

令和 6 年 9 月 11 日現在

機関番号：82602

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2023

課題番号：20K23124

研究課題名（和文）地理情報システムを用いた脳梗塞患者の最適搬送方法とその費用対効果の分析

研究課題名（英文）Analysis of optimal transport system of patients acute ischemic stroke and its cost-effectiveness using geographic information system

研究代表者

森井 康博（Morii, Yasuhiro）

国立保健医療科学院・その他部局等・研究員

研究者番号：70880574

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：対象地域を北海道として、より質が高く均てん化された脳梗塞治療の提供体制を考える一助となることを目指し、地理情報システムを用いて脳梗塞患者に対する複数の搬送方法について費用対効果の分析を行った。ほとんどの医療圏においては、既存の医療機関においてt-PAや経皮的脳血栓回収療法が可能である時間内に十分に患者を搬送可能であり、専門医を有する医療機関に患者を直接搬送するmothership法が費用対効果に優れていた。その一方で、宗谷医療圏や北網医療圏などにおいては、専門医が、患者により近い医療機関に出張して早期の治療実施を目指すDrive and retrieve法がより費用対効果に優れていた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2018年に制定された脳卒中・循環器病対策基本法においては居住する地域にかかわらず適切な急性期脳卒中医療が受けられるよう医療体制の整備と均てん化の必要性が述べられており、脳梗塞治療の提供体制構築は政策的に重要課題である。その中でも、t-PAや経皮的脳血栓回収療法（EVT）については、治療効果が大きいにもかかわらず実施率に地域差があることが報告されている。本結果は、地域ごとに最適な搬送方法について提案するものであり、より質が高く均てん化された治療提供体制を考える一助となる。また、本研究で検討した搬送方法はt-PAやEVTの早期実施を目指したものであり、それらの実施率向上にも寄与しているものである。

研究成果の概要（英文）：Aiming to contribute to the development of a more uniformly high-quality stroke treatment delivery system in Hokkaido, a cost-effectiveness analysis of multiple transport methods for stroke patients was conducted using Geographic Information Systems. As a result, in most secondary medical areas, it was possible to transport patients within the time frame that allows for t-PA administration and endovascular thrombectomy at existing medical institutions, and therefore “mothership” method, which involves directly transporting patients to medical institutions with specialists, was proved to be cost-effective. On the other hand, in medical areas such as the Soya and Kitami, the “drive and retrieve” method, where specialists travel to medical institutions closer to the patient to aim for early treatment, was found to be more cost-effective.

研究分野：医療経済学、医療政策学、医療技術評価

キーワード：脳梗塞 経皮的脳血栓回収療法 地理情報システム 搬送方法 費用対効果 シミュレーション t-PA

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

脳卒中はわが国の死亡数の第3位、介護が必要になった原因の第2位であり、治療にかかる医療費が国民医療費全体の約6%を占めるなど、社会的な影響の大きな疾患である。2018年12月には脳卒中医療サービスの向上を理念として「脳卒中・循環器病対策基本法」が成立し、『居住地域に関わらず良質かつ適切な医療を受けられる体制づくり』が脳卒中の治療提供体制にとって重要な課題になっている。

急性脳梗塞に対する良好な治療効果が期待される治療方法として、アルテプラゼ静注療法(rt-PA)と経皮的脳血栓溶解療法(血管内治療)がある。しかし、これらの治療は効果の期待できる一方で、発症から治療開始までの時間が短いことや、血管内治療は血管内治療専門医が行う必要があることなどの制約があるため実施率が低く、また実施率の地域格差も大きい傾向がある。そのため、脳梗塞患者に対して居住地域に関わらず rt-PA や血管内治療が受けられる体制の構築が課題となっている。

北海道においては、血管内治療専門医が患者発生場所に近い病院まで出張し、血管内治療を行う Drive and Retrieve (DR) の運用が札幌近郊から始められている。

我々は、DR が血管内治療への地理的アクセシビリティに及ぼす効果、および DR 導入の費用対効果のシミュレーション分析を行い、アクセシビリティおよび費用対効果の観点での DR の有効性を明らかにしてきた。しかし、血管内治療の地域格差を改善する方法には DR 以外の他の搬送形態もある中で、t-PA や血管内治療実施率の向上の観点から、地域にとって最適な搬送方法を明らかにすることが望まれる。最適な脳梗塞患者の搬送方法は地域によって異なると考えられる。広大な面積を有する北海道では、この点は特に重要である。また、最適な搬送方法の実装にあたってはアクセシビリティだけでなく経済面での実現可能性を検討することが極めて重要であるが、これらの点を明らかにした研究はない。

