修　士　論　文

災害における日本と世界の安全基準の検証

平 成 27 年 度

２０１６年３月

東京理科大学大学院

国際火災科学研究科 火災科学専攻

井上　達貴

Master's Thesis

Consideration of the safety design concept by record of the world's earthquake

March 2016

Tatsuki Inoue

Department of Fire Science and Technology

Graduate School of Global Fire Science and Technology

TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE

目 次

第１章　　序論 3
１．１　研究背景と目的 5
１．２　研究方法 5
１．３　地震による被害 6
１．３．１　日本の地震被害 7
１．３．２　世界の地震被害 10
参考文献 11

第２章　　各国の建築基準 13
２．１　日本の建築基準 15
２．１．１　日本建築の耐震化 15
２．１．２　建築法規の経緯 17
２．２　アメリカの建築基準 18
２．２．１　アメリカの建築基準仕組み 18
２．２．２　アメリカの建築基準歴史 18
２．２．３　現在のアメリカの建築基準 19
２．３　中国の建築基準 21
２．４　欧州の建築基準 22
参考文献 23

第３章　　基準の目的 25
３．１　日本の場合 27
３．２　アメリカの場合 29
３．３　中国の場合 35
３．４　欧州の場合 35
３．５　超過確率とは 37
３．５．１　超過確率と再現期間 37
３．５．２　他の事象の発生確率との比較 37
参考文献 38

第４章　　確率論的地震動予測 39
４．１　ハザードカーブ 44
４．１．１　ハザードカーブとは 44

４．１．２　ハザードカーブの統合 44
4．2　地震ハザードステーション J-SHIS（日本） 46
４．２．１　確率論的地震動予測地図 47
４．２．２　確率論的地震動予測地図の評価手順 47
４．２．３　地震の発生確率の設定 50
４．２．４　確率論的地震動予測地図の表示 54
４．２．５　区切られたメッシュでの地点情報 57
４．２．６　加速度への変換式 58
４．２．７　日本での再現期間中に起こる地震の規模 60
4．3　アメリカ地質調査所　(アメリカ) 65
４．３．１　アメリカ地質調査所(USGS) 65
４．３．２　アメリカ地質調査所によるハザードカーブ 65
4．4　SHARE (欧州) 69
４．４．１　SHARE(Seismic Hazard Harmonization in Europe) 69
４．４．２　ESHM13 70
４．４．３　SHARE プロジェクト 70
４．４．４　SHARE によるハザードカーブ 72
4．5　まとめ 74
参考文献 74

第５章　総括 75

第1章 序論

１．序論

１．１　研究背景と目的

地球上において様々な自然災害が起こっているが、日本では他国と比べて地震、津波、台風、大雨、大雪、洪水、土砂災害、火山噴火といった自然災害が多く起こり、甚大な被害が出ている。筆者のまとめによると後述するように、近代になり死者を出す地震の発生回数が上昇していることがわかる。このことから日本の地震に対する基準が不十分ではないかと考えられる。地震被害を抑制するには、地震がいつ・どこで・どれくらいのといったことを事前に予測することや起こりうる可能性のある地震動に対して耐震基準を規定し建築物の倒壊を防ぐといったことがあげられる。本研究は、日本と世界の地震に対する建築物の設計思想の違いを明らかにし、確率論的な地震予測結果と日本の耐震基準を比較することでその妥当性について検証するものである。

１．２　研究方法

本研究では、日本の建築基準法、アメリカの IBC(International Building Code)、欧州のユーロコード(Eurocode)、中国の中華人民共和国建筑抗震設計規範についての耐震基準についてのべ、それぞれの基準が目的としている地震についてのべた。また、日本の J-SHIS、アメリカの USGS、欧州の SHARE が公開している確率論的な地震予測によって得られたハザードカーブから一定の再現期間における各地点での最大加速度を求め比較を行った。そして、日本の確率論的な地震予測から得られた値と建築基準法の耐震基準の値を比較することで日本の耐震基準が妥当なものか検証を行う。

１．３　地震による被害

世界には、地震のない国や大地震が頻発し、地震災害の多発する地震国がある。日本は、全世界で発生する地震の約 10%、マグニチュード 6 以上の地震の約 20%が発生するといわれるほど地震災害が多発する世界有数の地震国であり、日本で地震が多く発生する理由は、日本に接するプレート境界の数が世界最多であることに加え、多くの活断層が存在するからである。アメリカ海洋大気庁(ＮＯＡＡ)[1)]のサイトには 2500 件以上の世界中で起こった津波と地震のデータがあり、ここではそれを元に各国の被害の様子をまとめた。

図-1.3 は 1800 年以降に起きたマグニチュード 7.5 以上の地震の震源をプロットしたものでありこれを見るといかに日本の付近で地震が起こっているかがわかる。

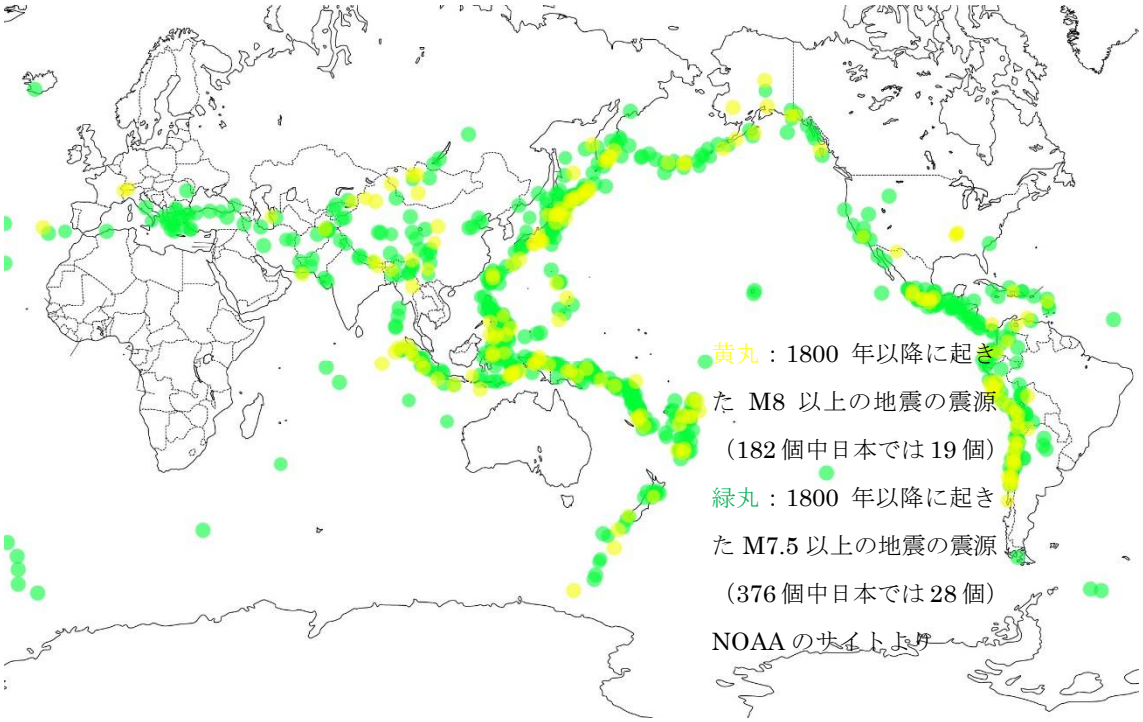


図-1.3　1800 年以降のマグニチュード 7.5 以上の震源地

１．３．１　日本の地震被害

過去に起こった地震について死者数別、マグニチュード別にまとめたものが表-1.3.1, 1.3.2 である。これを見ると日本では 100 年間に数度マグニチュード 8 以上の地震に見舞われ、そのたび多くの犠牲者が出ていることがわかる。

表-1.3.1　年代別に起こった地震の死者数別による回数

年代	死者を出した件数	50人以下	100人以下	1000人以下	5000人以下	5001人以上	当時の人口推定(万人)
1000年以降	5		1	4			300～450
～1100	1			1			575
～1200	0						750
～1300	1					1	975
～1400	0						1250
～1500	2			2			1700
～1600	1					1	2200
～1700	14	4	2	6	2		2900
～1800	15	4	6	1	3	1	2800
～1850	8	2	1	3	1	1	3200
～1900	13	3	1	5	2	2	4480
～1950	23	13	2	2	4	2	8320
～2000	28	23	2	2		1	12690
2001～	11	10			1		12690

＊当時の人口については 1850 年までは McEvedy & Jones (1978)による推定値、1900 年は本籍人口(戸籍帳簿上の人口であり、海外に住む日本人は含まれ、日本国内にいる外国人は含まれない)、以降は国勢調査から

表-1.3.2　年代別に起こった地震のマグニチュード階級による回数

	M6以上	M7以上	M8以上	M8.5以上	M9以上
1000年以降	14	9	3	2	
～1100	4	2	2		
～1200					
～1300	4	4			
～1400	4	4	3		
～1500	9	7	1		
～1600	7	3	1		
～1700	24	13	2		
～1800	31	17	4		
～1900	36	26	7		
～2000	133	75	10		
2001～	43	21	2	1	1

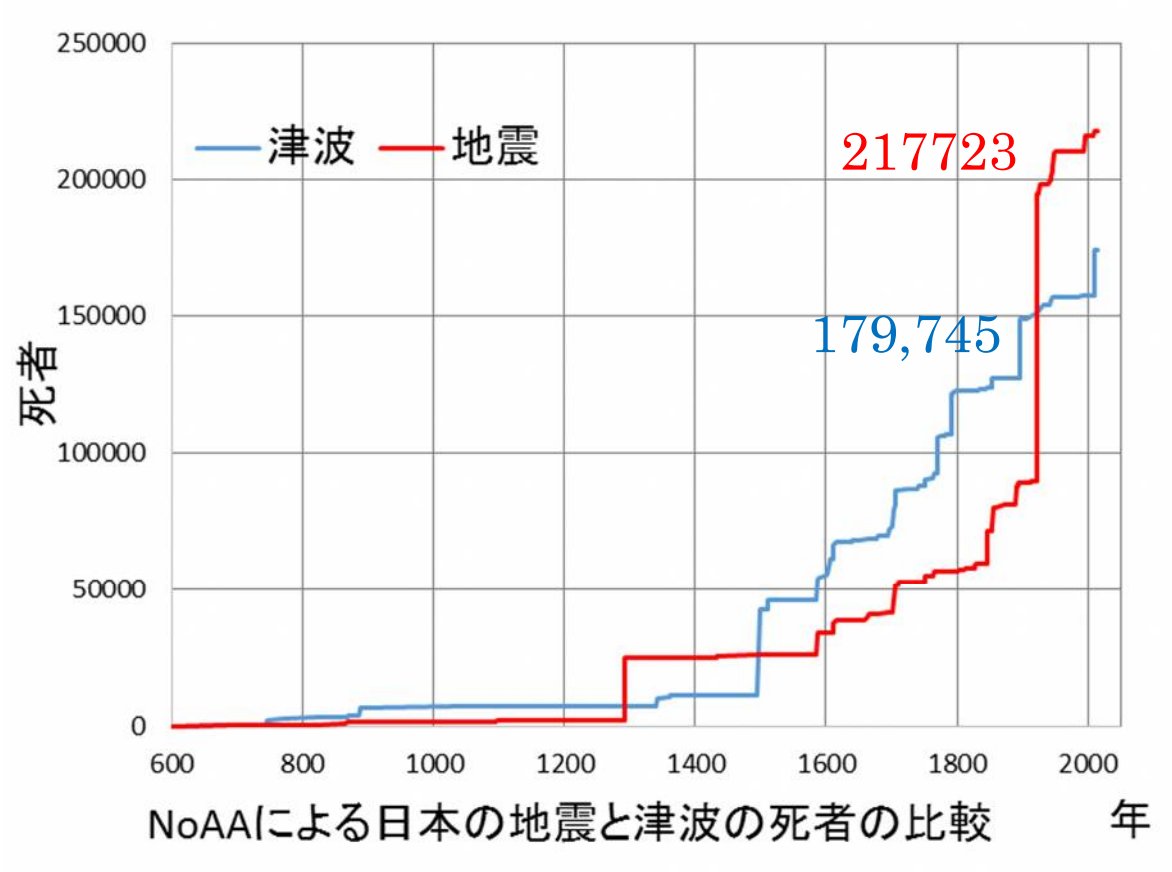


図-1.3.1　地震と津波の累計死者数[1)]

日本の津波と地震による死者数の合計の比較を図-1.3.1 に示した。日本で起きた死者を出した津波は 84 件で死者の累計は 179745 人、死者を出した地震は 122 件で死者の累計は 217723 人である。また、1800 年以降だけの死者数を見ると津波では 57136 人、地震では 160765 人の死者を出している。地震のグラフで 1800 年ごろに死者数が大きく増加している箇所があるこれは死者 105,385 人を出した関東大震災が原因であり、日本の地震による累計死者数の半分近くを占める。そして、津波は 1500 年ごろから傾きは一定になっているのに対し、地震の傾きは 1800 年を越えたあたりから近年に近づくにつれ関東大震災による死者数を除いても地震での累計死者数の傾きが急になっている。

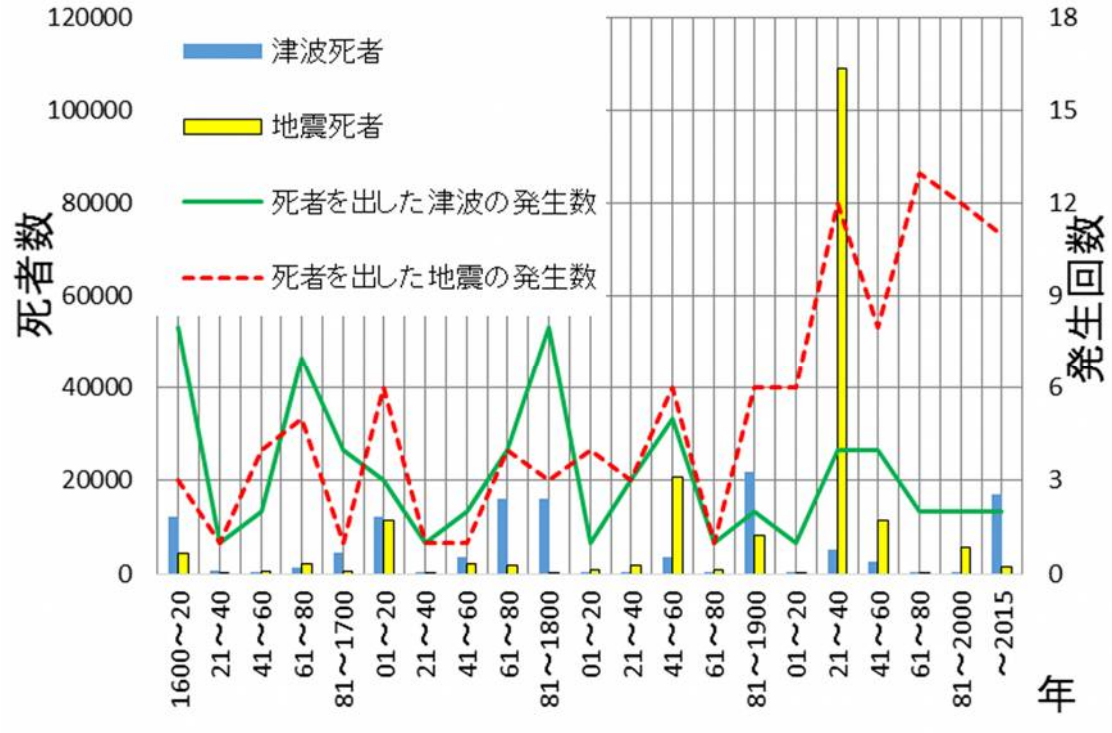


図-1.3.2　地震と津波の 20 年間毎の死者数と頻度 [1)]

図-1.3.2 は 1600 年以降の日本で起こった死者を出した津波と地震の回数と死者数を 20 年ごとの区切ってまとめたものである。これを見ると近代になり死者を出す津波の発生回数は変化がないにもかかわらず、死者を出す地震の発生回数が上昇していることがわかる。死者数の累計でも近年地震のグラフが急に上昇していることからも、日本の地震に対する現状の基準が不十分ではないかと考えられる。

１．３．２　世界の地震被害

日本、アメリカ、中国そして欧州から地震の多いイタリアの 1800 年以降に起こったマグニチュード 6 以上の地震の回数を調べ、そのうち震源が内陸部で起こったものを分けたものが表-1.3.3 のようになった。日本の数は多いものの他国と比べ圧倒的に多いというほどではない。そして、内陸部で起こる地震に焦点を当てると発生回数は大きく下がることがわかり、日本において発生するマグニチュード 6 以上の地震のほとんどが震源を海底に持つ海溝型地震であるといえる。しかし、内陸部で発生した地震の回数を各国の面積で除した面積当たりの地震密度を求めてみると、内陸部での発生回数の多い中国よりも日本の方の密度が高いことがわかる。

表-1.3.4 は 20 世紀以降に世界で起こった死者・行方不明者数を 5000 人以上だした地震災害をまとめたものである。これを見るとマグニチュード 6 以上の地震が約 20%起こっているにもかかわらず、関東大震災、阪神･淡路大震災、東日本大震災の 3 度である。また中国が被害面においては 20 世紀の全世界地震死者数 120 万人のうち、中国の死者数が 60 万人を占めている。中国では M6 以上の地震発生間隔は 4 年に 1 度、また M8 以上の地震発生も 40 年に 1 度程度である。

表-1.3.3　1800 年以降に世界で起こったマグニチュード 6 以上の地震

		アメリカ	日本	中国	イタリア
地震の発生回数	M6以上	143	212	181	16
	M7以上	79	122	57	3
	M8以上	16	19	6	0
震源が内陸部(アメリカはハワイ･アラスカを除いた48州)	M6以上	59	38	175	11
	M7以上	21	15	53	1
	M8以上	5	2	6	0
面積(㎢)		9857000	377900	9597000	301300
M6以上の地震密度(回/㎢)		5.986E-06	1.006E-04	1.823E-05	3.651E-05

表-1.3.4　20 世紀以降に起こった地震災害

年	災害の種類	国名（地域名）	死者・行方不明者数（概数、人）
1905	地震	インド、北部	20,000
1906	地震（嘉義地震）	台湾	6,000
1906	地震	チリ	20,000
1907	地震	中国、天山	12,000
1907	地震	ウズベキスタン（旧ソ連）	12,000
1908	地震（メッシーナ地震）	イタリア、シシリー	75,000
1915	地震	イタリア、中部	30,000
1917	地震	インドネシア、バリ島	15,000
1918	地震	中国、広東省	10,000
1920	地震／地すべり（海原地震）	中国、甘粛省	180,000
1923	地震／火災（関東大震災）	日本、関東南東部	143,000
1927	地震	中国、南昌	200,000
1932	地震（甘粛地震）	中国、甘粛省	70,000
1933	地震	中国	10,000
1935	地震（クエッタ地震）	パキスタン、バルチスタン地方	60,000
1939	地震／津波	チリ	30,000
1939	地震	トルコ、東部	32,962
1944	地震	アルゼンチン、中西部	10,000
1948	地震（アシガバート地震）	トルクメニスタン（旧ソ連）	110,000
1949	地震／地すべり	タジキスタン（旧ソ連）	12,000
1960	地震	モロッコ、南西部	12,000
1960	地震／津波	チリ	6,000
1962	地震	イラン、北西部	12,000
1968	地震	イラン、北西部	12,000
1970	地震	中国、雲南省	10,000
1970	地震／地すべり	ペルー、北部	70,000
1972	地震（マナグア地震）	ニカラグア	10,000
1974	地震	中国、雲南省・四川省	20,000
1975	地震	中国、遼寧省	10,000
1976	地震（グアテマラ地震）	グアテマラ	24,000
1976	地震（唐山地震）	中国、天津	242,000
1978	地震	イラン、北東部	25,000
1985	地震	メキシコ、メキシコ市	10,000
1987	地震	エクアドル北西部	5,000
1988	地震（スピタク地震）	アルメニア（旧ソ連）	25,000
1990	地震（マンジール地震）	イラン、北部	41,000
1993	地震（マハラシュトラ地震）	インド	9,800
1995	地震（阪神・淡路大震災）	日本	6,300
1999	地震（イズミット地震）	トルコ、西部	15,500
2001	地震（インド西部地震）	インド	20,000
2003	地震（バム地震）	イラン	26,800
2004	地震・津波（2004年スマトラ沖地震・津波）	スリランカ、インドネシア、モルディ	226,000以上
2005	地震（パキスタン地震）	パキスタン、インド、北部	75,000
2006	地震／火山噴火	インドネシア、ムラピ火山	5,800
2008	地震（四川大地震）	中国	87,500
2010	地震（ハイチ地震）	ハイチ	222,600
2011	地震・津波（東日本大震災）	日本、東北・関東地方等	21,800

＊死者・行方不明者数 5000 人以上の地震災害

参考文献

1) アメリカ海洋大気庁(ＮＯＡＡ), http://www.ngdc.noaa.gov/,1 月 15 日取得

第2章 各国の建築基準

２．各国の建築基準

２．１　日本の建築基準 [1)]

日本において建築物の基準を定めた法律は 1950 年に制定された「建築基準法」であり、国会によって制定され、人々の権利と義務についての基本的事項を規制している。建築基準法は第一章第一条で「建築物の敷地、構造、設備及び用途に関する最低の基準を定めて、国民の生命、健康及び財産の保護を図り、もつて公共の福祉の増進に資すること」を目的とされている。

２．１．１　日本建築の耐震化 [2)]

日本は 6 世紀後半まで、柱の根元を地中に埋める掘立と呼ばれる単純な構造の建築であった。しかしこれは柱の根元が腐りやすく、柱と梁の接合部が貧弱であり地震に弱かったと思われる。6 世紀後半に仏教が伝来すると同時に寺院づくりの技術も伝わり日本の建築に大きな変化をもたらした。柱を地中に埋めるのではなく、地面に礎石を置きその上に柱を立てることで柱の腐敗を防ぎ、柱と梁の接合部についてもほぞとほぞ穴によって緊結され組物を用いることで補強ができ地震に対して強く耐えることができるようになった。

19 世紀後半になって日本の開国に伴い西洋建築の技術が伝わる。明治政府は外国人建築家や技術者を雇い政府の建築物や明治天皇の宮殿などを中心にレンガ造の導入をはかったが、欧米から持ち込まれた煉瓦の技術では耐震性が不十分であった。これは図-1.2.2 において死者を出した地震の頻度が上がり始めたころと一致している。1880 年代に日本に滞在していたイギリス人建築家のコンドルフやフランス人土木技師のレスカスは、煉瓦の壁の中に鉄棒や鉄帯を入れて補強する方法を提案し、のちにこの方法は日本人建築家によって実現されて採用されている。

そして 1891 年(明治 24 年)10 月 28 日に濃尾地震(図-2.1.1)が起こり、全壊建物が約 16 万戸、死者が約 7200 人という大きな被害を出したことで日本の建築関係者が一様に、建築物の耐震性能の必要性を認識しだした。これによって政府は、1892 年 6 月 25 日に震災予防調査会の管制を公布し、7 月 18 日には第一回委員会を開き、地震研究と震災被害の軽減を図る施策の検討に着手した。それらを大きく分けると次の 5 点となる。1 点目は濃尾地震とこれまでに起きた地震の被害の実態を正確に把握することである。被害実態に対する冷静かつ的確な分析によって震災対策を立て、過去だけではなく以後地震が起こるたびに被害状況の調査と分析が行われてきた。2,3,4 点目は試験家屋を建設し地震時の状況を観察すること、建築物の振動試験を行うこと、建築材料の強度試験を行うことであり、これらは地震が建築物に与える影響を数値として把握することが目的である。5 点目は上記で示した 4 点を基にして現在の建築物に対して地震の被害を予測し対策を立てることである。

また震災対策で政府と学術界が協力したことで、濃尾地震以後も頻繁に現地調査が行わ

れ成果を出した。そして、これらによって生まれた被害調査とその報告、分析、地震対策の検討がその後の震災対応の基本とされ、濃尾地震を契機に、建築物に対する耐震化の研究が始まった。

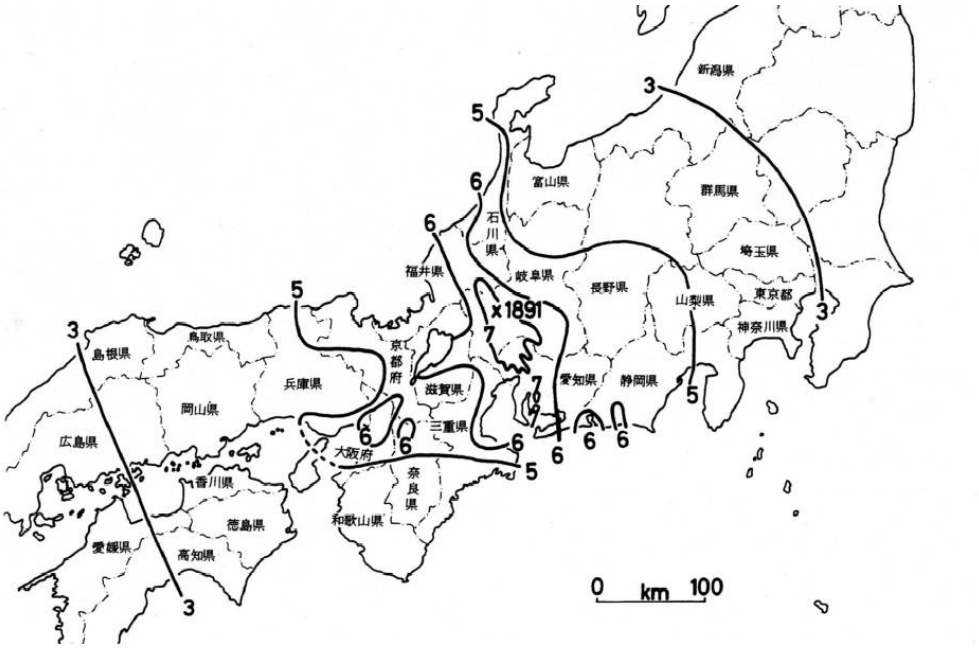


図-2.1.1　濃尾地震の被害と震度分布

出典：「明治 24 年(1891 年)10 月 28 日濃尾地震の被害と震度分布」愛知県防災会議地震部会

２．１．２　建築法規の経緯[2)]

