

金融庁委託調査

自然災害リスクに係る外部調達モデルの 構造等に関する調査

報告書

平成 24 年 3 月

エーオン ベンフィールド ジャパン株式会社

はじめに

欧州等で当局によるソルベンシー規制の整備が進められている中、日本においても、経済価値ベースのソルベンシー規制の導入に関する検討が進められている。経済価値ベースのソルベンシー規制の対象の1つとなる、保険会社が管理するリスクを計量化するために用いる内部モデルには、地震や台風等の自然災害リスクの計量化モデルが含まれる。自然災害の頻度と経済規模から、自然災害リスクの大きさが世界一とも言われる日本では、損害保険会社が管理するリスクの中で自然災害リスクの占める割合が、諸外国と比較しても非常に高く、自然災害リスクの計量化手法に関する規制は、特に重要であると言える。

自然災害リスクの計量化は、現在世界の多くの損害保険会社において、工学的知見に基づくモデルを使用して行われている。工学的知見に基づくモデルは、1980年代後半に世界の三大モデルと言われる Risk Management Solutions 社(RMS)、AIR Worldwide 社(AIR)及び EQECAT 社の開発したモデルが登場したことに始まり、その手法の枠組みはほぼ確立したものとなっている。モデル専門会社が開発した、こうしたいわゆる外部調達モデルは、世界の損害保険業界において広く利用されている一方で、透明性に欠けるという点等から、近年、自社でモデルを開発して利用している大手保険会社等も少なくない。日本においては、現在主に、損害保険料率算出機構が開発したモデルに加えて、前述の3社による外部調達モデル、保険会社が自社で開発したモデルが使用されている。

本調査は、自然災害リスクに係る外部調達モデルの構造等の把握を目的とする。具体的には、外部調達モデルについて、日本、米国及び欧州等の損害保険会社や規制当局等におけるその利用実態、データの入力から結果が出力されるまでの仕組みと方法論を調査し、また、実際にモデルを用いて分析を行い、三大モデルに共通した特徴と各モデルの特徴を考察する。更に、自然災害リスク分析モデルに係る規制及び基準の導入に向けて、複数のモデルを利用してリスクを把握するために行われている損害保険業界での取り組みを報告する。

本報告書が、保険会社からの内部モデル承認申請時における承認基準の検討の一助となれば幸いである。

目次

	頁
1章 自然災害リスク分析モデルの概要	1
1-1. モデル分析の歴史	1
1-2. 三大モデル開発会社が提供する世界各国・各ペリルのモデル	3
1-3. モデルの概要	7
1-3-1. 入力データ	7
1-3-2. モジュールの構成	7
1-3-3. 出力結果	10
1-3-4. 詳細データ用モジュールと集積データ用モジュール	11
1-4. 海外の主なモデルの概要	13
1-4-1. 米国地震モデル	13
1-4-2. 米国ハリケーンモデル	15
1-4-3. 欧州強風モデル	17
1-5. モデルの使用実態	20
1-5-1. 日本、米国及び欧州の保険・再保険会社におけるモデルの使用状況	20
1-5-2. モデルの使用用途	21
1-5-3. モデル更新への対応	22
2章 日本の自然災害リスク分析モデルの方法論	25
2-1. 日本地震モデル	25
2-1-1. ハザードモジュール	25
2-1-2. 脆弱性モジュール	34
2-1-3. 地震火災モデル	36
2-2. 日本台風モデル	37
2-2-1. ハザードモジュール	37
2-2-2. 脆弱性モジュール	39
3章 日本の自然災害リスク分析モデルを用いた分析	46
3-1. 使用したエクスポージャ	46
3-2. 各社モデルによる分析結果	48
3-2-1. 地震(住宅物件、一般物件及び工場物件を含む場合)	48
3-2-2. 地震(一般物件及び工場物件を含む場合)	56
3-2-3. 台風	62
3-3. 感度分析	70
3-3-1. 地震(住宅物件、一般物件及び工場物件を含む場合)	72
3-3-2. 地震(一般物件及び工場物件を含む場合)	76
3-3-3. 台風	79

3-4. 過去の主な災害での保険金支払い額との比較	82
3-4-1. 地震	82
3-4-2. 台風	84
4章 海外主要国の規制当局等における自然災害リスク分析モデルの規制上の利用	87
4-1. はじめに	87
4-2. 欧州連合(EU)	89
4-2-1. ソルベンシーII	89
4-3. 英国	97
4-3-1. 個別資本十分性基準(Individual Capital Adequacy Standard; ICAS)	97
4-3-2. ロイズの現実的な災害シナリオ(Realistic Disaster Scenario; RDS)	100
4-4. 米国	104
4-4-1. 全米保険監督官協会(NAIC)の規制	104
4-4-2. 信用格付業者	107
4-4-3. 米国フロリダ州のハリケーン損害予測方法論に関する行政委員会(FCHLPM)	110
4-5. カナダ	114
4-5-1. カナダ金融機関監督庁(OSFI)の規制	114
4-6. スイス	117
4-6-1. スイス・ソルベンシー・テスト(SST)	117
5章 自然災害リスク分析モデルに係る規制及び基準の導入に向けた損害保険業界での取り組み	120
5-1. 英国保険協会(ABI)編集レポート「業界における優れた自然災害リスクモデリングの実践」	120
5-2. 各保険会社の取り組み	123
図表番号	125
参考文献	127

1章 自然災害リスク分析モデルの概要

1-1. モデル分析の歴史

はじめに、米国の地震とハリケーン、欧州の強風、日本の地震と台風等の損害保険の観点から見た世界のピークリスク地域で経験された巨大災害と共に発展してきたモデル分析の歴史を辿り、自然災害リスク分析モデルが現在のように広く利用されるようになるまでの背景を概観する。

1988年のハリケーン・ギルバート(Gilbert)、1989年のハリケーン・ヒューゴ(Hugo)とロマプリータ(Loma Prieta、ロマプリエタと呼ばれることもある)地震等、保険業界が数々の自然災害に見舞われた1980年代後半に以下の三大モデル開発会社が設立され、自然災害リスク分析モデルが登場した。AIR Worldwide(AIR)社は1987年にボストンで、Risk Management Solutions (RMS)社は1988年にスタンフォードで、EQECAT社は1994年にサンフランシスコで設立された。自然災害を理解する上で基本となる、自然災害の計測技術や過去の災害に関するデータ並びに分析研究、数百・数百万にもなる保険契約に対する低頻度の自然現象の影響を評価するために必要な膨大な計算を可能にする近年の情報技術(IT)、更には、保険契約の所在地や自然災害の発生場所等の地理データの扱いを容易にする地理情報システム(GIS)の発展が、モデルの登場を後押しした。

この時期に登場した第一世代の自然災害リスク分析モデルは、過去の災害の発生頻度の統計分析をもとにしていた。当該モデルは、それまで観測されていないような大きな規模のイベントに対する損害を想定していた等の理由から、すぐには保険・再保険業界に受け入れられなかった。その状況を変えたのが1992年にフロリダに上陸したハリケーン・アンドリュー(Andrew)である。

ハリケーン・アンドリューは、保険会社にビジネスの継続を困難にさせるほどの未曾有の規模の損害をもたらした。保険会社は自然災害リスクの管理方法を根本から見直し、従来の保険数理的なアプローチではなく、モデルを用いた確率論的なアプローチが最適であることが明らかになった。その理由として、ハリケーン・アンドリューに対してモデルが相応な損害推定を出したことや、経路がわずかにずれた場合に更に大きな損害をもたらすことを示したことが挙げられる。厳しい財政状況におかれた経営陣は、未曾有の規模の損害、並びに、株主や信用格付業者、規制当局からのプレッシャー等に直面し、自社のエクスポージャーを評価するために、より科学的な方法を採用することにした。更に、一部の再保険者(Covenant Mutual Insurance Company、MCA Insurance Company、Ocean Casualty Insurance Company等)の破綻や他の再保険者の引き受け減少によるキャパシティ不足は、新たに設立された再保険会社がマーケットに参入する機会を創出し、具体的には、モデル分析結果に基づくリスク管理を通して高い株主利益を目指すバミュダの再保険会社の設立の第2の波(第1の波は、米国の賠償リスク等の引き受けキャパシティ不足に対応した1980年代半ば)がこの時期に訪れた。

1990年代半ば頃からは、債券のリスクを測る客観的で定量的な方法を好む投資家たちがキャットボンドに投資することによって、自然災害リスクを金融市場にますます普及させ、モデルの利用を促した。

1990年代後半、欧州の3つの強風アナートル(Anatol)、ロタル(Lothar)及びマーティン(Martin)は、モデル開発会社がマーケットロスを迅速に精度よく予測できることを示したが、再保険料が抑えられたこの時期のソフトマーケットは、比較的高い保険料を弾き出すモデルを重視する再保険者にとっては、厳しいものであった。この時期にモデル開発会社は、実損失額でキャリブレーションを行った第二世代

の経験的なモデルを開発した。日本の地震及び台風の初版モデルも、RMS社からは1995年に、AIR及びEQECAT社からは1998年に発表された。

2001年の世界貿易センタービルのテロ攻撃は、2つの点から、モデルの利用を推進した。1点目は、エクスポージャの把握とモデル分析の重要性を示したことであり、2点目は、再保険料が抑えられ、比較的高いモデル結果を利用しづらいソフトマーケットを終結させたことである。この時期に、自然災害現象の物理的プロセスをシミュレーションする数値モデリングを用いた、より複雑な第三世代のモデルが開発された。

2004-2005年のハリケーン・シーズン、特に2005年のハリケーン・カトリーナは、記録破りの損害をもたらした。その後の規制当局や特に信用格付業者の動きに影響を与えた。規制当局では、リスクベースの資本モデル(Risk Based Capital Model)において自然災害リスク要素を導入することを議論し始めた。また、信用格付業者のAM Bestは、追加格付質問票(Supplemental Rating Questionnaire; SRQ)において、エクスポージャデータの質やリスク算出方法に関わる質問を始めるようになった。

アジア地域の台風リスクに関しては、2010年に、AIR社とEQECAT社により、各国間のリスクの相関を容易に扱えるように、従来の国別のモデルをアジア地域で1つにまとめたモデルがそれぞれリリースされた。このモデルから、従来の風によるリスクに加え、台風の降雨による洪水リスクも考慮されるようになった。

2004年のスマトラ地震から、2008年四川大地震、2010年ハイチ地震、チリ地震、2010年と2011年のニュージーランド地震等と相次いだ巨大地震は、各地で甚大な被害をもたらした。世界的な衝撃をもたらした。地震学の分野でも、巨大地震後に周辺で起こり得る地震の発生確率が変化することを説明する短期的な時間依存性を考慮した発生確率の考え方や、地球規模の地震クラスタリング(2004年のスマトラ沖地震以降、比較的短期間に世界各地で巨大地震が発生していることは偶然ではないという考え方)等、将来の地震の発生確率に関する新しい考え方も台頭してきている。これに続いた2011年の東北地方太平洋沖地震は、日本の地震学にも新たな知見を与え、地震調査研究推進本部による全国の地震危険度評価の見直しが始まった。モデル開発会社も、これまでモデルではカバーされていなかった津波リスクの分析機能を追加する等の取り組みを始めている。更に、日本において、精度高くリスクを把握するために、特に大型契約等に対して建物の所在地を緯度経度で指定するといったように、より詳細なエクスポージャの情報が分析に反映されるようになる等の変化が起きている。

上記のように、モデル分析は、巨大災害をきっかけとして、また巨大災害から多くを学び発展してきた。ハザードモジュール、脆弱性モジュール及びファイナンシャルモジュールからなる分析手順等のモデル分析の手法の枠組みは確立し、RMS社、AIR社及びEQECAT社といったモデル開発会社のモデルが外部調達モデルとして利用されるだけでなく、保険会社や再保険会社、再保険ブローカー、コンサルティング会社等が自社でモデルを開発し、自社で利用したり、顧客に提供したりしている。世界各地の自然災害リスクだけでなく、最近では人的災害によるリスクをも扱うようになったモデルは、保険会社や再保険会社等に普及し、そのリスク管理を行う上で重要な役割を果たしており、今後もより精度の高いモデルへと発展し続けるであろう。

1-2. 三大モデル開発会社が提供する世界各国・各ペリルのモデル

本調査で対象とするのは、三大モデル開発会社 RMS 社、AIR 社及び EQECAT 社のモデルである。各モデル開発会社とのライセンス契約上、各社を無作為に以下 A 社、B 社、C 社と呼ぶこととする。

表 1-1: 本調査で対象とするモデル

モデル開発会社	ソフトウェア名	ソフトウェアバージョン
RMS (Risk Management Solutions)	Risklink DLM (リスクリンク)	v11.0
AIR (AIR Worldwide)	Clasic/2 (クラシック・ツー)	v13.0
EQECAT	WORLDCATenterprise (ワールドキャット・エンタープライズ)	v3.16

ユーザーは、国(地域)及びペリル(自然災害等のリスクの要因)毎のモデルをライセンス契約し、表1-1に示される各ソフトウェア上で使用する。2011年12月時点で各モデル開発会社が提供している世界各域、各ペリルのモデルの一覧を表1-2にまとめる。

国(地域)やペリルに依らず、全てのモデルは、最新バージョンのソフトウェア上で使用されるようになっている。近年では、毎年いずれかの国(地域)・ペリルのモデルに変更が加えられたり、インターフェースに変更が加えられたりする等して、各社のソフトウェアはほぼ毎年バージョンアップされている。また、一部の国(地域)・ペリルのモデルに変更が加えられる場合、変更が加えられず分析結果も変わらない国(地域)・ペリルのモデルについても、ソフトウェアは一斉に最新のものにバージョンアップされる。なお、2012年3月現在のソフトウェアのバージョンは、RMSでは v11.0、AIRでは v13.0、EQECATでは v3.16 となっている。

日本のモデルの場合、毎年のソフトウェアの更新の際に、最新の市区町村の統合等が、契約の位置を特定するための地理情報のデータベースに反映される等の変更があるが、通常、分析結果への影響は非常に小さい。一方、モデルに変更が加えられることは数年に1度程度である。日本のモデルの更新頻度は、ユーザー数が多く、モデル開発会社が開発に最も注力する米国の地震やハリケーン、欧州の強風のモデルの更新頻度と比較すると少ない。モデルの更新については、1-5-3節で詳しく説明する。

主な地域・ペリルのモデル名、初版モデルの発表年及び最新のモデル更新年を、表1-3に示す。

表1-2B: 世界各国・各ペリルのモデル一覧(2011年12月現在) - 続き

	地震			台風、ハリケーン、サイクロン			強風			竜巻・雹			河川洪水 (台風、ハリケーン、サイクロン以外による洪水)			森林火災			テロリズム			農作物			人的被害			海上施設		
	A社	B社	C社	A社	B社	C社	A社	B社	C社	A社	B社	C社	A社	B社	C社	A社	B社	C社	A社	B社	C社	A社	B社	C社	A社	B社	C社			
南米																														
アルゼンチン	○		○								○																			
ボリビア	○																													
ブラジル	○		○								○																			
チリ	○	○	○								○																			
コロンビア	○	○	○			○																								
エクアドル	○		○																											
ペルー	○	○	○																											
ベネズエラ	○	○	○			○																								
カリブ海																														
アンギラ島	○		○	○	○	○																								
アンチグアバーブダ	○		○	○	○	○																								
アルバ、ボネール島、キュラソー島			○	○	○	○																								
バハマ		○	○	○	○	○																								
バルバドス島	○	○	○	○	○	○																								
バミューダ島			○	○	○	○																								
英領バージン諸島	○		○	○	○	○																								
ケイマン諸島	○	○	○	○	○	○																								
キューバ			○	○	○	○																								
ドミニカ	○		○	○	○	○																								
ドミニカ共和国	○	○	○	○	○	○																								
グレナダ	○		○	○	○	○																								
グアドループ島	○		○	○	○	○																								
ハイチ	○		○	○	○	○																								
ジャマイカ	○	○	○	○	○	○																								
マルティニーク島	○		○	○	○	○																								
モントセラト島	○		○	○	○	○																								
オランダ領アンティル諸島	○		○	○	○	○																								
プエルトリコ	○	○	○	○	○	○																								
セントバツ島			○	○	○	○																								
セントクリストファー・ネイビス	○		○	○	○	○																								
セントルシア	○		○	○	○	○																								
セント・マルテン島	○	○	○	○	○	○																								
サンマルタン島	○	○	○	○	○	○																								
セントビンセントおよびグレナディーン諸島	○		○	○	○	○																								
トリニダード・トバゴ	○	○	○	○	○	○																								
タークス・カイコス諸島	○		○	○	○	○																								
米領バージン諸島	○	○	○	○	○	○																								
中東																														
バーレーン			○																											
ガザ	○																													
ゴラン高原	○																													
イスラエル	○	○	○								○																			
レバノン			○								○																			
オマーン			○			○																								
カタール			○																											
サウジアラビア			○																											
アラブ首長国連邦			○			○																								
ヨルダン川西岸	○																													
イエメン			○			○																								
アフリカ																														
アルジェリア																														
ケニア			○																											
マラウイ			○																											
モロッコ																														
レユニオン						○																								
南アフリカ共和国			○																											
チュニジア																														

表 1-3: 主な国(地域)・ペリルのモデルの初版モデル発表年と最新モデル更新年

		モデル名	初版モデル発表年	最新モデル更新年
日本				
地震	A社	Japan Earthquake Model	1995	2005
	B社	Earthquake Model for Japan	1998	2010
	C社	JapanQuake Model	1998	2007
台風	A社	Japan Typhoon Model	1995	1999
	B社	Northwest Pacific Basinwide Typhoon Model	1998	2010
	C社	Asia Typhoon Model	1998	2010
アメリカ合衆国				
地震	A社	North America Earthquake Model	1988	2009
	B社	Earthquake Model for the U.S.	1990	2010
	C社	USQuake Model		2010
ハリケーン	A社	U. S. Hurricane Model	1993	2011
	B社	North Atlantic Basinwide Hurricane Model	1987	2010
	C社	North Atlantic Hurricane Model		2011
ヨーロッパ				
強風	A社	Europe Windstorm Model	1997	2011
	B社	Extratropical Cyclone Model for Europe	1993	2011
	C社	Eurowind Model	1997	2009

ただし、ヨーロッパ強風モデルに含まれる国は下記の通りである。

A社	B社	C社
オーストリア	オーストリア	オーストリア
ベルギー	ベルギー	ベルギー
チェコ	チェコ	チェコ
デンマーク	デンマーク	デンマーク
	エストニア	エストニア
	フィンランド	フィンランド
フランス	フランス	フランス
ドイツ	ドイツ	ドイツ
	ハンガリー	ハンガリー
アイルランド	アイルランド	アイルランド
	ラトビア	ラトビア
	リトアニア	リトアニア
ルクセンブルグ	ルクセンブルグ	ルクセンブルグ
	モナコ	モナコ
オランダ	オランダ	オランダ
ノルウェー	ノルウェー	ノルウェー
ポーランド	ポーランド	ポーランド
	ルーマニア	ルーマニア
スロバキア		スロバキア
スウェーデン	スウェーデン	スウェーデン
スイス	スイス	スイス
イギリス	イギリス	イギリス

1-3. モデルの概要

本節では、各モデル開発会社がユーザー向けに公表している文献をもとに、モデル開発会社、国(地域)及びペリルに依らない、モデルの概要を把握する。

1-3-1. 入力データ

ここで入力データと呼ばれるのは、保険契約データ(エクスポージャデータ)のことである。各契約に関して、下記の入力項目がある。保険契約対象となる建物の位置情報は、その場所の地震や台風等の危険度(ハザード)を計算する際に使用され、用途や構造種別、建築年等の建物に関する情報は、建物の地震や台風等に対する脆弱性を計算する際に使用される。保険金額や免責額、支払限度額等の契約に関する情報は、建物の物理的損害から保険支払金を計算する際に使用される。

- 所在地(都道府県、市区町村、郵便番号、緯度経度等)
- 用途(住宅、商業、工場等)
- 構造種別(木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造等)
- 建物の保険金額
- 内容物の保険金額
- 建築年
- 階数
- 免責額
- 支払限度額

データが最も詳細な場合、建物毎の上記全ての項目(所在地については緯度経度)を含む。米国では、通り(Street)レベルの建物毎の詳細データが一般的に用いられている。しかし、その他の国では、通常、建物毎や契約毎のデータは入手しづらく、市区町村別、用途別、構造別等を集積されたデータが用いられる。集積データの場合は、モデル内で地域的に分散される。

科学と技術の進化と共に、高度なレベルに発展した自然災害リスク分析モデルは、入力データに非常に敏感になった。契約毎の詳細データに対応できるようになったことで、分析結果は、入力データの地理的解像度や建物特性の詳細、その場所の災害危険度に大きく依存するようになった。モデルが出力する結果は、入力したデータに応じた頑健性しかもっておらず、データの質を改善することによって、モデルの不確定性は軽減する。データの質の改善は、規制当局や信用格付業者も注目する。

1-3-2. モジュールの構成

モデルは、複雑な物理現象を表現するものであり、自然災害リスク分析モデルの信頼性も、自然現象の発生や振る舞いをコントロールする物理メカニズム等の理解に大きく依存する。地震や台風等の複雑な自然物理現象や、それらの外因に対する建物の振る舞いは、未だ全て解明されているわけではないが、科学者や技術者は、観測技術やコンピュータ計算技術の進歩にも助けられ、こうした分野の情報や知識を蓄積してきた。現在損害保険業界で一般に使われる自然災害リスク分析モデルは、こうした知識や理論、経験的法則を組み合わせられて開発されたモデルである。モデルあるいはモデルで計算された結果を利用する場合は、モデル内で仮定されている条件やモデル結果の意味するところ及びモ

デルの限界を理解しておくことが重要である。

自然災害リスク分析モデルは、下記の3つの基本モジュールで構成される。(図 1-1 参照)

- ・ハザードモジュール
- ・脆弱性モジュール
- ・ファイナンシャルモジュール

ハザードモジュール

自然災害リスク分析の出発点は、地震や台風等のシナリオイベントのデータベースである確率論的イベントセットの構築である。各イベントは、その規模や強度、位置や経路、そしてその年間発生頻度で定義され、対象地域で起こり得る全ての事象を離散的なイベントの集合として網羅したものがイベントセットである。時間と共にどういったイベントが発生するかを確率的にモデル化するために、過去のデータや物理現象の解釈に基づいて、何万もの発生可能性のあるシナリオをシミュレーションし、イベントセットが構築される。イベントセットは、あらかじめ構築されてモデル内のデータベースに保存されており、モデルユーザーによって行われる各分析では、入力データに対して、イベントセットの各イベント、あるいは、ユーザーが定義したその他のシナリオイベント等が発生させることによって、以降の計算が行われる。

ハザードモジュールでは、各イベントに対して、入力データに含まれる保険契約の各地点における地震や台風等の外因の物理的な強度を計算する。例えば、地震の場合は、地震エネルギーの伝播を考慮して、イベントセットの各地震イベントに対して各地点での地震の揺れの強さ(地震動強さ)を計算する。台風やハリケーンの場合は、地形等を考慮して、各地点の風の強さを計算する。

脆弱性モジュール

脆弱性モジュールでは、建物等エクスポージャの被り得る損害を計算する。建物等エクスポージャの脆弱性は、地震動強さ又は風の強さと損害率の関係を表す脆弱性曲線によってモデル化され(図 1-2 参照)、建物の構造種別や、用途、建築年、階数等によって異なる。モデルでは、入力データに含まれる保険契約の各建物に対応した異なる脆弱性曲線が使用される。更に、建物、動産、そして利益(休業損失に関わる保険カバー)それぞれに対しても、異なる脆弱性曲線が使用される。損害は、建物の再調達価格に対する平均損害額の比率を用いて計算されるが、2-1-2 節で説明するように、平均損害額まわりの不確定性も考慮される。

図 1-1: 自然災害リスク分析モデルの概念図

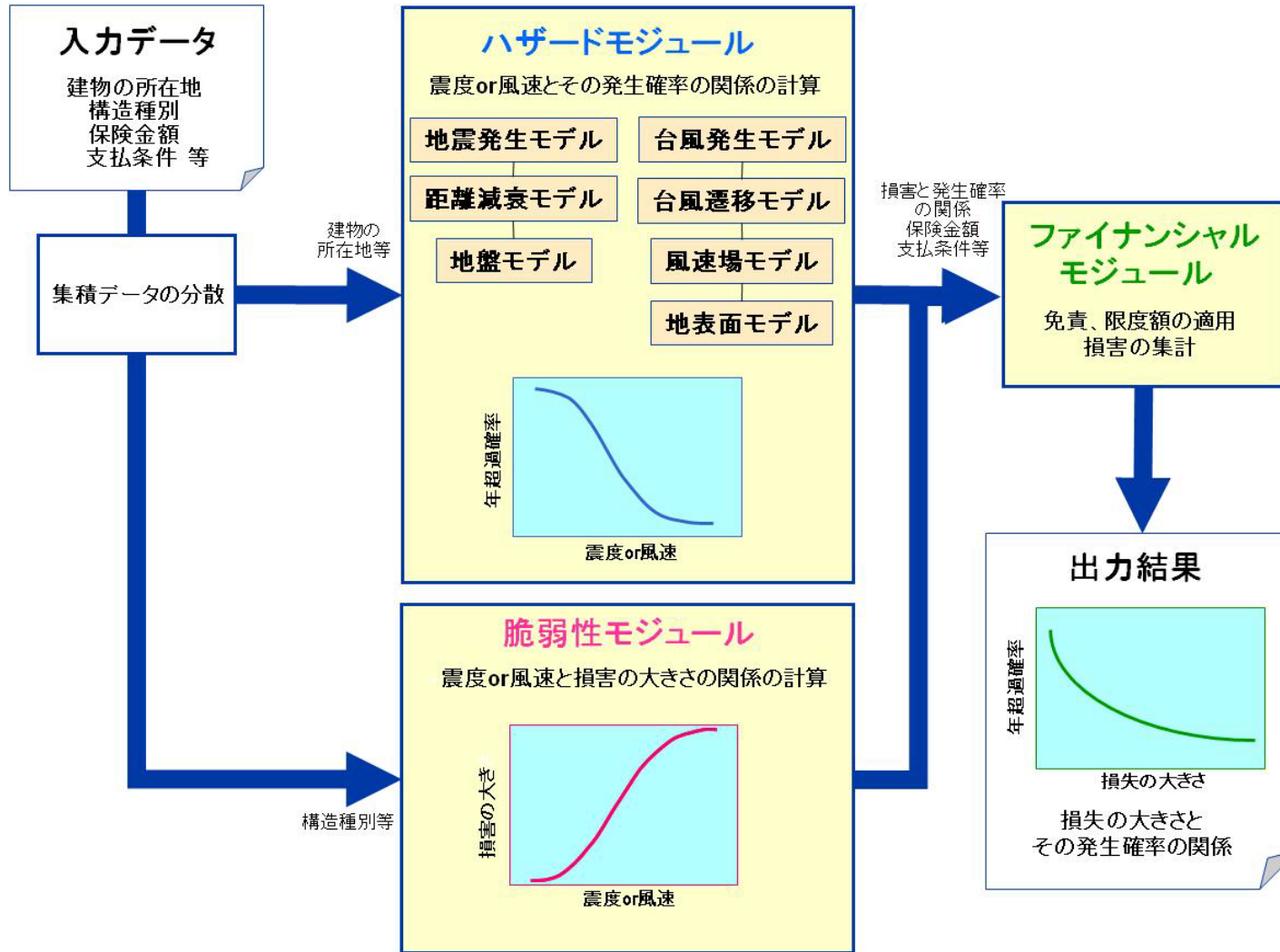
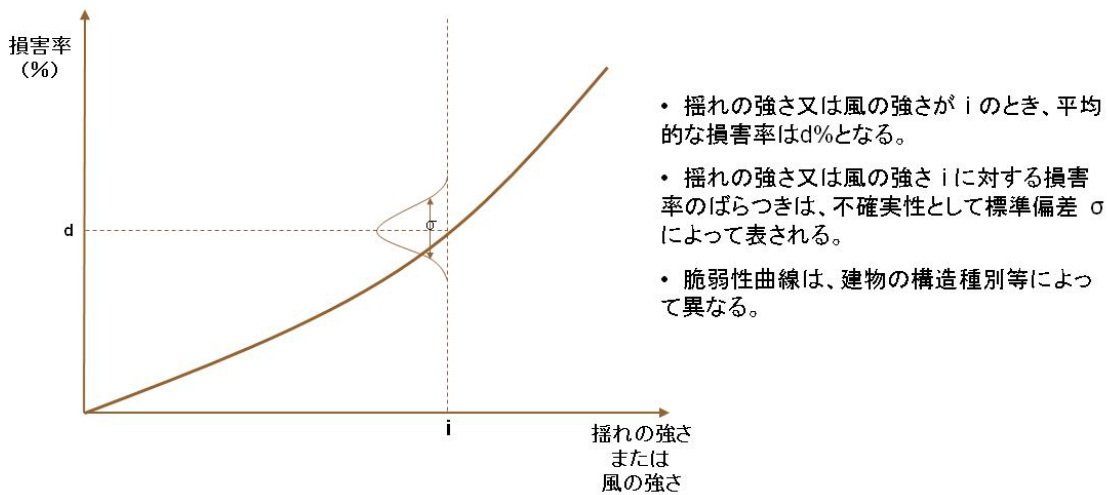


図 1-2: 脆弱性曲線



ファイナンシャルモジュール

ファイナンシャルモジュールでは、まず、ハザードモジュールで計算される各イベント各地点における地震や台風等の外因の強度と脆弱性モジュールで計算される特定の外因強度に対する損害率を掛け合わせて、各イベント各地点における物理的損害を計算する。続いて、再調達価格又は保険金額、免責額や限度額等を考慮して、物理的損害を保険金支払い額に変換すると共に、全ての地点の損害額を足し合わせて、最終的にポートフォリオ全体の保険金支払い額(損失額)を計算する。各イベントに対する保険金総支払い額と各イベントの発生確率から、後述の超過確率曲線が得られる。

1-3-3. 出力結果

自然災害リスク分析モデルから得られる主な出力結果には、下記のものがある。

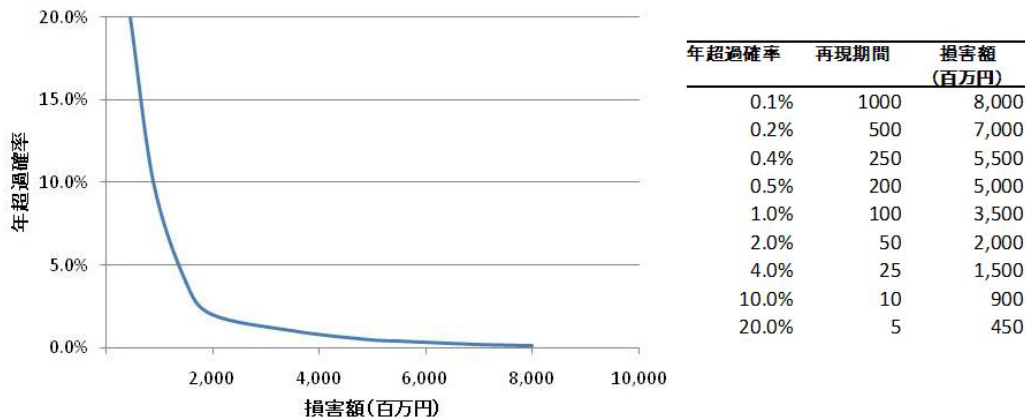
- ・超過確率曲線と年平均損失
- ・シナリオ損失

超過確率曲線と年平均損失

超過確率曲線と年平均損失は、いずれも確率論的イベントセットの全てのイベントを考慮した確率論的分析で計算される。超過確率曲線は、英語ではExceedance Probability Curve、略してEPカーブ、あるいはリスクカーブとも呼ばれ、損失額と1年間にそれ以上の損失額が発生する確率(年超過確率)との関係で表現される(図 1-3 参照)。年超過確率の逆数をとった再現期間とそれに対応する損失額で表されることも多い。例えば、年超過確率 0.2%は、再現期間 500 年と等しい。200 年に 1 回等、特定の頻度で発生する損失額は、保険会社のリスク管理や資本管理等で用いられるリスクの指標として、後述のシナリオ損失に代わって主流なものとなりつつある。なお、超過確率曲線は 2 種類あり、1 年間に複数のイベントが起きる場合の年間のイベント当たり最大の損失額を表す年間最大損失額ベース(Per Occurrence)と各イベントの損害額を合計した年間集積損失額ベース(Annual Aggregate)がある。保険業界においては、現在前者が使われる場合が多いと考えられる。

年平均損失は、年間期待損失とも呼ばれ、英語ではAnnual Average Loss、略してAALとも呼ばれる。エクスポージャを非常に長い期間一定と仮定した場合の期間中に発生する全ての損失をカバーするための年間保険料に等しいため、純保険料(Pure Premium)と呼ばれることもあり、保険や再保険のプライシングの際に参考にされる。年平均損失は、確率論的分析の各イベントの損失額と年間発生確率を乗じたものを合計して求められる。

図 1-3: 超過確率曲線(EPカーブ、リスクカーブ)



シナリオ損失

シナリオ損失は、特定のイベント(確率論的イベントセットの中のイベント、あるいは、それ以外の過去にあったイベントやユーザーが定義するイベント)に対する損失額を分析する通常「シナリオ分析」と呼ばれる分析で計算され、損失額の平均値と、A社とC社の場合は更に、推定損失額の不確定性を示す標準偏差とで表現される。過去に大きな損失をもたらしたシナリオや将来起こると予想される最大レベルのシナリオを使って現実に予想される最大レベルのリスク量を把握したり、災害の前や最中、直後に損失額を予想したりする等の目的で分析が行われる。

保険業界を含むリスク管理に関わる分野ではPML(Probable Maximum Loss; 予想最大損失)という言葉がしばしば用いられる。現実的に起こり得る最大規模の地震という意味合いから、元々は主に500年をはじめとする特定の再現期間の予想損失額や特定の頻度で起きるシナリオの予想損失額に対して用いられていたが、最近では、自然災害リスク分析モデルの出力結果全般に対して用いられることもある。

1-3-4. 詳細データ用モジュールと集積データ用モジュール

モデル開発会社によっては、1-3-1節で示した入力項目に対応した詳細な分析を行えるモジュール(又は、以下、「ソフトウェア」と言う)とは別に、集積データ用のモジュールを提供している。RMS社の詳細データ用モジュールRisklink DLM(Detailed Loss Module)に対して、同社の集積データ用モジュールはRisklink(Aggregate Loss Module)ALMと呼ばれ、AIR社の詳細データ用のソフトウェアClasic/2に対して、

同社の集積データ用のソフトウェアはCatrader(キャットレイダー)と呼ばれる。EQECAT社の提供するソフトウェアは、詳細データの分析に対応したWORLDCATenterpriseのみである。ALMもCatraderも、日本の地震モデル及び台風モデルの場合の必要データは、用途別(物件別)の各都道府県の保険金額のみで、建物と内容物の内訳、構造種別、建築年、階数及び支払い条件については、モデル内で平均的な値が設定されている。詳細なデータが入手できないような場合には、集積データ用モジュールが利用される。利用者には再保険会社が多いと考えられる。また、集積データ用モジュールの方がライセンス料が安く、また、分析にかかる時間が短い。

日本の地震リスクに関しては、企業向けの地震担保保険の支払い条件が契約毎に大きく異なるため、日本の保険会社のポートフォリオに対してALMやCatraderの内部で設定されている支払い条件をそのまま用いることは適切ではなく、集積データ用モジュールが日本で使用されることはほとんどない。一方、風災リスクに関しては、20万円のフランチャイズ免責(免責額以下では支払いがなく、免責額を超えると全額を支払う)を持つ契約が大半であり、ALMやCatrader内部の設定でもそれが反映されているため、集積データ用モジュールも利用されてきたが、保険会社各社で2010年1月以降、免責なしの契約等や20万円のフランチャイズ免責以外の免責の契約も導入され、集積データ用モジュールの設定の妥当性の検討が必要になっている。

1-4. 海外の主なモデルの概要

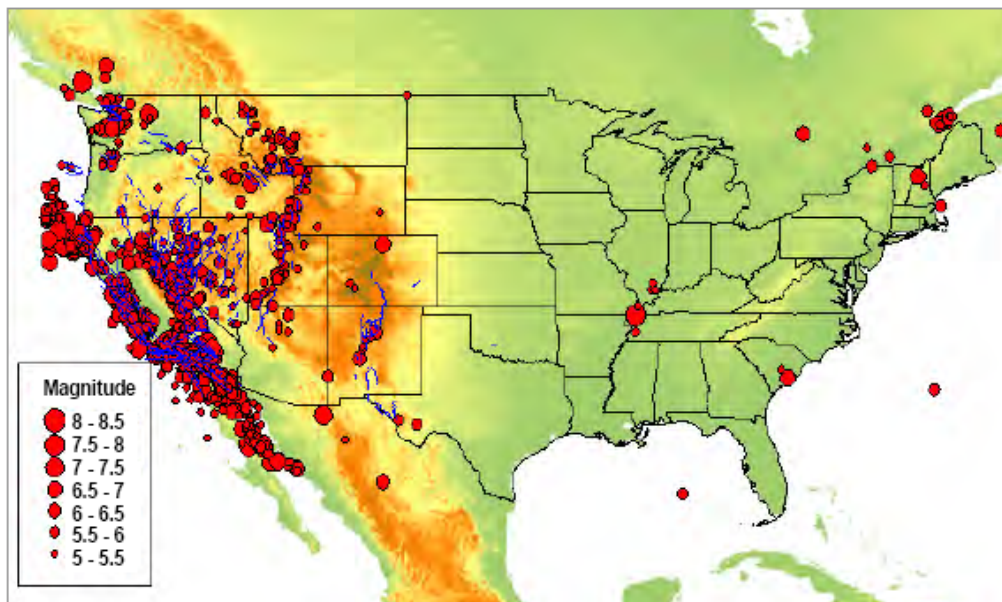
本節では、損害保険の観点から見て世界のピークリスク地域であり、また、ユーザー数が多く、モデル開発会社が開発に最も注力し、モデル開発のための情報源の豊富さからも最も進化していると言える、米国地震モデル、米国ハリケーンモデル及び欧州強風モデルの概要をまとめる。

1-4-1. 米国地震モデル

米国の地震

米国本土においては、39州が地震リスクと関わりがあり、特にカリフォルニア州はそのリスクが高いが、大規模な地震はカリフォルニア州に限らず起きている。図1-4に米国本土において過去に発生した地震の場所を示す。カリフォルニア州を中心とする西海岸に沿って震源が集中している。太平洋プレートと北米プレートの境界部分がカリフォルニア州の海岸部に沿っているからである。

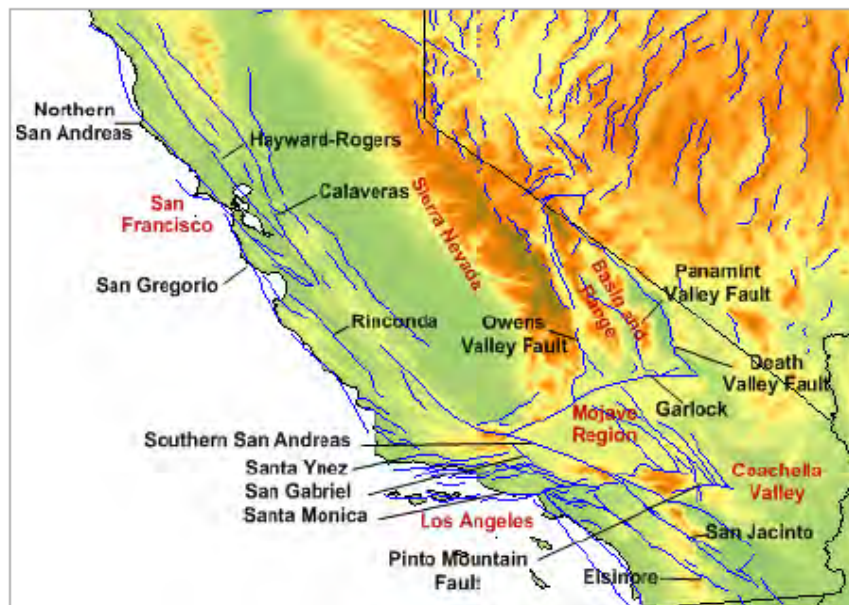
図1-4: 米国本土において過去に発生したモーメントマグニチュード5以上の地震



出典: AIR

カリフォルニア州には、1,300kmもの長さのあるサンアンドレアス断層を中心とする大規模で複雑な断層群がある(図1-5参照)。この断層群の周辺は、海岸部に沿ってロサンゼルスやサンフランシスコ等の大都市もあり、3,600万人もの人が住んでいるカリフォルニア州では、人が感じる規模の地震が毎年約500回起きている。

図 1-5: サンアンドレアス断層を中心とするカリフォルニア州の断層群



出典: AIR

オレゴン州やワシントン州も、海岸部に沿って人口が多く、カリフォルニア州よりも頻度は低いものの、北米プレートに沈み込むにファンデフカ(Juan de Fuca)プレートに起因する大地震が起こり得る。

ロッキー山脈を越えた米国中東部でも、プレート内部の歪みによって過去に地震が起きている。地質の影響で、西海岸で同規模の地震が起きた場合よりも、被害は広範囲に及ぶ。1811年から1812年の冬季に連続して発生したニューマドリッドの地震は、米国本土で起きた代表的な大きな地震である。

米国東部は地震リスクは低いが、1886年にサウスカロライナ州のチャールストンでマグニチュード 7.3の地震、1755年にマサチューセッツ州のアン岬でマグニチュード 6.0の地震が起きている。

米国の地震のモデル分析

各社の米国地震モデルの概要を表 1-4 にまとめる。

米国の保険会社で一般的に使用されるエクスポージャーデータは、他の国で使用されるデータと比較して詳細であり、地理的解像度は通り(Street)レベルで、建築年や階数が含まれる頻度も高い。モデルもこうした詳細なデータが反映できるような、自然災害リスク分析の分野における最先端の知見が取り入れられている。震源のマグニチュードと距離等から任意の地点における地震動強さを計算する、距離減衰式についても、米国西部向けの最先端の式や、その他の地域についても同様な研究成果が採用されている。また、いずれのモデルにおいても、地震動によるリスクの他、地震火災とスプリンクラー漏れによるリスク、更には、災害後の建築資材や労働力の価格高騰(表中では、各モデル開発会社が使用する用語の和訳である損失増幅(Loss Amplification)、需要急増(Demand Surge)を使用。)の影響が考慮されている。

建物脆弱性に反映される入力項目における、二次的特性とは、柱や梁、壁、基礎の構造等、構造種別では表しきれない、より詳細な構造等の特性である。

表 1-4: 米国地震モデルの概要

	A社	B社	C社
分析可能な最も詳細な地理的解像度	緯度経度	緯度経度	緯度経度
一般的な保険会社のデータの地理的解像度	通り (Street Level)		
建物脆弱性に反映される入力項目	<ul style="list-style-type: none"> ・地域性 (所在地) ・建物/動産/時間 ・用途種別 ・構造種別 ・建築年 ・階数 ・二次的特性 	<ul style="list-style-type: none"> ・地域性 ・建物/動産/時間 ・用途種別 ・構造種別 ・建築年 ・階数 ・二次的特性 	<ul style="list-style-type: none"> ・地域性 (所在地) ・建物/動産/時間 ・用途種別 ・構造種別 ・建築年 ・階数 ・二次的特性 ・基礎構造タイプ (木造枠組構造のみ)
一般的な保険会社のデータの項目	<ul style="list-style-type: none"> ・建物/動産/時間の内訳は常に含まれる。 ・用途と構造種別は、9割以上含まれる。 ・建築年と階数は、保険会社によって100%含まれる場合と全く含まれない場合がある。 ・二次的特性は、含まれることはあまりない。 		
追加的要素	<ul style="list-style-type: none"> ・時間依存の地震の発生確率を評価 ・地震火災リスク ・スプリンクラー漏れリスク ・液状化リスク ・地滑りリスク ・災害後の損失増幅 	<ul style="list-style-type: none"> ・時間依存と時間非依存の地震の発生確率を評価 ・サプライヤーの供給力低下による利益損失 ・地震火災リスク ・スプリンクラー漏れリスク ・液状化リスク ・地滑りリスク (非明示的) ・需要急増 	<ul style="list-style-type: none"> ・時間依存の地震の発生確率を評価 ・地震火災 ・スプリンクラー漏れリスク ・需要急増

1-4-2. 米国ハリケーンモデル

米国のハリケーン

ハリケーンは、大西洋、東太平洋及び太平洋中央部で発生する熱帯性低気圧のうち、国立ハリケーンセンター (National Hurricane Center; NHC) により1分間平均最大風速が時速125km (時速74マイル) 以上とされるものである。熱帯低気圧は、熱帯海域で発生し、ウィンド・シア (急激な風速・風向の変動) が小さく、海面温度が高い条件で発達する。

北大西洋の熱帯低気圧は、西アフリカの海岸近くで形成された後、大気流によって大西洋を西へと運ばれる。またカリブ海やメキシコ湾でも形成される。

これらの地域は、6月から11月にかけてハリケーンリスクにさらされる。特に海面温度が最も高くなる8月から10月は、最もハリケーンの活動が激しい時期である。南部の海岸沿いの州は、北東部の州よりも頻りに強い台風に見舞われる。ハリケーンが上陸すると、人命や建物、動産、その他のインフラ、森

林、農作物に被害をもたらす、水を汚染する。ハリケーンの強風と降雨による被害の他に、高潮による被害もある。高潮とは、ハリケーンによって海岸線に沿って海水面レベルが上昇し、広く洪水をもたらす現象である。

人口密度と地理的地形的性質から、テキサス州からメイン州にかけての海岸沿いはハリケーンの影響を受けやすい。最もリスクが高いのは、テキサス州からノースカロライナ州にかけての地域である。

米国ハリケーンのモデル分析

各社の米国ハリケーンモデルの概要を表1-5にまとめる。

1-1 節のモデル分析の歴史で述べたように、1992 年のハリケーン・アンドリュー、2005 年のハリケーン・カトリナ、そして、2008 年のハリケーン・シーズン等、大きなハリケーン災害が起きる度にハリケーンモデルは改良され、進化してきた。現在のモデルは、過去の膨大な台風データや、より高度なモデリング手法や科学的知見を反映し、より洗練されたものになっている。大西洋では、平均海面気温が数十年の周期で変動し、それに起因してハリケーンの発生頻度が周期的に変動すると考えられているため、各モデルでは、このような周期性を反映した場合の短期的リスクと周期性を考慮しない場合の長期的リスクを評価する等して、こうした影響を考慮している。また、いずれのモデルにおいても、高潮リスク、災害後の建築資材や労働力の価格高騰の影響が考慮されている。

また、2005 年のハリケーン・カトリナ以降、モデル分析に用いるデータの質の重要性が認識され、その精度が改良されてきた。前節で述べた通り、現在米国の保険会社で一般的に使用されるエクスポージャーデータは、他の国で使用されるデータと比較して詳細である。

