

高知県を対象とした南海トラフ巨大地震 発災後の航空機運用方法の検討

川崎 智也¹・荒谷 太郎²・轟 朝幸³・古川 詩乃⁴

¹正会員 東京工業大学助教 環境・社会理工学院融合理工学系 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)
E-mail: kawasaki@ide.titech.ac.jp

²正会員 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 主任研究員
(〒181-0004 東京都三鷹市新川6-38-1)
E-mail: aratani@nmri.go.jp

³正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail: todoroki.tomoyuki@nihon-u.ac.jp

⁴非会員 元日本大学 理工学部社会交通工学科

東日本大震災発災直後、救命救助などの活動においてヘリコプターが活躍した。大規模災害が予測されている南海トラフ巨大地震発災後においても、ヘリコプターは重要な役割を担うと考えられるが、ヘリコプターの拠点空港の被災や場外離発着場での給油施設の有無など、救助人数に影響すると考えられる要因が数多く存在する。そのため高知県内のヘリコプターによる救命救助活動においては、県外の高松空港や松山空港などの活用が検討されており、2ヶ所の場外離発着場に給油施設を設置することが検討されている。本研究では、広域災害時におけるヘリコプターの運用方法に関するシナリオを複数作成し、マルチエージェントシミュレーションモデルを用いて救助可能人数を算出し、効果的なヘリコプターの運用方法について検討した。

Key Words : Nankai megathrust earthquake, Kochi airport, helicopter, relief operation, multi-agent simulation

1. はじめに

東日本大震災では、震災発災直後から消防防災ヘリや自衛隊機などあらゆる運用主体の航空機が被災県の空港に飛来し、救命救助、人員輸送、物資輸送、情報収集などの活動を行った。これら航空機の活動拠点は空港であることが多いが、発災直後は飛来が集中するため、駐機スペース不足、航空燃油不足、支援物資の滞留、関係機関間の情報共有・連携不足などの問題が生じた¹⁾。

巨大地震発災後に救援救助活動を実施するには空港機能を失わないことが重要である。そのため国土交通省航空局「空港の津波対策検討委員会」では、近隣空港の役割分担、場外離着陸場との連携、ヘリコプターの活動エリアの指定など、広域災害時の想定被災地域における空港の備えについて、災害時の空港運用に関する検討をしている。この検討の中で、発災直後に空港機能を失う可能性がある7空港（仙台空港、東京国際空港、中部国際空港、関西国際空港、高知空港、宮崎空港、大分空港）

が指定されている²⁾。高知空港は津波リスクが高い空港として指定されており、南海トラフ巨大地震に伴う津波により、空港用地の大部分が浸水すると予測されている³⁾。そのため、減災対策として護岸の整備やヘリパッドを嵩上げするなどの対策が予定されている⁴⁾。このような対策を講じても高知空港が浸水する場合は、隣接県にある高松空港および松山空港を代替的にヘリコプターの拠点とすることが想定されている。しかしながら、高松空港と松山空港の利用はヘリコプターの拠点が被災地から遠ざかることを意味しており、救助人数の減少が懸念される。

災害時の救命救助活動に関する研究としては、ヘリコプター進出拠点の施設配置問題⁵⁾や救助費用最小化を目的関数としたネットワーク分析⁶⁾などが存在する。荒谷ら⁷⁾は東日本大震災発災直後の消防防災ヘリ、警察ヘリ、ドクターヘリ、海上保安庁機、自衛隊機、民間小型機、民航旅客機を対象とした被災県の空港利用の実態を分析している。日常よりも遙かに多い航空機需要を捌く課題

や主体間の連携不足による救助活動への影響について論じており、多種多様な組織間の迅速なコミュニケーションと役割分担の明確化が肝要であると指摘している。仲地ら⁸⁾は、東日本大震災発災後に救助活動にあたった自衛隊と消防のヘリコプターによる救助活動を振り返り、南海トラフ巨大地震による被災想定エリアにおけるヘリコプターの効果的な運用策を提案している。しかしながら、これらの研究では広域災害時の複数空港および場外離着陸場の運用、さらにはヘリコプターの活動エリアの検討など、ヘリコプターの総合的な運用方法の検討はなされていない。本研究では南海トラフ巨大地震発災後の高知県を対象として、様々なシナリオ分析を実施することにより、ヘリコプターの効果的な運用方法を検討することを目的とする。具体的には、救助方法、実働ヘリ数などを前提条件として、南海トラフ巨大地震発災後のヘリ活動シミュレーションを実施する。シナリオ別に救助人数を算出し、救助人数を増加させるための運用方法について考察する。

2. 本研究の対象

(1) 被害想定

本研究では、高知県南海トラフ地震対策課⁹⁾で予測されている南海トラフ巨大地震による被害者数を想定する。高知県には最大34mの津波が襲来し、現状のインフラでは高知空港の用地面積の半分以上が浸水する想定となっている。被災地域は表-1に示す高知県沿岸部19市町村で、被災者数は計2,350人と想定されている。救助要請人数は高知県南海トラフ地震対策課¹⁰⁾が公表している市町村別の津波による「人的被害（負傷者数）」とした。要救助者がヘリの救助を待つ場所は、実際には県内の様々な場所に分布しているものと考えられるが、ここでは簡単のため、各市町村につき一箇所の避難場所に全ての要救助者がヘリの救助を待っているものと仮定した。人口が多い高知市の要救助者数が580人と最も多く、奈半利町、田野町、芸西村の3町村は津波による負傷者は

想定されていない。

(2) ヘリコプターの活動拠点

南海トラフ巨大地震発災直後、救援救助活動を主に実施する航空機は機動性の高いヘリコプター（以降、ヘリ）である。災害時に活動するヘリコプターは、消防ヘリ、消防防災ヘリ、警察ヘリ（以上3つは主に自治体所有のヘリ）、海上保安庁のヘリ、自衛隊のヘリ、国土交通省の災害対策用ヘリ、ドクターヘリなどがある。このうち、本研究で対象とするのは消防防災ヘリを運航する消防防災航空隊（以下、消防航空隊）の行動である。ヘリは離発着、駐機、給油などの作業や活動を行う活動拠点を必要とする。救援活動時のヘリの活動拠点は、ヘリベースとフォワードベースに大別される。これらの活動拠点について以下で説明する。

a) ヘリベース

広域災害発災後の救援救助活動では、ヘリの活動拠点となるヘリベース（HB）が設けられる。ヘリによる救助活動は日中のみ実施され、日の入と同時にその日の救助活動を終了し、HBに帰還する。HBでは隊員の休息、機材の管理・点検や給油作業が行われ、日の出までヘリはHBに駐機する。日の出後に、救援救助活動が開始され、ミッションの間、ヘリは基本的には場外離発着場を活動拠点とする。この場外離発着場をフォワードベース（FB）と呼ぶ（詳細は後述する）。HBでは機材点検や管理作業を実施するため、HBには空港が指定されることが多い。東日本大震災時には花巻空港、福島空港、山形空港がHBとしての機能を果たした⁷⁾。

