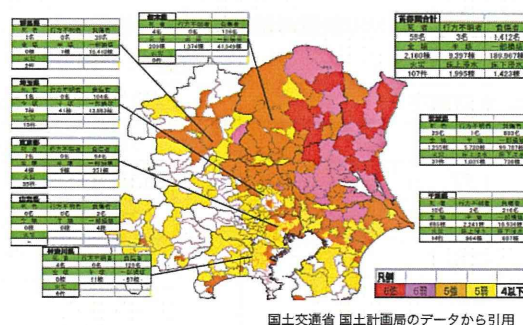


表-5 MRI装置の被害程度(装置単位)

	全体		首都圏	
	度数	率(%)	度数	率(%)
影響なし	471	78.2	183	90.1
軽微(一部損壊)	86	14.3	9	7.4
半損(軽度)	13	2.2	1	0.5
半損(重度)	3	0.5	0	0
全損	13	2.2	0	0
無回答	16	2.6	4	2.0
合計	602	100	203	100

図-1 首都圏被害状況



国土交通省 国土計画局のデータから引用

震災後のクエンチ発生に関しては、即時、遅延を合わせて全体で 19 施設で発生していた。首都圏でも 1 施設でクエンチが発生していた。震災に伴う患者の被害発生に関しては、全体で 9 例発生していた。首都圏でも 2 例発生していた。検査を施行していた医療従事者の被害発生に関しては、全体で 1 例発生していた。首都圏での発生はなかった。

D. 考察

東日本大震災では、広範囲にわたって強い揺れが発生した。首都圏（においても、震度 5 弱および震度 5 強（一部震度 6）の強い揺れが発生した。首都圏の被害状況を図-1（添付資料参照）に示す。東北地域と比べ揺れは小さかったが、かなりの被害が発生していた。表-4 に MR 装置の被害状況を示したが、首都圏ではマグネットの移動、マグネット装備品の破損、クエンチダクトの破損、急激なヘリウム減少およびシステムキャビネット等のアンカー破損等の被害が発生していた。

全体と首都圏で免震および制振構造の割合を比較したデータを表-6 に示す。東京都は免震化率が 2 割程度あり他地域と比べ高いことが分かる。

首都圏では装置の全損はなかったが、一部損壊及び半損は 10 件発生している。被害の発生が東北地域と比べかなり低かったのは、東北地域よりも揺れが小さかった点と免震機構が多いことが影響しているものと思われる。

表-6 建屋の構造(装置単位)

	全体		埼玉県		東京都	
	件数	率(%)	件数	率(%)	件数	率(%)
耐震構造	408	67.8	50	72.5	68	50.7
免震構造	54	9.0	6	8.7	28	20.9
制振構造	4	0.7	0	0	1	0.7
その他	102	16.9	8	11.6	28	20.9
無回答	34	5.6	5	7.2	9	6.7
合計	602	100	69	100	134	100

MRI 装置の据付に関する調査結果で、約 1/4 の装置でアンカー止めを行っていないことが分かった(表-7)。

これは、メーカーの考え方が大きく影響している。すべての装置をアンカー止めしているメーカーと、基本的にアンカー止めしていないメ

一カがあった。首都圏でマグネット移動が発生した6件のうち、5件は装置のアンカー止めを行っていない装置であった。1件は、アンカー固定をしていたがアンカーが破損しガントリーが移動している。アンカー止めをしない理由としては、強い揺れによるマグネットの破損防止が考えられる。震災により発生する強い揺れに対するアンカー止の影響に関しては、今後更に検討する必要がある。

図-2 首都圏における主な被害

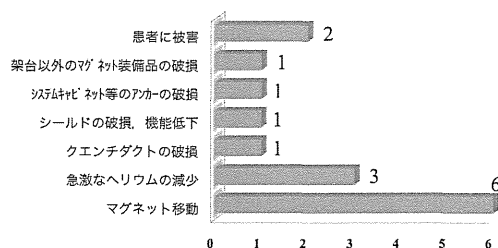
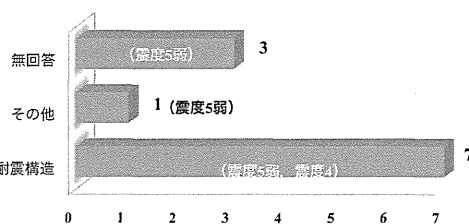


表-7 MR装置の据付方法 (装置単位)

	全体		首都圏	
	度数	率(%)	度数	率(%)
アンカー固定あり	396	65.8	145	71.4
アンカー固定なし	166	27.6	50	24.6
その他	9	1.5	0	0
無回答	31	5.1	8	4
合計	602	100	203	100

図-3 被害が発生した建屋構造



首都圏では、免震構造および制震構造の建屋の装置には、今回の震災による被害が発生していなかった。首都圏で震度6強の強い揺れがあった免震構造の施設でも、全く被害が発生していなかった。

首都圏の主な被害をまとめると図-2に示した内容になる(1施設で複数の被害が発生している場合は被害内容ごとにカウントしている)。これらの被害状況と建屋の構造の関係を図-3に示す。無回答とその他があるが、耐震構造の7施設で被害が発生している。震度4あるいは震度5弱で被害が発生しており、免震構造の施設と大きな差が認められた。震災に伴う被害の発生率低減に、免震構造が有用である点が明らかになったのではないかと考える。

今回の震災の発生時間から、多くの施設で検査施行中であったものと考えられる。患者に被害が発生したのは2施設(全体で9施設)のみであったが、強い揺れの中で患者救出を行ったものと思われる。震災により、停電あるいは装置の不具合が発生した場合、非常用の緊急スイッチを利用して患者を救出することになる。この緊急スイッチは、各社で設置位置や機能が異なっている。緊急時に適切に対処できるように、各種緊急スイッチの設置場所と機能をあらかじめスタッフ全員が把握しておくことが重要である。

震災発生時にクエンチボタンを押した施設は1施設のみであった。非常に難しい点であるが、判断しなければならない状況になる可能性はある。どのような基準でクエンチボタンを使用するかも、検討しておく必要がある。