表 1-5: 米国ハリケーンモデルの概要

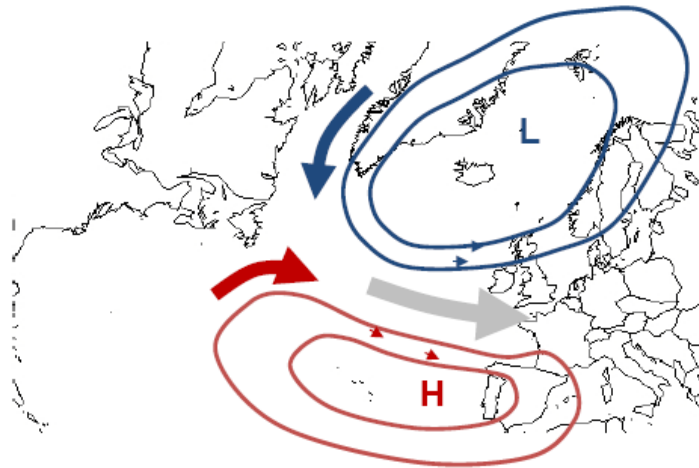
	A社	B社	C社
分析可能な最も詳細な地理的解像度	緯度経度	緯度経度	緯度経度
一般的な保険会社のデータの地理的解像度	通り (Street Level)		
建物脆弱性に反映される入力項目	<ul style="list-style-type: none"> ・地域性 (所在地) ・建物/動産/時間 ・用途種別 ・構造種別 ・建築年 ・階数 ・二次的特性 ・床面積 (住宅のみ) 	<ul style="list-style-type: none"> ・地域性 ・建物/動産/時間 ・用途種別 ・構造種別 ・建築年 (フロリダのみ) ・階数 ・二次的特性 	<ul style="list-style-type: none"> ・地域性 (所在地) ・建物/動産/時間 ・用途種別 ・構造種別 (建築材料) ・建築年 ・階数 ・二次的特性 ・外壁被覆材のタイプ
一般的な保険会社のデータの項目	<ul style="list-style-type: none"> ・建物/動産/時間の内訳は常に含まれる。 ・用途と構造種別は、9割以上含まれる。 ・建築年と階数は、保険会社によって100%含まれる場合と全く含まれない場合がある。 ・床面積は、他の項目ほどには含まれない。 ・二次的特性は、含まれることはあまりないが、フロリダについては含まれることがよくある。 		
追加的要素	<ul style="list-style-type: none"> ・中期的 (5年) リスクを評価 ・高潮リスク ・避難や経済低迷の影響を考慮した、“スーパー災害”効果を含む災害後の損失増幅 	<ul style="list-style-type: none"> ・平均海面温度と平気より海面温度が高い場合それぞれのリスクを評価 ・高潮リスク ・需要急増 ・風の継続時間 	<ul style="list-style-type: none"> ・高潮リスク ・内水洪水リスク ・長期的リスクと短期的リスクを評価 ・需要急増

1-4-3. 欧州強風モデル

欧州の強風

欧州の風災リスクは、主に冬に北大西洋で発生し、一般にwindstorm(本報告書では、「強風」と和訳)と呼ばれるエクストラトロピカル・サイクロン(extra-tropical cyclones;ETC)によるものが大半を占めている。この強風は、数千平方キロメートルに広がり、約1週間のライフサイクルを持つ。

欧州に影響を与える強風は、アゾレス高気圧のまわりを時計回りに吹く暖かく湿った空気によってもたらされる前線に沿って形成される。この高気圧は、アイスランド低気圧のまわりを反時計回りに吹く冷たい空気と合流する(図 1-6 参照)。この暖気と寒気が衝突する部分は、時に被害をもたらすような強風を頻繁にもたらし、同時に西から東へと吹く背景風を形成して、このシステムを欧州へ運ぶ。この強風は一年中発生し得るが、最も被害を与えるようなものは、通常晩秋から早春の間に発生し、暖気と寒気の温度差が最大になる冬季に最も発生する傾向がある。そのため、この強風は、しばしば冬の嵐(winter storm)、雪が含まれる極端な場合には猛吹雪(blizzard;ブリザード)と呼ばれる。2009年のクラウス(Klaus)と2010年のシンシア(Xynthia)は、近年大きな災害を引き起こしたイベントである。



出典: AIR

図 1-6: 西から東へと吹く背景風(灰色の矢印)を形成する
アイスランド低気圧(青)とアゾレス高気圧の(赤)のまわりの風の流れ

欧州の強風は、平均年間集積損失額で見た場合、財物に関して世界で最も高い保険金支払いをもたらす原因のひとつである。リスクは、イギリス、フランス、ドイツで最も高い。

欧州で最もエクスポージャーが集中し変化しているのは、世界有数の高級住宅や商業市場、そして歴史的建造物のある、ロンドン、パリ、ベルリン、アムステルダム等、主に各国の首都である。これらの都市やその他の大都市では、強風で深刻な被害を受けてきた。大都市以外でも、歴史的都市やリゾート、レクリエーション地域、農業施設、工業施設、林業等も大きな被害を受ける。

欧州の強風のモデル分析

エクストラトロピカル・サイクロンは、時間的にも空間的にも、通常のトロピカル・サイクロン(熱帯性低気圧)よりずっと複雑である。更に、欧州の強風に関する観測データや保険金支払いデータは、米国ハリケーンに関するデータよりも少なく、観測機関による違いも大きい。

各モデル開発会社は、欧州北西部の約 20 カ国を対象とする強風モデルをそれぞれ開発した。風の影響の他に、高潮の影響、災害後の建築資材や労働力の価格高騰の影響、更に一定期間に強風が群をなして起こるクラスタリングも考慮されている。モデルは、一般に過去の強風の観測データや保険金支払いデータを用いて検証されている。

各社の欧州強風モデルの概要を表 1-6 にまとめる。脆弱性に反映される入力項目において、イギリスについてのみ床面積が含まれるのは、高級住宅の脆弱性の違いを反映させるためである。

表1-6: 欧州強風モデルの概要

	A社	B社	C社
分析可能な最も詳細な地理的解像度	緯度経度 (小数点以下5桁程度)	緯度経度 (小数点以下5桁程度)	緯度経度 (小数点以下5桁程度)
一般的な保険会社のデータの地理的解像度	郵便番号		
建物脆弱性に反映される入力項目	<ul style="list-style-type: none"> ・地域性 (所在地) ・建物/動産/時間 ・用途種別 ・構造種別 ・建築年 ・階数 ・二次的特性 ・床面積 (イギリスのみ) 	<ul style="list-style-type: none"> ・地域性 (所在地) ・建物/動産/時間 ・用途種別 ・構造種別 ・階数 ・二次的特性 	<ul style="list-style-type: none"> ・地域性 (所在地) ・建物/動産/時間 ・用途種別 ・構造種別 ・建築年 ・階数 ・二次的特性
一般的な保険会社のデータの項目	一般的な用途種別 (住宅、商業、工場) の他に、特に住宅の場合は、詳細な住宅タイプの情報が含まれる場合がある。		
追加的要素	<ul style="list-style-type: none"> ・高潮リスク (イギリスのみ) ・需要急増 ・クラスタリング 	<ul style="list-style-type: none"> ・高潮リスク ・森林被害リスク ・需要急増 ・クラスタリング 	<ul style="list-style-type: none"> ・高潮リスク (イギリス、フランス、スウェーデンのみ) ・森林被害リスク ・需要急増

1-5. モデルの使用実態

1-5-1. 日本、米国及び欧州の保険・再保険会社におけるモデルの使用状況

以下の記述は、弊社の知見によるものである。

日本では、地震リスクと台風リスクの分析に関しては、損害保険料率算出機構のモデルの他に、RMS社、AIR社、EQECAT社等とライセンス契約を締結して利用する外部調達モデルと、自社開発モデルが利用されている。損害料率算出機構のモデルは、その元受ベースでの分析結果が各元受保険会社に提供され、現在いずれの保険会社においても、ソルベンシー・マージン比率や異常危険準備金の算出に用いられていると考えられる。一方、損害料率算出機構のメンバーではない日本で登録している再保険会社では、ソルベンシー・マージン比率や異常危険準備金の算出に、外部調達モデルを利用している。自社モデルを開発する利点としては、中身を完全に把握できるモデルに基づいてリスク評価を行える点や、開発を通して社内の専門的能力を強化できる点等が挙げられる。

日本の大手損害保険会社にあつては、日本のリスクの分析に関しては、数年前までは、複数の外部調達モデルがライセンス契約されていたが、現在は主に自社開発モデルが次節で挙げるような用途に利用されていると考えられる。再保険ブローカーが各社のポートフォリオを用いて、複数の外部調達モデルによる分析結果を提供しているため、自社で所有若しくはライセンス契約をしていないモデルの結果も参照できる。アジアやヨーロッパ等の海外のリスクの分析は、主に外部調達モデルを利用して行われている。中小損害保険会社は、外部調達モデルのライセンスを契約していないが、再保険ブローカーが複数の外部調達モデルによる結果を提供している。

特定のポートフォリオのリスク分析を行う上で複数のモデルを利用することを、一般にマルチモデリングアプローチと呼ぶ。英国保険協会によって2011年12月に発行され、内部モデルの一部として自然災害リスク分析モデルを使用する場合の理想とされる実践方法をまとめた”Industry Good Practice for Catastrophe Modelling – A guide to managing catastrophe models as part of an Internal Model under Solvency II”においても、マルチモデリングアプローチについて記述している章があり、これについては、本報告書5章で詳しく触れる。

米国及び欧州の保険会社では、マルチモデリングアプローチを採用する会社が多く、欧州では主にRMSモデルといったように、一般に、過去の支払い実績に最も合うものをメインモデルとし、支払い実績との過不足要素を調整して利用している。また、大手保険会社は、自社開発モデルを所有している。

世界の再保険会社を見ると、米国及び欧州の保険会社よりも、マルチモデリングアプローチを採用する傾向がやや強い。例えば、米国では、RMSモデルとAIRモデルを併用することが多く、欧州では、RMSモデルをメインモデル、AIRモデルをセカンドオピニオンとして利用したり、両モデルの加重平均を利用したりすることが多い。これまでRMS社のマーケットシェアが最も高かったが、RMS社の欧州強風モデルの最新バージョンが発表されて以降、23の再保険会社が新しくAIRとライセンス契約をした。2007年にAIRの東京支社が設立され、日本モデルが日本独自のデータに基づくものに大幅に変更されたことやAIR社の特に再保険会社への積極的な営業活動により、ここ数年で、日本のリスク分析に関してもAIRモデルを利用する会社が増えた。EQECATモデルを単独で利用する会社はなく、日本のリスク分析に対しては、セカンドあるいはサードオピニオンとして利用される。大手再保険会社は、自社開発モデルを所有しており、自社モデルのみを利用する会社と、外部調達モデルと併用する会社があ

る。外部調達モデルと併用する場合は、自社モデルを引受に好んで使用している会社がある一方で、自社モデルを積極的に利用していない会社もある。

どのモデルを利用するか、また、自社モデルをどのように利用するかに関する各保険会社・再保険会社のアプローチの違いは、モデルの利用に関するコストや、自社モデルの成熟度、複数モデルを扱う能力や経験の違い等に起因すると考えられる。

1-5-2. モデルの使用用途

自然災害リスク分析モデルの出力結果は、会社によってその程度は異なるが、下記に挙げるような用途に使用されている。

プライシング

前述の通り、確率論的分析から算出される年平均損失は、理論的な純保険料に等しいため、保険若しくは再保険における自然災害リスクのプライシングに用いられる。ただし、自然災害リスク以外については従来から採用されているプライシング法である従来のバーニングコスト法（再保険の回収頻度の比較的高いELC(Excess of Loss Cover;超過損害額特約再保険)等の再保険料の算出において、過去の一定期間における再保険金の総額を同一期間中の総正味収入保険料(Gross Net Premium Income;GNPI)で除した数値に一定の割り増しを加味する方法)やエクスポージャ・レーティング(再保険の回収の頻度は比較的低いが、1回の事故による損害が大きなポートフォリオ等の保険料に対して、保険金額の範囲毎にポートフォリオの特性を踏まえて適用した係数を乗じて再保険料を決める方法)の代わりとしてではなく、その補完として用いられる。

再保険ストラクチャーの評価

再保険会社が再保険のプライシングにモデルを用いるのと同様に、保険会社が出再する際の適切な再保険ストラクチャーと再保険コストの評価に用いられる。適切な再保険ストラクチャーの評価には、想定されるレベルの巨大災害による損害に対して必要な再保険カバーの評価等が含まれ、また資本効率性やリスク軽減効果の評価を行うことにより、複数の選択肢の中から最適なプログラムを選ぶことが可能となる。

リスク評価

定量化された個々の保険契約のリスク、あるいは、集積リスクは、リスクの相対比較や特定の許容値との比較を可能にし、保険引き受けの判断や集積管理等に用いられる。また、実際に起きたばかりの災害に対して分析を行うと、即時に保険金支払い額の推定ができる。モデル開発会社は、災害が起きた直後に、既存のイベントセットの中から当該災害に最も近いイベントをユーザーに知らせ、数日後には、当該災害を再現した新たなイベントを作成してユーザーに提供し、マーケットロスの推定値も発表する。ユーザーはこうしたイベントによる損失額やマーケットロスにマーケットシェアを掛けたものを、当該災害による保険金支払い額の推定値として計算する。

ポートフォリオの最適化

保険会社は、個々の保険契約のリスクと収入保険料のバランス、ポートフォリオ全体への寄与度を考慮して、利益率の高い契約を増やしたり、リスクの分散効果を生かしたりすることにより、ボラティリティ

(損失の幅)やテールリスクを抑えながら、保険料を増やし、利益を最大化するポートフォリオを構築する。

資本管理

自然災害リスク分析モデルは、様々なリスクを統一的な手法で計量化し、資本に見合ったリスクを保有することにより健全性を維持し収益性の向上をめざす資本管理の枠組みの中で、自然災害リスクの定量化に用いられる。ソルベンシー・マージン比率の算出や、保険会社と再保険会社に対する格付評価においても、自然災害リスクは、モデルから算出される特定のシナリオイベントに対する損失額や特定の再現期間の損失額等の指標で計上される。

1-5-3. モデル更新への対応

日本の地震モデルと台風モデルに関して、各モデル開発会社に確認して得られた最近のモデル更新年と主な更新内容を表1-7にまとめる。ここで挙げる更新内容は、各モデル開発会社が正式に発表した更新内容のうち、日本の保険会社のエクスポージャの分析に影響のあるものである。

初版モデルが発表された時点では、日本の地盤情報や日本の建物に固有な特徴等は概して反映されておらず、以降、まずは日本固有の情報反映される更新がなされた。その後、地震や台風のイベントを定義するイベントセットが全面的に変わるような大きな変更があったのは、地震の場合は、2005年の地震調査推進本部の地震調査委員会による全国地震動予測地図を反映して各社のハザードモデルが全面的に更新された時で、台風の場合は、B社やC社において、日本単独モデルから太平洋北西部のモデルに変わり、また、台風に起因する洪水リスクが含まれるようになった時である。その他の変更は、主に脆弱性モデルの更新や各種機能の追加であり、ハザードモデルの全面的な改定と比較すると、結果に与える影響は概して小さい。今後、東北地方太平洋沖地震から得られた様々な知見を反映して、再び地震モデルのイベントセットが改定されるような大きな変更が行われることが予想される。

表1-7: 各社の日本の地震モデルと台風モデルの最新更新時における更新内容

モデル	更新年	主な更新内容
A社 地震	2005	<ul style="list-style-type: none"> ・下記を含む最新の科学研究及び業界研究に基づき、確率論的イベントセットの構築からファイナンシャルモジュールまでの各モジュールが更新された。 - 地震調査研究推進本部の地震調査委員会等による2005年全国地震動予測地図 - 応答スペクトルを考慮した脆弱性の評価 - ステップ支払いと呼ばれる日本の共済の支払い条件の入力方法
	1999	<ul style="list-style-type: none"> ・初版モデルは、米国モデルを参照したような形で、日本の設計基準や地盤情報等が十分に反映されていなかったため、こうした基礎となる情報を収集し直してモデルが全面的に更新された。
A社 台風	1999	<ul style="list-style-type: none"> ・初版モデルは、米国モデルを参照したような形で、日本の設計基準や地盤情報等が十分に反映されていなかったため、こうした基礎となる情報を収集し直してモデルが全面的に更新された。
	1995	<ul style="list-style-type: none"> ・初版モデルの発表。
B社 地震	2010	<ul style="list-style-type: none"> ・高層建物の脆弱性曲線、建物と利益(休業損失)の脆弱性曲線が追加、更新された。 ・自動車、海上貨物、人的被害に対して地震火災の分析が可能になり、また、2-1-2 節で説明する二次的特性が反映できるようになった。 ・ステップファンクションと呼ばれる日本の共済の支払条件の入力方法が簡素化された。 ・支払条件を反映した地震動と地震火災による統合リスクを分析できるようになった。 ・市区町村コード(JISコード)が更新された。
	2008	<ul style="list-style-type: none"> ・地震調査研究推進本部の地震調査委員会等による2005年全国地震動予測地図等に基づき、イベントセットを更新した。 ・距離減衰式を更新した。 ・火災保険の構造級別、人的被害、海上貨物及び鉄道等の脆弱性曲線が追加された。
B社 台風	2010	<ul style="list-style-type: none"> ・日本単独のモデルから太平洋北西部のモデルになり、台風の降雨に起因する洪水や降雨量に大きな影響を与える温帯低気圧へ変化を明示的に考慮する等の方法論も改良された。 ・モデルの解像度が更新された。 ・脆弱性曲線が追加、更新された。 ・7つの歴史イベントが追加された。 ・残存物取片付け費用と特別費用が明示的にモデル化できるようになった。 ・ステップ支払い条件のモデル化の拡張。
	2008	<ul style="list-style-type: none"> ・利益(休業損失)の脆弱性関数が更新された。 ・脆弱性曲線の階数の分類が更新された。 ・歴史イベントカタログが更新された。
C社 地震	2007	<ul style="list-style-type: none"> ・下記の情報に基づき、ハザードモジュールが更新された。 - 地震調査研究推進本部の地震調査委員会等による2005年全国地震動予測地図 - 国土数値情報データ(表層地盤における地震動の増幅特性の評価に利用) ・工学的分析に基づき、木造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造の脆弱性曲線が更新された。 ・免震構造の脆弱性曲線及び2000年以降の木造の脆弱性曲線が追加された。
	2004	<ul style="list-style-type: none"> ・2002年にアメリカ地質調査所が提案した、海溝型地震のマグニチュードのランダム性に起因する不確定性を考慮するようになった。 ・構造等が不明の場合の住宅、一般、工場物件の脆弱性曲線が追加された。
C社 台風	2010	<ul style="list-style-type: none"> ・日本単独モデルから、新しく太平洋北西部のモデルになり、また、台風に起因する洪水リスクが追加された。 ・脆弱性曲線が更新された。 ・ファイナンシャルモジュールが変更された。
	2005	<ul style="list-style-type: none"> ・都道府県毎の集積データを市区町村毎に分散させる際に用いる各業種の地域分布が変更された。 ・風速場モデルが変更された。

新しい科学的知見やデータ等を取り入れることによって、モデルに大きな変更が加えられた場合には、モデル開発会社は、変更内容を説明する文書を提供する他に、変更のあったモデルを利用する主な地域でセミナーを開催したり、モデルを利用する保険会社や再保険会社を個別に訪問したりして、変更の理由を丁寧に説明することにより、業界における新しいモデルの理解を得ている。

欧州強風モデルがバージョンアップされ結果が大きく変わった際には、再保険ブローカーがモデル評価を実施し、新しいバージョンでは過去の保険金支払い実績との乖離が大きくなる等、いくつかの疑問を示した。その結果、多くの会社で古いバージョンが引き続き利用された。

規制の観点からは、ソルベンシーIIの場合、自然災害リスク以外の要素と同様に、保険会社は、モデル変更の方針(Model change policy)において、モデル承認が再度必要な大きな変更(Major change)と、

報告は必要であるが再承認の必要はない小さな変更 (Minor change) を定義することになっているが (第115条)、保険会社があらかじめ定義したモデルの範囲 (Scope of the model) を外れる場合の対応や小さな変更をどう定義するかが議論となり得る。また、弊社のインタビューによれば、欧州規制当局においては、モデル変更の影響を抑えられるとの理由から、複数のモデルの結果を用いてリスクを評価するマルチモデリングアプローチを好むと表明している監督官もいる。

2章 日本の自然災害リスク分析モデルの方法論

本章では、表1-3に示した各社の最新バージョンの日本地震モデル及び日本台風モデルの各モジュールの方法論の解説とモデル間の比較を行う。

2-1. 日本地震モデル

各社地震モデルの方法論を表2-1の一覧にまとめる。

3社いずれのモデルにおいても、地震動と地震火災が対象ペリルとして含まれる。

入力データにおいて、所在地は、粗い場合には都道府県、最も詳細な場合には緯度経度で入力が可能である。都道府県やクレストゾーン(図2-1)でデータが集積されている場合には、モデル開発会社が推定する保険契約額等の地理的分布に基づき、エクスポージャが領域内で地理的に分散される。

2-1-1. ハザードモジュール

ハザードモジュールでは、詳細に場所を指定されたエクスポージャ、あるいは、地理的に分散されたエクスポージャに対して、その各地点における地震の揺れの強さとその発生確率を計算する。なお、地震ハザードモデルの概念図を図2-2に示す。

地震発生モデル

地震発生モデルでは、日本全国及びその周辺で起こり得る地震イベントを、その規模や位置、発生確率を定義して生成する。生成したイベントのまとまりはイベントセットと呼ばれ、これは、超過確率曲線(リスクカーブ)と年平均損失を算出する確率論的分析で用いられる。

イベントセットは、一般に、過去の地震の発生履歴や、断層の大きさや移動速度等の地震学的知見に基づいて構築される。こうした情報をもとに、今後起こりうる地震とその発生確率を再定義したもので、イベントセットに必ずしも過去の地震が含まれている訳ではない。

日本では、地震調査研究推進本部(推本)の地震調査委員会が、全国の主要活断層と海溝型地震のマグニチュードや位置と発生確率に基づき、全国各地において見舞われ得る地震動強さと発生確率の関係を評価した、全国地震動予測地図に関する報告書がある。この報告書には、評価に用いた各震源の情報や地震動強さの計算方法等、自然災害リスク分析モデルのハザードモジュールの内容に相当する情報が記されており、各モデル開発会社は、気象庁等の過去の地震データと共に基本資料として参照している。図2-3の断層の評価結果の抜粋に示されている通り、評価された断層の諸元には幅がある。

3社いずれのモデルにおいても、震源は、主に、海溝型地震、内陸活断層で起きる地震、その他の震源が特定できない中小地震である背景地震に大別してモデル化されている。発生確率については、同一の震源において繰り返し発生するという地震の特性を考慮して、前回の地震の発生時期や平均発

生周期が特定できる震源については、周期性を考慮して発生確率を設定し、周期性が特定できない地震については、発生確率が毎年同じだとして発生確率を設定している。

イベントセットの構築方法には、A社とC社のモデルで採用されている方法とB社で採用されている方法の2種類がある。前者の方法では、最終的に保険金支払い額(損失額)まで計算された段階で、各イベントが、(i)年間発生確率(又は、年発生率。年発生率は1より大きい値になり得る)、(ii)平均損失額、(iii)平均損失額まわりの不確定性を表す標準偏差という3つの主な情報を持つ。(iii)の標準偏差は、地震の規模と発生確率に関する不確定性を1次の不確定性と呼ぶのに対応して、2次の不確定性と呼ばれる。後者の方法では、今後1年間の時系列のシミュレーションを10,000回行い、発生する地震1つ1つをイベントとして定義する。このため、シミュレートされた全てのイベントの年発生率は1/10,000である。ここで、今後10,000年間のシミュレーションではなく、今後1年間の10,000回のシミュレーションを行う理由は、地震の発生に時間依存性があるためである。各イベントは、標準的な出力として2次の不確定性を考慮した平均損失額の情報のみを持つ(2次の不確定性を出力することも可能である)点も前者とは異なる点である。不確定性に着目して両者の違いを比較すると、前者の方法では標準偏差で表現しているのに対し、後者の方法ではシミュレーションの回数で表現している点異なるが、それぞれの方法から得られる情報の質と量に本質的な違いはない。A社とC社のイベントセットのイベント数に対して、B社のイベント数が非常に多い理由は、そのためである。しかし、B社モデルで採用されている時系列のイベントセットの方が、1年間に複数のイベントが起こる現象を扱いやすいというモデルユーザーからの要望により、A社とC社のモデルも、B社と同じ時系列のイベントセットへ移行中である。A社では、現在、モデル本体外の追加モジュールで、各年にどのイベントが発生するかを考慮した分析環境を提供している。2010年に発表されたC社のアジア台風モデルは、すでに10,000年間の時系列のイベントセットになっている。

イベントセットの他に、過去の地震を再現したイベントがあり、一般に確率論的イベントセットは別に用意されている。個々のイベントをシナリオ分析した結果を実際の保険金支払い額と比較し、モデルの検証をすることが可能となる。シナリオ分析の出力結果には、A社とC社のモデルでは、イベントセットの場合と同様に、平均損失額と標準偏差が含まれるのに対し、B社のモデルでは、標準的な出力においては標準偏差は含まれない。

表2-1A: 各社の地震モデルの方法論一覧(1/3)

		A社	B社	C社
対象ペリル		地震動 地震火災	地震動 地震火災	地震動 地震火災 スプリンクラー漏れ
入力可能なデータの地理的解像度		・緯度経度(小数点以下5桁程度) ・7桁郵便番号 ・損保コード ・市区町村/5桁JISコード ・都道府県 ・クレストゾーン	・緯度経度(小数点以下5桁程度) ・7桁郵便番号 ・損保コード ・市区町村/5桁JISコード ・都道府県	・緯度経度(小数点以下5桁程度) ・市区町村/5桁JISコード ・都道府県 ・クレストゾーン
集積データの地理的分散方法		クレストゾーンや都道府県毎の集積データの場合、市区町村毎の保険契約額の地理的分布の推定に基づき、各地域における損害額を計算する。	都道府県毎の集積データの場合、Industry Exposure Database の分布に基づいて1km四方のグリッドに分散する。	クレストゾーンあるいは都道府県毎の集積データの場合、業種別(住宅、商業、工業等)に異なる割合を用いて、全国850地点に分散する。この850地点は、都市部の市区、その他の地域は主な町村等である。市区町村毎のデータの場合は分散されないが、地盤の増幅率は、当該市区町村内のエクスポージャーの分布を考慮して加重平均した値が適用される。
ハザード モジュール	イベントセットの構築 (地震発生モデル)	<p>主な使用データ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2005年地震調査研究推進本部の地震調査委員会による全国地震動予測地図 ・気象庁地震カタログ ・宇佐美カタログ(日本被害地震総覧(宇佐美, 1996)) ・被害のあった地震に関する応用地質社のカタログ <p>→679-2002年の28,000以上のマグニチュード4以上の地震が含まれる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・2005年地震調査研究推進本部の地震調査委員会による全国地震動予測地図が、モデルの基礎となっている。 ・1923年から2006年10月までの気象庁地震カタログ ・宇佐美カタログ 	<ul style="list-style-type: none"> ・2005年地震調査研究推進本部の地震調査委員会による全国地震動予測地図 ・気象庁地震カタログ ・宇佐美カタログ、宇津カタログ ・その他の公開データも調査し、必要に応じてカタログデータに修正を加えている。
	構築方法	<p>震源タイプ:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・浅い地殻内地震 - 内陸活断層、地殻内背景地震 ・海溝型地震 - プレート境界地震、プレート内地震、背景地震等 <p>マグニチュードの設定:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・各震源のマグニチュードは、断層の大きさや、過去の地震、地震学的知見をもとに設定。 ・不確定性を考慮して、上記で求められるマグニチュードより大きなマグニチュードのイベントも作成。 ・考慮する最小マグニチュードは、モーメントマグニチュードMw4.0 <p>発生確率の設定:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・前回の地震の発生時期と平均発生周期が特定できる震源については、周期性を考慮した発生確率を設定。 ・周期性が特定できない震源については、発生確率が毎年同じであるとして発生確率を設定。 	<p>震源タイプ:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海溝型地震 ・内陸活断層 ・背景地震(上記以外の中小地震) <p>マグニチュードの設定:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・考慮する最小マグニチュードは、モーメントマグニチュードMw5.0 <p>発生確率の設定:</p> <p>以下の3つの異なるイベントセットを用意している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・周期性の特定できる震源について、地震調査委員会の評価に従って発生確率を設定したイベントセット ・周期性の特定できる震源について、地震調査委員会の評価と独自の評価を重み付けて求めた発生確率を採用したイベントセット ・周期性の特定できる震源についても、周期性がないものとし、毎年同じ発生確率を設定したイベントセット <p>イベントセットのイベントの位置と発生確率は、過去の地震カタログと比較することにより検証している。</p>	<p>震源タイプ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海溝型地震 ・和達ベニオフ地震* ・主要内陸活断層 ・背景地震 <p>マグニチュードの設定:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・各震源のマグニチュードは、断層面積や断層長さからマグニチュードを関連付ける経験式や、過去の地震をもとに設定。 ・1つの震源につき、位置とマグニチュードの不確定性を考慮して、複数のイベントを設定。 ・考慮する最小マグニチュードは、気象庁マグニチュードMj5.01 <p>発生確率の設定:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・周期性が特定できる震源については、前回の地震の発生年と平均発生周期を用いて、周期性がBPT分布に従うと仮定して発生確率を設定。 ・周期性が特定できない震源については、マグニチュードと頻度の関係式を用いて、発生確率が毎年同じだと発生確率を設定。 <p>*プレートが最終的にマントルに吸収されるメカニズムにより、沈み込んだプレート内深部の地下約40km付近で発生する中小規模の地震。</p>
	確率論的イベントセットのイベント数	27,306イベント	10,000回の1年間のシミュレーションによる973,395以上のイベント	75,929イベント
歴史イベント数	10イベント この他にも確率論的イベントセットの中に、1703年元禄関東地震、1944年南海地震、1946年東南海地震、1923年大正関東地震、1995年兵庫県南部地震等の歴史イベントを含む。また、東北地方太平洋沖地震等、地震後にシナリオデータが作成されてユーザーに配信され、ユーザー側でモデルに組み込んで使用するイベントもある。	24イベント この他に、東北地方太平洋沖地震等、地震後にシナリオデータが作成されてユーザーに配信され、ユーザー側でモデルに組み込んで使用するイベントもある。	54イベント この他に、東北地方太平洋沖地震等、地震後にシナリオデータが作成されてユーザーに配信され、ユーザー側でモデルに組み込んで使用するイベントもある。	

表2-1B: 各社の地震モデルの方法論一覧(2/3)

ハザード モジュール	距離減衰のモデル化 (距離減衰モデル)	震源タイプ別に下記の距離減衰式を使用している。 ・浅い地殻内地震 - Takahashi, et al.(2004)とUchiyama & Midorikawa (2005)の平均 ・プレート境界地震とプレート内地震 - Youngs et al (1997)、Takahashi et al. (2004)、Uchiyama & Midorikawa (2005)の平均	下記の3つの距離減衰式は、活断層地震、海溝型地震、深部地震について異なる式を持っており、各震源タイプに対して、3つの式の平均を使用している。 ・Kanno et al. (2006) ・Zhao et al. (2006) ・Takahashi et al. (2004)	浅い震源(断層や浅い背景地震)、和達ベニオフ地震、プレート境界地震等の震源タイプに応じて下記の距離減衰式を重み付けて使用している。 ・Shabestari&Yamazaki(1999) ・Cambell(1997) ・Sadigh et al.(1997) ・Young et al.(1997)
	局所的な表層地盤の影響のモデル化 (地盤モデル)	使用データ: 国土数値情報の1km毎の地質と液状化の情報。東京、大阪、名古屋各地域の一部は、自社の膨大な現地調査と専門知識に基づく100m毎のデータ。 増幅率の設定: 8つの地盤分類に対して、米国西部のPGAの非線形増幅率を日本の地質に合わせて調整して設定し、最終的には連続的な値の増幅率を設定している。 液状化と地滑りリスク: 液状化については、8つの地盤分類に基づいて評価し、最終的には液状化の確率を表す液状化ファクターを連続的な値で設定している。 地滑りは考慮していない。	使用データ: 1km~50m毎の地質データ。日本の南部のほとんどは200m毎、東京、横浜、大阪、神戸、名古屋、京都、広島、仙台等の人口密度の高い地域は50m毎。高解像度のデータは、日本地質学会による第四紀表層地質情報に基づく。Matsuoka et al. (2006)による1km四方の表層30mの推定平均S波速度の全国地図。 増幅率の設定: 上記データを用いて局所的な地盤を分類してモデル化し、増幅率を設定している。 液状化と地滑りリスク: 明示的には考慮されていない。	使用データ: 国土数値情報の地形地質データに基づく14分類の1km毎の地盤情報。人口密度の高い地域は50m毎。 増幅率の設定: 14の各地盤分類に対するPGVと表層30mのS波速度の関係式に基づいて設定している。 液状化と地滑りリスク: ユーザーがこれらのリスクに関わる地盤の情報を付加することにより考慮される。
	地震動強さの指標	加速度応答スペクトル(Sa)が脆弱性モジュールへの入力等に主に用いられる。この他に、地表面最大加速度(PGA)と修正メルカリ震度階(MMI)があり、損害推定に一部用いられる。	加速度応答スペクトル(Sa)が脆弱性モジュールへの入力等に主に用いられる。この他に、地表面最大加速度(PGA)があり、損害の推定に一部用いられる。	地表面最大速度(PGV)
	検証方法	モデル化された地震動強さは、過去の地震の記録と比較して検証している。	モデル化された地震動強さは、過去の主な地震で観測された地震動強さと比較して検証している。	地震調査研究推進本部による、全国における再現期間500年のPGVを示すハザードマップ及び主要都市における再現期間毎のPGVを示すハザードカーブ等と比較して検証している。
	脆弱性 モジュール	脆弱線曲線の構築方法と検証方法	・地震動の周期特性を考慮した実際の構造物の応答を評価する応答スペクトル法を用いて脆弱性曲線を構築した後、1995年兵庫県南部地震、2000年鳥取県西部地震、2001年芸予地震、2003年宮城県沖地震、宮城県北部地震、2004年新潟中越地震等の近年の主要な地震の膨大な被害データ及び保険金支払いデータに専門家による見解や関連する理論を併せて、調整・検証している。 ・構造等の建物の特性が不明の場合は、例えば構造種別が不明の場合、各構造の比率に応じて、各構造の脆弱性曲線を加重平均した脆弱性曲線を用いる。	・工学研究の成果を取り入れ、過去の地震の被害報告書を用いて検証を行っている。 ・地震動の周期特性や構造物の非線形応答を考慮した構造物の応答解析や、構造物の各部材の損傷を考慮した客観的な方法を用いて、各種脆弱性曲線を構築している。 ・構造種別や用途種別が不明の場合は、例えば構造種別が不明の場合、Industry Exposure Database の各構造の保険金額に応じて、各構造の脆弱性曲線を加重平均した脆弱性曲線を用いる。
	脆弱性曲線の分類	構造種別	用途種別	保険の目的
		20分類(小分類を除く) 住宅物件に対する構造級別: A、B、C、D、商業物件、工場物件等に対する構造級別: 特級、1、2、3、4、不明等	41分類 木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造、住宅物件に対する構造級別: A、B、C、D、商業物件、工場物件等に対する構造級別: 特級、1、2、3、4、不明等	日本特有の構造25分類を含む 113分類 木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造、住宅物件に対する構造級別: A又はB、C又はD、商業物件、工場物件等に対する構造級別: 特級又は1、2、3又は不明等
		11分類 住宅、集合住宅、商業、工業、石油化学、公共施設、住宅金融公庫の住宅、不明等 工業については、さらに細かい26分類	52分類 住宅、集合住宅、商業、工業、建設等	36分類 住宅、商業、化学、建設、娯楽、食料品及び薬品、医療、重工業、軽工業、ハイテク工業、駐車場、その他の12分類それぞれに対して、平均、低め、高めの3分類の脆弱性
		建物 動産 利益(時間あるいは休業損失とも言う)	建物 動産 利益(時間あるいは休業損失とも言う)	建物 動産 利益(時間あるいは休業損失とも言う)

表2-1C: 各社の地震モデルの方法論一覧(3/3)

脆弱性 モジュール	脆弱性曲線の分類	建築年	6分類 ・1950年以前 ・1951-1970年 ・1971-1980年 ・1981-1999年 ・2000年以降 ・不明	構造設計されている構造(鉄筋コンクリート造、鉄骨造等)については 下記の4分類 ・1971年以前 ・1972-1981年 ・1982年以降 ・不明 構造設計されていない構造(木造、石造等)については、下記の4分類 ・1961年以前 ・1962-1981年 ・1982年以降 ・不明	木造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄骨造等の建物の構造に 対しては、下記の6分類。 ・1971年以前 ・1972-1981年 ・1982-1996年 ・1997-2000年 ・2001年以降 ・不明 その他の構造については、建築年による違いはない。
		階数	5分類 ・1-3階 ・4-7階 ・8-14階 ・15階以上 ・不明	5分類 ・1-3階 ・4-10階 ・11-20階 ・21階以上 ・不明	7分類 ・1-3階 ・4-6階 ・7-10階 ・11-13階 ・14-20階 ・21階以上 ・不明
		地域性	5分類	考慮している。	考慮している。
		二次的特性	19項目	24項目	31項目
地震火災モデル	出火のモデル化	地震の規模と発生時間、地域毎の建物の面積や用途種別、構造の内訳に応じてモデル化している。	主にPGAに依存して、さらに建物用途に応じてモデル化している。(商業建物は戸建住宅よりも発火確率が低い等)	郵便番号毎の用途種別と被害率、地域毎の構造種別及びランダムに与えた地震の発生日時に応じてモデル化している。 ガス管等、建物以外からの出火も考慮している。	
	延焼のモデル化	地域毎の建物の構造の内訳、建物間や街区間の距離、風速に応じてモデル化している。	風速と風向、6分類の建物密度、4分類の建物タイプに基づき延焼範囲をシミュレーションするHamada(1975)の延焼モデルを使用してモデル化している。風速は、出火点周辺の観測点のデータをもとに確率分布を設定している。	郵便番号毎に各イベントに対して出火数に応じて延焼面積の確率分布を計算している。 地域毎の建物密度、木材等の燃料となる物質の量、用途種別に応じてモデル化している。 風速と風向も暗示的に考慮している。	
	消火のモデル化	地域毎の利用可能な消防車数、水、道路アクセス及び場所等に応じてモデル化している。	各イベントに対して、消防車の速度、利用可能な消防車数、水の利用可能状況をもとに、PGAの関数としてモデル化している。建物間の距離も考慮している。	消火活動力、水の利用可能状況を考慮してモデル化している。	
	脆弱性と損失額の計算口	全焼するかしないかの2択モデルで、市区町村毎に建物が全焼する確率を計算する。全ての建物は、同じ脆弱性を持つと仮定している。	延焼面積に面積当たりの推定建設コストを乗じて地震火災による被害額を計算した後、動産の被害を含めるためのスケールファクターを乗じて、市区町村毎にエクスポージャの総額を限度として総被害額を算出している。	郵便番号毎の延焼面積と地震動による被害の程度に基づいて被害額を計算する。	

図2-1: モデルで使用されるクレストゾーン

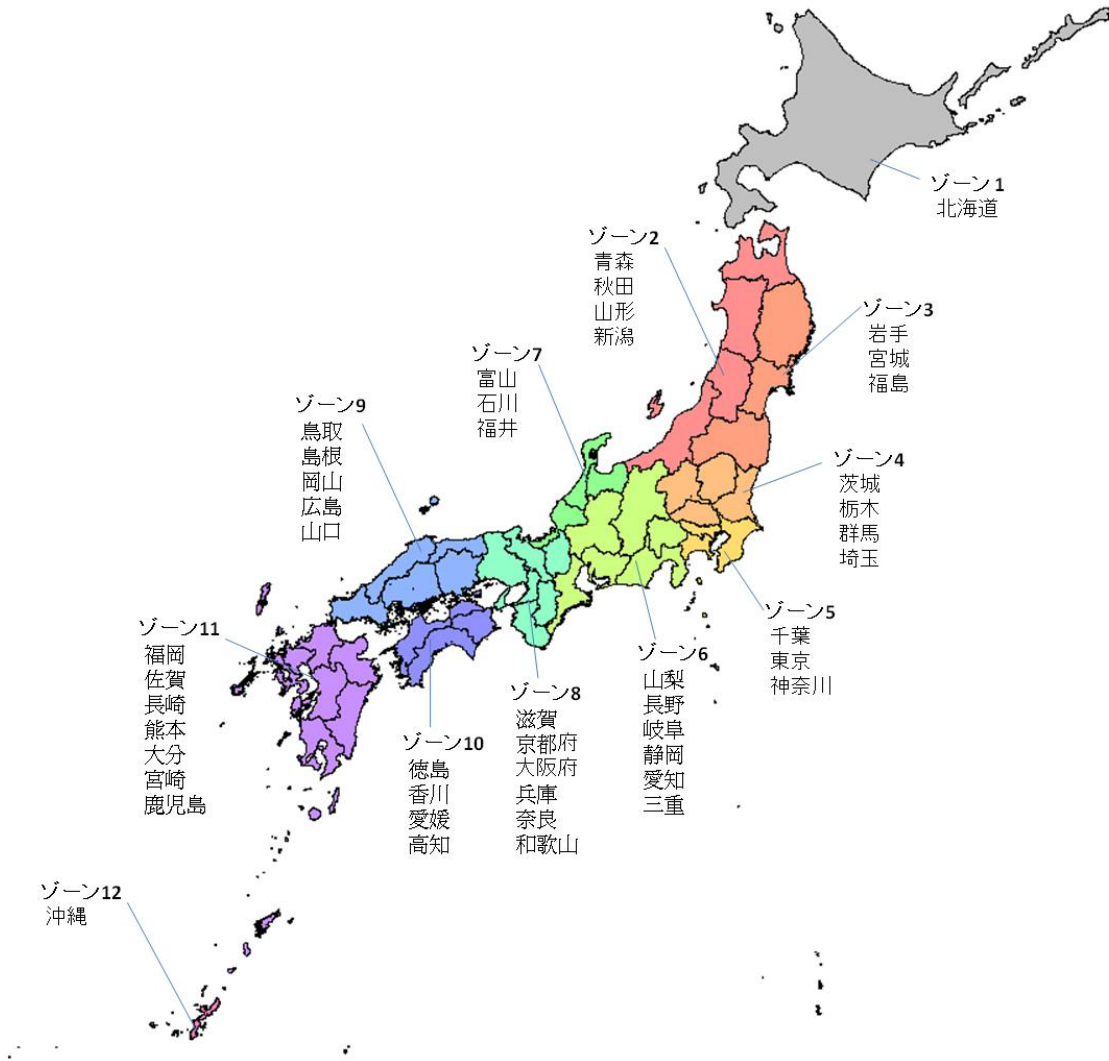


図 2-2: 地震モデルの概念図

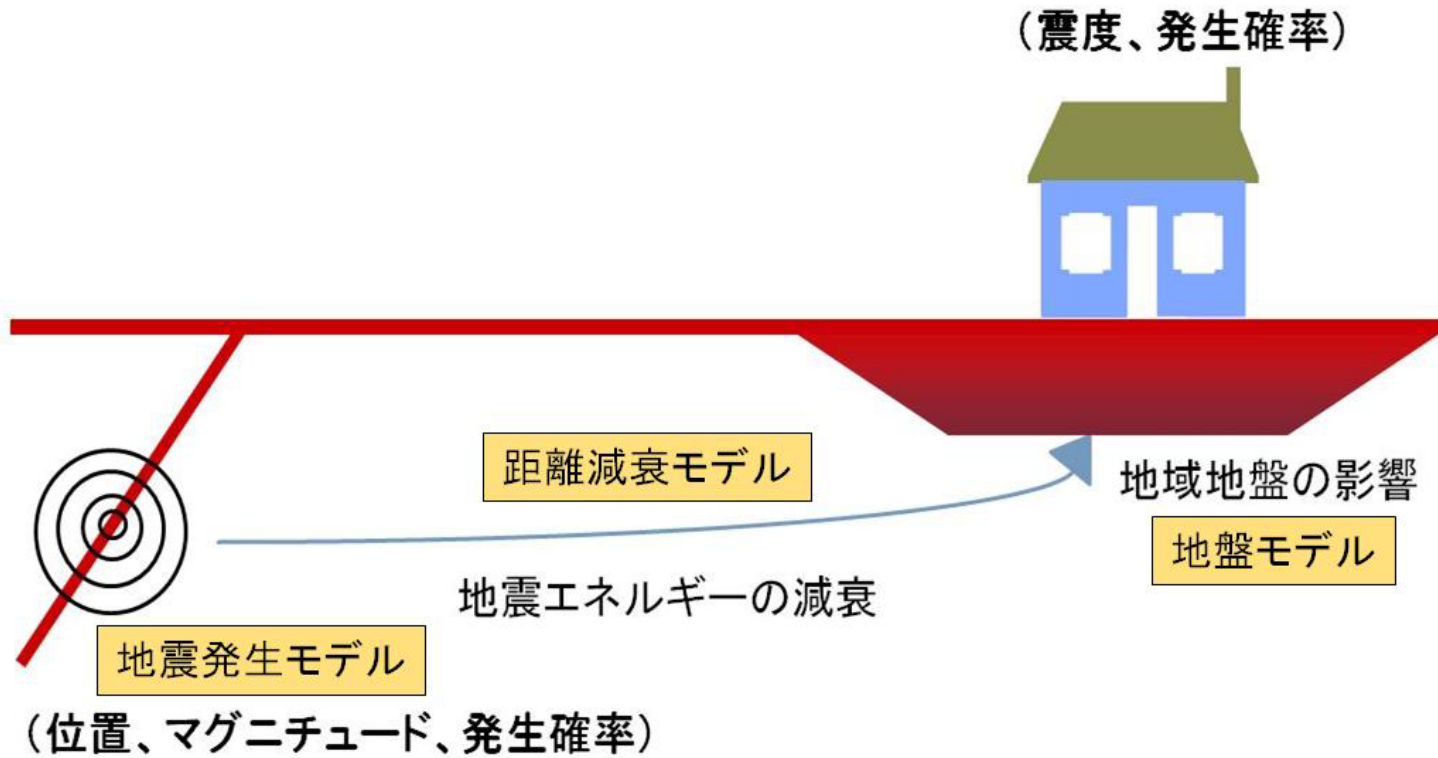


図 2-3: 地震調査研究推進本部 地震調査委員会の震源の評価結果の抜粋
 (http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05mar_yosokuchizu/bunsatsu1.pdf)

表 2.2.1-3 主要 98 断層帯のマグニチュードと断層面の諸元

コード	断層名称	断層面のずれの向き	M_j	断層長さ	断層面の幅	断層面の傾斜角	地震発生層の深さ	
0101	標津断層帯	北西側隆起の逆断層	長期評価	7.7 程度以上	約 52km 以上	不明	北西傾斜	下限 15km 程度
			モデル化	7.7	53km	14km	北西傾斜 60 度	3-15km
0201	十勝平野断層帯	東側隆起の逆断層	長期評価	8.0 程度	約 84km	不明	東傾斜	下限 20km 程度

表 2.2.1-2 主要 98 断層帯での地震発生確率

コード	断層名称	長期評価結果	発生確率 平均ケース	発生確率 最大ケース	
0101	標津断層帯 $L=52\text{km}$	平均活動間隔	不明	17000 年	17000 年
		最新活動時期	不明	(ボアソン過程)	
		30 年発生確率	—	0.18%	0.18%
		50 年発生確率	—	0.29%	0.29%
0201	十勝平野断層帯主部	平均活動間隔	17000 年～22000 年程度	19500 年	17000 年
		最新活動時期	不明	(ボアソン過程)	
		30 年発生確率	0.1%～0.2%	0.15%	0.18%
		50 年発生確率	0.2%～0.3%	0.26%	0.29%
0202	光地園断層	平均活動間隔	約 7000 年～21000 年程度	14000 年	7000 年
		最新活動時期	不明	(ボアソン過程)	
		30 年発生確率	0.1%～0.4%	0.21%	0.43%
		50 年発生確率	0.2%～0.7%	0.36%	0.71%
0301	富良野断層帯西部	平均活動間隔	4000 年程度	4000 年	4000 年
		最新活動時期	2 世紀～1739 年	1086 年前	1905 年前
		30 年発生確率	ほぼ 0%～0.03%	ほぼ 0%	0.028%
		50 年発生確率	ほぼ 0%～0.05%	ほぼ 0%	0.050%
0302	富良野断層帯東部	平均活動間隔	5000 年～20000 年程度	12500 年	5000 年
		最新活動時期	不明	(ボアソン過程)	
		30 年発生確率	0.1%～0.6%	0.24%	0.60%
		50 年発生確率	0.2%～1%	0.40%	1.0%
0401	増毛山地東縁断層帯	平均活動間隔	5000 年程度以上	5000 年	5000 年
		最新活動時期	特定できない	(ボアソン過程)	
		30 年発生確率	0.6%以下	0.60%	0.60%
		50 年発生確率	1%以下	1.0%	1.0%

