

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23590579

研究課題名(和文)GISに組み込んだシステム・ダイナミクスによる医療環境の予測と可視化

研究課題名(英文)Visualization and simulation of the healthcare environment by using GIS and system-dynamics

研究代表者

小笠原 克彦(Ogasawara, Katsuhiko)

北海道大学・保健科学研究院・教授

研究者番号：90322859

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではシステム・ダイナミクスにより北海道2次医療圏・診療科の医師数、および診療放射線技師数の予測を行った。更に、地図情報システム(GIS)に北海道2次医療圏の医師数の予測結果を組み込み、地域毎の医師数の可視化と、ジニ係数による北海道内での地域偏在と診療科の偏在の検討を行った。また、関連した研究として、地域における産業の活性度等を考慮した医療提供体制の評価を行うことを目的とし、北海道の各市町村における産業等を考慮した地域活性度と、医療体制の充実度を示す医療活性度を算出した。各活性度を地図上に可視化することで、地域性の検討を試みた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to propose a physician and radiological technologist supply forecasting methodology by applying system dynamics modeling and Gini index to estimate future absolute and relative numbers of medical staffs. We constructed a forecasting model using a system dynamics approach. Furthermore, this study aims to evaluate the medical care provisional system that considers the activity level and other factors of industries within a region. This study calculated the regional activity level that considers the industries in Hokkaido municipalities and the medical care activity level that indicates the adequacy of medical care system. Furthermore, by making each activity level visible on the map, this study also attempted to examine the regionality features.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：境界医学・医療社会学

キーワード：医療政策学 地図情報システム システムダイナミクス

## 1. 研究開始当初の背景

この数年で「医療崩壊」が急速に進行し、医療を取り巻く社会的・政策的な環境は変化している。現在、地域医療崩壊の対策が急務となっているが、明確な対応策を見出すことはできていない。特に、北海道や東北地方においては、深刻であり早急な対策が求められているが、分析のための資料が不足しているのが現状である。医療政策を立案する上で、医師数など医療従事者数の予測は、全ての医療政策の基礎となっており、現在までに、様々な研究が行われている。しかし、これらは、医師のみ、看護師のみ、薬剤師のみの単独職種による推計が行われているに過ぎず、医療環境の変化に加えた相互の医療関係者数の増減の検討は、そのモデルの複雑さのため行われていない。今後、看護師数の増加による医師数の変化や看護師など医療従事者の業務拡大による医師数の変化などの分析が急務である。また、医療従事者数の予測は日本全体での医療政策のための資料となることはもちろんではあるが、医療圏毎の医療計画を立案する上でも、特定の地域を限定し、診療圏の相互関連などの医療圏構造、次世代の医療の担い手となる若年の人口構成と進学率など地域特性に応じた分析が不可欠である。

近年、高性能コンピュータと電子地図の普及に伴い、簡単に地図情報システム(GIS)の利用が可能となった。このGISに各種医療データを組み込み、オペレーションズ・リサーチ(OR)の手法による最適配置や動態分析を実施することにより、複雑な患者動態や医療機関の配置を可視化し、分析することが可能となる。欧米において患者データや医療機関データを組み込んだGISの構築およびそのGISを活用した分析は数多くなされているが、日本ではあまりなされていないのが現状である。また、経営工学の一端として、時間とともに変動する非線形の動的システムを対象として、その構造と問題を明らかにし、得られたデータにより構造化(モデル化)を行い、対象システムの動的特性を解明する手法としてシステム・ダイナミクス(System Dynamics)がある。現在までに、国際関係や産業構造やエネルギー問題の社会問題、食物連鎖や廃棄物汚染など生態系現象を対象に分析されている。医療従事者数も医療システムの一断面と捉えることで、このシステム・ダイナミクスを応用することが可能であり、医療が抱えている問題に対応したシミュレーションが可能である。

## 2. 研究の目的

本研究では、地域毎の効率的な医療連携と

医療資源の配置を検討するための基礎資料として、GISにシステム・ダイナミクスを連携させ、地域の医療環境に適応させた医師数など医療従事者数、患者受療動向、高齢化予測の将来予測を中心として、患者および政策の観点から医療環境の変化に伴う疾患毎の患者動態・医療機関配置の可視化を地図上で試みる。

