

地域メッシュデータとGISを用いた医療圏推定[†]

小川 浩

要旨

医療機関の効率的な運用のためには適切なサイズ（病床数）があり、小さすぎても効率的な運用が難しいことが知られている。[小峰, et al., 2010]によると、400~500床程度が急性期病院に必要な最小サイズとされているが、わが国の病院で400床以上のものは5%程度しかなく、大部分は非効率的なサイズで運用されている。そのため医療機関の集約化が政策課題となっているが、医療機関の集約化を行うと「病院が遠くなった」という地域住民の不満が当然生じる。

医療機関の集約化を行うためには（1）効率的なサイズまでの集約化を行う、（2）既存の医療機関がカバーしていた地域住民が新しい集約化後の病院を利用可能である、という2つの条件が必要である。本稿では、国勢調査の地域メッシュデータとGIS（地理情報システム）を用いることによって移動時間を指定した場合の医療圏を推定する試みについて説明する。

1. 研究の背景：医療機関集約化の必要性

日本における医療供給体制には、諸外国の体制を比較した表1より分かる通り、（1）人口あたりの病床数が多い、（2）病床あたりの医師数、看護師数が少ない、（3）平均入院日数が長い、といった特徴がある。また、病院の病床数分布は半分以上が100床未満の小病院となっており（図1）、全体として医療資源を薄くばらまいていると言えるだろう。十分な医療スタッフがいないにもかかわらず病院として入院を受け入れる、すなわち24時間運用が必要な形で医療サービスを提供することによって、医師に代表される医療スタッフの疲弊が深刻な問題となってきている。

また、[小峰, et al., 2010]で分析されている通り、小病院は人や設備の稼働率が下がりがちであるため、経営効率が悪いことも問題となる。そのため医療機関の集約化が以前から提案されてきているが、残念ながら上手くいっているとは言えない。これには複数の理由が考えられるが、最も単純な理由としてはアクセス時間の延長が挙げられる。医療機関を集約化することは、従前は「小さいが近所の病院」を利用できた住民、あるいはそこに勤務している医療スタッフ¹が、集約化によって「大きいけど遠くの病院」を強いられることを意味する。本稿では特に医療崩壊が深刻である産科に着目して、国勢調査の地域メッシュ統計とGIS（地理情報システム）の利用により、このアクセス時間の延長のデメリットを定量的に評価することを試みる。

[†] 本研究は2014年度、2015年度の神奈川大学経済貿易研究所による「研究支援」助成を受けて実施した。

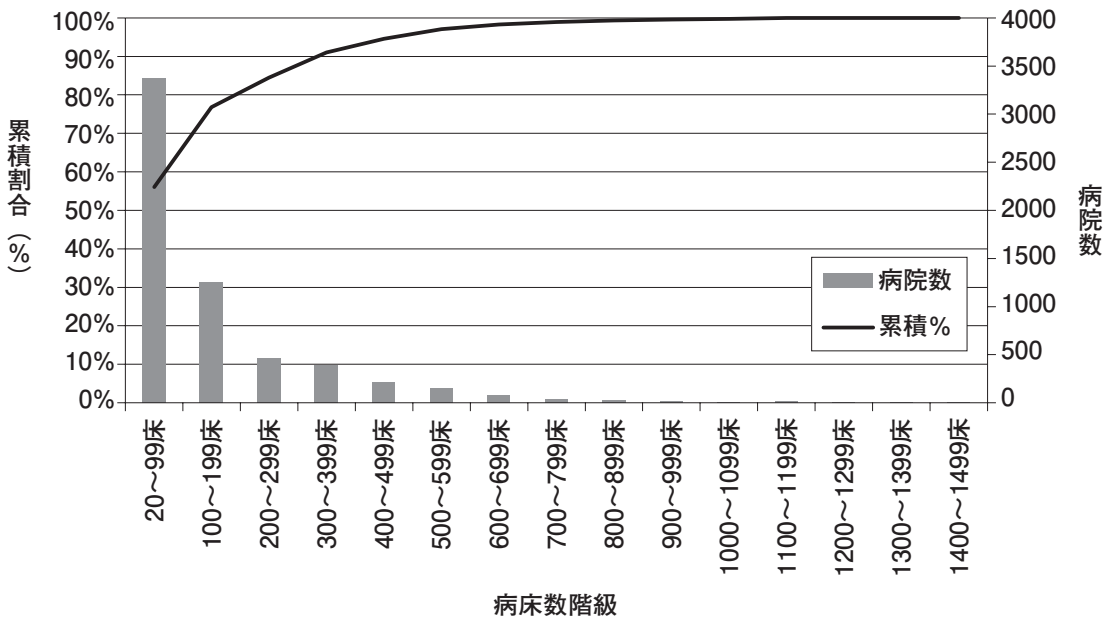
1 医師は職業キャリアの一環として様々な病院を経験することが普通だが、それ以外の医療スタッフは地元の医療機関に固定的に勤務するケースが多い。

