

IAA リスクブック

第5章 – 大規模災害リスク

カレン・クラーク (Karen Clark)

ビジェイ・マングナニ (Vijay Manghnani)

チャン・シウメイ (Hsiu-Mei Chang)

1. 要旨

最近、世界の様々な地域で大規模な地震や暴風が発生していることが主な原因で、リスク管理に関与する人々が大規模災害リスクに対し、ますます強い関心を寄せるようになってきている。本章では、簡単な前置きの後、そうした事象に関わるリスクの一般的な定量化方法およびかかる定量化に伴う論点について議論する。本章で述べる主な所見／発見事項は次の通りである。

1. 大規模災害は、財産、生命、環境および／または経済の突然かつ甚大な破壊を引き起こす。
2. 大規模災害は自然災害の場合も人為災害の場合（例えば、テロ）もある。
3. 過去数十年間、人口や財産の大災害が起きやすい地域への集中が加速したことが主な原因で、大規模災害の損害の頻度と損害規模が拡大している。
4. 大規模災害はまず社会に影響を与え、保険者は、その損害が付保されていた範囲内で影響を受ける。
5. 大規模災害の発生は低頻度のため、過去の損害を分析しても大規模災害リスクを十分に測定できないことから、多くの保険者は大規模災害モデルを使用して潜在的損害を推定している。
6. 大規模災害モデルは、イベントカタログ、強度公式、損害関数および経済モジュールという4つの主要構成要素に基づいている。
7. モデルの不確実性は避けることができず、データに関する論点（データの品質および

*This paper has been produced and approved by the Insurance Regulation Committee of the IAA
on 31 August 2015.*

© 2015 International Actuarial Association / Association Actuarielle Internationale

入手可能性に関連するもの) および政治的論点 (ストレス時大規模災害イベントがどのように波及していくかに影響するもの) から影響を受ける。これは、ランダム事象に関連する不確実性に付加される不確実性である。

8. モデル開発および利用は進化している。その中には、開放モデル (閉鎖的な専有モデルの対極にある) に向かう傾向やシナリオ分析への応用が含まれる。
9. 大規模災害モデルは、価格設定/保険引受およびソルベンシー/資本管理の両方の点でリスク管理プロセスの一部をなす。

2. はじめに

大規模災害とは、その発生が財産、生命、環境および/または経済の突然かつ大規模な破壊を引き起こす一定の有害事象をいう。大規模災害の原因には自然災害の場合と人為災害の場合がある。有害事象は、その影響を受ける人口が少ない地域で発生した場合、大規模災害または大災害のレベルに達することはない。大規模災害リスクは、有害事象の大規模な潜在力が人口密度や建物密集度と一致した場合に最大となる。

国際緊急災害データベース (International Emergency Disasters Database) ⁱにおいて公表された統計データによれば、1975 年以後、大災害の頻度、持続期間および規模が拡大しているⁱⁱ。大災害を受けやすい地域における人口密度の上昇および財産価値の集中の加速に伴い、自然事象や人為事象による大規模損害の可能性が高くなっている。2015 年の世界銀行による東アジアの調査によれば、2000 年から 2010 年までの 10 年間に、人口 10 万人以上の都市部の人口密度は 1 平方キロメートル当たり 5,400 人から 5,800 人に上昇したⁱⁱⁱ。人口と財産価値の伸びに関する諸研究によれば、米国沿岸地域の財産の価値は 1988 年から 2014 年までの間に 4 倍に拡大した^{iv}。

大規模災害がもたらすリスクは、適切に管理しなければ、個々の保険者のソルベンシー状況に重大な影響を与える可能性がある。効果的な大規模災害リスク管理では、リスクおよび潜在的な巨大損失の同定、評価、移転、緩和に関する総合的な手法が含まれる必要がある。本章では、世界の保険業界が直面する大規模災害の種類を概観した上で、会社が大規模災害リスクを推定および管理する方法について議論する (本章は特定の時点で執筆されているが、大規模災害に関する理解および大規模災害リスクの定量化や管理に使用されるツールは絶えず進化している)。

3. 大規模災害の原因およびリスクへの影響

本文書に関するコメントを提出する場合、またはウェブサイトの問題を報告する場合は、
直接 riskbookcomments@actuaries.org 宛てにメールを送付されたい。

I. 大規模災害の原因

大規模災害は、自然的なものと同人的なもの2の2種類に大別できる。大規模自然災害は、気候または地質関連事象による大規模な悪影響である。気候関連事象の例としては、熱帯低気圧¹、洪水、竜巻、雹を伴う嵐、山火事、暴風雪などがある。地質学的事象には、地震、津波、噴火、泥石流、雪崩などが含まれる。大規模自然災害は科学者によって比較的良好に理解されているが、予測は困難、防止は不可能である。

「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)の最新報告によれば、過去数十年における損害拡大の主因は気候変動ではなく人口動態上の変化である。危険地域への人口や財産価値の集中加速が主な原因で、大規模災害の損害が拡大してきており、今後も引き続き長期的に着実に拡大する可能性が高い。

大規模人為災害とは、航空機事故、テロ行為、サイバー攻撃、暴動、戦争、原子力発電所の爆発および原油/化学物質流出など、偶発的または意図的な人間の行為の結果をいう。悪意のある人為事象は往々にして、大都市および国際空港や軍事施設以外の政府施設などの目立った建物を標的にするため、先に挙げた事象は財産や生命に大きな被害を引き起こすことがある。

II. 大規模災害によるリスクへの影響

スイス再保険およびミュンヘン再保険が公表した統計データによれば、世界全体の大規模災害の年間損害額は、年ごとに大きな変動があるものの頻繁に1,000億ドルを上回り、年間4,000億ドルを超えることもある。大規模な事象による経済的損失全体の中には、通常、インフラストラクチャーの損害、失業、サービスの中断、および保険によってカバーされないその他のコストが含まれる。それに加え、多くの国の保険契約では、ある種の危険事故(peril)については、発生頻度が低い一方で被害が甚大であるという性質、およびその性質のために信頼度のあるプライシングが不可能ということから、「付保不能」と考えられ、免責にするか、引受に制限を設けている。しかしながら、それでも保険者は、インフラストラクチャーの損害やサプライチェーンの混乱などから発生する、保険でカバーしていないリスクの間接的なコストの影響を受ける²。

