

大規模災害時における航空機運用方法の検討 —南海トラフ地震発生時の高知県を対象として—

川崎 智也¹・荒谷 太郎²・轟 朝幸³・古川 詩乃⁴

¹正会員 日本大学助教 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7-24-1-744)
E-mail: kawasaki.tomoya@nihon-u.ac.jp

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

²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7-24-1-744)
E-mail: todoroki.tomoyuki@nihon-u.ac.jp

³非会員 元日本大学理工学部 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1-744)

東日本大震災発災直後では、救命救助、情報収集、人員輸送などの活動において航空機が活躍した。大規模災害が予想されている南海トラフ地震発災後においても、航空機の役割は重要であると考えられるが、航空機の発動拠点となる空港も被災する可能性がある。例えば、高知県の高知空港は津波による浸水が予想されている。そのため、高知県の航空機による救命救助活動においては、近隣空港、場外離着陸場などを含めた適切な運用体制を検討する必要がある。本研究では、高知県防災関係機関へのインタビュー調査をもとに、広域災害時における航空機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高知県沿岸部 19 市町村の負傷者を対象に、救助可能人数をシミュレーションにより算出した。その結果、航空機の活動エリアを詳細に分割するほど、救助人数の増加が見込まれることが明らかになった。

Key Words : Nankai Trough Quake, Kochi airport, helicopter, rescue activities, multi-agent simulation

1. はじめに

東日本大震災時は、震災発生直後より自衛隊をはじめ、官公庁や民間ヘリなどあらゆる運用主体の航空機が被災県空港に飛来し、情報収集、救急救助、人員輸送、物資輸送などの活動を行った。これらの航空機活動は空港を拠点として活動するものがほとんどであるが、震災直後の空港では、多くの航空機が集中することにより、駐機スペース不足、航空燃油不足、支援物資などの空港内での滞留、関係機関間の情報共有・連携・統一的意思決定の不足などの課題が生じた¹⁾。

国土交通省港湾局「空港の津波対策検討委員会」²⁾では、今後想定される首都圏直下型地震や南海トラフ地震において、発災直後に空港機能を失う可能性がある空港があることが指摘されている。そのため、より効果的な救援救助活動を実施するため、広域災害時の被災想定地域における空港の備えについて、近隣空港の役割分担や、場外離着陸場との連携など、日常とは異なる空港運用に関する検討が必要である。災害時の人道救助に関する数理モデル分析としては、ヘリコプターの出場拠点の

施設配置問題³⁾や救助費用最小化によるネットワーク分析⁴⁾は存在するものの、広域災害時の複数空港および場外離着陸場の運用に関して、航空機特有の諸制約を考慮した運用最適化に関する研究は存在しない。

荒谷ら⁵⁾は東日本大震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、米軍機、民間小型機、民航旅客機などの空港利用実態を把握した。日常とは大きく異なる航空機需要を限られた空港施設で運用する課題や、各主体間の連携不足による活動の影響について指摘した。また、災害時の空港では、様々な組織間の迅速なコミュニケーションと、役割分担を明確にすることが肝要であるとしている。

本研究では、南海トラフ地震発生時の高知県を対象として、効果的な航空機の運用方法を検討することを目的とする。具体的には、ヒアリング調査をもとに、救助方法、実働ヘリ数を前提条件として、広域災害時のヘリ活動のシナリオを作成する。その後、マルチエージェントシミュレーションモデルにより、シナリオ別に救助人数を算出し、効果的な運用方法について検討する。

2. 本研究の対象

(1) 被害想定

本研究では南海トラフ地震を想定し、高知県南海トラフ地震対策課で想定されている最悪ケースにおける被害予測をベースに救援救助地域を設定した。津波は最大34mで、高知空港も津波被害により空港の半分以上が浸水することが想定されている。救助対象地域は高知県沿岸部19市町村、救助対象機関は消防航空隊とした。

(2) 対象空港

高知県消防航空隊では空港など基地となる場所（ヘリベース：HB）を高知空港と予定している。しかし、高知空港は沿岸部にあり、津波による浸水が予測されている。そこで、高知空港が使用不可能な場合の代替HBとして、高知県沿岸部の市町村から時速200kmのヘリで約30分以内に到達可能な100km圏内の四国にある空港を対象とした。そのうち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、消防航空隊のHBとしては対象から除外した。

愛媛県松山空港は高知市の北西約95kmに位置しており、被災地までヘリで約30分である。高台に位置する松山空港は津波による浸水の予測はされておらず、代替空港としての活用が期待される。また、高知空港が使用可能である場合にも、愛媛県寄りの福岡県、長崎県、熊本県、大分県から高知県まで300km離れており、被災地までの進出拠点として、松山空港を有効に活用できる可能性も高いと考えられる。

香川県高松空港は、高知県の北北東約80kmに位置しており、被災地までヘリで約25分である。高松空港においても津波による浸水の予測はされておらず、代替空港としての活用が期待される。さらに、松山空港同様に高知空港が使用可能である場合、被災地までの進出拠点として有効に活用できる可能性も高いと考えられる。

(3) 災害時の航空機活動

本研究では、救助ヘリの運航機関として、災害時において救助・救急搬送、情報収集などを行う消防防災航空隊（以下、消防航空隊）を対象とする。大規模災害では、全国から応援組織として緊急消防援助隊が編成され⁶⁾、応援組織の編成を表-1に示す。第一次出動と第二次出動があり、前者は発災直後に被災県へと集結する応援ヘリを指しており、第二次出動（出動準備機）は県からの要請を受け、消防庁の指示に従い出動する。

表-1 応援組織の編成

第一次出動 発災後要請がなくても動き出す部隊 全10機出動						
広島市	徳島県	愛媛県	兵庫県	神戸市	岡山県	岡山市
広島県	山口県	香川県				
第二次出動 消防庁からの要請で動き出す部隊 全13機出動						
東京	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	長崎県	