表1 医療提供体制の国際比較（2012年）

国名	平均入院日数	病床百床あたり		人口1000人あたり		
		医師数	看護師数	医師数	看護師数	病床数
日本	17.2	17.19	79.13	2.29	10.54	13.32
ドイツ	9.1	48.91	156.52	4.05	12.96	8.28
イギリス	7	100.36	296.38	2.77	8.18	2.76
フランス	5.6	52.94	149.28	3.33	9.39	6.29
アメリカ	4.8	87.37	380.20	2.56	11.14	2.93

（資料）OECD Health Statistics 2015

図1 病床数階級別病院数（2010年）



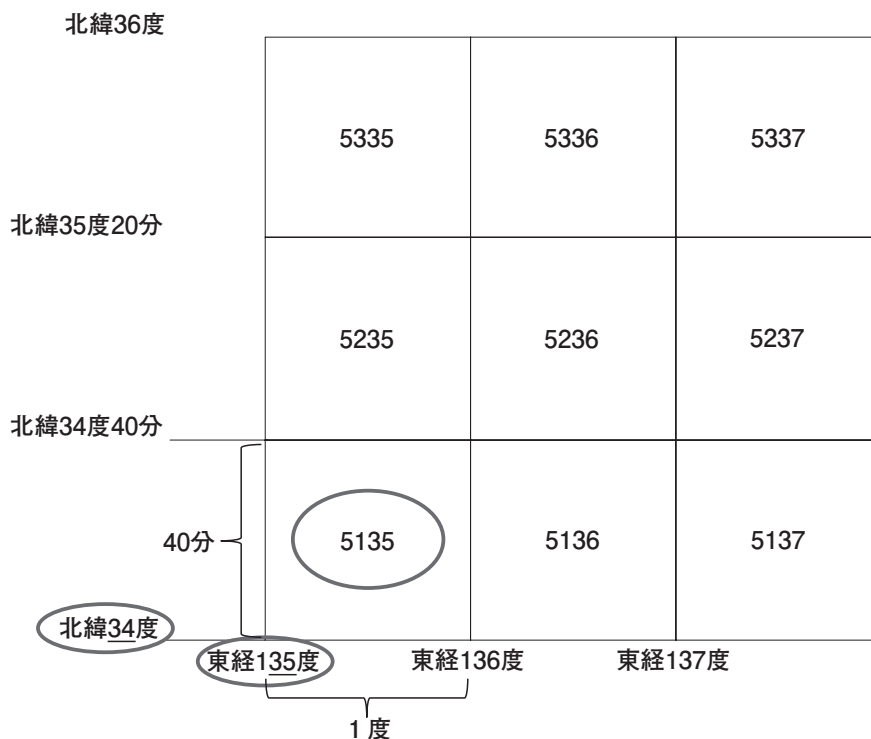
（資料）[株式会社ウェルネス，2012] より作成

2. 国勢調査の地域メッシュ統計

地域メッシュ統計とは、地理的な範囲（通常は緯度と経度で指定される領域）の中にあるデータについて集計した統計である。たとえば人口データであれば、特定の領域内に調査時点で居住している人の年齢階級・性別などが集計されている。日本における地域メッシュは区分の面積が大きいものから、第1次地域区画、第2次地域区画、基準地域メッシュ（第3次地域区画）、さらに基準地域メッシュを分割した分割地域メッシュなどが定義されているが、分割地域メッシュに関しては整備されている統計がそれほど多くない。そのため、地域メッシュ統計を利用する際の基本は基準地域メッシュをベースにしたものとなる。

各メッシュには南端の緯度と西端の経度を使って固有の番号（地域メッシュ・コード）が振られているが、メッシュの分割は上位のメッシュを同じサイズに分割することによって行われているため、下位メッシュの地域メッシュ・コードは上位メッシュのコードの末尾に分割位置を表す付加コードを