¹ この用語にはハリケーン、台風、サイクロンが含まれる。これらはすべて同じ現象だが、発生地域によって異なる名称が用いられる。

² パンデミックも大規模災害に分類することがある。ただし、本ペーパーでは物理的な災害に焦点を当てており、生物学的な災害には言及しない。また、本ペーパーは、太陽フレア

本文書に関するコメントを提出する場合、またはウェブサイトの問題を報告する場合は、
直接 riskbookcomments@actuaries.org 宛てにメールを送付されたい。

大規模災害損害に対する資金の調達方法は国によって大きな違いがある。それらの資金のうちどの程度を保険などの仕組みにより事前に調達し、どの程度を課税、借入および国際的な災害援助により事後的に調達するかは、政府の政策から影響を受けることがある。

保険は政府が提供する場合も民間市場が提供する場合もある。例えば、ニュージーランドやカリフォルニア州では、民間市場と政府系機関の双方が地震保険を提供している。ニュージーランドでは、家計向けの地震保険は強制加入であるのに対し、カリフォルニア州では強制ではない。保険加入が任意の場合、一定の保障を購入した保険契約者の比率を示す加入率という概念が生じる。例えば、直近の大規模災害からの経過期間に応じて、カリフォルニア州の地震保険の加入率は 10%から 30%の範囲にある。

民間の保険マーケットとリスクベースのプライシングは、一般的に最も効率的な大規模災害に対する資金調達の方法であると考えられている。事象発生直後から、保険者は損害査定と保険金支払いに着手できるため、保険契約者は自宅や事業の再建を開始できる。比較的長期的な支払パターンを引き起こすこととなる事象の規模によるが、保険業界がすべてのクレームの特定および支払いを終えるのに通常数カ月、場合により数年を要する。また、リスクベースのプライシングは将来の大災害に対する社会の回復力を強化することとなるリスク緩和行動を促進する。

1975 年以降、自然のおよび人為的な大規模災害損害が保険業界に大きな打撃を与え、小規模および大規模な保険者の支払不能を引き起こしてきた^v。2013 年の A.M.ベストの特別報告書^{vi}によれば、1969 年から 2012 年までの期間中、付保された年間大規模災害損害は米国損害保険会社の剰余金 (surplus) の 2~14%に及んでいる。そして、ハリケーン・アンドリュー到来後の 1992 年およびハリケーン・カトリーナ到来後の 2005 年という 2 つのピークがある。また同報告書によれば、大規模災害損害は損保セクターの累積損失計上原因の上位 4 位に入り、破綻の 7.1%を占めている。

A.M.ベストの同報告書によれば、1969 年から 2012 年までの間に、合計 53 社の米国損害保険会社に大規模災害損害に起因する純資産額が資本金額を下回る損失が発生し、ハリケーン・アンドリュー1 事故で 11 社がインソルベントになった。民間保険会社は、世界の経済的損失全体のごく一部をカバーしているにすぎないものの、民間保険会社は、現在の経済状態の下で毎年総額 500~1,000 億ドルを支払っている。

のリスクに対し新たに発現しつつある懸念も認めるが、現時点では取り上げない。

本文書に関するコメントを提出する場合、またはウェブサイトの問題を報告する場合は、
直接 riskbookcomments@actuaries.org 宛てにメールを送付されたい。

4. 大規模災害損害の推定

大規模災害は特定の地域に発生する低頻度の事象であるため、損害推定に使用できるデータに乏しい。過去の保険金請求と損害のデータを用いて将来の損害を予測するという標準的な保険数理的手法は、ほとんどの種類の大規模災害に対して適切ではない。過去のデータが乏しいため、どんな手法にも著しい不確実性が伴う。したがって、保険会社は、多額の損害を引き起こす可能性のある種類の事象を特定し、それらの損害の規模を推定するために、多様な方法を併用することが賢明である。

過去事象に関するデータが存在しなくても使用できる方法の 1 つは、重大な事象に晒されている特定の地域の被保険金額合計を算定した後、1回の事象または一定期間（通常は1年）における事象全体で失われる可能性のある比率に相当する係数を適用することである。言うまでもなく、総被保険金額³は潜在的な損害の上限を表している。

特定の事象による損害を推定するために使用される別の方法としてシナリオテストがある。例えば、ロイズ・オブ・ロンドン³は、現実的な災害シナリオ（RDS）のセットを開発し、毎年それらのシナリオに基づく損害推定額を報告することをシンジケートに要求している。多くの企業は、統合的リスク管理（ERM）の枠組みの一環としてシナリオを使用している。

大規模災害モデルは、広範囲にわたる、将来生じ得るシナリオに基づく損害を、その発生確率と共に推定する頑強な構造的アプローチを提供する。大規模災害モデルは、完全な確率分布を提供してくれるため、多くの種類の保険数理分析に適している。大規模災害モデルにより得られる損害推定は、特定の事象（例えば、ハリケーン・カトリーナやサンフランシスコにおけるマグニチュード 8.0 の地震）に対するものとしては決定論的にもなり、また仮説的事象のカタログに対しては確率論的でもあり得る。

最初の大規模災害モデルは 1980 年代後半にハリケーンや地震その他の自然災害によるリスクを評価するために開発された。そして、1992 年のハリケーン・アンドリューおよび 1994 年のノースリッジ地震の後、保険業界における大規模災害モデルの採用が加速した。テロ行為など人為大規模災害のモデルは、（注：ニューヨークの）世界貿易センター事件の後に構築された。

I. 大規模災害モデルの主要構成要素

³ 「再調達費用保証」があればその調整後の金額

本文書に関するコメントを提出する場合、またはウェブサイトの問題を報告する場合は、
直接 riskbookcomments@actuaries.org 宛てにメールを送付されたい。

大規模災害モデルは、あらゆる種類の大規模災害についておよびあらゆる危険地域 (peril region) について同一の 4 つの主要な構成要素から成っている。下記の図 1 にこれを示す。

