのアクセスの効率性と公平性という距離の視点が不可欠であり、客観的な評価モデルによる評価が必要である。ミニ・マックス型施設配置モデルは救急の機能に重点を置いたモデルであり、外来の機能に重点を置いたミニ・サム型施設配置モデルと併せて検討することで小児救急医療体制の構築に応用できるものと考えられる。

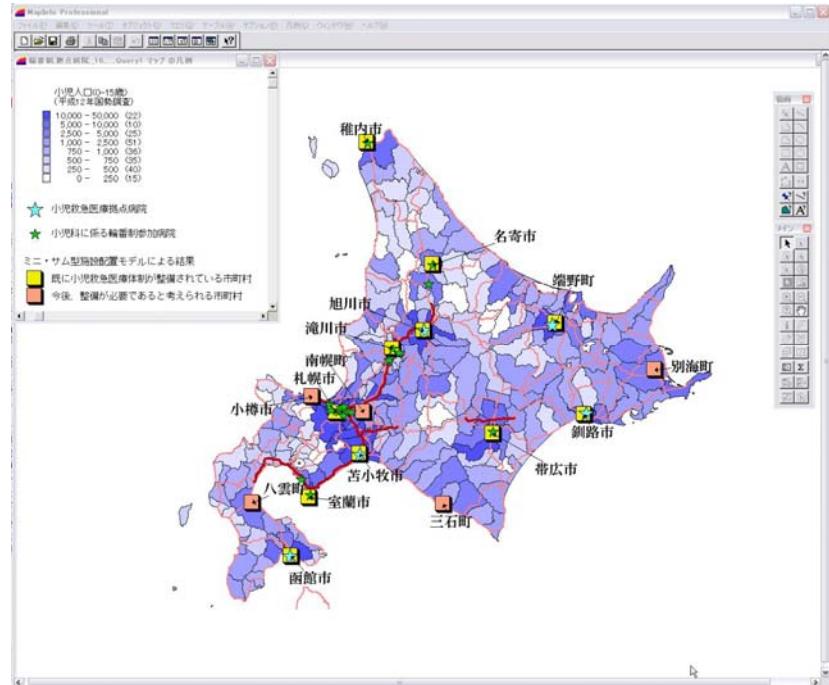


図3. GIS を用いた配置の分析

(ミニ・サム型施設配置モデル、配置する施設数が16の場合)

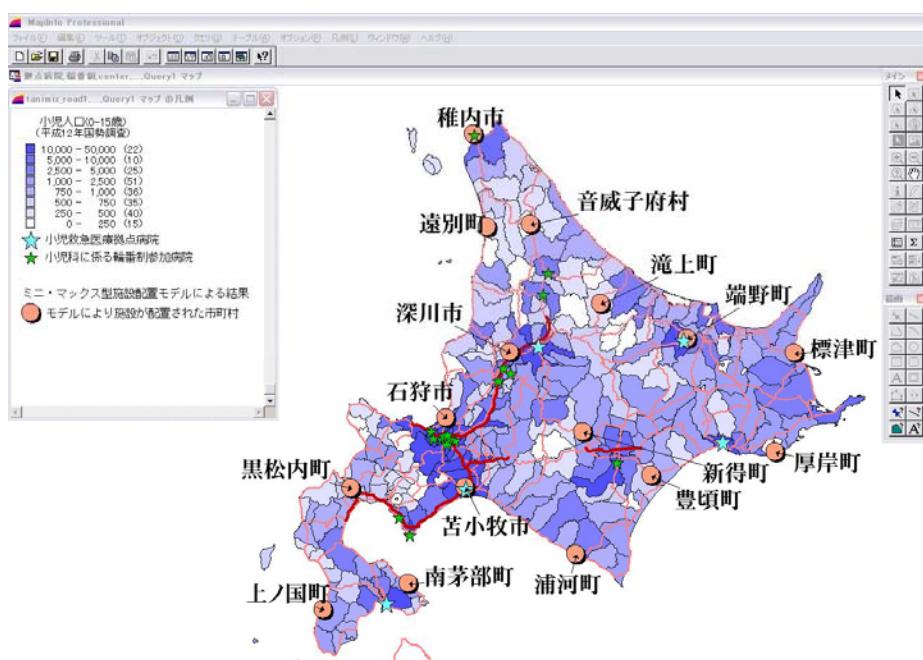


図4. GIS を用いた配置の分析

(ミニ・マックス型施設配置モデル、配置する施設数が16の場合)

4. 今後の展開

本研究の結果より、施設配置モデルによる施設の数と移動距離の関係を明らかにした。本研究の限界として、地図ソフトウェアを用いた道路距離の計測では二次元の地形データを用いているため三次元的な地形が反映されておらず、さらに北海道特有の問題として冬期間の道路事情が考慮されていない。また移動距離に対する妥当性は道路距離のみによって一意的に決定することはできず、道路の規格や状況などの様々な要素を総合的な指標に変換して検討することが必要である。さらに、小児の救急医療体制を継続的に運用可能なシステムにするためには採算性の評価が不可欠であると考えられる。今後の展開としては、地域の医療や経済、生活圏などの様々な観点から地域評価を行い、総合的最適配置モデルの構築を目指したい。特に、患者ニーズの視点から、医療資源や生活経済圏に関する現状分析や、患者が救急医療機関を受診する場合の重要な項目についての分析を行い、本研究で得られた配置の妥当性を吟味する必要があると考えられる。また、近年の市町村合併等により市町村内での人口の分散などがあるため、メッシュデータを用いた詳細な配置場所の分析が必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 厚生省、救急医療体制基本問題検討会報告書、1997
- 2) 厚生労働省、新エンゼルプランについて、1999
- 3) 田中哲郎、市川光太郎、山田至康、他、二次医療圏毎の小児救急医療体制の現状評価に関する総合的研究、厚生労働科学研究（医療技術評価総合研究事業）二次医療圏毎の小児救急医療体制の現状等の評価に関する研究、平成13年度報告書、6-20、2002
- 4) 中澤誠、日本小児科学会小児救急プロジェクトチーム報告、日本小児科学会雑誌、107(5), 792-795, 2003
- 5) 大山達雄、最適化モデル分析、日科技連(東京)、101-141, 1993