高知県消防航空隊では、高知空港をHBに指定している。そのため高知空港は基本的にはHBとしての役割を果たすことになるものの、日中のミッションでは給油や救助者の降機など、FBとしての機能も果たすことがある。しかしながら、前述のとおり高知空港では空港用地の半分以上が津波により浸水すると予測されている。そこで本研究では、高知空港が利用不可能な場合も想定し、高知県沿岸部の市町村から時速200kmのヘリで片道30分以内に到達可能な愛媛県の松山空港と香川県の高松空港を代替空港として考慮した。

b) フォワードベース

日の入から日の出までHBに駐機しているヘリは、日の出とともに被災地へ向かい、救助活動を行う。日中の活動拠点は、被災地に近いFBを利用し、被災者の受け入れ、隊員の交代などの活動を行う。また、ヘリの給油は基本的にHBで行うが、FBに給油設備が整っていれば、給油作業もFBにて実施される。東日本大震災発災後にFBとして活用されていた仙台市内の総合運動公園であるグランディ²¹⁾では、ドラム燃料による給油作業が行われていた。

表-1 市町村別要救助者数（人）¹⁰⁾

市町村名	要救助者数	市町村名	要救助者数
東洋町	80	土佐市	400
室戸市	90	須崎市	190
奈半利町	0	中土佐町	220
田野町	0	四万十町	20
安田町	10	黒潮町	170
安芸市	100	四万十市	20
芸西村	0	土佐清水市	170
香南町	50	大月町	60
南国市	30	宿毛市	160
高知市	580		



図-1 HBとFBの位置 (括弧内はスポット数)

高知県により、県内には 8 ヶ所の FB が指定されている⁹⁾。FB の位置図とスポット数¹⁰⁾を図-1 に示す。高知市内から最も近い県立春野総合運動公園に最大の 9 機が駐機可能となっており、県立室戸広域公園と高知大学医学部はスポット数がそれぞれ 3 機と、高知県内ではスポット数が最も少ない FB である。運行ヘリ数にもよるものの、スポット数が少ないと待ち時間の発生確率が高くなり、救助人数が減少する可能性がある。FB に飛来したヘリのスポットが埋まっている場合、飛来したヘリはスポットが空くまでホバリングで上空待機することになる。

図-2 シミュレーションのフロー

3. ヘリの行動とシミュレーター

(1) 救助へりの一日の行動

ヘリの 1 日の行動を説明する。前述の通り、夜間、HB に駐機されていたヘリは日の出とともに HB を出発し、被災地へ向かう。被災地にて被災者を救助し、近くの FB で降機させる。実際のミッションでは、要救助者が治療を要する場合、病院などの治療設備が整った医療施設などで降機させることもある。また、医療関係者と連絡を取り、中継点を設けて負傷者を受け渡すこともある。本研究では、簡単のため全ての被災者の降機場所を FB とする。被災者の降機後、再度被災地に移動して要請救助者を救出し、近くの FB で降機させる。ヘリは日中の間、以上のミッションを繰り返す実施する。

1 ミッション終了後、燃料が不足している場合には燃料補給が可能な高知空港などの HB や FB に帰還し、燃料補給後にミッションを再開する。本研究では、ヘリが最大 2 時間の飛行が可能とし、次ミッションで要する期待飛行時間とこれまでの飛行時間の合計が、前回の燃料補給から 2 時間を超える場合、燃料補給を行う。

ヘリが飛行可能な日照時間内に以上の行動をシミュレートし、救助人数を計測する。東日本大震災では、ヘリ

ステップ0: 救助率最小の救助場所を選定する.

※ステップ0は救助率最小行動の場合のみ実施

ステップ1: 全救助場所（※救助率最小行動の場合はステップ0で選定した救助場所）から自ヘリが最短時間でミッションを完了できる救助場所を選定する。

ステップ2: ステップ1で選択した救助場所では他ヘリによるミッションの時間を計算し、自ヘリが最速であれば救助場所を決定してステップ3へ進む。そうでなければステップ1で抽出した救助場所を除外してステップ0または1へ戻る。

ステップ3: 自ヘリが被災地で要救助者をヘリに乗せた時点で救助率および救助完了人数を更新する。要救助者を投機させてミッションが完了した後、次のミッションに向けてステップ0または1に戻る

の活動時間は日照時間に限られていた⁷⁾。そこで本研究では、ヘリの1日の活動時間を2014年度の高知県の平均日照時間である12時間とした。

(2) シミュレーター

a) シミュレーションのフロー

ヘリによる救助人数を算出する目的で、Majima *et al.*⁽¹²⁾で開発されたマルチエージェントシミュレーションモデルを用いて様々なシナリオ下でヘリの救助活動に関するシミュレーションを行う。本研究では、ヘリ1機を1エージェントとして考え、自らが救助活動を実施する被災地と降機するFBを決定するものとする。シミュレーションのフローを図-2に示す。

本研究では、ヘリの被災地選択行動は「救助率最小被災地優先行動」と「救助時間最短地域優先行動」を考える。両行動の詳細については次項で説明する。救助率最小被災地優先行動では、ミッションは図-2のステップ0から開始される。ステップ0では、ミッション開始時に、全ての被災地域から救助率最小の地域を選択する。ステップ1以降は両被災地選択行動も同じフローである。ステップ1では、要救助者がいる全ての被災地（救助率最小行動の場合はステップ0で選定した救助場所）と降機可能地域の全組み合わせについて、自ヘリが最短でミッションが完了する地域を選定する。このときのミッションに要する時間の詳細については次項で説明する。ステップ2では、ステップ1で選定した被災地において、他ヘリがミッションに要する時間を同様の方法で実施する。なお、ミッション中の他ヘリは現在実施してみるミッションが完了するまでの時間も考慮される。計算の結果、自ヘリが最も早くミッションを完了できるのであれば救助場所が決定される。そうでなければ、ステップ0または1に戻る。ステップ3では、自ヘリが被災地で要救助者をヘリに乗せた時点で救助率および救助完了人数を更

新する。要救助者を降機場所で降機させ、ミッションが完了した後、次のミッションに向けてステップ0または1に戻る。以上がシミュレーションのフローである。作業時間の計算方法などの詳細は事項で述べる。

b) ヘリの被災地域選択行動

ヘリの被災地域選択行動について、2通りの行動を想定する。一つ目は、「救助時間最短地域優先行動」である。これは被災直後の被害の全体像がつかめない中、被災者を発見した順に救助することを想定している。式(1)に示すミッション M の総所要時間 T^M は、ミッションの発地 $r(r=1, 2, \dots, 11)$ 、救助場所 $a(a=1, 2, \dots, 19)$ 、降機場所 $s(s=1, 2, \dots, 11)$ の組み合わせから最小の値をとる。

$$T^M = \min(T_{r,a,s}) \quad (1)$$

$$T_{r,a,s} = \{TT_{ra} + WT_a + RT_a\} + \{TT_{as} + WT_s + DT_s\} \quad (2)$$

TT_{ra} , TT_{as} はそれぞれ発地 r (HB または FB) から救助場所 a への移動時間と、救助場所 a から降機場所 s への移動時間を示しており、ヘリの速度 (200km/h) と距離により決定される。 WT_a , WT_s はそれぞれ救助場所 a 、降機場所 s での待ち時間を示している。前述の通り、救助場所ではヘリの飛来が集中することがあり、待ち時間が発生することもある。待ち時間については、HB または FB は互いに連絡が可能で、ヘリスポットの混雑状況がミッション開始時に得られているものとした。これは、ヘリの運航管理を効率化する災害救援航空機情報共有ネットワーク (D-NET) ¹³⁾ が導入されることを前提にしているためである。D-NET では、中央管理室でヘリの位置が把握されており、救助要請のある被災地でのヘリの重複がないように運用されている。したがって、本研究ではヘリの出発時または移動時に救助先の要救助者数がゼロとなるような事態は発生しないものとしてシミュレーションを実施する。 RT_a , DT_s はそれぞれ救助場所 a 、降機場所 s での作業の所要時間を示しており、インタビュー調査より RT_a は 30 分、 DT_s は 5 分と設定した。