図 1. 大規模災害モデルの構成要素	
モデルの構成要素	説明
イベントカタログ	地域ごとの頻度および物理的深刻度を含む事象のパラメーターを定義する。
強度公式	個々の事象に影響される区域の各地点で経験される強度を推定する。
損害関数	建物、収容物および時間的要素のエクスポージャーに対する損害を推定する (死傷者を推定することもあり得る)。
経済モジュール	保険契約条件および再保険の条件を適用して被保険損害を推定する。

A. イベントカタログ

イベントカタログには、地点、損害の深刻度および範囲の広さなど、個々のシミュレーション事象の特性を定義する重要なパラメーターが含まれる。熱帯低気圧の場合、イベントカタログには上陸地点、最大風速、最大風速半径などが含まれるのに対し、地震の場合は、震源、深度、マグニチュードなどが含まれる。テロ攻撃の場合、イベントカタログには地点、種類および爆弾の規模が含まれる可能性がある。

カタログに含まれる各事象には発生確率が与えられる。この確率は、十分なデータが存在する場合 (熱帯低気圧その他の暴風など) は過去の情報の統計分析によって推定され、データが乏しい場合 (地震、テロ攻撃など) は科学的研究や専門家の意見によって推定される。カタログには通常、モンテカルロ・シミュレーションまたは層化抽出法によって生成された事象の大量サンプルが含まれる。

イベントカタログは、地域ごとに事象の頻度と物理的深刻度を定義するために極めて重要である。カタログの信頼度は、過去のデータの質と量および災害に関する科学的理解度に応じて危険地域ごとに大幅に異なる。例えば、カリフォルニア州や日本では、これまでに多数の大地震が発生しており、断層の性質も総じて科学者によって理解されている (ただし、将来事象のマグニチュードや地点に関しては未知の事柄が数多く

本文書に関するコメントを提出する場合、またはウェブサイトの問題を報告する場合は、
直接 riskbookcomments@actuaries.org 宛てにメールを送付されたい。

ある)。米国中部やオーストラリアなど「プレート内」の地域に関して分かっていることははるかに少ない。

B. 強度公式

大規模災害モデルでは、上述の事象のパラメーター、地点の情報、およびより広範な科学者コミュニティによって開発された科学的公式を用いて、カタログの各事象について、影響を受ける各地点の強度を推定する。科学者は、そうした公式を開発するために、過去事象から強度データを収集してきたが、強度データの量と質は危険および地域により大幅に異なる。

例えば、熱帯低気圧の強度は風速により定義されるが、科学者は海上にあるハリケーンの風速に関する公式を開発し、これが十分に実証されるに至っている。しかしながら、ハリケーンが上陸すると、エネルギー源を失うと同時に起伏のある地形による摩擦効果が生じるため、風速が衰え始める。陸上の風速については、信頼できる過去事象の測定値が相対的に少ないため、地上におけるハリケーンの強度の推定には一定程度の判断が入ってくる。

地震の場合、強度は地動によって定義され、世界中の科学者が開発した減衰方程式（**attenuation equation**）を用いて推定される。過去事象に関して観測された地動データは潤沢でないことから、従来、地震強度は改正メルカリ震度階級（MMI）の尺度を用いて損害から推定されてきた。

地震の場合、事態をさらに複雑にしているのは、ある地点で発生する地動は、エネルギー波がその地点に到達するまでに通過する岩盤や土壌の性質から影響を受けることである。これらの複雑な状況は確度の高いモデル化はできない。詳細な土壌データが利用可能な場合には、通常、現地の土壌条件に基づいて係数を設定する単純化された手法が利用される。液状化や地震発生後の火災といった二次災害についても、モデルにおいて考慮されることがある。

将来の人為大規模災害について見込まれる頻度と深刻度は極めて不確実なもの、テロ攻撃、特に従来型の武器を使用した攻撃の影響については豊富な情報が存在する。

C. 損害関数

モデルの損害関数は、各種のエクスポージャーによって経験される損害を様々な強度

本文書に関するコメントを提出する場合、またはウェブサイトの問題を報告する場合は、
直接 riskbookcomments@actuaries.org 宛てにメールを送付されたい。

レベルで推定するものである。不動産のエクスポージャーの場合、損害関数では、危険に応じて建築構造の種類、入居者数およびその他の特性を考慮に入れる。

損害関数は、建物の再調達価格に対する（その損害に起因する）修理費の比率として表される。実際の損害は「ばらつきがある」ため、一定の風速および平均損害率の下で、個々の不動産は異なるレベルの損害を受け、その範囲は 0% から 100% に及ぶ可能性がある。

この不確実性は通常「二次的不確実性」と呼ばれ、強度および損害の計算における不確実性を含む。大規模災害モデルの用語では、「一次的不確実性」とは事象それ自体に関する不確実性を指す。

D. 経済モジュール

建物、収容物および時間的要素に「基づいて (ground up)」損害を算定した後、二次的不確実性の分布を用いて、保険条件を考慮に入れた損害額推定する。保険条件には、損害トリガー（担保危険）、保障ごとの免責額、累計免責額、総填補限度額およびサブリミット、共同保険、付属事項ならびに適用される再保険の条件が含まれる。モデルのこの構成要素は、基本的にすべての危険地域において同一である（特定の国および危険独自の保険条件を考慮に入れる場合を除く）。

例えば、米国のハリケーンやトルコの地震といった特定の危険地域について最初の 3 つのモデル構成要素を構築するには、政府機関や科学機関などの外部組織からデータおよび情報を収集する。ほとんどの場合、どのモデルも、科学界全体によって収集、公表および管理されている同一の情報を基礎としている。モデル間の相違は、そのデータをどのように解釈および分析して多くのモデルの仮定を設定するかということから生じる。

II. モデルのインプット

大規模災害モデルの主要インプットはエクスポージャーの一覧である。最も基本的な情報は、建物、収容物および時間的要素の保障に係る再調達価格である。理想的には、この情報は地域コードを付された地点ごとに保険の目的（保険の対象）について提供されることが望ましい。現実には、エクスポージャーデータの精密度および品質は、危険地域ごとに異なっている。

