

東日本大震災によるMR装置被災調査の背景要因に関する研究

研究分担者 山口さち子

独立行政法人労働安全衛生総合研究所 健康障害予防研究グループ 研究員

研究要旨

本研究では、地震発生から最も初期に精度の高い場所・時間情報を得ることが可能なパラメータである「震度」に着目し、東日本大震災によおけるMR装置被災の背景要因探索のための第一次検討を行った。データは東日本大震災によるMR装置被災調査の全国集計を利用した。震度は震度5未満、震度5、震度6以上の3群とし、主に震度と被害内容の関係性について検討を行った。

その結果、本研究では下記の事項が抽出された。

- ・ 震度の上昇とMR装置被災度の相関。
- ・ アンカー固定のMR装置被災防止への有効性。
- ・ 建物構造との関係において、耐震性建屋のMR装置被災防止への有効性（特に制震・免震構造の有効性）。
- ・ 震度の上昇とMR装置被災後の自己復旧率の低下及びメーカー関与の必要性の増加。

また、今後の検討課題として下記の事項の検討が必要であると示唆された。

- ・ MR装置の自己復旧困難な施設における、復旧時までのMR装置の安全管理方法の検討必要性。
- ・ 施設への情報伝達手段の検討必要性。
- ・ 災害時のMR装置の安全管理に関して、発信時期と想定読者の検討必要性。

今後はこれらの事項に関する更なる解析と対応策について検討予定である。

A . 研究目的

磁気共鳴画像装置（MRI装置：以下、MR装置と記載）は、年間約92万件の検査が行われている日常的な検査装置であり¹⁾、梗塞や出血の診断など臨床検査上不可欠な医療機器である。平成23年3月11日に発生した東日本大震災では多数の医療機関も被災し、設置されている医療機器に甚大な被害が発生した。MR装置においても、東北3

県と茨城、千葉、埼玉、東京を対象としたアンケート調査の結果から多数の被害が確認されている（分担報告書「東日本大震災によるMR装置被災状況に関する質問紙調査の報告（研究分担者：中井敏晴）」参照）。

大地震による被害は、関東大震災における火災、阪神大震災における家屋の倒壊、そして東日本大震災における津波など、発生場所や時間帯によって被害状況は異なる

様相を示す。したがって、防災プランを考える上では、激震地域で観察されるようなそれぞれの震災特異的な要因と、普遍的な要因とを分けて考える必要がある。本調査研究においては、前者は津波被害であり、現在アンケート調査に加えて被災地域での聞き取り調査が進行中である。後者は揺れや建屋構造などが対象となる。

震度は最も一般的に認知されている地震に関連したパラメータであり、かつ、検出装置の進歩や全国のネットワーク化により地震発生から最も初期に精度の高い場所・時間情報を得ることが可能という利点がある。東日本大震災においても、MR 装置の被災状況は分担報告書「東日本大震災によるMR 装置被災状況に関する質問紙調査の報告（研究分担者：中井敏晴）」に記載のとおり、震度 5 と 6 との間で被害内容に統計的有意差が予想されている。

そこで本研究では、主に震度との関連に着目をした、東日本大震災による MR 装置被災の背景要因探索のための第一次検討を行った。なお、本分担報告では揺れによる被害についての分析と考察を行う。建屋構造に関する分析と考察は土橋の分担報告を参照されたい。

B . 研究方法

東日本大震災による MR 装置被災調査の全国集計データを利用した。震度は震度 5 未満、震度 5、震度 6 以上の 3 群とした。統計解析は SPSS(IBM 社)を用いて行った。

東日本大震災による MR 装置被災調査では二つのデータベースが構築されている。一つは調査地域の MR 装置ごとで回答構成される台数ベース (N=602) のデータ (ア

ンケート回答票 1 及び 2) であり、もう一つは調査地域の施設ごとの回答で構成される施設ベース (N=458) のデータである。本調査ではいずれのデータベースも利用した。

まず、台数ベース (N=602) のデータについて、回答票 1 より MR 装置の被害状況と震度との関連、アンカー固定と MR 装置の被害状況との関連、設置建屋と MR 装置の被害状況との関連、回答票 2 より復帰状況と震度との関連、検査時の状況と復帰状況との関連についてカイ二乗検定を行い検討した。

続いて、施設ベース (N=458) のデータについて、MR 装置の破損状況(問 2-) と震度との関連、復旧の状況 (問 4-、4-) と震度との関連、災害時の MR 検査の安全確保に関する指針 (問 12-) と震度との関連について、カイ二乗検定を行い検討した。

(倫理面への配慮)

