



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道における放射線診療と急性期脳梗塞診療の地理的アクセシビリティ
Author(s)	藤原, 健祐
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(保健科学)
Dissertation Number	甲第13196号
Issue Date	2018-03-22
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k13196
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/73116
Type	doctoral thesis
File Information	Kensuke_Fujiwara.pdf



学 位 論 文

北海道における放射線診療と急性期脳梗塞診療の
地理的アクセシビリティ

藤 原 健 祐

北海道大学大学院保健科学院
保健科学専攻保健科学コース

2 0 1 7 年 度

目次

要旨	- 1 -
第 1 章 序論	- 4 -
1-1 日本の医療提供体制の現状.....	- 4 -
1-2 日本における医療資源分布の課題.....	- 5 -
1-2-1 医師の偏在	- 6 -
1-2-2 画像診断装置の偏在	- 7 -
1-3 急性期脳梗塞診療の特徴.....	- 10 -
1-4 北海道の地域特性.....	- 11 -
1-5 本論文の目的	- 13 -
1-6 本論文の構成	- 14 -
参考文献.....	- 15 -
第 2 章 北海道における放射線診療資源の地理的分布の経年比較.....	- 18 -
2-1 はじめに	- 18 -
2-2 方法	- 19 -
2-2-1 対象	- 19 -
2-2-2 ジニ係数とハーフィンダール・ハーシュマン指数	- 20 -
2-2-3 偏在の定義とその評価	- 21 -
2-3 結果	- 21 -
2-3-1 集計結果	- 21 -
2-3-2 ジニ係数とハーフィンダール・ハーシュマン指数の経年変化.....	- 23 -
2-4 考察	- 25 -
2-5 結論	- 28 -
参考文献.....	- 29 -

第3章 日本全国を対象とした画像診断の地域格差に関する分析.....- 31 -

3-1 はじめに- 31 -

3-2 方法- 32 -

3-2-1 対象- 32 -

3-2-2 都道府県ごとの放射線診療資源の分布評価- 33 -

3-3 結果- 34 -

3-4 考察- 40 -

3-5 結論- 41 -

参考文献.....- 42 -

付録 A.....- 44 -

付録 B.....- 46 -

付録 C.....- 48 -

第4章 北海道における画像診断装置への地理的アクセシビリティ- 49 -

4-1 はじめに- 49 -

4-2 方法- 50 -

4-2-1 GIS とは.....- 50 -

4-2-2 人口分布に関するデータ- 51 -

4-2-3 対象- 55 -

4-2-4 2-step floating catchment area (2sFCA) 法.....- 57 -

4-3 結果- 58 -

4-3-1 現状分析- 58 -

4-3-2 将来予測- 62 -

4-4 考察- 64 -

4-4-1 現状分析- 64 -

4-4-2 将来予測	- 64 -
4-5 結論	- 65 -
参考文献.....	- 66 -
第5章 北海道における急性期脳梗塞診療への地理的アクセシビリティ	- 68 -
5-1 はじめに	- 68 -
5-2 方法	- 69 -
5-2-1 治療可能施設への地理的アクセシビリティの測定	- 69 -
5-2-2 脳卒中診療専門医師の地理的分布の偏在評価	- 71 -
5-3 結果	- 72 -
5-4 考察	- 76 -
5-5 結論	- 78 -
参考文献.....	- 80 -
第6章 急性期脳梗塞診療に係る医療資源の適切な配置の検討.....	- 82 -
6-1 はじめに	- 82 -
6-2 方法	- 83 -
6-2-1 認定医派遣型システムの構築による効果の測定	- 83 -
6-2-2 認定医の効率的な配置の検討	- 84 -
6-3 結果	- 85 -
6-3-1 認定医派遣型システムの構築による効果	- 85 -
6-3-2 認定医の効率的な配置	- 88 -
6-4 考察	- 92 -
6-5 結論	- 94 -
参考文献.....	- 95 -
第7章 総括	- 97 -

謝辭 - 98 -

研究業績一覽 - 99 -

要旨

近年、国民医療費の増加は国の財政を圧迫し、今後も医療技術の進歩や高齢化等を背景として、医療費は伸び続けることが予想されている。これまでに、高い保健医療水準を達成してきた現行の医療制度を将来に渡って維持していくためには、医療費を適正化するとともに、良質かつ適切な医療を効率的に提供することを可能とする体制を、地域の実情に応じて構築していく必要がある。日本の国土全体の21%の面積を占める北海道は、人口密度が68.6人/km²と47都道府県で最も低く、札幌などの大都市に人口が集中するといった地理的な特徴を有する。現在、北海道では医療資源の地域偏在などにより医療の地域格差が顕著となっており、過疎地域などでは医療提供体制に支障が生じていることが問題となっている。特に、医療計画に記載すべき5疾病に上げられる脳卒中のうち、急性期脳梗塞に対する治療は、施行に際して発症からの時間的制約があり、かつ専門医師による治療の実施やCT・MRIによる画像診断が必須となるなど、医療機関に求められる施設整備基準が高く、地域によって施行実績に差があることが指摘されている。また、CT・MRI等による画像診断や放射線治療などの放射線診療は、その実施に高度な医療機器を要するため、過疎地域での機器の未配置による診療格差の存在が指摘されている。

本研究では、医療資源分布の不均一によって生じる、放射線診療および急性期脳梗塞診療への地理的アクセシビリティの地域格差に着目し、北海道が抱える課題の解決に向けた医療計画等の策定に資する有用な情報の提供を目的として、医療資源の偏在、および医療施設への地理的アクセシビリティを定量化した指標を用いて、医療提供体制の現状把握を試みた。また、現状分析を基にした地域固有の課題抽出と、将来推計人口等を用いた将来的な医療の需給バランス評価から、北海道における治療拠点施設の配置案の提示を試みた。

第1章では、日本の医療提供体制の現状、医療資源の分布、急性期脳梗塞診療の現状、北海道の地域特性について概要を示し、本研究における課題を明確にした。

第2章では、CT、MRI、放射線治療機器、診療放射線技師といった放射線診療資源に着目し、分布の不均一度を測るジニ係数（以下、GC）と、集中度を測るハーフィンダール・ハーシュマン指数（以下、HHI）の併用によって、北海道の放射線診療資源の偏在および分布の経年変化を定量的に評価した。偏在の指摘される医師の分布と比較してCT、MRI、診療放射線技師のGCが低かったことから、これらの放射線診療資源が北海道に均一に分布していることを明らかにした。

第3章では、CTとMRIの装置性能の差および放射線科専門医の有無により生じる画像診断の質に着目し、全国の二次医療圏を対象に、GCとHHIを併用し、画像診断に関わる医療資源の各都道府県における偏在の度合い、および分布の経年変化を評価した。対象期間に

において、各都道府県の高性能 CT および高性能 MRI の GC は有意に低下していたことから、これらの分布は偏在が改善する傾向にあったことを明らかにした。また、放射線科専門医の分布は、高性能 CT および高性能 MRI と比較して特定の二次医療圏への集中を伴う偏在が示されたことから、画像診断の質に地域格差が生じている可能性を指摘した。一方で、地域格差を是正するための具体的な施策を決定するためには、よりミクロな視点で地域ごとの課題を抽出する必要があるとあり、地域性の評価を可能とする指標の創出が必要と考えられた。

第 4 章では、地理情報システム（Geographic information system: 以下、GIS）を用いて、CT および MRI を保有する施設への地理的アクセシビリティの定量化を試み、画像診断に係る医療資源について地域ごとの需給バランスを評価した。現状分析において、CT、MRI への地理的アクセシビリティは、北海道全域で概ね OECD 加盟国平均値を超える程度に担保されているものの、より高性能な装置については地理的アクセシビリティに地域格差が生じており、都市部よりも人口の少ない地方にその度合いが強いことを明らかにした。将来予測からは、人口の減少にともない、現状の画像診断装置の配置では需給バランスに不均衡が生じる地域があるため、それを考慮した再配置や施設間連携などの計画的利用が必要になる可能性を示唆した。

第 5 章では、治療までの時間に制約のある急性期脳梗塞の治療提供体制について、GIS を用いた到達圏分析を基に到達圏外人口割合を算出し、地理的アクセシビリティの地域格差を評価した。また、GC を用いて脳卒中診療専門医師の偏在の有無を定量的に評価した。機械的血栓回収療法などの急性期脳梗塞治療が提供可能な施設への地理的アクセシビリティには大きな地域格差が存在しており、急性期脳梗塞診療は主に人口の多い都市部およびその近郊でしか提供されていないことを明らかにした。また、脳卒中診療専門医師は、病床および常勤の全医師と比較して不均一に分布していることを明らかにし、地理的アクセシビリティの低い地域への対策が必要であることを指摘した。

第 6 章では、CT、血管造影システムといった機械的血栓回収療法に係る医療資源に着目し、それらへの地理的アクセシビリティの分析を基に、治療が実施可能な拠点施設の適切な配置案の提示を試みた。CT および血管造影システムを保有する施設は北海道内に広く分布しており、認定医以外の医療資源を保有する施設へ認定医を派遣して治療を行う「認定医派遣型システム」を構築することは、急性期脳梗塞診療の地域格差の是正につながることを示した。また、現時点で機械的血栓回収療法が可能な施設の存在しない二次医療圏に拠点施設を配置することで、将来推計人口を基に推定した脳梗塞発症リスクの高い患者分布の 87.9% を、治療提供が可能な地域としてカバーできることを明らかにした。

第 4 章、第 5 章、第 6 章では、GIS を用いて医療資源への地理的アクセシビリティの定量

化を試みた。結果を算出する過程において、移動時間の閾値設定や医療の需要と供給の設定など、シミュレーションモデルが必要になるため、モデルの妥当性の検証が今後の課題として上げられた。

本研究では、地理的アクセシビリティを定量化した指標を算出し、更にそれを地図と重ね合わせて表示することで、地域性を考慮した分析と地域格差の視覚化を実現した。従来、医療計画等の策定に利用される指標は、医療機関や医師といった医療資源の数や、治療の実施件数などの単純な集計データであった。本研究で算出した指標は、医療の公平性を表現する地理的アクセシビリティという新たな情報を付加して地域の医療提供体制の実状を把握できる点で、医療計画等の策定に資する有用な情報になり得ると考えられる。また、比較的新しい治療法である機械的血栓回収療法の提供体制は未だ十分に整備されておらず、本研究で提示した現状分析の結果と、拠点施設の配置案は、今後予想される提供体制整備の一助となることが期待できる。さらに、本研究で用いた手法は、他の地域、他の急性疾患に対しても応用可能であり、全国的な医療提供体制を評価する指標の一つにもなり得るものである。

第1章 序論

1-1 日本の医療提供体制の現状

日本の医療提供体制では、公的医療保険による国民皆保険制度のもと、医療サービスという現物を給付する方式での保険給付を行っており、患者は保険証があれば一定の自己負担により必要な医療サービスを受けることができる。また、日本の医療はフリーアクセスであり、受診する医療機関を自由に選ぶことが可能である。これらによって、日本では誰もが安心して医療を受けることができる医療制度を実現し、世界最長の平均寿命や高い保健医療水準を達成してきた。しかし、国民医療費は2015年度で42兆3,644億円にも上り[1]、国の財政を圧迫するとともに、医療技術の進歩や高齢化等を背景として今後も医療費は伸び続けることが予想されている。

医療サービスの提供にかかる費用は、国、自治体、保険者が保険料と税金で約8割を調達している。一方で、医療サービスは民間主体で提供されている。表1-1は2014年における開設者別の病院数であり[2]、医療法人が全体の67.4%を占めている。このような環境下において、市場メカニズムによる自由競争では公平性を担保することが難しいため、行政が保険医療制度に基づく様々な規制等を作り、国民皆保険制度を維持している。現行の医療制度を将来に渡って維持していくためには、医療費を適正化するとともに、良質かつ適切な医療を効率的に提供することを可能とする体制を、地域の実状に応じて構築する必要がある。

表 1-1 2014 年における開設者別の病院数

開設者の種類	病院数	構成割合 (%)
国	329	3.9
公的医療機関	1,231	14.5
社会保険関係団体	57	0.7
公益法人	240	2.8
医療法人	5,721	67.4
私立学校法人	109	1.3
社会福祉法人	198	2.3
医療生協	84	1.0
会社	53	0.6
その他の法人	182	2.1
個人	289	3.4
総数	8,493	

医療提供体制の確保を図るために、医療法において都道府県は地域の実情に応じて医療計画を定めることが規定され、5年ごとに見直すこととなっている。これまで、医療計画を基に医療を効率的、継続的に提供する体制の確立を図る取り組みがなされており、市町村を単位として身近な医療を提供する「一次医療圏」、複数の市町村を単位として一般の入院に係る医療を提供する「二次医療圏」、都道府県を単位として高度で特殊な医療を提供する「三次医療圏」という3つの階層で体制の整備が進められてきた。現行の医療計画は2013年度より実施されている第6次医療計画であり、2018年度以降の第7次医療計画の策定にあたっては、「共通の指標により現状把握を行うことで、都道府県ごと、二次医療圏ごとの医療提供体制を客観的に比較できるようなものとするため、指標を見直すこと」と明記されている[3]。現在示されている共通の指標として、医療機関数や治療実施件数などが上げられている。厚生労働省の疾病・事業及び在宅医療に係る医療体制構築に係る指針では、現状の把握や課題の抽出の際に用いられる多くの指標について、それぞれの関連性を意識し、地域の現状をできる限り構造化しながら整理する必要がある、指標をアウトカム、プロセス、ストラクチャーに分類し、活用することとしている[4]。この3つの分類はDonabedianが提唱した医療の質を評価する視点であり[5]、アウトカム指標は住民の健康状態や患者の状態を測る指標、プロセス指標は実際にサービスを提供する主体の活動や、他機関との連携体制を測る指標、ストラクチャー指標は医療サービスを提供する物的資源、人的資源及び組織体制、外部環境並びに対象となる母集団を測る指標である。

適切な医療提供体制を実現するためには、行政や医療サービス提供者だけでなく、患者・国民を含めた関係者による課題の共通認識が不可欠であり、今後、データに基づく客観的な指標や、医療計画の策定に資する情報の重要度が増していくことが予想される。

1-2 日本における医療資源分布の課題

医療資源は大きく人的資源と物的資源に分けられる。人的資源には、医師、看護師、診療放射線技師などの医療従事者が含まれる。物的資源には、病院や診療所などの建物、病床、検査機器などが含まれる。厚生労働省の医療計画作成指針には、住民の医療ニーズや受療動向に関する情報、医療資源・連携等に関する情報に基づき、地域の医療提供体制等の現状を記載するよう明記されている[6]。医療計画の作成において、医療資源分布の把握は重要な位置を占めることから、本節では、医師および画像診断装置に着目し、医療資源の偏在について概説する。

1-2-1 医師の偏在

厚生労働省「医師歯科医師薬剤師調査」によると、医師は2000年から2012年の12年間に於いて255,792人から303,268人へ47,476人増加しており、人口10万人あたりの医療施設従事医師数もすべての都道府県で増加していた[7]。表1-2に2000年から2012年における医師数と、人口10万人あたりの医療施設従事医師数の変化を示す。医師不足は課題とされながらも医師の絶対数は年々増加している。この課題の解決のためには地域ごとの適正な医師数を算出する必要があるが、適正な医師数の算出には提供される医療の質、医師の仕事量、住民の疾病構造、人口構成、地理的状況など様々な要因を考慮する必要があり、その推定は容易ではない。

表 1-2 医師数と、人口10万人あたりの医療施設従事医師数の変化

年度	医師数（人）	人口10万対医療施設従事医師数（人）
2000年	255,792	191.6
2002年	262,687	195.8
2004年	270,371	201.0
2006年	277,927	206.3
2008年	286,699	212.9
2010年	295,049	219.0
2012年	303,268	226.5

このような背景から、絶対的な医師数不足よりも医師の分布や診療科における医師の偏在が重要な課題とされてきた。Toyabeは1980年代後半以降、医学生数を減らす政策をとってきたが、日本の医師不足が社会問題となっていることを背景に、1996年から2006年における医師数を比較した上で分布の傾向を検討している[8]。この研究では、調査期間中の医師数は年々増加していたが、医師の偏在が2004年を境に悪化傾向にあり、特に病院勤務医に顕著な傾向が見られたと報告している。日本の医師不足問題は、医師の絶対数の不足と病院勤務医の偏在の両方に関連しており、2004年創設の新医師臨床研修制度はこの状況を悪化させる可能性があるとして指摘している。Matsumotoらは2005年時点での日本と英国の診療所医師の地理的分布についてジニ係数を用いて比較している[9]。この研究では、日本の人口10万人あたりの診療所医師数は73.4人、英国のそれは63.9人であったが、英国の医

療圏人口に対するジニ係数は 0.0837 であったのに対し、日本のそれは 0.1755 と 2 倍以上高く、日本の診療所医師は英国の診療所医師に比べて著しく偏在していると報告している。また、Matsumoto らは 1980 年と 2005 年の日本の市町村と米国の郡における医師の分布も検討している[10]。この研究では、対象期間の 25 年において人口あたりの医師数は日本で 55%、米国で 47%増加しているが、ジニ係数は日米で同様の値でありその変化はほぼ無かったことから、日米とも人口分布に対する医師分布の公平度はほとんど変化していなかったと報告している。Tanihara らは日本の地方における医師の相対的な不足は医療政策の重要な問題であるとし、349 の二次医療圏における医師数と人口あたりの医師数について 1998 年時点と 2008 年時点を比較している[11]。この研究では、10 万人あたり医師数は増加しているが、二次医療圏間の格差は改善されていなかったことを示しており、地方の二次医療圏における人口あたりの医師数の増加は、医師数の増加によるものではなく地方の人口減少を伴う都市化が原因であると結論づけている。Sasaki らは日本の小児科医の分布に着目し、2002 年と 2007 年における 369 の二次医療圏を対象に 15 歳以下人口 10 万人あたりの小児科医数を調査している[12]。この研究では、主成分分析の結果、第一主成分は都市化の度合いであり、それは小児科医数の増加に影響していると報告している。また、小児科医の分布は都市部に急速に集中しており、地方で勤務する高齢の小児科医が若い医師に置き換わっていない背景を踏まえ、高齢の医師が退職するときにそれらの地域で新たな問題が生じる可能性を指摘している。江原は医師数の増加を背景に需要と供給の観点から、人口規模と診療科の関係について調査している[13]。この研究では、2000 年および 2010 年において、市町村の人口規模別に診療科ごとの医師の従業があるかないかを解析し、人口 1 万人未満の町村部では内科を除く診療科の診療が受けられない可能性が高いことを報告している。

これらの先行研究による知見をまとめると、日本における医師分布について、過去から現在にかけて経時的に医師の絶対数は増加しているものの都市部へ集中するといった偏在が示唆され、その度合いは経時的に変わらないかむしろ悪化する傾向にあるといえる。また、診療科の偏在は産婦人科、小児科で顕著であるが、特に人口の少ない地方に住む患者の専門的医療へのアクセシビリティの低下が指摘される。

1-2-2 画像診断装置の偏在

現在の医療において、画像診断は急性・慢性疾患を問わず医療を遂行する上で大きな役割を担っている[14]。日本では、多くの医療施設において CT (Computed tomography)、MRI (Magnetic resonance imaging)といった多種多様な画像診断装置が導入されている。図 1-1 および図 1-2 は、2011 年（あるいは最も近い年）における OECD 加盟国の CT および MRI の

人口 100 万人あたり保有台数である[15]。調査結果が示された OECD 加盟国の人口 100 万人あたり保有台数の平均値は CT で 23.6 台、MRI で 13.3 台であった。日本の人口 100 万人あたり保有台数は CT で 101.3 台、MRI で 46.9 台であり、OECD 加盟国の平均値を大きく上回っていた。

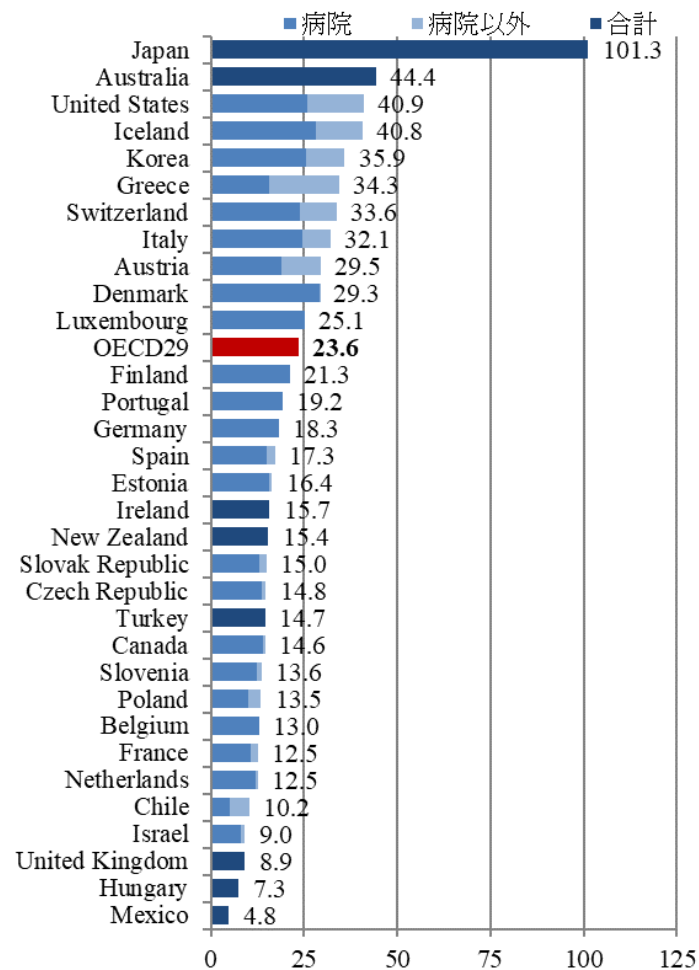


図 1-1 OECD 加盟国における 100 万人あたり CT 保有台数（文献[15]より引用）

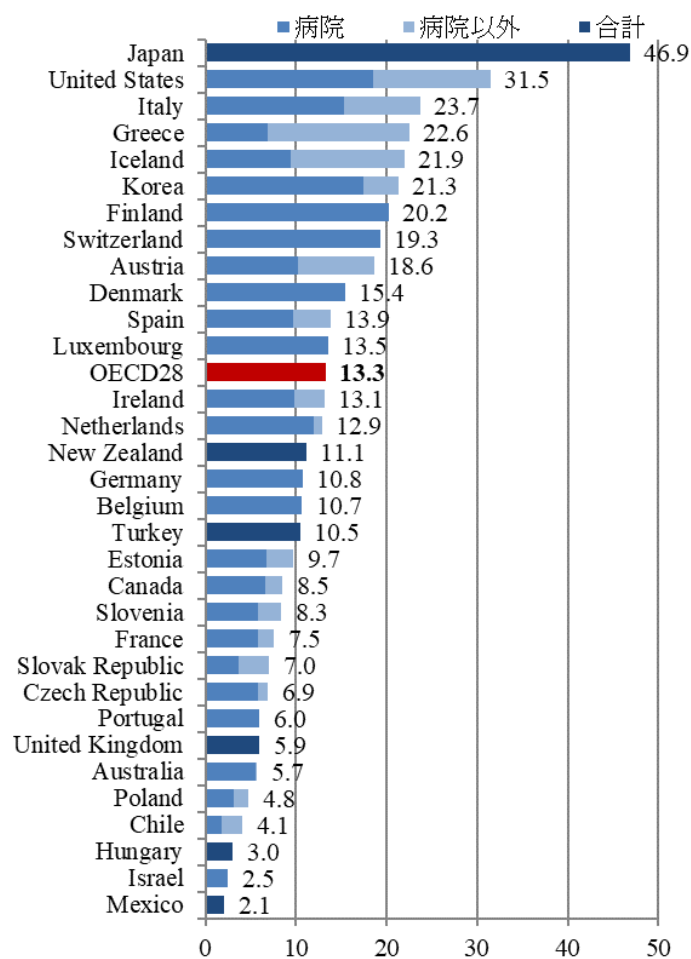


図 1-2 OECD 加盟国における 100 万人あたり MRI 保有台数（文献[15]より引用）

国内の画像診断装置の設置台数については、医療施設の分布及び整備の実態を明らかにする目的で実施される医療施設静態調査において、二次医療圏ごとに集計されている[2]。これまでに、画像診断装置について、人口あたりの台数や、二次医療圏ごとの設置台数は把握されているものの、その地理的な分布はほとんど明らかにされていない。Ogasawara らは北海道における二次医療圏を単位とした放射線診療の地域的な不均一性について、資源分配の不平等さを測る指標であるジニ係数を用いて評価しており、1996 年の北海道において CT や MRI などの画像診断装置は均一に分布していたと報告している[16]。Matsumoto らは CT、MRI、PET (Positron emission tomography) といった画像診断装置を対象に、2005 年と 2011 年の分布を日本の 1829 市町村を単位としたジニ係数を用いて分析しており、この期間においてモダリティの増加がその分布をより均等にしたことを報告している[17]。

これらの研究からは、人口あたりの画像診断装置台数が、日本全国を対象として市町村単位で均一である、あるいは都道府県を対象として二次医療圏単位で均一であるといった知

見が得られている。しかし、都市部にはより多くの機器が配置され、一方で人口減少や高齢化の進む地方ではより少ない傾向にあり、その分布が地理的に均一であるとは言えない。実際に、へき地医療拠点病院からの意見として、高度医療機器に最終診断を頼らざるを得ない状況において、CTなどの医療機器が無いことから患者を都市部の中核病院に送ることになってしまうとの意見や[18]、医療提供体制に関する機能としてCTやMRIのような高度医療機器が必要であるとの意見が出されており[19]、地方での画像診断装置の未配置による診療格差の存在が指摘されている。

1-3 急性期脳梗塞診療の特徴

少子高齢化を背景として、2025年以降は国民の医療や介護の需要がさらに増加することが見込まれており、特に医療計画に記載される五疾病・五事業のうち脳卒中は、主要な死亡原因であるとともに介護が必要となる主な原因のひとつである[20]。脳卒中は、脳梗塞、脳出血、くも膜下出血、一過性脳虚血発作の4つに分類され、特に脳梗塞は、発症してから一定の時間内でしか行えない治療が存在する。

現在、急性期脳梗塞の治療法として、その優れた治療効果から遺伝子組み換え組織型プラスミノゲン・アクティベータ(recombinant tissue-type plasminogen activator: rt-PA)であるアルテプラゼ(alteplase)の静脈内投与が行なわれている[21]。日本では、臨床試験(Japan Alteplase Clinical Trial: J-ACT)の成績に基づいて、2005年10月よりその使用が認可され、発症3時間以内の急性期脳梗塞患者に投与可能となった[22]。また、2012年8月より、治療可能時間は発症4.5時間以内まで延長された[23]。さらに、2015年にはカテーテルを用いた血管内治療である機械的血栓回収療法について、脳卒中発症後6時間以内に実施される治療は有効かつ安全であるといったエビデンスが大規模国際臨床研究によって示された[24]。機械的血栓回収療法は、日本では原則として発症8時間以内の急性期脳梗塞において、rt-PAの経静脈投与が適応外、またはrt-PAの経静脈投与により血流再開が得られなかった患者を対象として承認されている[25]。

rt-PA静注療法や機械的血栓回収療法といった急性期脳梗塞治療について、良好な結果をもたらす可能性は再開通の30分の遅延ごとに少なくとも10%減少すると報告されており[26, 27]、発症後速やかな治療が必要である。また、適切な治療を提供するためには脳卒中診療専門医師が必要であり、日本の脳卒中治療ガイドラインによると、rt-PA静注療法の実施には、日本脳卒中学会専門医などの急性期脳梗塞に対する十分な知識と経験を持つ医師が必要であるとされている[23]。機械的血栓回収療法についても、米国のガイドラインでは脳血管造影と血管内治療専門医へ迅速にアクセス可能な脳卒中センターでの治療が必要であ

るとされており[28]、日本では日本脳神経血管内治療学会認定脳血管内治療専門医、またはそれに準ずる経験を有する医師が診療にあたるように推奨されている[25]。さらに、日本の脳卒中治療ガイドラインには「頭部 CT または MRI 検査、一般血液検査と凝固学的検査、心電図検査が施行可能であること」と明記されており[23]、治療に先立って CT や MRI による正確な画像診断が求められる。

欧米では rt-PA 静注療法および機械的血栓回収療法は日本よりも先行して行われており、オランダでは rt-PA 静注療法の実施率は 2005 年に 6.4%であり 2012 年には 14.6%まで上昇したと報告されている[29]。rt-PA 静注療法の実施率の低さは多くの国で指摘されているが、一部に実施率の高い地域が報告されており、Addo らは South London（イギリス）において 2009 年の実施率が 15.7%であったと報告している[30]。また、Stolz らは、Hesse（ドイツ）において 3 時間以内に搬送された全患者に対する実施率は 19%であり、地域によって 6%から 35%まで変化したと報告している[31]。一方、日本における rt-PA 静注療法の実施率について、Nakagawara は、全ての脳梗塞の 5～6%に留まり、各地域における急性期脳梗塞診療の提供体制が不十分であることを指摘している[32]。Okada らは、rt-PA 静注療法の実施率に地域格差が見られることを報告しており[33]、Iguchi らは、脳卒中診療専門医師が少ない病院では rt-PA 静注療法が不可能な病院が多く、急性期脳梗塞診療の提供体制の改善には、より多くの脳卒中診療専門医師を含むインフラの整備が急務であることを指摘している[34, 35]。また、機械的血栓回収療法は、比較的新しい治療法であるため、国内外を問わず専門医の育成などを含めて診療提供体制の整備がまだ十分に進んでいない。Goyal らは、機械的血栓回収療法は急性期脳梗塞治療に有益であることから、治療を提供するためのケアシステムの構築が必要であると報告している[36]。

これらの先行研究が示すように、急性期脳梗塞治療の施行に際して、時間的な制約や専門医師の存在など、医療機関に求められる施設整備基準が高く、地域によって施行実績に差があることが指摘されている。脳梗塞による死亡を防ぎ、要介護状態に至る患者を減少させるためには、発症後速やかに適切な診療を可能とする医療提供体制の構築が必要である。

1-4 北海道の地域特性

医療計画では、地域の医療需要に対応した医療資源の適正な配置と医療提供体制の整備を図るための地域的な単位として医療圏が定義される。医療圏は一次、二次、三次の 3 段階に区分され、このうち二次医療圏は「一般の入院に係る医療を提供することが相当である単位（三次医療圏で提供すべき医療を除く。）」（厚生労働省など）であり、通常は複数の市町村が一つの二次医療圏として設定される。二次医療圏は、地理的条件等の自然的条件および

日常生活の需要の充足状況、交通事情等の社会的条件を考慮して設定され、医療資源の適正な配置と医療提供体制の体系化を図るための地域的な単位であり、これまでに政府は二次医療圏の診療機能の均てん化を目標としてきた[37]。

北海道に設定される 21 の二次医療圏と 2010 年国勢調査を基にした人口分布を図 1-3 に示す。人口分布は 1 マス約 1km² の網目状（メッシュ）で表現されており、過疎地域の平均的な人口密度である 51 人/km² 未満を緑色、人口集中地区の基準となる 4000 人/km² 未満を黄色、4000 人/km² 以上を赤色で表示し、白色は居住のない地域を表す。北海道は日本の国土全体の 21%の面積を有しながらも、人口密度は 68.6 人/km² と 47 都道府県で最も低い。また、人口集中地区*人口比率は 75.2%で 47 都道府県中 8 番目に高く、人口の多くは一部の都市とその付近に集中していることが人口分布の特徴としてあげられる。札幌など大都市に人口が集中し、過疎地域などでは少子高齢化の進行、地域産業の衰退、生活関連サービスの減退などにより、地域経済の格差が指摘され、医療においても、保健医療従事者の地域偏在などにより地域間の格差が顕著になっており、過疎地域などでは医療提供体制に支障が生じていることが報告されている[38]。

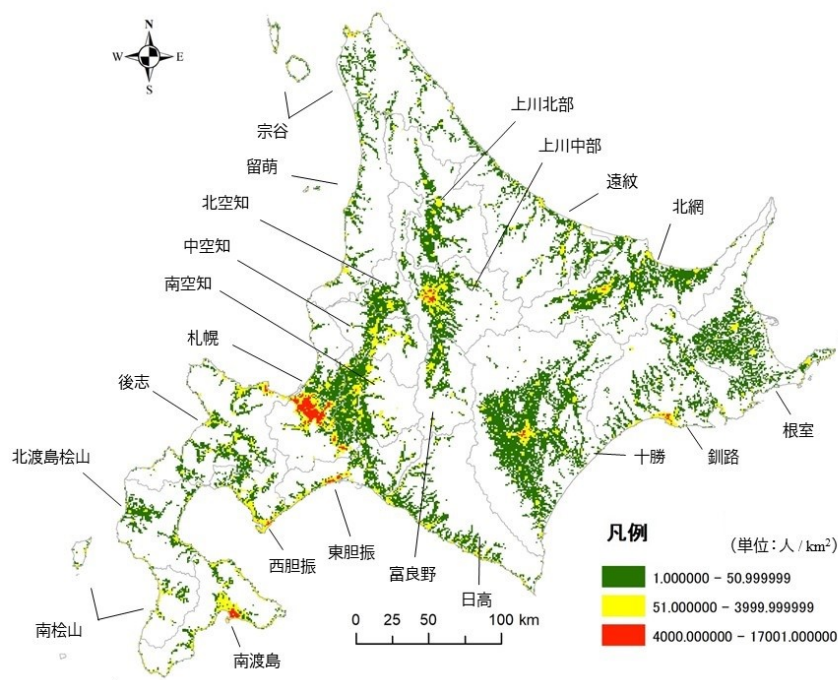


図 1-3 北海道の二次医療圏と人口分布

* 人口集中地区：国勢調査基本単位区及び基本単位区内に複数の調査区がある場合は調査区（以下「基本単位区等」という。）を基礎単位として、1) 原則として人口密度が 1km² 当たり 4,000 人以上の基本単位区等が市区町村の境域内で互いに隣接して、2) それらの隣接した地域の人口が国勢調査時に 5,000 人以上を有する地域