本文書に関するコメントを提出する場合、またはウェブサイトの問題を報告する場合は、
直接 riskbookcomments@actuaries.org 宛てにメールを送付されたい。

米国の危険については、大半の企業がこのレベルの詳細情報を、建築構造、用途および建築年など、他の建物の特性と共にモデルに入力できる。構造や内容物に関する情報が詳細であるほど、モデルの損害推定の信頼度が高くなる。他の地域では、CRESTA (Catastrophe Risk Evaluation and Standardizing Target Accumulations : 大規模災害リスク評価・被災対象物集計標準化機関) の定めたゾーンおよび物件(住宅、一般、工場)別に集計された総保険価額(TIV)がデータとして使用されることがある。例えば、フランスでは、保険者は通常 TIV ではなく部屋数に関するデータを収集し、そのデータを CRESTA ゾーンごとに集計する。

エクスポージャーデータの品質は、大規模災害リスクを定量化する際の重要な論点である。ほとんどの大規模災害は局所的な地域に影響を与えるため、信頼度の高い損害額推定には、エクスポージャーの所在地およびそのエクスポージャーの再調達価格に関する詳細な情報・知見が不可欠となる。例えば、高潮による洪水の危険に晒されている財物の場合、その財物が海岸からどれほどの距離にあるかを知ることが重要である。地震地域では、地震に晒されている財物が活断層にどれほど近いかがリスクに大きく影響する。

規制当局は、エクスポージャーデータの地理的な精密度、およびそれが正確な緯度・経度座標、郵便番号の重心または CRESTA ゾーンごとの集計のいずれであるかについて調査すべきである。また、建物、収容物および時間的要素の価額がどのように決定されているかも認識しておくべきである。エクスポージャーデータファイルに含まれる他の建物の特性の性質および範囲は、エクスポージャーデータの品質がどれほど重視されているかの指標となる。

III. モデルのアウトプット

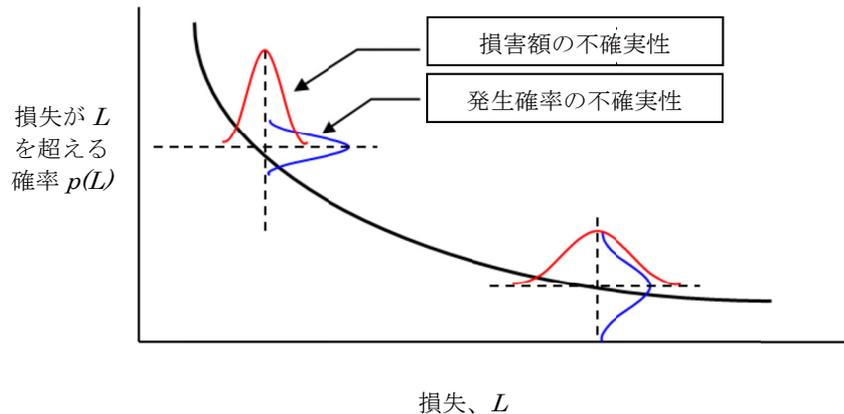
大規模災害モデルの主要なアウトプットは、エクスポージャーのポートフォリオが様々な損失額を超える確率を示す超過確率(exceedance probability : EP) 曲線である。大規模災害モデルは通常、年間発生損失分布(OEP) および年間集積損失分布(AEP) という2種類の EP 曲線を生成する。OEP は1回の事象で発生した年間最大額の損失の確率を示し、AEP は1年間に発生する複数の事象による年間損失合計の確率を示す。

地震など、極めて低頻度かつ高損害規模の事象の場合、両カーブは非常に類似しており、通常テールで収れんする。竜巻の発生など、より高頻度の事象の場合は、すべての確率水準で AEP の損失が OEP の損失を大幅に上回る可能性がある。また、地理的に分散したポートフォリオは、より集中的な保険ポートフォリオに比べると、やはり AEP の損失が OEP の損失を上回る。

本文書に関するコメントを提出する場合、またはウェブサイトの問題を報告する場合は、
直接 riskbookcomments@actuaries.org 宛てにメールを送付されたい。

AEP 分布の推定方法には様々なものがある。一般に、OEP 分布よりも推定がより困難で、正確性がより低い。理論的に言えば、年平均損失 (AAL) は AEP から算定すべきである。

図 2：超過確率 (EP) 曲線の例



保険者と規制当局は、リスク管理のためにこのカーブに基づく点推定に依拠してきた。例えば、米国の保険者は、損失超過の推定確率が 0.01 および 0.004 となるカーブ上の点を使用する。これらの点は、それぞれ 100 年に 1 度の損失および 250 年に 1 度の損失として一般に知られている。また、100 年および 250 年に 1 度の予想最大損失 (Probable Maximum Loss : PML) と呼ばれることもある。欧州では確率 0.005 の点推定がより頻繁に使用される。

大規模災害モデルは、いかなる水準の精密度でも EP カーブや AAL を生成できる。その際、精密度が高ければ不確実性も高くなることを念頭に置くべきである。EP カーブは完全な確率分布であるため、料率設定を含め、多くの種類の保険数理分析に有用である。

IV. モデルの不確実性

図 2 が示すように、EP カーブは大きな不確実性を伴っている。EP カーブは、線というより「ファジー領域」として捉える方が適切である。モデルの不確実性に加え、エクスポージャーデータのインプットにも不確実性がある。この不確実性は、個々の保険者が保険金請求を取り扱う実務に関連しており、また、大規模な事象が発生した後の政治的圧力など、モデルにとって外生的な他の要因にも原因がある。さらに、大規模な損害事象では、資材や労働力の供給が不足して、修理費が事象発生前の財物の再調達価格を上

本文書に関するコメントを提出する場合、またはウェブサイトの問題を報告する場合は、
直接 riskbookcomments@actuaries.org 宛てにメールを送付されたい。