分担報告書「東日本大震災によるMR 装置被災調査の実施報告（研究分担者：中井敏晴）」に準じた。

C . 研究結果

<台数ベースでの解析>

MR 装置の被害状況と震度との関連

MR 装置の被害状況について、「影響なし」と「影響あり(軽微、半損(軽)、半損(重)、全損)」の二群に分類し震度との関連を検討したところ、震度の上昇につれて MR 装置への影響が有意に増大していた ($p<0.001$ 、表 1)。

表 1 MR 装置の被害状況と震度との関連

MR装置の被害状況					
	影響なし	(度数)	影響あり	(度数)	有意確率
震度5未満	89.7%	(26 / 29)	10.3%	(3 / 29)	p<0.001
震度5	88.7%	(307 / 346)	11.3%	(39 / 346)	
震度6以上	63.5%	(122 / 192)	36.5%	(70 / 192)	

表 2 アンカー固定と MR 装置の被害状況との関連

MR装置への被害状況					
	影響なし	(度数)	影響あり	(度数)	有意確率
アンカー固定なし	63.6%	(105 / 165)	36.4%	(60 / 165)	p<0.001
アンカー固定あり	87.0%	(335 / 385)	13.0%	(50 / 385)	

表 3-1 設置建屋と MR 装置の被害状況との関連

MR装置の被害状況					
	影響なし	(度数)	影響あり	(度数)	有意確率
耐震構造	77.6%	(311 / 401)	22.4%	(90 / 401)	p<0.05
制振・免震構造	93.1%	(54 / 58)	6.9%	(4 / 58)	
その他	82.5%	(80 / 97)	17.5%	(17 / 97)	

表 3-2 設置建屋と MR 装置の被害状況との関連 (耐震構造 v.s. 制震・免震構造)

MR装置の被害状況					
	影響なし	(度数)	影響あり	(度数)	有意確率
耐震構造	77.6%	(311 / 401)	22.4%	(90 / 401)	p<0.01
制振・免震構造	93.1%	(54 / 58)	6.9%	(4 / 58)	

アンカー固定と MR 装置の被害状況との関連

MR 装置のアンカー固定について、「アンカー固定なし」と「アンカー固定あり」の二群に分類し被害状況を と同様に「影響なし」と「影響あり」の二群に分類し解析を行った。その結果、「アンカー固定あり」では被害状況が「影響あり」であったのは

13.0%であったのに対し、「アンカー固定なし」では 36.4%で被害が観察された(p<0.001、表 2)。

設置建屋と MR 装置の被害状況との関連

設置建屋を「耐震構造」、「制震・免震構造」、「その他」の三群に分類し、被害状況を と同様に「影響なし」と「影響あり」

の二群に分類し解析を行った。最も MR 装

表 4 復旧状況と震度との関連

メーカーによる復旧作業(修理)開始までの期間(発災から)									
	当日	(度数)	一週間以内	(度数)	それ以上	(度数)	なし	(度数)	有意確率
震度5未満	45.5%	(5 / 11)	36.4%	(4 / 11)	9.1%	(1 / 11)	9.1%	(1 / 11)	p<0.001
震度5	32.5%	(64 / 197)	46.2%	(91 / 197)	17.3%	(34 / 197)	4.1%	(8 / 197)	
震度6以上	10.4%	(17 / 163)	49.1%	(80 / 163)	36.8%	(60 / 163)	3.7%	(6 / 163)	
機会が使用可能となるまでの復旧期間(発災から)									
	当日	(度数)	一週間以内	(度数)	それ以上	(度数)	有意確率		
震度5未満	80.0%	(16 / 20)	15.0%	(3 / 20)	5.0%	(1 / 20)	p<0.001		
震度5	60.5%	(170 / 281)	33.8%	(95 / 281)	5.7%	(16 / 281)			
震度6以上	15.2%	(27 / 178)	55.6%	(99 / 178)	29.2%	(52 / 178)			
検査を再開するまでの期間(発災から)									
	当日	(度数)	一週間以内	(度数)	それ以上	(度数)	有意確率		
震度5未満	66.7%	(14 / 21)	28.6%	(6 / 21)	4.8%	(1 / 21)	p<0.001		
震度5	49.1%	(140 / 285)	43.9%	(125 / 285)	7.0%	(20 / 285)			
震度6以上	9.6%	(17 / 177)	50.3%	(89 / 177)	40.1%	(71 / 177)			