### 2. 研究の目的

研究では北海道の脳梗塞患者に対する t-PA および血管内治療における地域別の最適な搬送方法、および各搬送方法を導入する費用対効果を明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### 対象・研究スキーム

対象地域は、日本の北海道における21の二次医療圏とした。二次医療圏とは、日本の医療政策において入院医療の提供を行う地域単位とされている。北海道は日本の北部に位置し、日本で83424km<sup>2</sup>と最も大きな面積を有する都道府県であり、人口は約520万人である。評価対象技術は図2に示す Drive and ship (DS) 法, Mothership (MS) 法, Drive and Retrieve (DR) 法, Drip and Drive (DD) 法の4つとして、相互に比較した。

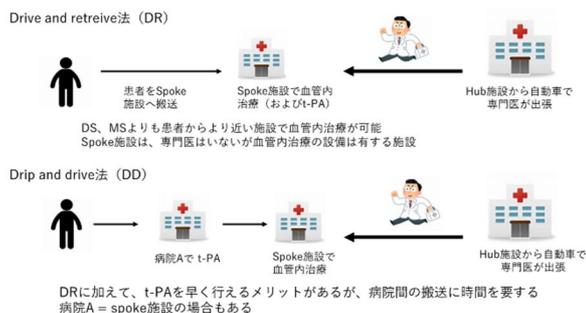


図2：脳梗塞患者の搬送方法

本分析はこれらの搬送方法が政策的に導入された場合の費用対効果についての検討を行う目的であるため、分析の立場は保健医療政策実施者とした。分析する費用には、医療費、介護費に加え、医師の雇用費用等の搬送方法の実装に係る費用とした。DRとDDにおいては、出張を行う医師1名の賃金を公費負担することと仮定した。費用対効果の評価指標は日本における費用対効果評価をはじめ最も幅広く用いられている、比較対照技術に対する incremental cost-effectiveness ratio (ICER)として、アウトカムには quality-adjusted life year (QALY)を用いた [7]。分析期間については、1年間の搬送方法の運用とし、治療された患者から発生する費用とアウトカムは発症から10年間分のものを含めた。ICERは搬送方法別、二次医療圏別に算出した。アウトカムやアウトカムはそれぞれ年率2%で割引し、0-4%の範囲で感度分析した。

#### 地理的分析

地理的分析に用いたデータおよび方法について記載する。本研究における CSC および PSC (Hub)

は日本血管外科学会認定の血管内治療専門医または実施医が在籍する 32 施設とした（2021 年 9 月時点）。は北海道庁が公開している、t-PA による血栓溶解療法が 24 時間可能などの条件を満たす脳卒中の急性期医療を担う医療機関とした（2022 年 3 月時点）。そのうち、血管造影装置など、血管内治療実施のための設備を有する施設を Spoke 施設と定義した（図 1）。消防署の地点データは国土交通省が公表しているものを用いた。また、本研究の地理的分析のソフトウェアを ArcGIS Desktop 10.8.1 を、道路網ネットワークデータは ArcGIS Geo Suite 道路網（2021 年）を用いた。

ArcGIS の “Create random points” 機能を用いて、北海道全体に仮想患者 1443 人をランダムに発生させた。なお、本分析では仮想患者が離島には発生しないこととした。仮想患者数は先行研究の方法に準じて、北海道人口と、日本国内の疫学調査の結果を基に、血管内治療の適応である心原性脳梗塞患者の発生を掛け合わせることで算出した。患者の発生地点は、各メッシュにおける人口や年齢構造で重みづけを行った上で R ver4.1.2 を用いてランダムに割り付けた。次に、“Find closest facilities” 機能を用いて、患者搬送時間を算出した。搬送時間として、消防署から患者地点間、患者地点から治療施設間、および、治療施設間の移動が発生するシナリオの場合には治療施設間の搬送時間を算出した。この際、患者地点には最寄りの消防署から出動し、患者は最寄りの治療施設に搬送されると仮定した。また、北海道医療計画では二次医療圏を超えた医療提供体制の必要性が明記されているため、二次医療圏を超える移動を行うこととした。加えて、DR と DD において出張先と出張元の移動時間が 15 分以内の場合には、医師の出張は行われぬものと仮定した。