1920 年(大正 9 年)に市街地と建築物の秩序・不燃化・安全性・衛生・美観の観点から市街地に建築可能な建築物について規定を定めた日本で最初の全国的な建築法規である市街地建築物法が施行された。この法の規定は、濃尾地震から四半世紀にわたって建築構造関連の研究成果のたまものである。

1950 年に、市街地建築物法と関連規定は建築基準法に引き継がれた。その後も、新潟地震(昭和 36 年)、十勝沖地震(昭和 43 年)、宮城県沖地震(昭和 53 年)と建築物に甚大な被害を与えた地震が続いた。これらの地震被害の状況を受けて、建築物が地震力を受け変形しながらも、崩壊することもなく地震力に耐える現象がみられた。これは地震力に対して強い「ねばり(靭性)」を持っていれば、崩壊せずに済むことが確認されるようになった。それにより、巨大な地震の際には、建築物の形状の変形による多少の破壊は生じても構造体の破壊が起きなければ建築物が崩壊することなく、甚大な人的被害を避け得る、という考えの「新耐震基準」と呼ばれる新たな耐震基準がつくられた。そして、1995 年に起こった兵庫県南部地震では、木造住宅を中心に「新耐震基準」以前に建てられた建築物の倒壊が目立った。そのことから、同年 10 月に公布されたのが「建築物の耐震改修の促進に関する法律」であった。「新耐震基準」以前に建てられた建築物すべての建て替えではなく、耐震診断とその結果に応じた耐震化工事の促進であった。

２．２アメリカの建築基準

２．２．１　アメリカの建築基準仕組み [1)2)]

アメリカでは国が州の独立性を重んじており合衆国憲法によって、建築基準の規制の権限は各州に授与されている。そして各州はさらにその権限をそれぞれの下位の行政単位に与え、地方条例を制定することを許可している。よって建築基準もアメリカ全土に及ぶ設計基準を策定する制度がないという特徴がある。かつてはUniform Building Code (UBC)がアメリカの代表的な建築基準であったが、それを実際に基準とするかは各州にその決定をゆだねてきた。

その結果、市が規制分野における主要な役割を担っていることになる。しかし、市は建築の被害を減少させる唯一の行政機関というわけでもなく、連邦政府や州、郡もこうした機能を持っている。複数の事例において、同じ領域を扱う規則が、異なった行政レベル内や、同じ行政レベル内の異なった機関において作られている。そしてこれらの規則執行機関は、互いに深くかかわりがあるわけではなく、異なった規則執行機関で作られた基準によって矛盾が生じるといったことがある。そして、州レベルの政府機関が作った建築基準の管理と執行の責任を市に課しているといった問題もある。

２．２．２アメリカの建築基準歴史 [1)]

アメリカの法の概念は英国のコモン・ローを基礎としており、植民地時代のアメリカの建築法はイングランドで立案された法に必ずしも縛られるわけではないにもかかわらずイングランドの建築規則の進展と同じように進展している。これは初期の入植者が建築基準は商法や刑法に比べ重要視していなかったからである。アメリカにおける最初の建築基準は記録に残る限り 1625 年のニューアムステルダム市に作られた。これは火災の延焼を防ぐという意図に基づいたものであり、それぞれの都市で火災予防条例は制定されていった。1630 年代にはマサチューセッツ州プリマスで建築規則が作られ、藁葺屋根は除去し、板葺や銅葺に取り換えることと定め、コネティカット州フォードの規則では屋根までの梯子の設置を要求した。1630 年のボストンにおける法では、木造の煙突を造ることも、屋根を藁葺にすることも禁じられた。1766 年には防火地区が設けられ、防火区画ではすべての建築物は石造もしくは煉瓦造として、屋根は瓦かスレートで葺くこととされた。

19 世紀には、建設のいろいろな側面が重視されるようになり、1862 年になり現在我々が扱っているような建築基準が誕生した。それまでの法令が火災発生の危険性の減少に重点を置いているのに対して、避難規定が明確になってきたのもこの時代である。次いで、1880 年ごろに配管規制が作られ、1883 年にエレベーターや起重機に関する規定が誕生した。1885 年には非耐火構造物の高さ制限が制定されはじめ、1896 年には労働災害予防が制度化された。

また 1906 年に起こったサンフランシスコ地震が米国が経験した最初の大地震であるといわれている [8)]。この地震はサンフランシスコ市内に甚大な被害を発生させた。その後 1933 年にロングビーチ地震が発生し、カリフォルニア州では地震の影響を考慮した建築物が設計されるようになった。

２．２．３　現在のアメリカの建築基準 [3)4)]

UBC は数年に 1 度更新がされてきており，2000 年における更新の際に，主にアメリカ西部で用いられてきた UBC、東部および北東部で用いられてきた NBC(National Building Code)、南部で用いられてきた SBC(Standard Building Code)の 3 つの建築基準を統一して、International Building Code (IBC)という新たな名称に変更された。国際(International)となっているがアメリカ全土で用いることを目的として作成された建築基準である。IBC は構造強度を介して、公衆衛生、安全と一般的な福祉を保護するための最小要件を確立することを目的とし建設経費の必要以上の増額や新しい材料、製品または建設の方法の使用の制限、そして、特定の材料、製品または建設方法の種類や形式に優先処置を与えないといった規準である。以降 3 年ごとに見直しが行われている。ほとんどの自治体で IBC をベースとした基準を 50 の州で採用している(図-2.2.1)が、変更されたり、古い版を用いるなど統一はされていない。なお、アメリカで最初の耐震基準は米国カリフォルニア州構造技術者協会(SEAOC：Structural Engineers Association of California)が作成したものであり、それを基にして UBC や IBC へと引き継がれている。

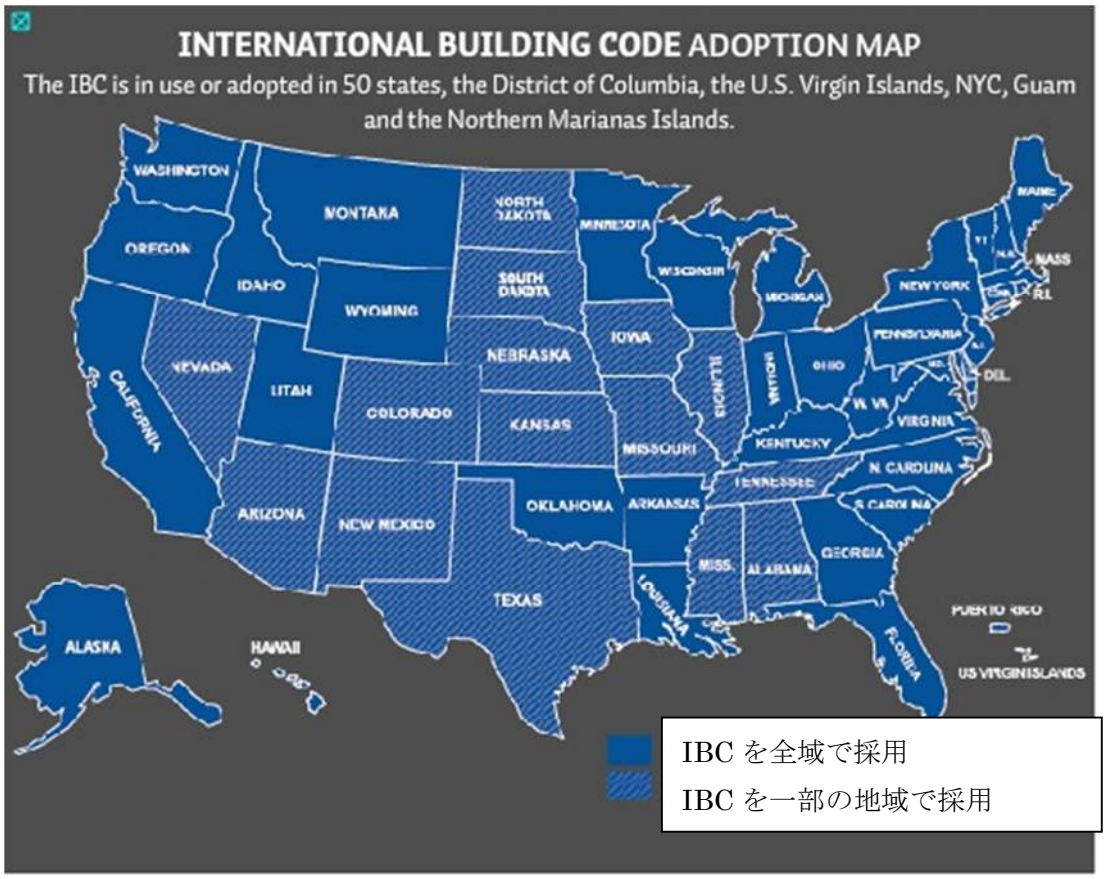


図-2.2.1　全米で IBC を採用している州

出典：International Code Adoptions, http://www.iccsafe.org/

２．３　中国の建築基準[5)]

中国は約 10 年ごとに基準が見直されている。1954 年から建築物の震災防止の検討を開始し、1959 年に当時の旧ソ連の基準を参考にこれと同様な静的地震力の考え方を導入し、建築物に加えて道路、水利、給排水なども対象にした「地震区域建築基準」を施行した。そして 1964 年に改定を行い、中国の特徴を反映するため地盤種別を 4 種類に区分し、実際の地震記録から平均加速度を定め、以降の耐震設計基準の基本的な考えを示した。1974 年に、住戸や工場等に甚大な被害をもたらした 1966 年の河北邢台地震、1970 年の云南通海地震の被害調査結果に基づき、建築物及び煙突・給水塔の基礎、地盤種別を 4 種類から 3 種類に変更し、砂質土の液状化判定式を導入といった改定を行った。

1989 年に「建築耐震設計基準」(建築抗震設計規範)に改名した。これは 1976 年の河北唐山地震等の 1970 年代の一連の被害地震についての地震被害調査に基づき、倒壊に対する設計の細分化や設計震度の概念を導入した。さらに 1984 年に国家地震局が新たに地震ゾーニング図の作成をおこなった。

1995 年阪神・淡路大震災等の中国内外で発生した大きな被害地震で得られた新たな知見、地震・耐震工学の進歩、さらに WTO 加盟に伴う参入障壁の解消のための技術基準の対応の要求に合わせて、2001 年に地域係数、液状化判定、地震影響係数などの修正、組積造、鉄筋コンクリート造に関する基準を修正や鋼構造、コンクリートブロック造、免震等に関する基準の追加等の改定基準を公布した。

２．４　欧州の建築基準 [3)6)7)]

ユーロコード(Eurocode)は、欧州連合（EU）の構造設計の基礎を形成することが想定され、建設工事の設計において国境を越えての使用を有効にする必要がある。欧州では従来各国単位で定められてきた設計基準から 2010 年 3 月末日を持って統一の設計基準であるユーロコードに移行した。ユーロコードは全体で 10 編 58 パートから構成されている。

ユーロコードの全体の構成を以下に示す。

ユーロコード 0（EN1990）　構造設計の基本
ユーロコード 1（EN1991）　構造物の作用
ユーロコード 2（EN1992）　コンクリート造建築物の設計
ユーロコード 3（EN1993）　鋼構造建築物の設計
ユーロコード 4（EN1994）　鋼コンクリート複合構造建築物の設計
ユーロコード 5（EN1995）　木造建築物の設計
ユーロコード 6（EN1996）　組積造建築物の設計
ユーロコード 7（EN1997）　地盤基礎の設計
ユーロコード 8（EN1998）　構造物の耐震設計
ユーロコード 9（EN1999）　アルミニウム構造物の設計

そして、地震に対する耐震基準を示しているのはユーロコード 8(EN1998)である。ユーロコード 8 は以下のように分割されている。

EN1998-1　地震地域における建築物と土木構造物の設計
EN1998-2　橋梁に関する特定規定
EN1998-3　既存建築物の耐震評価と補強に関する規定
EN1998-4　サイロ、タンク、パイプラインに関する特定規定
EN1998-5　基礎、擁壁、地盤に関する事項に関する特定規定
EN1998-6　塔、マスト、煙突に関する特定規定

建築物や地震地域内の建築物や土木工事の設計・施工に適用されており、原子力発電所や海洋建築物、大きなダムといった特殊な構造物は、EN 1998 の範囲外である。

1975 年、欧州委員会は、建設工事物の設計について、各国の基準等に取って代わることを意図した一式の調和技術基準を制定することを決定し、2010 年欧州域内での公共工事に完全に実施されることになった。欧州連合 EU は、1951 年の欧州石炭鉄鋼共同体 ECSC にその起源を持ち、その後の欧州経済共同体 EEC（1957 年）、欧州共同体 EC（1967 年）といった発展過程を辿りながら、1993 年に設立された国家間連合体である。その連合の基本理念

は、共通の単一市場を構築することにあり、それによってもの・サービスの域内自由移動さらには通貨統合等を実現し、市場規模の拡大と経済の享受を図ることにある。この「もの・サービスの域内自由移動」を実現する手段の１つとして取り組まれたのが、「技術的障壁の除去」である。この技術的障壁として実際に共同体施策の対象となったのが、各国において製品やサービスの特性等に関する技術的要求を規定している技術法規や国内規格等である。従って共同体の施策は、この各国の技術法規や国内規格の「統一化」に向けられた。初期の方策は、共同体として共通の技術基準や規格を策定し、各国の技術法規や国内規格を統一のものへと置き換えを推し進めるというものであった。この施策は「オールドアプローチ」と呼ばれる。

参考文献

1)アメリカの建築規制制度,
http://www.bcj.or.jp/c20_international/regulation/index1.html,10 月 10 日取得
2) 前田求恭,日本歴史災害事典,吉川弘文館,pp.92-105,2012
3) 井合進,海外の耐震設計－基準類に見る動向,地盤工学会誌 56,pp.16-19, 2008
4) 石山祐二,建築構造を知るための基礎知識　耐震規定と構造動力学,p.311,2008
5)国土技術政策総合研究所, 2008 年 5 月 12 日地震四川大地震における建築物被害と復興に係わる調査活動の記録, 国総研資料　第 535 号,平成 21 年 5 月
6)建築基準の性能規定化及び国際調和に関する動向, 国土技術政策総合研究,2002
7)土木学会,土木 ISO ジャーナル, ISO 対応特別委員会誌,2014
8) 土木学会, 橋梁等構造の耐震設計に関する講習会, 1999

第3章 基準の目的

３．基準の目的

３．１　日本の場合 [1)2)]

建築基準法の耐震基準では「中規模な地震(震度 5 強程度)に対してはほとんど損傷せず、極めてまれにしか発生しない大規模な地震(震度 6 強から震度 7 程度)に対しても、人命に危害を及ぼすような大被害を生じないことを目標」としている。中規模な地震とは建築物の存在期間中に数度遭遇することを考慮すべき稀に発生する地震動のことであり、これに対してほとんど損傷が生じる恐れはないようにしている。大規模な地震とは建築物の存在期間中に 1 度は遭遇することを考慮すべき極めて稀に発生する地震動のことであり、これに対して倒壊・崩壊の恐れがないこととしている。また建築基準法には超過確率のように具体的な数値が示されていない(図-3.1.1)。基準法は地震荷重に対する建築物の規定であり、活断層により地表に断層が出現し、それによる地盤変化などの対策については想定していない。

建築基準法の耐震基準の概要

○許容応力度計算（一次設計）

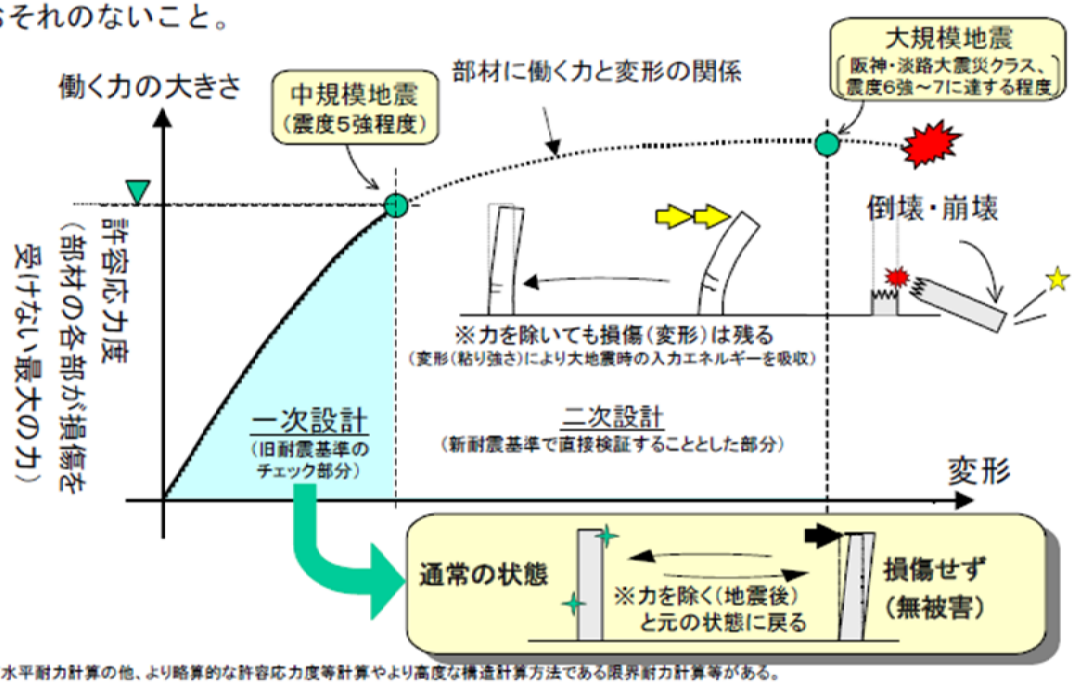
特徴「中規模の地震動でほとんど損傷しない」ことの検証を行う。（部材の各部に働く力≦許容応力度）

⇒建築物の存在期間中に数度遭遇することを考慮すべき稀に発生する地震動に対してほとんど損傷が生ずるおそれのないこと。

○保有水平耐力計算（二次設計）※

特徴「大規模の地震動で倒壊・崩壊しない」ことの検証を行う。（保有水平耐力比　Qu／Qun≧１）

⇒建築物の存在期間中に１度は遭遇することを考慮すべき極めて稀に発生する地震動に対して倒壊・崩壊するおそれのないこと。



※　二次設計には、保有水平耐力計算の他、より略算的な許容応力度等計算やより高度な構造計算方法である限界耐力計算等がある。

図-3.1.1　建築基準法の耐震基準の概要

出典：国土交通省、住宅・建築物の耐震化について

３．２　アメリカの場合[2)]

アメリカでは 1930 年代から USGS(United States Geological Survey)による地震ハザードマッププロジェクトが行われており、1996 年に確率論に基づいた全米ハザードマップが作成された(図-3.2.1)。そしてそれを基に耐震設計用マップ(図-3.2.2、3、4、5)を作製し IBC の耐震基準を定めている。世界的には、地表面最大化速度のように地震動の強さを示した地図が多いが、IBC の耐震設計用マップは地震動の強さそのものではなく、構造物の応答地がどの程度になるかを示した地図を用いている。また、構造物に大きな影響を及ぼすのは、近くで起きる最大規模の地震であるが、構造物の固有周期によって影響を受けやすい地震が違ってくる。低層の建築物では規模は小さくても近くで発生した地震の影響を大きく受け、高層の建築物では距離は遠くても大規模な地震の影響を強く受ける傾向がある。よって、IBC では短周期(周期 0.2 秒)の応答加速度を示す地図(図-3.2.2、3)と長周期(周期 1 秒)の応答加速度を示す地図(図-3.2.2、3)の 2 つが示されている。

そして、米国の地震動特性は大きく西海岸と中央部及び東海岸に分けられ、両地域で地震頻度はかなり異なっており、日本のような 2 種類の地震動で考えるのではなく、想定している最大地震に対して設計を行っている。アメリカでは 50 年超過確率 2%(再現期間 2475 年)の地震動に対し建築物が崩壊しないことを目標としている。しかし、西海岸のカリフォルニアといった地震活動度の激しい地域では 50 年超過確率 2%の地震動を用いるとかなり大きな値となってしまい、不確定性が大きくなるので最大級の地震が発生した場合では距離減衰式から得られる地震動強さの 1.5 倍の値をもって地震動強さの上限としている[5)]。これによって設計用地震荷重として西海岸では 50 年超過確率 10%(再現期間 475 年)、中部・東海岸では 50 年超過確率 5%(再現期間 975 年)と同等のレベルの地震荷重を静的解析及び動的解析による耐震設計に用いて建築構造物の耐震性能を確認する。活断層に近い地域では日本の設計用地震荷重よりかなり大きくなる。また中央・東海岸における地震荷重は西海岸における設計用地震荷重の 15～65%程度になる。しかし、米国内で最大の地震動をとっているのは中西部ミズーリ州セントルイス市の南である。

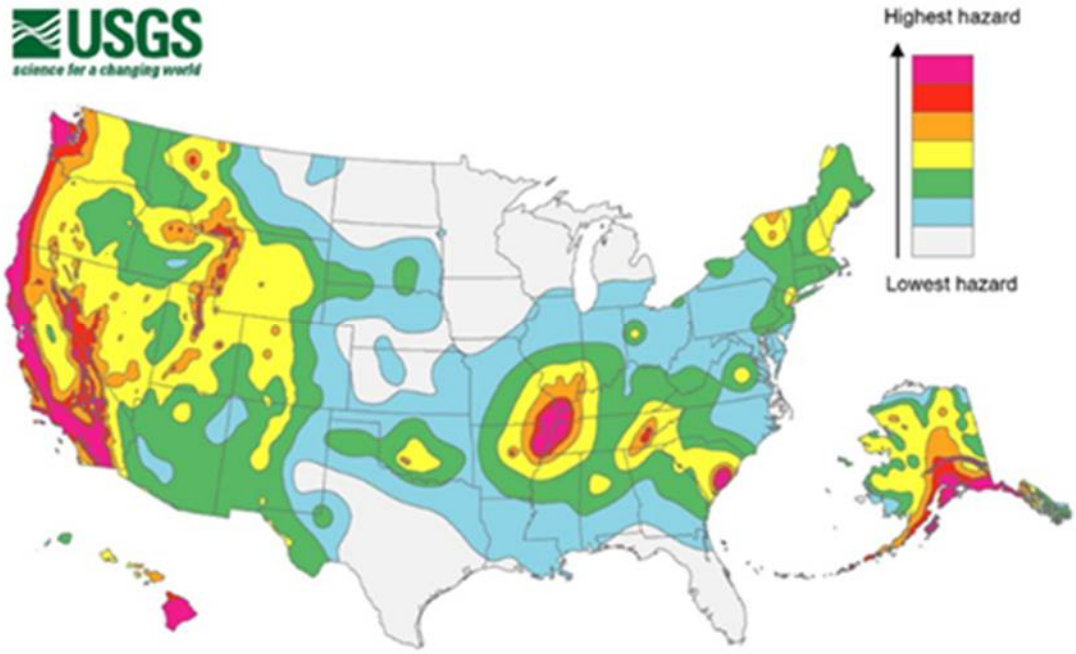


図-3.2.1　米国地震ハザードマップ

出典：USGS(United States Geological Survey)