ヘリの被災地域選択行動の1つ目の考え方では、救助地域が HB や FB の近い市町村に偏る可能性がある。そこで、2つめの考え方として、公平性の観点から県内全域に救助が行き渡るように行動する「救助率最小被災地優先行動」も想定することとする。救助場所 a の救助完了人数を CN_a 、救助要請人数を RN_a とすると、被災地 a での救助率 R_a は式(3)のように表される。

$$R_a = \frac{CN_a}{RN_a} \quad (3)$$

救助率最小被災地優先行動の場合、各被災地で救助率の公平性は確保される一方で、公平性を満足するために救助率 R が低い被災地に移動しなければならない可能性がある。そのため、救助時間最短被災地優先行動と比較す

ると県内の総救助人数は減少するものと考えられる。

4. シミュレーションの前提条件とシナリオ

シミュレーションの前提条件とシナリオについて説明する。南海トラフ巨大地震発災後の高知県における救助活動については、高知空港の被災状況、高知空港利用不可能時の高松空港・松山空港からの飛行ルート、救援ヘリの活動場所、救助方法、給油施設の設置箇所が救助人数に影響を与えるものとして考えられる。本研究では、これらの設定をシナリオとして取扱い、それらの全組み合わせをシミュレーションにより分析する。

(1) 前提条件

シミュレーションの前提条件を表-2に示す。高知県内の要救助者は表-1に示した通り 2,350 人とする。要救助者数は市町村別に算出されており、全て市町村内の避難所にいるものと仮定した。

本研究で導入するヘリの性能 ¹⁴⁾ は中型ヘリである。全備重量 (燃料、乗員、乗客など搭載物を全て搭載したときの総重量) は 4287.5kg とし、ヘリに搭乗する乗務員をパイロット 1 人、整備士 1 人、航空隊員 5 人の計 7 人とした。日本人男性の 20 歳台の平均体重 65kg¹⁵⁾、ヘリの自重を 2359.5kg、担架などの装備品等を 20kg、燃料満載重量を 1,135kg とすると、要救助者の総重量は 318.0kg となる。要救助者の体重も 65kg と仮定すると、ヘリ一機当たり 4 人の要救助者を輸送することができる。そのため、本研究では一度のミッションで 4 人救助されるものとして設定する。また、整備士ではなく見張り役の航空隊員が搭乗するときもある。被災地での救助時間と降機場所での作業時間については、インタビュー調査を基にそれぞれ 30 分と 5 分とした。前者は避難場所での 4 名の被災者をヘリに搭乗させるのに要する時間で、後者は 4 名の被災者をヘリから投機させるのに要する時間として定義される。見張り役は空中衝突の回避や被害地域の情報収集

表-2 前提条件のまとめ

項目	設定
要救助者数	2,350 人
ヘリ 1 機当たり救助人数	4 人 (パイロット 1 人、整備士 1 人、航空隊員 5 人は常に搭乗)
ヘリの速度	200km/h
ヘリベース (HB)	高知空港、高松空港、松山空港
フォワードベース (FB)	8ヶ所 (図-1 参照)
活動時間	12 時間
給油時間*	20 分 (待ち時間は別に加算される)
被災地での救助時間 (RT_a)	30 分
降機場所での作業時間 (DT_s)	5 分

を主な目的にしている。その他の前提条件は表-2に示す通りである。

(2) シナリオの設定

a) 高知空港の被災状況

高知県では、南海トラフ巨大地震などの大規模災害時の航空部隊の活動拠点となる HB として、高知空港を指定している。しかしながら、土佐湾に面する沿岸部に高知空港は位置しており、南海トラフ巨大地震に伴う津波により浸水が予想されている（図-3）。空港の南側は浸水が約 5m に達し、ターミナルビルにも 3～5m の津波が到達し、使用不可能になることが見込まれている。津波は空港の北側にも部分的に到達し、高知空港はほぼ利用不可能となる。高知空港が利用不可能となると、ヘリの拠点となる HB を確保できなくなるため、高知空港内の航空隊基地では、現在津波対策でかさ上げ工事などの減災対策を行っている。高知県へのインタビュー調査によると、これらの工事が完了すると、津波発生時においてもヘリの駐機スペースとして 5 スポット程度が利用可能になるとのことである。

以上を踏まえ、本研究では高知空港が「全域利用不可能な場合」、「部分的に利用可能な場合（5 スポット）」、「全域利用可能である場合（23 スポット＝飛来機数）」の場合をシナリオとして考える。南海トラフ巨大地震による津波では、高知空港の全域が利用可能である可能性は低いと考えられるが、比較対象としてシナリオに含める。高知空港の全域が利用不可能である場合、高知空港での夜間駐機および日中の FB としての活用が不可能となる。FB として高知空港を利用出来ない場合、降機場所と給油場所を失うことを意味し、救助活動効率の低下による救助者数の減少が懸念される。

高松空港、松山空港については、南海トラフ巨大地震において震度 6 強以上の地震が観測されることが予測されているものの、津波による浸水被害の可能性は低いと予測されている。そのため、両空港は空港全域が使用可

能である可能性が高い。そこで本研究では、高知空港が利用不可能である場合、高松空港または松山空港を HB として代替的に利用することとする。また、高知県内の FB と HB（高知空港）で給油が不可能である場合は、上記の県外空港にて給油する必要がある。なお、高知県に最も近い徳島飛行場は、自衛隊との共有空港であることから自衛隊による基地展開が予想され、さらに津波による浸水被害も想定されているため、本研究が対象とする消防航空隊の HB としての利用は想定しないこととする。