発災直後、主に活動する航空機は機動性の高いヘリである。ヘリは、空港など基地となる場所（ヘリベース；以下、HB）と場外離着陸場（フォアードベース；以下、FB）を拠点として活動しており、日の出とともにHBに駐機しているヘリが被災地へ向かい救助活動を行う。日中の活動拠点は、被災地付近のFBを利用し、被災者の受け入れ、給油、隊員の交代などの活動を行う。その後、日没前にHBへ帰還し、夜間は駐機する。また、必要に応じHBに帰還し、ヘリの整備などを行う。ヘリの給油は基本的にHBで行うが、FBにも燃料が配備されていれば活用する。高知県消防航空隊では、HBを高知空港としている。しかし、高知空港が被災により使用不可能な場合は、代替空港として高松空港と松山空港を使用することが考えられている。FBは、高知県によって定められた全8ヶ所の防災拠点を想定している。拠点位置の全体図を図-2に、ヘリスポット一覧を表-2に示す。東日本大震災時には、山形空港、福島空港、花巻空港に加えて、FBとして活用されていた仙台市内のグランディ21が給油可能地点であった。そこで本研究においても、全8ヶ所のFBおよびHBとなる空港に給油体制が整っているものと仮定する。

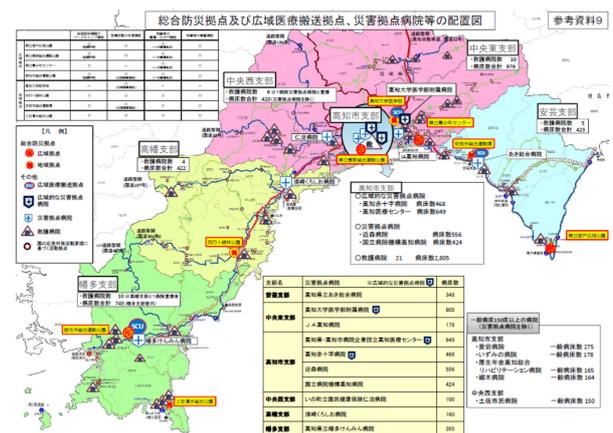


図-2 防災拠点の全体図⁷⁾

表-2 FBのヘリスポット数

	拠点	ヘリスポット数
FB	室戸広域公園	3
	案芸市総合運動場	4
	高知県立青少年センター	4
	高知大学医学部	3
	春野総合運動公園	9
	四万十緑林公園	4
	宿毛市総合運動公園	8
	土佐清水総合公園	4

なお高知県では、総合防災拠点として県内8カ所を設定している。図-3 にエリア8分割イメージ図を示す。エリア8分割では、設定している県内のFB別に8分割して担当エリア内の被災地で救助活動し、担当エリア内のFBに降機させることが予想される。また、高知県は県内に4つの支部を設定している。図-4 にエリア4分割イメージ図を示す。

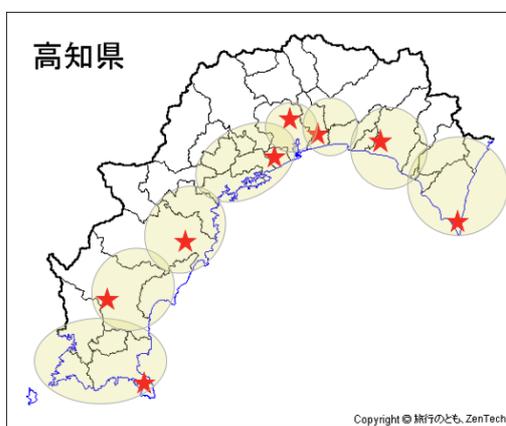


図-3 エリア8分割

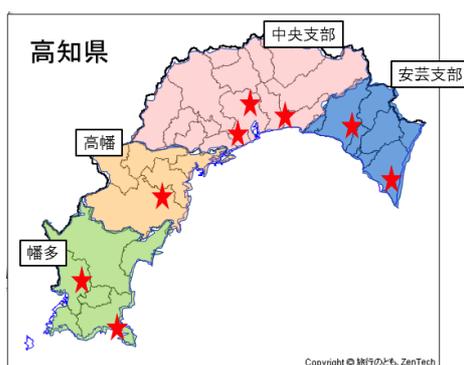


図-4 エリア4分割

3. シミュレーションの前提条件

(1) シミュレーター

救助人数を算出するために、Majima et al.⁸⁾の研究を参考にマルチエージェントモデルを用いたヘリ活動のシミュレーションを行う。本研究では、ヘリ救助の1ミッションについて、空港・FBを出発したヘリが被災地にて

救助活動を行い、空港・FBに被災者を降機させることと定義する。本研究では、1ヘリを1エージェントと考え、自らが救助へ向かう被災地、被災者の降機地点を決定する。ヘリの行動は以下の通りである。

エージェントには以下3点の情報が与えられ、被災者の降機を終えた直後に次の「移動-救助-移動-降機」までの作業を自ら決定する。エージェントは1ミッション単位で作業を決定するため、その次の作業は考えない。

- ・ 救助率 R (救助完了人数/救助要請人数)
- ・ FB, HB, 被災地での待ち行列の長さ
- ・ 被災者の降機中の他エージェント (α 機材) が今行っている作業を終える時間

また、シミュレーションでのヘリの活動内容は次のように決定される。

(0) 救助率の低い地域を選択 (救助率考慮モデルのみ適用)

(1) 全被災地から、自ヘリが最短の作業時間で救助が完了する地域を選定

被災者がいる地域と降機可能地域の全組み合わせについて、以下の時間を計算する。最小の合計時間となる被災地を選択する。但し、他ヘリが行った方が早い可能性もあるので、最終的な決定は(3)で行う。