図2 第1次基準メッシュ



付けて作成される。

まず、第1次地域区画の地域メッシュ・コードは緯度2桁+経度2桁の4桁から構成される。緯度については偶数緯度を基準線として40分単位で附番していく。たとえば、北緯36度40分であれば $1.5 \times (36 + 2 / 3) = 55$ となる。また、緯度については度単位での下2桁をそのまま用いる。図2は北緯36度、東経135度付近の第1次地域区画を表しているが、1つの区画の概ねの大きさは各辺80km程度である。第2次地域区画は、この区画を縦横8つに分割し、1/64の区画とする(図3)。この際、南北方向は南から0~7、東西方向は西から0~7に附番して、第1次地域区画の地域メッシュ・コード4桁に続いて南北の番号、東西の番号を並べた6桁が第2次地域区画の地域メッシュ・コードとなる。基準地域メッシュは第2次地域区画をさらに縦横10分割し、1/100の区画とする(図4)。そのため、基準地域メッシュの1辺は緯度では30秒、経度では45秒、長さではおよそ1kmとなる²。基準地域メッシュの地域メッシュ・コードは、上述の各分割に南北方向には南から0~9、東西方向は西から0~9で附番し、第2次地域区画の地域メッシュ・コード6桁の後に南北、東西の順に並べた8桁となる。

このような構造であるため、地域メッシュ・コードを与えれば、メッシュの南西端の緯度と経度は単純な演算で求められる。

たとえば図4で例に挙げた基準地域メッシュ(51352336)を含む第1次地域区画の地域メッシュ・コードは5135であるから、南西端は5135のうち最初の2桁から $51 \div 1.5 = 北緯34度$ 、3~4桁から東経135度である。さらに、第2次地域区画の地域メッシュ・コードは513523であるから、南西端の緯

² 南北方向は日本全国どこでもほぼ1kmであるが、東西の長さは緯度によって大幅に異なる。たとえば札幌ではほぼ1kmだが、那覇では1.2kmを超えるため、面積や形状が重要となる用途では注意が必要となる。

度は5桁目の2から、5135の南西端よりも10分（ $40分 \div 8 \times 2$ ）北の北緯34度10分、経度は6桁目の3から、22分30秒（ $1度 \div 8 \times 3$ ）東の東経135度22分30秒となる。最後に基準地域メッシュの地域メッシュ・コードは51352336であるから、南西端の緯度は7桁目の3から1分30秒（ $40分 \div 8 \div 10 \times 3$ ）北の北緯34度11分30秒、経度は8桁目の6から4分30秒（ $1度 \div 8 \div 10 \times 6$ ）東の135度27分となる。

本稿では、このようにして求めた基準地域メッシュに対応する緯度・経度を後述の逆ジオコーディング処理で都道府県とマップさせたり、病院への流入圏計算の出発点情報として利用したりしている。

図3 第2次地域区画

	0	1	2	3	4	5	6	7
7	513570	513571	513572	513573	513574	513575	513576	513577
6	513560	513561	513562	513563	513564	513565	513566	513567
5	513550	513551	513552	513553	513554	513555	513556	513557
4	513540	513541	513542	513543	513544	513545	513546	513547
3	513530	513531	513532	513533	513534	513535	513536	513537
2	513520	513521	513522	513523	513524	513525	513526	513527
1	513510	513511	513512	513513	513514	513515	513516	513517
0	513500	513501	513502	513503	513504	513505	513506	513507

第1次地域区画 地域メッシュ・コード=5135

図4 基準地域メッシュ

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	51352390	51352391	51352392	51352393	51352394	51352395	51352396	51352397	51352398	51352399
8	51352380	51352381	51352382	51352383	51352384	51352385	51352386	51352387	51352388	51352389
7	51352370	51352371	51352372	51352373	51352374	51352375	51352376	51352377	51352378	51352379
6	51352360	51352361	51352362	51352363	51352364	51352365	51352366	51352367	51352368	51352369
5	51352350	51352351	51352352	51352353	51352354	51352355	51352356	51352357	51352358	51352359
4	51352340	51352341	51352342	51352343	51352344	51352345	51352346	51352347	51352348	51352349
3	51352330	51352331	51352332	51352333	51352334	51352335	51352336	51352337	51352338	51352339
2	51352320	51352321	51352322	51352323	51352324	51352325	51352326	51352327	51352328	51352329
1	51352310	51352311	51352312	51352313	51352314	51352315	51352316	51352317	51352318	51352319
0	51352300	51352301	51352302	51352303	51352304	51352305	51352306	51352307	51352308	51352309