なお、ランダムに発生させた仮想患者の分布には不確実性が存在するため、仮想患者の発生から後述する費用効果分析の過程は 10 回反復して行い、ICER 等の結果はその中央値を用いた。発症から治療開始までの過程において、発症から覚知・通報までの時間は 30 分、救急車の現場停止時間は 20 分、door-to-needle time は 45 分、door-to-groin-puncture は 60 分、また、DS および DD での施設間搬送においては、needle-to-door time は 20 分、door-to-groin-puncture time は 30 分と仮定した。これらの時間を、前述の通り分析した搬送時間と合算し、発症からの治療開始までの合計時間を算出した。また、専門医は患者の Spoke 施設への到着と同時に Hub 施設を出発すると仮定し、医師が到着していない場合には治療は開始されない。専門医到着から血管内治療までの時間は 20 分と仮定した。t-PA や血管内治療の適正使用指針の推奨に準じて、算出された治療開始時間が 4.5 時間以内、6.0 時間以内の場合はそれぞれ t-PA、血管内治療が実施可能であると仮定した。また、同指針に準じて、血管内治療適応の患者に対しては t-PA を先に行うものとして治療フローを設定している。

#### 費用対効果の分析

費用対効果分析において、発症から 3 か月時点に関しては決定木モデル、4-120 か月に関してはマルコフモデルを用いた（図 4）。治療アウトカムである QALY は患者重症度から推計され、重症度の指標に一般的なものである modified Rankin Scale (mRS) を用いて、mRS0-2（軽症）、mRS3-5（重症）および mRS6（死亡）の 3 つの健康状態に分けた。

対象患者は血管内治療適応の脳梗塞患者とし、一般的な脳梗塞発症年齢である 75 歳であるとした。90 日（3 か月）時点の重症度を、受けた治療別に推計した（図 5）。t-PA と EVT のどちらも受けていない場合の重症度は、HERMES collaboration の解析における ineligible for alteplase control 群のデータを使用した。このデータを reference として、Embersson らによるメタアナリシスにおける mRS0-1 のオッズ比をリスク比に変換し、t-PA 単独で行った場合の mRS0-2 のリスク比を算出して掛け合わせた。また、血管内治療の効果を検証したメタアナリシスである HERMES collaboration では大半の患者が t-PA 施行例であるため、同研究より得られたリスク比を t-PA 単独の場合に乗じて、血管内治療実施群の mRS0-2 割合を算出した。血管内治療を受けた場合の治療効果は、t-PA が施行できなかった、あるいは t-PA が非適応の症例においても同じであると仮定した。

また、血管内治療の効果は、同研究における 1 時間の治療の遅れに対する mRS0-2 のオッズ比を基に、治療時間に応じて直線的に mRS0-2 の割合が変化するように設定した。死亡割合は治療間に差がないと仮定し、mRS0-2 でも mRS6 でないものを mRS3-5 の患者とした。

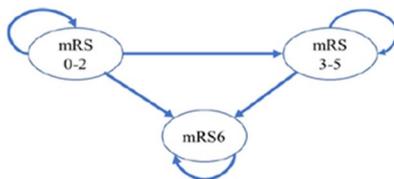


図 4：マルコフモデルのスキーム

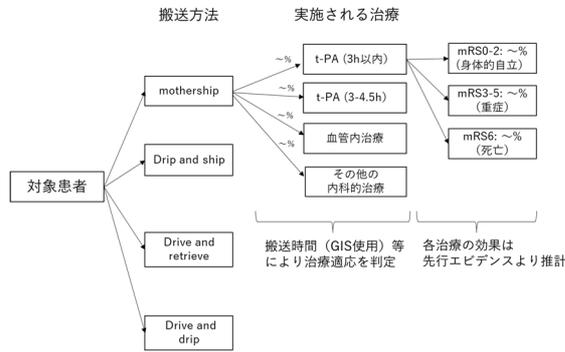


図5：本分析における急性期の決定木モデルの概略

4 か月以降のマルコフモデルのスキームはFigure 3 に示す通りである。Markov cycle は1 か月、initial probability はFigure 4 に示したものの、遷移確率は日本の生命表や海外の大規模な疫学調査から calibration を行った先行研究のものを用いた。QOL 値 (Utility) は、Xie らの研究に基づき、mRS0-2 で 0.71、mRS3-5 で 0.31 とした。医療費に関しては、t-PA や EVT の治療別と重症度別に発生する費用に分けて推計した。前者は日本における令和 4 年度診療報酬より設定し、後者は日本脳卒中学会の症例データベースのデータより推計された mRS 別費用より用いた。この費用には、外来でのフォローアップにかかる費用は含まれていない。