現行の第6次医療計画の策定に際して、指標を用いて医療資源・医療連携等に関する現状を把握した上で、課題の抽出、数値目標の設定、施策等の策定を行い、その進捗状況等を評価し、見直しを行うといった、疾病・事業ごとの plan-do-check-act (PDCA) サイクルの推進が明記された[39]。北海道においても、二次医療圏という地域単位において、自然的条件および社会的条件を考慮した医療資源の適正な配置に向けて、客観的な指標による医療資源のニーズと配置の適切性の検証を行い、格差の是正を行っていく必要がある。

1-5 本論文の目的

地域での効率的かつ質の高い医療や介護の提供を総合的に確保する地域包括ケアシステムの構築と、それに向けた税制や法律の整備を意図した「地域における医療及び介護の総合的な確保を推進するための関係法律の整備等に関する法律」が2014年に公布され、医療計画に地域医療構想が盛り込まれることとなった[40]。地域医療構想とは、医療需要の将来推計や医療機関から報告された情報等を活用して、二次医療圏等ごとの各医療機能の将来の必要量を含め、その地域にふさわしいバランスのとれた医療機能の分化と連携を適切に推進するための地域医療のビジョンであり、都道府県によって策定される。今後は、地域医療構想を基にした改革が推進されることとなる。

一般に医療分野は、需要の不確実性、保険契約の利用、情報の非対称性などから「市場の失敗」に該当するケースであることが知られている [41]。地域医療構想を基にした改革を推進するにあたり、民間中心で成り立つ医療市場において改革を市場の力に委ねることは難しい。また、医療制度として政府が強制力をもって改革を断行することも困難が予想され、改革は民間医療機関と政府の連携の下に行われる必要がある。医療提供体制を正しく評価することを可能とする客観的な指標や、人口構造の変化に対応できる持続可能な地域医療モデルが存在すれば、両者共通の基準となり、連携しやすい環境になることが期待できる。

健康格差が全くない状態を達成することは難しいものの、医療制度は健康格差の度合いや、社会経済的地位、居住地、人種などの特性への制度的な関連の度合いに対して影響を及ぼすと考えられている[42]。医療制度に基づいて構築されてきた医療提供体制が適切であるかを評価する一つの指標として、「必要なときに必要な医療にアクセスできる」という意味でのフリーアクセスを考慮すると、医療資源の分布や、医療機関への地理的なアクセスのしやすさを表す地理的アクセシビリティを定量的に把握することは重要と考えられる。特に、五疾病・五事業に上げられる脳卒中の中でも、治療開始が早いほど良好な転帰が期待できる急性期脳梗塞は、地理的アクセシビリティを考慮した医療資源の配置が有効な疾患であるとともに、今後、治療の実施率を高めるための改革が必要な領域である。

本研究では、北海道の医療提供体制に存在する医療の地域格差の是正を目的として、放射線診療に関連する医療資源分布の偏在、および急性期脳梗塞診療に関連する医療資源への地理的アクセシビリティを定量的に表す指標を算出し、現状の医療提供体制の詳細な把握と課題の抽出を試みる。また、将来推計人口や推定した脳梗塞発症リスクの高い患者分布を用いて将来的な需給バランスの評価を行い、持続可能な医療提供体制の構築に繋がる医療資源の適切な配置案の提示を試みる。

1-6 本論文の構成

本論文は全7章から構成される。

第1章では、日本の医療提供体制の現状、医療資源の分布、急性期脳梗塞診療の現状、北海道の地域特性について概要を示し、本研究における課題を明確にする。

第2章では、CT、MRI、放射線治療機器といった放射線診療機器、および医師や診療放射線技師といった放射線診療に係る人的資源の分布を北海道における二次医療圏レベルで分析し、放射線診療資源の偏在や地域格差の評価と課題の抽出を試みる。

第3章では、専門的医療としての画像診断に関する地域格差を全国の二次医療圏を対象として分析し、医療資源の偏在に伴う専門的医療へのアクセシビリティの低下について評価を試みる。

第4章では、住民の医療資源への地理的なアクセスのしやすさという観点から、地理情報システム (GIS: Geographic information system) を利用して北海道における放射線診療機器への地理的アクセシビリティの現状分析を行う。また、持続的な医療提供体制の構築に向けて、将来人口推計データを用いた画像診断に係る医療の需給バランスの評価を試みる。

第5章では、五疾病・五事業に含まれる脳卒中のうち急性期脳梗塞に着目し、北海道における急性期脳梗塞治療の提供体制について、治療可能施設への地理的アクセシビリティを考慮した分析を基に、現状把握と課題の抽出を試みる。

第6章では、機械的血栓回収療法に関連する医療資源に着目し、地理的アクセシビリティを考慮した分析を基に、治療の供給力および供給余力の把握を行う。また、脳梗塞発症リスクの高い患者分布を推定し、その分布に適した施設配置の一つのモデルを提案する。

第7章では、本論文全体を総括する。

参考文献

- [1] 厚生労働省. 国民医療費.
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/37-21.html> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [2] 厚生労働省. 医療施設（静態・動態）調査. 2014
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000001030908> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [3] 厚生労働省. 医療計画について（医政発 0731 第 4 号）. 2017
- [4] 厚生労働省. 疾病・事業及び在宅医療に係る医療体制構築に係る指針. 2017
- [5] Donabedian A. The quality of care - How can it be assessed? JAMA 1988; 260(12): 1743-1748.
- [6] 厚生労働省. 医療計画作成指針. 2017
- [7] 厚生労働省. 医師・歯科医師・薬剤師調査. 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000001030962> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [8] Toyabe S. Trend in geographic distribution of physicians in Japan. Int J Equity Health 2009; 8:5.
- [9] Matsumoto M, Inoue K, Farmer J, et al. Geographic distribution of primary care physicians in Japan and Britain. Health &Place 2010; 16: 164–166.
- [10] Matsumoto M, Inoue K, Bowman R, et al. Geographical distributions of physicians in Japan and US: Impact of healthcare system on physician dispersal pattern. Health Policy 2010; 96: 255–261.
- [11] Tanihara S, Kobayashi Y, Une H, et al. Urbanization and physician maldistribution: a longitudinal study in Japan. BMC Health Services Research 2011; 11: 260.
- [12] Sasaki H, Otsubo T, Imanaka Y. Widening disparity in the geographic distribution of pediatricians in Japan. Human Resources for Health 2013; 11: 59.
- [13] 江原 朗. 市区町村の人口規模と成立する診療科との関係について ―診療科ごとに対象人口が異なる―. 医療と社会 2013; 23(2): 113-123.
- [14] 日本医学放射線学会. 遠隔画像診断に関するガイドライン. 2010
http://www.radiology.jp/member_info/guideline/20100406.html (Accessed 10 Dec. 2017)
- [15] OECD iLibrary. Health at a Glance 2013.
http://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/health-at-a-glance-2013/medical-technologies_health_glance-2013-33-en (Accessed 10 Dec. 2017)
- [16] Ogasawara K, Nambu T, Sakurai T. Radiological equipment and staffs distribution in Hokkaido, Japan: Lorenz curve and locational Gini index analyses. Japanese Journal of Health Economics and Policy 2004; 14: 17-26.
- [17] Matsumoto M, Koike S, Kashima S, et al. Geographic Distribution of CT, MRI and PET Devices in Japan: A Longitudinal Analysis Based on National Census Data. PLoS One 2015; 10(5): e0126036.

- [18] 飯田 さと子, 坂本 敦司. 診療所医師からみたへき地医療問題「地域医療の現状と課題の地域間格差に関する調査」自由記載欄の質的内容分析. 自治医科大学紀要 2009; 32: 29-41.
- [19] へき地保健医療対策検討会 (厚生労働省). 2009 年第 2 回検討会資料 7.
<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/other-isei.html?tid=127246> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [20] 脳卒中、心臓病その他の循環器病に係る診療提供体制の在り方に関する検討会 (厚生労働省). 脳卒中、心臓病その他の循環器病に係る診療提供体制の在り方について. 2017
- [21] Jauch EC, Saver JL, Adams HP Jr, et al. Guidelines for the Early Management of Patients With Acute Ischemic Stroke: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/ American Stroke Association. Stroke 2013; 44: 870-947.
- [22] Yamaguchi T, Mori E, Minematsu K, et al. Alteplase at 0.6 mg/kg for acute ischemic stroke within 3 hours of onset: Japan Alteplase Clinical Trial. Stroke 2006; 37: 1810-15.
- [23] Minematsu K, Toyoda K, Hirano T, et al. Guidelines for the Intravenous Application of Recombinant Tissue-type Plasminogen Activator (Alteplase), the Second Edition, October 2012: A Guideline From the Japan Stroke Society. J Stroke Cerebrovasc Dis 2013; 222: 571-600.
- [24] Berkhemer OA, Fransen PS, Beumer D, et al. A randomized trial of intraarterial treatment for acute ischemic stroke. N Engl J Med 2015; 372(1): 11-20.
- [25] 日本脳卒中学会, 日本脳神経外科学会, 日本脳神経血管内治療学会. 経皮経管的脳血栓回収用機器 適正使用指針 第 2 版. 2015
- [26] Vagal AS, Khatri P, Broderick JP, et al. Time to angiographic reperfusion in acute ischemic stroke: decision analysis. Stroke 2014; 45: 3625-30.
- [27] Khatri P, Abruzzo T, Yeatts SD, et al. Good clinical outcome after ischemic stroke with successful revascularization is time-dependent. Neurology 2009; 73: 1066-72.
- [28] Powers WJ, Derdeyn CP, Biller J, et al. 2015 American Heart Association/ American Stroke Association Focused Update of the 2013 Guidelines for the Early Management of Patients With Acute Ischemic Stroke Regarding Endovascular Treatment: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/ American Stroke Association. Stroke 2015; 46: 3020-35.
- [29] Scherf S, Limburg M, Wimmers R, et al. Increase in national intravenous thrombolysis rates for ischaemic stroke between 2005 and 2012: is bigger better? BMC Neurology 2016; 16: 53.
- [30] Addo J, Bhalla A, Crichton S, et al. Provision of acute stroke care and associated factors in a multiethnic population: prospective study with the South London Stroke Register. BMJ 2011; 342: d744.
- [31] Stolz E, Hamann GF, Kaps M, et al. Regional differences in acute stroke admission and

- thrombolysis rates in the German federal state of Hesse. *Dtsch Arztebl Int* 2011; 108(36): 607–11.
- [32] 中川原 譲二. rt-PA 血栓溶解療法の現状. *脳と循環* 2014; 19(3): 21-5.
- [33] 岡田 靖, 峰松 一夫, 小川 彰, 他. rt-PA (アルテプラゼ) 静注療法の承認後 4 年間の全国における実施状況調査～地域格差の克服に向けて～. *脳卒中* 2010; 32(4): 365–72.
- [34] Iguchi Y, Kimura K, Shibasaki K, et al. Increasing number of stroke specialists should contribute to utilization of IV rt-PA: Results of questionnaires from 1466 hospitals in Japan. *Journal of the Neurological Sciences* 2009; 279: 66–9.
- [35] Iguchi Y, Kimura K, Shibasaki K, et al. The Number of Stroke Physicians Is the Key to Preparing IV rt-PA. *Cerebrovasc Dis* 2009; 28: 460–7.
- [36] Goyal M, Menon BK, van Zwam WH, et al. Endovascular thrombectomy after large-vessel ischaemic stroke: a meta-analysis of individual patient data from five randomised trials. *Lancet* 2016; 387: 1723–31.
- [37] 関本 美穂, 井伊 雅子. 医師数, 医療機関数, 病床数, 患者数のバランスから評価した医療資源の地域格差とその推移. *厚生指標* 2013; 60(11): 1-8.
- [38] 北海道. 北海道医療計画. 2008.
- [39] 厚生労働省. 医療計画について (医政発 0330 第 28 号) . 2012
- [40] 衆議院. 第 186 回国会 制定法律の一覧.
http://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_housei.nsf/html/housei/kaiji186_1.htm (Accessed 10 Dec. 2017)
- [41] 遠藤久夫. 我が国の医療提供システムと準市場－ネットワーク原理に基づく医療提供システム. *季刊・社会保障研究* 2008 ; 44(1) : 19-29.
- [42] Wagstaff A, Van Doorslaer E. Equity in health care finance and delivery. *Handb. health Econ* 2000; 1: 1803-1862.

第2章 北海道における放射線診療資源の地理的分布の経年比較

2-1 はじめに

日本における医療資源の適正配置について、これまでに医師偏在に関する多くの報告がなされており、偏在の指標のひとつとしてジニ係数（Gini coefficient: 以下、GC）が用いられている[1-3]。GCは社会における所得分配の不平等さを測る経済指標であり、医療分野では対象地域の医療資源が人口に対してどの程度均一に分布しているかを表す指標として応用されている。Ogasawaraらは北海道における二次医療圏を単位とした放射線診療の地域的な不均一性についてGCを用いて評価しており、1996年の北海道において放射線科医と放射線治療機器の分布は不均一であり、CTやMRIなどの画像診断装置は均一に分布していたと報告している[4]。他に、放射線治療機器、放射線科医、診療放射線技師などの放射線治療分野に着目した分布の評価が報告されている[5,6]。診療における画像診断や放射線治療の重要性が高まっている中で、CTやMRIのような画像診断装置や放射線治療機器の分布を評価した研究は少なく、近年の状況や現在に至るまでの経年変化は明らかになっていない。

医療資源の偏在を評価したこれまでの先行研究では、GCが多く用いられてきた。しかし、GCを用いた分布の不均一性の評価は、GCが人口あたりの資源数をもとに算出されるため、調査対象年時点での人口と資源数のバランスを評価することが可能であるものの、経年的な人口と資源数の変化を別々に評価することはできない。そこで、本研究では、人口および資源数の変化を個別に評価するための指標として、市場の集中度評価に使用されるハーフィンダール・ハーシュマン指数（Herfindahl-Hirschman index: 以下、HHI）を追加し、変化要因を考慮した分析をGCと合わせて行った。小松らは新臨床研修制度の研修プログラムにおいて研修医が多くの疾患を経験できているかを評価するためにGCとHHIを併用して平準度の指標としている[7]。

医療の公平性の評価基準として、二次医療圏が自然的条件および社会的条件という複合的な要素によって設定されていることを考慮すれば、その圏域内に居住する人口と医療資源数の関係から求められる二次医療圏間の分布の均一性は、ひとつの重要な指標であると考えられる。もし市場メカニズムが機能していれば、経年的な人口の都市部への集中に伴って、医療資源も都市部へ集中するが、様々な規制の下では、人口および資源分布は必ずしも医療の公平性を満たす均一な分布を示さない可能性がある。

そこで本研究では、住民の放射線診療資源へのアクセシビリティの公平性の視点から、北海道における放射線診療資源の偏在を検討する基礎資料の提示を目的として、GCとHHIを併用した新たな分析手法を用いて放射線診療資源の分布の経年変化を明らかにする。

2-2 方法

2-2-1 対象

病院および診療所について、その分布及び整備の実態を明らかにする目的で厚生労働省により3年ごとに実施される医療施設静態調査に合わせ、対象年次は1999年および直近の2014年とした[8]。放射線診療資源は、放射線診療機器としてCT、MRI、放射線治療機器（radiotherapy facilities: 以下、RTF）を、医療従事者として放射線診療機器の操作・管理を行う診療放射線技師（以下、技師）を対象とした。また、GCの数値には目安は存在するものの、どの程度であれば偏在しているといった基準は存在しないため相対的な評価になることから、比較対象として地域的な偏在が報告されている医師を追加した[1-3]。本研究では住民の放射線診療資源へのアクセシビリティの公平性の視点から評価するため、医師のGCを比較基準とし、放射線診療資源のGCとの大小から住民の感じる不平等度を推測した。

GCおよびHHIを算出するために、人口および放射線診療資源数を北海道の21の二次医療圏ごとに集計した。人口は各年次の住民基本台帳の市区町村別人口を利用した。放射線診療機器は、1999年および2014年の医療施設調査を基に、CT、MRI、RTFについて分類されている項目に則ってそれぞれ集計した。表2-1に各年次におけるCT、MRI、RTFの分類表記を示す。対象とした期間において、技術革新が進んでいるため分類表記は異なっている。医療従事者は、病院勤務と一般診療所勤務に分けられており、それぞれ病院報告と医療施設調査に結果が記載されているため[8,9]、これらの合計を医療従事者数とした。技師数については、分類表記の「診療放射線技師」と「診療エックス線技師」の常勤換算値を合計した後に集計した。医師数については、分類表記の「常勤」および「非常勤（常勤換算）」の合計である「総数」を用いて集計した。

表 2-1 1999 年および 2014 年における CT、MRI、RTF の分類表記

	1999 年	2014 年
CT	全身用 X 線 CT	マルチスライス CT
	頭部（頭頸部）用 X 線 CT	その他の CT
MRI	NMR-CT (MRI)	MRI 3.0 テスラ以上
		MRI 1.5 テスラ以上 3.0 テスラ未満
		MRI 1.5 テスラ未満
RTF	リニアック・ベータトロン・マイクロトロン	リニアック・マイクロトロン
		ガンマナイフ・サイバーナイフ
		RALS

2-2-2 ジニ係数とハーフィンダール・ハーシュマン指数

GC の算出のために、まず二次医療圏を放射線診療資源数／人口比でランク付けし、最低ランクから各圏域の放射線診療資源の累積相対度数を縦軸、人口の累積相対度数を横軸とする座標平面上にプロットしたローレンツ曲線を描いた[3] (図 2-1)。GC は (0,0) 点と (1, 1) 点とを結ぶ均等分布線とこの曲線に囲まれた面積 (図 2-1 中の灰色部分) を 2 倍したものと定義される。

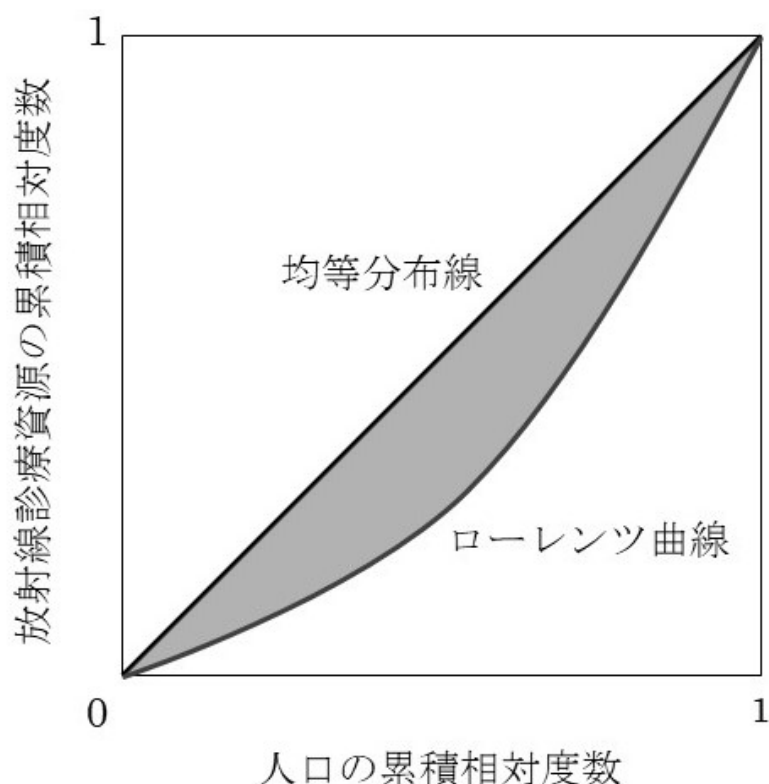


図 2-1 ローレンツ曲線

GC は以下の式(2.1)から算出した[5,6]。

$$GC = \left(\sum_{i=1}^{n-1} x_i \cdot y_{i-1} \right) - \left(\sum_{i=1}^{n-1} x_{i-1} \cdot y_i \right) \cdots (2.1)$$

式(2.1)において、 n は北海道の二次医療圏数であり、 x_i は二次医療圏 i における人口の累積比率、 y_i は放射線診療資源の累積比率である。GC は 0 から 1 の間を取り、1 に近いほどその分布が不均一であることを示す。実用的な不均一度の評価基準として、0.2 未満は「絶対的な均一」、0.2～0.3 は「高い均一」、0.3～0.4 は「不均一」、0.4～0.6 は「高い不均一」、0.6 以上は「絶対的な不均一」を表すとされている[10]。

次に、一般的な HHI は、個別事業者ごとに当該事業者の事業分野占拠率を二乗した値を計算し、これを当該品目に係る全事業者について合計したものとして定義され、以下の式(2.2)から算出される[11]。

$$HHI = \sum_{i=1}^n S_i^2 \quad \cdots (2.2)$$

式(2.2)において、 n は全事業者数、 S_i は企業 i の市場シェアである。HHI は $1/n$ から 1 の値をとり、首位事業者の事業分野占拠率が高いほど大きな値となり、首位事業者の事業分野占拠率が同じでも 2 位以下の事業者の事業分野占拠率が低いほど小さな値となる。そこで本研究ではこの考え方を援用し、人口や放射線診療資源の集中度を表す指標を以下の式から算出した。

$$HHI = \sum_{i=1}^n \left(\frac{z_i}{Z_t} \right)^2 \quad \cdots (2.3)$$

式(2.3)において、 n は北海道の二次医療圏数であり、 z_i は北海道の人口または放射線診療資源数、 z_i は二次医療圏 i の人口または放射線診療資源数である。式(2.2)から算出される一般的な HHI と同様に $1/n$ から 1 の間をとり、1 に近いほどその分布が特定の二次医療圏に集中していることを示す。一般的な HHI は日本、アメリカ、EU のガイドラインで市場の集中度を計る指標として導入されており、日本では 0.25 以上が市場集中の一つの目安とされている[12]。

2-2-3 偏在の定義とその評価

本研究では住民の放射線診療資源へのアクセシビリティの公平性の視点から、二次医療圏を単位として人口あたりの放射線診療資源数が等しくなることを偏在の無い均一な分布と仮定した。この仮定のもとで、GC が 0 であること、かつ人口の HHI が放射線診療資源の HHI と等しいことが均一分布となる。縦軸を GC、横軸を HHI として各年次のデータおよび均一分布を示す（人口の HHI, 0）点をプロットし、1999 年および 2014 年において放射線診療資源の分布が仮定した均一分布であるかどうかを評価した。

2-3 結果

2-3-1 集計結果

1999 年、2014 年における北海道の二次医療圏ごとに集計した人口および放射線診療資源数を示す（表 2-2、表 2-3）。札幌市を含む二次医療圏「札幌」に全道人口の約 40%が集中し

ており、1999 年から 2014 年において全人口は減少しているが、「札幌」のみ人口が増加し、他の圏域はすべて人口が減少していた。また、この期間に放射線診療資源の総数はすべての項目で増加しており、特に MRI の増加が著しく、その総数は約 2.2 倍に増加していた。

表 2-2 1999 年における北海道の二次医療圏人口と放射線診療資源数

#	二次医療圏	人口	CT	MRI	RTF	医師	技師
1	南渡島	443,039	42	13	3	888	147
2	南檜山	33,055	6	1	0	54	12
3	北渡島檜山	48,670	4	1	0	71	14
4	札幌	2,205,711	251	78	12	5,274	1,080
5	後志	267,877	33	7	0	568	93
6	南空知	208,233	20	5	2	367	76
7	中空知	141,242	20	8	1	265	56
8	北空知	42,346	4	1	0	88	13
9	西胆振	218,977	23	6	2	486	96
10	東胆振	221,279	22	6	1	340	70
11	日高	87,188	12	2	0	121	23
12	上川中部	421,752	52	18	4	1,171	180
13	上川北部	82,889	10	2	0	138	28
14	富良野	49,962	7	2	0	75	16
15	留萌	67,558	5	2	0	100	19
16	宗谷	82,906	10	2	0	102	25
17	北網	250,105	31	7	3	383	82
18	遠紋	88,397	13	4	0	156	27
19	十勝	362,036	42	12	1	517	125
20	釧路	280,723	26	12	3	468	115
21	根室	87,792	9	2	0	85	21
北海道合計		5,691,737	642	191	32	11,716	2,318

表 2-3 2014 年における北海道の二次医療圏人口と放射線診療資源数

#	二次医療圏	人口	CT	MRI	RTF	医師	技師
1	南渡島	397,895	53	33	6	925	202
2	南檜山	25,673	5	2	0	40	11
3	北渡島檜山	38,997	9	1	0	67	19
4	札幌	2,356,575	346	198	28	7,091	1,412
5	後志	223,732	48	18	1	484	97
6	南空知	173,549	28	11	1	313	75
7	中空知	113,818	22	8	1	276	72
8	北空知	34,177	4	1	0	67	14
9	西胆振	195,263	30	14	1	469	122
10	東胆振	215,841	30	12	2	392	91
11	日高	72,753	11	4	0	109	28
12	上川中部	404,957	70	42	8	1,309	231
13	上川北部	68,729	10	3	0	145	36
14	富良野	44,442	6	3	0	78	14
15	留萌	53,408	7	3	0	91	22
16	宗谷	66,975	12	4	0	92	23
17	北網	226,532	34	14	1	414	103
18	遠紋	74,257	13	6	0	131	35
19	十勝	350,442	59	23	3	684	172
20	釧路	244,836	38	16	3	472	148
21	根室	80,194	9	4	0	87	24
北海道合計		5,463,045	844	420	55	13,737	2,950

2-3-2 ジニ係数とハーフィンダール・ハーシュマン指数の経年変化

1999 年における放射線診療資源の GC は、医師の 0.118 と比較して MRI の 0.110 と技師の 0.104 は同程度、RTF の 0.325 は高値、CT の 0.064 は低値であり、RTF は不均一な分布、CT は均一な分布であった（表 2-4）。1999 年から 2014 年における GC の医師および CT の変化量は微小であり分布に大きな変化は見られないものの、MRI、RTF、技師の GC は低下しており、特に RTF はその度合いが大きく不均一分布の改善傾向が見られた。

表 2-4 1999 年および 2014 年における放射線診療資源の GC

主分類	副分類	1999	2014	変化量
放射線診療機器	CT	0.064	0.062	-0.002
	MRI	0.110	0.095	-0.015
	RTF	0.325	0.263	-0.062
医療従事者	医師	0.118	0.125	+0.007
	技師	0.104	0.078	-0.026

人口の HHI は 1999 年の 0.179 から 2014 年の 0.211 へと上昇しており、人口分布の都市集中傾向が見られた（表 2-5）。同様に放射線診療資源の HHI はいずれも上昇しており、都市への集中傾向が見られたが、2014 年における CT の HHI のみが人口の HHI よりも低値であった。いずれの年次においても医師の HHI は人口の HHI よりも高く、MRI、RTF、技師についても同様であり、都市部へ集中していた。

表 2-5 1999 年および 2014 年における人口と放射線診療資源の HHI

主分類	副分類	1999	2014	変化量
人口		0.179	0.211	+0.032
放射線診療機器	CT	0.181	0.196	+0.015
	MRI	0.196	0.249	+0.053
	RTF	0.193	0.301	+0.108
医療従事者	医師	0.230	0.289	+0.059
	技師	0.240	0.253	+0.013

1999 年から 2014 年における放射線診療資源数の増加を伴う経年変化について、仮定した均一分布となるように配置がなされていたのは CT のみであった（図 2-2）。医師のみ GC と HHI が共に上昇しており、CT、MRI、RTF、技師は GC が低下しているものの HHI が上昇していた。

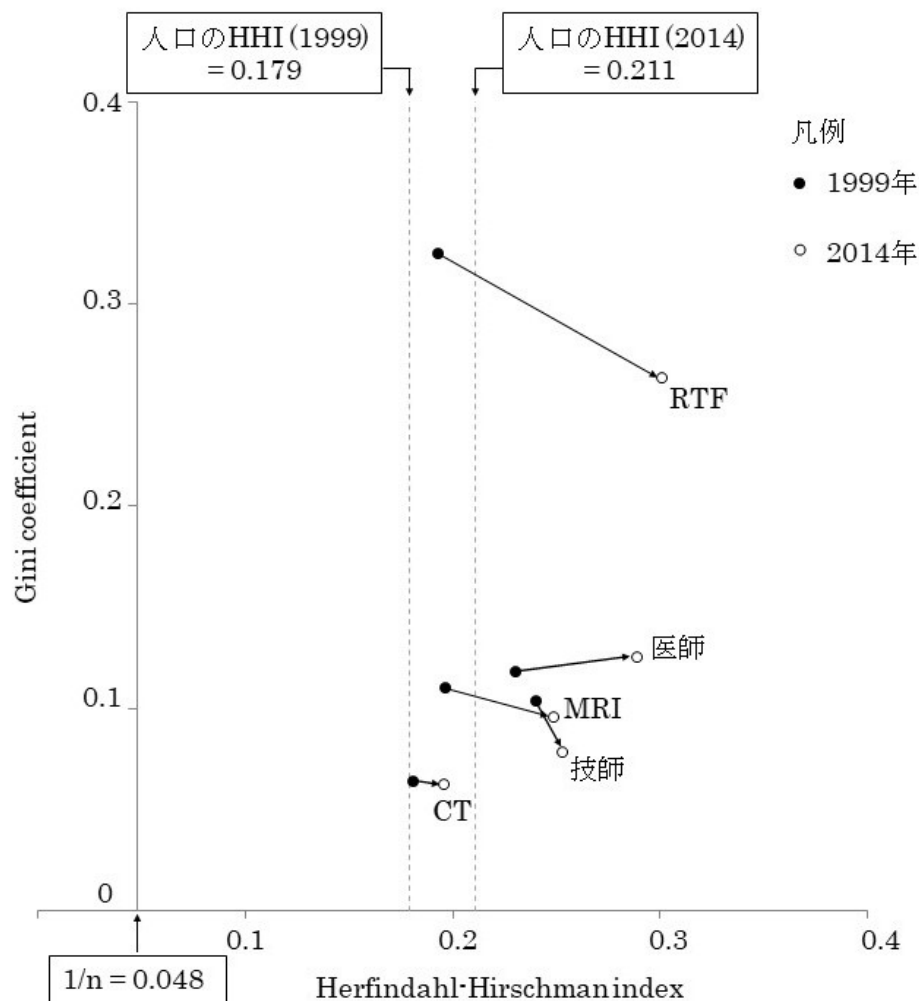


図 2-2 1999 年から 2014 年における GC と HHI の経年変化

2-4 考察

本研究では 1999 年と 2014 年における北海道の二次医療圏を単位とした放射線診療資源の分布を定量的に評価し、GC の評価においては、その分布の均一性を医師の分布を基準にして比較した。HHI の評価においては、人口と放射線診療資源のそれぞれの分布を比較し、人口の HHI よりも放射線診療資源の HHI が高値であれば、人口以上に放射線診療資源が集中傾向にあり、特に 0.25 を超えた場合に特に集中傾向が顕著であるとした。2014 年において、CT 以外の放射線診療資源の HHI は人口の HHI より高値であり、RTF、医師、技師の HHI は集中の目安とされる 0.25 を超えていた。また、GC の比較対象とした医師は 1999 年と 2014 年を比較すると、GC と HHI が共に上昇していた。医師の総数は増加しているものの、都市部に集中したことで不均一分布が顕著に現れたと予想され、このことは現在日本で問題となっている医師偏在を反映していると考えられる[13,14]。

2014 年において、RTF の GC および HHI は対象とした放射線診療資源の中で最大であった。RTF の GC を一般的な評価基準に照らし合わせると 1999 年は「不均一」、2014 年は「高い均一」を示したが、医師と比較するといずれの年も高値であり、HHI も 0.25 を超えていたことから、RTF の分布は均一に近いものの、都市部への集中傾向が強いと考えられる。RTF は 2014 年時点において北海道の二次医療圏のうち 10 圏域で配置がなされていないが、放射線治療に関わるがん診療は最先端で高度な技術を提供する特殊な医療を行う三次医療圏でカバーされており、がん診療連携拠点病院が未指定となっている二次医療圏は 12 圏域存在している[15]。本研究の結果はこの現状を反映しており、特定の二次医療圏にのみ配置されていることで HHI が高値となり、二次医療圏単位でみると他の放射線診療資源と比較して不均一に分布していたと考えられる。

一方、放射線診療資源の中で最も GC が低かったのは CT であり、同様に HHI も人口の HHI に比べて低かったことから、CT は地方にも十分に配置され均一に分布していることが推測された。また、CT の総数は 1999 年と 2014 年で大きな変化はないことから、北海道における CT 導入状況は飽和しており、人口動態や機器台数の大きな変化が無ければ、この均一な分布は保たれると考えられる。しかし、今後は地方の人口減少が加速すると考えられており、人口あたりの機器台数が過剰になる可能性が示唆される。人口に対する放射線診療資源の二次医療圏間の差が少しでも大きくなった場合、GC の値は不均一度が上昇するように必ず変化するため、継続的に経年変化を評価し、不均一度が高くなった場合は医療資源の集約を促す対策が必要になると考えられる。

MRI の総数は 1999 年から 2014 年にかけて約 2.2 倍に増加し、その増加率は放射線診療資源の中で最大であった。他の放射線診療資源と比較すると、GC の変化は小さいが、HHI が大きく上昇しており、このことは MRI が地方にも配置されたが、増加分の多くは都市部が中心であることを示している。仮にこの傾向が今後も続いた場合には、GC が上昇へと転じ、医師と同様に本研究で定義した均一分布から逸脱した不均一な分布になる可能性があるため、CT と同様に継続的な経年変化の評価が必要と考えられる。近年、CT や MRI のような画像診断装置が診療所にも多く配置されるようになっているが、診療所は大病院がある一部地域に集中して立地する傾向にあり[16]、今後も画像診断装置は都市部を中心に分布することが継続していくと予想される。また、CT、MRI、RTF のような放射線診療機器を操作・管理する技師は、放射線診療機器の導入に伴って人員の拡充が行われることが多く、1999 年と 2014 年の比較においても放射線診療機器の変化に追従するように不均一分布の改善および都市部への集中傾向が見られた。