表 2.2.2-1 海溝型地震の発生確率の一覧 (その 1)

領域 または 地震名	諸元	長期評価結果	モデル化
南海地震 ^{*1}	マグニチュード	$M8.4$ 前後	$Mw8.4$
	平均発生間隔	90.1 年 ^{*2}	90.1 年
	最新発生時期	1946 年 12 月	58.0 年前
	ばらつき α	0.20～0.24	0.20
	30 年発生確率	50%程度	48%
50 年発生確率	80%程度	84%	
東南海地震 ^{*1}	マグニチュード	$M8.1$ 前後	$Mw8.1$
	平均発生間隔	86.4 年 ^{*2}	86.4 年
	最新発生時期	1944 年 12 月	60.1 年前
	ばらつき α	0.18～0.24	0.20
	30 年発生確率	60%程度	61%
50 年発生確率	90%程度	90%	
想定東海地震 ^{*1}	マグニチュード	-	$Mw8.0$
	平均発生間隔	-	118.8 年
	最新発生時期	-	150.0 年前
	ばらつき α	-	0.20
	30 年発生確率	-	86%
50 年発生確率	-	97%	
宮城県沖地震 ^{*1,*,3}	マグニチュード	$M7.5$ 前後	$Mw7.6, 7.4^{*3}$
	平均発生間隔	37.1 年	37.1 年
	最新発生時期	1978 年 6 月	26.6 年前
	ばらつき α	0.177 ^{*4}	0.18
	30 年発生確率	99%	99%
50 年発生確率	-	100%	
三陸沖から房総沖にかけ 三陸沖南部 海溝寄りの地震 ^{*1}	マグニチュード	$M7.7$ 前後	$Mw7.8^{*3}$
	平均発生間隔	105 年程度	104.5 年
	最新発生時期	1897 年 8 月	107.4 年前
	ばらつき α	0.19～0.24	0.22
	30 年発生確率	70%～80%	79%
50 年発生確率	90%程度以上	94%	

距離減衰モデル

距離減衰モデルでは、対象建物の建つ敷地における表層の影響を受けない工学的基盤と呼ばれる地点での地震動強さを計算する。ここでは、震源の情報(マグニチュード、位置、震源タイプ)と震源からの距離を用いて任意の地点における地震動強さを計算する距離減衰式と呼ばれる式を用いる。

地震動強さを計算する方法には、断層の詳細な形状や伝播経路である地盤の3次元構造を考慮する方法等の様々な方法があるが、自然災害リスク分析モデルでは、基本的な情報のみであらゆる震源と対象敷地に適用できる簡易法として、距離減衰式と表層地盤による増幅率でモデル化するのが一般的である。距離減衰式は、横軸を震源からの距離、縦軸を地震動強さとする、図2-4に示すような曲線とその不確定性を表す標準偏差で表現される。○印と△印からなる観測値に最も合うように、地震動強さの推定平均値を表す曲線が定義されている。図中の黄色の矢印で示されるような平均値からの乖離は、マグニチュードや震源からの距離等で定義される推定平均値の曲線では、実際の観測値を十分に表現できず、地震動強さが決定的に評価できないことを意味し、モデルにおいても、距離減衰式の平均推定値と標準偏差を以て地震動強さを計算している。

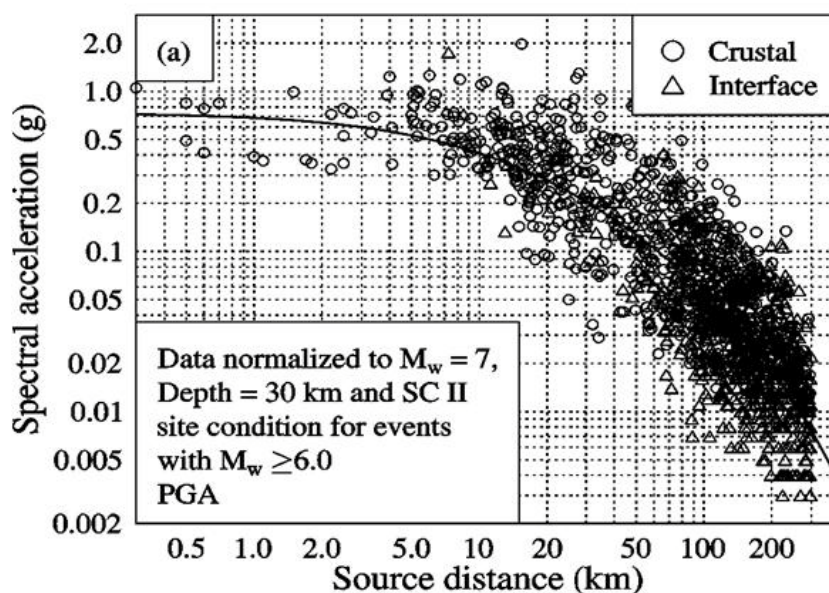


図 2-4: 距離減衰式 (Takahashi et al. (2004))

モデルでは一般に、まず距離減衰式を用いて、対象とする地点の局所的な表層地盤による影響を取り除いた工学的基盤等における地震動強さを計算する。地震動強さの減衰の仕方は、震源のタイプや伝播経路の地盤、その他の要素によって異なる。一般に異なる震源タイプには異なる距離減衰式が使用される。各社モデルにおいても、震源タイプ毎に、異なる式を使用したり、複数の式の平均や加重平均を採用したりしている。

地盤モデル

地盤モデルでは、対象建物の建つ敷地における表層地盤による地震動強さの増幅を考慮して、地表面での地震動強さを計算する。

ここでは、対象地点の表層地盤による地震動の揺れの増幅を考慮するために、地盤情報を利用する。一般に、シルト(沈泥)や砂等の軟らかい地盤は、岩盤等よりも揺れを増幅させる。各地盤種別に対して増幅率を設定し、距離減衰式で求められた工学的基盤での地震動強さに乗じて、対象地点の地表面における地震動強さを計算する。

ハザードモジュールで計算される地震動強さには様々な指標があるが、現在日本の地震モデルで主に用いられている指標として、対象とする地震動の継続中における加速度の最大値をとった地表面最大加速度(PGA;Peak Ground Acceleration)、同速度の最大値をとった地表面最大速度(PGV;Peak Ground Velocity)、加速度応答スペクトル(Sa;Spectral Acceleration)がある。建物には、それぞれ揺れやすい特定の周期があり、それをその建物の固有周期と呼ぶが、加速度応答スペクトルは、対象とする地震動の継続中における、各固有周期の建物の揺れの最大の加速度を表したものである。ゆっくりとした長周期の地震動と小刻みな短周期の地震動とでは建物の応答(挙動)が異なるというような、地震動の周期特性と建物の固有周期を考慮した建物の挙動を考慮できる。一方で、PGAやPGVを使う理由としては、モデルを構築、検証するためのデータが豊富にある点や家具等の動産の地震時の挙動や被害がPGAとの相関が高いとされる点等が挙げられる。

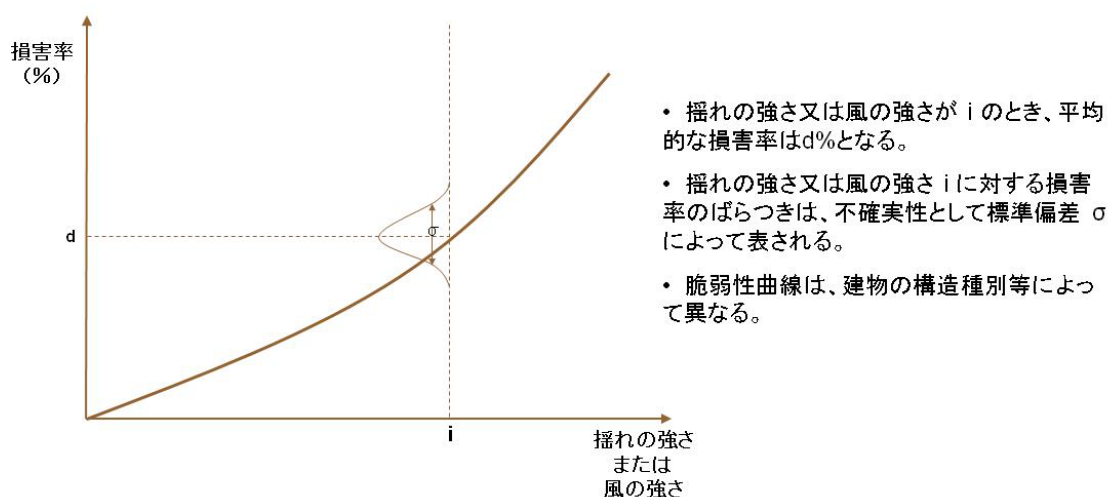
地震ハザードモデルの検証は、過去の地震における各地の地震動の観測記録とモデルで計算される当該シナリオイベントによる各地の地震動強さを比較して行われる。

2-1-2. 脆弱性モジュール

脆弱性モジュールでは、建物等のエクスポージャが地震動に見舞われた場合の被り得る損害を計算する。ここでは、建物等の脆弱性(耐震性)を、地震動強さと損害率の関係を表す脆弱性曲線によってモデル化する。ここで、損害率とは、再調達価格に対する損害額である。脆弱性モジュールでは、一般に、ハザードモジュールで計算される地震動強さと同じ指標が用いられる。なお、ここでは、建物の用途や構造種別、建築年、階数等によって異なる脆弱性曲線が用意されている。

脆弱性曲線は、過去の地震における被害データや保険金支払いデータ、構造物の応答解析、更には関連理論や専門家による見解を組み合わせで構築され、モデルの構築と検証が一体化していると言える。図 2-5 に示すように、脆弱性曲線は、任意の地震動強さに対する平均損害率を表し、平均値まわりの不確実性も考慮される。この不確実性は、実際の建物等の損害率をプロットすると平均値の周辺でばらつくことを反映しており、地震動強さだけでは用途や構造種別、建築年、階数等で分類された各種建物の脆弱性を十分に表現できず、被害率を決定的に評価できないことを意味する。そのため、被害率の平均値と不確実性を表す標準偏差を用いて被害の計算を行う。

図 2-5: 脆弱性曲線



用途(物件)種別

保険会社の地震エクスポージャは、家計地震のエクスポージャ(住宅物件)の他に、一般(商業)物件と工場(工業)物件で大別されることが多い。工場物件に関しては、石油精製所、半導体工場等、更に細かく指定されることもあり、それらに対応した脆弱性曲線も用意されている。主に、構造種別が不明の場合の建物の脆弱性曲線の設定と動産と利益(時間あるいは休業損失とも言う)の脆弱性曲線の設定に用いられる。

構造種別

保険会社の火災保険の構造級別(住宅物件については、A構造、B構造、C構造、D構造等、一般・工場物件については、特級、1級、2級、3級、4級)、構造材の種類に応じた構造種別(木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造等)の他、自動車、海洋貨物等の脆弱性曲線もある。保険会社の地震エクスポージャデータには、構造種別の情報が含まれないことが多いが、含まれる場合には、火災保険の構造級別が使用されることが一般的である。構造種別が不明の場合は、建物の用途に基づいて、モデル内で平均的な構造種別が想定される。各構造級別の代表的な構造は下記の通りである。2010年1月以降、火災保険の構造級別が改定され、それ以降の契約については、住宅物件については、M構造、T構造、H構造、一般物件・工場物件については、1級、2級、3級という区分になった。現在のモデルは改定後の構造級別には対応しておらず、分析の際には、改定後の各構造級別のエクスポージャを、モデル開発会社が推奨する既存の構造級別の内訳で振り分ける等の方法をとる。

図 2-6: 火災保険の構造級別

住宅物件	一般・工場物件	代表的な構造
A 構造	特級	鉄筋コンクリート造
	1 級	耐火被覆のある鉄骨造
B 構造	2 級	鉄骨造
C 構造	3 級	外壁が不燃材料の木造
D 構造	4 級	上記以外(主に木造)

保険の目的

建物、動産及び利益(時間あるいは休業損失とも言う)は、それぞれ異なる脆弱性曲線が設定されている。利益は、建物の損害に基づく直接損害のみを対象としている。保険会社のエクスポージャーデータにおいて、建物と動産の保険金額の内訳が不明な場合は、各用途の平均的な内訳等に基づいて、保険金額を分配して分析を行う。

建築年

建築基準法が変更されると設計基準が厳しくなり、以降の建物はそれ以前のものよりも耐震性が高くなることから、建築年によって異なる脆弱性曲線が用意されており、建築基準法の耐震性に関わる内容が変更された年に合わせた区分になっている。保険会社のポートフォリオの分析で建築年が含まれることは稀である。建築年が不明な場合は、建物の用途や構造種別に基づいて、モデル内で平均的な建築年が想定される。

階数

高層建物は、高度な構造計算がされているため一般に脆弱性が低い(耐震性が高い)といったような、階数による脆弱性の違いを反映した異なる脆弱性曲線が用意されている。保険会社のポートフォリオの分析で階数が含まれることは稀である。階数が不明な場合は、建物の用途や構造種別に基づいて、モデル内で平均的な階数が想定される。

地域性

地震の危険度が高いところでは、より厳しい耐震性が求められる等、地域による設計基準や施工慣習の違いを考慮し、地域毎に異なる脆弱性曲線が用意されている。

二次的特性

建物に関する上記項目を基に、対応する平均的な脆弱性曲線が選択されるが、個々の建物のより細かい特性を反映させるために、柱や梁、壁、基礎の構造等の二次的特性(secondary modifier/characteristics)と呼ばれる項目の入力が可能で、この情報に基づき、平均的な脆弱性曲線が調整される。保険会社のポートフォリオの分析で利用されることは稀である。

2-1-3. 地震火災モデル

地震火災モデルは、地震イベント発生後の、出火、延焼、消火の各ステップのモデル化を経て、被害と損失額の計算を行う。出火確率は、地震の発生時間等のランダムな要素と建物の用途等をもとに設定される。続いて、近隣地域の建物用途の内訳や建物間の距離、風速等をもとに、延焼がモデル化され、消火能力は、該当地域で利用可能な消防車数や水量等でモデル化される。

2-2. 日本台風モデル

各社台風モデルの方法論を表2-2の一覧にまとめる。

A社のモデルが日本の台風の強風によるリスクのみを対象としたモデルであるのに対して、B社とC社のモデルは、太平洋北西部地域における、台風の強風と台風の降雨による洪水のリスクを対象としたモデルである。C社のモデルは、更に高潮リスクも明示的にモデル化している。同一の台風で同時に被害を受けうる複数の国を対象とするモデルでは、各国の被害の相関が自ずから考慮されている。なお、A社も、台風の降雨による洪水リスクを追加し、また、各国間の相関が考慮されるアジア地域のモデルを開発中である。

地震の場合と同様に、入力データにおいて、所在地は、粗い場合には都道府県、最も詳細な場合には緯度経度で入力が可能である。都道府県やクレストゾーンでデータが集積されている場合には、モデル開発会社が推定する保険契約額等の地理的分布に基づき、エクスポージャが領域内で地理的に分散される。

2-2-1. ハザードモジュール

ハザードモジュールでは、詳細に場所を指定されたエクスポージャ、あるいは、地理的に分散されたエクスポージャに対して、その各地点における風速や浸水深さとその発生確率を計算する。なお、台風(強風)ハザードモデルの概念図を図2-7に示す。

台風発生モデル及び台風遷移モデル

日本全国で起こり得る台風イベントを、発生あるいは上陸してから消滅するまでの経路と、各時点での位置、進行速度、進行方向、中心気圧、中心気圧の減衰率、大きさを表す最大風速半径等のパラメータ及び発生確率によって定義して生成する。また、台風を太平洋上で発生してからモデル化する場合と、日本列島に上陸してからモデル化する場合とがある。生成したイベントのまとまりをイベントセットと呼び、超過確率曲線(リスクカーブ)と年平均損失を算出する確率論的分析で用いられる。

台風は、上陸すると海からのエネルギー源を失うので、中心気圧の減衰率は、台風が海上にあるか陸上にあるかで異なる。最大風速半径は、 R_{max} (アールマックス)とも呼ばれ、風速が最大の地点から台風の目までの距離で、概して赤道から離れるほど大きく、また台風の強度が大きくなるほど小さくなる。

イベントセットは、一般に、過去の台風とそのパラメータを統計的に分析して、各パラメータに確率分布を与えてシミュレーションをして構築される。今後起こり得る台風とその発生確率を再定義したもので、個々のイベントは必ずしも過去の台風と同一のものではない。

A社の台風モデルのイベントセットは、地震モデルと同様に、最終的に保険金支払い額(損失額)まで計算された際に、各イベントが、年間発生確率(又は、年発生率)と、平均損失額、損失額の標準偏差を持つイベントセットである。これに対して、B社とC社のモデルのイベントセットは、10,000回の1年間の時系列のシミュレーション、あるいは、10,000年間の時系列のシミュレーションで出力される各イベントの平均損失額からなるイベントセットである。台風の場合、一般にその発生の時間依存性はないと仮

定するため、10,000 回の 1 年間の時系列のシミュレーションと 10,000 年間の時系列のシミュレーションは、同じである。

イベントセットの他に、過去の台風を再現したイベントがあり、一般に確率論的イベントセットは別に用意されている。これにより、個々のイベントをシナリオ分析した結果を実際の保険金支払い額と比較し、モデルの検証をすることが可能となる。地震モデルと同様に、シナリオ分析の出力結果には、A社とC社のモデルでは平均損失額と標準偏差が含まれるのに対し、B社のモデルでは標準的な出力では標準偏差は含まれない。

風速場モデル

風速場モデルでは、台風の周囲における地表面の地形に影響されない上空での風速(傾度風)を計算する。一般に台風の中心から離れるほど風速は弱くなる。

地表面モデル

地表面モデルでは、地表面での地形等の影響を考慮して、地表レベルでの風速を計算する。

地表面の影響には、地形による影響と、粗度による摩擦の影響、ガスト(突風)効果がある。粗度は、地表面の凹凸具合を表すもので、例えば、何も無いような平地では粗度が小さく、上空の風速があまり減衰せずに地上に下りてくるが、都市部等の建物が林立しているような場所では粗度が大きく、地上レベルの風速は上空と比べて大きく減衰する。地形や粗度は、標高データや土地利用データ等をもとに判別、分類される。

脆弱性曲線の風速の指標には、一般に、被害との相関の高さから最大瞬間風速が用いられることが多く、その場合、風速は最終的に地表面の影響を考慮したガスト(突風)係数を乗じて、1 分間平均最大風速等の指標から最大瞬間風速に変換される。

風向による違いを考慮する場合には、風向毎に風上側に遡った場所からの地表面の影響をそれぞれ評価する。北側が山で南側が海といったような場合には、どちら側から風が吹いてくるかによって、地表面による影響が異なることを反映できる。

降雨モデル

洪水リスクを含むB社とC社のモデルでは、降雨モデルにおいて、洪水の原因となる台風発生後の降雨のモデル化を行う。降雨モデルは、過去の降雨データをもとに構築され、モデルによって、温帯低気圧への変化や台風の数、速度、地形の影響等が考慮される。

洪水モデル

洪水モデルでは、降雨量、貯水/集水システムの容量の他、モデルによっては地面への吸収率等を考慮して、洪水発生の可能性と浸水深さをモデル化する。

高潮モデル

高潮モデルについては、Cモデルのみ明示的にモデル化している。高潮モデルでは、最大瞬間風速、海岸からの距離、標高及び建物の高さや用途等の特性に基づき、対象敷地における浸水の深さを計算する。

台風ハザードモデルの検証は、各社とも、過去のデータを用いて、モデルによる地域毎のカテゴリ一別（規模別）の台風頻度の比較等を通して行っている。

2-2-2. 脆弱性モジュール

脆弱性モジュールでは、建物等のエクスポージャが強風に見舞われた場合の被り得る損害を計算する。建物等の脆弱性（耐風性、耐水性）を、強風に対しては、風速と損害率の関係を表す脆弱性曲線、洪水に対しては浸水深さと損害率の関係を表す脆弱性曲線によってモデル化する。ここで、損害率とは、再調達価格に対する損害額である。建物の用途や構造種別、建築年、階数等によって異なる脆弱性曲線が用意されている。

地震の場合と同様に、脆弱性曲線は、過去の台風における被害データや保険金支払いデータ、関連理論や工学的分析、専門家による見解等を組み合わせて構築されるため、モデルの構築と検証が一体化している。図 2-5 に示しているように、任意の風速あるいは浸水深さに対する平均損害率を表し、平均値まわりの不確実性も考慮される。

用途（物件）種別

保険会社の風水災エクスポージャは、住宅物件、一般（商業）物件及び工場（工業）物件で大別される。工業に関しては、更に細かい分類に対応した脆弱性曲線も用意されている。用途種別は、主に構造種別が不明の場合の建物の脆弱性曲線の設定と動産と利益（時間あるいは休業損失とも言う）の脆弱性曲線の設定に用いられる。

構造種別

保険会社の火災保険の構造級別（住宅物件については、A構造、B構造、C構造、D構造、一般・工場物件については、構造等特級、1級、2級、3級、4級）、構造材の種類に応じた構造種別（木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造等）の他、自動車、海洋貨物等の脆弱性曲線もある。保険会社のエクスポージャデータには、一般に、火災保険の構造級別が使用されている。構造種別が不明の場合は、建物の用途に基づいて、モデル内で平均的な構造種別が想定される。

保険の目的

建物、動産及び利益(時間あるいは休業損失とも言う)は、それぞれ異なる脆弱性曲線が設定されている。利益は、建物の損害に基づく直接損害のみを対象としている。保険会社のエクスポージャーデータで、建物と動産の保険金額の内訳が不明な場合は、各用途の平均的な内訳等に基づいて、保険金額を分配して分析を行う。

建築年

建築年によって異なる脆弱性曲線が用意されており、建築基準法の耐風性、耐水性に関わる内容が変更された年に合わせた区分になっている。保険会社のポートフォリオの分析で建築年が含まれることは稀である。建築年が不明な場合は、建物の用途や構造種別に基づいて、モデル内で平均的な建築年が想定される。

階数

階数によって異なる脆弱性曲線が用意されている。保険会社のポートフォリオの分析で階数が含まれることは稀である。階数が不明な場合は、建物の用途や構造種別に基づいて、モデル内で平均的な階数が想定される。

地域性

地域による設計基準や施工慣習の違いを考慮し、地域毎に異なる脆弱性曲線が用意されている。

二次的特性

建物に関する上記項目をもとに、対応する平均的な脆弱性曲線が選択されるが、個々の建物のより細かい特性を反映させるために、建物の外装等の二次的特性(secondary modifier/characteristics)と呼ばれる項目の入力が可能で、この情報に基づき、平均的な脆弱性曲線が調整される。保険会社のポートフォリオの分析で利用されることは稀である。

モデル全体の検証は、各モデル開発会社が作成した日本の保険業界全体のエクスポージャー、あるいは、個々の保険会社の契約データを用いて、業界全体、あるいは、当該保険会社の保険金支払い額とモデルによる推定損失額とを比較して行われる。過去の台風による保険金支払い額との比較では、損失額の推定の精度を検証し、これに加えて、過去の台風による保険金支払い額と再現期間毎の推定損失額の比較をすることにより、台風の発生確率や不確定性の設定を検証する。

表2-2A: 各社の台風モデルの方法論一覧(1/4)

		A社	B社	C社	
対象地域		日本	日本、中国、台湾、香港、フィリピン、韓国を含む太平洋北西部のモデルの一部として日本モデルがある。下記情報は特記のない限り日本に関するものである。	日本、中国、台湾、香港、フィリピン、韓国、タイ、マレーシアを含む太平洋北西部のモデルの一部として日本モデルがある。下記情報は特記のない限り日本に関するものである。	
対象ペリル		台風の強風 残存物取片づけ費用と特別費用は、ロスデータとの比較・検証の過程において暗示的に含まれていると考えられる。	台風の強風 台風の降雨による洪水 残存物取片づけ費用と特別費用のモデル化も可能。 高潮の影響は、ロスデータとの検証において暗示的に含まれている。	台風の強風 台風の降雨による洪水 高潮 残存物取片づけ費用、特別費用、災害後の建設業の労働力や建築資材の価格高騰の影響は、ロスデータとの比較・検証の過程において暗示的に含まれている。	
入力可能な地理的解像度		・緯度経度 ・7桁郵便番号 ・損保コード ・市区町村/5桁JISコード ・都道府県 ・クレストゾーン	・緯度経度 ・7桁郵便番号 ・損保コード ・市区町村/5桁JISコード ・都道府県	・緯度経度 ・市区町村/5桁JISコード ・都道府県 ・クレストゾーン	
集積データの地理的分散方法		クレストゾーンや都道府県毎の集積データの場合、市区町村毎の保険契約額の地理的分布の推定に基づき、各地域における損害額を計算する。	都道府県毎の集積データの場合、B社のIndustry Exposure Databaseの分布に基づいて1km四方のグリッドに分散する。	クレストゾーンあるいは都道府県毎の集積データの場合、業種別(住宅商業、工業等)に異なる割合を用いて、全国5,734地点に分散する。	
ハザード モジュール	イベントセットの構築 (台風発生モデルと台風遷移モデル)	使用データ (台風)	1951-2006年の気象庁及び上海台風研究所(Shanghai Typhoon Institute)のデータ。	ベストトラックデータは、主なソースとしてJoint Typhoon Warning Center (JTWC)(1945-2009年)を使用し、気象庁(1951-2009年)及び上海台風研究所(1949-2008年)のデータで補完した。	
		使用データ (洪水)	降雨データに関しては、地域気象観測システム(アメダス)、アメリカ海洋大気圏局(NOAA)の世界各地の気温・風・気圧・視界・雨量・積雪データベース(GSOD;Global Summary of the Day)、熱帯降雨観測衛星(TRMM:Tropical Rainfall Measurement Mission)のデータ、デジタル台風の衛星写真。その他国土交通省のデータ。	降雨データに関しては、National Climatic Data Center (NCDC)のデータとAPHRODITEのデータセット(Yatagai, 2009)。 洪水のモデル化には、アメリカ地質調査所のHydroSHEDSデータセット。	
		構築方法の概要	台風の発生地点からのモデル化。 各台風パラメータに確率分布を与えてシミュレーションを行い、イベントセットの各イベントを生成する。	台風の発生地点からのモデル化。 各イベントは、過去の台風データベースからランダムに選ばれた各台風のパラメータに統計的なばらつきを与えて生成し、6時間毎に台風経路の各時点におけるパラメータを定義している。 全ての台風パラメータは、前の時間ステップの値を用いて表されると仮定してモデル化し、その関係式は各グリッド毎に過去の台風データを使って求めた。進行方向、進行速度、中心気圧については、緯度経度の関数としてモデル化している。	台風の発生地点からのモデル化。 3つのソースデータを統合して、1945-2009年の6時間毎の台風の位置と、中心の1分間(平均)最大風速から成るベストトラックデータを作成し、6時間毎のステップでベストトラックデータに3次元のランダムなばらつきを与えて、各イベントの経路を生成する。 各台風パラメータについては、ベストトラックデータを用いて、平均値と標準偏差を求めた後、1° * 1° のグリッド間で平滑化している。確率分布を求めたパラメータには、方位角、進行速度、中心の風速の各時間変化率も含む。
		各台風パラメータ の設定方法	発生確率 過去の台風のデータに平滑化アルゴリズムと外挿法を適用して計算する。	イベントの年発生率は、全て1/10,000。	ベストトラックデータから頻度の平均値と標準偏差を計算している。 イベントの年発生率は、全て1/10,000。
		進行速度	台風経路は、各イベントに過去の台風を対応させて、その経路をもとにモデル化している。	構築方法の概要を参照。	進行速度と方位角の時間変化率に基づいて、経路をモデル化している。
	進行方向 (方位角)		構築方法の概要を参照。		
	中心気圧	過去のデータを元に確率分布を与えている。	構築方法の概要を参照。	構築方法の概要を参照。	
	減衰率	台風の上陸地点、強度、台風の目が陸と海どちらにあるかによってモデル化している。	局所的な影響を考慮し、さらに海岸からの距離と上陸後の経過時間の関数としてモデル化している。	台風の目が陸と海どちらにあるかによってモデル化している。	

表2-2B: 各社の台風モデルの方法論一覧(2/4)

ハザード モジュール	イベントセットの構築 (台風発生モデルと台風遷移モ デル)	各台風パラメータ の設定方法	最大風速 半径	緯度と中心気圧の関数としてモデル化している。	中心気圧の関数としてモデル化している。	構築方法の概要を参照。
			中心の風速	モデルで使用していない。	モデルで使用していない。	各グリッドの気候学的に求められる強度減衰率に基づいて計算している。
		確率論的イベントセットの イベント数	11,000イベント	10,000回の1年間のシミュレーションによる、対象地域全体で293,000以上のイベ ント。このうち、日本に被害をもたらすイベントとして、35,962の上陸するイベントと 48,328の接近するイベントがある。		10,000年間のシミュレーションによる、モデル対象地域全体で約150,000のイベ ント。
		歴史イベント数	501イベント この他に、台風後にシナリオデータが作成されてユーザーに配信され、ユーザー側 でモデルに組み込んで使用するイベントもある。	15イベント この他に、台風後にシナリオデータが作成されてユーザーに配信され、ユーザ側 でモデルに組み込んで使用するイベントもある。		モデル対象地域全体で1,800イベント 日本に関係するものは53イベント。
	風速場モデル		62の台風について150の観測所で観測された記録をもとに作成された、中心気 圧、進行速度、Rmax、台風中心からの距離、形状係数の関数で定義され、さらに、 伊勢湾台風など15の台風の風速分布でキャリブレーションしている。	Willoughby et al. (2006)の研究成果に基づいて、中心気圧、最大風速半径、 緯度、台風の中心からの距離及び進行速度と方向の関数として、上空での風速 (傾度風)を計算した。 台風の左右非対称性を考慮している。(北半球では台風は反時計回りに回転する ので、進行速度と相まって台風の右側の方が風速が速くなる。)	風速場モデルは、National Weather Service (NWS) 23 (Schwerdt, et al., 1979) 及びNWS 38 (Ho et al. 1987) で発表されたアメリカ海洋大気圏 局 (NOAA) のモデルに基づく。 NOAAモデルは、半径方向の風速プロファイルと左右非対称性を考慮している。半 径方向の風速プロファイルは、台風の中心からの距離に応じた対象地点上空での 風速を計算するもので、中心の(平均)最大風速と台風の規模のパラメータ(最大風 速半径とプロファイル・ファクター)の関数となっている。規模のパラメータがわか らない場合には、他のパラメータから経験的に求めている。	
	地表面モデル		使用データ: - 国勢調査の住宅及び人口密度のデータ - 市区毎の建築面積のデータベース - 地質調査総合センターによる土地利用・土地被覆データ ・各台風イベントに対して理論的に求められた上空での風速は、経路における相 対的位置を考慮して、地上10mでの(平均)最大風速に変換される。 ・上記データを用いて500mグリッドの粗度区分データを作成し、各グリッドにおい て、各方角に80km遡った地点からの地表面摩擦と地形の影響を考慮した、風向別 の粗度係数を設定している。 ・粗度係数には、平均最大風速を最大瞬間風速に変換するためのガスト・ファク ター(突風係数)が含まれる。ガスト・ファクターは、対象地点に隣接する場所の地 表面粗度を考慮し、平均最大風速を最大瞬間風速に変換する標準的な式を用い て計算する。 ・地上10mでの平均最大風速は、ガスト・ファクターを含む粗度係数を用いて最大 瞬間風速に変換される。	使用データ: ・地理情報標準プロファイルによる土地利用・土地被覆データ ・国土数値情報の日本デジタル地形図による100m毎の標高データ(1km毎にして 使用) ・Matsuoka et al.(2006) による1km毎の地盤の平均S波速度データをもとに した水質学的な地盤分類 ・土地利用・土地被覆データ、Grimmond et al. (1999)をもとにして追加し た都市分類及びB社のIEDを使用して、10km遡った8方向からの摩擦を考慮するた めの粗度を評価している。 ・標高データから得られる高解像度の地形データを用いて、各グリッドの突風、摩 擦及び地形によるの影響を評価している。各グリッド間の勾配と距離を計算して、 風速の増幅及び乱流の影響を評価している。	土地利用と土地被覆に基づいて1分間(平均)最大風速を2秒間最大瞬間風速に変 換するガスト・ファクターは、Krayner and Marshall (1992)の研究に 基づく。	
	降雨モデル			・衛星写真と熱帯降雨観測衛星(TRMM)のデータに基づき、各イベントの時間当た りの最大降雨量と、降雨半径(降雨範囲の中心からの平均半 径)を設定する。 ・降雨量に大きな影響を与える、台風から温帯低気圧への変化(の時間)を考慮 し、気象庁の6時間毎のデータを用いて、月毎に台風が温帯低気圧に変化する緯 度を評価し、その緯度を越えた時に変化するとしている。また、この際の低気圧の 形状の変化も、衛星写真と熱帯降雨観測衛星(TRMM)のデータに基づいて考慮し ている。	アメリカ国立気象局(National Weather Service)の降雨持続(Rainfall Climatology Persistence)モデルであるR-CLIPERを改良したものである。 基本的なRCLIPERモデルは、台風の中心部での最大降雨量と、台風の外側へ向け て急速に減少する降雨量の減衰に加えて、総降雨量に影響する台風の速度を考 慮している。改良点には、非対称な降雨パターンをもたらす上空での急激な風速・ 風向の変動の影響と、降雨量を大きく増加させる山地や他の地形の影響の考慮を 含む。	

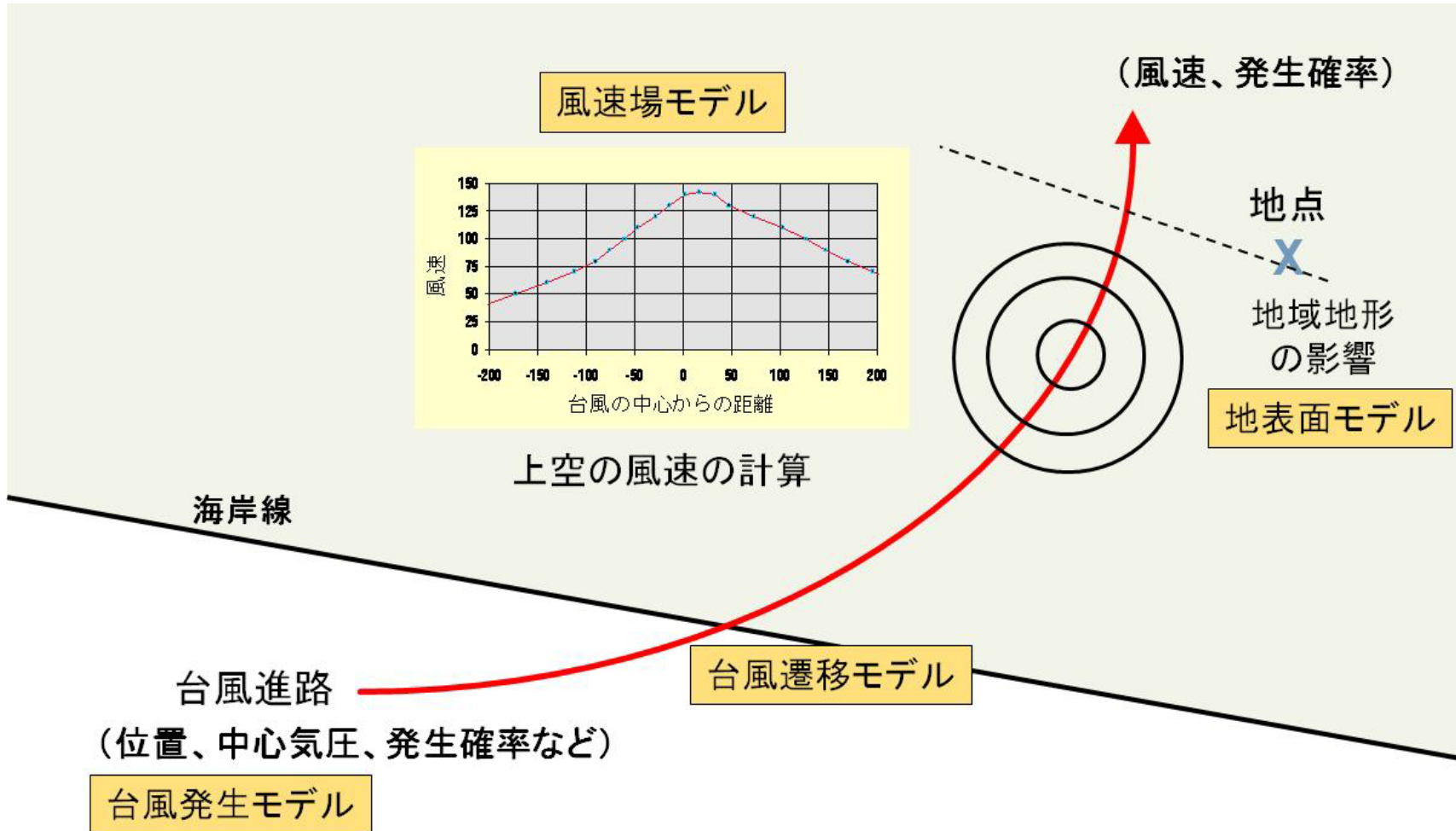
表2-2C: 各社の台風モデルの方法論一覧(3/4)

ハザード モジュール	洪水モデル		<ul style="list-style-type: none"> ・Matsuoka et al. (2006)から得られる平均S波速度のデータを用いて、水理的に地盤を分類している。標高は、国土数値情報のデータである。いずれも1km毎のデータとして使用している。 ・総降雨量を計算した後、地盤種別、土地利用・土地被覆データ及び地形に基づいて、地面への吸水率を決定し、降雨の拡散をモデル化する。 ・モデルの各セルで、地面に吸収されなかった降雨は、最も勾配のある方向の隣のセルへと流下する。このプロセスを全てのセルに対して行い各セルへの降雨の総流量を基に浸水深さを計算する。 ・地下貯水タンク等、洪水防止策の影響は考慮されており、貯水タンクの容量を超えると洪水が発生する。洪水防水策が破壊される事象は考慮されていない。 	各イベントにおいて、各集水システムの降雨量を計算し、イベント洪水指標に変換する。一方で、アメリカ地質調査所のHydroSHEDSの500mまでの解像度の数値標高データと河川データを用いて集水システムを定義し、各集水システム内部の各グリッドに対して、集水容量指標を計算する。グリッド毎の集水容量指標とイベント洪水指標を比較して、洪水の可能性を決定する。イベント洪水指標と集水容量指標及び各集水システム特有の調整要素を用いて、浸水深さを計算する。
	高潮モデル			最大瞬間風速、海岸からの距離、標高及び建物の高さや用途等の特性の関数としてモデル化される。数値標高データ(DEM:digital elevation model)を用いて高潮高さから対象敷地における浸水深さを計算する。
	検証方法	日本を5つの地域に分けて、各地域における各カテゴリー(規模)の台風の発生頻度を比較・検証している。	<p>台風の発生頻度、発生場所、台風経路、上陸時の気象パラメータ(中心気圧、最大風速半径、進行速度)等の全てのモデルパラメータとモデル結果は、過去の台風データと科学を用いて検証している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・発生頻度は、月別、地域別、規模別で比較している。 ・モデル化した風速と降雨量は、アメダスとアメリカ海洋大気圏局のGSODと比較している。 ・モデル化した再現期間100年の風速を、日本建築学会による再現期間100年の設計風速と比較している。 	<p>強風モデル: 国毎に検証している。対象地域全域における、台風の合計頻度とカテゴリー別の頻度を過去の台風データと比較している。主な台風については、モデルが推定した最大瞬間風速と気象庁による観測値とを比較して検証している。</p> <p>降雨モデル: <ul style="list-style-type: none"> ・いくつかの台風について、米国気候データセンター(NCDC)による観測データとモデル推定値を比較している。 ・対象地域全体における、APHRODITEによる台風による年平均降雨量とモデル推定値を比較している。 ・対象地域全体における降雨イベントの頻度を分析している。 </p> <p>洪水モデル: <ul style="list-style-type: none"> ・多数の集水システムについて、高解像度モデルを用いた場合の結果と比較して検証している。 ・頻度の検証をしている。 ・業界全体のマーケットポートフォリオを使用して過去の台風を分析した場合のモデル推定損害額を実際の洪水被害と比較している。 ・集水システムが大きな影響を受けたか、総損害額に対する洪水による損害額の割合が適切かを評価している。 </p>
脆弱性 モジュール	脆弱性曲線の構築方法(強風)	<ul style="list-style-type: none"> ・保険金支払いデータの詳細分析、建物被害統計、風に対する構造物の応答分析、風洞実験の結果、建築設計基準等をもとにしている。 ・構造等の建物の特性が不明の場合は、例えば構造種別が不明の場合、各構造の比率に応じて、各構造の脆弱性曲線を加重平均した脆弱性曲線を用いる。 ・最大瞬間風速に対する被害率で表現される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・強風と降雨による洪水に対して、それぞれ別の脆弱性曲線がある。 ・強風に対する脆弱性曲線は、異なる種類の建物の工学的被害データや詳細な保険金支払いデータをもとに作成され、日本の労働力や資材のコスト、建設施工の実状、損害査定の実状等に合うよう調整をしている。 ・強風の継続による被害の蓄積の影響を考慮している。 ・地域性は、構造設計されている建物については、日本建築学会の地域別の設計風速をもとに、構造設計されていない建物については、台風、地震及び積雪の全てを合わせたハザードをもとにして、評価している。 ・利益(休業損失)の脆弱性曲線は、最新の研究成果と保険金支払いデータの詳細分析結果を取り入れ、起こり得るシナリオをイベントツリー分析を用いて作成している。 ・構造種別や用途種別、階数が不明の場合は、例えば構造種別が不明の場合、B社のIndustry Exposure Databaseの各構造の保険金額に応じて、各構造の脆弱性曲線を加重平均した脆弱性曲線を用いる。 ・地上10mでの1分間(平均)最大風速に対する被害率で表現される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・日本と韓国の詳細保険金支払いデータ及び全ての国からの保険金支払いデータ、工学的分析・見解を組み合わせ脆弱性曲線を作成している。 ・強風による損害額は、洪水と高潮も含めた全ペリルによる損害額に対して、洪水や高潮の起こり得る場所とその損害額を3次元空間で考慮して、調整されている。 ・構造等の建物の特性が不明の場合は、例えば構造種別が不明の場合、各構造の比率に応じて、各構造の脆弱性曲線を加重平均した脆弱性曲線を用いる。 ・最大瞬間風速に対する被害率で表現される。

表2-2D: 各社の台風モデルの方法論一覧(4/4)

脆弱性 モジュール	脆弱性曲線の構築方法(洪水)		<ul style="list-style-type: none"> ・1991年以降の保険・再保険業界による保険金支払いデータを使い、強風による被害と洪水による被害の内訳は、自治体による洪水の被害及び損害データを用いて推定した。この内訳は、2004年台風18号(Songda)と台風23号(Tokage)の保険金支払いデータで検証している。 ・住宅、商業、工業物件の建物と動産の洪水に対する脆弱性曲線は、Dutta et al. (2003) and Zhai et al. (2005)等の研究成果や、デジタル台風や Yamamoto and Iwaya (2002)等の過去の洪水での被害や損害の記録、2004年に日本に甚大な被害をもたらした台風の保険金支払いデータを基に作成している。 ・上記データのない構造、用途、階数の建物に対しては、客観的かつ工学的手法を用いて作成している。 ・構造等の建物の特性が不明の場合は、例えば構造種別が不明の場合、各構造の比率に応じて、各構造の脆弱性曲線を加重平均した脆弱性曲線を用いる。 ・浸水深さに対する被害率で表現される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・建築構造に関する工学的知見等に基づいて、各構造種別に対して、洪水による被害によってかかる修復コストを設定している。 ・構造等の建物の特性が不明の場合は、例えば構造種別が不明の場合、各構造の比率に応じて、各構造の脆弱性曲線を重み付け平均した脆弱性曲線を用いる。 ・浸水深さに対する被害率で表現される。 																														
	検証方法	伊勢湾台風等、被害が大きかった台風の被害データと比較して検証している。	日本の保険業界のマーケットシェアにして約30%に相当する保険金支払いデータを含む、世界各地の膨大な保険金支払いデータと、B社のエンジニアによる被害調査に基づいて検証している。	洪水の脆弱性曲線は、アメリカ連邦緊急事態管理庁(FEMA)やそのモデルのHAZUS等のものと比較、検証している。																														
	脆弱性曲線の分類	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="884 604 1546 699">構造種別</td> <td data-bbox="884 699 1546 793">用途種別</td> <td data-bbox="884 793 1546 867">保険の目的</td> <td data-bbox="884 867 1546 1035">建築年</td> <td data-bbox="884 1035 1546 1255">階数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="884 604 1546 699">10分類 住宅物件に対する構造級別:A、B、C、D、不明、商業物件、工場物件等に対する構造級別:特級、1、2、3、4、不明</td> <td data-bbox="884 699 1546 793">10分類 住宅、集合住宅、商業、工業、石油化学、公共施設、住宅金融公庫の住宅、不明等 工業については、さらに細かい26分類</td> <td data-bbox="884 793 1546 867">建物 動産 利益(時間あるいは休業損失とも言う)</td> <td data-bbox="884 867 1546 1035">3分類 ・1984年以前 ・1985年以降 ・不明</td> <td data-bbox="884 1035 1546 1255">木造は3分類(1階、1階以上、不明) 石造は4分類(1階、2-3階、4階以上、不明) 鉄筋コンクリート造、鉄骨造、鉄骨鉄筋コンクリート造は4分類(1-3階、4-7階、8階以上、不明)</td> </tr> </table>	構造種別	用途種別	保険の目的	建築年	階数	10分類 住宅物件に対する構造級別:A、B、C、D、不明、商業物件、工場物件等に対する構造級別:特級、1、2、3、4、不明	10分類 住宅、集合住宅、商業、工業、石油化学、公共施設、住宅金融公庫の住宅、不明等 工業については、さらに細かい26分類	建物 動産 利益(時間あるいは休業損失とも言う)	3分類 ・1984年以前 ・1985年以降 ・不明	木造は3分類(1階、1階以上、不明) 石造は4分類(1階、2-3階、4階以上、不明) 鉄筋コンクリート造、鉄骨造、鉄骨鉄筋コンクリート造は4分類(1-3階、4-7階、8階以上、不明)	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1546 604 2208 699">構造種別</td> <td data-bbox="1546 699 2208 793">用途種別</td> <td data-bbox="1546 793 2208 867">保険の目的</td> <td data-bbox="1546 867 2208 1035">建築年</td> <td data-bbox="1546 1035 2208 1255">階数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1546 604 2208 699">39分類 木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造、住宅物件に対する構造級別:A、B、C、D、商業物件、工場物件等に対する構造級別:特級、1、2、3、4、不明等</td> <td data-bbox="1546 699 2208 793">52分類 住宅、集合住宅、商業、工業、建設等</td> <td data-bbox="1546 793 2208 867">建物 動産 利益(時間あるいは休業損失とも言う)</td> <td data-bbox="1546 867 2208 1035">なし</td> <td data-bbox="1546 1035 2208 1255">4分類 ・1-3階 ・4-7階 ・8階以上 ・不明</td> </tr> </table>	構造種別	用途種別	保険の目的	建築年	階数	39分類 木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造、住宅物件に対する構造級別:A、B、C、D、商業物件、工場物件等に対する構造級別:特級、1、2、3、4、不明等	52分類 住宅、集合住宅、商業、工業、建設等	建物 動産 利益(時間あるいは休業損失とも言う)	なし	4分類 ・1-3階 ・4-7階 ・8階以上 ・不明	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="2208 604 2902 699">構造種別</td> <td data-bbox="2208 699 2902 793">用途種別</td> <td data-bbox="2208 793 2902 867">保険の目的</td> <td data-bbox="2208 867 2902 1035">建築年</td> <td data-bbox="2208 1035 2902 1255">階数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="2208 604 2902 699">48分類 住宅物件に対する構造級別:A、B、C、D、不明、商業物件、工場物件等に対する構造級別:特級、1、2、3、4、不明。木造、鉄骨造、軽量鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造等</td> <td data-bbox="2208 699 2902 793">24分類 住宅で4分類、商業で8分類、工業で9分類等</td> <td data-bbox="2208 793 2902 867">建物 動産 利益(時間あるいは休業損失とも言う)</td> <td data-bbox="2208 867 2902 1035">6分類 ・1950年以前 ・1951-1981年 ・1982-2000年 ・2001-2009年 ・2010年以降 ・不明</td> <td data-bbox="2208 1035 2902 1255">3分類 ・低層 ・中層 ・高層</td> </tr> </table>	構造種別	用途種別	保険の目的	建築年	階数	48分類 住宅物件に対する構造級別:A、B、C、D、不明、商業物件、工場物件等に対する構造級別:特級、1、2、3、4、不明。木造、鉄骨造、軽量鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造等	24分類 住宅で4分類、商業で8分類、工業で9分類等	建物 動産 利益(時間あるいは休業損失とも言う)	6分類 ・1950年以前 ・1951-1981年 ・1982-2000年 ・2001-2009年 ・2010年以降 ・不明	3分類 ・低層 ・中層 ・高層
構造種別	用途種別	保険の目的	建築年	階数																														
10分類 住宅物件に対する構造級別:A、B、C、D、不明、商業物件、工場物件等に対する構造級別:特級、1、2、3、4、不明	10分類 住宅、集合住宅、商業、工業、石油化学、公共施設、住宅金融公庫の住宅、不明等 工業については、さらに細かい26分類	建物 動産 利益(時間あるいは休業損失とも言う)	3分類 ・1984年以前 ・1985年以降 ・不明	木造は3分類(1階、1階以上、不明) 石造は4分類(1階、2-3階、4階以上、不明) 鉄筋コンクリート造、鉄骨造、鉄骨鉄筋コンクリート造は4分類(1-3階、4-7階、8階以上、不明)																														
構造種別	用途種別	保険の目的	建築年	階数																														
39分類 木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造、住宅物件に対する構造級別:A、B、C、D、商業物件、工場物件等に対する構造級別:特級、1、2、3、4、不明等	52分類 住宅、集合住宅、商業、工業、建設等	建物 動産 利益(時間あるいは休業損失とも言う)	なし	4分類 ・1-3階 ・4-7階 ・8階以上 ・不明																														
構造種別	用途種別	保険の目的	建築年	階数																														
48分類 住宅物件に対する構造級別:A、B、C、D、不明、商業物件、工場物件等に対する構造級別:特級、1、2、3、4、不明。木造、鉄骨造、軽量鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造等	24分類 住宅で4分類、商業で8分類、工業で9分類等	建物 動産 利益(時間あるいは休業損失とも言う)	6分類 ・1950年以前 ・1951-1981年 ・1982-2000年 ・2001-2009年 ・2010年以降 ・不明	3分類 ・低層 ・中層 ・高層																														
モデル全体の検証方法		1991年台風19号や1993年台風13号を中心とする保険金支払額のデータと比較して検証している。	<ul style="list-style-type: none"> ・過去50年間に日本に被害を与えた多数の台風に関して、B社のIndustry Exposure Databaseを用いたモデルによる推定損失額と保険業界全体の保険金支払い額を比較し、いくつかの台風では地域別で比較している。 ・個社の契約データを用いたモデルによる推定損害額と個社の保険金支払い額を総額及び保険の目的別、用途別に比較している。 ・強風による損失額、洪水に損失額及びその合計の損失額について、B社のIndustry Exposure Databaseを用いた再現期間毎の損失額と過去の保険業界全体の保険金支払い額と比較し、過去の台風の再現期間を評価・検証している。 	ハザードモジュール及び脆弱性モジュールいずれに対しても、科学者によるレビューを行い、モデルが最新の科学的研究成果を取り入れていることと、モデルによる分析結果の妥当性を確認している。																														