首都圏では、東北地方と比べ震度6以上の

激震の割合が少ないため、被害の発生率が低かったと考えられる。また、免震率が高いことも関係していると思われる。しかしながら、患者の被害やガントリーの移動などの被害が発生している。首都圏では、高層階に MRI 装置が設置されている場合もあり、実際にガントリーが動くなどの被害が発生している。

都内のビルの9階に設置したMRI装置の被害状況を図-4（添付資料参照）に示す。該当地区の震度は5弱と推定される。ビルは耐震のみの構造であり、MRI装置のマグネットは、アンカー止めは行なっていなかった。クエンチダクトを中心に50cm程度回転している。地震発生時は検査施行中であったが、初期の揺れを感じた所で、検査担当者が検査室内に入り、寝台を手動で引き出し患者を無事に救助している。

今回の調査では、設置階については調査に含まれていない。今後、長周期振動の影響も含めて検討する必要があると思われる。



図-4 首都圏で発生した被害事例

震災後のクエンチは、今回の調査結果からは非常に少なく、多くの装置で磁場は残った状態であった。架台の破損、マグネットの移動などの被害は多く発生していたが、全体でも96%以上の装置で静磁場が維持された状態で

あった。これは、MR装置担当者の避難後に、救助などで医療関係者以外が近づいた時に非常に危険な状態になる。この点は非常に重要であり、強磁場による二次被害防止方法の策定など、対応策の準備を進めておく必要がある。

首都圏で同様な強い揺れが生じた場合、免震構造が多いものの、かなりの被害が発生する可能性がある。震災時の患者の救助方法の策定、強磁場による二次被害防止方法の策定など、対応策の準備を進めておく必要がある。

今回の震災の発生時間から、多くの施設で検査施行中であったものと考えられる。患者に被害が発生したのは9施設のみであったが、強い揺れの中で患者救出を行ったものと思われる。

震災により、停電あるいは装置の不具合が発生し、電動で寝台を引き出すことが不可能になる可能性がある。この場合、非常用の緊急スイッチを利用して寝台をフリーにして患者を救出することになる。このスイッチは、各社で設置位置や仕様が異なる。緊急時にも適切に対処できるように、各種緊急スイッチの機能と場所をあらかじめスタッフ全員が把握しておくことが重要である。

E. 結論

東日本大震災により、MRI装置にも今まで考えられなかったような被害が発生していた。首都圏（東京都、埼玉県）では全体と比較すると被害の発生率は低かったが、震度6以上の激震の割合が東北地方よりも少なく、建物の免震化率も高い、インフラの破壊が東北地方ほど著しくなかったなどの理由によると考えられる。しかしながら、首都圏で震度6以上の地震が発生した場合は、免震化率の違い

を考慮に入れても東北3県に見られた被害程度に近づくと予想される。その一方で、全体でも96%以上の装置で強磁場が維持されていたことがわかった。この点は非常に重要なことであり、避難するときの2次被害の防止策の重要性が明らかになった。

G. 研究発表

1. 論文発表

・中井敏晴、山口さち子、土橋俊男、前谷津文雄、引地健生、清野真也、丹治 一、安達廣司郎、武蔵安徳、菱沼 誠、阿部喜弘、石森文朗、砂森秀昭、榊田喜 正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、礪田治夫、野口隆志、梁川 功、町田好男 東日本大震災によるMR装置被災調査の実施報告 日本磁気共鳴医学会誌 33、92-119、2013

2. 学会発表

・中井敏晴、山口さち子、礪田治夫、土橋俊男、町田好男、野口隆志 東日本大震災における津波によるMR装置の被害に関する調査研究、日本医学放射線学会第153回中部地方会、豊明、2013.2.2

・前谷津 文雄、丹治 一、清野真也、武蔵安徳、安達廣司郎、土橋俊男、中井敏晴、東日本大震災の被災地におけるMR装置被害の実態調査報告、第二回 東北放射線医療技術学術大会 抄録集 #38、仙台、2012.11.4

・中井敏晴、山口さち子、礪田治夫、土橋俊男、町田好男、野口隆志 東日本大震災によりMR装置に見られた被害事象の概況報告、日本生体医工学会・東海地方会 抄録集34
2012