このように 1999 年と 2014 年を比較すると、二次医療圏間での人口あたりの放射線診療

資源の偏在は小さくなったが、人口の都市部への集中が要因となり、放射線診療資源も都市部に集中する傾向にあることが明らかになった。このことは、札幌や旭川などの都市部を含む医療圏では放射線診療資源が過密化しており、その一方で、他の医療圏では放射線診療資源の密度が低くなっていることを示すものである。北海道の二次医療圏の面積は広大であり、他県の県全体の面積よりも広いところもあるため、過疎化が進む医療圏における放射線診療資源への地理的なアクセシビリティの低下が危惧される。過疎化が進む医療圏においても、一定の医療提供体制を継続的に維持するだけの放射線診療資源が必要であるが、医療機関の経営者側から見れば新たな設備投資は容易ではなく、医療機関等の設備投資に関する調査によると、投資総額における画像診断システムへの投資額は病院で約3割、一般診療所で約5割を占めていると報告されている[17]。フランスでは医療需要を最適形で充足するために、医療供給の必要な変化を予測し実現することを目的とした地域圏保健医療組織計画によって医療活動や高額医療機器の量的な目標が示されている[18]。今後、日本でも放射線診療資源の計画的配置が不可欠となる可能性もあることから、人口分布と放射線診療資源の分布状況を定量的に反映することが可能な GC および HHI の併用手法は有用な評価指標になり得ると考える。

本研究の限界として、医療の公平性の評価指標は、人口あたりの医療資源数が等しいことに限るものではなく、その均一な分布が必ずしも医療の公平性を満足した状態でもない点があげられる。国民皆保険制度での医療サービスの提供には一定の公平性が必要であるものの、限られた診療資源を効率的に利用することも重要であるため、医療機関へのアクセスのし易さや施設間の連携なども含めた効率性の視点からの検討も必要である。次に、本研究では GC および HHI を相対的に比較して評価したが、その偏在の状態が患者の予後や医療従事者の労働環境にどのような直接的な影響を及ぼしているのかは明らかになっていない。また、放射線診療資源の対象として放射線診療機器、技師および医師に限定した点があげられる。埼玉県における CT 装置の稼働実態についての調査検討によると、63%の施設において画像診断専門医が不在であったと報告されており[19]、放射線治療に関する資源の分布に関する研究では、放射線腫瘍医および放射線治療専門放射線技師の地理的分布について三次医療圏単位での格差は 2005 年から 2007 年にかけて縮小しているが、日本の 26%の二次医療圏では放射線治療を提供できないことが指摘されている[6]。今後は、対象を画像診断や放射線治療を専門とする放射線科医まで広げて検討する必要があると考える。これらを踏まえた上で、医療政策立案に対してより有用な資料を提供するためには、医療圏ごとの人口変動および患者動向を加味した放射線診療資源の適正配置のシミュレーションが今後必要になると考えられる。

2-5 結論

本研究では 1999 年から 2014 年における北海道の放射線診療資源について、GC と HHI を併用してその偏在および分布の経年変化を評価した。医師の分布と比較して CT、MRI、技師は均一に分布しており、特に CT は最も均一な分布であったが、反面 RTF は不均一な分布であった。また、CT 以外の放射線診療資源は人口分布と比較して集中度が高く、地方よりも都市部に集中して分布していた。1999 年から 2014 年において、放射線診療資源は GC が低下し HHI が上昇しており、都市部を中心に配置されたが、不均一分布は改善していた。GC と HHI の併用は医療資源偏在の詳細な評価につながり、医療資源の計画配置の際に有用な指標となり得ることが示唆された。

参考文献

- [1] Kobayashi Y, Takaki H. Geographic distribution of physicians in Japan. *Lancet* 1992; 340: 1391-1393.
- [2] Toyabe S. Trend in geographic distribution of physicians in Japan. *Int J Equity Health* 2009; 8:5.
- [3] Matsumoto M, Inoue K, Farmer J, et al. Geographic distribution of primary care physicians in Japan and Britain. *Health & Place* 2010; 16: 164-166.
- [4] Ogasawara K, Nambu T, Sakurai T. Radiological equipment and staffs distribution in Hokkaido, Japan: Lorenz curve and locational Gini index analyses. *Japanese Journal of Health Economics and Policy* 2004; 14: 17-26.
- [5] Ohba H, Narumi M, Hosokawa Y, et al. Measuring the inequalities in radiotherapy health resources in Japan: A comparison of the Hokkaido-Tohoku and Tokyo districts. *Jpn J Radiol* 2010; 28: 20-26.
- [6] Tanikawa T, Ohba H, Ogasawara K, et al. Geographical distribution of radiotherapy resources in Japan: Investigating the inequitable distribution of human resources by using the Gini coefficient. *J Radiat Res* 2012; 53: 489-491.
- [7] 小松 憲一, 岡山 雅信, 松嶋 大, 他. ジニ係数・ハーフィンダール・ハーシュマン指数を用いた DPC データの解析 ―平準度が高く, 幅広い自治医科大学付属病院総合診療部の入院患者―. *プライマリ・ケア* 2009; 32(3): 142-148.
- [8] e-Stat 政府統計の総合窓口. 医療施設調査.
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000001030908> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [9] e-Stat 政府統計の総合窓口. 病院報告.
https://www.estat.go.jp/SG1/estat/GL08020101.do?_toGL08020101_&tstatCode=000001030749&requestSender=dsearch (Accessed 10 Dec. 2017)
- [10] Ameryoun A, Meskarpour-Amiri M, Dezfuli-Nejad ML, et al. The assessment of inequality on geographical distribution of Non-cardiac intensive care beds in Iran. *Iranian J Public Health* 2011; 40: 25-33.
- [11] 公正取引委員会. 用語の解説.
<http://www.jftc.go.jp/soshiki/kyotsukoukai/ruiseki/yougo.html> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [12] 公正取引委員会. 企業結合審査に関する独占禁止法の運用指針.
<http://www.jftc.go.jp/dk/kiketsu/guideline/guideline/kaisei/index.html> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [13] Tanihara S, Kobayashi Y, Une H, et al. Urbanization and physician maldistribution: a longitudinal study in Japan. *BMC Health Services Research* 2011; 11: 260.
- [14] Sasaki H, Otsubo T, Imanaka Y. Widening disparity in the geographic distribution of pediatricians

in Japan. Human Resources for Health 2013; 11: 59.

[15] 北海道. 北海道地域医療再生計画（平成 24 年度補正予算）. 2013.

[16] 吉田 あつし, 幸野 聡. 茨城県における診療所間の空間的競争. 日本統計学会誌 2007; 37(1): 133-150.

[17] 中央社会保険医療協議会. 医療機関等の設備投資に関する調査結果報告書. 2013.

[18] 松本 由美. フランスにおける保健医療計画の導入と展開－医療への平等なアクセスの実現を目指して－. 海外社会保障研究 2012; 178: 81-91.

[19] 小川 清. 埼玉県内における CT 装置の稼働実態とその運用に関する研究. 日本診療放射線技師会誌 2013; 60(730): 32-37.

第3章 日本全国を対象とした画像診断の地域格差に関する分析

3-1 はじめに

日進月歩の医療の中で画像診断装置の技術革新は目覚ましく、画質や解析機能の向上は診療に大きく貢献している。このような状況を踏まえ、2006 年度診療報酬改定に伴い画像診断装置である CT と MRI はその装置性能によって点数が差別化されることとなった[1]。また、得られた画像データから多くの情報を引き出すことは診療の上で重要であり、画像診断管理を行うために十分な体制が整った施設には画像診断管理加算が算定されている。2014 年における画像診断管理加算の施設基準通知事項によると、勤務時間の大部分において画像情報の撮影又は読影に携わる画像診断担当の常勤医師の 1 名以上の配置を条件としており、読影に関する基準が厳しく設定されている[2]。また、「当該保険医療機関以外の施設に読影又は診断を委託していないこと」という項目が追加されたことにより、他医療機関へ遠隔画像診断を依頼している施設では、管理加算の算定ができないこととなった。これは、画像診断の質を担保するためには施設ごとに放射線科専門医が必要であることを制度として明示している。しかし、多くの CT、MRI 機器の存在と地域分散に対して、画像診断の専門医の不足が指摘されており、画像診断に係る医療において「量と質の不均衡」が発生していると報告されている[3]。

専門性の高い救急医療などの特殊な医療を除く一般的な入院医療を提供する体制を構築する地域単位である二次医療圏は、各都道府県が医療計画において定めることになっている。2013 年において全国の二次医療圏は 344 圏域あり、人口で比較すると最も多い「大阪（大阪府）」は 266 万人、最少の「隠岐（島根県）」は 22 万人と 10 倍以上の差があり、面積で比較すると最も広い「十勝（北海道）」は 18,280km²、最も狭い「尾張中部（愛知県）」は 42 km² と約 260 倍の差がある。手術や救急などの一般的な医療を地域で完結することを目指しているにもかかわらず、実際には二次医療圏間で患者の流入出が発生しており、入院患者の流入出には医療圏間の医療提供体制の格差が影響していると報告されている[4]。

画像診断に関わる医療資源分布についての先行研究が過去に報告されている。Nakajima らは、医師の全体数に占める放射線科専門医の割合は 1.8%と低く、CT の 83.7%、MRI の 74.6%が放射線科医不在のもとで稼働していると報告している[5]。また、人口 100 万人あたりの放射線科医数は OECD 加盟国のうち 17 カ国の平均 101 人と比較して日本では 27 人であったが、放射線科医の業務量は 17 カ国の中で最大であり、少なくとも 2.5 倍の増加が必要であると推定した。しかし、これは日本全国を俯瞰した結論であるため、都道府県や二次医療圏などの地域間で生じる格差を評価することはできない。小川は、埼玉県内の CT 装置の稼働実態について調査検討を行い、大中規模病院のみならず小規模病院においても CT が

稼働しているが、63%の施設において画像診断専門医は不在であったと報告している[6]。この報告によると、CT 装置の運用に関する調査検討の結果、普及機から高級機まで広く普及した CT 検査は、予約を取らない当日検査の導入と検査待ち時間の少ない状況が確認でき、一部の医療機関を除いて充足されており増数の必要性はないと結論づけられている。しかし、この研究は埼玉県に限られた調査であるため、他地域との比較も含めたより広域での分析が必要である。Da He らは、ジニ係数（Gini coefficient: 以下、GC）を用いて 2006 年から 2009 年の中国における CT と MRI の分布を評価し、人口あたりの CT および MRI の台数は OECD 諸国で少ないが、2006 年から 2009 年にかけて著しく台数が増加しており、それに伴い CT の均一な分布の維持と MRI の不均一な分布が改善されたことを報告している[7]。この報告では、特に経済発達度の高い上海エリアにおいて、より高性能な CT や MRI が導入され、それらへの政府補助金が大きかったことが示されている。この研究において、高性能装置に関する分析は設定した 4 区域においてその総数を比較したのみであり、分布の偏在や格差の評価まではなされていない。

本研究では、高性能画像診断装置である CT と MRI の装置性能の差および放射線科専門医の有無により生じる画像診断の質に着目する。医療資源の適正配置および医療格差を検討する基礎資料とするため、二次医療圏を単位とした補正ジニ係数（Adjusted Gini coefficient: 以下、GC_{adj}）とハーフィンダール・ハーシュマン指数（Herfindahl-Hirschman index: 以下、HHI）を併用し、高性能画像診断装置および放射線科専門医に関する各都道府県における偏在の度合い、および分布の経年変化を明らかにする。また、第 2 章「北海道における放射線診療資源の地理的分布の経年比較」で得られた結果を踏まえ、地理的な特徴を有する北海道における画像診断装置の分布が、他の都府県と比較して特徴を有しているかについて検討する。

3-2 方法

3-2-1 対象

対象年時は 2006 年度診療報酬改定後に行われた調査データを対象とするため 2008 年および 2011 年とした。人口データは住民基本台帳の市区町村別人口（総務省統計局）を用いて各都道府県の二次医療圏ごとに集計した[8]。医療施設静態調査および病院報告（厚生労働省）では、CT を“マルチスライス CT”と“その他の CT”に、MRI を“1.5 テスラ以上”と“1.5 テスラ未満”に分類している。この分類に則り、本研究では“マルチスライス CT”を高性能 CT（High performance CT: 以下、hCT）とし、“1.5 テスラ以上”を高性能 MRI（High performance MRI: 以下、hMRI）とした。また、“マルチスライス CT”と“その他の CT”を

合わせて総 CT とし、“1.5 テスラ以上”と“1.5 テスラ未満”を合わせて総 MRI とした。画像診断に係る医療資源数について、hCT、hMRI、総 CT、総 MRI の台数は医療施設静態調査および病院報告（厚生労働省）を用いて人口と同様に二次医療圏ごとに集計した[9,10]。画像診断を専ら担当する常勤の医師として、経験年数の違いを考慮した医師数や放射線科専門医の勤務地の把握が困難であるため、本研究では主たる診療科が放射線科である医師を対象とし、医師・歯科医師・薬剤師調査（厚生労働省）を用いて二次医療圏ごとに集計した[11]。

3-2-2 都道府県ごとの放射線診療資源の分布評価

都道府県ごとに hCT および hMRI の分布状況を比較するため、各都道府県の GC_{adj} および HHI を算出した。 GC_{adj} を算出するにあたって、分布の偏在度を表す GC を以下の式(3.1)から算出した。

$$GC = \left(\sum_{i=1}^{n-1} x_i \cdot y_{i-1} \right) - \left(\sum_{i=1}^{n-1} x_{i-1} \cdot y_i \right) \quad \cdots (3.1)$$

n は各都道府県の二次医療圏数であり、 x_i は二次医療圏 i における人口の累積比率、 y_i は放射線診療資源の累積比率である。各都道府県の二次医療圏数は鳥取県の 3 圏域から北海道の 21 圏域までと異なっており、小標本の影響によって GC に過小評価が生じる可能性がある。そこで以下の式(3.2)により GC を二次医療圏数で補正した GC_{adj} を算出した。

$$GC_{adj} = \frac{n}{n-1} GC \quad \cdots (3.2)$$

式(3.2)において、 $n/(n-1)$ は離散分布から連続分布への補正項である[12,13]。

次に、分布の集中度を測る HHI を以下の式(3.3)から算出した。

$$HHI = \sum_{i=1}^n \left(\frac{z_i}{z_t} \right)^2 \quad \cdots (3.3)$$

z_i は各都道府県の人口または放射線診療資源数、 z_t は二次医療圏 i の人口または放射線診療資源数である。

画像診断の質やそれにより生じる格差を評価するため、2011 年における放射線科専門医の GC_{adj} および HHI も算出し、hCT、hMRI の GC_{adj} および HHI を合わせて検討した。

2008 年と 2011 年にかけての放射線診療資源の分布の経年比較をするため、Wilcoxon の符号付順位検定を行った。また、2011 年における hCT、hMRI、放射線科専門医の分布の偏在度を比較するために、Steel-Dwass の多重比較検定を行った。統計解析ソフトウェアは R

を使用し、いずれの検定も有意水準は 5%とした。なお、東日本大震災により報告できなかった市町村を含む岩手県、宮城県、福島県については対象から除外した。

3-3 結果

2008 年および 2011 年の日本全国における総 CT、総 MRI および hCT、hMRI の台数の推移を図 3-1 に示す（各二次医療圏の推移については付録 A を参照）。2008 年から 2011 年にかけて奈良県の総 MRI および hMRI、鳥取県の総 MRI、沖縄県の総 CT 台数は減少していたが、それ以外は増加しており、日本全国で見るといずれも増加していた。

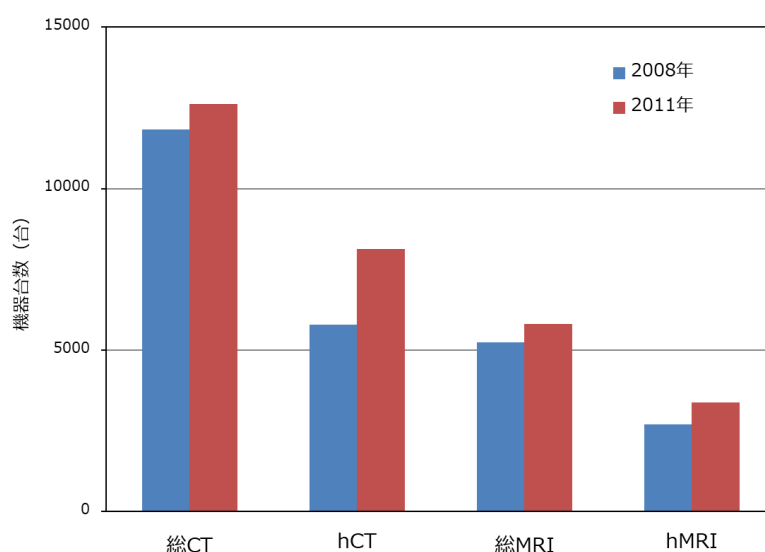


図 3-1 2008 年および 2011 年の日本における CT、MRI の台数の推移

各都道府県における hCT、hMRI の GC_{adj} を箱ひげ図として表示し、経年変化を比較した結果を図 3-2 に示す。同様に、人口、hCT、hMRI の HHI の経年変化を比較した結果を図 3-3 に示す（2008 年および 2011 年における岩手県、宮城県、福島県を除いた 44 都道府県の人口および hCT、hMRI に関する GC_{adj} および HHI については付録 B を参照）。2008 年および 2011 年における GC_{adj} は hCT、hMRI 共に分布の経年変化に有意差が認められた ($p < 0.05$)。人口の HHI についても経年変化に有意差が認められたが ($p < 0.05$)、hCT および hMRI の HHI については有意差が認められなかった (それぞれ $p = 0.268$ 、 $p = 0.237$)。北海道における hCT、hMRI の GC_{adj} および HHI は、2011 年における hCT の GC_{adj} を除き、第 1 四分位数から中央値の範囲内であり、他の都府県と比較して特異性は認められなかった。2011 年における hCT の GC_{adj} (0.065) についても、第 1 四分位数に近い値であった (最小値: 0.027、第 1 四分位数: 0.077、中央値: 0.113)。

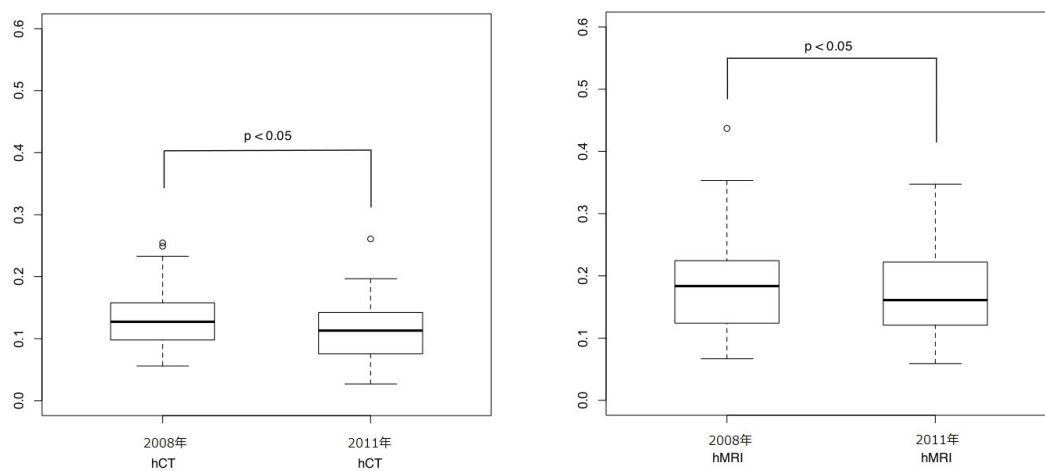


図 3-2 hCT および hMRI の GC_{adj} の経年変化

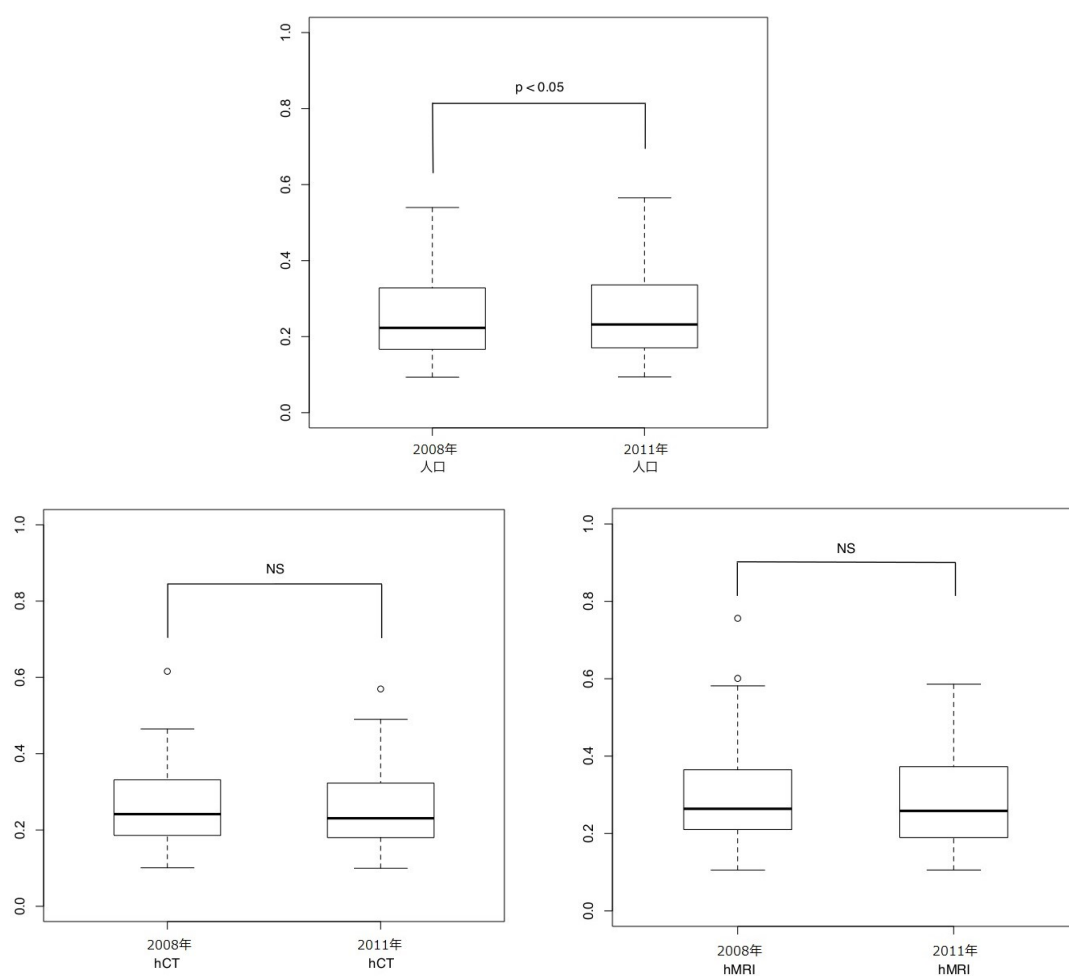
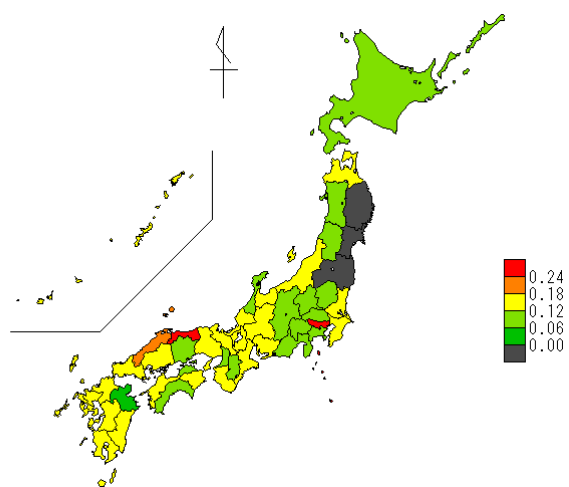


図 3-3 人口、hCT および hMRI の HHI の経年変化

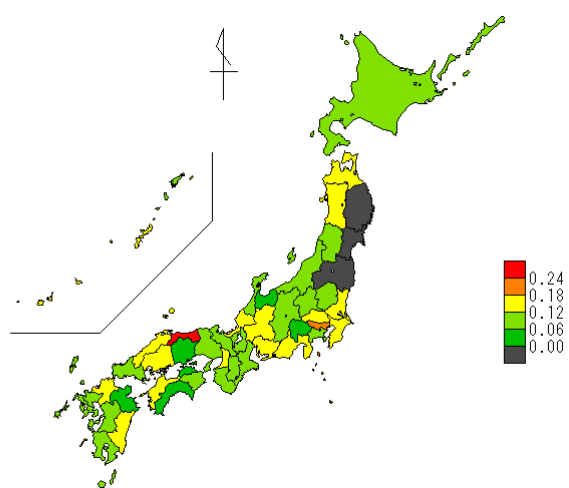
2008 年および 2011 年における hCT、hMRI の GC_{adj} とその変化量を図 3-4、図 3-5 に示す。hCT と hMRI を比較するため同様のスケールで表示した。hCT は全国的に GC_{adj} が低く、2008 年から 2011 年にかけて不均一が改善された地域が多いものの、その変化量は小さかった。hMRI は 2008 年において hCT と比較し不均一な分布をしていたが、経年的に不均一分布が改善される地域が多く、特に静岡県、奈良県、島根県、徳島県、長崎県はその傾向が強いことが明らかになった。一方で鳥取県は 0.115 から 0.238 へと変化しており不均一度の上昇が示唆された。

2011 年の hCT、hMRI、放射線科専門医の GC_{adj} の箱ひげ図を図 3-6 に示す（2011 年における放射線科専門医の総数、 GC_{adj} 、HHI については付録 C を参照）。2011 年における放射線科専門医の GC_{adj} の中央値は 0.269 であり hCT、hMRI と比較して不均一度が高く、HHI の中央値も 0.387 であり集中度が高い傾向にあった。

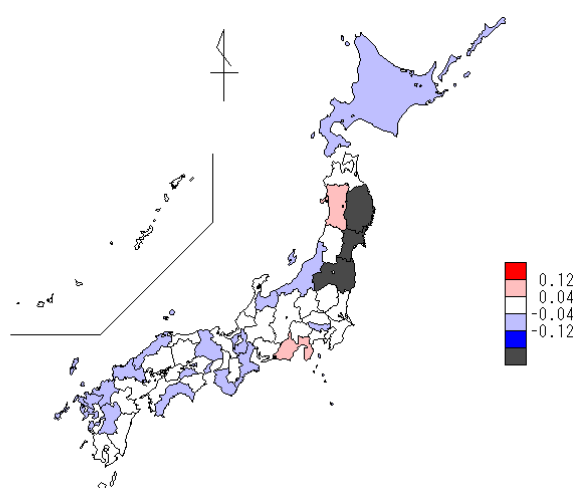
2011 年における hCT、hMRI、放射線科専門医の HHI を縦軸に、人口の HHI を横軸にとったバブルプロットを図 3-7 に示す。点の大きさは GC_{adj} を表し、図中 $y=x$ の直線は仮定した最適配置である“人口の HHI=医療資源の HHI”を表す。hCT および hMRI の HHI は概ねこの直線上に位置していたが、熊本県における hMRI の HHI が突出して高く、福井県、広島県、島根県、千葉県における hCT の HHI が人口の HHI に対し特に低値を示した。一方で放射線科専門医の分布は、埼玉県以外の都道府県は $y=x$ の上側に位置し、特に山梨県、福井県、和歌山県、熊本県、宮崎県、秋田県、青森県、群馬県、長野県、愛知県の 10 県は 2 倍の集中度を表す $y=2x$ の上側に位置しており高い集中度を示した。



2008 年

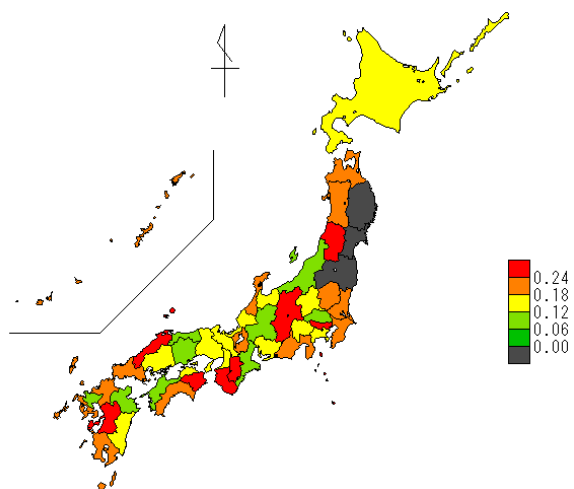


2011 年

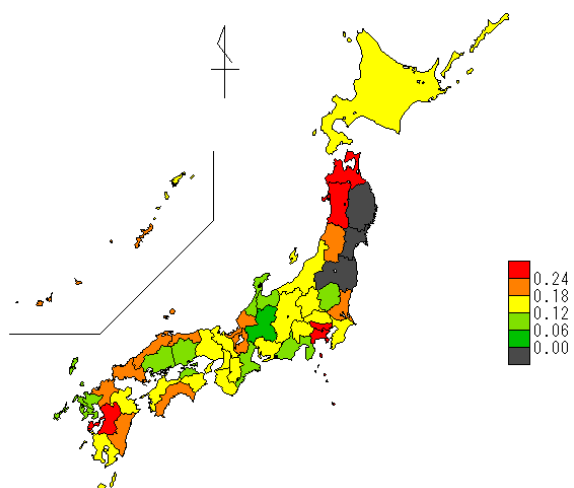


変化量

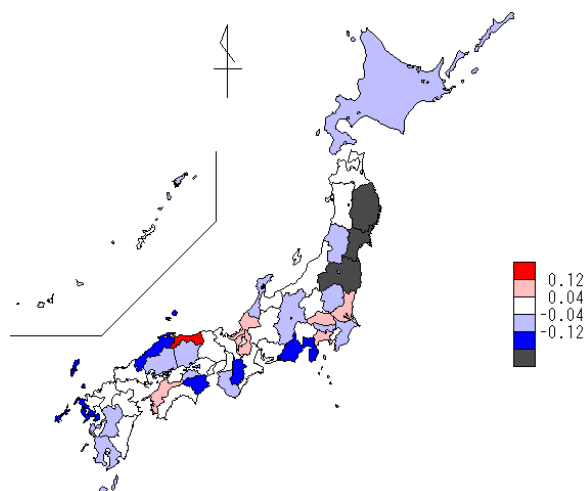
図 3-4 2008 年から 2011 年における hCT の GC_{adj}



2008 年



2011 年



変化量

図 3-5 2008 年から 2011 年における hMRI の GC_{adj}

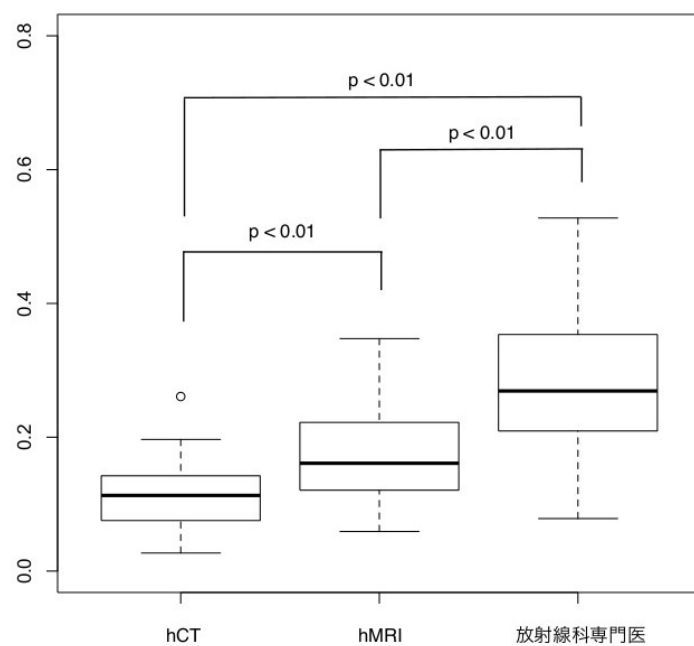


図 3-6 2011 年の hCT、hMRI、放射線科専門医の GC_{adj}

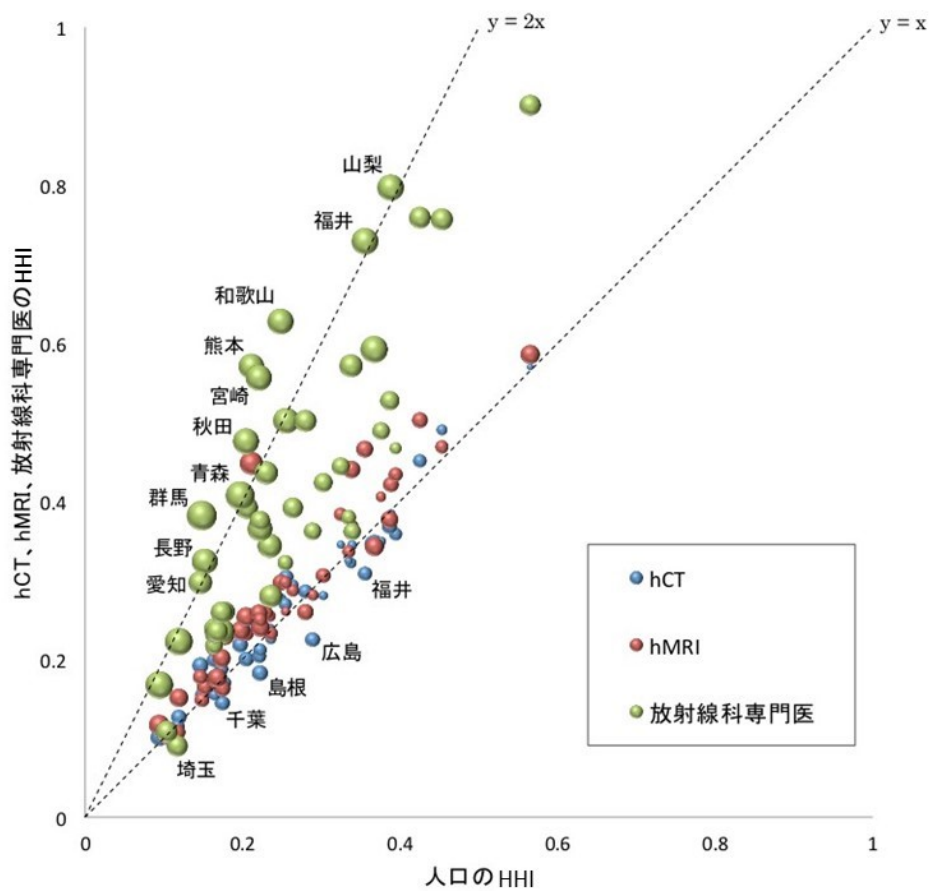


図 3-7 2011 年における人口および放射線診療資源に関する HHI のバブルプロット

3-4 考察

2008 年から 2011 年にかけて CT、MRI はいずれもその総数が増加しており、hCT、hMRI の分布に改善傾向が見られた。これは 2006 年以降、診療報酬の加算算定に対応して多くの医療施設において高性能装置が導入されたことが一つの要因と考えられる。hMRI の不均一分布が他と比較して改善傾向が顕著であった地域として奈良県、徳島県、島根県、静岡県、長崎県があげられた。長崎県については調査期間内の 2010 年より 9 圏域から 10 圏域へ見直しが行われ、また埼玉県は二次医療圏は 9 圏域から 10 圏域、愛知県は 11 圏域から 12 圏域へと再編された[14-16]。長崎県における不均一の改善傾向は、人口が多く資源の多い「佐世保」医療圏と人口が少なく資源も少ない「県北」医療圏が一つの医療圏になったことで人口あたりの資源数が均一化したことが影響していると考えられる。GC は地域区分が変わった場合、同じ対象地域における値も変化する。医療計画の 5 年ごとの見直しに伴い、医療圏の区分が変更になった場合、人口や資源の分布構造に変化が無かったとしても GC は変化する。経年変化を評価する場合は地域区分を十分に考慮する必要がある。熊本県では 2011 年において hMRI の GC_{adj} は 44 都道府県の中で最大値の 0.316 であり、人口の HHI (0.211) に対して hMRI の HHI はそれを大きく上回る 0.448 であった。この結果は hMRI の一極集中を伴う偏在を示唆している。熊本県地域医療計画においても特定圏域への機能集中が指摘されており、この状況を反映していると考えられる[17]。

