

# 地震時の地域医療継続性と課題

京都大学防災研究所 准教授 倉田 真宏



## 1. はじめに

事業へのダメージを抑えて継続・復旧するための考え方に、BCP：Business Continuity Planがあります。リスク管理の立場で日常から「不測の事態」を分析して自施設の脆弱な点を洗い出し、その弱い部分を事前に補うよう備える計画です。特に、「不測の事態」に対する具体的なイメージを管理部門ごとに挙げ、そのために必要な措置を行うための「備え」を平時から充実させることが肝要とされています。病院については、厚生労働省からBCPの策定についての通達があり、災害拠点病院に関しては、平成30年度末までにBCPの策定と訓練の実施が義務付けられています<sup>1)</sup>。

事業継続性評価においては、需要と供給のバランスを精度よく予測することが重要です。医療施設の場合、大地震時には、医療サービスへの需要が大幅に増大する一方で、病院も被災する可能性があります。図-1は、熊本地震の発災後から12日後までの地域の中核病院における外来受診患者数の推移<sup>2)</sup>を示しています。前震発生後に前年同月平均の2倍になった患者数は、本震発生後に15倍に跳ね上がっています。また、地域医療の中核をなす市立病院をはじめとする十数の病院が避難処置をとったため、外来診療を続けた病院で患者数が高止まりする傾向が続きました。無論、通常の救急外来で対応できる人数には限りがありますから、災害対策マニュアルなどに従い、緊急度や重症度に応じて傷病者を4段階に分類するトリアージを実施する場所（トリアージエリア）を設置して、外来患者の対応にあたりました。

病院機能が低下する要因としては、建物自体の損傷だけでなく、重要設備や機器の損傷、さらに医療従事者の被災などがあげられます。図-2は熊本地震で被害を受けた透析医療を専門とする病院<sup>3)</sup>の透析液供給装置など

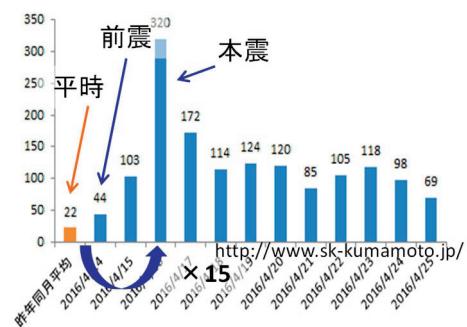


図-1 医療サービス需要の増加<sup>2)</sup>



図-2 透析機械室の被害<sup>3)</sup>

が置かれた機械室の様子です。この病院では、建物内の漏水などの影響もあり、屋外スペースに野外科を設営して透析患者の治療を継続しました。ただし、対応できる人数には限界があるため、少し時間を経て入院患者や通院患者に被災地域外の病院を紹介する、訪問治療に切り替える、などの対応をしています。災害急性期においては、目の前の患者のためにできる限りの対応をするため、病院や医療従事者に大きな負荷がかかります。そのため、医療機能が大幅に低下することなく地域医療の継続性を担保するための災害急性期の事業計画、さらに長期的な復旧計画の策定が肝要になります。

本稿では、筆者らが実施した病院の被害調査と脆弱性

分析、災害医療の成立要件、現行のBCPの課題、病院を対象としたモニタリングシステムの例、医療機器や病院建物を対象とした実験や解析で得られた知見などを紹介します。なお、本稿の内容は筆者らの研究グループの既発表資料<sup>4)~12)</sup>に基づいています。

## 2. 病院機能の脆弱性分析

### 2.1 地震後の被害調査<sup>6)~9)</sup>

地震による病院機能の低下は傷病者への外来対応に支障を及ぼし、さらに入院診療の継続が困難となると「病院避難：入院患者の避難」を余儀なくされます。2016年の熊本地震では被災地域内の38%の病院(66病院のうち災害拠点病院を含む25病院)が機能不全に陥り、多くの病院で病院避難の措置が取られました。

筆者らが熊本地震後に実施した、病院避難に陥った10病院に対する聞き取り調査(図-3)では、病院避難に至った要因として、「耐震性の不安」の回答が5病院、建物内の「水関連施設の破損」が5病院、地域の断水が4病院となりました。また、多くの病院が発災後数時間以内に意思決定をしており、病院からの避難は病院長をはじめとする医療関係者が決断していました。一般的に、建物の応急危険度判定には24時間かかると思われていますが、病院独自の優先協定があった場合も、病院の規模や交通事情などによっては専門家の判定を待つことは難しくなります。その場合、一度退避した後に建物の安全が確認されてから施設の利用を再開する、安全側の判断が多くなります。

2023年2月にトルコ南部で発生した大地震では、被災地域にある116の病院のうち22施設の42棟が大破・中破、その他94施設が軽微な損傷を受けました<sup>14)</sup>。筆者らが日本建築学会の調査団の一員として現地で実施した被災調査(図-4)では、近隣病院の被災により想定を遥かに超える患者が集中した施設(270床の施設に5000人超など)が混乱し、一部が機能不全になった事例が複数確認されました。診療を続けた施設においても、医療スタッフの被災により一時的に人員が不足したものの、その後ボランティアで駆け付けた近隣地域の医療関係者の応援により、平時に比べて機能レベルが30%アップした例もありました。また、外壁や間仕切壁、吊り天井などの非構造部材の被害の影響は大きく、病棟の一部を閉鎖することになるだけでなく、後発地震において損傷が進行したりガチャガチャ音を立てたりすることで、医療関係者が心的外傷後ストレス障害(PTSD)を発症し、発災2週間後に野営テント病院に避難した例もありました。