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得
なし

2. 実用新案登録
なし

3. その他
なし

研究協力者一覧

石森文朗（医療法人 聖麗会 聖麗メモリアル病院）

栗田幸喜（社会福祉法人 恩賜財団 済生会支部 埼玉県済生会栗橋病院）

砂森秀昭（社会福祉法人 恩賜財団 済生会 水戸済生会総合病院）

榊田喜正（千葉大学医学部附属病院）

松本浩史（千葉大学医学部附属病院）

藤田 功（さいたま市立病院）

協力組織

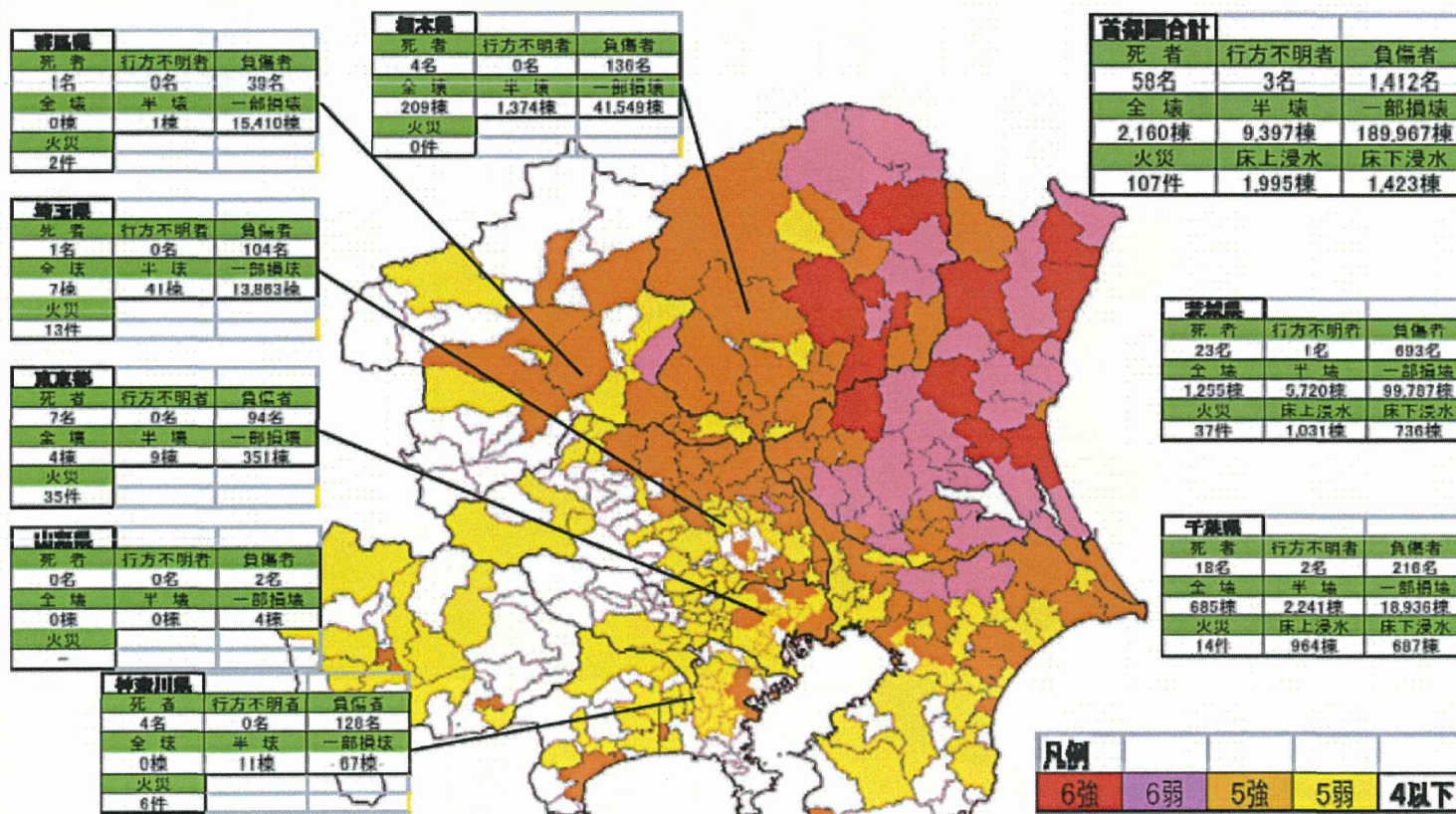
茨城県技師会 MRI 研究会

千葉撮影技術研究会MRI基礎勉強会

東京MR励起会

SAITAMA MRI Conference

図-1 首都圏被害状況



国土交通省 国土計画局のデータから引用

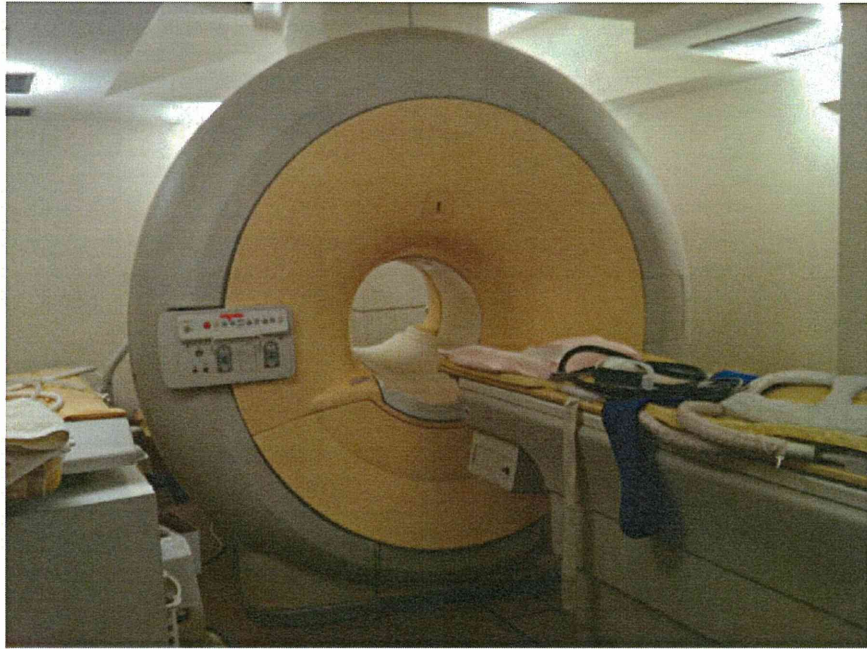


図-4 首都圏で発生した被害事例

東日本大震災における「MR 検査の患者の安全確保」と「MR 装置の安全確保」について

研究分担者 礪田 治夫

名古屋大学大学院医学系研究科 医療技術学専攻 医用量子科学講座 教授

研究要旨

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災で被災した MR 装置に関連してなされた被災調査の自由記述の内容を解析し、震災時の「MR 検査の患者の安全確保」と「MR 装置の安全確保」を解析した。強い揺れに伴い、MR 検査担当者が患者に近づけないこと、寝台の引き出しや寝台からの患者を降ろす過程で困難があることなどが判明した。寝台上の患者の安全を確保する方法、MR 検査室から寝台ごと室外へ運び出せるシステムなどが重要と思われた。また、緊急地震速報により、本震襲来よりも早期に患者救出を行う訓練をする必要もあると思われた。震災による MR 装置の損傷を最小限に留め、二次災害を防ぐ手段とし、MR 検査室の施錠、立入禁止措置、冷凍機関係のチェック、クエンチに対処するための措置があり、今後、防災対策において考慮すべき内容と考えられた。

A. 研究目的

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災で被災した MR 装置に関連してなされた「MR 装置の被災調査アンケート」において、調査票の自由記述の内容を解析することにより、震災時における「MR 検査の患者の安全確保」と「MR 装置の安全確保」の実態を把握するとともに問題点を抽出し、防災対策を策定する一助とすることを目的とした。

B. 研究方法

研究対象の調査票

東日本大震災で大きな被害を受けた岩手（85 施設）、宮城（105 施設）、福島（74

施設）、茨城（124 施設）、千葉（214 施設）の 5 県と、対照比較群の東京（231 施設）、埼玉（151 施設）の 2 都県を対象とし、発送された合計 983 施設の「MR 装置の被災調査アンケート」調査票のうち、回収された 458 件を対象とした。