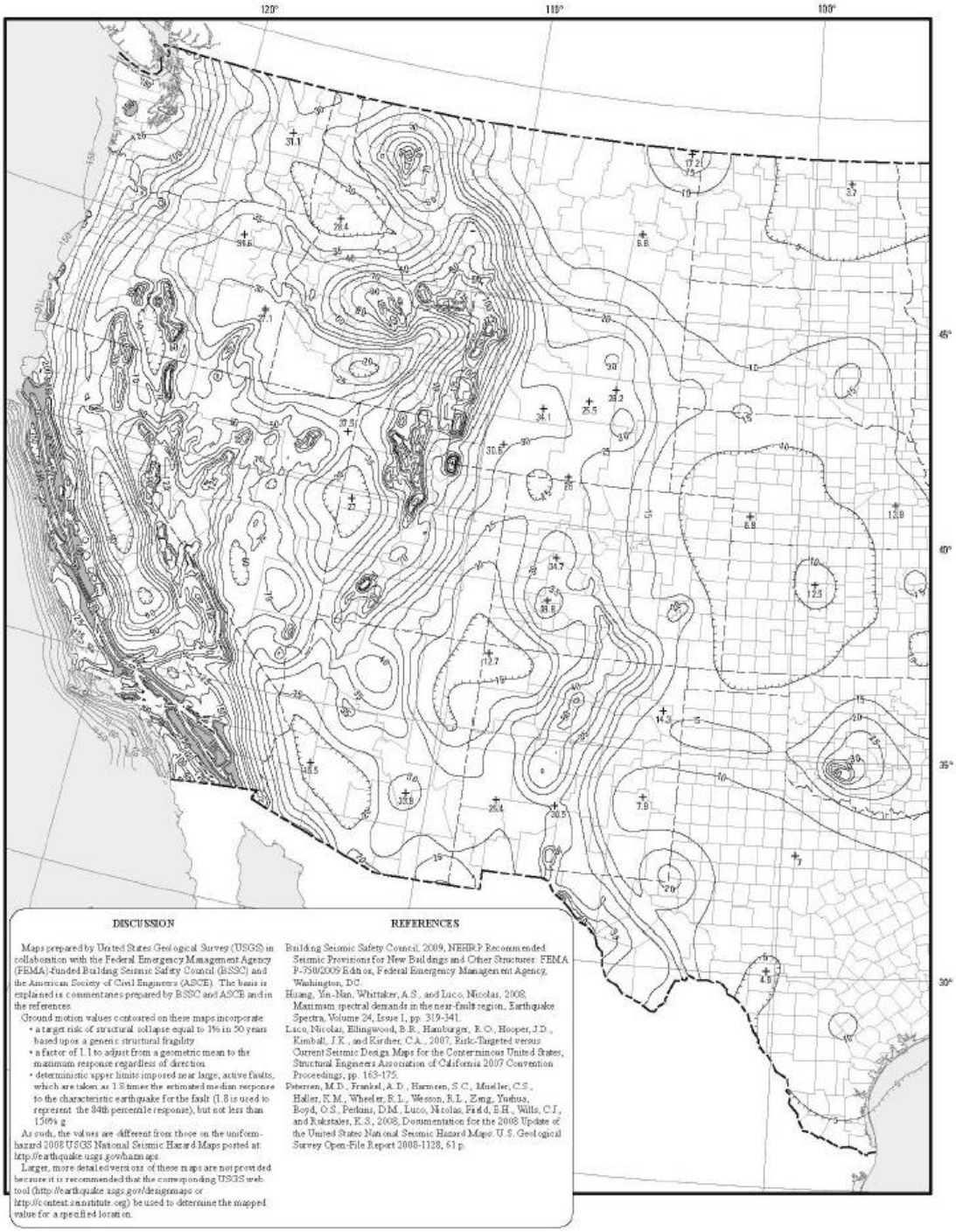


図-3.2.2　周期 0.2s での地震動応答加速度

出典: INTERNATIONAL CODE COUNCIL, http://publicecodes.cyberregs.com/icod/ibc/index.htm

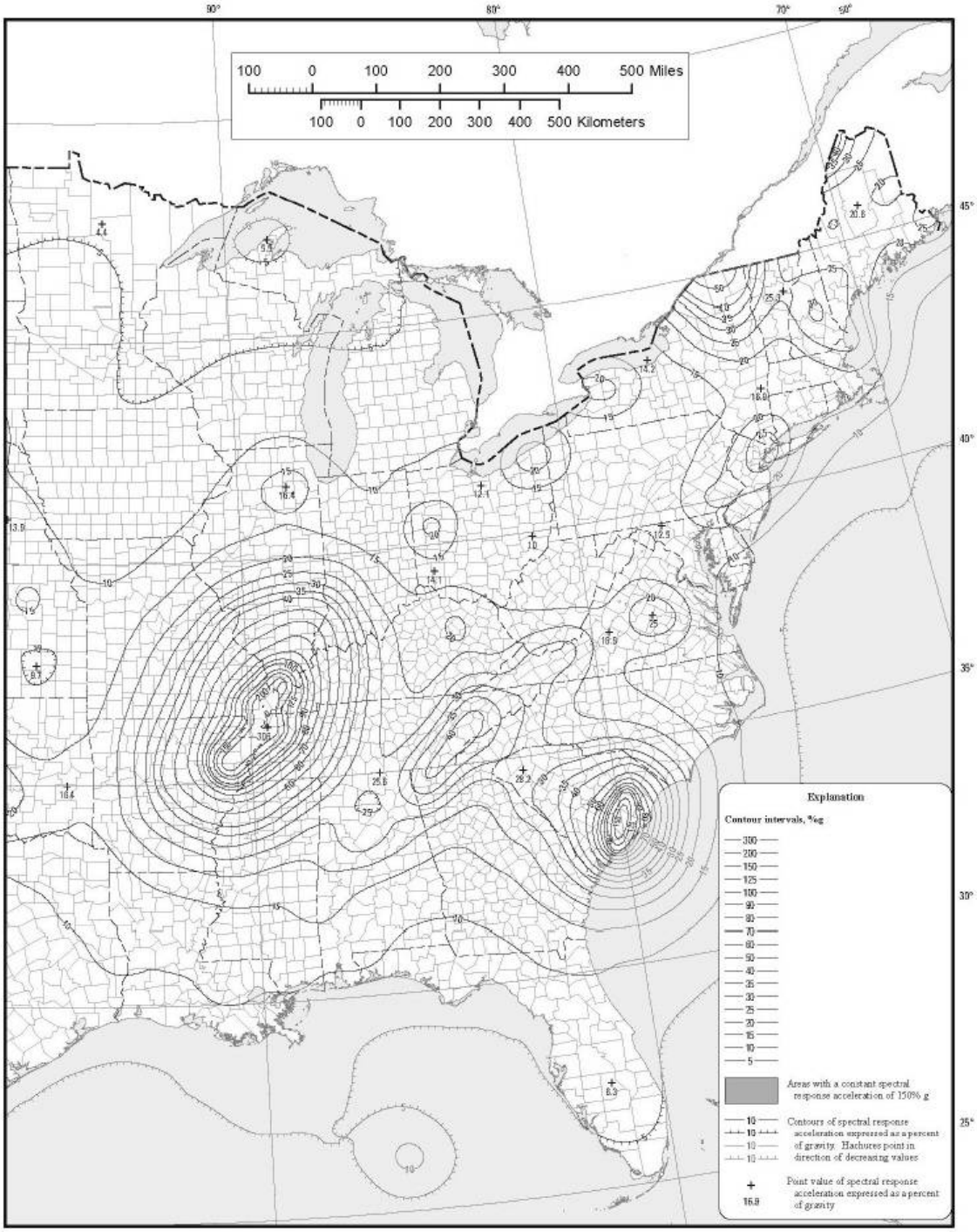


図-3.2.3　周期 0.2s での地震動応答加速度

出典: INTERNATIONAL CODE COUNCIL, http://publicecodes.cyberregs.com/icod/ibc/index.htm

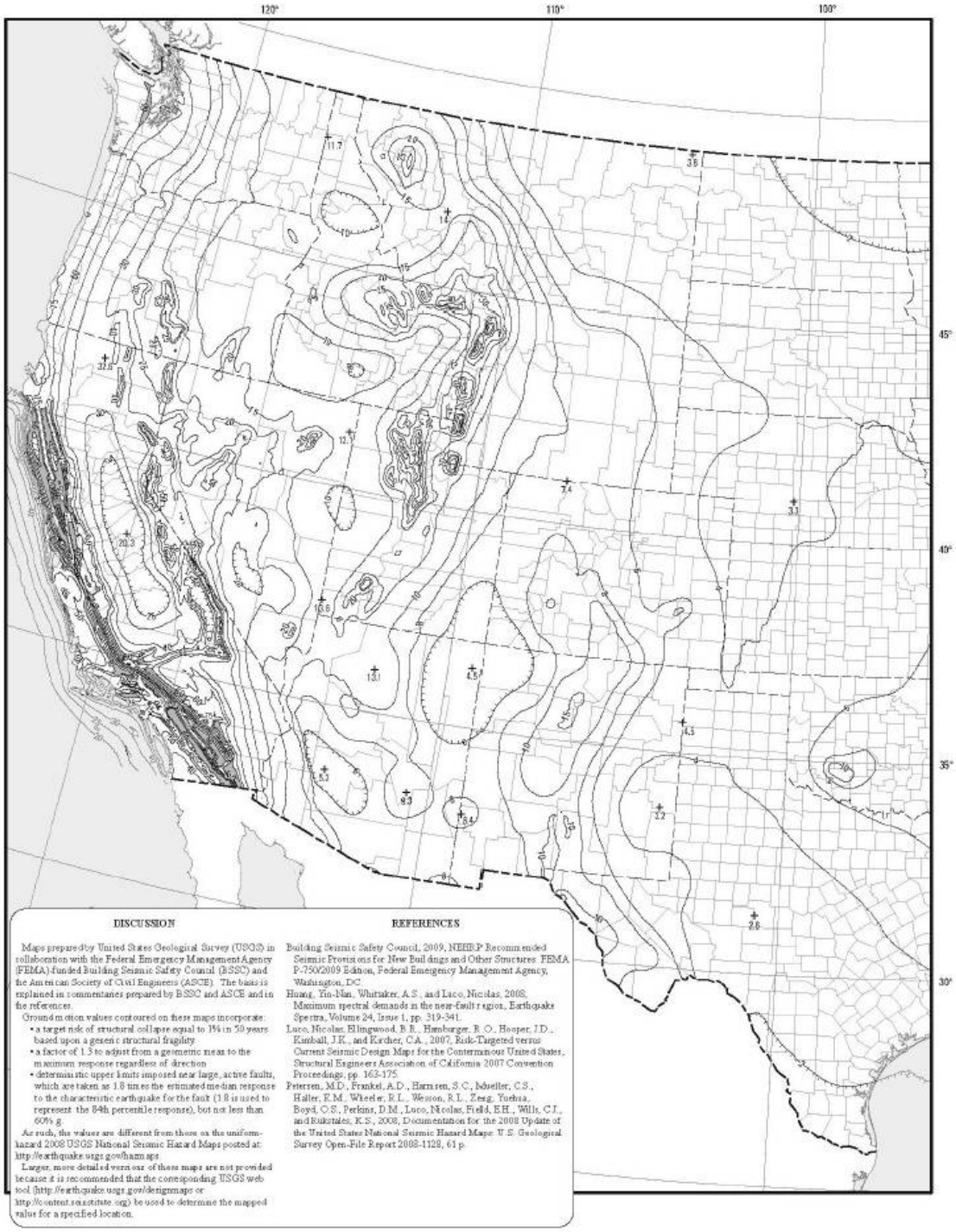


図-3.2.4　周期 1.0s での地震動応答加速度

出典: INTERNATIONAL CODE COUNCIL, http://publicecodes.cyberregs.com/icod/ibc/index.htm

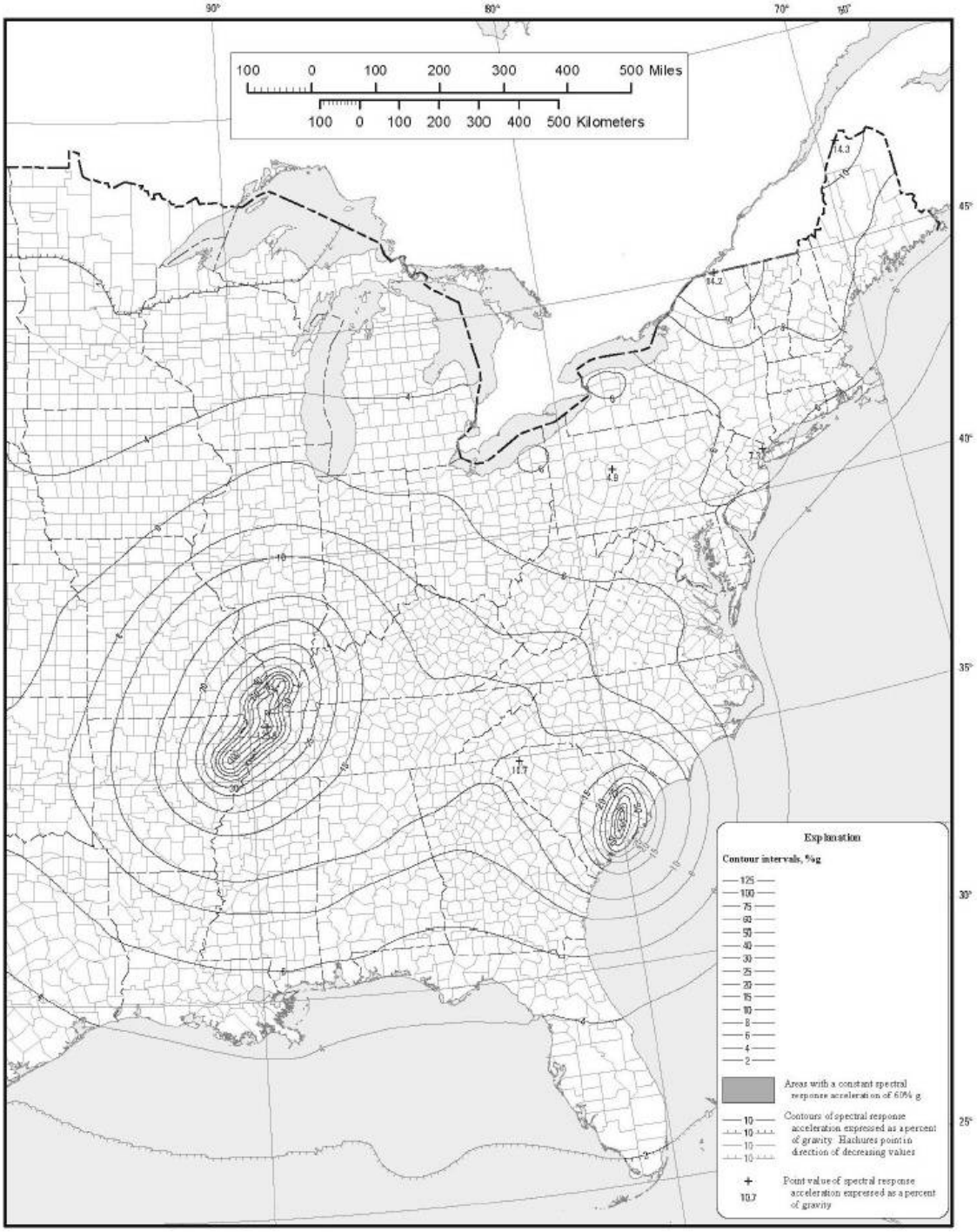


図-3.2.5　周期 1.0s での地震動応答加速度

出典: INTERNATIONAL CODE COUNCIL, http://publicecodes.cyberregs.com/icod/ibc/index.htm

３．３　中国の場合[3)]

中国の耐震基準である、中華人民共和国建筑抗震設計規範 GB 50011-2001 では、設計用の地震力は各地方ごとに定められた烈度(6～9)におうじて、入力加速度の形で規定されている。また建築物の用途ごとの震度等級や規模などの制限も規定されている。耐震設計において対象とする地震の規模を大中小の 3 種類に分けて目標を定めている。それぞれ小は頻繁に発生する(50 年超過確率 63.2%、再現期間 50 年)地震であり建築物は少しの破損にとどまり補修なしに使用できること、中は基本となる地震(50 年超過確率 10%、再現期間 475 年)であり建築物は被害を受けるが補修により使用できること、大は極めて稀に発生する地震(超過確率 2～3%、再現期間 1642～2475 年)であり建築物は被害を受けるが崩壊せず人命を危険にさらさないことを目標としている。

３．４　欧州の場合[4)]

Eurocode8 または EN1998 は地震地域における建築物と土木構造物に適用し、目的は、地震が発生した場合に以下のことを保証することである。

・人命を保護すること
・損傷を制限すること
・市民保護のため重要な構造物の機能を保つこと

これは、次の 2 つの基本的な要件を満たすことで達成される。

1 つ目は構造が部分的または全体的に崩壊することなく、設計地震に対し耐えることであり、この時の基準としている地震動は 50 年超過確率 10%(再現期間 475 年)である。2 つ目は構造が過剰な損傷が発生することなく設計地震よりも発生確率の高い地震に耐えることであり、この時の基準としている地震動は 10 年超過確率 10%(再現期間 95 年) である。

表-3.4.1　各国の基準の目的と目標とする耐震性能

	目的	目標とする耐震性能
建築基準法(日本)	国民の生命・健康・財産の保護のため、建築物の敷地・設備・構造・用途についてその最低基準	百数十年の地震に対してほとんど損傷せず、極めて稀な地震に対して人命に危害を及ぼすような大被害を生じない
IBC(アメリカ)	構造強度を介して、公衆衛生、安全と一般的な福祉を保護するための最小要件を確立すること	50年超過確率2%の地震荷重に対して崩壊しない
Eurocodes　8(欧州)	生命の保護、ダメージの制限、市民保護のために重要な構造物が作動し続けること	50 年超過確率10%(再現期間475年)の地震荷重に対し建物の崩壊を防止し、10 年超過確率10%(再現期間95年)の地震荷重に対し損傷を制限する
建築耐震設計基準(中国)	防震減災を図り、人民の生命と財産の安全を守り、経済と社会の持続的発展を促す	50年超過確率63.2%で補修なしに使用でき、50年超過確率10%で補修することでに使用でき、超過確率2～3%で崩壊しない

表-3.4.1 は各国の基準の目的と目標とする耐震性能をまとめたものである。日本以外では後述（３．５）で説明する年超過確率や再現期間といった具体的な数値でが示されていないのは日本だけである。

３．５　超過確率とは

３．５．１　超過確率と再現期間

再現期間とは一定の強度以上の自然現象が再び発生するまでの期間のことであり、地震の場合では対象とした地震動以上の地震が発生するまでの期間をあらわしたものである。超過確率とはある一定の期間で一定の強度以上の現象が起こる確率である。例えば、50 年超過確率 2%の地震動とは、これから 50 年その地点ではその強度以上のものが 98%は起こらない地震動となる。この地震動が 1 年間で発生する確率をポアソン過程を用いて P_1 とすると 1 年間で発生しない確率は $(1-P_1)$ となる。これが 50 年間で発生しない確率は $(1-P_1)^{50}$ となり、50 年間で発生する確率は $P_{50}=1-(1-P_1)^{50}$ となる。つまり 50 年超過確率 2%とは $P_{50}=0.02$ となる。

よって $P_1=1-(1-0.02)^{1/50}=0.00040397$ となり、1 年間で発生する確率の逆数が再現期間となるので、1/0.00040397＝2475 年となる。

３．５．２　他の事象の発生確率との比較

ここでは他の事象を 50 年超過確率で表すとどの程度になるかを示す。

消防庁より 2014 年の住宅火災の件数は 12,922 件であり、総務省統計局による 2014 年 1 月 1 日現在日本の世帯数は 55,952,258 世帯である。つまり、日本において 50 年間で自宅が火災にあう確率は 1.1%といえる。

また、米国防火協会(NFPA)より 2013 年のアメリカの住宅火災の件数は 387,000 件であり、米国勢調査局による 2013 年のアメリカの世帯数は約 122,459,000 世帯である。つまり、アメリカにおいて 50 年間で自宅が火災にあう確率は 14.6%といえる。

そして、警察庁よる 2014 年の交通事故での死者数は 4,113 人であり、死者と負傷者合計は 715,487 件であった。総務省統計局による 14 年 1 月 1 日現在の日本の人口は 128,438,013 人である。つまり、日本において 50 年間で交通事故にあう確率は 24.4%といえ 50 年間で交通事故によって死亡する確率は 0.2%である。

参考文献

1) 住宅・建築物の耐震化について,http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_fr_000043.html,10 月 10 日取得

2) 加澄美喜子, 耐震設計規定と耐震性能評価の実践に関する日米比較,鋼構造論文集 第 12 巻第 45 号,2005

3) SJRM レポート, http://www.sjnk-rm.co.jp/publications/pdf/200805shisen.pdf,10 月 10 日取得

4) Eurocodes: Building the future, http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/,10 月 10 日取得

5) 防災科学研究所,地震動予測地図の工学利用,防災科学技術研究所研究資料,2004

第4章 確率論的地震動予測

４．確率論的地震動予測

確率論的地震動予測評価(Probabilistic Seismic Hazard Analysis)は、地震の脅威に対処するための最も一般的かつ標準化されたものである。確率論的地震動予測評価は、地表面最大加速度（PGA）や超過確率といった地震動強度の指標確率を評価することを目的としている。ここでは、日本の J-SHIS、アメリカの USGS、ヨーロッパの SHARE が行っている確率論的地震動予測について説明し、それぞれが公開しているハザードマップとハザードカーブを示した。

また地震の確率の予測とは将来起こるであろう事の予測であるので、不確実性が含まれている。これは地震が不均質な地盤や地殻を対象としているために性状や構造の把握が難しく、地震発生の再現期間は数十年から数万年ととても長いため現象を解明するためには必要なデータ量が十分ではなかったりと高い信頼性を持って予測するのは最新の知識があっても困難であるからである。図-4.1.1 は 2010 年 1 月 1 日時点での 30 年間で震度 6 強以上の揺れに見舞われる確率の分布を示したハザードマップであり、図-4.1.2 は 2011 年 3 月 11 日に起こった東北地方太平洋沖地震の震度分布図と推計震度分布図である。推計震度分布図とは、震度計によって観測された震度をもとに、震度計のない場所も含めて震度を面的に表現したものである。これを見ると東北地方太平洋沖地震が起こることを図-4.1.1 から予想するのは困難であり、このことからも予測によって得られた結果は、少なからず不確実性を含んでいることがわかる。

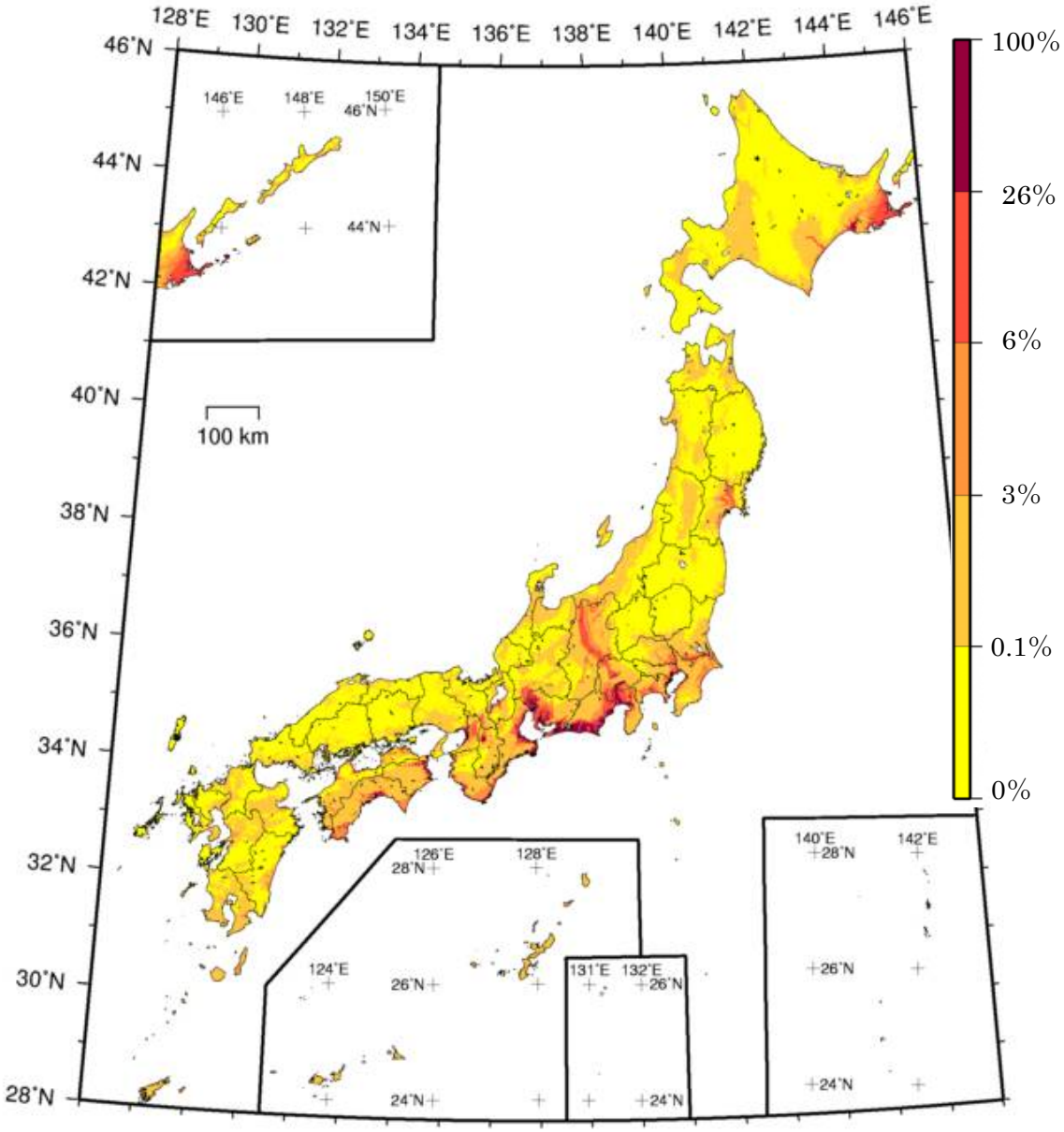
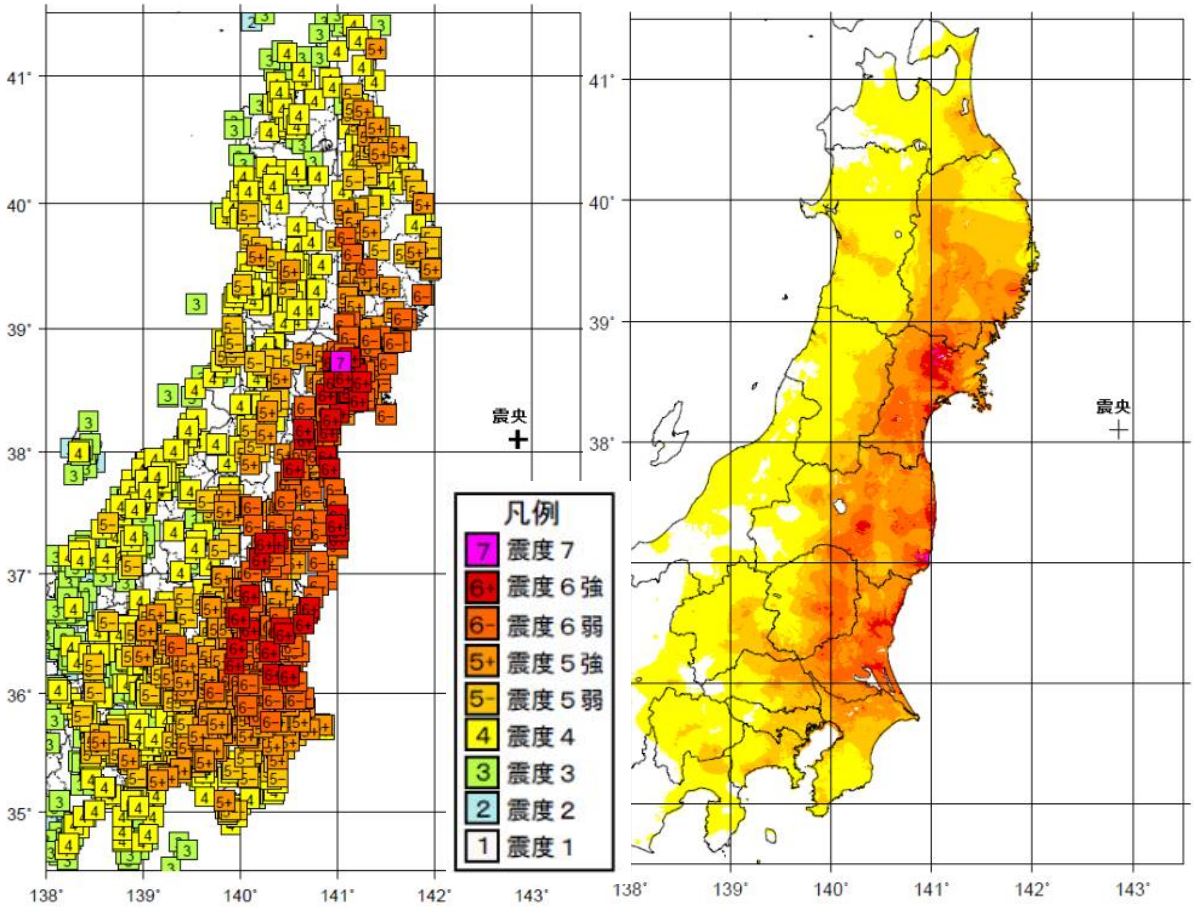


