



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	救急搬送時間の短縮効果による北海道における最適ドクターヘリ配備数の検討の試み : 地理情報システムを用いた救急搬送シミュレーション
Author(s)	敦澤, 貴啓; 寺下, 貴美
Citation	日本航空医療学会雑誌, 15(1), 7-13
Issue Date	2014
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/57044
Type	journal article
File Information	koukuuiryo-15(1)_7-13.pdf



[原著論文]

救急搬送時間の短縮効果による北海道における
最適ドクターヘリ配備数の検討の試み:
地理情報システムを用いた救急搬送シミュレーション

A Pilot Study to Investigate Appropriate
Assignment of Helicopter Ambulances in
Hokkaido, Japan: Emergency Medical
Systems Simulation Using Geographic
Information System

敦澤 貴啓 Takahiro Tsurusawa

寺下 貴美 Takayoshi Terashita

[原著論文]

救急搬送時間の短縮効果による北海道における 最適ドクターヘリ配備数の検討の試み： 地理情報システムを用いた救急搬送シミュレーション

A Pilot Study to Investigate Appropriate Assignment of Helicopter Ambulances in Hokkaido, Japan: Emergency Medical Systems Simulation Using Geographic Information System

敦澤 貴啓¹⁾、寺下 貴美²⁾

Takahiro Tsurusawa¹⁾, Takayoshi Terashita²⁾

1) 所属：北海道大学医学部保健学科放射線技術科学専攻

Division of Radiological Science and Technology, Department of Health Sciences, School of Medicine, Hokkaido University

住所：〒060-0812 北海道札幌市北区北12条西5丁目

電話：011-706-3421

2) 所属：北海道大学 大学院保健科学研究院

Faculty of Health Sciences, Hokkaido University

【キーワード】

救急搬送シミュレーション 〈emergency medical systems simulation〉

搬送時間 〈travel time〉

地理情報システム 〈geographic information system〉

【要 旨】

ドクターヘリは救急現場での迅速な初期治療と搬送時間の短縮が利点である。北海道では現在、3機が配備されている。ドクターヘリは高額な運用費を必要とし、効果的に導入を検討しなければならない。そこで北海道における最適なドクターヘリ配備数を検討するため、救急搬送のシミュレーションを行い、ドクターヘリを追加導入した場合の搬送時間の変化を比較した。搬送経路は消防署から救急現場、救急現場から一次救急病院を経て二次救急病院までとした。ドクターヘリ搬送はランデブーポイントへ移動し、そこから基地病院への搬送とした。地理情報システムを用いて、仮定の傷病者を地図に配置し、搬

送時間を計算した。ドクターヘリの増加と共にヘリ搬送者数は増加し、搬送時間の短縮効果が認められたが、1搬送当たりの時間短縮効果は6機目以降、ほぼ一定になった。本研究では北海道において少なくとも6機のドクターヘリが最適であると考えられた。

* * *

はじめに

救急医療用ヘリコプター（以下、ドクターヘリ）は医師や看護師による救急現場での迅速な初期治療の開始、および搬送時間の短縮によって救命率の向上や後遺症の低減に大きな成果を上げている救急搬

送システムである¹⁾。2013年3月現在で34道府県40機が配備され、2012年度の出動件数は17,557件に上り、前年度から約4,600件の増加を認め、ドクターヘリの必要性が高いことがわかる²⁾。

一方、ドクターヘリは医療が充実していない地域の格差縮小にも期待されている。特に北海道は医療過疎地域が多く、医療過疎地域の救急医療を確保するため、広範囲で航行できるドクターヘリは必要不可欠である。北海道のドクターヘリは現在、3機が配備されているが²⁾、広大な面積を有する北海道では、なおも未整備圏域が残っている。北海道医療計画ではドクターヘリの未整備圏域への導入および通常運航圏の拡大について検討が必要としている³⁾。今後、函館に配備されることが決定しており、さらなる導入も予想される。