表 1：費用および QOL 値に関するパラメータ

項目	値	データソース
救急費用 (円/出動)	45390	東京消防庁 2002 など
医師の雇用費用 (円/年)	14620122	賃金構造基本統計調査における医師の平均値を基に、保険料などを加算
医療費		
血管内治療に要する費用	331500	K178-3 経皮的脳血栓回収術
t-PAに要する費用		
治療費用 (円/回)	108000	A205-2 超急性期脳卒中加算
アルテプラゼの費用 (円/回)	39318	グルトバ注 600万単位
その他の医療費 (円/患者)		
mRS0	860000	脳卒中データバンク 2015
mRS1	1160000	
mRS2	1650000	
mRS3	1900000	
mRS4	2280000	
mRS5	3230000	
mRS6	2710000	

介護費用は Morii らの先行研究に応じて[17]、mRS ステージを日本の介護サービス給付における介護必要度と対応させ、厚生労働省の国民生活基礎調査を基に 1 人当たりの介護必要度別の介護費用を推計して割り当てた。

搬送方法の政策実施に関する費用としては、専門医の賃金と、救急車の出動費用を含めた専門医の賃金に関しては DR の費用対効果を検討した先行研究より設定し、救急車の出動にかかる費用は平均 4.5 万円であったこと、近年では平均病院到着時間が 40 分程度であることから、病院到着時間が 40 分の場合に 4.5 万円で、到着時間に比例した費用が発生すると仮定した。

表 2：mRS と介護必要度の対応

	mRS0	mRS1	mRS2	mRS3	mRS4	mRS5	mRS6
介護必要度	--	要支援1	要支援2	要介護1	要介護2 or 3	要介護4 or 5	--
介護費 (千円/年)	--	34.9	59.6	127.6	要介護2 : 1725 要介護3 : 2525	要介護2 : 3030 要介護3 : 3489	--

#### 4. 研究成果

平均的なケース（発症時間の不確実性を考慮しない場合）では、宗谷医療圏を除いたほとんどのシナリオで、すべての患者が血管内治療の治療実施可能な時間で搬送可能であった（表4）。

表3：血管内治療が治療実施可能な時間で搬送可能な患者割合（カバー率）

	Drip and ship	Mothership	Drive and retrieve	Drip and drive
南渡島	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
南檜山	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
北渡島檜山	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
札幌	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
後志	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
南空知	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
中空知	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
北空知	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
西胆振	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
東胆振	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
日高	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
上川中部	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
上川北部	96.8%	100.0%	100.0%	96.8%
富良野	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
留萌	82.2%	100.0%	100.0%	82.2%
宗谷	15.1%	35.3%	100.0%	91.3%
北網	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
遠紋	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
十勝	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
釧路	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
根室	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

通常（医師の出張なしで）行われる搬送方法はDSまたはMSである。DSと比較してほとんどの場合でMSの費用対効果が優れていたため、MSと比較した場合のDRおよびDDのICERを表5に示す。また、表6にはアウトカムを、重症患者を1人減らすこととした場合のICERを示した。

表5：mothership法と比べた場合の、搬送

方法別および二次医療圏別のICER（円/QALY）

	Drive and retrieve	Drip and drive
南渡島（函館を含む）	13,960,691	dominated
南檜山	79,534,622	変化なし
北渡島檜山	34,247,974	381,401,986
札幌	3,837,635	52,388,829
後志	13,419,645	485,313,296
南空知	4,053,929	4,124,253
中空知	16,013,002	1,097,875,421
北空知	57,528,300	dominated
西胆振	22,787,631	変化なし
東胆振	14,530,271	38,139,332
日高	8,202,575	13,521,585
上川中部（旭川を含む）	9,297,806	37,306,142
上川北部	8,280,179	3,732,605
富良野	55,684,792	960,883,893
留萌	21,312,445	dominated
宗谷	2,609,984	1,338,752
北網	1,106,555	539,559
遠紋	13,195,687	6,675,651
十勝	6,665,343	21,251,644
釧路	16,028,443	85,600,413
根室	22,430,172	dominated