病院	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
耐震性への不安	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-
水不足(建物)	-	●	●	-	●	●	-	-	●	-
水不足(地域的)	-	-	-	-	-	●	●	●	●	-

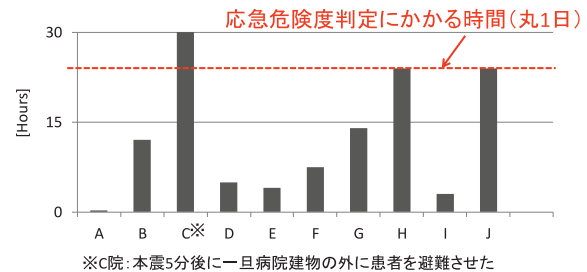


図-3 熊本地震で入院患者を避難させた病院の調査結果<sup>6)</sup> : (上) 病院避難に至った要因; (下) 意思決定までの時間



図-4 トルコ・シリア地震での病院被害<sup>8)</sup>

### 2.2 2018年大阪北部地震における脆弱性分析<sup>9)</sup>

筆者が所属する地域医療BCPの向上を目指した研究グループ(京都iMED研究会)では、アンケート調査から大阪北部地震時の病院の建物・設備に対する被害と地震動の関係を明らかにしました。

アンケート調査は大阪北部地震において震度5弱以上を観測した市町に立地する217病院を対象にGoogle formでの回答を郵送にて依頼しました。1次調査では217病院中51病院(回収率23.5%)から回答を得ました。アンケートの内容は、1) 病院の建物・設備に対する被害(構造部材・非構造部材・建築設備など・ライフライン)、2) 病院の運営に関する影響(物資調達・医療体制)、3) 建物の耐震性(築年数や耐震改修の有無など)、4) 事前の防災対策(BCPの策定有無やライフラインや医薬品などの備蓄量)についての項目としています。

図-5は、地震動と構造部材・非構造部材・建築設備・ライフライン被害の関係を示したものです。件数の表記はそれぞれの分類に属する全病院数、影響内容項目の右に表記している数字は報告があった病院数で、ほぼすべてが当てはまる項目は「可能性非常に大」、50%程度を「可能性大」、25%程度を「可能性中」、数件であっ

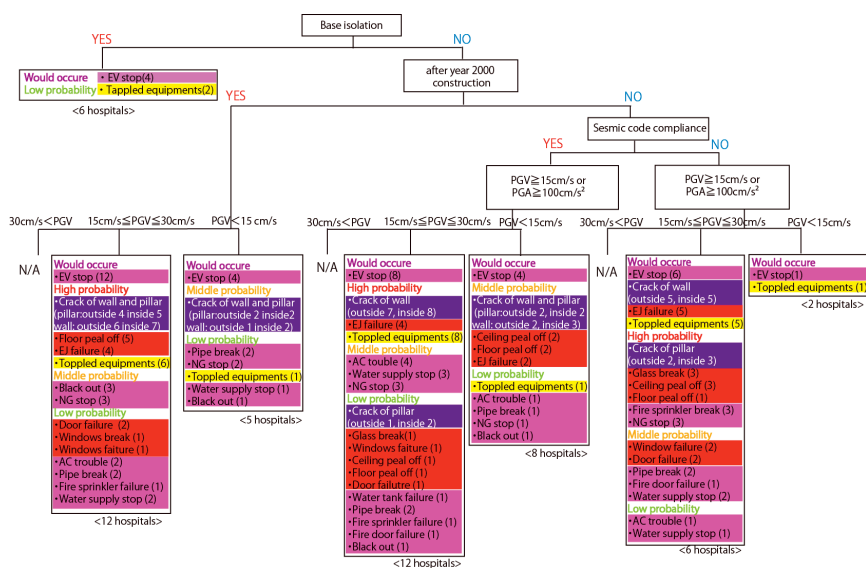


図-5 地震動と構造部材・非構造部材・建築設備・ライフライン被害の関係<sup>9)</sup>

た事例を「可能性小」として示しています。免震構造の病院については、エレベーター停止と家具・什器転倒以外の被害は発生しておらず、影響が非常に小さい結果となりました。また、すべての建物が非免震構造で2000年以降に建設された病院では、揺れが小さい場合は、エレベーター停止の影響のみですが、地表最大速度 (PGV) 15cm/s以上の揺れになると、壁や柱にひび割れが発生する、床が剥がれる、建物の連結部のずれ、家具・什器が転倒するという被害が50%程度の事例で発生しています。また、1981年以前に建設された旧耐震基準の建物においては、地表最大速度 (PGV) 15cm/s以上の揺れになると、壁のひび割れがほぼすべての建物で発生し、さらに50%程度の建物で、建物の安全性に関わる鉄筋コンクリートの柱にひび割れが発生しており、実際の建物の安全性、さらには医療従事者の安心感に関わる被害が発生していました。

### 3. 医療施設のBCP

#### 3.1 考え方と運用例

東京都の福祉保健局が策定した大規模地震発生時における医療機関のBCP策定ガイドライン<sup>15)</sup>に示された概念図を図-6に示します。縦軸は医療機能が平時を100%とし、横軸は時間です。基本的な考え方は、レジリエンシーの考え方に則しています。災害時に機能は一旦低下しますが、時間の経過とともに復旧します。一般企業ではある程度の機能低下を許容する一方で、医療機関については、平時よりも高い機能を求めています。対応力の増加により災害の瞬間的なインパクトを小さくす

ること、また対応力の早期回復で平時よりも高い機能を維持します。被災地の外部からの応援があるとして、災害急性期の短期間でもどれほどキャパシティを高めることができるのか、については被災した地域の病院機能の低下度や外部との連携を良くイメージしておく必要があります。図-1で示した熊本地震における外来受診患者数の例のように、亜急性期でも医療需要が高止まりするケースでは、医療関係者の疲労やその他の医療リソース不足にも配慮しなくてははいけません。