しかし、ドクターヘリの複数機運用には課題がある。費用面では1機当たり年間約2億円が必要となり、機数が増えるほど負担が増加する。基地病院にはヘリポートや格納庫などの整備、医師をはじめとする救急医療専門スタッフを充実させる必要がある。特に北海道では寒冷地用の特別な設備も要求される⁴⁾。またドクターヘリの運航は午前8時30分から日没前までに制限され、悪天候による視程不良の運航制限もある。ドクターヘリの重要性は大きいが、問題点を踏まえた上で、北海道に必要な配備数を検討すべきである。

ここでドクターヘリの特徴の一つである高速な移動と道路や建物に関係なく移動できることに着目すると、ドクターヘリの配備数が増えることにより、全搬送のうちドクターヘリによる搬送の割合が増加するため、救急搬送にかかる平均時間は減少すると仮定できる。この救急搬送にかかる時間の短縮はドクターヘリ導入による時間的な効果と位置付けることができ、ドクターヘリの配備を検討できる指標になるのではないかと我々は考えた。そこで本研究では、搬送時間の観点から、ドクターヘリの配備数を検討するため、救急搬送のシミュレーションを行い、ドクターヘリの追加導入による搬送時間の短縮効果を検討した。

方 法

(1) 対 象

対象地域は北海道とした。北海道のドクターヘリは道央ドクターヘリ(札幌市)、道北ドクターヘリ(旭川市)、道東ドクターヘリ(釧路市)の3つが現在運航中である³⁾。救急車体制は全道で307救急隊が各地に配備されている。消防庁の報告では2012年度実績で、北海道は234,268件の救急車出動があり、うち搬送された傷病者人員は213,012人であった⁵⁾。またドクターヘリでは主に重傷傷病者が対象となるが、同報告によると搬送人員のうち11.5%が重症傷病者であった。本シミュレーションでは対象者を2012年度実績から推定した重症傷病者と設定した。

(2) 救急搬送の経路と搬送時間

まず本研究では重症傷病者の搬送経路として、消防署から救急現場、救急現場から一次救急病院、一次救急病院から二次救急病院までを想定した。救急現場を起点に最短の消防署および最短の医療施設までの道路を救急車によって法定速度で移動することとした。ドクターヘリ搬送の場合は、消防署から救急現場、救急現場からランデブーポイントまでを救急車で移動し、ランデブーポイントから基地病院までをヘリコプター移動として直線移動と仮定した。この時の時速は200km/hとした¹⁾。搬送時間はこれら移動経路にかかる時間の合計とした。なお本研究では、救急現場での処置や傷病者の乗り降りする時間は含めていない。またドクターヘリの要請は救急現場から行ったものとし、救急車が救急現場からランデブーポイントまで移動する時間とドクターヘリが基地病院からランデブーポイントまで到達する時間を比べ、長い方を計算に用いた。例えば、消防署から救急現場までの移動時間を6分、救急現場とランデブーポイント間を5分、ランデブーポイントと基地病院間のドクターヘリ移動を15分とすると、ランデブーポイントまでの時間はドクターヘリ移動の方が長いため、この傷病者の搬送時間は $6 + 15 \times 2 = 36$ 分となる。

Table 1 仮想傷病者に付加したパラメータ例

No.	住所	緯度	経度	傷病程度	日時	天候
1	石狩市浜益50-22	43.61	141.38	重症	8月19日14時34分	晴
2	札幌市厚別区上野幌	43.01	141.49	軽傷	5月24日15時12分	曇
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
213,012	千歳市柏台南1-2-1	42.82	141.67	重症	2月23日19時45分	雪

本シミュレーションのために作成した仮想傷病者に対して付加したパラメータの例を示している。人口分布に沿った地理的な配置（緯度経度）に対して、傷病程度、日時、天候が付加されている。傷病程度は実際に搬送された統計データに基づいている。日時は1月1日0:00から12月31日23:59までの範囲で一様乱数で付加されている。天候は基地病院の天気出現率を参考に晴・曇・雨・雪の4つを付加している。