図-4.1.1　2010 年 1 月 1 日から 30 年間で震度 6 強以上の揺れに見舞われる確率分布地図

出典：地震調査研究推進本部 HP、全国地震動予測地図　２０１０年版、



震度分布図　　推計震度分布図*

図-4.1.2　東北地方太平洋沖地震の震度分布図と推計震度分布図

出典：気象庁 HP、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に関する観測・解析データ

＊地震によって観測される震度は、ごく近い場所でも地盤の違いなどにより 1 階級程の違いが出ることがあり、また震度の推計においても誤差が生じ実際の震度と推計による震度に 1 階級程度の探し生じることがある。このことから、推計震度分布図では局所的な震度の値ではなく、面的な震度の広がり具合に着目すべきである。

４.１　ハザードカーブ [1)2)]

４.１.１　ハザードカーブとは

ハザードカーブとは、地震ハザード評価における 3 つの要素「地震動の強さ」、「対象とする期間」、「対象とする確率」を算定するものであり、期間を特定した場合でのある地点での地震動強さとその強さを超える地震動の発生確率の関係を示したものである。離散的に設定した地震動強さごとに対する超過確率を算定しそれを図上でつなげ曲線で表示したものである(図-4.1.3)。

特定の期間内で地震動強さ定めたときそれを超える地震動の発生確率、または特定の期間内で超過確率を定めたときそれに対応する地震動強さは、それぞれの図上で線形補間して算定している。図-4.1.3 のように縦軸からは「対象とする期間」と「対象とする確率」、横軸からは「地震動の強さ」が算定できる。つまり、対象とする期間を固定した場合においてハザードカーブを 1 つ用いることで、地震動強さを決定すると確率が算定でき、確率を決定すると地震動強さが容易に算定することができる。

４.１.２　ハザードカーブの統合

実際に特定の地点を算定しようとすると、位置や確率、規模といった多種多様な条件の地震があり、それらの地震の確率と強さを計算しそれらを統合することでその地点でのハザードカーブを求める。ハザードカーブの統合は図-4.1.4 のように青線で示した海溝型地震と橙線で示した内陸活断層の地震を足し合したものがその地点でのハザードカーブとなり、図で示す灰色線となる。

ここで、内陸活断層による地震は海溝型地震に比べ発生確率は低いが、震源付近では非常に強い揺れが生じる。よって図-4.1.4 のように統合した結果は地震動の強さが弱いときは発生確率が高い海溝型地震に、地震動の強さが強くなるにつれ内陸活断層による地震の影響を強く受けることがわかる。実際のハザードカーブでは 2 種類の地震だけではなくその地点に影響を及ぼす地震すべてを考慮するためより複雑となる。

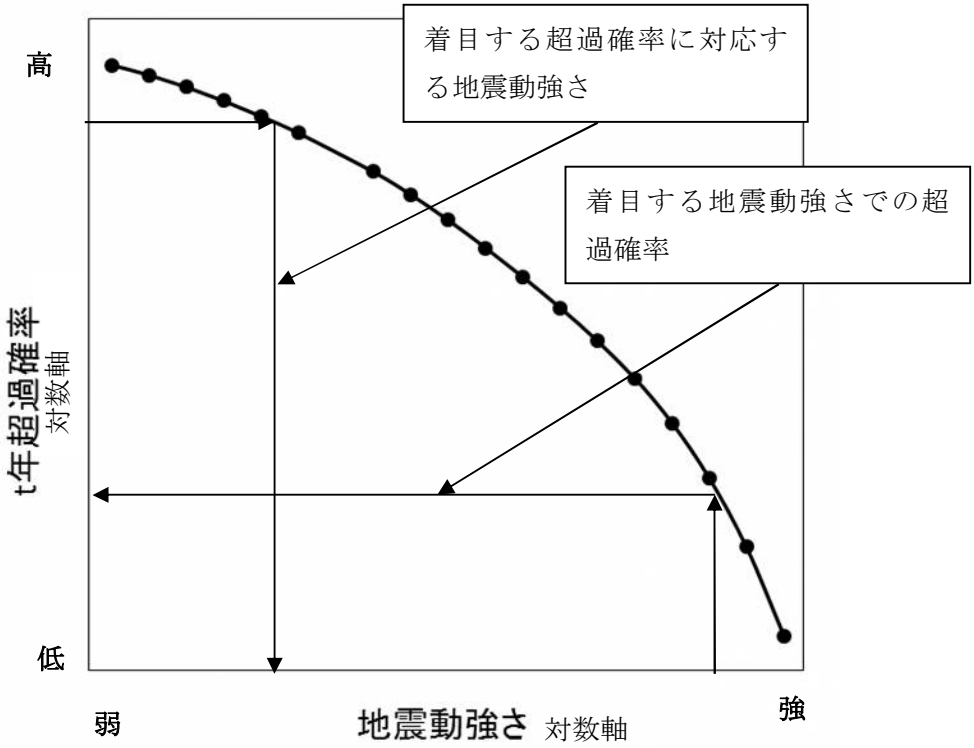


図-4.1.3　ハザードカーブの概念図

出典：防災科学技術研究所、「全国地震動予測地図」作成手法の検討、2009

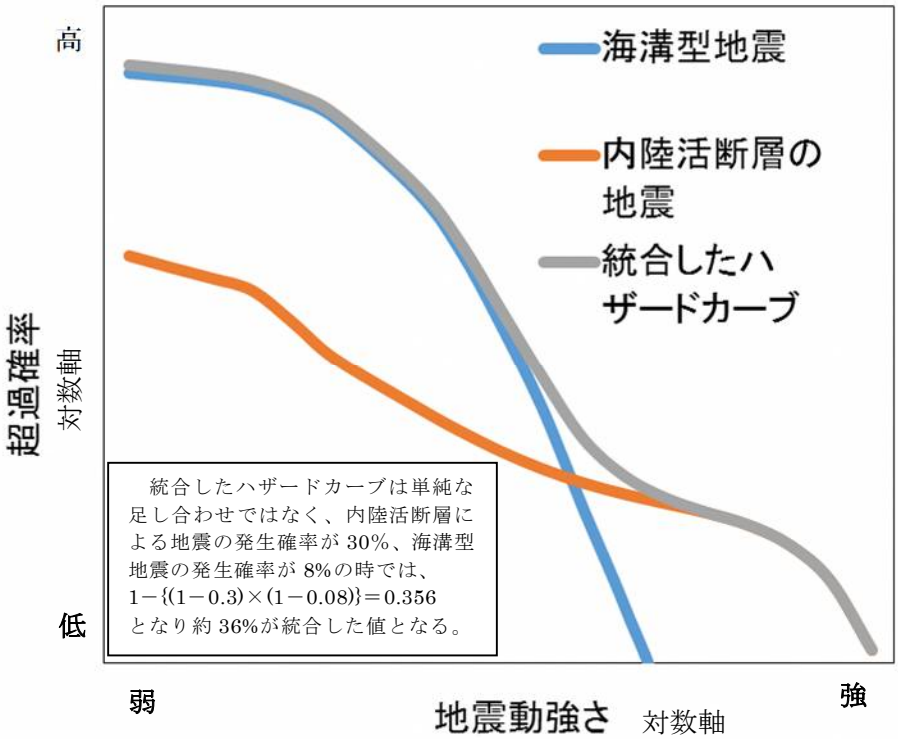


図-4.1.4　海溝型と内陸活断層での 2 つの地震が考慮されたハザードカーブの例

４.２　地震ハザードステーション J-SHIS（日本）[1)2)]

地震ハザードステーション　J-SHIS(Japan Seismic Hazard Information Station)[3)]は 2005 年 5 月より運用が開始された「地震動予測地図」の地震ハザード情報の公開 Web システムである。「全国地震動予測地図」とは、地震動調査研究推進本部が過去 10 年間にわたって実施してきた地震ハザード評価の集大成のハザードマップである。「全国地震動予測地図」は、長期的に見た地震発生の確率評価と、地震が起こった際に生じる地震動の強さに対する評価を組み合わせた「確率論的地震動予測地図」と、ある想定された特定の地震に対する詳細な地震動評価に基づく「震源断層を特定した地震動予測地図」の 2 種類の性質の異なる地図から構成されている。図-4.2 のハザードマップは 2014 年 1 月 1 日時点での 50 年超過確率 2%での震度予想を示した確率論的地震動予測地図である。東北地方太平洋沖地震発生後からの検討により、M8～9 クラスの地震を考慮した長期評価が反映され、東北地方太平洋沖地震のような事前に場所や規模、発生間隔が不明な地震についても考慮する地震の規模を従来よりも大きなものに変更するといった更新が行われている。

ここでは、各地点のハザードカーブを算定することによって得られる確率論的地震動予測地図について説明を行い、各地点でのハザードカーブと「確率論的地震動予測地図」の地点情報から得られた最大加速度を算定しそれをまとめた。

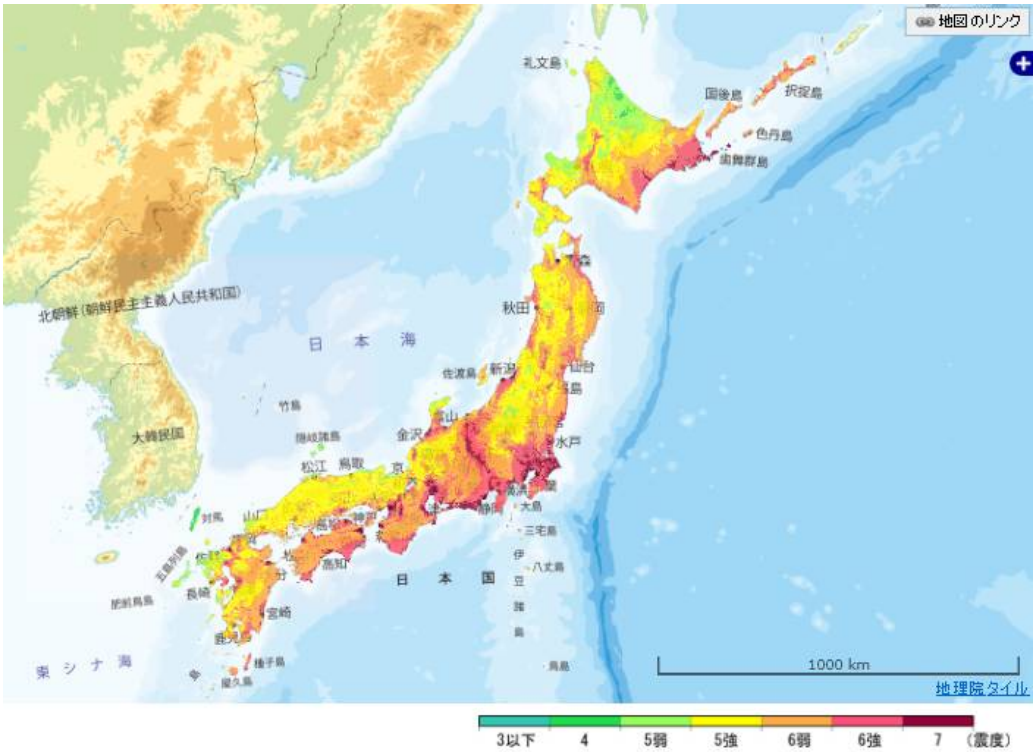


図-4.2　J-SHIS を用いた 50 年超過確率 2%での震度予想

出典：J-SHIS 地震ハザードステーション，http://www.j-shis.bosai.go.jp/

４．２．１　確率論的地震動予測地図 [1)2)]

確率論的地震動予測地図の作成領域は全国を対象とし、北海道から沖縄県まで全国 47 都道府県を 250m メッシュで分け総数は約 595 万 5 千である。しかし、沖ノ鳥島と南鳥島は地震活動のモデル化を行うために必要な情報がないため評価の対象外である。

現状では、地震の発生及びそれに伴う地震動の評価は数多くの不確定要素を含んでいる。現状の地震学・地震工学のレベルでは、将来発生が予測される地震の発生日時、場所、規模、発生する地震動の強さ等について、明確な答えを決定することは極めて困難である。こういった不確定性を定量的に評価するために確率論的手法は有効であると考えられている。ある地点での将来発生する「地震動の強さ」、「対象とする期間」、「対象とする確率」の 3 つの関係を評価することが地震ハザード評価であり、確率論的地震動予測地図の作成については以下に述べる手法に従った地震ハザード評価が採用されており、手順を大まかに以下に示す。

① 地震調査委員会による地震の分類に従って、対象地点周辺の地震活動をモデル化する。

② モデル化したそれぞれの地震について、地震規模の確率、対象地点からの距離の確率，地震の発生確率を評価する。

③ 地震の規模と距離が与えられた場合の地震動の強さを推定する確率モデルを設定する。モデル化された各地震について、対象期間内にその地震によって生じる地震動の強さが，1 度はある値を超える確率を評価する。強震動評価(長期評価の結果から特定の地震が発生した時の地震動の予測)手法としては、経験的な距離減衰式を用いる。具体的には、対象地点から断層面までの最短距離を用いた距離減衰式に基づき、工学的基盤における最大速度を求め、これに表層地盤の速度増幅率を乗じることにより地表における最大速度を求め，最大速度と計測震度との関係式を用いて地表の震度を評価する。

④ ③の操作をモデル化した地震の数だけ繰り返し、それらの結果を足し合わせることにより、全ての地震を考慮した場合における対象期間内に生じる地震動の強さが、少なくとも 1 度はある値を超える確率を計算する。

確率論的地震動予測地図では、主要活断層帯で発生する固有地震や海溝型地震だけではなく、対象地点に影響を与えるすべての地震を考慮して、地震の確率と強さを計算しそれらを統合することでその地点でのハザードカーブを求める。

４．２．２　確率論的地震動予測地図の評価手順

地震ハザード評価とは、地点における地震動強さと特定の期間内でその強さを超える地震動の発生確率の関係を示した曲線であるハザードカーブを算定し、一般的には図-4.2.1 の通りに評価されたものである。

ここでは、“「全国地震動予測地図」作成手法の検討(2009)” から J-SHIS の全国地震動予

測地図での評価手法の概要を以下に示す。

1) 対象となる地点周辺の地震活動のモデル化を行う。日本全国を考慮した確率論的地震動予測地図では、モデル化を行う際に考慮する地震を以下のように分類している。

a) 主要活断層帯で発生する固有地震

b) 海溝型地震

c) その他の地震(長期評価の対象となっていない地震)

①震源断層をある程度特定できる地震

(1) 主要活断層帯以外の活断層で発生する地震

(2) 主要活断層帯で発生する地震のうち固有地震以外の地震

②震源断層を予め特定しにくい地震

(1) プレート間で発生する地震のうち大地震以外の地震

(2) 沈み込む（沈み込んだ）プレート内で発生する地震のうち大地震以外の地震

(3) 陸域で発生する地震のうち活断層が特定されていない場所で発生する地震

(4) 浦河沖の震源を予め特定しにくい地震

(5) 日本海東縁部の震源を予め特定しにくい地震

(6) 伊豆諸島以南の震源を予め特定しにくい地震

(7) 南西諸島付近の震源を予め特定しにくい地震ただし、全国を概観した確率論的地震動予測地図の作成では、上記の c) ① (1)の「主要活断層帯に発生する地震のうち固有地震以外の地震」は評価の対象外としている。

2) モデル化したそれぞれの地震について、地震規模の確率、距離の確率、地震の発生確率（あるいは頻度）を評価する。

3) 地震の規模と距離が与えられた場合の地震動強さの推定の確率モデルを設定する。通常は、距離減衰式とそのばらつきによってモデル化される。

4) モデル化された個々の地震について、着目する期間内にその地震によって地震動強さがある値を超える確率を評価する。

5) これをモデル化した地震数繰り返し、それらの結果を統合することにより、全ての地震を考慮した場合に地震動強さが着目期間内に少なくとも１度ある値を超える確率を算定する。

確率論的地震動予測地図は、以上の手順によって地点ごとに実施された地震ハザード評価の結果に基づいて、期間、地震動強さ、対象とする確率のうちの２つを固定し、残りの一つの地域分布を示したものである。

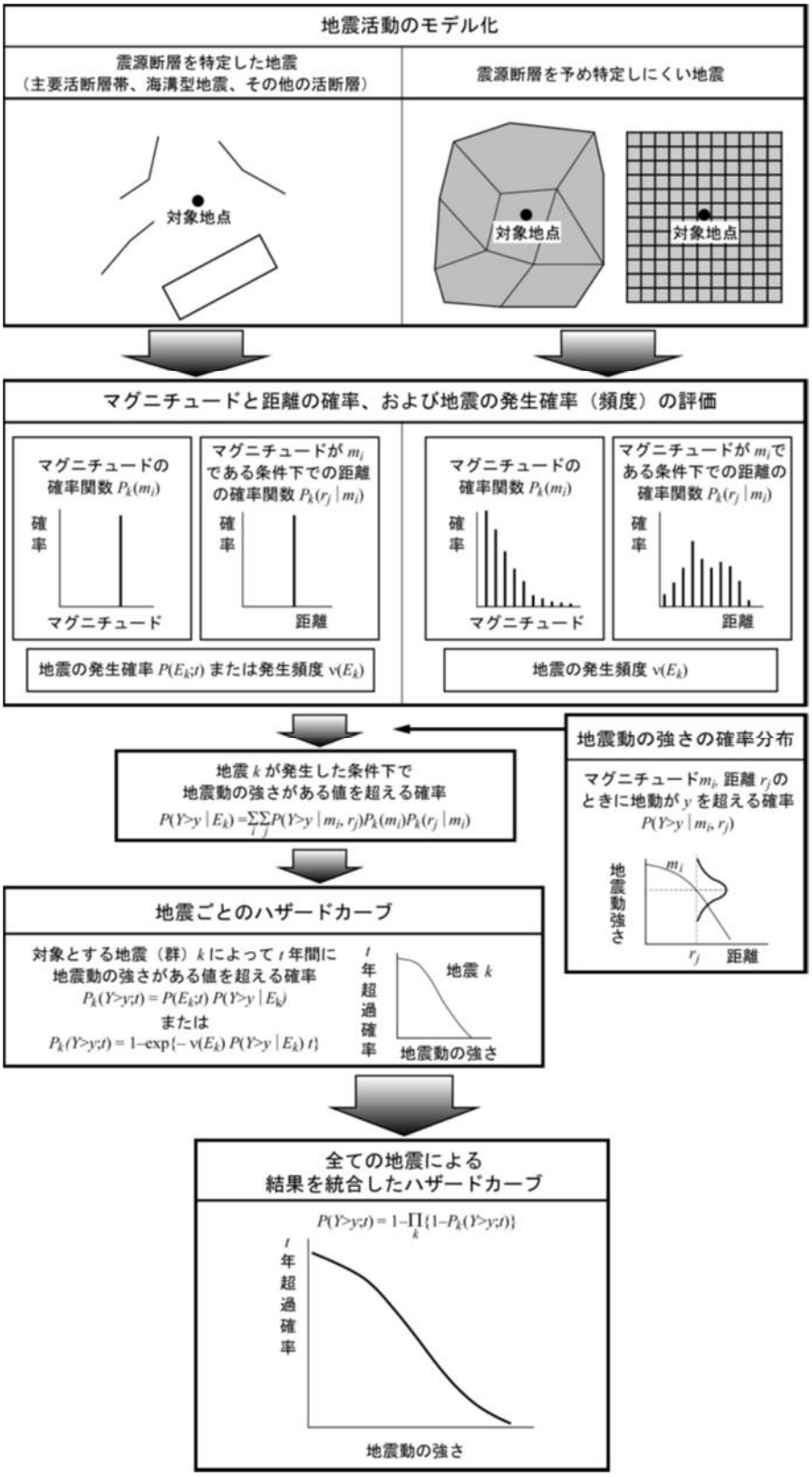


図-4.2.1　地震ハザードの評価手順

出典：防災科学技術研究所、「全国地震動予測地図」作成手法の検討、2009

４．２．３　地震の発生確率の設定

主要活断層帯で発生する固有地震や海溝型地震はそれぞれの発生間隔で繰り返し発生している。確率論的地震動予測地図では、それらの発生確率はBPT分布(Brownian Passage Time分布)に基づき設定している。BPT分布では図-4.2.2のように最新の活動からの経過した時間によって、地震の発生確率が変わるものであり、直近で地震が発生していれば発生の可能性は低くなり、最新の活動から年数が経過するほど発生か確率が上がるといったものである。しかし、海溝型地震と比べ活断層で起こる地震は発生間隔がとても長く、一部の活断層では前回何時地震が起こったか判明していない。そのような最新の活動時期が不明の場合では時間に依存しないポアソン過程を用いて地震の発生確率を求めている。ポアソン過程では、図-4.2.3のように平均的に何年間隔で地震が発生するのかのみを考慮しており、過去の地震活動の影響を受けず、その発生確率はどの時点においても一定である。この場合は断層の長さや平均変位速度といった固有の情報から平均活動期間を仮定して、そこから発生確率を設定している。平均変位速度とは断層の変位量の長期的な平均速度を示すものであり、形成時期が特定している地形の変化量を現在までの期間で除したものである。

そして図-4.2.4のハザードマップは再現期間1000年(50年超過確率5%)でのハザードマップであり、最新の活動時期が不明な一部の地震を除いたすべての地震が BPT 分布に基づいている。図-4.2.5 は、対象とするすべての地震をポアソン過程に基づいて、作成した場合の再現期間1000年のハザードマップである。この2つを比較するとBPT分布に基づいたハザードマップの方が震度が大きい地点が多いことがわかる。