- ・ 現在地から被災地までの移動時間
- ・ 被災地での救助待ち時間 (活動内容の決定を行う時点での待ち時間の長さ)
- ・ 被災地での救助時間
- ・ 被災地から降機可能地域までの移動時間
- ・ 降機可能地点での降機待ち時間 (活動内容の決定を行う時点での待ち時間の長さ)
- ・ 降機可能地点での降機時間

(2) 他ヘリの方が早い計算 (他ヘリが早ければ任せ、(0) or (1) に戻る)

(1) で選定した地域への救助が、他ヘリの方が早いかどうか(1)同様の合計時間を計算する。他ヘリの方が早ければ、その地域は他ヘリに任せ、再度(1)の計算を行う。

(3) 最終決定

- ・ 自ヘリの方がミッションを最短で終了できる場合、被災地と降機可能地域を決定し、救助率 R の救助完了人数を増加させ、救助率 R を更新して救助活動に移る。

(2) 前提条件

前提条件の設定にあたって、高知県空港関係者を対象にヒアリング調査を行った。ヒアリング調査より設定した前提条件は表-3の通りである。

表-3 前提条件

前提条件一覧	
救助対象	沿岸部19市町村津波による負傷者を対象。全2350人
活動ヘリ数	一次出動10機、準備機含む23機
場外離着陸場	全8か所。合計39離着陸可能スポット
使用可能空港	高知空港最大24スポット内、消防航空隊基地5スポット 高松空港 松山空港最大12スポット
給油体制	全FB及び空港で給油可能 (タンクローリーを派遣と仮定)
活動時間	2014年度日照時間12時間
ヘリ	1ミッションにつき1人救助 200km/h ホバリングでの救助時間10分 降機及び給油時間30分

救助対象地域は高知県沿岸部 19 市町村とし、救助対象は負傷した被災者とする。救助要請人数は「【高知県版】南海トラフ地震による被害想定について、市町村ごとの被害より LI による人的被害（負傷者）数」⁷⁾を参考とした。図-5 に対象地域と救助要請人数を示す。なお、救助スポットは各市町村セントロイドとし、1市町村内の全ての被災者がセントロイドにいと仮定した。

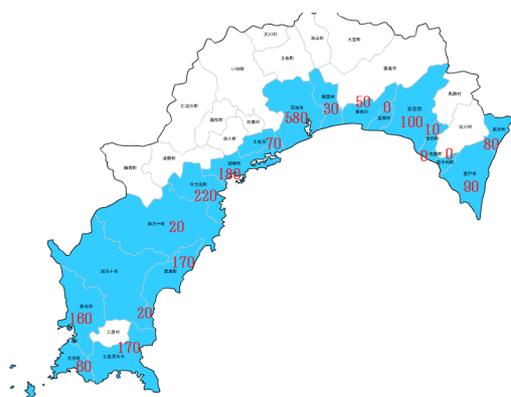


図-1 対象地域と救助要請人数

高知県で救助活動を行うヘリの機数は「緊急消防援助隊の出動計画」⁶⁾より、南海トラフ地震発災時においては、要請がなくても応援に飛来する機数を 10 機、消防庁からの要請があり次第、被災地に向かうことのできる出動準備機を 23 機と定められており、本研究においても同基準とする。東日本大震災時におけるヘリの活動時間は日照時間に限られていたことが実態分析⁵⁾から明らかとなっている。そこで、本研究のヘリの1日の活動時間は、2014 年度の高知県における国立天文台高知県の気象データ⁹⁾より得られた1年間の平均日照時間12時間とする。

(3) シナリオ設定

高知空港の被災状況に応じた4パターン(1)～(4)の空港の運用方法を評価する。なお、ヒアリング調査より、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を行っており、完了するとヘリの駐機スペースとして5スポットが使用できるとのことであった。この

条件を一部使用可能な設定 $\alpha-2$ とした。また、冬季は四国山地に発生する雲の影響で、松山空港および高松空港から高知県の被災地へ向かう場合は、海岸線沿いへの迂回が必要である。この条件を使用不可能迂回ルート $\alpha-4$ とした。

(1) 全域使用可能 ($\alpha-1$)

高知空港の使用が可能で、空港全域が HB・FB として使用可能な場合である。

高知空港運用設定：最大 23 スポット

高松空港運用設定：使用しない

松山空港運用設定：使用しない

(2) 一部使用可能 ($\alpha-2$)

高知空港が被災し、空港内で一部格上げした航空隊基地のみ HB・FB として使用可能な場合である。

高知空港運用設定：航空隊基地エリア最大 5 スポット

高松空港運用設定：最大 10 スポット

松山空港運用設定：最大 10 スポット

(3) 使用不可能 ($\alpha-3$)

高知空港及び空港航空隊基地が被災して使用不可能となり、代替空港として高松空港・松山空港を HB として使用する場合である。

高知空港運用設定：被災により使用不可能

高松空港運用設定：最大 12 スポット

松山空港運用設定：最大 11 スポット

(4) 使用不可能迂回ルート ($\alpha-4$)

高知空港及び航空隊基地が被災して使用不可能となり、代替空港使用で冬季の雪雲がかかり迂回ルートを選択した場合、冬季は四国中心地帯に雪雲がかかる可能性が高く、迂回ルートを通る場合を想定する。