災害拠点病院は、災害発生時に災害医療を行う医療機関を支援する病院のことで、複数の市町村で構成され、救急医療を含む一般的な入院治療が完結するように設定した二次医療圏ごとに1箇所指定されています。京都府では、基幹となる京都第一赤十字病院に加えて、12病院が指定を受けています。災害拠点病院には様々な指定要件がありますが、2017年3月に厚生労働省医政局より各都道府県知事あてに、以下の追加要件の通知<sup>1)</sup>がありました。

- ①被災後、早期に診療機能を回復できるよう、BCPの整備を行っていること。
- ②整備されたBCPに基づき、被災した状況を想定した研修及び訓練を実施すること。
- ③地域の第二次救急医療機関及び地域医師会、日本赤十字社等の医療関係団体とともに定期的な訓練を実施すること。また、災害時に地域の医療機関への支援を行うための体制を整えていること。

これらの追加要件については、2019年3月末までに要件を満足することを求められたため、日本各地の災害拠点病院では急な対応を迫られました。

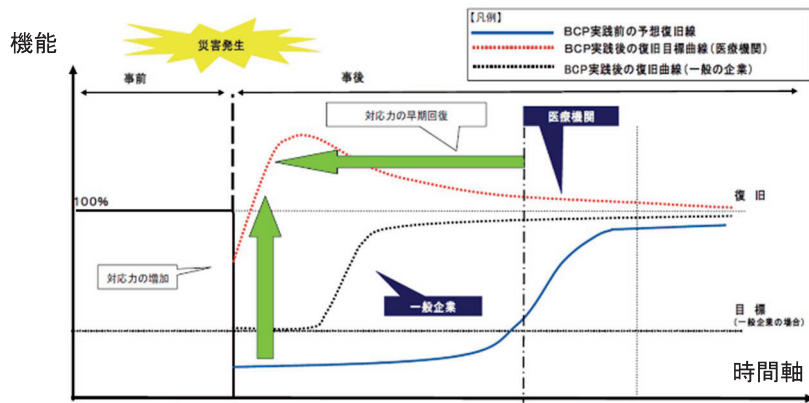


図-6 病院におけるBCPの考え方 (例)<sup>15)</sup>

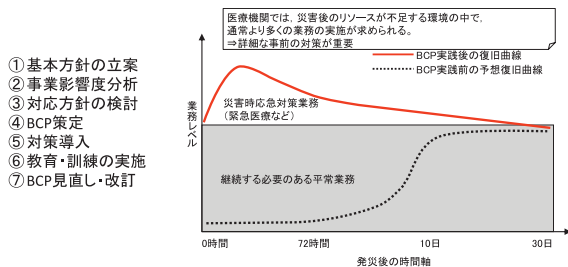


図-7 災害拠点病院のBCPの例



図-8 病院における訓練の様子

例として、京都府内の災害拠点病院のBCPを図-7に示します。ここでは、平常業務を大きく減らして、災害時緊急対応業務にリソースを振り分けることで、発災0時間で災害対応に必要な業務レベルを供給しています。実際には、災害対応モードへの転換に少し時間がかかりますが、患者が到着するまでに少し時間的余裕があります。トルコ地震でのヒヤリング調査では、発災後患者が到着し始めるまで15分程度かかったとの回答がありました。

図-7の左にBCP策定の順序をまとめています。基本方針を決めた後、各診療科や部署において被害や求められる対応について事業影響度を分析します。災害時の対応方針を検討したうえでBCPを策定します。被災した状況を想定した研修及び訓練を実施し、適宜改定します。

図-8は災害拠点病院における訓練の様子です。医療従事者は、業務ごとにピブスをつけ、それぞれの役割を確認しながら、訓練に臨んでいます。事前に訓練の内容が公表されている場合もあれば、執行部や総務課の一部のみが立案し、ブラインドで訓練を実施する場合があります。前者においても時々刻々と状況が変化するように、受け入れる患者の状態や外部機関とのやりとり、余震の発生など、担当者はシナリオの作成に多くの時間を費やしていました。参加者が各部署でのBCPを熟知しているかということ、実際には内容を記憶していない担当者も

多く、訓練後の検証が重要となります。訓練などでBCPの有効性を検証し、定期的に計画を見直すことが求められています。

余談ですが、トルコでの現地調査のおりにも災害訓練についてヒヤリングをしました。災害拠点病院クラスでない一般的な病院でも、年に1度の訓練に加えて、年に2度のトレーニングが各病院に義務付けられています。地域内の病院が連携して訓練している事例も確認されました。ある病院の火災訓練では、爆竹を利用して火花や煙を出し、ストレッチャーに乗せた入院患者を大急ぎで避難させる様は真剣そのもので、臨場感に溢れていました。

### 3.2 災害医療の成立要件

災害医療においては、CSCATTTと呼ばれる体系的な対応項目が共通のコンセプトになっています。多数傷病者事故に対する医療対応を教育するための教育コースMIMMS (Major Incident Medical Management and Support)<sup>16)</sup>により提唱された概念で、図-9に示すようにCSCATTTはそれぞれ、指揮・統制、安全、情報伝達、評価、トリアージ、治療、搬送を意味します。CSCAは医療管理組織体制に求められる項目で、TTTは医療支援項目になります。災害医療関係者が災害対応の中心になりますから、この考え方を理解しておく必要があります。