図2-7: 台風(強風)モデルの概念図



3章 日本の自然災害リスク分析モデルを用いた分析

本章では、表1-3に示した各社の最新バージョンの日本地震モデルと日本台風モデルの特性を把握することを目的として行った各種分析の概要と分析結果を示す。本調査では、分析に使用できるエクスポージャーデータ等に制約があり、限られた条件下で可能な分析を行った。なお、エクスポージャーとは、1-3-1節で説明したモデルへの入力データとして用いられる保険契約データのことである。

3-1. 使用したエクスポージャー

特定の保険会社のデータを使用せずに日本の損害保険業界全体のエクスポージャーのリスクを計算するため、弊社で使用ライセンスを所有しているA社による業界エクスポージャーデータの最新バージョン(2011年5月更新)を使用した。このデータは、2008年7月1日時点の日本の損害保険業界全体の地震担保保険契約と風災担保保険契約を、各社の収入保険料、人口統計、経済データ、建物面積データ及び代表的な契約条件等から、それぞれ推定したものであるが、2011年の東北地方太平洋沖地震の後の条件(エクスポージャーの変化、免責金額の引き上げ、支払限度額の変更等)は反映されていないので、分析結果は2012年現在の損害を予想するものではないことに留意する必要がある。

地震： 住宅物件、一般(商業)物件、工場物件

なお、住宅物件には、共済団体の提供する住宅向けの共済契約は含まれない。

台風： 住宅物件、一般(商業)物件、工場物件

なお、住宅物件には、共済団体の提供する住宅向けの共済契約は含まれない。

洪水のエクスポージャーは、B社モデルにおける分析では、風災契約に対して、B社の Industry Exposure Database で設定されている下記の付帯率を適用したエクスポージャーを想定した。

C社モデルでの分析では、洪水エクスポージャーの設定ができず、風災と同一のエクスポージャーが想定されて分析がなされる。

住宅:80%、一般:70%、工場 40%

データは、各物件の市区町村毎の保険金額の合計額からなり、下記の情報が含まれる。

地震：

- 所在地(都道府県と市区町村)
- 物件種別(住宅物件、一般物件、工場物件)
- 建物の保険金額(当該市区町村の総保険金額)
- 動産の保険金額(当該市区町村の総保険金額)
- 契約タイプ(支払限度額方式、縮小てん補方式)
- 地震支払い限度額又は縮小てん補割合(支払限度額方式の場合は、当該市区町村の支払限度額の合計、縮小てん補方式の場合は、当該市区町村の支払限度額の合計を総保険金額で除した割合)
- 建物件数

台風：

- 所在地(都道府県と市区町村)
- 物件種別(住宅物件、一般物件、工場物件)
- 建物の保険金額
- 動産の保険金額
- 免責金額(当該市区町村の免責金額の合計)
- 建物件数

A社との契約上、保険金額の地理的分布等、業界エクスポージャーデータに関する詳細を報告書に記載することはできない。

今回用いたエクスポージャーデータは、大型の工場物件等が多いマルチロケーション契約(異なる場所にある複数の建物に対して、単一の限度額等が適用される契約)が明示的に含まれていない点等、必ずしも実際の損害保険業界全体のエクスポージャーデータを忠実に反映しているとは言えない。しかし、A社はこのデータを用いてモデル検証を行っていると考えられる。B社及びC社がそれぞれのモデル検証に使用している業界エクスポージャーは、今回使用したものとは異なると想定される。このため、過去の災害に対する保険金支払い額の推定値については、各社独自の業界エクスポージャーを使用した場合と異なる点に注意を要する。

上記データを用いた次節以降で示す結果は、地震動リスクに対する地震火災リスクの影響や台風による強風リスクに対する洪水リスクの影響、更に、都道府県毎の損害率の分布や地理的解像度以外の感度分析結果等に関して、概して各社モデルの一般的な傾向を示していると考えられる。

ただし、実際の個社データ等、異なるデータを用いた場合には、特に各社のモデルによる分析結果の大小関係やエクスポージャーデータの地理的解像度の影響等に関して、今回の分析結果とは異なる傾向となる可能性があるため、注意を要する。

3-2. 各社モデルによる分析結果

3-2-1. 地震(住宅物件、一般物件及び工場物件を含む場合)

1) 全体と物件別のリスク及び地震火災リスクの影響

ここでは、3-1 節で説明した、住宅物件(家計向けの地震担保保険契約)及び一般物件と工場物件(企業向けの地震担保保険契約)からなる日本の損害保険業界全体の地震エクスポージャを分析した結果を示す。結果は、いずれの物件についても、再保険の影響を含まない元受ベースで年間最大損害額ベース(1-3-3 節参照)の結果であり、また、地震火災費用保険金も含まない。

表 3-1 に、全体と物件別の超過確率曲線(リスクカーブ)と年平均損失、標準偏差を示す。標準偏差とは、起こり得る個々の損失の年平均損失からのぶれを表す。超過確率曲線では、モデルの性質上安定した結果が計算され、かつ、損害保険業界で一般に評価対象とされる確率レベルと考えられる再現期間 5 年から 1000 年までの範囲を対象とした。表中における被害額とは、地震担保保険契約の限度額や縮小してん補割合等の保険金の支払条件を適用する前の建物と動産の合計の被害額を指す。保険金支払い額とは、被害額に支払条件を適用した後の金額である。対象としたペリルは、地震動と地震火災であるが、地震火災によるリスクを含まない保険金支払い額も示す。

図 3-1A と図 3-1B では、各社の超過確率曲線を比較し、図 3-2 では、各社モデルの全体のリスクに対する各用途のリスクの割合を比較する。また、図 3-3 では、全体のリスクにおける地震火災リスクの影響を示す。

- 表 3-1 の結果を見ると、損害保険業界は、住宅、一般及び工場物件の地震担保保険契約に関して、再現期間 200 年では、3.0~7.2 兆円程度の保険金支払いに見舞われると推定される。また、年平均では、1500~2900 億円程度と推定される。しかしながら、前述の通り、分析に使用したエクスポージャは、2011 年の東北地方太平洋沖地震後の条件(エクスポージャの変化、免責金額の引き上げ、支払限度額の変更等)を反映していないので、これらの値を、2012 年現在の損害の予想値とみなすことはできない。
- 図 3-1A と図 3-1B の結果を見ると、被害額については、C 社、A 社、B 社の順に大きく、保険金支払い額については、再現期間が 50 年以上では、C 社、A 社、B 社の順、再現期間 25 年以下では、A 社、C 社、B 社の順に大きい。C 社と B 社は、倍近く異なる。被害額と保険金支払い額とで傾向が異なる理由としては、各地点の被害額を、支払条件を考慮して足し合わせ、ポートフォリオ全体の保険金支払い額を計算する、ファイナンシャルモジュールでの計算方法の違いが考えられる。ファイナンシャルモジュールで行われる計算は基本的には数学的な処理であり、本来違いが生じる性質のものではないが、各社が取り入れている計算効率化の方法が異なる。
- 図 3-2 で全体に占める各用途のリスクの割合を見ると、住宅物件のリスクが大半を占める。モデル間で各用途の内訳について、大きな差異は見られない。このことから、住宅物件、一般物件及び工場物件の相対的な脆弱性の評価が、各社のモデル間で大きく変わらないと考えられる。

図3-3によると、A社モデルとB社モデルでは、地震の揺れによるリスクに対して、地震火災リスクは極めて小さく、C社モデルでは20%程度である。A社モデルでは、再現期間5年と1000年で、地震動のみの結果の方が、地震火災を含む結果よりも高くなっている。これは、モデル内で2つの損害額を足し合わせる時に仮定している確率分布の設定に起因し、保険金額に対して免責額が比較的大きい場合や支払限度額が比較的小さい場合に起こりやすい。各イベントの損害額は、ベータ分布に従うと仮定され、足し合わせた損害額もベータ分布に従うと仮定される。この仮定は、元々の2つの損害額の確率分布の形状が似ている場合には問題ないが、確率分布の形状が異なる場合には、必ずしも適切ではない。地震動による損害額と地震火災による損害額の確率分布の形状は異なるため、前述のような現象が起こる。

表 3-1: 地震の全体と物件別の元受リスク - 住宅物件を含む場合

(百万円)

	地震動+地震火災				地震動のみ	
	保険金支払額				被害額	保険金支払い額
	全体	住宅	一般	工場	全体	全体
A社						
再現期間						
1000	8,270,172	7,149,839	268,685	705,093	21,754,044	8,318,094
500	7,042,366	6,274,178	238,912	631,150	17,358,647	6,968,139
250	5,265,138	4,665,282	191,130	440,771	12,715,947	5,170,866
200	4,813,148	4,200,836	182,267	412,910	11,297,982	4,703,388
100	3,616,093	3,137,817	160,619	344,109	7,491,993	3,499,090
50	2,642,587	2,246,361	137,817	292,446	4,939,993	2,593,490
25	1,913,364	1,607,375	99,267	220,379	3,166,244	1,870,257
10	675,521	528,921	36,068	105,299	1,024,531	666,270
5	164,421	118,807	11,039	34,362	230,917	164,627
年平均損失	285,090	231,923	14,780	38,387	503,166	280,798
標準偏差	801,140	688,557	35,321	84,063	1,763,551	788,881
B社						
再現期間						
1000	5,773,677	5,099,171	203,415	648,369	12,822,724	5,701,464
500	4,710,888	3,987,966	152,551	532,858	9,717,586	4,518,591
250	3,423,372	2,990,489	119,194	411,870	6,995,632	3,319,115
200	2,987,863	2,631,110	104,093	388,891	6,182,902	2,822,838
100	2,424,808	2,103,311	92,145	359,516	5,019,437	2,246,600
50	1,402,996	1,082,493	63,402	265,326	2,903,614	1,364,160
25	876,189	633,524	44,202	188,409	1,649,982	864,958
10	262,953	144,767	16,820	105,776	466,320	260,624
5	99,513	48,490	5,557	44,532	155,878	99,259
年平均損失	149,294	102,712	7,169	39,414	279,033	146,169
標準偏差	473,208	389,781	18,670	77,442	983,391	460,124
C社						
再現期間						
1000	12,359,649	10,213,709	558,394	1,588,983	23,366,066	10,531,826
500	10,616,150	8,677,547	503,876	1,471,951	19,686,738	8,986,592
250	8,366,693	6,589,557	413,161	1,312,688	13,594,131	7,026,639
200	7,276,610	5,804,087	370,394	1,183,986	11,584,267	6,098,521
100	4,735,685	3,620,869	274,685	910,057	7,389,775	3,902,510
50	3,115,430	2,263,081	198,259	678,414	4,780,834	2,546,602
25	1,735,029	1,154,073	119,629	446,741	2,590,835	1,400,435
10	503,709	273,875	43,301	178,504	742,301	399,904
5	108,408	65,295	8,175	36,580	155,598	87,281
年平均損失	279,162	193,715	18,258	67,190	434,966	228,237
標準偏差	1,061,943	835,647	57,180	189,621	1,814,701	889,429

図 3-1A: 地震(地震動+地震火災) 元受全体のリスクの 3 社比較 - 住宅物件を含む場合

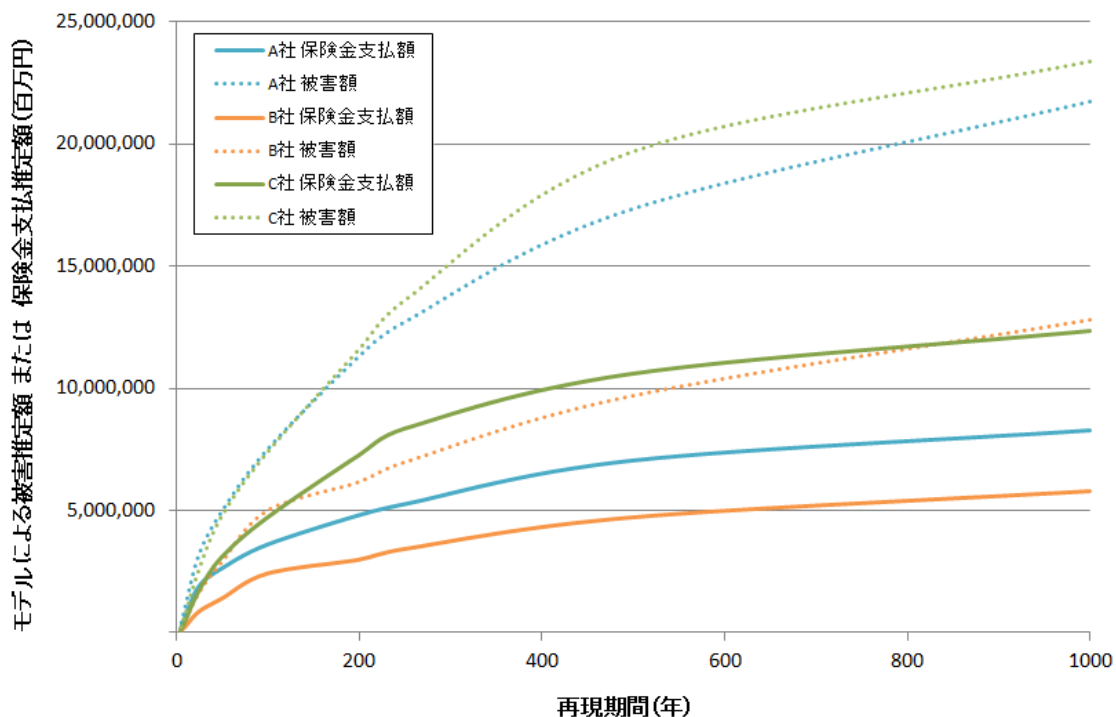


図 3-1B: 地震(地震動+地震火災) 元受全体のリスクの 3 社比較 - 住宅物件を含む場合
(再現期間 100 年までの拡大図)

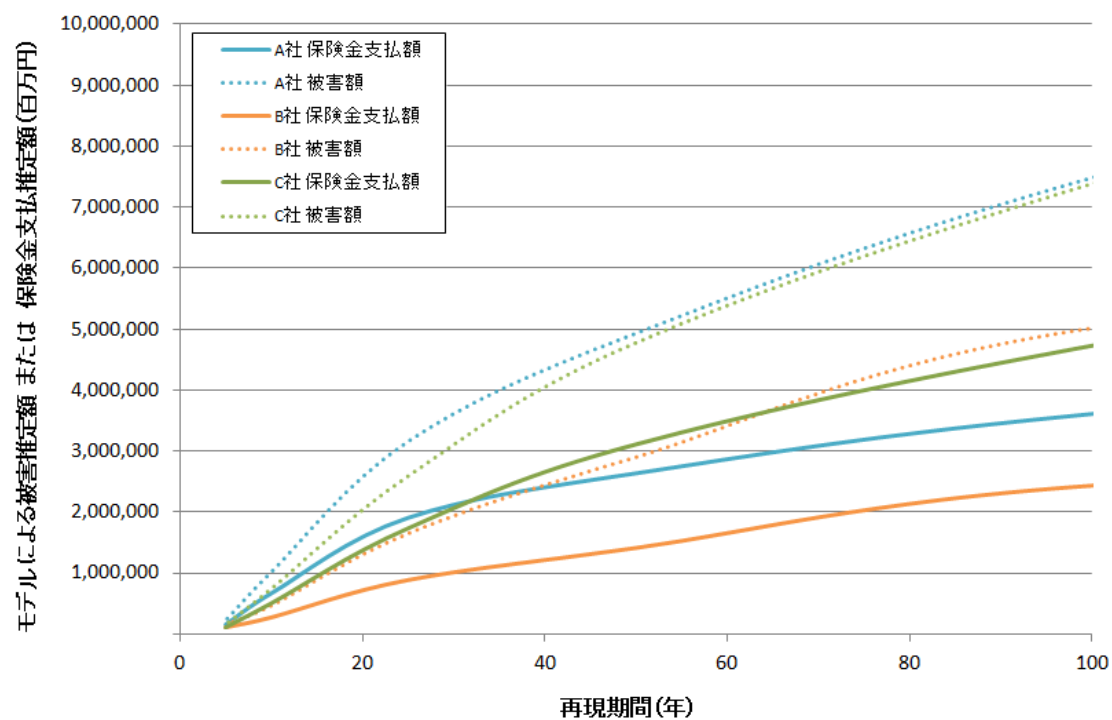


図 3-2: 地震(地震動+地震火災) 各用途元受リスクの割合の 3 社比較 - 住宅物件を含む場合

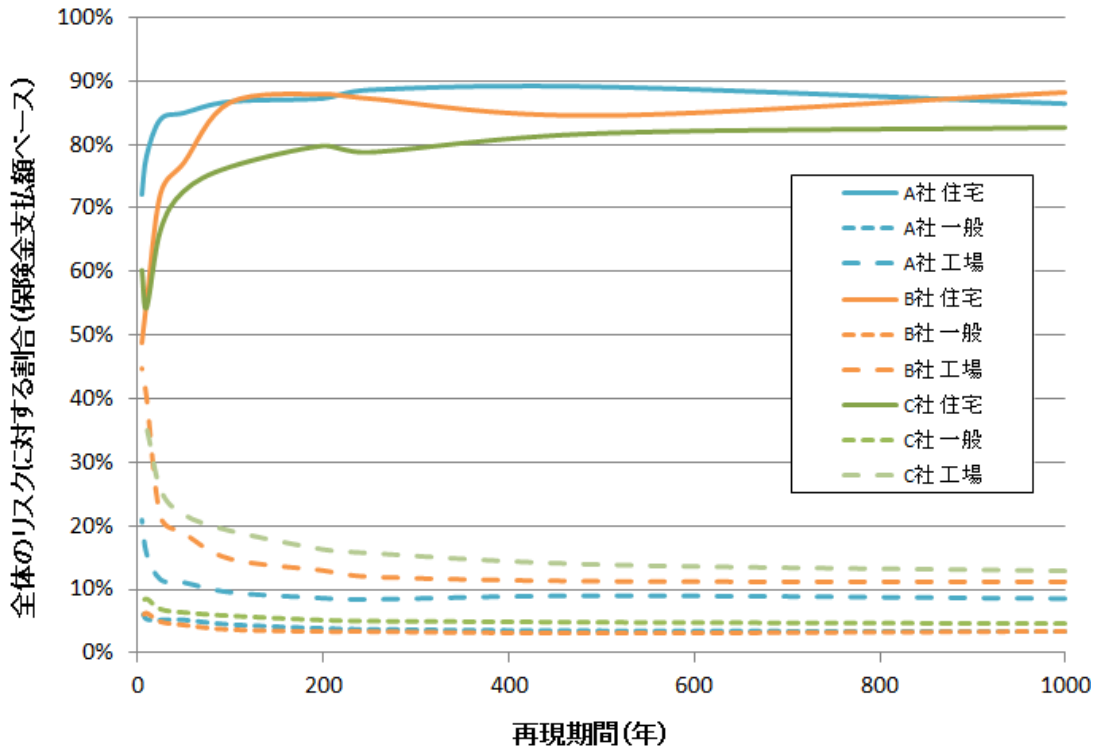
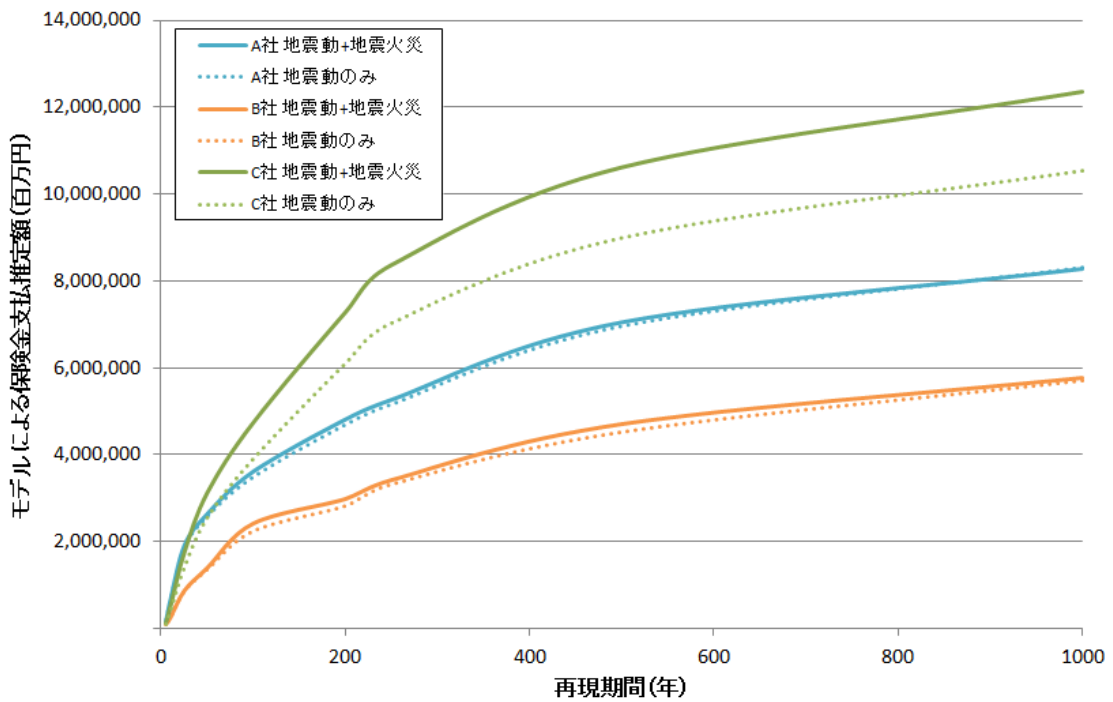


図 3-3: 地震火災リスクの影響の 3 社比較 - 住宅物件を含む場合



2) 都道府県別のリスク

図 3-4 には、地震動のみの場合の、元受全体の年平均保険金支払い額における各都道府県の内訳を、図 3-5 には、各都道府県の年間平均損害額を保険金額で除した年平均損害率を示す。

- ・ 図 3-4 で、全体のリスクに占める各都道府県のリスクの割合を見ると、東京、神奈川、愛知、千葉のリスクで全体の 5 割以上を占める。また、これらに、静岡、埼玉、大阪、茨城、三重を加えた 9 都道府県ベースでは、全体の 85%程度を占める。各社のモデル間では、各都道府県の内訳について、大きな差異は見られない。
- ・ 図 3-5 は、保険金額の影響を取り除いて比較したものである。都道府県間の年平均損害率の違いは、各都道府県のリスクの地震ハザード(地震の揺れの起こりやすさ - 地震の揺れの強さと発生確率の関係)と建物の脆弱性及び各用途の保険金額の割合に起因する。関東地方、東海地方、四国地方の都道府県等、図 3-6 の地震調査研究推進本部による地震ハザードマップで示される地震ハザードの高い地域と同様の地域で高い被害率となっている。

図 3-4: 地震(地震動のみ) 元受全体の年平均保険金支払い推定額における各都道府県の割合
- 住宅物件を含む場合

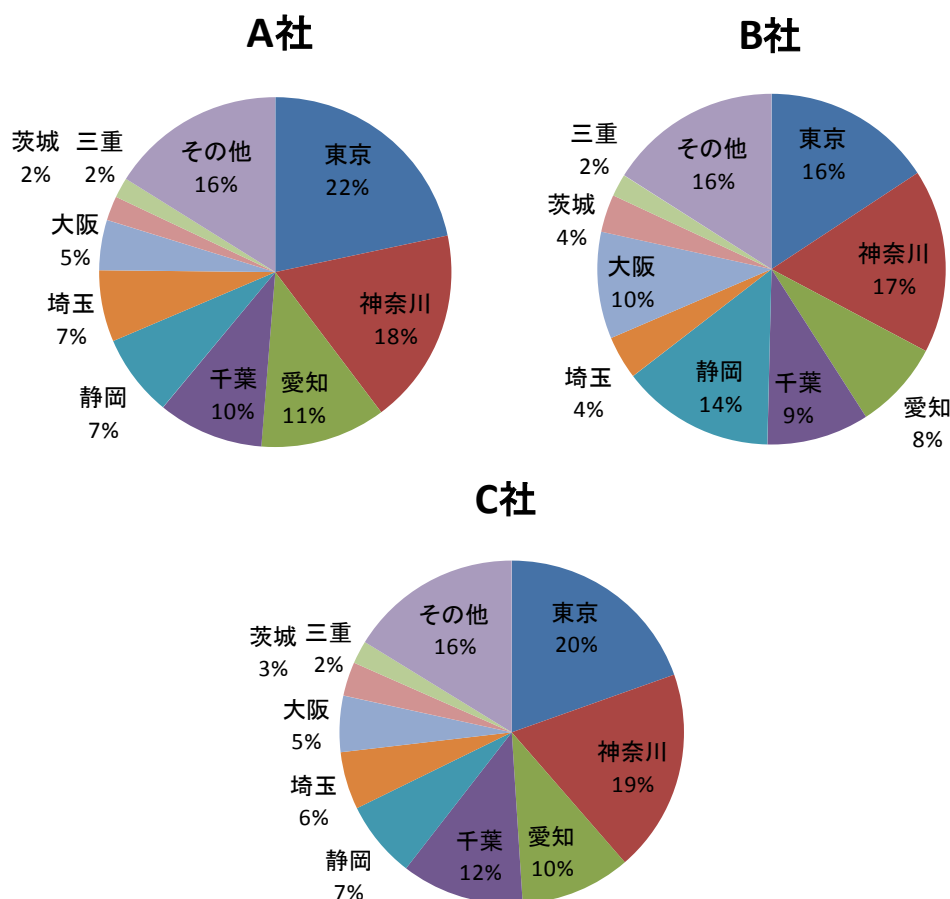


図 3-5: 地震(地震動のみ) 各社モデルによる各都道府県の年平均損害率(保険金額に対する%) - 住宅物件を含む場合

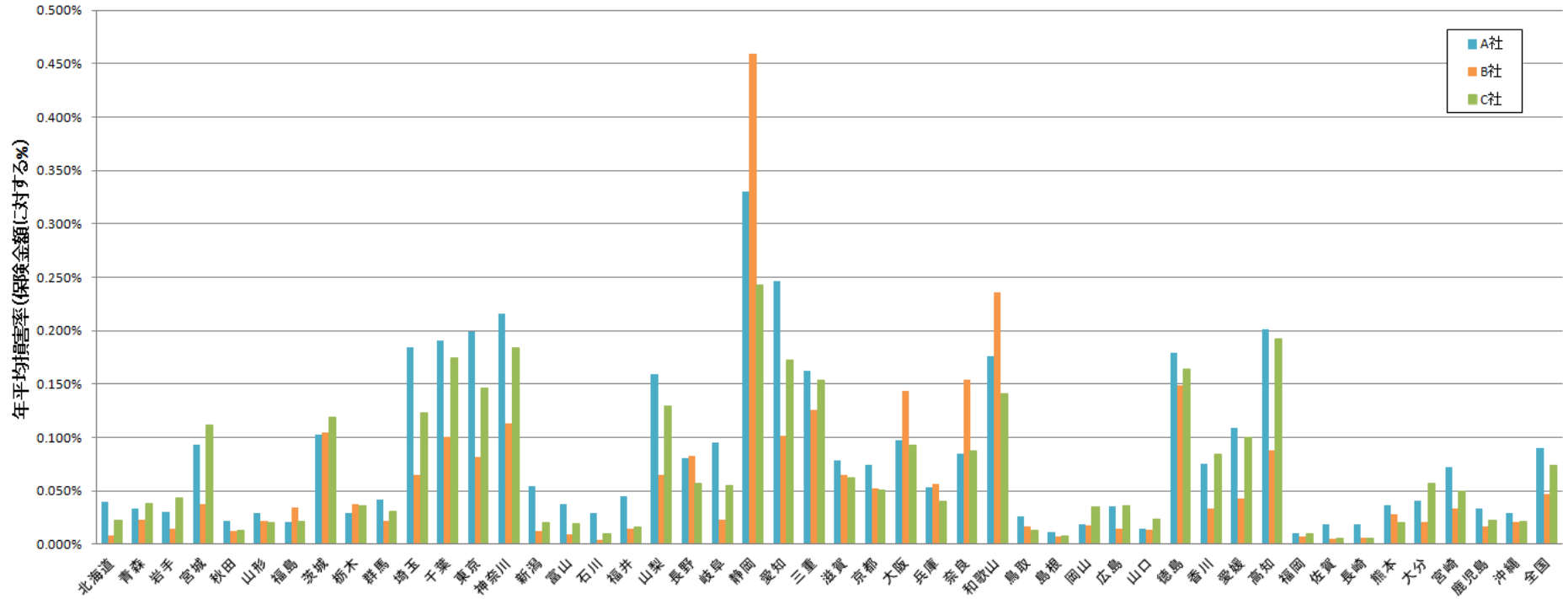
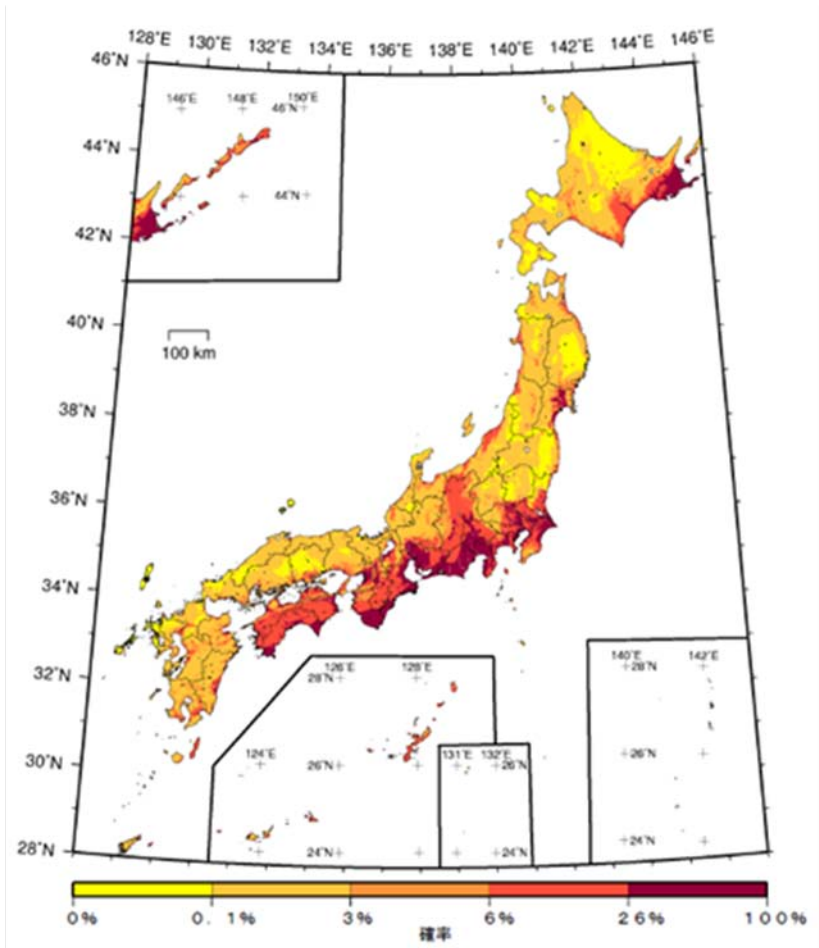


図 3-6: 地震ハザードマップ



今後30年間に震度6強以上の揺れに見舞われる確率
(地震調査研究推進本部)

3-2-2. 地震(一般物件及び工場物件を含む場合)

1) 全体と物件別のリスク及び地震火災リスクの影響

ここでは、日本の損害保険業界全体の地震エクスポージャのうち、各損害保険会社が独自にリスク管理を行っている一般物件と工場物件(企業向けの地震担保保険契約)のみを対象として分析した結果を示す。結果は、再保険の影響を含まない元受ベース、年間最大損害額ベース(1-3-3 節参照)であり、また、地震火災費用保険金も含まない。なお、対象としたペリルは、地震動と地震火災であるが、地震火災によるリスクを含まない保険金支払い額も示す。

表 3-2 に、全体と物件別の超過確率曲線(リスクカーブ)と年平均損失、標準偏差を示す。

図 3-7A と図 3-7B では、各社の超過確率曲線を比較し、図 3-8 では、各社モデルの全体のリスクに対する各用途のリスクの割合を比較する。また、図 3-9 では、全体のリスクにおける地震火災リスクの影響を示す。

- ・ 表 3-2 の結果を見ると、損害保険業界は、一般及び工場物件の地震担保保険契約に関して、再現期間 200 年では、5800 億～1.5 兆円程度の保険金支払いに見舞われると推定される。また、年平均では、470～850 億円程度と推定される。しかしながら、前述の通り、分析に使用したエクスポージャは、2011 年の東北地方太平洋沖地震の後の条件(エクスポージャの変化、免責金額の引き上げ、支払限度額の変更等)を反映していないので、これらの値を、2012 年現在の損害の予想値とみなすことはできない。
- ・ 図 3-7A と図 3-7B の結果を見ると、被害額については、再現期間 200 年程度までは、A 社と C 社が同程度なのに対して B 社が低く、再現期間 200 年以上では、C 社、A 社、B 社の順に大きい。保険金支払い額については、C 社に対して、A 社と B 社が同程度に低い。被害額と保険金支払い額とで傾向が異なる理由としては、3-2-1 節で述べたように、ファイナンシャルモジュールでの計算方法の違いが考えられる。
- ・ 図 3-8 で全体に占める各用途のリスクの割合を見ると、工場物件が 70～80%、一般物件が 20～30%である。各社のモデル間で各用途の内訳について、大きな差異は見られない。このことから、一般物件と工場物件の相対的な脆弱性の評価が、各社のモデル間で大きく違わないと考えられる。
- ・ 図 3-9 によると、B 社モデルと C 社モデルでは、地震の揺れによるリスクに対して、地震火災リスクは 10%程度以下である。図 3-3 の住宅物件を含めた場合の結果と比較すると、C 社モデルについて、地震火災のリスクの大半が住宅物件のものであることがわかる。A 社モデルでは、地震火災を含めた結果の方が含めない場合よりも低くなっているが、その理由は 3-2-1 節で述べた通りで、特に一般物件と工場物件で影響が表れやすいことがわかる。

表 3-2: 地震の全体と物件別の元受リスク

(百万円)

	地震動+地震火災			被害額 全体	地震動のみ
	保険金支払額				保険金支払い額
	全体	一般	工場		全体
A社					
再現期間					
1000	973,973	268,685	705,093	11,054,132	1,185,671
500	870,167	238,912	631,150	8,695,510	1,061,886
250	628,297	191,130	440,771	6,264,366	776,750
200	586,508	182,267	412,910	5,543,658	727,665
100	502,959	160,619	344,109	3,636,411	614,275
50	431,377	137,817	292,446	2,304,643	506,877
25	317,864	99,267	220,379	1,399,512	383,789
10	140,729	36,068	105,299	461,958	162,386
5	45,314	11,039	34,362	105,895	49,525
年平均損失	53,167	14,780	38,387	233,471	61,605
標準偏差	118,913	35,321	84,063	863,152	142,433
B社					
再現期間					
1000	890,500	203,415	648,369	7,061,093	887,982
500	746,114	152,551	532,858	5,093,473	720,438
250	608,133	119,194	411,870	3,784,981	591,911
200	573,270	104,093	388,891	3,270,262	540,633
100	465,759	92,145	359,516	2,364,379	451,419
50	363,610	63,402	265,326	1,728,557	356,563
25	269,438	44,202	188,409	1,053,231	264,372
10	138,756	16,820	105,776	358,903	138,003
5	60,451	5,557	44,532	130,561	60,085
年平均損失	46,583	7,169	39,414	164,579	46,005
標準偏差	95,591	18,670	77,442	530,573	93,423
C社					
再現期間					
1000	2,154,121	558,394	1,588,983	12,431,260	2,055,576
500	1,973,205	503,876	1,471,951	9,911,814	1,895,228
250	1,728,337	413,161	1,312,688	6,431,189	1,605,230
200	1,543,188	370,394	1,183,986	5,616,617	1,455,698
100	1,186,238	274,685	910,057	3,757,165	1,101,740
50	880,814	198,259	678,414	2,434,519	800,878
25	565,012	119,629	446,741	1,401,483	507,337
10	222,650	43,301	178,504	453,792	196,037
5	44,035	8,175	36,580	92,006	38,951
年平均損失	85,448	18,258	67,190	233,226	77,231
標準偏差	246,199	57,180	189,621	923,394	227,383

図 3-7A: 地震(地震動+地震火災) 元受全体のリスクの 3 社比較

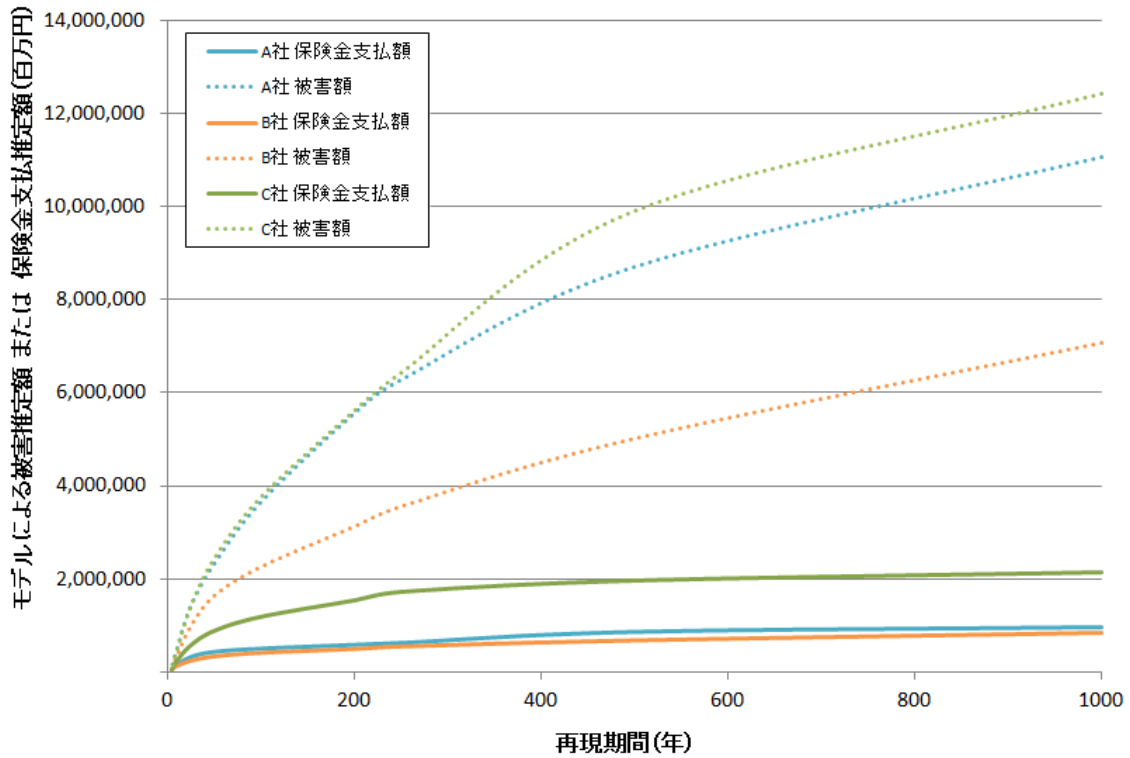


図 3-7B: 地震(地震動+地震火災) 元受全体のリスクの 3 社比較
(再現期間 100 年までの拡大図)

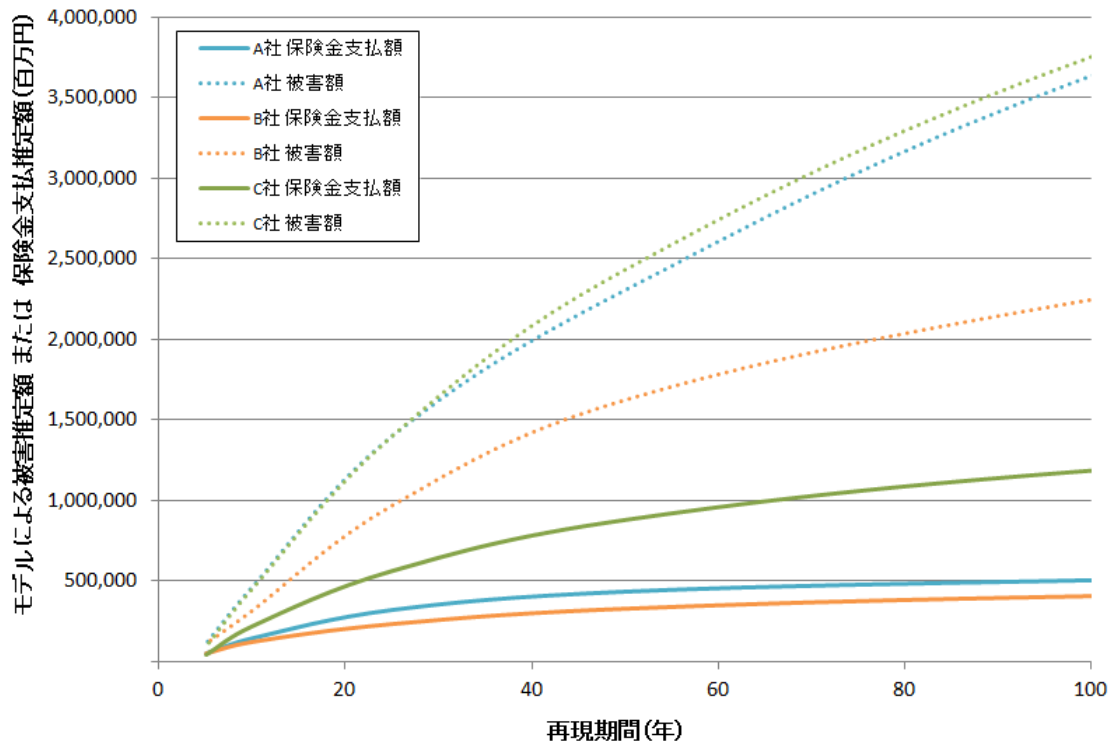


図 3-8: 地震(地震動+地震火災) 各用途元受リスクの割合の 3 社比較

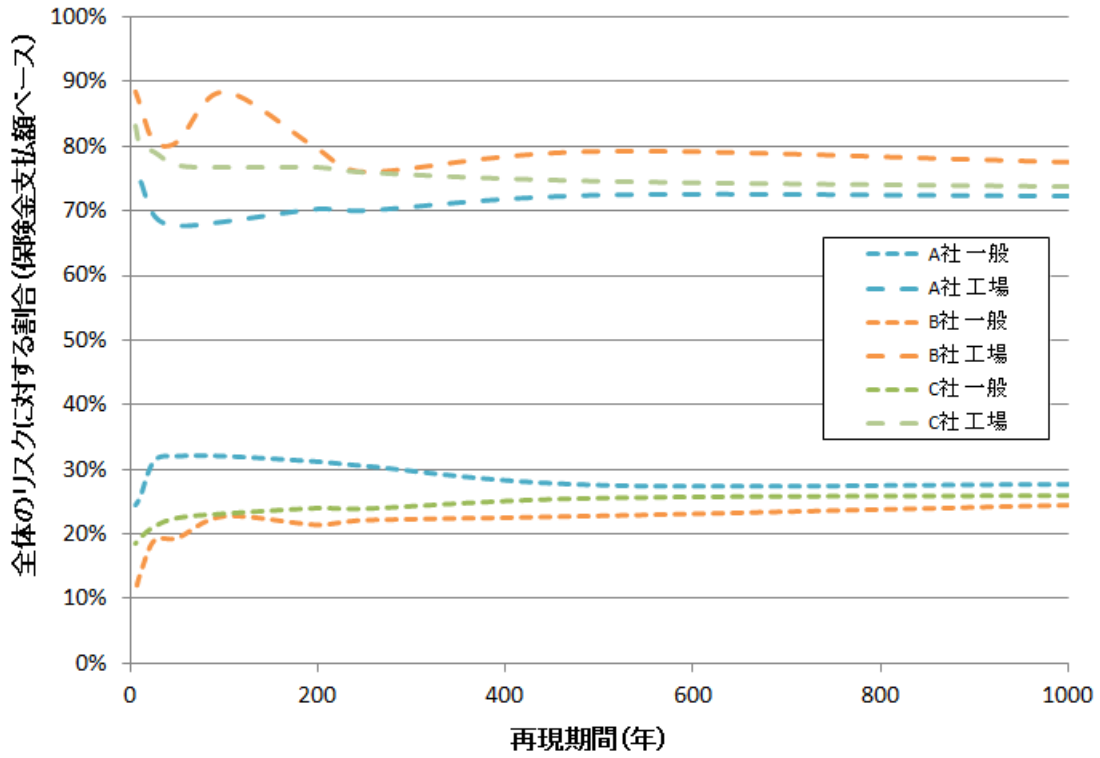
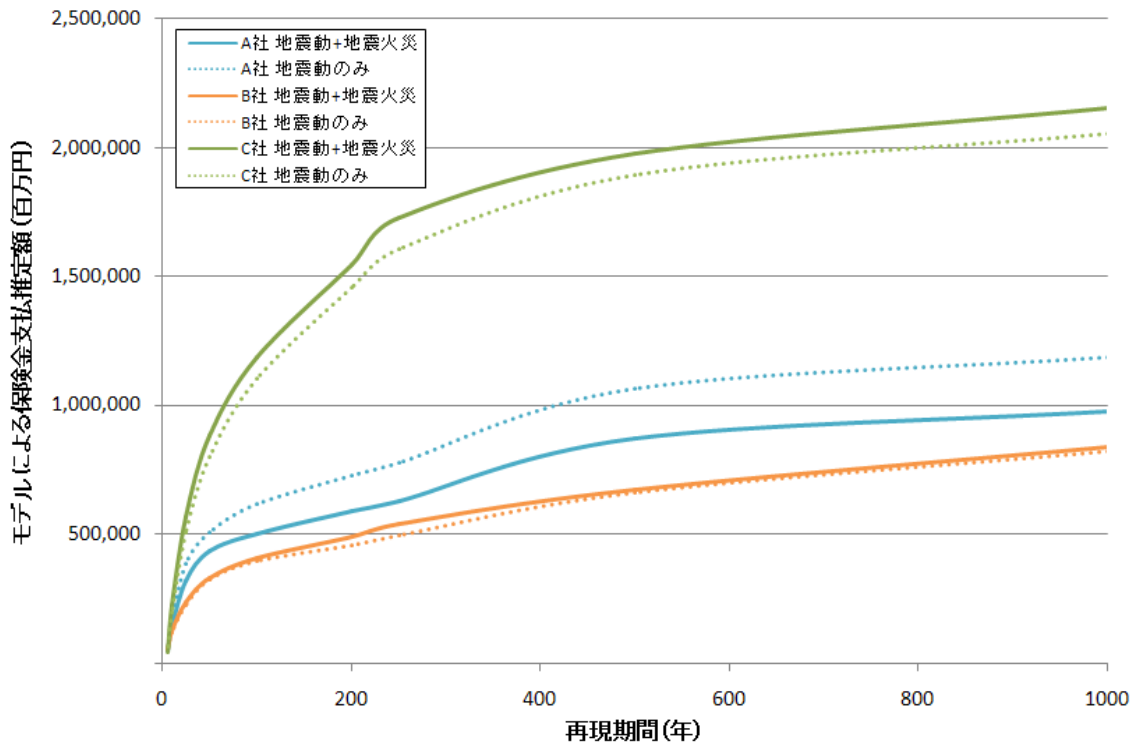