移動時間設定：通常時に対し、HB から高知県の移動時間が 20 分増

高知空港運用設定：被災により使用不可能

高松空港運用設定：最大 12 スポット

松山空港運用設定：最大 11 スポット

表-4 高知県内のエリア分け

エリア分けなし	エリア4分割	エリア8分割	地域	救助要請人数 (人)
1	1	1	東洋町	80
			室戸市	90
			奈半利町	0
			田野町	0
			安田町	10
	2	2	安芸市	100
			芸西村	0
			香南市	50
			南国市	30
			高知市	580
	3	3	土佐市	400
			須崎市	190
			中土佐町	220
	4	4	四万十町	20
黒瀬町			170	
四万十市			20	
土佐清水市			170	
大月町			60	
	7	7	福毛市	160
			合計	2350

実際の救助活動では、被災者の重症度や危険レベルが同等な場合、作業時間が短い方を優先する。そのため、救助時間が最短となる地域を優先させる設定でシミュレーションを行った。その結果、最短地域の被災地に活動が集中し、大きく偏りが見られた。そこで県全域に救助がいきわたるようなエリアごとの救助率（救助完了人数/救助要請人数）が均等となるようなケースも設定した。

移動時間最短地域を優先する設定を B-1、救助率を考慮する設定を B-2 とし、以下に詳細を記し、イメージを図-6 に示す。

(1) 移動時間最短地域優先 (B-1)

シミュレーションにより導びかれた作業時間が最短となる地域を優先的に救助活動を行う。

(2) 救助率考慮 (B-2)

シミュレーションにより導びかれた救助率 R がエリア内で均衡となるよう救助活動を行う。

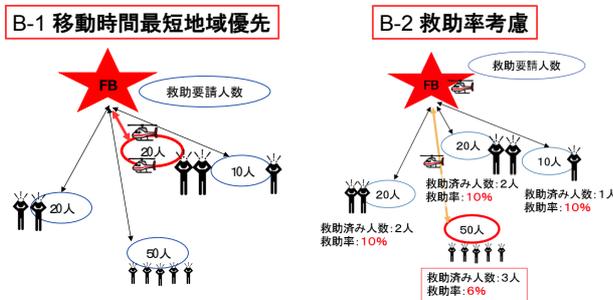


図-6 救助方法

実働ヘリ数については、10機または23機とした。10機での運用（β-1）は、要請がなくても高知県に入ることが可能な1次進出10機による救助活動を想定したものである。23機による運用（β-2）は、1次進出10機に加え、消防庁の要請に応じ高知県入りする出動準備機13機の合計23機による救助活動を想定したものである。

4. シミュレーションの結果

マルチエージェントシミュレーションを用いて算出された1日（活動時間12時間）での救助人数一覧を以下に示す。一覧表を表-5に、全シナリオ別救助人数表-6に示す。算出結果を概観すると、ヘリの機数が多いほど救助可能人数が多くなる結果となった。つまり被災地に集結可能なヘリ数は重要な要素と考えられる。救助方法については、移動時間最短地域優先の方が救助率考慮と比較して、全ケースで救助可能人数が多くなった（図-7）。

表-5 1日における救助人数一覧（単位：人）

ソフ ト面 の条 件	担当エリア	ヘリの機数 救助方法	ハート面の条件							
			高知空港の状況		一部使用可能		使用不可能			
			10機	23機	10機	23機	10機	23機		
8分 割	移動時間最短地域優先	救助率考慮	148	343	145	339	144	338	143	332
		救助率考慮	139	323	139	319	136	316	134	309
4分 割	移動時間最短地域優先	救助率考慮	150	332	149	329	148	320	145	320
		救助率考慮	135	308	135	303	131	304	130	283
エリア 分け無 し	移動時間最短地域優先	救助率考慮	150	314	154	325	151	314	144	321
		救助率考慮	124	303	124	298	118	301	117	292

表-6 全シナリオ別救助人数

Rank	救助方法	エリア分割	被災状況	実働機数	救助人数 (人)
1	移動時間最短地域優先	8分割	全域使用可能	23機	343
2	移動時間最短地域優先	8分割	一部使用可能	23機	339
3	移動時間最短地域優先	8分割	使用不可能	23機	338
4	移動時間最短地域優先	4分	全域使用可能	23機	332
5	移動時間最短地域優先	8分割	使用不可能迂回	23機	332
6	移動時間最短地域優先	4分	一部使用可能	23機	329
7	移動時間最短地域優先	エリア分けなし	一部使用可能	23機	325
8	救助率考慮	8分割	全域使用可能	23機	323
9	移動時間最短地域優先	エリア分けなし	使用不可能迂回	23機	321
10	移動時間最短地域優先	4分	使用不可能	23機	320
11	移動時間最短地域優先	4分	使用不可能迂回	23機	320
12	救助率考慮	8分割	一部使用可能	23機	319
13	救助率考慮	8分割	使用不可能	23機	316
14	移動時間最短地域優先	エリア分けなし	全域使用可能	23機	314
15	移動時間最短地域優先	エリア分けなし	使用不可能	23機	314
16	救助率考慮	8分割	使用不可能迂回	23機	309
17	救助率考慮	4分	全域使用可能	23機	308
18	救助率考慮	4分	使用不可能	23機	304
19	救助率考慮	エリア分けなし	全域使用可能	23機	303
20	救助率考慮	4分	一部使用可能	23機	303
21	救助率考慮	エリア分けなし	使用不可能	23機	301
22	救助率考慮	エリア分けなし	一部使用可能	23機	298
23	救助率考慮	4分	使用不可能迂回	23機	293
24	救助率考慮	エリア分けなし	使用不可能迂回	23機	292
25	移動時間最短地域優先	エリア分けなし	使用不可能	10機	154
26	移動時間最短地域優先	エリア分けなし	使用不可能	10機	151
27	移動時間最短地域優先	4分	全域使用可能	10機	150
28	移動時間最短地域優先	エリア分けなし	全域使用可能	10機	150
29	移動時間最短地域優先	4分	一部使用可能	10機	149
30	移動時間最短地域優先	8分割	全域使用可能	10機	148
31	移動時間最短地域優先	4分	使用不可能	10機	148
32	移動時間最短地域優先	8分割	一部使用可能	10機	145
33	移動時間最短地域優先	4分	使用不可能迂回	10機	145
34	移動時間最短地域優先	8分割	使用不可能	10機	144
35	移動時間最短地域優先	エリア分けなし	使用不可能迂回	10機	144
36	移動時間最短地域優先	8分割	使用不可能迂回	10機	143
37	救助率考慮	8分割	全域使用可能	10機	139
38	救助率考慮	8分割	一部使用可能	10機	139
39	救助率考慮	8分割	使用不可能	10機	136
40	救助率考慮	4分	全域使用可能	10機	135
41	救助率考慮	4分	一部使用可能	10機	135
42	救助率考慮	8分割	使用不可能迂回	10機	134
43	救助率考慮	4分	使用不可能	10機	131
44	救助率考慮	4分	使用不可能迂回	10機	130
45	救助率考慮	エリア分けなし	全域使用可能	10機	124
46	救助率考慮	エリア分けなし	一部使用可能	10機	124
47	救助率考慮	エリア分けなし	使用不可能	10機	118
48	救助率考慮	エリア分けなし	使用不可能迂回	10機	117