高知空港が利用不可能である場合、例えば松山空港から高知県内の FB まで、救助活動の開始時と終了時に約 80km の移動が生じることとなる。また、冬季は四国山地に雲が発生することがあり、迂回路を飛行する必要があることがある。迂回路の場合、松山空港から高知市内まで約 250km の移動となる。本研究では、迂回路を飛行する必要がある場合も想定してシナリオ分析を実施する。なお、高松空港と松山空港への夜間駐機は活動ヘリ数を両空港に均等に割り振る。例えば、第一次出動部隊（10 機）のみが活動する場合はそれぞれ 5 機、第二次出動部隊（23 機）が活動する場合は高松空港に 12 機、松山空港に 11 機が駐機することとした。第一次、第二次出動部隊については次項で説明する。

b) 救助ヘリの数

消防ヘリは、15 政令指定都市で運航されており、消防防災ヘリは 38 道県で運航されている¹⁾。佐賀県と沖縄県を除く 45 都道府県では、消防ヘリまたは消防防災ヘリのどちらかが配備されている。平常時においては、消防航空隊は各自治体の管轄内で運用される。大規模災害発災後には「緊急消防援助隊の出動計画¹⁷⁾」より、他自治体から応援組織として緊急消防援助隊（通称：緊援隊）が編成される。高知県が被災した際の緊援隊の編成を表-3 に示す。

緊援隊には第一次出動部隊と第二次出動部隊がある。第一次出動部隊は発災直後に被災県に集結する応援部隊を指しており、被災自治体からの要請の有無に関わらず救助活動を実施する。高知県が被災した場合、表-3 に示す通り、隣接する徳島県、愛媛県、香川県のほか、神戸市や広島市なども救助活動に当たる。第二次出動部隊は、被災自治体からの要請を受け、消防庁の指示の下で出動する応援部隊を指している。高知県が被災した場合、東京都や大阪市などの大都市圏に加え、福岡市や熊本県など九州からも応援が来る計画となっている。以上より、南海トラフ巨大地震発災後は第一次出動部隊の少なくとも 10 機が緊援隊として救助活動に参画する。

また、状況に応じて第二次出動部隊の 13 機が緊援隊に加勢し、最大 23 機が高知県内の被災者救助活動に当たることになる。しかしながら、南海トラフ巨大地震では、高知県だけでなく広範囲に被害が及ぶものと考えら

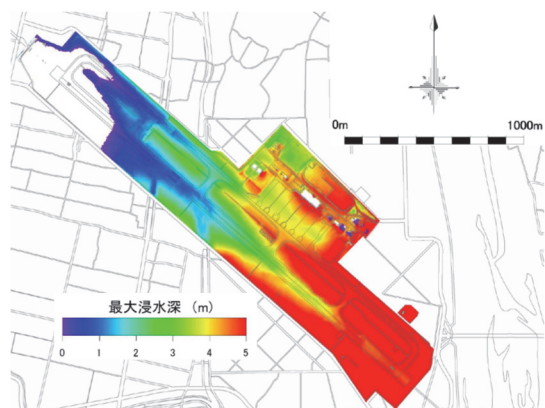


図-3 津波による高知空港浸水予測¹⁶⁾

表-3 高知県が被災した際の緊急消防援助隊

	第一次出動部隊 (10機)	第二次出動部隊 (13機)
応援自治体 (順序不同)	広島市 広島県 徳島県 愛媛県 兵庫県 神戸市 岡山県 岡山市 山口県 香川県	東京都 滋賀県 京都市 大阪市 和歌山県 鳥取県 島根県 北九州市 福岡市 大分県 熊本県 宮崎県 長崎市

れるため、第二次出動部隊の 13 機全てが出動できることは限らない。そこで本研究では、救助ヘリを 10 機と 23 機の二通りを想定することとする。

c) 活動エリア分け

高知県では「高知県災害時医療救護計画¹⁸⁾」において高知県災害対策支部（県医療支部）を設置しており、市町村では対応が困難な広域的な医療救護活動を実施する計画がある。県医療支部は、安芸支部（安芸市）、高知市支部（高知市丸ノ内）、中央東支部（香美市）、中央西支部（佐川町）、高幡支部（須崎市）、幡多支部（四万十町）の 6 つに分かれている。ヘリを各支部が管轄しているエリアに割り当てた場合、エリア分けなしでの活動と比較してヘリの移動距離が短くなることが考えられる。それにより移動時間を短縮させる効果が発現し、救助人数が増加する可能性がある。そこで本研究では、県医療支部別の活動をシナリオとして想定する。ただし、高知市支部、中央東支部、中央西支部はエリア面積が小さく、互いに近接しているため「中央支部」として一つの支部とする。したがって、ここでは安芸支部、中央支部、高幡支部、幡多支部の 4 エリアに分けてシミュレーションを実施する。エリア 4 分割のイメージを図-4 に示す。図内の各地町村に付いている数字は要救助者数を示している。

また前述の通り、高知県内には 8 ヶ所の FB が設置されている。そこで、支部別の 4 分割よりもさらに詳細のエリア分けとなる、FB 別の 8 分割も想定する。エリア 8 分割のイメージを図-5 に示す。

FB 別のエリア 8 分割では、被災市町村が所属する地区を決定する必要がある。ここでは、各地区の救助要請人数と FB までの距離を考慮して決定した。例えば須崎市は、県立春野総合運動公園と四万十緑林公園までの距離がほぼ同等であるが、県立春野総合運動公園が属する地区では要救助者数が 580 名と多い高知市が含まれてい

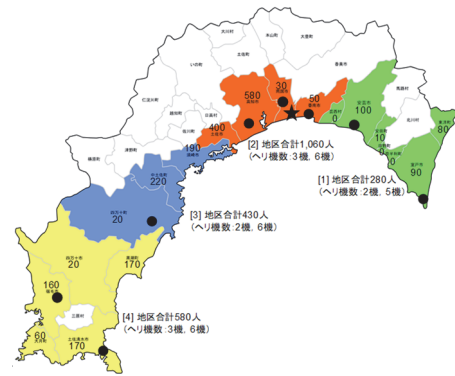


図-4 エリア 4 分割

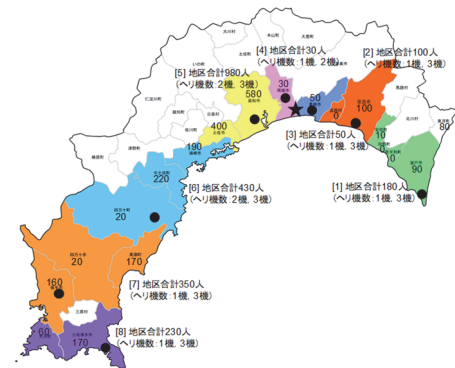


図-5 エリア 8 分割

る。そのため、四万十町緑林公園が属する地区に含めることとした。エリア分割時のヘリの配備については、各地区で公平になるよう配分した。本研究では 10 機と 23 機の配備を想定しているため、地区間で完全に公平なヘリ数を配備できないため、救助要請人数が多い地区に多く配備することとした。例えば、4 分割の場合は各地域に 2 機、2 機、3 機、3 機を配分し、3 機を配分する地区は要救助者数が多い[2], [4]地区（図-4）とした。なお、本研究で想定する南海トラフ巨大地震は西日本全域に被害が及ぶ可能性があり、第一次出動部隊の 10 機も動員されない可能性があるものと考えられる。仮にヘリの動員が 8 機未満の場合には、エリア 8 分割での救助活動の運用は不可能である。この場合、面積が小さいエリアや要救助人数が少ないエリア同士を統合するなど、運用面での対応が求められる。

d) ヘリの被災地域選択行動

ヘリの被災地域選択行動について、前述の通り「救助時間最短地域優先行動」と「救助率最小被災地優先行動」の 2通りの行動を想定する。救助時間最短地域優先行動ではミッションの時間が最小となるよう被災地を選択し、救助率最小被災地優先行動では救助率が低い被災地を優先して被災地を選択する。

e) FB への給油施設の設置

南海トラフ巨大地震等の大規模災害発災後のヘリによ

る救助活動を円滑化するため、高知県危機管理委員会では高知県の東部と西部のそれぞれ 1 ケ所の FB に給油施設を設置することを検討している¹⁸⁾。給油施設検討時の FB の東西分割は表-4 に示す通りであり東部に 5 ケ所、西部に 3 ケ所の FB がある。