図 3-9: 地震火災リスクの影響の 3 社比較



2) 都道府県別のリスク

図 3-10 には、地震動のみを対象ペリルとした場合の元受全体の年平均保険金支払い額における各都道府県の内訳を、図 3-11 には、各都道府県の年間平均損害額を保険金額で除した年平均損害率を示す。

- 図 3-10 で、全体のリスクに占める各都道府県のリスクの割合を見ると、神奈川、東京、千葉、静岡のリスクで全体の 5 割以上を占める。また、これらに、愛知、埼玉、大阪、茨城、三重を加えた 9 都道府県ベースでは、全体の 85%程度を占める。住宅物件を含めた図 3-4 と比較すると、東京や愛知が他県と比べて住宅物件のリスクが高いことがわかる。各社のモデル間で各都道府県の内訳について、大きな差異は見られない。
- 図 3-11 は、保険金額の影響を取り除いて比較したものである。都道府県間の年平均損害率の違いは、各都道府県の地震ハザードと建物の脆弱性及び各用途の保険金額の割合に起因する。図 3-5 と同様に、関東地方、東海地方、四国地方の都道府県等で高い被害率となっている。

図 3-10: 地震(地震動のみ) 元受全体の年平均保険金支払い推定額における各都道府県の割合

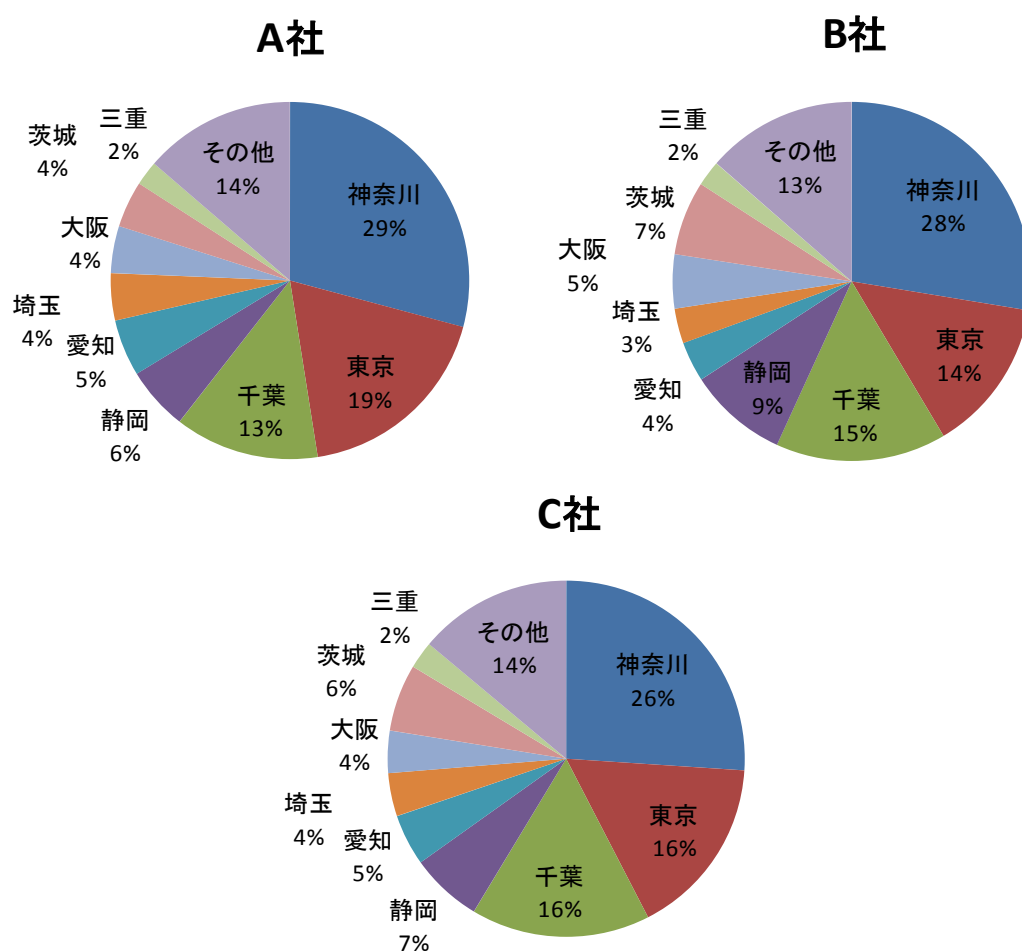
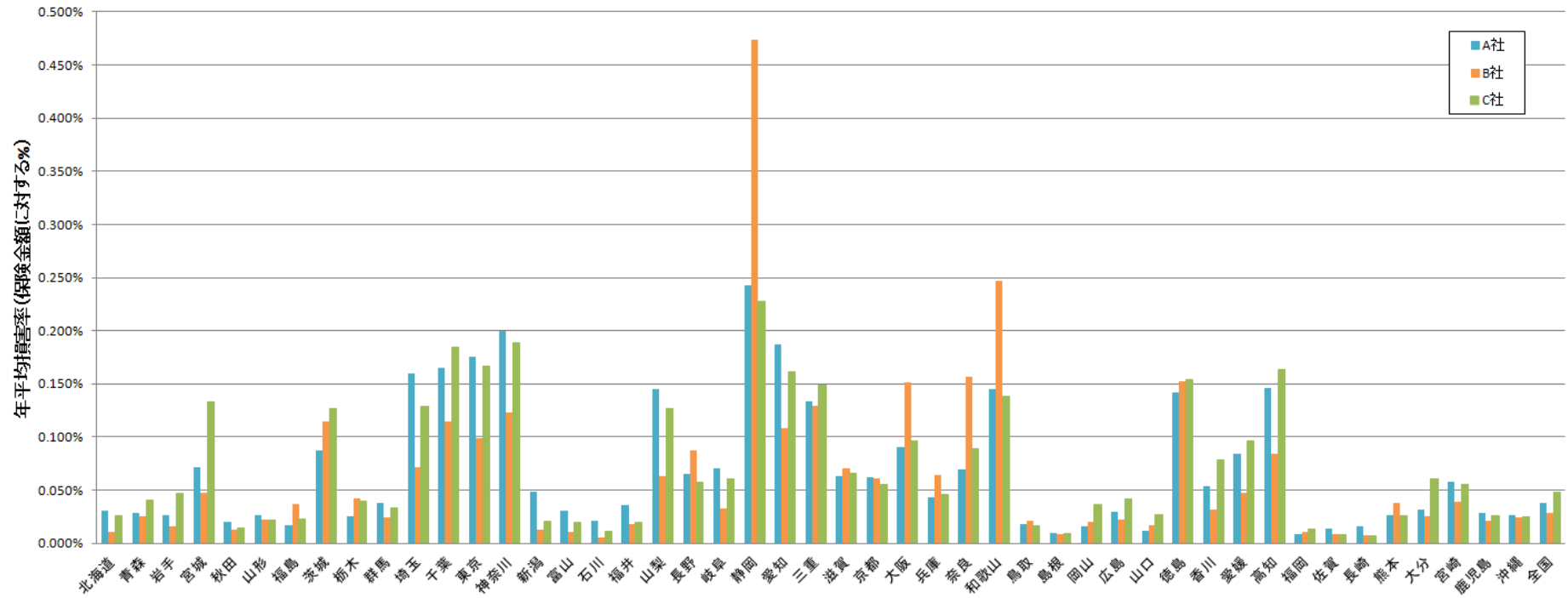


図 3-11: 地震(地震動のみ) 各社モデルによる各都道府県の年平均損害率(保険金額に対する%)



3-2-3. 台風

1) 全体と物件別のリスク及び洪水リスクの影響

ここでは、3-1 節で説明した、住宅物件、一般物件及び工場物件からなる日本の損害保険業界全体の風水災エクスポージャーを分析した結果を示す。結果は、再保険の影響を含まない元受ベースで年間最大損害額ベース(1-3-3 節参照)のものである。また、残存物取片付け費用と特別費用を明示的にモデル化できる B 社のモデルでは、これらを含めて分析を行った。なお、A 社と C 社のモデルでは、これらは保険金支払データとの比較・検証の過程において暗示的に含まれていると考えられる。分析の際には、残存物取片付け費用は被害額の 10%とし、特別費用は被害額の 30%(但し、住宅物件については 1 契約当たり 100 万円、それ以外の物件については 1 契約当たり 500 万円を限度とする)とした。基本対象としたペリルは、いずれのモデルでも分析可能な台風による強風であるが、台風による洪水リスクを含めた保険金支払い額も示す。

表 3-3 に、全体と物件別の超過確率曲線(リスクカーブ)と年平均損失、標準偏差を示す。

図 3-12A と図 3-12B では、各社の超過確率曲線を比較し、図 3-13 では、各社モデルの全体のリスクに対する各用途のリスクの割合を比較する。また、図 3-14 では、洪水リスクを加えた場合の影響を示す。

- ・ 表 3-3 の結果を見ると、損害保険業界は、住宅、一般及び工場物件の風災保険契約に関して、再現期間 100 年では、1.3~1.9 兆円程度の保険金支払いに見舞われると推定される。また、年平均では、1500~1800 億円程度と推定される。地震の場合と同様に、分析に使用したエクスポージャーは、最新のエクスポージャーを十分に反映していないので、これらの値は、2012 年現在の損害の予想値とみなすことはできない。
- ・ 図 3-12A と図 3-12B の結果を見ると、再現期間が 25 年以下では、3 社のモデルの結果は比較的近いが、再現期間 25 年以上では、再現期間が高くなるほど、最も大きい C 社のモデルの結果と他 2 社のモデルの結果との差が増加する。使用したエクスポージャーデータで代表的な風災保険契約の支払条件として設定されているのは、20 万円程度のフランチャイズ免責(免責額以下では支払いがなく、免責額を超えると被害額全額の支払い)のみなので、地震の場合と比較して、被害額と保険金支払い額の違いが小さい。
- ・ 図 3-13 で全体に占める各用途のリスクの割合を見ると、いずれのモデルにおいても、住宅物件、一般物件、工場物件の順に大きいが、その内訳についてはモデルによって異なる。B 社モデルは、他 2 モデルと比較すると、住宅の損害が高めに出やすく、逆に、工場物件や一般物件が低めに出やすいと言える。また、C 社モデルは、他 2 モデルと比較すると、一般物件と工場物件の違いが小さいと言える。
- ・ 図 3-14 によると、洪水リスクは、B 社モデルでは、再現期間が 100 年までは強風によるリスクに対して、50%~10%程度で、再現期間が高くなるにつれて割合は小さくなる。C 社モデルでは、高潮リスクが含まれる他に、前述の通り、風災契約の全てに水災が付帯されたエクスポージャーが想定されていることから、他 2 社よりも非常に大きな評価になっていると考えられる。

表 3-3: 台風の全体と物件別の元受リスク

(百万円)

	強風のみ				被害額 全体	強風+洪水		
	保険金支払額 (残存物取片付け費用と特別費用を含む)					保険金支払額 (左記費用を含まない)	保険金支払い額	
	全体	住宅	一般	工場		全体	全体	
A社								
再現期間								
1000	3,273,932	1,776,864	976,398	534,991	残存物取片付け費用	3,351,525	洪水モデルは	
500	2,625,101	1,430,316	782,109	423,887	及び	2,697,172	開発中	
250	2,036,791	1,116,875	607,067	322,292	特別費用を	2,101,878		
200	1,863,828	1,024,558	555,605	292,323	明示的に	1,926,506		
100	1,381,676	765,808	412,158	209,607	モデル化しない	1,436,582		
50	982,656	549,421	293,310	143,146		1,030,360		
25	660,133	372,200	197,128	92,065		701,646		
10	340,450	193,966	101,668	45,118		373,653		
5	176,226	100,892	52,511	22,839		201,718		
年平均損失	176,974	99,943	52,920	24,111		203,716		
標準偏差	329,072	182,472	98,356	49,615		346,910		
B社								
再現期間								
1000	3,506,977	2,531,673	748,224	260,787	2,666,538	2,828,863	3,506,977	
500	2,618,785	2,107,228	492,236	200,679	2,036,446	2,257,182	2,620,033	
250	1,884,655	1,416,906	406,655	146,684	1,404,213	1,568,811	1,947,042	
200	1,712,427	1,291,352	379,748	135,121	1,321,213	1,497,717	1,820,987	
100	1,321,002	995,546	261,823	97,829	1,001,109	1,121,842	1,443,940	
50	909,870	694,658	176,115	66,622	701,513	787,347	1,048,942	
25	605,872	459,073	107,929	41,291	463,006	528,146	738,355	
10	300,677	228,327	50,721	20,108	232,862	274,198	404,846	
5	148,581	115,161	23,549	9,889	116,168	138,669	225,074	
年平均損失	151,490	115,250	25,978	10,263	117,399	142,657	214,862	
標準偏差	300,711	226,955	62,288	23,552	231,816	260,581	347,883	
C社								
再現期間								
1000	8,333,784	4,117,173	2,412,886	1,945,765	残存物取片付け費用	8,596,479	13,467,375	
500	5,907,471	2,685,885	1,621,577	1,401,297	及び	6,112,964	10,189,383	
250	3,613,225	1,655,708	1,097,413	905,627	特別費用を	3,803,733	6,562,825	
200	3,136,831	1,444,060	939,139	802,611	明示的に	3,364,823	5,696,201	
100	1,857,209	945,095	556,014	483,061	モデル化しない	2,012,704	3,446,676	
50	1,138,780	581,549	329,269	292,519		1,259,835	1,905,944	
25	682,281	329,953	193,204	173,146		778,022	993,135	
10	289,171	125,098	81,907	75,152		354,756	421,218	
5	124,292	48,378	36,011	35,810		163,723	223,845	
年平均損失	159,422	71,013	46,131	42,278		193,030	278,347	
標準偏差	607,004	289,834	183,308	145,846		637,392	984,731	

図 3-12A: 台風(強風のみ) 元受全体のリスクの 3 社比較

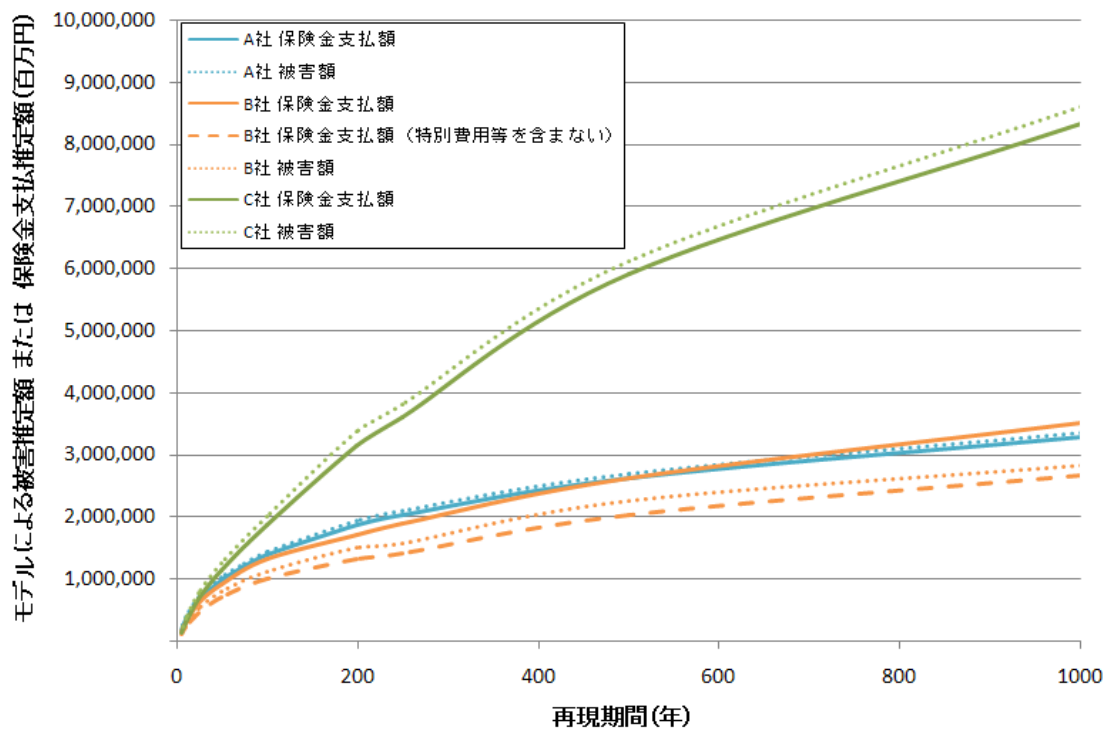


図 3-12B: 台風(強風のみ) 元受全体のリスクの 3 社比較
(再現期間 100 年までの拡大図)

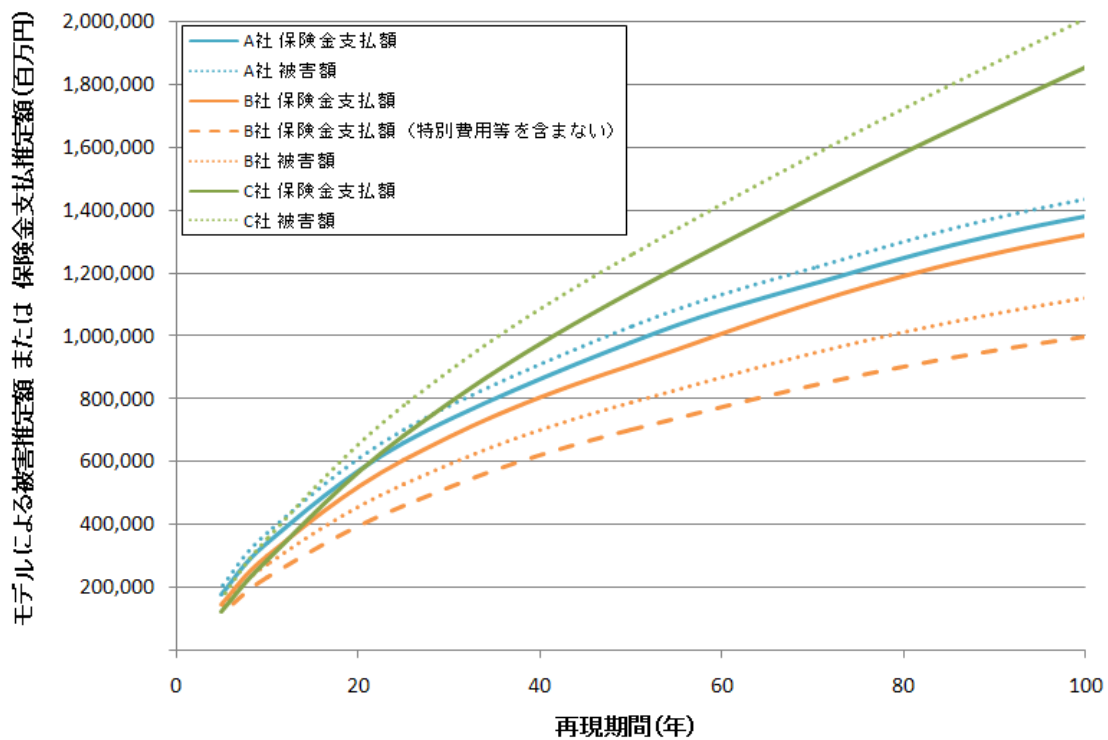


図 3-13: 台風(強風のみ) 各用途元受リスクの割合の 3 社比較

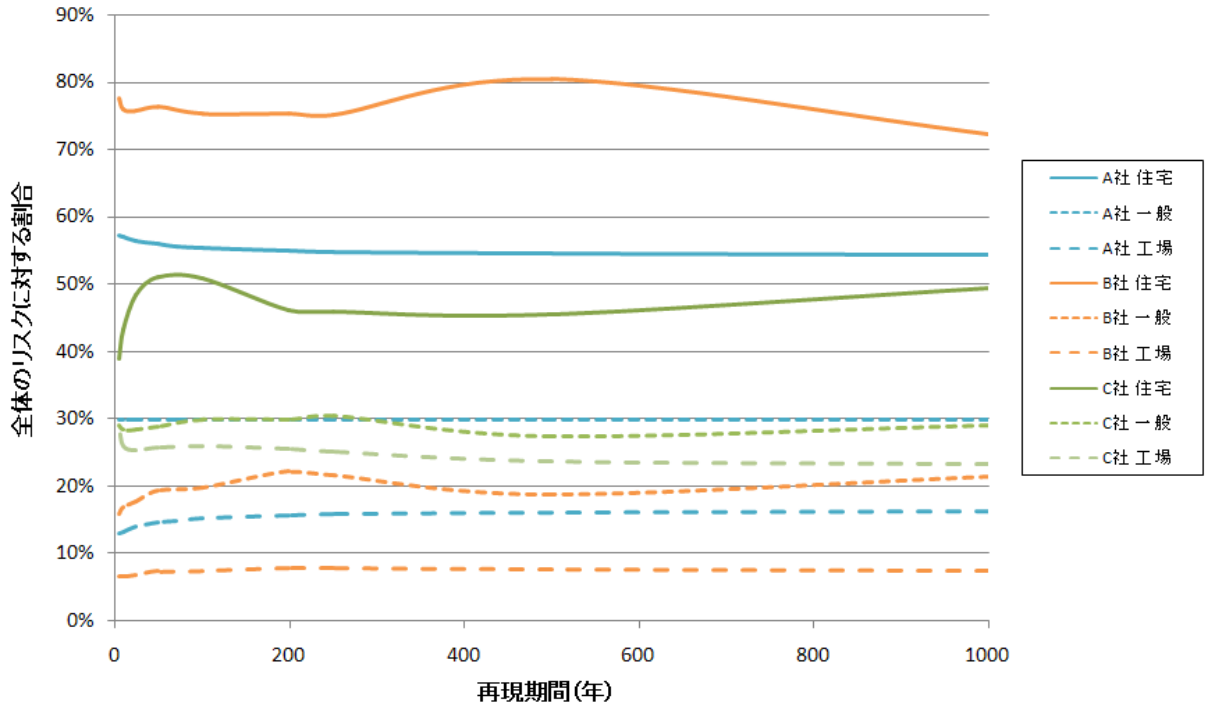


図 3-14A: 洪水リスクの影響の 3 社比較

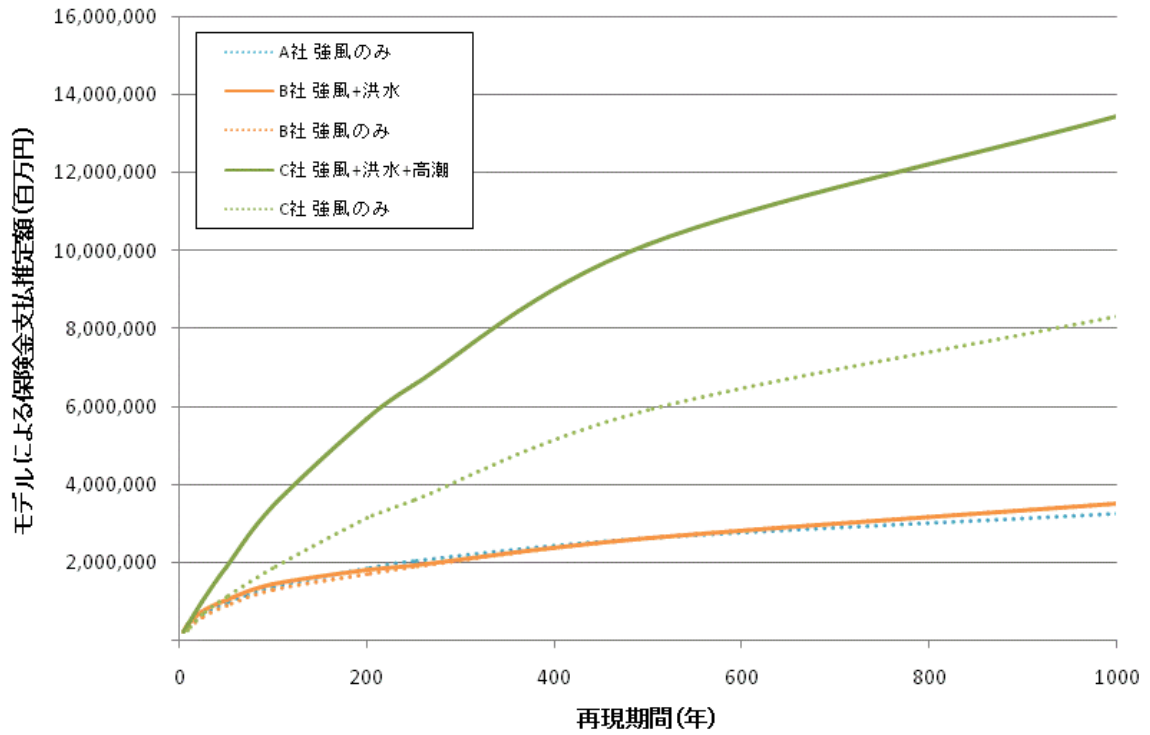
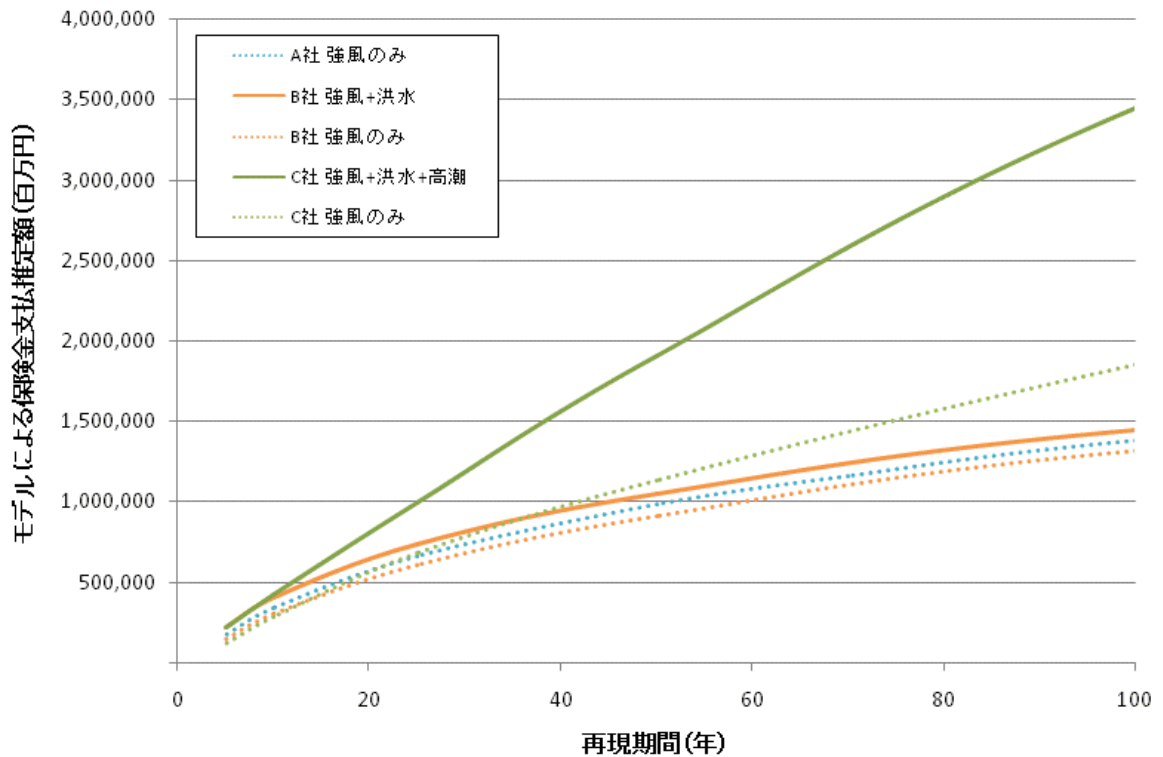


図 3-14B: 洪水リスクの影響の 3 社比較
(再現期間 100 年までの拡大図)



2) 都道府県別のリスク

図 3-15 には、強風のみの場合の、元受全体の年平均保険金支払い額における各都道府県の内訳を、図 3-16 には、各都道府県の年間平均損害額を保険金額で除した年平均損害率を示す。

- ・ 図 3-15 で、全体のリスクに占める各都道府県のリスクの割合を見ると、九州地方と関東地方でリスクが高い。沖縄のリスクの評価が、A 社と他 2 社の間で大きく異なる。その理由としては、台風ハザード(台風による強風の起こりやすさ - 風の強さと発生確率の関係)の違いの他に、建物脆弱性の地域性の設定の違いが考えられる。
- ・ 保険金額の影響を取り除いた図 3-16 での年平均損害率の違いは、各都道府県の台風ハザードと建物の脆弱性及び用途(住宅、商業、工場)の内訳に起因する。沖縄県が突出して高く、九州地方も総じて高い。

図 3-15: 台風(強風のみ) 元受全体の年平均保険金支払い推定額における各都道府県の割合

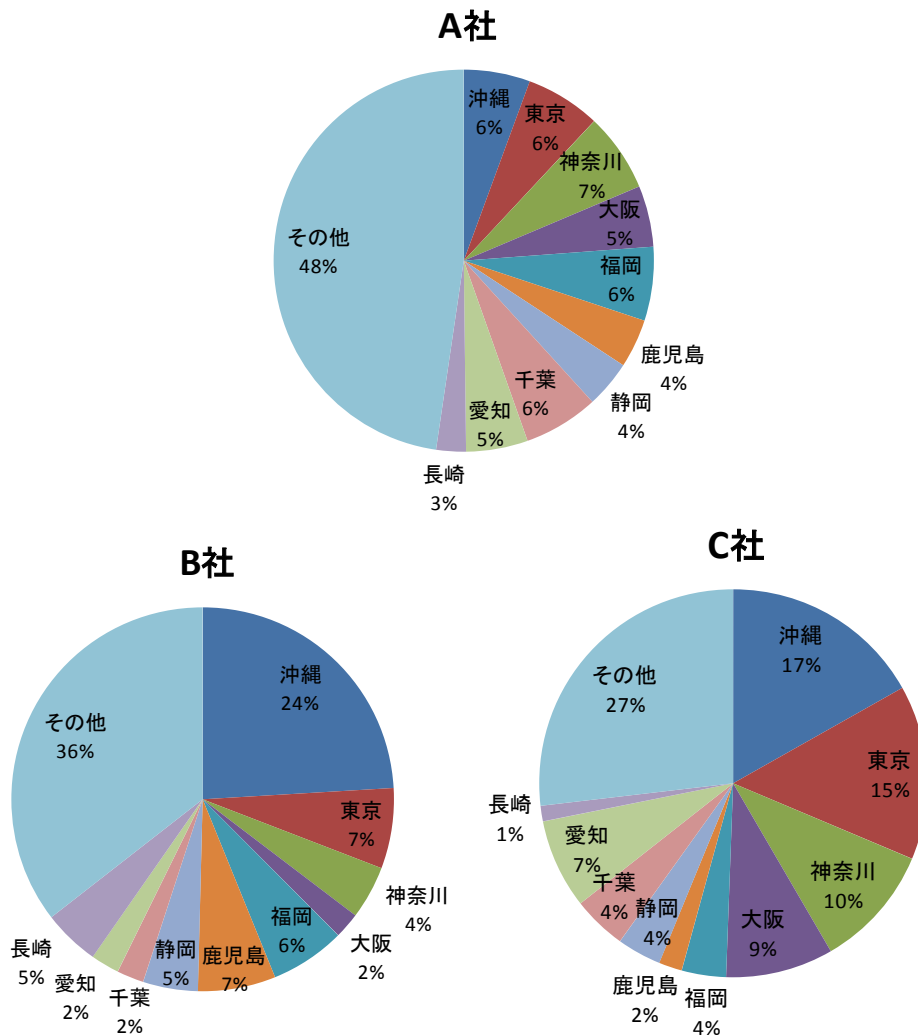


図 3-16A: 台風(強風のみ) 各社モデルによる各都道府県の年平均損害率(保険金額に対する%)

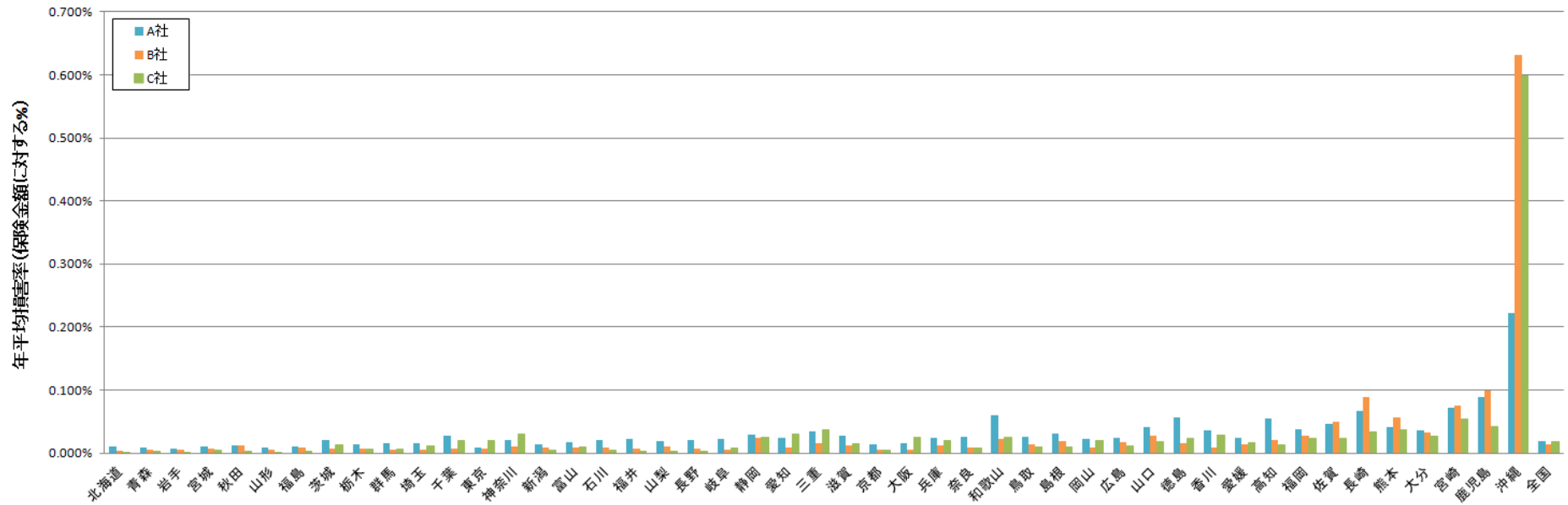
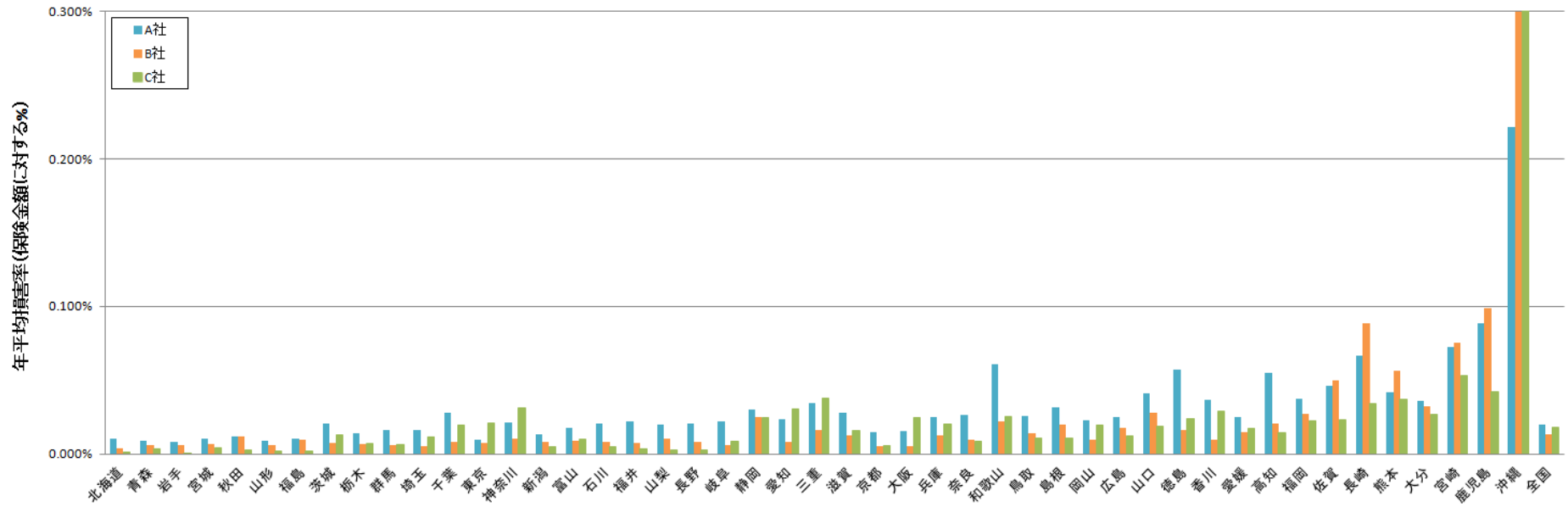


図 3-16B: 台風(強風のみ) 各都道府県の年平均損害率(保険金額に対する%) - 縦軸一部拡大図



3-3. 感度分析

本節では、3-1 節で説明した、日本の損害保険業界全体の地震と台風のエクスポージャに対して、構造種別や建築年、階数の情報を加えた場合や、建物や動産の内訳の情報を取り除いた場合、地理的解像度を粗くした場合に、結果がそれぞれどのように変わるのかを把握するために、下記の通り、感度分析を行った。なお、ここで感度分析の対象とした項目は、モデルのユーザーが一般的に使用する入力データにおいて反映できる項目である。

1) 構造種別を追加した場合

エクスポージャの全ての建物について、住宅物件と一般物件・工場物件の構造を、下記それぞれの組み合わせとした場合と構造の情報が含まれない場合との分析結果を比較する。構造の情報が含まれない場合は、モデル内で平均的な構造が仮定される。

全てのモデル：（住宅/一般・工場） A 構造/特級、A 構造/1 級、B 構造/2 級、C 構造/3 級、D 構造/4 級）

2) 建築年を追加した場合

エクスポージャの全ての建物を、各モデルの建築年の分類の代表年である下記それぞれの建築年とした場合と、建築年の情報が含まれない場合との分析結果を比較する。このときに、建築年の情報が含まれない場合は、モデル内で平均的な建築年が仮定される。この際に、構造は不明とした。

地震：

A 社 - 1950 年、1951 年、1971 年、1981 年、2000 年

B 社 - 1971 年、1972 年、1982 年

C 社 - 1971 年、1972 年、1982 年、1997 年、2001 年

台風：

A 社 - 1984 年、1985 年

B 社 - 分類なし

C 社 - 1950 年、1975 年、1985 年、2001 年、2010 年

3) 階数を追加した場合

エクスポージャの全ての建物を、各モデルの階数の分類の代表階である下記それぞれの階数とした場合と、階数の情報が含まれない場合との分析結果を比較する。このときに、階数の情報が含まれない場合は、モデル内で平均的な階数が仮定される。この際に、構造は不明とした。

地震

A 社： 1 階、4 階、8 階、15 階

B 社： 1 階、4 階、11 階、21 階

C 社： 1 階、4 階、7 階、11 階、14 階、21 階

台風：

A 社： 分類なし

B社： 1階、4階、8階

C社： 分類なし

- 4) 建物と動産(保険の目的)の内訳を取り除いた場合
建物と動産の合計の保険金額を変えずに、エクスポージャを全て建物とした場合と全て動産とした場合の分析結果を、元の建物・動産混合の場合の分析結果と比較する。
- 5) 地理的解像度を粗くした場合
市区町村毎の保険金額を都道府県毎で集計したデータを用いた場合と元の市区町村毎のデータを用いた場合の分析結果を比較する。

3-3-1. 地震(住宅物件、一般物件及び工場物件を含む場合)

ここでは、住宅物件(家計向けの地震担保保険契約)及び一般物件と工場物件(企業向けの地震担保保険契約)からなる日本の損害保険業界全体の地震エクスポージャーを用いて、地震動のみを対象として感度分析を行った。図 3-17 と図 3-18 に結果をまとめる。縦軸は、ソルベンシー計算や格付等において地震リスクの指標として使用されることの多い再現期間 200 年の被害額と年平均損失について、エクスポージャーの情報を変更する前後の変化率を示す。この変化率は、住宅物件、一般物件及び工場物件のそれぞれにおける変化が合計されたものである。

1) 構造種別を追加した場合

- ・ いずれのモデルでも、木造を主とした 3 級/C 構造、4 級/D 構造で最も被害が出やすい。
- ・ B 社のモデルでは、A 構造/特級・1 級よりも B 構造/2 級の方が脆弱性が低い設定になっている。
- ・ 3 社のモデルにおいては、A 社モデルで構造種別の影響度が最も高い。

2) 建築年を追加した場合

- ・ C 社モデルでは、火災保険の構造級別に対する建築年の影響はない。ただし、C 社モデルでは火災保険の構造級別単位ではなく、鉄筋コンクリート造、鉄骨造、木造等の建物構造別に建築年によって異なる脆弱性曲線が用意されている。
- ・ A 社、B 社いずれのモデルでも、建築年が新しくなるほど低い結果となる傾向が見られるが、A 社の方が建築年の影響度が高い。

3) 階数を追加した場合

- ・ C 社モデルでは、火災保険の構造級別に対する階数の影響はない。ただし、C 社モデルでは火災保険の構造級別単位ではなく、鉄筋コンクリート造、鉄骨造、木造等の建物構造別に階数によって異なる脆弱性曲線が用意されている。
- ・ B 社モデルでは、他の項目と比較して、最も影響度が高い。
- ・ A 社、B 社いずれのモデルでも、高層建物で最も被害が出にくく、階数が不明の場合と比べて、40~80%程度低い結果となる。
- ・ A 社のモデルでは、1-3 階の建物の方が 4-7 階の建物よりも脆弱性が高いと設定されているのに対し、B 社のモデルでは、1-3 階の建物の方が 4-10 階の建物よりも脆弱性が低いと設定されている。
- ・ 1-3 階と 4-7 階(4-10 階)のカテゴリーで、階数が不明の場合からの変化が A 社と B 社で逆方向である理由としては、階数が不明の場合にモデル内で設定している平均的な階数が異なることが考えられる。

4) 建物と動産(保険の目的)の内訳を取り除いた場合

- ・ A 社モデルでは、建物の方が動産よりも被害が出やすく、B 社モデルと C 社モデルでは、動産の方が建物よりも被害が出やすくなっている。

5) 地理的解像度を粗くした場合

- ・ 今回のデータを用いた場合、各社共に、違いは 10%程度未満であるが、データの詳細具合や地理的分布によって傾向は異なる。また、都道府県毎のデータを用いて分析した方が常に結