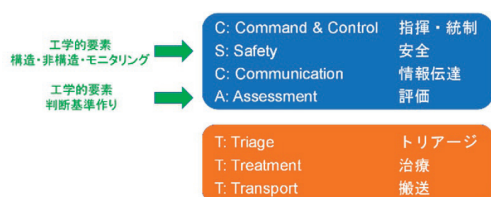
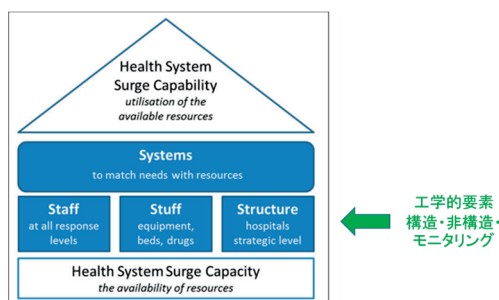


図-9 災害医療の共通言語：CSCATTT

図-10 ICUのサージ能力を決める4S<sup>17)</sup>

ここで、建築分野に関連が深いのは“安全”と“評価”です。安全の項目では、災害対策本部の設置場所や災害医療を実施する安全な場所の確保が求められます。病院建物が使用できる場合には院内のあらかじめ決められた場所で、避難している場合には応急設営した野営病院などの活用が考えられます。実際の被災現場では、病院避難の判断は患者・職員の安全性を担保するために、現場職員や応援に駆け付けた災害派遣医療チーム（DMAT）により短時間で決断されているのが現状です。これは図-3に関連して2.1節で説明したとおりです。病院建物の築年数や事前の耐震診断結果が患者や職員の不安感に影響するため、BCPに記載される情報を共有しておくことが重要と考えられます。

評価の項目は、指揮・統制、安全、情報伝達に関する医療管理組織体制の状況を総合的に分析するものになります。建物の安全性、医療設備の状況、ライフラインの状況、地域の被災状況、想定される患者数などを踏まえて、供給能力を判断します。医療従事者やその家族も被災して参集できない可能性や余震が起こる中で患者や職員の不安感が増悪することも勘案する必要があります。またリソース面では、重症患者に接続される生命維持装置などの耐震性は未だ詳細に評価されていません。

図-10は、ICU（Intensive Care Unit）で大量の傷病者を受け入れるに際して、治療する能力を評価するための4つのS（Systems, Staff, Stuff, Structure）の関係図<sup>17)</sup>です。人員、物資、スペースが確保され、運用するシステムが機能することで、ICUの能力が確保されます。

### 3.3 工学的観点から見た課題

災害拠点病院のBCPやそれを基にした訓練に参加すると、自院の損傷がほとんどない状況のみを想定していることに驚かされます。“重要な医療・サービス提供の継続／早期復旧のために、人命の安全確保を最優先としつつ、必要とされるレベルで事業の継続／早期復旧を実現”、との記載がBCPにはありますから、事業の継続／早期復旧を前提としてシステムが機能します。確かに、災害拠点病院では耐震化が義務付けられているため、未耐震の建物はありません。しかしながら、耐震化と継続利用が同義ではないことは、建設関係者には共通する認識です。重要な施設については継続利用性を向上するために重要度係数を大きくして強度を高める設計もありますが、その場合でも継続利用性が設計の目標として考慮されているとは言えません。例えば、BCPにおける建物被害想定に次の記述があります。「震度7クラスの地震が発生した場合でも、耐震構造の建物自体への影響は少ないと考えられ、建物のつなぎ目であるエクспанションでズレが発生する可能性が高い。」非構造部材についても、エクспанションジョイント部分の破損、ホール天井や各所の窓ガラスの破損、耐震固定が十分でない機器などの転倒による内部機能の障害、などへの言及があるのみです。ソフト面での評価だけでなく、構造設計者や研究者によるハード面での評価を正確に取り入れることが望ましいと考えます。

介護施設・事業所における自然災害発生時の業務継続ガイドライン<sup>18)</sup>が数年前に発表されました。図-11に採用されている考え方を示します。耐震性などが必ずしも確保されていない小規模施設の集合体を想定しているため、操業度は100%ではなく許容限界以上のレベルでの事業継続を目指しています。BCPのフローチャートを見ると、3. 緊急時の対応の項目（10）に復旧対応が書かれている点や、4. 他施設との連携、5. 地域との連携、が記載されていることが目を引きます。建物・設備の被害点検シート例（図-12）や、他施設との災害時相互応援に関する関係図（図-13）もガイドラインに盛り込まれています。

自施設の脆弱性を認識したうえで、復旧までの計画を立案する、地域連携を前提として対策を練る、といった観点は小規模施設の集合体ならではの観点です。一方で、大規模広域大災害を念頭に置くと、災害拠点病院や総合病院においても、自院の被災を想定したBCP作りが望ましいと考えています。また、現在想定している規模の災害に対しても連携などを考慮することで、個々の施設における災害対策への負担を低減できる可能性があります。

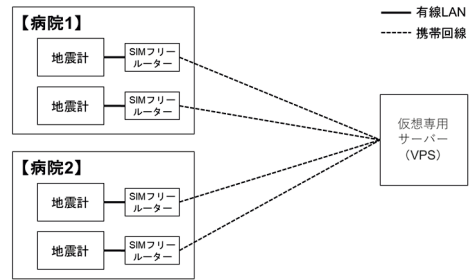
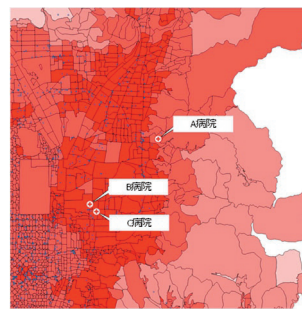
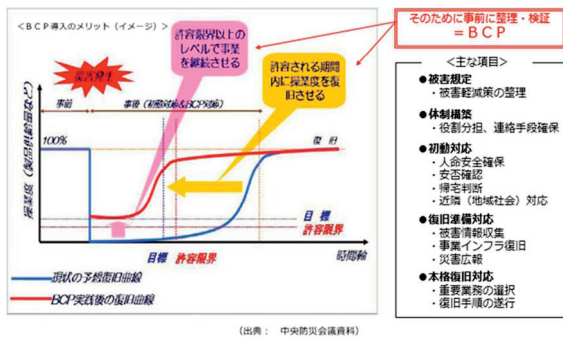