本研究で想定するヘリは、燃料満載時の航続時間が 2 時間と想定している。燃料がなくなると給油施設が整っている HB または FB まで移動して燃料を補給する。仮に燃料補給が可能な HB や FB が遠い場合、移動時間に時間を要するため救助活動の機会を失うこととなる。そのため、給油施設の配置計画は非常に重要である。本研究では、東西の FB 一ヶ所ずつに給油施設を設置し、それらの全ての組み合わせについてシミュレーションを実施し、救助人数が多くなる設置の組み合わせを考察する。

以上のシナリオ a)~d) の全 48 通りの組み合わせについてシミュレーションを実施する。表-5 にシナリオのまとめを示す。これら 48 通りのシミュレーションについては、全 FB での給油が可能もしくは不可能の場合について実施した。e) の FB への給油施設設置シナリオについては、a)~d) の組み合わせとは別にシミュレーションを実施した。

表-4 給油施設検討時の東 FB の東西分割

地区	FB
東部	室戸広域公園
	安芸総合公園
	高知大学医学部
	高知県青少年センター
	春野総合運動場
西部	四万十緑林公園
	土佐清水総合公園
	宿毛市総合運動公園

表-5 シナリオのまとめ

項目	シナリオの設定
a) 高知空港の被災状況	<ul style="list-style-type: none"> ・高知空港全域利用可能 (23 スポット) ・高知空港一部利用可能 (同 5) ・高知空港全域利用不可能 (同 0) ・高知空港全域利用不可能 (同 0) + 四国山地迂回 高知空港に駐機できないヘリは松山、高松空港の利用を想定。
b) 救助ヘリの数	<ul style="list-style-type: none"> ・第一次出動部隊 (10 機) ・第一次出動部隊 (10 機) と第二次出動部隊 (13 機) (計 23 機)
c) 活動エリア分け	<ul style="list-style-type: none"> ・エリア分けなし ・県内 4 分割 (支部別) ・県内 8 分割 (FB 別)
d) ヘリの被災地域選択行動	<ul style="list-style-type: none"> ・救助時間最短地域優先行動 ・救助率最小地域優先行動
e) FB への給油施設の設置	東西から 1 ケ所ずつ選定

5. シミュレーションの結果と考察

シナリオ a)~d) の全 48 通りの組み合わせについてシミュレーションを実施し、1 日 (活動時間 12 時間) の高知県内における救助人数を算出した (前述の通り、シナリオ e) は単独でシミュレートする)。救助人数の算出結果を表-6 (全 FB で給油可能の場合) と表-7 (全 FB で給油不可能の場合) に示す。

救助人数が最大となる運用方法 (シナリオ) の組み合わせは、全 FB で給油可能の場合、“高知空港利用可能”、“救助ヘリ 23 機”、“県内 8 分割”、“救助時間優先行動”の組み合わせ時で、1,165 人となった (表-6)。全 FB で給油不可能である場合は、“高知空港利用可能”、“救助ヘリ 23 機”、“エリア分けなし”、“救助時間優先行動”で、945 人となった (表-7)。まずこの算出結果から分かることは、現状の救助体制では最大数の被災者を救助したとしても、合計要救助人数の 2,350 人には及ばないことである。全ての要救助者を救出するためには、ヘリの増強など根本的な対策が望まれることが分かる。本研究では南海トラフ巨大地震による津波の最悪ケースおよび災害の初期段階を想定している。そのため、ヘリ以外での救助は非常に少ないことが想定されるものの、ヘリ以外の救助方法で救助される被災者も少なからず存在することに注意されたい。FB の給油施設設置有無により最善のエリア分けの方法が異なる理由は後に考察する。

a) 高知空港の被災状況

表-6 および表-7 より、高知空港が利用可能である場合、救助人数が多くなる傾向が見て取れる。最も多くの被災者数が想定されている高知市に近く、夜間駐機や給油場所として活用できる高知空港を利用可能な状態にしておくことは重要である。ただし、全ての FB が給油可能である場合 (表-6)、高知空港の「利用可能時」と「利用不可能+迂回時」を比較すると、救助ヘリが 23 機のときの救助者数はそれぞれ平均 1,089 人、1,065 人と、24 人の差に留まった。HB としての高知空港の利用は主に夜間駐機であり、日の入時の被災地への移動と日没時の空港への帰還に移動時間を要する。日中の高知空港は FB としての機能を果たし、給油地点や救助者の降機地点となる。上記の結果は全ての FB に給油機能を備えているため、高知空港が利用不可能となってもそれほど大きな差が生じなかったものと考えられる。

一方で、全 FB で給油が不可能である場合、高知空港「利用可能時」と「利用不可能+迂回時」を比較すると、平均救助者数はそれぞれ平均 891 人、766 人となり、その差は 125 人と比較的大きくなる。全 FB で給油不可能である場合、高知空港が利用不可能となると、給油目的で高松、松山空港まで戻らなくてはならず、給油のため

に多くの時間を要してしまうためである。松山空港と高知市間（約 80km）はヘリで往復約 48 分となり、航続可能時間 2 時間の約 40% が給油のための移動時間となり、救助活動の時間が削られることとなる。

以上より、高知空港を利用可能な状態に保つことは、特に高知県内の FB に給油設備が設けられていない場合において有用である。HB となる空港では機体点検などのメンテナンス作業も可能であり、仮にヘリに故障などの事案が発生した場合、被災地に近い高知空港を利用可能な状態にしておくことは重要と考えられる。

高知空港の利用可能スポット数に応じて救助人数がどの程度変化するのか分析する目的で、高知空港の利用可能なスポット数を 1～23 の間で 1 スポット刻みで変化させてシミュレーションを実施した。高知空港のスポット数以外の条件は、全 FB で給油不可能、エリア分けなし、救助時間優先、活動ヘリ数 23 機とした。シミュレーションの結果を図-6 に示す。

図-6 より、高知空港の利用可能スポット数が多いほど、救助人数は増加することが分かる。高知空港が利用可能であれば、日の入時と日の出時の高知空港と被災地間の移動が代替空港利用時よりも短距離となるだけでなく、日中のミッションにおいても給油活動が可能となるためである。しかしながら、高知空港での利用可能スポット数が 1, 2 スポットである場合、救助人数はそれぞれ 322 人、490 人となり、全域利用不可能（548 人）の場合よりも救助者数が減少した。これは、スポット数が少ないために多くのヘリが給油のために上空待機していることが理由と考えられる。高知空港が全域利用不可能（0 スポット）の場合、高松空港または松山空港で給油するため、給油待ちのための上空待機は発生しない。以上より、高