## 3. 研究の方法

### (1) System Dynamicsによる医師数の予測

#### System Dynamicsによるモデルの構築

医師需給バランスについて評価を行うために医師キャリアパスに関する因果関係を分析境界とした。医師キャリアパスを基にSystem Dynamicsの概念に基づいて、対象とした医師数についてのフローダイアグラムを作成した。また、医師のキャリアパスに関する統計データによって、Stock, Flow, Converterに値を入力し、変数間の関連を定式化した。フローダイアグラムの作成、およびモデルの定式化にはSystem DynamicsのモデリングソフトであるSTELLA(isee systems社)を使用した。

#### モデルの妥当性検討

構築したモデルの構造が実際の医師供給体制を反映しているか検証するために、構築したモデルの妥当性の検証を行った。実際の調査データとモデル理論値とのMSEを妥当性の評価指標とし、MSEが0.1以下のとき、妥当なモデルであると判断した。妥当性の評価には過去20年間の北海道における小児科・産婦人科医師数についての調査データを用いて、モデルの構造についての妥当性を評価した。さらに、最終評価指標である医師充足度に与える影響についても評価し、妥当性を検討した。

#### 予測と充足評価

モデルの妥当性を確認した後、対象についての将来医師数予測を行った。北海道全域における将来の人口構造の変化に対する影響を考慮するために、国立社会保障・人口問題研究所による人口予測を用いて小児科医師数については小児人口10万人対医師数を、産科産婦人科医師数については15歳~49歳人口10万人対医師数を厚生労働省の方法に基づいて求めた。次に北海道庁の必要医師数実態調査結果による「必要医師数」を基に、医師数の充足を絶対的に評価する指標として充足度を以下のように定義した。

充足度 =

(予測医師数/必要医師数) × 補正係数

この指標の評価基準として、充足度が1より大きい地域は「充足」と評価し、1未満である場合「不足」と評価した。さらに、充足

度の評価結果を地図上に可視化した。また、補正係数は必要医師調査の回答率、病院・診療所医師の割合について補正する係数とした。

#### ジニ係数を用いた将来の医師偏在評価

将来における医師の偏在を予測評価するために、予測した医師数をもとにジニ係数を算出した。ジニ係数は 0 から 1 の間をとり、値が小さいほど格差がないことを意味し、値が大きいほど格差が大きいことを意味する指標である。したがって本研究では、ジニ係数の値が小さいほど偏在を小さく、値が大きいほど偏在は大きいと評価した。

#### (2) System Dynamics による診療放射線技師数の予測

医師数の予測と同様に、診療放射線技師需給バランスについて評価を行うために診療放射線技師キャリアパスに関する因果関係を分析境界とした。診療放射線技師キャリアパスを基に System Dynamics の概念に基づいて、対象とした診療放射線技師数についてのフローダイアグラムを作成した。また、診療放射線技師のキャリアパスに関する統計データによって、Stock, Flow, Converter に値を入力し、変数間の関連を定式化した。フローダイアグラムの作成、およびモデルの定式化には System Dynamics のモデリングソフトである STELLA(isee systems 社)を使用した。

#### (3) 地域産業を考慮した医療施設の配置検討の試み

##### 対象

対象は、北海道の全市町村 179 市町村とした。ただし、札幌市に関しては人口規模が他の市町村と比較して大きいこと、統計調査において区毎に調査が行われていることから、10 区に分けて分析を行った。

##### 活性化状況把握のための基礎指標

本研究では、先行研究を参考に各市区町村の活性化状況を把握するために「地域定住」、「経済活動」、「農業生産」の 3 カテゴリーに、「漁業生産」、「医療体制」を加えた 5 カテゴリー(以下基本活力)別に総計 44 の基礎指標を採用した。先行研究で用いている「林業生産」のカテゴリーに関しては、利用できる統計情報が限られ、有用であると考えられる指標が得られなかったため除外した。指標選択にあたっては、地域活力を現状値だけで捉えるのではなく、活力の変化を反映させるため、静態的指標(主に 2010 年時点のデータ)とともに動態的指標(主に 2005 年から 2010 年にかけての増減率)を採用した。各基本活力毎

の基礎指標は、以下の通りである。

#### 地域定住に関わる指標

2010 年国勢調査[24]から、静態的指標として、1 世帯当たり世帯員数、高齢単身世帯率、年少人口率、青壮年女性比率、従属人口指数、老年化指数の世帯や人口構成を表わす 6 指標を、動態的な指標として、人口増減率、年少人口増減率、青壮年女性人口増減率、従属人口指数動向、老年化指数動向の人口動態を表わす 5 指標(いずれも対 2005 年の 2010 年増減率またはポイント差)を採用した。