図-14 京都市内の病院施設への地震情報配信システム

図-11 介護施設・事務所におけるBCPの考え方<sup>18)</sup>

(記載例) 建物・設備の被害点検シート例

対象	状況 (いずれかに○)	対応事項/特記事項	
建物・設備	躯体被害	重大/軽微/問題なし	
	エレベーター	利用可能/利用不可	
	電気	通電 / 不通	
	水道	利用可能/利用不可	
	電話	通話可能/通話不可	
インターネット	利用可能/利用不可		
...			
建物・設備 (フロア単位)	ガラス	破損・飛散/破損なし	
	キャビネット	転倒あり/転倒なし	
	天井	落下あり/被害なし	
	床面	破損あり/被害なし	
	壁面	破損あり/被害なし	
	照明	破損・落下あり/被害なし	
...			

図-12 建物・設備の被害点検シート例<sup>18)</sup>

【参考】法人本部BCPと施設・事業所単位のBCPの関係

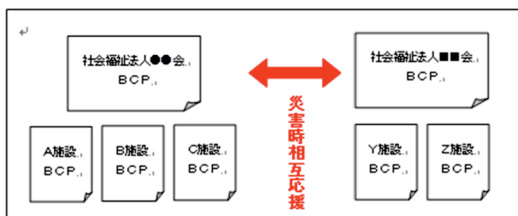


図-13 介護施設・事務所における災害時相互応援<sup>18)</sup>



図-15 被害推定を含めたモニタリング情報の提供

応答・被害情報共有システムを開発しています。図-14に示すように京都市の特定地域にある3つの総合病院に地震計を設置し、建物応答や各階の計測震度を医療関係者や建物管理者に提供するサイトを運用しています。システムでは、データ通信用SIMカードを用いて、Web上のレンタルサーバーに観測データを送信する方式をとっています。また、建物応答や病院内の被害推定を、図-15のようなウェブサイトにて病院関係者に配信しています。被害の推定においては、次節以降で紹介する医療関係者との協働で実施した機器単体の振動台実験や数値解析、実大病院建物試験体のE-ディフェンス実験の結果から構築した、医療機器や非構造部材の被害率曲線などを実験的に利用しています。

今後は、建物の特性や地震動の特性などを踏まえた高精度な情報や近隣施設の被害推定や病床の空き情報などを加えて、より包括的に病院の状態を評価し、BCPの発動や発災後の意志決定を援助できるシステムの開発を

## 4. 医療施設のモニタリングと被害予測

### 4.1 地域医療の地震時継続性モニタリング

筆者らの研究グループでは医療施設を対象とした建物

目指しています。また、2.2節でまとめた図-5のような分類などを用いて、個々の施設の脆弱性を事前に評価しておくことも重要と考えています。米国カリフォルニア州などでは、非構造面も含めた病院のSPC/NPC Rating<sup>19)</sup>があります。各病院の耐震性はウェブサイトで公表されており、GIS上でクリックすれば確認できます。日本でも、構造、非構造、設備の脆弱性分析、有効なBCPの有無などに基づくSPC/NPC Ratingの仕組みがあれば、地域医療をモニタリングするうえでも有効と考えられます。

## 4.2 機器単体の評価<sup>10),12)</sup>

地震時におけるキャスター付き医療機器のロッキング、転倒、移動による被害の推定と対策の提案を目的として、実施した研究事例を紹介します。

京都大学防災研究所の保有する振動台を用いて、新生児用ベッドに正弦波や地震を受けた建物の床応答を入力し、ロッキングや転倒の有無を調べました。図-16に実験の様子と医療機器の模式図を示します。キャスターがフリーや2点対角ロックとした条件では、ロッキング・転倒は発生しませんでした。全てロックした場合は、図中に示すキャスター幅と重心位置の高さの比 ( $b/h$ ) が小さいほどロッキングや転倒が生じました。図-17に入力波の等価振動数とロッキング・転倒の関係を示します。ここで、PFAは床最大加速度、PFVは床最大速度の略で、等価振動数  $F_e$  は  $PFA/PFV/2\pi$  で定義されます。ロッキングが生じる限界加速度は  $200\text{cm/s}^2$  で、転倒が生じる限界速度は  $67\text{cm/s}$  でした。また等価振動数  $F_e$  が  $2.0\text{Hz}$  未満の範囲でPFVが大きくなると転倒し始めました。

実験結果で妥当性を確認した医療機器の解析モデルを用いた解析により、地震動のばらつきを考慮した医療機器のロッキング・転倒に関する被害関数を求めた結果を図-18に示します。 $b/h$  を大きくするほどロッキング・転倒の発生確率を確実に低減することができ、建物の耐震設計で考慮する極稀な地震（再現期間500年程度）による建物内の床応答速度として  $80\text{cm/s}$  を考慮した場合においても、 $b/h$  を  $0.4$  以上とした場合には転倒確率を非常に小さくできる結果となっています。

不安定な医療機器の地震対策としては、設計変更または現行機器の脚部にセーフティウエイトを設置するなどして前述の  $b/h$  の目標値を満たせばよいことになります。