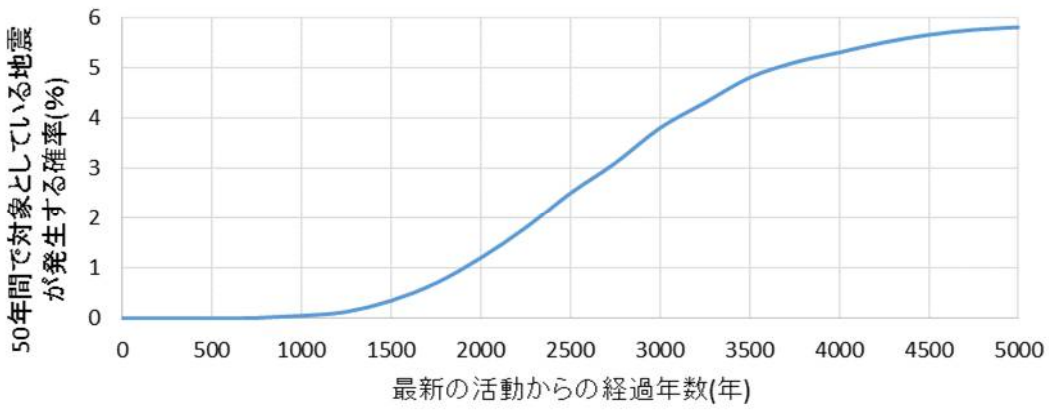


図-4.2.2　最新の活動時期が判明している場合(BPT 分布)での 50 年間で地震が起こる確率

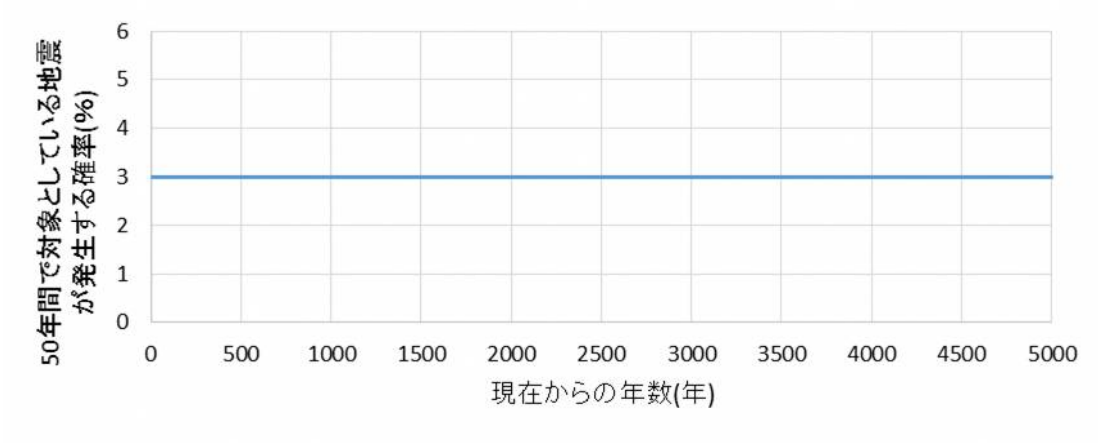


図-4.2.3　最新の活動時期が不明の場合(ポアソン過程)での 50 年間で地震が起こる確率

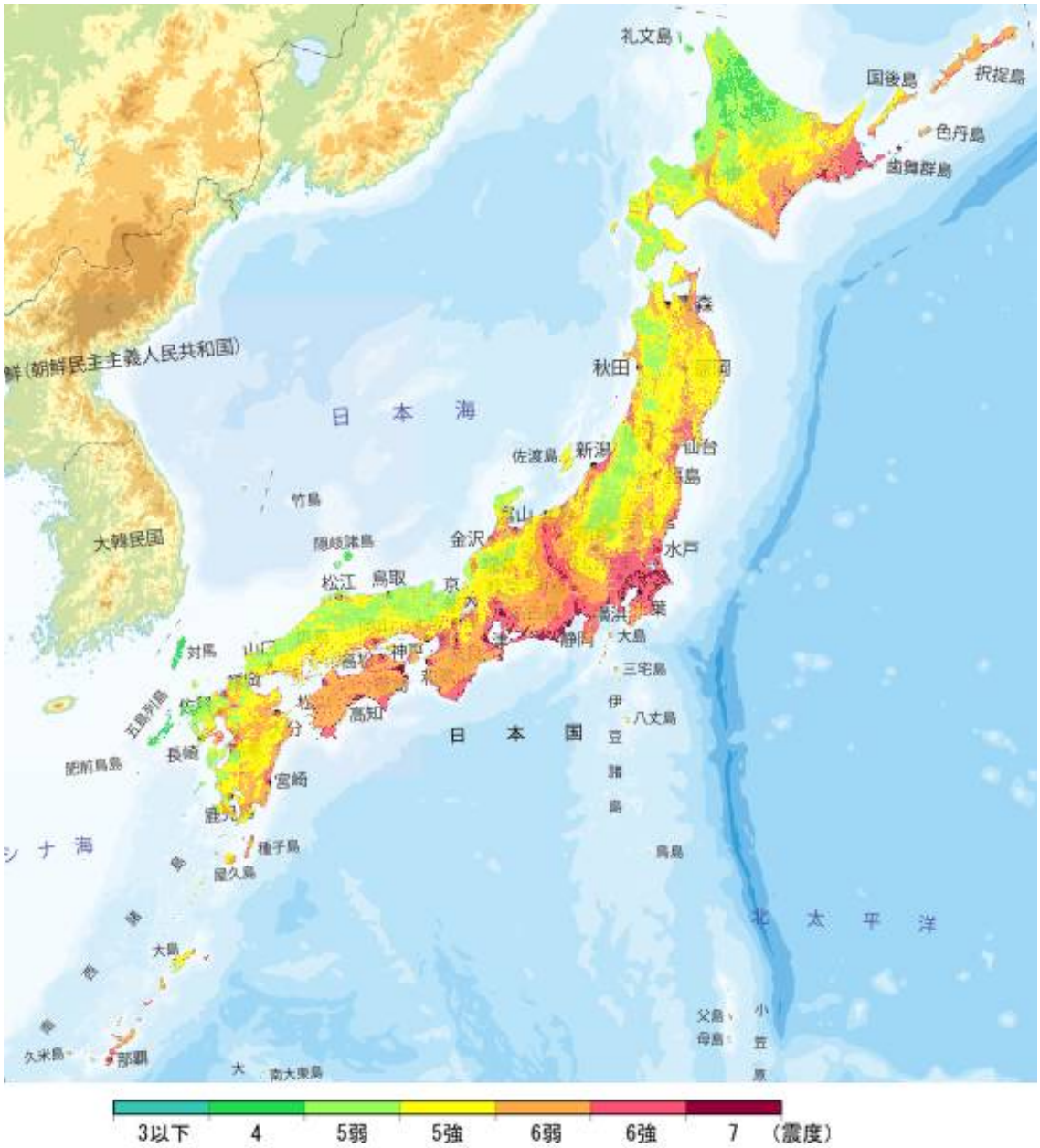


図-4.2.4　BPT 分布による再現期間 1000 年相当のハザードマップ(2014 年 1 月 1 日時点)

出典：J-SHIS 地震ハザードステーション，http://www.j-shis.bosai.go.jp/

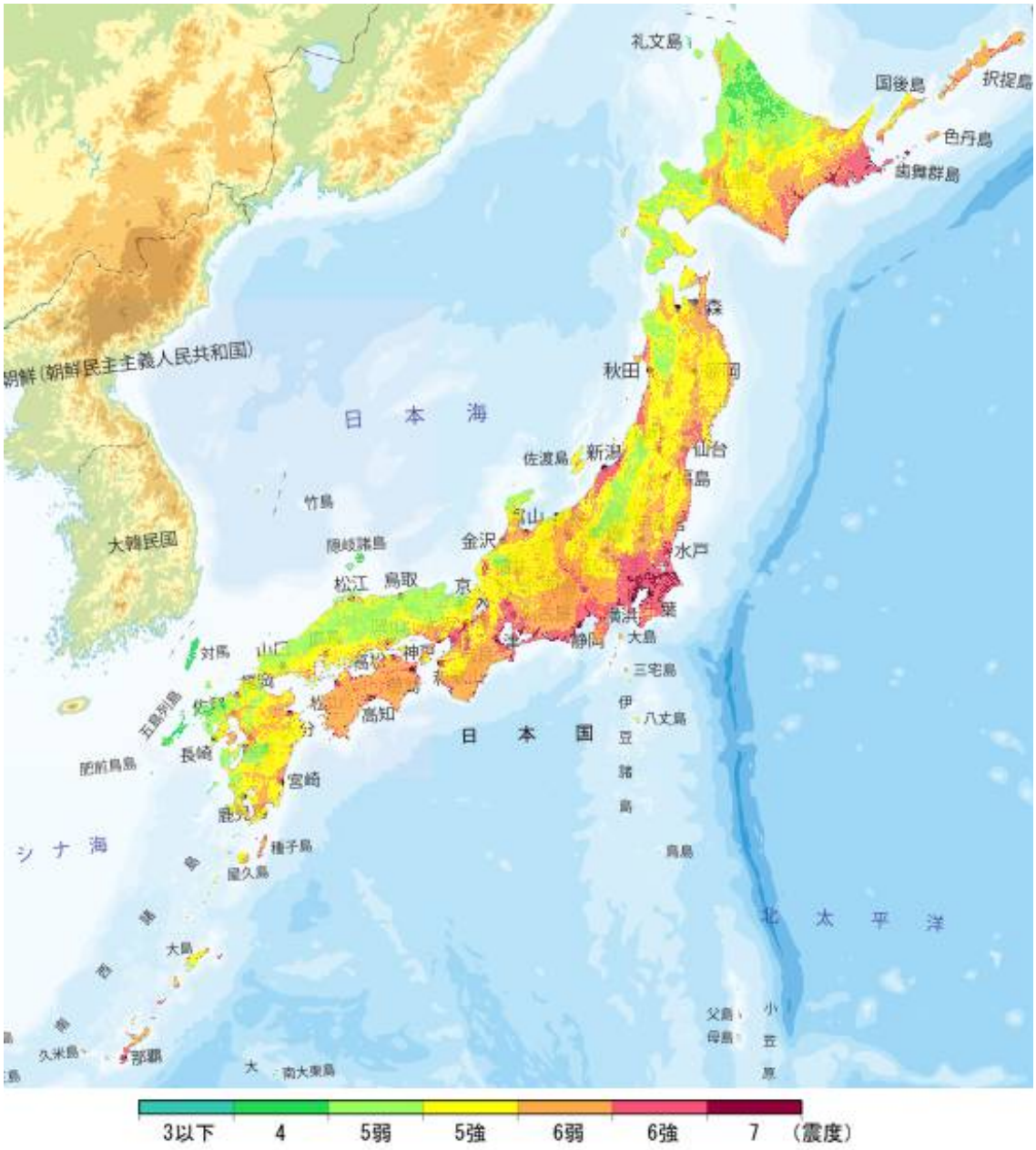


図-4.2.5　ポアソン過程による再現期間 1000 年相当のハザードマップ

出典：J-SHIS 地震ハザードステーション，http://www.j-shis.bosai.go.jp/

４．２．４　確率論的地震動予測地図の表示

確率論的地震動予測地図は、各地点ごとに独立に算定された t 年間のハザードカーブに基づいて、固定された超過確率に対する地震動強さを地点ごとに求め、それを地図上に表記しその分布を表したものと、固定された地震動強さに対する超過確率を地点ごとに求め、それを地図上に表記しその分布を表したものの 2 種類が作成してある。これは図-4.1.3 のようにハザードカーブをどちらから読むかの違いであり、以下に例を示す。

「地震動の強さ」と「対象とする期間」を固定した場合

例えば、今後 30 年以内に震度 6 強以上の揺れに見舞われる確率の分布図(図-4.2.6)

「対象とする確率」と「対象とする期間」を固定した場合

例えば、50 年 10%の確率で起こる震度の分布図(図-4.2.7)

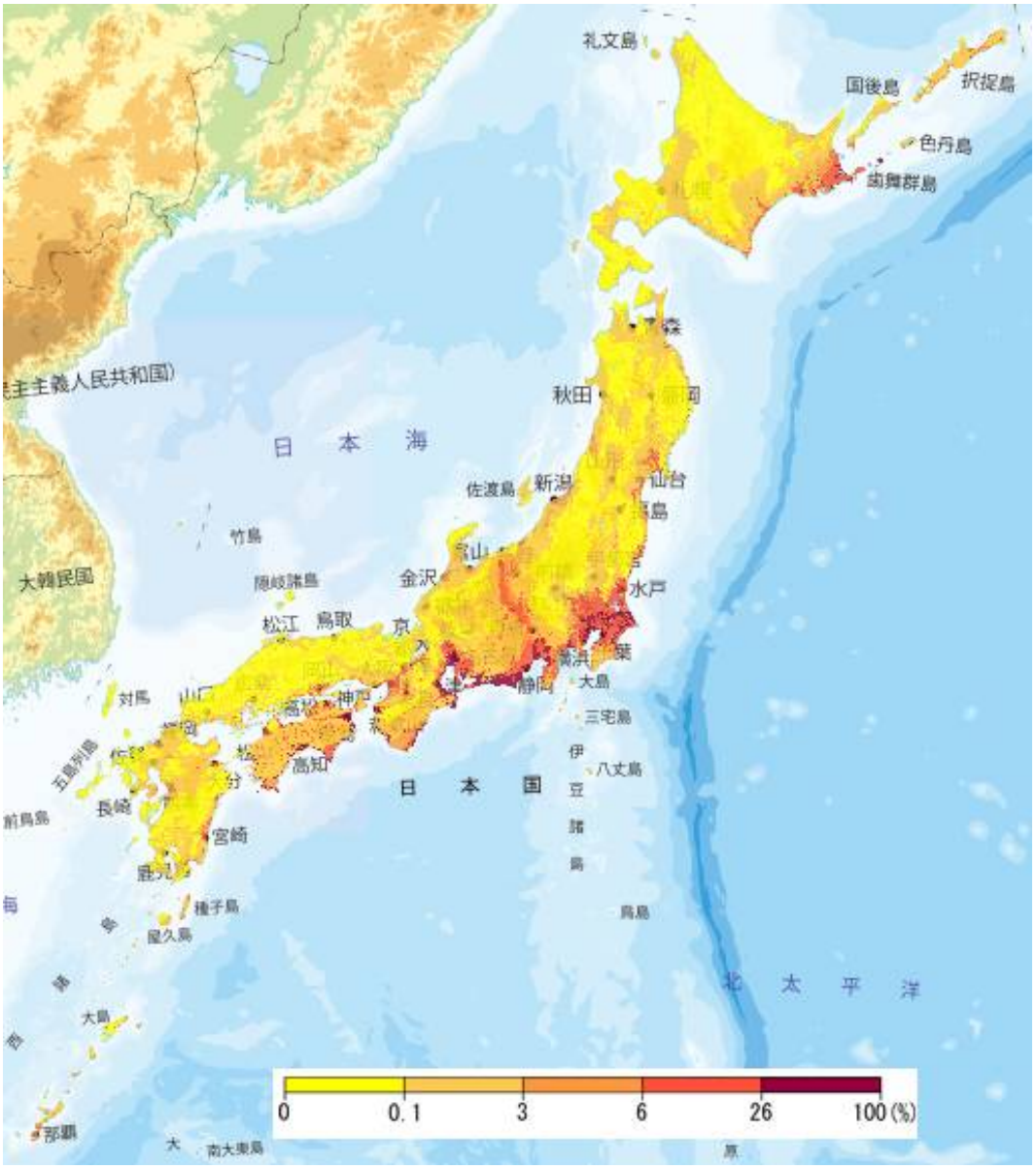


図-4.2.6　30 年以内に震度 6 強以上の揺れに見舞われる確率分布図(2014 年 1 月 1 日時点)

出典：J-SHIS 地震ハザードステーション，http://www.j-shis.bosai.go.jp/

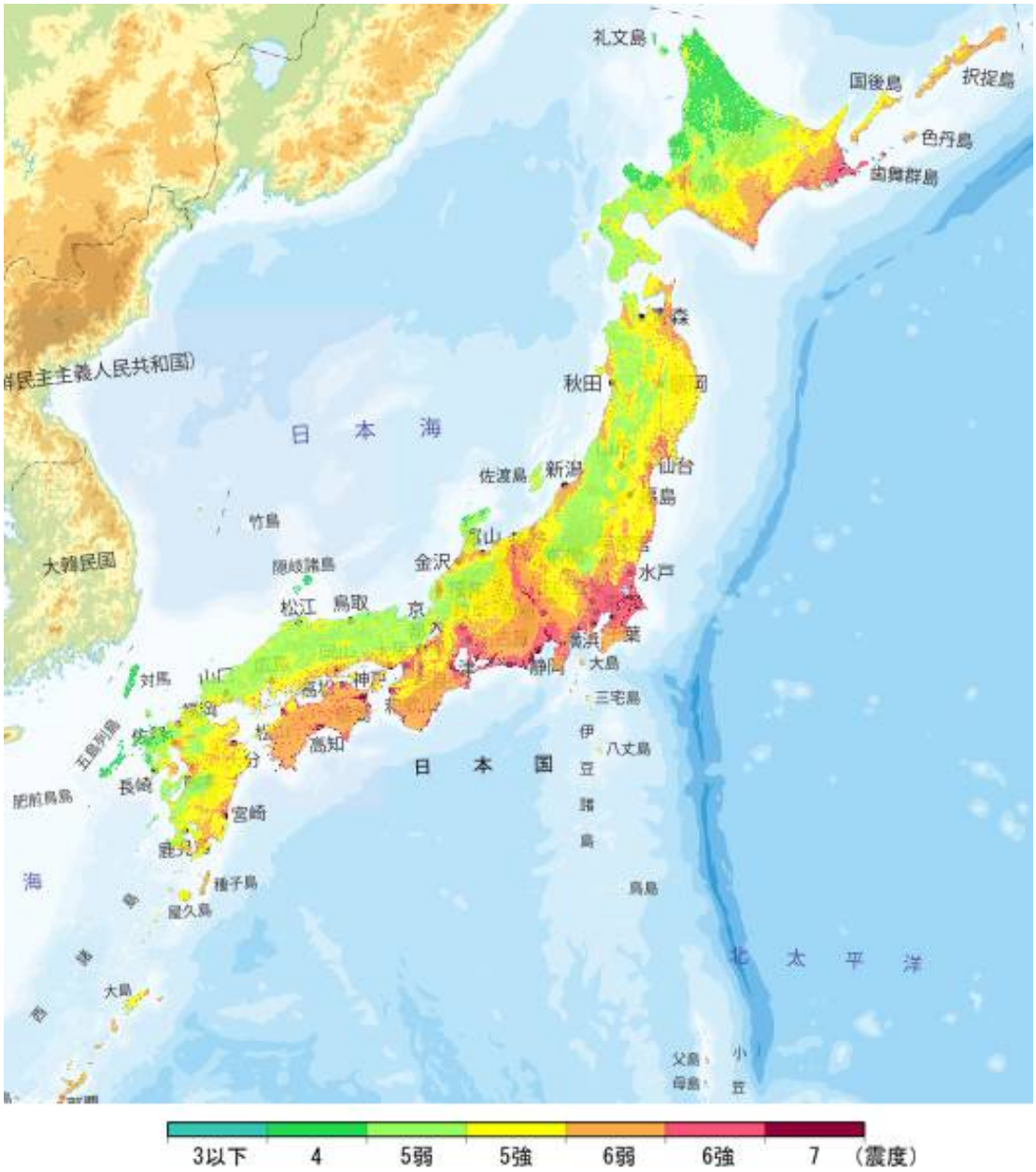


図-4.2.7　50 年超過確率 10%で起こる震度分布図(2014 年 1 月 1 日時点)

出典：J-SHIS 地震ハザードステーション，http://www.j-shis.bosai.go.jp/

４．２．５　区切られたメッシュでの地点情報

J-SHIS では地図上の約 250m メッシュで区切られた地点の地点情報を得ることができる(図-4.2.8)。この地点情報からその地点での地表の最大速度や地表の震度、地盤増幅率を求めることができる。また、ある地表最大速度に対応した発生確率も記載されており、それを基に確率と最大速度のハザードカーブを作成することができる。そこから得られた地表最大速度を４．２．６の変換式を用いて加速度に変換する。

地盤増幅率とは、地震に対する地盤の強度を示す数値であり、同一規模の地震が発生した場合、この数値が大きい地点ほど地盤は弱く、揺れは大きくなる。工学的基盤上の最大速度に地盤増幅率をかけたものが地表の最大速度となる。

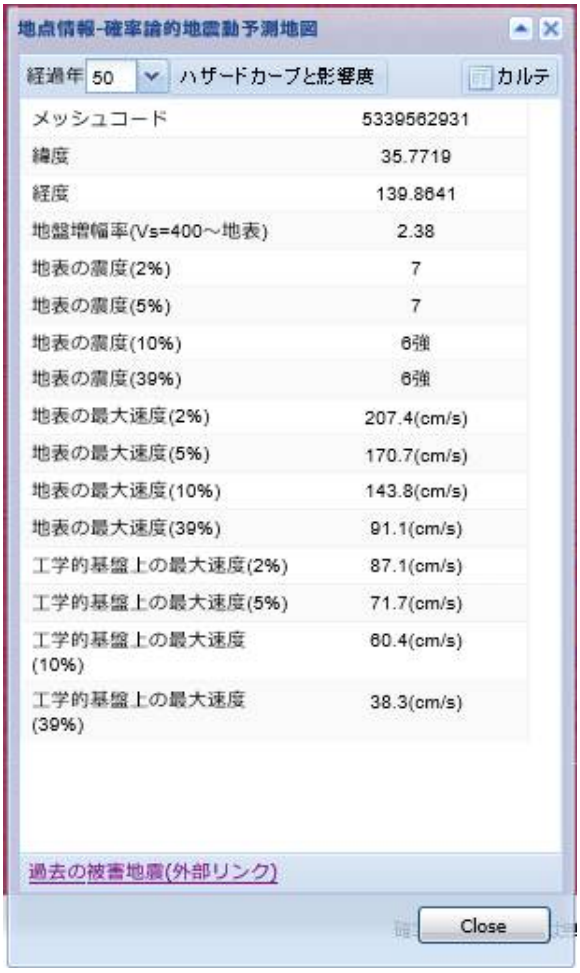


図-4.2.8　J-SHIS　による地点情報

※　理科大葛飾キャンパスの情報

出典：J-SHIS 地震ハザードステーション，http://www.j-shis.bosai.go.jp/

４．２．６　速度から加速度への変換式

国土交通省の地震被害想定支援マニュアル[4)]により、兵庫県南部地震(1995)、北海道南西沖地震(1993)、釧路沖地震(1993)、能登半島沖地震(1993)、三陸はるか沖地震(1994)の５つの地震の合計 128 の気象庁データを用いた下の図から震度と地表最大加速度は、それぞれ地表最大速度と相関関係になることがわかる。

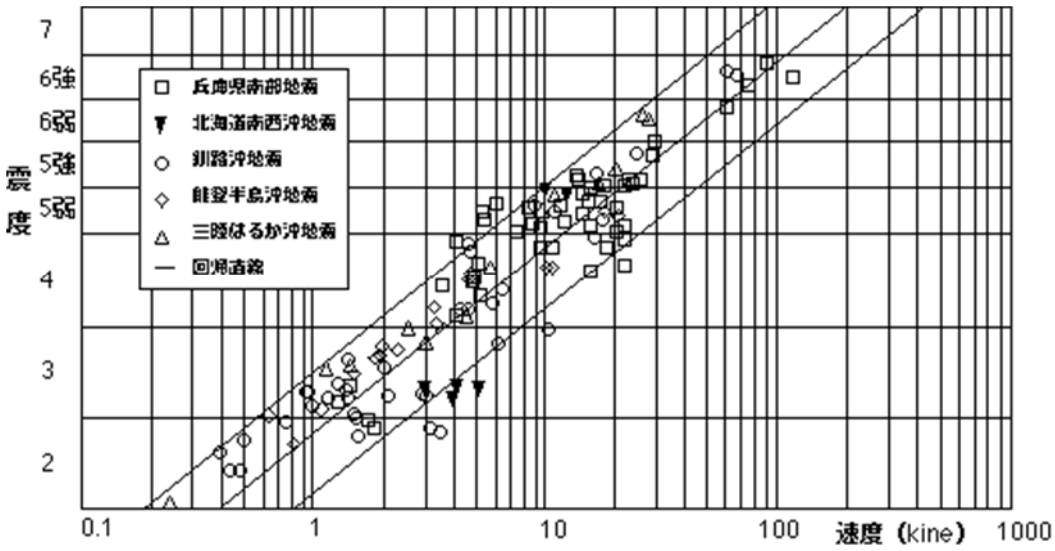


図-4.2.9　震度と地表最大速度の関係

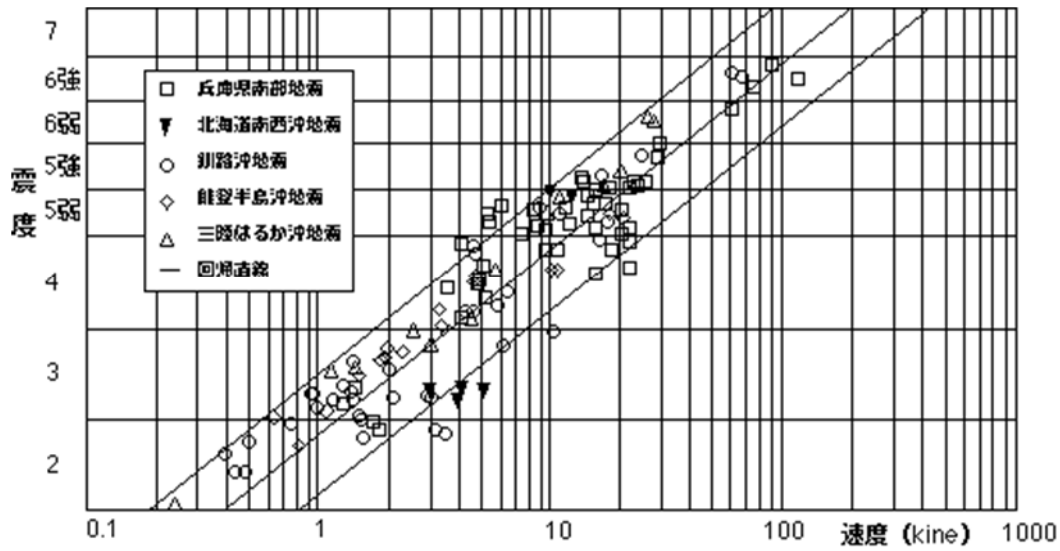


図-4.2.10　地表最大加速度と地表最大速度の関係

出典:国土交通省,地震被害想定支援マニュアル, https://web.archive.org/web/20130302041404/http:/www.bousai.go.jp/manual/index.htm