知空港の利用可能スポット数が 1, 2 スポットのように少ない場合、給油待ちに伴うヘリの上空待機が発生し、高知空港利用不可能時よりもむしろ救助者数は減少することが分かった。したがって、高知空港の減災対策の強化が求められることが分かるが、仮に利用可能スポット数が 1 または 2 と少ない場合は、給油に伴うヘリの上空待機を減少させるため、ヘリを高松、松山空港に誘導することで効率的に運用できる可能性がある。なお、この結果は高知県内の全てのフォワードベースで給油が不可能という条件に依存するものであり、フォワードベースでの給油節備が付与されれば高知空港の利用可能スポット数が少なくても救助人数が増加することはないことに注意されたい。

高知空港の利用可能スポット数が 3 機以上となった場合、救助人数は 615 人となり高知空港利用不可能な場合（548 人）よりも救助人数が増加する。利用可能スポット数が 13 になると、ほぼ上空待機がなくなり、救助人数を 914 人まで増加させることができる。

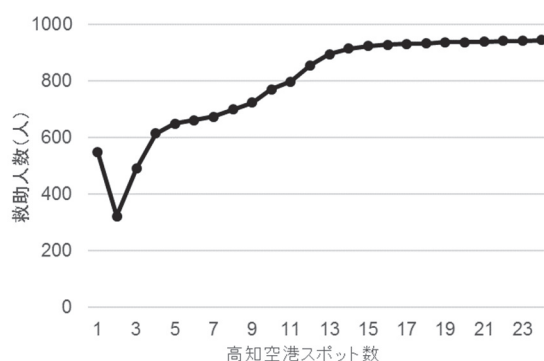


図-6 高知空港における利用可能スポット数別の救助人数

表-6 シナリオ別救助人数の結果（全 FB で給油可能の場合、単位：人）

		全域利用可能		一部利用可能		全域利用不可能		全域利用不可能+迂回	
		10機	23機	10機	23機	10機	23機	10機	23機
8分割	移動時間最小	542	1,165	536	1,162	530	1,150	520	1,130
	救助率優先	515	1,096	513	1,092	501	1,102	493	1,091
4分割	移動時間最小	543	1,120	540	1,100	535	1,072	528	1,063
	救助率優先	507	1,052	505	1,016	494	1,099	490	1,089
エリア分けなし	移動時間最小	556	1,085	547	1,076	545	1,031	522	1,021
	救助率優先	457	1,015	444	901	457	1,004	434	998

表-7 シナリオ別救助人数の結果（全 FB で給油不可能の場合*, 単位：人）

		全域利用可能		一部利用可能		全域利用不可能		全域利用不可能+迂回	
		10機	23機	10機	23機	10機	23機	10機	23機
8分割	救助時間最小	423	872	413	829	382	772	357	729
	救助率優先	363	790	369	706	308	713	314	675
4分割	救助時間最小	436	936	428	917	398	808	375	802
	救助率優先	395	890	391	772	356	808	334	764
エリア分けなし	救助時間最小	460	945	463	922	428	855	392	835
	救助率優先	401	911	397	881	362	832	343	788

*FB で給油が不可能である場合、高知空港にて給油する。高知空港が利用不可能の場合、高松空港または松山空港にて給油する。

b) 救助ヘリの数

救助ヘリ数について考察する。表-6を見ると、救助ヘリ数が10機における救助人数は平均510人、23機では1,072人となり、救助ヘリ機数が多いほど救助人数が多くなる。第二次出動部隊が救助に参加することで、救助人数は平均562人（平均一機当たり約24人）増加することが分かった。ヘリ機数の増加は救助人数を増加させる上で重要であることが分かる。ただし、シナリオc)およびd)で後述するように、単純にヘリ数を増加させるだけでは上空待機が増加するなどの理由で救助者数が効果的に増加しない。ヘリを多く投入するときほど、効果的な運用により、一人でも多くの被災者を救助できる可能性がある。

c) 活動エリア分け

ヘリの活動エリアを分割することにより、救助者数がどのように変化するか考察する。表-6に示す全FBで給油が可能な場合、エリアを細分化するほど救助人数が増加することが分かる。例えばヘリが23機、高知空港全域が利用可能、救助時間優先の場合、エリア分けなしでは1,085人、4分割では1,120人、8分割では1,165人と徐々に増加する。救助担当エリアを狭くすることで、FBと被災地間の移動時間を短縮する効果があるためと考えられる。高知県は東西に長く、例えば高知市内から東端の室戸市や西端の大月町にヘリで移動するにはそれぞれ約20分と30分を要する。さらに、ヘリの救助担当エリアを指定することで特定のFBや被災地にヘリの飛来が集中することが減少し、上空待機の可能性が小さくなる。ただし、ヘリが10機の場合はエリア分けによる救助人数の傾向が幾分異なる。ヘリが10機（高知空港全域利用可能、救助時間優先）のとき、救助者数はエリア分けなしでは543人、4分割では537人、8分割では532人と、4分割と8分割では大差はないものの、エリア分けを行うと救助人数がやや減少する傾向にある。エリアを細分化すると、FBの密度が比較的低いエリアでは移動に時間を要し、救助員数が減少したものと考えられる。また、10機での救助活動の場合、エリア分けを行わずとも上空で待機するヘリが少なく、エリア細分化による上空待機の減少効果は小さいものと考えられる。

以上のように、第二次出動部隊が活動して総ヘリ数が23機と多い場合、エリア分けによるヘリ運用は上空待機を減少させる効果があり、効果的な運用方法であることが示唆された。一方で、第一次出動部隊のみの10機での活動の場合、活動ヘリ数が多くないため、上空待機が発生せずエリア分けは効果的な運用方法とは言えないことが示唆された。

d) ヘリの被災地域選択行動

ヘリの被災地域選択行動の方法が救助人数に与える影響について考察する。表-6を見ると、救助時間最短による

被災地選択の方が、救助人数を多くできることが分かる。ヘリが23機の場合、移動時間最短被災地優先に従って救助活動を実施した場合の救助者数は平均1,098人で、救助率最小地域優先の場合の平均1,046人と比較して、救助者数は平均で52人多くなる。

このように、移動時間最小化による救助活動の方が救助者数を増大させる利点を持つが、被災地域別に救助人数に差が生じるという欠点も併せ持つ。移動時間最小行動によってシミュレーションを実施して得られた救助者数の結果を市町村別に図-7に示す。なお、他のシミュレーションの条件は、ヘリ23機、高知空港利用可能、全FB給油不可能、としている。図-7を見ると、エリア分けなしの場合、19被災地域のうち8地域でのみ救助実績が得られる結果となった。これら8地域はHBである高知空港（ミッション中はFBの役割）から距離的に近く、また図-1に示す通りFBに近接している地域である。HBおよびFBに近いことで、ヘリの移動時間が他被災地でのミッションよりも相対的に短くなるため救助人数が多くなったと考えられる。