表7：mothership法と比べた場合の、搬送方法別

および二次医療圏別のICER（円/減らす重症患者数）

	Drive and retrieve	Drip and drive
南渡島（函館を含む）	Dominated	Dominated
南檜山	費用増加	費用増加
北渡島檜山	1,447,000,000	1,447,000,000
札幌	7,000,000	10,836,364
後志	240,833,333	240,833,333
南空知	3,271,493	2,264,840
中空知	54,130,435	Dominated
北空知	235,333,333	Dominated
西胆振	費用増加	費用増加
東胆振	19,822,581	18,758,065
日高	15,179,487	13,089,744
上川中部（旭川を含む）	24,849,057	23,000,000
上川北部	11,306,122	2,700,000
富良野	1,460,000,000	1,426,000,000
留萌	73,888,889	Dominated
宗谷	2,435,115	987,310
北網	951,009	338,843
遠紋	27,404,762	3,538,043
十勝	14,368,421	12,817,073
釧路	67,047,619	65,095,238
根室	費用増加	費用増加

本研究では、より質が高く均てん化された脳梗塞患者への医療提供体制構築の一助となるために、北海道を対象地域として地理的アクセシビリティや費用対効果の観点から搬送方法を比較した。その結果、Drip and ship法では、宗谷医療圏で6時間以内に血管内治療が実施できない患者が存在したが、Drive and retrieve法やDrip and drive法により平均的なケースでは90%以上が6時間以内の治療が可能であることが示された。さらに、費用対効果の観点では、Drive and retrieve法やDrip and drive法が最も費用対効果に優れるのは北網医療圏、および宗谷医療圏であった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yasuhiro Morii, Kagari Abiko, Toshiya Osanai, Jiro Takami, Takumi Tanikawa, Kensuke Fujiwara, Kiyohiro Houkin, Katsuhiko Ogasawara	4. 巻 0
2. 論文標題 Cost-effectiveness of Seven-days-per-week Rehabilitation Schedule for Acute Stroke Patients	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cost Effectiveness and Resource Allocation 2023	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21203/rs.3.rs-1489462/v1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Kazuki Ohashi, Toshiya Osanai, Kensuke Fujiwara, Takumi Tanikawa, Yuji Tani, Soichiro Takamiya, Hirotaka Sato, Yasuhiro Morii, Kyohei Bando, Katsuhiko Ogasawara	4. 巻 21
2. 論文標題 Spatial-temporal analysis of cerebral infarction mortality in Hokkaido, Japan: An ecological study using a conditional autoregressive model.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Health Geographics	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s12942-022-00316-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Yasuhiro Morii, Toshiya Osanai, Kensuke Fujiwara, Takumi Tanikawa, Kiyohiro Houkin, Songzi Gu, Katsuhiko Ogasawara	4. 巻 30(8)
2. 論文標題 Analyzing Cost-effectiveness of Allocating Neurointerventionist for Drive and Retrieve System for Patients with Acute Ischemic Stroke	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cerebrovascular Diseases	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.105843	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 森井康博、長内俊也、藤原健祐、高宮宗一郎、坂東恭平、谷川琢海、谷祐児、佐藤広崇、大橋和貴、石川智基、小笠原克彦
2. 発表標題 急性期脳梗塞患者の搬送方法が治療へのアクセシビリティに及ぼす影響 地理情報システムを用いたシミュレーション
3. 学会等名 第23回日本医療情報学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長内 俊也, 大橋 和貴, 坂東 恭平, 森井 康博, 藤原 健祐, 谷川 琢海, 小笠原 克彦, 藤村 幹
2. 発表標題 本邦における血栓回収療法提供体制の現状と課題 - 働き方改革を見据えて血栓回収の負担を可視化する -
3. 学会等名 日本脳神経外科学会シンポジウム 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森井康博、長内俊也、谷祐児、藤原健祐、坂東恭平、石川智基、高宮宗一朗、谷川琢海、大橋和貴、佐藤広崇、小笠原克彦
2. 発表標題 経皮的脳血栓回収療法を実施する医師を新規配置した場合における費用対効果 - 北海道を対象とした検討 - .
3. 学会等名 第60回日本医療・病院管理学会学術総会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasuhiro MORII, Toshiya OSANAI, Kensuke FUJIWARA, Yuji TANI, Soichiro TAKAMIYA, Takumi TANIKAWA, Katsuhiko OGASAWARA.
2. 発表標題 Optimal Transport System for Acute Ischemic Stroke Patients: A Cost-effectiveness Analysis
3. 学会等名 MEDINFO 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------