#### 経済活動に関わる指標

就業状況、商・工業生産、自治体財政力を示す指標を、2005 年及び 2010 年国勢調査、2006 年及び 2012 年事業所統計、2005 年及び 2010 年工業統計調査、2007 年及び 2012 年経済センサス、2005 年及び 2010 年市町村別決算状況調の中から採用した。各統計における最新年度のデータを静態的指標とし、地元事業所雇用吸収率、一人当たり工業出荷額、一人当たり小売業販売金額、三次産業就業人口率、市町村財政力指数の 5 指標、増減率を動態的指標とし、事業所従事者増減率、製造業出荷額増減率、小売業販売金額増減率、三次産業就業人口増減率の 5 指標を選択した。

#### 農業生産に関わる指標

農業における就業、生産状況を示す指標を、2005 年及び 2010 年世界農林業センサスより採用した。静態的指標として最新年度の、専業農家率、1 戸当たり経営耕地面積、60 歳未満就業率、販売金額 3 千万円以上の農家率の 4 指標、動態的指標として、専業農家増減率、1 戸当たり経営耕地面積増減率、60 歳未満就業率増減率、販売金額 3 千万円以上の農家増減率の 4 指標を選択した。およびにおける金額の基準は、北海道全域における販売金額の上位約 20%となるようなカテゴリーとし決定した。

#### 漁業生産に関わる指標

農業における就業、生産状況を示す指標を、2003 年及び 2008 年漁業センサスより採用した。静態的指標として最新年度の、専業漁業経営体数、60 歳未満就業率人口率、1 経営体当たりの漁獲量増減率、販売金額 2 千万円以上の経営体率の 4 指標、動態的指標として、専業漁業経営体増減率、60 歳未満就業率増減率、1 経営体当たりの漁獲量増減率、販売金額 2 千万円以上の経営体増減率の 4 指標を選択した。及び野金額基準は、農業生産と同様の方法で決定した。

## 医療体制にかかわる指標

地域の医療体制の整備状況を示す指標を、2005年及び2010年北海道保健統計年報より採用した。静態的指標として最新年度の、人口十万人当たり医師数、人口十万人当たり病院数、人口十万人当たり診療所数、人口十万人当たり病床数の4指標、動態的指標として、人口十万人当たり医師数増減率、人口十万人当たり病院数増減率、人口十万人当たり診療所数増減率、人口十万人当たり病床数増減率の4指標を選択した。

### 活性化指標の体系と活性度算出

前述した44の基礎指標を用いて、地域活性化状況を多面的に把握するための指標の体系化を行い、5段階の工程から各市区町村における総合的な「地域活性度」を算出した。

この体系の中心である5つの基本活力（「定住活性度」、「経済活性度」、「農業活性度」、「漁業活性度」、「医療活性度」）は、各基本活力の静態的指標と動態的指標それぞれにおいて主成分分析を行い、各第1主成分の得点を偏差値化し、「活力水準」と「活力維持可能性」の詳細活力を算出した後、両者を合計し再度偏差値化することで求めた。

次に、「農業活性度」と「漁業活性度」を統合し、「一次産業活性度」を求めた。両者を統合する際に、平成22年度道民経済計算[45]における農業と水産業の総生産額（農業5,113億円、水産業1,421億円）の比率(0.783 : 0.217)で重みづけを行った。同様に、「経済活性度」と「一次産業活性度」を、非農水産業総生産額(177,741億円)と農水産業総生産額(6,534億円)の比率(0.964 : 0.036)で重みづけし、両者を統合した「産業活性度」の得点を算出した。

最後に、「産業活性度」と「定住活性度」の得点を合計し、偏差値化した「地域活性度」を算出した。

## 4. 研究成果

### (1) System Dynamics による医師数の予測

北海道における各地域別の医師数予測モデルを図1に示す。算出した過去20年間におけるMSEは0.087であった。MSEが0.1より小さい値であるため、本章で構築したモデルは妥当なモデルであると評価した。さらに、このMSEの値は、後述する充足度を用いての医師数評価結果に影響を与えなかった。