地点情報から得られた地表での最大速度を図-4.2.9, 4.2.10 から得られた以下の式を用いることで地表面最大速度を求めることができる。

$$\text{地表最大加速度[gal]} = 10^{0.908} \cdot V^{1.13} \quad \cdots\text{式①}$$

V：地表最大速度[kine]

４．２．７　日本での再現期間中に起こる地震の規模

2014 年 1 月 1 日時点での、日本各地点(東京、大阪、浜松、札幌、那覇、宮古、横浜)での 4.2.5 から求めた地表最大速度を 4.2.6 の式により最大加速度に変換し、それをグラフにプロットし、直線で結んだハザードカーブが図-4.2.11，4.2.12 である。ここで、横軸は地表最大加速度、図-4.2.11 の縦軸は 50 年超過確率を図-4.2.12 では 1 年超過確率をとっている。ハザードカーブから再現期間での地表面最大加速度(gal)を求めたものと各地点での地盤増幅率を表-4.2.1 にまとめた。ここで再現期間 475 年は 50 年超過確率 10%、975 年は 50 年超過確率 5%、2475 年は 50 年超過確率 2%であり、各地点の位置は東京、大阪、札幌はそれぞれ都庁、府庁、道庁で他は各市役所がある地点での数値である。

地表面最大加速度はその地点の地盤増幅率が大きく影響する。横浜と那覇を比べると同一の強さの地震動に両地点が見舞われたとき横浜は那覇の 2 倍近く揺れることがわかり、浜松の増幅率は大きな値ではないが加速度は大きいことから、浜松に影響を与える地震の強さが大きいといえる。

表-4.2.1　日本各都市の地震の加速度と地盤増幅率

	再現期間内で予想される最大加速度(gal)			地盤増幅率
	475年	975年	2475年	
東京	1289	1561	1932	1.49
大阪	930	1181	1618	1.36
宮古	1621	2008	2548	1.75
横浜	2166	2625	3240	2.19
浜松	2442	2821	3303	1.28
札幌	289	358	461	1.30
那覇	1086	1376	1743	1.12

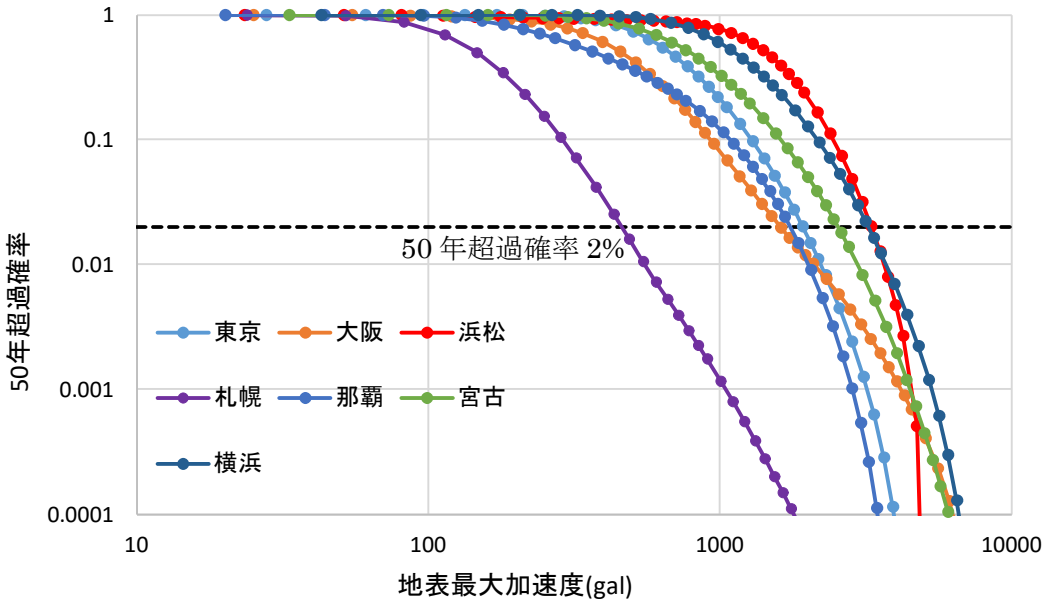


図-4. 2. 11　50 年超過確率による地震ハザードカーブ

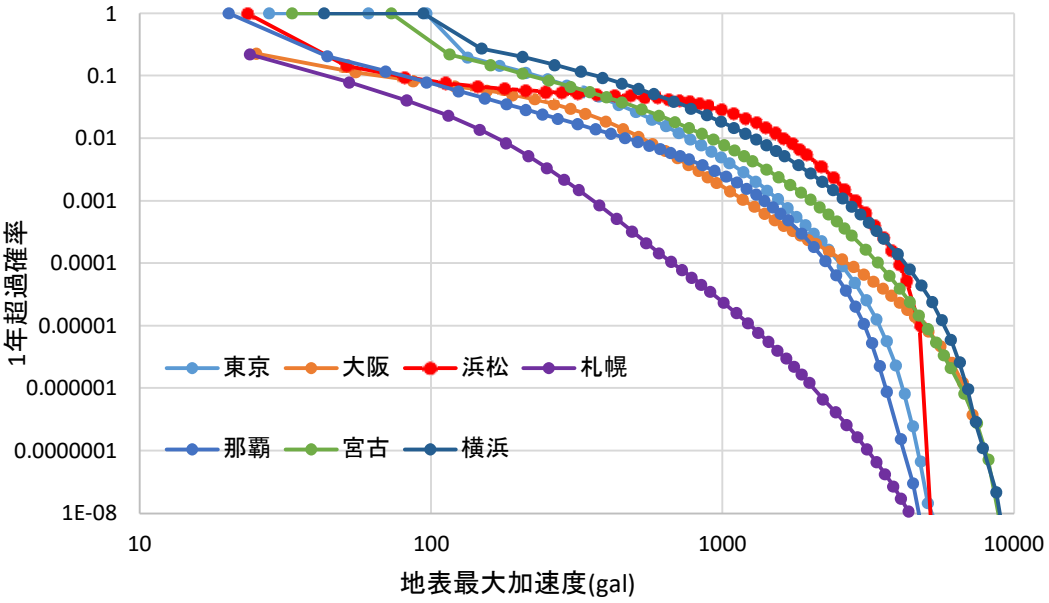


図-4. 2. 12　1 年超過確率による地震ハザードカーブ

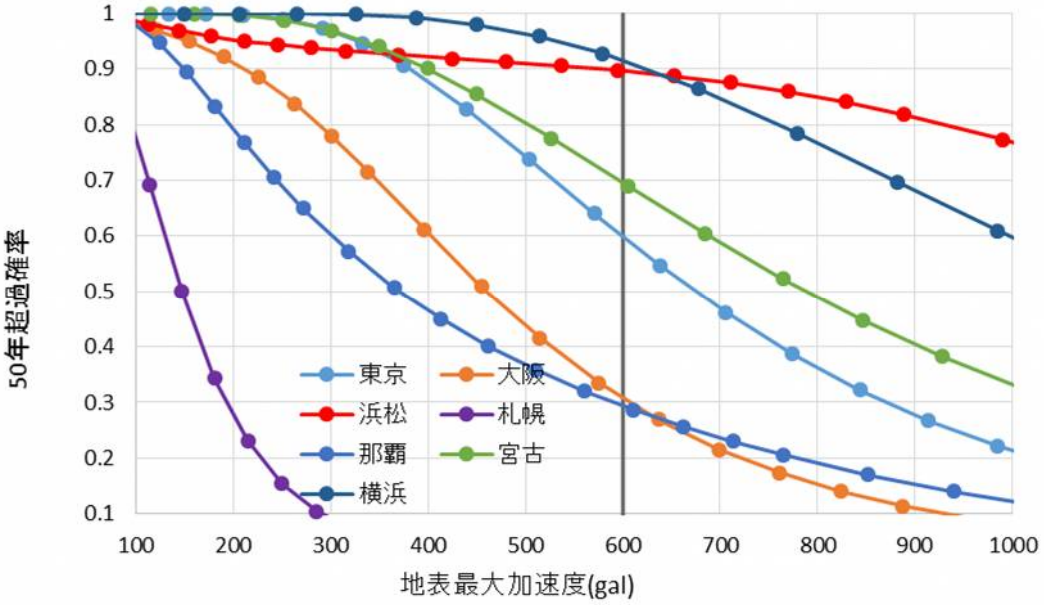


図-4.2.13　600gal での各都市の 50 年超過確率

図-4.2.11 を見ると今後 50 年間で札幌以外の都市で 100gal 以上(震度 5 強程度)の地震がほぼ 100%、1000gal 以上(震度 7 以上)の地震が 10%以上の確率で起こることが予想されている。また図-4.2.12 を見ると横浜と東京では 1 年に 1 回は 100gal 以上の地震が起こると予想されている。また、建築基準法の耐震基準でいうところの「大規模地震」とは震度 6 強以上のことであり、表-4.2.2 によると加速度は 600gal 程度ということになる。表-4.2.1 を見ると札幌以外の都市で 600gal 以上の強さの地震動が再現期間内に起こることが予想されていることがわかる。そして、図-4.2.11 を 600gal に焦点を当てて線形軸で表したものが図-4.2.13 である。これを見ると東京や浜松では約 90%以上の確率で 50 年間の内に極めて稀な地震動が発生するといえる。

また、J-SHIS が公開しているハザードマップでは加速度の分布図ではなく震度の分布であるため、気象庁による「震度の算出方法」から、震度を加速度(表-4.2.2)に置き換えた 50 年超過確率 10%(再現期間 475 年)のハザードマップを図-4.2.14 に示した。

表-4.2.2　震度に対応する加速度表

震度0	0～0.6gal
震度1	0.6～2gal
震度2	2～6gal
震度3	6～20gal
震度4	20～60gal
震度5弱	60～110gal
震度5強	110～200gal
震度6弱	200～350gal
震度6強	350～600gal
震度7	600gal以上

＊気象庁の「震度の算出方法」により作成

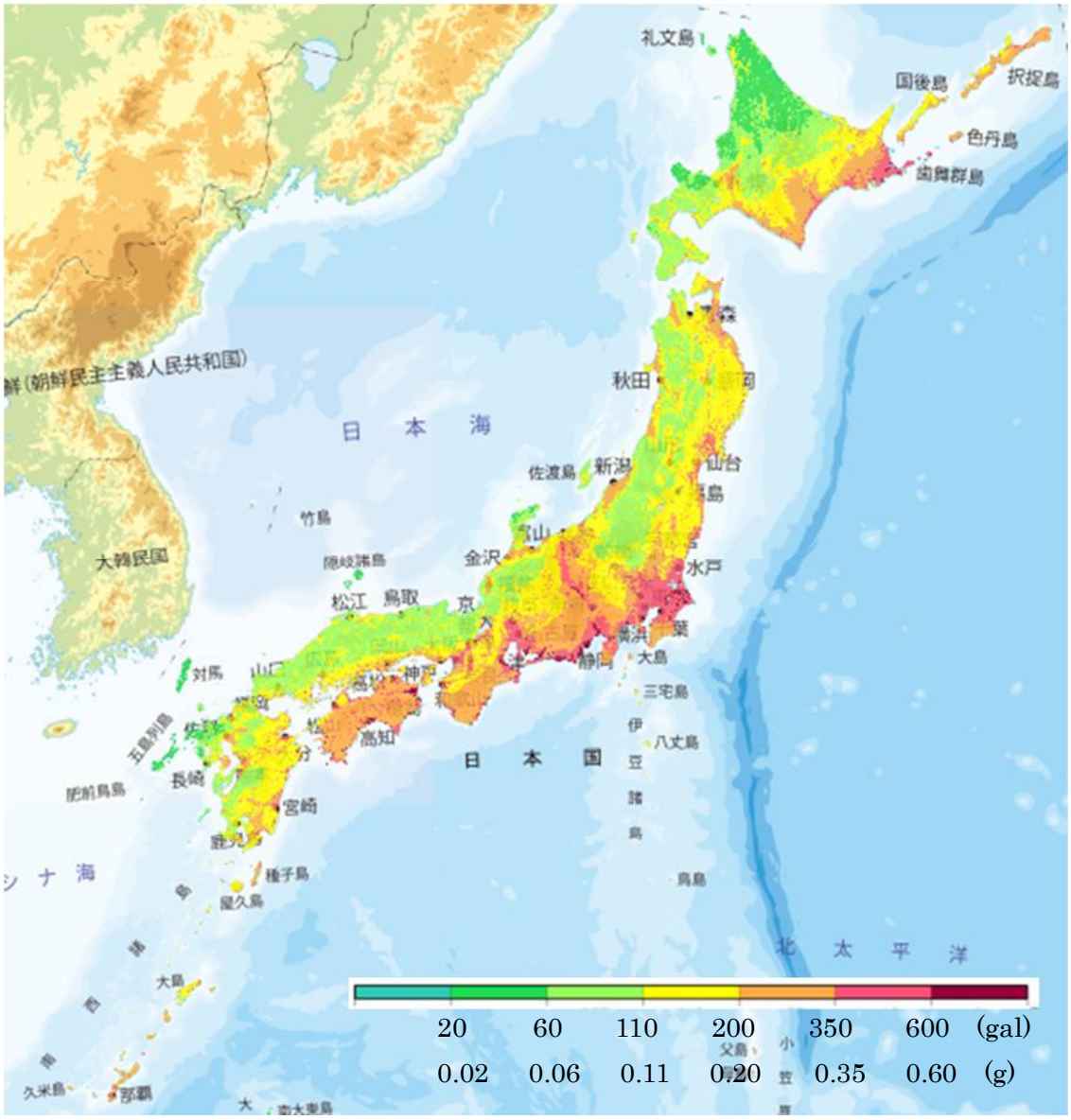


図-4.2.14　計測震度を加速度に置き換えた場合の 50 年超過確率 10%でのハザードマップ

出典：J-SHIS 地震ハザードステーション，http://www.j-shis.bosai.go.jp/

４．３　アメリカ地質調査所　(アメリカ)

４．３．１　アメリカ地質調査所(USGS)[6)]

過去数十年の間に、アメリカ地質調査所(USGS：The U.S. Geological Survey)では、自然(地盤変動)地震による地震ハザードを評価するために、全国地震動予測モデル(NSHM：National Seismic Hazard Model) を提供してきました。NSHM は地震の軽減方法、リスク評価、保険料率の構造、および家屋、橋、高速道路、鉄道、その他の構造物の耐震設計に適用される地震ハザードモデルであり、米国全体の経済性と安全性の決定に影響を与えている。そして、最後の更新以降に入手した要因、入力方式、およびデータを考慮して 6 年ごとに更新しており、最新のモデルは 2014 年に更新された。USGS ではこのモデルから得られた (図-4.3.1, 4.3.2)のような確率論的地震ハザードマップと地震動の強さに対して 50 年間の超過確率を示したハザードカーブを公開している。また地震の発生確率を求める際にポアソン過程を用いている。

４．３．２　アメリカ地質調査所によるハザードカーブ

アメリカ地質調査所(USGS)が提供しているハザードマップは、50 年間に 10%の超過確率(年超過確率 0.21%) (図-4.3.1)、5%の超過確率(年超過確率 0.103%)そして 2%の超過確率(年超過確率 0.404%)(図-4.3.2)の３種類である。そしてアメリカ本土の各地点での地震ハザードカーブも公開しており、そこからロサンゼルス、ニューヨーク、ケネット及びその周辺、オースチンを選びそれぞれの地点のハザードカーブから再現期間での最大加速度をもとめ、それを表-4.3.1 にまとめた。ここでロサンゼルスは西海岸に位置し地震が多く、ケネットはミズ―リ州にある都市であり、その東には地震ハザードの高い地点がある。テキサス州のオースチンは地震ハザードの低い都市として選んだ。

また USGS[5)]では、ハザードカーブについて“Please do not use this application to obtain ground motion parameter values for use with the design code reference documents covered by the U.S. Seismic Design Maps web application.”と記載されており、設計基準の参考に使用しないようにしている。

表-4.3.1　アメリカ各都市の地震の規模

	再現期間内で予想される最大加速度(gal)		
	475年	975年	2475年
ロサンゼルス	475	633	888
ニューヨーク	38	77	167
ケネット	281	641	1124
ケネット周辺	416	1315	2024
オースチン	10	17	29

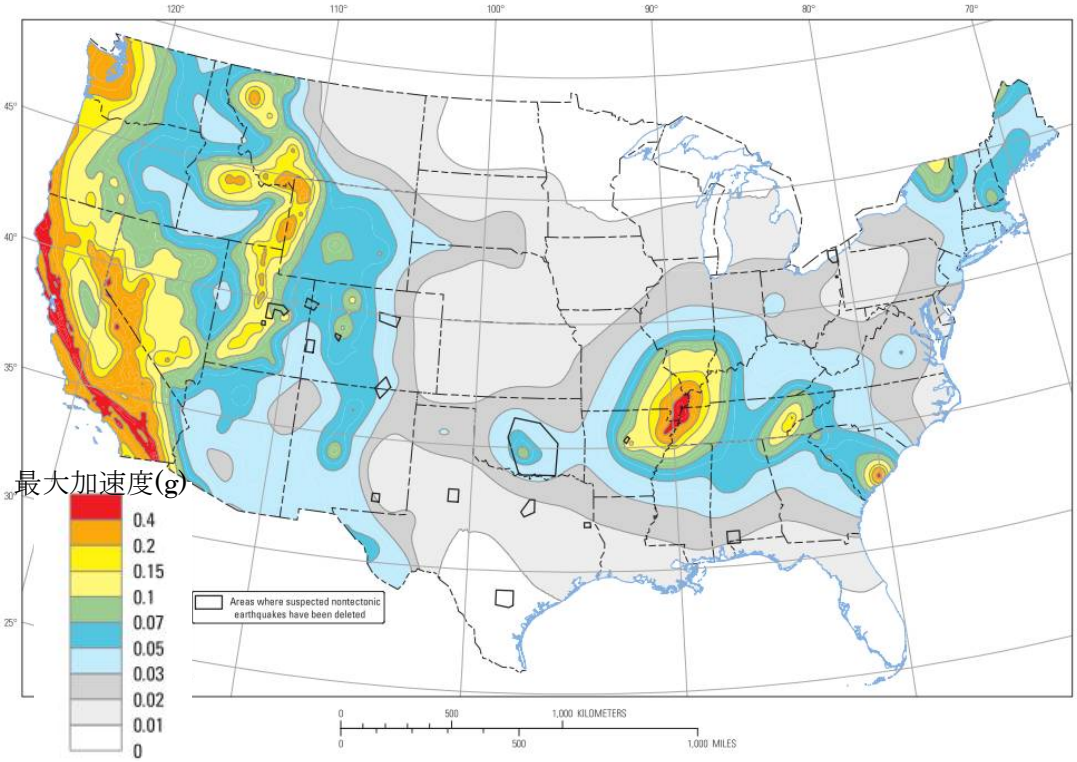


図-4.3.1　50 年超過確率 10%のハザードマップ

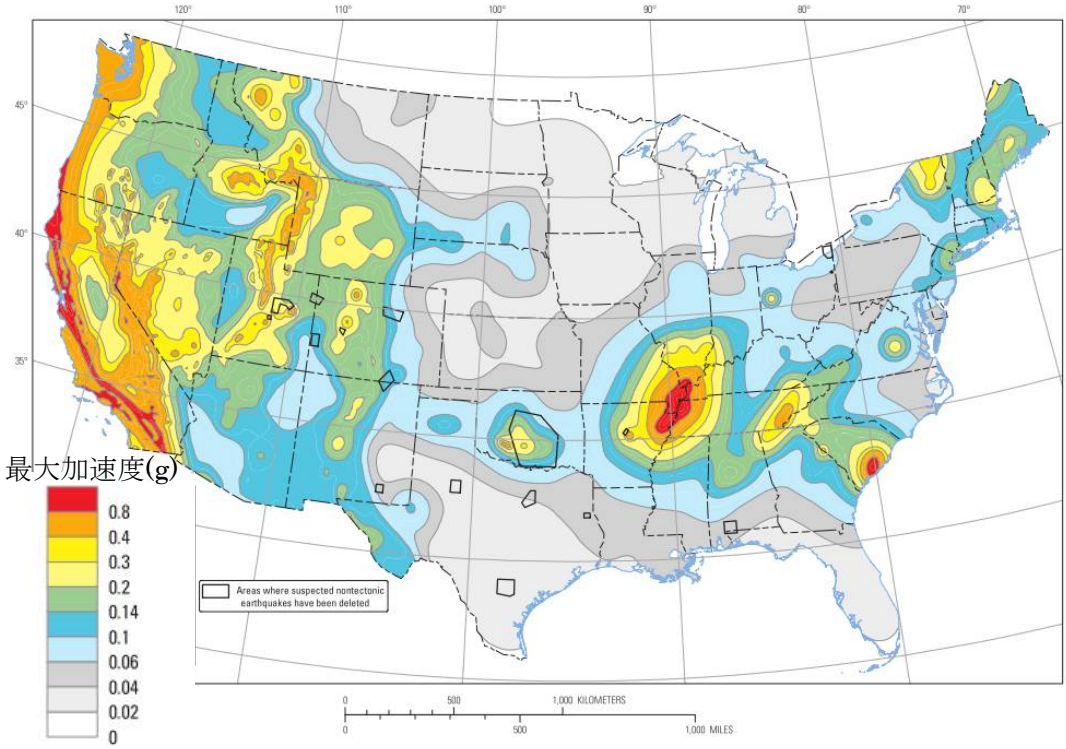


図-4.3.2　50 年超過確率 2%のハザードマップ

出典：U.S. Geological Survey, http://www.usgs.gov/

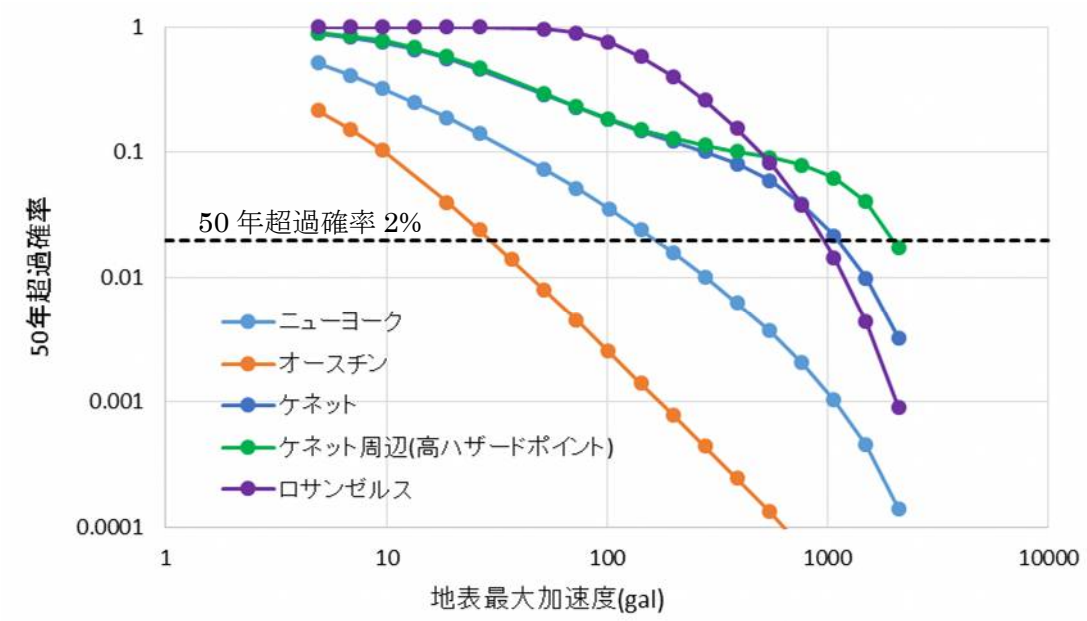


図-4.3.4　50 年超過確率による地震ハザードカーブ

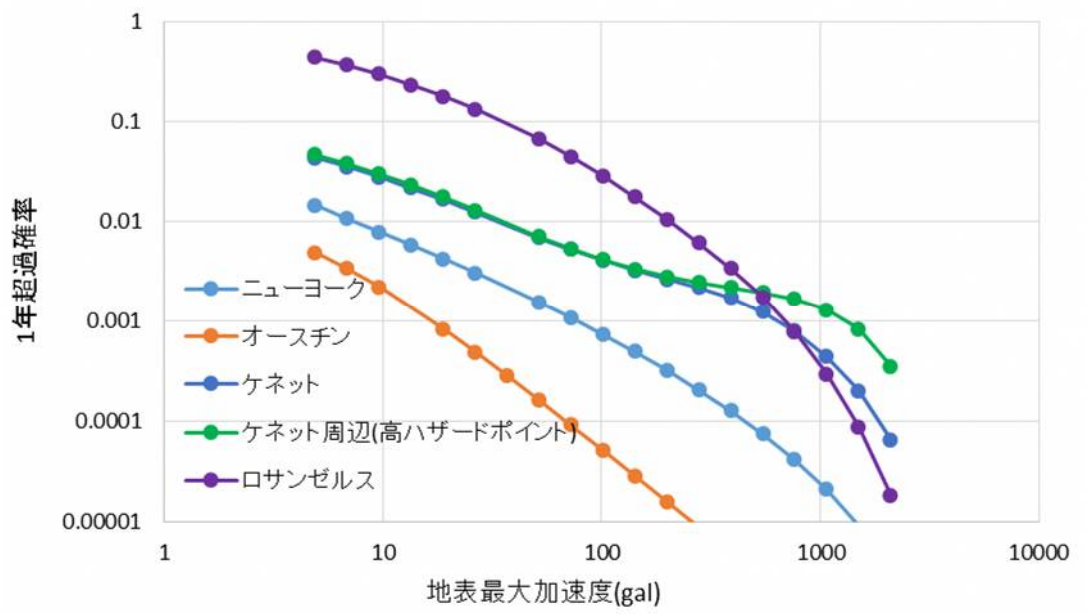


図-4.3.5　1 年超過確率による地震ハザードカーブ

表-4.3.6　アメリカの州別地震

州名	全体	M6以上	M7以上	M8以上
アラバマ	1			
アラスカ	76	64	48	13
アーカンソー	2	2	2	2
カリフォルニア	99	50	17	1
ハワイ	14	9	3	
アイダホ	2	2	1	
ケンタッキー	2			
マサチューセッツ	2	1	1	
ミズーリ	3	2	2	2
モンタナ	5	3	1	
ネバダ	8	6	3	
ニューヨーク	8			
オレゴン	3	3	1	1
ペンシルベニア	3			
サウスカロライナ	1	1	1	
ユタ	3			
ワシントン	6	3	1	
ワイオミング	2			
計	240	146	81	19