果が増加する、又は、減少するということは一概に述べることはできない。

図 3-17: 地震(地震動のみ) 構造種別、建築年及び階数の感度分析結果 - 住宅を含む場合

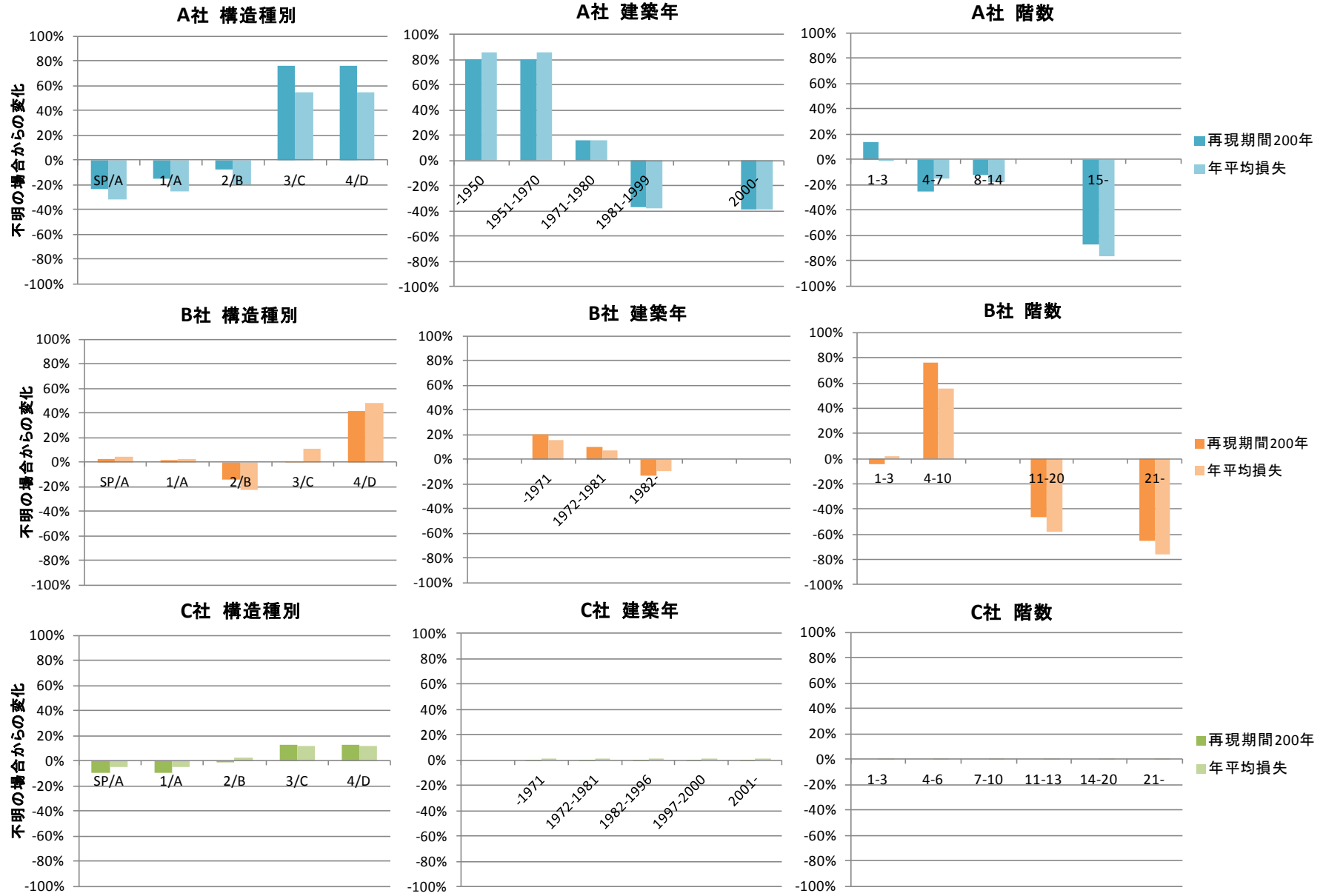
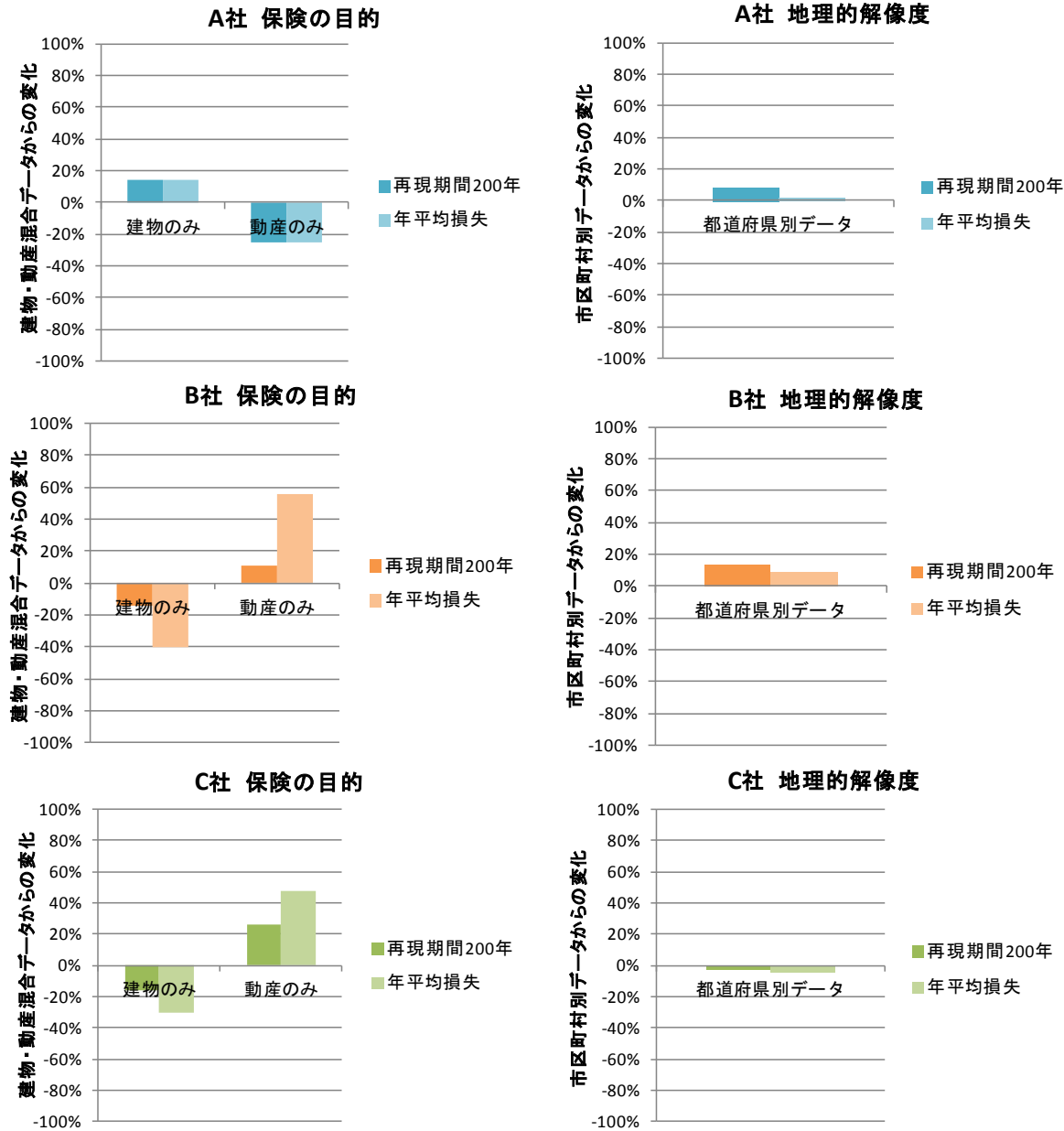


図 3-18: 地震(地震動のみ) 保険の目的と地理的解像度の感度分析結果 - 住宅を含む場合



3-3-2. 地震(一般物件及び工場物件を含む場合)

ここでは、日本の損害保険業界全体の地震エクスポージャーのうち、各損害保険会社が独自にリスク管理を行っている、一般物件と工場物件(企業向けの地震担保保険契約)を用いて、地震動のみを対象として感度分析を行った。図 3-19 と図 3-20 に結果をまとめる。縦軸は、ソルベンシー計算や格付等において地震リスクの指標として使用されることの多い再現期間 200 年の被害額と年平均損失について、エクスポージャーの情報を変更する前後の変化率を示す。この変化率は、一般物件と工場物件のそれぞれにおける変化が合計されたものである。

1) 構造種別を追加した場合

- ・ いずれのモデルでも、木造を主とした 3 級、4 級で最も被害が出やすい。
- ・ B 社のモデルでは、特級・1 級よりも 2 級の方が、脆弱性が低い設定になっている。
- ・ 3 社のモデルにおいては、A 社モデルで構造種別の影響度が最も高い。
- ・ 図 3-17 の住宅物件を含む場合の結果と比較すると、特級、1 級及び 2 級の場合の減少率が概ね小さくなっており、一般物件及び工場物件で構造が不明の場合にモデル内で設定される平均的な構造は、住宅物件を含まない場合に比べ特級、1 級及び 2 級の割合が高いものであることが推定される。

2) 建築年を追加した場合

- ・ C 社モデルでは、火災保険の構造級別に対する建築年の影響はない。ただし、C 社モデルでは火災保険の構造級別単位ではなく、鉄筋コンクリート造、鉄骨造、木造等の建物構造別に建築年によって異なる脆弱性曲線が用意されている。
- ・ A 社、B 社いずれのモデルでも、建築年が新しくなるほど低い結果となる傾向が見られるが、A 社の方が建築年の影響度が高い。
- ・ 図 3-17 の住宅物件を含む場合の結果と比較しても大きな違いはないが、B 社モデルでは、住宅を含まない場合の方が、建築年による変化率が大きい。

3) 階数を追加した場合

- ・ C 社モデルでは、火災保険の構造級別に対する階数の影響はない。ただし、C 社モデルでは火災保険の構造級別単位ではなく、鉄筋コンクリート造、鉄骨造、木造等の建物構造別に階数によって異なる脆弱性曲線が用意されている。
- ・ B 社モデルでは、他の項目と比較して、最も影響度が高い。
- ・ A 社、B 社いずれのモデルでも、高層建物で最も被害が出にくく、階数が不明の場合と比べて、40~80%程度低い結果となる。

4) 建物と動産(保険の目的)の内訳を取り除いた場合

- ・ A 社モデルでは、建物の方が動産よりも被害が出やすく、B 社モデルと C 社モデルでは、動産の方が建物よりも被害が出やすくなっている。

5) 地理的解像度を粗くした場合

- ・ 今回のデータを用いた場合、各社ともに、違いは 10%程度未満であるが、データの詳細具合や地理的分布によって傾向は異なる。また、都道府県毎のデータを用いて分析した方が常に結果が増加する、又は、減少するということは一概に述べることはできない。

図 3-19: 地震(地震動のみ) 構造種別、建築年及び階数の感度分析結果

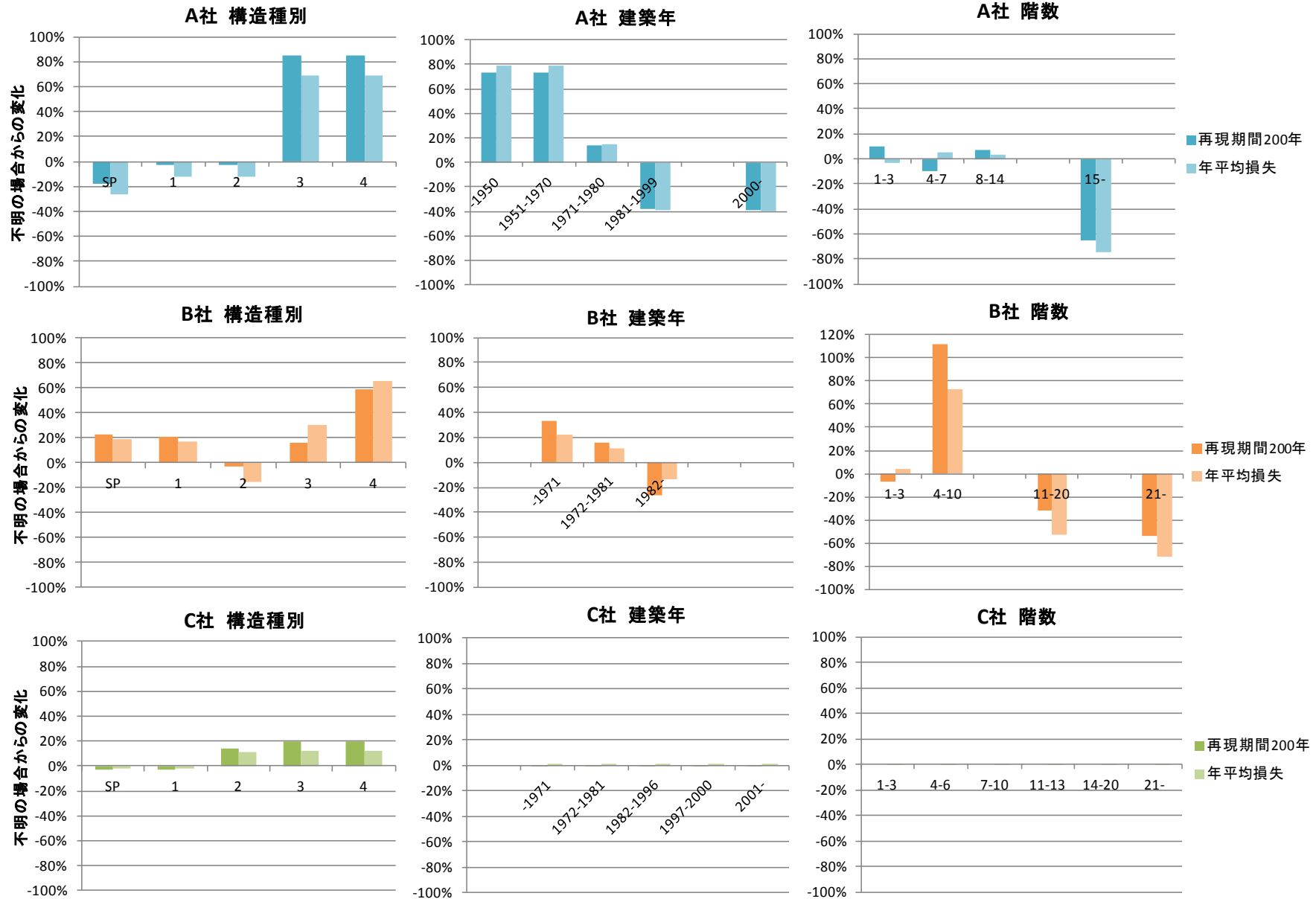
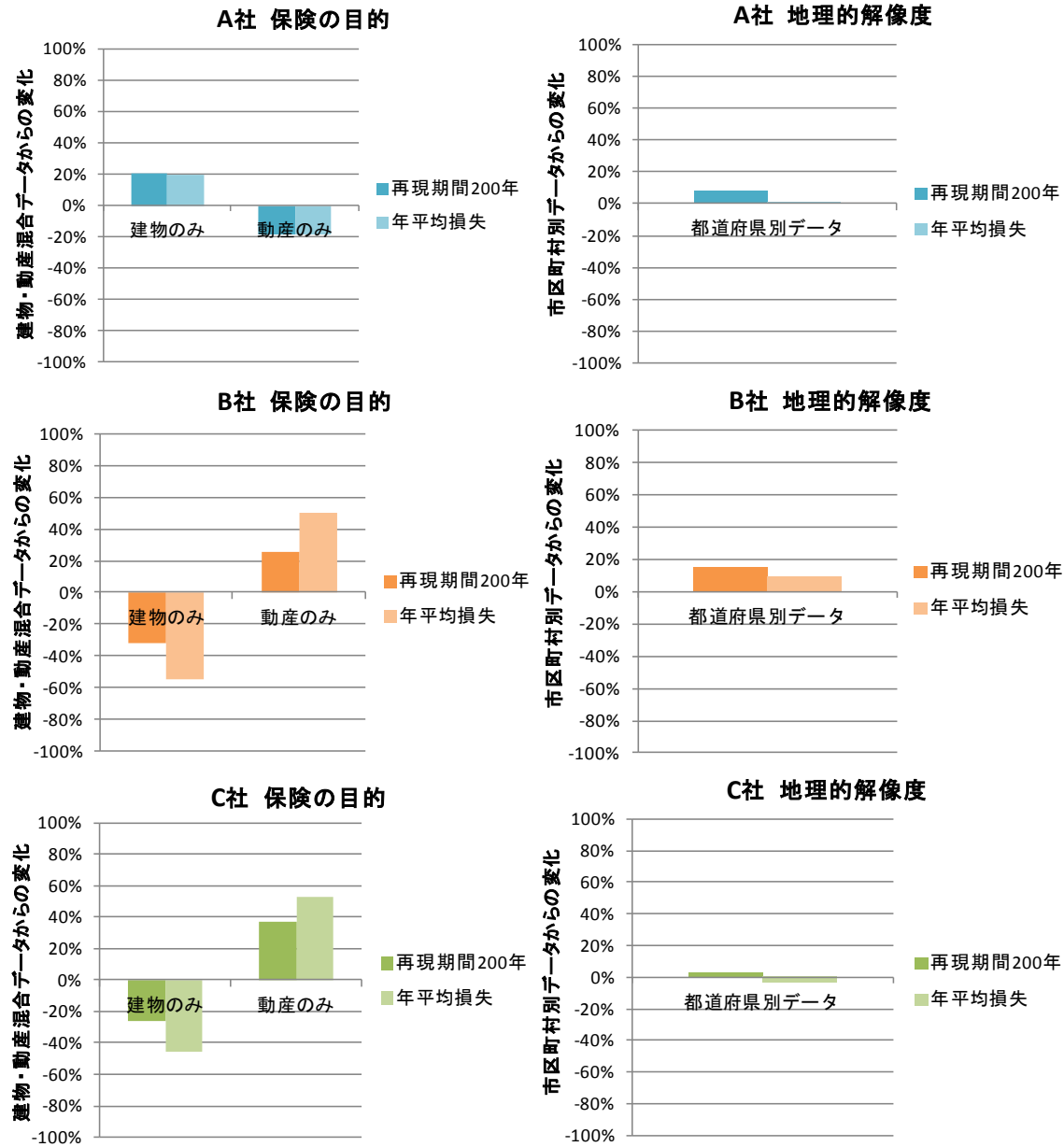


図 3-20: 地震(地震動のみ) 保険の目的と地理的解像度の感度分析結果



3-3-3. 台風

ここでは、住宅物件、一般物件及び工場物件からなる日本の損害保険業界全体の風災エクスポージャーを用いて、強風のみを対象として感度分析を行った。図 3-21 と図 3-22 に結果をまとめる。縦軸は、ソルベンシー計算や格付等において風災リスクの指標として使用される確率レベルに近い再現期間 100 年の被害額と年平均損失について、エクスポージャーの情報を変更する前後の変化率を示す。この変化率は、住宅物件、一般物件及び工場物件のそれぞれにおける変化が合計されたものである。

- 1) 構造種別を追加した場合
 - ・ いずれのモデルでも、木造を主とした 3 級/C 構造、4 級/D 構造で最も被害が出やすい。
 - ・ いずれのモデルでも構造種別の影響度は大きいですが、B 社モデルでの影響度が最も高い。
- 2) 建築年を追加した場合
 - ・ B 社モデルでは、建築年によって異なる脆弱性曲線は用意されていない。
 - ・ A 社モデルでは、建築年が不明の場合は、平均的な建築年として、1984 年以前が設定されている。
 - ・ A 社、C 社いずれのモデルでも、建築年が新しくなるほど低い結果となる傾向が見られる。
- 3) 階数を追加した場合
 - ・ A 社モデルでは、階数の影響はなく、C 社モデルでもほとんど影響は出ない。(C 社においては、低層、中層、高層の区分あり)
 - ・ B 社モデルでは、高い建物で被害が出にくく、階数が不明の場合と比べて、4 階以上の建物は 70~80%近く低い結果となる。
- 4) 建物と動産(保険の目的)の内訳を取り除いた場合
 - ・ 3 社モデルとも、建物の方が動産よりも被害が出やすい傾向にあるが、C 社モデルでの影響度は小さい。
- 5) 地理的解像度を粗くした場合
 - ・ 今回のデータを用いた場合、各社共に、違いは 5%程度未満で、3 社モデルとも、都道府県毎にデータを集積して分析した方がわずかに増加する。しかし、データの詳細具合や地理的分布によって傾向は異なり、都道府県毎のデータを用いて分析した方が常に結果が増加する、又は、減少するということは一概に述べることはできない。

図 3-21: 台風(強風のみ) 構造種別、建築年及び階数の感度分析結果

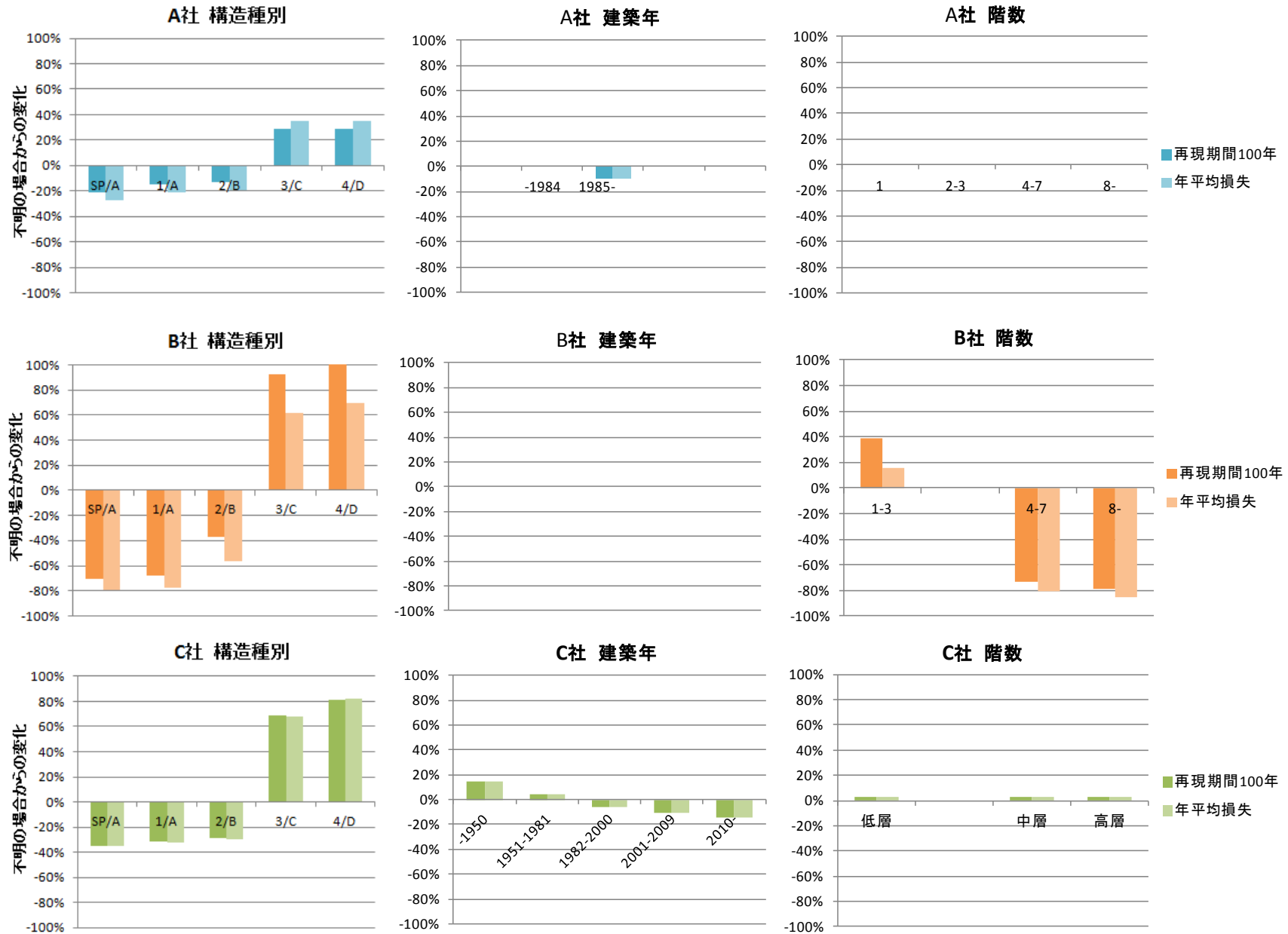
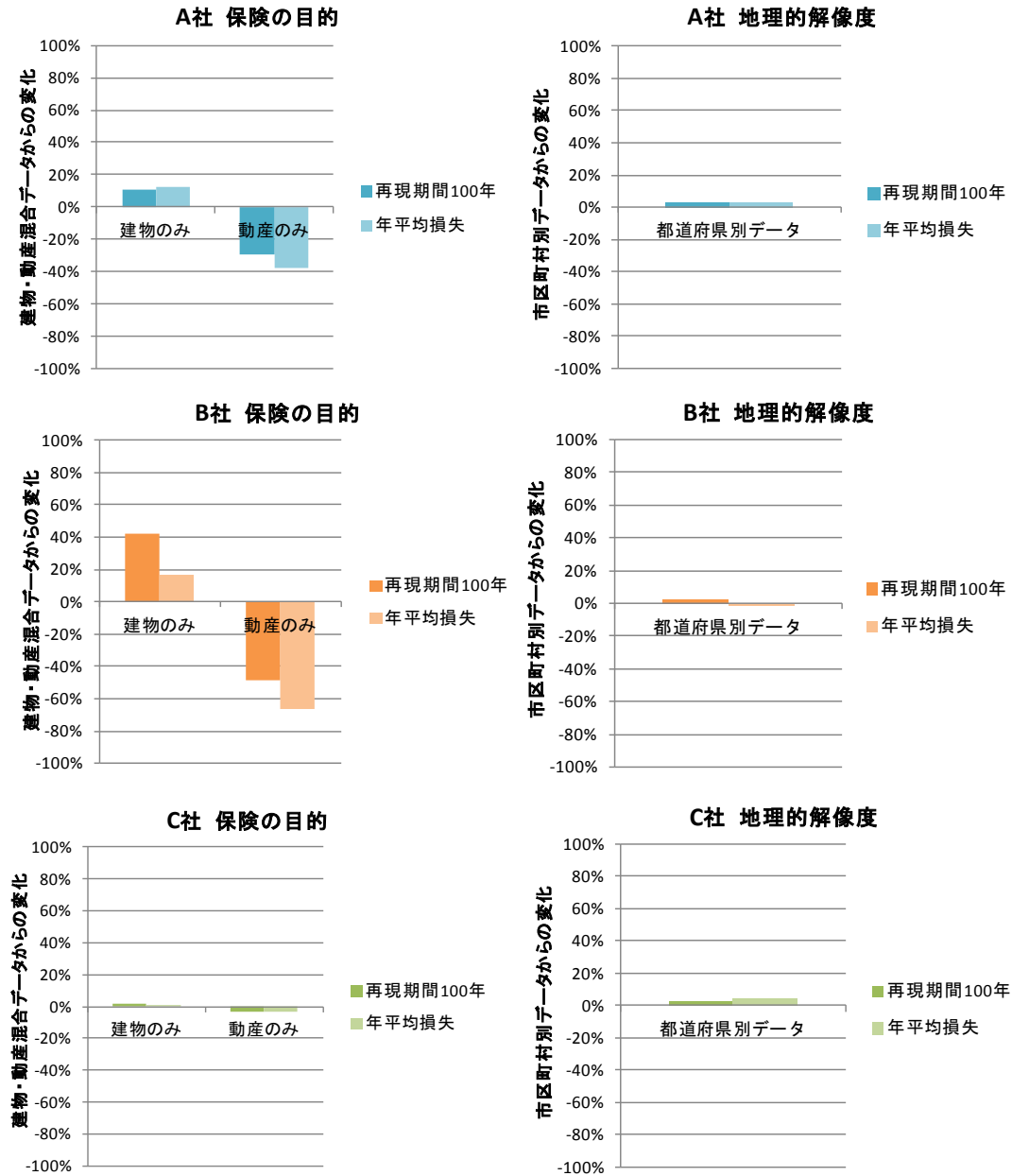


図 3-22: 台風(強風のみ) 保険の目的と地理的解像度の感度分析結果



3-4. 過去の主な災害での保険金支払い額との比較

本節では、過去の主な地震と台風の災害に対して、実際の保険金支払い額と各モデルによる推定保険金支払い額を比較する。

3-4-1. 地震

ここで対象とした地震は、日本地震再保険株式会社の調査による過去の保険金支払い額トップ 10 位の地震のうち、各モデルで分析が可能な表 3-4 に示す地震である。分析が可能な地震とは、各モデルにおいて、その地震の震源パラメータを定義したシナリオイベントが用意され、シナリオ分析を行うことのできる地震である。なお、ここでは、地震動と地震火災による保険金支払い額を計算した。

表 3-4: 対象とした地震

地震名	年月日	分析可能なモデル			支払保険金 (単位：億円)
		A社	B社	C社	
兵庫県南部地震	1995年1月17日	○	○	○	783
芸予地震	2001年3月24日	○	○	○	169
福岡県西方沖を震源とする地震	2005年3月20日		○	○	169
新潟県中越地震	2004年10月23日	○	○	○	149
十勝沖地震	2003年9月26日		○		60

比較する保険金支払い額は、家計向けの地震担保保険契約(共済は含まない。)のみのものであるため、上記地震に対するシナリオ分析には、3-1 節で説明した損害保険業界全体の地震エクスポージャのうち、住宅物件のみを使用した。過去の地震発生年におけるエクスポージャに合わせるため、各都道府県の人口(総務省統計局)と家計地震保険の世帯加入率の推移(損害保険協会)から、各災害発生年における最も被害のあった都道府県の擬似的な家計地震保険加入数を求め、2008 年の加入数との割合を求め(表 3-5)、2008 年エクスポージャに掛け合わせた。

表 3-5: 過去の地震の分析に用いたエクスポージャの調整係数

地震名	年月日	2008年データ からの調整%
兵庫県南部地震	1995年1月17日	26%
芸予地震	2001年3月24日	65%
十勝沖地震	2003年9月26日	86%
新潟県中越地震	2004年10月23日	80%
福岡県西方沖を震源とする地震	2005年3月20日	66%

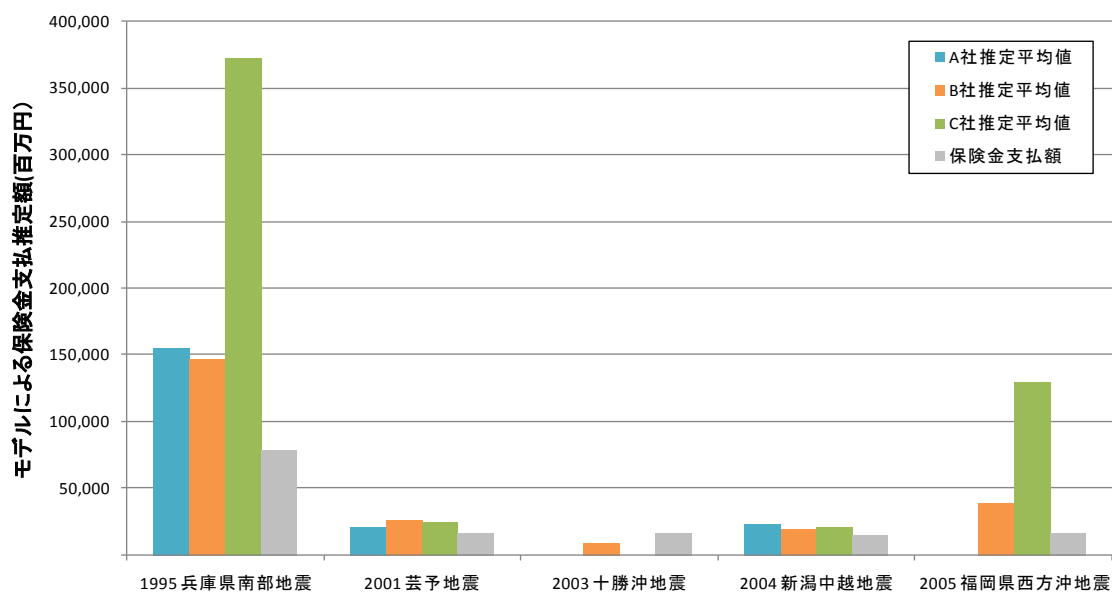
分析結果は、使用した家計地震保険のエクスポージャデータが実状をどれほど精度よく再現できているかに大きく依存する。また、今回使用したエクスポージャデータは、A 社の推定したものであり、A 社はこのデータに基づいてモデルの検証を行っていると考えられる。一方で、B 社と C 社も独自に業界エクスポージャデータを開発しており、モデルの検証においてはそれらのデータを使用していると考えられる。そのため、当然の結果として、今回の比較においては、独自に推定したエクスポージャデータを用いて検証を行った B 社や C 社のモデルによる分析結果よりも、A 社の結果が、実際の保険金支払い額に近くなる。

表 3-6 と図 3-23 に比較結果を示す。2-1-1 で述べた通り、A 社と C 社のシナリオ分析では、保険金支払い額の推定平均値と平均値からのぶれ幅を表す標準偏差が出力されるが、B 社のシナリオ分析では、標準的な出力において平均値のみが出力される。なお、図 3-23 に示されているのは、平均値のみである。

表 3-6: 地震シナリオ分析結果

	A社		B社	C社		保険金支払額
	平均値	標準偏差	平均値	平均値	標準偏差	
1995 兵庫県南部地震	154,963	27,476	146,571	372,610	218,265	78,300
2001 芸予地震	20,579	11,168	25,792	24,514	19,789	16,900
2003 十勝沖地震			9,088			16,900
2004 新潟中越地震	22,454	8,805	19,620	21,045	15,109	14,900
2005 福岡県西方沖地震			39,204	129,747	91,330	16,900

図 3-23: 過去の地震での保険金支払い額とモデル推定額(平均値)の比較
(A 社推定の業界エクスポージャーを使用した場合)



3-4-2. 台風

ここで対象とした台風は、日本損害保険協会の調査による過去の保険金支払い額トップ 10 位の台風のうち、各モデルで分析が可能な表 3-7 に示す台風である。分析が可能な台風とは、各モデルにおいて、その台風のパラメータを定義したシナリオイベントが用意され、シナリオ分析を行うことのできる台風である。ただし、表中△印で示す台風の分析については、シナリオイベントの代わりに、A 社の確率論的イベントセットの中から、当該台風にもっとも近いと A 社が推奨するイベントを使用した。台風に起因する強風と洪水による保険金支払い額を計算した。残存物取片づけ費用と特別費用を明示的にモデル化できる B 社のモデルでは、これらを含めて計算を行った。A 社モデルでは、台風に起因する洪水は、過去の保険金支払い額と比較するモデルの検証過程等で暗示的に考慮されているものの、特に 2004 年台風 16 号 (Chaba(チャバ)) や 2004 年台風 23 号 (Tokage(トカゲ)) 等の降雨による被害が大きかった台風については、明示的には考慮されていない点に留意する必要がある。

表 3-7: 対象とした台風

台風名	年月日	分析可能なモデル			(火災・新種) (単位: 億円)
		A社	B社	C社	
台風19号 Mireille	1991年9月26日～28日	○	○	○	5,225
台風18号 Songda	2004年9月4日～8日	△	○	○	3,564
台風18号 Bart	1999年9月21日～25日	○	○	○	2,847
台風7号 Vicki	1998年9月22日	○	○	○	1,514
台風23号 Tokage	2004年10月20日	△	○	○	1,113
台風13号 Shanshan	2006年9月15日～20日	△	○	○	1,161
台風16号 Chaba	2004年8月30日～31日	△	○	○	1,037
台風13号 Yancy	1993年9月3日		○	○	933

△: 最も近いイベント

比較する保険金支払い額は、住宅物件、一般物件及び工場物件の全てを含むため、上記台風に対するシナリオ分析には、3-1 節で説明したこれら全ての物件を含む損害保険業界全体のエクスポージャを使用した。過去の台風発生年におけるエクスポージャに合わせるため、損害保険業界全体の火災保険契約の合計保険金額の推移(保険研究所 損害保険特別統計号)から、2008 年の合計保険金額に対する各災害発生年の合計保険金額の割合を求め(表 3-8)、2008 年エクスポージャに掛け合わせた。

表 3-8: 過去の台風の分析に用いたエクスポージャの調整係数

台風名	年月日	2008年データ からの調整%
台風19号 Mireille	1991年9月26日～28日	71%
台風13号 Yancy	1993年9月3日	76%
台風7号 Vicki	1998年9月22日	85%
台風18号 Bart	1999年9月21日～25日	89%
台風16号 Chaba	2004年8月30日～31日	90%
台風18号 Songda	2004年9月4日～8日	90%
台風23号 Tokage	2004年10月20日	90%
台風13号 Shanshan	2006年9月15日～20日	99%

地震の場合と同様に、分析結果は、使用した損害保険業界全体のエクスポージャデータが、実状をどれほど精度よく再現できているかに大きく依存する。また、今回使用したエクスポージャデータは、A社の推定したものであり、A社はこのデータに基づいてモデルの検証を行っていると考えられる。一方で、B社とC社も独自に業界エクスポージャデータを開発しており、モデルの検証においてはそれらのデータを使用していると考えられる。そのため、当然の結果として、今回の比較においては、他の独自に推定したエクスポージャデータを用いて検証を行ったB社やC社のモデルによる分析結果よりも、A社の結果が、実際の保険金支払い額に近くなる。

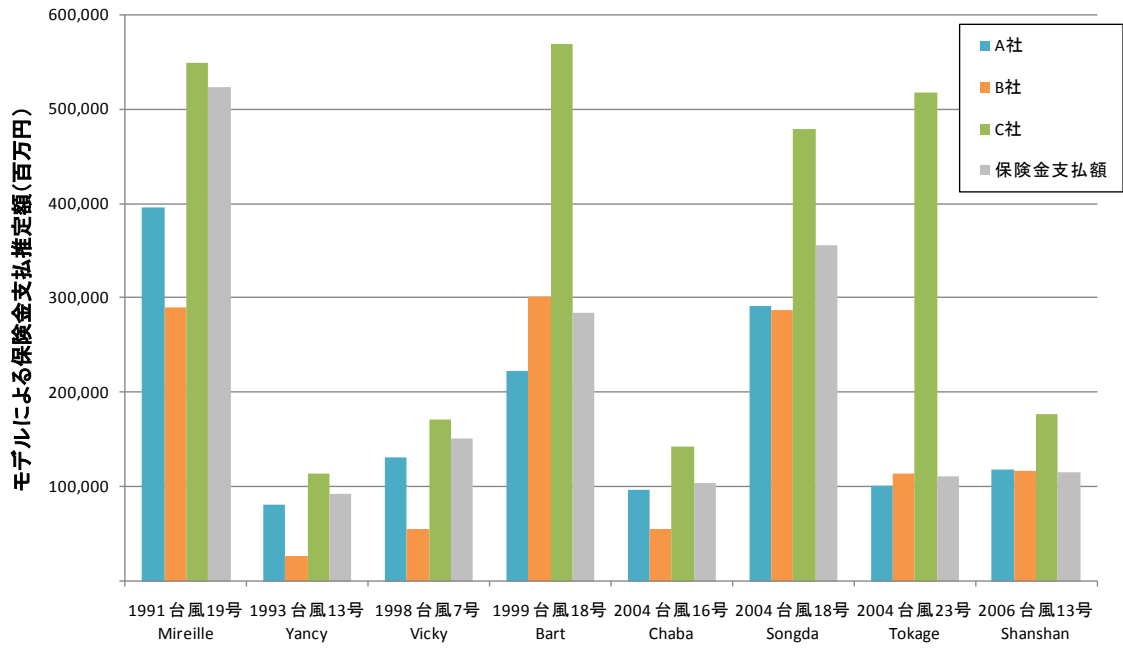
表 3-9 と図 3-24 に比較結果を示す。A社とC社のシナリオ分析では、保険金支払い額の推定平均値と平均値からのぶれ幅を表す標準偏差が出力されるが、B社のシナリオ分析では、標準的な出力において平均値のみが出力される。なお、図 3-24 に示されているのは、平均値のみである。

表 3-9: 台風シナリオ分析結果

(百万円)

	A社		B社	C社		保険金支払額
	平均値	標準偏差	平均値	平均値	標準偏差	
1991 台風19号 Mireille	395,447	267,681	290,663	548,299	139,531	522,500
1993 台風13号 Yancy	80,741	66,271	26,957	113,628	23,441	93,300
1998 台風7号 Vicky	131,611	155,155	55,587	171,783	31,037	151,400
1998 台風18号 Bart	222,631	187,591	301,460	568,021	143,023	284,700
2004 台風16号 Chaba	97,457	108,585	55,624	142,967	38,098	103,700
2004 台風18号 Songda	291,927	235,904	287,247	478,267	97,546	356,400
2004 台風23号 Tokage	101,498	125,806	114,506	516,808	60,626	111,300
2006 台風13号 Shanshan	118,035	99,785	116,617	176,804	44,758	116,100

図 3-24: 過去の台風での保険金支払い額とモデル推定額(平均値)の比較
(A社推定の業界エクスポージャーを使用した場合)



4章 海外主要国の規制当局等における自然災害リスク分析モデルの規制上の利用

4-1. はじめに

本章では、「海外主要国の規制当局等における自然災害リスク分析モデルの規制上の利用」について調査を行った結果を取りまとめた。

欧州のソルベンシーIIをはじめとして、経済価値ベースのリスク管理、あるいは最低資本必要額の規則や基準の策定が、保険監督者国際機構(International Association of Insurance Supervisors; IAIS)や国際アクチュアリー会(International Actuarial Association; IAA)との連携の下に各国で進められている。

資本必要額の計算手法については、多くの先進国で標準フォーミュラ・ベースを採用していたものが、内部モデルの採用を認める方向にあり、より高度な保険数理的技術や高速コンピュータ技術を活用した態勢の構築が不可欠となってきている。

生命保険会社に比べて損害保険会社においては、会社全体のリスクの中で自然災害リスクに関する必要資本の額が大きく、内部モデルでのリスク量の計算においては、自社開発モデルに加えて、高度な工学的手法を使用した外部調達モデルが重要な役割を果たしている。

本章では、外部調達モデルの使用に関連する規制上の要件に焦点を絞って、各国の実情を調査して論点の整理を行い、わが国で導入する場合の参考に資することを目指した。

対象とした国(地域)は、欧州、英国、米国、カナダ及びスイスの5カ国(地域)で、8つの基準設定機関等とした。これらの機関については、世界の先進国の中で、規則や基準が現時点で適用段階にありモデル承認の実例が存在するか、また存在しないとすれば規則や基準の成文化と業界の準備状況が適用に向けて実務レベルまで検討が進んでいるかといった視点に基づき選択した。なお、各国の諸基準を主要な論点別に俯瞰するために、比較一覧表(表4-5)を本章の末尾に添付している。

調査の結果、ほとんどの機関で一定の条件の下で外部調達モデルの使用を認めている(NAICも認める方向で現在検討中)。モデルの使用を認めるための要件は様々であるが、以下の要件が多くの規則・基準で共通して要求されている。

- ・ 経営陣と取締役会の責任の明記
- ・ 方法論の妥当性の検証
- ・ データと前提条件の検証
- ・ モデリングに係る内部統制面の検証
- ・ 実際の損失額との比較
- ・ ユース・テストによる検証
- ・ 専門家を活用した第三者による独立検証

各保険会社がこれらの要件にどのように対応しているかについては、次の 5 章で触れるが、エクスポージャやペリルの種類等の保険会社の置かれている状況を勘案して、複数モデルを組み合わせることもその選択肢の一つであると弊社は考えている。

4-2. 欧州連合(EU)

4-2-1. ソルベンシーII

I. 規制又は基準作成の主体

ソルベンシーII は、欧州連合(European Union; EU)における現行のソルベンシーI に代わって導入される新しいソルベンシー規制である。その基本的な構造や原則等を定めたソルベンシーII 枠組み指令 2009/138 / EC は、欧州委員会(European Commission)が提案し、2009年4月に欧州議会、同年11月に閣僚理事会で採択された。この枠組み指令は、EUにおける域内の保険規制を成文化(codify)し、調和させるためのものである。基本的な目的は、欧州の保険会社が支払い不能のリスクに陥ることを防ぐために(最低)資本必要額を定めることにある。オムニバスII指令(欧州委員会によって2011年1月19日に草案(暫定版)が発表されたソルベンシーIIの改訂に関する新たな包括的指令)が欧州議会で承認されると、ソルベンシーIIは、当初の予定より1年遅れて、2014年1月1日から施行される予定である。

EUの立法手続きは、ラムファルシー手続き(Lamfalussy Process)と呼ばれる以下の4段階の手続きに従って進められる。

第1段階(レベル1)は、枠組み指令である。

第2段階(レベル2)は、具体的な実施措置を定めるものである。その内容は、EUから独立した諮問組織である欧州保険職域年金監督者委員会(Committee of European Insurance and Occupational Pension Supervisors; CEIOPS)の技術的アドバイスを得て、欧州委員会が決定する。この実施措置のうち、資本必要額に関する事項(定量的要件)は、5回の定量的影響度調査(Quantitative Impact Study; QIS)が実施されている。

第3段階(レベル3)は、監督実務の統一化を図る監督上のガイダンス等であり、欧州保険職域年金監督機構(European Insurance and Occupational Pension Authority; EIOPA、2011年1月にCEIOPSより改組)によって2012年9月以降に起草される予定である。

第4段階(レベル4)は、ソルベンシーII施行後の欧州委員会におけるEU加盟国の実施状況の検証及び違反に対する法的措置である。

II. 自然災害リスクに関する規定

レベル1 枠組み指令においては、第105条第2項で、損害保険会社のリスクと基本ソルベンシー資本必要額との関連で、カバーされるリスクとプロセスについて言及されている。自然災害サブ・モジュールについては、第2項(b)で触れられており、その算出方法については附則IV(2)号に記載されている。生命保険、医療保険についても、同条、第3項及び第4項に巨大災害リスクについての規定がある。

第105条

基本ソルベンシー資本必要額(BSCR)の計算

2. 損害保険引受リスク・モジュールは、補償の対象となる危険及び事業の運営に用いられる危険及び

事業の運営に用いられるプロセスに関連した損害保険の契約上の義務から生じるリスクを反映しなければならない。

それは、既存の保険又は再保険契約上の義務と同様に、今後12カ月の間に引き受けられる新しい契約に関しても、保険会社及び再保険会社の成績の不確実性を考慮しなければならない。

それは、附則IV(2)号に従って、少なくとも以下のサブ・モジュールに対する資本必要額の組み合わせとして、計算されなければならない。

(a) 保険事故のタイミング、頻度及び重大度並びに保険金支払いのタイミング及び金額の変動の結果として生じる、損失のリスク又は保険負債の額の好ましくない変化(損害保険料及び準備金リスク)

(b) 異常又は例外的な事象に関連する価格設定及び準備金引き当ての前提の著しい不確実性の結果として生ずる、損失のリスク又は保険負債の額の好ましくない変化(損害保険巨大災害リスク)

(枠内は、レベル1枠組み指令より引用)

附則IV(2)号

2. 損害保険の保険引受リスクの計算

上記の第105条第2項で定められる損害保険の保険引受リスクのソルベンシー資本必要額の計算式は、「損害保険料及び準備金リスクに係るソルベンシー資本必要額」と「損害保険巨大災害リスクに係るソルベンシー資本必要額」と「両者の相関係数」を乗じて、更にその平方根を取ったものとして定義される。(実際には数学的算式で記載されている。)

(枠内は、レベル1枠組み指令附則の算式を弊社で要約したもの)

一方、上述のレベル2の第5次定量的影響度調査(QIS5 Technical Specification)での標準フォーミュラにおいては、ソルベンシー資本必要額(SCR)を計算するために、医療保険、生命保険、損害保険のそれぞれについて、自然災害リスクを明示的に把握する詳細な算式が記載されている。また、損害保険のペリルについては、SCR 9.53において、強風、洪水、地震、雹及び地盤沈下が列挙されている。

Ⅲ. 自然災害リスク分析モデルへの依存

上述の「ソルベンシーII 指令 2009/138 / EC (レベル1)」においては、第100条及び第112条において標準フォーミュラ又は内部モデル(部分的内部モデルを含む)を用いたソルベンシー資本必要額に関する一般規定が定められており、自然災害リスク分析モデルは、現時点では内部モデル一般に関連のある諸条文に包含されるものと思われる。今後、自然災害リスク分析モデルに関する固有の規定は、第5章に記述したABI編集のレポート「自然災害リスクモデリングに関しての業界での取り組み; INDUSTRY GOOD PRACTICE FOR CATASTROPHE MODELLING (ABI レポート)」等を参考に詳細が確定するものと思われる。

第100条

一般規定

加盟国は、保険事業者及び再保険事業者に対して、ソルベンシー資本必要額(SCR)を満たす適格自己資本を保有するよう求めるものとする。

ソルベンシー資本必要額(SCR)は、第2サブ・セクションの標準フォーミュラに従って、又は第3サブ・セクションに規定された内部モデルを用いて、のいずれかによって計算されなければならない。

第112条

全面的(full)内部モデル及び部分的(partial)内部モデルの承認に関する一般規定

1. 加盟国は、保険事業者又は再保険事業者が、ソルベンシー資本必要額(SCR)を、監督当局によって承認された全面的内部モデル又は部分的内部モデルを用いて計算できることを確保しなければならない。

2. 保険事業者及び再保険事業者は、以下の1つ又はそれ以上のものの計算のために部分的内部モデルを用いることができる。

(a) [...前半一部省略]基本ソルベンシー資本必要額(BSCR)のリスク・モジュール又はサブ・モジュール

(b) [...前半一部省略]規定されたオペレーショナル・リスクに対する資本必要額

(c) [...前半一部省略]規定された調整

加えて、部分的モデルは、保険事業者及び再保険事業者の事業全体、又は1つ若しくはそれ以上の主な事業単位に適用することができる。

3. 承認申請(省略)