回ることがあり得る。この現象は通常「需要急増 (demand surge)」と呼ばれる。

モデルの不確実性は、信頼性をもってモデルの仮定すべてを推定するのに十分な量の高品質データの不足により発生する。大規模災害モデルは、過去事象のヒストリカルデータに基づいて構築されるが、事象の頻度が低い危険地域では、信頼できるデータがより少なく、不確実性が高くなる。最近の事象が比較的多い地域でも、精密度の高いデータの収集に必要な、高度に較正された計測 (calibrated instrumentation) の総合的なネットワークは通常存在しない。

下記の表 1 は、科学的かつ工学的なモデルの構成要素の根底にあるデータの源泉および相対的な信頼度を示している。緑色の網かけはデータが比較的豊富なこと、赤色は最も少ないこと、黄色はその中間を表す (緑色の網掛けの領域でも、特に気候その他の要因が時間と共に変化している場合、250年に1度といった極端な再現期間については有用なデータの入手が困難なため、一般に不確実性が高いことに留意されたい)。

表 1 - 大規模災害モデルの構成要素の裏付けデータ

	イベントカタログ	強度公式	損害関数
熱帯低気圧	世界のほとんどの地域で、米国の国立ハリケーンセンターや日本の気象庁のような政府機関によって収集および維持管理される過去のデータに基づく。モデル開発会社はそれらのデータベースに依拠し、過去のデータが乏しい地域については将来事象の特性に関する仮定に関して一定の専門的判断を適用している。	過去数十年間、政府組織および科学界全体が開発してきた実証済みの気象学の公式に基づく。公式は科学文献に十分に記載されている。変化する地形が陸上の風に与える影響など、ハリケーン強度の一部側面については専門的判断が適用される。土地利用データは政府機関によって維持管理されており、その政府機関から入手可能である。	フロリダ州やメキシコ湾岸諸州など少数の地域については、過去の損害および保険金請求データが保険会社からモデル作成者に提供されており、そのデータを使用して損害関数を微調整できる。しかしながら、多様な用途、建築構造および建物の特性を反映して何千もの損害関数が存在するため、関数の大部分は専門的判断に基づいている。
地震	地震に関する過去のデータは、アメリカ地質調査所およびヨーロッパ地中海地震学センターなどの政府機関により収集および維持管理されている。また、これらの組織は、過去の記録を補完するために古地震研究などの研究を後援している。大規模災害モデル作成者は、地震のイベントカタログの基礎として、そうしたデータのほかハザードマップや科学報告書など他の情	次世代型距離減衰式 (NGA) が、世界の大規模地震のデータを使用して世界の地震専門家のコンソーシアムによって開発された。この方程式は大規模災害モデルにおける地震動の算式の基礎をなしている。一般に、土壌データは地質データから推定される。ただし、主要都市部についてはより詳細な研究が行われている。	モデル作成者が地震の損害関数の構築に利用できる保険金請求データは限定的である。世界の地震研究組織は、情報を集約するとともに、地動に対する建物や内容物の脆弱性に関する研究を定期的に公表している。限定的ながら、本格的な加振台試験および高度な技術解析の結果が利用可能なものの、モデルのこの構成要素は依然として専門的判断に大きく依拠している。

本文書に関するコメントを提出する場合、またはウェブサイトの問題を報告する場合は、
直接 riskbookcomments@actuaries.org 宛てにメールを送付されたい。

	報を使用している。		
テロ攻撃	多くの種類のテロ攻撃および何万もの潜在的標的が存在する。それらの標的について将来事象の蓋然性を推定するためのデータはほとんどあるいは全く存在しない。テロリストは急襲によって恐れを抱かせることを望んでいることを考慮すれば、過去のデータは将来事象の信頼できる指針にならない可能性がある。モデルは、FBI、CIA などの政府機関に所属するテロ対策専門家の判断に大きく依拠している。	都市部の現場の人口密度や複雑性が、結果として生じる強度パターンを歪める可能性があるにも係らず、様々な種類の爆風の衝撃波や圧力による影響は十分研究され理解されている。化学・生物・放射性物質・核（CBRN）攻撃の影響が及ぶ強度範囲ははるかに広く、信頼できる予測はより困難であるものの、その影響は研究されており、それを推定するツールも開発されてきた。	爆風や航空機インシデントなど通常兵器を使用した攻撃は局所的な事象であり、往々にして全損に至るため、モデルの損害関数は単純である。化学・生物・放射性物質・核（CBRN）インシデントを対象とする損害関数の構築には、はるかに多くの判断が入り込む。

分析対象となる地域の多くでは、モデルの構成要素の根底をなすデータが乏しいため、モデルの仮定は主に専門家の意見や判断に依拠している。科学的見解や視点が異なることが原因で、モデルの変動性や不安定性がしばしば発生する。

大規模災害モデルが複雑性および低頻度という自然災害の性質を表すということは、モデルは常に相当の不確実性を伴うことを意味する。この不確実性は、偶然的なもの（プロセス固有の不確実性）および認識論的なもの（プロセスのパラメーターおよび／または固有のモデル構造に関する知識の不完全性⁴）がある。理論上、偶然的な不確実性は、プロセスの確率論的な性質に原因があるため低減することができず、適切に設計されたモデルでは、単独のモデルから得られる損害の確率分布によって適切に表される。

認識論的不確実性の推定には、自然災害のプロセスを、異なるパラメーター推定を用いて構築した複数のモデルを使用することが必要となる。多くの保険会社は、認識論的不確実性に起因するモデルリスクの管理を強化するために、複数の大規模災害モデル（または、より新しい開放的な損害モデルにより可能となった、同一の大規模災害モデルによる複数の表現）を使用する方向に動いている。それらのモデルのアウトプットを統合（融合）してより頑強なリスクの捉え方を導き出すために各種の手法が考案されてきた。

モデルは、ある事象による損害の原因すべてを織り込んでいるわけではなく、また、パ

⁴ 例えば、一部の過去のハリケーンや洪水に関する研究では、災害の強度または損害の程度に影響する要因として、それまでの雨の土壌浸透度を挙げている。現在のところ、総じてこの要因はモデル化されていない（恐らく、実務的な困難さのため）。