また、図-19に示すキャスター付き台車の引張試験から、移動量と相関の高い転がり摩擦係数や沈み込み係数などを調べました。転がり摩擦係数はキャスターの車輪

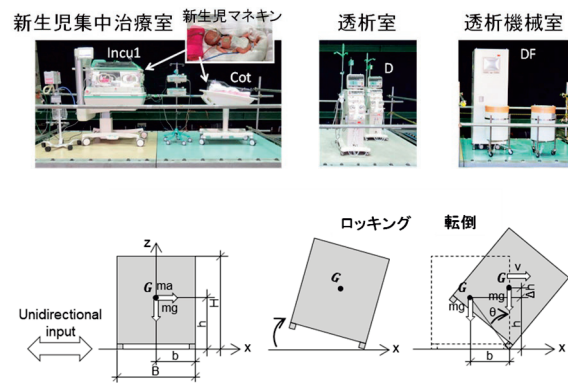


図-16 キャスター付き医療機器の地震時挙動

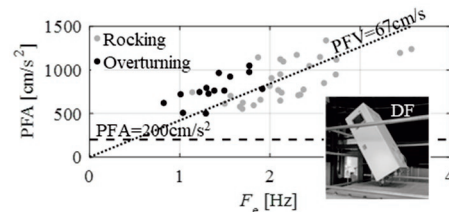


図-17 等価振動数とロッキング・転倒の関係

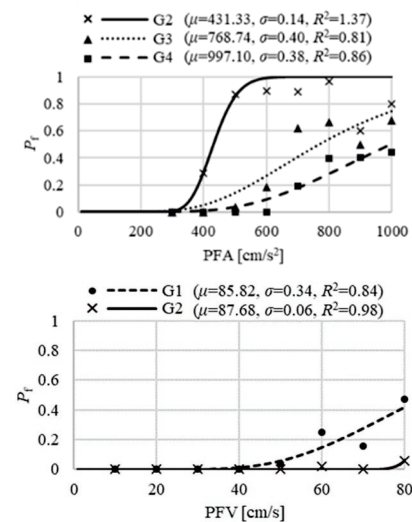


図-18 医療機器のロッキングと転倒に関する被害率曲線<sup>10)</sup>

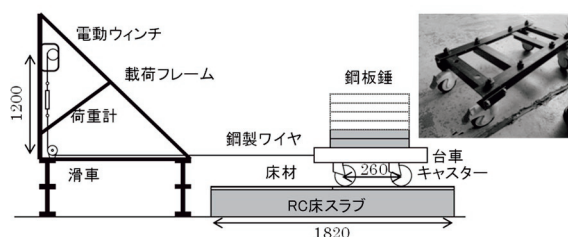


図-19 床材に載せたキャスター付き台車の引張実験<sup>12)</sup>

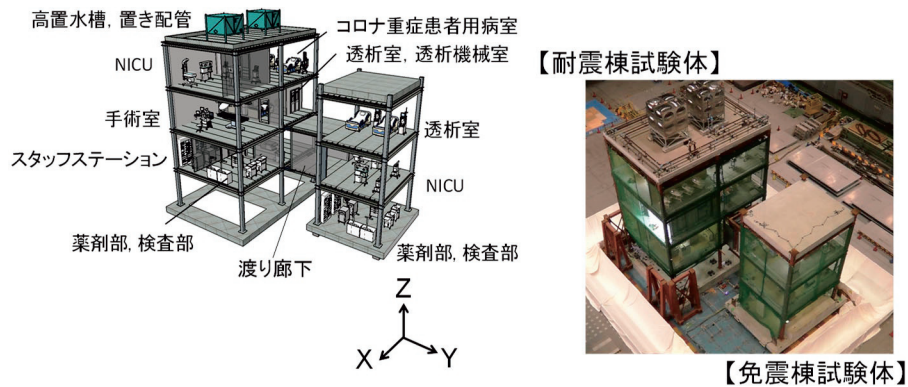


図-20 病院実大試験体のEーディフェンス振動台実験<sup>11)</sup>

が回転し移動する際の見かけ上の摩擦係数、沈み込み係数は医療機器を床材に設置したときにできる床材へのこみから抜け出すための力に関係しています。摩擦係数と沈み込み係数には床材の厚さが影響し、いずれも厚みとともに増大することを明らかにしました。病室で最も一般的な床材に対して、転倒時の危険性を考慮した“やや”柔らかい床材の転がり摩擦係数は約2倍大きくなりました。病院での作業効率を考えると厚さの限度がありますが、やわらかく厚みのある床を採用することで、沈み込み係数や転がり摩擦係数を増やし地震時の移動量を低減できる可能性を示しています。

### 4.3 医療システムとしての評価<sup>11)~13)</sup>

#### 4.3.1 実験概要

2020年12月に実大三次元震動破壊実験施設(通称Eーディフェンス)において、4層鉄骨造病院施設の実大震動台実験を実施しました。図-20に試験体の概要を示します。平面の大きさは、耐震建物を7m×10m、免震建物を5m×6mとしており、X方向ならびにY方向に加振しました。階高(床スラブ天端間の距離)は、一般的な病院建物を参考に、耐震建物の1階部分は3.6m、2階以上は3.4m、免震建物は3.5mとしました。2階の免震建物側にエキスパンションジョイントを介して渡り廊下を設置しています。4階建ての耐震建物は災害拠点となる病院施設を想定した重要建物として、建築基準法で要求されている必要保有水平耐力の1.5倍の耐力を満足させました。なお、耐震構造・免震構造の2棟の実大鉄骨造建物を同時に揺らす実験は世界で初めての試みでした。