(3) 分析ソフトウェアと使用データ

本研究では地理情報システム (Geographic Information System、以下GIS) であるArcGIS Desktop 10 (ESRI社) を用いた。GISとは空間データと数値データを統合して分析できるシステムであり、移動距離や時間を算出することができる⁶⁾。

地図データはArcGISデータコレクション プレミアムシリーズ道路網北海道版 (ESRI-Japan社) を使用した。消防施設の位置情報は平成24年度版の国土数値情報消防署データ第1.1版より、北海道の全消防施設484施設から、消防署および支署の347施設を採用した。なお上述のように救急隊数は307隊であるが、救急車の配備の有無を判別できなかったため、このように仮定した。救急病院の位置情報は平成22年度版の国土数値情報医療機関データ第2.0版より、北海道の全596病院を一次救急病院とし、北海道医療計画から292病院を二次救急病院として設定した。

ランデブーポイントは基地病院と消防機関があらかじめ協議して決められているが⁷⁾、本研究ではドクターヘリを追加導入するため、新たに作成する必要がある。まず離着陸場の選定基準はできるかぎり平らな場所で勾配が14度以下、周囲に高い障害物がある場合には約35m×35m以上の広さであることとされている⁷⁾。またランデブーポイントの約6割が学校および公園であることから、学校と公園を採用した。平成18年の国土数値情報公共施設データ第4.0版から学校の位置データを、平成23年の国土数値情報都市公園データ第1.1版から面積が10,000m²以上の公園の位置データを抽出した。なお選定基準では、着陸場の広さが約35m×35m以上とされているが、

データからだけでは周辺の立地条件などが不明であるため、本研究では面積を10,000m²以上とした。

仮想傷病者の位置情報 (救急現場) は、次の手順で作成した。まず人口分布に沿ったデータを作成するため、平成22年国勢調査より1km²メッシュデータを用い、メッシュエリア内の人口を北海道全体の人口で除し、救急搬送人員数213,012人を乗ずることで、そのメッシュエリアで発生する傷病者数を決定した。なお傷病者数が1人以下のエリアについては人がいなくても救急事案が発生する可能性を考慮し、ランダムに0.5の確率で1人は発生することと設定した。次にメッシュエリア内に傷病者数分のポイントをランダムに散布し、仮想傷病者の位置データとした。この操作は統計解析ソフトウェアR ver2.15.0を用いて行った。

(4) 分析の手順

はじめに仮想傷病者データに対し、ランダムな傷病程度、発生日時、天候を付加した。傷病程度は救急車搬送での割合を参考に付加し⁵⁾、重症者以上の傷病者を抽出した。発生日時は1月1日0:00~12月31日23:59までの範囲で一様乱数を用いて付加した。天候は札幌管区気象台の統計データから、基地病院の天気出現率を元に、晴・曇・雨・雪を付加した。Table 1に傷病者のパラメータ例を示す。

次に傷病者が上述の搬送経路に従って移動したと想定し、救急車搬送とドクターヘリ搬送の搬送時間を算出した。なおドクターヘリ利用の可否を発生日時 (午前8:30から日入りまで)、天候 (晴・曇) から判断し、不可の場合には救急車搬送とした。またドクターヘリが利用可能であった場合、救急車搬送

Table 2 現在のドクターヘリ基地病院、及び本シミュレーションで想定した基地病院とその選択理由

導入順	基地病院	選択理由
1	札幌手稲溪仁会病院	現在運航中である
2	旭川赤十字病院	現在運航中である
3	釧路市立病院	現在運航中である
4	函館市立病院	計画之中である
5	帯広北斗病院	十勝三次医療圏の中核都市である帯広市(人口:168,000人)の二次救急病院であり、病床数は400床
6	北見赤十字病院	オホーツク三次医療圏の中核都市である北見市(人口:126,000人)の三次救急病院であり、病床数は680床
7	稚内市立病院	ドクターヘリ未就航圏の宗谷地方で人口規模が大きい稚内市(人口:40,000人)の二次救急病院であり、病床数は362床
8	室蘭市立病院	人口が集中する道央三次医療圏において、4機目の函館から札幌までの間の中間的位置にある室蘭市(人口:100,000人)の二次救急病院であり、病床数は563床