第2次地域区画 地域メッシュ・コード=513523

3. 逆ジオコーディング

上述の通り、地域メッシュ統計はあくまで緯度、経度で区切られた領域内での集計であるため、行政単位をベースに集計されている一般的な統計、たとえば産科の需要を推計するために出生データと組み合わせて使うためには緯度、経度から行政単位へのマッピング（逆ジオコーディング³）を行う必要がある。

日本の行政区画の境界線情報は国土地理院の電子国土基本図に含まれているため、原理的には緯度、経度を指定した時にどの行政単位に含まれているかを求めることは可能である。現在では地理情報を扱うためのデータベースシステム⁴も入手可能であり、このようなシステムを構築するための環境は比較的整備されてきているもののデータのメンテナンスまで含めての実装、運用となるとそれほど容易ではない。また、いくつかの会社で無償サービスとして公開しているケースはあるが、研究用に公開しているわけではないため、利用条件などに注意が必要⁵である。

本稿では、国立研究開発法人農業・食品産業技術研究機構 近畿中国四国農業研究センター 営農・環境研究領域 (<http://www.finds.jp/>) で開発されている逆ジオコーディングサービスを利用している [寺元, 2009]。このサービスは、公開されているサービス URL に適切なパラメータとともに緯度、経度情報を送ると都道府県 + 市区町村名を検索してくれるものである⁶。

4. 地域メッシュ統計と行政区画単位の統計を結合して使う例

産科の集約化を考慮する際の基礎データとして、メッシュごとの年間出生数が必要となるが、国勢調査メッシュで得られるのは年齢階級別の人数だけである。0～4歳の人口を5で除して平均出生数を出すという簡便な方法も考えられるが、人口密度が低くて出生自体がそれほど多くない地域ではこの方法は誤差が大きくなる危険性がある。図5は各メッシュでの年間平均出生数が0.2の地域を想定したケースを示しているが、左の「推定値」が各メッシュの出生数として上で説明したような推定値を利用した場合、中央と右は同じ確率でランダムに出生を割り当てた場合である。また、影をつけた部分は集約化の結果通院不能になるメッシュを示している。左のケースでは、通院不能になるケースは 0.2×5 で1、中央のケースでは0、右のケースだと2になり、割合としては大きな誤差を生じていることになる。

本研究では、この問題を避けるために都道府県単位の年齢階級別特殊出生率とメッシュ内の年齢階級別女性数からメッシュでの年間出生数を推計する。この場合、各メッシュがどの都道府県に入っているかを判断する必要があるが、前述の通り各メッシュの緯度（南端）、経度（西端）は地域メッシュ・コードから一意に求められるため、逆ジオコーディングを用いることによってメッシュが属する

3 ジオコーディング (geocoding) が住所から緯度、経度にマッピングする方法なので、逆に緯度、経度から住所を調べるマッピングは逆ジオコーディングとなる。

4 たとえば汎用データベースである PostgreSQL の拡張として組み込める PostGIS (<http://postgis.net/>) など。

5 「逆ジオコーディング」で検索すると Google の提供している無料サービスを使う例が沢山出てくるが、このサービスは本稿で述べるような研究用には使いにくい。

6 実際にはこのサービスにも連続利用件数などの制限があるため、本研究では上記組織で配布しているサービス用のシステムを手元で動かして利用している。

図5 年平均出生数が0.2の地域例

0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0
0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	1	0
0.2	0.2	0.2	0	0	1	0	1	0
推定値			実際の出生数（1）			実際の出生数（2）		

都道府県を確定する⁷ことは可能である。たとえば、図4で例に挙げた基準地域メッシュ（地域メッシュ・コード 51352336）は和歌山県の中にあるため、この基準地域メッシュ内の年齢階級別女性数と和歌山県の年齢階級別特殊出生率を用いることで、期待出生数を推計することが可能となる。実際には、この操作を日本中で人が住んでいる全メッシュについて行っている。