表 5 検査時の状況と復旧状況との関連

メーカーによる復旧作業(修理)開始までの期間(発災から)									
	当日	(度数)	一週間以内	(度数)	それ以上	(度数)	なし	(度数)	有意確率
稼働中	29.0%	(56 / 193)	43.5%	(84 / 193)	24.4%	(47 / 193)	3.1%	(6 / 193)	N.S
それ以外	17.5%	(32 / 183)	49.2%	(90 / 183)	28.4%	(52 / 183)	4.9%	(9 / 183)	
機械が使用可能となるまでの復旧期間(発災から)									
	当日	(度数)	一週間以内	(度数)	それ以上	(度数)	有意確率		
稼働中	54.6%	(143 / 262)	34.0%	(89 / 262)	11.5%	(30 / 262)	p<0.001		
それ以外	33.3%	(76 / 228)	49.1%	(112 / 228)	17.5%	(40 / 228)			
検査を再開するまでの期間(発災から)									
	当日	(度数)	一週間以内	(度数)	それ以上	(度数)	有意確率		
稼働中	46.6%	(124 / 266)	39.5%	(105 / 266)	13.9%	(37 / 266)	p<0.001		
それ以外	23.6%	(53 / 225)	52.0%	(117 / 225)	24.4%	(55 / 225)			

置への影響が少なかったのは「制震、免震構造」であった (p<0.05、表 3-1)。「耐震構造」、「制震、免震構造」間においても、「制震、免震構造」内に設置された MR 装置で有意な被害減少が観察された (p<0.01、表 3-2)。

復旧状況と震度との関連

復旧状況と震度については、メーカーによる復旧作業(修理)開始までの期間(発災から)機械が使用可能となるまでの復旧期間(発災から)検査を再開するまでの期間(発災から)いずれにおいても、震度と関連した有意な復旧遅延が観察された

(p<0.001、表 4)。

検査時の状況と復旧状況との関連

震災時の状況でいずれも検査が行われていた状況を示す「スキャン中」及び「実験中」を「稼働中」とし、それ以外の状況(始業前、就業後及び非稼働状態等)を「それ以外」とした。検査時の状況と復旧状況は、機械が使用可能となるまでの復旧期間(発災から)検査を再開するまでの期間(発災から)において、「稼働中」に対して「それ以外」の群で復旧遅延傾向が示された (p<0.001、表 5)。

表6 MR装置の破損状況と震度との関連。*は超伝導装置のみ対象。

2-⑤-1 マグネットの架台破損					
	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 22)	100.0%	(22 / 22)	p<0.001
震度5	1.2%	(3 / 251)	98.8%	(248 / 251)	
震度6以上	10.0%	(15 / 150)	90.0%	(135 / 150)	
2-⑤-2 マグネットの移動					
	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	4.5%	(1 / 22)	95.5%	(21 / 22)	p<0.001
震度5	7.2%	(18 / 250)	92.8%	(232 / 250)	
震度6以上	25.2%	(38 / 151)	74.8%	(113 / 151)	
2-⑤-3 磁性体の吸着					
	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 22)	100.0%	(22 / 22)	N.S.
震度5	1.6%	(4 / 251)	98.4%	(247 / 251)	
震度6以上	2.0%	(3 / 149)	98.0%	(146 / 149)	
2-⑤-4 架台以外のマグネット装備品の破損					
	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	9.1%	(2 / 22)	90.9%	(20 / 22)	p<0.001
震度5	2.8%	(7 / 250)	97.2%	(243 / 250)	
震度6以上	17.0%	(26 / 153)	83.0%	(127 / 153)	
2-⑤-5 チラー(冷却系)や空調機の故障*					
	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 17)	100.0%	(17 / 17)	p<0.001
震度5	4.4%	(8 / 181)	95.6%	(173 / 181)	
震度6以上	20.2%	(23 / 114)	79.8%	(91 / 114)	
2-⑤-6 クエンチダクトの損傷*					
	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 17)	100.0%	(17 / 17)	p<0.05
震度5	2.8%	(5 / 181)	97.2%	(176 / 181)	
震度6以上	8.7%	(10 / 115)	91.3%	(105 / 115)	

2-⑤-7 急激なヘリウム量の減少*

	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 17)	100.0%	(17 / 17)	
震度5	6.1%	(11 / 180)	93.9%	(169 / 180)	$p < 0.05$
震度6以上	14.2%	(16 / 113)	85.8%	(97 / 113)	

2-⑤-8 システムキャビネット等の
アンカーの破損

	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 22)	100.0%	(22 / 22)	
震度5	3.2%	(8 / 249)	96.8%	(241 / 249)	N.S.
震度6以上	7.4%	(11 / 148)	92.6%	(137 / 148)	

2-⑤-9 撮影室の電波・磁気シールドの破損、機能低下

	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 22)	100.0%	(22 / 22)	
震度5	2.8%	(7 / 250)	97.2%	(243 / 250)	$p < 0.001$
震度6以上	14.1%	(21 / 149)	85.9%	(128 / 149)	