試験体に入力した地震動を表-1に示します。首都直下地震を想定した地震動としてJMA神戸NS波を、南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策用として、建物立地に2種地盤を想定した地震動(OS2)を採用して、非線形解析により地表波を求めました。

表-1 入力地震動

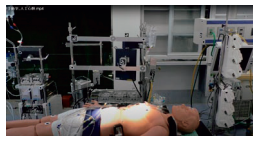
ID	地震波	参考レベル
1	JMA 神戸 NS X方向 16%	弾性限界
2	JMA 神戸 NS Y方向 16%	弾性限界
3	OS-2 Y方向 20%	長周期小振幅
4	JMA 神戸 NS X方向 50%	2次設計
5	OS-2 XY方向 50%	長周期大振幅
6	JMA 神戸 NS XY方向 50%, UD Z方向 100%	設計超

試験体内には、生命維持装置を要する患者が利用する部屋として、NICU、手術室、コロナ重症患者用病室を設置しています。レイアウトは、医療従事者と協議の上、各部屋に一般的に必要なとされる機器を配置しています。機器は展示用や廃棄予定の備品を医療施設から収集しています。キャスター固定時の摩擦係数やフリー時の転がり摩擦係数が機器の移動や転倒に与える影響を確認するため、各医療機器のキャスターロックは、通常医療現場で行われている対角ロック・片面ロック・3点ロック・オールロック・オールフリーから選択しています。最も一般的な床材と“やや”柔らかい床材を使用しているフロアでは、機器を同じレイアウトになるように配置しました。医療機器・医療材料を収納する棚・キャビネットは、一般的な病院施設で使用されるL字金具を用いて固定しました。

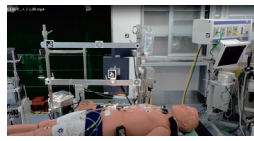
#### 4.3.2 実験結果

耐震棟建物は1次設計レベルのID1~ID3では、ほぼ無損傷でした。保有水平耐力限界レベルの入力(ID4)で構造部材の一部(2階梁端部と柱脚)が損傷したものの、応急危険度判定の結果、目立った損傷なしと判定されました。柱脚のアンカーボルトに緩みが生じたため、次の加振前に増し締めをしています。最大加震(ID6)で柱脚のアンカーボルトが2か所で破断したため、応急危険





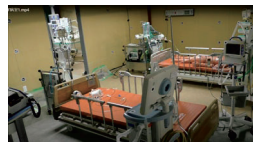
周辺機器が移動し、手術台に衝突



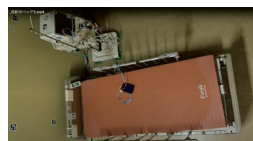
機器が大きく移動し、人工心肺装置などが転倒



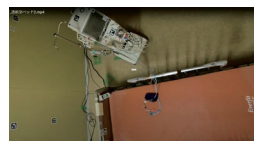
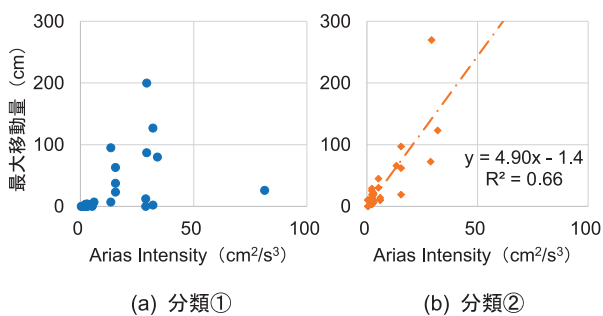
透析機器が大きく移動し、カバーが脱落



機器が大きく移動し、人工心肺装置などが転倒・転落



機器とベッドが壁に激しく衝突したのち右側に移動

図-21 病室の様子：左) 加振前；右) 加振後<sup>11)</sup>図-22 Arias Intensityと機器の移動量の関係<sup>13)</sup>

度判定で危険と判定し、加震を終了しました。免震棟建物では、免震装置が正常に動作し、ほぼ無被害でした。

地震動と機器の転倒や移動量との関係について、実大病院建物の振動台実験で得られた結果を、医療機器の管理区分などを考慮して、転倒や衝突、回路のはずれなどによる医療継続性への影響を分析しました。図-21に加振前後の病室内の状況を示します。直下型地震動より最大床応答加速度が小さかった長周期長時間地震動で、病

院室内の被害が相当大きくなる結果となりました。床加速度応答スペクトルのピーク値は同等で、エネルギースペクトルのピーク値は長周期長時間地震動の方が大きくなっており、室内被害の低減を目標とした設計では注意を要することが分かりました。

機器の転倒はキャスト幅を重心高さで除した比 ( $b/h$ ) の小さい機器に生じやすく、それらは機器単独または、壁や機器との接触によりバランスを崩して生じましたが、床材の種類によらず、床応答加速度は  $400\text{cm/s}^2$  以上、床応答速度は  $50\text{cm/s}$  以上で確認されました。参考までに機器の移動量について、床応答加速度および継続時間の影響を考慮した Arias Intensity との相関を図-22に評価しています。分類①は患者が乗る全点ロックのケースが多い医療機器。分類②は全点ロックでないケースが多い患者が乗らない機器です。

コロナ重症患者病室、NICU、手術室における医療行為の継続性を分析した結果では、転倒しなくても移動により壁や医療機器同士衝突により、高度管理医療機器などは継続使用が難しくなることが指摘されました。床応答加速度を低減することや機器の  $b/h$  を大きくすること、“やや”柔らかい床材を使用すること、を大地震時の医療継続性対策として検討していく必要があります。

## 5. 結語

本稿では、筆者らが実施した病院の被害調査と脆弱性分析、災害医療の成立要件、現行のBCPの課題、病院を対象としたモニタリングシステムの例、医療機器や病院建物を対象とした実験や解析で得られた知見などを紹介しました。