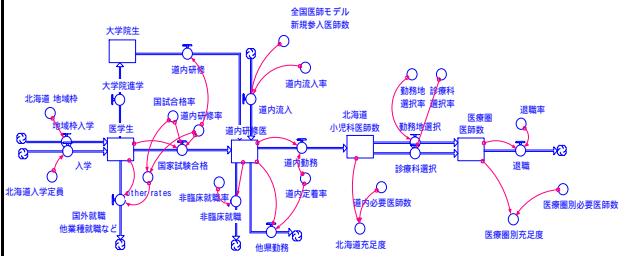


図1 北海道における地域別小児科（産婦人科）医師数予測モデル

図2に日本全国における臨床医師数の予測結果を示す。2010年度で281,282人であった。2030年度まで全臨床医師数を増加していき、2030年度では370,346人になり、その増加率は24.0[%]であった。

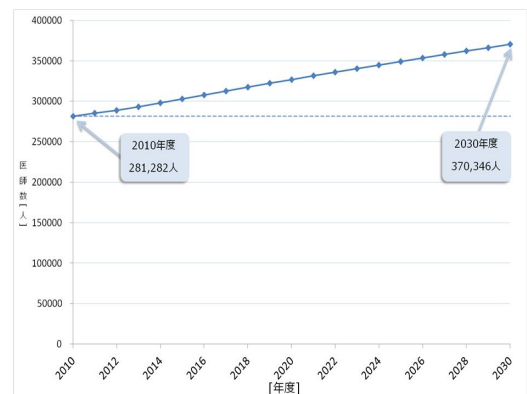


図2 日本全国における全臨床医師数の予測

予測した医師数を必要医師数に基づき定義した充足度の算出によって用いて評価を行った。図3に全臨床医師数の充足度の推移を示す。全臨床医師数の充足度は2010年度で0.8であるため、1.0に満たない“不足”の状態であると予測された。しかし、充足度は時間とともに増加していき、2026年度で1.0に達し“不足”状態から“充足”状態に遷移すると予測された。その後も増加していくため、全臨床医師数については2026年までは不足が持続し、以降は充足していると予測された。

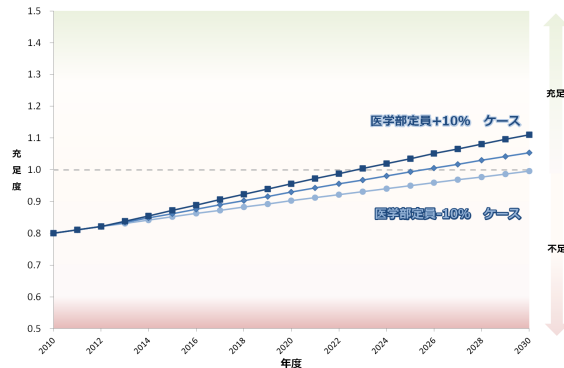


図3 全臨床医師数の充足度推移

全臨床医師数について医学部定員における感度分析を行ったところ、医学部定員を10%増加させたケースでは不足から充足へ状態が遷移する年度が2023年度となり、現在の医学部定員での予測結果よりも3年解消が短縮することが予測された。一方、医学部定員を10%削減したケースでは2030年まで充足度が1.0に達することがなく不足状態が持続することが予測された。

現在において不足が指摘されている小児科・麻酔科・産科産婦人科・救急科医師数の充足度の推移を図4に示す。2010年度で4つの診療科すべてにおいて1.0に満たず、“不足”の状態であると予測された。2010年以降は、4つの診療科すべてにおいて充足度が増加し、小児科・麻酔科では2019年度に充足、救急科では2020年度に充足すると予測された。しかしその一方で、産科産婦人科では、予測の範囲内で充足度が1.0を満たすことがなく2030年度でも“不足”状態であると予測された。