2-⑤-10 屋外機の設置状態の異常
(地盤の変動)

	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 17)	100.0%	(17 / 17)	
震度5	2.2%	(4 / 182)	97.8%	(178 / 182)	$p < 0.01$
震度6以上	11.3%	(13 / 115)	88.7%	(102 / 115)	

2-⑤-11 浸水による電気、電子システムの
故障

	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 22)	100.0%	(22 / 22)	
震度5	2.0%	(5 / 250)	98.0%	(245 / 250)	N.S.
震度6以上	5.3%	(8 / 150)	94.7%	(142 / 150)	

2-⑤-12 床下、ピット内、壁内の配線の切断、
損傷

	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 22)	100.0%	(22 / 22)	
震度5	1.6%	(4 / 250)	98.4%	(246 / 250)	$p < 0.05$
震度6以上	6.6%	(10 / 151)	93.4%	(141 / 151)	

2-⑤-13 受信コイル等の整理棚からの
落下による破損

	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 22)	100.0%	(22 / 22)	
震度5	1.6%	(4 / 251)	98.4%	(247 / 251)	$p < 0.01$
震度6以上	8.6%	(13 / 151)	91.4%	(138 / 151)	



図1 MR装置の破損例：MR装置の移動及び寝台の破損。マグネット（撮影装置）が本来の位置から向かって左側に移動し、筐体脚部が破損しピット内の配線が見えている（黒矢印）。マグネット移動の結果、手前にある寝台本体との位置関係がずれ、寝台の天板がレールから外れている（白矢印）。

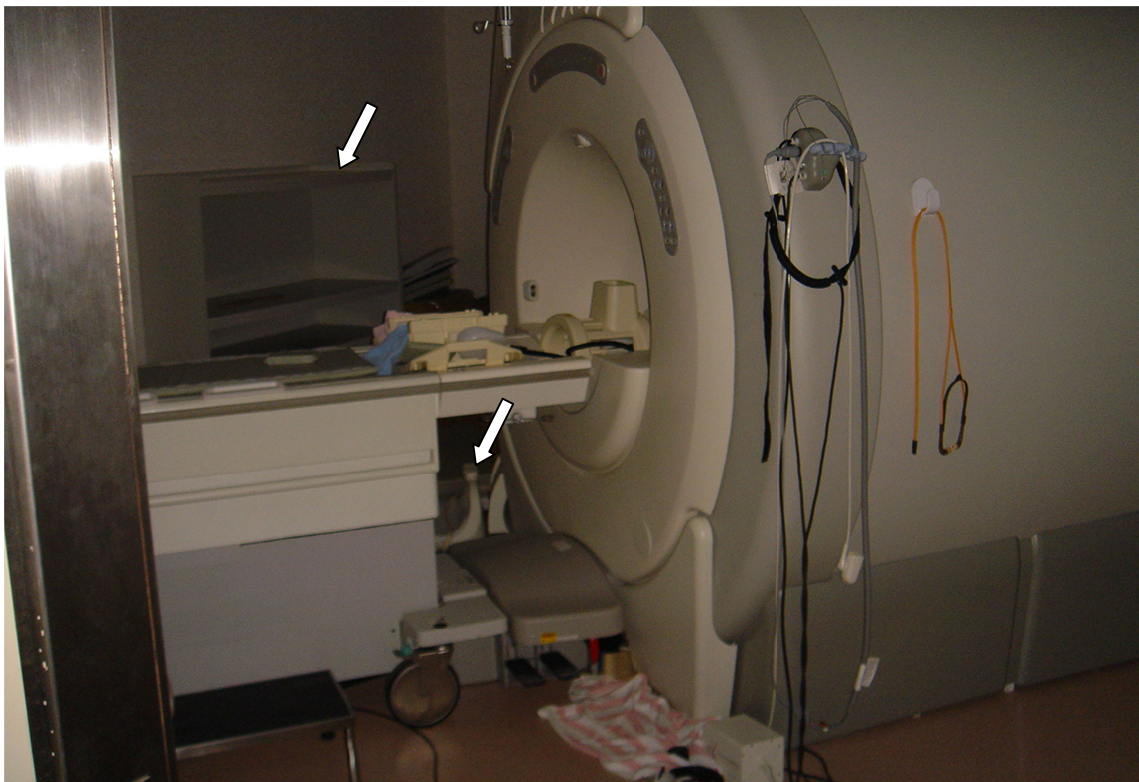


図2 MR装置の装備品の落下例：この事例ではコイル保管用の棚（白矢印）に設置されていた脊椎検査用コイルと頭部検査用コイルの落下が見られた。ガントリー付近に下肢用コイルが残されており、膝の検査中に震災が発生し、寝台が下がらない状態で患者が避難したものとみられる。