本シミュレーションではドクターヘリ配備数を0から8機まで変化させて検討している。現行にないドクターヘリの基地病院は人口規模、病院規模、地理的条件を考慮し、配置した。

と比較し、時間の短い方をその傷病者の搬送時間として採用した。

最後に評価指標を算出した。本研究ではドクターヘリを導入したことによる搬送時間の短縮効果を評価する。ここで救急車を使用した場合の搬送時間からドクターヘリを使用した場合の搬送時間を引いた差分を、ドクターヘリによって搬送時間が短縮された効果とする。本研究では短縮された搬送時間の合計を時間短縮効果として定義した。以下に式を示す。

$$TR = \sum (GT_i - HT_i) \dots\dots\dots ①$$

TR (Time Reduction) : 時間短縮効果

GT (Ground emergency medical systems travel Times) : 救急車を使用した場合の搬送時間

HT (Helicopter emergency medical systems travel Times) : ドクターヘリを使用した場合の搬送時間

これを本研究における評価指標とし、シミュレーション結果の変動を考慮して、ランダムな傷病程度、発生日時、天候の付加から、搬送時間の計算及び評価指標の算出までの工程を10,000回繰り返して平均値と95%信頼区間を算出した。

上記の手順をドクターヘリの数を増して行い、評価指標の変化を検討した。ドクターヘリは0から8機まで変化させた。基地病院は、現在運航中の3機目

までは札幌手稲溪仁会病院、旭川赤十字病院、釧路市立病院とし、4機目は計画之中である函館市立病院とした。それ以降は人口、病院の規模、地理的条件を考慮し、5機目は帯広北斗病院、6機目は北見赤十字病院、7機目は稚内市立病院、8機目は室蘭市立病院を基地病院とした。Table 2に導入順と基地病院、選択理由を示す。

結 果

Table 3に本研究で作成した仮想傷病者数について、北海道全体、および代表的な都市における内訳を示す。本研究で作成した仮想傷病者数と平成24年度実績を比較すると、北海道全体の件数は大きな違いはなく、主要都市の札幌市、旭川市もほぼ同等であったが、その他の都市では多少違いがあった。なお平成24年度救急自動車搬送人員は各消防局・消防本部のホームページに掲載されているものを参照した⁸⁻¹³⁾。

本シミュレーションにおける重症傷病者は平均24,618±143人(11.4%)となり、傷病程度の割合は想定通りとなった。Table 4にドクターヘリの配備数、搬送者数、時間短縮効果、及び1搬送当たりの時間短縮効果を示し、Figure 1にそれらの関係を示す。なお1搬送当たりの時間短縮効果は、全体の時間短縮効果を搬送者数で除したものである。結果ではドクターヘリの配備数が増えると搬送者数も増加し

Table 3 北海道の代表的な都市における救急自動車搬送人員と仮想傷病者数

	平成24年度実績(人)	仮想傷病者数(人)
北海道全体	213,012	214,081
札幌市	72,500 (34.0%)	73,972 (34.5%)
旭川市	13,552 (6.4%)	13,416 (6.3%)
函館市	13,161 (6.2%)	10,259 (4.8%)
釧路市	8,869 (4.2%)	6,933 (3.2%)
千歳市	2,509 (1.2%)	3,674 (1.7%)
北広島市	1,819 (0.9%)	2,461 (1.1%)
小計	112,410	110,715

Table 4 ドクターヘリ配備数を変化させたシミュレーション結果

ドクターヘリ配備数	ドクターヘリによる搬送者数(人)	時間短縮効果(分)	1搬送者当たりの時間短縮効果(分/人)
0	0	0	0
1	895 (838-952)	6,029 (5,490-6,582)	6.7 (6.3-7.2)
2	1,228 (1,163-1,296)	9,604 (8,893-10,349)	7.8 (7.4-8.2)
3	1,412 (1,342-1,484)	11,618 (10,797-12,469)	8.2 (7.8-8.7)
4	1,699 (1,622-1,776)	14,312 (13,391-15,268)	8.4 (8.0-8.8)
5	1,913 (1,831-1,994)	16,408 (15,422-17,422)	8.6 (8.2-9.0)
6	2,025 (1,941-2,109)	17,983 (16,882-19,115)	8.9 (8.5-9.3)
7	2,057 (1,972-2,142)	18,214 (17,102-19,349)	8.9 (8.4-9.3)
8	2,169 (2,082-2,255)	19,459 (18,324-20,625)	9.0 (8.6-9.4)