北海道における画像診断装置の分布について他の都府県と比較した検討を行ったが、 GC_{adj} 、HHI のいずれについても、その値のほとんどが第 1 四分位数から中央値の範囲内であり、本研究の結果からは特異性は認められなかった。北海道の二次医療圏は 21 圏域存在し、二番目に二次医療圏数の多い長野県でも 10 圏域となっている。 GC_{adj} 、HHI のいずれの結果においても、各年度で中央値以下であったことから、人口と医療資源数の関係からは二次医療圏の設定が妥当であることが示唆される。しかし、本研究で用いた手法では各都道府県および各二次医療圏の面積を考慮することができないため、今後、医療施設までの距離や時間を考慮した検討が必要と考えられる。

日本で医師偏在が指摘されているように、本研究においても hCT や hMRI の分布と比較して放射線科専門医の偏在化が明らかとなった。画像診断を専ら担当する常勤の医師を放射線科専門医で代替したことによる限界はあるものの、各都道府県に比較的均一に分布している hCT や hMRI に対して、それらを用いた画像診断には地域格差が生じていることが示唆された。ここで、図 3-7 で示した $y=2x$ について、HHI の逆数は市場における主要企業の数であるとされ、市場でいくつの企業が競争しているかの目安となる[18]。HHI=0.5 の場合、同規模の 2 社が競合している状況と等しく、市場が複占化していることを表す。また、

HHI=1 の場合は 1 社の独占を表す。このように HHI が 2 倍になることは、いくつかの企業が競争しているかという観点で 2 倍の集中度を表している。 $y=2x$ の上側に位置する山梨県、福井県、和歌山県、熊本県、宮崎県、秋田県、青森県、群馬県、長野県、愛知県の 10 県は放射線科専門医の集中度の高さが指摘される。この 10 県において hCT の GC_{adj} の中央値である 0.113 を下回っていたのは山梨県、長野県、和歌山県であり、hMRI の GC_{adj} の中央値である 0.161 を下回っていたのは群馬県、山梨県、愛知県であった。これらの県は、高性能画像診断装置の分布と放射線科専門医の分布にミスマッチが生じている地域と予想され、計画的に放射線科専門医の配置を進める必要があると考える。

本研究の限界として医療の公平性のみを考慮しているため、人口あたりの医療資源数が二次医療圏ごとに等しいことを適正配置と仮定していることが挙げられる。また、医療施設へのアクセスのしやすさを考慮していないため、実際は居住する二次医療圏外の近郊施設を利用することにより不平等を感じていないといった可能性がある。医療資源の適正配置を議論するためには、二次医療圏を単位とした都道府県ごとの評価だけでなく、居住地や医療施設の住所情報や道路情報等を利用した、よりミクロな視点での地域的な分析が必要であると考えられる。

3-5 結論

高性能画像診断装置および放射線科専門医を対象として日本の各都道府県における偏在の度合いおよび分布の経年変化について二次医療圏を単位とした GC_{adj} と HHI を併用し評価した。2008 年から 2011 年にかけて hCT および hMRI の分布は偏在改善傾向にあったが、熊本県における hMRI の分布には偏在化が示された。また、北海道における hCT、hMRI の GC_{adj} および HHI は、2011 年における hCT の GC_{adj} を除き、第 1 四分位数から中央値の範囲内であり、他の都府県と比較して画像診断装置の分布に特異性は認められなかった。

hCT、hMRI と比較して放射線科専門医の分布には特定の二次医療圏への集中を伴う偏在化が示されたことから、hCT や hMRI を用いた画像診断には地域格差が生じている可能性が示唆された。特に、山梨県、和歌山県、群馬県、長野県、愛知県の 5 県に放射線科専門医の集中度の高さが指摘され、高性能画像診断装置の分布と放射線科専門医の分布にミスマッチが生じている地域が明らかとなった。

参考文献

- [1] 鍵谷 昭典. 三保証（安全・精度・運用）に基づく適正な診療報酬評価を求めて. 日本放射線技術学会雑誌 2014; 70(2): 171-175.
- [2] 厚生労働省. 平成 26 年度診療報酬改定について.
<http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000032996.html> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [3] 日本医学放射線学会. 遠隔画像診断に関するガイドライン. 2010
http://www.radiology.jp/member_info/guideline/20100406.html (Accessed 10 Dec. 2017)
- [4] 大場 久照, 谷川 琢海, 小笠原 克彦. 移動選好指数を用いた受療動向の評価に関する基礎的研究. 日本医療・病院管理学会誌 2008; 45(4): 299-310.
- [5] Nakajima Y, Yamada K, Imamura K, et al. Radiologist supply and workload: international comparison — Working Group of Japanese College of Radiology—. Radiat Med 2008; 26: 455-465.
- [6] 小川 清. 埼玉県内における CT 装置の稼働実態とその運用に関する研究. 日本診療放射線技師会誌 2013; 60(730): 32-37.
- [7] He D, Yu H, Chen Y. Equity in the distribution of CT and MRI in China: A panel analysis. Int J Equity Health 2013; 12: 39.
- [8] e-Stat 政府統計の総合窓口. 住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数調査.
https://www.estat.go.jp/SG1/estat/GL08020102.do?_toGL08020102_&tcID=000001028704&cycleCode=7 (Accessed 10 Dec. 2017)
- [9] e-Stat 政府統計の総合窓口. 医療施設調査.
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000001030908> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [10] e-Stat 政府統計の総合窓口. 病院報告.
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000001030749> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [11] e-Stat 政府統計の総合窓口. 医師・歯科医師・薬剤師調査.
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do%3Ftid=000001030962> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [12] Yitzhaki S, Schechtman E. The Gini methodology: A primer on a statistical methodology. Springer series in Statistics. Volume 272. 2013: 11-31.
- [13] Deltas G. The small-sample bias of the Gini coefficient: results and implications for empirical research. Rev Econ Stat 2003; 85(1): 226-234.
- [14] 長崎県. 長崎県地域医療再生計画. 2010
- [15] 埼玉県. 埼玉県地域保健医療計画. 2010
- [16] 愛知県. 愛知県地域保健医療計画. 2010
- [17] 熊本県. 熊本県地域医療再生計画. 2013

- [18] 栗本 博之. IT 製品市場における製品開発力分析：製品アーキテクチャの視点から.
NUCB Journal of Economics and Information Science 2007; 51(2): 115-127.

付録 A 2008 年から 2011 年の各都道府県における CT、MRI 台数

都道府県 (二次医療圏数)	2008 年	2011 年								
	人口	総 CT	hCT	総 MRI	hMRI	人口	総 CT	hCT	総 MRI	hMRI
		台数	台数	台数	台数		台数	台数	台数	台数
北海道 (21)	5,571,770	771	349	352	153	5,498,916	813	514	389	202
青森県 (6)	1,430,543	191	66	73	28	1,395,886	203	105	74	31
秋田県 (8)	1,130,823	93	38	51	23	1,097,588	97	58	55	27
山形県 (4)	1,194,071	106	50	45	24	1,168,752	111	71	57	31
茨城県 (9)	2,982,000	293	150	133	76	2,973,174	303	206	141	89
栃木県 (5)	2,006,701	202	98	72	40	1,995,901	216	134	80	55
群馬県 (10)	2,012,151	183	87	83	46	1,998,558	217	149	100	60
埼玉県 (9→10)	7,067,336	514	266	205	106	7,140,929	543	375	230	141
千葉県 (9)	6,090,799	405	240	218	110	6,161,921	412	301	244	137
東京都 (13)	12,462,196	990	593	437	291	12,662,461	1044	771	496	351
神奈川県 (11)	8,798,289	524	283	260	151	8,906,590	565	379	287	187
新潟県 (7)	2,413,103	225	94	112	52	2,378,853	239	133	119	68
富山県 (4)	1,106,340	145	57	67	28	1,092,885	147	75	71	31
石川県 (4)	1,167,151	135	62	74	31	1,160,206	139	88	79	40
福井県 (4)	815,344	104	44	53	23	806,428	109	71	58	25
山梨県 (4)	871,481	64	31	41	21	860,559	81	52	44	28
長野県 (10)	2,176,806	209	118	94	48	2,153,802	223	156	107	59
岐阜県 (5)	2,095,484	216	83	88	39	2,076,675	243	127	96	53
静岡県 (8)	3,775,400	322	140	148	72	3,760,801	357	214	177	88
愛知県 (11→12)	7,185,744	565	275	257	141	7,249,626	607	371	278	160
三重県 (4)	1,856,282	174	69	69	39	1,844,293	193	93	83	52
滋賀県 (7)	1,377,886	87	58	48	27	1,390,927	97	70	55	28
京都府 (6)	2,558,542	195	121	113	74	2,547,225	209	156	115	91
大阪府 (8)	8,670,302	745	388	339	204	8,681,623	804	550	377	247
兵庫県 (10)	5,582,230	531	257	215	115	5,580,139	558	370	241	154
奈良県 (5)	1,419,626	117	71	68	50	1,406,701	118	87	63	44
和歌山県 (7)	1,045,973	162	67	53	27	1,025,613	166	99	53	32

(cont)

都道府県 (二次医療圏数)	2008 年					2011 年				
	人口	総 CT	hCT	総 MRI	hMRI	人口	総 CT	hCT	総 MRI	hMRI
		台数	台数	台数	台数		台数	台数	台数	台数
鳥取県 (3)	602,411	66	36	24	15	592,213	75	50	23	17
島根県 (7)	733,123	67	33	30	16	718,218	81	58	32	20
岡山県 (5)	1,948,250	260	126	94	53	1,934,057	271	187	112	73
広島県 (7)	2,864,167	342	164	150	69	2,852,728	374	237	165	94
山口県 (8)	1,479,840	203	73	66	38	1,455,401	228	129	73	44
徳島県 (6)	805,951	161	71	49	21	791,242	167	98	55	32
香川県 (5)	1,019,333	158	72	82	33	1,009,794	170	93	99	39
愛媛県 (6)	1,471,510	189	82	87	39	1,450,262	215	129	102	48
高知県 (4)	784,038	148	57	62	22	766,426	156	92	71	31
福岡県 (13)	5,030,818	574	257	250	105	5,043,494	604	365	283	139
佐賀県 (5)	864,738	114	64	51	21	855,968	122	82	55	27
長崎県 (9→8)	1,469,197	201	99	70	37	1,440,853	202	121	81	48
熊本県 (11)	1,844,644	276	125	115	46	1,828,471	301	195	123	61
大分県 (6)	1,215,388	211	106	77	43	1,201,901	217	152	83	51
宮崎県 (7)	1,161,026	169	71	70	27	1,147,867	173	99	81	39
鹿児島県 (9)	1,739,075	309	129	118	48	1,713,984	323	192	130	61
沖縄県 (5)	1,391,215	121	63	63	31	1,413,583	120	86	72	36
合計	121,289,097	7,060	5,783	3,044	2,703	121,233,494	7,564	8,140	3,387	3,371

付録 B 都道府県ごとの人口および hCT、hMRI に関する GC_{adj} および HHI

都道府県	2008 年			2011 年						
	hCT	hMRI	人口	hCT	hMRI	hCT	hMRI	人口	hCT	hMRI
	GC_{adj}	GC_{adj}	HHI	HHI	HHI	GC_{adj}	GC_{adj}	HHI	HHI	HHI
北海道	0.107	0.171	0.199	0.196	0.214	0.065	0.122	0.205	0.200	0.232
青森県	0.162	0.239	0.197	0.219	0.242	0.160	0.241	0.197	0.219	0.236
秋田県	0.091	0.214	0.202	0.199	0.248	0.159	0.241	0.204	0.200	0.254
山形県	0.102	0.258	0.335	0.328	0.406	0.078	0.209	0.338	0.322	0.440
茨城県	0.146	0.196	0.118	0.128	0.143	0.146	0.239	0.119	0.127	0.151
栃木県	0.117	0.199	0.230	0.247	0.289	0.080	0.095	0.234	0.238	0.255
群馬県	0.096	0.177	0.140	0.148	0.139	0.117	0.141	0.148	0.155	0.149
埼玉県	0.104	0.115	0.215	0.198	0.226	0.139	0.177	0.117	0.114	0.107
千葉県	0.143	0.216	0.169	0.144	0.169	0.150	0.174	0.174	0.145	0.163
東京都	0.249	0.353	0.093	0.108	0.131	0.197	0.273	0.094	0.101	0.117
神奈川県	0.092	0.145	0.103	0.101	0.106	0.108	0.260	0.104	0.100	0.106
新潟県	0.121	0.119	0.221	0.262	0.240	0.066	0.122	0.230	0.236	0.259
富山県	0.127	0.126	0.328	0.384	0.321	0.046	0.111	0.334	0.324	0.336
石川県	0.064	0.218	0.421	0.465	0.582	0.083	0.120	0.453	0.490	0.469
福井県	0.122	0.121	0.349	0.389	0.406	0.132	0.190	0.355	0.308	0.466
山梨県	0.086	0.165	0.371	0.351	0.361	0.052	0.159	0.388	0.384	0.421
長野県	0.115	0.248	0.151	0.151	0.174	0.103	0.172	0.152	0.163	0.165
岐阜県	0.132	0.075	0.250	0.288	0.269	0.136	0.059	0.255	0.304	0.260
静岡県	0.085	0.213	0.163	0.161	0.174	0.150	0.090	0.164	0.178	0.171
愛知県	0.169	0.176	0.154	0.192	0.209	0.174	0.147	0.146	0.192	0.178
三重県	0.166	0.067	0.329	0.328	0.325	0.063	0.083	0.339	0.344	0.369
滋賀県	0.159	0.190	0.172	0.184	0.213	0.111	0.235	0.177	0.170	0.230
京都府	0.120	0.176	0.404	0.457	0.533	0.116	0.163	0.425	0.451	0.502
大阪府	0.100	0.122	0.159	0.171	0.194	0.121	0.151	0.163	0.199	0.214
兵庫県	0.127	0.138	0.158	0.152	0.179	0.078	0.140	0.164	0.155	0.174
奈良県	0.082	0.282	0.232	0.231	0.274	0.072	0.127	0.236	0.225	0.232
和歌山県	0.176	0.245	0.244	0.343	0.325	0.082	0.169	0.248	0.276	0.297

(cont)

都道府県	2008 年			2011 年						
	hCT	hMRI	人口	hCT	hMRI	hCT	hMRI	人口	hCT	hMRI
	GC _{adj}	GC _{adj}	HHI	HHI	HHI	GC _{adj}	GC _{adj}	HHI	HHI	HHI
鳥取県	0.254	0.115	0.365	0.335	0.369	0.261	0.238	0.367	0.345	0.343
島根県	0.233	0.349	0.213	0.190	0.211	0.164	0.223	0.222	0.183	0.240
岡山県	0.061	0.117	0.365	0.392	0.421	0.060	0.070	0.376	0.349	0.406
広島県	0.155	0.146	0.276	0.249	0.259	0.150	0.084	0.289	0.225	0.281
山口県	0.140	0.215	0.164	0.174	0.173	0.073	0.226	0.168	0.171	0.177
徳島県	0.124	0.270	0.372	0.399	0.601	0.112	0.129	0.394	0.358	0.434
香川県	0.086	0.169	0.315	0.309	0.383	0.043	0.115	0.324	0.345	0.383
愛媛県	0.157	0.116	0.265	0.260	0.283	0.131	0.169	0.280	0.286	0.260
高知県	0.089	0.215	0.540	0.616	0.756	0.027	0.237	0.565	0.570	0.586
福岡県	0.177	0.197	0.163	0.187	0.220	0.122	0.221	0.173	0.188	0.201
佐賀県	0.131	0.076	0.262	0.295	0.252	0.084	0.098	0.264	0.294	0.287
長崎県	0.163	0.238	0.225	0.247	0.331	0.108	0.112	0.254	0.269	0.297
熊本県	0.163	0.437	0.175	0.234	0.474	0.120	0.347	0.211	0.241	0.448
大分県	0.056	0.113	0.287	0.299	0.279	0.055	0.144	0.302	0.280	0.306
宮崎県	0.140	0.160	0.211	0.236	0.246	0.132	0.194	0.221	0.204	0.258
鹿児島県	0.135	0.213	0.210	0.209	0.297	0.114	0.125	0.222	0.212	0.250
沖縄県	0.132	0.231	0.380	0.386	0.426	0.149	0.195	0.387	0.368	0.377
最小値	0.056	0.067	0.093	0.101	0.106	0.027	0.059	0.094	0.100	0.106
四分位 25%	0.099	0.125	0.168	0.186	0.211	0.077	0.121	0.172	0.181	0.195
中央値	0.127	0.184	0.223	0.242	0.264	0.113	0.161	0.232	0.231	0.259
四分位 75%	0.157	0.221	0.328	0.330	0.363	0.141	0.222	0.335	0.322	0.371
最大値	0.254	0.437	0.540	0.616	0.756	0.261	0.347	0.565	0.570	0.586

付録C 2011年における放射線科専門医の総数、GC_{adj}、HHI

都道府県	放射線科 専門医数	GC _{adj}	HHI	都道府県	放射線科 専門医数	GC _{adj}	HHI
北海道	154	0.333	0.392	京都府	182	0.260	0.759
青森県	42	0.452	0.407	大阪府	423	0.174	0.217
秋田県	24	0.385	0.476	兵庫県	244	0.196	0.231
山形県	34	0.265	0.571	奈良県	63	0.272	0.280
茨城県	56	0.449	0.222	和歌山県	37	0.385	0.627
栃木県	64	0.311	0.343	鳥取県	31	0.324	0.592
群馬県	73	0.528	0.382	島根県	35	0.352	0.365
埼玉県	144	0.259	0.090	岡山県	97	0.161	0.489
千葉県	147	0.358	0.236	広島県	132	0.165	0.362
東京都	663	0.465	0.168	山口県	82	0.265	0.235
神奈川県	296	0.287	0.108	徳島県	50	0.078	0.467
新潟県	80	0.309	0.436	香川県	56	0.174	0.444
富山県	61	0.113	0.380	愛媛県	92	0.266	0.501
石川県	74	0.238	0.756	高知県	39	0.220	0.901
福井県	46	0.354	0.729	福岡県	354	0.280	0.260
山梨県	27	0.349	0.797	佐賀県	48	0.222	0.391
長野県	63	0.399	0.324	長崎県	72	0.144	0.322
岐阜県	37	0.354	0.502	熊本県	107	0.382	0.571
静岡県	103	0.260	0.238	大分県	59	0.199	0.424
愛知県	205	0.324	0.297	宮崎県	72	0.382	0.556
三重県	62	0.145	0.362	鹿児島県	88	0.238	0.375
滋賀県	59	0.242	0.260	沖縄県	52	0.193	0.527
				合計	4,929		
				最小値		0.078	0.090
				四分位 25%		0.215	0.275
				中央値		0.269	0.387
				四分位 75%		0.354	0.508
				最大値		0.528	0.901

第4章 北海道における画像診断装置への地理的アクセシビリティ

4-1 はじめに

近年の医療技術の進歩・高度化に伴い画像診断や放射線治療といった放射線診療の有用性は増しており、医療の質を担保する上で重要な役割を担っている。特に脳卒中・急性心筋梗塞については、厚生労働省の医療体制構築に係る指針の中で CT や MRI などの高性能画像診断装置による画像診断の有用性が明示されている[1]。第3章「日本全国を対象とした画像診断の地域格差に関する分析」では放射線診療資源の分布を二次医療圏単位で分析し、各都道府県において人口あたり装置台数は均一であるものの、都市部への集中度が高い地域が多いことを明らかにした。北海道では限られた医療資源の有効活用と適正な配置が求められており、その実現のためには、住民の実態を反映した分析・評価を基に医療政策を進めることが重要と考えられる。その評価項目の一つとして、患者の居住地から医療機関への距離や到達時間といった地理的なアクセスのしやすさである地理的アクセシビリティがあげられる。前章までは二次医療圏単位での分析を行ってきたが、二次医療圏を分析単位とした偏在指標を用いた数値比較では、例えば北海道といった全体としての需給バランスは評価できるものの、どの地域で地理的アクセシビリティが低下しているかといったよりミクロな分析は難しく、医療資源の適切な配置を議論することは困難である。

近年、地理情報システム（Geographic information system: 以下、GIS）の高度化と、医療の需要と供給に関するデータの利用可能性の向上によって、地理的アクセシビリティの測定手法が技術的に向上している。Neutens は、1991 年から 2013 年における GIS を利用した医療サービスへの地理的アクセシビリティに関する先行研究のレビューを行い、地理的アクセシビリティの測定手法として FCA (Floating catchment area)法が最も採用されていたことを報告している[2]。FCA 法とは、需要となる医療施設周囲の人口によって医師等の医療資源の利用可能性を考慮すると同時に、時間や距離といった移動コストの閾値によって医療資源のサービス供給エリアを定義し、医療施設ごとの医療資源-人口比を算出する手法であり、現在はそこに需要側の視点を加えた 2sFCA(2-step FCA)法が用いられている[3]。人々の健康を守る第一線としてアクセスされるプライマリ・ケアは、地理的アクセシビリティが特に重要視される領域であり、2sFCA 法を用いた多くの研究がなされている[4-6]。専門的な医療へのアクセシビリティについては、Song らが中国の深圳市における公的および民間の産科施設の需給バランスについて 2sFCA 法を用いて評価し、民間の産科施設が需給バランスに良い効果をもたらしているが、その分布は十分ではないことを指摘している[7]。

医療資源の適切な配置を議論するには、医療提供体制の現状を把握する必要があるため、医療の公平性を評価する指標の一つである地理的アクセシビリティの測定は重要であると

考えられる。また、持続的な医療提供体制の構築を議論するためには、将来的に少子高齢化や人口移動などによって変化の予想される人口分布を考慮した将来予測が必要と考えられる。本研究では、北海道における医療資源の適正配置にむけた医療政策を進める上で有用な基礎資料を得ることを目的として、医療資源への地理的アクセシビリティの定量化を行う。特に、専門的医療に関連する画像診断に着目し、CT や MRI といった高性能画像診断装置を保有する医療施設への地理的アクセシビリティについて、現状分析および将来予測を行った。

4-2 方法

4-2-1 GIS とは

GIS は地理的位置を手がかりに、位置に関する情報を持ったデータを総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術である[8]。具体的には建物や道路などの地物や、人口分布や医療資源数などの事象といった現実世界に存在するものを、主題ごとに分類しレイヤーとして管理・表現する（図 4-1）。主題を別々のレイヤーとして管理することによって、ある特定の主題のみに着目することや、複数のレイヤーを組み合わせた分析により新しい情報を生み出すことが可能となる[9]。GIS を利用した地理情報科学では、位置情報を含んだ地理空間情報である「データ」を、付加的な価値をもった「情報」に変え、それを分析することによって、新たな「知識」を創造することが期待されている[10]。

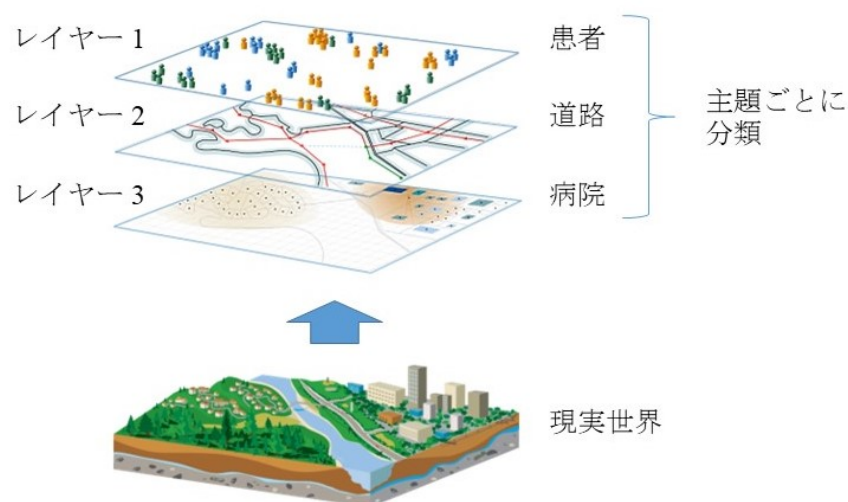


図 4-1 レイヤーの概念（文献[9]より一部改変）

4-2-2 人口分布に関するデータ

国勢調査は個人と世帯に関する基幹統計の 1 つであり、2010 年国勢調査の結果から、そのほとんどが総務省統計局のホームページからダウンロードすることができるようになった。人口分布に関するデータとして、地域を基盤の目のように緯度・経度に基づいてほぼ同じ大きさの網目（メッシュ）に区分した「地域メッシュ統計」と、市町村人口よりもきめの細かい町丁・字等別人口を用いた「小地域統計」が提供されている。地域メッシュ統計に関しては、JIS 規格として標準地域メッシュが定められている。そのうち基準地域メッシュは第 1 次地域区画を基に区画され、第 1 次地域区画は緯度を 40 分間隔、経度を 1 度間隔に区分した区画で、これを縦横に 8 等分した区画が第 2 次地域区画、更にこれを縦横に 10 等分した区画が基準地域メッシュ（第 3 次地域区画）である。第 3 次地域区画はおよそ 1km 四方のメッシュであるため、一般に 1km メッシュと表現される。

2010 年国勢調査を基に、地域メッシュ統計（1km メッシュ）で表示した北海道の人口分布を図 4-2 に、小地域統計により表示した人口分布を図 4-3 に示す。また、図 4-4、図 4-5 は札幌市を中心として、図 4-2、図 4-3 をそれぞれ拡大した画像であり、図 4-2 から図 4-5 において、白色部分は人口が 0 の地域を表す。ただし、一つの区域に表章される人口が極めて少ない場合、個人情報統計情報から推測されることを防ぐ目的で、当該区域に係る結果数値は近接する区域の結果数値に合算した上で表章する秘匿措置が取られており、秘匿措置が取られた区域も白色で表示した。図 4-4、図 4-5 中の矢印は札幌市南区を示している。Google Earth を利用した札幌市南区の画像を図 4-6 に示す。南区は、札幌市の南西部一帯を占める行政区であり、区域面積 657.48km² は全市の 6 割に達するが、その多くは山林である。小地域統計では人口の少ない地域において区域の面積が広く設定されており、山林などの居住がない地域も区域に含んでいる。一方、地域メッシュ統計では地域を基盤の目のように区切るため、小地域統計と比較して居住のない地域を正しく表示することが可能である。国の行政機関においても、1km メッシュは基準地域メッシュとして、車による移動などを考慮した診療圏の分析に多く用いられている[11]。本研究では北海道全域、特に人口の少ないへき地における診療提供体制の格差に関する評価を目的としているため、人口分布に関するデータとして 1km メッシュを採用した。