図3 MR装置の外装パネルの破損：MR装置が移動し、筐体下部の外装パネルが剥離している（白矢印）。床上に見える金属板はマグネットを配置するために床上に敷かれていたが、マグネットはその金属板の上を滑って移動している。

表7 復旧の状況と震度との関連

病院(施設スタッフ)による点検のみで 再稼働させた					
	該当	(度数)	非該当	(度数)	有意確率
震度5未満	41.7%	(10 / 24)	58.3%	(14 / 24)	p<0.001
震度5	49.2%	(127 / 258)	50.8%	(131 / 258)	
震度6以上	25.9%	(41 / 158)	74.1%	(117 / 158)	
MR装置メーカーによる点検のみで 再稼働させた					
	該当	(度数)	非該当	(度数)	有意確率
震度5未満	4.2%	(1 / 24)	95.8%	(23 / 24)	p<0.001
震度5	2.3%	(6 / 258)	97.7%	(252 / 258)	
震度6以上	15.2%	(24 / 158)	84.8%	(134 / 158)	
両者が関与したが、 MR装置メーカー主導で再稼働させた					
	該当	(度数)	非該当	(度数)	有意確率
震度5未満	4.2%	(1 / 24)	95.8%	(23 / 24)	p<0.001
震度5	10.9%	(28 / 258)	89.1%	(230 / 258)	
震度6以上	33.5%	(53 / 158)	66.5%	(105 / 158)	
両者が関与したが、 病院(施設)スタッフ主導で再稼働させた					
	該当	(度数)	非該当	(度数)	有意確率
震度5未満	8.3%	(2 / 24)	91.7%	(22 / 24)	N.S.
震度5	12.0%	(31 / 258)	88.0%	(227 / 258)	
震度6以上	13.3%	(21 / 158)	86.7%	(137 / 158)	
特に復旧作業、あるいは点検を行わず そのままMR装置を使用した					
	該当	(度数)	非該当	(度数)	有意確率
震度5未満	4.2%	(1 / 24)	95.8%	(23 / 24)	N.S.
震度5	7.0%	(18 / 258)	93.0%	(240 / 258)	
震度6以上	3.2%	(5 / 158)	96.8%	(153 / 158)	
復旧が困難であった					
	該当	(度数)	非該当	(度数)	有意確率
震度5未満	0.0%	(0 / 24)	100.0%	(24 / 24)	p<0.01
震度5	2.3%	(6 / 258)	97.7%	(252 / 258)	
震度6以上	8.9%	(14 / 158)	91.1%	(144 / 158)	

<施設ベースでの解析>

MR装置の破損状況(周2-)と震度との関連

MR装置破損状況の報告は、筆頭が2- -1 マグネットの移動(57件)、続いて2- -4 架台以外のマグネット装備品の破損(31件)、2- -9 撮影室の電波・電磁シールドの破損、機能低下(28件)の順であった。最も少な

いのは、2- -3 磁性体の吸着であった。MR装置の破損状況を、震度別(震度5未満、震度5、震度6以上)でカイ二乗検定を行ったところ、磁性体の吸着とシステムキャビネット等のアンカーの破損を除き有意差が観察された。震度が上昇すると発生件数も上昇傾向を示した。クエンチ関連事項(チラーや冷凍機の故障、クエンチダク

トの損傷、急激なヘリウム量の減少、屋外機 の設置状態の異常) についても、震度と発
表 8-1 災害時の MR 検査の安全確保に関する指針と震度との関連 (提言の有効性)

緊急提言を読んだ方へ、「緊急提言」は役に立ちましたか							
	大変役に立った	(度数)	一部分が役に立った	(度数)	役に立たなかった	(度数)	有意確率
震度5未満	27.3%	(3 / 11)	54.5%	(6 / 11)	18.2%	(2 / 11)	N.S.
震度5	29.5%	(33 / 112)	54.5%	(61 / 112)	16.1%	(18 / 112)	
震度6以上	28.8%	(17 / 59)	52.5%	(31 / 59)	18.6%	(11 / 59)	

表 8-2 災害時の MR 検査の安全確保に関する指針と震度との関連 (情報伝達の時期)

2011年3月15日に日本磁気共鳴医学会が出した「災害時のMR検査の安全に関する緊急提言」はご覧になりましたか							
	公表後1週間以内に読んだ	(度数)	1週間後以降に読んだ	(度数)	その緊急提言は知らなかった	(度数)	有意確率
震度5	22.8%	(56 / 246)	24.8%	(61 / 246)	52.4%	(129 / 246)	p<0.01
震度5	22.8%	(56 / 246)	24.8%	(61 / 246)	52.4%	(129 / 246)	
震度6以上	9.3%	(14 / 151)	32.5%	(49 / 151)	58.3%	(88 / 151)	