検討した調査票の内容

今回の研究対象とした調査票の検討内容は自由記述の内容のうち、「8 発災直後に取った措置：8・① 患者の安全確保」と「8 発災直後に取った措置：8・② MR 装置の安全確保」であった。

検討方法

回収された調査票の「8 発災直後に取った措置：8-① 患者の安全確保」と「8 発災直後に取った措置：8-② MR 装置の安全確保」の自由記述の内容から重要と思われる項目を抽出した。

なお、本稿では、MR 装置が設置してある部屋を MR 検査室、操作卓がある部屋を MR 操作室、撮影室と操作室などを含む構造全体を MR 施設と呼ぶこととした。

前者の「発災直後に取られた患者の安全確保措置」については、患者と MR 検査担当技師の位置・状況や行動により、【1】MR 撮影の一時中断の有無、【2】発災直後の MR 検査室内の患者の有無、【3】MR 検査担当技師が MR 装置に近づけるか否か（直ちに近づく・揺れが収まってから近づく・その他）、【4】発災直後の患者の MR 装置における状況（検査前で寝台上でポジション中・検査中でガントリー内・検査後で寝台上で抜針中・検査前または後で MR 検査室内にいる）、【5】寝台の引き出し方法（寝台を電動で引き出す・寝台を手で引き出す・揺れが収まってから寝台を電動で引き出す・揺れが収まってから寝台を手で引き出す・寝台を引き出すが、方法の記載はない・寝台を引き出せない・患者が自分で出てくる・その他）、【6】寝台上での安全確保（寝台からの患者の落下防止・毛布で覆う・声掛け・患者に落下物が当たらないようにする）、【7】寝台上から避難まで（寝台の上 [揺れが収まってから寝台から降ろす]・寝台から降ろし MR 検査室内で待期・寝台から降ろし直ぐに検査室を出る・寝台から降ろしその後の記載なし・寝台を取り外し寝台ごと検査室外へ・寝台から抱

きかかえて降ろす・その他）、【8】避難場所（前室、準備室、待合室または控室・廊下・安全な場所・建物外・MR 施設外へ避難または安全確保するが、場所の記載なし・建物外・その他）、【9】その他の特筆すべき内容、を項目とした。

後者の「発災直後に取られた MR 装置の安全確保措置」については、【1】電源（MR 装置のシャットダウン・ブレーカー遮断）、【2】各部屋の扉（検査室と前室または操作室の間のドア開放または開閉の確認・MR 施設の施錠）、【3】立入禁止措置、【4】備品・装置の転倒の点検など（備品、コイルの点検と落下防止・モニターの落下防止・キャビネット転倒防止）、【5】点検（緊急点検・緊急点検とテストスキャン・概観チェック、目視 [その後のテストスキャン問わず]・テストスキャン・床のチェック・メーカー関係者と点検・メーカーに連絡）、【6】クエンチに関連する装置や事項のチェック（ヘリウム量・冷凍機の温度・コールドヘッドの状況・コンプレッサー・チラー・冷却水の水漏れ・検査室の酸素濃度などの少なくとも 1 つ以上の項目）、【7】クエンチに対処するための措置（クエンチダクトの状況チェック・強制排気装置の作動・排気ダクト周辺への侵入禁止）、【8】その他の特筆すべき内容、を項目とした。

これらの項目の各施設の度数を各県ごとに集計した。施設によっては複数の MR 装置を保有していたが、各々明瞭に区分されていないため、施設単位の集計とした。なお、この自由記述は、回答者が任意に言葉を選んで記載するため、意味している内容が曖昧で、解釈・判断・分類の難しい記述もあるが、可能な限り最も意味に近い項目

に集約した。また、「発災直後に取られた患者の安全確保措置」については、項目に「その他」、「記載なし」を設定して検討したが、「発災直後に取られた MR 装置の安全確保措置」については、いずれかの項目に分類した上で、各項目の実数の積算とした。

(倫理面への配慮)

本研究は個人情報や人・動物等の生命体を調査対象とする研究ではなく、また、何等かの介入を行うことも無い匿名調査である。また、人の疾病の成因及び病態の解明並びに予防及び治療の方法の確立を目的とする研究にも相当しない。しかし、調査票に調査の主旨説明と同意確認を行うための文書を添付し、回答票の返信を持って同意とする事を明記し、それを確認した。

C. 研究結果

(1) 患者の安全確保

【1】MR 撮影の一時中断の有無

東日本大震災の本震発生時に検査中の MR 検査一時中断の有無の判断は、自由記述の特性のため、明瞭に「検査中断」ないし「中止」を意味する言葉の記載がない場合に難しかった。千葉県、東京都や埼玉県において、施設の構造やその地域の震度により、ほとんど影響を受けずに撮影を続けたと読み取れる自由記述の施設が各々 1 施設程度あった。その他の撮影は一時中断されているが、揺れの状況を見ながら、15 秒後まで撮影を続けた施設もあった。

【2】発災直後の MR 検査室内の患者の有無

発災時、約 7 割の施設で患者が MR 検査室内にいた (表 1)。発災時に MR 検査室内

に患者が居なかったのは、MR 装置の点検その他で MR 検査予定が組まれていない場合、患者入れ替え時、当日の検査終了の場合が主なものであった。

【3】MR 検査担当技師が MR 装置に近づけるか否か

揺れが激しい場合は救出困難との記述がみられ、宮城県で 2 件、岩手県で 1 件、千葉県で 1 件は発災直後に MR 検査担当者が MR 装置の患者に近づけない状況が発生していたことが分かる (表 1)。宮城県でその割合が相対的に多かった。

【4】発災直後の患者の MR 装置における状況

検査前後で MR 装置近傍にいたが寝台上にいない場合、寝台上でポジションや抜針中の場合、は数件あり、発災時、MR 撮影室内の患者の大部分 (約 95%) はガントリー内で検査を受けていた (表 1)。