4. 監督当局は、完成された申請を受領してから6カ月以内に申請に関する決定を行わなければならない。

5. 監督当局は、[...]一部省略]満足した場合にのみ、申請に対する承認を与えるものとする。

6. 監督当局が、内部モデルの使用申請を却下する場合には、その根拠となる理由を述べなければならない。

7. 監督当局から内部モデルの使用に関する承認を受領した後、保険事業者及び再保険事業者は、第2サブ・セクションに規定された、標準フォーミュラに従って計算されたソルベンシー資本必要額(SCR)の推定値を、監督当局に対して提出することを、理由を明記した決定書によって、求められることがある。

(枠内は、レベル1枠組み指令より引用)

IV. 検証・承認のプロセス

ソルベンシーII 指令において自然災害リスク分析モデルの承認プロセスに関する記述はないものの、ソルベンシーII の内部モデル全般に適用する枠組みの中で、自然災害リスク分析モデルにも該当する関連条文を、以下に示すV. その他の論点で引用した。

なお、レベル1 枠組み指令とは別に2009年1月公表の「CEIOPSからのアドバイス、ソルベンシーII レベル2 実際の導入の手続き: 第120条から第126条 内部モデル承認のテストと基準(公開意見聴取段階での文書番号56) [CEIOPS' Advice for Level 2 Implementing Measures on Solvency II: Articles 120 to 126 Tests and Standards for Internal Model Approval Validation effort (former Consultation Paper 56); CP56]」において、以下の記述があり、一定の要件が課されている。

レベル2 関連条文

保険事業者は自社の内部モデルやデータに代えて、外部調達モデルや外部のデータを使用する場合には、その理由を説明できなければならない。保険事業者は、検討した選択肢を示し、特定の外部モデル又はデータに決定した理由を説明できなければならない。

(枠内は、「ソルベンシーII レベル2 実際の導入の手続き: 第120条から第126条 内部のモデル承認のテストと基準」の第10.20項より引用)

また、EU各国の規制当局の代表で構成される「内部モデル委員会」が、英国のPaola Cadoniを委員長として編成され、枠組み指令2009/138の原則に基づいて2011年末を目途に報告書を作成する予定であるが、2011年度末時点でまだ公開されていない。この報告書が公開されると自然災害リスク分析モデルに関して、今後最も重要な資料になるものと予想される。

V. その他の論点

ABIレポートにおいて、自然災害リスク分析モデルに関する詳細なガイドラインが記述されており、このレポートの内容が今後十分な検討を経てソルベンシーII 基準に取り込まれていくと予想されている。以下にABIレポートの中で触れられているソルベンシーII の内部モデルに関する規定のなかで、自然災害リスクモデリングにも関連する条文を引用した。

ソルベンシーIIの法的枠組みは、上記I.に記述した通りであるが、その内容が常に進化し続けている性質のものであることは、開示されている様々な文書に反映されている。現時点で、ドラフト、ガイダンスノート、コンサルテーション・ペーパー等の様々な文書が存在している。それらは、草稿段階と成案段階と、公式な採用に向けての様々な段階のものがある。

<経営管理(ガバナンス)関係>

第44条 第5項 - リスク管理

第112条と第113条に従って承認された部分的又は全面的内部モデルを使用する保険事業者及び再保険事業者に関して、リスク管理部門は以下の追加的職務を網羅するものとする。

a) 当該内部モデルを設計し、実施すること

- b) 当該内部モデルをテストし、実証すること
- c) 当該内部モデル及び当該モデルに施した事後的変更を記録すること
- d) 当該内部モデルの適用結果(performance)を分析し、その要約した報告書を作成すること
- e) 当該内部モデルの適用結果及び改善の必要性を示唆する領域を経営、管理又は監督機関に報告すること、並びに過去に特定された弱点を改善するための取組状況の最新情報を当該機関に伝えること

第 116 条 第 2 項 - 管理、経営又は監督機関の責任

管理、経営又は監督機関は、内部モデルが継続して適切に運用されていることを確保する態勢を整備する責任を負うものとする。

第 120 条 - ユース・テスト(Use test)

保険事業者と再保険事業者は、第 41 条から第 50 条に規定されているように、当該事業者のガバナンス態勢において内部モデルが広く使用され、重要な役割を果たしていることを証明しなければならない。特に：

- a) 第 44 条に規定されている保険事業者のリスク管理態勢及び意志決定のプロセス
- b) 第 45 条に規定された評価も含めて、保険事業者のエコノミック・キャピタル及びソルベンシー資本の評価並びに資本配分のプロセス

更に、保険事業者と再保険事業者は、内部モデルを使ったソルベンシー資本必要額の計算の頻度と、本条第 1 段落で網羅されているその他の目的のために内部モデルを利用する頻度が一致していることを証明しなければならない。

管理、経営又は監督機関は、内部モデルの設計及び運用の継続的な適切性確保及び内部モデルが継続的に当該保険事業者や再保険事業者のリスク・プロファイルを適切に反映したものになることについて、責任を負うものとする。

<外部委託にかかわる問題>

第 49 条 - 外部委託

1. 加盟国は、保険事業者及び再保険事業者がその機能又は何らかの保険業務若しくは再保険業務を外部委託する場合、当該事業者が本指令に基づく全ての義務を履行することに関して引き続き全責任を負うことを確保するものとする。
2. 不可欠若しくは重要な運営機能又は活動を外部委託することは、次のいずれかの事態を引き起こすような事がないように行われなければならない。
 - a) 当該事業者のガバナンス態勢の質を著しく損なうこと
 - b) オペレーショナル・リスクを過度に増加させること

c) 当該事業者の義務の遵守状況を監視する監督当局の能力を損なわせること

d) 保険契約者に対する継続的かつ満足なサービスを損なわせること

3. 保険事業者及び再保険事業者は、不可欠若しくは重要な機能又は活動の外部委託について、その実施前に、適時に監督当局に報告すると共に、それに伴う実質的な進展についても同様に報告するものとする。

<文書化の基準>

第 125 条 — 文書化の基準

保険事業者及び再保険事業者は、彼らの内部モデルについて、その設計と運用上の詳細を文書化しなければならない。

その文書化は、第 120 条から第 124 条に準拠していることを証明しなくてはならない。

その文書化は、内部モデルの基となる理論、前提条件並びに数学的及び経験的な基盤の詳細な輪郭を示さなければならない。

その文書化は、内部モデルが効果的に機能しない環境を明示しなければならない。

保険事業者及び再保険事業者は、第 115 条に規定されたような、内部モデルに対する全ての主な変更点を文書化しなければならない。

<自然災害リスクモデリング・データとの関係>

第 121 条 第 3 項 — 統計的品質基準

内部モデルに使用されるデータは、正確、完全かつ適切なものでなければならない。

保険事業者及び再保険事業者は、確率分布予測の計算に用いられるデータセットを少なくとも年に 1 度は、アップデートしなければならない。

<モデルの選択とモデルの変更の方針>

第 115 条 — 全面的又は部分的な内部モデルを変更する方針

内部モデルの初期の承認過程の一部として、監督当局は、保険又は再保険事業者のモデルの変更に
関する方針を承認するものとする。[...以下省略]

第 120 条 — ユース・テスト

[...前半一部省略]管理、経営又は監督機関は、内部モデルの設計及び運用の継続的な適切性確保、及び内部モデルが継続的に当該保険事業者及び再保険事業者のリスク・プロファイルを適切に反映したものであることについて、責任を負うものとする。

第 121 条 第 2 項 — 統計的品質基準

確率分布予測の計算に用いられる方法は、十分で、適用可能かつ関連のある保険数理的及び統計的な技術に基づくものでなければならず、[...以下省略]

確率分布予測の計算に用いられる方法は、現在の信用できる情報及び現実的な前提条件に基づくものでなければならない。

保険事業者及び再保険事業者は、監督当局に対して内部モデルの基礎となる前提条件の根拠を示すことができなければならない。

第 126 条 — 外部調達モデル及びデータ

第三者機関から入手したモデル又はデータの使用は、第 120 条から第 125 条に規定された内部モデルに対する要件のいずれからも免除されることの正当な理由とは見なされない。

<自然災害リスク分析モデルの設定条件とオプション>

第 121 条 第 2 項 — 統計的品質基準

前述の通り。

第 121 条 第 4 項 — 統計的品質基準

内部モデルは、保険事業者及び再保険事業者がさらされている全ての重要なリスクを網羅しなければならない。内部モデルは、少なくとも第 101 条第 4 項に規定されたリスクを網羅しなければならない。

第 121 条 第 5 項 — 統計的品質基準

リスク分散効果に関しては、監督当局がそれらの分散効果を計量する態勢が適切であることに満足している限りにおいて、保険事業者及び再保険事業者は、内部モデルにおけるリスク・カテゴリー内の、あるいはリスク・カテゴリー間の依存度を考慮することができる。

<自然災害リスク分析モデルの検証>

第 124 条 — 妥当性確認の基準

保険事業者及び再保険事業者は、内部モデルの性能の監視、その仕様書 (specification) の継続的な適切性の再検証及びその計算結果を経験に照らして検証することを含む、モデルの妥当性確認を定期的な周期で実施しなければならない。

モデルの妥当性確認のプロセスは、保険事業者及び再保険事業者が、監督当局に対して計算された資本必要額が適切であることを証明することができるよう、内部モデルの妥当性確認のための効果的な統計学上のプロセスを含まなければならない。

適用される統計学上の方法は、確率分布予測を、損害の実績のみならず、全ての重要な新しいデータ及び関連する情報と比較し、その適切性をテストするものでなければならない。

モデルの妥当性確認のプロセスは、内部モデルの安定性の分析及び内部モデルの計算結果の主要な前提条件の変化に対する感応度のテストを含まなければならない。また、内部モデルに使用されるデータの正確性、完全性及び適切性の評価も含まなければならない。

<複数のモデルを使用するアプローチ>

第 121 条 第 2 項 – 統計的品質基準

前述の通り。

(枠内は、レベル1枠組み指令より引用)

4-3. 英国

4-3-1. 個別資本十分性基準 (Individual Capital Adequacy Standards; ICAS)

I. 規制又は基準作成の主体

英国において保険会社の監督は、2000年金融サービス市場法 (Financial Services Market Act of 2000; FSMA) に基づいて行われ、FSMA では英国金融サービス機構 (UK Financial Services Authority; UK FSA) にプリンシプル、ルール、ガイダンスを策定する権限を与えている。2005年1月にはEUにおけるソルベンシー規制の強化に呼応する形で独自のリスク・ベース・キャピタルの考え方を取り入れた資本規制である ICAS が導入された。ICAS 制度の下で、英国国内の保険会社は、その会社に即した ICAS モデル (いわゆる内部モデル) を用いて必要資本の自己評価 (Individual Capital Assessment; ICA) を行なうことを要請されており、それぞれの保険会社の実態に応じた必要資本額を算出し、UK FSA に報告することが義務付けられている。

II. 自然災害リスクに関する規定

ICA は FSA ハンドブックの「Prudential Sourcebook」に記載されており、自然災害リスクは保険リスクの中で扱われるべきものであるが、自然災害リスク量の計算方法についての記述は特段なく、各保険会社独自に自然災害リスクに対応する必要資本を計算している。

ICAS 導入から1年ほど経った2005年11月に、UK FSA による保険業界に対する説明会が行われ、自然災害リスク量の計算には、多くの保険会社が RMS, EQECAT 及び AIR といった外部調達モデルの計算結果と再保険ブローカーからのアドバイスを活用していることが判明した。ただし、各モデルの計算結果には大きな開きがあり、UK FSA は結果の差異についてモデル開発会社と意見交換を行っている。保険会社は外部調達モデルに全面的に依存して自然災害リスク量を計算するだけでは必要資本の評価を適切に行ったことにはならず、モデルに伴う不確実性や前提条件にも留意すべきであると注意喚起を行っている。

UK FSA は、保険会社が UK FSA に ICAS 報告書を提出するにあたり、外部調達・自社開発自然災害リスク分析モデルの制約を詳細に報告したり、標準のモデルでは計算できないペリルやエクスポージャ、災害後の建築資材や労働力の価格高騰 (Demand Surge) 等の損害の二次的影響についても記載したりすることが有益であるとしている。また、UK FSA は、自然災害リスク分析モデルでの計算結果と過去の損害 (例えば、英国強風 87J や 90A) によるストレス・テストとの結果を比較することで合理的に計算結果の確認ができるとしている。更に、複数の外部調達モデルを使ってリスク量を算出している場合には、全ての計算結果を提出することで保険会社がモデルの不確実性を認識している証拠にもなるとしている。

III. 自然災害リスク分析モデルへの依存

英国においては、1800年代半ばにアクチュアリー会 (Institute of Actuaries) が設立され、近代的数理技術に基づいたアドバイスを保険業界に対して行っている。ICA やソルベンシーII の報告についても、最終的には取締役会が責任を持つものの、その計算過程においてはアクチュアリーが重要な役割を果たしている。

2006年4月20日に英国アクチュアリー会内の作業部会によって発表された「損害保険会社の必要資本の自己評価における資本モデル」と題するディスカッション・ペーパーの中で自然災害リスクモデリングに関して具体的な論点が議論されているので、以下に該当する章を引用する。

B.5.7 外部調達モデルの使用

保険会社全体の事業モデルを構築するにあたっては、その入力データとして、複雑な過程を経て計算されるモデルが使用される場合がある。(例えば、自然災害リスク分析モデルがその一例である。)モデル誤差が存在するかもしれないことは、本体モデルとその下のサブ・モデルにも言えることである。保険会社が外部調達モデルを直接使用する場合は、モデル誤差や自然災害リスク分析モデル・ライブラリー(データ・ベース)の中に組み込まれているイベントに含まれていない事象が存在する可能性に対してどのように対応するかについて検討しなければならない。モデルに黙示的に(implied)組み込まれている確率分布は、通常の事業計画や再保険購入計画の前提と整合的でなければならない。

外部調達モデルが使用された場合、どの程度までこれらのモデルが検証され、テストされ、評価されたのかについて明確に記述されなくてはならない。保険会社の要件によってモデルが特別にカスタマイズされた場合は、この事実についても開示されなければならない。主要な前提条件やモデル上の制約条件、そして外部調達モデルと自社で作った他の部分とが整合的であるかについて、十分な考察がなされなければならない。

C.1.6 巨大な自然災害損害

自然災害による潜在的な損失分析にあたっては、自然災害の発生件数とその規模、購入可能な再保険カバー、復元再保険料のコスト及び復元カバーの消滅の可能性等を含めて分析が行われなくてはならない。将来の損害頻度と金額の大きさに関する確率論的分析は、マーケットで認識されている外部調達自然災害リスク分析モデルからの出力(例えば超過確率曲線)等を含み、分析で使用されたデータと設定条件に関する説明を伴う必要がある。再保険に依存するリスクについても検討が必要である。例えば、海面温度の自然変動のサイクルのフェーズも考慮し、これが自然災害事象の規模と頻度に及ぼす影響についても考慮する必要がある。アクチュアリーは、これに加えて、長期のトレンド(例えば気候変動)によって過去のデータから乖離する影響についても考慮し、これが継続的に今後も使用できる良いデータであるかを再検討する必要がある。

(枠内は、ディスカッション・ペーパーより引用)

IV. 検証・承認のプロセス

ICA 報告書には、モデル検証に係る論点も以下の通り記載されている。

F.2.2 モデル誤差

必要資本の自己評価結果の報告書では、十分な感度分析が実施されたこと及びこれらの感度分析が保険会社の経営者によって理解されたかを示す必要がある。ICA 報告書は、どのようなパラメータがICAの額に重大な影響を及ぼすかを特定しなければならない。そして、これらの感度の高いパラメータがどちらの方向に動くか、ICAの額がどの程度動くかの実例を示さなければならない。ICA 報告書では、潜在的なパラメータ誤差やモデル誤差について触れる必要がある可能性があり、その場合にはそれらの誤差に対処するためにどのような修正が施されたかについても記述しなければならない。

F.2.3 モデルの妥当性検証

モデル自体の検証は、全ての実行された計算の検証のログ・データを洩れなく証跡として残さなければならない。実際にモデルで計算した結果の分析と、検証プロセス自体を内部監査することにより、独立チェックが有効になされたことになる。モデル検証は、最初に保険数理部門のメンバーによって実施される。計算の検証は、モデルの出力結果が保険会社の事業計画と整合的であるかを確認するために行われる。ストレス・テストは、モデルの合理性を検証し、前提条件を調整するために必要である。最後に保険数理部門に属さない、例えば、内部監査、財務部門や第三者で、検証業務を行うに相応しい適切な資格を持つ専門家による合理性チェックと手続きの審査によって検証が完了する。

F.2.4 ストレス・テスト、シナリオ・テストとその他のテスト

ストレス及びシナリオ・テストは、所定の計測期間に、保険会社にとって不利益な方向への変動が起こった場合に予測される財務的結果を測定するために実行されなければならない。ストレスは、個別の主要リスクの動きを考慮しなければならず、シナリオは、現実的に同時に発生が想定されるストレスの相乗効果についても考慮しなければならない。また、実際の経験値と過去時点で実施された将来の予測の出力結果との比較検証を実施しなくてはならない。その結果、モデルに何らかの修正変更がなされるべきかを評価しなければならない。必要に応じて、標準テストと保険会社固有のテストの両方がなされなくてはならない。(例えば、後述するロイズの RDS テストは、その一例である。)

F.3.4 第三者の意見

実際には、検討を要する分野において、保険会社が第三者のソフトウェアを使用したり、意見を聞くのが合理的であったり、ベスト・プラクティスであったりする場合がある。ここで第三者というのは、例えば、経済シナリオ・ジェネレーターの専門会社や自然災害リスク分析モデルの開発会社があげられる。

(枠内は、ディスカッション・ペーパーより引用)

V. その他の論点

ICA 報告書には、上記で示した技術的論点に加えて、ICA 報告書の提出の責任の所在やガバナンス等の重要な観点も記載されている。参考までに ICA 報告書の提出責任の条項を以下に記載する。

G.1 UK FSA に対する保険会社の ICA の提出

G.1.1 で規定される保険会社の ICA 報告書を UK FSA へ提出するのは、保険会社の取締役会又は経営者の責任であり、アクチュアリー責任ではないとしている。しかしながら、アクチュアリーは、多数の専門家で構成されるチーム (multi-disciplinary team) の一員として行動し、取締役会へ提出する報告書をチームとして作成する。従って、アクチュアリーは ICA 報告書を作成するにあたって自己の役割を明確にし、特定の事項については全ての関係者に理解されるようにする責任がある。

(枠内は、英国アクチュアリー会内の作業部会によって発表された「損害保険会社の必要資本の自己評価における資本モデル」と題するディスカッション・ペーパーより引用)

4-3-2. ロイズの現実的な災害シナリオ (Realistic Disaster Scenarios; RDS)

I. 規制又は基準作成の主体

ロイズは、英国の 1871 年ロイズ法 (Lloyd's Act 1871) に基づき法人化され、その事業活動は法令により規制されている。1982 年以降は、1982 年ロイズ法に従い最高統括機関であるロイズ評議会 (Council of Lloyd's) が事業活動を管理している。この法律の下で、ロイズ評議会は、ロイズの保険ビジネスを規制・運営する権限が与えられている。更に、ロイズ評議会は、ロイズ法の適正な履行などの目的達成のために、ロイズ規約 (Lloyd's Byelaws) を定める権限も持ち合わせている。そして、ロイズは、FSMA により、UK FSA の監督下で活動している。

一方ロイズ評議会の指揮命令の下でロイズの運営管理を行う法人であるコーポレーション・オブ・ロイズの役割は、ロイズ・マーケットを監督、支援すると共に、ロイズの立場やブランドを世界中で広めることにある。コーポレーション・オブ・ロイズの機能としては、メンバーの保険の引受けに必要な資本の決定、業績不振シンジケート経営陣への改善指導、金融・規制当局へのロイズ・マーケットに関する諸報告書の提出、ロイズの事業免許に関する世界的ネットワークやブランドの運営・開発、ロイズを代表し世界各国の政府や規制当局との交渉等がある。なお、コーポレーション・オブ・ロイズは、本来の規制当局ではないものの、ロイズ・マーケットを監督する主体であり、また自然災害リスクの評価手法である RDS を業界で最も早い時期 (1995 年) に導入した経緯もあることから、参考までに本報告書に含めることにした。

II. 自然災害リスクに関する規定

RDS の数値を集計する目的は、様々な仮想災害シナリオが発生した場合に各シンジケートが被るであろう損失額を見積もることにあり、常に「統合リスク管理を効率的に行うことでより高い利益の達成を下支えし、マネージング・エージェント (一つ若しくは複数のシンジケートを管理・運営することを目的として設立された会社で、引受業務を行うスタッフを雇い、シンジケートにインフラ機能を提供し日常業務を行う) の引受全てに渡って包括的で安定的な業績管理を行う」というロイズの主要な戦略目的の文脈の中で考えるべきとされている。

ロイズでシンジケート (資本提供者であるメンバーが単独又は複数で組成した引受団体) が引受をするにあたって、巨大災害リスクの管理は必要不可欠なものである。特に 2011 年には、日本とニュージーランドでの地震やオーストラリアの洪水等によって 40 億ドルもの保険金が発生しており、管理の重要性は益々増加してきている。

巨大災害リスク管理のために、コーポレーション・オブ・ロイズでは、シナリオ・ベースの RDS を考案し、保険損失額で 1,000 億ドル以上になる極端な損失が連続して発生した場合に、シンジケート単体とロイズ全体としてどのように対処できるかを見極めるストレス・テストを行っている。

ロイズ・マネージング・エージェントは、1 月 1 日現在のデータで計算した RDS の結果を年一度、7 月 1 日現在のデータで計算した現実的な災害シナリオ簡易版 (Realistic Disaster Scenarios Light; RDL) の結果も年一度、コーポレーション・オブ・ロイズの 6 部門の一つであるパフォーマンス・マネジメント (Performance Management) 傘下の集積管理 (Exposure Management) チームに対して、提出しなければならない。

また、ロイズ・フランチャイズ・ボード(ロイズ評議会の傘下にある委員会)で市場を運営するための規則・指針を決定する権限を委譲されている。コーポレーション・オブ・ロイズはその規則・指針の下で事業を執行する。)は、2010年1月に、確率ベースで巨大災害リスクを測定するためのロイズ・キャタストロフィー・モデル(LCM)を導入した。それまでのシナリオ・ベースでのリスク量に加え、LCMでは確率論で巨大災害リスクを評価しており、ソルベンシーIIの下でロイズの内部モデルの重要な一部分を形成することが期待される。LCMはロイズに大きな影響を与えると思われる巨大災害リスクを発生させる地域と主要な保険種目に焦点を当てている。なお、ロイズ・マネージング・エージェントは、LCMで必要とされるデータを年4回、前述の集積管理(Exposure Management)チームに対して、提出しなければならないこととなっている。

Ⅲ. 自然災害リスク分析モデルへの依存

RDSの報告にあたって、マネージング・エージェントはAIR、EQECAT、RMSといった外部調達モデルを使用することができる。報告に必要な条件を満たし、全ての種目とエクスポージャが網羅される限りにおいては、ロイズはこれら外部調達モデルによって導かれた結果を受け入れる。それぞれの外部調達モデルを使用する場合には、モデル毎に以下の表4-1で定義されるイベントID(2-1-1節にて解説した、起こり得る全ての事象を離散的に定義したイベントの集合であるイベントセットにおいて、個々のイベントを識別するために与えられた番号)を使う必要がある。

表4-1: RDSに対応する外部調達モデルのイベントID

シナリオ	AIR v13.0*		EQECAT v3.14	RMS	
	Year	Event		v10	v11
米国北東部強風	1	1	45257	441305	2874165
米国カロライナ州強風	1	2	38353	440744	2867710
米国フロリダ州強風 - マイアミ・デード	3	4	29950	443334	2865409
米国フロリダ州強風 - ピネラス	4	5	38151	450475	2869298
メキシコ湾強風(陸上)	2	3	7797	444103	2848918
メキシコ湾強風(海上)	2	3	7797	442172	2848918
英国洪水	n/a	n/a	n/a	n/a	1945869
ヨーロッパ強風	10	1	8674	865781	2900136
日本台風	12	1	10327	157359	157359
米国カリフォルニア州地震 - ロスアンゼルス	8	3	5879	2007934	2007934
米国カリフォルニア州地震 - サンフランシスコ	9	4	607	2006214	2006214
米国ニューマドリッド RDS 地震	6	1	2832	2081051	2081051
日本地震	11	1	75967	803094	803094

* AIRモデルのイベントIDは、AIRによる資料に基づき、ロイズによる資料の情報を更新した。ソフトウェアの仕様上、便宜的にYearとEventを組み合わせてIDとなっている。

これらイベントIDから計算された損失額は、地震火災による損失や災害後の建築資材や労働力の価格高騰(Demand Surge)も含めて、提出されなければならない。

一方、LCMのデータ提出にあたってロイズ指定の自然災害リスク分析モデルがあるわけではないが、各モデル固有の必要要件が詳細に定められている。LCMの報告では複数のモデルを使うことも可能である。例えば、地域単位や種目単位で異なるモデルを使用することも、複数のモデル結果をブレンドすることも可能である。また、可能ならば動的財務分析(DFA)モデルの結果を提出することも要求され

る。

IV. 検証・承認のプロセス

RDS の計算結果は、シンジケートに一事故及び複数の巨大災害から発生する年間合計のシナリオでのストレス・テストを課すと同時に、再保険金の回収見込み額の情報も提供する。これらの数値は、ロイズ・フランチャイズ・ガイドライン（フランチャイズ・ボードが作成する業務運営に関するガイドライン）の遵守状況の確認及び特定の再保険者への依存を把握するにあたり、必要資本の自己評価プロセスの一部として使われる。特定のイベントによるシンジケートの損失見込み額を合計することで、ロイズ全体としての損失見込み額が得られ、ロイズの資本と対比される。

RDS/RDL の提出は各年 1 回で、17 あるシナリオの内、以下の表 4-2 における 10 のシナリオは必須項目シナリオであり、全てのシンジケートが提出する義務を課せられている。（報告すべき最低エクスポージャ基準はなく、エクスポージャが無い場合でも「なし」と報告しなければならない。）

表 4-2: ロイズの現実的な災害シナリオ (RDS)

シナリオ番号	RDS
1	2つの事象(米国北東部強風にカロライナ州の強風が連続)
2	フロリダ州強風(2つの別事象)
3	メキシコ湾強風
4	ヨーロッパ強風
5	日本台風
6	米国カリフォルニア州地震(2つの別事象)
7	ニューマドリッド地震
8	日本地震
9	英国洪水
10	テロ(2つの別事象)

上記必須シナリオの他、各シンジケートは大きな影響を受ける可能性のある2つの他のRDSの結果も提出しなければならない。シナリオ例は、「RDS Scenario Specification」に記載されている。

一方、LCMの結果は、資本モデルとリスク許容量のモニターの目的で、ロイズ全体としての巨大災害リスクの計測に使われる。効率的に各シンジケートのデータを収集し、ロイズとしてのデータの整合性を確保するために、シンジケートが提供するデータは外部調達モデルのアウトプット・フォーマット（例えば、RMS社のモデルの分析結果が保存されるデータベースファイルであるRDMやAIR社のモデルの分析結果が保存されるファイルであるCLF）で提供することができるが、定められたデータ・テンプレートに従ったデータで提出されなければならない。

V. その他の論点

特定の災害シナリオは毎年ロイズによって詳細が発表され、個別シンジケートとロイズ全体の損失額を予測するために使われている。コーポレーション・オブ・ロイズからマネージング・エージェントへ公式に発出される通達であるマーケット・ブレティン Y4548号によれば、現行のRDS制度や自然災害リスク

分析モデルが確立していない地域の評価方法についての戦略的な見直しを 2012 年から始めるとしている。

2012 年 1 月に発表された 2012 年版 RDS バージョン 1.1 によれば、2011 年は世界各国で多くの災害が発生したにもかかわらず、マーケット・ブレティンの Y4507 号によって想定損失額レベルは据え置きになっている。(マーケット・ブレティン Y4507 号では、特に RMS 社のモデルである Risklink のバージョン 11.0 の発表に伴うモデルの変更に対してロイズがどのように対処するかを、マネージング・エージェントに情報提供を行っている。この RMS モデルの変更によって、米国ハリケーンと欧州強風のリスク評価が大幅に変更になり、シンジケートに大きな影響を与える可能性がある。)

マネージング・エージェントは、補足情報として、RDS の報告において、RMS モデルを使用した場合にはそのバージョン情報(v10 なのか v11 なのか)を報告しなければならない。

4-4. 米国

4-4-1. 全米保険監督官協会 (NAIC) の規制

I. 規制又は基準作成の主体

全米保険監督官協会 (National Association of Insurance Commissioners; NAIC) は、米国における保険に関する基準の設定及び規制上のサポートを行う組織である。NAIC を通じて、各州の保険監督官はその州の基準とベスト・プラクティスを導入し、規制や監督を行う上で協力し合っている。NAIC メンバーである各州の保険監督官と NAIC の本部スタッフが連携して全米各州の保険規制を作り上げることで、全米レベルでの規制を構成する仕組みとなっている。

II. 自然災害リスクに関する規定

保険損害額が大きかった過去 10 件の自然災害を見てみると、8 件がハリケーンであり、その内 6 件が 2000 年～2008 年の間に発生 (例えば、2005 年に発生したカトリーナで 411 億ドル、2008 年に発生したアイクで 125 億ドルの支払保険金となった) しており、米国経済は自然災害によって大きな影響を受けている。また、自然災害のペリルに晒され易い地域に所在する被保険物件も居住する人口も継続的に増加しており、損害額は持続的に増大してきている。米国保険情報調査研究所 (Insurance Information Institute) の調査によれば、2011 年の米国における自然災害による保険損失額は 359 億ドルに達し、2010 年の 141 億ドルの 2 倍以上であった。米国において、直近 2～3 年の間には、上陸まで至った大規模なハリケーンは発生しておらず、1994 年のノースリッジの 125 億ドル以来、大規模な地震も発生していないが、異常気象によって自然災害の発生の可能性が高まってきていることから、自然災害の損害発生頻度と影響を監視することは、監督上、極めて重要な事項である。

特に、2004 年と 2005 年のハリケーンのシーズンには、湾岸地域において 1,200 人を超える死者、700 万件の保険支払い件数と約 1,000 億ドルの保険損失額という、前例のない規模の被害となり、将来、想像を超えた巨大な自然災害が発生する可能性がある。NAIC と各州保険監督官は、保険会社がこれらの巨大災害に十分に対応できるようにするため、自然災害リスク管理のための総合的な全米計画の審議を開始し、早くて 2014 年を目処に、各州単位の保険会社の健全性確保と消費者保護の概念を取り入れた新しいリスク管理の手法の導入を検討している。これらの検討と並行して、米国の議会も自然災害に改めて関心を持つようになり、現在、自然災害リスク管理に係るいくつかの法案が、審議中である。

(枠内は、NAIC; Natural Catastrophe Response より抜粋)

III. 自然災害リスク分析モデルへの依存

NAIC は自然災害リスクに関する必要資本を RBC (Risk Based Capital) 規制の計算の中に含めていないが、保険市場が発展している先進国の中で RBC に自然災害リスクに関する必要資本を含めていないのは米国だけである。NAIC は、RBC モデルの中にある保険料資本係数に自然災害損害の要素が含まれていると主張するが、自然災害リスク分析モデルを使用してリスク量を別途計算に含める手法とは異なる結果となる可能性が高い。NAIC は、自然災害リスク要素を含むよう、RBC 規制のフォーミュラを改訂することを提案しており、弊社の予測では従前のリスク量と比較して、新しい方式の方でリスク量

が大きくなる見通しである。NAIC の改訂案は近々採択される見込みである。以下は、弊社の聞き及ぶ限りにおけるその提案の骨子である。

2011 年秋の NAIC ミーティングにおいて、ハリケーンや地震損害のモデリングに使用する外部調達モデル(RMS、AIR、EQECAT)に関して議論が行われ、1 社又は複数社のモデルの使用に関して暫定的に以下の結論に至った。これらのモデルで計算されるリスク量が、RBC の自然災害に係るリスク・チャージの基礎として認められる。

- ・ 外部調達モデルのいずれか 1 つあるいは、2 つ、3 つの組み合わせを使用することができる。
- ・ モデルの選択及び主要なモデルのパラメータは、自社の内部モデルによる自然災害リスク管理プロセスで使用されるものと同じである限り、保険会社によって決めることができる。
- ・ リスク・チャージは、ハリケーンと地震イベントのそれぞれ単独で計算した再現期間 100 年の、再保険考慮後の正味の予想損失額に基づくこととする。
- ・ 再保険回収不能リスクを評価するための偶発クレジット・リスク・チャージは、現在再保険回収予定額の 10% であるが、この数値の妥当性については議論がある。
- ・ ある特定の一点のみを代表する VaR よりもエクスポージャの広がりをより正確に捉えることができる T-VaR(一定の信頼水準を超えた全ての極端なテールの損失額の平均値)の方が優れた指標ではないかという観点についても継続的に議論されている。
- ・ ハリケーンと地震のイベントについては、それぞれ独立に計算された値に対して共分散調整が行われる。ハリケーンリスク・チャージとハリケーン偶発(contingent)クレジット・リスク・チャージは、加算し二乗される。地震リスク・チャージと、地震偶発(contingent)クレジット・リスク・チャージも同様に加算し二乗される。これらの 2 つの値は、更にその他の RBC リスク・チャージの二乗の合計に加算されて、全体の平方根が取られる。

IV. 検証・承認のプロセス

NAIC は、これまで自然災害リスクを RBC に明示的には記載していなかったものの、上述のような NAIC での議論の結果を受け、保険会社独自の内部モデルと 3 つの主要な外部調達モデル(RMS、AIR、EQECAT)の使用を認める方向で、現在、検討中である。

V. その他の論点

NAIC の現在の RBC の算式には自然災害チャージが入っていないが、保険会社が自然災害チャージを全く計算していない訳ではない。米国保険会社の 95% を格付しており、米国保険業界における格付業者のリーダーである A.M. Best 社は、資本十分性比率モデル(Best's Capital Adequacy Ratio; BCAR) 計算において、ハリケーンは 100 年に一回の PML(Probable Maximum Loss; 予想最大損失)、地震は 250 年に一回の PML(いずれも再保険ネット後)を計測してその大きい方の額を資本・剰余から減額することを要求している。更に、ストレス・テストで第 2 の事象も発生した場合を地震・ハリケーンとも 100 年に一回の PML で計算してストレスの負荷をかけた資本の状況を把握する。

この A.M.Best 社の要請を満たすために、保険会社は、外部調達モデルを使用するか又は自社開発モデルを使用しなくてはならない。このいずれの場合についても、A.M.Best 社の合理性と信頼性のテストに従わなくてはならない。具体的には、最近発生したイベントの実績値と予想額の比較を検証させられる。

このように NAIC の RBC 規制上では、自然災害リスクに関する必要資本を別途計算する必要のない会社も、現実的には格付の必要性から自然災害モデルを使って必要資本を計算している。

4-4-2. 信用格付業者

自然災害リスクに関して各信用格付業者もそれぞれ独自の扱いをしているので、以下に各業者の手法の概要をまとめた。

A.M. Best 社

以下は、A.M. Best 社の格付け取得のための格付け対象会社に対する追加格付質問票 (Supplemental Rating Questionnaire; SRQ) の記載要領から自然災害リスクに関する部分を引用したものである。

自然災害リスクモデリングに関する質問事項は、保険会社の自然災害リスク管理についての理解を深めるために設けられている。これらの質問への回答を得ることで、A.M. Best 社は保険会社全体において自然災害リスクを管理する能力と財務面への影響の重要性を勘案する。今後 A.M. Best 社は保険会社が直面する可能性がある損失額を精査するために、リスクカーブをより精査する予定である。特に、A.M. Best 社は、T-VaR 又は条件付きテール期待値 (Tail Conditional Expectation; TCE) を種々の再現期間で要求しているものの、当面の間は (円滑な移行) のため、年間最大損失額ベースの単一の再現期間の PML (Probable Maximum Loss; 予想最大損失) と感度分析の評価とを併せて使い続ける予定である。A.M. Best 社は改訂された自然災害リスク評価手法が適切であるかどうかを判断するために、SRQ を使って追加的な業界分析を行なう予定である。

損保 SRQ の自然災害部分を最近修正し、様々なデータの品質に係る追加の詳細情報を求めるようになった。2005 年に発生した自然災害で見られたように、データ品質又はその欠如が、モデルの結果の信頼性に重大な影響を与えている。データ品質に問題がある、若しくは自然災害リスクの全ての重要な情報がモデルに組み入れられていないと判断する場合には、A.M. Best 社はモデル結果を調整する。そのため、A.M. Best 社は、建物の構造、所在地やモデル上重要な設定条件といった項目をモデル報告書で積極的に開示するよう保険会社に対して推奨する。

自然災害リスク分析モデルは、保険会社にとって分析ツールの 1 つに過ぎず、それだけがリスク管理手法ではないものの、A.M. Best 社は、全社的なリスク管理の中で自然災害リスク分析モデルが引き続き価値のあるツールであると認識している。しかし、ここで明確にしておきたいのは、A.M. Best 社は複数又は特定のモデルの使用により自然災害リスクの評価を行うことを求めている訳ではなく、モデルの結果と実際の損失履歴の両方を総合的に判断して、自然災害リスクの評価を行っているということである。なお、A.M. Best 社は、複数の自然災害リスク分析モデルを活用する保険会社に対して、基本的に、モデルの結果を単純平均することで対応しているが、保険会社と自然災害リスク分析モデル開発会社が重要な前提条件やモデル間の相違について説得力のある説明ができる場合は、格付分析において、加重平均を使うこともある。

(枠内は、PROPERTY / CASUALTY SUPPLEMENTAL RATING QUESTIONNAIRE (SRQ)より引用)

弊社の理解するところによれば、A.M. Best 社は、保険会社に対して、正確で的確なモデル結果が算出されるように、最新バージョンの自然災害リスク分析モデルを使うことと、最新の情報が反映されるように適切な前提条件を設定することの 2 つを期待している。更に、A.M. Best 社は、保険会社が業界で認知されている自然災害リスク分析モデル (例えば、AIR、RMS、EQECAT) 又はその他の妥当性を検証されたモデルを使用することを求めているが、特定の自然災害リスク分析モデルを支持しているわけではない。しかし、もし保険会社が使用モデルを変更した場合には、なぜ特定の外部調達モデルに変更

したのか質問することで、保険会社が単に最も低い結果(リスク量)を算出するモデルを選択していないか、すなわち、「モデル・ショッピング(会社にとって都合の良いところだけ取ってくること)」をしようとしていないかどうかを判断している。

モデルによる分析結果は、モデルに入力されたデータ品質以上の品質は得られないため、経営陣が現行のリスクを緩和する手段を迅速に取るためには、モデルに入力するエクスポージャーデータを最新のものにしておく必要がある。また、保険会社毎にその引受内容は異なるため、経営陣は自社が引受を行う全ての地域における全リスクを把握しておく必要がある。このように A.M.Best 社は使用したモデルのバージョンと設定条件を含め、自然災害リスクモデリングの計算結果に関する情報に基づき、保険会社の自然災害リスク管理能力を評価している。なお A.M.Best 社は、この情報と全体的なプロセスを勘案して、データ品質(例えば、データの新鮮さや対象物件の所在地の地理的解像度)及びエクスポージャーの監視(例えば、モデル/シナリオの数とモニタリングの頻度)並びにリスク管理(例えば、保有額の上限と現在有効な再保険カバー)を評価している。

保険会社が使用する設定条件は、現実的なものでなければならない。例えば、需要急増による資材の値上げ、損害査定費用と追加で発生する生活資金の予測は、現実的なものとして損失額の見積もりを含めなければならない。保険会社が引き受けている保険種目(すなわち地震火災や農作物保険等)によっては、追加の損失見積もりを加える必要がある。当然含まれるべきリスクの見積もりが含まれていない場合、格付アナリストは、所要資本を保守的に調整する場合もある。また A.M.Best 社は、保険会社が適切な損失額の見積もりを行っていない場合、それはその会社の経営の弱点であるとみなし、会社の資本水準にかかわらず格下げを行う場合がある。

S&P 社

S&P 社は、モデルの結果が信用できるものであれば、外部調達モデル、自社開発モデルのいずれの使用も認めている。S&P 社は資本モデルで必要としている 250 年の再現期間の予想損失額の計算において、需要急増による資材の値上げ、地震火災、スプリンクラー漏れ、高潮及び二次的な不確実性による損害を含まなければならないという、A.M.Best 社と類似する設定条件を求めている。

なお、両社の違いは、例えば、A.M.Best 社は強風について、100 年の再現期間を考慮し第 2 の事象をストレス・テストとして使うのに対し、S&P 社は強風も地震も 250 年の再現期間(年間総額ベース)を使用していること、また、A.M.Best 社は自然災害リスク量を利用可能資本から控除するのにに対し、S&P 社はリスク量に加算していること等が挙げられる。

Fitch 社

Fitch 社は、損害保険(再保険)会社が自社開発した自然災害リスク分析モデルやソフトウェアで計算された結果について、少なくとも 100 年、250 年、500 年、1000 年又はそれ以上の再現期間を含む多数の信頼水準で検証する。Fitch 社は分布の極端なテールの部分を十分に評価することが有益であると考えており、その理由の一つとしては、実際の自然災害が、多くのモデルで想定されているよりも高い頻度で発生すると考えられることがある。

Fitch 社は、AIR 社の CATRADER の自然災害リスク分析モデルのライセンスを有し、主として米国で自然災害のモデリングを行っている。また、適用することが適切で計算の実行が可能である場合は、各

保険会社の全般的なリスク・エクスポージャーに適合する自然災害リスクのロス分布カーブも作成している。

モデルによる自然災害リスクの計算結果は、年間最大損失額(per occurrence)ベースよりも年間集積損失額(annual aggregate)ベース(再保険回収額控除前及び後)での分析の方がより多くの情報を提供する。具体的には、1年に多数のイベントが起こった場合の相乗的な影響を把握でき、エクスポージャーを分散する効果も把握できる。また、Fitch社の自然災害リスク分析は、VaRアプローチよりは、可能な限りT-VaRアプローチを採用している。

自然災害リスク評価において、この一層優れたT-VaRアプローチにより自然災害リスク分析手法を使えるのであれば、保険会社間で分布のテールで数値に差がついてくるより枠組みがしっかりとした方法で資本要件を把握することができる。しかしながら、Fitch社は、モデルにのみ頼って導かれる分析の潜在的な欠点(モデルに織り込まれていないリスクとモデルに内在する不確実性等)を認識している。モデルの出力の解釈をするにあたっては、経験豊富なプロフェッショナルによる判断が必要であり、1つのモデルの結果に過度に依存し過ぎないようにすることが肝要である。

(枠内は、Insurance Rating Methodology, September 22, 2011より引用)

Moody's 社

リスク管理の分野において、天災・人災による巨大災害リスクが、短期間で資本に対して最も大きな変動をもたらす要因であるとMoody's社は考えている。従って、分析では、保険会社のリスク選好とリスク監視・管理態勢を評価すると共に、リスク管理ツールとしての再保険の活用状況についても考慮する。自然災害リスクについては、グロス・ベースとネット・ベースそれぞれについて利益及び資本との比較で評価する。外部調達モデル、社内調査、相対的な市場シェア分析、ストレス・シナリオについても考慮に入れる。

(枠内は、Moody's Global Rating Methodology for Property and Casualty Insurers, May 2010より引用)

同社の資料の中で、自然災害リスク分析モデルに焦点を当てた記述は見当たらないが、資本モデル全般の要件として、ユース・テスト、システムの内部統制、方法論、前提条件、リスクの分散とストレス・テスト、相関関係、結果分析等が挙げられている。

同社の推奨するベスト・プラクティスによれば、損害保険会社はリスク管理態勢や、価格設定、保険引受、保有限度の設定等の日常の事業プロセスにおいて、自然災害リスク分析モデル等を定期的に更新し、環境の変化に迅速に対応できなければならないとしている。

4-4-3. 米国フロリダ州のハリケーン損害予測方法論に関する行政委員会(FCHLPM)

I. 規制又は基準作成の主体

フロリダ州のハリケーン損害予測方法論に関する行政委員会 (Florida Commission on Hurricane Loss Projection Methodology; FCHLPM) は、フロリダ州法 627.0628 条に基づいて 1995 年に設立された独立機関で、フロリダ州監督理事会 (State Board of Administration; SBA) の傘下に置かれている。FCHLPM は 11 人の専門家から構成され、その役割はハリケーン損害を予測するために使われる特定の方法論、原理、基準、モデル又はアウトプット範囲の正確さと信頼性についての見解を示すことに限定されている。

II. 自然災害リスクに関する規定

フロリダ州法では、FCHLPM により正確で信頼性があるとされたものを、フロリダ州ハリケーン災害基金 (Florida Hurricane Catastrophe Fund) の保険料の算出に使用することを SBA に求めている。また、各保険会社は保険監督当局 (Office of Insurance Regulation; OIR) に対して保険料率を申請するにあたり、FCHLPM によって正確で信頼性が高いと承認された保険数理的手法、原理、基準、モデル、アウトプット範囲を修正、調整することなく、保険料率届出におけるハリケーン損害係数の算定に使用しなければならないとされている。また、料率算定における最大予想損害額 (フロリダ州では料率算出において 250 年の最大損害を上限として再保険コストの算入が認められている) の算定でも使用することとされている。以上のように、FCHLPM の対象はハリケーン災害に関する保険料率算定に使用されるモデルの方法論の評価に限定されている。

III. 自然災害リスク分析モデルへの依存

フロリダ州法 627.0628 条第 1 項において、「信頼できるハリケーン損害予測は、住宅物件の保険料率が不当に高くもなく、過度に低過ぎることもないようにするために必要である。また、消費者が住宅物件の保険カバーを購入するにあたって、合法的な料率が課されるように、最も優れた保険数理的手法を使用することを推奨するのがフロリダ州の公的な使命である。」と記載されている。更に近年コンピュータ・モデル (computer model) の使用によってハリケーン損害をより正確に予測することができるようになったとしている。こうしたことからフロリダ州議会は、FCHLPM の設立により、専門家 (保険行政や危機対応の行政官、アクチュアリー、保険金融学、気象学、コンピュータ工学、統計学の分野の大学教員等) がコンピュータ・モデルや最近開発された一層洗練された保険数理の方法論を評価することで、アクチュアリーの間での意見の食違いを解決し、住宅物件の保険料率を設定する際に使われる保険数理手法が、今後更に改善されていく環境を提供するとしている。

FCHLPM からハリケーンモデルの承認を得る責任は、各モデル開発会社にあり、保険会社は FCHLPM から承認を得たモデルを料率の算定に使用することができる。(承認を得たモデルは、同じ開発会社のモデルであっても、再保険会社が使用するバージョンとは若干異なる場合がある。)

FCHLPM で現在承認を得ているモデル開発会社とそのバージョン情報は、次の通りである。

- AIR Worldwide Corporation - CLASIC/2 v12.5.2 and v13.0.4
- Applied Research Associates, Inc - HurLoss Version 5.0
- EQECAT Florida Hurricane Model 2011a

- Risk Management Solutions, Inc. RiskLink 11.0.SP2
- Florida Public Hurricane Loss Model Version 4.1

IV. 検証・承認のプロセス

FCHLPM は 2 年に一度、奇数年(直近は 2011 年)の 11 月 1 日までにそれまでの基準を(及び必要であれば検証プロセス)見直し、新基準を決定する。自社のコンピュータ・モデルの承認を得たいモデル開発会社は、準備が整い次第、翌年の 4 月(第 1 回目の締切)又は 11 月(第 2 回目の締切)までに新基準に基づいて FCHLPM に申請を行う。FCHLPM は、申請内容を吟味した後、モデル開発会社に出向きモデルの確認を行う。その結果を持ち寄って承認するかどうかを決定するというプロセスになる。