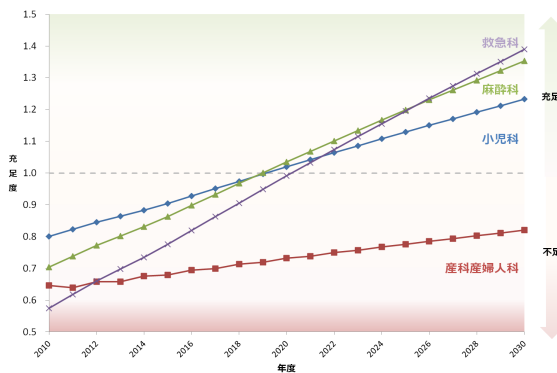


図4 小児科・麻酔科・産科産婦人科・救急科における充足度推移

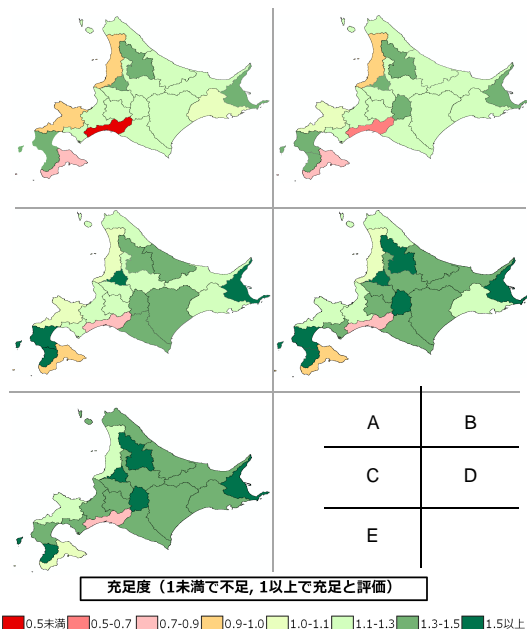


図5 将来における北海道に地域別の医師充足度評価結果 (A: 2010年, B: 2015年, C: 2020年, D: 2025年, E: 2030年)

図5に北海道における二次医療圏別の充足度予測結果を示した。凡例の通り、赤い地域は不足である地域を示し、青い地域は充足地域を示す。2010年で不足と評価された二次医療圏は、南渡島、後志、東胆振、留萌の4地域であった。2010年から2030年において、各地域で充足度の上昇が予測されたが、東胆振については2030年においても不足と評価された。

産婦人科・小児科の北海道における偏在を評価する指標であるジニ係数の推移を図7に示す。産婦人科・小児科と全臨床医師のジニ係数を比較すると、予測期間内では両科とも全臨床医師のジニ係数よりも高いと予測された。また、産婦人科と小児科における比較では、予測期間内では常に産婦人科が小児科のジニ係数の値を上回っていた。

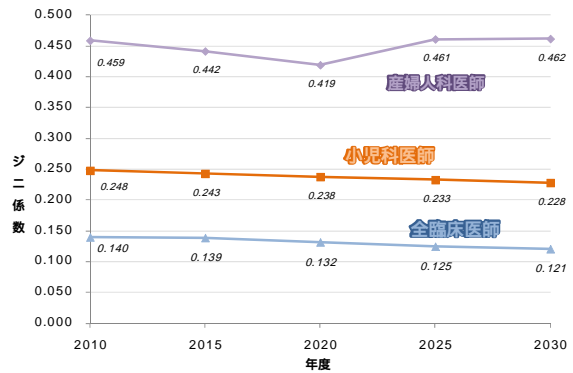


図6 産婦人科・小児科、および全臨床医師のジニ係数推移

産婦人科のジニ係数は2010年で0.459であり、2020年には0.419まで減少し、地域偏在が改善傾向にあることが予測された。しかし、2025年では0.461、2030年では0.462まで上昇し、長期的には偏在が拡大する可能性が示唆された。

小児科のジニ係数は、2010年で0.248であり、2030年の0.228まで減少し地域偏在が改善傾向にあることが予測された。

### (2) System Dynamics による診療放射線技師数の予測

診療放射線技師数予測の結果を図7に示す。シミュレーション条件は、新卒の就職率: 65%/75%/85%、国家試験合格率 65%/45%/85%: 大学院進学率を6%とし、国家試験の合格率による感度分析を行った。その結果、国家試験週力率とともに75%であれば、現状の5万人を推移することが明らかになった。

### (3) 地域産業を考慮した医療施設の配置検討の試み

図8に道央における二次医療圏別各活性度の平均値を示す。道央は二次医療圏間で大きく特徴が異なっていた。



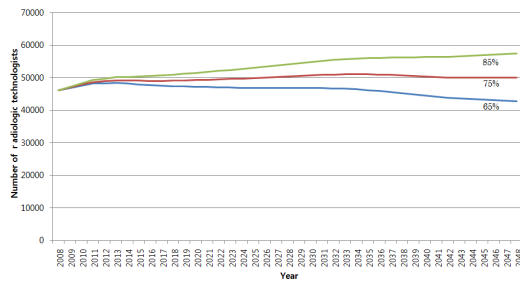


図7 診療放射線技師数の予測  
(就職率を変化させた場合)

地域活性度が最も高い札幌医療圏は、三次産業が主体であることにより経済活性度が高いことに加えて、人口集中地域であるため定住活性度も高くなった。しかし、医療活性度は平均よりもやや高い程度であり、突出して高いとはいえなかった。