5. 流入圏計算

さて、上述のような方法で基準地域メッシュ単位での医療需要（上での例では年間出生数）を推計したとして、病院の集約化を行うためには「あるメッシュから、ある病院まで通院するためにどの程度の時間が必要か」という情報が必要となる。単純な近似としては、メッシュと病院との間の直線距離を用いることも可能である。しかしながら、直線距離で近くても途中で山があって通れない、川があって橋は大幅に迂回しなければならない、などのケースは日本の特に山間部では珍しくない。より現実的な計算を行うためには、道路網を使って最短時間で移動した場合にどの程度の時間が掛かるかを計算する必要がある。

このような最短時間を決定する経路選択の安定的なアルゴリズムとしては、Dijkstraによるものが広く知られている。しかしながら、実際に計算を行うためには、（1）道路網がどのように接続されているか（ネットワーク情報）、（2）道路網上を移動するためにどの程度時間が掛かるか（所要時間（コスト）情報）を記述する必要があり、さらに安定ではあっても計算量は膨大となるため、本研究のように多くの医療機関について計算を行う場合はアルゴリズムをそのまま記述したような単純な実装では不十分である。

そのため本稿では、最短時間計算については既製品のパッケージソフトを用いて処理することを選択した。最短時間計算については複数の製品が存在するが、（1）計算資源を持つ必要がない、（2）計算回数と課金の間に線型の関係がない、（3）プログラムから呼び出して大量の処理を容易に行える、の3条件を満たすものとして、ACT（アドバンスド・コア・テクノロジー株式会社）距離計算サービスを選択した [アドバンスド・コア・テクノロジー株式会社, 2011]。当該サービスでは所要時間の上限、流入先（この場合は病院）の緯度、経度、さらに流入元（この場合は基準地域メッシュ）の緯度・経度を与えると、指定した所要時間の上限までに到達できるかどうか返される。本研究で利用したサービスレベルでは、同時に300カ所の流入元を指定できるため、比較的時間の掛かる計算呼び出し回数を減らせる。また、料金は年額の固定料金であり、計算回数による従量料金ではな

⁷ メッシュが都道府県の境界線をまたいでいるようなケースも当然考えられるが、メッシュの代表点として選んだ座標（上の例ではメッシュの南西端）がどの都道府県に入るかしか考慮していないため、複数の都道府県に属している場合でも扱いに問題は生じない。

いため予算化しやすいというメリットもある。

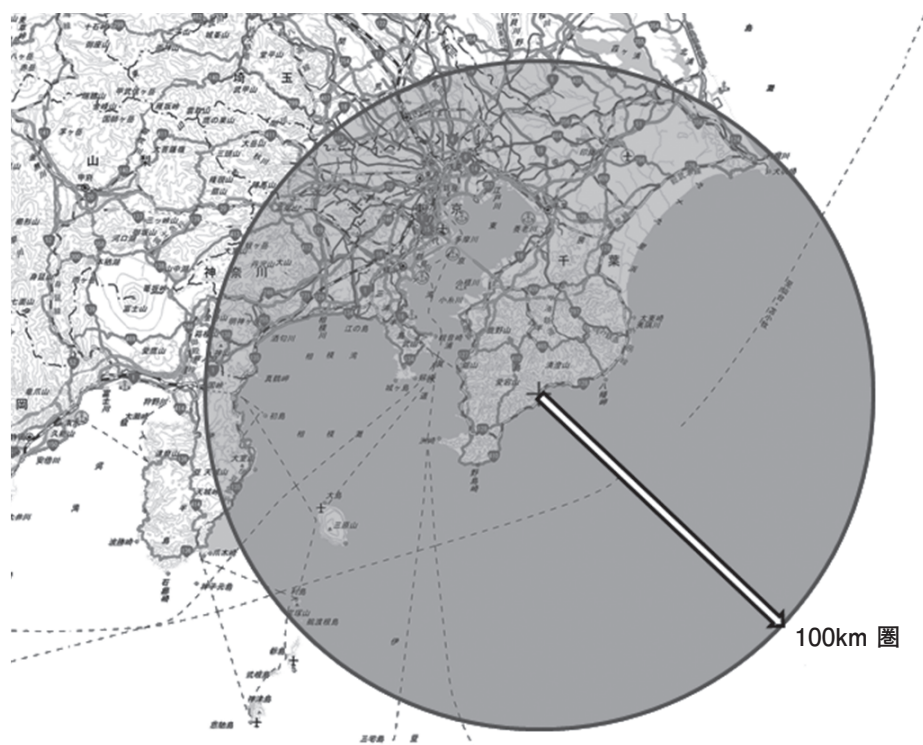
本研究で実際に採用した方法は、(1) 病院への許容できる到達時間 T を設定する、(2) 時速100 km で移動可能であると仮定した場合⁸に、直線距離での病院 h までの到達時間が T 以下となる基準地域メッシュを全て選択し、その集合を M_h とする、(3) GIS を用いて M_h に含まれる基準地域メッシュ m から病院 h までの道路を利用した到達時間 $t(m, h)$ を計算し、 $t(m, h) \leq T$ となる場合を「利用可能」としてマークする、というアルゴリズムである。