救助担当エリアについて考察する。エリア分割と実働機数のクロス集計を図-8に、エリア分割と被災状況のクロス集計を図-9に、エリア分割と救助方法のクロス集計を図-10に示す。

その結果、どのシナリオにおいてもエリアを詳細に分けることで救助人数は増加傾向にあることが分かった。エリア分けなしのシナリオでは、最短で活動できる地域にヘリが集中してしまい、駐機スペース（スポット数）不足による上空待機ヘリが発生したことが理由であると考えられる。

一部、図-8の実働機数とのクロス集計のうち10機体制ではエリアを分けることの効果が低かった。これは、10機での運用の場合、エリア分けを行わずとも、上空の待機ヘリが少なかったためと考えられる。

つまり、ヘリの機数が増えることにより救助可能人数は多くなるが、ヘリ機数が増えたことによる上空の待機ヘリの増加する現象が起こったものと考えられる。そのため、多くのヘリを受け入れる予定がある場合は、それに伴いヘリの駐機スペース（スポット数）の確保も重要

になるものと考えられる。

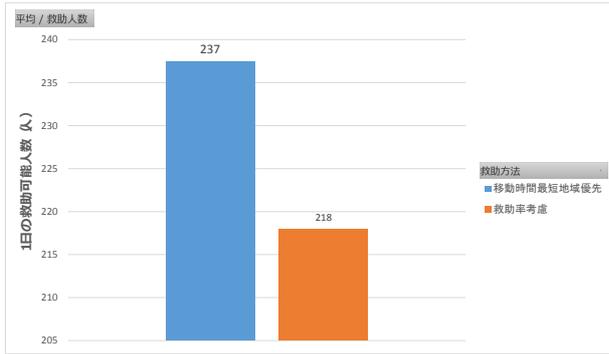


図-7 救助方法の違いによる救助人数変動

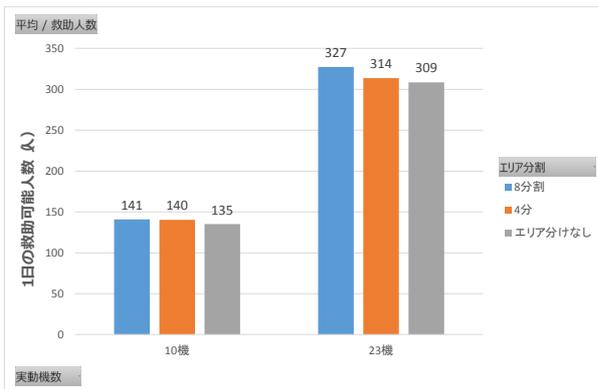


図-8 エリア分割と実動機数のクロス集計

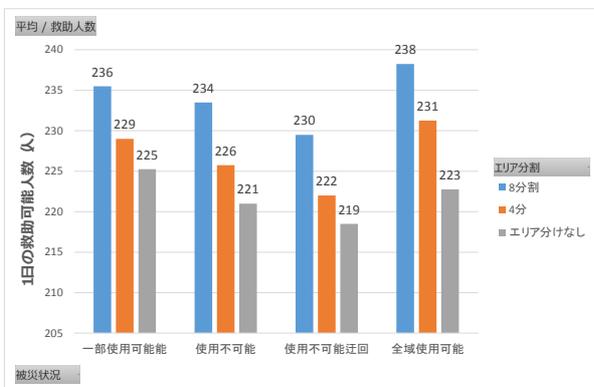


図-9 エリア分割と被災状況のクロス集計

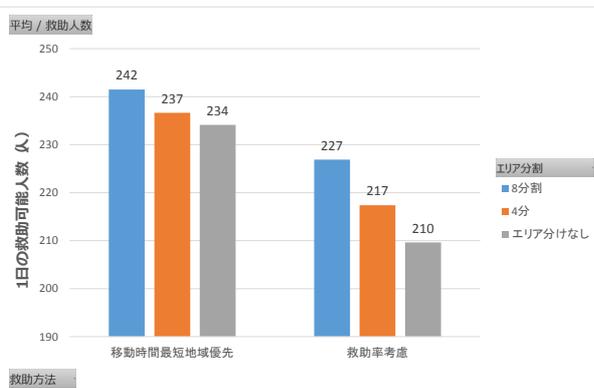


図-10 エリア分割と救助方法のクロス集計

次に、高知空港の被災状況別に考察する。全データ算出結果を用いて、被災状況ごとの1日当たりの平均救助人数を求め、HB から被災地の緯度と経度の平均地点までの移動距離と各FBと空港の受け入れスポット数を図-11に示す。その結果、高知空港が使用できる際の救助人数は使用できない際に比べ、増加する傾向となった。また、救助人数とHBから被災地までの移動距離は反比例の関係、救助人数と降機可能スポット数は比例関係となった。このことから、より被災地に近いHBを使用することに加え、被災者の降機可能スポット数を増やすことは救助人数の増加に資するものと考えられる。