ロサンゼルスが地震の発生確率が高いことがわかる。ケネット周辺は図を見ると規模の小さい地震の発生確率はそれほど高くはないが 1000gal を超える大きな規模の地震の発生確率は他の地点と比べて高いものとなった。

そしてアメリカで起こった M6 以上の地震を NOAA のサイトより州別にまとめたものが表-4.3.6 である。これを見るとアラスカとカリフォルニアでアメリカの地震の大部分が起こっていることがわかる。そして地震ハザードが高いミズーリやアーカンソーでは地震の頻度は小さいが、起こった場合は M8 以上の大きな地震であるといえる。このため、ケネット周辺では規模が小さい地震の発生確率は低いが規模が大きな地震の発生確率は他と比べ高くなっている。

４．４　SHARE (欧州)

４．４．１　SHARE(Seismic Hazard Harmonization in Europe)[8)]

SHARE(Seismic Hazard Harmonization in Europe)[7)] は、2009 年から 2013 年に行われた EU-FP7 プロジェクトであり、その主な目的は、国境によって制約されることなく等質的に集められたデータに基づき、関連するすべての分野を完全に統合した欧州とトルコのための基準ハザードモデルを構築することである。このプロジェクトでは欧州の 12 カ国に属する 18 研究機関から一流の科学者が集い、地震学者、地質学者、測量士、歴史家、地震のエンジニア、コンピュータ科学者、統計学者といった 50 人以上の研究者から形成された。その結果、国境の垣根を越えて欧州とトルコの一貫性のある地震ハザードモデルである The 2013 European Seismic Hazard Model (ESHM13)が作成される。これに加えて、SHARE はこれらの関連するデータを提供することで現在のバージョンのヨーロッパの建築基準の耐震規定（Eurocode 8）の更新の計画を目指したものである。

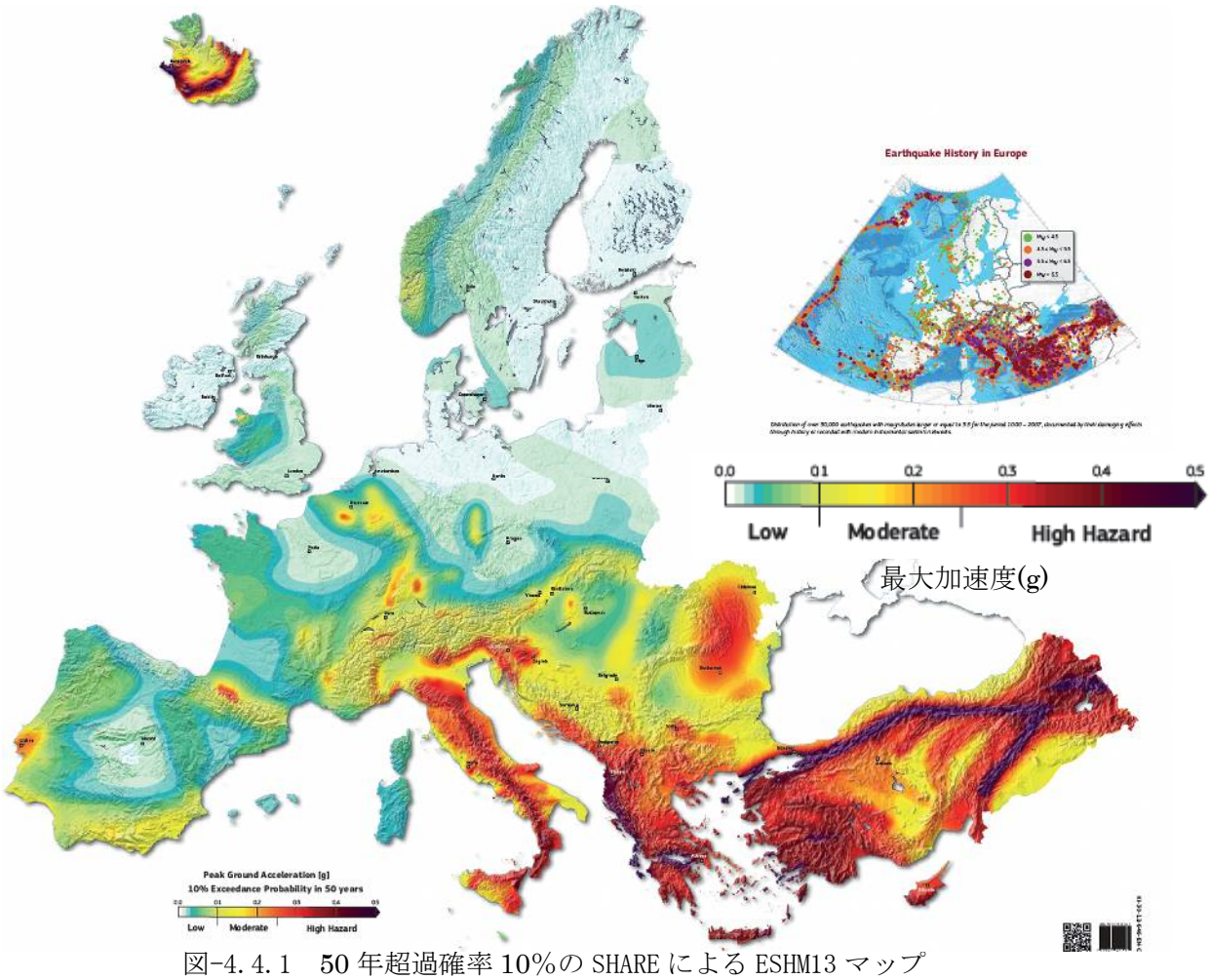


図-4.4.1　50 年超過確率 10%の SHARE による ESHM13 マップ

出典：SHARE , The 2013 European Seismic Hazard Model, 2015

４．４．２　ESHM13[8)]

ESHM13 は時間に依存しないハザードモデルである。ポアソン過程に基づき地震が一定の平均的な頻度で起こると仮定した下で構築されたモデルであり、互いに独立した現象としている。つまり、J-SHIS と違い、いつどこで他の地震が発生したかは、考慮しないことを前提としている。

４．４．３　SHARE プロジェクト

SHARE プロジェクトにおいて重要な課題は、ユーロ地中海地域全体の地震ハザードを評価するのに適した調和の取れた地震データを集めることであった。そこで、SHARE では 1000 年から 1899 年のデータについては、歴史地震のデータと西暦 1000 年から 1899 年の選択した地域でのすべての地震のパラメータを再評価した歴史地震記録の公文書（AHEAD：Archive of Historical Earthquake Data)から収集した情報をまとめ、1900 年から 2006 年のデータについては、既存の国内の地震カタログと数多くの特別研究に記載されているデータを調和させたものとの 2 つから構成されたヨーロッパの地震カタログ(SHEEC：SHARE European Earthquake Catalogue)をまとめた。そして、より均質なハザード分析を行うために中央および東トルコをカバーするために範囲の拡張がされた。結果、対象期間西暦 1000 年から 2006 年のマグニチュードの範囲が 1.7≦MW≦8.5 の約 3 万個を超える地震のカタログリスト(図-4.4.2)が作成された。また、震源断層の欧州データベース(EDSF：European Database of Seismogenic Faults)(図-4.4.3)が豊富な科学的に入手できる地質や地殻変動、古地震の知識を活用するという点でプロジェクトの要件を満たすように作成された。このデータベースは、MW≧5.5 の地震を発生させる可能性がある断層が含まれており、欧州地中海地域における確率に基づく地盤振動のハザード評価で使用するための均質なデータである。選択された最小の大きさの値は、約 5 キロサイズの断層に対応し、地質調査を通して地震断層を識別するための解像限界である。そして、沈み込み帯(プレート境界)については、SUBD というパラメータ化のために沈み込むスラブを簡略化された 3D モデルを採用している。それぞれの沈み込み帯は、地理的な属性に加えて、幾何学的パラメータ（地震界面の深さの最小及び最大値とスラブの沈み込み方向）と動作パラメータ（収束方位、収束速度、及び地震の最大マグニチュード）によって特徴づけられている。

USGS と同じようにポアソン過程を用いており、J-SHIS と比べその点で信頼性が低いといえる。また、USGS と違い耐震規定の更新を目的としている。

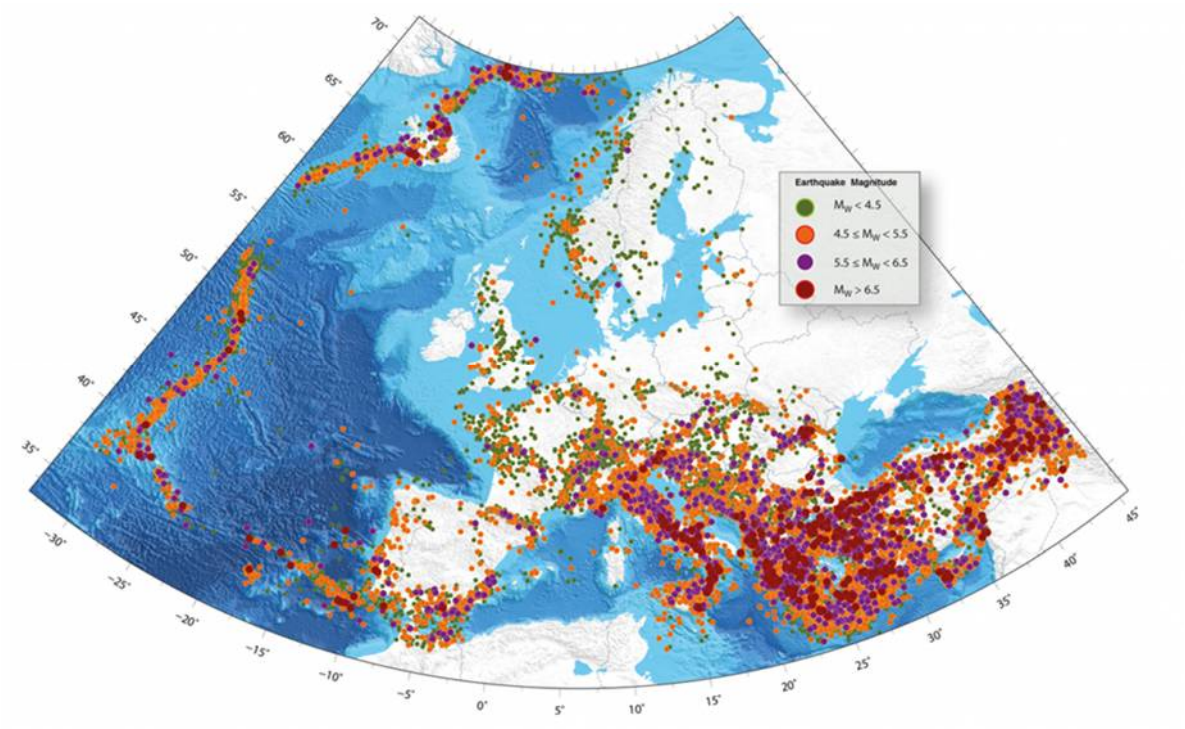


図-4.4.2　1000～2006 年に起こったヨーロッパとトルコの地震カタログ(1.7≦MW≦8.5)

出典：SHARE , The 2013 European Seismic Hazard Model, 2015

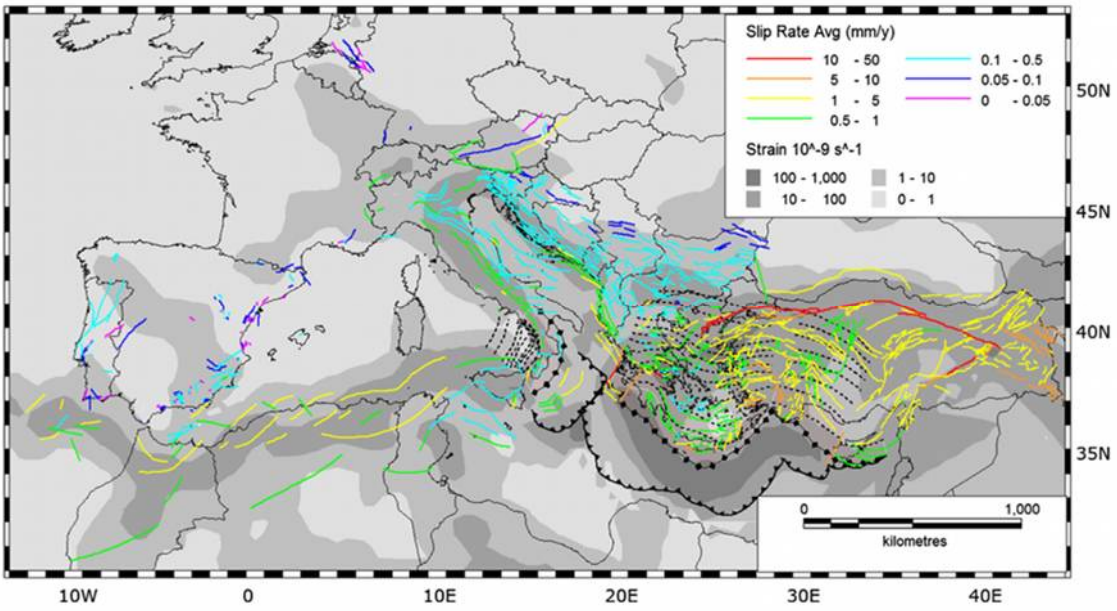


図-4.4.3　震源断層の欧州データベースによる震源断層と沈み込み帯

出典：SHARE , The 2013 European Seismic Hazard Model, 2015

４．４．４　SHARE によるハザードカーブ

SHARE が公開しているヨーロッパの地震ハザードマップ(図-4.4.1)とロードス、ラクイラ、リスボン、ケルンの都市のハザードカーブから 4 都市の最大加速度を求め、それをまとめたものを表-4.3.1 に、得られた値をプロットし直線で結んだものを図-4.4.4, 4.4.5 にまとめた。ここで各都市は、歴史的に過去大地震が起こった記録があるギリシャのロードス、非常に活発な正断層の中心に位置し 2009 年にマグニチュード 6.3 の地震が起きたイタリアのラクイラ、ポルトガル首都で大西洋岸に位置し、1755 年 11 月 1 日に起こった欧州で最大の地震(M8.5±0.3)で大きな被害を受けたリスボン、そしてケルンはよく確認されている活発な正断層に位置している。

表-4.4.1　欧州各都市の地震の規模

	再現期間内で予想される最大加速度(gal)		
	475年	975年	2475年
ラクイラ	294	410	589
ロードス島	392	530	834
リスボン	226	340	491
ケルン	98	140	245

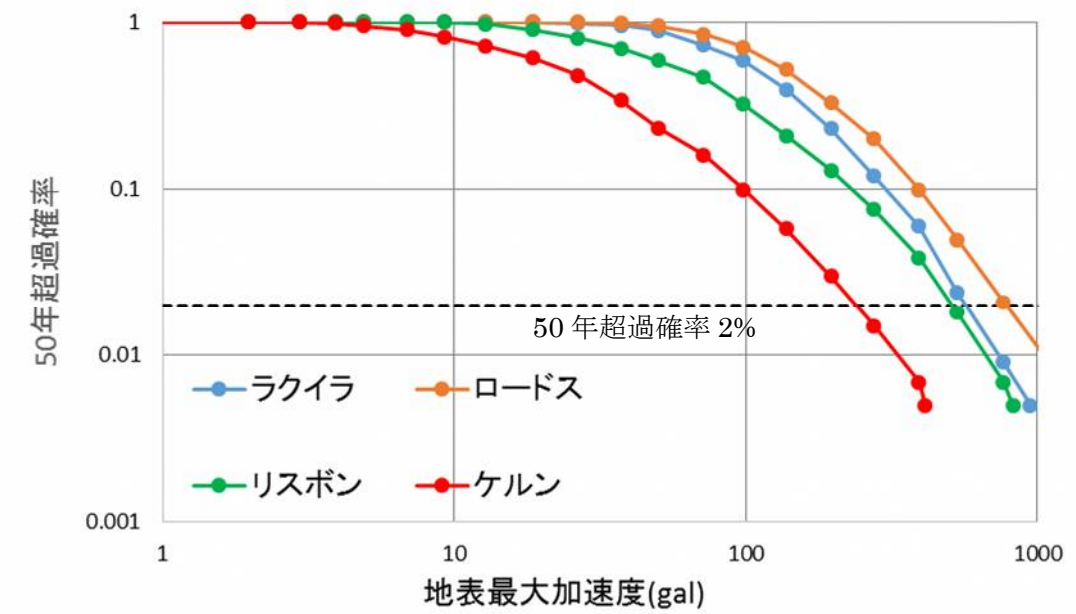


図-4.4.4　50 年超過確率による地震ハザードカーブ [8)]

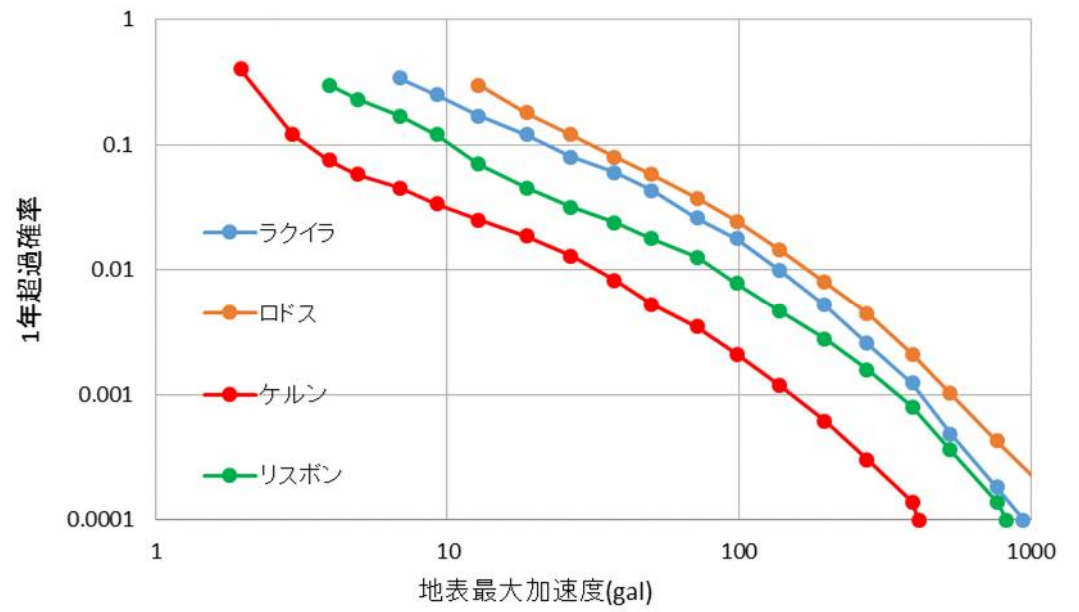


図-4.4.5　1 年超過確率による地震ハザードカーブ [8)]

SHARE のハザードマップによる欧州各都市の加速度は他 2 つと比べ小さな値となっている。また、図- 4.4.5, 4.4.5 のハザードカーブは「The 2013 European Seismic Hazard Model」(文献 8)に記載されている 50 年超過確率の範囲が少ないため、J-SHIS, USGS のハザードカーブと比べ発生確率や地震動強さが狭い範囲のものとなっている。

４．５　まとめ

ただでさえ確率論的地震動予測は不確実性が含まれており困難なはずであるのに、日本の J-SHIS 以外のハザードマップではすべての地震に対してポアソン過程で確率を求めており、過去の事象を無視しているため現時点での発生確率とはずれが生じているはずであり信頼性が欠けるものといえる。しかし、J-SHIS のハザードマップであっても最新の活動時期がわからない地震に対してはポアソン過程を用いている。

また同一の再現期間で比較すると、日本のある地点での最大加速度は他と比べ大変大きな値となるものがあった。表-3.4.1 のように、アメリカが目標とする耐震性能と同じ 2475 年という長い再現期間を基準とすると設計荷重がとても大きくなってしまうのであやふやな表記にせざるを得なかったのかもしれない。ただ J-SHIS 以外はすべての地震にポアソン過程を使用しており、つまり 3 つのハザードマップのうち、J-SHIS のものが最も信頼性が良いものであるといえる。

参考文献

1) 防災科学技術研究所、「全国地震動予測地図」作成手法の検討、2009

2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会、全国地震予測地図、2010

3) J-SHIS 地震ハザードステーション, http://www.j-shis.bosai.go.jp/,12 月 3 日取得

4) 地震被害想定支援マニュアル,https://web.archive.org/web/20130302041404/http:/www.bousai.go.jp/manual/index.htm,1 月 19 日取得

5) U.S. Geological Survey ,http://www.usgs.gov/,10 月 10 日取得

6) Mark D. Petersen et al., Incorporating Induced Seismicity in the 2014 United States National Seismic Hazard Model—Results of 2014 Workshop and Sensitivity Studies,2015

7) Seismic Hazard Harmonization in Europe ,http://www.share-eu.org/node/12 月 3 日取得

8) Jochen Woessner et al., The 2013 European Seismic Hazard Model: key components

第5章 総括

アメリカ、中国と比べると、日本の建築基準法だけは具体的な年数表記がされておらず再現期間があやふやである。過去の記録からマグニチュードでは日本の規模とあまり変わらないが予想される加速度では日本と世界で大きな差が生まれた。欧州では日本やアメリカと比べると再現期間の475年と2475年の加速度の差がないように思われEC8のように475年を基準とするのも妥当ではないかと思われる。また日本は再現期間によって値が大きく変わり、アメリカのように2475年という長い再現期間を基準とすると設計荷重がとても大きくなってしまうので数値を示さなかったのかもしれない。しかし、現時点での建築基準法の耐震基準では 600gal 程度の地震動に対して倒壊・崩壊しないことを目標としており、これは J-SHIS のハザードカーブによるとほとんどの都市で 50 年間に 30%以上の確率で発生すると予測されている。地震動予測は高い信頼性を持って予測するのは困難であり、不確実性が含まれるが、再現期間 475 年においても予測された値はほとんどの都市で 600gal を大きく超えており、筆者は耐震基準を見直すべきではないかと推測される。

またケネット周辺のように弱い地震は起こりづらいが強い地震は他と比べ起こりやすいといった地域や大阪のように 50 年超過確率 2%を過ぎる大きな地震が他と比べ起こりやすい地点があるため再現期間で基準を統一することは難しい。

今後の課題として確率論的に予想された地震動強さと各国の基準値との比較や確率論的に予測された発生確率や強さがどれほど実際の値に近いのかといった検証や各国の地震に対する心理量を量り各国の国民がどの程度の地震に対してまで考慮した基準を求めているのかを比較するといったことがあげられる。

謝辞

本論文の作成するにあたり、厳しくも的確なアドバイスをしていただきました、辻本誠教授、西田幸夫先生には大学 4 年次から大変ご助力いただいたこと深く感謝いたします。辻本教授には、私が論文の進め方に行き詰った際に何をすべきか、どう進めるべきかということを助言いただいたおかげで仕上げることができました。西田先生には何度も文献などの資料を提供していただき、大変参考になりました。

そして数々の助言やサポートをして頂いた、辻本研究室の皆様に心から感謝します。

付録

世界の原発と震源地

1800 年以降に世界でマグニチュード 7.5 以上の地震が起こった場所 809 箇所と 2015 年 5 月時点で操業中、運転停止中及び建設中の 1000MW を超える原子力発電所の場所を示したものが図-5.2.1 になる。M8 以上の地震は日本で 19 回起こっており、およそ世界で起こるマグニチュード 8 以上の地震の内 10 分の 1 が日本で起こっている。これを見ると世界の原発は大規模な地震が起こる場所ときれいに分かれて位置している。地震発生場所と重なっているのは日本と台湾そしてアメリカの一部ぐらいである。このことから日本に建設した事自体に疑問が生じる。アメリカなど他国は震源となった地点から離れて建設しているが、日本には離れられる場所がない。このような場所に建設してしまったのだから他国と比べはるかに上の設計基準を設けるべきである。