5.1 流入圏推計の具体例

千葉県鴨川市にある亀田総合病院（総合周産期母子医療センター）を中心とした1時間流入圏を例として挙げる。図6は亀田総合病院から半径100km 圏を表しており、この中にある基準地域メッシュが $M_{\text{亀田総合病院}}$ に含まれることになる。この図より分かるように100km 圏には海などの人が住んでいない領域が含まれることがあるが、海上には基準地域メッシュは割り当てられていないため計算上は無視することになる。

$M_{\text{亀田総合病院}}$ から抽出した基準地域メッシュのうち、GIS で計算した到達時間が1時間未満のものを図示した結果が図7である。実際に道路を使って1時間未満で到達可能な範囲は房総半島南部に限られており、 M_h の設定方法は到達可能範囲を十分カバーしていることが分かる。

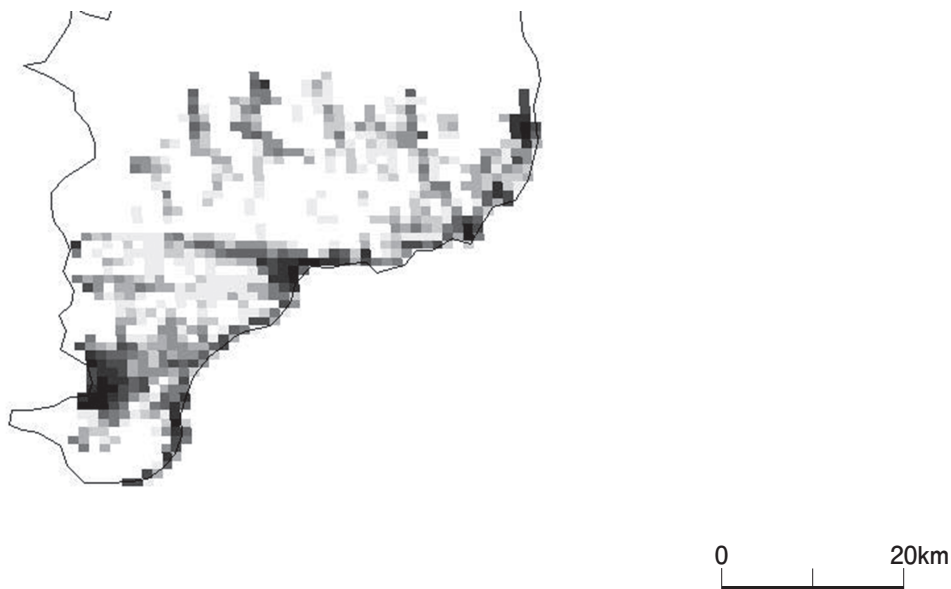
図6 亀田総合病院（千葉県鴨川市）から100km 圏



国土地理院の電子地形図に100km 圏を追記して作成

8 自動車（救急車含む）での移動を前提としているため、国内の最大制限速度である時速100km を M_h の選択に利用している。もちろん、このような形で選択された M_h は到達不能なメッシュを大量に含むが、到達可能なメッシュを取りこぼさずには含めば、不要なものは到達時間計算で排除できるため問題ない。

図7 実際の道路を使って亀田総合病院まで1時間圏の基準地域メッシュ



ACT 距離計算サービスで求めた到達可能基準メッシュを MANDARA で可視化。メッシュの濃淡は当該メッシュでの期待出生数を表す（濃→期待出生数多）

6. 集約化に伴うアクセス性低下の評価

6.1 概要

ここまでで説明したアルゴリズムを用いて、全基準地域メッシュでの期待分娩数を分母とし、指定した時間 T 未満の移動時間で分娩取扱医療機関に到達できる分娩数を分母とした割合を計算した結果が表2である。医療機関の区分としては、(1) ベンチマークとして現在分娩を取り扱っている全病院・診療所、(2) 分娩の安全性を考慮して、病院のみ、(3) 集約化を進めて一般病床が300床以上の病院、(4) 経営的な効率性も追求可能な一般病床が500床以上の病院、さらに地域の中核病院であると考えられる、(5) 救急救命センターの5種類を想定している。なお計算に使った国勢調査メッシュ統計、人口動態統計は平成17年調査である。