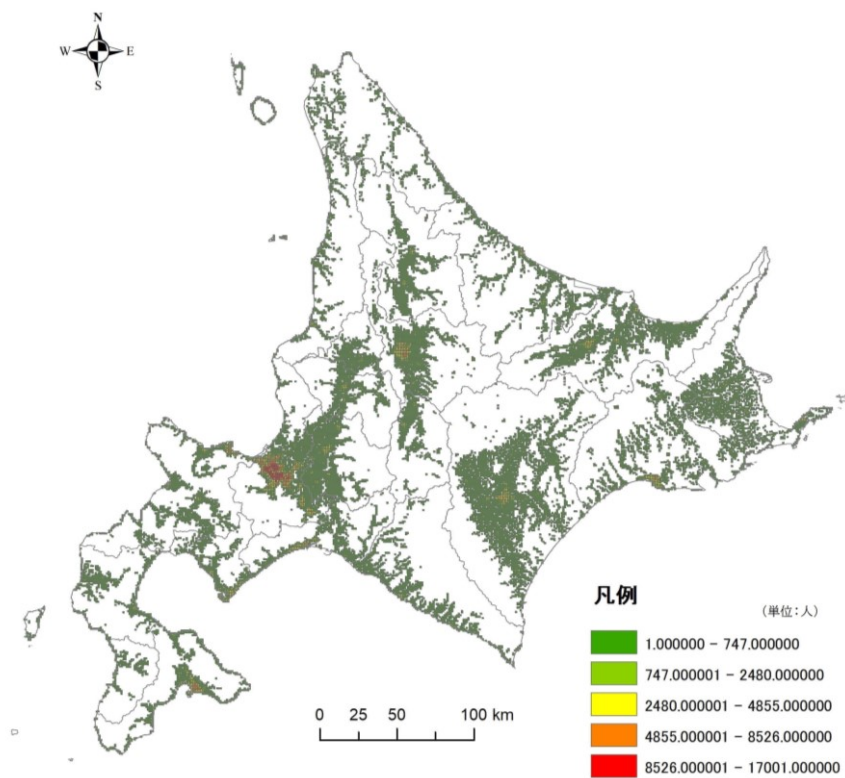


図 4-2 地域メッシュ統計による表示

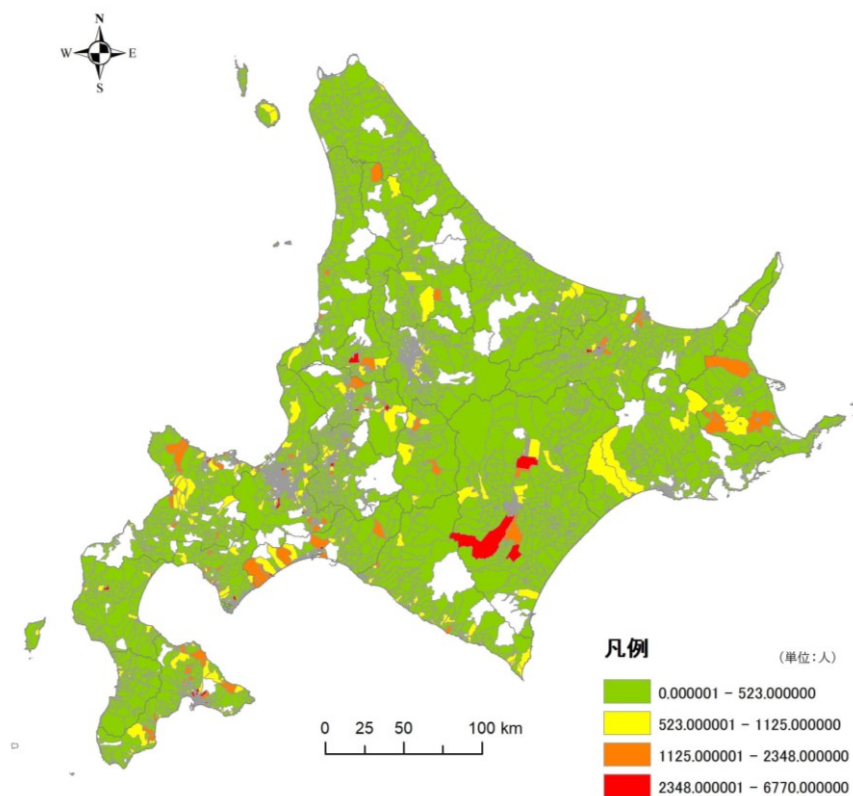


図 4-3 小地域統計による表示

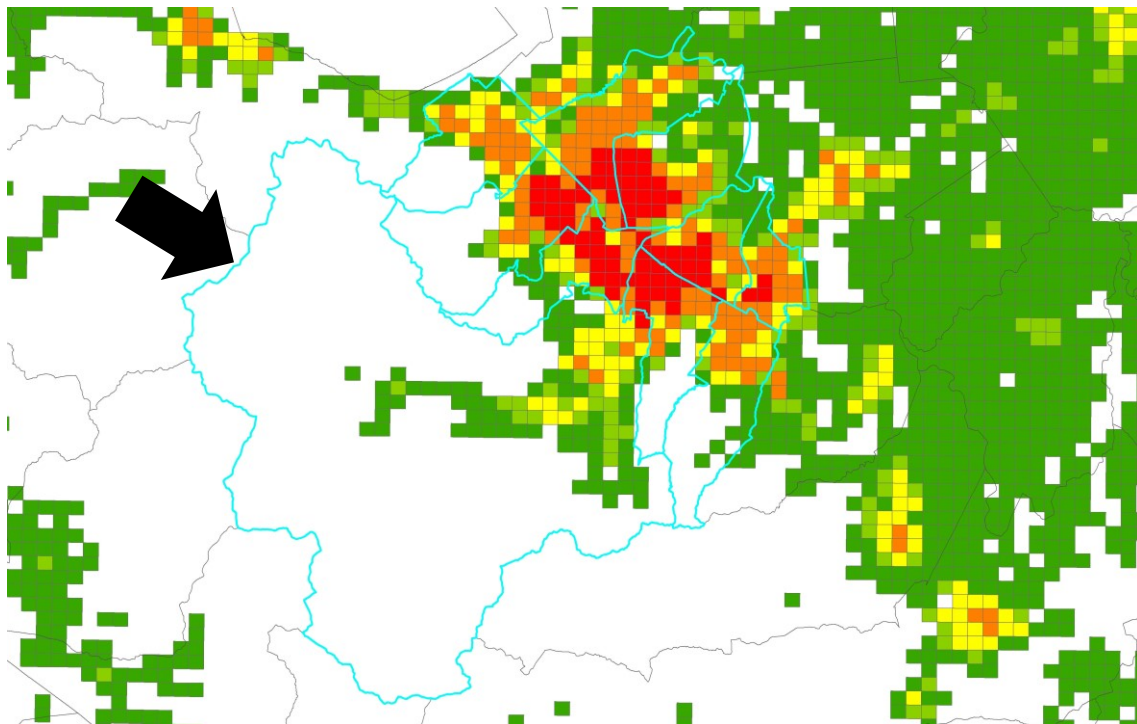


図 4-4 地域メッシュ統計による表示（札幌市周辺）

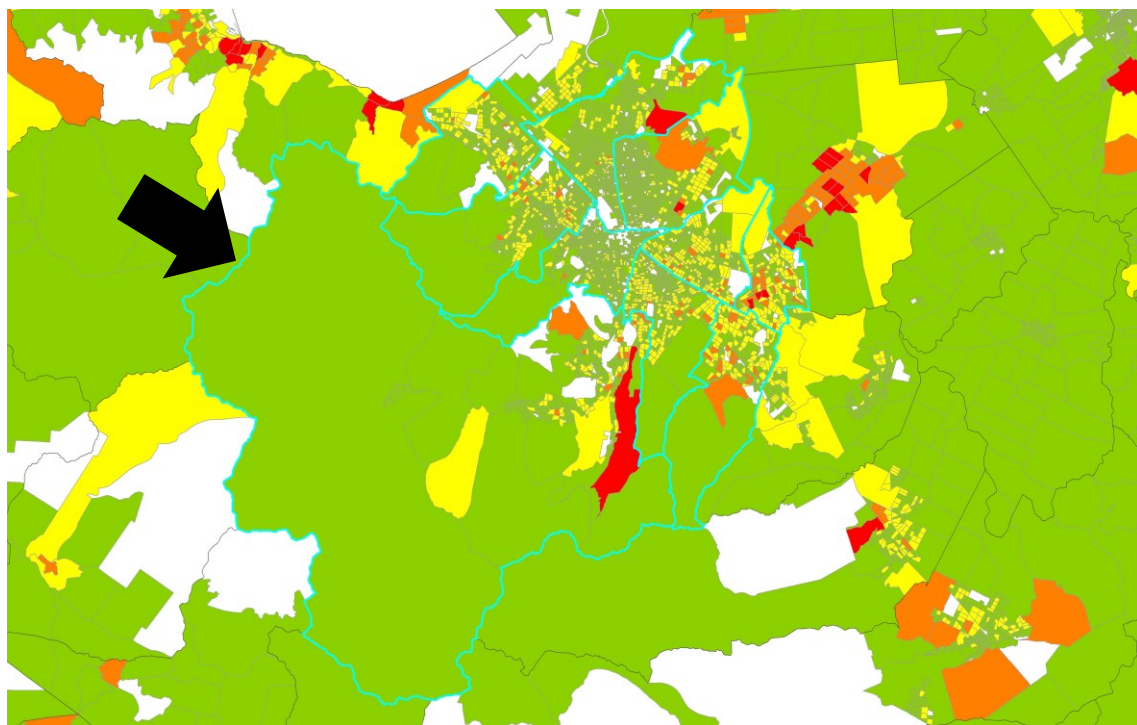


図 4-5 小地域統計による表示（札幌市周辺）

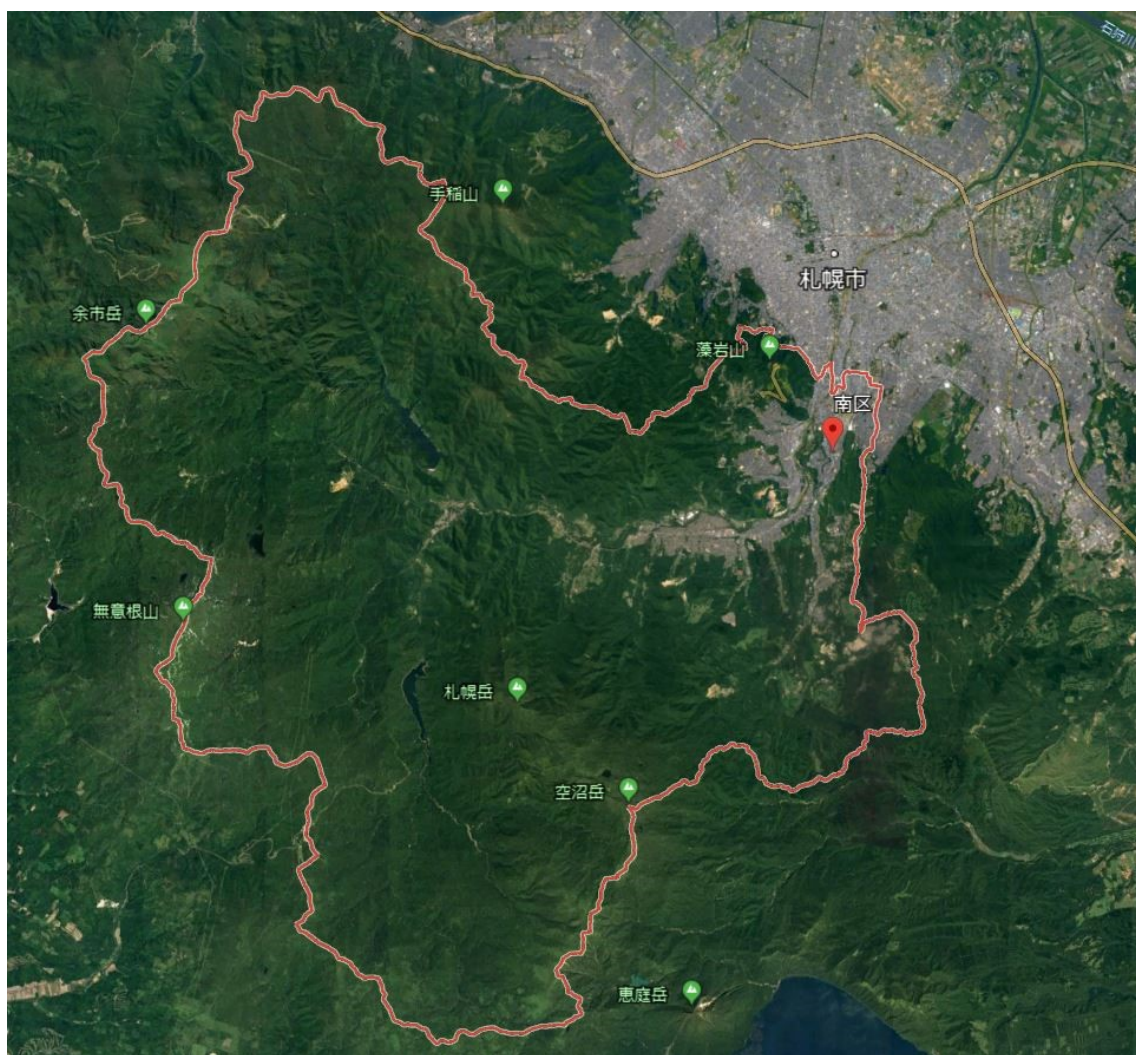


図 4-6 Google Earth を利用した札幌市南区の画像

(地図データ : ZENRIN Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO Google DigitalGlobe)

4-2-3 対象

現状分析について、需要側となる患者の地図レイヤーは、すべての国民が画像診断を受け
る可能性があるとして仮定した上で、2010年国勢調査の1kmメッシュを使用し、北海道の21,279
区域における5,506,419人を対象とした。図4-7に2010年の人口分布を示す。なお、メッ
シュ内の人口は全てメッシュ中心に存在すると仮定して分析を行った。画像診断装置はCTお
よびMRIを対象とし、文献の設置施設名簿から施設数および設置台数を抽出した[12,13]。
なお、診療報酬の装置性能別加算を参考にCTは16列以上、MRIは1.5テスラ以上を「高
性能CT・MRI」としてそれ以外の装置と分類し、装置性能を考慮しない全ての合計を「全
CT・MRI」とした。表4-1に供給側となる画像診断装置を有する施設の数と保有台数の合計
を示す。これらのデータを医療施設の地図レイヤーとして表現するために、すべての施設の
住所情報を北海道保健福祉部地域医療推進局医務薬務課が公開している医療機関名簿から
抽出した[14]。その後、東京大学空間情報科学研究センターのCSVアドレスマッチングサ
ービスを用いて[15]、住所情報を緯度・経度情報に変換した。変換されたCSVファイルには
変換の精度を示す“iConf”が付加される。iConfは3-5までの値を取り、5の場合は変換の
精度が保証されるが、4以下の場合には変換結果の確認が必要である。iConfが4以下の場
合は、googleが提供しているGeocodingサイトを利用してデータ補正を行った[16]。道路情
報の地図レイヤーについてはArcGIS Data Collection 道路網 2012 北海道地方版を使用した。

将来予測について、将来推計人口は国土数値情報ダウンロードサービス（国土交通省国土
政策局国土情報課）が提供している将来推計人口メッシュの2050年時点のデータを利用し
た[17]。図4-8に2050年推計人口分布を示す。2050年推計において、人口は2010年から
200万人ほど減少し、約1万区域でメッシュ内人口が0になると推計されており、推計され
た11,365地域における3,544,722人を対象とした。

表 4-1 画像診断装置を保有する施設数と装置の合計台数

	施設数	台数
全 CT	590	655
全 MRI	339	414
高性能 CT	403	454
高性能 MRI	172	232

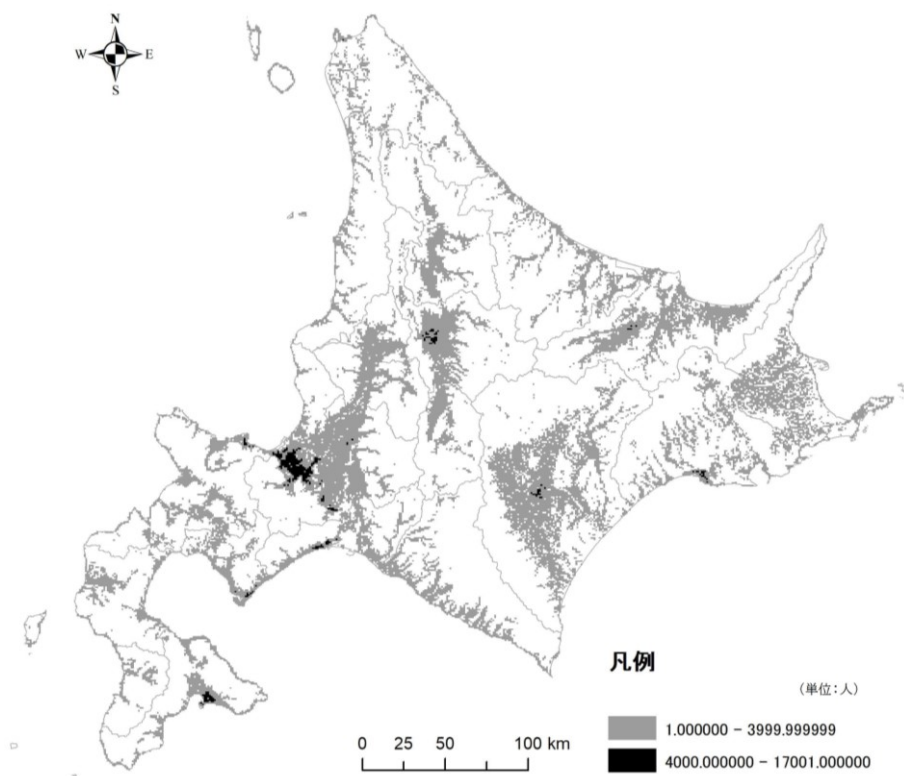


図 4-7 2010 年の人口分布

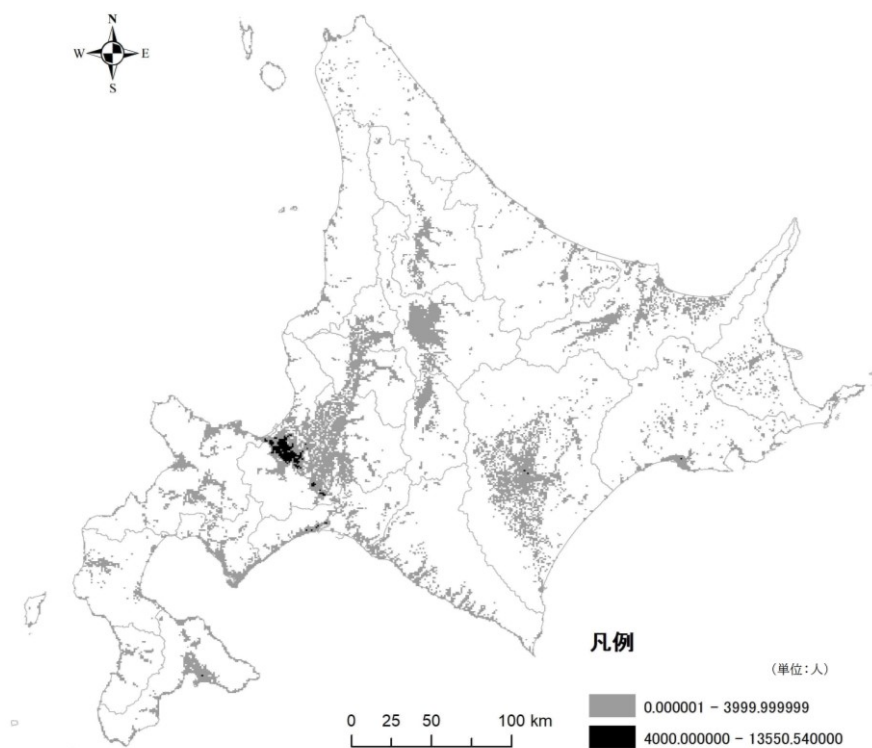


図 4-8 2050 年の推計人口分布

4-2-4 2-step floating catchment area (2sFCA) 法

現在の医療において、画像診断は急性・慢性疾患を問わず医療を遂行する上で大きな役割を担っている。国民皆保険制度の下において、すべての国民が適切な画像診断による医療の恩恵を浴する権利を有しているとすれば、居住している地域によらず画像診断装置への地理的アクセシビリティが担保され、かつ地域間で均一であることは、医療の公平性を示す一つの指標になると考えられる。アクセスのしやすさという視点において、ある患者が居住している地域の近郊に複数の医療施設が存在している場合と、居住している地域の近郊に医療施設が一つしか存在しない場合では、前者の方がより地理的アクセシビリティは高いと考えられる。また、ある患者が居住している地域近郊の医療施設数が同じであったとしても、施設が保有する画像診断装置数が異なる場合や、施設近郊に居住する人口が異なる場合に、患者が感じるアクセスのしやすさに差があることが予想される。そこで本研究では、需要となる患者と、供給となる医療施設の両視点を考慮することが可能な 2sFCA 法によるアクセシビリティ指標を算出した。

2sFCA 法によるアクセシビリティ指標の算出は 2 段階で構成される[3]。第 1 に、供給側となる画像診断装置を保有する医療施設の位置を j とし、 j からの到達圏 d_0 内の人口メッシュの中心を k とし、以下の式(4.1)から供給 - 需要比 R_j を算出した。なお、 R_j を人口 1 万人あたりの画像診断装置数として解釈するために右辺を 10,000 で除している。

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in (d_{kj} \leq d_0)} \frac{P_k}{10000}} \quad \dots (4.1)$$

式(4.1)において、 d_{kj} は kj 間の距離、 S_j は医療施設 j が保有する画像診断装置数、 P_k は k の人口である。右辺の分母は $d_{kj} \leq d_0$ の到達圏内における人口総数であり、医療施設 j の需要量を表す。本研究では到達圏 d_0 について、先行研究を基に自動車移動の平均速度である時速 44.2km(2010 年道路交通センサス)で走行し、30 分で到達可能な範囲にあたる半径 22.1km の円で定義した[7,18]。

第 2 に、すべての人口メッシュの中心を i とし、以下の式(4.2)から i におけるアクセシビリティ指標 A_i を算出した。

$$A_i = \sum_{j \in (d_{ij} \leq d_0)} R_j = \sum_{j \in (d_{ij} \leq d_0)} \left(\frac{S_j}{\sum_{k \in (d_{kj} \leq d_0)} \frac{P_k}{10000}} \right) \quad \dots (4.2)$$

d_{ij} は ij 間の距離であり、 A_i は i からの到達圏 d_0 内にある医療施設の R_j を合計したものである。 A_i は、供給側から見た需要量と需要側から見た供給量の両方を考慮した、ある地域の需要者が共有する総供給量を表す指標である。 A_i は 0 以上となり、値が大きいほど地理的アクセシビリティが高いことを表す。

A_i は地点 i から地理的に到達可能な範囲を考慮した上で、そこに人口 1 万人が居住していた場合に利用する画像診断装置数を表している。現状分析では、人口 1 万人あたり CT・MRI 保有台数の OECD 加盟国平均値（それぞれ 0.236 台、0.133 台）および日本全国（それぞれ 1.013 台、0.469 台）を基に[19]、算出された A_i に階級を設定し、地図上に可視化した。また、将来推計では、画像診断装置数の多寡について、日本全国（それぞれ 1.013 台、0.469 台）の値を評価基準とし、 A_i が 0 の地域を「不足」、日本全国（それぞれ 1.013 台、0.469 台）の値未満を「やや不足」、日本全国（それぞれ 1.013 台、0.469 台）の値以上からその 2 倍未満を「やや過剰」、日本全国（それぞれ 1.013 台、0.469 台）の値の 2 倍以上を「過剰」として評価した。なお、2050 年の将来予測にあたっては、全 CT・MRI を対象として医療施設および画像診断装置の配置が現在と変わらないと仮定して A_i を算出した。分析には ArcGIS version10.0（Esri Japan）を使用した。

4-3 結果

4-3-1 現状分析

CT への A_i は最小値が 0、最高値が 6.22 であった。また、MRI への A_i は最小値が 0、最高値が 2.09 であった。それぞれの A_i について区域と人口の総数および割合を表 4-2、表 4-3 に示す。 A_i が 0 であった地域は、全 CT に対し 643 区域における 21,605 人（0.4%）、高性能 CT に対し 2,342 区域における 97,418 人（1.8%）、全 MRI に対し 5,481 区域における 252,751 人（4.6%）、高性能 MRI に対し 7,114 区域における 366,408 人（6.7%）であった。また、全 CT および全 MRI のいずれにも A_i が 0 であった地域は 600 区域における 20,042 人（0.4%）であったが、高性能 CT および高性能 MRI に限定すると 2,293 区域における 96,347 人（1.8%）であり、その割合は高性能な装置ほど高かった。全 CT および高性能 CT への A_i を図 4-9 に、全 MRI および高性能 MRI を保有する医療施設への A_i を図 4-10 に示す。赤色はアクセシビリティが悪く、青色はアクセシビリティが良いことを表す。

表 4-2 CT へのアクセシビリティ指標

	全 CT		高性能 CT	
	区域数 (%)	人口 (%)	区域数 (%)	人口 (%)
$A_i = 0$	643 (3.0)	21,605 (0.4)	2,342 (11.0)	97,418 (1.8)
$0 < A_i < 0.236$	661 (3.1)	33,291 (0.6)	1,257 (5.9)	67,496 (1.2)
$0.236 \leq A_i < 1.013$	8,852 (41.6)	1,113,940 (20.2)	14,097 (66.2)	4,791,751 (87.0)
$1.013 \leq A_i$	11,123 (52.3)	4,337,583 (78.8)	3,583 (16.8)	549,754 (10.0)

表 4-3 MRI へのアクセシビリティ指標

	全 MRI		高性能 MRI	
	区域数 (%)	人口 (%)	区域数 (%)	人口 (%)
$A_i = 0$	5,481 (25.8)	252,751 (4.6)	7,114 (33.4)	366,408 (6.7)
$0 < A_i < 0.133$	741 (3.5)	50,141 (0.9)	1,265 (5.9)	86,387 (1.6)
$0.133 \leq A_i < 0.469$	4,062 (19.1)	275,154 (5.0)	8,106 (38.1)	2,557,981 (46.5)
$0.469 \leq A_i$	10,995 (51.7)	4,928,373 (89.5)	4,794 (22.5)	2,495,643 (45.3)

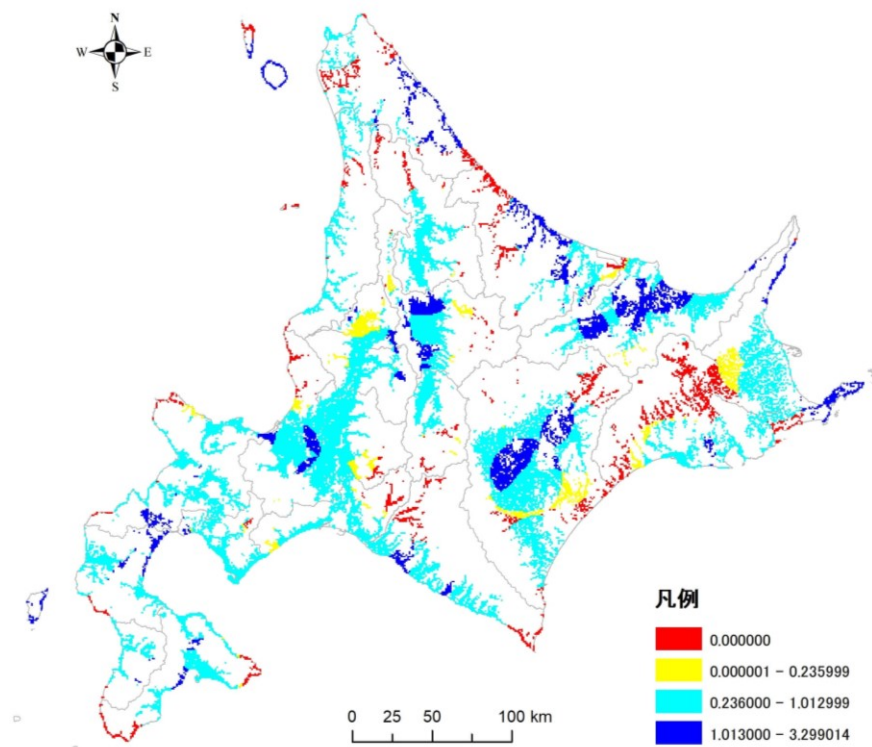
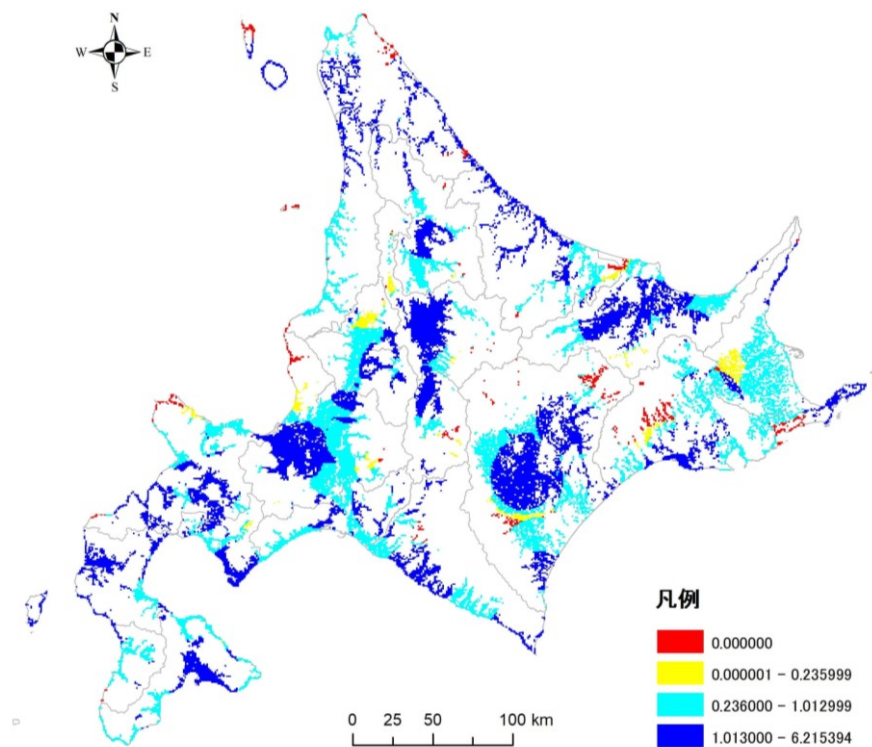


図 4-9 CT へのアクセシビリティ指標の分布（上：全 CT、下：hCT）

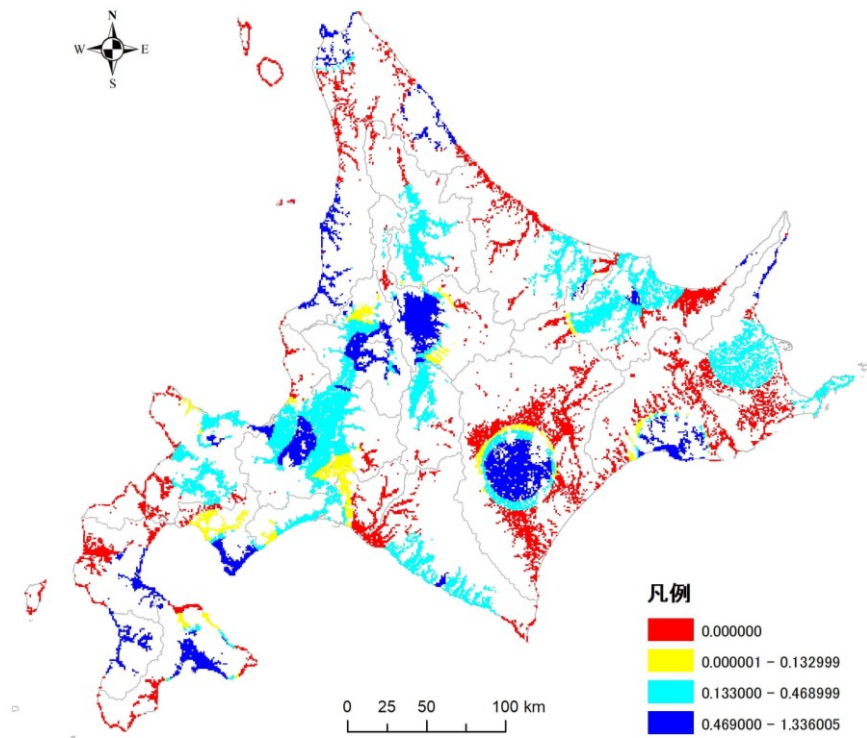
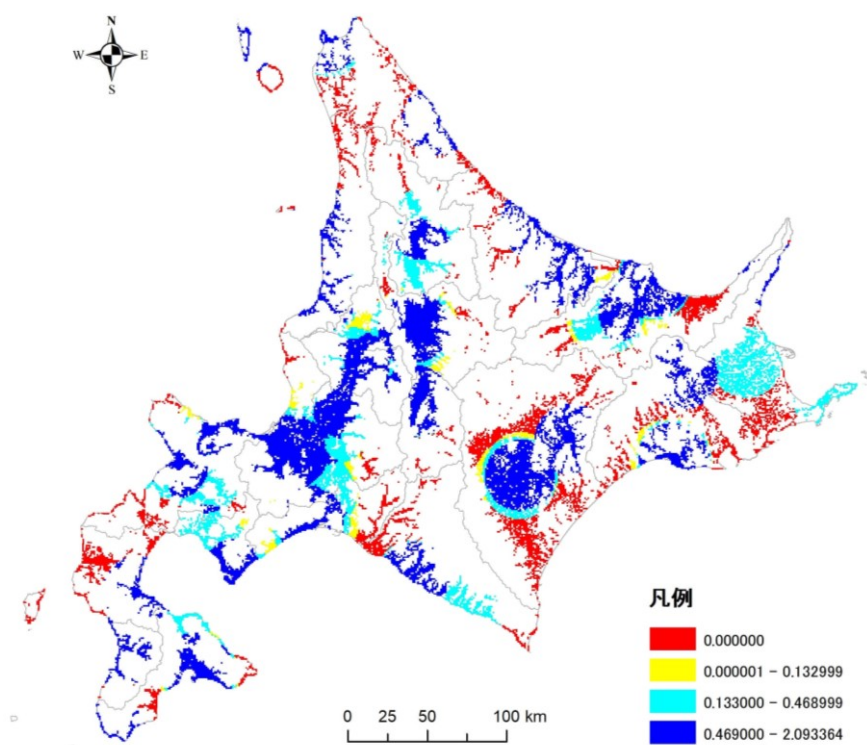


図 4-10 MRI へのアクセシビリティ指標の分布（上：全 MRI、下：hMRI）

4-3-2 将来予測

将来推計人口を用いた全 CT および全 MRI への A_i について区域と人口の総数および割合を表 4-4、表 4-5 に示す。また、全 CT および全 MRI への A_i の分布を図 4-11、図 4-12 にそれぞれ示す。「不足」と評価された地域を赤色、「やや不足」と評価された地域を黄色、「やや過剰」と評価された地域を水色、「過剰」と評価された地域を青色として、それぞれ地図上に可視化した。全 CT について、不足と推定された地域の人口は 2010 年、2050 年ともに 0.4%と低値であった。過剰と推定された地域については 2010 年に 1.2%であったが、2050 年では 24.2%まで上昇した。全 MRI について、不足と推定された地域の人口は 2010 年で 4.6%、2050 年で 2.9%であった。また、過剰と推定された地域の人口は 2010 年で 16.3%、2050 年で 84.1%まで上昇した。

表 4-4 全 CT へのアクセシビリティ指標

	2010 年		2050 年	
	区域数 (%)	人口 (%)	区域数 (%)	人口 (%)
$A_i = 0$ (不足)	643 (3.0)	21,605 (0.4)	234 (2.1)	13,167 (0.4)
$0 < A_i < 1.013$ (やや不足)	9,513 (44.7)	1,147,231 (20.8)	1,130 (9.9)	133,590 (3.8)
$1.013 \leq A_i < 2.026$ (やや過剰)	9,617 (45.2)	4,269,949 (77.5)	4,916 (43.3)	2,540,524 (71.7)
$2.026 \leq A_i$ (過剰)	1,506 (7.1)	67,634 (1.2)	5,085 (44.7)	857,441 (24.2)

表 4-5 全 MRI へのアクセシビリティ指標

	2010 年		2050 年	
	区域数 (%)	人口 (%)	区域数 (%)	人口 (%)
$A_i = 0$ (不足)	5,481 (25.8)	252,751 (4.6)	2,032 (17.9)	103,875 (2.9)
$0 < A_i < 0.469$ (やや不足)	4,803 (22.6)	325,295 (5.9)	1,142 (10.0)	61,851 (1.7)
$0.469 \leq A_i < 0.938$ (やや過剰)	8,949 (42.1)	4,031,834 (73.2)	1,830 (16.1)	396,157 (11.2)
$0.938 \leq A_i$ (過剰)	2,046 (9.6)	896,539 (16.3)	6,361 (56.0)	2,982,839 (84.1)