本文書に関するコメントを提出する場合、またはウェブサイトの問題を報告する場合は、直接 riskbookcomments@actuaries.org 宛てにメールを送付されたい。

ラメーターリスクを正確に定量化することはできない。モデルは通常、EPカーブの周りの信頼帯を生成することではなく、例え生成される場合でも、それは包括的でも頑強でもない。そうした信頼帯は、プロセスリスクおよび／または個別事象に係る損害に関する不確実性を反映している可能性がある。

V. モデルの利用

モデルは、大規模災害リスクの性質および不確実性を定量化するのに有用なツールであるが、災害の多様な側面すべてを完全に捉える能力とその結果には往々にして制限があることを認識することが重要である。その理由は、モデルには作成者固有の仮定および科学的判断が反映されることにある。モデルが目的に適合するか否かを判断する責任はモデルの利用者側にある。信頼できるモデルのみを利用し、適切な設定により自身の独自の事業に合わせてモデルを調整すべきである。

モデルの表現がかなり妥当であるにもかかわらず一部にギャップがある場合、モデル利用者は、可能な範囲内でモデルのアウトプットを適切に調節することを許される。ギャップの性質またはモデルの透明性／柔軟性の欠如が原因でモデルを調節できない場合、モデルのギャップを文書化し、別個に説明することが必要となる可能性がある。場合によっては、ギャップに対処する際、それ自体、相当程度のモデル構築が必要となるかもしれない。これは、モデル化されないギャップがかなり重要になることがあるためである。

例えば、多くの地域で、津波による損害額は地震のモデルにおいて明示的にモデル化されず、また、熱帯低気圧によって引き起こされる内陸の洪水による損害額についても同じことが言える。同様に、モデルは、住宅エクスポージャーにおける付属の建物、商業施設エクスポージャーにおける事業利益保険、およびインフラ資産に対する潜在的な損害など、ある特定のエクスポージャーを表示しないことがある。

さらに、保険が付保されていないはずのリスクに対し保険を提供する、残余市場プールまたはその他の社会的仕組みが存在することがある。これらの仕組みが保険業界への評価に基づき資金調達される限り、モデル化されないエクスポージャーをもたらす可能性がある。言うまでもなく、そうしたギャップはモデルに依存しており、モデルはそれらのギャップの一部に対応するために引き続き進化している。モデル利用者は、モデルを調整および補足するために、引受に関する知見、業界の知見および保険金請求に関する内部の経験を利用することができる。

伝統的な大規模災害モデルが閉鎖的な専有性の性質を持つために、ポートフォリオリスクが、モデルの構成要素のうち、ハザード（頻度、物理的深刻度および事象の強度）または脆弱性のどちらによってもたらされるのかの判断が困難になっている。多くの場合、意思決定者は、最適なリスク管理戦略を考案するために、根底にあるそうした詳細に関心を抱く。リスクマネジャーがより直感的にリスクを評価することを可能にする、他の様々なリスク測定手法が存在する。

そうした手法の 1 つに、一定の事象についてポートフォリオリスクを追跡するものがある。上述した、ロイズの開発した「現実的な災害シナリオ」がその一例である。多くの企業は、EP カーブモデルから導き出される確率論的なリスク尺度を、自社内部の災害シナリオをカタログ化することによって補い、集積額を監視し、リスクアペタイトを管理する。大規模災害リスクは不確実性を伴い、低頻度・高損害規模という性質を持つため、意思決定者に情報と手段を提供する一助として、複数の手法を使用して損害を推定することが必要となる。

VI. 大規模災害モデルの将来的進化

大規模災害モデルは 1980 年代後半から重要な進歩を遂げてきた。そして、実際の事象が発生し、科学的発見が組み込まれ、技術が進歩し、新たなデータが分析されにつれ、また、より多くの危険およびエクスポージャーのある地域をカバーするように拡大されるのに伴い、今後も進化していくことが見込まれる。しかしながら、モデルが完全または正確になることはないため、モデルの仮定を完全に理解し、検証し、必要に応じて精緻化する責任は依然としてモデル利用者が負う。

大規模災害モデルの開発には、保険会社が通常有しない科学、エンジニアリングおよびコンピュータプログラミングの専門知識が必要となるため、ほとんどの保険者は、サードパーティーのベンダーから大規模災害モデルの使用許諾を受けてきた。サードパーティーモデルは専有的な性質を持つため、どの仮定に基づいてモデルの見積損害額が導き出されたかを保険者が確認することは困難である。モデルのアップデートに伴い、見積損害額の不安定性が一層高まり、保険者にとって変動の原因を決定することが極めて困難かつ時間を要する作業となっている。

開かれたモデル — 今後の進展は、リスクに対する所有権を強化し、大規模災害リスクにおける固有の不確実性に関するより良い評価を可能にする、より開かれたモデル(Open Models)を提供することにある。開かれたモデルは透明性が高いため、保険者は、モデルの仮定や様々な科学的意見が損害にどのような影響を与えるかについてより十分に理

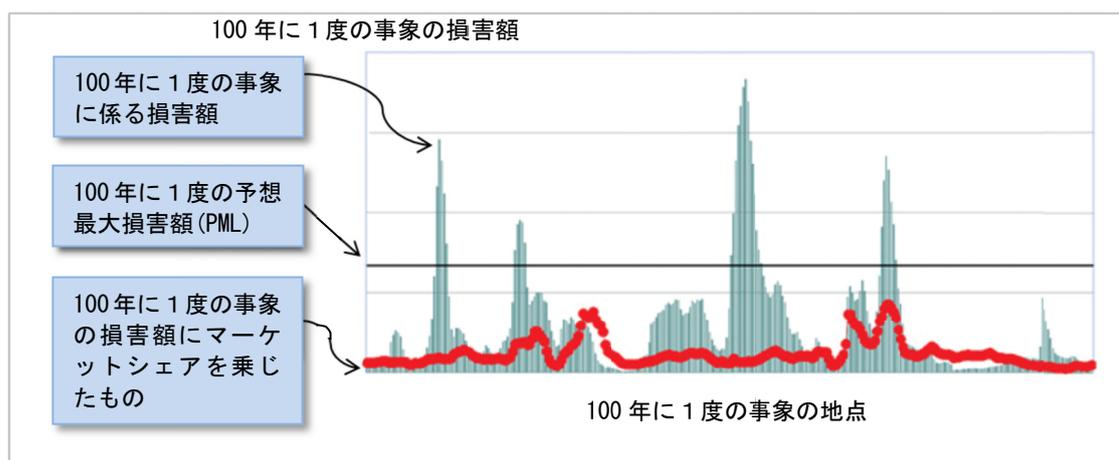
本文書に関するコメントを提出する場合、またはウェブサイトの問題を報告する場合は、
直接 riskbookcomments@actuaries.org 宛てにメールを送付されたい。