救助実績があった8地域のうち、突出して救助人数が多いのは安芸総合公園、高知大学医学部、高知県青少年センター、春野総合運動場の4つのFBが近接している高知市であり、494人の救助者数を見込んでいる。一方、HBおよびFBと被災地の距離が遠い土佐清水市、四万十市、宿毛市など西部の市町村では、ヘリが全く飛来せず、

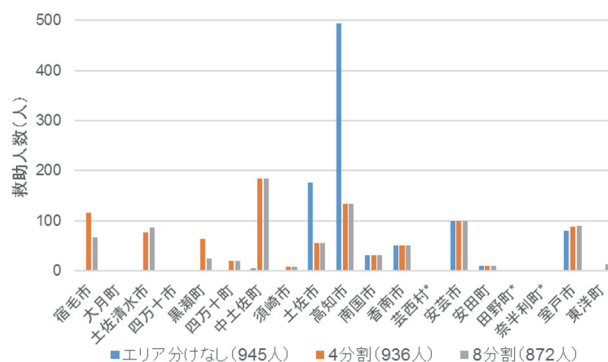


図-7 市町村別救助人数（救助時間最小化行動）

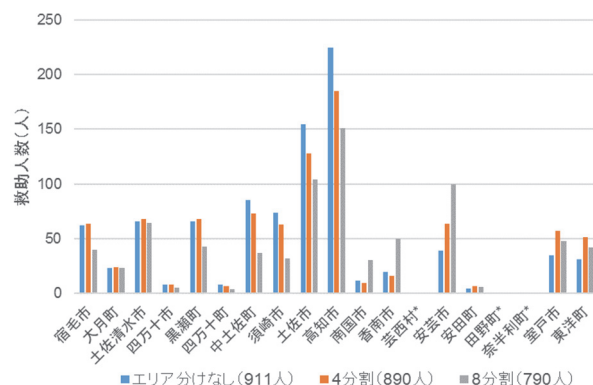


図-8 市町村別救助人数（救助率最小地域優先行動）

救助人数が0人となった。以上のように、エリア分けなしで救助時間最小化行動による救助活動を実施すると、市町村間で救助人数に大きな差が生じる結果となり、公平性の観点から課題が残る。図-7のエリア4分割および8分割時の市町村別救助人数の結果を見ると、エリア分けなしの場合と比較すると、救助が行き渡っていることが分かる。しかしながら、大月町や四万十市など、各市町村が属する支部でFBから遠い場所に被災者がいる場合には、救助人数が0人となった。

次に、救助率最小地域優先行動での市町村別救助人数（図-8）について考察する。この場合、救助時間最小化（図-7）と比較して、市町村間の救助人数の差が小さくなっており、市町村間公平性が比較的高い救助方法であることが分かる。なお、エリア分割を行っても市町村間の公平性はそれほど変わらないが、全体の救助人数が増加する結果となった。これは、救助率最小地域を優先する救助方法でエリア分けなしの場合、移動時間は被災地選択行動に無関係であるため、移動時間の長いミッションが発生するためである。

e) FBへの給油施設の設置

高知県では、東部と西部のFBにそれぞれ1ヶ所の給油施設を設置することを検討している。そのため、東西それぞれのFBに一ヶ所ずつ給油施設の機能を付与し、全ての組み合わせでシミュレーションを実施し、救助人数にどのような影響が出るか分析する。ヘリは燃料満載時の航続時間を約2時間としているため、次ミッションで要する期待飛行時間とこれまでの飛行時間の合計が、前回の燃料補給から2時間を超える場合、燃料補給を行う。シミュレーションの他条件は、活動ヘリ23機、高知空港が利用可能、エリア分けなし、救助時間最小地域優先行動とした。シミュレーションの結果を図-9に示す。

東部については、高知大学医学部、県立青少年センター、県立春野総合運動公園のように、被災者数が比較的多い地域に近接するFBに給油施設を設置すると、救助人数が多くなる傾向があることが示唆される。反対に、被災者数が比較的小さい地域に近接する安芸市総合運動

場に給油施設を設置すると、救助人数が減少する傾向が示された。これは、被災者が多い（少ない）地域に隣接したFBに給油施設を配置すると、給油目的の移動が短く（長く）なるためである。したがって、被災者数が多い高知県中心部に近いFBに給油施設を設置することは、県内の合計救助者数を最大化する観点では重要である。

西部のFBへの給油施設設置についても、同様の傾向がある。被災者数が比較的多い地域に近接している宿毛市総合運動公園と土佐清水運動公園に給油施設を設置することにより、救助人数を増大させることができる。四万十緑林公園の付近（四万十町）は被災者数が相対的に少ないため、ヘリの運用面から考えると、同公園に給油施設を設置する効果は比較的小さいと言える。

以上のように、給油施設の設置場所により合計救助人数は大きく変化する。現在高知県で検討されている給油施設設置の議論は、全てのFBに給油施設を整備すると、平常時の維持管理費が高額になるため、設置箇所を限定しようとする考えが背景にある。しかしながら、給油施設の設置は救助人数の増加に効果的であることがシミュレーションより明らかになったため、救助人数を増大させるためにも可能であれば全てのFBにおいて給油設備を整備すべきである。救助人数が最大となった高知大学医学部と宿毛総合運動場の組み合わせでは、救助人数が1,049人となり、全てのFBで給油不可能な場合と比較して大幅に救助人数を増加させることができる。ただし、全てのFBに給油施設を整備すると救助人数は1,085人（表-6）とさらに増加する。給油施設を有さないFBにおいても、発災後にタンクローリーなどを派遣する仕組みを作っておき、FBでの給油を可能にしておくことが多くの被災者を救助する上で重要であることが推し量られる。

6. おわりに

本研究では、南海トラフ巨大地震発災後におけるヘリの運用方法に関するシナリオを複数作成し、マルチエージェントシミュレーションモデルを用いて救助可能人数を算出した。シナリオは高知空港の被災状況、救助ヘリの数、活動エリア分け、ヘリの被災地域選択行動、フォワードベースへの給油施設の設置について検討した。

分析の結果、高知空港を利用可能な状態に保つことで救助人数を増加させられる可能性を示した。高知空港の一部が利用可能である場合は、給油目的のヘリが集中するため混雑することが予想される。その場合は、ヘリの受入を制限し、高松、松山空港へ促すなどの対策をとり、上空待機を減らすことが、一人でも多くの被災者を救助することにつながるものと考えられる。航空機の活動エ