【5】寝台の引き出し方法

ガントリー内の寝台上の患者をガントリー外に出す方法については、停電などに伴い手動で寝台を引き出す必要が生じたり、素早く引き出す必要が生じた場合、「手で引き出した」と記述されていた。宮城県、福島県、茨城県、岩手県で多かった (表 1)。千葉県、東京都、埼玉県では、寝台の引き出し方法を明瞭に記述した割合が少なく、本震による影響に茨城県以北と差があったものと推定される。また、揺れが強いため、引き出すことに危険を感じた、あるいは揺れが収まってから引き出すことを選択した場合が宮城県 2 件、岩手県 1 件、千葉県 1 件であった (表 1)。なお、今回は、寝台を引き出せなかったとする事例は報告されていない。

【6】寝台上での安全確保

患者を乗せた寝台をガントリーから引き出した後、揺れがひどいため寝台から患者が直ぐに降りられない場合、揺れで患者が寝台から落下するのを防いだり（宮城県・福島県・茨城県各1件、岩手県3件）、天井などからの落下物から患者を守る努力をMR検査担当技師が行っていたことが分かった。

【7】寝台上から避難まで

患者を乗せた寝台をガントリーから引き出した後、揺れがひどいため寝台から患者が直ぐに降りられない場合は宮城県で3件、福島県で1件、茨城県で1件、岩手県で3件発生していた。また、寝台から患者を降ろしたものの、揺れが激しく、直ぐに移動できず、その場で待機した例は宮城県で3件、茨城県で2件、千葉県で1件発生していた。従って、地震の揺れのため、直ぐにMR検査室から避難できないものは総計14件の報告があり、特に宮城県の頻度が高く、全体では震災時ガントリー内にいたと推定される患者約1割に見られた（表1）。

【8】避難場所

避難場所には様々な場所が選択されていた。「安全な場所」と記載された回答が多数みられたが、予め決まっている病院内の場所であるのか、具体的にどのような場所を意味するかは定かでなかったが、「避難場所」に分類した。また、宮城県、福島県、茨城県では建物外の避難が多かった。

【9】その他の特筆すべき内容

自由記述の中には、次のような特筆すべきことが記載されていた。

本震前に緊急地震速報が鳴っている段階で、直ぐに検査室内に入り、患者をMR装

置から出した例が宮城県では2件あった。

歩行困難患者をテーブルごと検査室外へ移動、その後、建物の外へ移動する例もあり、常日頃の避難訓練が役立った例が報告されていた。

検査を受けている患者の置かれた状況への対応の必要性も報告されている。抜針時の患者や足が不自由な患者で寝台上またはガントリー内で動けない場合に、患者の傍らに待機し、MR検査担当者や看護師が落下防止や落下物を防ぐ努力をしていた。身体不自由で聴力障害がある症例、撮影コイル（下肢MRA）を外すのに時間が掛る症例に対し、対応を求められた例も報告されていた。

さらに、激しい地震の揺れのため、マグネットカバーが取れ、引き出した寝台上の患者に当たるのではないかと、MR検査担当者が身を挺して守る様子が記載されていた。

MR装置では寝台が1mほど上がっており、地震の揺れが激しい場合、寝台に乗っている患者が落下する恐れがあり、うつ伏せになっている乳腺MR検査患者や足の不自由な患者に対し、MR担当者が必死になって、患者の落下を防いでいた状況が記録されていた。

震災にともなう地震の揺れに対する精神的なショックを受けた小児患者に対する対応を求められる場合もあった。

クエンチに備え、検査室の扉を開け、患者への酸素マスク装着の準備をした施設もあった。MR検査を受けている患者のみでなく、待合室または前室にいる患者避難・誘導も重要であることが自由記述では指摘されていた。

表 1. 発災直後に取られた患者の安全確保措置の分類と県別報告件数

検討項目	県							合計
	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	
MR検査室内の患者の有無	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
あり	26	12	13	23	31	36	21	162
なし	16	10	9	11	9	8	4	67
記載なし	10	9	13	7	8	3	2	52
MR装置担当技師がMR装置に近づくか否か	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
直ちに近づく	17	10	13	22	29	32	20	143
揺れが収まってから近づく	2	0	0	1	1	0	0	4
その他	0	0	0	0	0	1	0	1
記載なし	33	21	22	18	18	14	7	133
発災直後の患者のMR装置における状況	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
検査前で、寝台上でポジション中	1	0	0	1	0	0	1	3
検査中でガントリー内	24	10	12	21	27	32	18	144
検査後で、寝台上で抜針中	0	0	0	1	0	0	0	1
検査前または後で、MR検査室内にいる	0	0	0	0	2	1	0	3
記載なし	27	21	23	18	19	14	8	130
寝台の引き出し方法	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
寝台を電動で引き出す	2	0	0	1	0	0	0	3
寝台を手で引き出す	8	4	4	6	2	0	0	24
揺れが収まってから寝台を電動で引き出す	0	0	0	0	1	0	0	1
揺れが収まってから寝台を手で引き出す	2	0	0	1	0	0	0	3
寝台を引き出すが、方法の記載はない	8	4	7	5	13	8	7	52
寝台を引き出せない	0	0	0	0	0	0	0	0
患者が自分で出てくる	0	0	0	2	0	0	0	2
その他	1	0	0	0	0	1	0	2
記載なし	31	23	24	26	32	38	20	194
寝台での安全確保	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
寝台からの患者の落下防止	1	1	1	3	0	0	0	6
毛布で覆う	1	0	0	0	0	0	0	1
声掛け	0	0	0	0	2	0	0	2
患者に落下物が当たらないようにする	0	0	0	1	0	0	0	1
記載なし	50	30	34	37	46	47	27	271
寝台上から避難まで	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
寝台の上(揺れが収まってから寝台から降ろす)	3	1	1	3	0	0	0	8
寝台から降ろし、MR検査室内で待期	3	0	2	0	1	0	0	6
寝台から降ろし、直ぐに検査室を出る	4	0	0	0	0	0	0	4
寝台から降ろし、その後の記載なし	0	0	0	1	2	1	0	4
寝台を取り外し、寝台ごと検査室外へ	1	0	0	0	1	0	0	2
寝台から、抱きかかえて降ろす	0	0	1	1	0	0	0	2
その他	1	0	0	1	1	2	2	7
記載なし	40	30	31	35	43	44	25	248
避難場所	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
前室、準備室、待合室または控室	2	3	2	0	2	8	1	18
廊下	0	0	0	2	1	1	1	5
安全な場所	2	3	1	5	9	6	0	26
検査室外へ避難または安全確保するが、場所の記載なし	14	3	8	12	11	16	13	77
建物外	6	3	11	2	2	0	1	25
その他	0	0	0	0	0	3	0	3
記載なし	28	19	13	20	23	13	11	127
アンケートに答えた各県の合計	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
	52	31	35	41	48	47	27	281