解できるようになる。開かれたモデルは、モデルの感応度や損害額を見積る上での主要な決定要素を明確に評価するために、利用者が様々な仮定に照らしてポートフォリオの見積損害額をテストすることを可能にする。

新たなリスク尺度 一大規模な損害の可能性に関してより多くの知見を意思決定者にもたらず、新たな直感的リスク尺度を容易にする領域においても、今後の進展は生じるとみられる。EP カーブ測定手法は有益であるものの、意思決定者が必要とするリスク情報すべてを提供することがない上、誤解を招く恐れがある。例えば、100年に1度のPMLが、100年に1度の「事象」による損失と誤って解釈され、偽りの安心感を与えかねない。100年に1度の事象から発生する最大損失は、EP カーブモデルによる100年に1度のPMLよりはるかに大規模になる可能性が高い。

損害額対ハザードを基礎とした確率を用いる新たな「特徴的事象」(Characteristic Event: CE)の手法は、リスク管理の目的上、より直感的な追加情報をもたらず。意思決定者は、多くの人がすでに入手済みと思い込んでいた100年(および他の再現期間)に1度の事象による損害額を知ることができる。下記グラフは、架空の企業の様々な地点における100年に1度の事象に係る見積損害額を示している。100年に1度のPMLは、企業がその値より大きな巨大損失を被る確率が1%となるような、EPカーブ上の値である。100年に1度のCEは、巨大損失がどの程度大規模に、どこの地点で発生し得るかを示している。

図3 - 特徴的事象(CE)のグラフの例



(訳注: 企業がCEで地域別マーケットシェアを管理することを想定している。詳しくは例えば Karen Clark & Co. *Managing Hurricane Risk with Characteristic Events (CE)* (特徴的事象によるハリケーンリスクの管理) を参照されたい。<http://www.karenclarkandco.com/news/publications/> から入手可能)

本文書に関するコメントを提出する場合、またはウェブサイトの問題を報告する場合は、
直接 riskbookcomments@actuaries.org 宛てにメールを送付されたい。

CE は、ソルベンシーを損なう可能性のあるエクスポージャーの集中を企業が特定するのに役立つ。これは、EP カーブ測定手法からは得られない情報である。CE は、長期間リスクの監視および管理をするために使用され得る尺度である。

5. 大規模災害リスク管理

効果的な大規模災害リスク管理の第一歩は、大規模災害損害の推定に固有の不確実性を認識した上で、複数の手法およびリスク尺度を使用して大規模損害の可能性に関してできるだけ多くの知見を手に入れることである。そうすることにより、保険者は、特定の事象に過度のエクスポージャーを有しているかの判断が可能になり、リスクをどのように引き受け、どんな価格を設定するか、およびどの程度を再保険や金融市場に移転するかを決定できる。

I. 引受および価格設定

保険による多くの保障について、引受規定および引受料率（価格）の基礎となるのは、保険契約の年平均損害額（AAL）とも呼ばれる「期待損害額（expected loss）」である。期待損害額を中心とする標準偏差の比率も適用可能である。

例えば、米国では、アクチュアリーは住宅所有者の料率設定区域に係るハリケーンの大規模災害の保険料を設定するために、郵便番号ごとにモデルに基づいて生成した AAL を使用することが多い。カリフォルニア州地震保険公社（CEA）は、モデルに基づいて生成した AAL を用いて区域ごとの地震保険料率を決定している。米国以外では、モデルを使用して料率を決定することはそれほど一般的ではないものの、一部のグローバル企業は、個々の顧客の保険を引き受け、その価格を決定するために、所在地および物件（住宅、一般、工場）別の AAL を使用している。しかしながら、これほど精緻さが高くなると、特定の種類のリスクについては、伝統的なモデルに基づいて生成されたアウトプットは、極めて信頼度が低く、非常に不安定である。

大規模災害の性質や損害額分布の歪度が高くテールが厚いという特徴が原因で、保険者は、期待損害額と標準偏差の尺度の使用から離れて、個々の危険地域ごとに、さらには特定の契約ごとに消費される資本を織り込む大規模災害保険の価格設定手法へと移行した。この手法は普通「限界影響（marginal impact）」に基づく価格設定と呼ばれる。それは、新たな保険契約、物件（住宅、一般、工場）別などを引き受けるのに必要な追加資本を基礎としているためである。保険者は、VaR（バリューアットリスク）の一種であ

本文書に関するコメントを提出する場合、またはウェブサイトの問題を報告する場合は、
直接 riskbookcomments@actuaries.org 宛てにメールを送付されたい。

る PML を使用するよりは、TVaR（テールバリューアットリスク）など、一層多くの EP カーブの特徴を捉える尺度を使用して限界効果を決定する方向に動いている。

価格設定以外の考慮事項に目を向ければ、保険会社が、サブリミット、一部危険の除外および高額免責などの制限的な保険契約条件を提示することにより、または大規模災害損害の発生可能性の低い建物タイプ⁵や地域に重点を置くことにより、危険および集積の大きい地域の大規模災害リスクを管理することも普及している。CE などのリスク尺度を使えば、企業は、低減が必要なエクスポージャーの集中がどの部分にあるかを把握できる。