生件数の間に統計的有意差が観察された (p<0.05、表 6)。図 1-3 に実際の破損例を示す。図 1-3 にマグネットの移動、MR 装置の装備品の落下の事例を示す。

復旧の状況 (問 4、4) と震度との関連

復旧作業の状況について、震度別 (震度 5 未満、震度 5、震度 6 以上) で検討を行うと、「病院 (施設スタッフ) による点検のみによる再稼働 (178 件)」の割合は震度 5 以下で上昇したが、「MR メーカーによる再稼働 (31 件)」、「両者関与するもメーカー主導の再稼働 (82 件)」、「再稼働不能 (20 件)」は震度 6 以上で増加を示した。カイ二乗検定を行うと、これらに有意差が観察された (p<0.05、表 7)。

災害時の MR 検査の安全確保に関する指針 (問 12-) と震度との関連

磁気共鳴医学会が 2011 年 3 月 15 日に公開したガイドラインの効果については、83% が役に立ったとの回答であった (無回答は除外)。震度との関連は観察されなかつ

た (表 8-1)。磁気共鳴医学会の緊急提言へのアクセス時期について、震度 5 以上のケース (397 件) について震度別で検討を行うと、公表一週間以内に読むことが可能であったのは震度 5 では 22.8% であったのに対し、6 以上では 9.3% にとどまった (p<0.01、表 8-2)。

D. 考察

本研究では、地震発生から最も初期に精度の高い場所・時間情報を得ることが可能なパラメータである「震度」に着目し、東日本大震災による MR 装置被災の背景要因探索のための第一次検討を行った。一方で、東日本大震災では津波被害が甚大であり、本研究の被災状況には揺れ以外による要因が含まれていることに留意しなければならない。また、耐震性建屋の普及にともない、震度計の設置場所の揺れと建屋内で実際に MR 装置が受信した揺れは必ずしも一致しない。しかしながら、津波被害による MR 装置の被災は 11 施設であり全体の 2.4% であることや、MR 装置の被災状況に関してより普遍的な情報を得るために、本研究で

は最も一般的に入手可能なパラメータである「震度」と MR 装置の被災状況の関連を検討した。

被害発生傾向

東日本大震災により医療機関に発生した被害については、平成 23 年に筑・山中らによる大規模調査が行われている²⁾。報告書では、医療機関の機器被害としては震度 6 弱で 30%の施設に被害が発生し大破の例が見られ始め、震度 5 と 6 の間に被害程度の境界があるとの所見を得ている²⁾。本調査では、装置ベース及び施設ベースいずれのデータを用いた解析においても、震度の上昇につれて MR 装置の被害増加が観察された(表 1 及び表 6)。

アンカー固定の MR 装置被災防止への有効性

MR 装置の本格的運用が始まって最初の地震災害である阪神・淡路大震災後には、MR 装置の被災調査として、平成 8 年に出版された「阪神・淡路大震災における低温・超伝導機器被災調査報告書」³⁾及び平成 9 年に出版された「医用放射線機器等における対地震設置に関する動向調査研究」(社団法人 日本放射線機器工業会)⁴⁾が報告されている。これらの報告書において医用放射線機器と固定に関して調査が行われており、一次集計の結果から MR 装置のアンカー固定の有効性が示されているが、サンプル数が十分でないこと、統計的有意差については検討が行われていないといった課題が残されている。そこで、本調査では台数ベースのデータベース(N=602)を利用して、アンカー固定の有効性を被害状況

から検討を行った。

その結果、何らかのアンカー固定を行ったことで、被害(軽微な被害も含む)の低減が観察された(表 2)。報告書及びは軽微な被害を対象としておらず、マグネットの移動や転倒といった大規模な被害を対象としているため直接の比較は不可能であるが、概ね同じ傾向を示している。一方で、今回の震災の特徴である津波被害の場合、非常に強い外的力が MR 装置に働いた結果 MR 装置の大きな移動、さらには外部流出の事例まで観察されており、建物が破壊されるほどの作用が及ぶ場合はアンカーの有無は被害低減の考慮の対象とならないことも事実である。更に、一般的に MR 装置は建物一体型の装置であり、このような構造を考慮すると激しい揺れの場合は上層(あるいは下層)の揺れにアンカー固定された MR 装置が呼応したり、建物の変形が捻力として作用し装置を破損する場合も考えられる。これらのことから、アンカー固定は中程度以下の揺れのみであれば被害の低減に有効であると考えられるが、非常に激しい揺れの場合はその有効性について今後見極めを行なう必要がある。