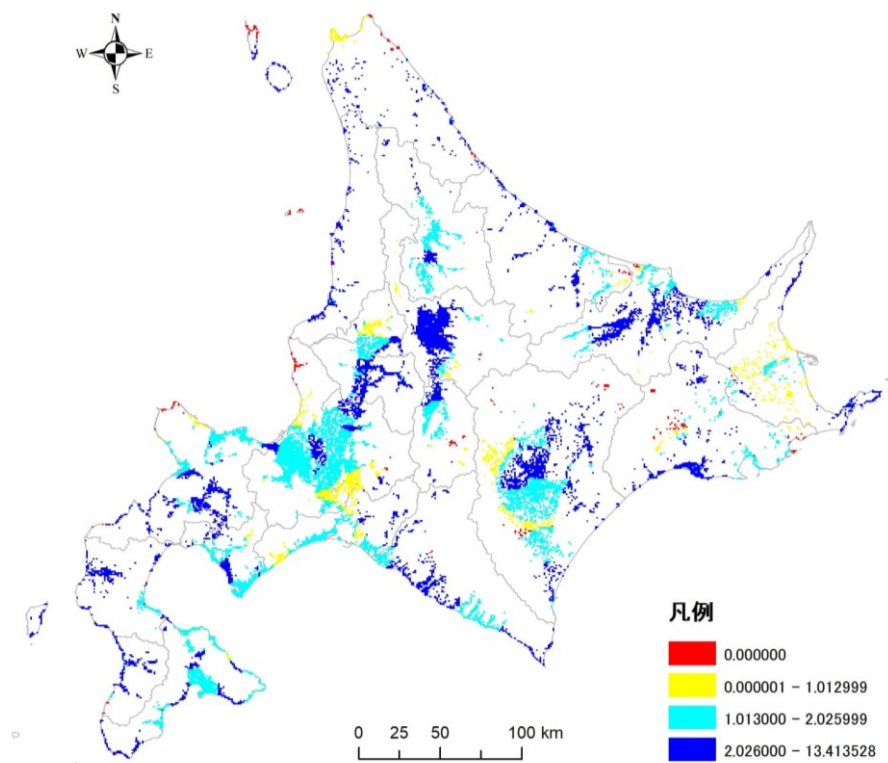


図 4-11 推計人口を用いた全 CT へのアクセシビリティ指標の分布

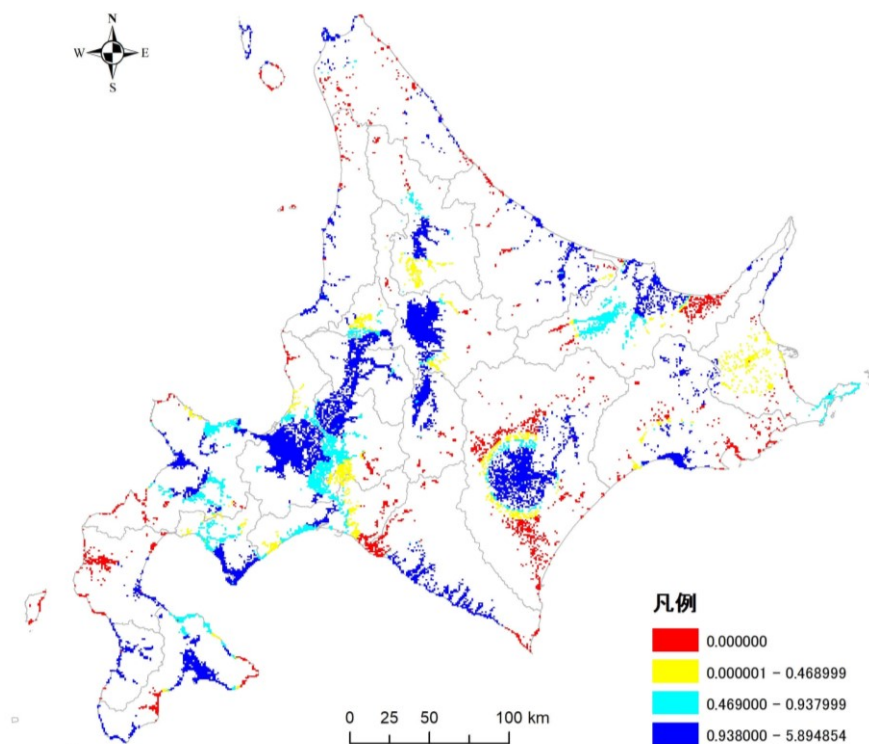


図 4-12 推計人口を用いた全 MRI へのアクセシビリティ指標の分布

4-4 考察

4-4-1 現状分析

北海道における全 CT へのアクセシビリティは、自動車走行による 30 分で到達可能な範囲という条件を考慮しても、概ね OECD 加盟国平均値を超える程度に担保されていることが明らかとなった。一方で、全 MRI は北海道の人口の約 5% にアクセシビリティが担保されておらず、CT、MRI のいずれについても高性能な装置ほどアクセシビリティが悪い傾向にあった。MRI の A_i が 0 であった地域について、区域数の割合が全 MRI で 25.8%、高性能 MRI で 33.4% であるのに対して、人口の割合はそれぞれ 4.6%、6.7% と低かった。また、高性能 CT および高性能 MRI の両方に A_i が 0 であった 2,293 区域のうち、約 90% にあたる 1,973 区域が過疎地域の平均的な人口密度である 51 人/km² を下回っていた。これらのことから、人口の少ないへき地を中心に画像診断装置へのアクセシビリティが担保されていないことが示唆される。現在、厚生労働省では、目指すべき医療提供体制を実現するための地域医療構想を掲げ、医療機能の分化と連携を図っている[20]。地域の医療需要を考慮した医療資源の計画的配備を求めている状況の中で、アクセシビリティの悪い地域へ新規に装置を配置することは難しいと考えられるため、今後の人口動態も踏まえた計画的な医療資源の配置を考慮する必要があると考えられる。

4-4-2 将来予測

2050 年の推計人口分布と 2010 年の人口分布を視覚評価すると、札幌市、旭川市、函館市、釧路市といった人口の多い都市部以外の分布が大きく変化していた。2050 年に過剰と推定された地域の区域数について、CT では 5,085 区域 (44.7%)、MRI では 6,361 区域 (56.0%) であり割合としては 10% ほどの差であるが、人口については CT では 857,441 人 (24.2%)、MRI では 2,982,839 人 (84.1%) と大きな差が生じていた。これは CT が地方にも広く分散して配置されているのに対して、MRI が都市部に特に集中して配置されているためと考えられる。更には、2010 年時点で MRI の配置がやや過剰であった都市部を中心とする地域が、人口減少の影響によって過剰と推定されたものと考えられる。本研究の結果から、人口減少に伴って需給バランスが不均衡となる、特に過剰供給となる可能性のある地域が将来的に現れることが示唆された。

AMDD (American Medical Devices and Diagnostics Manufacturers' Association) は 2011 年に日本の医療と先進医療技術に関する意識調査を実施している[21]。この調査では、一般の国民 2,000 人を対象としたインターネット調査が行われ、現在または将来に自身または家族が診断や治療を受ける必要が生じた場合、74% の回答者が先進医療技術の利用を「とても希望す

る」または「希望する」という意向を示したことが報告されている。先進医療技術には CT、MRI も含まれており、日本国民の多くが先進医療技術の重要性を認識していることが推察される。このようなニーズに対して、医療機関が経営上の差別化を図る目的で画像診断装置を導入することも考えられる。本研究の結果からは、2050 年でやや過剰、過剰と推定された地域に居住する人口は、CT、MRI のいずれについても合計して 95%を超えており、患者の地理的アクセシビリティといった視点からは新規導入・設置の効果は低いと予想される。現在、日本では画像診断装置の導入に際して厳しい規制はないが、医療機関が設備投資を実施し、その費用を回収しようとする行動によって医療費が増加する可能性を考慮すると、CT、MRI の新規導入を抑制して医療機関の連携を推進する、または資源を集中させて機能分化を図るなどの政策実行が望ましいと考えられる。

本研究の限界として、到達圏を自動車走行による 30 分で移動できる範囲として円で表現し、一律に分析したことが上げられる。都市部と地方の住民では医療行為に対する行動範囲に差がある可能性があり、交通手段や道路情報を考慮した到達圏を用いることでより現実に即した分析が可能となる。また、本研究では、供給側を画像診断装置である CT および MRI に、需要側を全人口に設定したが、疾患によって供給側となる診療に必要な医療資源は異なり、需要側となる患者についてもその発症リスクは年齢や性別などによって異なるため、疾患ごとに適切な医療資源の配置を議論する必要がある。最後に、どの医療機関を利用するか意思決定は、提供される医療サービスの質や、患者の属性など様々な要因によって行われる。地理的アクセシビリティは医療の公平性を評価する一つの指標であることに注意が必要である。

4-5 結論

GIS を利用した 2sFCA 法により高性能画像診断装置を有する医療施設への地理的アクセシビリティを定量化した。現状分析からは、北海道において CT および MRI への地理的アクセシビリティは OECD 加盟国平均値を超える程度に担保されているものの、より高性能な装置については地理的アクセシビリティが悪く、都市部よりも人口の少ない地方にその度合いは強いことが明らかとなった。また、それらの地域を地図上に可視化し同定することが可能となり、医療政策を進める上で有用なツールになることが示唆された。将来予測からは、2050 年時の人口減少にともない、現状の配置では需給バランスに不均衡が生じるため、それを考慮した画像診断装置の計画的利用や再配置が必要になる可能性が示唆された。

参考文献

- [1] 厚生労働省. 疾病・事業及び在宅医療に係る医療体制について (医政地発 0731 第 1 号). 2017
http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/iryuu/iryuu_keikaku/index.html
(Accessed 10 Dec. 2017)
- [2] Neutens T. Accessibility, equity and health care: review and research directions for transport geographers. *Journal of Transport Geography* 2015; 43: 14–27.
- [3] Luo W, Wang F. Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: synthesis and a case study in Chicago region. *Environment and Planning B* 2003; 30(6): 865-884.
- [4] Luo W, Qi Y. An enhanced two-step floating catchment area (E2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary care physicians. *Health Place* 2009; 15 (4): 1100–1107.
- [5] McGrail M R, Humphreys J S. The index of rural access: an innovative integrated approach for measuring primary care access. *BMC Health Services Research* 2009; 9: 124.
- [6] McGrail M R. Spatial accessibility of primary health care utilising the two step floating catchment area method: an assessment of recent improvements. *Int J Health Geogr* 2012; 11: 50.
- [7] Song P, Zhu Y, Mao X, et al. Assessing spatial accessibility to maternity units in Shenzhen, China. *PLoS One* 2013;8(7): e70227.
- [8] 国土交通省国土地理院. GIS とは.
<http://www.gsi.go.jp/GIS/whatisgis.html> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [9] Esri Japan. GIS 基礎解説.
<https://www.esri.com/gis-guide/arcgis-basic/layer-map/> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [10] 矢野 桂司. GIS をベースとした国勢調査のデータ公開の現状と課題：日本と英国の比較を通して. *立命館文学* 2017; 650: 263-282.
- [11] 石川 ベンジャミン光一. 大規模医療データの GIS 分析：その現状と課題. *医療と社会* 2016; 26(1): 61-72.
- [12] 株式会社エム・イー振興協会. MRI 設置施設名簿. *月刊新医療* 2014; 41(6): 162-171.
- [13] 株式会社エム・イー振興協会. マルチスライス CT 設置施設名簿. *月刊新医療* 2014; 41(11): 162-173.
- [14] 北海道保健福祉部地域医療推進局医務薬務課. 医療機関名簿.
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/hf/iyk/soukatsu/newindex/iykgroup.htm> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [15] 東京大学空間情報科学研究センター. CSV アドレスマッチングサービス.
<http://newspat.csis.u-tokyo.ac.jp/geocode/> (Accessed 10 Dec. 2017)

- [16] Google Maps. Geocoding.
<https://www.geocoding.jp/> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [17] 国土交通省国土政策局国土情報課. 国土数値情報ダウンロードサービス.
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [18] 国土交通省. 平成 22 年度道路交通センサス 一般交通量調査.
<http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/index.html> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [19] OECD iLibrary. Health at a Glance 2013.
http://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/health-at-a-glance-2013/medical-technologies_health_glance-2013-33-en (Accessed 10 Dec. 2017)
- [20] 厚生労働省. 地域医療構想.
<http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000080850.html> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [21] 米国医療機器・IVD 工業会. 日本の医療と先進医療技術に関する意識調査. 2011

第5章 北海道における急性期脳梗塞診療への地理的アクセシビリティ

5-1 はじめに

急性期脳梗塞の治療には、その優れた治療効果から rt-PA (recombinant tissue plasminogen activator) 静注療法が行われており、主幹脳動脈閉塞の患者に対しては機械的血栓回収療法を追加的に行うことで、良好な転帰をもたらすことが報告されている[1]。世界的にも機械的血栓回収療法の有用性の高さから、治療を提供するためのシステム構築が望まれている[2]。しかし、現在の日本において急性期脳梗塞診療の提供体制は十分に確立されているとは言えない。端らは2008年9月までのrt-PA静注療法実施状況を調査し、全国358二次医療圏で65歳以上人口10万人当たりの使用症例数の年次別推移について、1年目には10例未満の二次医療圏が56%であり、3年目には33%に減少したが、3年目においても67医療圏(19%)で1例も使用されなかったことを報告している[3]。また、岡田らは、脳卒中救急医療体制には地域格差があり、特に低人口密度地域の体制整備が遅れていることを示唆している[4]。比較的新しい治療法である機械的血栓回収療法については、専門医の育成などを含めて提供体制の整備は未だ十分に進んでいない。

急性期脳梗塞治療は発症から治療開始までの時間が短いほど効果があるため、治療可能施設へのアクセスのしやすさを表す地理的アクセシビリティを測定することは地域格差を評価する一つの指標になる。Imaiらは、日本の47都道府県から人口密度の異なる5つの県について、rt-PA静注療法が可能な病院から自動車で30分および60分以内の地域をGIS (Geographic information system) 分析により同定し、60分以内に病院に到達できない人口は0.65%から8.3%であったことを報告している[5]。西條らは、GISソフトウェアを利用し、北海道の脳卒中急性期医療拠点病院への自動車アクセス時間を推定しており、その平均時間が60分以上となる二次医療圏が6医療圏存在していたことを報告している[6]。これらの研究は、rt-PA静注療法が提供可能な施設への地理的アクセシビリティの分析であり、比較的新しい治療法である機械的血栓回収療法が提供可能な施設を含めた地理的アクセシビリティの地域格差はこれまでに明らかになっていない。

今後、日本において急性期脳梗塞治療の実施率を高める方法として、行政の積極的関与としての政策誘導が上げられる。改革についての計画を策定し実行していく上で、現状を正しく把握するとともに、政策実行によってもたらされた結果を評価する必要があるため、データを基にした客観的な指標が不可欠である。本研究の目的は、人口分布に特徴を有する北海道を対象として、急性期脳梗塞診療の提供体制の地域格差を明らかにすることである。本研究では、rt-PA静注療法および機械的血栓回収療法を提供する施設への地理的アクセシビリティを算出し、地域格差に関する定量的な指標の提示を試みる。また、脳卒中診療専門医師

に関する地理的分布の均一性を評価する。

5-2 方法

5-2-1 治療可能施設への地理的アクセシビリティの測定

本研究では、地域格差に関する定量的な指標として、到達圏外人口割合を算出した。図 5-1 に到達圏の概念図を示す。到達圏とは、ある施設から指定時間 t_0 内に到達可能な範囲であり、到達圏外のメッシュ内居住者は治療可能施設へのアクセスが困難であることを表す。到達圏外人口割合の考え方は、電気通信サービス業界で利用される人口カバー率に類似しており、人口カバー率は、携帯電話や PHS などのサービス提供地域において、全人口のうちどれくらいの割合で利用可能なかを示す指標のひとつである[7]。2013 年に総務省から発行された「広帯域移動無線アクセスシステムの高度化のための特定基地局の開設計画の認定申請マニュアル」では、人口カバー率の算出にあたって、人口データとして約 500m 四方のメッシュである「2 分の 1 地域メッシュ」を利用することとしている[8]。

本研究の対象は、医療サービス提供者を rt-PA 静注療法および機械的血栓回収療法が提供可能な施設、需要者を脳梗塞発症率の高い 65 歳以上人口とし、65 歳以上人口データは、2010 年の国勢調査に基づいた基準地域メッシュ（1km メッシュ）を利用した[9]。図 5-2 は北海道の 21 の二次医療圏であり、メッシュ内人口が上位 10%となる 125 人以上を赤色、125 人未満を灰色で表示し、白色は居住のない地域を表す。それぞれの二次医療圏の人口、面積を表 5-1 に示す。rt-PA 静注療法が提供可能な施設を北海道医療計画から [10]、機械的血栓回収療法が提供可能な施設を日本脳神経血管内治療学会北海道地方会のホームページからそれぞれ抽出し[11]、CSV アドレスマッチングサービスを用いて[12]、住所情報を緯度・経度情報に変換した。

到達圏を決定するための t_0 は、救急車による搬送を想定し、先行研究を基に当該医療施設へ自動車で 30 分および 60 分で到達可能な範囲とし [5]、ArcMap 10.2 (Esri Japan) の Network Analyst 機能を用いて決定した。道路情報は ArcGIS Data Collection 道路網 2012 北海道地方版を用いた。なお、北海道ではドクターヘリによる搬送も行われているが、主たる救急搬送の手段は救急車であるため、本研究からは除外した。得られた到達圏と各二次医療圏に対して、エリア同士の重なり部分を抽出するインターセクト処理を行い、インターセクト処理によって得られたエリア内の 65 歳以上メッシュ人口を合計し、各二次医療圏人口から減算することで到達圏外人口を算出した。到達圏とメッシュが一部重なる場合は、過小評価を避けるために当該メッシュの全人口を合計した。最終的に、各二次医療圏の到達圏外人口を各二次医療圏人口で除すことで、到達圏外人口割合を算出した。

表 5-1 北海道の各二次医療圏の 65 歳以上人口と面積

	二次医療圏	65 歳以上人口	面積 (km ²)	人口密度 (人/km ²)
1	南渡島	110,612	2,670	41.4
2	南檜山	8,475	1,423	6.0
3	北渡島檜山	12,579	2,474	5.1
4	札幌	483,723	3,540	136.7
5	後志	71,300	4,306	16.6
6	南空知	55,514	2,563	21.7
7	中空知	38,847	2,161	18.0
8	北空知	12,526	1,067	11.7
9	西胆振	59,598	1,356	43.9
10	東胆振	50,152	2,342	21.4
11	日高	20,218	4,812	4.2
12	上川中部	109,266	4,238	25.8
13	上川北部	21,558	4,197	5.1
14	富良野	12,119	2,184	5.5
15	留萌	17,066	4,020	4.2
16	宗谷	18,442	4,051	4.6
17	北網	60,816	5,542	11.0
18	遠紋	22,950	5,148	4.5
19	十勝	85,963	10,828	7.9
20	釧路	62,715	5,997	10.5
21	根室	18,444	3,540	5.2
	北海道合計	1,352,882	78,459	17.2

5-2-2 脳卒中診療専門医師の地理的分布の偏在評価

これまで、地理的な医療資源の適正配置問題については医師偏在に関する多くの報告があり、偏在の指標のひとつとしてジニ係数が用いられている[13,14]。ジニ係数は社会における所得分配の不平等さを測る経済指標であり、医療分野では対象地域の医療資源数が人口に対してどの程度均一に分布しているかを表す指標として応用されている。ジニ係数の算出のために、まず二次医療圏を医療資源数／人口比でランク付けし、最低ランクから各圏域

の累積医療資源数を縦軸、累積人口を横軸とする座標平面上にプロットしたローレンツ曲線を描いた。ジニ係数はローレンツ曲線と完全均一線との間の面積を完全均一線の下の方の三角形の面積（0.5）で割った値として定義される。ジニ係数は、0 から 1 の間で変化し、完全均一を 0 として値が大きいほど分布が不均一であることを表す。本研究では、急性期脳梗塞診療に関わる医療資源を脳卒中診療専門医師と定義し、脳神経外科専門医および日本脳神経血管内治療学会認定専門医（以下、血管内治療認定医）とした。脳神経外科専門医数は日本脳神経外科学会ホームページに公開されている医師リストを参照し、rt-PA 静注療法が提供可能な施設について 2016 年 12 月 10 日時点に登録されている脳神経外科専門医を抽出した[15]。血管内治療認定医数は脳神経外科専門医と同様の方法で、日本脳神経血管内治療学会北海道地方会ホームページに公開されている医師リストを参照し、機械的血栓回収療法が提供可能な施設について血管内治療認定医を抽出した[11]。専門医の偏在の度合いについては、二次医療圏ごとに整備が行われている病床、および常勤の全医師についてそれぞれジニ係数を算出し、比較評価を行った。常勤の全医師数は 2015 年病院報告[16]、病床数は北海道医療計画[10]からそれぞれ抽出した。

5-3 結果

北海道において、rt-PA 静注療法が提供可能な施設は 55 施設、機械的血栓回収療法が提供可能な施設は 29 施設存在した。rt-PA 静注療法が提供可能な施設の 60 分および 30 分到達圏を図 5-3 に、機械的血栓回収療法が提供可能な施設の到達圏を図 5-4 に示す。図中の“H”は治療提供が可能な施設の所在地を表し、青色は 30 分到達圏、緑色は 60 分到達圏を表す。また、rt-PA 静注療法および機械的血栓回収療法が提供可能な施設の到達圏外に居住する 65 歳以上人口と到達圏外人口割合を表 5-2、表 5-3 に示す。到達圏外人口割合は、rt-PA 静注療法が提供可能な施設について、60 分圏外が 11.2%、30 分圏外が 21.0%であった。同様に、機械的血栓回収療法が提供可能な施設について、60 分圏外が 17.8%、30 分圏外が 30.4%であった。地理的アクセシビリティは地域によって大きく異なっており、アクセシビリティの低い地域は人口密度の低い二次医療圏に集中していた。「根室」に居住する高齢者はいずれの治療施設に対しても 60 分以内にアクセスすることができないことが明らかとなった。また、「南檜山」、「日高」、「富良野」、「遠紋」に居住する高齢者はいずれの治療施設に対しても 30 分以内にアクセスすることができないことが明らかとなった。「北渡島檜山」、「留萌」、「宗谷」の約 60%の高齢者人口は rt-PA 静注療法が提供可能な施設へはアクセス可能であるが、機械的血栓回収療法が提供可能な施設へは 60 分以内にアクセスすることができないことが明らかとなった。

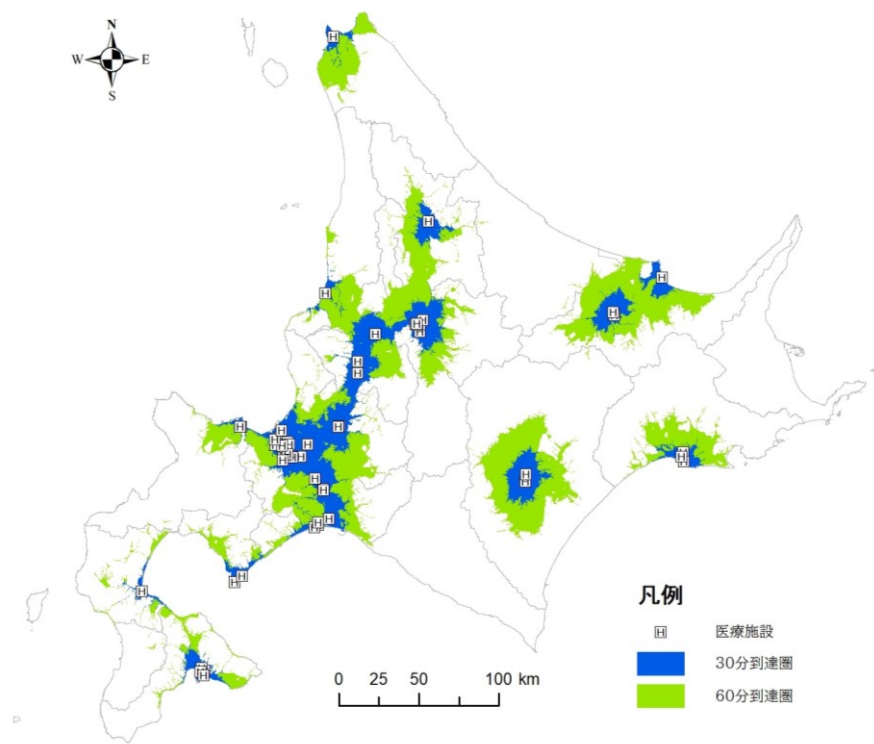


図 5-3 rt-PA 静注療法が提供可能な施設の到達圏

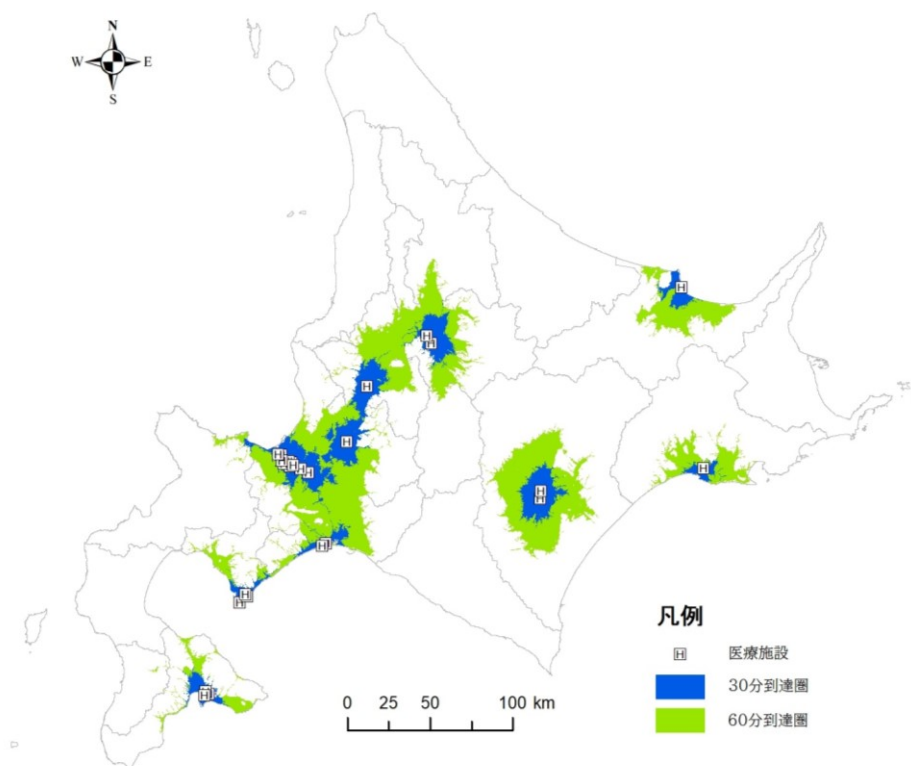


図 5-4 機械的血栓回収療法が提供可能な施設の到達圏

表 5-2 rt-PA 静注療法が提供可能な施設の到達圏外に居住する 65 歳以上人口と割合

	二次医療圏	60 分到達圏外		30 分到達圏外	
		人口	(%)	人口	(%)
1	南渡島	6,866	(6.2)	20,272	(18.3)
2	南檜山	7,982	(94.2)	8,475	(100)
3	北渡島檜山	4,980	(39.6)	8,573	(68.2)
4	札幌	783	(0.2)	2,412	(0.5)
5	後志	19,699	(27.6)	27,563	(38.7)
6	南空知	783	(1.4)	9,867	(17.8)
7	中空知	19	(0.0)	7,158	(18.4)
8	北空知	0	(0.0)	241	(1.9)
9	西胆振	1,614	(2.7)	16,012	(26.9)
10	東胆振	1,173	(2.3)	10,131	(20.2)
11	日高	19,454	(96.2)	20,218	(100)
12	上川中部	101	(0.1)	5,392	(4.9)
13	上川北部	882	(4.1)	11,027	(51.1)
14	富良野	9,058	(74.7)	12,119	(100)
15	留萌	5,889	(34.5)	7,695	(45.1)
16	宗谷	7,562	(41.0)	9,137	(49.5)
17	北網	1,988	(3.3)	21,420	(35.2)
18	遠紋	20,514	(89.4)	22,950	(100)
19	十勝	14,407	(16.8)	29,203	(34.0)
20	釧路	9,254	(14.8)	15,436	(24.6)
21	根室	18,444	(100)	18,444	(100)
北海道合計		151,452	(11.2)	283,744	(21.0)

表 5-3 機械的血栓回収療法が提供可能な施設の到達圏外に居住する 65 歳以上人口と割合

	二次医療圏	60 分到達圏外		30 分到達圏外	
		人口	(%)	人口	(%)
1	南渡島	8,818	(8.0)	20,897	(18.9)
2	南檜山	8,251	(97.4)	8,475	(100)
3	北渡島檜山	12,579	(100)	12,579	(100)
4	札幌	857	(0.2)	31,240	(6.5)
5	後志	22,574	(31.7)	42,855	(60.1)
6	南空知	3,102	(5.6)	12,924	(23.3)
7	中空知	19	(0.0)	8,144	(21.0)
8	北空知	62	(0.5)	12,318	(98.3)
9	西胆振	1,451	(2.4)	15,258	(25.6)
10	東胆振	1,488	(3.0)	11,605	(23.1)
11	日高	20,218	(100)	20,218	(100)
12	上川中部	1,923	(1.8)	8,075	(7.4)
13	上川北部	14,289	(66.3)	21,558	(100)
14	富良野	9,058	(74.7)	12,119	(100)
15	留萌	17,066	(100)	17,066	(100)
16	宗谷	18,442	(100)	18,442	(100)
17	北網	34,163	(56.2)	50,870	(83.6)
18	遠紋	22,948	(100)	22,950	(100)
19	十勝	14,414	(16.8)	29,203	(34.0)
20	釧路	10,301	(16.4)	15,917	(25.4)
21	根室	18,444	(100)	18,444	(100)
北海道合計		240,466	(17.8)	411,157	(30.4)

病床、常勤の全医師、脳神経外科専門医、血管内治療認定医のローレンツ曲線を図 5-5 に示す。病床、常勤の全医師、脳神経外科専門医、血管内治療認定医の総数は、それぞれ 72,430 床、7,675 人、256 人、47 人であり、ジニ係数は、それぞれ 0.18、0.21、0.44、0.65 であった。病床および常勤の全医師と比較して、北海道の脳卒中診療専門医は不均一に分布していた。図 5-5 の実線は、ジニ係数が 0 の完全に均一な分布を表す。血管内治療認定医を表す破線は、累積人口の 17.4%に達するまで X 軸を離れていなかった。これは、血管内治療認定医の配置されていない二次医療圏に 65 歳以上人口の 17.4%が居住していることを表す。

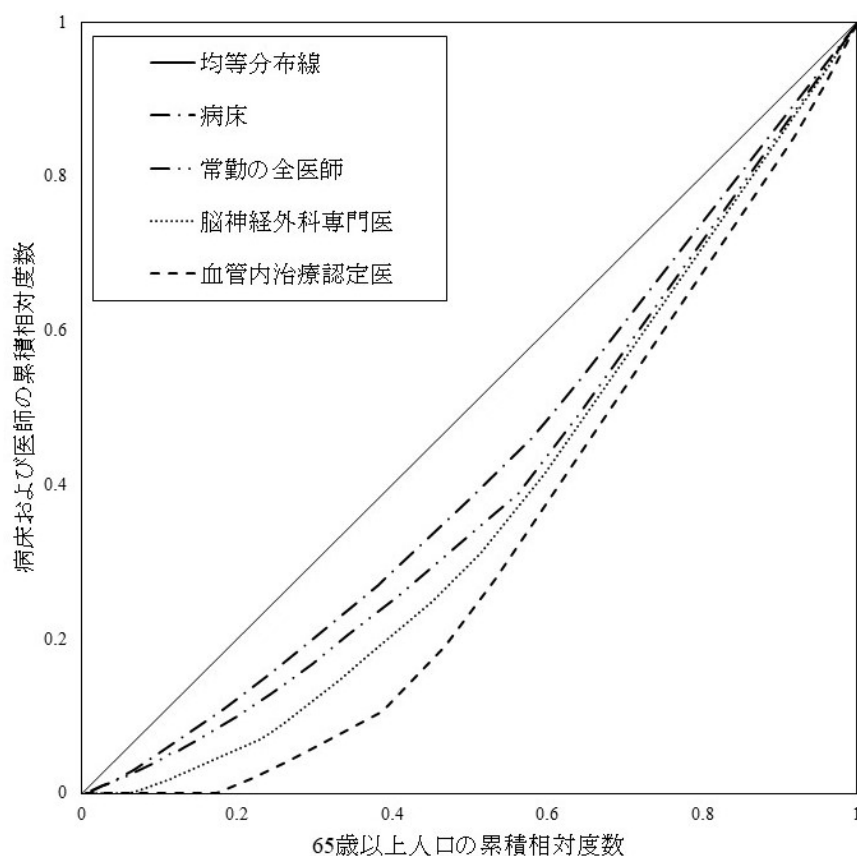


図 5-3 病床、常勤の全医師、脳神経外科専門医、血管内治療認定医のローレンツ曲線

5-4 考察

本研究は、北海道における急性期脳梗塞診療の提供体制の地域格差を明らかにすることを目的として、rt-PA 静注療法および機械的血栓回収療法を提供する施設への地理的アクセシビリティを算出した。その結果、北海道の急性期脳梗塞診療を提供する施設への地理的アクセシビリティは地域によって大きく異なっており、地域格差が生じていることが明らかとなった。本研究で対象とした北海道では、65 歳以上人口の 11.2%が rt-PA 静注療法が提供可能な施設から自動車で 60 分圏外に居住していた。Imai らは人口密度を 3 階級に分けた上

で、5つの県について rt-PA 静注療法が可能な施設への地理的アクセシビリティを比較しており、rt-PA 静注療法が可能な施設から 60 分圏外に居住する 65 歳以上人口の割合が最も高かった石川県で 14.2%であったと報告している[5]。到達圏外人口割合の結果からは、人口密度が低く、その分布が不均一な北海道において、他の都府県と同程度の急性期脳梗塞診療の提供体制が構築されていると言える。しかし、「根室」、「南檜山」、「日高」、「富良野」、「遠紋」は 65 歳以上人口の半数以上が 60 分圏外に居住し、かつ全ての 65 歳以上人口が 30 分圏外に居住していた。これらの地理的アクセシビリティの低い 5 圏域に居住する 65 歳以上人口は、北海道の 65 歳以上人口の 6.0%を占めており、その割合は少ない。また、機械的血栓回収療法が提供可能な施設への地理的アクセシビリティについて、全 21 圏域のうち 6 圏域において 60 分到達圏外人口割合が 100%であり、30 分到達圏では、さらに 3 圏域を加えた 9 圏域において到達圏外人口割合が 100%であった。この 9 圏域に居住する 65 歳以上人口は北海道の 65 歳以上人口の 11.2%を占めるに過ぎない。これらのことから、北海道において、人口の少ない地方を中心として地理的アクセシビリティが担保されておらず、主に人口の多い都市部およびその近郊でしか急性期脳梗塞診療が提供されていないことが示唆された。