後志、南空知、中空知、北空知医療圏は地域活性度が平均以下であった。この4つの医療圏のうち、後志と南空知医療圏、中空知と北空知医療圏は地域活性度、産業活性度、定住活性度ともに同程度の値を示したが、医療活性度においては空知管内の医療圏は平均以上であり、後志医療圏のみ平均以下であることが明らかとなった。

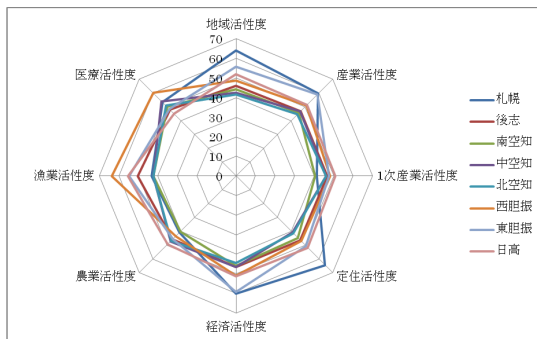


図8 道央における二次医療圏別各活性度

GIS上に表示した北海道の地域活性度を図9に示す。地域活性度は札幌市など一部の都市圏などが高いが、北海道全体としては低い地域が多いことが明らかとなった。特に渡島、檜山、留萌、空知地方に地域活性度が低い市町村が多く存在した。

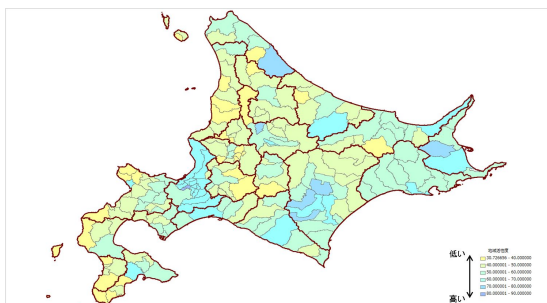


図9 北海道の地域活性度

GIS 上に表示した北海道の医療活性度を図10に示す。医療活性度は、都市部や地方など地域の規模は関係なく、平均より高い市町村が多いことが明らかとなった。一方で、根室の羅臼町において突出して活性度が低いことが明らかとなった。

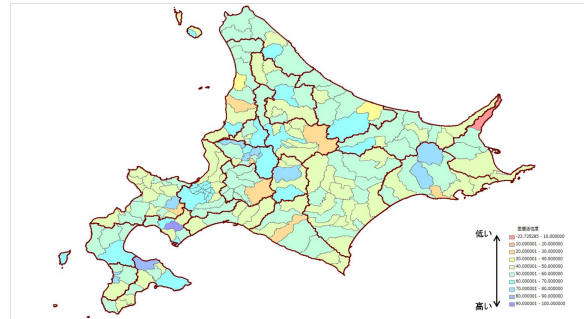


図10 北海道の医療活性度

## 5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 2 件)

Tomoki Ishikawa, Hisateru Ohba, Yuki Yokooka, Kozo Nakamura, Katsuhiko Ogasawara. Forecasting the absolute and relative shortage of physicians in Japan using a system dynamics model approach. Human Resources for Health 11, 11:41 doi:10.1186/1478-4491-11-41: 2013 査読有  
Miwa Araseki, Yuki Yokooka, Tomoki Ishikawa, Katsuhiko Ogasawara. The number of Japanese radiologic technologists will be increased in 40 years. Radiological Physics and Technology 6. DOI 10.1007/s12194-013-0220-7: 2012 査読有

(学会発表)(計 3 件)

桑原智美、寺下貴美、小笠原克彦: 北海道の小児科・産科医療施設への地理的アクセスの不等性について. 第6回日本医療情報学会北海道支部学術大会(札幌), 2013.2.2

石川 智基、桑原 智美、寺下 貴美、大場 久照、小笠原 克彦: 北海道における System Dynamics と地理情報システムの組合せによる将来医師数の評価. 第 32 回医療情報学連合大会(第 13 回日本医療情報学会学術大会)(新潟), 2012.11.15

石川智基、横岡由姫、大場久照、小笠原克彦. システム・ダイナミクスを用いた診療科別医師数とその充足度の将来予測. 第 31 回医療情報学連合大会(第 12 回日本医療情報学会学術大会)(鹿児島), 2011.11.22

## 6. 研究組織

研究代表者

小笠原 克彦 (Katsuhiko Ogasawara)

北海道大学・保健科学研究院・教授

研究者番号：90322859