この結果が他のシナリオにおいても有用であるか確認するために、クロス集計を行った。被災状況と実動機数のクロス集計を図-12に、被災状況とエリア分けのクロス集計を図-13に、被災状況と救助方法のクロス集計を図-14に示す。

図-12では実動機数とのクロス集計を行い、前述の内容が有用であることを示しているものの、人数に大きな差がないように見受けられる。しかし、全域使用可能な場合と使用不可能かつ迂回の場合では、1日当たり10人の差が存在する。高知空港が使用できない場合は、高松空港や松山空港を代替空港として使用することになるが、冬期はヒアリング調査から飛行ルート上にある四国山地に冬雲が発生し海岸線に迂回が必要であるほか、震災時の火災による煙など、迂回ルートを選択する可能性は高いと考えられる。高知空港が使用可能であることは、このような飛行上のイレギュラーな事案にも、ある程度対応できる可能性を高める上で重要と考えられる。

次に、図-13におけるエリア分けとのクロス集計結果のエリア分けなしの場合の結果を示す。一部使用可能な状況の救助人数が、全域使用可能な状況の救助人数を上回っている。これは1ミッション目の活動内容を決定する際に、一度に複数の機材が最も移動時間の短い被災地を目指してしまい、結果、駐機容量を上回る数のヘリが飛来、上空に混雑が発生したためである。そのため、全域使用可能な場合の救助人数が下回っていることは全機が高知空港の出発となり、混雑が発生させ、救助効率が落ちたことが要因と考えられる。

また、今回は全FBで給油が可能であると設定したため、使用HBの影響は1ミッション目の移動時間の差のみとなっている。しかし、ヒアリング調査からはFBでの給油設備が整わず、空港のみで給油が可能なケースも考えられている。その際に、高知空港が使用不可能な場合は燃料補給の為にHB(松山空港・高松空港)への帰還が求められ、給油のための移動時間の増加から救助人数の減少につながる。このことから使用HBによる救助人数への影響はより大きいものと考えられる。

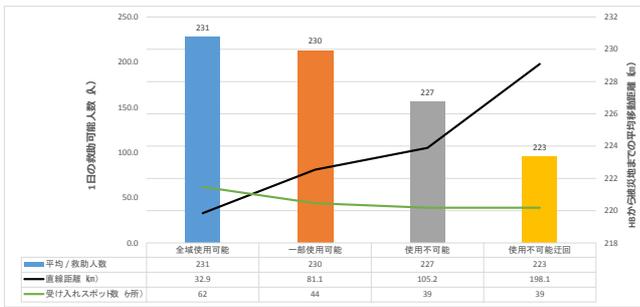


図-11 被災状況別救助人数算出結果

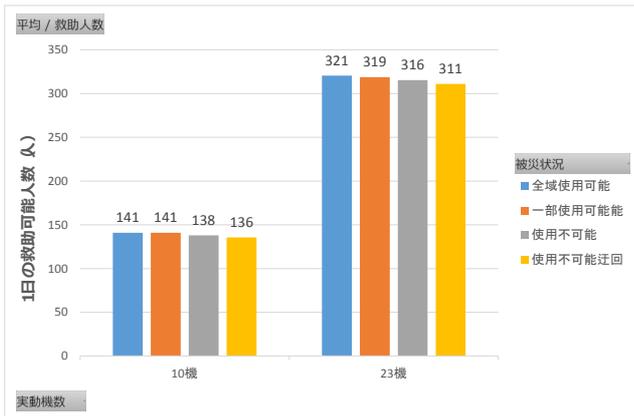


図-12 被災状況と実動機数のクロス集計

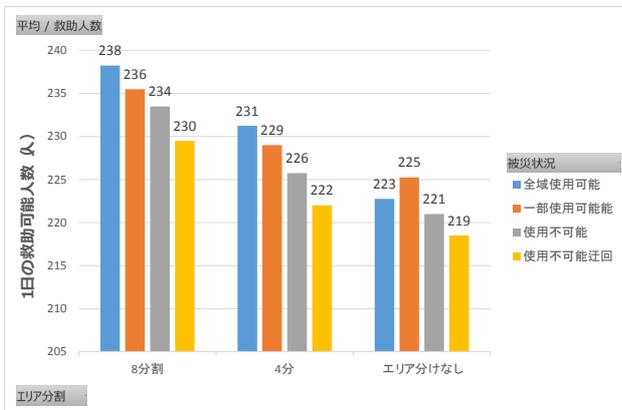


図-13 被災状況とエリア分けのクロス集計

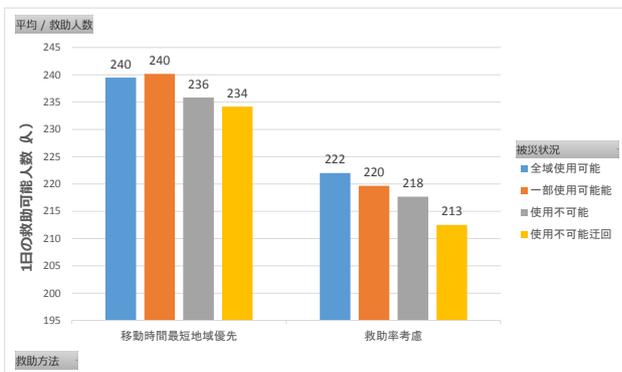


図-14 被災状況と救助方法のクロス集計

次に救出方法Bについて考察する。全データ算出結果を用いて、救助方法ごとの1日当たりの平均救助人数を求め、図-15に示した。その結果、高知県全域を救助する、救助率考慮での運用と救助時間最短地域を優先する運用では、救助を行う地域に偏りはできるものの、後者の救助人数が増加する傾向にあった。