(2) 装置の安全確保

【1】電源

発災後に停電にならなかった場合、その後の停電に備え、MR 装置のシャットダウンを行った施設があった。また、停電した装置の場合、その後の突然の電源回復時の不具合に備え、ブレーカー遮断の措置がなされた場合もあった(表2)。

【2】各部屋の扉

発災後、撮影室と操作室または前室のドアが壊れ、撮影室から避難できなくなる恐れから、このドアの開放または開閉の確認がなされた(表2)。ただし、被災の大きかった宮城では装置そのものが被害を受けており、撮影室と操作室または前室のドアの開放に関する件数は多くなかった。また、被害の大きかった宮城県、福島県、茨城県、岩手県において、MR 施設の施錠が多く行われ、その後の復旧時や人命救助に際し、MR 装置の磁場の危険性を知らない救急隊員やその他の関係者の入室に伴う二次被害を防止する処置が取られた(表2)。

【3】立入禁止措置

これは、上記の「MR 施設の施錠」のみでは開錠し、入出する者があり得るとし、「立入禁止」の表示をしたものと考えられた。宮城県に高頻度に認められた(表2)。

【4】備品・装置の転倒の点検など

備品、コイルの点検と落下防止・モニターの落下防止・キャビネット転倒防止などが施行された(表2)。

【5】点検

点検、復旧に関しては、その装置の被害状況や停電の有無により、担当者が適切に対処していたことが分かった。内容としては、緊急点検・緊急点検とテストスキャン・

概観チェック、目視・テストスキャン・床のチェック・メーカーに連絡、などであった(表2)。

被害の大きい宮城県、福島県、茨城県、岩手県では、点検もできないような被害が生じた場合もあった。

千葉県、東京都、埼玉県では、緊急点検または目視によるチェックの後、テストスキャンを行い、問題ないことを確認後に検査を再開している施設があった。また、発災時に装置の点検のため、メーカー関係者が来院しており、発災後にこのメーカー関係者とともに点検を行った施設もあった。

【6】クエンチに関連する装置や事項のチェック

ヘリウム量、冷凍機の温度、コールドヘッドの状況、コンプレッサー、チラー、冷却水の水漏れ、検査室の酸素濃度などのチェックが試みられた(表2)。被害や停電の状況によっては、チェックできる範囲は限られていた。

【7】クエンチに対処するための措置

発災後にクエンチが生じることを想定し、クエンチダクト破損のチェック・強制排気装置の作動・排気ダクト周辺への侵入禁止を行った施設があった(表2)。

【8】その他の特筆すべき内容

被害の大きな宮城県、福島県では被害が大きすぎて「何もできなかった」とする回答がみられる一方、東京都、埼玉では、被害が少なく、「何もしなかった」という記述がみられた。

また、停電で室内灯も消え、懐中電灯で室内の点検などを行ったと報告した施設が宮城県で2件あった。

表 2. 発災直後に取られた MR 装置の安全確保措置の分類と県別報告件数

項目	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
MR装置をシャットダウン	2	6	8	4	5	1	3	29
ブレーカーを遮断	2	2		4	1			9
検査室と前室または操作室の間のドア開放または開閉の確認	2		4	2	6	2	1	17
MR施設の施錠	8	6	5	4	1	1	1	26
MR施設への立入禁止措置	15	3	2	3	1	3	1	28
備品、コイルの点検・落下防止	5	1	3		1	1	2	13
モニターの落下防止		1						1
キャビネット転倒防止				1				1
緊急点検	6	7		6	13	9		41
緊急点検とテストスキャン		1	2		5	4	4	16
概観チェック、目視(その後のテストスキャン問わず)	1		3	5	3	6	4	22
テストスキャン	1			1	1	3	2	8
床のチェック						1		1
メーカー関係者と点検	1		1		1	1		4
メーカーに連絡	1	1	1		1	2		6
クエンチに関連する装置や事項のチェック(ヘリウム量、冷凍機の温度、コールドヘッドの状況、コンプレッサー、チラー、冷却水の水漏れ、検査室の酸素濃度などの少なくとも1つ以上の項目)	8	4	3	5	8	8	6	42
クエンチダクトのチェック			1				1	1
強制排気装置の作動	1							1
排気ダクト周辺への侵入禁止	1					1		2

D. 考察

今回、東日本大震災で被災した MR 装置に関連してなされた「MR 装置の被災調査アンケート」の調査票の自由記述の内容について、その内容を良好に抽出できると考えられた項目を選び、これらの項目の度数を各県ごとに集計し分析を行った。

自由記述では、回答者が任意に言葉を選んで記載するため、意味している内容が曖昧で、解釈・判断・分類の難しい記述もあったが、最も近い内容と考えられる項目に

分類し集約した。また、震災から 1 年 3 カ月以上の時間を経た状況でアンケートに回答しており、全てが想起され、全てが適切に表現されたとは限らない。しかし、回答者にとって記憶に強く残っていることが記述されていると考えられ、それだけ震災時の課題として重要な事項であったと言えよう。なお、記述がない場合、項目に相当する行動がなかったわけではないと考えられる点には留意を要すると思われた。

(1) 患者の安全確保

MR 装置のガントリー内に患者がいる状態で激しい地震が発生した場合、その振動や建物の崩落の影響は想定しなければならない。我が国では耐震が不測している建物に MR 装置が設置される事は原則として有り得ず、しかも超伝導磁石は数トンの鋼鉄でできているため、建物の崩落により MR 装置が押しつぶされる事態は極めて考えにくい。しかし、MR 装置の構造そのものには物理的衝撃に対する強度の基準が想定されていないため、実際にどれくらいの衝撃に耐えられるかは不明であり、今のところメーカー側からそのような情報は開示されていないので、今後は物理的衝撃に対する強度の推定は必要と考えられる。一方で、筐体の破損や寝台のロック、棚等の散乱物の影響により患者がガントリー内に閉じ込められる危険性はある。また、上記の他に扉の不具合などで MR 検査室から外に出られない場合、クエンチにより生じるヘリウムガスが室内に充満すれば、窒息の危険性がある。これらの状況から、ある一定以上の震度の地震の場合、MR 撮影室から退避することが必要と考えられる。