また、被災後のアンカーの処置については、固定したアンカーの破損も 3.2%で報告されていることから、大地震後はアンカーにヒビや緩みがないか等、メンテナンスに注意をはらう必要がある。また、MR 装置の操作に不可欠な操作卓やオペレーション PC の固定を怠るとソフトウェア上の問題で MR 装置の復旧が遅れる要因となる。したがって、MR 装置のアンカー固定だけでなく、周辺設備の防振対策も今後の検討課題にいれるべきである。

建物構造との関係

建物構造と医療機器の被害との関係は、筑・山中らの報告書²⁾において免震構造の有効性について報告されている。そこで、表 3 では設置建屋の構造と被害状況について検討を行った。本研究における建屋構造の定義は下記のとおりである。

・「耐震」は建物の強度や靱性を向上させて地震による破壊や損傷を防ぐ方法で、建築基準法に則って施工されている建物は耐震構造になっている。

・「制振」は建物にエネルギー吸収機構を組み込み、建物の変型を抑え損傷を軽減する方法で、各種のダンパーにより地震が入力しても振動を抑制する。

・「免震」は建物の基礎部分に免震工事（地盤と建物との物理的な絶縁処置）を行う方法で、コロやゴムを使用する。

耐震、制振、免震は建物の持つ異なった機能で、併用されるものであるが、本調査では一般的な実情に合わせて「耐震構造」は耐震の機能のみ、「制振構造」は耐震機能も含む、「免震構造」は耐震機能と制振機能も含むと分類した。「耐震構造」と「制振構造」・「免震構造」では大きく機能が異なることから、設置建屋を「耐震構造」、「制震・免震構造」、「その他」の三群に分類し解析を行った。その結果、最も MR 装置への影響が少なかったのは「制震、免震構造」であった ($p < 0.05$ 、表 3-1)。また、「耐震構造」、「制震・免震構造」間においても、MR 装置への被害について「制震・免震構造」内に設置された MR 装置で有意な被害減少が観察され ($p < 0.01$ 、表 3-2)、「制震・免震構

造」が有効であることが示された。

復旧状況との関係

続いて、復旧状況と震度との関連の検討を行った。表 4 の示すとおり、震度の上昇にともない復旧が遅延傾向にあることがしめされた。また、震度が上昇するほどメーカーの関与が必要となることが示唆された。

また、MR 装置本体はアンカー等で固定されていても、ケーブル類などの電気系統は特段の措置は取られていない。これらに対し、揺れによる周辺構造物の倒壊に起因する二次的な損傷が懸念された。加えて地震時には人為的な検査の強制中断が行われることから、装置へのハード・ソフト両面からのダメージが予想された。そこで、震災時の検査状況とその後の復旧状況の解析を行ったところ、当初懸念されていたような検査実行中の施設におけるダメージは観察されず、むしろ稼働中以外の施設において復旧遅延傾向が観察された（表 5）。

MR 装置の復旧の状況（問 4-、4-）と震度との関連を解析すると、震度の上昇につれて自己復旧が困難になる様子が示された（表 7）。MR 装置の被害と震度との関連から（表 1 及び表 6）、MR 装置の被災度が高く病院のスタッフのみでの復旧が行うことができなくなったと予想される。

MR 装置の自己復旧困難な施設における、復旧時までの MR 装置の安全な管理方法と情報伝達手段について

表 7 に関連して、MR 装置の特性として検査時以外にも常に磁界が発生している、超伝導マグネットを利用している装置では物理的衝撃や外部冷却手段の喪失による

超伝導状態の破綻（クエンチ）により急激な冷媒の蒸発が生じる、という点を留意しなければならない。東日本大震災では MR 装置の維持に必要な水や電気などのインフラの復旧が進まない（一週間以内に回復しない）地域が従来よりも多く生じていたことが報告されており⁵⁾、今回の聞き取り調査（町田の分担報告）でも同様の指摘があった。さらに、MR 装置メーカーのメンテナンススタッフによる電話・訪問サポート開始時期も遅延傾向にあると考えられる。したがって、今回のような広範囲の大震災において病院スタッフのみで復旧が困難である場合に、MR 装置をいかに安全に管理し二次被害を防止するかが課題である。例えば装置に甚大な被害が観察された場合の管理行動として下記のような事項が考えられる。

・「強磁場発生中！」の張り紙をすること。専門スタッフ以外は医療関係者であっても MR 装置が検査時のみ磁界を発生していると誤認されがちである。

・クエンチが生じた際の冷媒放出装置であるクエンチダクトに損傷がないかチェックを行うこと。

・冷媒（液体ヘリウム）の残量をモニタリングし蒸発が激しいようであれば緊急的な課題として対応策を検討すること。対応策についてはメーカーと協議することが好ましい。対応策として強制クエンチが必要になった場合は、冷媒放出場所に人が立ち入らないよう管理すること、冷媒放出時の白煙が火災と誤認される恐れがあることに留意すること。