機能損失に陥るリスクを軽減するには、構造や非構造の対策、医療機器の転倒・移動対策、BCPの導入による業務の最適化、損傷状況を素早く把握して早期復旧につなげるモニタリング、など様々なアプローチがあります。施設によって耐震対策にかけられる資金や時間は異なりますが、耐震対策と有効なBCPをうまく組み合わせ、また大規模災害に対しては地域で連携する仕組みを作るように働きかけていきたいと思っています。

## 【謝辞】

本稿で紹介した研究は、京都iMED研究会のメンバーをはじめ、京都大学と京都工芸繊維大学の学生諸君、京大病院、宇治徳洲会病院、西陣病院、佼成病院、大垣市民病院の医療関係者、京都大学防災研究所の技術職員の皆さまと共同で実施したものです。実験研究では、日本

製鉄、日鉄建材、日鉄エンジニアリング、センクシア、新高製作所、セントラルユニ、日機装、田島ルーフィング、森松工業、内藤設計事務所、OKUJUの各社に、多大なご協力いただきました。ここに記して謝意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 災害拠点病院指定要件の一部改正について，医政発0331第33号，厚生労働省医政局，2017年3月31日
- 2) 済生会熊本病院：www.sk-kumamoto.jp/
- 3) 陣内病院：www.jinnouchi.or.jp/
- 4) 倉田真宏，人見真由：大震災時の医療サービス継続性評価，特別寄稿，京都府臨床工学技士会会誌 2017
- 5) 倉田真宏：医療施設の耐震性や災害時救急医療の活動について，日本地震工学会誌，No. 36，pp.16-19，2019.6
- 6) Kurata, M., Hitomi, M., Shimmoto, S., Ohtsuru, S., Shimoto, M., Cho, K., Sugiyama, O., Aida, S. "Hearing and Analysis of Hospital Evacuation after the 2016 Kumamoto Earthquake," 16th European Conference on Earthquake Engineering, June 18-21, 2018
- 7) Shimoto, M., Cho, K., Kurata, M., Hitomi, M., Kato, Y., Aida, S., Sugiyama, O., Maki, N., Ohtsuru, S. "Hospital Evacuation Implications After the 2016 Kumamoto Earthquake," Disaster Medicine and Public Health Preparedness, 1-3, 2022, doi:10.1017/dmp.2022.25 (Report from the Field)
- 8) 倉田真宏，Cem Yenidogan，久田嘉章，福井弘久，小林裕明，長江拓也：05-建物被害と事業継続性，日本建築学会トルコ・シリア地震災害調査速報会・配布資料，2023.4.29
- 9) 石原由菜，牧紀男，倉田真宏，趙見済，大鶴繁：地震災害時の医療機能に対する影響評価の試み—大阪北部地震の影響分析から—，日本災害医学会雑誌，27巻3号，195-200，2022，[https://doi.org/10.51028/jjdisatmed.27.3\\_195](https://doi.org/10.51028/jjdisatmed.27.3_195)
- 10) 人見真由，倉田真宏，相田伸二，下戸学，趙見済，大鶴繁：地震時における医療機器のロッキング・転倒に関する危険性評価，生体医工学誌，2022.11 <https://doi.org/10.11239/jsmbe.60.139>
- 11) 災害時重要施設の高機能設備性能評価と機能損失判定，防災科学技術研究所研究資料，No.479，2022.7
- 12) Kurata, M., Kawamata, Y., Kanao, I., Ohtsuru, S., Fujita, K., Matsuo, S., Kojima, K., Cho, K., Tsutsumi, T., Aida, S., Akazawa, M., Saburi, K., Nishitani, A. "2020 E-Defense Test for Integrated Structural, Nonstructural and Functionality Assessment of Medical Facilities," 12th National Conference on Earthquake Engineering, EERI, Salt Lake City, 2022.6
- 13) 倉田真宏，赤澤資貴，相田伸二，趙見済，河又洋介，佐分利和宏，大鶴繁：E-ディフェンス震動台実験における耐震・免震建物に設置された医療機器の地震時挙動，日本建築学会構造系論文集，第88巻，第809号，2023年7月
- 14) Government of Türkiye, Türkiye-Recovery-and-Reconstruction-Assessment, 2023.3.27
- 15) 東京都福祉保健局：大規模地震発生時における医療機関の事業継続性ガイドライン，<http://www.fukushihoken.metro.tokyo.jp/iryo/kyuukyuu/saigai/zigyoyoukeizokukeikaku.html>
- 16) MIMMS (Major Incident Medical Management and Support) 英国における大事故災害への医療対応，<http://www.mimms-jp.net/> (last visited on 2023.05.10)
- 17) Davidson RK, Magalini S, Brattekaas K, Bertrand C, Brancaloni R, Rafalowski C, Rostrup Nakstad E. Preparedness for chemical crisis situations: experiences from European medical response exercises. Eur Rev Med Pharmacol Sci. 2019 Feb;23(3):1239-1247. doi: 10.26355/eurrev\_201902\_17017. PMID: 30779093.
- 18) 厚生労働省：介護施設・事業所における自然災害発生時の業務継続ガイドライン，<https://www.mhlw.go.jp/content/000749543.pdf> (last visited on 2023.05.10)
- 19) Preston B. L., LaTourrette T., Broyles J. R., Briggs R. J., Catt D., Nelson C., Ringel J. S., Waxman D. A. (2019). Updating the Costs of Compliance for California's Hospital Seismic Safety Standards. Prepared for the California Hospital Association (Sacramento, CA) by RAND Corporation, Santa Monica, CA.