FCHLPM は、具体的な基準や検証プロセス等を詳細に定めている。

基準は、一般基準、気象学基準、脆弱性基準、保険数理基準、統計学基準、コンピュータ基準に区分されており、それぞれ基準と開示内容、書式が示されている。表 4-3 は、基準の内容を示したものである。

表 4-3:2011 年の基準

基準	タイトル
一般基準	
G-1	コンピュータ・モデル及びその実装の範囲
G-2	モデリング会社のスタッフとコンサルタントの資格
G-3	リスクの所在地
G-4	モデル・コンポーネントの独立性
G-5	書類作成上の遵守事項
気象学基準	
M-1	基本ハリケーン強風のセット
M-2	ハリケーン・パラメータとハリケーン特性
M-3	ハリケーンの確率
M-4	ハリケーン・風速場の構造
M-5	上陸と陸上での衰退化の方法
M-6	ハリケーン特性についての論理的関係
脆弱性基準	
V-1	脆弱性関数の設定
V-2	収容物補償と被害日数補償についての脆弱性関数
V-3	強度向上
保険数理基準	
A-1	モデル化のインプット・データ
A-2	イベントの定義

A-3	モデル化された保険金原価と PML の考察
A-4	保険契約上の条件
A-5	損害補償項目
A-6	保険金のアウトプット
統計学基準	
S-1	モデルの結果と「適合良好性」
S-2	モデルアウトプットの感応度分析
S-3	モデルアウトプットの不確実分析
S-4	郡単位の集積
S-5	過去のハリケーン保険金の複製
S-6	予測したハリケーン保険金原価の比較
コンピュータ基準	
C-1	文書化
C-2	要件書
C-3	モデルの基本構成とコンポーネントの設計
C-4	インプリメンテーション(実装)
C-5	検証
C-6	モデルのメンテナンスと改訂
C-7	セキュリティ

申請には(1)FCHLPM に対する書簡、(2)モデルが新基準に合致しているという総括説明、(3)提出に必要な様式(専門家によるサイン済みの基準合致証明書様式 G-1~G-7 及びその他様式)全てと(4)提出書類のチェックリスト(表 4-4 参照)が添付されていなければならない。

専門家によるモデル開発会社での現地確認作業では、基準への合致、情報の開示、提出様式の内容及び企業機密に係る情報の確認が行われる。これらの手順を踏んだ後に、FCHLPM によって承認の可否の最終決定が下される。

V. その他の論点

FCHLPM は、モデル開発会社に対してモデルの承認を行っており、制度発足以来この承認プロセスは機能し続けている。一方保険会社は、FCHLPM によって承認されたモデルを使い、保険監督当局に保険料率の申請を行わなければならないが、中にはモデルによる料率算出結果が自社のビジネスモデルにそぐわないという理由から、フロリダ州での引き受けを停止した保険会社もある。

表 4-4: FCHLPM への提出物のチェックリスト

Yes	No	提出物
		1. FCHLPMへの書簡
		a. 証明書様式に関し、気象学、工学、保険数学、統計学及びコンピュータ科学分野の専門家が基準を満たしているかどうか検証したことを記載
		b. 専門家のチームによるモデル検証を受ける用意があることを記載
		c. 上記の記載事項に関し留意事項等がある場合には、詳細な説明のある注記を付ける
		2. 各基準並びに開示及び様式で記入する必要のあるデータ及び分析に従っていることの総括説明
		3. モデル開発会社が専門家のチームに提示する予定の機密情報の一般的な記述
		4. モデル名とバージョン
		5. 製本された7部の資料(両面印刷)
		6. 以下を含むリンク:
		a. PDF形式の提出文章
		b. 基準、様式、セクション別にブックマークされたハイライト可能なPDFファイル
		c. データ・ファイル名には、モデル開発会社の略称、基準年度及び様式の名称(該当する場合)を含む
		d. ASCIIとPDFファイル形式の様式S-6(提出を要する場合)
		e. Excelファイル形式の様式M-1, M-3, V-2, A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-7及びA-8
		7. 目次
		8. 資料には最初のページ(表紙を含む)から最後まで連続したページ数を振る
		9. 全ての表、グラフ及びその他の文章以外の資料に連続的に番号付ける
		10. 全ての表、グラフ及びその他の文章以外の資料を目次に記載
		11. 全ての表、グラフ及びその他の文章以外の資料は定義された略語を明確に付ける
		12. 様式と表では2ページ目以降にも列見出しを付ける
		13. 基準、開示及び様式はイタリック体で表示し、モデル開発会社の回答は非イタリック体で表示する
		14. グラフの全ての要素について、凡例とラベルを付ける
		15. 使用した単位は明確に表示する
		16. 様式V-3, A-6及びS-6を除く追加資料を含む全ての様式のハードコピーを提出する

4-5. カナダ

4-5-1. カナダ金融機関監督庁(OSFI)の規制

I. 規制又は基準作成の主体

カナダ金融機関監督庁(Office of the Superintendent of Financial Institutions Canada; OSFI)は、連邦規制に従ってカナダで営業している全ての(再)保険会社の監督機関である。OSFIの主たる役割は、監督下にある(再)保険会社の財務的健全性の確保、法令遵守の監視、ガイドラインに従った監督である。

OSFIは、自然災害リスクの管理に関し業界と数多くの議論を重ねた結果、1998年5月にガイドラインB-9「地震エクスポージャーにかかわる健全な実務(Earthquake Exposure Sound Practices)」を発表し、(再)保険会社は1998年末までにコンピュータ・モデル(Computer Model)を使ってPML(当規制における定義は次項を参照)を算出することを求めたが、保険会社は別の簡便法であるカナダ保険協会(Insurance Bureau of Canada; IBC)主導で作成した保守的な(係数ベースの)標準損害推定手法(Default Loss Estimate; DLE)も提出が求められOSFIは両方の比較を行い両者に大きな相違がないことを確認していた。今日では、ほとんどの会社がコンピュータ・モデルによる結果のみを提出し、DLEの提出は必須ではなくなった。

II. 自然災害リスクに関する規定

ガイドライン上、地震PMLは、大地震が発生してもそれ以上の損失額にはならないと考えられる金額、グロスPMLは免責金額控除後で再保険金回収前、ネットPMLは免責金額控除後かつ再保険金回収後のPMLと定義されている。

PML算出にあたっては、決定論的モデル(シナリオ・ベース)では、年間発生確率が1/250以下のイベントに対して信頼レベル75%以上の予想損失額(実際の損失額がそれ以下になる確率が75%以上)、確率論的モデルでは、再現期間が250年以上の損失額(信頼レベル50%以上)を採用するとされている。また、震源地及び地震動による距離減衰についての理解も必要である。グロスPMLは、地震準備金(Earthquake reserve)、保有額、再保険回収予想額及び資本市場からの調達資金の合計額を超過してはならない。

使用すべきPMLは、ブリティッシュ・コロンビア州とケベック州のそれぞれの地震動による損失に、地震火災を加えたPMLの大きい方の値とする。

また、1998年末から、地震エクスポージャーを持つ全ての(再)保険会社は、地震準備金を積み立てることを要求された。その額は、500年に一回の再現期間のPMLである。この準備金は、保険会社のソルベンシー・テスト(国内社のMinimum Capital Test; MCT又は外国会社のBranch Adequacy of Assets Test; BAAT)における追加資本チャージとしてOSFIへ提出する損害保険会社の報告書の中に含まれている。

なお、直ちにこの地震準備金を積み立てる負担を軽減するために、初年度に250年に一回の再現期間のPMLを積み立て、25年後の2022年末までに500年に一回の再現期間のグロスPMLに到達するような経過措置が設けられている。なお、2012年度においては、400年に一回の再現期間となっている。

Ⅲ. 自然災害リスク分析モデルへの依存

PMLの算出にあたっては、前述の通りブリティッシュ・コロンビア州とケベック州にエクスポージャを有する(再)保険会社は、コンピュータ・モデルの使用を義務付けられているが、これは集積データを使い、より単純な前提条件を置き保守的な係数を使用しているDLEよりも、個社の詳細な設定条件を使うことができるコンピュータ・モデルの方が、より信頼度の高いPMLが算出できると考えられるからである。コンピュータ・モデルによってPMLを算出した保険会社は、使用したデータの種類、モデルで使用されている前提条件、データと設定条件が正しくモデルに入力できているか等、モデルに関して十分理解していることを証明しなければならず、また、設定条件そのものと設定条件を変化させた場合の感度についても十分理解していることを証明しなければならない。また、保険会社は、モデルで算出したPMLとDLEで算出したPMLの間に差異が生じている場合には、なぜその差異が生じているのかも説明できなければならない。

使用されるコンピュータ・モデルは、外部調達モデル及び自社開発モデルのどちらも認められている。現在、ほとんどの保険会社が、地震PMLの決定のために外部調達モデルを使用しているといわれているが、カナダにエクスポージャを有する世界的規模の再保険会社の中には、自社開発モデルを使用している会社もある。

Ⅳ. 検証・承認のプロセス

B-9は、プリンシプル主義に基づくガイドラインである。従って、地震PMLを計測するにあたって、保険会社がどのようなモデルや方法論を使用すべきかについての規制上の制約は存在しないが、モデルの使用に関して、次のような要件が定められている。

- ・ 各(再)保険会社は、経営陣の責任のもと、年一回の取締役会の承認を経た上で、ガイドラインに沿って算出した地震PMLを毎年OSFIに提出しなければならない。
- ・ 各(再)保険会社は、(再)保険会社のリスク許容度とリスク選好度を含め、地震エクスポージャを管理するために必要となる手続きと方針を記録しておかなければならない。

多くの(再)保険会社は再保険ブローカー経由でビジネスを行っており、再保険ブローカーが外部調達モデルの計算結果を提供することも多い。OSFIは、業界との協議や検査を通じて、モデルの限界やモデル・ミス等に精通しているが、これまで外部調達モデルの使用を認めなかったケースはないようである。このような中でOSFIが目にするのは、(再)保険会社が外部調達モデルを変更する場合で、その場合、(再)保険会社は、この変更がPMLを下げる目的でないこと、確たる変更理由が存在することを示さなければならない。何社かの再保険会社によって使用されている自社開発モデルに関しては、モデルがその再保険グループ全体で使用されている標準モデルであることと、使用されてからの期間が承認の大きなポイントとなっている。

地震PMLの届出はOSFIの保険数理部門で受け付けられるが、スタッフのアクチュアリーは業界出身のアクチュアリーであり、彼らは(再)保険会社が使う外部調達モデルに詳しい。

V. その他の論点

モデルには、不確実性が内在するため、計算結果には誤差が生ずる可能性があるが、多くの(再)保険会社はガイドライン B-9 で必要とされる金額以上の再保険を購入することにより、誤差に対して余裕をとっている。具体的には、2012 年に要求される再現期間は 400 年であるが、(再)保険会社の多くは、それよりも保守的に 500 年レベルの再保険を購入している。

現在、OSFI は、地震エクスポージャーに対する自然災害リスクに関する最新の知見を反映して、B-9 の改訂作業中である。B-9 改訂版のドラフトは、業界の関係者と OSFI の職員で構成される作業部会に最近開示された。(この内容についてはまだ一般には公表されていない。)このドラフトは 2012 年の夏頃に業界の意見を聴取するためのコンサルテーションに付される予定である。最終的に B-9 の改訂が行われるのは、2013 年末又は 2014 年初と予想されている。

4-6. スイス

4-6-1. スイス・ソルベンシー・テスト(SST)

I. 規制又は基準作成の主体

EU 加盟国でないスイスでは、ソルベンシーII とは別のソルベンシー規制に関する発展があり、スイス連邦保険当局 (Swiss Federal Office of Private Insurance; FOPI) は、業界と共に 2003 年に SST (Swiss Solvency Test) プロジェクトを発足させ、SST は 2006 年に発効した。SST では保険会社の規模の大きさにかかわらず、全社が評価対象とされ、ルール・ベースからプリンシプル・ベースの規制に移行したことが大きな特徴である。なお、2009 年 1 月 1 日から銀行、保険会社及びその他の金融機関の監督は、スイス・金融市場監督局 (Financial Market Supervisory Authority; FINMA) に一元化されるという法改正が行われ、SST も FINMA の監督・規制に従うようになっている。

II. 自然災害リスクに関する規定

SST においては、標準モデル及び内部モデルの使用が認められており、標準モデルの技術仕様書 (Technical document on the Swiss Solvency Test) 4.4.9 条に、自然災害リスクに関する記述がある。

自然災害による損害がその他の損害と別に扱われる理由は、スイスには自然災害リスクのプール組織 (Elemental Pool) において 1 年間の累計再保険金回収限度額の付いたストップ・ロス・カバーがあり、自然災害による正味損失額の計算にはこのストップ・ロス・カバーからの再保険金回収を考慮する必要があるからである。

スイス国外にエクスポージャを有するスイスの保険会社にも SST が適用される。国外のエクスポージャにはリスク量を計算する標準モデルはないため、標準モデルを自社の内部モデルで置き換えるか、又は少なくともスイス国外のエクスポージャに対応する計算サブ・プログラムを標準モデルに付け加える必要がある。保険会社は、それらのモデルの選択については自由であるが、次の 13 の SST の基本原則に従わなければならない。

1. 全ての資産と負債が、市場整合的に評価されている。
2. 考慮されるリスクは、マーケット・リスク、クレジット・リスクと保険引受リスクである。
3. リスクを支える資本は、市場整合的に評価された資産と、市場整合的に評価された負債の差額に、マーケット・バリュー・マージンを加えたものと定義される。
4. 目標資本は、リスクを支える資本が1年間に 99%の信頼レベルを超える部分の期待値にマーケット・バリュー・マージンを加えたものと定義される。
5. SST においては、保険会社の目標資本がリスクを支える資本より小さい場合に、資本十分性を満たすこととする。
6. SST の対象となるのは、スイスに本拠を置く保険会社及びグループとコングロマリットである。
7. 保険会社で特定されたシナリオ及び規制当局によって定義されたシナリオが評価されなければならない。必要であれば、目標資本計算の中で統合されなければならない。
8. 全ての適切な蓋然性のある状況は、確率論的にモデル化されなければならない。
9. 部分的及び全面的な内部モデルを使うことができ、その使用が推奨される。

10. 内部モデルは保険会社の主要な業務手順に組み入れられなければならない。
11. この問題に関して十分な知識のある第三者が結果を理解することができるように、SST レポートを規制当局に報告する。
12. この問題に関して十分な知識のある第三者が方法論及び設計の決定について、特段問題がないと判断できるように、内部モデルの方法論を開示する。
13. 経営陣は原則の厳守に関して責任がある。

(枠内は、Technical document on the Swiss Solvency Test, を弊社で要約したもの)

Ⅲ. 自然災害リスク分析モデルへの依存

標準モデルでの自然災害プロパティ・リスク量の計算は、まず、発生頻度と損失程度の確率分布で大規模災害(5,000 万スイスフラン以上)による損失額を計算したものに、指定されたパラメータを使って算出した通常災害による損失額を加えて、スイス・マーケット全体の民間保険会社(各州で独占的に建物の保険の引き受けを行う州立の保険会社は SST をする必要がない)全社の 100%の総損失額を算出する。この総損失額にストップ・ロス・カバー(Swiss Elemental Pool)からの再保険の回収を適用し、正味損失額を計算する。この額に各社の市場占有率を適用することによって、各社の正味損失額を算出する。

建物や動産等の資産を対象とする保険以外の保険種目(例えば利益保険)も資産保険に完全に関連するものと仮定している。

自動車車両保険も同様に、発生頻度と損失程度の確率分布によりマーケット全体の総損失額が算出され、それに市場占有率を適用して個社の総損失額を計算し、個社の再保険からの回収を勘案して正味損失額を算出する。

Ⅳ. 検証・承認のプロセス

スイスにおける保険監督法(Insurance Supervision Act;ISA)の下にある告示(Supervision Ordinance)の第 43 条の第 3 パラグラフにおいて、当局の承認を得て、保険会社は標準モデルとは別の内部モデルの使用を申請し、承認されればそれを使うことができるとされているが、現時点(2012 年3月)において、内部モデルの承認を受けた保険会社は存在しない。

一方で、計算結果の妥当性に関する監査(検証)基準として、「Audit Concept SST Internal Model」と題するペーパーが 2008 年 7 月に発行されている。これも、内部モデル全般に係るものであり、自然災害リスク分析モデルについての言及はないものの、自然災害リスク分析モデルの使用に関してもこの基準が準用されるものと考えられる。

なお、市場占有率を適用しただけの各社の正味損失額と、実際の正確な正味損失額とでは乖離が生じてくるので、再保険の購入やプライシングを行うにあたっては、各社は外部調達モデル等を使用している。

表 4-5: 比較一覧表

地域・国名	欧州連合(EU)	英国		米国			カナダ	スイス
規則・基準又は設定の主体	ソルベンシーII	英国金融サービス機構の ICAS	ロイズ 2012RDS/LCM	NAIC の新規制	格付業者	フロリダ州	OSFI	SST
A.自然災害リスクに係る外部調達モデルを認めているか、いないか	認められるが、保険会社は、検討したモデルを全て列挙し、その中から特定の外部モデルに決定した理由を説明しなければならない。	FSA ハンドブックでは、自然災害リスク分析モデルに関する特段の記載はないものの、多くの保険会社は、外部調達モデルを使用している。	RDS の報告に必要な条件を満たし、全ての種目とエクスポージャが網羅される限り、AIR、EQECAT や RMS といった外部調達モデルを使用することができる。	外部調達モデル(RMS、AIR、EQECAT)の1つあるいは、2つ、3つの組み合わせを認める方針。	主要な外部調達モデル(例えば、AIR、RMS、EQECAT)又は別途妥当性を検証された自然災害リスク分析モデルを使用することを認めている。	一定の手続きを経て FCHLPM に承認されたハリケーンモデルを使用することができる。	外部調達・自社開発を問わずコンピュータ・モデルを使って PML(予想最大損失)を算出することが求められている。事実上ほとんどの保険会社が、外部調達モデルを使用している。	認めている。特に、スイス国外にエクスポージャを有する保険会社は、標準モデルがないため、外部調達モデルを使って計算したリスク量を加える必要がある。
B.認めているのであれば、何に認めているのか(例えば、用途、リスク計算等、対象とする具体的なリスク(地震等))	自然災害リスクに関する資本必要額の計算に使用する。自然災害ペリルとしては、強風、洪水、地震、雹及び地盤沈下が列挙されている。	自然災害リスクに対応する必要資本の計算に使用。	指定されたシナリオの予想損失額の計算に使用。LCM では、確率論的評価にも使用。RDS において必須シナリオで外部調達モデルを使用する場合、特定のイベント ID が決められている。	RBC の自然災害リスク要素(ハリケーン、地震、再保険のクレジット・リスク)の計算に使用。	自然災害リスクに関する予想損失額の計算等にモデルの使用を認めている。	対象とするペリルは、ハリケーンによる損害であり、住宅物件の保険料率と予想損失額の算定に使用される。	保険会社のソルベンシー・テスト(MCT 又は BAAT)における追加資本チャージとしての地震準備金の計算に使用される。ガイドライン B-9 で対象とするペリルは、地震である。	資本十分性検証における目標資本における自然災害リスク量の計算に使用。
C.認める際の要件	自然災害リスク分析モデルの承認プロセスそのものに関する記述はないものの、内部モデル承認全般に適用する枠組みが同じように適用されるものと考えられる。	モデル結果のみに依存することなく、モデルの制約、前提条件、感度等を把握した上で、ストレス・テストの結果とも比較し、専門家の検証を経なければならない。	LCM の提出に当たって、各モデル固有の必要要件が詳細に定められている。LCM の報告では複数のモデルを使うことも可能である。	自社内の自然災害リスク管理プロセスで使用されるものと同じである必要がある。	保険会社の全体的管理プロセス、データの品質管理、T-VaR 等のテクニカルな計算態勢等を総合的に勘案して適切か判断している。	モデルの採用を働きかけるモデル開発会社は、FCHLPM に対して申請書類を提出、FCHLPM の専門家による現地確認作業を経て、承認の可否が決定される。	B-9 はプリンシプル主義に基づくガイドラインであるため、モデルに関して規制上の制約はないが、経営陣の責任、モデルの理解等の適切なプロセスと方針が示されなければならない。	特に、自然災害リスク分析モデルだけの条件はないものの、内部モデル全般について SST の基本原則を満たす必要がある。
D.各保険会社は、その要件にどのように対応しているか	施行前なので、対応済みの保険会社はないものの、複数のモデルの組み合わせ等の対応を検討中である。	ICA 報告書は、多数の専門家で構成されるチーム(multi-disciplinary team)が作成し、保険会社の取締役会又は経営者の責任で UK FSA へ提出する。	シンジケートが提供するデータは、定められたデータ・テンプレートに従ったデータで提出されなければならない。	施行前なので、対応済みの保険会社はない。	各格付会社の指定された要件へ対応する態勢を既に構築している。	上記の通り、承認を求めるのはモデル開発会社であり、保険会社が承認手続きを行う訳ではない。	一般的に、外部調達モデルの使用は認められる。使用するモデルを変更する場合や自社開発モデルを使用する場合には、その説明と理由を提出しなければならない。	まだ、内部モデルの承認を受けた保険会社は存在しないが、ソルベンシーIIの導入への欧州連合の対応に呼応していくものと考えられる。

5章 自然災害リスク分析モデルに係る規制及び基準の導入に向けた損害保険業界での取り組み

5-1. 英国保険協会 (ABI) 編集レポート「業界における優れた自然災害リスクモデリングの実践」

導入が近づいてきているソルベンシーII 規制の下で、規制当局に承認を受ける内部モデルの一部分として自然災害リスク分析モデルを使用する場合に、業界として統一的な優れた取り組み方法を検討することを目的として 2011 年 7 月に、英国金融サービス機構 (UK FSA) は英国と他のヨーロッパの加盟国で活動している保険会社と再保険会社、再保険ブローカー、自然災害リスク分析モデル開発会社各社の代表者を集めてロンドンで会合を開催した。

会合の結果、自然災害リスクモデリングに関して、「業界としての統一的な取り組み方法」を文書化することとなった。この結果、生まれたレポートが「Industry Good Practice for Catastrophe Modelling; A guide to managing catastrophe models as part of an Internal Model under Solvency II, the Association of British Insurers, December 2011」(邦訳:「業界における優れた自然災害リスクモデリングの実践」; ABI レポート)である。このレポートの目的は、業界としての統一的な取り組み方法を記述することによってソルベンシーII の下で内部モデルの一部分として自然災害リスク分析モデルを導入しようとする会社に対して、技術的なガイダンスと導入案を提供することにある。

このレポートは、現時点において、内部モデル全般の枠組みの中でどのように自然災害リスク分析モデルを扱うかを示したガイドラインとして最も優れたものと考えられ、今後ソルベンシーII における自然災害に係る内部モデルの基準作りにおいて重要な参考文献になるものと予想される。下記にレポートのセクション毎の概要を紹介する。

まず、セクション 1「一般原則」に関する各チャプターの概要は、次の通りである。

チャプター1 – 経営管理(ガバナンス)

経営者が適切なリスク管理を行うためには、自社のエクスポージャと主要なリスクを良く理解する必要がある。また、経営者は、関連する情報をどのように収集し、経営者間で情報を共有するかに関しても責任があり、そのために必要な統制を行うべきである。

自然災害リスクに関しては、様々な情報を使いどの地域のどのペリルが自社にとって重要なものなのかを判断し、自然災害リスク分析モデルの強み及び弱みを理解し、モデルでは計算できない要素を把握しておく必要がある。

チャプター2 – 第三者サービス提供者

自然災害リスクモデリングを外部委託するためには、外部委託方針を以てその過程を管理すると共に、自然災害リスクモデリングのサービスが同じサービス提供者から受けている他のサービス(再保険ブローキングのような)とは独立していることを示す契約書を締結しなくてはならない。

ただし、会社が自然災害のモデリングを外部委託したとしても、その内容の理解及び責任までもサービス提供者に委託することはできない。即ち、内部モデルの全てのコンポーネントに対する責任は保険会社自体にある。

CHAPTER 3 文書化

保険会社がモデルの選択、モデルの検証及び変更の管理を含め自然災害リスクモデリングに関して全ての手順を文書化する必要がある。その中には、外部調達モデルの開発会社が提供する文書も含まれる。

(枠内は、ABI レポート、セクション 1 を弊社で要約したもの)

セクション 2「運用上の基本原則」に関する各 CHAPTER の概要は、次の通りである。

CHAPTER 4 自然災害リスク分析モデル・データ

自然災害リスクモデリングで一般に使われるデータは、自然災害リスクモデリング以外で使われるデータとは大きく異なり、自社のリスク・プロファイルと特徴を反映したものでなければならない。自然災害リスク分析モデルを使うためには正確で詳細なデータが必須であるが、データの出所は様々であるため、一定レベルのデータを入手するには固有の難しさが伴う。データの収集にあたっては、比例の原則 (proportionality) と重要性の原則 (materiality) を考慮しながら「正確で、完全な、そして適切な」データを収集する必要がある。(ここで言う比例の原則と重要性の原則とは、全体の結果に及ぼす影響の大きさや重要度に相応した扱いをすべきであるという原則である。)

CHAPTER 5 モデルの選択とモデルの変更

保険会社が自然災害リスク分析モデルを検討の上、選択又は(変更することが適切であるときに)変更をする場合には、明確な方針と手順を示さなければならない。現状では、多くの保険会社がモデルの選択とモデルの変更の業務を社内や社外のサービス提供会社の技術的専門家に委託しているが、ソルベンシーII の下で、保険会社は、モデルの選択と変更について、会社内で十分な理解を有していることを立証できなければならない。この責任を外部委託する等して会社から分離することはできない。

CHAPTER 6 自然災害リスク分析モデルのオプションと設定

ほとんどの自然災害リスク分析モデルでは、「オプション(例えば 1-3-4 節で述べた詳細データ用モジュールを使用するのか、集積データ用モジュールを使用するのかといった選択肢)」や「設定(例えば集積データの地理的分散方法の設定等のモデルの設定条件の選択ボックスやスイッチ)」を自由に選べるが、保険会社は、自社のリスクに対して適切な見解を得るために、こうしたオプションや設定がそれぞれどのように働くかを理解した上で、モデルを利用しなければならない。

CHAPTER 7 自然災害リスク分析モデル検証

外部調達した自然災害リスク分析モデルについて、自社でライセンスを取得して使用するか、ブローカーや第三者が分析した結果を使用するかどうかにかかわらず、保険会社には、自然災害リスク分析モデルの結果を実際の損失履歴と比較して検証し、当該モデルを自らのポートフォリオに使用することが適切であるという証拠を当局に対して示す義務がある。万が一、検証の結果一定の水準を満たしてい

ないと考えられる場合には、会社はこれを弱みとして認識し、会社の戦略に従ってこれを改善しなくてはならない。

モデル検証の方法としては、主に次の2つの方法が存在する。

- ・ 特定のペリルに関して、国単位で計算結果が適切であるとモデル開発会社が確認する
- ・ 自社のポートフォリオに関して、特定のモデルが適していると保険会社が検証する

モデル開発会社が検証を行う場合には、どのような検証が行われたかその手法について、保険会社が十分な情報を入手できているかが重要なポイントとなる。

保険会社がモデルを検証する方法として、使用したデータが実際のエクスポージャを適切に表しているかの検証、モデルが自社ポートフォリオを適切に計算できるかの検証、感度テスト等の方法がある。

(枠内は、ABIレポート、セクション2を弊社で要約したもの)

セクション3「技術的な考察」では、実際にモデルを使用するにあたっての注意事項が記述されており、各チャプターの概要は次の通りである。

チャプター8－複数のモデルを同時に使うアプローチ

ソルベンシーIIでは、複数の自然災害リスク分析モデルを使わなければならないという要件はないが、保険会社によっては、特定のペリルや地域に関して、複数の自然災害リスク分析モデルを使用する可能性がある。もし複数のモデルを使用する場合には、保険会社は、複数のモデルを同時に使うこと(あるいは単一モデル)に決定したことを示すと共に、その根拠を十分に説明できなければならない。

チャプター9－自然災害リスク分析モデルの結果の不確実性

自然災害リスク分析モデルには不確実性が伴うが、保険会社は、自然災害リスク分析モデルを理解し、文書化し、究極的にはこの不確実性を極小化するように対応する必要がある。不確実性の緩和手法としては、複数モデルを使用する方法、引受総額を制限する方法、不確実性の一要素であるイベントの発生確率を伴わない決定論的手法であるシナリオ分析を行う方法(ロイズのRDSがその事例)がある。

(枠内は、ABIレポート、セクション3を弊社で要約したもの)

5-2. 各保険会社の取り組み

前節で概要を示した ABI のレポートの内容を踏まえ、今後ソルベンシーII における自然災害リスクに係る内部モデルの取り扱い、特定のモデルであれば承認されるか否かというのではなく、いかなるモデルを使うにしても、自社で分析するか再保険ブローカー等が分析した結果を利用するかにかかわらず、使用するデータの妥当性、使用するモデル(複数の場合を含む)を選んだ根拠とモデルの妥当性、データやモデルに何らかの不足点や限界がある場合の対処法、更に、こうしたモデル利用に関わる情報や手順を経営者レベルでいかに共有し、運用・管理しているかを示すことが重要になると考えられる。すなわち、保険会社が、自らの責任を以て自社のリスクを判断し、管理することが不可欠となる。

本節では、欧州を例に、保険会社が、自身の抱える自然災害リスクを把握するために、どのようなアプローチを取ろうとしているかを、弊社の見解をもとに解説する。

各社のアプローチは、下記の 3 つに大別できる。

1. 好ましいと考えるモデルを選び、その結果を利用する。具体的には、下記のような例がある。
 - ・ 外部調達モデルの中から特定のモデルを選択する。
 - ・ 自社開発モデルを利用する。
2. 複数のモデル(自社開発モデルを含む)を組み合わせた結果を利用する。具体的には、下記のような組み合わせ例がある。
 - ・ 複数の結果の単純平均をとる。
 - ・ 各モデルで用いられている方法論や信用度等、保険金支払い履歴との整合性等に応じた重みを設定して、複数の結果の加重平均をとる。
3. ベースとなるモデル(自社開発モデルを含む)を選び、その結果を調整して利用する。具体的には、下記のような調整例がある。
 - ・ モデルに含まれていないペリルによるリスク分を加味する。
 - ・ 分析に含まれていないエクスポージャによるリスク分を加味する。
 - ・ 実際の保険金支払い履歴と照らし合わせて調整する。
 - ・ セカンドモデル及びサードモデルの結果を用いて調整する。

一般にマルチモデリングアプローチと呼ばれる複数のモデルから推定されるリスクを意思決定に利用する利点としては、特定のモデルへの過信を避けられることや、モデル変更の影響を最小限にできること等がある。ABI のレポートによれば、単独のモデルから得られる結果を、実際の損失データ等を用いてキャリブレーションして利用することや、モデルで考慮されていないリスク等を分析結果に上乘せして利用することも、マルチモデリングアプローチに含まれる。

複数のモデルを使用することは、ライセンスコストや使用する人材の制限等の困難な点はあるものの、再保険ブローカー等が提供する結果を利用する等して、複数のリスク分析結果を入手することは、業界において一般的となっている。ソルベンシーII 等の規制上において、複数のモデルを使用しなければならないという要求はないものの、モデルの分析結果の幅を考慮する点で、マルチモデリングアプロー

チを利用する利点はある。また、上記 3 つ目のアプローチにおいて、ベースとなる 1 つのモデルを選ぶ利点としては、複数の国のリスクを対象とする場合に、国間の相関を考慮できる点がある。

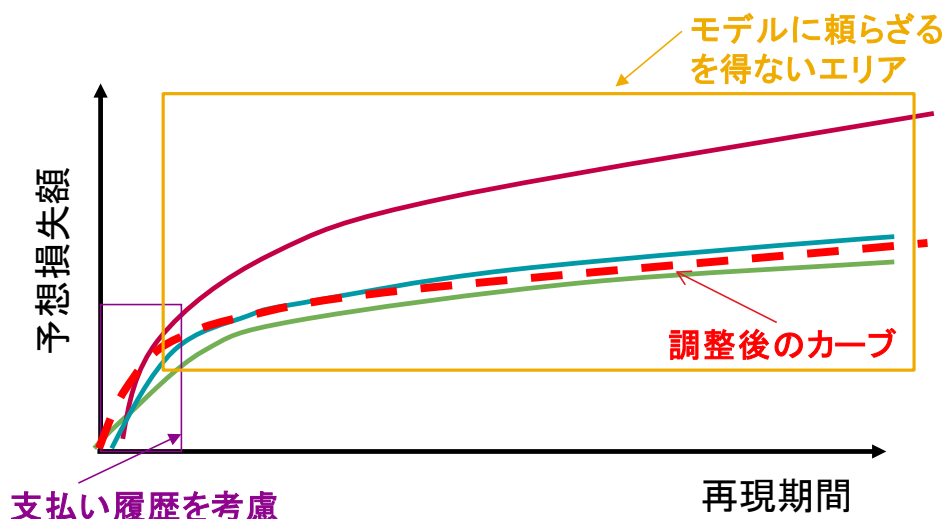
また、自社の抱える自然災害リスクを把握するために、自社でモデルを開発して利用する保険会社もある。一般に、対象とするリスクが外部調達モデルで扱われていない場合や、モデル開発会社に頼らずに、中身を完全に把握できて過去の保険金支払い履歴と整合的な独自のモデルを持ちたい場合に、自社開発モデルを開発する。自社開発モデルの場合は、保険金支払い履歴をモデルに直接反映できる。

実際の保険金支払い履歴と照らし合わせて調整する場合、損失履歴のある再現期間の低い(頻度の高い)損失額を調整することが可能であるが、再現期間の高い損失額の推定については、モデルに頼らざるを得ない(図 5-1)。欧州の強風及び洪水に関しては、現在、過去 25-30 年間のデータが集まっている。

特定のモデルを選択する場合も、複数のモデルを組み合わせたり調整したりする場合も、その根拠を説明するために、2 章で示した各モデルで用いられている方法論や 3 章で行ったようなモデル評価を通して、モデルと結果の特性を理解していることが重要である。

以上をまとめると、使用するデータの精度を吟味し、モデルに含まれるペリル、分析に含まれるエクスポージャ、そして分析の設定条件を理解した上で結果を解釈し、リスクの種類(国・ペリル)、モデルの有無や信頼度、保険金支払い履歴の有無等に応じてリスクの幅を考慮し、必要な過不足を調整するという前述の 2 つ目と 3 つ目のアプローチを適宜組み合わせたアプローチを採用することが妥当であると言える。この際に、比例の原則(propportionality)と重要性の原則(materiality)を考慮することが重要である。

図 5-1: マルチモデリングアプローチの概念



図表番号

- 図 1-1: 自然災害リスク分析モデルの概念図
- 図 1-2: 脆弱性曲線
- 図 1-3: 超過確率曲線(EPカーブ、リスクカーブ)
- 図 1-4: 米国本土において過去に発生したモーメントマグニチュード 5 以上の地震
- 図 1-5: サンアンドレアス断層を中心とするカリフォルニア州の断層群
- 図 1-6: 西から東へと吹く背景風を形成するアイスランド低気圧とアゾレス高気圧のまわりの風の流れ
- 図 2-1: モデルで使用されるクレストゾーン
- 図 2-2: 地震モデルの概念図
- 図 2-3: 地震調査研究推進本部 地震調査委員会の震源の評価結果の抜粋
- 図 2-4: 距離減衰式
- 図 2-5: 脆弱性曲線
- 図 2-6: 火災保険の構造級別
- 図 2-7: 台風(強風)モデルの概念図
- 図 3-1: 地震(地震動+地震火災) 元受全体のリスクの 3 社比較 - 住宅物件を含む場合
- 図 3-2: 地震(地震動+地震火災) 各用途元受リスクの割合の 3 社比較 - 住宅物件を含む場合
- 図 3-3: 地震火災リスクの影響の 3 社比較 - 住宅物件を含む場合
- 図 3-4: 地震(地震動のみ) 元受全体の年平均保険金支払い推定額における各都道府県の割合 - 住宅物件を含む場合
- 図 3-5: 地震(地震動のみ) 各社モデルによる各都道府県の年平均損害率 - 住宅物件を含む場合
- 図 3-6: 地震ハザードマップ
- 図 3-7: 地震(地震動+地震火災) 元受全体のリスクの 3 社比較
- 図 3-8: 地震(地震動+地震火災) 各用途元受リスクの割合の 3 社比較
- 図 3-9: 地震火災リスクの影響の 3 社比較
- 図 3-10: 地震(地震動のみ) 元受全体の年平均保険金支払い推定額における各都道府県の割合
- 図 3-11: 地震(地震動のみ) 各社モデルによる各都道府県の年平均損害率
- 図 3-12: 台風(強風のみ) 元受全体のリスクの 3 社比較
- 図 3-13: 台風(強風のみ) 各用途元受リスクの割合の 3 社比較
- 図 3-14: 洪水リスクの影響の 3 社比較
- 図 3-15: 台風(強風のみ) 元受全体の年平均保険金支払い推定額における各都道府県の割合
- 図 3-16: 台風(強風のみ) 各社モデルによる各都道府県の年平均損害率
- 図 3-17: 地震(地震動のみ) 構造種別、建築年及び階数の感度分析結果 - 住宅物件を含む場合
- 図 3-18: 地震(地震動のみ) 保険の目的と地理的解像度の感度分析結果 - 住宅物件を含む場合
- 図 3-19: 地震(地震動のみ) 構造種別、建築年及び階数の感度分析結果
- 図 3-20: 地震(地震動のみ) 保険の目的と地理的解像度の感度分析結果
- 図 3-21: 台風(強風のみ) 構造種別、建築年及び階数の感度分析結果
- 図 3-22: 台風(強風のみ) 保険の目的と地理的解像度の感度分析結果
- 図 3-23: 過去の地震での保険金支払い額とモデル推定額(平均値)の比較
- 図 3-24: 過去の台風での保険金支払い額とモデル推定額(平均値)の比較
- 図 5-1: マルチモデリングアプローチの概念

- 表 1-1: 本調査で対象とするモデル
- 表 1-2: 世界各国・各ペリルのモデル一覧
- 表 1-3: 主な国(地域)・ペリルのモデルの初版モデル発表年と最新モデル更新年
- 表 1-4: 米国地震モデルの概要
- 表 1-5: 米国ハリケーンモデルの概要
- 表 1-6: 欧州強風モデルの概要
- 表 1-7: 各社の日本の地震モデルと台風モデルの最新更新時における更新内容
- 表 2-1: 各社の地震モデルの方法論一覧
- 表 2-2: 各社の台風モデルの方法論一覧
- 表 3-1: 地震の全体と物件別の元受リスク - 住宅物件を含む場合
- 表 3-2: 地震の全体と物件別の元受リスク
- 表 3-3: 台風の全体と物件別の元受リスク
- 表 3-4: 対象とした地震
- 表 3-5: 過去の地震の分析に用いたエクスポージャの調整係数
- 表 3-6: 地震シナリオ分析結果
- 表 3-7: 対象とした台風
- 表 3-8: 過去の台風の分析に用いたエクスポージャの調整係数
- 表 3-9: 台風シナリオ分析結果
- 表 4-1: RDS に対応する外部調達モデルのイベント ID
- 表 4-2: ロイズの現実的な災害シナリオ (RDS)
- 表 4-3: 2011 年の基準
- 表 4-4: FCHLPM への提出物のチェックリスト
- 表 4-5: 比較一覧表

参考文献

1-3 章 モデル関係

- ・ A GUIDE TO CATASTROPHE MODELLING, 2008/09, The Review, RMS
- ・ AIR Earthquake Model for Japan, October 2010, AIR
- ・ AIR Earthquake Model for the United States, September, 2009, AIR
- ・ AIR Extratropical Cyclone Model for Europe, July 2011, AIR
- ・ AIR Hurricane Model for the United States, September 21, 2011, AIR
- ・ AIR Typhoon Model for Japan, November, 2011, AIR
- ・ Industry Good Practice for Catastrophe Modelling – A guide to managing catastrophe models as part of an Internal Model under Solvency II, December 2011, Association of British Insurers
- ・ RMS® Japan Earthquake Model Methodology, Nov 5, 2005, RMS
- ・ RMS Japan Typhoon Model Methodology, April 7, 2005, RMS
- ・ RiskLink® and RiskBrowser® 9.0 North America Earthquake Model Methodology, June 28, 2010, RMS
- ・ RiskLink® and RiskBrowser® 11.0 Europe Windstorm Model Methodology, August 4, 2011, RMS
- ・ RiskLink® and RiskBrowser® 11.0 Peril Models List, February 28, 2011, RMS
- ・ RiskLink® and RiskBrowser® 11.0 U.S. and Canada Hurricane Model Methodology, April 18, 2011, RMS
- ・ Vintage of AIR Peril Models, July 2011, AIR
- ・ WORLDCATenterprise™ Country Specific Information, July 15, 2011, EQECAT
- ・ WORLDCATenterprise Technical Note JapanQuake Model, December 2007, EQECAT
- ・ WORLDCATenterprise™ 3.15 Asia Typhoon Model Principles and Methodology, September 30, 2010, EQECAT
- ・ WORLDCATenterprise™ 3.15 USQUAKE Model Principle and Methodology, September, 8, 2010, EQECAT
- ・ WORLDCATenterprise™ 3.16 Eurowind™ Model Principles and Methodology, July 26, 2011, EQECAT
- ・ WORLDCATenterprise™ 3.16 North Atlantic Hurricane Model Principles and Methodology, July 15, 2011, EQECAT
- ・ インシュアランス損害保険統計号 1992～2007、保険研究所
- ・ 再保険 その理論と実務 改訂版、トーア再保険株式会社編、日経 BP コンサルティング
- ・ 地震保険の都道府県別加入率：
http://www.sonpo.or.jp/archive/statistics/syumoku/pdf/index/kanyu_jishin.pdf、日本損害保険協会
- ・ 自然災害での支払い額：<http://www.sonpo.or.jp/archive/statistics/disaster/index.html>、日本損害保険協会
- ・ 全国地震動予測地図 2010 年版 (http://www.jishin.go.jp/main/chousa/10_yosokuchizu/index.htm)、地震調査研究推進本部 地震調査委員会
- ・ 都道府県別人口：<http://www.stat.go.jp/data/nenkan/02.htm>、総務省統計局

4 章 規制関係

ソルベンシーII

- CEIOPS' Advice for Level 2 Implementing Measures on Solvency II: Articles 120 to 126 Tests and Standards for Internal Model Approval (former Consultation Paper 56), October 2009 (https://eiopa.europa.eu/fileadmin/tx_dam/files/consultations/consultationpapers/CP56/CEIOPS-L2-Advice-on-Tests-and-Standards-internal-model-approval.pdf)
- QIS5 Technical Specification (http://ec.europa.eu/internal_market/insurance/docs/solvency/qis5/201007/technical_specification_s_en.pdf)
- ソルベンシーII 枠組み指令 2009/138 / EC (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:335:0001:0155:en:PDF>)

ICAS

- Capital Modelling for General Insurance ICAs, 20 April 2006 (<http://www.actuaries.org.uk/research-and-resources/documents/capital-modelling-general-insurance-icas>)
- ICAS – Lessons learned and looking ahead to Solvency 2, October 2007 (http://www.fsa.gov.uk/pubs/other/icas_isb.pdf)
- INDIVIDUAL CAPITAL ASSESSMENT (ICA) A GUIDE TO THE ICA PROCESS FOR INSURERS ; 02 February 2007 (http://www.abi.org.uk/Information/Codes_and_Guidance_Notes/43773.pdf)
- UK FSA Consultation Paper 06/16, September 2006 (http://www.fsa.gov.uk/pubs/cp/cp06_16_newsletter.pdf)
- UK FSA Handbook of Rules and Guidance (<https://fsahandbook.info/FSA/html/handbook>)
- UK FSA Insurance Sector Briefing: ICAS – one year on, November 2005 (http://www.fsa.gov.uk/pubs/other/isb_icas.pdf)
- UK FSA Policy Statement 06/14, December 2006 (http://www.fsa.gov.uk/pubs/policy/ps06_14.pdf)
- 英国アクチュアリー会月刊誌「The Actuary」2006年4月号、「個別資本十分性基準 –さらなる挑戦 (ICAS - the challenges ahead)」(http://www.actuaries.jp/comm/ousyu/the_actuary0604.html)

ロイズ

- Clasic/2 User's Guide, July 2011, AIR
- Lloyd's Catastrophe Model – Guidance & Instruction, January 2012
- Lloyd's Market Bulletin Y 4507 (<http://www.lloyds.com/~media/Files/The%20Market/Communications/Market%20Bulletins/2011/07/Y4507.pdf#search='y4507'>)
- Lloyd's RDS Scenario Specification 2012 v1.1 (<http://www.lloyds.com/~media/Files/The%20Market/Tools%20and%20resources/Exposure%20management/RDS%20%20Scenario%20Specification%20%20January%202012%20v11.pdf>)
- Lloyd's Realistic Disaster Scenarios – Guidance & Instructions, January 2012
ロイズの日本における現状 2011 - ロイズ・ジャパン株式会社 ([http://www.lloyds-japan.co.jp/disclosure/images/disclosure11\(0914\).pdf](http://www.lloyds-japan.co.jp/disclosure/images/disclosure11(0914).pdf))

NAIC

- NAIC Fall Meeting, November 2011: Using Catastrophe Models and Other Tools to Assess Hurricane Risk
(http://www.naic.org/documents/committees_c_catastrophe_karen_clark_presentation_1111_ntl_mtg.pdf)
- NAIC: Natural Catastrophe Response (http://www.naic.org/cipr_topics/topic_catastrophe.htm)
- NAIC Natural Catastrophe Risk: Creating a Comprehensive National Plan
(http://www.naic.org/documents/committees_c_natural_catastrophe_plan_final.pdf)

信用格付業者

- A.M.Best PROPERTY / CASUALTY SUPPLEMENTAL RATING QUESTIONNAIRE (SRQ)
- Catastrophe Analysis In A.M. Best Ratings
(<http://www3.ambest.com/ambv/ratingmethodology/OpenPDF.aspx?rc=190784>)
- Fitch: Insurance Rating Methodology, September 22, 2011
(http://www.fitchratings.co.jp/ja/images/CR_20110922_Insurance%20Rating%20Methodology_EN_G.pdf)
- Moody's: Moody's Global Rating Methodology for Property and Casualty Insurers, May 2010
- S&P: <https://datacollection.standardandpoors.com/insurance/survey.html>

フロリダ州

- Report of Activities as of December 31, 2011
(http://www.sbafla.com/method/portals/methodology/ReportOfActivities/2011_ROA.pdf)

OSFI

- Guideline – Earthquake Exposure Sound Practices
(http://www.osfi-bsif.gc.ca/app/DocRepository/1/eng/guidelines/prudential/guidelines/b9_e.pdf)

SST

- Audit Concept SST Internal Model
([http://www.finma.ch/archiv/bpv/download/e/Pr%C3%BCfungskonzept%20Interne%20Modelle%20OSST%20\(e\)_20080915.pdf](http://www.finma.ch/archiv/bpv/download/e/Pr%C3%BCfungskonzept%20Interne%20Modelle%20OSST%20(e)_20080915.pdf))
- FINMA ホームページ SST 資料 (<http://www.finma.ch/e/beaufsichtigte/versicherungen/schweizer-solvenztest/Pages/default.aspx>)
- Swiss Solvency Test (SST) for Insurance Groups
(http://www.finma.ch/d/beaufsichtigte/versicherungen/schweizer-solvenztest/Documents/20090514_CEIOPS_Group-SST_0505.pdf)
- Technical document on the Swiss Solvency Test
(http://www.finma.ch/archiv/bpv/download/e/SST_techDok_061002_E_wo_Li_20070118.pdf)

5 章 損害保険業界での取り組み関係

- Industry Good Practice for Catastrophe Modelling; A guide to managing catastrophe models as part of an Internal Model under Solvency II, the Association of British Insurers, December 2011 (<http://www.abi.org.uk/Publications/59999.pdf>)