この結果がほかのシナリオにおいても有用であるかを確認するために、各々クロス集計を行った。救助方法と実動機数のクロス集計を図-16に、救助方法と被災状況のクロス集計を図-17に、救助方法とエリア分割のクロス集計を図-18に示す。

その結果、どのシナリオにおいても救助率を考慮して高知県全域の救助を行う救助方法を選択することで救助人数は減少傾向にあった。これは、東西に距離のある高知県において東端や西端の被災地に救助に向かうことは移動時間の増加に繋がり、救助にかかる時間が短くなったためである。一方で救助率を考慮した場合においても、エリアを分割することで救助可能人数は増加する傾向が見られた。そのため、前述の移動時間の増加による救助人数減少を防ぐためにもエリアを分割することは重要な政策の一つであると考えられる。

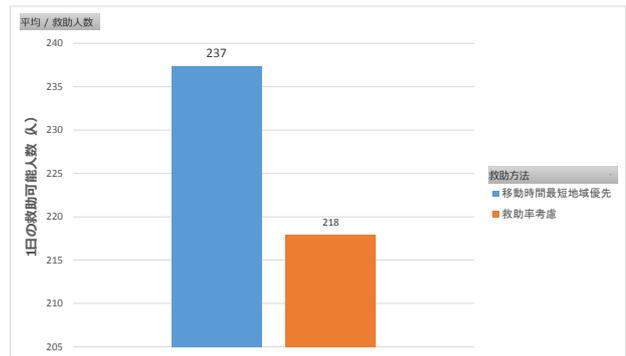


図-15 救助方法を変更した際の救助人数の変動

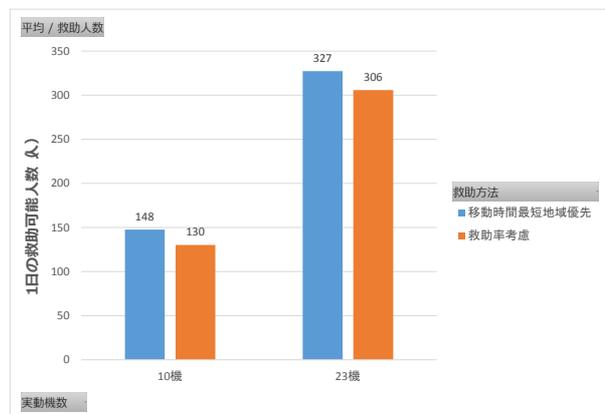


図-16 救助方法と実動機数のクロス集計

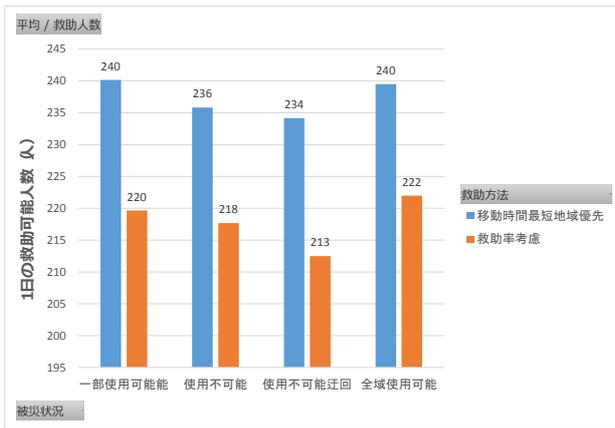


図-17 救助方法と被災状況のクロス集計

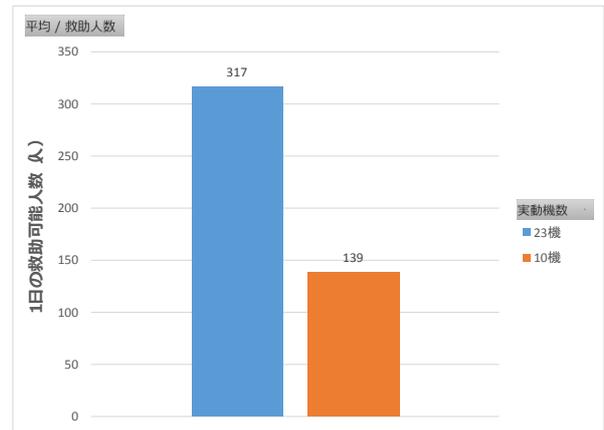


図-19 実動機数における救助人数

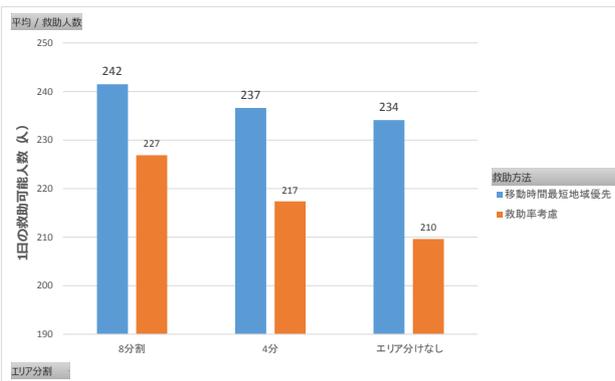


図-18 救助方法とエリア分けのクロス集計

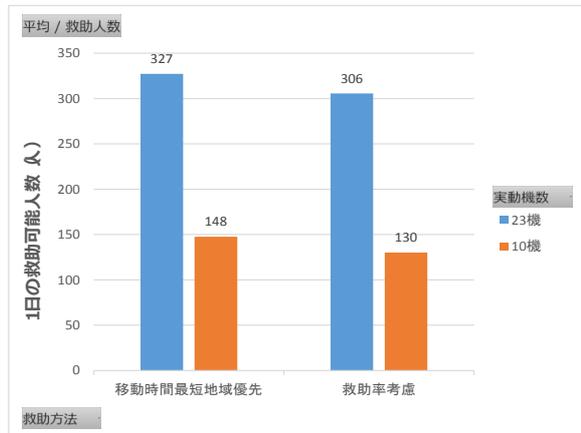


図-20 実動機数と救助方法によるクロス集計

次に、緊急消防援助隊による実働ヘリ数について考察する。全データ算出結果を用いて、実動機数ごとの1日当たりの平均救助人数を求め、図-19に示す。その結果、出動準備ヘリを投入することは救助人数が約2倍となり、1機当たりの救助人数に算出すると約13人増加することが分かった。

この結果がほかのシナリオにおいても有用であるかを確認するために、各々クロス集計を行った。実働ヘリ数と救助方法のクロス集計を図-20に、実働ヘリ数と被災状況のクロス集計を図-21に実働ヘリ数とエリア分割のクロス集計を図-22に示す。その結果、どのシナリオにおいても出動準備ヘリを投入することは救助人数がおおよそ倍増し、効果が大きいことが分かる。

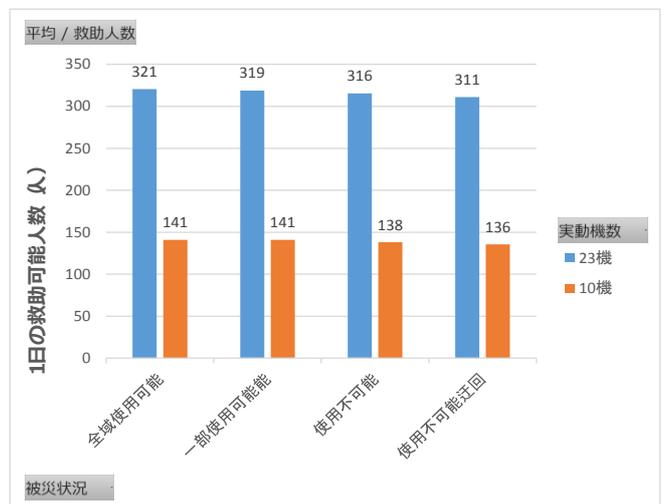


図-21 実動機数と被災状況によるクロス集計



図-22 実動機数とエリア分割によるクロス集計

シミュレーションの結果から、ヘリの機数が増えることにより救助可能人数は多くなるが、ヘリの機数が増えたことによる上空の待機ヘリが増加する現象が見受けられた。そのため、多くのヘリを受け入れる予定がある場合は、それに伴いヘリの駐機スペースの確保も重要になると考えられる。駐機スペースの確保については、ヘリの上空待機を減らすために、今回のシミュレーション上でも多くのヘリ待機していた高知県中心部のFBヘリスポットを増築すること、高知県が試算した津波による被災者の発生確率の高い高知市付近に駐機スペースを新設することが望ましいと考えられる。

5. おわりに

本研究では、高知県関係機関へのインタビュー調査をもとに、広域災害時の航空機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モデルを用いて高知県沿岸部19市町村の負傷者を対象に、救助可能人数をシミュレーションにより求めた。その結果、航空機の活動エリアをより詳細に分割することにより、救助人数の増加が見込まれることが明らかになった。また、ヘリ数を増加されることが救助人数の増加に効果的であることも示された。