※括弧内は10,000回のシミュレーションで得た95%信頼区間を示す。

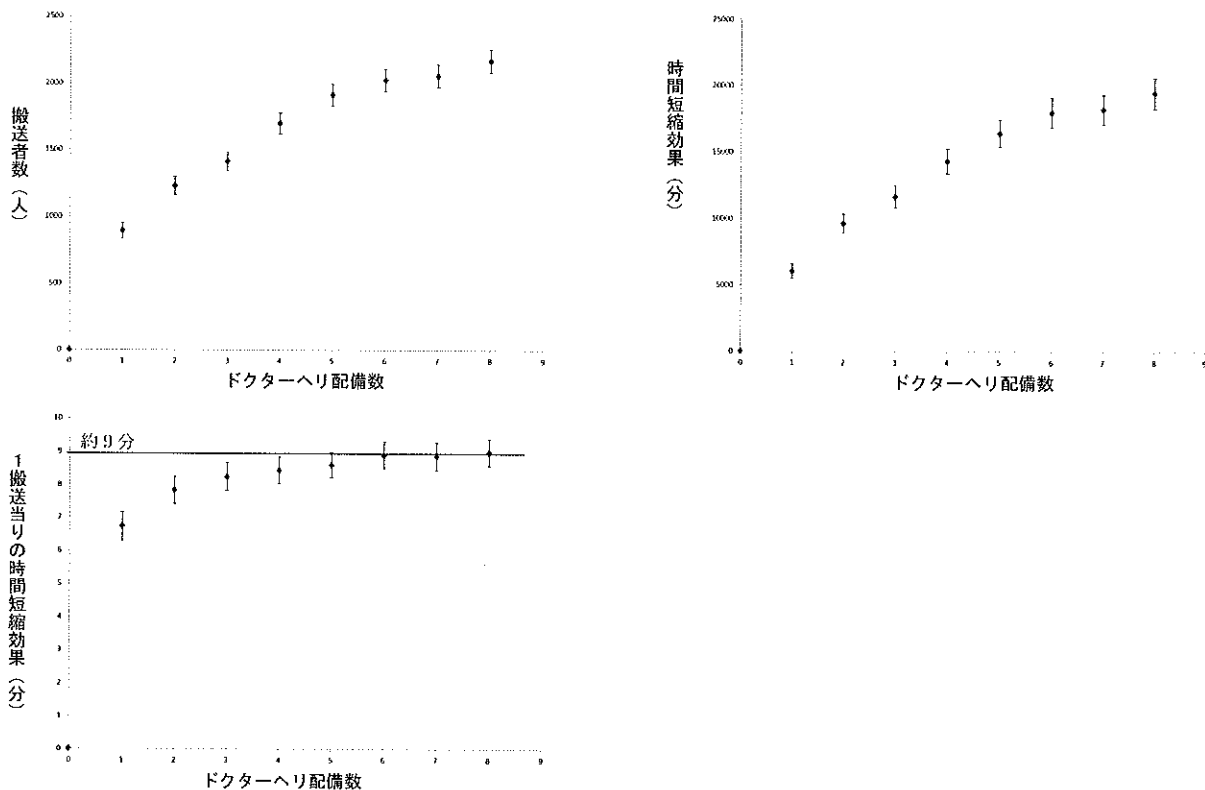


Figure 1 ドクターヘリ配備数と搬送者数と時間短縮効果、及び1搬送者当たりの時間短縮効果の関係

ドクターヘリ配備数を変化させた時の搬送者数（左上）、時間短縮効果（右上）、1搬送者当たりの時間短縮効果（左下）の推移を示している。搬送者数と時間短縮効果は配備数とともに増加している。また1搬送者当たりの時間短縮効果は6機以降で一定となり、約9分であった。なおプロットの下上の幅は95%信頼区間を表す。