II. 全社的リスクマネジメントおよび移転

米国の保険会社、格付機関および規制当局は、ソルベンシーおよびリスク移転のために、0.01 および 0.004 の損失超過確率（それぞれ 100 年に 1 度および 250 年に 1 度の「予想最大損失」（PML）と呼ばれる）に最も大きく依拠するようになっている。これらの数値は、必要資本要件の設定、どれだけの再保険を購入すべきかの決定、および正式なリスク許容度ステートメントのために使用されているが、EP カーブに基づく点推定に依拠することの危険性に対する意識が次第に高まっている。

企業は、EP カーブの 1 点への過度の依拠を低減するために、条件付きテール超過額（Conditional Tail Exceedance : CTE。TVaR と呼ばれる）または超過年平均損害額（XSAAL）など、より頑健な他のテールリスク尺度を利用している。CTE または TVaR は、一定の閾値（たいていは一定の超過確率の閾値）を超える損害額を条件とする損害額を表している。XSAAL は、特定の閾値を超える部分の損害額の（無条件の）平均値を表す。PML とは異なり、これらの尺度はいずれもテールの長さを考慮に入れており、分布の 1 点に過度に依拠することがなく、さらに（劣加法性など）魅力的なコヒーレント性を備えているため、リスクアグリゲーターやポートフォリオマネジャーの関心を集めている（ただし、そうした数値は、損失超過曲線の最も不確実な、したがって最も推定に信頼のおけない部分に基づいていることには注意が必要）。

リスク移転は、バランスシートや収益に対する正味リスク全体を限定しようとする保険者にとって、重要なエクスポージャー集積に対する管理戦略である。高い需要や供給業者の関心を背景に、長年にわたり数多くの多様なリスク移転手法が発展してきた。リス

⁵ 例えば、米国で最近発生したハリケーンや洪水の分析によれば、時には一定の建築工法の使用により、損害を防止したり、損害を受ける可能性を低減できることが明らかになった。

本文書に関するコメントを提出する場合、またはウェブサイトの問題を報告する場合は、
直接 riskbookcomments@actuaries.org 宛てにメールを送付されたい。

クは、1つのロケーションもしくは1人の顧客、事業単位、または会社全体のポートフォリオなど様々なレベルで移転できる。リスクを引き受け得るのは再保険者、再々保険者および機関投資家などである⁶。リスク移転の方法としては、填補ベースもしくはパラメーター／指数ベースの移転またはそれらの混合型があり得る。

リスク移転の様々な選択肢の引受および価格設定では、大規模災害モデルのアウトプットが十分に活用され、それに基づき、契約の期待損失、資本に対する限界影響およびその資本の相対的なコストが、企業のリスクアペタイトへの考慮に加えて評価される。企業によっては、固有のモデルリスクを軽減するためにリスク移転を利用することもある。

カレン・クラーク (Karen Clark) はカレン・クラーク・アンド・カンパニーの社長兼 CEO で、大規模災害リスクの評価および管理の第一人者。最初のハリケーンモデルを開発し、最初の大規模災害モデル開発会社、アプライド・インシュアランス・リサーチ (AIR) を設立 (その後、インシュアランス・サービス・オフィスによる買収に伴い AIR ワールドワイドと改称)。25年以上にわたり、科学者、エンジニアその他の専門家と密接に協力して最先端の大規模災害モデルを開発。現在も引き続き、大規模災害リスクの評価および管理に向けた先端的ツールとして世界で使用される新たなリスク尺度およびソフトウェアアプリケーションの開発の先頭に立つ。ボストン大学にて文学修士号 (経済学) および経営学修士号を取得。連絡先は Clark@karenclarkandco.com。

ビジェイ・マングナニ (Vijay Manghnani) (Ph.D, FCAS, CCRA) は、AIG のエグゼクティブおよびアナリティクス担当役員で、大規模災害高級管理・解析センター (Cat Management and Analytics Center of Excellence) 責任者。当該職務において、最先端の科学およびアナリティクスを保険引受およびリスク管理戦略に導入する業務を担当。専門は、新たなリスクの定量化、大規模災害リスク管理、予測モデリングおよびポートフォリオ最適化など。最近、保険業界のために気候変動リスクの定量化に取り組む北米アクチュアリー気候変動委員会の委員長を務めた。ノースカロライナ大学にて博士号 (気象学) を取得。連絡先は Vijay.Manghnani@aig.com。

チャン・シウメイ (Hsiu-Mei Chang) (MAAA, FCAS) は現在、AIG のモデルリスク管理グループ (MRMG) のリスク管理担当取締役。損害保険数理モデルのモデル検証および様々なモデルリスク管理機能を主導している。AIG 入社前は、25年以上にわたり多くの世

⁶ 詳細については「第6章 - 非比例再保険」を参照のこと

界的（再）保険会社、コンサルティング会社および監査事務所において様々な立場で保険／リスクに関するソリューションを提供してきた。ケンタッキー大学にて理学修士号（統計学）を取得。

-
- i 国際緊急災害データベース (<http://datahub.io/dataset/emdat>)
 - ii *2013 Global Assessment Report on International Disasters Reduction* (国際的な災害の減少に関する世界の評価報告書、2013年版)
(http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2013/en/gar-pdf/GAR2013_EN.pdf)
 - iii *East Asia's Changing Landscape: Measuring a Decade of Spatial Growth* (東アジアの状況変化：10年間の空間拡大の評価)、世界銀行、2015年
 - iv *Coastal Exposure and Community Protection: Hurricane Andrew's Legacy* (沿岸地域のエクスポージャーおよび地域社会の保護：ハリケーン・アンドリューの残したもの)、財産損害削減のための保険協会 (Insurance Institute for Property Loss Reduction) および保険研究評議会 (Insurance Research Council)、1995年4月、ならびに
The Coastline at Risk: 2013 Update to the Estimated Value of US Coastal Properties (沿岸地域のリスク：米国沿岸地域の財産の推定価額、2013年改訂版)、AIR Worldwide Report、2013年
 - v スイス再保険、2000年、および Mills 他、2001年参照
 - vi A.M.ベストの *Impairment Review* (累積損失レビュー) (2013年6月24日、<http://www.reuters.com/article/2013/06/25/nj-am-best-idUSnBw256092a+100+BSW20130625>) を参照のこと