脳卒中診療専門医師は、常勤の全医師と比較して北海道の二次医療圏単位では不均一に分布していた。特に、血管内治療認定医が配置されていない二次医療圏に、65 歳以上人口の 17.4%が居住していたことが明らかとなった。日本における都市部と地方の専門医数の格差は、小児科医などでも指摘されている[17]。米国でも、小児麻酔科医について GIS による到達圏分析とジニ係数による分布の分析がなされており、Muffly らは米国における小児麻酔科医の不均一な分布を指摘している[18]。この先行研究では、小児麻酔科医のジニ係数は 0.32 であったと報告されており、本研究では脳神経外科専門医のジニ係数が 0.44、血管内治療認定医が 0.65 と高いことから、脳卒中診療専門医師の北海道における偏在が示唆された。

医療の均てん化の視点からは、脳卒中診療専門医師の偏在、および地理的アクセシビリティの低い地域への対策が必要と考えられる。現在、日本では将来の医療需要と病床の必要量の予測から機能分化が推進されており[19]、急性期型の病床は減少の方向にあるため、地理的アクセシビリティの低い地域へ単純に病院や脳卒中センターなどの医療資源を投入することは推奨されない。米国のガイドラインでは、rt-PA 静注療法について地域格差を縮小するための方法の一つとして、Telestroke システムの導入が推奨されている[20]。Telestroke とは、Telemedicine（遠隔医療）や Teleradiology（遠隔放射線診断）を脳卒中救急医療に応用することを表す。Kageji らは、徳島県において Telestroke システムを導入し、救急病院の一般

医が遠隔医療を利用して脳卒中診療専門医師の指示の下で rt-PA 静注療法を行ってから脳卒中センターへ搬送する“Drip and Ship”が安全かつ効果的な治療に貢献したことを報告している[21]。また、藤原らは、北海道において医師と比較して CT と MRI のような画像診断装置は均一に分布していたことを報告しており[22]、急性期脳梗塞治療前に必要な CT、MRI による画像診断については、それを提供することが可能な施設配置になっていると考えられる。これらを考慮すると、rt-PA 静注療法が可能な施設への地理的アクセシビリティの低い「根室」、「南檜山」、「日高」、「富良野」、「遠紋」については、治療提供が可能な施設までは搬送時間を要するものの、それらの地域に配置されている画像診断装置を活用した Telestroke システムを構築することで、急性期脳梗塞診療提供体制の地域格差を縮小できる可能性がある。一方で、「北渡島檜山」、「留萌」、「宗谷」のように、rt-PA 静注療法が提供可能な施設へはアクセス可能であるが、機械的血栓回収療法が提供可能な施設へは 60 分以内にアクセスすることができない地域もある。血管内治療認定医については著しい偏在があるため、地理的アクセシビリティの平等性を目指す対策は困難であると考えられる。急性期脳梗塞治療の時間的制約を考慮すると、発症から治療までの時間は「発症から病院到着までの時間」と「病院到着から治療までの時間」に分けられ、そのいずれも可能な限り短縮することが求められる[23]。病院到着から治療までの時間を表す DTN (Door to needle time) を短縮させるシステムについて、これまでに多くの報告がなされており[24-26]、DTN の短縮によって発症から病院到着までの時間を確保することも対策の一つとして上げられる。

本研究の限界として、到達時間に設定した 30 分および 60 分は、当該施設への自動車での移動を想定したものであり、発症から通報までの時間、覚知から救急車が現場に到着するまでの時間を考慮していない点があげられる。北海道において覚知から現場到着までの所要時間の平均は平均 7.6 分と報告されているが[27]、住所情報を含む詳細な情報は明らかにされていない。より現実に近い結果を算出するには、救急車の配置状況などを調査した結果をモデルに組み込んだシミュレーションが必要と考えられる。次に、分析に使用した医療施設は治療が可能な施設として一律に扱っている点があげられる。施設によって医師や病床等の医療資源数は異なるため、診療内容に差が生じる可能性がある。アンケート調査などによって施設の診療状況を把握し、特徴を抽出した上でモデルに組み込む必要があると考えられる。

5-5 結論

北海道の 65 歳以上人口の 11.2%、21.0%は、rt-PA 静注療法が提供可能な施設からそれぞれ自動車で 60 分圏外、30 分圏外に居住しており、同様に、17.8%、30.4%は、機械的血栓回

収療法が提供可能な施設からそれぞれ 60 分圏外、30 分圏外に居住していたことが明らかとなった。北海道において、治療提供が可能な施設への地理的アクセシビリティには大きな地域格差が存在しており、急性期脳梗塞診療は主に人口の多い都市部およびその近郊でしか提供されていないことが示唆された。また、脳卒中診療専門医師の分布は病床および常勤の全医師の分布と比較して不均一であり、脳卒中診療専門医師の地域偏在が示唆された。本研究の結果は、急性期脳梗塞患者への医療供給体制構築に関する適切な資源配分を実現するために、有用な情報を提供するものと考えられる。

参考文献

- [1] 日本脳卒中学会, 脳卒中ガイドライン委員会. 脳卒中治療ガイドライン 2015 [追補 2017].
- [2] Goyal M, Menon BK, van Zwam WH, et al. Endovascular thrombectomy after large-vessel ischaemic stroke: a meta-analysis of individual patient data from five randomised trials. *Lancet* 2016; 387: 1723–31.
- [3] 端 和夫, 児玉 南海雄, 福内 靖男, 他. 我が国における脳梗塞 rt-PA (アルテプラゼ) 静注療法の普及～日本脳卒中学会脳卒中医療向上・社会保険委員会適正使用部会の取り組みと成果～. *脳卒中* 2010; 32: 1–11.
- [4] 岡田 靖, 峰松 一夫, 小川 彰, 他. rt-PA (アルテプラゼ) 静注療法の承認後 4 年間の全国における実施状況調査～地域格差の克服に向けて～. *脳卒中* 2010; 32(4): 365–72.
- [5] Imai T, Sakurai K, Hagiwara Y, et al. Specific needs for telestroke networks for thrombolytic therapy in Japan. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2014; 23(5): 811–6.
- [6] 西條 泰明, 中木 良彦, 川西 康之, 他. 北海道における脳梗塞アルテプラゼ静注療法拠点病院への自動車アクセス時間と地域格差改善. *厚生の指標* 2015; 62(5): 1–6.
- [7] 電気通信サービス向上推進協議会. 電気通信サービスの広告表示に関する自主基準及びガイドライン. 2015
- [8] 総務省. 広帯域移動無線アクセスシステムの高度化のための特定基地局の開設計画の認定申請マニュアル. 2013
- [9] 国土交通省国土政策局国土情報課. 国土数値情報ダウンロードサービス
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gmlold/index.html> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [10] 北海道. 北海道医療計画〔改訂版〕. 2013
- [11] 日本脳神経血管内治療学会北海道地方会. 日本脳神経血管内治療学会認定専門医の在籍する施設.
<http://jsnet.hkdo.jp/> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [12] 東京大学空間情報科学研究センター. CSV アドレスマッチングサービス.
<http://newspat.csis.u-tokyo.ac.jp/geocode/> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [13] Kobayashi Y, Takaki H. Geographic distribution of physicians in Japan. *Lancet* 1992; 340: 1391–3.
- [14] Matsumoto M, Inoue K, Farmer J, et al. Geographic distribution of primary care physicians in Japan and Britain. *Health & Place* 2010; 16: 164–6.
- [15] 日本脳神経外科学会. 地域別専門医リスト.
https://www.jnss.or.jp/jns_web/jsp_pub/map.jsp (Accessed 10 Dec. 2017)

- [16] e-Stat 政府統計の総合窓口. 病院報告.
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000001030749> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [17] Sasaki H, Otsubo T, Imanaka Y. Widening disparity in the geographic distribution of pediatricians in Japan. *Human Resources for Health* 2013; 11: 59.
- [18] Muffly MK, Medeiros D, Muffly TM, et al. The Geographic Distribution of Pediatric Anesthesiologists Relative to the U.S. Pediatric Population. *Anesth Analg*. 2017; 125(1): 261-267.
- [19] 厚生労働省. 医療計画について (医政発 0731 第 4 号) . 2017
- [20] Jauch EC, Saver JL, Adams HP Jr, et al. Guidelines for the Early Management of Patients With Acute Ischemic Stroke: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/ American Stroke Association. *Stroke* 2013; 44: 870-947.
- [21] Kageji T, Obata F, Oka H, et al. Drip-and-Ship Thrombolytic Therapy Supported by the Telestroke System for Acute Ischemic Stroke Patients Living in Medically Under-served Areas. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 2016; 56: 753–8.
- [22] 藤原 健祐, 谷川原 綾子, 谷川 琢海, 他. 北海道における放射線診療資源の地理的分布の経年比較 —ジニ係数とハーフィンダー・ハーシュマン指数を用いた分析—. *日本放射線技術学会雑誌* 2016; 72(10): 970-977.
- [23] Ingall T J. Intravenous Thrombolysis for Acute Ischemic Stroke -Time Is Prime. *Stroke* 2009; 40(6): 2264-5.
- [24] Meretoja A, Strbian D, Mustanoja S, et al. Reducing in-hospital delay to 20 minutes in stroke thrombolysis. *Neurology* 2012; 79: 306–313.
- [25] Meretoja A, Weir L, Ugalde M, et al. Helsinki model cut stroke thrombolysis delays to 25 minutes in Melbourne in only 4 months. *Neurology* 2013; 81: 1071–1076.
- [26] Xian Y, Smith E E, Zhao X, et al. Strategies used by hospitals to improve speed of tissue-type plasminogen activator treatment in acute ischemic stroke. *Stroke* 2014; 45(5): 1387-95.
- [27] 総務省消防庁. 平成 28 年版 救急救助の現況. 2016.

第 6 章 急性期脳梗塞診療に係る医療資源の適切な配置の検討

6-1 はじめに

現在、急性期脳梗塞の治療法として、遺伝子組み換え組織型プラスミノゲン・アクティベーター（recombinant tissue-type plasminogen activator: rt-PA）の静脈内投与が実施されている。近年では、ランダム化比較試験によって前方循環の主幹脳動脈閉塞による急性期脳梗塞症例に対して、rt-PA 静注療法に加えて機械的血栓回収療法を行うことが、rt-PA 静注療法単独治療の場合よりも良好な転帰をたどることが示された[1,2]。日本の脳卒中治療ガイドラインにおいても、画像診断などに基づく治療適応判定がなされた急性期脳梗塞に対し、rt-PA 静注療法に追加して、発症 6 時間以内に機械的血栓回収療法を開始することが強く勧められている[3]。経皮経管的脳血栓回収用機器適正使用指針では、日本脳神経血管内治療学会認定脳血管内治療専門医（以下、認定医）、またはそれに準ずる経験を有する医師が機械的血栓回収療法に関わる診療にあたるように推奨されている[4]。北海道の認定医は日本脳神経血管内治療学会北海道地方会ホームページに公開されており、2017 年 5 月時点において、29 施設に 47 人が在籍していた[5]。これだけの認定医によって機械的血栓回収療法を北海道全域に提供することは困難であるため、現在、北海道大学では、北海道大学に所属する認定医が、札幌市近郊の認定医のいない別の医療機関に出向いて機械的血栓回収療法を実施する「認定医派遣型システム」によって、治療可能エリアを拡大する試みを行っている[6]。

機械的血栓回収療法の提供体制について、Fujiwara らは、北海道を対象に急性期脳梗塞治療の提供が可能な施設からの到達圏を基に到達圏外人口割合を算出し、それを地理的アクセシビリティの指標として分析している[7]。この研究では、急性期脳梗塞治療の提供が可能な施設への地理的アクセシビリティには大きな地域格差が存在しており、急性期脳梗塞診療は主に人口の多い都市部およびその近郊でしか提供されておらず、rt-PA 静注療法と比較して機械的血栓回収療法の地域格差が大きいことを指摘している。Takagi らは、日本における機械的血栓回収療法の現状を把握する目的で、日本脳神経血管内治療学会に登録されている全国の 1324 施設に対し、機械的血栓回収療法に関する診断と治療のシステム、2014 年 1 月から 2016 年 9 月における症例数、治療に関連する時間等についてアンケート調査を実施している[8]。この研究では、回答のあった 159 施設の年間症例数について、施設の 47% で 10 例以下、78% で 20 例以下であり、施設あたりの年間症例数は高くなかったことを報告している。機械的血栓回収療法は、2015 年に大規模国際臨床研究で有効のエビデンスが得られた比較的新しい治療法であるため、日本における治療の実施状況や治療提供体制について十分に明らかにされていない。しかし、これらの先行研究の知見からは、治療を提供するための体制の整備は、日本において、まだ十分に進んでいないことが予想される。

脳梗塞による死亡を防ぎ、要介護状態に至る患者を減少させるためには、機械的血栓回収療法による治療が有効であり、発症後速やかに適切な診療を可能とする医療提供体制の構築が必要である。本研究の目的は、急性期脳梗塞診療に存在する地域格差の是正に必要な政策の策定に資する情報を提供することであり、北海道を対象として、機械的血栓回収療法に関する医療資源の配置について、医療の公平性を表す一つの指標である地理的アクセシビリティを考慮した分析を基に、治療提供体制の現状把握を行う。また、将来推計人口を基に脳梗塞発症リスクの高い患者分布を推定し、その分布に適した施設配置について、医療費の適正化の視点から既存の医療資源を活用した配置案の提示を試みる。

6-2 方法

6-2-1 認定医派遣型システムの構築による効果の測定

本研究では、適切な医療提供体制の構築に向けて、既存の医療資源を活用した認定医派遣型システムを北海道全域で構築することを想定した。認定医派遣型システムの概念図を図 6-1 に示す。Hub 施設は、認定医が所属する 29 施設であり、認定医の派遣元となる。Spoke 施設は、認定医派遣型システムが適合する施設であり、認定医の派遣先となる。機械的血栓回収療法を実施するには、手技を行う認定医以外にも多くの医療資源が必要となる。本研究では、機械的血栓回収療法に必要な医療資源として、手技に用いられる血管造影システム、および画像診断に用いられる CT に着目した。これらを保有する施設を、認定医の配置によって治療が可能となる「候補施設」とし、Hub 施設から自動車の移動によって 60 分で到達可能な候補施設を Spoke 施設とした。また、Hub 施設および Spoke 施設が治療提供可能なエリアは、先行研究を基に自動車の移動によって 60 分で到達可能なエリアとした[7]。図中の赤色および青色の楕円はそれぞれ Hub 施設および Spoke 施設の 60 分到達圏であり、患者 A は Hub 施設の到達圏内に居住しているため、機械的血栓回収療法による治療を受けることが可能であることを表す。患者 B は Hub 施設の到達圏外に居住しているが、Spoke 施設の到達圏内に居住しているため、認定医派遣型システムの運用により治療を受けることが可能となるが、患者 C はいずれの施設についても到達圏外に居住しているため、発症から早期に治療を受けることが困難であることを表す。

候補施設は、文献の設置施設名簿から抽出し[9,10]、それぞれの施設の住所を基に緯度・経度情報に変換した。対象は、脳梗塞の発症率が高いと予想される 65 歳以上人口とし、2010 年の国勢調査に基づく 1km メッシュを利用した。現在の機械的血栓回収療法の提供体制を表す「Hub 施設のみ」、すべての候補施設において機械的血栓回収療法の提供が可能とした場合の供給余力を表す「Hub 施設+候補施設」、認定医派遣型システムを北海道全域で構築し

た場合を表す「Hub 施設+Spoke 施設」について、それぞれ 60 分到達圏を算出し、到達圏内に居住する 65 歳以上人口を二次医療圏ごとに集計した。得られた人口を二次医療圏人口で除すことで患者カバー率を算出し、地理的アクセシビリティの指標とした。

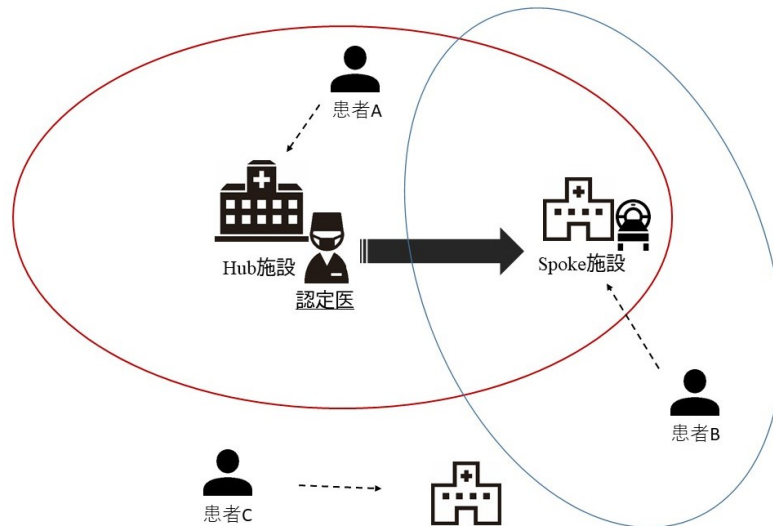


図 6-1 医師派遣型システムの概念図

6-2-2 認定医の効率的な配置の検討

本研究では、医療の需要を脳梗塞発症リスクの高い患者、供給を機械的血栓回収療法の提供が可能な施設として、将来的な医療の需給バランスを評価した。脳梗塞発症リスクの高い患者が多く居住するメッシュの分布は、国土数値情報ダウンロードサービス（国土交通省国土政策局国土情報課）が提供している将来推計人口基準地域メッシュの 2050 年時点のデータを利用し[11]、0～14 歳、15 歳～64 歳、65 歳以上の年齢階級別人口に、それぞれの年齢階級の脳梗塞発症率を乗算し、メッシュごとに合計することで推定した。年齢階級ごとの脳梗塞発症率は、北海道が 2014 年、2015 年度に実施した脳卒中・急性心筋梗塞の急性期医療実態調査の結果を利用した[12]。脳梗塞発症率をそれぞれのメッシュに乗算すると 1 未満になるメッシュが多く存在するため、1 未満の二次医療圏ごとのメッシュを値の大きい順に並べ替え、各二次医療圏の年齢階級人口に脳梗塞発症率を乗算した値に一致するように、値の大きい方から 1 を割り振った。推定した患者分布を 2050 年時点の需要とし、現時点での Hub 施設および候補施設が 2050 年にも存在すると仮定して、限られた認定医を効率的に配置するにはどの候補施設を選択すべきかについて検討した。

本研究における効率的な配置の定義は、候補施設に認定医を配置することによって、その施設の 60 分到達圏内に、より多くの脳梗塞発症リスクの高い患者の居住地点を含むことを可能とする配置であり、以下の整数計画問題（MCLP: Maximal covering location problem）を

解くことで、全患者の居住地点数に対する到達圏内の患者居住地点数の割合である患者カバー率を最大化する配置を求めた[13,14]。なお、患者居住地点は基準地域メッシュの中心とした。

$$\text{Maximize: } \sum_{i=1}^n a_i y_i \quad \cdots (6.1)$$

$$\text{Subject to: } \sum_{j=1}^{N_i} x_j \geq y_i \quad \forall i \quad \cdots (6.2)$$

$$\sum_{j=1}^m x_j = p \quad \cdots (6.3)$$

$$x_j = \{0, 1\} \quad \forall j \quad \cdots (6.4)$$

$$y_i = \{0, 1\} \quad \forall i$$

ここで、 i は患者居住地点 ($i=1, 2, \dots, n$)、 j は候補施設地点 ($j=1, 2, \dots, m$)、 p は配置された施設の数である。 a_i は i における患者数であるが、本研究では患者居住地点を脳梗塞発症リスクの高い患者が居住する地点として一律に評価するため、 $a_i=1$ とした。 x_j は候補施設が j 地点に割り当たっていれば 1、そうでなければ 0 の 2 値変数であり、 y_i は患者居住地点 i が到達圏に含まれる場合は 1、そうでない場合は 0 の 2 値変数である。 N_i は、患者居住地点 i をカバーすることが可能な候補施設地点 j の集合である。(6.1)式より、目的は、配置された施設の到達圏内に含まれる患者数を最大化することである。(6.2)から(6.4)式は制約条件であり、(6.2)式により患者居住地点が候補施設によってカバーされているかどうかを確認し、(6.3)式により配置する施設の数指定し、(6.4)式により整数要件を課した。

既存の Hub 施設を固定し、候補施設に認定医を 1 施設ずつ増加させながら配置した場合の、患者カバー率の変動を検討した。解析は ArcMap 10.2 (Esri Japan) の Network Analyst 機能を用いて行い、道路情報は ArcGIS Data Collection 道路網 2012 北海道地方版を利用した。

6-3 結果

6-3-1 認定医派遣型システムの構築による効果

北海道において機械的血栓回収療法が提供可能な Hub 施設は 29 施設、CT および血管造影システムの両方を保有する候補施設は 95 施設存在した。2010 年の北海道における 65 歳以上人口は 1,352,882 人であり、Hub 施設のみ、Hub 施設+候補施設、Hub 施設+Spoke 施設を設定した場合の、北海道全体における患者カバー率を表 6-1 に示す。また、それぞれについての二次医療圏ごとの患者カバー率を図 6-2 に示す。機械的血栓回収療法の提供体制およ

び機械的血栓回収療法に必要な医療資源の配置状況について、北海道の二次医療圏単位では地域差が認められた。Hub 施設、Hub 施設+候補施設、Hub 施設+Spoke 施設の所在地および 60 分到達圏を、それぞれ図 6-3、図 6-4、図 6-5 に示す。Hub 施設+候補施設による北海道全体の患者カバー率は 94.2%であった。しかし、二次医療圏単位では日高医療圏の患者カバー率が 0%、富良野医療圏が 31.7%であり、他の二次医療圏と比較して低い割合であった。候補施設のうち、Spoke 施設は 76 施設存在し、Hub 施設+Spoke 施設による北海道全体の患者カバー率は 84.9%であった。本研究が想定した認定医派遣型システムの導入により、北海道全体の患者カバー率は 2.7%改善すると推定された。二次医療圏単位では、南檜山、北渡島檜山、日高、留萌、宗谷、遠紋、根室の 7 医療圏の患者カバー率が 3%以下であり、他の二次医療圏と比較して低い割合であった。

表 6-1 北海道全体における 65 歳以上人口の患者カバー率

	到達圏内人口	(%)
Hub 施設のみ	1,112,416	82.2
Hub 施設 + 候補施設	1,274,703	94.2
Hub 施設 + Spoke 施設	1,148,694	84.9

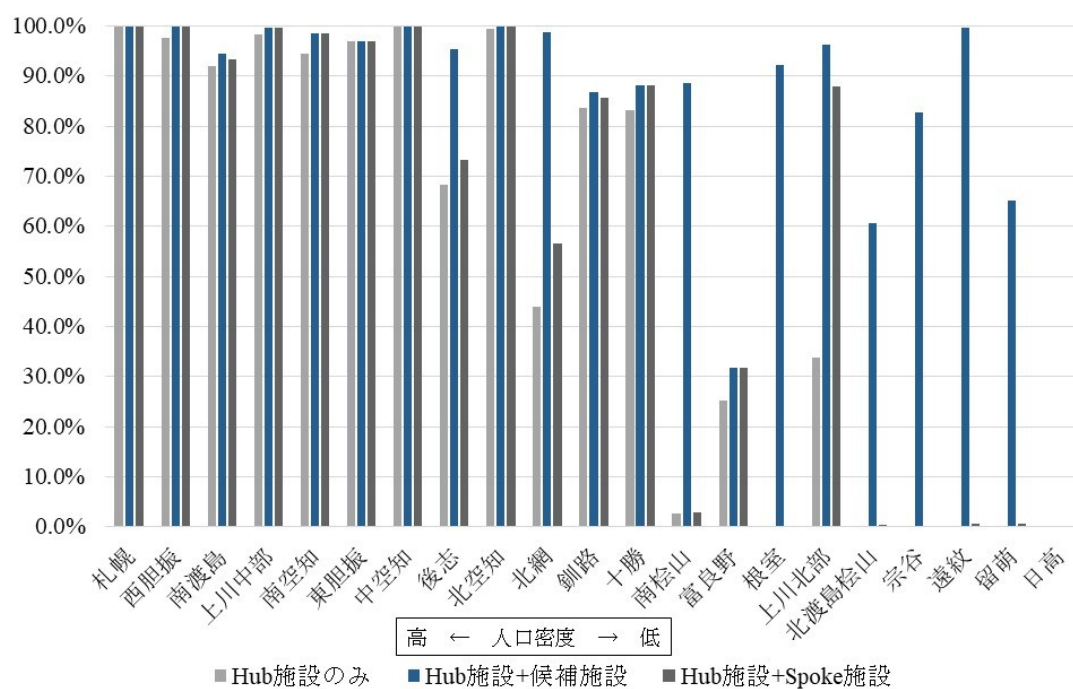


図 6-2 北海道の二次医療圏ごとの患者カバー率

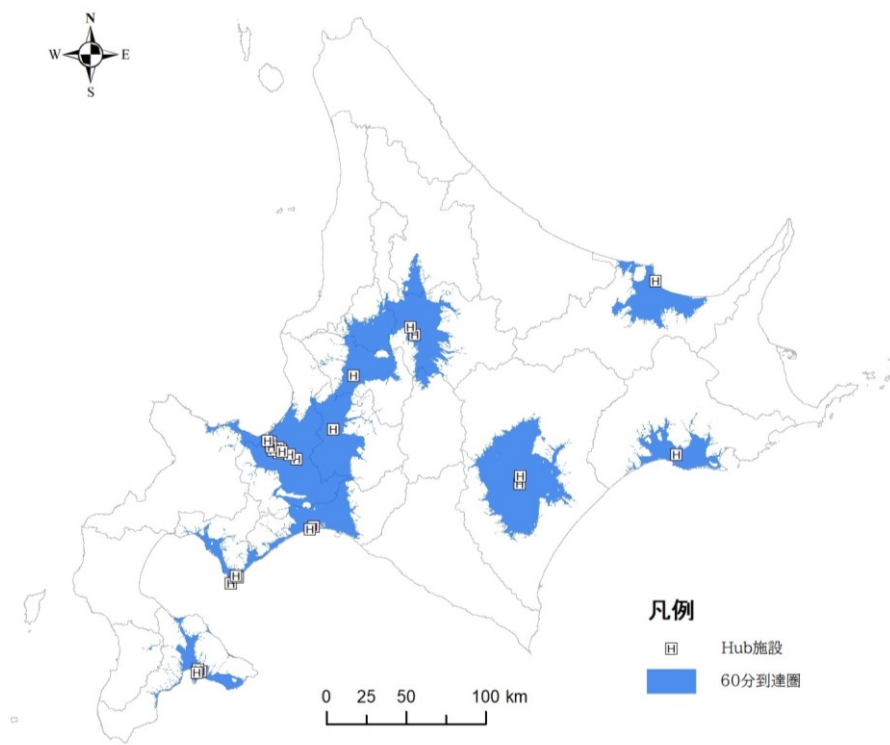


図 6-3 Hub 施設の所在地と 60 分到達圏

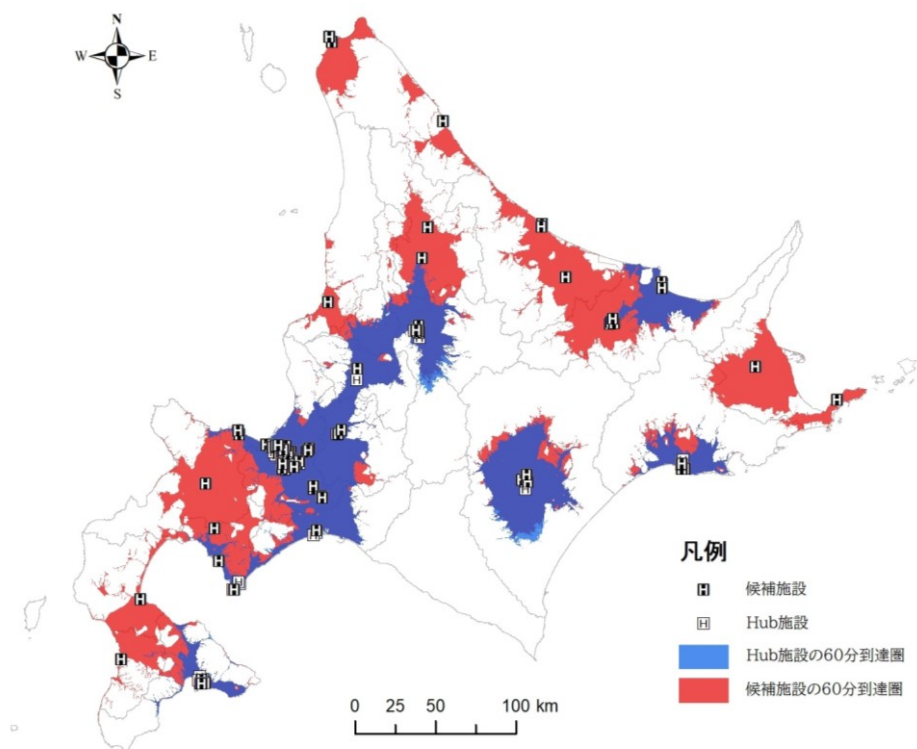


図 6-4 Hub 施設と候補施設の所在地と 60 分到達圏

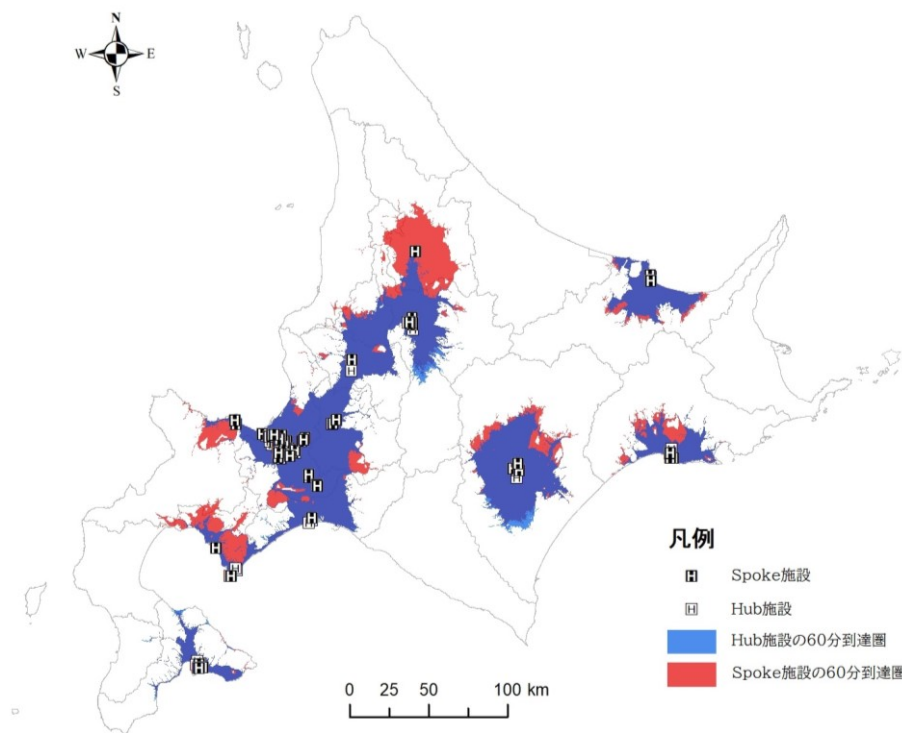


図 6-5 Hub 施設と Spoke 施設の所在地と 60 分到達圏

6-3-2 認定医の効率的な配置

図 6-6 は、推定された脳梗塞発症リスクの高い患者の分布であり、患者数が 0 と推定されたメッシュを灰色、1 と推定されたメッシュを赤色、1 よりも大きいメッシュを青色で表示した。患者数が 1 以上と推定されたメッシュは 2,458 区域であり、全患者数は 9,354 人（最大値：37、最小値：1）であった。表 6-2 に北海道に存在する Hub 施設の施設名および所在する二次医療圏を示す。29 施設存在する Hub 施設の 60 分到達圏内には 1,759 地点が含まれており、患者カバー率は 71.6%であった。既存の Hub 施設を固定し、候補施設に認定医を 1 施設ずつ増加させながら配置した場合の、施設の到達圏内に含まれる患者居住地点数の変動を図 6-7 に示す。21 施設から 23 施設まで増加させた時に、患者居住地点数は 1 地点ずつ増加するのみであり、24 施設目以降は増加しなかった。23 施設増加させた場合の、施設所在地点と患者-施設ネットワークを図 6-8 に示す。23 施設増加させた場合、到達圏内には 2,210 地点が含まれており、患者カバー率は 89.9%であった。表 6-3 に、23 施設まで増加させた時の、新たに配置された施設の施設名および所在する二次医療圏を選択された順に示す。12 施設目までは、既存の Hub 施設が存在しない二次医療圏へ配置されていた。12 施設増加させた場合の、施設所在地点と患者-施設ネットワークを図 6-9 に示す。12 施設増加させた時点で、60 分到達圏内には 2,161 地点が含まれ、患者カバー率は 87.9%であった。