患者救出・避難過程のパターン分類として、A. 直ちに撮影室に入出し寝台を引き出して患者を降ろし、前室に避難、B. 直ちに撮影室に入出し寝台を引き出して患者を降ろし、撮影室内で待機、C. 直ちに撮影室に入出し寝台を引き出し、その上の患者を支えながら待機、D. 直ちに撮影室に入出し寝台はそのままで待機、E. 直ちに撮影室に入

出し寝台を引き出した上で取り外し患者を載せたまま前室に避難、F. 直ちに撮影室に入室しようとしたが揺れが強く MR 装置の近くまで行けなかった、G. 揺れが収まらないので中途より撮影室に入室し上記 (A~E いずれか) の対処を試みた、H. 操作室で待機し、揺れが収まってから撮影室に入室して寝台を引き出して患者を避難させた、I. 操作室で待機し、揺れが収まってから患者に自分でガントリー内から出てもらった、J. 操作室で待機し、揺れが収まったら患者が自分でガントリー内から出てきた、K. 患者は撮影室にいなかった (該当せず) があるが、本研究ではこれらをさらに細分化し、患者と MR 装置担当技師の位置・状況や行動により項目のようにして度数を取ることを試みた。

検査室と操作室はドアを隔てて区分けされており、MR 検査担当者と患者との間の距離もある。このため、地震が生じた場合に、MR 検査担当者が患者に到達するまでに一定の時間が必要である。

患者側から見た場合、MR 装置、MR 検査は震災において、留意すべき事項を幾つも持っている。MR 装置は、床から 1m 程度の高さの細長い円筒形のガントリーに患者が横たわる寝台を組み込んだ構造のため、ここから避難するには、寝台がガントリーから出た後に寝台が下降する必要がある。また、画像の信号雑音比を高めるために撮影部位に適した撮影コイルを人体に密着する必要があるとともに、更に、1 つの撮影シーケンスによる撮影時間が数分かかる

ため、患者の体動を抑制する患者固定を行う。これらにより、MR 検査を受けている患者の自由がきかず、患者にとっては直ちに避難するのは難しい状況である。

以上のように、強い揺れに伴い、MR 検査担当者が患者に近づけないことがあるため、本震前に患者を引き出す必要があると考えられる。また、寝台の引き出しや寝台からの患者を降ろす過程で困難が発生しうることが判明したため、MR 検査室から寝台ごと検査室から室外へ運び出せるシステムが有用と考えられる。

自由記述の中には、建物が免震構造であったため、ほとんど被害がなかったとの例もあり、今後、新しく MR 装置を設置する場合、免震構造の建屋に装置を入れることは被害を最小限にするために必須と考えられた。

また、緊急地震速報があった場合、本震が来る前に MR 装置室から退出できた例も報告されており、本震前に患者の救出を開始できれば、寝台のロックや器物の散乱の影響も避けることができ、理想的である。

更に、寝台が MR 装置から離脱でき、寝台に乗った患者ごと、検査室から外に退避した例も報告されていた。これにより、足が悪く直ぐに寝台から降りられない患者、コイルを取るのに時間が掛る患者、抜針のため、直ぐに寝台から降りられない患者などに対応可能であると推定される。

従って、院内に整備された放送設備または MR 検査室に備え付けられた受信機で緊急地震速報が MR 操作室、検査室に伝えら

れるシステムがあることが望まれる。また、寝台が MR 装置から離脱でき、患者を乗せたまま避難できることが理想的である。このようなことが可能であるとする、地震発生時には次のような対応を取ることが想定される。

緊急地震速報を聞いた MR 検査担当者は直ちに検査を中止し、MR 検査室と操作室または前室の間の扉が締まることのないように開放し、ガントリーに接近し、患者に「これから地震が来ますので、検査を中止し、ガントリーから出ます」と伝え、急いで手動にて寝台を引き出し、寝台を MR 装置から切り離し、寝台ごと、MR 撮影室から退出し、近傍の前室、控室または廊下に退避する。また、地震の揺れに応じ、その場で患者を降ろすか否かを判断する。その後は、地震の揺れや状況に応じ、寝台に乗った状態の患者または寝台から降りた患者を施設外の院内の更に安全な場所に避難させる。または、津波が予想される場合は、高台に避難する。

検査前後でガントリー外の寝台に乗っている患者の場合、MR 検査担当技師は、患者が寝台から降りられるか否かを判断し、降りられない場合は寝台ごと、降りられる場合は患者を寝台から降ろし、直ちに MR 検査室から退出し、その後は上記と同様とする。

検査前後で寝台には乗っておらず、装置近傍に患者がいる場合は、直ちに、MR 検査室から退出し、その後は上記と同様とする。

待合室や控室で待機している患者についても、MR 検査室から退避した患者と同様に避難誘導が必要となる。

本研究対象の多くは、本震が来る前に、MR 検査室から退出できなかった場合の対処を見ている。震源地が近く、緊急地震速報を聞いた直後に、患者救出を開始しても、間に合わない場合、寝台の上の患者が落ちないように支えたり、天井からの落下物や装置から離脱したエンクロージャー転倒から患者を守る措置が必要になる。このためには、容易に身体に装着可能なクッションなどを常備する方法も考えられる。

なお、今回の検討では、寝台をガントリーから出すタイミングは揺れが収まってからか、揺れが激しくても行うべきかの判断材料となる結果は得られなかった。

また、運悪く撮影室に閉じ込められた場合には、検査室の中または外から監視窓をハンマーで割り、患者を救出する必要性が生じるかもしれない。ハンマーは撮影室内(非磁性)、操作室内の2か所に必要と考えられる。