現状の全病院・診療所は、30分未満で97%、60分未満で99%の分娩をカバーしており、アクセス性という観点からは優秀であることが分かる。妊婦に対する調査 [江口, et al., 2007] では通院に支障がないと思われる通院時間は30分未満と回答した人が76%いることから考えて、ニーズに応じて立地が調整されてきたと考えられる。ただし、この調査はあくまで「通院」であり、分娩施設と妊婦健診施設を分離することで通院時間の問題は軽減できる可能性が高い。

分娩において最も緊急性を要する緊急帝王切開については医療施設側の準備時間もあるため [中井, et al., 2007]、1時間程度まで流入圏を広げることができる。60分未満であれば300床以上の病院まで分娩施設の集約化を行ってもカバー割合は98.4%であり現状よりそれほど大きな悪化は生じないが、500床以上に集約化した場合は5%（年間で5万分娩程度）が1時間圏から外れることになる。経営の効率化を求めて全国一律の基準での集約化を行うことは、分娩時の緊急対応に支障を来す可能性が高いため、注意が必要である。

表2 集約化による分娩カバー割合低下の評価

集約化基準	30分未満	60分未満	90分未満	120分未満	病院あたり分娩数		
					平均	標準偏差	中央値
全病院・診療所	97.07%	99.42%	99.77%	99.84%	417.6	301.3	354.6
病院のみ	94.73%	99.33%	99.76%	99.84%	1006.1	738.6	859.6
300床以上	90.88%	98.40%	99.61%	99.80%	1671.9	1138.9	1418.1
500床以上	77.79%	95.00%	98.94%	99.65%	3659.3	2567.8	3180.9
救急救命センター	78.59%	96.24%	99.09%	99.60%	4412.6	2814.7	3999.9

(資料) 筆者推計による

6.2 地域別集計

集約化を行った場合に、都道府県別にどの程度の分娩カバー割合が達成されるか、またどのような場所に到達不能なメッシュが存在するかを図示したものが図8、図9である。いずれも $T < 60$ 分であり、集約化レベルはそれぞれ300床以上、500床以上に対応する。300床程度までの集約化であれば到達不能メッシュは山間部や島嶼部に限定されており、人口密度がある程度高い地域についてはカバー割合も高くなっているが、500床まで集約化を行うと到達不能メッシュがかなり多くなる。これは、500床以上の病院の分布自体がかなり都市部に偏っているためであると考えられる。

7. まとめ

- ・ 地域メッシュ統計と GIS を用いた流入時間計算によって、分娩施設集約化がアクセス性に与える影響を直接的に分析可能となる。
- ・ 既存の病院を単純に病床数で区切って集約化施設とする場合、特に地方部ではアクセス性に大きな影響が出る可能性が高い。
- ・ 地域ごとに集約化レベルを変えて、どの程度までカバー割合を上げられるかを計算する必要がある。救急救命センターを集約化先にした場合にはカバー率が上がっていることから考えても、適切な再配置計画を行うことにより、集約化とカバー率の両方を実行することはある程度可能である。