上記のような管理行動の一部は、日本磁気共鳴医学会が 3 月 15 日に作成した「災害時の MR 検査の安全に関する緊急提言 1」⁶⁾に記載され強調されている。現在緊急提言に記載されておらず、本研究で明らかとなった事項としては、アンカーの破損のチェックなどがあげられる。緊急提言の内容についてはどの震度の地域においても 8 割近くの回答者が参考になったと回答している。しかしながら、より多くのユーザーへの利用を促進するためにも、本研究の結果や他の分担研究を総合して、提言の発信時期や内容の吟味が必要であると考えられる。

また、更なる検討必要事項として情報伝達手段の構築があげられる。先述のように MR 装置の自己復旧が困難である地域では、水や電気などのインフラ断絶も予想されるため、効率的に情報を周知するための伝達手段の検討が必要である。災害時に MR 装置がある施設にのみ情報を伝達することは現実的でないため、実際には全ての医療施設宛に一斉に周知する方法が最も早く効率的であると考えられる。このためには、各県の医療局に協力を仰ぐなど、行政サイドとの綿密な連携が必要であると考えられる。

災害時の MR 装置の安全管理に関する指針

災害時の MR 検査の安全確保に関する指針（問 12- ）と震度との関連結果より、発信時期と想定読者（及び想定被害）が今後の検討要因であると考えられる。例えば、震度 5 未満では MR 装置の被害はほとんど報告がなく、震度 5 においては 1.2-7.2%の報告率である。一方で震度 5 においてもマグネットの移動（7.2%）と、急激なヘリウムの減少（6.1%）は報告度合いが高い。こ

これらのことから、初期にはマグネットの移動に対する対処方法が、中・長期的には診療開始（再稼働）に関する提言が一案として考えられる。クエンチ関連事項については二次被害の恐れがあるため、初期から中・長期にわたり積極的に情報発信すべきと考えられる。

E . 結論

本研究では、主に震度に着目した、東日本大震災による MR 装置被災の背景要因探索のための第一次検討を行った。これらの結果を総合すると、今回の MR 装置被災の背景要因探索のための第一次検討では下記の事項が抽出された。

- ・被害発生傾向において、震度の上昇と MR 装置被災度の相関が示された。
- ・アンカー固定の MR 装置被災防止への有効性が示された。
- ・建物構造との関係において、耐震性建屋の MR 装置被災防止への有効性（特に制震・免震構造の有効性）が示された。
- ・復旧状況との関係において、震度の上昇と MR 装置被災後の自己復旧率の低下及びメーカー関与の必要性の増大が示された。

また、今後の検討課題として下記の事項の検討が必要であると示唆された。

- ・MR 装置の自己復旧困難な施設における、復旧時までの MR 装置の安全な管理方法の検討必要性。
- ・施設への情報伝達手段の検討必要性。
- ・災害時の MR 検査の安全確保に関する指針については、発信時期と想定読者の検討

必要性。

平成 25 年度はこれらの事項に関する更なる解析と対応策について検討予定である。

G . 研究発表

1. 論文発表
なし

2. 学会発表

・山口さち子、中井敏晴 磁気共鳴画像装置（MRI）の安全に関する意識調査、第 74 回日本磁気共鳴医学会大会、日本磁気共鳴医学会雑誌 32（Suppl.）306、2012

・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

・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

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

引用文献

- 1) 厚生労働省：平成 17 年医療施設（静態・動態）調査・病院報告の概況
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/iryosd/05/kekka1-3.html>
- 2) 筧 淳夫 大規模災害に対応した保健・医療・福祉サービスの構造、設備、管理運営体制等に関する研究 平成 23 年度厚生労働科学研究費補助金報告書、2012
- 3) 亀井裕孟、阪神・淡路大震災における MR 装置の被災状況調査結果 日本磁気共鳴医学会雑誌 第 15 巻、S141-142、1995
- 4) 社団法人 日本放射線機器工業会 医用放射線機器等の対地震設置に関する動向調査研究報告書（平成 9~11 年度）
http://www.jira-net.or.jp/commission/hyoujunksa/fr_information_01.html
- 5) 土木工学会地震工学委員会、東日本大震災におけるライフライン復旧概況、平成 23 年 4 月 3 日
- 6) 日本磁気共鳴医学会安全性評価委員会、災害時における MR 装置の安全管理に関する提言 2011 年 3 月 15 日、
<http://www.jsmrm.jp>