(2) 装置の安全確保

装置の安全確保に対する行動パターンとして、今回のアンケートでは、主に【1】電源に関しては、MR 装置シャットダウンやブレーカー遮断、【2】検査室と前室または操作室の間のドア開放または開閉の確認ならびに MR 施設の施錠【3】MR 施設の立入禁止措置、【4】備品・装置の転倒の点検・防止、【5】MR 装置の緊急点検、【6】

クエンチに関連する装置や事項のチェック、【7】クエンチに対処するための措置、であった。

被災の程度が大きかった宮城において装置の被害が多く、その後の使用不能と2次被害防止目的で、MR 施設の施錠や立入禁止措置が多く取られたと考えられた。MR 装置のシャットダウンや停電後の再通電時の不具合防止を考慮したブレーカー遮断も行われているが、被災の大きかった宮城では装置そのものが被害を受けており、その件数は多くなかった。

MR 装置の緊急点検の実施程度は施設の被害程度の影響を受けているものと考えられた。

クエンチが現在起こっている、または近い将来起こり得るかどうかの情報を得るため、ヘリウム量、冷凍機、チラー、検査室の酸素濃度などのチェックがなされていた。クエンチへの対処として、クエンチダクト破損のチェック、強制排気装置の作動・排気ダクト周辺への侵入禁止が行われた。

被害の大きな宮城県、福島県では被害が大きすぎて「何もできなかった」とする回答がみられる一方、東京都、埼玉では、被害が少なく、「何もしなかった」とする記述がみられた。

注目すべき点は、あらかじめ準備されたプロトコルで点検を行ったことが確認できる報告が見られなかったことで、これらの記述は、担当者が現場の状況から考えて行動したものと考えられる。今後は、震災直後の状況において考えられる点検項目を整

理し、被災の状況に合わせて何を重点的に確認すべきか、点検担当者が二次災害に巻き込まれないように、どのような事項に注意すべきかを、状況別にワークフローとして整理してゆく必要がある。

(3) 本研究の限界

今回の研究には以下の限界が指摘できる。自由記述であるため表現が多様であり、具体的に意味している内容が必ずしも同一ではない可能性が否定できないもの、あるいは不明の場合があった。回答者により同じ判断基準で記述されていないとも考えられる。更に、全ての回答者が全ての項目を網羅して回答していない。これらの理由により、数値的に比較しにくい面がある。また、複数装置を設置している場合、装置より回答が異なる可能性があるが、本調査は施設単位の調査となっている。

E. 結論

東日本大震災で被災した MR 装置に関連してなされた被災調査の自由記述の内容を解析し、震災時の「MR 検査の患者の安全確保」と「MR 装置の安全確保」を解析した。

「MR 検査の患者の安全確保」については、今回の震災においては MR 検査担当技師が可能な限り患者の安全のために取った具体的措置が自由記述に反映されていた。また、強い揺れに伴い、MR 検査担当者が患者に近づけないこと、寝台の引き出しや寝台からの患者を降ろす過程で困難がある

ことなどが判明した。患者の状況によっては、引き出した寝台から直ぐに動けない場合もあり、対応が必要と考えられた。理想的には、緊急地震速報により本震到達前に患者救助を開始し、MR 装置から離脱できる寝台で患者を救助する方法が考えられた。

「MR 装置の安全確保」は地震による MR 装置の被害に応じ、各施設で適切に装置の安全を確保する措置がなされていた。2次被害を防止するため、検査室と前室または操作室の間のドア開放または開閉の確認ならびに MR 施設の施錠、MR 施設の立入禁止措置、クエンチに関連する装置や事項のチェック、クエンチに対処するための措置などが必要であることが示された。

今回の分析で判明した事項を基にして、平成 25 年度に予定されている防災対策の策定での検討項目を固めて行く予定である。

G. 研究発表

1. 論文発表

・中井敏晴、山口さち子、土橋俊男、前谷津文雄、引地健生、清野真也、丹治 一、安達廣司郎、武蔵安徳、菱沼 誠、阿部喜弘、石森文朗、砂森秀昭、榊田喜 正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、磯田治夫、野口隆志、梁川 功、町田好男 東日本大震災によるMR装置被災調査の実施報告 日本磁気共鳴医学会誌 33、92-119、2013

2. 学会発表

・中井敏晴、山口さち子、磯田治夫、土橋俊男、町田好男、野口隆志 東日本大震災

における津波によるMR装置の被害に関する
調査研究、日本医学放射線学会第153回中部
地方会、豊明、2013. 2. 2

・中井敏晴、山口さち子、磯田治夫、土橋
俊男、町田好男、野口隆志 東日本大震災
によりMR装置に見られた被害事象の概況報
告、日本生体医工学会・東海地方会 抄録
集34 2012

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

研究協力者一覧

中井敏晴（独立行政法人国立長寿医療研究センター 神経情報画像開発研究室）

小山修司（名古屋大学大学院医学系研究科 医療技術学専攻医用量子科学講座）

市川和茂（名古屋大学大学院医学系研究科 医療技術学専攻医用量子科学分野）

安達廣司郎（日本赤十字社 盛岡赤十字病院）

阿部喜弘（独立行政法人 国立病院機構 仙台医療センター）

石森文朗（医療法人 聖麗会 聖麗メモリアル病院）

栗田幸喜（社会福祉法人 恩賜財団 済生会 支部 埼玉県済生会栗橋病院）

砂森秀昭（社会福祉法人 恩賜財団 済生会 水戸済生会総合病院）

清野真也（福島県立医科大学附属病院）

丹治 一（公益財団法人 仁泉会 北福島医療センター）

引地健生（栗原市立栗原中央病院）

菱沼 誠（一般財団法人 厚生会 仙台厚生病院）

前谷津文雄（財団法人 宮城厚生協会 泉病院）

榊田喜正（千葉大学医学部附属病院）

松本浩史（千葉大学医学部附属病院）

武蔵安徳（岩手県立中央病院）

梁川 功（東北大学病院）

藤田 功（さいたま市立病院）

協力組織

岩手 MRI 研究会、

宮城 MR 技術研究会、

福島県 MRI 技術研究会、

茨城県技師会 MRI 研究会、

千葉撮影技術研究会MRI 基礎勉強会、

東京 MR 励起会、

SAITAMA MRI Conference