●参考文献

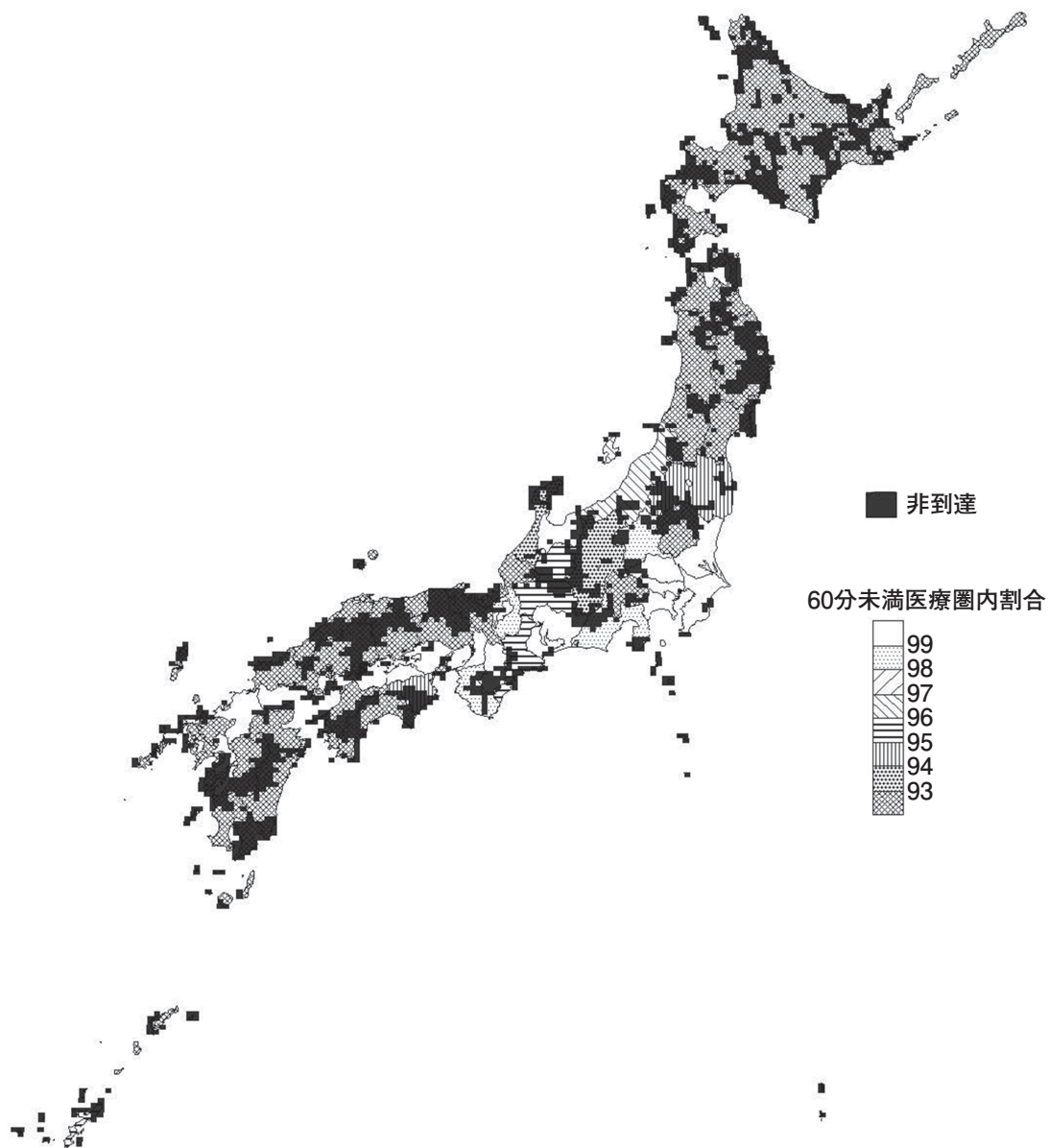
- アドバンスド・コア・テクノロジー株式会社 (2011) 「ACT 距離計算サービス」、[オンライン] Available at : <http://www.act-inc.jp/contents/service/product/asp.html>
- 株式会社ウェルネス (2012) 「全国病医院一覧データ」、[オンライン] Available at : http://www.wellness.co.jp/siteoperation/msd/index.php?mode=download_do&file=data
- 江口成美ほか (2007) 「産科医療の将来に向けた調査研究」日医総研ワーキングペーパー No.141、[オンライン] Available at : <http://www.jmari.med.or.jp/research/dl.php?no=348>
- 寺元郁博 (2009) 「「簡易逆ジオコーディングサービス」の作り方——PostGIS と無償データと地図の知識少々——」 *PostgreSQL Conference 2009 Japan*、[オンライン] Available at : <http://www.postgresql.jp/events/pgcon09j/doc/b1-2b.pdf>
- 小峰隆夫ほか (2010) 「「まちなか集積医療」の提言—医療は地域が解決する」NIRA 研究報告書、財団法人総合研究開発機構
- 中井祐一郎ほか (2007) 「緊急帝王切開術に要する時間の実態」『産婦人科治療』、Vol. 94 No. 2、pp. 197-200

図8 300床以上の病院に集約化した際の分娩カバー割合



(資料) 筆者推計

図9 500床以上の病院に集約化した際の分娩カバー割合



(資料) 筆者推計