本研究で示した結果は、あくまでもヘリ活動の運用方法を簡便に想定してシミュレーションした結果であり、実際には救助要請者にも優先度が発生することが想定される。さらに消防ヘリの航続時間は概ね2時間程度であり、発災時に給油体制がどの程度整備されているかは重要な要素であるといえる。また、今回課題としてあげられた駐機スペース不足による上空に待機しているヘリの

混雑緩和に対して、効果的な駐機スペースの増築や新設の立地を検討する必要があると考えられる。

実際の救助活動では、今回想定した消防防災ヘリのみならず、ドクターヘリや自衛隊ヘリなど他機関が同一地域にて活動することが想定される。これら他機関に渡る活動は本研究では想定していないが、ミッションの重複による空振りや情報収集の観点からもあらかじめ検討しておくことが重要である。

謝辞：高知県庁東京事務所及び高知県庁の方々、高知県消防防災航空隊及び国土交通省大阪航空局高知事務所の方々にインタビュー調査にご協力いただいた。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）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, No.555. 2013.
- 2) 国土交通省港湾局, 空港の津波対策検討委員会, <http://www.mlit.go.jp/about/index.html> 最終閲覧: 2015 年 2 月 12 日
- 3) 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, 44 (3), pp.751-756, 2009.
- 4) Gulay Barbarosoglu, Linet Ozdamar and Ahmet Cevik : 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.
- 5) 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) 69 (5), I_229-I_246, 2013.
- 6) 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 最終閲覧: 2015 年 2 月 12 日
- 7) 高知県南海トラフ地震対策課, <http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/higaisoutei-2013.html>, 最終閲覧: 2015 年 2 月 12 日
- 8) Takahiro MAJIMA, Daisuke WATANABE, Keiki TAKADAMA and Mitujiro KATUHARA, A Development of Transportation Simulator for Relief Supply in Disasters, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 5, No. 2, pp. 131-135, March 2
- 9) 国立天文台, 暦計算室, 高知県のこよみ, <http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/dni/dni40.html> 最終閲覧: 2015 年 2 月 12 日

(2014.4.25受付)