た。また増加率は機数が増えると小さくなる傾向が見られた。同じく時間短縮効果も配備数と共に増加し、ほぼ同じ傾向を示した。1搬送当りの時間短縮効果は機数の少ない時には大きく増加するが、だんだんと変化率が小さくなり、6機目以降はほぼ一定の値に収束していた。6～8機の平均は約9分であった。

考 察

(1) 時間短縮効果による北海道のドクターヘリ必要配備数

結果より、ドクターヘリの配備数を増やすと搬送者数、および時間短縮効果は単調増加になった。ドクターヘリの数が増えれば、利用の機会が増えるため当然の結果である。ただし7機目（稚内）では、ドクターヘリ搬送者数と時間短縮効果はあまり増加しなかった。これは立地条件として運航面積が少ないことに加え、宗谷地方の少ない人口に対して相対的に病院数が多くなるためと考えられる。また札幌と函館のドクターヘリでカバーされている地域へ8機目（室蘭）を配備した際に搬送者数と時間短縮効果が増加するのは、後志南部と檜山北部に二次救急病院が少なく、道路距離が長くなるために中間点のドクターヘリが有効に使われたと考えられる。

次に1搬送当たりの時間短縮効果は6機目（北見）まで増加し、それ以降はほぼ一定値になった。ここで1搬送当たりの時間短縮効果は搬送者数と時間短縮効果の増え方の傾きを意味しており、さらにこの値の傾向として、定常状態、増加状態、減少状態に分けて考えることができる。この値が一定となる状態では、搬送者数の増え方と時間短縮効果の増え方が一定で比例となる。また増加状態では、搬送者数の増え方に対して、時間短縮効果の増え方が大きい時である。つまり、この値は搬送時間の短縮から見たドクターヘリの必要度と言い換えることができ、増加状態ではドクターヘリの不足、定常状態では機数を増やせば比例的に効果が見込まれることを示していると解釈できる。逆に、これが減少する場合は搬送者数の増え方に対して、時間短縮効果の増え方が少ない場合であり、ドクターヘリの過剰を表していると推察される。

本研究のシミュレーションでは、この定常状態と

増加状態の2つが観察された。1機から5機までは増加状態、6機以降は定常状態と考えられる。本研究では8機までを検討しているが、これ以上配備した場合は減少状態になる可能性がある。本研究では北海道において少なくとも6機のドクターヘリを配備することで、ドクターヘリ本来の時間的な効果が見込まれると考えられる。この6機という目安は北海道の三次医療圏の数と一致し、ある程度妥当な数値であると思われる。またこれ以上の配備でも比例的な時間短縮効果が見込まれるが、搭乗スタッフの確保や費用負担等の問題もあり、運用面や経済面を考慮した分析が必要であると考えられる。

(2) 本研究の限界点

本研究のシミュレーションは限定的であるため、多くの限界点を内包している。

まず評価指標の問題がある。ドクターヘリ等の効果を調査する場合、本来、死者数や生活の質（Quality of life : QOL）のような、一般的な指標で効果を示す必要がある。しかし、救急隊員の行う処置やドクターヘリに搭乗する医師・看護師の医療行為による救命効果が死亡率にどのように影響するかの先行研究がなく、本研究では推測することができなかった。本研究では搬送時間について救急車搬送とドクターヘリ搬送を同等に扱ったが、ドクターヘリの方が医師・看護師がより専門的な医療行為を行うため救命効果が高く、傷病者の予後のQOLに大きく影響すると予想される。

次にシミュレーション方法の限界がある。本研究ではドクターヘリや救急車の運用面を考慮していない。例えば、救急車がすでに出動した後に別の出動要請があった場合は、次に出動可能な救急車が出動することになると予想される。ドクターヘリにも同様の場面が考えられる。しかし本研究では、同時刻に傷病者が発生したとしても一番近い救急車、またはドクターヘリが出動することになるため、短縮効果を過大評価している可能性がある。