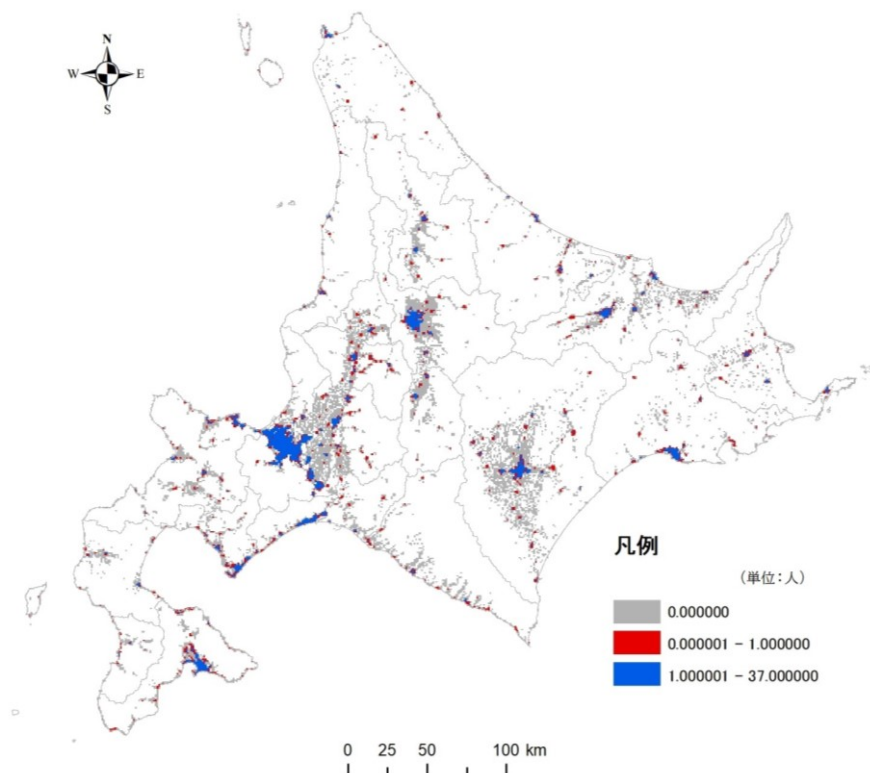


図 6-6 2050 年における脳梗塞発症リスクの高い患者の分布

表 6-2 北海道に存在する Hub 施設の施設名および所在する二次医療圏（順不同）

No	施設名	医療圏	No	施設名	医療圏
1	北海道大学病院	札幌	16	市立函館病院	南渡島
2	北海道脳神経外科記念病院	札幌	17	函館新都市病院	南渡島
3	国立病院機構北海道医療センター	札幌	18	函館脳神経外科病院	南渡島
4	札幌医科大学病院	札幌	19	釧路孝仁会記念病院	釧路
5	札幌秀友会病院	札幌	20	苫小牧日翔病院	東胆振
6	札幌白石記念病院	札幌	21	王子総合病院	東胆振
7	札幌宮の沢脳神経外科病院	札幌	22	帯広厚生病院	十勝
8	市立札幌病院	札幌	23	北斗病院	十勝
9	北海道大野記念病院	札幌	24	市立室蘭総合病院	西胆振
10	新さっぽろ脳神経外科病院	札幌	25	製鉄記念室蘭病院	西胆振
11	手稲溪仁会病院	札幌	26	大川原脳神経外科病院	西胆振
12	時計台記念病院	札幌	27	岩見沢脳神経外科（岩見沢）	南空知
13	中村記念病院	札幌	28	網走脳神経外科・リハビリテーション病院	北網
14	旭川医科大学病院	上川中部	29	砂川市立病院	中空知
15	旭川赤十字病院	上川中部			

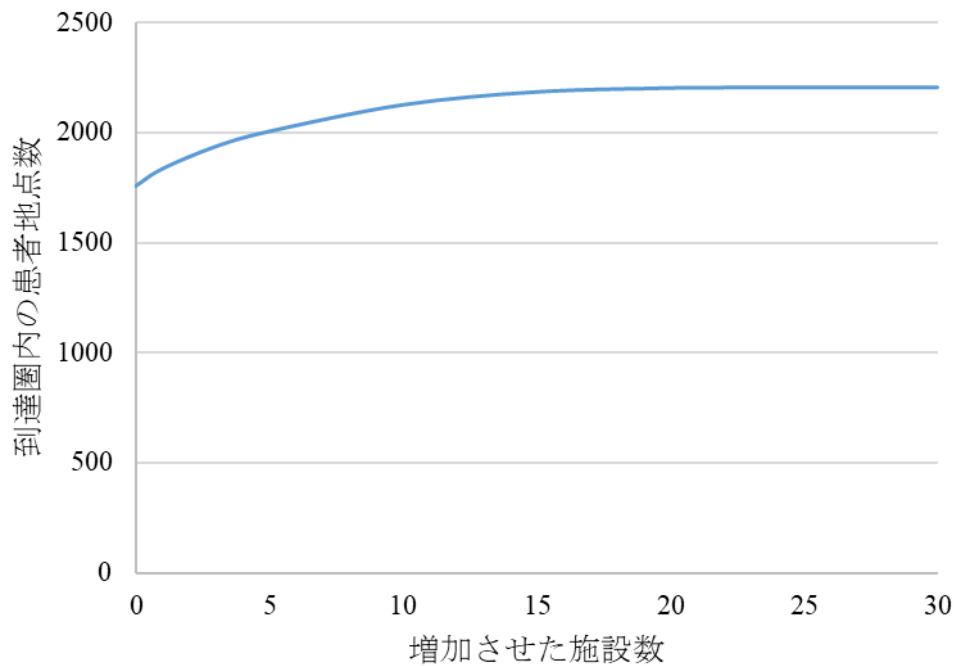


図 6-7 増加させた施設数と到達圏内の患者地点数の変動

表 6-3 新たに配置された施設の施設名および所在する二次医療圏

No	施設名	医療圏	No	施設名	医療圏
1	小林病院	北網	13	国立病院機構帯広病院	十勝
2	倶知安厚生病院	後志	14	こが病院	北網
3	町立中標津病院	根室	15	市立千歳市民病院	札幌
4	曾我クリニック	遠紋	16	島田脳神経外科	後志
5	名寄市立総合病院	上川北部	17	釧路赤十字病院	釧路
6	留萌市立病院	留萌	18	国立病院機構旭川医療センター	上川中部
7	八雲総合病院	北渡島檜山	19	函館中央病院	南渡島
8	市立稚内病院	宗谷	20	伊達赤十字病院	西胆振
9	道立江差病院	南檜山	21	士別市立病院	上川北部
10	遠軽厚生病院	遠紋	22	岩見沢市立総合病院	南空知
11	枝幸町国保病院	宗谷	23	市立釧路総合病院	釧路
12	市立根室病院	根室			

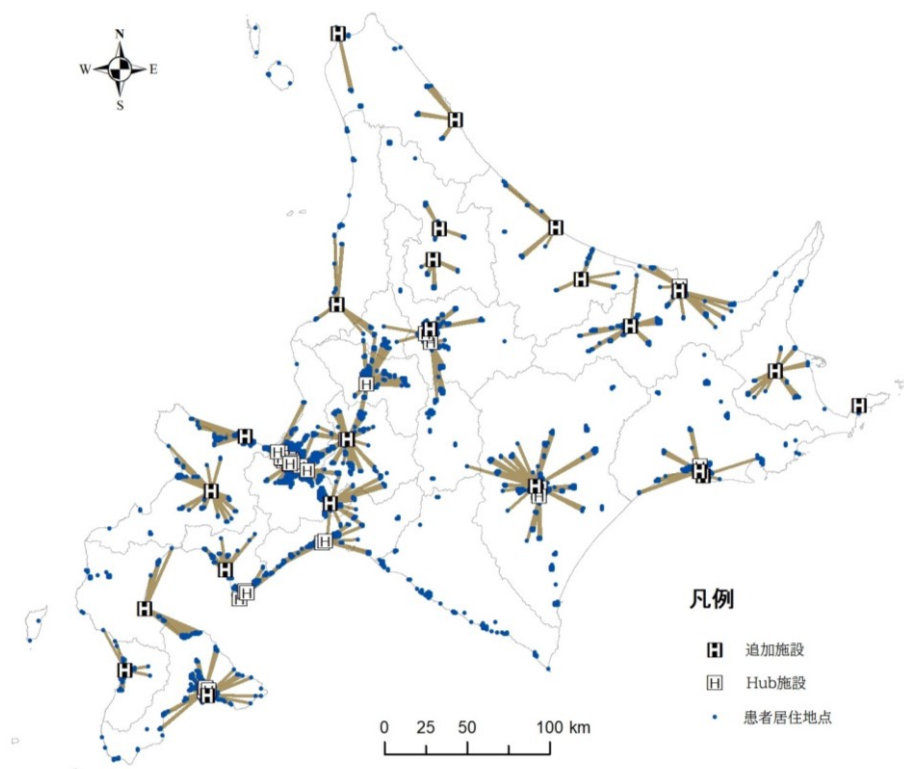


図 6-8 23 施設増加させた場合の施設所在地点と患者-施設ネットワーク

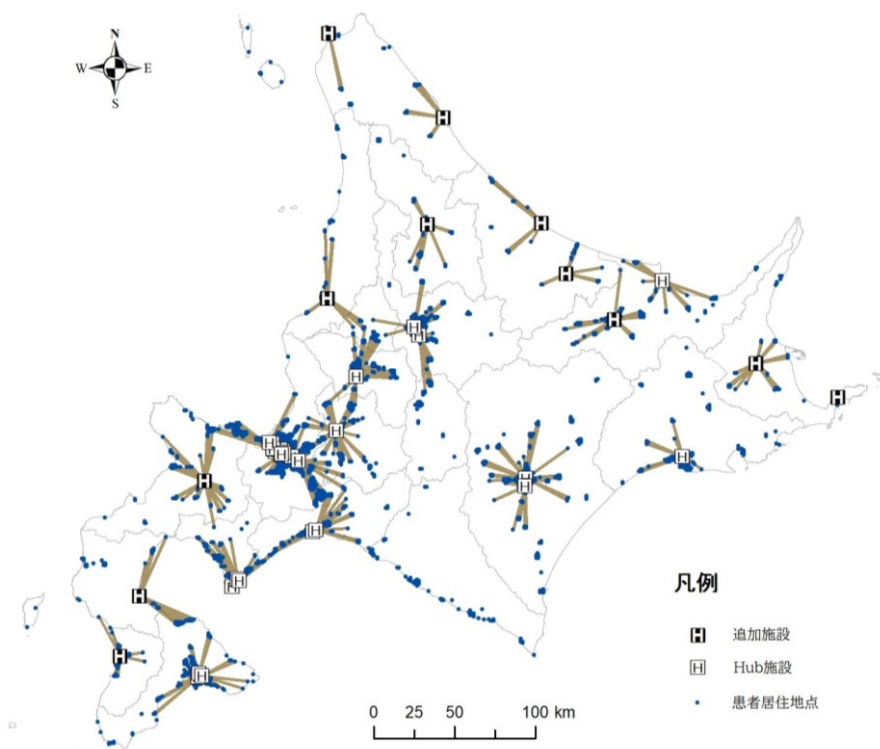


図 6-9 12 施設増加させた場合の施設所在地点と患者-施設ネットワーク

6-4 考察

現在、医療計画において、将来の医療需要と病床の必要量の予測から病床の機能分化・連携が推進されており、医療法においては、医療計画の達成の推進のために必要がある場合は、病院の開設若しくは病院の病床数の増加等に関して都道府県知事の勧告を行うことができるとされている[15]。このような環境下において、地理的アクセシビリティの低い地域に対して単純に病院や脳卒中センターなどの医療資源を投入することは難しいと考えられ、また、新規施設の配置には大きな費用がかかることから、本研究では、既存の医療資源を活用した認定医派遣型システムの構築を想定し、その効果を検討した。

本研究で想定した認定医派遣型システムの構築による北海道全体の患者カバー率の増加は 2.7%であり、地域格差の縮小に一定の効果が認められた。また、脳卒中発症リスクの高い患者分布を用いた認定医の効率的な配置の検討では、既存の Hub 施設に 12 施設増加させることで、患者カバー率は 71.6%から 87.9%まで上昇することを明らかにした。認定医の配置に適すると推定された上位 5 つの候補施設に着目すると、その所在地は、1 位が北網医療圏の北見市、2 位が後志医療圏の倶知安町、3 位が根室医療圏の中標津町、4 位が遠紋医療圏の紋別市、5 位が上川北部の名寄市であった。1 位の北見市、4 位の紋別市、5 位の名寄市は、それぞれが含まれる二次医療圏の中で最も人口の多い中心都市であり、脳梗塞発症リスクの高い患者も多く存在すると予想されることから、上位に選択されたものと考えられる。2 位の倶知安町は、後志医療圏の中で小樽市、余市町に次ぐ 3 番目の人口規模である。しかし、町の位置が後志医療圏の地理的中心に近く、周囲の市町村の患者もカバーすることが可能となるため、配置に適する位置として選択されたと考えられる。3 位の中標津町についても倶知安町と同様に、根室医療圏の中で根室市に次ぐ 2 番目の人口規模であるが、町の地理的な位置によって選択されたと考えられる。このように、MCLP を解くことによって患者カバー率を最大化する方法は、人口や患者数の多寡だけでなく、地理的アクセシビリティを考慮しながら配置に適した位置を選択することができるため、特に、発症から治療までの時間が転帰に影響する救急医療の提供体制を検討する際に、有用な情報を提供するものと考えられる。

一方で、日高医療圏、富良野医療圏のように、血管造影システム等の医療資源を保有する候補施設が存在しない二次医療圏では、本研究が想定した認定医派遣型システムの構築による患者カバー率の大幅な改善は困難であった。このような地域は、早急な対応が必要な地域として、より詳細な地域の医療需給バランスを検討する必要があると考えられる。また、南檜山、北渡島檜山、留萌、宗谷、遠紋、根室の 6 医療圏のように、候補施設は存在するが、認定医派遣型システムの構築による効果が小さい地域が見られた。これは、Hub 施設から候

補施設への移動時間が 60 分を超える場合が多いことが原因であると予想される。このような地域については、候補施設に認定医を配置して Hub 施設を増加させることや、認定医の移動にドクターヘリを利用して Hub 施設-候補施設間の移動時間の短縮を図るなど、Spoke 施設を増加させる対策が有効であると考えられる。北海道に存在する候補施設のすべてを利用することが可能であれば、北海道全体の患者カバー率は 94.2%に達することから、認定医派遣型システムの運用を改善することによって、地域格差の更なる縮小の可能性があると考えられる。

本研究では、認定医の効率的な配置を検討するにあたって、脳梗塞発症リスクの高い患者分布を推定し、脳梗塞発症リスクの高い患者の所在地点が全道に広く分布することを示した。現在、認定医が所属する医療施設は 29 施設であり、北海道の 21 の二次医療圏のうち、Hub 施設の無い二次医療圏は 11 圏域存在する。本研究の結果からは、将来に渡って既存の候補施設を利用する方法では、患者カバー率は最大で 89.9%に留まるため、残りの 10%の患者居住地点をカバーすることは困難であることが示唆された。患者カバー率を高めるための一つの方法として、既存の施設に加えて新たな地域に施設を配置し、供給地点を分散させることが考えられる。谷川らは、ミニ・サム型施設配置モデルを用いた北海道における小児急病センターの配置を分析し、21 の二次医療圏の中心的役割を担う市町に施設を配置した場合に患者の平均移動距離の短縮が認められることや、候補施設を設定せずに最大移動距離を考慮した分析からは、施設を 16 か所以上置くことが望ましいことを報告している[16]。現在、Hub 施設は 29 施設存在するものの、その配置は 10 医療圏に留まっていることから、未配置の医療圏への治療可能施設の配置が必要であると考えられる。また、候補施設を設定しない配置分析を行うことで、より効率的な施設配置を検討することも必要と考えられる。

一方で、患者カバー率を高めるための方法として、Hub 施設を増やす対策以外に、需要となる人口を集約させることも考えられる。国土交通省が発行した「国土のグランドデザイン 2050」では、医療・福祉、商業等の生活に必要な各種のサービスを維持し、効率的に提供していくためには、各種機能を一定のエリアに集約化し、かつ各地域をネットワーク化することが今後必要になると明記されている[17]。青森県の地域医療構想においては、医療資源の集約を通じて、救急医療体制の確保と充実、急性期医療、専門医療の対応力向上を掲げている[18]。また、財政破綻により 2007 年に財政再建団体に指定された北海道夕張市では、地域再生計画[†]に基づき、財政の再建とともに、将来も市民サービスを提供し続けられるまち

[†] 地方公共団体は、地域再生計画を作成し、内閣総理大臣の認定を受けることで、当該地域再生計画に記載した事業の実施に当たり、財政、金融等の支援措置を活用することができる。

への再編を目指し、まちの構造をコンパクトに集約する取り組みを進めており、現在、市の北端に位置する市立診療所の中央部への移転が検討されている[19]。今後、良質かつ適切な医療を効率的に提供することが可能な医療提供体制を構築するにあたり、医療機能の集約化を目指した改革が進むことも考えられる。

本研究の限界として、Hub 施設に所属する認定医の数や勤務状況などを考慮していない点、および派遣された認定医が Spoke 施設を利用可能であることを前提として認定医派遣型システムを構築している点が上げられる。認定医派遣型システムの運用に必要な認定医数や Spoke 施設との連携方法については、今後の検討課題である。また、認定医の効率的な配置を検討する際に、適切な治療を可能とする認定医の数や需要地点の患者数を考慮していない点が上げられる。これらの要因をシミュレーションモデルに組み込み、医療資源を投入すべき地域を同定するとともに、投入すべき医療資源量を推定することで、より有用な情報の提示が可能になると考えられる。

6-5 結論

本研究では、機械的血栓回収療法に必要な CT および血管造影システムを保有する施設は北海道内に広く分布しており、それらをすべて治療可能な施設とすることで、北海道全体における 65 歳以上人口カバー率は 94.2%に至ることを明らかにした。認定医の確保や医療施設間の移動時間の短縮などを考慮した認定医派遣型システムの構築によって、急性期脳梗塞診療の地域格差の縮小につながることを示唆された。また、現時点で機械的血栓回収療法が可能な施設の存在しない二次医療圏に治療可能施設を配置することで、2050 年の脳梗塞発症リスクの高い患者分布の 87.9%を、治療提供が可能な地域としてカバーできることを明らかにした。地理的アクセシビリティを考慮したこれらの結果は、地域格差の是正に必要な政策策定に際し、意思決定のための評価指標の一つとして有用な情報になり得ることを示した。

参考文献

- [1] Berkhemer OA, Fransen PS, Beumer D, et al. A randomized trial of intraarterial treatment for acute ischemic stroke. *N Engl J Med* 2015; 372(1): 11-20.
- [2] Goyal M, Menon BK, van Zwam WH, et al. Endovascular thrombectomy after large-vessel ischaemic stroke: a meta-analysis of individual patient data from five randomised trials. *Lancet* 2016; 387: 1723-31.
- [3] 日本脳卒中学会, 脳卒中ガイドライン委員会. 脳卒中治療ガイドライン 2015 [追補 2017].
- [4] 日本脳卒中学会, 日本脳神経外科学会, 日本脳神経血管内治療学会. 経皮経管的脳血栓回収用機器 適正使用指針 第2版. 2015
- [5] 日本脳神経血管内治療学会北海道地方会. 日本脳神経血管内治療学会認定専門医の在籍する施設.
<http://jsnet.hkdo.jp/> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [6] Osanai T, Houkin K. Initial results from Effective Zone for Mobile Stroke Team Trial. *Journal of neurointerventional surgery* 2016; 8(suppl 1): A96
- [7] Fujiwara K, Osanai T, Kobayashi E, et al. Accessibility to Tertiary Stroke Centers in Hokkaido, Japan: Use of Novel Metrics to Assess Acute Stroke Care Quality. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2018; 27(1): 177-184.
- [8] Takagi T, Yoshimura S, Uchida K. The Current Status of Endovascular Thrombectomy for Acute Ischemic Stroke in Japan: Results of a Nationwide Questionnaire Survey in 2016. *Journal of Neuroendovascular Therapy* 2017; 11: 504-511.
- [9] 株式会社エム・イー振興協会. 血管造影システム設置施設名簿. 月刊新医療 2016; 43(5): 162-168.
- [10] 株式会社エム・イー振興協会. マルチスライス CT 設置施設名簿. 月刊新医療 2015; 42(10): 162-173.
- [11] 国土交通省国土政策局国土情報課. 国土数値情報ダウンロードサービス.
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [12] 北海道. 循環器疾患（脳卒中・急性心筋梗塞）対策.
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/hf/kth/kak/zyunkankishikkan.htm> (Accessed 10 Dec. 2017)
- [13] Church R, ReVelle C. The maximal covering location problem. *Papers of the regional science association* 1974; 32: 101-118.
- [14] Murray A T, Tong D. Coverage optimization in continuous space facility siting. *Int J Geogr Inf Sci* 2007; 21(7): 757-776.

- [15] 厚生労働省. 医療計画について（医政発 0731 第 4 号）. 2017
- [16] 谷川 琢海, 小笠原 克彦, 大場 久照, 他. ミニ・サム型施設配置モデルを用いた救急医療機関の最適配置の分析 -北海道の小児急病センターの配置を事例として-. 病院管理 2006; 43(3): 249-260.
- [17] 国土交通省. 国土のグランドデザイン 2050. 2014.
- [18] 青森県. 青森県地域医療構想. 2016.
https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kenko/iryo/tiikiiryokousou_01.html (Accessed 10 Dec. 2017)
- [19] 夕張市. 行政情報. 2017.
<https://www.city.yubari.lg.jp/gyoseijoho/index.html> (Accessed 10 Dec. 2017)

第7章 総括

本研究では、北海道の医療提供体制に存在する医療の地域格差の是正を目的として、指標を用いた医療資源分布の定量的な分析と、地理情報システムを用いた地理的アクセシビリティの分析を基に、医療提供体制の現状把握と将来的な医療の需給バランスの評価を行い、以下のことを明らかにした。

第2章では、分布の不均一度を表すジニ係数と、集中度を表すハーフィンダール・ハーシュマン指数の併用による分析から、偏在の指摘される医師の分布と比較してCT、MRI、診療放射線技師は均一に分布していることを明らかにした。また、1999年から2014年において、放射線診療資源数は増加しており、都市部を中心に配置されたが、人口あたり資源数は二次医療圏間で均一化される傾向であったことを明らかにした。

第3章では、第2章と同様の指標を用いて、全国の画像診断に関わる医療資源の分布を評価し、2008年から2011年において、各都道府県の高性能CTおよび高性能MRIの分布は偏在が改善する傾向にあったことを示した。また、放射線科専門医の分布は、高性能CTおよび高性能MRIと比較して特定の二次医療圏への集中を伴う偏在が生じていたことから、画像診断の質に地域格差が生じている可能性を示した。

第4章では、地理情報システムを用いた地理的アクセシビリティの分析を行い、北海道におけるCTおよびMRIへの地理的アクセシビリティはOECD加盟国平均値を超える程度に担保されているものの、より高性能な装置については地理的アクセシビリティが悪く、都市部よりも人口の少ない地方にその度合いが強いことを明らかにした。また、2050年において、人口の減少にともない、現状の配置では需給バランスに不均衡が生じる可能性があるため、それを考慮した画像診断装置の計画的利用や再配置が必要になることを示した。

第5章では、急性期脳梗塞治療が提供可能な施設への地理的アクセシビリティの分析から、急性期脳梗塞治療の提供体制には地域格差が存在し、主に人口の多い都市部およびその近郊でしか提供されていないことを示した。また、脳卒中診療専門医師の分布は病床および常勤の全医師の分布と比較して不均一であり、その分布に地域偏在が生じていることを明らかにした。

第6章では、機械的血栓回収療法に関する地理的アクセシビリティの分析を行い、北海道内に広く分布するCTおよび血管造影システムを保有する施設への認定医派遣型システムの構築は、急性期脳梗塞診療の地域格差の縮小につながることを示した。また、現時点で機械的血栓回収療法が可能な施設の存在しない二次医療圏に治療可能施設を配置することで、2050年の脳梗塞発症リスクの高い患者分布の87.9%を、治療提供が可能な地域としてカバーできることを明らかにした。

謝辞

本論文を結ぶにあたり、研究に対する心構えから論文執筆に至るまで、大変丁寧に御指導いただきました小笠原 克彦教授に心から御礼申し上げます。小笠原教授とは北海道大学医療技術短期大学部での出会いに始まり、修士課程から 5 年間にわたりご指導を賜りましたことは何よりも貴重な財産となりました。また、本研究において適切なご助言を賜りました副指導教員の北海道大学大学院保健科学研究院 齋藤 健教授、神島 保教授に深く御礼申し上げます。

学術論文執筆の際に共同研究者としてご助言いただきました北海道大学大学院医学研究科 脳神経外科 寶金 清博教授、数又 研講師、長内 俊也助教、東海林 菊太郎氏に深謝いたします。

研究の方法や考察など多くの適切なご助言をいただきました北海道科学大学 大場 久照教授、谷川 琢海准教授、谷川原 綾子講師、旭川医科大学 谷 祐児講師、香川大学医学部附属病院 臨床研究支援センター 西本 尚樹准教授、Mayo Clinic College of Medicine 辻 真太郎先生、北海道大学大学院保健科学研究院 鈴木 哲平特任助教、石川 智基助教に深く感謝いたします。

学術論文執筆の際の共同研究者である小林 永一くん、社会医療情報学研究室の皆様、医療情報学セミナー、医療経済学セミナー、NMAC の関係者の皆様には日常の議論を通じて多くの知識や示唆と多数のご助言を頂きました。心より御礼申し上げます。

日本医療大学保健医療学部診療放射線学科の教員の皆様、日本福祉看護・診療放射線学院診療放射線学科の教員の皆様のご支援によって仕事と大学院での研究を両立することができました。厚く御礼申し上げます。

私事ではありますが、本論文は妻と息子の支えが無ければ完成できませんでした。多くの時間を研究に割くことに快く協力してくれたことに心より感謝いたします。

最後に、本論文はご助言いただいた関係者の皆様、友人・家族など、多くの方々のご協力に支えられて完成できたものであり、ここにすべての方々へ感謝の意を表します。

2017 年 12 月 21 日

藤原 健祐

研究業績一覧

【学術論文】

1. **Kensuke Fujiwara**, Toshiya Osanai, Eiichi Kobayashi, Takumi Tanikawa, Ken Kazumata, Kikutarō Tokairin, Kiyohiro Houkin, and Katsuhiko Ogasawara. Accessibility to Tertiary Stroke Centers in Hokkaido, Japan: Use of Novel Metrics to Assess Acute Stroke Care Quality. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases* 2018; 27(1): 177-184.
2. **藤原 健祐**, 谷川原 綾子, 井上 剛, 北川 剛, 小笠原 克彦. コンジョイント分析法を用いた診療放射線技師の就労環境の選好に関わる要因分析. *日本放射線技術学会雑誌* 2017; 73(8): 626-635.
3. Tomoki Ishikawa, **Kensuke Fujiwara**, Hisateru Ohba, Teppei Suzuki, and Katsuhiko Ogasawara. Forecasting the regional distribution and sufficiency of physicians in Japan with a coupled system dynamics —geographic information system model. *Human Resources for Health* 2017; 15:64.
4. 佐々木 健太, 石川 智基, **藤原 健祐**, 谷 祐児, 小笠原 克彦. 領域制限法による北海道自治体病院の経営効率性評価. *医療情報学* 2017; 37(2): 81-86.
5. **藤原 健祐**, 谷川原 綾子, 谷川 琢海, 谷 祐児, 大場 久照, 小笠原 克彦. 北海道における放射線診療資源の地理的分布の経年比較 —ジニ係数とハーフィンダール・ハーシュマン指数を用いた分析—. *日本放射線技術学会雑誌* 2016; 72(10): 970-977.
6. 木村 徹, **藤原 健祐**, 西澤 徹, 西山 篤. 簡易型 CAD ソフトウェアを利用した学生教育用医用画像処理技術習得システムの開発と評価. *日本放射線技師教育学会論文誌* 2015; 7(1): 3-11.
7. 北川 剛, 谷川原 綾子, **藤原 健祐**, 井上 剛, 西本 尚樹, 上杉 正人, 小笠原 克彦. CT 画像を用いた改良領域拡張法による脳内血腫量半自動計測の試み. *電子情報通信学会技術研究報告* 2011; 111(127) (MI2011 32-46): 19-23.

【学位論文】

1. **藤原 健祐**. 放射線診療資源の配分に関する考察 —ジニ係数とハーフィンダール・ハーシュマン指数による分析—. 北海道大学大学院保健科学院保健科学専攻保健科学コース修士課程学位論文. 2015.
2. **藤原 健祐**. 非採血 ARG 法を用いた脳血流定量の基礎的研究 —画像再構成および閾値設定における最適条件の検討—. 独立行政法人大学評価・学位授与機構学士論文. 2011.

【査読付き抄録・報告書等】

1. 藤原 健祐, 長内 俊也, 小林 永一, 谷川 琢海, 小笠原 克彦. 北海道の急性期脳梗塞診療に対する地理的アクセシビリティ分析. 医療情報学 2017; 37(Suppl.): 1112-1113.
2. 石川 智基, 藤原 健祐, 森井 康博, 鈴木 哲平, 辻 真太郎, 小笠原 克彦. System Dynamics による医師数充足と地域偏在の将来予測—北海道の周産期医療を対象として—. 医療情報学 2017; 37(Suppl.): 1114-1115.
3. 森井 康博, 藤原 健祐, 石川 智基, 鈴木 哲平, 辻 真太郎, 小笠原 克彦. 地域偏在度と集中度の分析を併せた北海道における医療従事者の配置検討. 医療情報学 2017; 37(Suppl.): 1116-1117.
4. 小林 永一, 藤原 健祐, 石川 智基, 小笠原 克彦. 北海道における救急車の現場到達時間から見た到達圏人口の推計. 医療情報学 2017; 37(Suppl.): 315-316.
5. 谷 祐児, 藤原 健祐, 鈴木 哲平, 小笠原 克彦, 廣川 博之. 病院情報システムの中小規模民間病院経営に対する寄与への考察. 医療情報学 2017; 37(Suppl.): 735-736.
6. 石川 智基, 藤原 健祐, 鈴木 哲平, 辻 真太郎, 小笠原 克彦. 人口構造の変化を考慮した Demand-based approach による医療需給の将来予測—北海道の救急医療を対象として—. 医療情報学 2017; 37(Suppl.): 737-738.
7. 藤原 健祐, 谷川原 綾子, 北川 剛, 井上 剛, 小笠原 克彦. コンジョイント分析による診療放射線技術系学生の就労環境の選好に関する調査. 医療情報学 2017; 36(Suppl.): 396-398.
8. 谷 祐児, 藤原 健祐, 鈴木 哲平, 小笠原 克彦, 廣川 博之. 中小規模民間病院経営改善における病院情報システムの役割に関する考察—中小規模病院経営改善アンケート調査結果およびヒアリング調査. 医療情報学 2016; 36(Suppl.): 560-561.
9. 藤原 健祐, 高橋 拓也, 小笠原 克彦. 地理情報システムを利用した高性能画像診断装置へのアクセシビリティ分析. 医療情報学 2015; 35(Suppl.): 1252-1253.
10. 藤原 健祐, 忠 竜宏, 小笠原 克彦. ジニ係数とハーフィンダール・ハーシュマン指数を援用した高性能画像診断装置の偏在評価. 医療情報学 2014; 34(Suppl.): 582-583.
11. 忠 竜宏, 藤原 健祐, 小笠原 克彦. ベイズ補正標準化死亡比を用いた死亡と医療資源の関連性の分析—北海道を対象として. 医療情報学 2014; 34(Suppl.): 580-581.
12. 藤原 健祐, 忠 竜宏, 小笠原 克彦. Gini Index と Herfindahl- Hirschman Index を併用した放射線診療資源の偏在評価 —北海道の経時的変化—. 医療情報学 2014; 34(Suppl.): 298-299.
13. 藤原 健祐, 高橋 正昭, 小倉 利幸, 柳石 学. 非採血 ARG 法を用いた脳血流量定量法の検討～自施設相関式作成の試み～. 第 19 回北海道脳 PET・SPECT 研究会記録集 2011; 19: 6-9.

14. 藤原 健祐, 高橋 正昭, 小倉 利幸, 柳石 学. NEURO FLEXER を用いた axial 画像によるステージ分類の有用性について (北海道神経画像研究会 多施設共同研究). 第 18 回北海道脳 PET・SPECT 研究会記録集 2010; 18: 13-16.
15. 藤原 健祐, 高橋 正昭, 山下 幸孝, 山岸 仁, 中川原 譲二, 中村 博彦. 脳腫瘍 SPECT と MRI の Fusion 処理における位置的精度の検討. 第 16 回北海道脳 PET・SPECT 研究会記録集 2008; 16: 5-7.

【学会発表 (2013 年以降)】

1. 中尾 侑史, 藤原 健祐, 谷 祐児, 小笠原 克彦. 人口の変化を考慮した北海道の医療資源偏在の将来予測: 脳卒中と心筋梗塞について. 第 12 回日本医療情報学会北海道支部学術大会 2016.
2. 北川 剛, 藤原 健祐, 井上 剛, 谷川原 綾子, 福田 晋久, 西本 尚樹, 小笠原 克彦. コンジョイント分析による診療放射線技師を対象とした就労環境の選好に関する調査: 個人属性. 第 44 回日本放射線技術学会秋季学術大会 2016.
3. 藤原 健祐, 高橋 拓也, 小笠原 克彦. CT・MRI 保有施設へのアクセシビリティ分析ー北海道における現状と将来予測ー. 第 43 回日本放射線技術学会秋季学術大会 2015.
4. 北川 剛, 井上 剛, 藤原 健祐, 谷川原 綾子, 福田 晋久, 西本 尚樹, 小笠原 克彦. コンジョイント分析による診療放射線技師を対象とした就労環境の選好に関する調査. 第 43 回日本放射線技術学会秋季学術大会 2015.
5. Yokoyama H, Fujiwara K, Kimura T, Fujita S, Nishi S. Evaluation of Vascular Images Using with MDCT (Multi Detector Computed Tomography) Reconstructed by Multi-Phase Volume Interpolation Technology. The Radiological Society of North America 2014.
6. 藤原 健祐, 小笠原 克彦. 北海道における放射線診療資源の偏在評価. 第 8 回日本医療情報学会北海道支部学術大会 2014.