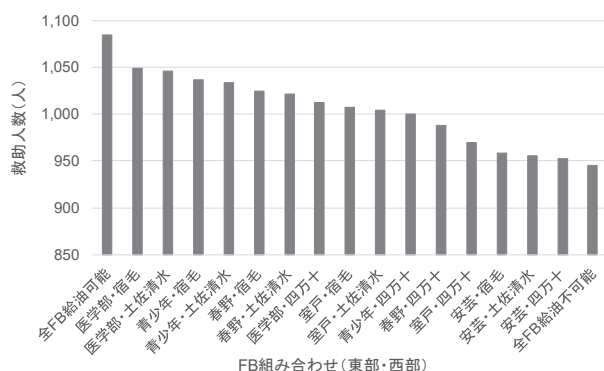


図-9 東西のFBに給油施設を整備した場合の救助人数

リアは細分化することにより移動時間が短くなり、救助人数の増加が見込まれることを明らかにした。これは特に活動ヘリの機数が多い場合に有用である。ヘリによる被災地の選択行動については、エリア分けをしない場合は最短時間優先行動にすることにより、救助人数を増加させる効果があることが示唆された。しかし、救助地域は特定の市町村に集中し、やや公平性が損なわれる結果となった。給油施設の設置場所についても、要救助者が多い地域に近接したフォワードベースに設置することが救助人数の増加に寄与することが示唆された。現在高知県では東西それぞれのフォワードベースに一箇所ずつ給油施設を設置することを検討しているが、給油施設の有無は地域の救助人数に大きく影響を与えるため、可能な限り多くのフォワードベースに設置すべきであることが示唆された。

本研究で求めた結果は、被災状況やヘリの運用方法によって変化するため、救助人数などの値は参考値として見る必要がある。また本研究では、要救助者の怪我の具合や年齢などを考慮していない。実際の救助では、それらの状況を考慮して救助を実施するものと考えられる。また、本研究では要救助者が自力で避難所までたどり着くことを前提にしている。しかしながら、被災者は必ずしも自力で避難所にたどり着けるとは限らず、救助所以外でも要救助者が存在する可能性がある。さらに、実際の救助では被災地で思うように被災者が見つからないなど、シミュレーションで想定しているよりも救助に時間を要することが考えられる。その場合、シミュレーションで算出した救助者数を下回る可能性は十分に考えられる。これらは今後の課題としたい。実際には自衛隊のヘリも救助活動を実施するが、自衛隊はその組織の特異性から、救助活動に関する情報を入手できなかったため、研究の対象外とした。自衛隊ヘリとの関係も考慮した分析も今後の課題としたい。

謝辞：高知県庁東京事務所および高知県、高知県消防防災航空隊および国土交通省大阪航空局高知事務所にインタビュー調査にご協力いただいた。日本大学理工学部社会交通工学科4年樋口大貴氏には計算の補助をいただいた。ここに謝意を表す。なお、本研究は科学研究費補助金（基盤研究B、課題番号25282120）の支援により実施されたものである。

参考文献

- 1) 轟朝幸，花岡伸也，平田輝満，長田哲平，荒谷太郎：災害時における多様な航空機活動を支える空港運用のあり方に関する研究，航空政策研究会 2011 年度研究プロジェクト支援報告書，航政研シリーズ，No. 556, 2013.
- 2) 国土交通省航空局：第1回空港の津波対策検討委員会，

委員会資料（概要版），2011.

- 3) 国土交通省航空局：空港の津波浸水想定高さについて，2013，<http://www.mlit.go.jp/common/000989966.pdf>
- 4) 国土交通省：高知空港における地震・津波に対応する避難計画・早期復旧計画（案），<http://www.mlit.go.jp/common/001113642.pdf>
- 5) 古田壮宏，田中健一：消防防災ヘリコプターの出場拠点とヘリポートの最大被覆型同時配置モデル，都市計画論文集，Vol. 44, No. 3, pp. 751-756, 2009.
- 6) Barbarosoglu, G., Ozdamar, L. and Cevik, A.: An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations, *European Journal of Operational Research*, Vol. 140, Issue 1, pp. 118-133, 2002.
- 7) 荒谷太郎，平田輝満，長田哲平，花岡伸也，轟朝幸，引頭雄一：東日本大震災時の航空機活動と空港運用の実態分析—いわて花巻・山形・福島空港を対象として—，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol. 69, No. 5, pp. I_229-I_246, 2013.
- 8) 仲地弘幸，牧紀男，林春男，小林啓二：東日本大震災における消防防災ヘリコプターの活用結果に基づく南海トラフ巨大地震におけるヘリコプターの有効活用方法の提案，自然災害科学，Vol. 33, No. 2, pp. 101-114, 2014.
- 9) 高知県南海トラフ地震対策課：高知県地域防災計画（地震及び津波災害対策編），2014 <http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/files/2014092400080/jisinoy-obitunami.pdf>
- 10) 高知県南海トラフ地震対策課：各市町村の現状・対策後最大被害一覧，2012，http://www.pref.ko-chi.lg.jp/soshiki/010201/files/2013051500465/2013051500465_www_pref_kochi_lg_jp_uploaded_attachment_95434.pdf
- 11) 高知県危機管理部：高知県航空部隊受援計画（仮称）平成26年10月28日，2014.
- 12) Majima, T., Watanabe, D., Takadama, K. and Katsuhara, M.: A development of transportation simulator for relief supply in disasters, *Journal of Control, Measurement, and System Integration*, Vol. 5, No. 2, pp. 131-135, 2013.
- 13) 宇宙航空研究開発機構：防災・小型機運航技術—「災害救援航空機情報共有ネットワーク（D-NET）」—，<http://www.aero.jaxa.jp/research/star/dreams/dnet/>
- 14) 東京消防庁東京消防庁航空隊，2015，<http://www.tfd.metro.tokyo.jp/hp-koukuutai/helicopter.html>
- 15) 文部科学省：学校保健統計調査・運動能力調査，http://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/chousa05/hoken/kekka/1268813.htm
- 16) 国土交通省航空局：空港の津波早期復旧対策の検討について，http://www.mlit.go.jp/report/press/kouku09_hh_000036.html
- 17) 総務省消防庁：東南海・南海地震における緊急消防援助隊の運用方針の策定並びに東海地震及び首都直下地震における緊急消防援助隊運用方針の改訂について，http://www.fdma.go.jp/ugoki/h1908/1907312_19.pdf
- 18) 高知県：高知県災害時医療救護計画，2015，<http://www.pref.ko-chi.lg.jp/soshiki/131301/files/2012032300261/2703keikakuhonbun.pdf>

(2017. 2. 24 受付)

HELICOPTER MANAGEMENT FOR RELIEF OPERATION IN NANKAI MEGATHRUST EARTHQUAKE: CASE STUDY IN KOCHI PREFECTURE

Tomoya KAWASAKI, Taro ARATANI, Tomoyuki TODOROKI
and Shino FURUKAWA

Immediately after Great East Japan Earthquake, relief operations had been taken place by helicopters. In Nankai Megathrust Earthquakes, helicopters will also be utilized for relief operations. In Kochi Prefecture, which will be affected by tsunami, Kochi airport will be flooded. In this case, alternative airports in Takamatsu and Matsuyama airports are planning to be utilized as a helicopter base instead of Kochi airport. Also, installations of two refueling facilities in forward base are being discussed in Kochi prefecture. The location selection of refueling facilities is influential for the number of affected people rescued. In this study, several scenarios for relief operation are developed on the basis of interview survey and multi-agent simulation model is applied in order to estimate possible number of rescued people and explore the effective relief operation by helicopters.