また本研究におけるドクターヘリの搬送経路は現場からの要請でドクターヘリが出発し、基地病院に搬送されるケースしか想定していない。現場搬送の他に施設間搬送や、出動要請にはダイレクト方式な

ど複数の利用形態があり⁷⁾、また全搬送の約半数が拠点病院以外への搬送であるため、これらはシミュレーションとして無視できない²⁾。

さらに搬送時間の計算において、ドクターヘリの離着陸する時間や臨時着陸場の確保に要する時間を考慮していない。報告ではドクターヘリの離陸に要する時間は全国平均で3.79分である¹⁾。本研究でこの時間は搬送方法の決定に関わる。例えば、基地病院のごく近くで発生した傷病者がドクターヘリ搬送されてしまう場合があった。救急現場が基地病院とランデブーポイントのどちらにも近く、救急車搬送よりもドクターヘリ搬送の方が数秒単位で短くなるためである。

本シミュレーションのランダムな設定において4つの天候状態を組み込んだが、さらに風や霧などの状況も考慮すべきである。ドクターヘリは20m/s以上の強風、視程1.5km以下の場合では航行できず、航行可否を判断する上で重要なパラメータとなる¹⁾。例えば、道東ドクターヘリは霧の多い釧路市に基地病院があるが、本研究では晴れ・曇りの割合が高く、過剰に出動していた恐れがある。

結 論

本研究ではGISを用いて、地理、及び傷病程度、発生日時、天候を考慮したシミュレーションを行い、ドクターヘリの導入による搬送時間の短縮から、北海道における最適なドクターヘリ配備数の検討を試みた。本研究の結果では、6機以降は1搬送当たりの

時間短縮効果が一定となり、北海道において少なくとも6機が必要であると示すことができた。

【参考文献】

- 1) 益子邦洋：ドクターヘリの現状と課題、予防時報、2008；233：14-21.
- 2) 認定NPO法人救急ヘリ病院ネットワーク：ドクターヘリ配備図、季刊誌救急ヘリ病院ネットワーク HEM-Netグラフ、2013；28：初夏：14.
- 3) 北海道庁：北海道医療計画、2013.
- 4) 小野寺英雄、高橋功、早川達也：積雪地におけるドクターヘリ運行体制の確立を目指した基地病院の取り組み、日本航空医療学会誌、2007；8：2：7-10.
- 5) 総務省消防庁：平成25年度版 救急・救助の現況、2013.
- 6) 橋本雄一：GISと地理空間情報 ArcGISとダウンロードデータの活用、古今書院、東京、2011.
- 7) 宗広一徳、武本東、高橋尚人 他：北海道におけるドクターヘリの運航状態と緊急離着陸場としての道路施設等利用可能性、寒地土木研究所月報、2012；708：38-45.
- 8) 札幌市消防局：救急出動状況 (<http://www.city.sapporo.jp/shobo/kyukyu/shutudou/shutudou.html>) 平成26年2月26日確認)
- 9) 旭川市消防本部：消防年報 (http://www.city.asahikawa.hokkaido.jp/files/syoubou_soumu/12-1nenpou.html) 平成26年2月26日確認)
- 10) 函館市消防本部：消防年報 (<http://www.city.hakodate.hokkaido.jp/syoubou/nenpou/hfd-nenpou.html>) 平成26年2月26日確認)
- 11) 釧路市消防本部：消防年報 (http://www.city.kushiro.lg.jp/bousaikyu/shoubou/s_gaiyou/s_nenpou/cat00000410.html) 平成26年2月26日確認)
- 12) 千歳市消防本部：消防年報 (<http://www.city.chitose.hokkaido.jp/index.cfm/71,0,152,527.html>) 平成26年2月26日確認)
- 13) 北広島市消防本部：消防年報 (<http://www.city.kitahiroshima.hokkaido.jp/hotnews/detail/00003049.html>) 平成26年2月26日確認)