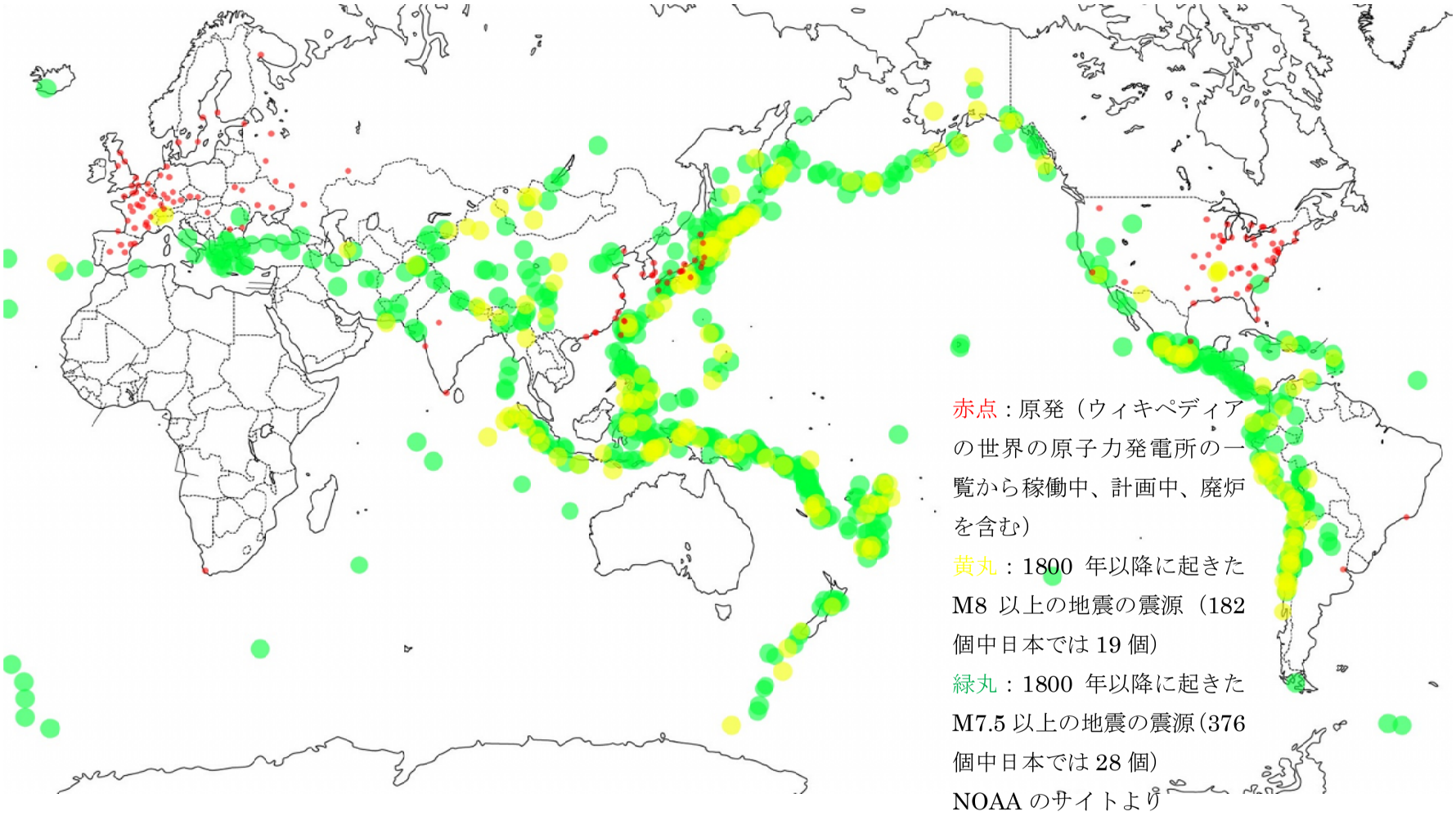


図-5.2.1　世界の原発と震源地

A REVIEW OF THE SEISMIC HAZARD ZONATION IN NATIONAL BUILDING CODES IN THE CONTEXT OF EUROCODE 8(2008)[1]より欧州各国の安全基準とハザードマップを以下に示す。

ポルトガル

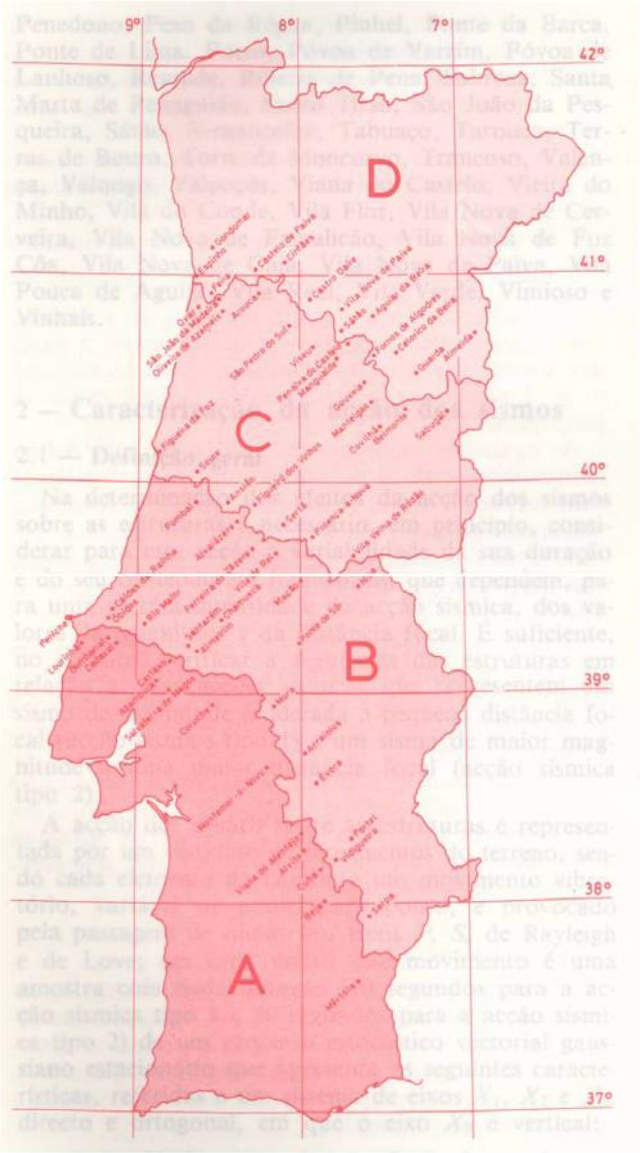


図　ポルトガルのハザードマップ

以下のことから地震規定を予測する。

・地盤の形状により４つのゾーンに分けられる。

・地震動の係数αの設定する。

・２つの地震のタイプを考慮する（タイプ１（近い距離で中規模な大きさの地震）、タイプ２（長い距離でより大きなマグニチュードの地震））。

・ゾーンB、C及びDの最大加速度の値は、対応する係数αの値をゾーンAの値を乗じて算出されている。

表　各ゾーンの地震動係数

地震ゾーン	α
A	1.0
B	0.7
C	0.5
D	0.3

表　各ゾーンの地表面最大加速度

地震ゾーン	タイプ1	タイプ2
A	0.48g	0.26g
B	0.34g	0.18g
C	0.24g	0.13g
D	0.14g	0.08g

出典:Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edificios e Pontes, Decreto-Lei N.o235/83, de 31 de Maio.

スペイン

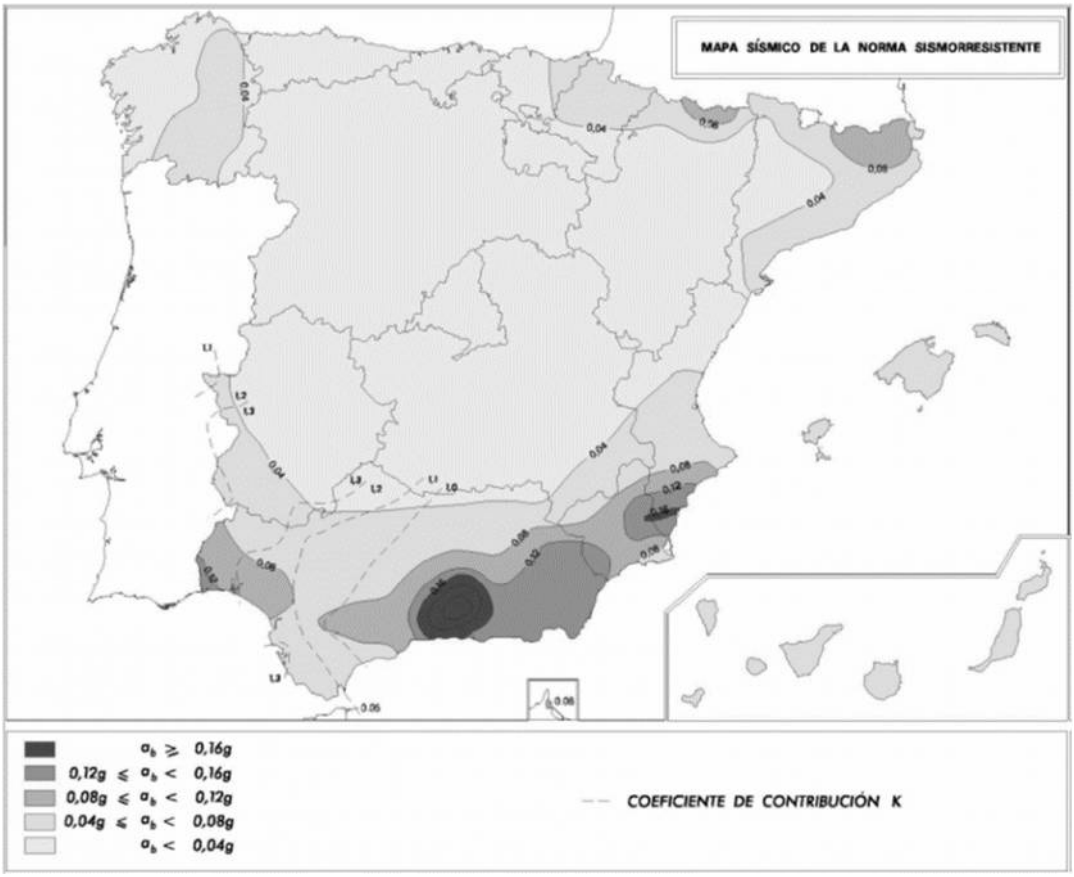


図　スペインのハザードマップ

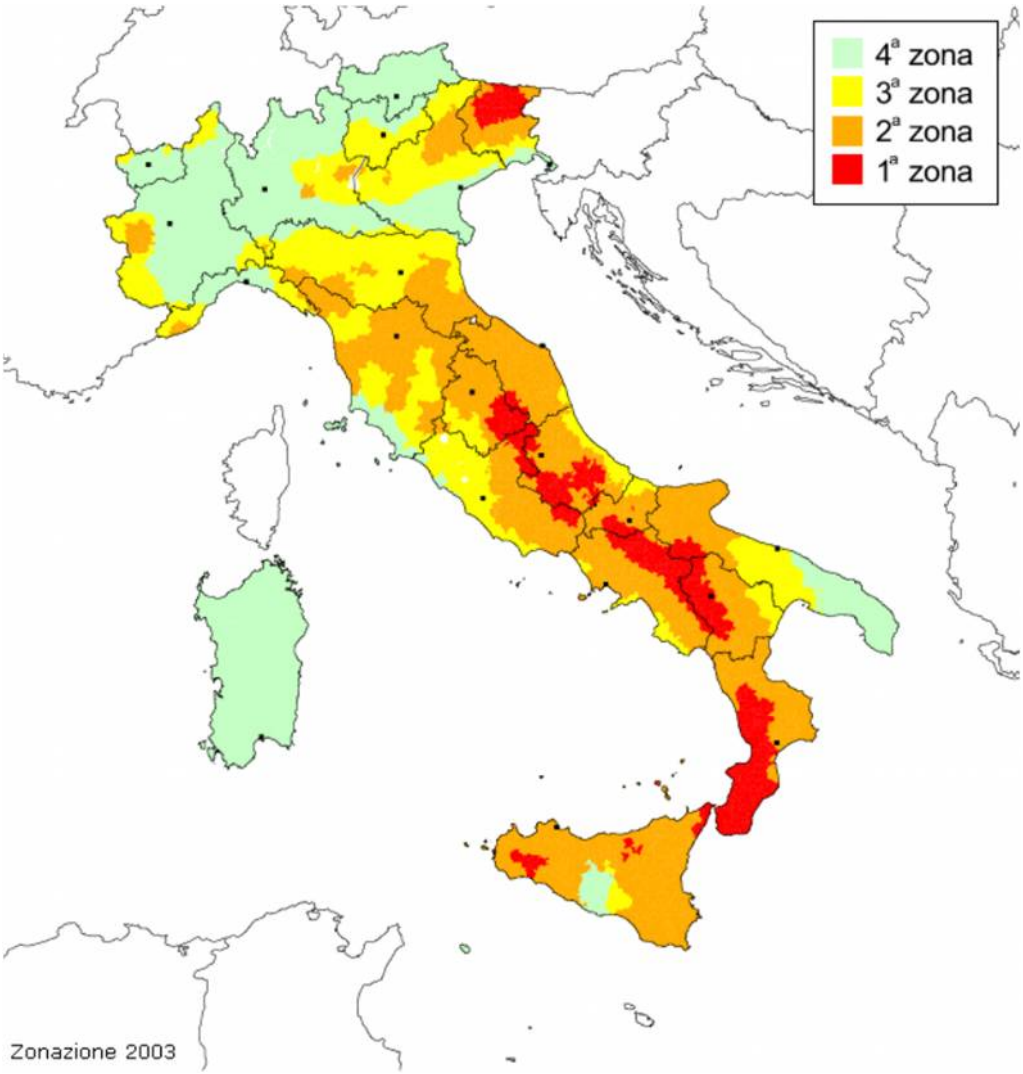
地盤の形状により 5 つのゾーンに分けられる。上記のマップに対応する 50 年超過確率 10%(再現期間 500 年)での最大加速度 ab を以下に示す。

表－　各ゾーンの地表面最大加速度

地震ゾーン	地表面最大加速度
1	0.16g ≤ ab
2	0.12g ≤ ab <0.16g
3	0.08g ≤ ab <0.12g
4	0.04g ≤ ab <0.08g
5	ab <0.04g

出典:- MINISTERIO DE FOMENTO, 19687 REAL DECRETO 997/2002, de 27 de septiembre, porel que se aprueba la norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación(NCSR-02). ANEXO: NORMA DE CONSTRUCCIÓN SISMORESISTENTE NCSE-02 PARTE
GENERAL Y EDIFICACIÓN

イタリア



4 つの地震ゾーンのそれぞれの 50 年超過確率 10%(再現期間 500 年)での地表面最大加速度と基準を以下に示す。

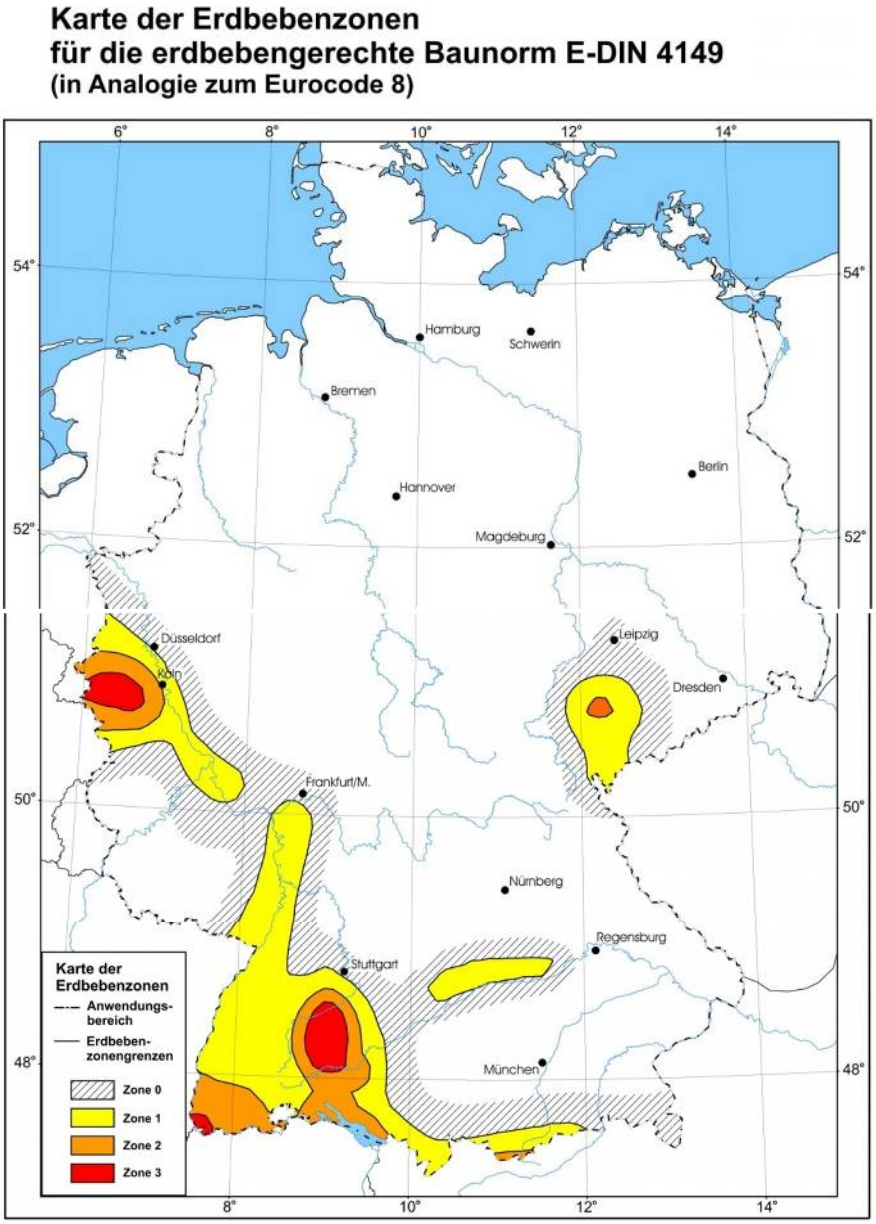
表－　50 年超過確率 10%での地表面最大加速度と基準値

地震ゾーン	地表面最大加速度	基準
1	＞ 0.25g	0.35g
2	0.15g － 0.25g	0.25g
3	0.05g － 0.15g	0.15g
4	＜ 0.05g	0.05g

出典:- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana n.105 dell'8 maggio 2003,《Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecnicheper le costruzioni in zona sismica》.

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316 del 2 ottobre 2003, Gazzetta Ufficiale della Rebubblica Italiana, n.236 del 10-10-2003,《Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003, recante《Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica》.

ドイツ



図－　ドイツのハザードマップ

4 つの地震ゾーンのそれぞれの 50 年超過確率 10%(再現期間 500 年)での水平地表面最大加速度を以下に示す。

表- 各ゾーンの最大加速度

地震ゾーン	加速度(m/s^2)
0	0.25 (0.025g)
1	0.40 (0.041g)
2	0.65 (0.066g)
3	1.00 (0.102g)

出典:- DIN 4149 “Bauten in deutschen Erdbebengebieten”, 2002.

- GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ), http://seismohazard.gfz-potsdam.de.

ギリシャ

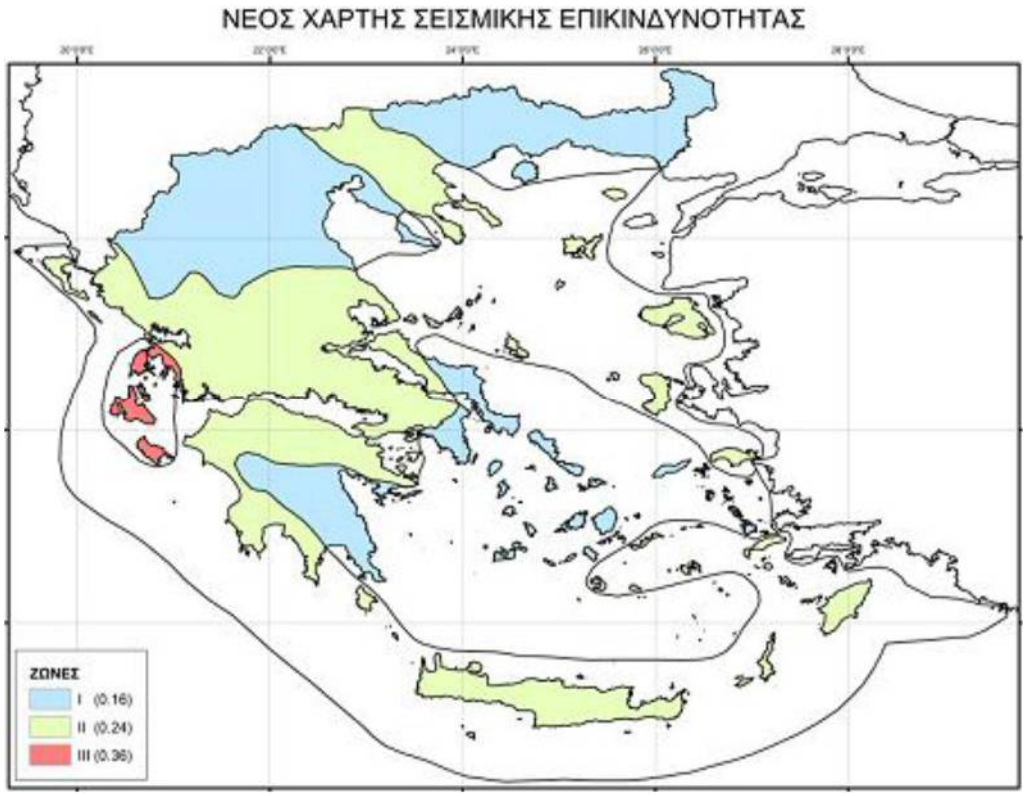


図- ギリシャのハザードマップ

ギリシャの耐震建築基準「EAK-2000」は、2003 年に改訂され新たな地震ハザードマップを組み込んだ。3 つの地震ゾーンに分けられ、各ゾーンの 50 年超過確率 10%、すなわち再現期間 475 年の地表面最大加速度を以下に示す。

表- 各ゾーンの地表面最大加速度

地震ゾーン	地表面最大加速度
I	0.16g
II	0.24g
III	0.36g

出典：- Τροποποίηση διατάξεων του «Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ-2000» λόγω αναθεώρησης του Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας (Φ.Ε.Κ. Β΄ 1154/12-8-2003, Απόφαση Αριθ. Δ17α/115/9/ΦΝ275).

トルコ

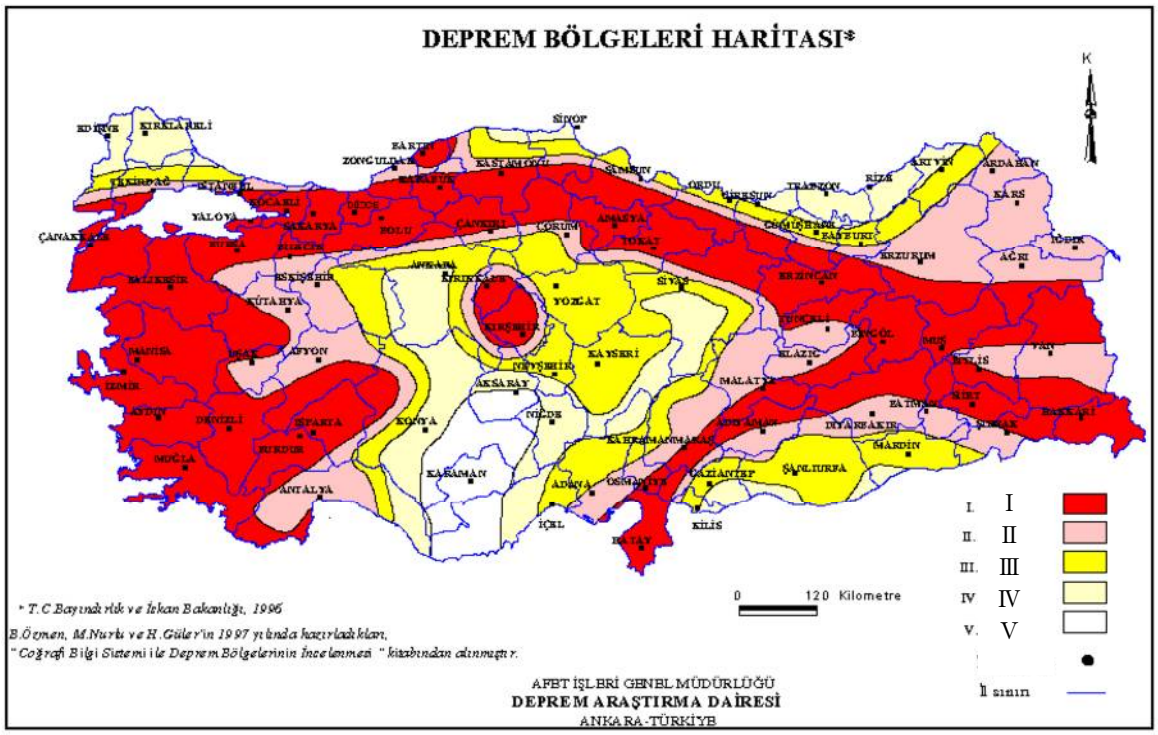


図- トルコのハザードマップ

5 つの地震ゾーン（I、II、III、IV、V）に定義され、50 年超過確率 10%(再現期間 475 年)での地表面最大加速度を以下の表に示す。

表- 各ゾーンの地表面最大加速度

地震ゾーン	Ao
I	0.40g
II	0.30g
III	0.20g
IV	0.10g
V	耐震規定なし

出典:- Ministry of Public Works and Settlement, "Specification for Structures to be Built in Disaster Areas / PART III - EARTHQUAKE DISASTER PREVENTION", Issued on: 2.9.1997, Official Gazette No.23098, Effective from: 1.1.1998, Amended on: 2.7.1998, Official Gazette No.23390.

参考文献

1) G. Solomos, A. Pinto, S. Dimova, A REVIEW OF THE SEISMIC HAZARD ZONATION IN NATIONAL BUILDING CODES IN THE CONTEXT OF EUROCODE 8, JRC Scientific and Technical Reports, 2008